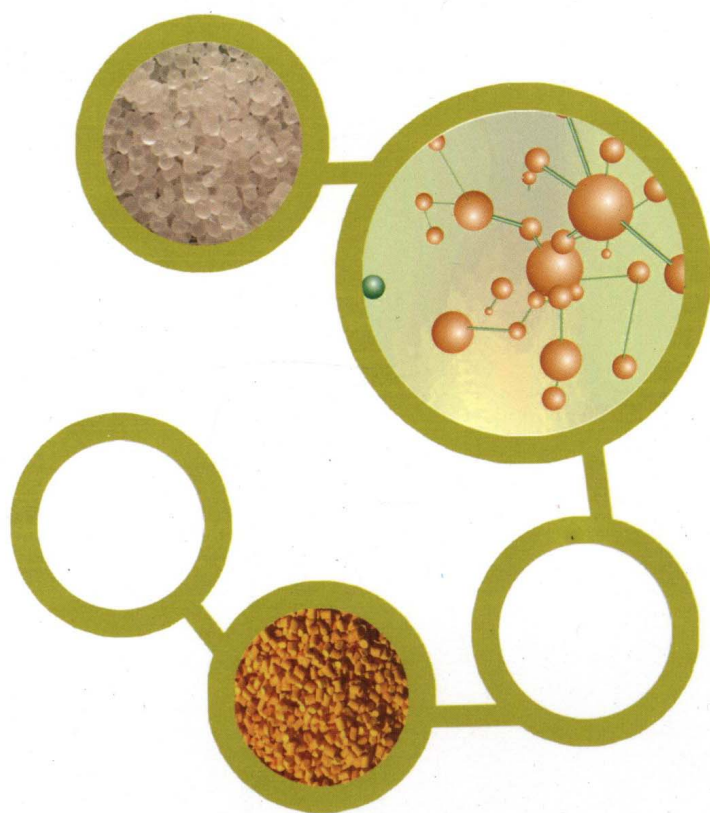


实用工程塑料

手册



张玉龙
张文栋 主编
严晓峰



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



实用工程塑料手册

主 编 张玉龙 张文栋 严晓峰

副主编 严晓峰 石磊 李萍 杨守平 闫 烨

编写人员

王四清	王国义	王学琴	王敏芳	王 晶	孔祥海
孔令美	石磊	刘向平	刘宝玉	刘朝辉	许劲松
齐 昕	闫 烨	闫惠兰	孙英富	孙德强	连军涛
杜仕国	岳松堂	李 可	李旭东	李学文	李 丽
李桂变	李 萍	李 燕	吴建全	杨 耘	杨振强
杨晓冬	张文栋	张文栓	张玉龙	张军营	张然治
张健康	张德琪	邵颖惠	周 力	周敏华	官周国
段金栋	郝英华	赵媛媛	姚春臣	唐 华	陶文斌
黄晓霞	黄 晖	曹根顺	康 敏	喻腊梅	普朝光
路香兰	戴均平				



机械工业出版社

本书主要介绍了聚酰胺、聚碳酸酯、聚甲醛、热塑性聚酯（PET 与 PBT）、聚苯醚与改性聚苯醚、聚四氟乙烯、聚苯硫醚、聚砜类塑料、聚醚醚酮、聚酰亚胺、聚芳酯和液晶聚合物的主要品种与性能、制品及其成型工艺等内容。

本书的特点是，突出实用性、先进性和可操作性，理论介绍从简，侧重于实用数据和实例的介绍。

本书是塑料行业材料研究、产品设计、制造加工、管理及销售人员的必读必备工具书。

图书在版编目（CIP）数据

实用工程塑料手册/张玉龙，张文栋，严晓峰主编. —北京：
机械工业出版社，2012.6
ISBN 978 - 7 - 111 - 38923 - 1

I. ①实… II. ①张…②张…③严… III. ①工程塑料 - 技术手册
IV. ①TQ322.3 - 62

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2012）第 136901 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：张秀恩 责任编辑：张秀恩 王彦青

版式设计：霍永明 责任校对：张莉娟 任秀丽

封面设计：赵颖喆 责任印制：杨 曦

北京京丰印刷厂印刷

2012 年 9 月第 1 版·第 1 次印刷

169mm×239mm·34.75 印张·797 千字

0 001—3 000 册

标准书号：ISBN 978 - 7 - 111 - 38923 - 1

定价：88.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

策划编辑（010）88379770

社服务中心：（010）88361066

网络服务

销售一部：（010）68326294

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售二部：（010）88379649

机工官网：<http://www.cmpbook.com>

读者购书热线：（010）88379203

机工官博：<http://weibo.com/cmp1952>

封面无防伪标均为盗版

前 言

工程塑料是一种新型的合成材料，且在合成材料中属于低成本高效工程结构材料。因其原材料来源丰富，品种多样，性能优异，可调节性、可配制性强，其应用领域逐步拓宽，属于当今发展最快、用量最大的工程材料之一。它与当前使用最为普遍的金属材料 and 无机结构材料一起，成为当今世界三大主导结构材料。近年来，随着高新技术在工程塑料中的应用，特别是改性技术、配方设计技术的深入发展，使得其牌号与各品级数量与日俱增，性能不断提高，应用领域迅速扩展，已成为国民经济建设、国防建设和人们日常生活不可或缺的重要工程材料之一，呈现出良好的发展势头。

为普及工程塑料基础知识，推广并宣传工程塑料的主要品种、性能及成型加工技术，中国兵工学会科技出版工作委员会、兵工学会非金属专业委员会和山东兵工学会联合组织编写了《实用工程塑料手册》一书。全书共 11 章 26 节，较为详细地介绍了聚酰胺、聚碳酸酯、聚甲醛、热塑性聚酯（PET 与 PBT）、聚苯醚与改性聚苯醚、聚四氟乙烯、聚苯硫醚、聚砜类塑料、聚醚醚酮、聚酰亚胺、聚芳酯和液晶聚合物的主要品种与性能、制品及其成型工艺等内容。本书是塑料行业材料研究、产品设计、制造加工、管理、销售人员的必读必备工具书。

本手册突出实用性、先进性和可操作性，理论叙述从简，侧重于用实例说明问题，结构层次清晰，语言简练，信息量大，数据翔实可靠，图文并茂，可读性、可查阅性极强。若本手册的出版发行能对我国塑料工业的发展起到指导和促进作用，作者将感到无比欣慰。

由于水平有限，文中不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

作 者

目 录

前言

第一章 概述	1
第一节 基础知识	1
一、定义与范畴	1
二、分类	1
三、性能	1
第二节 工程塑料的改性与成型加工方法	10
一、主要改性方法	10
二、工程塑料的组成和成型方法	12
第三节 工程塑料技术创新	14
一、简介	14
二、树脂的技术创新	14
三、配方创新	15
四、工艺技术创新	16
五、为保持工程塑料工业的持续发展而创新	16
第四节 工程塑料的地位与作用	17
一、工程塑料在国民经济建设中的作用	17
二、在国防建设中的地位与作用	20
三、在高新技术中的地位与作用	23
第二章 聚酰胺	25
第一节 主要品种与性能	25
一、简介	25
二、尼龙 6	30
三、尼龙 66	55
四、尼龙 610	79
五、尼龙 612	86
六、尼龙 11	91
七、尼龙 12	94
八、尼龙 1010	99
九、尼龙 46	103
十、MC 尼龙	106
十一、粉末尼龙	109
十二、透明尼龙	111
十三、共聚尼龙	114
十四、改性尼龙	116

第二节 聚酰胺制品及其成型工艺	122
一、聚酰胺注射成型	122
二、尼龙制品的浇注（铸造）成型	151
三、MC 尼龙/GRP 复合管的缠绕成型	164
四、聚酰胺制品的吹塑成型	166
五、聚酰胺（尼龙）管材的挤出成型	168
第三章 聚碳酸酯（PC）	173
第一节 主要品种与性能	173
一、简介	173
二、国内聚碳酸酯品种与性能	179
三、国外聚碳酸酯品种与性能	182
第二节 聚碳酸酯制品及其成型工艺	208
一、聚碳酸酯注射成型	208
二、聚碳酸酯管材挤出成型	236
三、聚碳酸酯制品吹塑成型	236
第四章 聚甲醛	245
第一节 主要品种与性能	245
一、简介	245
二、国内聚甲醛品种与性能	247
三、国外聚甲醛品种与性能	249
四、改性聚甲醛	270
第二节 聚甲醛制品及其成型工艺	272
一、聚甲醛注射成型	272
二、聚甲醛管材挤出成型	300
第五章 热塑性聚酯	302
第一节 简介	302
一、结构与基本性能	302
二、热塑性聚酯的改性	304
三、应用	305
第二节 聚对苯二甲酸乙二醇酯（PET）	306
一、主要品种与性能	306
二、聚对苯二甲酸乙二醇酯制品及其成型工艺	322
第三节 聚对苯二甲酸丁二醇酯（PBT）	353
一、主要品种与性能	353
二、聚对苯二甲酸丁二醇酯制品及其成型工艺	382
第六章 聚苯醚（PPO）与改性聚苯醚（MPPO）	392
第一节 主要品种与性能	392
一、简介	392
二、国外聚苯醚品种与性能	393
第二节 聚苯醚制品及其成型工艺	405

第七章 聚四氟乙烯 (PTFE)	416
第一节 主要品种与性能	416
一、简介	416
二、国内 PTFE 的牌号、性能与应用	418
三、国外 PTFE 的牌号、性能与应用	421
第二节 聚四氟乙烯制品及其成型工艺	425
一、聚四氟乙烯成型加工方法	425
二、聚四氟乙烯模压烧结成型	426
三、聚四氟乙烯热收缩管吹塑成型	444
四、聚四氟乙烯彩色微型管的推压烧结成型	447
五、聚四氟乙烯三通缠绕成型	449
第八章 聚苯硫醚 (PPS)	451
第一节 主要品种与性能	451
一、主要品种	451
二、主要性能	452
三、应用	454
四、国内 PPS 牌号、性能与应用	454
五、国外 PPS 牌号、性能与应用	457
第二节 聚苯硫醚加工成型工艺	458
一、PPS 挤出加工	458
二、PPS 注射加工	458
第九章 聚砜类塑料	466
第一节 主要品种与性能	466
一、主要品种	466
二、双酚 A 聚砜	466
三、聚醚砜	472
四、聚芳砜	476
第二节 聚砜类塑料制品及其成型工艺	480
一、聚砜类塑料注射成型	480
二、聚砜管材挤出成型	491
第十章 聚醚醚酮 (PEEK)	493
第一节 主要品种与性能	493
一、简介	493
二、PEEK 牌号、性能与应用	495
三、成型加工性能	497
第二节 聚醚醚酮制品与成型工艺	497
一、聚醚醚酮注射成型简介	497
二、改性聚醚醚酮复合材料齿轮的注射成型	499
三、碳纤维增强 PEEK 衬套	501
四、PEEK 气体压缩机阀片	504

五、PEEK 往复压缩机高压活塞环	507
第十一章 聚酰亚胺、聚芳酯与液晶聚合物	511
第一节 聚酰亚胺 (PI)	511
一、简介	511
二、实用性聚酰亚胺	512
三、PI 牌号、性能与应用	524
四、成型工艺与应用	530
第二节 聚芳酯 (PAR)	531
一、PAR 树脂	531
二、PAR 合金	533
三、增强 PAR 塑料	535
四、国内外 PAR 牌号、性能与应用	536
五、PAR 成型加工	538
第三节 液晶聚合物 (LCP)	539
一、主要品种与性能	539
二、LCP 牌号、性能与应用	539
三、成型加工特性	541
四、应用与发展	542
参考文献	543

第一章 概 述

第一节 基础知识

一、定义与范畴

工程塑料是指可用作结构材料的塑料。该类塑料具有较宽的使用温度范围、较长的使用寿命，使用期间可保持优良特性、能够承受机械应力的作用。

所谓已在工程结构中应用的一类塑料主要是指通用工程塑料、特种工程塑料和高性能增强塑料等。

二、分类

工程塑料的分类方法很多，可按其化学组成、结晶程度、耐热性、受热后性能变化特点和功能或用途等方法加以分类，但不管哪一种方法，都难以全面概括，只是根据需要或便于形成一种明确概念，从某一侧面加以归纳分类表述的一种方式。本手册则按照工程塑料的应用或功能分类为主加以介绍，其他分类方法仅作简要介绍。

（一）按用途或功能分类

（1）通用工程塑料 聚酰胺（PA）（俗称尼龙）、聚碳酸酯（PC）、聚甲醛（POM）、热塑性聚酯（聚对苯二甲酸乙二醇酯-PET和聚对苯二甲酸丁二醇酯-PBT）和改性聚苯醚。

（2）特种工程塑料 氟塑料、聚酰亚胺（PI）、聚苯硫醚（PPS）、聚砜类（PSU）、聚酮类（如聚醚醚酮 PEEK）、聚芳酯（PAR）、聚苯酯（PHB）、液晶聚合物（LCP）和发展中的特种工程塑料。

（二）按化学组成分类

可分为聚酰胺类、聚酯类、聚醚类、聚烯烃类、芳杂环类和含氟类聚合物。

（三）按结晶程度分类

按照聚合物的物理状态，可分为结晶型和无定型两类。聚合物的结晶能力与分子结构规整性、分子间力、分子链柔顺性能等因素相关，结晶程度还会受拉力、温度等外界因素的影响。利用聚合物的物理状态也可部分地表征聚合物的结构和共同特性，是常用的一种分类方法。

（四）按耐热性分类

通常按长期连续使用温度划分为两类：使用温度在 100 ~ 150℃ 的塑料（如通用工程塑料和改性工程塑料等）；使用温度在 150℃ 以上的塑料（如特种工程塑料）。

三、性能

（一）塑料的特点（表 1-1）

表 1-1 塑料的特点

特点	说 明
优点	1. 质轻——塑料一般都比较轻,其密度在 $0.83 \sim 2.3\text{g/cm}^3$ 范围内,只有钢铁的 $1/7 \sim 1/4$ 、铝的 $1/2$ 。这对于减轻机械设备的重量是非常有利的,尤其对要求减轻自重的车辆、船舶、飞机、火箭、导弹、人造卫星和其他尖端技术,具有更重要的意义
	2. 比强度高——通常情况下塑料的强度都低于金属,但各种增强塑料的力学性能却可以与金属相比。由于其密度远小于金属,因此其比强度(即强度/密度)则与金属相当,甚至远比金属高
	3. 耐化学腐蚀性好——塑料的耐化学腐蚀性优于金属,它对酸、碱等化学药品具有良好的耐腐蚀能力。用塑料制作化工设备等耐腐蚀装置具有重要意义
	4. 电绝缘性优异——塑料是电的不良导体,其电绝缘性优良,介质常数较低,介电损耗很小。为电气工业及电信、雷达、航天等技术提供了优异的材料
	5. 减摩、耐磨性好——大部分塑料的摩擦因数都很小,可用作减摩、耐磨材料,有的甚至能在无润滑剂的情况下有效工作,自润滑性能良好。适宜作磨粒或杂质存在等恶劣条件下工作的摩擦材料
	6. 消声和隔热性优良——塑料具有优良的消声、隔热性能。用塑料制成的传动摩擦件能减少噪声、降低振动、改善劳动条件。尤其是泡沫塑料常常用来作隔音、隔热或保温材料
缺点	1. 一般工程塑料的机械强度较低(特别是刚性差),远不及金属材料高
	2. 耐热性较低,大多只能在 100°C 左右使用,仅有少数品种在 200°C 上下使用
	3. 导热性极差、热胀系数大、易老化、易燃烧,常温下的蠕变值(即所谓冷流性)也比较大

(二) 塑料性能术语 (表 1-2)

表 1-2 塑料性能术语

类 别	性 能 名 称	性能含义及其在使用上的意义
物理性能	密度	在一定温度下,物质单位体积的质量称为密度,单位以 g/cm^3 表示
	吸水性	塑料吸水性是指规定尺寸的试样浸入一定温度($25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$)的蒸馏水中,经过一定时间(24h)后所吸收的水量。吸水量与试样质量之比称吸水率
	透明度	透明度通常以透光度来表示。所谓透光度是指透过物体的光通量和射到物体上的光通量的百分数比值(%),它是在光度计上测定出来的
	摩擦因数	根据摩擦定律,通常把摩擦力(F)与施加在摩擦部件上的垂直载荷(N)的比值,称为摩擦因数(μ),即 $\mu = F/N$ 。良好的减摩耐磨材料应当具有最低的摩擦因数和最小的磨耗量
	磨耗	磨耗是塑料在摩擦过程中微粒从摩擦表面不断地被分离,引起摩擦件尺寸不断改变的机械破坏过程,也可称磨损或磨蚀。磨耗量大小表示塑料的耐磨耗程度,常用质量磨耗、体积磨耗、磨痕宽度等指标来表示
力学性能	拉伸强度	拉伸强度表示材料破坏时所承受的最大拉伸应力,它是衡量材料强度的一项重要指标
	弹性模量	弹性模量是一种表示材料刚性大小,是否容易拉伸变形的物理量。弹性模量越高,意味着刚性越大,不易变形

(续)

类 别	性 能 名 称	性能含义及其在使用上的意义
力学性能	伸长率	伸长率是指材料断裂破坏时的长度变化率,它表示材料的韧性大小,伸长率越大,就表明这种塑料越柔软
	弯曲强度	指试样放在两支点上,在两支点间施加集中载荷,使试样变形直至破裂时的强度
	弯曲屈服强度	对非脆性塑料而言,当载荷达到某一值时,其弯曲变形继续增加,而载荷不增加的强度。此时的载荷即为破坏载荷
	弯曲弹性模量	在屈服之前的比例极限内,弯曲应力与应变之比值,表示该塑料是否容易弯曲变形的物理量
	压缩强度	对材料施加压缩负荷直至破坏或产生屈服现象时,试样原单位横截面积上所能承受的载荷称为抗压强度
	冲击强度	冲击强度是以极快的速度对试样施加载荷(冲击力)使之破坏的应力,以单位断裂面积所消耗的能量大小来表示,单位为 kJ/m^2 。塑料冲击试验用的试样有两种:一种试样中间刻有缺口;一种没有缺口。对于强度较高的塑料多用带有缺口的试样进行测定
	疲劳强度	塑料在一定循环次数(10^7 次)的交变应力作用下发生破坏的极限强度,称为塑料的疲劳强度。也可以用实际循环次数下的破坏应力来表示
热性能	硬度	硬度是指物体抵抗其他物体压入表面的能力。物体硬度越高,其他物体越难压入。塑料硬度与金属硬度的测定方法相同,都可用布氏硬度、洛氏硬度和邵氏硬度表示。常用的是布氏硬度和洛氏硬度两种,其洛氏硬度以 M 和 R 标尺表示
	比热容	比热容是 1kg 塑料升高温度 1°C 所需要的热量,单位为 $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
	热导率	所谓热导率即当两个平行传热面间的垂直距离为 1m ,其间温度为 1°C 时,单位时间内在 1m^2 面积上传递的热量,单位为 $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。塑料的热导率一般只有 $0.23 \sim 0.7\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,是优良的隔热、保温材料,但对于要求散热的制品,例如摩擦零件,热导率小是一个缺点
	线胀系数	物质温度升高 1°C 时所增加的长度与它原来长度之比,称为线胀系数。塑料的线胀系数是比较大的,一般比金属大 $3 \sim 10$ 倍。这样,在制造带有金属嵌件或者与金属件紧紧结合在一起的塑料制品时,往往会因二者之间膨胀系数相差过大而造成开裂、脱落或松动等不良后果,在选择使用塑料制品时,应当注意
	耐热性	塑料能够耐受较高的温度而仍保持其优良的物理、力学性能的能力称为耐热性。衡量塑料耐热性的指标,通常有马丁耐热温度、热变形温度和维卡软化点三种。前两种适用于热固性塑料和硬质热塑性塑料,后者适用于均一的热塑性塑料

(续)		
类 别	性 能 名 称	性能含义及其在使用上的意义
热性能	脆化温度	把塑料经低温冷冻一段时间后,用一定的外力冲击,塑料开始断裂时的温度称为脆化温度。脆化温度越低,就表明这种塑料的耐寒性越好
	耐燃烧性	这是衡量塑料在火焰中燃烧难易程度和离开火焰后熄灭快慢程度的一个性能指标,一般用不燃、燃烧及自熄等字样来表示
	熔融指数	又称熔体流动速率,是指热塑性塑料在一定温度和一定压力下,熔体在10min内通过标准毛细管的质量值,以 g/10min 表示
电性能	表面电阻率	是指电流沿材料表面流动时所受的阻力,单位为 Ω 。表面电阻率越大,表明这种材料的绝缘性能越好
	体积电阻率	是指电流流过材料体内所受的阻力,单位为 $\Omega \cdot \text{cm}$
	介电常数	在电压相同的两个金属平板之间分别测定塑料和空气(或真空)为介质时的电容量(C_s 、 C_k)。这两个电容量之比,就是该塑料的介电常数。介电常数越小,这种塑料的绝缘性能就越好
	介电损耗	塑料在电场作用下,单位时间内消耗的能量,也就是引起材料发热所消耗的能量,称为介电损耗,常以介电损耗角正切值($\tan\delta$)表示。介电损耗角正切值 $\tan\delta$ 越小,则其介电损耗也越小,这种塑料的绝缘性能也就越好
	击穿强度	任何电介质放在电场中,当电场电压超过某一临界值时,都会丧失其绝缘作用,这种现象称为介质的击穿,单位厚度的介质发生击穿时的电场电压称为击穿强度,单位为 kV/mm。击穿强度越大,这种材料的绝缘性能就越好
	耐电弧性	借高电压在两电极间产生的电弧作用,致使绝缘材料表面形成导电层所需的时间(s),以此来判断绝缘材料的耐电弧性
工艺性能	成型收缩率	是指塑料制品从热模中取出冷却后,制品尺寸缩减的百分比(%)。收缩率是设计塑料制品压模时必须考虑的一项重要数据,否则压制出来的制品尺寸会不符合图样的要求
	流动性	塑料受一定的温度及压力作用能流入并充满整个压模型腔的能力,称为塑料的流动性。它是衡量塑料模压制品工艺性能的一项重要指标

(三) 塑料主要性能 (表 1-3 ~ 表 1-7)

表 1-3 物 理 性 能

塑 料 名 称	相对密度	收缩率(%)	吸水性(%)	硬 度
尼龙				
6	1.14 ~ 1.15			118(洛氏)
66	1.10 ~ 1.15			
610	1.08 ~ 1.13			
1010	1.03 ~ 1.06	1.0 ~ 1.5	0.39	71(布氏)

(续)				
塑 料 名 称	相对密度	收缩率(%)	吸水性(%)	硬 度
单体浇注尼龙 6	1.15 ~ 1.16		0.7 ~ 1.2	100 ~ 120(洛氏)
30% 玻纤增强尼龙 6	1.35			160(布氏)
30% 玻纤增强尼龙 610	1.34			
聚碳酸酯				
未增强	1.20	0.5 ~ 0.8	0.20 ~ 0.30	90 ~ 95MPa(布氏)
30% 玻纤增强	1.30	0.1 ~ 0.3	0.10 ~ 0.20	100 ~ 110MPa(布氏)
30% 碳纤增强	1.36	2		
聚甲醛				
均聚物				114MPa(布氏)
PETP				
20% ~ 30% 玻纤增强	1.63			170 ~ 300MPa(布氏)
PBTP				
未增强	1.32 ~ 1.55	1.20 ~ 2.20	0.06 ~ 0.10	132 ~ 151MPa(布氏)
PBTP				
20% ~ 30% 玻纤增强	1.45 ~ 0.70	0.20 ~ 1.00	0.03 ~ 0.09	168 ~ 204MPa(布氏)
氟塑料				
F4	2.16 ~ 2.18	3 ~ 4		
F3	2.1			
F46	2.14 ~ 2.17			
聚砒				
未增强	1.24	0.5 ~ 0.8	0.10 ~ 0.20	100 ~ 200MPa(布氏)
玻纤增强	1.45	0.3 ~ 0.5		100MPa(布氏)
聚芳砒				
玻纤增强	1.67		0.51	
聚醚砒	1.36 ~ 1.39			133.5MPa(布氏)
聚醚醚酮	1.26		0.60	
聚芳酯	1.20			
聚苯醚(改性)	1.06 ~ 1.10	0.5 ~ 0.7	0.07	
聚酰亚胺				
聚均苯四酰亚胺(薄膜)	1.40			
双醚酐聚酰亚胺	1.36 ~ 1.37			
聚醚酰亚胺	1.27	0.5 ~ 0.7	0.25	
玻纤增强聚胺酰亚胺模压料	1.75 ~ 1.95		0.5	
聚苯硫醚				
未填充	1.34		0.05	
玻纤增强	1.58 ~ 1.65	0.2	0.01 ~ 0.02	

表 1-4 力学性能

塑 料 名 称	拉伸强度 /MPa	弯曲强度 /MPa	压缩强度 /MPa	冲击强度 (缺口) /(kJ/m ²)	拉伸弹 性模量 /MPa	弯曲弹 性模量 /MPa	伸长率 (%)
尼龙							
6	60 ~ 65	90		5 ~ 7			30
66	60 ~ 80	80 ~ 120		8 ~ 12		2000 ~ 3000	
610	45 ~ 50	600		3.2 ~ 3.5			
1010	50 ~ 55	70 ~ 89	79	4 ~ 5	1600	1300	100 ~ 250
单体浇注尼龙 6	75 ~ 100	140 ~ 170	100 ~ 140	2.7 ~ 9	3500 ~ 4500	4000	10 ~ 30
30% 玻纤增强尼龙 6	150 ~ 170	200 ~ 240		9 ~ 12		5200	12
30% 玻纤增强尼龙 610	140	180		12		5300	11
30% 玻纤增强尼龙 1010	110 ~ 140	160 ~ 220		15		6000	
聚碳酸酯							
未增强	50 ~ 62	90 ~ 95	60 ~ 80	45 ~ 60	2100 ~ 2200	1600 ~ 1700	60 ~ 120
30% 玻纤增强	110	130		7 ~ 17	4000		
30% 碳纤增强	76.9 ~ 203.3	118		5.3 ~ 134		7000	2.1
聚甲醛							
均聚物	65	139	82	85 (无缺口)		2300	
共聚物	50 ~ 60			33 ~ 100 (无缺口)			
PETP							
20% ~ 30% 玻纤增强	120 ~ 160	160 ~ 200	159	5 ~ 9		9100	
PBTP							
未增强	51 ~ 63	83 ~ 110	12 ~ 95	5.5 ~ 6.4			
20% ~ 30% 玻纤增强	60 ~ 130	150 ~ 200	125 ~ 130	4 ~ 15		9000	4
氟塑料							
F4	14 ~ 20						250 ~ 500
F3	30 ~ 35						20 ~ 50
F46	18 ~ 27						250 ~ 400
聚砒							
未增强	50 ~ 85	100 ~ 120	80 ~ 100	100 ~ 500 (无缺口)	2000 ~ 2500	2500 ~ 2700	
玻纤增强	80	140	90	70 (无缺口)	3000		
聚芳砒							
未增强	94	140	150	100 (无缺口)			7 ~ 10

(续)

塑 料 名 称	拉伸强度 /MPa	弯曲强度 /MPa	压缩强度 /MPa	冲击强度 (缺口) /(kJ/m ²)	拉伸弹 性模量 /MPa	弯曲弹 性模量 /MPa	伸长率 (%)
玻纤增强	190	346	367	126.3 (无缺口)			
聚醚砜	90~98	136~154	90.4	23		2100	40
聚醚醚酮	86.3						
聚芳酯	65	110	97	20			15~40
改性聚苯醚	40~60	70~100		14~20			
聚酰亚胺							
聚均苯四酰亚胺(薄膜)	100						20~25
单醚酞聚酰亚胺		180	160	100 (无缺口)			
双醚酞聚酰亚胺	110	166~189	153	155 (无缺口)			
聚醚酰亚胺	110	106~131	156	6		2100	
聚酰亚胺							
玻纤增强聚胺酰 亚胺模压料		700		350 (无缺口)			
聚苯酯	17.6	50.7~53.7	105.2	1~1.5			
聚苯硫醚							
未填充	56	82	183	4.7			
玻纤增强	144~190	152~312	187	30~99			

表 1-5 热 性 能

塑 料 名 称	热导率/ [W/(m·K)]	线胀系数 /(×10 ⁻³ K ⁻¹)	热变形温度 /℃	马丁耐热 /℃
尼龙				
66				50~60
1010		10.5		45
单体浇注尼龙 6	0.32~0.34	4~7	150~190	50~74
30% 玻纤增强尼龙 6			200	
聚碳酸酯				
未增强	0.142	5~7	115~135	105~115
30% 玻纤增强		2~4	135~145	
碳纤维增强		2.8	145	
聚甲醛				
均聚物				53

(续)				
塑料名称	热导率/ [W/(m·K)]	线胀系数 /(×10 ⁻³ K ⁻¹)	热变形温度 /℃	马丁耐热 /℃
PETP 20% ~30% 玻纤增强		2.5	240	140 ~ 178
PBTP				
未增强			63 ~ 64	49 ~ 52
20% ~30% 玻纤增强		2.5	200 ~ 218	160 ~ 190
聚砵				
未增强		5	150 ~ 174	145 ~ 170
玻纤增强		5	165	
聚芳砵				
未增强			300	242
玻纤增强				250
聚醚砵		5.1 ~ 7.7	208	173
聚芳酯		6	170	152 ~ 155
聚苯醚(改性)			85 ~ 120	
聚酰亚胺				
双醚酐聚酰亚胺		2.7	232	
聚醚酰亚胺		7.1	200	
亚胺模压料				280
聚苯硫醚				
未填充				102
玻纤增强		2.2 ~ 4.5	260	250

表 1-6 电性能

塑料名称	表面电阻率 /Ω	体积电阻率 /Ω·cm	介电强度 /(kV/mm)	介电常数 (1MHz 下)	介电损耗 角正切 (1MHz 下)
尼龙					
66		1.8 × 10 ¹⁵		1.63	
610		10 ¹³	15		3.5 × 10 ⁻²
1010		10 ¹⁴	20	2.5 ~ 3.6 (60Hz)	2 × 10 ⁻² (60Hz)
单体浇注尼龙 6			15 ~ 23.6	2.5 ~ 3.6	1.5 × 10 ⁻² ~ 2 × 10 ⁻²
30% 玻纤增强尼龙 6		10 ¹⁶		3	
聚碳酸酯					
未增强		10 ¹⁵ ~ 10 ¹⁶	16 ~ 22	2.7 ~ 3.1	3 × 10 ⁻² ~ 5 × 10 ⁻²
30% 玻纤增强		5 × 10 ¹⁶	18 ~ 22	3 ~ 3.3	10 ⁻²

(续)					
塑 料 名 称	表面电阻率 / Ω	体积电阻率 / $\Omega \cdot \text{cm}$	介电强度 /(kV/mm)	介电常数 (1MHz 下)	介电损耗 角正切 (1MHz 下)
PETP 20% ~30% 玻纤增强	$10^{12} \sim 10^{16}$	10^{16}	24	3.5 ~4	10^{-2}
PBTP					
未增强		$10^{15} \sim 10^{16}$	18 ~24	2.4 ~3.3	$2 \times 10^{-2} \sim 2.4 \times 10^{-2}$
20% ~30% 玻纤增强		$10^{15} \sim 10^{16}$	19 ~30	3.2 ~4.2	2×10^{-2}
氟塑料					
F4		$10^{16} \sim 10^{17}$	60 ~100	1.8 ~2.2	2.5×10^{-4}
F3		10^{16}	15	2.2 ~2.7	1×10^{-2}
F46		10^{16}	30	2.0 ~2.2	7×10^{-4}
聚砒					
未增强	$10^{15} \sim 10^{17}$	$10^{16} \sim 10^{17}$	15 ~20	3.0 ~3.4	$1 \times 10^{-3} \sim 6 \times 10^{-3}$
玻纤增强		10^{16}	15	3	1×10^{-3}
聚芳砒					
未增强	10^{15}	10^{16}	84.6	4.77	6.5×10^{-3}
玻纤增强	10^{15}	10^{15}	26	2.68	0.05
聚醚砒		$10^{16} \sim 10^{17}$		2.89 ~3.57	8.6×10^{-3}
聚醚醚酮		10^{18}	51.3	2.18	1.7×10^{-2}
聚芳酯		10^{16}	20	3.45 (50Hz)	2.3×10^{-3} (50Hz)
聚苯醚(改性)		10^{16}	22	2.5 ~2.7	$7 \times 10^{-3} \sim 8 \times 10^{-3}$
聚酰亚胺					
聚均苯四酰亚胺(薄膜)	$10^{13} \sim 10^{15}$	$10^{14} \sim 10^{16}$	100	2 ~4	10^{-2}
单醚酞聚酰亚胺	10^{15}	10^{16}	15.7	3.0 ~3.5	5×10^{-3}
聚醚酞亚胺	10^{17}	$10^{16} \sim 10^{17}$	36 ~42	3.3	3×10^{-3}
玻纤增强聚胺酞亚胺模压料	10^{12}	10^{13}	13	6	5×10^{-2}
聚苯酯		10^{13}		2.67 ~3.58 (60Hz)	10^{-3}
聚苯硫醚					
未填充		10^{16}	26.6		
玻纤增强	10^{15}	10^{16}	17 ~18.4		

表 1-7 燃 烧 性 能

塑料类别	燃 烧 性	试样的 外形变化	分解出气体 的酸碱性	火焰的外表	分解出气体的气味
聚四氟乙烯	不燃烧	无变化	强酸性		在烈火中分解出刺 鼻的氟化氢
聚三氟氯乙烯		变软	强酸性		在烈火中分解出刺 鼻的氟化氢和氯化氢
聚碳酸酯	火焰中能燃烧,不 容易点燃,离开火焰 后自灭	熔化,分解, 焦化	中性,开始 为弱酸性	明亮,起灸	有特殊味
聚酰胺	火焰中能燃烧,不 太容易点燃,离开火 焰后自灭	熔化,滴滴, 然后分解	碱性	黄橙,边缘 蓝色	烧头发,羊毛味

第二节 工程塑料的改性与成型加工方法

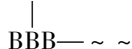
一、主要改性方法

工程塑料的改性方法分为聚合物合金（或掺混物）改性法、填充改性法、增强改性法和纳米改性法等。

（一）聚合物合金改性法

（1）机械共混改性法 将两种或两种以上的聚合物，以粉末状、溶液状、乳液状或熔体状，在通用塑料混合设备中加以混合，形成各组分均匀分散的聚合物合金的方法称为共混法。

（2）接枝共聚法 接枝共聚是将聚合物单体 B 与聚合物 A 分子主链发生聚合反应的过程，通常生成的典型结构为 $\sim\sim\sim\text{AAAA}\sim\sim$ 。其接枝操作程序为：先制备聚



合物 A，再将其溶于聚合物单体 B 中，形成均匀溶液后，再利用引发剂或热能引发，使聚合物单体 B 向聚合物 A 主链上发生转移，便制得接枝共聚物。

（3）嵌段共聚法 聚合物 A 与聚合物 B 在粘弹状态或熔融状态下，受强力剪切力、超声波或高压电场作用而发生解聚，破裂产生端基活性大分子自由基，这种不同类型的大分子自由基相互结合而形成嵌段共聚物的过程，或者先制备一具有端基活性的聚合物，再用另一单体引发聚合而生成嵌段共聚物的过程称之为嵌段共聚法。

（4）多层乳液共聚法 先用一种聚合物单体进行乳液聚合，以生成的粒子为核，并在其表面聚合形成另一种聚合物单体，使之形成内层与外层组成不同的多层粒子结构的方法称为多层乳液共聚法。

（5）反应增容共混法 在两种聚合物热力学相容性不好或不相容的情况下，加入

某种相容剂以降低两相之间界面能，促进共混过程中相的分散，阻止分散相的凝聚，强化相间粘结或使共混聚合物组分官能化，通过相互反应增容的一种改性方法。

(6) 互穿网络改性法 先制备一适度交联的聚合物网络（聚合物 A），并将其在含有活化剂和交联剂的第二种聚合物（聚合物 B）单体中溶胀，然后引发聚合就生成交联聚合物网络与第一种聚合物网络相互贯穿的聚合物合金结构，这一反应过程称为互穿网络改性法。

(7) 反应挤出改性法 利用双螺杆挤出机（又称反应挤出机），使相掺混的物料在增容反应或化学反应的同时完成共混的过程。

(8) 动态硫化改性法 在硫化剂或交联剂存在的情况下，在熔融混炼过程使物料均匀分散的同时进行交联反应生成聚合物合金的过程。

(9) 分子复合改性法 以刚性棒状聚合物为分散相，柔性聚合物为连续相，采用熔融共混或原位聚合技术，使少量的分散相均匀地分散于连续相中生成聚合物合金的过程。

(10) 综合改性法 这是在聚合物改性过程采用了共聚、多重乳液聚合、反应挤出等技术使合金化一体完成的改性方法。典型的产品有商品牌号为 catalloy 和 EXL3386 的聚合物合金。这种聚合物合金具有微观相分离形态，热变形温度达 250℃，且冲击强度良好。

（二）填充改性法

填充改性法是运用在组成和结构上与聚合物基体不同的填料（常为无机填料），以机械掺混的方式，将其添加到聚合物中去，形成分散均匀的复合体系的过程。

常用的填料有以下三类：

- (1) 惰性填料 以增加体积，降低成本为目的。
- (2) 活性填料 以改善聚合物某些力学和物理性能为目的。
- (3) 功能填料 以赋予或改进聚合物某些功能特性为目的。

（三）增强改性法

增强改性法是以聚合物为基体或连续相，以纤维（如玻璃纤维、碳纤维、芳纶纤维、超拉伸聚乙烯纤维、陶瓷纤维、金属纤维等）为增强材料或分散相，采用浸渍或机械混合法制成分散均匀复合材料体系的一种改性方法。

增强改性的目的是：

- 1) 提高工程塑料的硬度、密度、刚性（弹性模量）和强度。
- 2) 提高工程塑料的热变形温度，减小其力学和物理性能对温度的依赖性。
- 3) 降低制品收缩率。
- 4) 改进工程塑料的蠕变行为和表观模量，降低载荷粘弹屈服特性，局部改进耐冲击强度等。
- 5) 降低成本等。

（四）纳米改性法

纳米改性是采用机械共混、原位聚合、插层、溶胶-凝胶和分子组装等技术，将纳米级无机粒子、陶瓷粒子、金属粒子、半导体粒子、纳米碳管、纳米葱、纳米线等均匀

地分散于树脂基体中形成新型的塑料体系。纳米物质在体系中通过其小尺寸效应、体积效应、表面或界面效应和宏观量子隧道效应的发挥可显著改进和提高塑料的力学性能和热性能，并可赋予塑料新的功能特性。是目前乃至将来塑料材料改性所追求的高新技术，代表了塑料材料乃至材料科学发展的重要方向之一。

二、工程塑料的组成和成型方法

(一) 塑料的组成（表 1-8）

表 1-8 塑料的组成

组 分 名 称		作用 说明
合成树脂		树脂是塑料中最主要的组分,约占塑料质量的 40% ~ 100%。树脂不仅起着粘接各组分的作用,而且决定了塑料的基本性能
添加剂	填充剂	填充剂又称填料,是塑料中另一个重要组分。在塑料中加入填料,既能改善塑料的性能,又可降低成本。常用的填料有木粉、棉布、纸张、石棉、云母、玻璃纤维等,一般填料的用量为 20% ~ 50%
	增塑剂	增塑剂是用来增加塑料可塑性和柔软性的一种添加剂。它与树脂混合时并不发生化学反应,而只能减小其熔融粘度,改善塑料的加工性能,同时降低塑料脆化温度,提高其柔韧性。增塑剂应与树脂有较好的相溶性,无色、无味、无毒,挥发性小,对光、热稳定。常用的增塑剂是低气压液体或低熔点固体有机结构,主要是酯类,例如邻苯二甲酸酯类、癸二酸酯类等
	固化剂	又称硬化剂,是在热固性塑料成型时,用来使线型结构转变成体型结构而加入的一种添加剂。其主要作用是在高聚物分子间生成横跨键,使大分子交联。用作酚醛树脂的固化剂有六次甲基四胺,用作环氧树脂的固化剂有胺类和酸酐类化合物等
	稳定剂	不少塑料在成型加工和使用过程中,因热、光、氧或其他因素的作用会过早老化。为了稳定塑料制品的质量,延长其使用寿命,常在塑料的组分中加入稳定剂。通常都要求稳定剂能与树脂互溶,且成型时不会分解,不与其他添加剂发生化学反应,在使用环境中稳定。常用的稳定剂有硬脂酸盐、铅白、环氧化物等
	着色剂	为了使塑料具有一定的色泽和美观性,常加入着色剂。一般要求着色剂的性质稳定,耐温、耐光,不易变色,着色力强,色泽鲜艳,与塑料结合牢靠。着色剂主要为有机染料和无机颜料
	润滑剂	又称脱模剂,它能防止塑料在成型过程中粘附模具或设备,以使制品易于脱模,且表面光洁。常用的润滑剂有硬脂酯及其盐类,其用量为 0.5% ~ 1.5%
	其他添加剂	1. 阻燃剂——增加塑料的耐燃性,或能使之自熄。常用的有氧化铋、各类磷酸酯类等 2. 发泡剂——主要用于制备泡沫塑料,能产生泡沫结构。常用的有偶氮二甲酰胺、偶氮苯胺等 3. 抗静电剂——消除塑料在加工、使用中因摩擦而产生的静电,以保证生产操作安全,并使塑料表面不易吸尘。常用的有长链脂族胺类、酰胺类等

(二) 塑料成型方法 (表 1-9)

表 1-9 塑料成型方法

名 称	说 明
注射成型	注射成型是指借助于螺杆或柱塞的推力,将塑料熔融体注入闭合模具内,经冷却、固化定型为制品,是热塑性塑料的主要成型方法之一,近年来也用于某些流动性较大的热固性塑料的成型。这种方法效率高、速度快、且操作可以自动化
挤出成型	挤出成型也称挤压成型,它是利用螺杆旋转产生的推进压力,将熔融状态的塑料连续经型孔或口模挤出,冷却后成型为制品,如管、棒、片以及各种异型断面的型材,是热塑性塑料最主要的一种成型方法。这种方法效率高、产量大,可连续化、自动化
吹塑成型	吹塑成型是制造空心塑料制品或塑料薄膜的重要成型方法,通常分为两种: 中空吹塑——将预先挤出的管状坯料,置于瓣合模具中,封闭管端,趁坯料在受热软化的状态下鼓入压缩空气,经膨胀、冷却、脱模,即得到塑料中空制品 挤出吹塑——挤出成型的一种改进,即在管状环料由挤出机口模挤出的同时,从机头鼓入压缩空气,使之膨胀,并经冷却而得到圆筒状薄膜
压延成型	压延成型是指将树脂与添加剂经混炼和塑化后,加料至压延机上用金属滚筒压延成型,冷却后得到制品。压延成型可用于生产热塑性塑料的薄片、薄膜、人造革、地板胶等
压制成型	模压成型——即将粉状、片状或粒状塑料放在金属模具中,在一定的温度和压力下成型为制品。它是热固性塑料的主要成型方法之一,也可用于热塑性塑料。加热的目的,对后者而言,仅仅是为了塑料熔化,获得流动性;而对前者,则还要使大分子间发生交联,转换成不熔的体型结构。模压成型适合用于制造形状复杂或带有嵌件的制品 层压制品——这是指以片状材料如纸、布、玻璃布、木片等浸渍树脂溶液或液态树脂,经烘干、裁制、叠层,然后在层压机上加热加压固化成型。用这种方法可生产各种层压制品,如板材、棒材、管材等
浇注成型	浇注成型是由金属浇注移植而来的一种成型方法,即将液态的热塑性或热固性树脂,甚至液态单体注入模型中,在常压或低压下,经冷却凝固或加热固化而成型为制品。这种方法的制造工艺及所用设备简单,成本低廉,便于制造大型制件
真空成型	真空成型是利用热塑性塑料片或板受热软化后施加真空,使之吸贴于模具上成型,冷却后即得制品。这种方法效率高,所需模具及设备简单,可生产大型制件
流延成型	流延成型是将热塑性或热固性树脂配成一定粘度的胶液,以一定速度流延在一回转的不锈钢带上,经加热干燥后剥离成膜。此法宜制作光学塑料薄膜,如电影胶卷、照相底片等
烧结成型	烧结成型是先将塑料冷压成坯件,然后置于烧结炉中,加热至一定温度下烧结成制品,这种方法主要用于不能采用一般的热塑性塑料成型方法成型的塑料,例如聚四氟乙烯,其熔点高达 327℃,当温度超过熔点时,材料可由晶态转变为非晶态,但由于其粘度太高而无足够的成型流动性,若再升高温度超过 415℃,聚四氟乙烯又会热分解,因此,一般都将其在 370 ~ 400℃ 间烧结成型

第三节 工程塑料技术创新

一、简介

21 世纪是知识经济的时代,科学技术的日新月异,使高新技术产品不断涌现。同时,也使得市场竞争日趋激烈,其竞争的焦点主要体现在产品的技术含量和技术的创新能力上,工程塑料行业也是如此。工程树脂合成工艺的技术创新程度决定了工程塑料原材料的技术含量,加工工艺和加工设备的创新能力决定工程塑料及其制品的技术含量。这一技术含量的高低又决定了产品的市场竞争力。只有对工程塑料原材料、加工工艺与设备实施不断的技术创新,突破其关键技术,引入和应用高新技术,才能立于不败之地。可以说技术创新是工程塑料发展的永恒主题。

二、树脂的技术创新

树脂是工程塑料的主要原料。其性能的优劣决定制品质量的高低。要制取高质量、高性能的树脂,除了引用高新技术和高效催化技术外,树脂改性技术仍是树脂技术创新的最主要途径。改性的目的是普遍提高树脂的综合性能并赋予树脂新的功能特性。具体讲是使通用塑料工程化,通用工程塑料和热固性塑料高性能化、特种工程塑料适用化以及各类塑料功能化。所采用的改性方法主要包括:ABC 改性(A 是合金化、B 是掺混化、C 是复合化)、纳米改性和掺杂改性等。

(1) ABC 改性 所谓 ABC 改性技术就是工程树脂的合金化(Alloy)、掺混化(Blend)和复合化(Composite)技术。这是已应用多年的改性技术,其技术成熟,改性效果好,对提高工程树脂的综合性能和赋予其功能特性应用价值很高。可以相信,这仍是未来提高树脂性能的非常有效的实用性技术。

合金化或掺混化改性的目的是通过聚合物的优化组合实现其性能的互补,以获得单一材料所不能实现的有实用价值的新性能。合金化或掺混化所采用的技术是共混接枝、嵌段、互穿网络(IPN)、原位复合和反应增容技术等。

复合化技术又称增强技术,主要是提高工程塑料的强度与刚性,使之满足工程结构的使用要求。众所周知,树脂本身的刚性与强度是有限的。其刚性与强度主要来自于增强材料,特别是纤维材料含量的高低决定了工程塑料与制品的性能水平。而新型的连续纤维增强、长纤维增强、混杂纤维增强、多向编织物增强、预成型物等技术是进一步提高工程塑料与制品性能的行之有效的方法。可以说,选择高性能纤维(如 S-2 玻璃纤维、碳纤维、芳纶、超拉伸聚乙烯纤维、陶瓷纤维和金属纤维等),采用合适的增强方法,控制好树脂与增强材料的界面关系就可制备出满足工程塑料结构使用要求的制品,甚至可制造出高性能复合化结构或高性能多功能结构的制品。

(2) 纳米改性 纳米改性技术是利用处于纳米级物质的小尺寸效应、表面和界面效应、体积效应和宏观量子隧道效应等原理,在与树脂体系掺混或复合后,可使树脂性能发生突变,在提高树脂综合性能的同时,还可赋予树脂奇特的功能特性。已商品化的某些纳米改性塑料充分展示了这一效果。纳米改性技术代表了材料科学发展的方向,是一种崭新的技术,用其改性工程塑料可以获得事半功倍的效果。可采用的改性方法有:

插层、共混、原位聚合、溶胶-凝胶、LB 制膜和分子组装等技术。

(3) 掺杂改性 掺杂改性技术是早期用于半导体材料的制备技术,后来被用于开发那些采用熔融成型方法难以加工的聚合物(如聚苯胺、聚乙炔、聚噻吩和聚吡咯等结构型导电塑料),是未来开发功能塑料的主要技术。这一技术除具有分子设计的特点外,通过掺杂处理可在难加工聚合物中引入一价对阴离子(这称为 P 型掺杂),或引入一价对阳离子(这称为 N 型掺杂),掺杂后的聚合物可保持树脂的分子结构、加工特性和形变行为等特性,也就是说掺杂后的聚合物具有高分子链结构和与链非键合的一价阴离子或阳离子的共同特点,并具有高分子材料的设计结构的多元化、易加工和轻质等特点。其性能特别是电导率会发生突变。以聚乙炔为例,其电导率可从未掺杂前的 10^{-10} S/cm 提高 12 个数量级,达到 2×10^3 S/cm。是未来二次电池、发光二极管、光学元件、非线性光学元器件、智能窗、人工肌肉、高级功能膜和隐身材料的高性能原材料。

三、配方创新

(1) 配方创新的重要性 工程塑料配方是在充分了解制品性能要求、原材料(包括树脂和助剂的性能、价格、配伍性)和成型工艺条件的基础上,将树脂与助剂按一定比例配合在一起的技术。这是工程塑料研究和制造中十分重要的环节。这是因为配方的好坏、助剂的选择适当与否都会直接影响工程塑料及其制品的性能和使用,影响制品的生产和价格以及市场竞争力。不同的树脂与助剂可以制造出用途不同的工程塑料与制品,通过对树脂与助剂的优化设计,可以制成强度和硬度类似金属的结构材料、透明性与玻璃一样的透明材料、软似橡胶一样的弹性体材料、具有独特功能的耐高温材料、耐磨材料、导电材料和导磁材料等。此外,还要掌握树脂和助剂的配伍性,通过几种材料的并用取得协同效果,优化组合,也可通过优选法、正交实验法取得最佳效果。

为实现这一目标,也必须采用高新技术(如计算机辅助专家系统和计算机仿真评价系统等)并对原材料进行有效选择和改性。

(2) 计算机辅助设计专家系统 运用计算机辅助设计专家系统进行推理、优选、决策,可使选材命中率高达 99%,是目前较先进且可靠的方法。专家系统是一个智能程序系统,它能利用专家的知识及方法解决所遇到的问题。但一般企业不可能开发此类软件,只能购买现有支撑软件,并在此基础上进行必要的二次开发形成自己的应用软件。支撑软件的选择非常关键。可喜的是这种软件已国产化,其技术已逐渐形成并开始应用。

(3) 计算机仿真评价系统 该技术也是依赖于特定的支撑软件,并通过二次开发设置成符合本单位或本专业的应用软件。通过计算机条件假设、推理、优化组合仿制成几种配方,仿制成制品再进行制品检验,选择出一组或几组最佳配方或对配方作出评价。这是一种工程塑料制品的模拟制造程序。在配方设计中应用可大幅度降低成本,提高效率。

(4) 对原材的有效选择与改性 工程塑料配方设计与日用塑料截然不同,它对刚性和强度要求高,制品的应用环境比较恶劣。一般均为增强塑料或填充塑料。这就涉及到对树脂、增强材料、填料和助剂的选择。一般说来,工程塑料与制品要选用改性树脂,如工程化改性或纳米改性的通用树脂和通用工程树脂,以及特种工程树脂合金等。而增强材料则选用高性能纤维(如 S-2 玻璃纤维、芳纶、碳纤维、超拉伸聚乙烯纤维、

陶瓷纤维、金属纤维等),其增强方式要采用连续增强、长纤维增强、混杂增强或制成预成型物和预浸料等方法;而填料的选用最好选用纳米填料对树脂进行改性,会使制品综合性能显著提高。

配方设计与确定是工程塑料与制品制备成功与否的前提,是十分重要的环节。本书除论述配方设计的理论外,还将结合各具体品种或产品给出优选配方,供读者选用。

四、工艺技术创新

(1) 合成工艺的创新 国外工程塑料的生产工艺已达到很高的水平,也很成熟,但仍高度重视应用新技术、新的原料路线、改造传统工艺,并不断取得成效。例如,非光气酯交换法 PC 生产工艺的开发及产业化,是以甲醇、一氧化碳和氧气为原料,经羰基合成得到的碳酸二甲酯与苯酚进行酯交换反应生成碳酸二苯酯,再与双酚 A 反应得到聚碳酸酯。这条路线革除了剧毒的光气,实现了“清洁生产工艺”,产品质量上了一个新台阶,加速了 PC 进入光媒体的进程,迎来更广阔的应用领域。巴斯夫公司以丁二烯代替芳族为原料开发出制备尼龙 66 的单体己二酸的新工艺,减少了三废,提高了效率。新开发的异亚胺化生产聚酰亚胺新工艺,提高了产品质量。当今工艺技术创新工作方兴未艾,开展得十分活跃,一批正在开发的项目,如以双酚 A、一氧化碳和氧气为原料,经催化氧化、羰基化反应,直接合成 PC。巴斯夫公司与杜邦公司合作,进一步开发以天然气和丁二烯为原料,合成己二胺的联合生产工艺等,都取得了良好的进展,预计 21 世纪还会取得突破性进展。

(2) 成型加工工艺的创新 尽管目前工程塑料制品成型加工工艺十分成熟,也比较完善,但为了市场竞争需求和研制高性能制品的需要,还是要对成型工艺技术进行创新。如在反应注射成型工艺问世不久,为了获得其在制备工程结构件中的应用,很快研制出增强反应注射成型(RRIM)工艺,随后又研制出结构反应注射成型(SRIM)工艺,又如最近出现的树脂传递模塑工艺(RTM)。在不到三年的时间内,就先后出现了真空辅助 RTM、共注射 RTM、智能 RTM 等。为了制得高质量制品,又提高生产效率,国外将注射工艺与模压工艺相组合,研制出注射-模压工艺的缠绕-模压成型工艺等。为制得无熔接痕的高强度工程塑料制品,国外研制出“推拉”成型工艺。为解决难熔聚合物基体中纤维含量不高的问题,而研制出“环化”成型工艺,即以低相对分子质量的聚合物浸渍纤维增强材料,浸渍后再进行反应环化处理,使聚合物恢复正常粘度再加工成型。利用这一工艺可使纤维含量(质量分数)高达 80% 以上。这些工艺的技术创新,为利用现有工艺制备高性能工程塑料与制品奠定了坚实的基础。21 世纪随着高新技术在工程塑料加工中的应用,必将会使工艺技术有更大的技术创新。

五、为保持工程塑料工业的持续发展而创新

全球环境危机的不断增强推动了环保工作的社会化、全人类化。环保工作已成为树立企业形象、企业竞争能力的重要体现。环保意识强的企业受到市场的大力支持,无污染的环境友好产品或称绿色产品,受到消费者的青睐,获得很好的市场占有率。环境保护工作与市场机制的日益紧密结合,是 21 世纪环保工作向深度发展的重要方向。

塑料制品是对环境有危害的产品,特别是日用塑料所造成的“白色污染”已受到各界的高度关注。尽管工程塑料与制品用量比日用塑料少,对环境所造成的危害也不如

日用塑料大,但要保持工程塑料工业的持续发展,也必须进行技术创新,尽量减少或消除工程塑料与制品在加工和使用过程中对环境的危害。应进行的环保技术创新领域有:

(1) 生产过程中的技术创新 实施“清洁生产”工程,避免生产过程的废旧料存放、堆积,力争做到对原材料和废旧料的日回收利用。

(2) 开展废旧工程塑料的回收利用 应大力开发废旧工程塑料制品的回收利用工作。目前采用方法是:

1) 废旧塑料与新料混合再利用法。即按照一定的比例,将废旧料与新料掺混改性后重新使用。

2) 对无法再次熔融的热固性塑料与制品,通过焚烧法抽取原体或燃料再次应用。

3) 对那些无利用价值的废旧料,作为燃料进行销毁。

目前世界各国对废旧塑料的回收处理制定了更为严格的规范,提出了更为严格的要求。然而,废旧塑料的数量与日俱增,形成了严峻挑战,故而世界各国的塑料公司纷纷投巨资开发并建立废旧塑料再生利用厂。DSM 化学公司和 Allised Signal 公司联合在美国建立了处理废旧 PA6 地毯废料九万吨的再生产回收装置,每年可回收己内酰胺 4.5 万 t; BASF 等公司联合建装置,采用氨甲醇和甲苯作溶剂,经催化水解,获得双酚 A 和碳酸酯类。

“零垃圾”、“零排放”、“高的资源再生率”以及“生产环境友好产品”等将成为 21 世纪规范企业环保行为的共同要求。

(3) 加快降解塑料的开发应用研究,尽快进入实用阶段 提倡生产无污染、易回收、环境友好的高分子材料。为了消除产品使用过程的二次污染,各大公司纷纷开发可生物降解、易回收的工程塑料。美国 Eastman 化学公司推出的由己二酸和对苯二酸与 1,4 丁二醇合成的可生物降解的共聚酯已商品化;杜邦公司推出可生物降解的改性 PET 商品名 Biomax 系列等,都取得“同等优先”的地位,成为用户首选的品牌。

第四节 工程塑料的地位与作用

自 20 世纪中期工程塑料问世迄今,工程塑料为了满足工程结构的性能要求,取代传统结构材料、开拓新的应用领域、跻身于材料市场,采用各种改性手段,使其性能不断提高,在激烈的市场竞争中逐步发展壮大起来,呈现出旺盛的生命力。其发展速度为年增长 10% 以上。到目前为止它已成为国民经济和国防建设及社会发展中的主导材料之一。

一、工程塑料在国民经济建设中的作用

由于工程塑料具有优良的力学性能、耐化学性能、耐蚀性、高比强度、高比模量、良好的结构特性及功能特性、灵活的可设计、可配制性与低成本加工性等,在国民经济各个部门具有广阔的应用前景,已成为各工业部门不可替代的重要原材料。

(一) 工程塑料已成为车辆应用和制造中的主体材料

工程塑料在车辆中的应用量占工程塑料总体用量的 1/3。主要部件类型为:结构部件、装饰构件和功能制件等。

工程塑料的密度仅是钢的 $1/4 \sim 1/5$ ，将这些材料用于车辆可在很大程度上减轻自重、提高车速，同时还可以减少轴和轮胎的磨损，延长使用寿命。尤其重要的是质量减轻可在很大程度上降低油耗。采用工程塑料制造汽车部件，在相同条件下耗油不超过钢制汽车的 $1/4$ ，这是一个非常有诱惑力的比例，因此美国、日本等几个大汽车公司如福特、丰田，都非常重视用工程塑料制造汽车构件。据报道，福特公司一辆由碳纤维增强塑料制造车身主要部件的小轿车，其燃料效率提高了 38%。此外，由于工程塑料韧性好，受到撞击后大幅度吸收冲击，可避免重大的伤亡事故。英国曾展出一辆由芳纶增强塑料制造的轿车，展览者用铁锤猛击车顶竟无破损，同时以 100km/h 速度碰撞也未损坏。用工程塑料制造的汽车部件很多，如驾驶室、挡泥板、保险杠、前脸、引擎罩、仪表盘、地板、座椅等。日本东丽公司研制成功用碳纤维/环氧做的驱动轴、板簧，这种板簧质量轻、弹力大，仅用一片就可代替传统的多片叠板弹簧。

工程塑料构件已逐步渗入到火车结构。铁路是国民经济的动脉，铁路运输对整个国民经济的发展具有重大影响。铁路运输约占一个国家运输总量的 60%。制造火车的主体材料是钢和木材，我国木材资源缺乏，使用钢材又不能满足要求，所以从 20 世纪 50 年代起人们就寻找可以替代的材料，通过国内外的实验证明，工程塑料是制造铁路运输装备较好的材料。世界上有许多国家已把工程塑料用到火车制造业中，并取得了良好的效果。日本新干线上的高速列车，其车箱外壳是由泡沫塑料夹芯的玻璃纤维增强聚酯制成的，这种材料结构刚度大、保温、抗振、防水性好，在高速行驶时不会产生过度的颠簸。用工程塑料制造的还有水箱、整体卫生间、车门窗、冷藏车保温车身、运输液体的贮罐、集装箱等。这种集装箱自重轻、耐冲击性好、密封、防水、防腐蚀、防污染，因而运载效率高，又经久耐用，所以它将是取代钢制或铝制集装箱的极好材料。

除用于车体结构外，工程塑料还是铁道通信线路工程中使用的优良材料。通常用它做成信号机、变压器箱、电缆盒、轨道绝缘材料。据报道，英吉利海峡连接英、法两国的隧道铁路，其电缆绝缘材料就使用了工程塑料。

(二) 工程塑料是普遍应用的建筑材料，为推动高强轻质建筑结构的发展起了重要作用

用于建筑业的工程塑料，绝大多数是高效低成本玻璃纤维增强塑料。由于这种材料具有优异的力学性能，较好的隔热、隔声性，吸湿和透水率低，电绝缘性能好，有很好的耐化学腐蚀性，特殊处理的玻璃纤维增强塑料具有较好的透光性，加之装饰性好，尤其是它的性能可设计性和产品设计的高度灵活性，一直为建筑业所青睐。目前已在建筑结构、围护、门窗、卫生洁具、采暖、通风、建筑装饰等方面广泛应用。玻璃纤维增强塑料作承重结构和围护结构，与传统钢或混凝土等材料相比独具特点，玻璃纤维增强塑料的轻质、高强，可作成大跨度、大幅面的屋梁及顶棚等建筑构件，用于宽敞明亮的展览馆、体育馆、电影院、剧场等建筑尤为适宜。前苏联、德国已建成跨度为 $18 \sim 24\text{m}$ 的温室，上海玻璃钢研究所在云南建造了一座直径 44m 的玻璃纤维增强塑料球形雷达天线罩。按设计分析，如采用玻璃纤维增强塑料为双曲面屋顶结构，其跨度可达 200m，这样无需任何梁柱支撑的大跨度结构只有用玻璃纤维增强塑料才能实现。同时由于它具有隔热、隔声、防水、阻燃、易装饰等性能，也是围护结构的极好材料。

用玻璃纤维增强塑料制备的凉水塔、卫生间洁具、高位水箱等制品在我国已形成较大的生产规模，目前已完全取代了钢筋混凝土、金属和木材等传统建筑材料。而且具有耐腐蚀、高强度、质量轻，并可根据建筑的风格设计成各种形状。这一新的结构物对解决我国大多数城市供水缺乏问题无疑是件极大的好事。

(三) 工程塑料已成为新型防腐材料，在化学防腐工程中具有无可替代的地位

玻璃纤维增强不饱和聚酯树脂、环氧树脂、酚醛树脂、呋喃树脂和聚酰亚胺等增强塑料具有较高的耐化学介质腐蚀性。例如，玻璃纤维增强环氧在碱溶液中可使用 10 年，而普通钢管只能使用 1 年多。在酸介质中玻璃纤维增强塑料比不锈钢表现出优异的耐蚀性，因此在石油化工等防腐蚀工程中，近年来越来越广泛地得到应用，已成为不可或缺的新型耐腐蚀材料。

目前用玻璃纤维增强塑料制造的化工耐腐蚀设备有大型的贮槽、容器、传质用各种管道、管道的弯头、三通、管接头等配件以及通风管道、烟囱、风机、泵等。对用于防腐工程的玻璃纤维增强塑料产品早在 1965 年美国就制定了有关的设计、制造检验标准和规范。英国、加拿大和日本等国也都相继制定了相应标准，如日本增强塑料技术协会 1975 年制定的“手糊法成型耐腐蚀玻璃纤维增强塑料设备制品标准”。1969 年美国制定了“缠绕法制造玻璃纤维增强塑料贮槽制品规范”。从上述的定型标准和规范可见，工业发达地区的北美、西欧和日本等对玻璃钢在防腐工程领域所发挥的作用十分重视，并已经形成了一个庞大的产业，在国民经济中占有一定的地位。

我国从 20 世纪 60 年代初在玻璃钢技术引进后不久，即开始了在化工防腐中的应用，并收到了良好的效果，预计玻璃纤维增强塑料作为防腐工程材料，在我国将有极其光明的发展前景。

(四) 工程塑料已逐渐成为基础工业不可或缺的主导材料

1) 在电器工业中用做层压板、敷铜板、绝缘管、电机、护环、槽楔、绝缘子、灯具、电线杆、带电操作工具等。

2) 农渔业方面用于蔬菜、花卉、水产养殖、养鸡、养猪等温室，以及粮仓、水渠、化粪池、粪便车等。

3) 在机械制造业中工程塑料的用途很广，如风机叶片、纺织机械部件、化纤机械、矿山机械、食品机械部件、齿轮、法兰盘、防护罩等。

4) 用于体育器材，如撑杆、弓箭、赛车、滑板、球拍、雪橇、赛艇、划艇、划桨等。

5) 航空工业在大型的主航线民航飞机上也开始应用，如美国波音 737 至波音 767，欧洲的空中客车 A310 ~ A340，前苏联的主航线客机等型号上用作机头雷达罩、发动机罩、副翼、襟翼、垂直尾翼和水平尾翼的舵面、翼根整流罩以及内部的通风管道、行李架、地板、卫生间、压力容器等。

6) 在船舶工业用于制作各种工作艇、渔船、交通艇、摩托艇、救生艇、游船、军用扫雷艇和潜水艇等。

7) 人造地球卫星几乎全部是由不同的纤维增强塑料和复合材料制造的空间结构，如卫星仪器舱本体、框、梁、桁、蒙皮、支架、太阳能电池的基板、天线反射面等。特

别是地球同步通信卫星的天线反射面，始终要准确地对准地面上某一个接收站，当卫星反复处于地球的向阳面和背阳面的交变过程，卫星上的温差可达 200℃ 以上，在这样的交变温差下要求天线反射面的支架不热胀冷缩，需要由“零膨胀”材料制成。目前只有经过精心设计的工程塑料和复合材料才能具备“零膨胀”这一特殊性能。

二、在国防建设中的地位与作用

工程塑料特别是高性能纤维增强塑料，属军用新材料技术发展的重点材料。它不仅具有结构材料优良的结构性能、良好的综合特性，而且还具备某些功能材料特性（如耐腐蚀、不锈蚀、隐身性、电磁波屏蔽性、绝热耐热和优良的电绝缘性等），以及质量轻、比强度、比模量高等性能。是武器装备实现轻量化、小型化、功能化以及智能化的重要材料技术，具有极其重要的军事实用价值，也是未来武器装备制造中极为重要的结构和功能材料。

未来战争对武器装备的要求可概括为“三化”、“三性”、“三高”、“一全”，即轻量化、小型化、功能化；隐蔽性、机动性和生存性；高精度、高威慑和高速度以及全天候作战的能力。这些要求具体体现在减轻武器装备质量、缩小其体积、提高战争的机动性和生存能力上，要制得这种武器装备满足未来战争需要，除了在武器装备结构的设计上下功夫外，选用高性能材料是解决问题的关键。

（一）利用工程塑料密度低、比强度、比模量高使武器装备轻量化和小型化

工程塑料特别是高性能纤维增强塑料已应用多年，其轻质高强特性早已被军方认可，这是那些对质量要求十分苛刻的武器装备系统可选用的最佳材料。

1. 航天武器装备

20 世纪 60 年代初期，美国采用玻璃纤维增强环氧塑料制备了“北极星”导弹第二级火箭发动机壳体，使其质量比原金属壳体质量减轻 310kg，使其射程由 1600km 提高到 2400km。而采用石墨纤维增强环氧塑料制备的三叉戟导弹仪器舵比用铝制备的仪器舵减重 146kg，减重率达 30%，且简化了部件组装工艺。还用此增强塑料制备了陀螺仪支架、电池支架、发射筒支环等 55 个部件，使得此导弹增程达 340km 以上。美国的三叉戟-II 型、飞马座和朱儒等导弹也大量采用碳纤维增强塑料制备，使弹体质量减轻 30% 以上。美国爱国者和战斧导弹的仪器舱和发射筒等重要部件也采用高性能纤维增强塑料制备，使其结构质量大幅降低。据设计计算，一枚洲际导弹如用高性能工程塑料取代金属结构，可使其质量减轻 300kg 以上，射程提高 1000km。

目前，国外军事强国导弹弹头有效载荷与结构质量比已达 4:1，固体火箭发动机质量比已达 0.92~0.93。这都是采用高性能工程塑料的结果。

2. 航空武器装备

军用飞机也是最早采用工程塑料，特别是高性能纤维增强塑料的武器装备之一。作战飞机的机翼蒙皮、机身、垂尾、副翼、水平尾翼、侧壁板、隔框、翼肋和加强筋等主承力构件大量采用高性能纤维增强塑料制备，不仅明显减轻了飞机结构质量，改善了机体总体结构和外形，而且减少了零部件数量和组装工序，使飞机的整体性和可靠性得到显著改善。就其减重效果而言，一翼梁采用铝合金设计为 220kg，用纤维增强塑料制备为 157kg，减重率为 28.6%；加强筋用铝合金制备为 67.9kg，用纤维增强塑料制备为

58.4kg, 减重率为14%; 蒙皮用铝合金制备为87.5kg, 用纤维增强塑料制备为16.6kg, 减重率为29.5%; 而铝合金口盖为18.5kg, 纤维增强塑料口盖则为16.6kg, 减重率为10%左右。

目前美国采用纤维增强塑料的军用飞机中, F117 采用量为42%; B-2 采用量为38%; FY-22 采用量为35%; FY-23 采用量为50%; F-16 采用量为39%; AV-86 采用量为26%等。到目前为止, 战机纤维增强塑料用量已占结构质量的26%~65%; 每架飞机的平均使用量为2.4~6.5t, 且年增长率达20%左右。

3. 陆军武器装备

(1) 坦克装甲车辆 坦克装甲车辆, 特别是主战坦克是陆军主战武器装备, 也代表一个国家的武器装备水平和威慑力。目前主战坦克战斗全重在60t以上, 已超过地面武器装备的极限质量, 再无限制地加厚装甲, 会给坦克机动性和生存力带来极大的危害, 坦克装甲车辆轻量化已势在必行。轻量化的途径除结构设计外, 关键技术仍是采用轻结构材料技术。

美国和英国近年来研制并通过演示试验的全纤维增强塑料装甲车车体, 与原金属车体相比, 可减重33%。为采用高性能纤维增强塑料制备坦克装甲车辆奠定了技术基础。

各国目前应用的复合装甲, 由于采用了纤维增强塑料, 其抗弹能力比均质钢装甲有了明显提高, 而且减重30%。用纤维增强塑料为结构材料的电(磁)装甲, 又进一步提高了抗弹水平, 在使车体无损伤的情况下, 可抗御大口径弹药或串联式弹药的攻击。最新研制的集成装甲, 是采用塑料成型的基本原理, 将金属、陶瓷、橡胶组合成一装甲体系, 其中的纤维增强塑料主要起保持装甲结构的整体性和提高抗弹性能及隐身功能的作用。在同等体积下, 比均质钢装甲减重30%~50%。

美国M1A1主战坦克采用工程塑料制备的22个零部件, 与以前所采用的金属部件相比, 减轻近5t, 降低制造成本1.2万美元。

(2) 战术导弹火箭 弹箭武器装备是对减重要求十分迫切的装备, 轻质结构材料应用较早, 也比较普遍。世界各国的反坦克导弹、火箭和防空导弹等均大量采用工程塑料制备。所采用的工程塑料, 以玻璃纤维增强塑料为主, 芳纶增强塑料和碳纤维增强塑料也开始应用。可以说, 战术弹箭已基本实现塑料化。其质量比采用金属结构件减轻40%~65%。特别是法国的“阿匹拉斯”反坦克火箭发动机壳体和发射筒采用芳纶增强塑料制备, 其他结构件采用通用工程塑料和改性通用塑料制备, 除其中装药和战斗部及发动机外, 几乎均用工程塑料制成, 其质量仅为3kg。

(3) 火炮和枪械 火炮制造采用工程塑料是从附件的以塑代金属开始的。到目前已研制成功由碳纤维/环氧增强塑料复合炮管、炮管延伸管等关键部件, 其质量仅有钢炮管质量的1/3。被称为战争之神的大口径火炮, 由于本身质量极大, 机动性较差, 用工程塑料代替钢构件, 就能显著地减轻质量, 提高机动性。例如, 一个122mm口径的加农炮, 原来尾臂装配重1115kg, 改用玻璃纤维工程塑料后只有445kg, 比原来减少了55%; 再如步兵用迫击炮原来钢制底盘重41kg, 改用工程塑料只有28kg, 一个战士可以背在背上机动。

枪械用工程塑料是从以塑代木应用开始, 而后, 以塑代金属, 制备结构件和承力

件。目前正在研制在钢衬筒上缠绕金属纤维或碳纤维/环氧的复合枪管。到目前为止,世界各国的枪械枪托、握把、护木、弹匣、刺刀等均采用尼龙制造。使枪体质量降低50%以上,使用性能大幅度提高。最为典型的是奥地利的AHG步枪,其中30个零部件用9种工程塑料制成,占全枪零件的16%;法国的FAMA3步枪中33个部件用尼龙制成,占全枪部件的30%。以上两种枪质量减轻程度高。美国雷明顿兵工厂研制出的全尼龙枪除枪管和自动结构外,其他部件均用尼龙制造而成,轻量化程度更高。

(4) 单兵装具 工程塑料在单兵装具制造中的广泛应用,将会引起装备的重大革新。战士的头盔由钢制改成工程塑料,不仅质量减轻,同时还提高防护能力,在阵地上构筑单人掩体,传统的办法是用锹镐挖坑填土,不仅费力,还要消耗时间,目前已用工程塑料做成对步枪子弹有很好的防护能力、可随身携带作为装具的掩体,临战时展开即可参加战斗。此外,还有用工程塑料做成防弹衣、防弹盾牌、防地雷的防爆靴等,这些用工程塑料制造的单兵装具一旦装备部队,无疑会大大地提高战士的作战能力。

(二) 运用工程塑料的功能特性,使武器装备功能化

1. 隐身性

工程塑料特别是那些具有导电或导磁性能的导电塑料和磁性塑料对雷达波反射率低,且具有很高的吸波特性。一般认为,这类功能塑料对红外和雷达波以及电磁波反射仅30%,而吸波能力为70%,且噪声小、振动低,隔热性优良。因而其良好的隐身功能,可防雷达波、热成像仪等光电探测系统的探测,也可防止具有热寻功能弹头寻的。运用工程塑料可改性的特点,在加工过程中加入高性能吸收剂或纳米剂可制成武器装备隐身用结构件。

美国的F-117A飞机上采用了纤维增强塑料为主体的结构吸波材料,使雷达反射截面积降低到只有 0.1m^2 的程度。

能够吸收雷达波的结构隐身材料,在设计中可能有如下几个措施:

1) 在基体材料构筑环形或方形的电阻材料几何图形中,制成复合材料蜂窝结构,在蜂窝中填充能吸收电磁波的铁氧体材料。

2) 在结构表面制成小的圆柱、半球或方形的凹坑,其中填充吸收材料。

3) 在树脂基体材料中镶嵌环形天线等吸收单元。

另外,可利用纤维增强塑料的非均质性、可透射雷达波的特点,常用工程塑料制造飞机或导弹雷达罩。

2. 工程塑料可保障战略武器突破热障难题

众所周知,导弹弹头是导弹的战斗部,在飞向敌方目标冲落时会受到高温气流的摩擦而产生极高温度,例如射程为8000~12000km的洲际导弹鼻锥驻点温度可达 10000°C ,这在战略武器上称为热障,不突破热障,威力再大的战斗部在未到达敌方目标之前都将被烧毁。早期的防热措施是采用高热容材料的热沉式结构和复杂的发汗冷却结构,这些办法使得弹头质量很大,影响战斗效应。采用纤维增强塑料烧蚀防热结构不仅有效地解决了防热问题,还减轻了头部质量。在未来战争中由于空中拦截技术的发展,要求导弹的弹头小型化,并可多头分导,能耐高温、抗核爆、抗中子浸蚀、抗强激

光,并具有隐身等功能,预计解决这一问题的惟一途径是在抗烧蚀纤维增强塑料的基础上添加多种材料制成具有多功能的纤维增强塑料。

另外,还可将纤维增强塑料作为导弹和火箭发动机隔热绝热材料、耐烧蚀材料等。

(三) 运用功能塑料的机敏特性,开发智能材料与结构,使武器装备智能化

利用压电塑料或压电陶瓷增强塑料可以制备智能材料与结构中的驱动机构和传感机构。利用压电聚合物或增强压电聚合物材料制成的高速驱动机构可把电能转化为机械能,且不发生相变,而是通过改变材料的自发偶极矩来改变材料尺寸,此种效应可产生 $200 \sim 300 \mu\text{m}$ 应变,88 层压电增强塑料制成驱动器可在 20ms 内产生 $50 \mu\text{m}$ 的应变位移,且可成膜,加工性良好。将这种材料制成传感器或自适应结构可感知压力、温度、冲击、弯曲等作用,并可利用不同模式识别出边、角、棱等几何特征,且具备热释放效应和温度传感作用。配合上形态化材料、电磁流变材料和电致材料技术可组成智能结构。此材料与结构在武器装备中具有很高的应用价值。美国国防部计划研究局投资 8900 万美元开发此项材料,预计在装甲防护、武装直升机、士兵作战服装、弹药、导弹和火箭中具有巨大的应用潜力。

美、德等国已研制出智能复合装甲和智能反应复合装甲,从被动装甲防护向主动装甲防护迈进了一大步。美国陆军预算投资 300 万美元,把反应装甲与短距离传感器网络及一台计算机等组成一体,制成主动反应装甲系统。美陆军还把智能材料系统用于 M1 坦克防 120mm 动能弹、50mm 动能弹。德国已研制出制备计算机或火控系统的薄膜传感器、冲击传感器和加速传感器的被动装甲及反应装甲,并将其改造为主动装甲。英国也研制出类似的智能装甲。

美国用压电复合材料制造出直升飞机的固态自适应旋翼,这种智能压电材料应用于直升飞机后其隐身能力提高 2 倍,机动性提高 30%,速度提高 15%,可靠性大有增强。

美国运用电致变色高分子材料设计出自动变色服。这是采用电致变色织物制成的,可随外界环境变化而改变颜色,与背景保持一致,大大提高了伪装功能。

随着武器装备的智能化进程,智能材料系统将会发挥越来越大的作用。

三、在高新技术中的地位与作用

工程塑料是新材料之一,也是高新技术的组成部分。高新工程技术的发展依赖于新材料技术的进步,新材料在整个高新技术发展中发挥着先导和推动作用。

(一) 信息工程技术

信息技术是当前高技术群的核心,而用于信息技术中能接收、处理、定存和传播信息的材料称为信息材料。在这类材料中工程塑料占有重要地位。首先,任何一个信息技术装备,如电话、收录机、电视机、录音机、录像机和计算机等都离不开导线和电缆。导线要求一方面有良好的导电性,同时又要求具有很好的绝缘性,这种截然相反的性能要求绝不可能由单一材料完成,它是由导电的金属和包围其周围的绝缘工程塑料构成。其次,计算机等所用多层印刷电路板是典型的层压塑料,它是用纤维增强树脂和覆铜层压复合而成。多层混杂的层合板具有高散热性、高度的尺寸稳定性,从而能满足大规模集成电路高密度的装配要求。用于录音机、录像机和计算机的录音(像)带和软盘等信息记录材料,是由将粉末状磁性材料均匀掺混在树脂中的磁性塑料制成。最近出现的

垂直记录带，用气相沉积法在塑料基材上沉积一层铬-钴化合物，钴的柱状晶体和铬之间有明显界面，这种新型大存储量的磁记录器材实际上是一种高性能功能塑料。

（二）能源工程技术

人们早已想到了太阳能，并已在宇航飞行器等上面应用，但在地面上有效地利用太阳能还不普遍。尽管已有一些太阳能灶、太阳能加热器装备出现，可是在常年多雨的地域就很难利用。据报道，在 20 世纪 80 年代美国已拟定在太空中建造一座太阳能发电站的规划，发电站长 25km，宽 3.8km，所有构件全部由碳纤维增强塑料制成，零件在地面成型后用航天飞机运到太空中安装，电站上由太阳能转换的电能用安装在两端的直径为 700m 的微波天线发送到地面接收站，这个电站所生产的电能可供一个大城市用电。这个设在太空的太阳能电站不受地球天气阴晴的影响。

原子能站发电的核燃料是具有放射性的铀 235。从天然铀矿中提取铀 235 是利用高速旋转的离心机，提取效率同离心机转筒的线速度的四次方成正比。为了提高效果需加大转数，这就要求转筒材料经得住高速旋转的离心载荷的作用。对多种材料进行试验，高强铝合金的最大线速度为 357m/s，钛合金为 400 ~ 460m/s，碳纤维增强塑料是 800 ~ 900m/s，由此可见，碳纤维增强塑料是制造提取铀 235 离心机转筒的理想材料。

（三）生命工程技术

材料科学与医学的结合发展了一系列医用人體材料。为人类延年益寿，正在研究用人造器官代替破损病变或衰老的器官，工程塑料特别是纤维增强塑料是这一领域的首选材料。用碳纤维增强塑料制成的心脏瓣膜在二十几年前已经成功地植入人体；以尼龙为增强材料的人造血管也已投入使用。此外，还有有机硅、尼龙等制成的鼻、耳等器官。实验研究表明，碳-碳复合材料与人体有很好的相容性，做成的人体器官无排异反应，因此这方面的研究有广阔的应用前景。据预测，可以制成人造心脏、人造肾脏、人造肝脏等重要器官，一旦投入使用，人类对于破损病变的器官可以像机器调换零件一样进行修理调换，这样可大大地延长人类的寿命。

第二章 聚 酰 胺

第一节 主要品种与性能

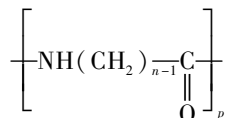
一、简介

(一) 结构特征

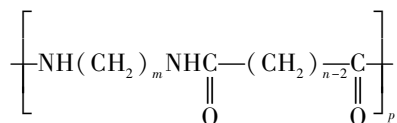
聚酰胺俗称尼龙 (Nylon), 英文名称 Polyamide (PA), 它是大分子主链重复单元中含有酰胺基团的高聚物的总称。聚酰胺可由内酰胺开环聚合制得, 也可由二元胺与二元酸缩聚制得。聚酰胺塑料是在聚酰胺纤维基础上发展起来的, 是最早出现能承受负荷的热塑性塑料, 也是五大通用工程塑料中产量最大、品种最多、用途最广的品种。主要品种有尼龙 6、尼龙 66、尼龙 11、尼龙 12、尼龙 610、尼龙 612、尼龙 46、尼龙 1010 等。其中尼龙 6、尼龙 66 产量最高, 约占尼龙产量的 90% 以上。尼龙 11、尼龙 12 具有突出的低温韧性; 尼龙 46 具有优异的耐热性而得到迅速发展; 尼龙 1010 是以蓖麻油为原料生产的, 是我国特有的品种。

尼龙的化学结构基本有以下两种:

一种是由 ω -氨基酸或它的内酰胺聚合而制得的, 结构通式如下:



另一种是由二元酸和二元胺缩聚而制得的, 结构通式如下:



二元胺和二元酸或二元胺或二元酸中的亚甲基可以被环状或芳香族化合物取代, 也可以是上述结构的尼龙的共聚物。从上述尼龙结构中可以看出, 尼龙分子主链链段单位中都含有酰氨基团 ($-\text{CONH}-$), 都含有亚甲基或部分亚甲基、部分环状化合物基团或芳香族化合物基团。尼龙的性能与上述化学结构有密切的关系。由于各种尼龙的化学结构不同, 其性能也有差异, 但它们具有共同的特性: 尼龙的分子之间可以形成氢键, 使结构易发生结晶化, 而且, 分子之间互相作用力较大, 赋予尼龙以高熔点和力学性能。由于酰氨基是亲水基团, 吸水性较大。在尼龙的化学结构中还存在亚甲基或芳基, 使尼龙具有一定的柔性或刚性。尼龙中的亚甲基/酰氨基的比例越大, 分子中氢键数越少, 分子间力越小, 柔性增加, 吸水性越小。因此, 尼龙工程塑料一般都具有良好的力学性能、电性能、耐热性和韧性, 还具有优良的耐油性、耐磨性、自润滑性、耐化学药

品性和成型加工性。表 2-1 列出了各种聚酰胺的名称与分子结构。

表 2-1 各种聚酰胺的名称与分子结构

名 称	合 成 单 体	分 子 结 构
尼龙 6	$\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CO} \\ \qquad \qquad \backslash \\ \text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2 \quad \text{NH} \end{array}$ 己内酰胺	$\text{[-NHCO(CH}_2)_5\text{]}_n$
尼龙 8	$\begin{array}{c} (\text{CH}_2)_7-\text{NH} \\ \qquad \qquad \backslash \\ \text{C=O} \end{array}$ 辛内酰胺	$\text{[-NHCO(CH}_2)_7\text{]}_n$
尼龙 11	$\begin{array}{c} (\text{CH}_2)_{10}-\text{NH} \\ \qquad \qquad \backslash \\ \text{C=O} \end{array}$ 十一内酰胺	$\text{[-NHCO(CH}_2)_{10}\text{]}_n$
尼龙 12	$\begin{array}{c} (\text{CH}_2)_{11}-\text{NH} \\ \qquad \qquad \backslash \\ \text{C=O} \end{array}$ 十二内酰胺	$\text{[-NH(CH}_2)_{11}\text{CO]}_n$
尼龙 66	$\begin{array}{cc} \text{H}_2\text{N(CH}_2)_6\text{NH}_2 + \text{HOOC(CH}_2)_4\text{COOH} \\ \text{己二胺} \qquad \qquad \qquad \text{己二酸} \end{array}$	$\text{[-NH(CH}_2)_6\text{NH-CO(CH}_2)_4\text{CO]}_n$
尼龙 610	$\begin{array}{cc} \text{H}_2\text{N(CH}_2)_6\text{NH}_2 + \text{HOOC(CH}_2)_8\text{COOH} \\ \text{己二胺} \qquad \qquad \qquad \text{癸二酸} \end{array}$	$\text{[-NH(CH}_2)_6\text{NHCO(CH}_2)_8\text{CO]}_n$
尼龙 1010	$\begin{array}{cc} \text{H}_2\text{N(CH}_2)_{10}\text{NH}_2 + \text{HOOC(CH}_2)_8\text{COOH} \\ \text{癸二胺} \qquad \qquad \qquad \text{癸二酸} \end{array}$	$\text{[-NH(CH}_2)_{10}\text{NHCO(CH}_2)_8\text{CO]}_n$

尼龙可用多种成型方法加工，如注射、挤出、浇铸、模压等。

(二) 聚酰胺主要性能特点

1. 基本性能特征

聚酰胺树脂具有如下通性：

1) 主链上的酰氨基团有极性，可形成氢键，分子间作用力较大，分子链易较整齐地排列，因而力学性能优异，且具有较高的结晶度，熔点明显，表面硬度大，耐磨耗，摩擦因数小，有自润滑性、吸震和消音性；由于分子中次甲基的存在，具有耐冲击和较高的韧性，是强韧的工程塑料。

2) 耐低温性好，又具有一定的耐热性，可在 100℃ 以下使用。

3) 电绝缘性好，但易受湿度的影响。

4) 吸水性大，影响尺寸稳定性和电性能，玻璃纤维增强可减少吸水率，且可长期在高温、高湿度下工作。

5) 有自熄性，无毒、无臭、不霉烂，耐候性好而染色性差。

6) 化学稳定性好，耐海水、溶剂、油类，但不耐酸。

聚酰胺中 PA66 的硬度、刚性最高，但韧性最差。各种聚酰胺按韧性的大小排列为：

$$PA66 < PA66/PA6 < PA6 < PA610 < PA11 < PA12$$

PA 的燃烧性为 UL94V-2，氧指数为 24 ~ 28。PA 的分解温度 > 299℃，在 449 ~ 499℃时会发生自燃。

PA 熔体流动性很好，如制品壁厚可小到 1mm。

聚酰胺主要技术性能指标见表 2-2。

表 2-2 聚酰胺（尼龙）主要技术性能指标

牌 号 项 目	PA6	PA66	PA610	PA612	PA9	PA11	PA12	PA1010
密度/(g/cm ³)	1.13	1.15	1.07	1.07	1.05	1.04	1.02	1.07
熔点/℃	215	252	220		185	186	178	210
热变形温度/℃	68	75	82			54	55	
耐寒温度/℃	-30	-30	-40		-30	-40		-40
拉伸强度/MPa	75.0	80.0	60.0	62.0	65.0	56.0	65.0	55.0
压缩强度/MPa	85.0	105.0			72.5	70.0		65.0
弯曲强度/MPa	120.0	60.0 ~ 100.0	90.0		85.0	70.0	90.0	80.0
缺口冲击强度 /(kJ/m ²)	5.5	5.4	5.5			3.86		5
体积电阻率 /Ω·cm	10 ¹²	10 ¹⁴	10 ¹⁴	10 ¹²	10 ¹⁴	10 ¹³	10 ¹⁴	10 ¹⁵
介电常数(1MHz)	3.4	3.6	3.5	3.5	3.7	3.7	3.1	3.1
介电损耗(1MHz)	0.03	0.03	0.04	0.02	0.018	0.04	0.03	0.026
介电强度 /(kJ/mm)	16	16	16	16	16	17	18	15
成型收缩率(%)	0.8 ~ 2.5	1.5 ~ 2.2	1.5 ~ 2		1.5 ~ 2.5	1.2		1 ~ 2.5
用 途	轴承、齿轮、凸轮滚子、滑轮、辊轴螺钉、螺帽、垫片、高压油管、贮油容器等	用途与尼龙 6 基本一样，还可作把手、壳体、支撑架等	机械制造、汽车用齿轮、衬垫、轴承滑轮等精密部件、电缆绝缘层、枪托、弹药箱、工具架、线圈壳体、纺织机械部件	精密机械部件、电线电缆护套、层、枪托、弹药箱、工具架、线圈	齿轮、机械部件、电线电缆护套、医疗特种消毒包、渔网、金属涂层	输送汽油的硬管和软管、电缆护套、食品包装膜、发泡建材、静电喷涂	轴承、齿轮、精密部件、油管、软管、电线电缆护套	机械部件、轴承架轴套、油箱衬里、电线电缆护套、工业滤布、筛网、毛刷等

2. 物理性能

尼龙的外观为乳白或淡黄的粒料，表观角度、坚硬，制品表面有光泽。表 2-3 为各种尼龙的密度。可见，各种尼龙的密度（结晶相密度、非晶相密度和一般成型加工制品的密度）是不一样的。尼龙 6、尼龙 66 的密度较高，随着分子中亚甲基的含量增加和酰氨键（—NHCO—）的含量降低，尼龙的结晶度降低，密度也随之降低。

表 2-3 尼龙的密度

尼龙的种类	结晶相密度 /(g/cm ³)	非晶相密度 /(g/cm ³)	一般成型加工制品的密度 /(g/cm ³)
尼龙 6	1.23	1.10	1.12 ~ 1.16
尼龙 66	1.24	1.09	1.12 ~ 1.16
尼龙 610	1.17	1.04	1.06 ~ 1.09
尼龙 11	1.12	1.01	1.03 ~ 1.05
尼龙 12	1.11	0.99	1.01 ~ 1.04

尼龙是一类半结晶性工程塑料，存在着结晶区和非结晶区。结晶区所占的比例叫结晶度。结晶度对尼龙的热性能影响较大。

加工工艺条件对尼龙的结晶有一定影响，注射成型时，模具温度高时，熔体冷却时间较长，制品的结晶度较高。反之亦然。

结晶度高的尼龙具有较大的拉伸强度、冲击强度和热变形温度，但成型收缩大，断裂伸长率较小。

尼龙的吸水率比较高，酰氨键的比例越大，吸水率越高，具体为尼龙 6 > 尼龙 66 > 尼龙 610 > 尼龙 1010 > 尼龙 11 > 尼龙 12 > 尼龙 1212。

尼龙属于自熄性塑料，烧焦时有羊毛或指甲味。透气性是尼龙的一项重要特征，尼龙对氧气等气体的透过率最小，因此具有优良的阻隔性，是食品保鲜包装的优良材料。尼龙的阻隔性随酰氨/亚甲基的比例增大而提高，以尼龙 6 的阻隔效果最好。尼龙 6 的 O₂ 透过系数为 25 ~ 40cm³ · mm/(m² · d · MPa)，CO₂ 的透过系数为 150 ~ 200cm³ · mm/(m² · d · MPa)，H₂O 的透过系数为 150g · mm/(m² · d · MPa)。

3. 力学性能

在尼龙分子主链上的重复单元中含有极性酰氨基团，能形成分子间的氢键，具有结晶性，分子间相互作用力大，因此，尼龙具有较高的机械强度和弹性模量。机械强度和弹性模量随着尼龙主链亚甲基的增加而下降，冲击强度增加。尼龙在室温下的拉伸强度和冲击强度虽然都较高，但冲击强度不如 PC 和 POM 高。随温度和湿度的升高，拉伸强度急剧下降，而冲击强度则明显提高。玻璃纤维增强尼龙的强度受温度和湿度的影响小。

尼龙的耐疲劳性较好，仅次于 POM，进行玻璃纤维增强处理后可提高 50% 左右。

尼龙的抗蠕变性较差，不适于制造精密的受力制品，但玻璃纤维增强后可改善。

尼龙的耐摩擦性和耐磨损性优良，是一种常用的耐磨性塑料品种。不同品种摩擦因数相差不大，无油润滑摩擦因数仅为 0.1 ~ 0.3；耐磨性以 PA1010 最佳。尼龙中加入二

硫化钼、石墨、聚四氟乙烯及 PE 等可进一步改进耐磨性。表 2-4 列出了代表性尼龙的力学性能。

表 2-4 尼龙的力学性能（干燥状态下）

项 目	尼龙 6	尼龙 66	尼龙 46	尼龙 11	尼龙 12	尼龙 MXD-6
拉伸强度/MPa	75	83	100	55	50	84.5
断裂伸长率(%)	150	60	40	300	350	2.0
弯曲强度/MPa	110	120	144	69	74	162
弯曲弹性模量/MPa	2400	2900	3200	1000	1100	4630
缺口冲击强度/(J/m)	70	45	90	40	90	19

4. 热性能

尼龙的热变形温度都不高，一般在 50 ~ 75℃，用玻璃纤维增强后可提高 4 倍以上，高达 200℃。尼龙的热导率很小，仅为 0.16 ~ 0.4W/(m · K)。尼龙的线胀系数较大，并随结晶度增大而下降。低结晶尼龙 610 的线胀系数高达 $13 \times 10^{-5} \text{K}^{-1}$ ，尼龙 11 的线胀系数可达 $12.5 \times 10^{-5} \text{K}^{-1}$ 。

5. 电性能

尼龙的电性能主要指它的介电性能和导电性能。作为绝缘材料的尼龙，绝缘性能指标主要有：体积电阻率、表面电阻率和介电强度。

影响电性能的因素很多，其中尼龙本身所具有的化学结构，是影响尼龙工程塑料电性能的非常重要的因素。尼龙是典型的极性结晶性高分子聚合物。其中，最重要的结构特征是：在大分子链段重复单元中，含有极性酰氨基团（—CONH—），在尼龙的分子之间能形成高聚物，介电常数和介电损耗角正切值也大。杂质对高聚物介电性能的影响也很大，特别是极性杂质（如水）会大大增加高聚物的电导电流和极化度，使介电性能严重恶化。水对高分子聚合物的介电强度影响很大。水会使得高分子聚合物的电导率、介电损耗增大，因而，介电强度降低。尼龙虽有较好的电性能，但是，它的分子主链中含有极性酰氨基，属于易吸水（湿）的聚合物，在使用时受到一定的限制，不适合作为高频和湿态环境下的绝缘材料。主要尼龙的电性能列于表 2-5。

表 2-5 主要尼龙的电性能

项 目	尼龙 6	尼龙 66	尼龙 46	尼龙 11	尼龙 12	尼龙 1010
相对介电常数 (10^6Hz)	3.4	3.3	4.0	$3.2 \sim 3.7(10^3 \text{Hz})$	3.1	3.6
介电损耗角正切 值(10^6Hz)	0.02	0.04	0.01	$0.05(10^3 \text{Hz})$	0.030	$0.0265(50 \text{Hz})$
体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{m}$	7×10^{14}	4.5×10^{13}	10^{15}	6×10^{13}	8×10^{14}	$> 10^{14}$
表面电阻率/ Ω			10^{14}			$> 10^{14}$
介电强度/(kV/mm)	31	15.4	24	16.7	30	> 12

6. 环境性能

尼龙耐化学稳定性优良，可耐大部分有机溶剂如醇、芳烃、酯及酮等，尤其是耐油性突出，已成为汽车油管的首选材料。但是尼龙的耐酸、碱及盐性不好，可导致溶胀，危害最大的无机盐有氯化锌。尼龙可溶于甲酸及酚类化合物。

尼龙的耐光性不好，在阳光下强度会迅速下降并变脆，因此不可用于户外。

（三）聚酰胺的成型加工特性

聚酰胺（尼龙）大分子链中都含有亚甲基和酰氨基团，只是不同品种所含基团数目不同，结构形式基本相似。因此，各种尼龙有共同的成型特性。

1) 尼龙易受潮。在大气中，PA6 的平均吸水率为 3.5%、PA66 为 2.5%、PA610 为 1.5%、PA1010 为 0.8%，尼龙含水量对其力学性能有较大的影响。在熔融状态下，水分的存在会引起尼龙的水解而导致分子量下降，从而使制品力学性能下降，成型过程中，水分的存在还会使制品表面出现气泡、银丝和斑纹等缺陷，所以成型前必须充分干燥。

2) 尼龙熔体粘度低、流动性大，喷嘴会产生“流延”现象，浪费原料，沾污喷嘴。如果用螺杆式注射机成型，注射时，熔体会在螺杆和机筒壁之间出现逆流，使注料不准，所以，尼龙在螺杆式注射机成型时，在螺杆端部必须安装止逆环。

3) 尼龙是结晶性高聚物，熔点明显，而且较高，所以，尼龙需要在较高温度下成型。熔融状态的尼龙热稳定性较差，易分解。因此，必须严格控制工艺条件。

4) 尼龙的成型收缩率大，尼龙制品成型后需进行除湿处理，以降低吸水对性能的影响，提高尺寸稳定性。除湿处理的条件是在水、熔化石蜡、矿物油或聚乙二醇中进行，温度高于使用温度 10 ~ 20℃，时间 30 ~ 60min。对于制造高精度的制品，模具设计应在试验的基础上确定其尺寸，成型工艺应严格控制。

5) 尼龙在加工中易产生内应力，应进行退火处理。具体条件为缓慢升温到 160 ~ 190℃，停留 15min 后，缓慢冷却即可。

（四）应用

作为工程塑料，尼龙主要用于制作耐磨和受力的传动部件，已广泛应用于机械、交通、仪器仪表、电器、电子、通讯、化工及医疗器械和日用品中。如制作齿轮、滑轮、蜗轮、滚子、轴承、泵叶轮、风扇叶片、密封圈、衬套、阀座、垫片、贮油容器、输油管、刷子、拉链等。兵器工业上制作引信、弹带等。

二、尼龙 6

（一）尼龙 6 简介

1. 基本特征

尼龙 6 化学名称为聚己内酰胺，英文名称 Polycaprolacam (Nylon 6)，又称聚酰胺 (Polyamide) -6，简称 PA6；结构式为 $[-\text{NH}-(\text{CH}_2)_5\text{CO}]_n$ 。

尼龙 6 为半透明或不透明的乳白色结晶形聚合物颗粒，熔点 220℃，热分解温度大于 310℃，相对密度 1.14，吸水率（23℃ 水中 24h）1.8%，具有优良的耐磨性和自润滑性，机械强度高，耐热性、电绝缘性能好，低温性能优良，能自熄，耐化学药品性好，特别是耐油性优良。加工成型比尼龙 66 容易，制品表面光泽性好，使用温度范围

宽。但吸水率较高，尺寸稳定性较差。与尼龙 66 相比，刚性小，熔点低，在恶劣环境下能长期使用，在较宽的温度范围内仍能保持足够应力，连续使用温度 105℃，介电损耗 0.03（1MHz），体积电阻率为 $10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ ，击穿电压 16kV/mm，阻燃等级 V-2，耐寒温度 -30℃。

2. 应用

尼龙 6 是尼龙系列中产量最大、用量最多、用途最广的品种之一。广泛应用于汽车、电子、电器、机械、交通、纺织、化工、造纸、包装等行业。

(二) 国内尼龙 6 的性能与应用

(1) 上海塑料十八厂的尼龙 6（表 2-6）

表 2-6 上海塑料十八厂尼龙 6 的性能

项 目	非 增 强	增 强 级
密度/(g/cm ³)	1.11 ~ 1.13	1.36
拉伸屈服强度/MPa	60 ~ 65	120
静弯曲强度/MPa	80 ~ 100	200
弯曲弹性模量/MPa	2000 ~ 3000	—
冲击强度(缺口)/(kJ/m ²)	2 ~ 5	10
布氏硬度	50 ~ 70	150
熔点/℃	215 ~ 225	210
体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$	1.83×10^{16}	2×10^{15}
介电常数(10^6 Hz)	1.63	2.1

产品耐磨、自润滑好、耐低温、耐热优良、力学性能好，适合制机电、轻纺行业的配件。

(2) 上海合成树脂研究所的尼龙 6（表 2-7）

表 2-7 上海合成树脂研究所尼龙 6 的性能

品 种	密度 /(g/ cm ³)	拉伸 强度 /MPa	缺口冲 击强度 /(kJ/m ²)	弯曲 强度 /MPa	热变形温度 (1.81MPa) /℃	布氏 硬度	熔点 /℃	填料及含量
增强级	1.36	130	10	200	200	150	210	玻璃纤维 30%
增韧增强级	1.35	110	25	—	200	130	210	玻璃纤维 30%
增韧级	1.08	46	25	—	60	—	—	
超增韧级	1.07	45	60	—	55	—	—	
增强增韧阻燃级	1.30	110	25	—	200	130		玻璃纤维 30% UL94 V-0 级

(3) 上海龙马工程塑料有限公司的尼龙 6（表 2-8）

表 2-8 上海龙马工程塑料有限公司尼龙 6 的性能

牌号	密度 /(g/cm ³)	阻燃性 (UL94)	热变形温度 (1.81MPa) /℃	拉伸 强度 /MPa	伸长 率 (%)	弯曲 强度 /MPa	弯曲弹 性模量 /MPa	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m)	洛氏 硬度	填料
C216	1.14	HB	65	85	35	120	2950	90	R99	无
C216V30	1.37	HB	210	175	4	240	8400	110	R110	含 30% 玻璃纤维

(4) 上海日之升新技术发展公司的尼龙 6 (表 2-9)

表 2-9 上海日之升新技术发展公司尼龙 6 的性能

项 目	GB 标准	B010	B015	B017	B300	B305	B307
拉伸强度/MPa	1040	40 ~ 80	90 ~ 130	160	40 ~ 80	100 ~ 160	115 ~ 185
断裂伸长率(%)	1040	5 ~ 40	2 ~ 4	2 ~ 4	80 ~ 280	3 ~ 7	2 ~ 7
弯曲强度/MPa	9341	60 ~ 120	135 ~ 205	245	40 ~ 110	130 ~ 200	150 ~ 250
弯曲弹性模量/MPa	9341	1700 ~ 3000	5000 ~ 7500	9000	800 ~ 2600	4200 ~ 6800	5000 ~ 8400
卡毕缺口冲击强度/(kJ/m ²)	1043	4 ~ 10	7 ~ 12	10 ~ 14	6 ~ 35	11 ~ 18	15 ~ 24
Izod 缺口冲击强度/(J/m)	1843	40 ~ 100	70 ~ 120	90 ~ 130	80 ~ 500	80 ~ 100	120 ~ 160
燃烧性(UL94)		V-0	V-0	V-0	HB	HB	HB
热变形温度(1.82MPa)/℃		60	180	190		205	215
熔点/℃	4608	220	220	220	220	220	220
维卡软化点/℃	1633	—	—	—	195	—	—
体积电阻率/Ω·cm		10 ¹⁵	10 ¹⁵	10 ¹⁵	10 ¹⁵	10 ¹⁵	10 ¹⁵
项 目	GB 标准	B310	B400	B500	BR306	BT306	HMPA6
拉伸强度/MPa	1040	45 ~ 90	40 ~ 80	45 ~ 85	95 ~ 140	50 ~ 88	80
断裂伸长率(%)	1040	40 ~ 200	80 ~ 280	100 ~ 300	3 ~ 9	3 ~ 7	100
弯曲强度/MPa	9341	45 ~ 115	40 ~ 110	40 ~ 110	120 ~ 190	65 ~ 150	120
弯曲弹性模量/MPa	9341	900 ~ 2800	800 ~ 2600	80 ~ 2600	4000 ~ 6000	2000 ~ 5000	2900
卡毕缺口冲击强度/(kJ/m ²)	1043	6 ~ 35	6 ~ 35	6 ~ 35	20 ~ 35	7 ~ 18	35
Izod 缺口冲击强度/(J/m)	1843	70 ~ 500	80 ~ 500	80 ~ 500	200 ~ 300	45 ~ 140	100
燃烧性(UL94)		HB	HB	HB	HB	HB	
热变形温度(1.82MPa)/℃		—	—	—	200	160	55 ~ 75
熔点/℃	4608	220	220	220	215 ~ 220	215 ~ 220	
维卡软化点/℃	1633	198	195	195	—	—	
体积电阻率/Ω·cm		10 ¹⁵	10 ¹⁵	10 ¹⁵	10 ¹⁵	10 ¹⁵	

(5) 上海凌尼工程塑料有限公司的高粘度尼龙 6 (表 2-10)

表 2-10 上海凌尼工程塑料有限公司高粘度尼龙 6 的性能

项 目	H40	H40-G30	B40
相对粘度	4.5		
密度/(g/cm ³)	1.13	1.34	1.07
拉伸屈服强度/MPa	75	164	
拉伸断裂强度/MPa	64	164	50
伸长率(%)	58	3	
弯曲强度/MPa	78	226	280
弯曲弹性模量/MPa	1820		
冲击强度/(kJ/m ²)	不断	92	不断
缺口冲击强度/(kJ/m ²)	35	17	9.5
布氏硬度/MPa	114	174	
热变形温度(1.84MPa)/℃	53	215	

可注射或挤出成型，用于改善吹塑、片材、薄膜成型性。

(6) 北京泛威工程塑料公司的尼龙 6 (表 2-11)

表 2-11 北京泛威工程塑料公司尼龙 6 的性能

项 目	测试 标准	增 强 型					阻燃增强型			
		201G0	201G10	201G20	201G30	301G0	301G10	301G20	301	
拉伸强度/MPa	D638	62	89	115	135	64	80	101	1	
弯曲强度/MPa	D790	88	150	175	200	101	140	155	1	
冲击强度(缺口)/(kJ/m ²)	D256	10	8	11	18	7.4	8.5	9.5	1	
冲击强度(无缺口)/(kJ/m ²)	D256	> 100	36	44	78	51	44	48		
弯曲弹性模量/MPa	D790	2.00 × 10 ³	—	—	—	1.82 × 10 ³	2.30 × 10 ³	2.64 × 10 ³	3.00	
热变形温度/°C	D64	65	170	180	190	68	150	168	195	
燃烧性	UL94	—	—	—	—	V-0	V-0	V-0	V-0	
玻璃纤维含量(%)		—	10	20	30	—	10	20	30	
成型收缩率(%)	D955	1.5 ~ 2.0	0.8 ~ 1	0.4 ~ 0.8	0.2 ~ 0.6	1.0 ~ 1.5	0.6 ~ 0.8	0.4 ~ 0.6	0.2 ~ 0.4	
体积电阻率/Ω · cm	D257	1 × 10 ¹⁴	3.1 × 10 ¹⁵	1.2 × 10 ¹⁵	2.2 × 10 ¹⁵	4.1 × 10 ¹⁵	1.8 × 10 ¹⁵	1.2 × 10 ¹⁵	1.6 × 10 ¹⁵	
表面电阻率/Ω	D257	—	1.2 × 10 ¹⁴	1.4 × 10 ¹⁴	1.6 × 10 ¹⁴	1.8 × 10 ¹⁴	2.5 × 10 ¹⁴	1.4 × 10 ¹⁴	1.6 × 10 ¹⁴	
介电常数	D150	3.1	—	—	—	3.10	3.00	3.19	3.26	
介电损耗角正切值		—	—	—	—	0.028	0.030	0.029	0.023	
密度/(g/cm ³)	D792	1.12	1.20	1.27	1.35	1.25	1.30	1.34	1.38	
摩擦因数		—	—	—	—	—	—	—	—	
介电强度/(kV/mm)	D149	21	23	23	23	21	25	25	25	

(续)

项 目	测试 标准	增 切 型		尼龙合金(防翘曲)			耐磨型 601G0	阻燃防 静电型 701G0	增强防静电型	
		401	402	501G0	501	502			801	802
拉伸强度/MPa	D638	48	36	60	110	130	59	51	56	51
弯曲强度/MPa	D790	105	82	110	150	174	85	69	75	147
冲击强度(缺口)/(kJ/m ²)	D256	20	30	6	8	10	8.5	5.2	7	9
冲击强度(无缺口)/(kJ/m ²)	D256	>100	>210	—	—	43	41	—	—	—
弯曲弹性模量/MPa	D790	1.98×10 ³	1.05×10 ³	1.29×10 ³	2.10×10 ³	2.50×10 ³	1.80×10 ³	—	—	—
热变形温度/°C	D64	55	47	70	205	215	70	65	65	178
燃烧性	UI94	—	—	—	—	—	—	V-0	—	—
玻璃纤维含量(%)		—	—	—	20	30	—	—	—	20
成型收缩率(%)	D955	1.5~2.0	1.5~2.0	0.8	0.5	0.2~0.4	—	0.5	1.0	0.5
体积电阻率/Ω·cm	D257	3.2×10 ¹⁵	5.3×10 ¹⁵	2.1×10 ¹⁵	1.3×10 ¹⁵	1.3×10 ¹⁵	—	1.2×10 ⁵	1.5×10 ⁵	1.1×10 ⁵
表面电阻率/Ω	D257	5×10 ¹⁴	1.40×10 ¹⁵	1.2×10 ¹⁵	1.7×10 ¹⁵	1.7×10 ¹⁵	—	1.1×10 ⁸	1.4×10 ⁸	1.5×10 ⁸
介电常数	D150	2.88	2.70	2.80	3.10	2.90	—	—	—	—
介电损耗角正切值		0.029	0.028	0.030	0.030	0.030	—	—	—	—
密度/(g/cm ³)	D792	1.10	1.10	1.37	1.45	1.53	1.20	1.17	1.11	1.20
摩擦因数		—	—	—	—	—	0.1	—	—	—
介电强度/(kV/mm)	D149	22	25	25	25	25	—	—	—	—

(9) 南京化工集团研究院的尼龙 6 (表 2-14)

表 2-14 南京化工集团研究院尼龙 6 的性能

项 目		标 准	R-PA-1	R-PA-2
熔点/℃		DSC	215 ~ 225	215 ~ 225
拉伸屈服强度/MPa		GB1040	72	72
伸长率(%)		GB1040	55	55
弯曲强度/MPa		GB9341	100	95
弯曲弹性模量/MPa		GB9341	1600	1500
无缺口冲击强度/(kJ/m ²)		GB1043	NB	NB
缺口冲击强度/(kJ/m ²)		GB1043	28	35
布氏硬度		GB3398	110	100
特性与应用	R-PA-1	纯树脂,高强度、高抗冲击,宜制汽车、电器、纺织零件,还可用作增韧改性剂		
	R-PA-2	吹塑制薄膜,挤出中空成型,宜制高阻隔复合膜、液体包装膜、汽车燃料箱、改性燃料管		

(10) 南京立汉化学有限公司的 Ductel B 系列尼龙 6 (表 2-15)

表 2-15 南京立汉化学有限公司的 Ductel B 系列尼龙 6 的性能

项 目	测试标准	状态	通 用 级				增 强 级	
			B102F	B103S	B601TL	B801E	B705GL	B706GL
密度/(g/cm ³)	D792	干态	1.13	1.13	1.1	1.08	1.32	1.36
燃烧性能	UL94		V2	V2	HB	HB	HB	HB
碳纤维含量(%)							CF25	CF30
成型收缩率(纵向)(%)	D955		1.0	1.0	0.9	0.6	0.2	0.15
拉伸强度/MPa	D638	干态	80	80	65	50	170	180
		湿态	50	50	40	37	100	110
弯曲强度/MPa	D790	干态	110	110	—	—	210	240
		湿态	50	50	—	—	170	190
悬臂梁缺口冲击强度/(J/m)	D256	干态	45	45	130	>800	100	140
		湿态	160	160	NB	NB	>200	250
洛氏硬度(R)	D785	干态	119	119	—	—	120	120
		湿态	—	—	—	—	—	—
热变形温度(1.82MPa)/℃	D648		55 ~ 75	55 ~ 75	65	60	210	210
表面电阻率/Ω	D257	干态	1.00E + 13	1.00E + 13	1.00E + 13	1.00E + 13	1.00E + 12	1.00E + 12
		湿态	1.00E + 10	1.00E + 10	1.00E + 10	1.00E + 10	1.00E + 10	1.00E + 10
项 目	测试标准	状态	增 强 级				阻 燃 级	
			B707GL	B709GL	B260M	B253MG	B9706	B9260
密度/(g/cm ³)	D792	干态	1.41	1.48	1.36	1.48	1.52	1.45
燃烧性能	UL94		HB	HB	HB	HB	VO	VO
玻璃纤维 GF/矿物含量(%)			CF35	CF45	M30	GF15/M25	—	M30
成型收缩率(纵向)(%)	D955		0.13	0.1	0.8	0.4	0.1	0.75
拉伸强度/MPa	D638	干态	195	210	85	120	158	60
		湿态	130	145	55	85	—	55
弯曲强度/MPa	D790	干态	285	280	145	190	195	130
		湿态	200	210	80	110	—	50
悬臂梁缺口冲击强度/(J/m)	D256	干态	175	105	60	50	80	20
		湿态	280	300	140	130	—	25
洛氏硬度(R)	D785	干态	120	120	—	—	120	—
		湿态	—	—	—	—	—	—
热变形温度(1.82MPa)/℃	D648		215	215	120	200	190	150
表面电阻率/Ω	D257	干态	1.00E + 13	1.00E + 13	1.00E + 12	1.00E + 12	1.00E + 12	1.00E + 13
		湿态	1.00E + 1	1.00E + 10	1.00E + 10	1.00E + 10	1.00E + 10	1.00E + 10

(11) 湖南省岳阳石化总厂的尼龙 6 (表 2-16)

表 2-16 岳阳石化总厂尼龙 6 产品牌号及性能

项 目	检测标准	牌 号						
		YH500	YH600	YH700	YH800	YH900	YH3000	YH3400
密度/(g/cm ³)	GB 1033	1.156	1.156	1.156	1.157	1.157	1.157	1.157
相对粘度	GB/T 1632	2.55±0.03	2.65±0.03	2.75±0.03	2.85±0.03	2.90±0.03	3.0±0.03	3.4±0.03
单体含量(%)	色谱内标法	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
含水量(%)	GB 6509	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07
外观		纯白色透明颗粒、无机碱杂质、颗粒均匀						
力学性能								
拉伸强度/MPa	GB/1040	59.8	67.3	67.6	60.7	66.5	66.1	64.6
断裂伸长率(%)	GB/1040	80.0	189.5	151.7	48.1	153.4	151.8	231.3
弯曲强度/MPa	GB 9341	89.6	81.9	86.2	86.6	83.6	86.3	84.9
弯曲弹性模量/MPa	GB 9341	2124	1990	2104	2087	2026	2065	1992
硬度(R)	GB 9342	63.8	64.1	64.4	72.2	63.8	66.8	69.2
冲击强度/(kJ/m ²)	GB/T 1043	12.1	19.9	20.1	20.1	22.4	21.4	28.3
成型收缩率(%)		1.33	1.35	1.32	0.93	1.4	1.47	1.42
热性能								
熔点/°C		215~220	215~220	215~220	215~220	217~223	218~224	219~225
热变形温度(1.82MPa)/°C	GB 1634	73.5	74.0	73.5	71.0	74.1	75.0	75.0
电性能								
表面电阻/Ω	GB/T 1410	2.3×10 ¹¹	2.2×10 ¹¹	1.3×10 ¹¹	3.0×10 ¹¹	8.0×10 ¹¹	9.0×10 ¹¹	7.3×10 ¹¹
表面电阻率/Ω	GB/T 1410	2.0×10 ¹²	1.8×10 ¹³	1.0×10 ¹⁴	2.4×10 ¹³	5.7×10 ¹³	7.4×10 ¹³	6.0×10 ¹³
体积电阻/Ω	GB/T 1410	8.5×10 ¹³	1.9×10 ¹²	5.6×10 ¹³	2.7×10 ¹³	7.2×10 ¹³	2.8×10 ¹⁴	2.7×10 ¹³
体积电阻率Ω·cm	GB/T 1410	4.6×10 ¹⁵	9.6×10 ¹³	3.0×10 ¹⁵	1.5×10 ¹⁴	6.7×10 ¹⁵	1.5×10 ¹⁶	2.5×10 ¹⁵
介电损耗角正切值	GB 1404	4.5×10 ⁻²	1.8×10 ⁻²	4.9×10 ⁻²	5.0×10 ⁻²	4.3×10 ⁻²	4.2×10 ⁻²	4.0×10 ⁻²
相对介电常数	GB 1404	0.67	0.06	1.1	0.65	1.3	1.5	1.5
基本特征		流动性好,适合一般用途以及高玻璃纤维含量的增强改性产品	分子量大,适合增强纤维及合金等用途及增强纤维、改性纤维、纤维等	中粘度,适合一般注射成型,阻燃改性及纤维等	中粘度,适合一般注射成型,阻燃改性及纤维、单丝等	中粘度,适合一般注射成型、挤出成型、阻燃改性及纤维、单丝	高粘度,适合于工业用线及高丝、耐磨等制品	高粘度,适合于工业用丝、包装膜及高耐磨结构件等用途

(12) 黑龙江尼龙厂的尼龙（表 2-17、表 2-18）

表 2-17 黑龙江尼龙厂尼龙 6 的性能

项 目	0 型	I 型	II 型
密度/(g/cm ³)	1.13 ~ 1.15	1.13 ~ 1.15	1.13 ~ 1.15
熔点/℃	215 ~ 225	215 ~ 225	215 ~ 225
相对粘度	2.2 ~ 2.39	2.4 ~ 3.00	3.00
水分(%) ≤	3	3	3
拉伸强度/MPa ≥	58.8	63.7	68.6
断裂伸长率(%) ≥	30	30	30
静弯曲强度/MPa ≥	78.4(只弯不断)	88.2(只弯不断)	98
缺口冲击强度/(kJ/m ²) ≥	7.84	9.8	11.76
带黑点树脂含量(%) ≤	2	2	2
成型收缩率(%)	1.8 ~ 2.5	1.2 ~ 1.8	0.8 ~ 1.2

表 2-18 黑龙江尼龙厂改性尼龙 6 的性能

项 目	增强尼龙 6	韧性尼龙 6	韧性增强尼龙 6
密度/(g/cm ³)	1.34	1.09 ~ 1.10	1.36
拉伸强度/MPa	≥139	≥45	≥100
断裂伸长率(%)	—	30	—
弯曲强度/MPa	≥196	≥70	≥150
冲击强度(缺口)/(kJ/m ²) 常温	≥9.8	≥14	≥16
—40℃	—	≥7	≥9
体积电阻率/Ω·cm	≥10 ¹⁴	≥10 ¹⁴	≥10 ¹⁴
表面电阻率/Ω	≥10 ¹³	≥10 ¹³	≥10 ¹³
介电强度/(kV/mm)	—	≥16	≥18
热变形温度(1.8MPa)/℃	≥190	≥55	≥180
模后收缩率(%)	—	0.6 ~ 1.5	0.5 ~ 1.0
玻璃纤维含量(%)	30 ± 2		30 ± 2

(13) 辽宁鞍山龙马工程塑料公司的尼龙 6（表 2-19）

表 2-19 辽宁鞍山龙马工程塑料公司尼龙 6 的性能

项 目	ASTM	LM-A108	LM-A209
屈服拉伸强度/MPa	D638	170	70
断裂伸长率(%)	D638	3.5	2
Izod 缺口冲击强度/(J/m)	D256	115	37
弯曲弹性模量/MPa	D790	8300	6200
洛氏硬度(R)	D785	98	85
维卡软化点/℃	D1525	222	222
热变形温度(0.45MPa)/℃	D648	223	205
吸水性(%)	D570	1.05	1.0

(14) 江苏仪征工程塑料公司的高粘度尼龙 6（表 2-20）

相对粘度：3.2~4.5。

可用于制备高强度丝，还可用来注射、挤出和吹塑各种制品。

表 2-20 江苏仪征工程塑料公司的高粘度尼龙 6 的性能

项 目		湿态	干态	项 目		湿态	干态
拉伸强度/MPa	≥	70	75	弯曲弹性模量/GPa	≥	2.2	2.4
伸长率(%)	≥	55	50	冲中强度/(kJ·m ²) 无缺口	≥	377	375
弯曲强度/MPa	≥	95	100	缺口		3.2	8

(15) 江苏宜兴太湖尼龙厂的尼龙 6（表 2-21）

表 2-21 江苏宜兴太湖尼龙厂尼龙 6 的性能

项 目	I 型	Ⅱ 型	含 30% 玻璃纤维增强料
相对粘度	2.4~3.0	>3.0	—
熔点/℃	215~225	215~225	—
单体含量(%)	3	3	—
拉伸强度/MPa	60	65	140
弯曲强度/MPa	90	98	200
弯曲弹性模量 MPa	—	—	6000
Izod 缺口冲击强度/(kJ/m ²)	5	7	9
热变形温度(1.82MPa)/℃	—	—	190
布氏硬度	—	—	145

I、Ⅱ型料可用于制备轴套、齿轮、密封件等。增强料可用于制备汽车、机械用齿轮、滑板、仪表匣等。

(16) 台湾南亚工程塑胶公司的尼龙 6（表 2-22）

表 2-22 台湾南亚工程塑胶公司尼龙 6 的性能

牌 号	吸水性 (%)	成型收缩率 (%)	拉伸屈服强度 /MPa	弯曲弹性模量 /GPa	缺口冲击强度 (3.2mm)/(J/m)	热变形温度 (1.86MPa)/℃
2100	1.8	1.0~1.8	70	2.6	78	60
2110	1.9	1.0~1.8	77	2.7	78	60
2200M6	1.8	0.4~0.9	95	5.65	55	185
2210G4	1.2	0.3~0.8	120	4.5	110	198
2210G6	1.0	0.2~0.6	170	7.6	150	205
2210G9	0.8	0.1~0.4	180	8.5	185	212
2212G4	1.1	0.5~1.0	100	4.5	250	175
2310	1.4	1.0~1.5	60	2.8	50	60
2512F	1.4	0.4~1.4	45	0.83	120	52

(三) 国外尼龙 6 的性能

(1) 美国联合信号 (Allied Signal) 公司的 Capron 尼龙 (表 2-23) 和 Nypel 尼龙 6 (表 2-24)

表 2-23 美国联合信号公司 Capron 尼龙的性能

牌 号	密度 /(g/ cm ³)	拉伸 屈服 强度 /MPa	屈服 伸长 率 (%)	弯曲 弹性 模量 /GPa	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m)	热变 形温 度 /℃	燃烧性 (UL94)	特 性
8200	1.13	82	150	2.8	64	64	HB	中等流动,注射成型
8200BK102	1.13	82	60	2.8	48	64	—	黑色,中等流动,注射成型
8200HS	1.13	82	150	2.8	64	64	V-2	中等流动,注射成型
8200HS-BK102	1.13	82	60	2.9	48	70	—	黑色,中等流动
8202	1.13	78	70	2.8	53	64	V-2	低粘度,注射成型
8020BK102	1.13	78	50	2.8	43	60	—	黑色,注射成型
8202BK106	1.13	78	30	2.8	48	64	—	黑色,含炭黑 > 3%
8202C	1.13	91	15	3.2	43	73	V-2	成型周期快,注射成型
8202C-BK102	1.13	91	15	3.2	43	75	—	黑色,注射成型
8202CF	1.13	91	—	3.2	43	75	—	高结晶
8202C-HS	1.13	91	15	3.2	43	75	V-2	热稳定,注射成型
8202C-HS-BK102	1.13	87	15	3.15	43	71	—	黑色,热稳定性好,注射
8202F	1.13	78	—	2.8	53	64	—	低粘度,注射
8202HS	1.13	78	—	2.8	53	64	—	低粘度,注射
8202HS-BK102	1.13	87	15	3.15	43	71	—	黑色,低粘度,注射
8203C	1.13	82	200	3.4	53	75	HB	挤出,中等粘度
8203C-HS	1.13	82	200	3.4	53	75	—	低粘度,注射
8206	—	—	—	—	—	—	—	注射、挤出均可
8206S	—	—	—	—	—	—	—	注射
8207F	1.13	—	—	—	—	—	—	挤出制薄膜,食品级
8209F	1.13	—	—	—	—	—	—	吹塑制薄膜,食品级
8216HSBK102	1.13	52	250	1.24	91	60	—	挤出,黑色,高伸长率
8220HS	1.13	82	120	2.8	64	55	—	制金属丝包覆、电缆护套
8220HS-B103	1.13	82	80	2.8	53	62	—	黑色,挤出成型
8222	—	—	—	—	—	—	—	热稳定,挤出成型
8230	—	—	—	—	—	—	—	注射,含 6% 玻璃纤维,热稳定性好
8230GHS	1.16	82	—	3.7	32	149	—	注射,含 6% 玻璃纤维,热稳定性好
8230GHSBK102	1.17	82	5.0	4.0	32	149	—	注射,含 6% 玻璃纤维,黑色

(续)

牌 号	密度 /(g/ cm ³)	拉伸 屈服 强度 /MPa	屈服 伸长 率 (%)	弯曲 弹性 模量 /GPa	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m)	热变 形温 度 /℃	燃烧性 (UL94)	特 性
8231GHS	1.22	124	—	5.5	56	199	HB	注射,含 14% 玻璃纤维,热稳定
8231GHSBK102	1.22	124	—	5.5	48	199	—	注射,含 14% 玻璃纤维,黑色
8232GHS-FR	1.62	157	—	9.1	107	193	V-0	注射,含 25% 玻璃纤维,阻燃
8233G	1.38	200	—	9.4	117	210	HB	注射,含 33% 玻璃纤维,尺寸稳定
8233GHS	1.38	200	—	9.4	117	210	HB	注射,含 33% 玻璃纤维,热稳定性好
8233GHSBK102	1.38	186	3	9.4	96	210	—	注射,含 33% 玻璃纤维,黑色
8233GHSBK106	1.38	162	2	9.35	80	210	—	注射,含 33% 玻璃纤维,黑色,热稳定性好
8233GHSBK125	1.38	186	—	9.4	133	210	—	注射,含 33% 玻璃纤维,高抗冲击
8234GHS	1.49	221	—	11.9	149	210	HB	注射,含 44% 玻璃纤维,耐高温
8234GHSBK102	1.49	207	—	11.9	128	210	—	注射,含 44% 玻璃纤维,黑色耐高温
8234GHSBK106	1.49	193	—	11.9	128	210	—	注射,含 44% 玻璃纤维,尺寸稳定
8235GHSBK102	1.56	221	—	13.8	123	210	—	注射,含 50% 玻璃纤维,耐高温
8252HS	—	—	—	—	—	—	—	改性,热稳定,挤出成型
8253	1.09	66	150	2.2	133	60	HB	注射,挤出均可,高抗冲击
8253GHSBK102	1.22	124	—	5.5	48	199	—	注射,含 14% 玻璃纤维
8253HS	1.09	66	150	2.2	133	60	HB	注射,挤出均可,热稳定性好
8253HSBK102	1.09	66	130	2.2	133	60	—	注射,高抗冲击
8254HS	1.08	36	—	7.6	320	54	—	挤出制薄膜,热稳定性好
8255	1.08	34	—	8.1	320	43	HB	注射,柔韧
8255HS	1.08	34	230	8.1	320	43	HB	注射,高抗冲击
8259	1.09	59	—	2.1	160	60	HB	注射
8260	1.49	91	—	5.5	43	120	—	注射,含 40% 矿物,填料
8260-BK104	1.49	91	—	5.5	37	120	—	含 40% 矿物,尺寸稳定性好,注射
8260HS	1.50	91	—	5.5	43	120	HB	注射,含 40% 矿物,填料
8260HSBK102	1.49	91	10	5.5	43	120	—	注射,含 40% 矿物,热稳定性好
8266GHS	1.48	131	—	9.1	43	206	HB	注射,低翘曲
8266GHSBK102	1.48	131	2.0	9.1	43	206	—	注射,低翘曲
8267GHS	1.48	138	—	7.65	48	202	HB	注射,热稳定性好
8267GHSBK102	1.48	138	—	7.65	48	202	—	注射,低翘曲
8267GHSBK106	1.48	131	—	7.65	48	202	—	注射,抗紫外线

(续)

牌 号	密度 /(g/cm ³)	拉伸 屈服 强度 /MPa	屈服 伸长 率 (%)	弯曲 弹性 模量 /GPa	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m)	热变 形温 度 /℃	燃烧性 (UL94)	特 性
8270HS	1.13	81	5	2.75	69	63	—	挤出制膜,热稳定性好
8350	1.07	55	260	11.8	无断裂	60	—	挤出,高抗冲击
8350HS	1.07	55	260	1.8	无断裂	60	—	挤出,高抗冲击
8350HSBK102	1.08	55	—	1.8	800	60	—	挤出制膜,热稳定性好
8351	1.07	55	—	1.66	无断裂	60	—	注射,高抗冲击
8351HS	1.07	55	—	1.66	无断裂	60	—	注射,耐化学品好
8351HSBK102	1.07	55	—	1.66	无断裂	60	—	注射,黑色
8351HSBK106	1.07	55	—	1.66	无断裂	60	—	注射,高抗冲击
8360HS	1.43	91	—	5.05	43	90	HB	注射,含 34% 矿物,低翘曲
8360HSBK102	1.40	91	—	5.05	43	90	—	注射,含 34% 矿物,黑色
XPN1509	1.13	52	—	1.24	91	60	—	挤出制单丝

表 2-24 美国联合信号公司 Nypel 尼龙 6 的性能

牌 号	密度 /(g/cm ³)	拉伸 屈服 强度 /MPa	屈服 伸长 率 (%)	弯曲 弹性 模量 /GPa	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m)	热变 形温 度 /℃	燃烧性 (UL94)	特 性
2314	1.13	78	30	2.8	48	60	HB	高流动,注射
2314FCAT	1.13	82	12	3.2	43	75	HB	注射,成型周期短
2314HS	1.13	78	3	2.8	48	60	HB	注射,流动性好
2314HSBK	1.13	78	30	2.8	43	64	HB	注射,黑色
2314HSFCAT	1.13	82	10	3.2	43	70	HB	注射,成型周期短
2314HSFCATBK	1.13	82	—	3.2	42	75	—	注射,流动性好
2360	1.49	91	—	5.5	43	120	—	注射,含 40% 矿物,耐高温
2365G	1.43	117	—	8.2	48	201	—	注射,含玻璃纤维,低翘曲
2365GHS	1.43	117	—	8.2	43	201	HB	注射,含玻璃纤维,低翘曲
2365HSBK	1.43	117	—	8.2	43	201	HB	注射,黑色
6033G	—	—	—	—	—	—	—	注射,含 33% 玻璃纤维
6033GBK	1.38	164	—	9.4	64	204	HB	注射,含 33% 玻璃纤维,力学性能好
6033GHS	1.38	164	—	9.4	69	204	HB	注射,含 33% 玻璃纤维,高刚性
6033GHS-BK	1.38	164	—	9.4	69	204	—	注射,含 33% 玻璃纤维,热稳定

(2) 美国杜邦公司的 Zytel 尼龙 6 (表 2-25)

表 2-25 美国杜邦公司 Zytel 尼龙 6 的性能

牌 号	密度 /(g/ cm ³)	拉伸 屈服 强度 /MPa	屈服 伸长 率 (%)	弯曲 弹性 模量 /GPa	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m)	热变形温度/℃		燃烧性 (UL94)	特 性
						0.44MPa	1.82MPa		
42HSBNC10	1.14	85	250	2.8	59	235	93	V-2	注射,伸长率好,热稳定
BexloyF	1.38	94	—	5.4	53	202	—	—	注射,改性物,刚性好
Zytel211	1.13	51	20	1.03	80	171	54	HB	注射或挤出,柔韧好
Zytel301HS	1.08	55	35	20.0	133	179	39	—	挤出,抗冲击
ZytelFR10	1.24	69	—	3.0	37	216	100	V-0	注射,阻燃
ZytelFR11	1.35	59	20	3.1	37	—	127	V-0	注射,阻燃,热稳定
ZytelST811HS	1.04	48	>500	0.5	无断裂	171	52	HB	注射、挤出、非增强,抗冲击、耐候

(3) 日本三菱化成 (Mitsubishi Chemical) 公司的 Novamid 尼龙 6 (表 2-26)

表 2-26 日本三菱化成公司 Novamid 尼龙 6 的性能

牌 号	密度 /(g/ cm ³)	拉伸 强度 /MPa	伸长 率 (%)	弯曲 强度 /MPa	弯曲 弹性 模量 /GPa	Izod 冲击 强度 /(J/m)	洛氏 硬度	热变形温度/℃		成型收缩 率 (%)	燃烧性 (UL94)
								0.46MPa	1.86MPa		
1007C	1.13	80	80	105	2.9	45	R121	160	68	1~1.5	V-2
1010	1.13	78	130	105	2.7	50	R120	150	61	1~1.5	V-2
1010C	1.13	80	90	105	2.9	45	R121	165	68	1~1.5	V-2
1010C2	1.13	80	110	105	2.7	50	R121	160	65	1~1.5	V-2
1010CH	1.13	80	110	105	2.7	50	R121	160	65	1~1.5	V-2
1010F	1.50	97	7	160	6.5	40	R120	190	140	0.7~0.9	V-2
1010G	1.36	150	4	210	8.0	90	R121	>200	200	0.2~0.8	HB
1010GH	1.36	150	4	210	8.0	90	R121	>200	200	0.2~0.8	HB
1010GN	1.66	140	5	190	9.4	70	R121	—	211	0.3~0.9	V-0
1010GN20	1.53	120	5	160	8.1	50	R121	—	209	0.2~0.8	V-0
1010N	1.13	85	20	120	3.1	40	R120	—	70	1~1.5	V-0
1010N2	1.16	81	20	115	3.2	40	R120	—	75	1~1.5	V-0
1012C2	1.13	83	140	108	2.7	45	R121	156	64	1~1.5	V-2
1013C3	1.14	83	140	106	2.6	45	R121	156	64	1~1.5	V-2
1015C30	1.36	165	4	220	8.0	140	R121		220	0.2~0.8	HB
1015C45	1.48	220	5	300	11.3	180	R121		220	0.2~0.8	HB
1018F2	1.42	85	8	130	7.0	80	R120	195	165	0.4~0.7	—
1020	1.13	76	200	100	2.6	60	—	—	57	0.8~1.4	HB
1030	1.13	76	200	100	2.6	60	—	—	57	0.8~1.4	HB
2010	1.13	70	220	90	2.3	65	—	—	50	0.7~1.3	V-2
2010N	1.16	77	20	100	2.7	50	—	—	65	1~1.5	V-0
ST120	1.08	51	200	67	1.7	700	R110	110	58	1.5~2.0	HR
ST145	1.01	27	200	30	0.83	900	—	—	—	—	—
ST220	1.08	51	200	64	1.65	1050	R110	110	58	1.5~2.0	HB

(4) 日本东丽 (Toray) 工业公司的 Amilon 尼龙 6 (表 2-27)

表 2-27 日本东丽工业公司 Amilon 尼龙 6 的性能

项 目	测试方法 (ASTM)	测试条件	CM1001 CM1007		CM1017		CM1021 CM1021L CM1021M CM1021TM CM1021LO CM1021F CM1026				CM1041 CM1041LO		CM2001 CM2006	
			2.35	—	2.65	—	3.40	—	4.3	—	4.3	—	2.70	—
密度/(g/cm ³)	—	98% H ₂ SO ₄	2.35	—	2.65	—	3.40	—	4.3	—	4.3	—	2.70	—
吸水性(%)	D570-57T	20°C	1.13	—	1.41	—	1.13	—	1.13	—	1.13	—	1.03	—
伸长率(%)	D638-56T	23°C	1.8	—	1.80	—	1.9	—	2.0	—	2.0	—	0.3	—
拉伸强度/MPa	D638-56T	23°C	750	540	800	400	750	520	750	520	750	520	600	470
拉伸弹性模量/GPa	D638-56T	23°C	100	25	6	5	20	25	25	30	25	30	10	22
弯曲弹性模量/GPa	D790-49T	23°C	28	8.5	30	10	27	8.3	28	8.5	28	8.5	23	12
冲击强度/(J/m)	D256-56	23°C	26	5.8	27	6.5	24	5.6	25	5.3	25	5.3	20	10
热变形温度/°C	D648-56	18.2MPa	5	40	4.5	50	6	50	6.5	50	6.5	50	5	10
洛氏硬度(R)	D785-51	23°C	65	—	67	—	63	—	64	—	64	—	66	—
线胀系数/(×10 ⁻⁴ K ⁻¹)	D696-44	—	119	85	119	88	119	85	120	85	120	85	116	90
Taber 磨耗量/g	—	—	0.8	—	0.9	—	0.8	—	0.8	—	0.8	—	1.2	—
介电常数	D150-54T	23°C, 10 ³ Hz	6	—	6	—	6	—	6	—	6	—	4	—
	—	23°C, 10 ⁶ Hz	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.6	—
介电强度/(kV/mm)	D149-55T	—	31	—	31	—	31	—	31	—	31	—	28.5	—
体积电阻率/(×10 ¹⁴ Ω·cm)	D257-57T	—	7	—	7	—	7	—	7	—	7	—	4	—
燃烧等级 (UL94)	—	—	—	—	94V-2	94V-2	CM1021 CM1026	94V-2 94HB	—	—	—	—	—	—

(续)

项 目	测试方法 (ASTM)	测试条件	CM2402		CM3001N CM3006		CM4000		CM4001	
密度/(g/cm ³)	—	98% H ₂ SO ₄	2.74	—	2.95	—	2.65	—	2.70	—
吸水性(%)	D570-57T	20°C	1.08	—	1.14	—	1.13	—	1.13	—
伸长率(%)	D638-56T	23°C	0.7	—	1.2	—	3.5	—	3.5	—
拉伸强度/MPa	D638-56T	23°C	550	400	800	530	450	300	450	300
拉伸弹性模量/GPa	D638-56T	23°C	27	35	10	20	30	35	30	35
弯曲弹性模量/GPa	D790-49T	23°C	18	9	31	13	15	7	15	7
冲击强度/(J/m)	D256-56	23°C	15	7	28	12	15	7	15	7
热变形温度/°C	D648-56	18.2MPa	4.5	10	5	15	5	10	5	10
洛氏硬度(R)	D785-51	23°C	58	—	77	—	38	—	38	—
线胀系数/(×10 ⁻⁴ K ⁻¹)	D696-44	—	115	90	120	100	78	60	83	60
Taber 磨耗量/g	—	—	1.1	—	1.0	—	1.2	—	1.2	—
介电常数	D150-54T	23°C, 10 ³ Hz	4	—	8	—	—	—	—	—
	—	23°C, 10 ⁶ Hz	3.4	—	3.9	—	—	—	—	—
介电强度/(kV/mm)	D149-55T	—	23	—	35	—	—	—	—	—
体积电阻率/(×10 ¹⁴ Ω·cm)	D257-57T	—	1	—	14	—	—	—	—	—
燃烧等级(UL94)	—	—	—	—	94V-2	—	—	—	—	—

(续)

项 目	测试方法 (ASTM)	测试条件	CM6001		CM6021、 CM6021M		CM6041		CM6014VO		CM1001G15	
密度/(g/cm ³)	—	98% H ₂ SO ₄	3.2	—	3.4	—	4.2	—	2.35	—	2.35	—
吸水性(%)	D570-57T	20°C	1.14	—	1.13	—	1.14	—	1.19	—	1.25	—
伸长率(%)	D638-56T	23°C	2.0	—	1.9	—	2.0	—	2.0	—	1.0	—
拉伸强度/MPa	D638-56T	23°C	700	500	750	510	700	500	610	410	1050	550
拉伸弹性模量/GPa	D638-56T	23°C	32	40	25	28	32	40	8	4	0.5	1
弯曲弹性模量/GPa	D790-49T	23°C	24	12	28	9	36	13	28	11	55	30
冲击强度/(J/m)	D256-56	23°C	22	11	24	7	24	12	34	13	50	30
热变形温度/°C	D648-56	18.2MPa	7	10	6	750	7	10	4	15	5	12
洛氏硬度(R)	D785-51	23°C	56	—	60	—	59	—	77	—	175	—
线胀系数/(×10 ⁻⁴ K ⁻¹)	D696-44	—	118	85	19	85	40	90	118	85	119	100
Taber 磨耗量/g	—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
介电常数	D150-54T	23°C, 10 ³ Hz	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	23°C, 10 ⁶ Hz	—	—	—	—	—	—	5.0	—	3.3	—
介电强度/(kV/mm)	D149-55T	—	—	—	—	—	—	—	—	—	23	—
体积电阻率/(×10 ¹⁴ Ω·cm)	D257-57T	—	—	—	—	—	—	—	10	—	2	—
燃烧等级(Ul94)	—	—	—	—	—	—	—	—	94V-0	—	94HB	—

(续)

项 目	测试方法 (ASTM)	测试条件	CM1011G30		CM1011G45		CM3001G30		CM1001R	
			2.85	—	2.85	—	2.90	—	2.35	—
密度/(g/cm ³)	—	98% H ₂ SO ₄	2.85	—	2.85	—	2.90	—	2.35	—
吸水性(%)	D570-57T	20°C	1.36	—	1.48	—	1.37	—	1.50	—
伸长率(%)	D638-56T	23°C	1.1	—	0.8	—	0.6	—	0.90	—
拉伸强度/MPa	D638-56T	23°C	16000	1000	2000	1300	1800	1100	900	600
拉伸弹性模量/GPa	D638-56T	23°C	0.5	0.7	0.5	0.7	0.5	0.6	0.4	0.6
弯曲弹性模量/GPa	D790-49T	23°C	85	45	122	45	98	50	53	30
冲击强度/(J/m)	D256-56	23°C	80	40	120	70	85	42	60	35
热变形温度/°C	D648-56	18.2MPa	11	15	15	20	8	10	4	8
洛氏硬度(R)	D785-51	23°C	230	—	205	—	245	—	150	—
线胀系数/(×10 ⁻⁴ K ⁻¹)	D696-44	—	120	112	121	113	121	115	120	115
Taber 磨耗量/g	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
介电常数	D150-54T	23°C, 10 ³ Hz	—	—	—	—	—	—	—	—
介电强度/(kV/mm)	D149-55T	—	20	—	20	—	20	—	22	—
体积电阻率/(×10 ¹⁴ Ω·cm)	D257-57T	—	9	—	11	—	12	—	10	—
燃烧等级(UL94)	—	—	94HB	—	94HB	—	—	—	94HB	—

(续)

项 目	ISO	BSW	B3EG3	B3EG5	B3EG6	B3WC5	B3WC6	B3WC7	B3WC10	B3ZC3
密度/(g/cm ³)	1183	1.13	1.23	1.32	1.36	1.32	1.36	1.41	1.55	1.22
吸水性(23℃,水中)(%)		9~10	7.7~8.3	6.8~7.4	6.3~6.9	6.8~7.4	6.3~6.9	5.9~6.5	4.5~5.1	7.2~7.8
熔体流动速率/(g/10min)	1133	8	75	60	50	60	60	45	25	30
成型收缩率(%)		0.60	0.5~1.2	0.35~0.8	0.3~0.75	0.35~0.80	0.3~0.75	0.25~0.75	0.2~0.7	0.4~0.85
燃烧性(U194,厚3.2mm)		—	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB
拉伸强度(干/湿)/MPa	527	90/45	130/70	160/105	185/115	160/105	185/115	190/130	235/160	105/60
屈服伸长率(干/湿)(%)	527	4.5/20	3.5/15	3.5/8.5	3.5/8.0	3.5/8.5	3.5/8.0	3.5/7.0	3/5.5	10/25
弯曲弹性模量(干/湿)/MPa	178	—	5200/2500	7400/4200	8600/5000	7400/4200	8600/5000	10000/6300	15000/9000	4500/2300
弯曲强度(干/湿)/MPa	178	—	180/100	220/150	270/190	220/150	270/190	280/220	320/240	150/80
Izod 缺口冲击强度/(kJ/m ²)	180-1A	7.5~10/NB	6.0	12/17	15.5/20	12/17	15.5/20	19/27	20/24	17/31
布氏硬度(干/湿)	2039-1	150/70	180/95	210/140	220/150	210/140	220/150	230/160	280/210	150
热变形温度/℃										
1.82MPa	75	65/	190	210	210	210	210	215	215	160
0.45MPa	75	>160	215	220	220	220	220	220	220	200
线胀系数(垂直/水平)(×10 ⁻⁵ K ⁻¹)		7~10/—	2~2.5/ 6~7	1.5~2.5/ 6~7	2~2.5/ 6~7	2~2.5/ 6~7	2~2.5/ 6~7	1.5~2/ 6~7	1~1.5/ 5~6	3~3.5/ 7~8
介电常数(1MHz,干/湿)	250	3.5/7.0	3.8/7.0	3.9/6.2	3.8/6.8	3.8/7.0	3.8/6.8	3.9/6.2	4.2/6.1	3.7/6.2
介电损耗角正切值(1MHz,干/湿)	250	0.023/0.30	0.025/0.24	0.021/0.19	0.023/0.22	0.025/0.24	0.023/0.22	0.021/0.19	0.014/0.14	0.025/0.20
体积电阻率(干/湿)/Ω·cm	93	10 ¹⁵ /10 ¹²	10 ¹⁵ /10 ¹²	10 ¹⁵ /10 ¹²	10 ¹⁵ /10 ¹²	10 ¹⁵ /10 ¹²	10 ¹⁵ /10 ¹²	10 ¹⁵ /10 ¹²	10 ¹⁵ /10 ¹²	10 ¹⁵ /10 ¹²
介电强度(干/湿)/(kV/mm)	243/1	100/40	80/70	80/30	80/70	80/30	80/30	80/30	90/40	80/70

(续)

项 目	ISO	B3ZG6	B3ZG8	B3WM602	B3CM35	B3CK24	B3UM6	KR4450	KR4455	KR4460	KR4480
密度/(g/cm ³)	1183	1.33	1.43	1.36	1.48	1.34	1.51	1.50	1.17	1.31	1.39
吸水性(23℃水中)(%)		5.9~6.5	4.7~5.3	5.7~6.3	6.3~6.9	—	6.3~6.9	5.3~6.1	4.1~4.7	—	—
熔体流动速率/(g/10min)	1133	25	15	80	35	60	60	40	30	120	70
成型收缩率(%)		0.35~0.8	0.25~0.75	0.5	0.3~0.4	0.4~0.9	0.7	0.6~0.9	0.4~0.7	0.6~0.9	0.6
燃烧性(U194,厚3.2mm)		HB	HB	HB	HB	HB	V-0	V-2	V-0	V-2	V-2
拉伸强度(干/湿)/MPa	527	150/100	165/115	72/45	120/65	110/65	50/30	105/70	110/80	95/60	90/50
屈服伸长率(干/湿)(%)	527	5/8	4/7	2.6/2.0	3/12	3.5/15	3/8	2.5~4.5	1.8~2.5	3.5/5.0	2.5/6.0
弯曲弹性模量(干/湿)/MPa	178	7900/4000	—	—	—	—	5200/	7500/	10000/	—	—
弯曲强度(干/湿)/MPa	178	200/130	270/200	120/60	190/110	175/100	130/150	160/100	165/115	—	—
Izod 缺口冲击强度(kJ/m ²)	180-1A	22/32	22/	4.5/8.5	8.0/	5.0/8.5	2/2.5	3.5/4.5	2.5/4.5	—	—
布氏硬度(干/湿)	2039-1	180/110	190/110	170/80	210/150	170/120	180/80	240/	270/	—	—
热变形温度/℃											
1.82MPa	75	210	210	150	200	200	100	180	195	170	170
0.45MPa	75	220	220	200	215	215	200	215	215	210	210
线胀系数(垂直/水平)($\times 10^{-5} \text{K}^{-1}$)		2~2.5/ 6~7	1~2/ 5~6	4~6.5/ 3.5~4.5	3.5~4.0/ 3.5~4.0/	3.5~4.0/ 3.5~4.0/	4~8/4~8	3.6/6.0	4~6/ 4~5		
介电常数(1MHz,干/湿)	250	3.8/6.8	4.0/5.3	3.5/6.2	3.9/6.2	3.9/4.6	3.6/6.0	4.5/5.0			
介电损耗角正切值(1MHz,干/湿)	250	0.02/0.20	0.019/0.13	0.02/0.20	0.02/0.20	0.02/0.07	0.02/0.30		—		
体积电阻率(干/湿)/ $\Omega \cdot \text{cm}$	93	$10^{15}/10^{12}$	$10^{15}/10^{12}$	$10^{15}/10^{12}$	$10^{15}/10^{12}$	$10^{15}/10^{12}$	$10^{15}/10^{12}$	$10^{15}/10^{12}$	$10^{15}/10^{12}$		
介电强度(干/湿)/(kV/mm)	243/1	80/70	80/70	105/80	60/40	135/53	95/70	35/35	35/35		
相比漏电起痕指数(CTI,干)/V	112A	550	550	550	400	425	375	600	600	600	550

(6) 英国帝国化学公司 (ICI) 的尼龙 6 (表 2-29)

表 2-29 英国帝国化学公司尼龙 6 的性能

牌 号	密度 /(g/cm ³)	拉伸屈 服强度 /MPa	屈服伸 长率 (%)	弯曲弹 性模量 /GPa	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m)	热变形温度 /°C	特 性
EMI-X PC100-8	1.34	—	—	28.0	1.8	219 ~221	含 8% 碳纤维,用于电磁干扰屏蔽
EMI-X PC100-10	1.39	—	—	33.0	1.8	219 ~221	含 10% 碳纤维,用于电磁干扰屏蔽
Lubricomp PFI4036	1.49	—	—	12	1.9	210	含 18% PTFE, 润滑好
Lubricomp PFI4040	1.26	59	—	3	—	57	含 20% PTFE, 润滑好
Lubricomp PFI4128	1.52	173	3	15	—	219 ~221	含 40% 玻璃纤维和 MoS ₄ 润滑
Lubricomp PFI4536	1.47	—	—	11	1.8	210	含 PTFE, 润滑好
Lubricomp PL4010	1.17	—	—	3.9	0.9	60	润滑好
Lubricomp PL4030	1.23	—	—	2.9	0.8	60	润滑好
Lubricomp PL4216	1.43	127	4	11	—	216 ~219	含 35% 玻璃纤维和 MoS ₄ , 润滑好
Lubricomp PL4310	1.16	82	—	5	0.7	77	含 5% 矿物质, 润滑好
Lubricomp PL4510	1.12	72	—	4.0	1.1	130	润滑好
Lubricomp PL4530	1.21	—	—	3.5	—	145	润滑好
Lubricomp PL4540	1.25	62	—	3.3	0.9	135	含 2% 硅, 润滑好
Magnacomp PL	3.20	—	—	12.5	0.6	110	—
Magnacomp PM	3.45	—	—	13.0	0.6	110	—
Nykon P	1.19	86	10	4.5	—	82 ~179	含 20% MoS ₂ , 润滑好, 阻燃 HB 级
PA1002	1.17	78	—	5.1	—	194	含 10% 芳纶酰胺纤维, 耐磨
PA1004	1.20	103	—	6.5	—	210	含 20% 芳纶酰胺纤维, 耐磨
PF1004	1.28	—	—	8.5	1.4	210 ~216	含碳纤维, 耐高温
PF1004HI	1.27	—	—	8.0	2.5	213	含玻璃纤维
PF1006	1.37	—	—	12.0	2.3	216 ~219	含玻璃纤维

(续)

牌 号	密度 /(g/cm ³)	拉伸屈 服强度 /MPa	屈服伸 长率 (%)	弯曲弹 性模量 /GPa	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m)	热变形温度 /°C	特 性
PF1006FR	1.58	—	—	13.5	1.5	207	含玻璃纤维,阻燃
PF1006HI	1.37	—	—	10.0	3.2	213	含玻璃纤维,阻燃 HB 级
PF1006MG	1.36	—	—	6.4	43	196	含玻璃纤维
PF100-8	1.46	—	—	10.3	160	216~219	含玻璃纤维
PF100-10	1.57	—	—	7.8	160	216~219	含玻璃纤维
PF100-12	1.70	—	—	19.3	213	216~219	含玻璃纤维
PC1004	1.23	—	—	10.3	69	213	含芳纶酰胺纤维
PC1006	1.28	—	—	15.8	91	216	含碳纤维
PDX58384	1.35	158	>3	0.82	—	221	含 >10% 玻璃纤维,耐化学药品
PF1002	1.21	93	4	—	—	190~210	含 10% 玻璃纤维,刚性好
PF1002HI	1.19	91	7	6	—	204	含 10% 玻璃纤维,抗冲击
RC100-10	—	280	—	26	—	—	含 50% 碳纤维,力学性能好
RC100-10HM	—	290	—	38	—	—	含 50% 碳纤维,力学性能好
RFL4012	1.24	93	—	1.45	—	251	含 15% 玻璃纤维和 PTFE,润滑好、耐高温
RFL4636	1.47	145	4	82	96	254	含 30% 玻璃纤维和 PTFE,润滑好、耐高温
Stat-KonPC1002	1.18	—	—	6.6	48	210~213	含碳纤维,抗静电
Stat-KonPC1006	1.28	—	—	16.6	96	219~221	含碳纤维,抗静电
Thermocomp P1000	1.14	81	40	2.8	53	140	—
Thermocomp V1000	1.06	52	—	1.73	107	135	—
Vertron PF700-10	1.57	230	—	14.5	400	216	含 50% 玻璃纤维,力学性能好
Vertron PF700-10HI	1.55	—	—	13.8	373	219	含 50% 玻璃纤维,中等抗冲击
VFM-3335	1.42	110	>3	6.9	62	249	含 40% 玻璃纤维和云母,刚性、耐高温

(7) 荷兰阿克苏 (Akzo) 工程塑料公司的 Nylafil 尼龙 6 (表 2-30)

表 2-30 荷兰阿克苏工程塑料公司 Nylafil 尼龙 6 的性能

牌 号	密度 /(g/cm ³)	拉伸屈服强度 /MPa	屈服伸长率 (%)	弯曲弹性模量 /GPa	热变形温度 /°C	特 性
G3/10/CF/20	1.32	230	1.5	18.6	219~224	含 10% 玻璃纤维和 20% 碳纤维, 高强度, 耐磨
G3/30	1.40	179	2.0	8.2	216~219	含 30% 玻璃纤维, 高强度
G3/30MS/5	1.44	138	—	—	216~219	含 30% 玻璃纤维和 5% MoS ₂ , 润滑好
G3/40	1.47	210	2	10.3	219~221	含 40% 玻璃纤维, 高强度
G3/40MS/5	1.49	207	—	10.3	216~221	含 30% 玻璃纤维和 5% MoS ₂ , 润滑好
G8/40	1.40	138	2.5	8.2	254	含 40% 玻璃纤维, 高强度
J3/CF/30	1.28	207	3.3	17.3	213~219	含 30% 碳纤维, 耐磨
J3/CF/40	1.33	221	2.8	20.7	213~219	含 40% 碳纤维, 耐磨
J3/CP/50	1.38	230	1.5	24.0	213~219	含 50% 碳纤维, 耐磨
J3/CP/50	1.40	138	1.2	15.8	204~219	含 50% 碳纤维, 耐磨、抗拉伸
J3/15/MF/25	1.48	113	4.0	9.1	203	含 15% 玻璃纤维, 25% 填料
J3/20	1.30	145	—	6.9	207~213	含 20% 玻璃纤维
J3/30	1.40	169	2	9.2	210~216	含 30% 玻璃纤维, 拉伸强度高
J3/30/V-0	1.66	138	3	10.3	199	含 30% 玻璃纤维, 阻燃 V-0 级
J3/40	1.50	200	2.8	12.3	213~219	含 40% 玻璃纤维, 力学性能好
J7/13	1.19	82	5	3.8	199~219	含 13% 玻璃纤维, 抗拉伸
J7/33	1.33	88	4	7.6	204~221	含 33% 玻璃纤维, 抗拉伸
J7/43	1.43	145	4	9.9	208~221	含 43% 玻璃纤维, 抗拉伸
J8/CF/15	1.16	145	3.5	9.1	246~260	含 15% 碳纤维, 耐磨
J8/15/CF/10	1.25	152	4.0	11.0	246~260	含 15% 玻璃纤维和 10% 碳纤维、抗拉、耐磨好
NY3/EC	1.16	48	2	2.7	84	含 10% 炭黑, 导电, 耐温低

三、尼龙 66

(一) 尼龙 66 简介

1. 基本特性

尼龙 66 化学名称聚己二酰己二胺, 英文名称 Polyhexamethyleneadi-pamide (Nylon 66, PA66), 结构式: $[\text{NH}(\text{CH}_2)_6\text{NHCO}(\text{CH}_2)_4\text{CO}]_n$, 是由己二酸和己二胺所生成的尼龙 66 盐在 280℃ 缩聚而得的一种脂肪族聚酰胺。熔点 260 ~ 265℃, 玻璃化转变温度(干态) 为 50℃。密度 1.13 ~ 1.16g/cm³。

PA66 为半透明或不透明的乳白色、结晶形、热塑性树脂, 是分子结构内含 6 个对称亚甲基的均匀线型高分子化合物。主链为极强的酰氨基, 氢键可增加分子间力, 端基为高反应性的氨基和羧基。相对密度 1.14, 熔点 255℃, 热分解温度大于 370℃, 连续使用温度 105℃。

PA66 较一般热塑性树脂具有更高的使用温度, 具有较高的韧性、刚性和优良的耐磨性、自润滑性, 耐油和耐化学性好, 有自熄性, 加工流动性好, 力学性能较高, 刚性和抗冲击性好。使用温度范围广, 耐热性优良, 耐寒性好, 体积电阻率 $10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$, 介电常数 3.6MHz, 介电损耗 0.03MHz, 热变形温度 235℃; 能耐稀无机酸、碱及醇、酮、芳烃等溶剂, 特别是耐油性突出, 但吸水性较大, 制品尺寸稳定性较差。

未改性的尼龙 66 因为其高强度、硬度、刚度、抗蠕变性和抗热降解性、耐摩擦而著称, 添加 10% ~ 20% 的橡胶状聚合物改性的尼龙 66 的抗冲击性能得到改善, 但是强度和刚度有所降低。添加矿物质特别是玻璃纤维改性可以增强其硬度、强度、抗蠕变性和耐疲劳性。

PA66 的拉伸屈服强度随温度降低和吸水率增加而降低, 此外还受到结晶度、应变速度和球晶大小的影响。随着应变速度增加, 拉伸屈服强度加大, 断裂伸长率变小。

PA66 的弯曲弹性模量随温度升高而明显降低, 随吸水率增加而降低, 随着应变速度大, 弹性模量也会增加。

尼龙 66 是一种具有较高熔点的半结晶性高分子材料, 只要未达到熔化温度, 就保持有足够的刚性。玻璃纤维增强改性有效地增加了高温下的刚性, 同时降低其热胀系数。正是基于这些原因, 尼龙 66 才在高温环境中被广泛使用。

尼龙 66 制件在热环境中的最终性能与尼龙 66 本身品级、制件的几何形状、热源的本性、暴露时间的长短、载荷状况等有关, 因此不能简单地根据标准化比较测试来估计热变形。例如炮筒活塞环就暴露在 1000℃ 以上的着火温度中, 但因其暴露时间短而不发生热变形。由于未增强的尼龙 66 可以经受短时间的过载冲击或电弧引起的温度峰值, 因而广泛用于电力用连接器件和继电器中。

尼龙 66 对润滑剂、机油、液压油、冷却剂、制冷剂、涂料溶剂、清洁剂、洗涤剂、脂肪族和芳香族溶剂及其他一些溶剂即使在高温下也具有较好的耐受性, 同样对许多水溶液和盐溶液也具有较好的耐受性。在某些化学物质如水和二氯甲烷中, 尼龙 66 可被塑化或软化, 但当这些化学物质被除去以后, 又可恢复尼龙 66 本身的性质。正是由于尼龙 66 有很好的耐热水性和耐蒸汽性, 才在汽车引擎的冷却系统中得到了应用。富空气水中的氧气可能损坏尼龙制件, 但可通过添加剂改性来避免这种氧化过程。

通常，尼龙 66 具有优良的户外稳定性，使用某些添加剂会使尼龙 66 制件的表面光泽保持得更加持久。在本色和着色制品中适当添加稳定剂是有益的，例如添加 2% 的高度分散的炭黑可以显著改善耐候性。

在较宽的温度范围内，未增强的尼龙 66 都具有较好的耐疲劳和抗振性，加上其优良的耐化学品性，因而在一些载荷经常变化或者动态加载的机械部件上得到广泛应用。玻璃纤维增强的尼龙 66 则提供了更高的应力水平。在工业测试中，其拉伸-压缩循环次数可达 10^7 量级。

尼龙 66 具有良好的绝缘性能，体积电阻和表面电阻较大，抗电荷径迹性能也较好。

当尼龙 66 制件浸没在水中或暴露在潮湿的空气中时，其吸水量与尼龙 66 的品级、制件厚度、湿度、时间、温度等因素有关。纯尼龙 66 在饱和状态下吸湿量达 8.5%，在 50% RH 下的平衡吸湿量也有 2.5%。改性后的尼龙 66 一般吸湿量要小，减少的程度与配方中尼龙 66 的含量成正比。

模塑制件的尺寸稳定性与成型温度、制件厚度和尼龙 66 的级别有关。成型后退火可导致制件收缩，而吸水又可导致制件膨胀，有时这两者的作用可以相互抵消。

尼龙 66 的具体性能见表 2-32。

表 2-32 尼龙 66 的性能

性能项目			ASTM 方法	均聚物	增韧	33% 玻璃纤维	矿物增强
一般性能	熔点/℃		D789	255	255	255	255
	密度/(g/cm ³)		D792	1.14	1.08	1.38	1.45
	模塑收缩率(%)		3.2mm	1.5	1.8	0.2	0.9
	吸水率(%)	25h	D570	1.2	1.2	0.7	0.7
		50% RH		2.5	2.0	1.7	1.6
		饱和		8.5	6.7	5.4	4.7
力学性能	拉伸强度/MPa		D638	87	52	186	89
	极限伸长率(%)		D638	60	60	3	17
	屈服伸长率(%)		D638	5	5	3	17
力学性能	弯曲模量/MPa		D790	2800	1700	9000	5200
	洛氏硬度		D785	121	110	125	121
	悬臂梁冲击强度/(J/m)		D256	53	900	117	37
	拉伸冲击强度/(kJ/m ²)		D1822	500	588		
	泰伯磨耗/(mg/1000 次)		D1044	7		14	22
热性能	弯曲温度/℃	0.5MPa	D648	235	216	260	230
		1.8MPa		90	71	249	185
	线胀系数/($\times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$)		D648	7×10^{-5}	12×10^{-5}	2.3×10^{-5}	3.6×10^{-5}

2. 应用

尼龙 66 工程塑料的应用与尼龙 6 大致相似，主要用于汽车机械工业、电子电器、

精密仪器等领域。

(二) 国内尼龙 66 品种与性能

(1) 黑龙江尼龙厂的尼龙 66 (表 2-33)

表 2-33 黑龙江尼龙厂尼龙 66 的性能

牌 号	密度 /(g·cm ³)	相对粘度	拉伸 强度 /MPa	弯曲 强度 /MPa	缺口冲 击强度 /(kJ/m ²)	热变形温度 (1.82MPa) /℃	阻燃性 (UL94)	特性和主 要用途
O 型	1.10~1.15	2.2~2.39	58.8	88.2	5.88	60		电绝缘好,化学 稳定,耐磨、自润 滑,脆化温度低,用 于制造机械、电子、 纺织、化工的耐磨 件、高强度和电气 绝缘件
I 型	1.10~1.15	2.4~3.0	63.7	98	7.84	61		
II 型	1.10~1.15	73.0	68.6	98	9.8	62		
增强级	1.39		151	196	9.8	220		
阻燃级			59	98	5.5	74	V-0	
阻燃增强级			118	176	8.0	210	V-0	

(2) 上海神马工程塑料厂的尼龙 66 (表 2-34)

表 2-34 上海神马工程塑料厂尼龙 66 的性能

牌 号	密度 /(g/cm ³)	阻燃性 (UL94)	热变形温度 (0.46MPa) /℃	拉伸 强度 /MPa	弯曲 强度 /℃	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m)	洛氏 硬度	特 性
A20	1.17	V-0	240	75	125	32	R120	非增强,阻燃
A20V25	1.38	V-0	250	135	205	73	R120	含 25% 玻璃纤维,阻燃
A148MT30	1.35	HB	198	65	100	—	R120	含 30% 矿物质及弹性体
A216	1.14	V-2	223	55	120	108	R120	标准级(非增强)
A216V20	1.29	HB	255	145	190	127	R120	含 20% 玻璃纤维
A216V30	1.37	HB	255	180	255	147	R120	含 30% 玻璃纤维
A218V30	1.37	HB	255	180	255	147	R120	含 30% 玻璃纤维
A221	1.14	V-2	>200	72	125	150	R120	成型周期短
A228MT40	1.49	HB	210	90	150	—	R120	含 40% 矿物,热稳定好
A230	1.10	HB	200	50	95	60	—	高抗冲击
A246	1.08	HB	190	44	63	600	—	高抗冲击

(3) 上海赛璐珞厂的三鹿牌尼龙 66 (表 2-35)

表 2-35 上海赛璐珞厂的三鹿牌尼龙 66 的性能

项 目	测试标准	B ₂	FR102A	ST102	SG-301	SG-302	FR-302
玻璃纤维含量(%)	—	—	—	—	30	30	30
矿物含量(%)	—	—	—	—	—	—	—
拉伸屈服强度/MPa	GB 1040	68.0	53.0	47.0	120	199	160

(续)							
项 目	测试标准	B ₂	FR102A	ST102	SG-301	SG-302	FR-302
拉伸断裂强度/MPa	GB 1040	76.0	53.0	44.5	120	199	160
伸长率(%)	GB 1040	31	2	53	2	6	4
弯曲强度/MPa	GB 1042	120	100	76	220	256	180
弯曲弹性模量/MPa	GB 1042	2600	2645	1625	—	7000	5000
冲击强度(无缺口)/(kJ/m ²)	GB 1043	50.0	35.0	不断	92	88	45
冲击强度(缺口)/(kJ/m ²)	GB 1043	18.0	9.0	116.0	24	22	9.5
热变形温度(1.81MPa)/℃	GB 1634	85	150	60	206	220	230
表面电阻率/Ω	GB 1044	10 ¹²	10 ¹²	10 ¹⁴	10 ¹²	10 ¹¹	—
体积电阻率/Ω·cm	GB 1044	10 ¹³	10 ¹⁵	10 ¹⁵	10 ¹¹	10 ¹³	10 ¹⁴
介电常数(10 ⁶ Hz)	GB 1045	3.6	3.5	2.9	4.3	4.1	3.6
介电损耗角正切值(10 ⁶ Hz)	GB 1045	2.9 × 10 ⁻²	1.4 × 10 ⁻²	1.0 × 10 ⁻²	7.4 × 10 ⁻²	3.3 × 10 ⁻²	1.2 × 10 ⁻²
漏电起痕指数/V	IEC112	—	600	—	—	—	275
燃烧性	UL94	V-2	V-0	—	HB	HB	V-0

注：以上数据是测试样条暴露空气中15天后测得的。

(4) 上海合成树脂研究所的龙尼 66 (表 2-36)

表 2-36 上海合成树脂研究所尼龙 66 的性能

项 目	66-G30	66-G33	增韧 66-G30	超韧尼 龙 66	增韧尼 龙 66	增韧阻 燃 66	增韧增强 阻燃 66
断裂拉伸强度/MPa	≥135	≥160	≥110	45.5	46	≥45	≥110
冲击强度(缺口,简支梁法)/ (kJ/m ²)	≥10	≥6	25	60	25	≥9	≥15
冲击强度(无缺口,简支梁法)/ (kJ/m ²)	≥40	≥35	—	不断	不断	—	—
热变形温度(1.81MPa)/℃	≥200	≥250	≥200	≥55	≥60	≥65	≥200
布氏硬度/MPa	≥160	≥195	≥135	—	—	110	120
体积电阻率/Ω·cm	2 × 10 ¹⁵	2 × 10 ¹⁵	4 × 10 ¹⁵	4.5 × 10 ¹⁵	4.5 × 10 ¹⁵	1 × 10 ¹⁴	1 × 10 ¹⁴
介电常数	—	—	2.1	2.7	2.7	2.2	2.2
熔点/℃	≥255	≥260	≥255	—	—	—	—
弯曲强度/MPa	≥200	≥200	—	—	—	—	—

(5) 南京立汉化学有限公司的尼龙 66 (表 2-37)

表 2-37 南京立汉化学有限公司尼龙 66 的性能

项 目	ASTM	通 用 级				增 强 级	
		A102F4	A103S	A601TL	A801ET	A705GL	A706GL
密度/(g/cm ³)	D792	1.13	1.13	1.00	1.08	1.32	1.36
燃烧性	UL94	V2	V2	HB	HB	HB	HB
玻璃纤维/矿物含量(%)						CF25	CF30
成型收缩率(纵向)(%)	D955	1.3	1.3	1.3	1.6	0.3	0.2
拉伸强度/MPa	D638	80	90	70	50	170	190
干态		60	65	50	40	120	125
湿态							
弯曲强度/MPa	D790	105	110	95	63	210	255
干态		48	50	45	20	170	195
湿态							
悬臂梁缺口冲击强度/(J/m)							
干态	D256	43	50	65	600	80	110
湿态		105	110	185	NB	110	175
洛氏硬度(R)	D785	120	120	110	—	120	120
		104	105	100	—	115	115
热变形温度(0.45MPa)/℃	D648	215	235	200	195	255	255
介电强度/(kV/mm)	D149	—	—	—	—	—	20
体积电阻率/Ω·cm	D257	10 ¹³	10 ¹³	10 ¹³	10 ¹³	10 ¹²	10 ¹²
表面电阻率/Ω		10 ¹⁰	10 ¹⁰	10 ¹²	10 ¹²	10 ¹⁰	10 ¹⁰

项 目	测试标准	增 强 级			阻 燃 级	
		A707GL	A240M	A353MG	A9000	A9705
密度/(g/cm ³)	D792	1.41	1.2	1.48	1.24	1.50
燃烧性	UL94	HB	HB	HB	V0	V0
玻璃纤维/矿物含量(%)		CF35	M20	GF15/M25		GF25
成型收缩率(纵向)(%)	D955	0.2	1.1	0.4	1.2	0.3
拉伸强度/MPa	D638	200	75	130	69	160
干态		135	55	90	30	120
湿态						
弯曲强度/MPa	D790	270	100	210	104	—
干态		210	50	140	—	—
湿态						
悬臂梁缺口冲击强度/(J/m)						
干态	D256	115	75	—	35	80
湿态		250	—	—	90	110
洛氏硬度(R)	D785	120	120	120	120	120
		115	—	—	104	115
热变形温度(0.45MPa)/℃	D648	255	230	250	216	255
介电强度/(kV/mm)	D149	21	17	18	17	—
体积电阻率/Ω·cm	D257	10 ¹²	10 ¹²	10 ¹⁴	—	10 ¹³
表面电阻率/Ω		10 ¹⁰	10 ¹⁰	—	—	10 ¹⁰

(6) 江苏宜兴太湖尼龙龙的尼龙 66 (表 2-38)

表 2-38 江苏宜兴太湖尼龙龙尼龙 66 的性能

项 目	I 型	II 型	增强级	阻燃级
相对粘度	2.5 ~ 2.90	> 2.90		
熔点/℃	250 ~ 260	250 ~ 260		255
水分含量(%)	1.5	1.5		1.5
拉伸强度/MPa	65	68	150	62
弯曲强度/MPa	100	110	200	95
弯曲弹性模量/MPa			6500	
Izod 缺口冲击强度/(kJ/m ²)	9	12	15	8
热变形温度(1.82MPa)/℃	60 ~ 70	60 ~ 70	210	

(7) 北京泛威工程塑料公司的尼龙 66 (表 2-39)

表 2-39 北京泛威工程塑料公司尼龙 66 的性能

项 目	测试标准	MN-101	MN-201G10	MN-201G20	MN-201G25	MN-201G30	MN-201G35	MN-301G0	MN-3010
密度/(g/m ³)	D792	1.10	1.24	1.27	1.30	1.35	1.40	1.31	1.40
成型收缩率(%)	D955	1.4 ~ 1.8	0.6 ~ 1.2	0.6 ~ 1.0	0.6 ~ 1.0	0.4 ~ 0.8	0.3 ~ 0.5	0.7 ~ 1.4	0.5 ~ 0.9
拉伸强度/MPa	D638	60	85	100	125	150	155	60	90
弯曲强度/MPa	D790	91	125	155	200	210	225	90	13
冲击强度(无缺口)/(kJ/m ²)	D256	120	58	65	70	75	90	40	40
冲击强度(缺口)/(kJ/m ²)	D256	10	7.5	11	13	15	15	8	10
热变形温度(1.83MPa)/℃	D648	75	190	230	248	250	250	85	19
燃烧性(厚 3.2mm)	UL94	—	HB	HB	HB	HB	HB	V-0	V-0
体积电阻率/Ω·cm	D257	3 × 10 ¹²	2 × 10 ¹³	3 × 10 ¹³	3 × 10 ¹³	3 × 10 ¹³	3 × 10 ¹³	3 × 10 ¹¹	3 × 10 ¹³
介电常数	D150	2.85	3.1	3.14	3.14	3.14	3.14	2.7	3.14
介电强度/(kV/mm)	D149	30	30	30	30	30	30	26	29
介电损耗角正切值	D150	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3

项 目	测试标准	MN-301G20	MN-301G25	MN-301G30	MN-301G35	MNT-1	MNT-2	MNM-1
密度/(g/m ³)	D792	1.48	1.50	1.53	1.55	1.40	1.44	1.20
成型收缩率(%)	D955	0.4 ~ 0.8	0.4 ~ 0.8	0.3 ~ 0.6	0.3 ~ 0.6	0.8 ~ 1.2	0.4 ~ 0.8	1.4 ~ 2.0
拉伸强度/MPa	D638	110	114	117	125	60	85	50
弯曲强度/MPa	D790	155	200	210	215	90	150	80
冲击强度(无缺口)/(kJ/m ²)	D256	56	70	85	90	40	50	90

(续)

项 目	测试 标准	MN- 301G20	MN- 301G25	MN- 301G30	MN- 301G35	MNT-1	MNT-2	MNM-1
冲击强度(缺口)/(kJ/m ²)	D256	10	10	13	15	5	8	10
热变形温度(1.83MPa)/℃	D648	235	250	250	250	90	230	75
燃烧性厚(3.2mm)	UL94	V-0	V-0	V-0	V-0	HB	HB	HB
体积电阻率/Ω·cm	D257	1×10 ¹⁴	3×10 ¹⁴	3×10 ¹⁴	3×10 ¹⁴	3×10 ¹⁴	1×10 ¹⁵	
介电常数	D150	3.2	3.2	3.2	3.2	3.4	2.8	
介电强度/(kV/mm)	D149	28	28	30	30	33	25	
介电损耗角正切值	D150	0.17	0.17	0.18	0.18	0.16	0.16	—

(8) 江苏海安尼龙厂的尼龙 66 (表 2-40)

表 2-40 江苏海安尼龙厂尼龙 66 的性能

项 目	低 粘 度	中 粘 度	高 粘 度
密度/(g/cm ³)	1.1 ~ 1.15	1.1 ~ 1.15	1.1 ~ 1.15
熔点/℃	245 ~ 255	245 ~ 255	245 ~ 255
相对粘度	2.2 ~ 2.4	2.4 ~ 2.7	2.7 ~ 3.0
拉伸强度/MPa ≥	60	65	70
弯曲强度/MPa ≥	90	100	110

(9) 台湾南亚工程塑胶公司的尼龙 66 (表 2-41)

表 2-41 台湾南亚工程塑胶公司尼龙 66 的性能

牌 号	吸水性 (%)	成型收缩率 (%)	拉伸屈服强度 /MPa	弯曲弹性模量 /GPa	缺口冲击强度 (J/m)	热变形温度 (1.86MPa)/℃
6210G3	1.0	0.3 ~ 0.8	130	4.5	100	238
6210G6	0.7	0.2 ~ 0.4	170	8.0	130	245
6210G9	0.6	0.1 ~ 0.3	190	9.0	160	250
6210M6	1.25	0.4 ~ 0.9	90	4.0	45	210
6310	1.1	0.9 ~ 1.5	55	2.6	45	78
6410G5	0.7	0.3 ~ 0.6	115	7.2	70	248
6512	1.25	0.4 ~ 1.4	45	1.65	900	60

(10) 南京聚隆化学实业有限公司的尼龙 66 (表 2-42)

表 2-42 南京聚隆化学实业有限公司尼龙 66 的性能

项 目	测试标准	状态	ANOF	AG6	AG41	AG61	AM3	AH0	ARO	AROG5
拉伸断裂强度/MPa	ISO 527	干态/湿态	85/85	180/130	145/100	170/100	75/40	48/42	75/50	125/100
断裂伸长率(%)	ISO 527	干态/湿态	25/ >50	3/5	4/5	3/6	16/50	40/ >50	4/20	2/3
屈服弯曲强度/MPa	ISO 178	干态/湿态	105/60	255/195	205/—	220/—	105/—	60/20	110/45	220/—
弯曲弹性模量/MPa	ISO 178	干态/湿态	2700/1200	8200/5800	—	—	—	1500/850	2900/—	—
悬臂梁缺口冲击强度/(J/m)	ISO 180	干态/湿态	40/100	105/170	55/110	110/160	70/—	1800/1000	35/90	45/100
洛氏硬度(R)	ISO 2039/2	干态/湿态	R120/R104	R120/R115	R118/—	R118/—	R118/—	R110/R110	R120/R114	R120/R117
熔点/°C	ISO 3416		258	259	259	256	259	256	258	259
热变形温度/°C										
0.45MPa	ISO 75		200	259	255	255	230	128	200	250
1.8MPa	ISO 75		75	255	250	235	75	65	70	240
燃烧性	UL94		V2	HB	HB	HB	HB	HB	V0	V0
表面电阻率/ Ω	ISO 167	干态/湿态	$10^{13}/10^{10}$	$10^{12}/10^{10}$	$10^{12}/10^{10}$	$10^{12}/10^{10}$	$10^{13}/10^{10}$	$10^{13}/10^{12}$	$10^{13}/10^{12}$	$10^{13}/10^{10}$
介电强度/(kV/mm)	IEO 243	干态/湿态	20/—	20/—	—	—	20/—	—	17/—	21/—
密度/(g/cm)	ISO 1183		1.13	1.37	1.29	1.34	1.24	1.08	1.24	1.42
饱和吸水性(%)	ISO 62		8.5	5.5	6.5	6.5	7.0	6.7	7.5	6
线性成型收缩率/(mm/mm)			0.013	0.002 ~ 0.006	0.003 ~ 0.007	0.003 ~ 0.007	0.012 ~ 0.015	0.016 ~ 0.018	0.012	0.003

(11) 成都有机硅研究中心的尼龙 66（表 2-43）

表 2-43 成都有机硅研究中心尼龙 66 的性能

牌 号	FRPA6	FRPA66	FRPA610	FRPA1010	高硬度 PA6	PA6G30S
拉伸强度/MPa	145	175	165	140	185	150
弯曲强度/MPa	220	240	220	200	240	225
弯曲弹性模量/MPa	7500	8400	6500	5500	7300	
无缺口冲击强度/(kJ/m ²)	50	55	> 70	> 70	> 50	65
缺口冲击强度/(kJ/m ²)	12	11	≥14.5	≥15	≥8	12
伸长率(%)					2~4	5
洛氏硬度(M)	92	100	95	85	≥200	
马丁耐热温度/℃	135	>170	142	137		215
燃烧性(UL94)						V-0
体积电阻率/Ω·cm	10 ¹⁴	10 ¹⁵	10 ¹⁴	10 ¹⁵		10 ¹⁴
表面电阻率/Ω	10 ¹³	10 ¹³	10 ¹³	10 ¹³		10 ¹³
介电常数	4.4	4.4	4	4.2		4.4
介电损耗角正切值	10 ⁻²	10 ⁻²	10 ⁻²	10 ⁻²		10 ⁻²
介电强度/(kV/mm)	29	32	29	30		20

(12) 上海日之升新技术发展公司的尼龙 66（表 2-44）

表 2-44 上海日之升新技术发展公司尼龙 66 的性能

项 目	GB 标准	A010	A015	A017	A300	A305
拉伸强度/MPa	1040	50~80	95~135	165	60~80	110~160
断裂伸长率(%)	1040	3~20	2~4	2~4	50~300	3~5
弯曲强度/MPa	9341	65~120	145~210	245	60~100	155~205
弯曲弹性模量/MPa	9341	1700~3000	5000~7500	9000	1050~2800	4600~6600
卡毕缺口冲击强度/(kJ/m ²)	1043	4~7	6~9	8~11	6~24	7~12
Izod 缺口冲击强度/(J/m)	1843	35~65	65~90	85~110	45~120	80~110
热变形温度(1.82MPa)/℃	1634	78	248	250	—	250
熔点/℃	4608	255	255	255	260	255~265
维卡软化点(49N)/℃	1633	—	—	—	235	—
燃烧性(UL94)		V-0	V-0	V-0	HB	HB
体积电阻率/Ω·cm		10 ¹⁵	10 ¹⁵	10 ¹⁵	10 ¹⁵	10 ¹⁵

项 目	GB 标准	A307	A310	A400	A500	AR306
拉伸强度/MPa	1040	150~200	65~90	60~80	65~85	100~140
断裂伸长率(%)	1040	2~5	20~200	50~300	80~300	3~6
弯曲强度/MPa	9341	210~260	65~105	60~100	65~105	125~145
弯曲弹性模量/MPa	9341	6000~8500	1100~2850	1050~2800	1050~2800	5000~6500
卡毕缺口冲击强度/(kJ/m ²)	4043	13~18	6~24	6~24	7~33	20
Izod 缺口冲击强度/(J/m)	4843	110~175	45~120	45~120	60~135	125
热变形温度(1.82MPa)/℃	1634	255	—	—	—	245
熔点/℃	4608	255~265	260	260	260	255~265
维卡软化点(49N)/℃	1633	—	238	238	235	—
燃烧性(UL94)		HB	HB	HB	HB	HB
体积电阻率/Ω·cm		10 ¹⁵	10 ¹⁵	10 ¹⁵	10 ¹⁵	10 ¹⁵

(13) 河南平顶山塑料三厂的尼龙 66 (表 2-45)

表 2-45 河南平顶山塑料三厂尼龙 66 的性能

项 目	测试标准	PA66-1	PA66-2	PA66-3	PA66-4	PA66-6	PA66-7	PA66-8
拉伸强度/MPa	GB 1040	72.5	63.5	50	40~55	110	120	62
弯曲强度/MPa	GB 1042	131.5	114.5	70	60~85	170	200	55
伸长率(%)	GB 1042	70	60	35	45~50			120
冲击强度(缺口,23℃)/ (kJ/m ²)	GB 1043	9.9	7.0	10	36~46	4	3	
冲击强度(无缺口, 23℃)/(kJ/m ²)	GB 1043	23	35			9	7	
热变形温度/℃	GB 1634	61	61	60	55	240	240	55
燃烧性(UL94)				HB	HB	HB	HB	HB
体积电阻率/Ω·cm	GB 1410	4×10 ¹⁵	4.3×10 ¹⁵	10 ¹⁴	10 ¹⁴	10 ¹⁵	10 ¹⁵	10 ¹⁵
介电常数(10 ⁶ Hz)	GB 1409	3.1	3.1	3.3	3.3	3.1	2.8	
主要改性剂和填充剂				PE 接枝 改性	EPDM 接 枝改性	玻璃纤维 20% 增强	玻璃纤维 30% 增强	PE、EPDM 接枝改性

(14) 河南平顶山华邦工程塑料公司的尼龙 66 (表 2-46)

表 2-46 河南平顶山华邦工程塑料公司尼龙 66 的性能

项 目	ASTM	增强增韧级				
		AG ₃ S ₂	AG ₄ S ₂	AG ₅ S ₂	AG ₆ S ₂	AG ₇ S ₂
拉伸强度/MPa	D638	100	110	140	160	170
断裂伸长率(%)	D638	4	3	3	3	2
弯曲强度/MPa	D790	160	180	210	220	230
Izod 缺口冲击强度/(kJ/m ²)		25	25	25	25	25
熔点/℃	D789	260	260	260	260	260
热变形温度(1.82MPa)/℃	D648	250	250	250	250	250
体积电阻率/Ω · cm	D257	10 ¹⁴	10 ¹⁴	10 ¹⁴	10 ¹⁴	10 ¹⁴
燃烧性(UL94)		HB	HB	HB	HB	HB
CTI 值 ^①	D3638	600	600	600	600	600
吸水性(24h, 23℃) (%)	D570	0.3	0.3	0.7	0.7	0.7

项 目	ASTM	阻 燃 级				抗 静 电 级	
		AS ₁ N	AC ₅ S ₁ N	AG ₆ S ₁ N	AG ₇ S ₁ N	AG ₄ S ₃ E	AG ₅ S ₃ E
拉伸强度/MPa	D638	80	130	150	160	110	100
断裂伸长率(%)	D638	3	3	2	2	3	3

(续)

项 目	ASTM	阻 燃 级				抗 静 电 级	
		AS ₁ N	AC ₅ S ₁ N	AG ₆ S ₁ N	AG ₇ S ₁ N	AG ₄ S ₃ E	AG ₅ S ₃ E
弯曲强度/MPa	D790	110	200	210	220	170	200
Izod 缺口冲击强度/(kJ/m ²)		20	15	15	15	30	30
熔点/℃	D789	260	260	260	260	260	260
热变形温度(1.82MPa)/℃	D648	85	250	250	250	240	240
体积电阻率/Ω·cm	D257	10 ¹⁵	10 ¹⁵	10 ¹⁵	10 ¹⁵	10 ⁸	10 ⁸
燃烧性(UL94)		V-0	V-0	V-0	V-0	HB	HB
CTI 值 ^①	D3638	475	475	475	475	600	600
吸水性(24h,23℃)(%)	D570	1.1	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7

① 耐漏电痕迹指数。

(三) 国外尼龙 66 品种与性能

(1) 美国杜邦公司的 Zytel 尼龙 66 (表 2-47 和表 2-48)

表 2-47 美国杜邦公司 Zytel 尼龙 66 的性能

牌 号	密度 /(g/ cm ³)	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m)	热变形温度 /℃		燃烧性 (UL94)	特性和主要用途
			0.44MPa	1.82MPa		
42	1.14	64	235	92	V-2	注射或挤出,刚性、耐候、耐低温、力学性能好
42NC-10	1.14	64	235	92	V-2	注射或挤出,刚性、耐候、力学性能好
45HSB	1.15	53	256	102	V-2	注射,高相对分子质量,力学性能好
101	1.14	53	235	92	V-2	注射,耐候、耐潮湿、刚性
101F	1.14	53	235	92	V-2	注射,内润滑好
101FS	1.14	53	235	92	V-2	注射或挤出,柔韧、着色稳定
101F-HS						注射,成型周期短
101L	1.14	53	235	92	V-2	注射,耐候、耐潮湿、刚性、润滑
101NC-10						注射或挤出成型
103F-HS	1.14	53	235	92	V-2	注射,热稳定
103HS-L	1.14	53	235	92	V-2	注射,热稳定性好,耐候、耐潮湿、刚性、伸长率小
105BK-10						注射或挤出,柔韧
105BK-10A	1.15	53	240	92	V-2	注射,耐候好(黑色含 2% 炭黑)
105F	1.15	48	210	79	V-2	注射,黑色,耐候,制一般工程制件
114L	1.11	107	229	92	—	注射或挤出,韧性好
122						注射,耐潮湿

