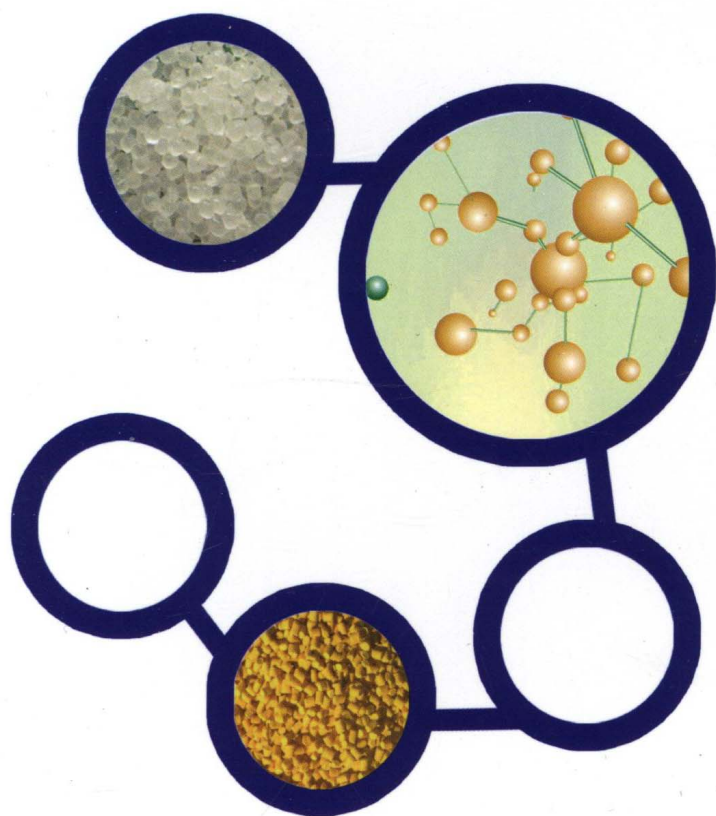


实用塑料助剂

手册



张玉龙 主编
李萍



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



实用塑料助剂手册

主 编	张玉龙	李 萍				
副 主 编	何 懿	张文栋	石 磊	杨守平	连军涛	
编写人员						
王四清	王国义	王学琴	王敏芳	王 晶	孔祥海	
石 磊	刘向平	刘宝玉	刘朝辉	许劲松	齐 昕	
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	张用兵	张 岩	张然治	张健康	
张德琪	何 懿	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

本书重点介绍了稳定剂（抗氧剂、光稳定剂和热稳定剂）、力学性能改性助剂（冲击改性剂、增韧剂、填充剂、增强剂和偶联剂）、功能助剂（抗静电剂与导电剂、光学助剂、生物抑制剂、阻燃剂和稀土助剂）、制品质量改性剂（增塑剂、发泡剂和着色剂）、加工助剂（润滑剂和脱模剂）、反应助剂（固化剂、交联剂、引发剂、中和剂、分子量调节剂和聚合终止剂）等塑料助剂的主要品种、性能和应用，是塑料行业材料研究、产品开发设计、制造加工、管理、销售与教学人员的必读必备书。

图书在版编目（CIP）数据

实用塑料助剂手册/张玉龙，李萍主编. —北京：机械工业出版社，2012.7
ISBN 978-7-111-38732-9

I. ①实… II. ①张…②李… III. ①塑料助剂-手册 IV. ①TQ320.4-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2012）第 123444 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 珑

版式设计：霍永明 责任校对：李锦莉

封面设计：赵颖喆 责任印制：杨 曦

北京京丰印刷厂印刷

2012 年 8 月第 1 版·第 1 次印刷

169mm×239mm·25.75 印张·572 千字

0 001—3 000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-38732-9

定价：59.00 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

塑料助剂是改进塑料成型加工特性，提高制品综合性能给予制品或材料功能特性的一类专用原材料，其种类繁多，性能和功能各异。且来源广泛，性价比较好，属于塑料制品配方设计和产品设计及生产上广为使用的原材料，可以说，没有塑料助剂，就没有现代塑料工业，就没有琳琅满目、花样繁多的塑料制品。随着高新技术在塑料助剂中的广泛应用，特别是精细化工生产技术、超细粉体技术及配方技术的长足进步，塑料助剂的应用领域也得到了进一步拓宽，并展现出了光明的发展前景。

为了普及塑料助剂知识，宣传并推广近年来塑料助剂与配方设计的研究与应用成果，中国兵工学会科技出版工作委员会、山东兵工学会和兵工学会非金属专业委员会联合组织编写了《实用塑料助剂手册》一书，全书共七章，约45万字。本书重点介绍了稳定剂（抗氧剂、光稳定剂和热稳定剂）、力学性能改性助剂（冲击改性剂、增韧剂、填充剂、增强剂和偶联剂）、功能助剂（抗静电剂与导电剂、光学助剂、生物抑制剂、阻燃剂和稀土助剂）、制品质量改性剂（增塑剂、发泡剂和着色剂）、加工助剂（润滑剂和脱模剂）、反应助剂（固化剂、交联剂、引发剂、中和剂、分子量调节剂和聚合终止剂）等塑料助剂的简介，主要品种、性能和应用，是塑料行业材料研究、产品开发设计、制造加工、管理销售与教学人员的必读必备书。

本书中提到的“含量”、“用量”、“加热减量”、“吸油量”、“加入量”和“添加量”除特别说明外均为质量分数，考虑到行业中的习惯说法，同时为符合读者的阅读习惯，文中不再对上述名词一一加以说明。

本书注重实用性、先进性和可操作性，理论叙述简明扼要，着重用实用数据说明问题，结构清晰完整、语言简练流畅，数据可靠，信息量大。若本书的出版能有效地促进我国塑料助剂工业的快速发展，使塑料配方设计更上层次，制品质量再上台阶，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，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第一章 塑料助剂概述 1

- 一、基本概念 1
- 二、主要品种与分类 1
- 三、助剂在塑料配方设计中的作用 1
- 四、选择助剂的基本要求 2
- 五、助剂应用注意事项 2

第二章 稳定剂 4

第一节 抗氧剂（防老剂） 4

- 一、简介 4
- 二、主要品种与性能 6
- 三、抗氧剂在塑料稳定化中的应用 18

第二节 光稳定剂 28

- 一、简介 28
- 二、主要品种与性能 35
- 三、光稳定剂的应用 63

第三节 热稳定剂 67

- 一、简介 67
- 二、主要品种与性能 68
- 三、热稳定剂的特性与应用 83

第三章 力学性能改性助剂 89

第一节 冲击改性剂与增韧剂 89

- 一、冲击改性剂 89
- 二、PVC 专用冲击改性剂 93
- 三、增韧剂 96

第二节 填充剂 100

- 一、简介 100
- 二、主要品种与特点 101

第三节 增强剂 111

- 一、简介 111
- 二、通用玻璃纤维及其织物 113
- 三、特种玻璃纤维 116

四、碳纤维与石墨纤维 119

五、芳纶纤维 121

六、超拉伸聚乙烯纤维 126

七、无机纤维 127

八、晶须 135

第四节 偶联剂 137

一、简介 137

二、主要品种与特性 137

第五节 力学性能改性剂的应用 147

一、在热塑性塑料中应用 填充剂的准则 147

二、在热塑性塑料中的应用 149

第四章 功能助剂 165

第一节 抗静电剂与导电剂 165

一、抗静电剂 165

二、抗静电剂的化学结构 166

三、主要品种与性能 167

四、导电、导热助剂 177

五、性能与应用 181

第二节 光学助剂 186

一、荧光增白剂 186

二、光敏剂 195

第三节 生物抑制剂 201

一、生物变质 201

二、生物抑制剂的品种与性能 202

三、抗菌防霉剂 204

第四节 阻燃剂 211

一、简介 211

二、主要品种与性能 211

三、应用 232

第五节 稀土助剂 239

一、简介 239

二、主要品种与特性 240

第五章 制品质量改性剂 244

第一节 增塑剂	244	一、简介	354
一、简介	244	二、主要品种与性能	354
二、主要品种与性能	245	第二节 交联剂	371
第二节 发泡剂	295	一、简介	371
一、简介	295	二、主要品种与性能	372
二、主要品种与性能	296	第三节 引发剂	380
第三节 着色剂	304	一、简介	380
一、简介	304	二、主要品种与性能	382
二、主要品种与性能	304	第四节 中和剂	391
三、着色剂的应用	324	一、简介	391
第六章 加工助剂	335	二、主要品种与性能	391
第一节 润滑剂	335	第五节 分子量调节剂	398
一、简介	335	一、简介	398
二、主要品种与性能	339	二、主要品种与性能	398
第二节 脱模剂	348	第六节 聚合终止剂	401
一、简介	348	一、简介	401
二、主要品种与性能	349	二、主要品种与性能	402
第七章 反应助剂	354	参考文献	404
第一节 固化剂	354		

第一章 塑料助剂概述

一、基本概念

塑料助剂是在塑料改性或成型加工过程中，为了提高材料或制品的性能，给予其新的功能特性，以及为改善材料的工艺性能而添加的各种辅助化学品，其主要品种有稳定剂、改性助剂、功能助剂、辅助型品质改善助剂、加工助剂与其他助剂。

二、主要品种与分类

塑料助剂品种较多，分类方法也不太一致，本书仅按功能与用途分类如下：

- (1) 稳定剂 主要包括抗氧剂、光稳定剂和热稳定剂等。
- (2) 力学性能改性助剂 主要包括冲击改性剂、增韧剂、填充剂（填料）、增强剂和偶联剂等。
- (3) 功能助剂 主要包括抗静电或导电剂、光学助剂、生物抑制剂、阻燃剂和稀土助剂等。
- (4) 制品质量改性剂 主要包括增塑剂、发泡剂和着色剂等。
- (5) 加工助剂 主要包括润滑剂和脱模剂等。
- (6) 反应助剂 主要包括固化剂、交联剂、引发剂、分子质量调节剂、中和剂和聚合终止剂等。

三、助剂在塑料配方设计中的作用

1) 助剂可作为一组分使用，可有效弥补树脂性能缺陷。如 PVC 树脂的加工温度与其分解温度十分接近，无法制成有用产品，若加入适量的热稳定剂便可解决这一难题。

2) 在配方中，添加性能改性剂，可有效提高产品的综合性能。如填充无机填料可有效改善产品韧性与刚性的关系；添加增强剂（如纤维或晶须等）可明显改善并提高塑料的强度与刚性，和粘合性能；添加增韧剂可有效改进结晶树脂的韧性，提高其冲击特性。

3) 作为功能组分，可给予塑料制品新的功能特性。如：加入导电、导热助剂可制备导电或导热塑料，制成抗静电制品或电磁屏蔽制品等；加入阻燃助剂可使塑料制品具备阻燃特性；加入抗菌剂可使塑料制品具有抗菌性能等等。

4) 将助剂作为改性剂加入可有效地改进塑料制品的性能。如：加入适量偶联剂可增强塑料制品的性能；添加少量的着色剂，可改善塑料制品的外观状态，有效提高其表面质量，且还具有良好的防老化特性；加入适量的发泡剂可以制备质量更轻、性能更适中的泡沫塑料制品；添加适量的增塑剂，可有效地改善 PVC 的加工特性和使用性能，

使这一树脂的应用领域明显扩大。

5) 众所周知,塑料特别是通用塑料的耐老化性能不好,使用时间不长便出现变色、开裂、粉化等现象,但在塑料配方中,加入适量的光稳定剂、抗氧剂或抗老化剂,便可明显延长塑料制品的使用寿命,提高其抗老化特性。

6) 在塑料配方中加入适量的反应加工助剂可有效提高树脂的反应与加工效果。如在环氧树脂中加入适量的固化剂,可有效改善其加工和反应特性,使其最终产品的综合性能明显提高;加入交联剂可明显改善聚乙烯等产品的耐热性,使其应用范围不断拓宽;加入适量的润滑剂与脱模剂可使塑料制品的工艺性能明显改善。

总之,塑料助剂是塑料制品配方设计与制备过程中的“灵丹妙药”,充分了解并熟知其功能特性,再加上配方设计技巧,就能设计并制备出各种所需产品。

四、选择助剂的基本要求

1) 助剂应具有与塑料良好的相容性,以便长期、稳定、均匀地存在于制品中,发挥其效能。若相容性不好,助剂就容易析出。

2) 助剂应具有耐久性。要选择不易从塑料中挥发、抽出和移迁的助剂。

3) 助剂对加工条件要有良好的适应性。最重要的是要求助剂在加工温度下不易分解、不易挥发和升华。

4) 助剂对制品不应有污染性及毒性。助剂对从事加工及应用的人员,不应产生有害影响。用作食品包装和玩具时,应绝对保证符合卫生标准。

五、助剂应用注意事项

助剂的应用是很复杂的技术,这里只能提一下选择和使用助剂时应注意的一些基本问题。

(1) 助剂与聚合物的配伍性 助剂应与聚合物匹配,这是选用助剂首先要考虑的问题。助剂与聚合物的配伍性,包括它们之间的相容性以及稳定性方面的相互影响。

一般地说,助剂必须长期、稳定、均匀地存在于制品中才能发挥其应有的效能,所以通常要求所选择的助剂与聚合物要有良好的相容性。如果相容性不好,助剂就容易析出。固体助剂的析出,俗称为“喷霜”,液体助剂的析出,则称作“渗出”或“出汗”。助剂析出后不仅失去作用,而且影响制品的外观和手感。

但是,并非要求所有的助剂都必须与聚合物有良好的相容性。例如,润滑剂的相容性如果过大,就会起到增塑剂的作用,造成聚合物的软化。

助剂与聚合物的相容性主要取决于它们结构的相似性。例如,极性较强的增塑剂在极性的聚氯乙烯中相容性就比极性较弱者好。又如,在抗氧剂和光稳定剂中引进较长的烷基,可以改善它们与聚烯烃的相容性。

上面指的是与聚合物具有溶解性的助剂。还有一些助剂,如无机填充剂和无机颜料,它们不溶于聚合物,无相容性可言。它们分散在聚合物中呈非均相,不会析出。对于这一类助剂,则要求它们细度小、分散性好。

助剂与聚合物配伍性的另一个重要问题是它们在稳定性方面的相互影响。应该注意到,有些聚合物(如聚氯乙烯)的分解产物带酸碱性,会使一些助剂分解,也有些助剂会加速聚合物的降解。

(2) 助剂的耐久性 这也是选用助剂时必须着重考虑的一个问题。助剂的损失主要通过三条途径:挥发、抽出和迁移。挥发性大小取决于助剂本身的结构,例如,邻苯二甲酸二丁酯由于相对分子质量较小,挥发性比邻苯二甲酸二辛酯大得多。抽出性与助剂在不同介质中的溶解度直接相关,要根据制品的使用环境来选择适当的助剂品种。迁移是指助剂由制品中向邻近物品的转移,其可能性大小与助剂在不同聚合物中的溶解度相关。

(3) 助剂对加工条件的适应性 某些聚合物的加工条件比较苛刻,如加工温度高、时间长,因此必须考虑助剂能否适应。同一种聚合物,由于加工成型的方法不同,所需要的助剂也可能有所不同。加工条件对助剂的要求,最主要的是耐热性,即要求助剂在加工温度下不分解、不易挥发和升华。此外,还要注意助剂对加工设备和模具可能产生的腐蚀作用。

(4) 制品用途对助剂的制约 助剂的选择常常受到制品最终用途的制约,这是选用助剂的重要依据。不同用途的制品对所采用助剂的外观、气味、污染性、耐久性、电气性能、热性能、耐候性、毒性等都有一定的要求。例如,对苯二胺类防老化剂虽然性能很全面,在黑色橡胶制品中也早已广泛使用,但因具有污染性,因而限制了它在浅色和彩色橡胶制品中的应用。

助剂的毒性问题已经引起广泛的注意,特别是添加了助剂的食品和药物包装材料、水管、医疗器械、玩具等塑料和橡胶制品的卫生问题更为人们所关注。国外对助剂的毒性问题已有很多的研究成果,积累了大量的数据。许多国家对上述制品适用的助剂品种及其用量作了严格的规定。我国也于1977年底提出了“塑料食具、容器、包装材料卫生管理暂行办法”、“塑料食具的卫生质量调查试验条件及测试方法”,以及“聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、三聚氰胺四种树脂成型制品的建议卫生标准草案”。

(5) 助剂配合中的协同作用和相抗作用 一种聚合物常常同时使用多种助剂,这些助剂同处在一个聚合物体系里,彼此之间有所影响。如果配合得当,不同助剂之间常常会相互增效,即起到所谓的“协同作用”。聚合物配方研究的主要目的之一就是发现助剂之间的协同作用。例如,聚合物的老化是多种因素的综合结果,每一种稳定化助剂都有其局限性,只有将几种不同类型、不同作用机理的稳定化助剂通过反复地调整配方和多次的测试,充分发挥它们的协同作用,才能确定最有效的稳定体系。当然,配方研究还有其他目的,如简化组分、降低成本等。

配方选择不当有可能产生助剂之间的“相抗作用”。相抗作用与协同作用相反,会彼此削弱各种助剂原有的效能。另外,还需注意不同助剂之间可能发生的化学反应,以免引起变色等不良后果。

第二章 稳 定 剂

第一节 抗氧剂（防老剂）

一、简介

抗氧剂除了具有抑制高分子材料氧化这一主要功能之外，还兼具一系列辅助的但又不可缺少的其他方面的性能（大致可分为化学、物理和毒性三个方面）。能否满足这些性能要求，往往是判断抗氧剂化合物是否具有实际应用价值的重要条件，但抗氧剂的这些辅助性能中究竟哪个更为重要，则取决于所要稳定的高聚物及其最终应用等具体情况。许多有特殊要求的塑料或添加剂（如用作食品的包装材料），其所用抗氧剂的毒性就成为其是否适用的至关重要的条件。不过，目前各国对毒性的评价和要求并不相同，而且对各种塑料毒性的评价标准往往也只是由各添加剂生产商提供。

（一）对化学性能的要求

1. 污染性（变色性）

抗氧剂应该是无色的，且在长期使用后基质可能出现的色污现象应尽量地少。芳香胺类化合物由于具有较强的污染性，因此这类抗氧剂很少用于热塑性塑料。但采用受阻酚类抗氧剂时，往往也能观察到某些色污现象（一般出现泛黄现象）。从化学角度看，这是由抗氧剂的氧化产物造成的。因此，即使对某些基质如聚烯烃和聚缩醛等老化后不易变色的高聚物，在加用抗氧剂后也常见到变色现象。对于聚氨酯、聚碳酸酯和苯乙烯类高聚物等塑料制品，在采用可能具有污染性的添加剂之后，其基质的变色程度将会更加严重。然而，出现泛黄现象的起因是来自基质本身，还是添加剂，取决于实际的老化条件，如热、辐射、碱或可导致所谓“气体变色（gasfading）”的工业废气等。

在成型加工过程或老化试验中，抗氧剂所造成的色污一般并不主要，而对易变色的基质来说，则可因基质本身变色的内在因素而加重其污染性。在室外和耐候老化条件下，所观察到的变色效应是比较复杂的。取代酚与过氧化物自由基的反应产物的耐光性较低，通常在强光照（阳光直接照射或氙气灯照射试验）的条件下往往观察不到变色效应。然后，在非直接光照（如隔着玻璃的室内光线）的条件下，经过几周或几个月之后，就会出现一定程度的泛黄，但一旦处在强光短时间的照射之后，上述泛黄现象又会自行消失。由此可见，导致这种变色的原因是较为复杂的。不过，对于许多类型的变色均可通过添加某种亚磷酸酯或硫醚的办法予以克服。

2. 热稳定性

抗氧剂应能适应塑料的合成和加工条件的要求。实际采用的各种抗氧剂在 300 ~

320℃的温度下，都具有令人满意的短时间热稳定性。

3. 水解稳定性

某些工业抗氧化剂属于有机羧酸酯类，这种抗氧化剂中的酯基在一定的条件下不易水解。但是亚磷酸酯类抗氧化剂的水解稳定性却差得多，因此，此类抗氧化剂在储存和使用时对于其水解的可能性应予以足够的重视。为解决亚磷酸酯抗氧化剂工业应用中可能出现的水解，一般可采取以下三种措施：尽量采用高纯度的芳香族亚磷酸酯抗氧化剂，这是因为芳香族亚磷酸酯的水解稳定性优于脂肪族亚磷酸酯；通过掺合少量碱的办法改善其储存稳定性；设法掺合一定量的防水蜡或其他适当的憎水化合物。

（二）对物理性能要求

1. 加工性能

工业用的抗氧化剂形态，通常是温度达 250℃时可自由流动的固体粉末或低粘度的液体。为确保储存和运输的稳定性，抗氧化剂的熔点或软化点不应低于 50℃。考虑到工业卫生的更高要求，最好采用无尘的配制工艺。

2. 溶解性和乳化性

抗氧化剂若在高聚物合成阶段投加，应采用适当的物理形态。例如以溶解于单体或聚合溶剂的形式进行添加。如果希望以液体形式投加抗氧化剂，那么可用辅助抗氧化剂（如亚磷酸酯或硫醚）作为其溶剂。对于 ABS 乳液聚合工艺，抗氧化剂的投加方式最好是配制成乳剂。但对于高熔点的抗氧化剂，上述施用方式就不大适用。

3. 挥发性

抗氧化剂若投加于高聚物生产的最后工序（如干燥和单体的脱除阶段），则要求抗氧化剂不能因闪蒸挥发而损失。很多抗氧化剂（如长效热稳定剂）多是在高聚物的成型加工阶段投加的，在这种情况下，要求抗氧化剂不能因受热挥发或散发令人厌恶的臭味。大多数工业用的抗氧化剂可完全满足这些要求。

4. 抽出稳定性

抽出稳定性是一个很重要的指标。要求添加剂具备抽出稳定性的塑料制品，主要是一些室外用品和日用品（如洗衣机的零部件等）。此外，抽出稳定性也是毒性评价的一个因素。

近来有不少关于进一步改善添加剂抽出稳定性的报道，如合成分子量在 3000 及 3000 以上的齐聚物抗氧化剂，就是通过接枝的办法，把抗氧化剂键合在高聚物的分子链上；使抗氧化剂与相应的单体经共聚反应连接在离分子的骨架上。然而，以上种种努力远未达到实用的要求。

5. 相容性与迁移性

某些高聚物，在其表面有时可观察到添加剂析出的喷霜现象。对于低密度聚乙烯和聚氨酯来说，这种现象尤为明显。添加剂在高聚物中如果是呈过饱和的溶液并以很高的扩散速率向表面进行迁移，那么这时就可观察到上述的喷霜现象。其扩散系数取决于玻璃化温度等高聚物的性质和结晶度、取向度等大分子形态以及添加剂本身的固有特性。

聚丙烯、高密度聚乙烯和低密度聚乙烯对喷霜敏感度的比例关系，大致是 1:10:100。

总之，理想的抗氧剂应符合以下要求：

- 1) 抗氧化降解效能高。
- 2) 与基体的相容性好。
- 3) 对制品的物理、力学性能无不良影响。
- 4) 热稳定性高，耐热性好。
- 5) 挥发性小，扩散迁移适度，耐溶剂抽出性好。
- 6) 不与其他助剂发生不良反应。
- 7) 无毒，对人体无刺激，无异味，污染性小。
- 8) 价廉易得。

二、主要品种与性能

(一) 受阻酚类

1. 2, 6-二叔丁基对甲酚

性质 白色或淡黄色结晶粉末，遇光颜色变黄并逐渐加深。相对分子质量 220.36，挥发性较大，相对密度 1.048，熔点 68 ~ 70℃，沸点 257 ~ 265℃，闪点 126.7℃，蒸气压 0.27kPa (100℃)、4.0kPa (160℃)，溶于芳香烃（简称芳烃）、甲醇、乙醇、丙酮、四氯化碳、乙酸乙酯、汽油等，不溶于水或稀碱液，无污染性。

用法及应用特点 本品是传统受阻酚类抗氧剂的一个重要品种，因生产简便、价格低廉、不污染制品而应用广泛。本品对热、氧具有一定的防护使用，也能抑制铜害，适用于 PVC、PE、PP、PS、ABS、聚酯等，用量为 0.01% ~ 0.5%。缺点是防护效能不太高，在较高温度下加工时，易泛黄和挥发损失。

2. 2, 4, 6-三叔丁基苯酚

性质 白色或淡黄色结晶粉末。相对分子质量 262.43，熔点 131 ~ 135℃，沸点 277 ~ 278℃，水分 < 0.5%，灰分 < 0.5%，溶于烃类、甲醇、乙醇、乙醚、丙酮、芳烃，不溶于水。

用法及应用特点 本品的防护作用与抗氧剂 264 相当，在塑料中可用于聚苯乙烯和聚烯烃，无污染，不变色，价格低廉，一般用量 0.1% 左右。

3. 2, 6-二（十八烷基）-4-甲基苯酚

性质 黄色黏稠液体，相对分子质量 613.23，可溶于非极性溶剂中。

用法及应用特点 本品作为抗氧剂，可用于聚烯烃类树脂，在聚丙烯中抗热氧老化颇为有效，不污染制品，加工挥发性小。

4. 苯乙烯化苯酚

性质 浅黄或浅琥珀色黏稠液体。沸点 > 250℃，相对密度 1.07 ~ 1.09，折射率 1.5985 ~ 1.6020 (25℃)，溶于芳烃、甲醇、乙醇、丙酮、三氯乙烷等，难溶于汽油，不溶于水。

用法及应用特点 本品的抗氧化效能中等，在聚烯烃、聚苯乙烯、聚氯乙烯等塑料中有抗热氧老化作用，不污染制品，容易分散，在水中易形成乳化液。

5. 5-甲基-4, 6-二壬基酚

性质 浅灰色粉末。相对分子质量 360.69，溶于烃类溶剂，不溶于水。

用法及应用特点 本品可用于塑料、橡胶和乳胶制品，在户外暴露下，有良好的不变色特性，抗热氧老化性优良。

6. 4-羟甲基-2, 6-二叔丁基苯酚

性质 白色结晶粉末。相对分子质量 236.39，熔点 140 ~ 141℃，沸点 162℃ (346.6Pa)，在溶剂中的溶解度 (20℃)：乙醇 23.4%、甲乙酮 34.2%、异戊烷 0.5%、丙酮 37.1%、苯 7.2%、水 <0.0035%。

用法及应用特点 本品可以作为天然橡胶、合成橡胶以及塑料的抗氧化剂，适用于制造浅色制品。

7. 2, 6-二叔丁基- α -二甲氨基对甲酚

性质 白色或浅黄色结晶粉末。相对分子质量 263.46，熔点 94℃，沸点 179℃ (5332.8Pa)，相对密度 0.970，在溶剂中的溶解度 (20℃)：甲苯 22%、乙醇 28%、氢氧化钠 (1%) <0.002%、水 <0.0007%。

用法及应用特点 本品可以作为天然胶乳和合成胶乳的防老剂及聚烯烃的抗氧化剂，无污染，不变色，分散性好，热稳定性优良。

8. 叔丁基羟基茴香醚

性质 化学组成为 2-叔丁基-4-羟基苯甲醚 + 3-叔丁基-4-羟基苯甲醚，白色或略显黄色的粉末，有特殊气味，市售产品是 (I)、(II) 两种异构体的混合物。相对分子质量 180.27，熔点：异构体 (I) 纯品的熔点为 64℃，随着两种异构体含量的变化，熔点也随着改变，当异构体 (I) 的含量为 95%、90%、80% 时，其混合物 BHA 的熔点分别为 62℃、57℃、54℃。沸点 264 ~ 267℃ (9.77×10^4 Pa)，溶于丙二醇、乙醇，不溶于水。

用法及应用特点 本品可用于聚烯烃、聚苯乙烯、聚氯乙烯、纤维素等方面。

9. 1-羟基-3-甲基-4-异丙基苯

性质 白色针状结晶。相对分子质量 150.24，熔点 111 ~ 112℃，沸点 244℃，易溶于醇，难溶于水。

用法及应用特点 本品可用作橡胶和塑料的抗氧化剂，与金属皂类热稳定剂并用于聚氯乙烯，有协同效应。

10. 2, 6-二叔丁基-4-乙基苯酚

性质 灰白色结晶粉末。相对分子质量 234.39，熔点 44 ~ 45℃，相对密度 0.927，溶于苯、甲苯、己烷、丁醇等，不溶于水。

用法及应用特点 本品热稳定性甚好，可用作聚丙烯、聚乙烯的抗氧化剂。

11. 2, 6-二叔丁基-4-正丁基苯酚

性质 淡黄色液体。相对分子质量 262.48，凝固点 -26℃，相对密度 0.918，溶于

苯、甲苯、乙醇、丁醇、己烷，不溶于水。

用法及应用特点 本品热稳定性好，可作为聚乙烯、聚丙烯的抗氧剂。

12. 2, 4-二甲基-6-叔丁基苯酚

性质 淡黄色液体。相对分子质量 178.27，沸点 250℃，相对密度 0.96 ~ 0.97，溶于芳烃、甲醇、乙醇、己烷等有机溶剂，不溶于水或稀碱液。

用法及应用特点 本品作为液状聚合物（三聚丙烯、二聚异丁烯、四聚丙烯等）的抗氧剂，能防止凝胶的生成。

13. 3, 5-二叔丁基-4-羟基苄基磷酸二乙酯

性质 白色或微黄色结晶粉末。相对分子质量 372.4，熔点 159 ~ 161℃，溶解度：甲醇 62g/100g 溶剂、氯仿 50g/100g 溶剂、苯 33g/100g 溶剂、丙酮 27g/100g 溶剂、正己烷 0.6g/100g 溶剂、水 0.01g/100g 溶剂。

用法及应用特点 本品为含磷受阻酚抗氧剂，适用于聚酰胺、聚酯等多种塑料，抗热氧老化效能显著，并可防止催化剂残余物所引起的着色。

14. 3, 5-二叔丁基-4-羟基-苯丙酸 C₇ ~ C₉ 支链烷基酯

性质 无色或微黄色液体。相对分子质量 390.61，密度 0.95 ~ 1.00g/cm³，熔点 < 10℃，沸点 > 200℃，溶于有机溶剂，不溶于水。

用法及应用特点 本品为酚类抗氧剂。适用于液体、乳液、悬浮液、溶液及熔体的场合，特别适用于多元醇和聚氨酯，在聚氨酯软质泡沫塑料中防烧芯效果优良。

15. β-(4-羟基-3, 5-二叔丁基苯基) 丙酸正十八酯

性质 白色或微黄色结晶粉末。相对分子质量 530.87，熔点 49 ~ 52℃，23℃时的溶解度：甲醇 0.6g/100g 溶剂、苯 65.7g/100g 溶剂、环己烷 52.2g/100g 溶剂、丙酮 14.9g/100g 溶剂、棉籽油 0.3g/100g 溶剂、矿物油 0.6g/100g 溶剂，不溶于水。

常见质量指标如下：含量 ≥ 99.0%，透光率（10g/100mL 甲苯）≥ 97%（425nm）、≥ 98%（500nm），挥发分 ≤ 0.2%，灰分 ≤ 0.1%，色度（APHA）（10g/100mL 甲苯）≤ 50。

用法及应用特点 本品作为抗氧剂和热稳定剂，无污染，不着色，挥发性小，是耐水抽提的优良酚类抗氧剂之一，用于聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、ABS 树脂、聚氯乙烯、尼龙、聚酯、聚氨酯、纤维素塑料，相容性好，抗氧效能高，一般用量为 0.1% ~ 0.5%，与紫外线吸收剂并用有协同效应，也常与硫代二丙酸二月桂酯并用以进一步提高抗氧效能。

16. 环己基-β-(3, 5-二叔丁基-4-羟基苯基) 丙酸酯

性质 白色粉末，相对分子质量 360.54，熔点 75 ~ 76℃，易溶于苯、甲苯、甲醇和乙醇。

用法及应用特点 本品是高分子材料的热、光和氧老化的防止剂，与抗氧剂 DLTD-PH、三烷基亚磷酸酯或三烷基硫代亚磷酸酯并用有协同效应，也可与其他抗氧剂、稳定剂或紫外线吸收剂并用，用量一般为 0.05% ~ 2%。

17. 2, 5-二叔戊基-氢醌

性质 粉末。相对分子质量 250, 熔点 177 ~ 179℃, 溶解度: 水 < 0.1g/100g 溶剂、正己烷 0.1g/100g 溶剂、甲醇 0.4g/100g 溶剂、丙酮 22g/100g 溶剂。

用法及应用特点 适用于 PVC、弹性体。

18. 4, 6-二(辛基巯基甲基)邻甲酚

性质 低粘度的淡黄色液体。相对分子质量 424.7, 熔点约 14℃, 闪点 > 200℃, 密度 0.98g/cm³ (20℃), 蒸气压 < 2 × 10⁻⁵ Pa (25℃), 动力学粘度 85 ~ 90mPa · s (20℃)。

用法及应用特点 本品对聚烯烃具有加工过程中和长期热老化过程中的耐热、氧降解性能, 适用于塑料、弹性体、粘合剂、密封胶、油脂和润滑剂等, 尤其是在以溶液聚合和乳液聚合的聚合物和热塑性弹性体如 BR、SBR、NBR、IR、SBS、SIS 等中效果较好, 推荐用量为 0.05% ~ 0.3%。

19. 4, 4'-双(2, 6-二叔丁基苯酚)

性质 浅黄色结晶粉末, 无臭。相对分子质量 410.68, 相对密度 1.029, 熔点 186℃, 溶于异戊烷、甲苯、乙醇中, 不溶于水、碱类溶液中。

用法及应用特点 本品无污染, 不着色, 用作聚乙烯、聚丙烯的热稳定剂, 用量为 0.5 ~ 1 份。

20. 2, 2'-亚乙基-双(4, 6-二叔丁基苯酚)

性质 粉末或粉粒。相对分子质量 439, 熔点 162 ~ 166℃, 溶解度: 水 0.03g/100g 溶剂、正己烷 18g/100g 溶剂、乙醇 6g/100g 溶剂、丙酮 > 100g/100g 溶剂、甲苯 44g/100g 溶剂。

用法及应用特点 适用于 PE、PP、PS、PVC、弹性体。

(二) 胺类**1. N-环己基-N'-苯基对苯二胺**

性质 灰白色或灰紫色粉末。熔点 > 112℃, 相对密度 1.29, 易溶于丙酮、苯、乙酸乙酯、二氯甲烷, 溶于四氯化碳和乙醇, 微溶于庚烷和汽油, 不溶于水和酸, 暴露于空气中及受日光照射后颜色加深, 但效力不减。

用法及应用特点 本品为污染性抗氧剂, 适用于聚丙烯、聚酰胺和聚乙烯等, 不适用于浅色或艳色制品。

2. N, N'-二-β-萘基-对苯二胺

性质 浅灰白色粉末。相对分子质量 360.46, 熔点约 230℃, 相对密度 1.26 ~ 1.28, 灰分 < 0.5%, 溶于苯、氯仿、丙酮和二硫化碳, 微溶于汽油、乙醇, 不溶于水。

用法及应用特点 本品作为通用型胺类抗氧剂, 除具有优良的抗氧效能外, 还有良好的热稳定作用和抑制铜、锰等有害金属的功能, 适用于聚乙烯、聚丙烯、抗冲击聚苯乙烯、ABS 树脂、聚甲醛和聚酰胺等, 一般用量为 0.3% ~ 1%。

3. N-苯基丙胺与 2, 2, 4-三甲基戊烯的反应产物

性质 淡黄色液体。相对分子质量 393, 熔点 0 ~ 5℃, 沸点 > 300℃, 溶于常用有

机溶剂，不溶于水。

用法及应用特点 本品为液体芳香胺抗氧剂，适用于多元醇的生产、储存和加工的抗氧化处理，特别是与酚类抗氧剂和亚磷酸酯抗氧剂合用可有效防止聚氨酯软质泡沫塑料的烧芯问题。

4. N-苯基- α -萘胺

性质 淡黄色或紫色块状物或粒状物。相对分子质量 219.3，熔点 $>50^{\circ}\text{C}$ ，相对密度 1.16 ~ 1.22，闪点 188°C ，易溶于丙酮、苯、乙酸乙酯、乙醇、四氯化碳和氯仿，微溶于汽油，不溶于水。

用法及应用特点 本品为污染性抗氧剂，对氧、热和屈挠引起的老化有防护效能，对有害金属亦有一定的抑制作用，适用于聚乙烯，做电线和电缆料，与 N，N'-二苯基对苯二胺并用有协同效应，一般用量为 0.1% ~ 0.5%。

5. N，N'-二苯基对苯二胺

性质 浅灰色片状结晶。相对分子质量 260.34，熔点 $>136^{\circ}\text{C}$ ，沸点 282°C (1.066kPa)，相对密度 1.22 ~ 1.31，溶于丙酮、苯、甲苯、二氯乙烷、二硫化碳和氯仿，微溶于乙醇和汽油，不溶于水。

用法及应用特点 本品为污染性抗氧剂，可用于聚乙烯、聚丙烯、聚酰胺、聚甲醛和 ABS 树脂等。

6. N-异丙基-N'-苯基对苯二胺

性质 灰紫色或紫褐色片状物。相对分子质量 226.31，熔点 $72 \sim 75^{\circ}\text{C}$ ，相对密度 1.01 ~ 1.07 (25°C)，灰分 $<0.5\%$ ，溶于苯、丙酮、乙醇、四氯化碳、乙酸乙酯、二氯甲烷、氯仿、二硫化碳和吡啶，微溶于二甲苯、环己烷、乙二醇、异丙醇和汽油，不溶于水和碱水溶液中。

用法及应用特点 本品具有抗氧、抗臭氧、抗屈挠龟裂、抗日晒龟裂和抑制铜、锰等有害金属离子的作用，适用于聚乙烯和聚丙烯等。本品因有污染性，不适用于浅色制品。

7. N，N'-双（1，4-二甲基戊基）对苯二胺

性质 红褐色液体，微具特殊气味。相对分子质量 304.52，相对密度 0.90 ~ 0.91，流动点 -28.9°C ，闪点（开杯法） 203.3°C ，折射率 1.5102 (25°C)，加热损失 $<0.5\%$ (10°C ，2h)，溶于苯、乙醇和乙醚，不溶于水和 10% NaOH 溶液。

用法及应用特点 本品污染性较大，适用于聚乙烯和聚丙烯等，不适用于浅色或艳色制品。

8. N-（1，3-二甲基丁基）-N-苯基对苯二胺

性质 灰黑色结晶固体或鳞片状物。相对分子质量 268.41，熔点 $44 \sim 50^{\circ}\text{C}$ ，相对密度 0.986 ~ 1.000 (60°C)，灰分 $<0.1\%$ ，加热损失 $<1\%$ (70°C ，3h)，溶于苯、丙酮、乙酸乙酯、甲苯、乙醇和二氯乙烷，不溶于水和环己烷。

用法及应用特点 本品有抗臭氧、抗屈挠龟裂和抑制铜、锰等有害金属的作用，适

用于聚乙烯和聚丙烯等。本品的污染性比较严重，不适用于浅色制品。

9. 2-巯基苯并咪唑

性质 白色或淡黄色粉末。相对分子质量 150.2，熔点 290℃，相对密度 1.42，灰分 ≤0.5%，加热失重 ≤0.5%。

用法及应用特点 本品作为辅助抗氧剂，主要适用于合成橡胶及天然橡胶，以增加其耐热性。

10. 4, 4'-双[4-(1-苯基-异丙基)-苯基]胺

性质 熔点 98 ~ 100℃。

用法及应用特点 本品为高效不变色的非污染性芳香胺类抗氧剂，特别适用于聚合物高温加工并具有长效热稳定性，与酚类产品有显著的协同作用。

11. 2, 2, 4-三甲基-1, 2-二氢化喹啉聚合物

性质 熔点 120 ~ 125℃。

用法及应用特点 本品为非常优秀的加工和长效型热稳定剂，特别适用于用炭黑填充的黑色体系，如电线和电缆、农膜等乙丙聚合物。

12. 二苯胺和丙酮的反应物

性质 熔点 85 ~ 95℃

用法及应用特点 本品为经济型、具有协同效应作用的抗氧剂，可用于尼龙和其他炭黑填充的聚烯烃。

13. Genox EP

性质 熔点 90℃。

用法及应用特点 本品为特别高效的熔融型加工稳定剂，可提供极佳的熔体指数稳定性和颜色稳定性。

14. 二芳基胺酮反应物和 N, N'-二苯基对苯二胺的混合物

性质 熔点 87℃。

用法及应用特点 本品为高性能热稳定剂，尤其是作为长效热稳定剂用于尼龙和炭黑。

(三) 亚磷酸酯类

1. 亚磷酸三苯酯

性质 无色微带臭味透明液体。相对分子质量 310.29，相对密度 1.183 ~ 1.188 (20 ~ 25℃)，凝固点 20 ~ 24℃，折射率 1.588 ~ 1.590 (25℃)，含氯化物 <0.1%，溶于醇、苯、丙酮、不溶于水。

用法及应用特点 本品用作聚烯烃、聚有机硅氧烷、环氧树脂的辅助热稳定剂，在各种聚氯乙烯制品中作螯合剂，可使制品保持其透明度，并抑制颜色的变化。

2. 二苯基异辛基亚磷酸酯

性质 常温下为无色或微黄色透明的油状液体，有特殊的酯香味。相对分子质量 346.4，熔点 -5℃，沸点 148 ~ 156℃ (26.66Pa)，相对密度 1.050 (20℃)，折射率

1.5207 ~ 1.5288 (27.4℃), 酸值 < 0.5mgKOH/g, 溶于苯和乙醇, 不溶于水。

用法及应用特点 本品作为辅助抗氧剂, 在聚丙烯中与受阻酚类抗氧剂并用, 还可用作聚氯乙烯和其他共聚物的辅助抗氧剂。本品和金属盐或皂并用 (用量一般为 0.5% ~ 2%) 可以显著地改进聚氯乙烯制品的颜色, 增加透明度, 提高其耐光性和耐候性。本品在 ABS 树脂中可作为热稳定剂。

3. 亚磷酸三 (壬基苯基)

性质 琥珀色黏调液体。相对分子质量 689.01, 相对密度 0.97 ~ 0.99, 折射率 1.520 ~ 1.526, 可溶于丙酮、乙醇、苯、四氯化碳, 不溶于水, 但可水解, 特别是在酸性介质中。储藏稳定。

用法及应用特点 本品是不着色的稳定剂, 适用于聚氯乙烯、抗冲聚苯乙烯、聚乙烯、聚丙烯、ABS 树脂、聚酯和环氧树脂等, 热稳定效能高, 高温加工和使用过程中不变色, 与酚类抗氧剂并用有协同效应, 一般用量为 0.1% ~ 0.3%。

4. 亚磷酸三 (2, 4-二叔丁基苯基) 酯

性质 白色可流动粉末。相对分子质量 647, 熔点 182 ~ 187℃, 色度 (APHA) 50, 闪点 225℃, 相对密度 1.03 (20℃), 磷含量 4.9%, 挥发分 < 0.5%, 水解稳定性好, 在溶剂中的溶解度 (20℃): 二氯甲烷 36g/mL 溶剂、丙酮 1g/mL 溶剂、正己烷 11g/mL 溶剂、乙酸乙酯 4g/mL 溶剂、苯 34g/mL 溶剂、氯仿 36g/mL 溶剂、甲醇 < 0.01g/mL 溶剂、水 < 0.01g/mL 溶剂。

常见质量指标如下: 熔点 183.0 ~ 186.0℃, 透光率 (10g/100mL 甲苯) $\geq 97\%$ (425nm)、 $\geq 98\%$ (500nm), 挥发分 $\leq 0.3\%$, 固含量 $\geq 99.0\%$ 。

用法及应用特点 本品为辅助抗氧剂, 常和 Irganox 1010、Irganox 1076 以及 Cyanox 1790 等并用。本品作为复合抗氧剂用于聚丙烯、聚乙烯、聚苯乙烯、聚酰胺和聚酯等。本品用于聚丙烯, 作为加工稳定剂, 可防止加工温度下的热降解, 一般用量为 0.05% ~ 0.25%, 常和主抗氧剂并用, 使聚丙烯在加工后具有长效热稳定性, 在耐候配方中, 也是常用的一个组分。本品用于高密度聚乙烯, 作为加工稳定剂, 一般用量为 0.03% ~ 0.15%, 也和主抗氧剂并用于长效稳定和耐候配方中。本品用于低密度聚乙烯, 为防止喷霜现象, 用量不超过 0.1%。本品用于苯乙烯-丙烯腈共聚物, 和抗氧剂 1076 并用, 可有效地防止加工时的泛黄现象。本品用于尼龙 6 和尼龙 66, 用量为 0.2% ~ 0.4%, 加工后黄度指数明显下降。本品用于聚碳酸酯, 用量为 0.05% ~ 0.15, 可防止加工后的泛黄。本品还可用于线型聚酯、均聚甲醛和共聚甲醛等。

5. 2, 2', 2''-次氨基三乙基-三 (3, 3', 5, 5'-四叔丁基-1, 1'-二苯基-2, 2'-二基) 亚磷酸酯

性质 白色粉末。相对分子质量 1465, 熔点 205℃, 溶于己烷、甲苯, 具有优良的水解稳定性。

用法及应用特点 本品为新型亚磷酸酯类抗氧剂, 具有优良的水解稳定性, 优良的颜色稳定性和熔体流动速率稳定性, 特别适用于作为高性能塑料的加工稳定剂。本品与酚类抗氧剂合用, 可用于聚烯烃、聚酯、苯乙烯类聚合物、弹性体、粘合剂等领域。

6. 双〔2-甲基-4, 6-二(1, 1-二甲基乙基) 苯酚〕 亚磷酸乙基酯

性质 白色粉末。相对分子质量 514, 熔点 89 ~ 92℃, 溶于环己烷和己烷、甲苯、丙酮等有机溶剂。

用法及应用特点 本品为新型亚磷酸酯类抗氧剂, 具有优良的水解稳定性、低熔点、优良的颜色稳定性和熔体流动速率稳定性, 特别适用于局部施加抗氧剂的方法。本品与酚类抗氧剂合用, 可用于聚烯烃、聚酯、苯乙烯类聚合物、弹性体、粘合剂等领域。

7. 亚磷酸双酚 A 酯

性质 松香状透明块状固体。相对分子质量 712, 熔点 63 ~ 74℃, 磷含量 3.8% ~ 4.1%, 酸值 < 2.0mgKOH/g, 溶于乙醇、乙醚和酮类等有机溶剂, 不溶于水。

用法及应用特点 本品耐高温, 耐水解, 适用于聚烯烃、聚酯、聚氯乙烯、聚碳酸酯以及合成纤维等。

8. 亚磷酸-苯二异辛酯

性质 无色透明液体。相对分子质量 370, 相对密度 0.942 (25℃), 折射率 1.4791 (20℃), 沸程 148 ~ 156℃ (8Pa)。

用法及应用特点 本品作为辅助抗氧剂, 适用于聚氯乙烯等, 也是聚氯乙烯螯合剂, 可用于塑料医疗器械。

9. 亚磷酸三(2-氯乙酯)

性质 透明液体。相对分子质量 269.5, 相对密度 1.358 (20℃), 闪点 240℃, 折射率 1.4737, 酸值 < 1.0mgKOH/g。

用法及应用特点 本品作为抗氧剂, 无污染, 透明性好, 有阻燃性, 适用于聚丙烯、聚氯乙烯、聚酯和聚酰胺等。

10. 亚磷酸三丁酯

性质 透明液体。相对分子质量 250.3, 相对密度 0.924, 沸点 125℃。

用法及应用特点 本品作为抗氧剂, 适用于聚丙烯、聚氯乙烯、聚酯和聚酰胺等。

11. 亚磷酸三异癸酯

性质 无色透明液体。相对分子质量 517.5, 色度 (APHA) < 30, 酸值 < 0.05mgKOH/g, 磷含量 6.2%, 相对密度 0.884 ~ 0.904 (25℃/15.5℃), 粘度 11.6mPa · s (38℃)、7.8mPa · s (99℃), 沸点 180℃ (13Pa), 闪点 (开杯法) 235℃, 着火点 252℃, 折射率 1.4530 ~ 1.4610 (25℃), 溶于大多数普通有机溶剂, 不溶于水。

用法及应用特点 本品作为辅助抗氧剂, 适用于聚烯烃、聚氯乙烯、聚苯乙烯和聚酰胺等。

12. 四(2, 4-二叔丁基苯基-4, 4'-联苯基) 双磷酸酯

性质 白色粉末。相对分子质量 1034, 熔点 85 ~ 110℃, 溶于乙醇、丙酮、乙酸乙酯、苯、甲苯以及苯乙烯, 不溶于水。

用法及应用特点 本品为塑料用高温抗氧剂, 稳定性好, 高达 350℃ 不分解, 挥发

性低，不污染，不变色，不易水解，适用于聚丙烯、聚乙烯、聚苯乙烯、ABS 树脂、聚碳酸酯、聚酯、尼龙等多种塑料，用量 0.1% ~ 0.3%。本品常与主抗氧剂并用，可提高抗热氧老化效能。

13. 季戊四醇双亚磷酸酯二（十八醇）酯 [约含 1.0%（质量分数）] 的三异丙醇胺

性质 白色薄片或磨碎的粉末。相对分子质量 732，磷含量 7.2% ~ 7.8%，相对密度 0.920 ~ 0.935（60℃/15.5℃），表观密度 0.397g/mL（片状），熔点 40 ~ 70℃，最大酸值 1.0gKOH/g，折射率 1.4560 ~ 1.4590（60℃），闪点（PM）188℃。

用法及应用特点 本品可改进聚丙烯加工的稳定性。它可保持熔体流动，改善染色性能，提高热稳定性。本品与光稳定剂如二苯酮、苯并三唑和受阻胺一起并用时，有协同效应。本品加入三异丙醇胺主要用于改善水解稳定性。

14. 亚磷酸 4, 4'-二亚异丙基双酚 C₁₀ ~ C₁₆ 烷基酯

性质 浅黄色黏稠液体。相对密度（ d_{25}^{20} ）0.960 ~ 0.980，磷含量 5.2% ~ 5.9%，溶于甲苯、石油醚、三氯甲烷、乙酸乙酯，微溶于热乙醇、丙酮。

用法及应用特点 本品可作为各种高聚物的抗氧剂、热稳定剂和加工稳定剂，广泛用于 PVC、PET、ABS、尼龙、PPO、PBT 合金以及聚烯烃、聚苯乙烯和其他塑料制品中，能使制品保持透明度，抑制颜色的变化，增加抗氧化性能和光稳定性。

15. 多烷基双酚 A 亚磷酸酯双聚体和三聚体的复合物

性质 浅黄色黏稠液体。相对密度（ d_{25}^{20} ）0.970 ~ 0.995，粘度 2100 ~ 2800mPa·s，磷含量 5.3% ~ 5.8%，溶于甲苯、石油醚、三氯甲烷、二氧六环、正庚烷、乙酸乙酯，微溶于热乙醇、丙酮。

用法及应用特点 本品是具有优良性能的亚磷酸酯类抗氧剂，可作为高聚物的辅助抗氧剂和热稳定剂，广泛用于 PVC、PET、ABS、PPO、PBT 合金以及聚烯烃、尼龙、聚苯乙烯和其他聚合物中，可有效改善制品的光稳定性、加工稳定性、强度以及颜色稳定性和透明性，延长制品的寿命。本品具有稳定高聚物熔融粘度的特殊功效。