(续)

牌 号	密度 /(g/ cm ³)	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m)	热变形温度 /℃		燃烧性 (UL94)	特性和主要用途
			0.44MPa	1.82MPa		
122L	1.14	53	235	92	V-2	注射或挤出,韧性好、抗氧化
131L						注射,含成核剂,着色性、润滑性好
132F	1.14	43	235	85	V-2	注射,韧性好,含成核剂
133L	1.14	37	241	92	V-2	注射、挤出、吹塑,强度韧性均高
158L-NC10						挤出或次塑,软质、高韧性
301PHS	1.08	—	150	60	—	注射或挤出,柔韧性好
330						挤出,透明、强度高,可替代部分聚碳酸酯
408	1.09	251	230	74	HB	注射,抗冲击,高强度
408HS	1.09	229	230	74	HB	注射、挤出、吹塑,耐冲击、高强度
408L	1.09	229	230	74	HB	注射,高抗冲击、润滑好
408NC-10						注射,制普通工程制件
450HSL-BK152	1.08	133	225	70	HB	注射,高强度、高韧性、黑色
3189	1.11	197	230	80	HB	注射,制工程件,高抗冲击
3189HSL	1.11	197	230	80	HB	注射,制高强度工程件
ST800	1.08	800	216	71	HB	注射,高抗冲击
ST801HS	1.08	906	217	71	HB	注射、挤出、吹塑,PA6/66 接枝共聚,高韧性、 热稳定
ST801-NC10	1.09	906	217	71	HB	注射、挤出或吹塑,高韧性、热稳定
ST811-HS	1.04		171	54	HB	挤出,质软、高韧性,也可吹塑
ST811NC-10						挤出或吹塑,质软、高韧性
ST901						超韧性
CFE8004HS	1.08	53	222	62	—	吹塑,热稳定

表 2-48 美国杜邦公司 Zytel 改性尼龙 66 的性能

牌 号	密度 /(g/ cm ³)	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m)	热变形温度 /℃		燃烧性 (UL94)	玻璃纤 维含量 (%)	特 性
			0.44MPa	1.82MPa			
10B-40NC-10	1.51	32	250	230	HB	40 矿物	注射,柔韧,延伸性好
10B-40WT-113	1.51	—	—	—	—	40 矿物	注射,低翘曲
11C-40NC-10	1.48	69	230	185	HB	40 矿物	注射,柔韧,延伸性好
12T-NC-10	1.42	—	225	180	HB	40 矿物	注射,高韧性
20B-NC-10	1.42	—	258	245	—	40 矿物	注射或挤出,热稳定

(续)

牌 号	密度 /(g/ cm ³)	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m)	热变形温度 /℃		燃烧性 (UL94)	玻璃纤 维含量 (%)	特 性
			0.44MPa	1.82MPa			
22C-NC-10	1.45	—	258	239	HB	40 矿物	注射,尺寸稳定
70G-13HS ₁ -L	1.22	48	—	243	HB	13	注射,抗冲击
70G-13L	1.22			232		13	注射,高强度
70G-13L-NC	1.22	48	—	243	HB	13	注射,抗冲击
70G33HR-L	1.38	117	—	249	HB	33	注射,高强度
70G33HS-L	1.38	117	—	249	HB	33	注射,热稳定
70G33L	1.35			230		33	注射、高强度
70G33L-NC	1.38	117	—	249	HB	33	注射、抗冲击、润滑
70G43L	1.51	133	—	261	HB	43	注射、高强度、润滑
71G13L	1.18			111		5~40	注射,韧性好
71G13L-NC	1.18	123	—	232	HB	13	注射,抗冲击
71G33L	1.35	128	—	245	HB	33	注射,韧性好
71G33L-NC	1.35	128	—	245	HB	33	注射,高强度
72G33L	1.38	123	—	105	HB	33	注射,高强度、润滑
77G33L-NC	1.32	124	—	210	HB	33	注射,高强度、高刚性
77G43L-NC	1.46	155	—	210	HB	43	注射,高强度、高刚性
80G-33HS ₁ -L	1.34	219	260	250	HB	33	注射,高强度、高抗冲击
80-33L-HS						33	注射,高强度
80G-43HS ₁ -L	1.42	235	—	251	—	43	注射,高强度、高抗冲击
82G-33L	1.34	224	—	—	—	33	注射,高强度
90G							注射、超韧性
91C	1.42	—	209	113	HB	30 矿物	注射、超韧性
FE6105-NC10	1.38	—	225	169	—	25 专用	注射,高抗冲击
FE6109NC-10	1.42					40 矿物	注射,柔韧、延伸性好
FE6130-NC10	1.44	—	259	232	—	30 专用	注射,强度高
FE6147A-NC10	1.41	—	—	252	—	25 专用	注射,强度高
FE6187-NC10	1.49	—	245	188	—	30 专用	注射,抗冲击
FR-50						25	注射,阻燃
FR-50-NC10	1.56	101	—	242		25	注射,热稳定
FR60							注射,阻燃
FR80							注射,阻燃、抗冲击
8018	1.19	139	252	232	HB	14	注射、高抗冲击
CFE5008HS	1.23	37	252	230	HB	13	吹塑,热稳定

(2) 美国聚合物技术 (Polymer Science) 工业公司的 Nylamid 尼龙 66 (表 2-49)

表 2-49 美国聚合物技术工业公司 Nylamid 尼龙 66 的性能

牌 号	密度 /(g/cm ³)	拉伸屈 服强度 /MPa	屈服伸 长率 (%)	弯曲弹 性模量 /GPa	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m)	热变形温度/°C		短玻璃纤维 维含量 (%)	特 性
						0.44MPa	1.82MPa		
132	1.13	81	5	2.9	53	—	93	—	注射或挤出
132HS	1.14	82	—	1.2	53	235	93	—	注射
134	1.14	91	4	3.0	43	241	93	—	注射或挤出, 含成核剂
135	1.14	83	5	2.8	64	235	—	—	注射或挤出
135F	1.14	83	5	2.8	64	235	—	—	注射或挤出
137UV-BK	1.14	91	—	1.31	107	240	93	—	注射, 抗紫外线
141	1.13	87	—	2.9	43	—	94	30(聚合物)	注射
190	1.14	83	—	2.7	101	243	104	—	挤出制管
311	1.08	60	5	1.70	240	227	70	—	注射或挤出, 韧性好
311-13GL	1.42	89	—	5.35	69	241	185	13	注射, 刚性高
311-33GL	1.33	—	—	6.9	—	—	245	33	注射, 中等抗冲击
411	1.10	67	—	2.04	213	227	79	—	注射或挤出, 中等抗冲击
412	1.07	51	5	1.71	640	213	66	—	注射, 高抗冲击
4114	1.08	48	—	1.63	1013	213	66	—	注射, 高抗冲击
4114-14GL	1.18	79	—	3.3	160	249	207	14	注射或挤出, 中等抗冲击
4114-33GL	1.34	143	—	6.8	213	250	216	33	注射或挤出, 中等抗冲击
4120	1.08	46	—	1.71	800	208	62	2(MoS ₂)	注射或挤出, 高抗冲击
4220	1.11	66	—	2.6	853	195	75	—	注射或挤出, 高抗冲击
5113GL	1.21	—	—	4.8	48	242	—	13	注射, 刚性
5133	1.37	179	3	8.6	107	249	249	33	注射或挤出, 刚性
6140MN	1.42	89	—	5.35	69	229	185	40(矿物)	注射, 刚性
6340	1.45	98	—	4.1	53	249	227	40(矿物)	注射或挤出, 刚性
6440	1.42	79	—	4.6	66	224	175	40(矿物)	注射或挤出, 刚性
7215GM	1.48	130	—	6.9	48	256	236	—	注射, 耐高温

(3) 日本旭化成 (Asahi Chemical) 工业公司的 Leona 尼龙 66 (表 2-50)

表 2-50 日本旭化成工业公司 Leona 尼龙 66 的性能

牌 号	密度 /(g/cm ³)	拉伸强度 /MPa	伸长率 (%)	弯曲弹性 模量/GPa	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m)	洛氏 硬度	热变形温度/°C		成型收缩 率(%)	燃烧性 (UL94)	介电常数 (10 ⁶ Hz)	耐电弧 /s
							0.44MPa	1.86MPa				
13G43	1.5	2300	6	12.5	150	M103	255	250	3/7	—	—	—
14G43	1.5	2300	6	12.5	150	M130	255	250	3/7	—	—	—
1200	1.14	850	100	—	55	M120	—	—	—	—	—	—
1200S	1.14	810	50	2.9	40	M80	230	70	13~20	V-2	3.4	118
1300G	1.39	1900	6	9.1	110	M97	255	250	4/9	HB	3.3	124
1300S	1.14	830	60	2.9	45	M80	230	70	13~20	V-2	3.3	70
1330G	1.52	1710	5	9.7	84	M89	245	—	5/10	—	—	—
1340G	1.24	990	4.5	5.5	—	R98	242	—	—	—	—	—
1402G	1.39	1880	5.8	—	90	M120	—	—	—	—	—	—
1402S	1.14	830	60	2.9	45	M80	230	70	13~20	V-2	3.3	70
1500	1.14	840	80	2.9	50	M80	230	70	—	—	4.0	118
1700	1.14	850	100	2.9	55	M80	230	70	—	—	4.0	—
4300	1.08	600	80	2.0	120	M45	180	60	25	—	—	—
FR200	1.16	840	15	2.8	40	M80	209	66	13~20	V-0	3.3	124
FR370	1.16	880	20	3.2	34	M88	240	90	13~20	V-0	—	—
FG101	1.43	1200	4	6.8	45	M90	255	230	4/11	V-1	3.5	24
FG170	1.55	1250	5	6.38	45	—	—	240	—	V-0	—	—
FG171	1.62	1570	5	8.64	73	—	—	243	—	V-0	—	—
FG172	1.57	1400	4	7.8	65	—	—	240	—	V-0	—	—
HF600	2.4	610	2	6.3	20	—	220	—	8/11	V-0	—	85
MR001	1.52	1020	5	7.2	32	M85	250	190	10/11	HB	3.7	87

(4) 日本聚合塑料公司的 (注射级) Celanese 尼龙 66 (表 2-51)

表 2-51 日本聚合塑料公司 Celanese 尼龙 66 的性能

牌 号	密度 /(g/cm ³)	拉伸强度 /MPa	伸长率 (%)	弯曲弹性模量 /GPa	Izod 冲击强度 /(J/m)	热变形温度 (1.86MPa)/°C	特性和主要用途
1000-2	1.14	84.5	60	2.95	53	75	低粘度, 宜制通用件
1003-2	1.14	84.5	60	2.95	53	75	中粘度, 耐热
1200-1	1.14	87.0	125	2.95	68	75	中粘度, 宜制通用件
1310-2	1.14	95.5	45	3.3	47	77	中粘度, 成型周期短
1500-2	1.38	197.0	4	9.1	116	252	含 33% 玻璃纤维, 高强度
1503-2	1.38	197.0	4	9.1	116	252	含 33% 玻璃纤维, 耐热
1600-2	1.47	239	2.5	11.2	137	253	含 40% 玻璃纤维, 耐热、耐冲击
1603-2	1.47	239	2.5	11.2	137	253	含 40% 玻璃纤维, 耐热、耐冲击
6520	1.33	138	4	—	201	240	高冲击强度, 耐高温
2520	1.33	124	7	—	169	230	高冲击强度、耐高温

(5) 德国巴斯夫公司的 Ultramid 尼龙 66 (表 2-52)

表 2-52 德国巴斯夫公司 Ultramid 尼龙 66 的性能

项 目	ISO	A3K	A3W	A3Z	A4	A4H	A3EG3	A3EG6
密度/(g/cm ³)	1183	1.13	1.13	1.07	1.13	1.13	1.23	1.36
吸水性(23°C 水中)(%)		8~9	8~9	6.7~7.7	8~9	8~9	6.7~7.3	5.2~5.8
熔体流动速率/(g/10min)	1133	115	100	<10	40	35	70	40
成型收缩率(%)		0.95~1.1	0.9~1.2	1.4	0.95~1.1	0.9~1.1	0.5~1.2	0.25~1.1
燃烧性(UL94, 试样厚 3.2mm)		V-2	V-2	HB	V-2	V-2	HB	HB
拉伸强度(干/湿)/MPa	527	85/50	85/50	50/40	80/60	85/50	130/85	190/130
屈服伸长率(干/湿)(%)	527	5/20	4.4/20	5/18	4.2/20	4.2/20	3/10	3/5
弯曲弹性模量(干/湿)/MPa	178	3100	3100	—	—	3000	5500/4000	8600/7000
弯曲强度(干/湿)/MPa	178	—	—	—	—	—	180/125	280/220

(续)

项 目	ISO	A3K	A3W	A3Z	A4	A4H	A3EG3	A3EG6
Izod 缺口冲击强度(干/湿)/(kJ/m ²)	180-1A	5.5/NB	5.5/NB	>90/NB	6/NB	5.5/NB	5.5/6.5	11.5/15.5
布氏硬度	2039-1	160/100	160/100	100/45	160/100	160/100	200/150	270/200
热变形温度/°C	75	75	75	60	75	75	250	250
0.45MPa	75	220	220	200	220	220	250	250
线胀系数(水平/垂直)/(×10 ⁻⁵ K ⁻¹)								
介电常数(干/湿,1MHz)	250	3.2/5.0	3.2/5.0	3.1/3.6	3.2/5.0	3.2/5.0	3.5/5.5	3.5/5.6
介电损耗角正切值(1MHz,干/湿)	250	0.025/0.20	0.025/0.20	0.016/0.07	0.026/0.20	0.025/0.20	0.014/0.16	0.014/0.16
体积电阻率(干/湿)/Ω·cm	93	10 ¹⁵ /10 ¹²	10 ¹⁵ /10 ¹¹	4×10 ¹⁴ /10 ¹²	10 ¹⁵ /10 ¹²	10 ¹⁵ /10 ¹²	10 ¹⁵ /10 ¹²	10 ¹⁵ /10 ¹²
介电强度(干/湿)/(kV/mm)	243/1	120/80	120/60	90/55	120/80	110/80	90/50	90/80
相比漏电起痕指数(干)/V	112A	600	500	600	600	600	550	550

项 目	ISO	A3EG7	A3HG5	A3WG5	A3WG6	A3WG7	A3WG10	A3WGM35
密度/(g/cm ³)	1183	1.41	1.32	1.32	1.35	1.41	1.55	1.48
吸水性(23°C,水中)(%)		4.7~5.3	5.7~6.3	5.7~6.3	5.2~5.8	4.7~5.3	3.7~4.3	4.8~5.4
熔体流动速率/(g/10min)	1133	40	50	50	40	40	20	15
成型收缩率(%)		0.25~1.05	0.3~1.1	0.3~1.1	0.25~1.1	0.25~1.05	0.25~1.0	0.6~0.7
燃烧性(UL94,试样厚3.2mm)		HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB
拉伸强度(干/湿)/MPa	527	210/150	170/120	175/120	190/130	210/150	230/180	130/75
屈服伸长率(干/湿)(%)	527	3/5	3/6	3/6	3/5	3/5	2.5/3.5	2.5/5.0
弯曲弹性模量(干/湿)/MPa	178	10000/8500	7600/6000	7600/6000	8600/7000	10000/8500	15000/13500	7600/5000
弯曲强度(干/湿)/MPa	178	300/240	260/200	220/200	280/220	300/240	360/300	190/130
Izod 缺口冲击强度(干/湿)/(kJ/m ²)	180-1A	14/18.0	9.5/15	9.5/15	11.5/15.5	14/18	13/14.5	11/17
布氏硬度	2039-1	280/220	240/190	240/190	270/200	280/210	300/260	190
热变形温度/°C	75	250	250	250	250	250	250	235
0.45MPa	75	250	250	250	250	250	250	250
线胀系数(水平/垂直)/(×10 ⁻⁵ K ⁻¹)		1.5~2.0/6~7	2.5~3.5/6~7	2.5~3.5/6~7	1.5~2.0/6~7	1.5~2.0/6~7	0.5~2.0/5~6	3~4

(续)

项 目	ISO	A3EG7	A3HC5	A3WG5	A3WG6	A3WG7	A3WG10	A3WGM35
介电常数(1MHz,干/湿)	250	3.5/5.7	3.5/5.5	3.5/5.5	3.5/5.6	3.5/5.7	3.8/6.6	4
介电损耗角正切值(1MHz,干/湿)	250	0.02/0.15	0.014/0.16	0.014/0.30	0.014/0.30	0.02/0.30	0.015/0.30	0.015/0.30
体积电阻率(干/湿)/ $\Omega \cdot \text{cm}$	93	$10^{15}/10^{12}$	$10^{15}/10^{12}$	$10^{15}/10^{12}$	$10^{15}/10^{12}$	$10^{15}/10^{12}$	$10^{15}/10^{12}$	$10^{15}/10^{12}$
介电强度(干/湿)/(kV/mm)	243/1	90/80	90/80	90/75	90/75	90/75	90/75	80/55
相比漏电起痕指数(干)/V	112A	550	550	450	450	450	450	325

项 目	ISO	A3ZG6	A3X2G5	A3X2G7	A3X3G5	A3X3G7	A3X3G10	KR4205	C35
密度/(g/cm ³)	1183	1.33	1.34	1.45	1.34	1.45	1.60	1.16	1.13
吸水性(23°C水中)(%)	1133	4.7~5.3	5.7~6.3	4.4~5.0	5.7~6.3	4.4~5.0	3.7~4.3	8~9	9.5~10.5
熔体流动速率/(g/10min)		30	40	30	40	30	20	60	—
成型收缩率(%)		0.25~1.05	0.4~0.75	0.3~0.65	0.4~0.75	0.3~0.65	0.25~0.5	0.9~1.3	—
燃烧性(UL94,试样厚3.2mm)		HB	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0	—
拉伸强度(干/湿)/MPa	527	140/100	140/100	160/120	140/100	160/120	180/130	85/45	80/45
屈服伸长率(干/湿)(%)	527	3.5/6.0	3/4.5	3/4	3/4.5	3/4	2/3	5/>50	>50/>50
弯曲弹性模量(干/湿)/MPa	178	7300/4900	7100	7100	9200	9200	13000	3000	—
弯曲强度(干/湿)/MPa	178	210/150	—	—	—	—	—	—	—
Izod 缺口冲击强度(干/湿)/(kJ/m ²)	180-1A	11/17	13/20	13/20	14/20	13/20	14/20	4.5/11	—
布氏硬度	2039-1	190	210	210	260	250	260	160/100	—
热变形温度/°C	75	240	250	250	250	250	250	80	57
0.45MPa	75	250	250	250	250	250	250	200	140
线胀系数(水平/垂直)/($\times 10^{-5} \text{K}^{-1}$)		2.5~3.5/ 6~7	2.5~3.5/ 6~8	1.5~2.0/ 6~7	2.5~3.5/ 6~8	1.5~2.0/ 6~7	1.5~2.0/ 4~5	6~10/ 6~12	—
介电常数(1MHz,干/湿)	250	3.5/5.5	3.7/5.0	3.6/5.0	3.7/5.0	3.6/5.0	3.5/5.0	3.6/6.0	3.7
介电损耗角正切值(1MHz,干/湿)	250	0.014/0.16	0.02/0.10	0.02/0.20	0.02/0.10	0.02/0.20	0.02/0.20	0.02/0.30	0.03
体积电阻率(干/湿)/ $\Omega \cdot \text{cm}$	93	$10^{15}/10^{12}$	$10^{15}/10^{12}$	$10^{15}/10^{12}$	$10^{15}/10^{12}$	$10^{15}/10^{12}$	$10^{15}/10^{12}$	$10^{15}/10^{11}$	10^{15}
介电强度(干/湿)/(kV/mm)	243/1	90/75	80/65	70/40	80/65	70/40	70/40	55/45	—
相比漏电起痕指数(干)/V	112A	550	500	600	600	600	550	600	600

(6) 英国帝国化学公司的尼龙 66 (表 2-53)

表 2-53 英国帝国化学公司尼龙 66 的性能

①商品名称: Lubricomp Nylon 66 注射级

牌 号	密度 /(g/ cm ³)	拉伸 屈服 强度 /MPa	屈服 伸长 率 (%)	弯曲 弹性 模量 /GPa	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m)	热变形温度/℃		短玻璃 纤维含 量(%)	特 性
						0.44MPa	1.82MPa		
R1000	1.14	81	60	2.8	—	—	63		
R1000FRHS	1.35	72	—	3.4	27	—	85	—	阻燃 V-0 级
RA1002	1.17	—	—	3.6	53	—	210	4 ^①	润滑
RAL4022	1.23	—	—	3.7	48	—	204	22 ^①	润滑
RAL4023	1.24	—	—	3.8	53	—	240	23 ^①	润滑、耐高温
RC1006HI	1.27	220	—	17.3	112	—	219	30 ^②	抗静电、中抗冲击
RCF1006-10C	1.34	168	4.5	10.3	75	260	257	30 ^②	抗静电
RCL4036	1.38	—	—	15.8	75	—	254		含碳纤维、润滑
RCL4536	1.36	—	—	12.1	75	—	252		润滑
RF1000R	1.35	72	5.0	3.4	—	—	85	20	阻燃 V-0 级
RF1002HI	1.21	97	7	4.5	—	—	243	10	抗冲击
RF1004FRHS	1.51	124	3.5	6.6	85	—	238	20	阻燃 V-0 级
RF1006FRHS	1.59	148	—	7.8	85	—	243	30	阻燃 V-0 级,力学性能好
RFL4010	1.31	—	—	6.0	59	—	252	—	润滑,含 MoS ₂
RFL4024	1.35	—	—	5.9	53	—	252	—	润滑,含 MoS ₂
RFL4034	1.39	—	—	5.9	59	—	252	—	润滑,含 MoS ₂
RFL4036	1.49	—	—	9.4	96	—	254	—	润滑,含 MoS ₂
RFL4216	1.43	138	4	2.8	213	249	252	35	润滑,含 MoS ₂
RFL4218	1.52	179	3	11.7	—	254	254	40	润滑,含 MoS ₂
RFL4536	1.47	—	—	8.2	96	—	254	—	润滑,含 MoS ₂
RL4010	1.17	—	—	2.8	43	—	104	5 ^③	润滑
RL4020	1.20	—	—	2.5	43	—	104	10 ^③	润滑
RL4030	1.23	—	—	2.3	37	—	104	15 ^③	润滑
RL4040	1.26	62	—	2.1	—	—	104	20 ^③	润滑
RL4040FL	1.45	45	—	2.8	37	—	215	20 ^③	润滑、阻燃 V-0 级
RL4310	1.16	—	—	4.0	27	—	98	5 ^③	润滑
RL4510	1.12	—	—	2.8	48	—	99	5(硅)	润滑
RL4520	1.18	—	—	2.6	43	—	102	10(硅)	润滑
RL4530	1.21	—	—	2.5	43	—	102	15(硅)	润滑
RL4540	1.25	66	—	2.5	43	—	104	2(硅)	润滑
VFL4036	1.42	—	—	5.2	197	—	193	36	高冲击强度、尺寸稳定
VL4040	1.19	34	—	1.03	160	—	54	—	润滑
VL4410	1.10	46	—	1.1	267	—	54	—	润滑、高冲击强度
VL4530	1.16	37	—	0.91	203	—	54	—	润滑、高冲击强度

① 芳族聚酰胺纤维。② 碳纤维。③ 聚四氟乙烯。

②商品名称: Maranyl Nylon 66 注射级

牌 号	密度 /(g/ cm ³)	拉伸 屈服 强度 /MPa	屈服 伸长 率 (%)	弯曲 弹性 模量 /GPa	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m)	热变形温度/℃		特 性
						0.44MPa	1.82MPa	
A100	1.14	87	>50	2.8	—	—	100	未改性
A101	1.14	87	>50	2.8	—	—	100	未改性,比 A100 耐热
A125	1.14	87	—	2.8	53	—	100	润滑
A127	1.14	87	—	2.8	53	—	100	润滑,比 A125 耐热
A129	1.14	86	—	2.9	59	—	100	水解性好
A151	1.14	87	—	2.8	91	—	100	润滑、耐热
A153	1.14	87	—	2.8	91	—	99	高柔软
A175	1.37	—	—	8.0	96	—	468	含 30% 玻璃纤维
A190C	1.39	—	—	5.5	123	—	480	含 33% 玻璃纤维
A190D	1.39	—	—	9.1	91	—	480	含 33% 玻璃纤维
A223	1.14	89	—	2.9	221	—	98	高冲击强度
A225	1.14	88	>23	2.9	—	—	104	高冲击强度
A226C	1.14	60	—	1.04	219	—	100	高冲击强度
A226D	1.14	85	—	2.8	53	—	100	高冲击强度
A228	1.14	87	—	2.9	43	—	104	阻燃 V-2 级
A322	1.39	—	—	9.1	96	—	249	
A360	1.49	—	—	7.0	85	—	102	
A427	1.18	79	—	2.8	53	—	104	阻燃 V-0 级,耐磨
A457	1.60	—	—	8.6	64	—	238	含 28% 玻璃纤维,阻燃 V-0 级
AMX9	1.21	—	—	3.2	155	—	221	
TA505HS	1.09	62	—	1.92	176	—	88	韧性

③商品名称: Rimplast Nylon 66

牌 号	密度 /(g/ cm ³)	拉伸 屈服 强度 /MPa	屈服 伸长 率 (%)	弯曲 弹性 模量 /GPa	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m)	热变形温度/℃		特 性
						0.44MPa	1.82MPa	
RA1004	1.20	103	—	4.8	—	—	249	含 20% 芳族聚酰胺纤维,耐磨
RCL4736	1.34	206	—	12.1	80	—	256	含 30% 碳纤维,润滑、抗拉伸
RF5006	1.36	179	5	8.2	117	—	255	含 30% 短玻璃纤维,低翘曲
RFL4416	1.37	173	—	0.3	101	—	254	润滑、耐拉伸
RFL4530	1.21	66	—	2.4	43	—	102	含 2% 硅,润滑
RFL4616	1.36	183	—	7.9	96	—	254	润滑、力学性能好
RFL4736LW	1.46	151	—	7.9	101	—	255	含 30% 玻璃纤维,聚四氟乙烯混合物、润滑、抗拉伸
RFL4610	1.13	86	—	2.8	48	—	71	含 2% 硅,润滑
RL4620	1.12	69	5	2.5	48	—	82	润滑
RL5000	1.13	77	20	2.8	48	—	98	低翘曲

④商品名称：Stat-Locn Nylon 66 注射级

牌 号	密度 /(g/ cm ³)	拉伸 屈服 强度 /MPa	屈服 伸长 率 (%)	弯曲 弹性 模量 /GPa	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m)	热变形温度/℃		碳纤维 含量(%)	特 性
						0.44MPa	1.82MPa		
R	1.19	91	10	3.4	37	188	98	20 ^①	润滑
RC1002	1.18	—	—	6.9	53	254	251	10	抗静电
RC1004	1.23	—	—	16.6	64	260	257	20	抗静电
RC1004FR	1.42	—	—	15.8	53	254	251	20	抗静电
RC1006	1.28	—	—	20.0	80	260	257	30	抗静电
RC1006HI	1.27	—	—	17.3	112	260	257	30	抗静电
RCF1006	1.34	—	—	10.3	75	260	257		含碳纤维,抗静电
RCL4036	1.38	—	—	15.8	75	260	257		含碳纤维,抗静电
RCL4042	1.31	—	—	6.6	43	254	251		含碳纤维,抗静电
RCL4536	1.36	—	—	12.0	75	257	251		含碳纤维,抗静电
RF-15	1.30	69	2	5.9	75	254	249	15 ^②	抗静电
VC1003	1.16	—	—	9.1	229	245	243	15	抗静电
VC1004	1.18	—	—	11.4	187	—	243	20	抗静电、抗冲击
VC1006	1.22	—	—	13.8	160	—	249	30	抗静电、抗冲击
VF1003	1.18	97	7	3.95	—	—	249	15 ^②	抗冲击
VF1004	1.23	—	—	5.5	187	—	245	20 ^②	高冲击强度
VF1006	1.33	—	—	7.2	187	—	249	30 ^②	高冲击强度、刚性高
VF1007	1.34	148	5	6.9	—	—	254	35 ^②	高冲击强度、抗拉伸
VF1008	1.41	—	—	8.2	187	—	249	40 ^②	高冲击强度、高刚性
VFM3335	1.42	110	>3	6.9	53~80	—	249	40 ^②	含云母,电绝缘性好、抗拉伸

① 二硫化钼。② 短玻璃纤维。

⑤商品名称：Verton Nylon 66 注射级

牌 号	密度 /(g/ cm ³)	拉伸 屈服 强度 /MPa	屈服 伸长 率 (%)	弯曲 弹性 模量 /GPa	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m)	热变形温度/℃		短玻璃 纤维含 量(%)	特 性
						0.44MPa	1.82MPa		
AG1030	1.37	195	4	10.0	181	—	254	30	力学性能好
AG1050	1.57	236	4	15.7	272	—	260	50	力学性能好
CG1030	1.37	195	4	10.0	181	—	237	30	力学性能好
CG1050	1.57	230	4	15.7	27	—	243	50	力学性能好
RA1002	1.17	—	—	3.6	53	—	210	10	耐磨
RA7008	1.24	117	—	6.6	85	—	—	40	阻燃 V-0 级、耐高温
RC1004	1.23	—	—	16.6	64	—	—	20	耐高温、高强度
RC1006	1.28	—	—	20.0	80	—	257	30	耐高温、高强度
RC1008	1.34	—	—	23	85	—	260	40	耐高温、高强度
RC7006	1.28	250	—	23	91	—	—	30	阻燃 V-0 级、高强度

(续)

牌 号	密度 (g/cm ³)	拉伸 屈服 强度 /MPa	屈服 伸长 率 (%)	弯曲 弹性 模量 /GPa	Izod 缺口 冲击强度 (J/m)	热变形温度/℃		短玻璃 纤维含 量(%)	特 性
						0.44MPa	1.82MPa		
RC7008	1.34	295	>3	33	155	—	260	40	高强度、耐高温
RF1002	1.21	—	—	4.5	43	260	251	10	耐高温
RF1004	1.28	—	—	5.9	64	260	251	20	抗冲击
RF1004FR	1.54	—	—	6.6	43	—	232	20	阻燃 V-0 级
RF1004HI	1.28	—	—	5.9	107	—	251	20	抗冲击
RF1006	1.37	—	—	9.1	107	260	254	30	抗冲击
RF1006MG	1.37	—	—	6.6	53	—	249	30	耐高温
RF1008	1.46	—	—	11.0	139	260	260	40	刚性高、抗冲击
RF1008HI	1.46	—	—	9.7	23	—	251	40	冲击强度高
RF1008MG	1.46	—	—	82	85	—	254	40	刚性高、耐高温
RF100-10	1.57	—	—	15.2	139	260	260	50	刚性高、耐高温
RF100-12	1.70	—	—	19.3	139	260	260	60	刚性高、流动性差
RF7006	1.37	197	4	9.9	187	—	257	30	耐拉伸、抗冲击
RF7006EM	1.37	197	4	10.3	187	295	—	30	耐拉伸、抗冲击
RF7007EM	1.42	—	—	11.0	—	—	239	35	—
RF7007EMHS	1.41	—	—	10.3	240	—	238	35	热稳定
RF7007FRC	1.68	—	—	10.3	203	—	257	35	热稳定、阻燃
RF7007FRD	1.68	—	—	8.2	245	—	—	35	阻燃
RF7008	1.47	32.0	—	12.4	219	—	260	40	耐高温、耐拉伸
RF700-10BKC	1.57	—	—	11.4	320	—	—	50	刚性、抗冲击, 黑色
RF700-10BKD	1.57	—	—	15.8	133	—	262	50	刚性、抗冲击, 黑色
RF700-10C	1.57	—	—	12.4	187	—	—	50	刚性、抗冲击
RF700-10D	1.57	—	—	15.8	133	—	262	50	刚性、抗冲击
R700-10EMBKC	1.57	—	—	15.8	240	—	238	50	刚性、抗冲击, 黑色
RF700-10EMBKD	1.57	—	—	11.2	368	—	—	50	刚性、抗冲击
RF700-10EMC	1.57	—	—	15.8	266	—	243	50	刚性、抗冲击
RF700-10EMD	1.57	—	—	11.1	373	—	—	50	刚性、抗冲击
RF700-10EMHSC	1.57	—	—	15.8	320	—	243	50	刚性、抗冲击
RF700-10EMHSD	1.57	—	—	12.4	448	—	—	50	刚性、抗冲击
RF700-12C	1.70	—	—	14.5	320	—	—	60	刚性
RF700-12D	1.70	—	—	19.3	448	—	260	60	刚性
RF700-12EMC	1.70	—	—	16.0	550	—	—	60	刚性高、冲击强度高
RF700-12EMD	1.70	—	—	20.7	505	—	238	60	刚性高、冲击强度高
RF700-12EMHSC	1.70	—	—	15.5	640	—	—	60	刚性高、冲击强度高
RF700-12EMHSD	1.70	—	—	20.7	533	—	260	60	刚性高、冲击强度高
RFL8019	1.57	217	—	13.4	213	—	260	50	含聚四氟乙烯, 润滑

(续)

牌 号	密度 /(g/cm ³)	拉伸 屈服 强度 /MPa	屈服 伸长 率 (%)	弯曲 弹性 模量 /GPa	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m)	热变形温度/℃		短玻璃 纤维含 量(%)	特 性
						0.44MPa	1.82MPa		
RFL8028	1.56	207	—	12.0	203	—	260	50	含聚四氟乙烯,润滑
RFL8037	1.55	193	—	11.0	187	—	257	50	含聚四氟乙烯,润滑
RFL8046	1.54	169	—	9.7	170	—	257	50	含聚四氟乙烯,润滑
RFL8219	1.55	207	—	13.1	213	—	260	47	含聚四氟乙烯,润滑

(7) 韩国九龙化学公司的 Amlde 尼龙 66 (表 2-54)

表 2-54 韩国九龙化学公司 Amlde 尼龙 66 的性能

牌 号	密度 /(g/cm ³)	吸水 性 (%)	成型 收缩 率 (%)	拉伸 强度 /MPa	伸长 率 (%)	弯曲 弹性 模量 /MPa	硬度 (M)	Izod 缺口 冲击强度 /(kJ/m ²)	热变形 温度 /℃	燃烧性 (UL94)	耐电压 /(kV/mm)
ESA800	1.14	1.2	0.7~2.0	83	60	2750	120	2.0	230	V-0	19
ESA800S	1.16	1.2	1.5~1.8	83	15	3100	120	1.6	230	V-0	19
ESA815S	1.25	0.8	0.5~1.3	98	6.9	7500	100	3.5	240	V-0	21
ESA830	1.37	0.6	0.3~1.1	190	3.5	9200	121	4.2	239	HB	21

(8) 荷兰阿克苏工程塑料公司的 Akulon 尼龙 66 (表 2-55)

表 2-55 荷兰阿克苏工程塑料公司尼龙 66 的性能

①商品名称: Akulon Nylon 66

牌 号	密度 /(g/cm ³)	拉伸屈 服强度 /MPa	弯曲弹 性模量 /GPa	特 性
S223-TP4	1.08	52	1.86	注射,中等流动
S225-HMV2	1.38	86	4.55	注射,含 10% 矿物质,热稳定
SX4330	1.34	134	8.5	注射,含 33% 玻璃纤维,高冲击强度
SX4397	1.48	80	9.5	注射,含 40% 矿物质,是 PA6/66 共聚物,刚性高
SX4435	1.66	190	12.7	注射,阻燃 V-0 级,刚性高
X4497	1.42	—	4.93	注射,含 35% 矿物质,是 PA6/66 共聚物,抗冲击

②商品名称: Electrafil Nylon 66 注射极

牌 号	密度 /(g/cm ³)	拉伸 屈服 强度 /MPa	屈服 伸长 率 (%)	弯曲 弹性 模量 /GPa	热变形温度/℃		特 性
					0.44MPa	1.82MPa	
G-1/SS/5	1.22	59	2	4.4	—	232	含 5% 钢丝,导电
J1/CF/20	1.23	193	3	12.4	260	254	含 20% 碳纤维,导电

(续)

牌 号	密度 /(g/ cm ³)	拉伸 屈服 强度 /MPa	屈服 伸长 率 (%)	弯曲 弹性 模量 /GPa	热变形温度/℃		特 性
					0.44MPa	1.82MPa	
J-1/CF/40	1.33	260	1.8	23	262	254	含 40% 玻璃纤维,尺寸稳定性好
J-1/CN/15	1.20	97	1.6	7.4	—	232	含 15% 碳纤维,导电
J-1/CN/40	1.46	138	2.5	13.8	—	243	含 40% 碳纤维,导电
M1051	1.33	320	1.8	27.6	260	257	刚性高

③商品名称: Fiberfil Nylon 66 注射极

牌 号	密度 /(g/ cm ³)	拉伸 屈服 强度 /MPa	屈服 伸长 率 (%)	弯曲 弹性 模量 /GPa	热变形温度/℃		特 性
					0.44MPa	1.82MPa	
G-1/40	1.47	221	2	11.0	—	260	抗拉伸
G-8/40	1.40	138	2.5	8.15	—	254	抗拉伸
J-1/20/FR	1.51	86	—	—	—	211	阻燃 V-0 级
J-8/13	1.19	88	5.5	3.7	—	232	含 13% 玻璃纤维,抗冲击
J-8/33	1.34	140	5.0	7.6	257	243	含 33% 玻璃纤维,冲击强度高
J-17/20/V-0	1.53	117	—	8.2	—	219	含 20% 玻璃纤维,阻燃 V-0 级
J-17/30/V-0	1.62	138	—	10.0	—	227	含 30% 玻璃纤维,阻燃 V-0 级
NY-7/V-0	1.35	48	23	2.5	—	67	含 15% 专用料,阻燃 V-0 级
NY-8	1.08	48	125	1.66	—	63	冲击强度高
NY-8/MF/36	1.41	71	26	3.8	—	128	含 36% 矿物,抗拉伸
Xylon/V-0 级	1.42	59	—	2.9	—	80	电性能好,阻燃 V-0 级
Xylon/FR	1.42	67	2.0	3.7	190	88	阻燃 V-0 级

④商品名称: Nylofil Nylon 66 注射极

牌 号	密度 /(g/ cm ³)	拉伸 屈服 强度 /MPa	屈服 伸长 率 (%)	弯曲 弹性 模量 /GPa	Izod 缺 口冲击 强度 /(J/m)	热变形温度/℃		短玻璃 纤维含 量(%)	特 性
						0.44MPa	1.82MPa		
G-1/10/CF/30	1.39	270	—	23	—	—	260	10	含碳纤维 30%,耐磨
G-1/30	1.40	193	3	9.1	—	263	257	30	抗拉伸
G-1/30/HS	1.40	193	2.5	9.1	—	263	257	30	热稳定
G-1/30/MS/5	1.44	173	3	9.1	—	260	254	30	含 5% MoS ₂ ,润滑
G-1/30/Si/2	1.40	186	2.5	9.1	—	263	257	30	含硅 2%,润滑
G-1/30/TF/15	1.52	176	3	8.6	—	260	254	30	含 15% PTFE,润滑
G-1/40	1.47	221	2	11.0	—	263	260	40	抗拉伸
G-1/40/MS/5	1.51	193	—	10.5	—	265	260	40	含 15% MoS,润滑
G-1/CF/30	1.28	280	—	21.4	—	—	257	30	耐磨、高强度

(续)

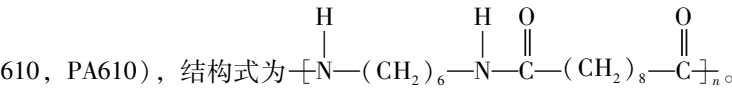
牌 号	密度 /(g/ cm ³)	拉伸 屈服 强度 /MPa	屈服 伸长 率 (%)	弯曲 弹性 模量 /GPa	Izod 缺 口冲击 强度 /(J/m)	热变形温度/℃		短玻璃 纤维含 量(%)	特 性
						0.44MPa	1.82MPa		
J-1/CF/10	1.18	138	4	6.9	—	260	249	10	耐磨、抗拉伸
J-1/CF/15/T20	1.33	158	3.5	9.7	—	257	249	15	导电、强度高
J-1/CF/30I	1.36	193	2.4	15.3	—	260	254	13	耐磨、耐高温
J1/CF/30T	1.38	207	2.6	15.2	—	260	254	30	耐磨、强度高
J1/CF/30/TF13	1.32	190	1.5	15.7	—	260	251	30	含 13% PTFE, 润滑
J1/CF/30/TF13S	1.38	193	2.4	15.2	—	260	254	30	含 13% PTFE 硅, 导电
J1/CF/40	1.33	221	2.0	230	—	263	255	40	耐磨、高强度
J-1/CF/40/V-0	1.46	240	1.5	210	—	254	249	40	耐磨、高强度
J-1/CF/50	1.38	260	1.2	290	—	263	256	50	耐磨、高强度
J-8/13	1.19	88	5.5	3.7	—	—	232	13	抗拉伸
J-8/33	1.34	140	5.0	20.4	—	257	243	33	抗拉伸
J-8/43	1.42	158	4.5	9.25	—	—	245	43	抗拉伸
J-17/20/V-0	1.56	110	3	8.2	1.2	238	216	20	阻燃 V-0 级
J-17/20/V-0/TF15	1.65	106	2	6.9	—	410	239	20	阻燃 V-0 级
J-17/30/V-0	1.67	138	2	9.7	—	238	216	30	阻燃 V-0 级
J-29/8/MB/22	1.38	102	3.3	8.0	—	—	243	8 云母	抗拉伸
J-29/33	1.39	155	4	9.1	—	260	251	33	抗拉伸
J-71/30/TF15	1.46	134	—	9.4	15.3	—	241	30	含 15% PTFE
J-71/30/TF15	1.48	157	—	8.5	17.0	—	226	30	含 15% PTFE
NY-1/MS/5	1.18	72	4	2.9	—	201	98	5MoS ₂	润滑
NY-1/TF/15	1.23	61	6	2.8	—	221	74	15	润滑
NY-16/MF/40	1.50	91	3	7.2	—	249	205	40	抗拉伸、尺寸稳定
N-17/MF/40	1.49	82	9	4.5	—	227	183	40	抗拉伸、尺寸稳定
J-1/15/FR	1.47	76	2.6	—	—	—	207	15	阻燃 V-0 级
J-1/15/MR/25	1.49	124	4.0	9.7	—	—	246	15	含 25% 矿物, 抗拉伸
J-1/20/FR	1.51	86	2.3	—	—	—	211	20	阻燃 V-0 级

四、尼龙 610

(一) 尼龙 610 简介

1. 基本特征

尼龙 610 化学名称为聚癸二酸己二胺，英文名称 Polyhex-amethyensebacamide (Nylon



尼龙 610 很多性能类似尼龙 66，力学性能介于尼龙 6 和尼龙 66 之间，吸水率优于

尼龙 6 和尼龙 66；耐低温性能、拉伸强度、冲击强度等优于尼龙 1010，具有较小的密度。尼龙 610 耐碱和稀无机酸，不耐浓无机酸，耐去污剂和化学药品、油脂类。稍耐醇类、酮类、芳烃、氯化烃，并能吸收醇、酮、芳烃、氯代烃起增塑作用。尼龙 610 耐候性较好。尼龙 610 与尼龙 6 和尼龙 66 的性能比较见表 2-56。表 2-57 列出了纯尼龙 610、玻璃纤维增强尼龙 610 及碳纤维增强尼龙 610 的性能指标。

表 2-56 尼龙 610 与尼龙 6、尼龙 66 的性能比较

性 能		尼龙 610	尼龙 6	尼龙 66
密度/(g/cm ³)		1.09	1.14	1.14
熔点/℃		213	220	260
结晶熔点/℃		225		264
成型收缩率(%)		1.2	0.6~1.6	0.8~1.5
拉伸强度/MPa		60	74	80
拉伸弹性模量/MPa		2000	2500	2900
伸长率(%)		200	200	60
弯曲强度/MPa		95	110	120
弯曲弹性模量/MPa		2200	2600	3100
缺口冲击强度/(J/m)		56	56	40
洛氏硬度(R)		116	114	118
热变形温度/℃	1.86MPa	65	65	75
	0.46MPa	173	175	216
相对介电常数	1000Hz	3.6	3.7	
	10 ⁶ Hz	3.5		4.0
介电损耗角正切值(10 ⁶ Hz)		0.04	0.023(10 ³ Hz)	
体积电阻率/Ω·cm		10 ¹⁴ ~10 ¹⁵		
吸水性(23℃,水中,24h)(%)		0.5	1.8	1.3
Taber 磨耗量/(mg/1000 次)		4	7	1.5

注：试验方法为 ASTM。

表 2-57 尼龙 610 的性能指标

项 目	基础树脂	玻璃纤维增强级	碳纤维增强级
密度/(g/cm ³)	1.07	1.39	1.26
成型线性收缩率/(cm/cm)	0.013	0.0028	0.0017
熔体流动速率/(g/10min)	50		
吸水率(%)	1.5	0.22	0.18
平衡吸湿率(%)	1.4		
洛氏硬度(R)	110	110	120

(续)

项 目	基础树脂	玻璃纤维增强级	碳纤维增强级
屈服拉伸强度/MPa	55	170	
极限拉伸强度/MPa	64.3	140	200
断裂伸长率(%)	80	3.1	2.6
弹性模量/GPa	2	9.2	20.7
弯曲模量/GPa	2	7.9	15.7
弯曲屈服强度/MPa	88	210	300
悬臂梁缺口冲击强度/(J/cm)	0.7	1.4	1.4
悬臂梁无缺口冲击强度/(J/cm)	6.4	9.7	9.6
压缩屈服强度/MPa	69	150	
1000h 拉伸蠕变模量/MPa	400		
剪切强度/MPa		75.5	
K 因子(耐磨性)		18	
摩擦因数		0.31	
线胀系数(20℃)/K ⁻¹	110	40.3	15.3
热变形温度(0.46MPa)/℃	170	220	230
热变形温度(1.82MPa)/℃	72.2	210	220
熔点/℃	220	220	
空气中最高使用温度/℃	72.2	210	220
比热容/[J/(g·K)]	1.6	1.6	
热导率/[W/(m·K)]	0.21	0.43	
氧指数	24		
阻燃性(UL94)	V-2	V-0(最高)	HB
加工温度/℃	260	270	280
成型温度/℃		93.2	96.3
干燥温度/℃		80.8	87.7
体积电阻率/Ω·cm	4.3×10 ¹⁴	3.1×10 ¹⁴	310
表面电阻率/Ω	5.1×10 ¹¹		1000
介电常数	3.5	3.8	
低频介电常数	3.7	4.2	
介电强度/(kV/mm)	17.9	19.5	
介电损耗角正切值	0.079	0.016	
抗电弧性/s	120	130	
漏电起痕指数/V	600		

2. 应用

尼龙 610 的用途类似于尼龙 6 和尼龙 66，有着巨大的潜在市场。在机械行业、交通运输行业，可用于制作套圈、套筒及轴承保持架等；在汽车制造业可用于制作方向盘、法兰、操作杆等汽车零部件，但与尼龙 6 和尼龙 66 相比，尤其适合于制造尺寸稳定性要求高的制品，如齿轮、轴承、衬垫、滑轮及要求耐磨的纺织机械的精密零部件；也可用于输油管道、贮油容器、绳索、传送带、单丝、鬃丝及降落伞布等；在电子电器行业，尼龙 610 可用于制造计算机外壳、工业生产电绝缘产品、仪表外壳、电线电缆包覆料等。另外，由于尼龙 610 的耐低温性能、拉伸强度、冲击强度等都优于尼龙 1010，且成本低于后者，随着家用电器向轻量化、安全性方向发展，耐燃、增强及增韧尼龙 610 在家电行业的应用量以及粉末涂料中的应用可望迅速增加。

(二) 国内尼龙 610 品种与性能

(1) 黑龙江尼龙厂的尼龙 610 (表 2-58)

表 2-58 黑龙江尼龙厂尼龙 610 的性能

项 目	I 型		II 型		增强级
	一级	二级	一级	二级	
外观	白色~微黄色	淡黄色	白色~微黄色	淡黄色	淡黄色
粒度(粒/g)	> 40		40		—
水分(%)	≤ 0.3		0.3		—
密度/(g/cm ³)	1.08~1.10		1.10~1.13		1.13
熔点/℃	≥215(熔程 7℃)		≥215(熔程 7℃)		—
比粘度	2.40~3.00		>3.00		—
拉伸强度/MPa	≥ 45		50		118
弯曲强度/MPa	≥ 600(只弯不断)		700(只弯不断)		162
冲击强度(缺口)/(kJ/m ²)	≥ 3.5		3.2		9.8
介电强度/(kV/mm)	≥ 15		15		—
体积电阻率/Ω·cm	≥ 10 ¹³		10 ¹³		10 ¹⁵
介电损耗角正切值(1MHz)	≤ 3.5×10 ⁻²		3.5×10 ⁻²		—
带黑点树脂含量(黑点直径 0.2~0.7mm)(%) ≤	1.0	1.5	1.0	1.5	—
热变形温度(1.8MPa)/℃	55		55		184
成型收缩率(%)	1.5~2.0		1.5~2		0.2
特性与应用	I 型		半透明微黄颗粒,除强度高,耐磨、耐油、抗冲击外,还具有吸水性低、尺寸稳定和电绝缘好等性能,宜制齿轮、密封材料、油管、绝缘材料		
	II 型		比 I 型强度高,除抗冲击好外,其他与 I 型类似		

(2) 江苏宜兴太湖尼龙龙的尼龙 610（表 2-59）

表 2-59 江苏宜兴太湖尼龙龙尼龙 610 的性能

项 目	I 型	Ⅱ 型	增强料	SL012
相对粘度	1.80 ~ 2.30	2.30 ~ 2.80		—
熔点/℃	215 ~ 223	215 ~ 223		—
拉伸强度/MPa	55	60	140	142
弯曲强度/MPa	75	80	200	207
弯曲弹性模量/MPa			6000	—
Izod 缺口冲击强度/(kJ/m ²)	12	15	9	21.6
马丁耐热温度/℃	50 ~ 55	50 ~ 55	190	—
热变形温度(1.82MPa)/℃	55 ~ 63	55 ~ 63	—	198
布氏硬度	—	—	145	—
特性与应用	增强料	象牙色或微黄色颗粒,含 30% 玻璃纤维,除强度、耐温、抗冲击等比未增强较高外,其他与普通料类似		
	SL012	注射,含 40% 玻璃纤维,抗冲击、刚性高,宜制工程件		

(三) 国外尼龙 610 品种与性能

(1) 美国复合材料（Compounding Technology）公司的尼龙 610（表 2-60）

表 2-60 美国复合材料公司尼龙 610 的性能

牌 号	密度 /(g/cm ³)	拉伸屈服 强度 /MPa	屈服伸 长率 (%)	热变形温度/℃		玻璃纤维 含量 (%)	特 性
				0.44MPa	1.82MPa		
NI-30GF	1.31	138	4	216	210	30	拉伸强度高、收缩率低 同 NI-30GF
NI-40GF	1.40	173	4	221	216	40	

(2) 美国特克波尔公司的尼龙 610（表 2-61）

表 2-61 美国特克波尔公司尼龙 610 的性能

牌 号	密度 /(g/cm ³)	拉伸屈 服强度 /MPa	弯曲弹 性模量 /GPa	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m)	热变形温度 (0.44MPa) /℃	特 性
1600AZIPINAT	1.09	66	2.05	49	184	未增强,耐水汽
160AZIP-10	1.08	69	2.0	59	171	未增强,耐水汽
GF1600A-33	1.32	166	7.6	139	216	含 33% 玻璃纤维,耐水汽
Texalon 1600A-NAT	1.08	69	1.9	59	160	未增强,耐水汽

(3) 日本昭和电工 (Showa Denka) 公司的 Technyl 尼龙 610 (表 2-62)

表 2-62 日本昭和电工公司 Technyl 尼龙 610 的性能

牌 号	密度 /(g/cm ³)	吸水性 (%)	洛氏 硬度	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m)	热变形温度 (0.45MPa) /℃	线胀系数 (×10 ⁻⁵) /K ⁻¹	拉伸屈 服强度 /MPa	弯曲强 性模量 /GPa
D100	1.09	0.36	114	0.441	173	9	68.7	2.26
D316	1.09	0.40	116	0.294	173	9	68.7	2.26
D317	1.09	0.40	116	0.294	173	9	68.7	2.26

(4) 日本东丽工业公司的 Amilan 尼龙 610 (表 2-63)

表 2-63 日本东丽工业公司 Amilan 民龙 610 的性能

牌 号	密度 /(g/cm ³)	吸水性 (%)	熔点 /℃	拉伸屈 服强度 /MPa	断裂伸 长率 (%)	弯曲 强度 /MPa	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m)	洛氏 硬度	体积电 阻率 /Ω·cm
CM2001	1.08	0.3	225	58	200	95	50	116	10 ¹⁴ ~ 10 ¹⁵
CM2006	1.08	0.3	225	60	200	95	50	116	10 ¹³ ~ 10 ¹⁴
CM2402	1.08	0.4	—	55	200	—	45	115	—
特性与应用	CM2001 CM2006 CM2402	注射、挤出均可,尺寸稳定性好,电性能好,制电器件、工具刷、涂料刷 挤出级,热稳定,制电线套管 挤出级,耐候、吸潮、柔曲性好,宜制电线护套							

(5) 法国罗纳·普朗克 (Rhone-Poulenc) 公司的 Technyl 尼龙 610 (表 2-64)

表 2-64 法国罗纳·普朗克公司 Technyl 尼龙 610 的性能

牌 号	密度 /(g/cm ³)	吸水性 (%)	熔点 /℃	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m)	燃烧性 (UL94)	特性和主要用途
D100	1.09	0.36	215 ~ 220	45	HB	低粘度,注射,制普通制品
D316	1.09	0.4	215 ~ 220	30	HB	中粘度,注射,制普通制品
D317	1.09	0.4	215 ~ 220	30	HB	耐热,注射,制耐热制品

(6) 英国帝国化学公司的尼龙 610 (表 2-65)

表 2-65 英国帝国化学公司尼龙 610 的性能

牌 号	密度 /(g/cm ³)	弯曲弹 性模量 /GPa	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m)	热变形 温度 /℃	特性和主要用途
EMI-X PDX82428	1.39	10.3	53	210 ~ 213	含碳纤维,用于电磁干扰屏蔽
EMI-X QC1008	1.29	20.6	107	219 ~ 224	含碳纤维,用于电磁干扰屏蔽
EMI-X QC100-10	1.34	23.0	107	219 ~ 224	含 10% 碳纤维,用于电磁干扰屏蔽
Lubricomp QFL4024	1.30	5.9	53	204	润滑,含玻璃纤维

(续)

牌 号	密度 /(g/ cm ³)	弯曲弹 性模量 /GPa	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m)	热变形 温度 /℃	特性和主要用途
Lubricomp QFL4034	1.34	5.9	48	204	润滑,含玻璃纤维
Lubricomp QFL4036	1.45	7.9	—	210	润滑,含 45% 玻璃纤维和聚四氟乙烯
Lubricomp QFL4536	1.43	6.9	117	204	润滑
Lubricomp QFL4736LW	1.43	6.9	107	204	润滑
Lubricomp QL4020	1.14	1.58	37	54	润滑
Lubricomp QL4030	1.17	1.58	30	54	润滑
Lubricomp QL4040	1.20	1.45	—	54	润滑,含 20% 聚四氟乙烯
Lubricomp QL4410	1.17	1.86	32	52	润滑
Lubricomp QL4530	1.17	1.58	30	54	润滑
Lubricomp QL4540	1.19	1.58	27	54	润滑,含 2% 硅
Magnacomp QL	3.20	8.7	32	110	—
Magnacomp QM	3.45	9.1	32	110	—
Ny-kon Q	1.13	0.23	—	63 ~ 154	润滑,含 20% 二硫化钼
Ny-kon Q1000	1.08	1.93	—	57	—
QF1002	1.15	5.2	48	204 ~ 210	含玻璃纤维
QF1004	1.22	6.2	59	210 ~ 216	含玻璃纤维
QF1006	1.23	17.3	96	219	含玻璃纤维
QF1006FR	1.58	8.2	69	204	含玻璃纤维,阻燃
QF1006MG	1.30	5.9	53	204	含玻璃纤维
QF1008	1.41	9.1	170	216 ~ 221	含玻璃纤维
QF1008MG	1.50	7.6	107	204	含玻璃纤维
QF100-10	1.50	13.1	170	219 ~ 224	含玻璃纤维
QF100-12	1.65	15.8	170	219 ~ 224	含玻璃纤维
Stat-kon QC1002	1.12	6.7	53	207 ~ 210	抗静电,含碳纤维
Stat-kon QC1004	1.17	12.4	80	213	含碳纤维,抗静电
Stat-kon QC1006	1.23	15.2	96	219 ~ 224	抗静电,含碳纤维
Stat-kon QCL4035	1.31	13.1	85	221	抗静电,含碳纤维
Stat-kon QCL4036	1.33	15.5	85	213	润滑,含碳纤维
Stat-kon QCL4536	1.31	11.0	91	210	润滑,含碳纤维
Verton QA7004	1.14	4.5	69	210	含 20% 芳族酰胺长纤维
Verton QF700-10	1.53	13.8	426	221	含玻璃纤维
Verton RF7007	1.42	9.9	197	254	含玻璃纤维

(7) 德国巴斯夫公司的 Ultramid 尼龙 610（表 2-66）

表 2-66 德国巴斯夫公司 Ultramid 尼龙 610 的性能

牌号	密度 /(g/cm ³)	拉伸屈服强度 /MPa	弯曲弹性模量 /GPa	Izod 缺口冲击强度 /(J/m)	热变形温度/℃		特性和主要用途
					0.44MPa	1.82MPa	
S ₃	1.07	69.1	2.1	53	170	76	低粘度,注射制普通工业件、家电外壳、高级日用品,阻燃 V-2 级
S ₃ K	1.07	69.1	2.1	69	200	85	低粘度,高冲击强度,含稳定剂,注射,制工业配件,阻燃 V-2 级
S ₄	1.07	69.1	2.1	69	200	76	中粘度,挤出、注射均可,制工业配件、型材,阻燃 V-2 级
S ₄ K	1.07	69.1	2.1	69	205	99	中粘度,耐热,注射、挤出均可

(8) 荷兰阿克苏工程塑料公司的 Nylafil 尼龙 610（表 2-67）

表 2-67 荷兰阿克苏工程塑料公司 Nylafil 尼龙 610 的性能

牌 号	密度 /(g/cm ³)	拉伸屈服强度 /MPa	屈服伸长率 (%)	弯曲弹性模量 /GPa	热变形温度/℃		特 性
					0.44MPa	1.82MPa	
J-2/10	1.15	65	2.6	4.1	213	190	含 10% 玻璃纤维
J-2/20	1.22	107	3.5	5.7	219	204	含 20% 玻璃纤维
J-2/30	1.31	152	4.3	7.9	221	210	含 30% 玻璃纤维
J-2/40	1.40	184	4.7	10.3	221	210	含 40% 玻璃纤维
G-2/10	1.14	63	2.8	4.0	221	213	含 10% 玻璃纤维
G-2/20	1.33	103	3.3	5.75	221	219	含 20% 玻璃纤维
G-2/30	1.39	154	4.0	8.2	221	219	含 30% 玻璃纤维
G-2/40	1.39	175	4.1	9.85	221	219	含 40% 玻璃纤维
J2/30/V-0	1.55	131	3.5	8.5	—	199	含 30% 玻璃纤维,阻燃 V-0 级
J2/30/V-0 ^①	1.55	131	—	8.5	—	199	阻燃 V-0 级,电性能好

① 商品名为 Fiberfil。

五、尼龙 612

(一) 尼龙 612 简介

1. 基本特性

尼龙 612 化学名称聚十二酰己二胺,英文名称 Polyhexamethylene dodeca namide (Nylon612, PA612), 结构式为 $\text{—NH—(CH}_2\text{)}_6\text{—NH—CO(CH}_2\text{)}_{10}\text{—CO—}_n$ 。

尼龙 612 为半透明乳白色粒状料,相对分子质量为 1200~4000,性能与尼龙 6 和尼龙 610 接近,吸水性、尺寸稳定性及刚性等优于尼龙 610,冲击强度比尼龙 6 高得多,低温性能和拉伸强度、冲击强度等都超过尼龙 1010。能耐酸、碱等溶剂。表 2-68 列出了注射级尼龙 612 的性能指标。

表 2-68 注射级尼龙 612 的性能指标

项 目			ASTM 方法	非增强 PA612	33% 玻璃纤维增强 PA612
一 般 性 能	熔点/℃		D789	212	212
			D3418	217	217
	相对密度		D792	1.06	1.32
	成型收缩率(%)		3.2	1.1	0.2
	吸水率(%)	24h	D570	0.25	0.16
		50% RH		1.3	0.9
饱和		3.0		2.0	
力 学 性 能	拉伸强度/MPa		D638	61(61)	165(138)
	极限伸长率(%)		D638	150(≥300)	3(4)
	屈服伸长率(%)		D638	7(40)	
	弯曲模量/MPa		D790	2304(1241)	8274(6205)
	洛氏硬度		D785	114(108)	118
	悬臂梁冲击强度/(J/m)		D256	53(75)	2.4(2.5)
	Taber 磨损/(mg/1000 次)		D1044	6	
热 学 性 能	热变形温度/℃	0.5MPa	D648	180	215
		1.8MPa		65	210
	线胀系数/K ⁻¹		D648	9×10 ⁻⁵	2.3×10 ⁻⁵
电 学 和 燃 烧 性 能	体积电阻率/Ω·cm		D257	10 ¹⁵ (10 ¹³)	10 ¹⁵ (10 ¹²)
	相对介电常数(1000Hz)		D150	4.0(5.3)	3.7(7.8,100% RH)
	介电损耗角正切值(1000Hz)		D150	0.02(0.15)	0.02(0.14,100% RH)
	介电强度/(kV/mm)		D149	30(30)	20.5(17.3,100% RH)
	氧指数		D2863	25(28)	

2. 应用

尼龙 612 主要用于汽车、电器、宇航、兵器、机械等行业的一些耐低温、耐摩擦及精密部件，如精密机械部件、线圈骨架、电线电缆的绝缘层、燃料油管道、油压系统管道、导管、传送带、循环连接管、工具架套、弹药箱、汽车零件、枪托、火箭尾翼件及薄膜制品等。

(二) 尼龙 612 国外主要品种与性能

(1) 美国科马洛伊 (Comalloy) 国际公司的尼龙 612 (表 2-69)

表 2-69 美国科马洛伊国际公司尼龙 612 的性能

牌 号	密度 /(g/ cm ³)	拉伸屈 服强度 /MPa	弯曲弹 性模量 /GPa	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m)	热变形 温度 /℃	特 性
640-2140	1.42	103	7.0	53	199~207	尺寸稳定
640-2250	1.51	128	9.3	80	210~213	尺寸稳定

(续)

牌 号	密度 /(g/cm ³)	拉伸屈服强度 /MPa	弯曲弹性模量 /GPa	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m)	热变形 温度 /℃	特 性
640-2355	1.56	152	11.4	107	210~213	含 55% 玻璃纤维,低收缩率
640-3020	1.21	123	6.3	6.4	207~210	含 10% 玻璃纤维,刚性
640-3033	1.32	163	8.2	128	210~213	含 33% 玻璃纤维,刚性
640-3013	1.42	191	10.3	133	210~213	含 43% 玻璃纤维,刚性
640-3050	1.50	200	12.4	155	213~216	含 50% 玻璃纤维,刚性
Aqualoy 640	1.46	186	10.3	160	210~216	矿物、玻璃纤维混合增强
Comtuf 608	0.99	40	1.45	1070	63~188	高冲击强度、阻燃 HB 级
Comtuf 640	1.42	145	78	267	210~216	玻璃纤维增强,阻燃 HB 级
Comtuf 643	1.25	132	6.2	277	204~210	含 33% 玻璃纤维,阻燃 HB 级
Comtuf 644	1.38	142	7.7	293	204~210	含 43% 玻璃纤维,阻燃 HB 级
Comtuf 649	1.32	63	3.9	170	149~182	含 49% 矿物,阻燃 HB 级
Hiloy 640	1.46	186	10.3	160	210~216	特殊级,阻燃 HB 级
Hiloy 641	1.13	94	4.1	59	185~204	含 13% 玻璃纤维,阻燃 HB 级
Hiloy 642	1.21	123	6.3	64	207~210	含 20% 玻璃纤维增强
Hiloy 643	1.32	163	8.2	128	210~213	含 33% 玻璃纤维增强
Hiloy 644	1.42	191	10.3	133	210~213	含 43% 玻璃纤维增强
Hiloy 645	1.50	200	12.4	155	213~216	含 50% 玻璃纤维增强
Hiloy 646	1.42	103	7.0	53	199~207	阻燃 HB 级
Hiloy 648	1.26	60	3.1	35	99~106	专用级、阻燃 HB 级
Hiloy 649	1.30	62	4.7	48	110~177	矿物改性,阻燃 HB 级
Lubrilon 643	1.43	138	6.8	117	204~210	含 33% 玻璃纤维/聚四氟乙烯,耐化学、摩擦性能好
Volon 642	1.46	123	6.5	80	177~199	含 25% 玻璃纤维,阻燃 V-0 级
Volon 648	1.46	58	4.1	53	104~154	含 25% 矿物,阻燃 V-0 级
Volon 694	1.40	103	4.8	133	160~193	含 25% 玻璃纤维,阻燃 V-0 级
Volon 698	1.40	54	3.4	107	96~182	含 25% 矿物,阻燃 V-0 级

(2) 美国杜邦公司的 Minlon Zytel 尼龙 612 (表 2-70)

表 2-70 美国杜邦公司 Minlon Zytel 尼龙 612 的性能

牌 号	密度 /(g/cm ³)	拉伸屈服强度 /MPa	屈服伸长率 (%)	弯曲弹性模量 /GPa	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m)	热变形温度/℃		燃烧性
						0.44MPa	1.82MPa	
77G33L-NC	1.32	166	—	8.2	128	—	210	HB
77G43L-NC	1.44	193	—	10.3	155	—	210	HB

(续)

牌 号	密度 /(g/cm ³)	拉伸屈 服强度 /MPa	屈服伸 长率 (%)	弯曲弹性 模量 /GPa	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m)	热变形温度/℃		燃烧性
						0.44MPa	1.82MPa	
151NC-10	1.06	61	7	2.04	43	180	90	V-2
153HS-L	1.06	61	7	2.04	53	180	90	V-2
157HS-LBK10	1.06	61	7	2.04	53	180	90	V-2
158L	1.06	30	7	2.04	53	180	90	V-2
158L-NC10	1.06	61	7	2.04	53	180	90	V-2
350P-HS	1.02	37	>250	0.91	800	156	76	—
351P-HS	1.04	37	>250	0.47	1013	163	76	—
ST351-PHS	1.04	37	—	0.47	无断裂	163	76	—
ST801	1.08	52	60	1.69	906	216	71	HB
ST811	1.04	48	415	4.8	1170	188	53	HB

(3) 美国弗伯菲尔 (Fiberfil) 公司的 Nylafil 尼龙 612 (表 2-71)

表 2-71 美国弗伯菲尔公司 Nylafil 尼龙 612 的性能

项 目	ASTM	77G-33 LNC-10	77G-43 LNC-10	G-4/35	J4/30/ TF/15	J4/30 /V-0	J4/35
熔融温度/℃		282 ~ 304	282 ~ 304	—	—	—	—
吸水性 (%)	D570	2.0	1.7	3.1	—	—	2.1
拉伸屈服强度/MPa	D638	138 ~ 165	165 ~ 193	179	138	131	152
屈服伸长率 (%)	D638	5.0	4 ~ 5	3.2	3.4	3.2	5.0
弯曲屈服强度/MPa	D790	—	—	269	217	193	241
弯曲弹性模量/GPa	D790	6.2 ~ 8.3	8.6 ~ 10.3	6.21	6.21	9.65	6.21
硬度 (R)	D785	R118	R118	E36 ~ 45	M70 ~ 80	M89	E35 ~ 45
Izod 缺口冲击强度/(kJ/m)	D265	5.0	5.2	8.8	6.3	3.1	5.5
热变形温度/℃	0.46MPa D648	—	—	216	204	—	210
	1.82MPa D648	210	210	210	196	188	199
连续使用最高温度/℃		120	120	—	—	—	—
线胀系数(×10 ⁻⁵ K ⁻¹)	D696	2.3	2.2	2.5	1.8	1.8	2.5
介电常数(1MHz)	D150	3.4	3.6	—	—	—	—
介电损耗角正切值(1MHz)	D150	1.6×10 ⁻²	1.7×10 ⁻²	—	—	—	—
体积电阻率/Ω·cm	D257	1×10 ¹⁵	1×10 ¹⁵	—	—	—	—

(4) 荷兰阿克苏工程塑料公司的 Nylafil 尼龙 612 (表 2-72)

表 2-72 荷兰阿克苏工程塑料公司的 Nylafil 尼龙 612 的性能

牌 号	密度 /(g cm ³)	拉伸 屈服 强度 /MPa	屈服 伸长 率 (%)	弯曲 弹性 模量 /GPa	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m)	热变形温度/℃		特 性
						0.44MPa	1.82MPa	
G-4/35	1.34	179	3	8.2	—	216	210	含 35% 玻璃纤维
G-4/45	1.45	200	2.9	10.3	—	219	213	含 45% 玻璃纤维
J-4/30/TF/10	1.45	138	3	8.2	—	204	196	润滑性好, 含 30% 玻璃纤 维和 10% 聚四氟乙烯
J4/30/V-0	1.60	131	3	9.7	—		188	阻燃, 含 30% 玻璃纤维
J4/35	1.34	152	5	8.2	—	210	199	含 35% 玻璃纤维
J4/45	1.45	173	4.5	9.7	—	213	199	含 45% 玻璃纤维
J4/CF/30/TF/10	1.30	193	3	17.9	128	—	199	润滑, 含 30% 碳纤维和 10% 聚四氟乙烯
J4/CF/40	1.29	230	3	23	160	—	199	耐磨性好, 含 40% 碳纤维
Fiberfil J-4/30V-0	1.55	131	—	8.3	—	—	196	阻燃 V-0 级, 含 30% 玻璃 纤维
Fiberfil TN-Ny4	1.06	61	100	2.04	580	—	90	未改性, 高冲击强度
Fiberfil TN-Ny12	1.03	37	40	1.34	666	—	57	未改性, 高冲击强度
Fiberfil TN-J12/33	1.28	124	5	7.2	240	—	196	含 5% 玻璃纤维

(5) 英国帝国化学工业公司的 Lubricomp 尼龙 612 (表 2-73)

表 2-73 英国帝国化学工业公司 Lubricomp 尼龙 612 的性能

牌 号	密度 /(g/ cm ³)	拉伸 屈服 强度 /MPa	弯曲 弹性 模量 /GPa	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m)	热变形温度/℃		特 性
					0.44MPa	1.82MPa	
Stat-kon IC1004	1.16	—	12.4	75	—	213	抗静电, 含碳纤维
Stat-kon IC1006	1.22	—	15.8	96	—	210	抗静电, 含碳纤维
EMI-X IC1008	1.29	—	20.7	128	219	216	具有电磁屏蔽作用, 含碳纤维
IF1002	1.14	—	4.8	43	210	204	含 10% 玻璃纤维增强
IF1004	1.21	—	6.2	59	216	210	含 20% 玻璃纤维增强
IF1006	1.30	—	7.6	128	221	213	含 30% 玻璃纤维增强
IF1006FR	1.58	—	8.2	80	—	204	阻燃, 含 30% 玻璃纤维增强
IF1008	1.40	—	9.4	170	224	204	含 40% 玻璃纤维增强
IF1008MG	1.40	—	5.9	59	—	204	含 40% 玻璃纤维增强
IF100-10	1.49	—	13.1	170	224	219	含 50% 玻璃纤维增强

(续)

牌 号	密度 (g/cm ³)	拉伸 屈服 强度 /MPa	弯曲 弹性 模量 /GPa	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m)	热变形温度/℃		特 性
					0.44MPa	1.82MPa	
IF100-12	1.64	31	15.8	—	224	219	含 60% 玻璃纤维,刚性高
IFL4036	1.43	—	7.2	107	—	207	含玻璃纤维
IFL4536	1.41	—	6.6	107	—	204	含玻璃纤维
II4020	1.12	—	2.3	48	—	60	含 10% 聚四氟乙烯,润滑性好
II4030	1.18	—	1.52	48	—	63	含 15% 聚四氟乙烯,润滑性好
II4040	1.19	7	1.09	—	—	57	含 20% 聚四氟乙烯,润滑性好
II4410	1.08	8	1.79	64	—	54	含 2% 硅,润滑性好
II4540	1.17	6.5	1.73	53	—	57	含 2% 硅,润滑性好
Thermocomp I-1000	1.07	8.8	2.0	53	—	57	—
Ny-kon I	1.13	9.5	2.25	—	154	63	含 20% MoS ₂ ,润滑性好

六、尼龙 11

(一) 尼龙 11 简介

1. 基本性能

尼龙 11 化学名称聚十一内酰胺，英文名称 Polyundecanoylamide；Nylon11，简称 PA11。

尼龙 11 为白色半透明固体，其分子中亚甲基数目与酰氨基数目之比较高，故其相对密度为 1.03 ~ 1.05，吸水性小，熔点低，加工温度宽，尺寸稳定性好，电气性能稳定可靠；低温性能优良，可在 -40 ~ 120℃ 保持良好的柔性；耐磨性和耐油性优良，耐碱、醇、酮、芳烃、润滑油、汽油、柴油、去污剂性的优良；耐稀无机酸和氯代烃的性能中等；不耐浓无机酸；50% 盐酸对它有很大腐蚀，苯酚对它也有较大腐蚀；耐候性中等，加入紫外线吸收剂，可大大提高耐候性。尼龙 11 的主要性能指标见表 2-74。

表 2-74 尼龙 11 的主要性能指标

项 目		指 标	项 目		指 标
密度/(g/cm ³)		1.03 ~ 1.05	维卡耐热/℃		160 ~ 165
吸水率(%)	23℃,水中,24h	0.3	热变形温度/℃	1.86MPa	56
	20℃,65% RH 平衡	1.05		0.46MPa	155
熔点(<i>T_m</i>)/℃		186	线胀系数/(×10 ⁻⁵ /K)		15
玻璃化温度(<i>T_g</i>)/℃		42	比热容/[kJ/(kg·K)]		2.42
瞬间使用温度/℃		100 ~ 130	熔解热/(kJ/kg)		83.7
最高连续使用温度/℃		60	拉伸强度/MPa		55
马丁耐热/℃		50 ~ 55	断裂伸长率(%)		300

(续)

项 目		指 标	项 目	指 标
拉伸弹性模量/MPa		1300	洛氏硬度(R)	108
弯曲强度(干燥)/MPa		69	相对介电常数(1kHz)	3.2~3.7
弯曲弹性模量/MPa		1400	介电损耗角正切值(20℃,1kHz)	0.05
成型收缩率(%)		1.2	介电强度/(kV/mm)	16.7
冲击强度(缺口)/(J/m)	20℃	43	体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$	6×10^{13}
	-40℃	37	Taber 磨耗量/(mg/1000次)	5
			可燃性	自熄

2. 应用

尼龙 11 因其良好的综合性能,应用领域不断扩大,在汽车、军械、电缆、电器、机械、医疗器材、体育用品等许多领域获得广泛应用。

(二) 尼龙 11 国外主要品种和性能

(1) 美国复合技术公司的尼龙 11 (表 2-75)

表 2-75 美国复合技术公司尼龙 11 的性能

牌 号	密度 /(g/cm ³)	拉伸屈服强 度/MPa	屈服伸长率 (%)	热变形温度 /℃	特 性
NH20GF	1.19	91	6	160~166	含 20% 玻璃纤维,强度高
NH30GF	1.24	103	3	166~171	含 30% 玻璃纤维,强度高
NH40GF	1.38	131	3	171~177	含 40% 玻璃纤维,收缩率低

(2) 美国杜邦公司的 Zytel 尼龙 11 (表 2-76)

表 2-76 美国杜邦公司 Zytel 尼龙 11 的性能

牌 号	密度/(g/cm)	拉伸屈服强度/MPa	弯曲弹性模量/GPa	主 要 用 途
FN714	1.02	28	0.52	用于制汽车零件
FN716	1.03	30	0.69	用于制汽车零件
FN718	1.04	37	0.94	用于制汽车零件
FN726	1.01	32	0.61	用于制汽车零件

(3) 美国尔特普 (RTP) 公司的 RTP 尼龙 11 (表 2-77)

表 2-77 美国尔特普公司 RTP 尼龙 11 的性能

牌 号	密度 /(g/cm ³)	拉伸屈 服强度 /MPa	屈服伸 长率 (%)	弯曲弹 性模量 /GPa	热变形温度 (0.44MPa) /℃	特 性
201C	1.11	82	4	2.1	164~167	含 10% 玻璃纤维,低温性能好
203C	1.18	97	3.5	3.6	171~180	含 20% 玻璃纤维,耐水汽
205C	1.28	110	2.6	5.2	177~182	含 30% 玻璃纤维,抗冲击性好
207C	1.38	131	2.3	6.9	193~199	含 40% 玻璃纤维,耐水解

(4) 日本里尔散 (Lirse) 公司的 Lirse 尼龙 11 (表 2-78)

表 2-78 日本里尔散公司 Lirse 尼龙 11 的性能

牌 号	密度 /(g/cm ³)	拉伸屈服强度 /MPa	伸长率 (%)	弯曲弹性模量 /GPa	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m)	洛氏 硬度	热变形温度 (0.46MPa) /℃
BECNO TL	1.04	33	250	0.98	40~60	R108	150
BESNO TL	1.04	34	250	1.0	50~90	R108	157
BESNOP15TL	1.04	11	250	0.15	不断	R74	100
BESNOP20TL	1.05	26	250	0.5	100~150	R85	149
BESNOP40TL	1.06	20	250	0.35	>300	R75	140
BMNG8	1.05	38	250	1.2	27	R111	161
BMNO	1.04	34	250	9.0	40~60	R121	150
BMNOP20	1.05	27	250	0.5	100~200	R85	149
BMNOP40	1.06	18	250	0.35	>300	R75	140
BMNY	1.04	35	250	1.1	40	R108	155
BMZ23G9	1.22	900	断6	2.9	106	R112	185
BMZ300	1.26	880	断5	3.2	100~150	R116	180
BMZ43G9	1.42	1360	断4	4.1	129	R111	188
KMFO	1.04	32	250	1.0	30~60	R108	150

牌 号	热变形温度 (1.86MPa) /℃	成型收缩率 (%)	燃烧性 (UL94)	介电常数 (10 ⁶ Hz)	耐电弧 /s	特 性
BECNO TL	55	0.7~1.0	V-2	3.7	1.0	电线护套级
BESNO TL	57	0.7~1.0	V-2	3.7	1.0	挤出
BESNOP15TL	40	0.7~1.0	HB	—	1.0	挤出
BESNOP20TL	54	0.7~1.0	HB	5.9	1.0	挤出
BESNOP40TL	48	0.7~1.0	HB	9.7	1.0	挤出
BMNG8	63	0.7~0.9	HB	3.7	1.1	注射
BMNO	55	0.7~1.0	—	3.7	1.1	注射
BMNOP20	54	0.7~1.0	HB	5.9	1.0	注射
BMNOP40	48	0.7~1.0	HB	9.7	1.0	注射
BMNY	58	0.7~0.9	V-2	—	1.0	注射
BMZ23G9	176	0.3~0.5	HB	6.5	0.50	注射
BMZ300	173	0.3~0.5	HB	4.8	0.54	注射
BMZ43G9	183	0.3~0.5	HB	—	0.49	注射
KMFO	55	0.7~1.0	V-2	—	1.1	注射

(5) 英国帝国化学工业公司的 Lubricomp 尼龙 11 (表 2-79)

表 2-79 英国帝国化学工业公司的 Lubricomp 尼龙 11 的性能

牌 号	密度 /(g/cm ³)	拉伸屈服强度 /MPa	弯曲弹性模量 /GPa	Izod 缺口冲击强度 /(J/m)	热变形温度 /℃	特 性
H1000	1.04	57	0.98	37	54	—
HF1004	1.19	—	4.8	112	165	含短玻璃纤维
HF1006	1.24	—	6.0	117	165	含短玻璃纤维
HFL4325	1.31	86	5.9	—	166	含润滑剂

(6) 法国阿托 (ATO) 化学公司的 Risah 尼龙 11 (表 2-80)

表 2-80 法国阿托化学公司 Risah 尼龙 11 的性能

牌 号	密度 /(g/cm ³)	拉伸屈服强度 /MPa	弯曲弹性模量 /GPa	热变形温度 (1.82MPa)/℃	燃烧性 (UL94)
BMNO	1.04	69	1.17	42	V-2
BMNOF15	1.05	40	0.15	39	—
BMNOP20	1.05	66	0.46	42	HB
BMNOP40	1.05	64	0.34	41	HB
BMV Black T	1.04	69	1.17	45	—
BMVO TL	1.03	69	1.17	45	—
BMNY	1.04	57	1.38	62	—
BMN G8D	1.09	57	1.1	61	—
BMN G9	1.09	57	1.24	64	—
BMN Y-BZ-TL	4.17	33	4.1	113	—
BUM-30-0	1.24	41	1.73	61	HB
BZM-30-0	1.26	97	5.4	177	HB
BESV-0	1.04	76	1.24	46	—
BECNO TL	1.05	66	0.32	43	—
BECNO	1.04	69	1.17	46	V-2
BESN-T	1.03	69	1.17	44	V-2
BESNO	1.04	65	1.17	57	—
BESNO-P10-TL	1.04	69	1.17	46	—
BESNO-P20	1.04	68	0.44	43	—
BESNO-P40	1.05	66	0.32	43	—
BECVO-P40TL	1.05	63	0.52	40	—
BECNO	1.04	55	0.98	54	—

七、尼龙 12

(一) 尼龙 12 简介

1. 基本性能

尼龙 12 的性能类似尼龙 11，比尼龙 11 有更低的密度、熔点和吸水性，而且物性受酰氨基团的影响较小。尼龙 12 耐碱、耐去污剂、耐油品和油脂性能优良，耐醇、耐无

机稀酸、耐芳烃中等，不耐浓无机酸、氯代烃，可溶于苯酚。尼龙 12 密度在尼龙树脂中最小，吸水性小，故制品尺寸变化小，易成型加工，特别容易注射成型和挤出成型，具有优异的耐低温冲击性能、耐屈服疲劳性、耐磨性、耐水分解性，加增塑剂可赋予其柔软性，可有效地利用尼龙 12 的耐油性、耐磨性和耐沸水性广泛用于管材和软管制造。尼龙 12 作为车用管材具有以下特点：

- 1) 质量轻，比橡胶管轻 1/2 ~ 1/3。
- 2) 抗腐蚀性强，耐油性好。
- 3) 寿命比钢质材料长 7 倍。
- 4) 可在 -40℃ 的低温下使用。
- 5) 耐磨性好，比橡胶管高 10 倍。
- 6) 投资比金属管生产线少 25% ~ 45%。
- 7) 外径/内径比小，在狭小空间内可安装多根软管。
- 8) 不导电，在 375kV 下漏电不超过 50μA。
- 9) 无振动噪声。
- 10) 生产、成型、装配、安装简便。

尼龙 12 的具体性能列于表 2-81。

表 2-81 尼龙 12 的性能

性 能		数 值	性 能		数 值
密度/(g/cm ³)		1.02	伸长率(干态)(%)		350
吸水性(%)	23℃,水中,24h	0.25	拉伸弹性模量/MPa		1300
	20℃,65% RH 平衡	0.95	弯曲强度(干态)/MPa		74
熔点(T _m)/℃		178 ~ 180	弯曲弹性模量/MPa		1400
玻璃化温度(T _g)/℃		41	缺口冲击强度 /(J/m)	干态 0℃	90
热分解温度/℃		> 350		干态 -28℃	80
耐寒温度/℃		-70		干态 -40℃	70
长期最高使用 温度/℃	空气中	80 ~ 90	洛氏硬度(R)		105
	水中	70	相对介电常数	60Hz	4.2
	惰性气体中	110		10 ³ Hz	3.8
	油中	100		10 ⁶ Hz	3.1
线胀系数/K ⁻¹		10.4 × 10 ⁻⁵	体积电阻率/Ω · cm		2.5 × 10 ¹⁵
热变形温度/℃	1.86MPa	55	介电损耗角正切值	60Hz	0.04
	0.46MPa	150		10 ³ Hz	0.05
可燃性		自熄		10 ⁶ Hz	0.03
成型收缩率(%)		0.3 ~ 1.5	介电强度(3.2mm)/(kV/mm)		18.1
Taber 磨耗量/(mg/1000 次)		5	耐电弧性/s		109
拉伸强度(干态)/MPa		50			

尼龙 12 的成型加工可采用挤出、注射、吹塑、涂层等方法，可加工成板材、棒材、管材、零部件、薄膜、单丝等制件，其加工特性与尼龙 11 类似。

尼龙 12 的注射工艺条件：机筒温度前部 190 ~ 210℃，后部 170 ~ 190℃；模具温度 20 ~ 40℃；注射压力 108MPa。

尼龙 12 的挤出温度 190 ~ 250℃。

2. 应用

尼龙 12 广泛应用于汽车、电子通信、包装、仪器仪表、金属涂层等领域，欧美用于轿车的消费量为 43%，电子通信为 23%，其他用途为 34%。

(二) 国内尼龙 12 品种与性能

国内尼龙 12 的生产厂家及性能见表 2-82。

表 2-82 国内尼龙 12 的生产厂家及性能

厂 家	相 对 粘 度	熔 点/℃	相对分子质量	熔体流动速率 /(g/10min)
江苏淮阴化工研究所	>1.5	178 ~ 180		
江苏靖江工程尼龙厂		178 ~ 180	16000 ~ 17000	11.85
上海合成树脂研究所				
江苏淮阴大众塑料厂				

(三) 国外尼龙 12 品种与性能

(1) 日本里耳散公司的尼龙 12（表 2-83）

表 2-83 日本里耳散公司尼龙 12 的性能

级 别	牌 号	密度 /(g/cm ³)	拉伸屈服 强度/MPa	伸长率 (%)	弯曲弹性模 量/GPa	Izod 冲击强度 /(J/m)	
电线护套	AECNO TL	1.01	36	250	1.1	40 ~ 60	
挤出级	AESNO TL	1.01	42	250	1.1	50 ~ 70	
	AESNO P20TL	1.02	36	250	0.7	150 ~ 200	
	AESNO P40TL	1.03	24	250	0.4 ~ 0.5	250 ~ 350	
注射级	AMNO	1.01	36	250	1.1	50 ~ 70	
	AMNO P20	1.02	29	250	0.7	150 ~ 200	
	AMNO P40	1.03	22	250	0.45	250 ~ 350	
级 别	牌 号	洛氏硬度	热变形温度/℃		成型收缩 率(%)	介电常数 (10 ⁶ Hz)	耐电弧 性/s
			0.46MPa	1.86MPa			
电线护套	AECNO TL	R105	150	55	0.7 ~ 1.0	—	0.90
挤出级	AESNO TL	R105	150	55	0.7 ~ 1.0	3.0	0.85
	AESNO P20TL	R87	155	60	0.7 ~ 1.0	5.0	0.77
	AESNO P40TL	R80	155	60	0.7 ~ 1.0	8.0	0.70
注射级	AMNO	R105	150	55	0.7 ~ 1.0	3.0	0.85
	AMNO P20	R87	145	60	0.7 ~ 1.0	5.0	0.77
	AMNO P40	R80	150	60	0.7 ~ 1.0	8.0	0.70

(2) 法国阿托化学公司的 Rilsan 尼龙 12 (表 2-84)

表 2-84 法国阿托化学公司 Rilsan 尼龙 12 的性能

牌 号	密度 /(g/cm ³)	拉伸屈服强 度/MPa	弯曲弹性 模量/GPa	Izod 冲击强度 (缺口)/(J/m)	热变形温度 (1.82MPa)/℃
AESNO	1.02	69	1.24	—	52
AESNP-10TL	1.02	55	0.76	—	34
AECNO-TL	1.02	66	13.8	4.8	52
AESNO-TL	1.02	69	1.24	17.9	50
AESNOP-10TL	1.03	69	0.76	26	52
AESNOP-20TL	1.03	69	0.52	断裂	49
AESNOP-40TL	1.03	66	0.37	断裂	47
AMNOP40	1.01	49	0.35	—	48
AMVO	1.02	55	1.03	—	52
AMNO	1.02	66	1.1	—	50
AZMO-30	1.23	97	15.9	—	161

(3) 荷兰阿克苏工程塑料公司的 Nylafil 尼龙 12 (表 2-85)

表 2-85 荷兰阿克苏工程塑料公司 Nylafil 尼龙 12 的性能

牌 号	密度 /(g/cm ³)	拉伸屈 服强度 /MPa	屈服伸 长率 (%)	弯曲弹 性模量 /GPa	热变形温度 (1.82MPa) /℃	特 性
J6/25	1.19	95	5.20	4.9	170	含 25% 玻璃纤维,力学性能好
J6/50	1.49	152	7.40	—	170	含 50% 玻璃纤维,力学性能好

(4) 英国帝国化学工业公司的 Lubricomp 尼龙 12 (表 2-86)

表 2-86 英国帝国化学工业公司 Lubricomp 尼龙 12 的性能

牌 号	密度 /(g/cm ³)	拉伸屈 服强度 /MPa	弯曲弹 性模量 /GPa	Izod 缺口 冲击强度 (J/m)	热变形温度 (1.82MPa) /℃	特 性
SI000	1.02	51	12.0	107	51	低翘曲
SCL4036	1.25	—	13.8	128	173	含碳黑,润滑性好
SCL4536	1.26	—	10.3	128	171	含碳纤维,润滑性好
SF100-6	1.24	—	6.9	176	171	含玻璃纤维,增强级
SF100-10	1.45	—	9.1	224	177	含玻璃纤维,增强级
SFL4036	137	—	7.2	160	166	润滑
SFL4536	—	—	—	—	—	润滑
SL4030	1.11	—	1.04	80	49	润滑(含 15% 聚四氟乙烯)
SL4040	1.14	41	1.04	—	49	润滑(含 20% 聚四氟乙烯)

(续)

牌 号	密度 /(g/cm ³)	拉伸屈 服强度 /MPa	弯曲弹 性模量 /GPa	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m)	热变形温度 (1.82MPa) /℃	特 性
SL4410	—	—	—	—	—	润滑(含氟塑料)
SL4530	1.44	64	—	64	204	含氟塑料,润滑、耐高温
SL4610	1.02	38	2.15	37	63	含 2% 硅,润滑
Stat-Kon SC1002	1.06	—	8	149	166	含碳纤维,润滑、耐高温
XL4040	1.14	41	1.55	—	49	含 20% 聚四氟乙烯,润滑

(5) 德国赫斯 (Hüels) 公司化工厂的 Vestamid 尼龙 12 (表 2-87)

表 2-87 德国赫斯公司化工厂 Vestamid 尼龙 12 的性能

项 目	测试 标准	L1600	L1640	L1700	L1722	L1723	L1724
密度/(g/cm ³)	R1183	1.01 ~ 1.02	1.01 ~ 1.02	1.01 ~ 1.02	1.01 ~ 1.03	1.01 ~ 1.03	1.01 ~ 1.03
吸水性(%)	R62	14	14	14	10	10	10
维卡软化点/℃	306						
VST/A/50	①	170	170	170	160	160	160
VST/B/50	②	140	140	140	140	135	125
线胀系数(×10 ⁻⁵ K ⁻¹)	52328	11	11	11	12	12	12
拉伸强度/MPa	R527	50	50	50	30	28	25
屈服伸长率(%)		6	8	6	20	20	20
布氏硬度(H358/30)	2039	98	96	98	44	40	35
冲击强度(无缺口, -40℃)/(kJ/m ²)	R179	不断	不断	不断	不断	不断	不断
冲击强度(悬臂梁缺口)/(kJ/m ²)	R180	2.0	2.0	2.0	2.8	2.8	2.8

项 目	测试 标准	L1801	L1836	L1901	L1930 L1931	L1940	L1941
密度/(g/cm ³)	R1183	1.01 ~ 1.02	1.22 ~ 1.23	1.01 ~ 1.02	1.21 ~ 1.23	1.01 ~ 1.02	1.01 ~ 1.02
吸水性(%)	R62	14	10	14	10	14	14
维卡软化点/℃	306						
VST/A/50		170	175	170	175	170	170
VST/B/50	②	140	160	140	160	140	140
线胀系数(×10 ⁻⁵ K ⁻¹)	52328	11	7	11	3 ~ 7	11	11
拉伸强度/MPa	R527	50	55	50	65	50	50
屈服伸长率(%)		6	5	8	5	8	8
布氏硬度(H358/30)	2039	98	120	96	120	95	95
冲击强度(无缺口, -40℃)/(kJ/m ²)	R179	不断	不断	不断	50	不断	不断
冲击强度(悬臂梁缺口)/(kJ/m ²)	R180	2.4	3.2	2.8	2.8	2.8	2.8

(续)

项 目	测试 标准	L1950	L1960	L2101	L2106F	L2121
密度/(g/cm ³)	R1183	1.02 ~ 1.03	1.02 ~ 1.03	1.01 ~ 1.02	1.01 ~ 1.02	1.02 ~ 1.03
吸水性(%)	R62	14	14	14	14	10
维卡软化点/℃	306 ^①					
VST/A/50		170	170	170	160	165
VST/B/50		150	150	140	140	140
线胀系数(×10 ⁻⁵ K ⁻¹)	52328 ^②	10	10	11	11	12
拉伸强度/MPa	F527	50	50	50	50	30
屈服伸长率(%)		7	7	8	8	20
布氏硬度(H358/30)	R2039	98	98	94	84	50
冲击强度(无缺口,-40℃)/(kJ/m ²)	R179	不断	不断	不断	不断	不断
冲击强度(悬臂梁缺口)/(kJ/m ²)	R180	2.0	2.0	5.9	7.9	—

项 目	测试 标准	L2122	L2124	L2128	L2140	L2224E
密度/(g/cm ³)	R1183	1.02 ~ 1.03	1.02 ~ 1.03	1.03 ~ 1.04	1.01 ~ 1.02	1.02 ~ 1.03
吸水性(%)	R62	10	10		14	
维卡软化点/℃	306 ^②					
VST/A/50		160	160	140	170	160
VST/B/50		138	125	95	140	125
线胀系数(×10 ⁻⁵ K ⁻¹)	52328 ^②	12	12	13	11	12
拉伸强度/MPa	F527	27	25	15	50	25
屈服伸长率(%)		20	20	25	8	20
布氏硬度(H358/30)	R2039	44	35	22	94	35
冲击强度(无缺口,-40℃)/(kJ/m ²)	R179	不断	不断	不断	不断	不断
冲击强度(悬臂梁缺口)/(kJ/m ²)	R180	>19.8	>19.8	>19.8	4.8	>19.8

① ISO 标准。②DIN 标准。

八、尼龙 1010

(一) 尼龙 1010 简介

1. 基本特性

尼龙 1010 化学名称为聚亚癸基癸二酰胺或聚癸二酰癸二胺，英文名称 Poly decam-ethylen sebacamide (Nylon1010,PA1010)，结构式为 $\text{[NH(CH}_2\text{)}_{10}\text{NHCO(CH}_2\text{)}_8\text{CO]}_n$ 。

尼龙 1010 是一种半透明结晶型聚酰胺，具有一般尼龙的共性。密度在 1.04 ~ 1.05g/cm³，吸水率为 1.5%，比尼龙 6、尼龙 66 低，脆化温度为 -60℃，热分解温度大于 350℃。对霉菌的作用非常稳定，无毒，对光的作用也很稳定。尼龙 1010 的性能列于表 2-88。从表中可看出，尼龙 1010 的最大特点是具有高度延展性，不可逆拉伸能力

高,在拉力的作用下,可牵伸至原长的3~4倍,同时,还具有优良的冲击性能和很高的拉伸强度, -60℃下不脆。自润滑性和耐磨性优良,其抗磨性是铜的8倍,优于尼龙6、尼龙66。耐化学腐蚀性能非常好,对大多数非极性溶剂稳定,如烃、酯、低级醇类等。但易溶于苯酚、甲酚、浓硫酸等强极性溶剂。在高于100℃下,长期与氧接触逐渐变黄,力学性能下降,特别是在熔融状态下,极易热氧化降解。

表 2-88 尼龙 1010 的性能

项 目		参 数	项 目		参 数	
密度/(g/cm ³)		1.04	长期使用温度/℃		80 以下	
相对粘度		1.320	冲击强度/(kJ/m ²)	缺口	23℃	9.10
相对分子质量(粘度法)		13100			无缺口	-40℃
结晶度(%)		56.4				23℃
结晶温度/℃		180				-40℃
熔点/℃		204	定负荷变形(14.66MPa,24h)(%)		3.71	
分解温度(DSC 法)/℃		328	热变形温度(1.82MPa)/℃		54.5	
熔融体流动速率/(g/10min)		5.89	马丁耐热/℃		43.7	
吸水性(%)	23℃,50% RH	1.1 ± 0.2	维卡软化点[49N,(12 ± 1.0)℃ /6min]/℃		159	
	水中(23℃)	1.8 ± 0.2				
布氏硬度		107	线胀系数/(× 10 ⁻⁵ /K)		12.8	
洛氏硬度(R)		55.8	表面电阻率/Ω		4.73 × 10 ¹³	
球压痕硬度/MPa		83	体积电阻率/Ω · cm		5.9 × 10 ¹⁵	
拉伸断裂强度/MPa		70	相对介电常数(10 ⁶ Hz)		3.66	
伸长率(%)		340	介电损耗角正切值(10 ⁶ Hz)		0.072	
拉伸弹性模量/MPa		700	介电强度/(kV/mm)		21.6	
弯曲强度/MPa		131	耐电弧性/s		70	
弯曲弹性模量/MPa		2200	Taber 磨耗量/(mg/1000 次)		2.92	
变形 5% 压缩强度/MPa		1067				

2. 应用

尼龙 1010 用途较广,可代替金属制作各种机械、电机、纺织器材、电器仪表、医疗器械等的零部件,如注射产品有齿轮、轴承、轴套、活塞环、叶轮、叶片、密封圈等;挤出产品有管材、棒材和型材;吹塑产品有容器、中空制品及薄膜;还可抽丝用于编织渔网、绳索及刷子等。

(二) 尼龙 1010 的主要牌号、性能与应用(表 2-89 ~ 表 2-93)

表 2-89 上海赛璐珞厂尼龙 1010 的性能与应用

牌 号	相对 密度	熔点 /℃	缺口冲击 强度 /(kJ/m ²)	热变形温度 (1.82MPa) /℃	特 性	应 用
A1	1.04	195	24	40	相对粘度 1.9 ~ 2.0, 易加工,可注射成型	可用于制备工程制 品

(续)						
牌 号	相对密度	熔点 /℃	缺口冲击强度 / (kJ/m ²)	热变形温度 (1.82MPa) /℃	特 性	应 用
A2	1.04	204	22	40	相对粘度 2.1 ~ 2.3, 可注射成型	可用于制备轴承、轴套、挤出阻燃管材等
A3	1.04	210	18	40	相对粘度 > 2.3, 可挤出或注射成型	可用于制备管、棒材和高强度零部件
A1H	1.04	190 ~ 200	22	40	粘度与熔点低, 柔软, 老化性好	可用于制备电线、电缆护套
B	1.04	190 ~ 200			相对粘度 < 1.75, 白色透明料, 防老化	可用于制备一般户外制品
FR10V2	1.04	204	11.0	64	阻燃品级, 可注射成型	可用于制备电子、电器制品
FR10VOFR10	1.04	204	10.8	64	高阻燃品级 (V-0), 可注射成型	可用于制备电子、电器制品和电缆护套
G30		≥204	20	185	30%长玻璃纤维增强高耐磨品级	可用于制备泵叶轮、打字机凸轮等
G35		≥204	15	195	30%玻璃纤维增强品级, 可注射成型	可用于制备叶轮、打字机凸轮等
MR40			12	190	40%矿物填充品级, 尺寸稳定性好	可用于制备机械壳体等
NT200		≥200			粉末 (80 目) 料, 与金属黏结力高	可用作粘合剂或涂料
SG30		≥204	20	185	30%玻璃纤维增强品级, 强度高	可用于制备高载荷零部件
炭黑尼龙	1.06 ~ 1.10	200			填充炭黑品级, 可注射成型	可用于制备齿轮、轴瓦等制品
耐磨级	1.06 ~ 1.10	200	32 ~ 38		填充 MoS ₂ 灰色料, 耐磨性好	可用于制备耐磨制品

表 2-90 上海长虹塑料厂尼龙 1010 的性能与应用

牌 号	拉伸强度 /MPa	冲击强度 (缺口) / (kJ/m ²)	热变形温度 /℃	特 性	应 用
I	50	25		通用品级, 可注射或挤出成型	可用于制备通用制品

(续)

牌 号	拉伸强度 /MPa	冲击强度(缺口) /(kJ/m ²)	热变形温度 /℃	特 性	应 用
Ⅱ	50	35		高抗冲击品级,可注射成型	可用于制备抗冲击制品
Ⅲ	50	45		超韧性品级,可注射成型	可用于制备高频受力件
30% 玻璃纤维增强尼龙 1010	118	9.8	170	高强度耐热品级,可注射成型	可用于制备工程结构件

表 2-91 天津市中河化工厂尼龙 1010 的性能与应用

牌 号	拉伸强度 /MPa	冲击强度 /(kJ/m ²)	熔点/℃	特 性	应 用
I	≥50	≥25	195~210	抗冲击品级,可注射或挤出成型	可用于制备一般制品
Ⅱ	≥50	≥35	195~210	高抗冲击品级,可注射成型	可用于制备工程制品
Ⅲ	≥50	≥45	195~210	高抗冲击品级,可注射成型	可用于制备工程制品

表 2-92 江苏宜兴太湖尼龙厂尼龙 1010 的性能与应用

牌号	拉伸强度 /MPa	冲击强度 (缺口) /(kJ/m ²)	热变形温度 (1.82MPa) /℃	成型收缩率 (%)	特 性	应 用
未增强品级	40	25	45	1.0~1.5	白色或微黄色透明粒料,轻质坚硬,吸水性小,尺寸稳定性好,电绝缘性好,-40℃低温韧性好,成型工艺亦佳	可用于制备航空、航天、造船、汽车、仪表等结构部件
增强品级	120	20	190		白色或微黄色透明粒料,强度高,耐热性好,尺寸稳定	可用于制备航天、航空、造船、武器装备、车辆等结构部件

表 2-93 尼龙 1010 的其他厂家牌号、性能与应用

厂家牌号	拉伸强度 /MPa	冲击强度 (缺口) /(kJ/m ²)	热变形温度 (1.82MPa) /℃	成型收缩率 (%)	特 性	应 用
黑龙江尼龙厂的尼龙 1010	118	9.8	170		强度高,电气性能优越,可注射成型	可用于制备机械、电子、电器、家电等零配件
中国兵器工业集团第五三研究所的尼龙 1010	170	23 (无缺口)	210	0.3~0.5	高强度、耐磨、耐热品级,可注射成型	可用于制备枪用结构件及纺织机械耐磨件

九、尼龙 46

(一) 尼龙 46 简介

1. 基本特性

尼龙 46 的化学名称聚己二酰丁二胺，英文名称 Polytetramethylene adipamide (Nylon46, PA46)，结构式 $\text{[NH-(CH}_2\text{)}_4\text{NH-CO-(CH}_2\text{)}_4\text{CO]}_n$ 。

尼龙 46 的分子结构具有高度对称性，—CONH—的两侧分别有 4 个对称亚甲基，在已工业化生产的脂肪族聚酰胺中酰胺基浓度是最高的。为此，尼龙 46 具有以下特性。

(1) 耐热性 PA46 在 PA 中耐热性最为优良，熔点高达 290℃，比 PA66 高 30℃，玻璃化温度高，而且在 150℃ 高温下连续长期使用（5000h）仍能保持优良的力学性能。非增强型 PA46 耐 160℃ 的高温，30% 玻璃纤维增强型 PA46 能耐 290℃ 的高温。玻璃纤维增强 PA46 在 170℃ 下，耐温可达 5000h，其拉伸强度下降 50%。

(2) 高温蠕变性 PA46 耐高温蠕变性小，高结晶度的 PA46 在 100℃ 以上仍能保持其刚度，因而使其抗蠕变力增强，优于大多数工程塑料和耐热材料。

PA46 由高极性氨基基团构成，结构与 PA66 相近，分子链相互缠结，其最高应用温度较 PA66 高 29 ~ 30℃。

(3) 力学性能 PA46 主要特性为结晶度高（约为 43%），结晶速度快，熔点高，在接近熔点时仍能保持高刚度。在要求较高的刚度条件下，其安全使用性能优于 PA6、PA66 和 PCT。

由于刚度高，可减少壁厚，节约原材料和费用。PA46 的改性玻璃纤维增强品级可生产薄壁零部件，较其他工程塑料壁薄 10% ~ 15%，尤适用于汽车制造和机械工业。

(4) 韧性、耐磨性和抗疲劳性 PA46 的拉伸性能好，抗冲击强度高，在较低的温度下，缺口冲击强度仍能保持高水平。

PA46 具有良好的晶型结构，非增强型 PA46 较其他工程塑料抗冲击强度高，玻璃纤维增强 PA46 的悬臂梁抗冲击强度更高。

PA46 较其他工程塑料与耐热塑料使用期长，耐疲劳性佳，耐摩擦和耐磨耗性都较好。其无润滑的摩擦系数为 0.1 ~ 0.3，是酚醛树脂的 1/4，巴氏合金的 1/3 左右。表面光滑坚固，且密度小，可用于替代金属。

(5) 耐化学药品性 PA46 耐油、耐化学药品性佳，在较高温度下，耐油及油脂性极佳，是汽车工业生产中用于齿轮、轴承等的优选材料，耐腐蚀性优于 PA66，且抗氧化性好，使用安全。但作为尼龙材料，能被强酸腐蚀。尼龙 46 的耐化学品性能见表 2-94。

表 2-94 尼龙 46 的耐化学品性能

溶 剂	拉伸强度保持率 (%)	溶 剂	拉伸强度保持率 (%)	溶 剂	拉伸强度保持率 (%)
汽油	97	10% 氢氧化钠	79	丙酮	96
发动机油	95	10% 硫酸	78	二氯甲烷	97
二甲苯	94	煤油	97	乙醇	86

注：试样在上述溶剂中浸泡 90 天后测定

(6) 电气性能和阻燃性 PA46 阻燃性好, 具有高的表面和体积电阻率及绝缘强度, 在高温下仍能保持高水平。再加上 PA46 的耐高温性和高韧性, 适用于电子电器材料。

玻璃纤维增强 PA46 有 TE250F8 和 TE250F9 两个品种, 用于电子产品, 能符合耐热性和刚性方面的要求, 并具有 UL94FR 的 V-0 级阻燃性。

(7) 加热成型性 PA46 热容量较 PA66 小, 热导率大于 PA66, 成型周期较 PA66 短 20%。吸水性大, 密度大。尼龙 46 的性能见表 2-95。

表 2-95 尼龙 46 的性能

性 能		未增强级	玻璃纤维增强级	阻燃级	玻璃纤维增强阻燃级
密度/(g/cm ³)		1.18	1.41	1.37	1.63
熔点(<i>T_m</i>)/℃		295	295	290	290
玻璃化温度/℃		78			
热导率/[W/(m·K)]		0.348~0.395			
吸水性(%)	23℃,65% RH,平衡	3~4	1~2		
	23℃,100% RH,平衡	8~12	5~9		
热变形温度 /℃	1.86MPa	220	285	200	260
	0.46MPa	285	285	280	285
线胀系数/K ⁻¹		8×10 ⁻⁵	3×10 ⁻⁵	7×10 ⁻⁵	3×10 ⁻⁵
维卡软化温度/℃		280	290	277	283
介电强度/(kV/mm)		24	24~27	24	25
体积电阻率/Ω·cm		10 ¹⁵	10 ¹⁵	10 ¹⁵	10 ¹⁵
表面电阻率/Ω		10 ¹⁶	10 ¹⁶	10 ¹⁶	10 ¹⁶
相对介电常数(23℃,10 ³ Hz)		4	3.8~4.4	3.8	4.0
耐电弧性/s		121	85~100	85	85
阻燃性 UL94(0.8mm)		V-2	HB	V-0	V-0
缺口冲击强度 /(J/m)	23℃	90~400	110~170	40~100	70~110
	-40℃	40~50	80~90	30	40~50
拉伸屈服强度/MPa		70~102	140~200	50~103	105~138
拉伸断裂伸长率(%)		50~200	15~20	30~200	10~15
弯曲强度/MPa		50~146	225~310	75~145	190~230
弯曲弹性模量/MPa		1200~3200	6500~8700	2200~3400	7800~8200
压缩屈服强度/MPa		40~94	85~200	60~96	80~86
剪切强度(3.0mm)/MPa		70~75	79~95	69~73	80~86
洛氏硬度(R)		102~121	115~123	108~122	117~123
Taber 磨耗量(1000g,S-17) /(mg/1000次)		4	24	9	36

注：1. 力学性能，除标明外，均为在 23℃ 时测定值。
2. 本表性能值均为日本合成橡胶公司测定，不是保证值。
3. 测定方法，除标明外，均按 ASTM 标准测定。
4. 介电损耗角正切值干态时均为 0.01。

2. 应用

尼龙 46 主要用于汽车工业、电子电器工业、机械行业。

利用尼龙 46 的耐磨耗、耐疲劳以及摩擦因数小、滑动性好的特性，可用以制作滚动轴承保持架、带轮等。

目前尼龙 46 在大型工程中正开发用作结构件、摩擦件及传动件等。随着应用技术的开发，尼龙 46 作为一种耐热、耐磨、高强度、高抗冲击的新型工程塑料将得到广泛应用。

(二) 国外尼龙 46 主要品种与性能

(1) 日本合成树脂 (Polymer Gum) 公司的尼龙 46 (表 2-96)

表 2-96 日本合成树脂公司尼龙 46 的性能

牌 号	密度 /(g/ cm ³)	吸水 性 (%)	洛氏 硬度	成型收 缩率 (%)	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m)	热变形温度/℃		特 性
						0.45MPa	1.82MPa	
TS200F ₆	1.41	3	123	0.3	1.08	285	285	含 30% 玻璃纤维,注射级,抗冲击,耐热
TS250PTFE	1.63	1.0	123	0.5	0.687	285	260	含 20% 玻璃纤维,注射,耐热,阻燃 V-0 级
TS300	1.18	4	121	1.2	0.883	285	220	非增强,注射级,抗冲击性好,成型收缩率大
TS324	1.10	3	103	2.0	0.981	260	80	橡胶改性,抗冲击性好,注射成型
TS350	1.37	2	122	1.7	0.392	280	200	阻燃 V-0 级、抗冲击性较差,注射成型

(2) 日本尤尼获卡 (Unitika) 公司的 Unitika 尼龙 46 (表 2-97)

表 2-97 日本尤尼获卡公司 Unitika 尼龙 46 的性能

牌 号	密度 /(g/ cm ³)	吸水 性 (%)	洛氏 硬度	成型收缩 率(%)	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m)	热变形温度/℃		特 性
						0.45MPa	1.82MPa	
F5000	1.18	2.3	118	1.5~2.0	0.883	285	220	未增强,标准级,阻燃 V-0 级
F5000G30	1.40	1.5	120	0.5~1.0	0.981	285	285	含 30% 玻璃纤维,强度高
F5001	1.18	2.3	118	1.5~2.0	0.883	285	220	未增强,耐老化
FN5000	1.37	1.2	119	1.2~1.8	0.392	280	177	未增强,阻燃 V-0 级
FN5100G20	1.57	0.9	120	0.5~1.0	0.588	285	285	含 20% 玻璃纤维,强度高

(3) 德国拜耳公司的 Durethan 尼龙 46 (表 2-98)

表 2-98 德国拜耳公司 Durethan 尼龙 46 的性能

牌 号	密度 /(g/ cm ³)	吸水 性 (%)	Izod 缺口 冲击强度 /(J/cm)	热变形温度/℃		特 性
				0.45MPa	1.82MPa	
A30S	1.14	1.06	0.304	> 200	70	标准注射级,耐高温
A40S	1.14	1.6	—	> 200	70	高粘度,高抗冲击,宜挤出成型
AKV30G	1.36	—	—	—	245	含 30% 玻璃纤维,耐高温、制品尺寸稳定
AKV30H	1.35	0.8	1.00	250	250	含 30% 玻璃纤维,耐高温、抗冲击、耐老化
AKV40H	1.45	—	—	> 250	> 250	含 40% 玻璃纤维,耐高温、耐老化

(4) 荷兰国家矿业 (DSM) 公司的 Stanyl 尼龙 46 (表 2-99)

表 2-99 荷兰国家矿业公司 Stanyl 尼龙 46 的性能

牌 号	密度 /(g/cm ³)	拉伸屈服 强度 /MPa	弯曲弹性 模量 /GPa	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m)	热变形温度 (1.82MPa) /℃	燃烧性 (UL94)	特 性
TE200F ₆	1.41	—	9.1	94	96	HB	含 30% 玻璃纤维,耐热
TE200K ₈	1.51	—	6.3	33	119	HB	含 20% 矿物质,耐热
TE250F ₆	1.68	—	10.5	59	140	V-0	含 30% 玻璃纤维,耐热
T300	1.18	100	3.4	86	51	V-1	耐热
TE350	1.38	—	3.5	42	71	V-0	阻燃
TQ200F ₆	1.41	—	9.1	94	97	—	含 30% 玻璃纤维,耐褪色
TQ200K ₈	1.38	—	6.3	33	119	—	含 20% 矿物质,耐褪色
TQ250F ₆	1.68	—	10.5	59	141	—	含 30% 玻璃纤维,高滑爽
TQ300	1.18	100	3.4	86	46	—	耐油
TQ350	1.38	—	3.5	42	71	V-0	阻燃
TW200F ₆	1.18	100	3.4	86	46	V-2	含 30% 玻璃纤维
TW200K ₈	1.51	—	6.3	33	119	HB	含 20% 矿物质,耐热
B217	1.14	1.6	235	35	45	HB	注射,一般用途
B218	—	—	—	—	—	—	注射,含矿物质
B218M30	—	—	—	—	—	—	注射,含矿物质
B218MX30	1.38	1.1	235	5	—	HB	注射,含 30% 矿物质

十、MC 尼龙

(一) MC 尼龙简介

1. 基本性能

$$\text{O}$$
$$\parallel$$
$$\text{—NHC(CH}_2\text{)}_{m-1}\text{—}$$

浇注用聚己内酰胺又称 MC 尼龙。其结构式为 $\text{—NHC(CH}_2\text{)}_{m-1}\text{—}$, 式中 $m = 6, 10,$

但通常为6，故也称浇注尼龙6。单体在碱性催化剂存在下预缩聚后再在模具中进一步缩聚而成。

浇注用聚己内酰胺的特征如下：

- 1) 具有聚己内酰胺的通性，即强度、刚性、韧性好，耐磨，化学稳定性好。
- 2) 相对分子质量和结晶度高于聚己内酰胺，故吸水性较低，尺寸稳定性和机械强度也高于尼龙6。
- 3) 有自熄性，持续耐热可达100℃

MC尼龙的耐疲劳性能、电绝缘性能与相应尼龙产品相当，能耐碱、醇、醚、酮、碳氢化合物、洗涤剂和水等。由于在常压下浇注，成型加工设备及模具简单，可以直接浇注，生产工艺过程简捷，成型件的形式和尺寸不受限制，特别适用于大件、多品种和小批量制品的生产。

以己内酰胺和十二内酰胺为原料的单体浇注共聚尼龙较普通MC尼龙冲击韧性好，耐低温性能好（脆化温度可达-40℃），缺口冲击强度为整个尼龙系列之首。此外，还具有良好的耐磨、自润滑和耐化学药品性。但拉伸、弯曲和压缩强度较低（与尼龙1010、尼龙12相比）。MC尼龙产品成本比钢材便宜得多，质量轻80%，可以生产如圆棒、管、筒、厚薄板片与实体块等各种尺寸型号的铸件。

2. 应用

MC尼龙作为耐磨、自润滑、耐油、抗化学腐蚀的工程塑料，广泛应用于油田、矿山、冶金、化工、轻工及运输等工业机械的传动滑动部件，并可节约、取代非铁（有色）金属，省能降耗。MC尼龙用作难于注射成型的大型制品，如大型齿轮、蜗轮、绳轮、叉车轮、轴套、轴压、轴承、轴筒、导向环、导轨、挡圈、挡板、衬套、螺旋推进器、高压泵的各种阀和滑块、纺织机械的各种梭子等；也可制作管材、棒材、板材等，广泛用于机械等行业。

（二）国内MC尼龙的主要牌号、性能与应用（表2-100～表2-103）

表 2-100 黑龙江尼龙厂 MC 尼龙的性能与应用

牌 号	拉伸强度 /MPa	冲击强度(缺口) /(kJ/m ²)	马丁耐热 /℃	特 性	应 用
MC 尼龙	76	6.5	55	强度较高,工艺性好	可用于制备机械构件和耐磨件
MC-3-3	74	5.5	55	强度与刚性较好,工艺性良好	可用于制备工程结构件和耐磨件等
含油 MC 尼龙	65	7.0	100 (热变形温度)	抗冲击品级,耐磨性好	可用于制备工程耐磨制品或结构制品

表 2-101 中国兵器工业集团第五三研究所 MC 尼龙的性能与应用

牌 号	拉伸强度 /MPa	冲击强度(缺口) /(kJ/m ²)	热变形温度 /℃	特 性	应 用
无名	40~57	45~85	54~60	强度高,尺寸稳定性强,耐磨性优越	可用于制备工程耐磨制品,也可用于制备弹托、弹带等

表 2-102 中科院化学所 MC 尼龙的性能与应用

牌 号	拉伸强度 /MPa	冲击强度 /(kJ/m ²)	热变形温度 (1.82MPa)/℃	特 性	应 用
无名	75 ~ 100	200 ~ 390	150 ~ 180	强度高,尺寸稳定性 好,易浸渍	可用于制备工程耐磨结构 件,如齿轮、滑轮、轴承等

表 2-103 国产单体浇注尼龙 6 的性能

项 目		中科院化学所	黑龙江省尼龙厂	兵器部五三所 ^①
相对密度		1.15 ~ 1.16	1.15 ~ 1.16	1.13 ~ 1.14
平均分子量		(5 ~ 10) × 10 ⁴	(5 ~ 10) × 10 ⁴	
吸水性(%)	24h	0.7 ~ 1.2	0.7 ~ 1.2	0.56 ~ 0.79
	饱和	5.5 ~ 6.5	5.5 ~ 6.5	
熔点/℃		223 ~ 225	223 ~ 225	
线胀系数/K ⁻¹		(4 ~ 7) × 10 ⁻⁵	(4 ~ 7) × 10 ⁻⁵	0.968 × 10 ⁻⁵
热导率/[W/(m·K)]		0.32 ~ 0.34	0.32 ~ 0.34	
热变形温度(1.82MPa)/℃		150 ~ 190	150 ~ 190	54 ~ 60
马丁耐热/℃		49.5 ~ 55	67 ~ 74	
洛氏硬度(R)		110 ~ 120	100 ~ 120	80 ~ 120
拉伸强度/MPa		75 ~ 100	75 ~ 100	40 ~ 57
拉伸弹性模量/GPa		3.5 ~ 4.5	4.0	
断裂伸长率(%)		10 ~ 30	10 ~ 30	110 ~ 270
压缩强度/MPa		100 ~ 140	100 ~ 140	51 ~ 67
弯曲强度/MPa		140 ~ 170	140 ~ 170	35 ~ 37
弯曲弹性模量/GPa		4.0	4.0	
剪切强度/MPa		74 ~ 81	74 ~ 81	
冲击强度/(kJ/m ²)	无缺口	200 ~ 630	200 ~ 630	45 ~ 85
	缺口	5 ~ 9	2.7 ~ 4.5	
介电强度/(kV/mm)		15 ~ 23.6	15 ~ 23.6	
介电常数	1MHz	2.5 ~ 3.6		
	50Hz	3.7		
介质损耗角正切	1MHz	(1.5 ~ 2.0) × 10 ⁻²		
	50Hz	0.45 × 10 ⁻²		
无油润滑动摩擦因数			0.15 ~ 0.30	

① 所用数据系采用国家标准测定而得。国内具代表性的生产厂家有：上海塑料制品十八厂、上海赛璐珞厂、中科院化学所、北京玻璃钢研究所、北京塑料二十厂、四川晨光化工研究院三分厂、重庆合成化工厂、武汉钢铁公司机械总厂、武汉塑料五厂、沈阳重型机器厂、青岛工程塑料厂、黑龙江尼龙厂、郑州尼龙厂等。

(三) 国外 MC 尼龙生产厂家、牌号、性能与应用 (表 2-104 ~ 表 2-105)

表 2-104 日本波利潘公司 (Polypen Co.) MC 尼龙的性能与应用

牌 号	相对密度	冲击强度(缺口) /(J/cm)	热变形温度 (1.82MPa)/℃	特 性	应 用
601ST	1.27	0.79 ~ 1.27	> 200	承载耐热品级	可用于制备承办耐磨结构件
701ST	1.10	0.98 ~ 1.57		高伸长率品级, 抗冲击性好	可用于制备抗冲击工程制品
801	1.16	0.98 ~ 1.57	160 ~ 200	耐热自熄性品级	可用于制备耐热性耐磨结构件
901	1.16	0.88 ~ 1.27	160 ~ 200	耐热自熄性品级	可用于制备耐热自熄性结构件
908	1.16	1.77 ~ 3.53	70 ~ 100	超韧性, 耐磨品级	可用于高频受力件和耐冲击耐磨件的制备

表 2-105 日本宇部兴产公司 UBE 浇注尼龙的性能与应用

牌 号	拉伸屈服强度 /MPa	冲击强度(缺口) /(J/cm)	热变形温度 (1.82MPa)/℃	特 性	应 用
UMC-1	78.5 ~ 88.3	0.333	190 ~ 200	高强度, 耐磨品级	可用于制备工程耐磨制品

十一、粉末尼龙

(一) 基本特性

粉末尼龙基本上与相应尼龙性能相同。粉末尼龙涂层具有耐磨、自润滑、耐腐蚀和电绝缘性能好等特性。

除了粉末尼龙 1010 外, 还有粉末尼龙 11、尼龙 12 和尼龙 1212 等。相对粘度为 1.5 ~ 1.8 的粉末尼龙 1212 用流化床法成膜性能好。低粘度树脂比高粘度树脂流动性好, 树脂涂膜时“橘皮纹”现象少。除光泽稍差点外, 尼龙 1212 的粉末涂层外观与尼龙 11 粉末的涂膜十分相似。但用标准的实验室深冷粉碎法比较尼龙 1212 和尼龙 11 的粉碎过筛率, 发现尼龙 1212 比尼龙 11 难于粉碎。典型的实验室工艺为: 将混合好的尼龙切片放入液氮中冷冻, 然后用多孔勺将冷冻切片直接放入杆或盘磨 (pin-disc mill) 中磨碎, 粉末过 60 目筛, 结果尼龙 1212 的 60 目过筛率只有 5% ~ 10%, 而尼龙 11 则达 25% 左右。尼龙 1212 涂料在冷轧钢板上初始粘附较好, 但在沸水中浸泡几小时后, 就失去了粘附性。尼龙 1212 涂膜的抗冲击强度为 22.5 ~ 34.3kJ/m², 而当涂膜吸潮后, 这一性能有所改善。

粉末尼龙的加工方法有火焰喷涂、静电喷涂、流化床浸涂、热熔覆工艺等。

(二) 粉末尼龙的主要牌号、性能与应用 (表 2-106 ~ 表 2-111)

表 2-106 上海赛璐珞厂粉末尼龙的规格、性能指标

项 目	尼龙 1010 粉末	改性尼龙粉末	三元尼龙粉末	低熔点尼龙粉末	
				ML-1	ML-2
外观	白色或微黄色粉末	白色或微黄色粉末	白色或微黄色粉末	白色或微黄色粉末	白色或微黄色粉末

(续)

项 目	尼龙 1010 粉末	改性尼龙粉末	三元尼龙粉末	低熔点尼龙粉末	
				ML-1	ML-2
熔点/℃	>200	195	160 ~ 170	<130	<130
比粘度	>1.7	>1.7	>1.8	1.6 ~ 1.8	1.6 ~ 1.8
细度	96% 通过 80 目	96% 通过 80 目	96% 通过 80 目	40 ~ 80 目	96% 通过 80 目
水分(%)	<1	<1	<1	<3	<3

表 2-107 德国赫斯特公司化工厂 Vestamelt 粉末尼龙的特性与应用

牌 号	粘度	熔点/℃	特 性	应 用
170	高	133	粘接强度高,可改善低粘度品级的渗胶性	可用于制备粘合剂或薄膜
171	高	133	柔韧性好、粘接强度高	可用于制备粘合剂,用于长丝的粘接等
250	高	135	耐高温洗涤、耐蒸汽性好	用于粘合剂制备,粘接纺织产品
251	高	135	耐高温洗涤,耐蒸汽性好	用于粘合剂制备,粘接纺织产品
350	高	122	粘接性能良好	可用于制备工业用粘合剂
351	高	122	粘接性能良好	可用于制备工业用粘合剂
430	高	116	共聚尼龙,耐洗涤性能良好	其胶可用于纺丝网的粘接、女衬衫中内衬料
431	高	116	共聚尼龙,耐洗涤性能良好	此胶可用于纺丝网的粘接、女衬衫中内衬料
450	高	116	耐水解性良好,熔点较低	可制成热熔胶,用于纺织工业
451	高	116	共聚尼龙,耐水解性优良,熔点较低	可制备热熔胶,用于纺织工业
470	高	119	粘接性好,防渗性强	可用作低粘度品级添加剂,提高浆料的防渗性,也可用于制备薄膜
471	高	119	粘接性好,防渗性强	可用作低粘度品级添加剂,提高浆料的防渗性,也可用于制备薄膜
550、551	高	132	耐洗涤性能好	可用于制备热熔胶或用作纤维软化剂
640	高	92	共聚尼龙,熔点极低,粘接强度高	用其制备的胶可粘接热敏材料,如皮革、毛皮
650、651	高	128	耐水汽性好	用其制备的胶可用于纺织行业
742	高		共聚尼龙,粘接性好	可用于制备粘合剂
750	高	108	共聚尼龙,耐洗涤性和粘接性好	可用于制备粘合剂,用于难以涂覆的热固化底布

(续)

牌 号	粘度	熔点/℃	特 性	应 用
3041	高		属耐柴油性良好的共聚尼龙	可用于制备粘合剂
3151	高		属耐高辛烷值汽油性良好的共聚尼龙	可用于制备粘合剂
3261	高		属耐含甲醇汽油性能良好的共聚尼龙	可用于制备粘合剂
4180	高	116	柔软性好	用其制备的粘合剂可黏合织物的热塑性共聚物
4280	高	140	耐洗涤性极佳	用其制备的粘合剂可黏合织物的热塑性共聚物
X4685	高		可溶于醇,属醇溶性尼龙	可用于制备醇溶性热熔胶,广泛用于油漆工业

表 2-108 日本大赛璐·赫斯公司 Daiamide
共聚粉末尼龙的特性与应用

牌号	特 性	应 用
N1901	柔软、透明,高粘度,挤塑	可用于制备一般制品
P1	热熔粘接性好	可用于制备热熔胶
P2	热熔粘接性好	
P3	热熔粘接性好	
T450	热熔粘接性好	
X1874	乙醇中可溶	可用于制备粘合剂

表 2-110 日本宇部兴产公司 UBE Nylon
(共聚粉末尼龙) 的特性与应用

牌 号	特 性	应 用
5035B	溶于乙醇	可用于制备粘合剂
6021B	溶于乙醇	
6032B	溶于乙醇	

表 2-109 日本东丽工业公司 Amilan
共聚粉末尼龙的特性与应用

牌号	特 性	应用
842P	热熔粘接性好(粉末)	可用于制备热熔胶
843	粉末,热熔粘接性好	
CM831	粉末,热熔粘接性好	
CM833	粉末,热熔粘接性好	
CM4000	溶于乙醇	可用于涂塑或制备粘合剂
CM4001	溶于乙醇	
CM8000	溶于乙醇	

表 2-111 日本尤尼荻卡公司 Unitika 粉末
尼龙的特性与应用

牌 号	特 性	应 用
T-8-5	溶于乙醇	可用于制备粘合剂
T-8-5-H	溶于乙醇	

十二、透明尼龙

(一) 基本性能

透明尼龙为无定形聚合物，与其他尼龙相比具有良好的透明性。热稳定性好，冲击强度比聚甲基丙烯酸甲酯高 10 倍，力学性能与其他尼龙类似。电绝缘性、尺寸稳定性和耐老化性能好，并且无臭、无毒。制品收缩率低，线胀系数低。耐稀酸、稀碱、脂肪烃、芳香烃、酯类、醚类、油和脂肪，但不耐醇类。能溶于 80% 氯仿和 20% 甲醇的混

合液中。果汁、咖啡、茶、墨水等都不能使其着色。透明尼龙的加工较尼龙 66 容易，一般制成粒料再加工成型。注射成型温度 250 ~ 320℃，注射压力 130MPa。制件成型时容易放嵌件。也可采用吹塑成型。

(二) 应用

透明尼龙可制作工业用监视窗，计算机和光学仪器零件，静电复印机显影剂贮器，X 射线仪的窥窗，特种灯具外罩，食具以及与食品接触的容器；电器工业用接线柱、电插头、插座、把柄等；化学工业用的与石油接触的容器、油过滤器、贮油库的丁烷点灯器、油计量器的视窗等，也可制成薄膜作包装容器。

(三) 透明尼龙的主要牌号、性能与应用（表 2-112 ~ 表 2-120）

表 2-112 美国杜邦公司 Zytel 无定形透明尼龙的性能与应用

牌 号	拉伸屈服强度 /MPa	冲击强度 (缺口) /(J/m)	热变形温度 (1.82MPa) /℃	特 性	应 用
330	97	80	121		
ST901L	62	—	115	透明性好,抗冲击强度高, 可用注射、挤出、吹塑成型	可用于制备抗冲击工程透明 制品

表 2-113 美国其他公司透明尼龙的特性与应用

牌 号	公 司	特 性	应 用
Nydur C38F 透明 尼龙	美国英贝尔公司 (Mobay Co., Ltd.)	相对密度 1.10,拉伸屈服强度 69MPa,可 注射或挤出成型	可用于制备透明工 程制品
Grilamid TR55LX 透明尼龙	美国埃姆化学公司 (Emser Chemicals Co.)	透光率(厚 3.2mm)85%,在热水中浸泡 1 年,透明性基本无变化,使用温度 - 40 ~ 122℃,坚韧、尺寸稳定,耐化学药品,可注 射或挤出成型	可用于制备透明工 程制品
Capron C100 透 明尼龙	美国阿尔迪公司 (Allied Co.)	结晶型尼龙 6,透明性好,耐化学药品	可用于制备透光制 品
Gelon A100 透明 尼龙	美国通用电气型塑 料公司 (GE Plastics Co., Ltd.)	相对密度 1.16,弯曲弹性模量 315.3MPa,悬 臂梁缺口冲击强度 37.4J/m,热变形温度 101℃	可注射或挤出成型 透明工程制品
Bacp 9/6 透明尼 龙	美国菲利浦公司 (Phillips Petroleum)	透明性好,具有较好的力学性能和耐化 学药品性,可注射或挤出成型	可用于制备透明工 程制品

表 2-114 日本三菱化成公司 Novamid 透明尼龙的特性与应用

牌 号	特 性	应 用
2020R	共聚级,透明度好	可用于制备透明工程或结构制品
2020S	共聚级,透明度好	
2420A	共聚级,透明度好	
TR-55	共聚级(基材尼龙 12),相对密度 1.02	

表 2-115 日本尤尼荻卡公司 Unitika 透明尼龙的特性与应用

牌 号	特 性	应 用
C1030	共聚级,柔软,透明性好,可挤出或注射成型	可用于制备一般透明制品
CX1004	共聚级,透明性好,可挤出或注射成型	
CX1005A	共聚级,透明性好,可挤出或注射成型	
CX1005B	共聚级,透明性好,可挤出或注射成型	
CX3000	相对密度 1.10,透明、低吸水(吸水率 0.41%)	可用于注射或挤出成型透明工程制品
CX3000G30	相对密度 1.34,玻璃纤维增强,低吸水(吸水率 0.29%),制品尺寸稳定	
CX3000ST	相对密度 1.07,吸水率 0.30%,柔软、耐寒、超韧性(缺口冲击强度 6.37J/cm)	

表 2-116 日本宇部兴产公司 UBE 透明尼龙的特性与应用

牌 号	特 性	应 用
5013B	注射级,低粘度,翘曲性好,透明	可用于制备透明工程制品
5033B	挤出级,高粘度,翘曲性好,透明	可用于制备透明制品
5003T	挤出级,高粘度,透明	可用于制备透明制品或拉制单丝

表 2-117 德国拜耳公司 Durethan 透明尼龙的性能与应用

牌号	拉伸屈服强度/MPa	弯曲弹性模量/GPa	热变形温度/℃	特 性	应 用
T40	110	2.9	116	非结晶型芳香尼龙,透明性好,可注射或挤出成型	可用于制备透明工程制品
C38F	—	—	—	共聚物尼龙,高度透明性,可挤出成型	可用于挤出薄膜或其他透明制品

表 2-118 德国诺贝尔炸药公司 (Dynamit Nobel AG) Trogamid 透明尼龙的性能与应用

牌号	拉伸强度/MPa	冲击强度(缺口)/(kJ/m ²)	维卡软化点/℃	成型收缩率(%)	特 性	应 用
T	84	10~15	150	0.5	透明性好、强度高,抗冲击品级,耐热,可注射成型	可用于制备透明工程制品

表 2-119 德国巴斯夫公司 Utramid 共聚型透明尼龙的特性与应用

牌 号	特 性	应 用
KR4600	滑爽、透明、柔韧性好、节结强度高,适合低温下与聚烯烃共挤出成型	可用于制备 PE/PA 薄膜或单丝
KR4601	透明性好,热变形温度高,耐环境应力开裂性好,可注射成型	可用于制备透明壳体及受力盖罩等制品

表 2-120 瑞士埃姆斯化学公司 Grivoryc 透明尼龙的性能与应用

牌 号	拉伸屈服强度 /MPa	冲击强度 (缺口)/(J/cm)	热变形温度 (1.82MPa)/℃	特 性	应 用
G355NZ	49.0	10.4	138	属超韧性品级,透 明性好,可注射成型	可用于制备工程透明 制品或受力透明制品
XE3038	90.2	0.343	136	高拉伸强度品级, 透明性好,可注射成 型	可用于制备工程结构 透明制品

十三、共聚尼龙

共聚尼龙的牌号、性能与应用见表 2-121 ~ 表 2-129。

表 2-121 上海赛璐珞厂尼龙 6/尼龙 66 共聚物的性能与应用

牌 号	相对密度 /(g/cm ³)	比粘度	熔点 /℃	特 性	应 用
EN-1	1.0	2.0 ± 0.2	180	白色粒料,吸湿性小,低温性 好	可用于挤出薄膜、电缆护套,注 射成型机械零件
ES-2	1.0	2.0 ± 0.2	180	能溶于乙醇,黏附性好	可用于制备粘合剂、涂料、光敏 材料等
ES-3	1.0	2.0 ± 0.2	180	溶于三元醇,溶液稳定,黏附 性好	可用于制备粘合剂、涂料和光 敏材料等

表 2-122 上海龙马工程塑料有限公司尼龙 6/尼龙 66 共聚物的性能与应用

牌 号	拉伸强度 /MPa	冲击强度 (缺口)/(J/m)	热变形温度 (1.82MPa)/℃	特 性	应 用
B216、B217、 B218		45	67	通用品级,可注射或挤 出成型	可用于制备通用制品
B216 V20	140		230	20% 玻璃纤维增强高强 度耐高温品级,可注射成 型	可用于制备高强度耐 高温工程制品
B216 V30 B216 V40	160	100	230	30% 和 40% 玻璃纤维增 强,高刚性,高冲击强度, 耐高温品级,可注射成型	可用于制备刚韧兼备 的耐高温工程承力制品
B218 M × 30 B218 M × 25V5 B250MT16	86		180	矿物改性品级,性能均 衡,可注射成型	可用于制备工程制品

(续)

牌 号	拉伸强度 /MPa	冲击强度 (缺口)/(J/m)	热变形温度 (1.82MPa)/℃	特 性	应 用
B230	50	60	65	超韧性品级,可注射成型	可用于制备工程承力件
B50H1				阻燃品级,可注射或挤出成型	可用于制备阻燃制品

表 2-123 上海塑料十八厂尼龙 6/尼龙 66 共聚物的性能与应用

牌 号	相对密度	熔 点	特 性	应 用
PA6/PA66 共聚物	1.7 ~ 1.9	168 ~ 172℃	全溶于醇类,耐热,强度、韧性适中	可用于制备工程制品

表 2-124 黑龙江尼龙厂 XAZ-G54 尼龙 6/尼龙 66 共聚物的性能与应用

牌 号		比粘度	拉伸强度 /MPa	熔点 /℃	特 性	应 用
XAZ-G54	1 级	2.4 ~ 3.0	30	160	白色或微黄色料,相对密度 1.10	可用于制备工程制品
	2 级	2.4 ~ 3.0	25	160	淡黄色粒料,相对密度 1.10	可用于制备工程制品

表 2-125 美国孟山都公司 Vydyne R 尼龙 6/尼龙 66 共聚物的性能与应用

牌号	拉伸强度 /MPa	冲击(缺口) 强度/(J/m)	熔点 /℃	特 性	应 用
80X	84	53	245	相对密度低,强度高,耐高温,可注射成型	可用于制备耐高温结构制品

表 2-126 美国杜邦公司 Minlon 尼龙 6/尼龙 66 共聚物的特性与应用

牌 号	特 性	应 用
109	普通级	可用于制备通用制品
72G-13L	含 13% 玻璃纤维	可用于制备工程结构制品
72G-33L	含 33% 玻璃纤维	
72G-43L	含 43% 玻璃纤维	可用于制备承力结构制品
82G-33L	含 33% 玻璃纤维,韧性好	
13T1GYB-282	相对密度 1.35,吸水性 1.6%,成型收缩率 1.4% ~ 1.6%,冲击强度 8.6kJ/m ²	可用于制备工程制品

表 2-127 日本宇部兴产公司 UBE 尼龙 6/尼龙 66 共聚物的性能与应用

牌 号	拉伸强度 /MPa	冲击强度 (缺口)/(J/cm)	热变形温度 (1.82MPa)/℃	特 性	应 用
5013B	27.5	>10.8	60	中等粘度,通用品级, 可吹塑成型	可用于制备薄膜
5033J12	14.7	不断		薄膜品级,可吹塑或 流延成型	可用于制备薄膜
7125U	16.7	不断		透明性好,柔韧品级	可用于制备薄膜或纺丝
5021T ^①				中精度	宜纺丝

① 相对密度为 1.14。

表 2-128 尼龙 6/尼龙 66/尼龙 610 共聚物的牌号、厂家、特性与应用

牌 号	厂 家	特 性	应 用
XAZ-G548 尼龙 6/尼龙 66/尼龙 610	黑龙江尼龙厂	熔点低,结晶度低,柔软 性和弹性好,未改性或添 加填充物	可用于挤出软管、油管, 也可注射成型一般制品等
尼龙 6/尼龙 66/尼龙 610	上海赛璐珞厂		
尼龙 6/尼龙 66/尼龙 610	上海方远有机粉末厂		
Ehnjon II 548 尼龙 6/尼 龙 66/尼龙 610	俄罗斯塑料工业公司 (Plastics Ind. Co.)		

表 2-129 上海赛璐珞厂尼龙 6/尼龙 66/MXD10 共聚物的性能与应用

尼龙 6/尼龙 66/ MXD10 比例	比粘度	熔点/℃	特 性	应 用
40/45/15	2.0	155~175	白色或微黄色半透明粒料,通 用品级,可挤出或注射成型	可用于制备通用制品或工程 制品

注: MXD = 聚癸二酰间对亚苯基酯。

十四、改性尼龙

改性尼龙主要牌号、性能与应用见表 2-130 ~ 表 2-143。

表 2-130 北京燕山石化公司树脂应用研究所尼龙 6/聚烯烃合金的性能与应用

牌号	拉伸强度 /MPa	冲击强度(缺口) /(J/m)	热变形温度 (0.46MPa)/℃	特 性	应 用
N50	45	>950	>120	超韧性品级,耐磨性好, 可注射成型	可用于制备工程耐磨制 品,如汽车、摩托车零配件、 电动工具、安全帽、旱冰鞋等

(续)

牌号	拉伸强度 /MPa	冲击强度(缺口) /(J/m)	热变形温度 (0.46MPa)/℃	特 性	应 用
N100	48	950	147	超韧性品级,耐磨,成型前不用干燥,可注射成型	可用于制备工程耐磨制品
N200	50	>950	150	超韧性品级,耐磨,成型前不用干燥,可注射成型	可用于制备工程耐磨结构制品
N300	51	>950	153	超韧性品级,耐热耐磨性好,吸水性小,可注射成型	可用于制备工程耐热耐磨制品
N400	54	260	165	耐热抗冲击品级,吸水性小,可注射成型	可用于制备工程制品,一般耐磨、自润滑制品等

表 2-131 上海日之升新技术发展公司的耐磨尼龙/弹性体合金与超韧性尼龙的性能与应用

牌 号		拉伸强度 /MPa	冲击强度 (缺口) /(J/m)	热变形温度 (1.82MPa) /℃	成型收缩率 (%)	特 性	应 用
耐磨尼龙/ 弹性体合金	AF ₃	75	50	70	1.0 ~ 1.8	20% 弹性体增韧尼龙 66, 耐磨性好, 摩擦因数降低 50%, PV 值高, 噪声小, 可注射成型	可用于制备齿轮、轴套、滑块和活塞等部件
	AF ₃ G ₅	140	120	243	0.3 ~ 0.7	20% 弹性体增韧, 25% 玻璃纤维增强尼龙 66 品级, 耐高温、耐磨、抗冲击, 机械强度比 AF ₃ 高, 可注射成型	可用于制备工程结构部件和耐高温部件
	BF ₃	70	55	60	1.0 ~ 1.8	20% 弹性体增韧, 尼龙 6, 耐磨耗, 摩擦因数小, PV 值高, 可注射成型	可用于制备齿轮、轴套等耐磨制品
	BF ₃ G ₅	135	130	210	0.3 ~ 0.7	20% 弹性体增韧, 25% 玻璃纤维增强尼龙 6 品级, 耐热、耐磨、抗冲击, 机械强度比 BF ₃ 高, 可注射成型	可用于制备齿轮、轴承等耐磨制品
超韧性尼龙	BST320	40 ~ 50	420 ~ 600	130 (0.46MPa)	0.6 ~ 1.6	20% 弹性体增韧尼龙 6, 韧性比普通尼龙 6 高 5 ~ 15 倍, 可注射成型	可用于制备耐热抗冲击制品

(续)

牌 号		拉伸强度 /MPa	冲击强度 (缺口) /(J/m)	热变形温度 (1.82MPa) /℃	成型收缩率 (%)	特 性	应 用
超 韧 性 尼 龙	BST520	42 ~ 55	600 ~ 800	130 (0.46MPa)	0.6 ~ 1.6	20% 弹性体增韧的高粘度尼龙 6, 韧性比普通尼龙高 5 ~ 15 倍, 不受温度、缺口、应力作用的影响, 可注射或挤出成型	可用于制备电动工具壳体、运动器材和带有嵌件的零部件
	ST320	42 ~ 48	800 ~ 900	> 180 (0.46MPa)	0.6 ~ 1.6	20% 弹性体增韧尼龙 66, 性能不受温度、缺口、应力因素的影响, 可注射成型	可用于制备运动器具、纺织器材和带有嵌件的零配件

表 2-132 上海杰事杰材料新技术公司尼龙合金的性能与应用

牌号	拉伸强度 /MPa	冲击强度(缺口) /(J/m)	热变形温度 /℃	特 性	应 用
HTPA	64	≥100	80	PA/PP 合金, 冲击强度高, 可代替尼龙 1010, 可注射成型	可用于制备抗冲击制品, 如汽车、电动工具外壳
STPA	55	≥800	71	PA/EPDM 合金, 超韧性品级, 与美国杜邦公司的 ST-801 相媲美, 可注射成型	体、轴承保持架、齿轮、阀体、早冰鞋滚轮、冰鞋刀座等

表 2-133 上海龙马工程塑料有限公司超韧性尼龙的性能与应用

牌 号	拉伸强度 /MPa	冲击强度(缺口) /(J/m)	热变形温度 (1.82MPa)/℃	特 性	应 用
A148MT30	65	10	68	增韧改性尼龙 66, 可注射成型	可用于制备工程制品
A230	70	60	70	增韧改性尼龙 66, 抗冲击, 可注射成型	可用于制备工程结构制品
A240	47	600	65	增韧改性尼龙 66, 超高韧性品级, 可注射成型	可用于制备承力件和各种抗冲击制品
A250	60	60	65	增韧改性尼龙 6, 可注射成型	可用于制备各种抗冲击制品

表 2-134 上海合成树脂研究所超韧性尼龙的性能与应用

牌 号	拉伸强度 /MPa	冲击强度(缺口) /(kJ/m ²)	热变形温度 (1.82MPa)/℃	特 性	应 用
PA66	45.5	60	≥55	增韧改性品级, 耐磨性好, 可注射成型	可用于制备抗冲击制品
PA6	45	60	≥55	增韧改性品级, 耐磨性好, 可注射成型	可用于制备耐磨抗冲击制品

表 2-135 中国兵器工业集团第五三研究所的 PA6/PE、PA66/PE 尼龙合金的性能与应用

牌 号	弯曲强度 /MPa	冲击强度(缺口) /(kJ/m ²)	熔点 /℃	成型收缩 率(%)	特 性	应 用
PA6/PE	70	19.6	210	1.8	吸水性低,抗冲击强度高,耐油性好,可注射或挤出成型	可用于制备仪表盘、保险杠、油缸、衬垫、密封圈、油管等
PA66/PE	66	20.0	285	1.8		

表 2-136 中国兵器工业集团第五三研究所超韧性尼龙合金的性能与应用

牌 号	拉伸强度 /MPa	冲击强度(缺口) /(kJ/m ²)	热变形温 度/℃	成型收缩 率(%)	特 性	应 用
PA/PPO	55	80	180		超韧性尼龙,吸水性小、耐油,可注射或挤出成型	可用于制备汽车挡泥板、仪表板、绝缘件、仪器仪表的精密零件、洗衣机壳体、照相机壳等
SL-004	46	89		2.0	超韧性尼龙 66,抗冲击、耐油、耐磨,可注射成型	可用于注射成型汽车、电动工具外壳体、轴承保持架、齿轮、阀体、冰鞋滚轮、旱冰鞋刀座等,枪托、握把、弹匣等承力部件和高抗冲击结构件等
SL-005	44	90		2.0	超韧性,高强度、耐磨、耐油	
SL-006	65	20		2.0	9% ~ 13% 玻璃纤维增强品级	
SL-007	95	19		0.8	玻璃纤维增强增韧品级	
SL-008	165	22		0.3	31% ~ 35% 玻璃纤维增强品级	
SL-012	142	21.6		0.3	40% 玻璃纤维增强品级	

表 2-137 海尔科化工程塑料国家工程研究中心尼龙合金的性能与应用

牌 号	拉伸强度 /MPa	冲击强度(缺口) /(J/m)	热变形温度 (0.46MPa)/℃	特 性	应 用
KHPA6-E122	60	120	165	增韧尼龙 6 品级,抗冲击强度高,耐磨、耐油,可注射成型	可用于制备冷库用零部件、冬季体育用品、接插件、齿轮、轴承、电动工具外壳体、汽车发动机罩、阀门、管、泵等
KHPA6-E261	50	500	160	超韧性尼龙 6 品级,耐磨、承力、耐油、可注射成型	

(续)					
牌 号	拉伸强度 /MPa	冲击强度(缺口) /(J/m)	热变形温度 (0.46MPa)/℃	特 性	应 用
KHPA6-E381	40	900	145	超韧性尼龙 6 品级,尺寸稳定,耐磨、耐油,可注射成型	可用于制备冷库用零部件,冬季体育用品、接插件、齿轮、轴承、电动工具外壳体、汽车发动机罩、阀门、油管、泵等
KHPA66-E222	54	200	160	增韧尼龙 66 品级,抗冲击,耐磨、耐油,可注射成型	
KHPA66-E332	45	300	150	超韧性尼龙 66 品级,耐磨、承力、耐油,可注射成型	

表 2-138 浙江(东阳横店)得邦工程塑料公司 PA/弹性体合金的性能与应用

牌号	拉伸强度 /MPa	冲击强度(缺口) /(kJ/m ²)	热变形温度 /℃	成型收缩率 (%)	特 性	应 用
T ₃	61	8.5	75	6.8	尼龙/弹性体增韧品级,抗冲击、耐磨、耐油,可注射成型	可用于制备工程抗冲击或耐磨制品
D	58	8.0	68	1.4~2.0		

表 2-139 江苏宜兴太湖尼龙厂超韧性尼龙的性能与应用

牌 号	拉伸强度 /MPa	冲击强度(缺口) /(kJ/m ²)	热变形温度 (1.82MPa)/℃	特 性	应 用
超韧性尼龙(无牌号)	≥40	≥40	≥60	相对密度 1.0~1.1,体积电阻率 1.0×10 ¹⁴ Ω·cm,强韧性平衡,耐磨、耐油,可注射成型	可用于制备工程结构制品

表 2-140 河南平顶山华非公司超韧性尼龙的性能与应用

牌号	拉伸强度 /MPa	冲击强度(缺口) /(kJ/m ²)	热变形温度 /℃	成型收缩率 (%)	特 性	应 用
AS ₄	50	90	130	1.4	相对密度低(1.06),体积电阻率为 10 ¹⁴ Ω·cm,超韧性,耐磨、耐油,可注射成型	可用于制备工程结构制品
ASS	42	70	63	1.5		

表 2-141 美国阿谢力聚合物公司 Ashley 超韧性尼龙的性能与应用

牌号	拉伸屈服强度 /MPa	冲击强度(缺口) /(kJ/m)	热变形温度 (1.82MPa)/℃	特 性	应 用
527LD	51	1.01	68	增韧改性尼龙 66 品级,抗冲击、耐油、耐磨,可注射成型	可用于制备工程结构制品或抗冲击制品
527D	47	1.01	68	增韧改性尼龙 66 品级,抗冲击、耐油、耐磨,可注射成型	可用于制备工程抗冲击制品
734D	56	0.533	56	增韧改性尼龙 6 品级,相对密度为 1.07,伸长率 30%,耐油性好,可注射成型	可用于制备抗冲击制品
737	55	0.533	55	增韧改性尼龙 6 品级,相对密度 1.10,伸长率 10%,耐磨、耐油,可挤出成型	可用于制备一般抗冲击制品
738D	59	0.75	63	增韧改性尼龙 6 品级,相对密度 1.08,伸长率 10%,耐磨、耐油,可注射成型	可用于制备工程制品和抗冲击制品

表 2-142 美国切索公司 (Chisso Inc.) Enpnite PA/PP 合金的性能与应用

牌号	拉伸(屈服)强度/MPa	冲击强度(缺口) /(J/m)	热变形温度 (0.46MPa)/℃	特 性	应 用
H200K	132	127	160	25% 玻璃纤维增强、矿物填充品级,强度高、抗冲击、耐热、吸水性低,可注射或挤出成型	可用于制备工程制品
H200B	159	176	160	35% 玻璃纤维增强、矿物质填充品级,强度、抗冲击性、耐热性均高于 H200K,可注射或挤出成型	可用于制备高强度结构制品
H200R	168	176	160	45% 玻璃纤维增强、矿物质填充品级,刚性高、耐热性好、尺寸稳定性强,可注射或挤出成型	可用于制备高强度、耐热结构制品
W100B	169	203	201	35% 玻璃纤维增强、矿物质填充品级,刚性、耐热性好,抗冲击强度高于 H200R,可注射或挤出成型	可用于制备高强度、耐高温结构制品

表 2-143 美国杜邦公司 Zytel PA/EPDM 合金的性能与应用

牌 号	拉伸强度 /MPa	冲击强度(缺口) /(kJ/m ²)	热变形温度 (1.82MPa)/℃	特 性	应 用
ST800、ST801	54.88	80	71	超韧性尼龙,刚性大, 可注射成型	可用于制备雪橇 鞋、溜冰鞋底,阀体 和其他工程制品
ST811、ST811HS	48.3	120	53	超韧性、刚性大,可注 射成型	
ST901	48.3	120	127	超韧性、刚性大,尺寸 稳定性高于 ST801 2 倍, 可注射成型	

第二节 聚酰胺制品及其成型工艺

一、聚酰胺注射成型

(一) 简介

1. 原材料

(1) 原料特性 聚酰胺（俗称尼龙）是一类塑料，品种繁多，常见的有尼龙 6（PA6）、尼龙 66（PA66）、尼龙 610（PA610）及我国独创品种尼龙 1010（PA1010）等。密度：PA6 为 1.14g/cm³、PA66 为 1.15g/cm³、PA1010 为 1.05g/cm³。尼龙具有优良的韧性、耐磨性和自润滑性，良好的耐化学腐蚀性、耐气体透过性、耐水及耐油性，容易着色，无毒、抗霉菌，但吸水性大。尼龙 6 弹性好，冲击强度高，吸水最大。尼龙 66 性能优于尼龙 6，强度高，耐磨性好，吸水性比尼龙 6 小。尼龙 610 与尼龙 66 相似，但吸水性小，为尼龙 66 的一半，刚度低。尼龙 1010 半透明，吸水性小，耐寒性较好。平均吸水率为 0.8% ~ 1.0%，尼龙主要技术性能指标见表 2-144。

表 2-144 聚酰胺（尼龙或 PA）主要技术性能指标

性 能	PA6	PA66	PA610	PA612	PA9	PA11	PA12	PA1010
密度/(g/cm ³)	1.13	1.15	1.07	1.07	1.05	1.04	1.02	1.07
熔点/℃	215	252	220	—	185	186	178	210
热变形温度/℃	68	75	82	—	—	54	55	—
耐寒温度/℃	-30	-30	-40	—	-30	—	—	-40
拉伸强度/MPa	75.0	80.0	60.0	62.0	65.0	56.0	65.0	55.0
压缩强度/MPa	85.0	105.0	—	—	72.5	70.0	—	65.0
弯曲强度/MPa	120.0	60.0 ~ 100.0	90.0		85.0	70.0	90.0	80.0
缺口冲击强度/(kJ/m ²)	5.5	5.4	5.5	—	—	3.86	—	5
体积电阻/Ω·cm	10 ¹²	10 ¹⁴	10 ¹⁴	10 ¹²	10 ¹⁴	10 ¹³	10 ¹⁴	10 ¹⁵
相对介电常数(1MHz)	3.4	3.6	3.5	3.5	3.7	3.7	3.1	3.1
介电损耗角正切(1MHz)	0.03	0.03	0.04	0.02	0.018	0.04	0.03	0.026
介电强度/(kV/mm)	16	16	16	16	16	17	18	15

(2) 应用范围 适于制作一般机械零件、减摩耐磨零件、传动零件以及化工、电器、仪表等零件。

(3) 工艺特性 尽管尼龙品种很多，并各有特点，但由于其分子结构中一般都含有酰氨基（—CONA—），因此它们之间有着相似的成型特点。

1) 吸水性。尼龙类树脂都有着从空气中吸收水分的倾向，吸水的程度因品种的不同而有差异。表 2-145 为部分尼龙树脂的吸水情况。

表 2-145 部分尼龙树脂的吸水情况

树脂品种	PA6	PA9	PA11	PA12	PA13
吸水性(%)	1.2~3.0	0.15~0.25	0.5~1.0	0.6~1.5	0.5~0.8
树脂品种	PA66	PA610	PA612	PA1010	PA1313
吸水性(%)	0.9~2.0	0.4~0.5	0.5~1.3	0.2~0.4	0.2~0.3

吸水性对制品性能的影响也因品种的不同而异，如尺寸稳定性，当吸水为 1% 时，尼龙 6 的尺寸变化率为 0.2%，尼龙 66 的变化率则为 0.25%，而尼龙 11、尼龙 610 等的变化情况要小得多，因此，对于尺寸精度要求较高的制品，应注意选择吸水性较低的品种。

2) 结晶性。除透明尼龙外，在尼龙类树脂中大都为结晶性高聚物，结晶度的大小取决于熔融料的冷却速率和树脂的相对分子质量，一般在 20%~30% 之间。结晶度的高低与性能有关，结晶度高，拉伸强度、耐磨性、硬度、润滑性等性能有所提高，热胀系数和吸水性趋于下降，但对透明度以及抗冲击性能有所不利。表 2-146 所列部分 PA 的熔点。

表 2-146 部分 PA 的熔点

树脂品种	PA6	PA7	PA8	PA9	PA11	PA12	PA13
熔点/℃	215~221	220~223	150	210~215	185~187	178~180	180
树脂品种	PA66	PA610	PA612	PA613	PA1010	PA1313	
熔点/℃	260~265	220~225	205	210	200~205	170~174	

3) 流动性。由于尼龙类树脂大多为结晶性材料，因此当温度超过熔点后，其熔体粘度一般都显得比较低，流动性较好。图 2-1 和图 2-2 分别表示机筒温度和注射压力与尼龙 6 熔体流动长度的关系。从中可以看出，无论是温度还是压力，对熔体的流动性都有较为明显的改观，特别是温度，一旦达到或超过结晶熔点，熔体的流动性增加十分迅速。对此，在成型加工的过程中，需注意严格控制成型工艺，以防出现溢边等问题。同时由于熔体的冷凝速率较快，所以还需防止物料阻塞喷孔、流道、浇口等引起制品不足现象的发生。

有关尼龙的流动性问题，一般是通过熔体流动速率或相对粘度情况进行了解的。图 2-3 和图 2-4 分别显示了负荷变化情况与尼龙 1010 树脂熔体流动速率间的关系以及温度变化与几种尼龙树脂熔体流动速率的关系。

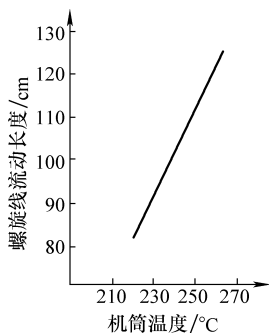


图 2-1 尼龙 6 机筒温度与熔体流动长度的关系

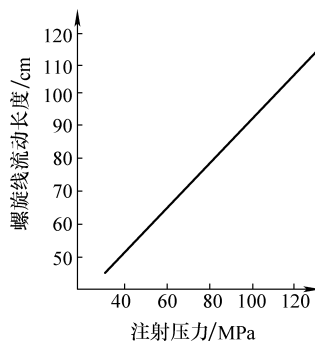


图 2-2 尼龙 6 注射压力与熔体流动长度的关系

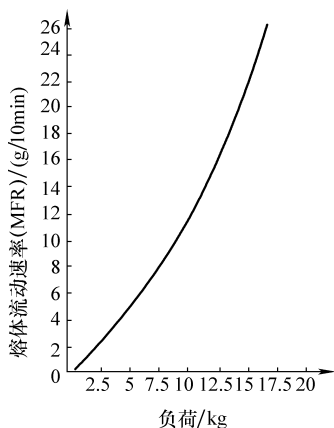


图 2-3 尼龙 1010 负荷与熔体流动速率的关系曲线

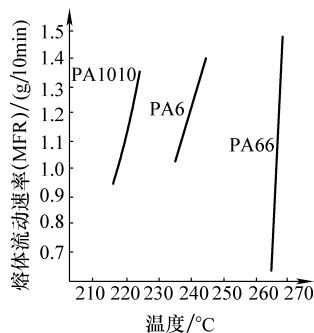


图 2-4 温度与熔体流动速率的关系

4) 热稳定性。处于熔融状态下的尼龙树脂与聚苯乙烯、聚丙烯等塑料相比，其热稳定性要差得多，特别是有氧存在的情况下，易氧化变色，因此除了在树脂中添加抗氧化剂、稳定剂等某些添加剂外（通常在树脂出厂前已加入），在成型加工中还应避免树脂在高温的料筒内停留时间过长，以防树脂变色降解，从而损害制品的性能。

5) 收缩率。与其他结晶性塑料相似，尼龙类树脂也存在着成型收缩率较大的问题，收缩率的大小与树脂的品种、制品的壁厚、料流方向以及成型工艺等因素有关，这在制品设计、模具开制和成型工艺选择时应予高度重视。部分尼龙类的成型收缩率情况列于表 2-147。

表 2-147 部分尼龙类的成型收缩率

树脂品种	PA6	增强 PA6	PA9	PA11	PA12
收缩率(%)	0.8 ~ 2.4	0.3 ~ 0.7	1.5 ~ 2.5	1.2 ~ 2	1 ~ 1.6
树脂品种	PA66	增强 PA66	PA6/PA9	PA610	增强 PA610
收缩率(%)	1.5 ~ 2	0.2 ~ 0.8	1 ~ 1.5	1.2 ~ 1.8	0.4 ~ 0.7
树脂品种	PA612	PA6 PA66	PA1010	增强 PA1010	透明 PA
收缩率(%)	1.0 ~ 1.1	0.6 ~ 1.5	1 ~ 2.3	0.3 ~ 0.5	0.5

2. 成型设备

虽然柱塞式注射机和螺杆式注射机均可加工尼龙类塑料，但从塑化效果以及物料在机筒内所停留的时间来看，还是螺杆式注射机为佳，特别是尼龙 66 一类热稳定性稍差的品种和经着色、增强、改性的尼龙尤为重要。

由于尼龙类树脂的熔体粘度较低，流动性较好，故在选择设备时须注意以下几点。

1) 螺杆与机筒之间的配合要求间隙小，精度高，以防止熔体在注射过程中产生逆流现象，所以要求间隙最好控制在 0.05mm 以下（这一点对柱塞式注射机必须注意）。

2) 成型加工尼龙所用的螺杆形式为单头、全螺纹、压缩突变形螺杆，其长径比 L/D 为 12~20（常用 18~20），压缩比 C/R 为 2~3，为阻止熔体逆流，螺杆上还应配有止逆装置（常用止回环）。

3) 由于受热后的尼龙其熔体粘度较低，如采用一般的通用喷嘴或延伸式喷嘴，一旦工艺控制不当，物料很容易从喷孔中流出，造成“流延现象”，从而影响到制品、模具以及成型加工，因此对尼龙料的加工一般都要求选用自锁式喷嘴，特别是立式注射机和直角式注射机更应选用自锁式喷嘴。当然在喷嘴上还必须有加热控温装置，以防熔体冷凝。

3. 制品与模具设计

对于尼龙类制品与模具的设计开制，除了需遵守一般热塑性塑料的设计开制原则外，还须注意如下几点。

（1）制品的壁厚 如前所述，尼龙类树脂是收缩率较大的塑料，收缩情况与制品壁厚有着一定的关联，表 2-148 所示为尼龙 1010 制品壁厚与收缩率之间的关系。

表 2-148 尼龙 1010 制品壁厚与收缩率的关系

制品壁厚/mm	收缩率(%)	制品壁厚/mm	收缩率(%)
1~2	0.1~1	5~6	1.8~2
2~3	1.1~1.3	6~8	2~2.5
3~4	1.4~1.6	>8	2.5~4

从表 2-148 中不难看出，随着制品壁厚的增加，成型收缩率也相应地增加，因此在选择制品壁厚时应充分考虑收缩率所带来的影响。当然，还必须考虑熔体的充模性。尼龙类熔体流动长度与壁厚之比因品种的不同而有所差异，通常在 150~200 之间，故制品的壁厚一般不低于 0.8mm，1~3.2mm 是尼龙类制品常用的范围。

（2）脱模斜度 鉴于尼龙类树脂的收缩率较大，在成型时须选择合适的脱模斜度，以利于制品的顺利脱模。按照制品的复杂程度其脱模斜度会有所不同，一般可在 40′~1°30′之间进行选取。

（3）流道与浇口 常见的流道和浇口一般均可对尼龙类树脂进行成型加工。除尼龙 66 等少数品种外，大部分还可用无流道（热浇道）模具，但在考虑浇口时还应考虑制品壁厚与收缩补料的关系。为防止可能出现的气泡或收缩凹痕，要求流道和浇口部分必须有足够的冷料穴，以便及时捕集冷料；主流道的斜度为 4°~6°；分流道的直径等

于或稍大于制品的壁厚，梯形流道的截面高度为上底的 $2/3$ ，下底宽为上底的 $3/4$ ，浇口直径一般为制品壁厚的 $2/3 \sim 3/4$ ，但最小不得小于 0.8mm 。

(4) 排气 由于尼龙类树脂的熔体粘度较低，流动性较好，在成型过程中易出现排气不良的问题，对此需开设一定的排气孔槽。在开设排气孔槽时还需注意防止溢边，尼龙类树脂的溢边值在 0.03 左右，所以排气孔槽的最大厚度应控制在 0.025mm 以下。

(5) 模具温度 尼龙类树脂的模具温度应根据制品的使用要求以及制品壁厚情况选择不同的控温方式。通常，制品的结晶度要求较高，制品壁厚大于 5mm 时应采用加热控温的方法；而对于具有一定的柔软性、壁厚小于 5mm 的制品一般是用冷却水控温的。

关于加热控温装置的要求是能够在 120°C 以下可以自由选择并能恒定工作。表 2-149 列出了几种尼龙的最高模具温度。

表 2-149 几种尼龙的最高模具温度

树 脂 品 种	模具温度/ $^\circ\text{C}$	树 脂 品 种	模具温度/ $^\circ\text{C}$
PA6	110	PA610	100
PA11	60	PA612	80
PA12	100	PA1010	110
PA66	120		

4. 尼龙注射成型中不良现象、发生原因及解决方法

(1) 制品在注射成型中质量不稳定

聚酰胺制品成型过程中造成质量不稳定的原因众多，影响因素也是多方面的，但只要正确掌握好以下因素，就会使质量不稳定现象得到明显改善，从而制备出合格的产品。

1) 原材料。注射所用的尼龙树脂一般是呈白色半透明或不透明的颗粒，其品级的划分因生产厂家不同而异，我国主要是按树脂相对粘度的大小划分成 I 型、II 型、III 型等品级的，表 2-150 是尼龙 6、尼龙 1010 的型号与相对粘度间的关系。

表 2-150 尼龙 6、尼龙 1010 的型号与相对粘度值的关系

型 号	PA6 的相对粘度范围	PA1010 的相对粘度范围
I	$2.40 \sim 3.00$	$1.90 \sim 2.10$
II	> 3.00	$> 2.10 \sim 2.30$
III		> 2.30

尼龙的吸水性较大，吸水后的尼龙在成型过程中表现为熔体粘度急剧下降并混有气泡、毛丝，这就给成型加工带来很大困难，所得制品的力学强度也显著下降。为使成型加工能顺利进行，制品质量得以保证，在成型加工之前对尼龙类颗粒必须进行干燥处理。

在干燥过程中，由于酰胺基团对氧比较敏感，在高温下易发生氧化变色，因此严格控制干燥工艺十分重要。当然，干燥设备的选择也很重要，较为理想的是用真空干燥方

法，如无条件则其他干燥方法也可，只要注意控制就可以了。表 2-151 列出几种尼龙干燥方法的工艺参数。

表 2-151 尼龙干燥方法的工艺参数

干燥方法	温度/℃	时间/h	料层厚度/mm	备 注
真空干燥	95 ~ 105	12 ~ 16	< 50	真空度大于 95kPa
热风循环干燥	90 ~ 100	15 ~ 20	< 25	
负压沸腾干燥	100 ~ 110	0.25 ~ 0.5	一次加料量	40 ~ 60kg

经干燥的树脂其含水量应达到成型加工中所允许的范围（表 2-152）。有关含水量的测定可用快速水分测定仪或压片法进行，在成型加工中，也可用对空注射法，通过熔融物料的光亮度、气泡、银丝等现象进行分析判断。

表 2-152 水分允许含量

树 脂 名 称	允许含量(%)	树 脂 名 称	允许含量(%)
PA6, PA66	0.1	PA610	0.1 ~ 0.15
PA11	0.15	PA1010	0.06 ~ 0.1

经过干燥处理的树脂颗粒应注意妥为保管，防止重新吸湿。图 2-5 所示为尼龙 1010 树脂的露置时间与吸湿率的关系。从中可以看出，随着时间的延长，颗粒中的水分含量也明显增加，所以要求经过干燥处理的颗粒最好能立即使用，否则应存放在密闭容器内。对于正在加工中的颗粒应注意采取措施保温，如料斗保温层或加红外灯等，如果无保温措施则应注意料斗内的添加量，一般晴天不超过 5h，阴雨天不超过 3h。

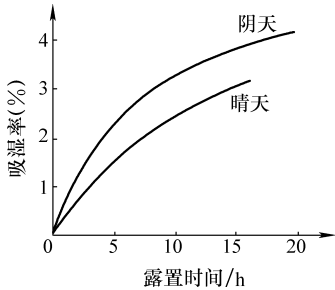


图 2-5 尼龙 1010 露置时间与吸湿率的关系

2) 注射工艺条件与控制

①聚酰胺的注射工艺温度应高于它的结晶熔点，偏高的预塑注射熔体温度对制品的强度不利。具体的注射、喷嘴和模具温度，可参照表 2-153。由于聚酰胺的热稳定性差，注意熔体不宜在机筒内停留过长时间（不应超过 30min），较长时间停留熔体易变色，分解温度超过 300℃。

②注射压力为 69 ~ 100MPa，特别情况时（制品形状复杂、流道较长），最大注射压力不超过 120MPa。

③注射速度以制品不出现飞边、排气通畅为前提，应使注射速度快些。

表 2-153 聚酰胺注射、喷嘴和模具温度

聚酰胺规格	PA6	PA66	PA610	PA1010
注射温度/℃	210 ~ 260	260 ~ 315	225 ~ 285	245 ~ 275
喷嘴温度/℃	210 ~ 260	260 ~ 300	220 ~ 260	240 ~ 260
模具温度/℃	60 ~ 80	40 ~ 100	40 ~ 100	40 ~ 100

④模具温度为 60 ~ 100℃。从制品的壁厚方面考虑,当壁厚小于 6mm 时,为 40 ~ 60℃;大于 6mm 时,为 60 ~ 100℃。模具温度取高些,制品的结晶度高、强度好,相应的收缩率也比较高,这一点应注意。

⑤保压压力一般在 30 ~ 60MPa 间,时间为 15 ~ 40s。

⑥制品的后处理是为了消除内应力,稳定制品的外形尺寸,同时,也可提高制品的强度。热处理方法是把制品浸在 100 ~ 120℃ 甘油或液体石蜡中 10 ~ 30min (壁厚取大值),然后缓慢降温至室温。

对聚酰胺的热处理,最常用的方法是调湿处理,把制品浸入 80 ~ 100℃ 热水中,存放 1 ~ 2h 即可。壁厚尺寸较大时,还可延长处理时间。

3) 注意事项

①再生料的使用。干净整洁、无污染变色的再生料,原则上是可以与新料共混后使用的,但需注意如下几点。

a. 再生次数不宜过多,最好不要超过三次,以免引起制品色泽变深或物理力学性能急剧下降。

b. 使用量应控制在新料的 25% 以下,过多会引起工艺条件波动。

c. 与新料混合后必须按工艺要求进行干燥处理方可使用。

②脱模剂的使用。使用少量的脱模剂有时对气泡等缺陷有改善或消除作用。尼龙制品的脱模剂可选用硬脂酸锌、白油(液体石蜡)等,也可以混合成糊状使用。使用时必须量少而均匀,以免造成糊斑、裂纹或熔接痕明显等问题。

③安全须知。尼龙类树脂开机时应首先开启喷嘴温度加热装置,然后再开启机筒电源。当喷嘴发生堵塞时,切忌面对喷孔,以防机筒内的熔体因聚集压力释放而突然喷出熔体酿成事故。

④制品的后处理。尼龙制品的后处理是为了防止、消除制品中的残留应力或因吸湿作用所引起的尺寸变化。后处理的方式有热处理和调湿处理两种方法。

a. 热处理。尼龙制品虽然可用红外线、热风循环等方法进行处理,但最好是在无氧情况下进行,以免氧化变色。常用的办法是将制品浸入有一定温度的液体中进行的。这类液体对热稳定、操作无危险,对尼龙不起反应,如矿物油、甘油、液体石蜡等高沸点物质。

热处理的温度应高于制品的使用温度 10 ~ 20℃,处理的时间视制品的壁厚而异,厚度在 3mm 以下为 10 ~ 15min,厚度为 3 ~ 6mm 的时间为 15 ~ 30min。经热处理的制品应注意缓慢冷却至室温,以防骤冷引起制品中应力的重新产生。

b. 调湿处理。主要是对使用环境湿度较大的制品进行的,其办法有两种:一是沸水调湿法;二是醋酸钾水溶液调湿法(醋酸钾与水的比例为 1.25:1,沸点为 121℃)。前者操作简便,只要将制品放置在相对湿度为 65% 的环境下以使其达到所要求的平衡吸湿量就可以了,但由于此方法耗时较长,故一般采用后者。调湿处理的温度为 80 ~ 100℃,处理的时间主要取决于制品的厚度,当壁厚为 1.5mm、3mm 和 6mm 时处理时间分别为 2min、8min 和 16 ~ 18min。

(2) 注射量不足、欠料、注不满型腔

- 1) 注射机能力不足。应更换合适的注射机或加大注射量。
 - 2) 树脂流动性不好, 不能满足注射成型要求。应更换注射专用牌号的原料。
 - 3) 机筒温度偏低。应提高机筒温度, 调定范围: 尼龙 6 为 200 ~ 240℃, 尼龙 66 为 240 ~ 280℃, 尼龙 610 为 200 ~ 240℃、尼龙 1010 为 200 ~ 250℃。
 - 4) 喷嘴温度偏低。应提高其温度, 调定范围: 尼龙 6 为 200 ~ 210℃, 尼龙 66 为 250 ~ 260℃, 尼龙 610 为 200 ~ 210℃、尼龙 1010 为 190 ~ 210℃。
 - 5) 注射压力不足。应提高注射压力, 调定范围尼龙 6 为 80 ~ 110MPa, 尼龙 66 为 80 ~ 130MPa, 尼龙 610 为 70 ~ 110MPa, 尼龙 1010 为 80 ~ 100MPa。
 - 6) 模具排气不良, 型腔内残存空气造成注射欠料。应清理排气系统, 必要时应加以改进, 使其排气通畅, 或增设排气孔。
 - 7) 流道太细、浇口截面太小, 应更改模具, 加粗流道, 扩大浇口, 使物料能顺利注入。
 - 8) 熔体在型腔内流动距离太长, 注不到位。应重新改进模具容量, 缩短流动距离, 还可设置冷料穴。
 - 9) 制品壁厚太薄。应根据制品使用要求尽量增加壁厚, 尼龙壁厚应在 1 ~ 3.5mm 之间加以调整。
 - 10) 模温偏低。应提高模温, 调定范围: 尼龙 6 为 60 ~ 100℃, 尼龙 66 为 60 ~ 120℃, 尼龙 610 为 60 ~ 90℃, 尼龙 1010 为 40 ~ 80℃。
 - 11) 树脂流动性差。应添加适量润滑剂或更换树脂。
 - 12) 供料不足。应清理供料系统、料斗、螺杆、喷嘴等。
 - 13) 熔体回流。应检查截止阀是否工作正常, 如不正常, 应加以修复使其工作正常。
 - 14) 背压不足。应提高背压, 调定范围为 10 ~ 20MPa。
- (3) 制品产生飞边
- 1) 注射机锁模力低。应提高锁模力, 将注射机锁模力增至能锁紧模为准, 如若达不到, 应考虑更换注射机。
 - 2) 模具分型面不合理。应根据具体情况修改分型面, 直至合适。
 - 3) 模具变形或错位。应加以修理使其能正常工作。
 - 4) 模具锁孔或导销磨损严重。应更换新导销或进行必要的修复, 使其工作正常。
 - 5) 注射成型温度偏高。应适当降低机筒与喷嘴温度, 机筒温度应在 200 ~ 280℃ 之间加以调整, 而喷嘴温度的调定范围为 190 ~ 260℃。
 - 6) 注射压力偏高。应适当降低, 调定范围为 70 ~ 130MPa。
 - 7) 注射时间过长。应加以调整, 调整范围为 1 ~ 5s。
 - 8) 原料不合适。应选用合适的原料。
 - 9) 模具强度与精度太低。应修复加固, 并提高模具精度, 或更换模具。
 - 10) 脱模剂使用不当。应更换脱模剂。
- (4) 制品产生缩孔气泡
- 1) 制品壁厚太大。应相应减少壁厚, 壁厚范围为 1 ~ 8mm, 应在此范围内加以调

整，以不出残品为准。

2) 注射压力不足。应提高注射压力，注射压力调定范围应控制在 70 ~ 130MPa 之间。

3) 机筒温度过高。应适当降低机筒温度，调定范围为 200 ~ 280℃。

4) 保压时间与冷却时间太短。应适当延长其时间，调定范围为 20 ~ 50s。

5) 模具温度分布不均。应控制好模温，控制范围为 40 ~ 120℃，并延长冷却时间，提高冷却效率。

6) 物料干燥不好。应重新干燥，真空干燥条件：干燥温度为 95 ~ 105℃，干燥时间为 12 ~ 16h，料层厚度小于 50mm。热风循环干燥条件：干燥温度为 90 ~ 100℃，时间为 15 ~ 20h，料层厚度小于 25mm。水分含量低于 0.15%。

7) 制品形状不合理。应更改制件形状，使其满足注射成型要求。避免壁厚太厚，或留有死角。

8) 成型时带入空气。应适当降低机筒温度，调定范围为 200 ~ 280℃。

9) 供料不足。应加大供料量。

10) 浇口太小、流道太长。应检修，扩大浇口，缩短流道。

(5) 制品出现料流痕

1) 机筒温度过低。应适当提高机筒温度，调定范围为 200 ~ 280℃。

2) 模温太低。应适当升高模温，调定范围为 40 ~ 120℃。

3) 注射速度太慢。应提高注射速度，调定范围为 1 ~ 5s/次。

4) 喷嘴孔径过小。应修改模具，扩大喷嘴孔径，以适应工艺要求。

5) 模具内未设置冷却穴。应修改模具，增设冷料穴。

6) 熔体流动性不好。更换流动性好的合适牌号的树脂。

(6) 制品表面有气孔

1) 机筒温度太高。应适当降低机筒温度，调定范围为 200 ~ 280℃。

2) 注射压力太低。应适当升高注射压力，调定范围为 70 ~ 130MPa。

3) 制品壁厚太大。应减薄制品壁厚，调定范围为 1 ~ 8mm。

4) 流道太细、浇口太小。应适当修改模具，加粗流道，扩大浇口，满足工艺需要。

(7) 制品出现银纹

1) 原材料水分含量高。应重新干燥原材料，真空干燥条件：干燥温度为 95 ~ 105℃，干燥时间为 12 ~ 16h，料层厚度小于 50mm。热风循环干燥条件：干燥温度为 90 ~ 100℃，时间为 15 ~ 20h，料层厚度小于 25mm。水分含量低于 0.15%。

2) 机筒温度太高。应适当降低机筒温度，调定范围为 200 ~ 280℃。

3) 排气系统不合理，模具排气不良。应修改模具排气系统，使排气畅通，满足工艺要求。

4) 喷嘴与模具接触不良。应调整两者的位置与几何尺寸，使其正确配合，以满足工艺要求。

5) 如银纹总在一定部位有规律地出现。应检查模具相对应部位是否存有表面伤痕，如果存有，应采用机加工、抛光等方法将其消除。

- 6) 不同规格原材料混用。应更换原材料,使用相同规格、同批次原料。
 - 7) 注射压力过低。应适当提高,调定范围为 70 ~ 130MPa。
 - 8) 喷嘴温度过高。应适当降低机筒温度,调定范围为 190 ~ 260℃。
 - 9) 模温太低。应适当升高模温,调定范围为 40 ~ 120℃。
 - 10) 螺杆转速慢,背压低。应提高螺杆转速和背压。
 - 11) 添加剂和回收料添加过量。应按配方要求合理添加,回收料最大用量不应超过 30%。
- 12) 原料中有杂质。应彻底清除或更换原材料。
- (8) 制品出现熔接痕
 - 1) 物料温度偏低。应适当提高料温,通常调整机筒温度,调定范围为 200 ~ 280℃。
 - 2) 模具温度偏低。应适当升高模温,调定范围为 90 ~ 120℃。
 - 3) 注射速度太慢。应提高注射速度,调定范围为 1 ~ 5s/次。
 - 4) 注射压力过低。应适当提高,调定范围为 70 ~ 130MPa。
 - 5) 模具内未设置冷料穴。应改进模具,重新设置冷料穴,使熔体固化速度提高。
 - 6) 型腔表面沾有异物或杂质。应彻底清理模具。
 - 7) 浇注系统不合适。应修改浇注系统,改善充模条件,使物料可畅通注入。
 - 8) 模具排气不良。应改进排气系统,使其畅通排气,满足工艺要求。
 - 9) 脱模剂使用不当。应正确使用,以最少脱模剂达到顺利脱模的目的。
 - 10) 带孔制品成型时易产生熔接痕,注射制品可先不带孔,如果需要,可以后加工孔。
 - 11) 树脂流动性差,充模速度慢。应事先对原材料进行干燥处理,除去挥发物。真空干燥条件:干燥温度为 95 ~ 105℃,干燥时间为 12 ~ 16h,料层厚度小于 50mm。热风干燥条件:干燥温度为 90 ~ 100℃,时间为 15 ~ 20h,料层厚度小于 25mm。水分含量低于 0.15%。
- (9) 制品出现龟裂或白化
 - 1) 物料温度太低。应适当提高机筒温度,调定范围为 200 ~ 280℃。
 - 2) 模具温度偏低。应升高模具温度,调定范围为 40 ~ 120℃。
 - 3) 浇口系统设计不合理,使熔体流动紊乱,应重新设计并修改浇口,使熔体流动顺畅,以满足工艺要求。
 - 4) 冷却时间太短。应延长冷却时间,调定范围为: 20 ~ 40s。
 - 5) 脱模顶出机构不合适。应加以修改,使顶出机构正确工作到位,以满足工艺要求。
 - 6) 注射速度太快。应降低注射速度,调定范围为 1 ~ 5s/次。
 - 7) 注射压力过高。应降低注射压力,调定范围为 70 ~ 130MPa。
- (10) 制品出现翘曲变形
 - 1) 注射压力偏高。应适当降低,调定范围为 70 ~ 130MPa。
 - 2) 注射时间太长。应缩短注射时间,调定范围为 1 ~ 5s。
 - 3) 保压时间过长。应缩短保压时间,调定范围为 15 ~ 50s。

4) 冷却时间短, 制品冷却不足。应适当延长冷却时间, 调定范围为 15 ~ 60s。

5) 浇口设计不合理。应重新设计, 加以修改, 选用合理的浇口形式, 以满足工艺要求为准。

6) 制品壁厚差异太大。应修改制品厚度, 使其尽量均匀, 避免悬殊太大, 或重新设计制作。

7) 顶出机构不合理。应加以改进或重新设计制作, 以满足工艺要求。

8) 模具设计不合理。应修改模具或重新设计制作。

9) 模具型芯偏差太大。应进行检查修改, 如果不行, 要重新设计制作。

(11) 制品出现收缩变形

1) 注射压力过低。应适当提高注射压力, 调定范围为 70 ~ 130MPa。

2) 保压时间偏短。应适当延长保压时间, 调定范围为 15 ~ 50s。

3) 机筒温度偏低。应适当提高机筒温度, 调定范围为 200 ~ 280℃。

4) 模具温度偏低。应适当提高模温, 调定范围为 70 ~ 130℃。

5) 浇口太小。应修改浇口使其变大, 以满足工艺要求。

(12) 制品产生真空孔隙

1) 原材料流动性能不好。应选用流变性适应的树脂。

2) 机筒温度过高。应适当降低其温度, 调定范围为 200 ~ 280℃。

3) 注射压力偏低。应升高注射压力, 调定范围为 70 ~ 130MPa。

4) 模具温度偏低。应提高模温, 调定范围为 40 ~ 100℃。

5) 保压与冷却时间偏短。应延长其时间, 调定范围为 15 ~ 50s。

(13) 制品脱模不良

1) 注射压力太大。应降低注射压力, 调定范围为 70 ~ 130MPa。

2) 注射速度太快。应减缓注射速度, 调定范围为 1 ~ 5s/次。

3) 保压时间太长。应适当缩短, 调定范围为 15 ~ 50s。

4) 注射速度太快。应放慢速度, 调定范围为 1 ~ 5s。

5) 型腔表面粗糙, 阻碍脱模。应采取必要措施研磨、抛光或电镀来降低型腔表面粗糙度值, 以利于脱模。

6) 脱模斜度不够。应加以改进或检修模具, 使之满足工艺要求, 使制品顺利脱模。

7) 模温与冷却时间控制不当造成, 通常制品的冷却时间应控制在 15 ~ 50s 之间。当制品粘附在芯模处, 应提高模温并缩短冷却时间; 若制品粘附在型腔内, 应降低模温, 延长冷却时间。针对具体情况采取适当措施, 以满足工艺要求为准。

8) 脱模顶出机构不合适。应加以改进, 以满足工艺要求为准。

9) 脱模剂使用不当。应选用合适的喷雾脱模剂。

10) 制品粘附在定模上。应修理、研磨喷嘴与浇口的接触部位, 使其脱模容易。

11) 原材料不适应成型条件。更换合适的原材料。

(14) 制品表面光泽不良

1) 模具温度控制不当。应适当调整, 模具温度太高或太低都会导致制品表面光泽

不良，调定范围为 40 ~ 120℃。

2) 熔料温度太低。应适当提高机筒温度，调定范围为 200 ~ 280℃。

3) 原材料水分含量过高。应重新对原材料进行干燥处理。真空干燥条件：干燥温度为 95 ~ 105℃，干燥时间为 12 ~ 16h，料层厚度小于 50mm。热风循环干燥条件：干燥温度为 90 ~ 100℃，时间为 15 ~ 20h，料层厚度小于 25mm。水分含量低于 0.1%。

4) 原料流动性太差。应更换流动性较好的树脂，并减少回收料的使用比例，回收料最大用量不应超过 30%。

5) 模具型腔表面粗糙度值太高。应对型腔表面进行电镀处理或抛光处理。

6) 脱模剂使用不当。当制品表面光泽不良时，最好不使用脱模剂。

7) 喷嘴温度太低。应适当提高机筒温度，调定范围为 190 ~ 260℃。

8) 成型周期太长。应适当缩短，调定范围为 40 ~ 100s。

9) 螺杆背压过低。应适当提高，调定范围为 20 ~ 40MPa。

10) 浇注系统结构尺寸太小。适当扩大浇口和流道截面。

(15) 物料塑化不良

1) 螺杆背压过低。应适当提高，调定范围为 20 ~ 40MPa。

2) 机筒温度太低。应适当提高机筒温度，调定范围为 200 ~ 280℃。

3) 成型周期偏短。应适当延长，调定范围为 40 ~ 100s。

(16) 制品表面粗糙

1) 机筒温度偏低。应适当提高机筒温度，调定范围为 200 ~ 280℃。

2) 注射压力过低。应提高注射压力，调定范围为 70 ~ 130MPa。

3) 注射速度过慢。应加快注射速度，调定范围为 1 ~ 5s/次。

4) 原材料水分含量过高。应重新对原材料进行干燥处理。真空干燥条件：干燥温度为 95 ~ 105℃，干燥时间为 12 ~ 16h，料层厚度小于 50mm。热风循环干燥条件：干燥温度为 90 ~ 100℃，时间为 15 ~ 20h，料层厚度小于 25mm。水分含量低于 1.5%。