（四）其他抗氧剂

1. 硫代二丙酸二月桂酯

性质 白色粉末或鳞片状结晶固体。相对分子质量 514.84，熔点 38 ~ 40℃，溶于苯、甲苯、丙酮、汽油，不溶于水。

常见质量指标如下：含量 ≥ 99.0%，酸值 ≤ 0.05mgKOH/g，色度（Pt-Co）≤ 60，挥发分 ≤ 0.05%，灰分 ≤ 0.01%，铁含量 ≤ 3×10^{-6} 。

用法及应用特点 本品为优良的辅助抗氧剂，不着色，无污染，与主抗氧剂并用广泛用于聚丙烯、聚乙烯、聚氯乙烯、ABS 树脂等。本品单用时效能较低，与酚类抗氧剂和紫外线吸收剂并用有协同效应。本品一般用量为 0.01% ~ 2%，储运时不宜曝晒或高温储存，应放置在阴凉干燥、通风的地方。

2. 硫代二丙酸二（十三）酯

性质 无色或淡黄色透明液体。相对密度 0.936（25℃），熔点 < -24℃，沸点

265℃，溶于甲苯、正庚烷、甲乙酮、乙酸乙酯，不溶于水。

用法及应用特点 本品作为液体辅助抗氧剂，使用方便，溶解性好，适用于聚烯烃、ABS 树脂和聚氯乙烯，与酚类抗氧剂并用有协同效应。

3. 硫代二丙酸二（十四）酯

性质 白色结晶粉末或鳞片状物。相对分子质量 570.97，熔点 49 ~ 54℃，酸值 < 0.5mgKOH/g，相对密度 0.914(4℃)，溶解度见表 2-1。

表 2-1 硫代二丙酸二（十四）酯的溶解度

溶剂	溶解度/(g/100g 溶剂)			溶剂	溶解度/(g/100g 溶剂)		
	10℃	20℃	30℃		10℃	20℃	30℃
甲醇	0	0	0.60	乙酸乙酯	1.65	6.12	34.96
苯	30.03	54.64	122.33	水	0	0	0
丙酮	0.73	1.50	20.05				

用法及应用特点 本品为辅助抗氧剂，适用于聚丙烯、聚乙烯等聚烯烃和 ABS 树脂、聚氯乙烯、纤维素塑料等。本品抗氧效能和相容性较好，与 DLTDP 类似。

4. 硫代二丙酸二（十八）酯

性质 白色结晶絮状体。相对分子质量 683.18，熔点 63 ~ 69℃，易溶于醇类、丙酮、乙醚，不溶于冷水。

常见质量指标如下：含量 ≥ 99.0%，酸值 ≤ 0.05mgKOH/g，色度（Pt-Co）≤ 60，挥发分 ≤ 0.05%，灰分 ≤ 0.01%，铁含量 ≤ 3×10^{-6} ，皂化值 160 ~ 170mgKOH/g。

用法及应用特点 本品为辅助抗氧剂，使用效果比 DLTDP 好，但与树脂相容性较 DLTDP 差些，可用于聚丙烯、聚乙烯、聚氯乙烯、ABS 树脂、合成橡胶和油脂，一般用量为 0.1% ~ 1%。本品不着色，无污染，与主抗氧剂 1010、1076、CA 和紫外线吸收剂等并用，有协同效应。

5. 硫代二丙酸酯聚酯

性质 膏状固体。色度（加德纳）2 号，酸值 2.5mgKOH/g，闪点 249℃。

用法及应用特点 本品用作抗氧剂，可用于聚丙烯和其他聚 α-烯烃中。本品作为辅助抗氧剂组分与酚类主抗氧剂配合使用，能够与多数酚类抗氧剂和紫外线吸收剂配合而有效地发挥功能。因本品为低分子量的聚合物，故呈现出非常好的耐高温特性和抗水抽提性能，特别适用于易受水浸渍或在严格气候条件下使用的聚烯烃产品。

6. 硫代二丙酸月桂酯-硬脂酸混合酯

性质 流散性白色结晶性片状和粉末。相对密度 1.02(25℃)，色度（APHA）≤ 50，酸值 ≤ 0.6mgKOH/g，溶解度：95% 乙醇 0.05g/100g 溶剂、乙酸乙酯 1.7g/100g 溶剂、正庚烷 4.4g/100g 溶剂、甲乙酮 1.8g/100g 溶剂、甲苯 42.9g/100g 溶剂。

用法及应用特点 建议本品用于 HIPS。

7. 四（十二烷基巯基丙酸）季戊四醇酯

性质 熔点 47℃。

用法及应用特点 本品挥发性极低，为超高分子量的有机硫代酯类抗氧化剂，与主抗氧化剂协同使用时，有极好的长效热稳定作用。

8. 布他散

性质 熔点 107℃。

用法及应用特点 本品为含有二硫代氨基甲酸盐基团的非变色和非发雾型通用型辅助抗氧化剂。

9. 2-叔丁基-6-（3-叔丁基-2-羟基-5-甲基苯基）甲基-4-甲基苯基丙烯酸酯

性质 白色至灰白色流散性颗粒。相对分子质量 394，熔点 128 ~ 132℃，闪点 200℃，蒸气压 $< 1.1 \times 10^{-6}$ Pa (20℃)，挥发性（TGA，空气中，20℃/min，质量损失）1% (190℃)、10% (245℃)。

用法及应用特点 常用的受阻酚类抗氧化剂，抗氧化效能主要表现在捕获聚合物过氧自由基，但对无氧条件下热解产生的聚合物自由基、烷基自由基捕获能力低。本品分子中同时具有酚羟基和丙烯酸酯基两个活性基团，且所处位置有利于形成分子内氢键，可通过共轭加成捕获聚合物自由基、烷基自由基，最后生成稳定的苯氧自由基，从而有效地防止聚合物的热老化，热老化性能明显优于 1076。本品在高温加工条件下和厌氧状态下的效果极为突出，可用作链终止剂、凝胶抑制剂、高剪切条件下的热稳定剂。本品适用于所有的热塑性塑料、弹性体、粘合剂和聚合物混合物，对于含有烯基、丁烯基或苯乙烯基的聚合物、弹性体、粘合剂、改性 HIPS、ABS、BR、HR、乳化 SBR、溶剂化 SBR、SBR 橡胶、SBS、SEBS、EPDM、EPM、MBS、MABS、SMA、丙烯酸酯、萜烯树脂、松香树脂等具有特殊的效果，推荐用量为 0.05% ~ 0.5%。

10. 2, 4-二叔戊基-6-〔1-（3, 5-二叔戊基-2-羟基苯基）乙基〕苯基丙烯酸酯

性质 相对分子质量 548，熔点 119 ~ 121℃。

用法及应用特点 本品利用分子中同时存在的酚羟基和丙烯酸酯基形成分子内氢键，在无氧加工条件下产生的聚合物自由基首先加成到双键上，通过分子异构化形成稳定的苯氧自由基，防止聚合物的热老化。本品除可用于丁二烯类橡胶外，还可在聚烯烃中广泛使用，抗热老化性能优于抗氧化剂 GM，且耐氧化着色性能得到了明显改善。

11. 1, 3, 5-三（3, 5-二叔丁基-4-羟基苄基）均三嗪-2, 4, 6-（1H, 3H, 5H）三酮

性质 白色结晶粉末。相对分子质量 784.1，熔点 218 ~ 225.5℃，相对密度 1.03 (25℃)，透光率 $\geq 95\%$ (425nm)、 $\geq 97\%$ (500nm)，溶解度见表 2-2。

常见质量指标如下：熔点 218 ~ 223℃，固含量 $\geq 98.0\%$ ，透光率（10g/100mL 甲苯） $\geq 93\%$ (425nm)、 $\geq 95\%$ (500nm)，挥发分 $\leq 0.2\%$ ，灰分 $\leq 0.05\%$ 。

用法及应用特点 本品为具有三官能团的大分子型受阻酚抗氧化剂，无污染，不着色，挥发性极小，迁移性小，耐水抽提性好，可给予塑料优良的耐热氧化性能，使用

时与光稳定剂、辅助抗氧剂并用有协同效应，适用于聚丙烯、聚乙烯、聚苯乙烯、ABS树脂、聚酯、尼龙、聚氯乙烯、聚氨酯、纤维素塑料和合成橡胶，在聚烯烃中效果更为显著，一般用量为0.1%~0.25%。

表 2-2 1, 3, 5-三（3, 5-二叔丁基-4-羟基苄基）均三嗪-2, 4, 6-
(1H, 3H, 5H) 三酮的溶解度

溶 剂	溶解度/(g/100g 溶剂)		溶 剂	溶解度/(g/100g 溶剂)	
	25℃	50℃		25℃	50℃
乙酸(3%)	0.004	0.01	乙醇(50%)	0.005	0.005
丙酮	29.40	45.20	庚烷	0.16	0.42
苯	9.97		己烷	0.62	0.84
氯仿	21.50	35.56	异丙醇	0.36	
二甲基聚酰胺	45.56	64.58	甲醇	0.54	0.87
乙醇	1.58		水	0.002	0.003

12. 1, 3, 5-三（4-叔丁基-3-羟基-2, 6-二甲基苄基）-1, 3, 5-三嗪-2, 4, 6-
(1H, 3H, 5H) -三酮

性质 灰白色粉末。相对分子质量 699，密度 1.1g/cm³，体积密度 0.6g/cm³，熔点 159~162℃，闪点 276℃，挥发性(TGA) 10% (354℃)，溶解度(25℃)：苯乙烯>10g/100g 溶剂、甲苯>10g/100g 溶剂、甲乙酮>10g/100g 溶剂、正庚烷 1.2g/100g 溶剂、乙二醇 1.9g/100g 溶剂、乙醇 4.6g/100g 溶剂、甲醇 1.1g/100g 溶剂，不溶于水。

用法及应用特点 本品是一高效自由基捕捉剂，无污染，不着色，挥发性极低，最低的水分携带作用，具有优异的抗气熏褪色性质，为弹力纤维、聚酰胺和聚烯烃提供特别的加工性能和长期稳定性。本品适用于聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、ABS 树脂、聚酯、纤维素树脂等，对聚丙烯的防护效果尤佳，仅用 0.02%~0.1% 即可有效地抑制其在高温下加工及使用过程中的热氧化降解，与硫代二丙酸酯类抗氧剂并用有协同效应。本品耐水性好，耐洗涤液抽出性高，可用于洗衣机配件、PE 膜、扁丝、注塑和滚塑、片材、茂金属 PP 膜、扁丝、纤维、TPO。

13. 六氢-1, 3, 5-三 [β-（3, 5-二叔丁基-4-羟基苄基）丙酰] -均三嗪

性质 白色固体粉末。相对分子质量 861，熔点 224~226℃，分解温度>318℃，易溶于丙酮、乙醚、氯仿、芳烃等有机溶剂，微溶于脂肪烃和醇类，不溶于水。

用法及应用特点 本品为高效抗氧剂，具有挥发性低，无污染，多官能团等特点，适用于聚烯烃、聚甲醛、尼龙、聚酯等塑料，尤其对纤维和薄制品更为有效。

14. 2-正辛基硫代-4, 6-双（4'-羟基-3, 5-二叔丁基苯氧基）-1, 3, 5-三嗪

性质 白色结晶粉末。相对分子质量 665.97，熔点 135~140℃，溶于丙酮、苯，微溶于甲醇，不溶于水。

用法及应用特点 本品用作抗氧剂和光、热稳定剂，是聚丙烯、ABS 树脂的优良稳

定剂，与硫代二丙酸二月桂酯并用有协同效应，用量为 0.1% ~ 0.5%。本品也可用于聚乙烯、聚氯乙烯、改性聚苯乙烯、聚氨酯和尼龙，用量为 0.1% ~ 1%。

15. 2, 4, 6-三 [2- (2-羟基-3-叔丁基-5-甲基苯基) 4-甲基-6-叔丁基酚基]-氰尿酸酯

性质 固体粉末。相对分子质量 1096.5，熔点 228.5 ~ 230.8℃。

用法及应用特点 本品耐热性能高，耐抽出，可用作塑料和橡胶抗热氧化和抗光氧化的稳定剂。

16. 2- (4-羟基-3, 5-二叔丁基苯氨基) -4, 6-双 (正辛基硫代) -1, 3, 5-三嗪

性质 白色结晶粉末。相对分子质量 589，熔点 93 ~ 98℃，溶于多种有机溶剂和油类，不溶于水，溶解度 (23℃)：甲醇 1.4g/100g 溶剂、苯 43.4g/100g 溶剂、棉籽油 1.1g/100g 溶剂、丙酮 20.2g/100g 溶剂、己烷 9.1g/100g 溶剂、矿物油 0.6g/100g 溶剂。

三、抗氧剂在塑料稳定化中的应用

(一) 在聚乙烯中的应用

1. 高密度聚乙烯 (HDPE)

与聚丙烯相比，高密度聚乙烯对氧化作用的敏感性要差些，所以需要添加稳定剂的量通常也比较少。但抗氧剂的施用时间，与聚丙烯一样均可投加于树脂的合成直至造粒各个工序。关于对抗氧剂的着色性、相容性、挥发性、稳定性等方面的性能要求则完全与聚丙烯的情况一样。

(1) 在成型加工时，高密度聚乙烯的稳定处理 高密度聚乙烯制品的成型加工温度通常为 180 ~ 280℃。以齐格勒-纳塔工艺生产的高密度聚乙烯，在成型加工期间其熔体指数总要增大（类似于聚丙烯，在热加工时可导致高聚物分子链产生断裂）。但是，采用飞利浦工艺生产的高密度聚乙烯，热加工主要是导致分子链发生交联作用，因而出现熔体指数降低的现象。关于抗氧剂应用技术与聚丙烯是一样的。中、高分子量酚类抗氧剂也可作为长效热稳定剂应用，其用量通常为 0.03 ~ 0.15%。表 2-3 列出了用于高密度聚乙烯的各种热稳定剂的用量范围。与聚丙烯的情况相类似，采用齐格勒-纳塔催化体系聚合所得到的高密度聚乙烯，经过多次挤出 ($\phi 25\text{mm}$ 单螺杆挤出机， $L/D = 20$ ，最高温度 240℃)，熔体指数增高。对于飞利浦工艺生产的高密度聚乙烯，在熔体指数测定仪中进行 (230℃，负荷 325g) 熔体停留时间的试验，结果表明：随着停留时间的延长，熔体指数相应下降。

(2) 高密度聚乙烯的长效热稳定剂 高密度聚乙烯热氧化稳定性的测试方法与聚丙烯基本上相同，即老化试验都是在老化箱中进行的，试验的终点（老化寿命）可通过简单的人工弯曲试验，观察其开始出现脆裂的时间予以判断。可采用的稳定剂也跟聚丙烯的情况类似或完全一样。但用量要少得多，一般均低于 0.1%。同时，习惯上也用硫醚、亚磷酸酯等辅助稳定剂。

(3) 高分子量高密度聚乙烯的加工稳定剂 近年来，令人注目的是市场上出现了相对分子质量在 100 万和 100 万以上的高密度聚乙烯产品。这种高分子量的高密度聚乙烯

烯具有良好的力学性能，适合于生产大型容器和高强度薄膜。这种树脂的加工温度应高达 220 ~ 260℃，而且在该温度下需较长的加工停留时间。显然，在如此苛刻的加工条件下，要求树脂具有极良好的加工稳定性。否则，一旦出现轻度的交联或大分子链降解现象，就不可能生产出完全符合性能指标要求的制品。

表 2-3 用于高密度聚乙烯热稳定剂的用量范围

HDPE 生产工艺	I	II	III	IV	V
齐格勒-纳塔	磷酸酯 0.1%	磷酸酯 0.05%	2,6-二叔丁基 对甲酚(BHT) 0.1%	亚磷酸酯 0.1%	长效热稳定剂 (酚类) 0.1%
菲利浦	磷酸酯 0.1%	2,6-二叔丁基 对甲酚(BHT) 0.1%	长效热稳定剂 (酚类) 0.1%	磷酸脂 0.05%	亚磷酸酯 0.1%

酚类抗氧剂与亚磷酸酯或磷酸酯并用的办法在聚丙烯的加工稳定处理中是极为重要的。对于高分子量的高密度聚乙烯的加工稳定处理，这种并用的办法更是目前唯一实用的稳定处理措施。

用布拉本德塑性计测定树脂在塑化期间，转矩与时间、温度、转速等参数之间的关系，这种试验方法是很有用的。这种测试方法，对于聚丙烯和高密度聚乙烯虽然采用得不多，但却非常适合于研究高分子量的高密度聚乙烯（菲利浦工艺）。采用这种方法可以测定高聚物出现交联的诱导期。大分子链一旦产生交联，塑性计中所指示的转矩就会出现跃升。因此，通过这种试验方法可以考察各种外加稳定剂的作用效果。

四 3-（3，5-二叔丁基-4-羟基苯基）丙酸季戊四醇酯要是与含磷化合物并用，就可观察到明显的协同效应。如果仅单独应用四 3-（3，5-二叔丁基-4-羟基苯基）丙酸季戊四醇酯，那么其作用效果只大致相当于其他受阻酚类抗氧剂。与此相类似，如果以受阻酚替代四 3-（3，5-二叔丁基-4-羟基苯基）丙酸季戊四醇酯与含磷化合物并用，其作用效果与上述相比基本上是在同一数量级范围内。

2. 低密度聚乙烯（LDPE）

低密度聚乙烯主要用于吹制薄膜，其吹制加工的温度约为 200℃。在加工期间，受到氧化后可导致发生交联作用，进而生成凝胶。这种凝胶颗粒在薄膜制品中可形成肉眼可见的聚集体。加工厂家常称这种现象为“鱼眼”（fish eyes）或“矢斑”（arrow heads）。此外，添加剂的相容性也是至关重要的问题。由于低密度聚乙烯与各种添加剂的相容性远低于其他聚烯烃，因此为避免出现“喷霜”现象，添加剂的实际用量应予适当控制。通常，添加剂的用量都不超过 0.1%。

3. 线型低密度聚乙烯（LLDPE）

线型低密度聚乙烯获得了极大地发展。线型低密度聚乙烯常与低密度聚乙烯掺混而

用于生产薄膜制品。聚丙烯所采用的亚磷酸酯、长效热稳定剂并用稳定体系，也可以用作线型低密度聚乙烯的加工稳定剂体系，其总用量可高达 0.1%。抗氧剂的作用效果，一般是通过多次挤出后熔体指数变化情况的测定来进行评价的。关于长效热稳定剂作用效果的评价试验，通常是在温度不高于 120℃ 的老化箱中进行。试验终点（老化寿命）的测定是用简单的人工弯曲试验观察至试样出现脆裂。对于 1mm 厚的试片，其 120℃ 下的老化寿命通常为 40~50 天。这种试片预先要用抗氧剂进行稳定处理。抗氧剂的用量为 0.03%。抗氧剂可采用四 3-(3, 5-二叔丁基-4-羟基苯基) 丙酸季戊四醇酯或 3-(3, 5-二叔丁基-4-羟基苯基) 丙酸十八烷基酯。

4. 交联聚乙烯

用于生产电缆被覆层或管材的中、高分子量低密度聚乙烯，往往要求加工成为交联的产品。低密度聚乙烯的交联方法主要有以下三种：①过氧化物交联。②采用 β 或 γ 射线进行辐射交联。③以乙烯基硅氧烷与高聚物接枝，进而水解形成 Si—O—Si 链节。

在产品的实际应用中，还需要采取长效热稳定处理的措施，这是因为产品的服务年限要求长达 50 年，而且电缆的运行温度较高（短期峰值温度可达 100℃）。所采用的抗氧剂应该具有极好的相容性和抗抽出性。此外，在施用抗氧剂的同时，使用金属钝化剂是很必要的。在通信电缆中，当采用各种颜料作为色标时，这些添加剂应具备不致于搅乱通信电缆标志颜色的着色性能。现将用作绝缘材料的抗氧剂分别介绍如下：

1) 通信电缆绝缘被覆层用的抗氧剂：4, 4'-硫代双(3-甲基-6-叔丁基苯酚)、2, 2'-硫代双(4-甲基-6-叔丁基苯酚)、2, 2'-二(4-甲基-6- α -甲基环己基苯酚) 甲烷、1, 1, 3-三(5-叔丁基-4-羟基-2-甲基苯基) 丁烷、双 3-(3, 5-二叔丁基-4-羟基苯基) 丙酸 2, 2'-硫代二乙酯、四 3-(3, 5-二叔丁基-4-羟基苯基) 丙酸季戊四醇酯、硫代二丙酸二月桂基酯。

2) 动力电缆绝缘被覆层用的抗氧剂：四 3-(3, 5-二叔丁基-4-羟基苯基) 丙酸季戊四醇酯、2, 2, 4-三甲基-1, 2-二羟基喹啉聚合物、4, 4'-硫代双(3-甲基-6-叔丁基苯酚)、双 3-(3, 5-二叔丁基-4-羟基苯基) 丙酸 2, 2'-硫代二乙酯、硫代二丙酸二(十八烷基)酯。

(二) 在聚丙烯稳定化中的应用

在隔绝氧气的条件下，聚丙烯具有相当好的热稳定性。但是，聚丙烯对氧化作用是非常敏感的。为此，在送到制品加工厂之前，聚丙烯树脂通常都要经过一定的稳定处理，至少在聚合阶段就要施用部分抗氧剂；在最后的造粒工序再进一步投加抗氧剂。用于聚丙烯的抗氧剂应具备以下主要的辅助性能，即不对聚丙烯基质造成色污，应具有较好的相容性、抗抽出性和较低的挥发性。

1. 聚丙烯的加工稳定剂

一般，聚丙烯的成型加工温度为 220~280℃。若未经有效的稳定处理，那么在加工温度下聚丙烯就可能发生热降解作用（熔体指数的增大可直接反映出聚丙烯出现了降解）。

工业上采用的抗氧剂体系，主要构成是加工稳定剂、长效热稳定剂、硬脂酸钙或硬

脂酸锌及其必要的协同剂。其中,典型的加工稳定剂有 2,6-二叔丁基对甲酚(简称为 BHT)、亚磷酸酯及膦酸酯类。亚磷酸酯和磷酸酯类稳定剂主要有 4,4'-联苯基二膦酸四(2,4-二叔丁基苯基)酯、二亚磷酸二硬脂醇季戊四醇酯、亚磷酸三(壬基苯基)酯、亚磷酸三(2,4-二叔丁基苯基)酯、二亚磷酸二(2,4-二叔丁基苯基)季戊四醇酯。上述各种稳定剂的用量,一般为 0.05% ~ 0.25%。在评价各种稳定剂体系的作用效果时,最好采用多次挤出加工的办法。

值得注意的是,工业上采用的聚丙烯稳定体系中,含磷化合物的稳定剂常要与受阻酚并用。熔体指数的变化程度与高聚物的固有特性密切相关,但每个稳定剂配方的有效性并不随高聚物类型的不同而产生显著的改变。

如果对加工稳定性要求不太高,这时只要单独使用高分子量的酚类稳定剂即可。与 2,6-二叔丁基对甲酚(BHT)的情况不同,含磷化合物具有良好的抽出稳定性,同时,还具有抑制偶然出现轻度色污的功能。

2. 聚丙烯的长效热稳定剂

高温下,聚丙烯一旦接触空气,即可被氧化降解并成为粉状产物。这一氧化过程的诱导期具有很好的重复性,即通常所谓的热烘老化寿命(oven life times)。其氧化的终点,目测即可很容易地判定。氧化结果所造成的粉化现象,多是从试样的边角开始。试样热烘老化寿命的单位,常以天计。影响热烘老化寿命的因素,主要是所采用的稳定剂种类及其稳定剂配方体系、稳定剂的用量、试样厚度和试验温度以及 Forsman 提出的一些更具体的试验参数。

聚丙烯的长效热稳定剂,主要有中($M = 300 \sim 600$, M 为相对分子质量)、高($M = 600 \sim 1200$)分子量的酚类化合物,并常与硫醚类化合物并用。硫醚与酚并用常可产生协同效应。可作为硫醚化合物应用的有:硫代丙酸二月桂醇酯(DLTDP)、硫代二丙酸二硬脂醇酯(DSTDP)和二(十八烷基)联硫醚。常用的长效热稳定剂有:3-(3,5-二叔丁基-4-羟基苯基)丙酸十八烷基酯、四 3-(3,5-二叔丁基-4-羟基苯基)丙酸季戊四醇酯、1,3,5-三(3,5-二叔丁基-4-羟基苯基)异氰尿酸酯、1,1,3-三(5-叔丁基-4-羟基-2-甲基苯基)丁烷、1,3,5-三(3,5-二叔丁基-4-羟基苯基)苯、二[3,3-二(3'-叔丁基-4'-羟基苯基)丁酸]乙二醇酯。

(三) 在苯乙烯类塑料稳定化中的应用

1. 抗冲击聚苯乙烯(IPS)

与未改性聚苯乙烯相比,苯乙烯-丁二烯共聚物对氧化作用的敏感性要大得多,这是由于共聚物中聚丁二烯链段的不饱和双键较容易被氧化而造成的。该共聚物一旦被氧化就会出现泛黄现象,力学性能随之也会下降。

用于抗冲击聚苯乙烯的抗氧化剂,主要有 2,6-二叔丁基对甲酚(BHT)、3-(3,5-二叔丁基-4-羟基苯基)丙酸十八烷基酯、1,1,3-三(5-叔丁基-4-羟基-2-甲基苯基)丁烷、硫代二丙酸二月桂基酯和磷酸三(正)戊酯(TNPP,偶尔使用)等。用于抗冲击聚苯乙烯抗氧化剂的用量,一般为 0.1% ~ 0.25%。

(1) 关于抗氧化剂的使用问题 早先,抗氧化剂用于高聚物生产最后的造粒工序,且

通常又与润滑剂、颜料及其他必要的添加剂一起掺合施用。近年来,在聚合反应初期就开始投加抗氧剂的办法愈加普遍推广。后者实际上是把抗氧剂投加在聚丁二烯的苯乙烯溶液中,而后进行共聚反应。这种施用抗氧剂方法的主要优点是便于精确计量,并可确保均匀的分散,同时又可防止不稳定的橡胶相在合成阶段可能出现的氧化反应和过度的交联作用,从而改善了高聚物在成型加工期间和最终制品应用阶段的抗氧化性能。采用这种抗氧剂施用方式的先决条件是不能影响正常的聚合反应,也不能对所生成高聚物的相对分子质量、支化度等性能参数造成不利的影响。同时,为了降低在单体回收阶段出现的损失和避免影响回收单体的质量,应考虑选用高分子量的抗氧剂。因此,挥发性较大且容易生成带色氧化产物的BHT(2,6-二叔丁基对甲酚)就不适合作为抗冲击聚苯乙烯的抗氧剂。

(2) 抗冲击聚苯乙烯的热氧化性能 抗冲击聚苯乙烯,一般是在220~260℃的温度条件下成型加工的。受到热氧化破坏的结果主要表现在出现泛黄和冲击强度、伸长率等力学性能的降低。在边角废料回收再加工时,高聚物性能受影响的程度更为突出。

抗冲击聚苯乙烯老化试验所采用的温度,通常为80℃或150~160℃。凡抗泛黄能力强的稳定处理体系,其试样同时也能保持较高的冲击强度和伸长率等力学性能。在理论研究中,常可通过羰基的红外吸收峰来判断和评价高聚物的氧化稳定性和抗氧剂的作用效果。

2. 结晶聚苯乙烯 (PS)

聚苯乙烯在惰性环境中受热可产生降解。降解结果表现为高聚物溶液粘度降低,并生成苯乙烯单体和齐聚物等降解产物。在氧化条件下,未改性的聚苯乙烯属于比较稳定的高聚物,因此在许多应用领域并不需要添加抗氧剂进行稳定处理。然而,重复加工(如真空成型的泡沫制品在生产过程中产生的大量边角料就要进行回收和再加工)却会使高聚物氧化变质,经此氧化降解后,结果就会出现高聚物熔体指数的增大和制品脆化现象。这时,采用3-(3,5-二叔丁基-4-羟基苯基)丙酸十八烷基酯进行稳定处理是有效的,其用量最多为0.15%。必要时,可并用亚磷酸酯或磷酸酯以改善其色调。

聚苯乙烯对光氧化作用较为敏感。经光氧化作用后,可出现泛黄和脆化现象,其中,苯乙烯单体是造成泛黄的肯定因素。3-(3,5-二叔丁基-4-羟基苯基)丙酸十八烷基酯稳定剂可在一定程度上提高聚苯乙烯的光稳定性。如果并用紫外线吸收剂则可获得协同增效的作用。

3. 苯乙烯-丙烯腈共聚物 (SAN 树脂)

SAN树脂与未改性的聚苯乙烯情况不同,SAN树脂在惰性条件下,早在热加工期间就可出现色污。经再次加工,可观察到树脂的熔体指数明显上升。这个结果表明高聚物已出现降解并导致相对分子质量降低。这种现象起因于非氧化的化学反应,所以外加抗氧剂的效果就要受到限制。但是,如果采用亚磷酸酯[如亚磷酸三(2,4-二叔丁基苯基)酯]与酚类抗氧剂[如3-(3,5-二叔丁基-4-羟基苯基)丙酸十八烷基酯]并用,就有可能使树脂在注塑加工(加工温度为230~250℃)时出现的泛黄现象降低到一定程度。与未进行稳定处理的空白试样相比,采用抗氧剂(总用量为0.1%~0.2%)稳

定处理的试样,经热加工后,其黄度指数(按美国 ASTM D1925—70 标准测定)可降低 2~5。

4. 苯乙烯类热塑性弹性体

苯乙烯-丁二烯-苯乙烯共聚物(SBS)、苯乙烯-异戊二烯-苯乙烯嵌段共聚物(SIS)等热塑性弹性体,因分子链中都含有不饱和的柔性链段,所以对氧化作用的敏感性与苯乙烯-聚丁二烯接枝共聚物是一样的。这些高聚物的应用领域主要是鞋底、滑雪鞋和衬垫。为满足这些制品的性能要求,可通过掺混聚苯乙烯、环烷油和碳酸钙、二氧化硅等填充剂进行适当的调整配合。

(1) 苯乙烯类热塑性弹性体在合成期间的稳定处理 苯乙烯类热塑性弹性体通常是在脂肪烃中进行溶液聚合而制得。这类高聚物在合成的后期工序(如汽提、干燥等)中,可出现自身的自动氧化作用,并导致高聚物产生色污和熔体指数的增大。因此,在这些工序之前就应对高聚物溶液施用抗氧剂,同时,要求抗氧剂溶于聚合的溶剂。实际采用的抗氧剂多是一些受阻酚类化合物,且常并用磷酸三戊酯(TNPP),总用量约为 0.5%。其中,作为主抗氧剂应用的有 2,6-二叔丁基对甲酚、1,1,3-三(3,5-二叔丁基-4-羟基苯基)苯、3-(3,5-二叔丁基-4-羟基苯基)丙酸十八烷基酯。作为增效剂的有亚磷酸三(壬基苯基)酯。其中,2,6-二叔丁基对甲酚在高聚物的干燥和合成的后期工序中会有部分的挥发损失。为此,常采用低挥发度的较高分子量的酚类抗氧剂以减少这种挥发损失。这种高分子量抗氧剂因挥发度低,故在制品的成型加工期间及其最终应用过程中仍然可以起到一定的保护作用。评价这类抗氧剂的作用效果,常采用布拉本德塑性仪在 150~200℃ 条件下进行试验,也可在 60~80℃ 条件下进行老化试验。

(2) 苯乙烯类热塑性弹性体的长效稳定处理 苯乙烯类热塑性弹性体及其配合物的长期老化性能,可采用 70~80℃ 温度下进行的老化试验予以评定。常用的评价指标主要是拉伸强度、伸长率和色污程度等。用于此类热塑性弹性体及其配合物的长效热稳定剂,主要有高分子量的酚类抗氧剂,同时也可并用硫代二丙酸二月桂基酯(DLTDP)、总用量可达 0.8%。可选用的主抗氧剂有 1,1,3-三(3,5-二叔丁基-4-羟基苯基)苯、二(3-叔丁基-4-羟基-5-甲苯基)双环戊二烯、2,4-二辛硫基-6-(3,5-二叔丁基-4-羟基苯胺基)对称三嗪、四 3-(3,5-二叔丁基-4-羟基苯基)丙酸季戊四醇酯、3-(3,5-二叔丁基-4-羟基苯基)丙酸十八烷基酯、2,2'-亚甲基-双(4-甲基-6-叔丁基苯酚)、2,2'-亚甲基-双(4-甲基-6-壬基苯酚)、2,2,4-三甲基-1,2-二羟基喹啉聚合物等。作为辅抗氧剂的有硫代二丙酸二月桂基酯和二丁基二硫代氨基甲酸锌(butyl zimate)等。其中,二丁基二硫代氨基甲酸锌辅抗氧剂主要是用于作为粘合剂的热塑性弹性体。亚甲基双酚和芳香胺类化合物也是很有有效的抗氧剂,但这些抗氧剂可导致基质出现色污,所以不能用于浅色的制品。

(四) 在 ABS 树脂(丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物)稳定化中的应用

从抗氧剂应用消费比例来看,ABS 树脂与聚丙烯几乎相当。

与抗冲击聚苯乙烯类似,ABS 树脂因含有不饱和的弹性体链段,所以对氧化作用是敏感的。同时,因为 ABS 树脂所含容易受氧化的不饱和组分高于抗冲击聚苯乙烯(不

饱和组分的重量含量，在 ABS 树脂中可高达 30%，而在抗冲击聚苯乙烯中只占到 10%），且 ABS 制品的价值高，使用寿命也要求较长些，所以抗氧剂在 ABS 树脂中的用量一般要比抗冲击聚苯乙烯高。

1. 合成期间 ABS 树脂的稳定处理

ABS 树脂主要有以下两种生产工艺：

1) 在聚丁二烯胶乳中通入苯乙烯和丙烯腈进行接枝共聚之后，与另外合成得到的苯乙烯-丙烯腈共聚物（SAN）胶乳进行掺混，最后经凝析和干燥而得到 ABS 树脂。

2) 把经分别合成、干燥得到的接枝高聚物和 SAN 树脂两种高聚物进行共混造粒。

在上述两种生产工艺中，高聚物粉料都要求在 100 ~ 150℃ 的条件下进行干燥处理。在这样高的温度下，粉状高聚物对氧化作用是极为敏感的。因此，要是稳定处理不当，或是加入的抗氧剂未能获得很好的分散而起不到对氧的攻击进行有效的防护，结果就会影响产品的性能，甚至在干燥阶段就会出现高聚物的性能降低。为此，抗氧剂的投加时间应在 ABS 胶乳凝析之前。在这个时期投加，抗氧剂常配成乳液的形式（有时也采用溶液的形式）与高聚物胶乳进行均匀的掺混。此外，作为 ABS 树脂的主抗氧剂，在实际应用时经常还要并用一定的协同增效剂。用于 ABS 树脂的主抗氧剂主要有：2，6-二叔丁基对甲酚（BHT）、2，2'-亚甲基-双（4-乙基-6-叔丁基苯酚）、2，2'-亚甲基-双（4-甲基-6-叔丁基苯酚）、2，2'-亚甲基-双（4-甲基-6-环己基苯酚）、2，2'-亚甲基-双（4-甲基-6-壬基苯酚）、3-（3，5-二叔丁基-4-羟基苯基）丙酸十八烷基酯、1，1，3-三（5-叔丁基-4-羟基-2-甲基苯基）丁烷。常用的协同增效剂有亚磷酸三（壬基苯基）酯和硫代二丙酸二月桂基酯。上述抗氧剂在常温时多是液体或是较低熔点的固体。为便于能配制成稳定乳液进行应用，抗氧剂这一特性是个重要的前提条件。顺便提一下，磷酸三戊酯（TNPP）常用作主抗氧剂的溶剂。与此同时，抗氧剂还应具备低挥发度和低汽提挥发性的特点。

2. 在加工期间和制品应用条件下 ABS 的稳定处理

ABS 树脂主要用于生产注塑制品。只要在合成阶段能合理地施用抗氧剂，一般均可满足成型加工期间及制品使用条件对热氧化稳定性的要求。但是，对于采用挤出工艺生产的管材、板材等制品，因加工工艺的改变，一般要求更有效的稳定处理。通常，抗氧剂可以乳液的形式投加于合成工序的胶乳中及之后的造粒工序。除了抑制色污外，辅抗氧剂的主要作用就是阻止制品冲击强度的降低。为此，常使用一些相对分子质量适中的抗氧剂，例如硫代双酚、亚甲基双酚和羟基苯基丙酸酯类化合物。其中，某些抗氧剂还可并用硫代二丙酸二月桂基酯（DLTDP）。

抗氧剂的作用效果可通过老化试验予以评定，老化试验的温度一般为 180 ~ 200℃ 老化前试样的黄度指数均为 7。实际上，用不同抗氧剂稳定的试样经挤出加工后，通常有 2 ~ 5 左右的黄度指数差值。此外，亚甲基双酚类抗氧剂具有色污，而 3-（3，5-二叔丁基-4-羟基苯基）丙酸十八烷基酯则几乎无此现象。

用 180 ~ 200℃ 下的老化试验研究冲击强度受影响的程度，只适用于 ABS 的压模试样。对于注塑试样，由于在该温度下试样的收缩率过大，因而难以采用这种评价试验方

法。

对于 ABS 树脂氧化作用的定量测定, 可以采用红外反射光谱法 (衰减全反射, ATR)。采用红外光谱法时可动态地观察到, 双键 (顺式—C=C—) 吸收峰随羰基 ($\begin{array}{c} \diagup \\ \text{C=O} \\ \diagdown \end{array}$) 吸收峰的出现而同时消失。CIBA—GEIGY 公司实验室的研究工作表明, 羰基的形成与色污之间存在着直接的关系。

(五) 在聚酰胺稳定化中的应用

1. 聚酰胺 6 和 66

亚磷酸酯类抗氧剂可在一定程度上改善聚酰胺在加工期间产生的色污。例如, 采用亚磷酸三 (2, 4-二叔丁基苯基) 酯, 用量为 0.2% ~ 0.4%, 经加工后聚酰胺的黄度指数可降低 5 ~ 10。

聚酰胺的稳定处理主要是解决其长期稳定问题。目前, 可用作聚酰胺的稳定剂有以下三大类。

(1) 铜盐类 这类抗氧剂基本上是由铜盐与含有卤素、磷或同时含有卤素和磷两种元素的化合物所组成的稳定体系, 例如醋酸铜加碘化钾/磷酸体系。这类抗氧剂的特点是有效用量低 [一般铜只要 $(10 \sim 50) \times 10^{-6}$, 卤素约为 1000×10^{-6}], 缺点是容易产生色污和被水抽出。

(2) 芳香胺类 N, N'-二萘基对苯二胺、N-苯基-N'-环己基对苯二胺等均属于这类抗氧剂。除铜盐-卤化物抗氧剂体系外, 芳香胺类化合物也是聚酰胺中最有效的一类抗氧剂。其用量稍高些, 一般为 0.5% ~ 2%。这类抗氧剂色污严重, 因此只能用于一些色调要求不高的工业制品。

(3) 受阻酚类 这类抗氧剂没有上述两种抗氧剂所存在的色污, 因此特别适用于要求同时具备较高色调和氧化稳定性的制品, 以及可能接触食物的制品。受阻酚类抗氧剂主要有 N, N'-六次甲基-2, 3- (3, 5-二叔丁基-4-羟基苯基) 丙酰胺、1, 1, 3-三 (5-叔丁基-4-羟基-2-甲基) 丁烷、1, 3, 5-三 (3, 5-二叔丁基-4-羟基苯基) 苯、2, 6-二叔丁基对甲酚等。受阻酚类抗氧剂可在聚酰胺的缩聚阶段加入, 一般用量为 0.3% ~ 0.7%。

聚酰胺的老化寿命同样也取决于老化试验温度这一因素。当采用酚类抗氧剂时, 老化试验温度每降低 10℃, 老化寿命就按不同的试验规范延长 2.1 ~ 2.3 倍。以此推算, 如果老化试验温度降低 60℃, 那么聚酰胺的老化寿命大约可延长 100 倍。但是, 铜盐抗氧剂的作用效果受试验温度的影响程度有些不同, 即老化试验温度每降低 10℃, 老化寿命的延长一般不超过 2 倍。因此, 采用 100 ~ 120℃ 的老化试验温度, 铜盐体系和酚类抗氧剂二者的作用效果才有可比性。

评价抗氧剂作用效果的试验项目, 除了上述物理力学性能和色污等测试项目外, 还经常采用与老化寿命密切相关的高聚物溶液粘度这一性能指标进行评价。

聚酰胺在老化过程中, 力学性能下降的反应要比出现色污来得迟缓。在较短时间的老化后就可以观察到泛黄现象, 然而在这样短的时间内却不可能观察到试样的拉伸强

度、伸长率等力学性能有多大变化。

2. 聚酰胺 11 和聚酰胺 12

此类聚酰胺所采用的稳定处理措施及其评价测试项目，基本上与聚酰胺 6 和聚酰胺 66 一样。铜盐-卤化物体系和芳香胺类抗氧化剂也都具有较好的作用效果，同时也存在同样的缺陷。若采用酚类抗氧化剂，用量通常要高些，可达 1% 左右。可作为抗氧化剂使用的酚类化合物主要有 4-羟基-对月桂基苯胺、4-羟基-对硬脂基苯胺、N, N'-六次甲基二 3-(3, 5-二叔丁基-4-羟基苯基) 丙酰胺、四 3-(3, 5-二叔丁基-4-羟基苯基) 丙酸季戊四醇酯。

(六) 在聚碳酸酯 (PC) 稳定化中的应用

聚碳酸酯热氧化结果的主要表现是泛黄。聚碳酸酯制品是透明的，稍有泛黄即可觉察。显然，聚碳酸酯的抗色污稳定处理极为重要。稳定剂通常是在造粒阶段投加的。因为聚碳酸酯的加工温度极高（约 320℃），所以对于添加剂的挥发性和热稳定性的要求也很苛刻。

1. 聚碳酸酯在加工期间的稳定处理

亚磷酸酯和膦酸酯类抗氧化剂可防止聚碳酸酯的泛黄，用量一般为 0.05% ~ 0.15%。必要时，也可并用作为酸吸收体的环氧化物。经一定用量抗氧化剂的稳定处理后，黄度指数可明显地（肉眼即可分辨）降低 5 ~ 8，而且还有效地抑制熔体指数的增大和冲击强度的降低。亚磷酸酯作用效果的评价，可采用热重分析法和差热分析法。

2. 聚碳酸酯的长期热稳定处理

在老化箱进行长时间热老化模拟试验，要克服聚碳酸酯的泛黄，上述的加工稳定剂是不适用的。这时，有效的抗氧化剂是受阻酚类化合物。

(七) 在聚甲醛 POM 稳定化中的应用

聚甲醛 (polyoxymethylenes, POM) 具有明显的受热解聚而失去甲醛的倾向。为了防止热解聚，最好的办法是设法改选聚甲醛的结构。常用的改性方法有通过乙酰化作用来封闭聚甲醛的端基活性，或采用环氧乙烷等环烷基醚进行共聚改性。

聚甲醛还具有容易产生自动氧化反应的倾向。氧化结果可导致分子链断裂而解聚。解聚反应释放出来的甲醛又容易被氧化成甲酸。经此反应生成的甲酸，进而可成为解聚反应的催化剂以促进聚甲醛的进一步氧化解聚。聚甲醛典型的氧化破坏的主要表现是失重。

聚缩醛的稳定体系一般是由受阻酚类抗氧化剂和必要的辅抗氧化剂组成。可用作聚缩醛的受阻酚类抗氧化剂主要有 2, 2'-亚甲基-双(4-甲基-6-叔丁基苯酚)、1, 6-六次甲基-二 3-(3, 5-二叔丁基-4-羟基苯基) 丙酸酯、四 3-(3, 5-二叔丁基-4-羟基苯基) 丙酸季戊四醇酯。此外，双氰胺、三聚氰胺、三聚酰胺以及脲和胍的衍生物等许多含氮有机化合物都可以作为聚缩醛的辅抗氧化剂。这些含氮化合物的作用在于它可与甲醛反应，并能中和其氧化所生成的酸（如甲酸）。除了含氮化合物之外，可用作酸吸收剂的还有硬脂酸钙、蓖麻酸钙或柠檬酸钙等长链脂肪酸的盐类。

通常，用于聚缩醛的酚类抗氧剂的实际用量为 0.1% ~ 0.5%，辅抗氧剂的用量为 0.1% ~ 1.0%。

（八）在热塑性聚酯稳定化中的应用

1. 聚对苯二甲酸乙二醇酯和丁二醇酯（PET 和 PBT）

聚对苯二甲酸乙二醇酯（PET）、聚对苯二甲酸丁二醇酯（PBT）等聚对苯二甲酸酯具有较强的抗自动氧化作用的能力。为改善其长期热稳定性，有时也采用酚类抗氧剂，其作用在于改善经热加工处理后而产生的色污和冲击强度下降等。老化试验的温度通常为 150 ~ 180℃。较为有效的抗氧剂是四 3-（3，5-二叔丁基-4-羟基苯基）丙酸季戊四醇酯。

2. 热塑性聚酯弹性体

热塑性聚酯弹性体中所含有的柔软的聚醚链段易受到氧化，为此对使用寿命要求较长的制品就有必要进行一定的稳定处理。常用的抗氧剂主要有 4，4'-二（ α ， α -二甲基苄基）联苯胺和 N，N'-六次甲基-二 3-（3，5-二叔丁基-4-羟基苯基）丙酰胺两种，用量可高至 1%。抗氧剂的投加时期，可以在合成的最后工序造粒阶段，但最好还是在缩聚阶段。在缩聚阶段若投加的抗氧剂是 N，N'-六次四基二 3-（3，5-二叔丁基-4-羟基苯基）丙酰胺，那么其中的酰胺基团就很有可能被缩合到高聚物的大分子链中。显然，这种抗氧剂具有极高的抽出稳定性，并能在一定程度上改善加工过程可能出现的色污问题。

关于抗氧剂的作用效果，可通过测定特性粘数（以间里酚为溶剂）与老化（老化试验温度 140 ~ 180℃）时间的关系进行评价，也可以采用人工弯曲试验进行判断。后者是在一定的老化温度下（如 80℃）进行老化，并采用简单的人工弯曲试验以观测试样出现脆裂的时间，从而判断老化试验的终点。人工弯曲试验的数据应具有一定的重复性。

（九）热塑性聚氨酯弹性体

此类高聚物的性能和氧化稳定性取决于其分子链中所含线性聚醚或聚酯柔软链段的长度、结构及其异氰酸酯链节等因素。一般聚氨酯可分为聚醚型和聚酯型两种。聚醚型聚氨酯的氧化稳定性明显低于聚酯型聚氨酯，但聚酯型聚氨酯的抗水解稳定性却比较差。

为适应聚氨酯制品的不同性能要求，应采用不同的抗氧剂进行稳定处理。例如，聚氨酯注塑制品进行稳定处理的目的在于防止力学性能的下降和可能出现的色污问题，聚氨酯弹性纤维偶尔采用抗氧剂是为了防止经气熏而褪色。为了改善光稳定性，用于聚氨酯的抗氧剂常与光稳定剂并用。一般这种并用都具有协同增效的作用。

聚氨酯施用抗氧剂的另一种方式是把抗氧剂预先投加在多元醇单体中一同送去缩聚。聚醚多元醇主要是用于制备聚氨酯泡沫体。采取这种施用抗氧剂的方式，实际上可起到以下两种作用：第一，防止多元醇在储存期间可能出现的氧化变质；第二，防止在缩聚发泡期间，物料内部因过热而可能产生的色污。聚氨酯的缩聚发泡过程伴随强烈的放热反应，加上导热性极差的泡沫体阻隔，物料的中心部位就很可能出现“焦烧”现象，并产生色污。对此，可采用的抗氧剂稳定体系有受阻酚、芳香胺类化合物及其并用

体系。其中，可采用的受阻酚类抗氧剂有 2, 6-二叔丁基对甲酚、3- (3, 5-二叔丁基-4-羟基苯基) 丙酸十八烷基酯、四 3- (3, 5-二叔丁基-4-羟基苯基) 丙酸季戊四醇酯；芳香胺类的有 4, 4'-二叔辛基联苯胺。由于芳香胺类抗氧剂存在色污，因此在应用时应严格控制用量。一般用量为 $(250 \sim 500) \times 10^{-6}$ ，至多不能超过 500×10^{-6} 。

第二节 光 稳 定 剂

一、简介

为保护高聚物免受紫外光的降解破坏，首先应设法防止发色团对紫外光的吸收或是降低其吸收剂量。其次是尽可能促使处于激发态下的发色团钝化，以降低其引发速率；第三是在拟定的链支化阶段中，要设法阻止光氧化降解过程的进一步发展。这种防护紫外光的办法意味着氢过氧化物在光分解之前转化成比较稳定的化合物而不生成自由基。当然，这还是属于降低引发速率的方法，但在一定情况下，对紫外光稳定处理而言，它是最最重要的一个措施。此外，除了氢过氧化物外，发色基团的络合或钝化作用也具有一定的意义。第四种是在自由基（无论是烷基自由基还是过氧化自由基）一旦生成的情况下，应尽可能快地把它捕获清除掉。

（一）紫外线吸收剂

紫外线吸收剂的防护原理主要在于它能吸收有害的紫外线辐射，且吸收紫外线后仅仅转化为热而不致于引起光敏化作用。紫外线吸收剂除了本身应具有很强的吸收能力外，还应具有很高的光稳定性，否则，它也会很快地在非稳定性反应中消耗掉。紫外线吸收剂最根本的缺点是，必须具有一定的吸收深度（即样品应具备一定的厚度）方能对塑料起到保护作用。因此，像纤维、薄膜之类很薄的制品对于高聚物表面的保护作用就要受到一定的限制。

得到最广泛研究的紫外线吸收剂是羟基二苯甲酮和羟基苯基苯并三唑。其中，邻羟基苯基基团中的氢键对其光谱和光化学性能起到决定性的影响。

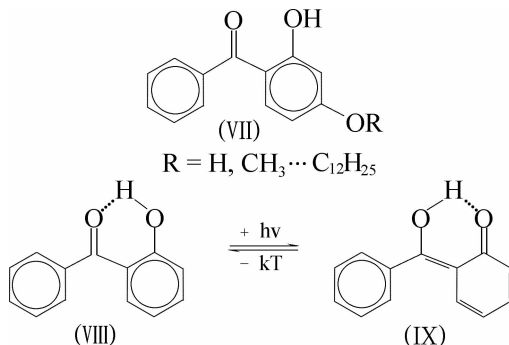
羟基二苯甲酮类紫外线吸收剂主要是通过 2, 4-二羟基二苯甲酮衍生而得到的。个别情况下，也可以是 2, 2', 4-三羟基或 2, 2', 4, 4'-四羟基二苯甲酮的衍生物。