5) 浇口太小。应根据图样，尽量扩大浇口以满足工艺要求。

6) 模温偏低。应提高模温，调定范围为 40 ~ 120℃。

(二) 阻燃、抗静电增强尼龙 6 风机叶片的注射成型

1. 原材料与配方

原材料与配方见表 2-154。

表 2-154 阻燃、抗静电增强 PA6 材料的配方 (单位：质量份)

原 材 料	配 比	原 材 料	配 比
PA6	40 ~ 55	抗静电剂	5 ~ 8
增韧剂	5 ~ 8	其他助剂	1 ~ 2
阻燃剂	15 ~ 25	玻璃纤维	25 ~ 30

2. 主要设备

双螺杆挤出机：TSE-45 型；高速混合机：SHR-100A；高温注射机：BA/950/500 型；注射机：UL-200 型。

3. 制备工艺

(1) 阻燃、抗静电增强 PA6 材料制备工艺 按表 2-158 配比称量所需的原材料，然后依次倒入高速搅拌机中，高速搅拌 10 ~ 30s，用双螺杆挤出机按表 2-155 所列的挤出工艺参数挤出、造粒。其制备工艺流程如图 2-6 所示。

表 2-155 挤出工艺参数

项 目		数 据	项 目	数 据
机筒温度/℃	1 段	195 ~ 205	机头温度/℃	230 ~ 235
	2 段	205 ~ 215	螺杆转速/(r/min)	195 ~ 200
	3 段	215 ~ 225	喂料电压/V	80
	4 段	225 ~ 230		

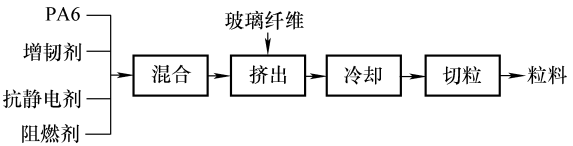


图 2-6 阻燃、抗静电增强 PA6 制备工艺流程

(2) 风机叶片制备工艺 将上述阻燃、抗静电增强 PA6 粒料置于鼓风干燥箱中，料层厚度不大于 30mm，在 85 ~ 95℃ 下干燥 20 ~ 30h，除去原材料中的水分，然后把粒料投入到注射机中，按表 2-156 的注射工艺参数进行注射成型，制得风机叶片，其工艺流程如图 2-7 所示。

表 2-156 注射工艺参数

项 目		数 据	项 目	数 据
机筒温度/℃	1 段	200 ~ 210	注射压力/MPa	8 ~ 10
	2 段	210 ~ 220	注射速度/(mm/s)	60 ~ 80
	3 段	220 ~ 230		
	4 段	230 ~ 240		

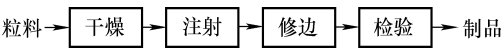


图 2-7 风机叶片制备工艺流程

(三) 阻燃尼龙 6 电气配件

1. 选材

阻燃尼龙 6 具有可靠的阻燃性，阻燃等级达到 FV-0 级，且在火焰中不滴落，其力学性能优良，是一种硬质韧性材料。阻燃尼龙 6 的电气绝缘性和耐热性均较突出，耐候性能好，加工流动性好，成型收缩小，尺寸稳定性好，制品内应力小，即使放入金属嵌件也无开裂现象，是制作电子电器零件的理想材料，特别适宜制作薄膜产品的外观标志要求，而着色并不影响其综合性能。阻燃尼龙 6 的基本性能指标列于表 2-157。

表 2-157 阻燃尼龙 6 的基本性能

性 能	数 值	性 能	数 值
阻燃性	FV-0	体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$	10^{13}
缺口冲击强度/(kJ/m^2)	5.8	介质损耗角正切(1MHz)	2.5×10^{-2}
拉伸强度/MPa	52	介电常数(1MHz)	5.0
弯曲强度/MPa	90	成型收缩率(%)	0.4
热变形温度(1.82MPa)/ $^{\circ}\text{C}$	>70	相对密度	1.30 ~ 1.35
表面电阻率/ Ω	10^{13}		

2. 主要设备

注射机：选用通用型注射机即可。

模具：根据零部件形状与结构进行模具设计与制造，尼龙 6 制品一般采用钢模制造。

3. 制备工艺

根据不同注射机的特性，调节工艺参数，以阻燃尼龙 6 粒料注射电气装置件，结果均获得成功，表 2-158 为阻燃尼龙 6 在不同型号注射机上注射工艺条件。

表 2-158 阻燃尼龙 6 在不同型号注射机上注射工艺条件

型 号	机筒温度/ $^{\circ}\text{C}$	喷嘴温度/ $^{\circ}\text{C}$	模具温度/ $^{\circ}\text{C}$	注射压力/MPa	成型周期/s
SZ-45/32-B	220 ~ 225	230	35	45	20
NISSEI PS ₄₀ E ₅ A	224 ~ 230	235	38	50	25
SZ-60/50-A	225 ~ 230	236	46	48	23
XS-260	220 ~ 234	240	35	30	18

4. 注射过程的问题及对策

阻燃尼龙 6 由于其经水槽冷却后切粒而成，这样带条上的表面水分会或多或少地混入料中，故在注射前必须充分干燥阻燃尼龙 6 粒料，以免对成型工艺造成困难和对制品性能产生影响，阻燃尼龙 6 粒料干燥工艺条件见表 2-159。

表 2-159 阻燃尼龙 6 干燥工艺条件

干燥方式	干燥时间/h	干燥温度/ $^{\circ}\text{C}$	料层厚度/mm
鼓风干燥	7 ~ 8	90 ~ 95	<45
真空干燥	5 ~ 6	100 ~ 110	<45

阻燃尼龙 6 的注射，一般按设定工艺参数即可连续生产出合格产品。但受外界诸因素的影响（如工艺调节不当、操作者无经验、产品原料替代等），可能使制品存在这样或那样的缺陷，这需及时调整解决（表 2-160）。

表 2-160 阻燃尼龙 6 注射制品可能遇到的问题和对策

制品缺陷	产 生 原 因	对 策
制品脱模困难	①注射压力过高 ②模温不当 ③模具斜度不足	①调低注射压力 ②适当降低模温 ③整修模具,增加锥度

(续)

制品缺陷	产生原因	对策
制品脆	①粒料干燥不够 ②机筒温度过高、引起分解 ③原料在机筒停留时间过长被烧焦 ④注射压力过大	①充分烘干粒料 ②降低机筒温度 ③调节成型周期,清理喷嘴 ④减小注射压力
制品外观差	①模具不清洁或有损伤 ②注射速率低 ③模温不恰当	①清理或检查模具 ②增加注射速率 ③适当增加模温
制品有飞边	①注射压力高 ②加料量过大 ③机筒温高	①降低注射压力 ②减小加料量 ③降低机筒温度

(四) 高硬度 FRPA66 汽车驾驶杆综合开关注射成型

1. 选材

在生产轿车的变速杆综合开关中,采用了高硬度 FRPA66 来注射成型其中的转向手柄及变光手柄。这种材料以 PA66 树脂为基体,采用玻璃纤维增强并添加结晶成核剂等进行综合改性,挤出造粒后可直接用于注射成型,其主要性能达到了大众汽车公司的技术要求。表 2-161 列出高硬度 FRPA66 的性能。

表 2-161 高硬度 FRPA66 的性能

项 目	指 标	项 目	指 标
玻璃纤维含量(%)	27 ~ 35	拉伸强度/MPa	≥165
球压痕硬度/MPa	≥195	冲击强度/(kJ/m ²)	≥35
弯曲强度/MPa	≥225		

2. 主要设备

- 1) 双螺杆挤出机。
- 2) 螺杆式注射机。
- 3) 干燥器。
- 4) 模具设计特点。

①浇口尺寸及位置。浇口的尺寸及位置对手柄性能的影响很大。由于玻璃纤维通过浇口时必然出现断裂和定向,浇口尺寸越小,这两种情况就越严重。因此,要尽可能加大浇口,有利于传压。浇口应设置在纤维定向最少的地方,也就是厚壁处,有利于减少翘曲变形。图 2-8 和图 2-9 分别为转向手柄、变光手柄的浇注系统。

②脱模斜度。两种手柄都设有多个较薄的加强筋,出模时必须考虑到这一点。由于 FRPA66 收缩率相对较小,出模阻力较大。为了顺利顶出薄壁加强筋,使之不粘模,应适当增加脱模斜度。



图 2-8 转向手柄浇注系统

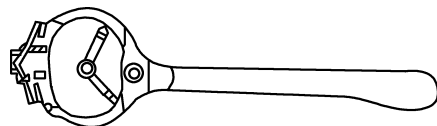


图 2-9 变光手柄浇注系统

3. 制备工艺

(1) 材料干燥 FRPA66 注射成型前应进行干燥，以除去水分及其他低分子挥发物。如果含水量超过 0.15%，制品就会出现气泡、银纹等，影响外观质量及物理力学性能。一般采用热风烘箱。在 $(80 \pm 5)^\circ\text{C}$ 下连续干燥 12h，即可满足生产要求。

(2) 成型温度 尼龙对温度较敏感，机筒温度高时塑化均匀，流动性好。一般从加料段到喷嘴，温度为 $240 \sim 270^\circ\text{C}$ ，并由低到高顺序排列。但要防止温度过高导致材料分解，以免降低手柄的性能。

(3) 注射压力和注射速度 一般适当增加注射压力及速度有利于物料充模，但注射速度增加，玻璃纤维定向趋向大而产生各向异性。因此，手柄易出现翘曲变形。注射压力以 $65 \sim 80\text{MPa}$ 为宜，注射速度在保证能充满手柄型腔的前提下应尽可能低些。

(4) 模具温度 模具温度升高，FRPA66 的结晶度增加，手柄表面硬度提高，光泽度增加，但收缩率加大，成型周期长。模具温度采用 $60 \sim 80^\circ\text{C}$ 为宜。

4. 注意事项

(1) 翘曲变形 手柄的翘曲变形主要是由于玻璃纤维定向造成的。料流方向和垂直于料流方向的收缩率差异较大，引起不均匀收缩，形成内应力。手柄出模后需移印标识，为了提高移印牢度，要在 140°C 下烘 30min，致使内应力释放出来，使翘曲变形更为严重。因此，要增加整形工序，使手柄趁热定形。

(2) 表面光泽差 手柄的表面光泽除了与型腔表面粗糙度有关外，工艺参数对其也有很大影响。因此，正确控制工艺参数可使之得到改善。提高模具温度和成型温度，加大注射压力及速度，均有利于提高制品表面的光泽度。

(3) 烧焦、缺料 注射成型中瞬间高压压缩空气所产生的热量，足以使手柄局部烧焦。同时，因排气不畅又能导致手柄较薄处填充不满而造成缺料。因此，需在浇口对面的分型面上开设排气槽，以保证产品质量。

(五) 玻璃纤维增强尼龙 66 联轴器内齿套注射成型

1. 选材

联轴器内齿形连接套主要承受的是扭矩。负载与动力源主要靠其连接。选用材料要能够承受较大的切应力和冲击力，特别是在系统启动和负载突变的情况下，其承受的切应力更大。根据上述原因，选用玻璃纤维含量为 30% 的尼龙 66 作为 NL 系列联轴器内齿套的注射成型材料。

2. 主要设备

- 1) 螺杆式注射机。
- 2) 模具。

3. 制备工艺

(1) 干燥处理 由于尼龙类塑料在分子结构中含有亲水基团（酰胺基），易吸湿，特别是尼龙 66 吸湿性很强，收缩率大。为便于注射加工成型，保持制品的尺寸精度和强度，在使用前必须对原料进行干燥处理。采用真空干燥法，脱水率高，干燥时间短、效果好，而且可以防止氧化降解。干燥条件为：真空度 101.3kPa（760mm 汞柱）以下，烘箱温度 120 ~ 130℃，干燥时间为 12h。另外，如果掺入回料生产（掺入量在 10% 左右），吸湿后的回料必须用热风干燥 24h 后方能与原料混合进入烘箱进行真空干燥。为防止在使用过程中原料吸湿，应在注射机上加装电热干燥料斗，料斗温度控制在 110℃。

(2) 注射工艺温度 表 2-162 列出了在 500g 注射机上生产 NL 系列内齿连接套成型温度。

表 2-162 NL 系列内齿连接套成型温度

材 料	机筒温度/℃			喷嘴温度 /℃	熔体温度 /℃	模具温度 /℃
	后	中	前			
玻璃纤维增强尼龙 66	315 ~ 325	260 ~ 266	274 ~ 288	330 ~ 335	290 ~ 310	90 ~ 105

选用较高的喷嘴温度，是为了防止喷嘴与模具接触后温度降低，造成喷嘴内原料过早凝固，从而影响注射。机筒后段选用较高的温度其目的是为了改善螺杆在顶塑时的后退速度，减少增强纤维的损坏。模具温度是影响制品尺寸精度的重要因素，通过多次试验结果的对比，选用表 2-162 中的模温可获得较稳定的制品尺寸精度。

(3) 注射速度与压力 为使制品获得较好的外观质量及较高的尺寸精度，在选用注射机的各项工艺参数时，注射速度与压力是两个不容忽视的重要工艺条件，根据尼龙 66 对注射速度及压力的要求，玻璃纤维增强尼龙 66 与不增强的尼龙 66 相比较，凝固更好，因此必须快速注射，否则就会使制品表面粗糙度大大升高。以 NL5 齿套为例：该套质量 80g。原来选用 125g 注射机加工，注射时间在 10s 左右；注射压力 6.0MPa，制品基本成型，但表面粗糙度较大。原认为是原料中掺入的玻璃纤维和原料干燥不良所致，但后来改善干燥条件，减少玻璃纤维掺入量后，制品外观质量依然如故。其后选用 500g 注射机加工，注射压力提高至 9.0MPa，注射时间缩短至 4s，结果制品外观质量大为改观，对于在试制 NL 系列内齿连接套过程中制品出现的不良现象及采用的对策见表 2-163。

表 2-163 不良现象及采用的对策

现 象	原 因	对 策
充模不足	①浇口截面积小 ②排气不良	①提高注射压力及速度 ②提高模温,加大排气槽
银丝	①材料吸湿 ②混入异种原料	①充分干燥原料,为防二次吸湿,在机器上加装干燥料斗 ②防止异种材料混入,清洗螺杆
变形	①制品壁厚过厚 ②制品壁厚不均	①加大浇口 ②缩短流道 ③充分干燥原料

(续)

现 象	原 因	对 策
缩孔	①制品过厚 ②制品壁厚不均	①适当降低机筒温度,增加保压 ②加快注射速度
粗糙度高	模温低,制品凝固过早	①提高注射速度 ②提高模温 ③加大浇口、排气槽

4. 后处理

(1) 热处理 NL 系列联轴器内齿套属尺寸配合件,配合精度需达 3 级以上。但由于尼龙制品结晶性随工艺条件的变化而变化,且具有吸湿膨胀和干燥收缩性,注射后制得的内齿套尺寸精度难以保证,作为工程零件是不合适的。为达到配合精度要求,需对制件进行热处理,以降低制品的内应力,提高尺寸的稳定性。由于尼龙制品易高温氧化降解,特选用液体石蜡为热处理介质,热处理温度控制在 110 ~ 130℃。由于内齿套壁较厚,时间控制在 50min,从石蜡浴锅中取出制品后,缓慢冷却至室温。

(2) 调湿处理 尼龙制品在使用过程中有一个吸湿平衡阶段。如在相对湿度为 65% 的大气中,内齿套要达到 4% 的吸湿量,则需要较长的时间,不利于内齿套的尺寸稳定和半联轴器的配合,因此还需对内齿套进行调湿处理。采用的方法是将制品置于 100℃ 的沸水中水浴 24h,以达到吸湿平衡,获得较稳定的配合尺寸,后处理过的制品经测量各项尺寸均能达到要求。

(六) 轿车塑料进气歧管的注射成型

由于社会对轿车提出了节能、高速、舒适安全、造型美观、降低成本等要求,所以对各汽车制造商来说,增加塑料在轿车中的用量,无疑是明智的选择。在轿车中,使用塑料量大的零件有保险杠、燃油箱、仪表板、进气歧管 (AIM),除了进气歧管之外,上述其他零件已实现国产化。

1. 主要原材料

尼龙 66。

2. 主要设备和辅助设备

(1) 失芯法 650/3000 注射机 1 台 (锁模力 6500kN,注射量 3000g);熔芯铸压机 1 台; AIM 处理机、干燥机各 1 台;油浴设备、熔芯设备、熔芯回收装置。

(2) 振动焊接法 450/1500 注射机 2 台 (锁模力 4500kN,注射量 1500g);振动焊接机、焊缝性能检测仪。

3. 制备工艺

进气歧管是汽车动力系统的主要零件之一,位于发动机室的中央。空气通过歧管的分配进入到各气缸内,使燃气得以充分的燃烧。由于歧管的形状复杂,结构特殊,给加工制造造成一定的困难。AIM 一般采用以下三种方法来制造。

(1) 铸压法 由铸铁或铸铝制成,最大缺点是质量大,约为塑料制 AIM 的 2 ~ 5

倍,且内壁不光滑,给进气造成阻力,使燃气燃烧不完全,排放废气多,噪声大。

(2) 失芯 (Lost Core) 制造法 用低熔点合金 (锡铋合金,熔点约为 170°C) 制成一个模芯 (具有如同歧管内孔的结构和尺寸),把此模芯置于注射模具型腔内固定,然后通过注射机,将一定量的熔融树脂注入到模腔中包裹模芯,冷却脱模。将脱模制件置于一油浴中,将模芯熔化,取出 AIM,经清理、干燥后成为 AIM 制品。已熔化了了的模芯 (锡铋合金) 经处理可回收利用。

(3) 振动焊接 (Vibration Welding) 法 Bayer Co 公司称它为多层壳技术 (Multi-Shell)。按照形状和尺寸将 AIM 分成 2 片,经注射成型,把制得的 2 个半片歧管用一定方法固定,然后利用振动焊接法,使其合成为一体 (即进气歧管)。因为要焊接,所以每片歧管的四周需带一定形状的固定边,以便在焊接时,作为夹具固定之用。

4. 性能

据国外资料统计,在全球 AIM 制造工艺方面,失芯 (Lost Core) 法 1998 年占 54%,2000 年占 46%,2002 年占 32%;而同期振动焊接 (Vibration Welding) 法所占比例分别为 38%、52%、66%,比失芯 (Lost Core) 法增长明显。用这两种加工方法生产的 AIM 综合性能的比较,见表 2-164。

表 2-164 Lost Core 法和 Vibration Welding 法 AIM 制品综合性能比较

性 能	Lost Core 法	Vibration Welding 法
使用性能	满足	满足
力学性能 (拉伸强度,耐蠕变、爆破)	达到要求	达到要求
热性能	$-40 \sim 160^{\circ}\text{C}$	$-40 \sim 160^{\circ}\text{C}$
外形尺寸	小	较大
成型工艺	复杂	简单
成本 ^①	高	低

① 根据一德国公司 1995 年报价, Lost Core 法的技术加设备: 420 万美元; Vibration Welding 法的技术加设备: 220 万美元。

(七) 尼龙 1010 电池壳的注射成型

XYG45 碱性蓄电池,主要用做航空作战应急。对其电池壳的技术要求是有足够的强度,能承受 0.3MPa 气压;外观应呈半透明状,颜色均匀一致,表面应平整光滑,无流痕、起皮和划痕,不允许有银纹、油纹、气泡和黑点。该电池壳的形状为长方形,其尺寸为 $141\text{mm} \times 51\text{mm} \times 47.5\text{mm}$,壁厚 3mm 。采用的模具为直浇口。

1. 选材

(1) 原材料 尼龙 1010 (PA1010): 09 型,上海赛璐珞厂生产;液体石蜡: 化学纯,天津化学试剂厂生产。

(2) 润滑剂和脱模剂的选用 生产 XYG45 电池壳时,原材料中必须添加适当的润滑剂。经反复试验,选用液体石蜡为润滑剂,效果较好,但其用量应合理确定。如果石蜡用量太少,则起不到润滑作用,易引起制品产生气泡,或者造成制品脱模困难;如果石蜡用量过多,预塑加料时会出现打滑现象,加不上料,而且还会使制品浇口附近或表

面出现油纹,影响产品外观。因此,混合料中石蜡的含量一般为 $0.5 \sim 2\text{mL/kg}$ 。另外,也可把液体石蜡直接涂在模具上,作为脱模剂使用。

2. 主要设备

注射成型机:XS-ZY-500,河南遂平塑料皮革设备制造厂制造。

塑料料斗干燥机:SDG-75,苏州轻工业电机厂制造。

3. 制备工艺

(1) 工艺流程 生产 XYG45 电池壳的工艺流程如图 2-10 所示。

(2) 工艺过程

1) 原材料的检验与干燥 原材料进厂后由检验人员进行外观、工艺性能及力学性能的检验、测试,合格后方可用于生产。

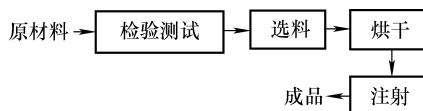


图 2-10 电池壳生产工艺流程图

因 PA1010 分子结构中含有亲水的酰胺基,极易吸湿,其平衡吸水率为 $0.8\% \sim 1.0\%$ 。水分对其物理、力学性能有显著影响,因此使用之前必须对原材料进行干燥,使其含水量降至 0.3% 以下。如果原材料中含水量过大,成型时会引起熔体粘度下降,从而使制品表面出现气泡、银纹和斑纹等缺陷,使制品的力学性能下降。

干燥 PA1010 时应防止氧化变色,因为酰胺基对氧敏感易发生氧化而降解。干燥时最好采用真空干燥,因为此法脱水率高,干燥时间短,干燥后的粒料质量好。干燥条件一般为真空度 94.6kPa 以上,烘箱温度 $90 \sim 110^\circ\text{C}$,料层厚度 25mm 以下。在这种条件下干燥 $8 \sim 12\text{h}$,使其含水量降至 $0.1\% \sim 0.3\%$ 。如果采用普通烘箱干燥,应将干燥温度控制在 $95 \sim 100^\circ\text{C}$,并延长干燥时间,一般需 $20 \sim 24\text{h}$ 。干燥的料应注意保存,以免再吸湿。加工 XYG45 电池壳用材料是采用普通烘箱干燥的。

2) 注射工艺条件设定

①成型温度。PA1010 为结晶性塑料,有明显的熔点且熔点较高,熔融温度范围较窄(约 10°C),熔体的流动性大,熔体的热稳定性差且易降解,因此设定成型温度时应重视以上特点。

PA1010 可采用柱塞式或螺杆式注射机进行成型。机筒温度从进料处向前依次递增。柱塞式机筒温度一般为 $235 \sim 260^\circ\text{C}$;螺杆式机筒温度一般为 $210 \sim 250^\circ\text{C}$;模具温度一般为 $40 \sim 80^\circ\text{C}$ 。

由于目前国内生产 PA1010 注射件多采用螺杆式注射机,螺杆为突变式或组合式,设备使用数年后,设定温度与机筒内实际熔体温度存在误差,所以在设定温度时应以注射时螺杆不返漏料为准。若返漏料,必将影响生产正常进行。加工 XYG45 电池壳的机筒温度为:1 区 220°C ,2 区 215°C ,3 区 210°C ,4 区 200°C 。

②注射压力和注射速度。PA1010 注射件的注射压力以 $2 \sim 5\text{MPa}$ 为宜。注射速度选用慢速。如果注射压力过高,注射速度过快,易形成充模紊流,不利于消除制品中的气泡。加工 XYG45 电池壳采用的注射压力为 5MPa ,保压压力为 3MPa 。

③成型时间。一般加工 PA1010 注射件的成型时间为:注射时间 $4 \sim 20\text{s}$,保压时间 $4 \sim 50\text{s}$,冷却时间 $10 \sim 30\text{s}$ 。加工 XYG45 电池壳采用的注射时间为 20s ,保压时间为 45s 。

(含注射 20s), 冷却时间为 30s。

4. 生产 XYG45 电池壳常见的缺陷及对策

加工 PA1010 注射件出现的质量问题, 一般不外乎由人、机、料、法、环等因素引起。一种质量问题产生的原因可能有多方面的, 可采取的对策也是多样的, 但在正常生产过程中经常出现的质量问题都由一关键因素异常或失控引起, 在调整工艺解决质量问题时, 若这一关键因素抓不住, 往往会造成很大的浪费。所以在工艺调整中要不断积累经验, 学会抓关键、抓主要矛盾, 达到事半功倍的目的。表 2-165 为成型 XYG45 电池壳常见的缺陷及其对策。

表 2-165 成型 XYG45 电池壳常见的缺陷及其对策

制品缺陷	原因分析	对 策
缺料	机筒、喷嘴及模具温度偏低	调至适宜
	加料量不够或缓冲量过大	调至缓冲量 10 ~ 20mm
	注射压力太低, 注射速度太慢	调至适宜
	模具排气不良	开设空气排出口, 深 0. 02 ~ 0. 03mm, 宽 5 ~ 10mm
	注射时间太短	调至适宜
	浇注系统或喷嘴发生堵塞	清理
制品溢边	机筒、喷嘴及模具温度太高	调至适宜
	注射压力太大, 模具未紧到位	注射压力与模具松紧程度要一致
	模具密封不严, 有杂物或模板弯曲变形	修理模具
油纹及油迹	材料中掺石蜡油过多	减少石蜡油用量
	螺杆因设备漏油带进油污	修理设备
	模具上有油污	擦拭模具, 若模具组合间隙内有油污, 必须拆卸模具彻底清洗
制品有气泡	模具结构不合理	选用直浇口
	原材料干燥不充分	充分干燥
	机筒温度偏高	调至熔点附近
	注射压力太大或太小	根据产品出现气泡的部位及尺寸来确定注射压力的大小, 将注射压力调至适宜
	模温太低, 充模不完全	开始生产时, 可先关模具冷却水, 待模温升高再开冷却水
	排气不良	开设空气排出口
	制品内留有空洞	延长保压时间
	从加料端带入空气	适当调整背压; 材料中掺微量石蜡油既有利于消除制品中的气泡, 又可避免预塑困难抱死料杆

(续)		
制品缺陷	原因分析	对策
制品有气泡	模具温差大及表面状态欠佳	用纱布干擦或蘸微量石蜡油擦拭模具表面;调整阴阳模冷却水注量
	注射时机筒返漏料,表现为注射终止后螺杆仍旋转缓慢前进	止逆环磨损或卡有异物,应修理或清理
制品表面有银纹、波纹	原材料烘干不充分	充分烘干原材料
	流动波纹	适当提高模具温度
制品表面有黑点、条纹	塑料有分解	彻底清洗机筒,交接班不停机生产
	塑料有带黑点的颗粒	行业标准允许带黑点的粒料占一定比例,如果外观要求较高,粒料必须经挑选后再使用
	喷嘴组合或主浇道吻合不好,产生积料	对喷嘴进行清理或修理
制品留凹模	脱模斜度太小	凸凹模脱模斜度要匹配
	注射压力太高,注射时间太长	调至适宜
主流道粘模	主流道表面粗糙度值大,有伤痕	抛光修理,用铜棒剔除主流道凝料,不可用铁棒或螺钉旋具
	喷嘴孔径大于主流道直径	加大主流道直径,使其直径比喷嘴孔径大1~2mm
	主流道衬套弧度与喷嘴弧度不吻合	修理或更换
制品分层脱皮	混入不同塑料	换料或挑料
质脆	原料脏、湿	清洗、干燥原料
	机筒温度太高	降低料温,防止料在机筒中停留时间过长引起分解
冷料	喷嘴流延	使用自锁式可闭喷嘴
	弹簧失效	更换弹簧
	喷嘴温度过高	适当降低,若降低过多,喷孔处易形成冷凝料,则射不出料
制品透光率差,泛白	原材料烘干不充分	充分烘干原材料
	机筒温度偏高	调至适宜

(八) 高填充石墨尼龙 1010 旋转活塞注射成型

1. 选材与配方设计

对旋转活塞的要求是无毒无味、耐磨抗蚀、尺寸稳定,并具有一定的力学强度和耐热性。因尼龙 1010 尺寸稳定性欠佳而难以满足使用要求,用石墨填充可改善其尺寸稳定性,但现市售的石墨尼龙 1010 的石墨体积含量仅 1.0% 而达不到要求的改性目的。高

填充石墨尼龙 1010 以 F-2 石墨粉填充的最佳石墨含量为 30%。选用更细的石墨粉虽有可能进一步降低线胀系数,但粒子越细越难混匀而易以聚集体形式存在,反使粒子填充塑料的使用及工艺性能下降。

2. 主要设备

- (1) 挤出机 主要用于原料混合和造粒。
- (2) 注射机 高剪切速率的注射机。
- (3) 干燥器 用于物料的干燥。

3. 成型工艺

旋转活塞的成型工艺流程如图 2-11 所示。

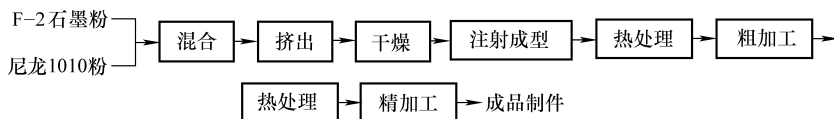


图 2-11 旋转活塞成型工艺流程

(1) 混料、造粒 通过混料使石墨粉均匀分散在尼龙 1010 中,由挤出机挤成料条,经水冷再破碎成 3mm 见方的粒料,在 65 ~ 70℃/2h + 85 ~ 90℃/8h 下烘去水分待用。

由于配方中石墨含量高达 30%,用尼龙 1010 粒料与石墨粉相混难以搅拌均匀,并且挤出困难,因而采用了尼龙 1010 粉料。

粉料可压缩性大,所用 S-S 型塑料三头挤出机的机筒又短,欲均匀填充如此多的石墨粉并得到密实的粒料,混料时机筒的温度控制和排气十分重要。为便于排气和避免“架桥”,料斗中的料不可太满。机筒后段温度宜控制在尼龙 1010 粉的熔点以下,如其过早在后段融化会使粉料夹带的大量空气难以排出,轻则挤出的料条疏松,石墨粉分散不均,重则在机筒中部形成气室。此时气室后部的熔料极易粘合未熔化的粉料,压实后缠在螺杆上无法前输甚至倒流,而气室前部的熔料因气室的负压作用而不能前进,致使出料中止。但机筒后段温度太低则不利于向粉料传热,从而降低出料速率。机筒中段和前段的温度应高于尼龙 1010 粉熔点,使其尽快与石墨粉塑化均匀。经实验机筒温度控制在后段 140 ~ 160℃、中段 220 ~ 240℃ 和前段 240 ~ 260℃ 为好,不仅出料较快,粒条密实,而且石墨粉分散均匀。

(2) 注射成型 旋转活塞的成型在 XS-ZY-1000A 型注射机上进行。尼龙 1010 经石墨填充后,热物理、流变和力学性能均有所改变,故工艺参数需作相应调整方能顺利实现高填充石墨尼龙 1010 的注射成型,其调整趋势如下。

1) 机筒温度。机筒温度是影响熔体温度的主要参数。与尼龙 1010 相比,高填充石墨尼龙 1010 熔体的高粘度减小了螺杆转动时熔体的环流、压力流和漏流的流量——降低了螺杆的混合搅拌作用,故同一塑化条件下其熔体温度的均一性较差。升高机筒温度能提高熔体温度,使其粘度下降,从而改善熔体温度的均一性,并可避免因热扩散系数大而在充模时形成厚冷凝层,加快充模速度,均衡充模后模内的温度、压力分布,因而降低制件的内应力;但过高的机筒温度会加剧塑料的热分解并在冷却时产生较大的内应

力, 所以高填充石墨尼龙 1010 只宜选用较高的机筒温度。

2) 背压和螺杆转速。高填充石墨尼龙 1010 应取较高的背压和较低的螺杆转速以提高其熔体温度的均一性。高背压能增加压力流和漏流流量, 并使较多的机械功转化为剪切摩擦热; 低螺杆转速可延长塑料在机筒内的停留时间, 有助于克服因螺杆有效长度的变化和转动的间隙性引起的轴向温差。高背压和低螺杆转速配合较高的机筒温度, 还可进一步促进石墨粉均匀分散。

3) 注射压力和注射速度。注射压力和注射速度共同决定熔体充模的剪切速率。对于高填充石墨尼龙 1010, 显著的非牛顿性使熔体粘度不再随剪切速率的增加而急剧下降, 从而使熔体充模的剪切速率下限较高, 而均匀的石墨粉能降低熔体弹性从而抑制弹性湍流的出现又使其上限升高, 较高的加工温度也令上、下限移向高剪切速率, 故高填充石墨尼龙 1010 应在较高的剪切速率即较高的注射压力和较快的注射速度下充模。

4) 保压压力和保压时间。由于高填充石墨尼龙 1010 熔体粘度大, 充模时形成的冷凝层较厚, 因此压力传到模腔后损失较大, 补料困难, 应增加保压压力, 但要避免增压过大造成启模时模内压力过高而引起脱模困难。又因其熔体冷凝快, 浇口封闭早, 可适当缩短保压时间以减少制件的内应力。

5) 冷却时间。高填充石墨尼龙 1010 熔体冷凝快, 相应地模内压力下降也快, 其热变形温度又高, 刚性大, 可承受较高内压, 能较快到达启模状态。冷却时间过长会降低制件出模温度, 从而使制件产生较大的内应力, 甚至造成开裂。合理缩短模内冷却时间, 使制件在较高温度下就能均衡、自由地收缩, 用车床车掉型芯除去熔接痕, 对凸模外角倒圆以避免外角处应力集中, 消除制件的开裂现象。

在上述讨论的基础上, 由实际试车确定旋转活塞成型的工艺参数为: 机筒温度后段为 230 ~ 250℃, 中段 250 ~ 270℃, 前段 240 ~ 260℃, 喷嘴 230 ~ 250℃, 螺杆转速 30r/min, 背压 12.5MPa, 注射速度 360cm³/s, 熔体一充满模腔就由行程开关将 100MPa 的注射压力降为 50MPa 进行压实和保压, 以均衡模内压力分布, 注射加保压时间共 30s, 冷却时间 120s, 为减少喷嘴“流延”, 以及向模具传热影响制件均匀冷却, 防止冷料堵塞喷嘴, 采用前加料预塑方式。粒料注射前在 110℃下干燥 8h, 嵌轴于同一温度预热。由此工艺参数可成型出密实、内应力小且石墨粉分布均匀的制件。

(3) 热处理和机械加工 旋转活塞成型后需经机械加工才能达到要求的尺寸精度和几何公差。由于注射成型及机械加工中产生的内应力会使制件变形、性能下降以至开裂, 对旋转活塞还存在因尼龙 1010 的二次结晶和吸湿引起的尺寸变化, 故制件成型或机械加工后应及时进行热处理, 使其内部结构尽快达到稳定状态。

结合旋转活塞的使用环境, 确定以乙酸钾的水溶液(乙酸钾与水的质量比为 1.25:10)为介质, 在其沸点约 104℃进行热处理。在此温度能较好地消除内应力又不致使制件在热处理中发生变形, 尼龙 1010 有较高的结晶速率, 配合介质可较快达到吸湿平衡。制件热处理后先进行粗加工, 加工中注意充分冷却制件以减少内应力的产生; 留微小余量作第二次热处理, 再精加工得成品制件。热处理时间经试验定为每次 4h。

应用表明, 采用高填充石墨尼龙 1010 制得的旋转活塞运转正常, 尺寸稳定性和其他性能都可满足使用要求。

(九) 轿车用尼龙 1010 泡沫塑料浮子注射成型

1. 选材与配方设计

(1) 主要原材料 PA1010：中粘度，天津市中和化工厂；三元乙丙橡胶（EPDM）：国产和美国杜邦公司产两种；顺丁二烯橡胶（BR）：BR-900，北京燕山石化公司合成橡胶厂；SBS：北京燕山石化公司；偶氮二甲酰胺（AC）：天津市有机化工一厂；硅油：工业级，市售；过氧化二异丙苯（DCP）、活性碳酸钙：市售。

(2) 基本配方 制品原材料基本配方见表 2-166。

表 2-166 制品原材料基本配方 (单位：质量份)

原料	PA1010	AC	硅油	DCP	其他
配比	100	1	2	0.5	2

2. 主要设备

对辊筒炼塑机：SK-160B 型，上海橡胶机械厂。

塑料注射成型机：XZ-30 型，上海塑料机械厂。

高速混合机：GH-10 型，北京塑料机械厂。

3. 制备工艺

(1) 浮子制备工艺流程 PA1010 泡沫塑料浮子制备工艺流程如图 2-12 所示。

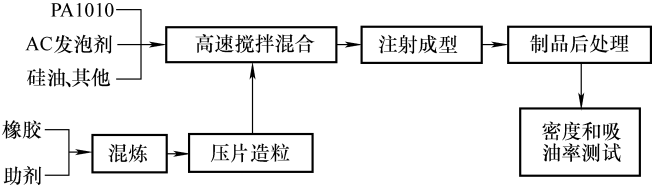


图 2-12 PA1010 泡沫塑料浮子制备工艺流程

(2) 制品成型工艺条件 干燥温度：100℃，2h；注射温度：机筒前两段 218℃，后两段 196℃，喷嘴 220℃；注射压力：20MPa；时间：注射 6.5s，保压 7s，冷却 13s。

4. PA1010 泡沫塑料制品的改性

(1) 橡胶改性 为了进一步降低制件的吸油率，在 PA1010 中分别加入 8% 的 EPDM、SBS 等橡胶改善 PA1010 发泡制品吸油率，结果见表 2-167。由表 2-167 可以看出，橡胶改性 PA1010 可降低制品吸油率，其中加入 EPDM 的效果最好。这是因为根据双组分体系的性能与组分之间的关系可知，加入橡胶后共混体系熔体粘度增大，而熔体粘度越大，气泡膨胀的初始速度越低，泡径也越小，这样易得到泡孔细密、质轻的优质泡沫塑料；另外，熔体的粘度增大使气泡壁有足够的强度，从而减少气泡的破裂和塌陷，提高了泡沫塑料中气泡的均匀程度。此外由于橡胶的加入降低了制品的成本。

表 2-167 橡胶改性 PA1010 泡沫塑料制品吸油率情况

材 料	原重/g	吸油后重/g	吸油率(%)
纯 PA1010	7.0741	7.8428	10.87
PA1010/EPDM(国产)	5.9611	6.5978	10.68

(续)

材 料	原重/g	吸油后重/g	吸油率(%)
PA1010/EPDM(进口)	7.7902	8.5528	9.79
PA1010/SBS	6.8069	7.5338	10.68
PA1010/BR	6.9347	7.6700	10.60

注：橡胶加入量均为 8%。

(2) CaCO_3 填充改性 在 PA1010 中加入经偶联剂处理的活性 CaCO_3 ，提高了 CaCO_3 与树脂的相容性，使其在有机相中分散性显著改善，体系粘度随 CaCO_3 用量增加而增大，从而有利于共混体系的发泡，降低制品的吸油率。少量 CaCO_3 还可作为发泡成核剂，有利于发泡。此外，随着 CaCO_3 用量的增加，制品外壁层的气泡塌陷，破裂增多，致密层变厚，这也是制品吸油率降低的重要原因，但加入量过多会使制品密度增加很多。通常加入量以 0.3% ~ 0.9% 为宜，一般可降低吸油率 1% 左右。

(3) CaCO_3 填充橡胶改性 采用填充 0.5% CaCO_3 和 8% EPDM 改性的 PA1010 所制得的泡沫塑料浮子，吸油率低于 8%，密度为 $0.74\text{g}/\text{cm}^3$ 左右，满足使用要求。

5. 应用情况

填充改性 PA1010 泡沫塑料浮子已投入批量生产，应用于夏利轿车上，成功地取代了原进口产品。该产品在其他一些高级轿车制动液中，其吸油率甚至低于 3%，因此完全可应用于奥迪、桑塔纳等中高级轿车起报警作用的浮子，且能大大降低成本，其应用前景十分广阔。

(十) 尼龙 610 阀杆螺母注射成型

1. 选材

阀杆螺母是阀门中的一个重要零件，它要求有高的拉伸、弯曲、剪切和疲劳强度，低的摩擦因数，良好的耐磨性，以及在较高温度下有足够的力学性能。

曾选用尼龙 1010、MC 尼龙、聚碳酸酯、聚砜、聚甲醛、玻璃纤维增强尼龙 6、玻璃纤维增强聚碳酸酯、玻璃纤维增强聚甲醛、玻璃纤维增强尼龙 1010 和玻璃纤维增强尼龙 610 等十余种塑料，分别进行了模拟试验或现场试用（性能见表 2-168）。通过试验和试用实验证明，在目前的工艺条件下玻璃纤维增强尼龙 610（或 1010）可以作为低压闸阀和截止阀的阀杆螺母材料。

表 2-168 铜和几种工程塑料的物理力学性能

项 目	试验方法	3-12-5 青铜	30% 增强 尼龙 610	80% 增强 尼龙 1010	聚碳 酸酯	聚甲醛	聚砜
拉伸强度/MPa	GB/T 1040	180	176	141	75.5	66.0	85.4
静弯曲强度/MPa	GB/T 9341		358	205.9	105.1	117.7	127.2
弯曲弹性模量/MPa			7482	5020	1710	1680	2220
压缩强度/MPa	GB/T 1041		172	140	85	113.3	89.1
剪切强度/MPa	ASTM-D 732		87.6	71.9	40.6	49.5	49.4

(续)

项 目	试验方法	3-12-5 青铜	30% 增强 尼龙 610	80% 增强 尼龙 1010	聚碳 酸酯	聚甲醛	聚砷
冲击强度(无缺口)/ (kJ/m ²)	GB/T 1043	260	90	82.1	603 (未断)	111	232
布氏硬度(HB)	DIN 53456	60	10.44	11.93	9.83	9.76	10.98
马丁耐热/℃	GB/T 1035		197	176	122	60	157

2. 主要设备

GS₄-S200/400 型或 XS-ZY-500 型的卧式螺杆注射成型机；常压鼓风干燥箱。

阀杆螺母是一个形状较为复杂，几何尺寸、力学强度要求比较高的塑料制件。因而除了要求有稳定的成型工艺外，还必须有合理的模具。

3. 制备工艺

(1) 原料的预处理 热塑性塑料成型时，如果水分的含量超过一定限度，成型过程中水分就在高温机筒内挥发成气体，使树脂起泡粘度下降。不仅造成加工上的困难，而且会使制品外观质量及力学强度下降。因此对于吸湿性的塑料必须进行干燥处理。

另外，经过干燥处理的原料如在空气中放置时间过长，则又会从空气中吸收水分，失去了干燥效果。故已经干燥的原料，不要在空气中放置过久（一般为 10 ~ 30min）。为了防止干燥原料在加工过程中的重新吸湿，可以用料斗加热器和红外线灯等方法保温。如发生吸湿情况，则必须重新干燥。

玻璃纤维增强尼龙 610 和 1010，由于其在增强过程中采用了水冷却，再加上尼龙本身吸水性较大，原料虽经生产厂初步干燥，但含水量还在 6% 左右，所以对于玻璃纤维增强尼龙的干燥时间必须相应加长。

采用常压鼓风机干燥料层厚度不大于 25mm，干燥时间 12 ~ 24h，温度 100 ~ 110℃。含水量小于 0.2% ~ 0.4%。注射成型工艺见表 2-169。

表 2-169 玻璃纤维增强尼龙阀杆螺母注射成型工艺

项目	原料名称	玻璃纤维增强尼龙 610		玻璃纤维增强尼龙 1010	
	注射机型号	GS4-S 200/400	XS-ZY-500	GS4-S 200/400	XS-ZY-500
温度	机筒温度/℃				
	后	190 ~ 210	190 ~ 210	195 ~ 210	190 ~ 210
	中 ₁	243 ~ 250	220 ~ 230	230 ~ 240	220 ~ 230
	中 ₂	—	230 ~ 240	—	230 ~ 240
	前	240 ~ 250	240 ~ 250	230 ~ 240	230 ~ 240
	喷嘴温度/℃	210 ~ 230			
	模具温度/℃	80 ~ 110			
压力	注射压力/MPa	80 ~ 100			

(续)

项目	原料名称	玻璃纤维增强尼龙 610		玻璃纤维增强尼龙 1010	
	注射机型号	G54-S 200/400	XS-ZY-500	G54-S 200/400	XS-ZY-500
时间	注射时间/s	80 ~ 120	80 ~ 120	80 ~ 120	80 ~ 120
	高压时间/s	3 ~ 5	3 ~ 5	3 ~ 5	3 ~ 5
	冷却时间/s	10	10	10	10
	总周期/s	140 ~ 240	140 ~ 240	140 ~ 240	140 ~ 240
螺杆转速/(r/min)		25	25	25	25
缓冲垫/mm		10 ~ 10	10 ~ 20	10 ~ 20	10 ~ 20

(2) 机筒和喷嘴的温度 对成型同一原料的制件时，机筒温度还因其成型机械的类型不同而有所高低。螺杆式注射成型机由于有剪切摩擦热、原料层薄、有搅拌混合作用，故机筒温度要比柱塞式注射成型机的机筒温度低一些，一般取高于原料熔点的 10 ~ 20℃（对于玻璃纤维增强的料取高 20 ~ 30℃）。既要保证塑料完全的均匀塑化，又不致使聚合物降聚分解。机筒温度的分布，一般以料斗一侧的温度较低，而接近喷嘴一侧的较高。

喷嘴温度通常要比机筒的最高温度低 5 ~ 10℃，以不产生塑料的流延为原则，但也不宜太低，否则会使塑料固化，堵塞喷嘴孔或使积聚在喷嘴处的冷料进入模具型腔内。

(3) 注射压力和注射速度 注射压力和注射速度，对塑料的充模起决定性的作用。注射压力的大小，取决于塑料的流动性、模具浇口尺寸、制件的壁厚及流程、模具的温度和设备的性能。

成型玻璃纤维增强尼龙阀杆螺母时，由于其型腔体较大，为使充模均匀，制件表面光滑，可采用 3 ~ 5s 高压时间。注射压力为 80 ~ 100MPa。

(4) 成型周期 成型周期是指完成一次注射成型过程所需的时间。在成型周期中，对制件质量起决定性影响的是注射时间。注射时间是指螺杆从开始前进到开始后退所需的时间。注射时间包括充模时间和保压时间。玻璃纤维增强尼龙阀杆螺母注射时间一般取 60 ~ 120s 之间（视制件的大小而定）。其中充模时间仅为 3 ~ 5s，其余均为保压时间。

保压时间是使熔融的塑料通过分流道、主流道不断补入模具型腔，达到补缩作用，并使制件在压力下逐步冷却。

从注射结束到模具开启称为冷却时间。它的作用是使制件有足够的定型时间使脱模时不变形，不产生挠曲，并使第二次注射的塑料在机筒内得到充分的塑化。冷却时间与模具温度、制件壁厚和塑料的凝固速度有关。注射成型玻璃纤维增强尼龙阀杆螺母时，冷却时间为 10s 左右。

(5) 加料量及剩料 加料量和剩料是互相影响的，加料量太多，剩料量（缓冲垫）就大，不仅注射压力损耗增加，而且剩料在机筒内的受热时间也延长，有降解分解的可能，影响制件的力学性能。如果加料量太少没有剩料，即缓冲垫等于零，则既无传压作用，又无熔融的塑料继续补入，因此无论注射压力多大，保压时间多长，制件会出现不足、凹痕、空洞，内质疏松等缺陷。

在整个保压过程中，必须注意有一定的缓冲垫。缓冲垫等于零的原因，是加料量少或者止退环磨损不起止退作用。

(6) 螺杆转速及背压 螺杆转速及背压决定送料的快慢。注射成型玻璃纤维增强尼龙制件时，螺杆转速及背压要低些，转速为 25r/min 左右，这是为了避免螺杆转动系统遭到超载运转。

(7) 模具温度 模具保持一定的温度，是使塑料增加流动性，容易充满型腔；获得较高的结晶度，提高制件硬度、刚度和耐磨性；均匀表里冷却速度，防止表里温度悬殊而产生凹痕、应力裂纹、表面皱纹等缺陷。

(8) 注意事项 由于玻璃纤维增强尼龙原料颗粒较长且轻，容易在落料口搁档。落料口处温度较高，塑料容易粘住，以致造成预塑时送料困难。如果预塑时螺杆后退速度非常缓慢，甚至不后退，其原因多半是由于落料困难而引起的。因此，在用玻璃纤维增强尼龙注射成型制件时，不允许把料堆积在落料口上，应在预塑过程中逐步加料。

(十一) 尼龙 610 (或 1010) 油泵叶轮注射成型

1. 选材

根据制品设计要求，结合工程塑料成型加工特性，选用日本产的 Amilon-尼龙 610 和我国产的尼龙 1010。聚酰胺塑料主要性能见表 2-170。

表 2-170 聚酰胺塑料主要性能

项 目	数 值		
	尼龙 1010	尼龙 66	尼龙 610 (Amilon)
密度/(g/cm ³)	1.04	1.15	1.08
马丁耐热/℃	45	54 ~ 60	—
线胀系数/($\times 10^{-4}$ K ⁻¹)	1.4 ~ 1.6	1.32	1.2
拉伸强度/MPa	50 ~ 60	66	60
弯曲强度/MPa	78 ~ 82	83	—
冲击强度/(kJ/m ²)	100	22 ~ 33	113

2. 主要设备

(1) 干燥器 主要用于成型加工前原材料的干燥处理。

(2) 注射机 选择通用型注射机，主要用于制品的成型。

(3) 模具设计 塑料叶轮形状比较复杂，又必须由两个注射件所组成，故模具设计方案也可从多方面来着手。采用上盖、下体的方法来设计，这要比上体、下盖模具容易加工。虽然用上体，下盖结构时，下盖是一个法兰盘，模具容易加工。但上体比较复杂，加工时具体问题就多了。如设计上盖、下体办法，虽有问题但在模具加工工艺上比较容易。加工之易、难，主要反映在叶轮的棱的分度上。

由于叶轮的棱较多、较细，故在脱模机构上，要注意，也就是说拉料机构要设计得有足够能力，将前模板棱槽内的塑料部分拉出来，否则塑料叶轮会产生拉料脱钩，倒粘在前模板上，这样一冷却，产生收缩，会抱模，脱模非常困难，脱不好就会损坏模具的

精度。这一点是非常重要的。

其次，由于盖呈蝶形，它的收缩和泵轮体的凸棱收缩不一样，要加以注意，否则工件注射件难以拼成符合要求的叶轮注射件，这也是值得注意的地方。

3. 制备工艺

(1) 注射工艺 潜油泵塑料叶轮，分为盖、体两部分，均在 601 型注射机上加工成型，由于选用材料均是尼龙，所以基本成型参数大致相近。

粒料干燥：105 ~ 110℃ 保温 24h。

成型工艺条件见表 2-171。

表 2-171 成型工艺条件

条 件 \ 名 称	名 称		条 件 \ 名 称	名 称	
	盖	体		盖	体
模具温度/℃	—	90	高压注射时间/s	5	10
前段温度/℃	250 ~ 260	250 ~ 260	保压时间/s	15	15 ~ 20
后段温度/℃	190 ~ 200	200	冷却/s	10 ~ 15	10 ~ 15
喷嘴温度/℃	200 ~ 230	200 ~ 230			

(2) 粘接工艺 潜油泵塑料叶轮是由两件所组成，故必须用粘接方法组成一体，采用溶解型的苯酚-尼龙粘合剂，其配方如下（质量份）：苯酚 100 份，尼龙 20 份。

将尼龙按配方加入苯酚中，在 120 ~ 130℃ 使尼龙溶于苯酚中，即成粘合剂。

在粘接过程中，将尼龙粘合剂均匀涂于叶轮体的筋上，然后用夹具将其压紧（图 2-13），放入 120 ~ 130℃ 保温 1 ~ 1.5h。采用溶解型尼龙粘合剂在粘接强度上较为理想。制品使用性能良好。

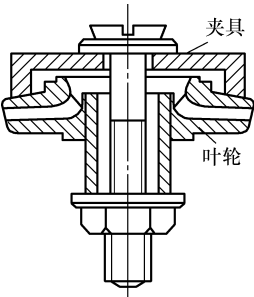


图 2-13 粘接时采用的夹具示意

二、尼龙制品的浇注（铸造）成型

(一) 含油 MC 尼龙传动用螺母

含油 MC 尼龙是 20 世纪 80 年代初由英国 Nalacast Olion 公司推出的新一代尼龙品种，它是在原 MC 尼龙的基体中加入适量的润滑油，经加工制成均匀一体的减摩自润滑材料。由于采用了表面活性剂使油料能均匀地渗透到原料中，成为产品结构的一部分，因此，在任何环境下油料都不会自行析出。该材料除可保持 MC 尼龙的高强度、耐磨、耐蚀等优点外，还可大大增强自身的润滑性及耐磨性。含油 MC 尼龙已广泛应用于橡胶、冶金、造纸、纺织、矿山等行业，用于制作滑块、齿轮、轴承等零部件，解决了许多技术关键问题。本例介绍的是用其做重载汽车升降机传动螺母的制备工艺。

1. 机械式汽车升降机对螺母性能的要求

(1) 升降机的工作原理 双柱机械式汽车升降机的工作原理如图 2-14 所示，电动机通过带传动带动主丝杠转动，主丝杠通过下端的链传动带动副丝杠同速转动，相应地带动工作螺母及其上的升降滑架同步升降，通过与升降滑架相连的托举机构实现汽车的升降运动。

(2) 对工作螺母的性能要求 机械式汽车举升机的结构并不复杂, 其主传动实际上是一种螺旋传动, 核心工作元件是丝杠螺母机构, 螺母自身高度通常小于 80mm, 却要求将质量至少 1.5t 的汽车举升到 1.8m 左右的高度。螺母是否耐磨, 能否长期保持承受重载, 直接关系到被修汽车和汽车维修工人的安全。交通部行业标准规定: 机械式汽车举升机, 在负载额定举升质量进行全程往复工作时, 其零部件应在 1000 次内不得失效, 在无故障的基础上继续运行到 3000 次时, 以安全可靠为前提, 检查零部件的损坏程度, 允许更换易损件。该标准中所述的易损件主要指螺母。

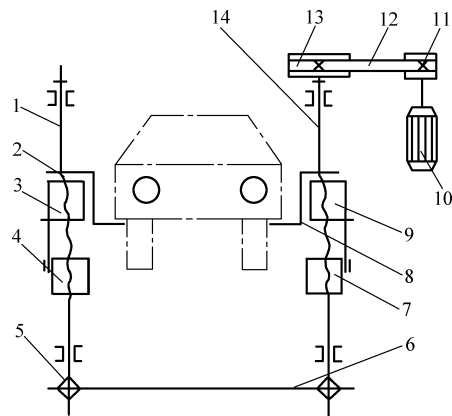


图 2-14 双柱机械式汽车举升机的工作原理

由于螺旋传动是滑动摩擦, 摩擦阻力大, 传动效率低 (一般为 30% ~ 40%), 且磨损快。为了保护丝杠, 大多数举升机生产厂家选用耐磨性能相对较好、硬度较低的青铜 (如 ZCuSn10Pb1 , ZCuAl10Fe3) 作为螺母材料, 形成青铜对钢的摩擦副, 但要达到理想的使用效果, 这对摩擦副就必须保持在润滑状态下工作, 由于举升机工作环境相对恶劣, 且大多汽车修理厂不能明确专人使用和保养, 不能保证丝杠螺母摩擦副在润滑状态下工作, 造成螺母磨损加剧。举升机使用不到两年, 就时常因青铜螺母的磨损而发生坠车事故。由此可见, 在保证螺母承载强度的前提下, 提高螺母材料的自润滑性能及耐磨性, 是延长螺母使用寿命的关键。

2. 制备工艺

在含油 MC 尼龙制备过程中, 关键是油化合物的调制, 具体调制方法为: 在选用的耐高温润滑油体系中加入质量分数约为 10% 的表面活性剂和适当比例的油溶性颜料, 高速搅拌混合至溶液均匀 (静置 24h 后应不分层)。含油 MC 尼龙螺母的制备工艺流程如图 2-15 所示。

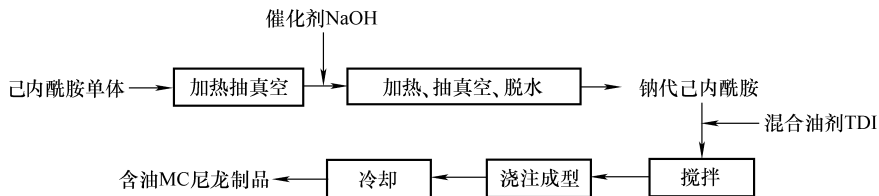


图 2-15 含油 MC 尼龙螺母的制备工艺流程

3. 含油 MC 尼龙螺母与青铜螺母的性能对比

含油 MC 尼龙的拉伸强度比青铜材料的拉伸强度低得多, 但含油 MC 尼龙能否作为举升机的传动螺母呢? 为了对含油 MC 尼龙螺母进行研究, 研制者选用额定提升质量为

3t 的 ZD-QJJ3/2 型升降机为试验对象,其螺母的螺纹尺寸为 Tr40×6,分别采用含油 MC 尼龙螺母和青铜螺母,对承载性能进行了对比试验,结果见表 2-172。

从表 2-172 可以看到,无论静载还是动载,含油 MC 尼龙螺母都比青铜螺母具有优良的性能。其主要原因有两点:一是含油 MC 尼龙螺母具有良好的韧性,在承载过程中,螺牙产生变形,消除了螺距误差,使螺母全部的螺牙都承载,而青铜螺母由于螺距加工误差,同时承载的螺牙数量少,使实际的承载能力下降;二是含油 MC 尼龙螺母的干摩擦因数相对较少,因而摩擦力小。

表 2-172 含油 MC 尼龙螺母与青铜螺母的性能对比

项 目	含油 MC 尼龙螺母	青铜螺母 (ZCuSn10Pb1)
将 40kg 的重块举升到相对螺母 2m 高度,对拧在丝杠上的螺母进行冲击试验	能正常使用	螺母牙根断裂,不能使用
在额定载荷 150% 下进行举升试验	能升降	电动机堵转
静加载试验	加载到 15t 时,因托举装置变形,未进一步加载,但螺母仍能使用	加载到 10t 时,螺母牙根断裂,不能使用

4. 额定载荷下的寿命试验

按交通部行业标准规定的试验方法,在额定载荷状态下,对 ZQ-JJ3/2 型双柱机械式汽车升降机进行举升试验,当举升到上限高度后,将额定载荷在半空中停留 5~8min,在下降到下限位置时再停留 5~8min;不停地进行这样的升降运动,行业标准中允许加注润滑脂,但考虑到汽车修理厂的实际使用状况,本试验大约每 500 次对丝杠螺母加注一次 J40 机械润滑油。通过试验发现,含油 MC 尼龙螺母特别耐磨,其使用寿命可达 14000 次以上,远远大于我国交通部行业标准中规定的 3000 次的要求,与世界上工业先进国家的 20000 次的水平相接近,而同样试验条件下,青铜螺母 (ZCuSn10Pb1) 的使用寿命在 5000 次以内。

试验还发现含油 MC 尼龙螺母本身硬度低,能有效地防止硬质尘粒对丝杠的磨损。而且在运行进程中,含油 MC 尼龙螺母在失油状态下也不会出现“尖叫”声。

5. 经济效益分析

含油 MC 尼龙螺母具有优良的使用性能,质轻、寿命长,其价格仅是青铜螺母价格的一半,含油 MC 尼龙螺母与青铜螺母的经济性对比见表 2-173。

表 2-173 含油 MC 尼龙螺母与青铜螺母的经济性对比

项 目	含油 MC 尼龙螺母	青铜螺母
件重/kg	0.46	1.2
价格/(元/个)	44	86
使用寿命/次	>14000	<5000

(二) 改性 MC 尼龙摩擦轮的浇注成型

尼龙具有强度高、韧性好、耐磨、耐油和电绝缘性能好等优点,因此被广泛用于制

作轴承、齿轮及其他机械零件。单体浇注尼龙（MC 尼龙）除具有一般尼龙产品的共性外，还具有聚合温度低，工艺简单，结晶度高，相对分子质量大且分布均匀，自润滑，减振消声，耐化学药品腐蚀，使用温度范围宽等优点，主要用于纺织、印染、造船、化工、橡胶、食品、电子、仪表、汽车、海洋、地质、矿山、冶金、石油等行业要求耐磨、耐温、防腐和密封性能好的零部件。但若用于制造蒸汽机车摇杆、连杆轴套，矿山采掘机的套筒，轴承支柱，建筑物用驱动摩擦轮等受冲击力及挤压力大的部件，普通 MC 尼龙也难以胜任，必须对其增韧改性方可满足要求。本例介绍的是用于旋转厅的改性 MC 尼龙摩擦轮的制备成型工艺。

1. 原材料与配方

在 MC 尼龙的增韧改性中，选用了能与聚己内酰胺和异氰酸酯等共聚的增韧剂，如十二内酰胺、聚醚、接枝聚烯烃等，分别编号为：1[#]、2[#]、3[#]和4[#]增韧剂。

增韧 MC 尼龙材料的配方见表 2-174。

表 2-174 增韧 MC 尼龙材料的配方

材 料	用量/g	规 格	材 料	用量/g	规 格
己内酰胺	960	工业级	增韧剂	40	1 [#] 、2 [#] 、3 [#] 工业级,4 [#] 自制
NaOH	1.4	化学纯	助催化剂	5.8	工业级

2. 结构设计

摩擦轮要驱动重约 30t 的圆形厅旋转，这种使用条件就决定了该摩擦轮完全靠改性 MC 尼龙成型是不行的。为此在 MC 尼龙耐磨层的内部使用了钢轮作为嵌件，由于该嵌件的外形直接影响到尼龙和钢的界面结合强度，所以对嵌件的外形进行了认真的设计，为了增加其结合强度，必须降低嵌件外部的表面粗糙度等级，但同时又不能引起尼龙成型时应力的过度集中，因为局部的应力集中会导致尼龙的开裂损坏。通过大量的分析和试验，最后采用了在嵌件外部均匀地焊有弧形钢件的摩擦轮结构，摩擦轮截面结构示意图如图 2-16 所示。

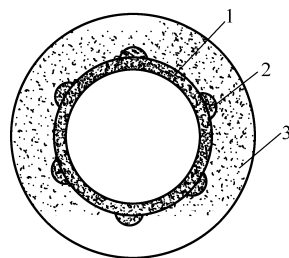


图 2-16 摩擦轮截面结构示意图

根据设计的摩擦轮结构，还设计并加工了浇注模具。

3. 成型工艺

首先将模具放入 165℃ 左右的烘箱内，恒温 1.5h 以上，备用。然后，按表 2-174 中的配方加入计量好的己内酰胺和 2[#]增韧剂于反应釜内，加热熔融，当其接近完全熔融时，开启真空系统，待其完全熔融后，停止抽真空，加入计量的催化剂，继续加热并抽真空，当料温达到一定温度后，停止加热，使其温度保持在 130 ~ 145℃ 范围内，反应一定时间后，关闭真空系统，将物料放入混合釜内，并迅速加入计量好的助催化剂，搅拌均匀后，快速浇入预热好的模具中，继续保温 20 ~ 30min 后，停止加热，自然降温至 60℃ 以下，取出，脱模。脱模后将制件放入沸水中连续煮 24h，取出，晾至室温。最后机械加工至所需尺寸。

1—钢嵌件轮 2—焊接的弧形钢件 3—改性 MC 尼龙

4. 应用

改性 MC 尼龙浇注成型的摩擦轮经在旋转厅上的应用表明，它刚性好、耐挤压，特别是耐磨性能和消声性能优越，尺寸稳定性和其他性能都能满足使用要求，与传统的摩擦轮相比，具有成型工艺简单，旋转稳定性好，安装方便，造价低等优点，有较好的应用前景。另外该增韧材料还可应用于其他线速度高、受冲击力大的关键部件，如矿山挖掘机上的套筒衬以及蒸汽机车摇杆、连杆轴套等。

(三) 铸型尼龙活塞环的浇注成型

空气分离器气缸中使用的活塞环，工作时不停地往复运动，因空气承受高压而发热，摩擦也发热，缸内温度高达 150 ~ 160℃。以往一直使用玻璃纤维增强聚四氟乙烯 (PTFE/GF) 活塞环，但是这种活塞环价格较高，使用寿命也不理想。为了改变这种状况，研制了铸型 (MC) 尼龙活塞环，并在生产中试用，收到了较好的效果。

1. 原材料

- 1) 己内酰胺。德国 BASF 公司生产。
- 2) NaOH。试剂级，广州试剂厂生产。
- 3) 二苯甲烷二异氰酸酯 (MDI)。工业品，日本进口。
- 4) 添加剂。工业品，市售。

2. 主要设备

真空泵：2X-8，上海真空泵厂。真空罐（150L，不锈钢）、过滤器（5L）、浇注桶（12L，不锈钢）及恒温烘箱均为市售。

3. 制备工艺流程

制备 MC 尼龙的工艺流程如图 2-17 所示。

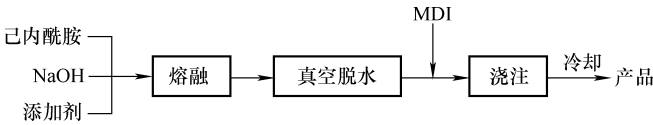


图 2-17 制备 MC 尼龙的工艺流程

4. MC 尼龙主要性能

所用 MC 尼龙的主要力学性能见表 2-175。

表 2-175 MC 尼龙的主要力学性能

项 目	数 据	项 目	数 据
拉伸强度/MPa	108.2	球痕硬度/MPa	127
压缩强度/MPa	130	缺口冲击强度/(kJ/m ²)	18.2

5. 活塞环的制备

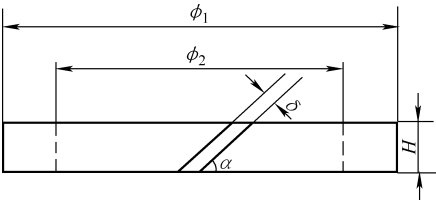
将 MC 尼龙管材用车床加工成活塞环，其加工尺寸及精度要求见表 2-176，MC 尼龙活塞环结构示意图如图 2-18 所示。

表 2-176 活塞环加工尺寸及精度要求

外径 ϕ_1 /mm	内径 ϕ_2 /mm	高度 H /mm	切 口	
			宽度 δ /mm	斜角 $\alpha/(^\circ)$
320	294.0 ± 0.1	$12 \begin{smallmatrix} -0.30 \\ -0.35 \end{smallmatrix}$	5.80	45
235	209.0 ± 0.1	$12 \begin{smallmatrix} -0.30 \\ -0.35 \end{smallmatrix}$	5.80	45
125	99.0 ± 0.1	$12 \begin{smallmatrix} -0.30 \\ -0.35 \end{smallmatrix}$	5.80	45

6. 活塞环使用性能

MC 尼龙活塞环安装到型号为 K 20N-20/100 的空气分离器 (20m³/h)，三段压缩，各段压缩环直径分别为 $\phi 320\text{mm}$ 、 $\phi 235\text{mm}$ 、 $\phi 125\text{mm}$) 上试用，并逐日记录该设备的第三级压力，直至低于 2.4MPa。图 2-18 示出 MC 尼龙活塞环结构。



(四) 改性 MC 尼龙护顶顶梁的浇注成型

在顶板松软（破碎）的采煤工作面，经常会发生漏矸冒顶事故，不仅严重威胁安全生产，而且也限制了煤炭单产的提高。特别是在倾角较大的工作面，进行护顶特别困难，背顶时护顶材料必然要下滑，使护顶质量得不到保证，更易引发工作面顶板事故。

为解决松软（破碎）顶板的支护问题，设计制备了 MC 尼龙护顶宽顶梁，使用效果良好。现介绍其制造方法。

1. 原材料 MC 尼龙的改性

虽然 MC 尼龙具有质轻（约为钢材的 1/7），强度高，耐酸碱，不锈蚀等特点，但要在煤矿井下作护顶顶梁，仍难以满足使用要求。因此，首先应对 MC 尼龙进行阻燃、抗静电改性，使之具有阻燃、抗静电性能；其次应对 MC 尼龙进行增强改性，使材料适应顶梁的受力特点，具有较高的压缩强度、弯曲强度和刚度。

(1) 阻燃、抗静电改性 对 MC 尼龙阻燃、抗静电改性的方法是添加阻燃剂、抗静电剂。关于阻燃剂、抗静电剂的选择原则是：①具有化学惰性，即不与单体和各种助剂发生化学反应。②在高温下稳定，不挥发不分解，能耐受 170 ~ 180℃ 的聚合温度。③不含水分。④能实现分子分散，以单个分子形式较好地分散于己内酰胺单体中。

对多种阻燃剂、抗静电剂进行配方试验和性能考察后，最后选定红磷-MgO 作为复合阻燃剂，胶体石墨作为抗静电剂。这些助剂经处理后，在 MC 尼龙中分散均匀，不影响聚合。使用改性 MC 尼龙制作的制品抗静电，阻燃性能指标均符合 MT113—1995 的规定，可应用于煤矿井下。

(2) 增强改性 对 MC 尼龙进行增强改性的方法主要有填充活性粉煤灰、滑石粉、稀土、玻璃纤维、Mg(OH)₂ 等无机填料，其填充量一般为 10% ~ 40%，本产品的重点在于提高压缩强度、弯曲强度，故添加玻璃纤维效果较为显著。试验表明，添加 40% 玻璃纤维，可使 MC 尼龙的拉伸强度提高 32.2%，弯曲强度提高 74.3%，缺口冲击强

图 2-18 MC 尼龙活塞环结构示意图

度提高 162%，弯曲弹性模量提高 117%。添加不同比例玻璃纤维的增强改性 MC 尼龙与普通 MC 尼龙的性能对比见表 2-177。强度的提高，可以在保证顶梁性能指标的条件下，减小顶梁设计截面尺寸，从而实现轻量化，节约成本。本产品通过增强改性和截面优化，梁身力矩大于 43.7kN·m，铰接部位力矩大于 20kN·m，达到设计要求。

表 2-177 添加不同比例玻璃纤维的增强改性 MC 尼龙与普通 MC 尼龙的性能对比

项 目	MC 尼龙	玻璃纤维含量(%)			
		10	20	30	40
拉伸强度/MPa	84.01	93.19	86.39	93.55	111.05
拉伸弹性模量/GPa	3.00	4.16			7.59
弯曲强度/MPa	119.74	160.55	148.66	168.33	208.70
弯曲弹性模量/GPa	3.22	3.89	3.79	4.95	6.98
缺口冲击强度/(kJ/m ²)	5.93	11.39	20.52	17.21	15.51

2. 主要设备

用改性 MC 尼龙制备护顶顶梁，所选用的设备如下。

- 1) 电热鼓风干燥箱。GF-24-3FB 型，功率 24kW，重庆电炉厂。
- 2) 真空泵。2X-30A 型，掺气极限真空度 -1.33Pa，淄博真空设备厂。
- 3) 顶梁模具。钢质，自制。
- 4) 真空反应釜。材质为不锈钢，自制。

3. MC 尼龙护顶铰接顶梁成型工艺

MC 尼龙护顶铰接顶梁的成型方法是以强碱性物质为催化剂，在常压下将熔融的己内酰胺单体与催化剂、活化剂、改性剂等一起，经真空脱水后，直接注入预热到一定温度的模具中，物料在模具内很快进行聚合反应，得到与模具型腔几乎相同的制品。其成型工艺流程如图 2-19 所示。

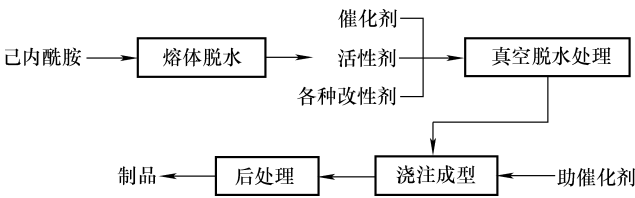


图 2-19 MC 尼龙护顶铰接顶梁的成型工艺流程

4. 使用效果

MC 尼龙护顶铰接顶梁与普通铰接顶梁的使用方法相同，即按挂梁、打水平楔、支设单体液压支柱的顺序使用。其具有下列使用效果。

- 1) 由于传统法使用的木棍、笆片、木板本身强度不高，虽然从表面上看将顶板封严了，但在生产过程中还会经常发生漏矸冒顶事故。通过采用新型的护顶铰接顶梁结构形式，可将采煤工作面顶板背严，因背顶材料强度高，彻底杜绝了漏顶造成冒顶事故的

可能，为工作面高产高效提供了安全保障。

2) 以往的背顶方式封顶效率低，松软（破碎）顶板暴露时间长，而使用改性 MC 尼龙护顶铰接顶梁后，在挂梁时就背严了顶板，不仅缩短了破碎顶板暴露的时间，还因为减少了护顶材料运入和铺设工序，使支护工作量大大减少，采煤进度加快，更利于顶板管理。

3) 改性 MC 尼龙护顶铰接顶梁强度高，质轻，支、回方便，能减小工人劳动强度，提高工作面产量。

4) 经济效益明显。

（五）刮板输送机改性 MC 尼龙中部槽的浇注成型

刮板输送机作为矿山运输物料的主要设备之一，在矿山、冶金等行业得到广泛的应用。但是在使用过程中发现刮板输送机的中部槽存在一些问题，比如存在较笨重、锈蚀严重、摩擦因数较高、耗电量较大、噪声大的缺点。本例应用 MC 尼龙研制成可完全代替金属中部槽的改性尼龙中部槽，下面对其研制工艺进行介绍。

1. 材料选择及其配方

（1）选材 根据刮板输送机中部槽的使用要求，结合 MC 尼龙的性能，选用 MC 尼龙作为中部槽的基体树脂。MC 尼龙也称铸型尼龙或单体浇注尼龙，它以己内酰胺为主要原料，在常压下将熔融的己内酰胺单体（用强碱性物质作催化剂）减压脱水后，与助催化剂（如异氰酸酯）等助剂混合均匀，直接注入预热到一定温度的模具中，物料在模具中很快地进行聚合反应，成为乳白色或乳黄色的坚韧的固体坯件。MC 尼龙除具有一般聚酰胺的性能外，还具有聚合温度低，工艺简单，结晶度高，相对分子质量大且分布均匀，力学性能好，减振，耐磨，自润滑，耐腐蚀，使用温度范围宽等优点。但普通 MC 尼龙在抗静电、阻燃及尺寸稳定性等方面仍存在不足，尤其在用于刮板输送机运输煤矸这样较为恶劣的工作状况下，更需对 MC 尼龙进行改性。

（2）配方 为了克服普通 MC 尼龙吸水率高、尺寸稳定性低、阻燃和抗静电效果差等缺点，进一步增强制品的耐磨性而又不降低甚至提高其主要力学性能，首先采用胶体技术和偶联技术对减摩剂、增韧剂、阻燃剂等改性剂及增强材料进行预处理，然后加入适量的憎水剂、抗静电剂、稳定剂等与己内酰胺、氢氧化钠、异氰酸酯等原料进行共混、聚合。通过正交试验进行配方优选，在测试材料性能和大量应用试验的基础上确定了刮板输送机中部槽用改性 MC 尼龙的最终配方和工艺条件，达到了刮板输送机中部槽的性能要求。表 2-178 给出了中部槽用改性 MC 尼龙的配方及主要原材料的生产厂家。

表 2-178 中部槽用改性 MC 尼龙的配方及主要原材料生产厂家

材 料	规 格	用量/质量份	生 产 厂 家
己内酰胺	工业一级	100	南京东方化工有限公司
三苯甲烷三异氰酸酯	工业品	1	重庆东风化工厂
甲苯二异氰酸酯	工业品	4	上海试剂一厂
氢氧化钠	分析纯	0.12	西南化学试剂厂
抗静电剂(胶体石墨)	工业一级	1.5	上海胶体石墨厂

(续)

材 料	规 格	用量/质量份	生 产 厂 家
阻燃剂		10 ~ 20	市售
减摩剂		8 ~ 16	市售
稳定剂		1	市售
偶联剂		1 ~ 4	市售
增韧剂		0.1 ~ 0.5	市售
憎水剂		1 ~ 5	市售
增强材料		10 ~ 30	市售

2. 主要设备

表 2-179 列出了采用改性 MC 尼龙制备刮板运输机中部槽使用的主要设备。

表 2-179 制备中部槽用主要设备

名 称	型 号	生 产 厂 家
电热鼓风干燥箱	GF-24-3FB 型	重庆华洋电炉厂
真空箱	2X-30A 型	淄博真空设备厂
磨损试验机	MH-400 型	烟台试验机厂
冲击试验机	XCJ-50 型	承德试验机厂
万能试验机	WD-10E 型	长春第二试验机厂

3. 制备工艺

改性 MC 尼龙中部槽的成型工艺流程如图 2-20 所示。

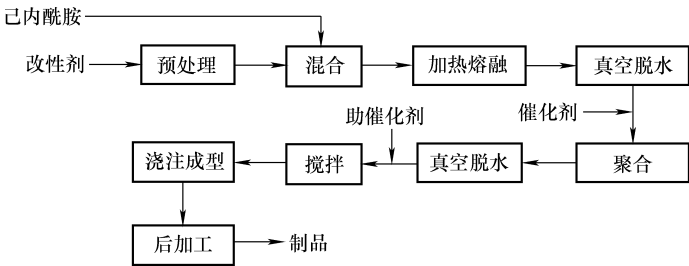


图 2-20 改性 MC 尼龙中部槽成型工艺流程

根据配方将称量好的己内酰胺单体和部分经过预处理的改性剂加入反应釜中，加热熔化，待熔体温度升至 120 ~ 130℃ 时，开启真空泵减压蒸馏，保持体系压力为 1.33kPa 以下，蒸馏 30 ~ 60min。在沸腾过程中，将称量好的氢氧化钠和另一部分经过预处理的改性剂迅速加入反应釜中，连续减压脱水 30 ~ 60min，直至无水分排出为止（使料液中的水分含量降低至 0.03% 以下）。然后，在料液中加入助催化剂，并搅拌均匀，迅速注入已预热至 160 ~ 180℃ 并在氮气保护的模具中进行聚合反应，保温 30 ~ 50min 后，自然

冷却至 60℃ 左右脱模并进行后加工，即得性能优异的改性 MC 尼龙中部槽。

4. 性能及应用

为了检验改性 MC 尼龙中部槽在重载运转条件下的各项性能指标，特进行了改性 MC 尼龙中部槽与金属中部槽 1000h 运转对比试验，从试验结果看，改性 MC 尼龙中部槽的磨损率要明显低于金属中部槽的磨损率；产品完全满足现场使用要求，且槽重约为金属中部槽的 1/4。由于摩擦因数小，可节电 15% 以上，噪声明显降低。

用改性 MC 尼龙制成的刮板输送机中部槽，具有综合力学性能好，不锈蚀，耐磨损，质轻，使用寿命长，性能价格比高等优点，应用前景广阔。

(六) 彩色油性铸型尼龙制品的浇注成型

1. 原材料的选择与用量

用于生产绿色油性 MC 尼龙的己内酰胺原料必须符合 GB 13254 中的规定。

辅料：催化剂，NaOH（分析纯）必须符合 GB/T 629 中的规定。

助催化剂：甲苯二异氰酸酯（TDI）必须符合表 2-180 所示的性能参数。

表 2-180 TDI 性能参数

项 目	参 数	项 目	参 数
纯度 (%)	≥99.5	酸度(以 HCl 计)/ $\times 10^{-6}$	≤40
异构比(2.4/2.6)	(80 ± 1)/(20 ± 1)	色度(APHA)	≤15
可水解氯 (%)	≤0.01	总氯 (%)	0.02

润滑剂：工业用液体润滑油必须符合 SH 0528（矿物油型真空泵油）中的规定。

着色剂：无机颜料氧化铬绿。

(1) 润滑油和颜料的选择 用于彩色油性 MC 尼龙的润滑油必须有好的热稳定性和化学惰性，不含阻聚因素及任何杂质，能赋予制品好的外观，不与颜料发生反应，价格较低。选择工业用矿物油型真空泵油，其润滑作用良好。

选用的着色剂必须能耐 250℃ 以上的温度，无阻聚因子，耐碱且能溶于润滑油中。着色剂有颜料和染料之分，塑料着色常用颜料，而颜料又分有机和无机两料。无机颜料的耐热范围较广（100 ~ 1000℃），而有机颜料的耐热只有 100 ~ 300℃，且无机颜料对有机溶剂具有相对的稳定性。因此试验时选用了无机颜料氧化铬绿。氧化铬绿的主要成分是 Cr_2O_3 ，具有优良的耐热性、耐光性及耐酸碱，其外观为橄榄绿色粉末，相对密度 4.9 ~ 5.2，平均粒径 0.3 ~ 1.0 μm 。

(2) 彩油混合液的配制和用量 无机颜料在使用前必须充分进行研磨，过 250 目（63 μm ）筛，然后在纯净的工业液体润滑油中加入 4.5%（质量分数）的氧化铬绿，置于 GH-50DY 型高速混合机中，搅拌混合 3 ~ 5min 至颜料完全溶于润滑油中。这时将混合液静置 30h，待彩油混合液不分层、不沉淀即可使用。其用量为己内酰胺等总质量的 1.2% ~ 1.5%。

(3) 催化剂与助催化剂的用量 催化剂用量的选择要根据己内酰胺单体的纯度、设备的密封性、成型条件和聚合体要求的相对分子质量大小与性能来确定。一般每摩尔

己内酰胺的催化剂用量为 0.0005 ~ 0.0500 mol。

助催化剂与催化剂通常是按等当量比使用。

选用 NaOH 为催化剂, TDI 为助催化剂, 用量为 1000g 己内酰胺中加入 1.4g NaOH、4.2g TDI。

当 NaOH 加入过多时, 会使制品老化变黄, 并且在反应过程中发生热降解, 棒形产品上端产生缩孔, 还会使反应速率太快, 制品内残余应力过大, 在脱模或机械加工时造成炸裂。

当 TDI 加入过多时, 不仅会加快聚合反应速率, 使聚合物相对分子质量显著降低, 而且会生成短链分子, 影响制品的机械强度。这些在生产过程中都应十分注意。

2. 成型工艺

采用真空静态浇注成型法生产绿色油性 MC 尼龙制品。方法是先将己内酰胺原料加热到 80 ~ 110℃ 使之完全熔化, 再将温度升到 130 ~ 140℃ 时打开反应釜的一个口, 加入 NaOH 继续抽真空, 并保持在 130 ~ 140℃。反应釜内 NaOH 很快与己内酰胺起作用, 生成钠代己内酰胺。再加入彩油混合液, 当反应釜内出现大量气泡 (称为“暴沸”现象) 时就具备了聚合的必要条件。这时仍把温度控制在 130 ~ 140℃, 让“暴沸”现象持续 10min 后停止抽真空和加热。加入 TDI 迅速搅拌均匀后将物料倒入预热的模具中, 在 150℃ 烘箱内保温 30 ~ 50min 后再移到常温环境中, 冷却后脱模即得制品。

生产过程中影响聚合的因素较多, 主要有水分、真空度、脱水温度、湿度、催化剂及助催化剂的种类和用量、杂质、模具温度以及润滑油的纯度、着色剂的粒度及用量等。在成型过程中必须充分地掌握, 严格控制。

工艺流程如图 2-21 所示。

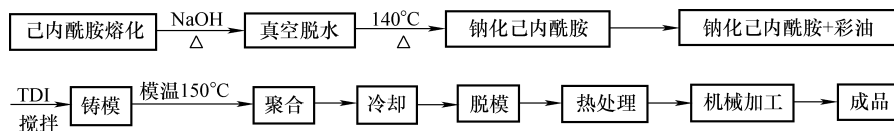


图 2-21 工艺流程

(1) 模具温度及脱模 彩色油性 MC 尼龙制品的模具根据制品的大小由 1 ~ 15mm 厚的钢、铝合金或铁质材料制成。对模具材料的要求是能耐 250℃ 以上的温度, 有足够的强度, 易于加工, 一般制品规格越大, 所用模具材料越厚。

生产过程中对模具温度的控制十分重要。实践证明, 模具温度应略高于物料温度。若物料温度为 140℃, 则模具温度应控制在 150℃ 左右。这是由于打开烘箱进行浇注时模具有一定程度的散热。浇注时模具温度与物料温度越接近, 制品表面缩孔越浅。若模具温度过高, 铸件会产生凹陷现象; 模具温度过低, 又会使铸件表面聚合不完全, 出现表面白斑、飞边甚至是白色粉状物。

所谓模具温度是指模具的实际温度, 不能单看烘箱的显示温度。有时温度计虽已达到所需的温度, 但由于模具热容量较大, 短时间内达不到烘箱显示的温度, 所以需让模具在一定的温度下保持一段时间。经验证明, 模具壁厚 5mm 以下时, 保温 1.5 ~ 2h; 模

具壁厚 5 ~ 10mm 时, 保温 2 ~ 3h; 模具壁厚大于 10mm 时, 保温 3h 以上。保温时间的长短应当考虑模具材质的导热性能。

生产质量为 39.14kg 的制品时, 模具壁厚为 12mm, 在 200℃ 烘箱内保温 3h。

值得注意的是, 带有芯棒的铸件, 一定要在热态下脱模 (热脱模)。因为铸件冷却后会收缩, 会将芯模抱得很紧, 不易脱出。为使脱模顺利, 一般在模腔内壁或芯棒外表面涂上一层硅油作脱模剂。

一般彩色油性 MC 尼龙横向收缩率为 3% ~ 4%, 纵向收缩率为 8% ~ 10%, 这点在模具设计时要注意。

(2) 热处理 为减少或消除制品的内应力, 避免在使用或机械加工时产生变形和裂纹, 使制品质地密致, 尺寸稳定, 提高其力学性能, 必须对彩色油性 MC 尼龙进行热处理。

热处理的方法是将制品浸在油、水或其他液体介质中加热到 100 ~ 170℃ 并保持一段时间。一般制件每厚 1mm, 需保温 15min。热处理介质可用机油、锭子油、各种矿物油、石蜡或熔融的盐类等。采用处在沸腾温度下的水作为热处理介质, 可使经过处理的绿色油性 MC 尼龙制品增强韧性, 降低摩擦因数和吸水性, 提高机械强度和耐磨性。

(3) 机械加工 彩色油性 MC 尼龙制品的机械加工应在常温环境中缓慢进行。如进行车削加工时容易形成带状切屑, 缠绕制件和刀具妨碍正常生产, 所以要注意车床转速不宜过快, 一般以 200r/min 为宜, 并应及时排屑和断屑。进给量也不宜过大, 如转速快、进给量又大, 容易造成制件发热膨胀, 影响尺寸精度。钻床的转速不宜超过 100r/min, 尽量用小钻头钻孔, 逐渐扩大, 防止龟裂造成废品。上刨床时宜用尖刀加工, 刨刀的后角要小, 避免造成光面崩裂掉块。

3. 应用

彩色油性 MC 尼龙具有密度小, 耐磨, 耐腐蚀, 吸收冲击, 运转时噪声小及无油自润滑、外形美观等特点, 可在交通运输 (特别是火车、汽车) 工业、机械、建筑、电气、电子、化工等领域作结构零部件使用。经机械加工可制成辊筒、轴承、齿轮、蜗轮、轴套、阀门密封面、导向环、导轨、滑轮、滚动轴承保持器、电器零件等。

(七) MC 尼龙砂型铸造制品

1. 主要原材料

主要原材料规格及生产厂家见表 2-181。

表 2-181 主要原材料规格及生产厂家

名 称	规 格	生 产 厂 家
石英砂	150 ~ 290 μ m	合肥精铸厂
醋酸乙酯	分析纯	上海试剂一厂
呋喃树脂	工业品	合肥铸锻厂
有机酯	工业品	合肥铸锻厂
水玻璃	模数 2.8, 密度 1.5g/cm ³	合肥精炼厂
己内酰胺	工业品	湖南岳阳化工公司
氢氧化钠	分析纯	杭州化学试剂厂

(续)

名 称	规 格	生 产 厂 家
甲苯二异氰酸酯	分析纯	上海试剂一厂
聚烯酯复合涂料		合肥工业大学
石英粉水玻璃涂料		合肥工业大学
松节油 HJ01-3 涂料		合肥工业大学

2. 成型工艺

(1) 铸造工艺路线 如图 2-22 所示。

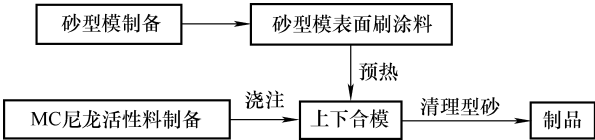


图 2-22 铸造工艺路线

(2) 砂型模

1) 型砂制备

①冷硬树脂砂。按石英砂: 呋喃树脂: 硫酸乙酯 (固化剂) = 100: (1 ~ 2): (30 ~ 50) 的质量比, 先将石英砂与固化剂均匀混合 1min 左右, 再加入呋喃树脂均匀混合 1min 后出砂造型。

②水玻璃砂。按石英砂: 有机酯: 水玻璃 = 100: (0.25 ~ 1): (4 ~ 5) 或石英砂: 水玻璃 = 100: (7 ~ 8) 的质量比, 先将石英砂与有机酯均匀混合 1 ~ 2min, 再加入水玻璃均匀混合 1 ~ 2min 后出砂造型。

2) 砂型制备 针对不同形状的零件, 制备了不同的木制模型 (包括型芯模) 及相应的砂箱, 在砂箱中用上述之一的型砂制作砂型模并制芯。

(3) 涂料及涂刷

1) 涂料

①聚烯酯复合材料。以聚乙烯醇和三聚氰胺为主要原料的两种不同浓度的聚烯酯涂料, 以下简称 J_高 和 J_低 涂料。

②石英粉水玻璃涂料。以下简称 S 涂料。

③松节油 HJ01-3 涂料。以下简称 H 涂料。

2) 涂刷 共有六种工艺: ①高浓度 J_高 涂料刷第一层, 烘干后再刷低浓度 J_低 涂料, 即 J_高 + J_低, 以下以此类推; ②J_高 + J_低 + S; ③J_高 + S; ④S; ⑤H; ⑥J_高 + H。

(4) 合模及预热 将刷好涂料的上模型和下模型通过特殊方法合模, 放入恒温烘箱内, 必须确保浇注 MC 尼龙活性料时, 型腔内壁温度达到规定要求。

(5) 浇注

1) MC 尼龙活性料配方 己内酰胺 1mol, 催化剂氢氧化钠 4×10^{-3} mol, 助催化剂甲苯二异氰酸酯 4×10^{-3} mol。

2) 浇注操作工艺 按活性料配方, 先将己内酰胺在真空下加热至 120°C 熔化后加入催化剂, 再在真空下升温至 $130 \sim 140^{\circ}\text{C}$, 加入助催化剂搅拌均匀, 将活性料立即注入恒温烘箱的砂型模内, 在 $140 \sim 160^{\circ}\text{C}$ 下保温 $1 \sim 2\text{h}$ 即浇注完毕, 然后清除砂型, 取出制件。

3. 注意事项

与浇注金属制品相比, MC 尼龙制品的收缩率大得多, 通常线收缩率为 3% 左右, 体积收缩率为 9.5% 左右 (实测值)。因此在浇注系统设计与金属液的浇注系统有很大不同。为此针对不同尺寸、不同形状的 MC 尼龙制件, 应设计不同的工艺以保证制件质量。通常应尽量控制砂型模温度均匀一致且使模内气体能尽快逸出, 在可能的情况下尽量使用开箱浇注。对于形状十分复杂的制品, 浇口设计成细流入腔, 以防止产生气泡和缩孔。在开箱造型不能达到要求时采用合箱造型, 这时需在制件的厚大部位设置冒口和出气口, 并尽可能用明冒口以利出气。

三、MC 尼龙/GRP 复合管的缠绕成型

矿浆脱磁机是将铁矿矿浆中不同磁极的矿石脱去磁性, 促使矿石分散, 便于下一步选矿的一种设备。该设备中的矿浆输送管是设备的重要部分, 管上套有一个重为 200kg 的线圈, 矿浆通过该管时由线圈产生的磁场脱磁, 其长度 1600mm , 内径 160mm , 由于线圈内径限制, 要求管外径不得大于 190mm , 管外部不宜设加强筋, 管两端用法兰与设备相连, 中间架空, 架空长度 1400mm 。

矿浆是多相体系, 含矿石浓度为 $15\% \sim 20\%$, 密度 $1.3\text{g}/\text{cm}^3$ 左右, 矿石粒度在 $0.1 \sim 0.7\text{mm}$, 因此要求管内壁要有良好的耐磨性和适当的韧性。为达到良好的脱磁效果, 又要有良好的电绝缘性, 经过多次试验和比较, 最后选定 MC 尼龙管作内衬、外包覆 GRP 的方案, 这样既能发挥 MC 尼龙的自润滑和耐磨性, 又能发挥玻璃钢轻质高强的特点。实践表明此方案可行。本例对该管的成型工艺、结构设计及应用情况加以介绍。

1. 原材料

(1) MC 尼龙管 该管是己内酰胺单体, 在催化剂的作用下经过浇注工艺制造而成。为增加其耐磨性和韧性, 在尼龙配方中加入了部分磨料和脆性改良剂。由于工艺限制, 单管长度为 550mm , 为此专门研制了尼龙粘合剂, 其剪切强度为 6.4MPa 。采用该粘合剂将管子连接成 1600mm 长的直管及端头法兰, 其粘接方式如图 2-23 所示。

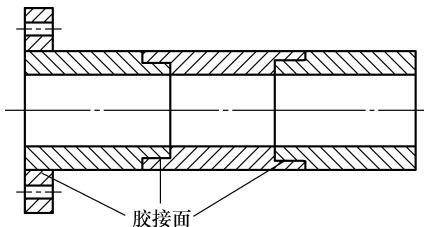


图 2-23 管子及法兰连接方式

(2) 树脂 为保证玻璃钢层的强度, 选用了韧性较好的 S902 不饱和聚酯树脂, 其基本性能见表 2-182。

(3) 增强材料 由于无碱纤维较中碱纤维有更高的机械强度和电绝缘性, 采用了无碱无捻缠绕粗纱, 其型号为 ER2400FW, 线密度为 2400tex , 断裂拉伸强度为 720N , 含油率为 0.5% , 含水率为 0.1% , 浸透速率约为 50s 。

(4) MC 尼龙/GRP 界面粘合剂 MC 尼龙和 GRP 是两种不同性质的材料，要求粘合剂具有两亲性能。在经过多次论证试验后，选用了聚氨酯胶，并用聚酯树脂进行改性。其粘接剪切强度（MC/GRP 之间）达 5.8MPa，在 -10 ~ 80℃ 下冷热交变 10 次后无分层现象。

表 2-182 S902 树脂的基本性能

项 目		技 术 指 标
固体含量(%)		50 ~ 55
酸值/(mg KOH/g)		15
粘度(25℃)/Pa · s		0.30 ~ 0.45
凝胶时间(25℃)/min		13
树脂浇注体	热变形温度/℃	100
	巴氏硬度	40
	断裂伸长率(%)	2.5
	弯曲强度/MPa	70
	弯曲弹性模量/GPa	3.5
	体积收缩率(%)	8

2. 结构设计

在复合管中，主要由外层的 GRP 承受内、外载荷，MC 尼龙管起部分作用，为计算方便，只考虑 GRP 层的强度。如前所述，该管的内、外径均受限制，即管内径为 160mm，外径为 188mm（D），空隙 2mm。液体输送压力为 0.2MPa。

根据计算结果，最后确定 GRP 壁厚为 7mm，尼龙管壁厚为 7mm。

3. 成型工艺

(1) 尼龙管的胶接 打磨尼龙管的胶接面并涂刷一层粘合剂后，将管插接并装上法兰，此时要注意保证管的平整度和法兰垂直度，固化 48h，再用该胶配制的腻子补平管间内外接缝。

(2) 尼龙管的表面处理 将管外表面及法兰背面用砂纸打毛、擦净，涂刷一层乙醇，以提高粘接强度。

(3) 界面粘合剂施工 将管外表及法兰背面涂刷界面粘合剂，厚度控制在 0.3 ~ 0.5mm。然后上一层 0.2mm 无碱无捻玻璃布并贴实。

(4) GRP 层成型 在布上涂刷一层 S902 树脂，然后按照事先确定的工艺参数（缠绕角 54°，纱片宽 35mm，层数 4，搭半缠绕）将浸有 S902 树脂的 ER2400FW 粗纱缠绕在尼龙管外部，厚度控制在 8mm 以内。在缠绕每一层前，用事先截好的 0.4mm 无碱无捻玻璃布对法兰背部增厚 3mm 左右，最后全部增厚 10mm 左右（原尼龙法兰厚 15mm）。注意缠绕 GRP 层与增厚布层的搭接均匀性，避免局部过于凸出。

(5) 机加工 待 GRP 层固化后，将管外壁切削加工至规定外径，在法兰背面 GRP 增强层与法兰螺栓孔同一位置打孔，直径与螺栓孔相同。

4. 复合管的性能及应用

(1) 性能

1) 复合管的耐蚀性。砂浆本身是酸性介质, 为保证管能够抵抗该矿浆的侵蚀, 在加工前, 取同材质的尼龙板样品 (15cm×20cm), 板在矿浆样品中浸泡约 3 个月 (温度 40℃), 然后测其强度及质量变化率, 其结果见表 2-183。

表 2-183 IC 尼龙样板试验前后的性能变化

技术性能	原试样	3 个月后试样	变化率(%)
弯曲强度/MPa	72	68.5	-4.86
质量/g	342	358	+4.68
外观	淡黄	淡黄	—

从表 2-187 可见, 尼龙板基本能满足耐腐蚀要求, 其中质量变化较大的原因是尼龙本身吸水性较大所致, 饱和后基本不再变化。

2) 荷载下变形情况。将复合管两端支起 (悬空距离 1400mm), 在管上均布载荷约 280kg 重物 (超过 254kg), 观察其挠度 (管环向弯曲) 和下垂 (轴向弯曲) 情况。经过一个多月的观察, 其挠度基本没变化, 轴向弯曲也极小, 表明该管的力学性能满足要求。

3) 界面剪切强度。参照 PVC/GRP 复合管的要求, 其剪切强度应大于 5.0MPa, 而实测结果为 5.8MPa (平均值), 超过了此指标要求。

4) 电绝缘性。缠绕 GRP 层的体积电阻率在 $(5 \sim 6) \times 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$ 之间, 选用的 MC 尼龙管的体积电阻率在 $10^{13} \sim 10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$ 之间。因而复合管具有良好的电绝缘性。

5) 耐磨性。如前所述, 选择 MC 尼龙管的主要原因就是其耐磨性较好。为了论证这一点, 曾分别用同样砂纸和频率次数打磨同尺寸的 PVC (硬)、GRP、聚丙烯及 MC 尼龙板, 然后分别计算其磨损量并比较。结果表明, GRP 磨损量最大、PVC 和聚丙烯次之, 而 MC 尼龙最小 (只有 GRP 的 1/10 左右, PVC 的 1/3 左右)。实际使用效果表明其确有良好的耐磨性。

(2) 应用情况 经过在矿浆脱磁机上半年多的运行情况来看, 其内表面良好, 管下垂极小, 基本观察不出, 脱磁效果明显, 表明该管有较好的耐磨性和耐蚀性, 机械强度满足使用要求, 结构设计和成型工艺合理。由于 MC 尼龙/GRP 复合管综合了两种材料的性能。因而不仅能用于矿浆脱磁机, 也可用于其他类似的地方, 是一种有前途的新型管道。

四、聚酰胺制品的吹塑成型

(一) 尼龙薄膜的吹塑成型

尼龙薄膜是一类高强韧性塑料膜, 具有较高的拉伸强度、伸长率和撕裂强度, 尼龙薄膜的耐寒性和耐热性较突出, 可在 $-60 \sim 200^\circ\text{C}$ 下使用, 又有优良的耐油性、无毒性和保香性, 以及对氧气的阻隔作用, 因此尼龙薄膜或尼龙复合膜 (与低密度聚乙烯、聚丙烯、铝箔等覆合) 主要用作包装材料, 例如包装腊肠、干酪、糕点等食品, 由于可在 $120 \sim 130^\circ\text{C}$ 的高温下进行蒸汽消毒, 故特别适用于制作宇航人员的食品袋以及医疗器具容器。除作为包装膜外, 也可用作电器绝缘材料以及制作大气球用于军事和气象

部门。

(1) 选材 单一尼龙树脂，要求较高粘度品级，一般粘度应在 2500Pa·s 左右。

(2) 主要设备

1) 挤出机 单螺杆突变型挤出机，规格一般为 $\phi 45\text{mm}$ ，长径比 20:1，压缩比 3.5:1。

2) 机头 螺旋式机头，依挤出机规格和产品规格选定机头的尺寸。

(3) 吹塑成型工艺 尼龙为吸水性较高的树脂，在挤出加工前必须先进行干燥处理，以免高温下使树脂发生降解以及造成薄膜中含气泡。干燥可采用真空干燥或在 100℃ 下流化床干燥，最终使树脂含水量在 0.05% 以下。干燥后的物料应放于密闭容器内备用。

尼龙挤出的温度要严格控制，因其为结晶性高聚物，熔融温度范围窄，且熔体粘度随温度的提高而迅速降低，例如日本东立 CM11 尼龙 6 的熔体粘度在 250℃、270℃、290℃ 下分别为 520Pa·s、320Pa·s、210Pa·s。当以尼龙 12 挤出吹塑制膜时，其挤出的温度分布为：加料段 245℃，中段 245℃，前段 240℃，机头 240℃。

挤出后吹塑时的吹胀比较小，一般小于 2，例如常取 1.5。

尼龙吹塑膜自机头至卷取机之间易发生折皱现象，缩短牵引辊与吹膜机头的距离，减少薄膜与夹板的摩擦作用，掌握好夹板的角度，提高薄膜的厚度均匀性，均可有利于皱纹的消除。

(二) 聚酰胺 6 瓶的挤出吹塑成型

目前聚酰胺 6 吹塑容器基本上局限于小型瓶类制品，其制品主要有汽油的盛器（油箱等）、农药瓶等。

(1) 选材 适用于吹塑成型的聚酰胺 6 品种见表 2-184。

表 2-184 适用于吹塑成型的聚酰胺 6 品种

供应商	聚酰胺牌号	特 征	供应商	聚酰胺牌号	特 征
三菱化成	Novamid 1030 (CA)	共聚	东洋纺	东洋纺尼龙 T852	—
	Novamid 1040 (CA)	共聚	宇部兴产	UBE1030QB 5033B	共聚 共聚
东丽	CM1046	—	杜邦	Bexloy Apc-802	非结晶尼龙
	CM1054	改善冲击型		Bexloy Apc-803	
	CM1066	改善冲击型	巴斯夫	Ultamid B ₄ (K)	—
	CM1046 K ₂ (K ₄ , K ₆)	高温高刚性		Ultamid B ₅ (K)	
	CM1056 K ₂ (K ₄ , K ₆)	高温高刚性			

(2) 设备及模具 几乎所有的聚乙烯用吹塑成型设备均可用于聚酰胺塑料的吹塑成型。

1) 挤出机。由于吹塑用聚酰胺塑料的熔点高，熔体粘度也比较大，因此聚酰胺类塑料用吹塑成型设备螺杆配用的电动机及机筒的加热功率要足够大，以满足塑料挤出的需要。

聚酰胺类塑料用螺杆应采用突变型螺杆，其主要参数如下：压缩段长度 2 ~ 5 螺棱；压缩比 (2.5 ~ 3.5): 1；螺杆的长径比 (23 ~ 38): 1。

模头应采用螺旋导流板，防止熔合线的出现；加工时要保证足够的光洁，减少或消除纵向条纹（模线）的出现。吹塑模具截坯部分刃角通常取 60°左右（逃料角 60°左右），刃厚 0.5 ~ 1.0mm。

2) 模具。截坯处刃厚和刃角越大，越有利于截坯处形成肋筋，但同时也会使飞边的除去难度增大。在刃角 60°、刃厚 0.5 ~ 1.0mm 的情况下，可以使截坯口处形成的肋筋在型坯厚度的 1/2 ~ 2/3 范围内，满足制品使用上的要求。

3) 可用真空干燥机、沸腾干燥器、高频干燥箱进行干燥，也可用普通空气干燥箱，但空气干燥箱的干燥效果较差。

(3) 成型加工工艺

1) 干燥工艺。温度 90 ~ 106℃；干燥 16h 或者更长的时间，才能达到预干燥的要求。

2) 挤出吹塑工艺。挤出吹塑工艺见表 2-185。

表 2-185 挤出吹塑工艺

供料段/℃	计量段/℃	模头温度/℃	吸塑模具温度/℃	吹塑空气压力/MPa
220 ~ 240	240 ~ 260	240 ~ 260	50 ~ 90	1.0 左右

(4) 异常现象及对策

1) 熔合线。熔合线的产生主要源于模头的流道不良，当熔合线明显时，应着重分析、改进流道。

插入适宜的导流片并使流道呈流线型；在聚合物熔体进入圆筒状流道后的节流孔要大一点，凸缘部分要长一些。

2) 模线（纵向条纹）。减小模线比较有效的方法如下：降低模头流道的表面粗糙度；适当提高模具温度。

3) 成型不良。提高聚合物温度；提高压缩空气的压力；适当降低吹胀比（扩大型坯尺寸）；倒角处做成 R10mm 以上的倒角半径（最好倒角半径在 15mm 以上）。

4) 厚度不均匀。提高聚合物的熔体粘度，减少型坯下垂；调整模头间隙，改善径向型坯均匀性。

5) 制品壁中有气泡。预干燥原料，使聚酰胺中的水分含量在 0.1% 以下。

五、聚酰胺（尼龙）管材的挤出成型

1. 简介

PA（尼龙）是典型的结晶性树脂，其结晶熔融温度高，范围窄，熔点明显，熔融潜热大是成型中需要充分考虑的。尼龙树脂中酰胺基团的亲水性决定了尼龙树脂易吸湿，而且在吸水率 ≥ 0.1%（质量分数）的情况下，尼龙熔体会发生胺解反应，使制品变色，性能下降。水分的增加使尼龙材料拉伸性能、弯曲模量、冲击强度下降。尼龙熔体粘度低，且对温度和剪切速率都很敏感。成型条件对尼龙制件的结晶度和球晶大小影

响显著，进而对其力学性能、化学性能、电性能、热性能造成影响。

在成型管材之前，应先对尼龙树脂进行干燥处理。为了提高干燥效率，防止干燥过程中尼龙树脂氧化变色，最好采用真空干燥方式。干燥条件：压力 $\leq 1333\text{Pa}$ ，温度为 $80\sim 120^{\circ}\text{C}$ ，料层厚度 $<25\text{mm}$ ，时间为 $10\sim 16\text{h}$ 。

成型尼龙管材的挤出机一般为单螺杆挤出机。为了有效地防止干燥后的尼龙树脂在干燥后再次吸湿，挤出机应安装干燥式料斗。尼龙是非常典型的结晶性材料，熔点明显，熔融温度范围窄，从固体到熔体密度变化大。这些特点决定了加工尼龙的挤出机螺杆应为突变型螺杆。螺杆结构可以是全螺纹型的，也可以是带有混炼头的形式，能够起到加强混炼效果的作用。螺杆的 L/D 应 ≥ 25 ，加料段与计量段长度基本相同，中间的压缩段为 $3\sim 4$ 个螺距，压缩比为 $3.0\sim 4.0$ 。

由于尼龙熔体粘度低，考虑成型的需要，在机头口模的设计中，要采用较大的拉伸比，尼龙管材的拉伸比为 $1.4\sim 3.0$ 。

若尼龙管材直径较小，物料从机头挤出后可垂直或水平直接进入冷却水槽，若为大直径管材，应采用真空定径法定径，经水冷却后牵出。尼龙管材的牵引装置应选用与管材接触面积较大的履带式牵引机。

成型尼龙管材过程中，挤出机机头温度的设定应考虑如下几点。

- 1) 为了提高固体输送效率及提高排气性，加料段温度应接近尼龙树脂的熔点。
 - 2) 压缩段要保证尼龙树脂熔融，设定温度应高于尼龙树脂熔点 $10\sim 30^{\circ}\text{C}$ 。
 - 3) 计量段要保证熔体各部分流动均匀，粘度一致，挤出量稳定，设定温度高于熔点 $10\sim 30^{\circ}\text{C}$ 。
 - 4) 机头口模温度应低于计量段，以保证定型的稳定性。
- 常见的 PA 管的成型温度见表 2-186。

表 2-186 几种常见的 PA 管的成型温度 (单位: $^{\circ}\text{C}$)

区 域	PA6		PA66	PA1010	PA11
	中粘度	高粘度			
加料段	200 ~ 230	200 ~ 230	230 ~ 260	250 ~ 260	210 $\pm$ 3
压缩段	240 ~ 260	250 ~ 270	270 ~ 290	260 ~ 270	220 $\pm$ 3
计量段	240 ~ 260	250 ~ 270	270 ~ 290	260 ~ 280	230 $\pm$ 3
机头	230 ~ 250	240 ~ 260	270 ~ 290	220 ~ 240	200 $\pm$ 3

若以 $\phi 45\text{mm}$ 挤出机生产公称外径为 $\phi 32\text{mm}$ 的尼龙管，螺杆转速为 $15\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ ，口模与定径套间的距离约为 20mm 。

2. 尼龙 11 管材的挤出成型

尼龙 11 是尼龙材料中化学和物理性能最稳定的。它与尼龙 6、尼龙 66 和尼龙 610 相比。具有较小的吸水率，在潮湿环境下能够保持良好的力学性能和尺寸稳定性；优异的耐磨性和介电性能；耐蚀性好，不受来自氧化燃料中过氧化物的影响；熔融温度低，加工温度范围宽；可在 $-40\sim 120^{\circ}\text{C}$ 保持良好的柔性、良好的耐应力开裂性和动态疲劳

性等特点，广泛应用于车辆、船舶燃料输送管、真空和空调系统、振荡绝缘体和静电绝缘体等方面。本例选用尼龙 11 制造汽车发动机用管材。选材的通常选用挤出品级尼龙 11 就可以。因为挤出品级尼龙 11 已在合成中进行配混，产品生产厂一般不用再进行配方设计或添加其他物料。但如果产品有特殊要求的除外。

(1) 主要设备 见表 2-187。

表 2-187 主要设备、规格及生产厂家

设备名称	规格	生产厂家
单螺杆塑料挤出机	$\phi 30\text{mm}, L/D = 25:1$ $\phi 45\text{mm}, L/D = 28:1$	上海挤出机厂 北京塑料机械厂
双螺杆挤出机及辅机	$\phi 30\text{mm}, L/D = 23:1$	南京橡塑机械厂
牵引机	无级变速	成都有机硅中心
干燥箱	$500\text{mm} \times 500\text{mm} \times 500\text{mm}$	上海试验仪器厂
真空泵	旋片式 2X-1 型	成都

(2) 制备工艺

1) 工艺流程。尼龙 11 管材生产工艺流程见图 2-24。根据直径和壁厚不同，管材生产工艺分为两种， $\phi 5\text{mm} \times 1\text{mm}$ 的管材生产工艺见图 2-24a)； $\phi 10\text{mm} \times 1.25\text{mm}$ 和 $\phi 14\text{mm} \times 1.5\text{mm}$ 的管材生产工艺见图 2-24b)。

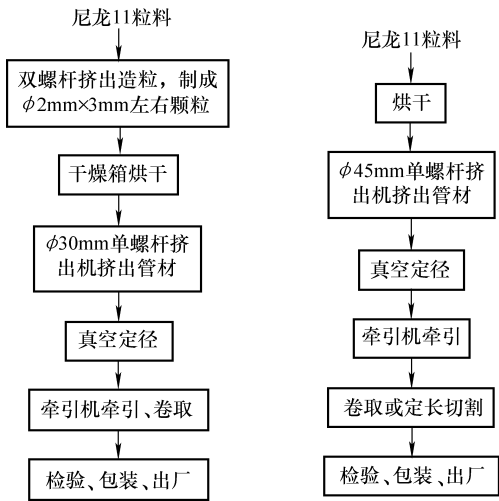


图 2-24 尼龙 11 管材生产工艺流程

2) 原料处理。商品尼龙 11 通常是 $\phi 4\text{mm} \times 5\text{mm}$ 的柱状颗粒，对于直径小、壁薄的管材，如 $\phi 5\text{mm} \times 1\text{mm}$ ，用此粒料挤出生产管材的挤出速度、定径、表面光滑度很难控制。为稳定喂料量并保证产品质量，首先用 $\phi 30\text{mm}$ 双螺杆挤出机将该粒料重新造粒，

控制粒料为 $\phi 2\text{mm} \times 3\text{mm}$ 左右。对于 $\phi 10\text{mm} \times 1.25\text{mm}$ 、 $\phi 14\text{mm} \times 1.5\text{mm}$ 的尼龙 11 管材不需此步骤。

尼龙 11 虽然比尼龙 6 和尼龙 66 的吸水率低,但为了使管材获得更好的外观质量,还应对原料或加工后的粒料进行烘干处理。一般烘箱温度控制在 $90 \sim 100^\circ\text{C}$,料层厚度 25mm ,烘 $3 \sim 4\text{h}$ 即可将水分含量降至 0.2% 左右,避免了因水分引起尼龙 11 熔体粘度下降,造成管材表面出现气泡、银纹等缺陷。

3) 温度控制。尼龙 11 比尼龙 6 和尼龙 66 的熔点低,适宜的加工温度为 $200 \sim 230^\circ\text{C}$,温度过低或过高都会影响挤出管材的定径及表面质量;挤出时各段温度的控制与其他塑料相反,即从一段、二段、三段到机头和口模的温度逐渐递减。实践表明,挤出机各段温度控制在如下范围较合适:口模 200°C ;机头 200°C ;三段 210°C ;二段 220°C ;一段 230°C 。

4) 挤出速度。通常根据产品外径及壁厚大小来控制挤出速度,为保证管材匀速挤出,对于 $\phi 5\text{mm} \times 1\text{mm}$ 的尼龙 11 管材,不仅应重新造料,而且应采用微型无级变速振动加料器喂料;而对于其他规格的产品,可直接用一般的粒料。挤出机的挤出速度控制在 $1\text{m}/\text{min}$,基本上能够获得外观质量较好的管材。

5) 定径。实践表明,定径套的结构是产品规格和质量控制的关键,研制者采用自行设计的真空定径套,其结构见图 2-25。塑料管常用的定径装置有外定径和内定径。由于内定径挤出时所需的牵引力大,而且产品表面粗糙,因此,采用真空外定径法,即利用抽真空使需要定径的尼龙 11 管外壁与定径套的内壁相贴,抽真空处开数个圆孔,均匀分布在定径套抽真空区周围。定径套由两个冷却区 10 和真空区 11 组成,三个区设计成阶梯式能获得最佳效果。根据管材规格不同还应考虑以下参数的控制:真空区圆孔分布密度为 $10\text{个}/\text{cm}^2$ 左右,圆孔直径 $1 \sim 2\text{mm}$,真空区长度约占定径套总长的 $1/2$,定径套总长为 $100 \sim 150\text{mm}$,真空压力为 0.08MPa 。

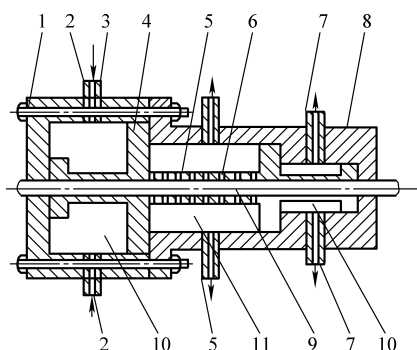


图 2-25 真空定径套结构

- 1—定径芯模帽 2, 7—定径套进出水 3—连接螺钉 4—定径芯模
5—定径真空管 6—抽真空圆孔 8—定径芯模套 9—尼龙 11 管
10—冷却区 11—真空区

3. 尼龙 1010 管材的挤出成型

尼龙 1010 是我国研制生产的尼龙品种，其性能优良，已广泛应用。与其他尼龙品种相同，在管材挤出时，仅选用挤出品级。通常不加改性便可制备管材，这一点与通用塑料不同。但与尼龙其他品种一样，其吸水性大，原料通常要进行干燥处理。其成型设备与尼龙 11 相同。

尼龙 1010 管的挤出条件是：挤出机螺杆为突变压缩型，长径比 $L/D = 20$ ；压缩比 3.5:1；口模温度：200 ~ 210℃；机头温度：（后）240 ~ 250℃、（前）210 ~ 230℃；机筒温度：（后）250 ~ 270℃、（前）260 ~ 280℃。

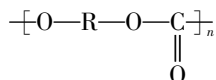
第三章 聚碳酸酯（PC）

第一节 主要品种与性能

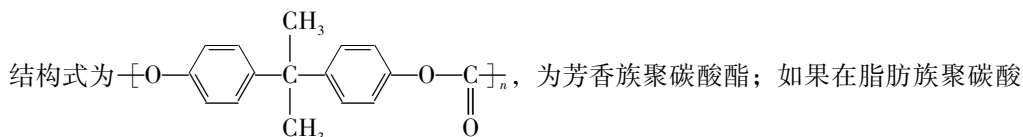
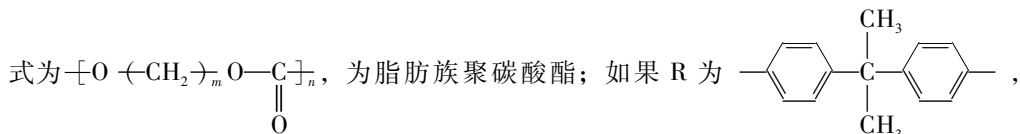
一、简介

（一）结构特征

聚碳酸酯（Polycarbonate，缩写为 PC）是在分子主链中含有碳酸酯的高分子化合物的总称，对于二羟基化合物的线型结构的聚碳酸酯一般用如下通式表示：



式中 R 代表二羟基化合物 $\text{HO}-\text{R}-\text{OH}$ 的母核，随着 R 基团的不同，可以分成脂肪族聚碳酸酯、脂肪—芳香族聚碳酸酯或芳香族聚碳酸酯。例如当 R 为 $-(\text{CH}_2)_m-$ 时，结构



酯的主链中含有芳香环，为脂肪—芳香族聚碳酸酯。

脂肪族聚碳酸酯熔点低，溶解度高，亲水以及热稳定性差，机械强度低，不能作为工程塑料使用。脂肪—芳香族聚碳酸酯熔融温度虽然比脂肪族聚碳酸酯高，但由于结晶趋势大，性脆，机械强度差，实用价值不大。真正有实用价值的是芳香族聚碳酸酯。从原料价格的低廉性、制品性能以及加工性能来考虑，能工业化生产的只有双酚 A 型芳香族聚碳酸酯。双酚 A 型聚碳酸酯是由双酚 A 和碳酰氯（光气）反应，或和碳酸二苯酯进行酯交换而得。由于分子中含有强极性羰基（）及二氧基键 $-(\text{O}-\text{R}-\text{O})-$ ，因而分子间作用力强，是力学性能和耐热性皆优的无定形热塑性工程塑料。

（二）主要性能

聚碳酸酯具有突出的冲击韧性、透明性和尺寸稳定性，优良的力学性能、电绝缘性，使用温度范围宽，良好的耐蠕变性、耐候性，低吸水性，无毒性，自熄性，是一种综合性能优良的工程塑料。

（1）物化性能 纯聚碳酸酯树脂是一种无定形、无味、无臭、无毒、透明的热塑

性聚合物，分子量一般在 2000 ~ 7000 范围内，相对密度 1.18 ~ 1.20，玻璃化转变温度 140 ~ 150℃，熔程 220 ~ 230℃。

聚碳酸酯具有一定的耐化学腐蚀性。在常温下，它受下列化学试剂长期作用而不会溶解和引起性能变化：20% 盐酸、20% 硫酸、20% 硝酸、40% 氢氟酸、10% ~ 100% 甲酸、20% ~ 100% 乙酸、10% 碳酸钠水溶液、食盐水溶液、10% 重铬酸钾 + 10% 硫酸复合溶液、饱和溴化钾水溶液、30% 双氧水、脂肪烃、动植物油、乳酸、油酸、皂液及大多数醇类。但是，甲酸和乙酸有轻微侵蚀作用。

聚碳酸酯的耐油性优良，在天然汽油中浸泡 3 个月或在润滑油中 125℃ 下浸泡 3 个月，制品尺寸和质量基本无变化。当然，在常温高挥发性汽油中浸泡 1 个月后，其表面会受到轻微侵蚀。

由于聚碳酸酯的非结晶性，分子间堆砌不够致密，芳香烃、氯代烃类有机溶剂能使其溶胀或溶解，容易引起溶剂开裂现象。能使聚碳酸酯溶胀而不溶解的溶剂有四氯化碳、丙酮、苯、乙酸乙酯等。乙醚能使聚碳酸酯轻微溶胀。

虽不会引起明显降解但较易使聚碳酸酯溶解的溶剂有：四氯乙烷、二氯甲烷、二氯乙烷、三氯甲烷、三氯乙烷、三氯乙烯、吡啶、四氢呋喃、三甲酚、噻吩、磷酸三甲酯等。温热的氯苯、苯酚、环己酮、*N,N*-二甲基甲酰胺和磷酸三甲苯酯等也有类似作用。

聚碳酸酯长期浸泡在甲醇中会引起结晶、降解并发脆；对乙醇、丁醛、樟脑油的耐蚀性也有限。聚碳酸酯制品浸泡在甲苯中可提高表面硬度，浸泡在二甲苯中则会发脆。

聚碳酸酯的耐碱性较差。稀的氢氧化钠水溶液便可使它缓慢破坏；氨、胺或其 10% 水溶液即可使它迅速皂化降解。此外，溴化、浓硫酸、浓硝酸、王水及糠醛等也可使它遭到破坏。

聚碳酸酯的吸水性小，不会影响制品的稳定性。但是，由于分子链中大量酯键的存在，不用说长期泡在沸水或饱和水蒸气中，就是长期处于高温高湿情况下也会引起水解、分子链断裂，最终出现制品开裂现象。

聚碳酸酯分子刚性较大，熔体粘度比普通热塑性树脂高得多，这使得成型加工具有一定的特殊性，要按特定条件进行。

聚碳酸酯本身无自润滑性，与其他树脂相容性较差，也不适合于制造带金属嵌件的制品。

(2) 结晶性 双酚 A 型聚碳酸酯大分子链较僵硬，结晶比较困难，一般多为无定形聚合物。但是，当相对分子质量较低时，还是有结晶的趋势。将无定型聚碳酸酯升温到 160℃ 以上，在没有空气的条件下长时间加热，便会逐步形成结晶。在 190℃ 下加热，结晶速度最快，其大分子链段在松弛状态下自由取向。若在其玻璃化转变温度以上进行拉伸，链段取向更快，结晶能力增大。当聚碳酸酯结晶时，其熔点升高，强度增加，伸长率下降，同时，其电绝缘性提高，溶解性和吸湿性减小。

(3) 力学性能 聚碳酸酯的力学性能优良，尤为突出的是它的冲击强度和尺寸稳定性，在宽的温度范围内仍能保持较高的力学强度；其缺点是耐疲劳强度和耐磨性较

差, 较易产生应力开裂现象。

①冲击强度。聚碳酸酯的冲击强度在通用工程塑料乃至所有热塑性塑料中都是很突出的, 其数值与 45% 玻璃纤维增强聚酯 (PET) 相似。

②耐蠕变性。聚碳酸酯的耐蠕变性在热塑性工程塑料中是相当好的, 甚至优于尼龙和聚甲醛。因吸水而引起的尺寸变化和冷流变形均很小。这是其尺寸稳定性优良的重要标志。

在 30MPa 以内应力下对聚碳酸酯作蠕变试验表明, 在最初 300h 内蠕变速度较快; 随着时间继续延长, 蠕变速度显著减缓。在室温下逐渐趋于恒定, 而升温则会使蠕变加快和允许负荷减少。

③疲劳强度。聚碳酸酯抵抗周期性应力循环往复作用的能力较差。

由于耐疲劳强度低, 因此聚碳酸酯在长期负荷情况下所能允许的应力就比较小。

④应力开裂性。聚碳酸酯制品的残留应力和应力开裂现象是个较为突出的问题。塑料的内应力主要是由于被强迫取向的大分子链间相互作用所造成的。

将聚碳酸酯的弯曲强度试样挠曲并放置一定时间, 当挠曲应力超过其极限值时, 便会发生微观撕裂现象。但是, 如果聚碳酸酯制品在成型加工过程中因温度过高等原因而发生了分解老化, 或者制品本身存在着缺口或熔接焊缝等脆弱部分以及制品在化学气体中长期使用, 那么发生微观撕裂的时间将会大大缩短, 所能承受的极限应力值也将大幅度下降。

⑤摩擦磨损性能。与其他大多数工程塑料相比, 聚碳酸酯的摩擦因数较大, 耐磨性较差。

聚碳酸酯的耐磨性比尼龙、聚甲醛、氯化聚醚及聚四氟乙烯等差, 属于一种中等耐磨性材料。在耐摩擦热熔化时, 极限 pv (压力和速度的乘积) 值约为 $50\text{MPa} \cdot \text{cm/s}$ 。

尽管聚碳酸酯的耐磨性较差, 但比金属的耐磨性还是要好得多。例如, 用聚碳酸酯做轴, 分别用锌合金和黄铜做轴套, 二者配合后分别以 6000r/min 和 3500r/min 转速运转 30h 后, 磨损量比值分别为 1:5 和 1:3。

在聚碳酸酯树脂中加入某些填料 (或纤维) 可以改善其耐磨性。若加入微粉状聚四氟乙烯, 便可降低其摩擦因数和磨损量, 提高其 pv 值; 加入玻璃纤维也可提高 pv 值, 降低其磨损量。

(4) 热性能 在通用工程塑料中, 聚碳酸酯的耐热性还算是较好的, 其热分解温度 (T_d) 在 300°C 以上, 长期工作温度可高达 120°C 。同时, 它又具有良好的耐寒性, 脆化温度 (T_c) 低达 -100°C ; 其长期使用温度范围是 $-60 \sim 120^\circ\text{C}$ 。

(5) 电性能 聚碳酸酯的分子极性小、玻璃化转变温度高、吸水性低, 因此具有优良的电绝缘性能。

聚碳酸酯的体积电阻率受温度的影响较大。当温度 $< -40^\circ\text{C}$ 时, 其 pv 比常温时的稍小; 当温度在 $-40 \sim 0^\circ\text{C}$ 范围, pv 达到最大值 (约 $10^{17}\Omega \cdot \text{cm}$); 当温度由常温逐渐上升到其 T_g (150°C) 时, pv 逐渐下降但较缓慢; 当温度 $> T_g$ 时, 随温度的升高, 其 pv 显著下降。

聚碳酸酯的相对介电常数随电场频率的增大而缓慢降低, 而介电损耗角正切值则逐

渐升高；但电场频率升到 10^7Hz 时，介电损耗角正切值似乎达到最大值，其后又开始缓慢下降。

(6) 吸水性 聚碳酸酯大分子链上堆砌了大量的苯环，且极性低，其吸水性在通用工程塑料甚至所有热塑性塑料中都算是较小的。

聚碳酸酯的吸湿（水）性较小，一般都不会影响其制品的尺寸和形状稳定性。即使在较苛刻的条件下（如 $\text{RH}100\%$ 、 60°C ），聚碳酸酯制品的长度变化为 $3.5 \times 10^{-4}\text{mm/mm}$ ，质量增加只有 $0.36\% \sim 0.40\%$ 。聚碳酸酯模塑收缩率一般仅为 $0.5\% \sim 0.8\%$ 。因此，它适合于用来制造精密制品。

(7) 耐老化性和耐燃性

①耐老化性。聚合物及其制品在其所处的热、光、风、雨、雪、氧、臭氧等环境条件下性能随着时间的推移会逐渐变坏。不同聚合物抵抗环境因素使其变坏的能力是不同的。

聚碳酸酯抵抗气候因素使其性能下降的能力极强。将厚 1.3mm 薄板置于耐候试验机中，在相当于户外恶劣环境条件下历时 1 年，经测试发现其力学性能基本不变。即使把聚碳酸酯试片放于日光、雨水、气温等都激烈变化的户外环境中曝露 3 年，其颜色虽稍变黄，但屈服强度却没有明显下降。

聚碳酸酯的耐老化性能也相当好，若将聚碳酸酯薄膜放置空气中长时间加热，其性能变化很小。如在 140°C 空气中长时间加热，聚碳酸酯的拉伸强度不但未降低，反而还略有提高，仅伸长率有所下降。即使在 160°C 空气中加热 48 天，其拉伸强度也只降低了 18% 左右。

②耐燃性。聚碳酸酯是可燃的，在火中燃烧时，火焰呈淡黄色，冒黑烟；但氧指数仅 25% ，离开火源后立即自动熄灭。若在基体树脂中加入某些阻燃性物质如卤化物、三氧化二锑、氢氧化镁、磷酸酯和红磷等，便可提高其阻燃性。若用四溴双酚 A 代替普通双酚 A 制成含卤素的聚碳酸酯，那么其耐燃性就会被大大提高，即使在火源中也不会燃烧。

(8) 光学性能 聚碳酸酯是非结晶性物质，纯净聚碳酸酯无色、透明，具有良好的透过可见光的能力。其透光率与光线的波长、制件厚度有关。 2mm 厚的薄板可见光透过率可达 90% ；但不能透过 $290 \times 10^{-3}\text{nm}$ 以下的短波光线。

与其他透明高聚物一样，聚碳酸酯在单向拉伸时，由于分子被强迫取向而产生各向异性，同时贮积了内应力，这时便会出现光线的双折射现象。基于这种光学性质，可用偏振光检查出制品中内应力的大小。

聚碳酸酯对红外光、可见光和紫外光等低能长波光线一般都有良好的稳定性。但是，当受波长 290nm 附近的紫外光作用时，会发生光氧化反应而逐渐老化。老化先从表面变黄开始，由于分子主链的断裂，相对分子质量降低，力学强度下降，最终发生龟裂现象。因此，通常需要加入紫外线吸收剂以提高其防老化性能。

总之，聚碳酸酯的主要原料是双酚 A。树脂的特性：透明度高（透光率为 $85\% \sim 90\%$ ），冲击强度高，拉伸强度、弯曲强度与尼龙、聚甲醛接近，马丁耐热高达 $116 \sim 125^\circ\text{C}$ 。聚碳酸酯使用温度范围广（从 $-60 \sim 130^\circ\text{C}$ ），吸水率低，成型收缩率小，因而

尺寸稳定。还有良好的耐化学性、耐候性和易染色。但聚碳酸酯耐疲劳强度低,耐应力开裂差,对缺口敏感,若用共混、增强及退火等方法处理,则可改善。

聚碳酸酯可用于制备要求冲击强度高的机械零件如防护罩、齿轮、螺杆等。玻璃纤维增强的聚碳酸酯有似金属特性,可代替铜、锌、铝等压铸件。又可制电子电器的绝缘件、电动工具外壳、精密仪表零件、高频头。与聚烯烃共混,可制安全帽、纬纱管、餐具;与 ABS 共混适合制高刚性、高冲击韧性的制件,如泵叶轮、汽车部件等。也有含有发泡剂的树脂,这种用低发泡注射成型所得的制品可代替木材。

聚碳酸酯的合成方法有光气法和酯交换法,其质量标准见表 3-1。

表 3-1 PC 树脂的性能

项 目	光气法				酯交换法
	JTG-1	JTG-2	JTG-3	JTG-4	
外观	微黄	透明	颗粒	—	无色或微黄颗粒
平均分子质量($\times 10^4$)	2.6 ± 0.2	3 ± 0.2	3.5 ± 0.3	3.8 以上	—
透光率(%)	50 ~ 70	50 ~ 70	50 ~ 70	50 ~ 70	—
热降解率(%)	10 ~ 15	10 ~ 15	13 ~ 18	13 ~ 18	10 ~ 20
拉伸强度/MPa	60.8	60.8	60.8	60.8	60
断裂伸长率(%)	80	80	80	80	70
弯曲强度/MPa	88.3	88.3	88.3	88.3	95
Izod 缺口冲击强度/(kJ/m ²)	44.1	44.1	54	54	44.1
马丁耐热/℃	110	110	115	115	126
体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$	1×10^{13}	1×10^{13}	1×10^{13}	1×10^{13}	5×10^{13}
介电强度/(kV/mm)	—	—	—	—	16
介电常数(1MHz)	—	—	—	—	2.7 ~ 3.0
介电损耗角正切值(1MHz)	1.0×10^{-2}	1.0×10^{-2}	1.0×10^{-2}	1.0×10^{-2}	1.0×10^{-2}

韩、日、美、德部分公司生产的 PC 树脂的性能见表 3-2。

(三) 应用

聚碳酸酯综合性能优良,已得到广泛应用。长期以来聚碳酸酯主要用于高透明性及高冲击强度的领域,作为光学材料光盘用材是聚碳酸酯的主要用途之一。

在电子电器产品方面,聚碳酸酯及其合金可用于家用电器、通用通信设备、照明设备等零部件,可用于吸尘器、洗衣机、淋浴器等,也可用于制造各种元件、大型线圈轴架、电动制品、电器开关、电动工具外壳等。

表 3-2 韩、日、美、德部分公司生产的 PC 树脂的性能

生产厂家	商品名称	通用		中高粘度		纱管	阻燃	玻璃纤维增强	
		3022IR	3025IR	3027R	3030I-MI			3025G15	3025G20
韩国三养社	TRIUREX					3030A	3025N1		
日本三菱化成	NOVAREX	7022IR	7025IR	7027IR	7030I	7030A	7025NB	7025G15	7025G20
日本帝人化成	PANLITE	L-1225Y	L-1250Y	L-1285	K-1300	—	LN-1250	G-3115	G-3120
							(V-2)	(V-2)	(V-2)
日本三菱瓦斯	IUPIRON	S3000	S2000	S1000	E2000	E2003	N-3	GN-3115	GN-3120
日本出光石油化学	TOUFLOX	IR2200	IR2500	IR2700	IR3000	N3000	NB2500	GS-2015M	GS-2020M
								G-2515	G-2520
								(V-2)	(V-2)
美国陶氏化学	CALIBRE	301-15	301-10	300-10	300-6	—	800-10	—	XZ94202
美国通用电气	LEXAN	121R	121R	141R	101	ML4751	ML1848	LGNI5	3412
									LNC2000
德国拜耳	MAKROLOX	2045	2605	2805	3105	3109	6030	8315(V-2)	—

二、国内聚碳酸酯品种与性能

(1) 上海中联化工厂的酯交换法 PC（表 3-3）

表 3-3 上海中联化工厂酯交换法 PC 的性能

项 目	标准	T1230	T1260	T1290	TE 型	TG2610
断裂拉伸强度/MPa	GB 1040—79	58	58	58	≥57	80
伸长率(%)	GB 1040—79	70 ~ 120	70 ~ 120	70 ~ 120	70	—
弯曲强度/MPa	GB 1042—79	91	91	91		100
弯曲弹性模量/GPa	GB 1042—79	1.6	1.7	1.7		3.5
冲击强度/(kJ/m ²)	缺口 无缺口	45	50	50	≥50	7 ~ 10
		不断	不断	不断		40
布氏硬度		95	95	95		100
热变形温度/℃	HG ₂ -1170-77	126 ~ 135	126 ~ 135	126 ~ 135	≥120	129 ~ 138
模塑收缩率(%)		0.5 ~ 0.8	0.5 ~ 0.8	0.5 ~ 0.8		0.3 ~ 0.5
长期使用温度/℃		-60 ~ 120	-60 ~ 120	-60 ~ 120		220 ~ 230
线胀系数/(×10 ⁻⁵ K ⁻¹)	GB 1036—70	5 ~ 7	5 ~ 7	5 ~ 7		4 ~ 5
耐电弧/s		10 ~ 120	10 ~ 120	10 ~ 120		10 ~ 120
介电强度/(kV/mm)	GB 1046—70	18 ~ 22	18 ~ 22	18 ~ 22		18 ~ 22
体积电阻率/Ω·cm	GB 1044—70	5×10 ¹⁶	5×10 ¹⁶	5×10 ¹⁶		5×10 ¹⁶
介电常数(1MHz)	GB 1045—70	2.8 ~ 3.1	2.8 ~ 3.1	2.8 ~ 3.1		3.0 ~ 3.3
介电损耗角正切值(1MHz)	GB 1045—70	1×10 ⁻²	1×10 ⁻²	1×10 ⁻²		1×10 ⁻²

项 目	标准	TG2620	TG2630	TG2620S 型	TX1005
断裂拉伸强度/MPa	GB 1040—79	100	110	≥100	50
伸长率(%)	GB 1040—79	—	—		60 ~ 120
弯曲强度/MPa	GB 1042—79	130	150		90
弯曲弹性模量/GPa	GB 1042—79	4.0	5.0		—
冲击强度/(kJ/m ²)	缺口 无缺口	10 ~ 17	10 ~ 17	≥10	60
		50	50		不断
布氏硬度		110	110		90
热变形温度/℃	HG ₂ -1170-77	135 ~ 145	135 ~ 150	≥138	115 ~ 125
模塑收缩率(%)		0.2 ~ 0.4	0.1 ~ 0.3		0.5 ~ 0.8
长期使用温度/℃		220 ~ 230	220 ~ 230		—
线胀系数/(×10 ⁻⁵ K ⁻¹)	GB 1036—70	3 ~ 4	2 ~ 3		5 ~ 7
耐电弧/s		10 ~ 120	10 ~ 120		10 ~ 120
介电强度/(kV/mm)	GB 1046—70	18 ~ 22	18 ~ 22		18 ~ 22
体积电阻率/Ω·cm	GB 1044—70	5×10 ¹⁶	5×10 ¹⁶	≥5×10 ¹⁵	5×10 ¹⁶
介电常数(1MHz)	GB 1045—70	3.0 ~ 3.3	3.0 ~ 3.3	3.2 ~ 3.6	2.8 ~ 3.1
介电损耗角正切值(1MHz)	GB 1045—70	1×10 ⁻²	1×10 ⁻²	≤1.2×10 ⁻²	1×10 ⁻²

(2) 江苏五矿常州农药厂光气法 PC (表 3-4)

表 3-4 江苏五矿常州农药厂光气法 PC 的性能

项 目		优级品	一级品	合格品
杂质(%)	≤	3	5	10
溶液色差	≤	5	8	11
热降解率(%)	≤	10	10	15
缺口冲击强度/(kJ/m ²)	≥	56.5		
拉伸强度/MPa	≥	64		
断裂伸长率(%)	≤	85		
屈服弯曲强度/MPa	≥	93		
热变形温度/℃	≥	126		
体积电阻率/Ω·cm	≥	1×10 ¹³		
介电强度/(kV/mm)	≥	16		
介电常数(1MHz)	≥	2.7~3.0		
介电损耗角正切值(1MHz)	≤	1×10 ⁻²		

(3) 天津有机化工二厂的光气法 PC (表 3-5)

表 3-5 天津有机化工二厂光气法 PC 的性能

项 目	JTG-1		JTG-2		JTG-3		JTG-4	
	一级品	二级品	一级品	二级品	一级品	二级品	一级品	二级品
外观	微黄透明颗粒							
透光率(%)	≥ 70	50	70	50	70	50	70	50
热降解率(%)	≤ 10	15	10	15	13	18	13	18
马丁耐热/℃	≥ 110	110	110	110	115	115	115	115
缺口抗冲击强度/(kJ/m)	≥ 0.45	0.45	0.45	0.45	0.55	0.55	0.55	0.55
拉伸强度/MPa	≥ 62	62	62	62	62	62	62	62
断裂伸长率(%)	≤ 80	80	80	80	80	80	80	80
弯曲强度/MPa	≥ 90	90	90	90	90	90	90	90
体积电阻率(×10 ¹⁵)/Ω·cm	> 1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
介电损耗角正切值(×10 ⁻² ,1MHz)	≤ 1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

(4) 成都有机硅研究中心的改性 PC (表 3-6)

表 3-6 成都有机硅研究中心改性 PC 的性能

项 目	阻燃级	增强级	项 目	阻燃级	增强级
拉伸强度/MPa	60	110	燃烧性(UL94)	V-0	
伸长率(%)	15	10	体积电阻率/ $\Omega\cdot\text{cm}$	10^{16}	10^{13}
弯曲强度/MPa	95	150	表面电阻率/ Ω	10^{14}	
冲击强度/(kJ/m) 缺口	15	12	介电常数	3.0	3.2
	无缺口	27	介电损耗角正切值	10^{-3}	10^{-3}
热变形温度/ $^{\circ}\text{C}$	135	140	介电强度/(kV/mm)	17	23

（5）香港毅兴行工程塑料公司的玻璃纤维增强与阻燃 PC（表 3-7）

表 3-7 香港毅兴行工程塑料公司玻璃纤维增强与阻燃 PC 的性能

项 目	ASTM	玻璃纤维增强级			阻燃玻璃纤维增强	
		SCA-G22-E0284	SCA-G41-E0257	SCA-G61-E0259	SCA-G40-E0256	SCA-G60-E0267
热变形温度(0.45MPa)/ $^{\circ}\text{C}$	D648	145	150	152	150	155
拉伸强度/MPa	D638	65	80	100	75	92
伸长率(%)	D638	9.5	9.0	8.0	9.5	7.5
断裂伸长率(%)	D638	11	10.5	9.0	10.5	8.0
弯曲强度/MPa	D790	100	125	150	125	145
弯曲弹性模量/MPa	D790	3500	5500	6500	5450	6000
Izod 冲击强度/(J/m)	D256	90	100	100	90	80
燃烧性(UL94)		V-2	V-1	V-1	V-0	V-0

（6）台湾南亚塑胶公司的改性 PC（表 3-8）

表 3-8 台湾南亚塑胶公司改性 PC 的性能

项 目	ASTM 标准	5210G2	5210G4	5210G6	5310
密度/(g/cm^3)	D792	1.25	1.33	1.43	1.22
吸水性(%)	D570	0.16	0.13	0.11	0.23
成型收缩率 3mm(%)		0.2~0.5	0.2~0.5	0.2~0.5	0.5~0.7
拉伸屈服强度/MPa	D638	70	110	130	63
弯曲弹性模量/MPa	D790	3500	5500	7500	2300
缺口冲击强度 3.2mm/(kJ/m)	D256	0.1	0.12	0.12	0.8
热变形温度(1.82MPa)/ $^{\circ}\text{C}$	D648	142	145	145	135
介电强度/(kV/mm)	D149	18	18	18	18
阻燃性 UL94		—	—	—	V-0

(续)						
项 目	ASTM 标准	5410G2	5410G4	5410G6	5500ZA	5512
密度/(g/cm ³)	D792	1.25	1.33	1.43	1.25	1.17
吸水性(%)	D570	0.16	0.13	0.12	0.16	—
成型收缩率3mm(%)		0.2~0.5	0.2~0.5	0.2~0.5	0.3~0.6	0.2~0.7
拉伸屈服强度/MPa	D638	70	110	130	68	56
弯曲弹性模量/MPa	D790	3500	5500	7500	2600	2400
缺口冲击强度3.2mm/(kJ/m)	D256	0.10	0.12	0.12	0.15	0.8
热变形温度(1.82MPa)/℃	D648	142	145	145	120	95
介电强度/(kV/mm)	D149	20	20	20	18	—
阻燃性 UL94		V-0	V-0	V-0	—	—

三、国外聚碳酸酯品种与性能

(1) 美国陶氏化学公司的 Calibre PC (表 3-9)

表 3-9 美国陶氏化学公司 Calibre PC 的性能

牌号	熔体流动 速率 /(g/10min)	密度 /(g/cm ³)	拉伸屈 服强度 /MPa	屈服伸 长率 (%)	弯曲弹 性模量 /GPa	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m)	热变形温度/℃		燃烧性 (UL94)
							0.44 MPa	1.82 MPa	
200-4	4	1.2	62	7.0	2.4	959	—	132	V-2
200-6	6	1.2	61.5	7.0	2.4	906	—	130	V-2
200-10	10	1.2	62	7.0	2.4	906	—	263	V-2
200-15	15	1.2	63	7.0	2.4	853	—	127	V-2
200-22	22	1.2	62	7.0	2.4	746	—	126	V-2
300-4	4	1.2	62	7.0	2.4	959	—	132	V-2
300-6	6	1.2	61.5	7.0	2.4	906	—	130	V-2
300-10	10	1.2	62	7.0	2.4	906	—	120	V-2
300-15	15	1.2	63	7.0	2.4	853	—	127	V-2
300-22	22	1.2	62	7.0	2.4	746	—	126	V-2
302-6	6	1.2	61	7.0	2.4	906	—	132	V-2
302-10	10	1.2	61	7.0	2.4	906	—	129	V-2

(续)									
牌号	熔体流动 速率 /(g/10min)	密度 /(g/cm ³)	拉伸屈 服强度 /MPa	屈服伸 长率 (%)	弯曲弹 性模量 /GPa	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m)	热变形温度/℃		燃烧性 (UL94)
							0.44 MPa	1.82 MPa	
302-15	15	1.2	62	7.0	2.4	853	—	127	V-2
510	—	1.27	59	3.5	3.2	107	300	140	V-0
550	—	1.27	66	3.5	3.7	214	300	140	V-0
700-4	4	1.2	61.5	7.0	2.4	959	—	132	V-0
700-6	6	1.2	61.5	7.0	2.4	906	—	130	V-0
700-10	10	1.2	60.5	7	2.4	906	—	129	V-0
700-15	15	1.2	60.5	7	2.4	853	—	127	V-0
800-4	4	1.21	60	6.5	2.5	640	—	131	V-0
800-6	6	1.21	60	6.5	2.5	640	—	131	V-0
800-10	10	1.21	60	6.5	2.5	640	—	131	V-0
800-15	15	1.21	60.5	6.5	2.5	640	—	131	V-0
2060-4	4	1.20	62	7.0	2.4	959	—	132	V-2
2060-6	6	1.20	61.5	7.0	2.4	906	—	130	V-2
2060-10	10	1.20	62	7.0	2.4	906	—	129	V-2
2060-15	15	1.20	63	7.0	2.4	853	—	127	V-2
2060-22	22	1.20	62	7.0	2.4	14	—	126	V-2
2080-4	4	1.20	62	7.0	2.4	959	—	127	—
2080-6	6	1.20	61.5	7.0	2.4	906	—	130	V-2
2080-10	10	1.20	62	7.0	2.4	906	—	129	V-2
2080-15	15	1.20	61	6.4	2.4	853	—	139	V-2
XU73402.00	—	1.20	62	—	—	746	—	139	V-2
XU73405.00	—	1.20	63	—	—	373	—	157	V-1

(2) 美国通用电器塑料公司的 LexanPC（表 3-10）

系 列	牌 号	密度 /(g/cm ³)	吸水性 (%)	成型收缩率 (%)	透光率 (%)	热变形温度/℃		线胀系数 /(×10 ⁻⁵ K ⁻¹)	燃烧性 (UL94)	拉伸屈 服强度
						0.45MPa	1.84MPa			
导电、阻燃	LCI08	1.23	—	2.0~4.0	—	—	141	3~5	V-0	95
	LCI12	1.24	—	2.0~3.0	—	—	141	2~4	V-0	110
	LCI20	1.28	—	1.5~2.5	—	—	141	1~3	V-0	150
	LCG2007	1.32	0.12	2.0~2.5	—	—	146	1~3	V-0	150
耐磨、阻燃	LF1000	1.26	0.15	5~7	—	—	138	7	V-0	63
	LF1010	1.33	0.12	3~4	—	—	142	4	V-0	67
	LF1030	1.52	0.14	1.5~2.5	—	—	146	2.5	V-0	120
	LF1510	1.36	0.12	3~4	—	—	142	4	V-0	67
	LF1520	1.46	0.16	2~3	—	—	146	3	V-0	100
	LF1530	1.55	0.12	1.5~2.5	—	—	146	2.5	V-0	120
中空成型	EBL9001	—	—	—	—	—	132	—	—	63
	EBL2061	—	—	—	—	—	132	—	V-2	60
耐高温	PPC4501	1.2	0.16	7~8	85	160	152	9.2	V-2	66
	PPC4701	1.2	0.19	8~10	85	174	163	8.1	HB	66
CD 光盘用	OQ1020L	1.2	—	5~7	90	—	120	—	—	64
	OQ1010	1.2	—	5~7	90	—	132	—	V-2	63
	OQ2220	1.2	—	5~7	89	—	129	—	V-2	62
	OQ2320	1.2	—	5~7	89	—	132	—	V-2	62
	OQ2720	1.2	—	5~7	89	—	132	—	V-2	62
计算机、办公用	BE1130	1.2	—	6~8	—	—	110	—	V-0	62
	EB2130	1.2	—	6~8	—	—	110	—	V-0	55

(续)

系 列	牌 号	伸 长 率 (%)		弯曲强度 /MPa	弯曲弹 性模量 GPa	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m)	介电常数		介电损耗角正 切值($\times 10^{-3}$)		体积电阻率 / $\Omega \cdot \text{cm}$
		屈服	断裂				60Hz	1Mz	60Hz	1Mz	
超低粘度	HF110	6 ~ 8	110	94	2.4	750	3.2	3.0	0.9	10	10^{16}
	PH1130										
玻璃纤维增强	3412	—	4 ~ 6	130	5.6	110	3.2	3.1	0.9	1.1	10^{16}
	3413	—	3 ~ 5	160	7.7	110	3.3	3.3	1.1	0.7	10^{16}
	3414	—	3 ~ 4	180	9.8	140	3.5	3.4	1.3	0.67	10^{16}
阻燃	920 系列	6 ~ 8	90	92	2.3	650	3.0	3.0	0.9	10	10^{16}
	940 系列										
	950 系列										
玻璃纤维增强阻燃	500 系列	8 ~ 9	10 ~ 20	105	3.5	110	3.1	3.1	0.8	7.5	10^{16}
	LGN1500	—	4 ~ 6	118	4.6	110	3.2	3.1	0.9	7.3	10^{16}
	LGN2000	—	4 ~ 6	130	5.6	110	3.2	3.1	0.9	7.3	10^{16}
	LGN3000	—	3 ~ 5	160	7.7	110	3.3	3.3	1.1	7.0	10^{16}
高刚性阻燃	LGK3020	—	3 ~ 5	150	6.7	110	3.3	—	1.1	—	10^{16}
	LGK4000	—	8	120	7.3	50	—	—	—	—	—
	LGK4030	—	3 ~ 5	170	8.6	110	3.5	—	1.3	—	10^{16}
耐候	LS ₁	6 ~ 8	100	95	2.4	870	3.2	3.0	0.9	10	10^{16}
	LS ₂										
耐蒸气	L										
	SR1000	6 ~ 8	110	94	2.4	650 ~ 870	3.2	3.0	0.9	10	10^{16}
	SR100R										
	SR1400										
SR1400R											

(续)

系 列	牌 号	伸长率(%)		弯曲强度 /MPa	弯曲弹 性模量 GPa	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m)	介电常数		介电损耗角正 切值(× 10 ⁻³)		体积电阻率 /Ω · cm
		屈服	断裂				60Hz	1Mz	60Hz	1Mz	
导电、阻燃	LC108	—	—	140	5.5	80	—	—	—	—	10 ^{4~6}
	LC112	—	—	165	7.0	80	—	—	—	—	10 ^{1~2}
	LC120	—	3 ~ 5	220	10	80	—	—	—	—	10 ^{1~2}
	LGC2007	—	5 ~ 7	180	12	80	—	—	—	—	10 ^{1~3}
耐磨阻燃	LF1000	—	90	94	2 ~ 4	200	—	—	—	—	10 ¹⁶
	LF1010	—	10 ~ 20	105	3.5	150	—	—	—	—	10 ¹⁶
	LF1030	—	3 ~ 5	160	7.7	110	—	—	—	—	10 ¹⁶
	LF1510	—	10 ~ 20	105	3.5	150	—	—	—	—	10 ¹⁶
	LF1520	—	4 ~ 6	130	5.6	110	—	—	—	—	10 ¹⁶
	LF1530	—	3 ~ 5	160	7.7	110	—	—	—	—	10 ¹⁶
中空成型	EBL9001	—	—	—	2.4	650	—	—	—	—	—
	EBL2061	—	—	—	2.4	840	—	—	—	—	—
耐高温	PPC4501	—	122	96	2.0	540	—	—	1.2	24	—
	PPC4701	—	78	97	2.3	540	—	—	1.6	26	—
CD 光盘用光学用	OQ1020L	—	40	—	2.1	210	—	—	—	—	—
	OQ1010	—	40 ~ 80	98	2.2	—	—	—	—	—	—
	OQ2220	—	125	98	—	—	—	—	—	—	—
	OQ2320	—	130	98	2.4	—	—	—	—	—	—
	OQ2720	—	135	98	2.4	—	—	—	—	—	—
计算机、办公用	BE1130	—	—	93	2.2	640	—	—	—	—	—
	EB2130	—	—	93	2.2	270	—	—	—	—	—

(3) 日本工程塑料公司的 PC (表 3-11)

表 3-11 日本工程塑料公司 PC 的性能

项 目	ASTM 标准	100 ~ 140	500	900	2014	3412	3413	3414	LGNI500	IX ₁	LS
密度/(g/cm ³)	D792	1.2	1.25	1.21	1.24	1.35	1.43	1.52	1.30	1.20	1.20
吸水性(%)	D570	0.15	0.12	0.15	0.15	—	—	—	0.14	—	—
拉伸屈服强度/MPa	D638	61.8	65.7	61.8	61.8	110	130	160	87.3	63	63
伸长率(%)	D638	110	10 ~ 20	90	110	4 ~ 6	3 ~ 5	3 ~ 5	4 ~ 6	110	110
弯曲强度/MPa	D790	92.2	103	90.2	92.2	130	160	180	116	94	95
弯曲弹性模量/GPa	D790	23.5	34.3	22.6	23.5	5.6	7.7	9.8	45.1	2.4	2.4
Izod 缺口冲击强度/(J/cm)	D256	6.37 ~ 8.53	1.96	6.37	6.37	1.1	1.1	1.4	1.08	6.5 ~ 8.7	8.7
洛氏硬度 (M)	D785	70	85	70	74	91	92	93	88	70	70
热变形温度/℃	D648	138 ~ 140	146	138	143	149	151	154	149	139	138
1.82MPa	D648	132 ~ 138	142	132	132	146	146	146	146	136	132
线胀系数/($\times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$)	D696	7	4	7	7	—	—	—	3.5	—	—
燃烧性 (UL94)	—	V-2	V-0	V-0	V-0	V-1	V-1	V-1	V-0	V-2	—
体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$	D257	10^{16}	10^{16}	10^{16}	10^{16}	—	—	—	10^{16}	—	—
介电强度/(kV/mm)	D149	16	17.7	16.7	15	—	—	—	18.5	—	—
耐电弧/s	D495	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
介电常数(60Hz)	D150	3.2	3.1	3.0	3.2	3.2	3.3	3.5	3.2	3.2	3.2
介电损耗角正切值(60Hz)	D150	9×10^{-4}	9×10^{-4}	9×10^{-4}	9×10^{-4}	—	—	—	—	9×10^{-4}	—
成型收缩率(%)	D955	0.5 ~ 0.7	0.3 ~ 0.4	0.5 ~ 0.7	0.5 ~ 0.7	0.2 ~ 0.3	0.15 ~ 0.25	0.1 ~ 0.2	0.25 ~ 0.35	0.5 ~ 0.7	0.5 ~ 0.7

(4) 日本出光 (Idemitsu) 石油化学公司的 Touflon PC (表 3-12)

表 3-12 日本出光石油化学公司 Touflon PC 的性能

项目	ASTM 标准	A2200	A2500	A2700	A3000	AL-0010	AL-0020	G2510	G2520	G2530	GL1010	GL3010	GNB2510	GNB2530
密度/(g/cm ³)	D792	1.20	1.20	1.20	1.20	1.25	1.31	1.27	1.30	1.43	1.33	1.51	1.28	1.44
吸水性 (水中 24h, 23℃) (%)	D570	0.22~ 0.24	0.22~ 0.24	0.22~ 0.24	0.22~ 0.24	0.20	0.18	0.15	0.13	0.11	0.14	0.10	0.15	0.11
透光率(3mm厚)(%)	D1003	85~89	85~89	85~89	85~89	不透明	不透明	不透明	不透明	不透明	不透明	不透明	不透明	不透明
拉伸强度/MPa	D638	65~85	65~85	65~85	65~85	53	49	70~80	90~110	100~130	66	130	72	105
伸长率(%)	D638	90~140	90~140	90~140	90~140	90	70	4~6	3~5	3~4	6	4	4~6	3~4
冲击强度 (悬臂梁缺口, 3.2mm)/(kJ/m ²)	D256	40	40	40	40	8.9	7.1	4.5	6.0	6.5	5.3	8.0	4.5	6.5
洛氏硬度 (M)	D785	75~85	75~85	75~85	75~85	80	75	85~90	90~95	80~95	86	92	85~90	90~95
热变形温度/℃	D648	134~135	134~135	134~135	134~135	135	135	139~147	140~147	142~150	147	153	145~150	147~152
热胀系数/(×10 ⁻⁵ K ⁻¹)	D696	6.0~6.5	6.0~6.5	6.0~6.5	6.0~6.5	6.3	6.3	4.5	2.5	2.3	4.5	2.2	4.5	2.3
成型收缩率(%)	D955	0.5~0.7	0.5~0.7	0.5~0.7	0.5~0.7	0.3~0.7	0.3~0.5	0.3~0.5	0.2~0.4	0.1~0.4	0.3~0.5	0.1~0.3	0.3~0.5	0.1~0.3
燃烧性(1.47mm厚)	UL94	V-2	V-2	V-2	V-2	V-2	V-2	V-2	V-2	V-2	V-2	V-0	V-0	V-0
介电强度(1.6mm厚)/(kV/mm)	D149	28~30	28~30	28~30	28~30	28~30	28~30	28~30	28~30	28~30	28~30	28~30	28~30	28~30
体积电阻率/Ω·cm	D257	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶
介电常数	60Hz	2.91	2.91	2.91	2.91	2.70	3.10	3.10	3.25	3.40	2.80	3.00	3.10	3.10
	10 ⁶ Hz	2.85	2.85	2.85	2.85	2.65	3.00	2.90~ 2.95	3.10~ 3.15	3.3~ 3.45	2.60	2.90	2.90~ 2.95	2.90~ 2.95
介电损耗角正切值														
60Hz		6.6× 10 ⁻⁴	6.6× 10 ⁻⁴	6.6× 10 ⁻⁴	6.6× 10 ⁻⁴	5×10 ⁻⁴	9×10 ⁻⁴	8×10 ⁻⁴	8×10 ⁻⁴	8×10 ⁻⁴	7×10 ⁻⁵	7×10 ⁻⁴	8×10 ⁻⁴	8×10 ⁻⁴
10 ⁶ Hz	D150	9.2× 10 ⁻³	9.2× 10 ⁻³	9.2× 10 ⁻³	9.2× 10 ⁻³	5×10 ⁻⁴	9×10 ⁻³	9×10 ⁻³	9×10 ⁻³	9×10 ⁻³	7×10 ⁻³	7×10 ⁻³	9×10 ⁻³	6×10 ⁻³
耐电弧性/s	D495	100~120	100~120	100~120	100~120	90	75	100~120	100~120	100~120	90	100	100~120	100~120

(续)

项目	ASTM 标准	I2200	IN2200	IR2200	N2200	NB2500	R2200	V2200	SC150	SC250	SC300	SC400	SC500
密度/(g/cm ³)		1.20	1.20	1.20	1.20	1.22	1.20	1.20	1.19	1.16	1.21	1.21	1.21
吸水性(水中24h, 23℃)(%)		0.22~ 0.24	0.22~ 0.24	0.22~ 0.24	0.22~ 0.24	0.22~ 0.24	0.22~ 0.24	0.22~ 0.24	0.20	0.20	0.25	0.25	0.25
透光率(3mm厚)(%)		85~89	85~89	85~89	85~89	85~89	85~89	85~89	不透明	不透明	不透明	不透明	不透明
拉伸强度/MPa		65~85	65~85	65~85	65~85	65~85	65~85	65~85	65	48	60	60	60
伸长率(%)		90~140	90~140	90~140	90~140	90~140	90~140	90~140	100	70	100	105	100
冲击强度(悬臂梁缺 口,3.2mm)/(kJ/m ²)		40	40	40	40	40	40	40	44	26	42	39	24
洛氏硬度(M)		75~85	75~85	75~85	75~85	75~85	75~85	75~85	R123	R120	R123	R123	R123
热变形温度/℃		134~135	134~135	134~135	134~135	140~142	134~135	134~135	123	97	120	120	123
热胀系数/(×10 ⁻⁵ K ⁻¹)		6.0~6.5	6.0~6.5	6.0~6.5	6.0~6.5	6.0~6.5	6.0~6.5	6.0~6.5	6.3	6.3	7.0	7.0	7.0
成型收缩率(%)		0.5~0.7	0.5~0.7	0.5~0.7	0.5~0.7	0.5~0.7	0.5~0.7	0.5~0.7	0.5~0.7	0.5~0.7	0.6~0.7	0.7~0.8	0.7~0.8
燃烧性(1.47mm厚)		V-2	V-2	V-2	V-2	V-0	V-0	V-0		HB			
介电强度(1.6mm厚)/ (kV/mm)		28~30	28~30	28~30	28~30	28~30	28~30	28~30					
体积电阻率/Ω·cm		>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶					
介电常数	60Hz 10 ⁶ Hz	2.91 2.85	2.91 2.85	2.91 2.85	2.91 2.85	2.91 2.85	2.91 2.85	2.91 2.85					
介电损耗角正切值													
	60Hz	6.6× 10 ⁻⁴	6.6× 10 ⁻⁴	6.6× 10 ⁻⁴	6.6× 10 ⁻⁴	6.6× 10 ⁻⁴	6.6× 10 ⁻⁴	6.6× 10 ⁻⁴					
	10 ⁶ Hz	9.2× 10 ⁻³	9.2× 10 ⁻³	9.2× 10 ⁻³	9.2× 10 ⁻³	9.2× 10 ⁻³	9.2× 10 ⁻³	9.2× 10 ⁻³					
耐电弧性/s		100~120	100~120	100~120	100~120	100~120	100~120	100~120					

(5) 日本帝人 (Teijin) 化学公司的 Panlite PC (表 3-13)
表 3-13 日本帝人化学公司 Panlite PC 的性能

项 目		测试标准	标 准 型				易脱模型		透明型	冰色、易脱模型	
			L-1225	L-1250	K-1285	K-1300	L-1225R	L-1250R		L-1225Y	L-1250Y
密度/(g/cm ³) 吸水性(水中 24h, 23℃) (%) 透光率(厚 3mm) (%) 折 射 率		ASTM D792	1. 20	1. 20	1. 20	1. 20	1. 20	1. 20	1. 20	1. 20	1. 20
		ASTM D570	0. 20	0. 20	0. 20	0. 20	0. 20	0. 20	0. 20	0. 20	0. 20
		ASTM D1003	89	89	89	89	89	89	88	88	88
		ASTM D542	1. 585	1. 585	1. 585	1. 585	1. 585	1. 585	1. 585	1. 585	1. 585
拉伸强度/MPa	屈服	ASTM D638	62	61	60	60	62	61	62	61	61
	断裂	ASTM D638	78	81	84	84	78	81	78	81	81
拉伸弹性模量/MPa		ASTM D638	2130	2120	2100	2090	2130	2120	2130	2130	2120
伸长率(%)	屈服	ASTM D638	6	6	6	6	6	6	80	6	6
	断裂	ASTM D638	140	140	130	130	140	140	80	140	140
弯曲强度/MPa		ASTM D790	90	90	88	87	90	90	93. 2	90	90
弯曲弹性模量/MPa		ASTM D790	2260	2230	2200	2190	2260	2230	2320	2260	2230
压缩强度/MPa		ASTM D695	76	76	75	75	76	76	76	76	76
Izod 缺口冲击强度 /(J/m)	厚 3. 2mm	ASTM D256	830	880	930	930	830	880	830	880	880
	厚 6. 4mm	ASTM D256	130	140	160	160	130	140	130	140	140
洛氏硬度(M)		ASTM D785	77	77	77	77	77	77	77	77	77
成型收缩率(%)	水平	ASTM D955	0. 5 ~ 0. 7	0. 5 ~ 0. 7	0. 5 ~ 0. 7	0. 5 ~ 0. 7	0. 5 ~ 0. 7	0. 5 ~ 0. 7		0. 5 ~ 0. 7	0. 5 ~ 0. 7
	垂直	ASTM D955	0. 5 ~ 0. 7	0. 5 ~ 0. 7	0. 5 ~ 0. 7	0. 5 ~ 0. 7	0. 5 ~ 0. 7	0. 5 ~ 0. 7		0. 5 ~ 0. 7	0. 5 ~ 0. 7

项 目		测试标准	标 准 型				易脱模型		透明型	冰色、易脱模型	
			L-1225	L-1250	K-1285	K-1300	L-1225R	L-1250R		L-1225Y	L-1250Y
热变形温度/℃	0.45MPa	ASTM D648	142	143	146	146	142	143	—	142	143
	1.81MPa	ASTM D648	132	133	136	136	132	133	126.5	132	133
线胀系数/($\times 10^{-5} \text{K}^{-1}$)	水平	ASTM D696	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	垂直	ASTM D696	7	7	7	7	7	7	7	7	7
介电强度(1.6mm厚)/(kV/mm)		ASTM D149	30	30	30	30	30	30	30	30	30
体积电阻率($\times 10^6$)/ $\Omega \cdot \text{cm}$		ASTM D257	3	3	3	3	3	3	3	3	3
介电常数	60Hz	ASTM D150	2.95	2.95	2.95	2.95	2.95	2.95	2.95	2.95	2.95
	1MHz	ASTM D150	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9
介电损耗角正切值	60Hz	ASTM D150	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004
	1MHz	ASTM D150	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009
耐电弧性/s		ASTM D495	110	110	110	110	110	110	110	110	110
相比漏电起痕指数(干)/V		IEC112	300	300	300	300	300	300	—	300	300
燃烧性	1.47mm厚	UL94	94V-2	94V-2	94V-2	94V-2	94V-2	94V-2	—	94V-2	94V-2
	3.05mm厚	UL94	94V-2	94V-2	94V-2	94V-2	94V-2	94V-2	—	94V-2	94V-2

(续)

(续)

项 目		测试标准	耐沸水型		难燃型	高流动性型	耐冲击型	耐候型(达到 SAE 规格)		
			L-1225J	L-1250J				LN-1250G	L-1225L	LE-1250
密度/(g/cm ³) 吸水性(水中 24h, 23℃)(%) 透光率(厚 3mm)(%) 折射率		ASTM D792	1.20	1.20	1.22	1.20	1.18	1.20	1.20	1.20
		ASTM D570	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
		ASTM D1003	88	89	半透明	88	半透明	88	88	88
		ASTM D542	1.585	1.585	—	1.585	—	1.585	1.585	1.585
拉伸强度/MPa	屈服 断裂	ASTM D638	62	61	63	63	58	65	63	62
		ASTM D638	78	81	69	74	66	64	77	80
拉伸弹性模量/MPa		ASTM D638	2130	2120	2160	2170	2120	2190	2130	2120
伸长率(%)	屈服 断裂	ASTM D638	6	6	6	6	10	6	6	6
		ASTM D638	140	140	130	140	130	130	140	140
弯曲强度/MPa		ASTM D790	90	90	88	90	83	96	93	92
弯曲弹性模量/MPa		ASTM D790	2260	2230	2260	2280	2110	2330	2260	2260
压缩强度/MPa		ASTM D695	76	76	78	77	74	77	76	76
Izod 缺口冲击强度 /(J/m)	厚 3.2mm 厚 6.4mm	ASTM D256	830	880	780	780	830	100	830	880
		ASTM D256	130	140	100	100	640	50	130	140
洛氏硬度(M)		ASTM D785	77	77	88	77	71	77	77	77
成型收缩率(%)	水平 垂直	ASTM D955	0.5~0.7	0.5~0.7	0.5~0.7	0.5~0.7	0.6~0.9	0.5~0.7	0.5~0.7	0.5~0.7
		ASTM D955	0.5~0.7	0.5~0.7	0.5~0.7	0.5~0.7	0.6~0.9	0.5~0.7	0.5~0.7	0.5~0.7

(续)									
项 目	测试标准	耐沸水型		难燃型	高流动性型	耐冲击型	耐候型(达到 SAE 规格)		
		L-1225J	L-1250J				K-1300Z	L-1225Z	L-1250Z
热变形温度/℃	0.45MPa	142	143	143	141	142	138	141	142
	1.81MPa	132	133	133	131	134	128	131	132
线胀系数/($\times 10^{-5} \text{K}^{-1}$)	水平	7	7	7	7	7	7	7	7
	垂直	7	7	7	7	7	7	7	7
介电强度(1.6mm 厚)/(kV/mm)	ASTM D149	30	30	30	30	30	30	30	30
体积电阻率($\times 10^6$)/ $\Omega \cdot \text{cm}$	ASTM D257	3	3	3	3	3	3	3	3
介电常数	60Hz	2.95	2.95	3.12	2.95	2.86	2.95	2.95	2.95
	1MHz	2.9	2.9	2.9	2.9	2.8	2.9	2.9	2.9
介电损耗角正切值	60Hz	0.0004	0.0004	0.0017	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004
	1MHz	0.009	0.009	0.0025	0.009	0.008	0.009	0.009	0.009
耐电弧性/s	ASTM D495	110	110	100	110	100	100	100	100
相比漏电起痕指数(干)/V	IEC112	300	300	230	300	—	300	300	300
燃烧性	1.47mm 厚	94V-2	94V-2	94V-0	94V-2	HB	94V-2	94V-2	94V-2
	3.04mm 厚	94V-2	94V-2	94V-0	94V-2	HB	94V-2	94V-2	94V-2

(续)

项 目		测试标准	玻璃纤维增强型(Panlite G)				Panlite G 易脱模型			Panlite G 具有优良外观型		
			G-3110	G-3115	G-3120	G-3130	G-3110R	G-3130R	G-3115H	G-3110H	G-3130H	
密度/(g/cm ³) 吸水性(水中24h,23℃)(%) 透光率(厚3mm)(%) 折射率	ASTM D792	1.27	1.30	1.34	1.43	1.27	1.43	1.30	1.27	1.43		
	ASTM D570	0.16	0.15	0.14	0.12	0.16	0.12	0.15	0.16	0.12		
	ASTM D1003	半透明	半透明	半透明	半透明	不透明	不透明	半透明	半透明	半透明		
	ASTM D542	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
拉伸强度/MPa	屈服	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	断裂	83	94	105	126	75	108	69	108	108		
拉伸弹性模量/MPa		ASTM D638	4120	5000	5880	8240	3630	7940	3530	6080		
伸长率(%)	屈服	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	断裂	ASTM D638 ASTM D638	7	5	4.3	3.5	>3	2	5.5	3		
弯曲强度/MPa 弯曲弹性模量/MPa 压缩强度/MPa	ASTM D790	132	142	157	186	118	162	127	118	152		
	ASTM D790	3530	4410	5390	7260	3530	7260	3900	3330	6370		
	ASTM D695	109	120	133	157	94	130	103	96	129		
Izod 缺口冲击强度 /(J/m)	厚 3.2mm	90	120	140	160	90	120	58.8	50	90		
	厚 6.4mm	90	120	140	160	90	130		50	70		
洛氏硬度(M)		ASTM D785	86	90	91	93	84	90	86	93		
成型收缩率(%)	水平 垂直	ASTM D955	0.3~0.5	0.2~0.4	0.1~0.3	0.02~0.2	0.3~0.5	0.02~0.2		0.1~0.3		
		ASTM D955	0.4~0.6	0.4~0.6	0.4~0.6	0.3~0.5	0.4~0.6	0.3~0.5	0.3~0.5	0.4~0.6	0.3~0.5	

项 目			测试标准	玻璃纤维增强型(Panlite G)				Panlite G 易脱模型		Panlite G 具有优良外观型		
				G-3110	G-3115	G-3120	G-3130	G-3110R	G-3130R	G-3115H	G-3110H	G-3130H
热变形温度/℃	0.45MPa	ASTM D648	150	150	150	151	148	151	150	144	146	
	1.81MPa	ASTM D648	146	147	148	149	145	150	146	140	142	
线胀系数/($\times 10^{-5}\text{K}^{-1}$)	水平	ASTM D696	4.0	3.2	2.7	2.0	4.0	2.0	4.2	5.2	3.2	
	垂直	ASTM D696	6.7	6.5	6.2	5.6	6.7	5.6	—	7.4	5.6	
介电强度(1.6mm 厚)/(kV/mm)		ASTM D149	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
体积电阻率($\times 10^6$)/ $\Omega\cdot\text{cm}$		ASTM D257	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
介电常数	60Hz	ASTM D150	3.16	3.32	3.36	3.51	3.16	3.51	3.32	3.16	3.51	
	1MHz	ASTM D150	3.07	3.23	3.29	3.41	3.07	3.41	3.23	3.07	3.41	
介电损耗角正切值	60Hz	ASTM D150	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0009	0.0009	0.0009	
	1MHz	ASTM D150	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	
耐电弧性/s		ASTM D495	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
相比漏电起痕指数(干)/V		IEC112	180	175	180	180	180	180		180	180	
燃烧性	1.47mm 厚	UL94	94V-2	94V-2	94V-2	94V-2	94V-2	94V-2	94V-2	94V-2	94V-2	
	3.05mm 厚	UL94	94V-0	94V-0	94V-1	94V-1	94V-0	94V-1		94V-0	94V-1	

(续)

项 目	测试标准	Panlite G 低各向异性型				Panlite G 难燃型		耐摩擦磨损型		碳纤维强化型	
		G-3110M	G-3130M	G-N-3110	G-N-3130	GS-3115	GS-3130	B-7110R	B-7130R		
密度/(g/cm ³) 吸水性(水中24h,23℃)(%) 透光率(厚3mm)(%) 折射率	ASTM D792	1.27	1.43	1.28	1.44	1.26	1.51	1.24	1.32		
	ASTM D570	0.16	0.12	0.16	0.12	0.17	0.10	0.16	0.12		
	ASTM D1003	半透明	半透明	半透明	半透明	半透明	半透明	黑色	黑色		
	ASTM D542	—	—	—	—	—	—	—	—		
拉伸强度/MPa	屈服	—	—	—	—	55	—	—	—		
	断裂	58	56	82	121	51	110	113	167		
拉伸弹性模量/MPa		2650	—	3920	8240	2300	8040	6860	18630		
伸长率(%)	屈服	—	—	—	—	6	—	—	—		
	断裂	>15	>3	4.8	2.5	110	2.4	3	1.6		
弯曲强度/MPa		91	98	127	167	78	160	157	226		
弯曲弹性模量/MPa		2550	3920	3530	7350	2110	7550	6860	16670		
压缩强度/MPa		76	77	105	143	73	141	—	—		
Izod 缺口冲击强度 (J/m)	厚3.2mm	80	50	60	100	290	140	70	50		
	厚6.4mm	80	50	70	120	120	140	70	50		
洛氏硬度(M)		86	93	86	93	67	92	78	91		
成型收缩率(%)	水平	0.5~0.7	0.3~0.5	0.3~0.5	0.02~0.2	0.5~0.7	0.02~0.2	0.05~0.15	0.01~0.03		
	垂直	0.5~0.7	0.3~0.5	0.4~0.6	0.3~0.5	0.5~0.7	0.3~0.5	0.3~0.5	0.2~0.4		

(续)												
项 目		测试标准	Panlite G 低各向异性型		Panlite G 难燃型		耐摩擦磨损型		碳纤维强化型			
			G-3110M	G-3130M	GN-3110	GN-3130	GS-3115	GS-3130	B-7110R	B-7130R		
热变形温度/℃	0.45MPa	ASTM D648	137	139	149	151	145	149	—	—		
	1.81MPa	ASTM D648	133	135	146	149	136	150	147	147		
线胀系数/(× 10 ⁻⁵ K ⁻¹)	水平	ASTM D696	7.0	5.0	4.0	2.0	7.0	2.0	3.3	1.3		
	垂直	ASTM D696	7.4	5.6	6.7	5.6	7.0	5.6	7.1	5.2		
介电强度(1.6mm 厚)/(kV/mm)		ASTM D149	30	30	30	30	30	30	30	—		
体积电阻率(× 10 ⁶)/Ω · cm		ASTM D257	1	1	1	1	1	1	10 ² ~ 10 ⁵	10 ⁰ ~ 10 ¹		
介电常数	60Hz	ASTM D150	3.16	3.51	3.16	3.51	2.85	3.51	—	—		
	1MHz	ASTM D150	3.07	3.41	3.07	3.41	2.80	3.41	—	—		
介电损耗角正切值	60Hz	ASTM D150	0.0008	0.0008	0.0008	0.0009	0.0008	0.0009	—	—		
	1MHz	ASTM D150	0.009	0.009	0.009	0.009	0.008	0.009	—	—		
耐电弧性/s		ASTM D495	100	100	100	100	100	100	—	—		
相比漏电起痕指数(干)/V		IEC112	180	180	185	185	340	200	—	—		
燃烧性	1.47mm 厚	UL94	94V-2	94V-2	94V-0	94V-0	94V-2	94V-1	94V-2	94V-2		
	3.05mm 厚	UL94	94V-0	94V-1	94V-0	94V-0	94V-1	94V-0	94V-0	94V-0		

(6) 德国拜耳公司的 Makolon PC (见表 3-14)
表 3-14 德国拜耳公司 Makolon PC 的性能

项 目	标准	2400	2600/ 2800	3100/ 3200	3118/ 3119	6030/ 6603	6385	6555/ 6557	6465/ 6560	6870
密度/(g/cm ³)	ISO/R1183	1.2	1.2	1.2	1.2	1.25	1.2	1.2	1.2	1.2
吸水性(%)	ISO62	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36
线胀系数/($\times 10^{-6}K^{-1}$)	DIN VDE	65	65	65	65	65	65	65	65	65
热导率/[W/(m·K)]	DIN 52612	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21~0.24	0.21
维卡软化点/℃	ISO306	145	148	150	148	153	147	148	147	148
热变形温度(1.81MPa)/℃	ISO75	132	138	138	138	138	138	138	127	138
熔体流动速率/(g/10min)	ISO/R1133	5~19	9~13	5~7	2	5~7	—	7~10	7~10	2
氧指数(%)	ASTM-D2863-77	26	27	27	27	32	V-0	36	35	36
拉伸断裂强度/MPa	ISO/R 527	>65	>65	>65	>60	>65	54.9	>65	>65	>65
断裂伸长率(%)		110	110	110	90	110	100	110	100	90
Izod 缺口冲击强度/(J/m)	ASTM-D 25656	>700	>800	>850	>850	>700	—	>750	>750	>750
布氏硬度	ISO 2039	110	110	110	110	110	—	110	110	110
介电强度/(kJ/mm)	IEC 253									
干燥		>80	>80	>80	>80	>80	>80	>80	>80	>80
在水中 24h		>30	>30	>30	>30	>30	—	>30	>30	>30
表面电阻率/ Ω	IEC93									
干燥		>10 ¹⁵	>10 ¹⁵	>10 ¹⁵	>10 ¹⁵	>10 ¹⁵	—	>10 ¹⁵	>10 ¹⁵	>10 ¹⁵
在水中 24h		>10 ¹⁵	>10 ¹⁵	>10 ¹⁵	>10 ¹⁵	>10 ¹⁵	—	>10 ¹⁵	>10 ¹⁵	>10 ¹⁵
体积电阻率/ $\Omega\cdot cm$	IEC93									
干燥		>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶
在水中 24h		>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	—	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶

项 目	标准	(续)									
		8020	8030	8320	8325	8344	8345	9125	9310	9414	9415
密度/(g/cm ³)	ISO/R1183	1.35	1.44	1.35	1.35	1.51	1.50	1.35	1.27	1.27	1.27
吸水性(%)	ISO62	0.29	0.29	0.29	0.29	0.27	0.27	—	0.32	0.32	0.32
线胀系数/($\times 10^{-6}\text{K}^{-1}$)	DIN VDE	45	27	27	27	20	20	28	32	32	32
热导率/[W/(m·K)]	DIN 52612	0.23	0.24	0.23	0.23	0.25	0.25	0.24	0.23	0.23	0.23
维卡软化点/℃	ISO306	150	150	150	150	—	150	46	153	150	150
热变形温度(1.81MPa)/℃	ISO75	147	147	147	147	—	147	147	150	147	147
熔体流动速率/(g/10min)	ISO/R1133	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
氧指数(%)	ASTM-D2863-77	30	32	34	35	34	35	V-0	34	36	36
拉伸断裂强度/MPa	ISO/R 527	55	70	100	100	100	135	—	70	70	75
断裂伸长率(%)		7	3.5	3.8	3.3	3.8	3.8	3.0	8.0	7.0	7
Izod 缺口冲击强度/(J/m)	ASTM-D 25656	80	80	15	125	6	120	83.3	15	15	165
布氏硬度	ISO 2039	140	145	140	145	155	155	—	125	125	125
介电强度/(kJ/mm)	IEC 253										
干燥		>80	>80	—	>80	—	>80	>80	—	—	>80
在水中 24h		>30	>30	—	>30	—	>30	—	—	—	>30
表面电阻率/ Ω											
干燥	IEC93	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	—	>10 ¹⁴	—	—	—	>10 ¹⁴
在水中 24h		>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	—	>10 ¹⁴	—	>10 ¹⁴	—	—	—	>10 ¹⁴
体积电阻率/ $\Omega\cdot\text{cm}$											
干燥	IEC93	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	—	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	—	—	>10 ¹⁶
在水中 24h		>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	—	>10 ¹⁶	—	>10 ¹⁶	—	—	—	>10 ¹⁶

(7) 英国帝国化学公司材料部的 PC (表 3-15)

表 3-15 英国帝国化学公司材料部 PC 的性能

①Lubricomp PC						
牌号	密度 /(g/ cm ³)	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m)	热变形温度/℃		燃烧性 (UL94)	特 性
			0.44MPa	1.82MPa		
DFL4034	1.46	1.8	—	290	V-1	注射, 含玻璃纤维, 抗弯曲
DFL4036	1.55	2.0	295	290	—	注射, 含玻璃纤维, 抗弯曲
DFL4038	1.64	2.1	—	290	—	注射, 含 40% 玻璃纤维, 高刚性
DFL4524	1.39	2.6	—	275	V-1	注射, 含玻璃纤维和润滑剂
DFL4534	1.43	2.6	—	280	V-1	注射, 含玻璃纤维和润滑剂
DFL4536	1.53	2.4	—	285	V-1	注射, 含玻璃纤维和润滑剂
DL4010	1.23	2.6	—	265	—	注射, 含 5% PTFE, 润滑性好
DL4020	1.26	2.5	—	270	V-0	注射, 含 10% PTFE, 润滑好, 阻燃
DL4020FR	1.26	2.5	—	265	V-0	注射, 含 10% PTFE, 润滑好, 阻燃
DL4030	1.28	2.5	—	265	V-0	注射, 含 15% PTFE, 润滑, 阻燃
DL4040	1.32	4.0	300	270	V-1	注射, 含 20% PTFE, 润滑
DL4530	1.27	2.5	—	275	V-1	注射, 含 15% PTFE, 润滑
②商品名称: Stat-Kon PC						
牌号	密度 /(g/ cm ³)	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m)	热变形温度/℃		燃烧性 (UL94)	特 性
			0.44MPa	1.82MPa		
D	1.28	0.8	275	270	—	含炭黑, 抗静电, 注射
D-FR	1.26	—	—	—	V-0	注射, 含炭黑, 抗静电, 阻燃
DC-1002	1.24	1.3	—	280	—	注射, 含碳纤维, 抗静电
DC1003FR	1.34	1.2	300	290	V-0	注射, 含碳纤维, 抗静电, 阻燃
DC1004	1.29	1.5	—	300	V-0	注射, 含碳纤维, 抗静电
DC1006	1.33	1.9	305	300	—	注射, 含碳纤维, 抗静电
DC1006MG	1.43	2.0	—	290	—	注射, 含碳纤维, 抗静电
DCF1006	1.39	3.1	305	300	—	注射, 含碳纤维, 抗静电
DCL4022	1.28	1.5	—	270	—	注射, 含碳纤维, 耐磨, 抗静电
DCL4032	1.33	1.1	—	290	—	注射, 含碳纤维, 润滑, 抗静电
DCL4033	1.36	1.4	300	290	V-1	注射, 含碳纤维, 润滑, 抗静电
DCL4034	1.38	1.0	—	295	—	注射, 含碳纤维, 润滑, 抗静电
DCL4036	1.43	1	—	290	—	注射, 含碳纤维, 润滑, 抗静电
DCL4532	1.32	2	—	290	—	注射, 含碳纤维, 润滑, 抗静电
DCL4534	1.38	1	—	295	—	注射, 含碳纤维, 润滑, 抗静电
DCL4536	1.42	1.8	—	300	—	注射, 含碳纤维, 润滑, 抗静电
DF15	1.36	1.0	305	285	—	注射, 含玻璃纤维和抗静电剂
DF1002	1.27	1.5	—	275	V-1	注射, 含 10% 玻璃纤维, 尺寸稳定

(续)

牌号	密度 /(g/ cm ³)	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m)	热变形温度/℃		燃烧性 (UL94)	特 性
			0.44MPa	1.82MPa		
DF1004	1.34	4.0	305	300	V-1	注射, 含 20% 玻璃纤维, 抗冲击
DF1006	1.43	3.7	305	300	V-1	注射, 含 30% 玻璃纤维, 力学性能好
DF1006FR	1.43	3.7	—	—	V-0	注射, 含 30% 玻璃纤维, 阻燃
DF1006MG	—	2.3	—	290	—	注射, 含 30% 玻璃纤维增强
DF1008	1.52	4.0	305	300	V-1	注射, 含 40% 玻璃纤维, 刚性高
DF1008FR	1.52	4.0	—	—	V-0	注射, 含 40% 玻璃纤维, 高刚性, 阻燃
DF100-10	1.63	4.2	—	30	—	注射, 含 50% 玻璃纤维, 高刚性
DF-FR	1.33	1.0	—	—	V-0	注射, 阻燃, 抗静电
DS	1.30	1.7	280	275	—	注射, 抗静电
DX-3	1.29	1.4	275	270	—	注射, 抗静电
DX-7	1.29	1.5	275	270	—	注射, 抗静电
FDF1008MG	1.52	2	—	275	V-0	注射, 含玻璃纤维, 阻燃
PDX84368	1.23	1.7	295	290	V-1	注射, 抗静电
PDX-C88320	1.11	—	—	170	HB	注射, 抗静电
PDX-C89204	1.08	—	—	170	HB	注射, 抗静电
PDX-D84356	1.26	1.2	295	285	V-0	注射, 电磁屏蔽, 阻燃
PDX-D88132	1.35	1.4	—	285	—	注射, 电磁屏蔽
PDX-D88134	1.45	2.0	—	285	—	注射, 电磁屏蔽
PDX-D88414	1.28	1.5	—	—	—	注射, 抗静电
PC100C-HCLR	1.20	12	270	262	V-2	注射, 透明
PC100-CLEAR	1.20	16	282	265	V-2	注射, 透明
PC110-20GR	1.35	2	295	286	V-1	注射, 含 20% 玻璃纤维
PC110-30GR	1.43	2	300	286	V-1	注射, 含 30% 玻璃纤维
PC110-500	1.25	2.2	294	286	V-1	注射, 抗拉伸、刚性高
PC110-HNAT	1.20	12	270	262	V-2	注射, 未改性, 高流动性
PC110-FRM-NAT	1.23	8	270	250	V-0	注射, 阻燃, 抗拉伸
PC110-NAT	1.20	16	282	250	V-2	注射, 未改性, 透明
PC169-SFI	1.21	—	282	250	HB	注射, 未改性, 透明
PC200-20G	1.35	2	295	286	V-1	注射, 含 20% 玻璃纤维, 黑色
PC200-30G	1.43	2	300	286	V-1	注射, 含 30% 玻璃纤维, 黑色
PC200 500	1.20	2.2	294	286	V-0	注射, 阻燃, 黑色
PC200-BLK	1.20	10	275	255	V-2	注射, 黑色, 抗冲击
PC200FRM-BLK	1.23	8	270	250	V-0	注射, 黑色, 阻燃
PC230H	1.21	10	262	255	—	注射, 黑色, 未改性
PC300WHITE	1.20	10	275	255	V-2	注射, 本色料
PC422-MHI	1.19	15.2	282	265	HB	注射, 低温抗冲好, 本色料
PC429-MHI	1.19	15.2	282	265	HB	注射, 低温抗冲好, 本色料

（8）荷兰阿克苏工程塑料公司的 PC（表 3-16）

表 3-16 荷兰阿克苏工程塑料公司 PC 的性能

①Polycarbafil 玻璃纤维/PC								
牌号	密度 /(g/cm ³)	拉伸屈 服强度 /MPa	屈服伸 长率 (%)	弯曲弹 性模量 /GPa	热变形温度/℃		燃烧性 (UL94)	特 性
					0.44MPa	1.82MPa		
F50/20	—	3	—	4	—	162	—	含 20% 玻璃纤维，可制泡沫制品
G50/20	1.34	16	3	8	305	290	—	含 20% 玻璃纤维
G50/20/FR	1.36	14	3	9	—	300	V-0	含 20% 玻璃纤维，阻燃
G50/20/TF15	1.50	15.5	2	9	300	290	—	含 20% 玻璃纤维、15% 氟树脂， 润滑性好
G50/30	1.43	20	2.5	11	—	240	—	含 30% 玻璃纤维，抗拉伸
G50/30/CF/10	1.43	20	2.5	11	305	290	—	含 30% 玻璃纤维、10% 碳纤维， 抗拉伸，耐磨
G50/40	1.52	23	2.0	14	305	295	—	含 40% 玻璃纤维，刚性高
G50/CF/20	1.28	21.5	1.2	20	—	295	—	含 20% 碳纤维，耐磨，刚性高
G50/CF/25	1.31	20.0	1.1	20	—	295	—	含 25% 碳纤维，耐磨
G50/CF/40	1.37	23.0	1.0	30	—	300	—	含 40% 碳纤维，强度高，耐磨
G50/5/CF/10	1.27	17.0	2.4	11	300	290	—	含 5% 玻璃纤维、10% 碳纤维， 耐磨损
J50/20	1.34	15.5	3.0	8.0	305	290	V-1	含 20% 玻璃纤维，抗拉伸
J50/20/FR	1.36	14.0	3.0	9.0	300	300	—	含 20% 玻璃纤维，阻燃
J50/20/TF/10	1.36	14.0	3.0	9.0	300	300	V-0	含 20% 玻璃纤维、10% 氟树脂， 耐磨，阻燃
J50/20/TF/15	1.50	14.5	3.0	9.0	300	290	—	含 20% 玻璃纤维、15% 氟树脂， 耐磨
J50/30	1.43	19.0	2.5	11.0	305	290	—	含 30% 玻璃纤维，力学性能好
J50/30/SL/2	1.46	16.0	2.0	9.0	300	290	—	含 30% 玻璃纤维、2% SiO ₂ ，耐 磨
J50/30/TF/15	1.55	17.0	—	12.5	—	290	—	含 30% 玻璃纤维、15% 氟树脂， 耐磨，抗疲劳
J50/40	1.52	21	2.0	14	305	295	—	含 40% 玻璃纤维，强度高
J50/CF/10/TF15	1.28	14	2.5	9.8	296	292	V-0	含 10% 碳纤维、15% 氟树脂， 耐磨，尺寸稳定，阻燃
J50/CF/20	1.28	20	2.0	15	300	295	—	含 20% 碳纤维，耐磨

(续)

牌号	密度 /(g/cm ³)	拉伸屈服强度 /MPa	弯曲伸长率 (%)	弹性模量 /GPa	热变形温度/℃		燃烧性 (UL94)	特 性
					0.44MPa	1.82MPa		
J50/CF/20T	1.37	20	2.0	17	300	295	—	含 20% 碳纤维, 耐磨
J50/CF/40	1.38	24	2.0	28	300	295	—	含 40% 碳纤维, 强度高
J54/10	1.26	10.5	5.0	5.0	295	290	—	含 10% 玻璃纤维, 尺寸稳定
PC50/TF/10	1.26	8.0	10.0	2.5	290	270	—	含 10% 氟树脂, 耐磨
PC50/TF/15	1.29	7.5	—	3.0	—	270	—	含 15% 氟树脂, 耐磨

②商品名称: Electrafil 导电 PC

牌号	密度 /(g/cm ³)	拉伸屈服强度 /MPa	弯曲弹性模量 /GPa	热变形温度/℃		燃烧性 (UL94)	特 性
				0.44MPa	1.82MPa		
G50/CF/5SSS	1.28	13.6	7.5	300	290	V-1	含 5% 钢丝和碳纤维, 导电
G50/CF/20	1.28	20.0	15	300	295	V-1	含 20% 碳纤维, 导电
G50/CF/30	1.48	21.5	20	—	300	V-1	含 30% 碳纤维, 导电
G50/SS/5FR	1.27	10	4.5	295	285	V-0	含 5% 钢丝, 阻燃, 导电
G50/SS/10	1.33	11	5.0	295	285	HB	含 10% 钢丝, 导电
G1100/SS/10	1.55	10.5	6.0	430	420	—	含 10% 钢丝, 导电
J50/CF/10	1.24	16.0	11	295	288	V-1	含 10% 碳纤维, 导电
J50/CF/10/TF/10	1.34	14.0	9.8	296	292	V-0	含 10% 碳纤维、10% 氟树脂, 阻燃, 导电
J50/CF/20	1.37	20.0	17.0	300	295	V-1	含 20% 碳纤维, 导电
J50/CF/30	1.39	22	22.0	300	295	V-1	含 30% 碳纤维, 导电

③商品名称: Fiberfil 纤维增强阻燃 PC

牌号	密度 /(g/cm ³)	拉伸屈服强度 /MPa	弯曲弹性模量 /GPa	热变形温度/℃		燃烧性 (UL94)	特 性
				0.44MPa	1.82MPa		
F50/20/FR	0.98	8.5	6.8	—	275	V-0	阻燃, 电性能好
G50/20/FR	1.36	18.0	9.0	—	300	V-0	阻燃, 电性能好
J50/20/FR	1.36	14.0	9.0	—	300	V-0	阻燃, 电性能好
J50/30/FR	1.45	16.5	12.0	—	305	V-0	阻燃, 电性能好

(9) 荷兰通用电器塑料公司的 Lexan PC (表 3-17)

表 3-17 荷兰通用电器塑料公司 Lexan PC 的性能

项 目	ASTM	101	121	141	141R	150	161	181	500	503	920
密度/(g/cm ³)	D792	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.25	1.25	1.21
吸水性(24h,23℃)(%)	D570	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.12	0.12	0.15
成型收缩率/(mm/mm)	D955	0.005~ 0.007	0.005~ 0.007	0.005~ 0.007	0.005~ 0.007	0.005~ 0.007	0.005~ 0.007	0.005~ 0.007	0.002~ 0.004	0.002~ 0.004	0.005~ 0.007
透光率(%)	D1003	89	89	89	89	88~80	89	89	不适用	不适用	85
雾度(%)	D1003	1	1	1	1	1~2	1	1	不适用	不适用	1~3
折射率		1.586	1.586	1.586	1.586	1.586	1.586	1.586	不适用	不适用	1.586
热变形温度(0.46MPa)/℃	D648	270	265	270	270	138	270	275	146	146	138
热胀系数/K ⁻¹	D696	6.75× 10 ⁻⁵	6.75× 10 ⁻⁵	6.75× 10 ⁻⁵	6.75× 10 ⁻⁵	6.75× 10 ⁻⁵	6.75× 10 ⁻⁵	6.75× 10 ⁻⁵	3.22× 10 ⁻⁵	3.22× 10 ⁻⁵	6.75× 10 ⁻⁵
维卡软化点/℃	D1525	152~157	152~157	152~157	152~157	154~160	152~157	152~157	154	154	152
熔体流动速率/(g/10min)	D1238	6.5	16.5	9.5	11.5		8.0	5.3			
燃烧性	UL94	V-2	V-2	V-2	V-2	HB	V-2	V-2	V-0	V-0	V-0
	UL94	V-2	V-2	V-2	V-2	HB	V-2	V-2	V-0/5V	V-0/5V	V-0
氧指数	D2863	25	25	25	25	25	25	25	32.5	32.5	35
介电强度(厚3.2mm)/(kV/mm)	D149	15	15	15	15	15	15	15	17.7	17.7	16.7
体积电阻率(23℃)/Ω·cm	D257	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶
拉伸强度/MPa	D638	62	62	62	62	62	62	62	66	66	62
断裂伸长率(%)	D638	135	125	130	130	110	130	135	10~20	10~20	90
弯曲强度/MPa	D790	98	97	97	97	93	98	98	100	100	90
悬臂梁缺口冲击强度(3.2mm)/(J/m)	D256	908	694	801	748	640~850	854	961	100	100	640

(续)

项 目	ASTM	920A	940	940A	950	950A	1500	3412	3413	3414	PKC4501	PKC4701	HF
密度/(g/cm ³)	D792	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.20	1.35	1.43	1.52	1.20	1.20	1.20
吸水性(24h,23℃)(%)	D570	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.16	0.14	0.12	0.16	0.19	
成型收缩率/(mm/mm)	D955	0.005~ 0.007	0.005~ 0.007	0.005~ 0.007	0.005~ 0.007	0.005~ 0.007	0.005~ 0.007	0.001~ 0.003	0.0015~ 0.0025	0.001~ 0.002	0.007~ 0.008	0.008~ 0.01	0.005~ 0.007
透光率(%)	D1003	85	85	85	85	85	88~89	不适用	不适用	不适用	85	85	89
雾度(%)	D1003	1~3	1~3	1~3	1~3	1~3	1~2	不适用	不适用	不适用	1~2	1~2	1
折射率		1.586	1.586	1.586	1.586	1.586	1.586	不适用	不适用	不适用	1.6	1.6	
热变形温度(0.46MPa)/℃	D648	138	138	138	138	138	138	149	152	151	160	174	
热胀系数/K ⁻¹	D696	6.75× 10 ⁻⁵	6.75× 10 ⁻⁵	6.75× 10 ⁻⁵	6.75× 10 ⁻⁵	6.75× 10 ⁻⁵	6.75× 10 ⁻⁵		2.68× 10 ⁻⁵	2.18× 10 ⁻⁵	1.67× 10 ⁻⁵	9.2× 10 ⁻⁵	8.1× 10 ⁻⁵
维卡软化点/℃	D1525	152	152	152	152	152	154~160	166	166	166			22
熔体流动速率/(g/10min)	D1238												
燃烧性	UL94	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0	HB	V-1	V-1	V-1	V-2	HB	
	UL94	V-0	V-0	V-0	5V	V-0	HB	V-0/5V	V-0/5V	V-0/5V	V-2	HB	V-2
氧指数	D2863	35	35	35	35	35	25	30.5	30	30			
介电强度(厚3.2mm)/(kV/mm)	D149	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7	15	19.3	18.7	17.7	20.3	20.1	
体积电阻率(23℃)/Ω·cm	D257	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	2.6×10 ¹⁷	2.5×10 ¹⁷	
拉伸强度/MPa	D638	62	62	62	62	62	62	110	130	160	66	66	62
断裂伸长率(%)	D638	90	90	90	90	90	110	4~6	3~5	3~5	122	78	120
弯曲强度/MPa	D790	91	91	91	91	91	93	130	160	190	96	97	93
悬臂梁缺口冲击强度(3.2mm)/(J/m)	D256	640	640	640	640	640	640~850	100	100	130	535	535	640

(10) 韩国三养社 (Sam Yang) 的 Trirex PC (表 3-18)

表 3-18 韩国三养社 Trirex PC 的性能

项 目	ASTM 标准	3022IR	3025IR	3027IR	3030I	3030A	3025NI	3025GI5	3500G20
玻璃纤维含量(%)	—	—	—	—	—	—	—	15	20
密度/(g/cm ³)	D792	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.24	1.30	1.34
吸水性(%)	D570	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.14	0.12	0.12
成型收缩率(%)	纵向(1mm/3mm) 横向(1mm/3mm)	0.4/0.5 0.6/0.7	0.4/0.5 0.6/0.7	0.4/0.5 0.6/0.7	0.4/0.5 0.6/0.7	0.4/0.5 0.6/0.7	0.4/0.5 0.6/0.7	0.2/0.2 0.5/0.7	0.1/0.1 0.5/0.6
熔体流动速率(300℃/11.8N)/(g/10min)	D1238	—	—	—	4.0~5.0	4.3	—	4.5	—
拉伸强度(12.7mm)/MPa	D638	71	72	74	71	64	73	95	105
伸长率(3.2mm)(%)	D638	110	110	110	130	230	110	5	4
弯曲强度/MPa	D790	92	92	93	91	81	96	150	170
弯曲弹性模量/MPa	D790	2300	2250	2200	2170	2400	2300	4500	5600
缺口冲击强度/(J/m)	D256	100	100	120	—	91	80	120	150
无缺口	D256	900	900	1000	890~1010	不断裂	900	140	160
洛氏硬度(R)	D785	120	120	120	M78	121	122	121	121
热变形温度/℃	D648	134	135	136	139	141	140	146	147
	D648	145	146	147	—	—	148	149	150
热胀系数/(×10 ⁻⁵ K ⁻¹)	D696	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.5	3.3	2.3
燃烧性	UL94	V-2	V-2	V-2	V-2	V-2	V-0	V-0	V-0
体积电阻率/Ω·cm	D257	4×10 ¹⁶	4×10 ¹⁶	4×10 ¹⁶	4×10 ¹⁶	4×10 ¹⁶	4×10 ¹⁶	4×10 ¹⁶	4×10 ¹⁶
介电强度(3.2mm厚)/(kV/mm)	ASTM 标准	3022IR	3025IR	3027IR	3030I	3030A	3025NI	3025GI5	3055G20
介电常数(10 ⁶ Hz)	D149	30	30	30	30	30	30	31	31
介电损耗角正切值(10 ⁶ Hz)	D150	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.80	3.05	3.11
抗电弧性/s	D150	0.0092	0.0092	0.0092	0.0092	0.0092	0.0092	0.0097	0.0097
	D495	120	120	120	120	120	90	120	120

(11) 韩国 LG 化学公司的 FR-PC (表 3-19)

表 3-19 韩国 LG 化学公司 FR-PC 的性能

项 目	ASTM 标准	GP1006F	GP2100	GP2200	GP2201F	GP2300	GP2400	GP2301F
拉伸强度/MPa	D638	68	72	115	110	1310	180	125
伸长率(%)	D638	>100	8	4	4	3	3	3
弯曲强度/MPa	D790	90	125	170	160	190	190	180
弯曲弹性模量/GPa	D790	2.2	3.7	6.0	5.8	8.0	9.5	7.9
缺口冲击强度/(J/m)	缺口	D256	220	110	110	90	130	130
	无缺口	D256	—	—	—	—	—	—
洛氏硬度(M)	D785	90	85	91	91	92	93	92
热变形温度(1.82MPa)/℃	D648	136	144	147	147	148	149	148
热胀系数/($\times 10^{-5} \text{K}^{-1}$)	D696	8.0	3.0	3.0	3.0	2.5	2.0	2.0
燃烧性(UL94)		V-0	V-2	V-2	V-0	V-2	V-2	V-0
介电强度/(kV/mm)	D149	30	30	30	30	30	30	30
体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$	D257	10^{16}	10^{16}	$>10^{16}$	$>10^{16}$	$>10^{16}$	$>10^{16}$	$>10^{16}$
耐电弧/s	D495	120	120	120	120	120	120	120

第二节 聚碳酸酯制品及其成型工艺

一、聚碳酸酯注射成型

(一) 简介

1. 原材料

(1) 物料特性 聚碳酸酯密度为 $1.18 \sim 1.20 \text{g/cm}^3$ ，无色透明，是常用透明材料之一。透明度可达 90%。冲击强度高，尺寸稳定性好，着色性好，电绝缘性、耐蚀性、耐磨性好，耐化学性好，尺寸稳定性好，抗蠕变性能好，但自润滑性差，有应力开裂倾向。高温易水解，与其他树脂相容性差。

(2) 适用范围 适于制作仪表小零件、绝缘透明件和耐冲击零件。

(3) 工艺特性

1) 聚碳酸酯塑料的结晶倾向较小，无准确熔点，一般被认为是无定形料。玻璃化温度较高，为 $149 \sim 150^\circ\text{C}$ ，熔融温度为 $215 \sim 225^\circ\text{C}$ 。热稳定性好，成型温度范围宽，可控制在 $230 \sim 320^\circ\text{C}$ ，流动性差。吸湿小，但对水敏感，易吸水分解，须经干燥处理。成型收缩率小，约为 $0.5\% \sim 0.8\%$ ，易发生熔融开裂和应力集中，故应严格控制成型条件，塑件须经退火处理。

2) PC 粘度大，熔融温度高，流动性差，因此必须以较高温度注射（ $270 \sim 320^\circ\text{C}$ 之间），相对来说料温调节范围较窄，工艺性不如 PMMA。注射压力对流动性影响较小，但因粘度大，仍需要较大注射压力。相应为了防止内应力产生，保压时间要尽量短。收

缩率大, 尺寸稳定, 但产品内应力大, 易开裂, 所以宜用提高温度而不是压力去改善流动性, 并且从提高模具温度、改善模具结构和后处理去减少开裂的可能。当注射速度低时, 浇口处易生波纹等缺陷, 喷嘴温度要单独控制, 流道、浇口阻力要小。

3) 熔融温度高, 粘度高, 大于 200g 的塑件宜用加热式的延伸喷嘴。

4) 冷却速度快, 模具浇注系统以粗、短为原则, 宜设冷料井, 浇口宜取大, 模具宜加热。

5) 料温过低会造成缺料, 塑件无光泽; 料温过高易溢边, 塑件起泡。模具温度要高, 模温低时收缩率、伸长率、冲击强度高, 弯曲、压缩、拉伸强度低。但模温超过 120℃ 时塑件冷却慢, 易变形粘模。

2. 注射成型设备

对聚碳酸酯而言, 常见的柱塞式注射成型机和螺杆式注射成型机是可以进行成型加工的, 但由于聚碳酸酯的加工温度较高, 熔体粘度较大, 因此, 选用螺杆式注射成型机就比较多。无论采用何种成型设备, 均需注意以下几点情况。

(1) 设备容量 要求制品的最大注射用量 (包括流道、浇口等) 应不大于柱塞式注射机公称注射量的 60% ~ 70% 或螺杆式注射机公称注射量的 70% ~ 80%。

(2) 螺杆 通常选用单头全螺纹、等螺距、带有止回环的渐变压缩型螺杆, 螺杆的长径比 L/D 为 15 ~ 20, 几何压缩比 C/R 为 2 ~ 3。

(3) 温控仪表 由于聚碳酸酯的注射温度高达 300℃, 因此要求温控仪表能在 400℃ 以下自由选择并能稳定工作。

(4) 喷嘴 鉴于喷嘴的结构形式对树脂熔体的射出流程有一定的影响。因此, 对于流动性较差的聚碳酸酯, 在选择喷嘴类型时必须注意。表 3-20 为几种结构形式的喷嘴与熔体在模具中流动长度的关系。

表 3-20 喷嘴形式与熔体流动长度的关系 (单位: mm)

喷嘴形式	熔体流动长度	
	制品壁厚 0.6	制品壁厚 1.2
敞开延伸式	44.0	81
针形自锁式	33.5	63
液压自锁式	33.0	79

由于聚碳酸酯熔体粘度较高, 在成型过程中极少发生泄漏现象 (即“流延”现象), 故选用敞开延伸式喷嘴较为合适, 其孔径为 3 ~ 6mm, 孔长 12 ~ 25mm, 并配有单独控制的加热装置, 加热功率可以 $4.5\text{W}/\text{cm}^2$ 计算。

3. 制品与模具设计

聚碳酸酯的制品及模具设计除了须遵循一般塑料制品与模具的设计原则外, 还需注意以下几点。

1) 制品的成型收缩率为 0.5% ~ 0.7%, 流动方向与垂直方向上的收缩情况基本一致。

2) 制品的壁厚与熔体在模腔内的流动性有关, 聚碳酸酯熔体的流动长度与制品壁厚之比为 80 ~ 100, 因此制品的壁厚不宜太薄, 一般不低于 1mm, 大都是在 1.5 ~ 5mm 之间选择。

3) 由于聚碳酸酯对缺口较为敏感, 故要求制品的壁厚应均匀一致, 尽可能避免锐角、缺口的存在, 对于转角处要求用圆弧过渡, 圆弧半径 R 不小于 1.5mm。

4) 脱模斜度一般为 $50' \sim 1^\circ$, 型腔稍大于型芯, 型芯部分约为 $30' \sim 50'$, 型腔部分约 $35' \sim 1^\circ$ 。型芯直径与长度之比最大为 1:5。

5) 由于热胀系数间的差别, 要求尽可能少用金属嵌件。对于确需使用的金属嵌件, 其半径应不低于 1.6mm, 周围塑料层的壁厚应大于或等于嵌件的直径。

6) 一般对于壁厚小于 3mm、料流长度小于 250mm 的制品允许采用直径为 0.8 ~ 3mm 的针形浇口, 而对于壁厚较厚、易产生缩痕和缩孔的制品可选用主流道式直接浇口, 但需注意随之而来的内应力较大的问题。

7) 虽然聚碳酸酯熔体的粘度较大, 流动性较差, 但为了防止在成型过程中出现排气不良现象, 仍需开设深度小于 0.03mm 的排气孔槽。

8) 为了得到透明性和粗糙度较低的制品, 要求模具型腔的表面粗糙度不高于 $Ra0.4\mu\text{m}$, 最好在 $Ra0.2\mu\text{m}$ 以下。

9) 为有助于熔体的顺利充模, 得到表面粗糙度较低、内应力较小的制品, 模具应有可以在 120°C 以下自由选择并稳定工作的控温装置。

4. 聚碳酸酯注射成型工艺

(1) 原料的准备与干燥 注射用的聚碳酸酯一般为无色透明的颗粒 (少数色泽微黄)。其品级、牌号大都是根据其相对分子质量的大小、添加剂的种类以及用途等进行划分的。一般平均相对分子质量为 $(2.3 \sim 3.2) \times 10^4$, 少数在 3.5×10^4 以上。相对分子质量大成型困难, 反之则容易些。

在成型加工之前, 对聚碳酸酯流动性还可通过熔体流动速率的测定予以了解 (测试温度为 300°C , 负荷为 1200g)。

虽然聚碳酸酯树脂及其制品的吸湿性较小, 室温下的平衡吸水率仅 0.3%, 对使用温度范围内的制品尺寸及物理力学性能无重大影响, 但在成型过程中, 这少量水分的存在会引起大分子的水解, 致使分子量下降, 熔融粘度降低, 制品上出现银丝或气泡等一系列缺陷, 制品的物理力学性能特别是冲击强度下降。表 3-21、图 3-1 ~ 图 3-3 分别表示聚碳酸酯的含水量与成型制品的相对分子质量、物理力学性能的关系。

表 3-21 聚碳酸酯含水量与性能关系

干燥时间 /h	含水量 (%)	相对分子质量		拉伸强度 /MPa	伸长率 (%)	冲击强度 /(kJ/m ²)	最小填充压力 /MPa	制品外观
		树脂	制品					
0	0.27	27000	—	—	—	—	—	—
0.5	0.21	—	19400	55.1	72	89	30	银丝严重
1.0	0.11	—	22200	66.9	94	99	38	银丝、气泡
2.0	0.048	—	25000	72.7	98	102	61	稍有银丝气泡

(续)

干燥时间 /h	含水量 (%)	相对分子质量		拉伸强度 /MPa	伸长率 (%)	冲击强度 /(kJ/m ²)	最小填充压力 /MPa	制品外观
		树脂	制品					
4.0	0.030	—	26100	72.9	98	104	70	良好
6.0	0.028	—	26200	73.3	99	104	71	良好
12.0	0.020	—	26300	73.5	99	104	72	良好
24.0	0.019	—	26400	74.1	100	104	72	良好

注：成型条件为注射温度 300℃，模具温度 90℃，成型周期 30s。

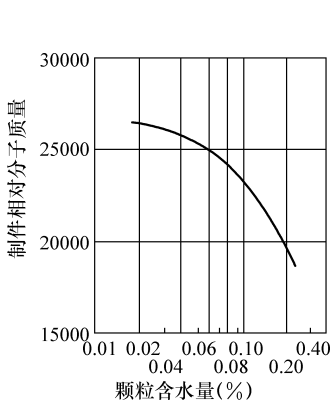


图 3-1 颗粒含水量与制品
相对分子质量的关系

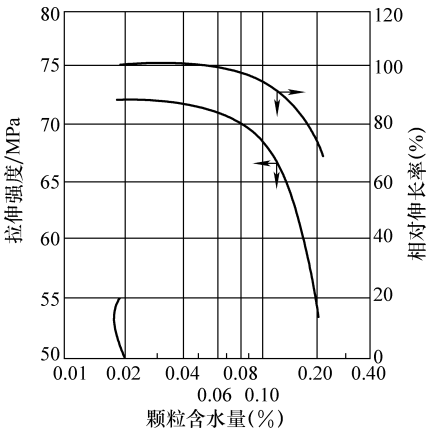


图 3-2 颗粒含水量和拉伸强度、
相对伸长率的关系

此外，水分的存在还会对制品的内应力产生影响，即含水量越高，所得制品的内应力也就越大。表 3-22 是树脂中含水量与制品在 CCl₄ 中的开裂时间关系。

表 3-22 树脂含水量与制品在 CCl₄
中开裂时间的关系

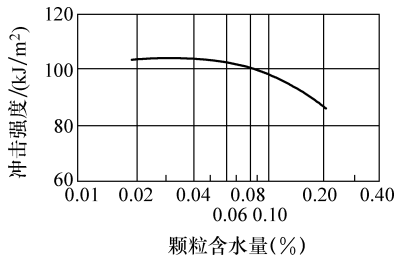


图 3-3 颗粒含水量和冲击强度的关系

树脂含水量 (%)	浸入 CCl ₄ 中开裂时间/s
0.025	22
0.050	17
0.075	15
0.125	16
0.150	3
0.180	原已开裂, 浸入后即延伸

由上可知,聚碳酸酯树脂必须经过充分的干燥,以使含水量降至 0.02% 以下,最好在 0.015% 以下,方可进行注射。

适用于聚碳酸酯树脂干燥的方法有多种,常用的有热风循环干燥、直结式料斗干燥、负压沸腾干燥、真空干燥等,其干燥工艺因方法的不同而各有差异,表 3-23 为常用干燥方法与干燥工艺条件。

表 3-23 常用干燥方法与干燥工艺条件

干燥方法	干燥工艺条件	干燥方法	干燥工艺条件
热风循环干燥	干燥温度: 120 ~ 130℃ 干燥时间: 6h 以上 料层厚度: 小于 30mm	负压沸腾干燥	干燥温度: 120 ~ 130℃ 干燥时间: 1 ~ 2h
直结式料斗干燥	干燥温度: 115 ~ 120℃ 干燥时间: 2 ~ 3h 加料量: 料斗最大容量的 50% 以上	真空干燥	干燥温度: 110 ~ 115℃ 干燥时间: 20h 以上 料层厚度: 小于 40mm

有关干燥效果的检验,可通过水分测定仪,或压片法,或对空慢速自由注射法等方法予以了解,其中后两种方法运用较多。

必须指出,经干燥处理后的颗粒如若露置在空气中,则会因空气中水分的影响而导致重新吸湿,重新吸湿后的聚碳酸酯对所得制品影响情况见表 3-24。

表 3-24 露置时间与影响情况

露置时间/min	含水量(%)	制品相对分子质量 $\bar{M}$	冲击强度/(kJ/m ²)	制品外观
0	0.019	23500	—	—
2	0.020	22600	97	良好
30	0.029	22300	96	良好
80	0.042	21600	80	有银丝与气泡

由此可见,对于经过干燥的颗粒除了及时进行成型之外,保温工作十分重要。保温可采用红外灯或其他装置,温度要求不低于 100℃,对于无保温装置的料斗,一次加料量最好不超过 30min 的用量,并用盖盖严。

(2) 工艺条件与控制

1) 成型温度。对于大多数聚碳酸酯制品,机筒温度应控制在 250 ~ 310℃。温度过低,因粘度大,供料不足,制品表面收缩或起皱纹,无光泽,银丝紊乱;温度过高或高于 310℃ 而停留时间过长,会造成严重降解,制品带飞边,转为暗褐色,表面有银丝暗条、斑点和纹迹,内部有气泡,各种性能都变劣。具体机筒温度的确定与制品的壁厚及注射机类型有关。薄壁(2mm 以下)制品,机筒温度应偏高,在 285 ~ 305℃ 为好;厚壁(大于 10mm)制品,机筒温度可略低,以 250 ~ 280℃ 为宜,若温度超过 290℃,由于注射周期长,过热分解的倾向就会增大,影响制品的综合性能。

不同类型的注射机,机筒温度也不一样,螺杆式为 260 ~ 285℃,柱塞式为 270 ~

310℃。所以尽量采用螺杆式注射机,这样可使塑料在较低的机筒温度下均匀塑化,从而避免因温升过高或停留在机筒中受热时间过长而引起过热分解。

喷嘴温度应低一点,与机筒前段温度相等或稍低 5~10℃。温度过高,容易出现流延现象,过低会引起喷嘴堵塞或使制品中有低温物料而造成缺陷。两类注射机上的喷嘴都应加热,温度控制在 260~310℃。加料口一端的机筒温度应控制在聚碳酸酯的软化温度以上,一般要求大于 230℃,以减少料塞的阻力和注射压力的损失。

2) 模具温度。聚碳酸酯成型温度高,冷却速度快,很容易使制品表面产生缺陷,内部形成应力。为了避免这些问题,模具温度应尽可能高。对大多数制品,模温控制在 80~120℃,其中薄壁制品偏低(80~100℃),厚的制品稍高(100~120℃)。模温过低,制品可能难充满或带有收缩率大、波纹、毛斑、暗条等缺陷。更严重的是残余应力大,往往一出模就开裂了;但模温过高(高于 120℃),制品不能很快冷却,成型周期长,表面光泽差,且易发生粘模,脱模困难,使制品翘曲变形。

3) 注射压力。聚碳酸酯的熔融粘度较高,成型薄壁长流程或外形复杂、交汇部位多的制品以及不采用高压快速注射不足以充满型腔的制品,需要较大的注射压力。其他应尽可能采用低压慢速,以减少制品的残余应力。当采用高压快速时,熔体流动速度快,且以不规则形式前进,出现涡流,有可能混入空气,表面产生熔融裂纹,内部残留应力大。但注射压力也不能过低,否则柱塞或螺杆难以克服熔体的流动阻力,会使型腔内冷却的熔体因不能补给新料而收缩,使制品变形收缩率增大。一般注射压力为 98~156MPa,而螺杆式注射机为 78~127MPa。

注射速度约为 8~10m/s。注射速度过快,对稳定充模不利,制品易出现银丝纹、旋纹、烧伤等缺陷。保压时间对制品性能影响较大。保压时间短,制品收缩或出现收缩空洞、真空泡;加长保压时间,特别是对大面积厚壁制品,可增加其密度,消除真空泡,使尺寸稳定。但保压时间过长,由于是强行充模,又会使制品产生内应力,容易开裂,同时还会延长成型周期。所以,为了减小内应力,获得各项性能良好的制品,一般采用较低的保压压力和较短的保压时间。

塑化压力(背压)约为注射压力的 10%~15%。背压过大会加长预塑时间,可能导致聚碳酸酯过热降解;过小则不利于物料排气、熔料致密以及熔料的温度和色泽均匀。

(3) 注意事项 聚碳酸酯在注射过程中需注意以下几点情况。

1) 脱模剂。聚碳酸酯是透明性材料,在成型过程中一般不推荐使用脱模剂,以免影响制品的透明度,造成斑纹或开裂,对脱模有困难,确需脱模剂以助脱模的制品,可使用一些硬脂酸或硅油衍生物作脱模剂,但其用量一定要严格控制。

2) 嵌件的使用。由于金属与塑料在热胀系数上的差别较大,易使金属嵌件与塑料相接的界面形成很大的内应力,这在聚碳酸酯中表现较为突出,使制品在使用过程中容易出现开裂现象,因此除了尽可能减少金属嵌件使用数量以及对制品进行必要的后处理之外,嵌件应避免锐角或缺口的存在,在成型加工中应将嵌件进行预热(一般要求达 200℃左右),以缩小金属件与熔体之间的温差,使嵌件在与树脂熔体接触时,至少有 120℃以上的温度。对有嵌件的制品,其树脂最好选用相对分子质量大一些的品级。

3) 再生料的使用。由于聚碳酸酯具有较好的热稳定性，因此对于加工中出现的浇口、流道以及不合格制品，经破碎后是可以重复使用的。当然，在再生料使用时，还应注意对制品性能会带来影响。表 3-25 ~ 表 3-29 分别表示再生料与相对分子质量、黄色指数、拉伸强度、最小填充压力以及冲击强度的关系。

表 3-25 再生料与相对分子质量的关系

再生料含量 再生次数	10%	20%	30%	40%	50%	100%
0	21900	21900	21900	21900	21900	21900
1	22100	22000	22000	21900	21800	21800
3	22100	22000	21900	21800	21800	21100
5	22100	22000	21900	21700	21800	20800
7	22000	22000	21800	21500	21600	20200

表 3-26 再生料与黄色指数的关系

再生料含量 再生次数	10%	20%	30%	40%	50%	100%
0	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9
1	5.2	5.6	5.7	6.0	6.3	7.7
3	5.2	5.6	6.1	6.6	7.3	13.2
5	5.3	5.6	6.2	6.7	7.6	19.0
7	5.2	5.7	6.3	6.7	7.7	24.8

表 3-27 再生料与拉伸强度的关系 (单位: MPa)

再生料含量 再生次数	10%	20%	30%	40%	50%	100%
0	71	71	71	71	71	71
1	71	71	71	71	71	71
3	71	71	71	70	70	69
5	71	71	70	69	69	67
7	71	71	70	69	68	65

表 3-28 再生次数与最小填充压力的关系

再生次数	0	1	2	3	4	5	6	7
最小填充压力/MPa	67	62	57	53	51	50	49	47

注: 100% 再生料。

表 3-29 再生料与冲击强度的关系

(单位: kJ/m²)

再生料含量 再生次数	10%	20%	30%	40%	50%	100%
0	82	82	82	82	82	82
1	81	80	78	77	74	67
3	81	79	76	72	67	55
5	80	79	75	70	64	43
7	80	78	73	67	60	35

从表中不难看出,随着再生料使用量的增加和再生次数的增加,都将对聚碳酸酯产生一定的影响。为了保证制品的质量和性能的稳定性,要求再生料的再生次数不要超过三次,使用量为 20% 左右。

对于再生聚碳酸酯,除了注意防止污染外,在成型加工之前,还需经过严格的干燥处理。

4) 换料机筒与停机。

①机筒清洗。开机时,当机筒内所存物料为聚碳酸酯时,用新料在成型温度下将旧料推出即可(一般 2~3 次的对空注射过程)。若机筒内所存的料为聚氯乙烯、聚甲醛等成型温度较低、热稳定性稍差的树脂时,就不可用聚碳酸酯推洗机筒,也不可升高机筒温度,而应在低温下,用聚乙烯、聚苯乙烯等热稳定性较好的树脂将机筒清洗干净。然后升高机筒温度至聚碳酸酯加工温度,用聚碳酸酯再生料将机筒再清洗一下,排空其他树脂,方可用新料进行加工。

②停机。对需作临时停机或中止生产时,要求将机筒温度降低至 160℃ 以下,以免停机时间过久而引起物料的降解变色。当加工任务已完成时,可用聚苯乙烯、聚乙烯等树脂清洗机筒,然后降温停机。

5) 制品的后处理。热处理是为消除聚碳酸酯制品内应力而采取的措施,热处理的介质为空气、甘油、液体石蜡等,其中因热空气清洁简便,故使用最为普遍。聚碳酸酯制品的热处理温度,要求控制在其玻璃化温度(T_g)以下,大都是在 110~135℃ 之间,热处理的时间视制品尺寸、形状、使用要求以及热处理介质的不同,可由几十分钟到数十小时不等。

实际上,想以热处理方法来达到完全消除内应力是很困难的,而只能将制品中的应力值降到允许范围内。因此制品中多少仍残留有一定的内应力。有关内应力情况可通过偏振光仪或极性溶剂进行测定了解。其中极性溶剂法是加工厂普遍采用的一种检测手段。极性溶剂法是将聚碳酸酯制品浸入某些溶剂内,根据开裂的时间和开裂情况,判断其应力的大小和分布情况,表 3-30 所列为几种溶剂在 20℃ 下与聚碳酸酯制品的极限应力关系,其中四氯化碳为日常使用较多的一种溶剂。

5. 聚碳酸酯注射成型中不良现象、发生的原因及解决方法

(1) 注射量不足、欠料、注不满型腔

表 3-30 几种溶剂与极限应力的关系

(单位: MPa)

溶剂介质	导致开裂的极限应力	溶剂介质	导致开裂的极限应力
苯	2.0	环己烷	10.0
四氯化碳	7.0	乙醇	18.0
乙醚 + 丙酮	7.0	甲醇	19.0

- 1) 注射机能力不足。应更换合适的注射机。
- 2) 树脂流动性不好, 不能满足注射成型要求。应更换注射专用牌号的原料。
- 3) 机筒温度偏低。应提高机筒温度, 调定范围为 230 ~ 300℃。
- 4) 喷嘴温度偏低。应提高其温度, 调定范围为 230 ~ 250℃。
- 5) 注射压力不足。应提高注射压力, 调定范围为 70 ~ 150MPa。
- 6) 模具排气不良, 型腔内残存空气造成注射欠料。应清理排气系统, 必要时应增设排气孔, 使其排气通畅。

7) 流道太细、浇口截面太小, 阻力太大。应更改模具, 加粗流道, 扩大浇口使物料能顺利注入。

8) 熔体在型腔内流动距离太长, 注不到位。应重新改进模具容量, 缩短流动距离, 还可设置冷料井。

9) 制品壁厚太薄。应根据制品使用要求尽量增加壁厚, PC 壁厚应小于 3mm。

10) 喷嘴溢料。应提高注射压力, 控制范围为 70 ~ 150MPa。

(2) 制品产生飞边

1) 注射机锁模力低。应提高锁模力, 将注射机锁模力增至能锁紧模为准, 如若达不到, 应考虑更换注射机。

2) 模具分型面不合理。应根据具体情况修改分型面, 直至合适。

3) 模具变形或错位。应加以修理使其能正常工作。

4) 模具锁孔或导销磨损严重。应更换新导销或进行必要的修复, 使其工作正常。

5) 注射成型温度偏高。应适当降低机筒与喷嘴温度, 机筒温度应在 230 ~ 300℃ 之间加以调整, 而喷嘴温度的调定范围为 230 ~ 250℃。

6) 注射压力偏高。应适当降低, 调定范围为 70 ~ 150MPa。

7) 模具加工粗糙。应重新研磨、抛光, 以满足工艺要求为准。

(3) 制品出现应力开裂

1) 物料相对分子质量偏低, 成型中相对分子质量下降过大。应重新选择相对分子质量适宜的材料, 相对分子质量应为 $2.3 \times 10^4 \sim 3.2 \times 10^4$ 。

2) 原材料干燥不够。应重新干燥。

3) 成型温度过低。应提高机筒与喷嘴温度, 调定范围: 机筒温度为 230 ~ 300℃, 喷嘴温度为 230 ~ 250℃。

4) 模温太低。应适当升高模温, 调定范围为 90 ~ 110℃。

5) 模具结构不合理。应改进模具结构。

6) 脱模斜度不够。应加大脱模斜度。

7) 要杜绝强行脱模, 无论如何脱模, PC 制品出模后, 必须进行后处理。后处理条件为在 110 ~ 135℃ 下, 热处理几分钟至几小时, 按制品具体情况而定。

(4) 制品出现料流痕

1) 机筒温度过低。应适当提高机筒温度, 调定范围为 230 ~ 300℃。

2) 模温太低。应适当升高模温, 调定范围为 90 ~ 110℃。

3) 注射速度太慢。应提高注射速度, 调定范围为 1 ~ 5s/次。

4) 喷嘴孔径过小。应修改模具, 扩大喷嘴孔径, 以适应工艺要求。

5) 模具内未设置冷却井。应修改模具, 增设冷料井。

(5) 制品表面有气孔

1) 机筒温度太高。应适当降低机筒温度, 调定范围为 230 ~ 300℃。

2) 注射压力太低。应适当升高注射压力, 调定范围为 80 ~ 130MPa。

3) 制品壁厚太大。应减薄制品壁厚, 调定范围为 1.5 ~ 5.0mm。

4) 流道太细, 浇口太小。应适当修改模具, 加粗流道, 扩大浇口, 满足工艺需要。

(6) 制品出现银纹

1) 真空干燥法: 干燥温度为 110 ~ 115℃, 干燥时间 20h 以上, 料层厚度小于 40mm。

2) 排气系统不合理, 模具排气不良。应修改模具排气系统, 使排气畅通, 满足工艺要求。

3) 喷嘴与模具接触不良。应调整两者的位置与几何尺寸, 使其正确配合以满足工艺要求。

4) 如银纹总在一定部位有规律性出现。应检查模具相对应部位是否存有表面伤痕, 如果存有, 应采用机加工、抛光等方法将其消除。

5) 不同规格原材料混用。应更换原材料, 使用相同规格、同批次原料。

(7) 制品出现冷接痕

1) 物料温度偏高。应适当降低料温, 通常调整机筒温度, 调定范围为 230 ~ 300℃。

2) 模具温度偏低。应适当升高模温, 调定范围为 90 ~ 110℃。

3) 注射速度太慢。应提高注射速度, 调定范围为 1 ~ 5s/次。

4) 模具内未设置冷料井。应改进模具, 重新设置冷料井。

5) 模具结构设计不合理。应进行修改至合格, 或者更换模具。

6) 型腔表面沾有异物或杂质。应彻底清理模具。

7) 浇注系统不合适。应修改浇注系统, 改善充模条件, 采用环形浇口或多点浇口为好。

8) 模具排气不良。应改进排气系统, 使其畅通排气, 满足工艺要求。

9) 原材料挥发物含量高。应事先对原材料进行干燥处理, 除去挥发物。

(8) 制品出现气泡

1) 原材料水分含量过高。应重新对原材料进行干燥处理。

- 2) 注射压力太低。应适当提高注射压力, 调定范围为 70 ~ 150MPa。
 - 3) 浇口太小、流道太细。应修改模具, 扩大浇口, 加粗流道, 使物料流动顺畅, 以满足工艺要求。
 - 4) 制品壁厚变化太大。应对制件壁厚加以修改, 壁厚应控制在 3mm 以下, 防止壁厚急变, 设计成合理形体结构, 以适应工艺要求。
 - 5) 熔体分解物形成。应重新设定机筒温度。检查流道温度是否太高并加以调整。
- (9) 制品出现龟裂或白化
- 1) 物料温度太低。应适当提高机筒温度, 调定范围为 230 ~ 300℃。
 - 2) 模具温度偏低。应升高模具温度, 调定范围为 90 ~ 110℃。
 - 3) 浇口系统设计不合理, 使熔体流动紊乱。应重新设计并修改浇口, 使熔体流动顺畅。以满足工艺要求为准。
 - 4) 冷却时间太短。应延长冷却时间, 调定范围为 20 ~ 50s。
 - 5) 脱模顶出机构不合适。应加以修改, 使顶出机构正确工作到位, 以满足工艺要求。
 - 6) 注射速度太快。应降低注射速度, 调定范围为 1 ~ 5s/次。
 - 7) 注射压力过高。应降低注射压力, 调定范围为 70 ~ 150MPa。
- (10) 制品出现翘曲变形
- 1) 模具温度偏高。应降低模温, 调定范围为 90 ~ 110℃。
 - 2) 冷却时间短, 制品冷却不足。应适当延长冷却时间, 调定范围为 20 ~ 50s。
 - 3) 冷却不均匀。应改善冷却系统结构, 提高冷却效率, 特别是细长制品还应采取特殊冷却措施, 如胎具固定冷却法或其他方法。
 - 4) 浇口设计不合理。应重新设计, 加以修改, 选用合理的浇口形式, 以满足工艺要求为准。
 - 5) 模具型芯偏差太大。应进行检查修改, 如果不行, 要重新设计制作。
 - 6) 凸凹模温差过大。应减少其温差, 将其温差调至 5℃ 左右即可。
- (11) 制品产生真空泡
- 1) 原材料流动性能不好。应选用流变性适应的树脂, 选用注射成型用 PC, 流动速率为 1 ~ 9g/min。
 - 2) 机筒温度过高。应适当降低其温度, 调定范围为 230 ~ 300℃。
 - 3) 注射压力偏低。应升高注射压力, 调定范围为 70 ~ 150MPa。
 - 4) 模具温度偏低。应提高模温, 调定范围为 90 ~ 110℃。
 - 5) 保压与冷却时间偏短。应延长其时间, 调定范围为 20 ~ 80s。
 - 6) 浇注系统不合理。应加以改进, 加大主流道及分流道浇口的尺寸。
- (12) 制品脱模不良
- 1) 注射压力太大。应降低注射压力, 调定范围为 70 ~ 150MPa。
 - 2) 注射速度太快。应降低注射速度, 调定范围为 1 ~ 5s/次。
 - 3) 型腔表面粗糙, 阻碍脱模。应采取必要措施, 如研磨、抛光或电镀来降低型腔粗糙度, 以利于脱模。

4) 脱模斜度不够。应加以改进或检修模具, 使之满足工艺要求, 使制品顺利脱模为准。

5) 模温与冷却时间控制不当造成, 通常制品的冷却时间应控制在 15 ~ 60s 之间。当制品黏附在芯模处时, 应提高模温并缩短冷却时间; 若制品黏附在型腔内, 应降低模温, 延长冷却时间。针对具体情况采取适当措施, 以满足工艺要求为准。

6) 脱模顶出机构不合适。应加以改进, 以满足工艺要求为准。

7) 成型周期过短。应延长成型周期, 调定范围为 50 ~ 130s。

(13) 玻璃纤维增强 PC 注射成型时玻璃纤维分散不匀

1) 机筒温度太低。应适当提高, 机筒温度应控制在 230 ~ 300℃ 之间。

2) 螺杆背压不足。适当调定背压, 调定范围为 7 ~ 30MPa。

3) 螺杆压缩比及长径比太小。应适当加大, 压缩比一般为 2.5:1, 长径比至少为 17:1。

(14) 制品表面光泽不好

1) 注射速度太慢。应适当加快, 调定范围为 1 ~ 5s/次。

2) 模具温度太低。应升高模温, 将模温控制在 90 ~ 110℃ 之间为好。

3) 保压不足。应适当延长保压时间, 调定范围: 保压压力为 40 ~ 50MPa, 保压时间为 20 ~ 80s。

4) 熔料温度太低。应适当降低机筒及喷嘴温度, 机筒温度应为 230 ~ 300℃, 喷嘴温度应在 230 ~ 250℃ 之间。

(15) 制品产生烧焦

1) 料温太高。应适当降低机筒及喷嘴温度, 机筒温度应在 230 ~ 300℃, 喷嘴温度应在 230 ~ 250℃ 之间。

2) 熔料在机筒中滞留时间太长。应缩短注射周期或采用规格较小的注射机, 注射周期调定范围为 50 ~ 130s。

3) 机筒或喷嘴处有滞料死角。应清除滞料, 消除死角。

4) 模具排气不良, 模具内的空气受到绝热压缩, 形成高温高压气体将物料烧焦。应合理设置排气系统, 一般排气沟槽的尺寸深为 0.05 ~ 0.1mm, 宽为 1 ~ 2mm。

(16) 制品中纤维与树脂不相容, 产品强度低下

1) 未对玻璃纤维进行预处理造成, 因为玻璃纤维都带油脂, 使用前应进行预处理, 进行脱脂、去污处理。

2) 未用偶联剂处理。因为玻璃纤维与树脂相容性差, 掺混前必须先用偶联剂对纤维进行表面处理, 方可与树脂粘接牢固。

3) 料温不当。应适当调整, 机筒温度应为 230 ~ 300℃, 喷嘴温度应在 230 ~ 250℃ 之间, 模具温度为 90 ~ 110℃。

4) 压力控制不当。应当加以调整, 调定范围: 注射压力为 70 ~ 150MPa, 保压压力为 40 ~ 50MPa。

5) 注射时间控制不合理。应加以调整, 调定范围为 1 ~ 5s, 保压时间为 20 ~ 50s, 成型周期为 50 ~ 130s。

(二) PC 光盘的注射成型

与常规的信息介质磁带、磁盘相比,光盘在信息存储容量、使用寿命、保真性、信噪比、信息价格比等方面具有巨大的优势。随着音像业和信息业的发展,小型音频盘 CD、激光视盘 LVD、视频盘 VCD 等逐渐进入千家万户,软件用光盘 CD-ROM 也迅速普及,光盘产量稳步增长。

1. 选材

光盘材料要求光学性能好、透光率高、双折射低、尺寸稳定性好、高玻璃化温度和热变形温度、低膨胀率、低吸湿性;力学强度高、抗刮伤性和耐磨性好;加工性好、易流动、适合模塑加工、成型收缩率低;密度低;化学稳定性好。

Bayer 公司最早推出市场化的 DVD 级 PC 树脂牌号为 Makolon DP11265,其熔体流动速率为 8g/10min,GE 公司推出了 LexanOQ1030L,熔体流动速率为 7g/10min;Dow 化学公司的 Calibre1080 DVD 熔体流动速率为 8g/10min;日本帝人化成公司的 Panlite AD5503S、AD5503X 熔体流动速率为 8g/10min。这些 DVD 级聚碳酸酯的合成采用了新工艺,产品质量稳定、相对分子质量控制恰当、纯度极高、加工性能好、脱模性优良、表面光洁,比 CD 级 PC 的加工稳定性、耐粘合剂稳定性、耐湿气稳定性等都有很大的提高,并且泛黄指数和雾度指数都明显降低。DVD 级 PC 都可用于 CD 光盘的生产。

2. 光盘注射成型工艺

光盘是用专门的光盘注射机成型的,要求使用的机器和控制系统非常精密,原料 PC 在运输和使用前要一直处于真空包装状态,使用前需在 120℃ 至少干燥 3h。

PC 是无定型聚合物,分子主链中有多个亚苯基,使得 PC 分子链的刚性很大,分子间作用力较强,刚性链彼此缠结,不易相对滑动,因而玻璃化温度、熔化黏流温度、熔体粘度都较高,受外力强迫取向后,不易松弛,制品中往往残留较大的内应力。PC 的流动性随相对分子质量的增加而下降,光盘级 PC 的相对分子质量比通用级 PC 小。PC 在熔融状态下的流变性接近牛顿型,熔体粘度对剪切速率不敏感,主要与熔融温度相关,随加工温度的升高,粘度明显下降,流动性增加。

光盘品质要求的主要指标是低双折射、良好的坑点复制和盘片平整性。这三个因素是紧密相关的,不同的成型加工条件对它们的影响也不相同,良好的光盘成型必须在满足以上要求前提下的优化工艺下进行。

(1) 注射速度 对注射成型工艺而言,提高注射速度可以增加熔料的流动值,方便充模,缩短成型周期。但对 PC 而言,过快注射会出现缩孔和流痕而影响质量,同时过高的注射速度使物料经过浇口时剪切力增加,易造成树脂降解,产生盘片缺陷。若增大浇口尺寸,使充模平缓,但会增加双折射光程差,降低光盘的品质。要获得低的双折射,必须有较高的注射速度、合适的浇口尺寸。

(2) 温度 温度控制分为模具温度和机筒温度两部分。模具温度的高低对光盘质量有很大的影响,模温过低,冷却速度快,充模困难,容易造成 PC 分子构象的不均衡而产生内应力,使制品形成缩孔和凹坑等缺陷。冷却过程强迫取向的 PC 分子链不易松弛,在使用过程中会发生应力开裂。提高模温,可增加型腔流动性,完善充模,减少内应力,但过高的模具温度增加了冷却时间,使成型周期延长,效率下降,并且制品易发

生翘曲变形,影响光盘平整性。

机筒温度对 PC 的熔融塑化有很大影响,机筒温度较低时,塑化不良、流动性差,充模不满,制品表面出现波纹或粗糙无光泽。在较高温度下成型,熔体粘度较低,流动性好,易充模,在模腔内定向作用小,内应力小,制品强度高,性能好。但若温度过高,PC 会分解,光盘颜色变深,表面出现银纹、暗条等,严重影响制品质量。

提高料温会降低双折射,利于坑点复制。由于光盘级 PC 相对分子质量小,高温经历会降低熔体稳定性,温度过高会造成物料加工范围变窄,并延长成型周期。因此,选用恰当的原料与合适的注射温度非常重要,光盘级 PC 的成型温度比通用级 PC 要高一些。

(3) 压力 PC 熔体接近牛顿流体,注射压力对成型工艺和制品性能的影响并不十分明显,但注射速度会随注射压力的增加而增大,注射压力太小时,就难以克服熔体流动阻力,使模腔内逐渐冷却的熔体缺少及时的补料而产生收缩,造成制品缺陷。高压、高速注射时容易造成分子取向,产生内应力。

在保压补缩阶段,熔体温度逐渐下降,粘度急剧升高,若保压压力过高,时间过长,极易导致分子链强迫取向,产生内应力,影响盘片质量。保压压力及时间的确定应以浇口尺寸及浇口冻结时间决定。合适的保压压力、较短的保压时间不仅减少操作复杂性,而且提高效率。

双折射和坑点复制与冷却时间关系密切,这期间锁模力的大小也是影响盘片品质的重要因素。锁模力低时,模具能够在注射和冷却间隙,使盘片在片厚方向出现低内应力的均匀收缩,并且坑点复制良好。为了进一步改善盘片的冷却和收缩状况,有些锁模系统在锁模过程中具有不同的锁模力。

(4) 成型周期 成型周期包括注射、冷却、开合模具等完成一次加工循环所需的时间。成型周期的长短决定了 PC 在机筒中的停留时间、物料温度的均匀性,其对熔体粘度、加工质量有决定性影响。PC 光盘的发展最明显的特征是成型周期的缩短,目前高效率规模化生产的需要使 CD 成型周期已降至 3s 以下。

3. 光盘缺陷分析及解决措施

表 3-31 给出了在加工过程中可能出现的光盘缺陷及解决措施。

表 3-31 加工过程中光盘缺陷及解决措施

加工阶段	光盘缺陷	故障分析	解决措施
存储	流延 银丝 气泡 黑斑	原料受潮 原料污染	烘干物料 选用清洁料
塑化	表面斑痕信号偏差 双折射偏高	螺杆转速太快 熔料温度低	调节转速及转矩 提高料温

(三) PC 公路路标反光镜注射成型

1. 选材

公路路标要求在 50kN 的压力下不变形不开裂,因此必须选择相对分子质量较大的

树脂。众所周知,聚碳酸酯的相对分子质量越大,分子链越长,分子间相互作用力越大,产品的力学强度越高。根据以上原理选择了美国通用电气公司的 Lexan-181 型超高粘度树脂。根据对反光镜片的颜色要求为透明橘黄,因此选用了江苏昆山有机化工厂生产的荧光透明橘黄 G, 耐温 300℃。

2. 主要设备

聚碳酸酯的粘度高,加工温度高,为了使树脂熔融塑化好,熔体温度均匀,选用了 125g 螺杆式注射机。喷嘴为敞开延伸式,并配有单独控制的加热装置,压力损失小,利于补料。

3. 制备工艺

(1) 树脂干燥 干燥条件为:干燥温度恒温在 $(120 \pm 5)^\circ\text{C}$,料层厚度不超过 25cm,干燥时间 24h。把干燥好的树脂加入注射机的远红外干燥料斗,保温 100℃ 避免二次吸湿。规范化干燥工艺,注射加工中的反常现象不再出现。

(2) 工艺条件控制

1) 模具温度。模具温度与聚碳酸酯的内应力有着明显的关系,应力值随树脂熔体与模具间温度差的增大而增加。模温低产品内应力增大,模温太高产品易变形,成型周期长,生产效率低。应把模温控制在 70 ~ 90℃。

2) 注射温度。聚碳酸酯熔融后的熔体粘度较高,对温度的敏感性比对剪切速率的大。在制品不足时,采取提高机筒温度的办法来解决,而不是提高注射压力。选用的机筒温度为前 270 ~ 280℃、中 250 ~ 260℃、后 220 ~ 240℃。以上温度均指机筒表面温度。喷嘴温度比机筒前部低 5 ~ 10℃。

3) 注射压力及保压。注射压力过大会增加制品的内应力。为此,在保证熔料充满模具的前提下应选择较低的注射压力,选用 70 ~ 80MPa。

保压时间的长短对制品内应力有显著影响,内应力随着保压时间的延长、补料量的增加而增大。当螺杆预塑退回后仅保压几秒钟即开模,已满足了制品密实不收缩的要求。

4) 退火。注射生产中不论如何调整工艺条件,总不可避免制品内应力的产生。内应力降低了制品对光、热以及腐蚀介质的抵抗能力,在环境作用下发生应力开裂。

退火是使制品消除内应力的有效措施。采用普通烘箱退火,即把制品放入烘箱加热到 110 ~ 125℃,保温 1h 左右,然后在烘箱中自然冷却至室温。

4. 几种缺陷及解决办法

(1) 模糊斑 反光镜片要求有很好的透明度及表面粗糙度,首先遇到的问题是制品表面有浇口处出现半圆形模糊斑。造成这种现象的原因可能是熔体进入模腔的初始阶段速度太快,容易拖曳浇口附近的熔体滑移而在制品表面留下没有光泽的疵点斑痕。最好的解决办法是多级注射,而现有设备不能满足这一需要。因此采取逐渐降低注射压力的办法,以使制品能充满模具的最低注射压力为生产条件。注射压力的降低相应降低了注射速度,因此解决了模糊斑问题。

(2) 银丝 虽然对原料进行了严格的干燥,但在加工过程中有时制品仍出现银丝。这可能是设备表面温度与物料实际温度不符,加工温度过高使物料分解产生气体所致。

另外注射机螺杆压缩比不够而在螺槽中混入空气也是产生银丝的原因之一。通过调整成型温度,加大螺杆背压克服了银丝现象。

(3) 制品翘曲 在生产无色透明反光镜片时没出现翘曲现象。在同样的设备和加工条件下生产透明橘黄色镜片时发现制件翘曲。这可能是色母料的影响。翘曲的方向是朝定模板一方。所以认为喷嘴一直顶住定模板使其温度较动模板高,造成一定的模具温差也是原因之一。因此在注射橘黄色制品时采取注射座整体后退的方式生产克服了翘曲现象。

(四) PC 结构发泡制品(线路板抽屉)注射成型

结构发泡塑料制品是一种具有致密表层、内部为微孔结构的连体发泡材料,其单位质量的强度和刚度都比同种未发泡材料的高,由于该制品内部应力集中小,故使用过程中也不易产生大的变形。结构发泡注射成型一般适用于厚壁塑料制品(壁厚 5mm 以上),可解决普通注射成型中无法克服的问题,即制品的收缩。

1. 选材

PC(聚碳酸酯),结构发泡级,牌号 FL-900,密度 $1.21\text{g}/\text{cm}^3$,拉伸强度(6.35mm 厚) 50MPa,弯曲强度(6.40mm 厚) 89MPa,GE 公司产;牌号 SF-800,密度 $1.23\text{g}/\text{cm}^3$,拉伸强度(断裂) 42MPa,弯曲强度 76MPa,Bayer 公司产。发泡剂为高温化学发泡剂,FLC95 是 GE 公司的一种高温发泡剂,SFC-1 是 Bayer 公司的一种浓缩化学发泡剂。

2. 主要设备

TTI-7440/800 型东华牌(COSMO)注射机,螺杆直径 110mm,普通型螺杆,锁模力 8MN;另外还有 SKK MFG42 D 型混料机。

3. 制备工艺

PC 结构发泡注射成型是一个复杂的过程。在这个过程中,各个工艺参数及发泡剂、喷嘴等的使用,将直接影响到制品的质量。下面以制作线路板抽屉(壁厚 5~10mm,浇口根部直径 12mm,产品规格长×宽×高为 470mm×350mm×100mm,中间为栅格状)为例,来说明其工艺过程。

生产工艺流程如图 3-4。

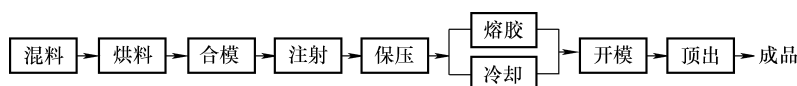


图 3-4 PC 结构发泡制品的生产工艺流程

所得 PC 结构发泡制品的密度为 $0.9 \sim 1.1\text{g}/\text{cm}^3$,发泡倍率可调节,产品落锤冲击(1kg, 1m 高)试验不裂、不碎。

(五) PC 小模数齿轮注射成型

1. 选材与性能

聚碳酸酯是一种新颖的热塑性塑料。突出的特点是弹性模量、冲击强度和拉伸强度高。具有良好的电性能,同时又具有优异的尺寸稳定性,蠕变小,适于注射成型高精度

的制件。聚碳酸酯已被机械、汽车、仪器仪表、无线电、电器等行业广泛使用。故选用沈阳化工研究院产的 PC。

国产（沈阳化工研究院）聚碳酸酯的性能列于表 3-32。

表 3-32 国产（沈阳化工研究院）聚碳酸酯的性能

项 目	指标	项 目	指标
密度/(g/cm ³)	1.20	成型收缩率(%)	0.5~0.6
拉伸强度/MPa	6~70	吸水率 20°水浸(24h)(%)	0.16
伸长率(%)	100~130	耐燃性	自熄
拉伸模量/MPa	2100	体积电阻率(20℃)/Ω·cm	2×10 ¹⁷
弯曲强度/MPa	106	相对介电常数(50Hz)	3.17
压缩强度/MPa	83~88	(10 ³ Hz)	3.12
冲击强度(Charpy 法带刻痕缺口)/(kJ/m ²)	20~24	介电损耗因数(tanδ)(50Hz)	7×10 ⁻⁴
洛氏硬度	M80	(10 ³ Hz)	1×10 ⁻³
马丁耐热/℃	116~120	介电强度/(kV/mm)(50Hz,25mm)	18~20
线胀系数/K ⁻¹	5×10 ⁻⁵	(50Hz,50V)	>100

2. 主要设备

聚碳酸酯可在各种注射成型机上进行加工，它具有较高的熔融温度和熔融粘度，因此较聚苯乙烯等热塑性塑料需要更多的热量用于塑化，所以对于成型高于 200g 的大型制件，最好采用带有螺杆预塑的注射成型机。

成型小模数齿轮，主要是在国产 601 型卧式注射机上成型的（为活塞式）。

3. 制备工艺

聚碳酸酯能以注射、挤压、吹塑和真空成型等一般热塑性塑料成型方法加工。但由于聚碳酸酯与其他热塑性塑料相比，其熔点较高且熔融粘度大，以及高温下对微量水分敏感，还由于聚碳酸酯冷流性小，在成型加工中产生的内应力不易自消，常使制品出现裂纹，比一般热塑性塑料较难加工，成型时必须予以充分注意。

(1) 粒料预热干燥 聚碳酸酯最突出的特点之一，就是在高温下对微量水分的敏感性，在成型前与成型过程中都必须严格地保持粒料干燥状态，因为在熔融状态下，即使微量的吸湿，也会使聚碳酸酯分解（也叫降解），而放出 CO₂ 等气体，以致制品质量急剧下降，因此，要求干燥后的树脂含水量不大于 0.05%。

聚碳酸酯往往因为树脂造粒后干燥不彻底，以及储存环境条件的变化使其吸湿，尽管聚碳酸酯在常温下吸水率是很小的，但由于它在高温下对微量水分的敏感，根据国产聚碳酸酯的原始干燥以及包装储存情况，目前还是不够理想的，成型前树脂的干燥处理尤为重要。

聚碳酸酯粒料干燥处理可在真空、鼓风和普通干燥箱中进行。其中以真空干燥效果最好。干燥条件取决于聚碳酸酯的原始含水量（即制造出厂的干燥处理良好否）以及

储存环境的影响。采用真空干燥箱进行干燥处理，其工艺条件见表 3-33。

表 3-33 工 艺 条 件

项 目	指 标	项 目	指 标
粒料相对失水量(%)	0.31 ~ 0.335	真空度/MPa	1.0
料层厚度/mm	15 ~ 20	时间/h	24
温度/℃	110		

聚碳酸酯干燥得是否彻底，最简单的方法是将粒料放在加热板上熔化观察，如有残留水分，则能看到气泡，更确切的，则是在注射成型实践中检验，即用最低的注射速度，使熔融物料在正常的注射温度下通过开口喷嘴流出，观察其料条的状况。

(2) 注射成型

1) 模温。成型聚碳酸酯时，对其模具温度必须严格控制，模温对制品质量影响甚大，一般来说模温高时，聚合物分子在流动中的取向和模塑内应力较小，结晶度较大。相反，模温低时，冷固速度加快，聚合物分子在流动中取向程度和内应力都要增大，结晶度减小（图 3-5）。

从聚碳酸酯的熔融特性与应力破裂现象来看，都不宜选用低模温度进行注射成型。如一定要选择低模温度时，则必须提高注射压力和成型温度，否则很难充满模腔。这对薄壁制品尤为重要，制品易产生裂纹。但当其模温超过 120℃ 时，则制品不能很快地冷固，粘附模具，脱模困难，制品容易翘曲变形，表面欠光亮，并要使注射周期加长。

通过实践，认为模具温度控制在 $(90 \pm 10)^\circ\text{C}$ 之间是适宜的。

2) 制品热处理。聚碳酸酯在注射成型中，往往由于物料在模具中的冷凝剪切应力，熔融体冷却速度不均以及脱模阻力等原因造成模塑内应力。聚碳酸酯链段的刚性大，模塑内应力难于自消，常使制品发生裂纹破坏。这是一个严重的问题，除了严格控制成型工艺条件：诸如注射温度、压力、周期、模具温度外，还必须进行消除内应力的处理。

消除内应力的途径很多，如：热处理、树脂共聚、增塑等。而最行之有效的，还是热处理。但热处理对其冲击强度有所降低，这一点在实际应用中必须充分予以注意。从图 3-6 中看出，在 110℃ 下处理 0.5 ~ 1h 效果最好，基本上保持了原有的性能。

在实践中，设想 110℃ 下一次处理及二次循环

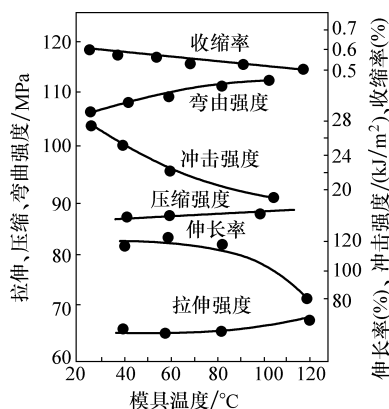


图 3-5 模具温度对制品性能的影响

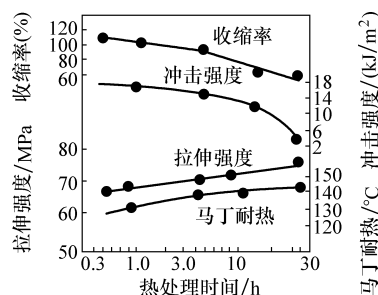


图 3-6 热处理对制品性能的影响

热处理，目的使其内应力充分消除。

热处理规范如下。

①普通一次热处理。温度：110℃；时间：1.5h；冷却：随烘箱冷却至室温取出。

②循环热处理。在105℃下加热1h，降温至50℃，再升温至110℃下保持1.5h进行二次循环热处理。

应该指出，聚碳酸酯制品进行机械加工之后，如车浇口、钻孔、压铆等，会产生加工内应力，必须进行热处理消除。

3) 成型工艺参数 根据工作实践，对聚碳酸酯齿轮的成型工艺参数归纳如下。

①制品规格 $m=0.6$ 、 $z=36$ 小齿轮；带浇口单件质量 $W=3\text{g}$ ；齿轮厚度 $d=4\text{mm}$ 。

②原料规格 沈阳化工研究院生产的聚碳酸酯；相对分子质量为25000~30000；外观为透明琥珀色片状料。

③预处理条件 相对失水量为0.31%~0.35%；干燥温度： $(110\pm5)^\circ\text{C}$ ；干燥时间：24h；真空度：1.0MPa；料层厚度：10~15mm。

④注射工艺条件 注射温度：头部200℃、前部250℃、后部230℃；模具温度：95℃；注射压力：50MPa；总周期：60s；其中保压时间：30s，冷却时间：15s。

⑤热处理条件 热处理温度：普通烘箱110℃；处理时间：1~1.5h；后自然冷却至室温。

在此工艺条件下生产的制品未经热处理，放入四氯化碳溶液中30~60s，没发现制品开裂现象，说明制件的内应力减小到允许值的范围内。经热处理效果更好，从而消除了应力自然开裂的现象。

4. 聚碳酸酯在成型加工中常见的缺陷及消除方法

PC小齿轮注射成型常见缺陷、原因与消除方法见表3-34。

表 3-34 PC 小齿轮注射成型常见缺陷、原因与消除方法

常见缺陷	产生原因	消除方法
表面有银丝状的纹路、分层脱	①树脂干燥不彻底，有残留水分所致 ②料斗温度低、潮湿，可能有吸湿现象 ③机筒温度过高，熔融料存得时间过长 ④模温过低 ⑤其他树脂混入	①彻底干燥树脂 ②使料斗保持干燥，温度保持在 $(100\pm10)^\circ\text{C}$ ③降低机筒温度，存料不要超过20min ④提高模温，使其不低于80℃ ⑤严格保管原料，严禁其他树脂混入
气泡、真空泡	①树脂干燥不彻底 ②模腔排气不合理 ③注射容量不足，注射压力不够 ④浇口位置选择不当 ⑤制件厚度变化太大，壁厚处会产生真空泡	①彻底干燥树脂 ②修理模具，使其排气合理 ③提高注射压力，增大注射容量，延长保压时间 ④合理设计浇口 ⑤一般壁厚应均匀，有变化处应使其缓慢过渡，浇口位置应选择壁厚处，并尽可能在壁厚处开设相应工艺孔，使其壁厚均匀，一般最大厚度，最好不超过5mm

(续)

常见缺陷	产生原因	消除方法
制品表面有缩瘪和不足	①注射压力过低 ②注射温度低，塑化不够 ③模温太低 ④制件壁厚太薄	①增大注射压力 ②提高注射温度，延长注射周期 ③提高模具温度 ④制件壁厚不宜太薄，一般小于 0.6mm 就很难成型了
黑点	①粒料中混入杂物 ②温度过高，塑化时间过长，料烧焦所致	①严格管理，不得混入杂物 ②降低温度，缩短塑化时间 ③每次停车前要采取降温至 100℃ 以下方可停车，使其机筒内已经塑化的料全部注射出来，否则余热也会导致其分解的
冷接缝	①浇口设计不合理 ②模具温度过低 ③成型温度过低 ④脱模剂过多	①采用环形浇口和多点式浇口 ②提高模具温度，使其不低于 80℃ ③提高机筒温度 ④不用或少用脱模剂
制件发脆应力破裂	①树脂相对分子质量过低 ②树脂干燥不彻底 ③模具温度太低 ④成型温度过低 ⑤塑化时间过长，熔融料已分解 ⑥冷料进入成型腔 ⑦脱模结构不良，强行脱模	①选用合格的树脂 ②彻底干燥 ③一定保证模具温度不低于 80℃ ④提高成型温度，特别注意喷嘴要加热，保证不使熔融料冷却 ⑤缩短塑化时间，注意停车前一定要降温至 100℃ 以下把机筒内已塑化料注射出来 ⑥喷嘴流延出来的冷流料一定清除干净 模具设计合理的冷料穴 ⑦最好采用套筒顶件脱模，脱模力要均匀 ⑧进行合理的热处理清除内应力

(六) 电线电缆用 PC 悬挂金具注射成型

1. 选材

聚碳酸酯 (PC) 与聚酰胺、聚甲醛、改性聚苯醚一起统称为四大工程塑料。1958 年由德国拜耳公司首次实现 PC 工业化生产以来，PC 的发展相当迅速。由于 PC 具有突出的冲击强度和耐蠕变性，较高的耐热性和耐寒性，它可在 -100 ~ 140℃ 范围内使用，并具有良好的电性能，因此在许多领域都得到了充分的应用。故而，选用 PC 作原材料。

2. 主要设备

- (1) 注射机 通用注射机，注射量为制品质量的 1.5 ~ 2 倍。
- (2) 干燥器 用于原材料的干燥。

3. 制备工艺（表 3-35）

表 3-35 悬挂金具配件的注射工艺参数

料温/℃	机筒温度/℃	模具温度/℃	注射压力/MPa	注射时间/s	保压压力/MPa
100 ~ 105	270 ~ 295	80 ~ 95	6.5 ~ 8.5	15 ~ 50	2.5 ~ 4.5

4. 注意事项

悬挂金具属于输电系统的工业用配件，要求产品必须严格符合各项性能指标，否则会造成很大的损失，为此提出以下要求。

1) 物料必须在鼓风烘箱内严格烘干 8h，温度在 100 ~ 105℃ 区间内。料的厚度 30 ~ 35mm 为宜。否则 PC 分子主链上的酯键容易发生水解反应使分子链断裂，导致制品的拉伸强度下降。

2) 注射机料斗应有恒温装置，因为在常温下，PC 在空气中 15min 就会失去干燥作用。

3) 最好选择延长型的开式喷嘴。这种喷嘴在启模时可以带走喷嘴口前端的低温物料，从而提高制品质量。

4) 模具需有加热装置，模温控制在 80 ~ 95℃。

5) 产品脱模后要放入烘箱进行热处理。以消除由于强迫取向的大分子间相互作用产生的内应力。由于挂钩直径为 $\phi 12\text{mm}$ ，因此烘箱温度应在 110 ~ 115℃，时间为 2 ~ 3h 为宜。

（七）PC 丝织纬管注射成型

1. 选材与配方设计

（1）材料的选用 丝织纬管应有较高的拉伸、弯曲、冲击强度，良好的尺寸稳定性，吸水性要小，耐磨且不起毛等。针对这些性能要求，比较了以下几种塑料的性能（表 3-36）。

表 3-36 几种塑料的性能

项 目	PC	ABS ^①	硬 PVC	尼龙 66
拉伸模量/MPa	$(2.2 \sim 2.5) \times 10^3$	$(1.1 \sim 1.3) \times 10^3$	—	$(3.2 \sim 3.3) \times 10^3$
拉伸强度/MPa	66 ~ 70	22.5 ~ 28.5	45.7	83
冲击强度(缺口)/(kJ/m ²)	65 ~ 87	46 ~ 80	2.2 ~ 10.8	3.9
弯曲强度/MPa	95 ~ 110	52	100	100 ~ 110
马丁耐热/℃	116 ~ 129	50	—	50 ~ 60
吸水性(%)	0.15	0.1 ~ 0.8	0.07 ~ 0.4	1.5
成型收缩率(%)	0.5 ~ 0.7	0.3 ~ 0.8	1 ~ 5	1.5
加工性能	较难	易	难	易

① ABS 是取接枝和混炼两个品种的性能范围。

从表 3-36 的数据可知，聚碳酸酯（PC）是一种综合性能优良的塑料，制丝织纬管

比较理想。

表 3-37 是两种牌号光气化法 PC 产品的性能, 每种牌号又根据相对分子质量范围细分为两档即 A 档和 B 档。

表 3-37 两种光气化法 PC 性能对比

性 能	JTG-2		JTG-3	
	A	B	A	B
相对分子质量	28000 ~ 30000	30000 ~ 32000	32000 ~ 35000	35000 ~ 38000
加工性能	易加工	易加工	易加工	较难加工, 有时料难以充满模腔
制品强度	较差	好	好	好
回料处理	不宜回用	尚可回用	可回用	可回用

丝织纬管形状细长, 对强度要求较高, 从表 3-37 可知, 制品强度与加工难易是互为矛盾的, 综合各方面性能, 优先选用 JTG-3A, 其次为 JTG-2B, 试制证明丝织纬管最好选用 JTG-3A 型 PC。

(2) 配方设计 将 JTG-3A PC 粒料与回头料 (已粉碎) 按比例拌匀。其中回头料指注射中的废品、浇注口经粉碎后的粒料。

JTG-3A 新料在 75% 以上, 回头料多少视纬管规格增减, 但不得超过 25%, 否则制品强度下降。如 JTG-3A 为透明料, 则加一定量的颜料拌匀。

2. 主要设备

(1) 注射机 选用 XS-2Y-125 注射机。

(2) 模具设计与制造 丝织纬管长度在 140 ~ 180mm 之间, 要求其顶部振幅在 0.5mm 以内, 因此对模具的精度要求较高。在用电火花加工模腔失败的基础上, 摸索出用定型铰刀加工的办法, 保证了精度要求。具体方法概述如下 (图 3-7)。

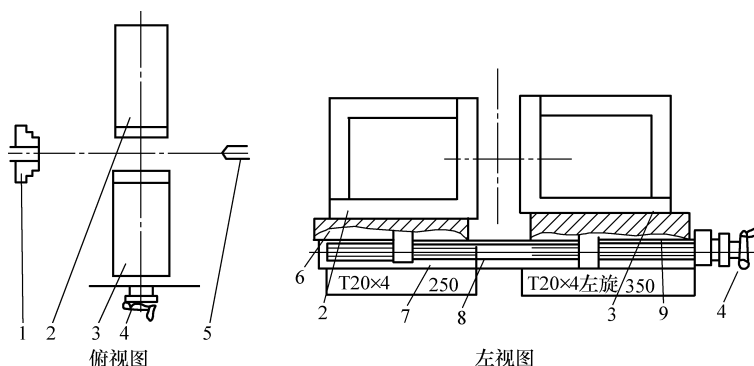


图 3-7 模具结构示意图

- 1—三爪卡盘 2—后角铁 3—前角铁 4—手柄 5—尾架顶针
6—后中拖板 (定制) 7—大拖板 8—定制中拖板丝杆 (由左、右旋梯形螺纹组成) 9—前中拖板

1) 模腔加工。将普通车床的中拖板丝杆加工成由左旋和右旋梯形螺纹两段(图 3-7)。

大拖板上装前后两块中拖板,其中前中拖板 9 为原来车床上的中拖板,后中拖板为定制的中拖板 6,该拖板与丝杆匹配的梯形螺母为右旋。这样摇动丝杆手柄时,两块中拖板向相反方向运动。

在两块中拖板上各安装一块角铁,这两块角铁 2 和 3 上安装需加工的模具上下面。调整模具上下面,使其与车床中心线等距。

将加工成与纬管外形尺寸一致的成型铰刀安装在车床夹头上,并用尾架顶尖顶住。

开动车床,这时铰刀随车床夹头转动(慢速)、慢慢摇动丝杆手柄,使安装在角铁上的待加工模具上下面同时等速靠拢并被铰刀切削,一直至铰出所需的模腔。

在切削过程中,一般需 2~3 把尺寸略有不同的铰刀,最后切削的铰刀尺寸最大(即模腔所需的尺寸),作精加工用。在切削过程中不断添加植物油以起冷却与润滑作用。用此法加工而成的模腔,无论是尺寸精度或表面粗糙度都能达到预定的要求。

2) 内孔形式选择。木质纬管内孔为盲孔。这种结构在塑料注射中容易产生内孔弯曲而报废。根据注射特点,将盲孔改为通孔,这样芯棒由于有了两个定位支点,在注射过程中能保持制品内孔与外壁中心线重合,从而保证了纬管顶端振幅在 0.5mm 以内。

3. 制备工艺

(1) 工艺流程 PC 丝织纬管注射工艺流程如图 3-8。

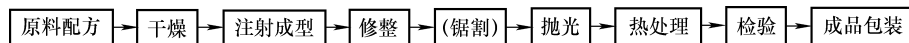


图 3-8 工艺流程

(2) 工艺过程

1) 干燥。PC 树脂主链上有酯基存在,易吸水分解。注射成型是在高温下进行的,此时即使微量水分也会造成树脂降解而放出 CO_2 等气体,致使树脂变色、相对分子质量下降、制品的性能变差,因此树脂的干燥是注射过程中重要的一环。

干燥可在恒温鼓风烘箱中进行。将烘箱温度调节在 $115 \sim 120^\circ\text{C}$ 之间,保温 16~20h,物料在料盘上的厚度以 20~30mm 为宜。如选用真空烘箱干燥,则保持温度 110°C ,真空度在 933.2Pa (700mmHg) 以上,保温 10~12h。一般经干燥后的树脂含水量低于 0.03%。干燥后的树脂不得暴露在空气中。加热方式可用加热器或红外线灯,加料斗中的树脂最好在 0.5h 内用完。

一般检验水分的快速方法是在注射机上“对空注射”,如喷嘴缓慢流出的物料为均匀无色、光亮、无银丝和气泡的细条,则认为水分合格。

2) 注射成型。机筒温度(以 XS-2Y-125 注射机为例)见表 3-38。

液压泵注射压力: 4~6MPa (如制件打不足可稍提高一点); 闭模时间 5~10s; 注射+保压时间 4~9s; 注射时间 2~5s; 启模时间 10~25s (冬短夏长)。

以上条件要针对设备型号不同作适当变动,另外还要视注射成型的制件灵活调节。必须注意 PC 制品在注射成型过程中不宜用高压、高速注射,否则注件内应力增大造成

制件开裂。因此在保证制件完整光洁的前提下,尽可能做到低压、慢速注射。保压时间以保证制件无凹缩为准,不宜太长。机筒温度太低易造成夹生发脆,且料难以充满模腔,太高易使制品变焦分解。因此要根据制件的情况灵活掌握。

表 3-38 注射机机筒温度 (单位:℃)

机筒温度 PC 牌号	一区	二区	三区	喷嘴
JTG-3A	200 ~ 220	250 ~ 280	260 ~ 290	比机筒稍低
JTG-2B	190 ~ 210	230 ~ 250	240 ~ 270	比机筒稍低

3) 修整。将浇注口及拼缝边、毛边在脱模后马上修整。

4) 锯割。由于同一直径的丝织纬管长度规格不同,因此,可用一副模具生产同一直径的纬管,然后将长纬管锯到要求的长度,以减少模具制作费。但是要略增一些回头料。因此锯割并不是必需的工艺。

5) 抛光。丝织纬管表面要求光洁。木质纬管用表面涂层的方法。PC 纬管可由模具及注射工艺来保证,但制品是经注射成型而成,难免有拼缝线产生,必须用砂轮对其抛光以消除拼缝线。

6) 热处理。PC 制品在注射成型后应以热处理消除内应力。PC 丝织纬管的热处理可在恒温鼓风烘箱中进行。将烘箱温度调至 115 ~ 120℃ 恒温 1h,再随炉冷却至室温即可。

PC 丝织纬管在烘箱中的放置方式对制品质量有一定的关系 (表 3-39)。

表 3-39 两种放置方式比较

放置方式	卧 式	倒悬式
温度均匀程度	局部过高	均匀
变形程度	易变形	不变形

卧式是将纬管平放在烘箱内,由于相互靠紧使温度局部过高,而倒悬式是用支架将纬管倒挂在烘箱中,由于每支纬管保持一定空间,相互并不靠紧,因此温度均匀,也不会变形。

所以 PC 丝织纬管在热处理时采用倒悬式的放置方式。

7) 检验。丝织纬管长度公差应小于 $\pm 1\text{mm}$, 外径公差小于 $\pm 0.3\text{mm}$, 内径公差在 $0 \sim 0.2\text{mm}$ 之间,公差主要靠模具来保证。

顶端振幅 (反映内孔与外径同轴度) 小于 0.5mm , 主要靠模具及注射条件来保证。检验方法是在固定转速的标准锭子上检验。

为检验制品内应力是否消除,在每 500 支同样条件生产的纬管中抽取 2 支在 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ 中浸泡在 CCl_4 中,2min 内不开裂则该批纬管合格,此试验是破坏性试验,经 CCl_4 浸泡过的纬管不得使用。

8) 成品包装。相同规格、颜色的 PC 丝织纬管每 500 支为一箱包装入库。

4. 性能

PC 丝织纬管有木质纬管不能替代的性能,可以满足涤丝织物的特殊要求,解决了木质纬管无法解决的问题,因此深受丝绸行业用户欢迎。据一百多家用户反映,PC 丝织纬管与木质纬管比较有以下优点:

1) 冲击强度提高了 3 倍以上,承受强张力时内孔不缩小,对涤纶、尼龙等要求高的织物也能胜任。

2) 使用寿命提高 3 倍以上。

3) 尺寸稳定,不变形、不弯曲、同轴度高。

4) 不吸水,能承受高温处理,不受气候变化的影响。

5) 表面光洁、耐磨、不起毛,提高了丝的利用率。

(八) PC 自动煮蛋器透明罩注射成型

1. 选材

(1) 原料的选择 应尽量选择相对分子质量较低的原料,一般在 2.0 万 ~ 3.5 万,以保证有足够的流动性。如果低于 2.0 万,PC 的抗冲性能会急剧下降。PC 的流动性可以通过熔体流动速率 (MFR) 的测定得以了解 (测试温度为 300℃, 载荷 1200g)。

(2) 脱模剂的选择 PC 作为透明性材料,在成型过程中一般不推荐使用脱模剂,以免影响制品的透明度,造成斑纹或开裂。如确需脱模剂以助脱模,最好使用甲基硅油雾化脱模剂。

2. 主要设备

(1) 注射机

1) 注射机容量。要求制品最大注射量应不大于注射机额定注射量的 70% ~ 80%。

2) 螺杆。应选用长径比 (L/D) 为 15 ~ 30 (大些为好),几何压缩比 (ε) 为 2 ~ 3 的渐变型螺杆。

3) 喷嘴。由于 PC 的熔体粘度高,在成型过程中极少发生“流延”现象,故选用延伸式喷嘴。

4) 料斗。最好用直连式烘干料斗或放有其他干燥装置。没有干燥装置的料斗中只允许有半小时的储料。

(2) 模具与制品设计

1) 模具的浇口一般不宜采用小浇口,而采用较粗大些的浇口,不过对于壁厚小于 3mm,料流长度小于 250mm 的制品也允许采用直径为 0.8 ~ 3.0mm 的针点浇口。透明罩模具即采用针点浇口,主要是为了减少浇口的痕迹,增加制品外观的美观性。

2) 模具的流道 (包括主流道、分流道) 应尽可能直、短、粗,以减小压力损失。主流道的末端还应设冷料井。

3) 脱模斜度一般取 $50' \sim 1^\circ$ 。

4) 由于 PC 对缺口较为敏感,故要求制品的壁厚应均匀一致,尽可能避免尖角、缺口的存在。对于转角处要求有圆弧过渡,圆弧半径 (R) 不小于 1.5mm。

3. 制备工艺

(1) 成型前的准备

1) 原材料干燥。PC 需进行严格干燥,使含水量降至 0.03% 以下,最好降至 0.01%。这是因为少量水分的存在会引起 PC 大分子的水解,致使相对分子质量下降,熔融粘度降低,制品变色或出现银纹、气泡等一系列缺陷,且制品的物理力学性能特别是抗冲击性能下降明显。而且原料的含水量越高,所得制品的内应力也就越大。因此,PC 原料成型前必须充分干燥。图 3-9 是 PC 粒料的湿气含量与干燥时间的关系。从图 3-9 中可以看出,若要达到干燥要求,至少应干燥 2h 以上 (120℃ 条件下)。

在生产中采用直连式烘干料斗。开机前原料在 120℃ 下先行干燥 4h。

PC 可以与 PE、ABS、PS 等进行共混改性,改性后可以降低成型的温度,提高流动性,降低制品的内应力。在不影响制品使用性能的前提下可以进行这方面的尝试。

2) 嵌件。由于金属与塑料在线胀系数上的差别较大,易使金属嵌件与塑料相接的界面形成很大的内应力。这在 PC 注射成型中表现较为突出,使制品在日后使用过程中容易出现开裂现象。因此,注射成型的 PC 制品中要求尽可能少用金属嵌件,且要求嵌件避免锐角或缺口的存在。对于确需使用的金属嵌件,其直径 (D) 与周围塑料层的壁厚 (δ) 之间应遵循下列关系:钢铁类 $\delta = D$,铜 $\delta = 0.9D$,铝 $\delta = 0.8D$,并且成型前嵌件应预热到 110℃ 以上,最好能接近成型温度 200℃。

3) 机筒的清洗。开机前,如果机筒内是 PE、PS 等热稳定性好的树脂,可以用 PC 直接清洗机筒。但若机筒内所存的料为 PVC、聚甲醛等成型温度低、热稳定性差的树脂时就不可用 PC 直接清洗,也不可升高机筒温度,而应在较低温度下用 PE、PS 等先行清洗。然后,升高机筒温度至 PC 加工温度,用 PC 再生料将机筒再清洗一下,排空其他树脂,方可用 PC 新料进行加工。临时停机或终止生产时,要求将机筒温度降低至 160℃ 以下,以免停机时间过久而引起物料过分降解、变色。如果是生产告一段落,则需将机筒用 PE 或 PS 清洗好。因为 PC 的粘附力强,易使螺杆表面开裂。

(2) 注射成型工艺

1) 机筒温度。PC 大分子多呈无定形态,和其他热塑性塑料相比,PC 不仅熔融温度高,而且熔融后的熔体粘度也较高,熔体粘度对温度的敏感性比对剪切速率要大。一般对低于 250℃ 的料温,充模比较困难,成型中很少采用,而料温如长时间高于 320℃ 时,PC 将会出现分解,制品颜色变深发黄,表面出现银纹、气泡、暗条、黑点等缺陷,同时其物理力学性能也将显著下降。因此,在生产过程中大多采用的机筒温度在 260 ~ 320℃ 之间。喷嘴处温度一般取机筒的最高温度或比最高温度低 5 ~ 15℃。生产煮蛋器透明罩一般采用的喷嘴温度为 280℃,机筒温度:前段 285℃,中段 295℃,后段 240℃。

2) 模具温度。PC 的玻璃化温度高,熔融粘度大。当模具温度较低时,对于小浇口

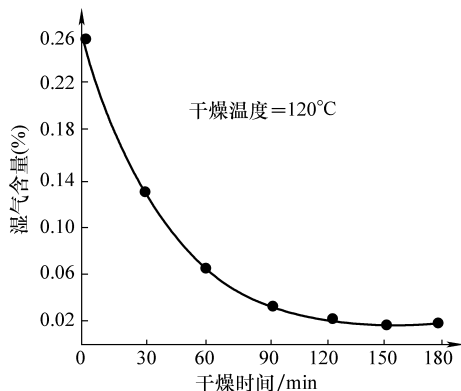


图 3-9 PC 湿气含量与干燥时间的关系

模具，充模困难，且熔融物料进入模腔后表面很快冷却凝固，而热的物料在压力作用下，源源不断地进入模腔，在冷热料之间形成了较大的剪切应力。这些应力随熔体的冷却而大部分被保留在制品中。随着模温的提高，料温与模温间的温差缩小，剪切应力降低，熔体在模具内缓慢冷却，分子链得以松弛，取向程度减小，从而减少了制品中的应力。因此，一般要求有较高的模具温度，通常取 $80 \sim 120^{\circ}\text{C}$ 。模具温度过高，易造成零件变形，冲击韧性等力学性能下降，且降低生产效率。在生产中刚开机时，先给模具加热到 80°C 左右，这样废品率较低。连续生产时一般不再需要加热。

3) 背压和转速。考虑到 PC 的熔融粘度较大，对剪切速率的敏感性差，对金属的粘附力强，因此，一般不选用高背压、高转速，以免造成传动系统的超载，甚至螺杆被扭断。螺杆转速一般控制在 $30 \sim 60\text{r/min}$ ，背压控制在注射压力的 $10\% \sim 15\%$ 。

4) 注射压力。处于熔融状态下的 PC，其流动行为虽接近于牛顿型流体的特征（注射压力的变化对熔体粘度影响较小），但由于流动性差，故在实际操作中注射压力还是比 PP、PE、PS 等要高。但过高的注射压力容易造成脱模困难且产生脱模应力。PC 的注射压力一般应控制在 $80 \sim 120\text{MPa}$ 之间。此间的制品外观既能达到要求，又避免了因强行脱模而产生的应力。但对于薄壁、长流程、形状复杂、浇口较小的制品，为克服熔体流动时的阻力以顺利充满模腔，也可选用较高的注射压力（ $120 \sim 150\text{MPa}$ ）。

5) 保压压力。由于 PC 的分子链呈刚性，所以若保压压力过大，在浇口周围将产生较大的内应力，制品易产生开裂现象。图 3-10 是保压压力与应力开裂时间的关系。由图 3-10 可见，保压压力越大，制品越容易发生应力开裂现象。在生产中采用针点式浇口，因此选用的保压压力较低，为 50MPa 。如果采用大浇口，则应相应提高保压压力，以免因冷凝收缩造成制品表面凹陷或出现真空泡，一般应在 $50 \sim 100\text{MPa}$ 之间。

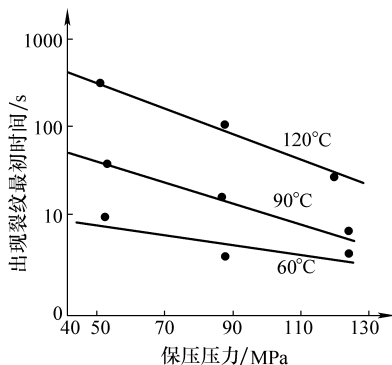


图 3-10 保压压力与应力
开裂时间的关系

6) 充模时间。一般为 $3 \sim 10\text{s}$ ，由于 PC 的玻璃化温度高，熔体粘度大，流动性差，如果注射速度过低，进入模腔内的熔融料易冷凝，使熔体不能及时充满模腔，制品表面易出现波纹、料流痕等缺陷，但过高的注射速度则会使 PC 出现熔体破裂现象，在浇口周围出现糊斑，制品表面粗糙或使模腔内空气不能及时排出，造成制品局部烧伤、碳化等不良现象。因此，除了薄壁、小浇口、深孔、长流程制品外，一般多采用中速进行加工，最好是采取“慢-快-慢”的多级注射方式。

7) 保压时间。保压时间的选取应视制品的壁厚、浇口大小、模具温度等情况而定，一般在 $20 \sim 110\text{s}$ 之间选择。保压时间过长，会造成制品内应力大，易开裂，厚度大于 4mm 的制品更甚。保压时间过短，则会造成制品表面凹陷、波纹或气泡。采取针点式浇口，则可以大大降低保压时间。在生产中，一般取 $15 \sim 20\text{s}$ 。

8) 冷却时间。由于 PC 的玻璃化温度高，熔融粘度大，所以制品的冷却时间相对较短，一般取 $5 \sim 20\text{s}$ 。

(3) 制品的后处理 热处理是为消除 PC 制品的内应力而采取的措施。热处理的介质为空气、甘油、液体石蜡等,其中因热空气清洁、简便,故使用最普遍,PC 制品的热处理温度要求控制在其玻璃化温度 T_g 以下,薄壁制品一般在 $110 \sim 135^\circ\text{C}$ 之间,时间为 $4 \sim 8\text{h}$;厚壁制品一般在 $100 \sim 110^\circ\text{C}$ 之间,时间为 $8 \sim 12\text{h}$ 。

(九) 桑塔纳 2000 型用 PC 组合仪表指针注射成型

汽车组合仪表所使用的零件大部分为塑料件。随着汽车工业的飞速发展,对汽车仪表零件尤其是透明的聚碳酸酯 (PC) 塑料件的质量要求也越来越高,这就要求注射工艺不断更新、完善。

采用传统的工艺注射组合仪表指针时,该制品的外观往往会出现气泡、银纹、开裂等现象,造成大量的废品,其质量已远远不能满足用户的要求。为了解决这一问题,根据 PC 的特性,结合多年从事注射工艺工作的实践经验,进行了大量的研究,最终确定了制备组合仪表指针的最佳工艺参数,解决了上述制品缺陷问题,大幅度地提高了该制品的合格率。

1. 主要原材料

PC: 141R, 无色透明, 美国 GE 公司。

2. 主要设备

卧式注射机: SM-30, 台湾亚塑震雄机械厂。

组合仪表指针模具: 顶出形式为机械, 顶退形式为弹簧复位式, 采用 1 个潜伏式浇口。

3. 制备工艺

(1) 工艺流程 桑塔纳 2000 型 (改型) 组合仪表指针的生产工艺流程如图 3-11。

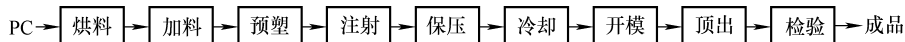


图 3-11 组合仪表指针的生产工艺流程

(2) 原材料预干燥 因 PC 主链上含有酯基。因而容易发生水解,在高温下即使对微量水分也很敏感,轻则在组合仪表指针表面出现银丝、斑纹、气泡等缺陷,重则竟能引起 PC 在注射过程中发生降解而释放出 CO_2 等气体,致使树脂变色,相对分子质量急剧下降,使制品的各项性能指标显著降低,严重地影响到组合仪表指针的外观和内在质量。因此,在成型前必须对原料充分预干燥。采用美国的 MDC60 移动干燥器进行干燥,干燥温度为 $110 \sim 120^\circ\text{C}$, 4h 后可以使用,但不宜超过 10h 。值得注意的是,已干燥的原料暂不使用时应调到保温状态 (条件为 $90 \sim 100^\circ\text{C}$, 且总时间不得超过 48h),干燥后原料中的水分应不大于 0.03% 。对原料含水量是否合格,平时在生产中采用快速的检验方法,即用注射机进行“对空注射”法,如果从喷嘴缓慢流出的物料是均匀、无色、光亮、无银丝和无气泡的细条,即为合格;否则为不合格。

(3) 工艺参数及其控制 主要注射工艺参数如下。

成型温度: 喷嘴 80% (料管喷嘴采用恒温控制方式,并以 25s 为 1 个周期, 80% 相当于 20s 处于加温状态。 5s 处于关闭状态); 机筒温度为 1 区 275°C 、2 区 285°C 、3 区

285℃、4区270℃。

熔胶速度 60% ~ 65% (以泵的流量计)。

注射速度 28% ~ 35% (以泵的流量计)。

注射时间 2.8s。

保压时间 0.7s。

冷却时间 7s。

二、聚碳酸酯管材挤出成型

聚碳酸酯(PC)是无定型材料,它的熔体粘度对温度敏感。由于PC在高温下易发生水解,制品质量对原料的含湿量非常敏感,在成型前必须进行预干燥处理。含有水分的PC熔融过程中水解使分子量急剧下降,并放出CO₂气体,致使制品表面不光滑,颜色加深。PC树脂在成型前可采用常压烘箱、真空烘箱、沸腾床或气流式干燥装置进行干燥。干燥后的含水量应<0.03% (质量分数)。常压烘箱干燥温度为110~120℃,料层厚度应小于25mm,干燥时间为24h。若为真空烘箱,可采用与常压法相同温度和料层厚度,干燥时间为8~16h。若用气流干燥,应控制鼓入的热空气达到180~210℃,才能使树脂温度接近120℃,空气流速则大于0.8m/min。烘干后的料应进行保干存放,以免再次吸湿。

成型PC管材的挤出机为渐变型螺杆, L/D 为20~25,压缩比与原料松密度有关,如为粒料,可选2~2.5。由于PC熔体粘度大,对螺杆的粘附力大,挤出时拖曳流动明显,因此螺槽软、深也能顺利挤出,但浅螺槽对混炼均匀更有效。

PC树脂的塑化温度由具体树脂的分子量决定。一般挤出成型管材的PC树脂,加工中挤出机计量段采用240~270℃,加料段可稍低于计量段,这两段的温度差较小,通常为10~20℃。压缩段温度可高于计量段,使PC树脂在此段充分熔融,最高可达300℃左右。机头温度应稍低于计量段,到达口模处,料温应在熔融温度的下限或略低,以免离模时变形大,影响定型。由于剪切速率对PC熔体粘度影响不大,螺杆转速可根据塑化及管材要求,在较宽的范围内变化,但一般转速较低,如挤出公称外径为 $\phi 32\text{mm}$ 的PC管材,螺杆转速为10.5r/min。

挤出PC管要求较大的背压,才能保证熔体充分均化及制品无气泡。表3-40列出了挤出PC所需的最小背压,若小于该值即不能得到合格产品。

表 3-40 挤出 PC 所需最小背压

挤出量/(kg/h)	5	10	20	30	45	50	60	70
最小背压/MPa	11.2	13.4	16.7	18.6	20.6	22.3	23.5	25.5

PC挤出管材后,通常在80~90℃的水中进行冷却,因为若直接使用冷水会造成因收缩不均产生较大内应力。有时为了消除管材的内应力,还需经红外加热进行热处理。

三、聚碳酸酯制品吹塑成型

(一) 聚碳酸酯纯净水瓶的挤出吹塑成型

(1) 选材 PC有较好的表面性能、力学性能和耐热性能,但成本较高。若综合考

虑各方面因素,生产一次性纯净水瓶,以 PET 为好;生产周转型的纯净水瓶,以 PC 为好。总的来说,PC 作为制造纯净水瓶的塑料材料,具有以下特点:

- 1) 高度透明,透光率高,无毒。用来盛装饮用水,更能体现水质的纯净和清洁。
- 2) 高抗冲击和刚性,可直接用于饮用水的储存、运输和使用。PC 纯净水瓶可多次重复使用。
- 3) 瓶的成型收缩率小,瓶口尺寸稳定,便于瓶与饮水机的配合和重复使用。
- 4) 吸水性较 PET 低,成型前的原料虽需经干燥,但工艺要求较 PET 低。
- 5) 耐候性、耐热性、耐低温性优良,瓶能在不同的温度环境下使用。

聚碳酸酯可用挤出吹塑、注射吹塑、拉伸吹塑、共挤吹塑等方法制造吹塑制品。其中,挤出吹塑及拉伸吹塑两种方法被广泛使用;但由于 PC 阻气体及湿气渗透性较差,对于碳酸饮料及氧化敏感的食品包装瓶及桶,需要使用共挤吹塑法制取的多层复合 PC 塑料瓶或桶。聚碳酸酯中空塑料制品更多地用于矿泉水、纯净水、蒸馏水的包装。

选用中粘度或高粘度的吹塑级 PC 树脂时,树脂的 MFR 一般为 3g/10min,PC 瓶用以饮用水包装时,树脂需符合食品卫生要求。成型时,可均匀掺混清洁的边角回料,掺用比例不超过 30%,掺用的粉碎料不能有过多粉末。

可选用的吹塑级 PC 树脂,如美国通用电气公司 Lexan-PK-2870,德国拜耳公司 MakrolonKU₁-1239。

(2) 成型设备

1) 原料干燥装置。可选用空气循环去湿热风干燥装置、强制对流恒温烘箱等设备,对 PC 树脂进行去湿干燥。

2) 挤出吹塑机。可采用带有储料缸直角机头的挤出吹塑成型机。

挤出机的机筒、螺杆可采用硬质钢制造,为防止挤出型坯的表面出现黑斑,不宜采用氮化钢。螺杆直径选用 70~100mm,其主要技术参数如下。

螺杆形式:等距不等深渐变圆头螺杆;螺杆长径比 (L/D):(20~24):1;螺杆压缩比:(2.5~3.0):1。

型坯机头的模口直径为 90~100mm;机头内的熔体流道要光滑,模芯及模套采用流散式结构,其定型段长度不超过 3~4mm,模芯出口处宜采用 R4~5 的圆角;机头流道应避免直角转弯,以防止积料或使物料降解;流道与熔体接触面要高度光洁,可镀铬或镀镍,表面硬度应在 65HRC 以上,但不宜采用氮化钢制造;PC 的型坯离模膨胀率较小,约在 15% 以下;成型时,型坯的吹胀比一般为 (2~2.5):1。

PC 在吹胀成型时,冷却速率较快,为使制品冷却均匀,模具需采用模温控制装置,使模具温度保持在 65~80℃ 范围,模温高有利于制得高光泽度瓶,但太高时,不利于脱模;模具可用铝、工具钢、铜铍合金制造,夹坯口嵌块宜用工具钢;PC 熔体的可压缩性小,在刀口部的逃料槽要足够宽裕,刀口的厚度为 0.1~0.5mm,刀口角度为 15°~25°;模具型腔应设良好的排气槽及排气孔,分型面排气槽宽为 6mm,深为 0.05~0.13mm;在制品不要求高透明、高光泽部位,型腔可以喷砂或刻制细花纹。它不仅有利于型腔排气,还因为 PC 在吹胀成型时,型腔表面出现的轻微痕印,都会在制品表面得到清晰的反映。PC 瓶的成型收缩率约为 0.5%~0.8%。

(3) PC 瓶的成型工艺

1) PC 瓶成型的工艺流程 (图 3-12)

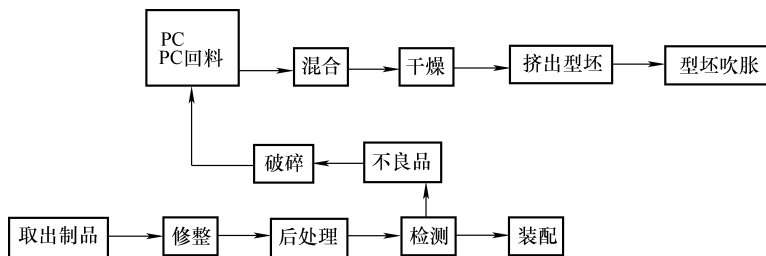


图 3-12 PC 瓶成型工艺流程

2) 成型的工艺条件

①PC 树脂的干燥条件 PC 是吸湿性树脂，成型时，树脂的含湿量应在 0.02% 以下。为达到这个要求，PC 树脂应在如下条件进行干燥：干燥空气的露点为 -18°C ；热风温度为 120°C ；干燥时间为 3 ~ 4h。

若树脂的储存条件、环境温度和湿度发生变化，可适当延长干燥时间，但连续干燥时间不要超过 8h；经干燥的树脂，在成型前的暴露时间，不超过 20min；小批量生产时，也可采用恒温烘箱干燥树脂，干燥温度为 120°C ，料层厚度不超过 40mm，干燥时间 4h。

②挤出吹塑成型条件 PC 型坯的挤出温度较高，成型时为减少型坯的自重下垂，吹塑级 PC 树脂，应在低剪切速率下挤出型坯。

采用 Makrolon KU₁-1239 PC 树脂，成型工艺条件如下。

挤出机加热温度： $250 \sim 260^{\circ}\text{C}$ ；

机头温度： 250°C ；

机头口模温度： 250°C ；

模具温度：瓶底 $65 \sim 80^{\circ}\text{C}$ ，瓶体 $65 \sim 80^{\circ}\text{C}$ ，瓶颈 $55 \sim 65^{\circ}\text{C}$ ；

型坯吹胀压力： $0.6 \sim 1.0\text{MPa}$ ；

吹气时间：25 ~ 30s；

成型时间：45 ~ 60s；

后处理条件： 120°C ，30min。

(4) 常见故障、生产原因与解决的办法

启动挤出机时，转速要慢，待型坯挤出正常时，再逐渐调高挤出机的转速。吹塑成型时，出现如下情况进行清机：挤出机曾加工过其他品种塑料，再用于 PC 挤出时；成型加工温度过高，型坯表面出现黑斑时；长期停机在 72h 以上时。

清机时，先用 PS 或 HDPE 挤出，再在 270°C 以下温度，用 PC 挤出清洗。在成型加工温度下，允许 PC 熔体在挤出机内停留 1h；较长时间停机，可将挤出机降温至 170°C 保温；关机时，挤出机不用排空机筒。

PC 的冷却速度较快，一经冷却，PC 瓶就非常坚硬，为减少瓶出现应力开裂，脱模

后的 PC 瓶应进行后处理；而且应马上进行瓶的修整，切除余料，锯割瓶颈。修整制品边角余料，也可采用热切割刀。

在 PC 瓶的挤出吹塑成型过程中，常见故障、可能原因及排除办法见表 3-41。

表 3-41 PC 瓶成型时，常见故障、可能原因及排除方法

常见故障	可能原因	排除方法
型坯表面出现黑斑	①原料受污染，使用回料过多 ②成型加工温度过高，树脂降解 ③停机时间长未清洗而开机使用	①检查原料及回料，使用清洁回料 ②降低熔体温度 ③清洗挤出机及机头
型坯挤出时内卷或外翻	①模芯温度大于模套时，型坯外翻 ②模套温度大于模芯温度时，型坯内卷	①调整模芯、模套的加热温度，降低两者温度 ②维持模套温度略高 5 ~ 10℃
型坯表面有气泡	①原料夹有空气 ②原料干燥不足 ③型坯注射速度过快，由高剪切作用引起降解	①检查进料口原料是否存在堵塞 ②强化干燥条件 ③降低型坯注射速度
型坯出现条痕	①口模损伤 ②模口间隙处有焦料或杂质 ③原料或回料混有杂质	①修理口模 ②清理口模 ③检查使用的原料或回料
型坯壁厚不均匀	①口模间隙不均匀 ②机头加热温度不均匀	①调整模套，使口模间隙均匀 ②检查机头各段加热圈
型坯挤出波动	①进料不均匀 ②挤出机传动不稳定	①进料段冷却不足，造成物料堵塞在进料口，应加大进料口处的冷却水流量 ②检查料斗是否堵塞 ③检查挤出机传动装置，更换延伸或磨损的传动带及电机轴套
制品光洁度差	①模具温度太低 ②型腔排气不足 ③型腔表面光洁度差	①提高模具温度 ②检查原排气槽是否堵塞，强化型腔排气效果 ③型腔表面打光
制品表面的文字图案不清晰	①型坯温度低 ②模具温度低 ③型坯吹胀压力低 ④模具型腔排气不足 ⑤文字图案处有杂物	①适当提高熔体温度 ②适当提高模具温度 ③加大吹气压力 ④强化型腔排气效果 ⑤清洁型腔表面
制品变色	①混入变色回料 ②熔体温度太高 ③剪切速率太快	①更换清洁回料 ②降低成型加工温度 ③降低螺杆转速

(二) 聚碳酸酯奶瓶注射-拉伸-吹塑成型

PC 奶瓶因其极高的冲击强度、高透明、能进行高温蒸煮、无毒、无味、不破损、易运输等优点取代了玻璃瓶和聚乙烯奶瓶。PC 奶瓶是以聚碳酸酯为原料采用注射-拉伸-吹塑法制成的。

(1) 原料 选用比较廉价的中、低粘度树脂，相对分子质量在 2.5 万左右，生产注射-拉伸-吹塑 PC 奶瓶即可。树脂型号为日本帝人公司 L-1225，德国拜耳公司 2858。

(2) 设备及模具 设备型号日精 ASB-100；螺杆直径 $\phi 48\text{mm}$ ；注射容量 226cm^3 ；注射速度 $122\text{cm}^3/\text{s}$ ；注射压力 136.7MPa ；塑化能力 109.9kg/h ；螺杆转速 $0 \sim 160\text{r/min}$ ；成型周期 15s 左右。

(3) 吹塑工艺

1) 工艺流程。聚碳酸酯奶瓶生产工艺流程：原料干燥——→注射型坯——→调整温度（一工位）——→拉伸吹塑——→产品顶出——→产品（二工位）（三工位）（四工位）

2) 工艺条件。树脂干燥温度 120°C ；干燥时间 4h 。塑化温度 $290 \sim 300^\circ\text{C}$ ；注射模具冷却油温 $85 \sim 95^\circ\text{C}$ ；加热槽（芯）电热调温 300°C ；吹塑模具冷却水温 85°C ；吹塑压力约 $16 \times 10^5\text{Pa}$ 。

(4) 成型中需要注意的问题

1) 干燥。聚碳酸酯（PC）极易吸水，成型加工前必须对树脂进行干燥处理，否则会产生气泡、银丝，及引起制品物理力学性能下降。聚碳酸酯干燥时间与水分含量之间的关系即干燥曲线如图 3-13 所示。

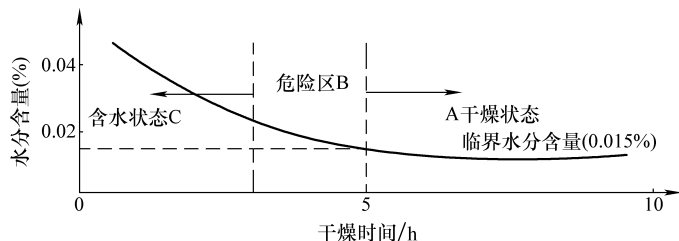


图 3-13 干燥曲线

由图 3-13 可以看出，C 态为含水状态，当切片处于 C 状态，将产生气泡并且外观出现反常现象。B 态为危险状态，当切片处于 B 态即危险状态时，虽然外观无反常现象，但因切片被少量水解，相对分子质量降低，制品会发生脆性破坏。A 态为干燥状态。

干燥时要严格执行干燥工艺，成型时必须使用处于 A 干燥状态的切片。干燥温度应控制在 120°C 以下，以避免结块。切片的水分含量控制在 $0.015\% \sim 0.020\%$ 之间。对聚碳酸酯的干燥可采用栅板式鼓风干燥机或真空干燥料斗。

干燥过的树脂放在室温下也会吸湿，如图 3-14 所示，因此不要将干燥后的树脂暴露在大气中，要盖好料斗盖并配置料斗保温装置。

2) 成型机与模具制作要点。使用长径比为 (20 ~ 24): 1 的单螺杆注射机就能满足 PC 加工要求。由于 PC 的流动性在很大程度上取决于成型温度, 因此机筒必须配有精确的温度控制装置。温度沿机筒顺序而递增。

为了避免产生熔接痕, 喷嘴孔越短越好, 可不用配置截流阀或逆流阀, 喷嘴要抛光并加大浇口。

PC 的成型收缩率为 0.5% ~ 0.7%, 且具有等向性, 其制品的壁厚应控制在 1.5 ~ 4.0mm。壁厚过薄会增加树脂的流动阻力, 易造成注射不满; 壁厚过厚, 收缩增大, 易造成凹陷或缩孔现象。

PC 由于分子结构易产生内应力, 因此在设计制品时, 为了防止产生应力集中, 应避免锐角出现。

3) 确定注射成型工艺的原则。注射成型工艺的原则是: 选择较高的模温和较低的保压压力, 有利于减小制品的应力开裂。因为当模具温度较低时, 保压压力的大小对制品的应力开裂影响小; 当模具温度较高时, 保压压力的大小对制品的应力开裂影响大。

为了提高 PC 的流动性和减小制品的变形, 模具温度应控制在 90℃ 左右为宜。

4) 回收料的利用。PC 的边角料、废次品破碎后可与新料按一定的比例混合后再利用, 回收料的掺用比例不超过 30%。

回收料循环使用时, 相对分子量会降低, 因此, 必须控制回收料的掺用比例和回收料的使用次数, 同时要注意保持回收料的清洁, 防止金属异物混入, 每次都要对混合料进行干燥。

(三) 聚碳酸酯饮用水桶的吹塑成型

聚碳酸酯 (PC) 具有高度透明性、无毒性, 用来盛装饮用水, 更能体现水质的纯净和清洁。另外, 聚碳酸酯具有高抗冲击性, 可直接用于饮用水的贮存、运输和使用。PC 纯净水瓶可多次重复使用, 其平均寿命超过 85 次, PC 的成型收缩率较低, 瓶口尺寸稳定, 便于瓶与饮水机的配合和重复使用。另外, 具有良好的耐热性、耐低温性和耐气候性, 使瓶能在不同的温度环境下使用。PC 阻气性及湿气渗透性较差, 若盛装碳酸饮料及氧化敏感的食品包装容器需要使用共挤出吹塑法制成多层复合容器。

聚碳酸酯可用挤出吹塑、注射吹塑、注射-拉伸-吹塑、共挤出吹塑等方法制成吹塑容器, 其中挤出吹塑及注射-拉伸-吹塑成型方法被广泛使用。PC 容器更多地用于矿泉水、纯净水、蒸馏水的包装。市售 19L 水容器多为聚碳酸酯水桶。

(1) 原料选择及典型配方 选用中粘度或高粘度的吹塑级 PC 树脂, 树脂熔体流动速率一般为 3g/10min 左右, PC 瓶用于饮用水包装时, 树脂需符合食品卫生要求。成型时, 可均匀掺混清洁的边角料, 掺用比例不超过 30%, 掺用的粉碎料不能有过多的粉末。

可选用吹塑级 PC 树脂, 如美国通用电器公司 Lexan pk-2870, 德国拜耳公司 Makrolon ku-1239。

(2) 设备及模具

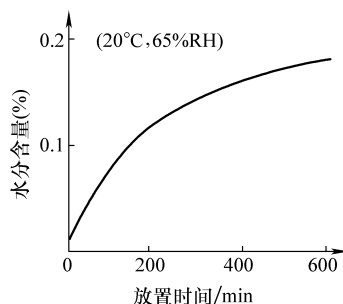


图 3-14 再吸湿曲线

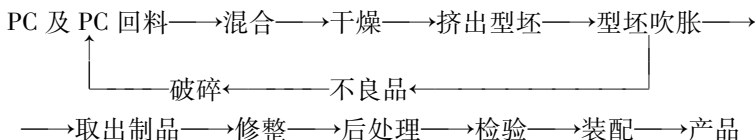
1) 原料干燥装置。可选用空气循环去湿热风干燥装置、强制对流恒温烘箱等设备,对 PC 树脂进行去湿干燥。

2) 挤出机。可用带储料缸直角机头的挤出吹塑成型机。其主要技术参数:螺杆形式为等距不等深渐变圆头螺杆;型坯机头的口模直径为 0~100mm;机头内的熔体流道要光滑,模芯及模套采用流散结构,其定型段的长度不超过 3~4mm。模芯出口宜采用 R4~5mm 的圆角,机头流道应避免直角拐弯,以防止积料或使物料降解。

模具刀口的厚度为 0.05~0.10mm,刀口角度为 15°~20°,模具型腔要设置良好的排气槽及排气孔,分型面排气槽宽度为 6mm,深度为 0.05~0.13mm。

(3) 吹塑成型工艺

1) 工艺流程



2) 工艺条件

①PC 树脂干燥条件。PC 是吸湿性树脂,成型时树脂含湿量应在 0.02% 以下,为达到这个要求,PC 树脂应在以下条件下进行干燥:干燥温度 120℃;干燥时间 3~4h。若采用恒温干燥箱干燥树脂,干燥温度 110~120℃。料层厚度不超过 40mm,干燥时间 4~5h。

②挤出吹塑成型条件。Makrolon ku-1239 PC 树脂;挤出机温度 250~260℃;机头温度 245~255℃;机头口模温度 245~255℃;模具温度:瓶底 65~85℃、瓶体 65~85℃、瓶颈 55~65℃。

型坯吹胀压力 0.6~1.0MPa;吹气时间 45~60s;后处理条件 120℃,30min。

PC 的冷却速率较快,一经冷却,PC 瓶就非常坚硬,为减少瓶出现应力开裂,脱模后的 PC 瓶应进行后处理,并且马上进行瓶的修整,切除余料,锯割瓶颈。修整制品边角余料也可采用热切割刀。

(4) 常见问题及解决办法

1) 表面条纹。型坯的表面条纹引起吹塑制品的表面条纹,表面条纹的存在引起吹塑容器外观质量下降。

型坯表面产生条纹的原因是树脂流道中的微小伤痕,流道中炭化树脂粘附以及模唇受伤等,当型坯表面出现条纹时,应根据具体情况,清理流道中的炭化粘附物或者修复流道或模唇。

2) 熔合线。熔合线是由于流道设计制造不当或者挤出压力不足,模内熔融物料汇合处下凹而引起的缺陷,熔合线对制品外观的影响不如口模线明显,但可能引起制件强度的下降。

解决熔合线的主要途径是改善模头流道的设计,提高熔融树脂的压力,另外在更换物料时要完全把原来的物料置换掉。

3) 制品表面粗糙。制品表面粗糙产生的原因如下:一是挤出温度偏低,产生熔体

破裂,引起型坯表面粗糙,导致吹塑制品表面粗糙;二是吹塑模具温度偏低,引起制品表面形成凹凸小点;三是吹塑模具排气不良,制品产生凹陷,致使制品表面粗糙。

解决的办法应根据具体原因,分别提高挤出温度 $5 \sim 10^{\circ}\text{C}$;或者提高吹塑模具温度;或者改善模具的排气(模腔喷砂处理,或者开直径 0.5mm 的排气孔)。

4) 成型变形。截坯处制品的厚度急剧变化时容易引起残余变形,制品口部进行后继切割修正加工时也可能产生变形。

解决办法是提高吹塑模具的温度;改进切割刀的形状及条件,必要时进行热处理,其条件是 $120 \sim 125^{\circ}\text{C}$, $1 \sim 3\text{h}$ 。

(四) 聚碳酸酯圆筒 (33g , $\phi 54\text{mm} \times 150\text{mm}$) 的吹塑成型

(1) 选材 选择注射级 PC 树脂。

(2) 设备及模具

1) 原料干燥装置。可选用空气循环去湿热风干燥装置、强制对流恒温烘箱等设备。对 PC 树脂进行干燥。

2) 注射吹塑成型机。注射采用普通三段式螺杆,长径比 $>15:1$,螺杆计量段的螺槽不宜过浅,否则会产生剧烈的剪切,使机筒温度难以控制。

螺杆头部采用止逆型结构,如图 3-15 所示。

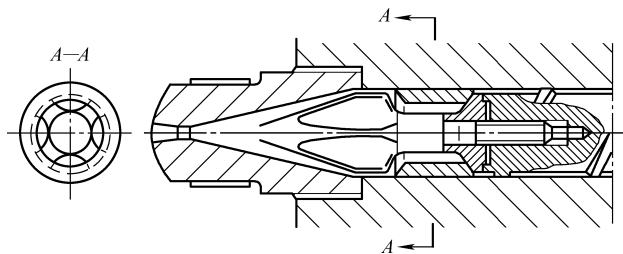


图 3-15 PC 注射机螺杆头部结构

(3) 吹塑成型工艺

1) 工艺流程。原料→干燥→注射→型坯→吹塑→脱模→制品。

2) 成型加工过程。将干燥后的物料加入料斗,并盖好料斗盖,塑料经熔融塑化后,注入型坯模具,制成有底型坯,再把型坯趁热移到吹塑模具中进行吹胀、冷却、脱模,即可得到中空制品。

3) 工艺条件。干燥工艺条件:温度 120°C , 时间 $4 \sim 5\text{h}$ 。注射吹塑工艺条件见表 3-42。

4) 工艺控制要点如下。

PC 是一种吸湿性塑料,在成型前需要进行干燥处理,使其含水量 $<0.01\%$ 。否则会产生气泡、银纹等不良现象。

当 PC 注射吹塑成型(有底型坯)时,型芯及模腔温度极为重要。温度过低,型坯难以吹胀起来;温度过高,脱模困难,模内熔体温度控制在 $160 \sim 170^{\circ}\text{C}$ 之间为宜。

表 3-42 聚碳酸酯圆筒（33g， $\phi 54\text{mm} \times 150\text{mm}$ ）的注射吹塑工艺条件

项 目	工艺条件	项 目	工艺条件
机筒温度/ $^{\circ}\text{C}$	280 ~ 290	模腔温度/ $^{\circ}\text{C}$	145 ~ 170
注射压力/MPa	98 ~ 125	型芯温度/ $^{\circ}\text{C}$	140 ~ 170
保压压力/MPa	98 ~ 105	吹气压力/MPa	0. 88
背压/MPa	1. 37 ~ 1. 47	成型周期/s	11 ~ 15

PC 的有底型坯和型芯一起从模腔中脱开的离模性及型坯与型芯脱开的离模性都很重要，它们将直接影响制品的质量。

第四章 聚 甲 醛

第一节 主要品种与性能

一、简介

(一) 基础特性

聚甲醛（Polyformaldehyde 或 Polyoxymethylene，缩写为 POM）是甲醛的均聚物和共聚物的总称。

聚甲醛含有重复结构单元 $-\text{CH}_2\text{O}-$ ，所以应称聚氧亚甲基，它有均聚甲醛 $(-\text{CH}_2\text{O})_n$ 和共聚甲醛 $(-\text{CH}_2\text{O})_n(-\text{CH}_2\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2)_m$ 之分，其中 $n = 1000 \sim 1500$ ， $m = 20 \sim 75$ 。前者由无水三聚甲醛低温聚合而成，后者是与少量环氧乙烷共聚而成。两者既有共性也有差异，表 4-1 列出了两者性能的差别。

表 4-1 均聚甲醛与共聚甲醛的性能比较

特 性	均聚甲醛	共聚甲醛	特 性	均聚甲醛	共聚甲醛
密度	大	小	耐磨性	大	小
结晶度	高	低	成型精度	差	优
机械强度(拉伸、弯曲)	大	小	成型性	差	优
弹性模量	大	小	短期强度	低	高
伸长率(注射制品)	小	大	热变形温度	高	低
硬度	硬	较软	摩擦因数	稍小	
蠕变性	小	大	耐老化性	优	良
冲击强度	大	小	耐热水性	好	较差

(1) 均聚甲醛 均聚甲醛的制造有甲醛合成、三聚甲醛合成和三聚甲醛辐射聚合等三条路线，国内采用甲醛合成路线。

均聚甲醛为半透明或不透明的白色粉末或粒料，系高度结晶性聚合物，分子链的结合紧凑，因而熔点比共聚甲醛高 10℃，拉伸强度等机械强度高，刚性大，耐疲劳、耐蠕变性好，摩擦因数小，耐磨性好，耐水、耐溶剂，电绝缘性好，因而均聚甲醛是综合性能优良的工程塑料，特别是耐疲劳性是工程塑料中最好的。但它的耐紫外线性差，故常添加炭黑或紫外线吸收剂。

(2) 共聚甲醛 共聚甲醛是由三聚甲醛与二氧戊环共聚而成，有溶液聚合法和本体聚合法，溶液聚合的产品热稳定性好，而本体聚合的生产工艺简单，操作简便，现在采用双螺反应器更为快捷，还可以直接用 RIM 生产玻璃纤维增强的聚甲醛制品。

共聚甲醛也是一种高密度、结晶性的线性聚合物，其结晶度和熔点低于均聚甲醛，但熔点明显，在熔点以下虽经长时间加热也不熔化，其热稳定性好，加工温度宽，耐疲劳性优异，自润滑性、耐磨性好，磨损量低于一般工程塑料。

(二) 主要性能

(1) 力学性能 聚甲醛分子链主要由 C—O 键构成。C—O 键的键能 (359.8J/mol) 比 C—C 键的键能 (347.3J/mol) 大，C—O 键的键长 (0.143nm) 比 C—C 键的键长 (0.154nm) 短，POM 沿分子链方向的原子密集度大，结晶度高。而在共聚和均聚两种树脂之中，不含 C—C 键的均聚树脂也就因此具有更高的相对结晶度，达 75% ~ 85%，共聚则为 70% ~ 75%。

由于聚甲醛是一种高结晶性的聚合物，具有较高的弹性模量，很高的硬度与刚度。可以在 -40 ~ 100℃ 长期使用。而且耐多次重复冲击，强度变化很小。不但能在反复的冲击负荷下保持较高的冲击强度，同时强度值较少受温度和湿度变化的影响。

键能大，分子的内聚能高，所以 POM 耐磨性好。未结晶部分集结在球晶的表面，而非结晶部分的玻璃化温度为 -50℃，极为柔软，且具有润滑作用，从而降低了摩擦和磨损。聚甲醛不但能长期工作于要求低摩擦和耐磨耗的环境，其自润滑特性更为无油环境或容易发生早期断油的工作环境下摩擦副材料的选择提供了独特的价值。在这个问题上，它不是作为传统材料的替代材料，而是作为摩擦副材料一种较新的选择进入了各个领域。

聚甲醛是热塑性材料中耐疲劳性最为优越的品种。其抗疲劳性主要取决于温度、负荷改变的频率和加工制品中的应变点，因此特别适合受外力反复作用的齿轮类制品和持续振动下的部件。

蠕变是塑料的普遍现象，蠕变小是聚甲醛的特点。在较宽的温度范围内，它能在负荷下，长时间保持重要的力学强度指标水平——大致维持在非铁（有色）金属的强度水平上。

抗蠕变和抗疲劳同时都比较好，这是聚甲醛十分宝贵的特点。在同档次工程塑料中间，没有替代者。同时，回弹性和弹性模量也都比较好。同时具有这两方面的特性，又是聚甲醛所独有的。这使它可作为各种结构弹簧类部件的材料使用。

聚甲醛的物理力学性能见表 4-2。

表 4-2 聚甲醛的物理力学性能

项 目	均聚甲醛	共聚甲醛	项 目	均聚甲醛	共聚甲醛
密度/(g/cm ³)	1.42	1.41	剪切强度/MPa	67	54
拉伸强度/MPa	70	62	冲击强度 /(J/m)	缺口	76
伸长率(%)	40	60		无缺口	1310
拉伸模量/GPa	3.16	2.88	洛氏硬度(M)	94	80
弯曲模量/GPa	2.88	2.64	磨耗/(mg/1000次)	—	14
弯曲强度/GPa	90	98	摩擦因数	对钢	—
压缩强度/GPa	127	110		对相同材料	0.15
					0.35

(2) 热学性能 聚甲醛具有较高的热变形温度，均聚甲醛为 136℃，共聚甲醛为 110℃。但由于分子结构方面的差异，共聚甲醛反而有较高的连续使用温度。一般而言聚甲醛的长期使用温度是 100℃ 左右。而共聚甲醛可在 114℃ 连续使用 2000h，或在 138℃ 连续使用 1000h，短时间可使用的温度可达 160℃。

聚甲醛可以长期在高温环境下使用，且力学性能变化不大。按美国 UL 规范，它的长期耐热温度为 85 ~ 105℃。

尽管该品种加工热稳定性差，但由于其在短时间热性能（熔点及热畸变）和长时间耐用性方面表现出众，以及种种改进，它反倒成为高温空气和高温水环境下工作部件选材时常被考虑的品种。

(3) 耐化学药品性能 聚甲醛的基本结构决定了它没有常温溶剂。在树脂熔点以下或附近，也几乎找不到任何溶剂，仅有个别物质如全氟丙酮，能够形成极稀的溶液。所以在所有工程塑料中聚甲醛耐有机溶剂和耐油性十分突出。特别是在高温条件下有相当好的耐蚀性，且尺寸和力学强度变化不大。

醇类能在聚甲醛熔点以上和熔融的树脂形成溶液。

由于共聚树脂不含有均聚树脂那样的酯基，所以能耐强碱。而均聚树脂只能耐弱酸。

聚甲醛与多种颜料有较好的相容性，易于着色，但由于有些颜料具有酸性，所以聚甲醛用的颜料，需要慎重选择。其色母的制作，也远比一般树脂苛刻。

工程塑料对水的吸收能力常能导致制品的尺寸变动，而聚甲醛由于水的吸收产生的尺寸变动是极小的，不会给实际应用带来问题。

(4) 电气性能 聚甲醛良好的电性能，表现之一在于介电常数不受温度和湿度的影响。不同制造工艺导致的微量杂质含量的差异对体积电阻可带来一个数量级的影响。

(三) 应用

聚甲醛主要用于代替非铁（有色）金属（如铜、锌、铝等）制作各种结构零部件。应用量最大的是汽车工业，在机械制造、精密仪器、电器通信设备、家庭用具等领域的应用也相当普遍。聚甲醛特别适于制作耐摩擦、耐磨耗以及承受高负荷的零件，如齿轮、轴承等。

二、国内聚甲醛品种与性能

(1) 上海太平洋化工集团上海溶剂厂的金谷牌共聚级 POM（表 4-3）

表 4-3 上海太平洋化工集团上海溶剂厂金谷牌共聚级 POM 的性能

项 目	GB 标准号	M250	M900	M1700
密度/(g/cm ³)	1033	1.40	1.40	1.40
拉伸强度/MPa	1040	55	55	55
伸长率(%)	1040	50	50	50
弯曲强度/MPa	1042	97	97	97
压缩强度/MPa	1041	81	81	81
Izod 缺口冲击强度/(J/cm)	1043	1.5	1.5	1.5

(续)				
项 目	GB 标准号	M250	M900	M1700
白度(度)	2913	≥75	>75	>50
马丁耐热温度/℃	1035	55	55	55
线胀系数/K ⁻¹	1036	10.7×10 ⁻⁵	10.7×10 ⁻⁵	10.7×10 ⁻⁵
体积电阻率/Ω·cm	1404	3×10 ¹⁴	3×10 ¹⁴	3×10 ¹⁴
介电常数(10 ⁶ Hz)	1049	3.8	3.8	3.8
介电强度/(kV/mm)	1046	19.5	19.5	19.5
热失重(220℃×10min)(%)		≥99	≥99.2	

(2) 重庆合成化工厂的 POM (表 4-4)

表 4-4 重庆合成化工厂 POM 的性能

项 目	GB 标准号	M25	M60	M90	M120	M160	M200	M270
拉伸强度/MPa	1040	60	60	60	60	60	60	50
伸长率(%)	1040	30	30	30	30	30	30	30
弯曲强度/MPa	1042	130	130	130	130	130	130	130
压缩强度/MPa	1041	82	82	82	82	82	82	82
Izod 冲击强度/(J/cm ²)	无缺口	1043	9	9	9	8	8	7
	缺口	1043	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
熔点/℃		157	157	157	177	157	157	155
马丁耐热温度/℃	1035	53	53	53	53	53	53	53
线胀系数/K ⁻¹	1036	10.9×10 ⁻⁵	10.9×10 ⁻⁵	10.9×10 ⁻⁵	10.9×10 ⁻⁵	10.9×10 ⁻⁵	10.9×10 ⁻⁵	10.9×10 ⁻⁵
体积电阻率/Ω·cm	1044	3×10 ¹⁴	3×10 ¹⁴	3×10 ¹⁴	3×10 ¹⁴	3×10 ¹⁴	3×10 ¹⁴	3×10 ¹⁴
介电常数(10 ⁶ Hz)	1409	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
介电强度/(kV/mm)	1046	27	27	27	27	27	27	27
热失重(222℃×20min)(%)		≤1.0	≤1.0	≤1.0	≤1.0	≤1.0	≤1.0	≤1.0

牌号	熔体流动速率/(g/10min)	级别	特性和主要用途
M25	1.5~3.5	挤出级、注射级	韧性较好, 宜制机械、电器零件和型材、板材
M60	3.5~7.5	挤出级、注射级	韧性较好, 宜制机械、电器零件和型材、板材
M90	7.5~10.5	注射级	加工性好, 宜制一般制品
M120	10.5~14	注射级	加工性良好, 宜制一般制品
M160	14~18	注射级、挤出级	流动性好, 成型容易, 可制一般构件, 也可纺丝
M200	18~21	注射级、挤出级	流动性好, 成型容易, 可制一般构件, 也可纺丝
M270	>21	注射级	流动性好, 宜制结构复杂的薄壁工程制品

(3) 成都有机硅研究中心的改性 POM (表 4-5)

表 4-5 成都有机硅研究中心改性 POM 的性能

项 目	高润滑级	玻璃纤维增强级	轿车衬管专用料
密度/(g/cm ³)		1.60	
拉伸强度/MPa	40 ~60	≥80	>60
弯曲强度/MPa	58 ~70	≥110	
冲击强度/(kJ/m ²)			
缺口	6 ~10		
无缺口		≥6	
压缩强度/MPa	71 ~80		
热变形温度(1.86MPa)/℃	>90	150	
伸长率(%)			>40
摩擦因数	0.2 ~0.3		
钢丝磨破管子次数			1.7 万次
牌 号	特 性 和 主 要 用 途		
高润滑级	注射，制品比纯 POM 的摩擦因数低 1 倍，耐磨性提高 3 倍，噪声小而力学强度基本不变，宜制齿轮、轴套、滑块等		
玻璃纤维增强级	注射，力学强度高，耐磨，耐腐蚀，耐热，线胀系数小，尺寸稳定性高，成型收缩率低，宜制汽车、电器件		
轿车衬管专用料	注射，制品表面光泽、管内外光滑，柔韧适中，宜制轿车衬管		

(4) 台湾南亚工程塑胶股份有限公司的 POM (表 4-6)

表 4-6 台湾南亚工程塑胶股份有限公司 POM 的性能

项 目	ASTM 标准号	M25	M90	M270	M450
拉伸强度/MPa	D638	61	61	61	61
伸长率(%)	D638	75	60	40	35
弯曲强度/MPa	D790	93	93	93	93
弯曲弹性模量/MPa	D790	2600	2600	2600	2600
Izod 缺口冲击强度/(kJ/m ²)	D256	0.07	0.07	0.053	0.050
热变形温度(1.84MPa)/℃	D648	110	110	110	110
阻燃性	UL94	HB	HB	HB	HB
线胀系数(×10 ⁻⁵)/K ⁻¹	D696	9.5	9.5	9.5	9.5
介电强度/(kV/mm)	D149	23	23	23	23
体积电阻率/Ω·cm	D257	1×10 ¹⁴	1×10 ¹⁴	1×10 ¹⁴	1×10 ¹⁴
牌 号	特 性 和 主 要 用 途				
M25	挤出或注射，流动性较差，抗疲劳，韧性好，耐化学溶剂，耐热水解，宜制工程件				
M90	注射，流动性较好，抗疲劳，抗冲，耐化学品和溶剂，耐热水解，宜制工程件				
M270	注射，流动性好，抗疲劳，抗冲，耐化学品和溶剂，宜制结构复杂薄壁工程件				
M450	注射，流动性特好，抗疲劳，抗冲，耐化学品和溶剂，耐热水解，宜制结构复杂、薄壁、多穴工程件				

三、国外聚甲醛品种与性能

(1) 美国杜邦公司的 Delrin POM (表 4-7)

表 4-7 美国杜邦公司 Delrin POM 的性能

项 目	ASTM	100	100AF	100P	100ST	500	500AF	500CL
密度/(g/cm ³)	D792	1.42	1.54	1.42	1.34	1.42	1.54	1.42
硬度(洛氏)	D785	M94	M78	M94	M58	M94	M78	M90
吸水量(24h)(%)	D570	0.25	0.20	0.25	0.43	0.25	0.20	0.27
成型收缩率(%)	D955	2.3	2.1	2.2~2.4	1.2~1.4	2.0	1.9~2.2	2.0
拉伸屈服强度/MPa	D638	68.95	52.4	69	64	68.95	48	65.5
屈服伸长率(%)	D638	75	22	65	521	40	15	40
弯曲屈服强度/MPa	D790	98.6	73.1	98	40	97.2	72	89.6
弯曲弹性模量/GPa	D790	2.6	2.3	2.8	1.2	2.8	2.4	2.8
压缩屈服强度/MPa	D695	35.9	31	35	8	35.9	31	31
Izod 缺口冲击强度/(kJ/m ²)	D256	4.4	2.5	13.7	9.01	2.9	3.7	2.9
热变形温度/℃	D648	172	168	172	168	172	168	170
	D648	136	118	136	65	136	118	124
线胀系数/($\times 10^{-5} \text{K}^{-1}$)	D696	5.8	5.8	10.4	9.9	5.8	10.4	5.8
介电强度/(kV/mm)	D149	0.5	0.4	2.3	2.3	0.5	3.2	3.2
介电常数(1MHz)	D150	3.7	3.1	3.7	4.1	3.7	3.1	3.5
介电损耗角正切值(1MHz)	D150	5×10^{-3}	9×10^{-3}	5×10^{-3}	7×10^{-3}	5×10^{-3}	9×10^{-3}	6×10^{-3}
体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$	D257	1×10^{15}	3×10^{16}	1×10^{15}	2.3×10^{14}	1×10^{15}	3×10^{16}	5×10^{14}
耐电弧/s	D495	220	183	220	120	220	183	183

(续)

项 目	ASTM	500P	500T	570 577	900P	1700P	AF313
密度/(g/cm ³)	D792	1.42	1.39	1.56	1.42	—	1.54
硬度(洛氏)	D785	M94	M79	M90	M94	M89	M78
吸水量(24h)(%)	D570	0.25	0.31	0.25	0.25	—	0.20
成型收缩率(%)	D955	1.9~2.2	1.7~1.9	1.2	1.8~2.0	1.7~1.9	—
拉伸屈服强度/MPa	D638	69	58	59	69	70	48
屈服伸长率(%)	D638	35	91	12	25	15	15
弯曲屈服强度/MPa	D790	97	70	74	97	103	—
弯曲弹性模量/GPa	D790	3.1	2.4	5.0	3.2	3.2	2.4
压缩屈服强度/MPa	D695	35	16	36	35	22	31
Izod 缺口冲击强度/(kJ/m ²)	D256	81	143	43	71	59	1.5
热变形温度/℃	D648	172	174	174	172	—	168
	D648	136	85	158	136	—	118
线胀系数/($\times 10^{-5} \text{K}^{-1}$)	D696	10.4	10.2	3.6~8.1	10.4	—	6.8
介电强度/(kV/mm)	D149	2.3	2.3	3.2	2.3	—	—
介电常数(1MHz)	D150	3.7	3.6	3.9	3.7	—	—
介电损耗角正切值(1MHz)	D150	5×10^{-3}	16×10^{-3}	5×10^{-3}	5×10^{-3}	5×10^{-3}	—
体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$	D257	1×10^{15}	2×10^{15}	5×10^{14}	1×10^{15}	1×10^{15}	—
耐电弧/s	D495	220	120	168	220	—	—

(2) 美国液氮加工公司 (LNP) 的 Verton POM (表 4-8)

表 4-8 美国液氮加工公司 Verton POM 的性能

项 目	ASTM	KF1006B	KFL4036	KFX1002	KFX1006	KFX1008	KFX100MG	KL4030
密度/(g/cm ³)	D792	1.63	1.73	1.47	1.63	1.71	1.71	1.49
吸水性(方法 A)(%)	D570	0.60	0.20	0.24	0.30	0.45	0.30	0.17
成型收缩率(%)	D955	1.27	1.14	2.0	0.76	3.3	1.53	—
拉伸屈服强度/MPa	D638	89	86	86	134	41	93	48
伸长率(%)	D638	2.0	—	6.0	3~4	5~6	3.0	—
弯曲屈服强度/MPa	D790	120	—	127	199	79.3	144	—
弯曲弹性模量/MPa	D790	8963	8300	3792	9653	4100	7645	2068
洛氏硬度(方法 A)	D785	M86	—	M82	N86	M84	M84	—
Izod 缺口冲击强度(6.4mm)/(J/m)	D256	42.7	37	75	96	39	59	37
热变形温度(0.48MPa)/℃	D648	162	160	148	165	121	154	101
最高使用温度/℃		187	187	187	202	187	187	187
线胀系数/(×10 ⁻⁵ K ⁻¹)	D696	4.32	4.5	4.68	3.96	5.4	4.32	9.36
介电强度/(kV/mm)	D194	—	—	—	0.525	—	—	—
介电常数	60Hz D150	—	—	—	3.95	—	—	—
	10 ⁶ Hz D150	—	—	—	3.95	—	—	—
介电损耗角正切值	60Hz D150	—	—	—	0.0035	—	—	—
	10 ⁶ Hz D150	—	—	—	0.0065	—	—	—

(3) 美国塞莫菲尔 (Thermofil) 公司的 Thermofil POM (表 4-9)

表 4-9 美国塞莫菲尔公司的 Thermofil POM 的性能

项 目	ASTM	G10FG- 0100	G30FG- 0100	G9900- 1214	G9990- 0215	G9900- 0223	G1-9900- 0215	G1-07SS- Y486
密度/(g/cm ³)	D792	1.64	1.63	1.47	1.51	1.53	1.54	1.50
吸水性(方法 A)(%)	D570	0.22	0.20	—	—	—	—	—
成型收缩率(%)	D955	1.52	1.27	—	—	—	—	—
拉伸屈服强度/MPa	D638	72	83	46	44	41	52	64
伸长率(%)	D638	2.4	2.0	—	—	—	—	—
弯曲屈服强度/MPa	D790	107	114	—	—	—	—	—
弯曲弹性模量/GPa	D790	6.1	2.2	2.2	2.1	2.2	2.6	3.3
压缩屈服强度/MPa	D695	69	81	—	—	—	—	—
洛氏硬度	D785	M80	M85	—	—	—	—	—
Izod 缺口冲击强度(3.2mm)/(J/m)	D256	53.4	42.8	42.6	42.6	29.3	40.0	42.6
介电强度/(V/mm)	D194	550	500	—	—	—	—	—
体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$	D257	10^{14}	10^{14}	—	—	—	—	—
热变形温度/℃	D648	135	162	154	154	154	154	154
连续使用最高温度/℃	D648	—	—	98	98	129	98	121
线胀系数/($\times 10^{-5} \text{K}^{-1}$)	D696	5.22	4.32	—	—	—	—	—
燃烧性	UL94			HB	HB	HB	HB	HB

(4) 日本旭化成 (Asahi) 工业公司的 POM (表 4-10 ~ 表 4-12)

[illegible]

项 目	ASTM 标准号	(续)									
		7010	7050	7054	EF500	GA520	GT252	LA501	LT200	LT805	PT300
密度/(g/cm ³)	D792	1.42	1.42	1.42	1.36	1.36	1.56	1.38	1.40	1.42	1.40
吸水性(%)	D570	0.16	0.16	0.16	0.20	0.18			0.20	0.30	0.20
拉伸强度/MPa	D638	70	70	70	48	61	55	57.9	65	67	63
伸长率(%)	D638	30	30	30	20	15	14	40	45	50	20
弯曲强度/MPa	D790	105	105	105	83	100	93	81.4	90	100	110
弯曲弹性模量/MPa	D790	3100	3100	3100	2700	4500	4200	2230	2800	2900	4000
Izod 缺口冲击强度/(kJ/m)	D256	0.065	0.065	0.065	0.055	0.040	0.04	0.0392	0.07	0.07	0.05
燃烧性	UL94	HB	HB	HB	HB	HB		HB	HB	HB	
磨耗/(mg/1000r)	D1044	13	13	13	—	23			18	13	
熔点/℃	DSC 法	179	179	179	179	179			179	179	179
线胀系数/($\times 10^{-5} \text{K}^{-1}$)	D696	8.1	8.1	8.1	—	8.1			8.1	8.5	7.3
热变形温度/℃	D648	124	124	124	94	152	150	169	114	124	139
	D648	170	170	170	150	174	172	102	170	170	
洛氏硬度	D785	M94	M94	M94	M85	M90	M90	M91	M70	M92	M92
	D785	R120	R120	R120		R118			R117	R120	R121
成型收缩率(水平/垂直,3mm厚)(%)	旭化成法	2.0/2.3	2.0/2.3	2.0/2.3	2.0/2.3	1.2/1.7	1.7/1.8	2.16/2.18	2.0/2.3	2.0/2.3	2.0/2.3

表 4-12 日本旭化成工业公司 Tenal 均聚级 POM 的加工性能

牌号	零件名称	质量/g	注射机容量/g	机筒温度/℃	模具/℃	注射压力/MPa	注射时间/s	冷却时间/s
3010	板	36	5	200	75	80	9	15
5010	轴承	6	1	210	85	90	13	10
5010	齿轮	27	3.5	190	70	75	8	20
5010	轴承	120	5	200	120	110	20	20
5010	纱管	570	25	200	70	100	15	55
5012	玩具	5	2	200	80	90	15	15
5050	玩具	3.2	2	200	80	80	12	9
5050	齿轮	39	5	200	70	80	15	15
7010	小齿轮	0.5	1	200	80	72	2	5
7050	滚柱	8.2	3	200	80	83	11	5
GA520	开关件	1	2	190	60	80	7	6
GA520	门锁	56	8	195	60	130	14	35

(5) 日本三菱化成公司的 Lupital 共聚级 POM (表 4-13)

表 4-13 日本三菱化成公司 Lupital 共聚级 POM 的性能

项 目	ASTM 标准号	F10- 01	F20- 01	F20- 02	F20- 51	F20- 52	F20- 61	F25- 02	F30- 01	F30- 02	FA 2010	FA 2020	FB 2025	FC 2020D	FC 2020H	FG 1025A FC2025	FL 2010	FL 2020
密度/(g/cm ³)	D792	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.39	1.37	1.59	1.46	1.46	1.59	1.46	1.51
吸水性(%)	D570	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.20	0.36	0.28	0.20	0.19	0.18
拉伸屈服强度/MPa	D638	61.5	70	70	68.5	70	70	71	71.3	71.3	56	47	71	135	157	157	60	66
屈服伸长率(%)	D638	65	60	60	60	50	60	55	50	50	70	75	10	3	3	3	40	30
弯曲弹性模量/MPa	D790	2570	2600	2978	2600	2600	2550	2620	3002	3002	2812	2465	4100	13700	15700	9120	2749	2583
弯曲强度/MPa	D790	88.3	89.7	—	88.3	88.3	86.3	90.2	91.2	91.2	78.5	68.6	99.0	177	265	206	76.5	66.7
Izod 缺口冲击强度/(J/cm)	D256	0.75	0.65	0.65	0.53	0.53	0.65	0.59	0.55	0.55	0.64	0.59	0.64	0.44	0.588	0.98	0.29	0.29
硬度(洛氏)	D785	M78	M80	M80	M80	M80	M80	M0	M80	M80	M80	M80	M83	M96	M98	M95	M75	M70
热变形温度/℃	D648	158	158	158	158	158	158	158	158	158	160	155	162	164	164	164	158	156
线胀系数/(×10 ⁻⁵ K ⁻¹)	D648	110	110	110	110	110	110	110	110	110	108	106	135	163	163	163	107	106
燃烧性	D696	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	9	—	1.5	2~3	13	13
体积电阻率/Ω·cm	UL-94	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB
介电常数(1MHz)	D257	10 ⁻¹⁴	10 ⁻¹⁴	10 ⁻¹⁴	10 ⁻¹⁴	10 ⁻¹⁴	10 ⁻¹⁴	10 ⁻¹⁴	10 ⁻¹⁴	10 ⁻¹⁴	10 ⁻¹⁴	10 ⁻¹⁴	10 ⁻¹⁴	2×10 ⁻²	2×10 ⁻⁵	10 ⁻¹⁴	10 ⁻¹⁴	10 ⁻¹⁴
介电损耗角正切值(1MHz)	D150	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	—	—	—	—	—	—	3.1	3.1
介电强度/(kV/mm)	D150	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	—	—	—	—	—	—	0.009	0.009
成型收缩率(%)	D149	19	19	19	19	19	19	19	19	19	—	—	20	—	—	23	16	16
	D955	2.2	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.9	1.9	1.6	0.4	0.4	0.6	2.0	2.1

项 目	(续)																	
	ASTM 标准号	FS 2022	FT 2010	FT 2020	FU 2025	FU 2050	FV 30	FW 21	FW 24	FX 11	FX 11A	LO21A	MF 3020	ET 20	TC 3015	TC 3030	FM 2020	
密度/(g/cm ³)	D792	1.41	1.49	1.59	1.35	1.29	1.41	1.42	1.41	1.41	1.41	1.41	1.55	1.41	1.52	1.63	1.44	
吸水性(%)	D570	0.22	0.23	0.23	—	—	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.20	0.22	0.22	0.21	0.20	0.22	
拉伸屈服强度/MPa	D638	62	84	106	34.3	21.6	71.0	55.9	51.0	53.9	53.9	56.9	60.8	45.1	60.3	58.8	63.7	
屈服伸长率(%)	D638	90	7	3	>300	>300	50	40	50	70	70	50	14	7	2.5	1.0	30	
弯曲弹性模量/MPa	D790	2550	4810	8140	1380	650	3255	2550	2450	2450	2450	2450	3630	2459	4710	8340	2650	
弯曲强度/MPa	D790	83.4	118	162	44.1	22.6	90.2	81.4	73.5	80.4	80.4	80.4	98.1	68.6	103	111	94.1	
Izod 缺口冲击强度/(J/cm)	D256	0.53	0.44	0.44	1.77	9.8	0.53	0.49	0.49	0.64	0.64	0.59	0.49	0.54	0.30	0.33	0.59	
硬度(洛氏)	D785	M80	M74	M69	M75	M62	M80	M80	M80	M80	M80	M80	M83	M75	M84	M84	M80	
热变形温度/℃	0.45MPa	D648	150	160	163	147	106	158	156	—	—	—	163	—	—	—	158	
1.82MPa	D648	110	145	159	94	73	110	109	107	110	110	110	135	102	142	151	110	
线胀系数/(×10 ⁻⁵ K ⁻¹)	D696	13	7.0	3.5	13	13	13	13	13	13	13	13	9	13	7	5	13	
燃烧性	UL-94	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	
体积电阻率/Ω·cm	D257	10 ¹⁴	10 ¹⁴	10 ¹⁴	10 ¹⁴	10 ¹⁴	10 ¹⁴	10 ¹⁴	10 ¹⁴	10 ¹⁴	10 ¹⁴	10 ¹⁴	10 ¹⁴	10 ¹⁴	10 ¹⁴	10 ¹⁴	10 ¹⁴	
介电常数(1MHz)	D150	—	—	—	—	—	3.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
介电损耗角正切值(1MHz)	D150	—	—	—	—	—	0.007	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
介电强度/(kV/mm)	D149	—	—	—	—	—	19	—	—	—	—	—	—	—	—	29	—	
成型收缩率(%)	D955	2.0	1.7	0.9	1.7	1.2	2.0	2.0	2.0	2.1	2.1	2.0	1.7	1.6	1.9	1.5	2.0	

(续)

项 目	ASTM 标准号	GM20	KT20	LW90	LW90F ₂	LW90S ₂	LWGCS ₂	M25	M50	M90	M140	M270	M450
吸水性(23℃,24h)(%)	D570	—	—	0.20	0.22	0.21	0.27	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22
成型收缩率(水平/垂直)(%)	D955	—	—	2.2/1.8	2.2/1.8	2.2/1.8	0.4/1.8	2.2/1.8	2.2/1.8	2.2/1.8	2.2/1.8	2.2/1.8	2.2/1.8
拉伸屈服强度/MPa	D638	58	92	58	57	50	110	60	60	60	60	60	60
伸长率(%)	D638	10	4	50	55	60	2.5	75	65	60	50	40	25
弯曲强度/MPa	D790	107	156	84	79	82	172	89	89	89	89	89	89
弯曲弹性模量/MPa	D790	3530	7060	2540	2340	2410	7570	2580	2580	2580	2580	2580	2580
耐疲劳性/MPa	D671	—	—	—	—	—	—	27	—	28	—	20	—
压缩强度(1%变形)/MPa	D695	—	—	30	27	27	41	31	31	31	31	31	31
洛氏硬度	D785	—	—	M80	M79	M75	M83	M78	M80	M80	M80	M80	M80
Izod 缺口冲击强度/(J/m)	D256	—	—	64	53	74	58	80	74	69	58	53	48
艾氏缺口冲击强度/(J/m)	D256	39	40	—	—	—	—	74	—	63	58	52	49
热变形温度(1.82MPa)/℃	D648	150	160	97	—	110	145	110	110	110	110	110	110
剪切强度/MPa	D732	—	—	51	53	50	53	53	53	53	53	53	53
阻燃性	UL94	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB
线胀系数($\times 10^{-5} \text{K}^{-1}$)		4~9	4~9	—	—	—	—	10	10	10	10	10	10
介电强度/(V/mm)	D149	20	26	—	—	—	—	24	24	24	24	24	24
体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$	D257	2×10^{14}	2×10^{13}	—	—	—	—	1×10^{14}	1×10^{14}	1×10^{14}	1×10^{14}	1×10^{14}	1×10^{14}
耐电弧/s		—	—	—	—	—	—	240	240	240	240	240	240

项 目	ASTM 标准号	MC 90	MC 90HM	MC 270	MC 270HM	MS-02	NW-02	OL-10	SU-25	SU-50	SW-01	TR-5	TR-20	TDI5	(续)
吸水性(23℃,24h)(%)	D570	0.21	0.20	0.21	0.20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	D955	1.9/1.6	1.5/1.2	1.9/1.6	1.5/1.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
成型收缩率(水平/垂直)(%)															
拉伸屈服强度/MPa	D638	53	44	31	26	60	52	49	35	24	49	58	56	38.3	
伸长率(%)	D638	55	50	40	35	40	35	90	120	>300	35	20	5	>200	
弯曲强度/MPa	D790	89	86	89	86	96	77	78	51	31	78	92	98	53.9	
弯曲弹性模量/MPa	D790	2960	3440	2960	3440	2510	2300	2350	1420	780	2590	3040	4110	1570	
耐疲劳性/MPa	D671	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
压缩强度(1%变形)/MPa	D695	29	29	29	29	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
洛氏硬度	D785	M83	M83	M83	M83	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Izod 缺口冲击强度/(J/m)	D256	64	64	53	48	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
艾氏缺口冲击强度/(J/m)	D256	—	—	—	—	55	58	58	93	无断裂	49	39	34	137	
热变形温度(1.82MPa)/℃	D648	93	97	93	97	110	117	110	80	65	110	136	149	85	
剪切强度/MPa	D732	49	44	49	44	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
阻燃性	UL94	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	
线胀系数/(×10 ⁻⁵ K ⁻¹)															
介电强度/(V/mm)	D149	—	—	—	—	10	—	10	10	10	10	—	4~9	10	
体积电阻率/Ω·cm	D257	—	—	—	—	—	—	—	—	—	23	—	—	—	
耐电弧/s		—	—	—	—	—	—	—	—	—	2×10 ¹⁴	—	—	—	

(续)													
项 目	ASTM 标准号	TX90	TX90 +	U10-01	U10-11	UV25Z	UV90Z	UV270Z	VC11	WR25Z	WR90Z	YF10	YF20
吸水性(23℃,24h)(%)	D570	0.21	0.20	0.22	—	0.22	0.22	0.22	—	0.22	0.22	—	—
成型收缩率(水平/垂直)(%)	D955	2.1/1.7	1.7/1.5	2.0/2.0	—	2.2/1.8	2.2/1.8	2.2/1.8	—	2.2/1.8	2.2/1.8	—	—
拉伸屈服强度/MPa	D638	49	41	59	60	60	60	60	59	60	60	53	47
伸长率(%)	D638	100	>250	67	45	75	60	40	60	60	40	45	35
弯曲强度/MPa	D790	65	48	88	96	89	89	89	88	89	89	84	78
弯曲弹性模量/MPa	D790	1920	1500	2410	2380	2580	2580	2580	2400	2580	2580	2540	2350
耐疲劳性/MPa	D671	—	—	—	—	27	22	20	—	—	—	—	—
压缩强度(1%变形)/MPa	D695	19	17	—	—	31	31	31	—	33	31	—	—
洛氏硬度	D785	R114	R110	M84	—	M80	M80	M80	—	M80	M80	—	—
Izod 缺口冲击强度/(J/m)	D256	96	133	90	—	80	69	53	—	74	64	—	—
艾氏缺口冲击强度/(J/m)	D256	—	—	—	63	—	—	—	49	—	—	49	27
热变形温度(1.82MPa)/℃	D648	101	80	96	110	110	110	110	110	110	110	107	100
剪切强度/MPa	D732	46	39	55	—	53	53	53	—	53	53	—	—
阻燃性	UL94	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB
线胀系数/(×10 ⁻⁵ K ⁻¹)		—	—	—	10	—	—	—	10	—	—	10	10
介电强度/(V/mm)	D149	—	—	—	24	—	—	—	—	—	—	—	—
体积电阻率/Ω·cm	D257	—	—	—	1×10 ¹⁴	—	—	—	1×10 ¹³	—	—	—	—

(7) 德国赫斯特 (Hoechst) 公司的 Hostaform 共聚级 POM (表 4-15)
表 4-15 德国赫斯特公司 Hostaform 共聚级 POM 的性能

项 目	测试 标准 DIN	C2521	C9021	C9021 - CV1/30	C9021K	C9021M	C9021TF	C13021	C27021	CVPI3031	TI1020
拉伸强度/MPa	53455	70	73	130	72	72	53	75	72	80	68
伸长率(%)	53455	65 ~ 70	60 ~ 70	3	45 ~ 55	60 ~ 70	20 ~ 25	60 ~ 70	45 ~ 66	60 ~ 70	60 ~ 70
弯曲弹性模量/MPa	53457	3100	3300	10500	3300	3100	2600	3300	3300	3700	3000
弯曲强度/MPa	53452	115	120	150	125	125	94	120	120	130	120
邵氏硬度	53505	80	85	86	85	85	80	85	85	93	82
缺口冲击强度/(kJ/m ²)	53453	10	9	6	7	7	4.5	8.5	7.5	8.5	9.0
热变形温度/℃	53461	125	125	160	125	125	115	125	125	132	125
维卡软化温度/℃	53460	163	163	171	163	162	155	163	163	170	163
熔点/℃	—	164 ~ 167	164 ~ 167	164 ~ 167	164 ~ 167	164 ~ 167	164 ~ 167	164 ~ 167	164 ~ 167	169 ~ 172	164 ~ 167
线胀系数/(×10 ⁻⁴ K ⁻¹)	52328	1.1	1.1	0.25 ~ 0.35	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
热导率/[W/(m·K)]	52612	0.31	0.31	0.41	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
摩擦因数		0.4	0.4	0.6	0.4	0.4	0.25	0.4	0.4	0.4	0.4
磨耗(轮法)(mg/100r)	53754E	30 ~ 40	35 ~ 45	30 ~ 45				35 ~ 45	35 ~ 45	35 ~ 45	30 ~ 40
体积电阻率/Ω·cm	53482 VDE0303	> 10 ¹⁵	> 10 ¹⁵	> 10 ¹⁵	> 10 ¹⁵	> 10 ¹⁵	> 10 ¹⁵	> 10 ¹⁵	> 10 ¹⁵	> 10 ¹⁵	> 10 ¹⁵
表面电阻率/Ω	53482 VDE0303	> 10 ¹³	> 10 ¹³	> 10 ¹³	> 10 ¹³	> 10 ¹³	> 10 ¹³	> 10 ¹³	> 10 ¹³	> 10 ¹³	> 10 ¹³
介电强度/(kV/mm)	53481 VDE0303	65	70		65	60		70	70	70	61
介电常数	53481 VDE0303	3.9	3.8	4.8	4.0	4.0	3.6	3.7	3.7	3.7	3.9

(8) 英国帝国化学公司材料部的 POM (表 4-16)

表 4-16 英国帝国化学公司材料部 POM 的性能

牌 号	燃烧性 (UL94)	拉伸屈服 强度 /MPa	弯曲弹性 模量 /MPa	Izod 缺口 冲击强度 /(J/cm)	热变形温度/℃	
					0.48MPa	1.82MPa
Fulton 404	HB	45	2415	0.32	160	154
404D	—	53	2415	0.37	—	100
441	—	55	2415	0.85	—	110
441D	—	66	3094	0.64	—	116
Lubricomp K	—	—	1587	0.37	—	99
KB1008	—	—	4140	0.37	—	121
KC1004	—	—	9315	0.53	—	170
KF1006	—	—	8970	0.43	—	165
KF1006D	—	—	9660	0.37	—	166
KFL4034	—	—	5865	0.37	—	149
KFL4036	—	86	8280	—	—	160
KFL4524	—	—	8280	0.37	—	160
KFL4534	—	—	6210	0.37	—	154
KFL4536	—	—	6210	0.37	—	154
KFX1002	V-0	—	3795	0.75	—	149
KFX1004	—	—	7590	0.90	—	160
Lubricomp KFX1006	HB	—	9660	0.96	—	166
Lubricomp KFX1006MG	—	—	3968	0.58	—	149
KFX1008MG	—	—	5175	0.32	—	133
KL4010	—	—	2415	0.53	—	105
KL4020	—	—	2243	0.48	—	101
KL4030	—	—	2070	0.37	—	100
KL4050	—	41.4	2243	0.32	—	99
KL4320	—	55	2691	0.43	—	110
KL4520	—	—	2200	0.37	—	101
KL4530	—	—	1900	0.53	—	100
KL4540	—	41.4	2070	0.48	—	99
KL4540D	—	41.4	2243	0.48	—	99
Rimplast KL4410	—	49	4899	0.48	—	—
KL4610	—	45	2381	0.53	—	—
	—	—	—	—	—	—
Stat-Kon KA1002	—	—	2898	0.43	—	154
KC1002	HB	—	7590	0.48	163	160
KCL4022	HB	—	6900	0.37	163	160

(9) 韩国 LG 化学公司的 Lucel 共聚级 POM (表 4-17)

(续)

项 目	ASTM	GB325	GC210	GC225	GC240	GC325	GR220	HI510	HI520	MC310	MC320	MP109	MR310	MR320	N103
拉伸强度/MPa	D638	65	100	130	150	130	90	55	40	65	55	60	57	65	62.5
伸长率(%)	D638	10	5	3	3	3.0	2.0	90	150	30	20	35	7	10	80
弯曲强度/MPa	D790	100	130	200	280	200	120	60	50	95	100	90	100	120	100
弯曲弹性模量/MPa	D790	4000	5000	8000	12000	7800	6500	1800	1200	3000	3500	2550	3500	5500	2700
I _{zod} 冲击强度/(kJ/m)	D256	0.04	0.05	0.09	0.12	0.09	0.05	0.15	0.25	0.06	0.05	0.06	0.045	0.04	0.075
无缺口	D256	0.35	0.4	0.7	0.9	0.65	0.40	NB	NB	0.5	0.4	0.70	0.4	0.35	0.90
洛氏硬度(M)	D785	85	83	85	87	95	92	75	70	75	73	80	83	80	80
热变形温度/℃	D648	150	160	160	165	163	155	95	85	140	135	110	150	155	110
0.46MPa	D648	163	165	165	165	166	166	150	145	155	150	160	165	165	160
线胀系数/(×10 ⁻⁵ K ⁻¹)	D695	9	7	4	4	4	5	10	10	10	10	10	9	10	10
燃烧性	UL94	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB
介电强度/(kV/mm)	D149	20		23	25	23	23								24
体积电阻率/Ω·cm	D257	10 ¹⁴	10 ¹⁶	10 ¹⁶	10 ¹⁶	10 ¹⁴	10 ¹¹			10 ¹⁶	10 ¹⁶	10 ¹⁴	10 ¹⁶	10 ¹⁶	10 ¹⁴
介电损耗角正切值(1MHz)	D150														0.007
介电常数(1MHz)	D150														3.8
抗电弧性/s	D495			125	135	125	135								240
摩擦因数	D1894									0.25	0.28				0.16
动	D1894														0.12
静	D1894														
Taber磨耗/(mg/1000r)	D1044	20	32	40	46	25	23			22	27		30	33	14

[illegible]

项 目		ASTM	NI27-R	NI27WR	NI45	NI45-02	NI45AS	NI45LD	ST550	VC127	VC127LD	VC145	WK320
拉伸强度/MPa		D638	63.5	62.5	61.0	63.5	61	61.0	28	62.5	63	63.5	93
伸长率(%)		D638	50	45	45	55	45	45	300	70	55	50	5
弯曲强度/MPa		D790	95	100	95	95	90	95	33	95	93	95	160
弯曲弹性模量/MPa		D790	2700	2650	2600	2700	2500	2600	800	2600	2650	2700	7500
Izod 冲击强度/(kJ/m)	缺口	D256	0.055	0.06	0.055	0.055	0.055	0.055	NB	0.060	0.06	0.055	0.045
	无缺口	D256	0.65	0.07	0.65	0.65	0.65	0.65	NB	0.70	0.70	0.65	0.50
洛氏硬度(M)		D785	82	82	82	82	82	82	62	82	82	82	85
热变形温度/℃	1.86MPa	D648	110	110	110	110	110	110	70	110	110	110	160
	0.46MPa	D648	160	160	160	160	160	160	120	160	160	160	165
线胀系数/(×10 ⁻⁵ K ⁻¹)		D695	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	6
燃烧性		UL94	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB
介电强度/(kV/mm)		D149		24	24	24		24					26
体积电阻率/Ω · cm		D257	10 ¹³	10 ¹⁴	10 ¹⁴	10 ¹⁴	10 ¹³	10 ¹⁴		10 ¹³	10 ¹³	10 ¹³	10 ¹⁶
介电损耗角正切值(1MHz)		D150	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007		0.007	0.007	0.007	
介电常数(1MHz)		D150	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8		3.8	3.8	3.8	
抗电弧性/s		D495	240	—	240	240	240	—		240	240	240	
带电半衰期/s				<5			<5			<5	<5	<5	
摩擦因数	动	D1894	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16		0.16	0.16	0.16	0.21
	静	D1894	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12		0.12	0.12	0.12	0.15
Taber 磨耗/(mg/1000r)		D1044	14	14	14	14	14	14		14	14	14	19

四、改性聚甲醛

1. 含油聚甲醛

在聚甲醛中混入液体润滑剂和表面活性剂即为含油聚甲醛。它提高了润滑性、耐磨性，摩擦因数小，PV 值高，且能保持原有的特性。含油聚甲醛主要用于注射成型，产品用于纺织机械、电影机械、汽车部件中的耐磨、自润滑零件，如轴承、轴套、滑块、滑轮等。

2. 增强聚甲醛

用 20% ~ 25% 玻璃纤维增强后弹性模量提高 2 ~ 3 倍，热变形温度提高 30 ~ 40℃（碳纤维增强的更高），成型收缩率要小一半，刚性倍增，成为较硬的材料；热变形温度、抗蠕变性、拉伸强度等均有所提高，阻燃性也稍有提高，但伸长率下降。

3. 共混物

聚甲醛若与聚四氟乙烯共混，可提高自润滑性、耐磨性和 PV 值，摩擦因数更小。与弹性体共混合金叫超韧聚甲醛，其缺口冲击强度提高了几十倍，可代替钢、铜、铝等金属部件。

4. 改性聚甲醛的牌号、性能与应用（表 4-18 ~ 表 4-24）

表 4-18 中国兵器工业集团第五三研究所 POM 合金的性能与应用

牌号	拉伸强度 /MPa	缺口冲击强度 /(kJ/m ²)	动摩擦因数 (对钢、黄铜、铅)	特 性	应用
超韧级	55	30	0.2	机械强度高，韧性高，耐疲劳，防老化，尺寸稳定，可注射成型	可制备工程零部件
高耐磨级	50	10 ~ 20	0.15	机械强度高，摩擦因数小，耐摩擦磨损性高，防老化，尺寸稳定，可注射成型	可制备耐磨性工程零部件

表 4-19 上海日之升新技术发展公司高润滑高耐磨 POM 的性能与应用

牌号	拉伸强度 /MPa	缺口冲击强度 /(kJ/m ²)	热变形温度 (1.82MPa) /℃	特 性	应用
POM-HS	40 ~ 60	7	≥95	摩擦因数为 0.15 ~ 0.2，比普通 POM 低 1 倍，耐磨性提高 3 倍，制品寿命高，噪声低，可注射成型	可制备齿轮、轴套、滑块等耐磨工程零件

表 4-20 上海材料研究所、安徽化工研究所 POM/PTFE 合金的性能与应用

POM/PTFE 配比	摩擦因数	磨耗量 /(mg/1000 次)	磨痕宽 /mm	特 性	应用
95/5(粉)	0.23(0.45)	1.7(7.0)	3.2(6.6)	磨耗量低，摩擦因数小，耐摩擦磨损性能好，可注射成型	可制备耐磨工程零件

(续)

POM/PTFE 配比	摩擦因数	磨耗量 /(mg/1000次)	磨痕宽 /mm	特 性	应用
95/5(纤维)	0.26(0.45)	1.5(7.0)	3.4(6.6)	耐摩擦磨损性能好,可 注射成型	可制备耐磨工程零件

注: () 内数值为纯 POM 的。

表 4-21 美国杜邦公司 Delrin POM/PU 合金的性能与应用

牌号	拉伸 强度 /MPa	悬臂梁缺口 冲击强度 /(J/m)	热变形温度 (1.82MPa) /℃	特 性	应用
100ST	46(72)	945(40)	91(124)	机械强度高, 缺口冲击强度高, 韧性好, 可注射成型	可制备工程零部件
500T	58(69)		100(136)	机械强度高, 缺口冲击强度高, 成型收缩率低, 尺寸稳定性好, 可注射成型	可制备工程零部件

注: () 内数值为纯 POM 的。

表 4-22 美国赛拉尼斯公司 POM/PTFE 和 POM/PU 合金的性能与应用

商品名称	牌号	特 性	应 用
Celcon POM/PTFE	YF10	耐摩擦磨损性能优于纯 POM, 可以达到无油润滑, 可注射成型	可制备万向节、轴套、轴承、精密齿轮等传动零件
Celcon POM/PU	TX-90	耐摩擦磨损性能好, 可达到超韧级, 可注射成型	可制备耐磨、抗冲工程零部件

表 4-23 美国宝理塑料公司 (Poly. Plastics Co.) Dur Con POM 的性能与应用

商品名称	POM/ PEEK 的配比	磨耗量/ (mg/1000次)	摩擦因数	特性和应用
Dur Con POM/PEEK	(3~15)/75	0.62 ~ 0.73(7.0)	0.076 ~ 0.088(0.45)	耐摩擦磨损性能好, 耐热性能好, 可注射成型, 可制备万向节、轴套、轴承、齿轮、滚轮、凸轮等耐磨抗冲传动零部件
Dur Con POM/PEEK	(3~15)/37	0.62 ~ 0.72(7.0)	0.075 ~ 0.086(0.45)	
Dur Con POM/PEI	(3~15)/75	0.69 ~ 0.74(7.0)	0.096 ~ 0.108(0.45)	

注: () 内数值为纯 POM 的。

表 4-24 德国赫斯特公司 Hostaform POM 合金的性能与应用

商品名称	牌号	特 性	应用
POM/PTFE	9024TF C9021	耐摩擦磨损性能好，摩擦因数小，可注射成型	可制备耐磨传动零件等
POM/PU	CT20	抗冲击性能好，耐磨性能好，可注射成型	可制备汽车保险杠等抗冲零部件

第二节 聚甲醛制品及其成型工艺

一、聚甲醛注射成型

(一) 简介

1. 原材料

(1) 物料性能 聚甲醛是一种坚韧有弹性的材料，外观有光泽，呈白色或浅象牙色，密度较大，为 $1.41 \sim 1.43\text{g/cm}^3$ ，有金属塑料之称。有良好的综合性能和着色性，强度、刚度高，减摩擦耐磨性好，吸水小，尺寸稳定性好，耐疲劳性极好，即使在低温下仍有很好的抗蠕变特性和抗冲击性能，具有突出的自润滑性和耐药品性。但热稳定性差，易燃烧，在大气中曝晒易老化。

(2) 适用范围 适于制作减摩、耐磨零件，传动零件以及化工、仪表等零件。

(3) 工艺特性

1) 聚甲醛是结晶性塑料，熔点明显，熔融范围窄，熔融和凝固快，料温稍低于熔融温度即发生结晶。流动性中等，熔体粘度受剪切速率影响大于受温度影响。吸湿小，可不经干燥处理。

2) 熔融温度与分解温度相近，成型性差。

3) 热稳定性差，极易分解，分解温度为 240°C ，加工时温度不得超过 240°C ，停留时间不宜超过 30min 。分解时有刺激性和腐蚀性气体，故模具宜选用耐蚀的材料制作。铜是聚甲醛降解的催化剂，与其接触的部位应避免使用铜或铜合金材料。

4) 成型收缩率大，为 $1.2\% \sim 3.0\%$ ，且收缩不易解决，在制定工艺条件和设计模具时应引起注意。制品壁厚要尽可能均匀一致。模具温度宜高些。

5) 摩擦因数小，弹性好，塑件易产生皱纹花样的表面缺陷。

2. 成型设备

聚甲醛的成型加工对注射机类型无特定要求，柱塞式注射机或螺杆式注射机均可采用。但由于聚甲醛成型温度范围较窄，热稳定性较差，从有利于塑化、降低成型温度以及注射速率而言，对稍大一些的制品或形状复杂的制品，选用螺杆式注射机较多一些。不管选用何种类型的注射机均须注意以下几点。

1) 每一次注射量不超过注射机最大公称注射量的 $70\% \sim 75\%$ ，最好在 60% 左右。

2) 物料流经的部位，不允许有任何造成物料滞留的问题存在，特别是机筒与喷嘴接合部、止逆装置或鱼雷头（又称分流梭）等处必须注意。

- 3) 螺杆式注射机的螺杆可选用三段通用型螺杆。
- 4) 要求喷嘴对料流的阻力小,一般选用敞开式通用喷嘴,并附有加热控温装置。
- 5) 为保证制品质量,特别是精密制品,要求注射机应有足够的锁模力。

3. 制品与模具设计

1) 聚甲醛制品的壁厚不仅与熔体的流动长度有关,而且与熔体流动速率有关。不同的熔体流动速率、不同的制品壁厚有不同的熔体流动长度。因此聚甲醛制品的壁厚应根据树脂情况进行选择,不宜太薄,一般在 1.5~5mm 之间。而过厚的壁厚因收缩、补料等问题较少采用。表 4-25 为制品壁厚与熔体流动速率以及流动长度的关系。

表 4-25 制品壁厚与熔体流动速率 (MFR) 以及流动长度的关系

MFR/(g/10min)	壁 厚			工 艺 条 件
	0.5mm	1.0mm	2.0mm	
27	145	225	310	模具温度 80℃
9.0	110	170	230	注射压力 130MPa 注射温度 180℃
2.5	—	—	165	注射速度 4.3m/min

2) 为减少制品中的应力,有利于物料均匀收缩,要求制品壁厚均匀,厚薄间相差不宜太大,并避免缺口、尖角的存在,转角处(特别是内角)要求用圆弧过渡($R0.8 \sim 1\text{mm}$)。

3) 聚甲醛的成型收缩率较大,而收缩率的大小又与制品的壁厚有关,制品壁厚越厚收缩也就越大,有关情况见表 4-26,收缩率的不同将影响制品的脱模斜度。聚甲醛的脱模斜度通常是在 $40' \sim 1^{\circ}30'$ 之间选取。

表 4-26 制品壁厚与收缩率的关系

制品壁厚/mm	收缩率(%)	制品壁厚/mm	收缩率(%)
1~3	1~1.5	7~8	2.0~2.6
4~6	1.5~2.0	>8	>2.6

4) 聚甲醛熔体的流动性较好,为防止排气不现、熔接痕明显、物料灼伤变色等影响制品性能和表观的现象发生,要求模具开设良好的排气孔或槽,排气孔、槽的深度不得超过 0.02mm,宽度在 3mm 左右。

5) 聚甲醛是结晶性高聚物,其结晶情况与模具温度密切相关,因此需根据制品的不同要求,设置不同的控温装置。对于要求表面较硬、结晶度较高的制品,以及充模有困难的薄壁或需作较大补缩的厚壁制品,模具需考虑加热控制。而其他制品一般是通冷却液控制模具温度的。

模具温度应能在 120℃ 以下自由选择并能稳定工作。当然,在选择模具温度时还应考虑制品收缩率的变化,因为模具温度越高,制品收缩率也就越大。

4. 成型工艺、产生缺陷及解决方法

(1) 聚甲醛制品在注射成型中质量不稳定

造成聚甲醛制品质量不稳定的原因较多，其影响因素也是多方面的，但只要掌握以下因素就能使质量不稳定现象明显改善，从而制备出合格的产品。

1) 原材料。注射用的聚甲醛树脂，一般为白色颗粒，也有带颜色的颗粒。除了添加各种添加剂或特殊用途的品级外，聚甲醛树脂一般是按其熔体流动速率的大小划分等级的。其流动性可通过该项性能指标予以了解。

聚甲醛与其他塑料相比，其吸水性较小，仅为 0.12% ~ 0.15%。微量水分的存在对聚甲醛的物理力学性能影响较小，而成型加工中的水分允许含量（质量分数）则为 0.2%，因此对原料包装严密、外观质量要求不高的制品，在成型前可不作干燥处理。如果包装情况不佳而且存放环境的相对湿度较高，颗粒表面很可能粘附过量的水分，在成型加工中给制品带来斑纹、银丝、光泽差等缺陷。故对外观质量要求较高的制品，在成型前必须对颗粒进行干燥处理。

干燥的效果与干燥温度、干燥时间、物料堆积的厚度以及物料的热稳定性有关，为防止聚甲醛树脂因时间、温度等原因而发生降解，必须严格控制其干燥工艺。表 4-27 所列聚甲醛注射成型工艺条件。

表 4-27 聚甲醛注射成型工艺条件

工艺条件		制品厚度 6mm 以下		制品厚度 6mm 以上	
		柱塞式	螺杆式	柱塞式	螺杆式
机筒温度/℃	前部	175 ~ 195	175 ~ 185	170 ~ 185	170 ~ 180
	中部	—	165 ~ 175	—	160 ~ 170
	后部	160 ~ 175	155 ~ 165	160 ~ 170	155 ~ 160
模具温度/℃		80	80	80 ~ 120	80 ~ 120
注射压力/ $\times 10^5$ Pa		800 ~ 1200	600 ~ 1300	600 ~ 1200	400 ~ 1000
注射时间/s		10 ~ 60	10 ~ 60	45 ~ 300	45 ~ 300
保压时间/s		0 ~ 5	0 ~ 5		
冷却时间/s		10 ~ 30	10 ~ 30	30 ~ 120	30 ~ 120
总周期/s		30 ~ 100	30 ~ 100	90 ~ 460	90 ~ 460
后处理方式		水浴	水浴	空气浴	空气浴
后处理温度/℃		100	100	120 ~ 130	120 ~ 130
后处理时间/h		0.25 ~ 1	0.25 ~ 1	> 4	> 4
成型收缩率(%)		1.5 ~ 2.0	1.5 ~ 2.0	2.0 ~ 3.5	2.0 ~ 3.5

2) 成型工艺条件与控制。聚甲醛制品中若带有嵌件，必须将嵌件预热，预热温度为 100 ~ 150℃。这样可减少制品中嵌件周围的内应力，避免在外力作用下或环境温度急剧变化时产生裂纹或开裂。

①成型温度。机筒温度一般控制在 170 ~ 200℃，不超过 210℃。机筒温度过高，会

导致物料变色分解；机筒温度过低，会使物料塑化不均，流动性差，使制品表面出现波纹。另外，熔体在机筒中的停留时间对制品的性能也有影响，在允许的情况下，停留时间短有利于改善制品的力学性能。喷嘴温度要略低于机筒温度。

模具温度的高低会影响冷却速度的快慢，从而影响结晶度的大小，所以模具温度是影响制品强度的主要因素。模具温度高，结晶时间长，可使结晶完整，避免因冷凝过快而引起制品缺陷，还可使物料流动性好，防止制品注不满和内部空间。模具温度通常控制在 $80 \sim 120^{\circ}\text{C}$ 。如果要求制品表面良好，或为消除折皱和凹痕等缺陷，模温可取高值，其他取低值。

②注射压力。通常在 $40 \sim 130\text{MPa}$ 之间选择。对于厚壁制品可取 40MPa ，而薄壁制品则可取到 130MPa 。注射压力过高，物料充模速度快，容易使制品内混有气泡或表面形成雾斑，并且导致制品产生内应力。薄壁制品一般采用快速注射，以免熔体过早冷凝，注射速度为 $40 \sim 80\text{cm}^3/\text{s}$ ；厚壁制品采用慢速注射，以免发生“喷射”，使制品内混入气体而影响外观，注射速度为 $20 \sim 40\text{cm}^3/\text{s}$ 。

③制品的热处理。制品内外冷却速率不同或所带金属嵌件与塑料线胀系数不同时会产生较大的内应力，特别是在高温下使用时，制品会在使用中进一步结晶而发生收缩，产生应力，引起塑性变形或在外力作用下开裂。为了消除内应力和后收缩，使制品不易翘曲、开裂、尺寸稳定，要对聚甲醛制品进行热处理。

聚甲醛的热处理是以空气或油作介质，空气浴温度为 $140 \sim 150^{\circ}\text{C}$ ，时间为 $40 \sim 60\text{min}$ ；油浴温度为 $135 \sim 140^{\circ}\text{C}$ ，时间为 $20 \sim 40\text{min}$ 。

热处理效果的检查，可用极性溶剂法判断：将热处理后的聚甲醛制品放入浓度为 30% 的盐酸溶液中浸渍 30min ，观察制品是否有裂纹出现。若没有就说明制品残余内应力较小，热处理效果好。

3) 在聚甲醛注射过程中如果物料过热（超过 240°C ）或受热时间过长，容易分解产生相当量的甲醛。部分甲醛还进而氧化成甲酸，并引起大量甲醛气体的产生，使人流泪、咳嗽，甚至可能引起爆炸。因此，操作上应切实予以注意。

①尽量采用低的机筒温度和喷嘴温度。

②先将机筒温度升至 150°C ，等 15min 后再升至正常加工温度。

③发现分解的预兆后，马上对空注出已分解的物料，分析原因，制定措施。

④停车前 15min ，停止机筒加热，注出机筒内的物料。机筒内应不留大量剩料。

⑤其他原料更换为聚甲醛时，除了加工温度比聚甲醛低的物料或者与聚甲醛相近的物料外，必须用聚乙烯清洗过渡。

⑥要经常检查温度控制系统及各部分的温度。

物料分解是有预兆的：有强烈的甲醛刺激性气味；熔体有棕黄色条纹或制品有毛斑；熔体气泡并有“嘶嘶”声而且冒烟。

物料分解的原因：机筒温度过高或升温过快；高温停车时间过长；温度控制失灵；喷嘴因过冷而堵塞；注射系统内有死角。

(2) 注射量不足、欠料、注不满型腔

1) 注射机能力不足。应更换合适的注射机。

- 2) 树脂流动性不好, 不能满足注射成型要求。应更换成注射专用牌号的原料。
- 3) 机筒温度偏低。应提高机筒温度, 调定范围为 $170 \sim 200^{\circ}\text{C}$ 。
- 4) 喷嘴温度偏低。应提高其温度, 调定范围为 $170 \sim 180^{\circ}\text{C}$ 。
- 5) 注射压力不足。应提高注射压力, 调定范围为 $80 \sim 130\text{MPa}$ 。
- 6) 模具排气不良, 型腔内残存空气造成注射欠料。应清理排气系统, 必要时应增设排气孔, 使其排气通畅。

7) 流道太细、浇口截面太小。应更改模具、加粗流道、扩大浇口使物料能顺利注入。

8) 熔体在型腔内流动距离太长, 注不到位。应重新改进模具容量, 缩短流动距离, 还可设置冷料井。

9) 制品壁厚太薄。应根据制品使用要求尽量增加壁厚, 聚甲醛壁厚应在 $1.5 \sim 5.0\text{mm}$ 之间加以调整。

(3) 制品产生飞边

1) 注射机锁模力低。应提高锁模力, 将注射机锁模力增至能锁紧模为准。如若达不到, 应考虑更换注射机。

2) 模具分型面不合理。应根据具体情况修改分型面, 直至合适。

3) 模具变形或错位。应加以修理使其能正常工作。

4) 模具锁孔或导销磨损严重。应更换新导销或进行必要的修复, 使其工作正常。

5) 注射成型温度偏高。应适当降低机筒与喷嘴温度, 机筒温度应在 $170 \sim 200^{\circ}\text{C}$ 之间加以调整, 而喷嘴温度的调定范围为 $170 \sim 180^{\circ}\text{C}$ 。