2-羟基二苯甲酮的主吸收峰在人们所不关心的 260nm 波长范围内。但是含有给电子的取代基团可把其吸收峰的位置延至较长的 300 ~ 400nm 波长区域，同时，对紫外线的总吸收量也增大。然后，2, 2'-二羟基-4, 4'-二甲氧基二苯甲酮类的化合物本身就具有明显的黄色，且其吸收的尾峰超过 400nm，因此可根据实验所采用的浓度，观察其基色变的情况。

通过对烷氧基中烷基 R 的适当选择，有可能优化所要稳定塑料的相溶性和提高防护能力。

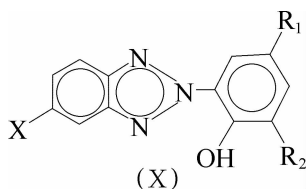
关于羟基二苯甲酮的能量转换可以 2-羟基二苯甲酮（Ⅷ）为例来进行说明。化合物Ⅷ暴露在光中，可转换为烯酮（Ⅸ）。反之，烯酮（Ⅸ）在失去热能后又会变成其

原来的形式Ⅷ。从光谱强度的数据可以得知，能量的转变只包括固定的非辐射的转换。



早先已经通过核磁共振的分析手段了解到，2-羟基二苯甲基对于聚乙烯的紫外线稳定作用，是随着化合物Ⅷ中氢键强度的增强而加强，同时，极性较大的介质显然具有抑制生成分子间氢键的作用。2-羟基二苯甲酮类化合物本身对光并不是稳定的，甚至还可能起到敏化剂的作用。

图 2-1 所示的是工业上主要采用的紫外线吸收剂 2-(2'-羟基苯基) 苯并三唑类化合物 (X) 的透射光谱。由于苯环中第 5 位置碳原子上的氢被氯取代，3'和 5'位置上氢被烷基所取代，因此其吸收峰移向红方 (bathochromic shift)。与 2-羟基二苯甲酮类紫外线吸收剂相比，2-(2'-羟基苯基) 苯并三唑具有更高的摩尔消光系数和更陡的吸收边缘 (趋于 400nm 波长端)。以非有害热形式存在的激发能，其释放模式似乎与按 2-羟基二苯基酮的机理进行的模式是类似的。



X 为 H, Cl

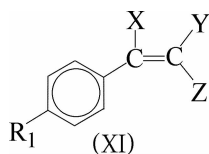
R_1 为 C_nH_{2n-1} 的线型或支化的烷基，其中 $n = 1 \sim 8$

R_2 为 H 或支化的烷基

近来认为，紫外线吸收剂的保护机理是出于其某种过滤效应。因此，塑料对紫外线明显的吸收作用应予以重视。以芳香族聚酰胺为例，塑料的吸收能力肯定高于以通常用量处理的稳定剂的吸收能力。事实上，2-(2'-羟基苯基) 苯并三唑类紫外线吸收剂在芳香族聚酰胺中，其用量比理论需要量少得多就可以发挥其效果。因而就引出了包括能量转移在内的更具体的机理模式。这种情况同样也适用于聚丙烯。同时发现，对于这种高聚物来说，其某些紫外线吸收剂的稳定作用就属于纯粹的光过滤效应。某些研究结果指出，2-(2'-羟基苯基) 苯并三唑只起到紫外线吸收剂的作用，而 2-羟基二苯甲酮类紫外线吸收剂还可通过能量的传递起到额外的稳定作用。

具有化合物Ⅸ结构的肉桂酸酯类紫外线吸收剂可吸收比 2-(2'-羟基苯基) 苯并三

唑和 2-羟基二苯甲酮所吸收的波长更短的光 (290 ~ 320nm 波长范围), 如图 2-2 所示。



$R_1 = \text{H}, \text{OCH}_3$

$X = \text{H}, \text{CH}_3, \text{C}_3\text{H}_5$

$Y, Z = \text{CN}, \text{COOR}$

R 为烷基

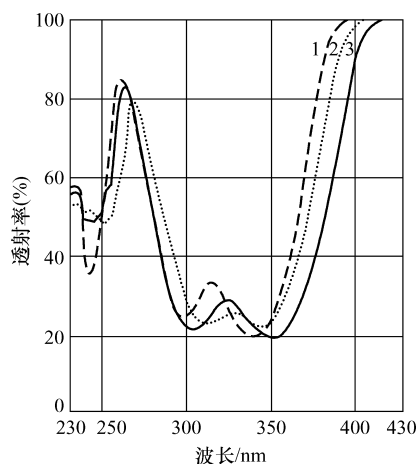


图 2-1 苯并三唑类氯仿溶液 ($4.4 \times 10^{-5} \text{ mol}$) 的紫外透射光谱 (光程为 1cm)

1—2- (2'-羟基-5'-甲基苯基) 苯并三唑
2—2- (2'-羟基-3', 5'-二叔丁基苯基) 苯并三唑 3—2- (2'-羟基-3', 5'-二叔丁基苯基) 5-氯代苯并三唑

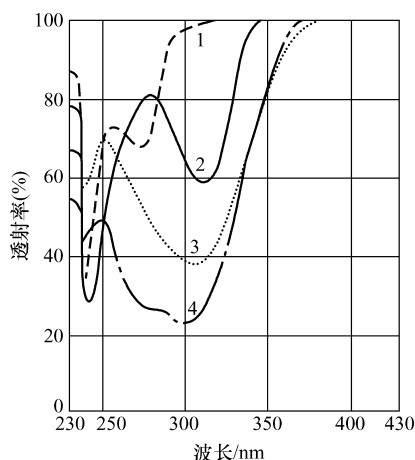
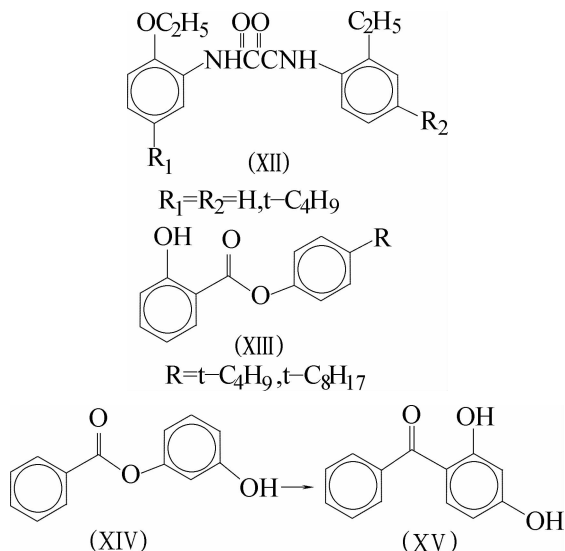


图 2-2 各种稳定剂的紫外吸收光谱 (氯仿溶液 $4.4 \times 10^{-5} \text{ mol}$, 光程为 1cm)

1—间苯二酚苯甲酸单酯 2—叔辛基苯基水杨酸酯 3—2-氰基 3-苯基乙基肉桂酸酯 4—N, N'- (2-乙基 2'-乙氧基苯基) 草酰胺

因为肉桂酸酯类的分子中存在振动的可能性, 所以这类化合物能够很有效地把所吸收的能量转换成热。肉桂酸的酯类化合物在用作塑料的光稳定剂时, 不仅可起到滤光的作用, 而且还可起到猝灭激发态的作用。它之所以能起到猝灭作用, 是由于肉桂酸衍生物的吸收带与聚丙烯、聚苯乙烯之类高聚物的发光带是明显重叠的。然而, 由于它和所要稳定的高聚物之间的相溶性极差, 因此这种类型稳定剂总的稳定效率也就比较低。

由图 2-2 可见, 工业上采用的草酰苯胺型 (见化合物 XII) 的紫外线吸收剂可吸收比肉桂酸酯所吸收的波长更短的光。但有关其稳定原理的细节问题却未见有报道。



与上述各种紫外线吸收剂不同，象 XIII 和 XIV 之类的化合物并不是一般概念的紫外线吸收剂。这些化合物只有暴露在紫外光中才会重排成具有活性的 2-羟基二苯甲酮，如间苯二酚苯甲酸单酯（XIV）在紫外光中可重排成 2, 4-二羟基二苯甲酮（化合物 XV）。由此可见，由于起有效的稳定作用必须在这类化合物发生重排之后，因此化合物 XIII 和化合物 XIV 的作用就受到了限制。另一个问题是光致弗利斯重排并不是定量进行的，因而在重排的同时所生成的二级产物就会给色变问题造成更大的复杂性。

（二）猝灭剂

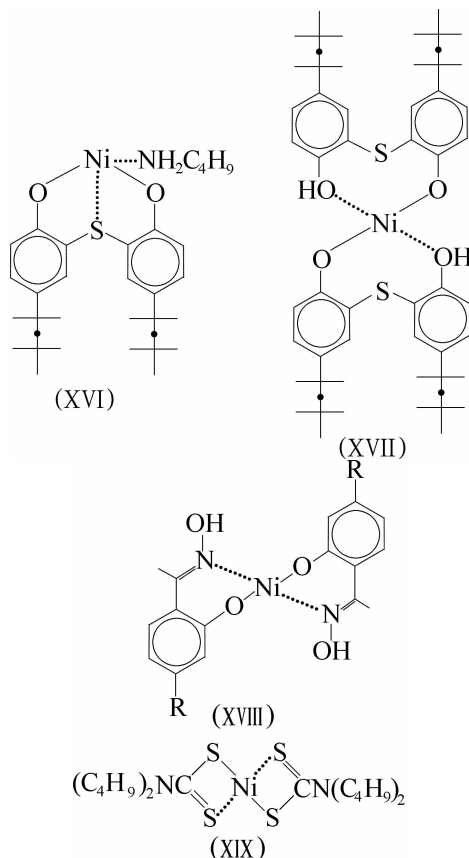
光稳定剂中的猝灭剂，可接受高聚物中发色团吸收的能量并有效地消耗之，从而对高聚物的降解作用起到抑制的作用。这种能量经猝灭剂的消耗可转化成为热，也可转换成荧光或磷光而辐射散失。

对于从激发态发色团（给予体）到猝灭剂（接受体）所发生的能量转移，能量接受体、猝灭剂所处的能态应该比能量给予体的能态低。这种能量转移的原理，一般有以下两种。第一种常称为 Förster 原理，这是一种远距离的能量转移，是通过偶极-偶极之间的相互作用而导致通常所见到的激发单线态被猝灭的现象。发色团的发射光谱与猝灭剂的吸收光谱之间的明显重叠可出现在发色团和猝灭剂之间，距离远至 5nm，甚至可达到 10nm。有人认为，Förster 原理很可能就是具有 ≥ 10000 消光系数的典型的紫外线吸收剂的一种稳定原理。尽管关于羰基化合物的猝灭原理已多次提到这一原理，然而羰基化合物按此原理进行钝化的假设，实际上仍缺乏必要的理论基础。第二种是所谓接触、碰撞或交换等形式的能量转移。这时，猝灭剂和发色团之间出现有效能量转移的距离不得超过 1.5nm。为此，决定可起稳定作用的因素是猝灭剂的用量和处于激发态下能量给予体的寿命。如，由于激发三线态的寿命 ($10^{-6} \sim 10^{-3}s$) 比单线态的寿命 ($10^{-10} \sim 10^{-6}s$) 长，因此能量的转移更容易发生在三线态上。根据对高聚物中稳定剂和敏化剂二者不均匀分布所做的计算，结果认为以相互交换的形式进行能量的转移并不能产生有效的稳定作用。但是，如果在敏化剂和稳定剂之间存在有某

种的结合,如氢键,那么这个结论就不能成立。同时也还存在另一种可能性,即不考虑发色团和猝灭剂分布的不均一性,通过激发子的跃迁(激发子是指不定域的电子激发态)形式进行能量转移也有可能起到稳定的作用。这对于带有芳香族侧基的高聚物具有一定的意义,并且在聚 N-乙烯基咔唑中第一次得到了实验的证实。

考虑到氢过氧化物是聚烯烃光氧化作用的控制因素,显然对于激发态—OOH 基的猝灭将有益于聚烯烃的稳定作用。然后,—OOH 基团的激发态是分离的,即其寿命取决于 O—O 键的一个振动。—OOH 基团如果与猝灭剂不是已经结合在一起,那么它就不可能在如此短的时间(约 10^{-13}s)内实现与猝灭剂的接触能量转移。从实用的观点看,人们尤其感兴趣的是猝灭剂的作用与所保护样品的厚度无关,因此,这种猝灭剂就更适用于稳定像薄膜、纤维之类薄截面的制品。

长期以来,人们对顺磁性过渡金属化合物在光化学反应中的能量转移进行了许多有益的工作,相当早以前就已经发表了关于含镍光稳定剂作用机理的论述,并且指出,酚的镍盐(如化合物 XVI)能猝灭二乙基甲酮的三线态,从而对由二乙基甲酮所敏化的异丙苯的光氧化反应起到有效的抑制作用。同时还指出,许多反磁性的镍化合物(如化合物 XVIII)在聚丙烯的稳定效率与其对聚丙烯中存在的激发三线态的猝灭作用之间存在着一定的关系。



通过对含镍光稳定剂紫外线吸收光谱的分析,可以很容易地了解到这类稳定剂的作用效率并非完全都是出于对三线态的猝灭作用。从图 2-3 可以看出,化合物 XVI、XVII 和 XIX 对于 290 ~ 400nm 波段的紫外线具有很强的吸收峰,二硫代氨基甲酸盐(化合物 XIX)的吸收作用甚至比 2-羟基二苯基甲酮和 2-(2'-羟基苯基)苯并三唑还要明显。因此,可以认为此类光稳定剂的作用效率在于(至少是部分的)其对紫外线的吸收作用,某些含镍稳定剂对于聚丙烯和聚乙烯还可起到自由基捕获剂和氢过氧化物分解剂的作用,镍化合物甚至还具有钝化单线态氧的作用。然而,模拟配方体系的测定结果指出,聚丙烯光稳定活性与单线态氧的猝灭速度常数之间并没有对应的关系。由此可见,单线态氧对聚丙烯降解作用的意义并不重要。

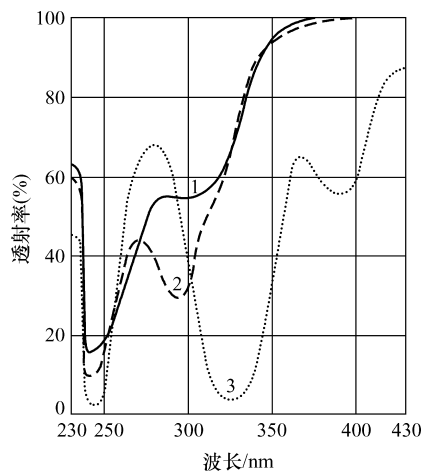


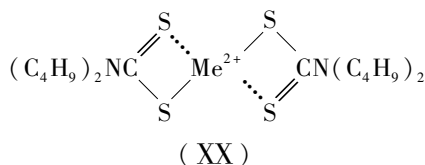
图 2-3 镍稳定剂氯仿溶液 ($4.4 \times 10^{-5} \text{ mol}$) 的紫外透射光谱 (光程为 1cm)

1—正丁胺镍 2, 2'-硫代双 (4-叔辛基酚盐)
2—镍的二 [(2, 2'-硫代双 (4-叔辛基酚盐))]
3—二丁基二硫代氨基甲酸镍

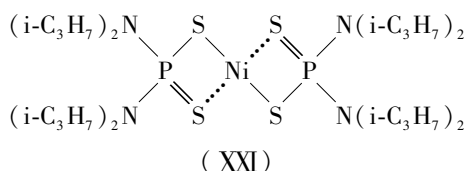
(三) 过氧化氢分解剂

过氧化氢在高聚物的光氧化降解作用中起到重要的作用。尽管早在 1965 年,有人就已经提出通过过氧化物的分解作用有可能对高聚物起到紫外线的稳定作用,然而直到 1974 年,高聚物薄膜中氢过氧化物的分解作用才获得明确的证实。

如二烷基二硫代氨基甲酸盐(化合物 XX)、二烷基二硫代磷酸盐(化合物 XXI)和硫联双酚盐(化合物 XVI)等含硫的金属络合物(即使是催化级用量)都是很有效的氢过氧化物分解剂。此类金属络合物可使室温下已经被预氧化了聚丙烯薄膜中的氢过氧化物含量得到下降,同时也是这类高聚物很有效的紫外线吸收剂。根据这一原理,可很容易地了解采用紫外线吸收剂与亚磷酸酯或镍化合物,并用的办法可改善高聚物对紫外线的稳定性。



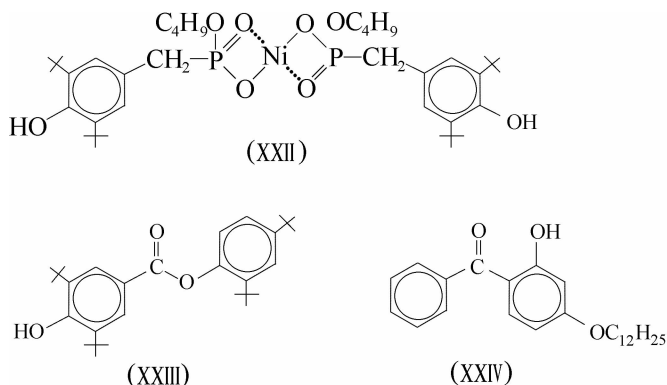
Me = Zn, Ni



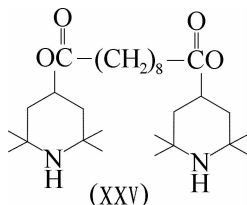
(四) 自由基捕获剂

紫外线吸收剂在于吸收有害的光辐射, 猝灭剂的作用是钝化激发态, 某些含硫和含磷的化合物可分解氢过氧化物。除此之外, 类似于热降解所采用的原理, 自由基中间产物的捕获作用是另一种可能的稳定原理。很久以前有人就已经提出有关自由基终止反应在紫外线稳定作用中的意义。然而, 这些反应长期以来并未引起重视, 这也许是因为酚类抗氧化剂并不能有效地抑制光氧化的作用。

化合物 XXII、XXIII、XXIV 和 XVI 都是有效的自由基捕获剂。聚丙烯薄膜若暴露在紫外光中, 那么其中就可检测到氢过氧化物, 根据所添加稳定剂量的多寡, 可按下列反应生成一定量的羰基、羟基和水。对于未施用稳定剂的样品, 因氢过氧化物基团的均匀俘获, 几乎可定量地生成水和羰基化合物。当存在化合物 XVI 或化合物 XXII [双(3,5-二叔丁基-4-羟基苄基)磷酸一丁酯镍] 时, 水的产率明显下降。与化合物 XVI 和化合物 XXII 相类似, 化合物 XXIII (3,5-二叔丁基-4-羟基苯甲酸 2,4-二叔丁基苯基酯) 和化合物 XXIV (2-羟基-4-十二烷氧基二苯甲酮) 存在时, 其羰基基团的生成量比起不用稳定剂薄膜的情况增加得要少些。这说明这类稳定剂是可以俘获烷氧自由基的。



最近所开发的以受阻胺为代表的稳定剂, 如双(2,2,6,6-四甲基-4-哌啶基)癸二酸酯(化合物 XXV)并不吸收任何高于 250nm 波长的光, 因此不能认为是属于某一类紫外线吸收剂或是激发态的猝灭剂。这一点已通过对聚丙烯的冷光测定而得到确认。



(五) 光稳定剂的技术要求

理想的光稳定剂一般应具有以下条件:

1) 化学稳定性好。

- 2) 自身光稳定性、热稳定性良好。
- 3) 与聚合物相容性好。
- 4) 耐水解、耐水和其他溶剂的抽提,耐迁移。
- 5) 挥发性低。
- 6) 无毒或低毒。
- 7) 污染性小。
- 8) 价廉易得。

目前,各类光稳定剂的发展趋势为高分子量化、无毒化、复合化、多功能化。

二、主要品种与性能

(一) 光稳定剂

由于杂质和结构缺陷的存在,高分子材料对波长为 280 ~ 400nm 的紫外线较为敏感。紫外线的能量足以破坏高分子材料的化学键,导致光激发和光破坏,引起光、氧联合的光氧化过程,最终使高分子材料因光降解或由光引发的光氧化降解而老化。

添加光稳定剂是提高高分子材料光稳定性的有效途径之一。光稳定剂的作用机理因自身结构和品种不同而不同,有的能屏蔽紫外线或吸收紫外线并将其转化为无害的热能;有的可猝灭被紫外线激发的分子或基团的激发态,使其回复到基态;有的则能捕获因光氧化产生的自由基,抑制光氧化链式反应的进行,使高分子材料免遭紫外线的破坏。由于很多光稳定剂特别是早期产品都能吸收紫外线,因此习惯上将光稳定剂称为紫外线吸收剂。但是,光稳定效率最高的还属自由基捕获剂类的光稳定剂。

光稳定剂按机理可分为光屏蔽剂、紫外线吸收剂、猝灭剂、自由基捕获剂,按化学结构可分为二苯甲酮、水杨酸酯、苯并三唑、取代丙烯腈、草酰胺、有机镍络合物、受阻胺、三嗪等。

1. 水杨酸酯类

(1) 水杨酸苯酯

性质 白色结晶粉末,微具令人愉快的芳香气味。相对分子质量 214.22,熔点 41 ~ 43℃,吸收紫外线的最大波长范围为 290 ~ 330nm,溶于多种有机溶剂和碱类水溶液,几乎不溶于水。

用法及应用特点 本品主要用作聚酯、纤维素树脂、聚氯乙烯、聚偏二氯乙烯、聚苯乙烯、聚乙烯和聚氨酯等材料的光稳定剂,光稳定效果欠佳,但价格低廉,用量最高可达 4%,一般用量为 0.5% ~ 2%。

(2) 3,5-二氯水杨酸苯酯

性质 灰黄色粉末。相对分子质量 283.9,熔点 106 ~ 116℃,溶于醇类和醚类、邻苯二甲酸二丁酯、邻苯二甲酸二辛酯等各种增塑剂,不溶于水。

用法及应用特点 本品用作光稳定剂,常与吸收 340nm 以上波长的紫外线吸收剂 Tinuvin-P、UV-9 并用,可以全面吸收紫外线以提高塑料的光稳定性,适用于聚氯乙烯、聚酯、纤维素树脂、聚苯乙烯等塑料和涂料,用量为 0.2% ~ 1.0%,比水杨酸苯酯 NL-

1 的用量减少一半,而效果更好。本品用于聚氯乙烯塑料还具有防霉变等特点。

(3) 4,4'-亚异丙基双(苯酚水杨酸酯)

性质 白色粉末,无臭。相对分子质量 468,熔点 158 ~ 161℃,可吸收波长为 350nm 以下的紫外线,光稳定效果良好,易溶于苯、甲苯、二甲苯、氯苯、石油醚等有机溶剂,不溶于水和乙醇。

用法及应用特点 本品用作光稳定剂,与聚合物树脂相容性优异,价格低廉,常用于聚氯乙烯、聚乙烯和聚丙烯塑料,一般用量为 0.25% ~ 4%。用于聚氯乙烯和聚乙烯农膜时,用量为 0.3% ~ 1%,能有效吸收对植物有害的短波紫外线,且能透过对植物生长有利的长波紫外线,既可起光稳定作用,又不影响农作物的生长。本品与其他光稳定剂如三嗪-5、UV-531、BW-10LD 等并用,效果更佳。

(4) 水杨酸对叔丁基苯酯

性质 白色粉末,微具气味。相对分子质量 270.3,熔点 62 ~ 64℃,蒸气压 0.533kPa (180℃)、1.33kPa (200℃)、533kPa (260℃)、3.1kPa (300℃),吸收波长范围为 290 ~ 330nm 的紫外线,光稳定效能较好,但在光照下有变黄的倾向,溶于多种有机溶剂。

用法及应用特点 本品用作光稳定剂,适用于聚氯乙烯、聚乙烯、纤维素树脂、聚氨酯等,也可用于聚乙烯食品包装薄膜,用量为 0.2% ~ 1.5%。

(5) 水杨酸对叔辛基苯酯

性质 白色结晶粉末。相对分子质量 326.4,表观密度 0.67kg/L(20℃),熔点 72 ~ 74℃,对紫外线最大吸收波长范围是 290 ~ 330nm,受紫外线照射后发生分子内转位,部分转化为 2,2'-二羟基-5-苯基二苯甲酮,后者对紫外线的吸收能力较强。溶于多种有机溶剂,难溶于水。

用法及应用特点 本品用作光稳定剂,适用于聚乙烯、聚丙烯、聚丁二烯和纤维素树脂等,与聚烯烃树脂的相容性好,具有优良的耐候性,用量为 0.5% ~ 2%。常与酚类抗氧剂 BHT、2246、1010 以及硫代二丙酸二月桂酯(DLTP)并用发挥协同效应的作用。

2. 苯甲酸酯类

(1) 间苯二酚单苯甲酸酯

性质 白色结晶粉末。相对分子质量 214.2,熔点 132 ~ 135℃,沸点 140℃(20Pa),表观密度 0.68g/cm³(20℃),易溶于丙酮和乙醇,微溶于苯和水,在邻苯二甲酸二辛酯中的溶解度随温度的升高急剧上升。

用法及应用特点 本品用作纤维素树脂和聚氯乙烯的光稳定剂,一般用量为 1% ~ 2%。本品对波长为 300 ~ 400nm 的紫外线吸收很少,但在光的作用下发生分子重排,生成 2,4-二羟基二苯甲酮,从而发挥光稳定作用。

(2) 3,5-二叔丁基-4-羟基苯甲酸-2,4-二叔丁基苯酯

性质 白色或微黄色粉末。相对分子质量 438.6,熔点 192 ~ 197℃,最大吸收波长为 265nm,在各种有机溶剂中的溶解度(20℃):丙酮 10g/100g 溶剂、异丙醇 2g/100g

溶剂、甲醇 1g/100g 溶剂、乙烷 1g/100g 溶剂、乙酸乙酯 11g/100g 溶剂、氯仿 41g/100g 溶剂、甲苯 13g/100g 溶剂。

用法及应用特点 本品可用作聚合物的光稳定剂，也可用作抗氧剂，对制品的着色性极小，挥发性低，热稳定性高，耐洗涤抽出，适用于聚丙烯和高密度聚乙烯，特别是聚丙烯薄膜和纤维，也可用于聚苯乙烯和聚甲醛等塑料，一般用量为 0.2% ~ 0.5%，同时并用 0.05% ~ 0.5% 的抗氧剂。本品与苯并三唑类紫外线吸收剂和镍螯合剂等光稳定剂有协同效应。

(3) 3, 5-二叔丁基-4-羟基苯甲酸正十六酯

性质 白色固体粉末。相对分子质量 455.0，熔点 60℃，溶于多种有机溶剂。

用法及应用特点 本品为优良的光稳定剂，着色性小，挥发性低，耐酸碱，适用于聚烯烃塑料，一般用量为 0.25% ~ 1.0%。本品可单独使用，也可与二苯甲酮类紫外线吸收剂或亚磷酸酯类抗氧剂并用，有良好的协同效应。

(4) 4-[[(甲基苯基胺) 亚甲基] 胺] 苯甲酸乙酯

性质 黄色黏稠液体。相对分子质量 282.3，熔点 27 ~ 28℃，闪点 > 100℃，密度 1.127g/cm³ (20℃)，粘度 9000mPa · s (20℃)。

用法及应用特点 本品主要应用于聚氨酯体系，如硬质、软质、半硬质泡沫、织物、合成革等，也可应用于粘合剂、密封胶、弹性体等。在聚氨酯中的用量为 0.2% ~ 1.0%，在粘合剂和密封胶中的用量为 0.5% ~ 1.0%。本品和其他光稳定剂如紫外级吸收剂和/或受阻胺类等一同使用，效果更佳。

3. 氰基丙烯酸酯类

(1) 2-氰基-3, 3'-二苯基丙烯酸-2-乙基己酯

性质 浅黄色液体。相对分子质量 361.49，相对密度 1.0478 (25℃)，凝固点不低于 -10℃，沸点 200℃ (13.33Pa)，可溶于甲醇、乙醇、甲苯、己烷、甲乙酮、乙酸乙酯，邻苯二甲酸二辛酯等溶剂，不溶于水。

用法及应用特点 本品用作光稳定剂，适用于各种塑料，特别适用于软质、硬质聚氯乙烯，与树脂相容性好，不着色，可给予制品优良的光、热稳定性。本品也可用作硝酸纤维素、丙烯酸树脂和聚氨酯等涂料的光稳定剂。

(2) 2-氰基-3, 3'-二苯基丙烯酸乙酯

性质 淡黄色结晶粉末。相对密度 1.1642，相对分子质量 278.33，熔点 95 ~ 100℃，溶于丙酮、甲苯、乙酸乙酯、二噁烷，微溶于乙醇，不溶于水。

用法及应用特点 本品为优良的光稳定剂，强烈吸收波长为 270 ~ 350nm 的紫外线，适用于聚氯乙烯（特别是软质制品）、聚丙烯酸酯、聚烯烃（尤其是聚乙烯）、环氧树脂以及纤维素硝酸酯、聚氨酯薄膜及其多孔制品的光稳定化，一般用量为 0.1% ~ 0.5%。

(3) 2-氰基-3', 3'-二苯基丙烯酸季戊四醇酯

性质 白色结晶粉末。密度 1.2g/cm³ (20℃)，相对分子质量 1061，熔点 175 ~ 178℃，溶解度(质量)(20℃)：丁醇 0.2%、甲醇 < 0.01%、甲乙酮 7%、甲苯 0.8%、

水 < 0.01%。

用法及应用特点 本品可强烈吸收波长为 280 ~ 320nm 的紫外线，具有良好的热稳定性和低挥发性，可用于较高挤出温度下的聚合物，耐老化，适用于 PA、PET，尤其适用于 PC。

4. 二苯甲酮类光稳定剂

(1) 2, 4-二羟基二苯甲酮

性质 淡黄色针状结晶或白色粉末。相对分子质量 214.22，熔点 138 ~ 143℃，溶于丙酮、甲醇、乙醇、乙酸乙酯、甲乙酮、二噁烷等有机溶剂，难溶于水和苯。

用法及应用特点 本品用作光稳定剂，适用于聚氯乙烯、加氢石油树脂、不饱和聚酯等塑料及涂料，最大吸收波段为 280 ~ 340nm，一般用量为 0.1% ~ 1%。本品不常用，是二苯甲酮类紫外线吸收剂的中间体。

(2) 2-羟基-4-甲氧基二苯甲酮

性质 白色至浅黄色结晶粉末。相对分子质量 228.25，相对密度 1.324，熔点 62 ~ 66℃，沸点 150 ~ 160℃ (667Pa)、220℃ (2399Pa)，溶于甲醇、乙醇、乙酸乙酯、甲乙酮、丙酮等大多数有机溶剂，不溶于水。

用法及应用特点 本品用作紫外线吸收剂，能强烈地吸收波长为 290 ~ 400nm 的紫外线，对光、热的稳定性良好，200℃ 不分解，升华较大，适用于聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚酯、聚甲基丙烯酸甲酯、ABS 和纤维素树脂等多种塑料和油漆等，一般用量为 0.1% ~ 1.5%。

(3) 2-羟基-4-正辛氧基二苯甲酮

性质 白色至浅黄色结晶粉末。相对分子质量 326.44，相对密度 1.160，熔点 48 ~ 49℃，溶于乙醇等有机溶剂，不溶于水。

常见质量指标如下：熔点 47.0 ~ 49.0℃，含量 ≥ 99.0%，挥发分 ≤ 0.5%，透光率 (> 10g/100mL 甲苯) ≥ 90% (460nm)。

用法及应用特点 本品用作紫外线吸收剂，能强烈吸收波长为 270 ~ 330nm 的紫外线，与大多数聚合物相容性好，与聚烯烃的相容性尤佳，挥发性低，主要用于聚烯烃和各种塑料以及涂料。在聚烯烃中的用量为 0.25% ~ 1%，在硬质聚氯乙烯中用量为 0.25% ~ 0.5%，在聚丙烯纤维和锦纶用量中为 0.5% 左右。

(4) 2-羟基-4-异辛氧基二苯甲酮

性质 淡黄色液体。相对分子质量 318.37，相对密度 1.066(24℃)，易溶于芳烃溶剂，微溶于乙醇，不溶于水，在有机溶剂中溶解度：95% 乙醇 20g/100g 有机溶剂、甲醇 14g/100g 有机溶剂，可与丙酮、苯、乙酸乙酯、甲乙酮等混溶且对光和热稳定，不受多数酸和碱的影响。

用法及应用特点 本品为紫外级吸收剂，能有效地吸收波长为 230 ~ 360nm 的紫外线，用作聚烯烃、聚氯乙烯、聚碳酸酯、环氧树脂和纤维素的光稳定剂，推荐用量为 0.1% ~ 1.0%。以 2-羟基-4-异辛氧基二苯甲酮为主剂的混配商品较多。Carstab 701 为持久型，Carstab 702 为含有稳定剂的混配物，属永久型，二者均不会使聚合物初期着色。

(5) 2-羟基-4-(2'-乙基己氧基) 二苯甲酮

性质 淡黄色黏稠液体。相对分子质量 326.43, 沸点 230 ~ 235℃, 溶于有机溶剂, 几乎不溶于水。

用法及应用特点 本品用作光稳定剂, 适用于聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、聚氯乙烯和其他塑料, 一般用量为 0.5% ~ 1.5%。

(6) 2-羟基-4-十二烷氧基二苯甲酮

性质 浅黄色片状固体, 无臭。相对分子质量 382.55, 表观密度 0.49kg/L(20℃), 熔点 44 ~ 49℃, 在有机溶剂中的溶解度 (20℃): 丙酮 81g/100g 溶剂、苯 81g/100g 溶剂、己烷 74g/100g 溶剂、乙醇 5g/100g 溶剂、增塑剂 DOP40g/100g 溶剂、水 0.1g/100g 溶剂。

用法及应用特点 本品用作紫外线吸收剂, 可强烈地吸收波长为 280 ~ 340nm 的紫外线, 特别适合于聚烯烃, 与聚烯烃有良好的相容性, 着色性小, 与适合的抗氧化剂有良好的协同效应, 一般用量为 0.25% ~ 2%。本品对聚酯、聚氯乙烯、聚苯乙烯也有很好的光稳定作用。

(7) 2-羟基-4-十八烷氧基二苯甲酮

性质 淡黄色针状结晶。相对分子质量 466.71, 熔点 47 ~ 50℃, 溶于苯、丙酮、汽油, 不溶于水和甲醇。

用法及应用特点 本品用作紫外线吸收剂, 可以有效地吸收波长为 270 ~ 330nm 的紫外线, 适用于多种塑料, 特别是聚乙烯和聚丙烯, 与树脂的相容性好, 在树脂内作用持久, 耐洗涤性好。

(8) 2-羟基-4-苄氧基二苯甲酮

性质 浅黄色结晶性粉末。相对分子质量 304.35, 熔点 118 ~ 120℃, 能溶于醇、酮等有机溶剂, 不溶于水。

用法及应用特点 本品适用于多种树脂, 与多数聚合物有良好的相容性, 挥发性低, 效果良好。

(9) 2-羟基-4-甲氧基-2'-羟基二苯甲酮

性质 白色粉末。相对分子质量 272.25, 相对密度 1.423(25℃), 熔点 166 ~ 168℃, 在有机溶剂中的溶解度 (25℃): 苯 0.25g/100g 溶剂、正己烷 16.45g/100g 溶剂、甲乙酮 0.02g/100g 溶剂、水 0.12g/100g 溶剂。

用法及应用特点 本品用作光稳定剂, 最大吸收波长范围为 300 ~ 330nm, 是聚苯乙烯 (用量为 0.2%)、聚酰胺和其他含氮聚合物、聚酯、环氧树脂和乙烯类树脂的光稳定剂, 一般用量为 0.5% ~ 5%。

(10) 2-羟基-4-丙烯酰氧乙氧基二苯甲酮

性质 淡黄色粉末。熔点 77 ~ 80℃, 相对密度 1.36(25℃), 溶于普通有机溶剂, 不溶于水。

用法及应用特点 本品作为光稳定剂, 适用于与其他单体共聚, 即被连接至聚合物的活性处, 使其在抽提和高温环境中保持耐久性。

(11) 聚 4-(2-丙烯酰乙氧基)-2-羟基二苯甲酮

性质 黄色粉末。相对分子质量 50000，熔点 85 ~ 95℃，紫外线吸收率 60% ~ 68%，粘度 0.18 ~ 0.40 mPa·s，干燥失重 ≤ 2.0%，二甲基乙酰胺中溶解度 ≤ 0.20%，色度（加德纳）≤ 6 号，甲醇溶解度 ≤ 0.20%，数均、重均分子量之比 ≤ 2.5。

用法及应用特点 本品与聚合物的相容性较好，可适用于多数聚合物。

(12) 2-羟基-4-(2'-羟基-3'-丙烯酰氧基丙氧基)二苯甲酮

性质 淡黄色黏稠液体。相对分子质量 342.35，折射率 1.6060，溶于有机溶剂。

用法及应用特点 本品为反应性紫外线吸收剂，可与氯乙烯、乙烯-丙烯酸酯共聚物、苯乙烯等单体共聚，从而形成内在耐紫外线的聚合物，抗光老化作用持久，不会迁移，也不为溶剂抽提。本品也可在加工过程中加入到聚氯乙烯和聚乙烯等塑料中，一般用量为 0.1% ~ 5%。

(13) 2-羟基-4-[2'-羟基-3'-(甲基丙烯酰氧基丙氧基)]二苯甲酮

性质 黄色黏稠液体。相对分子质量 356.37，相对密度 1.230 (25℃)，熔点 -13℃，折射率 1.596 (25℃)，溶于有机溶剂和有机单体，加热可聚合。

用法及应用特点 本品为反应性紫外线吸收剂，强烈地吸收波长为 280 ~ 350 nm 的紫外线。因为含有活性双键，可与乙烯、丙烯、苯乙烯、丙烯腈、甲基丙烯酸甲酯、氯乙烯、乙酸乙烯酯等大多数单体共聚，也可与聚合物进行接枝。因为含有羟基，本品还可与缩聚型聚合物在缩聚过程中共聚。因此，本品使聚合物具有内在的光稳定性，效果持久，不会受到抽提损失。本品也可在加工过程中加入，一般用量为 0.1% ~ 5%。

(14) 5-苯甲酰-4-羟基-2-甲氧基苯磺酸

性质 类白色到淡黄色粉末。相对分子质量 308，熔点 108 ~ 110℃，固含量 ≥ 99.0%（干品计），pH 值为 1.2 ~ 2.2 (1% 水溶液)，溶解度：水 38 g/100 g 溶剂、正己烷 < 0.1 g/100 g 溶剂、甲醇 59 g/100 g 溶剂、丙酮 12 g/100 g 溶剂、乙酸乙酯 < 0.1 g/100 g 溶剂。

用法及应用特点 本品是一种优良的水溶性紫外线吸收剂，主要用于可溶性化妆品中作防晒剂，也可用于水溶性油墨、涂料等中作紫外线吸收剂用。

(15) 2-羟基-4-甲氧基-4'-氯代二苯甲酮

性质 淡黄色粉末。相对分子质量 262.69，熔点 112 ~ 114℃。

用法及应用特点 本品用作紫外线吸收剂，稳定性好，光变色倾向性小，特别适合透明制品。

(16) 2-羟基-4-甲氧基-2',4'-二氯二苯甲酮

性质 白色粉末。相对分子质量 297.14，熔点 68 ~ 69℃。

用法及应用特点 用作紫外线吸收剂，光稳定效能与 UV-21 相似，与聚氯乙烯树脂相容性较好。

(17) 1,3-双(3'-羟基-4'-苯甲酰基苯氧基)-2-丙醇

性质 带淡绿色调的白色结晶粉末。相对分子质量 484.50，熔点 150 ~ 151℃，溶于丙酮、氯仿、氯苯和二甲基甲酰胺，加热溶于乙酸乙酯和苯中，微溶于乙醇，不溶于

水和己烷。加热至 370℃ 也不挥发。

用法及应用特点 本品用作光稳定剂，适用于聚乙烯、聚氯乙烯、抗冲聚苯乙烯、氯化聚醚和纤维素树脂，防护效能高，不着色，一般用量为 1%。

(18) 2, 2'-二羟基-4-甲氧基二苯甲酮

性质 浅黄色粉末。相对分子质量 224.25，相对密度 1.382 (25℃)，熔点 68 ~ 70℃，沸点 160 ~ 170℃，溶于苯、甲乙酮、乙醇和四氯化碳等，微溶于正庚烷，不溶于水。

用法及应用特点 本品用作紫外线吸收剂，强烈吸收波长为 330 ~ 370nm 的紫外线，适用于聚氯乙烯、ABS 树脂、丙烯酸树脂、聚氨酯、纤维素树脂等多种塑料，与树脂相容性好，一般用量为 0.25% ~ 3%。本品在油漆中亦有很好的效果。本品能吸收一部分可见光，使制品稍带黄色。

(19) 2, 2'-二羟基-4, 4'-二甲氧基二苯甲酮

性质 淡黄色粉末。相对分子质量 274.28，相对密度 1.3448，熔点约 130℃。

用法及应用特点 本品用作紫外线吸收剂，强烈吸收波长为 270 ~ 380nm 的紫外线，适用于聚氯乙烯、丙烯酸树脂、环氧树脂、硝酸纤维素、聚氨酯等高分子材料。本品能吸收一部分可见光，使制品微带黄色。

(20) 2, 2', 4, 4'-四羟基二苯甲酮

性质 浅黄色粉末。相对分子质量 246.0，熔点 195 ~ 200℃，相对密度 1.2162 (25℃)。

用法及应用特点 本品用作紫外线吸收剂，能有效地吸收波长为 280 ~ 380nm 的紫外线，在有色制品中能够抑制着色剂的分解，保持制品良好的色泽。本品常用于聚酯、酚醛树脂、环氧树脂、聚氨酯等塑料制品，也可用于涂料，一般用量为 0.25% ~ 2%。

(21) 2, 2'-二羟基-4-正辛氧基二苯甲酮

性质 淡黄色粉末。相对分子质量 342.44，相对密度 1.160 (25℃)，熔点 90.5 ~ 92℃。

用法及应用特点 本品为紫外线吸收剂，可吸收波长为 300 ~ 380nm 的紫外线，适用于聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯等塑料。也可吸收一部分可见光，因而使制品稍带微黄色。

5. 苯并三唑

(1) 2-(2'-羟基-5'-甲基苯基) 苯并三唑

性质 无色或浅黄色结晶粉末。相对分子质量 225.25，熔点 130 ~ 131℃，沸点 225℃ (1333Pa)，相对密度 1.51，溶于多种有机溶剂，如汽油、苯、丙酮、甲苯等，不溶于水。

常见质量指标如下：熔点 128.0 ~ 132.0℃，挥发分 ≤ 0.5%，透光率 (10g/100mL 甲苯) ≥ 94% (440nm)、≥ 97% (500nm)，含量 ≥ 99.0%。

用法及应用特点 本品用作紫外线吸收剂，有效地吸收波长为 270 ~ 340nm 的紫外线，几乎不吸收可见光。本品初期着色性小，主要用于聚酯、含氯聚酯、醋酸纤维素、

聚氯乙烯、环氧树脂等高分子材料，特别适合于无色透明和浅色制品。本品用量较二苯甲酮类紫外线吸收剂小，在薄膜中一般用量为 0.1% ~ 5%，在较厚的制品中，用量为 0.5%。本品的缺点是与聚烯烃的相容性较差，与重金属离子形成带色络合物，并且在高温下挥发损失较大。本品在合成纤维中用量达 0.5% ~ 2% 才有明显效果。不耐皂洗，能溶于碱性肥皂中，从而使纤维变黄。

(2) 2-(2'-羟基-3',5'-二叔丁基)苯并三唑

性质 淡黄色结晶粉末。相对分子质量 323.44，熔点 152 ~ 156℃，易溶于苯、甲苯、苯乙烯和环己烷，不溶于水，在乙醇中溶解度很小。

用法及应用特点 本品用作紫外线吸收剂，强烈地吸收波长为 270 ~ 380nm 的紫外线，耐热、耐光性能优良，耐碱性好。在同时并用含硫和含锡有机稳定剂的情况下，本品可用于硬质聚氯乙烯制品的光稳定剂（用量为 0.2% ~ 0.5%），也适用于聚酯、聚碳酸酯、聚氨酯、聚酰胺、ABS 树脂、环氧树脂和纤维素树脂等塑料。

(3) (2'-羟基-3'-叔丁基-5'-甲基苯基)-5-氯代苯并三唑

性质 淡黄色结晶粉末。相对分子质量 315.80，熔点 140 ~ 141℃，溶于苯乙烯、苯、甲苯等溶剂和单体，不溶于水，在邻苯二甲酸二辛酯、癸二酸二辛酯、磷酸三甲苯酯等增塑剂中溶解度较小。

用法及应用特点 本品用作紫外线吸收剂，强烈地吸收波长为 270 ~ 380nm 的紫外线，是优良的光稳定剂品种之一。本品适用于聚丙烯（用量为 0.3% ~ 0.6%）、聚乙烯（用量为 0.2% ~ 0.4%）、聚氯乙烯（用量为 0.2% ~ 1.0%）、聚丁烯、不饱和聚酯、聚酰胺、ABS、聚氨酯等高分子材料，与多种树脂相容性好，兼有抗氧效能，与抗氧剂并用有协同效应。本品对金属离子不敏感，在碱性条件下不变黄，挥发性小，耐热性好，亦有优良的耐抽提性。本品吸收波长较长（达 353nm），给制品带来轻微的颜色。

(4) 2-(2'-羟基-3',5'-二叔丁基苯基)-5-氯代苯并三唑

性质 浅黄色粉末。相对分子质量 357.89，相对密度 1.20，熔点 154 ~ 158℃，存放于干燥通风环境中，在有机溶剂中的溶解度（20℃）：丙酮 1.4g/100g 溶剂、甲醇 0.04g/100g 溶剂、乙醇 0.1g/100g 溶剂、甲基溶纤剂 2.0g/100g 溶剂、苯 16.1g/100g 溶剂、二甘醇乙酯 1.0g/100g 溶剂、环己酮 6.8g/100g 溶剂、乙酸乙酯 4.9g/100g 溶剂、甲苯 16.3g/100g 溶剂，不溶于水。

用法及应用特点 本品用作紫外线吸收剂，强烈地吸收波长为 300 ~ 400nm 的紫外线，最大吸收峰为 353nm，化学稳定性好，挥发性极小，与塑料的相容性比 UV-P 好，可以耐高温加工（如熔融抽丝），耐抽提，特别适用于聚乙烯和聚丙烯，也适用于聚氯乙烯、聚甲基丙烯酸甲酯、聚甲醛、聚氨酯、不饱和聚酯、ABS 树脂、环氧树脂等塑料。

(5) 2-(2'-羟基-3',5'-二戊基苯基)苯并三唑

性质 浅黄色或白色粉末。相对分子质量 351.5，熔点 81℃，相对密度 0.91，不溶于水，在有机溶剂中的溶解度（20℃）：苯 39.4g/100g 溶剂、甲苯 33.4g/100g 溶剂、苯乙烯 34.0g/100g 溶剂、环己烷 26.6g/100g 溶剂、癸二酸二辛酸 21.5g/100g 溶剂、乙酸

乙酯 16.1g/100g 溶剂、乙酸丁酯 15.8g/100g 溶剂、甲乙酮 14.2g/100g 溶剂、丙酮 6.0g/100g 溶剂、溶剂汽油 14.8g/100g 溶剂、甲醇 0.4g/100g 溶剂、乙醇 0.7g/100g 溶剂。

用法及应用特点 本品为优良的紫外线吸收剂，能有效地吸收波长为 270 ~ 380nm 的紫外线，最大吸收峰为 345nm，光稳定效能与 UV-327 相似，与聚合物树脂的相容性好，挥发性低，耐洗涤，主要用于聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、聚氯乙烯、聚酯、ABS 树脂、环氧树脂和纤维素树脂等，一般用量为 0.5% ~ 1.5%。

(6) 甲基 3-[3-(2H-苯并三唑-2-基)-4-羟基-5-叔丁基苯基]丙酸和聚乙二醇 300 酯的反应产物

性质 黄色黏稠液体。沸点 166℃ (0.011kPa)，溶于大多数有机溶剂，微溶于正己烷。

用法及应用特点 本品为苯并三唑类紫外线吸收剂，适用于苯乙烯类聚合物、弹性体、聚氯乙烯、聚氨酯、聚甲基丙烯酸甲酯等聚合物，常和 HALS 光稳定剂进行复配用于聚酯类涂料中。

(7) 2-(2H-苯并三唑-2-基)-4-叔丁基-6-仲丁基苯酚

性质 浅黄色结晶粉末。相对分子质量 323.4，熔点 80 ~ 84℃，溶于常用有机溶剂，微溶于水。

用法及应用特点 本品适用于聚碳酸酯、聚氨酯、聚酰胺等聚合物。

(8) 2-(2H-苯并三唑-2-基)-4,6-二(1-甲基-1-苯基乙基)苯酚

性质 黄色结晶粉末。相对分子质量 447.58，熔点 135 ~ 145℃，溶于氯仿、二氯甲烷、苯、乙酸乙酯等有机溶剂，微溶于醇类，不溶于水。

用法及应用特点 本品适用于 PC、PVC、POM、PA、PET、PMMA、TPU 等。

(9) 2, 2'-亚甲基双[6-(2H-苯并三唑-2-基)-4-(1,1,3,3-四甲基丁基)苯酚]

性质 浅黄色粉末。相对分子质量 658.89，熔点 195℃，溶于氯仿、二氯甲烷、甲苯，微溶于丙酮、醇类、乙酸乙酯、正己烷，不溶于水。

用法及应用特点 本品适用于丙烯酸酯、聚酯、聚碳酸酯、聚甲醛、聚酰胺、聚烯烃、苯乙烯类聚合物、弹性体、粘合剂等，挥发性很低，与许多聚合物的相容性良好，特别适用于需要高浓度、低挥发性及良好的相容性的加工和老化条件。

(10) 2-(2'-羟基-4'-正辛氧基苯基)苯并三唑

性质 浅黄色或白色粉末。相对分子质量 339.0，熔点 74 ~ 76℃，溶于多种有机溶剂，如甲苯、苯乙烯、乙酸乙酯、乙酸丁酯、甲乙酮等，微溶于正己烷、邻苯二甲酸二辛酯，不溶于水。

用法及应用特点 本品用于塑料的紫外线吸收剂，能有效地吸收波长为 340 ~ 350nm 的紫外线，主要用于聚烯烃和苯乙烯类聚合物树脂，热稳定性强，适于高温成型加工，对聚合物的着色性也很小。

(11) 2-(2H-苯并三唑-2-基)-6-十二烷基-4-甲基苯酚,支链和线型

性质 浅黄色油状液体。相对分子质量 393.6，沸点 174℃ (0.011kPa)，溶于常用

有机溶剂。

用法及应用特点 本品适用于苯乙烯类聚合物、弹性体、粘合剂、聚氯乙烯、聚氨酯、聚甲基丙烯酸甲酯、不饱和聚酯、聚乙烯醇缩丁醛等。

(12) 2-(2'-羟基-5'-叔辛基苯基)苯并三唑

性质 白色固体粉末。相对分子质量 323.0, 熔点 101 ~ 106℃, 相对密度 1.18 (25℃), 热稳定性好, 300℃ 下不分解, 在有机溶剂中的溶解度 (25℃): 苯 39.2g/100g 溶剂、苯乙烯 33.0g/100g 溶剂、乙酸乙酯 21.8g/100g 溶剂、正庚烷 7.4g/100g 溶剂、乙醇 0.6g/100g 溶剂, 不溶于乙二醇和水。