6) 注射压力偏高。应适当降低, 调定范围为 $60 \sim 100\text{MPa}$ 。

(4) 制品产生缩痕

1) 制品壁厚太大。应相应减少壁厚, 壁厚范围为 $1.5 \sim 5.0\text{mm}$, 应在此范围内加以调整, 以不出残品为准。

2) 注射压力不足。应提高注射压力, 注射压力调定范围应控制在 $80 \sim 130\text{MPa}$ 之间。

3) 机筒温度过高。应适当降低机筒温度, 测定范围为 $170 \sim 200^{\circ}\text{C}$ 。

4) 保压时间与冷却时间太短。应适当延长其时间, 调定范围为 $20 \sim 90\text{s}$ 。

5) 模具温度分布不均。应控制好模温, 控制范围为 $90 \sim 120^{\circ}\text{C}$, 并延长冷却时间, 提高冷却效率。

6) 供料不足。应根据制件质量适当增加注射量。

7) 制品形状不合理。应更改制件形状, 使其满足注射成型要求。避免壁厚太厚或留有死角。

8) 浇口太小、流道太细。应根据工艺要求, 适当修改模具, 扩大浇口, 加粗流道, 以满足工艺要求。

9) 成型周期偏短。应延长成型周期, 调定范围为 $50 \sim 160\text{s}$ 。

10) 注射速度太快。应减慢注射速度, 调定范围为 $2 \sim 5\text{s}$ 。

(5) 制品出现料流痕

- 1) 机筒温度过低。应加以调整, 调定范围为 120 ~ 200℃, 适当提高机筒温度。
- 2) 模温太低。应适当升高模温, 调定范围为 90 ~ 120℃。
- 3) 注射速度太慢。应提高注射速度, 调定范围为 2 ~ 5s。
- 4) 喷嘴孔径过小。应修改模具, 扩大喷嘴孔径, 以适应工艺要求。
- 5) 模具内未设置冷却井。应修改模具, 增设冷料井。
- 6) 冷料随熔体进入型腔, 导致浇口处产生疵点。应提高料温和模温, 扩大浇口截面, 改变注射速度。

(6) 制品表面有气孔或麻点

- 1) 机筒温度太高。应适当降低机筒温度, 调定范围为 170 ~ 200℃。
- 2) 注射压力太低。应适当升高注射压力, 调定范围为 60 ~ 100MPa。
- 3) 制品壁厚太大。应减薄制品壁厚, 调定范围为 1.5 ~ 5.0mm。
- 4) 流道太细、浇口太小。应适当修改模具, 加粗流道, 扩大浇口, 满足工艺需要。

- 5) 保压时间偏短。应适当延长保压时间, 调定范围为 50 ~ 160s。

- 6) 喷嘴温度偏低。应提高其温度, 调定范围为 170 ~ 180℃。

- 7) 缓冲量不足。应增加缓冲量。

(7) 制品出现银纹

- 1) 原材料水分含量高。应重新干燥原材料, 干燥条件是在 50 ~ 80℃下烘烤 1 ~ 2h, 水分含量(质量分数)低于 0.1%。

- 2) 机筒或喷嘴局部过热, 造成熔体分解。应控制其温度, 调定范围: 机筒为 170 ~ 200℃, 喷嘴为 170 ~ 180℃。

- 3) 排气系统不合理, 模具排气不良。应修改模具排气系统或增设排气孔, 使排气畅通, 满足工艺要求。

- 4) 喷嘴与模具接触不良。应调整两者的位置与几何尺寸, 使其正确配合以满足工艺要求。

- 5) 如银纹总在一定部位有规律地出现。应检查模具相对应部位是否存在有表面伤痕, 如果存有, 应采用机加工、抛光等方法将其消除。

- 6) 不同规格原材料混用。应更换原材料, 使用相同规格、同批次原料。

- 7) 料温偏低。应适当提高机筒温度, 调定范围为 170 ~ 200℃。

- 8) 模温偏低。应适当提高, 调定范围为 90 ~ 120℃。

- 9) 注射速度偏慢。应适当提高, 调定范围 2 ~ 5s。

- 10) 浇口小、流道细、喷嘴孔径小。应根据具体情况适当扩大浇口、喷嘴、加粗流道。

(8) 制品出现熔接痕

- 1) 物料温度偏低。应适当提高机筒与喷嘴温度, 调定范围: 机筒温度在 170 ~ 200℃之间, 喷嘴温度在 170 ~ 180℃之间。

- 2) 模具温度偏低。应适当升高模温, 调定范围为 40 ~ 120℃。

- 3) 注射速度太慢。应提高注射速度, 调定范围为 2 ~ 5s/次。

- 4) 模具内未设置冷料井。应改进模具, 重新设置冷料井。
- 5) 型腔表面沾有异物或杂质。应彻底清理模具。
- 6) 浇注系统不合适。应修改浇注系统, 改善充模条件, 使物料可畅通注入。
- 7) 模具排气不良。应改进排气系统, 使其通畅排气或增设排气孔, 满足工艺要求。

8) 原材料挥发物含量高。应事先对原材料进行干燥处理, 除去挥发物。干燥条件为在 120℃ 下烘烤 15min, 使挥发物含量 (质量分数) 低于 0.1%。

(9) 制品出现气泡

1) 原材料水分或挥发物含量过高。应重新对原材料进行干燥处理。干燥条件为在 120℃ 下干燥 15min, 使挥发物含量 (质量分数) 低于 0.1%。

2) 注射压力太低。应适当提高注射压力, 调定范围为 80 ~ 130MPa。

3) 浇口太小、流道太细。应检修模具, 扩大浇口, 加粗流道, 使物料流动顺畅。另外, 应控制好浇口封闭时间, 以满足工艺要求为准。

4) 制品壁厚变化太大。应对制件壁厚加以修改, 壁厚应控制在 1.5 ~ 5.0mm 之间, 防止壁厚急变。通过设计成合理的形体结构, 适应工艺要求。

5) 注射速度太快。应放慢, 调定范围为 2 ~ 5s。

6) 模温偏低。应适当提高, 调定范围为 90 ~ 120℃。

(10) 制品出现龟裂或白化

1) 物料温度太低。应适当提高机筒温度, 调定范围为 170 ~ 200℃。

2) 模具温度偏低。应升高模具温度, 调定范围为 80 ~ 120℃。

3) 浇口系统设计不合理, 使熔体流动紊乱。应重新设计, 并修改浇口, 使熔体流动顺畅, 以满足工艺要求为准。

4) 冷却时间太短。应延长冷却时间, 调定范围为 20 ~ 60s。

5) 脱模顶出机构不合适。应加以修改, 使顶出机构正确工作到位, 以满足工艺要求。

6) 注射速度太快。应降低注射速度, 调定范围为 2 ~ 5s/次。

7) 注射压力过高。应降低注射压力, 调定范围为 80 ~ 130MPa。

(11) 制品出现翘曲变形

1) 模具温度偏高。应降低模温, 调定范围为 90 ~ 120℃。

2) 冷却时间短, 制品冷却不足。应适当延长冷却时间, 调定范围为 20 ~ 60s。

3) 冷却不均匀。应改善冷却系统结构, 提高冷却效率, 特别是细长制品还应采取特殊冷却措施, 如夹具固定冷却法或其他方法。

4) 浇口设计不合理。应重新设计, 加以修改, 选用合理的浇口形式或多点浇口, 以满足工艺要求为准。

5) 模具型芯偏差太大。应进行检查修改, 如果不行, 要重新设计制作。

6) 制品壁厚不均匀。应加以改进, 调整制品厚度, 使其均衡, 调整范围为 1 ~ 5mm。

7) 注射时间比浇口封闭时间长。应加以精确控制。

8) 制品收缩不均,造成各向异性。应注意冷却方式和冷却时间相统一,使其均匀冷却。另外,采用加强筋结构,增加制品刚性。

(12) 制品表面出现皱纹

- 1) 注射压力过低。应适当提高注射压力,调定范围为 80 ~ 130MPa。
- 2) 保压时间偏短。应适当延长保压时间,调定范围为 20 ~ 80s。
- 3) 机筒温度偏低。应适当提高机筒温度,调定范围为 170 ~ 200℃。
- 4) 模具温度偏低。应适当提高模温,调定范围为 90 ~ 110℃。
- 5) 浇口太小。应修改浇口使其变大,以满足工艺要求。
- 6) 注射速度过慢。应加快注射速度,调定范围为 2 ~ 5s/次。

(13) 制品产生真空孔隙

- 1) 原材料流动性能不好。应选用流变性适应注射成型的树脂,其流动速率为 2.5 ~ 9.0g/min。
- 2) 机筒温度过高。应适当降低其温度,调定范围为 170 ~ 200℃。
- 3) 注射压力偏低。应升高注射压力,调定范围为 80 ~ 130MPa。
- 4) 模具温度偏低。应提高模温,调定范围为 90 ~ 110℃。
- 5) 保压与冷却时间偏短。应延长其时间,调定范围为 20 ~ 80s。
- 6) 注射速度要均衡,不能太快或太慢,控制范围为 2 ~ 5s/次。
- 7) 浇口系统设计不合理。应调整浇口、分流道及主流道的几何形状,扩大浇口截面,并确保其定位准确。

(14) 制品脱模不良

- 1) 注射压力太大。应降低注射压力,调定范围为 80 ~ 130MPa。
- 2) 注射速度太快。应降低注射速度,调定范围为 2 ~ 5s/次。
- 3) 型腔表面粗糙,阻碍脱模。通过研磨、抛光或电镀等措施降低型腔粗糙度,以利于脱模。
- 4) 脱模斜度不够。应加以改进或检修模具,使之满足工艺要求,使制品顺利脱模。
- 5) 模温与冷却时间控制不当,通常制品的冷却时间应控制在 20 ~ 60s 之间。当制品黏附在芯模处,应提高模温并缩短冷却时间;若制品黏附在型腔内,应降低模温,延长冷却时间。针对具体情况采取适当措施,以满足工艺要求为准。

- 6) 脱模顶出机构不合适。应加以改进,以满足工艺要求为准。

(15) 制品强度低

- 1) 喷嘴温度太低。应适当提高喷嘴温度,并清除喷嘴滴涎形成的凝固料,调定范围为 170 ~ 180℃。
- 2) 喷嘴和主流道间有冷料滞留。应清除冷料,排除喷嘴处的滴漏故障,并改进喷嘴与主流道,以满足工艺要求。
- 3) 原料未充分干燥。应进行预干燥处理,降低原料中的水分及易挥发物含量。干燥条件为 120℃,机筒内干燥 15min。
- 4) 模具温度太低、注射压力过高,以及壁厚不均匀等原因,导致塑料内集中了大

量残余应力,引起塑件脆化。应调整模具温度、注射压力及保压时间,塑件壁厚应尽量均匀,减少加工残余应力。调定范围:模具温度为 $90\sim 110^{\circ}\text{C}$,注射压力应控制在 $80\sim 130\text{MPa}$ 之间,制品厚度控制在 $1\sim 5\text{mm}$ 为好。

5) 塑件的转角处无过渡圆弧,尖角产生应力集中,导致塑件脆化破损,在设计塑件时,要减少尖角,圆滑过渡,在成型过程中,要防止产生飞边。

6) 熔体过热分解导致塑件脆化。应降低过热部位的温度,特别是机筒与喷嘴温度。调定范围:机筒为 $170\sim 200^{\circ}\text{C}$,喷嘴温度在 $170\sim 180^{\circ}\text{C}$ 之间。

7) 原材料中混入杂质。应清除原料中的杂质,拆卸和清洗机筒及喷嘴,并检查原料中再生料回用比例是否太高,应适当减少其用量。

8) 注射压力偏低。应适当提高,调定范围为 $80\sim 130\text{MPa}$ 。

9) 成型周期偏短。应适当延长,聚甲醛塑件的壁厚与成型周期的关系为:壁厚 1.5mm ,成型周期 $30\sim 35\text{s}$;壁厚 3.0mm 、成型周期 $45\sim 55\text{s}$;壁厚 6.0mm ,成型周期 $60\sim 70\text{s}$;壁厚 12.0mm ,成型周期 $75\sim 90\text{s}$ 。

10) 保压时间过长。应适当缩短,调定范围为 $20\sim 80\text{s}$ 。

11) 排气系统工作不正常。应清理排气系统或增设排气孔。

(16) 物料粘附于型芯上

1) 注射压力太高。应适当降低,调定范围 $80\sim 130\text{MPa}$ 。

2) 注射保压时间太长。应适当缩短,调定范围为 $20\sim 80\text{s}$ 。

3) 缓冲料太多。应适当减少缓冲料。

4) 模具闭合时间太长。应适当缩短。

5) 模温太高。应适当降低,调定范围为 $90\sim 110^{\circ}\text{C}$ 。

6) 模具脱模斜度不足。应适当加大脱模斜度。

7) 浇口位置不当。应设在厚壁处。

8) 注射机规格小。应选用规格较大的注射机。

(17) 制品尺寸波动太大

1) 机筒温度的波动引起塑件结构尺寸的变化。应稳定机筒温度,控制范围为 $170\sim 200^{\circ}\text{C}$ 。

2) 模具温度太高或太低都会导致尺寸波动。应准确控制模温,控制范围为 $90\sim 110^{\circ}\text{C}$ 。

3) 缓冲量变化不定引起尺寸波动。应使缓冲量保持恒定。

4) 塑件冷却不均匀引起尺寸不稳定。应采用退火工艺处理脱模后的塑件,塑件脱模后仍需均匀冷却。后处理条件:空气浴为 $140\sim 150^{\circ}\text{C}$, $40\sim 60\text{min}$;油浴为 $135\sim 140^{\circ}\text{C}$, $20\sim 40\text{min}$ 。

5) 充模速度太慢。应快速充模,控制范围为 $2\sim 5\text{s/次}$ 。

6) 模具设计不当。对于多腔模具,应合理设计型腔排列和浇口尺寸,确保充模同步。

(二) 聚甲醛双齿轮注射成型

双齿轮是某电子设备上的关键零件,采用塑料制造,带有金属嵌件,要求精度高。

图 4-1 为该双齿轮结构示意。 A 为基准， $\phi 58\text{mm}$ 的齿轮相对于 A 的同轴度为 $\phi 0.1\text{mm}$ ， $\phi 62\text{mm}$ 的齿轮相对于 A 的同轴度也为 $\phi 0.1\text{mm}$ ，垂直度为 0.1mm 。

1. 选材

采用金属材料制造齿轮不仅工序繁多、加工复杂、周期长，而且制件重、工作时需要润滑。而塑料双齿轮不仅具有重量轻、耐蚀性好、耐磨性优良和自润滑性能良好、不需另加润滑油等特点，而且一次成型工艺简便、成本低。聚甲醛和聚酰胺的摩擦因数低、耐磨性好，都可用于制造齿轮，但聚酰胺的高吸湿性会引起尺寸变化，影响齿轮精度。聚甲醛的尺寸稳定性极好，很适合制造小模数齿轮。双齿轮模数为 0.4mm ，属于小模数齿轮，因此选用聚甲醛（聚甲醛 M120）作为制作材料。

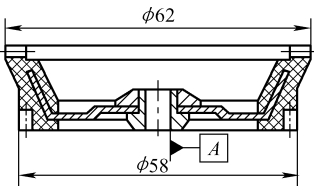


图 4-1 双齿轮结构示意

2. 主要设备

注射机：SZ68/40；模具：塑料注射模；电热鼓风箱：101-3。

3. 制备工艺

双齿轮选用聚甲醛注射模塑成型。其工艺流程如图 4-2。

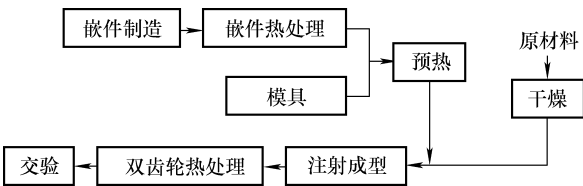


图 4-2 双齿轮制作工艺流程图示意

关键工序控制如下：

(1) 嵌件热处理 该双齿轮所用的组合金属嵌件中尺寸最大的嵌件是用板材冷冲而成。若不进行热处理，其内部会存在很大的内应力，在双齿轮成型和使用过程中内应力释放会引起变形而影响精度，严重时会引起制件开裂。所以在嵌件成型后必须对嵌件进行热处理，以消除嵌件的内应力。

(2) 嵌件预热 预热金属嵌件的目的在于减小金属与塑料冷却时由于二者线胀系数的不同在嵌件周围产生的收缩应力，尤其是加工过程中易产生内应力的塑料（如 PS、PC、PSU 和 PPO 等）制件或嵌件尺寸较大时必须预热嵌件。聚甲醛虽说不属易产生内应力的塑料，但该双齿轮的嵌件尺寸较大，故必须对嵌件进行预热。预热温度一般为 $120 \sim 130^{\circ}\text{C}$ ，预热时间一般为 $20 \sim 30\text{min}$ 。

(3) 原材料干燥 由于聚甲醛的吸湿性很低，且对成型工艺的影响也小，一般情况下可以不干燥。若造粒是浸水冷却或其他原因使树脂沾有水分时就需要干燥。干燥可在普通烘箱中进行，在 $110 \sim 120^{\circ}\text{C}$ 下烘 $3 \sim 4\text{h}$ 即可。

(4) 注射成型 表 4-28 列出聚甲醛双齿轮注射成型的主要工艺参数。

聚甲醛熔程较窄，因此速度也很快，成型收缩率较大，影响尺寸精度，因此一定要

进行保压补料。同时由于聚甲醛易结晶且结晶速度快,为了使其充模完整,模具必须预热,并保持一定的温度。

表 4-28 双齿轮注射成型工艺参数

项 目	工艺参数	项 目	工艺参数
机筒前段温度/℃	190 ~ 200	注射压力(表压)/MPa	8 ~ 9
机筒后段温度/℃	160 ~ 170	注射时间/s	20 ~ 30
模具温度/℃	90 ~ 110	保压时间/s	50 ~ 60

(5) 制品热处理 为了提高制品的尺寸稳定性和减小内应力,需将制品在 130℃ 下热处理 3 ~ 4h,然后缓冷至室温。如不进行热处理,在室温放置过程中随着结晶度慢慢提高,制品会产生较大的收缩。制品的热处理,既可消除一些内应力,又可减小制品的后收缩。特别是对于有金属嵌件的制品,由于塑料和金属的线胀系数不同,制件内残存较大的内应力,故必须对制品进行热处理。

4. 注意事项

- 1) 小模数塑料齿轮宜采用聚甲醛制造。
- 2) 金属嵌件加工后需进行热处理以消除其内应力。
- 3) 双齿轮成型前应对嵌件进行预热,以防止塑料件内产生内应力而引起变形,甚至开裂。
- 4) 聚甲醛双齿轮成型后应进行热处理,以消除其内应力。

(三) 聚甲醛石英钟机芯分轮片

1. 选材

在分析了多种进口机芯样品的基础上,选用聚甲醛塑料注射成型分轮片零件。通过近 50 万只机芯的生产及有关试验证明,这种改进不但解决了原摩擦力不易控制的问题,同时还大大地简化了生产工艺,提高了生产效率,降低了机芯成本。

2. 主要设备

高精度注射机,并附加自动控制系统和高精度模具。

3. 制备工艺

(1) 工艺分析

- 1) 由于机芯结构紧凑,分轮片一般都设计得较薄,厚度为 0.5 ~ 0.7mm。
- 2) 分轮片中心孔公差较紧,通常为 0.04mm。
- 3) 齿轮顶圆公差为 0.06mm。
- 4) 齿轮齿数较多, $z = 64$; 模数小, $m = 0.23\text{mm}$ 。
- 5) 齿形公差 $< 0.02\text{mm}$ 。
- 6) 齿距极限偏差 $\pm 0.02\text{mm}$ 。

(2) 注射成型工艺参数的选择 塑料分轮片结构复杂、厚度较薄、齿数较多并且小,尺寸精度要求很高,成型时模腔内压力损失较大。故应选择注射压力较大的注射机成型该零件,注射时采用高压、高速注射。模具结构根据机床设备的要求而定,但为了

更好地控制轮片的尺寸精度，应采用模具温度控制器来控制模具温度。生产分轮片零件采用日本进口带微电脑控制的 13g 精密注射成型机，模具设计成一模四穴，采用定距分型自动脱落浇口式的结构。顶杆增设弹簧复位机构，以便多次顶出满足全自动生产要求。注射塑料分轮片的工艺条件如下。

机筒温度：喷嘴 180℃，前段 185℃，中段 175℃，后段 165℃；模具温度（70 ± 5）℃；注射压力 86.4 ~ 129.6MPa；注射时间 2 ~ 4s；保压时间 4 ~ 6s。

4. 值得注意的几个问题

1) 模具浇口数的选取及位置的安排。

①浇口数的选取。该零件结构复杂，熔料流动阻力较大，压力损失大。故最好采取三点同时进浇。这样更有利于保证齿形尺寸精度。开始时设计成一腔一个点浇口进浇，结果成型齿轮齿顶圆圆度较大，最大一对齿齿顶圆与最小一对齿齿顶圆相差 0.15mm，致使零件达不到设计要求。后经过分析改为三点同时进浇，基本满足了设计要求。

②浇口位置的安排。对于齿轮零件浇口越靠近中心越好。但由于该零件结构，浇口如设在中间三段圆弧口，在开模断浇时，容易使零件产生变形，故而将浇口设在强度较好的轮缘部位。

2) 模具嵌块的拼缝间隙要求尽可能小。因为该零件采用较大的注射压力，如拼缝间隙大易产生飞边，该零件去飞边困难。

3) 由于该零件薄而轻，顶出时容易吸附在模具表面上，为方便自动化生产，在动模上最好安装压缩空气气管。

4) 顶杆安排，注意顶出力均匀，以免零件顶出变形。

(四) 聚甲醛小模数齿轮

1. 选材

小齿轮，模数为 0.6mm，原选用聚碳酸酯制作，虽然 PC 成型收缩率小，且可在较宽的变化范围内保持尺寸的稳定性，成型出的零件可达到很精密的公差。但该材料本身具有苯环结构，内应力大，在成型加工阶段受剪切应力和冷却收缩的影响，成型品内部会出现残余应力，易发生裂缝或变形，降低了使用寿命。同时 PC 树脂对缺口特别敏感，从表 4-29 可看出，其缺口冲击强度随缺口增大而明显下降。而小模数齿轮，如图 4-3 所示其齿与齿之间（即齿谷处）的形式与美国 ASTM D-256 测试缺口冲击强度的样条缺口形式基本相仿。因此，用 PC 树脂制得的齿轮，能承受的冲击强度仅类似于材料的缺口冲击强度，这样将大大地降低 PC 树脂材料本身的强度。可见，PC 树脂不是一种很理想的齿轮材料，而聚甲醛树脂则具有强度高、刚度大，耐疲劳和耐蠕变性能好、摩擦磨损性能优越、金属摩擦因数低等性能，是一种较理想的齿轮材料。

表 4-29 PC 冲击强度比较

项目	冲击强度 (无缺口)	冲击强度(缺口尺寸 12.7mm × 3.2mm)	冲击强度 (缺口尺寸 12.7mm × 6.4mm)
数值/(J/m)	不断	640 ~ 853	107 ~ 160

因此，原材料选用上海溶剂厂生产的 M250 和日本汎塑料株式会社生产的 M90。这两种牌号的 POM 树脂均属于共聚甲醛，是高密度高结晶性线型高聚物。由于高结晶度，当熔融态冷却固化时，它将发生非连续的体积变化，造成体积收缩。因此，塑件的成型收缩率与注射压力、熔料温度和模具温度有着十分密切的关系。针对这些影响因素，以找出控制 POM 成型收缩率的最佳工艺。

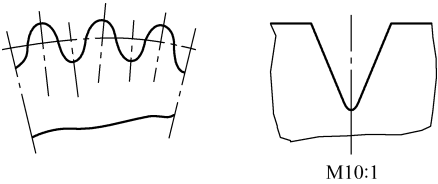


图 4-3 齿形与样条缺口放大

同种材料在性能上不尽相同。由于高聚物受聚合工艺的影响必然会导致材料性能上的差别，在特定的工艺条件下考察了两种牌号的 POM 制得零件的尺寸波动和质量波动（表 4-30、表 4-31）以及工艺条件与成型收缩率之间的关系。

表 4-30 零件的尺寸波动

材料牌号	绝对值 $(D_{\max} - D_{\min})/\text{mm}$	相对值 $\left(\frac{D_{\max} - D_{\min}}{D_{\max}} \times 100\%\right)(\%)$
M250	0.06	2.87
M90	0.05	2.73

表 4-31 零件的质量波动

材料牌号	绝对值 $(W_{\max} - W_{\min})/\text{g}$	相对值 $\left(\frac{W_{\max} - W_{\min}}{W_{\max}} \times 100\%\right)(\%)$
M250	0.0176	0.95
M90	0.0131	0.70

试验结果表明，日本生产的 M90 比国产 M250 的尺寸稳定性好，成型收缩率小。为便于成型工艺的控制，保证齿轮的精度及尺寸稳定性，选用了 M90 作为成型小模数齿轮的材料。

2. 主要设备

注射机。

模具：模具的型芯采用线切割，开有冷却或加热水道，其特点是：一模单腔，三板式，三点浇口。

3. 制备工艺

（1）注射压力对成型收缩率的影响 热塑性塑料的收缩主要表现在热收缩和弹性恢复两个方面。前者与温度有关，后者与压力有关。注射压力在成型中的作用是克服塑料从机筒流向型腔的流动阻力，给予熔料充模的速率以及对熔料进行压实。因此，注射压力与成型收缩率有着很密切的关系，如图 4-4 所示。

对于聚甲醛来说成型收缩率随注射压力的提高而下降。提高压力有利于减小塑料件的成型收缩率。可使得高聚物内部分子与分子之间排列得更加紧密，空隙减小。但

POM 也与其他塑料一样,在压力增加的同时引起脱模时残余压力增加,造成脱模困难和塑料件内应力增加,易引起后变形。因此注射压力不能无限制地提高,必须经过综合考虑,才能确定最佳的注射压力参数。

(2) 模具温度对成型收缩率的影响 模具温度对 POM 塑料成型收缩率的影响如图 4-5 所示。

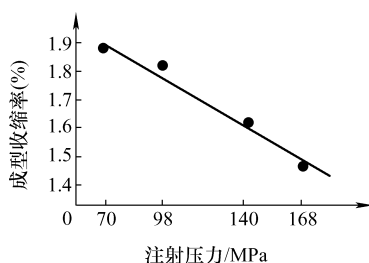


图 4-4 注射压力与成型收缩率的关系
模具温度: $(40 \pm 1)^\circ\text{C}$

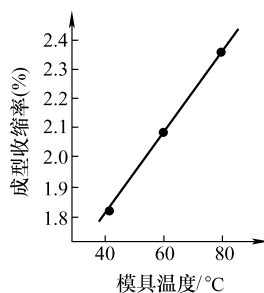


图 4-5 模具温度与成型收缩率的关系
注射压力(柱塞压力): 98MPa

模具温度对聚甲醛成型收缩率影响很大,随着模具温度的提高,成型收缩率明显增加。可见,提高模具温度对降低成型收缩率是不利的。但由于 POM 树脂是一种高结晶聚合物,结晶度的高低直接影响到塑料件的内在性能。对于力学性能来说,通常晶态的优于非晶态的。结晶度高的又优于结晶度低的。而模具温度又直接影响着塑料制件的结晶度和结晶构型。模具温度高时,冷却速率小,结晶速率就大,结晶度高。模具温度低时,冷却速率大,不利于晶体或球晶的生长,致使塑料制件结晶程度较低。因此,要制得内在性能好的制件,必须综合考虑,选择较为适宜的模具温度。

(3) 最佳成型工艺条件的确定

1) 聚甲醛(POM)是一种较好的齿轮材料,其摩擦因数仅为 0.21,比聚碳酸酯的摩擦因数(0.38)小得多,用作齿轮,使用寿命长。

2) 当注射压力从 70MPa 增加到 168MPa 时,制件成型收缩率从 1.88% 下降到 1.46%;而模具温度从 40°C 上升到 80°C 时,成型收缩率从 1.81% 上升到 2.34%。可见模具温度对成型收缩率的影响比注射压力的影响更明显。因此,用改变模具温度来调整成型收缩率较为有利。

3) 实验表明,最佳工艺参数应选模具温度为 60°C,注射压力为 98MPa,此条件下制件成型收缩率为 2.07%。

4. 注意事项

1) POM 是一种高结晶聚合物,为消除模温太低而留存的残余应力和提高尺寸稳定性,可采用退火处理的方法,以利于再结晶化。

2) 以上结果是在普通注射机上进行的,若采用精密注射成型机则更能保证工艺参数的一致性,有利于制作精度的提高。

3) 解决小模数齿轮圆度误差大的问题,选用三点等腰点浇口最为有利。

(五) 小模数塑料齿轮的精密注射成型

近几年来,随着电子、钟表工业的迅猛发展,高精度小模数塑料齿轮在该领域得到了广泛应用。目前石英电子钟机芯的齿轮已全部塑料化并可国产化,录像机机芯也大量采用塑料齿轮。因而小模数塑料齿轮精密注射成型工艺技术在該领域越来越重要。

1. 选材

材料大都采用聚甲醛(POM)。

2. 主要设备

(1) 注射机 采用的是日精公司的小型精密带电脑控制的注射机。该机床对工艺参数控制精确,能自动诊断报警;具有较高的注射压力(215~245MPa),设有三速三压控制;具有低压锁模功能,能够较好地保护模具;可以防止螺杆冷起动;能够自动加热机筒,并配有电子控制系统监控机筒各段温度。每台机床配有电子控制的料斗干燥器,还配有一台水媒介体模具温度控制器。对于稳定齿轮零件质量和保证尺寸精度具有明显效果。

(2) 确定小模数塑料齿轮对模具的要求

1) 确定合理的成型收缩率。小模数塑料齿轮由于尺寸小、精度高、形状较复杂,对设计模具齿轮型腔来说,收缩率的选取对成型小模数齿轮影响非常大,主要是根据齿轮所选用的材料牌号及性能、综合齿轮的形状(壁厚)、注射工艺参数等因素合理选择。在实践中,选择几种具有代表性的齿轮,先根据材料给定的成型收缩率,计算齿轮型腔尺寸,以这种收缩率选定工艺参数进行试验,然后根据试验后所得的实际收缩率,来确定各齿轮的成型收缩率。通过试验发现同一个齿轮零件,齿片与齿轴的收缩率各不相同,径向与轴向也不相同,有孔的齿轮与无孔的齿轮都不一样。只有通过试验后修正齿轮各部的成型收缩率才是比较切合实际的。

2) 模具结构及浇口选择。目前国内精密小模数齿轮的模具,大多采用一模一腔,这种单腔齿轮模具结构要求较为简单。而全套石英钟机芯齿轮模具全部采用一模四腔,并且适于全自动操作,这就要求模具要有合理的结构。采用定距分型自动脱落浇口式的结构,顶杆(顶管)增设弹簧复位机构,以便适合多次顶出。浇口采用一腔一个点浇口,浇口位置尽量靠近齿轮中心。浇道系统的制作直接影响自动化生产的效率,分模后浇道针端必须断在与塑件的接触面上,否则带来成型塑料齿轮件去浇口的巨大工作量。在结构允许的情况下,采取沉埋式浇口形式便于断口,浇口直径一般取0.5mm。必须注意的是对于多腔齿轮模具,模具结构必须增设模具温度控制装置,一般采用热循环水控制模具温度。这样能够更好地控制成型齿轮件的尺寸精度,使成型件尺寸一致性好,波动性小,更有利于大批量生产的质量控制。

3. 制备工艺

在精密注射成型中,特别是高精度,小模数塑料齿轮的注射成型中,最佳成型工艺参数的选取是最终保证制品质量和尺寸精度的关键所在。

塑料齿轮大都采用POM,POM具有强度高、刚度大,耐疲劳和耐蠕变性能好,以及具有自润滑性等优点。是一种较理想的齿轮材料,特别对于小模数齿轮更为适用。但由于其收缩率较大和加工温度区域狭窄,给加工成型带来一定的困难,特别是在精密注

射成型中显得更加突出。因此在成型小模数塑料齿轮时，必须调整好各有关工艺参数，使成型齿轮件收缩率控制在模具设计要求之内。在试制过程中发现对成型收缩率及产品质量影响比较大的工艺参数主要是：注射压力和保压压力、模具温度。图 4-6 ~ 图 4-8 分别是注射压力、保压压力和模具温度与成型收缩率之间的关系，是在试验过程中选取最优化工艺参数改变单工艺参数所得的结果。该试验结果为合理地制定各齿轮成型工艺参数提供了可靠的实践依据。

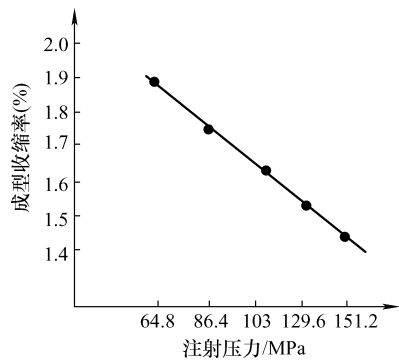


图 4-6 注射压力与成型收缩率的关系

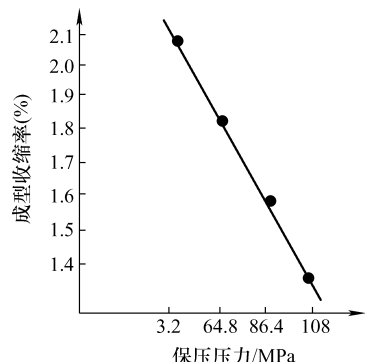


图 4-7 保压压力与成型收缩率的关系

从图 4-6 与图 4-7 来看注射压力、保压压力对成型收缩率都有影响，但保压压力影响较大。因保压压力对塑料熔体的最终压实起着决定作用，因此选择保压压力，对控制制品收缩率有着较大的作用。从图 4-8 可知，随着模具温度的提高成型收缩率明显增加，可见提高模具温度对降低收缩率是不利的，但由于 POM 是一种高结晶聚合物，结晶度的高低直接影响齿轮的内在性能，而模具温度直接影响着齿轮的结晶度和结晶构型。模具温度较低时不利晶体成球晶的生长，致使塑料结晶强度较低影响齿轮内在性能。故在考虑收缩率的同时必须考虑选择较为适宜的模具温度，一般选择 $(75 \pm 5)^\circ\text{C}$ 较为适宜。

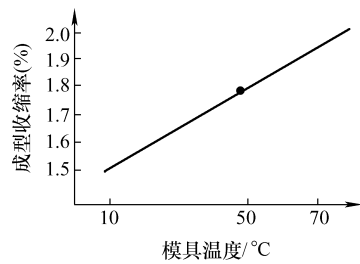


图 4-8 模具温度与成型收缩率的关系

总之，成型小模数塑料齿轮，如何选择好注射压力、保压压力、模具温度，将对齿轮件尺寸、内在性能起关键作用。其他工艺参数（如注射速度、料温）也有一定的影响，最佳工艺参数应根据不同结构齿轮件，经多次工艺试验最终确定。

（六）风扇用精密 POM 齿轮注射成型

1. 选材

电风扇用精密齿轮（ $m = 0.8\text{mm}$ ）工作环境差，转速高，要求制品必须具备优良的耐磨性和耐疲劳性。在工程塑料中，可选用的原材料有尼龙、PC、PSU 和 POM，其中 POM 耐磨性良好，耐疲劳性最为突出，价格适中，故而选用 POM 作为电风扇用齿轮原材料。

2. 主要设备

估计制件加浇口重约 10g, 考虑到现有设备和便于安放嵌件, 选择 15g 立式注射机。制品图如图 4-9 所示, 模具结构如图 4-10 所示。

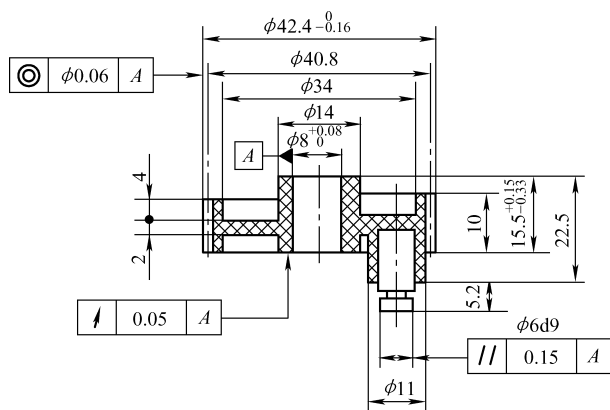


图 4-9 小模数直齿圆柱塑料齿轮实例

3. 精密小模数塑料齿轮成型工艺

塑件生产中之所以发生尺寸变化, 主要是由于成型时收缩所致, 塑件的成型收缩受诸多因素的影响, 而当塑料品种、塑件的几何形状、模具、注射机一定的情况下, 成型工艺条件即成了影响收缩的主要原因。而模具对塑件尺寸精度的影响只是单一的、不变的, 约占 30%, 因此要生产精密小模数塑料齿轮必须严格控制成型工艺参数。

(1) 成型温度 成型温度是塑件成型的三大要素之一, 它与成型压力、注射时间相互制约, 共同影响塑件表面质量和尺寸精度。注射成型时的温度如果高一些, 材料的流动性即好一些, 就能很好充满模腔, 塑件的密度就比较大, 成型后的收缩也小。这一点 POM 尤为突出。在生产实际中一般取 85℃ 左右。

(2) 注射压力 注射压力对塑件充模起决定性的作用。压力的大小和保压时间等则影响制品的最终性能。成型时模腔内的压力大, 塑件的密度即大, 收缩则小, 特别像 POM 这类结晶性塑料, 对压力很敏感, 当模腔压力增高 1 倍, 收缩可减少 30% ~ 50%。

(3) 填充速度与填充时间 模腔的填充速度和填充时间的实际表现即为塑件成型时的注射时间和保压时间, 即柱塞向前动作的瞬间至压力释放的瞬间, 它是决定塑件收缩程度的一个关键因素。以一套摇臂轮注射成型模为例, 成型收缩率见表 4-32。

POM 填充时间一般为 5 ~ 13s, 其中充模时间 3 ~ 10s。

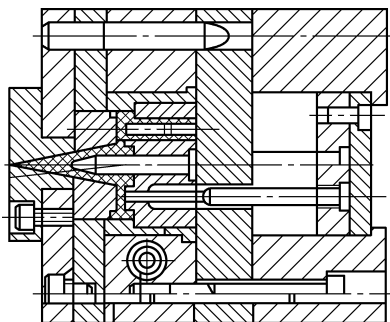


图 4-10 塑料齿轮模具结构和公差带示意

表 4-32 成型收缩率

注射时间/s	成型收缩率(%)
5	42.00
8	42.31

(4) 冷却速度 冷却速度的表现即是冷却时间。冷却时间长，模腔内的熔料即可完全固化，收缩也小。但实际上冷却时间也不能太长。如果冷却时间太长，机筒中的熔料就会过热分解。特别像 POM，在冷却时有结晶过程，而结晶的进行是比较缓慢的，如冷却得慢，结晶度就高，收缩就增加。注射成型时，可以改变成型工艺条件来改变塑件的结晶度和晶粒大小。为了缩短冷却时间又能保证结晶均匀，达到消除应力、稳定尺寸的效果，采取了出模后投入水中的后处理工艺。但要控制水的温度。过低或过高都会影响尺寸大小，水温一般近似为 50℃。

(七) 缝纫机用 POM 齿轮

1. 选材

塑料齿轮材料品种较多，但基本上有 90% 采用聚甲醛。POM 分为两种类型，即共聚甲醛和均聚甲醛。日本大和技研株式会共聚甲醛材料特性如下：

- 1) 高水平的力学性能，优良的成型热加工性和良好的流动性，产品表面光洁。
- 2) 在塑料中，有最高的耐疲劳特性，尺寸稳定。
- 3) 受力条件下，优良的耐蠕变性。
- 4) 优良耐药性、耐水性、耐摩擦磨耗特性。
- 5) 极好耐热特性，应用温度范围广，具有无油条件下的自润滑性。

2. 主要设备

(1) 成型机精度及成型技术精度 将自动控制技术、电子计算机等先进设备与注射成型过程有机结合成为高性能注射机。有了高精度模具、自动控制的精密注射成型机，再加上优良成型技术，即可制得高精度的塑料齿轮（表 4-33、表 4-34）。但还要每天分析在各种因素下造成的齿轮累计误差及塑料原料所产生的问题。

表 4-33 目前 POM 塑料齿轮能达到精度 (单位：mm)

名称	精 度	名称	精 度
外径	0.02 ~0.05	平面度	0.01 ~0.03
偏心	0.02 ~0.05	齿形	JIS4 级以下

表 4-34 精度等级分类

名称	等级	名称	等级
超精密度	1 ~2	一般精度	6
高精度	5	低精度	7

(2) 塑料齿轮的模具 提高塑料齿轮精度的关键是金属模具，特别是齿轮型腔的制造精度及加工技术。

3. 塑料齿轮注射成型工艺

(1) POM 材料预干燥 在制备着色齿轮时，特别要重视齿轮尺寸、外观，必要时应放在鼓风干燥箱内，温度控制在 $80 \sim 90^{\circ}\text{C}$ 烘干 $2 \sim 3\text{h}$ （料层厚度小于 25mm ）。

(2) 温度 POM 材料温度一般控制在 $190 \sim 220^{\circ}\text{C}$ 范围内，POM 的耐热变色曲线如图 4-11 所示。

一般来讲，材料温度与机筒所示温度相差 10°C 左右，但还特别指出，温度显示还因温度计（或热电偶）的位置不同而不同。可用温度计插入射出的熔融物料中来测定温度是最可靠简便的方法。

(3) 注射压力 注射压力为 $60 \sim 150\text{MPa}$ ，在确定注射压力时，应综合考虑物件的流动性、塑化温度、制品数据库、模具结构、流道、浇口设计等因素，而后再加以确定。

(4) 模具温度 通常模具温度在 80°C 左右。若要求齿轮表面粗糙度特别低或齿轮使用温度较高时，可使模具温度相应提高，前者需 $(110 \pm 10)^{\circ}\text{C}$ ，后者则视使用温度、制品厚度而定。

(5) 注射成型周期 注射和保压时间是按浇口封闭完毕前必须使螺杆保持前进的位置这唯一条件来决定的。成型周期主要由齿轮最大壁厚所决定，但也受模具温度影响，见表 4-35。

表 4-35 齿轮壁厚与成型周期的关系

壁厚/mm	成型周期/s	模具温度/ $^{\circ}\text{C}$	壁厚/mm	成型周期/s	模具温度/ $^{\circ}\text{C}$
1.5	30 ~ 35	70	6.0	60 ~ 70	85
3.0	40 ~ 55	80	12	75 ~ 90	90

(6) 退火处理 POM 齿轮退火处理的目的是去除残留应力和提高制品尺寸稳定性。退火工艺如图 4-12 所示。

形状复杂，厚度不均显著，有复杂嵌件的齿轮，容易产生残留塑性应变；当齿轮在高温环境下使用，则因结晶化而发生收缩。从以上情况来看，应立即进行退火处理，使其结晶化，保证尺寸稳定，消除残留应力。

(7) 塑料齿轮的检测与验收 验收项目有：齿高、齿根宽、齿顶宽、内径、外径、偏摆度、分度圆，其中分度圆是关键。齿轮在完工 15 天后进行测量。测量要点：

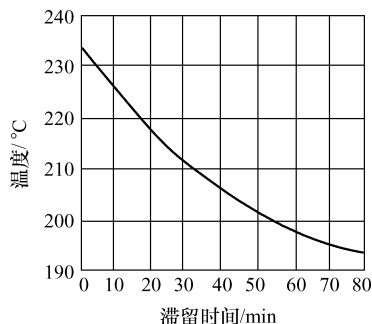


图 4-11 POM 的耐热变色曲线

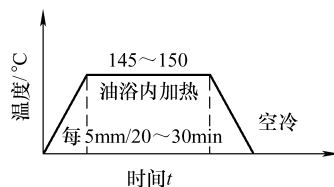


图 4-12 退火工艺

- 1) 成型品齿轮不能用测量金属齿轮的压力法测，要用接触法测定，前者会引起齿轮变形，影响测量精度。
- 2) 测量内径用退拔式塞规进行。
- 3) 测量外径用千分卡接触测量法。
- 4) 偏摆度用投影放大机测量。
- 5) 测分度圆用钢球或圆柱进行测量。
- 6) 塑料齿轮测试时不能出现正公差。上述检测项目均对偶数而言，测量奇数齿轮需进行换算。

4. 塑料齿轮在生产过程中产生不良现象的原因及解决方法（表 4-36）

表 4-36 塑料齿轮加工缺陷与解决方法

原因	模腔压力不足产生皱纹	浇口喷射引起波纹	产生银丝
解决方法	1. 提高注射压力 2. 将喷嘴主流道放大，防止压力损失 3. 提高模温增加流动性	1. 放大浇口或减慢注射速度 2. 提高模温 3. 采用凸浇口来解决	1. 原料烘干或降低料温 2. 降低注射压力和速度 3. 模具浇口放大

（八）汽车用聚甲醛万向节

1. 选材与配方设计

聚甲醛是近年发展起来的新颖工程塑料。由于它的高耐磨性、低摩擦因数和其他一些优良的物理力学性能（如高拉伸强度、高蠕变强度、刚性、韧性、尺寸稳定性等），越来越受到重视。聚甲醛在很多性能上并不亚于尼龙，而且原料来源丰富，合成成本较低，因此是一种很有发展前途的工程塑料。

根据多快好省的原则，结合我国国情，考虑到原材料立足国内及大规模生产应用时的经济成本及生产效率问题，选择聚甲醛作为成型万向节塑料衬套材料。

聚甲醛的摩擦磨损性能，在热塑性塑料中是较好的一种。它具有良好的自润滑性，用作摩擦部件，能在无油润滑或少油润滑情况下工作。由于聚甲醛的 *pv* 值要比尼龙高，并且在相当的速度范围内稳定，静摩擦和动摩擦因数基本一致，因此聚甲醛作为塑料轴承，具有突出的优点。

然而聚甲醛存在着一般热塑性塑料所具有的缺点，如热导率小、线胀系数大、耐热性能差等。在高速、高载荷、工作条件恶劣的地方难以胜任。因此除了必须根据塑料的特性作合理设计外，选择一些合适的填充料进行改性，弥补它的缺点，进一步提高轴承性能是非常必要的。不同塑料在加入不同填料后，对其性能的改进程度不同。因此要得到预期的具有某种特殊性能的塑料，填料的选用必须经过仔细试验研究。

以前曾选择二硫化钼、石墨、滑石粉等作为填料，但效果不佳。用不同量的碳素纤维、氟纤维、氟塑料粉、铅粉、铝粉等（树脂 100 份为基础）加入聚甲醛中，进行摩擦磨损性能与物理-力学性能对比试验，结果列于表 4-37。可以看到，聚甲醛较尼龙 66 有显著优越的摩擦磨损性能。

表 4-37 各种材料配方的物理·力学性能

编号	材料配方/质量份	冲击强度 /(kJ/m ²)	硬度 (HRM)	压缩 强度 /MPa	负载变形		马丁耐热 /℃
					变形 (%)	回复量 (%)	
C	聚甲醛 (吉林石井沟联合化工厂)	99	75.8	121.5	2.22	64.2	56.5
C ₁	聚甲醛 + 碳素纤维 100 份 + 5 份	61	71.7	108.4	2.11	63.8	70.2
C ₂	聚甲醛 + 碳素纤维 + 氟纤维 100 份 + 2.5 份 + 2.5 份	76	70.2	106.1	2.14	62.6	62.7
C ₃	聚甲醛 + 氟纤维 100 份 + 5 份	73	72.7	108.0	1.96	55.8	54.7
C ₄	聚甲醛 + 玻璃纤维 + 氟纤维 100 份 + 6 份 + 2 份	66	70.4	92.0			79.0
C ₅	聚甲醛 + 碳素纤维 + 氟粉 100 份 + 10 份 + 5 份	67	68.4	89.8			76.8
C ₆	聚甲醛 + 氟粉 100 份 + 5 份	55	70.0	79.9			60.0
C ₇	聚甲醛 + 铝粉 100 份 + 10 份	68	66.2	89.4			66.0
C ₈	聚甲醛 + 铝粉 + 氟粉 100 份 + 10 份 + 5 份	67	65.0	92.6			68.0
C ₉	聚甲醛 + 铝粉 100 份 + 25 份	49	67.2	92.7			60.5
C ₁₀	聚甲醛 + 铝粉 + 氟粉 100 份 + 25 份 + 5 份	77	66.8	86.8	1.38	73.8	58.5
C ₁₁	聚甲醛 + 碳素纤维 + 氟粉 100 份 + 3 份 + 5 份	81	68.7	91.2			62.0
H	聚甲醛 (德国进口 HostaformC)	91	74.9	115.6	2.42	71.8	52.7
H ₁	聚甲醛 + 碳素纤维 + 氟粉 100 份 + 10 份 + 5 份	61	68.1	88.8			70.3
H ₂	聚甲醛 + 碳素纤维 + 氟纤维 100 份 + 10 份 + 5 份	47	69.4	86.0			74.5
N	尼龙 66 (上海合成纤维一厂)	31	75.0	106.0	3.08	64.5	53.7
N ₁	尼龙 66 + 碳素纤维 100 份 + 5 份	11	84.5	137.4	2.57	65.9	60.7

(续)						
编号	材料配方/质量份	线胀系数/($\times 10^{-5} \text{K}^{-1}$)		摩擦磨损		
		0~40℃	40~80℃	磨损量 /mg	磨痕宽度 /mm	摩擦因数 μ
C	聚甲醛 (吉林石井沟联合化工厂)	10.9	14.2	7.0	6.4	0.44
C ₁	聚甲醛 + 碳素纤维 100 份 + 5 份	7.9	9.2	4.2	5.6	0.22
C ₂	聚甲醛 + 碳素纤维 + 氟纤维 100 份 + 2.5 份 + 2.5 份	8.8	11.9	5.8	5.9	0.20
C ₃	聚甲醛 + 氟纤维 100 份 + 5 份	11.0	14.1	1.5	3.2	0.25
C ₄	聚甲醛 + 玻璃纤维 + 氟纤维 100 份 + 6 份 + 2 份	7.88	8.1	27.3	8.8	0.43 *
C ₅	聚甲醛 + 碳素纤维 + 氟粉 100 份 + 10 份 + 5 份	5.88	6.68	12.6	6.7	0.26
C ₆	聚甲醛 + 氟粉 100 份 + 5 份	10.6	14.5	1.7	3.1	0.23
C ₇	聚甲醛 + 铝粉 100 份 + 10 份	7.6		64.6	11.2	0.31
C ₈	聚甲醛 + 铝粉 + 氟粉 100 份 + 10 份 + 5 份	8.0		33.3	8.5	0.34
C ₉	聚甲醛 + 铝粉 100 份 + 25 份	8.1	13.5	3.8	3.5	0.31
C ₁₀	聚甲醛 + 铝粉 + 氟粉 100 份 + 25 份 + 5 份	9.3	13.8	3.3	2.9	0.22
C ₁₁	聚甲醛 + 碳素纤维 + 氟粉 100 份 + 3 份 + 5 份	7.4	11.0	8.0	4.6	0.20
H	聚甲醛 (德国进口 HostaformC)	12.1	15.8	3.6	4.9	0.40
H ₁	聚甲醛 + 碳素纤维 + 氟粉 100 份 + 10 份 + 5 份	6.15	8.0	6.3	5.4	0.19
H ₂	聚甲醛 + 碳素纤维 + 氟纤维 100 份 + 10 份 + 5 份	5.65	6.44	4.2	4.8	0.29
N	尼龙 66 (上海合成纤维一厂)	8.9	14.2	33.1	9.4	0.45
N ₁	尼龙 66 + 碳素纤维 100 份 + 5 份	6.1	7.9	7.5	6.6	0.38

注：1. 各种性能指标是 3~5 次测量的平均值。
2. 由于各批测量时的室温条件不一样（自 0~35℃），故各项性能指标不能作绝对比较。
3. 有 * 号者为数据波动较大或数值不稳定。
4. 部分试样有缩孔。
5. 全部试样都经后处理。
6. 填料的含量均以树脂 100 份为基础（质量份）。
7. 国产聚甲醛塑料在配方中均加入 0.5% “2246” 及 0.1% 双氰胺作为稳定剂。

在聚甲醛中加铝粉的目的, 在于提高其导热性能、光反射及防老化, 但对耐磨性能影响很大, 因此不能使用。在塑料中加入玻璃纤维, 可以提高刚性和耐热性, 但在聚甲醛中加入玻璃纤维即使小于 6% (质量分数) 左右, 除了耐热性有所提高, 线胀系数相对下降外, 摩擦因数增大, 耐磨性下降, 因此也不宜使用。碳纤维的作用与玻璃纤维相似, 除提高刚性和耐热性外, 还能提高耐磨性, 但加入量必须合适, 含量太高反而恶化摩擦磨损性能。试验证明, 碳素纤维含量最好不超过 5% (质量分数)。在聚甲醛中加入聚四氟乙烯纤维或粉效果是很突出的, 摩擦因数降低了 1/2, 耐磨性提高了 3 倍多。但是对其他各项性能则补益不大, 冲击强度有所下降, 收缩率也较大。聚四氟乙烯加入聚甲醛中, 在滑动速度较低时, 可以成十倍地提高 pv 极限值。因此是比较有前途的轴承材料。在聚甲醛加聚四氟乙烯的基础上, 再加入适量金属铝粉, 更进一步提高了材料的自润滑性、耐磨性、载荷承载能力及导热性, 大大提高了轴承性能。

主要原材料规格及来源见表 4-38。

表 4-38 主要原材料规格及来源

原料名称	规格及指标	来源
聚甲醛	国产絮 (或粉) 状料, 共聚型, 规格相当于国外牌号 (Celcon) M90 型, $\eta_i = (1.15 \sim 1.28)$, $K_{222} = 0.05\%$ 左右	吉林石井沟联合化工厂
尼龙 66	国产, 相对分子质量 13200 左右	上海合成纤维一厂
氟塑料粉	CD-1 分散聚合树脂等外品 (经高速捣碎成粉)	上海合成橡胶研究所
氟纤维	断裂强度 0.11 ~ 0.14N/tex, 相对密度: 2.3, 24 根/股	上海合成纤维研究所
铅粉	铅含量 (质量分数) 不小于 99.9%, 230 ~ 300 目	上海金属加工厂
2246 稳定剂	2, 2-亚甲基双 (4-二甲基-6-叔丁基) 苯酚	南京化工厂
双氰胺 (吸醛剂)		科学院有机化学研究所实验厂

2. 主要设备

(1) 塑料注射成型机 采用上海塑料机械厂生产的 601 型 (卧式)。

注射柱塞直径: 38mm, 注射柱塞总压力: 1278MPa, 最大注射压力: 122MPa, 闭模力: 500kN, 最大注射成型面积: 130cm², 每次注射质量: 30 ~ 60g, 塑化率: 18kg/h, 料斗容量: 7kg, 自动化程度: 手动、半自动、全自动。

(2) 塑料挤出机 采用上海挤出机械厂生产的 SJ-G(R)-45 型。

螺杆直径: 45mm, 螺杆工作长度: 810mm, 螺距: 43mm (等距不等深), 螺杆长径比: 18:1, 螺杆压缩比: 2:1, 螺杆转速: 27 ~ 80r/min, 生产能力: 6 ~ 20kg/h。

3. 制备工艺

(1) 造粒工艺

1) 混合。采用两种工艺方法。

①普通混合法。是将一定配比的填料和助剂, 如氟塑料粉、铅粉、“2246”稳定剂、双氰胺等, 用机械 (或手工) 混合均匀于树脂中, 然后送至挤出机造粒。如果粒

料质量不均匀，可以进行第二次挤出混合，如图 4-13a 所示。

②长纤维法。是使长纤维（如氟纤维）通过特制的模具后，纤维表面涂上了树脂，然后牵伸、切粒，如图 4-13b 所示。

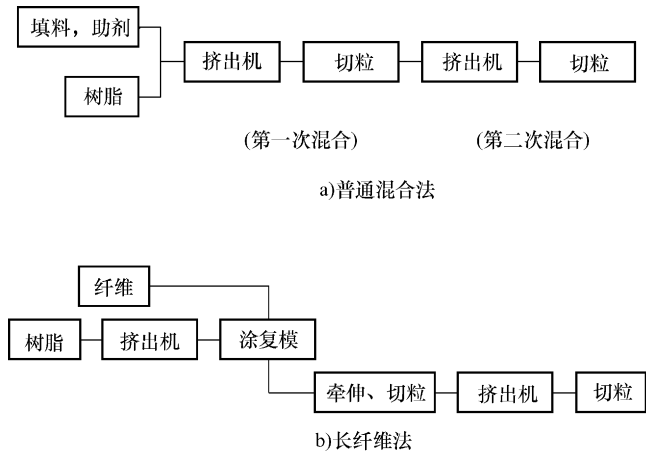


图 4-13 造粒工艺

2) 温度控制。原材料在造粒前应事先进行干燥，由于吸水性不大，但仍需干燥，否则会造成挤出料蓬松多孔，使成型零件表面质量变差，尺寸收缩率大，耐磨性下降。树脂或填料，一般在鼓风电烘箱中进行干燥处理，80 ~ 110℃，3 ~ 24h。混合好的原料送进挤出机中进行造粒，温度控制见表 4-39。

表 4-39 温度控制 (单位:℃)

材料	机 身 温 度			
	后段	中段	前段	机头
聚甲醛	150	155	165	170

机身温度调节要适当，太低则塑化不均匀，特别是机头容易堵塞。太高易发生分解变质，或者造成后段进料困难。物料在机身中停留时间不能太长，机身机筒应避免死角，防止料局部过热或分解。螺杆转速也应适当，太高则塑料来不及塑化，太低则影响生产效率。采用 32 ~ 34r/min。

挤出料可通过切粒机切成长 3 ~ 4mm (φ3 ~ φ4mm)，也可塑料破碎机破碎成豆粒般大小的不规则粒料，供注射成型用。

(2) 成型工艺

1) 粒料干燥。聚甲醛吸水性不大，注射成型前只需将粒料于鼓风电烘箱中 80 ~ 100℃烘 3 ~ 5h，除去附着水分即可。

2) 成型温度。聚甲醛的热稳定性较差，加热容易分解，故成型温度控制较严格，物料于机筒中停留时间不能太长，并且不允许有死角存在，以免过热分解。喷嘴必须加热，以防阻塞料流。此外，聚甲醛是一种高结晶性高聚物，熔点敏锐，流动性较差，模

具必须加热。

模具温度：80 ~ 120℃，机筒温度：前段 160 ~ 170℃，后段 150 ~ 160℃，喷嘴温度：170℃左右（一般应比机筒前段温度高 4 ~ 5℃）。

3) 成型压力。由于聚甲醛的流动性较差，故必须采用较高的压力进行成型。根据设备条件、模具结构与成型品尺寸，以及机筒温度和模具温度的情况，采用 8000 ~ 10000N（表压 5.0MPa）的成型压力。

4) 成型周期。适当的成型周期对制品表面光洁、无裂纹、内部无孔隙、不扭曲变形有好处。对于解放牌万向节塑料衬套，采用的成型周期约为 45s，其中高压注射 15s，保压 15s，冷却 15s。

5) 后处理。为了消除成型应力，提高结晶度，提高尺寸稳定性，成型零件需要进行热处理。把塑料衬套置于油浴中，缓慢加热至 145 ~ 150℃，保温 15 ~ 20min，随油浴冷却至室温取出。也可以于同样温度下在空气中进行处理。但油处理对提高塑料衬套的表面润滑性有好处。

（九）磨床用聚甲醛塑料液压筒套

1. 选材

M131W 液压筒套和 M120 液压筒套采用了聚甲醛塑料，应根据聚甲醛塑料的特性，确定轴套外径过盈量和与轴的配合间隙。

（1）磨床液压筒的工作特点 M131W 万能外圆磨床和 M120 外圆磨床液压筒套，当推动磨床台面时，液压筒活塞杆两端起导向作用，因此受力不大，往复速度在 0.1 ~ 6m/min，为二级精度，在 3 号锭子油里室温下进行工作，若磨床在炎热的夏天，再加上使用时散热的温度也仅在 60℃ 以下。

（2）聚甲醛塑料、磷青铜在阿姆斯特试验机上摩擦、磨损性能的试验 试验条件：载荷 300kN，速度 0.37m/s，转速 185r/min，时间 120min，磨盘材料 45 钢，59HRC，磨盘直径 40mm，聚甲醛、磷青铜试样为 30mm × 7mm × 6mm。

从表 4-40 看出，聚甲醛塑料比磷青铜摩擦因数稍大外，在耐磨方面超过或相当于磷青铜。由此可见，聚甲醛塑料代替磷青铜作液压筒套是合适的。

表 4-40 聚甲醛塑料、磷青铜摩擦磨损比较试验结果

性能 材料	摩擦磨损性能						
	干 摩 擦						
	试验时间 /h	摩擦因数	对磨材料	材 料		对 磨 件	
				磨损量 (失重/g)	磨痕宽度 /mm	磨损量 (失重/g)	磨痕宽度 /mm
磷青铜	2	0.192 (较稳定)	45 钢 59HRC	1.2313	16.57	0.0016	—
聚甲醛	2	0.465 (较稳定)	45 钢 59HRC	0.0533	10.00	0.0010	—

(续)								
材料	性能	摩擦磨损性能						
		干 摩 擦						
		试验时间 /h	摩擦因数	对磨材料	材 料		对 磨 件	
					磨损量 (失重/g)	磨痕宽度 /mm	磨损量 (失重/g)	磨痕宽度 /mm
磷青铜	2	0.0104 (较稳定)	45 钢 59HRC	0.0240	2.28	0.0002	—	
聚甲醛	2	0.017	45 钢 59HRC	—	1.92	0.0003	—	

2. 主要设备

- 1) 注射机。可选用 610 或 601 型卧式注射机成型液压筒套。
- 2) 模具。

3. 聚甲醛塑料 M131W 液压筒套注射成型工艺

在 601 型卧式注射机上注射压力，表压为 3.0MPa，注射时间 10s，保压 20s，注射温度前段 190 ~ 220℃，后段 170 ~ 190℃，一般的注射聚甲醛温度前段在 170℃左右，后段在 150℃左右，但需要喷嘴加热和模具加热才能塑化得好。这次注射，喷嘴和模具都未加热，因此只能用提高机筒温度来弥补，成型后的 M131W 液压筒套检验 10 只，其主要尺寸见表 4-41。

表 4-41 聚甲醛塑料 M131W 液压筒套成型后尺寸 (单位：mm)

编号	外径	内径	编号	外径	内径
1	45.02	30.20	6	44.93	30.29
2	45.00	30.26	7	44.95	30.22
3	45.01	30.17	8	44.91	30.17
4	45.00	30.18	9	44.61	30.07
5	44.93	30.25	10	44.55	30.28

除了 9、10 两只轴套尺寸与前面 8 只相差较大外，其他外径在 +0.02 ~ +0.09mm 范围内，内径在 +0.17 ~ +0.29mm 范围内。

4. 聚甲醛塑料 M131W 液压筒套后处理

为了消除成型时的应力，提高结晶度和尺寸稳定性，零件需要进行热处理。在 30 号机油中加热至 120℃，处理 2h，然后缓慢冷却。后处理收缩率与成型条件很有关系。

后处理的制品除 9、10 两只外，其他 8 只外径尺寸变化在 0.03mm 范围内，内径尺

寸变化在 0.04mm 范围内，由此可以看出，经后处理后的轴套尺寸稳定性好（表 4-42）。因此聚甲醛塑料套若要求尺寸稳定，成型后进行热处理，是一个比较有效的途径。

表 4-42 轴套经后处理后尺寸的检验 (单位：mm)

编号	外径	内径	编号	外径	内径
1	44.80	30.10	6	44.80	30.08
2	44.79	30.06	7	44.80	30.07
3	44.79	30.08	8	44.77	30.07
4	44.80	30.08	9	44.48	30.01
5	44.80	30.08	10	44.43	30.03

(十) 碳纤维增强聚甲醛（CF/POM）复印机导电导辊

聚甲醛（POM）的优点是具有高的弹性模量、高的刚性和硬度、较好的冲击强度和耐疲劳性。碳纤维增强后性能更加突出，能取代非铁（有色）金属如铜、铝制作的 结构部件，在汽车、机械、电器上应用极为普遍。采用先进工艺，研制出与日本同类产品（CE-20 复印机导电导辊）相媲美的 CF/POM 复合材料制品。

1. 选材与配方

聚甲醛树脂 100；碳纤维 10 ~ 30；助剂 A0.2 ~ 0.5；助剂 B0.2 ~ 0.4；助剂 C0.3 ~ 0.4。

配方单位为质量份。

由于均聚甲醛热稳定性差，加工时易分解释放出甲醛气体，刺激人的眼睛和呼吸道。为了解决这一问题，经过多次试验，选用具有协同效应的几种加工助剂，起稳定和吸收 甲醛气的作用。

2. 主要设备

φ32mm 双螺杆挤出机（日本）；纤维切割 机（国产）；GL-230 螺杆式注射机（国 产）；SZ-60 螺杆式注射机（国产）；45T 液压 机（国产）。

3. 制备工艺（图 4-14）

基本工艺条件：

挤出机螺杆转速 50 ~ 150r/min；挤出机 主机电流 4.0 ~ 6.0A；挤出温度（五段）160 ~ 205℃；注射温度（三段）150 ~ 165℃。

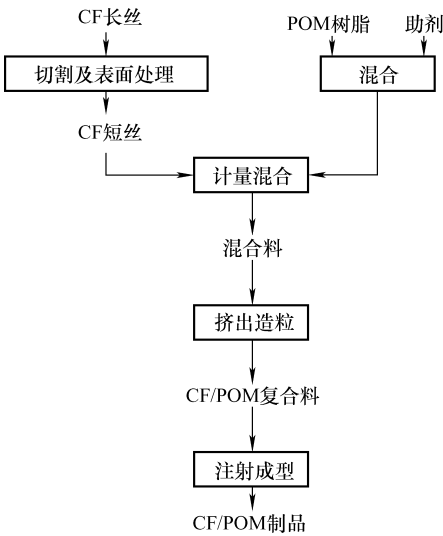


图 4-14 制备复合材料工艺流程

4. 注意事项

1) 碳纤维是一种导电性良好的无机材料,随着碳纤维含量的增加,CF/POM 制品的导电性明显提高。当 CF 含量(质量分数)在 15% 以上,制品的导电性逐渐趋于平稳。实验中发现碳纤维含量(质量分数)小于 10% 时,其导电性变化速度快,可能是因为制品中纤维少,且分散不太均匀,难以形成“导电网络”的缘故。

2) 为了使碳纤维与基体树脂聚甲醛有良好的结合,真正起到增强改性的作用,需对碳纤维进行适当的化学处理。碳纤维短丝呈蓬松状态,与聚甲醛粒料的混合非常困难,对此采用分批计量并强制分散的配料工艺,提高了纤维在制品中的分散性。

3) 纤维含量(质量分数)过高(30% 以上)或加料速度过快,易出现挤出机主机过载,螺杆磨损加剧及纤维堵死出料口等现象。

4) CF/POM 粒料一般采用注射成型,其成型设备与纯树脂基本相同,但由于内含纤维,物料熔融粘度较高,尤其是因碳纤维密度较低,成型时具有较高的体积摩擦和热导率,熔体流动性能较等质量的玻璃纤维更低,因此工艺上需作相应的调整,如将粒料成型控制温度提高,或在相同温度下增加注射压力等。另外,模具及流道也需适当改变,以使注射丰满及脱模容易。

(十一) 聚甲醛的精密注射成型(录音机滚轮和气筒)

1. 选材

用于精密成型的树脂需选用共聚甲醛原料,其中有从日本、美国等国进口的,也有国产的。虽然国产原材料的相对分子质量分布范围宽,热稳定性略差一些,但只要在成型工艺上适当修正一下,同样能用于精密成型。

2. 主要设备

聚甲醛的精密成型对注射机有一定的要求,必须采用小型螺杆式注射机。因为柱塞式注射机预塑不良,料温有温差梯度,制品成型后收缩率偏差大、内应力高。采用螺杆式注射机,熔体在机筒内预塑均匀,相比之下可以选用较低的料温。目前国内适合精密成型的注射机,有宁波塑料机械厂的 SZ-45/30NB、SZ-60A,杭州磁记录厂的 C4730。进口注射机可以选用日本东芝的 IS25EP、IS50EP,日本制钢所的 JSW-40SC 等。

3. 制备工艺

在大批量成型加工中,要想得到理想、稳定、合格的零件,必须严格控制各项工艺参数。

(1) 干燥 聚甲醛既不吸水也不易粘附水分,在通常情况下,可不必干燥。但假如树脂包装不好,又储存在阴暗潮湿的仓库里,树脂表面可能会粘附水分,引起制件表面缺陷,那么可在 80℃ 的鼓风烘箱内干燥 4h,料厚小于 30mm。预热对制件有改善光泽的作用。

(2) 成型温度

1) 机筒温度。不得超出聚甲醛的分解温度。熔体对空注射时,料流无变色、银丝、起泡等现象,外观光滑、闻不到刺激性气味。用半导体点温计快速测温,不得超出 190℃。通常取料温 185~190℃ 为最佳注射温度,使用国产原料需相应降低 5℃。

2) 模具温度。聚甲醛是结晶性塑料。要保证聚甲醛制品的尺寸稳定性,减小二次

结晶引起的后收缩。有效的措施是采用较高的模温加工制品。聚甲醛具有最大结晶速度时的温度是 78°C ，所以模温取 $(78 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ （国产原料需再提高 $3 \sim 5^{\circ}\text{C}$ ）使制品在模具内达到80%以上的结晶度，用小角激光散射仪测定，呈规则的球形晶体为最佳。制品出模以后，后收缩现象比较轻微，不致影响使用。模具加热的方法，如果注射机上没有模板加热装置，可以采用水加热器加热，也可以采用电热板的方法加热模具，用控温仪控制模具温度，同样能达到目的。

（3）注射压力 对于聚甲醛的表观粘度，压力的影响比温度大。提高压力，聚甲醛粘度变化大。提高温度，它的粘度变化不太显著。且过高的温度，聚甲醛易分解使制品发黄，严重影响制品尺寸精度及外观质量。经过试验，采用 $80 \sim 100\text{MPa}$ ，制品的尺寸较稳定，外观光滑无收缩。低于 75MPa ，制品出现波纹甚至凹陷，后收缩也严重；高于 100MPa ，制品出现飞边。

（4）注射速度 聚甲醛的熔体粘度较低，但凝固速度较快，采用中等的注射速度往往能获得较好的效果。当注射速度太大时，树脂容易分解，太小时对成型复杂的机械零件不利。

（5）成型周期 为了保证精密零件尺寸的高度稳定性，零件的成型周期一般比通常塑料制品的成型周期长，目的是使制品在模内充分结晶，达到最大的收缩率，避免出模以后在自由状态下产生二次结晶而影响制品的孔径尺寸和端面及径向跳动，从而直接影响精度。一般取周期 $20 \sim 30\text{s}$ 一摸，高压 3s ，保压 $5 \sim 6\text{s}$ 为宜。

（6）制品后处理 精密机械零件，大多数尺寸精度较高。如果用较高温度后处理，会使孔径有所缩小，径向跳动，端面跳动超出要求的范围，建议采用 $50 \sim 55^{\circ}\text{C}$ 退火 $4 \sim 6\text{h}$ ，或者室温放置 $28 \sim 42$ 天，目的是消除内应力。

二、聚甲醛管材挤出成型

聚甲醛（POM）管的突出性能是：强度高、刚性大、韧性很好，耐疲劳和抗蠕变性强，耐磨、尺寸稳定、耐水、耐溶剂、介电性能均好，但不耐强酸、强碱。POM管可用做油田管线，在医药化工管线上也有应用。

挤出成型管材的POM树脂有均聚甲醛和共聚甲醛，一般在管材成型中不加其他助剂。

POM易吸湿，挤出成型管材前应进行干燥处理。干燥工艺可采用鼓风干燥，温度为 100°C ，干燥时间为 4h ，使树脂含水量低于 0.25% （质量分数），否则难以挤出合格的管材。

由于POM为结晶性聚合物，挤出机螺杆应采用突变型， L/D 为 $20 \sim 25$ ，压缩比为 $3.0 \sim 4.0$ 。

成型POM管材操作温度的设定较为特殊，可将加料段、压缩段、计量段、机头口模均设为 205°C 。POM熔融后熔体粘度对温度变化不敏感，但对压力变化较敏感。因POM易分解，所以加工中应在保证物料熔融的前提下尽量采用较低温度，可通过增加压力来提高流动性。

在挤出过程中，还要避免物料在挤出机中长时间停留导致的热分解。POM的熔点温度与分解温度较接近，易发生热分解，酸性、碱性物质及某些金属元素的介入，

也将导致 POM 分解，因此，要注意加工中不要混入酸、碱性物质，定型前的熔体不要与含铜等金属材料相接触。停机或清洗螺杆机头时，应采用熔融温度较低且热稳定性好、流动性好的聚乙烯作为清洗料，以免再次开车时由于升温时间较长造成热分解。

设计机头口模时，取拉伸比为 4~8。冷却定型一般采用常温水冷。因为 POM 极易结晶，所以冷却水槽可以较短。由于结晶速度大，冷却时体积变化大，故挤出的管材表面易开裂变形，使用较高的温度冷却可减少内应力。

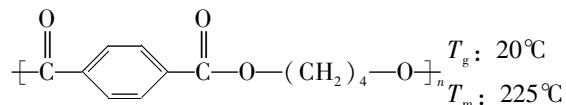
第五章 热塑性聚酯

第一节 简介

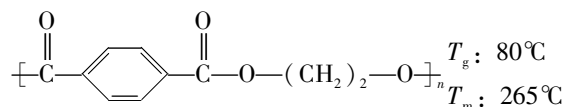
一、结构与基本性能

热塑性聚酯是由饱和的二元酸和二元醇通过缩聚反应制得的线性聚合物。根据不同种类的二元酸和二元醇，可以合成许多种热塑性聚酯。商品化的主要品种有：聚对苯二甲酸丁二（醇）酯（PBT）、聚对苯二甲酸乙二（醇）酯（PET）以及近几年发展起来的聚对苯二甲酸环己撑二甲（醇）酯（PCT）、聚萘二甲酸乙二（醇）酯（PEN）、聚对苯二甲酸丙二（醇）酯（PTT）和聚萘二甲酸丁二（醇）酯（PBN），广义地说，聚酯液晶聚合物系列、聚芳酯、聚酯弹性体及新开发的生物分解性聚酯等也属于此类，这是一类颇具发展前途的重要的工程塑料品种。但大规模工业化生产和应用最多的是 PBT 和 PET 两种聚合物。

聚对苯二甲酸丁二（醇）酯英文名称 Polybutylene terephthalate，简称 PBT。它是对苯二甲酸与 1，4-丁二酸的缩聚物，分子结构式为：



聚对苯二甲酸乙二（醇）酯（Polyethylene terephthalate，简称 PET 或 PETP），它是对苯二甲酸与乙二醇的缩聚物，分子结构式为：



它与 PBT 一起常统称为热塑性聚酯。

1. 力学性能

由于 PBT 是结晶性聚合物，经玻璃纤维增强后的 PBT，不仅热变形温度得到很大的提高，其力学性能都可成倍地增长，而且比同样条件下的 MPPO、POM、PC 的各种强度都好，其中弯曲模量更是随玻璃纤维含量的增加而大幅度提高，且韧性较好又耐疲劳。

需要指出的是，纯 PBT 树脂有优异的冲击韧性。Eastman 公司的 Tenite 6PRO 制成防护面盔在受到 162.7J 冲击时没有裂缝。在落球冲击试验中，6PRO 制成的板材 23℃ 时的冲击强度大于 57J，即使 -40℃ 下也还能达 47.5J。但 PBT 树脂的缺口冲击强度较低，对缺口敏感性大。PBT 和 PET 工程塑料的性能比较见表 5-1。

低温下 PBT 的拉伸强度和弯曲强度以及无缺口冲击强度都有所提高，但温度升高后，却略有下降，而有缺口的冲击强度却相反随着温度的升高会有所升高。增强 PBT

在 100℃ 时拉伸强度仍保持 6.2MPa 左右，弯曲强度仍为 8.5MPa 左右；而增强 PET 在 150℃ 时，除冲击强度外，其他力学性能均比几种增强通用工程塑料高，甚至达到某些热固性塑料的力学强度。

同时，增强 PBT 和 PET 还具有突出的动态力学性能，如增强 PBT 在 23℃ 和 100℃ 时均具有优异的耐蠕变性；增强 PET 在负荷 3MPa 以下时，几乎不随受力时间加长而发生蠕变。同时增强 PET 表现出比增强尼龙和增强聚碳酸酯优越的耐疲劳特性。

表 5-1 PBT 和 PET 工程塑料的性能比较

项 目	PBT					PET	
	标准树脂	阻燃级	玻璃纤维增强			标准树脂	玻璃纤维增强 30% GF（日本帝人-C-9030）
			15% GF	30% GF	阻燃增强 30% GF		
密度/(kg/m ³)	1310	1410	1390	1520	1600~1630	1400	1600
玻璃化温度 $T_g/^\circ\text{C}$	20	—	—	—	—	79	—
晶相熔点 $T_m/^\circ\text{C}$	225	—	—	—	—	265	—
吸水率(23℃,24h)(%)	0.09	0.07	0.05	0.06~0.07	0.03~0.05	0.08	0.08
(23℃平衡)(%)	0.30	0.30	0.30	0.24~0.30	0.20~0.30	—	—
成型收缩率(%)	1.7~2.3	—	—	0.2~0.8	0.2~0.8	1.5~2	0.3~1.2
拉伸强度/MPa	53~55	59	98	132~137	117~127	63	142
伸长率(%)	300~360	5	4	2.5~4	1.8~4	50~300	3.8
弹性模量/GPa	~2.6	5.4	9.8	9.8			
弯曲强度/MPa	85~96	88	147	186~196	167~196	83~115	205
弯曲模量/GPa	2.35~2.45	2.55	5.4	8.8	8.8~9.3	2.45~3.0	8.9
压缩强度/MPa	88	88	108	118~127	118~127		
无缺口悬臂梁冲击强度 /(J/m)(3.175mm)							
23℃	不断	490	490	637~686	539~588	—	637
-40℃	不断	—	—	372	333		

2. 热性能

PBT 和 PET 与其他工程塑料相比热变形温度并不高，并且在负荷稍大（1.82MPa）的情况下，热变形温度就迅速下降。但当用玻璃纤维增强，热性能便有明显的改进。例如，当玻璃纤维含量为 5% 时，在 1.82MPa 负荷下的热变形温度从未增强的 60℃ 提高到 100~170℃，已达到 30% 玻璃纤维增强的聚甲醛、聚碳酸酯和改性聚苯醚的热变形温度。而当玻璃纤维含量为 30% 时，PBT 的热变形温度达 203~212℃，PET 更高达 235~242℃，是热塑性工程塑料中热变形温度最高的。

3. 电性能

PBT 和 PET 的分子中没有聚酰胺那样强极性基团，分子结构对称并有几何规整性，使他们具有十分优良的电性能。两种树脂的基体电阻率可达 $10^{16}\Omega\cdot\text{cm}$ ，介电强度大于

20kV/mm。

优良的电性能保证了 PBT 在高温和恶劣条件环境中安全的工作，这是尼龙和其他许多增强塑料所不可比拟的，是电子、电气工业的理想材料。

二、热塑性聚酯的改性

1. PBT 的改性

(1) 共混合金

1) PBT/PC 合金。聚碳酸酯的玻璃化温度高达 145℃，而 PBT 不到 30℃，通过聚碳酸酯的共混改性，可明显提高 PBT 的热变形温度，但 PBT 的耐化学试剂和耐磨性将会有所下降。

PBT 与 PC 有部分相容性，两者共混时非晶部分有部分是不相容的，特别在两组分比例相近时。需要注意的是：由于这两种聚合物都是酯结构，当它们熔融混合时容易发生酯交换，形成无规共聚物，这时失去两者各自的优良性能，并有时会发生分解和变色。此外，仅用这两种聚合物二元共混时，PBT 冲击强度的改进效果不明显，一般需加入弹性体，如丁二烯类接枝共聚物、丙烯酸酯类或丙烯酸类橡胶等。

PBT/PC 合金主要用于汽车外板、保险杠、电子计算机外壳及内部元器件等。

2) PBT/PET 合金。PBT 与 PET 的化学结构相似，熔融温度也较接近，在共混时，共混体在非晶相状态显示出单一的玻璃化温度，可见两者的相容性是十分良好的。但熔融混炼时，停留时间长了会发生酯交换反应，开始时形成嵌段共聚物，时间长了形成无规共聚物，就失去两种聚合物各自的优点，因此混炼时，需采取措施防止发生酯交换。由于 PET 的玻璃化温度要比 PBT 高 50℃ 左右，因此两者共混时，合金的热变形温度和高温下的弹性模量均有相应的提高。

用 PET 共混改性 PBT，能在很大程度上改善 PBT 制品的翘曲性。另外，由于共混体的结晶性会有所下降，因此，即使加入玻璃纤维增强，制品也能显示出良好的表面光泽。

3) PBT/ABS 合金。与 PBT/PET，PBT/PC 合金不同，PBT/ABS 合金是典型的不相容体系，需要使用相容剂。它充分利用了 PBT 的结晶性和 ABS 的非结晶性特征，材料具有优良的成型性、尺寸稳定性和耐药品性，玻璃纤维增强品级热变形温度 (1.82MPa) 最高可达 200℃，共混物对涂料有良好的附着性，因而可用于制备通信和光学仪器、设备壳体、键盘及汽车外装件等。

4) PBT/聚烯烃合金。PBT 和聚烯烃的溶解度参数相差较大，两者共混时，通常容易形成两相分离体系，PBT 与聚烯烃共混时可提高其冲击强度，要达到理想效果也常加入橡胶类弹性体，为了使橡胶弹性体共混时形成微粒状均一分散，在相界面上有较好粘着是十分必要的。为此，在 PBT 与聚烯烃共混合金制备时，通常加入相溶剂，例如乙酸乙酯或甲基丙烯酸缩水甘油酯与乙烯的共聚物，采用 α 、 β -不饱和羧酸或丙烯酸接枝的乙烯或丙烯聚合物等。

(2) 增韧改性 弹性体与 PBT 共混时对冲击强度的改进效果显著。用于改性 PBT 的弹性体有丁基橡胶、丁腈橡胶、乙丙二元或三元橡胶、聚异丁烯、烯丙基化丙烯酸类橡胶、丙烯酸缩水甘油酯橡胶、乙烯基硅烷改性橡胶、某些热塑性弹性体（如聚酯弹

性体)等。

添加橡胶共混时,冲击强度上升,但会引起力学强度降低,耐热性下降,特别在橡胶添加量较多时。为此常采用三元或多元共混,例如聚碳酸酯和丙烯酸类橡胶组合改性PBT,丁腈橡胶、嵌段共聚物与其他工程塑料组合改性PBT等。

(3) 填充增强改性 填充增强改性是PBT改性最先应用的方法,它不但保持了PBT的耐化学性、加工性等优点,而且力学性能与耐热性大幅度提高,实施简便。

例如,可以采用矿物填充、矿物与玻璃纤维复合填充增强改性,从而达到实现低翘曲化的目的,而应用于高尺寸精度的电气部件。也可以加入阻燃剂,溴化物、磷化物、氯化物、 Sb_2O_3 等,使其具有阻燃效果。也可以填充炭黑等导电材料,制得抗静电的PBT。

2. PET 的改性

(1) 共混合金改性

1) PET/PC 合金。在讨论PBT/PC合金中已经提到,这两种合金的特性相近,制备要求相同。

2) PET/PBT 合金。PET和PBT的相容性极好,共混熔融可制得性能很好的PET/PBT共混合金体系。这种共混体系的成型收缩率低,尺寸稳定性好,能阻燃,耐热性好,电性能好,易加工而且韧性和结晶速度也能得到控制。该种共混合金主要用作电子电气材料,可用来制造电视机和收录机的各种零部件,电子电气中各种用途的开关接插件、照相机、录像机、光学仪器的零部件及壳体、汽车转向盘、机械设备及仪器的壳体及零配件等。

3) PET/聚烯烃合金。与PBT的情况相似,PET与PE由于化学结构上明显的差异,它们不具有相容性,只有对PE进行引入极性基团的接枝改性才能用于与PET的共混,最常用的办法是接枝马来酸酐(MAH)。

(2) 增韧改性 PET的另一个缺点是耐冲击性差,这是由PET大分子链的刚性引起的。因此提高PET工程塑料的抗冲击性能是拓宽其产品应用领域的关键问题之一。

在制取增韧级PET时,大多采用和弹性体共混,或与聚合物共混,也可加入专门的添加剂。用于改进PET韧性的聚合物主要有:各种弹性体和改性弹性体、改性饱和聚烯烃,如马来酸酐(MAH)、丙烯酸乙酯(EA)或甲基丙烯酸缩水甘油酯(GMA)接枝改性的聚烯烃、乙丙橡胶(EPR)及苯乙烯-丁二烯(SB)各种嵌段共聚物等;不饱和烯烃共聚物,如(甲基)丙烯酸酯共聚物和乙烯(Et)-(甲基)丙烯酸酯(MMA)共聚物等。也可采用上述聚合物与PET进行三元或多元共混。

(3) 填充、增强改性 在PET树脂中加入长玻璃纤维,PET流动性好,与玻璃纤维的浸润性佳,用长纤维增再加上填充量大更容易展示PET优良的力学性能和耐热性。

此外,添加阻燃剂,可制得阻燃级PET。添加石墨等导电材料,可制得电瓷屏蔽塑料。本章将从增韧改性、共混合金、填充增强改性及纳米改性四个方面以实例的形式对热塑性聚酯的改性进行阐述。

三、应用

PET主要用作纤维,少量用作工程塑料和薄膜,还有极少量功能应用。主要应用领

域有家电, 包装和织物以及电子电气行业。而 PBT 可用作机械部件、车辆部件、电器部件和电力制品等。

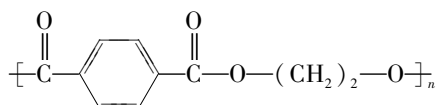
第二节 聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET)

一、主要品种与性能

(一) 简介

1. 结构特性

聚对苯二甲酸乙二(醇)酯 (Polyethylene terephthalate, 简称 PET 或 PETP), 它的分子结构式为:



聚对苯二甲酸乙二(醇)酯 (PETP) 俗称涤纶树脂, 它由对苯二甲酸二甲酯和乙二醇酯交换后缩聚而成; 或用高纯度对苯二甲酸和乙二醇直接酯化后缩聚而成。后者产品稳定性好, 易得到高聚合度产品。其主要品种有纺丝用 PET、薄膜用 PET、工程塑料用 PET、改性 PET。

2. 主要性能

聚对苯二甲酸乙二(醇)酯是乳白色或浅黄色的、高度结晶的聚合物, 表面平滑而有光泽。其相对密度为 1.4, 双向拉伸薄膜强度高且透明。其熔点为 265℃, 玻璃化转变温度为 80℃。

强韧性为热塑性塑料之冠, 经热处理后强度显著提高, 经热处理延伸后的拉伸强度与铝膜相当。其耐蠕变性、耐疲劳性、耐磨性和尺寸稳定性都很好, 磨耗小, 硬度大。

其电性能优良, 且受温度的影响小, 但耐电晕性较差。

耐热性好, 可在 120℃ 长期使用; 在较宽的温度范围内能保持其优良的物理性能。

吸水率低、无毒, 耐候性、化学稳定性好, 耐弱酸和有机溶剂, 但不耐热水浸泡, 也不耐碱。

树脂的结晶速率很低, 因而成型加工性差。由于结晶很迅速, 若要制品 (指薄膜) 透明, 必须快速冷却。

聚对苯二甲酸乙二醇酯成型前必须充分地干燥, 可用真空干燥或在 135℃ 下沸腾干燥 5h。否则会影响产品质量, 对流延薄膜更为重要。因其结晶速率慢、加工困难, 需加入成核剂。

涤纶树脂的粘度在 0.6 左右则成膜性好, 可用流延或挤出后双向拉伸成膜。高粘度 (特性粘度 1.0 以上) 的涤纶树脂 (熔点约 245℃) 可挤出、注射、吹塑、模压、涂覆、粘接、机加工、电镀、真空镀膜、印刷。

涤纶树脂的注射条件为: 注射温度 290 ~ 315℃, 注射压力 7.0 ~ 14.0 MPa。加有 30% 玻璃纤维的增强塑料, 其注射温度为 295 ~ 310℃, 注射压力为 35 ~ 70 MPa。

3. 应用

PET 主要用于纤维，少量用于薄膜和工程塑料。PET 纤维主要用于纺织工业。PET 薄膜主要用于电气绝缘材料，如电容器、电缆绝缘，印刷电路布线基材，电机槽绝缘等。PET 薄膜的另一个应用领域是片基和基带，如电影胶片、X 光片、录音磁带、录像磁带、电子计算机磁带。还用于食品、药品、油脂、茶叶等包装领域。在军事上可用于声波屏蔽和导弹的覆盖材料等。PET 薄膜也应用于真空镀铝（也可镀锌、银、铜等）制成金属化薄膜，如金银线、微型电容器薄膜等。

玻璃纤维增强 PET 适用于电子电器和汽车行业，用于各种线圈骨架、变压器、电视机、录音机零部件和外壳、汽车灯座、灯罩、白炽灯座、继电器、硒整流器等。PET 工程塑料目前各应用领域的耗用比例为：电子电器 26%，汽车 22%，机械 19%，用具 10%，消费品 10%，其他 13%。目前 PET 工程塑料的总消耗量还不小，仅占 PET 总量的 1.6%。但由于 PET 工程塑料制造中的一些关键技术问题已经解决，而 PET 价格比 PBT 和聚碳酸酯低，其力学性能优于 PBT，其潜在市场是相当大的，今后 PET 的应用前景较好。

(二) 国内 PET 品种与性能

(1) 北京燕山石化公司聚酯厂的燕山牌 PET（表 5-2）

表 5-2 北京燕山石化公司聚酯厂燕山牌 PET 的性能

项目	A 型片基		B 型片基							
	PETF-63-BR	PETF-65-BR	PETF-59-BR	PETF-61-BR	PETF-63-BR	PETF-65-BR	PETF-67-BR	PETF-69-BR		
特性粘度	0.63	0.65	0.59	0.61	0.63	0.65	0.67	0.69		
端羧基含量/(mol/kg)	30	30	30	30	30	30	30	30		
二甘醇 (%)	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4		
熔点/℃	262	262	260	260	260	260	260	260		
色度 (黄色指数)	9	9	14	14	14	14	14	14		
灰分 (%)	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025		
铁 (1×10 ⁻⁶)	2	2	3	3	3	3	3	3		
水 (%)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4		
TiO ₂ (%)										
项 目	高粘度					纤维级			吹瓶级	帘子线级
	HVP-ET-74	HVP-ET-78	HVP-ET-82	HVP-ET-86	HVP-ET-90	PET-S63-SD	PET-S65-SD	PET-S67-SD		
特性粘度	0.74	0.78	0.82	0.86	0.90	0.63	0.65	0.67	0.7~0.8	1.0
端羧基含量/(mol/kg)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
二甘醇 (%)	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.5	1.5
熔点/℃	257	257	257	257	257	260	260	260	259	259
色度 (黄色指数)	10	10	10	10	10					
铁 (1×10 ⁻⁶)										
水分 (%)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4					
醛 (1×10 ⁻⁶)	3	3	—	—	—				3	3
TiO ₂ (%)						0.1	0.1	0.1		

(2) 江苏仪征化纤工业联合公司的 PET 切片 (4mm×4mm×2.3mm, 椭圆半填充) (表 5-3)

表 5-3 江苏仪征化纤工业联合公司 PET 切片的性能

项 目	一等品 A 级	一等品 B 级	二等品	三等品
特性粘度	0.640 ± 0.010	0.640 ± 0.015	0.640 ± 0.020	0.640 ± 0.025
熔点/℃	≥ 260	260	259	258
端羧基含量/(mol/kg)	≤ 28	30	33	40
TiO ₂ (%)	0.35 ± 0.04	0.35 ± 0.05	0.35 ± 0.6	0.35 ± 0.07
凝聚粒子 (10μm 个数/mg)	≤ 0.4	≤ 1.0	≤ 2.0	≤ 3.0
二甘醇含量 (%)	≤ 1.2	≤ 1.3	≤ 1.4	≤ 1.5
水分 (%)	≤ 0.4	≤ 0.4	≤ 0.5	≤ 0.6
色度 (黄色指数)	≤ 14	≤ 14	≤ 15	≤ 16

主要用于纺制棉类、中长、毛型涤纶短纤维或普通涤纶长丝, 其中 A 级可高速纺涤纶长丝。

(3) 上海涤纶厂的双蝶牌 PET (表 5-4)

表 5-4 上海涤纶厂双蝶牌 PET 的性能

项 目	BNN3030	FR-PET-1	FR-PET-2	SD101	SD103	SD311	SD313
外观	颗粒	颗粒	颗粒	颗粒	颗粒	颗粒	颗粒
拉伸强度/MPa	125	80 ~ 120	60 ~ 80	80	120	60	80
伸长率 (%)	—	5	4	5	5	4	4
弯曲强度/MPa	180	150 ~ 200	100 ~ 150	150	200	100	150
弯曲弹性模量/GPa	9.1	—	—	—	—	—	—
压缩强度/MPa	159	110 ~ 140	90 ~ 130	110	140	90	130
冲击强度/(kJ/m ²)							
缺口	5.3	3 ~ 9	3 ~ 7	40 ^①	100 ^①	40 ^①	80 ^①
非缺口	7.3	33 ~ 58	23 ~ 38				
布氏硬度	170	180	150				
马丁耐热温度/℃	178	160 ~ 190	140 ~ 160	140 ^②	140 ^②	140 ^②	140 ^②
热变形温度/℃	240	220	200	230	230	230	230
线胀系数/(×10 ⁻⁵ K ⁻¹)	2.5	—	—				
表面电阻率/(×10 ¹⁶ Ω)	2.3	—	—				
体积电阻率/(×10 ¹⁶ Ω·cm)	3.67	1.0	1.0				
介电强度/(kV/mm)	> 24	20	20				
介电常数 (10Hz)	3.7	3.2	3.2				
介电损耗角正切值 (10 ⁶ Hz)	1.33 × 10 ⁻³	—	—				

(续)

项 目	薄 膜 级			注射、挤出制品
	SD701	SD702	SD703	
外观	本色圆柱粒	本色圆柱粒	本色圆柱粒	本色圆柱粒
特性粘度	0.65 ± 0.03	0.65 ± 0.03	0.62 ± 0.02	0.8871
熔点/℃	≥258	≥258	≥260	255
结晶温度/℃	—	—	—	216
水分 (%)	≤0.5	≤0.5	≤0.5	—
羧基/(mol/kg)	<40	<40	—	

① 单位 J/m。

② 长期使用温度。

(4) 辽宁辽阳石油化纤公司塑料厂的 PET (表 5-5) 和化工二厂的 PET (表 5-6)

表 5-5 辽阳石油化纤公司塑料厂 PET 的性能

牌 号	特性粘度	熔点 /℃	乙醛 (1 × 10 ⁻⁶)	结晶度 (%)	主 要 用 途
LS-1	0.72 ~ 0.76	255	5	4.8	瓶用, 透明, 韧性好, 气密性高, 拉伸性好, 宜用注拉吹或挤拉吹成型
LS-2	0.77 ~ 0.84	255	5	4.8	
LS-3	0.85 ~ 1.0	255	5	4.8	

表 5-6 辽阳石油化纤公司化工二厂 PET 的性能

项 目	瓶用有光聚酯	项 目	瓶用有光聚酯
特性粘度	0.68 ~ 0.70	光亮度 (%)	30
软化点/℃	260 ~ 263	二甘醇 (%)	1.2
灰分 (%)	0.1	TiO ₂ (%)	0.09
端羧基/(mol/kg)	33	TiO ₂ 凝聚粒子数 (>10μm) /	3
铁 (1 × 10 ⁻⁶)	8	(个/mg)	
色度 (黄色指数)	11 ~ 14 14 ~ 17	水 (%)	0.4

(5) 上海石化公司涤纶二厂的三人牌 PET (表 5-7)

表 5-7 上海石化公司涤纶二厂三人牌 PET 的性能

项 目	片材级	瓶级	项 目	片材级	瓶级
特性粘度	0.64	0.7 ~ 1	色度 L	72 ~ 82	
软化点/℃	261	260	B	3	
结晶度 (%)		45	凝聚粒子 (10μm 以上) /	0.3	
二甘醇 (%)	0.76	0.7	(个/mg)		
乙醛 (1 × 10 ⁻⁶)		3	灰分 (%)	0.48 ~ 0.58	
端羧基/(mol/kg)	30	200	水分 (%)	0.1	
			铁 (1 × 10 ⁻⁶)	3	

(续)

牌号	特性粘度	特性和主要用途
PETS-63SD	0.63	纤维级, 半消光, 宜熔融纺丝
PETS-65SD	0.65	纤维级, 半消光, 宜熔融纺丝
PETS-67SD	0.67	纤维级, 半消光, 宜熔融纺丝
片材级	0.64	非纤维用, 制 X 光片和电影片基
瓶级	0.7 ~ 1.0	吹塑级, 光泽好, 质轻, 透明, 无毒, 气密性好, 抗冲, 宜制瓶子或挤出制拉链丝

(6) 江苏无锡塑料一厂的增强 PET (表 5-8)

表 5-8 江苏无锡塑料一厂增强 PET 的性能

项 目	L-23	L-30	S-23
拉伸强度/MPa	130 ~ 150	140 ~ 160	120 ~ 135
弯曲强度/MPa	170 ~ 190	180 ~ 200	160 ~ 180
冲击强度/(kJ/m ²)	无缺口	6 ~ 8	7 ~ 9
	缺口	2.0 ~ 2.4	2.4 ~ 2.7
布氏硬度	230 ~ 260	260 ~ 300	230 ~ 260
马丁耐热温度/℃	140 ~ 150	145 ~ 155	144 ~ 150
表面电阻率 (× 10 ¹²) /Ω	5 ~ 12	5 ~ 10	5 ~ 10
体积电阻率 (× 10 ¹⁶) /Ω · cm	2 ~ 8	2 ~ 8	2 ~ 8
介电强度/(kV/mm)	> 24	> 24	> 24
介电常数 (1MHz)	3.5 ~ 4.0	3.5 ~ 4.0	3.5 ~ 4.0
介电损耗角正切值 (1MHz) /(× 10 ⁻²)	3.5 ~ 5.5	3.5 ~ 5.5	3.5 ~ 5.5

(7) 广东汕头海洋集团公司聚酯切片厂的 SOE 牌 PET (表 5-9)

表 5-9 广东汕头海洋集团公司聚酯切片厂 SOE 牌 PET 的性能

项 目	1078	1080	1162	1164	1165	1262	1264	2062	2064
特性粘度	0.78	0.80	0.62	0.64	0.65	0.62	0.64	0.62	0.64
端羧基/(mol/kg)			30		30	30		30	
二甘醇 (%)	1.4		1.4		1.4	1.4		1.4	
水 (%)	0.1	0.2	0.4		0.4	0.4		0.4	
色度 (黄色指数)	3		8.5		3	3		8.5	
粉末 (%)			0.1		0.1	0.1		0.1	
添加剂 (%)								0.25	
熔点/℃	261		257		257	257		257	
外观杂粒 (%)			0.02		0.02	0.02		0.02	
乙醛 (1 × 10 ⁻⁶)	2								
密度/(g/cm ³)	1.4								
雾度 (%)	8								

(续)

项 目	3062	3064	4062	4064	5062	5064	8065	8078	8080
特性粘度	0. 62	0. 64	0. 62	0. 64	0. 62	0. 64	0. 65	0. 78	0. 80
端羧基/(mol/kg)	30		30		30				
二甘醇 (%)	1. 4		1. 4		1. 4				
水 (%)	0. 4		0. 4		0. 4		0. 4	0. 1	0. 2
色度 (黄色指数)	8. 5		3		8. 5		3	3	
粉末 (%)	0. 1		0. 1		0. 1		0. 1		
添加剂 (%)	0. 25		0. 15		0. 25				
熔点/℃	257		257		257		250	250	
外观杂粒 (%)	0. 02		0. 02		0. 02		0. 02		
乙醛 (1×10^{-6})								2	
密度/(g/cm ³)								1. 4	
雾度 (%)								8	

(8) 天津石化公司涤纶厂 PET (表 5-10)

表 5-10 天津石化公司涤纶厂 PET 的性能

项 目	K-36 蓝色 (1) X-光片	K-36 蓝色 (2) X-光片	K-36 底片	K-36D 薄膜级	K-221 薄膜级	K-223 薄膜级
二甘醇 (%)	1. 8	1. 8	1. 5	1. 5	1. 5	1. 2
相对粘度 (特性粘度)	1. 35 (0. 635)	1. 365 (0. 635)	1. 365 (0. 635)	1. 378 (0. 648)	1. 384 (0. 655)	1. 364 (0. 632)
端羧基/(mol/kg)	30	30	30	30	30	28
熔点/℃	258	259	259	259	259	259
灰分 (%)	0. 07	0. 07	0. 07	0. 07	0. 07	0. 06
铁 (1×10^{-6})	5	5	5	5		5
水 (%)	0. 3	0. 3	0. 3	0. 3	0. 3	0. 3
精细度/mm	1	1	1	1	1	1
粉末 (%)	0. 1	0. 1	0. 1	0. 1	0. 1	0. 1
用途	挤出 X 光片	挤出 X 光片	照相底片	磁带	录像带	电容器薄膜

(9) 广东华南树脂厂、珠海裕华聚酯切片厂的 PET (表 5-11)

表 5-11 广东华南树脂厂、珠海裕华聚酯切片厂 PET 的性能

项 目	低粘 度级	中粘 度级	高粘 度级	超高 粘度级	项 目	低粘 度级	中粘 度级	高粘 度级	超高 粘度级
特性粘度	0. 76	0. 79	0. 82	0. 88	醛 (1×10^{-6})	3	3	3	
熔点/℃	256	256	256	258	羧基 (%)				15
结晶度 (%)	50	50	50		灰分 (%)				0. 0005
水分 (%)	0. 3	0. 3	0. 3	0. 3					

(续)

项 目	主要用途
低粘度级	高结晶白色粒子，强韧，电绝缘好，化学性稳定，宜用吹塑制容器
中粘度级	高结晶白色粒子，强韧，电绝缘好，化学性稳定，宜用吹塑制容器
高粘度级	高结晶白色粒子，强韧更好，化学稳定，宜用吹塑制容器
超高粘度级	高结晶白色粒子，韧性特好，宜熔纺工业用丝、拉链用丝；还可用于玻璃纤维改性，注射或挤出制电绝缘件、电影胶片、磁带

(10) 北京市魄力高分子新材料公司的 PET (表 5-12)

含玻璃纤维，力学强度高，热变形温度高，优异的抗蠕变性，耐磨，宜制电子、机械件、耐焊接件的壳体、骨架。

表 5-12 北京市魄力高分子新材料公司 PET 的性能

牌 号	拉伸强度 /MPa	弯曲强度 /MPa	缺口冲击强度 /(J/m)	热变形温度 /℃	燃烧性 (UL94)
2030	125	190	80	220	HB
3030	135	200	55	220	V-0

牌 号	体积电阻率/($\times 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$)	介电常数	介电损耗角正切值	成型收缩率 (%)
2030	2.5	3.0	0.02	0.15~0.3
3030	2.5	3.0	0.02	0.15~0.3

(11) 成都有机硅研究中心的汽车电器专用 PET (表 5-13)

表 5-13 成都有机硅研究中心汽车电器专用 PET 的性能

项 目	GRPET-131	GRPET-131V ₀
拉伸强度/MPa	120	110
伸长率 (%)	2~4	2~4
冲击强度/(kJ/m ²)	10	10
缺口	45	40
无缺口	200	200
热变形温度 (1.82MPa) /℃	10 ¹⁶	10 ¹⁶
体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$	3.5	3.5
介电常数 (1kHz)	0.005	0.005
介电损耗角正切值 (1kHz)	HB	V-0
燃烧性 (UL94)		

(12) 台湾南亚工程塑胶公司的改性 PET (表 5-14)

表 5-14 台湾南亚工程塑胶公司改性 PET 的性能

项 目	4210G6	4210G9	4410G6	4410G7
拉伸屈服强度/MPa	155	175	145	1050
弯曲弹性模量/MPa	8500	14000	9500	11740
缺口冲击强度/(J/m)	108	120	90	55
热变形温度 (1.86MPa) /℃	198	224	225	220
介电强度/(kV/mm)	23	22	23	23
抗电弧性/s	125	125	115	115

(三) 国外 PET 品种与性能

(1) 美国联合化学公司的 Petra PET (表 5-15)

表 5-15 美国联合化学公司 Petra PET 的性能

项 目	ASTM 标准	130	130HR	132	145	230	242
密度/(g/cm ³)	D-792	1.55	1.68	1.48	1.70	1.61	1.59
熔点/℃	D-789	245	245	245	245	245	245
屈服拉伸强度/MPa	D-638	150	140	128	180	105	
断裂伸长率 (%)	D-638	2.2	2.3	4.2	1.6	1.5	2.5
弯曲强度/MPa	D-790	235	210	190	285	170	160
弯曲弹性模量/MPa	D-790	8960	6900	6900	13790	10340	8650
缺口悬臂梁冲击/(J/m)	D-256	95	90	25	110	55	85
热变形温度/℃	D-648	225	220	203	225	210	208
洛氏硬度 (R)	D-785	118	118	118	118	118	118
成型收缩率/(mm/mm)	—	0.003	0.003	0.003	0.002	0.003	—
体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$	D-257	10^{15}	10^{15}	—	10^{15}	10^{15}	—
表面电阻率/ Ω	D-257	10^{14}	10^{14}	—	10^{14}	10^{14}	—
介电强度 (短时) /(kV/m)	D-149	22	22	—	22	22	—
介电常数 (10^6Hz)	D-150	3.5	3.5	—	3.8	3.4	—
介电损耗角正切值 (10^6Hz)	D-150	0.021	0.020	—	0.022	0.022	—
燃烧性	UL-94	HB	V-0	—	—	—	—

(2) 美国科马洛伊国际公司的注射级 Hiloy PET (表 5-16)

表 5-16 美国科马洛伊国际公司注射级 Hiloy PET 性能

牌号	密度 /(g /cm ³)	拉伸屈 服强度 /MPa	弯曲弹 性模量 /GPa	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m)	热变形温度 /℃		玻璃纤维 (%)	特 性
					0.44MPa	1.82MPa		
441	1.56	160	9.1	101	227	224	30	抗拉伸好, 耐高温
442	1.69	192	14.2	117	230	227	45	抗拉伸好, 耐高温
443	1.80	197	18.0	128	233	229	55	高刚性, 抗拉伸好
444	1.61	110	10.6	69	221	216	35 (含矿物质)	尺寸稳定
445	1.69	162	12.6	80	227	224	45 (含矿物质)	尺寸稳定
463	1.65	162	13.0	107	238	199		抗拉伸好
Comtuf463	1.57	176	12.7	203	235	206	45	高硬度, 高抗冲

(3) 美国杜邦公司的 Rynite PET (表 5-17)

表 5-17 美国杜邦公司 Rynite PET 的性能

项 目	ASTM 标准	415HP	530	545	555	935	FR530	FR945	RE5069	SST
拉伸强度(23℃)/MPa	D638	78.9	158	193	196	96.5	152	104	200	103
断裂伸长率(23℃)(%)	D638	6.0	2.7	2.1	1.6	2.2	2.3	1.4	1.5	6.6
剪切强度(23℃)/MPa	D732	—	79.2	86.1	82.7	53.7	—	—	—	—
弯曲强度(23℃)/MPa	D790	92.7	231	283	310	148	221	151	309	144
弯曲弹性模量(23℃)/MPa	D790	3610	8960	13780	17915	9645	10300	11600	13600	6900
负重变形(27.6MPa,23℃)(%)	D621	—	0.4	0.4	—	—	—	—	—	—
弯曲蠕变(23℃)(%)	D2990	—	0.59	0.4	—	—	—	—	—	—
热变形温度(1.8MPa)/℃	D648	207	224	226	229	215	224	200	232	220
Izod 冲击强度(23℃)/(J/m)	D256	120	101	128	123	64.1	85.3	48.1	4.2	9.2
线胀系数/($\times 10^{-5} \text{K}^{-1}$)	D696	3.1	2.0	1.6	—	2.7	2.5	2.0	—	—
体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$	D257	10^{13}	10^{15}	10^{15}	—	10^{15}	10^{15}	10^{15}	—	—
表面电阻率/ Ω	D257	—	10^{14}	10^{14}	—	10^{14}	—	—	—	—
介电强度(23℃)/(kV/mm)	D149	17.7	45.3	42.6	—	—	13.8	14.9	—	20.87
密度/(g/cm^3)	D792	1.39	1.56	1.69	1.80	1.58	1.67	1.81	1.81	—
收缩率(%)	垂直	—	0.2	—	—	0.4	—	—	0.2	—
	平行	—	0.9	—	—	0.8	—	—	—	—
洛氏硬度(M)	—	58	100	—	—	85	100	92	—	—

(4) 美国通用电器塑料公司的 Valax PET (表 5-18)

表 5-18 美国通用电器塑料公司 Valax PET 的性能

项 目		1015	1030	1045	9215	9230	9245	9335	9515	9530	9530M	PDR 9335	PDR 9730
密度/(g/cm^3)		1.44	1.60	1.73	1.47	1.60	1.73	1.60	1.61	1.72	1.72	1.60	1.61
拉伸屈服强度/MPa		151	225	274	142	235	284	—	122	202	—	156	166
弯曲弹性模量/GPa		7.8	11.7	16.6	8.3	11.7	16.6	10.7	8.4	13.2	13.2	10.7	10.7
Izod 缺口冲击强度/(J/m)		80.1	800	106	69.4	96.1	117	75	53	75	75	75	59
热变形温度/℃	0.48MPa	213	243	237	215	248	248	243	207	246	246	243	254
	1.82MPa	210	223	226	204	226	237	215	192	223	223	215	—
燃烧性 (UL94)		—	HB	HB	HB	HB	HB	HB	V-0	V-0	V-0	HB	V-0

(5) 美国尔特普公司的 RTP PET (表 5-19)

表 5-19 美国尔特普公司 RTP PET 的性能

牌 号	密度 /(g/cm^3)	拉伸屈 服强度 /MPa	屈服 伸长率 (%)	弯曲弹 性模量 /GPa	热变形温度/℃		玻璃 纤维 (%)	特 性
					0.44MPa	1.82MPa		
1103	1.48	117	2.5	6.9	240	224	20	耐高温, 尺寸变形小

(续)

牌 号	密度 /(g/cm ³)	拉伸屈服强度 /MPa	屈服伸长率 (%)	弯曲弹性模量 /GPa	热变形温度/℃		玻璃纤维 (%)	特 性
					0.44MPa	1.82MPa		
1105	1.56	166	2.5	9.1	243	227	30	力学强度高，耐高温 阻燃 V-0 级，高刚性，耐 高温 还含 10% PTFE，耐高温， 耐磨，模量高
1105FR	1.68	138	1.5	10.3	243	227	30	
1107TEF10	1.70	158	2.0	12.4	232	227	40	

(6) 美国 MRC 聚合物公司的 PET (表 5-20)

表 5-20 美国 MRC 聚合物公司 PET 的性能

①商品名称: Stanuloy PET					
牌 号	密度 /(g/cm ³)	拉伸屈服 强度/MPa	弯曲弹性模 量/GPa	Izod 缺口冲击 强度/(J/m)	
ST10P-15G	1.42	100	5.9	59	
ST10P-30G	1.54	141	9.7	96	
ST10P-45G	1.67	158	12.4	107	
ST20P-15G	1.42	100	5.9	59	
ST20P-30G	1.54	141	9.7	96	
ST20P-45G	1.67	158	12.4	107	
ST110	1.2	52	2.1	640	
ST110-10G	1.3	—	4.0	139	
ST110-LT	1.2	50	1.93	890	
ST110-WC	1.2	62	2.6	915	
ST200	1.2	52	2.1	640	
ST200-10G	1.3	—	4.0	139	
ST200-LT	1.2	50	1.93	890	
ST200-WC	1.2	62	2.7	910	
ST631	1.2	56	2.4	800	
ST631-30G	1.42	—	7.6	144	
ST632	1.2	56	2.4	800	
ST632-30G	1.42	—	7.6	144	
ST633	1.2	56	2.4	800	
牌 号	热变形温度/℃		燃烧性 (UL94)	短玻璃 纤维 (%)	树脂颜色
	0.44MPa	1.82MPa			
ST10P-15G	221	203	HB	15	本色
ST10P-30G	227	213	HB	30	本色

(续)

牌 号	热变形温度/℃		燃烧性 (UL94)	短玻璃 纤维 (%)	树脂颜色
	0.44MPa	1.82MPa			
ST10P-45G	232	213	HB	45	本色
ST20P-15G	221	203	HB	15	黑色
ST20P-30G	227	213	HB	30	黑色
ST20P-45G	232	213	HB	45	黑色
ST110	118	104	HB	—	本色, MI11 ~ 16
ST110-10G	141	128	HB	10	本色
ST110-LT	120	82	HB	—	本色
ST110-WC	135	120	HB	—	本色
ST200	118	104	HB	—	黑色, MI11 ~ 16
ST200-10G	141	128	HB	10	黑色
ST200-LT	120	82	HB	—	黑色
ST200-WC	135	120	HB	—	黑色
ST631	93	77	HB	—	本色
ST631-30G	131	123	HB	30	本色
ST632	93	77	HB	—	黑色
ST632-30G	131	123	HB	30	黑色
ST633	93	77	HB	—	白色

②商品名称: RTP ESDA PETP

牌 号	玻璃纤维 (%)	特性和主要用途
1500-40D	(炭黑) 2	注射或挤出, 导电, 抗静电, 宜制汽车、电子、电气件
1500-55D	含炭黑	注射或挤出, 导电, 抗静电, 宜制工程上需抗静电的制品
1500-72D	含炭黑	注射或挤出, 导电, 抗静电, 宜制工程上需抗静电的制品
1500-400D	5	注射, 增强料, 中等硬度, 抗冲, 宜制工程制品
1501-40D	10	注射, 增强料, 中等硬度, 抗冲, 宜制工程制品
1501-55D	10	注射, 增强料, 高硬度, 宜制电气电子件
1501-60D	15	注射, 增强料, 高硬度, 抗冲好, 宜制工程件

(7) 日本旭化成工业公司的 Sun PET (表 5-21)

表 5-21 日本旭化成工业公司 Sun PET 的性能

项 目	ASTM 标准	3150N	3200G	3300G	3300N	3350H	3350R
密度/(g/cm ³)	D792	—	1.50	1.59	1.68	1.73	1.64
吸水性 (%)	D570	—	0.09	0.08	0.06	0.08	0.08
拉伸强度/MPa	D638	101	115	138	135	98.1	98.1
伸长率 (%)	D638	—	1.8	2.0	1.8	1.8	1.8

(续)

项 目	ASTM 标准	3150N	3200G	3300G	3300N	3350H	3350R
弯曲强度/MPa	D790	—	180	210	200	167	157
弯曲弹性模量/MPa	D790	—	7000	9100	9300	9. 81	9. 81
Izod 冲击强度/(J/cm)							
缺口	D256	0. 686	2. 6	0. 785	0. 736	0. 539	0. 490
无缺口	D256	—	—	5. 88	4. 9	4. 41	3. 92
洛氏硬度 (M)	D785	—	90	95	95	—	85
磨耗/(mg/1000 次)	D1044	—	40	46	—	—	—
熔点/℃	DSC 法	—	260	260	260	—	—
热变形温度/℃	0. 45MPa	—	250	250	250	240	250
	1. 82MPa	D648	210	215	230	220	210
		D648	210	215	230	220	210
线胀系数/($\times 10^{-5} \text{K}^{-1}$)	D696	—	—	3 ~ 5	3 ~ 4	—	3 ~ 4
燃烧性	UL94	V-0	HB	HB	V-0	V-0	HB
成型收缩率(平行/垂直)(%)	旭化成法	—	0. 35/1. 15	0. 2/1. 1	0. 3/0. 8	0. 25/0. 45	0. 35/0. 65

(8) 日本钟渊 (Kanegafuchi) 化学工业公司的 Kaneka PET (表 5-22)

表 5-22 日本钟渊化学工业公司 Kaneka PET 的性能

项 目	DFG-1	DFG-9	EFG-6	TFG-6	8150	8150-SE	8300
密度/(g/cm ³)	1. 34	1. 34	1. 34	1. 34	1. 43	1. 62	1. 56
吸水性 (%)	—	—	—	—	0. 11	0. 10	0. 08
拉伸强度/MPa	58	55	53	53	105	104	147
伸长率 (%)	300	300	300	300	3	3	3
弯曲强度/MPa					154	153	226
弯曲弹性模量/GPa					5. 88	6. 86	9. 81
Izod 缺口冲击强度/(J/cm)	0. 4	0. 3	0. 3	0. 3	0. 588	0. 588	0. 981
热变形温度 (0. 45MPa) /℃					210	210	230
燃烧性 (UL94)					HB	V-0	HB
体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$					10^{16}	10^{16}	10^{16}
介电强度/(kV/mm)					19	19	25
耐电弧/s					100	72	79
介电常数	60Hz				3. 8	3. 9	4. 0
	1kHz				3. 6	3. 7	3. 8
介电损耗角正切值	60Hz				0. 002	0. 002	0. 002
	1kHz				0. 015	0. 014	0. 014

(续)

项 目	8300-SE	2300	2300-SE	4101	5350	6300	6300-SE
密度/(g/cm ³)	1.70	1.58	1.78	1.52	1.66	1.55	1.70
吸水性 (%)	0.11	—	—	—	0.07	—	—
拉伸强度/MPa	147	150	141	82	93.2	125	127
伸长率 (%)	3	2	2	2	2	2	2
弯曲强度/MPa	196	219	198	120	242	185	171
弯曲弹性模量/GPa	9.81	9.1	11.0	5.0	9.81	7.2	10.0
Izod 缺口冲击强度/(J/cm)	0.883	0.95	0.7	0.4	0.392	1.1	0.7
热变形温度 (0.45MPa) /℃	226	221	218	200	210	218	216
燃烧性 (UL94)	V-0	HB	V-0	HB	HB	HB	V-0
体积电阻率/Ω·cm	10 ¹⁶				10 ¹⁵		
介电强度/(kV/mm)	22				—		
耐电弧/s	75	115	66	90	—	111	87
介电常数	60Hz	4.1	—	—	4.3	—	—
	1kHz	3.9	3.5	4.0	4.0	3.9	3.9
介电损耗角正切值	60Hz	0.003			0.012		
	1kHz	0.012			0.018		

(9) 日本三菱人造丝 (Mitsubishi Rayon) 公司的 PET (表 5-23)

表 5-23 日本三菱人造丝公司 PET 的性能

项 目	MD 8015	MD 8030	MD 8050	MD 8115	MD 8130	MD 8150	MD 8215	MD 8230	MD 8250	MD 8425
拉伸强度/MPa	100	153	178	90	150	175	100	150	173	101
伸长率 (%)	2.2	2.1	2.0	2.0	2.0	1.9	2.6	2.4	2.2	2.0
弯曲强度/MPa	170	250	290	170	240	290	160	240	280	170
弯曲弹性模量/GPa	7.0	10	10.1	2	10.0	16.5	6.5	9.7	16.0	8.0
Izod 冲击强度/(kJ/m)	缺口	0.05	0.08	0.11	0.05	0.08	0.11	0.06	0.09	0.125
	无缺口	0.25	0.40	0.5	0.22	0.40	0.51	0.35	0.48	0.60
洛氏硬度 (R)	124	125	125	124	125	125	124	125	125	120
热变形温度/℃	0.45MPa	240	251	253	240	252	254	242	243	250
	1.82MPa	225	235	240	227	235	240	225	230	235
线胀系数/(×10 ⁻⁵ K ⁻¹)	3.4	2.2	1.6	3.4	2.0	1.6	3.5	2.3	1.6	3.2
燃烧性 (UL94)	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB
体积电阻率 (×10 ⁻⁵) /Ω·cm	4.3	7.6	8.9	4.5	7.4	9.0	4.5	5.0	8.5	3.6
介电常数 (1MHz)	3.5	3.9	4.0	3.5	3.9	4.0	3.9	4.1	4.2	3.7
介电损耗角正切值 (1MHz)	0.017	0.015	0.013	0.025	0.020	0.018	0.022	0.019	0.016	0.014
介电强度/(kV/mm)	26	26	25	26	27	26	22	22	21	25
抗电弧径迹/V	260	250	250	260	250	250	310	300	300	250

(续)

项 目	MD 8525	MD 8545	MD 8615	MD 8630	MD 8650	MD 8730	MD 8745	MD 8750	MD 8915	MD 8930	MD 8945
拉伸强度/MPa	94	90	108	135	150	97	125	130	105	130	145
伸长率 (%)	2.0	1.8	1.7	1.7	1.9	1.6	1.3	1.2	2.5	2.3	2.1
弯曲强度/MPa	160	180	170	220	250	170	180	190	160	210	230
弯曲弹性模量/GPa	8.0	13.0	8.0	17	17	12.3	15	16.1	6.1	11.0	14.0
Izod 冲击强度/(kJ/m)	缺口	0.05	0.06	0.062	0.076	0.084	0.04	0.05	0.06	0.07	0.082
	无缺口	0.4	0.31	0.27	0.30	0.40	0.21	0.25	0.30	0.30	0.38
洛氏硬度 (R)		122	125	120	120	124	123	124	125	120	120
热变形温度/℃	0.45MPa	240	246	240	246	253	250	251	252	237	247
	1.82MPa	224	240	215	230	238	228	230	230	210	225
线胀系数/($\times 10^{-5} \text{K}^{-1}$)		2.6	1.9	3.3	2.4	1.5	2.0	1.7	1.6	3.4	2.5
燃烧性 (UL94)		V-0	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0
体积电阻率 ($\times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$)		5.5	9.5	3.0	4.5	6.7	5.0	7.0	7.8	4.0	5.0
介电常数 (1MHz)		—	4.4	3.7	4.1	4.1	3.9	4.0	4.1	3.8	4.2
介电损耗角正切值 (1MHz)		—	0.019	0.020	0.014	0.012	0.021	0.015	0.010	0.018	0.018
介电强度/(kV/mm)		—	19	26	24	24	27	26	26	21	20
相比漏电起痕指数 (干) /V		260	300	250	250	250	300	300	300	280	270

(10) 日本帝人工业公司的 Teijin PET (表 5-24)

表 5-24 日本帝人工业公司 Teijin PET 的性能

项 目	ASTM 标准	ANN 3050	B1030	B3030	BLR 6001	BNN 1030	BNN 3030	BNY 3030	C3015	C3030	C9030
拉伸强度/MPa	D638	95	130	125	90	125	125	125	98.0	160	140
伸长率 (%)	D638	1.3	1.5	1.5	1.3	1.4	1.5	1.5	1.45	1.7	4.2
弯曲强度/MPa	D790	140	200	190	125	180	185	185	140	235	190
弯曲弹性模量/GPa	D790	11.5	9.5	9.0	6.5	10.0	9.0	9.0	6.5	10.0	8.0
Izod 冲击强度/(kJ/m)	D256	0.05	0.10	0.06	0.03	0.085	0.06	0.06	0.035	0.10	0.085
洛氏硬度 (M)	D785	95	98	98	92	98	90	55~95	90	98	80
热变形温度 (1.84MPa) /℃	D648	240	242	235	220	238	235	235	220	242	235
燃烧性	UL94	V-0	HB	HB	HB	V-0	V-0	V-2	HB	HB	HB
介电常数 (1MHz)	D150	3.9	3.95	4.0	3.98	4.19	3.97	3.97	3.90	3.98	4.75
介电损耗角正切值 (1MHz)	D150		0.016			0.021					
体积电阻/($\times 10^{16} \Omega \cdot \text{cm}$)	D257		1.5			4.0					
介电强度/(kV/mm)	D149		32			35					
耐电弧/s	D495	181	100	73	130	105	61	61	56	116	120
成型收缩率 (%)	平行 垂直	D955	0.1 1.0	0.2 1.0	0.2 1.2	0.3 1.2	0.2 1.0	0.2 1.2	0.3 1.2	0.2 1.0	0.2 1.0

(续)

项 目	ASTM 标准	CN 9030	CNN 3030	FR 543	FR945	SST 35	TR 2000	TR 4500	W1030	W3030	WN 1030
拉伸强度/MPa	D638	135	135	176	106	105	60	62	130	125	115
伸长率 (%)	D638	4.0	1.5	1.8	1.4	6.6	50 ~ 500	50 ~ 300	1.4	1.4	1.45
弯曲强度/MPa	D790	195	200	253	157	148	80	90	190	185	155
弯曲弹性模量/GPa	D790	9.5	10.0	14	12	7.5	2.6	2.7	9.5	9.0	10.0
Izod 冲击强度/(kJ/m)	D256	0.07	0.08	0.098	0.05	0.23	0.027	0.033	0.09	0.06	0.08
洛氏硬度 (M)	D785	85	95	102	92	—	107	106	98	98	98
热变形温度 (1.84MPa) /℃	D648	235	235	335	200	220			242	235	238
燃烧性	UL94	V-0	V-0	V-0	V-0	HB			HB	HB	V-0
介电常数 (1MHz)	D150	3.89	3.87	4.1	4.0	—			3.97	3.96	4.0
介电损耗角正切值 (1MHz)	D150								0.018	0.021	0.020
体积电阻/(×10 ¹⁶ Ω·cm)	D257								4.0	5.0	1.5
介电强度/(kV/mm)	D149								35	34	32
耐电弧/s	D495	80	60	124	126				100	112	105
成型收缩率 (%)	平行 垂直	D955	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2
			1.2	1.2	0.7	0.9	0.4	0.4	1.0	1.2	1.0

(11) 荷兰阿克苏工程塑料公司的 Tetrafil PET 与 Arnite PET (表 5-25、表 5-26)

表 5-25 荷兰阿克苏工程塑料公司 Tetrafil PET 的性能

牌 号	拉伸屈服 强度/MPa	屈服伸长 率 (%)	弯曲弹性 模量/GPa	热变形温度/℃		燃烧性 (UL94)
				0.44MPa	1.82MPa	
Arnite A-X4307	—	—	15.5	—	—	—
Arnite A-X4754	110	—	6.2	—	—	HB
J1800/CF/30	173	0	18.6	243	221	—
J1800/30	158	0	9.3	243	224	—
J1800/30/V-0	127	0	10.0	243	224	V-0
J1800/45	179	0	13.8	249	227	—
J1800/55	193	0	17.3	249	230	—

表 5-26 荷兰阿克苏工程塑料公司 Arnite PET 的性能

项 目	测试标准	A04-102	A04-900	AV ₂ -360S	AV ₂ -370
屈服伸长率 (%)	ISO R527	3.4	4.0	—	—
弯曲强度/MPa	ISO R178	—	—	250	280
弯曲弹性模量/MPa	ISO R178	2300	3000	11500	12000
压缩强度/MPa	ISO R604	不断	不断	150	155
Izod 冲击强度/(kJ/m ²)	ISO R180	20	20	60	85
洛氏硬度 (M)	ASTM D785	25	85	102	103
动态摩擦因数		0.30	0.24	0.22	0.22

(续)

项 目	测试标准	A04-102	A04-900	AV ₂ -360S	AV ₂ -370
介电强度 (1min) /(MV/m)	DIN 53481	45	60	45	55
体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$	DIN 53482	2×10^{14}	2×10^{14}	2×10^{14}	2×10^{14}
介电常数 (1MHz)	DIN 53483	3.4	3.2	3.8	3.7
介电损耗角正切值 (1MHz)	DIN 53483	0.030	0.021	0.015	0.016
相比漏电起痕指数 (干) /V	DIN 53480	KC235	KC350	KC225	KC250

(12) 韩国米旺 (Miwon) 有限公司的 PET (表 5-27)

表 5-27 韩国米旺有限公司 PET 的性能

牌 号	密度 /(g/cm^3)	特性粘度	熔点 / $^{\circ}\text{C}$	吸水性 (%)	色度	特 性
KP137Y	1.34	0.72	255	0.4	—	薄膜级
KP175	1.39		257	0.4	3~3.5	吹塑级
KP177Y	1.39		255	0.4		注射或挤出级
KP185	1.39	0.80	257	0.4	3~3.5	注射或挤出级
KP195	1.39	0.95	257	0.4	3~3.5	注射或挤出级

(13) 韩国大韩油化公司的 Yuhwa PET 和 Kolon PET 的弹性体 (表 5-28)

表 5-28 韩国大韩油化公司 Yuhwa PET 和 Kolon PET 弹性体的性能

项 目	ASTM 标准	KP132 G30V0	KP133 HB40	KP133 G20	KP133 G30	KP133 G45	KP-3340	KP-3355
密度/(g/cm^3)	D792	1.65	1.62	1.48	1.55	1.69	1.15	1.19
吸水性 (%)	D570	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	—	—
成型收缩率 (%)	D955	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	—	—
熔体流动速率/($\text{g}/10\text{min}$)	D1238	—	—	—	—	—	12	22
拉伸强度/MPa	D638	150	125	120	160	195	25	36
伸长率 (%)	D638	3.6	3.2	4.2	3.3	2.5	850	650
弯曲弹性模量/GPa	D790	10.5	1.2	8.5	9.8	14.0	—	—
Izod 冲击强度/(kJ/m)	D250	0.08	0.07	0.07	0.09	0.10	—	—
硬度 (洛氏)	D785	120	120	120	120	120	40 ^①	55 ^①
熔点/ $^{\circ}\text{C}$	D789	253	250	253	253	253	173	199
线胀系数/($\times 10^{-4}\text{K}^{-1}$)	D696	0.25	0.20	0.25	0.18	0.25	—	—
热变形温度 (1.86MPa) / $^{\circ}\text{C}$	D648	223	210	218	224	227	65	102
介电常数 (10^6Hz)	D150	3.8	3.9	3.9	3.9	3.9	—	—
耐磨耗/($\text{mg}/10^3\text{r}$)	D1044	—	—	—	—	—	3	5
弹性变形率 (%)	JIS 标准 K6301	—	—	—	—	—	70	58
燃烧性	UL94	V-0	—	—	—	—	—	—

(续)

项 目	ASTM 标准	KP-3363	KP-3372	KP-3740	KP-3755	KP-3763	KP-3772
密度/(g/cm ³)	D792	1.23	1.27	1.16	1.20	1.23	1.27
吸水性 (%)	D570	—	—	—	—	—	—
成型收缩率 (%)	D955	—	—	—	—	—	—
熔体流动速率/(g/10min)	D1238	20	17	25	12	10	7
拉伸强度/MPa	D638	38	40	25	36	38	40
伸长率 (%)	D638	550	400	850	650	550	400
弯曲弹性模量/GPa	D790	—	—	—	—	—	—
Izod 冲击强度/(kJ/m)	D250	—	0.26	—	—	—	0.28
硬度 (洛氏)	D785	63 ^①	72 ^①	40 ^①	55 ^①	63 ^①	78 ^①
熔点/℃	D789	210	218	170	198	209	216
线胀系数/(×10 ⁻⁴ K ⁻¹)	D696	—	—	—	—	—	—
热变形温度 (1.86MPa) /℃	D648	120	148	65	102	120	148
介电常数 (10 ⁶ Hz)	D150	—	—	—	—	—	—
耐磨耗/(mg/10 ³ r)	D1044	7	10	3	5	6	8
弹性变形率 (%)	JIS 标准 K6301	45	—	73	56	47	—
燃烧性	UL94	—	—	—	—	—	—

① 邵氏标准 D2240。

二、聚对苯二甲酸乙二醇酯制品及其成型工艺

(一) 聚对苯二甲酸乙二醇酯注射成型

1. 工艺特性

聚对苯二甲酸乙二醇酯（PET）是典型的结晶聚合物，透明度较高，为 86%。有明显的熔点，为 255 ~ 265℃。易吸水水解，成型前需干燥。热变形温度低，成型温度高，且料温调节范围窄（260 ~ 300℃），但熔化后流动性好，故工艺性差，且往往在喷嘴中要加防流延装置。机械强度及性能注射后不高，必须通过拉伸工序和改性才能改善性能。模具温度准确控制，是防止翘曲、变形的重要因素，因此建议采用热流道模具。模具温度不宜太高，否则会引起表面光泽差和脱模困难。成型收缩率比较大，一般为 1.8%。尺寸稳定性差、性脆、制品中易残留有一定的内应力，成型后需后处理。

2. 注射制品结构条件

制品外形应尽量设计得平滑而有规则，尽可能避免尖角，因 PET 对缺口非常敏感，成型时尖角处易出现应力集中，使承受载荷能力大大降低，在受力或冲击时易发生破裂。在平面与平面交接处应用圆弧过渡，且圆弧半径尽可能大，一般取 0.7 ~ 0.8 倍制品厚度。

制品的壁厚一般应大于 2mm。若太厚，不仅浪费原料，延长成型周期，而且使

制品易出现缩孔、翘曲等缺陷；如果太薄，则不能充满模腔，且强度低。壁厚力求均匀，以防冷却和收缩不均而产生内应力。在比较大的平面处，应设加强筋以防制品弯曲变形。制品的脱模斜度应大于 1° ，以便顺利脱模。金属嵌件最好预热后再放入模具。

3. 注射机类型的选择

螺杆式或柱塞式均可使用，前者使用比较多，但纤维增强的 PET 只能使用螺杆式。螺杆选用头部带有止逆环的突变形、表面硬度大且耐磨损的螺杆，长径比为 $(15 \sim 20):1$ ，压缩比为 $(2 \sim 2.5):1$ 。喷嘴采用小孔直通式喷嘴或液压自锁式喷嘴。喷嘴要设保温和控温装置。

4. 常见缺陷和解决办法

(1) 聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET) 制品在注射过程中质量不稳定

造成 PET 制品质量不稳定的原因较多，其影响因素也是多方面的，但只要掌握以下因素就能使质量不稳定现象明显改善，从而制备出合格的产品。

1) 原材料。PET 因含有酯基，有吸湿倾向，易吸水水解，使制品带色、发脆，所以成型前必须对物料进行干燥，使水分含量达到 0.03% 以下。干燥温度为 $140 \sim 180^\circ\text{C}$ ，干燥时间 $3 \sim 4\text{h}$ 。若温度过高、时间过长，粒料会发黄，树脂流动性差，甚至变质；温度过低，又达不到干燥效果。采用连续干燥加料装置为佳。干燥好的物料可存放在 120°C 的保温箱或料斗中，也可用红外灯照射保温，随用随取。无保温存放时，不得超过 2h ，否则应重新干燥。

2) 注射工艺条件与控制

①成型温度。PET 成型温度范围窄，熔点为 $255 \sim 265^\circ\text{C}$ ，分解温度为 290°C ，所以机筒温度一般控制在 $260 \sim 270^\circ\text{C}$ ，玻璃纤维增强的 PET 控制在 $270 \sim 290^\circ\text{C}$ ，不得超过 300°C 。温度过高，喷嘴流涎严重，制品飞边，颜色加深，机械强度下降，甚至引起降解；温度过低，则塑化不好，可能使喷嘴堵塞，使制品出现缺料、凹陷、收缩不均和无光泽等缺陷。喷嘴温度应控制在 $260 \sim 280^\circ\text{C}$ 。太高，喷嘴中会漏料，造成浪费；太低，会发生堵塞，或带冷料入模，造成废品。

模具温度根据制品的厚度选用。厚度小于 2mm 的薄壁制品，可采用低模温 $(50 \sim 70^\circ\text{C})$ 。熔料受到急速冷却，制品表面是一种无定形结构，而内部为高结晶结构，制品外观一般，适宜于常温条件下使用的一般制品。当壁厚大于 2mm 时，可采用 140°C 高模温，可制得表面和内部均匀的高结晶态制品，制品外观好、力学性能高。适宜于外观、硬度、耐腐蚀要求高的制品。

②注射压力。PET 熔体的流动性好，易于成型，可采用中等注射压力，一般为 $40 \sim 100\text{MPa}$ 。通常随玻璃纤维含量的增加或制品厚度的增大而增大，但不能超过 100MPa 。太高制品容易飞边，并使脱模困难，易损坏模具；太低，因冷却速度较快，容易产生注满现象。背压为 $0 \sim 3.5\text{MPa}$ 。

③增强 PET 的注射成型条件见表 5-29。

3) 制品热处理。因制品中易残留内应力，成型后最好进行热处理，特别是低模温成型的制品和高温下使用或尺寸要求高的制品。热处理通常是在 $130 \sim 140^\circ\text{C}$ 的鼓风烘

箱内处理 1 ~ 2h, 而且必须经过双向拉伸的工序, 才能得到良好的力学性能。

表 5-29 增强 PET 的注射成型条件^①

项 目		数 值	项 目	数 值
机筒温度/℃	前部	265 ~ 293	喷嘴温度/℃	260 ~ 300
	中部	265 ~ 300	模具温度/℃	85 ~ 120
	后部	260 ~ 300	注射压力/ $\times 10^5$ Pa	560 ~ 800

① 增强 PET 品级: Rynite530

4) 注射过程中注意事项。PET 透明塑料由于透光率要高, 必然对塑料制品表面质量要求严格, 不能有任何斑纹、气孔、泛白、雾晕、黑点、变色、光泽不佳等缺陷, 因而在整个注射过程对原料、设备、模具甚至产品的设计, 都要十分注意和提出严格甚至特殊的要求。由于透明塑料多为熔点高、流动性差, 因此为保证产品的表面质量, 往往要对机筒温度、注射压力、注射速度等工艺参数做细微调整, 使注射塑料时既能充满模, 又不会产生内应力而引起产品变形和开裂。

下面就其在原料准备, 对设备和模具要求、注射工艺和产品的原料处理几方面, 谈谈应注意的事项。

①原料的准备与干燥。由于在塑料中含有任何一点杂质都可能影响产品的透明度, 因此在储存、运输、加料过程中, 必须注意密封, 保证原料干净。特别是原料中含有水分, 加热后会引起原料变质, 所以一定要干燥。在注射时, 加料必须使用干燥料斗。还要注意, 干燥过程中, 输入的空气最好过滤、除湿, 以保证不会污染原料。

②机筒、螺杆及其附件的清洁。为防止原料污染和在螺杆及附件凹陷处存有旧料或杂质 (特别热稳定性差的树脂), 在使用前、停机后都应用螺杆清洗剂清洗各部件, 使其不得粘有杂质, 当没有螺杆清洗剂时, 可用 PE、PS 等树脂清洗螺杆。当临时停机时, 为防止原料在高温下停留时间长, 引起降解, 应将干燥机和机筒温度降低, 如 PC、PMMA 等机筒温度都要降至 160℃ 以下, PET 降至 240 ~ 250℃ (对于 PC, 料斗温度应降至 100℃ 以下)。

③在模具设计上应注意的问题 (包括产品的设计)。为了防止出现回流不畅或冷却不均造成塑料成型不良, 产生表面缺陷和变质, 一般在模具设计时, 应注意以下几点:

- a. 壁厚应尽量均匀一致, 脱模斜度要足够大。
- b. 过渡部分应逐步圆滑过渡, 防止有尖角、锐边产生。特别是 PC 产品一定不能有缺口。
- c. 浇口、流道尽可能宽大、粗短, 且应根据收缩冷凝过程设置浇口位置, 必要时应加冷料井。
- d. 模具表面应光洁, 粗糙度低 (最好低于 $0.8\mu\text{m}$)。
- e. 排气孔、槽必须足够, 以及及时排出空气和熔体中的气体。
- f. 除 PET, 壁厚不要太薄, 一般不得小于 1mm。

④注射工艺方面应注意的问题 (包括注射机的要求)。为了减少内应力和表面质量缺陷, 在注射工艺方面应注意以下几方面的问题。

- a. 应选用专用螺杆和带单独温控喷嘴的注射机。
- b. 在塑料树脂不分解的前提下,宜用较高注射温度。
- c. 注射压力一般较高,以克服熔料粘度大的缺陷,但压力太高会产生内应力造成脱模困难和变形。
- d. 在满足充模的情况下,注射速度一般宜低,最好能采用慢—快—慢多级注射。
- e. 在满足产品充模,不产生凹陷、气泡的情况下,保压时间和成型周期宜尽量短,以尽量降低熔料在机筒中的停留时间。
- f. 在满足塑化质量的前提下,螺杆转速和背压应尽量低,防止产生降解的可能。
- g. 制品的冷却好坏对质量影响极大,所以模具温度一定要能精确控制,有可能的话,模温宜高一些。

⑤其他方面的问题。为防止表面质量恶化,一般注射时尽量少用脱模剂;当用回收料时不得大于20%。

(2) 注射量不足、欠料、注不满型腔

- 1) 注射机能力不足。应更换合适的注射机。
- 2) 树脂流动性不好,不能满足注射成型要求。应选择注射专用牌号的原料。
- 3) 机筒温度偏低。应提高机筒温度,调定范围为240~280℃。
- 4) 喷嘴温度偏低。应提高其温度,调定范围为250~260℃。
- 5) 注射压力不足。应提高注射压力,调定范围为80~120MPa。
- 6) 模具排气不良,型腔内残存空气造成注射欠料。应清理排气系统,必要时应加改进,使其排气通畅。
- 7) 流道太细、浇口截面太小。应更改模具,加粗流道,扩大浇口使物料能顺利注入。
- 8) 熔体在型腔内流动距离太长,注不到位。应重新改进模具容量,缩短流动距离,还可设置冷料井。
- 9) 制品壁厚太薄。应根据制品使用要求尽量增加壁厚,壁厚应在2mm左右。太薄太厚都会影响制品质量。

(3) 制品产生飞边

- 1) 注射机锁模力低。应提高锁模力,将注射机锁模力增至能锁紧模具为准,如若达不到,应考虑更换注射机。
- 2) 模具分型面不合理。应根据具体情况修改分型面,直至合适。
- 3) 模具变形或错位。应加以修理使其能正常工作为准。
- 4) 模具锁孔或导销磨损严重。应更换新导销或进行必要的修复,使其工作正常。
- 5) 注射成型温度偏高。应适当降低机筒与喷嘴温度,机筒温度应在240~280℃之间加以调整,而喷嘴温度的调定范围为200~250℃。

- 6) 注射压力偏高。应适当降低,调定范围为80~120MPa。

(4) 制品出现料流痕

- 1) 机筒温度过低。应加以调整,调定范围为240~280℃,适当提高机筒温度。
- 2) 模温太低。应适当升高模温,调定范围为240~250℃。

3) 注射速度太慢。应提高注射速度, 调定范围为 $1 \sim 5\text{s}$ 。

4) 喷嘴孔径过小。应修改模具, 扩大喷嘴孔径, 以适应工艺要求。

5) 模具内未设置冷却井。应修改模具, 增设冷料井。

(5) 制品表面有气孔

1) 机筒温度太高。应适当降低机筒温度, 调定范围为 $240 \sim 280^{\circ}\text{C}$ 。

2) 注射压力太低。应适当升高注射压力, 调定范围为 $80 \sim 120\text{MPa}$ 。

3) 制品壁厚太大。应减薄制品壁厚, 调定范围为 2mm 左右。

4) 流道太细、浇口太小。应适当修改模具, 加粗流道, 扩大浇口, 满足工艺需要。

(6) 制品出现银纹

1) 原材料水分含量高。应重新干燥原材料, 干燥条件为在 $140 \sim 180^{\circ}\text{C}$ 温度下烘烤 $3 \sim 4\text{h}$, 水分含量低于 0.3% 。

2) 排气系统不合理, 模具排气不良。应修改模具排气系统或增设排气孔, 使排气畅通, 满足工艺要求。

3) 喷嘴与模具接触不良。应调整两者的位置与几何尺寸, 使其正确配合以满足工艺要求。

4) 如银纹总在一定部位有规律性出现。应检查模具相对应部位是否存在有表面伤痕, 如果存有, 应采用机加工、抛光等方法将其消除。

5) 不同规格原材料混用。应更换原材料, 使用相同规格、同批次原料。

6) 机筒温度太低。应提高其温度, 调定范围为 $240 \sim 280^{\circ}\text{C}$ 。

7) 注射压力太低。应适当升高注射压力, 调定范围为 $80 \sim 120\text{MPa}$ 。

8) 背压压力不合适。应适当调整, 达到合格为止。

(7) 制品出现熔接痕是何原因? 如何解决?

1) 物料温度偏高。应适当降低料温, 通常调整机筒温度, 调定范围为 $240 \sim 280^{\circ}\text{C}$ 。

2) 模具温度偏低。应适当升高模温, 调定范围为 $100 \sim 140^{\circ}\text{C}$ 。

3) 注射速度太慢。应提高注射速度, 调定范围为 $1 \sim 5\text{s}/\text{次}$ 。

4) 模具内未设置冷料井。应改进模具, 重新设置冷料井。

5) 型腔表面沾有异物或杂质。应彻底清理模具。

6) 浇注系统不合适。应修改浇注系统, 改善充模条件, 使物料可畅通注入。

7) 模具排气不良。应改进排气系统或增设排气孔, 使其畅通排气, 满足工艺要求。

8) 原材料挥发物含量高。应事先对原材料进行干燥处理, 除去挥发物。干燥条件为在 $140 \sim 180^{\circ}\text{C}$ 之间烘烤 $3 \sim 4\text{h}$, 使挥发物含量低于 0.3% 。

(8) 制品出现雾景或白化

1) 物料温度太高。应适当降低机筒温度, 调定范围为 $240 \sim 280^{\circ}\text{C}$ 。

2) 注射压力偏低。应升高压力, 调定范围为 $80 \sim 120\text{MPa}$ 。

3) 原料混入杂质。应彻底清除, 以纯净原料注射。

4) 原材料干燥不足。应重新干燥, 干燥条件: 干燥温度为 $140 \sim 180^{\circ}\text{C}$, 干燥时间

为 3 ~ 4h, 水分含量要求低于 0.3%。

5) 背压偏低。应适当提高, 调至合适。

6) 模温偏低。应适当提高, 调定范围为 100 ~ 140℃。

(9) 制品出现翘曲变形

1) 模具温度偏高。应降低模温, 调定范围为 100 ~ 140℃。

2) 冷却时间短, 制品冷却不足。应适当延长冷却时间, 调定范围为 20 ~ 30s。

3) 冷却不均匀。应改善冷却系统结构, 提高冷却效率, 特别是细长制品还应采取特殊的冷却措施, 如胎具固定冷却法或其他方法。

4) 浇口设计不合理。应重新设计, 加以修改, 选用合理的浇口形式, 以满足工艺要求为准。

5) 模具型芯偏差太大。应进行检查修改, 如果不行, 要重新设计制作。

(10) 制品脱模不良

1) 注射压力太大。应降低注射压力, 调定范围为 80 ~ 120MPa。

2) 注射速度太快。应减缓注射速度, 调定范围为 1 ~ 5s/次。

3) 型腔表面粗糙, 阻碍脱模。应采取必要措施研磨、抛光或电镀来降低型腔粗糙度, 以利于脱模。

4) 脱模斜度不够。应改进或检修模具, 使之满足工艺要求, 使制品顺利脱模。

5) 模温与冷却时间控制不当造成, 通常制品的冷却时间应控制在 20 ~ 30s 之间。当制品粘附在芯模处, 应提高模温并缩短冷却时间; 若制品粘附在型腔内, 应降低模温, 延长冷却时间。针对具体情况采取适当措施, 以满足工艺要求为准。

6) 脱模顶出机构不合适。应加以改进, 以满足工艺要求为准。

(11) 制品表面光泽性差

1) 熔料温度偏低。应适当提高机筒与喷嘴温度, 调定范围: 机筒为 240 ~ 280℃, 喷嘴为 250 ~ 260℃。

2) 注射压力太低。应提高注射压力, 调定范围为 80 ~ 120MPa。

3) 注射速度太慢。应加快注射速度, 调定范围为 1 ~ 5s/次。

4) 浇口系统设计不合理。应加以改进, 扩大浇口, 或使用其他形式的浇口系统。

5) 模具温度偏低。应适当提高, 调定范围为 110 ~ 140℃。

6) 冷却时间偏短。应适当增加, 调定范围为 20 ~ 30s。

7) 喷嘴、流道、浇口有阻塞, 熔体流动不畅。应进行彻底清理, 必要时扩大浇口, 加粗流道。

(12) 制品产生震纹

1) 熔料温度偏低。应适当提高机筒与喷嘴温度, 调定范围为机筒为 240 ~ 280℃, 喷嘴为 250 ~ 260℃。

2) 注射压力太低。应提高注射压力, 调定范围为 80 ~ 120MPa。

3) 注射速度太慢。应加快注射速度, 调定范围为 1 ~ 5s/次。

4) 浇口系统设计不合理。应加以改进, 扩大浇口, 或使用其他形式的浇口系统。

5) 模具温度偏低。应适当提高, 调定范围为 110 ~ 140℃。

6) 模具排气系统不良。应加以改进, 或设计冷却井为好。
 7) 进料系统(喷嘴、流道和浇口)阻塞。应彻底清除, 以使物料顺利注入型腔为好。

(13) 制品出现白烟与黑点

1) 原料中混入杂质或被污染。应彻底清除杂质和污染, 以干净料用于注射。
 2) 料温偏高。应适当降低机筒与喷嘴温度, 调定范围: 机筒为 $240 \sim 280^{\circ}\text{C}$, 喷嘴为 $250 \sim 260^{\circ}\text{C}$ 。

3) 注射压力不合适。应加以调整, 调定范围为 $80 \sim 120\text{MPa}$ 。

4) 成型周期过长。应适当缩短, 调定范围为 $50 \sim 90\text{s}$ 。

5) 浇口系统设计不合理。应加以改进, 扩大浇口, 加粗流道, 以满足工艺要求。

6) 模具排气系统不良。应加以改进, 最好增设排气孔。

5. PET 瓶坯注射成型

(1) PET 树脂的干燥 为了生产高质量非结晶的瓶坯, PET 树脂的含水量应控制在 0.005% 以下。而 PET 又是一种易吸湿的高分子材料, 如果在制坯前不将所吸附的水分去掉, 制坯时水分就会被蒸发出来, 在瓶坯上形成气泡, 并使原料降解, 以致不能满足吹制瓶子的要求。

PET 的吸水量取决于相对湿度、温度和树脂切片的表面积, 图 5-1 是 PET 在相对湿度为 65% 时的水分吸收率, 在此条件下, 吸水率在 30d 后就达到饱和。PET 通常采用空气干燥, 而一般热风除不掉 PET 树脂中的水分。它是采用去湿干燥机所产生的热风, 经封闭回路通入干燥料斗连续进行干燥的。干燥空气的露点为 -40°C , 干燥温度在 $170 \sim 182^{\circ}\text{C}$ 之间, 干燥时间 $4 \sim 5\text{h}$ 。

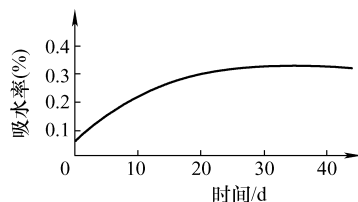


图 5-1 PET 在相对湿度 65% 时的水分吸收率

(2) 注射成型设备

1) 注射机。PET 瓶坯的注射成型一般采用往复式螺杆注射机, 它的优点是可以减少树脂的粘度损失, 而且乙醛含量低。

液压螺杆驱动的优点是螺杆传动可以采用无级变速, 这样可以防止机筒中存在冷料时而引起的过载。螺杆装有防止回流部件, 以产生恒定的注射量, 并可迅速产生压力, 在瓶坯成型时均匀收缩。

2) 注射成型模具。PET 瓶坯的成型模具是热流道模具。热流道元器件包括针型阀活塞、分流集孔块和浇口, 这是根据 PET 的特殊性能而设计的, 瓶坯的模具可以根据用户的需要和注射机的锁模力设计成 8、16、24、32、48 模腔甚至 72、96 模腔。

(3) 工艺条件与控制

1) 工艺影响因素。温度、压力、时间是塑料注射成型的三大工艺因素, 它也是 PET 瓶坯注射成型时必不可少的三大要素。机筒的温度决定了 PET 树脂塑化温度, 注射压力影响了产品形状和精度, 成型周期左右了生产效率, 而且这三个因素相互间也有影响。

①机筒、喷嘴及模具温度。PET 树脂为结晶性高聚物，瓶用 PET 树脂结晶度一般在 50% ~ 55% 范围，它具有明显的熔点，通常在 260℃ 左右，而其分解温度在 290℃ 以上。显而易见，合适的注射机机筒（含二级注射机的注射室）、喷嘴的温度宜设定在 260 ~ 290℃ 之间。

模具的温度关系到注射瓶坯的性能，并且直接影响到下一步的拉吹工艺。由于 PET 是结晶性高聚物，如果瓶坯一旦结晶，则拉吹工艺就无法进行。为此，注入模腔的 PET 熔体必须在 T_g 下迅速冷却。树脂在 T_g 以上会迅速发生结晶。因而要快速通过这一结晶温度区域，从而使注射成型的瓶坯形成无定形的透明体。图 5-2 为 PET 结晶速率与温度之间的关系。

从图 5-2 可以看出，PET 在 100 ~ 250℃ 范围内将产生结晶，而在 200 ~ 240℃ 结晶很快。一般来说在几分钟甚至在几秒钟之内就完成结晶。如欲获得透明的无定形瓶坯，就得使 PET 熔融体迅速地避开这一温区，即瞬间从熔融温度下降到结晶温度以下，为此瓶坯模具必须使用冷冻水进行控制。一般冷冻水的温度为 5 ~ 10℃，这样 PET 熔融体注射到模具以后，立即使温度下降到 20 ~ 50℃，此时 PET 瓶坯的结晶度不到 3%，因而呈无定形透明状态，便于拉伸吹塑成型，图 5-3 为瓶坯结晶度与模具温度的关系。

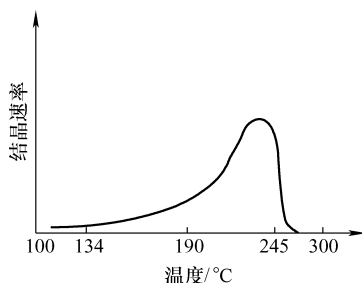


图 5-2 PET 结晶速率与温度的关系

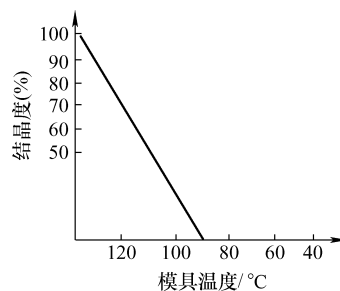


图 5-3 瓶坯结晶度与模具温度的关系

②成型周期。固体状态的 PET 粒料，一经在机筒中加热至熔点（260℃ 左右）以上，即转化为粘度较低的粘流态。而瓶坯模具的设计一般是采用单模穴主流道底部进料的热流道模具，所以在适中的注射压力和一定注射速度下，熔体很容易进入模具，然后用冷冻水进行冷却。因此成型周期与经冷水机的冷冻水控温有关。

冷水机的用途是冷却模具和机械臂取出板。它的作用就是加快成型周期，冷水机的运行状态好，不但能缩短生产周期，而且能使产品质量提高，因为在生产较快时，乙醛的含量相应较低。其原因是原料在高温下的滞留时间较短所致。同样瓶坯在 T_g （70 ~ 78℃）下快速冷却，使发雾和结晶现象减少。

所需的冷却时间是随瓶坯壁厚的平方而变化的。瓶坯壁较厚，则冷却时间较长，即周期较慢。

瓶坯在冷却过程中，冷冻水是经冷却通道带走模具中的热量的。一般来说，水的流动有三种：一是层状流动；二是过渡湍流；三是完全湍流。湍流的热对流效益很大，因

此在冷却过程中，水经冷却通道时需要湍流，这样就要求冷水机配备高压及高流量的水泵。

为了加快生产周期以适应大规模工业化生产，需采用多工位机械臂的水冷取出板，从模具上取出瓶坯并送至带式输送机上，一般比自由下落的周期缩短 10s 以上。如三工位机械臂从模具上取出 PET 瓶坯，通过三个不同位置的变换，瓶坯在排出前已有了三个整周期时间的冷却。另外也保证了瓶坯的质量，因为瓶坯从模具上取出后在取出板上是各个分开冷却的，然后再排落到输送带上。

2) 注射成型工艺参数。见表 5-30，使用美国辛辛拉提米纳克隆的注射机，型号是 2500，采用的原料是德国赫斯特公司的 PET 树脂，牌号是 M81，特性粘度为 0.72 ± 0.02 。型号 2500 注射机有 8 腔热流道模具，热流道模具采用两条流道加热控制，对于 8 个模腔的浇口都采用单独的加热控制。

表 5-30 注射成型工艺参数

模腔数目	8	模具-模腔温度/℃	7 [#]	277 ~ 304
模具	热流道		8 [#]	277 ~ 304
每腔注射量/g	66	冷却水温度/℃		4.4 ~ 10
机筒温度/℃	后	288	高	76
	中	282	低	41
	前	282	背压	0 ~ 3.5
模具-模腔温度/℃	1 [#]	266 ~ 277	注射时间/s	高压 4
	2 [#]	266 ~ 277		低压 9
	3 [#]	277 ~ 304	冷却时间/s	9
	4 [#]	277 ~ 304	螺杆预塑时间/s	8.5
	5 [#]	277 ~ 304	释压时间/s	0.2 ~ 0.3
	6 [#]	277 ~ 304		

(4) 瓶坯缺陷及改进措施 瓶坯在注射成型时，由于原料的变更和工艺参数的波动以及操作者技术素质的影响，不可避免地出现一些缺陷，这就要求迅速采取措施进行必要的处理，使瓶坯缺陷得以消除。

- 1) 气泡。出现在瓶坯侧壁。
原因：太多的释压或原料中带有空气。
措施：减少释压时间。
- 2) 雾状。在瓶坯侧壁出现结晶区。
原因：熔融温度太低。
措施：增加注射成型塑化温度。
- 3) 释压痕迹。在瓶坯侧壁出现，像鱼骨化石。
原因：高的释压行程导致拉伸熔融。
措施：减少释压时间或行程长度。
- 4) 鱼眼和闪光环。在瓶坯表面出现刮痕、斑痕。
原因：在顶出或输送时，瓶坯表面太热或太软，互相接触产生。

措施：增加瓶坯冷却时间或降低冷却水温度。

5) 不透明。瓶坯表面大量结晶。

原因：湿含量在熔融时超过 0.005%。

措施：增加树脂在料斗中的干燥时间。

6) 编织线。通常在瓶坯内壁出现发丝痕迹。

原因：熔体流速太低，在注模时接近冷凝。

措施：增加熔体流速。

7) 瓶坯弯曲。瓶坯顶部出现结晶带。

原因：在预冷阶段，注射还没完成时瓶坯即被顶出。

措施：稍增加注射时间，确保注射完成。

8) 瓶坯环。辐射环出现在内壁。

原因：芯杆上含水或当充模时局部冷料。

措施：降低模具湿度或稍增加模具温度。

9) 瓶坯部分污秽，瓶坯壁上结晶线。

原因：PET 树脂降解或未熔融。

措施：提高塑化温度并清洗模具和螺杆。

(二) PET 制品吹塑成型

1. PET 瓶注射吹塑设备

(1) 注射吹塑设备

1) 注射塑化装置。聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET) 注射机与普通的注射机结构差不多，都是由注射装置、模塑合模区域、液压控制系统等组成，如图 5-4 所示。

在注射装置 (图 5-5) 中，螺杆作往复、旋转运动。

机筒内的聚对苯二甲酸乙二醇酯加热熔融。塑化的熔料由旋转的螺杆输送到头部至喷嘴，在螺杆头部积聚的熔料推动螺杆后退直到满足一次注射所需熔料量为止 (相当于模腔内所需要的熔料体积量)。然后螺杆向前驱动，在适当的压力、温度和速度 (时间) 的条件下，将熔料注入模腔内的型芯上。

在注射之前，由于螺杆旋转而产生的熔体压力迫使止逆环打开，这样熔料就能够穿过止逆环到达螺杆的前端。当螺杆接近其注射行程的前端时，触发行程工关，螺杆停止转动。注射时螺杆向前移动，螺杆头部的止逆环圆环往回滑，与环体上经过研磨的垫圈构成封闭，阻止熔料回流到机筒内。注射期间在圆环前面所夹带的少量熔料必须在下一个塑化阶段中彻底冲出。止逆环的自由流动面积至少应该是螺杆均化段流动面积的 80%。

生产 47.5g PET 型坯注射机的技术参数如下。

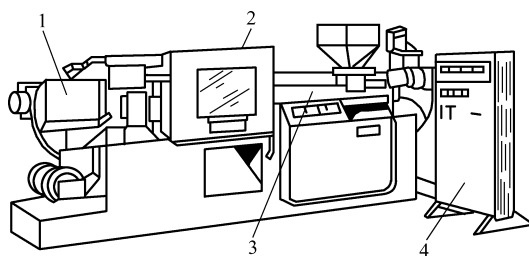


图 5-4 注射机结构示意图

1—合模油缸 2—模塑区域 3—注射装置 4—控制柜

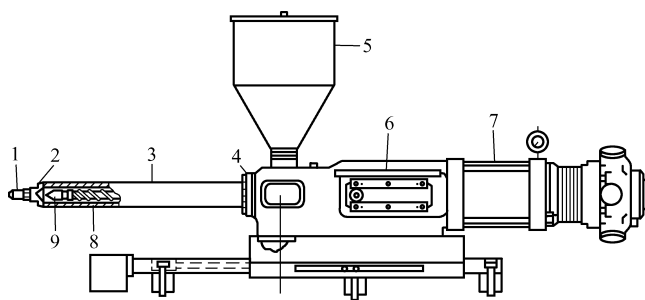
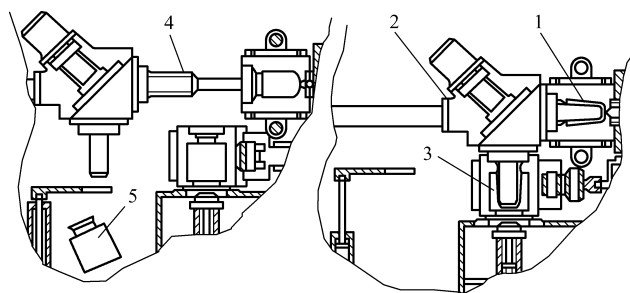


图 5-5 注射装置结构简图

1—喷嘴 2—喷嘴连接套 3—机筒 4—机筒连接结构 5—料斗
6—螺杆驱动室 7—注射座 8—螺杆 9—止逆阀

螺杆直径	90mm	塑化能力	220kg/h
理论注射容量	2226cm ³	最大螺杆转速	85r/min
最大 PET 注射质量	2800g	螺杆扭矩	3860N·m
注射压力	88MPa	加热器功率	48kW
注射速率	635cm ³ /s	温度控制段	6
长径比	20		

2) 模塑合模区域的机械结构。由前所知，注射吹塑机与普通注射机之间的主要区别是模塑区域不同，即模具安装与动作不一样。在模塑区域内设有一个模芯旋转机构，分为三个工位，即型坯注射工位、吹塑工位、取出工位，如图 5-6 所示。



a) 型坯抽出与瓶子脱出 b) 型坯模具闭合与型坯放入吹塑模具内

图 5-6 模塑合模区域的机械结构

1—型坯模具 2—旋转机构 3—吹塑模具 4—型坯 5—瓶子

生产 47.5g PET 型坯注射机合模装置的技术参数如下：

合模力	3440kN	拉杆间距	600mm
液压顶出力	35kN	最大模厚	650mm
顶出行程	205mm	油泵电机功率	75kW
移动模板行程	600mm		

由 Johnson Controls 生产的 Uniloy USB-300 机械设备上, 配有 8 个模腔, 6 个转换工位: 注射型坯、型坯调节 (两个工位)、定型、吹塑和取瓶。此机的注射螺杆直径为 76mm, 长径比为 25, 合模力为 180t。其余设备还包括一台 75kW 的电机, 一台 35kW (10t) 的冷凝塔和 0.57m³/mm 的压缩空气。这种机器适用于吹制 50mL ~ 5L 的瓶子。利用一步法每小时可生产容积 357mL 的 2400 个 PET 瓶。

适合二步成型法所使用的 PET 瓶吹塑成型机, 其技术参数见表 5-31。

表 5-31 PET 瓶吹塑成型机技术参数

项 目	数 值	项 目	数 值
模具有效面积/mm	300 × 400	加热功率/kW	4
开模间距/mm	300	控制台尺寸/mm	760 × 340 × 700
锁模力/kN	> 30	温控箱尺寸/mm	620 × 480 × 600
生产能力/(只/h)	400 ~ 500	主机尺寸/mm	730 × 410 × 1600
气压/MPa	0.8	整机质量/kg	1000

此机可以任意更换瓶模, 可吹制 100 ~ 1250g 各种规格的透明聚酯瓶。

3) 型坯模具与吹塑模具。注射吹塑成型机装有注射型坯和吹塑两副模具。图 5-7 所示为往复式注射、吹塑模具的开模状态。

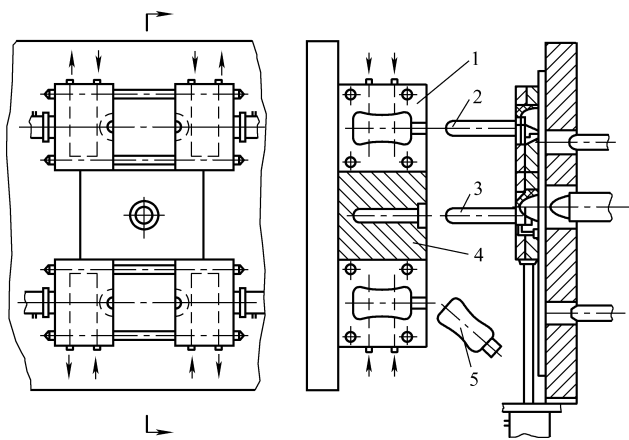


图 5-7 往复式注射、吹塑模具的开模状态

1—吹塑模具 2—型坯 3—芯棒 4—型坯模具 5—瓶子

由于注射聚对苯二甲酸乙二醇酯熔料的热稳定性较好, 特别适合于热流道系统。热流道系统是将熔料注射到一块独立的流道板上。该板用一组独立的电加热器使熔料保持稍高于熔融温度。由于热流道系统具有消除流道冷料, 防止熔料从喷嘴到模腔过程中冷却; 缩短了周期; 增大了容积, 降低了注射压力; 原料需要量减少; 浇口外观得以改善等特点, 所以深受 PET 瓶生产者的欢迎。

由注射装置将熔料通过喷嘴和热流道注入型腔内的模芯上, 形成一个带有模芯的型

坯从型腔中拔出来，放入吹塑模具内进行吹胀。型芯支撑着型坯并在吹塑模具中肩负着喷气嘴的作用，图 5-8 为型芯的外形结构和内部结构。

为了型芯内部加热，必须设置加热通道；为了吹入压缩空气，需要设置空气的通道。因此，型芯的最小直径受到了限制，通常限制在 10mm 范围内，在注射过程中，型坯的壁越薄，需要在短时间内用较高的注射压力来完成。型芯比较长时，由于注射压力大，型芯很容易发生弯曲变形，为此，就会出现型坯壁厚不均匀的现象，如图 5-9 所示。

因此，型芯的长度也受到了限制，其长度不宜过长，型芯的长径比（ L/D = 总长度/颈部处直径）限制在 10:1 以内。与此同时，型芯的材质要用像工具钢那样强度大的合金钢来制造，表面要光滑。

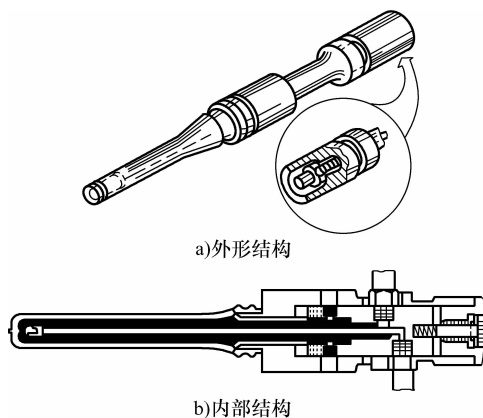


图 5-8 型芯的外形结构和内部结构

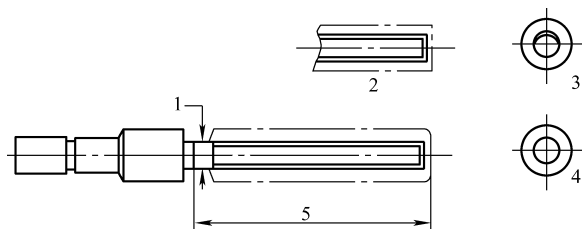


图 5-9 型坯壁厚不均匀

1—颈部直径 2—偏移的型芯 3—长径比大于 10:1 时壁厚分布不均
4—长径比小于 10:1 时壁厚分布均匀 5—型芯总长

(2) PET 注射吹塑成型工艺控制 由前所知，注射吹塑分三个阶段进行。第一阶段，由注射装置通过螺杆的轴向运动将熔料经过喷嘴、热流道注入型坯模腔内。模腔内的温度要精确控制，以使型坯的温度降到所需要的温度。第二阶段，型坯模具打开，型芯带着热型坯进入吹塑模具内，压缩空气经过型芯吹入，将型坯吹胀并与模腔内壁紧密接触。第三阶段，把瓶子冷却到 4~10℃，吹塑模具打开，瓶子脱膜，如图 5-10 所示。

1) 型坯注射压力与机筒温度。在注射成型过程中，注射时间、压

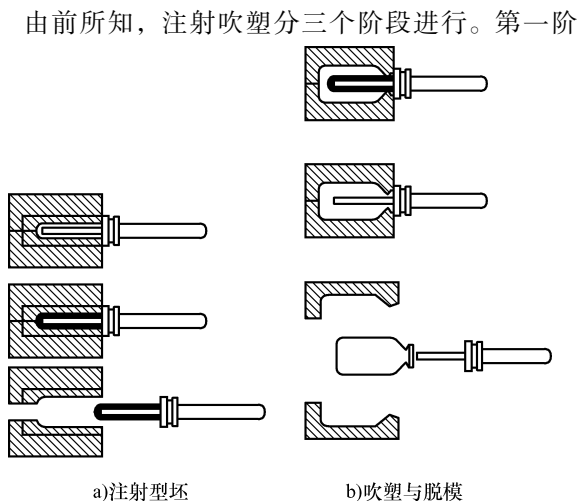


图 5-10 PET 注射吹塑过程

力及温度是非常重要的控制因素。时间因素包括注射时间、保压时间、冷却时间、塑化时间和螺杆的旋转时间。压力因素是注射压力、螺杆的背压、熔料进入模腔之前的损耗，这些压力损耗都是由于模具的一系列阻流而引起的。温度因素包括模具、机筒和喷嘴的温度，以及由背压、螺杆旋转摩擦热等引起的熔料温度。型坯的注射成型与众多因素有关，并且这些因素是互相依赖、互相影响的，如图 5-11 所示。它们都是注射成型所必须严格控制的工艺参数。

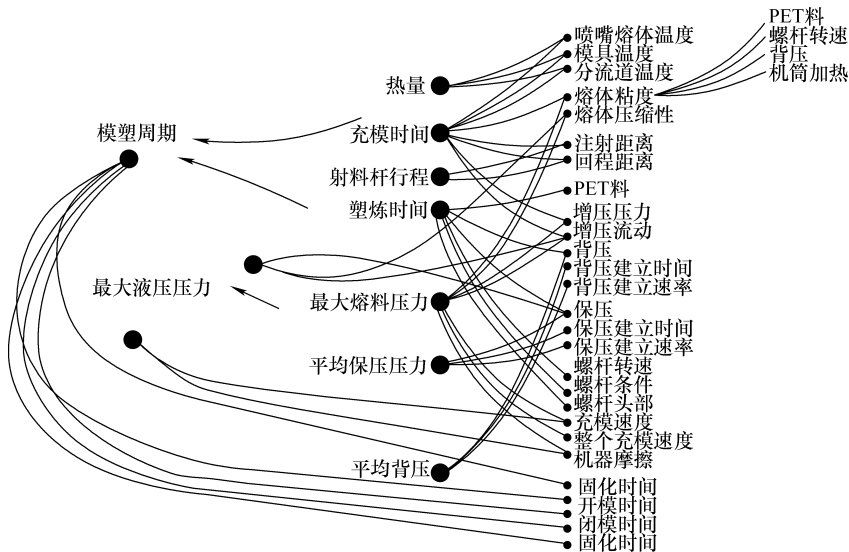


图 5-11 型坯注射操作控制的有关条件

①注射压力、保压压力。注射压力主要取决于模具结构和设备的大小。在实际生产过程中，往往要知道实际生产中注射压力的大小，可以通过下式来计算：

$$P = S_0 / SP_0$$

式中 P ——注射压力，MPa；

S_0 ——油缸活塞面积， cm^2 ；

S ——螺杆断面面积， cm^2 ；

P_0 ——注射油缸中油压（表压），MPa。

通常注射压力时，高压 76MPa，低压 41MPa，背压 0 ~ 35MPa。生产中要求用最小的压力来注满模腔，避免出现像凹痕、空隙等缺陷。压力不能过大，否则会出现溢边现象。此外，注射压力提高，瓶体的收缩随之减小。因为注射压力提高，熔料分子间受到的压缩程度增大，分子与分子间的结合更加紧密，进而收缩程度相应变小。

注射压力影响着注射速度与注射时间的变化。注射压力增加，注射速度加快，注射温度升高，注射时间缩短。但是注射速度太高，摩擦生热大，瓶体内应力增大，各向异性增加；注射速度提高，瓶体的收缩随之增大。注射速度与收缩率的关系还与流道口位置大小、模温和熔料温度有着密切的关系，较为复杂。

保压压力是使熔料注入型腔后，以补充腔内因收缩造成的缺料，使型坯更为密实。

型坯的保压压力通常是以注射压力为依据,一般取注射压力的 50% ~ 70%。同时,保压时间应根据型坯的大小来确定。

②机筒温度与喷嘴温度。对于 PET 材料进行加热使其达到熔融状态,熔料的温度不仅取决于机筒外部的加热,而且还与熔料通过旋转螺杆的剪切、摩擦所产生的热量有关。固体料均匀受热主要取决于对机筒外部加热温度的准确控制。机筒外部热量来自外壁的加热圈,加热圈分几段安装,均为单独控制。从机筒的加料段至压缩段到均化段,其温度逐步变化,形成一定的温度梯度,从而保证 PET 材料的均匀塑化。通常机筒温度控制在 260 ~ 288℃ 之间。注射料温与时间的变化对其他参数都有一定的影响,如图 5-12 所示。

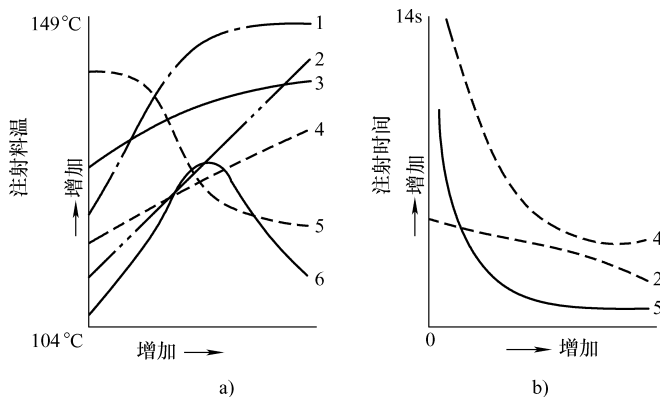


图 5-12 注射料温与时间的变化对其他参数的影响

a) 注射料温度与注射螺杆速度、机筒温度、螺杆背压、注射压力、喷嘴直径和螺杆转速的关系曲线 b) 注射时间与注射压力、机筒温度和喷嘴直径的关系曲线

1—注射螺杆速度 2—机筒温度 3—螺杆背压 4—注射压力
5—喷嘴直径 6—螺杆转速

在一定注射压力和单位时间内通过喷嘴孔的熔料,由于摩擦生热,使熔料温度上升。为此喷嘴温度应该低于机筒的最高温度。但不能太低,否则容易堵塞注口,注射压力损失也大。通常,喷嘴的温度要保持在 PET 的结晶熔点以上,应控制在 290℃ 以下。检验设定的温度是否合适,可以以较低的注射压力和速度,适当的间隔时间进行对空注射,观察从喷孔注出的熔料,料条光滑明亮、无变色、无银丝、无气泡等现象,就说明选定的温度是合适的。

2) 聚对苯二甲酸乙二醇酯的干燥。聚对苯二甲酸乙二醇酯成型前必须进行干燥,否则过多的水分含量会引起熔体降解,使材料的力学性能和物理性能降低,图 5-13 为

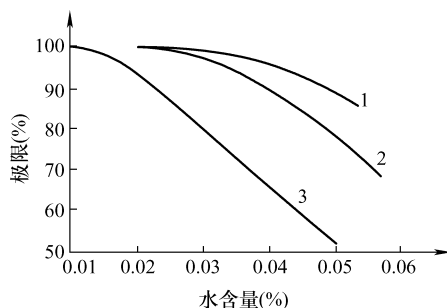


图 5-13 PET 在吹塑成型中

含水量与力学性能的关系

1—拉伸强度 2—伸长率 3—缺口冲击强度

PET 在吹塑成型中含水量与力学性能的关系。此外，含水量过高注射喷嘴处发生流涎，吹塑容器凹陷，容器表面有银丝、产生气泡等，造成废品。

干燥过程控制的主要因素如下。

①在干燥室内要保持较高且稳定的真空度。真空度越高，抽出室内水分的能力越强，可以减少粒料在高温下长时间的氧化，有利于缩短干燥时间和提高干燥质量。真空度的波动会引起干燥的不均一。一般真空度不低于 740mmHg (1mmHg = 133.322Pa)。

②适当提高干燥温度。干燥温度提高，脉水速度加快。但温度不宜太高，若温度超过 160℃，时间又过长，其粘度以及相对分子量下降会明显增加。

③干燥时间要控制得当，时间的长短要取决于粒料的含水量和干燥温度与真空度等其他干燥条件。

由于 PET 很容易吸湿，因此干燥后的 PET 料不能够暴露在潮湿的空间。尽量在机器上安装干燥料斗。如果使用的干燥装置离注射机的距离较远时，干燥后的原料必须用干燥空气输送到注射机的料斗内。通常干燥温度在 177℃ 左右，干燥时间大约 4 ~ 6h，PET 树脂的湿含量应小于 0.005%。

3) 注射吹塑成型周期。由前所知，注射吹塑可分三个阶段，第一阶段注射型坯，从经济学的观点来看，最好是以最短的时间来成型高质量的型坯。一般螺杆预塑时间 8.5s，冷却时间 9s。注射螺杆向前运动最短时间取决于压力所需的持续时间。

模具打开将型芯带着热型坯进入第二阶段吹胀。冷却到 4 ~ 10℃。第三阶段，容器脱模。整个注射吹塑模塑周期如图 5-14 所示。

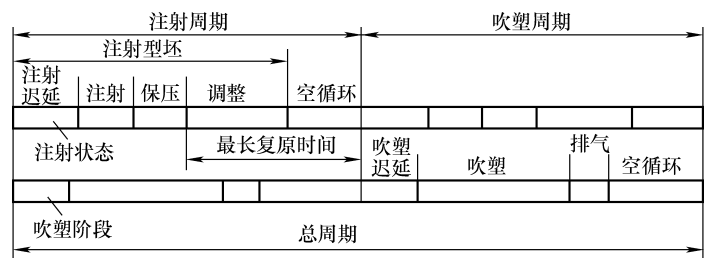


图 5-14 整个注射吹塑模塑周期

4) 模具温度与冷却。为了使熔料充满模腔，要求熔料温度高，粘度低，流动性好。PET 熔料温度大约 290℃。将高温熔体注入模腔必须在 70 ~ 78℃ 迅速冷却，通过 PET 结晶速率最快的温度 140 ~ 180℃ 区域，以获得透明的无定形型坯。为此，型坯模具必须进行骤冷，水温通常为 5 ~ 10℃，使模具温度下降到 20 ~ 50℃。这时 PET 型坯的结晶度不到 3%。熔料温度越高冷却至室温后的收缩就越大。型芯直接接触型坯内表面（瓶口及瓶体）。型芯温度越高，给予瓶口温度越大，在瓶口处及瓶身的径向收缩也随着增加。

模具应保持恒温，正常情况是恒温的冷却水在模具内进行循环流动。熔料进入模具迅速冷却。冷却效率取决于冷却介质进入和离开时的温度差，与流经通道介质的体积、

流速、层流还是湍流的雷诺常数以及冷却介质的化学性质等因素有关。

如果用计算机来设计模具，将各种有效数据输入计算机，可变参数如孔道直径、位置、长度、冷却回路的数目，与模腔表面的距离以及模具材料等，就能够得到最佳结果。

5) 注射装置内余料的清理。在成型开始的机筒清洗时，要谨慎处理。如果余料在机筒内停留时间过长，容易使其发生分解和碳化。严重者需要将螺杆取出以彻底清理。

清理螺杆或机筒时，需要将注射装置旋转到拆卸位置，如图 5-15 所示。

抽出螺杆将组成部件拆开，如图 5-16 所示。认真检查螺杆，清洗螺杆。

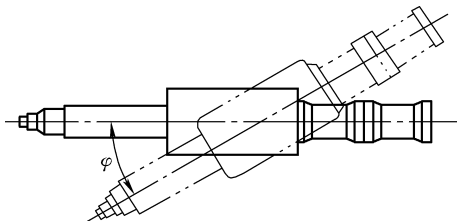


图 5-15 拆卸螺杆清理机筒位置

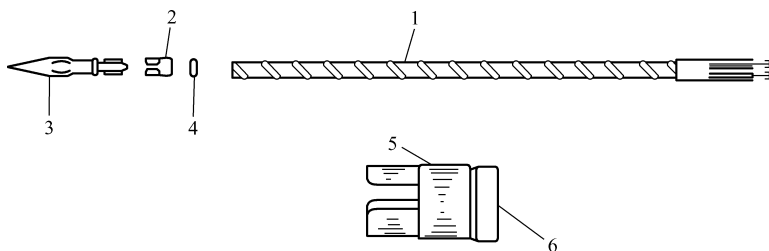


图 5-16 拆卸螺杆

1—螺杆主体 2—环形阀 3—螺杆鱼雷头 4、6—座环 5—环形阀放大

细心查看环形阀和座环之间接触面处是否有挂料，是否有损坏；找出螺杆其他挂料或损坏的地方；找出螺杆脱落镀层的地方；检查螺杆主体螺纹是否有损坏。

同时，要认真检查机筒头部和喷嘴处并将机筒清理干净，如图 5-17 所示。

用铜刷清除粘附在机筒里的熔料；用一端带有棉纱的木棒或竹竿，清理干净机筒内部，在清理时棉纱要多更换几次；要注意清理机筒头部和喷嘴，特别是两部件接触的表面，避免刮伤或损坏这些表面。机筒内部清除后，要进行认真检查，如图 5-18 所示，以确信机筒已经清理干净。

余料的清理是更换树脂或颜

色时一种必需的、消耗大量原料、占用人力、机器工作时间的辅助性操作。采用高速、高压清洗这些分解物时，将会以爆破方式从喷嘴喷出，这种情况是非常危险的。因此，

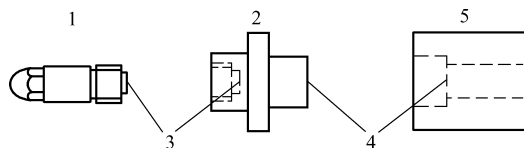


图 5-17 清理机筒头部和喷嘴

1—喷嘴 2—头部 3、4—接触表面 5—加热机筒

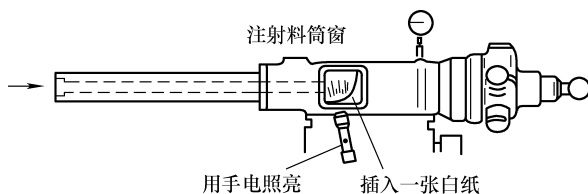


图 5-18 检查机筒内部

当机筒需要清洗时，首先采用低压，然后逐渐增压，慢慢清洗。清洗是靠机械力的推动将剩余的物料清除出机筒。在加工浅颜色聚对苯二甲酸乙二醇酯之前，经常需要消耗数公斤树脂以清除最后微量的深颜色余料。严重者需要将螺杆取出以彻底清理。清理时可考虑下列建议：用高粘度树脂更换低粘度树脂；深颜色树脂更换浅颜色树脂；对设备进行保养；保持树脂装卸设备的清洁。

例如表 5-32 所列为被清除的材料及建议使用的清洗材料。

表 5-32 被清除的材料及建议使用的清洗材料

被清除的材料	建议使用的清洗材料
聚对苯二甲酸乙二醇酯	聚苯乙烯，流动速率较低 HDPE，浇铸丙烯酸类树脂
聚对苯二甲酸丁二醇酯	将要加工的树脂
聚氯乙烯	聚苯乙烯，丙烯-丁二烯-苯乙烯共聚物，浇铸丙烯酸类树脂
聚烯烃	高密度聚乙烯

(3) 注射吹塑成型注意事项

- 1) 注射吹塑设备与成型工艺越来越先进，特别是有关成型与控制系统。因此，需要对机械设备和成型工艺过程有一个详细的了解，完全掌握它，出现问题时才能够有针对性地解决它。
- 2) 在生产中结合吹塑成型的全过程，考虑综合因素，注意各个生产环节所出现的问题。
- 3) 在注射吹塑过程中，固体物料的熔融速率高，产量就高。通过观察螺杆的驱动压力来判断熔融效率高低，驱动压力值应是最大值的 75% 左右。如果低于该值，应降低尾部的加热温度直到驱动压力开始上升。
- 4) 随着熔融质量的改变，升高中部温度以获得所需要的质量。加热温度变化范围应在 10 ~ 15℃ 之间，并且在下一次改变之前应有 10 ~ 15min 的稳定时间。
- 5) 要注意容器结构的合理性，因为容器结构形状和尺寸与型坯在模腔内的吹胀变化有着密切的关系，影响着容器的公差要求。
- 6) 高质量的容器离不开适宜的 PET 原材料：良好的原料要有适宜的化学结构；恰当的相对分子质量；所填加的填料和助剂种类和用量要适当；注意原料塑化与成型的热历程；根据原料的存贮时间和存放方式、潮湿程度，选择有效的干燥方法等。
- 7) 型坯模具，尤其是吹塑模具结构要注意它的合理性。
- 8) 瓶子质量好与产量高，必须使模具冷却得快以及冷却得均匀，这些都离不开模具冷却水道的合理分布，离不开模具制造的金属材料。
- 9) 先进的设备、精确地控制各个参数，才能够生产出优异的瓶子。要注意成型温度、周期、熔料的粘度、成型压力等各参数控制的准确度和可重复性；合模速度、合模力的精度与可重复性；合模力的分布符合要求；液压用油要保持干净，不能够有污染；液压油温度和油的压力控制的可重复性。
- 10) 缩短模塑周期提高产量。生产周期要根据所用原料、使用的机械设备、模具的控制系统等条件，来确定生产成本、完整和可重复的模塑周期。

11) 当所吹制的容器出现缺陷时, 通常是由多个因素造成的。首先考虑吹塑之前, 原材料的存贮和处理状况; 吹塑阶段成型周期的各工艺条件; 吹塑之后容器的处理与修饰。

12) 液压油的洁净度是引起运转不良的重要因素之一。油中的污物导致液压元件性能不理想、机器衰变。注射压力、保压压力以及升压自动切换器都会受到液体污染的影响。

2. 改性 PET 医用瓶的挤出吹塑成型

聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET) 对氧气、二氧化碳具有优良的阻隔性, 且废旧制品易回收利用, 因而在容器包装市场上用量不断增多。在 PET 的生产中加入二元醇或二元酸可降低 PET 的结晶度并提高熔体的强度, 使其更易于加工成型。由环己烷二甲醇与对苯二甲酸反应生成的无定形共聚物是一种改性 PET, 其耐低温性能优良, 即使加工成厚壁制品仍无色透明, 并可采用环氧乙烷或辐射法消毒, 因而广泛用于医药包装市场。

改性 PET 瓶的形状和尺寸如图 5-19 所示。

(1) 原料选择及典型配方

- 1) 改性 PET。Eastar 6763, 美国进口。
- 2) 着色剂。 α -酞菁蓝, 市售。
- 3) 白油。市售。
- 4) 配方。Eastar 6763 100 份; α -酞菁蓝 0.05 份; 白油 0.05 份。