常见质量指标如下: 透光率 (10g/100mL 甲苯) $\geq 97\%$ (440nm)、 $\geq 98\%$ (500nm), 灰分 $\leq 0.05\%$, 挥发分 $\leq 0.5\%$, 含量 $\geq 99.0\%$ 。

用法及应用特点 本品用于塑料的紫外线吸收剂, 能有效地吸收波长为 270 ~ 380nm 的紫外线, 最大吸收峰为 345nm (乙醇中), 挥发性低, 初期着色性小, 主要用于聚苯乙烯、聚甲基丙烯酸甲酯、不饱和聚酯、硬质聚氯乙烯、聚碳酸酯、ABS 树脂等, 一般用量为 0.01% ~ 1%。本品也可用于聚乙烯、聚丙烯, 用量为 0.1% ~ 0.5%。本品在透明制品和工程塑料中效果尤佳, 常与抗氧剂并用以提高制品的耐候性和热氧稳定效能。

6. 含镍化合物

(1) 四正丁基二硫代氨基甲酸镍

性质 深绿色粉末。相对分子质量 467.44, 相对密度 1.26(25℃), 熔点 86℃ 以上, 闪点 263℃, 溶于氯仿、苯、二硫化碳, 微溶于丙酮、乙醇, 不溶于水。

用法及应用特点 本品是高分子材料的光热稳定剂和抗氧剂, 在聚丙烯纤维、薄膜和窄带中有十分优良的光稳定作用, 用量为 0.3% ~ 0.5%, 易使制品着色。

(2) 双(N,N'-二环己基二硫代氨基)镍

性质 带特有气味的绿色粉末。相对分子质量 547.4, 溶于苯、氯代烃、丙酮, 不溶于水。

用法及应用特点 本品是高分子材料的光热稳定剂和抗氧剂, 在聚丙烯纤维、薄膜和窄带中有十分优良的光稳定作用, 光稳定效果优于 NBC, 用量为 0.3% ~ 0.5%, 易使制品着色。

(3) 2, 2'-硫代双(对叔辛基苯酚)镍-正丁胺络合物

性质 浅绿色粉末。相对分子质量 572.50, 熔点 208 ~ 211℃, 相对密度 1.367 (25℃), 最大吸收波长 296nm (在氯仿中), 在有机溶剂中的溶解度 (25℃): 95% 的乙醇 1.0g/100g 溶剂、正庚烷 51.2g/100g 溶剂、甲乙酮 1.2g/100g 溶剂、四氢呋喃 48.8g/100g 溶剂、甲苯 42.8g/100g 溶剂。

用法及应用特点 本品是聚丙烯和聚乙烯的优良光稳定剂, 不仅具有抗光老化的作用, 而且还有抗氧剂的功能, 与二氧化钛并用能提高效能。本品不耐高温加工, 有着色性, 常用于着色组分中, 对聚合物的染料有螯合作用, 可改善染色性。

(4) 2, 2'-硫代双(对叔辛基苯酚)镍

性质 绿色粉末。相对分子质量 942.09, 相对密度 1.06, 最大吸收波长 290nm(在氯仿中)。

用法及应用特点 本品为猝灭型光稳定剂, 对聚烯烃薄膜和纤维的光稳定化非常有效, 有助染作用, 加工性能优良, 与紫外线吸收剂并用有优良的协同效应。缺点是颜色较深, 易使制品着色, 在高温下与硫代酯类辅助抗氧剂作用使制品发黑。

(5) 双(3,5-二叔丁基-4-羟基苄基磷酸单乙酯)镍

性质 依水含量不同为淡黄色或淡绿色粉末。相对分子质量 713.5(以无水物计), 熔点 180 ~ 200℃, 20℃时在水中的溶解度为 5g/100mL, 易溶于常用溶剂。

用法及应用特点 本品用作光稳定剂和抗氧剂, 光稳定和热氧化稳定效能高, 与聚合物相容性好, 耐抽提, 着色性小。本品对纤维和薄膜有优良的稳定作用, 主要用于聚烯烃, 特别是聚丙烯纤维、薄膜和窄带(编织带)。对聚丙烯纤维有助染作用, 对聚乙烯和其他烯烃均聚物和共聚物、乙烯-乙酸乙烯共聚物、聚酰胺、聚酯等有良好的稳定作用。用量为 0.1% ~ 1.0%, 常与酚类抗氧剂并用, 与紫外线吸收剂、亚磷酸酯和硫代酯等辅助抗氧剂亦有协同效应。

7. 受阻胺类 (HALS)

(1) 3-十二烷基-1-(2, 2, 6, 6-四甲基-4-哌啶基)-吡咯-2, 5-二酮

性质 液态。相对分子质量 407, 与丙酮、苯、乙醇、乙酸乙酯、甲苯完全混溶。

用法及应用特点 本品为液态迁移性 HALS, 与聚烯烃相容, 具有高溶解性, 适用于液态颜色浓缩物, 可用于 PE 扁丝、注塑和滚塑、片材、PP 膜、扁丝、注塑、聚甲醛、ASA、ABS、HIPS、SAN、PVC 硬质和软质制品、PMMA 及 PUR。

(2) 2, 2, 6, 6-四甲基-4-吡啶醇脂肪酸酯

性质 蜡状固体。熔点 28℃ (最低), 相对密度 0.895 (20℃), 溶解度 (25℃): 丙酮 22g/100g、苯 40.9g/100g、乙醇 370g/100g、乙酸乙酯 40g/100g、甲苯 24.9g/100g。

用法及应用特点 本品为迁移性 HALS, 可提供优异的表面性质的保护, 高溶解性, 与聚烯烃和苯乙烯等相容, 与其他稳定剂, 特别是高分子量的 HALS 和紫外线吸收剂有最佳协同作用, 适用于各种加工工艺, 可用于聚烯烃、TPO、POM、PA、ASA、ABS、HIPS、SAN 和 PUR。

(3) 亚乙基双(2, 2, 6, 6-四甲基哌啶酮)

性质 粉末状。相对分子质量 338.0, 有效氮含量 8.3%。

用法及应用特点 本品属哌啶酮类新型受阻胺类光稳定剂, 与传统的哌啶类受阻胺光稳定剂相比, 具有碱性小, 抗热氧效果好等特点, 适用于聚烯烃等塑料, 如聚乙烯和聚丙烯等, 一般用量为 0.1% ~ 0.5%。

(4) 4-苯甲酰氧基-2, 2, 6, 6-四甲基哌啶

性质 白色结晶粉末。相对分子质量 261.37, 熔点 96 ~ 98℃, 分解温度 280℃ 以上, 溶于甲苯、苯、乙醇、甲醇、乙酸乙酯、丙酮等溶剂, 不溶于水。

用法及应用特点 本品无污染, 不着色, 耐热加工性能良好, 适用于聚烯烃、聚苯乙烯、聚氨酯、聚酰胺、聚酯等塑料, 在聚烯烃中效果尤为突出, 与抗氧剂和其他紫外

线吸收剂并用，具有优良的协同效应。

(5) 二(2,2,6,6-四甲基-3-哌啶氨基)间苯二甲酰胺

性质 白色结晶粉末。熔点 $(272 \pm 2)^\circ\text{C}$ ，相对分子质量 442.65，溶解度：二甲基乙酰胺 110g/100g 溶剂 (20°C)、乙酸 250g/100g 溶剂 (20°C)、水 0.139g/100g 溶剂 (30°C)、己内酰胺 $>5\text{g}/100\text{g}$ 溶剂 (75°C)，挥发性 (TGA、 N_2 中， $10^\circ\text{C}/\text{min}$ ，质量损失) 10% (354°C)。

用法及应用特点 本品是一种适合于尼龙的多功能添加剂，在熔体加工或聚合过程中以传统加料和计量技术加入，通过“分子识别”和/或交联酰胺化与尼龙相容，可改善尼龙熔体的加工过程，稳定尼龙熔体压力，平稳加工过程，纤维纺丝时减少断丝，增强长期的热稳定性和光稳定性，作为相容和永久性的助剂，给予尼龙的稳定性超越了传统光稳定剂的极限。本品与乙二酰苯胺 UV-吸收剂 Sanduvor VSU 组合使用能显著提高光稳定效果，可增强染色性能，由于其碱性基团，本品能增强金属染料和酸性染料的亲和力，使其能稳定、生态相容和深度局部染色。

(6) N, N'-二甲酰基-N, N'-二(2, 2, 6, 6-四甲基-4-哌啶基)-亚己基二胺

性质 白色结晶粉末。熔点 $155 \sim 160^\circ\text{C}$ ，相对分子质量 450，密度 $1.08\text{g}/\text{cm}^3$ (20°C)，在有机溶剂中的溶解度 (质量) (20°C)：丙酮 0.3%、正己烷 $<0.01\%$ 、甲乙酮 6%、氯仿 6%、甲醇 11%、乙酸乙酯 0.3%、水 $<0.5\%$ 。

用法及应用特点 本品适用于聚烯烃，尤其是 PP 注塑厚制品和 PP 纤维，也可用于 PA、ABS 和聚酯，与紫外线吸收剂协同使用可适用于 PS、ABS、PA。

(7) Hostavin N30

性质 白色粉末或颗粒。表观密度约 $0.45\text{kg}/\text{L}$ ，软化点 $>148^\circ\text{C}$ 。

用法及应用特点 本品具有极佳的抗萃取性、非常低的迁移性及极低的挥发性，适用于无色透明制品，特别适用于 LDPE、HDPE 及 PP 膜、纤维和布制成的带，也可以用于 EVA 或乙烯-丙烯酸共聚物 PMMA、聚丙烯酸酯、苯乙烯聚合物、ABS 树脂、聚氨酯、纤维素衍生物、聚酯、聚碳酸酯、高弹体和聚酰胺。Hostavin N30 特别适用于活性化学物质能发生影响的应用 (如农用大棚膜)，与其他的 HALS 不同，N30 对农用化学品及影响环境的酸性化学品 (如二氧化硫、酸雨等) 有很好的稳定性。

(8) 四甲基哌啶混合酸酯

性质 灰白色蜡状固体。熔点 $28 \sim 32^\circ\text{C}$ ，相对密度 0.895 (20°C)，灰分 $<0.1\%$ ，皂化值 $128 \sim 137\text{mgKOH}/\text{g}$ ，热失重 10% 时的温度为 249°C ，热失重 20% 时的温度为 269°C 。

用法及应用特点 本品和其他受阻胺类、紫外线吸收剂类具有良好的相容性，适用于许多塑料，特别是 ABS 树脂和填充聚丙烯等。

(9) 双(五甲基哌啶基)癸二酸酯和甲基-五甲基哌啶基癸二酸酯的混合物

性质 淡黄色黏稠液体。相对密度 0.99 (20°C)。

用法及应用特点 本品是一种高效液体受阻胺，与聚合物相容性较好，和紫外线吸收剂类共同使用具有较好的协同效应，热稳定性优良，适用于聚烯烃、PU、UP、丙烯

酸酯、苯乙烯聚合物、涂料等。

(10) 光稳定剂 783

性质 化学组成为 50% (质量分数) 光稳定剂 944 + 50% (质量分数) 光稳定剂 622, 白色或淡黄色粉末。熔点 55 ~ 140℃, 溶于丙酮、乙酸乙酯等有机溶剂, 不溶于水。

用法及应用特点 本品为高分子量复配型受阻胺光稳定剂, 具有优良的光稳定效能和优良的长效热稳定性、低挥发性、优良的耐抽提性, 特别适用于聚丙烯纤维、扁丝、线型低密度聚乙烯、低密度聚乙烯制品, 可用于接触食品的塑料制品。

(11) 光稳定剂 791

性质 化学组成为 50% (质量分数) 光稳定剂 944 + 50% (质量分数) 光稳定剂 770, 白色或淡黄色颗粒。熔点 > 55℃, 溶于丙酮、乙酸乙酯等有机溶剂, 不溶于水。

用法及应用特点 本品为复配型受阻胺光稳定剂, 具有优良的光稳定效能和长效热稳定性, 特别适用于厚截面塑料制品, 可以提供优良的表面保护作用。

(12) 光稳定剂 111

性质 化学组成为 50% (质量分数) 光稳定剂 119 + 50% (质量分数) 光稳定剂 622, 浅黄色颗粒。熔点 58 ~ 106℃, 溶于常用有机溶剂, 不溶于水。

用法及应用特点 本品为高分子量复配型受阻胺光稳定剂, 具有优异的耐抽提性、抗“气熏变质”性和优良的长效热稳定性, 与颜料作用甚微, 特别适用于聚丙烯纤维和聚乙烯农膜制品。

(13) 光稳定剂 6911

性质 白色流散性粉末固体, 溶于甲苯、二甲苯等芳烃溶剂, 不溶于水、甲醇和丙酮, 软化温度 90 ~ 130℃ (热台法), 挥发分 < 0.5% (105℃, 2h)。

用法及应用特点 本品是按特定工艺将高分子量受阻胺光稳定剂和具有高效热稳定性、金属离子螯合性的若干光稳定剂组分复合制成的, 可为聚烯烃等塑料制件提供高效光稳定性, 有效地防止光、热、气候、水分引起的高聚物的降解。本品能有效地防止薄膜制品的“背板效应”, 进一步提高薄膜的耐候性。本品用途广泛, 可用于聚烯烃、聚苯乙烯、聚酰胺等作为抑制光、热老化的稳定剂。

(二) 光屏蔽剂

光屏蔽剂是一类能够反射和吸收紫外光的物质。光屏蔽剂可使吸收的紫外光转化成无害的热能, 不会引发老化反应。将光屏蔽剂加到塑料中, 可起到像滤光器一样的作用, 屏蔽紫外光的穿入, 阻止或减少一定范围波长紫外光的辐射量, 从而使材料内部免遭紫外光的危害。

通常采用的光屏蔽方法包括添加光屏蔽剂和涂覆涂层, 添加光屏蔽剂主要有炭黑、氧化锌以及一些无机和有机颜料, 涂层主要是油漆和电镀等。

1. 炭黑

炭黑不但是一种性能优良的热氧化稳定剂, 而且是一种光屏蔽效果十分有效的光稳定剂。实践证明, 炭黑是适用于多种聚合物的价廉有效的稳定剂, 在没有颜色要求的制

品中得到广泛应用。

炭黑种类很多，制造方法和成分各有差异，各种炭黑的性能也不相同（见表 2-4），在使用时必须注意下列问题：

（1）炭黑的粒度 小颗粒炭黑比大颗粒的耐光性能好，一般认为粒径 0.015 ~ 0.025 μm 的稳定效果最佳。

（2）炭黑的用量 炭黑的添加量（质量分数，后同）在 1% ~ 2% 时效果最佳，若高于 2% 变化不明显，当增加到 5% 以上时，有些材料的物理、力学性能反而降低。

（3）炭黑在塑料中的分散性 炭黑粒度的大小和浓度都影响炭黑在塑料中的分散性，所以分散性将最终决定其防老化效果。

（4）炭黑与其他稳定剂的并用 炭黑与硫类抗氧剂并用有良好的协同效应，而炭黑与胺类、酚类抗氧剂并用则产生对抗作用。

表 2-4 各种炭黑的性能比较

炭黑种类及牌号	生产国别、制造公司 及标准代号	平均粒径 $\times 10^{-3}$ / μm	pH 值	灰分 (%) $\leq$	水分 (%) $\leq$	吸碘值 /(mg/g) $\geq$	吸油值 /(mL/g)
天然气槽法炭黑	HG4—48—78	25 ~ 32	3.5 ~ 4.5	0.10 ~ 0.20	4.0	130	0.90 ~ 1.20
混气槽法炭黑	HG4—48—78	30 ~ 38	2.9 ~ 3.5	0.10 ~ 0.20	3.5	80	0.90 ~ 1.10
滚筒法炭黑	HG4—48—78	28 ~ 35	4.0 ~ 5.5	0.10	3.5	90	0.90 ~ 1.10
中超耐磨炉法炭黑 (ISAF)	HG4—48—78	22 ~ 26	7.0 ~ 10.0	0.30 ~ 0.50	2.5	110 ~ 140	0.95 ~ 1.25
中超耐磨炉法炭黑 (旭#80)	日本旭炭黑株式会 社	23	7.0	0.30	2.5	133.8	1.25
高结构中超耐磨炉 法炭黑 (ISAF-HS)	抚顺化工分厂	18 ~ 23	5.0 ~ 9.0	0.50	3.0	140 ~ 170	1.25 ~ 1.50
低结构中超耐磨炉 法炭黑 (ISAF-LS)	天津炭黑厂	22 ~ 26	7.0 ~ 10.0	0.55	2.0	100 ~ 130	0.60 ~ 0.90
低结构中超耐磨炉 法炭黑 (ISAF-LS)	日本 Tokai 公司	23	8.0	0.3		110	0.86
高耐磨炉法炭黑 (HAF)	HG4—48—78	27 ~ 34	7.0 ~ 10.0	0.25 ~ 0.40	2.0	80 ~ 110	0.90 ~ 1.20
高耐磨炉法炭黑 (旭#70)	日本旭炭黑株式会 社	27	7.0	0.30	2.5	96.1	1.17 ~ 1.55
高结构高耐磨炉法 炭黑 (HAF-HS)		31	6.7	0.15		106	1.32

(续)

炭黑种类及牌号	生产国别、制造公司 及标准代号	平均粒径 × 10 ⁻³ /μm	pH 值	灰分 (%) ≤	水分 (%) ≤	吸碘值 /(mg/g) ≥	吸油值 /(mL/g)
高结构高耐磨炉法 炭黑 (Seast 3H)	日本 Tokai 公司	28	8.3	0.20		80	1.42
低结构高耐磨炉法 炭黑 (HAF-LS)	HG4—48—78	27 ~ 34	6.5 ~ 9.5	0.55	2.0	75 ~ 100	0.60 ~ 0.90
低结构高耐磨炉法 炭黑 (Seast 300)	日本 Tokai 公司	27	8.2	0.2		86	0.83
快压出炉法炭黑 (FEF)	天津炭黑厂	40 ~ 55	7.0 ~ 10.5	0.50		40 ~ 60	0.90 ~ 1.20
快压出炉法炭黑	抚顺化工厂		7.0 ~ 10.5	0.50		40 ~ 55	0.90 ~ 1.20
快压出炉法炭黑	上海炭黑厂		7.0 ~ 10.5	0.5	1.50	40 ~ 55	0.9 ~ 1.20
快压出炉法炭黑 (旭 60)	日本旭炭黑株式会 社	51	7.7	0.30	1.0	47.5	1.17 ~ 1.55
中耐磨炉法炭黑 (旭 60HMAF)	日本旭炭黑株式会 社	35	7.0	0.30	1.0	63.0	1.60 ~ 1.89
通用炉法炭黑 (GPF)	HG4—48—78	50 ~ 70	7.0 ~ 10.5	0.30 ~ 0.50	1.0	25 ~ 40	0.70 ~ 1.00
通用炉法炭黑 (旭 55)	日本旭炭黑株式会 社	77	7.7	0.30	1.0	27.5	0.88 ~ 1.55
高结构通用炉法炭 黑 (旭 58)	日本旭炭黑株式会 社	65	7.7	0.30	1.0	36.0	1.15 ~ 2.10
低结构通用炉法炭 黑 (LSGPF)	HG4—48—78	60 ~ 80	7.0 ~ 10.5	0.30 ~ 0.50	1.0	20 ~ 35	0.50 ~ 0.70
油基半补强炉法炭 黑 (SRF)	HG4—48—78	60 ~ 100	8.0 ~ 10.5	0.30 ~ 0.50	1.5	20 ~ 35	0.50 ~ 0.80
天然气半补强炉法 炭黑	HG4—48—78	80 ~ 130	8.0 ~ 10.5	0.30 ~ 0.50	1.5	10 ~ 25	0.40 ~ 0.70
喷雾炉法炭黑	HG4—48—78	100 ~ 130	8.0 ~ 10.5	0.30 ~ 0.50	1.0	10 ~ 20	1.00 ~ 1.30
乙炔炭黑 (ACET)	HG4—1057—78	35 ~ 45		0.30	0.6	65 ~ 75	3.0 ~ 3.5

2. 氧化锌

氧化锌特别适用于聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯，它还是一种光活化剂。试验证明，氧化锌与亚磷酸酯、硫代二丙酸二月桂酯、二烷基二硫代氨基甲酸锌、二苯甲酮和镍化合物等并用均有良好的协同作用。

3. 二氧化钛

性质 无色无臭的白色粉末。相对分子质量 79.9，相对密度 3.84 ~ 4.30，熔点 1560 ~ 1580℃，折射率 2.55 ~ 2.70，平均粒径 0.3 ~ 0.5 μm，铁含量 < 0.5%，水溶物含量 < 0.5%，加热减量 < 0.5%，不溶于水、有机酸、稀无机酸、有机溶剂和油，微溶于碱，在浓硫酸和氢氟酸中长时间煮沸可完全溶解。根据结晶形式，本品可分为以下两种：金红石型（简称 R 型），相对密度 4.26，折射率 2.72；锐钛型（简称 A 型），相对密度 3.84，折射率 2.55。

为了提高钛白粉的性能，可以对其进行表面处理，例如，利用气相煅烧法在钛白粉粒子表面沉积一单分子层的氧化锌、氧化铝、二氧化硅或其他氧化物，可以改善光稳定性和热稳定性。

用法及应用特点 本品能反射或折射大部分可见光，并能完全吸收波长小于 410nm 的紫外线，适用于不透明的塑料制品。金红石型钛白粉质地较软，耐候性和耐热性较好，屏蔽紫外线的作用强，不易变黄，而且耐水性也较好，特别适用于户外使用的塑料制品，可给予制品良好的光稳定性。锐钛型钛白粉的耐热性和耐光性较差，有促进聚氯乙烯光老化的作用，主要适用于室内使用的塑料制品，但锐钛型略带蓝色，白度高，遮盖力大，着色力强，而且分散性较好。

4. 颜料

颜料也称着色剂，将其添加到塑料中时，不但使产品色泽美观，而且由于颜料具有吸收和反射紫外光、限制紫外光透射到材料内部的作用，所以适当地添加颜料还能提高产品的耐候、力学、光学和电气等性能。

颜料分有机颜料和无机颜料两大类。塑料工业常用的无机颜料有氧化铁（ Fe_2O_3 和 Fe_3O_4 ）、氧化铬（ Cr_2O_3 ）、氧化铅（ Pb_3O_4 ），常用的有机颜料有偶氮、蒽醌和硫靛化合物等。

由于颜料和塑料的吸收光谱不同，所以即便是同种颜料对各种不同塑料的防护程度差别也很大。

颜料与 1% 稳定剂对聚丙烯热老化的相互作用见表 2-5，颜料对塑料的防护作用见表 2-6，添加各种颜料和紫外线吸收剂的聚乙烯在模拟自然老化试验机中的破坏时间见表 2-7。

（三）紫外线吸收剂

紫外线吸收剂的功能是有选择性地吸收紫外线辐射，并将其转变成热能或低能辐射释放或消散出去，使聚合物免遭紫外线的破坏，从而起到防护作用，特别是对用于室外的薄型制品，紫外线吸收剂更是必不可少的。

(续)

颜 料			性 质					对 象							
			耐光性	耐热性	耐溶剂性	耐酸性	耐碱性	软聚氯乙烯	硬聚氯乙烯	聚苯乙烯	软质聚乙烯	硬质聚乙烯	甲基丙烯酸树脂	聚酯	尿素密胺树脂
染料	瓮染	靛蓝红	5	3	6	1	1			0			0	△	
	分散	霁青红	5	4	6	1	1			0			0	△	
	油溶	油红	4	3	6	1	1		△	0			0		
炭黑			2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0		0

注：1. 0—推广使用，△—限用。
2. 数字 1 表示颜料对塑料的防护作用最发，2 次之，余类推。

表 2-7 添加各种颜料和紫外线吸收剂的聚乙烯在模拟自然老化试验机中的破坏时间
(单位：h)

颜 料	紫外线吸收剂 ^①				
	无	0.25% UV-314	1.0% TBS	0.5% TBS	0.25% UV-9
无	800	>2900	2050	2050	1000
镉红	800	>2900	2050	1550	1000
镉橙	800	>2900	2250	1700	1100
酞菁绿	700	>2900	1550	1400	1100
群青	600	2250	2150	1250	800
酞菁蓝	600	1850	1550	1250	700
钴蓝	800	2900	1700	1250	1100
氧化铁	700	2050	1700	1100	700
钛白	700	2550	2250	1700	1000

① UV-314—2，2'-二羟基-4-正辛氧基二苯甲酮，UV-9—2-羟基-4-甲氧基二苯甲酮，TBS—水杨酸对特丁基苯酯。

大多数紫外级吸收剂都能够强烈地吸收 290 ~ 400nm 紫外光，即它们对该波长范围的紫外光具有很高的吸收系数（消光系数），而透过率却很低。
目前常用的紫外线吸收剂主要有二苯甲酮类，水杨酸酯类、苯并三唑类、取代丙烯酸腈类和三嗪类。

1. 二苯甲酮类

二苯甲酮类光稳定剂是邻羟基二苯甲酮的衍生物，常见的有羟基、双羟基、四羟基二苯甲酮类化合物。这类化合物的应用见表 2-8。

表 2-8 二苯甲酮类紫外级吸收剂及其应用

化学名称 (简称及代号)	ABS	纤维 素	环氧 树脂	聚酯	聚乙 烯	聚丙烯	聚苯 乙烯	软质 聚氯 乙烯	半软 质聚 氯乙 烯	硬质 聚氯 乙烯	氯乙 烯偏 氯乙烯共 聚物	涂料	添加量(%)	毒性
2,4-二羟基二苯甲酮(UV-0)		+	+	+			+					+	0.1~1.0	低
2,2'-二羟基-4,4'-二甲氧基二苯甲酮(UvinulD-49)	+	+	+	+				+	+	+	+	+	0.1~1.0	低
2,2',4,4'-四羟基二苯甲酮(UVD-50)				+								+	0.01~0.5	低
2-羟基-4-甲氧基二苯甲酮(UV-9)	+	+		+			+	+	+	+		+	0.1~1.5	低
2-羟基-4-甲氧基-4'-甲基二苯甲酮		+		+			+	+	+			+	0.1~1.0	低
2,2'-二羟基-4-甲氧基二苯甲酮(UV-24)								+	+			+	0.25~0.3	低
2-羟基-4-正庚氧基二苯甲酮		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		0.25~0.75	低
2-羟基-4-正辛氧基二苯甲酮(UV-531)		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		0.1~1.0	低
2-羟基-4-甲氧基-2'-羧基二苯甲酮(UV-207)			+									+	0.25~3.0	低
2-羟基-4-甲氧基-5-磺基二苯甲酮(UV-284)												+	0.03~3.0	低
2-羟基-4-十二烷氧基二苯甲酮(DOPB)		+		+	+	+	+	+	+	+		+	0.25~2.0	低
2,2'-二羟基-4,4'-二甲氧基-5-磺基二苯甲酮(UVDS-49)												+	0.25~3.0	低
5-氯-2-羟基二苯甲酮(HCB)		+		+	+	+	+	+	+			+	0.1~2.0	—

注：“+”表示添加吸收剂后使性能较优的配合。

二苯甲酮的添加量一般为0.2%~1.5%。通常，二苯甲酮与有机磷酸酯镍盐并用具有良好的协同效应（见表2-9）。另外，二苯甲酮及相关的金属络合物用于聚丙烯的紫外光稳定效果也十分明显（见表2-10）。

表 2-9 二苯甲酮与有机磷酸酯镍盐在聚丙烯中的并用效果^①

举例编号	稳 定 剂	添加量(% 质量)	老化小时数(h)
1	不添加稳定剂	0	50.0
2	50% -辛基磷酸镍 + 50% 二辛基磷酸镍	0.5	400.0
3	2-羟基-4-辛氧基二苯甲酮	0.5	400.0
4	50/50 2 和 3 的混合物	0.5	900.0
5	25/75 2 和 3 的混合物	0.5	725.0
6	75/25 2 和 3 的混合物	0.5	750.0
7	10/90 2 和 3 的混合物	0.5	575.0
8	90/10 2 和 3 的混合物	0.5	550.0
9	50/50 2 和 3 的混合物	0.05	150.0
10	例 2	0.05	75.0
11	例 3	0.05	75.0
12	50/50 2 和 3 的混合物	2.5	1050.0
13	例 2	2.5	600.0
14	例 3	2.5	575.0
15	2-羟基-4-甲氧基二苯甲酮	0.5	300.0
16	2-羟基-4-十二烷氧基二苯甲酮	0.5	400.0
17	50/50 15 和 2 的混合物	0.5	725.0
18	50/50 16 和 2 的混合物	0.5	800.0
19	50% 一月桂基磷酸镍 + 50% 磷酸二月桂酯	0.5	300.0
20	50/50 19 和 3 的混合物	0.5	750.0
21	25/75 19 和 3 的混合物	0.5	625.0
22	75/25 19 和 3 的混合物	0.5	575.0
23	50% 苯基磷酸镍 + 50% 二苯基磷酸镍	0.5	375.0
24	50/50 23 和 3 的混合物	0.5	825.0
25	25/75 23 和 3 的混合物	0.5	675.0
26	75/25 23 和 3 的混合物	0.5	600.0
27	一辛基磷酸镍	0.5	450.0
28	二辛基磷酸镍	0.5	350.0
29	50/50 27 和 3 的混合物	0.5	950.0
30	50/50 28 和 3 的混合物	0.5	875.0
31	50/50 一辛苯基磷酸镍和 3 的混合物	0.5	850.0
32	50/50 一特丁苯基磷酸镍和 3 的混合物	0.5	900.0

① 试样为美国商品结晶聚丙烯，商品名称为 Hercules Profax 6501。

表 2-10 二苯甲酮及相关的金属络合物对聚丙烯的稳定效果^①

试样	稳定剂配方及用量	脆化时间/h
A	标准聚丙烯	600 ~ 900
B	0.3% (质量分数) 2,2-硫代双-(4-二特辛基酚)-丁胺镍	1200 ~ 1500
C	0.3% (质量分数) 2-羟基-4-甲氧基二苯甲酮镍	900 ~ 1200
D	0.3% (质量分数) 2-羟基-4-正辛氧基二苯甲酮镍	1500 ~ 1800
E	0.3% (质量分数) 2-羟基-4-正辛氧基二苯甲酮	900 ~ 1200
F	0.5% (质量分数) 2-羟基-4-正辛氧基二苯甲酮	900 ~ 1200
G	0.3% (质量分数) B + 0.3% (质量分数) E	1200 ~ 1500
H	0.3% (质量分数) C + 0.3% (质量分数) E	2100 ~ 2400
I	0.3% (质量分数) D + 0.3% (质量分数) E	2700 ~ 3000
L	0.5% (质量分数) 2-羟基-4-正辛氧基二苯甲酮钴	1500 ~ 1900
M	0.5% (质量分数) D	2100 ~ 2403
N	0.3% (质量分数) L + 0.3% (质量分数) E	2100 ~ 2400
O	0.5% (质量分数) C	900 ~ 1200

① 聚丙烯试样中还加有 0.5% (质量分数) 硫代二丙酸二月桂酯、0.25% (质量分数) 酚类抗氧剂和 0.4% (质量分数) 硬酯酸钙，试样 0.5mm 左右厚，50mm 长，脆化时间是在 Xenctest 150 氙灯仪中暴露后测得的。

2. 水杨酸酯类

水杨酸酯类光稳定剂被称为先驱型紫外级吸收剂（这类化合物商品常被称为安息香酸苯酯），该类稳定剂虽是应用最早的紫外线吸收剂，但由于它们的生产工艺简单、价廉、与聚合物的相容性好、无味低毒，所以至今仍广泛地用于聚合物中。遗憾的是大多数这类化合物经光照后会吸收可见光，致使制品变黄（见表 2-11 所列的情况），使其在无色和透明制品中的使用受到了限制。

表 2-11 水杨酸酯类对聚丙烯的稳定及变黄情况

水 杨 酸 酯	主要重排产物	老化机内应 力开裂时间 /h	变黄程度
未添加	无	90	不变
水杨酸苯酯(Salol)	2,2'-二羟基二苯甲酮	130	非常轻微
3-苯基水杨酸苯酯	2,2'-二羟基-3-苯基二苯甲酮	140	稍微
2-十二烷基-4-甲基水杨酸苯酯	2,2'-二羟基-3-十二烷基-5-甲基二苯甲酮	280	严重
水杨酸邻辛基苯酯	2,2'-二羟基-3-辛基二苯甲酮	525	稍微
5-丁基水杨酸 2,6-二甲基苯酯	无	420	不变
4-十二烷氧基水杨酸 2,6-二甲基苯酯	无	460	不变
4-十二烷氧基水杨酸对特丁基苯酯	2,2'-二羟基-4-十二烷氧基-5'-特丁基二苯甲酮	470	稍微
2,6-二甲基水杨酸苯酯	无	500	不变
2,6-二甲基-4-十八烷基水杨酸苯酯	无	550	不变
水杨酸对辛基苯酯(OPS)	2,2'-二羟基-5-辛基二苯甲酮	1200	严重
5-辛基水杨酸对辛基苯酯	2,2'-二羟基-5,5'-二辛基二苯甲酮	1660	非常严重

3. 苯并三唑类

苯并三唑类紫外线吸收剂，具有优良的光、热稳定性（见表 2-12），能够有效地吸收 300 ~ 400nm 波长范围的紫外光，几乎不吸收可见光，是目前商品紫外线吸收剂中性能最好的品种之一。

表 2-12 苯并三唑类对聚丙烯的光稳定效果^①

苯 并 三 唑	脆化天数/d	稳定后增加的天数/d
未添加	8	—
2-(3'-特丁基-2'-羟基-5'-甲基苯基)-5-氯苯并三唑(UV-326)	28	20
2-(3',5'-二特丁基-2'-羟基苯基)-5-胺苯并三唑(UV-327)	70	62
2-(2'-羟基-3',5'-二特戊基苯基)苯并三唑(Tinuvin328)	65	57
2-(2'-羟基-5'-特辛基苯基)苯并三唑	77	69
2-(2'-羟基-5'-特辛基苯基)-5-氯苯并三唑	99	91

① 聚丙烯牌号为美国 Hercules Profax 6501，苯并三唑的添加量为 0.2%（质量分数），配方中加有 0.4%（质量分数）的硫代二丙酸二月桂酯，试样为 0.254mm 厚的薄膜。试验是在 Fluorescent Sunlight Blacklight 仪中做的。

此类紫外线吸收剂与二苯甲酮类一样，能够将所吸收的光辐射能转化成热能或其他形式的能量发散或释放掉，从而使聚合物免遭破坏。

苯并三唑类紫外线吸收剂的添加量为 0.1% ~ 3%，可广泛地用于聚烯烃、聚酯、聚碳酸酯、聚氯乙烯、ABS、纤维素、环氧树脂及涂料等。此外，三唑类紫外线吸收剂与抗氧剂并用具有良好的协同效果。

4. 取代丙烯腈类

取代丙烯腈类紫外线吸收剂与二苯甲酮和苯并三唑类不同，不会使制品变黄或着色。因其结构中不含酚式羟基，故具有良好的化学稳定性，且与树脂的相容性较好，能吸收 290 ~ 320nm 波长范围的紫外光。

取代丙烯腈类紫外线吸收剂可用于缩醛树脂、丙烯酸树脂、环氧树脂、脲醛树脂、聚酰胺、聚酯、聚氨酯、聚碳酸酯、聚烯烃、聚氯乙烯、纤维素、涂料和橡胶，其添加量为 0.1% ~ 5.0%。表 2-13 列出了聚碳酸酯薄膜添加此类稳定剂后比未添加稳定剂时发生脆裂时间的增加值。

表 2-13 聚碳酸酯薄膜添加稳定剂后比未添加的样品耐脆裂时间的增加值^①

稳 定 剂	时间/h
α-氰基-β-(N-甲基-对-甲氧苯胺基)丙烯腈	1500 ^②
α-氰基-β-(N-甲基-对-乙氧基胺基)丙烯腈	2750 ^③
α-氰基-β-(N-氰基乙基-对-甲氧基胺基)丙烯腈	3250 ^③

- ① 聚碳酸酯薄膜厚 0.025mm 左右，取代丙烯腈的添加量为 1%，试样在无喷水的阿特拉斯氙灯气候仪（Atlas Xen-on Weather-Ometer）中进行。
- ② 一次试验小时数。
- ③ 两次试验小时数。

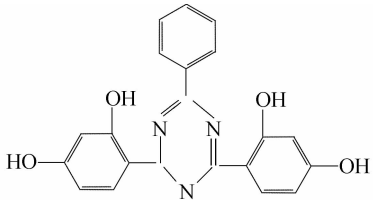
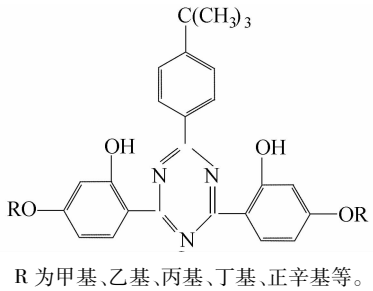
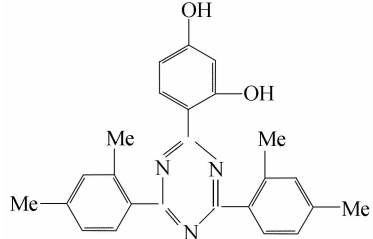
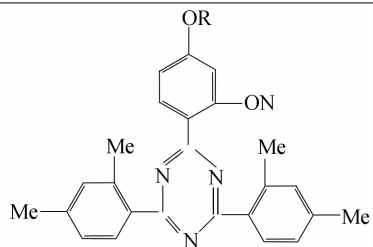
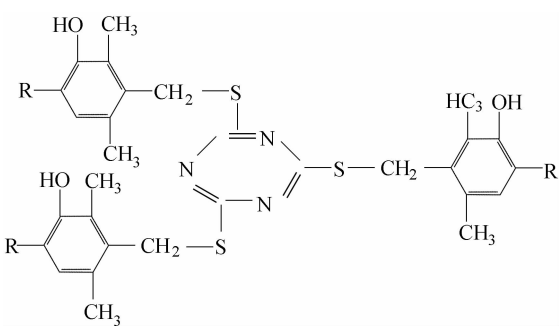
5. 三嗪类

三嗪类紫外线吸收剂是一类性能优良的较新型的紫外线吸收剂。该类化合物是 2-羟基苯基三嗪的衍生物，特别是含有邻位羟基，典型三嗪类紫外线吸收剂化学名称及结构式见表 2-14。

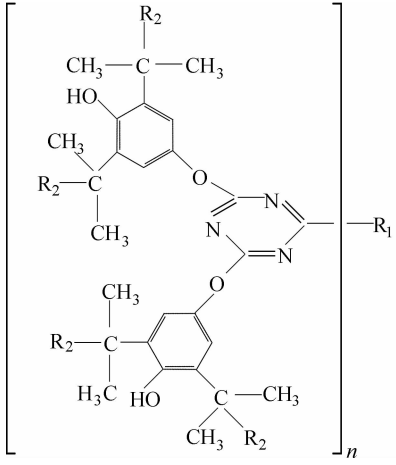
表 2-14 典型三嗪类紫外线吸收剂

化 学 名 称	结 构 式
2,4,6-三(2',4'-二羟基苯基)-1,3,5-三嗪	
2,4,6-三(2'-羟基-4'-正丁氧基苯基)-1,3,5-三嗪	

(续)

化 学 名 称	结 构 式
2,4-双(2',4'-二羟基苯基)-6-苯基-1,3,5-三嗪	
2,4-双(2'-羟基-4'-烷氧基苯基)-6-特丁基苯基-1,3,5-三嗪	 R 为甲基、乙基、丙基、丁基、正辛基等。
2,4-双(2',4'-二甲基苯基)-6-(2'',4''-二羟基苯基)-1,3,5-三嗪	
2,4-双(2',4'-二甲基苯基)-6-(2''-羟基-4''-烷氧基苯基)-1,3,5-三嗪	
受阻三(间-羟基苄硫基)-均-三嗪	

(续)

化 学 名 称	结 构 式
2,4-双(3',5'-二特丁基-4'-羟基苯氧基)-均-三嗪	 R_1 为氢、烷基、链烯基、硫杂烷基、环己基、苄基、烷撑等 R_2 为甲基、乙基等 $n = 1, 2$ 等

三嗪类紫外线吸收剂对 280 ~ 400nm 的紫外线有较高的吸收系数，紫外线吸收能力比苯并三唑类强，耐热性能较好，但该类化合物会因吸收部分可见光而使制品带黄色。

三嗪类紫外线吸收剂对许多塑料均有良好的稳定效果，适用于聚氯乙烯、聚甲醛、ABS、聚烯烃、橡胶和涂料等，其添加量为 0.1% ~ 2.0%。

三嗪类紫外线吸收剂与抗氧剂等并用能提高材料的耐候性，如 2, 4, 6-三(2'-羟基-4-丁氧基苯基)-1, 3, 5-三嗪(三嗪-5)与 2,2'-亚甲基-双-(4-甲基-6-特丁基苯酚)(2246)和四[β-(3,5-二特丁基-4-羟基苯基)丙酸]季戊四醇酯(1010)等并用于 ABS 能大大提高其稳定性。

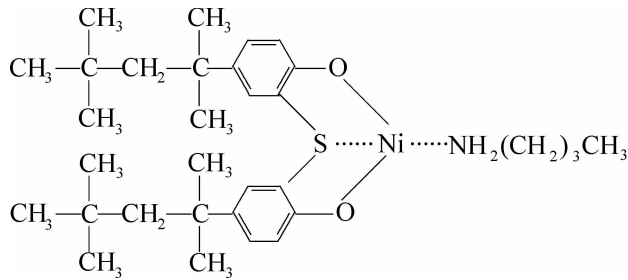
(四) 猝灭剂

猝灭剂主要是含镍、钴等金属的有机络合物。该类光稳定剂的有机部分分别是取代酚、硫代双酚、二硫代亚磷酸酯、二硫代氨基甲酸酯等化合物。

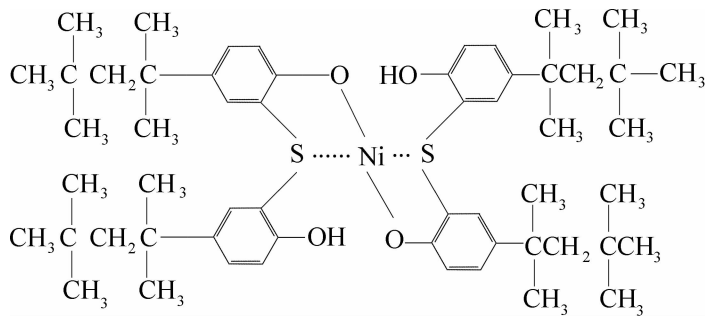
猝灭剂不同于紫外线吸收剂，其光稳定作用主要不是吸收紫外线，而是利用激发态聚合物分子和猝灭剂分子间的能量转移，迅速而有效地将激发态的分子“猝灭”(Quenching)，使其再回到稳定的基态，最终达到防护聚合物免受紫外线破坏的功效。

该类化合物已商品化的主要品种结构分别如下：

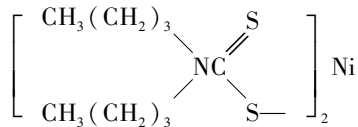
(1) [2,2'-硫代双(4-特辛基苯酚)]正丁胺基镍(Cyasorb UV-1084)



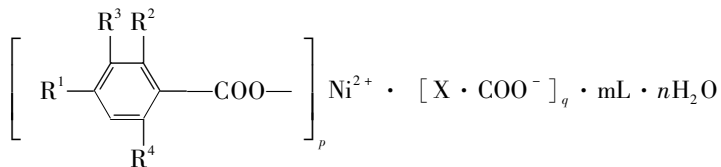
(2) 双[2,2'-硫代双4-(1,1,3,3-四甲基丁基苯酚)]镍 (Ferro AM-101, Ferro AM-102)



(3) 二丁基二硫代氨基甲酸镍 (NBC) (Nickel dibutyldithiocarbamate)



(4) 羟基苯酸镍络合物



式中 R^1, R^2 ——分别为氢、羟基; R^3, R^4 分别为氢、烷基;

p ——1, 2;

q ——0, 1;

m ——0, 1, 2;

n ——1, 2;

X——羟基取代烷基、环烷基、芳基、烷芳基;

L—— $\text{R}^5 - \text{N}(\text{R}^6) - \text{R}^7$;

R^5 ——烷基、烷氧烷基、烷基硫代烷基、芳基、芳烷基、环烷基;

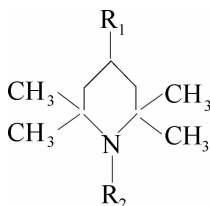
R^6 ——氢、烷基、芳烷基、环烷基;

R^5 和 R^6 ——与 N 原子可以生成吡咯烷、哌啶、烷基取代或未取代的吗啉环；
 R^7 ——氢、烷基、芳烷基。

该类光稳定剂主要适用于聚丙烯、聚乙烯、聚氯乙烯、ABS 等，添加量为 0.1% ~ 0.5%。含镍络合物与紫外线吸收剂并用具有协同效应。

(五) 游离基捕获剂

游离基捕获剂是 20 世纪 70 年代发展起来的新型高效光稳定剂，是一类具有空间位阻效应的哌啶衍生物，简称为受阻胺或空间受阻胺（SHA），其基本化学结构如下：

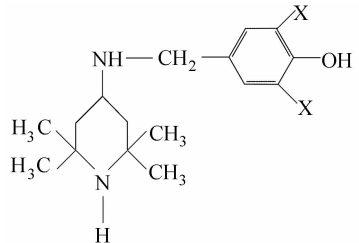
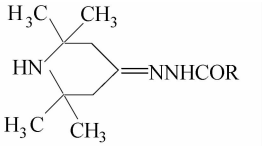
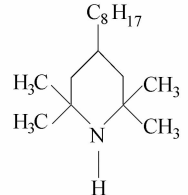
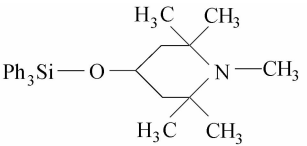
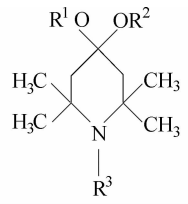


受阻胺类光稳定剂典型商品的化学结构 and 应用分别见表 2-15。

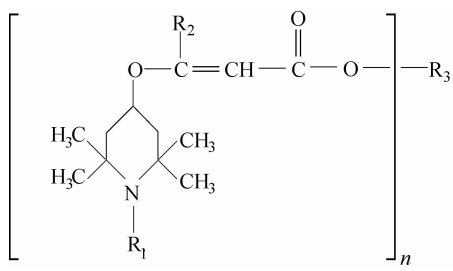
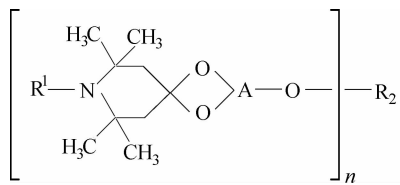
表 2-15 常见受阻胺类光稳定剂化学结构及其应用

编号	化学结构(商品牌号)	应用范围	生产厂家及资料来源
1	(TMP)	聚烯烃、聚氯乙烯、聚苯乙烯、ABS	北京化工三厂
2	(PMP)	聚烯烃、聚氨酯、聚氯乙烯	太原化工研究所
3	(GW-508); (Sanol LS 770); (Tinn vin-770)	聚烯烃、ABS、聚氨酯、聚氯乙烯	太原化工研究所 Ger Offen 2258782 日特开昭 52-94351

(续)

编号	化学结构(商品牌号)	应用范围	生产厂家及资料来源
10		聚丙烯、尼龙 6、 聚氯乙烯、聚氨酯等	Ger offen 2040975
11		聚烯烃、聚苯乙烯 等	Ger offen 2146692
12		聚烯烃、ABS 等	日特开昭 50- 111140
13		聚烯烃等	Ger Offen 2621842
14		聚烯烃、聚苯乙烯、 聚酯、聚氨酯、尼 龙等	日特开昭 49- 77944 U. S. 4016168

(续)

编号	化学结构(商品牌号)	应用范围	生产厂家及资料来源
15		聚丙烯、聚乙烯等	U. S. 3984371
16		聚烯烃、聚氯乙烯、聚偏二氯乙烯、聚缩醛、聚酯、聚酰胺、聚氨酯、环氧树脂等	U. S. 3899464 U. S. 4118368

三、光稳定剂的应用

(一) 聚乙烯

各种不同品种牌号的聚乙烯对于紫外线辐射都是敏感的，只不过没有聚丙烯那么敏感而已。为此，其户外应用的制品也都需要进行抗紫外光的稳定处理。所采用的光稳定剂基本上与聚丙烯的一样。

常用光稳定剂及其缩写如下：

AO-Ⅲ：3-（3′，5′-二叔丁基-4′-羟基苯基）丙酸正十八烷基酯

AO-Ⅳ：2，6-二叔丁基-4-甲基苯酚

Ni-Ⅱ：2，2′-硫代双（4-叔辛基苯酚基）正丁胺镍

UVA-Ⅱ：2-（2′-羟基3′-叔丁基5′-甲基苯基）-5-氯代苯并三唑

UVA-Ⅲ：2-羟基-4-正辛氧基二苯甲酮

UVA-Ⅳ：N，N′-（2-乙基2′-乙氧基-5′-叔丁基苯基）草酰胺

HALS-Ⅰ：癸二酸2，2，6，6-甲基4-哌啶基双酯

HALS-Ⅱ：N-β-羟乙基-2，2，6，6-四甲基4-羟基哌啶基琥珀酸酯聚合物

HALS-Ⅲ：{6-[(1,1,3,3-四甲基丁基)亚氨基]1,3,5-三吡嗪}[2-(2,2,6,6-四甲基哌啶基)亚氨基六亚甲基4-(2,2,6,6-四甲基哌啶基)亚胺]的聚合物

1. 高密度聚乙烯

高密度聚乙烯主要用于吹塑模塑、注射模塑和挤出制品。不加颜料和白色颜料高密

度聚乙烯薄带的老化试验已在佛罗里达州做过户外曝露试验。从加速老化试验的结果可以看到,受阻胺对于未加颜料的高密度聚乙烯薄带的稳定性能比紫外线吸收剂(UVA-Ⅲ)要强得多,尽管UVA-Ⅲ的用量比受阻胺的大很多。在受阻胺之间尤以高分子的受阻胺(HALS-Ⅲ)作用效果最突出。白色试样也同样可以看到这一特点,而且稳定的水平还要高些。

在佛罗里达州所进行的户外直接暴露试验,其结果证实了加速老化试验的数据(不过其性能提高的幅度略小一些而已)。从而再次表明,高分子受阻胺HALS-Ⅲ的性能明显地优于其他光稳定剂。HALS-Ⅲ的用量为0.05%时,其性能可达到用量为0.05% HALS-Ⅰ和用量为0.10%的HALS-Ⅱ的同样稳定效果。