(2) 设备及模具

设备及型号见表 5-33。

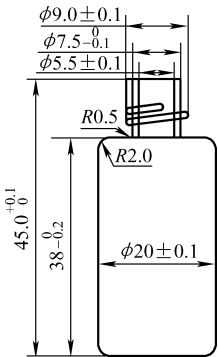


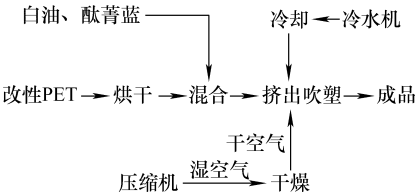
图 5-19 改性 PET 瓶的形状和尺寸

表 5-33 设备及型号

设 备	型 号	产 地
挤出吹塑机	KQC-S50/20 型	广东雅琪集团
冷水机	LS207S 型	上海环球机械有限公司
压缩机	LU610-15B 型	柳州富达机械有限公司
烘干机	100 型	中国台北
干燥器	LD138 型	柳州富达机械有限公司
混合机	BL50 型	上海环球机械有限公司

(3) 吹塑成型工艺

1) 工艺流程。改性聚酯药瓶生产工艺流程如下。



2) 工艺条件

混合干燥工艺 温度 68℃；时间 6h 以上；常温混合 5min。

挤出工艺 挤出工艺见表 5-34。

表 5-34 挤出工艺

工艺参数	数 值	工艺参数	数 值
一段温度/℃	230 ~ 240	机头温度/℃	190 ~ 220
二段温度/℃	210 ~ 230	口模温度/℃	160 ~ 190
三段温度/℃	200 ~ 210	螺杆转速/(r/min)	8 ~ 11

3. 冷灌装聚酯瓶的生产

待装物不同，对 PET 瓶的性能要求不同。按灌装温度条件来分，可分为冷灌装 PET 瓶和热灌装 PET 瓶。

冷灌装聚酯瓶（PET）主要用来盛装碳酸饮料，另外还可以用来盛装食用油、调料等。对这种容器的要求相当严格，因为内容物处于压力之下，而且还要保持一定的二氧化碳气的含量，在夏天也能贮存，具有较低透气率且乙醛（AA）含量低，灌装后变形小。

PET 瓶具有优良的性能，不易破碎，特别是双向拉伸容器有更好的气体阻隔性和透明度、光泽性、耐化学腐蚀性。双向拉伸 PET 瓶可以做到重量轻、薄壁，例如，1L 玻璃汽水瓶的重量为 600g，而 PET 瓶仅为 38g，1.25 ~ 2L PET 瓶壁厚仅为 0.25 ~ 0.40mm，另外 PET 双向拉伸后，力学性能明显得到改善，有更好的耐冲击性，其耐热性能也有所提高。由注射-拉伸-吹塑成型的 PET 瓶，具有很好的尺寸稳定性，其质量偏差及容量偏差极小。

PET 瓶有较好的卫生性，在正常成型工艺条件下，PET 树脂挤出的乙醛（AA）含量可控制在适当范围，而不影响瓶装饮料的味道，PET 瓶还有较好的环境安全性，废弃 PET 瓶可回收，也可采用焚烧处理，且燃烧时挥发的气体无毒性。

（1）选材 使用瓶级 PET 树脂，建议选择相对分子质量为 $(2.3 \sim 3.0) \times 10^4$ ，特性粘度（IV）为 0.7 ~ 1.1dL/g，这是由瓶的强度要求而定的，由于是充气瓶，因此要求有较高的强度。加工 1.5L 以下的容器应选择粘度较高的 PET 树脂，而生产 1.5L 以上的容器应选择较低粘度的 PET 树脂。另一方面对乙醛含量的控制较严，因为乙醛多会被饮料萃取而导致饮料变味、变质。

（2）设备及模具

1) 注射成型机。注射成型机用于瓶坯的成型，是定型的往复式注射机。注射机的螺杆应有防止物料回流组件，螺杆采用液压驱动、无级变速，在机筒中存在冷料时应防止注射机过载，注射机应有足够的锁模力，防止管坯模在物料注入时发生胀模。

PET 型坯采用热流道模具成型。模具型腔有 16 腔、24 腔、32 腔、42 腔，最多时可达 96 腔，每个型腔的浇口处应有能单独控制的加热装置，为了控制 PET 结晶，熔融物料注入型腔后，应能急骤冷却，使瓶坯成为无定形的透明体，并缩短成型周期。因此，供模具冷却用的冷冻水机应配有温控装置及能提供高压、高流量的水泵。为满足成型工

艺要求，注射机喷嘴与模具之间应有隔热层，流道系统采用等距离对称流道，浇口锥度建议为 3.5° 。

如果采用排气式注射拉伸吹塑机，在生产过程中，可以不使用干燥机。原料中的湿气是由机器中的排气螺杆去除。

2) 型坯加热装置。冷却的瓶坯垂直置于加热装置内，加热装置可选用石英加热器或远红外加热器，并能在瓶坯轴向分段加热。

3) 拉伸吹塑机。用于瓶坯的双向拉伸吹塑，一般包括拉伸杆、瓶坯口夹持件及吹气杆、模具及锁模装置。拉伸吹塑机一般是多工位成型，有 42 位、62 位、82 位，最多可达 162 位。此外还有包括瓶坯再加热装置的多工位拉伸吹塑机。

4) 空气压缩机。为瓶坯的吹胀提供清洁、干燥、压力稳定的压缩空气。空气压缩机需同时配置储气槽、油水分离器、汽水分离器、压缩空气干燥装置等。

5) 注-拉-吹专用成型机。国外有多种形式和规格的适合于 PET 注-拉-吹专用成型机，见表 5-35。目前国内尚无此专用设备。

表 5-35 国外部分注-拉-吹专用设备

国家	制造厂商	设备型号	容器规格/L	产量/(个/h)
日本	日精公司	ASB-650	0.5 ~ 2.0	1200 ~ 1600
美国	辛辛拉提长纳克朗	KHBV	0.5 ~ 2.0	3000 ~ 8000
德国	科普拉斯特	GCB4	0.5 ~ 2.0	2000 ~ 100000

(3) 吹塑成型工艺

1) 工艺流程。聚酯瓶两步法注射-拉伸-吹塑的工艺流程如下：PET 粒料——去湿干燥——瓶坯注射——冷却——再加热——瓶坯吹胀（双向拉伸吹塑）——冷却——PET 瓶。

2) 成型加工过程

①PET 树脂的干燥。为了生产高质量非结晶的瓶坯，PET 树脂的含水量应控制在 0.005% 以下。而 PET 又是一种易吸湿的高分子材料，如果在制坯前不将所吸附的水分去掉，制坯时水分就会被蒸发出来，在瓶坯上形成气泡，并使原料降解，如特性粘度值（IV）下降和容易结晶等，以至于不能满足吹制瓶子的要求。采用去湿干燥机所产生的热风，经封闭回路通入干燥料斗连续进行干燥。而一般热风除不掉 PET 树脂中的水分。

干燥通风料斗与去湿干燥机连接，干燥气流能匀速地通过料斗内的 PET 粒料；干燥通风料斗安装在注射机的进料口上方。干燥的热空气从料斗的底部进入，并向上经过一个圆锥体平衡分开通过原料，吸收原料中的水分并使原料加热。吸满水分的气体回到干燥机中，整个过程在封闭中进行。周围空气不会进入该系统而影响内循环气流的干燥度。为保持干燥系统的效率，干燥料斗的自动加料系统一直能均匀地加料，使其保持满载。

对于干燥料斗来说，其高度应大于直径，这样才能保证干燥的原料能进行“活塞式”流动，而不是“选择性”流动，这样才能使 PET 粒料均匀地向下移动和干燥。

②注-拉-吹成型。注-拉-吹塑料瓶是先通过注射制成有底型坯,然后将型坯处理至所用塑料的理想拉伸温度,经拉伸装置的机械力作用进行纵向拉伸,同时或稍后经压缩空气吹胀进行横行拉伸而制得的中空塑料制品。其特点是直接制成有度型坯,型坯内外温度均匀,有利于拉伸,制品形状准确、无飞边,瓶颈质量高,瓶底平滑均匀。

注-拉-吹分为一步法和两步法两种。一步法的型坯制造、拉伸、吹塑在一台设备中连续进行,又称热坯法。两步法的型坯制造在时间、位置和设备上均与加热、拉伸、吹塑分开进行,又称为冷坯法。这里介绍采用注-拉-吹两步法生产的聚酯碳酸饮料包装容器。

3) 工艺条件

①干燥工艺。PET 在注射前要经过干燥处理否则吸湿 PET 在加工过程中会发生水解,使制品的物理性能显著下降。

干燥温度 110 ~ 120℃, 干燥时间 4 ~ 5h。

影响干燥质量的工艺条件主要是干燥温度和干燥时间。干燥温度过低,水分不能很快排除,易使型坯出现银斑和发霉;若干燥时间短,PET 不能完全熔融塑化,易使瓶坯表面不光滑,出现毛糙细粒;若干燥温度过高,干燥时间太长,则瓶坯会发黄;而干燥温度较低,干燥时间较短,都有利于减少 PET 中乙醛的形成。经干燥的物料应立即使用或贮存在 80 ~ 100℃ 的恒温烘箱中稍后使用。

②注射成型工艺。机筒温度 240 ~ 290℃;模具温度 10 ~ 40℃;注射时间 12 ~ 15s;冷却时间 8 ~ 10s;注射压力:高压注射压力 70 ~ 78MPa,低压注射压力 35 ~ 40MPa。

4) 瓶坯的注射成型对成品性能的影响。在注射、拉伸、吹塑 PET 瓶时,成功与否主要取决于型坯加工质量的好坏,瓶子的性能,如乙醛含量、结晶度、特性粘度与瓶坯的成型条件有关。

PET 树脂是高分子聚合物,它在注射成型时不可避免地产生部分乙醛,虽然量很少,但在 21℃ 以上呈气体状态,具有一定的气味。熔融物料在机筒和滞留时间以及熔融物料的受热时间是控制乙醛含量的两个工艺参数;熔融物料在注射时,瓶坯上由于结晶而产生浑浊,明显影响了产品外观;在注射成型过程中,保持稳定的操作是十分重要的,这样可保证特性粘度的稳定,从而保证了 PET 的力学性能。

5) 注射成型的工艺因素。温度、压力、时间是塑料注射成型的三大工艺因素。

机筒的温度决定了 PET 树脂塑化温度,注射压力影响产品形状和精度,成型周期左右了生产效率,而这三个因素相互间也有影响。

①机筒、喷嘴及模具温度。PET 树脂为结晶高聚物,瓶用 PET 树脂结晶度一般在 50% ~ 55% 之间,具有明显的熔点,通常在 260℃ 左右,而其分解温度在 290℃ 以上。显而易见,合适的注射机机筒(含二级注射机的注射室)、喷嘴的温度宜设定在 260 ~ 290℃ 之间。

模具的温度关系到注射瓶坯的性能,并且直接影响下一步的拉吹工艺。由于 PET 是结晶高聚物,型坯一旦结晶,则拉吹工艺就无法进行。为此,注入模腔的 PET 熔体必须在 T_g 下迅速冷却。树脂在 T_g 以上会迅速发生结晶,因而要快速通过这一结晶温度区域,从而使注射成型的瓶坯形成无定形的透明体。

缩短生产周期,而且能使产品质量提高,因为在生产较快时,AA的含量相应较低。其原因是原料在高温下的滞留时间较短,同样瓶坯在 T_g (70~78℃)下快速冷却,使结晶现象减少。

所需的冷却时间是随瓶坯壁厚的平方而变化的。瓶坯壁较厚则冷却时间较长,即生产周期较慢。

瓶坯在冷却过程中,冷冻水是经冷却通道带走模具中的热量的。在冷却过程中,为了提高热对流效率,就要求冷水机配备高压及高流量的水泵。

为了加快生产周期以适应大规模工业化生产,需采用多工位机械臂的水冷取出板,从模具上取出瓶坯并送至带式输送机上,一般比自由下落的周期缩短达10s之多。如三工位机械臂从模具上取出PET瓶坯,通过三个不同位置的变换,瓶坯在排出前已有三个整周期时间的冷却。另外也保证了瓶坯的质量,因为瓶坯从模具上取出后在取出板上是各个分开冷却的,然后再排落到输送带上。

②注射成型工艺参数。使用美国辛辛拉提长纳克朗的注射成型机,型号是2500,采用的原料是德赫斯特公司的PET树脂,牌号是M81,特性粘度 (0.72 ± 0.02) dL/g。型号2500的注射成型机有8腔,热流道模具采用两条流道加热控制,对于8个模腔的浇口都采用单独的加热控制。

③瓶坯保存。用两步法制造PET瓶时,应考虑瓶坯的贮存条件(即贮存温度、相对湿度)对冲击韧性及极限伸长率的影响。例如,在温度-20~23℃,相对湿度<50%的条件下,贮存瓶坯50~60天,冲击强度没有什么变化,在温度38℃,相对湿度100%条件下贮存瓶坯,冲击强度会随时间的增加而明显下降。

④瓶坯再加热和拉伸吹塑。成型的型坯一般应在室温下放置24h才能进行双向拉伸吹塑成型,其工艺过程如图5-20所示。

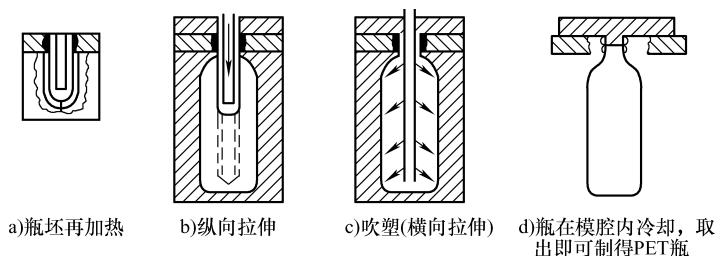


图 5-20 加热拉伸吹塑工艺流程

瓶坯再加热 恒温加热箱的温度190~225℃;型坯再加热后温度95~115℃;型坯再加热时间60~80s;型坯调温时间10~20s。

瓶坯的拉伸吹塑 第一次吹胀瓶坯的压力0.75~1.00MPa;第二次吹胀瓶坯的压力2.0~2.5MPa;瓶坯吹胀比(12.0~12.5):1,其中,轴向拉伸比(4.5~5.0):1,径向拉伸比(2.0~2.5):1,成型周期时间1.5~3.0s。

6) 工艺控制

①温度。温度的控制主要是指PET管坯放在加热箱中加热时预置的温度值,这对

吹瓶是很重要的。如果加热温度过低,会造成质量不稳定或成型困难;如果加热温度过高,PET的结晶速率太快,会造成管坯结晶而不利于拉伸和吹胀。在生产过程中,要将加热箱上部、中部、底部温度调节均匀,其生产过程中的温度,还要根据管坯的壁厚、环境温度、操作工的熟练程度而定,环境温度高、工人操作不熟练则温度低,管坯厚则温度高。

②压力。压力是指吹胀时的气压,如果压力过低,容易造成瓶子成型不足;压力太高,容易造成瓶子厚薄不均。

③时间。这里是指两种时间,一个是指管坯加热所需时间,加热时间太长,易使管坯结晶,无法吹制;时间过短,管坯还未完全软化,吹制时会出现白雾、结晶等现象。加热时间一般在加热温度选定之后选择10~20s;另一个时间是指PET管坯放入吹瓶机后,合模、拉伸杆下降、拉伸、延时吹气、吹气、开模等一系列动作或过程所需时间,这些时间如调整不好,或不成型或会造成PET瓶各种各样的质量问题。具体工艺条件还需根据管坯的质量、制品的形状等因素进行合理的调整。

(4) 质量问题的原因分析及处理方法

1) 瓶体发暗。瓶体发暗主要是由于PET材料分解和结晶度较高引起的。当PET处于无定形态时,它是透明的。在80~250℃之间,PET材料将产生结晶,在低温段易形成晶核,在高温段易生长成球晶,在180℃左右结晶速率最快;结晶同粘度也有关系,粘度越小,结晶越容易;同时结晶程度还与在结晶温度区停留时间有关,时间越长,结晶度越大;对厚壁瓶坯,中心部位散热慢,易结晶;瓶体结晶度高于40%时,瓶子的透明度则下降而发暗。从生产工艺来看,在PET瓶坯的注射过程和瓶坯的再加热拉伸吹塑过程中有增加结晶度的可能性。

从实际经验来看,瓶坯的结晶度越低,对整个生产流程来说更有利,也比较好控制,所以应该加强瓶坯注射模的冷却能力。通常的做法是将冷却水的压力增加到0.5Pa以上,冷却水的温度降低到10℃以下。对两步法的再加热过程,应该尽可能地缩短加热时间,降低加热温度。另外,在烘料时将温度控制在150~160℃之间,时间控制在5~6h之间。

2) 瓶表面有白化现象。PET瓶局部结晶度过大会引起白化现象。此现象产生有三个阶段,即瓶坯注射时白化、瓶坯再加热时表面结晶白化、拉伸吹塑时取向结晶白化。

瓶坯成型时的全部表面白化和再加热时全部表面结晶白化的原因基本如前文所说,只是白化的结晶度比发暗的结晶度更高。但瓶坯表面的局部结晶快的工艺成因却不尽相同。当模具的冷却效果很好时,可能形成规则或不规则的抛物线形状的雾状结晶。这主要是由于各型腔注射速度、压力、温度协调不一致的结果。高速、高压注射时,熔料与浇口发生剪切,产生热量,熔体流动好,迅速注满型腔,并迅速得到冷却。如果因为注射压力小、注射速度慢,一级注射未能注满型腔,则一级注射的料流前锋会因为与模壁接触不好而使温度降不到玻璃化温度以下,从而形成大量晶核;在与二级注射的料流汇合时,会吸收二级注射料流的热量而结晶雾化。

如果在上述情况下未白化,则在再加热阶段PET瓶坯在相应部位易生成块状结晶。另外由于瓶坯再加热时内外温升不一样,外高内低,易使表面温度过高而结晶成雾状白化。

在拉伸吹塑阶段，由于拉伸太快或冷拉伸，而形成拉伸结晶白化。

实际生产中，在注射瓶坯阶段，调节一、二级注射速度，适当提高熔料温度，可消除抛物线（或面）形状的白化。在再加热阶段，采用能使内外温升相差不大的加热方法。如用质量较好的远红外加热管、石英管，必要时可用射频加热，并尽可能缩短加热时间，可降低结晶白化的可能性。对由拉伸引起的结晶可适当降低拉伸速度来避免。

瓶壁壁厚不均匀。在瓶坯厚度设计合理的情况下，PET 瓶壁壁厚不均匀主要有两个原因。一是瓶坯再加热时各段的温度不合理，温度高的地方材料易拉伸，容易造成壁薄。二是瓶子的中心与瓶坯的浇口偏离。从机械原因来说，可能是注射瓶坯的型芯偏心，也可能是吹塑机的拉伸杆偏心。从工艺上来说，是吹塑拉伸时拉伸速度与吹气时间匹配不当所致。实践表明，放杆开始时间与吹气开始时间之间应有一段时间间隔。若提前吹气会在瓶颈处出现褶皱；若间隔不当则会偏心。偏心的根本原因是气流方向和速度在圆周上分布不均所致。

通常调节放杆速度、吹气延迟时间以及吹气方向等，使这些工艺参数协调一致，可以消除瓶壁壁厚不均匀的现象。

瓶底抗开裂强度低。瓶坯成型时，瓶坯底部的冷却时间最短，而且靠近热流道，瓶底易形成晶核或直接形成晶体；拉伸吹塑阶段，瓶底的拉伸程度低，相对瓶身来说壁比较厚，其散热的速度慢，形成大的球晶的可能性较大，如果注射瓶坯阶段有大量晶核生成，则结晶的可能性更大。一旦形成不均匀的晶体，会产生内应力，从而导致强度低，表现为跌落试验时从底部裂开或在碱水浸泡试验中出现放射状开裂。

为消除上述各种开裂现象，要在注射瓶坯时增大冷却效果；并在吹瓶模底部开设冷却水道。

乙醛含量偏高。乙醛的存在将影响饮料的口味。乙醛是由于 PET 分子的分解而产生的，这个过程需要时间和温度、时间越长，温度越高，分解越严重。PET 分子在 290℃ 开始分解，所以在瓶坯的成型过程中，熔料温度高，在机筒内停留时间长，会增加瓶子的乙醛含量。由于背压、螺杆转速以及注射速率的增加会使剪切程度增大，分子间的摩擦加大，因此会产生大量的热，这也是乙醛含量增加的原因之一。在再加热阶段，加热时间的长短和温度的高低也影响瓶的乙醛含量。

所以应尽量缩短成型周期，将机筒温度控制在 285℃ 左右；并在允许范围内调节背压和注射速度，缩短再加热时间，从而降低乙醛的含量。

质量问题的原因分析及处理方法见表 5-36。

表 5-36 质量问题的原因分析及处理方法

异常情况	原因分析	处理方法
合模线太粗	模具不合格 锁模不紧	调整模具 调整锁模动作
透明度不好	加热温度过高 加热时间过长 压缩空气含有水分	降低加热温度 缩短加热时间 用干燥器除去水分

(续)		
异常情况	原因分析	处理方法
出现珍珠光泽、泛白	加热温度过低 管坯厚薄不均	提高加热温度 加强管坯管理
瓶底高低不平、偏边	开始吹气时间超前 吹气杆下插不到位	延迟吹气时间 调整吹气杆下插位置
瓶颈、瓶底结块，呈月亮形	延时吹气时间过长 加热箱上部温度过高	缩短延时吹气时间 降低加热箱上部温度
瓶壁厚薄不均	吹气杆位置不在管坯中心 吹气孔不对称，孔径不一 管坯厚薄不均	调整吹气杆位置 调整吹气孔 调整管坯厚度
瓶上部太厚	上部温度过高 气孔位置距上部太远	降低上部温度 调整气孔位置及孔径
瓶底部太薄	开始吹气时间过早 加热箱底部温度过高	推迟开始吹气时间 降低加热箱底部温度
力学性能达不到要求	管坯质量达不到要求 管坯原料不合格 拉伸倍率不合理	加强管坯管理 加强管坯管理 调整拉伸倍率
产品线条不分明	加热时间过长或过短 气压不足	调整管坯预热时间 调整泵压

(5) 聚对苯二甲酸乙二醇酯拉伸瓶成型的注意事项

1) 为了保证机器能够正常运行，与主机连接的所有辅助设备必须完全正常，而且要以正确的连接方式与吹塑成型机相连接。

2) 机器的各个部件运行都是依靠油压、气压以及电力来实现的。由于液压和气压设备运行的驱动力大、速度快，而且控制是间接的，都存在一定程度的危险性。因此，当机器进行各种动作时，为确保绝对安全，此时气压一定要为零。

3) 正确地安装模具

①将模具必要的部件固定到可移动的模板上，抬起该组件，小心地安装到机器上，要仔细地使定位销进入定位槽内。

②正确地连接加热圈的电气连线，正确地连接为截流销和热流道固定板提供冷却介质的管道。

③把冷却介质凸版和注射型腔块安装到型腔固定板上，把它固定到可活动的模框上。

④把唇模板组件（连同唇模型腔）放到注射型腔模块上。适当地涂些润滑脂。

4) 注意安全生产。要详细了解并且真正掌握安全门和安全门限位开关以及模具合模安全装置，紧急停车按钮。通过按紧急停车按钮，使泵电机停止。

5) 清理热交换器。如果让含有很多盐分的水或显示高酸性的水通过热交换器，如图 5-21 所示，热导管最后可能完全被腐蚀。检查锌棒，锌棒脏，每根管的内部也可

能脏，拆下末端侧罩，寻找腐蚀的迹象和杂质。

清理的办法是：用铜刷或锉把锌棒弄干净，有严重腐蚀时，应更换锌棒；用商业化通用的碱性清洗液把主体的内部和热传导管外部清理干净；对于顽固的包覆，用弱盐酸溶液洗刷，直到主体和管子相当干净为止。

6) 要严格控制液压油的质量。控制油的粘度，通常使用粘度等级为 56CST/40℃ 的液压油。粘度不能够过高和过低。

如果粘度太高会出现：内摩擦增加；油温度提高；活动部件不能够平稳地动作；压力损失增加；电力消耗增加。

粘度太低会出现：滑动表面摩擦增加；油封泄漏增加；动作精度削弱；压力下降；泵效率降低。

液压油被污染对液压系统有较大的影响，如表 5-37 所示。

表 5-37 液压油被污染对液压系统的影响

污染类型	引起故障类型	原因与警告
氧化产品	引起金属腐蚀	液压油变质，高温及混入水容易引起该类故障
混入其他的油	会溶解，有时起反应	油箱设计不合理
摩擦出的微粒子	设备磨损，功能不良	浮动在空气中微粒子
污渣	功能失良	油变质，高温搅动而引起
水	形成乳状液	冷凝作用或较冷水的渗漏
空气	溶解性，不溶解性	用消泡剂排除，压力迅速降低，不良包装
细金属粒子	不溶解并起催化作用	会发生水污染，少量的可以用防锈剂加以控制
结垢	不溶解	常在管道和油箱中出现，一般是在装配前后未冲洗干净
漆片	不溶解，不良功能	喷漆不当或旧油箱内部的漆片脱落
橡胶微粒	功能不良	密封故障，检查密封和密封材料
沙子	磨损，故障，功能不良	由空气中或清洁不当，使脱落物进入油内
线头，纤维	功能不良	液压箱冲洗不当，在拆卸后清洗时和包装时要避免线头进入油内

4. 热灌装 PET 瓶的生产

热灌装 PET 瓶也称耐热 PET 瓶。其工业化生产始于 20 世纪 80 年代末期，在国外应用已相当普遍，最近几年国内生产应用也逐渐增多。热灌装瓶的开发应用主要是为了

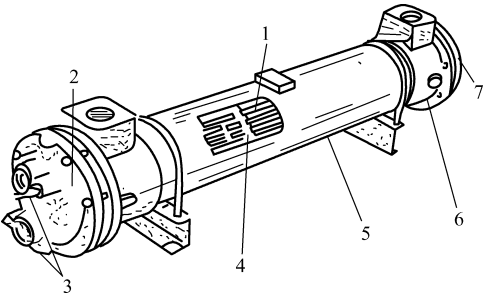


图 5-21 热交换器

1—热传导管 2, 7—侧罩 3—防腐锌棒
4—折流板 5—主体 6—分配管

适应乌龙茶、果汁之类饮料包装的需要,因为这些商品在生产中,产品要求热灌装,普通 PET 双向拉伸瓶的热变形温度较低(在 70℃ 左右),温度高时,使瓶子出现变形、收缩现象,以致这类瓶只能在 60℃ 以下的低温环境中使用。为适应热灌装的需要,可采用热定型技术、物料掺混改性法、多层共吹塑等方法及液氮冷却技术等来提高其耐热性,目前主要采用热定型技术。

(1) 提高 PET 耐热性的技术

1) PET 瓶的热定型处理技术。通过热定型技术,可提高 PET 双向拉伸吹塑瓶的结晶度,让已定向的 PET 大分子定型下来,经热定型的高结晶度 PET 双向拉伸吹塑瓶,耐热性明显提高,达到能耐 80℃ (或更高温度) 热灌装的水平。由于热定型过程中, PET 大分子处于拉伸定向状态,在热定型时,可以不生成大尺寸的 PET 球晶,因此尽管经热定型处理的 PET 瓶提高了结晶度,但仍保持高的透明度。为了提高 PET 双向拉伸吹塑瓶非拉伸部位(口部)的耐热性,适应高温灌装的需要,通常采取如下几种办法:在拉伸吹塑之前,对瓶口加热使其结晶化,提高该部位的耐热性,结晶化使 PET 大分子形成大尺寸的球晶,因此瓶口“白化”;瓶口部位采用耐热性高的 PC 制得(这时瓶坯需二次注射);对于热灌装温度要求不太高的 PET 双向拉伸吹瓶底,也可采用增加瓶口厚度以提高其耐热性的方法(国内“三得利”乌龙茶用 PET 瓶即属此类)。

2) 液氮冷却技术。除了上述 PET 瓶的生产技术之外,还有液氮冷却技术,该法仍是通过拉伸吹塑瓶直接与高温模具相接触而进行热定型处理,但热定型后的 PET 瓶不是通过降低模温的方法,而是通过向 PET 瓶内通入液氮的方法而使 PET 瓶骤冷,冷却后的 PET 瓶从热模中脱出,得到产品。采用液氮冷却技术,吹塑模的温度可高达 200℃,因而有更佳的处理效果,制得的 PET 瓶可耐 100℃ 的热水以及 110℃ 的色拉油的高温灌装,只是由于这种方法目前成本高以及过程稳定性控制方面的问题尚待解决,离工业化生产还有一定距离。

3) 掺混改性技术。利用聚萘二甲酸乙二醇酯(PEN)的高耐热性以及它和 PET 树脂间良好的相容性,在 PET 树脂中掺入一定量的 PEN 树脂,采用 PET 双向拉伸吹塑的常规设备与工艺,即可生产出耐热性好的、可供热灌装使用的 PET 瓶,倘若在生产过程中对其进行热处理,则效果更佳。

(2) 热定型类耐热 PET 瓶生产方式 热定型类耐热 PET 瓶,根据其热定型的实施方法不同,可分为一步法与两步法两种。

1) 一步法热灌装 PET 瓶。该瓶的生产与普通 PET 双向拉伸吹塑瓶的生产方法相似,不同之处在于生产热灌装瓶时,拉伸吹塑过程中模具处于高温状态下(150℃ 左右),吹塑瓶与高温模接触、热定型处理一段时间之后,再使模具骤冷,然后取出 PET 瓶。

2) 两步法热灌装 PET 瓶。该瓶在生产过程中有两次吹塑过程,即预拉伸吹塑与成型吹塑过程。两次吹塑分别在两个不同的模具中进行,首先在预吹塑模中经拉伸吹塑制得尺寸略大于最终产品的预吹塑瓶(即预吹塑模腔尺寸略大于最终产品的尺寸),然后用远红外加热,对 PET 预吹塑瓶进行热处理,使之结晶化,结晶的同时预吹塑瓶产生收缩,完成热处理后,将其移至成型模中吹塑而得到最终产品。

一步法热灌装瓶的生产设备及工艺均较为简单,一次性投资小,操作维修方便,但在吹塑过程中,模具要反复经受加热与冷却的变化,能量耗费大,生产速度也较慢;两步法热灌装瓶的情况正好相反,其生产设备具有生产效率高且能量耗费小的优点,但一次性投资大,目前日本多采用一步法工艺生产热灌装 PET 瓶,而欧美国家则倾向于使用两步法工艺生产热灌装 PET 瓶。

3) 热灌装 PET 瓶成型工艺流程。由于热灌装 PET 瓶的特殊要求,因此其一步法和两步法的成型工艺流程不再一致。热灌装 PET 瓶的瓶口有特殊的要求:一步法要求在成型瓶坯时对瓶口作相应处理;而两步法只要求在再加热前进行处理即可。一般而言,如果瓶口材料用 PC,则可用一步法和两步法成型,成型时先成型瓶口后再用嵌件注射的方法或采用共注射法生产出瓶口不再收缩的瓶坯;如果瓶口与瓶身都采用 PET 树脂,则只能用两步法加工(这里的两步法与冷灌装 PET 瓶的两步法定义的内容不一致,只是沿用而已,因为这里所谓两步法生产热灌装 PET 瓶的瓶口结晶定型是在独立的机器上完成的)。

热灌装 PET 瓶的一步法生产工艺流程 PET 树脂→干燥→共注射或嵌件成型管坯→管坯温度调节→拉伸吹塑→高温热定型→冷却定型→制品取出→成品。

热灌装 PET 瓶的两步法生产工艺流程 对两步法而言,如果用上述一步法生成的管坯,则流程与一步法的流程基本一致;但如果瓶口、瓶身采用同样的 PET 树脂,则工艺过程为:PET 树脂→干燥→瓶口结晶→管坯再加热→拉伸吹塑→高温热定型→冷却定型→制品取出→成品。

这也是目前做热灌装 PET 瓶用得较多的方法。

(3) 热灌装 PET 瓶常见缺陷分析及生产工艺上的措施

1) 瓶口歪斜。对一步法而言,主要是机械原因。对两步法,如果瓶口部位有一定比例的晶体存在,则整个体系的强度会提高,可保证瓶口结晶时不变形;但注射热灌装瓶坯时瓶口的冷却时间最长,结晶度很难超过 3%。同时也不可能做到瓶口材料在轴向和径向均匀取向,所以分子链段的排列不一致,加热结晶时会按各自的方向和应力收缩,从而导致歪斜。

从实践经验来看,可以将瓶坯存放期加长至 14 天以上或降低结晶时的温度并延长结晶时间来消除瓶口结晶时的歪斜现象。

2) 瓶身表面局部凹陷。热灌装瓶的表面凹陷除瓶体结构不合理的原因外,从工艺过程来看有两种情况:一是在冷却定型阶段定型时间太短,制品取出时因收缩而形成的;另外一个原因就是由于高分子材料的“历史效应”,因瓶坯的螺口以下较薄部位与对应瓶体中部较厚部位的过渡区在热定型时松弛不够,而在高温灌装时高分子链回复引起的。

要避免局部凹陷,则要延长热定型时间和冷却定型时间,并在可能的前提下,适当提高过渡区对应的模具温度,使分子链充分松弛。

3) 耐热性能不稳定。热灌装瓶在高温灌装时,瓶体的体积收缩小,瓶子的外观变形小,则其耐热性能好。但如果瓶体成型时无定形部分的比例太大,则高温灌装时 PET 高分子链会因结晶而收缩,从而导致瓶子变形,如果结晶度达到一定的比例,而高分子

无定形部分或结晶部分的晶体也处于取向状态,在高温灌装时也会发生分子链或晶体的重排,从而使瓶子变形。

要使 PET 瓶在热灌装时整体变形小,可适当延长热定型时间和提高热定型温度,从而使瓶子的结晶度提高到 40% 以上,并使无定形部分完全松弛。这也是非共混 PET 树脂成型热灌装 PET 瓶的理想方法。

(三) 聚对苯二甲酸乙二醇酯片材挤出成型

1. 原材料的选择

PET 片材原材料主要选择无规聚对苯二甲酸乙二醇酯 (APET)。

用于 APET 挤出片材的辅料,以 PET 或 PETG 为基材的母料为好,并且不能影响片材的透明度,用量一般为 2% ~ 5%。选用的助剂为:防粘剂 PETG 6767 C0047;脱嵌套剂 PET 9921 G0019;色母料 PET 9921 G0001;抗静电剂 SARMSTAT G33690。

2. 主要设备

(1) 干燥系统 PET 树脂的干燥方式有多种,生产 APET 片材常用除湿干燥空气气流干燥。需要一台能提供温度为 150℃、露点为 -40 ~ -29℃、空气流量约为 0.062m³/min 的除湿干燥器,和一台能保证聚酯树脂驻留至少 5h 的不锈钢保温干燥料斗。

(2) 挤出机 生产 APET 片材的挤出机要求长径比为 24:1 ~ 30:1,较短的长径比不能使输出稳定和生产率高。挤出机的驱动功率要求 0.16 ~ 0.2kW/(kg/h),用 $\phi 100 \sim 150\text{mm}$ 为聚酯设计的屏障型螺杆,螺杆进料段的前四条螺棱需要冷却,机筒加热一般分为 5 ~ 6 段,加热功率能使机筒温度达到 315℃,各区应配有冷却装置,以保证控温精度。过滤网采用 20 目 $\times$ 20 目、120 目 $\times$ 120 目、60 目 $\times$ 60 目、20 目 $\times$ 20 目的不锈钢网叠加。

(3) 熔体泵 在生产 APET 片材时如不用熔体泵,当其回料用量大于 25% 和所用的回料较薄时,其纵向厚度误差会大于 $\pm 6\%$,所以需要一台运转在恒定速度下并可无级调整的熔体计量泵,挤出机与泵之间配有熔体压力控制器,以稳定挤出货量。

(4) 模头 模头采用衣架式模头,其定型段长度应为 25 ~ 32mm,所有流道表面应具有极低的粗糙度 (0.05 ~ 0.1 μm),并为流线型设计,模头最大开度为产品最大生产厚度的 1.25 倍,模头的外表面应为锥形。

(5) 三辊 生产 APET 片材的冷却辊应用三辊,可以是直立式、水平式或斜 45° 式,辊筒直径为 400 ~ 500mm,表面应镀铬,表面粗糙度为 0.05 ~ 0.1 μm ,辊筒的同心度、圆柱度应不超过 0.025mm,辊筒相互配合精度应在 $\pm 0.075\text{mm}$ 内,三辊的冷却装置应配套控温装置。

3. 工艺流程和工艺控制

(1) 工艺流程 APET 片材以聚酯粒料为原料,根据不同用途混入色母料、抗静电剂、脱嵌套剂、防粘剂等聚酯辅料,经计量混合,送入干燥料斗内干燥,干燥后的聚酯粒料经挤出机熔融塑化,经过滤网过滤,由熔体泵定量输送到模头,经模头流到三辊,冷却压光得到无定形的 APET 片材,从三辊出来的片材冷却后切边、卷曲成卷。边料经粉碎、结晶掺入原材料中回用,工艺流程见图 5-22。

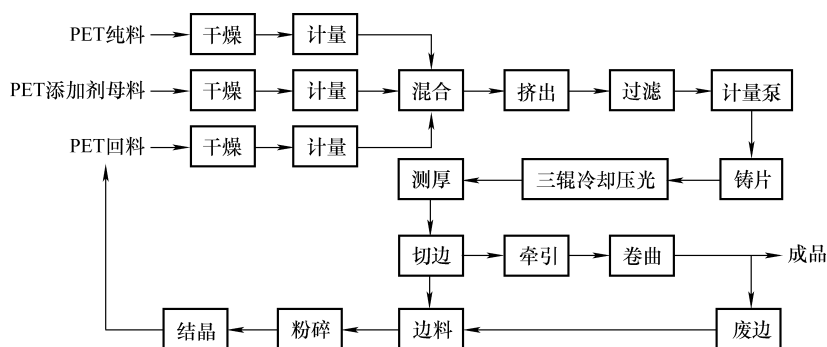


图 5-22 APET 片材挤出工艺流程

(2) 工艺条件和工艺控制

1) 干燥。PET 在干燥过程中会老化,干燥不完全加工时要水解,干燥工艺对它的影响为:使用大的空气流量、高的干燥温度和长时间干燥会老化;使用低的干燥温度、低的空气流量和短时间干燥会导致水解。图 5-23 为在 $0.062\text{m}^3/\text{min}$ 流量下干燥温度与驻留时间的关系。

干燥工艺条件为:空气入口温度 150°C ,露点 $-40 \sim -29^\circ\text{C}$,空气流量约 $0.062\text{m}^3/\text{min}$,干燥时间为 $5 \sim 6\text{h}$ 。干燥后水分含量应少于 0.005% 。

2) 挤出。共缩聚 PET 树脂是一种结晶性树脂,其熔点为 $242 \sim 250^\circ\text{C}$,加工温度必须大于熔点,然而 PET 在 280°C 以上极易热降解,所以要求物料温度不能超过 280°C 。采用屏障型螺杆,二区加热为压缩段的起始段,温度应设置得高点,这样不会因剪切过大产生过多的摩擦热使 PET 老化。模头温度设置约低于料温 5°C ,并且两端比中间略高,厚片比薄片温度稍低。挤出温度设置为:一区 $260 \sim 270^\circ\text{C}$;二区 $275 \sim 290^\circ\text{C}$;三区 $270 \sim 280^\circ\text{C}$;四区 $255 \sim 265^\circ\text{C}$;五区 $255 \sim 265^\circ\text{C}$;六区 $255 \sim 265^\circ\text{C}$;连接头 $255 \sim 265^\circ\text{C}$;模头区 $255 \sim 265^\circ\text{C}$ 。

由于熔融的 PET 较易粘接金属,长时间停机时应用 PP、PE、PETG 冲洗机筒和流道。因 PET 留在机筒及流道内冷却后变成晶态,重新开机加热需要较大的熔化热,需预热到 $270 \sim 280^\circ\text{C}$ 以保证整个流道内 PET 树脂完全熔化。

模头开度为产品最大生产厚度的 $1.2 \sim 1.3$ 倍。引片前模口与模唇区必须用黄铜刀充分清理干净,模唇区内任何的杂物都会引起片材产生纵向条纹。

3) 三辊轧光。三辊的温度设置随片材厚度、生产速率的不同而变化,一般 2[#]辊比发生粘辊的温度低 $3 \sim 5^\circ\text{C}$ 为佳,1[#]辊温度比 2[#]辊低 $8 \sim 10^\circ\text{C}$,3[#]辊温度比 2[#]辊高 $8 \sim 15^\circ\text{C}$ 。这样有利于片材的顺利转移,并且易带出辊筒上的析出物,也不会因温度太低引起片材两面的结晶度不一样。三辊温度设置为:1[#]辊 $32 \sim 40^\circ\text{C}$;2[#]辊 $40 \sim 45^\circ\text{C}$;3[#]辊 $50 \sim 65^\circ\text{C}$ 。

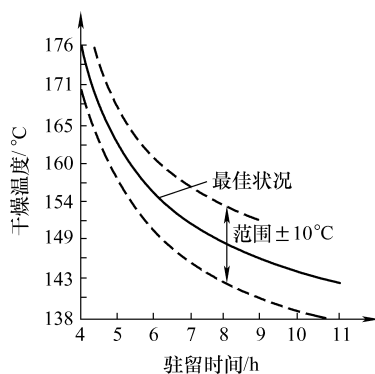


图 5-23 PET 的干燥温度与驻留时间的关系

三辊的辊隙应预设置好，特别是 1[#]辊与 2[#]辊的间隙，一般比产品厚度少 0.20 ~ 0.25mm，三辊的辊压与产品厚度成反比，对薄的片材压力高达 6200N/cm，厚的片材压力可以是 1800N/cm。

由于 PET 熔体强度较低，模头与三辊的距离要尽可能短，否则会因熔垂严重使熔体挂下模口，产生条纹；并且因熔垂使基片进入三辊的入角不正确，压光时裹入空气使片材产生麻点、云斑、条纹等，尤其是生产 0.7mm 以上厚片。要纠正熔垂引起基片入角不正确，可以调节三辊的中心高度，使三辊的 1[#]辊与 2[#]辊间隙稍低于模头的中心线，如图 5-24 所示。

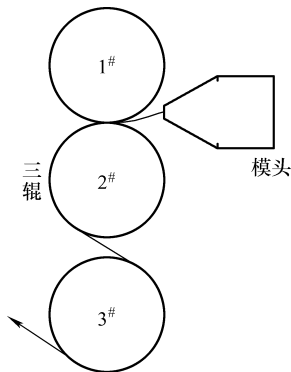


图 5-24 熔垂较严重时模头与三辊的相对位置

- 4. 片材的物理性能
- 0.6mm 厚 APET 片材的物理性能见表 5-38。

表 5-38 APET 片材的物理性能

项 目	测试结果	项 目	测试结果
透光率 (%)	88.7	落球冲击破碎率 (250g, 76cm) (%)	0
雾度 (%)	5.7	水蒸气透过量/ [g/(m ² ·d)]	3.02
拉伸强度 (纵/横) /MPa	54/52.5	氧透过量/ [ml/(m ² ·d)]	0.139
断裂伸长率 (纵/横) (%)	355/353		

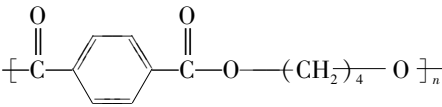
第三节 聚对苯二甲酸丁二醇酯（PBT）

一、主要品种与性能

（一）简介

1. 结构特征

聚对苯二甲酸丁二醇酯英文名称 Polybutylene terephthalate，简称 PBT。它是对苯二甲酸与 1，4-丁二酸的缩聚物，分子结构式为：



其主要品种有纺丝用 PBT、薄膜用 PBT、工程塑料用 PBT、改性 PBT。

2. 主要性能

- 1) 树脂呈乳白色半透明到不透明，是结晶性热塑性聚合物。
- 2) 具有优良的强韧性和耐疲劳性，冲击强度高，有自润滑性和耐磨性，摩擦因数小，吸水率很小，尺寸稳定性好，因而可作为工程塑料，但其缺口敏感性大。
- 3) 熔点高，达 225℃，耐热、耐候性好，耐燃，但能慢燃。
- 4) 电性能优良，耐电弧性好，但体积电阻、高频介电损耗大。
- 5) 耐热水、碱类、酸类、油类，但易受卤代烃侵蚀，且耐水解性差。

6) 熔体粘度低, 成膜性、成型性好, 但成型收缩率大。薄膜可挠性优, 撕裂和屈服强度高。

7) 树脂的相对密度为 1.31, 玻璃纤维增强后达 1.52。

PBT 的性能见表 5-39。

表 5-39 PBT 的性能

项 目			标准树脂	阻燃级	玻璃纤维增强		30% 阻燃 增强
					15%	30%	
密度/(kg/m ³)			1310	1410	1390	1520	1600 ~ 1630
玻璃化温度/℃			20				
晶相熔点/℃			225				
吸水率(%)	23℃ ,24h		0.09	0.07	0.05	0.06 ~ 0.07	0.03 ~ 0.05
	23℃ 平衡		0.30	0.3	0.3	0.24 ~ 0.3	0.2 ~ 0.3
成型收缩率(%)			1.7 ~ 2.3			0.2 ~ 0.8	0.2 ~ 0.8
拉伸强度/MPa			53 ~ 55	59	98	132 ~ 137	117 ~ 127
伸长率(%)			300 ~ 360	5	4	2.54	1.84
拉伸弹性模量/GPa				2.6	5.4	98	9.8
弯曲强度/MPa			85 ~ 96	88	147	186 ~ 196	167 ~ 196
弯曲弹性模量/GPa			2.35 ~ 2.45	2.55	5.4	8.8	8.8 ~ 9.3
压缩强度/MPa			88	88	108	118 ~ 127	118 ~ 127
悬臂梁冲击强度 /(J/m)	无缺口 (3.175mm)	23℃	不断	490	490	637 ~ 686	539 ~ 588
		-40℃	不断			372	333
	有缺口 (12.7mm)	23℃	49 ~ 59	29	59	78 ~ 98	69
		-40℃	44			64	55
洛氏硬度			$\begin{Bmatrix} \text{M75} \\ \text{R118} \end{Bmatrix}$	R118	R120	$\begin{Bmatrix} \text{M91} \\ \text{M121} \end{Bmatrix}$	$\begin{Bmatrix} \text{M90} \\ \text{R120} \end{Bmatrix}$
耐磨耗性/(mg/1000 次)			10	20	50	25 ~ 50	30 ~ 50
摩擦因数	对钢		0.13	0.12	0.12	0.12 ~ 0.15	0.14 ~ 0.15
	对同种材料		0.17	0.16	0.16	0.16 ~ 0.19	0.18 ~ 0.20
热变形温度/℃	0.45MPa		154	178	200	215 ~ 220	210 ~ 220
	1.82MPa		58 ~ 60	56	190	205 ~ 212	200 ~ 212
线胀系数/(10 ⁻⁵ K ⁻¹)			9.4	9	5	2.0 ~ 2.5	2.5 ~ 3.0
燃烧性(UL94)				V-0	HB	HB	V-0
介电常数 (23℃ ,60% RH)	50Hz		3.3			3.8	3.8
	106Hz		3.3	3.6	3.6	3.6 ~ 4.2	3.6 ~ 4.2
介电损耗角正切值 (23℃ ,60% RH)	50Hz		0.002			0.002	0.002
	10 ⁶ Hz		0.02	0.017	0.017	0.017 ~ 0.02	0.017 ~ 0.02
体积电阻率/Ω · m			4 × 10 ¹⁴			~ 2.5 × 10 ¹⁴	2.5 × 10 ¹⁴
介电强度/(MV/m)			17	20	28	28	23 ~ 25
耐电弧性(钨电极)/s			100	100	143	140 ~ 145	120 ~ 122

3. 应用

聚对苯二甲酸丁二醇酯的用途与 PET 相似, 可用作机械部件, 如汽车车身、运输机械零件、挡泥板、化油器、齿轮, 办公用机器、缝纫机和纺织机械用零件; 电器部件, 如电动工具、端子、线圈架、开关、屏蔽套; 建材和日用装饰品, 容器、安全帽、照相机、钟表外壳、镜筒等。由于 PBT 可耐锡焊, 在电子电器工业中得到广泛应用, 如连接件、开关部件、电视机回扫变压器线圈绕线管和配线零件, 在家用电器上作录音机传动轴、计算机罩、电熨斗罩、水银灯罩、烘烤炉部件等。

(二) 国内 PBT 品种与性能

(1) 北京市化工研究院的 PBT (表 5-40)

表 5-40 北京市化工研究院 PBT 的性能

项 目	测试标准	211-G0	211-G30	T211-G30 (原 211C-G30)	308-G0 (原 801-G0)	308-G30 (原 801-G30)	T308-G30 (原 801C-G30)	309-G30 (原 802-G30)
密度/(g/cm ³)	GB 1033	1.30	1.45	1.45	1.42	1.53	1.53	1.41
吸水性(23℃,24h)(%)	GB 1034	0.09	0.06	0.06	0.09	0.06	0.06	0.09
成型收缩率(%)	ASTM D955							
		1.9	0.7	0.6	1.9	0.8	0.6	2.0
拉伸强度/MPa		1.5	0.2	0.2	1.5	0.2	0.2	1.5
断裂伸长率(%)		60	135	140	50	125	125	50
弯曲强度/MPa	GB 1040	100	5	5	20	4	4	20
弯曲弹性模量/MPa	GB 1040	110	225	225	100	200	200	90
筒支梁冲击强度/(kJ/m ²)	GB 1042	2100	10000	10000	2060	9800	10000	2060
无缺口	GB 1043	70	60	65	45	45	45	40
缺口		8	10	11	5	10	10	4.5
摩擦因数	GB 3960	0.14	0.15	0.15	0.14	0.15	0.15	0.14
		0.17	0.19	0.19	0.18	0.20	0.20	0.18
塔伯磨损(1N)/(mg/1000r)	GB 3960	12	25	28	15	28	39	13
洛氏硬度(R)	GB 9342	115	119	200	117	119	119	117
热变形温度/℃	GB 1634							
		155	224	225	165	223	225	165
0.45MPa		70	208	210	70	208	210	70
1.82MPa		8.2	3.5	3.4	8.0	3.3	3.2	8.5
热胀系数/(×10 ⁻⁵ °K ⁻¹)	GB 1036	HB	HB	HB	V-0(0.8mm)	V-0(0.8mm)	V-0(0.8mm)	V-0(0.8mm)
阻燃性(3.2mm)	UL94							
体积电阻率(×10 ⁶)/Ω·cm	GB 1410	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
介电常数(10 ⁶ Hz)	GB 1409	2.9	3.3	3.3	2.8	3.2	3.2	2.9
介电损耗角正切值(10 ⁶ Hz)	GB 1409	0.02	0.017	0.017	0.02	0.017	0.017	0.02
介电强度(2mm)/(kV/mm)	GB 1408	22	23	23	22	22	22	22
耐电弧性(1.6,3.2mm)/s	GB 1411	120	120	120	30	30	30	60
相比漏电起痕指数/V(3.2mm)	GB 4207	600	600	600	225	225	225	300

项 目		测试标准	309-G30 (原 802-G30)	T309-G30 (原 802C-G30)	201G30	310G0	301G10	301G20	301G30
(续)									
密度/(g/cm ³)		GB 1033	1.51	1.51	1.55	1.30	1.48	1.51	1.55
吸水性(23℃,24h)(%)		GB 1034	0.06	0.06	0.06	0.08	0.075	0.065	0.06
成型收缩率(%)	垂直	ASTM D955							
	平行								
拉伸强度/MPa		GB 1040	0.8	0.6	1.0	2.2	1.5	1.0	0.8
断裂伸长率(%)		GB 1040	0.2	0.2	0.2	1.5	0.7	0.3	0.2
弯曲强度/MPa		GB 1042	120	120	120	58	80	95	120
弯曲弹性模量/MPa		GB 1042	4	4					
筒支梁冲击强度/(kJ/m ²)	无缺口	GB 1043	190	190	185	90	120	160	185
	缺口		10300	10300					
摩擦因数	对本树脂	GB 3960	45	45	34	19	19	24	34
	对钢	GB 3960	10	10	10	6	6	7	10
	对本树脂		0.15	0.15					
泰伯磨损(1N)/(mg/1000r)		GB 3960	0.20	0.20					
洛氏硬度(R)		GB 9342	26	28					
热变形温度/℃		GB 1634	119	200					
	0.45MPa		221	223					
	1.82MPa		205	208	210	65	190	205	210
热胀系数/(×10 ⁻⁵ °K ⁻¹)		GB 1036	4.0	3.5					
阻燃性(3.2mm)		UL94	V-0(0.8mm)	V-0(0.8mm)	HB	V-0	V-0	V-0	V-0
体积电阻率(×10 ⁶)/Ω·cm		GB 1410	3.0	3.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
介电常数(10 ⁶ Hz)		GB 1409	3.2	3.2	4.2	3.5	3.5	3.7	4.2
介电损耗角正切值(10 ⁶ Hz)		GB 1409	0.017	0.017	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
介电强度(2mm)/(kV/mm)		GB 1408	22	22	25	21	23	24	25
耐电弧性(1.6,3.2mm)/s		GB 1411	60	60					
相比漏电起痕指数/VI(3.2mm)		GB 4207	300	300					

(2) 上海涤纶厂的增强 PBT(表 5-41)

表 5-41 上海涤纶厂增强 PBT 的性能

项 目		SD202	SD212	SD213	SD213 W	SD2000	SD2100
密度/(g/cm ³)						1.32	1.48
成型收缩率(%)						1.2~2.2	1.2~2.0
拉伸强度/MPa		80~120	100~115	115~145	≥100	55	51
伸长率(%)		4					
弯曲强度/MPa		150~200	160~200	180~220	≥140	110	99
压缩强度/MPa		110~130				119	95
冲击强度(悬臂梁缺口)/(kJ/m)		0.06~0.15	0.07~0.12	0.07~0.12	≥0.07	0.064	0.055
冲击强度(悬臂梁无缺口)/(kJ/m)		0.35~0.60		0.35~0.45	≥0.30	0.318	0.176
布氏硬度		1.8					
马丁耐热温度/℃		160~190				49	52
热变形温度/℃		210	>200	>200	≥200	64	63
介电强度/(kV/mm)		20	≥23	≥23			
体积电阻率/Ω·cm		10 ¹⁵	10 ¹⁵	10 ¹⁵	2×10 ¹⁶	2.6×10 ¹⁶	3×10 ¹⁴
介电常数(10 ⁶ Hz)		3.2	2.8~3.8	2.8~3.8	≤3.7	2.84	2.4~3.3
介电损耗角正切值 10 ⁶ Hz					≤1.1×10 ⁻²	2.4×10 ⁻²	2×10 ⁻²
燃烧性 UL94			V-0	V-0	V-0		V-0

(3) 上海杰事杰材料新技术公司的增强阻燃 PBT(表 5-42)

表 5-42 上海杰事杰材料新技术公司增强阻燃 PBT 的性能

牌 号	密度 (g/cm ³)	成型收缩 (%)	玻璃纤 维含量 (%)	阻燃 (UL94)	特性和主要用途	拉伸 强度 (MPa)	伸长率 (%)	弯曲 强度 (MPa)	悬臂梁冲击 强度/(J/m)		弯曲弹 性模量 (MPa)	体积 电阻率 (Ω·cm)	介电 常数 (10 ⁶ Hz)	介电 强度 (kV/mm)
									无缺口	有缺口				
FRPBT-G10	1.43	0.6~1.1	10	V-0	阻燃,宜制汽	70	4.4	130	38	290	3000	10 ¹⁶	3.3	20
FRPBT-G20	1.50	0.3~1.0	20	V-0	车接插件、电子	100	4.2	160	60	350	5000	10 ¹⁶	3.4	20
FRPBT-G30	1.60	0.4~0.9	30	V-0	元器件、机械工	110	3.5	175	68	440	6400	10 ¹⁶	3.5	20
FRPBT-GT30	1.57	0.4~0.9	30	V-0	元件等	105	5	170	150	500	6000	10 ¹⁶	3.4	20

(4) 北京泛威工程塑料公司的 PBT(表 5-43)

表 5-43 北京泛威工程塑料公司 PBT 的性能

项 目	测试标准	211- G10	211- G20	211- G30	211C- G30	311- G10	311- G20	311- G30	311C- G20	311C- G30	312- G0	312- G10
密度/(g/cm ³)	GB 1033	1.36	1.40	1.45	1.45	1.42	1.46	1.51	1.46	1.51	1.39	1.40
吸水性(%)	GB 1034	0.08	0.07	0.06	0.06	0.08	0.07	0.06	0.07	0.06	0.09	0.08
成型收缩率(垂直/水平)(%)	JB 891	1.0/0.6	0.8/0.4	0.7/0.2	0.6/0.2	1.0/0.6	0.9/0.4	0.8/0.2	0.9/0.4	0.5/0.2	2.0/1.5	1.0/0.6
拉伸强度/MPa	GB 1040	100	120	135	140	100	120	135	125	140	60	100
断裂伸长率(%)	GB 1040	10	6	5	5	7	5	4	5	4	8	7
弯曲强度/MPa	GB 9341	170	190	225	225	170	180	210	180	210	100	165
弯曲弹性模量/GPa	GB 9341	4.0	6.0	10.0	10.0	4.0	6.0	10.0	6.0	10.0	2.0	4.0
简支梁冲击强度/(kJ/m ²)												
无缺口	GB 1043	35	45	60	65	35	45	50	45	50	60	35
缺口	GB 1043	9	10	10	11	9	10	11	10	11	7	9
洛氏硬度(R)	GB 9342	117	118	119	200	118	118	119	119	200	117	118
Taber 磨耗量/(mg/kg)	GB 3960	21	24	25	28	25	27	28	28	30	13	23
摩擦因数	GB 3960	0.14	0.15	0.15	0.15	0.14	0.15	0.15	0.14	0.15	0.14	0.14
对本树脂	GB 3960	0.17	0.19	0.19	0.19	0.18	0.19	0.20	0.19	0.20	0.18	0.18
介电强度(2mm)/(MV/m)	GB 1408	23	23	23	23	22	22	22	22	22	22	22
体积电阻率/(×10 ¹⁴ Ω·cm)	GB 1410	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
表面电阻率/(×10 ¹⁵ Ω)	GB 1410	5.0	5.0	5.0	5.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
介电常数(10 ⁶ Hz)	GB 1409	3.0	3.2	3.3	3.3	2.9	3.1	3.2	3.1	3.2	2.8	2.9
介电损耗角正切值(10 ⁶ Hz)/(×10 ⁻²)	GB 1409	1.9	1.8	1.7	1.7	1.9	1.8	1.7	1.8	1.7	2.0	1.9
耐电弧性(1.6mm/m)/s	GB 1411	120	120	120	120	30	30	30	30	30	60	60
相比漏电起痕指数(3.2mm)/V	GB 4207	600	600	600	600	225	225	225	225	225	300	300
燃烧性(3.2mm)	UL94	HB	HB	HB	HB	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0
热变形温度/℃	GB 1634	213	221	224	225	212	220	223	221	224	160	210
4. 5MPa	GB 1634	190	200	208	210	190	200	208	202	210	70	190
1. 82MPa												
线胀系数/(×10 ⁻⁵ °K ⁻¹)	GB 1036	5.2	4.5	3.5	3.4	5.0	4.3	3.3	4.2	3.2	8.5	5.5

(续)

项 目	测试标准	312- G20	312- G30	312C- G30	802- G0	802- G10	802- G20	802- G30	802C- G30	101	201 -G30	301- G0
密度/(g/cm ³)	GB 1033	1.44	1.49	1.49	1.40	1.45	1.48	1.51	1.51	1.33	1.55	1.48
吸水性(%)	GB 1034	0.07	0.06	0.06	0.09	0.08	0.07	0.06	0.06	0.11	0.09	0.10
成型收缩率(垂直/水平)(%)	JB 894	0.9/0.4	0.8/0.4	0.6/0.2	2.0/1.5	1.0/0.6	0.9/0.4	0.8/0.2	0.6/0.2	1.2/2.2	0.4/0.8	1.4/2.0
拉伸强度/MPa	GB 1040	115	135	140	60	90	105	120	120	55	120	54
断裂伸长率(%)	GB 1040	5	4	4	80	6	5	4	4	—	4.2	
弯曲强度/MPa	GB 9341	180	210	210	100	160	180	190	190	90	190	90
弯曲弹性模量/GPa	GB 9341	6.0	10.0	10.0	2.0	3.6	5.7	10.3	10.5	22.0	80.0	22.0
筒支梁冲击强度/(kJ/m ²)												
无缺口	GB 1043	45	50	50	60	30	40	45	45	42	40	25
缺口	GB 1043	10	11	11	7	8	9	10	10	3.5	10.0	4
洛氏硬度(R)	GB 9342	118	119	200	117	118	118	119	200	80	88	80
Taber 磨耗量/(mg/kg)	GB 3960	25	27	28	15	23	25	26	28			
摩擦因数	GB 3960	0.15	0.15	0.15	0.14	0.14	0.15	0.15	0.15			
对钢	GB 3960	0.19	0.20	0.20	0.18	0.18	0.19	0.20	0.20			
对本树脂	GB 3960	0.19	0.20	0.20	0.18	0.18	0.19	0.20	0.20			
介电强度(2mm)/(MV/m)	GB 1408	22	22	22	22	22	22	22	22	19	21	19
体积电阻率/($\times 10^{14}\Omega\cdot\text{cm}$)	GB 1410	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	10 ¹⁴	10 ¹⁴	10 ¹⁴
表面电阻率/($\times 10^{15}\Omega$)	GB 1410	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	—	—	—
介电常数(10^6Hz)	GB 1409	3.1	3.2	3.2	2.8	3.0	3.1	3.2	3.2	3.2	3.0	3.0
介电损耗角正切值/($\times 10^{-2}$, 10^6Hz)	GB 1409	1.8	1.7	1.7	2.0	1.9	1.8	1.7	1.7	2.5	2.5	2.0
耐电弧性(1.6mm/m)/s	GB 1411	60	60	60	30	60	60	60	60	—	—	—
相比漏电起痕指数/V(3.2mm)	GB 4207	300	300	300	225	300	300	300	300	—	—	—
燃烧性(3.2mm)	UL94	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0	HB	HB	V-0
热变形温度/℃	GB 1634	219	220	224	165	210	218	221	223	—	—	—
4.5MPa	GB 1634	200	208	208	70	190	200	205	208	62	208	60
1.82MPa	GB 1634	200	208	208	70	190	200	205	208	62	208	60
线胀系数/($\times 10^{-5}\text{K}^{-1}$)	GB 1036	4.3	4.0	3.5	8.0	5.5	4.3	4.0	3.5	8	2.5	4.18

项 目	测试标准	(续)										
		301- G10	301- G15	301- G20	301- G30	302- G30	304- G20	304- G30	305- G30E	431- CM30S	551- GT20S	551- GT30S
密度/(g/cm ³)	GB 1033	1.52	1.54	1.60	1.65	1.60	1.60	1.65	1.65	1.61	1.55	1.60
吸水性(%)	GB 1034	0.09	0.08	0.07	0.06	0.08	0.07	0.07	0.07	0.09	0.06	0.06
成型收缩率(垂直/水平)(%)	JB 894	0.6/1.1	0.5/0.9	0.4/0.8	0.4/0.8	0.4/0.9	0.4/0.8	0.4/0.7	0.4/0.8	0.3/0.6	0.4/0.6	0.3/0.5
拉伸强度/MPa	GB 1040	76	88	92	120	110	110	120	125	90	76	80
断裂伸长率(%)	GB 1040	4.1	4.0	3.8	3.4	3.5	3.8	3.6	3.4	3.4	3.6	3.4
弯曲强度/MPa	GB 9341	110	130	160	180	175	155	167	190	140	100	105
弯曲弹性模量/GPa	GB 9341	4.0	5.0	6.0	8.0	7.0	5.0	7.0	8.5	6.5	4.0	5.0
简支梁冲击强度/(kJ/m ²)												
无缺口	GB 1043	30	35	40	50	38	46	46	50	30	23	25
缺口	GB 1043	7	7	8	10	7	9	10	10	10	5	7
洛氏硬度(R)	GB 9342	84	86	88	90	86	80	85	90	90	85	90
Taber 磨耗量/(mg/kg)	GB 3960	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
摩擦因数	GB 3960	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
对本树脂	GB 3960	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
介电强度(2mm)/(MV/m)	GB 1408	21	21	21	21	20	22	22	22	25	21	23
体积电阻率/(×10 ¹⁴ Ω·cm)	GB 1410	10 ¹⁴	10 ¹⁴	10 ¹⁴	10 ¹⁴	10 ¹⁴	10 ¹⁴	10 ¹⁴	10 ¹⁴	10 ¹⁴	10 ¹⁴	10 ¹⁴
表面电阻率/(×10 ¹⁵ Ω)	GB 1410	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
介电常数(10 ⁶ Hz)	GB 1409	3.2	3.3	3.5	3.5	3.3	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
介电损耗角正切值/(×10 ⁻² ,10 ⁶ Hz)	GB 1409	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
耐电弧性(1.6mm/m)/s	GB 1411	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
相比漏电起痕指数/V(3.2mm)	GB 4207	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
燃烧性(3.2mm)	UL94	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0
热变形温度/℃	GB 1634	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4.5MPa	GB 1634	195	200	200	205	200	200	210	210	200	155	170
1.82MPa	GB 1634	195	200	200	205	200	200	210	210	200	155	170
线胀系数/(×10 ⁻⁵ K ⁻¹)	GB 1036	4.1	3.8	3.5	2.5	2.5	3.6	2.6	2.6	2.0	2.5	2.2

(5) 江苏仪征化纤集团工程塑料厂的 PBT(表 5-44)

表 5-44 江苏仪征化纤集团工程塑料厂 PBT 的性能

牌 号	密度 /(g/cm ³)	吸水性 (23℃, 24h)	成型收缩率 (%)	增强物含量 (%)	拉伸强度 /MPa	断裂伸长率 (%)	弯曲强度 /MPa	弯曲弹性量 /MPa	悬臂梁冲击强度 (缺口/无缺口) /(J/m)
	D792	D570	D955		D638	D638	D790	D790	D256
2000	1.31	0.08	0.8~2.0	—	52	140	82	2300	44/—
2003	1.40	0.06	0.4~2.0	15	90	4	136	1360	50/—
2004	1.46	—	—	20	106	3.2	182	6470	65/298
2006	1.53	0.06	0.2~1.4	30	122	3.0	188	7530	85/—
2010	1.40	0.08	1.5~2.3	—	54	16	88	2370	31/—
2012	1.46	0.09	0.7~1.5	10	94	4.2	144	4265	49/290
2013	1.52	0.05	0.4~2.0	15	92	4~5.5	147	4720	52/—
2014	1.57	0.08	0.3~1.6	20	104	3	170	6680	58/380
2016	1.63	0.06	0.4~1.0	30	120	3	188	8660	67/—
2100	1.31	0.08	0.8~2.0	—	52	28	82	2330	35/—
2512	1.16	0.09	0.6~1.2	10	70	4	118	3870	36/—
2514	1.54	0.09	0.5~1.0	20	104	3.3	154	6270	64/—
2516	1.63	0.09	0.4~1.0	30	120	2.8	183	8330	71/—
2806M	1.56	—		30	100	2.6	180	8000	75/—

牌 号	洛氏硬度 (R)	热变形温度 (0.45MPa) /℃	热变形温度 (1.8MPa) /℃	线胀系数 /(×10 ⁻⁵ K ⁻¹)	燃烧性	介电损耗 角正切值 (50Hz/1MHz)	介电常数 (50Hz/1MHz)	体积电阻率 /Ω·cm	介电强度 /(kV/mm)
	D785	D648	D648	D696	UL94	D150	D150	D257	D149
2000	117	154	60	9.0	HB	0.002/0.02	3.3/3.3	3.0×10 ¹⁶	18
2003	118	212	190	2.2	HB	—/0.02	—/3.4	>10 ¹⁸	20
2004	—	—	205	3~10	HB	—	—	3×10 ¹⁶	22

牌 号	洛氏硬度 (R)	热变形温度 (0.45MPa) /℃	热变形温度 (1.8MPa) /℃	线胀系数 /($\times 10^{-5} \text{K}^{-1}$)	燃烧性	介电损耗 角正切值 (50Hz/1MHz)	介电常数 (50Hz/1MHz)	体积电阻率 / $\Omega \cdot \text{cm}$	介电强度 /(kV/mm)
	D785	D648	D648	D696	UL94	D150	D150	D257	D149
2006	118	220	210	3.0	HB	—/0.02	—/3.7	10^{16}	22
2010	110	164	64	7.6	V-0	0.002/0.02	3.0/2.9	10^{16}	20
2012	115	210	185	5.0	V-0	0.002/0.018	3.2/3.0	10^{16}	20
2013	118	215	194	4	V-0	—/0.02	—/3.4	2×10^{16}	22
2014	118	215	200	4.4	V-0	0.002/0.018	3.3/3.1	10^{16}	20
2016	120	221	209	3	V-0	0.003/0.016	3.8/3.6	10^{16}	20
2100	117	154	56	9.5	HB	0.002/0.02	3.3/3.3	3.0×10^{16}	18
2512	120	205	182	6.8	V-0	—/0.02	—/3.0	4×10^{16}	22
2514	119	213	201	4.2	V-0	—/0.019	—/3.3	3×10^{16}	22
2516	119	216	205	—	V-0	—/0.02	—/3.4	1.5×10^{16}	22
2806M	—	—	202	—	HB	—	—	2×10^{15}	24

(6) 南京立汉化学公司的 PBT(表 5-45)

表 5-45 南京立汉化学公司 PBT 的性能

项 目	ASTM	T602 增韧	T703 增强	T704 增强	T706 增强	T9000 阻燃	T9703 增强阻燃	T9704 增强阻燃	T9706 增强阻燃
断裂拉伸强度/MPa	D638	38	98	110	125	56	100	110	125
断裂伸长率(%)	D638	>30	3.5	3.2	2.5	5	3	3	2.5
屈服弯曲强度/MPa	D790	55	150	170	200	80	140	146	155
弯曲弹性模量/MPa	D790	1500	4600	5500	7500	2300	5000	6000	7500
Izod 缺口冲击强度/(J/m)	D256	500	52	65	80	25	50	58	70
洛氏硬度(R)		110	119	119	120	119	120	120	119

(续)

项 目	ASTM	T602	T703	T704	T706	T9000	T9703	T9704	T9706
燃烧性	UL94	HB	HB	HB	HB	V-0	V-0	V-0	V-0
热变形温度/℃	0.45MPa 1.81MPa	120	220	220	222	170	220	220	220
体积电阻率/Ω·cm	D648	50	205	205	210	60	200	200	205
表面电阻率/Ω	D257	10 ¹⁶	10 ¹⁶	10 ¹⁶	10 ¹⁶	10 ¹⁶	10 ¹⁶	10 ¹⁶	10 ¹⁶
介电强度/(kV/mm)	D257	10 ¹³	10 ¹³	10 ¹³	10 ¹³	10 ¹³	10 ¹³	10 ¹³	10 ¹³
成型收缩率(mm/mm)	D955	15	15	15	20	15	20	20	20
熔点/℃		0.013~ 0.024 220~225	0.008~ 0.012 220~225	0.006~ 0.009 220~225	0.003~ 0.007 220~225	0.011~ 0.018 220~225	0.005~ 0.014 220~225	0.005~ 0.013 220~225	0.003~ 0.010 220~225

(7) (北京)海尔科化工工程塑料国家研究中心的玻璃纤维增强 PBT(表 5-46)

表 5-46 玻璃纤维增强 PBT 的性能

项 目	GB 标准	KHPBT- G125	KHPBT- G217	KHPBT- G318F ₀	项 目	GB 标准	KHPBT- G125	KHPBT- G217	KHPBT- G318F ₀
密度/(g/cm ³)	1033	1.35~1.37	1.40~1.42	1.44~1.46	弯曲弹性模量/MPa	≥	9341	6000	10000
拉伸强度/MPa	≥	1040	110	120	Izod 缺口冲击强度/(J/m)	≥	1840	80	50
断裂伸长率(%)	≥	1040	5	5	热变形温度(0.46MPa)/℃	≥	1634	210	215
弯曲强度/MPa	≥	9341	170	200	燃烧性(UL94)		HB	HB	V-0

(8) 浙江(东阳)横店工程塑料公司的改性 PBT(表 5-47)

表 5-47 浙江(东阳)横店工程塑料公司改性 PBT 的性能

项 目	ISO	玻璃纤维增强型			玻璃纤维增强阻燃型		
		A15	A20	A30	B	B10	B20
密度/(g/cm ³)	1183	1.40	1.45	1.51	1.40	1.44	1.52
模塑收缩率(%)	D955	0.8~1.2	0.6~1.1	1.5~2.2	1.5~2.2	0.7~1.5	0.5~1.1

(续)

项 目	ISO	玻璃纤维增强型				玻璃纤维增强阻燃型			
		A15	A20	A30	B	B10	B20		
吸水性(%)	62	0.09	0.09	0.09	0.11	0.10	0.10		
拉伸强度/MPa	527	98	115	127	55	90	115		
断裂伸长率(%)	527	3.1	2.6	2.2	2.0	3.2	2.6		
冲击强度/(kJ/m ²)	179	8.0	8.5	9.5	5	8.5	10		
	179	40	43	44	32	42	44		
弯曲强度/MPa	178	140	178	185	88	142	175		
洛氏硬度(R)	2039/2	115	117	118	102	114	115		
热变形温度(1.82MPa)/℃	75	214	216	217	61	208	214		
燃烧性	UL94	HB	HB	HB	V-0	V-0	V-0		
表面电阻率/Ω	IEC93	1.4×10 ¹⁵	1.3×10 ¹⁵	1.4×10 ¹⁵	1.5×10 ¹⁵	1.6×10 ¹⁵	1.6×10 ¹⁵		
体积电阻率/Ω·cm	IEC93	1.1×10 ¹⁴	1.1×10 ¹⁴	1.2×10 ¹⁴	1.1×10 ¹⁴	1.2×10 ¹⁴	1.2×10 ¹⁴		
介电常数(1MHz)	IEC250	3.2	3.1	3.3	3.0	3.1	3.2		
介电损耗角正切值(1MHz)	IEC250	1.1×10 ⁻²	1.1×10 ⁻²	1.3×10 ⁻²	1.1×10 ⁻²	1.2×10 ⁻²	1.2×10 ⁻²		
介电强度/(kV/mm)	D149 ^①	21	21	21	20	20	21		
特征		15% 玻璃 纤维增强	20% 玻璃 纤维增强	30% 玻璃 纤维增强	阻燃	10% 玻璃纤维 增强阻燃	20% 玻璃纤维 增强阻燃		
项 目	ISO	玻璃纤维增强阻燃型			填充型	高光泽型			
		B30	B45	C30	T20	T30			
密度/(g/cm ³)	1183	1.60	1.72	1.61	1.58	1.6			
模塑收缩率(%)	D955	0.3~0.9	0.2~0.6	0.3~0.6	0.4~0.6	0.3~0.5			
吸水性(%)	62	0.10	0.09	0.09	0.10	0.09			
拉伸强度/MPa	527	135	120	63	120	125			
断裂伸长率(%)	527	2.2	1.6	2.8	2.2	2.1			
冲击强度/(kJ/m ²)	179	11	9	5	8	9			
	179	46	42	32	40	41			

(续)

项 目	ISO	玻璃纤维增强阻燃型		填充型	高光泽型	
		B30	B45		T20	T30
弯曲强度/MPa	178	200	194	118	190	192
洛氏硬度(R)	2039/2	117	118	113	114	113
热变形温度(1.82MPa)/℃	75	216	217	195	214	216
燃烧性	UL94	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0
表面电阻率/Ω	IEC93	1.7×10 ¹⁵	1.6×10 ¹⁵	1.8×10 ¹⁵	1.8×10 ¹⁵	1.4×10 ¹⁵
体积电阻率/Ω·cm	IEC93	1.5×10 ¹⁴	1.4×10 ¹⁴	1.4×10 ¹⁴	1.3×10 ¹⁴	1.3×10 ¹⁴
介电常数(1MHz)	IEC250	3.3	3.2	3.1	3.1	3.2
介电损耗角正切值(1MHz)	IEC250	1.4×10 ⁻²	1.5×10 ⁻²	1.1×10 ⁻²	1.3×10 ⁻²	1.1×10 ⁻²
介电强度/(kV/mm)	D149①	20	21	20	20	20
特征		30%玻璃纤维 增强阻燃	45%玻璃纤维 增强阻燃	增强填充, 低翘曲	20%玻璃纤维 增强阻燃,高光泽	30%玻璃纤维 增强阻燃,高光泽

① 为 ASTM 标准。

(9) 南京聚隆化学实业公司的改性 PBT(表 5-48)

表 5-48 南京聚隆化学实业公司改性 PBT 的性能

项 目	测试标准	状 态	IG6	TR0G4	TR0G6
拉伸断裂强度/MPa	ISO 527	干态/湿态	125/—	110/—	120/—
断裂伸长率(%)	ISO 527	干态/湿态	2.5/—	3/—	2.5/—
屈服弯曲强度/MPa	ISO 178	干态/湿态	200/—	145/—	155/—
弯曲弹性模量/MPa	ISO 178	干态/湿态	7500/—	6000/—	7500/—
悬臂梁缺口冲击强度/(J/m)	ISO 180	干态/湿态	80/—	60/—	70/—
洛氏硬度(R)	ISO 2039/2	干态/湿态	R120/—	R120/—	R120/—
熔点/℃	ISO 3416		225	225	225
热变形温度/℃	ISO 75		222	220	220
0.45MPa 1.8MPa	ISO 75		210	200	205
燃烧性	UL94		HB	V0	V0
表面电阻率/Ω	ISO 167	干态/湿态	10 ¹³ /—	10 ¹³ /—	10 ¹³ /—
介电强度/(kV/mm)	IEC 243	干态/湿态	20/—	20/—	20/—

(续)

项 目	测试标准	状 态	TC6	TR0C4	TR0C6
密度/(g/cm ³)	ISO 1183		1.53	1.63	1.72
饱和吸水性(%)	ISO 62		0.35	0.4	0.4
线性成型收缩率/(mm/mm)			0.003~0.007	0.005~0.013	0.003~0.01
牌号	特性和主要用途				
TC6	注射,含30%玻璃纤维,力学性能好,耐高温,成型收缩率小,宜制继电器、电容器、开关、电位器等				
TR0C4	注射,含20%玻璃纤维的阻燃料(V-0级),力学性能好,耐温,宜制高强度电子电器件、定时器、开关插座、灯头、断路器等				
TR0C6	注射,含30%玻璃纤维的阻燃料(V-0级),力学性能、耐温均比TR0C4高,用途与TR0C4相同				

(10) 上海日之升技术发展公司的玻璃纤维增强 PBT(表 5-49)

表 5-49 上海日之升技术发展公司玻璃纤维增强 PBT 的性能

项 目	GB 标准	PBT- VG2	PBT- VG3	PBT- VG4	PBT- VG6	项 目	GB 标准	PBT- VG2	PBT- VG3	PBT- VG4	PBT- VG6
拉伸强度/MPa	1040	85	95	105	125	卡毕缺口冲击强度/(kJ/m ²)	1043	6	7	7	10
断裂伸长率(%)	1040	3	3	3	2	Izod 缺口冲击强度/(J/m)	1843	50	55	60	75
弯曲强度/MPa	9341	130	140	160	185	热变形温度(1.82MPa)/℃	1634	185	190	205	210
弯曲弹性模量/MPa	9341	3600	5000	6000	8500	体积电阻率/(Ω·cm)		10 ¹⁶	10 ¹⁶	10 ¹⁶	10 ¹⁶

(11) 台湾南亚塑胶工业股份有限公司的 PBT(表 5-50)

表 5-50 台湾南亚塑胶工业股份有限公司 PBT 的性能

牌 号	拉伸强度 /MPa	弯曲弹性 模量/MPa	缺口冲 击强度 /(J/m)	热变形温度 (1.86MPa) /℃	介电强度 /(kV/mm)	抗电弧 /s	牌 号	拉伸强度 /MPa	弯曲弹性 模量/MPa	缺口冲 击强度 /(J/m)	热变形温度 (1.86MPa) /℃	介电强度 /(kV/mm)	抗电弧 /s
1100	56	2400	60	60	17	180	1400G3	100	5600	55	180	25	80
1110	55	2400	80	60	17	180	1400G6	145	9100	80	195	24	90
1111FB	57	2400	70	60	17	180	1402G6	125	8400	120	190	24	85
1210G3	100	5000	47	205	22	130	1403G3	93	5600	55	200	20	85
1210G6	135	8500	105	215	25	130	1403G6	125	8200	85	210	20	85
1300	62	2800	40	65	18	60							

(12) 应用

主要用于飞机上开关、继电器、仪表板等,程控交换机集成块、接线板、配电盘,以及变压器骨架、温控开关、电熨斗手柄、散热器零件等。

(三) 国外 PBT 品种与性能

(1) 美国通用电器塑料公司的 Valox PBT(表 5-51)

表 5-51 美国通用电器塑料公司 Valox PBT 的性能

项 目	310	310-SEO	325	357(冲 击性改 良型)	365(冲 击性改 良型)	414	420	420-SEO	430	451	457	507
密度/(g/cm ³)	1.31	1.39	1.31	1.34	1.33	1.63	1.53	1.62	1.52	1.54	1.45	1.51
吸水性(24h)(%)	0.08	0.08	0.08	0.08	0.14	0.05	0.06	0.06	0.05	0.07	0.07	0.06
成型收缩率(纵向/横向)(%)		/1.5	/1.7	/1.1	/1.2	/0.5	0.5/0.8	0.5/0.8	0.5/0.8	—	0.8/1.0	0.3/0.5
拉伸强度/MPa	53	60	53	49	56	130	122	120	116	98	79	120
伸长率(%)	300	80	300	110	120	3	3	3	—	5	5	5
弯曲强度/MPa	84	103	84	85	87.6	204	194	190	176	154	126	190
弯曲弹性模量/MPa	2380	2660	2380	2038	2283	8451	7746	7746	7042	5600	3500	7500
压缩强度/MPa	91	102	91			148	127	127	127	—	—	—
Izod 冲击强度(缺口,厚3.2mm)/(J/m)	60	40	60	1020	1530	97	86	65	132	6	5	10
洛氏硬度	117	120	117	117	115	118	118	119	125	119	18	119
热变形温度(1.86MPa)/℃	54	71	54	99	121	204	207	204	204	205	182	200
热胀系数(-40 ~40℃)/(×10 ⁻⁵ K ⁻¹)	8.1	7.9	8.1	9.2	—	2.7	2.5	2.5	—	3	4	3
介电强度(1.6mm)/(kV/mm)	23	22	23	25	—	26	25	24	—	30	29	30
介电常数(100Hz)	3.3	3.1	3.3	3.2	—	4.0	3.8	3.8	—	3.8	3.3	3.7
体积电阻率/(×10 ⁻¹⁶ Ω·cm)	4.0	1.6	4.0	1.2	—	2.5	3.2	3.4	—	3.4	5.5	1.0
燃烧性(UL94)	HB	5V/ 3.048mm V-0/ 0.7112mm	HB/ 1.473mm	V-0/ 0.635mm	V-0/ 0.7874mm	—	HB/ 0.7112mm	V-0/ 0.7112mm 5V/ 2.286mm	HB/ 1.575mm	V-0	V-0	HB

项 目	(续)													
	508	553	701	735	740	751	752	760	780	815	830	850	855	865
密度/(g/cm ³)	1.50	1.58	1.59	1.62	1.48	1.82	1.83	1.55	1.77	1.43	1.54	1.51	1.54	1.66
吸水性(24h)(%)	0.06	0.07	0.07	0.07	0.05	0.07	0.07	0.05	0.02	0.06	0.06	—	0.06	0.03
成型收缩率(纵向/横向)(%)	0.4/	0.25/	0.6/	0.4/	0.8/	0.6/	0.4/		0.35/	0.7/	0.5/		0.7/	0.6/
	0.7	0.35	0.8	0.6	1.2	0.8	0.6		0.5	0.9	0.7		0.9	0.8
拉伸强度/MPa	126	127	77	81	48	87	88	56	99	85	106	92	99	1126
伸长率(%)	—	5	6	—	20	4	4	15	—	3	3	5	5	—
弯曲强度/MPa	173	197	127	141	87	137	137	106	169	141	176	141	155	183
弯曲弹性模量/MPa	7042	7042	5634	7042	3169	8420	84507	3521	10563	4577	7042	5282	5282	7746
压缩强度/MPa	118	138	134	103	77	—	106	70	141	154	154	105	1124	138
Izod 冲击强度(缺口,厚3.2mm)/(J/m)	109	76	32	76	81	1.7	37	54	60	37	81	43	54	76
洛氏硬度	119	118	119	109	113	114	114	113	116	119	119	121	119	119
热变形温度(1.86MPa)/℃	176	160	199	199	—	193	193	76	193	160	193	187	187	193
热胀系数(−40~40℃)/(×10 ^{−5} K ^{−1})	2.3	2.2	3.4	2.5	8.5	2.8	2.7	6.8	2.5	4.5	2.5	4.1	4.5	2.2
介电强度(1.6mm)/(kV/mm)	29	26	26	29	25	29	27	27	26	24	25	23	22	23
介电常数(100Hz)	3.6	3.8	3.7	4.3	3.5	4.0	4.0	3.1	3.9	3.6	3.6	3.5	3.5	3.8
体积电阻率/(×10 ^{−16} Ω·cm)	5.9	4.3	3.7	0.13	0.50	0.13	0.90	0.66	0.35	5.6	4.0	3.9	4.5	1.8
燃烧性(UL94)	HB/	V-0/		HB/	HB/		V-0/	V-0/	V-0/	HB/	HB/	V-2/	V-0/	V-0/
	1.473	0.838	—	0.813	1.60	V-0	0.813	1.473	0.813	1.60	1.60	1.575	1.575	1.575
	mm	mm		mm	mm		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm

(续)													
项 目	9230	DR51	DR48	FV600	FV620	FV649	FV699	PDR 4908	PDR 4911	PDR 4912	VC108	VC112	VC120 VC130
密度/(g/cm ³)	1.60	1.41	1.53	1.5	1.62	1.26	1.27	1.6	1.62	1.48	1.40	1.41	1.44 1.47
吸水性(24h)(%)	0.08	0.07	0.07	0.06	0.04	0.15	0.12	0.07	0.07	0.07	—	—	—
成型收缩率(纵向/横向)(%)	0.3/0.5	0.7/0.9	0.7/0.9	1.0/—	0.35/0.9	0.35/0.9	0.35/0.5	0.5/0.8	0.5/0.8	0.7/0.9	0.4/0.9	0.25/0.75	0.15/0.65
拉伸强度/MPa	140	95	95	91	68	42	42	110	120	80	100	120	150 170
伸长率(%)	8	5	5	4	4	4	4	6	3	8	—	—	—
弯曲强度/MPa	180		147.8	139	110	65	65	160	180	110	145	180	220
弯曲弹性模量/MPa	8900	493	514	5840	5200	2170	2160	7000	8000	4000	5700	7500	12000 15000
压缩强度/MPa	2.7	105.6	105.6										
Izod 冲击强度(缺口,厚3.2mm)/(J/m)		54	54	69	53	107	108	10	10	6	5	5	6
洛氏硬度		118	118	—	—	—	—	119	119	118	—	—	—
热变形温度(1.86MPa)/℃	230	190	182	146	141	108	108	205	205	183	170	180	200
热胀系数(−40~40℃)/(×10 ^{−5} K ^{−1})	2.6	2.2	2.0	2.3	1.2	1.3	1.3	3	3	4	8	6	5
介电强度(1.6mm)/(kV/mm)	33	23	26	—	—	—	—	26	30	29	—	—	—
介电常数(100Hz)	3.7	3.6	3.6	—	—	—	—	3.8	3.8	3.6	—	—	—
体积电阻率/(×10 ^{−16} Ω·cm)	1.8	3.3	3.6	—	—	—	—	3.4	3.4	3.6	10 ⁴ ~10 ⁶	10~10 ³	10
燃烧性(UL94)	HB	HB/1.473mm	V-0/0.7122mm 5V/3.048mm	HB	V-0	HB	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0

(2) 美国尔特普公司的 RTP PBT(表 5-52)

表 5-52 美国尔特普公司 RTP PBT 的性能

牌 号	密 度 /(g/cm ³)	拉 伸 强 度 /MPa	伸 长 率 (%)	弯 曲 弹 性 模 量 /GPa	Izod 缺 口 冲 击 强 度 /(J/m)	热 变 形 温 度/℃		短 玻 璃 纤 维 (%)	特 性
						0. 44MPa	1. 42MPa		
1000FRA	1. 42	59	8. 0	2. 8	—	160	71		阻燃
1000-GB10	1. 38	48	4. 0	2. 9	—	154	82	10(玻璃珠)	尺寸稳定,低吸水
1000-GB20	1. 45	48	3. 0	3. 4	—	177	166	20(玻璃珠)	尺寸稳定,低吸水
1000-GB30	1. 53	50	3. 0	4. 0	—	182	171	30(玻璃珠)	尺寸稳定,低吸水
1000-GB40	1. 62	52	2. 0	4. 7	—	193	182	40(玻璃珠)	尺寸稳定,低吸水
1001	1. 38	76	3. 5	4. 1	—	182	171	10	抗拉伸
1001-GB20	1. 52	54	2. 5	5. 0	—	204	—	10、20(玻璃珠)	尺寸稳定,高刚度
1001-M20	1. 54	57	2. 5	5. 2	—	210	—	10、20(矿物)	尺寸稳定
1002FR-A	1. 53	103	3. 5	5. 7	—	210	188	15	阻燃 V-0,抗拉伸
1002-TFE15	1. 52	76	2. 5	4. 8	—	210	182	15(聚四氟乙烯)	耐磨,自润滑
1003	1. 45	114	3. 0	5. 7	—	210	204	20	尺寸稳定,低吸水
1005	1. 53	124	2. 5	8. 2	—	216	213	30	尺寸稳定,低吸水
1005FR	1. 66	145	3. 0	9. 1	—	213	210	30	阻燃 V-0,抗拉
1005FR-A	1. 63	138	3. 0	10. 3	—	210	204	30	阻燃 V-0,抗拉
1005-TFE15	1. 65	115	2. 0	9. 1	—	—	210	15(聚四氟乙烯)	耐磨,耐高温
1007	1. 63	148	2. 0	10. 3	—	216	213	40	高刚性,尺寸稳定
1007-GB10	1. 72	145	2. 2	10. 3	—	216	210	40、10(玻璃珠)	高刚性,低吸水
1025	1. 62	110	2. 5	5. 3	—	213	206	50,其中含玻璃珠	高刚性
1026	1. 62	53	2. 5	5. 7	—	210	204	10,其中含矿物	尺寸稳定
1027	1. 62	62	2. 5	4. 8	—	204	193	10,其中含矿物	尺寸稳定
1028	1. 71	47	2. 0	5. 4	—	204	193	10,其中含矿物	尺寸稳定

(续)

牌号	密度 (g/cm ³)	拉伸强度 /MPa	伸长率 (%)	弯曲弹性模量 /GPa	Izod 缺口 冲击强度 (J/m)	热变形温度/℃		短玻璃纤维 (%)	特 性
						0.44MPa	1.42MPa		
1085	1.42	173	1.5	17.3	—	221	216	30(碳纤维)	高刚性,抗拉伸
1085TFE15	1.51	131	—	16.6	—	216	213	30(碳纤维,聚四氟乙烯)	刚性、润滑性好,耐高温
1087	1.48	193	1.5	20.7	—	221	216	40(碳纤维)	高刚性,高抗拉伸
ESD-A1000	1.25	34	2.0	2.1	43	132	63		抗静电
ESD-A1005	1.57	103	2.0	8.2	75	219	204		导电
ESD-A1005FR	1.66	103	1.5	9.7	69	204	199	30	阻燃 V-0
ESD-C1000	1.25	34	2.0	2.1	43	132	63		抗静电
ESD-C1005	1.57	110	2.0	8.2	75	219	204	15	抗拉,高刚性
ESD-C1005FR	1.66	103	1.5	9.7	69	204	199	30	阻燃 V-0,高刚性
ESD-C1080	1.36	97	>2.0	6.2	53	182	171	15(碳纤维)	导电

(3) 日本工程塑料公司的 Valox PBT(表 5-53)

表 5-53 日本工程塑料公司 Valox PBT 的性能

项 目	310/ 325	310- SEO	357	DR-51	420	457	DR-48	420- SEO	553	735	750	830	865
密度/(g/cm ³)	1.31	1.41	1.36	1.41	1.52	1.45	1.53	1.62	1.64	1.62	1.80	1.54	1.66
吸水性(%)	0.08	0.08	0.08	0.07	0.06	0.07	0.07	0.07	0.06	0.08	0.07	0.06	0.07
成型收缩率(×10 ⁻³)/(mm/mm)	10~13	10~17	10~16	6~8 ^① 7~11 ^②	4~6 ^② 6~10 ^②	7~9 ^① 8~12 ^②	6~8 ^① 7~11 ^②	4~6 ^① 6~10 ^②	2~3 ^① 3~5 ^②	2~5 ^① 4~9 ^②	3~5 ^① 5~7 ^②	4~6 ^① 6~8 ^②	4~6 ^① 6~8 ^②
热变形温度/℃	154	163	138	210	215	204	210	215	210	220	204	220	210
	55	71	99	190	208	160	182	205	171	200	193	193	200
线胀系数/(×10 ⁻⁵ K ⁻¹)	13	9	13	5	3	9	4	3	3	4	3	3	3

(续)

项 目	310/ 325	310- SEO	357	DR-51	420	457	DR-48	420- SEO	553	735	750	830	865
燃烧性(Ul94)	HB	V-0	V-0	HB	HB	V-0	V-0	V-0	V-0	HB	V-0	HB	V-0
拉伸强度/MPa	53.0	60.0	49.0	91.0	120.0	79.0	91.0	120.0	120.0	90.0	90.0	110.0	110.0
伸长率(%)	300	80	50	5	3	5	5	3	5	3	3	3	3
弯曲强度/MPa	84.0	100.0	94.5	140.0	193.0	126.0	140.0	190.0	180.0	150.0	120.0	170.0	175.0
弯曲弹性模量/GPa	2.4	2.6	2.38	4.5	7.7	3.5	5.0	8.0	7.5	7.0	8.4	7.7	8.0
悬臂梁缺口抗冲击强度/(kJ/m ²)	0.06	0.05	0.12	0.07	0.10	0.06	0.055	0.010	0.08	0.08	0.06	0.08	0.08
洛氏硬度(R)	117	120	117	118	118	118	118	119	118	110	114	119	119
介电常数	100Hz	3.3	3.2	3.6	3.8	3.3	3.6	3.8	3.6	4.0	3.7	3.6	3.6
	10 ⁶ Hz	3.1	3.1	3.4	3.7	3.2	3.4	3.7	3.5	3.8	3.6	3.5	3.5
介电损耗角正切值	100Hz	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.006	0.006	0.002	0.003
	10 ⁶ Hz	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.016	0.016
体积电阻率/(×10 ¹⁶ Ω·cm)	4	2.2	1	3.3	3.2	5.5	3.6	3.4	1.0	0.1	0.9	0.13	1.8

①横向。②纵向。

(4) 日本帝人工业公司的 Teijin PBT(表 5-54)

表 5-54 日本帝人工业公司 Teijin PBT 的性能

项 目	ASTM 标准	非增强			玻璃纤维增强			特殊增强		特 殊	
		一般	阻燃		一般	阻燃		一般	阻燃	软质	遮光
			CN	CNN		CN	CNN				
		C7000	7000	7000	C7015	C7030	7015	C7640	XCN	CE7300	C7000W6
密度/(g/cm ³)	D792	1.31	1.42	1.45	1.41	1.52	1.50	1.56	1.79	1.22	1.60
吸水性(23℃水中,24h)(%)	D570	0.09	0.08	0.08	0.08	0.06	0.06	0.06	0.03	0.09	0.06
		1.1~	1.1~	1.1~	0.4~	0.1~	0.4~	0.90	0.3~	1.0~	1.20
成型收缩率(%)		2.2	2.2	2.2	1.6	1.3	1.6	1.3	1.3	2.0	

(续)

项 目	ASTM 标准	非增强			玻璃纤维增强				特殊增强		特 殊	
		一般	阻燃		一般		阻燃		一般	阻燃	软质	遮光
			CN 7000	CNN 7000	C7015	C7030	CN 7015	CN 7030				
拉伸强度/MPa	D638	54.0	62.0	65.0	98.0	135.0	90.0	125.0	60.0	110.0	48.0	57.0
断裂伸长率(%)	D633	360	20	20	6	4	5	5	6	4	135	4
弯曲强度/MPa	D790	85.0	98.0	95.0	155.0	190.0	130.0	185.0	97.0	165.0	63.0	93.0
弯曲弹性模量/MPa	D790	2400.0	2700.0	2900.0	5200.0	9000.0	5400.0	9000.0	5200.0	10000.0	1500.0	3500.0
冲击强度/(kJ/m ²)	D256	0.052	0.035	0.032	0.051	0.104	0.054	0.095	0.058	0.08	0.14	0.048
缺口 无缺口	D256	NB	50	60	43	68	32	71	54	55	NB	4.5
压缩强度/MPa	D695	80.0	90.0	85.0	105.0	125.0	102.0	120.0	10.0	120.0	—	80.0
洛氏硬度	D758	M80	M85	M85	M92	M96	M93	M96	M95	M95		M89
摩擦因数	D1894	0.13	0.13	0.13	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.18	0.13	0.16
对铝	D1894	0.17	0.17	0.17	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.27	0.17	0.22
对同材料	D1044	11	15	16	21	25	23	33	30	47	16	50
泰伯磨耗(1000g)/(mg/1000r)		225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225
熔点/℃	D648	155	160	160	210	220	220	215	200	220	125	180
热变形温度/℃	D648	58	60	60	195	210	200	210	115	210	55	78
1.86MPa	D696	8	7	7	5	3	5	3	5	2	8	6
膨胀系数/(×10 ⁻⁵ K ⁻¹)												
阻燃性	UL94	HB	V-0	V-0	HB	HB	V-0	V-0	HB	V-0	HB (相当)	HB
体积电阻率/Ω·cm	D257	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶
介电强度(短时间法,1mm厚)/(kV/mm)	DI49	31	27	27	32	32	27	30	30	26	30	30
介电常数(60Hz)	DI50	3.3	3.2	3.2	3.5	3.7	3.6	3.8	4.3	4.6	3.3	4.0
介电损耗角正切值(60Hz)	DI50	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.005	0.007	0.001	0.004
耐电弧性/s	D495	91	70	11	42	42	72	85	180	122	130	150

(5) 德国巴斯夫公司的 Ultradur PBT(表 5-55)

表 5-55 德国巴斯夫公司 Ultradur PBT 的性能

项 目	B-2550	B-4300G10	B4300-K4	B-4300-K6	B4305G6	B-4300G2	B-4300G4	B-4300G6	B-4500	B-4520	B-4550
熔体流动速率/(g/10min)	40	11	20	11		20	18	15	20	25	20
密度/(g/cm ³)	1.30	1.71	1.45	1.53	1.65	1.37	1.45	1.53	1.30	1.30	1.30
拉伸强度/MPa	60				120				60	60	60
伸长率(%)	3.5	2.5	4.0	4.0	3.0	3.8	3.2	2.5	3.5	3.5	3.5
弯曲弹性模量/MPa	2700	17000	3500	4000	10000	4500	7000	7000	2600	2600	2600
冲击强度/(kJ/m ²)	23℃ -23℃	7.5 7.5	3.5	3.5	30	4.7	6.5	10.8	6.5	5.5	6.5
热变形温度/℃	1.8MPa 0.48MPa	215 220	40	95	205	200	205	215	67	67	67
线胀系数/(×10 ⁻⁴ K ⁻¹)		0.25	0.85	0.75	0.1~0.2	0.45	0.35	0.25	1.45	1.45	1.45
粘度/mPa·s		95	113	95		116	109	102	130	120	130
介电强度/(kV/mm)		100	100	100	40	100	100	100	140	140	140
体积电阻率/Ω·cm		10 ¹⁶	10 ¹⁶	10 ¹⁶	10 ¹⁶	10 ¹⁶	10 ¹⁶	10 ¹⁶	10 ¹⁶	10 ¹⁶	10 ¹⁶
表面电阻率/Ω		10 ¹³	10 ¹³	10 ¹³	10 ¹³	10 ¹³	10 ¹³	10 ¹³	10 ¹³	10 ¹³	10 ¹³
燃烧性(UL94)	HB	HB	HB	HB	V-0	HB	HB	HB	HB	HB	HB
项 目	KR-4001	KR-4011	KR4015	KR4025	KR4035	KR-4036	B-4306 KR-4060	B-4306G2 KR-4061	B-4306G4 KR-4062	B-4306G6 KR-4063	B-4406 KR-4066
熔体流动速率/(g/10min)	20	20				8.0					
密度/(g/cm ³)	1.51	1.55	1.45	1.55	1.65	1.30	1.45	1.50	1.55	1.65	1.45
拉伸强度/MPa			60	110	120	60	40				50
伸长率(%)	4.0	4.0	5.0	4.0	4.0	3.5	3.5	3.0	3.0	2.5	3.5
弯曲弹性模量/MPa	4300	7600	3000	7000	10000	2600	2500	5000	8000	11000	25000
冲击强度/(kJ/m ²)	23℃ -23℃		不断	35	35	4.0	5.0	5.0	6.5	7.5	7.0

(续)

项 目	KR-4001	KR-4011	KR4015	KR4025	KR4035	KR-4036	B-4306 KR-4060	B-4306G2 KR-4061	B-4306G4 KR-4062	B-4306G6 KR-4063	B-4406 KR-4066
热变形温度/℃	90	210	80	200	205	67	60	185	200	205	60
线胀系数/($\times 10^{-4} \text{ K}^{-1}$)	1.8MPa 0.48MPa	223	145	215	220	165	170	219	223	225	170
粘度/mPa·s	113	102	0.8	0.4	0.3	1.45	102	0.5	0.5	0.4	1.6
介电强度/(kV/mm)	100	100	40	40	40	140	40	40	40	40	109
体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$	10^{16}	10^{16}	10^{16}	10^{16}	10^{16}	10^{16}	10^{16}	10^{16}	10^{16}	10^{16}	10^{16}
表面电阻率/ Ω	10^{13}	10^{13}	10^{13}	10^{13}	10^{13}	10^{13}	10^{13}	10^{13}	10^{13}	10^{13}	10^{13}
燃烧性(UL94)	HB	HB	V-0	V-0	V-0	HB	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0

项 目	B-4406G2 KR-4067	B-4406G4 KR-4068	B-4406G6 KR-4069	KR-4070	KR-4071	KR-4075	KR4300K4	S4090G2	S4090C4	S4090C6
熔体流动速率/(g/10min)	1.50	1.55	1.65	9.5	16.5	13	1.45	20	20	20
密度/(g/cm ³)				1.20	1.20	1.36		1.31	1.40	1.48
拉伸强度/MPa				45	35	40	50			
伸长率(%)	3.0	3.0	3.5				4			
弯曲弹性模量/MPa	5800	7900	10300	1900	1800	2200	3500			
冲击强度/(kJ/m ²)	5.5	6.0	7.5	17.5	40		40			
	23℃						30			
	-23℃						70			
热变形温度/℃	190	200	205	50	50	61				
	1.8MPa			120	120	156	170			
	0.48MPa			1.4	1.45	0.90	0.9			
线胀系数/($\times 10^{-4} \text{ K}^{-1}$)	0.5	0.5	0.4			110				
粘度/mPa·s	109	109	109	100	100	100	50			
介电强度/(kV/mm)	75	40	40	100	100	100	10 ¹⁶			
体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$	10^{16}	10^{16}	10^{16}	10^{16}	10^{16}	10^{16}	10^{16}			
表面电阻率/ Ω	10^{13}	10^{13}	10^{13}	10^{13}	10^{13}	10^{13}	10^{13}			
燃烧性(UL94)	V-0	V-0	V-0	HB	HB	HB	HB			

(6) 韩国 LG 公司的 Lopox PBT(表 5-56)

表 5-56 韩国 LG 公司 Lopox PBT 的性能

项 目	4000 系列				5000 系列			
	LW-4302F	EE-4351F	EE-4400	EE-4401F	SG-5150	SG-5151F	SG-5300	SG-5301F
密度/(g/cm ³)	1.58	1.69	1.65	1.75	1.43	1.52	1.54	1.66
成型收缩系数/($\times 10^{-3}$ cm/cm)	5~7	3~7	3~7	2~5	7~11	7~11	6~9	6~9
吸水性(%)	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
拉伸强度/MPa	85.0	78.0	100.0	100.0	85.0	85.0	120.0	130.0
伸长率(%)	1.0	3.0	3.0	3.0	4.0	4.0	3.0	3.0
弯曲强度/MPa	150.0	160.0	160.0	160.0	130.0	135.0	180.0	185.0
弯曲弹性模量/MPa	9000.0	9500.0	9500.0	10000.0	4500.0	5000.0	8000.0	8500.0
冲击强度/(kJ/m)	0.025	0.037	0.055	0.035	0.04	0.04	0.07	0.065
	—	—	—	—	0.27	0.27	0.60	0.60
洛氏硬度 M(R)	85	86	86	86	79	81	90	90
摩擦因数	—	—	—	—	0.2	0.2	0.2	0.2
热变形温度/℃	200	200	205	205	190	195	195	195
	210	210	215	210	200	200	215	215
线胀系数/($\times 10^{-5}$ K ⁻¹)	3	3	3	3	5	5	3	3
燃烧性(UL94)	V-0 0.793mm	V-0 0.793mm	HB	V-0 0.793mm 5VA 1.59mm	HB	V-0 0.793mm	HB	V-0 0.793mm
介电强度/(kV/mm)	27	27	27	27	24	23	24	23
体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$	$>10^{16}$	$>10^{16}$	$>10^{16}$	$>10^{16}$	$>10^{16}$	$>10^{16}$	$>10^{16}$	$>10^{16}$
介电损耗角正切值	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
	0.016	0.015	0.016	0.016	0.02	0.02	0.02	0.02
介电常数	3.5	3.4	3.6	3.6	3.6	3.6	3.8	3.8
	3.4	3.3	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6
抗电弧性/s	120	120	120	120	80	80	80	80

项 目	5000 系列							(续)
	LW-5303	LW-5303 F	HI-5002BF	TE-5001	TE-5010	TE-5011	TE-5020	
密度/(g/cm ³)	1.51	1.55	1.42	1.22	1.22	1.22	1.22	TE-5000G 1.21
成型收缩系数/($\times 10^{-3}$ cm/cm)	3~7	3~7	8~13	7~9	7~9	7~9	7~9	7~8
吸水性(%)	0.06	0.06	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
拉伸强度/MPa	120.0	120.0	52.0	52.0	54.0	48.0	49.0	57
伸长率(%)	5.0	4.5	50	>100	>100	>100	>100	>100
弯曲强度/MPa	190.0	180.0	78.0	78.0	85.0	78.0	78.0	75
弯曲弹性模量/MPa	7000.0	7200.0	2500.0	2500.0	2100.0	2000.0	2000.0	2000.0
冲击强度/(kJ/m)	0.09	0.08	0.65	0.75	0.84	0.82	0.80	
缺口			NB	NB	NB	NB	NB	NB
无缺口	0.95	0.80	(112)	(110)	(116)	(109)	(110)	(112)
洛氏硬度 M(R)	79	90	—	—	—	—	—	—
摩擦因数	0.2	0.2	90	96	97	96	96	100
热变形温度/℃	190	170	—	—	—	—	—	—
1.86MPa	200	190	—	—	—	—	—	—
0.46MPa	3	3	—	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2
线胀系数/($\times 10^{-5}$ K ⁻¹)	HB1.59mm	V-0 0.793mm	V-0 0.793mm	HB	HB	HB	HB	HB
燃烧性(UL94)	27	27	—	18	18	18	18	18
介电强度/(kV/mm)	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	—	>10 ¹⁵	>10 ¹⁵	>10 ¹⁵	>10 ¹⁵	>10 ¹⁵
体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$	0.002	0.002	—	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
介电损耗角正切值	0.02	0.02	—	—	—	—	—	—
1kHz	3.8	3.8	—	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
1MHz	3.6	3.6	—	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
介电常数	80	80	—	—	—	—	—	—
1MHz								
抗电弧性/s								

项 目	1000 系列						2000 系列					
	GP-	HV-	GP-	HI-	GP-	GP-	GP-	GP-	GP-	GP-	GP-	GP-
	1000	1010	1001F	1002F	1006F	1008F	2150	2151F	2156F	2158F	CP-	CP-
密度/(g/cm ³)	1.31	1.31	1.44	1.35	1.42	1.42	1.41	1.53	1.52	1.52	1.52	2300
成型收缩系数/(×10 ⁻³ cm/cm)	17~23	17~23	13~20	15~18	13~20	13~20	6~14	4~14	4~14	4~14	3~10	
吸水性(%)	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	
拉伸强度/MPa	58.0	55.0	63.0	51.0	62.0	62.0	95.0	110.0	100.0	100.0	135.0	
伸长率(%)	40	>150	30	100	20	20	4.0	4.0	4.0	4.0	3.0	
弯曲强度/MPa	85.0	85.0	110.0	85.0	100.0	100.0	150.0	160.0	155.0	160.0	200.0	
弯曲弹性模量/MPa	2100.0	2300.0	3000.0	2300.0	2800.0	2900.0	5000.0	6200.0	6000.0	6000.0	9000.0	
冲击强度/(kJ/m)	0.025	0.035	0.03	0.55	0.035	0.03	0.06	0.05	0.055	0.055	0.09	
缺口												
无缺口	0.40	0.180	0.50	NB	13.0	12.0	0.40	0.30	0.54	0.30	0.60	
洛氏硬度 M(R)	(115)	(115)	(120)	(113)	(118)	(119)	90	90	90	90	91	
摩擦因数	0.13	0.13	0.15	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.13	0.12	
热变形温度/℃	57	57	65	83	70	70	200	200	200	200	210	
0.46MPa	154	154	165	122	170	170	210	210	210	210	215	
线胀系数/(×10 ⁻⁵ K ⁻¹)	10	10	9	11	9	9	5	5	5	5	3	
燃烧性(UL94)	HB	HB	V-0	V-0	V-0	V-0	HB	V-0	V-0	V-0	HB	
	0.793mm	0.793mm	0.793mm	1.59mm	0.793mm	0.793mm	0.793mm	0.793mm	0.793mm	0.793mm	0.793mm	
介电强度/(kV/mm)	24	24	25	25	25	25	26	27	28	26	30	
体积电阻率/Ω·cm	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	
介电损耗角正切值	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	
介电常数	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	
1kHz	3.2	3.2	3.3	3.3	3.3	3.3	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7	
1MHz	3.1	3.1	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4	3.4	3.6	
抗电弧性/s	130	130	70	70	70	80	95	50	40	60	126	

项 目	2000 系列								3000 系列		(续)
	GP- 2301F	GP- 2306F	GP- 2308F	HI- 2152	HI- 2302	HI- 2302F	HI- 2302AF	HI- 2303	GP- 2300G	FW- 3300	
密度/(g/cm ³)	1.66	1.65	1.65	1.35	1.44	1.58	1.57	1.46	1.52	1.60	1.54
成型收缩系数/(×10 ⁻³ cm/cm)	3~10	3~10	3~10	8~12	4~9	4~9	4~9	4~8	3~10	5~12	5~12
吸水性(%)	0.06	0.06	0.06	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.07	0.06	0.06
拉伸强度/MPa	135.0	135.0	135.0	800	100.0	110.0	100.0	110.0	120	89	55
伸长率(%)	3.0	3.0	3.0	6.0	4.5	3.5	3.5	3.5	3.0	3.0	4.0
弯曲强度/MPa	210.0	210.0	210.0	130.0	170.0	180.0	170.0	180.0	180	140	95
弯曲弹性模量/MPa	9800.0	9500.0	9500.0	4000.0	6500.0	8500.0	8000.0	7500.0	7800	7500	5200
冲击强度/(kJ/m)	0.07	0.08	0.08	0.14	0.165	0.11	0.11	0.155	75	4.0	3.0
缺口											
无缺口	0.45	0.70	0.55	0.50	0.80	0.60	0.60	0.70	0.600	0.4	0.35
洛氏硬度 M(R)	92	92	92	(113)	(115)	(113)	(113)	(113)	91	—	(85)
摩擦因数	0.12	0.12	0.12	—	—	—	—	—	0.12	—	—
热变形温度/℃	210	210	210	145	160	165	160	150	210	194	—
	215	215	215	170	185	185	185	180	215	—	200
线胀系数/(×10 ⁻⁵ K ⁻¹)	3	3	3	6	4	4	4	4	3	5	—
V-0	V-0	V-0	V-0	(HB)	(HB)	V-0	V-0	(HB)	(HB)	(HB)	(HB)
0.793mm	0.793mm	0.793mm	0.793mm			1.59mm	0.793mm				
燃烧性 (UL94)											
介电强度/(kV/mm)	27	28	33	18	21	18	18	20	—	—	—
体积电阻率/(Ω·cm)	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶
介电损耗角正切值	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
介电常数	3.8	3.8	3.8	3.7	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9
	3.6	3.6	3.6	3.6	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8
抗电弧性/s	75	67	80	80	65	47	45	70		105	

(7) 瑞士汽巴·嘉基公司的 Crastine PBT (表 5-57)

表 5-57 瑞士汽巴·嘉基公司 Crastine PBT 的性能

项 目	S600	S620	SG625	SK602	SK603	SK605	SO655	XB 2921	XB 2949	XB 2951	XB 3034	XB 3035	XB 3036	XB 3037
密度/(g/cm ³)	1.31	1.31	1.53	1.41	1.41	1.53	1.53	1.29	1.27	1.47	1.24	1.47	1.51	1.50
拉伸强度/MPa	52	52	140	100	100	140	57	37	27	58	16	60	130	100
断裂伸长率(%)	>250	>250	2~3	3	3	2~3	3~4	>250	>250	5	>250	>25	2~3	5
弯曲弹性模量/MPa	2700	2700	10000	6000	6000	10000	4000	1100	500	2900	300	2700	9500	7000
弯曲强度/MPa	85	85	215	160	160	210	95	43	23	100	15	95	200	160
Izod 缺口冲击强度/(kJ/m ²)	5	5	13	6	6	11	4	17	不断	4	不断	5	12	13
23℃														
-40℃														
吸水性(23℃,50% RH)(%)	0.2	0.2	0.13	0.17	0.17	0.13	0.12	0.2	0.2	0.17	0.2	0.25	0.14	0.14
热变形温度(A 法)/℃	50	50	220	195	195	205	99	50	50	64	50	70	180	190
长期使用温度/℃	120	120	145	140	140	140	130	100	100	130	100	130	140	140
燃烧性(UL94)	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	V-0	HB	V-0	HB	HB
体积电阻率/Ω·cm	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶
表面电阻率/Ω	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴
介电常数(50Hz)	3.8		4.4	4.1	4.1	4.4	4.6		5.4	3.5	5.6	4	4	4.4
介电强度/(kV/cm)	150	150	170	170	170	170	170	150	150	150	150	150	170	170

项 目		(续)														SK615	
		XB 3038	XMB 1050	XMB 1051	XMB 1052	XMB 1053	XMB 1054	XMB 1055	XMB 1056	XMB 1057	XMB 1058	XMB 1059	SG 635FR	SK 611FR	SK613 FR	FR	
密度/(g/cm ³)		1.45	1.52	1.69	1.59	1.54	1.71	1.50	1.53	1.59	1.69	1.51	1.69	1.53	1.59	1.69	
拉伸强度/MPa		54	85	140	105	60	180	55	70	90	110	54	135	80	105	135	
断裂伸长率(%)		5~6	4	2~3	2~3	5	2	10	5	4~5	3~4	4~5	2~3	2~3	2~3	2~3	
弯曲弹性模量/MPa		3800	5000	12000	8000	4500	16000	3500	3900	6200	8500	3600	12000	4800	8000	11000	
弯曲强度/MPa		90	140	215	170	105	270	96	100	140	170	95	210	120	170	210	
Izod 缺口冲击强度/(kJ/m ²)	23℃	4	5	8	7	3	11	3	6	7	9	3	11	4	6	8	
	-40℃	3	4	7	6	2	11	2	5	6	8	2	10	4	5	7	
吸水性(23℃,50% RH)(%)		0.15	0.15	0.1	0.13	0.15	0.1	0.15	0.15	0.13	0.1	0.15	0.1	0.15	0.13	0.1	
热变形温度(A 法)/℃		70	200	210	205	110	215	65	183	188	192	88	217	200	204	205	
长期使用温度/℃		130	140	140	140	130	140	130	140	140	140	130	145	140	140	140	
燃烧性(U194)		HB	V-0	V-0	V-0	HB	HB	HB	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0	
体积电阻率/Ω·cm		>10 ¹⁵	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	
表面电阻率/Ω		>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	
介电常数(50Hz)		4	3.6	4.5	3.8	3.8	4.1	3.9	4	4.1	4.2	3.5	4.5	3.6	4.3	4.5	
介电强度/(kV/cm)		170	170	170	170	170	140	150	160	160	160	150	170	170	170	170	

二、聚对苯二甲酸丁二醇酯制品及其成型工艺

1. 工艺特性

聚对苯二甲酸丁二醇酯（PBT）是具有明显熔点（225 ~ 235℃）的结晶性聚合物，结晶度可达40%左右。当温度升至熔点以上时，熔体的流动性变化明显，而由熔融状态转化为固态时，不仅冷却速率快，而且结晶速度也很快。

PBT处于熔融状态下的流变行为是呈非牛顿型，即熔体粘度的改变受温度的影响不如剪切应力那么明显。因此，在加工过程中，要改变PBT的熔体粘度应首先从注射压力方面加以考虑，而不是从温度上入手。图5-25所示为PBT注射压力与流动长度的关系。从图中可以看出，注射压力对PBT的流动性作用显著。

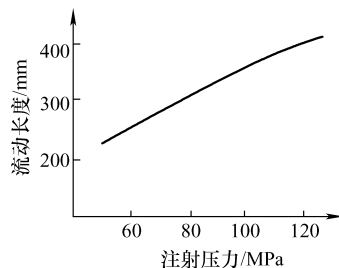


图 5-25 PBT 注射压力
与流动长度的关系

由于熔融状态下的PBT熔体粘度较低，流动性较好（仅次于尼龙），且成型收缩率较大，故需选择合适的设备及模具，以防止“流延”现象的产生和制品溢边的出现，特别是对阻燃品级的PBT，其设备、模具须注意进行防腐处理。

受结晶、工艺、模具等因素的影响，PBT在成型过程中易呈现各向异性，使制品出现翘曲、扭曲等问题，因此，需注意选择合理的工艺条件以及模具设计。

由于PBT中含有酯类基团，高温下水分的存在将使其水解，所以在成型加工之前，必须进行干燥处理。

2. 成型设备

PBT对注射机的类型无特定要求，一般柱塞式注射机与螺杆式注射机均可进行加工。但从降低能耗、有利塑化而言，还是选用螺杆式注射机为宜。

在选用螺杆式注射机时，应考虑如下几点。

1) 制品的用料量（包括浇口、流道）应控制在设备额定最大注射量的30% ~ 80%（阻燃级树脂为50% ~ 80%），不可用大设备加工小制品，以免物料在机筒内停滞过久而导致制品性能下降，甚至引起阻燃剂的分解。

2) 螺杆形式选用三段式渐变型螺杆，长径比 L/D 为(15 ~ 20):1，压缩比 C/R 为(2 ~ 2.5):1。三段分布情况为：计量段20% ~ 30%、压缩段20% ~ 30%、加料段59% ~ 60%。

3) 考虑到PBT的熔体粘度较低，在成型加工中易出现“流延”现象，使成型加工难以顺利进行。为此，要求选用自锁式喷嘴，其中以液压自锁式喷嘴为宜，并有加热控温装置。如若无自锁式喷嘴，则要求直通式喷嘴孔径不要太大，而且控温应精确灵敏。

4) 在成型加工阻燃级PBT树脂时，应选择经防腐处理的注射机。

3. 制品与模具设计

1) 制品壁厚的选择与众多因素有关，对PBT制品而言，其壁厚一般不宜取厚，因为壁厚太厚的制品不仅会使成型周期延长，而且将使制品的收缩率增加，这一点可以从图5-26制品厚度与成型收缩率的关系中得知。这一情况产生之后，在成型中用成型工

艺是很难补救的（图 5-27）。

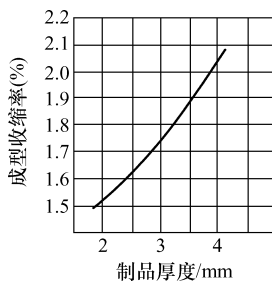


图 5-26 制品厚度与成型收缩率的关系

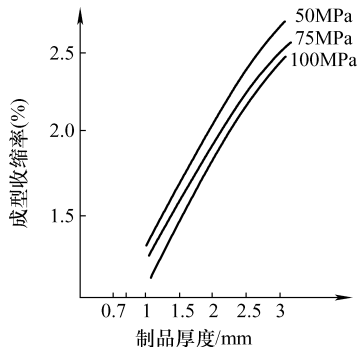


图 5-27 PBT 制品厚度与成型收缩率、注射压力的关系

为了防止制品因收缩不均而出现翘曲变形现象，PBT 制品的壁厚在设计时应尽可能均匀。由于 PBT 存在着对缺口比较敏感的弱点，故制品中应尽可能避免尖角或缺口的存在，对所有转角处（包括厚薄连接处）都应采用圆弧进行过渡连接，圆弧的半径 R 须大于 1.0mm。

2) PBT 的成型收缩率较大，在 1.7% ~ 2.3% 之间，在开设模具时须充分考虑其脱模斜度，最小脱模斜度应不低于 $40'$ ，一般是 $1^\circ 30'$ 左右。

3) 考虑到 PBT 的熔体粘度较低，流动性较好，在成型中易出现因排气不良而造成充模不佳、熔接痕明显、物料灼伤等问题，因而在模具中需开设排气孔或槽。排气孔、槽的深度不可超过 0.025mm，不然会造成飞边。

4) 对 PBT 而言，大多数形式的浇口都适用其熔体的快速充模，仅要求口径大些，以防止熔体的收缩或减少压力的损失。图 5-28 所示为浇口大小对制品厚度及成型收缩率的关系。

5) PBT 模具温度的设置，应根据制品的使用要求（如尺寸稳定性）和成型性进行选择，大多数情况是采用冷却液控温的，如果需要加热控温则最高也不宜超过 100°C 。

6) 加工阻燃品级 PBT 的模具，为避免锈蚀，延长模具的使用寿命，要求做镀铬、镀镍或氮化之类的防腐处理。

4. PBT 注射成型中的问题和解决方法

(1) 聚对苯二甲酸丁二醇酯（PBT）制品在注射过程中质量不稳定

造成 PBT 制品质量不稳定的原因较多，其影响因素也是多方面的，但只要掌握以下因素就能使质量不稳定现象明显改善，从而制备出合格的产品。

1) 原料。注射中的 PBT 树脂一般是白色颗粒，也有按需要而混入颜色的色颗粒。

水分的存在，将对 PBT 树脂起水解作用。为使成型加工得以顺利进行，要求将 PBT

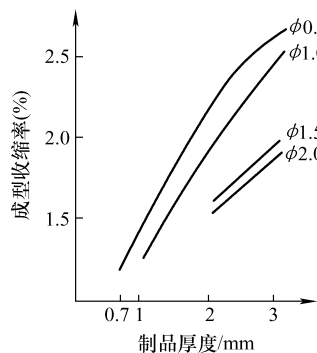


图 5-28 浇口大小对制品厚度及成型收缩率的关系

树脂的含水量控制在 0.02% 以下, 为此, 在成型加工前必须对颗粒进行干燥处理。常用的干燥设备均可对 PBT 颗粒进行干燥处理, 如真空干燥、热风循环干燥等。在干燥处理的过程中应注意掌握合适的工艺, 否则不仅不能达到干燥的目的, 反而会降低树脂的性能。表 5-58 为 PBT 树脂在热风循环干燥箱内的干燥温度与干燥时间的关系。

表 5-58 PBT 干燥温度与干燥时间关系

干燥温度/℃	105	120	140
干燥时间/h	<8	<5	<3

在干燥时, 物料的堆积厚度应控制在 30mm 以下。经干燥处理后的颗粒应及时使用, 如暂不使用, 则应用保温措施妥善保管, 以免颗粒重新吸湿。若无保温措施, 树脂颗粒的露置时间不宜过长, 超过 2h 的颗粒就需要再进行干燥。

2) 工艺条件与控制。

①成型温度。PBT 具有明显的熔点, 且在熔点以上, 粘度迅速下降, 所以成型中要比熔点高 5℃ 作为成型温度的下限。温度太低, 会出现塑化不佳、制品不足等现象。温度太高, 又易造成喷嘴流延、制品飞边、颜色加深, 甚至引起 PBT 降解 (分解温度为 280℃), 使制品力学性能下降。所以机筒温度一般选择在 240 ~ 260℃。阻燃级的可控在 235 ~ 255℃, 以防分解。喷嘴温度低于机筒前段温度 5 ~ 10℃。

PBT 很容易结晶, 结晶速率大, 即使在常温下结晶也很快, 所以模具温度不用太高, 但低模温易使制品脱模后还可能发生结晶, 因而引起收缩, 进而产生翘曲、扭曲等缺陷。通常 PBT 的模具温度为 40 ~ 100℃, 以 70 ~ 90℃ 为宜。玻璃纤维增强或阻燃级的可采用 65℃。为提高尺寸稳定性, 防止塑料成型后因结晶变化而出现收缩的各向异性, 使制品发生翘曲或扭曲, 可提高模温, 使塑料在成型中结晶完善, 但不能超过 100℃。高模温会延长成型周期, 并使成型收缩率增大。

②注射压力。PBT 熔体粘度低、流动性好, 适宜采用中等程度的注射压力, 一般为 40 ~ 100MPa。注射压力随厚度的增大而增大, 但不能超过 100MPa, 否则易使制品出现飞边, 增加制品的脱模难度或伤害模具。PBT 的结晶化速度相当快, 要求高的注射速率, 以免熔体表面冻结, 使远离浇口处出现熔接线或开裂。

③工艺条件与参数。见表 5-59 和表 5-60。

表 5-59 不同注射量的 PBT 制品的注射成型工艺条件

工艺条件		注射量	
		170g	1700g
机筒温度/℃	前部	249	249
	中部	260	260
	后部	260	266
喷嘴温度/℃		260	266
模具温度/℃		38	66
注射压力/MPa		5.6 ~ 7.0	10.0
注射时间/s		10	15
冷却时间/s		15	35
螺杆转速/(r/min)		60	90
制品质量/g		62.4	1134

表 5-60 PBT 典型制品的注射成型工艺条件

工艺条件	线圈绕线管	回扫变压器	汽车零件	照相机零件	外 壳
一次成型数量/个	4	1	2	4	1
制品总质量/g	30	40	40	10	300
机筒温度/℃	前部	180	180	200	235
	中部	210	210	230	—
	后部	235	230	250	255
喷嘴温度/℃	230	235	240	255	240
一次注射压力/MPa	80	95	140	170	100
二次注射压力/MPa	40	—	80	40	70
螺杆转速/(r/min)	70	60	100	200	50
模具温度/℃	50	65	60	70	55
注射时间/s	8	3	10	10	30
冷却时间/s	15	20	30	10	40

3) 注意事项。

①再生料的使用。对于干净整洁、无变色和降解物质存在的、再生次数在 5 次以内的 PBT 再生料，可使用在要求不高即不承受高机械载荷的制品中。当制品质量有一定要求时，再生料可与新料混合后使用，再生料与新料之比应视不同情况而控制在 25% ~ 75% 之间。

再生料在使用之前应按要求进行干燥处理，混合料也应如此。

②脱模剂的使用。PBT 的脱模性较好，对金属的粘附力不大，一般情况下无需脱模剂即可顺利脱模。对于形状复杂、脱模有困难的制品可选用有机硅类的脱模剂，但其使用量应很小，否则将会增加制品表现的粗糙度。

③停机处理。在成型过程中，当需做短时间（一般指 30min 以内）停机时，应将机筒的温度降到 200℃ 左右方可停机。在生产之前，除了将机筒温度加热至规定温度之外，还应将机筒内的剩料排空，换入新料，再进入正常生产。

对于时间可能超过 30min 的停机，除了必须将机筒温度降低，排空物料外，还应用其他树脂（如高密度聚乙烯、聚丙烯等）清洗机筒，以防物料受热时间过长。这一点对于阻燃品级的 PBT 尤为重要。

如果机筒内的物料出现变色、降解现象时，应立即采取措施清洗机筒，其方法与长时间停机的方法相同。

④制品后处理。一般情况下，PBT 制品是无需后处理的，只有对制品的尺寸稳定性有较高要求时，才做适当的后处理。后处理是在 120℃ 下处理 1 ~ 2h。

(2) 注射量不足、欠料、注不满型腔

- 1) 注射机能力不足。应更换合适的注射机。
- 2) 树脂流动性不好，不能满足注射成型要求。应更换注射专用牌号的原料。
- 3) 机筒温度偏低。应提高机筒温度，调定范围为 200 ~ 250℃。
- 4) 喷嘴温度偏低。应提高其温度，调定范围为 200 ~ 220℃。

5) 注射压力不足。应提高注射压力, 调定范围为 60 ~ 90MPa。

6) 模具排气不良, 型腔内残存空气造成注射欠料。应清理排气系统, 必要时应增设排气孔, 使其排气通畅。

7) 流道太细、浇口截面太小。应更改模具, 加粗流道, 扩大浇口使物料能顺利注入为准。

8) 熔体在型腔内流动距离太长, 注不到位。应重新改进模具容量, 缩短流动距离, 还可设置冷料井。

9) 制品壁厚太薄。应根据制品使用要求, 尽量增加壁厚, PBT 壁厚应在 2 ~ 4mm 之间加以调整。

(3) 制品产生飞边

1) 注射机锁模力低。应提高锁模力, 将注射机锁模力增至能锁紧模为准, 如若达不到, 应考虑更换注射机。

2) 模具分型面不合理。应根据具体情况修改分型面, 直至合适。

3) 模具变形或错位。应加以修理使其能正常工作为准。

4) 模具锁孔或导销磨损严重。应更换新导销或进行必要的修复, 使其工作正常。

5) 注射成型温度偏高。应适当降低机筒与喷嘴温度, 机筒温度应在 200 ~ 250℃ 之间加以调整, 而喷嘴温度的调定范围为 200 ~ 220℃。

6) 注射压力偏高。应适当降低, 调定范围为 60 ~ 90MPa。

(4) 制品出现熔接痕

1) 物料温度偏低。应适当提高机筒与喷嘴温度, 调定范围为机筒温度在 200 ~ 250℃ 之间, 喷嘴温度在 200 ~ 220℃。

2) 模具温度不当。应适当调整, 调定范围为 65 ~ 80℃。

3) 注射速度太慢。应提高注射速度, 调定范围为 1 ~ 3s/次。

4) 型腔表面沾有异物或杂质。应彻底清理模具。

5) 浇注系统不合适。应修改浇注系统, 改善充模条件, 使物料可畅通注入。

6) 模具排气不良。应改进排气系统, 使其通畅排气, 满足工艺要求。

7) 原材料干燥不足。应事先对原材料进行干燥处理, 除去水分。干燥条件为 105℃/8h, 120℃/5h, 140℃/3h, 料层厚度 30mm, 使水分含量低于 0.2%。

(5) 制品出现气泡

1) 原材料水分含量过高。应重新对原材料进行干燥处理。干燥条件为 105℃/8h, 120℃/5h, 140℃/3h, 料层厚度 30mm, 使水分含量低于 0.2%。

2) 注射压力太低。应适当提高注射压力, 调定范围为 60 ~ 90MPa。

3) 浇口太小、流道太细。应修改模具, 扩大浇口, 加粗流道, 使物料流动顺畅, 满足工艺要求为准。

4) 制品壁厚变化太大。应对制品壁厚加以修改, 壁厚应控制在 2 ~ 4mm 之间, 防止壁厚急变, 设计成合理形体结构, 以适应工艺要求。

5) 料温过低。应适当提高机筒与喷嘴温度, 调定范围为机筒温度在 200 ~ 250℃ 之间, 喷嘴温度在 200 ~ 220℃。

6) 注射速度太快。应降低注射速度, 调定范围为 $1 \sim 3s$ 。

7) 物料在机筒中保压时间太长。应适当缩短其停留时间。

8) 模具排气不畅。应加以改进, 或增设排气孔。

(6) 制品出现龟裂

1) 物料温度太低。应适当提高机筒与喷嘴温度, 调定范围为 $65 \sim 80^{\circ}C$ 。

2) 模具温度偏低。应升高模具温度, 调定范围为 $30 \sim 60^{\circ}C$ 。

3) 浇口系统设计不合理, 使熔体流动紊乱。应重新设计并修改浇口, 使熔体流动顺畅, 以满足工艺要求为准。

4) 冷却时间太短。应延长冷却时间, 调定范围为 $15 \sim 30s$ 。

5) 脱模顶出机构不合适。应加以修改, 使顶出机构正确工作到位, 以满足工艺要求。

6) 注射速度太快。应降低注射速度, 调定范围为 $1 \sim 3s$ 。

7) 注射压力过高。应降低注射压力, 调定范围为 $60 \sim 90MPa$ 。

8) 模具排气功能差。应首先清理排气系统, 加以改进或增设排气孔。

9) 原料干燥不充分。应充分干燥, 干燥条件为 $105^{\circ}C/8h$, $120^{\circ}C/5h$, $140^{\circ}C/3h$, 料层厚度 $30mm$, 使水分含量低于 0.2% 。

(7) 制品出现弯曲变形

1) 模具温度偏高。应降低模温, 调定范围为 $65 \sim 80^{\circ}C$ 。

2) 冷却时间短, 制品冷却不足。应适当延长冷却时间, 调定范围为 $15 \sim 30s$ 。

3) 冷却不均匀。应改善冷却系统结构, 提高冷却效率, 特别是细长制品还应采取特殊冷却措施, 如胎具固定冷却法或其他方法。

4) 浇口设计不合理。应重新设计, 加以修改, 选用合理的浇口形式或增加浇口数量, 以满足工艺要求为准。

5) 模具型芯偏差太大。应进行检查修改, 如果不行, 要重新设计制作。

6) 制品壁厚不均, 引起收缩不均。应尽量使制品设计均匀, 控制范围为 $2 \sim 4mm$ 。

(8) 制品强度差

1) 料温过高。应适当降低机筒与喷嘴温度, 调定范围为机筒温度在 $200 \sim 250^{\circ}C$ 之间, 喷嘴温度在 $200 \sim 220^{\circ}C$ 之间, 模具温度在 $65 \sim 80^{\circ}C$ 之间。

2) 原料干燥不充分。应充分干燥, 干燥条件为 $105^{\circ}C/8h$, $120^{\circ}C/5h$, $140^{\circ}C/3h$, 料层厚度 $30mm$, 使水分含量低于 0.2% 。

3) 浇口太小。应修改浇口使其变大, 或改用其他形式的浇口, 以满足工艺要求。

4) 物料受热时间过长。应减少物料在机筒中的停留时间, 加快注射速度, 另外, 停机再开机时应将物料全部清除。

(9) 制品产生真空孔隙

1) 原材料流动性能不好。应选用流变性适宜的树脂。

2) 机筒温度过高。应适当降低其温度, 调定范围为 $200 \sim 250^{\circ}C$ 。

3) 注射压力偏低。应升高注射压力, 调定范围为 $60 \sim 90MPa$ 。

4) 模具温度偏低。应提高模温, 调定范围为 $65 \sim 80^{\circ}C$ 。

5) 保压与冷却时间偏短。应延长其时间, 调定范围为 10 ~ 30s。

(10) 制品脱模不良

1) 注射压力太大。应降低注射压力, 调定范围为 60 ~ 90MPa。

2) 注射速度太快。应减缓注射速度, 调定范围为 1 ~ 3s/次。

3) 型腔表面粗糙, 阻碍脱模。应采取必要措施, 研磨、抛光或电镀来降低型腔粗糙度, 以利于脱模。

4) 脱模斜度不够。应加以改进或检修模具, 使之满足工艺要求。以制品顺利脱模为准。

5) 模温与冷却时间控制不当造成, 通常制品的冷却时间应控制在 10 ~ 30s 之间。当制品粘附在芯模处, 应提高模温并缩短冷却时间; 若制品粘附在型腔内, 应降低模温, 延长冷却时间。针对具体情况采取适当措施, 以满足工艺要求为准。

6) 脱模顶出机构不合适。应加以改进, 以满足工艺要求为准。

(11) 制品尺寸变大

1) 注射压力过大。应适当降低, 调定范围为 60 ~ 90MPa。

2) 保压时间过长。应适当缩短, 调定范围为 10 ~ 30s。

3) 保压压力过大。应适当降低, 调定范围为 30 ~ 40MPa。

4) 模具温度偏低。应提高模温, 调定范围为 65 ~ 80℃。

(12) 制品灰、有黑道

1) 机筒温度过高, 物料停留时间长, 有少量物料分解。应适当降低物料温度, 控制范围为 200 ~ 250℃; 缩短物料在机筒中的停留时间, 加快注射速度, 停机后再开机时清除机筒中的旧料, 或采用耐高温颜料填料等措施。

2) 机筒与喷嘴未清洗干净。应重新清理料筒与喷嘴。

3) 物料中含有分解原料。应更换新物料。

4) 原材料中混有杂质或被污染。应彻底清除干净, 以净化的物料用于注射成型。

5. PBT 干衣机绝热支架的注射成型

(1) 选材

干衣机绝热支架是用于支撑加热元件的部件, 由于加热元件表面温度高达 200℃ 左右, 故而要求此部件必须具有耐高温特性。玻璃纤维增强 PBT 具有高的机械强度、耐高温、绝缘性、耐电弧优良、吸湿性小、尺寸稳定性好、结晶速度快、成型周期短、加工性能良好等优点, 故而, 选择 PBT 来生产干衣机绝缘支架完全可行。所选用的 PBT 为北京市化工研究院生产的 301-G30 牌号。

(2) 主要设备

SZ-1000A 塑料注射机, 绝热支架模具。

(3) 制备工艺

1) 原料预干燥。虽然 PBT 吸湿性很小, 但是原料仍有微量水分存在, 加热后发生水解, 使制品变脆。PBT 含水量必须控制在 0.05% 以下, 只有充分干燥方可提高材料强度, 所以加工前一定要预干燥原料。

预干燥方法是料置于干燥箱中, 料层高度 30mm, 130℃ 烘 3h。

2) 工艺条件。根据产品说明书及流变性能试验设定工艺条件见表 5-61。

表 5-61 设定工艺条件

项 目	指 标	项 目	指 标
成型温度/℃	前 220	保压/MPa	6
	中 230	背压/MPa	1.5
	后 210	螺杆转速/(r/min)	63
模温/℃	60~80	注射时间/s	10
注射压力/MPa	8	成型周期/s	60

(4) 制品性能

以 301-G30 为原料的绝热支架表面温度升至 190℃时无明显变化，200℃时最靠近加热元件的部位稍有软化的趋势，维持 15min 未见坍塌。完全可以满足干衣机吹风要求。

6. 玻璃纤维增强 PBT 阻燃电视机高压包绝缘件

(1) 选材

原材料与配方设计：阻燃增强 PBT 是由在 100 份的聚对苯二甲酸丁二醇酯树脂中加入 10~30 份的玻璃纤维和 10~11 份十溴联苯醚（阻燃剂）及其他助剂组成的。

性能特点如下。

- 1) 成型周期短，表面光洁，流动性好，易于注射成型。
- 2) 收缩率小，0.6%左右，尺寸稳定性好。
- 3) 优良的力学性能。
- 4) 增强阻燃 PBT 热变形温度 210℃，可应用于行输出一体化外壳材料，长期高温 150℃条件下，不变形。
- 5) 优异的电性能，电阻率高、损耗小，耐高压击穿，可用于高频高压的电器材料。
- 6) 耐化学溶剂，不受醇、汽油、酯、助焊剂等的影响，克服了聚砜易应力开裂的特点。

(2) 主要设备

- 1) 30g 螺杆式注射机主要用于注射成型 22 英寸彩电支架。
- 2) 两台 15g 柱塞式注射机主要用于注射成型 0.5A 保险丝罩壳和底板撑腿。

(3) 制备工艺

- 1) 工艺流程。如图 5-29。

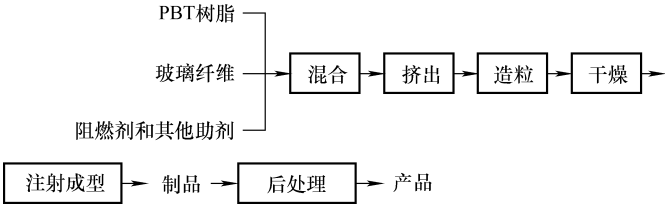


图 5-29 工艺流程

2) 阻燃增强 PBT (牌号 301-G30) 的成型工艺特点。

①由于流动性好, 易成型薄壁零件, 结晶速度快, 无需使模温加热后进行注射。特别用 15g 柱塞注射机注射小零件时, 在熔体 240℃时就能十分顺利地进行, 适宜快速注射。

②对于壁厚或注射量稍大的零件, 注射时间适当延长, 如 60g 螺杆注射机, 注射 22 英寸彩电划线槽时, 时间、压力及模温均应适当提高或延长。

③回料应用不影响产品表面粗糙度, 节约成本。

④注射中不腐蚀模具。

3) 主要工艺条件见表 5-62。

表 5-62 主要工艺条件

工艺条件	30g 螺杆式 注射机	15g 柱塞式 注射机	工艺条件	30g 螺杆式 注射机	15g 柱塞式 注射机
材料干燥	130℃/5h	130℃/5h	注射压力/MPa	6.5	6.5
注射料温度/℃	270	270	注射时间/s	15	7~5
模温/℃	44	44	冷却时间/s	15	7

7. PBT/PC 共混料电话配线模块塑件

(1) 选材

选用 30% 玻璃纤维增强 PC 和 30% 玻璃纤维增强 PBT 的 1:3 共混料, 这两种增强树脂分别由大连第七塑料厂和北京泛威塑料有限公司提供。

(2) 主要设备

1) 塑料注射成型机。型呈 XS-ZY-125G 大连电子设备厂制造。

2) 料斗式干燥机。型号 LG-60 江苏省张家港市二轻机械厂制造。

(3) 制备工艺

1) 工艺流程。如图 5-30。

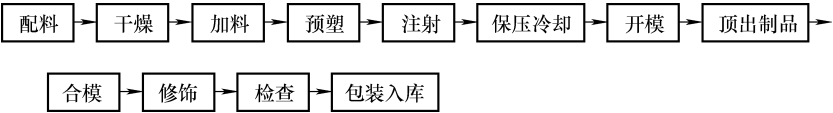


图 5-30 工艺流程

2) 玻璃纤维增强的 PC 与 PBT 粒料混合。根据塑料构件的技术要求, 经反复试验比较后, 确定使用玻璃纤维增强的 PC 与 PBT 按 1:3 配比的混合料, 注射成型电话配线模块塑件, 克服了使用 PC 或 PBT 时性能上的缺陷, 提高了冲击强度, 耐应力开裂等物理力学性能, 具有不变形、不翘曲、阻燃性好等特点。

3) 原料干燥。由于 PC 粒料对水极为敏感, 当物料中含水量超过 0.02% 时, 给成型加工带来很大困难, 制品常出现银纹、气泡、裂纹等, 影响制品外观, 制品强度也明显下降。所以, 原料在加工前必须进行干燥, 其干燥温度为 120℃, 时间为 3h。

4) 工艺条件。制品质量好坏与成型条件有关, 现将加工条件介绍如下。

- ①机筒温度。机筒后部 160℃，机筒中部 190℃，机筒前部 220℃，喷嘴 21℃。
- ②模具温度。40 ~ 60℃。
- ③压力。注射压力 3 ~ 5MPa（表压）。
- ④成型周期。30 ~ 60s。

(4) 注意事项

1) 机筒温度。在较高的温度下成型，树脂塑化较好，熔体流动性增强，容易充满模腔。同时，熔体进入模腔过程中，定向作用小，因而内应力小，制品力学强度高。但机筒温度不能过高，否则引起物料降解。注射温度过低时，熔体充模困难，造成制品粗糙，表面无光泽，强度下降。机筒温度确定在 160 ~ 220℃ 较为合适。喷嘴温度比机筒前部温度略低 10℃，以防止溢料产生。

2) 模具温度。模具温度控制在 40 ~ 60℃ 之间，太低时，塑件内外层冷却不均匀，易产生残留的内应力，模具温度太高，冷却时间长，难以脱模，造成塑件变形。

3) 注射压力的选择。注射机筒温度控制在 160 ~ 220℃ 时，注射压力控制在 3 ~ 5MPa（表压）最为适宜。

4) 回料利用。注射件的废次品、边角余料被粉碎后，可以与新料按比例混合使用。混入回料比例不超过 30%。利用回料时要注意保持其清洁，防止金属异物掺入。同时，对回料也必须进行干燥。

(5) 构件性能

采用注射成型工艺，生产出的塑料构件经过测试，结果见表 5-63。

表 5-63 PBT/PC 电话配线模块塑件的性能

项 目	测试条件	实测结果
阻燃性	施加火焰 30s，离火 10s 内自熄	合格
耐高温性	在 55℃ 条件下，存放 2h 后塑件外观无起泡、开裂、变形	合格
耐低温性	在 -25℃ 条件下，存放 2h，塑件外观无起泡、开裂、变形	合格
耐湿热绝缘性	在 (40 ± 2)℃，相对湿度 93% ± 3% 条件下，存放 48h，绝缘电阻 ≥ 2MΩ	合格
耐电压性	在交流 1kV，45 ~ 60Hz 条件下历时 1min，应无击穿和电弧现象	合格

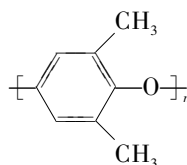
第六章 聚苯醚(PPO)与改性聚苯醚(MPPO)

第一节 主要品种与性能

一、简介

(一) 结构特征

聚苯醚(PPO)化学名称为聚2,6-二甲基-1,4-苯醚(2,6-Dimethyl-1,4-phenylene oxide 或 2,6-Dimethyl-1,4-phenyleneether),简称PPO,日本为了有别于美国的PPO,称之为PPE,其化学结构式为:



聚苯醚是以2,6-二甲基苯酚为原料,甲苯或甲醇为溶剂,铜氨络合物为催化剂,通入氧气,经氧化偶合的方法缩聚制得的。

目前市场上流通的商品主要为改性聚苯醚(Modified polyphenylene oxide),简称MPPO,或称MPPE(Modified polyphenylene ether)。

(二) 主要性能

聚苯醚(PPO)是一种综合性能优良的热塑性工程塑料。绝缘性和耐水性能优异,尺寸稳定性好。

(1) 物理性能 PPO的密度小,无定形状态密度(室温)1.06g/cm³,熔融状态为0.958g/cm³,是工程塑料中最轻的,且无毒,经美国食品及药物管理局(FDA)及国家卫生基金会(NSF)认可,可用于制造医疗及食品用器材。

(2) 力学性能 PPO分子链中,含有大量芳香环结构,分子链刚性较强。树脂的力学性能较好,耐蠕变性能优良,温度变化影响甚小。

改性聚苯醚(MPPO)的力学性能与PC较为接近,拉伸强度、弯曲强度和冲击强度较高,刚性大,耐蠕变性能优良,在较宽的温度范围内均能保持较高的强度,湿度对冲击强度的影响也很小。

(3) 热性能 聚苯醚具有较高的耐热性,玻璃化温度高达211℃,熔点为268℃,加热至330℃有热分解倾向,改性聚苯醚的热性能略低于未改性聚苯醚,基本上与聚碳酸酯相同,MPPO商品因品牌不同其热变形温度由90℃到140℃。MPPO中PPO含量对其热性能有显著影响,随着PPO含量增加,热变形温度即升高;反之则降低,玻璃化温度及软化点温度的变化也是如此。

聚苯醚阻燃性良好，具有自熄性，其氧指数（OI）29，为自熄性材料，而高抗冲聚苯乙烯的氧指数 17，为易燃性材料，二者合一则具有中等程度可燃性，制造阻燃级 MPPO 时，不需要添加含卤素的阻燃剂，加入含磷类阻燃剂即可以达到 UL-94 阻燃级，减少对环境的污染。

（4）电性能 MPPO 树脂分子结构中无强极性基团，电性能稳定，可在较大的温度及频率范围内保持良好的电性能。其介电常数（2.5~2.7）和介电损耗角正切值（ 0.4×10^{-3} ）是工程塑料中最小的，且几乎不受温度、湿度及频率数的影响。其体积电阻率（高达 10^{17} 数量级）是工程塑料中最高的。MPPO 优异的电性能，广泛用于生产电器产品，尤其是耐高压的部件，如彩色电视机中的行输出变压器（FBT）等。

（5）化学性能 PPO 和 MPPO 都具有优良的化学性能

1）耐水性。MPPO 为非结晶性树脂，玻璃化温度高。在通常使用温度范围内，分子运动少，主链中无大的极性基团，偶极矩不发生分级，耐水性非常好，是工程塑料中吸水率最低的品种。MPPO 的特点之一是在热水中长时间浸泡，其物理性能仍很少下降。

2）耐介质性。聚苯醚和改性聚苯醚对酸、碱和洗涤剂等基本无侵蚀性；在受力情况下，矿物油及酮类、酯类溶剂会产生应力开裂；对有机溶剂如脂肪烃、卤代脂肪烃和芳香烃等会使聚苯醚和改性聚苯醚溶胀乃至溶解。

（6）耐光性 聚苯醚的弱点是耐光性差，长时间在阳光或荧光灯下使用产生变色，颜色发黄，原因是紫外线能使芳香族醚的链结合分裂所致。如何改善聚苯醚的耐光性成为一个课题，GE 公司将原用于化妆品的一种防紫外线剂，即以甲氧基取代的 2-苯基苯并呋喃与受阻胺类防紫外线剂配合使用，对改善 MPPO 的耐光性比单独使用受阻胺类防紫外线剂的效果显著，两种添加剂的用量都是 MPPO 的 1%。

（三）应用

聚苯醚制品容易发生应力开裂，疲劳强度较低，而且熔体流动性差，成型加工困难，价格较高，所以多使用改性聚苯醚（MPPO）。

由于改性聚苯醚具有优良的综合性能和良好的成型加工性能，所以在电子电器、家用电器、输送电器、汽车、仪器仪表、办公机器、纺织等工业部门得到广泛的应用。

二、国外聚苯醚品种与性能

（1）美国通用电器塑料公司的 Noryl GTX PPO/PA/玻璃纤维、PPO/PS、PPO/HIPS（表 6-1）

表 6-1 美国通用电器塑料公司 Noryl 改性 PPO 的性能

①商品名称：Noryl GTX（PPO/PA/玻璃纤维）									
项 目	810 ^① (GF 10%) ^②	820 ^① (GF 20%) ^②	830 ^① (GF 30%) ^②	900 ^①	901 ^①	901 ^① (可烤 漆)	GTX 600	GTX 910	GTX 6006
密度/(g/cm ³)	1.16	1.23	1.31	1.10	1.10	1.10	1.07	1.07	1.07
拉伸强度/MPa	92	122	163	58	57	58	56	56	50

(续)

项 目	810 ^① (GF 10%) ^②	820 ^① (GF 20%) ^②	830 ^① (GF 30%) ^②	900 ^①	901 ^①	901 ^① (可烤 漆)	GTX 600	GTX 910	GTX 6006
伸长率 (%)	15	10	5	100	50	100	150	100	150
弯曲强度/MPa	133	173	224	102	92	102	70	73	70
弯曲弹性模量/MPa	3060	4080	7140	2140	2040	2140	1800	2000	1800
冲击强度/(J/m)									
23℃	80	80	80	240	180	250	600	220	800
-20℃	60	70	80	190	130	190	150	130	300
热变形温度/℃									
0.46MPa	—	—	—	—	—	—	185	195	180
1.86MPa	175	205	205	—	—	—	—	—	—
成型收缩率 (%)	0.5 ~ 0.7	0.4 ~ 0.6	0.3 ~ 0.5	1.10 ~ 1.6	1.2 ~ 1.6	1.2 ~ 1.6	—	—	—
吸水性 (23℃) /℃	1.1	1.0	1.1	0.9	0.9	0.9	—	—	—
牌 号	特性和主要用途								
810	含 10% 玻璃纤维, 高强度, 高耐温								
820	含 20% 玻璃纤维, 高强度, 高耐温								
830	含 30% 玻璃纤维, 高刚性, 高耐温, 尺寸稳定								
900	未增强, 抗冲好								
901	未增强, 抗冲好, 可烘烤								
GTX 系列	密度 1.31g/cm ³ , 拉伸强度 115MPa, 伸长率 2%, 冲击强度 45kJ/m ² , 维卡软化点 225℃								

① 原为 Borg-Warner 化学公司的牌号。② 为玻璃纤维含量。

②Noryl PPO/PS

项 目	115	534	GFN1	GFN3	N85	PX 2801	PX 9406	SE 90	SE 100	SE 1GFN1
密度/(g/cm ³)	1.06	1.06	1.21	1.27	1.08	1.08	1.09	1.08	1.10	1.16
拉伸强度/MPa	49	76.5	88.3	117.7	44.1	53.9	66.6	44.1	49.0	88.3
断裂伸长率 (%)	50	60	4~6	4~6	60	50	60	60	50	4~6
弯曲强度/MPa	68.6	113.8	107.9	147.1	49	68.6	88.2	63.7	73.5	107.9
Izod 缺口冲击强度/(J/m)	117	127	98	98	117	196	225	196	196	98
热变形温度 (1.82MPa) /℃	115	172	131	142	172	85	100	90	100	132
体积电阻率/Ω·cm	10 ¹⁶	10 ¹⁷	10 ¹⁷	10 ¹⁷	10 ¹⁷	—	—	10 ¹⁶	10 ¹⁶	10 ¹⁷
介电强度/(kV/mm)	20	20	20	22	20	—	—	16	16	20
燃烧性 (UL94)	HB	V-1	HB	HB	V-1	V-0	V-0	V-1	V-1	V-0

(续)

牌 号	特性和主要用途
115	未改性，力学性能好，抗冲击
534	未改性，力学性能好，抗冲击，耐热高
GFN1	含玻璃纤维，高刚性，高耐温，电性能好
GFN3	含玻璃纤维，高刚性，高耐温，电性能好
N85	阻燃 V-0 级，力学性能比 115 稍差
PX2801	阻燃 V-0 级，力学性能比 N85 要好
PX9406	阻燃 V-0 级，力学性能比 PX2801 好
SE1GFN1	玻璃增强阻燃级（V-0 级），力学性能好，抗冲击、电性能好
SE90	未改性，力学性能一般，阻燃 V-1 级，抗冲击
SE100	未改性，力学性能一般，阻燃 V-1 级，抗冲击
SPN	非增强新牌号，加工优良，冲击强度高，耐热好
SPN422L	高润滑，其他类似 SPN
SPN585H	高光泽，其他类似 SPN
SPN 增强级	含 20% ~30% 玻璃纤维，尺寸稳定，流动性好，耐热（热变形温度 132℃），宜制设备底座、薄壁零件、盒式磁带传动件
RFN1	含 20% 玻璃纤维，力学性能好，耐热，宜制工程件
RFN3	含 30% 玻璃纤维，力学性能好，耐热，刚性高，宜制 RMHJ 工程件
UVN	加工性好，颜色稳定，耐候，宜制办公机器、灯罩

③Noryl PPO/HIPS

项 目	PPO 534	Noryl		
		731	GEN-2	SE-1
密度/(g/cm ³)	1. 06	1. 06	1. 21	1. 08
吸水性（%）	0. 03	0. 064	0. 06	0. 06
成型性	难	容易	较难	容易
硬度（M）	78	90	78	78
模型收缩率（%）	0. 006	0. 006	0. 02	0. 006
线胀系数/(×10 ⁻⁵ K ⁻¹)	5. 2	5. 9	3. 6	5. 9
热变形温度（1. 86MPa）/℃	174	130	140	130
拉伸屈服强度（23℃）/MPa	82	68	101	67
拉伸弹性模量（23℃）/GPa	2. 72	2. 51	2. 52	6. 49
伸长率（23℃）（%）	20 ~40	21 ~31	4 ~6	21 ~29
弯曲强度（23℃）/MPa	117	96	96	142
弯曲弹性模量（23℃）/GPa	2. 6	2. 5	5. 3	2. 5
压缩强度（10% 变形）/MPa	115	114	125	114
压缩弹性模量/GPa	—	2. 6	—	2. 6
剪切强度/MPa	78	75	74	75

(续)

项 目	PPO 534	Noryl		
		731	GEN-2	SE-1
Izod 冲击强度 (6.35mm × 6.35mm, 23℃) /(J/m)	64	70	86	71
介电常数 (23℃, 60Hz)	2.57	2.65	—	2.70
介电损耗角正切值 (23℃, 60Hz)	3.4×10^{-4}	4×10^{-4}	—	7.1×10^{-4}
体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$	10^{18}	10^{17}	—	10^{17}
表面电阻率/ Ω	10^{17}	10^{16}	—	10^{16}
介电强度/(V/mm)				
(短时间, 1.58mm 厚)	—	850	—	800
(短时间, 3.17mm 厚)	450	560	—	510
耐电弧/s	75	75	—	—

牌 号	特性和主要用途
731 GEN-2 SE-1	改善成型性, 缺口冲击强度提高, 热变形温度高, 介电常数和介电损耗角正切值极低, 并随湿度、频率变化小, 其体积电阻率、介电强度也高, 价廉

④Noryl PPO 的性能

牌 号	线胀系数 /($\times 10^{-5} \text{K}^{-1}$)	吸水率 (%)	拉伸 强度 /MPa	断裂 伸长率 (%)	弯曲 强度 /MPa	弯曲弹 性模量 /GPa	缺口冲 击强度 /(J/m)	介电 强度 /(kV/mm)	介电 常数 (60Hz)	洛氏 硬度
722	5.9	0.06	66	—	94	2.5	11	22	2.65	R119
731	5.9	—	67.5	25	95	2.5	296	—	—	—
EN185	—	—	52.9	50	56.2	2.3	382	—	—	—
EN212	—	0.07	54.9	—	—	2.5	273	—	—	—
ENG265	—	0.06	67.5	—	—	2.5	273	—	—	—
FN215	6.8	0.06	23.0	16	47	1.8	4.6	7.5	2.27	—
GFN ₂	3.6	0.06	101	—	129	5.3	4.6	16	2.86	—
GFN ₃	2.5	0.06	118	—	139	7.7	4.6	16	2.93	—
N190J	7.2	0.07	48	—	57	2.3	10	25	2.78	R115
N225J	6.8	0.07	55	—	—	2.4	382	25	2.79	R116
N300J	5.4	0.06	76	—	—	2.5	327	25	2.69	R119
2	3.6	0.06	102	4~6	160	5.2	850	—	—	—
3	2.5	0.06	120	4~6	155	9.3	870	—	—	—
PN235	—	—	49.2	—	68.9	2.4	—	—	—	—
PX1005	7.0	0.07	49	60	54	2.2	6.9	16	2.76	—
PX1214	—	0.06	43	—	57	2.1	6.2	—	—	—

(续)

牌 号	线胀系数 /($\times 10^{-5} \text{K}^{-1}$)	吸水率 (%)	拉伸 强度 /MPa	断裂 伸长率 (%)	弯曲 强度 /MPa	弯曲弹 性模量 /GPa	缺口冲 击强度 /(J/m)	介电 强度 /(kV/mm)	介电 常数 (60Hz)	洛氏 硬度
PX2719	—	—	50	—	80	2.5	—	—	—	—
PX9406	—	0.07	67	60	89	2.5	8.8	16	2.8	—
SE ₁	5.9	0.07	68	60	97	2.5	273	22	2.65	R119
SE-90J	7.0	0.07	44		64	2.3	10	—	2.69	
SE-100J	6.8		55	50	90	2.5	273	16	2.65	R115
SE ₁ -GFN ₂ J	3.6	0.03	102	4~6	130	5.3	125	22	2.96	L106
SE ₁ -GFN ₃ J	2.5	0.03	124	4~6	140	7.7	125	24	3.15	L106
SNV90J	6.7	0.07	50	60	85	2.5	2600	—	—	—
SNV115J	6.5	0.07	50	50	70	2.2	3000	—	—	—
SNV125J	6.0	0.07	63	50	88	2.5	2000	—	—	—

⑤Prevex 改性 PPO 的性能

牌 号	拉伸屈服强度 /MPa	弯曲弹性模量 /GPa	Izod 缺口冲击强度 /(J/cm)	热变形温度 (1.82MPa) /℃
BA	41.4	3.3	—	88
BJA	28.3	2.3	1.86	82
BJB	24.1	2.3	—	77
BJC	29.0	2.3	—	82
BJF	26.2	2.4	—	85
BJU	29.0	2.2	—	82
MVF	44.9	2.35	2.66	98
MVP	51.7	2.48	2.66	116
P2A	93.1	5.18	0.96	143
P3A	100	7.59	0.96	132
PMA	50.7	2.48	0.96	119
PQ1	53.8	2.46	0.96	119
PQA	57.9	2.46	0.96	119
V2A	96.6	5.12	0.96	133
V3A	110.4	7.59	0.96	136
VF1	44.9	2.35	3.20	85
VFA	41.4	2.42	2.67	82
VHA	48.3	2.62	2.13	98

(续)

牌 号	拉伸屈服强度 /MPa	弯曲弹性模量 /GPa	Izod 缺口冲击强度 /(J/cm)	热变形温度 (1.82MPa) /℃
VGA	41.4	2.28	3.46	88
VJA	53.8	2.55	3.20	101
VJB	37.2	2.48	2.67	100
VK1	55.2	2.55	—	105
VKA	55.2	2.55	2.93	105
VM1	53.1	2.48	—	116
VMA	58.0	2.55	2.67	116
VQ1	62.1	2.62	2.67	130
VQA	61.1	2.62	2.65	130
W20	39.3	1.79	3.46	98
W30	48.3	2.48	2.67	114
W40	44.9	2.20	3.46	116
W50	50.4	2.48	2.67	121
W70	55.2	2.48	2.67	130
WX7	48.3	2.35	1.87	101

(2) 美国液氮加工公司的改性 PPO (表 6-2)

表 6-2 美国液氮加工公司改性 PPO 的性能

项 目	ASTM	ZF1004	ZF1006	ZF1008	ZL4036	ZL4030
拉伸屈服强度/MPa	D638	110	128	134	117	55
伸长率 (%)	D638	3~4	3~4	3~4	—	—
弯曲屈服强度/MPa	D790	145	159	172	—	—
弯曲弹性模量/GPa	D790	5.5	7.9	8.6	7.6	2.3
洛氏硬度	D785	M90	M92	M94	—	—
Izod 缺口冲击强度/(kJ/m ²)	D265	1.9	1.9	1.7	1.3	2.0
荷重形变 (14MPa, 50℃) (%)	D621	0.20	0.13	0.08	—	—
热变形温度/℃	D648	146	160	163	—	—
		143	154	157	149	127
最高连续使用温度/℃		110	110	110	110	110
线胀系数/(×10 ⁻⁵ K ⁻¹)	D696	2.0	1.4	1.1	—	—
热导率/[W/(m·K)]	D177	0.16	0.17	0.17	—	—
介电强度/(kV/mm)	D149	—	0.55	—	—	—
介电常数 (60Hz)	D150	—	2.90	—	—	—

(3) 美国尔特普公司的 RTP 增强 PPO 合金（表 6-3）

表 6-3 美国尔特普公司 RTP 增强 PPO 合金的性能

牌 号	拉伸屈服强度 /MPa	屈服伸长率 (%)	弯曲弹性模量 /GPa	热变形温度 (1.82MPa) /℃
1703	93.2	2.5	5.2	138
1705	103.5	2.0	7.6	149
1707	100.1	1.5	9.2	133
牌号	密度/(g/cm ³)	特性和主要用途		
1703	1.21	注射, 含 20% 玻璃纤维的 PPO 合金, 耐水好, 耐热, 高强度, 低翘曲, 宜制工程件		
1705	1.28	注射, 含 30% 玻璃纤维的 PPO 合金, 耐水好, 耐热, 高强度, 尺寸稳定, 宜制工程件		
1707	1.40	注射, 含 40% 玻璃纤维的 PPO 合金, 耐水好, 耐高温, 高刚性, 尺寸稳定, 宜制工程件		

(4) 美国塞莫菲尔公司的改性 PPO（表 6-4）

表 6-4 美国塞莫菲尔公司改性 PPO 的性能

项 目	ASTM	L20FG-0100	L30FG-0100	L320FG-0100	L3-20FG-0541	L3-30FG-0100	L-0755-0580	L30NF-0580	STAT-KONI
拉伸屈服强度/MPa	D638	86.3	103.5	86.3	79.3	103.5	11.3	26.1	8.9
伸长率 (%)	D638	4~6	3~4	—	—	—	7~9	2.5	3
拉伸弹性模量/GPa	D638	6.4	7.9	—	—	—	3.5	7.9	—
弯曲强度/MPa	D790	26.8	33	—	—	—	14.5	35	13
弯曲弹性模量/GPa	D790	5.5	7.6	5.5	5.9	7.6	2.3	6.9	2.9
压缩强度/MPa	D695	26	28	—	—	—	12	29	—
Izod 缺口冲击强度/ (kJ/m ²)	D256	3.9	3.6	96	107	107	4.2	2.7	0.6
洛氏硬度	D785	L106	M93	—	—	—	R108	R111	—
燃烧性	UL94	HB	KB	HB	V-1	HB	V-0	V-0	—
介电强度/(kV/mm)	D149	506	500	—	—	—	—	—	—
体积电阻率/Ω·cm	D157	4×10 ¹⁶	1×10 ¹⁷	—	—	—	—	—	10 ⁴
热变形温度/℃									
0.44MPa	D648	146	160	146	112	160	—	—	—
1.82MPa	D648	144	149	144	110	149	—	—	—

(5) 日本旭化成工业公司的 Xyron 改性 PPO (表 6-5)

表 6-5 日本旭化成工业公司 Xyron 改性 PPO 的性能

项 目	ASTM	100V	100Z	201V	201Z	300H	300V	300Z	400H	410H
吸水性 (%)	D570	0.10	0.10	0.10	0.10	0.06	0.10	0.10	0.07	0.06
热变形温度 (1.84MPa) /℃	D648	80	85	90	90	100	100	100	110	110
线胀系数/($\times 10^{-5} \text{K}^{-1}$)	D696	8	7.5	8	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	8.5
成型收缩率 (%)	D1299	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
燃烧性	UL94	V-1	V-0	V-1	V-0	HB	V-1	V-0	HB	HB
介电常数 (60Hz)	D150	2.8	2.7	2.8	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.6
介电损耗角正切值 (60Hz)	D150	0.0003	0.001	0.0015	0.0010	0.0004	0.0006	0.0006	0.0004	0.0004
体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$	D257	10^{16}	10^{16}	10^{16}	10^{16}	10^{16}	10^{16}	10^{16}	10^{16}	10^{17}
介电强度/(kV/mm)	D149	29	29	29	29	29	29	29	29	33
抗电弧性/s	D495	110	—	100	80	70	70	70	70	75
拉伸强度/MPa	D638	35	36.3	40	43	48	45	46	49	50
断裂伸长率 (%)	D638	40	40	40	30	30	30	30	25	40
弯曲强度/MPa	D790	60	58.8	65	70	78	80	71	81	85
弯曲弹性模量/MPa	D790	2100	2260	2200	2200	2300	2400	2420	2350	2400
Izod 缺口冲击强度/(kJ/m)	D256	1.3	2.84	2.0	2.0	2.3	2.3	2.1	2.2	1.3
洛氏硬度	D885	78	110	109	110	113	113	111	114	82
Taber 磨耗量/mg	D1044	100	—	70	70	60	60	60	50	50

项 目	ASTM	500H	500V	500Z	G010H	G702H	G702H	G703H	H-0111	H-012
吸水性 (%)	D570	0.07	0.01	0.01	0.3	0.06	0.06	0.06	—	—
热变形温度 (1.82MPa) /℃	D648	120	120	120	180	140	140	140	136	114
线胀系数/($\times 10^{-5} \text{K}^{-1}$)	D696	7.5	7.0	7.5	3.5	3.5	3.5	2.8	—	—
成型收缩率 (%)	D1299	0.6	0.6	0.6	0.45	0.3	0.3	0.25	—	—
燃烧性	UL94	HB	V-1	V-0	HB	HB	V-1	HB	V-0	V-1
介电常数 (60Hz)	D150	2.6	2.7	2.7	3.6	2.9	2.9	2.9	—	—
介电损耗角正切值 (60Hz)	D150	0.0004	0.0006	0.0006	0.0004	0.0008	0.0008	0.0006	—	—
体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$	D257	10^{17}	10^{17}	10^{17}	10^{15}	10^{17}	10^{17}	10^{17}	—	—
介电强度/(kV/mm)	D149	30	29	29	35	43	43	44	—	—
抗电弧性/s	D495	80	70	—	—	70	70	—	—	—
拉伸强度/MPa	D638	50	55	57	127	100	100	128	100	9
断裂伸长率 (%)	D638	20	20	50	3	5~7	5~7	5~7	5	5
弯曲强度/MPa	D790	85	95	88.3	186	140	140	147	141	111
弯曲弹性模量/MPa	D790	2400	2400	2350	7350	5100	5300	6670	5000	5000
Izod 缺口冲击强度/(kJ/m)	D256	2.2	2.2	1.96	0.69	1.0	1.0	0.78	0.55	0.55
洛氏硬度	D885	114	116	116	L112	123	123	126	—	—
Taber 磨耗量/mg	D1044	50	50	—	—	50	50	—	—	—

(6) 日本三菱工程塑料公司的 Luplac 改性 PPO (表 6-6)

表 6-6 日本三菱工程塑料公司 Luplac 改性 PPO 的性能

项 目	ASTM	阻燃 V-0 级 非增强						阻燃 V-1 级 非增强		阻燃 HB 级 非增强					
		AN20	AN30	AN45	AN60	AN91	AN90	AV30	AV60	AH40	AH50	AH60	AH70	AH80	AH90
密度/(g/cm ³)	D792	1.08	1.08	1.09	1.09	1.06	1.08	1.10	1.08	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06
吸水性(%)	D570	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
拉伸强度/MPa	D638	420	450	580	650	780	440	500	630	420	460	520	600	670	720
断裂伸长率(%)	D638	40	60	40	40	100	40	40	40	50	50	50	60	60	60
弯曲强度/MPa	D790	70	73	93	95	106	72	85	96	66	72	85	91	100	108
弯曲弹性模量/GPa	D790	2.4	2.4	2.6	2.6	2.6	2.5	2.5	2.7	2.3	2.4	2.4	2.5	2.5	2.6
Izod 冲击强度(缺口)/(kJ/m ²)	D256	30	30	25	22	30	20	20	20	13	16	18	18	11	8
洛氏硬度	D785	R119	R120	R122	R124	R125	R119	R119	R122	R116	R118	R119	R121	R123	R124
热变形温度/℃	D648	80	90	105	120	150	90	100	120	100	110	120	130	140	150
线胀系数/(×10 ⁻⁵ K ⁻¹)	D696	7.7	7.0	5.3	5.3	5.3	6.5	6.3	6.6	6.7	6.7	6.7	6.6	6.6	6.6
燃烧性	UL94	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0	V-1	V-1	V-1	HB	HB	HB	HB	HB	HB
介电常数	60Hz 1MHz	2.88 2.76	2.85 2.75	2.90 2.79	2.80 2.75	2.70 2.67	2.82 2.67	2.80 2.74	2.79 2.75	2.68 2.65	2.68 2.66	2.67 2.66	2.67 2.61	2.67 2.61	2.65 2.63
介电损耗角正切值/(×10 ⁻⁴)	60Hz 1MHz	38 62	32 70	40 52	49 54	47 54	26 38	23 26	14 30	3 10	3 10	3 10	4 12	4 12	4 12
体积电阻率/(×10 ¹⁶ Ω·cm)		39	40	38	38	32	30	30	33	60	60	60	60	60	60
成型收缩率(%)		0.5~ 0.7	0.5~ 0.7	0.5~ 0.7	0.5~ 0.7	0.5~ 0.7	0.5~ 0.7	0.5~ 0.7	0.5~ 0.7	0.3~ 0.7	0.4~ 0.7	0.5~ 0.8	0.6~ 1.0	0.7~ 1.0	0.7~ 1.2

项 目	ASTM	阻燃 V-0 级 GF 增强			阻燃 V-1 级 GF 增强			阻燃 HB 级 GF 增强			MCX1005	X8018	(续)
		GF 增强			GF 增强			GF 增强					
		GN10	GN20	GN30	GV10	GV20	GV30	GH10	GH20	GH30			
密度/(g/cm ³)	D792	1.17	1.25	1.33	1.15	1.23	1.30	1.13	1.22	1.28	1.33	1.15	
吸水性(%)	D570	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	
拉伸强度/MPa	D638	85	105	120	85	105	120	85	105	120	91	62	
断裂伸长率(%)	D638	5~10	4~7	4~7	5~10	4~7	4~7	5~10	4~7	4~7	5	5	
弯曲强度/MPa	D790	125	140	150	130	140	150	125	140	150	127	93	
弯曲弹性模量/GPa	D790	4.0	5.4	7.0	4.1	5.5	7.2	3.9	5.5	7.2	7.0	4.0	
Izod 冲击强度(缺口)/(kJ/m ²)	D256	12	10	10	12	10	12	12	10	10	0.59	1.08	
洛氏硬度	D785	118	122	125	118	122	125	118	122	125	125	125	
热变形温度/℃	D648	125	135	135	130	140	140	140	130	140	110	105	
线胀系数/(×10 ⁻⁵ K ⁻¹)	D696	4.5	3.0	2.5	4.5	3.0	2.5	4.5	3.0	2.5			
燃烧性	UL94	V-0	V-0	V-0	V-1	V-1	V-1	HB	HB	HB	V-0	V-0	
介电常数	D150	3.00	3.05	3.10	2.95	3.00	3.10	2.85	2.9	2.95			
	D150	2.97	3.01	3.07	2.92	2.97	3.05	2.82	2.87	2.92			
介电损耗角正切值/(×10 ⁻⁴)	D150	12	15	18	12	14	18	10	11	12			
	D150	15	17	19	14	16	18	14	15	15			
体积电阻率/(×10 ¹⁶ Ω·cm)	D257	≥10	≥10	≥10	≥10	≥10	≥10	≥10	≥10	≥10			
成型收缩率(%)		0.3~0.5	0.2~0.4	0.1~0.3	0.3~0.5	0.2~0.4	0.1~0.3	0.3~0.5	0.2~0.4	0.1~0.3	0.2~0.3	0.3~0.4	

(7) 日本的 PPO/PBT（表 6-7）

表 6-7 日本 PPO/PBT 的性能

项 目		测试标准 ASMT	BE100 未增强	BE130 增强	BE500 未增强	BE530 增强
玻璃纤维含量（%）			0	30	0	30
密度/（g/cm ³ ）		D792	1. 22	1. 45	1. 33	1. 58
吸水性（23℃，浸 24h）（%）		D570	0. 06	0. 04	0. 05	0. 03
拉伸强度（23℃）/MPa		D638	30	72	35	80
伸长率（23℃）（%）		D638	4	4	3	4
弯曲强度（23℃）/MPa		D790	50	150	50	155
弯曲弹性模量（23℃）/GPa		D790	21	70	22	70
Izod 缺口冲击强度/（kJ/m）		D256	0. 03	0. 07	0. 03	0. 08
洛氏硬度		D785	90	96	92	98
热变形温度（1. 86MPa）/℃		D648	87	168	90	160
燃烧性（1. 6mm 厚）		UL94	HB	HB	V-0	V-0
介电常数（1MHz）		D150	3. 1	3. 2	3. 1	3. 1
介电损耗角正切值（1MHz）		D150	0. 02	0. 02	0. 02	0. 02
体积电阻率/Ω·cm		D257	10 ¹⁵	10 ¹⁵	10 ¹⁵	10 ¹⁵
耐电弧/s		D149	110	110	90	90
成型收缩率（%）	平行		1. 1	0. 3	1. 0	0. 2
	垂直		1. 6	1. 2	1. 1	1. 0

牌 号	特性和主要用途
BE100	未增强，成型性好，耐化学，耐高温，尺寸稳定，宜制机械、汽车、电器件
BE130	含 30% 玻璃纤维，高强度，高刚性，高耐温，尺寸稳定，宜制工程上高强度件
BE500	未增强，除阻燃 V-0 级外，其余同 BE100 相似
BE530	除阻燃 V-0 级外，其余同 BE130 相似

(8) 德国巴斯夫公司 Ultranyl PPO/PA 合金（表 6-8）

表 6-8 德国巴斯夫公司 Ultranyl PPO/PA 合金的性能

项 目	KR	KR	KR	KR	KR	KR	KR	KR	KR
	4510	4520	4530M ₂	4530M ₄	4540G ₂	4540G ₄	4540G ₆	4590C ₄	4590C ₆
拉伸强度/MPa	50 ~ 60	50 ~ 55	59 ~ 65	64 ~ 70	80 ~ 85	120 ~ 125	130 ~ 145	180	220
伸长率（%）	60 ~ 70	70 ~ 75	50 ~ 55	30 ~ 35	4 ~ 5	3 ~ 4	2 ~ 3	3	2
弯曲弹性模量/MPa	2200	2100	2600	3000	4000	6500	8500	14000	20000
冲击强度/（kJ/m ² ）	23℃	25	35	15	7. 0	12	10	12	
	- 30℃	20	25	15	5. 0	7. 0	8. 0	40	

(续)

项 目	KR 4510	KR 4520	KR 4530M ₂	KR 4530M ₄	KR 4540G ₂	KR 4540G ₄	KR 4540G ₆	KR 4590C ₄	KR 4590C ₆
热变形温度 (0.42MPa) /℃	180	170	180	190	230	240	250	250	260
维卡软化点/℃	190	180	190	200	195	205	215	215	220
线胀系数/($\times 10^{-1} \text{K}^{-1}$)	0.8 ~ 1.1	0.9 ~ 1.1	0.9 ~ 1.1	—	0.4 ~ 0.5	0.3 ~ 0.4	0.2 ~ 0.3		
介电常数	3.3	3.2	3.3	3.4	3.4	3.5	3.6		
介电损耗角正切值/($\times 10^{-5}$)	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.42	0.42		
介电强度/(kV/mm)	95	95			65	65	65		
体积电阻率/($\times 10^3 \Omega \cdot \text{cm}$)	6.7	5.3	5.0	5.0	5.0	5.0			
表面电阻率 ($\times 10^{14} \Omega$)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
燃烧性 (UL94)	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB

(9) 英国帝国化学公司 Lubricomp PPO 复合 (表 6-9)

表 6-9 英国帝国化学公司 Lubricomp PPO 复合

牌 号	拉伸屈服 强度/MPa	屈服伸长率 (%)	弯曲弹性 模量/GPa	Izod 缺口 冲击强度 /(J/m ²)	热变形温度/℃	
					0.44MPa	1.82MPa
EMI-XZC1008	—	—	15.1	58	154	149
Stat-konZ	41.4	3	2.9	—	138	—
Stat-konZC1003	—	—	9.0	53	145	143
Stat-konZC1006	—	—	11.7	64	154	149
ZBL4326	36	—	3.9	27	—	121
ZF1004	—	—	5.5	123	145	143
ZF1006	—	—	7.0	123	160	154
ZF1006FR	—	—	5.9	53	—	143
ZF1008	—	—	8.6	123	160	157
ZFL4034	—	—	5.5	80	—	140
ZFL4036	—	—	7.6	64	—	149
ZFL4323	93	—	5.2	69	—	140
ZL4030	—	—	2.3	96	—	127
ZL4320	—	—	2.8	64	—	127
ZL4530	—	—	2.2	96	—	125
ZML4334	62	—	5.2	53	—	132

（10）荷兰阿克苏工程塑料公司改性 PPO（表 6-10）

表 6-10 荷兰阿克苏工程塑料公司改性 PPO 的性能

牌 号	拉伸屈服 强度/MPa	屈服伸 长率（%）	弯曲弹性 模量/MPa	Izod 缺口 冲击强度 /(kJ/m ²)	热变形 温度/℃ (1.82MPa)	燃烧性 (UL94)
J1700/C/10	—	3.3	11	—	137	HB
J1700/CF/20	131	2.9	6.9	—	133	HB
J1700/GF/20	83	3.0	5.5	—	132	
J1700/GF/30	97	2.0	7.6	—	138	
J1700/GF/40	110	2.0	8.6	—	143	
G1700/SS/3	55	5.0	2.5	80	125	
G1700/SS/5	48	—	2.7	85	121	

第二节 聚苯醚制品及其成型工艺

（一）简介

1. 原材料

（1）物料性能 聚苯醚为白色颗粒，密度 1.07g/cm³。综合性能良好，具有优良的物理力学性能，热变形温度高（190℃）。无毒、透明，具有优良的机械强度、耐水解性和耐化学腐蚀性，突出的抗蠕变性，尺寸稳定性好。耐热性好，可在 120℃ 蒸汽中使用，电绝缘性好，其介电性能居塑料的首位。难燃，有自熄性，耐无机酸、碱，耐芳香烃、卤代烃、油类等性能差。吸水小，成型收缩率小（0.3% ~ 0.8%），但有应力开裂倾向，易溶胀或应力开裂。改性聚苯醚可消除应力开裂。

改性聚苯醚（MPPO）是苯乙烯与聚苯醚共混或共聚而成。加工性好，价格低于聚苯醚，性能基本保持了聚苯醚的优点，只是耐热性和光泽略低于聚苯醚。

聚苯醚热氧老化性能差，在空气中超过 200℃ 就开始氧化降解，熔体粘度高，流动性差，冷却速度快，且熔体粘度对剪切速率不敏感。改性聚苯醚大大改善了流动性，并且热氧稳定性好。

吸水率较低，聚苯醚为 0.06%，改性聚苯醚为 0.07%，成型前不需干燥。若储存不好需干燥时，干燥条件为：聚苯醚 110℃ 左右，干燥 2h，料层厚度 50mm；改性聚苯醚一般在 120 ~ 140℃，干燥 2 ~ 4h，料层厚度 25 ~ 40mm。

（2）工艺特性 虽然改性聚苯醚的加工性能要比聚苯醚好得多，但在成型中，仍表现出聚苯醚的某些特性。

1) 为非结晶性塑料，无明显熔点。

2) 熔融状态下的熔体粘度较大，流变行为接近于牛顿型流体，即当剪切速率增加时，熔体的粘度并不显著下降。

3) 虽然成型温度可低些，但温度或时间不当，仍会使物料具有交联倾向，因此须

严格控制成型工艺。

4) 由于成型收缩率较小, 熔体冷却速率快, 应注意选择合适的模具和工艺, 以防制品中产生较大的内应力。

5) 吸水较小, 但微量水分的存在将破坏制品的表观质量, 故在成型之前, 仍需要作适当的干燥处理。

2. 成型设备

改性聚苯醚对注射机的形式无十分严格的要求, 柱塞式注射机和螺杆式注射机均可使用。但从塑化效果、熔体流速、注射阻力、受热时间等方面考虑, 还是以螺杆式为优。不管选用何种类型的注射机加工改性聚苯醚, 均应注意以下几点。

1) 制品的耗料量 (包括浇口流量等) 应控制在设备一次最大注射量的 50% ~ 70%。

2) 物料流经部分不允许有任何可供物料滞留的现象存在。

3) 为保证制品尺寸精度, 要求设备具有较高的锁模力, 即每平方厘米应为 45 ~ 75MPa。

4) 应选用带有加热控温装置的敞开式通用喷嘴, 喷嘴孔径至少大于 4mm。

5) 要求机筒的控温仪表容量可在 400℃ 以下能自由选择并能稳定工作。

6) 采用螺杆式注射机比较好。螺杆为渐变型螺杆, 长径比 15:1, 压缩比 (2.5 ~ 3.5):1。喷嘴宜用通用延长型, 能加热, 喷嘴孔应大些。

3. 制品与模具设计

由于熔体的流动性较差, 且凝固速度快, 所以改性聚苯醚制品的壁厚不宜太薄, 最少不应低于 1.2mm, 通常根据制品的大小及复杂程度可在 1.5 ~ 6mm 之间选择。

鉴于制品中易引起较大的内应力, 同时制品的缺口强度较差, 对冲击敏感, 在制品设计时须注意避免壁厚相差过大, 并且不允许锐角和缺口的存在。

考虑到改性聚苯醚的成型收缩率较小, 约为 0.5% ~ 0.7%, 熔体流动方向与垂直方向上的差别不大。对此, 改性聚苯醚制品的脱模斜度常在 $1/2^\circ \sim 1^\circ$ 之间选择, 以免脱模困难。对于深孔制品, 其斜度应略大些, 可在 $1^\circ \sim 2^\circ$ 间选取。图 6-1 所示为壁厚与流动长度的关系。

当制品上有装饰纹或字母时, 除了将装饰纹或字母尽可能设计在脱模方向上外, 还应考虑增加脱模斜度。通常字母或装饰纹每深 0.025mm, 斜度就应增加 1° 。

改性聚苯醚的顶出装置, 除了要求有适当的顶出面积外, 还要求顶出分布均匀, 顶出过程平稳, 使制品的脱模过程顺利, 或避免制品的内应力增加。

为使熔体能迅速充满模腔, 流道与浇口应短而粗。通常浇口的深度约为制品壁厚的 $3/4$ 左右, 而平直部分的长度应不超过 2.5mm。

模具温度的设置, 有助于改善熔体的充模性, 防止熔体的过早冷凝, 同时可改善制品的内应力和表面粗糙度。由于模具温度较高, 成型中可高达 130℃, 须注意模具的材

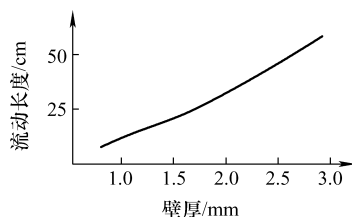


图 6-1 壁厚与流动长度的关系

质以及各部分的配合情况，特别是动配合部分。

4. 常见的不良现象、产生原因及解决的方法

(1) 改性聚苯醚（PPO）制品在注射过程中质量不稳定

造成 PPO 制品质量不稳定的原因较多，其影响因素也是多方面的，但只要掌握以下因素就能使质量不稳定现象明显改善，从而制备出合格的产品。

1) 原料。注射所用的 PPO 为相对密度在 1.06 ~ 1.07 的硬而韧的颗粒。其吸水性不大，仅 0.06% 左右，在包装严密、制品要求不高时，不经干燥就可进行加工。但在包装较差或制品要求较高时，在成型之前应予以干燥处理。在干燥时，应注意干燥的温度和时间，当时间超过 8h 或温度超过 150℃ 时，都有可能使物料性能变劣。表 6-11 所列为 PPO 的干燥工艺情况。

表 6-11 PPO 的干燥工艺

控制项目	干燥温度/℃	干燥时间/h	料层厚度/mm
控制范围	120 ~ 140	2 ~ 4	25 ~ 40

经干燥的颗粒除及时使用外，在成型中还应注意采取保温措施，以防在与环境湿度相平衡中粘附水分。

2) 成型工艺条件与控制

①注射温度。PPO 是无定形聚合物，与聚苯醚相比其成型温度要低得多，聚苯醚的成型温度一般不低于 280℃，大都在 300℃ 左右，而 PPO 在 230℃ 以上就可成型了。纯聚苯醚的分解温度约为 350℃，但在 300℃ 以上时间稍长，就会出现分解交联现象，而 PPO 由于熔体流动性要好得多，成型中无须很高的温度，一般在 280℃ 以下即能满足大部分制品的成型要求。

由于 PPO 仍有很高的熔体粘度，从有利塑化、减轻螺杆的负荷出发，在成型中，螺杆式注射机的机筒温度分布应以压缩段温度为最高点。

成型中，PPO 所使用的喷嘴为敞开式喷嘴，因其熔体粘度较高，能够选择较高的喷嘴温度（一般比计量段低 10 ~ 20℃）而不会发生尼龙、聚甲醛之类的流延现象。

②注射压力。与其他塑料一样，PPO 的注射压力与众多因素的影响有关，如制品的形状、流道的尺寸、物料粘度和其他工艺条件等。尽管苯乙烯的引入改善了熔体的流动性，但在成型中，其流动性仍然是较差的，需要较高的注射压力以帮助克服流动时的阻力，除少数品级可望在 80MPa 下成型外，一般都在 100MPa 左右。注射压力的提高，将不可避免地增加制品中的内应力，以及给制品的脱模带来不便，故要求在成型中，对注射压力应酌情而行。

成型中，PPO 的保压压力通常取注射压力的 1/2 ~ 2/3，为了减少制品中的内应力，一般取较低值，但不宜小于 50MPa。

③模具温度。对 PPO 而言，较高的模具温度，将有利于改善熔体的充模性，防止熔体的过早冷凝，减少制品中的内应力，降低制品表面的粗糙度，并可适当降低机筒温度或注射压力。但因苯乙烯的存在，其模具温度最高不宜超过 100℃，以免出现制品翘曲变形、成型周期延长等问题。

在成型中，PPO 的模具温度大都控制在 65 ~ 85℃ 之间，只有少数品级可达 100℃。

④成型周期。由于 PPO 具有熔体冷却速度快、热变形温度高（约 90℃）、不易变形等特点。成型中一般无须很长的成型周期。成型周期通常与其壁厚有关，壁厚越厚，成型周期也就越长，其变化关系见表 6-12。

表 6-12 壁厚与成型周期的关系

制品壁厚范围/mm	成型周期范围/s
< 3	20 ~ 30
3 ~ 6	30 ~ 60
> 6	> 60

考虑到 PPO 的热稳定性，成型中在制品脱模不发生变形的前提下，成型周期应越短越好。

⑤成型工艺条件见表 6-13。

表 6-13 成型工艺条件

工艺条件	聚苯醚	改性聚苯醚	工艺条件	聚苯醚	改性聚苯醚
机筒温度/℃	280 ~ 340	260 ~ 290	螺杆转速/(r/min) 成型周期/s 注射速度	— 20 ~ 60 —	60 ~ 70 25 ~ 35 一般
喷嘴温度/℃	310 ~ 320	275 ~ 290			
模具温度/℃	100 ~ 150	80 ~ 100			
注射压力/MPa	80 ~ 140	120 ~ 140			

3) 注意事项

①清洗机筒。机筒内存留其他物料时，应根据残留料对温度的敏感性分别采用不同的清洗法。当机筒内为尼龙、聚碳酸酯、聚丙烯等物料时，可用 PPO 直接清洗。如为聚氯乙烯、聚甲醛或其他易受热分解的热敏性物料，则必须用聚苯乙烯或聚乙烯先行将这些物料替换出来，然后在 PPO 的加工温度下，用 PPO 清洗机筒。

当正常加工中，物料出现变色、降解、交联的倾向时，应及时降低温度，并将机筒内物料立即排空，然后用聚苯乙烯、聚乙烯等物料清洗机筒，待工艺调整后再投入新料进行加工。当然，如若采取拆洗法则更好。

②停机。当成型过程必须中断时，应根据停机时间的长短，采取不同的措施。当停机时间在 15min 以内时，可以保持正常的加工温度，如停机时间超过 15min 时，机筒温度就必须降至 200℃ 以下，如停机时间达 2h，机筒温度必须降低至 100℃ 以下。如果停机时间再长，则必须用聚苯乙烯清洗机筒。

③脱模剂。PPO 的脱模性良好，很少发生粘模现象，故一般不需要脱模剂，如果制品脱模确有困难，则可选用少量硬脂酸锌以帮助脱模。

④再生料。处理得当、无污染而干净整洁的 PPO 再生料，再生次数在三次以内的由于物理力学性能基本不变，可以使用。使用时与新料之间的渗混比例为 25:75，在使用之前必须按规定进行干燥处理。

⑤后处理。由于多种因素的影响，在 PPO 制品中易残留应力，特别是带有金属嵌件的制品内应力更大。为防止制品在使用过程中发生应力开裂，对所得制品应作后处

理。PPO 制品的后处理,应在其热变形温度以下 10℃ 进行,处理时间视制品的壁厚而在 1~4h 内选择,然后缓慢冷却至室温。

(2) 注射量不足、欠料、注不满型腔

1) 注射机能力不足。应更换合适的注射机。

2) 树脂流动性不好,不能满足注射成型要求。应更换注射专用牌号的原料。

3) 机筒温度偏低。应提高机筒温度,调定范围为 230~270℃。

4) 喷嘴温度偏低。应提高其温度,调定范围为 220~240℃。

5) 注射压力不足。应提高注射压力,调定范围为 70~100MPa。

6) 模具排气不良,型腔内残存空气造成注射欠料。应清理排气系统,必要时应改进,使其排气通畅。

7) 流道太细、浇口截面太小。应更改模具,加粗流道,扩大浇口使物料能顺利注入为准。

8) 熔体在型腔内流动距离太长,注不到位。应重新改进模具容量,缩短流动距离,还可设置冷料井。

9) 制品壁厚太薄。应根据制品使用要求尽量增加壁厚,PPO 壁厚应在 1.5~6.0mm 之间加以调整。

10) 模温偏低。应提高模温,调定范围为 60~80℃。

11) 注射速度太快。应适当调整,调定范围为 1~5s/次。

(3) 制品产生飞边

1) 注射机锁模力低。应提高锁模力,将注射机锁模力增至能锁紧模为准,如若达不到,应考虑更换注射机。

2) 模具分型面不合理。应根据具体情况修改分型面,直至合适。

3) 模具变形或错位。应加以修理使其能正常工作为准。

4) 模具锁孔或导销磨损严重。应更换新导销或进行必要的修复,使其工作正常。

5) 注射成型温度偏高。应适当降低机筒与喷嘴温度,机筒温度应在 230~270℃ 之间加以调整,而喷嘴温度的调定范围为 220~240℃。

6) 注射压力偏高。应适当降低,调定范围为 70~110MPa。

(4) 制品产生缩痕

1) 制品壁厚太大。应相应减少壁厚,壁厚范围为 1.5~6.0mm,应在此范围内加以调整,以不出残品为准。

2) 注射压力不足。应提高注射压力,注射压力调定范围应控制在 70~110MPa。

3) 机筒温度过高。应适当降低机筒温度,调定范围为 230~270℃。

4) 保压时间与冷却时间太短。应适当延长其时间,调定范围为 30~70s。

5) 模具温度分布不均。应控制好模温,控制范围为 60~80℃,并延长冷却时间,提高冷却效率。

6) 供料不足。应根据制件质量适当增加注射量。

7) 制品形状不合理。应更改制件形状,使其满足注射成型要求。避免壁厚太厚或留有死角。

8) 浇口太小、流道太细。应根据工艺要求适当修改模具, 扩大浇口, 加粗流道, 以满足工艺要求。

(5) 注射中出现脉冲流

1) 机筒温度太高。应适当降低机筒温度, 调定范围为 $230 \sim 270^{\circ}\text{C}$ 。

2) 注射速度太快。应适当放慢注射速度, 调定范围为 $1 \sim 5\text{s/次}$ 。

3) 流道太细、浇口太小。应适当修改模具, 加粗流道, 扩大浇口, 满足工艺需要。

(6) 制品出现银纹

1) 原材料水分含量高。应重新干燥原材料, 干燥条件为在 $120 \sim 140^{\circ}\text{C}$ 温度下烘烤 $2 \sim 4\text{h}$, 料层厚度 $25 \sim 40\text{mm}$ 。

2) 排气系统不合理, 模具排气不良。应修改模具排气系统或增设排气孔, 使排气畅通, 满足工艺要求。

3) 喷嘴与模具接触不良。应调整两者的位置与几何尺寸, 使其正确配合以满足工艺要求。

4) 如银纹总在一定部位有规律地出现。应根据模具相对应部位是否存有表面伤痕, 如果存有, 应采用机加工、抛光等方法将其消除。

5) 不同规格原材料混用。应更换原材料, 使用相同规格、同批次原料。

6) 料温太高。应降低机筒与喷嘴温度, 控制范围: 机筒温度在 $230 \sim 270^{\circ}\text{C}$ 之间, 喷嘴温度在 $220 \sim 240^{\circ}\text{C}$ 。

(7) 制品出现熔接痕

1) 物料温度偏低。应适当提高料温, 通常调整机筒温度, 调定范围为 $60 \sim 80^{\circ}\text{C}$ 。

2) 模具温度偏低。应适当升高模温, 调定范围为 $30 \sim 60^{\circ}\text{C}$ 。

3) 注射速度太慢。应提高注射速度, 调定范围为 $1 \sim 5\text{s/次}$ 。

4) 模具内未设置冷料井。应改进模具, 重新设置冷料井。

5) 型腔表面沾有异物或杂质。应彻底清理模具。

6) 浇注系统不合适。应修改浇注系统, 改善充模条件, 使物料可畅通注入。

7) 模具排气不良。应改进排气系统或增设排气孔, 使其畅通排气, 满足工艺要求。

8) 原材料挥发物含量高。应事先对原材料进行干燥处理, 除去挥发物。干燥条件为在 $120 \sim 140^{\circ}\text{C}$ 之间烘烤 $2 \sim 4\text{h}$ 。

(8) 制品出现气泡或空洞

1) 原材料水分含量过高。应重新对原材料进行干燥处理。干燥条件为在 $120 \sim 140^{\circ}\text{C}$ 之间烘烤 $2 \sim 4\text{h}$ 。

2) 注射压力太低。应适当提高注射压力, 调定范围为 $70 \sim 110\text{MPa}$ 。

3) 浇口太小、流道太细, 熔体夹带空气与挥发物进入。应修改模具, 扩大浇口, 加粗、缩短流道, 使物料流动顺畅, 以满足工艺要求为准。

4) 制品壁厚变化太大。应对制件壁厚加以修改, 壁厚应控制在 $1.5 \sim 6.0\text{mm}$ 之间, 防止壁厚急变, 设计成合理形体结构, 以适应工艺要求。

5) 料温太低。应适当提高机筒与喷嘴温度, 控制范围为机筒温度在 $230 \sim 270^{\circ}\text{C}$ 之

间加以调整, 喷嘴温度为 220 ~ 240℃。

6) 模温偏低。应提高其温度, 调定范围为 60 ~ 80℃。

(9) 制品出现塌陷

1) 物料温度太低。应适当提高机筒与喷嘴温度, 调定范围为机筒温度在 230 ~ 270℃ 之间加以调整, 而喷嘴温度为 220 ~ 240℃。

2) 模具温度偏低。应升高模具温度, 调定范围为 60 ~ 80℃。

3) 浇口系统设计不合理, 使熔体流动紊乱。应重新设计并修改浇口, 使熔体流动顺畅, 以满足工艺要求为准。

4) 冷却时间太短。应延长冷却时间, 调定范围为 20 ~ 50s。

5) 注射压力过低。应提高注射压力, 调定范围为 70 ~ 110MPa。

(10) 制品产生焦烧

1) 机筒温度过高。应适当降低其温度, 调定范围为 230 ~ 270℃。

2) 摩擦引起燃烧。应修改浇口, 扩大浇口截面。

3) 模具温度偏低。应提高模温, 调定范围为 60 ~ 80℃。

4) 模具排气不良。应加以改进或增设排气孔。

(11) 制品脱模不良

1) 注射压力太大。应降低注射压力, 调定范围为 70 ~ 110MPa。

2) 注射速度太快。应减缓注射速度, 调定范围为 1 ~ 5s/次。

3) 型腔表面粗糙, 阻碍脱模。应采取必要措施, 用研磨、抛光或电镀来降低型腔粗糙度, 以利于脱模。

4) 脱模斜度不够。应改进或检修模具, 使之满足工艺要求, 使制品顺利脱模。

5) 模温与冷却时间控制不当造成, 通常制品的冷却时间应控制在 15 ~ 60s 之间。当制品粘附在芯模处, 应提高模温并缩短冷却时间; 若制品粘附在型腔内, 应降低模温, 延长冷却时间。针对具体情况采取适当措施, 以满足工艺要求为准。

6) 脱模顶出机构不合适。应加以改进, 以满足工艺要求为准。

(12) 制品出现条纹、黑斑

1) 如条纹与黑斑形式相同, 是由于设备被污染所致, 应彻底清除设备。

2) 原料中混入杂质。应彻底清除, 以干净物料用于成型。

3) 原材料被污染。首先应清除污染, 若无法清除则更换新原料。

4) 料温太高, 熔体被烧焦。应适当降低机筒与喷嘴温度, 调定范围: 机筒温度在 230 ~ 270℃ 之间, 喷嘴温度为 220 ~ 240℃。

5) 由于熔体流动受阻, 而产生焦化, 是浇口流动不良所致。应扩大浇口。

(二) 改性聚苯醚轿车仪表前盖的注射成型

1. 选材

改性聚苯醚 (MPPO) 作为通用工程塑料, 因具有较高的强度、高韧性、刚度大、蠕变小、自熄、低吸水性、较高的耐热性、优良的尺寸稳定性和良好的电绝缘性等特点, 广泛应用于汽车工业。选用由中国科学院化学研究所研制的改性聚苯醚, 性能指标见表 6-14。

表 6-14 MPPO 原材料性能

项目	熔体流动速率/(g/10min)	拉伸强度/MPa	断裂伸长率 (%)	弯曲强度/MPa	弯曲模量/MPa	热变形温度/℃	悬臂梁冲击强度 (23℃)/(J/m)
指标	3.4	60	40	97	3020	108	60

2. 主要成型设备及模具

XS-ZY-1000A 注射机；72-1 型电热鼓风干燥箱；仪表前盖注射模具。

3. 制备工艺

1) 工艺流程如图 6-2 所示。

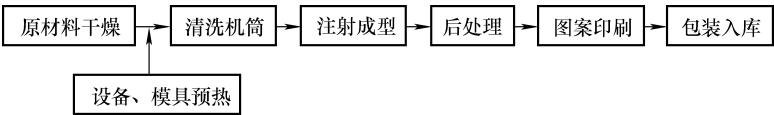


图 6-2 工艺流程

2) 注射成型工艺参数见表 6-15。

表 6-15 MPPO 注射成型工艺参数

项目	模具温度/℃	机筒温度/℃			喷嘴温度/℃	注射压力/MPa	锁模力/kN	螺杆转速/(r/min)	成型周期/s
		后	中	前					
数值	80	185	215	230	220	110	1200	60	90

4. 注意事项

(1) 模温 改性聚苯醚属无定形塑料，熔融粘度较高。模温太低，会减慢充模速度，使物料熔接不好，进而影响产品质量，因此需要采用较高的模温。同时提高模温可以调整制品的冷却速率使之均匀一致，防止因温差太大而产生凹痕及内应力大等缺陷。

(2) 机筒温度 改性聚苯醚是由聚苯醚、聚苯乙烯及助剂通过双螺杆挤出机共混改性而成。机筒温度设置较低，一方面是由于国产助剂热稳定性较差，另一方面可防止物料在最初获得太多的剪切摩擦热，在均化段发生分解。当机筒温度大于 230℃ 时，制品表面会产生银纹；当温度太低时，又因物料粘度太大，出现制品不足现象。试验表明，机筒最高温度控制在 220~230℃ 时，成型的制品各项性能均良好。

(3) 压力 处于粘流态的改性聚苯醚熔融粘度较高，同时，仪表前盖模具采用的又是潜伏式浇口，所以需要较大的注射压力，并将保压压力设置为零，其目的是减少物料在机筒中的停留时间，防止物料过热分解释放小分子气体，从而影响产品质量。此外，MPPO 具有优良的尺寸稳定性和较小的蠕变性，所以不会因取消保压而影响产品的形状尺寸。

（三）改性聚苯醚雷达天线绝缘环

1. 选材

雷达天线绝缘环是雷达天线系统的重要部件之一。对该绝缘环材料的要求是：电性能好，尺寸稳定，有一定的力学强度，使用环境温度为 $-45 \sim 50^{\circ}\text{C}$ 。据此，设计单位确定采用改性聚苯醚（MPPO）为绝缘环的基体树脂。

MPPO 有许多牌号，其性能相差很大，制造绝缘环选择哪种 MPPO 为宜必须通过工艺试验来确定。

表 6-16 列出试验用材料及其试验结果。可知，生产绝缘环应优选 MPPO 109N-G20 和 MPPO 9406-701。

表 6-16 试验用材料及其试验结果

项 目		MPPO					
		105N ^①	106N ^①	109N ^① -G ^② 20	2201（G） ^②	5511	9406-701
注射	合格率（%）	0	57	100	91	26	100
	不合格品类型	变形	变形		崩落	变形	
机加	合格率（%）		68	96	68	62	90
	不合格品类型	人为造成的机加工不合格品，不计入本试验结果					
装配	合格率（%）		100	100	100	100	100

- ① N—阻燃品级。
② G—玻璃纤维增强品级。

2. 主要设备

（1）注射机 生产 MPPO 绝缘环对注射机的型式无严格的要求，但从塑化效果、熔体流动速率等方面考虑，还是以螺杆式注射机为宜。根据 MPPO 的工艺特性，对注射机的要求如下。

- 1) 绝缘环的耗料量应控制在设备一次注射量的 50% ~ 70%；绝缘环料重 90g，宜选 150g 注射机。
- 2) 因制品尺寸精度较高，故要求选用合模力为 450 ~ 750kN、 $L/D = (18 \sim 20):1$ 、压缩比 $(1.5 \sim 3):1$ 的注射机。
- 3) 应选用敞开式喷嘴，喷嘴孔径应大于 $\phi 4\text{mm}$ 。
- 4) 若机筒内残存其他塑料，将使 MPPO 出现变色、降解、交联、制品内应力增大。为此，在正常情况下，加工 MPPO 前应清洗机筒。

（2）模具

- 1) 浇注系统。MPPO 熔体流动性差，为使熔体能迅速充满模腔，流道与浇口应短、粗。理论上讲，浇口深度为制品壁厚的 $3/4$ 左右，故生产绝缘环采用 8 处内环进浇，以较快地充满模腔并按注射时间（高压时间）封口，保证绝缘环无缩凹。
- 2) 冷料穴。为提高绝缘环表面质量，开设了冷料穴。
- 3) 熔接缝。绝缘环有 8 个 $\phi 12\text{mm}$ 的孔，孔的存在使熔接缝难以避免，熔接缝外强

度明显下降。为改善熔体流动状态,减少熔接缝,绝缘环模具在熔体流动末端,孔位置附近开设8条溢料槽。

4) 顶出装置。顶出装置的设置应保证顶出过程平稳,顶出面积适宜,以防止顶出不稳造成内应力或变形。为此,绝缘环模具设置了8个 $\phi 12\text{mm}$ 的顶出杆,同步顶出。

5) 脱模斜度。脱模斜度为 0.5° ,保证了顶出顺利,脱模平稳。

3. 制备工艺

(1) MPPO 绝缘环的生产现状 MPPO 绝缘环的生产工艺流程如图 6-3,由图 6-3 可知,MPPO 绝缘环的生产除注射成型外,还需进行机械加工和装配,生产工艺较复杂,因而虽然已投产多年,但产品合格率低且不稳定。

(2) 改进的措施 针对 MPPO 绝缘环合格率低的问题,进行了分析研究和工艺试验,认为应力开裂是影响绝缘环质量的关键因素,造成应力开裂的原因主要是原材料选择不当,其次与注射机、注射工艺、机加工工艺等有直接的关系。



图 6-3 MPPO 绝缘环的生产工艺流程

(3) 注射工艺 由于 MPPO 的流变行为接近牛顿型流体,注射成型温度或时间掌握不当,会使 MPPO 具有交联倾向,使绝缘环起层、崩落,且其内部密度呈各向异性,易引发内应力,出现应力开裂。为防止内应力的增大,对注射工艺参数进行了多次选择与试验,并对不同型号的 MPPO 给出了各自适合的注射工艺参数,可以满足不同型号 MPPO 生产绝缘环的要求。

由于 MPPO 热变形温度高,熔体冷却速度快,如果注射工艺参数选择不当或原材料含有水分,也会产生变形、发花、崩落等制品缺陷。因此,应根据选用的材料确定合理的注射工艺参数。

1) 材料干燥。注射用 MPPO 的吸水性为 0.06% ,水分的存在,影响制品外观,生产绝缘环时,要对 MPPO 进行干燥,干燥条件为 $(110 \pm 5)^\circ\text{C}/3\text{h}$,料层厚度 30mm 。

为防止注射成型时材料与环境湿度平衡吸收水分,在注射机上要安装专用保温干燥加料器。

2) 注射温度。MPPO 熔体流动性比 PPO 好,故注射温度一般低于 300°C ,分三段控制,压缩段温度最高,加料段最低。

3) 注射压力。成型 MPPO 制品需较高的注射压力,一般为 100MPa 。但注射压力提高将增大制品的内应力。针对绝缘环的特点,选择注射压力为 $55 \sim 80\text{MPa}$ 。

4) 模具温度。模具温度的设置,有助于改善熔体的充模性,防止熔体过早冷凝,同时可以改善制品的内应力及表面粗糙度。模具温度最高不宜超过 100°C ,以免造成制品翘曲变形,成型周期延长。根据制品的特点,设置模具温度为 $(80 \pm 5)^\circ\text{C}$ 。

5) 成型周期。成型周期与壁厚有关,考虑到 MPPO 的热稳定性,在制品脱模不发生变形的前提下,成型周期应越短越好。绝缘环为厚度 3mm 的片状制品,为防止变形,选择成型周期为 $80 \sim 120\text{s}$ 。

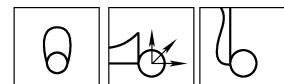
6) 制品后处理。MPPO 制品易残留内应力。为防止在使用过程中发生应力开裂,

对制品应作后处理。后处理工艺参数为：温度 $(90 \pm 5)^\circ\text{C}$ ，时间 4h，随炉冷却。

(4) 机械加工工艺 据统计，机械加工的合格率为 71.3%。其中，开裂件占不合格品的 88.7%。开裂是机械加工工序产生不合格品的主要因素。分析机械加工工序可以看出，造成不合格品多的原因主要是机械加工中未注意 MPPO 的工艺特性，仍按金属件对待，普遍使用乳化冷却液、润滑油等。这些溶剂的使用造成了绝缘环应力开裂。因此，在机械加工 MPPO 零件时，应禁止使用润滑油。

(5) 装配工艺 装配工序中绝缘环开裂的部位全部在圆柱销根部，开裂的原因是圆柱销与绝缘环以压力形式装配及装配过程中涂抹润滑油所致。这是因为压力装配的失效形式有两种。如果轴上压应力超过轴材料的屈服极限，轴将破裂；如果轴套上的拉伸应力超过材料的拉伸屈服极限，则轴套将被胀裂。本产品由于轴（金属销）的压缩强度较高，因此损坏可能性小。常见的失效形式是轴套（绝缘环的销孔）周向应力超过 MPPO 拉伸强度而破裂。因此，选择合适的过盈量，是压力装配至关重要的因素之一。过盈量过大，轴与轴套装配联结困难，过盈量过小，使装配联结强度不足，可靠性差。装配过程中有相当一部分金属圆柱销实测尺寸为 $\phi 3_{+0.030}^{+0.045}\text{mm}$ ，已严重超差，这时导致装配工序应力开裂的主要原因。当用紧固件连接时，在塑料件上有三种内应力如图 6-4。即加载孔边的挤压应力（图 6-4a）；有孔截面的净剖面拉伸应力（图 6-4b）和剪切面上的切应力（图 6-4c）。所有这些内应力都易引发塑料件龟裂。但在实际工作中发现绝缘环在装配过程中，很少发生龟裂；而待装成系统成品，过一段时间后才出现龟裂。这是因为 MPPO 的疲劳强度较低，耐应力性差，有应力开裂倾向，特别是在接触某些液体，如酯类、酮类、矿物油等时，更易产生应力开裂。

由此可见，绝缘环与金属销装配压力配合不当时，使过盈量改变，导致失效（绝缘环开裂）；油的存在加剧了装配失效。为此，今后的加工中，应控制金属圆柱销的加工精度，且在装配工序应避免使用润滑油等，以保证销与绝缘环装配的可靠性。



a) 挤压应力 b) 拉伸应力 c) 切应力

图 6-4 装配时的内应力分布

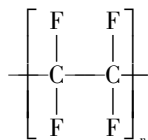
第七章 聚四氟乙烯（PTFE）

第一节 主要品种与性能

一、简介

1. 结构特征

聚四氟乙烯（Polytetrafluoroethylene，PTFE）是四氟乙烯的均聚物。可用悬浮法、分散法、乳液法等聚合方法制得其结构为：



聚四氟乙烯是氟塑料中唯一可用作工程塑料的品种。

2. 主要性能

PTFE 不溶于任何溶剂，因而不能用粘度法、光散射法等来测定，只能用相对密度法（SSG 法）和差热法（DSC 法）来测定数均分子量。结晶度也是用 SSG 法测得。

PTFE 的相对分子量非常大，因而相对分子量的大小对强度的影响不明显，但结晶度对 PTFE 制品的刚性、韧性、伸长率和强度有明显影响。

PTFE 的密度约 2.2g/cm^3 ，表面光滑，呈蜡状，对水的接触角为 $114^\circ \sim 115^\circ$ 。通常为乳白色，不透明，但淬火制品有一定的透明度，几乎不吸水，对水蒸气和氮气的透过率低，且随密度的增加而降低。

PTFE 的拉伸强度、伸长率、弹性率、硬度、透气率、介电强度等都与成型压力、烧结温度与时间、冷却速度等加工条件有关，因加工条件影响制品孔率和结晶度。成型压力高，在模内烧结和压力下冷却，可减少制品中的空隙，从而提高其机械强度。PTFE 的弹性模量较低，容易蠕变。而蠕变是 PTFE 可用于垫圈、生料带、弹性带等起密封作用的原因。

PTFE 的硬度较低，但加入填料可得到提高。

PTFE 的摩擦因数是所有固体材料中最小的，且不随温度而变。其静摩擦因数小于动摩擦因数，因此，PTFE 轴承启动平顺，阻力小，可做低速高负荷轴承，低速转动时无噪声。

PTFE 的热导率较低，加入金属填料可适当提高。PTFE 的熔点为 327°C ，热变形温度为 $50 \sim 60^\circ\text{C}$ （ISO R75A 法）或 $130 \sim 140^\circ\text{C}$ （B 法），使用温度为 $-200 \sim 260^\circ\text{C}$ ，不燃。

PTFE 的热稳定性是热塑性塑料中最高的，在 $204 \sim 327^\circ\text{C}$ 的降解少，故不用加热稳

定剂。

表 7-1 ~ 表 7-3 为 PTFE 树脂的性能。

表 7-1 采用悬浮法生产的 PTFE 树脂的基本性能

性 能	指 标	性 能	指 标
拉伸强度(23℃)/MPa	7 ~ 28	吸水性(%)	<0.01
断裂伸长率(23℃)(%)	100 ~ 200	燃烧性	不燃
弯曲强度(23℃)	无断裂	静摩擦因数	0.05 ~ 0.08
弯曲弹性模量(23℃)/MPa	350 ~ 630	介电强度(短时,2mm)/(V/mm)	23600
冲击强度(24℃)/m	160	耐电弧性/s	>300
洛氏硬度 D	50 ~ 60	体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$	$>10^{18}$
压应力(变形1%,23℃)/MPa	4.2	表面电阻率/ Ω	$>10^{16}$
线胀系数(23 ~ 60℃)/($\times 10^{-5} \text{K}^{-1}$)	12	介电常数(60 ~ $2 \times 10^9 \text{Hz}$)	2.1
热导率(4.6mm)/[W/(m·K)]	0.24	介电损耗因数(60 ~ $2 \times 10^9 \text{Hz}$)	0.003
负荷下变形(26℃,13.72MPa,24h)(%)	15		

表 7-2 国产乳液法生产的 PTFE 树脂的性能

性 能	SFF-1-1	SFF-1-2
树脂外观	白色粉状	白色粉状
试板外观纯度	板面洁净，颜色均匀，不允许夹带砂和金属杂质。>0.5mm 的机械杂质和 >2mm 的有机杂质各不超过 1 个	板面颜色均匀，不允许有砂和金属杂质，允许有 0.5mm 的机械杂质
拉伸强度（不淬火）/MPa $\geq$	16	14
断裂伸长率（不淬火）(%)	350 ~ 500	≥ 350
热失重 (%) $\leq$	0.8	0.8
体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm} \geq$	1×10^{16}	
相对介电常数（1MHz）	1.8 ~ 2.2	
介电损耗因数（1MHz $\leq$ ）	2.5×10^{-4}	
使用温度/℃	-250 ~ 260	-250 ~ 260
用途	电绝缘材料	一般电绝缘材料及其他制品

表 7-3 国产分散法生产的 PTFE 树脂的性能

性能	氟树脂 201	氟树脂 202A
类别	高压压缩比树脂	中压缩比树脂
平均粒度/ μm	500 ± 150	500 ± 150
表观密度/(g/L)	475 ± 100	450 ± 100
最大压缩比	1600	500
拉伸强度/MPa $\geq$	20	20
断裂伸长率 (%)	约 400	约 400

表 7-4 为聚四氟乙烯浓缩分散液性能。

表 7-4 聚四氟乙烯浓缩分散液性能

性 能	上海市有机氟材料所产品 (氟树脂 301)	化工部晨光化工 研究院二分厂产品
浓缩剂含量 (%)	4 ~ 6	6
相对密度	1. 5	1. 50 ~ 1. 52
pH 值	9 ~ 10	≥8
粘度/Pa · s	$1 \times 10^{-2} \sim 1. 2 \times 10^{-2}$	$0. 5 \times 10^{-2} \sim 1. 5 \times 10^{-2}$
表面张力/ (N/cm)	$3. 3 \times 10^{-4} \sim 3. 4 \times 10^{-4}$	
聚四氟乙烯质量分数 (%)	60 ± 2	60 ± 2
非离子表面活性剂质量分数(%)	4 ~ 6	
外观	乳白或微黄色液体	

PTFE 在低温时不丧失其润滑性和较高的强度，在 - 80℃ 仍具有柔软性。

PTFE 在 150℃ 以下时体积电阻大于 $10^{18} \Omega \cdot \text{cm}$ ，且与温度无关，湿度对其也无影响。PTFE 耐化学品性极好。

3. 应用

聚四氟乙烯耐化学腐蚀性最好，因而在防腐材料上用得最多，应用面很广；PTFE 的电性能优异，因而在电子电器工业中用作绝缘材料；PTFE 的摩擦因数小、耐磨性好，故在机械工业中制作耐磨材质、滑动部件和密封件等。

PTFE 普遍使用在桥梁、建筑物上作承重支承座。另外根据 PTFE 薄膜处理后具有选择透过性，可用作分离材料，有选择地透过气体或液体。其多孔膜可用于气液分离、气气分离及液液分离，还可用于过滤腐蚀性液体。除此以外，PTFE 在医学、电子、建筑等行业也有广泛的应用，如 PTFE 膜可用作人体器官，像人造血管、心脏瓣膜等。

二、国内 PTFE 的牌号、性能与应用（表 7-5 ~ 表 7-10）

表 7-5 四川晨光化工研究院二分厂 PTFE 的性能与应用

牌 号	类型	拉伸强度/MPa	摩擦因数	特 性	应 用
FBCFG-421	填充	11. 4	0. 17	耐磨性好，导热效率高，低翘曲，可注射成型	可用于制备活塞、球体等
FG20	填充	15. 0	0. 16	耐磨性优良，可模压或烧结成型	可用于制备密封制品
FG40	填充	11. 3	0. 16	导热效率高，柔软，摩擦因数小，可模压或烧结成型	可用于制备工程结构制品
FGF40	填充	14. 0	0. 18	耐磨性好，强度高，可烧结成型	可用于制备活塞环
FGFBN-402	填充	11. 7	0. 20	耐磨性和耐蠕变性优良，可烧结成型	可用于制备活塞环、垫圈等

(续)

牌 号	类型	拉伸强度/MPa	摩擦因数	特 性	应 用
FGFG205	填充	16.0	0.21	耐磨性优良，强度高，可烧结成型	可用于制备轴承和密封件
SFF-N-1	分散液	22.0		渗透性好，用于浸渍石棉、石墨、玻璃纤维等	可用于制备盘根、耐磨制品、薄膜、涂层等
SFF-N-2	分散液	22.0		组织性能好，为纺丝专用品级	可用于纺丝制成纤维或织物
SFN-1	分散液			浸渍性和渗透性好	可用于浸渍增强材料或涂层
SFZ-B	悬浮法	35		耐热，耐化学药品性能优良，断裂伸长率300%	可用于制备电容器薄膜
SmoZ ₁ -H	悬浮法	32		熔点（327±5）℃，强度高，可模压成型	可用于制备工程结构制品

表 7-6 上海三 F 公司 PTFE 的性能与应用

牌 号	类型	表观密度 / (g/L)	拉伸强度/MPa	特 性	应 用
DE241	分散液			中等压缩比，可推压成型	可用于制备管材、棒材、密片材等
SFF-1-1	分散液			绝缘性能优良，可挤出成型	可用于制备绝缘制品
SFF-1-2	分散液			绝缘性能优良，可挤出成型	可用于制备绝缘制品
SFX-1	悬浮粒			白色粉料，强度高，可模压成型	可用制备板、管材、薄膜和绝缘制品
100	悬浮粒	400 ~ 500	25.5	白色粉料，强度高，可模压成型	可用于制备板、棒材、薄膜等
102	悬浮粒	600 ~ 700		白色粉料，流动性好，可模压或柱塞挤出成型	可用于制备管材、棒材、管件等
104	悬浮粒	350 ~ 450		白色粉料，加工性能好，可模压成型	可用于制备薄膜
104A	悬浮粒	350 ~ 450	30 ~ 40	白色粉料，介电性好，加工流动性优良	可模压成型薄壁制品
104M	悬浮粒	250 ~ 350	27.4	白色粉料，加工性能良好，电性能好	可用于制备大型薄板
105	悬浮粒			电绝缘性好，强度高，可模压成型	可用于制备电绝缘制品
201	分散粒	475		白色粉料，电性能好，可与助剂混合挤压成型	可用于制备电线套管、电缆被覆等
201A	分散粒	450		白色粉料，成型压缩比小于201，可烧结成型	可用于制备工程结构件
202A	分散粒	450	20.7	白色柔软粉料，电性能好，可糊状挤出成型	可用于低压缩比制备电线、绝缘套管

(续)

牌 号	类型	表观密度 / (g/L)	拉伸强度/MPa	特 性	应 用
202B	分散粒	450		白色柔软粉料，A02 性良好，可低压压缩比成型	可用于制备生料带和薄壁管材
301	分散粒			乳白液体，含离子改性剂，浸渍性优良	可用于浸渍石墨、玻璃纤维等

表 7-7 上海氯碱化工股份有限公司 PTFE 的特性与应用

牌 号	类型	外 观	成型方法	拉伸强度 /MPa	特 性	应 用
SFF-1-1 SFF-1-2 SFF-1-3	分散剂	白色细粉	糊状成型		加工性能良好，为液体，可与助剂混合制成糊料、糊状成型	主要用于制备薄壁管材、棒材、电线电缆被覆
SFX-1-1 SFX-1-2 SFX-1-3	悬浮法	白色粉末	模压成型	23	耐高温、耐腐蚀性优越，绝缘性能良好	可用于制备化工管道衬里和绝缘制品等
SFX-2	悬浮法	白色粉末	模压或挤出成型	22	耐化学腐蚀性优异，强度中等，密封性良好	可用于制备化工衬里、管件、密封件
SFX-3	悬浮法	白色粉末	模压或挤出成型	20	耐化学腐蚀性突出，强度中等	可用于制备化工衬里、管材等

表 7-8 济南化工厂 PTFE 的性能与应用

牌 号	类型	表观密度 / (g/L)	伸长率 (%)	拉伸强度 /MPa	熔点 /℃	特 性	应 用
SFX-1	悬浮 (粗粒)	500 ± 100	250	26	327	耐候性好，不吸水，阻燃，可于 - 250 ~ 260℃ 下长期使用，耐磨，耐电弧，介电性能好，可模压或烧结成型	可用于制备一般构件、耐腐蚀制品等
SFX-2	悬浮 (细粒)	250	300	25	327		
SFX-3	悬浮					耐蚀性突出，耐高低温，电性能好，可模压或烧结成型	可用于制备密封件、结构制品
分散法 细粒		400 ~ 500	35	16	327	性能与 SFX-1 相似，压缩比低，可挤压成型	可用于制备工程结构件

表 7-9 上海有机化学研究所 PTFE 的特性与应用

牌 号	特性与应用
分散剂	白色粉末或液体，与助剂混合后可用挤压制薄壁管、细棒、异型材、电缆被覆
悬浮剂	白色粉末，模压烧结制垫圈、板、管件等
F202	白色粉末，与助剂混合后可填充石墨浸渍玻璃纤维，也可纺丝、喷涂
F203	白色粉末，与助剂混合后可填充石墨等填料，模压制电子件、轴承，也可纺丝、喷涂

表 7-10 北京化工厂 PTFE 的特性与应用

牌号	特性与应用
分散剂	挤出成型制薄壁管、细棒、异型材、电线被覆、密封材料
悬浮剂	模压烧结成型，宜制薄膜、管材、棒材、轴承、垫圈、化工设备容器

三、国外 PTFE 的牌号、性能与应用（表 7-11 ~ 表 7-12）

表 7-11 美国奥西玛塔公司（Ausimont Inc.）Halon PTFE 的特性与应用

牌号	相对密度	拉伸屈服强度 /MPa	弯曲弹性模量 /GPa	悬臂梁缺口冲击强度 /(J/m)	热变形温度 (1.82MPa) /℃	特 性	应 用
G80		41	123		120	未改性品级，电性能好，阻燃 V-0 级，可模压成型	可用于制备电子、电器零部件
G83		35	160		120	未改性品级，表面光泽性优良，阻燃 V-0 级，可模压成型	可用于制备表面装饰或阻燃制品
G700		35	160		120	未改性品级，抗蠕变性优良，阻燃 V-0 级，可模压成型	可用于制备一般工程制品
1005	2.17	28	1.1	160		50% 玻璃纤维，耐化学药品，阻燃 V-0 级	可模压或挤出工程制品和阻燃制品
1005pellet	2.17	18.6	0.79	149		5% 玻璃纤维，耐化学药品，阻燃 V-0 级	可用于模压或挤出化工防腐制品或阻燃制品
1012	2.21	21	1.17	133			
1015	2.22	23	1.45	133			
1018	2.21	22	1.14	139		18% 玻璃纤维，耐化学药品	可用于模压或挤出成型一般工程制品、耐腐蚀制品或阻燃制品等
1018pellet	2.21	19.3	1.10	133		18% 玻璃纤维，耐化学药品	
1020pellet	2.21	19.3	1.14	128		20% 玻璃纤维，耐化学药品	
1025	2.22	20.0	1.45	117		25% 玻璃纤维，耐化学药品	
1025pellet	2.22	17.9	1.38	112		25% 玻璃纤维，耐化学药品	
1030	2.24	17.9	1.55	107		30% 玻璃纤维，耐化学药品	
1030pellet	2.24	14.5	1.45	101		30% 玻璃纤维，耐化学药品	
1035	2.25	15.8	1.62	91		35% 玻璃纤维，耐化学药品	

(续)

牌号	相对密度	拉伸屈服强度 /MPa	弯曲弹性模量 /GPa	悬臂梁缺口冲击强度 /(J/m)	热变形温度 (1.82MPa) /℃	特 性	应 用
1035pellet	2.25	15.8	1.62	91		35% 玻璃纤维, 耐化学药品	可用于模压或挤出成型一般工程制品、耐腐蚀制品或阻燃制品等
1205	2.21	23	1.1	123		21% 玻璃纤维, 耐化学药品	
1230	2.31	16.6	1.69	107		5% 碳纤维, 耐化学药品	可用于模压或挤出成型耐腐蚀工程制品
1230pellet	2.31	13.8	1.66	101		20% 玻璃纤维, 耐化学药品	可用于制备一般耐磨制品
1230pellet	2.31	13.8	1.66	101		5% 二硫化钼, 耐磨	
1230pellet	2.31	13.8	1.66	101		5% 碳纤维, 耐化学药品	可用于制备耐化学药品工程制品
1240	2.7	14.5	1.79	101		20% 玻璃纤维, 耐化学药品	
1240	2.7	14.5	1.79	101		20% 二硫化钼, 耐磨	可用于制备工程耐磨制品
1240pellet	2.7	11	1.73	96		20% 玻璃纤维, 耐化学药品	可用于制备耐化学药品制品
1240pellet	2.7	11	1.73	96		20% 二硫化钼, 耐磨	可用于制备工程耐磨制品
1410	2.17	21	1.1	117		10% 玻璃纤维, 耐化学药品	可用于模压或挤出成型耐化学药品、耐腐蚀制品或用作化工设备耐腐蚀衬里等
1410	2.17	21	1.1	96		10% 碳纤维, 耐化学药品	
1410pellet	2.17	19.3	1.03	112		10% 玻璃纤维, 耐化学药品	
1410pellet	2.17	19.3	1.03	112		10% 碳纤维, 耐化学药品	
1416	2.16	23	1.24	112		5% 玻璃纤维, 耐化学药品	
1416	2.16	23	1.24	112		10% 碳纤维, 耐化学药品	
1416pellet	2.16	22	0.97	107		5% 玻璃纤维, 耐化学药品	
1416pellet	2.16	22	0.97	107		10% 碳纤维, 耐化学药品	

(续)

牌号	相对 密度	拉伸 屈服 强度 /MPa	弯曲弹 性模量 /GPa	悬臂梁 缺口冲 击强度 /(J/m)	热变形 温度 (1.82MPa) /℃	特 性	应 用
2010	2.13	17.9	1.0	155		10% 碳纤维, 耐化学 药品	可用于模压或挤 出成型耐化学药 品、耐腐蚀制品或 用作化工设备耐腐 蚀衬里等
2010pellet	2.13	17.9	0.93	149		10% 碳纤维, 耐化学 药品	
2015	2.12	22	1.31	149		15% 碳纤维, 耐化学 药品	
2015pellet	2.12	13.8	1.24	149		15% 碳纤维, 耐化学 药品	
2021	2.27	31	1.10	3.0		5% 二硫化钼, 耐磨	可用于模压或挤 出成型耐磨制品、 轴承配件等
2021pellet	2.27	27.6	1.03	149		5% 二硫化钼, 耐磨	
3040	3.3	23	1.45	133		40% 青铜, 耐磨	
3040pellet	3.3	21	1.38	117		40% 青铜, 耐磨	
3050	3.55	21	1.73	128		50% 青铜, 耐磨	
3050pellet	3.55	20	1.66	112		50% 青铜, 耐磨	
3060	3.97	20	1.93	123		60% 青铜, 耐磨	
3060pellet	3.80	18.6	1.93	107		60% 青铜, 耐磨	
3205	3.75	14.5	1.86	123		55% 青铜, 耐磨	
4010	2.13	29	0.91	155		10% 碳纤维, 耐化学 药品	可用于模压或挤 出成型耐化学药品 或耐磨制品等
4010pellet	2.13	27	0.82	149		10% 碳纤维, 耐化学 药品	
4015	2.11	27.6	1.03	144		15% 碳纤维, 耐化学 药品	
4015pellet	2.11	26	0.97	139		15% 碳纤维, 耐化学 药品	
4022	2.09	152	1.27	112		22% 碳纤维, 耐化学 药品	
4022pellet	2.09	13.1	1.65	101		22% 碳纤维, 耐化学 药品	
4025	2.09	13.8	1.85	112		25% 碳纤维, 耐化学 药品	可用于模压或挤 出成型耐化学药品 或耐磨制品等
4025pellet	2.09	12.4	1.10	101		25% 碳纤维, 耐化学 药品	

表 7-12 国外生产的聚四氟乙烯性能

性 能	测试方法 (ASTM)	美国联合化学公司	美国杜邦公司	法国于吉内居尔芒公司
		Halon TFE G80-G83	Teflon TFE	Soreflon
模塑收缩率 (%)	D955		3 ~ 7	3 ~ 4
熔融温度/℃		331	327	
相对密度	D792	2.14 ~ 2.20	2.14 ~ 2.20	2.15 ~ 2.18
吸水性 (%)	D570			
方法 A			< 0.01	< 0.01
折射率	D542	1.35	1.35	1.375
拉伸屈服强度/MPa	D638	2.76 ~ 44.8	13.8 ~ 34.5	17.2 ~ 20.7
屈服伸长率 (%)	D638	300 ~ 450	200 ~ 400	200 ~ 300
拉伸弹性模量/MPa	D638	400	400	400
弯曲弹性模量/MPa	D790	483	345	483
压缩屈服强度/MPa	D695	11.7	11.7	11.7
压缩弹性模量/MPa	D695		414 ~ 621	
洛氏硬度 D		50 ~ 65	50 ~ 55	50 ~ 60
悬臂梁冲击强度/(J/m)	D256			
缺口 3.2mm		107 ~ 160	160	160
荷重形变 (%)				
13.8MPa, 50℃		9 ~ 11		9 ~ 11
热变形温度/℃	D648			
0.46MPa		121	121	121
1.82MPa		48.9	55.6	48.9
最高使用温度/℃				
间断		260	288	299
连续		232	260	249
线胀系数/($\times 10^{-5} \text{K}^{-1}$)	D696	9.9	9.9	9.9
热导率/[W/(m·K)]	D177	0.27	0.25	0.25
燃烧性 (氧指数) (%)	D2863		> 95	> 95
相对介电常数	D150			
60Hz		2.1	2.1	2.0 ~ 2.1
1MHz		2.1	2.1	2.0 ~ 2.1
介电损耗因数				
60Hz		$< 3 \times 10^{-4}$	$< 2 \times 10^{-4}$	$< 3 \times 10^{-4}$
1MHz		$< 3 \times 10^{-4}$	$< 2 \times 10^{-4}$	$< 3 \times 10^{-4}$
体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$	D257	10^{17}	$> 10^{18}$	$> 10^{18}$
耐电弧性/s	D495	不耐电弧	> 300	> 1420

第二节 聚四氟乙烯制品及其成型工艺

一、聚四氟乙烯成型加工方法

PTFE 的熔体粘度极高,通常只能采用粉末冶金法,即模成型坯再烧结成型,也可以采用挤压成型、等压成型或分散液涂覆,以及焊接、粘接、机加工、喷涂等二次加工。

(1) 模压成型 将聚四氟乙烯树脂粉料加入模具内,加至 25 ~ 50MPa,保持一定的时间后脱模,即得到已经定型但力学强度不高的预成型制品。把预成型制品放入马弗炉中,按一定升温速度升温,达到 380℃ 左右时保温,然后按升温速度进行降温或采用其他方式冷却,出炉后即可获得成型坯料模压产品,如管、棒、板、隔膜、密封环及其他制品。如果将模压坯料进行车削加工,就得到片材、薄膜等。如果将车削后得到的薄膜在一定温度下进行拉伸,就得到定向膜,强度和电性能进一步提高。

(2) 液压成型 也称等压成型,是一种不通过压机而直接利用流体的压力来制备聚四氟乙烯预成型制品的冷加工方法。根据帕斯卡定律,利用高压流体的压力向各处传递,迫使不易渗透橡胶袋胀大或缩小,使停留在橡胶袋与成型模壁之间的物料缓慢而均匀地受到压缩,成为所需形状的聚四氟乙烯预成型制品。根据橡胶袋胀大、缩小或受压方向不同,液压成型可分为内压法、外压法和内外压法三种。液压成型的预制品,也是要经过烧结才能成为有强度的制品。液压阀适用于模压难以成型的大型、异型、复杂、中空薄壁制品,如三通、弯头、容器、管道、筒体、半球壳体等。

(3) 烧结 模压和液压的预制品经烧结后才能成为有强度和良好性能的制品,烧结是 PTFE 成型中的关键。烧结过程由升温、保温、冷却三步组成。对大型制品和薄膜毛坯,升温速度为 10 ~ 40℃/h,对中型制品为 60 ~ 70℃/h,对小型制品可达 100 ~ 120℃/h 或自由升温。保温温度对悬浮法树脂为 $(390 \pm 5)^\circ\text{C}$,分散法树脂为 $(370 \pm 5)^\circ\text{C}$,保温时间以制品呈透明胶体状为限,中、大型制品要 5 ~ 10h 或更长,小型制品只需 1h 或更短。冷却方式分为“淬火”与“不淬火”两种。“淬火”是把处于烧结温度的坯料快速通过结晶速度最大的温度区域进行冷却,如置于冷却介质水或空气中;“不淬火”是将处于烧结温度的坯料缓慢冷却至室温。

(4) 推压成型 推压成型方法适用于聚四氟乙烯分散树脂,因为该树脂在剪切作用下易于形成纤维状的特性。先将助推剂和聚四氟乙烯分散树脂混合均匀后,预成型为坯料,把坯料装入推压机模腔内,施加压力将坯料强行通过有一定锥度的模具,便可获得成纵向排列的纤维。通过干燥除去助推剂后,再经过烧结便成为最终有一定温度和韧性的制品。推压成型适用于加工细管、小棒和扁带。

(5) 柱塞挤压成型 柱塞挤压成型是利用柱塞上下运动分批将聚四氟乙烯悬浮树脂(预先烧结处理)送入机筒模具中,用柱塞将它压缩,然后将柱塞提升,重新加入新的聚四氟乙烯树脂进行压缩,周而复始不断加料不断压缩,从而进入加热到 370 ~ 380℃ 的挤压机筒中,连续长度的管、棒等型材就在此区域内加工成型。

(6) 浸渍成型 一般主要是玻璃纤维布浸入聚四氟乙烯分散液内,然后干燥,再浸入分散液中,经过多次浸渍、干燥(多道浸胶机)后,使玻璃布内所含聚四氟乙烯

树脂达到一定量（俗称达到一定的含胶量）后成卷，再将此卷置于烧结炉的放卷架上，含胶的玻璃布以一定的速度通过烧结炉烧结后复卷，得到聚四氟乙烯玻璃布。该材料具有良好的防粘性能，若把它切成大小一定的块料，上下两面覆以铜箔，在多层压机内压制，就得到聚四氟乙烯的覆铜箔板。

将多孔金属浸以聚四氟乙烯分散液后干燥、烧结，使它的孔内含有一定量的聚四氟乙烯树脂，就成为既有金属的强度又有良好的润滑性能的新材料，又称为氟塑料金属。该材料已被广泛应用于制造轴承、活塞环、导向环、轴承等。

（7）压延 将悬浮法树脂捣碎，模压成空心圆柱体坯料，烧结，经车床车削成薄膜，再经压延机压延成定向薄膜。

（8）层压 制备玻璃布层压板，层压压力为 13MPa，温度为 380℃。制备复铜箔玻璃布层压板时压力一般为 23.6 ~ 31.5MPa。

（9）喷涂 将浓缩分散液配制成涂料，喷涂于各种器件表面。喷涂后的器件于 90℃ 左右烘干约 15min，380℃ 烧结 15 ~ 30min 后取出急冷淬火。或将 PTFE 粉末通入等离子焰流中，在高温作用下，迅速塑化而成致密涂层。

（10）新型的 PTFE 成型加工技术

1）真空成型技术。该技术是将预热过的 PTFE 薄膜在真空条件下加工成所需形状。用这种方法可以制成小于等于 100μm 的极薄的复杂结构制件，而且制品表面无须再加工，特别适合于与其他材料一起制作复合制件。

2）热压成型与热吹塑成型技术。该技术利用 PTFE 半成品受热加压下可以变形，经冷却后可制成所需形状制品这一基本原理。热吹塑法成型的 PTFE 容器具有高温时尺寸稳定、壁厚较均匀、质量轻、透明度好等特点，是制备 PTFE 容器很有前途的加工方法。这种技术也可以加工 PTFE 波纹管等复杂形状的筒体。

二、聚四氟乙烯模压烧结成型

（一）聚四氟乙烯单向拉伸膜的成型

1. 选材

（1）原材料 悬浮聚四氟乙烯（PTFE）树脂。

（2）原材料技术条件

1）上海电化厂 SFX-1-1 型

外观：洁白、质地均匀，不允许夹带金属杂质和其他杂质；

粒径：25.25μm；

表观密度：0.29g/cm³。

2）日本大金工业公司 M-12 型

外观：洁白、细小软粉末；

表观密度：0.29g/cm³；

平均粒径：25μm。

3）英国卜内门化学公司的 G163 型树脂

外观：细粒粉末体；

密度：0.35g/cm³；

粒径: 25 μm ;
 拉伸强度: 0.43MPa;
 伸长率: 350% ;
 压缩比: 4:1。

2. 主要设备

- 1) 压力成型机。100t 液压机。
- 2) 模具。 $\phi 200\text{mm} \times 1500\text{mm}$ 。
- 3) 烧结炉。加热功率 45kW, 附抽风机。
- 4) 车床。C60 系列加长。
- 5) 二辊压延机。 $\phi 250\text{mm} \times 350\text{mm}$, 附热油加热系统。
- 6) 单向拉伸机。 $\phi 250\text{mm} \times 350\text{mm}$, 附前后辊 1kW 牵引电动机。
- 7) 卷取机。电动机功率为 1 ~ 1.5kW。

3. 制备工艺

(1) 工艺流程 PTFE 定向拉伸膜的工艺流程见图 7-1。

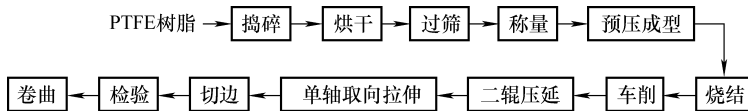


图 7-1 PTFE 定向拉伸膜工艺流程

(2) 预处理 PTFE 树脂长期贮存往往有结块抱团的现象, 在成型前应预先捣碎至一定的粒度, 然后经烘箱预加热去除水分和低分子组分以及挥发性物质, 烘箱温度控制在 250℃ 左右, 预烘 2h。再以 20 目的筛子进行过筛, 以控制树脂的粒度, 最后称量、装料。在直径 200mm 的圆筒型钢制压模内慢慢地装入 PTFE 树脂备用。

(3) 预压成型 将松散的 PTFE 树脂用液压机在压力下使分子密集成为一定形状和尺寸的型坯。可以说, 预压是一个在外力的作用下进行的物理过程。在预压成型的过程中, 应注意以下问题:

1) 压缩比的选择。要使表观密度从 0.29 ~ 0.35g/cm³ 压缩成密度为 2.2g/cm³ 的成型品, 树脂粒子的堆密度在压缩下体积缩小到可以制得的固定形状。因此压缩比一般选在 3.5 ~ 4.0 之间。

2) 模具设计。根据压缩比来计算模具的容积, 本产品采用的型坯模具尺寸, 直径为 200mm, 高度为 1200mm。模具型腔内表面部分镀硬铬处理, 表面粗糙度 Ra 在 0.05 μm 以下, 压缩柱塞与模具之间的配合为 H4/h4, 模具可用 45 钢制作。

3) 成型压力。要使 PTFE 密集, 压力是一个决定性的因素, 压力过小, 会影响型坯烧结不透, 从而影响强度, 压力过高也会引起制品的环形断裂, 一般应选择在 30 ~ 50MPa 为宜。

4) 成型时间一般为 5 ~ 25min。

5) 压机柱塞下移速度为 500 ~ 700mm/min。

(4) 烧结 PTFE 树脂烧结的过程是 PTFE 树脂大分子链段在高温下相互扩散, 并使分子链松弛的过程, 在此过程中粒子界面由于分子链的互相扩散而消失, 使模压的型坯体积压缩成为密实的连续整体。烧结是在烧结炉中进行的, 烧结过程分为升温、保温和冷却降温三个阶段。

1) 升温阶段。由于 PTFE 的热导率低, 传热性能差, 因此, 升温速度应严格掌握。升温太快, 易造成制品表面与内部温差过大, 型坯各部分的膨胀程度不一致, 有可能形成内应力; 而升温太慢, 又会影响生产效率。

升温时间与制品的尺寸大小有关, 一般以升温速率 $40 \sim 80^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 为宜。从室温升到 315°C , 然后在 $315 \sim 320^{\circ}\text{C}$ 范围内, 制品保温 $1\text{h}/2.5\text{cm}$, 最后再在与保温时间相同的时间内, 从 315°C 升到 380°C 。由于 PTFE 的结晶熔点为 327°C , 故在 340°C 时结晶相被破坏, 结晶消失, 成为无定型体, 由于明显的相变, 在这一阶段出现了体积膨胀的现象。

2) 保温阶段。在升温阶段, 也有一个保温阶段, 但保温的含义是不同的。保温阶段的保温是 PTFE 在烧结温度下, 使型坯完全成为透明的无定形体的过程, 一般保温阶段的温度要保持在 $(350 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ 。保温时间视制品尺寸而异, 一般在 $4 \sim 8\text{h}$ 之间, 制品尺寸大, 保温时间长, 反之保温时间短。保温阶段的成型关键是使型坯完全成为透明体, 然后即可开始降温。

3) 降温阶段。PTFE 是一种结晶性聚合物, 降温过程实际是无定形相变为结晶相的过程, 同时伴随着制品尺寸的收缩, 制品内部密集, 因此降温速度对制品的外观质量和内在物理力学性能影响很大。降温速度过慢则结晶容易长大, 结晶度高, 制品收缩率大; 降温太快, 则表面结晶不易长大, 结晶度及密度也低。一般来说, 降温应以慢速为好, 降温速率在 $30 \sim 40^{\circ}\text{C}/\text{h}$, 当温度降到 250°C 时, 即可出炉。

(5) 冷却 制品出炉后, 即用石棉包裹起来自行冷却; 但也可降温至 120°C 后取出直接冷却。如果不采取逐步冷却办法, 将会引起制品环形断裂。

开炉之前, 必须用抽气机将炉内热气排空, 在炉内处于负压时才能打开炉门, 以免炉内有害的气体(光气)冲出, 危害操作人员。

(6) 车削 由烧结成型的制品来制造薄膜, 一般是采取车削成膜的办法, 车削必须选择工作性能良好、精度高的车床来进行, 车削刀具应采取钛合金钢为宜, 刀具的前角切削角度一般控制在 $20^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 为好, 切削速度不宜太快, 主轴转速约 $150\text{r}/\text{min}$, 进给量要小, 由于氟塑料导热性能差, 切削时需喷淋切削液, 车削过程中还应特别注意避免或减少被切削物中的残余应力。将制品加热到 $100 \sim 150^{\circ}\text{C}$ 进行车削, 薄膜厚度在 $0.12 \sim 0.2\text{mm}$ 较为适宜。

(7) 压延 压延的目的是将已车削的薄膜厚度从大于 0.1mm 压延到 $0.1 \sim 0.08\text{mm}$, 压延机辊筒温度为 $150 \sim 180^{\circ}\text{C}$, 辊筒线速度为 $20\text{m}/\text{min}$, 上下辊速差为 $1 \sim 5\text{m}/\text{min}$ 。

(8) 纵向拉伸 将压延薄膜进一步单向拉伸, 就可以制得单向拉伸的 PTFE 薄膜, 单向拉伸采用箱式热拉伸或辊式热拉伸工艺。以一般采用的辊式热拉伸工艺为例加以说明, 工艺条件如下:

1) 拉伸温度: $340 \sim 350^{\circ}\text{C}$ 。

2) 拉伸倍数: $2.5 \sim 3.5$ 。

- 3) 前级拉伸辊线速度为 10m/min，后级拉伸辊线速度为 25 ~ 35m/min。
- 4) 前、后辊温差约 15 ~ 20℃。
- 5) 冷却温度：35 ~ 40℃。产品最后经切边、卷取即为成品，单向拉伸工艺如图 7-2 所示。

4. 性能

聚四氟乙烯定向拉伸薄膜，是一种经过单向拉伸取向制得的，综合性能优良、结晶度高、结构稳定的特殊薄膜。由于进行定向拉伸，使 PTFE 的大分子定向有序排列，

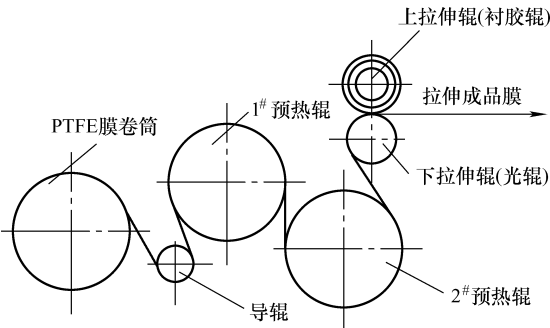


图 7-2 单向拉伸工艺示意图

结构紧密，空隙小，从而大大提高了它的力学、电气性能，其耐电压击穿性，从普通 PTFE 膜的 30kV/mm 提高到 250kV/mm，拉伸力达到 250kN，因而扩大了它在电子、电力、电缆工业等领域的应用。

单向拉伸 PTFE 膜的性能见表 7-13。

表 7-13 单向拉伸 PTFE 膜的性能

指标名称	数 值		EFM-1（定向）			
			半定向		不定向	
	性能指标	实测	性能指标	实测	性能指标	实测
拉伸强度/MPa	≥30.0	520	≥20.0	32.9	≥10.0	19.3
断裂伸长率（%）	≥30.0	88.2	≥60.0	131	≥100	215
1MHz 介质损耗角正切值 >0.01mm	2.5×10^{-4}	2.11×10^{-4}	—	—	—	—
1MHz 介电常数	1.8 ~ 2.2	1.85	—	—	—	—
平均值	≥200	242	≥60	116	≥40	108
最低值	≥40	71.4	≥6	80	≥4	71.4

5. 注意事项

要制得各项性能指标优良的 PTFE 单向拉伸薄膜，在生产中要严格控制以下几点：

- 1) 必须严格控制原料的品质，应选择粒度小、洁白、无杂质的树脂。从试制结果来看，使用国产悬浮一级、日本 M12 及英国 G163 树脂，制品均能符合性能要求。
- 2) 在加工过程中，要严格控制防止杂质的带入，杂质将明显降低产品的电性能，故必须严格控制车间的清洁和操作工的文明生产条件。
- 3) 模具的材质选择、尺寸设计及表面处理都相当重要。
- 4) 在烧结过程中，要严格控制升温、保温、降温三大工艺要素，这是保证产品质量的决定性因素。
- 5) 车削过程中，刀具材质、刀具与制品的切削角度、车床的精度、车削进刀速度的正确选择及车削制品的整齐收卷等，都十分重要，不可轻视。

6) 压延过程中, 严格控制工作场地清洁、加热温度, 减小压辊横向温度梯度使薄膜受热均匀, 控制送膜张力及收卷机张力等, 都是保证拉伸膜质量的重要因素。

(二) 聚四氟乙烯大型模压板材

1. 选材

可用模压法成型板材的原料主要是悬浮聚合法 PTFE 树脂, 其颗粒平均直径为 20 ~ 600 μm , 是比较松软、压缩凝聚性好的粉料。粉料的颗粒越细, 成型板材的孔隙率越低, 性能也就越好, 因此对电气、力学性能要求高的场合, 要选用 Polyflon M-12、Tc-flon 7A 等平均粒径小的原料。但是粒径小, 表观密度小, 容易产生二次凝聚, 给使用带来麻烦。所以, 一般模压成型使用直径在 100 ~ 300 μm 之间的粉料。

选用的 PTFE 原料必须符合 HG/T 2902, 其性能指标见表 7-14。

表 7-14 通用型模压用 PTFE 树脂性能指标

项 目	性 能 指 标	
	一 级 品	二 级 品
清洁度	板面洁白, 质地均匀, 不允许夹带任何杂质	板面洁净, 质地均匀, 不允许夹带金属杂质, 小于或等于 1mm 杂质不超过 2 个
拉伸强度/MPa	≥ 25.5	≥ 22.5
断裂伸长率 (%)	≥ 250	≥ 250
表观密度/ (g/cm^3)	0.5 ± 0.1	0.5 ± 0.1
平均粒径/ μm	180 ± 80	180 ± 80
含水量 (%)	< 0.04	≤ 0.04
熔点/ $^{\circ}\text{C}$	327 ± 5	327 ± 5
密度/ (g/cm^3)	$2.13 \sim 2.18$	$2.13 \sim 2.18$
热不稳定性指数	≤ 50	≤ 50
击穿强度/ (kV/mm)	≥ 60	

厚度为 10mm、长和宽均为 1m 的 PTFE 板材所选用的原料为济南化工厂生产的中粒度粉料, 型号为 SFX-1, 其性能指标为: 外观一致, 断裂伸长率为 340%, 拉伸强度为 29.1MPa。

2. 主要设备与模具

- 1) YJ79-3500 工程塑料液压机, 四川江东机械厂生产。
- 2) DL-88A 大型烧结炉, 武汉市工程塑料有限公司自行设计制造。
- 3) 模具材料的选择。PTFE 板材一般要在 30MPa 的压力下成型, 因此用于制造模具的钢材必须具有以下特点:

- ①有较高的力学强度, 在成型压力和成型温度下不变形。
- ②有较低的线胀系数, 热处理时变形小, 可淬性良好。
- ③有良好的可加工性, 易于机械加工。
- ④经热处理或表面处理后能获得高硬度, 耐磨性良好。

生产 PTFE 大型板材采用的模具材料为 45 优质碳素结构钢。另外, 模具设计时还应考虑 PTFE 板材烧结后的横向收缩、纵向伸长的特点。

3. 制备工艺

(1) 工艺流程 PTFE 大型模压板材由检验合格的悬浮树脂, 经捣碎、过筛, 采用模压法制成半成品, 然后放入烧结炉内进行高温烧结, 再经冷却而成。工艺流程见图 7-3。

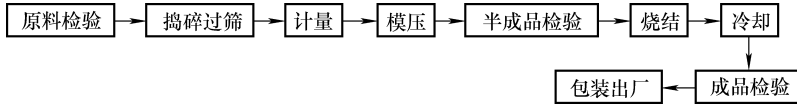


图 7-3 PTFE 大型模压板材的成型工艺流程图

(2) 温度调整 PTFE 是一种结晶高聚物, 19°C 是其一转变点, 在此温度下, 结晶结构发生明显的变化。在 19°C 以下, $-\text{CF}_2-$ 是具有每隔 13 个扭转 180° 的螺旋结构, 纤维周期为 1.69mm , 晶格属三斜晶系; 在 19°C 以上, $-\text{CF}_2-$ 的重复单位变成 15 个, 其周期为 1.95mm , 晶格为六方晶系。PTFE 结晶变化的这一特点对模压成型起着决定性的作用。如果在转变点以下对树脂进行加工, 当温度在 10°C 左右变化时, 预成型品将产生 1% 的体积变化, 这种变化往往是引起烧结时板材分层或开裂的原因。因此, PTFE 原料在成型前应进行温度调整, 方法是把装原料的容器在使用前置于 $23 \sim 25^{\circ}\text{C}$ 环境中 $24 \sim 48\text{h}$ 。预成型也应控制在此温度下进行。

(3) 原料的处理 PTFE 是纤维状化合物, 在贮藏和运输过程中容易结团。由于 PTFE 粉末的流动性差, 加料时不易分布均匀, 所以使用前要将结团的树脂捣碎, 再过 $10 \sim 20$ 目筛。捣碎和过筛必须在十分清洁的环境中进行, 操作人员必须严格遵守清洁制度, 谨防带入杂质, 影响板材外观和电气性能。

(4) 预成型

1) 加料。称取 21.5kg 原料轻轻倒入预先用酒精擦净的金属模腔中, 并用金属刮板把表面铺平。因为加压时树脂几乎不向加压的垂直方向移动, 所以一开始就要使树脂均匀地分布于整个模腔。

2) 压力。预成型压力一般在 $17.5 \sim 35\text{MPa}$ 范围内变化, 随树脂颗粒大小而异。粗的粉末就要取较高的压力, 细的粉末只要用较低的压力就能得到孔隙率低的板材。

预成型压力还与温度有关。温度高, 因粉末变得柔软, 只要用较低压力就能消除空隙。所以在成型超大面积板材时, 如果没有大压机, 只要把粉末加热到 100°C , 就能使预成型压力降低 $1/2$ 。

3) 放气与保压。成型板材时, 为避免产生夹层、起泡, 压制过程中必须放气。所谓放气, 是指在升压至一定阶段时松弛压力, 压机活动横梁上行, $15 \sim 20\text{s}$ 后再重新加压, 直至达到所需压力时为止。对厚为 10mm 、长和宽均为 1m 的板材, 在压制过程中一般放气 2 次。

保压就是指达到规定的压力后, 使预成型板在此压力下保持几分钟到十几分钟, 以完成压力的传递过程和有利于空隙的消除。保压时间的长短视板材厚度而定。厚度为 10mm 的板材保压 1min 。

(5) 烧结 烧结就是将预成型板加热至晶体熔点 327°C 以上, 并在此温度下保持一

定时间,使聚合物分子由结晶形逐渐变为无定形,分散的单个树脂颗粒通过互相扩散熔融粘接成为一个连续的整体。此时,预成型板由乳白色变为透明的胶体状,然后再经过冷却,聚合物分子又以无定形逐渐转为结晶形,预成型板也就成为坚固的乳白色的不透明板材。

烧结是很关键的一步,其影响因素有下面几个方面:

1) 升温速度。升温过快,会因膨胀不均匀造成板材变形和翘曲;升温过慢,会延长成型周期。

2) 烧结温度。一般 PTFE 烧结温度为 $360 \sim 380^{\circ}\text{C}$ 。烧结温度过高,PTFE 密度变大,相对分子质量降低,特别是在 400°C 以上这种倾向就变得更为明显。随着烧结温度的提高,由于分解速率增大,板材收缩率与气孔率也将随之增大。

3) 烧结时间。烧结时间过长也将引起气孔率和收缩率的增大。

4) 冷却速度。冷却速度关系到 PTFE 板材结晶度,它和制品的物理性能密切相关,同时也和制品的变形、开裂有关。在熔点 (327°C) 附近缓慢地冷却,能使制品的变形程度和产生开裂的危险性降低到最低程度;反之,较快的冷却使制品存在内应力,内应力将影响制品外观,使大型板材由于各部分冷却不均而翘曲。

对厚度为 10mm、长和宽均为 1m 的 PTFE 板材,其烧结曲线如图 7-4 所示。

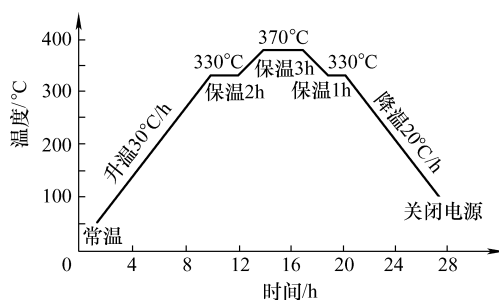


图 7-4 PTFE 板材的烧结曲线

4. 性能

(1) 技术指标与要求

按 QB/T 3625—1999 要求进行分类,PTFE 板材可分为三类:SFB-1 主要用于电器绝缘;SFB-2 用于腐蚀介质中的衬垫、密封件及润滑材料;SFB-3 用于腐蚀介质中的隔膜与视镜。

对 PTFE 板材外观要求为 PTFE 树脂本色,表面光滑,没有裂纹、气泡、分层,以及影响使用的机械损伤等缺陷。

对 SFB-1 板,不允许夹带金属杂质,但允许在 $(10 \times 10)\text{cm}^2$ 的面积上,存在不超过 1 个直径为 0.1~0.5mm 的非金属杂质,不超过 1 个直径为 0.5~2mm 的非金属杂质。

对 SFB-2 和 SFB-3 板,板面允许在 $(10 \times 10)\text{cm}^2$ 的面积上,存在不超过 1 个直径为 0.5mm 的金属杂质,不超过 3 个直径为 0.5~2mm 的非金属杂质,不超过 1 个直径为 2~3mm 的斑点。

上述检查在自然光线下采用目视法进行。主要技术指标见表 7-15。

表 7-15 模压法成型的 PTFE 大型板材主要技术指标

项 目	技术指标	项 目	技术指标
密度/(g/cm^3)	2.10~2.30	断裂伸长率(%)	≥ 150
拉伸强度/MPa	≥ 15.0	击穿电压/(kV/mm)	10

(2) 主要性能

1) 化学稳定性极好, 对于浓酸、浓碱或强氧化剂, 甚至“王水”, 即使在高温下也不发生任何作用。可用于石油、化学、化工行业的大型管道的垫圈、衬里, 大阀门的阀片、隔膜, 各种反应容器、贮槽与反应塔的衬里、塔板、分配板等。

2) 介电性能优异, 使用温度范围广, 不受氧气、紫外光作用, 耐候性好, 不吸水, 不燃, 是理想的 C 级绝缘材料。可用于热电站电解槽、密封环, 电子电器和电子计算机工业的印制线路、覆铜板基材, 各种尖端和特殊设备的部件以及高山、高寒地区的帐篷及房顶贴面。

3) 摩擦因数仅为 0.04, 可作为无油润滑材料用于海上钻井架滑轨贴面、船坞滑道贴面、拦河大坝闸门滑道贴面、桥梁伸缩支承滑块贴面, 各种车床、镗床、磨床、刨床的滑动导轨贴面和润滑板及制造层压板、装饰板的脱模板。

4) 利用其不粘性, 耐高、低温性及耐蚀性可作防粘传送带和防腐包覆层。例如可用于制糖工业、股装行业、食品及烟叶烘烤的传送带, 造纸机滚辊及纺织、印染工业防粘、防腐的各种异辊的包覆层, 皮革铁转鼓的贴面, 陶瓷工业金水的容器衬里及料斗的贴面等。

(三) 聚四氟乙烯耐磨船舶尾轴套

1. 选材

PTFE 树脂的粒径对制品的性能有很大影响。粒径越小, 树脂与填料的接触表面积越大, 相互作用力增大, 混合效果好。选用济南化工厂的 PTFE 树脂, 平均粒径为 $75\mu\text{m}$ 。

填料的加入不仅可以降低成本, 而且改善制品的耐磨性、抗压性、尺寸稳定性等。选用以下 3 种填料。

(1) 玻璃纤维 无蜡、无碱、高强度, 平均粒径 $75\mu\text{m}$ 。

(2) 石墨 粉剂, 平均粒径 $75\mu\text{m}$ 。

(3) 青铜粉 由质量分数分别为 85% 的 Cu、6% 的 Zn、6% 的 Sn 和 3% 的 Pb 组成, 平均粒径 $50\mu\text{m}$ 。

2. 主要设备与模具

高速混合机, $75\mu\text{m}$ 孔径分析筛, 压型模具。

3. 制备工艺

(1) 工艺流程 选料→配方设计→混合→过筛→模压→烧结→车削加工。

(2) 工艺条件 用高速混合机混合均匀, 用 $75\mu\text{m}$ 筛除去杂质。

1) 模压。根据制品的尺寸, 选择合适的模具压制型坯。一般填充制品压力为 50 ~ 70MPa, 室温应控制在 19 ~ 25℃ 之间。在 19℃ 时, PTFE 有一晶相转变, 使其比体积有 1% 的变化, 所以温度要高于 19℃。

2) 烧结。根据不同制品的壁厚, 采取不同的升温速度。PTFE 导热性差, 在其熔点 (327℃) 时应适当保温, 以使其熔化完全。在达到最高烧结温度时 (一般温度不应超过 380℃, 温度再高, 会引起 PTFE 的分解), 保温 2h, 使制品的内、外温度一致, 然后降温。降温速度同样要根据制品尺寸而定。降温过快, 内外层收缩率不同, 易产生应

力集中；降温太慢，生产周期长。降温至 250℃ 后自然冷却。

4. 性能

(1) 耐磨性 见表 7-16。

表 7-16 不同配方填充 PTFE 的耐磨性

配方号	1	2	3	4	5	6	纯 PTFE
磨痕宽度/mm	4.4	4.0	4.2	4.5	4.6	4.7	14.5

(2) 冲击强度 见表 7-17。

表 7-17 不同配方填充 PTFE 的冲击强度（无缺口）

配方号	1	2	3	4	5	6	纯 PTFE
冲击强度/（kJ/m ² ）	80.1	72.3	65.6	45.1	75.8	90.1	不断

(3) 尺寸稳定性 见表 7-18。

表 7-18 填料量对线胀系数的影响（单位：10⁻⁴/℃）

项 目	填料质量分数（%）					
	5	10	15	20	25	30
玻璃纤维	1.92	1.67	1.54	1.34	1.24	1.17
石墨	1.89	1.59	1.36	1.16	1.10	1.08
青铜粉	2.10	1.79	1.72	1.62	1.55	1.50

(4) 压缩强度 见表 7-19。

表 7-19 不同配方填充的 PTFE 的压缩强度^①

配方号	1	2	3	4	5	6	纯 PTFE
压缩强度/MPa	79.0	78.0	63.0	80.1	85.0	94.8	38.9

① 应变为 15% 时的压缩强度。

5. 效果

填充 PTFE 的压缩强度比纯 PTFE 提高了 1.6 ~ 2.5 倍，而且不同填料、配比的填充 PTFE 制品的压缩强度也不同。

PTFE 的分子链呈螺旋形，分子间引力很小，分子链易滑移，产生冷流现象。加入纤维状填料，可将大分子链缠结在一起，受外力作用时，大分子链间的相对滑移被阻止，从而提高了制品抵抗压缩变形的能力。粉状填料与 PTFE 分子发生静电吸引或吸附作用，形成物理或化学交联点，提高了制品抗应变的能力。

大部分填充 PTFE 的耐磨性、冲击强度、尺寸稳定性及压缩强度等均达到或超过桦木尾轴套的性能指标。

改性 PTFE 与桦木套各种性能的对比见表 7-20。

表 7-20 改性 PTFE 与桦木套各种性能的对比

性 能	改性 PTFE	桦木套	备 注
冲击强度/ (kJ/m ²)	72.3	47	PTFE 变形 15% 时
压缩强度/MPa	78.0	30.0	
24h 吸水率 (%)	0.01	1	
磨痕宽度/mm	4.0	—	

由表 7-20 可见，填充 PTFE 的主要性能指标超过了桦木套。由于几种填料价格低，这样填充 PTFE 尾轴套的成本与桦木相当，而其使用寿命将远远超过桦木套。采用填充 PTFE 制作船舶尾轴套不仅可行，而且能提高经济效益，值得推广应用。

(四) 碳纤维增强聚四氟乙烯 (CF/PTFE) 潜艇减振垫

1. 主要原材料

- 1) 聚四氟乙烯。悬浮法 104M，上海氟材料研究所生产。
- 2) 碳纤维。MCF-1 型，上海碳素厂生产。
- 3) 偶联剂。311W，南京曙光化工厂生产。

2. 主要设备

- 1) 高温烧结炉，GSJ 型，上海电炉厂生产。
- 2) 卧式纤维粉碎机、混料机。

3. 制备工艺

(1) CF/PTFE 制备工艺流程 CF/PTFE 制备工艺流程见图 7-5。

(2) 工艺路线

1) 碳纤维处理方法及其工艺。将碳纤维剪至 10 ~ 15mm，再用磨碎机将其磨成长径比为 5:1 的短纤维，筛去过长的纤维，然后进行偶联处理。其方法为：将偶联剂 311W 用水稀释至含量为 0.2% ~ 4% (质量分数)，加到磨碎的纤维中搅拌、浸渍均匀，置于烘干箱中干燥，温度控制在 95 ~ 105℃，时间为 2 ~ 2.5h。

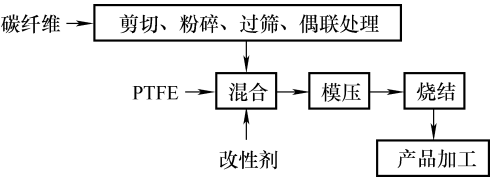


图 7-5 CF/PTFE 制备工艺流程图

~4% (质量分数)，加到磨碎的纤维中搅拌、浸渍均匀，置于烘干箱中干燥，温度控制在 95 ~ 105℃，时间为 2 ~ 2.5h。

2) 压制成型与烧结工艺。将 PTFE 与经处理的碳纤维及改性材料充分搅拌、混合均匀后，装入专用模具，室温下加压成型，成型压力为 75 ~ 85MPa，保压 3 ~ 5min。成型物取出后在烧结炉中烧结，升温、降温速度为 30 ~ 60℃/h。

(3) 减振垫的加工 减振垫为圆环形，内径为 $\phi 467\text{mm}$ ，其断面尺寸为 125mm × 5mm，断面外侧中间有一槽 (105mm × 2mm)。将烧结后的 CF/PTFE 粗制品按上述尺寸进行加工。

1) 减振垫技术性能要求 潜艇中安装高压气瓶的上层，内部空间十分狭小，若要更换减振垫就必须揭开上层空间，吊起空气瓶，操作非常麻烦。根据舰艇修理条例，非金属减振垫材料使用寿命应大于 10 年，同时要满足下列性能指标要求。

①力学性能：拉伸强度 $\geq 15\text{MPa}$ ，压缩强度 $\geq 50\text{MPa}$ ，压缩率 $\geq 20\%$ ，回弹率 $\geq$

15%。

②环境适应性：耐海水、耐海洋大气、耐干湿交替、耐酸、耐油、耐热、耐老化性能好，使用温度范围为-30~60℃。

③其他。隔振作用不低于原铅垫，且无毒、无环境污染，加工容易，安装方便。

2) CF/PTFE 减振垫与铅减振垫材料性能对比

①由于主要原材料的耐蚀性特别优异，决定了 CF/PTFE 减振垫材料的耐海水、耐海洋大气和耐干湿交替等性能好，表 7-21 和表 7-22 分别列出了 CF/PTFE 耐海洋环境试验与耐化学腐蚀性能试验数据。从表 7-21 和表 7-22 看出，经 2000h 试验后，外观颜色、光泽等均无明显变化且无腐蚀，故使用寿命比铅材料长，适于长期在海洋环境条件下使用。

表 7-21 CF/PTFE 耐海洋环境试验

项目		盐雾试验	盐水干湿交替试验
试验条件	盐质量分数	(5±0.1)% NaCl	5% NaCl
	酸碱度	pH=6.5~7.2	pH=6.5~7.2
	试验温度	(35±2)℃	(50±2)℃
	盐雾沉降率	1.3~1.7ml/(80cm ² ·h)	2000h, 循环周期 8h (即盐水中泡 4h, 转到空气中 4h, 重复试验)
	试验周期	连续 2000h 喷雾	
试验结果		外观颜色、光泽等均无变化, 无腐蚀	外观颜色、光泽等均无明显变化, 无腐蚀

表 7-22 CF/PTFE 耐化学腐蚀性能试验

试 剂	浸泡 24h 失重/g	测试结果	试 剂	浸泡 24h 失重/g	测试结果
浓硫酸	<0.0002	不反应	浓硝酸	<0.0002	不反应
浓盐酸	<0.0002	不反应	浓碱液	<0.0002	不反应

②表 7-23 为 CF/PTFE 力学性能。从表 7-23 中可看出，经过盐雾和海水试验的试样与空白试样相比性能无明显下降，说明 CF/PTFE 在海洋环境中长期使用，性能基本保持稳定。

表 7-23 CF/PTFE 力学性能

项 目	空白样 平均值	盐雾试验后		海水干湿交替试验后	
		平均值	变化率 (%)	平均值	变化率 (%)
拉伸强度/MPa	14.7	16.47	12.0	16.6	12.9
压缩强度/MPa	90.0	86.1	-4.3	92.0	2.2
弹性模量/MPa	2.1×10 ³	2.12×10 ³	0.1	2.0×10 ³	-7.1
压缩率 (σ _压 =50MPa)	37.0%	37.0%	0.0	42.0%	13.5
回弹率 (σ _压 =50MPa)	33.0%	35.0%	6.1	30.0%	-9.1
技术条件	环境温度: 28℃ 湿度: 6.8%				

③表 7-24 为 CF/PTFE 与铅减振垫性能比较。可以看出，前者弹性模量高，当潜艇

达到最大振动频率 60Hz 时，高压空气瓶系统的自振频率远大于艇体的最大振动频率，不会产生共振。碳纤维与 PTFE 结合的界面具有吸振能力，振动阻尼很高，可有效地起到缓冲减振作用。可见新材料与原材料的隔振作用基本一致，可满足高压空气瓶减振的要求。

表 7-24 CF/PTFE 与铅减振垫性能比较

项 目	CF/PTFE	铅
弹性模量/GPa	2.1	1.6
静钢度/（N/m）	5.9×10^9	6.5×10^{11}
瓶体固有频率/Hz	548.9	5765.89
传递率	1.01209	1.00011

4. 效果

CF/PTFE 是综合性能优异的复合材料，不仅力学性能优异，而且耐蚀性好，适于长期在海水及海洋大气环境中使用，尤其适合作潜艇高压空气瓶减振垫材料。用 CF/PTFE 减振垫替代铅减振垫，消除了电化学腐蚀带来的危害，延长了减振垫使用周期和瓶体使用寿命，大大提高了军事装备的可靠性。

（五）聚四氟乙烯（PTFE）隔膜片

1. 选材与成型方法

PTFE 隔膜片大多采用模压成型工艺方法制得。首先对原料要进行选择，要求颗粒小，质地柔软，如使用日本大金公司出品的 M-12 悬浮料制得的膜片透明度高，力学强度高。其次是按照不同产品规格确定相应的压延比，如果压延比过小，膜片透明性差，气孔率大，不密实，弹性和疲劳性能低；如果压延比太大，那么膜片的剩余形变量不足，易开裂，废次品率高。根据试验，最佳压延比范围是 2~2.5。

2. 热加工设备的选择

热加工的主要手段是滚压成型，其主要设备是大直径双辊压延机，辊筒要求水平并列、同步旋转、变速调距，加热装置最好采用水蒸气加热。蒸汽压力控制在 5~9kg/cm²，加热范围为 50~100℃，辊筒的加热和清洗都应在旋转状态下进行。

3. 滚压与烧结工艺

将预热的片材直接插入转速为 20r/min 的辊筒间隙中，随片材厚度的变化逐步调节辊距，注意在每挡辊距中片材的滚压次数不得少于 4 次。同时要不断调换片材的滚压方向，以达到辐射式滚压的效果。辊距变换档次选定得越多，产品的质量越好，当然这其中不能忽视工作效率的因素。

PTFE 模压片材在 380℃ 高温烧结条件下烧结 4~5h，可进行淬火处理。将烧至半透明状的 PTFE 片材迅速从炉中取出，倒入预先配制好的含有湿润剂的水溶液中。操作时应注意膜片要全部浸置在水溶液中，不能让它浮露在水面，否则膜片表面会因过热而产生气泡，影响隔膜片的外观质量和使用效果。

4. 性能与主要技术指标

（1）产品性能 用“塑料王”（聚四氟乙烯）为基材，经过压制、烧结、淬火和热

加工等一系列成型加工工艺，制得表面光洁、无气孔、强度均匀、弹性好的透明状膜片。经使用证明这种新型隔膜材料的耐蚀性好，强度高并且能在 $-40 \sim 100^{\circ}\text{C}$ 的条件下长期使用。

(2) 产品规格 产品规格见表 7-25、主要性能指标见表 7-26。

表 7-25 产品规格

(单位: mm)

编 号	厚 度	厚度公差	直 径	直径公差
1	0.5	± 0.1	100 ~ 200	± 5
2	1.5	± 0.1	200 ~ 300	± 5
3	1.5 ~ 2.0	± 0.2	300 ~ 500	± 10

表 7-26 主要性能指标

项目名称	密度/ (g/cm^2)	拉伸强度/MPa	断裂伸长率 (%)
指标值	2.10 ~ 2.15	≥ 15	≥ 80

(六) 聚四氟乙烯 (PTFE) 拉丝编织绳

1. 选材

(1) 原材料的选择 用于生产 PTFE 丝编织绳的原料是由四氟乙烯以悬浮法聚合，并经细粉碎而成的白色粉状 PTFE 树脂。

(2) 原材料技术指标 其技术指标见表 7-27。

表 7-27 PTFE 树脂细粒模压粉技术指标

清洁度	拉伸强度/MPa		断裂伸长率 (%)		表观密度 / (g/cm^3)	粒度 ^① (%)
	一等品	合格品	一等品	合格品		
洁白，质地均匀，不带任何杂质	27.4	25.5	≥ 300	≥ 280	300 ~ 450	≤ 15
洁白，质地均匀，不带任何杂质	≤ 0.04	327 ± 5	2.13 ~ 2.19	≤ 50	≥ 100	≥ 80

① $65\mu\text{m}$ 孔径的筛上保留盘。

2. 主要设备

- 1) F₄S 制品成型压机，型号 Y-45-1。
- 2) DL-151 型高温烧结炉，上海实验仪器总厂生产。
- 3) 精密车床，型号 CM6150，上海第二机床厂生产。
- 4) PTFE 切割拉丝机。
- 5) 编织机，规格为 18 锭 3 轨道卧式穿心，天津新中机械厂生产。

3. 制备工艺

(1) 工艺流程 PTFE 丝编织绳的成型工艺路线较长，首先必须选择粒度细的悬浮料，然后模压成一定形状的毛坯，经 327°C 以上的高温烧结后，车削成厚度为 0.05mm 的薄膜，再切割成一定宽度的细丝，经质量分数 60% 的 PTFE 乳液的浸渍后编织成一定形状的绳，最后将绳进行辊压整形。其工艺流程见图 7-6。

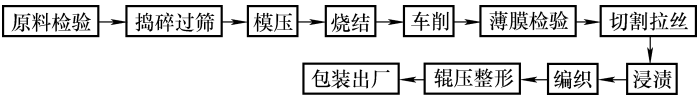


图 7-6 PTFE 丝编织绳生产工艺示意图

(2) 压制 选用俄罗斯泛科康国际有限公司（PTK INTERNATIONAL LTD）生产的 PTFE M60 细粒料压制用于编织的毛坯。主要性能指标如下：拉伸强度为 25 ~ 28MPa，断裂伸长率平均为 350%。用 Y-45-1 型 F₄S 制品成型压机，进行毛坯压制的工艺参数见表 7-28。

表 7-28 毛坯压制的工艺参数

压力/MPa	表压/MPa	加料量/kg	模具尺寸 ^① /mm	毛坯尺寸 ^② /mm	保压时间/min
30	19	4	φ166	φ160	4

- ① 内径为 40mm。
② 内径为 40mm，长度为 100mm。

毛坯压制前原料一定要捣碎，并严格注意防止杂质带入，以免影响拉丝质量。

(3) 烧结 φ160mm × 120mm × 100mm（外径 × 壁厚 × 长度）毛坯的烧结条件曲线见图 7-7。

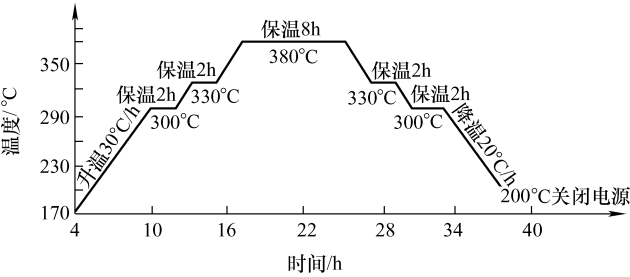


图 7-7 φ160mm × 120mm × 100mm 毛坯烧结条件

毛坯进炉前，一定要将炉内及毛坯表面清理干净。毛坯摆放间距适当，注意留出高温膨胀时的位置，防止因摆放太密，毛坯互相粘连。当温度升到 150℃ 时，开动转盘，使毛坯受热均匀，充分烧结。

(4) 车削 PTFE 车削加工方法类似于金属材料的加工方法。

车削加工前，毛坯一定要在 50℃ 左右的温度环境下恒温 4 ~ 5h。车刀的粗糙度和角度直接影响到薄膜的表面粗糙度和厚度公差。刀前角的锐角选用 40° ~ 50°，而后角为 2° ~ 8°。若刀前角较大，则刀刃不锋利；若刀前角太小，则容易振动，不利于切削较宽的薄膜。刀刃要求锋利，光洁平直，无缺口，粗糙度要求 0.20μm 以上，平直度 0.005 ~ 0.01mm，洛氏硬度 60 ~ 66HRR。车刀的材料可用碳素工具钢。

用于拉丝、编织的 PTFE 未取向膜厚度为 0.05mm，宽度为 100mm。

(5) 拉丝 拉丝工艺流程见图 7-8。



图 7-8 拉丝工艺流程图

拉丝时，先将加热电源开关开启，将三段温度升至 160℃、330℃、250℃，然后开启辊筒，将膜牵引上刀架切割，经预热、三辊拉伸、定型及快速分股，最后将分股丝绕上落丝辊收卷。

拉丝简图见图 7-9。

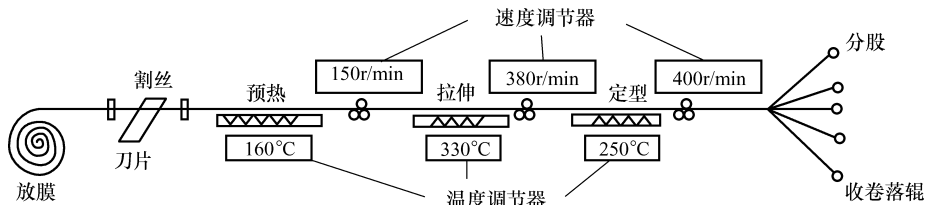


图 7-9 拉丝简图

拉丝完毕，关闭电源，清除辊筒上的杂质，卸掉刀具。注意拉线过程中的加热温度和辊筒转速，需根据未取向膜材料的情况进行调节。

切割丝的厚度为 0.05mm，宽度为 0.5mm，长度任意。

(6) 浸渍与编织 为使 PTFE 丝编织绳密实及性能更好，在编织前对 PTFE 丝必须进行浸渍。其工艺是将 PTFE 分散液与工业用蒸馏水按 1:3 配比制成混合液，然后将切割好的 PTFE 丝置于其中浸泡 3~5h 后即可用于编织。

PTFE 分散液是粘度为 15~20Pa·s (25℃)、树脂成分为 60% (质量分数) 的水性胶体悬浮液，其密度为 1.5g/cm³，pH 值为 9~10。PTFE 分散液的树脂含量及密度数据见表 7-29。

表 7-29 PTFE 分散液的树脂含量及密度

树脂质量分数 (%)	密度/(g/cm ³)	树脂质量分数 (%)	密度/(g/cm ³)
60	1.50	40	1.29
50	1.39	35	1.24
45	1.34		

编织时，所需编织绳规格越大，锭子上含 PTFE 丝的根数就越多。在编织 12mm×12mm 的绳时，需 18 个锭子，每个锭上有 PTFE 丝 13 根左右。

在编织过程中，应注意保持每锭上丝的根数一样，及时理顺断丝，使绳的外观平整、均匀。

4. 性能与应用

(1) 性能 PTFE 丝编织绳具有优良的耐蚀性、耐磨性和较高的力学强度，并且自

润滑性好、摩擦因数小、扭矩小。

用上述工艺成型的 PTFE 编织绳具有如下特征：

- 1) 使用简单。
- 2) 具有柔软性。
- 3) 尺寸具有通用性。
- 4) 使用条件稍微超过指标时也能使用。
- 5) 气体密封性好。
- 6) 所浸渍剂易析出。
- 7) 容易有应力松弛。

(2) 应用 PTFE 丝编织绳被广泛应用于石油、化工、化肥、化纤、食品等工业机械设备所用的法兰、阀门、泵等的密封。

5. 注意事项

1) 一定要选用粒径为 25 ~ 40 μm 的细粒料压制毛坯。因为原料越细，毛坯的空隙率越小，切割拉丝时就不易断丝。

2) 对细粒料而言，压制压力取 25 ~ 30MPa 为宜，预成型压力的适宜与否可通过测定毛坯密度来判别，一般毛坯密度为 2.15 ~ 2.18g/cm³ 为好。

3) 毛坯在烧结时一定要控制阶梯式升温，让温度慢慢在毛坯内部同时升高，以避免生毛坯出现。

4) PTFE 丝在分散液中浸渍时，每隔 1h 要将丝翻动一次，让丝全部浸到分散液，以保证绳的质量。

5) 因编织绳最后要经过辊压整形工序，所以编织绳要比实际要求尺寸大 0.5 ~ 1.0mm，辊压后使其更密实，以便达到所要求的尺寸。

(七) 蒸汽锤用聚四氟乙烯（PTFE）活塞环

1. 选材与配方设计

(1) 原料及规格见表 7-30。

表 7-30 原料及规格

原料名称	原料简称或表示法	牌号及规格	生产厂家
聚四氟乙烯树脂	PTFE	SFX-1	上海电化厂 济南化工厂
玻璃纤维	无碱 E 玻璃粉	$\phi 7 \sim \phi 10\mu\text{m}$, 长径比 5 ~ 10: 1	南京玻璃纤维研究院
石墨	胶体石墨粉剂	F-1 或 F-2	上海胶体化工厂
二氧化硅	SiO ₂	HG-400	湖州硅微粉厂
锡青铜粉	Cu	ZQ Sn6-6-3	上海第二冶炼厂 浙江嵊县粉末冶金厂
二硫化钼	MoS ₂	MF-2	上海胶体化工厂

(2) 蒸汽锤活塞环配方（质量分数）如下：

PTFE 树脂	60%	石墨	5%
玻璃纤维	12%	二硫化钼	3%
锡青铜粉	20%		

2. 主要设备

- 1) 高速捏合机，GH-50，北京塑料机械厂。
- 2) 500t 油压机，Y-500，沈阳锻压机床厂。
- 3) 高温烧结炉，DL-151，上海第二五金厂。

3. 制备工艺

生产工艺流程见图 7-10。

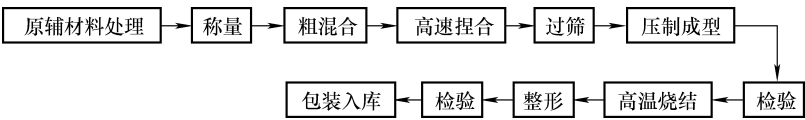


图 7-10 PTFE 活塞环生产工艺流程

4. 活塞环的设计与性能

(1) PTFE 活塞环开口形式 PTFE 活塞环开口形式有：直接口、斜接口和搭接口三种，如图 7-11 所示。

直接口，加工方便、强度好，但气体泄漏量较大。高压使用时，只要适当增加环的数量，还是有效的，所以此种开口形式较为常用。斜接口，斜口角度一般取 45°，如果横断面积较小，斜口角度取 60°较为理想，此种接口形式，密封性较好，但斜口尖角易折断，加工也较麻烦，一般只在高压场合下采用。搭接口，密封性好，但加工困难，搭接口薄处，易折断，如果环的面积较大时，采用这种开口是十分理想的。

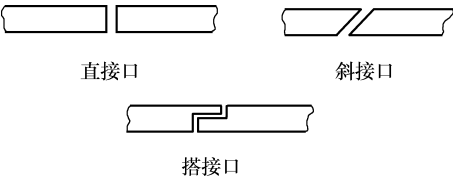


图 7-11 PTFE 活塞环开口形式

(2) PTFE 环的性能 PTFE 活塞环的性能：蒸汽锤用 PTFE 活塞环的性能见表 7-31。

表 7-31 PTFE 活塞环的性能指标

项 目	性 能	项 目	性 能
拉伸强度/MPa	≥10	线胀系数/($\times 10^{-4}/K$)	≤12
断裂伸长率(%)	≥150	摩擦因数	≤0.21
塑料球压痕硬度/MPa	≥55	磨痕宽度/mm	≤5.5

5. 注意事项

(1) 生产过程注意事项 在 PTFE 活塞环的生产过程中，配料、压制及高温烧结是影响活塞环质量的主要因素，必须严格控制。配料要注意物料混合均匀，防止铜粉分层

沉析;压制中要做到加料均匀,预成型压力适当;高温烧结中升、降温速度严格控制,最高恒温点不能超过 380℃。为了确保产品的外观质量,产品必须通过热整形处理。

(2) 加工过程注意事项 PTFE 活塞环的轴向高度和径向厚度要比铸铁环大,轴向高度加高有利于减少在工作中产生“冷流”现象,但高度不能过大,否则会造成背压减小,密封性能下降。

(八) 聚四氟乙烯 (PTFE)/橡胶复合波纹管

1. 选材

1) 聚四氟乙烯 (PTFE) 模压树脂,济南化工厂生产。

2) 丁腈橡胶,大连第二橡胶厂生产。

2. 主要设备与模具

普通模压机、多层组合式模具、旋转式烧结炉。

3. 制备工艺

(1) 工艺流程

1) 预成型制品。用等压压缩成型制备 PTFE 波纹管预成型制品,过程为:在橡胶袋与金属主模之间填加 PTFE 树脂→合模→打压→保压→泄压→开模→取出橡胶袋→脱模→PTFE 波纹管预成型制品。

2) PTFE 波纹管后加工处理,过程为:安装定型胎→烧结→水中淬火→翻边→修整→涂胶处理。

3) 与橡胶复合制备 PTFE/橡胶波纹管,过程为:与橡胶复合硫化→脱模→修边后整理→PTFE/橡胶复合波纹管。

(2) 工艺要点

1) 等压压缩 PTFE 预成型制品

①由于主模具采用多层组合式结构,所以在加料时应按每层理论加料量加料。

②加料完毕合模,合模力控制在一定范围内,然后用 SY-350 型电动高压柱塞泵(工作压力 2.8 ~ 35MPa)加压至 25MPa 后,保压 5min,泄压、脱模取出预制品。

2) 等压压缩成型预制品的烧结。等压压缩成型预制品的烧结同一般压缩成型的预制品相同,但是必须要考虑到等压成型制品的形状、结构较其他工艺制得的制品复杂,有它的特殊性,例如波纹管的壁很薄,因此在烧结时,必须加支撑胎(烧结胎)。

烧结温度与时间是重要的工艺参数。烧结温度在 300℃ 以下,采用 80 ~ 100℃/h 的升温速度;在 300℃ 以上,即聚四氟乙烯结晶速度最快的阶段(315 ~ 320℃)保温 30min,然后以 50℃/h 速度升至 380℃,保温 60min 后,出炉急速冷却(水淬)。

3) 预制品翻边。翻边时温度应保持在 327℃ 左右,这样的温度下聚四氟乙烯塑料柔软性最佳、最易变形。随着聚四氟乙烯加工温度上升,透明度增大、力学强度降低,如果施加压力容易造成撕裂。翻边模具小头的外径要小于翻边制品的内径,翻边模具大头的外径要大于内管翻边后的外径。

4) 预成型制品与橡胶复合。为了改善聚四氟乙烯预成型制品表面粘合性,必须对材料表面进行活化处理。采用萘—钠络合物表面处理方法,四氢呋喃用金属钠脱水后,把 4mol 萘溶于 1L 四氢呋喃中,再把 4mol 金属钠一点点加入,通 N₂ 保护,在 20℃ 以下

进行反应，可得到黑绿色的羰—钠络合物溶液。

PTFE 波纹管用丙酮除去油污，用水冲洗，干燥后表面刷涂羰—钠络合物溶液，注意在其颜色变为黑褐色以前涂刷，处理过的 PTFE 波纹管表面具有活性。

采用 JQ-1 型聚异氰酸酯胶（俗称列克纳胶），将其涂在已进行表面处理的 PTFE 波纹管外表面，再与橡胶复合，加压、加热硫化后即得到最终产品，其剥离强度达 70N/2.5cm。

4. 产品性能

产品力学性能见表 7-32，负压试验结果见表 7-33。

表 7-32 PTFE/橡胶复合波纹管性能

项 目	检 测 结 果	产 品 要 求
拉伸强度/MPa	纵 24.6	≥15
	横 23.9	≥15
伸长率(%)	纵 290	≥150
	横 270	≥150
剥离力/(N/2.5mm)	70	≥55

表 7-33 负 压 试 验

项 目	检 测 结 果	产 品 要 求
负压力试验/MPa	-1	-0.15
变化情况	无变化	无变化

PTFE/橡胶复合波纹管最大的特点，是适合各种环境下管材的错位连接，可以弥补管材刚性连接情况下的纵向热胀冷缩及横向错位等缺点。由于管内衬 PTFE 树脂耐蚀性强，外层橡胶具有柔韧性，所以拓宽了 PTFE 波纹管材的应用领域。

三、聚四氟乙烯热收缩管吹塑成型

聚四氟乙烯（以下简称 F4）热收缩管是 F4 分散聚合树脂经推压、烧结、热处理、吹胀后制成的在加热时具有收缩能力的薄壁管材。它除了具有 F4 材料的全部优异性能外，还具有受热收缩形成紧贴保护层、包覆在其他工件外表，使工件具有耐腐蚀、耐油、电绝缘、防粘、低温挠曲性、耐冲击等特点。用于电气、化工、机械、印刷等工业领域。

(1) 选材 F4 分散聚合树脂按高、中、低压缩比分成三个品种。生产内径 20mm、壁厚 0.2mm、长度 500mm 的管坯，选用日本大金肥司的 Polyflon F104 原料，120℃时的挥发性小于 0.02%，压缩比（RR）小于 1000。其技术要求见表 7-34。

表 7-34 F4 树脂技术要求

项 目	技 术 指 标	项 目	技 术 指 标
成型性		平均粒径/ μm	425 ± 150
挤出压力/MPa	9.7 ± 4.2	含水量(%)	≤0.04
挤出物外观	连续、平直、光滑	熔点/℃	370 ± 10
表观密度/(g/cm ³)	450 ± 100		

选用符合要求的 NY-120 溶剂油作为助挤剂。选用助挤剂必须具备下列条件：具有良好的润滑性，容易渗透到树脂粉末中；在成型过程中不发生化学变化，在低于 F4 烧结温度时可全部逸离预制品，或用溶剂在室温下可以从预制品中全部萃取出；助挤剂全部逸出或萃取出后，制品内部和外表不留任何影响制品外观质量和降低制品性能的残余物；在操作环境温度下，不易从预制品中挥发。其技术要求见表 7-35。

表 7-35 溶剂油技术要求

项 目	技 术 指 标	项 目	技 术 指 标
馏程		硫含量(%)	≤0.05
初馏点/℃	≥80	油浸试验	合格
98% 馏出温度/℃	≤120	机械杂质和水分	无
碘值/(g/100g 溶剂油)	≤0.5	水溶性酸或碱	无
芳香烃含量(%)	≤3.0	外观	无色透明

(2) 主要设备 主要设备有混料机、预压机、推压机、烧结炉、吹胀炉。其技术参数见表 7-36。

表 7-36 主要设备技术参数

设备名称	技 术 参 数	设备名称	技 术 参 数
公转式混料机	加料量 6kg/次,转速 18r/min	烧结炉	工作温度范围 100 ~ 400℃ 转盘转速 7 ~ 8r/min,总功率 15kW
预压机	公称压力 200kN,压制高度 200mm 压制单位面积范围 55 ~ 130mm		温度范围 50 ~ 350℃
推压机	公称压力 190kN,料腔规格 110mm 工作油压 2MPa(低), ≤6MPa(高)	吹胀炉	压力 0 ~ 10MPa,吹胀率 200% ~ 600%

(3) 制备工艺

1) 工艺流程。如图 7-12 所示。

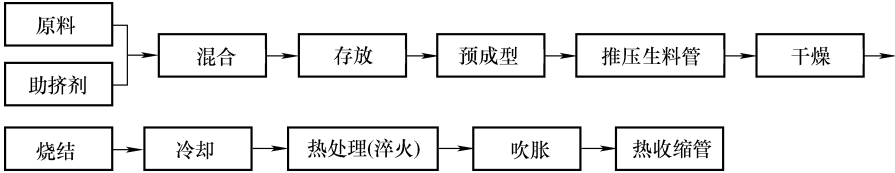


图 7-12 F4 收缩管工艺流程

2) 工艺过程

①配比与混合。一般将树脂与助挤剂的质量比称为配比。配比太大，会使预制品外观疏松，收缩率大；配比过小，则会导致推压阻力大，树脂过于疲劳而引起制品裂纹和表面粗糙。对 F-104 原料与 NY-120 助挤剂的配比取 21%。

混合是在密闭的容器中进行的。为使混合均匀，F4 粉料量一般控制在容器容积的 1/3。混合时间不宜过长，避免粉料之间由摩擦而呈纤维化。一般混合 10min 即可。

②预压与推压。为排出混合料中的空气，避免成型时产生气泡和减少混合粉料的体积，在推压前必须将混合料在 3.0MPa 左右的压力下进行预压制得套管状坯料。预压速度 50mm/min，保压时间 1~2min。预压压力的大小和保压时间的长短以坯体出模后不易断裂、助挤剂不宜过分渗出为准。预压坯体的规格为外径 110mm、内径 30mm、长 120mm。预压模具规格为 $\phi 113\text{mm}/\phi 31\text{mm} \times 250\text{mm}$ （外径/内径 $\times$ 高度）。

F4 推压成型的原理是利用推压时锥角的作用产生剪切而使树脂颗粒纤维化。因此剪切力的大小不但影响到纤维化程度，而且直接影响到制品的纵向强度。生产 $\phi 20.4\text{mm}/\phi 20\text{mm} \times 500\text{mm}$ （外径/内径 $\times$ 高度）生料管，其锥体模锥度 $\alpha = 25^\circ$ ，料腔温度 30~35℃、口模温度 50~60℃、推压速度 2.4cm/min。

③干燥与烧结。 $\phi 20.4\text{mm}/\phi 20\text{mm} \times 500\text{mm}$ 生料管推压后由于其中混入了 NY-120 溶剂油，因此在烧结前必须进行干燥处理。干燥的目的是使管中的助挤剂全部逸出，不留任何痕迹。烧结是使聚合物分子由结晶型逐渐转变为无定形，分散的单个树脂颗粒通过互相扩散、熔融、粘接成为连续的整体，使推压出的生料管由乳白色变为透明的胶状体，再经过冷却成为坚固的乳白色不透明管。其干燥、烧结曲线示意如图 7-13 所示。

④热处理。热处理是将经过烧结的管坯冷却后再次升温充分烧结，然后骤然冷却。这是因为管坯纵横向力学性能相差大，只有经过重新加热烧结后才能达到吹胀工艺的要求。

热处理根据冷却降温速度和冷却介质的不同分为“淬火”和“不淬火”。“淬火”是使处于烧结温度下的管坯以最快的速度通过结晶速率最大的温度区域（315~20℃）迅速冷却。“淬火”又按冷却介质的不同分为空气淬火和水淬火，水淬火又分常温水淬火和冰水淬火两种。“不淬火”是将管坯在烧结至全透明后缓慢冷却至 200℃ 以下。

“淬火”管坯的结晶度为 50%~60%，有较高的韧性，较好的拉伸强度和疲劳寿命，而且外观色泽及电绝缘性也有较大改变。对 F4 管坯热处理的条件为：390℃ 下，处理 5min，淬火液为 -5℃ 冰水，淬火时间 0.5~1min。具体操作方法是将烧结炉直接升温到 390℃，恒温 5min 后，将管坯装入炉内，待管呈透明状时立即从炉中取出放入 -5℃ 冰水中骤然冷却。从炉中取出管坯时要轻拿轻放，以免管径变形。热处理曲线如图 7-14 所示。

⑤吹胀成型。吹胀成型是 F4 热收缩管

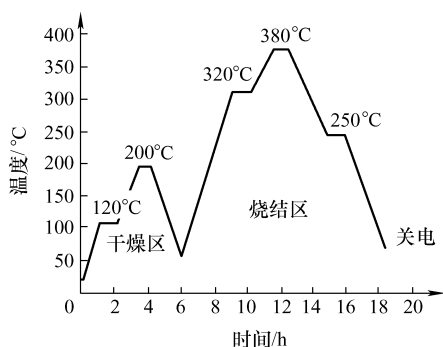


图 7-13 生料管干燥、烧结曲线

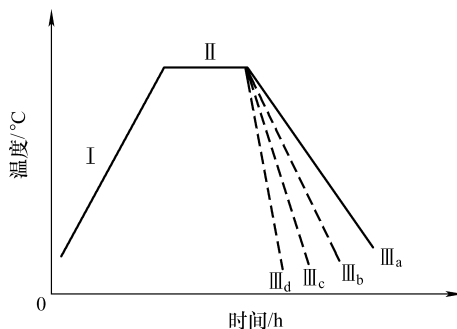


图 7-14 热处理曲线

I—升温 II—保温 III_a—缓慢冷却（不淬火）
III_b—空气淬火 III_c—常温水淬火 III_d—冰水淬火

成型的最后一道工序,是将经过热处理的管坯置于吹胀炉中将管坯两端密封,然后升温到 310~315℃ 恒温 10min 后送入压缩气体,在吹胀压力 0.98MPa 以下进行吹胀,使管坯径向扩张 1~3 倍。在保持压力的情况下迅速冷却定型即得半透明状热收缩管。吹胀压力随管坯的规格、吹胀率、吹胀时的温度、壁厚等因素变化。一般吹胀温度越高,壁越薄,所需吹胀压力越低。

F4 管坯吹胀时胀大程度用吹胀率表示。吹胀率的大小用模具来控制。模具也就是吹胀管径向扩张的限位器。可用不锈钢管或铜管制成。其吹胀率用下式计算:

$$\text{吹胀率} = \frac{\text{热收缩管内径} - \text{管坯原始内径}}{\text{管坯原始内径}} \times 100\%$$

(4) 注意事项

混合好的物料不宜直接使用,必须在 $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ 的环境中存放 5h 以上,以便助挤剂充分渗透到树脂颗粒中。

预压好的坯料必须立即送入推压机中,避免坯料表面助挤剂挥发,造成推压过程中生料管开裂。若不能及时使用,应将坯料放入底部盛有助挤剂的密闭容器中保存。

干燥时烧结炉门必须开启 20mm 左右,且升温不能太快,避免助挤剂大量逸出。

F4 的极限温度是 415℃,在 390℃ 热处理时必须严格控制温度,以免温度过高发生急剧分解。

F4 在 200℃ 开始分解,析出的化合物有不同程度的毒性,在烧结和热处理时必须注意排毒通风。

F4 树脂带有静电,极易吸附灰尘杂质,在整个加工过程中必须保持环境、设备的清洁。

四、聚四氟乙烯彩色微型管的推压烧结成型

1. 简介

聚四氟乙烯 (PTFE 或 F4) 彩色微型管是利用分散聚合的 PTFE 粉料具有受剪切力作用而易成纤维状的特性,将 PTFE 分散树脂经着色、加入助推剂后预成型为坯体,再用机械方法将坯体强行通过具有一定锥度的模具,获得均一、排列整齐且具有一定色彩的预制品,再除去助推剂,经过烧结而成。这个过程称推压成型,也称糊膏挤压成型。

通常将外径不大于 5mm、壁厚小于 0.4mm 的细管统称为微型管,颜色有多种。现以外径为 $(2.4 \pm 0.2)\text{mm}$ 、内径为 $(2.0 \pm 0.2)\text{mm}$ 的红色微型管为例加以介绍。

2. 原材料的选择与处理

用于生产彩管的原料必须选择原料压缩比大于 1500 以上且颗粒松散均匀的分散树脂。选用日本大金工业株式会社生产的 polyflon TFEF-210 型分散树脂,其颗粒直径 450μm,外观密度 450g/L,120℃ 时挥发性大于 0.02%,压缩比 2200。PTFE 分散树脂在运输和贮存中因振动或温度过高、湿度过大等易形成团块,不利于混合均匀,影响纤维形成。因此,对有团块的树脂应先在 10~20℃ 的环境温度下存放 40h 以上,再通过 8~20 目筛网,分散树脂极易成纤维状。在过筛时不宜用力过猛或时间过长,还需十分注意环境、用具的卫生,不能将杂质带入原料中,以免使制品电性能降低。

为使树脂成为糊膏状,受剪切力作用后成均匀的纤维状结构,增加润滑性,减少树

脂间、树脂与模壁间的摩擦阻力，在 PTFE 树脂中加入 15% ~ 25% 的 NY-120 溶剂汽油作为助推剂。

可用作助推剂的物质很多，有白油、石油醚、石蜡油、煤油等，要根据压缩比、产品规格、成型温度以及制品用途来选用。对助推剂的要求是有良好的润滑性，容易渗透到树脂和颜料粉末中，且不与其发生任何反应；在低于 PTFE 烧结温度时能全部逸出，且不在制品内部或表面留有任何残余物；在操作环境温度下不易从预制品中挥发等。NY-120 溶剂汽油在使用前用医用棉对其进行过滤，以确保其不含任何杂质。

选用无机颜料镉红作彩管的着色剂。它有一定的耐热性，在 PTFE 烧结温度下色性能稳定，色泽鲜艳；颗粒均匀纯度高，分散性好，容易混合，着色力高，能耐各种化学物质。颜料在使用前要研磨，再经 200 ~ 300 目筛网过筛。着色剂的添加量为 0.1% ~ 0.5%。

原料应用适用型糊状挤塑型 PTFE 树脂。

助推剂，NY-120 溶剂汽油。

着色剂，无机颜料镉红。

3. 配比与温度

树脂、助推剂、颜料的配比为 770:230:3。助推剂不宜太多，否则会使预制品外观疏松，收缩率大，表面发黄，内部空隙多，击穿电压低；也不宜过少，否则会导致推压阻力大，树脂过于疲劳，制品不光滑、开裂等。

颜料用量则以色泽鲜艳，对制品性能无太大影响为原则。

混合程序是先把树脂和镉红颜料均匀共混后再加入助推剂，然后将容器放在滚动式混料机以 20r/min 的转动速度混合 12min 即可。混合时间不宜过长，不然易使粉料间因摩擦而纤维化，在推压时有可能出现弯曲或开裂现象。混合温度应控制在 19℃ 以下。混好的树脂最好在密闭容器中存放 10h 左右，使助推剂充分渗透到树脂颗粒中后再使用。

4. 主要设备

主要设备有滚动机式混料机、坯体预成型油压机、微管推压机和立式管形烧结炉。其主要技术参数如下：

滚动式混料机，辊筒尺寸为 $\phi 250\text{mm} \times 450\text{mm}$ ，转速 10 ~ 50r/min，混料量 1000g × 4 瓶；Y31-10 油压机，压力 10t，行程 350mm，功率 10kW，速度 2.15mm/s；微管推压机，公称压力 10t，油缸直径 100mm，料腔规格（max） $\phi 25\text{mm}$ ，锥度 15°、18°；立式管形烧结炉，炉膛直径 100mm，加热方式可控电加热，炉体长度 5.6m，加热温度范围 0 ~ 450℃。

5. 工艺流程

（1）工艺流程 见图 7-15。

（2）预成型 为排出混合料中的气体，增加每次的加料量，经混合存放的原料先在 3MPa 左右的压力下进行预成型，制得圆筒状的坯料，再装进微管推压机料腔中进行推压。预成型坯体规格为 $\phi 18\text{mm}/\phi 16\text{mm} \times 100\text{mm}$ 。预压速度为 1 ~ 1.2m/min。预压速度过快气体不易排出，易造成坯体断裂或产生气泡。预压压力也不宜过高，以助推剂渗

出不多为宜。

预压坯体一般立即用于推压微管，一时不能马上使用的应放入底部盛有助推剂的密封容器中，以防助推剂挥发过多影响配比。为使预成型坯体能顺利进行微管机料腔中，必须使坯体外径比料腔内径小 1mm 左右，坯体内径比芯棒外径大 1mm 左右。

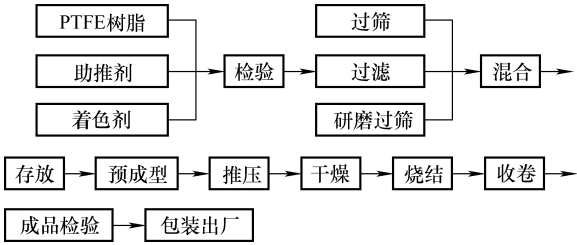


图 7-15 工艺流程图

(3) 推压 彩色微型管成型的原理是利用推压时锥角的作用产生剪切力使树脂颗粒呈纤维化。

1) 推压压力和剪切力。由经验可知，推压压力与压缩比、锥角、推出量、口模长度成正比，与助推剂浓度和间隙成反比。压力小，推出物较松且多孔；压力太大，设备过载，而且过分纤维化会产生纵向开裂，甚至推出物成碎片，不成微管。

剪切力大小既影响纤维化程度，又影响制品的纵向强度。在实际操作中，通常根据微管的情况适当调整助剂的含量和间隙的大小来改变推压时的剪切力。

2) 速度和温度。推压速度的变化与推压压力的大小有关，更与干燥速度和连续烧结时速度有关，并随产品直径的增大而减慢，随产品壁厚的减小而加快，主要以干燥完全、烧结充分而又不分解为基准。

五、聚四氟乙烯三通缠绕成型

1. 原料

模压用 F4 树脂的主要技术指标见表 7-37。

表 7-37 F4 树脂主要技术指标

序号	指标名称	技术指标	序号	指标名称	技术指标
1	拉伸强度/MPa	≥25.5	6	熔点/℃	327 ± 5
2	伸长率(%)	250	7	标准密度/(g/cm³)	2.13 ~ 2.18
3	表观密度/(g/L)	500 ± 100	8	热不稳定性指数	≤50
4	平均粒径/μm	180 ± 80	9	介电强度/(kV/mm)	≥60
5	含水量(%)	<0.04			

2. 主要设备

生产缠绕件的主要设备如下：

- 1) Y71-100A 型塑料制品液压机。
- 2) 151 型高温烧结箱。

3) CM6150 型精密车床。
其主要技术参数见表 7-38。

表 7-38 主要设备技术参数

型号、名称、产地	技 术 参 数
Y71-100A 型塑料制品液压机 天津锻压机械厂	公称压力 1000kN，液体最大工作压力 32MPa，滑板最大回程压力 200kN，顶杆自动顶出压力 200kN，活塞直径 200mm，活塞截面积 314cm ²
151 型高温烧结箱 上海实验仪器总厂	工作温度范围 100 ~ 450℃，总功率 15kW，电加热功率 14kW，转盘转速 7 ~ 8r/min
CM6150 型精密车床 上海机床厂	中心高 250mm，中心距 1000mm，加工最大直径 500mm，通过主轴孔棒料 57mm，主轴转速：正转 21 级 10 ~ 1600r/min；反转 12 级 20 ~ 800r/min

3. 制备工艺

缠绕制件工艺流程如图 7-16 所示。

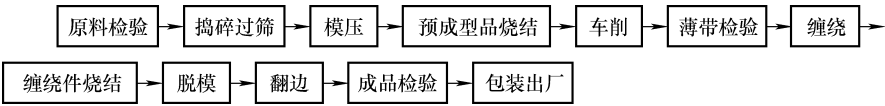


图 7-16 缠绕制件工艺流程

4. 注意事项

- 1) F4 塑料在 19℃ 时其体积膨胀率为 1%。为使车削薄带尺寸精确，车削加工环境温度一定要在 25℃ 左右；另外由于模压、烧结过程中易产生内应力，会影响制件尺寸的稳定性。因此，烧结后的毛坯必须放置 24h 以上方可进行车削加工。
- 2) 无碱玻璃布在使用前必须进行热处理以除去玻璃布在纺制过程中为防止折断而在表面敷的淀粉或石蜡类浆料等物质，保证缠绕件外观洁白，经纬强度均匀。一般热处理温度为 450℃ 左右。
- 3) 为保证缠绕件能紧密地与金属三通内壁贴合，尽量使缠绕件和金属件之间无残留气体，F4 缠绕内衬件的外观一般要比金属件的内径大 0.5 ~ 1mm。
- 4) F4 缠绕件毕竟是由薄带热压而成的，高温或强氧化剂易使其解体分层，因此必须根据实际使用条件与焊接法、液压法结合选用。

第八章 聚苯硫醚（PPS）

第一节 主要品种与性能

一、主要品种

聚苯硫醚（Polyphenylene sulfide，PPS）是最简单的含硫芳香族聚合物，国内生产的主要是线型聚苯硫醚，它在 350℃ 以上交联后成热固性塑料。支链型结构为新型热塑性塑料，其热变形温度低（仅 101℃），没有明显的熔点，熔体粘度大，须用冷压—烧结成型工艺，其耐氧化性、弹性、化学稳定性均优于热固性聚苯硫醚，废料可以回收。

聚苯硫醚是综合性能优异的工程塑料，但其强度仅属中等水平，因此常利用其与纤维和无机填料等有良好的亲和性，对其进行增强改性，以此显著地提高 PPS 的物理机械性能和耐热性，从而步入特种工程塑料行列。

1. 聚苯硫醚的增强材料

聚苯硫醚用增强材料有玻璃纤维（GF）、碳纤维（CF）、石墨纤维、聚芳酰胺纤维、金属纤维等，但以玻璃纤维为主。

1) 玻璃纤维增强聚苯硫醚。采用玻璃纤维增强 PPS 是一种极为有效且方便、经济的方法，常用无碱无捻品种，纤维形式有短纤维、长纤维、纤维布等，玻璃纤维增强的 PPS 机械性能和热变形温度明显提高，见表 8-1 所示，增强材料在长期负荷或热负荷下的耐蠕变性良好，在较高温度下的蠕变很小，还是优异的减摩、抗磨材料，在热水老化、气候老化下均不影响其滑动摩擦性；玻璃纤维增强 PPS 在 200℃ 或 60℃ 热水中 20 天仍保持优异的电性能，因而可用于高温、高频及高湿下的电器元件。

表 8-1 四川特种工程塑料厂 PPS 的牌号和性能

项 目		T-3	T-4	T-5	T-7	T-10	TN-1	TN-2
相对密度		1.65	1.66	1.70	1.90	1.99	1.40	1.48
特征		玻璃纤维 增强易流动	玻璃纤维 增强	玻璃纤维 增强	增强填充	增强填充	PPS/PA 增强	PPS/PA 增强
成型收缩率(%)		0.0025	0.0025	0.0025	0.002	0.002	0.003	0.002
拉伸强度/MPa		145	160	170	130	120	155	152
弯曲强度/MPa		180	190	210	180	160	210	190
弯曲模量/GPa		11	12	14	170	140	100	100
简支梁冲击强度 /(kJ/m ²)	缺口	10	11	11	6.7	6.5	13	12
	非缺口	24	25	25	18	15	42	40
热变形温度/℃		260	260	260	260	260	240	245

(续)

项 目	T-3	T-4	T-5	T-7	T-10	TN-1	TN-2
阻燃性(UL94)	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0
表面电阻率/ Ω	1×10^{14}	2×10^{15}	2×10^{14}	1×10^{14}	1×10^{14}	2×10^{14}	2×10^{14}
体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$	1×10^{15}	1×10^{15}	1×10^{15}	1×10^{14}	1×10^{14}	1×10^{15}	1×10^{15}
介电常数(1MHz)	4	4	4	4.5	4.6	4.2	4.2
介电强度/(kV/mm)	18	18	18	14	14	22	22
介电损耗角正切值(1MHz)	0.002	0.002	0.002	0.008	0.008	0.013	0.013

玻璃纤维增强 PPS 的热变形温度达 260°C ，UL 温度指数达 $200 \sim 220^{\circ}\text{C}$ ，因而可用作隔热垫块，在高温下仍耐各种化学药品。

玻璃纤维增强 PPS 耐候性、耐辐射性优良。

2) 碳纤维增强聚苯硫醚。产品具有高刚性、高强度、导电性、高弹性、耐磨性和更好的摩擦特性。

3) 用聚芳酰胺纤维增强的 PPS。其性能优于 GF、CF 增强产品，PPS 与金属纤维、石墨、炭黑等填充增强的复合材料可用于防爆泵、抗电磁波屏蔽材料。

2. 无机物及矿物质填充增强聚苯硫醚

用于填充增强 PPS 的矿物质有滑石、高岭土等，无机物有 CaCO_3 、 SiO_2 、 MoS_2 等，填充后的制品可极大地降低成本，同时还可提高 PPS 的物理机械性能和电性能。无机物填充 PPS 后可提高耐电弧性而取代热固性塑料用于弧的高压绝缘部件。若在填充的同时再以玻璃纤维增强则性能更佳。

3. 聚苯硫醚合金

PPS/PTFE、PPS/PA、PPS/PPO 等合金已商品化。PPS 与 PA6、PA66、PA12 等共混可制得相容性较好的合金，极大地改善了 PPS 的脆性而得到高韧性合金。

PPS/PTFE 合金改善了 PPS 的脆性、润滑性和耐蚀性，合金主要用于防粘、耐磨部件及传动件，如轴承等。因其无毒，不粘涂层已得到美国食品和药物管理局 (FDA)、美国卫生设备基金会 (NSF) 认可，用作不粘锅、饮水配管的部件。

4. 其他改性品种

可用聚芳砜 (PSF) 与 PPS 嵌段共聚制得聚硫醚砜 (PTES)，其力学性能得到极大提高，拉伸强度和弹性模量是工程塑料中最高者，且熔体流动性极好，耐锡焊，耐热性、耐化学性极好。

二、主要性能

交联或半交联型聚苯硫醚为浅褐色粉末，经加热变为深褐色；而直链型 PPS 则为白色颗粒，高结晶速度的为白色或浅黄色颗粒，受热后其颜色变深。识别此种材料应采用红外光谱方法 (见 ASTM 4067 和美军标 MIL-D46174)。交联型和直链型 PPS 性能见表 8-2。

表 8-2 交联型和直链型 PPS 性能

性 能	交联型	直链型	性 能	交联型	直链型
拉伸强度/MPa	65.7	78.4	冲击强度(缺口)/(J/m)	107.8	882
断裂伸长率(%)	1.5	12	耐蠕变性	好	差
弯曲强度/MPa	96	107.8	耐热性	好	差
弯曲弹性模量/MPa	3822	41160	焊接强度	差	好

PPS 的基本性能特点如下：

- 1) 白色、结晶性、易流动的粉末。
- 2) 强度高、抗蠕变性高，坚韧、质硬、无冷流变性，力学性能随温度升高而降低。
- 3) 热稳定性极好，热变形温度 260℃，熔点 290℃，在 400 ~ 500℃ 热空气和氮气中仍稳定，交联后可耐 600℃ 高温，可在 350℃ 以上长期使用。
- 4) 耐磨，阻燃性优，有自熄性，对玻璃、陶瓷、金属的粘接性好。
- 5) 电绝缘性优，高温、高湿的影响小，耐电弧性好。
- 6) 成型收缩率小，尺寸稳定性好，熔体粘度小，易成型加工。
- 7) 化学稳定性优异，耐稀酸、碱，在 204℃ 以下耐任何溶剂。
- 8) 对炭黑、石墨、玻璃纤维、MoS₂、PTFE 等填料有特别好的润湿作用。
- 各类聚苯硫醚的性能特点详见表 8-3。

表 8-3 PPS 的特性

项 目		超薄壁用	玻璃纤维 增强	低毛边	高冲击下玻璃纤维增强		玻璃纤维 增强通用品
					1 型	2 型	
相对密度		1.55	1.70	1.67	1.56	1.52	1.67
成型下限压力/MPa		<1.3	2.8	3	4	3	4
拉伸强度/MPa		160	160	205	155	166	205
拉伸伸长率(%)		1.6	1.6	2.3	2.9	3.0	2.3
弯曲强度/MPa		200	200	260	225	230	265
弯曲弹性模量/MPa		10000	10000	13500	10000	10000	13000
悬臂梁冲击强度 /(kJ/m ²)	带缺口	9	10	13	22	16	13
	无缺口	40	30	50	85	70	55
热变形温度/℃		260	260	260			260
燃烧性		V-0	V-0	V-0			V-0
焊接强度/MPa				70	50	75	80
成型收缩率(FD)(%)		0.25	0.20	0.20			0.20
体积电阻率/Ω·cm				1×10 ¹⁶			1×10 ¹⁶

三、应用

PPS 可应用于汽车工业、化学工业、机械工业、电子电器工业、航空航天工业。

四、国内 PPS 牌号、性能与应用（表 8-4 ~ 表 8-9）

表 8-4 广州化工研究所 PPS 的性能与应用

牌号	弯曲强度 /MPa	冲击强度 /(kJ/m ²)	热变形温度 /℃	成型收缩率 (%)	特 性	应 用
纯树脂	56	7.3			白色或米黄色粉料，耐热性好，长期使用温度 250℃，阻燃 V-0 级；力学性能、耐腐蚀性和绝缘性好，可注射或压制成型	可用于制备工程部件、绝缘制品或粘合剂
FRC-4	125	24	>260	0.3 ~ 0.5	添加玻璃纤维或石墨或无机填料后耐热性更好，强度、刚性增大，综合性能更佳，可注射、压制或挤出成型	可用于制备工程结构制品、电绝缘制品，也可用作粘合剂
FR-C-7	115	18	>260	0.3 ~ 0.5		
FR-10	83	12.7	>260	0.3 ~ 0.5		

表 8-5 四川自贡市化学试剂厂 S2PPS 的性能与应用

牌号	拉伸强度 /MPa	缺口冲击强度 /(J/m)	热变形温度 /℃	特 性	应 用
S2PPS-1C、2C	120	100	200	用填料填充，附着力强，力学性能好	可用作涂料
S2PPS-1P、2P	120	100	200	白色粉料，灰分 0.3% ~ 0.5%	可用于制备涂料
S2PPS-1R	120	100	200	纯树脂，粒料，可注射成型	可用于制备工程制品
S2PPS-4R	120	100	7200	40% 玻璃纤维增强粒料，可注射成型	可用于制备工程结构件、绝缘件等

表 8-6 四川绵阳市能达利化工厂有限公司 PPS 的性能与应用

牌号	拉伸强度 /MPa	缺口冲击强度 /(kJ/m ²)	热变形温度 /℃	成型收缩率 (%)	特 性	应 用
1R	60	7.1	106	1.0	纯树脂，可注射、压制成型	可进行改性，制备工程结构制品

(续)						
牌号	拉伸强度 /MPa	缺口冲击强度 /(kJ/m ²)	热变形温度 /℃	成型收缩率 (%)	特 性	应 用
4R	120	10	>260	0.25	40% 玻璃纤维增强品级, 力学性能优越, 可注射成型	可用于制备工程结构部件、绝缘件
8R、10R	120	10	>260	0.25	玻璃纤维增强, 填料填充级, 抗电弧性好, 可注射或模压成型	可用于制备工程件和电绝缘构件
M2	135	8	260	0.25	玻璃纤维增强品级, 加工流动性好, 可注射成型	可用于制备工程构件和受力件等
M3	145	10	260	0.25	玻璃纤维增强品级, 力学性能好, 可注射成型	可用于制备工程结构制品
M4	150	11	260	0.25	玻璃纤维增强品级, 力学性能好, 可注射成型	可用于制备工程结构制品
M5	170	11	260	0.25	玻璃纤维增强, 综合强度高, 可注射或压制成型	可用于制备工程制品
M6	60	7.1	106	1.0	纯树脂品级, 耐热性好, 强度高, 可注射或模压成型	可用于制备工程制品
M7	100	6.7	260	2.0	无机填料填充品级, 刚性/韧性平衡, 可注射或模压成型	可用于制备工程制品
M8	115	6	260	0.15	无机填料填充品级, 刚性/韧性平衡, 可注射或模压成型	可用于制备工程耐热制品
M10	120	6.5	260	0.20	无机填料填充品级, 综合性能良好, 可注射或模压成型	可用于制备工程耐热制品
MF20	120	8	260	0.25	PPS/PTFE 合金品级, 综合性能良好, 可注射成型	可用于制备工程结构件、耐磨制品
MF30	130	8.5	260	2.5	PPS/PTFE 合金品级, 综合性能良好, 可注射成型	可用于制备工程构件和耐磨件
MF-C1	150	5.5	260	1.5	碳纤维增强品级, 综合性能良好, 可注射或模压成型	可用于制备工程结构件、功能构件
MF-C2	115	13	240	1.5	碳纤维增强 PPS/PTFE 合金品级, 综合性能良好, 可注射成型	可用于制备工程结构件、耐磨构件
MN-1 MN-2	155	13	245	0.3	PPS/PA 合金品级, 综合性能良好, 可注射成型	可用于制备一般工程制品
PPS 着色料	—	—	260	0.2	有红、黄、蓝、黑专用料	主要用于电子电器制品的制造

表 8-7 河北工业大学 PPS 的性能与应用

牌号	拉伸强度 /MPa	冲击强度 /(J/m ²)	热变形温度 /℃	特 性	应 用
PPS	630 ~ 660	38 ~ 39	0. 022	玻璃纤维增强品级，电性能优良，可注射成型	可用于制备电子电器结构件

表 8-8 北京市化工研究院 PPS 的性能与应用

牌号	拉伸 强度 /MPa	缺口冲击 强度 /(kJ/m ²)	热变形温度 (1.82MPa) /℃	成型 收缩率 (%)	特 性	应 用
S104	140	10	260	0. 25	玻璃纤维增强品级，强度与刚性高，流动性好，使用温度高（220 ~ 240℃），阻燃 V-0 级，耐化学性、尺寸稳定性、电性能好，可注射成型	可用于制备工程结构制品或耐热阻燃制品
S114	150	10	260	0. 25		
S124	120	7	260	0. 25	玻璃纤维增强品级，综合性能优良，且耐磨性好，可注射成型	可用于制备工程耐磨制品
S206	100	6. 5	260	0. 02	无机填料填充品级，成本低，尺寸稳定性好，阻燃 V-0 级，电性能、耐蚀性好，耐高温，可注射成型	可用于制备一般工程构件或耐热阻燃制品
S216	100	6	260	0. 2	无机填料填充品级，综合性能良好，成本低，耐磨性好，可注射成型	可用于制备一般工程制品和耐磨件
SN-01	140	12	245	0. 3	玻璃纤维增强 PPS/PA 合金，机械强度高，耐高温，阻燃 V-0 级，可注射成型	可用于制备通用制品、阻燃制品
SN-02	130	10	250	0. 2	玻璃纤维增强 PPS/PA 合金，强度高，耐高温，不阻燃，可注射成型	可用于制备耐热制品
SN-01	120	10	255	0. 2	玻璃纤维增强 PPS/PPO 合金，耐热，阻燃 V-0 级，电性能良好，强度高，可注射成型	可用于制备工程制品或阻燃制品

表 8-9 天津合成材料工业研究所 PPS 的性能与应用

牌号	拉伸 强度 /MPa	冲击强度 /(J/m ²)	热变形温度 (1.82MPa) /℃	特 性	应 用
JBLM-1	65.5	7.8~9.8	135	白色粉料，热稳定性好，刚韧性 强，阻燃并自熄性好，尺寸稳定， 耐化学药品性优良，吸水性极低， 粘接强度高	可用于制作粘合剂
JBLM-2	65.5	7.8~9.8	135		
增强品级	141	29	260	玻璃纤维增强品级，褐色粒料， 强度高，尺寸稳定，质硬，阻燃， 可注射成型	可用于制作工程结构件

五、国外 PPS 牌号、性能与应用（表 8-10 ~ 表 8-11）

表 8-10 日本东洋纺织公司 PPS 的性能与应用

牌号	拉伸 强度 /MPa	缺口冲击 强度 /(J/m)	热变形温度 (1.82MPa) /℃	成型收缩率 (// ⊥) (%)	特 性	应 用
TS101	127	0.599	260	0.13/0.25	玻璃纤维与无机增强填料改 性品级，耐高温，低收缩，强 度高，阻燃 V-0 级，可注射成 型	可用于制备工程结构 部件
TS201	170	0.677	260	0.15/0.45	玻璃纤维与填料改性品级， 强度高，耐高温，阻燃 V-0 级， 可注射成型	可用于制备工程结构 件
TS201HS	197	0.765	260	0.15/0.45	玻璃纤维与填料改性品级， 强度与韧性高，耐高温，阻燃 V-0 级，可注射成型	可用于制备耐高温结 构制品
TS401	184	0.843	260	0.25/0.90	标准品级，强度高，耐高温， 阻燃品级，可注射成型	可用于制备工程结构 件、耐高温部件等
TS401HS	197	0.912	260	0.23/0.9	高韧性，高加工流动性，耐 高温，阻燃 V-0 级，可注射成 型	可用于制备工程结构 件、耐高温制品

表 8-11 美国通用电气塑料公司 Supec PPS 的性能与应用

牌号	拉伸 强度 /MPa	缺口冲击 强度 /(J/m)	热变形温度 (1.82MPa) /℃	燃烧性 UL94	特 性	应 用
Supec G304		60	260	V-0	30% 玻璃纤维增强品级，冲击强度、机械强度高，可注射成型	可用于制备电子管部件、接插件等
Supec G323		60	260	V-0	30% 玻璃纤维增强并填充填料品级，高模量，可注射成型	可用于制备工程阻燃制品
Supec G401	169	80	260	V-0	40% 玻璃纤维增强品级，冲击强度高、耐热、高刚性，可注射成型	可用于制备工程阻燃制品
Supec G402	152	80	260	V-0	40% 玻璃纤维增强品级，流动性好，高刚性，可注射成型	可用于制备耐高温阻燃制品
Noryl APS4400	59		270		40% 玻璃纤维增强合金料，耐高温、强度高、尺寸稳定性强，可注射成型	可用于制备工程结构件
Noryl APS4300	59		270		30% 玻璃纤维增强品级，耐高温、高刚性、高强度，可注射成型	可用于制备工程结构制品

第二节 聚苯硫醚加工成型工艺

PPS 根据不同的使用要求，可以进行挤出、注射、模压、烧结、压延等工艺加工，常用的加工工艺主要有挤出加工和注射加工。

一、PPS 挤出加工

交联的 PPS 一般相对分子质量较低，须在低于熔点的条件下进行热氧化交联，当 PPS 树脂的熔体流动速率低于 200g/10min 时，可进行挤出造粒，美国 Phlipps 公司的 R-6 产品就是采用此工艺加工而成的，线性高相对分子质量 PPS 粉末可以在烘干后直接挤出造粒，不必有热氧化交联的过程。PPS 树脂也可以与其他无机填料、PTFE 等有机填料，在混合器中混合后再在双螺杆挤出机中进行挤出造粒。

由于 PPS 是高熔点结晶性树脂，因此在挤出加工过程中应选择耐磨的积木式双螺杆挤出机，根据不同的配方要求，对螺杆的螺纹元件进行组合，以获得满意的材料性能和提高双螺杆挤出机的使用寿命。

二、PPS 注射加工

1. 成型条件

(1) 材料预干燥 尽管 PPS 工程塑料的含水率较低, 但为了提高注射产品的外观和制品的熔接强度, 防止流延, 对于线性 PPS 推荐采用鼓风干燥机在 $120 \sim 140^{\circ}\text{C}$ 条件下干燥 $3 \sim 5\text{h}$, 平盘中的材料高度最好不要超过 5cm ; 对彩色的 PPS 工程塑料, 为确保稳定的色彩, 应在 105°C 以下, 干燥 $3 \sim 5\text{h}$, 为保证制品外观, 甚至干燥时间可以再长一些。对增强的交联型 PPS, 在鼓风烘箱中可在 $149 \sim 177^{\circ}\text{C}$ 条件下干燥 $2 \sim 3\text{h}$, 烘干时间延长, 一般对材料性能影响不大, 但最好烘干温度不能超过 260°C 。采用真空烘箱和其他除湿式烘箱, 温度和时间可适当降低和减少。

(2) 成型设备 推荐使用螺杆式注射机, 喷嘴使用防止熔化材料流延的开口喷嘴, 使用耐磨、耐蚀机筒及螺杆。为了避免在机筒中褪色, 所选的注射机必须具有混合均匀的机器容积。

(3) 注射工艺

1) 机筒温度。对于线性 PPS, 若料斗下面的机筒温度太低, 机筒与螺杆的摩擦力就会增加。若不存在流动问题, 稍微降低机筒温度可减少材料褪色, 除了黑色级别之外, $300 \sim 310^{\circ}\text{C}$ 是模塑的比较适合的温度范围。

对于交联型 PPS R-4 产品适合的加工温度为 $315 \sim 343^{\circ}\text{C}$, 对大多数制件, 适宜的加工温度为 $315 \sim 327^{\circ}\text{C}$, 当熔化温度为 288°C 升到 357°C 时, 注射件的颜色就变到深褐色, 而且注射件的外观随着熔融温度的升高而得到改善。拉伸强度随着加工温度的升高有轻微升高, 而冲击强度、弯曲强度、弯曲模量、热变形温度则随着加工温度的升高变化不明显。

2) 模温。模温在很大程度上影响模塑产品的特性。考虑到模塑产品的外观, 高温下的尺寸稳定性、耐热性及耐蠕变性能, 模温一般不得低于 120°C , 至少也要在 130°C 以上。

对于交联型 PPS R-4 产品, 影响物理性能和制件其他特性最重要的参数是模具参数。随着模具温度的提高, PPS 从无定型结构变成高度结晶的材料。材料的热变形温度提高, 拉伸强度升高, 而弯曲强度、冲击强度降低。制件的颜色随模具温度的升高而变暗, 但表面光滑度有新提高; 制件的收缩率也随模具温度的提高而增大, 见图 8-1。推荐的模具温度为 $120 \sim 160^{\circ}\text{C}$ 。

3) 注射压力。注射压力保持在 $29 \sim 98\text{MPa}$ 比较合适, 高压注射能保证制件的密实性, 特别是对薄壁复杂的制件, 更应采用高压注射, 而且高压可以提高材料的拉伸强度。但低压模塑可降低制件的闪光。

4) 注射速度。要获得外观满意的模塑产品, 快速注射就显得必要了。但这易使模塑产品发生翘曲或烧焦, 因此, 一般采用中等注射速度既能得到满意的结果。在同等加工温度条件下, 高速注射可以提高材料的拉伸强度。

5) 保压。为降低制件的内应力, 特别是交联型 PPS, 应在保证制件注满的前提下,

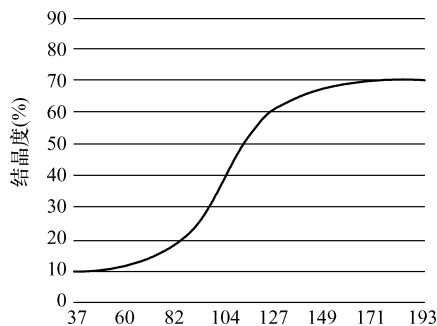


图 8-1 聚苯硫醚制件的模具温度/ $^{\circ}\text{C}$

尽量降低保压压力，以降低制件应力开裂发生的几率。

6) 背压。为了获取准确计量，背压应保持在 1.0MPa，对于干燥不好和稳定性较差的物料，应采取 2.0 ~ 2.9MPa 的背压。

7) 螺杆转速。正常地，螺杆转速保持在 40 ~ 100r/min 比较恰当。转速高于 200r/min 不宜采用。高转速易使 PPS 发生生热，产生分解，而且对纤维增强材料易使纤维断裂，降低材料的力学性能。

8) 材料在机筒中的停留时间。线性 PPS 即使在机筒内长时间停留，其粘度也不会发生很大的变化，但对交联型 PPS 最好材料在机筒中的停留时间不要超过 15min，以防止材料在机筒中发生分解。

9) 注射周期。根据制件的大小和复杂程度，其注射周期一般为几十秒。对薄壁制件可以采用快速成型工艺。实际操作中根据所用材料的牌号和制件的要求进行调整。

2. 增强 PPS 的典型注射工艺

PPS 一般以增强方式向市场提供，纯的 PPS 树脂一般不进行注射。表 8-12 为交联型增强 PPS 和线性增强 PPS 的典型注射工艺。

表 8-12 交联型增强 PPS 和线性增强 PPS 的典型注射工艺

工 艺 项 目		工 艺 条 件	
		交联型 PPS	线性 PPS
预干燥		140℃ × 3h	140℃ × 3h
机筒 温度 /℃	1 段(靠近料斗)	290 ~ 300	290 ~ 300
	2 段	300 ~ 310	300
	3 段	310 ~ 320	310
	4 段(靠近喷嘴)	310 ~ 320	310
喷嘴温度/℃		320 ~ 330	310 ~ 320
模具温度/℃		135	150
注射压力/MPa		70 ~ 120	39 ~ 69

3. 模具设计

(1) 模具材料

由于增强 PPS 是由玻璃纤维及其他助剂填充制得，因此模具必须具有耐磨性。考虑到在模塑时会产生少量的腐蚀性气体，选用具有耐磨及耐腐蚀的模具制造就显得必要。为延长模具使用寿命，就得对其进行表面处理。如果能选用不锈钢制造模具，模具的使用寿命可以有较大提高。

(2) 模温控制

由于模具被加热至 130℃ 以上，一般情况下采用的是筒式加热器，但是采用调压热水温控或油温控制系统，整个模具的温度将更加均匀。也可以采用固定的和移动的模板式加热器。在模具的前后，要使用一个隔热板（如石棉板）进行隔热，以防热量传到注射机上。

(3) 主浇口与流道

注入口应渐减 $2^{\circ} \sim 3^{\circ}$ ，而流道大都是圆的或以梯形为代表性的。在注入口和流道的末端，必须有冷料井。浇道口和流道的粗糙度要求较低，否则易造成脱模困难。

(4) 其他模具设计应注意的问题

1) 浇口。可采用销点式浇口和通道式浇口，边浇口系统有很大的设计自由度。销点式浇口最小直径为 0.6mm，大多数情况下为 0.8 ~ 1.2mm，1mm 以上的直径是需要的。浇口位置比较重要，要注意纤维填料引起的各向异性时焊接点的影响。

2) 模塑产品的壁厚。0.8mm 以上的固定厚度是设计的标准。对于宝理公司的 1140A1，若壁厚为 0.2mm，流动最远距离为 7mm。

3) 拔模斜度。标准拔模斜度为 $1^{\circ} \sim 2^{\circ}$ ，若尺寸精确性要很高，可采用 $1/4^{\circ} \sim 1/2^{\circ}$ 。

4) 排气出口。空气出口应该有 0.005 ~ 0.008mm 深，5mm 宽。模腔到空气出口末端的距离为 0.5 ~ 1mm，以便把空气排出。若在主浇口和流道部位设有空气出口，效果将更加理想。如果空气出口不够多，会出现模塑产品光泽差，焊接强度降低，射出量少，而且有时候制品表面会烧焦。

5) 加强筋。增加加强筋数目要比增加加强筋的高度、厚度更加有效。好的加强筋设计可以增强制件刚度，防止制件翘曲。消除残留应力，提高材料的流动性等综合效果。加强筋厚度为产品壁厚的一半。脱离锥度应大 $2^{\circ} \sim 3^{\circ}$ 。

(5) 注射件的收缩性和注射件退火后的性能变化。增强 PPS 制件的收缩依赖于模具温度、制件厚度和注射后的热处理。增加模具温度和制件厚度会引起更大的收缩。对交联型 PPS 制件进行后热处理，收缩率将增大；流动方向的收缩率较垂直方向收缩变化小。对注射件进行加热退火，控制温度应小于 260°C ，最好在 200°C 左右，时间在 1h，就能得到高结晶度的制件，尺寸稳定性也将增加。退火增加结晶度，增加制件的收缩率，提高制件的表面粗糙度。对线性 PPS 在 150°C 模温下成型。并在 200°C 左右退火后收缩率变化很小，所以非常适合精密成型。

4. 成型注意事项

成型完成后，推荐首先用玻璃纤维增强聚碳酸酯清洗机筒，然后再用聚乙烯树脂清洗机筒。然后可选择对玻璃纤维增强聚碳酸酯或聚乙烯进行再次清洗。也可用专用的机筒清洗剂进行清洗。

只要遵守操作守则，增强 PPS 成型不会发生危险。但它在达到一定的温度后会发生分解反应。若操作工没有正常的通风条件，分解产生的气体将不利于工作人员的身体健康。为防止热分解，消除有毒气体，防止机筒内压力的增大，熔化温度必须控制在 360°C 以内，当成型操作必须推迟一段时间的时候，必要时对机筒内的树脂进行清洗并且将机筒温度降到 280°C 以下，在重新进料或驱动螺杆之前，加热机筒温度 300°C 以上。操作员必须戴上护目镜（尤其在清机时），在放置模具时戴上手套。若成型操作中断，缩回注射系统有助于防止熔化原料结块。

回用料的使用。使用回用料是可以的。然而，100% 回用料将使材料的力学性能、热性能随玻璃纤维断裂而稍稍降低，此外，色彩会受到影响。当使用回料时，回用料的

添加量就不得超过 25%。表 8-13 和表 8-14 列出了采用回料时 1140A1 的性能保留数据以及混用回料时 1140A1 的性能保留百分比。

表 8-13 1140A1 为回料质量三次时的性能保留数据

项 目		性能保留率(%)				
回用料质量分数(%)		0	30	50	70	100
拉伸强度/MPa		100	99	98	97	96
断裂伸长率(%)		100	103	102	102	104
弯曲强度/MPa		100	99	97	98	97
弯曲弹性模量/GPa		100	102	100	99	100
艾佐德 抗冲强度	Notched	100	103	97	99	90
	Unotched	100	90	100	95	97
色彩变化		—	2.2	3.0	3.5	5.0

表 8-14 重复三次后 1140A1 的性能保留百分比

项 目		性 能 保 留	
		粉碎的	再生粒子
拉伸强度/MPa		82	78
断裂伸长率(%)		100	97
拉伸弹性模量/GPa		90	—
弯曲强度/MPa		87	85
弯曲弹性模量/GPa		94	89
艾佐德 抗冲强度	缺口	72	51
	无缺口	84	75
负载热变形温度		97	97
色彩变化		13.8	—
熔体流动速率/(g/10min)		—	220
收缩率(%)		—	135

5. 制备实例

实例 1 聚苯硫醚微波炉转架的注射成型

(1) 选材

目前国产 PPS 的品级不多,已形成批量生产的有广州化工研究所、天津合成材料研究所等单位。广州生产的 PPS 是玻璃纤维增强的 PPS,其牌号为 R-10,是耐温复合材料。天津生产的 PPS 牌号为 R-20。国产的两种 PPS 复合材料与美国菲利浦石油公司的牌号 R4PPS 复合材料性能见表 8-15。

PPS 树脂在交联前是一种线性结构,平均相对分子质量约为 10000 ~ 50000,呈热塑

性。交联后呈热固性,但充分加热后还能软化到一定程度,因而并非真正热固性塑料。

表 8-15 PPS 复合材料性能

性 能	R-10	R-20	R-4
生产单位	广州化工研究所	天津合成材料所	美国菲利浦石油公司
密度/(g/cm ³)	1.82	1.82	1.67
拉伸强度/MPa	109.8	89.7	150
伸长率(%)	<10	3	1.2
弯曲强度/MPa	168.6	159.8	205.9
冲击强度/(J/m)	43.1	31.4	88.2
熔体流动速率(300℃,1200g)/(g/10min)	3.89	2.29	—
热变形温度(1.82MPa)/℃	269	275	260

(2) 主要设备

- 1) 注射机。通常选用螺杆式注射机。
- 2) 模具。根据制品尺寸结构设计模具。

(3) 制备工艺

1) 材料的干燥。PPS 复合材料吸水率虽然低,但由于国产 PPS 复合材料粒子外表粗糙,因而在运输储存中容易使空气中的水分吸附在上面,加工前要充分进行干燥,以减少制品表面出现的气泡、银丝等缺陷。同时充分干燥后,对提高制品表面质量和减少喷嘴漏料也有一定作用。一般可采用电热鼓风干燥箱进行干燥,温度为 140~160℃之间,干燥时间 3~4h,装在盘中的料层厚不超过 3~4cm。

2) 机筒温度。PPS 塑料注射成型宜选用螺杆式注射机,可以得到塑化良好的熔料,一般而言,机筒前段温度为 300~310℃、中段 310~320℃、后段 290~300℃,但应特别注意的是 PPS 在机筒中长时间受热,将使 PPS 完成进一步交联,其结果是树脂固化包在螺杆上,预塑时螺杆不进料,将造成拆卸螺杆、清除包在螺杆上的固化料的不良后果。因而在必要时校核温度计指示值是否与实际值相符,避免误差过大。注射任务完成后,必须对螺杆前部的 PPS 料注射完,立即采用适当树脂清洗机筒,保证下一次正常使用。

3) 注射压力和注射速度。一般在注射 PPS 时宜采用高的压力和快速注射。因为 PPS 的熔点高,在注入模腔时,若不以高压快速方式充满模腔,PPS 极易在流动过程中因接触冷的模具而迅速冷却凝固,无法充满模腔,或造成表面异常粗糙,组织疏松。这点在成型时要足够重视。有资料推荐注射压力 4~6MPa(液压泵压力),注射压力高低还受注射机和制品本身结构的复杂程度、模具等因素影响,因而应通过试压后确定。

4) 模具温度。在一般塑料注射成型时模具温度的控制往往易被忽视。但在 PPS 注射成型时,模具温度对制品外观及内在质量有重要影响。模温太低时,注入模腔的塑料在流动充模过程中就冷却到玻璃化温度以下而失去流动性,造成制品不足或表面粗糙。

所以 PPS 注射时的模具温度必须控制在 $60 \sim 150^{\circ}\text{C}$ 的范围。

模具温度控制可用水作加热介质的模温控制器，但最高模温不超过 95°C ，若用油作加热介质，模温可达 100°C 以上，这都需要单独提供循环加热介质的模温控制器。也可以在模具上加装电热元件实现模温控制。

5) 注射、保压时间。PPS 注射时间和保压时间与一般塑料注射成型相似，受制品大小及流程长短、浇注形式、注射速度等因素的影响，一般均通过试压确定。

6) 冷却时间。由于 PPS 的热变形温度及玻璃化温度较高，加上模温高，它不可能冷却到室温才脱模，因而所需冷却时间较短，一般 $10 \sim 30\text{s}$ 即可。

7) 制件的后处理。对玻璃纤维增强 PPS 制件进行后处理，可显著提高制件的耐热性，用增强 PPS 复合材料制成的有引线的线圈骨架，处理前耐焊接时间为 10s 。在 260°C 经 6h 处理后，耐焊接时间可达 90s 。当然，在加热后处理时，温度和时间对制品尺寸有影响。但在 260°C ， 6h 处理后尺寸不再变化，达到稳定状态。制件尺寸在处理前后的收缩率为 $0.48\% \sim 0.51\%$ 之间。

实例 2 PPS 测井仪接插件和活塞垫片

(1) 选材

聚苯硫醚 (PPS) 是一种新型的耐高温热塑性塑料，它具有力学强度高、尺寸稳定性好、加工性能突出、耐热性好、材质自身阻燃、耐化学腐蚀性优异等优点，使其成为一种能在恶劣环境条件下长期使用的特种工程塑料。故而选用此材料作测井仪接插件和活塞垫片等制品。

(2) 主要设备

1) 注射成型设备。聚苯硫醚是热塑性特种工程塑料，可采用一般热塑性塑料加工的柱塞式或螺杆式注射成形机加工，以螺杆注射成型机为宜。设备的加热能力应能达到 $350 \sim 400^{\circ}\text{C}$ 。喷嘴以自锁式或设备具有防流延螺退功能较为理想。射胶量应是机筒容量的 $30\% \sim 80\%$ ，当在较高的熔融温度加工时，射胶量应是机筒容量的 $60\% \sim 80\%$ ，以减少停留时间，避免材料降解。螺杆为带止逆环通用型，长径比在 $(18 \sim 24):1$ 。

2) 模具。聚苯硫醚注射成型模具可采用塑料工业常用的注射模经验设计。模具的加热设计必须考虑，加热温度应在 130°C 以上，模具钢材应热处理，成型部分型腔、型芯硬度应在 $50 \sim 60\text{HRC}$ ，以减少玻璃纤维增强树脂的磨损。模具应有充分有效的排气，避免充模不足，防止模具腐蚀的发生。PPS 成型后制件硬度大呈刚性，应避免采用潜伏式浇口，根据制件形状可选用侧浇口、扇形、针形、直浇口等形式。

PPS 树脂 (玻璃纤维增强) 成型收缩率受玻璃纤维含量、制品形状、成型工艺、模具浇道及温度等影响，其收缩率变化通常在 $0.1\% \sim 0.3\%$ 。

(3) 制备工艺

1) 树脂的干燥。PPS 树脂的加工水分含量不得高于 0.04% ，可以通过在常压下 $(140 \pm 10)^{\circ}\text{C}$ 将树脂干燥 $8 \sim 16\text{h}$ 。建议采用真空干燥进行树脂预处理。

2) 成型工艺。聚苯硫醚注射成型工艺条件的要求与其他工程塑料相比，并不十分苛刻。

① PPS 树脂通常的熔融温度为 $280 \sim 340^{\circ}\text{C}$ ，生产实用温度一般采用 $300 \sim 325^{\circ}\text{C}$ 。

②模具温度对 PPS 制件性能有明显影响。这是由于 PPS 是结晶型聚合物，低模温导致过快冷却，不利于结晶，无定型结构被冻结在零件中，使制品冲击强度提高，而耐热性降低。相反，高模温成型有利于树脂结晶，带来了拉伸、弯曲、刚性、耐热性的提高，特别应注意，高温下的 PPS 熔融树脂在冷模（低模温）注射成型会产生较严重的制件翘曲。表 8-16 为模具温度对 PPS 树脂性能的影响。

表 8-16 模具温度对 PPS 树脂性能的影响

树脂性能	热 模	冷 模	树脂性能	热 模	冷 模
外观	光亮	暗淡	耐热性能	较高	较低
拉伸性能	稍有提高	略有下降	成型收缩	较大	较小
弯曲性能	稍有提高	略有下降	翘曲	较小	较大
冲击强度	下降	提高			

第九章 聚砒类塑料

第一节 主要品种与性能

一、主要品种

聚砒 (Polysulfone, 缩写为 PSF) 是一类在主链中含有砒基和芳核的高分子化合物。较广泛应用的三种聚砒类塑料为双酚 A 聚砒、聚醚砒和聚芳砒。

双酚 A 聚砒具有较好的综合性能, 热变形温度 170℃, 长期使用温度 150℃, 且易于加工成型。

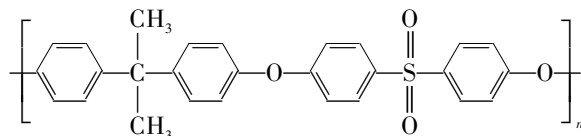
聚醚砒具有优良的耐热性, 热变形温度 210℃, 长期使用温度 180 ~ 200℃, 且可用普通注射成型机加工成型。

聚芳砒具有特殊的耐热性, 热变形温度 270℃, 长期使用温度 240 ~ 260℃。但是由于其分子结构中含有联苯链节, 故流动性差, 加工困难。

双酚 A 聚砒可制作高强度、耐高温和尺寸稳定的机械零件; 聚醚砒可制作高强度的机械零件和耐磨零件; 聚芳砒适用于耐高低温的电器绝缘件和耐高温高压的机械零件。

二、双酚 A 聚砒

双酚 A 聚砒 (Bisphenol-A polysulfone) 又简称聚砒, 其结构式为:



1. 基本性能

1) 识别特征。聚砒为透明琥珀色或不透明象牙色的固体塑料。难燃, 离火后自熄, 且冒黄褐色烟, 燃烧时熔融而带有橡胶焦味。

2) 力学性能。聚砒具有高弹性率、高拉伸强度。脆化温度达 -101℃, 热变形温度为 (1.86MPa) 174℃。经过 2 年时间其性能无变化。

3) 电性能。它具有卓越的电气性能, 使用温度、频率范围宽, 介电常数稳定, 介电损耗角正切小, 适于制作电子电器产品的 PCB 片状电容器线圈、接插件等。

4) 耐药品性。它可在苛刻环境中制造设备的耐磨蚀衬里, 可耐碱、无机盐溶液腐蚀。对于洗涤液碳水化合物在高温条件下使用效果很好。但对极性有机溶剂应注意。

5) 耐水性、耐蒸汽性。它可以长期耐沸水和蒸汽。用它制造的各种零部件可反复用蒸汽消毒, 反复进行自动洗涤, 其物性、表面光泽度不会降低。利用以上特性可代替玻璃和金属制造医疗器械、食品加工机械等。

6) 耐蠕变性。聚砒的耐蠕变性能优异,即使在高温下也同样具有高的耐蠕变性。聚砒性能(国外以美国 LNP 公司为代表,国内列举几家公司)见表 9-1 ~ 表 9-3。

表 9-1 美国 LNP 公司玻璃纤维增强聚砒 (LNP) 的性能

项 目		测试方法 (ASTM)	GF1004 (20% 玻璃 纤维)	GF1006 (30% 玻璃 纤维)	GF-1006FR (30% 玻璃 纤维)	GL-4030 (15% 聚四 氟乙烯)
模塑收缩率 (%)		D955	0.3 ~ 0.4	0.2 ~ 0.3	0.25	
熔融温度/℃			385	385		385
相对密度		D792	1.38	1.45	1.46	1.37
吸水性 (%)	方法 A	D670	0.20	0.20	0.20	0.15
	方法 D		0.60	0.50		0.38
拉伸强度/MPa		D638	103	124	121	159
断裂伸长率 (%)		D638	3.0	3.0		2 ~ 3
弯曲强度/MPa		D790	145	165	165	221
弯曲弹性模量/GPa		D790	5.9	8.3	8.3	13.8
洛氏硬度 (方法 A)		D785	M92	M92		
			L107	L108		
悬臂梁冲击强度 (缺口)/(kJ/m ²)		D256	2.73	3.78	2.73	2.52
热变形温度/℃	0.455MPa	D648	188	191		191
	1.82MPa		182	185	185	185
最高使用温度/℃			149	149		149
线胀系数/(×10 ⁻⁵ K ⁻¹)		D696	1.7	1.4	1.4	0.6
燃烧值 (O ₂ 值) (%)		D2863		35.0	39.5	
介电强度/(kV/mm)		D149		0.48	0.48	
相对介电常数 (60Hz)		D150		3.55	3.65	
体积电阻率/Ω·cm		D257		10 ¹⁷		
介电损耗角正切 (60Hz)		D150		1.9 × 10 ⁻³	2 × 10 ⁻³	

表 9-2 国产聚砒性能

项 目	上海曙光化工厂 S-100	大连塑料一厂 P7301	天津合成材料厂
相对密度	1.24	1.24	1.24
吸水性 (%)	<0.1	0.22 ~ 0.24	0.25
模塑收缩率 (%)	0.6 ~ 0.8	0.50 ~ 0.70	
拉伸强度/MPa	≥50	75 ~ 80	>70
弯曲强度/MPa	≥120	110 ~ 120	>100

(续)			
项 目	上海曙光化工厂 S-100	大连塑料一厂 P7301	天津合成材料厂
冲击强度/(kJ/m ²)	≥370	300 ~ 500	> 100
压缩强度/MPa	> 85	80 ~ 90	> 100
剪切强度/MPa	> 45		
拉伸弹性模量/GPa	> 2.5	2.0 ~ 2.5	
弯曲弹性模量/GPa		2.5 ~ 2.9	
布氏硬度/MPa	> 10	10 ~ 12	20
维卡耐热/℃	170 ~ 180		
马丁耐热/℃		145 ~ 155	170
热变形温度/℃	≥150	174	
长期使用温度/℃		150	
脆化温度/℃		100	
线胀系数/(×10 ⁻⁵ K ⁻¹)	5	5	
介电强度/(kV/mm)	≥15	15	20
体积电阻率/Ω·cm	1×10 ¹⁶	1×10 ¹⁶	1.5×10 ¹⁷
表面电阻率/Ω	1×10 ¹⁵	1×10 ¹⁶	1×10 ¹⁷
相对介电常数(1MHz)	3	3	3.4
介电损耗角正切(1MHz)	10 ⁻³	6×10 ⁻³	4.5×10 ⁻³

表 9-3 国产玻璃纤维增强聚砒性能

项 目	上海曙光化工厂 S-215	项 目	上海曙光化工厂 S-215
相对密度	1.45	布氏硬度/MPa	> 10
收缩率(%)	0.3 ~ 0.5	热变形温度/℃	≥165
冲击强度/(kJ/m ²)	≥70	线胀系数/(×10 ⁻⁵ K ⁻¹)	5×10 ⁻⁵
弯曲强度/MPa	≥140	相对介电常数(1MHz)	3
拉伸强度/MPa	≥80	介电强度/(kV/mm)	≥15
压缩强度/MPa	> 90	体积电阻率/Ω·cm	≥1×10 ¹⁶
剪切强度/MPa	> 45	介电损耗角正切(1MHz)	1×10 ⁻¹³
拉伸弹性模量/GPa	3		

2. 成型加工工艺

聚砒在成型过程中剪切速度不敏感，粘度较高，熔融流动中的分子定向较低，易获

得均匀的制品。聚砒易进行规格和形状的调整，适合于挤出成型的异型制品。

聚合物的粘度与温度的关系：在高温时粘度都较高，其斜度 PSF 与 PS 相一致。在成型加工时可以调整螺筒与模具的温度控制其流动性。故 PSF 可采用与 PC 加工成型同样的挤出机、注射机和模具便可获得较好的 PSF 制品。

聚砒可采用注射、挤出、吹塑等方法成型加工。但是聚砒具有熔融粘度大、熔融温度高、分子链较刚硬、冷流性小等特点。最好采用长径比大的螺杆注射机，一般小制品也可用活塞式注射机。成型工艺条件见表 9-4 ~ 表 9-6。

表 9-4 聚砒注射工艺条件

项目	数 值	项目	数 值
树脂干燥	烘箱 130℃，1h 鼓风烘箱 120 ~ 140℃，10h 以上	喷嘴温度/℃	270 ~ 300
		模具温度/℃	100 ~ 120
机筒温度/℃	280 ~ 310	注射压力/MPa	117 ~ 135

表 9-5 聚砒挤出工艺条件

项目	数 值	项目	数 值
树脂干燥	鼓风烘箱 120 ~ 130℃，10h 以上	长径比	20: 1
螺杆直径/mm	65	机筒温度/℃	270 ~ 300
压缩比	(2. 3 ~ 2. 5): 1	机头温度/℃	260 ~ 280

表 9-6 聚砒吹塑工艺条件

项目	数 值	项目	数 值
树脂干燥	鼓风烘箱 120 ~ 130℃，10h 以上	模具温度/℃	90 ~ 110
螺杆压缩比	(2. 0 ~ 2. 5) : 1		
机筒温度/℃	270	吹塑压力/MPa	1 ~ 2

3. 应用

聚砒在耐高温和其他性能方面均能取代多种塑料，也可代替玻璃和金属（如不锈钢、黄铜、镍），其优点是质轻，且成本低。

聚砒广泛应用于电器电子领域、汽车及航空领域、食品加工领域和医疗器械领域，此外，它还适于制作工艺装置和清洁设备管道、蒸汽盘、波导设备元件、水加热器汲取管、教学监视箱、摄影箱、机零件、毛发干燥器、衣服蒸汽发生器、热发泡分散器、污染设备及过滤隔膜和罩等。

4. 聚砒的牌号、性能与应用（表 9-7 ~ 表 9-11）

表 9-7 辽宁大连第一塑料厂 PSF 的性能与应用

牌号	吸水性 (%)	冲击强度 /(kJ/m ²)	热变形 温度 /℃	成型 收缩率 (%)	特 性	应 用
P7301	0.1	300	174	0.55/0.65	浅驼色树脂，耐高温，耐电弧，耐化学腐蚀，机械强度高，尺寸稳定性好，抗蠕变，自熄性强，可注射或挤出成型，其中 P7302、7303 为粒料	可用于制备高强度、耐高温工程制品，型材和绝缘制品等
P7302						
P7303						

表 9-8 上海曙光化工厂 PSF 的性能与应用

牌号	拉伸 强度 /MPa	冲击强度 /(kJ/m ²)	热变形 温度 /℃	成型 收缩率 (%)	特 性	应 用
S100	50	370	150	0.6~0.8	本色粒子，耐寒、耐热，柔韧性好，强度高，耐蠕变性、耐化学药品性和尺寸稳定性优良，电绝缘性、自熄性突出，可注射或挤出成型	可用于制备电子、电器、仪表、化工、机械等高强度制品，绝缘制品
S110、 S101	50	500	150	0.6~0.8	瓷白粒料或有色粒子，强度高，耐热、耐寒，低翘曲，尺寸稳定性好，电性能优异，可注射或挤出成型	可用于制备汽车、机械、电子绝缘件，板材和管材等
S140	50	200	150	0.6~0.8	天蓝粒料，耐氧化、耐候性和耐化学药品性突出，其他性能与 S101 相同	可用于制备汽车、电子、机械制品
S170	50	200	150	0.6~0.8	灰色粒料，耐氧化性、耐化学药品性突出，其他性能与 S101 相同	可用于制备工程结构制品
S180	50	20	150	0.6~0.8	黑色粒料，其他性能与 S101 相同	可用于制备工程结构制品
S215	80	70	160	0.3~0.5	15% 玻璃纤维增强品级，强度与刚性优异，耐热、耐寒、耐氧化性、耐化学药品性优良，低翘曲，抗蠕变，可注射或挤出成型	可用于制备工程结构制品
S310、 S340、 S370、 S380	5	160	150	0.6~0.8	磁白粒料，阻燃 V-0 级，低毒，低烟，强度高，电性能好，其中 S340 为蓝色粒子，阻燃级，S370 为无色粒子，S380 为黑色粒子	可用于电子、航天、航空零部件的制备

(续)						
牌号	拉伸强度 /MPa	冲击强度 /(kJ/m ²)	热变形温度 /℃	成型收缩率 (%)	特 性	应 用
S315	80	55	170	0.3~0.5	本色粒料, 阻燃品级, 强度高, 尺寸稳定性优良	可用于航天、航空和电子零部件的制备
S410	50	80		0.6~0.8	填充 PTFE 品级, 耐磨性、润滑性突出, 耐热, 强度高, 抗蠕变, 尺寸稳定性、耐化学性优良、可注射成型	可用于制备工程耐磨制品
S510、 S540、 S580	49	49~50	165	0.3~0.4	瓷白粒料, 内含碳改钙, 刚性高, 冲击强度偏低, 其中 S540 为海蓝粒料, S580 为黑色粒料	可用于制备工程件
SF415					填充 PTFE 品级, 耐热、耐磨、抗蠕变性突出, 低翘曲, 电性能优异	可用于制备工程结构件

表 9-9 上海天山塑料厂 PSF 的性能与应用

牌号	拉伸强度 /MPa	冲击强度 /(kJ/m ²)	马丁耐热温度 /℃	特 性	应 用
S100	80	370	175	淡棕色粒料, 未改性, 可注射成型	可用于制备工程耐酸制品、电器件
S101	80	370	175	灰色粒料, 未改性, 可注射成型	可用于制备化工容器或涂层
SF415	50	80	175	填充 PTFE 品级, 摩擦性能好, 可注射成型	可用于制备耐磨、润滑工程制品
SG215	100	70	195	15% 玻璃纤维增强品级, 强度高, 尺寸稳定性好, 刚性突出, 可注射成型	可用于制备工程结构件

表 9-10 天津合成材料厂 PSF 的性能与应用

牌号	拉伸强度 /MPa	冲击强度 /(kJ/m ²)	马丁耐热温度 /℃	特 性	应 用
PSF	70	100	170	浅琥珀不透明粒料, 耐高温、耐电弧、耐蚀性好, 强度与刚性高, 尺寸稳定性和抗蠕变性强, 可注射或挤出成型	可用于制备工程用和宇航用耐高温、高强度绝缘件以及工业用各种结构件

表 9-11 美国阿莫科化学公司 (Amoco Chemical Co., Ltd.) Udel PSF 的性能与应用

牌号	拉伸屈服强度 /MPa	冲击强度 (缺口) /(J/m)	热变形温度 (1.82MPa) /℃	成型 收缩率 (%)	特 性	应 用
GF110	78	64	179	0.4	10% 玻璃纤维增强品级, 阻燃 V-0 级, 可注射成型	可用于制备工程制品
GF120	96.6	69	180	0.3	20% 玻璃纤维增强品级, 阻燃 V-0 级, 可注射成型	可用于制备工程结构制品
G130	107.6	74.7	182	0.2	30% 短切玻璃纤维增强品级, 阻燃 V-0 级, 可注射成型	可用于制备一般工程制品
B360	121.4	64.0	160		强度和刚性突出, 阻燃 V-1 级, 可注射成型	可用于制备工程结构件
B390	72.5	58.7	169		熔体流动速率为 8~9g/10min, 强度刚性优良, 可注射成型	可用于制备高强度构件
GF205	75.9	53.3	176		玻璃纤维增强品级, 阻燃 V-0 级, 熔体流动速率为 5g/10min, 可注射成型	可用于制备工程结构件
GF210	73.26	53.3	178		玻璃纤维增强品级, 阻燃 V-0 级, 熔体流动速率为 6g/10min, 可注射成型	可用于制备高性能构件
M800	65.6	34.7	179	0.4	强度高, 刚性优良, 阻燃 V-0 级, 熔体流动速率为 8.5g/10min, 可注射成型	可用于制备工程构件
M825	67.6	53.3	179		强度高, 耐热, 熔体流动速率为 7g/10min, 阻燃 V-0 级, 可注射成型	可用于制备工程阻燃制品
S1000	65.7	85.3	149	0.2	相对密度为 1.23, 阻燃 V-0 级, 可注射成型	可用于制备工程结构制品

三、聚醚砜

1. 基本性能

聚醚砜 (PES) 分子是由醚键和砜基与苯基交互连接而构成的线性大分子。聚醚砜的耐热性及刚性要比聚砜 (双酚 A) 好得多。

1) 热性能。PES 的耐热性高, 其玻璃化温度为 225℃, 热变形温度高于 203℃, 在 200℃ 时力学性能不发生变化。其中弯曲模量与温度的关系: PES 随温度上升, 弯曲模量逐渐降低, 而非结晶的 PES 即使达到它的玻璃化温度时其弯曲模量仍保持不变, 而且在高温时其蠕变性、尺寸稳定性优良。用玻璃纤维增强 PES 在 180℃ 下拉伸强度与应

力应变关系：加入 30% 玻璃纤维增强后在 200℃ 高负荷下，4 个月变形为 0.005% 以下。由此可推算出：PES 拉伸强度下降至一半时，在 180℃ 下可使用 20 年；在 200℃ 下，可使用 5 年。故可推定 PES 的长期使用温度为 180℃，若加入 30% 玻璃纤维增强后可为 190℃。另外它的低温性可达到 -150℃ 时制品不会脆裂。

2) 力学性能。PES 的机械强度在热塑性塑料中是属于高的，如拉伸强度达 86MPa，弯曲强度弹性模量为 2700MPa，断裂伸长率为 80%，冲击强度（无缺口）为 93kJ/m²。

3) 难燃性。PES 本身具有不燃性，如用厚 0.5mm 的试样进行试验，可达到 UL94 V-0 级标准。它不仅难燃而且在强制燃烧时，发烟量也很少。

4) 耐药品性。PES 耐酸、碱等无机药品及溶液性能优良，对有机溶剂视具体情况而定。

PES 与其热塑性塑料一样，在成型时由于有残留应力，在受到外力作用和温度时会受到影响。经试验这种残留应力在 200℃ 以下尚不会出现问题，大于 200℃ 时将会引起破裂，因此在高温耐药品性环境中应采用玻璃纤维增强的 PES。

5) 电性能。PES 具有优异的电性能，在 200℃ 时仍是一种性能稳定耐热型的绝缘材料。

聚醚砜的典型性能见表 9-12。

表 9-12 聚醚砜的性能

项 目		Ultrason E3010 纯料	Ultrason E1010G6 30% 玻璃纤维	Ultrason KR4101 30% 无机填料
密度/(g/cm ³)		1.37	1.6	1.62
平衡吸水率(23℃)(%)		2.1	1.5	1.5
拉伸强度/MPa		92	155	92
断裂伸长率(%)		15~40	2.1	4.1
拉伸弹性模量/GPa		2.9	10.9	4.8
弯曲强度/MPa		130	201	148
弯曲弹性模量/GPa		2.6	9.2	4.9
悬臂梁冲击强度 /(J/m)	缺口	78	90	21
	无缺口	不断	432	411
洛氏硬度(M)		85	97	84
T _g /℃		220		
热变形温度(1.84MPa)/℃		195	215	206
线胀系数/(×10 ⁻⁵ K ⁻¹)		3.1	1.2	1.7
氧指数		38	46	44
体积电阻率/Ω·cm		>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶
表面电阻率/Ω		>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴
相对介电常数(1MHz)		3.5	4.1	4.0
介电损耗角正切值		0.011	0.01	0.01

2. 成型加工工艺

PES 的成型工艺方法为注射、挤出、吹塑、压制等，也适于用熔融浇注或涂层工艺。现以注射成型工艺条件为例加以说明。

- 1) 树脂需预干燥，干燥条件为 150℃，3h。
- 2) 成型温度，螺筒为 330 ~ 370℃，机头为 350 ~ 380℃。
- 3) 模具温度为 140 ~ 160℃。
- 4) 注射压力为 70 ~ 150MPa。
- 5) 保压压力为 50 ~ 100MPa。
- 6) 注射速度为中速或高速。
- 7) 螺杆转速为 30 ~ 80r/min。
- 8) 一般不用脱模剂，必要时须用氟塑料系列耐高温的脱模剂。

3. 应用

PES 主要用于电子电器工业，汽车、机械行业，照明、光学等精密仪器行业，航空航天行业，此外，也用于制作医疗器械、化工设备、给水设备、过滤膜及框架的涂层（电镀层）等。

4. PES 的主要牌号、性能与应用（表 9-13 ~ 表 9-17）

表 9-13 国内聚醚砜（PES）的牌号、性能与应用

牌号	拉伸强度 /MPa	冲击强度 / (kJ/m ²)	热变形温度 (1.82MPa) /℃	成型收缩率 (%)	特 性	应 用
PES-004 (吉林大学试中试厂)	86 ~ 98		208		力学性能高，电性能好，成型收缩率低，质坚硬，线胀系数小，耐油，气密性好，摩擦因数小，可注射成型	可用于制备飞机零件，高压绝缘件，耐酸、耐热蓄电池等
PES-C (徐州工程塑料厂)	100	21				
PES-Z (武汉大学化工原料厂)	124 ~ 130		21	0.2 ~ 0.5		
PES-C-20G (苏州树脂厂)	90	130			20% 玻璃纤维增强，强度高，耐高温，可注射成型	可用于制备工程耐高温制品

表 9-14 美国塞莫菲尔公司 Thermofil PES 的性能与应用

牌号	拉伸屈服强度 /MPa	冲击强度 (缺口) / (J/m)	热变形温度 (1.82MPa) /℃	特 性	应 用
K10FG-0100	114	69	207	10% 玻璃纤维增强品级，抗冲击，阻燃 V-0 级，可注射成型	可用于制备工程制品

(续)					
牌号	拉伸屈服强度 /MPa	冲击强度 (缺口) /(J/m)	热变形温度 (1.82MPa) /℃	特 性	应 用
K15NF-0941	117	67	221	15% 碳纤维增强品级, 耐热, 抗静电, 可注射成型	可用于制备工程结构件
K20FG-0100	134	67	210	20% 玻璃纤维增强品级, 耐热, 高强度, 可注射成型	可用于制备工程结构制品
K20NF-0100	152	59	227	20% 玻璃纤维增强品级, 耐热, 阻燃 V-0 级, 抗静电, 可注射成型	可用于制备工程结构件
K30FG-0100	159	64	213	30% 玻璃纤维增强品级, 耐热, 阻燃 V-0 级, 润滑性好, 可注射成型	可用于制备工程结构件
K30NF-0100	152	53	229	30% 碳纤维增强品级, 耐热, 阻燃 V-0 级, 导电, 可注射成型	可用于制备高性能制品
K40FG-0100	179	43	238	40% 玻璃纤维增强品级, 耐热, 阻燃 V-0 级, 刚性高, 可注射成型	可用于制备高强度工程制品
K07SS-0100				20% 钢纤维增强, 导电, 电磁屏蔽性优良, 可注射成型	可用于制备电磁屏蔽制品

表 9-15 美国复合技术公司 (Compounding Technology Inc.) PES 的性能与应用

牌号	密度 /(g/cm ³)	弯曲弹性模量 /GPa	热变形温度 (0.45MPa) /℃	燃烧性 UL94	特 性	应 用
ES30CF/000	1.51	5.86	204	V-0	含 30% 碳纤维, 耐热, 导电, 可注射成型	可用于制备高性能结构件
ES20GF/000	1.48	8.41	213	V-0	注射, 含 20% 玻璃纤维, 耐热, 抗冲, 机械强度高, 可注射成型	可用于制备工程结构件
ES30GF/000	1.60	11.0	215	V-0	注射, 含 30% 玻璃纤维, 耐热, 刚性较高, 抗蠕变, 可注射成型	可用于制备工程结构件
ES40GF/000	1.72	14.1	216	V-0	注射, 含 40% 玻璃纤维, 耐热, 高刚性, 抗蠕变, 可注射成型	可用于制备高强度结构件

表 9-16 美国钢铁化学公司 (USS Chemical CO., Ltd.) **Arylon PES** 的特性与应用

牌号	成型方法	特 性	应 用
410NC10	注射	未改性品级	可用于制备工程制品
501BK103	注射	玻璃纤维增强品级, 耐热性高, 尺寸稳定性好	可用于制备工程结构制品
Q402NC10	注射	未增强, 阻燃品级	可用于制备工程阻燃制品
T3198	注射、挤出	相对密度 1.37, 抗冲击, 阻燃	可用于制备工程结构件

表 9-17 日本大日本油墨化学公司 **Amoryon PES** 的性能与应用

牌号	拉伸屈服强度 /MPa	冲击强度 (缺口) /(J/m)	热变形温度 (1.82MPa) /℃	成型 收缩率 (%)	特 性	应 用
V30	157	98	260	0.2/0.8	30% 玻璃纤维增强品级, 强度与刚性高, 耐高温, 阻燃, 可注射成型	可用于制备工程制品
V40	177	108	260	0.2/0.8	40% 玻璃纤维增强品级, 刚性高, 耐高温, 阻燃, 抗蠕变, 可注射成型	可用于制备工程结构制品
V130	137	78	260	0.25/0.8	石墨与玻璃纤维增强品级, 摩擦因数小, 磨损小, 可注射成型	可用于制备耐磨和滑动制品

四、聚芳砜

1. 基本性能

聚芳砜 (PASF) 分子是由砜基、醚键相互与联苯基连接而成的线型大分子。主链上引入了高刚性的联苯基, 大分子的刚性和稳定性比前两类聚砜高, 材料的耐热性、熔体粘度也比前两类聚砜高。

识别特征如下:

- 1) 聚芳砜为透明琥珀色固体。与双酚 A 聚砜相比, 聚芳砜稍重, 热变形温度和连续使用温度均高出 100℃ 左右。
- 2) 高温强韧性和低温冲击强度、刚性、耐磨性等都好。
- 3) 耐热性、抗氧化稳定性、耐低温性等突出, 可在 -196 ~ 260℃ 长期工作。
- 4) 耐燃、自熄性、耐水解性、耐辐射性等优良。
- 5) 电绝缘性超过 H 级。
- 6) 化学稳定性好, 耐碱、无机酸、烃类、燃料油、氟利昂等。
- 7) 熔体粘度大, 成型性差。

国内生产厂家有吉林大学、苏州树脂厂, 其产品性能见表 9-18。

表 9-18 国产聚芳砒的性能

项 目		PAS360 ^①	GF PAS360 ^②	项 目	PAS360 ^①	GF PAS360 ^②
拉伸强度 /MPa	室温	94	190.8	马丁耐热/℃	242	
	260℃,900h	71.4		热变形温度/℃	300	
冲击强度/(kJ/m ²)		>100	126.3	热失重温度/℃	450	
热分解温度/℃		460		相对介电常数(1MHz)	4.77	2.68
表面电阻率/Ω		5.7×10 ¹⁵	1.57×10 ¹⁵	介电强度/(kV/mm)	84.6	27 ^③
体积电阻率/Ω·m		3.4×10 ¹⁶	2.82×10 ¹⁵	介电损耗角正切值 (1MHz)	6.5×10 ⁻³	5×10 ⁻²
压缩强度/MPa		150	367.2			
弯曲强度/MPa		>140	346	燃烧性	自熄	
伸长率(%)		7~10		红外透光率(%)	1.5~4	