紫外线吸收剂所吸收的光辐射量与其用量、消光系数和试样厚度之间的关系符合比耳-朗伯定律。只要试样的厚度超过 $50\mu\text{m}$,那么紫外线吸收剂就能充分发挥其所期待的良好作用。

2. 低密度聚乙烯

低密度聚乙烯(LDPE)主要是用于生产薄膜制品,与高密度聚乙烯相比,作为模塑制品的应用则要少得多。低密度聚乙烯薄膜在建筑材料(如覆盖物、顶棚),尤其在农业方面(如地膜、暖房)的应用获得了明显的发展。目前,市场上出售的光稳定剂很多,但可适用于低密度聚乙烯的却仅有少数几种。其主要原因在于大部分光稳定剂在为达到保护目的而必须采用的用量的情况下,与高聚物的相溶性均较差,也就是说这些光稳定剂可或多或少很快地出现喷霜现象。

二苯甲酮和苯并三唑类紫外线吸收剂,初始是用于保护低密度聚乙烯制品的。随着镍猝灭剂的开发成功,低密度聚乙烯的光稳定性得到了显著的改善。为了降低成本,可采用与紫外线吸收剂并用这一主要办法,并且通过提高光稳定剂用量的办法可以延长这类薄膜的使用寿命。对于暖房用的薄膜(如法国巴黎 Centre d' Etude 塑料公司生产的三星膜),镍猝灭剂用量高达2%时,在户外自然老化环境下,制品寿命可长达3年。

随着受阻胺应用的开发,低密度聚乙烯的紫外光稳定性有可能进一步提高到所期待的水平。这种情况是与聚丙烯和高密度聚乙烯相类似的。但是,由于低密度聚乙烯与受阻胺的相溶性不好,因此影响了受阻胺性能的发挥,特别是户外老化的情况更为突出。然而,如果采用高分子受阻胺则可克服这一难点。

(二) 聚丙烯

聚丙烯对紫外光辐射特别敏感,以至在每一个应用领域都要考虑这一问题。也就是说,不仅是户外应用制品要考虑采用防紫外线的稳定处理,而且对室内应用的制品也要逐个进行稳定处理。

在户外暴露的未经稳定处理的聚丙烯,其低稳定性主要表现在光泽的丧失,出现表面龟裂、粉化和力学性能的下降。可以肯定,即使采取了光稳定处理措施后,还会观察到上述同样的现象,只不过其出现的时间或多或少地受到了延缓而已。

除了所添加的光稳定剂的作用之外,其他一些因素也会或多或少地影响某一制品的

光稳定性,其中有样品的厚度、取向度、结晶度、颜料以及制品中所存在的填充剂、增强剂和酚类抗氧剂、辅稳定剂等其他添加剂。

目前所采用的有代表性的聚丙烯光稳定剂,主要的有 2-(2'-羟基苯基)苯并三唑、2-羟基 4-烷氧基二苯甲酮、含镍光稳定剂、3,5-二叔丁基 4-羟基苯甲酸酯和受阻胺等。其中,含镍光稳定剂仅仅适用于薄带、薄膜之类薄的制品,而其他类型的光稳定剂对于厚或薄的制品均可适用。但紫外线吸收剂的应用只限于薄的制品。

(三) 聚氯乙烯

聚氯乙烯的光稳定性首先取决于其所采用的热稳定剂,并不一定要进行特殊的紫外线稳定处理。钡/镉的盐类和有机羧酸锡等已经可给予聚氯乙烯户外暴露以一定的紫外线稳定性,然而含硫有机锡化合物的影响却仅是中等的。对于透明或半透明的聚氯乙烯制品,仅采用热稳定剂是不足以提供有效的光稳定性的,还要求具有较高的紫外线稳定性。为此必须额外添加光稳定剂。在实际应用中,一些紫外线吸收剂可起到最好的稳定效果。

(四) 苯乙烯类高聚物

ABS 和抗冲击聚苯乙烯等苯乙烯类高聚物对于氧化作用都很敏感,这主要是由于其分子链中含有丁二烯链段。其老化降解作用是从制品的表面开始的,降解的结果会很快导致冲击强度等力学性能的丧失。由于目前尚未找到有效的光稳定剂,因此 ABS 至今还不能大规模地用于户外制品。

(五) 聚丙烯酸酯类

聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)对于紫外波段的光具有很高的透过率,同时对于光要比其他热塑性塑料稳定得多,所采用的光稳定剂至少可给予聚甲基丙烯酸甲酯制品以紫外线滤光剂的作用。例如为防护太阳光的辐射而采用 0.05%~0.2% (质量分数) 2-(2'-羟基-5'-甲基苯基)苯并三唑稳定的窗玻璃,就是其中一种典型的应用。经紫外线稳定处理后的聚甲基丙烯酸甲酯的主要应用有机机动车的尾灯罩、信号灯罩和荧光灯罩等。

受阻胺也可以给予聚甲基丙烯酸甲酯以最优的光稳定性能。不管是户外自然老化,还是实验室的加速老化试验,都发现采用受阻胺稳定处理的聚甲基丙烯酸甲酯实际上均未出现分子量降低的情况。

甲基丙烯酸甲酯与丙烯腈共聚物,由于其中丙烯腈链段可引起不良的影响,因此其泛黄现象的出现和力学性能的下降都比聚甲基丙烯酸甲酯来得快。但添加紫外线吸收剂的办法,对户外自然老化所出现的泛黄现象可起到明显的抑制作用。

甲基丙烯酸甲酯与丙烯酸甲酯的共聚物比聚甲基丙烯酸甲酯具有更好的耐候性能,这是因为共聚物中残留的单体比均聚物的少而造成的。

(六) 聚氨酯

聚氨酯(PUR)的光稳定性,在很大程度上取决于其中所含异氰酸酯和多元醇这两个组分的化学结构。由脂肪族异氰酸酯和聚酯二元醇共聚所得到的聚氨酯,若以泛黄现象为判断指标,那么其光稳定性是最好的。反之,由芳香族异氰酸酯和聚醚二元醇制得

的聚氨酯，其光稳定性最差。关于其力学性能的变化，可参见本章第二节中有关聚氨酯光降解作用的分析，此处就不赘述了。

聚氨酯中采用光稳定剂处理，主要应用在涂料工业方面，如织物涂层、合成革等。伸长率的下降和泛黄的出现，是评价芳香族聚氨酯光稳定性的主要试验内容。为了获得有效的紫外光稳定性，就必须投加大量的光稳定剂。若要避免出现喷霜，就一定要对相应配方进行测试以考核其相容性。

（七）聚酰胺

从聚酰胺 6 在加速老化试验和户外自然老化试验的数据结果可以看出，在氙灯（1200）试验中，若以拉伸强度维持在 70% 时为试验终点，则所有经稳定处理过的试样，其性能均明显地优于未经稳定的空白试样，尤其是以铜或受阻胺稳定的试样，其抑制能力约为酚类抗氧剂及其与紫外线吸收剂并用的效果的两倍。然而，在佛罗里达和巴塞尔的户外老化试验中，这种优势几乎完全消失。

与聚酰胺 6 相比，聚酰胺 66 的紫外光稳定作用具有某些独特的性能。在氙灯（450）试验中，酚类抗氧剂 AO-IX 可给予聚酰胺 66 以良好的光稳定性。受阻胺的效果也不错。但是当受阻胺的用量由 0.2% 提高到 0.4% 时，并未改善试样的紫外线稳定性。酚类抗氧剂 AO-IX 和亚磷酸酯 Ph- I 并用的体系可以获得最佳的稳定效果。户外老化试验的结果也反映了这一特点。如果不加辅助添加剂，单独用 AO-IX 和 HALS- I，其户外老化的作用效果就会明显下降，甚至降到实际上与不用稳定剂相当的程度。

一般来说，聚酰胺 12 的情况却大不相同。

从聚酰胺 12 的老化试验数据可以看出，酚类抗氧剂 AO-IX 及其与亚磷酸酯 Ph- I 并用的稳定体系，这二者对光稳定性的影响近乎相同，而受阻胺的作用效果却可高达数倍。但受阻胺的用量从 0.2% 增到 0.4% 时，并未改变试样的光稳定性。在巴塞尔进行一年半的户外老化试验中，发现只有未经稳定处理的空白试样的力学性能才有所下降，而经稳定处理的所有试样全都维持其原始的伸长率和拉伸强度。

（八）聚碳酸酯

聚碳酸酯（PC）在室外使用时，可很快出现泛黄现象，因而证明它对光是不稳定的。迄今为止，获得实际应用的稳定剂只有紫外线吸收剂。在选择紫外线吸收剂时应考虑以下几方面因素：

- 1) 紫外线吸收剂的固有特性。
- 2) 在成型加工温度下应具有相应的热稳定性。
- 3) 对聚碳酸酯制品诱发变色作用的抑制能力。

（九）聚甲醛

未经任何光稳定处理的聚甲醛不能在室外使用。稍经天候老化，聚甲醛就会出现表面龟裂和明显的粉化现象。

对于不注意颜色的试样，炭黑（用量为 0.5% ~ 3%）是聚缩醛的一种良好稳定剂，还可以采用 2-羟基二苯甲酮，尤其是 2-羟基苯基苯并三唑类紫外线吸收剂来稳定聚缩醛。受阻胺所给予聚缩醛的稳定性是可以与紫外线吸收剂相比拟的。但是，各种稳定剂

在加倍用量下只能稍为改善其作用效果，而且，即使受阻胺与苯并三唑并用也不能更多地提高聚缩醛的光稳定性。只有在不喷水的光照老化条件下，这种并用的效果方能体现出来。在光照和喷水的老化条件下，受阻胺与紫外线吸收剂并用的效果肯定优于单独应用紫外线吸收剂的稳定效果。

(十) 聚酯

聚对苯二甲酸乙二醇酯和聚对苯二甲酸丁二醇酯，与聚氨酯和聚酰胺相比具有较好的光稳定特性。但是，如果经长期的老化，也会出现泛黄和脆裂的现象。不过，老化现象主要出现在表面上，高聚物制品的内部是不会受到影响的。因此，对于聚对苯二甲酸乙二醇酯薄膜的户外老化而言，紫外线吸收剂是有效的稳定剂。

第三节 热稳定剂

一、简介

众所周知，PVC 的热稳定性低。尽管如此，通过加入特殊的热稳定剂，PVC 仍有可能在高温下加工而不被损害。这是 PVC 发展成为重要大宗塑料的主要原因之一。开发和生产合适的热稳定剂从一开始就和 PVC 的生产联系在一起，并且也是将来加工和应用的先决条件。

在热塑性塑料加工的温度条件下，PVC 会因脱氯化氢作用、自动氧化以及大分子链受到机械剪切而遭到损害。这种降解是由这些同时发生的系列反应引起的，不过在细节问题上还不清楚。

脱氯化氢作用是加工过程中的主要反应，它会导致变色增加。在降解过程中，物理性能也在向着脆性增加的方向变化。

除了加工过程中的降解外，PVC 也会受光和天候影响而老化。

通过加入特殊的热稳定剂，可以使 PVC 易于加工，并在使用过程中保持性能，这些稳定剂能抑制脱氯化氢和自动氧化（预防型稳定作用），且能够消除已经造成的损害（补救型稳定作用）。

根据对 PVC 热损害的解释，可以推论出对热稳定剂有下列要求：热稳定剂必须能够防止脱氯化氢反应，或者至少能阻滞这一反应（预防型作用）。另外，稳定剂应能缩短多烯序列和破坏碳正离子盐（补救型作用）。

可以将稳定作用区分如下：

预防型	补救型
吸收氯化氢	向多烯序列加成
消除引发位	破坏碳正离子盐
防止自动氧化	

为解决加工问题，当选择 PVC 的稳定剂时，不仅必须考虑热稳定作用，而且还应考虑很多其他因素。必须指出，PVC 稳定剂对 PVC 配料的加工性（如流变性）可能有

不同的影响。

稳定剂的选择取决于 PVC 配料的配方。增塑的配料由于加工温度较低,因此在加工过程中所受的热损害一般要比硬 PVC 小。此外,加工方式也起重要的作用,特别是在加工硬 PVC 时。在注射模塑工艺中,为了降低熔体粘度,必须采用高的加工温度。在流化床涂布工艺中,由于温度更高,所以必须使用效率很高的热稳定剂。在快速旋转压延机,以及薄壁型材或具有大表面的型材挤出中,对 PVC 施加的热应力都是很高的。

热稳定剂的稳定化作用原理:

- 1) 吸收、捕捉氯化氢,抑制氯化氢的催化降解作用。
- 2) 置换聚氯乙烯结构中的不稳定氯原子(叔碳位),抑制氯化氢脱除反应。
- 3) 捕捉或螯合有害的金属氯化物,防止其对聚氯乙烯的催化降解作用,同时使并用的稳定剂再生。

- 4) 捕获游离基,抑制氧化反应。

理想的热稳定剂应具有以下特点:

- 1) 热稳定效能优异,与其他添加剂具有协同效应。
- 2) 与聚氯乙烯树脂相容性好,挥发性小,不升华,不迁移或低迁移,不喷霜或低喷霜,耐抽提性好。
- 3) 有适当润滑性,易加工。
- 4) 与其他添加剂无不良反应,不被硫、铜污染。
- 5) 无毒、无臭、不污染。
- 6) 价格低廉。

热稳定剂的发展动向如下:

- 1) 无(低)尘化、无铅化复合热稳定剂所占比重将逐渐上升。
- 2) 金属皂(盐)类稳定剂适用性强,钡/锌、钙/锌类所占比例上升,镉类下降。
- 3) 有机锡和有机锑类热稳定剂发展很快。
- 4) 稀土稳定剂独具中国特色,初显规模。

二、主要品种与性能

(一) 无机铅盐和有机铅盐稳定剂

1. 三碱式硫酸铅(三盐基硫酸铅)

性质 白色粉末,味甜。相对分子质量 990.87,熔点 820℃,相对密度 7.10,折射率 2.1,不溶于于,部分溶于乙酸,能溶于硝酸、热浓盐酸、乙酸铵、乙酸钠溶液和碱类,无可燃性和腐蚀性,易吸湿,在阳光照射下会变黄。

质量指标 (HG/T 2340—2005) 见表 2-16。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂,应用十分广泛。本品吸收氯化氢的能力强、热稳定性优异,有持久稳定效果,电绝缘性能优良,加工性能好,不透明,遇硫产生硫化物污染。本品无润滑性,配方中应加入润滑剂。本品与二碱式硬脂酸铅、硬脂酸钡、硬脂酸钙并用,可改善润滑性能;与二碱式亚磷酸铅并用,可提高耐候性;与镉

皂并用，可改进加工初期着色性。本品主要用于不透明的聚氯乙烯硬板、硬管、注塑品以及软质制品电缆料、人造革等，一般用量为 0.5 ~ 5 份或更多。不同制品的参考用量：电缆料 6 ~ 8 份，非电气用挤出制品 5 份、压延料 4 ~ 5 份、硬质制品 2 ~ 5 份（与 2 份二碱式硬脂酸铅并用）、唱片料 2 份与 1 份二碱式硬脂酸铅并用。

表 2-16 三碱式硫酸铅的质量指标

指 标 名 称	优等品	一等品	合格品
外观	白色粉末无明显机械杂质	白色粉末无明显机械杂质	白色至微黄色粉末无明显机械杂质
铅含量(以 PbO 计)(%)	88.0 ~ 99.0	88.0 ~ 90.0	87.5 ~ 90.5
三氧化硫(SO ₃)含量(%)	7.5 ~ 8.5	7.5 ~ 8.5	7.0 ~ 9.0
加热减量(%) ≤	0.30	0.40	0.60
筛余物(0.075mm)(%) ≤	0.30	0.40	0.80

注：表中所列数据均为质量分数。

2. 二碱式亚磷酸铅（二盐基亚磷酸铅）

性质 白色细粉末，味甜。相对分子质量 742.59，密度为 6.94g/cm³，折射率 2.25，溶于盐酸、硝酸，不溶于水和有机溶剂，200℃左右变成灰黑色，450℃左右变成黄色，不稳定，能自行分解，遇硫化氢变黑。

质量指标（HG/T 2339—2005）见表 2-17。

表 2-17 二碱式亚磷酸铅的质量指标

指 标 名 称	优等品	一等品	合格品
外观	白色粉末无明显机械杂质	白色粉末无明显机械杂质	白色至微黄色粉末无明显机械杂质
铅含量(以 PbO 计)(%)	89.0 ~ 91.0	89.0 ~ 91.0	88.5 ~ 91.5
亚磷酸(H ₃ PO ₃)含量(%)	10.0 ~ 12.0	10.0 ~ 12.0	9.0 ~ 12.0
加热减量(%) ≤	0.30	0.40	0.60
筛余物(0.075mm)(%) ≤	0.30	0.40	0.80

注：表中所列数据均为质量分数。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂。本品是酸接受体，具有抗氧化、屏蔽紫外线等效能，耐候性优异，热稳定性、电绝缘性良好，初期着色性小，制品表面洁白，与三碱式硫酸铅、二碱式硬脂酸铅并用有协同效应。本品与三碱式硫酸铅比较，耐光性更优，热稳定性略逊，主要用于聚氯乙烯软质和硬质制品，特别是户外用电缆、建筑材料、板材、管材等。本品对氯化石蜡也有稳定效果。本品一般用量为 0.1% ~ 2%，用量过大容易起泡。本品缺乏润滑性，应与有润滑作用的金属皂类稳定剂并用。

3. 碱式磷基亚磷酸铅复合物

性质 白色细粉末。密度 6.9g/cm³，氧化铅含量 86.2%，细度（325 目通过）

99.75%。

用法及应用特点 本品是酸接受体，又能屏蔽紫外线，可作为聚氯乙烯的高效热、光稳定剂。

4. 碱式碳酸铅

性质 白色粉末。纯品含碳酸铅 68.9%（质量分数），工业品含碳酸铅 62%~80%（质量分数）。相对分子质量 775.63，熔点 400℃（分解），密度 6.75g/cm³，200℃以上失去结晶水，有效氧化铅含量约 28.8%，水分 <0.1%，筛余物（300 目）约 0.5%，易吸湿，溶于乙酸和硝酸，不溶于水和乙醇，无爆炸和着火危险。

用法及应用特点 本品是最早应用于聚氯乙烯的热稳定剂之一，成本低，在有磷酸酯增塑剂存在的条件下，能提高光稳定性，主要用于电绝缘制品，如电线和电缆的包皮、阻燃电线电缆等，还可作为颜料用于不透明制品，用量可达 8%。本品的缺点是与氯化氢反应分解出二氧化碳，导致材料内部出现气泡。

5. 硅酸铅

性质 白色粉末。相对分子质量 283.28，硅酸铅含量 >96%，硝酸铅（钠）含量 <0.05%，氯化物含量 <0.01%，铁含量 <0.01%，不溶于水和乙醇，微溶于强酸。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂，还可作聚酰胺、聚碳酸酯的热稳定剂，热稳定效能较低，但透明性、光稳定性和电绝缘性良好，着色鲜艳，一般用量为 0.5%~3%。本品也可用作颜料和填料，用量可达 10%~15%。

6. 氯硅酸铅复合物

性质 白色细粉末，不溶于水和一般溶剂。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂，有良好的热稳定性和分散性，主要用于电缆料。

7. 正硅酸铅/硅胶共沉淀物

性质 白色粉末。密度 3.0~4.1g/cm³，折射率 1.58~1.67，铅含量 43%~64%。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂，热稳定性中等，电绝缘性和印刷性好，手感、低温柔韧性和颜色稳定性亦较好，折射率小，在铅稳定剂中是唯一有透明性的产品，但有吸湿性，适于与磷酸酯类增塑剂配合使用。本品性能随着产品中 SiO₂ 含量的不同而变化，SiO₂ 含量增加，可使透明性、手感和颜色稳定性提高，但热稳定性和吸湿性下降。

8. 碱式硅酸铅/硫酸铅共沉淀物

性质 白色粉末。密度 5.55g/cm³，氧化铅含量 68%，反应性氧化铅含量 45.5%，吸湿性较大。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂，电绝缘性优良，价格低廉，主要用于电缆料，一般用量 4%~7%。

9. 氯代邻苯二甲酸硅酸铅

性质 白色粉末。密度 4.15g/cm³，氧化铅含量 55.6%。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂，适用于 60 ~ 80℃ 使用的电线电缆制品。

10. 碱式硫酸铅/邻苯二甲酸铅

性质 白色细粉末。密度 5.36g/cm^3 ，氧化铅含量 83.7%，细度（325 目通过）99.75%。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂，结合了硫酸铅和邻苯二甲酸铅两种稳定剂的优点，综合性能均衡，热稳定性和电绝缘性优良，主要用于电线和电缆包覆，可使制品在 60℃、80℃、90℃ 和 105℃ 下都能保持良好的颜色稳定性和力学性能。

11. 二碱式硬脂酸铅

性质 白色粉末。相对分子质量 1220.55，密度 2.15g/cm^3 ，熔点 $>280^\circ\text{C}$ ，折射率 1.60，铅含量 $51.5\% \pm 1.5\%$ ，水分 $<0.3\%$ ，筛余物（200 目） $<1\%$ ，不溶于水，溶于乙醇，无可燃性与腐蚀性。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂，其热稳定效能超过硬脂酸铅，有优良的润滑性、耐水性和电绝缘性，与三碱式硫酸铅、二碱式亚磷酸铅等铅盐稳定剂并用可改善加工流动性，且无喷霜之弊。本品适用于聚氯乙烯硬质和软质制品，一般用量如下：硬质料 1 ~ 2 份、软质料 0.5 ~ 1 份、电绝缘料 0.5 ~ 1 份、唱片料 0.75 ~ 1.5 份。本品的缺点是硫化物污染性比较严重，初期着色性较大（与镉皂配合可以改善）。

12. 二碱式邻苯二甲酸铅

性质 白色细微结晶粉末。相对分子质量 817.72，密度 4.5g/cm^3 ，折射率 1.60，氧化铅含量 80% ~ 83%，水分 $<1\%$ ，筛余物（15 目） $<0.5\%$ ，不溶于水和普通溶剂，溶于硝酸和乙酸。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂，吸收氯化氢能力强，且有吸收紫外线作用，热稳定性和光稳定性均优，电绝缘性优异，被认为是 90℃ 和 105℃ 等级电缆料的标准稳定剂。本品与各种增塑剂的反应性小，对氯化石蜡的稳定效能仅次于二碱式亚磷酸铅，与邻苯二甲酸酯类增塑剂配合，加工性能非常好。本品适用于高温电缆料、泡沫制品和压延制品。在聚氯乙烯软质泡沫塑料中效果尤佳，与偶氮二甲酰胺发泡剂配合使用时，初期发泡率小，在 200℃ 左右发泡率激增，泡沫稳定性好，可有效地制得压出发泡制品。本品在着色增塑糊制品中有良好的色调保持性，一般用量为 0.2 ~ 3 份，个别场合可高达 15 份。本品在不同制品中的参考用量：电缆料 7 份、其他挤塑和压延制品约 5 份、泡沫塑料 3 ~ 7 份。本品缺乏润滑性，应加适当润滑剂。本品为弱酸盐，其碱式盐部分易碳酸化，储存时应注意。

13. 三碱式马来酸铅

性质 微黄色粉末。相对分子质量 1008.87，密度 6.0g/cm^3 ，折射率 2.1，氧化铅含量 $88\% \pm 1.5\%$ ，马来酸含量 $9.5\% \pm 0.1\%$ ，水分 $<1\%$ ，筛余物（200 目） $<0.5\%$ ，无可燃性和腐蚀性。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂，具有酸接受体和屏蔽紫外线两种功

能。本品结构中含有共轭双键，可与聚氯乙烯树脂脱氯化氢后形成的共轭多烯结构发生双烯加成反应，可抑制着色。本品还可作为氯磺化聚乙烯橡胶的硫化剂和稳定剂。

14. 四碱式富马酸铅

性质 白色细粉末。密度 $6.54\text{g}/\text{cm}^3$ ，氧化铅含量 90%。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂和氯磺化聚乙烯的交联剂。

15. 水杨酸铅

性质 乳白色或微红色粉末，相对分子质量 481.43，密度 $2.36\text{g}/\text{cm}^3$ ，折射率 1.78，氧化铅含量 46.8%，水分 0.5%，细度（240 目通过）98%。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯光、热稳定剂和铁离子螯合剂，因分子结构中含有水杨酸基团，具有防止氧化和吸收紫外线的作用。本品光稳定性不如二碱式亚磷酸铅，热稳定性也不如三碱式硫酸铅等几种铅盐，适用于石棉填充的聚氯乙烯建筑材料（如屋面料），一般用量为石棉的 5%。本品与磷酸三甲苯酯增塑剂并用，稳定效果特别显著。

（二）金属皂和金属盐稳定剂

1. 硬脂酸锂

性质 白色细粉末。相对分子质量 290.42，熔点 $220 \sim 221.5^\circ\text{C}$ ，锂含量 2.4%，氧化锂含量 5.3% ~ 5.6%，游离酸含量 0.2%，水分 0.3%，细度（ $< 74\mu\text{m}$ ） $> 99\%$ ， 18°C 时的溶解度：水 $0.09\text{g}/100\text{mL}$ 溶剂、乙醇 $0.04\text{g}/100\text{mL}$ 溶剂、乙醚 $0.04\text{g}/100\text{mL}$ 溶剂。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂，适用于透明制品，可与邻苯二甲酸酯类、磷酸酯类增塑剂配合使用，制品不发生白雾，薄膜透明性好。本品较易溶于酮类，对压花操作影响较小，可作钡皂、铅皂和镉皂的无毒取代品。

2. 硬脂酸钠

性质 相对分子质量 306.46。

用法及应用特点 本品为硬质聚氯乙烯的热稳定剂和润滑剂。

3. 硬脂酸镁

性质 白色细粉末。相对分子质量 591.25，熔点 $144 \sim 148^\circ\text{C}$ ，密度 $1.07\text{g}/\text{cm}^3$ ，镁含量 4.1%，氧化镁含量 6.8% ~ 8%，游离酸（硬脂酸）含量 $< 3\%$ ，水分 4%，细度（325 目通过）99%，微溶于水（室温， $77 \sim 79\text{mg}/\text{L}$ ），溶于热的乙醇，遇强酸分解为硬脂酸和相应的镁盐。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂，稳定效能及其他性能与硬脂酸钙类似，可与锌皂或钙皂配合用于食品包装材料，但应用不广泛。

4. 硬脂酸钙

性质 白色细粉末。相对分子质量 607.03，密度 $1.08\text{g}/\text{cm}^3$ ，熔点 $148 \sim 155^\circ\text{C}$ ，不溶于水，微溶于热的乙醇和乙醚，溶于热的苯、甲苯和松节油，与强酸反应分解为硬脂酸和相应的钙盐，在空气中有吸水性，高温分解生成硬脂酮和烃。

质量指标 (HG/T 2424—1993) 见表 2-18。

表 2-18 硬脂酸钙的质量指标

指 标 名 称	优等品	一等品	合格品
钙含量(%)	6.5 ± 0.5	6.5 ± 0.6	6.5 ± 0.7
游离酸(以硬脂酸计)(%) $\leq$	0.5	0.5	0.5
加热减量(%) $\leq$	2.0	3.0	3.0
熔点/℃	149 ~ 155	≥ 140	≥ 125
细度(通过 0.075mm 筛)(%) $\geq$	99.5	99.0	99.0
表观密度/(g/cm ³) $\leq$	0.2	—	—

注：表中的百分数均为质量分数。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂，热稳定性能一般，不及硬脂酸钡、硬脂酸铅、硬脂酸锡和硬脂酸镉，有显著的初期着色性，但长期热稳定性尚好。本品与锌皂和环氧化合物并用有协同效应，可提高热稳定性。本品有优良的润滑性和加工性，无硫化污染，价廉易得，常用于食品包装薄膜、医疗器具等要求无毒的软质制品，以及电缆料和 PVC 塑料糊等。本品在硬质制品中与碱性铅盐和铅皂并用，可缩短凝胶时间。

本品也可作为聚乙烯、聚丙烯的卤素吸收剂，可消除残留催化剂对树脂颜色和稳定性的不良影响。本品还广泛用作聚烯烃、聚酯增强塑料、酚醛树脂、氨基树脂等塑料的润滑剂和脱模剂，以及润滑脂的增厚剂、纺织品的防水剂、油漆的平光剂。

5. 硬脂酸钡

性质 白色细粉末。相对分子质量 704.28，密度 1.145g/cm³，熔点 > 220℃ (225℃ 分解)，不溶于水和乙醇，溶于苯、甲苯和其他非极性溶剂，在有机溶剂中加热溶解后遇冷变成胶状物，遇强酸分解为硬脂酸和相应的钡盐，在空气中有吸水性。

质量指标 (HG 2338—1992) 见表 2-19。

表 2-19 硬脂酸钡的质量指标

指 标 名 称	优等品	一等品	合格品
钡含量(%)	20.0 ± 0.4	20.0 ± 0.7	20.0 ± 1.5
游离酸(以硬脂酸计)(%) $\leq$	0.5	0.8	1.0
加热减量(%) $\leq$	0.5	0.5	1.0
熔点/℃ $\geq$	210	205	200
细度(通过 0.075mm 筛)(%) $\geq$	99.5	99.5	99.0

注：表中的百分数均为质量分数。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂，在所有的碱土金属硬脂酸盐中，其长期热稳定性最佳。本品与镉皂、锌皂或环氧化合物并用有很好的协同效应，防止早期着色，制品透明。本品无硫化污染，与少量铅类稳定剂并用能改善制品的电性能，主要用于透明薄膜、薄片、人造革、硬质板材和管件等，一般用量为 0.1% ~ 2%。在一般软

质制品中,本品常与镉皂、镉/锌皂或镉/铅皂类配合;在耐硫化人造革配方中常与锌皂并用;在管材和电缆料中常与碱式铅盐和铅皂配合;在波纹板中,常与镉皂、铅皂及碱式铅盐配合。本品润滑性好,除在聚氯乙烯加工中同时起润滑剂作用外,还可作耐高温脱模剂和机械用高温润滑剂。本品压析性差,用量过大时有离析结垢现象。

6. 硬脂酸锌

性质 白色细粉末,微具特殊气味。相对分子质量 632.33,熔点 118 ~ 125℃,密度 1.095g/cm³, 锌含量 9.5% ~ 11.5%, 氧化锌含量 12.5% ~ 14.0%, 游离酸(硬脂酸)含量 < 2%, 水分 < 1%, 灰分 13.5% ~ 15%, 加热损失(105℃) < 1%, 细度(325 目通过) > 99%, 不溶于水、乙醇和乙醚,溶于酸,在有机溶剂中加热溶解后遇冷成为胶状物,遇强酸分解为硬脂酸和相应的锌盐,在干燥条件下有火险性,自燃点 900℃。本品粉尘与空气的混合物有爆炸危险性,最低爆炸极限为 11.6g/m³。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂,但热稳定效能有限,可抑制初期着色性,没有硫化污染(锌与硫反应生成的硫化锌呈白色),润滑性好,可改善离析结垢性。使用本品时,要注意用量适当(一般用量为 0.1% ~ 1%),用量稍多时对聚氯乙烯反而有催化降解作用,经过一段时间受热后会使制品显著变色,甚至很快变黑,即所谓“锌烧”,故一般不单独使用,多与钙皂、铅皂、钡皂、镉皂等其他热稳定剂并用。在配方中与环氧化合物或亚磷酸酯并用时,可适当提高本品的用量。亚磷酸酯是螯合剂,对“锌烧”有一定抑制作用。本品主要用于软质制品。因润滑性好,还可作为聚苯乙烯、ABS 树脂以及酚醛树脂、氨基树脂等多种热塑性塑料、热固性塑料的润滑剂和脱模剂。

7. 硬酯酸镉

性质 白色或微黄色细粉末。相对分子质量 679.36,熔点 103 ~ 110℃,密度 1.28g/cm³, 不溶于水,微溶于热的苯和松节油,溶于热的乙醇、在有机溶剂中加热溶解后遇冷成为胶状物,遇强酸分解成硬脂酸和相应的镉盐。

质量指标见表 2-20。

表 2-20 硬脂酸镉的质量指标

指标名称	一等品	合格品
镉含量(%)	16.5 ~ 18	16.5 ~ 18
游离酸(以硬脂酸计)(%)	< 0.5	< 1.0
水分(%)	< 1.0	< 1.0
熔点/℃	102 ~ 108	90 ~ 106
细度(140 目,通过)(%)	> 99.5	> 99.5

注:表中的百分数均为质量分数。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂,在抑制着色性、光稳定性和透明性方面是皂类稳定剂中最好的品种,主要用于软质透明制品,如薄膜、薄片、软管、人造革等。在软质制品中,本品常与钡皂、钡/锌皂或钡/铅皂配合,若再与环氧化合物及亚磷酸酯配合使用,可进一步提高耐热稳定性和耐候性。在硬质制品中与铅类稳定剂配合可

改善加工性。本品一般用量为 0.1% ~1%，用量大时易离析结垢，有硫化污染。

8. 硬脂酸铝

性质 白色细粉末。相对分子质量 877.41，不溶于水，微溶于乙醇，溶于石油醚、碱水溶液和松节油等。

质量指标见表 2-21。

表 2-21 硬脂酸铝的质量指标

指 标 名 称	一 等 品	合 格 品
镉含量(%)	9.0 ~ 11.0	9.0 ~ 11.0
游离酸(以硬脂酸计)(%)	<4.0	<4.0
水分(%)	<2.0	<3.0
熔点/℃	>150	>150
细度(140 目,通过)(%)	>99.5	>99.0

注：表中的百分数均为质量分数。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂和润滑剂，性能与硬脂酸锌类似。

9. 硬脂酸亚锡

性质 白色细粉末。相对分子质量 678.64，熔点 103 ~ 108℃，密度 1.09g/cm³，锡含量 17.0% ~ 18.0%。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯的辅助稳定剂和润滑剂，其初期着色性、光稳定性、润滑性良好，压析性优良，但不耐硫化污染，适用于硬质制品和软质制品，一般用量 0.1 ~ 0.2 份。

10. 硬脂酸铅

性质 白色细粉末。相对分子质量 774.15，熔点 104 ~ 109℃，密度 1.37g/cm³ (25℃)，不溶于水，微溶于松节油、邻苯二甲酸二丁酯、邻苯二甲酸二辛酯等，溶于热的乙醇和乙醚，在有机溶剂中加热溶解后遇冷变成胶状物，遇强酸分解为硬脂酸和相应的铅盐，在空气中有吸湿性。

质量指标（HG 2337—1992）见表 2-22。

表 2-22 硬脂酸铅的质量指标

指 标 名 称	优等品	一 等 品	合 格 品
铅含量(%)	27.5 ± 0.5	27.5 ± 10	27.5 ± 1.5
游离酸(以硬脂酸计)(%) ≤	0.8	1.0	1.5
加热减量(%) ≤	<0.30	<1.0	<1.7
熔点/℃	103 ~ 110	100 ~ 110	98 ~ 110
细度(通过 0.075mm 筛)(%) ≥	99.0	98.0	95.0

注：表中的百分数均为质量分数。

用法及应用特点 本品可用作聚氯乙烯热稳定剂和润滑剂，热稳定效能比硬脂酸钙好，并有较好的光稳定性，与镉皂、钡皂或有机锡化合物并用有良好的协同效应。但本

品易受硫化污染，用量大时易喷霜，而且透明性差（用量在 0.7 ~ 0.8 份以上即不透明），在加工过程中与树脂析出的氯化氢反应生成的氯化铅也会影响制品的透明性，故本品主要用于各种不透明的硬质和软质制品，特别适用于电缆料，使制品有优良的电性能，一般用量为 0.5 ~ 2 份。本品还可用作润滑油的增厚剂和油漆的平光剂。

11. 月桂酸钙

性质 白色细粉末。相对分子质量 438.71，熔点 152 ~ 158℃。

用法及应用特点 聚氯乙烯热稳定剂。其稳定效能与硬脂酸钙类似，热稳定性、透明性、热合性、印刷性良好，耐硫化污染，润滑性亦好，与锌盐或环氧化合物配合有协同效应。

12. 月桂酸镉

性质 白色细粉末。熔点 94 ~ 102℃，密度 1.23 g/cm³，镉含量 21.5% ± 0.5%，水分 < 1.0%。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂，稳定效能与硬脂酸镉十分类似，而印刷性、热合性和喷霜性均优于硬脂酸镉，与钡皂、马来酸锡、环氧化合物、亚磷酸酯等有协同效应。本品易硫化污染，透明性、耐候性和加工性良好，初期着色性小，一般不单独使用。用本品代替硬脂酸镉，用量可以减少 20%。

13. 蓖麻油酸钙

性质 淡黄色粉末。相对分子质量 635.00，熔点 74 ~ 82℃，钙含量 6.0% ~ 6.5%。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂，稳定效能及其他性能与硬脂酸钙类似，但抗氧化性与耐候性优良，一般用量为 3 份，最好与环氧化油稳定剂并用。

14. 蓖麻油酸镉

性质 白色粉末。相对分子质量 660.30，熔点 90 ~ 104℃，镉含量 15.5% ~ 16.5%。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂，可抑制初期着色性，压析性优良，耐光性在金属盐中最佳，印刷性和热合性亦好，与其他金属稳定剂、环氧化合物、螯合剂配合有优良的协同效应。本品润滑性不及硬脂酸镉，易硫化污染，价格昂贵。

15. 2-乙基己酸钡

性质 微黄色黏性固体。相对分子质量 423.74，钡含量 31.5% ~ 32.5%。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂，具有良好的热合性和印刷性。

16. 2-乙基己酸铅

性质 淡黄褐色黏稠液体。相对分子质量 493.61。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂，热合性和印刷性优良，润滑性小。

17. 苯甲酸钙

性质 白色细粉末。相对分子质量 282.31，熔点 190℃，钙含量 13.45% ~ 14.05%，酸值 < 4 mg KOH/g，细度（200 目筛余物）< 0.5%。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂，适用于无毒的软质、半硬质制品，如

食品包装材料、儿童玩具、医疗器械等，一般用量 0.5 ~ 2 份。

18. 苯甲酸锌

性质 白色细粉末。相对分子质量 307.61，熔点 118℃，表观密度 0.501 g/cm³，锌含量 20.80% ~ 22.00%，酸值 < 11 mgKOH/g，细度（200 目筛余物）< 0.5。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂，与树脂相容性好，常作为液体复合稳定剂主要组分之一，用于软质制品，如儿童玩具、包装用软质薄膜、软质管材、片材等，一般用量 0.1 ~ 1 份。

（三）有机锡稳定剂

1. 马来酸二丁基锡

性质 白色粉末。相对分子质量 346.98，熔点 101 ~ 105℃（或 108 ~ 113℃、130℃，与聚合度不同有关），锡含量 33% ~ 34%，加热减量 < 4%，微溶于苯、甲苯。有吸湿性和催泪性。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂，热稳定性、耐候性、透明性优良，主要用于聚氯乙烯硬质透明制品作主稳定剂，可防止初期着色，长期热稳定性突出，颜色保持性好，不会降低硬质制品的软化点和冲击强度，一般用量为 0.5% ~ 2%。本品与钼皂和镉皂并用有协同效应；与二月桂酸二丁基锡并用，可进一步提高透明性和热稳定性；与环氧化合物并用可降低催泪性。本品缺乏润滑性，需与润滑剂并用；有挥发性，加工时有时会起泡；在加热生成的氯化氢作用下，会转位成为富马酸盐，与树脂相容性差，易喷霜。在软质配方中，由于喷霜严重，本品用量需在 0.5 份以下，或用月桂酸马来酸二丁基锡。为改进上述缺点，发展了许多改性品种，仍统称马来酸二丁基锡。

2. 二月桂酸二丁基锡

性质 无色或淡黄色透明液体。相对分子质量 631.55，凝固点 16 ~ 23℃，相对密度 1.025 ~ 1.065 (24℃)，折射率 1.468 ~ 1.470 (25℃)，粘度 50 mPa · s (25℃)，色度（碘）< 5 号，锡含量 18.5% ~ 19.5%，水分 < 0.4%，加热减量 < 1.0%，溶于各种工业用增塑剂和乙酸乙酯、氯仿、四氯化碳、苯、乙醇、石油醚等大多数普通溶剂，不溶于水，但乳化后易被水解。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂，是有机锡稳定剂中使用最早的品种，热稳定性虽不及马来酸二丁基锡，但有良好的润滑性、透明性、耐候性、与增塑剂的相容性，不喷霜，无硫化污染，对热合性和印刷性无不良影响，与硬脂酸镉、硬脂酸钼等金属皂或环氧化合物并用有协同效应。由于本品常温下为液体，在塑料中的捏合分散性比固体稳定剂好。本品主要用于软质透明制品或半软质制品，一般用量为 1% ~ 2%。在硬质制品中，本品可作为润滑剂，与马来酸有机锡或硫酸系有机锡并用，能改善流动性。与其他有机锡相比，本品初期着色性较大，易发黄变色。本品还可用作制造聚氨酯泡沫塑料的催化剂、硅橡胶的熟化剂等。

3. 月桂酸马来酸二丁基锡

性质 淡黄色油状透明液体。相对分子质量 978.53，凝固点 < -45℃，相对密度

1.05, 折射率 1.483(25℃), 粘度 $3 \times 10^{-2} \text{Pa} \cdot \text{s}$ (30℃), 加热减量 <1.3%。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂, 可抑制初期着色性, 耐候性、压析性和加工性优良, 长期热稳定性好, 无硫化污染, 但喷霜渗出性较差, 主要用于人造革、薄膜、片材等软质和半硬质制品。本品储存稳定性较差, 易析出固体, 添加增塑剂可以改善。

4. 马来酸二正辛基锡

性质 白色或灰白色粉末。相对分子质量 459.19 (低聚物为 904.39 或 1356.58), 熔点 87 ~ 105℃, 密度 1.33g/cm^3 , 锡含量 25.2% ~ 26.6%, 皂化值 225mgKOH/g, 溶于苯、乙醇和丙酮, 不溶于水。同马来酸二丁基锡一样, 本品也有液体改性品种, 其物化性质也有不同。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂, 具有优良的防止初期着色性、长期热稳定性、光稳定性、透明性及加工性, 与硫酸类二正辛基锡并用有协同效应, 特别适用于硬质透明制品, 不降低制品软化点和冲击强度。本品气味小, 无硫化污染, 一般用量为 0.5% ~ 3%。

5. 二月桂酸二正辛基锡

性质 无色或黄色油状液体。相对分子质量 743.76, 熔点 16.5℃, 相对密度 1.01 ~ 1.02(25℃), 折射率 1.46 ~ 1.47(25℃), 粘度 $< 6 \times 10^{-2} \text{Pa} \cdot \text{s}$ (30℃), 易溶于苯、甲苯、醚和其他有机溶剂。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂, 与二月桂酸二丁基锡十分类似, 具有优良的耐候性、压析性、耐硫化污染性及良好的热稳定性、透明性, 但润滑性、低毒性更优, 适用于聚氯乙烯透明制品。在硬质制品中, 本品与含硫的辛基锡或马来酸辛基锡并用时, 具有优良的热稳定性和润滑性。在软质制品中, 本品与含硫的辛基锡或钙、锌类稳定剂并用有协同效应。

6. S, S'-双(巯基乙酸异辛酯)二正辛基锡

性质 淡黄色透明油状液体。相对分子质量 751.78, 相对密度 1.055 ~ 1.075(30℃), 折射率 1.49 ~ 1.50(30℃), 凝固点 $< -35^\circ\text{C}$, 闪点(开杯法) $> 90^\circ\text{C}$, 锡含量 15.1% ~ 16.4%, 硫含量 8.1% ~ 8.9%, 分解温度约 200℃, 粘度 $< 9 \times 10^{-2} \text{Pa} \cdot \text{s}$ (30℃), 溶于酯、醚、酮、醇、脂肪烃、芳香烃和氯代烃等有机溶剂, 也可与大多数增塑剂混溶, 不溶于水。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂, 有出色的热稳定性和优良的加工适应性、透明性、压析性, 初期着色性小, 印刷性、喷霜渗出性好, 适用于硬质和软质制品, 如板材、管材、薄膜以及各种包装容器等。本品含有大量的酯基, 与树脂的相容性好, 有一定的增塑作用, 容易加工。在捏合过程中无需溶剂或稀释剂, 故制品光泽宜人, 耐抽出性和化学稳定性好。本品缺点是: 无润滑性, 配方中应加入适当的润滑剂; 耐候性较差; 有臭味; 不能与铅类或镉类稳定剂并用, 以免与铅、镉反应产生硫化物污染。本品一般用量为 1 ~ 3 份。

7. 双（巯基乙酸异辛酯）二（ β -丁氧羰基乙基）锡

性质 无色透明油状液体。相对分子质量 784，相对密度 1.09 ~ 1.12（25℃），锡含量 12%，不溶于水，溶于部分有机溶剂。

用法及应用特点 本品系 PVC 用新型有机锡热稳定剂，与树脂具有良好的相容性，适用于各种软质、硬质透明制品，尤其在食品包装用硬质 PVC 透明片材、饮料瓶等制品加工中的稳定效果可与辛基硫醇锡（如 8831）媲美，而配合成本降低 20% 左右。本品一般在软质制品中的推荐用量为 1 份（phr），硬质制品中的推荐用量为 2 ~ 3 份（phr）。与其他硫醇锡产品一样，本品有硫酸异味。本品与 Pb、Cd 稳定剂配合存在硫化污染问题，不宜在户外制品中使用。

8. 双十二烷基硫醇二丁基锡

性质 淡黄色透明液体。相对分子质量 635.70，相对密度 0.995（20℃），折射率 1.496（25℃），粘度 $1.9 \times 10^{-2} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ （25℃），锡含量 17.1% ~ 18.1%，氯含量 < 1.0%，硫含量 9.3% ~ 10.3%，色度（加德纳）2 号以下，不溶于水，微溶于低碳醇，微溶于高级醇和其他有机溶剂，能与大多数增塑剂混溶。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂，是最早发展的硫醇有机锡稳定剂之一，热稳定效能高，透明性好，价格低廉，且润滑性、热合性和印刷性良好，适用于软质、硬质制品，主要用于硬质透明制品、饮水管等。本品可以与冲击改性剂、磷酸酯增塑剂以及其他有机锡稳定剂配合使用。本品缺点是光稳定性较差，易变黄；不能与含铅的稳定剂、颜料等并用，也不能用铜模具，以免产生铅、铜的硫化污染。

9. 双（马来酸单丁酯）二正丁基锡

性质 浅黄色透明液体。相对分子质量 517.47，相对密度 1.26（20℃），折射率 1.493（20℃），粘度 $500 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ （20℃），不溶于水，与聚氯乙烯相容性好。

用法及应用特点 本品为透明 PVC 制品的热稳定剂，具有优良的热稳定性、耐候性、透明性和防止着色性，催泪性较小，凝胶时间短，无硫化污染性，主要用于硬质透明板、薄膜、薄板、注塑制品及中空成型制品，用量 2.0 ~ 2.4 份。

10. 双（马来酸单辛酯）二正丁基锡

性质 浅黄色透明油状液体。相对分子质量 687.48，色泽（APHA）< 500，锡含量 16.5% ~ 18.5%，水分 < 0.4%，皂化值 280 ~ 350 mgKOH/g，溶于甲苯、二甲苯等有机溶剂。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯的热稳定剂，具有优良的长期热稳定性和耐候性，能改善初期着色，促进凝胶化。

11. 双（马来酸单丁酯）二正辛基锡

性质 油状液体。相对分子质量 687.48，相对密度 1.15（20℃），折射率 1.485（20℃），锡含量 16% ~ 18%，粘度 < $0.25 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ （20℃）。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂，具有优良的透明性和光稳定性。

12. 聚锡二醇二月桂酸酯

性质 淡黄色透明液体。相对密度 0.99 ~ 1.05（25℃），折射率 1.47（25℃）。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂，具有优良的热稳定性、光稳定性、透明性和润滑性，加工性、电绝缘性亦好，可与镉/钡皂或其他有机锡稳定剂并用，适用于薄膜、管材、板材等软质和硬质制品。

13. 聚锡二醇月桂酸-马来酸酯

性质 浅黄色液体。相对密度 1.05 (25℃)，折射率 1.48 (25℃)。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂，具有良好的热和光稳定性、透明性、润滑性，几乎无初期着色性，适用于人造革、硬质透明制品等。

14. 聚锡二醇醚酯

性质 浅黄色透明液体。相对密度 1.05 (25℃)，折射率 1.48 (25℃)。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂，具有优良的热稳定性、透明性和耐候性，凝胶温度低，加工性能好。本品与少量液体钡、镉稳定剂配合，可进一步改善热稳定性和透明性。本品在硬质制品中一般用量为 0.5 ~ 1 份，半硬质和软质制品为 0.2 ~ 0.3 份。

15. 聚合型有机锡硫醇化合物

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂，具有突出的热稳定性，可在 200℃ 以上的高温下加工，透明性、耐候性良好，无臭味，无硫化污染，适用于硬质制品和软质制品，也可作为氯乙烯共聚物、聚氯乙烯与其他聚合物的共混物等的热稳定剂。

16. 二甲基二巯基乙酸异辛酯锡

性质 浅黄色油状液体，不溶于水，易溶于醚类和芳烃类有机溶剂。色度 (Pt-Co) < 300，相对密度 1.17 ~ 1.19 (20℃)，粘度 0.02 ~ 0.08 mPa · s (25℃)，锡含量 > 19.0%，硫含量 1.0% ~ 12.0%。

用法及应用特点 本品具有良好的初期着色性，显著的长期加工热稳定性，卓越的二次加工热稳定性，较低的气味，适用于任何注射成型，用于 PVC 建材时有卓越的户外耐候性，特别适用于 PBC 透明硬片、瓶料粒子、热收缩膜、上水管及管件、异型材和塑钢门窗等制品，也可用于 PBC 半硬质及软质制品，一般用量为 1.0 ~ 1.5 份。本品不能与含铅、含镉的助剂混用。

(四) 复合稳定剂

1. 固体钙/锌复合稳定剂

性质 白色粉末或片状。熔点 90 ~ 123℃，粒度 (200 目筛余物) < 0.5%，钙含量 4.5% ~ 5.0%，锌含量 3.7% ~ 4.2%。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂，用于食品包装袋、糖果扭结膜、医用输血管和输液管、药品瓶等软质聚氯乙烯制品，一般用量 0.5 ~ 2 份。

2. 固体钡/锌复合稳定剂

性质 白色粉末。粒度 (200 目筛余物) < 0.5%，钡含量 7.75% ~ 8.85%，锌含量 3.10% ~ 3.60%。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂，用于聚氯乙烯地板革、地板砖等铺地

材料，一般用量 0.5 ~ 3 份。

3. 固体钡/镉复合稳定剂

性质 白色粉末。钡含量 9.60% ~ 11.90%，镉含量 14.20% ~ 15.90%，酸值 < 5mgKOH/g，粒度（200 目筛余物）< 0.5%。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂，具有优良的热、光稳定性，初期着色性小，透明性好，与环氧化合物并用有协同作用，可用于门、窗异型材、楼梯扶手和下水管等聚氯乙烯硬质制品，一般用量 0.5 ~ 2 份。

4. 肉豆蔻酸钡/镉共沉淀物

性质 白色细微粉末。密度 1.18g/cm³。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂，有良好的热、光稳定性和润滑性，与亚磷酸酯螯合剂并用有协同效应，适用于软质和半硬质制品、泡沫制品、唱片和贴面板等。

5. 低粉尘复合铅盐稳定剂

性质 白色至浅灰白色流沙性细颗粒，不溶于水，无腐蚀性。铅含量（以 PbO 计）79% ± 4%，水分 < 1%，粒度（通过 10 目筛）> 99.5%。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯通用型热稳定剂，具有优良的热稳定性和电绝缘性。本品与三碱式硫酸铅相比，具有低粉尘、易分散、可润滑等特点，能延长热稳定时间、减少润滑剂用量，力学性能和外观更优，适用于软质、硬质聚氯乙烯制品，如板材、管材、异型材和电缆料等，一般用量为 4 ~ 7 份。

6. 铅基复合热稳定剂

性质 白色粉状。表观密度 1.4 ~ 1.8g/mL，铅含量约 27%。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂，具有优良的热稳定性及加工性能，主要用于管材的挤出生产，还可用于不透明 PVC 膜、人造革、彩色片材等的制造，一般用量 2.5 ~ 3 份。

7. 固体钡/镉/锌/铅复合稳定剂

用法及应用特点 本品为颗粒状钡/镉/锌/铅复合物，具有热稳定性好、初期着色性小、不结垢、不喷霜、无粉尘飞扬等特点，适用于聚氯乙烯软质、半硬质和硬质制品的压延和挤出成型。

8. 膏状钙/锌复合稳定剂

性质 乳白色或浅黄色膏状物。细度（200 目筛余物）< 0.5%。金属含量：钙 0.60% ~ 0.80%、锌 2.20% ~ 2.40%。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂，热稳定性优良，制品透明度高、雾度小，适用于硬质和软质聚氯乙烯制品，如透明矿泉水瓶，包装食品糕点、药品的硬质透明吸塑片材，软质医用输液管，热收缩薄膜、袋等。

9. 膏状钙/锌亚锡复合稳定剂

性质 浅黄色膏状物。相对密度 1.10。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂，具有良好的热、光稳定性，与环氧化合物并用有良好的协同效应，适用于食品包装材料，一般用量 1~4 份。

10. 膏状钡/镉复合稳定剂

性质 白色膏状物，不溶于水，易溶于大部分增塑剂中。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂，与聚氯乙烯树脂相容性好，易于分散。本品具有良好的热、光稳定性、高温下的初期着色性小、透明性和颜色稳定性好等特点，适用于透明的压延、挤塑和模塑制品。

11. 膏状钡/镉/铅复合稳定剂

性质 白色膏状物，不溶于水，易溶于大部分增塑剂中。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂，具有易于分散、热稳定性优良等特点，主要用于聚氯乙烯塑料鞋、农用薄膜、人造革等软质制品。

12. 液体钙/锌复合稳定剂

性质与用途 本品的产品组成、性质随厂家不同而异或不尽相同。一般多为黄色、浅黄色透明液体，相对密度约 0.9~1.0，闪点（开杯法）>100℃。金属含量：有的钙多锌少，有的则相反。本品主要特点是无毒，热、光稳定性和透明性好。本品一般初期着色性欠佳，与环氧化合物并用可以改善。本品主要用于食品包装材料（如与食品或饮料接触的容器、管材、运输带）、医药用品（药品瓶、一次性注射器）、增塑糊制品（儿童玩具）等，一般用量 0.5~2 份。

13. 流体钡/锌复合稳定剂

性质 淡黄至红、棕色透明液体。钡含量较大（5%~7.5%），锌含量较小（0.9%~1.6%），闪点>100℃。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂，与环氧化合物并用可提高稳定效果，具有优良的热、光稳定性，透明性好，无硫化污染，适用于软质、半硬质制品和增塑糊制品，一般用量 2~4 份。

14. 液体钡镉复合稳定剂

性质 多为琥珀色黏稠透明液体。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂，具有优良的热、光稳定性，初期着色性小，透明性和颜色稳定性好，在树脂中分散性好，无压出现象，不会发生粉尘中毒，主要用于软质制品，如农膜、透明薄片、人造革等，一般用量 2~3 份。

15. 液体钡镉锌复合稳定剂

性质与用途 见表 2-23。

表 2-23 液体钡镉锌复合稳定剂的性能与用途

项 目	L-725	BCZ-531	L-BCZ-01	Synpron-575
性状	黄色透明液体	深黄色透明液体	浅黄至浅棕透明液体	深黄色透明液体
钡(%)	5.45~5.85	5	5.00±0.50	4.5
镉(%)	2.00~2.30	3	2.00±0.20	2.6

(续)

项 目	L-725	BCZ-531	L-BCZ-01	Synpron-575
锌(%)	0.46 ~ 0.60	1	1.00 ± 0.20	0.8
磷(%)	1.9		2.0	
相对密度	0.99		1.06 ~ 1.08	1.03
用途	软质 PVC 百叶窗帘、运动鞋 等注塑发泡制品		PVC 薄膜农膜、大棚膜、 人造革	
参考用量/份	0.5 ~ 3		0.5 ~ 2.5	

16. PVC 复合稳定剂

用法与应用特点 本品为由铅或钙/锌复合而成的 PVC 用热稳定剂，具有操作简单，计量准确，低粉尘，污染小，析出少，稳定性强，耐候性好，光泽度高，力学性能稳定，加工工艺稳定等特点。

按型号使用范围见表 2-24。

表 2-24 PVC 复合稳定剂的种类和使用范围

型 号	种 类	使 用 范 围
W	铅或钙/锌	门窗型材
R	铅或钙/锌	管材
K	铅或钙/锌	电线、电缆
P	铅或钙/锌	型材和发泡板材
F	铅或钙/锌	注塑制品

三、热稳定剂的特性与应用

(一) 聚氯乙烯的热老化特征

聚氯乙烯是稳定性最差的聚合物之一，其热老化特征主要有：

(1) 脱氯化氢 聚氯乙烯在 80℃ 左右便以明显的速度分解，脱出氯化氢。脱出的氯化氢，在任何温度和介质中都会催化聚氯乙烯再脱氯化氢，同时，氯化氢也催化长链的交联反应。这就是氯化氢热降解的自催化作用。此外，在氧气氛中，聚氯乙烯脱氯化氢速度急剧加快，在臭氧中，脱氯化氢作用更快。

(2) 变色 聚氯乙烯在脱氯化氢的同时，生成 $>C=C<$ 键，从 $>C=C<$ 键进而生成不同长度的多烯。当它们的长度多于 4 ~ 5 个单元时，聚氯乙烯明显变色。制品的颜色可由浅黄变为棕色甚至黑色。

(3) 断链、交联，物理力学性能变坏 聚氯乙烯受热分解时，C—C 键断裂，线型大分子产生支链结构，最后转化为交联的体型结构，使材料很快变脆。

不经稳定的聚氯乙烯几乎没有使用价值。

(二) 热稳定剂的应用

1. 聚氯乙烯的热稳定措施

聚氯乙烯热稳定剂必须具有以下主要功能：

- 1) 能抑制大分子的脱氯化氢反应、断链和交联反应。
- 2) 能消除由多烯结构引起的变色。
- 3) 能抑制或有效减弱氧、臭氧、氯化氢等化学因素所催化的老化过程。
- 4) 能抑制或有效减弱机械应力等物理因素导致的老化过程，即应具有润滑功能。

不可能用一种稳定剂同时达到上述多种要求。因此通常采用配制具有协同效应的混合稳定体系的方法。这种混合稳定体系一般含有热稳定剂、抗氧剂、金属离子螯合剂、润滑剂等等。稳定体系的具体组成、用量和配比随聚氯乙烯本身的质量、制品的用途、使用环境及需要稳定的程度不同而有很大差别。如软质塑料加有大量增塑剂（如 DOP），这时加入抗氧剂（如 1076、双酚 A 等），可提高增塑剂的稳定性。

2. 含铅化合物稳定体系

含铅化合物是一种最廉价的聚氯乙烯的有效稳定剂，它既可以接受氯化氢，又可以络合共轭双键体系，提高颜色稳定性，与其他稳定剂并用，可显著提高稳定效果。表 2-25 列出了部分有协同效应的含铅化合物稳定体系，各组分的用量大约在 0.5% ~ 5% 范围内，视制品对稳定性要求程度不同而异。含铅化合物的最大缺点是具有毒性。

表 2-26 列出了部分含铅化合物作稳定剂的配方实例。应当指出，它们并非最佳配方，在实际选用时应根据对制品性能的要求、树脂的品种、颗粒形态和成型加工特性、成型加工工艺，以及稳定体系的效能、经济性、污染性、透明性、相容性等各方面的因素，适当修改配方。

表 2-25 有协同效应的含铅化合物稳定体系

含铅化合物名称	相应的复合稳定体系	适用范围
三盐基硫酸铅	+ 不含硫的有机锡稳定剂 + 硬脂酸镉(钡) + 二盐基亚磷酸酯	不透明的硬质制品
二盐基邻苯二甲酸铅	+ 其他含铅化合物 + 邻苯二甲酸酯类	软质耐热电缆料
碱式硅酸铅	+ 三盐基硫酸铅 + 颜料	色泽鲜艳的半透明制品
硬脂酸铅	+ 二盐基亚磷酸铅 + 硬脂酸	不透明制品
	+ 环氧化合物 + 有机亚磷酸酯 + Cd 皂 + Ba 皂 + Ca 皂	用于要求高热稳定性和保色性的制品
三盐基硫酸铅	+ 二盐基亚磷酸铅 + 硬脂酸钙 + 偏硼酸钡 + 8-羟基喹啉铜(或 2,4-噻唑基苯并咪唑或 UV-9) + 有机肿环氧豆油衍生物	用于要求高耐候性的软质制品

表 2-26 用含铅化合物作稳定剂的配方实例（PVC 质量 100 份）

序号	配 方 实 例 (份)	用 途
1	三盐基硫酸铅(5) + 硬脂酸钡(1.5) + 硬脂酸铅(0.5) + 变压器油(1.5)	硬质不透明板
2	三盐基硫酸铅(2) + 硬脂酸镉(1) + 硬脂酸钡(1) + 硬脂酸(0.3 ~ 0.5) + 硬脂酸丁酯(1)	硬质不透明挤压薄片和薄板
3	三盐基硫酸铅(4) + 硬脂酸铅(0.2) + 硬脂酸钙(1) + 液体镉系稳定剂(0.5) + 炭黑(0.02)	硬质不透明压延薄板
4	三盐基硫酸铅(1.5 ~ 2) + 二盐基硬脂酸铅(0.2 ~ 0.3) + 二月桂酸二丁基锡(0.5 ~ 1) + 硬脂酸铅(1 ~ 1.5) + 硬脂酸镉(0.5 ~ 0.7) + 二氧化钛(0 ~ 5)	硬质不透明挤压管
5	三盐基硫酸铅(2 ~ 2.5) + 二盐基硬脂酸铅(1 ~ 1.5) + 硬脂酸钙(0.3 ~ 0.6) + 二月桂酸二丁基锡(0.5 ~ 1) + 硬脂酸丁酯(0.5 ~ 1)	硬质不透明注射品
6	三盐基硫酸铅(3) + 二盐基亚磷酸铅(4) + 硬脂酸铅(0.5) + 亚磷酸三苯酯(0.7) + 石蜡(0.5)	硬质不透明瓦楞板
7	DOP(45) + 三盐基硫酸铅(5) + 二盐基硬脂酸铅(1) + 粘土(7) + 高熔点石蜡	一般绝缘用电线
8	DOP(40) + 三盐基硫酸铅(3) + 二盐基亚磷酸铅(3) + 硬脂酸钡(1) + 二盐基硬脂酸铅(0.3)	绝缘级电缆料
9	DOP(22) + 石油酯(20) + 环氧酯(5) + 三盐基硫酸铅(2) + 二盐基亚磷酸铅(4) + 硬脂酸钡(0.7) + 二盐基硬脂酸铅(0.3) + 双酚 A(0.1)	普通绝缘级电缆料
10	DOP(34) + DOS(10) + TCP(10) + 三盐基硫酸铅(3) + 二盐基亚磷酸铅(3) + 硬脂酸钡(2) + 碳酸钙(3)	普通护层级电缆料
11	DOP(10) + DOS(28) + 石油酯(18) + 氯化石蜡(8) + 三盐基硫酸铅(3) + 二盐基亚磷酸铅(4) + 二盐基硫酸铅(1) + 硬脂酸钙(1) + 双酚 A(0.5) + 碳酸钙(5)	耐寒护层级电缆料
12	醚型双季戊四醇酯(50) + 二盐基苯二甲酸铅(8) + 二盐基硬脂酸铅(1.5) + 双酚 A(0.2)	耐热电缆料
13	DOP(60) + DOA(10) + 硬脂酸铅(1) + 碳酸钙(10 ~ 20) + 二盐基硬脂酸铅(2)	软质挤压衬板
14	邻苯二甲酸二壬酯(65) + 三盐基硫酸铅(2.5) + 二盐基亚磷酸铅(2) + 硬脂酸钙(0.5) + 有机肿环氧化豆油衍生物(10) + 偏硼酸钡(10) + 8-羟基喹啉铜(0.95) + 2-羟基-4-甲氧基二苯甲酮(0.95)	具有优异耐候性及耐霉菌的软质制品

3. 金属皂类稳定体系

这类稳定剂应用得最普遍的是镉、钡、锌、钙的硬脂酸盐和月桂酸盐。它们的主要作用是接受氯化氢；其次是取代不稳定的氯原子，从而降低引发聚氯乙烯脱氯化氢的可能性；再其次是破坏共轭双键，防止变色等等。每种皂类的稳定特性各有所长，因此用几种金属皂并用的稳定效果明显增大。应用最多的是钡-镉、钡-镉-锌和钙-锌体系。镉皂和锌皂的用量要严格控制，特别是锌皂，用量过大会使材料在成型时立即变为黑色。锌皂的用量应控制在 0.1 ~ 0.4 份（PVC 质量份为 100）范围内。表 2-27 列出了钡-镉-锌体系的协同效应。

表 2-27 硬脂酸钡、硬脂酸镉和少量硬脂酸锌并用对 PVC 的热稳定效果

稳 定 剂	160℃烘箱中变色时间/h
硬脂酸钡(3%)	5
硬脂酸镉(3%)	4
硬脂酸锌(3%)	很快变黑
硬脂酸钡(1.5%) + 硬脂酸镉(1.5%)	4
硬脂酸钡(1.5%) + 硬脂酸锌(1.5%)	3h 变黑
硬脂酸镉(1.5%) + 硬脂酸锌(1.5%)	2h 变黑
硬脂酸钡(1.5%) + 硬脂酸镉(1.5%) + 硬脂酸锌(0.2%)	7h 稍有变色

注：化合物用量均为质量分数。

钡-镉与亚磷酸酯和环氧酯并用有极好的稳定效果，见表 2-28。

表 2-28 稳定剂并用对抑制 PVC 变色的作用

稳 定 剂	177℃ 加热时间/min					
	30	60	90	120	150	180
镉	无色透明		黑色			
钡	半透明	棕色		深棕色		
镉 + 钡	微黄透明	浅棕		深棕色		
镉 + 钡 + 亚磷酸酯	无色透明	浅黄透明		浅棕	深棕	
镉 + 钡 + 亚磷酸酯 + 环氧酯	无色透明	浅黄透明		黄色透明		

表 2-29 列出了部分含有金属皂类稳定体系的配方实例，供使用时参考（应根据实际情况适当修改稳定体系的配方）。

表 2-29 含金属皂类稳定体系的配方实例（PVC 质量 100 份）

序号	配方实例(份)	用 途
1	DOP(30) + DOS(30) + 环氧酯(6) + 硬脂酸钡(3) + 硬脂酸镉(1.5) + 双酚 A(0.25)	柔软护层级电缆料

(续)

序号	配方实例(份)	用 途
2	增塑剂(30~50) + 环氧十八酸辛酯或环氧豆油(3~5) + 固体钡-镉复合稳定剂(1.5~2) + 有机亚磷酸脂(0.3~0.5) + 硬脂酸(0.1~0.3)	软质注射制品
3	DOP(50) + 液体钡-镉(3) + 硬脂酸锌(0.2) + BAD(0.3) + 三嗪-5(0.3) + 双酚 A(0.5) + 酞青蓝(0.015) + 硬脂酸(0.25)	农用薄膜
4	石油脂(19) + DOP(19) + DOS(7) + 环氧酯(4) + 硬脂酸钡(2.1) + 硬脂酸镉(0.7) + 硬脂酸锌(0.2) + 亚磷酸三苯酯(1) + UV-9(0.4) + 炭黑(2)	盖盐用薄膜
5	DOP(30) + 聚酯增塑剂(35) + 硬脂酸(0.5) + 环氧十八酸辛酯(3) + DOS(5) + 液体钡-镉-锌(2) + 颜料(适量)	高级袋物用人造革
6	增塑剂(60~100) + 液体钡-镉-锌(2~3) + 环氧十八酸辛酯(3~5)	人造革
7	硬脂酸钡(2.1) + 硬脂酸镉(0.7) + 硬脂酸锌(0.2) + 双酚 A(0.2) + 亚磷酸三苯酯(0.7) + 紫外线吸收剂(适量) + 着色剂(适量)	硬质不透明瓦楞板
8	硬脂酸镉(1~1.2) + 硬脂酸钡(0.5~1) + 硬脂酸铅(1.2~1.7) + 二月桂酸二丁基锡(0.7~1) + 环氧豆油(0.5~1) + 硬脂酸(0.2~0.3) + UV-P(0.3)	硬质透明挤压薄片和薄板
9	环氧十八酸辛酯(1) + 固体钡-镉复合稳定剂(3) + 有机亚磷酸酯(1) + 抗氧剂 1076(0.05~0.12) + 润滑油(0.2~0.5)	硬质透明挤压管
10	环氧豆油(3) + 硬脂酸钙(2.5~2.8) + 硬脂酸锌(0.5~0.2) + β -氨基巴豆酸酯(0.3~0.7) + 聚乙烯蜡(0.1)	硬质无毒压延材料
11	改性剂(以丙烯酸酯为基的共聚物)(13~12) + 环氧豆油(3~5) + 钙-锌复合稳定剂(1~1.5) + β -氨基巴豆酸酯(0.3) + 润滑剂(0.2~0.5) ^①	硬质无毒挤压材料
12	BPBG(40) + 环氧大豆油(5) + 钙-锌系稳定剂(1.5~2)	软质挤压饮料用无毒管
13	DOP(55) + DBP(10) + 聚酯增塑剂(15) + 腈基橡胶(10) + 液体钡-镉系(0.3) + 固体钡-镉系(1.2) + 月桂酸有机锡(0.5) + 偶氮二甲酰胺(3) + 碳酸钙(7)	袋物用发泡人造革
14	DOP(60) + DBP(15) + 聚酯增塑剂(5) + 环氧大豆油(5) + 钙-锌-镉系(2) + 偶氮二甲酰胺(3) + 碳酸钙(7) + 着色剂(适量)	衣料用发泡人造革
15	增塑剂(150) + 碳酸钙(100) + 偶氮二甲酰胺(4) + 液体钡-镉-锌(2)	装饰砌面用多孔材料
16	苯二甲酸丁苄脂(15) + DOP(15) + 辅助增塑剂(10) + 碳酸钙(30) + 环氧十八酸辛酯(5) + 液体钡-镉-锌	糊加工材料地板用覆盖层基料
17	乙烯-乙酸乙烯共聚树脂(2~5) + DOP(35) + DOS(12) + 环氧十八酸丁酯(3) + M-50(3) + 硬脂酸镉(0.6) + 硬脂酸钡(1.8) + 硬脂酸锌(0.2) + 双酚 A(0.4) + UV-9(0.3) + 防老剂 TPP(1) + 酞青蓝(适量)	农用薄膜
18	DOP(47) + ED ₃ (5) + 硬脂酸镉(0.3) + 硬脂酸钡(0.5) + 硬脂酸锌(0.1) + 硬脂酸(0.2) + 双酚 A(0.5) + 三嗪-5(0.3) + 硬脂酸甘油酯(0.5) + 液体隔/钡(2) + 亚磷酸苯二异辛酯(0.8)	农用薄膜

① 本配方中, 聚氯乙烯质量按 87~88 份计。

4. 有机锡类稳定体系

有机锡化合物是对聚氯乙烯稳定效果最好的稳定剂。它不仅能抑制聚氯乙烯热分解脱氯化氢、结合分解出来的氯化氢、消除双键结构，而且还能起光化学、力化学和生物化学稳定剂的作用，甚至还起增塑剂的作用。不过，这类稳定剂的价格昂贵，所以只在制品需要极好的透明性兼有高度的耐热性时才使用。

使用有机锡稳定剂，加工时不会在加工机器上产生污垢，也不会给制品带来硫污斑，而用含铅化合物或钡-镉皂作稳定剂时，则往往会与大气或材料中的硫反应生成黑色的硫化铅或深黄色的硫化镉而使制品出现硫污斑。

二辛基锡、二苄基锡以及单烷基锡的衍生物对人体危害极小，在美国、法国、意大利、英国和德国已被获准用作食品和药品硬质包装材料的稳定剂。

表 2-30 列出了部分有机锡类稳定体系的配方实例。如前所述，它们并不一定是最佳配方，选用时应根据实用情况作适当修改。

表 2-30 有机锡化合物稳定体系的配方实例（PVC 质量 100 份）

序号	配方实例(份)	用 途
1	含硫二丁基锡(2.5~3) + 环氧十八酸丁酯(或环氧豆油)(1) + 聚乙烯蜡(分子量 9000)(0.02~0.06) + 皂化褐煤蜡(0.2~0.4)	硬质透明挤压薄片和薄板
2	丙烯酸酯共聚物(改性剂)(5~10) + 聚乙烯蜡(0.1) + 硫醇盐型二丁基锡(2~3) + 硬脂酸钡(0.2~0.3)	硬质透明挤压管
3	马来酸二丁基锡(4~4.5) + 二月桂酸二丁基锡(1~1.5) + 硬脂酸钙(0.3~0.5) + 硬脂酸丁酯(0.5~1) + 硬脂酸(0.2~0.3)	硬质透明注射制品
4	硫醇盐型有机锡(2~3) + 硬脂酸钙(1~1.5) + 合成蜡(0.5~1) + 着色剂(适量)	硬质注射成型制品
5	丙烯酸酯共聚物或合成橡胶(10~13) + 含硫二辛基锡(1.5) + 环氧豆油(0.5) + 抗氧化 TNP(0~0.5) + 褐煤蜡酯(或皂化褐煤蜡)(0.2~0.3) + 聚乙烯蜡(0.1~0.15)(本配方聚氯乙烯质量按 83.5~87.7 份计)	硬质无毒挤压材料(包括包装材料)
6	DOP(30~35) + DOA(10~15) + 二月桂酸二丁基锡(1.5~2) + 硬脂酸镉(0.2~0.3)	软质透明挤压薄膜、薄片和软管
7	DOP(30) + 环氧大豆油(5) + 硬脂酸镉(0.5) + 硬脂酸钡(0.3) + 月桂酸有机锡(2) + 着色剂(适量)	杂用薄膜
8	DOP(60) + 环氧化合物(5) + 液体钡-镉(2~3) + 二月桂酸二丁基锡(1)	人造革

第三章 力学性能改性助剂

第一节 冲击改性剂与增韧剂

一、冲击改性剂

(一) 简介

抗冲击性能差是工业上某些重要塑料的性能缺陷。例如聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚丙烯等的无缺口冲击强度和缺口冲击强度都很低，尤其在低温时因抗冲击性能太差而在很多领域的应用受到限制。这种以改进塑料抗冲击性能为目的而添加的助剂称为冲击改性剂或抗冲击剂。在热塑性塑料中，通过加入冲击改性剂就可大大提高它们的抗冲击性能。如不加冲击改性剂的聚丙烯冲击强度为 18kJ/m^2 ，而添加了冲击改性剂的聚丙烯，其冲击强度可达到 45kJ/m^2 。

1. 影响性能改善的因素

塑料中添加冲击改性剂后，其性能的改善通常由以下几个因素所决定：

- 1) 冲击改性剂的种类和使用比例。
- 2) 冲击改性剂与塑料之间的结合条件，即两者之间应具备部分相容性，冲击改性剂在塑料中应能分散良好，但又存在着分离相，形成“岛海”结构。
- 3) 形成冲击改性塑料时的加工条件。

2. 冲击改性剂的原理

冲击改性剂的原理是在龟裂发生初期及其蔓延之前，通过塑料变形来吸收冲击能。通常认为存在两种变形机理：

- 1) 材料剪切屈服或拉伸。
- 2) 银纹或裂纹：受到外力冲击时，由极细的微丝裂纹汇聚成的微裂纹结构在向树脂蔓延时吸收了能量。

3. 冲击改性剂的性能要求

由于基础树脂结构和性能的差异，不同类型塑料的冲击改性机理和方法也不尽相同。目前，冲击改性剂主要用于硬质聚氯乙烯，但在聚乙烯、聚丙烯及聚苯乙烯等其他塑料中的应用也在扩展。在选用聚氯乙烯的冲击改性剂时，其性能应满足如下要求：

- 1) 与聚氯乙烯有适当的亲和性，即相容性适度。相容性过小，共混两者达不到均一良好的分散，抗冲击性能不能提高；相容性过大，两者完全呈分子状分散，冲击性能也难以提高。
- 2) 相对分子质量高，最好有一定的交联度。交联度过高，胶粒不易变形，引发微

裂纹的效率低, 结果使材料的冲击强度和断裂伸长率下降; 交联度过低, 胶粒的形态不稳定, 在应力作用下易破裂使银纹易发展为裂缝, 对提高冲击强度也不利。

3) 有尽可能低的玻璃化转变温度 (T_g), 能在低温下增强聚氯乙烯的抗冲击性能。

4) 掺混于聚氯乙烯中, 在提高抗冲击强度的同时, 不降低聚氯乙烯的表观性能及物理、力学性能。

5) 加工使用方便, 与树脂容易共混, 而且尽量制成与聚氯乙烯相类似的形状及粒度。

6) 耐候性好, 离模膨胀性小。

(二) 主要品种与特性

1. 甲基丙烯酸甲酯-丁二烯-苯乙烯共聚物

性质 一种三嵌段共聚物, 是聚苯乙烯与 ABS 树脂的改性产品。外观为浅黄色透明粒料或白色粉末, 无臭。相对密度 1.07 ~ 1.11。本品耐无机酸、碱及油脂, 也具有较好的耐紫外线性能但不耐酮类、芳烃、氯代烃及脂肪烃等溶剂。热变形温度 75°C, 在 -40°C 仍具有良好的韧性。

用法及其特点 本品用作聚氯乙烯的冲击改性剂, 可将聚氯乙烯的冲击强度提高 6 ~ 15 倍, 而对拉伸强度、伸长率等其他力学性能影响很小。本品因具有良好的透明度、耐热性及低温特性, 也是硬质聚氯乙烯透明制品不可缺少的添加剂, 常用于制造包装容器、板材、管材及软质制品等。添加量一般以塑料重量的 10% ~ 20% 为宜, 超过 30% 时, 将出现脆性破坏现象。

透明硬质聚氯乙烯瓶配比见表 3-1。

表 3-1 透明硬质聚氯乙烯瓶 (质量份)

聚氯乙烯 (XS-6)	100	硬脂酸	0.5
MBS 树脂	10	有机锡 8831	2.5
环氧硬脂酸丁酯	2	亚磷酸二辛基苯酯	0.8
邻苯二甲酸二辛酯	2	色料	0.3

2. 丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物

性质 一种热塑性塑料, 外观为淡黄色粉料或球状物, 无毒, 无臭, 相对密度 1.02 ~ 1.08, 软化温度不低于 90°C, 熔融温度 217 ~ 237°C, 热分解温度高于 250°C。本品耐水、无机盐、酸及碱, 不溶于多数醇类及烃类, 溶于丙酮、苯、二氯乙烷及氯仿等。受紫外线作用易老化, 耐候性稍差。易燃。

用法及其特点 本品用作聚氯乙烯冲击改性剂, 对冲击强度的增强效果大, 而使拉伸强度下降很少。一般用量为塑料重量的 5% ~ 20%。因本品含有不饱和结构, 耐候性差, 不适用于长期在户外使用的制品。本品也用作改性丙烯酸酯快固结构胶的增韧剂。

聚氯乙烯化妆品瓶配比见表 3-2。

表 3-2 聚氯乙烯化妆品瓶（质量份）

聚氯乙烯	100	硬脂酸	0.2
ABS 树脂	8	硬脂醇	0.3
月桂酸二丁基锡	1.4	褐煤酯蜡	0.4
马来酸单丁酯二丁基锡	2.5		

3. 氯化聚乙烯

性质 本品是由氯乙烯与氯气通过取代反应而制得的改性高聚物。含氯量一般为 25% ~ 45%（质量分数）。随聚合物的相对分子质量、含氯量、分子结构和氯化工艺条件的不同，本品呈现硬质塑料到橡胶态的不同性能。本品外观为白色粒状物，相对密度 1.14 ~ 1.18，热分解温度不低于 160℃。本品具有优良的耐冲击性、耐寒性、耐候性、耐油性、化学稳定性及电绝缘性。含氯量超过 25%（质量分数）的氯化聚乙烯具有自熄性。与聚氯乙烯及无机填料有良好的相容性。

用法及其特点 本品广泛用作聚氯乙烯的冲击改性剂。与 MBS 及 ABS 树脂相比，本品具有耐候性强、与聚氯乙烯相容性好的特点，其冲击强度随老化时间的下降极慢。本品可用于建材、管材及波纹板等户外使用的制品，用量一般为 5 ~ 15 份。本品用于高密度聚乙烯，可改善其韧性、耐燃性及印刷性；用于 EVA 微孔鞋底，可改善其耐磨性及高弹性；用于粘合剂，可提高其韧性及阻燃性。

聚氯乙烯防水卷材配比见表 3-3。

表 3-3 聚氯乙烯防水卷材（质量份）

聚氯乙烯	100	邻苯二甲酸二辛酯	38
氯化聚乙烯	100	邻苯二甲酸二仲辛酯	5
白炭黑	58	三聚氰酸三烯丙酯	12
氧化镁	22		

4. 乙烯-乙酸乙烯酯共聚物

性质 一种热塑性聚合物。由于在乙烯支链中引入了由极性基团（ CH_3COO^- ）所组成的短支链，改变了原来的结晶状态，使 EVA 较聚乙烯更富有柔软性和弹性，是一类具有类似橡胶弹性的热塑性塑料。本品外观为白色至淡黄色粉状或粒状物，相对密度 0.92 ~ 0.95，折射率 1.480 ~ 1.510，脆性温度低于 -70℃，加工温度 180 ~ 220℃，热分解温度 229 ~ 230℃。本品具有良好的化学稳定性、耐老化性、耐臭氧性，但耐油性较差。无毒。

用法及其特点 本品用作聚氯乙烯冲击改性剂，与聚氯乙烯（PVC）相容性好，其效果随共聚物中乙酸乙烯酯（VA）的含量而异。本品当 VA 含量低时，与 PVC 的相容性差，增强效果低，制品不透明，接近低密度聚乙烯的性质；随着 VA 含量增高，共聚物与 PVC 的相容性变好，增强效果提高，制品透明度也提高，接近橡胶的性质。VA 含

量一般在 35% ~ 45% 之间为佳。本品也用于聚乙烯、聚碳酸酯等的改性以及制造热熔胶、压敏胶、粘胶带、白乳胶等。

聚乙烯发泡人造革配比见表 3-4。

表 3-4 聚乙烯发泡人造革（压延法）（质量份）

低密度聚乙烯	100	氧化锌	1.5
EVA 树脂	25	硬脂酸铅	0.8
AC 发泡剂	3	邻苯二甲酸二仲辛酯	0.4
邻苯二甲酸二辛酯	0.6		

5. SBS 热塑性弹性体

性质 白色或微黄色颗粒，相对密度 0.92 ~ 0.95，是一类兼具橡胶和塑性塑料特性的强韧性聚合物，在常温下显示橡胶弹性，高温下又能塑化成型的合成材料。SBS 分为星型结构和线型结构两种。如 Y-802、Y-805 牌号为星型结构，能提高强度及耐磨性；如 Y-792 为线型结构，能提高柔软性及断裂伸长率。SBS 具有优良的耐热老化、耐臭氧、耐紫外线、耐屈挠及耐低温性能，也具有较好的弹性及电绝缘性，但耐溶剂性较差，溶于苯、环己烷、甲乙酮、二氯乙烷等。不溶于水、乙醇及溶剂汽油。

用法及其特点 本品用作高密度聚乙烯、聚丙烯及聚苯乙烯等的冲击改性剂，添加量一般为 5% ~ 25%，可大大提高常温冲击强度及低温冲击强度，也用作丙烯酸酯快固结构胶的增韧剂，以及用于制造热熔胶、压敏胶及改性沥青等。

改性沥青油毡配比见表 3-5。

表 3-5 改性沥青油毡（质量份）

沥青	100	环烷油	10
SBS	14	碳酸钙	16

6. 丁腈橡胶

性质 一类无规聚合物，平均相对分子质量约 70 万。本品呈灰白色至浅黄色块状或粉状固体，相对密度 0.95 ~ 1.0。干胶按丙烯腈结合量（质量分数）多少，分为极高腈（42% ~ 46%）、高腈（36% ~ 41%）、中高腈（31% ~ 35%）、中腈（25% ~ 30%）、低腈（24% 以下）五个品级和羧基丁腈橡胶。本品溶于乙酸乙酯、甲乙酮及氯苯等，具有优良的耐热性、耐油性、耐磨性及气密性，可在 120℃ 下长期使用，隔绝空气时可在 160℃ 下长期使用。其性能受丙烯腈含量影响，随丙烯腈结合量提高，橡胶的密度、加工性、硫化速度、强度、耐磨性及与极性聚合物的互容性都有所提高，但耐寒性及回弹性下降。

用法及其特点 本品用作聚氯乙烯的冲击改性剂，与聚氯乙烯相容性好，对硬质聚氯乙烯的增韧效果明显，对软质聚氯乙烯有非挥发增塑剂的效果，也用作酚醛树脂、环氧树脂及改性丙烯酸酯等快固胶的增韧剂。

聚氯乙烯耐热软管配比见表 3-6。

表 3-6 聚氯乙烯耐热软管（质量份）

聚氯乙烯(XS-3)	100	硬脂酸	0.4
NBR	40	硬脂酸钡	1.0
邻苯二甲酸二辛酯	16	硬脂酸铅	1.8
磷酸三甲苯酯	32		

7. 丙烯酸酯-丙烯腈-苯乙烯共聚物

性质 白色粉末。相对密度 1.07 ~ 1.09，热变形温度 80 ~ 85℃，长期使用温度 -20 ~ 70℃。本品与 ABS 树脂相比较，耐候性、耐紫外线性提高约 10 倍，而抗冲击强度却下降不多。抗静电性能好，而耐化学药品性及其他性能与 ABS 树脂相近。

用法及其特点 本品用作聚氯乙烯冲击改性剂，用于制造硬质板材、片材等。可改善聚氯乙烯的力学性能，大幅度提高冲击强度。

硬聚氯乙烯板配比见表 3-7。

表 3-7 硬聚氯乙烯板（质量份）

聚氯乙烯(TK-800)	100	二碱式亚硫酸铅	1.2
ASA 树脂	10	三碱式硫酸铅	2.8
丙烯酸酯类共聚物	0.5	硬脂酸钡	0.8
硬脂酸	0.6		

8. 三元乙丙橡胶

性质 白色粒状物。相对密度 0.87。乙烯结合量 53% ~ 72%（质量分数），二烯烃结合量 2.4% ~ 11.5%（质量分数）。商品有 3000 系列、4000 系列等多种牌号，不同牌号的产品，硫化速度及加工性能有所不同。具有优良的强度特性以及良好的耐热性、耐候性、耐油性、耐臭氧性及电性能。

用法及其特点 本品用作聚丙烯及聚乙烯等的冲击改性剂，可显著提高冲击强度，降低成型收缩率，也用于制造防水卷材、密封圈、软管、垫板、汽车部件及海绵材料等。

聚丙烯汽车保险杠配比见表 3-8。

表 3-8 聚丙烯汽车保险杠（质量份）

聚丙烯	100	钛酸酯偶联剂	0.5
三元乙丙橡胶	25	抗氧剂 1010	0.3
硬脂酸	0.5	硫代二丙酸二月桂酯	0.5
滑石粉	36		

二、PVC 专用冲击改性剂

（一）简介

聚氯乙烯树脂除耐冲击性差外，耐热变形性、热稳定性、耐候性及加工流动性等也

都不够理想。其难以加工特性表现在它呈热敏性，由于加工温度和分解温度比较接近，它的熔融粘度大，流动性差，因而在加工设备中的停留时间比一般树脂长，容易在设备死角发生结焦分解。此外，聚氯乙烯熔体的热强度低、且粘结力不强，容易发生熔融破碎。因此，在开发使用冲击改性剂的同时，还发展了以改进其加工性能为主要目的的改性剂，通常称为加工改性剂，主要是为了改善聚氯乙烯，尤其是硬质聚氯乙烯的成形加工性能而开发的一类改善性助剂。而所谓改善加工性能主要是改善熔融加工流动性，后来又应用到软质聚氯乙烯、聚烯烃及工程塑料的加工改性上。加工改性剂除改善树脂熔融加工流动性之外，还可提高树脂的润滑性及分散性，从而可提高生产效率，降低生产成本。

目前已工业化的加工改性剂主要是一些高分子化合物，特别是丙烯酸酯类共聚物，其本质特征是与聚氯乙烯有极好的相容性，甚至是分子级的；其高分子链柔顺，具有弹性；具有长的高相对分子质量的聚合链。在硬质聚氯乙烯加工过程中，即使当温度升高到使较大的粒子破裂，聚氯乙烯分子能够从一个粒子到另一个粒子渗透，加工改性剂仍能继续增加熔体温度，因为它们能与聚氯乙烯链完全混熔，形成较长范围的粘弹体网络，促进聚氯乙烯微区链整合，平衡熔体内的应力集中，从而大大减少加工缺陷或瑕疵。所以，用作高分子型聚氯乙烯的加工改性剂一般应具有以下一种或多种功能：加速熔融过程进行，改善其在热塑性状态下的流变性能，提高其在热弹性状态下的力学性能。

目前，加工改性剂已成为聚氯乙烯配方中的必要组分之一，它们与其他加工助剂相结合，加速了硬质聚氯乙烯的应用，使聚氯乙烯成为硬质管、板材、管材、窗材、透明膜和瓶等的主导材料之一。

（二）主要品种与特性

1. 丙烯酸酯类共聚物

性质 是由较低相对分子质量、较低玻璃化温度（ T_g ）的甲基丙烯酸甲酯与丙烯酸酯类进行共聚反应制得的系列产品。本品由于组成成分不同而形成不同牌号的 ACR，如 ACR-201 是甲基丙烯酸甲酯与丙烯酸酯的共聚物，外观为白色易流动粉末，相对密度 1.05 ~ 1.20，粘度 1.8 ~ 3.0 Pa · s；ACR-401 是甲基丙烯酸甲酯、丙烯酸乙酯、丙烯酸丁酯及苯乙烯四种单体共聚而成，外观为白色易流动粉末，相对密度 1.05 ~ 1.25，粘度 3 ~ 4 Pa · s，玻璃化温度 54℃，热分解温度 268℃。本品不溶于水，溶于丙酮、丁醇等，与聚氯乙烯相容性好，难燃，无毒。

用法及其特点 本品用作聚氯乙烯加工改性剂，兼有冲击改性剂的作用。不同牌号的 ACR 在聚氯乙烯中具有不同的作用。如 ACR-201 在硬质聚氯乙烯中具有加工改性作用，可降低塑化扭矩，缩短塑化时间，提高流动性；ACR-401 在硬质聚氯乙烯中则主要起冲击改性剂作用，可提高制品常温及低温的冲击强度。在聚氯乙烯中加入 ACR 后，塑炼效果明显改善，熔体光亮、透明、边缘完整、熔融混合良好，伸长率及热强度大大增加。由于 ACR 的分子量高于聚氯乙烯，熔融后能粘连或缠绕聚氯乙烯链段，促进同步塑化均匀性，缩短塑化时间。

聚氯乙烯塑料窗框配比见表 3-9。

表 3-9 聚氯乙烯塑料窗框（质量份）

聚氯乙烯	100	钛白粉	4.5
ACR	7	超细碳酸钙	3.1
亚磷酸酯	0.6	Ba/Cd 复合稳定剂	2
环氧大豆油	1	合成脂蜡	1

2. α-甲基苯乙烯

性质 无色透明液体，易燃。相对密度 0.9082，熔点 -23.2℃，沸点 165.4℃，闪点（开杯）57.8℃，燃点 573℃。微溶于水，溶于乙醚、苯、氯仿、甲醇等。受热或在催化剂作用下易聚合，本身也易自聚。能与苯乙烯、丙烯腈、丁二烯及二乙烯基苯等共聚。用作加工改性剂的 α-甲基苯乙烯常为其线型低聚物（聚合度 2 ~ 10）及环状二聚物，与聚氯乙烯相容性好。商品有 M-80 树脂、V-276 等。

用法及其特点 本品用作硬质、半硬质及软质聚氯乙烯的加工改性剂。一般加入量 3 ~ 6 份，可明显改善聚氯乙烯的熔体流动性，降低熔体粘度及塑化温度，缩短塑化时间，提高制品的光洁度。本品也用作不饱和聚酯树脂的交联剂，ABS 树脂、纸张等的改性剂，以及用作抗氧剂、润滑剂及热载体等。

无毒聚氯乙烯透明瓶配比见表 3-10。

表 3-10 无毒聚氯乙烯透明瓶（质量份）

聚氯乙烯(卫生级 5 型)	100	硬脂酸	0.4
MBS 树脂	12	硬脂酸钙	0.5
M-80 树脂	2	颜料	适量
有机锡稳定剂	3.2		

3. 粉末丁腈橡胶

性质 白色至微黄色粉末，丙烯腈结合量 37% ~ 40%（质量分数）。具有特定的立体结构，含有特种热稳定剂、隔离剂及少量其他成分。不溶于水，溶于丙酮、苯、乙酸乙酯等。

用法及其特点 本品用作聚氯乙烯加工改性剂，与聚氯乙烯相容性好，可以任意比例共混。能提高加工性、耐磨性、柔韧性、热稳定性及耐低温性等。与环氧树脂也有良好的相容性，可制成结构型粘合剂。对酚醛树脂有增塑作用，可提高抗冲击性和伸长率。

聚氯乙烯微孔轻便鞋底配比见表 3-11。

表 3-11 聚氯乙烯微孔轻便鞋底（质量份）

聚氯乙烯(K=65)	100	环氧大豆油	3
粉末丁腈橡胶	22	AC 发泡剂	1.5
邻苯二甲酸二辛酯	78	轻质碳酸钙	5.5

三、增韧剂

(一) 简介

增韧剂是指能给予聚合物材料更好韧性的一类物质。按增韧剂在材料中的存在形式可分为非活性增韧剂及活性增韧剂。前者分子无活性基团，不参与反应，一般为常用的增塑剂，后者分子中带有活性基团，能参与反应，常为高分子化合物。一般将用于塑料改性的增韧剂也称为冲击改性剂。本节所介绍的增韧剂是指能增加粘合剂膜层柔韧性的物质。环氧及酚醛树脂等热固性粘合剂在固化后伸长率低，脆性较大，承受外力时易产生裂纹或导致胶层开裂，但是在环氧或酚醛树脂中加入适量增韧剂后，则能降低脆性，增大韧性，提高粘接部位的承载强度。这些增韧剂一般能与树脂混溶，含有活性基团，可参与树脂的固化反应。增韧剂可分为橡胶型、树脂型及其他类型增韧剂，其中橡胶型增韧剂是开发较早的一类增韧剂。

不同类型增韧剂有不同的增韧作用机理，因此要根据树脂类型及粘合剂用途选择适用的增韧剂才能获得良好的增韧效果及综合性能。如环氧树脂粘合剂应选用聚硫橡胶、羧基或端羧基液体丁腈橡胶、聚砜、聚醚、聚酰亚胺及纳米级碳酸钙等作为增韧剂；酚醛树脂粘合剂可选用液体丁腈橡胶、羧基丁腈橡胶、氯丁橡胶、聚乙烯醇缩丁醛、聚苯醚酮、聚醚砜及聚乙烯醇作为增韧剂；脲醛粘合剂可选用聚乙酸乙烯酯乳液、聚乙烯醇等作为增韧剂；不饱和聚酯粘合剂可选用聚乙烯醇缩丁醛、聚乙酸乙烯酯及液体丁腈橡胶等作为增韧剂。

(二) 主要品种与特性

1. 羧基液体丁腈橡胶

性质 淡黄色黏稠液体。相对密度 0.960，丙烯腈结合量 30% ~ 35%（质量分数），内烯酸结合量 4% ~ 8%（质量分数）。不溶于水，与甲乙酮、氯苯、乙酸乙酯等混溶。与环氧树脂、酚醛树脂及其他橡胶的相容性较好。有较好的耐热性及耐油性。

用法及其特点 本品用作环氧树脂、酚醛树脂等的增韧剂，参考用量 10 ~ 30 份。也可用作热固性塑料加工改性剂。

环氧树脂常温快干胶配比见表 3-12。

表 3-12 环氧树脂常温快干胶（质量份）

羟甲基环氧树脂	100	硫脲己二胺	20
环氧稀释剂(600#)	20	聚酰脲(650)	20
羧基液体丁腈橡胶	20		

2. 端羧基液体丁腈橡胶

性质 琥珀色透明黏稠液体。根据丙烯腈结合量不同，可分为中腈聚合物及高腈聚合物，并有不同的商品牌号。本品具有良好的耐腐蚀、耐老化、耐低温性能，也有较好的耐热性及机械稳定性。

用法及其特点 本品用作环氧树脂增韧剂，参考用量 15 ~ 35 份。可显著提高固化物的冲击强度及断裂伸长率，也可用于复合固体的粘接。

3. 端羟基液体丁腈橡胶

性质 浅黄色透明黏稠液体。分子量 2000 ~ 3000。根据用量不同而有多种商品牌号。粘度 $\leq 25 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ (40°C)。本品具有良好的耐腐蚀、耐老化性、耐低温性，并具有较好的热稳定性及机构稳定性。

用法及其特点 本品用作环氧树脂增韧剂。单用时增韧效果较差，与甲苯二异氰酸酯或异氰酸酯并用时能显著提高固化物的剪切强度和剥离强度。

4. 液体丁腈橡胶

性质 浅黄色至棕褐色黏稠液体。相对分子质量 1500 ~ 4000，粘度 8 ~ 20 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ (40°C)。根据丙烯腈结合量不同而有多种牌号。本品硫化后具有较强的耐油性及回弹性，与环氧树脂、酚醛树脂及其他橡胶有良好的相容性。

用法及其特点 本品用作环氧树脂及酚醛树脂的增韧剂，可配制成粘接力强、回弹性好的粘合剂，参考用量 20 ~ 30 份。也可用作热固性塑料加工的改性剂、橡胶的不抽出性专用增塑剂等。

5. 液体聚丁二烯橡胶

性质 红色透明液体。相对密度 0.89 ~ 0.91 (25°C)，粘度 2.5 ~ 15 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。本品具有较好的耐老化、耐低温性能。

用法及其特点 本品用作环氧树脂的增韧剂，也可用作涂料或橡胶改性剂、灌封材料及涂料涂层等。

6. 端羧基液体聚丁二烯橡胶

性质 浅棕色至琥珀色黏稠液体。相对分子质量 1000 ~ 2500，粘度 25 ~ 80 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ (40°C)。本品具有良好的耐水性、耐寒性、弹性及介电性，并具有较强的粘接性。

用法及其特点 本品用作环氧树脂增韧剂及橡胶改性剂，也可用于制造密封材料、涂料涂层及浇注橡胶制品。

7. 液体聚硫橡胶

性质 琥珀色至暗棕色透明黏稠液体，有特殊臭味。相对密度 1.13 ~ 1.31 (25°C)，闪点 235°C，燃点 457°C，折射率 1.5689 ~ 1.5728 (25°C)，玻璃化温度 -76 ~ -40°C，脆性温度 -65 ~ -55°C。本品具有优良的耐油、耐溶剂、耐紫外线、耐臭氧、耐海水及耐低温性。透气率低，对各种材料的粘合力好。因具有特殊气味，大量接触时会引起嗅觉混乱，但无毒，对皮肤无刺激性。

用法及其特点 本品与环氧树脂相容性好，用作环氧树脂增韧剂时，参考用量为 20% ~ 50%，也可用作聚氨酯增韧剂、火箭固体推进剂粘合剂、建筑密封剂、复合玻璃密封剂、牙科印模材料及防腐材料等。

8. 氯丁橡胶

性质 白色或米黄色韧性片状或块状固体。相对分子质量随不同品种而异，一般在

20000 ~ 950000 之间。相对密度 1.15 ~ 1.25, 玻璃化温度 $-40 \sim -50^{\circ}\text{C}$, $230 \sim 250^{\circ}\text{C}$ 分解。溶于苯、二甲苯及氯仿等。物理、力学性能与天然橡胶相似, 而耐热性、耐油性、耐化学腐蚀性比天然橡胶好。具有优良的耐候性、耐臭氧老化性及耐燃性, 但耐寒性及储存稳定性较差, 会产生“自硫”现象, 生胶变硬, 且有臭味。

用法及其特点 本品用作改性丙烯酸酯快固结构胶的增韧剂, 也可用于制造氯丁橡胶粘合剂、密封胶、运输带、胶管、胶布及电线电缆外皮等。

9. 羧基丁苯胶乳

性质 本品为苯乙烯、丁二烯与少量第三单体共聚制得的分子链带羧基侧基的胶乳, 是一种带有蓝紫色光泽或蓝色荧光的乳白色水分散体, 总固含量 44% ~ 51%, pH 值 7 ~ 10。本品具有良好的耐老化性、冷冻回复性、化学稳定性, 易与各种材料混合, 由于引入了羧基非极性基团, 显著提高了胶乳粘结力, 并可用非硫化体系进行交联, 与纤维、无机填料等物质都有良好粘接性能。

用法及其特点 本品用作水性粘合剂的增韧剂、造纸涂布粘合剂、无纺布粘合剂、油墨添加剂、地毯背衬粘合剂等。

10. 羧基丁腈胶乳

性质 乳白色液体。相对密度 0.991 ~ 1.050, 总固含量 > 45%, 丙烯腈结合量 > 32%, pH 值 7.5 ~ 10.0。本品由于分子主链中引入了羧基活性反应基团, 其粘接性能优于未羧化的丁腈胶乳, 同时改善了与其他高分子材料的相容性及机械稳定性, 也可与硫黄、金属氧化物进行交联反应。