- ① 吉林大学化学所产品。
② 苏州树脂厂增强聚芳砒。
③ 90℃测定。

国外生产厂家有美国 3M 公司，其产品性能见表 9-19 与表 9-20。

表 9-19 美国 3M 公司 Astrel 360 的性能

项 目			数值	项 目		数值
相对密度			1.36	压缩弹性模量/GPa		2.4
吸水性(%)			1.8	弯曲弹性模量/GPa	23℃	2.78
模塑收缩率(%)			0.8		260℃	1.77
色泽			透明	伸长率(%)	23℃	13
拉伸强度/MPa	23℃	91	260℃		7	
	260℃		29.8	悬臂梁冲击强度(缺口) /(kJ/m)		0.163
压缩强度/MPa	23℃	126	洛氏硬度(M)		110	
	260℃		52.8	泰伯磨耗/(mg/1000次)		40
弯曲强度/MPa	23℃	121	玻璃化温度/℃		288	
	260℃		62.7	热变形温度(1.82MPa)/℃		274
拉伸弹性模量/GPa			2.6			

表 9-20 美国 3M 公司 Astrel 380 薄膜性能

项 目	数值	项 目	数值
色泽	透明	拉伸强度/MPa	未定向
形态	无定形		定向
相对密度	1.35	断裂伸长率(%)	未定向
玻璃化温度/℃	310		定向

(续)

项 目	数值	项 目	数值
拉伸弹性模量/GPa	2.1	介电损耗角正切值	23℃,100Hz 4×10^{-3}
热变形温度/℃	315		200℃,100Hz 9×10^{-3}
可燃性	自熄	介电强度 /(kV/mm)	室温 128
吸水性(%)	2.1		200℃ 112
相对介电常数(100Hz)	3.85		

2. 成型加工工艺

1) 成型加工。成型前应在 135℃ 下干燥 3 ~ 5h。主要用模压、流延、浸渍、层合工艺；也可用注射、挤出、涂覆、电镀、粘接、印刷等成型工艺。表 9-21 ~ 表 9-24 示出聚芳砜的典型工艺条件。注射制品应在 160℃ 热空气中处理。

表 9-21 聚芳砜的干燥条件

工艺参数	数 值
温度与时间	150℃, 10 ~ 16h; 或 205℃, 6h; 或 260℃, 3h
备注	若物料干燥不充分, 制品表面出现银斑或内部留有微小气孔

表 9-22 聚芳砜的模压工艺条件

工艺参数	数 值	工艺参数	数 值
模具温度/℃	360 ~ 380	卸模温度/℃	260
成型压力/MPa	7 ~ 14		

表 9-23 聚芳砜的注射工艺条件

工艺参数	数 值	工艺参数	数 值
机筒温度/℃	315 ~ 410	注射压力/MPa	140 ~ 280
模具温度/℃	230 ~ 260	成型周期/s	15 ~ 40

表 9-24 聚芳砜的挤出工艺条件

工艺参数	数 值	工艺参数	数 值
机筒温度/℃	后部 230 ~ 260	口模温度/℃	340 ~ 410
	中部 260 ~ 315		
	前部 315 ~ 340	螺杆转速/(r/min)	20 ~ 90

2) 薄膜成型。薄膜成型方法是将固体含量为 40% 的硝基苯溶液, 用二甲基酰胺或 *N*-甲基吡咯烷酮稀释到固体含量为 20%, 在高温流延机上直接成膜 (温度 200 ~

250℃)。或者将经过沉淀、洗涤、干燥后的聚芳砜配成 20% 的溶液再成膜。

3. 应用

聚芳砜主要用作耐高温结构材料，如高速喷气机的机械零件，电器工业作耐高低温的 H 级绝缘材料、线圈骨架、印刷线路板，耐高温电容器、集成电路元件，电线涂覆等；还可作粘合剂、涂料、纤维。聚芳砜加氟乙烯、石墨等作耐高温、耐磨结构材料，如高载荷轴承等，加云母后作高级绝缘材料，玻璃纤维增强层合塑料作耐高温结构材料。

4. 聚芳砜的牌号、性能与应用（表 9-25 ~ 表 9-27）

表 9-25 国内 PASF 的牌号、性能与应用

牌号	拉伸强度 /MPa	冲击强度 /(kJ/m ²)	热变形温度 /℃	特 性	应 用
360（中科院长春应用化学研究所，吉林大学化学所）	94	>100	300	耐高温、抗老化，使用温度范围较宽，机械强度高，抗冲击性好，韧性好，电性能好，抗辐射，自熄性好	可用于制备电子、航空、宇航机械的耐高温部件和电器绝缘件等
增强 360（上海曙光化工厂，江苏苏州树脂厂）	190.8	126.3	>300	可注射或模塑成型	

表 9-26 美国阿莫科化学公司（Amoco Chemical Co.）Radel PASF 的性能与应用

牌号	拉伸弯曲强度 /MPa	冲击强度 （缺口） /(J/m)	热变形温度 （1.82MPa） /℃	成型收缩率 （%）	特 性	应 用
A100	82.4	85	204	0.6	透明，耐高温，阻燃 V-0 级，可注射成型	可用于制备工程耐高温制品
A200	82.4	85	204	0.6	透明，阻燃 V-0 级，耐高温，加工流动性好，可注射成型	可用于制备工程结构件
AG210	86.3	48	209	0.5	10% 玻璃纤维增强品级，强度高，耐高温，尺寸稳定，阻燃 V-0 级，可注射成型	可用于制备工程结构制品
A220	105	59	213	0.4	20% 玻璃纤维增强品级，强度高，耐高温，尺寸稳定，阻燃 V-0 级	可注射成型工程耐高温结构件
AG230	127	75	213	0.3	30% 玻璃纤维增强品级，刚性高，耐高温，阻燃 V-0 级，可注射成型	可用于制备耐高温工程制品
AG360	120	85.6	201		36% 玻璃纤维增强品级，强度高，刚性好，耐高温，阻燃 V-0 级	可用于注射成型耐高温结构件

(续)						
牌号	拉伸弯曲强度 /MPa	冲击强度 (缺口) /(J/m)	热变形温度 (1.82MPa) /℃	成型收缩率 (%)	特 性	应 用
R5000	69.7	696	190		透明品级, 阻燃 V-0 级, 抗冲击性好, 可注射成型	可用于制备工艺制品
R5100	69.7	696	190		透明品级, 抗冲击性优良, 阻燃 V-0 级, 可注射成型	可用于制备工程结构制品

表 9-27 美国 3M 公司 Astrel PASF 的性能与应用

牌号	拉伸强度 /MPa	缺口冲击强度 /(kJ/m ²)	热变形温度 (1.82MPa) /℃	成型收缩率 (%)	特 性	应 用
360	91	7.3	274	0.8	透明品级, 耐热、耐氧化, 耐高温, 强度高, 但熔融粘度大, 可注射成型	可用于制备工程结构制品
360	91		315		淡灰色透明品级, 耐高温, 连续使用温度 200℃ 以上, 电性能好, 可挤出成型	可用于制造耐高温膜材、片材和带材等, 也可作为涂料使用

第二节 聚砜类塑料制品及其成型工艺

一、聚砜类塑料注射成型

(一) 简介

1. 原材料

(1) 物料性能 聚砜为琥珀色透明固体材料, 密度 1.25 ~ 1.35g/cm³。硬度和冲击强度高, 无毒、耐热性、耐寒性、耐老化性好, 热变形温度高, 可在 100 ~ 175℃ 长期使用。耐无机酸碱盐的腐蚀, 但不耐芳香烃和卤代烃。耐辐射, 电绝缘性能、抗蠕变性以及尺寸稳定性好。具有自熄性。

通过玻璃纤维增强改性可以使聚砜材料的耐磨性大幅度提高。

可将聚砜与 ABS、聚酰亚氨、聚醚醚酮和氟塑料等制成聚砜的改性产品, 主要是提高其冲击强度和伸长率、耐溶剂性、耐环境性能、加工性能和可电镀性, 如 PSF/PBT、PSF/ABS、PSF + 矿物粉。

(2) 用途

1) 适于制作耐热件、绝缘件、减摩耐磨件、仪器仪表零件及医疗器械零件, 聚芳

砒适于制作低温工作零件。

2) 聚砒在电子电器工业常用于制造集成电路板、线圈管架、接触器、套架、电容薄膜、高性能碱电池外壳。

3) 聚砒在家用电器方面用于微波烤炉设备、咖啡加热器、湿润器、吹风机、布蒸干机、饮料和食品分配器等,也可代替有色金属用于钟表、复印机、照相机等的精密结构件。

4) 聚砒已通过美国医药、食品领域的有关规范,可代替不锈钢制品。由于聚砒耐蒸气、耐水解、无毒、耐高温蒸气消毒、高透明、尺寸稳定性好等特点,可用做手术工具盘、喷雾器、流体控制器、起搏器、防毒面具、牙托等。

(3) 工艺特性

1) 聚砒属于非结晶性高聚物,无明显熔点。其玻璃化温度(T_g)为 190°C ,成型温度在 280°C 以上,所得制品呈透明状。

2) 聚砒的成型特点与聚碳酸酯相似,熔融体的流动特性接近于牛顿型流体,即聚合物的熔融粘度对温度比较敏感。据资料报道,当熔融体温度超过 330°C 时,每提高 30°C ,熔融体的粘度可下降达50%。在成型加工中应充分利用这一特点。

3) 尽管聚砒的熔体粘度受温度的影响有较明显下降趋势,但与其他塑料相比,其粘度仍然是很高的,在成型过程中表现为流动性较差。另外熔体的冷却速率较快,而分子链又呈刚性,使成型中所产生的内应力难以自行消除,导致制品产生变形、开裂等问题。对此要求选择合适的设备、模具以及成型工艺参数。

4) 虽然聚砒的分子结构中无亲水基团,吸水性较小,24h的吸水性为0.2%左右,平衡吸水性为0.6%,但在成型过程中微量水分的存在,会因高温及载荷作用的影响而导致熔体水解。故在成型加工之前,对树脂必须进行干燥处理。

5) 过高的注射速度会使聚砒熔体出现熔体破裂的倾向,这将限制熔体的充模速率,造成充模困难。

2. 成型设备

虽然柱塞式注射机可以加工聚砒,但与螺杆式注射机相比,不及后者理想,因为后者的塑化温度要比前者低,塑化效果好,同时注射时的压力损耗也较小,所以大都选用螺杆式注射机,其要求如下。

1) 加工聚砒时通常所选用的螺杆形式为单头、全螺纹、等距、低压缩比、压缩渐变型螺杆,其长径比在 $(14 \sim 20):1$ 之间。

2) 由于聚砒的熔体粘度较高,为减轻螺杆转动负荷,要求设备具备低挡调速装置,如果可以在 $15 \sim 45\text{r/min}$ 之间进行无级调速则更好。

3) 为适应聚砒的成型加工要求,对机筒温度的控制装置应具有能够在较高温度区域内自由选择调节并能稳定工作的性能,温度要求 400°C 左右。

4) 应选用配有加热控温装置的延伸式喷嘴,喷嘴孔径大于5mm。这是因为聚砒熔体的流动性较差,充模较困难,要求在注射过程中尽可能减少阻力,而延伸式喷嘴应符合这点要求。由于熔体粘度较大,故不必担心“流延”现象的发生。

3. 制品与模具设计

对于聚砒制品和模具在设计时应注意以下几点。

1) 由于聚砒熔体流动性较差, 熔体流动长度与壁厚之比仅为 80 左右, 为使成型能顺利进行, 需选用合适的制品壁厚, 不宜太薄, 以免使制品出现不足。通常聚砒制品的壁厚不低于 1.5mm, 大多在 2mm 以上 (图 9-1), 考虑到聚砒制品对缺口较为敏感, 直角和锐角的存在将形成内应力集中, 使制品的强度下降, 因此要求对这些部位采用圆弧过渡 (R 为 0.5 ~ 1.0mm)。

聚砒的成型收缩率比较稳定, 为 0.4% ~ 0.8%, 熔体流动方向与垂直方向上的收缩基本一致。为有利制品脱模、减少脱模过程中应力的产生, 脱模斜度取 50:1。

为得到表现光洁明亮的制品, 要求模具型腔的表面粗糙度应在 $Ra0.8\mu m$ 以下。

2) 为有利熔体流动, 减少热量散失, 要求模具的主流道短而粗, 直径至少在制品厚度的 1/2 以上, 并具有 $3^\circ \sim 5^\circ$ 的斜度, 而分流道的截面最好采用圆形或梯形, 避免弯道的存在。

浇口应视制品而定, 直接式、圆片式、扁平式、扇形等形式的浇口均可采用单尺寸应尽可能大些, 如侧向浇口的截面厚度宜取制品厚度的 $1/2 \sim 2/3$ 。浇口的平直部分应尽可能短些, 长度可控制在 0.5 ~ 1.0mm 之间。进料口的位置须设在制品的厚壁处。

3) 为防止因温度控制不当而造成的冷料头, 堵塞浇口或进入模腔影响制品表现, 在主流道末端须设置足够的冷料穴, 以便及时捕集冷料头。

由于聚砒制品特别是薄壁制品, 在成型中需要较高的注射压力和较快的注射速度, 为使模腔内的空气得以及时排出, 需设置良好的排气孔或槽, 这些排气孔或槽的深度应控制在 0.08mm 以下, 以免造成飞边。

4) 模具温度的设置。有利于改善聚砒熔体充模时的流动性。而聚砒的模具温度一般是用电加热的办法进行控制的, 控温范围可达 $140^\circ C$ 以上 (至少在 $120^\circ C$ 以上), 在设置时须考虑其加热功率。

4. 注射成型工艺

(1) 原料的准备 注射中的聚砒大都为呈透明略带琥珀色的颗粒料 (目前国内树脂色泽略深些), 也有一部分是带有各种颜色的透明或不透明颗粒。聚砒树脂的品级, 通常是以比浓粘度之情况进行划分的, 常用的范围在 0.4 ~ 0.55 之间, 0.55 以上高粘度的品级由于成型困难, 除特殊用途的制品外, 成型中很少使用。

虽然聚砒的吸湿性很小, 水分不会渗透到物料的内部, 但如果储存不当, 在相对湿度较高的环境下露置过久, 会使颗粒表面粘附水分, 而这些微量水分的存在会给所得制品的外观及其性能带来一定的影响, 制品上出现银丝、斑纹、气泡等现象 (表 9-28), 制品的冲击强度下降, 制品在高温载荷作用下出现应力开裂。

由此可见, 聚砒在成型之前应予以干燥处理, 将其含水量控制在 0.05% 以下, 其干燥工艺见表 9-29。

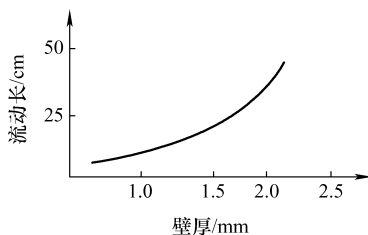


图 9-1 壁厚与流动长度的关系

表 9-28 含水量与熔体、制品表现的关系

含水量 (%)	0.01	0.05	0.125	0.175
对空注射料的表现	透明、无泡	透明、无泡	透明、无泡	发泡严重,有银丝
制品外观	平整无银丝	平整无银丝	平整无银丝	平整无泡、有银丝

表 9-29 聚砒的干燥工艺

干燥方法	干燥温度/℃	干燥时间/h	料层厚度/mm
热风循环干燥	120 ~ 140	4 ~ 6	20
负压沸腾干燥	130	0.5 ~ 1	—

对经过干燥处理的树脂颗粒,为防止其重新吸湿,在成型中应注意做好保温工作,可用保温温度为 90 ~ 110℃ 的保温装置保存,随用随取。

(2) 工艺条件与控制 聚砒注射成型可采用柱塞式或螺杆式注射机,其中又以螺杆式为好,其优点是加热均匀。成型周期短,在机筒中的压力损失小,可成型形状复杂的制品。

聚砒物料的预干燥条件为 120℃, 5h 或者 160℃, 2 ~ 3h (料层厚度 2.5 ~ 5cm)。

聚砒注射成型工艺条件见表 9-30。

表 9-30 聚砒注射成型工艺条件

项 目	数值	项 目	数值
机筒温度/℃	后部 320 ~ 340	注射压力/MPa	100 ~ 200
	中部 350 ~ 370	保持压力/MPa	30 ~ 100
	前部 340 ~ 360	螺杆背压/MPa	5 ~ 20
喷嘴温度/℃	320 ~ 340	螺杆转速/(r/min)	50 ~ 100
模具温度/℃	80 ~ 150	成型周期/s	30 ~ 60

注射时,一般无需使用脱模剂,仅以硬脂酸锌擦拭模具即可。模具通常采用钢材镀铬。

为减少聚砒制品的残留应力,可对制品进行热处理。热处理条件为 150℃, 5h 或者 160℃, 3h。

聚砒的成型收缩率约 0.7%,因此在模具设计时应充分考虑。模具的流道和浇口应短而粗。

聚芳砒注射成型时的预干燥条件较为苛刻,它需要在 150℃ 干燥 10 ~ 16h, 200℃ 干燥 6h, 或者 260℃ 干燥 3h 才能达到要求。

聚芳砒注射成型大多采用螺杆式注射机,模具温度 232 ~ 260℃,注射压力 140 ~ 280MPa。成型周期取决于制品的几何形状,通常约为 15 ~ 40s。

聚醚砒的预干燥条件为 160℃, 3h,注射压力一般在 100MPa 即可满足要求,但在

成型薄壁制品时，应适当提高至 120 ~ 160MPa。聚醚砜的熔融粘度较高，为防止由于摩擦而引起的过热，螺杆转速应控制在较低为好。表 9-31 列举了聚醚砜注射成型工艺条件。

表 9-31 聚醚砜注射成型工艺条件

项 目	数值	项 目	数值
机筒温度/℃		注射压力/MPa	100 ~ 160
后部	300 ~ 330	保持压力/MPa	50 ~ 70
前部	330 ~ 360	螺杆背压/MPa	5 ~ 10
喷嘴温度/℃	330 ~ 360	螺杆转速/(r/min)	50 ~ 60
模具温度/℃	100 ~ 130	成型周期/s	20 ~ 40

(3) 不良品缺陷及产生原因 (表 9-32)

表 9-32 不良品缺陷及产生原因

缺陷	产 生 原 因
凹痕	①模具温度过高 ②注射和保压时间短 ③注射压力小 ④机筒温度过高
杂质	①机筒温度过高，物料分解 ②间断生产，物料在机筒中停留时间过长，造成分解，继续在生产时未消除干净 ③物料在干燥过程中，混进杂质；盛具不干净
银丝气泡	①物料干燥不好，水分过大 ②料温过高，塑料分解 ③模具排气不良 ④注射速度过快
划痕崩落	①模具表面粗糙度大 ②机械加工碰伤 ③转序运输碰伤

(4) 注意事项

1) 聚砜的成型温度较高，如果机筒内存留有其他物料特别是热敏性塑料时，在成型中这些物料将会过热分解，为此，要求在成型之前必须将机筒清洗干净。

对于机筒内所存物料的性质与聚砜加工温度相近，热稳定性又较好时，如聚碳酸酯等，可用直接清洗法，将聚砜直接加入机筒内，一边清洗聚砜机筒，一边将机筒温度升至所需加工温度。在清洗前应将螺杆转速和背压调低些，以免设备负荷过大。

当机筒内所存物料为热敏性树脂（如聚氯乙烯、聚甲醛等）时，如无拆卸机筒的

可能,那就在此类材料的加工温度下,先用清洗剂或其他树脂(聚苯乙烯、聚乙烯、聚丙烯等)将这些热敏性树脂清洗干净。然后升温至 240℃ 以上,用聚碳酸酯清洗筒,当温度升至 270℃ 以上时则可用聚砒将聚碳酸酯清洗出来。温度达到预定要求后,可用对空注射的方法验明确无杂料存在就可以投入正常加工。

2) 对于带有金属嵌件的制品,由于热胀系数上的差别,在嵌件周围易出现内应力集中的问题。为减少内应力给制品带来的伤害,除了在设计时尽量减少金属嵌件的运用外,在成型中应将嵌件预热到 200℃ 左右,再放入模腔内进行成型。

3) 聚砒是一类无定形聚合物,制品呈透明体,如果脱模剂使用不当,必将影响制品的透明度,表面将会出现斑纹以及裂纹。因此,在成型中一般不推荐使用脱模剂,即使要使用,其量也应控制在很少的范围。

4) 由于分子链的刚性很高,成型过程中所产生的内应力难以自行消除。这些内应力使聚砒制品在使用过程中发生开裂。为改善或消除这些内应力,除了在模具和成型工艺方面采取适当措施外,对已得制品进行适当后处理也是一种途径。

聚砒制品的后处理一般是在热风循环干燥箱内进行的,其温度原则上是在聚砒的玻璃化温度以下 10 ~ 20℃。在此温度下既达到了消除内应力的目的,性能又下降不明显,制品的强度基本保持稳定。热处理时间一般控制在 2 ~ 4h。

(二) 带有金属嵌件聚砒制品的注射成型

1. 选材

聚砒能在较广泛的温度(- 100 ~ 150℃) 范围内保持良好的物理力学性能,特别是在耐热、耐氧化、耐辐射及介电性能等方面都优于其他塑料,因而发展较快。但是,由于聚砒物料粘度大,注射成型时流动性差,限制了它在工程件上特别是在带金属嵌件制品上的应用。为了克服这些不足,近两年来对聚砒注射成型工艺进行了一系列深入细致的研究和探讨,选择了较为合理的工艺参数,经过批量生产,收到较明显的效果,从而满足了产品的使用要求。

2. 主要设备

(1) 成型设备的选择 根据材料的工艺性能及产品的质量、成型面积,选择注射成型方式。成型设备选用 250g 注射机、螺杆长径比为 15: 1,压缩比 (1.7 ~ 4.0): 1,最好是压缩比为 (2.5 ~ 3.5): 1 的渐变螺杆。

喷嘴的类型采用直通式为好,因为它比自动式启闭喷嘴压力损失小,而且不易造成物料停滞。另外喷嘴必须有加热调温装置以防止冷料进入模腔。

(2) 模具结构的选择 聚砒具有凝固快、流动性差的特点,所以在模具设计中,首先要考虑模腔加热问题,应选择适当的加热装置及隔热装置,以防止凝固太快,保证其流动性。

模具浇注系统应选择合理、浇道尽量短而宽,并且要有足够的脱模斜度,减小产品的应力。

(3) 金属嵌件的选择 产品附有金属嵌件,为避免塑料和金属嵌件线胀系数不同,而造成成型后的产品在金属嵌件周围产生应力开裂现象,所以尽量选用线胀系数大的金属作为嵌件材料,而且在与嵌件相接触部位的塑料要有适当厚度,以保证产品有足够的

强度。

另外，为了使塑料和金属嵌件收缩量的差距小，注射成型时嵌件必须进行预热，其预热温度为 100 ~ 130℃。

3. 注射成型工艺参数

(1) 物料干燥 聚砵塑料易吸湿，使物料含有不同程度的水分。过高水分的存在，轻则使产品表面出现银丝、斑纹和气泡，重则引起物料中聚砵高分子在注射成型时分解，严重影响产品的外观和内在质量。因此注射成型前对物料必须进行干燥，控制水分在 0.12% 以下。干燥温度为 110 ~ 135℃，时间为 8 ~ 24h。

(2) 注射成型温度

注射成型温度的控制见表 9-33。

表 9-33 注射成型温度 (单位:℃)

名 称		控制温度	名 称	控制温度
机筒	前端	230 ± 20	喷嘴 模具	210 ± 20
	中端	220 ± 20		110 ± 10
	后端	210 ± 20		

(3) 注射成型时间

注射成型时间见表 9-34。

表 9-34 注射成型时间 (单位: s)

名称	时间	名称	时间
注射时间	10 ~ 30	冷却时间	30 ~ 90
高压时间	5 ~ 10	总周期	45 ~ 130

(4) 注射压力 注射压力是根据物料的熔融特性和比粘度、制品结构、浇注系统结构和机筒温度来确定的，注射压力过大或过小都会使产品出现缺陷。聚砵的注射压力一般控制在 80 ~ 140MPa 为宜。

(5) 产品的后处理 产品注射成型后，由于各种因素残留一定的内应力，特别是带有金属嵌件的产品，其内应力就会更大些。这种应力如不及时消除，会使产品在贮存、使用过程中就会出现裂纹。产品的应力消除一般用热处理方法，即控制温度为 80 ~ 110℃，时间为 1 ~ 2h。

4. 产品性能及使用要求

产品的外观要求光滑，无裂纹、无银纹，无气泡、凹痕、崩落及外来杂质。并且要求有较高的机械强度和较好的电性能，产品在工作时不破碎，不裂纹，并能透过电磁波，产品中附有的金属嵌件与聚砵塑料应结合牢固，符合尺寸公差要求。

(三) 聚醚砵电器部件

1. 选材

聚醚砵 (PES) 是一种综合性能很好的热塑性塑料，耐热性能特别突出，玻璃化温

度 230℃，长期使用温度可达 180℃，短期使用温度达 230℃。

我国在 20 世纪 70 年代后期开始研制 PES，吉林大学研究生产的 PES 通过了中试技术鉴定，并在其后进行了工业生产。目前，国家 PES 的性能已达到或接近国外同类产品的性能（表 9-35），30t/年的生产装置已正式投产。

表 9-35 聚醚砜的性能

项 目	吉林大学聚醚砜 004	英国 ICI 200P/300P
密度/(g/cm ³)	1.36	1.37
拉伸强度/MPa	98.3	86
伸长率(%)		40~80
弯曲强度/MPa	154	130
弯曲模量/GPa	2.1	2.6
冲击强度(非缺口)/(kJ/m ²)	0.11	
热变形温度/℃		
1.86MPa	208	
0.86MPa		203
线胀系数/(×10 ⁻⁵ /K)	5.1	5.5
相对介电常数(60Hz)	3.57	3.5
介电损耗因数(60Hz)	8.6×10 ⁻³	1×10 ⁻³

2. 主要设备

- 1) 双螺杆挤出机，SLJ-S6 型。
- 2) 单螺杆挤出机，φ20mm，长径比 25:1。
- 3) 塑料注射成型机，100g，移动螺杆式。
- 4) 热固性塑料注射成型机，602 型。

对所用挤出机及注射机，根据成型要求作了部分小的改装。

3. 制备工艺

(1) PES 粉料挤出造粒工艺 经配制好的粉料可使用单、双螺杆挤出机造粒，在下面工艺条件（表 9-36）下取得较为满意的结果。在此条件下可挤出表面光滑透明的料条。实验中，双螺杆机挤出较快，产量可达 12~20kg/h；单螺杆机由于口模数小，挤出产率较低。

表 9-36 PES 挤出造粒工艺条件

	双螺杆挤出机	单螺杆挤出机
机筒温度/℃		
第一段	280~300	280~300
第二段	290~320	295~330
第三段	300~340	300~340
机头(口模)温度/℃	300~340	315~330
转速/(r/min)	10~20	10~50
主机电流/A	4~5	1.0~2.2
干燥条件	视配料情况定	视配料情况定

在挤出时,首先应对物料进行严格干燥,如物料干燥不好会出现气泡等问题。未干燥粉料挤出物的表面有泡孔,干燥后物料的挤出物表面光滑,而干燥后放置在空气中半小时的粉料再进行挤出则表面又出现泡孔。所以 PES 的加工不仅应注意干燥好物料,还应保持加工过程中物料不再吸收水分。

挤出时另一个关键因素是机头的温度设置,过低物料不易挤出,常造成堵塞口模等现象;过高会使物料发黑、起泡等;另外在机头与机筒连接处应注意保温,防止此处的物料过冷而堵塞通道。这三种情况都会造成挤出不畅,使得被迫停机、拆洗机头,所以应该避免。

在挤出过程中注意到:正常挤出情况下,挤出机主机电流并不大,与挤出其他塑料时相当,说明在实际挤出 PES 时并不会发生困难。

挤出机停机后可以使用 PE 等塑料清洗器器的机筒,对于机头口模等关键部位,可以用溶剂浸泡并擦洗干净,保持挤出机良好的机况。

(2) PES 塑料的注射成型 根据大量实验,可对国产 PES 的注射成型工艺特点分述如下:

1) PES 树脂的干燥。PES 的吸水率较低,但即使较低的水分,也会使得制品表面出现气泡、银丝等缺陷。因此为降低制品表面粗糙度、提高制品质量,必须对树脂进行充分干燥。采用电热鼓风干燥箱进行干燥,就可达到要求。

干燥后的物料在成型过程中,应保持干燥,因为 PES 树脂在空气中吸水极快。图 9-2 所示为 PES 的吸水性与在空气中放置时间的关系曲线。用在空气中放置半小时的 PES 料注射成型,试样表面就会出现银纹等不正常的现象。因而在 PES 成型时,干燥后的物料应存放在烘箱中或干燥箱中,随用随取。在实际生产中,应采用真空料斗或在普通料斗上加红外灯等措施,保证 PES 物料的干燥,确保成型制件的质量。

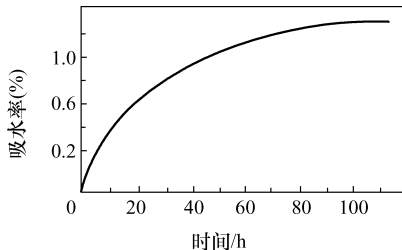


图 9-2 PES 吸水性与在空气中放置时间的关系

(温度 28℃, RH71%, 料层厚度 1.5cm)

2) 成型温度。PES 为无定形塑料,注射成型宜选用螺杆式注射机,这样可良好地塑化,而且机筒温度各段温差不宜大。一般而言,前段 310~320℃,中后段 290~340℃为宜,喷嘴温度也应保持 320~340℃。但应特别注意机筒温度不能超过 360℃,PES 也不能在机筒中停留过长时间,否则物料会出现发黑、起泡现象,造成螺杆预塑时转矩过大、损坏机器等不良后果。

3) 成型压力和时间。PES 由于熔体粘度大,因而采用高的注射压力,且应快速注射,以防止 PES 过早凝固,无法充满型腔。PES 的注射压力需要 >110MPa,这在普通国产注射机上是可以达到的。如需更高压力,可以通过将注射机的大机筒和螺杆换成较小机筒和螺杆的办法,以增大注射机的实际注射压力。

PES 的注射时间和保压时间都受制件大小及流程长度、浇注系统形式等具体因素影响,可通过试模来确定。由于 PES 的热变形温度高,冷凝快,因而所需冷却时间较短,一般约 10~30s 即可脱模。

4) 机筒的清洗。注射完成后, 必须将螺杆前部 PES 注射完, 再用 PE、PP 等树脂清洗机筒, 保证机器的正常使用。

(四) 聚砒碱性蓄电池壳

1. 简介

(1) 蓄电池壳体、壳盖结构及性能指标 壳体的尺寸为 $79.8\text{mm} \times 50.0\text{mm} \times 204.5\text{mm}$, 壁厚 3mm ; 壳盖的尺寸为 $74.8\text{mm} \times 45.0\text{mm} \times 24.0(16.0)\text{mm}$, 壁厚 4.0mm 。其性能指标见表 9-37。

表 9-37 碱性蓄电池壳体、壳盖性能指标

项 目	性 能 指 标
外观	外观 1mm 以上的黑点不超过 3 个, 1mm 以下的黑点不超过 10 个, 表面光滑、色泽均匀、透明, 无变形、气泡、针眼、银纹、熔接痕等缺陷
尺寸	符合图纸要求
抗振性	样品在振动试验机上振动 (振动试验条件: 位移 $<1.5\text{mm}$, 加速度 $<30\text{m/s}^2$) 24h 后应无裂纹

(2) 原材料的选择 注射使用的 PSU 大都为透明略带琥珀色的粒料 (国内的 PSU 色泽略微深些)。先后使用了国内 3 个厂家生产的 PSU 粒料, 但材料性能不尽如人意, 主要是存在色泽差异、粒料中有的带小黑点、粒料粒度不均匀等缺陷, 综合考虑, 选用德国巴斯夫公司生产的 PSU, 其特性粘度为 $0.45 \sim 0.55\text{dL/g}$ 。因 PSU 分子内含有醚键, 在常温下虽吸湿性不大, 但微量的水分也会使其发生水解, 使制品产生银纹、气泡, 内应力增大。因此使用前必须严格干燥, 将水分含量控制在 0.03% 以下为宜。常用的干燥方法有热风循环干燥、真空干燥等。干燥方法及工艺见表 9-38。对经过干燥处理的 PSU 粒料, 为防止其重新吸湿, 可在 $90 \sim 110^\circ\text{C}$ 储存。

表 9-38 干燥方法及工艺

干燥方法	干燥温度/ $^\circ\text{C}$	干燥时间/h
料斗烘干机干燥	$120 \sim 140$	$6 \sim 8$
真空干燥	130	$0.5 \sim 1$

(3) 制品的设计 飞机碱性蓄电池的工作环境十分恶劣。其壳体、壳盖应具有高的冲击强度、良好的外观质量和尺寸稳定性、紧密的尺寸公差、能承受大的载荷、成型材料流动性好等特点。设计过程中利用 CAE 技术进行成型过程模拟, 并结合生产实践经验, 以合理利用分析结果, 指导制品、工艺, 模具设计, 减少试模次数, 消除设计中的错误。

PSU 的流动性差, 为使成型能顺利进行, 制品厚度应不小于 1.5mm , 故将该壳体壁厚设计为 3mm ; PSU 对缺口较为敏感, 直角和锐角的存在将会形成内应力集中, 使制品的强度下降, 因此要求对这些部位采用圆弧过渡 (R 为 $0.5 \sim 1.0\text{mm}$)。壳体、壳盖转

角处均设计为 $R=0.8\text{mm}$ 。PSU 的成型收缩率比较稳定，为 $0.4\% \sim 0.8\%$ ，熔体流动方向与垂直方向的收缩率基本一致，为有利于制品脱模，减小脱模过程中产生的应力，脱模斜度取 $50:1$ 。为得到外观光洁明亮的制品，要求模具型腔的表面粗糙度为 $0.4\mu\text{m}$ 以上，然后抛光至镜面。

2. 主要设备与模具设计

(1) 成型设备 选用螺杆式注射机。采用的螺杆形式为单头、全螺纹、等距、低压缩比、渐变型，其长径比为 $(14 \sim 20):1$ 。由于 PSU 的熔体粘度高，为减轻螺杆转动负荷，要求注射机具备低挡调速装置。机筒温度要求控温范围 $0 \sim 400^\circ\text{C}$ 。喷嘴使用延伸式喷嘴，喷嘴孔径大于 5mm 。笔者选用柳州塑料机械厂的 XS-ZY-250 型注射机成型蓄电池壳盖，采用 XS-ZY-500 型注射机成型蓄电池壳体。

(2) 模具设计 根据制品尺寸及产量，壳体确定采用 1 模 1 腔结构，壳盖确定采用 1 模 2 腔结构。对于壳体模具，为了使 PSU 熔体能均匀地填充到模具的型腔中，不能从口部及周边进料，只能将浇口选择在壳体底面中心。为了避免产生气泡，确定采用直浇口进料。选择以口部所在平面作为模具的分型面。对于壳盖模具，根据其结构特点及注射成型的工艺性，将浇口设在壳盖顶部中心。由于点浇口有升温作用，可把熔接痕降到最低程度，采用点浇口成型壳盖。

根据壳体的结构特征，其模具的脱模机构不能采用顶杆顶出，宜采用推板推出脱模机构。对于这种深腔注射件，采用推板推出时，注射件与模具型芯之间很容易形成真空，造成脱模困难。为此在阳模中间部位设置顶出杆，兼起顶出制品时的进气作用，以降低注射件推出过程中产生的变形、划伤等缺陷，使脱模过程安全可靠。

为了降低模具型腔的表面粗糙度，其动、定模型腔均设计成镶块结构。采用抛光性能极好的镜面模具钢，热处理后，其洛氏硬度可达 $60 \sim 65\text{HRC}$ ，以保证注射件表面能满足指标要求。

模具温度控制系统采用了模芯循环冷却方式。定模型腔镶块采取螺旋式循环冷却方式。而动模型腔镶块则采取并行隔片循环冷却方式。

成型模具必须具有极好的排气性。气体主要沿分型面排气，可在分型面处开设排气槽，以防止困气烧焦。排气槽深度以小于 0.08mm 为宜，以免造成溢料。

为承受成型时的高压，成型模具的刚度、强度要高。因此模具的动、定模固定板及支撑板的厚度通常是传统模具的 2 倍。模具内要设置多处内锁，以保证精确定位和良好的侧支撑，防止弯曲和偏移。

3. 成型工艺参数

PSU 属于非结晶性聚合物，无明显熔点。其玻璃化转变温度为 190°C ，成型温度在 280°C 以上。所得制品呈透明状。PSU 的熔体粘度对温度十分敏感，温度低不能注满型腔而造成制品缺料，温度高则易使 PSU 降解，性能变差，导致制品表面产生色差，颜色不一致。

过高的注射速率会使 PSU 熔体破裂，影响充模速率，造成充模困难。因此要采用先慢、再快、后慢，先低压、再高压、后中压的多级注射成型方式。具体成型工艺参数设置见表 9-39。

表 9-39 碱性蓄电池壳体、壳盖的注射成型工艺参数

制品	温度/℃						压力/MPa			时间/s			流量(%)	
	喷嘴	前	中	后	定模	动模	一级注射	二级注射	背压	注射	保压	冷却	一级注射	二级注射
壳体	285	295	290	280	135	130	8.5	9.5	1	10	5	20	50	70
壳盖	285	295	290	280	130	125	8	10	1.5	5	5	10	70	80

注意事项如下。

1) 由于 PSU 熔体对金属有粘附性，故停机前必须将机筒内螺杆上粘附的 PSU 料清洗干净。

2) 为了降低内应力，可以加入硅油作润滑剂（每千克 PSU 加入 1 ~ 2mL），并对制品进行热处理（温度 110 ~ 120℃，时间 1 ~ 2h，用空气作介质）。制品的内应力检验通常可采用偏振光和极性溶剂测定。

4. 制品性能与效果

表 9-40 列出研制的 PSU 蓄电池壳体、壳盖的性能。可以看出，研制的蓄电池壳体、壳盖均满足使用要求。目前飞机碱性蓄电池壳多采用聚酰胺 1010 生产，由于该电池需要在一定内压下工作，聚酰胺 1010 生产的电池壳存在充电“胀肚”现象，且力学性能较低（拉伸强度 40.0MPa，筒支梁缺口冲击强度 17.5kJ/m²），而 PSU 电池壳的力学性能优异，同时 PSU 电池壳克服了充电中的“胀肚”现象。

表 9-40 PSU 蓄电池壳体、壳盖的性能

项目	性能	测试方法
拉伸强度/MPa	62.5	从不同的电池壳体、壳盖上各取一块约 50mm × 50mm 的样板于 (25 ± 5)℃ 在蓄电池液中浸泡 7d 后，取出并用水冲洗，目测样板的外观变化
筒支梁缺口冲击强度/(kJ/m ²)	35.5	
耐碱性	样板无变化	取 20 只电池在超声波焊机上进行封口，从电池注液孔处通入 0.15MPa 的空气，放入水中观察密封情况
密封性	密封良好	
环境试验	无裂纹	各取 5 只放置在 -60℃ 低温箱及振动试验机上进行环境试验。24h 后观察电池壳体、壳盖的变化情况

在对原材料、成型设备、制品设计、模具结构等进行优选、优化的基础上，利用 PSU 材料注射成型了飞机碱性蓄电池壳体、壳盖，其性能指标完全满足使用要求。

二、聚砒管材挤出成型

聚砒（PSF）管材有突出的抗冲击、耐热、耐老化、耐辐射及介电性能。耐有机溶剂性欠佳，不宜在沸水中长期使用。PSF 管主要用做电绝缘管和耐高温管。

挤出成型管材一般选用熔体粘度为 $(0.5 \sim 0.6) \times 10^{-3} \text{Pa} \cdot \text{s}$ 的 PSF 树脂。挤出成型前,树脂需进行干燥处理,使含水率 $< 0.05\%$ (质量分数)。树脂的干燥可采用热风干燥烘箱,料层厚度为 25mm, 120°C 下干燥 5h; 135° 下干燥 4h; 160°C 下干燥 2 ~ 3h。干燥后的树脂需保干存放。若使用排气挤出机挤出成型管材,可省去预干燥处理。

挤出机需安装干燥式料斗,料斗温度为 120°C 。螺杆为渐变型,长径比 L/D 为 18 ~ 20,压缩比为 2.5 ~ 3.5。管机头口模平直部分长度等于模芯和模套间隙厚度的 14 ~ 20 倍。

挤出机各段温度控制范围为:加料段 $295 \sim 300^{\circ}\text{C}$,压缩段 $305 \sim 320^{\circ}\text{C}$,计量段 $300 \sim 310^{\circ}\text{C}$,分流板处 $280 \sim 290^{\circ}\text{C}$;机头体部分 $250 \sim 270^{\circ}\text{C}$;口模 $220 \sim 230^{\circ}\text{C}$ 。螺杆转速一般为 15 ~ 20r/min。

第十章 聚醚醚酮（PEEK）

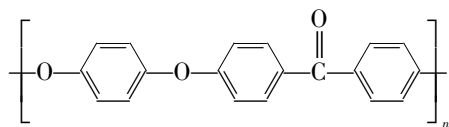
第一节 主要品种与性能

一、简介

1. 结构特征

聚酮类塑料是指化学结构中带有醚、酮键的一类高分子材料。现已工业化生产的品种主要有聚醚醚酮（PEEK）、聚醚酮（PEK）、聚醚酮酮（PEKK）和酚酞型聚醚醚酮（PEEK-C）等。其中应用较为广泛、使用价值较高的只有 PEEK。本书仅对 PEEK 加以介绍。

聚醚醚酮（PEEK）的化学结构为



它是一种综合性能优良的结晶性耐高温热塑性工程塑料，也是聚芳醚酮类聚合物的一种。其长期的连续工作温度为 240℃，可在 200℃ 蒸汽中使用，且质地柔韧，冲击性能和伸长率优异，耐腐蚀、耐辐射、自熄性优良，燃烧时烟雾密度低，电性能优良。已在航空航天工业、原子能工业、武器装备和高尖端技术中应用。

2. 主要性能

(1) 耐热性 虽然未增强纯树脂的热变形温度只有 160℃，但用玻璃纤维、碳纤维增强后，热变形温度可达 300℃ 以上。按长期连续使用温度的评价方法 UL 温度指数测定为 250℃。

(2) 力学特性 PEEK 在室温时的抗蠕变性能很好，不论有无缺口都比其他耐热性树脂高得多。

(3) 各种物性随温度的变化 虽然在其玻璃化温度（143℃）附近有所下降，但直至其熔点附近（300℃）仍保持有足够的弹性模量。其拉伸强度随增强情况不同有所变化，直到高温领域都还保持一定强度。其在 250℃ 的老化试验结果表明，不仅一般树脂无法与之相比，甚至比公认的长期耐热性好的 PPS 也要稳定。

(4) 耐冲击性 它是耐热树脂中韧性最好的一种。

(5) 阻燃性 PEEK 有自熄性，不加任何阻燃剂，用 UL 标准测定达到 94V-0（厚度为 1.5mm）。另外燃烧时的发烟量也非常少。

(6) 耐药品性 PEEK 只溶解于浓硫酸，有良好的耐化学药品性，特别是在高温下耐酸碱性方面比聚酰亚胺好得多。

(7) 耐水解性 PEEK 的吸水率很小, 23℃ 的饱和吸水率只有 0.5%。而且耐热水性好, 可以在 300℃ 的加压热水或蒸汽中使用。在 200℃ 以上的热水中可以连续使用。在 130℃ 热水中浸泡 11d 后其弯曲模量保持率在 90% 以上, 远高于其他树脂。

(8) 耐磨性 具有相当于聚酰亚胺的良好耐磨性。

(9) 耐疲劳性 在所有树脂中具有最好的耐疲劳性。

(10) 耐辐照性 耐 γ 辐照的能力很强, 超过了通用树脂中耐辐照性最好的聚苯乙烯。可以做成 γ 辐照剂量达 1100Mrad 时仍能保持良好的绝缘能力的高性能电线。

(11) 耐剥离性 PEEK 的耐剥离性很好, 因此可制成包覆很薄的电线或电磁线, 并可在苛刻条件下使用。

(12) 电性能 PEEK 具有良好的电绝缘性能, 并可保持到很高的温度范围。其介电损耗在高频情况下也很小。

3. 应用

(1) 高性能增强塑料 近年来引人注目的是热塑性高性能增强塑料, 其中发展最快的是由 ICI 公司推出的 PEEK 高性能增强塑料 (商品名 APC-2)。这种材料的特点是: 比环氧高性能增强塑料易加工; 成型后不需养生; 有良好的耐冲击性, 损伤容限大; 有优良的抗蠕变性和耐疲劳性; 有良好的耐热性; 有优良的耐热湿循环性; 损伤处易修补。

(2) 挤出成型制品

1) 电磁线。利用 PEEK 具有包覆加工性好 (可熔融挤出, 而不用溶剂); 燃烧时发烟量低且产生腐蚀性气体少, 耐磨性好, 耐辐照性强, 可自由着色等特点, 已经用作电缆、电线的绝缘或保护层, 广泛应用于原子能、飞机、船舶、油、气井、电磁线、光导纤维等领域。

2) 薄膜。利用其比聚酰亚胺吸湿性小, 高温时耐碱、耐酸、耐高频性好, 耐焊锡、耐辐照等特点, 用作 H 级以及 C 级绝缘材料, 广泛用于电动机、发电机、变压器、电容器等的绝缘薄膜, 可绕性印刷线路板, 载波带 (carrier tape), 增强塑料 (用 PEEK 与碳纤维、玻璃纤维层覆), 耐热耐药品的环型带等。

3) 纤维。PEEK 单丝具有比聚酯和尼龙纤维更好的耐蒸汽、耐药品、耐磨耗、抗蠕变、韧性好等特点, 应用于制纸机械的干燥帆布、耐热滤布、球拍的网线、增强塑料 (与碳纤维、玻璃纤维等混织或混编)、耐热耐药品纺织带等。

(3) 注射成型制品

1) 耐磨材料。利用其耐磨性、耐药品性、韧性好和可在 250℃ 使用等特点用于制造轴承保持架、金属轴承的护衬、离合器零件、动力闸的真空零件、汽油发动机的零件、涡轮增压器 (turbocharger) 叶片、复印机零件、悬置轴瓦、活塞裙、发动机推杆等。

2) 电器、电子制品。发挥其耐焊锡性 (热变形温度 300℃ 以上)、阻燃、UL 温度指数 250℃、韧性好等特点, 用于制造镶嵌插头, 高可靠性接插件, 电缆插头、接线盒, 配线的引出头, 晶片笼型线圈 (Waferbasket), 电池外壳, IC 的封装等。

3) 热水设备。发挥其能耐加压水或蒸汽而且在 200℃ 以上可长期使用的特点, 用

于制造热水、化学泵的泵体和叶轮及其他零件,蒸阀门, O 形圈,采油用接插件,锅炉 pH 计的护套等。

4) 其他。PEEK 还可以用于制造原子能发电站用接插件和阀门零件、涡轮叶片、显微镜灯的罩、电动机周围导线支架、火箭用电池槽、螺栓、螺母、实验室用镊子等。

(4) 粉末喷涂制品 PEEK 可用静电喷涂或流化床法喷涂制成金属等表面的耐热、耐腐蚀涂层。

(5) 加工成型制品 可用旋转成型法制造大型制品,用吹塑成型法可制作盛核废料的容器,还可以把 PEEK 薄膜与金属加压胶粘制成高温粘接力很好的增强塑料。

二、PEEK 牌号、性能与应用 (表 10-1 ~ 表 10-9)

表 10-1 吉林大学 PEEK 树脂主要性能

项 目	指 标	项 目	指 标
相对密度	1.32	长期使用温度/℃	250
$T_g/^\circ\text{C}$	143	相对介电常数(1MHz)	3.2 ~ 3.3
$T_m/^\circ\text{C}$	334	介电损耗因数(1MHz)	0.0033
拉伸强度/MPa	94	体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$	10^{16}
弯曲强度/MPa	145	阻燃性(UL94)	V-0

表 10-2 湖北省化学研究所聚醚醚酮的性能

项 目		数 值	项 目	数 值
相对密度		1.26	热分解温度(失重 5%) /℃	500
吸水性(%)		0.60	体积电阻率/Ω·cm	5×10 ¹⁶
吸油率(%)		0.22	介电强度/(kV/mm)	51.3
拉伸强度/MPa	常温	86.3	相对介电常数(1MHz)	2.18
	150℃	37.1	介电损耗因数(100kHz)	1.72×10 ⁻²

表 10-3 国产聚醚醚酮与聚砜耐化学药品性比较

介 质	聚醚醚酮	聚 砜	介 质	聚醚醚酮	聚 砜
30% 盐酸	无变化	无变化	丙酮	无变化	发向,不透明、发皱
30% 硝酸	无变化	无变化	甲苯	无变化	部分溶解
30% 氢氧化钠	无变化	无变化	二甲基甲酰胺	无变化	部分溶解
70% 乙酸	无变化	无变化	二甲基亚砷	无变化	全部溶解
70% 乙醇	无变化	无变化	二氧甲烷	无变化	全部溶解
10% 草酸	无变化	无变化			

表 10-4 英国帝国化学工业公司聚醚醚酮的性能

项 目	数 值	项 目	数 值
熔点/℃	334	结晶度(最大)(%)	48
玻璃化温度/℃	143	相对密度(完全结晶)	1.32

(续)

项 目		数 值	项 目		数 值
吸水性(%)		0.15	拉伸强度 /MPa	缺口 0.254mm	33.8
熔体粘度(400℃)/Pa·s		450~550		缺口 0.508mm	33.8
熔融热稳定性(400℃,1h,粘度变化)(%)		<10		缺口 1.016mm	33.8
拉伸强度/MPa		100		缺口 2.032mm	33.8
断裂伸长率(%)		150	介电强度 /(kV/mm)	薄膜(厚度 50μm)	16~21
拉伸弹性模量/MPa	150℃	1000		被覆电线(20℃,水中)	19
	180℃	400	介电常数 (1MHz)	50Hz,150℃	3.2~3.3
弯曲弹性模量/GPa		3.5		50Hz,200℃	4.5
冲击强度(缺口,摆锤式,25℃, 2.03mm)/(kJ/m)		1.387	体积电阻率(被覆电线,25℃, 水中)/Ω·cm		1×10 ¹³

表 10-5 英国帝国化学工业公司晶型聚醚醚酮的性能

项 目		数 值	项 目		数 值
拉伸强度/MPa	23℃	91	蠕变(%)	10MPa,150℃,7d	1.73
	100℃	66		5MPa,180℃,7d	1.70
	150℃	34	泰伯磨耗/(g/1000 转)		6×10^{-3}
弯曲弹性模量/GPa	23℃	3.9	模塑收缩率(%)		1.1
	100℃	3.0	热变形温度(1.8MPa)/℃		148
	150℃	2.0	断裂伸长率(%)		150

表 10-6 英国帝国化学工业公司聚醚醚酮的燃烧性能

项 目	测 试 方 法	数 值	项 目	测 试 方 法	数 值
极限指数(% O ₂)	ASTM D2863		烟散发	NBS 烟室 (英国新标准线规烟室)	10
0.4mm 厚		24			
3.2mm 厚		35	3.2mm 厚燃烧		1.5
涂敷电线		40.5			
燃烧率	UL94		3.2mm 厚不燃烧		
0.3mm 厚		V-1	产品燃烧的毒性指数	英国国防部试验 NES713	0.17
1.6mm 厚		V-0			
3.2mm 厚		5-V			

表 10-7 25%玻璃纤维增强聚醚醚酮的性能

项 目	数 值	项 目	数 值	
拉伸强度/MPa	80	拉伸强度/MPa	在 23℃ 下	在 200℃ 下
拉伸弹性模量/MPa 185℃	1000	缺口 0.254mm	84	34
		缺口 0.508mm	86	34
		缺口 1.016mm	84	34
		缺口 2.032mm	73	34

表 10-8 碳纤维增强聚醚醚酮的性能

项 目	20% 碳纤维	30% 碳纤维	项 目	20% 碳纤维	30% 碳纤维
密度/(g/cm ³)	1.40	1.44	断裂伸长率(%)	6	3
断裂拉伸强度/MPa	165	215	热变形温度/℃		
弯曲强度/MPa	260	248	1.8MPa	300	300
弯曲弹性模量/GPa	12.50	15.50	体积电阻率/Ω·cm		1.4×10 ³

表 10-9 碳纤维与玻璃纤维增强聚醚醚酮性能比较

项 目	30% 碳纤维	30% 玻璃纤维	项 目	30% 碳纤维	30% 玻璃纤维
拉伸强度/MPa	215	140	热变形温度/℃		
断裂伸长率(%)	3	3	1.8MPa	300	300
弯曲弹性模量/GPa	15.40	8.00			

三、成型加工性能

聚醚醚酮具有热塑性工程塑料典型的加工性能，可用注射、挤出、模压、吹塑等方法加工成各种制品。工艺条件见表 10-10～表 10-11。

表 10-10 聚醚醚酮的注射成型工艺条件

项 目	未增强型	玻璃纤维增强型
机筒温度/℃		
后部	350	370
中部	370	390
前部	365	390
喷嘴温度/℃	385	390
模具温度/℃	160	160～180
注射压力/MPa	13～14	13～14
注射时间/s	8	10
冷却时间/s	15	20

表 10-11 聚醚醚酮的挤出成型工艺条件

项 目	数 值
螺杆直径/mm	45
螺杆长径比/(L/D)	20
螺杆转速/(r/min)	16
机筒温度/℃	
后部	350
中部	365
前部	370
口模温度/℃	365

第二节 聚醚醚酮制品与成型工艺

一、聚醚醚酮注射成型简介

1. 原材料

(1) 物料性能 聚醚醚酮（PEEK）是目前特种工程塑料中耐热等级最高、综合性能最好的品种，它是一种半结晶性热塑性树脂，它的长期耐热性超过 250℃，用碳纤维、玻璃纤维等增强后耐热性和机械强度等物性会有大幅上升。另外 PEEK 还可以由增大相对分子质量来提高其韧性和耐疲劳性，并将其熔融粘度调整到适合注射成型的需要。它具有耐热等级高、耐辐照、耐疲劳、耐腐蚀、力学性能优异和电性能优异等综合

性能。

聚醚醚酮虽然熔点高达 334℃，但在超过熔点后就有良好的熔融流动性和热稳定性，因此具有较为理想的成型性能。在正常的剪切速率下，360℃ 下的熔体粘度为 480Pa·s；380℃ 为 400Pa·s；100℃ 为 350Pa·s。聚醚醚酮物料在 400℃ 保持 1h，仍有良好的熔融稳定性。

(2) 用途 由于以上特殊物性，PEEK 问世后除国防军工领域外，很快在航空航天、电子信息、石油化工、汽车、医疗和精密机械等领域得到了广泛的应用。

(3) 加工特性 有良好的加工性能是 PEEK 的最重要特性之一。即使是复杂的大型制品也可以用适当的成型设备直接成型，注射成型品不需要后热处理。除注射成型外，还可进行挤出成型、模压成型、电线包覆、粉末喷涂和纺丝等加工。

PEEK 的成型加工温度范围为 370~410℃，PEEK 的加工流动性对剪切速度的依赖性较大，提高注射压力对成型是有利的。

另外，PEEK 是结晶性高分子，高分子具有结晶性后其机械强度、耐环境性等都会急剧提高的特点。利用 DSC 法测定了 PEEK 的等温结晶时间，得到 PEEK 的结晶速度最大时的结晶温度是 250℃，这是在注射成型时确定最佳模具温度时的一个很重要的参数指标。对瞬间结晶的 PEEK 的注射成型来讲，模具温度一般在 160~180℃（碳纤维增强 PEEK 时 220℃ 为宜），这样成型制品在模具内冷却过程中，经过结晶化温度区域的时间有几秒以上，通常可以得到结晶状态的制品。不过，如果模具温度定在 150℃ 以下时，一方面不利于 PEEK 的熔体迅速充满模具；另一方面成型制品就会因为模具过冷而形成一个透明状的非晶层。这是成型品的表面急冷，表面没有得到结晶过程所需的温度和时间所引起的现象。这种成型制品如果不在 200℃ 以上进行结晶化处理，则在耐化学药品性和耐磨性方面较差。对于无定形的 PES 来说，虽不存在制品结晶的问题，但模具温度也应升高到 130℃ 以上，否则熔体不易充模，同时可能还会影响制品的密实度。

2. 注射成型系统

- 1) 要有充足的温度区间，可达 500℃。
- 2) 注射成型机的容量要适当，滞留时间的要求最大 10min，最好是 5min 以内。
- 3) 要能高压注射成型，注射压力至少要 150MPa，最好是 250MPa 以上，注射速度要有充分的调控余地。
- 4) 更高一点的要求，最好能做到利用氮气或真空装置将机筒内的空气排除。
- 5) 特别容易出现喷嘴段的加热容量不足的现象，致使熔体流动受阻，所以很多情况下要将喷嘴的加热容量加大或进行必要的保温。

3. 模具系统

1) 特种工程塑料成型的模具多数情况下要能在 200℃ 左右调控，对于模具的材质、设计和加工制作等都要作特殊处理，所以不可能将 PC 和尼龙等制品的模具改用，因为这样会引起模具变形、擦伤以及加热系统的不匹配。

2) 模具浇口套的内部形状应为短而粗的，浇口的尺寸要大于普通塑料的尺寸，这样利于 PEEK 熔体的流动充模。

3) 在 PEEK 注射成型时，为了防止从喷嘴流淌树脂熔体，往往采用喷嘴不离开法

成型，这时由于模具温度较低而使喷嘴温度下降，造成熔融树脂凝固，而使成型不能继续。这种现象即便把喷嘴加热增强了，也会不时发生，为了改良这种情况建议对模具进行如下处理：把模具和喷嘴接触的部分与模具本体用石棉板等材料做隔热处理，并使这部位温度可调控，保持在比喷嘴温度低 10 ~ 50℃ 最好。这样除可保持喷嘴内熔料不固化外，还会使注料更顺利，真正起到保压效果。

4. 注射成型工艺

聚醚醚酮的熔点较高，与通用工程塑料相比，熔体粘度也较大，因此成型温度也较高，机筒温度一般需控制在 350 ~ 400℃ 左右。聚醚醚酮的熔融流动性与温度的依存性不大，所以需较大的注射压力。成型前，物料一般均需进行预干燥，干燥条件为 150℃，3h。

聚醚醚酮的注射成型，一般用普通的注射成型机就可满足要求。但成型大型、薄壁及复杂制品，则应选用高长径比（>20）和短压缩段的螺杆。当然，对于模具设计及成型工艺条件也需作相应的调整。表 10-12 列举了聚醚醚酮注射成型工艺条件。

表 10-12 聚醚醚酮注射成型工艺条件

项 目	未增强	玻璃纤维增强	项 目	未增强	玻璃纤维增强
机筒温度/℃			模具温度/℃	160	140 ~ 160
后部	350	370	注射压力/MPa	12.8 ~ 13.8	12.8 ~ 13.8
中部	370	390	注射时间/s	8	10
前部	365	390	冷却时间/s	15	20
喷嘴温度/℃	385	390			

二、改性聚醚醚酮复合材料齿轮的注射成型

1. 选材

以 PEEK 为基体，通过熔融共混工艺制备了流动性较好的 PEEK/TLCP 共混物，并在共混物中添加碳纤维（CF）、铜粉（Cu）、二硫化钼（MoS₂）等以提高其力学性能，降低摩擦因数。采用注射成型工艺，将制得的改性 PEEK 复合材料加工成发动机机油泵齿轮。

2. 主要设备

- 1) 高温注射机。BZ 950 CDC 型。
- 2) 双螺杆挤出机。ZSK-30。

3. 改性 PEEK 复合材料及齿轮制备

（1）工艺路线 改性 PEEK 复合材料及齿轮制备工艺流程如图 10-1 所示。

（2）挤出工艺 机筒各段温度为 290℃、330℃、340℃、350℃、360℃、螺杆转速为 180r/min。

PEEK 具有良好的耐磨性能和抗疲劳性能，通过添加 CF 提高材料的机械强度、耐热性能、尺寸稳定性及导热性；添加铜粉、MoS₂ 等填料，进一步改

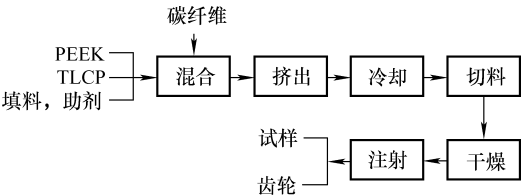


图 10-1 工艺流程

进材料的耐磨性；添加 TLCP 有效降低体系的粘度，改进 PEEK 复合材料的加工性能。

(3) 注射工艺条件 机筒各段温度为 330℃、350℃、370℃、365℃；注射压力为 90MPa；注射时间为 2~12s；保压时间为 20s；模具温度为 140℃。

4. 性能

PEEK 具有良好的耐磨性能和抗疲劳性能，通过添加 CF 提高材料的力学强度、耐热性能、尺寸稳定性及导热性；添加铜粉、MoS₂ 等填料，进一步改进材料的耐磨性；添加 TLCP 有效降低体系的粘度，改进 PEEK 复合材料的加工性能。

(1) CF 对 PEEK 复合材料性能的影响 CF 的表面处理、CF 含量及挤出工艺对 PEEK 复合材料性能有较大的影响。表 10-13 为 CF 含量及螺杆转速对材料力学性能的影响。

表 10-13 CF 含量及螺杆转速对材料力学性能的影响

项 目	螺杆转速/(r/min)			
	150	220	150	220
CF 含量(%)	19	20	31	31
弯曲强度/MPa	241	212	295	271
拉伸强度/MPa	180	160	220	190

由表 10-13 可以看出，在双螺杆挤出机高转速共混条件下，材料的强度呈下降趋势，其主要原因是 PEEK 基体树脂粘度大，高转速时螺纹元件对 CF 的剪切作用大，使 CF 的长度变小，增强效果变差；CF 含量提高，PEEK 复合材料的强度增加，与普通纤维增强热塑性塑料呈现同样的增强规律。

表 10-14 是 CF 表面处理对材料性能的影响。

表 10-14 CF 表面处理对材料性能的影响

项 目	CF 经表面处理	CF 未经表面处理
CF 含量(%)	25	26
弯曲强度/MPa	290	210
拉伸强度/MPa	194	144

由表 10-14 可以看出，在同样加工条件下，CF 的表面处理对材料的强度影响很大，经表面处理后，CF 与基体树脂界面结合强度高，可以改善增强效果。

(2) TLCP 对体系加工性能的影响 由于 PEEK 有熔点高、粘度大、加工困难等缺点，为改善其加工性能，在 PEEK 中加入适量 TLCP 进行共混，并对共混材料进行了流变性能测试。表 10-15 是 TLCP 含量对 CF/PEEK 体系流变性能的影响。

表 10-15 TLCP 含量对 CF/PEEK 体系流变性能的影响

项 目	CF/PEEK/TLCP		
	15/100/0	15/95/5	15/90/10
平衡转矩/N·m	8	6.4	5.6
熔体温度/℃	378	375	372

由表 10-14 可以看出, TLCP 的加入可降低 PEEK 体系的熔体粘度。由于 TLCP 一般为聚酯类, 与 PEEK 相容性差, 因此, TLCP 含量不宜过高, 其质量分数以 5% 为宜。

(3) 填料对 PEEK 复合材料工艺及性能的影响 研究了 CF、Cu 粉、MoS₂ 等对 PEEK 复合材料的压缩性能、摩擦性能及加工性能的影响。不同填料及含量对材料性能的影响见表 10-15。由表 10-16 可以看出, 添加填料后, 体系粘度增大, 加工工艺性能变差, 可通过加入 TLCP 来加以改善。

表 10-16 不同填料及含量对材料性能的影响

项 目	PEEK/Cu/MoS ₂ /TLCP/CF/配比				
	85/8/0/0/15	94/0/1/0/15	90/0/2/10/15	90/0/2/5/15	90/2/2/5/25
扭矩/N·m	75	82	64	57	70
压缩强度/MPa	144	107	116	140	197
摩擦因数	0.3	0.26	0.23	0.22	0.14

(4) 改性 PEEK 复合材料的综合性能 通过配方优化设计, 制备出适合齿轮用的改性 PEEK 复合材料。表 10-17 列出改性 PEEK 复合材料的综合性能。

表 10-17 改性 PEEK 复合材料的综合性能

项 目	测 试 结 果	项 目	测 试 结 果
拉伸强度/MPa	190	压缩强度/MPa	208
弹性模量/GPa	13.1	摩擦因数	0.15
弯曲强度/MPa	270	磨痕宽度/mm	3.02

5. 效果评价

1) 用碳纤维、液晶聚合物及 Cu 粉等改性的 PEEK 复合材料, 具有高的强度和耐磨性, 改善了加工性能。

2) 用改性 PEEK 复合材料一次成型塑料齿轮, 齿轮内部无气泡或其他缺陷。

3) 改性 PEEK 复合材料齿轮除可用于制造机油泵类计量齿轮外, 还可进一步推广用于其他耐高温耐磨齿轮。

三、碳纤维增强 PEEK 衬套

1. 选材

选用碳纤维增强 PEEK 复合材料制备衬套, 其使用寿命超过 5000h。

2. 模具

(1) 模具材料的选择 PEEK/CF 衬套模具温度应控制在 140 ~ 160℃ 且注射压力在 120MPa 以上, 在选用模具材料时应考虑选用具有足够力学强度、耐疲劳性能及耐热性好的模具钢。型腔、型芯采用 5CrMn 或 5CrW2Si 合金钢。

(2) 衬套精密注射模具设计要点 衬套的尺寸精度是受多种因素影响的, 主要因素是材料收缩和模具的设计及制造误差。要保证精密注射衬套的精度, 模具精度是非常

重要的。

1) 模具精度。衬套的尺寸精度要求较高,在设计型腔及型芯尺寸时应留有试模的修正余量,即型腔尺寸略小些,型芯尺寸略大些。

一般模具工作温度为 $40 \sim 150^{\circ}\text{C}$,则成型零件的热膨胀率为 $0.04\% \sim 0.1\%$ 。对于大型模具膨胀量需加以考虑,但对于衬套这样高精度要求的塑件,设计模具型腔、型芯时,由于模具需加热到 $140 \sim 160^{\circ}\text{C}$,应考虑所选材料的热膨胀率带来的公差,否则模具在长时间加热时就会因热膨胀而出现模具开闭模及顶出困难,造成模具拉伤致使衬套不能正常生产。

成型零件制造公差原则以不产生溢边为准,由于 PEEK/CF 熔点较高,与通用工程塑料相比粘度较大,所以顶板顶出时,配合间隙可设计为 $0.04 \sim 0.06\text{mm}$ 。非配合尺寸可取塑料公差值的 $1/4 \sim 1/3$ 。模板分型面方向的平行度为 0.005mm 。

2) 可加工性与强度。为了保证模具尺寸精度,在设计型腔及型芯结构部件时采用镶块,以利于修复和抛光。为保证动、定模型腔在分型面方向的尺寸精度,设计中采用四个导向柱再加四个定位销以保证衬套的同心率。

模具的顶出采用顶板的形式,为保证衬套的料流均衡、同心度好,设计四个型腔均布。

模具的底板、支撑板和型腔壁厚经计算校核后要加上一系数,避免在合模力和高压注射时各零部件发生弹性变形而影响尺寸精度。

3) 衬套制品脱模性。衬套尺寸精度要求较高,所选材料的收缩率必须要小,且材料尺寸稳定性要好才能达到要求,在模具设计时要考虑脱模性。PEEK/CF 在高注射压力下,由于收缩率小,衬套在成型后与型腔及浇道系统表面有很强的粘附力和静摩擦力,由于衬套技术要求不能有脱模斜度,这给脱模带来一定的困难,要想顺利脱模,必须提高型腔与型芯的光洁度。但注意型腔的光洁度应略高于型芯,使开模时衬套留在型芯上。

3. 成型设备的选择

PEEK/CF 是超耐热性树脂,其加工温度在 $350 \sim 400^{\circ}\text{C}$ 之间,用于成型此料的注射机应具有机筒温度可升至 400°C 的加热系统。

由于 PEEK/CF 熔融粘度高,成型时注射压力为 $120 \sim 160\text{MPa}$ 。

选用注射机时除按其他通用塑料的选择要求外,还要满足高温高压条件。

4. 衬套精密注射成型工艺

(1) 成型过程 衬套的成型过程如图 10-2 所示。

PEEK/CF 的吸水性很小,只有 0.5% 。但要在高温下注射成型,需将料在 $150 \sim 160^{\circ}\text{C}$ 热风循环烘箱干燥 3h,避免衬套外部出现银丝和泛白等缺陷。

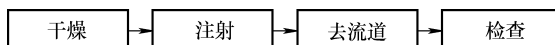


图 10-2 成型过程

(2) 注射成型 衬套必须保证

尺寸公差及重复精度。注射压力对衬套的成型收缩有一定影响,注射压力高衬套的收缩率小,衬套的密度大,后收缩小,这种高压条件下生产的衬套受时间环境影响变化小,尺寸稳定性高。因此在成型 PEEK/CF 衬套时,选用注射压力在 $120 \sim 140\text{MPa}$ 的条件较

为理想。

由于 PEEK/CF 的熔点较高（330℃），因此机筒的加工温度为 350 ~ 400℃。

表 10-18 为 PEEK/CF 衬套的注射成型工艺条件。

（3）衬套模具温度的选择 PEEK/CF 是结晶性树脂，如使其充分结晶可得到较高物理机械性能的衬套，试制衬套过程中发现使用同一模具，在其他工艺条件不变的情况每次试制衬套尺寸都不尽相同，模具温度达到 130℃ 左右开始打件，出模后测定尺寸公差都能满足要求。24h 后测其内径尺寸则减少 0.03 ~ 0.05mm，压入环规后测内径超差。

为解决衬套尺寸稳定性，调整模具温度，并在不同模具温度下连续生产 2h，将不同模温对制品影响列于表 10-19。

表 10-18 PEEK/CF 衬套的注射成型工艺条件

机筒温度/℃	一区	350 ~ 360
	二区	370 ~ 380
	喷嘴	380 ~ 400
模具温度/℃		150 ~ 160
注射压力/MPa		120 ~ 140
螺杆背压/MPa		5 ~ 10
注射速度		中→高
螺杆转速/(r/min)		50
循环周期/s		40 ~ 50

表 10-19 模具温度对衬套尺寸及质量的影响

模具温度/℃	尺寸合格率(%)	外 观
130 ~ 140	50	熔接痕明显,无光亮
140 ~ 150	80	熔接痕变成线,较光亮
150 ~ 160	95	无熔接痕,外观光亮

由实验数据可看出：模温控制在 150 ~ 160℃ 之间衬套的合格率较高，说明衬套尺寸的稳定性好。150 ~ 160℃ 是 PEEK/CF 树脂的结晶温度区，在此温度范围内，衬套储热量较大，可在模具冷却过程中缓慢冷却，有机会充分结晶使衬套收缩量增大，使其后收缩量大大减小。如模温低于结晶温度范围，PEEK/CF 进入模具后会迅速降温，很快越过结晶温度区而冷却固化，因结晶量小，衬套收缩量小，而后收缩量增大，易产生前面提及的 24h，后衬套尺寸超差的现象。若要得到尺寸精度高、稳定性好的衬套，控制模具温度是非常重要的。

5. 效果评价

1) PEEK/CF 材料生产的衬套使用寿命高于 5000h。

2) 加工高精度的衬套，要根据产品需要选择适合产品要求的材料，同时还需要有适合所选材料的加工工艺，并要有合理的模具设计及耐高温高压注射机来实现精密注射，四个条件相互联系、相互制约缺一不可。

3) 对于精密注射衬套其影响尺寸精密的主要因素是模具温度的控制。

4) PEEK/CF 材料完全能够达到精密注射件摩托车减震衬套的要求，该材料的应用仅仅是高性能材料在该领域应用的一例，随着人们对高性能材料的认识，还可广泛应用于其他技术要求较高的领域。

四、PEEK 气体压缩机阀片

1. 原材料配方

针对气体压缩机阀片的使用工况，要求在 PEEK 配方设计中，以获得高强度、高模量、高尺寸稳定性以及抗接触疲劳和抗微动磨损和耐滑动磨损性能好的制品。据此，设计了几种 PEEK 复合材料配方。其组分见表 10-20。

表 10-20 PEEK 复合材料配方

配方号	增强用纤维	配方号	增强用纤维
PEEK-1	无	PEEK-3	玻璃纤维
PEEK-2	K ₂ TiO ₃ 晶须	PEEK-4	碳纤维

注：1. 复合材料所用基体树脂均为 PEEK。
2. 复合材料中均掺有固体润滑剂及其他填料。

2. 制备工艺

(1) 成型工艺 对各种配方的 PEEK 材料均采取相同的成型工艺路线，主要分为挤出造粒和注射成型两个阶段。其主要流程用方块图表示，如图 10-3 所示。

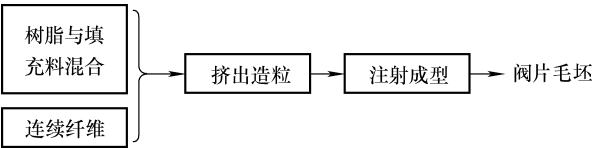


图 10-3 主要流程

首先将粉末状 PEEK 树脂与填充的固体粉末和晶须等材料进行机械混合，尽量分散均匀。然后进入高温双螺杆挤出机进行造粒，使各组分在树脂熔融塑化过程中充分混合。用于增强的连续纤维材料如玻璃纤维或碳纤维均在双螺杆的塑化作用和挤出过程中与树脂及其他材料复合。

注射成型采用了高温注射机，设计和制造了 HHE-1 型气体压缩机阀片的全套注射模具。由于阀片尺寸、形位公差和表面质量均要求较高，因此，模具设计只考虑阀片毛坯注射成型，所得到的阀片坯料留有尽量小的加工余量，以节省昂贵的 PEEK 材料。

(2) PEEK 阀片产品的精密加工 阀片毛坯经精车和研磨加工而成为成品阀片。三环式阀片是采用专门设计和制造的车床夹具才完成精车加工的。研磨阀片的密封平面，经研磨后阀片的平面上粗糙度经 Hommel Tester T20 型表面粗糙度仪测定，平均粗糙度 Ra 为 $0.75\mu\text{m}$ 。与美国进口阀片样品密封平面表面粗糙度进行对比，进口样品 Ra 为 $0.85\mu\text{m}$ 。由此可知，所研制的阀片表面质量达到进口产品水平。

3. 性能

(1) 力学强度 各种配方材料的力学强度性能试验结果见表 10-21。

从表 10-21 知，PEEK 经不同材料增强后力学强度等性能存在以下规律性变化。

表 10-21 力学强度性能试验结果

项 目	PEEK-1	PEEK-2	PEEK-3	PEEK-4
抗拉强度/MPa	100	110	120	126
伸长率(%)	10.0	0.9	0.8	0.8
弯曲强度/MPa	163	172	149	170
压缩强度/MPa	170	163	185	188
冲击强度(缺口简支架)/(kJ/m ²)	4.44	2.73	9.09	9.15
球压痕硬度/MPa	158	235	208	230
线胀系数(10~182℃)/(×10 ⁻⁵ ℃ ⁻¹)		2.9×10 ⁻⁵		

1) 拉伸强度以碳纤维增强为最高,玻璃纤维、晶须、固体润滑剂的增强效果依次下降,伸长率依次增加。纤维增强的 PEEK 复合材料 PEEK-3、PEEK-4 具有较高的强度,表明纤维与树脂有较好的相容性;晶须增强的 PEEK (PEEK-2) 的拉伸强度略低于上述纤维增强材料;固体润滑剂等有机、无机粉末填充的 PEEK (PEEK-1) 的拉伸强度与纯 PEEK 拉伸强度约 95MPa 相比未降低,也说明 PEEK 与这些填充材料有较好的相容性,从而表明 PEEK 具有较宽范围的复合增强改性条件。

2) 从弯曲强度和球压痕硬度比较可见,采用钛酸钾晶须增强使 PEEK 材料上述强度和硬度达到明显的改善,有利于材料尺寸稳定性和抗变形能力的提高,材料刚性增强。但从冲击强度和压缩强度可见,材料脆性上升使冲击强度下降,不过仍处于较高水平。

3) 碳纤维增强 PEEK 复合材料各项性能均较优异。其他配方材料所表现的力学强度性能也基本上属于高强度的范围。与未改性 PEEK 的性能相比,在几个方面均有所改善,已满足制造气压机阀片的要求。考虑到碳纤维的价格因素,尽量不采用 PEEK-4 的配方。

(2) 干摩擦滑动磨损特性 在 M200 型摩擦磨损试验机上对 PEEK-1、PEEK-2、PEEK-3 三种 PEEK 复合材料进行干摩擦下滑动磨损试验。试验条件为: 负荷 200N; 对磨钢轮为 45 钢淬硬 50HRC, 线速度 0.42m/s, 试验时间 120min。各种材料的摩擦因数 μ 、磨痕宽度 b 、磨损体积 V 和磨损速率 k 列于表 10-22。

表 10-22 几种配方的 PEEK 复合材料摩擦磨损试验结果

材料配方	摩擦因数 μ	磨痕宽度 b/mm	磨损体积 V/mm^3	磨损速率 $k/[\times 10^{-4}/(\text{mm}^3/\text{s})]$
PEEK-1	0.32	5.10	3.89	5.40
PEEK-2	0.32	6.03	6.44	8.94
PEEK-3	0.31	6.67	8.73	12.13
进口 PEEK	0.31	7.04	10.27	14.26

在表 10-21 中还列出了一种进口 PEEK 复合材料的摩擦磨损试验结果。该试样是从德国某机械公司的机械零件上直接取样的。该零件为耐温、耐磨、耐腐蚀的滑覆,其摩擦磨损特性是新设计配方的参比值。几种 PEEK 复合材料的摩擦曲线如图 10-4 所示。

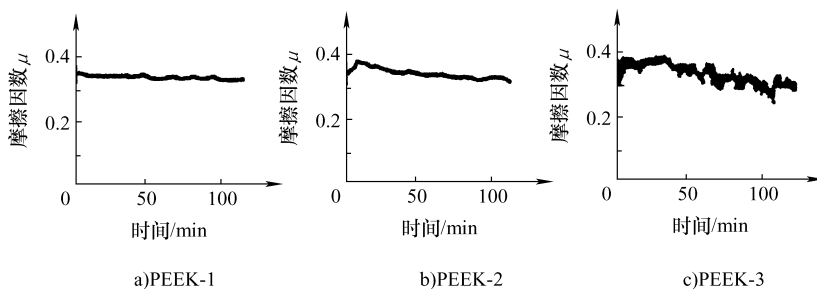


图 10-4 几种 PEEK 复合材料的摩擦曲线

从表 10-22 可知, PEEK 经几种不同类型的纤维和其他填充料增强改性后, 摩擦因数 μ 相差甚微, 基本保持在 0.31 ~ 0.32。而图 10-4 显示, 试验过程中 μ 的变化曲线, 即摩擦曲线存在一定的差异, 主要表现为 PEEK-1 的 μ 基本不变, PEEK-2 的 μ 也较稳定, 而 PEEK-3 的 μ 波动较大, 不够稳定。显然, 固体润滑剂或晶须等填充料使 PEEK 材料摩擦状态稳定。而玻璃纤维往往使摩擦过程中机械作用和热作用加剧, 导致摩擦状态不稳定, 摩擦因数 μ 波动也较大。

另外由表 10-22 可见, 磨损程度和速率依次增大的次序为 PEEK-1、PEEK-2、PEEK-3、进口 PEEK。显然, 所设计的配方材料的耐磨特性均已达到或超过进口 PEEK 复合材料的水平, 尤以未用纤维增强的 PEEK-1 以及 PEEK-2 为佳。在滑动摩擦过程中剪切力作用下纤维增强材料与树脂之间易于脱开, 纤维磨屑又起到磨粒磨损作用, 使磨损加剧。

上述材料在滑动磨损过程中产生了许多粉状磨屑, 对磨钢轮接触表面上均可见聚合物转移, 不同配方之间差别不明显, 钢轮未见有任何被磨损的迹象。

综上所述, PEEK-1 以及 PEEK-2 干摩擦时摩擦因数稳定, 磨损速率低, 固体润滑剂起到缓解摩擦磨损程度的作用。对于微动磨损和接触疲劳作用, 固体润滑剂也能减轻摩擦剪切作用和接触表面粘着作用, 降低表面磨损、疲劳及腐蚀破坏。考虑到以上两种材料的机械强度性能已达到制造阀片的技术指标要求的高强度水平, 为了发挥它们减摩、耐磨特性和抗粘着抗疲劳特性, 选用这两种配方来制造 PEEK 塑料阀片, 并对它们再进行应用试验考核。

(3) PEEK 阀片的应用实验 根据上述材料配方、工艺和性能的研究结果, 选用 PEEK-1 和 PEEK-2 两种配方材料经高温注射成型加上 HHE-1 型氢气压缩机阀片, 进行装机试验考核。该阀片为三环分立式。使用工况为: 氢气 (含硫化氢), 温度 135℃, 最高压力 8MPa, 低压段压差为 3MPa, 高压段压差为 2.1MPa, 阀片开启频率为 5Hz。通过装机应用试验表明, PEEK-1 和 PEEK-2 材料制造的阀片使用可靠性高、噪声低、使用效果好, 达到美国同类产品的使用寿命 4000h 以上 (美国进口阀片最短寿命只有 2800h), 满足了项目原定的使用寿命指标。

PEEK 阀片研制成功, 解决了大型化工生产线上对高可靠性压缩机阀片的需求, 减少事故停机, 保证大修期内生产的连续进行, 具有重要的经济意义和推广价值。

4. 效果评价

1) 研制的 PEEK-1、PEEK-2、PEEK-3、PEEK-4 等配方材料的机械强度性能已全面超过项目指标的要求；而 PEEK-4 的综合机械强度性能最佳；用 K_2TiO_3 晶须增强的 PEEK 材料 (PEEK-2) 的弯曲强度和硬度显著改善。

2) PEEK-1、PEEK-2、PEEK-3 材料的耐磨性略优于进口 PEEK 耐磨配方材料，PEEK-1 和 PEEK-2 具有较平稳的摩擦因数且耐磨性最优。

3) 采用 PEEK-1 和 PEEK-2 配方材料经高温注射成型加工的 HHE-1 型氢气压缩机三环式阀片，经应用试验考核，表明已达到美国同类产品的使用寿命，满足项目指标要求。

4) PEEK 阀片具有高可靠性、长寿命、低噪声等特点，可在各种气体压缩机上推广使用。

五、PEEK 往复压缩机高压活塞环

1. 选材与制品设计

(1) 选材

1) 高强度：由 PEEK 的力学性能与 PTFE 相比较要高出很多，属于高强度树脂材料 (表 10-23)。

表 10-23 PTFE 与 PEEK 纯树脂强度比较

项 目	测验标准	聚四氟乙烯 (PTFE)	聚醚醚酮 (PEEK)
拉伸强度/MPa	D638	30.9	92.1
压缩强度/MPa	D695	11.8	130
延伸率 (%)	D638	400	80
热变形温度 (1.8MPa)/℃	D648	55	160
线胀系数 ($<150^{\circ}\text{C}$)/($\times 10^{-5}\text{K}^{-1}$)	D696	12.6	4.4~4.8
熔点/℃		327	334

2) 韧性与刚性兼备，并有较好的平衡和硬度，使高压下的活塞环在往复撞击下不变形，不掉渣。对低压差的活塞环不需要加弹力环，而能自动贴向汽缸。

3) 耐疲劳、抗蠕变、不易冷流。在交变应力载荷下，它对交变应力的优良耐疲劳性，是所有塑料中最出众的，可与铝合金媲美。在 160°C 以下时，其刚性极佳。

4) 耐热性：虽然纯 PEEK 的热变形温度 160°C ，但增强后的热变形温度可达到 300°C 以上。理论上连续使用温度测定为 250°C 。 160°C 是压缩机设计值的较高参数，随温度再度升高，PEEK 的力学性能呈线性下降。

5) 耐磨性：在所有塑料中，PEEK 具有良好的滑动特性，长春天航公司所生产的活塞环摩擦因数在 0.15~0.30 之间，适合要求低摩擦因数和耐磨损用途使用，并不易伤害对磨副。

6) 线胀系数低，长春天航试制出的材料，随填充物和量的不同，线胀系数在 $(2.1\sim 3.5)\times 10^{-5}$ 之间。

7) pV 值: 随转速、温度、负荷与对磨副变化而变化, 成倍大于常用的高分子材料。

8) 耐腐蚀: 对于酸碱性, 只溶于浓硫酸, 对常见的化学药品皆无影响, 对丙酮略微有影响, 但对氧气、氯气不宜使用。

(2) 高温、高压活塞环结构设计 产品的结构可按填充 PTFE 活塞环的结构设计, 图 10-5 ~ 图 10-10 的结构形式供参考。

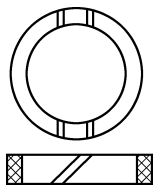


图 10-5 分体化双分瓣 45°切口结构

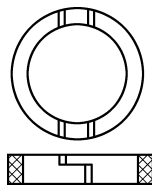


图 10-6 分体化双搭接口结构

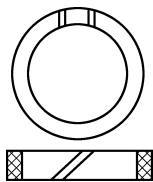


图 10-7 一体化 45°切口结构

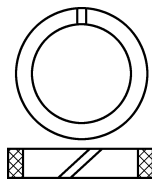


图 10-8 一体化 90°切口结构

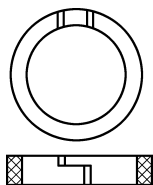


图 10-9 一体化搭接口结构

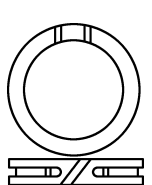


图 10-10 一体化带卸荷槽结构

2. 成型加工

新型活塞环的加工采用精密注射成型辅以精密机加工复合加工的方式, 达到了往复式压缩机所需活塞环的内、外质量要求。为保证活塞环的各向 (径向、轴向) 材料性能的同—性, 在注射成型时:

1) 根据 PEEK、PI 两种原材料的加工特性, 采用不同的预处理工艺, 对材料进行预处理。

2) 在模具设计上采用特殊的结构。

3) 成型中按照 PEEK、PI 材料加工工艺注射成型毛坯件。

4) 对毛坯进行后处理以减少活塞环的塑性蠕变性, 增加产品应用的综合性能和尺寸稳定性。

3. 性能

目前使用的活塞环材料大多是填充聚四氟乙烯 (填充 PTFE), 它具有优良的耐蚀性、一定的耐温性、自润滑性。随着使用压缩机产业对其产品纯度、压力、效率要求的

提高,用户对压缩机的活塞环性能要求也相应提高,尤其在无油、高温、高压差、高磨损的使用工况下,因其本身强度低,易冷流,出现磨损快、寿命缩短,总之以填充 PTFE 为基材的活塞环满足不了使用要求。近年来国外微油、无油的往复式压缩机所应用的活塞环开始采用 PEEK、PI 新材料。它们具有很高的机械强度,较好的耐高温性,较低的摩擦因数,较小的线胀系数。我们借鉴国外压缩机所采用无油润滑活塞环的应用实例,结合用户现实需要,确定选择 PEEK、PI 两种材料为基料进行研制。现将已研制的自润滑材料与填充聚四氟乙烯作比较(表 10-24)。

表 10-24 复合自润滑材料综合性能

性 能	PEEK/TL	PI/TL	填充 PTFE
密度/(g/cm ³)	1.45 ~ 1.50	1.45 ~ 1.55	2.10 ~ 2.30
拉伸强度/MPa	100 ~ 180	100 ~ 150	9 ~ 27
弯曲强度/MPa	150 ~ 300	100 ~ 200	11 ~ 14
压缩强度/MPa	150 ~ 250	100 ~ 180	9 ~ 12
摩擦因数	0.13 ~ 0.26	0.18 ~ 0.28	0.11 ~ 0.16
线胀系数/($\times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)	20 ~ 50	25 ~ 50	70 ~ 125
适用工况	温度 200℃ 以下压差 <20MPa	温度 200℃ 以下压差 <20MPa	温度 160℃

(1) 耐温性 高温、高压压缩机要求活塞环在工作时具备长期的稳定性,选材时要考虑材料的耐温,热膨胀和机械强度。特别在高温、高压工况环境下,活塞环所用材料热胀系数是重要的性能指标之一,活塞环具备高温下长期工作的稳定性,才能不发生冷流、在槽内卡死、甚至抱缸。在设计活塞环材料配方时,材料热胀系数要根据工况需要确定合理的数值。一般高分子材料热变形温度较低(100 ~ 150℃),PEEK 树脂本身的热变形温度只有 160℃。经改性的 PEEK/TL、PI/TL 活塞环能长期在 200℃ 以下作动密封。

(2) 摩擦性能 产品在往复压缩机汽缸中的密封是接触式环密封。压缩机运行时,活塞环随活塞在汽缸内作往复运动,此时活塞环既是密封件又是摩擦件。在选材时要选摩擦因数小,耐磨性要高,力学强度较好的材料作为基料,在众多特种工程塑料中 PEEK 和 PI 具备高温、高压工况下的基本力学性能,但摩擦因数和 PTFE 树脂相比要高,活塞环作为耐磨部件,需要具有较小的摩擦因数,降低 PEEK 和 PI 的摩擦因数是解决高温、高压状态下活塞环稳定工作的又一关键。在材料改性方面将摩擦因数降到 0.15 ~ 0.26,最后 PEEK 和 PI 的摩擦性能达到高温、高压压缩机的工作要求,在同种工况下耐磨性是填充 PTFE 活塞环的几倍(使用寿命来体现)。

(3) 机械强度 高温、高压工况下往复式压缩机所采用的活塞环应具有较高的力学强度,以应对抗压、抗弯、抗剪切、抗撞击,这样才能保证压缩机长时间连续稳定地工作。在高压无油润滑的压缩机中使用时,氟系列活塞环由于力学强度不高,容易出现冷流变形而产生漏气等问题。在高压有油工况下金属的活塞环因力学强度高,具有一定的应用优势,但有压缩气体中含油和缸径磨损加快的问题。在无油润滑的工况下,金

属活塞环则不可使用。随着工业产业的发展,在很多领域中要求产品的纯度及合成率,如制药、食品、纺织、化工、化肥、环保等产业,对气体中含有润滑油很敏感,不希望润滑油混到产品中。因此无油往复式压缩机的密封技术成为焦点。用 PEEK 和 PI 改性材料生产的活塞环克服了传统的活塞环的缺点,既具有较高的力学强度又拥有较低的摩擦因数,能够满足无油往复式压缩机的密封使用需求。

(4) 工作介质 产品设计时还要考虑高温、高压下耐介质性。PEEK 和 PI 两种材料具有较好的高温环境下耐化学介质稳定性,在设计配方时还要关注所添加改性剂的耐化学介质性,综合考虑后设计生产的活塞环可适用空气、天然气、二氧化碳、氢气、氮气、氮气、乙烯等更多种压缩机。

(5) 机械加工性能 活塞环在压缩机中是起密封作用,产品本身的几何尺寸要求较高,只有通过二次精加工才能达到设计要求。设计的产品首先要具备良好的机械加工性,其次要有合理的机加工工艺保证,这样才会使产品达到最终的使用要求。为提高产品的加工精度,实现批量生产产品的稳定性,在设计上采取:

1) 数控。

2) 特殊结构一对一设计特殊工夹具。

3) 在生产检测上要制作特定检具,以便模拟产品在汽缸中的工作动态;使产品达到设计技术要求。

(6) 高温、高压活塞环适用范围 高温、高压活塞环解决了氟系活塞环、金属活塞环在无油压缩机应用中存在问题。适用于对密封性能要求较高的无油、微油往复式压缩机。PEEK/TL、PI/TL 为基料改性的活塞环可用于温度在 200℃ 以下,压差在 20MPa 以下的大多数压缩介质,但不能用于氧气、氯化类介质。

4. 效果

以 PEEK/TL、PI/TL 两种材料研发的活塞环,充分利用了 PEEK 和 PI 的优异性能,通过添加一定量的辅助材料使产品实现了高强度,高耐热,低摩擦性的最佳组合,提高了 PEEK、PI 树脂的性能,特别是在高压、高速及高温工况下,更显示出其密封的可靠性、安全性。活塞环使用寿命视工况不同,比 PTFE 的使用寿命增加几倍。不同结构多种规格的活塞环能够提高无油密封的效果,使高性价比的产品应用成为现实。该产品的批量生产,解决了高温、高压工况下往复式压缩机的密封问题,拓展了 PEEK 和 PI 材料的应用市场。由于产品精密度较高,互换性(多瓣结构)较好,为无油、微油压缩机提供了成功的密封解决方案。产品的应用使压缩机的维修费用大幅降低,提高了后序产品生产效率,降低了生产成本。高温、高压活塞环完全能够满足先进往复压缩机的设计要求。

第十一章 聚酰亚胺、聚芳酯与液晶聚合物

第一节 聚酰亚胺（PI）

一、简介

（一）品种

主链上含有酰亚胺基团（ $\text{—}\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C—N—}\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C—}$ ）的聚合物均称为聚酰亚胺（PI）。聚酰亚胺主要分为芳香族和脂肪族两大类。由于脂肪族聚酰亚胺无实用价值在此不作介绍。芳香族聚酰亚胺因分子结构不同，有热固性、热塑性和改性聚酰亚胺三类产品。而作为工程塑料应用大致可分为以下几类：

第一类为热固性聚酰亚胺，主要包括以美国杜邦公司 Vespel PI 和我国中科院长春应用化学研究所研制的均苯型 PI 和联苯型 PI，以及为降冰片烯、炔基或苯炔基封端预聚物等 PI 为代表的 PI 树脂。这类 PI 聚合物在高温下没有明显的软化现象，一般不能通过常规塑料熔融成型加工法加工。

第二类为热塑性聚酰亚胺，以我国上海合成树脂研究所和中科院长春应用化学研究所研制的醚酐、单、双醚酐型聚酰亚胺和日本三井东亚公司的 Aurum 为代表。这些均是比较典型的热塑性聚酰亚胺，可进行熔融加工。

第三类为聚酰亚胺改性品种。如聚醚酰亚胺、聚酰胺酰亚胺、聚酯酰亚胺等，它们是近年来研究较多、发展较快的产品。第三类为热固性聚酰亚胺树脂，以双马来酰亚胺（BMI）为代表，由于其脆性太大不能单独作工程塑料使用，但可以用二胺进行改性或者用热塑性树脂改性制成半互穿网络聚合物使用。目前大量的研究工作均放在对此类聚酰亚胺树脂的改性上。

（二）聚酰亚胺的性能

聚酰亚胺不仅耐热性好，还具有优良的综合性能。其耐热和耐辐照性能是目前工业化生产高分子材料中最好的。高温下具有突出的介电性能、力学性能、耐辐照性能、阻燃性能和耐磨性能，制品尺寸稳定性好，耐有机溶剂，并且低温性能优良。均苯型聚酰亚胺等品种可在 $-240 \sim 260^{\circ}\text{C}$ 下长期使用，短期可在 400°C 使用。但还存在成本较高、成型加工较困难和对碱较为敏感等缺点。

（三）应用

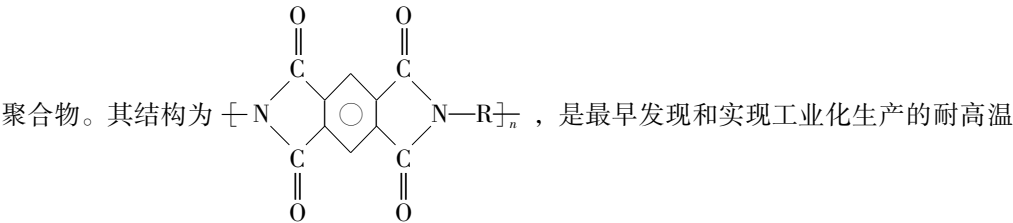
聚酰亚胺可用于制造纤维增强塑料、层压塑料、模塑料、泡沫塑料、薄膜和注射、挤出塑料制品，以及漆、涂料、粘结剂、纤维等。广泛应用于宇航、航空、兵器、电子、电器及其他精密机械等方面。

二、实用性聚酰亚胺

(一) 均苯型聚酰亚胺

1. 性能

均苯型聚酰亚胺（PI）是由均苯四甲酸二酐（PMDA）与各种芳香二胺缩聚而成的



聚合物。

均苯型聚酰亚胺是不熔性聚酰亚胺的一种，综合性能优良。外观多为深褐色固体。在 $-269 \sim 400^{\circ}\text{C}$ 范围内保持较高的力学性能。可在 $-240 \sim 260^{\circ}\text{C}$ 的空气中或 315°C 的氮气中长期使用。在空气中， 300°C 下可使用一个月， 460°C 下可使用 1d。耐辐照性能突出，经 α -射线 $2.58 \times 10^5 \text{Ci/kg}$ 照射后，仍保持较高的力学和介电性能。在高温和高真空下具有良好的自润滑性、低摩擦性及难挥发性。电绝缘性能好，耐老化，耐火焰，难燃，低温硬度和尺寸稳定性好，耐大多数溶剂、油脂等，并耐臭氧，耐细菌的侵蚀等。

均苯型聚酰亚胺的缺点是，冲击强度对缺口敏感性强，易受强碱及浓无机酸的侵蚀，并且不宜长期浸于水中。

另外，由于均苯型 PI 玻璃化温度（ T_g ）为 385°C ，理论计算其熔点高达 592°C ，实际上在其熔融之前已发生分解，故而，不能采用熔融加工方法制备，只能采用特殊的加工方法方可制成有实用价值的产品，加工成本高且难度大，而且树脂成本也很高。

以杜邦公司的 Vespel 塑料为例，其性能见表 11-1。

表 11-1 Vespel 塑料的性能

性 能		SP-1	SP-21	SP-22	SP-211	SP-3
拉伸强度/MPa	23℃	86.2	65.5	51.7	44.8	58.5
	260℃	41.4	37.9	23.4	24.1	
断裂伸长率(%)	23℃	7.5	4.5	3.0	3.5	4.0
	260℃	7.0	3.0	2.0	3.0	
弯曲强度/MPa	23℃	110.3	110.3	89.6	68.9	75.8
	260℃	62.1	62.0	44.8	34.5	39.9
弯曲弹性模量/GPa	23℃	3.1	3.8	4.8	3.1	3.3
	260℃	1.7	2.6	2.8	1.4	1.9
压缩应力/MPa	1% 应变	24.8	29.0	31.7	20.7	34.5
	10% 应变	133.1	133.1	112.4	102.0	127.6
抗压弹性模量/GPa	23℃	2.4	2.9	3.3	2.1	2.4
Izod 冲击强度/(J/m)	缺口	42.7	42.7	—	—	21.3
	无缺口	747	320	—	—	112

(续)

性 能	SP-1	SP-21	SP-22	SP-211	SP-3
泊松比	0.41	0.41	—	—	—
摩擦因数/(m/s) PV=0.875MPa PV=3.5MPa	0.29	0.24 0.12	0.30 0.09	0.12 0.08	0.25 0.17
线性热胀系数/($\times 10^{-5} \text{K}^{-1}$) 23~300℃ -62~23℃	54 45	49 34	38 —	54 —	52 —
热变形温度(1.86MPa)/℃	360	360	—	—	—
相对介电常数(10^4Hz)	3.64	13.28	—	—	—
介电损耗因数(10^4Hz)	0.0036	0.0067	—	—	—
介电强度(2mm厚)/(kV/mm)	22.0	9.8	—	—	—
体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$	$10^{14} \sim 10^{16}$	$10^{12} \sim 10^{13}$	—	—	—
表面电阻率/ Ω	$10^{15} \sim 10^{16}$	—	—	—	—
吸水率(%) (24h)	0.24	0.19	0.14	0.21	0.23
密度/(g/cm^3)	1.43	1.51	1.65	1.55	1.60
洛氏硬度 E	45~48	32~44	15~40	5~25	40~55
氧指数(%)	53	49	—	—	—

注：SP-1 纯树脂；SP-21 15% 石墨；SP-22 40% 石墨；SP-211 15% 石墨 + 10% 聚四氟乙烯；SP-3 15% 二硫化钼（百分数均为质量分数）。

均苯型聚酰亚胺薄膜的性能见表 11-2。

表 11-2 均苯型聚酰亚胺薄膜的性能

项 目	天津市绝缘材料厂 (6050)	上海赛璐珞 厂(三鹿牌)	项 目	天津市绝缘材料厂 (6050)	上海赛璐珞 厂(三鹿牌)
相对密度	≥ 1.40		介电损耗因数		
拉伸强度/MPa 纵向 横向	≥ 100 ≥ 100	≥ 100	50Hz 1MHz	$\leq 1 \times 10^{-2}$	$10^{-2} \sim 10^{-3}$
断裂伸长率(%) 纵向 横向	≥ 25 ≥ 20	≥ 20	介电强度/(kV/mm) 20±5℃	≥ 100 (平均), 60(最低)	90~150
表面电阻率/ Ω	$\geq 1 \times 10^{14}$	$\geq 10^{13} \sim 10^{15}$	200±5℃	≥ 80 (平均), 48(最低)	
体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$ (20±5)℃ (200±5)℃	$\geq 1 \times 10^{15}$ $\geq 1 \times 10^{12}$	$\geq 10^{14} \sim 10^{16}$	外观	薄膜表面应平整,不应有气泡、针孔和导电杂质,边缘整齐无破损	
相对介电常数 50Hz 1MHz	≤ 4	2~4			

2. 用途

均苯型聚酰亚胺可制备薄膜、漆布、模压塑料、层压板、增强塑料、泡沫塑料、纤

维等。薄膜可用于电动机、电器的耐热绝缘衬里，电缆、半导体的封装材料，高温电容器介质，柔性印刷电路等。塑料可制作耐高温、高真空的自润滑轴承，压缩机活塞环、密封圈，垫圈，鼓风机叶轮，电气设备零件以及耐低温零部件和耐辐射制品等。

(二) NA 基封端聚酰亚胺 (PI)

1. 性能

NA 基封端聚酰亚胺 P13N 具有加工时不产生挥发性物质、预浸渍工艺简单和预浸渍物稳定的特点。模压制品热稳定性好，长期使用温度为 260 ~ 288℃，而且力学性能良好，其层压板孔隙率低 (<2%)，并可采用一般层压工艺。

P13N 的缺点是由于该树脂溶剂有毒，造成制品有毒、吸水性强，且成本高。

PMR-15、YB-10 和 PMR-15 II 型成本低、毒性低。PMR-15 的平均相对分子质量为 1500；长期耐热温度为 288 ~ 300℃。PMR-15 II 型耐热性高于 PMR-15，短期耐热温度可达 316℃。它的层压制品层间剪切强度高。

表 11-3 为 PMR-15 及 PMR-15 II 型配方。

表 11-3 PMR-15 及 PMR-15 II 型配方 (摩尔比)

材 料	PMR-15	PMR-15 II 型
5-降冰片烯-2,3-二羧酸单甲酯 (NE)	2	2
二苯甲酮四羧酸二乙酯 (BTDE)	2.087	
4,4'-二氨基二苯甲烷 (MDA)	3.087	
2,2'-双(3',4'-二羧酸单甲酯苯)六氟丙烷 (6FDE)		1.67
对苯二胺 (PPDA)		2.67

LARC-160 树脂浸渍性好，加工流动性好，可在中等温度和低压下成型。可制作形状复杂的结构件，并可在 260 ~ 288℃ 长期使用。

NA 基封端聚酰亚胺层压板性能见表 11-4 与表 11-5。

表 11-4 NA 基封端聚酰亚胺 YB-10 层压板性能

性 能	上海合成树脂研究所产品	性 能	上海合成树脂研究所产品
外观	深红棕色,无气泡,不分层平板	表面电阻率/ Ω	10^{14}
相对密度(20℃)	1.80 ~ 1.87	体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$	10^{14}
弯曲强度/MPa		介电强度/(kV/mm)	≥ 25
室温	≥ 500	相对介电常数(1MHz)	3.5 ~ 4.5
250℃	≥ 400	介电损耗因数(1MHz)	9×10^{-3}

表 11-5 NA 基封端聚酰亚胺层压板性能

性 能	P13N 37% (体积) 碳纤维增强层压板	PMR-15 碳纤维增强层压板	LARC-160 碳纤维增强层压板
弯曲强度/MPa			
室温	1560	1460	2160
260℃		1870	1540
260℃,500h		128	71

(续)

性 能	P13N 37% (体积) 碳纤维增强层压板	PMR-15 碳纤维增强层压板	LARC-160 碳纤维增强层压板
280℃	1210	1260	1460
280℃ ,500h		87	68
316℃		980	
316℃ ,500h		67	
层间剪切强度/MPa			
室温	70.7	113	97
260℃		55	55
260℃ ,500h		48	56
280℃		48	52
280℃ ,500h		43	49
316℃		18	
316℃ ,500h		16	

2. 加工特性

NA 基封端聚酰亚胺可采用一般成型方法加工，在 288℃ 时发生交联，固化温度 316℃，固化时间 1 ~ 2h，固化压力 1.4MPa。

3. 用途

NA 基封端聚酰亚胺主要用于制作复合材料，如制作层压板、结构部件及耐高温绝缘制品；用于飞机及电器等方面，如喷气发动机引擎零件、电路板、电机槽楔，定、转子绝缘侧板等，也可用作粘合剂。

(三) 乙炔基封端聚酰亚胺 (PI)

1. 性能

乙炔基封端聚酰亚胺具有优异的耐热性，长期使用温度为 300 ~ 350℃，树脂和粘合剂在空气中 371℃ 下，稳定期为 25 ~ 50h。在固化成型过程中没有挥发物产生，制品孔隙率低，力学性能和耐热氧化性优良，耐磨性能好。主要缺点是加工性差，成本高。

乙炔基封端聚酰亚胺 HR-600 的性能见表 11-6，其层压板及塑料性能见表 11-7 ~ 表 11-9。

表 11-6 乙炔基封端聚酰亚胺 HR-600 的性能

性 能	数 据	性 能	数 据
拉伸强度/MPa	97	压缩强度/MPa	214
拉伸弹性模量/GPa	3.79	巴氏硬度	45
断裂伸长率(%)	2.0	相对介电常数(1MHz)	3.13 ~ 3.14
弯曲强度/MPa	124 ~ 145	介电损耗因数	4.8×10^{-3} ~ 6.8×10^{-3}
弯曲弹性模量/GPa	4.48 ~ 4.55		

表 11-7 HR-600 /玻璃纤维层压板性能

在空气中老化 温度和时间	弯曲强度/MPa		弯曲弹性模量/GPa		硬度(巴氏)	热失重(%)
	20℃	316℃	20℃	316℃		
原样品	641 ~ 827	193 ~ 503	36.5	24.8	75	
316℃ ,186h	538 ~ 655	503 ~ 614	30.3	29.0	75	1.6
316℃ ,336h	421 ~ 490	372 ~ 421	30.3	29.0	75	2.8

表 11-8 单向石墨纤维增强的 HR-600 层压板性能

测试温度	赫克里斯 A-S 石墨纤维			HTS 石墨纤维	
	弯曲强度/GPa	弯曲弹性模量/GPa	短臂剪切强度/MPa	弯曲强度/MPa	弯曲弹性模量/GPa
20℃	1.21	110 ~ 117	117	834	110
125℃	1.03	103	124		
260℃			82.7		
316℃	1.56	110		1190	103

表 11-9 石墨短纤维增强 HR-600 模塑料老化后的性能

测试温度 /℃	老 化 条 件		弯 曲 强 度		弯曲弹性模量	
	时间/h	温度/℃	/MPa	保持率(%)	/GPa	保持率(%)
20	500	260	400	100	31.0	100
20	1000	260	367	92	31.0	100

2. 加工特性

乙炔基封端聚酰亚胺可采用注射、挤出、吹塑及发泡成型，也可机械加工。

加工前应将乙炔基封端聚酰亚胺充分干燥，使水分含量降至 0.05% 以下。

注射成型工艺条件为：机筒温度 330 ~ 430℃，模具温度 50 ~ 120℃，注射压力 50 ~ 100MPa。

3. 用途

乙炔基封端聚酰亚胺可用于制作耐热、高强度机械零部件，如汽车的散热器元件、化油器外罩和阀盖、仪表罩等；机械工业中的轴承保持架、轴承、搅拌器轴；电绝缘制品，如电子电气中的高压断路器支架、线路板、接插件、开关底座及电线包覆等；兵器工业中的火箭弹引信风帽、闭气环、防弹衣等；食品加工机械和医疗器械零部件等；也可制成薄板、薄膜、纤维等。

（四）聚酰胺-酰亚胺

1. 性能

聚酰胺-酰亚胺与均苯型聚酰亚胺相比较，除长期使用温度为 220℃，较之略低外，其柔韧性、耐磨性、耐碱性、加工性及粘接性均相当或优于均苯型聚酰亚胺，而且成本

较低。

玻璃纤维增强聚酰胺-酰亚胺，耐热温度较前显著提高；环氧改性聚酰胺-酰亚胺改善了加工性能，成型温度可降低 80℃ 左右，且在高、低温下有较好的粘结性能，但热失重较前稍差。

聚酰胺-酰亚胺薄膜的性能见表 11-10 层压板性能见表 11-11，塑料性能见表 11-12 ~ 表 11-13。

表 11-10 聚酰胺-酰亚胺及改性、复合薄膜性能

性 能	聚酰胺-酰亚胺薄膜	环氧改性聚酰胺-酰亚胺薄膜	环氧改性聚酰胺-酰亚胺与聚酯复合薄膜
厚度/mm	0.05	0.04	0.085 ~ 0.090
相对密度	1.38	1.34	1.36
吸水性(%)	3.81		
拉伸强度/MPa	100 ~ 128	100 ~ 120	129 ~ 143
断裂伸长率(%)	10 ~ 47	10 ~ 12	17 ~ 75
玻璃化温度/℃	280 ~ 310		
脆化温度/℃	-196		
分解温度/℃	410 ~ 450		
零点强度温度/℃			254
体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$			
室温	$1 \times 10^{17} \sim 2 \times 10^{17}$	$3.8 \times 10^{15} \sim 7.5 \times 10^{15}$	$10^{16} \sim 10^{17}$
180℃	4×10^{12}	2.4×10^{14}	
155℃			$10^{15} \sim 10^{16}$
相对介电常数(1MHz)	3 ~ 4		
介电损耗因数			
工频	1.8×10^{-2}		
高频	$5 \times 10^{-3} \sim 9 \times 10^{-3}$		
介电强度/(kV/mm)	50 ~ 175	90 ~ 99	73 ~ 133

表 11-11 聚酰胺-酰亚胺层压板性能

性 能	PAI-T	AI-10	CI195
树脂含量(质量分数,%)	32	28 ~ 32	
相对密度	1.88		
吸水性(%)	0.11 ~ 0.14	0.5	
拉伸强度/MPa	340	400	
弯曲强度/MPa			
老化前	280 ~ 380	450 ~ 530	535
老化后	390 (280℃/316h)	330 (360℃/1000h)	260 ~ 435 (300℃/250h)
弯曲弹性模量/GPa		22 ~ 24	
冲击强度/(kJ/m ²)	210 ~ 330		
布氏硬度/MPa	5.8	6.0	
马丁耐热/℃	272		
燃烧性	不燃	不燃	不燃

(续)

性 能	PAI-T	AI-10	CI95
体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$			
常态	2.54×10^{16}		
受潮	2.64×10^{14}		
180 ~ 220℃	2.23×10^{13}		
表面电阻率/ Ω			
常态	1.95×10^{16}		
受潮	1.22×10^{14}		
180 ~ 220℃	9.2×10^{13}		
相对介电常数(1MHz)			
受潮	7.08		
介电损耗因数(1MHz)			
受潮	0.192		
介电强度/(kV/mm)			
常态	> 15		
受潮	> 15		
180 ~ 200℃	> 15		

表 11-12 聚酰胺-酰亚胺模塑料性能

性 能	数 值	性 能	数 值
相对密度	1.41	洛氏硬度	104E
拉伸强度/MPa		热变形温度/℃	
23℃	92	1.82MPa	296
260℃	61	相对介电常数(0.1MHz)	3.7
弯曲强度/MPa		介电损耗因数(0.1MHz)	1×10^{-3}
23℃	161	体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$	7×10^{14}
260℃	98	表面电阻率/ Ω	> 10^{13}
压缩强度/MPa	240	介电强度/(kV/mm)	17.2
吸水性(%)	0.28		

表 11-13 环氧改性聚酰胺-酰亚胺塑料性能

性 能	数 值	性 能	数 值
外观	棕黄色透明	表面电阻率/ Ω	
相对密度	约 1.34	常态	4.8×10^{15}
拉伸强度/MPa	100 ~ 120	受潮	4.8×10^{14}
断裂伸长率(%)	10 ~ 12	介电强度/(kV/mm)	
吸水性(%)	≤ 1.3	常态	96 ~ 109
体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$		受潮	95 ~ 99
常态	$2.5 \times 10^{15} \sim$ 3.8×10^{15}	高温	100
受潮	5.3×10^{14}	耐沸水	
高温	2.4×10^{16}	100℃, 24h	不变
		耐油性	
		变压器, 150℃, 24h	不变
		耐溶剂(酸、碱、苯、醇)	良好

Torlon 可以注射成型，其性能见表 11-14。

表 11-14 Torlon 的性能

性 能	4203L ^①	4347 ^②	5030 ^③	7130 ^④
密度/(g/cm ³)	1.42	1.50	1.61	1.50
拉伸强度/MPa				
- 160℃	221.8	—	207.7	160.6
23℃	195.8	125.3	209.2	207.0
175℃	119.0	106.3	162.1	160.6
238℃	66.9	54.9	114.8	110.6
伸长率(%)				
- 160℃	6	—	4	3
23℃	15	9	7	6
175℃	21	21	15	14
238℃	22	15	12	11
拉伸弹性模量(23℃)/GPa	4.93	6.13	11.0	22.68
弯曲强度/MPa				
- 160℃	288.7	—	383.0	316.9
23℃	245.7	190.1	340.1	357.0
175℃	174.6	144.4	252.8	264.8
238℃	120.4	100.7	184.5	177.5
弯曲弹性模量/GPa				
- 160℃	8.03	—	14.37	25.14
23℃	5.14	6.41	11.97	20.28
175℃	3.94	4.51	10.92	19.15
238℃	3.66	4.37	10.07	16.06
悬臂梁冲击强度/(J/cm)				
缺口	1.43	0.69	0.80	0.48
无缺口	10.6		5.04	3.39
泊松比				0.39
热变形温度(1.86MPa)/℃	278	278	392	392
线胀系数/(×10 ⁻⁶ K ⁻¹)	30.6	27.0	16.2	9
热导率/(W/m·K)	0.26		0.36	0.52
氧指数(%)	45	46	51	52
相对介电常数	10 ³ Hz	4.2	6.8	4.4
	10 ⁶ Hz	3.9	6.0	4.2
介电损耗因数	10 ³ Hz	0.026	0.037	0.022
	10 ⁶ Hz	0.031	0.071	0.050
介电强度/(kV/mm)	22.8		33.1	
吸水率(%)	0.33	0.17	0.24	0.26

① 3% TiO₂ + 0.5% 氟聚合物。

② 12% 石墨 + 8% 氟聚合物。

③ 30% 玻璃纤维 + 1% 氟聚合物。

④ 30% 石墨纤维 + 1% 氟聚合物。

2. 用途

聚酰胺-酰亚胺已制得层压板、薄膜、模塑料、浇注料、玻璃纤维增强塑料、漆、

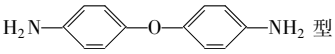
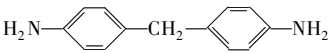
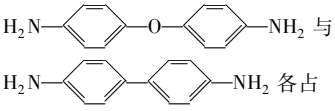
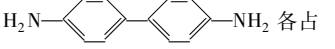
涂料和粘合剂等；漆主要用于要求耐辐射、耐高温的漆包线。塑料用于耐热 F、H 级电绝缘制品，飞行器的耐烧蚀器件、军用发动机部件及机械轴承、齿轮等。薄膜用于耐高温绝缘材料方面。

（五）聚酯-酰亚胺

1. 性能

聚酯-酰亚胺综合了芳香聚酯优良的电绝缘性能、力学性能和聚酰亚胺的耐高温等特性，在 230 ~ 240℃ 可使用 20000h，耐化学药品性能良好，加工性优于均苯型聚酰亚胺，成本低。其力学性能见表 11-15。

表 11-15 聚酯-酰亚胺塑料力学性能

不同种类二元胺的聚酯-酰亚胺	拉伸强度/MPa		拉伸弹性模量/GPa		断裂伸长率(%)	
	23℃	200℃	23℃	200℃	23℃	200℃
 型	103	43.4	3.03	1.33	14	23
 型	100	42.7	3.75	1.32	6	2
 与  各占 50% (摩尔分数) 型	157	68.3	5.45	2.44	6	11

聚酯-酰亚胺薄膜为坚韧的淡黄色透明薄膜，使用温度高达 230℃，在此温度下物理力学性能优良，虽高温氧化稳定性不如均苯型聚酰亚胺，但此聚酯薄膜性能好，其性能见表 11-16。

表 11-16 聚酯-酰亚胺薄膜性能

项 目	国产薄膜 (厚 0.025mm)	美国通用电气公司薄膜
拉伸强度/MPa	100 ~ 110	105
断裂伸长率(%)	14.7	14
燃烧性	自熄	自熄
长期耐热性		240℃, 1000h
表面电阻率/Ω	1.98×10^{16}	
相对介电常数(1MHz)	2.71	3.1
介电损耗因数(1MHz)	6.86×10^{-3}	
(1kHz)		6×10^{-3}
介电强度/(kV/mm)	154	

2. 用途

聚酯-酰亚胺主要用于 F、H 级电绝缘漆、耐热绝缘薄膜、电缆包皮、半导体封装及制作纤维等。

（六）聚胺-酰亚胺

1. 简介

聚胺-酰亚胺由法国罗纳普朗克首先研制成功，已经工业化生产，称为 M 型聚酰亚胺。

2. 聚胺-酰亚胺塑料的制备方法

(1) 原材料及配方 见表 11-17。

表 11-17 聚胺-酰亚胺预聚物原材料及配方

用 途	配方/mol			
	N,N'-(4,4'-二苯醚) 双马来酰亚胺	N,N'-(4,4'-二苯甲烷) 双马来酰亚胺	4,4'-二氨基 二苯醚	4,4'-二氨基 二苯甲烷
玻璃布层压板	3.7		1	
玻璃纤维模塑料	2.5	2.5	1	
塑料粉	1.5 ~ 3		1	

玻璃布层压板预聚物溶液制备是在反应釜中加入二甲基乙酰胺（溶剂），升温至 60℃ 搅拌，加入 4, 4'-二氨基二苯醚或 4, 4'-二氨基二苯甲烷，升温至 90 ~ 95℃，在 15 ~ 20min 内将 N, N'-(4, 4'-二苯醚) 双马来酰亚胺或 N, N'-(4, 4'-二苯甲烷) 双马来酰亚胺全部加入，升温至 100℃ 左右搅拌下反应 30min，冷却至 30℃ 以下放料，制得聚胺-酰亚胺预聚物溶液。

玻璃纤维增强模塑料预聚物溶液的制备方法基本同上，不同处是合成反应温度为 100 ~ 110℃，保温反应时间为 1h。

(2) 玻璃布层压板 玻璃布浸渍聚胺-酰亚胺预聚物溶液，控制含胶量（质量分数）为 38% ± 3%；干燥温度为 50 ~ 130℃；层压工艺为：温度 230℃，压力 7MPa，保温保压时间 8min/mm 厚；层压板后处理条件为 125℃/1h、160℃/4h、200℃/8h 热处理。

(3) 玻璃纤维增强模塑料 玻璃纤维浸渍聚胺-酰亚胺预聚物溶液，控制树脂含胶量为 36% ~ 42%；烘干温度为 90 ~ 160℃。模压大型制件时，需在 (160 ± 5)℃ 预热 5min；模压温度 220 ~ 250℃，压力 10 ~ 45MPa；保温时间 3 ~ 3.5min/mm 厚。并经 200℃/(6 ~ 8)h 热处理。

(4) 粉状压塑料 粉状压塑料是由粉碎后的双马来酰亚胺和二元胺混合均匀，于 180℃ 下预聚 22 ~ 45min，经粉碎、过筛而制得的。

(5) 模压工艺 加料温度 (180 ± 5)℃；模压温度 (240 ± 5)℃；模压压力 20MPa；保温时间 1min/mm；后热处理 200 ~ 220℃/24h。

3. 性能

聚胺-酰亚胺是一类主链中含有仲胺基与酰亚胺基的改性聚酰亚胺，与均苯型聚酰亚胺相比，除耐热性略低（但仍能在 180 ~ 200℃ 长期使用）外，其他性能接近或超过均苯型聚酰亚胺，且成本低，加工性好，可采用普通热固性塑料加工工艺成型。

聚胺-酰亚胺预聚物溶液的性能指标见表 11-18。

聚胺-酰亚胺塑料性能指标标见表 11-19 ~ 表 11-21。

4. 用途

聚胺-酰亚胺塑料可制作电绝缘板、绝缘管、变压器线圈的绝缘层、线圈座，各种齿轮、轴承、垫圈、密封圈等，还用于制作雷达设备、航空电池、汽车零件等。此外，还可制作漆、粘合剂及纤维等。

表 11-18 聚胺-酰亚胺预聚物溶液的性能指标

项 目	层压板用预聚物溶液	玻璃纤维增强模压塑料用预聚物溶液
外观	深褐色均匀液体,无沉淀和机械杂质	深褐色均匀液体,无沉淀和机械杂质
固体含量(质量分数,%)	40 ~ 45	40 ± 2
粘度(涂 4 杯)/s	(15℃下)18 ~ 22	(20℃下)15 ± 3
成型时间(210℃ ± 2℃,2g 料)/min	2 ~ 3.5	1.5 ± 0.2

表 11-19 聚胺-酰亚胺塑料性能指标

项 目	玻璃布层压板	玻璃纤维模压塑料	粉状模压塑料
相对密度	1.8 ~ 2.0	1.77	1.3 ~ 1.34
吸水性(%)	0.1 ~ 0.3	0.186	
流动性(拉西格)/mm			150 ~ 180
马丁耐热/℃	> 300	> 300	222
拉伸强度/MPa	322 ~ 350		
弯曲强度/MPa			
常温	522 ~ 600	813	88 ~ 140
200℃	370		80
250℃	190 ~ 265		50
沸水煮 2h	483		
弯曲弹性模量/GPa	28.5		3.8
压缩强度/MPa	350		
冲击强度/(kJ/m ²)			
无缺口	93 ~ 269	> 400	7.6 ~ 25
缺口	82		
相对介电常数(1MHz)	4.7 ~ 5.8	4.3 ~ 4.9	3.3 ~ 5.81
介电损耗因数(1MHz)	$4 \times 10^{-3} \sim 17 \times 10^{-3}$	12×10^{-3}	$3 \times 10^{-3} \sim 7 \times 10^{-3}$
体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$			
常温	$1.2 \times 10^{14} \sim 1.2 \times 10^{15}$	8.9×10^{14}	$10^{14} \sim 10^{16}$
200℃		1.2×10^{12}	
250℃	3.5×10^{12}		
浸水 24h		3.19×10^{14}	
表面电阻率/ Ω		2.24×10^{12}	
介电强度/(kV/mm)			
常态	25.4	14.7	14.1
250℃	19.9		
180℃		> 12	

表 11-20 聚胺-酰亚胺玻璃纤维增强压塑料（D541）性能指标

项 目	四川东方绝缘材料厂	项 目	四川东方绝缘材料厂
	数 值		数 值
相对密度	1.75 ~ 1.95	表面电阻率/ Ω	
吸水性(%)	≤ 0.5	常态	$\geq 10^{12}$
挥发物含量(质量分数,%)	≤ 3	浸水 24h	$\geq 10^{11}$
马丁耐热/ $^{\circ}\text{C}$	≥ 280	介电损耗因数	
冲击强度/(kJ/m^2)	≥ 350	50Hz 常态	$\leq 5 \times 10^{-2}$
弯曲强度/MPa		1MHz	$\leq 5 \times 10^{-2}$
常态	≥ 700	相对介电常数	
180 $^{\circ}\text{C}$	≥ 300	50Hz	≤ 6
体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$		1MHz	≤ 6
常态	$\geq 10^{13}$	介电强度/(kV/mm)	
浸水 24h	$\geq 10^{12}$	常态	≥ 13
200 $^{\circ}\text{C}$	$\geq 10^{10}$	200 $^{\circ}\text{C}$	≥ 10

表 11-21 法国罗纳普朗克公司聚胺-酰亚胺玻璃纤维增强模塑料（Kinel 5504）性能指标

项 目	数 值	项 目	数 值
玻璃纤维含量(质量分数,%)	60	压缩强度/MPa	
相对密度	1.9	25 $^{\circ}\text{C}$	230
吸水性(%)		250 $^{\circ}\text{C}$	130
室温,24h	0.2	剪切强度/MPa	
100 $^{\circ}\text{C}$,170h	1.5	25 $^{\circ}\text{C}$	220
模塑收缩率(%)	0.2	250 $^{\circ}\text{C}$	155
拉伸强度/MPa		冲击强度(缺口)/(J/m)	
25 $^{\circ}\text{C}$	190	25 $^{\circ}\text{C}$	907
250 $^{\circ}\text{C}$	160	140 $^{\circ}\text{C}$	890
弯曲强度/MPa		热变形温度/ $^{\circ}\text{C}$	350
25 $^{\circ}\text{C}$	350	线胀系数/($\times 10^{-6} \text{K}^{-1}$)	15
250 $^{\circ}\text{C}$	248	燃烧性	不燃,无滴落
200 $^{\circ}\text{C}$,900h 后,250 $^{\circ}\text{C}$	222	相对介电常数	
弯曲弹性模量/GPa		60Hz,23 ~ 220 $^{\circ}\text{C}$	4.6 ~ 4.8
25 $^{\circ}\text{C}$	25	介电损耗因数	
250 $^{\circ}\text{C}$	18	60Hz,23 ~ 220 $^{\circ}\text{C}$	$4 \times 10^{-3} \sim 15 \times 10^{-3}$
洛氏硬度	114	体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$	9.2×10^{15}
		介电强度/(kV/mm)	20

（七）聚苯并咪唑酰亚胺

1. 生产方法

将 3, 3', 4, 4'-二苯醚四甲酸二酐与 4, 4'-二氨基二苯醚及 2, 2'-二（对氨基苯基）-5, 5'-二苯并咪唑溶解在二甲基亚砜中，于室温下进行缩聚反应，然后加热脱水环化而成。

2. 性能

聚苯并咪唑酰亚胺分子结构具有醚酐型聚酰亚胺和聚苯并咪唑的重复链节。其模塑料可在 250 ~ 270℃ 使用，综合性能超过醚酐型聚酰亚胺，尤其是高温力学性能比较稳定。其性能见表 11-22。

表 11-22 聚苯并咪唑酰亚胺模塑料性能

项 目	数 值	项 目	数 值
相对密度	1.37	弯曲强度/MPa	
吸水性(%)	0.08	室温	212
模塑收缩率(%)	0.17 ~ 0.67	200℃	87.3
压缩强度/MPa		250℃	55.1
室温	170	冲击强度/(kJ/m ²)	>60
200℃	86.2	摩擦因数(阿姆斯勒磨损机上,	
250℃	65.3	2.3MPa,3h)	0.29
布氏硬度	1.9	磨损/mm	2.2 ~ 4
玻璃化温度/℃	305	表面电阻率/Ω	
热分解温度/℃	506	室温	8 × 10 ¹⁴
线胀系数/(× 10 ⁻⁵ K ⁻¹)	4.7	250℃,300h	4 × 10 ¹⁵
相对介电常数(1MHz)		弯曲强度/MPa	
室温	3.35	250℃,300h	
250℃,300h	3.20	室温测	220
介电损耗因数(1MHz)		250℃测	59.5
室温	4.12 × 10 ⁻³	压缩强度/MPa	
250℃,300h	2.98 × 10 ⁻³	250°,300h	
体积电阻率/Ω · cm		室温测	167
室温	7.1 × 10 ¹⁵		
250℃,300h	1.7 × 10 ¹⁶		

聚苯并咪唑酰亚胺压缩模塑工艺条件：模具温度 390 ~ 400℃，成型压力 100MPa，模压时间 15min。

3. 用途

聚苯并咪唑酰亚胺可制作模塑料、薄膜、层压板、粘合剂、涂料和密封剂等，以及高温、低温介质下的密封圈、垫圈等零件。

三、PI 牌号、性能与应用（表 11-23 ~ 表 11-33）

表 11-23 江苏徐州造漆厂双醚酐型聚酰亚胺的牌号、性能、特性与应用

牌 号	表观密度 /(g/cm ³)	熔体流动速率 /(g/10min)	特 性	应 用
RY-101	0.31		浅黄色粉末,可模压成型	可用于制造宇航、原子能工业的密封件、电子工业件

(续)

牌 号	表观密度 /(g/cm ³)	熔体流动速率 /(g/10min)	特 性	应 用
RY-102	0.31	5 ~ 10	浅黄色粉末,可注射成型	可用于制造活塞环、密封圈、电子工业件
RY-103	0.82	1 ~ 5	琥珀色,透明粒子,可挤出成型	可用于制备宇航、原子能工业的型材、管、棒

表 11-24 上海合成树脂研究所 PI 及其共聚物的性能与应用

牌 号	拉伸强度 /MPa	冲击强度 /(kJ/m ²)	热变形温度 (1.82MPa) /℃	熔体流动速率 /(g/10min)	特 性	应 用
PEI-P	106 ~ 131	140	200	0.1 ~ 3.0	聚醚酰亚胺,耐高温,高强度,低翘曲,可注射、挤出或吹塑成型	可用于制备汽车热交换器、轴承、电绝缘件和兵器工业中的火箭引芯风帽、防弹衣等
EPEI-P-20G	168	27.8	206.5	1.42	可熔体聚醚酰亚胺,玻璃纤维含量(质量分数)10%,耐高温,可注射或挤出成型	可用于制造耐高温结构部件
YB10	500				NA 基封端型,深红棕色,耐高温,高强度,绝缘性好,可层压成型	可用于制造耐高温、高强度构件
YS12	130		280		单醚酞型,棕色模塑料,低蠕变,高耐磨性,疲劳强度高,抗辐射,透明性好,可模压成型	可用于制造轴承、轴套、叶片
YS12S	120	20	280		单醚酞型,石墨含量(质量分数)15%,黑色模塑料,耐磨、抗疲劳,抗辐射,可模压成型	可用于制造轴承、轴套、阀座、电子件
YS20	180	100			单醚酞型,浅黄色粉末模塑料,可模压或层压成型	可用于制造薄膜、压缩机叶片、活塞环、密封圈、自润滑轴承、轴套

表 11-25 美国杜邦公司 (DuPont Co. , Ltd.) 氟酞型聚醚亚胺的性能与应用

牌 号	拉伸强度 /MPa	冲击强度 /(J/m)	热变形温度 (1.82MPa)/℃	特 性	应 用
NR150A	77 ~ 84	37.3		耐热,耐辐射,机械强度高,可层压成型	可用于制造电子电器、印刷线路板
NR150A2	87 ~ 111	37.3	260	耐高温,抗冲击,机械强度高,可模压成型或真空热压成型	可用于制造宇航、飞机结构件,热烧蚀、屏蔽件
NR150B	97	28.8		拉伸性能比 NR150A 高,而弯曲性能略低,可模压成型或真空热压成型	可用于制造电子电器、印刷线路板
NR150B2	110	41.4	343	拉伸性能比 NR150A 高,而弯曲性能略低,可模压成型或真空热压成型	可用于制造电子电器、印刷线路板

表 11-26 美国明尼苏达矿业制造公司 (又称 3M 公司) PI 及
乙炔基封端聚醚亚胺的特性与应用

牌 号	特 性	说 明
AFR2009	含玻璃纤维,耐高温,耐辐射,机械强度高,可注射或模压成型	可用于制造医疗件、航空件
AL200L	耐高温,耐辐射,耐化学药品,介电性能好,可注射或模压成型	可用于制造汽车、机械件
LARC-13、LARC-160	NA 基封端型,不溶,耐高温,电绝缘性好,可层压或浸渍成型	可用于制造飞机上的结构材料、电子电器上绝缘件
R125AC、RMR-15- II	NA 基封端型,不溶,耐高温,电绝缘性好,可层压或浸渍成型	可用于制造飞机发动机的引擎件、电路板、转子绝缘板

表 11-27 美国孟山都公司 PI 及其共聚物的特性与应用

牌 号	特 性	应 用
7-W	可溶性,耐高温,耐辐射,机械强度高,可注射或模压成型	可用于制造电子和电器件、机械零件
700	(酞酐型) 不熔性,耐高温,耐辐射,高强度,高刚性,可层压成型	可用于制造机械、航空件
702、6234	(酞酐型) 不熔性,耐高温 (长期耐 300℃) ,可层压或烧结成型	可用于制造火箭、超音速飞机、喷气发动机的耐高温结构件

(续)

牌 号	特 性	应 用
704	可溶性,耐高温,耐辐射,机械强度高,可注射或模压成型	可用于制造航空、汽车的电子、电器件
PI3N	不溶性,耐高温,耐磨,机械强度高,可层压成型	可用于制造层压板,用于电子、电器制件
PI05AC	不溶性,耐高温,耐磨,机械强度高,可层压成型	可用于制造层压板、印刷电路板
Y3602	可溶性,耐高温,耐辐射,耐磨,机械强度高,介电性能好和耐化学性好,可注射或模压成型	可用于制造电子、电器件

表 11-28 美国宇航局兰利研究中心 (NASA Langlay Research Coter)

Larc 酮酞型 PI 的特性与应用

牌 号	特 性	应 用
2、3、4	耐高温,耐辐射,机械强度高,可层压成型	可用于制造电子、电器件、机械件
13	耐高温,绝缘性好,可层压成型	可用于制造电子、电器件、电路板、绝缘件
160	耐老化,耐高温,可浸渍或缠绕制模坯后模压	可用于制造层压板,以及电子、电器件
PMR- II	耐高温、耐老化、绝缘性好,可浸渍层压成型	可用于制造耐老化件、印刷电路板
TPI	耐高温,绝缘性好,可层压成型	可用于制造电子、电器件

表 11-29 美国联合碳化物公司 (Union Carbide Co.) PI 的特性与应用

牌 号	特 性	应 用
PI3N	NA 基封端型,不溶性,耐高温,电绝缘性好,高强度,有毒,可模压成型	可用于制造工程结构件、绝缘件
P84	不溶性,耐高温(315℃),蠕变小,自润滑,可模压成型	可用于制造飞机、航天零件
XEI-18Z	可溶性,机械强度高,耐热,可注射或挤出成型	可用于制造汽车、机械零件
Y3602	可溶性,耐高温,耐辐射,耐磨,耐化学性好,机械强度高,可注射或挤出成型	可用于制造汽车、航空、机械零件

表 11-30 美国复合材料公司 PI 的性能与应用

牌 号	拉伸屈服强度 /MPa	热变形温度 (1.82MPa) /℃	密度 /(g/cm ³)	特 性	应 用
PI20GF/000	148	213	1.41	玻璃纤维含量(质量分数)20%,机械强度高,耐高温,可注射成型	可用于制造耐高温结构件

(续)					
牌 号	拉伸屈服强度 /MPa	热变形温度 (1.82MPa) /℃	密度 /(g/cm ³)	特 性	应 用
P130CF/000	235	216	1.39	碳纤维含量(质量分数)30%,机械强度高,耐高温,耐磨,抗静电,可注射成型	可用于制造耐高温、耐磨结构件
P130GF/000	197	216	1.49	玻璃纤维含量(质量分数)30%,机械强度高,耐温性高于P120GF/000,可注射成型	可用于制造高温结构件
P140CF/000	255	216	1.44	碳纤维含量(质量分数)40%,机械强度高,耐高温,耐磨,抗静电,可注射成型	可用于制造耐高温、耐磨结构件
P140GF/000	221	216	1.59	玻璃纤维含量(质量分数)40%,机械强度高,刚性高,耐高温,可注射成型	可用于制造耐高温结构件

表 11-31 美国通用电气塑料公司 Ultem PI 及其合金的性能与应用

牌 号	拉伸强度 /MPa	冲击强度 (缺口) /(kJ/m ²)	热变形温度 (1.82MPa) /℃	成型收缩率 (%)	特 性	应 用
1000	107	5.6	210	0.7	耐高温,阻燃,可注射成型	可用于制造阻燃结构件
1010	107	7.4	207	0.7	耐高温,阻燃,高流动性,可注射成型	可用于制造阻燃结构件
2100	117	6.2	210	0.6	玻璃纤维含量(质量分数)10%,机械强度高,耐高温,成型收缩率小,可注射成型	可用于制造较高强度构件
2200	142	9.0	210	0.4	玻璃纤维含量(质量分数)20%,机械强度高,耐高温,刚性高,尺寸稳定性高,阻燃,可注射成型	可用于制造阻燃结构件
2300	173	11.2	212	0.3	玻璃纤维含量(质量分数)30%,刚性高,耐高温,尺寸稳定性高,阻燃,可注射成型	可用于制造阻燃结构件
2400	190	11.8	216	0.15	玻璃纤维含量(质量分数)40%,刚性高,耐高温,尺寸稳定性高,阻燃,可注射成型	可用于制造阻燃结构件

(续)

牌 号	拉伸强度 /MPa	冲击强度 (缺口) /(kJ/m ²)	热变形温度 (1.82MPa) /℃	成型收缩率 (%)	特 性	应 用
4000	98.5	16.8	211	0.25	含润滑剂,润滑性好,耐高温,线胀系数小,可注射成型	可用于制造齿轮、电器件
4001	98.5	5.6	195	0.6	含氟树脂,内部润滑性好,耐高温,可注射成型	可用于制造结构件
6000	106	4.5	221	0.6	耐高温,阻燃,机械强度高,可注射成型	可用于制造阻燃构件
6100	120	5.6	222	0.55	玻璃纤维含量(质量分数)10%,机械强度高,阻燃,抗冲击,可注射成型	可用于制造阻燃结构件
6200	150	9.0	225	0.4	玻璃纤维含量(质量分数)20%,机械强度高,刚性高,阻燃,可注射成型	可用于制造阻燃结构件
6203	99	4.5	216	0.6	矿物质含量(质量分数)20%,阻燃,力学性能较6200差,价廉,可注射成型	可用于制造阻燃零部件

表 11-32 美国阿莫科化学公司 (Amoco Chemical Co.) Torlon PAL 的性能与应用

牌 号	拉伸屈服强度 /MPa	冲击强度 (缺口) /(kJ/m)	热变形温度 (1.82MPa) /℃	线胀系数 /(10 ⁻⁵ K ⁻¹)	特 性	应 用
4203	190	133	274	3.24	不熔性,耐高温,柔韧性好,耐磨,耐碱,可层压成型	可用于制造 F 级、H 级电绝缘体,飞行器耐烧蚀线,军用发动机零件
4301	138	58.7	274	2.88	不熔性,耐高温,柔韧性好,耐磨,耐碱,可层压成型	可用于制造 F 级、H 级电绝缘体,飞行器耐烧蚀线,军用发动机零件
AI-10					不熔性,耐高温,耐辐射,可层压成型	可用于制造 F 级、H 级绝缘制品

表 11-33 日本东丽工业公司 PAI 的性能与应用

牌 号	拉伸屈服强度 /MPa	冲击强度 (缺口) /(kJ/m)	热变形温度 (1.82MPa) /℃	线胀系数 /(×10 ⁻⁵ K ⁻¹)	特 性	应 用
TI-5013	190	130	274	3.8	含氟树脂钛白料,机械强度高,耐高温,阻燃 V-0 级,可模压成型	可用于制造阻燃结构件

(续)

牌 号	拉伸屈服强度 /MPa	冲击强度 (缺口) /(kJ/m)	热变形温度 (1.82MPa) /℃	线胀系数 /($\times 10^{-5} \text{K}^{-1}$)	特 性	应 用
TI-5031	140	60	274	3.0	含石墨、氟树脂 12%，耐高温，阻燃 V-0 级，耐磨，可模压成型	可用于制造阻燃结构件
TI-5032	130	50	274	2.5	含石墨、氟树脂 20%，力学性能比 TI-5031 稍差，可模压成型	可用于制造耐高温零部件
TI-5133	95	31	279	2.2	含石墨(质量分数) 30%，力学性能稍差，阻燃 V-0 级，耐磨性好，可模压成型	可用于制造阻燃、耐磨构件
TI-5134	75	22	279	1.9	含石墨(质量分数) 40%，性能与 TI-5133 相似，可模压成型	可用于制造阻燃、耐磨构件

四、成型工艺与应用

聚酰亚胺的性能、成型工艺与用途见表 11-34。

表 11-34 聚酰亚胺的性能、成型工艺与用途

项目	热固性聚酰亚胺	热塑性聚酰亚胺	聚酰胺-酰亚胺
性能	1. 深褐色不透明固体 2. 力学性能、耐疲劳性好,有良好的自润滑性、耐磨性,摩擦因数小且不受湿度、温度的影响,冲击强度高,但对缺口敏感 3. 耐热性优异,可在 - 269 ~ 300℃ 长期使用,热变形温度高达 343℃ 4. 耐辐射,不冷流,不开裂,电绝缘性优异,阻燃 5. 成型收缩率、线胀系数小,尺寸稳定性好,吸水率低 6. 化学稳定性好,耐臭氧,耐细菌侵蚀,耐溶剂性好,但易受碱、吡啶等侵蚀 7. 成型加工困难	1. 琥珀色固体 2. 耐热性好,可在 - 193 ~ 230℃ 长期使用,玻璃化温度为 270 ~ 280℃ 3. 其他性能与热固性聚酰亚胺相似	1. 力学性能、耐磨性优异,性脆,对缺口敏感,加入石墨、MoS₂、青铜后有自润滑性,耐蠕变性好 2. 耐热、耐寒性是塑料中最佳者,可在 - 250 ~ 300℃ 长期使用 3. 耐辐射性为塑料之冠,可耐 10⁹ 伦琴 4. 电性能优异,介电强度高,介质常数和介电损耗低 5. 高温下透气率很低,难燃,自熄,是富氧、纯氧下工作的理想非金属材料 6. 价格贵,成型困难
成型方法	可模压、流延成膜、浸渍、浇注、涂覆、机加工、粘接、发泡	可注射、挤出、模压、传递模塑、涂覆、发泡、粘接、机加工、焊接	可浸渍、涂覆、模压、层合、发泡、粘接

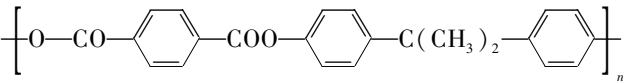
(续)

项目	热固性聚酰亚胺	热塑性聚酰亚胺	聚酰胺-酰亚胺
应用	可制成薄膜、增强塑料、泡沫塑料、耐高温自润滑轴承、压缩机活塞环、密封圈,电器业的电动机、变压器线圈绝缘层和槽衬,与 PTFE 复合膜用作航空电缆、集成电路,可挠性印刷电路板、插座 泡沫制品用作保温防火材料、飞行器防辐射、耐磨的遮蔽材料、高能量的吸收材料和电绝缘材料	作精密耐磨材料、耐辐射材料、耐高温绝缘材料,以及与热固性聚酰亚胺相同的用途 可与 PTFE、炭黑共混制作高压高速压缩机的无油润滑材料,可用玻璃纤维增强	可制成薄膜、漆包线、涂料、纤维、黏合剂、增强塑料、泡沫塑料等,产品用于高温、高真空、强辐射、超低温条件;模制品用作航空器部件、压缩机叶轮、阀座、活塞环、喷气发动机供燃系统零件;薄膜用于电机、电缆、电容器、薄层电路、录音带,泡沫塑料用于航空、宇航防火、隔音、吸收能量、绝缘方面

第二节 聚芳酯 (PAR)

一、PAR 树脂

聚芳酯 (PAR) 又称 U-聚合物,是由对 (间) 苯二甲酰氯与双酚 A 缩聚而成。其结构为:



1. 性能

PAR 结构与 PC 相似,其性能大体一样,但结构的差别也使 PAR 耐热性更好 (T_g 为 193℃),且耐紫外线性、耐蠕变性优异,其基本性能特点为:

- 1) 为无定形、透明的,白色或浅黄色颗粒或粉末。
- 2) 热稳定温度高,其分解温度高达 430℃。
- 3) 耐热、耐焰,具有自熄性,燃烧时发烟量少,无毒。
- 4) 化学稳定性好;耐碱性、芳烃、酮类溶剂较差,不耐浓硫酸,可溶于卤代烃和酚类溶剂等。
- 5) 吸水性小,但耐热性差。

2. 应用

与 PC 相同,可将 PAR 与玻璃纤维混合制备增强塑料,也可将 PAR 与其他热塑性树脂掺混制备高性能热塑性合金等。

3. PAR 的牌号、性能与应用 (表 11-35 ~ 表 11-37)

表 11-35 国产聚芳酯的性能 (晨光化工研究院)

项 目	数 值
外观	白色粉末或浅黄色粒料
相对密度	1.20
拉伸强度/MPa	>65

表 11-36 德国聚芳酯的性能

项 目		测 试 方 法	APE KL 1-9300
冲击强度/(kJ/m ²)	无缺口	DIN 53453	不破裂
	缺口		22
悬臂梁冲击强度(缺口,3.2mm)/(J/m)		ISO—R180	280
极限弯曲强度/MPa		EN 20178	62
弯曲弹性模量/GPa		ENISO 178	2.3
屈服拉伸强度/MPa		EN 20527	70
屈服伸长率(%)		EN 20527	9
断裂拉伸强度/MPa		EN 20527	62
断裂伸长率(%)		EN 20527	56
拉伸弹性模量/GPa		ENISO 178	2.1
球压硬度(H30)		DINISO 2039	110
维卡软化温度/℃			188
热变形温度(1.8MPa)/℃		ISO-75	165
体积电阻率/Ω·cm		VDE0303/3	>10 ¹⁶
表面电阻率/Ω		VDE0303/3	>10 ¹³
介电强度/(kV/mm)		VDE0303/3	>30
相对介电常数	50Hz	VDE0303/4	3.4
	1kHz		3.4
	1MHz		3.2
介电损耗因数	50Hz	VDE0303/4	2.4×10 ⁻³
	1kHz		4×10 ⁻³
	1MHz		17×10 ⁻³
抗电弧径迹性/(kHz/F)		VDE0303-1	225

表 11-37 日本聚芳酯的性能

项 目	测试方法 (ASTM)	U-100	U-1060	U-4015	U-8000
相对密度	D792	1.21	1.21	1.24	1.26
拉伸强度/MPa	D638	72	75	83	73
裂断伸长率(%)	D638	50	62	63	95
弯曲强度/MPa	D790	97	95	115	113
弯曲弹性模量/GPa	D790	1.88	1.88	2.01	1.90
压缩强度/MPa	D695	96	96	98	98
悬臂梁冲击强度(缺口3.175mm)/(kJ/m)	D256	0.30	0.38	0.35	0.32

(续)

项 目	测试方法 (ASTM)	U-100	U-1060	U-4015	U-8000
拉伸蠕变变形速率 (10.5MPa,100℃,24h)(%)	1.7	1.8	1.9		
泰伯磨耗/(mg/1000转)	D1044	6	6		
洛氏硬度	D785	125	125	124	125
热变形温度(1.86MPa)/℃	D648	175	164	132	110
阻燃性	D635	自熄	自熄	自熄	自熄
体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$	D257	2×10^{16}	2×10^{16}	2×10^{16}	2×10^{16}
耐电弧性/s	D495	129	129	120	123
相对介电常数(1MHz)	D150	3	3	3	3
介电损耗因数(60Hz)	D150	1.5×10^{-2}	1.5×10^{-2}	1.5×10^{-2}	1.5×10^{-2}
模塑收缩率(%)	D1239	0.8	0.8	0.8	1.0

二、PAR 合金

PAR 的基本牌号为 U-100，是一种非结晶性聚合物，对材料具有良好的相容性。可与热塑性树脂进行良好的掺混制成高性能合金，改进其某些性能特点。所谓 U-聚合物系列就是在 U-100 的基础上，根据其使用要求而制备成的不同类型的热塑性合金。目前此类合金大体可分为四个品级：P-品级、U-品级、AX-品级和增强品级。其性能见表 11-38 ~ 表 11-42。

表 11-38 PAR 合金基本性能

性 能	ASTM	U-100	P-1001	P-3001	P-5001	U-8000	AX-1500
相对密度	D792	1.21	1.21	1.21	1.21	1.24	1.17
吸水性(%)	D570	0.26	0.26	0.25	0.25	0.15	0.75
透光率(%)	D1003	87	87	88	88	87	Opaque
拉伸强度/MPa	D638	69	69	69	65	71	72
拉伸率(%)		60	65	70	80	105	53
弯曲强度/MPa	D790	84	82	83	86	103	91
弯曲弹性模量/GPa		2.1	2.1	2.1	2.2	2.7	2.3
Izod 冲击强度/(J/m)	D256	225	255	353	451	108	78
载荷挠曲温度(1.8MPa)/℃	D648	175	175	160	150	110	150
洛氏硬度	D785	R125	R123	R122	R120	R125	R104
介电强度/(MV/m)	D149	39	31	30	30	44	25 ^①
体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$	D257	2×10^{14}	2×10^{14}	2×10^{14}	2×10^{14}	2×10^{14}	2×10^{14}
介电常数/(PF/m)	D150	27	27	27	27	27	32 ^①
介电损耗因数		0.015	0.01	0.01	0.01	0.015	0.04 ^①
抗电弧性/s	D495	130	127	125	125	120	84 ^①

① 检测条件为：23℃，相对湿度 50%，平衡。

表 11-39 P 品级聚芳酯与其他透明塑料的光学性质比较

	透光率(%)	雾度(%)	折射指数		透光率(%)	雾度(%)	折射指数
P-1001	85	2.3	1.607	PC	89	1.0	1.590
P-3001	87	1.9	1.602	PMMA	92	<1.0	1.490
P-5001	89	1.9	1.597				

表 11-40 聚芳酯和聚碳酸酯性能比较

项 目	ASTM	U-Polymer (U-100)	APE (KLI-9300)	Durel 400	聚碳酸酯
相对密度	D792	1.21	1.20	1.21	1.20
拉伸强度/MPa	D638	71.5	71	70	62
		70	69.6	69	61
断裂伸长率(%)	D638	55	56	50	110
弯曲强度/MPa	D790	80	63	102	95
		78	62	100	93
弯曲弹性模量/GPa	D790	1900	2300	2300	2300
		1.86	2.26	2.26	2.26
艾佐德冲击强度/(kJ/m ²) (3.2mm, 缺口)/(J/m)	D256	20	28	30	73
		196	274	294	715
热变形温度/℃	D648	175	165	171	135
线胀系数/(×10 ⁻⁵ K ⁻¹)	D696	6.1		6.3	6.6
介电强度/(kV/mm)	D149	39	730	18	15
体积电阻/×10 ¹⁶ Ω·cm	D257	2.0	>1.0	2.0	2.0
相对介电常数(10 ⁶ Hz)	D150	3.0	3.2	2.96	3.0
介电损耗因数(10 ⁶ Hz)	D150	0.015	0.017	0.022	0.010
耐电弧/s	D495	130		124	120
难燃性(1.6mm)	UL—1996	V-0		V-0	V-2
制造商		尤尼奇卡	拜尔	塞拉尼斯	

表 11-41 U-聚合物和其他树脂力学性能及电性能比较

树脂和牌号	悬臂梁冲击强度/(kJ/m ²)				拉伸冲击强度/kg·cm			介电强度/(kV/mm)	
	测试方法 (ASTM)	缺口/mm			测试方法 (ASTM)	20℃	-20℃ 4h	测试方法 (ASTM)	厚度 1.70mm
		12.7	6.35	3.175					
U-聚合物									
U-100	D256	15.5	17.7	30	D1822			D149	30
U-1060		13.4	14.9	38		31	31		34
U-4015		5.1	7.0	35.1		44	32		
U-8000						38	32		
UG-1060									39

(续)

树脂和牌号	悬臂梁冲击强度/(kJ/m ²)				拉伸冲击强度/kg·cm			介电强度/(kV/mm)	
	测试方法 (ASTM)	缺口/mm			测试方法 (ASTM)	20℃	-20℃ 4h	测试方法 (ASTM)	厚度 1.70mm
		12.7	6.35	3.175					
聚碳酸酯		7.10	9.16	72~75					26(厚度 1.93mm)
聚砜		3.4	3.7	5.6					
改性芳香聚醚		10.6	11.9	5.1					
聚甲醛		4.4	4.3	5.1					33(厚度 1.60mm)
玻璃纤维增强 PBT									

表 11-42 AX 系列树脂性能

项 目	AX-1500	AXN-1500	AX1500W	AXN1500W	MPPO 白树脂	PBT 白树脂
相对密度	1.17	1.31	1.57	1.51	1.25	1.6
拉伸强度/MPa	74	81	75	75	—	62
	72.5	79.4	73.6	73.6	—	60.8
断裂伸长率(%)	25	3	14	11	—	12
弯曲弹性模量/GPa	2.2	2.4	2.8	3.0	2.5	3.0
	2.2	2.4	2.7	2.9	2.4	2.9
拉伸冲击强度/(J/m ²)	180	70	50	30	100	20
	176	69	49	29	98	20
热变形温度(1.8MPa)/℃	150	140	150	130	110	64
耐燃性/UL94(1.6mm)	HB	V-0	HB	V-0	—	HB
反光性(%)			90	88~90	85	92
激光性			0	0	0	X

三、增强 PAR 塑料

1. 主要品种

(1) 玻璃纤维增强系列。该系列产品是向 U-100 中填加玻璃纤维从而提高硬度和抗蠕变性能，并获得优异的尺寸稳定性。

(2) 摩擦改良系列 U-聚合物没有聚甲醛、尼龙等的自润滑性。如分别向 U-100 和 X-1500 中填加氟树脂生成 L-品级和 AXF-品级合金，可较大幅度提高材料的摩擦和耐磨性，应用实例如 CD 播放机的支架和伸展弹簧等。

(3) 精密成型系列 以 U-8400 为基础，用特殊矿物填料增强的材料，可以同时满足高刚性、低翘曲、低各向异性、高平滑性、高正圆度等要求。主要应用于照相机的镜筒、薄膜压板、钟表齿轮、文字盘、复印机的进纸器以及 FDD 夹具等。

2. 应用

(1) 电器零件 聚芳酯特别适用于耐热、耐燃和尺寸稳定性高的电器零件，如电

极板、垫片、连接器、线圈架、继电器外壳、热敏电阻箱等。

(2) 机械零件 制作具有良好耐磨性的齿轮、衬套、轴承架等。

(3) 照明零件 可制成透明的白炽灯和荧光灯的夹具、灯罩，透明灯的照明器，汽车前灯的反光罩等。

(4) 医疗器材和包装材料 聚芳酯透明无毒和抗冲击，所以可制成眼药瓶，也可用于包装薄膜等。

四、国内外 PAR 牌号、性能与应用（表 11-43 ~ 表 11-48）

表 11-43 玻璃纤维增强聚芳酯（UG 系列和 AX 系列）的性能比较

项 目	UG- 100-30	UG- 1060-30	UG- 4015-30	UG- 8000-30	AX- 1500-20	AXNG- 1502-20	AXNG- 1500-20
相对密度	1.44	1.44	1.45	1.46	1.31	1.33	1.51
吸水性(%)	0.24	0.23	0.18	0.13	0.65	0.65	0.60
拉伸强度/MPa	135	138	140	144	130	125	125
断裂伸长率(%)	2.5	2.5	2.4	2.3	9	7	7
弯曲强度/MPa	136	138	150	156	150	140	140
弯曲弹性模量/GPa	5.8	5.9	6.5	7.5	5.8	6.2	7.3
悬臂梁冲击强度(缺口)/ (kJ/m)	100	110	110	130	60	50	50
热变形温度/℃	180	169	141	121	175	170	165
体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$	4.6×10^{16}	4.6×10^{16}	4.0×10^{16}	2.8×10^{16}	10^{14}	10^{14}	10^{14}
相对介电常数(1MHz)	3.0	3.0	3.0	3.0	3.6	3.6	3.6
介电损耗因数(1MHz)	1.5×10^{-2}	1.5×10^{-2}	1.5×10^{-2}	1.5×10^{-2}	4×10^{-2}	4×10^{-2}	4×10^{-2}
介电强度/(kV/mm)	35	41	32	40	30	25	25
阻燃性	V-0	V-0	V-2	V-2	HB	V-2	V-0
模塑收缩率(%)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4
线胀系数/ $(\times 10^{-5} \text{K}^{-1})$	3.5	3.5	3.5	3.5	5.0	5.0	5.0

表 11-44 增强聚芳酯的性能

项 目	APE KL 1-9301	项 目	APE KL 1-9301
密度/(g/cm^3)	1.44	断裂伸长率(%)	3.9
冲击强度/(kJ/m^2)		拉伸弹性模量/GPa	6.9
非缺口	40	球压硬度/MPa	
缺口	8	H30	170
弯曲强度/MPa	66	线胀系数/ $(\times 10^{-5}/\text{K})$	2.5
弯曲弹性模量/GPa	7.8	维卡软化温度/℃	192
屈服拉伸强度/MPa	108	热变形温度/℃	
断裂拉伸强度/MPa	107	方法 A,1.8MPa	183

表 11-45 聚芳酯的屏蔽性能

项 目	U-8060	U-8100	U-8200	U-8400
可见光透光率(%)	90	90	91	91
气体透过常数				
O ₂	0.03	0.03	0.04	0.09
N ₂	0.03	0.03	0.03	0.04
CO ₂	0.20	0.20	0.30	0.70
水蒸气透过率(24h)/(g/m ²)	46	46	47	53

表 11-46 聚芳酯的耐磨性

材 料	速度 /(cm/s)	临界 <i>p_v</i> 值 /(MPa·cm/s)	平均临界 <i>p_v</i> 值 /(MPa·cm/s)	材 料	速度 /(cm/s)	临界 <i>p_v</i> 值 /(MPa·cm/s)	平均临界 <i>p_v</i> 值 /(MPa·cm/s)
U-100	35	47.8	510	AX-1500	35	29.8	343
	61	55.3			61	29.9	
	81	54.3			81	39.2	
	103	46.8			103	38.1	
3% MoS ₂ + U-100	35	47.8	538	UF-100	35	158.1	954
	61	55.3			61	89.8	
	81	53.3			81	63.3	
	103	58.5			103	70.2	

表 11-47 高反射遮光级聚芳酯性能

项 目	AX-1500W	AXN-1500N	项 目	AX-1500W	AXN-1500N
密度/(g/cm ³)	1.37	1.51	阻燃性	HB	V-0
拉伸强度/MPa	81	75	反射率(%)	90	88~89
断裂伸长率(%)	14	11	体积电阻率/ $\Omega\cdot\text{cm}$	10 ¹⁴	10 ¹⁴
弯曲强度/MPa	80	88	介电强度/(kV/mm)	25	25
弯曲弹性模量/GPa	2.8	3.0	耐电弧性/s	80	80
冲击强度/(kJ/m ²)	50	30			

表 11-48 U-聚合物和其他树脂热性能比较

树脂和牌号		耐热性/℃	热收缩率(%)			
			热处理温度(1h)			
			110℃	130℃	150℃	170℃
U-聚合物	U-100	184	0	0	0.15	0.20
	U-1060	175	0	0.02	0.18	0.23
	U-4015	141	0	0.08	0.25	
	U-8000	119	0.15	1.80		

(续)

树脂和牌号	耐热性/℃	热收缩率(%)			
		热处理温度(1h)			
		110℃	130℃	150℃	170℃
聚碳酸酯	145	0	0.05	0.20	
聚砒	181	0	0	0.13	0.18
改性芳香聚醚	127	0.09	0.35	3.00	
聚甲基丙烯酸甲酯	116				
聚甲醛		0.26	0.35	0.73	

五、PAR 成型加工

玻璃纤维增强聚芳酯的制造工艺流程与玻璃纤维增强聚碳酸酯基本相同。

增强聚芳酯可用注射、挤出等成型方法加工成管、板、薄膜以及各种制件。具体条件见表 11-49。

不同牌号的 U-聚合物，其机筒温度和模具温度是不同的，详见表 11-50。

表 11-49 增强聚芳酯注射成型条件

项 目		TS-5050	TS-7030	U-1060
粒料干燥	温度/℃	110 ~ 120	110 ~ 120	100 ~ 120
	时间/h	> 12	> 12	> 6
机筒温度/℃	前部	310 ~ 330	340 ~ 360	330 ~ 350
	中部			330 ~ 350
	后部	280 ~ 290	290 ~ 300	230 ~ 250
模具温度/℃		120	120	120 ~ 140
注射速度				低 ~ 高
背压/MPa				6 ~ 12
注射压力/MPa		70 ~ 120	80 ~ 120	110 ~ 130
保持压力/MPa				50 ~ 110
成型周期/s				15 ~ 30

表 11-50 不同牌号 U-聚合物的注射成型温度

项 目	U-100	U-1060	U-4015	U-8000
机筒温度/℃	325 ~ 345	330 ~ 350	300 ~ 320	260 ~ 300
模具温度/℃	120 ~ 140	120 ~ 140	100 ~ 120	80 ~ 100

注：注射 U-聚合物制件必须注意粒料预热干燥，U-100、U-1060 和 U-4015 干燥条件为 100 ~ 120℃，4 ~ 6h 或更长些；U-8000 的干燥条件为 80 ~ 100℃，6h 或更长些。加料漏斗温度为 80 ~ 100℃。

第三节 液晶聚合物（LCP）

液晶聚合物（Liquid crystal polymer, LCP）有热熔性 LCP 和热致性 LCP。热熔性 LCP 多数用于纺丝，著名的芳纶（Kevlar）就是热熔性 LCP，可作为工程塑料应用的是热致性 LCP。

一、主要品种与性能

液晶聚合物的外观一般为米黄色，也有呈白色不透明的固体粉末，密度为 1.4 ~ 1.7g/cm³。液晶聚合物具有高强度、高模量的特点，由于其具有自增强性，因而不增强的液晶塑料即可达到甚至超过普通工程塑料用玻璃纤维增强后的机械强度及其模量的水平；如果用玻璃纤维、碳纤维等增强，更远远超过其他工程塑料。

液晶聚合物还具有优良的热稳定性、耐热性及耐化学药品性，对大多数塑料存在的蠕变缺点，液晶材料可忽略不计，而且耐磨、减摩性均优异。

Xydar 及 Ekonol 型 LCP 的热变形温度为 275 ~ 350℃，是目前热塑性塑料中热变形温度最高者之一。

液晶塑料热稳定性高。Xydar LCP 在空气中于 560℃ 分解。它耐锡焊，可在 320℃ 焊锡中浸渍 5min 无变化。

液晶塑料的耐候性、耐辐射性良好，具有优异的阻燃性，熄灭火焰后不再继续燃烧。其阻燃等级达到 UL94 V-0 级水平。Xydar LCP 是防火安全性最好的特种工程塑料之一。

LCP 还具有优良的电绝缘性能和突出的耐蚀性。

LCP 的成型温度高，因其品种不同，熔融温度在 300 ~ 425℃ 范围内。LCP 熔体粘度低，流动性好，与烯烃类塑料近似。LCP 具有极小的线胀系数，尺寸稳定性好。

二、LCP 牌号、性能与应用（表 11-51 ~ 表 11-55）

表 11-51 LCP 主要生产商及生产能力

生产商	年生产能力/t	备 注
泰科纳	320	在美国与 Amoco 协作
阿莫克	5000	
杜邦	2700	1995 年加入,主要开发亚洲市场
合 计	10900	

表 11-52 日本 LCP 生产厂家的生产能力

生产厂家	厂 址	年生产能力/t
日本聚合塑料	富士	2800
住友化学工业	爱媛	2000
东丽	名古屋	1000
上野制药	伊丹	200
三菱化学	四日市	300
尤尼崎卡	冈崎	200
日本石油化学	川崎	1500
合 计		7500

表 11-53 LCP 产品分类（依耐热性分）

类 型		热变形温度 (1.86MPa)	适 用 范 围	产品规格型号	竞争产品
I		300℃ 以上	超耐热	Xydar-RC, FC 系列 E4000 系列 E5000 系列	PEEK PA1, P1
II	a	240℃ 以上(安装耐热性 280℃, 相当 10s 以上)	SMT 安装 (280℃, 10s)	Xydar-300 系列, G, M E6000 系列 Vectra 系列 E345G30	PA-46 PSS 芳香族 PA
	b	200℃ 以上	一般安装 高强度(弹性率拉伸等) 精密成型(低粘度, 低线 性膨胀率)	Vectra A 系列 5000 系列 E335 UENO-LCP2000 系列	PBT POM PC PCT
III		200℃ 以下	高强度(弹性率拉伸等) 精密成型(低粘度, 低线 性膨胀率)	E335, E322 5000 系列 UENO-LCP1000 系列	

注：上述分类与以往的分类形式有所不同，与产品的基本结构无关，以热变形温度为标准。

表 11-54 日本产 LCP 的性能

牌 号 填料(质量分数)		E2008	E-6008	RC-210	HAG-140
性能		石墨 40%	石墨 40%	玻璃纤维 30%	玻璃纤维 40%
密度/(g/cm ³)		1. 69	1. 70	1. 60	1. 70
吸水性(%)		0. 02	0. 02	<0. 1	0. 02
拉伸强度/MPa		100	122	140	100
断裂伸长率(%)		7. 0	4. 8	1. 7	7. 0
弯曲强度/MPa		108	116	160	100
弯曲弹性模量/GPa		1. 03	1. 15	1. 36	1. 08
悬臂梁冲击强度 /(kJ/m)	缺口	0. 05	0. 06	0. 11	0. 05
	无缺口	0. 20	0. 25	0. 62	0. 20
洛氏硬度		R104	R103	R77	R105
线胀系数/(×10 ⁻⁵ K ⁻¹)		2. 0	1. 3	1. 2	1. 5
体积电阻率/Ω · cm		10 ¹⁵	10 ¹⁵	11 × 10 ¹⁵	10 ¹⁵
相对介电常数(10 ³ Hz)		4. 0	4. 4		4. 3
介电损耗因数(10 ³ Hz)		0. 009	0. 022		0. 014
介电强度/(kV/mm)				25	
耐电弧性/s		136	130	188	135

(续)

牌 号 填料(质量分数)		HBG-140	A130	C-130	2030G
性能		玻璃纤维 30%	玻璃纤维 30%	玻璃纤维 30%	玻璃纤维 30%
密度/(g/cm ³)		1.69	1.62	1.62	1.61
吸水性(%)		0.02	0.05		
拉伸强度/MPa		120	215	165	180
断裂伸长率(%)		5.6	2.2	2.0	1.8
弯曲强度/MPa		142	255	220	210
弯曲弹性模量/GPa		1.36	1.5	1.4	1.35
悬臂梁冲击强度 /(kJ/m)	缺口	0.06	0.14	0.12	0.15
	无缺口	0.30			
洛氏硬度		R101	M80		M82
线胀系数/($\times 10^{-5} \text{K}^{-1}$)		2.1	0.3		0.8
体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$		10^{15}	3×10^{16}	3×10^{16}	10^{15}
相对介电常数(10^3Hz)		4.6	4.0	4.1	
介电损耗因数(10^3Hz)		0.023	0.019	0.018	
介电强度/(kV/mm)			24	23	
耐电弧性/s		130	137	131	

表 11-55 日本 LCP 产品的耐热等级 (热变形温度/℃)

生产厂商	I		II	III	产 品
	> 275	275 ~ 250	220 ~ 250	< 220	
日本石油化学	RC,FC,MG	G,M MC-350			Xydar
住友化学工业	E5000 E4008	E6008	E7006L		LCP
聚合塑料		E130	A130 B130 C130	Vectra	
三菱工程塑料			E345G30	E335G30	Novaccurate
尤尼崎卡			LC5000 系列	LC5030G	
东丽			L201G	L204M	
杜邦	7130	6130,6330			Zenite
上野制药			2030G	1030G	UENO-LCP

三、成型加工特性

LCP 加工性能良好，常用的成型加工条件见表 11-56。

表 11-56 LCP 的成型加工条件

成型温度/℃	300 ~ 390	压缩比	2.5 ~ 4
模型温度/℃	100 ~ 260	成型收缩率(%)	0.1 ~ 0.6
成型压力/MPa	7 ~ 100		

TLCP 共混物的加工方法与通常加工热塑性树脂及其共混物的方法相同。对加工设备的要求也相同。而由于 TLCP 的加入降低了体系的加工粘度，减小了设备的磨耗。

TLCP 共混物的加工工艺可以是直接使用单螺杆或双螺杆挤出机的共混、造粒，然后注射成型，也可将 TLCP 与基体树脂干混后直接进入注射机。TLCP 分子在液晶态熔体流动时很容易自发取向，分子间很少缠结，分子间摩擦力小。TLCP 与热塑性树脂共混加工时，体系的加工粘度大大降低，熔体流动性大大提高。

Kiss 研究了 TLCP 对基体聚合物加工工艺的影响，从其研究结果（表 11-57）可以看出，挤出性能大大改善。

TLCP 的基础研究主要围绕着 TLCP 热塑性树脂中的分散和具有大长径比的 TLCP 微纤的形成，以及 TLCP 优异性能方面的充分发挥。途径和手段则是加工工艺条件的选择和控制在，以及界面作用的设计与控制等。

表 11-57 TLCP 对聚合物加工工艺性能的影响

项 目	Brabender 挤出机转矩 /N · m	挤出机熔体压力 /MPa	注射压力/MPa	温度/℃
PES	70 ~ 90	5.5	110	350
PES/TLCP 聚酯	25 ~ 35	2.1	55	350
尼龙	70 ~ 90	7.6	55	300
尼龙/TLCP 聚酯	3 ~ 4	6.9	55	300

四、应用与发展

LCP 可用于电子电器工业，可用于制作办公机械、精密仪器、汽车零部件等。

此外，Xydar LCP 和 Ekonol LCP 已经用于微波炉灶容器，这种炉灶要耐高温，LCP 完全可以达到要求。还可以做印刷电路板、人造卫星电子部件、喷汽发动机零件、塑料容器、体育用品、胶片、纤维和医疗用品等。

新应用方面包括：可以加入高填充的液晶塑料作集成电路封装材料，以代替环氧树脂作线圈骨架的封装材料；作光纤电缆接头护套和高强度元件；代替陶瓷作化工用分离塔中的填充材料等。

目前 TLCP 价格尚高，主要用于电子工业，需求量小，市场也小，而将其作为高分子结构材料的增强剂，需求大、市场大、产量大，它的成本和价格就会随之下降，带来的利益将是不可估量的，这正是 TLCP 及其合金应用的潜力。虽然我国现在几乎没有 TLCP 的商品，有些也只是处于研究试验阶段，但是上述潜力与国际动向催促我们跟上国际 TLCP 合金研究与开发的步伐。预计不久的将来，随着我国经济建设的发展，相信国内也会突破难关，实现国产化。

参考文献

- [1] 马之庚, 陈开来. 工程塑料手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [2] 张玉龙. 塑料品种与性能手册 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [3] 丁浩, 龚润澄. 塑料应用技术 [M]. 2 版. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [4] 张玉龙. 塑料品种速查手册 [M]. 北京: 中国纺织出版社, 2009.
- [5] 张玉龙, 齐贵亮. 塑料注射成型入门 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [6] 张玉龙, 王喜梅. 塑料挤出成型入门 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [7] 张玉龙, 齐贵亮. 塑料吹塑成型入门 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [8] 张玉龙, 庞旭堂. 塑料成型常见故障诊断与排除 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2010.
- [9] 张玉龙, 李萍. 塑料注射成型工艺与实例 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2011.
- [10] 张玉龙, 张永侠. 塑料挤出成型工艺与实例 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2011.
- [11] 张玉龙, 张永侠. 塑料模压成型工艺与实例 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2011.
- [12] 张玉龙, 石磊. 塑料吹塑成型工艺与实例 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2011.
- [13] 王庭慰, 张军. 云母在尼龙 6 中的增强作用 [J]. 中国塑料, 2002, 16 (8): 40-44.
- [14] 刘新海, 杨友生, 沈上越, 等. 硅灰石粉体对增强尼龙 6 的影响研究 [J]. 化工矿物与加工, 2004, 33 (4): 5-7.
- [15] 韩俐伟. 长玻纤填充尼龙 6 复合材料研究 [J]. 化学工程师, 2004 (8): 5-7.
- [16] 黄丽娟, 等. MC 尼龙 6、纳米 TiO_2 原位复合材料性能研究 [J]. 塑料工业, 2005, 33 (1): 16-18.
- [17] 余丽秀, 等. 聚酰胺改性用插层蒙脱石制备和性能研究 [J]. 化工矿物与加工, 2004, 33 (1): 21-24.
- [18] 魏京华. 尼龙纳米复合材料的产品开发进展 [J]. 工程塑料应用, 2004, 32 (4): 67-70.
- [19] 杨宁, 贵大勇, 田军. 蒙脱土插层尼龙 66 及其合金力学性能研究 [J]. 塑料, 2004, 33 (3): 40-43.
- [20] 孙向东, 等. 异辛酸稀土改性 MC 尼龙的研究 [J]. 工程塑料应用, 2004, 32 (1): 7-9.
- [21] 郑立允, 等. MC 尼龙/纳米 Al_2O_3 复合材料力学性能的研究 [J]. 工程塑料应用, 2004, 32 (8): 12-14.
- [22] 陈海群, 等. 偶联剂 KH-550 修饰蒙脱土及 MC 尼龙蒙脱土复合材料的制备与性能研究 [J]. 中国塑料, 2004, 18 (4): 80-85.
- [23] 徐晓琳, 等. 光盘级聚碳酸酯的增韧研究 [J]. 工程塑料应用, 2002, 30 (7): 1-3.
- [24] 罗筑, 等. PC/ABS 合金的增韧研究 [J]. 塑料工业, 2001, 29 (5): 15-16.
- [25] 刘新民, 等. HDPE/PC/EVA 共混体系的性能研究 [J]. 现代塑料加工应用, 2004, 16 (8): 7-10.
- [26] 刘军, 等. 反应性挤出母粒对 PC/PS 共混体系的增容 [J]. 武汉理工大学学报, 2004, 26 (9): 36-39.
- [27] 吴宏安, 等. PC/ABS 手机充电器专用料的开发 [J]. 工程塑料应用, 2004, 32 (4): 4-6.
- [28] 杨革生, 等. 玻璃纤维增强 PBT/PC 共混体系的研究 [J]. 工程塑料应用, 2004, 32

- (7): 8-10.
- [29] 陈立新, 等. 薄膜法增强 PC 复合材料的成型工艺及性能 [J]. 工程塑料应用, 1994, 22 (4): 28-31.
- [30] 钱翼清, 等. 烷基化纳米 SiO_2/MMA 乳液聚合物的表征及对 PC 的改性效果 [J]. 复合材料学报, 2003, 20 (1): 79-84.
- [31] 梁基照. PC/ABS 合金的力学性能研究 [J]. 现代塑料加工应用, 2004, 16 (6): 15-17.
- [32] 高翔, 等. 凹凸棒土/聚丙烯/聚碳酸酯三元复合材料的力学性能及增韧机理 [J]. 复合材料学报, 2005, 22 (3): 1-8.
- [33] 张志毅, 等. 核壳结构和层状结构改性剂的制备及其对 PC 性能的影响 [J]. 工程塑料应用, 2005, 33 (3): 5-8.
- [34] 姜蔚, 等. 丁腈橡胶/聚甲醛 (POM) 共混物的研究 [J]. 特种橡胶制品, 2004, 25 (3): 11-13.
- [35] 徐卫兵, 朱士旺. 低密度聚乙烯共混改性聚甲醛的研究 [J]. 现代塑料加工应用, 1994, 6 (6): 6-9.
- [36] 徐卫兵, 等. 聚甲醛和高密度聚乙烯共混改性的研究 [J]. 塑料科技, 1994 (3): 13-16.
- [37] 方少明, 陈志军. PP/POM/EVA 共混体系研究 [J]. 现代塑料加工应用, 1999, 11 (2): 6-8.
- [38] 徐卫兵, 朱士旺. 共聚尼龙增韧改性聚甲醛的研究 [J]. 塑料工业, 1994 (3): 21-23.
- [39] 杜荣呢, 等. 聚甲醛/纳米 CaCO_3 体系的制备与性能 [J]. 工程塑料应用, 2004, 32 (3): 9-13.
- [40] 周晓安, 龙泽均. 碳纤维改性聚甲醛塑料的研制 [J]. 塑料加工, 1992 (3): 11-13.
- [41] 风雷, 等. 非晶纳米 Si_3N_3 对 POM 的增强与增韧研究 [J]. 量子电子学报, 1999, 16 (4): 350-353.
- [42] 陈俊, 等. PET/POE-g-MAH 的性能研究 [J]. 中国塑料, 2004, 18 (3): 20-22.
- [43] 郭涛, 等. 稀土氢化铜对 PET 结晶行为和力学性能的影响 [J]. 工程塑料应用, 2003, 31 (12): 6-8.
- [44] 于忠振, 等. PET/HDPE 共混物的形态结构及力学性能的研究 [J]. 高分子材料科学与工程, 1996 (12): 60-64.
- [45] 张师军, 等. LLDPE-g-GMA 对 PET/LLDPE 性能的影响 [J]. 工程塑料应用, 2003, 31 (10): 1-4.
- [46] 裴运同, 等. 增强阻燃 PET 工程塑料的研究 [J]. 中国塑料, 2003, 17 (1): 58-62.
- [47] 臧国强. PET/GF 注射专用料的研制 [J]. 工程塑料应用, 2003, 31 (6): 1-4.
- [48] 李阳, 等. PET/蒙脱土纳米复合材料的增韧研究 [J]. 工程塑料应用, 2004, 32 (10): 4-8.
- [49] 高翔, 等. PET/纳米 TiO_2 复合材料流变性和力学性能的研究 [J]. 工程塑料应用, 2003, 31 (12): 2-5.
- [50] 温变英, 张学东. 聚甲醛/聚氨酯高韧合金的研究 [J]. 塑料工业, 2000, 28 (1): 7-9.
- [51] 杜荣呢, 等. 聚甲醛/弹性体/碳酸钙复合材料的研究 [J]. 塑料工业, 2004, 32 (2): 9-12.
- [52] 魏刚, 等. M-POE-g-MAH 增韧 PBT 的力学性能和形貌 [J]. 中国塑料, 2003, 17 (9):

- 29-32.
- [53] 黄新光, 等. PE/PP 共混物熔融接枝马来酸酐的研究 [J]. 塑料工业, 2004, 32 (2): 18-20.
- [54] 聂景辉, 等. PBT/HDPE 和 PBT/HDPE-g-MAH 共混体系形态和性能的研究 [J]. 工程塑料应用, 2004, 32 (10): 9-12.
- [55] 杨慧丽, 等. HIPS 的官能化及 HIPS/PBT 共混体系的研究 [J]. 功能高分子学报, 2002, 15 (2): 157-166.
- [56] 聂景辉, 等. 润滑剂 TAF 对玻璃纤维增强 PBT 复合材料性能的影响 [J]. 中国塑料, 2004, 18 (5): 75-78.
- [57] 程奎, 阮文红, 沈经纬, 等. 短玻纤增强 PBT 电击穿和力学性能的研究 [J]. 塑料工业, 2002, 30 (4): 35-37.
- [58] 柯扬船. 聚对苯二甲酸丁二醇酯-层状硅酸盐纳米复合材料的制备与性能 [J]. 材料研究学报, 2003, 17 (5): 554-560.
- [59] 汪晓东, 等. POE-g-MA 增韧 PPO/尼龙 6 合金的制备和性能 [J]. 材料研究学报, 2002, 16 (2): 193-199.
- [60] 陈凯, 等. PPO/HIPS/弹性体三元合金的研究 [J]. 工程塑料应用, 1998, 26 (11): 8-10.
- [61] 彭小平, 等. 新型 PA6/PPO 合金的研制 [J]. 工程塑料应用, 2002, 30 (8): 1-3.
- [62] 孙皓, 等. PPO/PA 合金的研制 [J]. 塑料工业, 2003, 31 (9): 13-15.
- [63] 姚占海, 等. 聚苯醚与含有机硅嵌段共聚物共混的研究 [J]. 高分子材料科学与工程, 1998, 14 (2): 63-66.
- [64] 戴志宏, 等. 无机填料结构形态对 MPPO 拉伸性能的影响 [J]. 工程塑料应用, 2000, 28 (3): 24-25.
- [65] 苏民社, 等. 聚苯醚/玻璃纤维布基覆铜板 [J]. 绝缘材料, 2003 (2): 34-37.
- [66] 何志敏, 等. PPS/PA6 合金的研究 [J]. 工程塑料应用, 2005, 33 (1): 4-6.
- [67] 魏成武, 等. PPS/PA66 比例对共混合金性能的影响 [J]. 四川轻化工学院学报, 2004, 17 (2): 31-33.
- [68] 邓元, 等. PPS/PBT 共混体系的研究 [J]. 高分子材料科学与工程, 1998, 14 (6): 85-88.
- [69] 余来贵, 等. 陶瓷填充聚苯硫醚复合材料的摩擦化学作用机理 [J]. 摩擦学学报, 2000, 20 (3): 179-182.
- [70] 邱军, 玻璃纤维布增强聚苯硫醚复合材料的性能研究 [J]. 中国塑料, 2002, 16 (9): 46-48.
- [71] 张随山, 等. 碳纤维/聚苯硫醚复合材料复合工艺及力学性能的研究 [J]. 航空学报, 1993, 14 (6): 326-329.
- [72] 张爱波, 等. 芳纶纤维增强 PPS 复合材料耐水性能的研究 [J]. 宇航材料工艺, 1999 (4): 33-36.
- [73] 张文栓, 等. 纳米 SiO₂ 改性聚苯硫醚力学性能的研究 [J]. 工程塑料应用, 2003, 31 (8): 4-6.
- [74] 李滨耀, 等. PEK-C/PEEK 共混物的研究 [J]. 高分子材料科学与工程, 1991 (2): 84-

- 87.
- [75] 邓杰, 等. 连续纤维增强 PEEK 预浸带制备中的纤维分散 [J]. 纤维复合材料, 2004 (3): 12-14.
- [76] 崔永丽, 等. 碳纤维增强 PEKK 复合材料的摩擦学性能研究 [J]. 工程塑料应用, 2002, 30 (10): 5-8.
- [77] 唐磊, 等. 改性聚醚醚酮复合材料在齿轮上的应用 [J]. 工程塑料应用, 2002, 30 (5): 24-26.
- [78] 彭旭东, 等. 纳米 Al_2O_3 和聚四氟乙烯填充聚醚醚酮基复合材料摩擦学特性研究 [J]. 石油大学学报, 2004, 28 (2): 68-71.
- [79] 靳奇峰, 等. 纳米 SiO_2 填充杂萘联苯聚醚酮复合材料的性能研究 [J]. 宇航材料工艺, 2005 (2): 18-21.
- [80] 张洪波, 等. PPS 改性 PTFE 多孔材料加工性能的研究 [J]. 现代塑料加工应用, 1994, 6 (2): 13-16.
- [81] 张在利, 等. 耐高温低磨损聚苯酯改性聚四氟乙烯 [J]. 化工新型材料, 2002, 30 (8): 1-5.
- [82] 张洪波, 等. SiC 颗粒增强 PTFE 基复合材料摩擦磨损特性研究 [J]. 河北工业大学学报, 2004, 33 (5): 38-42.
- [83] 张文举, 等. 玻璃微珠填充改性聚四氟乙烯密封材料性能 [J]. 石油化工设备, 2005, 54 (3): 16-18.
- [84] 程先华, 等. 稀土改性玻璃纤维对 PTFE 复合材料摩擦磨损性能的影响 [J]. 无机材料学报, 2002, 17 (6): 1321-1326.
- [85] 周建钊, 等. 碳纤维增强聚四氟乙烯及其在潜艇上的应用 [J]. 工程塑料应用, 1996, 24 (4): 18-21.
- [86] 史丽萍, 等. 纳米 TiO_2 /PTFE 复合材料的干摩擦磨损性能 [J]. 塑料工业, 2005, 33 (1): 49-51.
- [87] 朱友良, 等. 无机纳米粒子填充改性聚四氟乙烯复合材料的研究 [J]. 塑料工业, 2005, 33 (5): 8-13.
- [88] 张秋禹, 等. 马来酸酐 (MA) 接枝聚砜聚合物对原位复合体系的增容改性研究 [J]. 西北工业大学学报, 2001, 19 (2): 173-176.
- [89] 杨宏丽, 等. 聚砜与热致液晶聚合物共混物的力学性能 [J]. 北京理工大学学报, 1996, 16 (2): 133-137.
- [90] 陆冲, 等. PES/PA 合金加工性能的研究 [J]. 现代塑料加工应用, 1997, 9 (3): 17-19.
- [91] 姜振华, 等. PES/PC 共混体系的相容性与力学性能 [J]. 应用化学, 1995, 12 (2): 115-116.
- [92] 方兰, 等. 聚酰亚胺和聚醚砜共混物的制备与表征 [J]. 哈尔滨电工学院学报, 1991, 14 (4): 166-169.
- [93] 张裕卿, 等. Al_2O_3 的添加对聚砜膜性能的影响 [J]. 化学工程, 2000, 28 (5): 42-44.
- [94] 徐卫兵, 等. 碳纤维增强聚砜颅骨修补材料的物理力学性能研究 [J]. 功能高分子学报, 1995, 18 (2): 168-172.
- [95] 张洪志, 等. 热致液晶聚合物微纤与碳纤维对聚醚砜的混杂增强 [J]. 高分子学报,

-
- 1997, 3: 376-379.
- [96] 何杰, 等. CF/TLCP/PESU 热塑性复合材料研究 [J]. 工程塑料应用, 2000, 28 (5): 1-3.
- [97] 赵伟岩, 等. 碳纤维增强聚醚砜复合材料的摩擦磨损性能研究 [J]. 摩擦学报, 2000, 20 (5): 421-426.
- [98] 李明, 等. 玻璃纤维增强聚醚砜复合材料力学性能研究 [J]. 复合材料学报, 1992, 9 (4): 7-12.

机械工业出版社塑料类书目 (部分)

书号	书名	作者	定价
01336	实用塑料注射模设计与制造	陈万林	32
10670	注塑成型技术	郭广思	36
15422	注塑成型工艺	刘来英	20
21551	塑料注射成型技术高级工	温耀贤	28
28420	塑料模具设计步骤与实例精解	曹丽平	44
28612	塑料注塑模具经典结构180例	李勇	59
29994	塑料压延机的使用与维护	周殿明	27
30022	塑料注射成型技术问答	周殿明	29
30900	塑料吹塑成型速查手册	张晓黎	34
31440	塑料压制成型速查手册	梁淑君	27
31833	塑料注射成型机的使用与维护	周殿明	30
32639	低碳生物塑料	陈寿	19.8
34810	塑料成型工艺与模具设计	翟震	32
35135	塑料挤出工问答	周殿明	32
35193	塑料管挤出成型	周殿明	38
35679	塑料注射模具结构与设计实例	张景黎	33
35747	塑料制品成型材料	周殿明	36
36764	塑料压延工问答	周殿明	36
37227	塑料薄膜挤出成型	周殿明	39
37302	生态增塑剂生产配方与合成工艺	汪多仁	59
38395	塑料速查手册	翟震	65
38732	实用塑料助剂手册	张玉龙 李萍	59
38858	实用通用塑料手册	张玉龙 石磊	88

地址:北京市百万庄大街22号

邮政编码:100037

电话服务

社服务中心:010-88361066

销售一部:010-68326294

销售二部:010-88379649

读者购书热线:010-88379203

网络服务

教材网: <http://www.cmpedu.com>

机工官网: <http://www.cmpbook.com>

机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

封面无防伪标均为盗版

上架指导: 工业技术 / 工程材料 / 非金属加工

ISBN 978-7-111-38923-1

策划编辑◎张秀恩/封面设计◎赵颖喆

ISBN 978-7-111-38923-1



9 787111 389231 >

定价: 88.00元