用法及其特点 本品用作水性酚醛树脂粘合剂的增韧剂、无纺布粘合剂, 以及用于制造胶乳浸渍制品及耐油手套。

11. 氯磺化聚乙烯

性质 白色或淡黄色片状或块状固态弹性体。相对密度 1.08 ~ 1.29, 脆化温度 -62°C 。溶于芳烃、氯代烃, 不溶于酸、脂肪烃、醇, 微溶于酮、酯、环醚。本品具有优良的耐热性、耐候性、耐臭氧性、耐燃性、耐水性、耐油性及耐化学药品性, 但耐寒性较差, 在 -18°C 即丧失弹性。根据用途可分为 20、30、40、45 及 48 等型号。

用法及其特点 本品用作丙烯酸酯快固粘合剂的增韧剂。可以单独使用, 也可以与其他橡胶并用, 制造粘合剂、胶管、橡胶衬布、橡胶制品及电线电缆外皮等。

12. 聚丙二醇缩水甘油醚

性质 无色至浅黄色透明液体。相对密度 1.02 ~ 1.07 (25°C), 粘度 40 ~ 250 mPa·s (25°C)。不挥发, 无毒。

用法及其特点 本品用作环氧树脂增韧剂及稀释剂, 参考用量为环氧树脂的 5% ~ 30%。与环氧树脂相容性好, 能和环氧树脂一样与固化剂一起反应形成网络状结构, 可给予环氧树脂固化物柔韧性, 提高冲击强度及剥离强度。

13. 聚乙烯醇缩丁醛

性质 聚乙烯醇缩醛的一种, 白色或浅黄色可自由流动粉末。相对密度 1.107, 软

化温度 60 ~ 65℃，吸水率 > 4%。溶于醇类、环己酮、甲乙酮、氯仿及乙酸乙酯等，与酚醛、环氧、脲醛等树脂及乙酸纤维素相混溶。本品有良好的耐候性、耐湿性、耐无机酸性及高度的透明性和对玻璃的粘接性，可燃，无毒。

用法及其特点 本品用作酚醛树脂、环氧树脂及不饱和聚酯等的增韧剂，参考用量 10% ~ 30%，可配制成结构粘合剂，也可用于制造汽车及飞机的风窗玻璃、集成板、防腐涂料及热熔胶等。

混凝土及金属用树脂沥青胶配比见表 3-13。

表 3-13 混凝土及金属用树脂沥青胶（质量份）

石油沥青	50	聚乙烯醇缩丁醛	20
水泥	30		

14. 聚酰亚胺

性质 一种耐热的氮杂环聚合物的总称，通常指环亚胺和芳环构成的聚合物，具有一系列产品。本品具有良好的耐高温性、耐溶剂性及耐辐射性，电绝缘性好，机械强度高，并有良好的自润滑性。其中以均苯四甲酸二酐和 4，4'-二氨基联苯醚为原料制得的均苯型聚酰亚胺，具有优良的热性能及综合性能。其外观为深褐色不透明固体，在 - 270 ~ 400℃ 可保持较高的力学性能，耐大多数溶剂，耐老化，但易受强碱及无机酸腐蚀。

用法及其特点 本品用作环氧树脂增韧剂，可大大提高固化物的韧性，也可用于制造耐高温粘合剂、封装材料、涂料及发泡塑料等。

15. 聚砵

性质 带琥珀色的热塑性塑料，白色粒状物。相对密度 1.24，玻璃化温度 180 ~ 196℃，热变形温度 162 ~ 174℃，脆化温度 - 100℃，长期使用温度 - 100 ~ 150℃。本品具有优良的耐热性、耐寒性、高温蠕变性及介电性能，除浓硫酸及浓硝酸外，耐其他酸、碱及脂肪烃溶剂，在酯类及酮类溶剂中溶胀，溶于氯仿、甲苯及二氯乙烷等。耐候性及耐紫外线性能较差，可燃，无毒。

用法及其特点 本品用作环氧树脂增韧剂，配制耐高温高韧性结构胶，也可用于制造耐高温及高强度机械零部件、容器、阀门及电器部件等。

16. 聚醚砵

性质 分子结构主链中含有苯环连接的醚键和芳砵基的耐高温工程塑料，呈淡黄色至灰褐色粒状物。相对密度 1.37，玻璃化温度 225℃，热变形温度 203℃（1.82MPa）。本品耐热性优于聚砵，可在 180 ~ 200℃ 下长期使用，具有优良的耐热性、抗氧化性、耐稀酸及耐稀碱性，耐候性及耐紫外线性能稍差。溶于氯代烃、酮类、酯类等，不溶于脂肪烃、醇类。无毒。

用法及其特点 本品用作环氧树脂粘合剂的增韧剂，与环氧树脂相容性好，并可形成半互穿网络结构，可提高固化物的韧性、刚性及耐热性，也可用于制造高强度、抗热、抗蠕变的结构件以及阀门、泵体、医疗器械等。

第二节 填充剂

一、简介

填充剂，又称填料，是加入塑料中以改善其性能或降低成本、有相对化学惰性的固体物质。填料通常为粒状、粉状及纤维状（但此处所指的纤维状填料不包括玻璃纤维）。

1. 填料的作用

降低成型时的收缩率及线胀系数，降低制品的表面粗糙度值，调节树脂的粘度，提高颜料的着色效果，改善塑料制品的性能（如力学性能、耐热性、耐蚀性、耐磨性、自熄性及电绝缘性）及降低成本等。

加入填料的缺点是，增加相对密度，影响透明度，有时给加工带来某些困难等。

2. 对填料的要求

- 1) 化学稳定性好，对树脂固化无阻聚作用。
- 2) 不使制品的外观、力学性能、化学性能、电绝缘性能明显变差。
- 3) 分散性、混合性好，不影响制品的加工性。
- 4) 不降低制品的耐热、耐候性。
- 5) 吸油量及吸收树脂量小。
- 6) 价格低、货源广、质量稳定。

3. 填料的分类

填料的分类方法，见表 3-14，填料按化学组成分类，见表 3-15。

表 3-14 填料的分类法

类 别	种 类
按结构分	结晶性、非结晶性
按材质分	矿物类、有机类、金属
按化学成分分	硅酸盐类、硫酸盐类、碳酸盐类、磷酸盐类、氧化物
按密实性分	疏松型、致密型、一般型
按聚集态形状分	鳞片状、粒状、粉末状、棒状、板状、纤维状、多角状、多孔状
按功能性分	增强、耐热、耐燃、耐化学腐蚀、导电或绝缘、耐磨、耐溶剂、磁性、着色性等

表 3-15 按化学组成分类时填料的种类

类 别	种 类
硅酸盐	陶土、滑石粉、云母、石棉、蛭石、硅酸钙、皂土、玻璃粉、白炭黑、硅藻土
碳酸盐	碳酸钙、碳酸钡、碳酸镁、白云石
磷酸盐	磷灰石
硫酸盐	硫酸钡、硫酸钙、硫酸铵、碱式硫酸铝

(续)

类 别	种 类
氢氧化物	消石灰、氢氧化镁、氢氧化铝
金属氧化物	氧化铝、氧化锑、氧化镁、氧化钛、氧化锌、二氧化硅
硫化物	二硫化钼
单质	炭黑、石墨
有机物	木粉、果壳粉、棉纤维、橡胶粉、合成纤维
金属粉末	铜粉、铝粉、铅粉、铁粉、锌粉

二、主要品种与特点

(一) 无机填料

1. 轻质碳酸钙

性质 白色粉末，无臭、无味，有无定形及结晶形两种形态。结晶形又可分为六方晶系及斜方晶系，呈柱状或菱形。相对密度 2.7 ~ 2.9，825 ~ 898℃ 分解为 CaO 及 CO₂，粒径范围 1.0 ~ 1.6μm，比表面积 5 ~ 25m²/g，pH 值（10% 悬浮液）8 ~ 11，白度 > 90。不溶于水、醇，溶于酸并放出 CO₂，呈放热反应，也溶于氯化铵溶液及含二氧化碳的水中。在空气中稳定，有轻微吸潮性，无毒，长时间吸入其粉尘有可能出现肺气肿及尘肺。

用法及其特点 本品用作塑料、纸张、橡胶、涂料、油墨等的白色填充剂，是塑料、造纸等工业中应用最广的填充剂之一。其价格低廉，来源广泛，相对密度小，除具有增量作用外，还可改善加工性能及制品的性能。当碳酸钙粒径小于 0.1μm 时，进行适当表面处理，可用作塑料补强填料；当平均粒径为 0.03 ~ 0.07μm 时，可用作刚性冲击改性剂，主要用于聚氯乙烯、聚乙烯及聚丙烯等树脂中。在制造粘合剂时，可用作环氧胶、尼龙密封胶、氯丁密封胶、聚硫密封胶等的填充剂，也可用作制造火柴、铅笔、保温材料、电焊条等的填料。

血压计橡胶球配方见表 3-16。

表 3-16 血压计橡胶球配方（质量份）

天然橡胶(1 号烟片)	100	防老剂 D	0.5
氧化锌	10	促进剂 D	0.1
硬脂酸	2.8	促进剂 DM	0.2
石蜡	0.6	促进剂 M	0.6
立德粉	20	水杨酸	0.2
轻质碳酸钙	67	硫磺	2
钙基脂	2		

2. 重质碳酸钙

性质 本品是将原料石灰石按用途不同，粉碎成不同细度的白色粉末〔按细度分

为单飞粉（200目）、双飞粉（325目过筛率 $\geq 99\%$ ）、三飞粉（325目过筛率 $\geq 99.9\%$ ）、四飞粉（400目）。无臭、无味，相对密度2.710，熔点1339℃，不溶于水、乙醇，微溶于含有铵盐或 Fe_2O_3 的水中，溶于稀盐酸、稀硝酸及稀乙酸，并发生泡沸，加热到898℃开始分解为 CO_2 及 CaO 。无毒。长期吸入其粉尘有发生肺气肿及尘肺的可能。

用法及其特点 单飞粉用于生产无水氯化钙、建材、玻璃、陶瓷、水泥等，也是生产重铬酸钠的辅料；双飞粉用于生产无水氯化钙、玻璃、建材，也用作油漆、橡胶的白色填充剂；三飞粉用作塑料、涂料、粘合剂、密封胶及油漆等的填充剂；四飞粉用作橡胶模压制品、沥青油毡制品及电线电缆绝缘层的填料。此外，单飞粉也用作家禽饲料添加剂。

橡胶瓶塞配方见表3-17。

表 3-17 橡胶瓶塞配方（质量份）

丁基橡胶	100	重质碳酸钙	56
氧化锌	10	煅烧陶土	16
硬脂酸	1.5	促进剂 DM	2
二甘醇	2	硫黄	1

3. 活性碳酸钙

性质 为沉淀碳酸钙经用硬脂酸钠、太古油等表面处理所得的白色细腻轻质粉末。相对密度1.99~2.01，平均粒径0.03~0.10 μm ，比表面积25~85 m^2/g ，pH值8.0~11.0，白度 ≥ 90 。不溶于水，遇酸分解，灼烧时变黑，并放出二氧化碳而生成氧化钙。活性碳酸钙比轻质碳酸钙好，并兼有补强作用，使用时分散性好。无毒。

用法及其特点 本品用作橡胶、涂料、粘合剂、塑料、油墨、人造革、电线电缆、纸张等的填充剂。用于橡胶时，其补强性能高，而且粒径越小，补强效果越好，还可改善橡胶的色泽及表面光泽；用于塑料时，其润滑性好，易于加工，制品有一定的强度及光滑表面。

抗菌素瓶塞配方见表3-18。

表 3-18 抗菌素瓶塞配方（质量份）

天然橡胶	100	群青	2.2
氧化锌	10	促进剂 D	0.55
硬脂酸	2	促进剂 M	0.4
凡士林	3	硫黄	1.6
活性碳酸钙	46		

4. 超细轻质碳酸钙

性质 一种特别结晶形的白色微细粉末，结晶形状有针形、链锁形、立方形等。相对密度2.45~2.50，粒径0.01~0.08 μm ，比表面积10~70 m^2/g 。不溶于水，遇稀酸分解，放出二氧化碳，生成氧化钙。在空气中稳定。

用法及其特点 橡胶工业中用作填充剂及补强剂，配合胶在拉伸强度、耐撕裂强度

上比使用轻质碳酸钙或陶土有大幅度提高。塑料工业中用作填充剂，可提高塑料制品的电性能及耐老化性，用于软质聚氯乙烯可提高制品的抗挠曲性，也可用作涂料及油墨的体质颜料，用于调节色泽及流变性。本品在粘合剂及密封胶中用作填充剂。

EVA 防滑鞋底配方见表 3-19。

表 3-19 EVA 防滑鞋底配方（质量份）

乙烯-乙酸乙烯酯共聚物(EVA)	100	硬脂酸钡	2.5
低密度聚乙烯	150	AC 发泡剂	8.2
氯化聚乙烯	63	三碱式硫酸铅	4
过氧化二异丙苯	2	超细轻质碳酸钙	42

5. 超细重质碳酸钙

性质 白色微细粉末。相对密度 2.70，CaCO₃ 含量≥98%，白度 92～96，pH 值 8～9。不溶于水，遇稀酸分解，放出二氧化碳，生成氧化钙。本品具有活性大，颗粒细，易分解，补强性显著等特点。无毒。

用法及其特点 本品用作橡胶、塑料、粘合剂、涂料、造纸、油墨等的填充剂，对橡胶兼有补强作用。用于聚氯乙烯、聚乙烯及聚丙烯等可提高制品的抗冲击性能。通常，用无机物或有机物对其进行表面包覆，用偶联剂处理，可提高与聚合物的亲和性，提高补强效果。

6. 沉淀硫酸钡

性质 无色斜方晶系结晶或无定形白色粉末。粒径 2～10μm，相对密度 4.5（15℃），熔点 1580℃，吸油量 15%～25%（质量分数）。难溶于水、乙醇及稀酸，溶于发烟硫酸和熔融碱，微溶于沸腾的盐酸。化学性质稳定。干燥时易结块。600℃ 时用炭可还原成硫化钡。易与高锰酸钾、碳酸钙或碱金属硝酸盐等制成混晶。

用法及其特点 本品用作橡胶、塑料、粘合剂、涂料、油墨、白色颜料、绝缘带等的填充剂。可提高制品的表面光泽及耐蚀性，给予橡胶、塑料制品以 X 射线不透过性，提高氯丁橡胶的耐燃性，也可用作纺织上浆剂、纸张表面涂布剂。玻璃制造中用作澄清剂，是制造搪瓷、陶瓷、颜料及其他钡盐等的原料。

7. 磷酸二钙、二水合磷酸钙

性质 白色单斜晶系结晶性粉末，无臭，无味。相对密度 2.306，白度 >90。微溶于水、稀乙酸，溶于稀盐酸及硝酸，不溶于醇。20% 悬浮水溶液的 pH 值为 7.8～8.3。109℃ 失去结晶水，400℃ 以上形成焦磷酸钙。无毒。

用法及其特点 本品在牙膏中用作摩擦剂及填充剂，是一种温和而摩擦力低的原料，也可用作塑料填充剂、稳定剂及制作薄膜开口剂。医药上用作药片填充剂、吸附剂及钙和磷的补充剂。食用级磷酸氢钙用作饼干疏松剂、酵母培养剂、面团改良剂等。还可用作农用肥料及家禽辅助饲料等。

8. 磷酸锌

性质 无色斜方晶系结晶或浅白色微细粉末。表观密度 0.8～1.0g/cm³。几乎不溶

于水，溶于无机酸、氨水及铵盐溶液，不溶于乙醇。加热至 105℃ 时失去结晶水而成无水物。无水物相对密度 3.998，熔点 900℃。

用法及其特点 本品用作防锈涂料、水溶性涂料、醇酸涂料、酚醛及环氧涂料、环氧树脂粘合剂等的防腐及阻燃性填充剂，能与涂料中的羟基、羧基络合，使颜料与基料及金属之间形成化合结合而提高涂膜的抗渗性，抑制腐蚀电池的形成，也可用作氯化橡胶、合成高分子材料的阻燃剂及牙科粘合剂等，还可用于搪瓷中，使其耐落裂性提高。

9. 石英粉

性质 石英砂是风化后呈粒状的石英，是由粘土和其他物质胶结细粒二氧化硅晶体的水成岩石，常指含二氧化硅较多的河砂、海砂、山砂等。除主要成分为二氧化硅外，还含有氧化铁、云母、粘土及有机杂质。石英粉为白色或浅灰白色结晶粉末。SiO₂ 含量 ≥98%，相对密度 2.64~2.65，折射率 1.547，粒径 8~25μm，吸油量 15%~25%（质量分数）。不溶于水及稀酸（除氢氟酸），无毒、无味，具有硬度高、不吸水、耐热、耐酸、耐磨、耐老化等特点。

用法及其特点 本品用作塑料、橡胶、胶乳等的填充剂、增量剂。适用于胶管、胶带、模压制品、挤出制品、鞋类等，也可用作环氧粘合剂、密封胶的填充剂，提高制品硬度、耐磨性及绝缘性，还是制造陶瓷、搪瓷、玻璃器皿的常用原料。

10. 石棉粉

性质 由蛇纹石石棉（温石棉）和角闪石石棉制得的白色或灰白色粉末。工业用石棉粉主要由温石棉制得。

用法及其特点 本品用作塑料、橡胶、环氧树脂、酚醛树脂及脲醛树脂等的填充剂。用于塑料及橡胶时，可提高制品的刚性、尺寸稳定性及耐热性，也可用作环氧及酚醛树脂粘合剂的耐高温填充剂。

11. 石膏粉

性质 白色单斜晶系结晶性粉末，无臭，有涩味。相对密度 2.32，折射率 1.52，硬度 1.5~2。难溶于水，微溶于甘油，不溶于乙醇，溶于酸、铵盐。加热至 128℃ 时失去部分结晶水而成 $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ （烧石膏或称熟石膏、煅石膏粉），加热至 163℃ 时失去全部结晶水而成硫酸钙，其熔点为 1450℃。烧石膏加水后成为可塑性浆体，很快凝固，而无水硫酸钙不与水反应。

用法及其特点 本品用作塑料、橡胶、纸张、密封胶、油漆等的填充剂。用于塑料时，可提高制品的尺寸稳定性。与聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯等树脂复合可制造钙塑材料；橡胶工业中用作天然及合成橡胶、胶乳的填充剂，适合于制备橡胶器材部件。

12. 滑石粉

性质 白色、浅灰色或浅黄色粉末，质地柔软而有滑腻感及润滑性，以鳞片状及纤维状两种形态混合存在。相对密度 2.7~2.8，表观密度 $<0.65\text{g/cm}^3$ ，白度 >80 ，平均粒径 2~6μm，折射率 1.57。不溶于水、乙醇，微溶于稀无机酸。化学性质稳定，有较好的耐酸碱性、耐火性、绝热性及电绝缘性，耐火温度达 1490~1510℃。具有亲油疏

水性、易黏附于皮肤上。

用法及其特点 本品用作塑料、橡胶、涂料、粘合剂、油墨、纸张、化妆品等的填充剂及润滑剂。用于塑料时，可提高制品的硬度、耐火性、耐酸碱性、电绝缘性及尺寸稳定性。因其折射率与聚氯乙烯接近，故可用于半透明制品。用于聚丙烯时，具有成核剂的作用，可使聚丙烯的球晶尺寸微细化；在橡胶工业中，可用作耐热、耐酸、耐碱及绝缘橡胶制品的填充剂及隔离剂；在粘合剂及涂料中用作体质填充剂、防粘剂，并有一定增强性；在造纸中用作填料以增加纸张光滑性；在日化工业中用作化妆品的配合料，用于香粉、爽身粉、牙粉等；在制药上用作片剂、胶囊剂的润滑剂、抗粘连剂，还用作化肥、农药的载体等。

13. 硅灰石粉

性质 由硅灰石矿（一种三斜晶系结晶的钙质偏硅酸盐矿物）粉碎所得的细粉。纯硅灰石粉呈白色，不纯的为浅灰色或褐色。化学组成为：SiO₂ 51.75%（质量分数）、CaO 48.25%（质量分数），还含有少量 Fe₂O₃、Al₂O₃、K₂O、Na₂O 及 MnO₂ 等。相对密度 2.75~3.10，熔点 1540℃。粒径：普通粉 38~100μm，细粉 10~38μm，超细粉 1~10μm。莫氏硬度 4.5~5.5。硅灰石晶体通常呈针状、柱状，其长度与直径之比最高可达 15:1，温度对硅灰石热膨胀的影响呈线性变化。不溶于水，溶于浓盐酸，吸湿性小于 4%。具有化学惰性，耐酸碱，绝缘性好，电导率低。每 100g 硅灰石粉的吸油量为 20~26mL。无毒。

用法及其特点 本品用作塑料、橡胶、涂料、粘合剂等填充剂。利用其低粘度、高分散性、低吸湿性及晶体长径比较大的特点，可作为短纤维填充剂以补强各种塑料复合材料，还可用作聚丙烯、聚酰胺、不饱和聚酯等模塑料中玻璃纤维的廉价代用品，酚醛树脂成型料中的石棉代用品。在橡胶中可替代钛白粉用作增强剂；在涂料中可替代立德粉或部分钛白粉用作填充剂，用于底漆、油性漆、路标漆、耐火涂料等；在沥青涂料中可取代石棉，也可替代钛白粉用于乳胶漆。本品还可用于制造陶瓷、耐火砖、热绝缘材料、硅溶胶及白炭黑等。

回收废聚氯乙烯料制低发泡硬制品配方见表 3-20。

表 3-20 回收废聚氯乙烯料制低发泡硬制品配方（质量份）

回收聚氯乙烯粉碎料	70~90	硅灰石粉	2~3
聚氯乙烯树脂	10~30	滑石粉	2~5
丙烯酸酯类共聚物	2~8	硬脂酸	0.5~2
三碱式硫酸铅	0.5~2	颜料	适量
偶氮二甲酰胺	0.6~1.0		

14. 云母粉

性质 云母是云母族矿物的总称，是钾、铝、镁、铁、锂等的铝硅酸盐。单斜晶系，晶体呈假六方柱状、板状或片状，集合体常呈鳞片状。莫氏硬度 2~4。玻璃光泽，解理面珍珠光泽。解理平行，底面极完全，薄片具弹性。颜色随成分而异，主要包括白云母、黑云母、金云母及锂云母等，其中白云母及金云母具有优良的耐热性、电绝缘性

及耐酸碱腐蚀性，并能阻止紫外线及水分穿透。

白云母 $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ 呈白色、淡黄色、粉红色或浅棕色。相对密度 2.76 ~ 3.10。莫氏硬度 2.0 ~ 2.5。

金云母 $\text{KMg}_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ 又称镁云母，呈黄色至淡棕色。相对密度 2.86，莫氏硬度 2.5 ~ 3.0。

云母粉是天然云母碎片经粉碎加工而得，粒径一般为 $8 \sim 80\mu\text{m}$ ，是典型的片状结构，长径比通常为 30 左右，含水量为 1% ~ 4%（质量分数），具有优良的隔热、绝缘、阻燃、防水、防腐等性能。白云母粉在 $500 \sim 530^\circ\text{C}$ 下稳定，金云母粉在 1000°C 时也稳定。

用法及其特点 本品用作塑料填充剂，可用于聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、尼龙、聚酯、环氧树脂、酚醛树脂等，加入量为 10% ~ 40%（质量分数）。本品常用于电工塑料制品填充，可提高电性能、耐热性、抗冲击性、耐湿性、耐磨性及降低成型收缩率，也用于制造云母箔、云母带等电绝缘材料及建筑涂料。在日化行业中用作白色颜料、珠光剂、赋形剂等，也用于香粉及眼眉部化妆品。

15. 重晶石粉

性质 由天然重晶石粉碎制得的白色或灰白色粉末。重晶石是富含钡的硫酸盐矿物，斜方晶系，纯度高的无色透明，常见的呈白色、灰白色、灰色、淡红、棕褐等色，玻璃光泽。相对密度 4.3 ~ 4.7，熔点 1580°C ，莫氏硬度 3 ~ 3.5。重晶石粉的粒径为 $2 \sim 5\mu\text{m}$ ，吸油量 7% ~ 15%（质量分数），化学性质稳定，不溶于水、酸、碱及一般有机溶剂，有阻止 X 射线穿透能力，无毒。

用法及其特点 本品广泛用作橡胶、塑料、颜料、纸张、油漆、陶瓷、粘合剂及人造象牙等的填充剂，可提高制品的耐酸性、耐药品性、硬度，减少对塑料、橡胶等制品的 X 光透光度，也可用作白色颜料、石油钻井泥浆加重剂，以及用于制造金属钡、钡盐、立德粉、烟火、杀虫剂等。

16. 方解石粉

性质 纯净的方解石为白色，常因混有各种杂质而呈灰、黄、浅红、绿等颜色，玻璃光泽，相对密度 2.6 ~ 2.8，水悬浮液 pH 值 8.5，细度 1250 ~ 5000 目。不溶于水，遇冷稀盐酸即剧烈发生气泡，放出二氧化碳，生成氧化钙。

用法及其特点 本品用作塑料、粘合剂、密封胶、造纸等的填充剂，也是烧制石灰及制造水泥的原料，冶金工业中用作熔剂。纯净的方解石晶体称冰洲石，是光学上制造偏光棱镜的重要原料。

废聚氯乙烯软制品生产钙塑地板配方见表 3-21。

表 3-21 废聚氯乙烯软制品生产钙塑地板配方（质量份）

废软聚氯乙烯回收料	100	氧化铁红	0.3 ~ 1
二碱式亚磷酸铅	1 ~ 2	轻质碳酸钙	180 ~ 220
二碱式硫酸铅	1 ~ 2	方解石粉	30 ~ 60
硬脂酸	2 ~ 3		

17. 高岭土

性质 一种以高岭石为主要成分的粘土，因含各种杂质，颜色各异，以白色、灰色、黄色为主，粒子呈六角形片状结晶，有滑腻感及珍珠光泽。相对密度 2.5 ~ 2.6，熔点 1785℃，折射率 1.56，pH 值 5 ~ 8，白度 ≥ 75，吸油量 30% ~ 50%（质量分数）。常温下稍溶于盐酸、乙酸，易分散于水或其他液体中，遇氟硅酸钾则分解。本品具有优良的电绝缘性、阻燃性，耐稀酸及稀碱。

用法及其特点 本品用作橡胶、塑料、纸张、涂料、密封胶、陶瓷等的填充剂，可用于填充聚氯乙烯、聚乙烯及聚丙烯电缆，如在聚氯乙烯中加入 10%（质量分数）高岭土，电绝缘性可提高 5 ~ 10 倍。掺入聚苯乙烯基的薄膜复合材料中，可用于制造印刷纸张。本品还可用作环氧及聚氨酯粘合剂的流动控制剂和聚丙烯的结晶成核剂，以及用于制造刀具、坩埚、耐酸器皿等。高岭土的成型加工性优于碳酸钙，填充量达到树脂的三倍时仍可以成型，对其表面进行亲油性处理，有利于提高填充量。

电线插头配方见表 3-22。

表 3-22 电线插头配方（质量份）

氯乙烯-乙酸乙烯酯共聚树脂	100	二碱式亚磷酸铅	2
聚酯增塑剂	15	硬脂酸铅	1
邻苯二甲酸二辛酯	50	碳酸钙	20
三碱式硫酸铅	7	高岭土(煅烧)	10

(二) 金属填料

1. 铝粉

性质 银白或银灰色微细粉末。相对密度 2.70，熔点 660℃，沸点 2467℃，在潮湿空气中极缓慢地氧化成暗色。不溶于水，易溶于稀硫酸、硝酸、盐酸及碱溶液，在空气中加热能燃烧并发出白色火焰，有爆炸性。

用法及其特点 本品用作塑料、橡胶、油漆、密封胶等的填充剂。加入环氧树脂、酚醛树脂、聚酰胺、聚酯等中，可获得导热、导电性良好的塑料制品，并提高耐磨性。用于油漆时，可配制面漆、底漆等。本品也用作催化剂、还原剂、混凝土发气剂、铸钢脱氧剂，以及制造烟花爆竹、炸药等。

船底铝粉打底漆配方见表 3-23。

表 3-23 船底铝粉打底漆（质量份）

酚醛树脂液(40%)	18 ~ 22	云母粉	2 ~ 4
沥青液(70%)	40 ~ 45	氧化锌	12 ~ 14
铝粉	10 ~ 15	苯	8 ~ 12

2. 锌粉

性质 由青白色金属锌精制加工的深灰色金属细粉。粒径小于 45μm，相对密度 7.14，熔点 420℃，沸点 907℃。不溶于水，溶于无机酸、碱及乙酸。有还原性，与酸

碱作用放出氢气。在干燥空气中稳定，在 200℃ 时，能与氧、硫、卤素等剧烈反应，甚至能发生爆炸，燃烧时产生蓝绿色火焰。

用法及其特点 本品用作塑料填充剂，可提高制品耐磨性及承载能力；用作环氧粘合剂，可提高粘接强度，加快固化速度。本品可用于制造锌粉防锈漆，因锌的离子化而产生的阴极保护作用可使锌在钢铁表面形成保护层，也可用于制药、印染及冶金等行业。

3. 铜金粉

性质 金黄略带红色或青色的鳞片状粉末。主要成分是铜，还含有少量锌、铝、锡等金属。具有较高的金色光泽，色泽因含锌量不同而略有差别，铜：锌为 85：15 时呈浅金色，70：30 时为绿金色。与铝粉相比，质地较重，遮盖力较弱，但色泽鲜艳。粉末细度一般采用 325 目。由于粒度细，在空气中易被氧化而泛色变黑，故在使用时应在其表面涂覆一层透明保护层，以隔绝空气、水分及其他气体的侵蚀，使颜色保持经久不变。对湿热及阳光长期直射较为敏感。

用法及其特点 本品主要用于生产金漆，常用于装饰漆及油墨工业。用作塑料填充剂，可制得导热、导电良好的塑料制品；用作环氧粘合剂填料，用于粘接铜制品。本品还可用于揩金、烫金材料，塑料制品着色，丝网印花及彩色贴花纸等。

4. 银粉

性质 灰白色粉末。相对密度 10.5，熔点 960.5℃，沸点 2212℃。具有良好的导热、导电性能。化学性质稳定，不与大气中的氧和水反应，但遇臭氧、硫化氢及硫时会变黑。易溶于盐酸、稀硝酸及热的浓硫酸，在空气或有氧存在时，也溶于碱金属的氢氧化物及氰化物。银粉平均粒径 0.5 ~ 1.5 μm，比表面积 > 0.5 m²/g，表观松堆密度 0.4 ~ 2.0 g/cm³。

用法及其特点 本品用作塑料填充剂，可获得导电及导热性良好的塑料制品，也可用作导电粘合剂的填充剂，还可用于制造银盐、合金、感光材料及催化剂等。

(三) 其他填料

1. 粉煤灰

性质 一种由热电厂排放出的废渣。主要化学成分为 SiO₂ 及 Al₂O₃。具体化学成分为 $w(\text{SiO}_2) = 61.17\%$ 、 $w(\text{Al}_2\text{O}_3) = 21.45\%$ 、 $w(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 6.55\%$ 、 $w(\text{CaO}) = 3.77\%$ 、 $w(\text{MgO}) = 1.75\%$ 、 $w(\text{Na}_2\text{O}) = 0.47\%$ 、 $w(\text{K}_2\text{O}) = 2.48\%$ 。由于原料煤的化学成分不尽相同，因此各地粉煤灰的化学成分也差别很大，其硅铝比值达到 6 或低到 1。平均粒径 80 μm，相对密度 2 ~ 2.4，熔点 1250 ~ 1450℃，比表面积 0.8 ~ 1.5 m²/g。

用法及其特点 本品用作塑料填充剂。粉煤灰中含有圆而滑的微珠，易于在树脂中均匀分散，填充量一般为 40%（质量分数）以下。从烟道口直接收集的可免除烘干、除水工序，一般粉煤灰填充前应经过预处理。填充于聚氯乙烯时，拉伸强度与填充碳酸钙相似，开始下降，填充量至 30%（质量分数）左右时，强度下降趋于平缓，断裂伸长率在填充量低于 10%（质量分数）时不下降，达 30%（质量分数）时下降平缓。

2. 硼泥

性质 一种由硼砂厂生产过程中排放的废渣，外观为浅土红色，久置后变为土灰色。主要成分为 MgO、SiO₂、Fe₂O₃、Al₂O₃、CaO 及 B₂O₃ 等。新排放的硼泥含水量约为 12%（质量分数），经自然晾晒后可降至 3%（质量分数）左右。相对密度 2.3，pH 值 8~9，粒径约 15μm，手感细滑且粒径均匀，表面呈多孔的假山石状结构。

用法及其特点 本品用作塑料填充剂，主要用于聚氯乙烯，可不经处理直接混入树脂中，一般填充量为 50%（质量分数）。填充硼泥的聚氯乙烯外观呈浅棕色，具有良好的力学性能、电性能及阻燃性，其耐热及耐老化性优于赤泥填充的聚氯乙烯制品，且表面光滑，加工流动性好。

3. 赤泥

性质 是用铝土矿碱法生产氧化铝时所排放出的废渣，每生产 1t 氧化铝，可产生 1~2t 红泥。我国各大铝厂都有丰富的赤泥废料弃之不用，是一种价廉易得的填充剂。根据原料及工艺条件不同，赤泥的名称也不相同，有拜耳法赤泥、烧结法赤泥、联合法赤泥等。主要成分为 CaO、SiO₂、Fe₂O₃、Al₂O₃ 及 TiO₂ 等。生产方法不同，其各组分含量也不同。拜耳法赤泥粒度最细且质软，其次是烧结法赤泥，联合法赤泥较差。赤泥的熔点为 1200~1250℃，相对密度 2.7~2.9，pH 值 10~12，呈碱性，一般粒径约为 20μm，部分接近胶体微粒尺寸，呈多孔性，易吸水。

用法及其特点 本品用作塑料填充剂，可大幅度降低制品成本，主要用于聚氯乙烯、聚乙烯及聚丙烯等制品，还可兼作廉价的热稳定剂及光屏蔽剂，提高耐光、耐老化性能。赤泥聚氯乙烯复合材料的热稳定性比普通聚氯乙烯好，使用年限可延长 2~3 倍。赤泥易吸水，使用前需经干燥处理，所用偶联剂以硅烷效果最好。

挤出法地板砖配方见表 3-24。

表 3-24 挤出法地板砖（质量份）

聚氯乙烯树脂	100	硬脂酸铅	2~3
邻苯二甲酸二辛酯	20~30	轻质碳酸钙	10~20
邻苯二甲酸辛癸酯	10~15	赤泥	80~100
硬脂酸	0.5~1	粉煤灰	30~70
硬脂酸锌	1~2		

4. 中空微球

性质 一种由无机或有机材料制成的外径为数微米至数百微米的流动性粉状物，微观上看是一种单孔或结构十分复杂的多孔体，壁厚为 1~4μm。随制造原料不同，具有不同的颜色，如白色、灰色、浅绿色、黑色等。根据壳的材质可分为无机质微球及有机质微球两大类。无机质微球的材料有氧化铝、二氧化硅、陶瓷料、玻璃、硼酸盐、氯化镁等；有机质微球的材料有纤维素衍生物、天然胶孔、聚氯乙烯及酚醛树脂等合成树脂。无机质微球具有相对密度低、流动性好、熔点高、化学惰性、介电性能好、无毒、不燃等特点；有机质微球具有更低的相对密度、抗冲击性能好，化学性质随所用原材料

而有所不同。

用法及其特点 本品用作塑料的填充剂及改性剂，具有质量轻、绝热、隔声、难燃、耐候、防霉等多种功能。因球体壳薄，不耐剪切，主要用于环氧树脂、不饱和聚酯等热固性塑料。

轻质人造大理石配方见表 3-25。

表 3-25 轻质人造大理石（质量份）

不饱和聚酯树脂	100	膨胀珍珠岩粉	60
过氧化环己酮糊	5	增强剂	适量
环烷酸钴	3	颜料	适量
中空微珠	100		

5. 玻璃微珠

性质 一种直径几至几十微米的实心或空心玻璃小球，有无色及有色制品。其形状光滑平整，具有等向性，有较高冲击强度及光洁度，对光有定向反射性，并具有耐腐蚀、耐化学药品、耐老化、抗渗透等特性。

用法及其特点 本品用作塑料填充剂，分散性好、膨胀系数小。适用于聚苯乙烯、聚乙烯、聚丙烯及聚氯乙烯等塑料。由于其表面光滑、呈球形，所以制品的流动性好、残余内应力分布均匀，常作为标准型填料。因玻璃微珠加工剪切易破碎，大多用于尼龙、环氧树脂等热固性树脂。本品也用作粘合剂的耐腐蚀、阻燃性填充剂，以及用于交通安全标志、金属工件研磨介质、日用装饰及反射屏幕等。

6. 木粉

性质 木材加工厂产生的废料，或由松树、杨树等软质木材除去树皮、树节后经机械粉碎研磨而得的有机类填料。本品呈淡白色至淡褐色，相对密度 1.0 ~ 1.35，粒度为 50 ~ 100 目，呈针状或纤维状，含水量大，填充前需要进行干燥。

用法及其特点 本品用作酚醛树脂、脲醛树脂、密胺树脂及聚氯乙烯等塑料的增量性填充剂，尤其适用于酚醛树脂的填充，具有良好的综合性能及电性能，可用于机器零件、开关、灯头、手柄及纽扣等。木粉填充塑料制品的电性能及耐冲击性好，但耐水性、耐热性较差。本品也用作密封材料填充剂。

废塑料填充再生配方见表 3-26。

表 3-26 废塑料填充再生（质量份）

废聚乙烯塑料	40	石棉粉	3 ~ 8
木粉(经活化处理)	35 ~ 40	重质碳酸钙	4 ~ 8
滑石粉	8 ~ 10		

7. 果壳粉

性质 由核桃壳、椰子壳、花生壳等果壳经机械粉碎而得的粉末。这类粉体的木质

素含量较高，并含有少量角质物。木质素是植物纤维中的一种高分子化合物，在植物中具有增强细胞壁、粘合纤维的作用，并具有很强的活性。本品用于塑料填充具有加工性能好、制品表面质量也较好的特点。

用法及其特点 本品可用作热塑性或热固性塑料的增量填充剂。因含纤维素成分少，耐冲击性不如木粉，着色性也较大，但耐磨性比木粉填充制品要好。

钙塑门窗配方见表 3-27。

表 3-27 钙塑门窗（质量份）

聚氯乙烯树脂(XS-3)	100	硬脂酸钡	0.5 ~ 2
邻苯二甲酸二丁酯	8 ~ 12	石蜡	0.5 ~ 2
三碱式硫酸铅	2 ~ 4	果壳粉	15 ~ 20
二碱式亚磷酸铅	1 ~ 3	木粉	20 ~ 25
硬脂酸铅	1 ~ 3		

8. 补强炭黑

性质 炭黑是液体或气体烃在空气中不完全燃烧或热分解所生成的产物，是具有“准石墨晶体”结构和胶体粒径范围的黑色粉状物质。主要成分是碳（质量分数为 90% ~ 99%），还含有少量氧（质量分数为 0.1% ~ 10%）、氢（质量分数为 0.2% ~ 1.0%）、硫及其他杂质。

用法及其特点 炭黑是橡胶工业中用量最大的填充剂及补强剂，它能提高硫化胶的耐磨性、撕裂强度及拉伸强度，纯橡胶轮胎磨耗寿命不足 5000km，当加入质量分数为 50% 左右适宜品种的炭黑后，其磨耗寿命提高 10 倍以上。炭黑对于橡胶的补强性是由于炭黑粒子表面和橡胶分子链之间存在着吸附及相互作用的结果，而补强性好坏又与炭黑粒子的粒径、比表面积及表面活性等因素有关。粒子越细，补强性能越好，而比表面积只有在大于 50m²/g 时才能有较好的补强性。炭黑在塑料中的补强作用不显著，在塑料中主要用作着色剂、防紫外线剂及抗静电剂。炭黑是油墨及涂料不可缺少的黑色颜料。此外，炭黑还广泛用于制造干电池、炭素制品、高温润滑脂、墨汁、电阻材料、磁记录材料及催化剂载体等。

第三节 增 强 剂

一、简介

增强剂又称增强材料，是指加入到塑料、密封材料、粘合剂等复合材料中能大幅度改善其物理、力学性能的一类物质，也是复合材料生产中的一种重要化学助剂。例如，塑料作为一种新型高分子材料，具有成型容易、耐腐蚀等特点，但其强度及耐热性不如金属材料。塑料的增强即是在合成树脂中加入纤维状或其他形状材料（如玻璃纤维、

云母等)的增强剂及其他助剂(如偶联剂、抗氧化剂等)后,经成型加工而制得的复合材料,如增强尼龙、玻璃纤维、增强聚丙烯等。增强的塑料可以显著提高拉伸强度、刚性、耐疲劳性、耐蠕变性,降低成型收缩率及提高热变形温度,拉伸强度可以接近钢材的强度甚至超过钢材的强度。目前,增强塑料已广泛用于汽车、机械及宇航等方面。

增强剂品种很多,大致可分为纤维类、晶须、无机纳米材料、复合增强材料、特殊粉状、片状填料及其他。

纤维类增强材料包括无机纤维(如玻璃纤维、石棉纤维、碳纤维、石英纤维及陶瓷纤维等)、有机纤维(如聚乙烯纤维、聚酯纤维、聚酰胺纤维、聚丙烯腈纤维等)及金属纤维(如硼纤维、钛纤维、铝纤维等)。

晶须为针状或毛发状结晶物质,外观像短纤维的直径极小的丝,直径约为 $0.05 \sim 10\mu\text{m}$,100根晶须才相当于一根玻璃纤维,是一种近乎完全结晶、且是不含晶格缺陷的结晶,强度极高,接近原子间的力。它综合了玻璃纤维和硼纤维的优点,既有玻璃纤维的伸长率,又有硼纤维的弹性模量,是一种极高强度的增强材料,用于制造轻质高强度增强塑料。晶须的主要品种有氧化铝晶须、碳化硅晶须、氮化硅晶须、硼酸铝晶须等。

无机纳米材料(如纳米二氧化硅、纳米碳酸钙、纳米二氧化钛、纳米氧化锌、纳米氧化铝等)是无定形微细粉末,具有极大的比表面积及极高的原子不饱和性。由于分散性的纳米尺寸效应和强界面结合,纳米材料对塑料或聚合物的复合效果,具有既增强又增韧的作用,即具有无机填料和橡胶粒子双重作用的效果。纳米材料具有很强的吸收紫外光作用,可改善塑料的抗老化性。用作纳米复合塑料的基体,主要有热塑性聚合物,如聚乙烯、聚丙烯、聚丙烯腈、聚醚、聚氯乙烯及尼龙等。

不同品种增强材料复合使用,具有增强效果。复合增强材料一般选用性能相差较大的增强材料混合使用,可起到优势互补的作用。常用复合增强材料有:玻璃纤维/碳纤维、玻璃纤维/金属纤维、热塑性合成纤维/金属纤维、金属纤维/碳纤维、玻璃纤维/片状云母、玻璃纤维/超细碳酸钙、合成纤维/云母等。

云母、滑石粉、玻璃鳞片、氧化铝薄片、钢片、硅灰石纤维、二硼化铝结晶等均可用作增强材料,其中最重要的是云母,尤其是高纵横比的云母。云母增强塑料可提高强度、介电性能、尺寸稳定性、抗湿性能、降低线胀系数等。

其他如极性橡胶(丙烯酸酯橡胶、氯化橡胶)、热塑性树脂(如聚碳酸酯)及一些合成乳液(如环氧树脂乳液、聚氨酯乳液)等可用作溶剂型或水基型粘合剂的增强剂。

增强剂加入聚合物材料中,能通过分子间力或化学键力与聚合物材料相结合,将其自身的特殊性能与聚合物材料基本性能融为一体。但不同类型的增强剂的作用机理也有所不同。例如,玻璃纤维经偶联剂处理后,表面存在的活性基团能与聚合物材料反应形成化学键,使内聚强度和粘接强度增大;同时,玻璃纤维也起着骨架作用,使体系强度增强。又如,一些粉体增强粒子的活性表面与若干聚合物大分子链相结合时,形成交联结构,当其中的一条分子链受到应力作用时,可通过交联点将应力分散到其他分子上,如果其中一条链断裂,其他链可起到同样加固作用,使材料不被破坏。

二、通用玻璃纤维及其织物

(一) 玻璃纤维的主要品种与分类（见表 3-28）

表 3-28 玻璃纤维品种与分类

类 别	分 类
按纤维的形态和长度分	连续纤维(又称纺织纤维)—由许多根单丝集成的一类纺织材料 定长纤维—一种直径细、长度短的纺织材料,长度一般为 300 ~ 500mm 玻璃棉—长度一般在 150mm 以下,纤维较短,像棉絮 玻璃棒—直径为 35 ~ 500 μm 的棒状材料 空心纤维—纤维呈中空状 卷曲纤维—纤维呈卷曲状
按纤维直径分	初级纤维(又称粗纤维)—单纤维直径 20 ~ 30 μm 中级纤维—单纤维直径 10 ~ 20 μm 高级纤维(又称纺织纤维)—单纤维直径 4 ~ 10 μm 超级纤维(又称超细纤维)—单纤维直径小于 4 μm
按碱金属氧化物含量 ^① 分	无碱纤维(E 玻璃纤维)—碱金属氧化物含量很少,且具有良好电绝缘性的玻璃纤维(其碱金属氧化物含量一般小于 1%) 低碱纤维—碱金属氧化物含量为 2% ~ 6% 的玻璃纤维 中碱纤维(C 玻璃纤维)—我国生产的一种玻璃纤维,其碱金属氧化物含量在 12% 左右 高碱纤维(A 玻璃纤维)—碱金属氧化物含量大于 15% 的玻璃纤维,即普通玻璃纤维
按纤维性能分	高强纤维(S 玻璃纤维)—用硅-铝-镁系统的玻璃拉制的玻璃纤维,其新生态强度比无碱玻璃纤维高 25% 以上 高模量纤维(M 玻璃纤维)—用高模量玻璃拉制成的玻璃纤维,其弹性模量一般比无碱玻璃纤维高 25% 以上 低介电纤维(D 玻璃纤维)—用低介电玻璃拉制而成的玻璃纤维,其介电常数及介电损耗角正切都小于无碱玻璃纤维 耐碱纤维(AR 玻璃纤维)—用于增强硅酸盐水泥的玻璃纤维,能耐水泥水化时析出的水化物的长期侵蚀 高硅氧纤维(耐高温纤维)—用钠硼硅酸盐玻璃拉丝后,经酸处理烧结而成的玻璃纤维,其二氧化硅含量在 95% 以上 半导体纤维—含氧化银或氧化铜的玻璃拉制成的纤维,经处理后,其表面电阻率达半导体范围

① 所谓碱金属氧化物含量是指玻璃组成中含碱金属钾和钠的氧化物含量。

(二) 玻璃纤维的成分与性能

1. 玻璃纤维的化学成分

玻璃纤维的主要化学成分是二氧化硅和三氧化二硼。它们对玻璃纤维的性质和工艺

特点起决定性作用。以二氧化硅为主的称为硅酸盐玻璃，以三氧化二硼为主的称为硼酸盐玻璃。氧化钠、氧化钾等碱性氧化物能降低玻璃的熔化温度和粘度，使玻璃熔液中的气泡容易消除。它们又被称作助熔氧化物。氧化钙、三氧化二铝等成分可改善玻璃的某些性质和工艺性。常用玻璃纤维的成分见表 3-29。

表 3-29 玻璃纤维的化学组成（质量分数）（%）

序号	名 称	代号	SiO ₂	Al ₂ O ₃ 、 Fe ₂ O ₃	B ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	CaF ₂	BaO	Li ₂ O	BeO	ZrO ₂	CeO	TiO
1	无碱玻璃纤维 ^①	E	53.5	15.3	10.0	16.3	4.5	<0.5		2.0						
2	无碱玻璃纤维 ^②	E	54.3	15.2	8.0	17.3	4.7	0.6		0.1						
3	中碱玻璃纤维 ^③	5 [#]	67.3	7.0		9.5	4.2	12.0								
4	中碱玻璃纤维 ^④	C	64.5	4.1	4.7	13.4	3.3	7.9	1.7		0.9					
5	高碱玻璃纤维 ^⑤	A	72.0	0.6		10.0	2.5	14.2								
6	高强度玻璃纤维 ^⑥	S	64.3	24.8		<0.01	10.27	0.27								
7	高弹性模量玻璃纤维 ^⑦	M	53.7	0.5		12.9	9.0					3.0	8.0	2.0	3.0	8.0
8	高硅氧纤维 ^⑧	R	98.59	1.07		0.24										

- ① 我国无碱玻璃纤维成分。
 ② 美国通用无碱玻璃纤维成分。
 ③ 我国通用中碱玻璃纤维成分。
 ④ 国外通用中碱玻璃纤维成分。
 ⑤ 国外高碱玻璃纤维成分。
 ⑥ 美国高强度玻璃纤维（S-994）成分。
 ⑦ 美国高弹性模量玻璃纤维（YM-31-A）成分。
 ⑧ 铝镁硅酸盐成分的纤维用酸萃取后制成的高硅氧纤维成分。

2. 玻璃纤维的基本性能

玻璃纤维的直径一般为 0.5 ~ 30 μm。玻璃纤维具有不燃烧、耐腐蚀、拉伸强度高、光学性能好、绝缘、价廉及原材料易得等优点。

（1）拉伸强度高 国产玻璃纤维的新生态（新生态玻璃纤维指纤维拉出来后未受任何表面损伤和水汽侵蚀）单丝强度为：无碱玻璃纤维 3.12 GPa，中碱 5[#] 玻璃纤维 2.68 GPa，高强 2[#] 玻璃纤维 4 GPa。玻璃纤维的强度随所受各种因素的影响而变化，如单丝直径越细，拉伸强度越高。

（2）伸长率小 玻璃纤维的伸长率一般为 3% ~ 4%，比其他天然和合成纤维小得多。

（3）耐热性好 玻璃纤维有很好的耐热性。随着 SiO₂、ZrO₂、Al₂O₃、Cr₂O₃ 等高熔

点组分含量增加,纤维耐热性相应提高,如 SiO_2 为 96% (质量分数) 的高硅氧纤维,使用温度为 1000°C 。

(4) 电性能 无碱玻璃纤维绝缘电阻高、介电性能好、吸湿性小、耐高温,在机电工业中作为电绝缘材料,效果显著。

(5) 化学稳定性 玻璃纤维在水和各种侵蚀介质作用下具有良好的稳定性,但不同的玻璃纤维成分对不同的介质的抵抗力是不一样的。无碱玻璃纤维的耐水性最好,但耐酸性很差;E 玻璃纤维的耐弱碱性尚好;中碱玻璃纤维的耐水性较好,耐酸性比无碱纤维好;高碱纤维的耐酸性较好,但耐水性能差。

(6) 吸湿性 玻璃纤维的吸水性是天然和合成纤维的 $1/20 \sim 1/10$ 。吸水作用与玻璃成分有关,无碱纤维吸水量最小,高碱纤维吸水量最大。

(7) 脆性 玻璃纤维的脆性比其他纤维都高,不耐磨,容易折断。但当纤维直径小到 $3.8\mu\text{m}$ 以下时,纤维及其制品有很好的柔软性。

(三) 玻璃纤维及其织物的品种和应用形式

(1) 短切纤维 未经任何形式结合的短切连续纤维原丝段。商品短切纤维长度一般为 $6 \sim 50\text{mm}$ 。

(2) 无捻粗纱 平行原丝(多股原丝无捻粗纱)或平行单丝(直接无捻粗纱)不加捻而合并的集束体,并股数目有 6 股、12 股及 60 股等,它具有树脂浸渍又快又透的特点。

(3) 玻璃带 与玻璃布的结构相似,宽度为 $6 \sim 20\text{mm}$ 。

(4) 短切纤维毡 连续纤维原丝短切后,随机无定向分布,用粘结剂粘合而制成的毡片。此种毡片铺复性好,无定向性,价格便宜,用途较广。

(5) 玻璃丝绒球 由长度为 3.2mm 的短切纤维无捻粗纱与聚酯混合制成玻璃纤维绒球,其增强作用较小。

(6) 玻璃布 根据织法可分为一般织法和特殊织法两大类。按一般织法的有平纹布、斜纹布、缎纹布、单向布、无捻布及无纺布等。按特殊织法的有高模量布等。

平纹布:它的径向与纬向强度相近,强度较缎纹或斜纹布低。

斜纹布:它具有较高的强度和良好的铺覆性。

缎纹布:其玻璃纤维卷曲小,强度较大,有良好的铺覆性与斜纹布相似。

单向布:该布经纱方向强度较高,对用于定向强度要求高的制品有利,其厚度在 2mm 以上。

无纺布:用树脂粘结而成的片状材料。这种布在拉丝过程中直接成型,易于保持纤维的新生态,因此具有强度高,刚性好,工艺简单等优点。

无捻布:该布的特点是易浸渍,渗透性好,覆盖性好,冲击强度和刚性比玻璃毡好。无捻布也有平纹、斜纹和缎纹等几种织法。

高模量布:由粗细两组经纬纱组成,粗纱占玻璃布组成的 90% 左右。由于承担荷载的粗纱不互相穿插发生卷曲,所以,此布的强度特别大。

(四) 玻璃纤维及其织物的用途 (见表 3-30)

表 3-30 玻璃纤维及其织物的用途

品 种	用 途
短切纤维	适用于热固性与热塑性塑料的增强,常用于制备结构塑料制品
切碎纤维	将连续纤维原丝切成 0.4 ~ 6mm 长的纤维称为切碎纤维,其特点是在浇注成型时极易分散
无碱纱	适用于制作电绝缘材料和其他玻璃钢制品
无碱无捻纱	主要用作电绝缘用玻璃钢和工程塑料等的增强材料,尤其适用于制造缠绕制品,如压力容器、储罐、管道、火箭壳体等
中碱无捻纱	主要用作酸性介质用玻璃钢和工程塑料等的增强材料
无碱布	用作电绝缘用云母制品、漆布和玻璃钢等的增强材料
无碱无捻布	主要用作电绝缘用玻璃钢和工程塑料的增强材料
中碱布	适用于作乳胶、橡胶、塑料及沥青等涂覆制品的基布,液体、气体粉尘的过滤布,防腐保温、隔热等的包扎材料
无捻布	用作玻璃钢的增强材料,适用于船舶、大型容器等
无碱带	适于制作包扎管道和管接头,或缠绕高压管和容器
无碱套管	用作电机、电器及仪表的绝缘材料
玻璃毡	分为短切纤维毡和连续纤维毡两种,适用于手糊成型,也可用于模压及各种连续预浸工艺
三向织物	是一种由玻璃纤维织成的立体结构的、可使织物的层间区域也得到增强、产生力学上各向同性的增强塑料,适用于齿轮、轴承等受力零件

三、特种玻璃纤维

(一) 高强玻璃纤维 (S 玻璃纤维)

高强度玻璃纤维的单丝强度一般比无碱玻璃纤维高 25% 以上。

国产高强纤维采用铝镁硅酸盐玻璃原料,其单丝强度为 3.0 ~ 3.4GPa,纱线拉伸弹性模量 83 ~ 85GPa,相对密度 2.54。高强纤维采用增强型浸润剂,不需后处理,可直接使用。

高强玻璃纤维纱的技术指标见表 3-31,高强玻璃纤维布的技术指标见表 3-32。国产高强 1[#]、2[#]玻璃纤维与其他玻璃纤维性能比较见表 3-33。

表 3-31 高强玻璃纤维纱的技术指标

代 号	单丝公称直径 /μm	股数	线密度 /tex	线密度的变异系数(%) ≤	断裂强力/N ≥	捻向	捻度
SC 8-12 × 1 × 2S55	8	2 ± 0	24 ± 1.8	7	14.0	S	55 ± 5
SC 8-12 × 20	8	20 ± 1	240 ± 18	5	120		无捻
SC 8-12 × 40	8	40 ± 1	480 ± 36	5	200		无捻

注:代号中各要素的意义,例如 SC 8-12 × 1 × 2S55 中 S—高强纤维;C—连续纤维;8—公称直径:12 × 1—线密度;2—股数;S—捻向;55—捻度。

表 3-32 高强玻璃纤维布技术指标

制品代号	厚度 /mm	原纱号数× 股数		单纤维公称 直径/μm		纤维排列 密度 /(根/cm)		玻璃布 质量/ (g/m ²)	公称捻度/ (捻/m)		密度 /cm	组织结构
		经纱	纬纱	经纱	纬纱	经纱	纬纱		经纱	纬纱		
SW-220-90	0.220 ± 0.022	12×2	12×2	8	8	18±1	14±1	230±20	55	55	90±1.5	二上二下 斜纹
SW-220A-90	0.220 ± 0.022	12×2	12×2	8	8	18±1	14±1	230±20	55	55	90±1.5	五枚二飞 缎纹

注：制品代号中各要素的意义，S—高强玻璃纤维；W—布；220—布的厚度，以公称厚度（mm）乘 1000 之值表示；A—缎纹布；90—布的宽度（cm）。

表 3-33 高强玻璃纤维与中碱、无碱玻璃纤维的力学性能对比

玻璃纤维品种		高强 1# 纤维	高强 2# 纤维	中碱纤维	无碱纤维
单纤维拉伸强度/GPa		2.6 ~ 3.0	3.0 ~ 3.5	1.6 ~ 2.0	1.8 ~ 2.2
与无碱纤维相比提高(%)		37 ~ 44	58 ~ 66		
强力环拉伸强度 ^① /GPa			1.85		1.31
与无碱纤维相比提高(%)			41.2		
玻璃钢性能 ^②	拉伸强度/MPa		7:1 单向布压制 696	斜纹布压制 310	斜纹布压制 433
	弯曲强度/MPa		692	339	307
	剪切强度/MPa		124.7	96.7	96.4
	冲击强度/(kJ/m ²)		405	381	400

① 表中的强力环是采用 618 环氧树脂，647 酸酐或 70 酸酐作固化剂，处理剂均采用 KH-550。

② 采用 634 环氧树脂压制的玻璃钢。

高强玻璃纤维目前主要用于火箭、常规兵器、飞机零部件、螺旋桨叶片以及高压容器等。

（二）高模量玻璃纤维（M 玻璃纤维）

高模量玻璃纤维，单丝强度为 3.0 ~ 3.8GPa，其弹性模量达 92 ~ 126GPa，与无碱纤维相比其弹性模量提高 26% ~ 30%，单丝强度提高约 30%，拉伸强度和无碱纤维相似。国产高模量玻璃纤维纱和无捻纱及其玻璃布的技术指标见表 3-34 和表 3-35。

国产高模量玻璃纤维的牌号有 X-9-30 及 37-7 两种。其玻璃钢的拉伸强度比无碱纤维可提高 15% ~ 25%，弹性模量可提高 20% ~ 40%，比高强纤维的弹性模量也提高 15% ~ 25%。高模量玻璃纤维的力学性能见表 3-36。

表 3-34 高模量玻璃纤维纱及无捻纱的技术指标

品种	代 号	单纤维直径 / μm	股数	公制支数 (公制号数)	支数不匀率(%) $\leq$	捻度 /(捻/m)	捻向
高模量纱	8-80/2	8	2	$40 \pm 4 (25.0 \pm 2.5)$	7	55 ± 8	S
	8-80/4	8	4	$20 \pm 2 (50.0 \pm 5.0)$	7		S
	8-80/6	8	6	$13.3 \pm 1.3 (75 \pm 7.5)$	7		S
	8-80/8	8	8	$10 \pm 1 (100 \pm 10)$	7		S
高模量无捻纱	8-80/8	8	8	$10.0 \pm 1.0 (100 \pm 10)$	7		
	8-80/10	8	10	$8.0 \pm 0.8 (125 \pm 12)$	7		
	8-80/20	8	20	$4.0 \pm 0.4 (250 \pm 25)$	7		
	8-80/30	8	30	$2.7 \pm 0.3 (375 \pm 38)$	7		
	8-80/40	8	40	$2.0 \pm 0.2 (500 \pm 50)$	7		
	原纱 8-80 支	8	1	$80 \pm 8 (125 \pm 13)$	7		

注：本表所列为高模量 2[#]玻璃纤维纱，浸润剂配方为 FE-5（即偶联剂 KH-550）。

表 3-35 高模量玻璃纤维布的技术指标

牌 号	厚纱支数/股数		纤维排列密度 /(根/cm)		厚度 /mm	密度 /cm	组织	单纤维直径 / μm
	经纱	纬纱	经纱	纬纱				
高模量布-100	80/2	80/2	20	20	0.100 ± 0.010	90 ± 1.5	平纹	8
高模量布-100	80/2	80/2	20	20	0.100 ± 0.010	90 ± 1.5	2/2 斜纹	8
高模量布-150	80/4	80/4	16	12	0.150 ± 0.015	90 ± 1.5	2/2 斜纹	8
高模量布-150	80/4	80/4	16	12	0.150 ± 0.015	90 ± 1.5	平纹	8
高模量布-160	80/4	80/4	16	16	0.160 ± 0.015	90 ± 1.5	斜纹	8
高模量布-200	80/6	80/6	16	12	0.200 ± 0.020	90 ± 1.5	平纹	8
高模量布-200	80/6	80/6	16	12	0.200 ± 0.020	90 ± 1.5	2/2 斜纹	8
高模量布-200	80/6	80/6	16	12	0.200 ± 0.020	90 ± 1.5	3/8 缎纹	8
高模量布-200	80/8	80/2	20	10	0.200 ± 0.020	90 ± 1.5	斜纹	8
高模量布-200	80/8	80/2	20	10	0.200 ± 0.020	90 ± 1.5	破斜纹	8
高模量布-210	80/6	80/6	18	14	0.210 ± 0.020	90 ± 1.5	2/2 斜纹	8
高模量布-260	80/8	80/2	28	10	0.260 ± 0.025	90 ± 1.5	3/8 缎纹	8

注：本表所列为高模量 2[#]玻璃纤维，浸润剂为 FE-5（即偶联剂为 KH-550）。

表 3-36 高模量玻璃纤维的力学性能

纤 维 品 种			高模量 37-7 纤维	高模量 X-9-30 纤维
单纱弹性模量/GPa			93 ~ 97	93 ~ 97
强力环 ^①	拉伸强度/GPa	纯纤维	2.44	2.6
		玻璃钢	1.54	1.61
	拉伸模量/GPa	纯纤维	115.2	121.8
		玻璃钢	73.6	76.4

① 强力环采用 618 环氧树脂，以 70 酸酐做固化剂，偶联剂为 KH-550。

高模量玻璃纤维可应用在要求高模量、高强度的玻璃钢制品中，如飞机的零部件（如副油箱）、火箭发动机壳体、卫星的太阳壳和太阳屏、汽车中的结构件、体育器材中的撑竿、跳水板、电器中的带电作业操作杆等。

（三）耐高温玻璃纤维

石英纤维、高硅氧玻璃纤维、铝硅酸盐玻璃纤维都属耐高温玻璃纤维（详见本节中的氧化铝纤维和陶瓷纤维）。

1. 空心玻璃纤维

空心玻璃纤维采用铝硼硅酸盐玻璃原料，用特制拉丝炉拉制而成。空心玻璃纤维质量轻，电绝缘性能好，热导率低，但较脆。其纤维直径 10 ~ 17 μm 。空心玻璃纤维的性能见表 3-37。

表 3-37 空心玻璃纤维的性能

性 能	指 标	性 能	指 标
平均外径/ μm	10.2	单根空心纤维拉伸强度/GPa	2.5 ~ 2.8
外径离散系数(%)	10.0	空心纤维的体积质量/(g/cm^3)	1.7
纤维毛细系数平均值	0.57	玻璃成分	E 玻璃
纤维偏心率系数平均值	0.24		

2. 玻璃棒

当玻璃棒的直径为 35 ~ 300 μm 时称为弹性玻璃棒，直径达 100 ~ 500 μm 时称为粗玻璃棒。玻璃棒不能单独使用，一般与玻璃纤维和玻璃布配合使用，主要用在玻璃钢船体制造方面。它不仅能增加产品的刚度，而且从成型工艺方面考虑也是很合理的。

3. 玻璃粉和磨细纤维

玻璃粉和磨细纤维是用玻璃、玻璃纤维原丝或废丝粉碎成的微粒状制品，它主要用作增强塑料的填充材料和表面涂漆的增强材料。其种类和用途见表 3-38。

表 3-38 玻璃粉及磨细纤维的种类、用途

制品名称	制品 牌号	制 品 规 格			特 征	用 途
		玻璃种类	粒度(筛号)	含水量(%)		
磨细玻璃纤维	EMF	无碱	22 以下	0.3 以下	一般用	填充材料、表面涂层、 增强、制造浴盆等
	EMFP	无碱 + 有碱	22 以下	0.3 以下		
玻璃粉	EVS	无碱	22 以下	0.3 以下	特殊处理	

这种材料的成本低，容易成型，能节省工时。在表面涂层施工中可用喷枪将玻璃粉和树脂混合喷涂成型。

四、碳纤维与石墨纤维

（一）聚丙烯腈基碳纤维和石墨纤维

1. 结构形态

聚丙烯腈基石墨纤维的横截面是圆形的，纤维直径为 25 ~ 100nm，每一根纤维由许

多约 5nm 的石墨微晶所组成，微晶的基面沿着纤维中心轴作很有规则的排列。

2. 性能

碳纤维是纤维状的碳素材料，所以具有碳素材料的特性，如密度小、导热、导电、自润滑性等。此外碳纤维是纤维材料中比模量最高的纤维，拉伸强度与玻璃纤维相近，弹性模量是玻璃纤维的 4~5 倍。碳纤维与其他纤维的力学性能见表 3-39。

表 3-39 碳纤维与其他纤维的力学性能

纤维种类	直径 / μm	密度 / (g/cm^3)	拉伸强度 /GPa	拉伸弹性模量 /GPa	比强度 / $(\times 10^6 \text{cm})$	比模量 / $(\times 10^8 \text{cm})$
中强碳纤维	7.8~8.1	1.80	2.0	200~230	11.1	1.11~1.27
高强碳纤维	7.4~7.8	1.81	2.7	230~250	14.9	1.27~1.38
高模碳纤维	7.2~7.5	1.87	2.3	340~360	12.3	1.82~1.93
低性能碳纤维	8.4	1.70	0.8	40	4.7	0.235
E-玻璃纤维	3.8~12.7	2.54	3.4	71	13.4	0.280
S-玻璃纤维	9.6	2.49	4.5	84	18.1	0.337
D-玻璃纤维		2.16	2.4	51	11.1	0.236
304—不锈钢纤维	12~25	8.03	2.0	180	2.49	0.224
硼—钨芯纤维	107	2.66	2.4	400	9.02	1.50
碳化硅纤维	10~15	2.70	3.0	160~180	11.1	0.593~0.667

3. 应用

碳纤维主要用作增强塑料的结构材料，如用于战略武器头部材料、军用飞机的尾翼和旋转叶片等，在汽车工业中用于制造弹簧、传动轴、制动摩擦片、车门嵌条等。

碳纤维其他用途是用作宇航方面的烧蚀材料，还可用作电气、绝热、耐磨材料等。

碳纤维可代替损坏了的人体韧带，而且能促使新的韧带形成和成长。

(二) 人造丝基碳纤维和石墨纤维

1. 结构形态

碳纤维含碳量为 90%（质量分数）以上，石墨纤维含碳量接近 100%（质量分数）。人造丝基石墨纤维的横截面形状是无规则或锯齿状的。

2. 性能

人造丝基碳纤维密度小，导热性差，碱金属含量低 [质量分数一般仅为 $(28 \sim 60) \times 10^{-6}$]，这些都有利于其作为烧蚀材料。

人造丝基碳纤维的性能是：密度 $1.3 \sim 1.9 \text{g}/\text{cm}^3$ ，拉伸强度 $0.69 \sim 3.10 \text{GPa}$ ，拉伸弹性模量 $690 \sim 760 \text{GPa}$ 。它的电导率与弹性模量有非常直接的关系，即随着弹性模量的提高，电导率几乎是线性增加的。当弹性模量为 70GPa 时，电导率为 $400 \text{S}/\text{cm}$ ；弹性模量为 760GPa 时，电导率约为 $1900 \text{S}/\text{cm}$ 。其他性能与聚丙烯腈基纤维相似。

3. 应用

碳纤维主要用作增强塑料的结构材料，还可用作烧蚀材料，部分用于电气、耐磨和

隔热等方面。

（三）沥青基碳纤维和石墨纤维

1. 结构形态

沥青基碳纤维含碳量较高，即使热处理温度为 1000℃，其含碳量也在 99%（质量分数）以上。它有径向结构、洋葱皮结构和无规结构。一般在纤维中是混合结构，其中主要是径向和无规结构，洋葱皮结构较为稀少。

2. 性能

沥青基碳纤维的拉伸强度与弹性模量受热处理温度影响较大。如热处理温度为 1700℃ 时，拉伸强度是 1.38GPa，弹性模量是 210GPa；热处理温度为 3000℃ 时，拉伸强度为 2.20GPa，弹性模量为 700GPa。

3. 应用

主要用于耐热、隔热、烧蚀、耐磨和电气方面，如扬声器喇叭纸盆。日本开发碳纤维增强混凝土，即在水泥砂浆中混入质量分数为 1% ~ 5% 的低强度沥青纤维，可使混凝土的拉伸强度和弯曲强度提高 5 ~ 10 倍，弯曲韧性提高 20 ~ 30 倍，延展能力提高 50 ~ 60 倍，同时不会产生像混凝土那样的龟裂缺点。

五、芳纶纤维

分子结构主链上的重复链节只含芳香环和酰胺键的合成纤维称芳香族聚酰胺纤维，也就是说，纤维中至少有 85% 的酰胺键直接连于芳香环上的纤维称为芳香族聚酰胺纤维，亦有的称作芳族聚酰胺纤维、芳酰胺纤维和芳纶等。

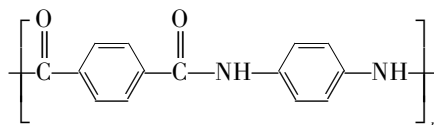
芳香族聚酰胺纤维是由美国杜邦公司在 1972 年开发的。在芳香族聚酰胺纤维中首先开发的是凯芙拉纤维，因它在拉伸强度、弹性模量和耐热性方面优于通常的有机纤维，所以凯芙拉纤维的研究和应用较快。

芳香族聚酰胺纤维是用芳族二胺类和芳族二酰卤化合物在低温下进行溶液缩聚，聚合物在强酸溶液中纺丝，通过 0.5 ~ 1.9cm 的空气层进入冷水中，然后水洗、干燥所得。其特性是高拉伸强度、高模量、较低的伸长率、耐燃烧、耐高温，以及耐有机溶剂、燃烧、润滑剂等，缺点是压缩强度低。

芳香族聚酰胺纤维已工业应用的有凯芙拉、诺曼克斯（Nomex）、比（B）纤维等。目前，处于开发研究的有，芳酰肼纤维（H202）、杂环聚酰胺纤维（ВНИИВЛОН）、聚芳杂环类纤维（CBM）。国内已研制并得到应用的是芳纶 1414（相当于凯芙拉 49）和芳纶 14（相当于 B 纤维）。

（一）凯芙拉纤维

1. 结构式



2. 结构形态

纤维横断面为圆形。

3. 性能

凯芙拉纤维最大特点是具有高强度和高模量,其比强度相当于钢丝的 3~4 倍,比模量为钢丝和玻璃纤维的 2~3 倍。它的相对密度仅是钢丝的 1/5 左右。凯芙拉纤维耐高温性能优良,在其分解温度下仍不熔融,连续使用温度 -196~204°C。此外,在 -45°C 的低温下仍能保持其与室温相同的强韧性,尺寸稳定性良好。对氧稳定,但耐紫外光较差。它还具有自熄性。

4. 应用

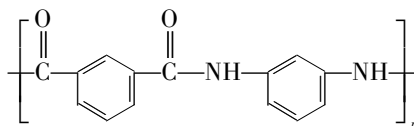
凯芙拉纤维的用途见表 3-40。

表 3-40 凯芙拉纤维的用途

凯 芙 拉	凯芙拉-29	凯芙拉-49
主要用作帘子线、子午线带材,也用作轮胎以外的橡胶制品的增强材料,有以下几个方面: 1) 氨气用软管。它的抗破裂强度高、体膨胀系数小、耐药品性优良、安全性好 2) 高压软管。与钢丝增强的耐压管相比,它具有柔软、非电导性,较安全 3) 高性能 V 带。适于高温下使用,寿命长 4) 汽车用软管及带材。可大大改善汽车排气控制系统的耐热性	主要用作特种绳索及工业用布。由于它具有高强度和低密度,可代替钢丝。凯芙拉-29 在空气中的“自由长度”(指缆绳在一定长度时因其自重而断裂时的长度)比钢丝长 7 倍,而在海水中长 26 倍,即凯芙拉-29 的缆绳可应用在钢丝达不到的深海作业 凯芙拉-29 耐蚀性好,在海水中经一年后,强度也不下降,因此可用于潜水装置及海底电缆,还可用于直升飞机的吊绳,电线支撑线、抛锚绳等。此外,可取代石棉制成垫圈,其性能优于石棉垫圈	主要用作增强剂,也可用于轮胎及橡胶制品(传送带、软管等)的帘子线及子午线,又用作光导纤维的补强材料。凯芙拉-49 还可作为涂层织物,以它作为建筑物或运动场看台的顶棚,比同强度的玻璃纤维织物质量减轻 20%,比同强度聚酯织物减轻质量 40%~44%,如蒙特利尔奥林匹克运动场用凯芙拉-49 增强塑料作看台顶棚(5600m² 覆盖层)。它很轻,能耐强风和雪载荷

(二) 诺曼克斯纤维 (Nomex 纤维)

1. 结构式



2. 结构形态

纤维的横断面为犬骨状。

3. 性能

与凯芙拉纤维比较,诺曼克斯纤维具有耐热性高,阻燃性好,发烟性低等特点,并可在 260°C 高温下使用。在 400°C 分解成碳化物。它能耐有机溶剂和酸类试剂,电气绝缘性好和耐辐射。诺曼克斯纤维的尺寸稳定性为:260°C 干燥空气暴露 2~3s,约收缩

1%；再暴露 10s 以内，收缩 0.7%；再长时间暴露，纤维长度不变化。诺曼克斯的吸湿性高，为 4%~5%。

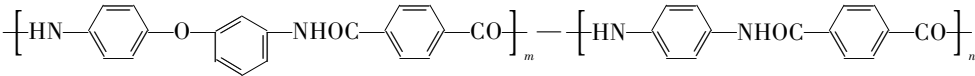
4. 应用

诺曼克斯（Nomex）纤维特点是耐热寿命高，耐磨、耐曲折、耐各种化学试剂，所以可作易燃、易爆、高温、化工等环境的工作服、消防服、防护手套等，又可作工业中各种衬垫材料、滤材、高温输送带、电气绝缘材料等。

在隔热材料方面，可制成蜂窝状作夹心结构，外面覆盖其他复合材料的蒙皮。

(三) HM-50 芳酰胺纤维

1. 结构式



2. 结构形态

纤维断面为圆形。

3. 性能

HM-50 纤维的性能见表 3-41。

HM-50 纤维的密度小，约是钢的 1/5，玻璃纤维的 1/2，碳纤维的 2/3，接近于一般塑料的密度。其拉伸强度接近于碳纤维，而且比强度高，它的比强度约是钢丝的 7 倍，玻璃纤维的 2 倍。

表 3-41 HM-50 芳酰胺纤维性能

性 能	数值	性 能	强度保持率(%)
密度/(g/cm ³)	1.39	耐热性(200℃,1000h)	75
拉伸强度/GPa	3.1	耐湿热性(140℃,100h)	95
拉伸弹性模量/GPa	75	耐碱性(10% NaOH,95℃,100h)	84
伸长率(%)	4.2	耐酸性(40% H ₂ SO ₄ ,95℃,100h)	89
最大氧指数	25		
热分解温度/℃	>500		

4. 应用

HM-50 相似于凯芙拉，可用作轮胎中的帘子线和传送带、V 带、高压软管、耐热软管。比玻璃纤维增强或钢丝增强的纤维质轻，耐久，耐冲击。用于汽车的变速带，可节约燃料。由于弯曲疲劳及耐磨性好，可制绳索及缆绳。

利用 HM-50 纤维的卓越性能，可在直升飞机和装甲车辆中代替重金属；利用其耐切割性可制作安全手套、作业服和安全靴等；利用其耐燃性可制作防火消防服。

HM-50 纤维可代替石棉用作增强材料、耐热滤材或增强水泥等。

(四) HM-50 纤维

1. 性能

HM-50 纤维增强乙烯酯树脂挤拉成型的棒材，具有密度小、比玻璃钢的拉伸强度高

等特性,见表 3-42。HM-50 纤维增强热塑性树脂时,通常用短纤维,纤维含量为 20%,见表 3-42。HM-50 纤维的耐冲击性高,这是因为在混炼时,能保持原长 3mm,并可均匀地分散在树脂基体中之故。而碳纤维及玻璃纤维则断裂成 0.2~0.3mm 的纤维,使冲击强度降低。

表 3-42 HM-50 纤维和其他纤维增强乙烯酯树脂棒材的性能

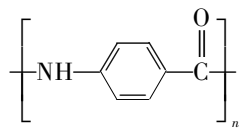
纤维	直径/mm	相对密度	拉伸强度/GPa	拉伸弹性模量/GPa
玻璃纤维	5.60	2.03	1.14	36
HM-50	5.51	1.28	1.52	41
碳纤维	5.61	1.52	1.83	92.6

2. 应用

用于飞机的内部材料、舱门等,可减重 30%,也可用于防弹板及压力容器。此外,在运动器材方面可作游艇的船体、高尔夫球棒、钓鱼竿等。

(五) 比纤维 (B 纤维)

1. 结构式



2. 性能

B 纤维质量轻、强度高(其拉伸弹性模量是玻璃纤维的 2.5 倍)、熔点高(约 500°C)、耐高温性能优良,主要缺点是冲击性能差。随工艺方法不同,纤维的性能也不同,见表 3-43。

表 3-43 B 纤维的性能

性 能						
纺丝工艺		密度 /(g/cm ³)	线密度 /(×10 ⁻⁶ kg/m)	拉伸强度 /GPa	拉伸弹性模量 /GPa	伸长率 (%)
(美国) 杜邦法	六甲基磷酰胺为溶剂的 缩聚—干法纺丝(两步法)	1.45	0.19	0.98	76.6	1.2
	四甲基脲为溶剂的缩 聚—湿纺法(一步法)	1.45	0.32	1.137		1.4
	四甲基脲为溶剂的缩 聚—干纺法(一步法)	1.45	0.31	1.367	89	1.7
	高特性粘度聚合物—湿 纺法	1.45		1.815	102.5	2.4
(前苏联)	1.5 粘度聚合物纺丝	1.45		1.6~1.8	75	3
ВНИИВ 法	3.5 粘度聚合物纺丝	1.45		1.7~2.2		3

(续)

性 能						
纺丝工艺		密度 /(g/cm ³)	线密度 /(×10 ⁻⁶ kg/m)	拉伸强度 /GPa	拉伸弹性模量 /GPa	伸长率 (%)
(中国)上海 合成树脂所	芳纶 14	1.45		3.0	160	2

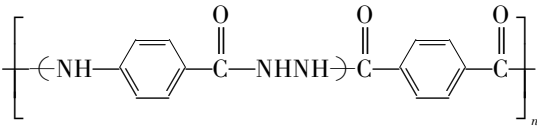
注：B 纤维耐热性高，可在 280℃ 左右长期使用。

3. 应用

用芳纶 14/环氧酚醛可复合成防弹板，它与诺曼克斯纤维混织能制成高强度耐高温的防护服，也可制成张力构件如固定电缆、光缆的托架等，以及运动器材如网球拍、滑雪板、钓鱼竿等。

(六) X-500 纤维

1. 结构式



2. 性能

X-500 纤维共有三种型号，即 E 型、T 型和 G 型。E 型纤维拉伸强度和拉伸弹性模量低，但伸长率较高，T 型纤维拉伸强度及拉伸弹性模量稍高，G 型纤维则具有高拉伸强度和高拉伸弹性模量，而伸长率低，见表 3-44。

表 3-44 X-500 纤维的力学性能

纤维种类	拉伸强度/GPa	拉伸弹性模量/GPa	伸长率(%)
X-500(E)	0.621 ~ 0.689	11.0 ~ 19.3	22 ~ 40
X-500(T)	1.034 ~ 1.172	31.7 ~ 37.9	15 ~ 20
X-500(G)	1.931 ~ 2.137	82.7 ~ 103	3 ~ 4

G 型纤维的相对密度为 1.47，线密度为 0.44 ~ 0.88 × 10⁻⁶kg/m。其拉伸强度是钢丝的 4 倍，拉伸弹性模量是玻璃纤维的 2 倍多。它的热分解温度为 525℃，在 400℃ 下加热 5min，纤维收缩率 <0.2%，在 50℃ 水中浸泡 6 个月后，纤维强度保持率为 92%。

X-500 纤维具有较高的耐磨性，并与树脂母体结合力良好，对高频电磁场的透过性好。

3. 应用

X-500E 型纤维由于伸长率大，故可用于某些抗冲击装置中，如安全带及弹道保护装置等。

X-500T 型纤维可用作普通强力的帘子线。

X-500G 型纤维可用作塑料的增强材料及高级轮胎帘子线。

六、超拉伸聚乙烯纤维

超拉伸聚乙烯（PE）纤维是采用超倍拉伸技术制备而成的，故而取名超拉伸纤维。又因为制备这种纤维的原料多选用超高相对分子质量聚乙烯（UHMNPE），又称为 UH-MWPE 纤维，或高性能纤维等。

超拉伸聚乙烯纤维（高模量聚乙烯纤维）的国际市场几乎由美国、日本、荷兰三国所占领。美国的 Ailled Signal 公司、荷兰 DSM 和日本三井公司等都已大规模生产，并取得了丰厚的利润。

UHMWPE 纤维具有超高强度和超高模量，而且其密度是高性能纤维中最低的，使其具有极高的比强度和比模量，因而，具有优异的力学性能。

（一）主要品种与性能

1. 新型 Dyneema 纤维

新型 Dyneema 纤维的性能见表 3-45。

表 3-45 新型 Dyneema 纤维的性能

性 能	SK60	SK65	SK75	SK76	SK77
密度/(g/cm ³)	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
纤维强度/(N/tex)	2.8	3.1	3.5	3.7	4.0
拉伸强度/GPa	2.7	3.0	3.4	3.5	4.0
弹性模量/GPa	89	95	107	116	—
断裂伸长率(%)	3.5	3.6	3.8	3.8	3.7

2. “孚泰”牌高拉伸聚乙烯纤维

北京同益中特种纤维技术开发有限公司批量生产的“孚泰”牌超高相对分子质量聚乙烯纤维，运用特殊的纺丝方法生产，具有超高强度、超高模量、耐磨损、耐腐蚀、抗老化、抗冲击和耐低温等特性，其主要性能指标见表 3-46。

表 3-46 “孚泰”牌 UHMWPE 纤维品种规格及主要性能指标

序 号	品 种	规 格	比拉伸强度 /(cN/dtex)	比拉伸模量 /(cN/dtex)	断裂伸长率 (%)
1	FT-032	500 ~ 1000D/60F	20	700	≤5
2	FT-033	500 ~ 1000D/120F	20	700	≤5
3	FT-042	500 ~ 1000D/60F	22	800	≤4
4	FT-043	500 ~ 1000D/120F	22	800	≤4
5	FT-052	500 ~ 1000D/60F	25	900	≤4
6	FT-053	500 ~ 1000D/120F	25	900	≤4

(续)

序 号	品 种	规 格	比拉伸强度 /(cN/dtex)	比拉伸模量 /(cN/dtex)	断裂伸长率 (%)
7	FT-132	500 ~ 1000D/60F	22	900	≤4
8	FT-133	500 ~ 1000D/120F	22	900	≤4
9	FT-142	500 ~ 1000D/60F	25	1000	≤3
10	FT-143	500 ~ 1000D/120F	25	1000	≤3
11	FT-152	500 ~ 1000D/60F	28	1100	≤3
12	FT-153	500 ~ 1000D/120F	28	1100	≤3

3. “中太”牌高拉伸 PE 纤维

“中太”牌高拉伸聚乙烯纤维强度是优质钢的几倍，模量仅次于特种碳纤维，密度低、断裂伸长率极高、能量吸收能力极强，且具有优越的抗冲击性能和抗切割韧性，见表 3-47。

表 3-47 “中太”牌高拉伸 PE 纤维基本特性与其他纤维的对比

品 种	密度/(g/cm ³)	拉伸强度/(N/tex)	拉伸弹性模量/(N/tex)	伸长率(%)
中太超高强 PE-I	0.97	1.80	53	≤5
中太超高强 PE-II	0.97	2.20	53	≤5
中太超高强 PE-III	0.97	2.60	70	≤3.6
中太超高强 PE-IV	0.97	2.80	90	≤3.4
芳族聚酰胺纤维(常规)	1.44	2.05	41	3.6
芳族聚酰胺纤维(复合)	1.45	2.05	83	1.9

(二) 应用

超拉伸聚乙烯纤维的应用主要有四个领域，即绳、缆、索、网、线等领域，织物领域，无纺布领域和增强塑料领域等，见表 3-48。

表 3-48 超拉伸聚乙烯纤维的应用领域

制品种类	织 物	针 织 物	无 纺 织 物	绳 索	增 强 塑 料
防护制品	船帆 海上用品 运输工具 吊带、气球 防弹制品 掩体、防护制品	防护手套、防切割	防弹背心(UD66) 防爆背心(插板件)	离港缆、系泊缆、拖网 升降缆、拖缆	电机罩
海上用品					船体
运输工具					轻量盔甲、舰船
防弹制品					头盔、插板件、装甲盔甲
体育用品	船帆	击剑服、滑冰服		快艇绳、钓鱼线	滑雪橇、曲棍球棍、钓鱼竿

七、无机纤维

(一) 硼纤维

1. 结构形态

硼纤维是微晶结构，随沉积条件不同，其晶形不同。在 1300℃ 以上化学气相沉积

生成的结晶状态是 β -菱形结晶；温度低于 1300°C 时为 α -菱形结晶，在一定条件下也发现有四方结晶，所有的多晶体结晶都以 12 个原子硼形成的二十面体作为结构单元，而不是单原子直接构成。

硼纤维的表面呈瘤或“玉米穗”状结构，玉米穗颗粒是硼沿着钨芯丝表面的沟槽沉积，随着逐渐生长直到顶部。

2. 性能

硼纤维的芯丝不同、纤维直径不同，其密度和力学性能也是不同的。

(1) 力学性能

B-W 纤维和 B-C 纤维的直径和密度关系见表 3-49。

表 3-49 硼纤维的直径和密度的关系

纤维	直径/ μm	纤维密度/ (g/cm^3)	支数/ $(\times 10^6 \text{ cm}/\text{kg})$
硼-钨 (B-W)	100	2.59	4.76
	140	2.46	2.55
	200	2.40	1.29
硼-碳 (B-C)	100	2.22	5.55
	107	2.23	5.01
	140	2.27	2.70

硼纤维的力学性能见表 3-50。

表 3-50 硼纤维的力学性能

性 能	B-W 纤维		B-C ^① 纤维	B ₄ C-硼纤维 ^②	SiC-硼纤维
直径/ μm	100	140	100	140	102 ~ 203
密度/ (g/cm^3)	2.59	2.46	2.27		2.71
拉伸强度/GPa	3.445	3.583	3.450	>6.890	3.100
拉伸弹性模量/GPa	400	400	358		400

① B-C 纤维的模量低于 B-W 纤维的 10%，是由于碳纤维拉伸弹性模量低，且占纤维体积的 10%。

② 硼纤维为 B-W 结构。

国内硼纤维的力学性能见表 3-51。

表 3-51 国产硼纤维的力学性能

性 能	B ₄ C 涂层的 B-W 纤维	
直径/ μm	100	140
密度/ (g/cm^3)	2.51	2.44
拉伸强度/GPa	3.1 ~ 3.5	
拉伸弹性模量/GPa	340 ~ 400	

注：本表为航空工业部 621 所数据。

(2) 热性能

硼纤维在 40℃ 以下，性能下降缓慢。其热性能及不同温度下的性能变化见表 3-52。

表 3-52 硼纤维的热性能

热环境条件	数值及热变化情况
比热容/[kJ/(kg·K)]	1.3
热导率/[W/(m·K)]	38
线胀系数/($\times 10^{-6}\text{K}^{-1}$)	5.0
在空气中低于 200℃,1000h	降至室温,强度基本没有变化
在氩气中 315℃,1000h	降至室温,强度损失将近 30%
在空气中 315℃,1000h	降至室温,强度损失将近 70%
在空气中 500℃,1h	降至室温,强度不变
在氩气中 900℃,1h	降至室温,强度不变

(3) 动态疲劳性能

用拉伸-零载的拉伸循环，每分钟 150 次的频率，所用的载荷约相当于平均拉伸强度的一半，可以超过 100 万次。

(4) 化学性能

在室温下，硼是比较惰性的材料，在高温下硼容易和大多数金属起反应，如铁、钴、镍、铝、镁等。

硼纤维的表面具有活性，对极性化合物有亲和力，并且对含氮化合物的亲和力大于类似的含氧化合物。

3. 用途

主要用作复合材料中的增强材料。

(二) 碳化硅纤维

1. 结构形态

碳化硅纤维是 β 形式的多晶结构，其表面结构非常光滑，尼卡龙纤维断面形状为圆形。

2. 性能

SiC 纤维的弹性模量比钢（207GPa）和铝（69GPa）高。用气相沉积法制得的 SiC 纤维，直径不同，所得密度也不同，见表 3-53，不同芯丝材料的力学性能见表 3-54，直接纺丝法制得尼卡龙（SiC）纤维的性能见表 3-55。

表 3-53 SiC 纤维密度与直径的关系

纤 维	直径/ μm	密度/(g/cm^3)	支数/($\times 10^6\text{cm}/\text{kg}$)
SiC-C 纤维	100	2.98	4.14
	140	3.08	2.05
	200	3.13	9.86

表 3-54 SiC 纤维不同芯丝材料的力学性能

性 能	SiC-C	SiC-W
纤维直径(芯丝直径)/ μm	140(33)	100(12.5)
拉伸强度/GPa	3.445	>2.1
拉伸弹性模量/GPa	427	>420
密度/(g/cm^3)	3.08	3.5
制备方法	气相沉积法	

表 3-55 直接纺丝法尼卡龙纤维的性能

性 能	尼卡龙(国防科大)	尼卡龙(日本)
直径/ μm	13 ~ 15	10 ~ 15
拉伸强度/GPa	2.00 ~ 2.45	2.50 ~ 3.00
拉伸弹性模量/GPa	176 ~ 196	180 ~ 200
伸长率(%)	1.5 ~ 2.0	
密度/(g/cm^3)	2.55	2.55
最高使用温度/ $^{\circ}\text{C}$		1250
线胀系数(径向)/ K^{-1}		3.1×10^{-6}
体积电阻率/($\Omega \cdot \text{cm}$)		$(1 \sim 50) \times 10^3$

尼卡龙有三种不同结构，即Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ，其性能见表 3-56。

表 3-56 尼卡龙三种结构的性能

性 能	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
直径/ μm	10	7	10
拉伸强度/GPa	3.0	3.5	2.0
拉伸弹性模量/GPa	200	200	150

注：本表数据来自国防科技大学。

碳化硅纤维的耐热性高，可在氧化性气氛的环境中使用；耐化学药品性卓越，和金属反应性小，金属对其有良好的润湿性，两者相容性好；在电性能方面，具有半导体性，可以控制一定的导电性。

3. 用途

碳化硅纤维可作为增强材料，能增强金属、陶瓷、树脂、玻璃等材料。

(三) 碳化硅纤维增强复合材料

1. 性能

SiC 纤维的耐热性好，制成的复合材料具有一定耐热性。其层压板力学性能见表 3-57，尼卡龙纤维增强环氧复合材料性能见表 3-58，SiC 纤维不同含量（体积分数）的性能见表 3-59。

表 3-57 SiC 纤维制成的环氧层压板的力学性能

性 能		层 压 板	
		室 温	177℃
纤维直径/ μm		140	140
树脂含量(质量分数)(%)		26	26
密度/(g/cm^3)		2.21	2.21
弯曲强度/GPa	0°	2.274	1.486
	90°	0.126	0.0779
弯曲弹性模量/GPa	0°	211	176
	90°	21.4	8.3
剪切强度/MPa	0°	119	62.7
	90°	75.8	
拉伸弹性模量/GPa	90°	21.4	
拉伸应变(%)	90°	0.48	

表 3-58 尼卡龙纤维增强环氧单向复合材料的性能

性 能	数 值	性 能	数 值
纤维含量(体积分数)(%)	60	压缩强度/GPa	1.8
密度/(g/cm^3)	2.0	层间剪切强度/MPa	120
拉伸强度/GPa	1.5	简支梁冲击强度/(kJ/m^2)	260
拉伸弹性模量/GPa	130	线胀系数/ K^{-1}	0° 2.6×10^{-6}
弯曲强度/GPa	2		90° 20×10^{-6}
弯曲弹性模量/GPa	120		

表 3-59 SiC 纤维/环氧不同纤维含量的性能

性 能	纤维含量(体积分数)(%)			
	78	70	62	55
密度/(g/cm^3)	2.99	2.59		
拉伸强度/GPa			1.05	0.72
拉伸弹性模量/GPa	365	295	229	
弯曲强度/MPa	190	200	183	
弯曲弹性模量/GPa	261	249	235	

SiC 纤维增强聚酰亚胺单向复合材料的性能见表 3-60。

表 3-60 SiC 纤维增强聚酰亚胺单向复合材料的性能

性 能	数 值	性 能	数 值
纤维含量(体积分数)(%)	40	弯曲弹性模量/GPa	111
拉伸强度/MPa	425	压缩强度/MPa	297
弯曲强度/MPa	648		

2. 用途

- 1) SiC 复合材料用作耐热材料，如各种火箭发动机燃烧室壳体、喷管的嘴、芯等。
- 2) 与碳纤维混合使用，补偿碳纤维的不足，可用于飞机的门、发动机部件、扇叶和舰艇的齿轮箱等。
- 3) 碳化硅纤维增强陶瓷复合材料，可制造导弹头部、火箭喷管等的耐热部件。

(四) 氧化铝纤维和陶瓷纤维

1. 结构

氧化铝纤维的组成是 100%（质量分数） α - Al_2O_3 。氧化铝及陶瓷纤维的横截面都是圆形的、透明的。

2. 性能

氧化铝纤维主要特点是耐热性好、电绝缘性好、表面活性好，可以与树脂或金属进行复合等。用不同方法制得的氧化铝纤维，其性能见表 3-61。

表 3-61 各种方法制得的氧化铝纤维的性能比较

制 法	密度 /(g/cm ³)	纤维直径 /μm	拉伸强度 /MPa	拉伸弹性模量 /GPa	熔点/°C	最高使用温度 /°C
TYCO 法	3.99	250	2400	460	2040	2000 ^①
杜邦法	3.95	15 ~ 25	1379 ~ 2068	380	2045	1100 ^②
3M 法	2.50	11	1720	150	2040	1300
卜内门法	3.40	3	1034	100	2040	1600 ^③
住友化学法	3.20	9	2600	250	2040	1300

- ① 1200°C 时，只有室温强度的 1/3。
- ② 在 1000°C 空气中，强度保持率 92%。
- ③ 是隔热材料使用的最高温度。

3M 陶瓷纤维是柔软、圆形、透明的金属氧化物纤维。它能耐化学试剂并具有卓越的压缩强度，三种陶瓷纤维的性能见表 3-62。

卜内门公司的赛菲尔陶瓷纤维是均匀、无杂质、柔软、有弹性的纤维，具有高折射率及化学惰性。它是微晶的、具有丝状手感的材料，共有两种级别，即标准级（S）和高温级（HT），其性能见表 3-63。

表 3-62 3M 陶瓷纤维的性能

项 目	AB-312	AC-02	ZS-11
组分	氧化铝-氧化硼-氧化硅	氧化铝-氧化铬-氧化硅	氧化锆-氧化硅
纤维形式	连续纱、粗纱、短切纤维、松散纤维、织物、编织品预浸渍材料	连续纱、粗纱、松散纤维、编织品	连续纱、粗纱、短切纤维、松散纤维、织物
外观	光滑、圆形、透明	光滑、圆形、透明	光滑、圆形
平均线密度/($\times 10^{-6}$ kg/m)(390 根单丝)	95.6	88.3	228.9
颜色	白色	浅绿	白色
密度/(g/cm ³)	2.50	2.80	3.70
平均直径/ μ m	11	10	14
拉伸强度/GPa	1.72	1.38	1.03
拉伸弹性模量/GPa	152	159	96.5
伸长率(%)	1.2	1.2	1.1
比拉伸强度/($\times 10^6$ cm)	6.85		
比拉伸弹性模量/($\times 10^6$ cm)	6.15		
长期使用温度/°C	1300	1400	1000
短期使用温度/°C	1600	1600	
热导率/[W/(m·K)] 500°C 800°C	0.36 0.89	0.375 0.84	
1500°C 16h 后拉伸强度/MPa		550	
1500°C 16h 后失重(%)		0.6	
用途	热绝缘、增强塑料、热屏蔽、连续高温传送带	导线和电缆绝缘、热绝缘、增强塑料	热绝缘、增强陶瓷和水泥、高温滤布、烧蚀材料

表 3-63 赛非尔陶瓷纤维的性能

性 能	赛非尔氧化锆纤维	赛非尔氧化铝纤维	性 能	赛非尔氧化锆纤维	赛非尔氧化铝纤维
纤维密度/(g/cm ³)	5.6	2.8	比热容/[J/(kg·K)]	586.2	1046.7
熔点/°C	>2500	2000	拉伸弹性模量/GPa	100	
最高使用温度/°C	HT 级	1600	1400	莫氏硬度	6
	S 级	1400	1000	平均直径/ μ m	3

3. 用途

氧化铝纤维的电波穿透性优越，可作成与雷达等电波有关的结构件；由于该纤维高

温性能稳定，用于制作热绝缘护罩、连续高温运输带、高温过滤器等；也可作为树脂、金属的增强材料。

（五）高硅氧纤维和石英纤维

1. 结构组成

高硅氧纤维是含 SiO₂（质量分数）95% 以上的高纯度玻璃纤维。石英纤维是天然石英结晶，含 SiO₂（质量分数）99.95%。

2. 性能

高硅氧纤维和石英纤维在本质上是相相似的，所以它们有很多性能也是相似的。

（1）物理力学性能 高硅氧纤维和石英纤维都具有高的比强度，石英纤维的拉伸强度约是高硅氧纤维的 5 倍。它们的性能见表 3-64。

表 3-64 高硅氧纤维和石英纤维的性能

性 能		高硅氧纤维	石英纤维	性 能		高硅氧纤维	石英纤维
纤维直径/ μm	纱和织物	10	10	相对密度 (莫氏)硬度	1.74	2.2	5~6
	毡	1.27~10	1.27~15				
拉伸强度/MPa	室温	179	896	拉伸弹性模量/GPa		68	
	200℃		683				

高硅氧纱和石英纱是完全弹性的，它们的破坏伸长率约是 1%。关于高硅氧和石英的纱类及织物类的性能见表 3-65 和表 3-66。

表 3-65 高硅氧纱和石英砂的物理力学性能

性 能	高 硅 氧 纱		石 英 纱	
型号	100 [#]	300-2/2 [#]	300-2/4 [#]	300-4/4 [#]
标称直径/mm	0.51	0.13	0.25	0.36
支数/(m/kg)	6150	15100	7560	3780
最小破坏强度/N	11.1	13.3	22.2	48.9
线形收缩率(%)	12	1	1	1

表 3-66 高硅氧织物和石英织物的物理力学性能

性 能	高硅氧织物		石 英 织 物	
型号	82 [#] (轻型)	84 [#] (重型)	581 [#] (轻型)	570 [#] (重型)
织物质量/(kg/m ²)	0.35	0.63	0.28	0.66
厚度/mm	0.33	0.66	0.28	0.69
线数/cm	径向	20	22	15
	纬向	16	21	9
断裂力/N	经向	133	823	2135
	纬向	111	756	1779

(续)

性 能	高硅氧织物		石 英 织 物	
织纹	8H 缎纹	8H 缎纹	8H 缎纹	8H 缎纹
最大面积收缩率(%)	5	5	1	1
湿含量(%)	5	5	1	1
pH	4.0~7.0	4.0~7.0	6.0~8.0	6.0~8.0
二氧化硅含量(%)	98.0~99.2	98.0~99.2	99.9 ⁺	99.9 ⁺

(2) 热性能 高硅氧纤维和石英纤维的热性能基本相似，其主要区别是：石英纤维的熔体粘度比高硅氧纤维高，其原因是石英中含有更多的二氧化硅。高硅氧和石英在1650℃以下不会熔融或蒸发。温度连续超过982℃，这两种形式的二氧化硅开始转化成方晶石的晶体形式，这种转化使材料变硬，但不会引起物理形状或绝缘性能的变化。

高硅氧的抗热冲击性能极好，其制品能加热至1090℃在水中急冷无任何明显的变化。

(3) 化学性能

高硅氧纤维和石英纤维，除氢氟酸及热磷酸外，它们不受液态或气态卤素或一般酸类的影响。高硅氧制品不适用于热碱或冷碱中，在某些应用中，可用于弱碱溶液。高硅氧纤维不溶于有机溶剂中。

3. 用途

可与树脂复合制成复合材料，用于制品中耐温的部位。

八、晶须

1. 钛酸钾晶须

性质 白色针状单晶纤维。相对密度3.3，熔点1300~1350℃，晶须直径0.2~1.0μm，晶须长度20~80μm，热膨胀系数 $6.8 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ，莫氏硬度4，拉伸强度70MPa，弹性模量280GPa。具有优良的力学性能、耐热和隔热性、电绝缘性、红外波反射性及耐摩擦性。

用法及其特点 本品用作工程塑料增强剂，可提高塑料的耐热性、强度及尺寸稳定性，也可替代石棉制作汽车制动、离合器等摩擦材料，还用作绝热及导电材料。

2. 氧化锌晶须

性质 一种具有三维空间结构的立体四针状单晶，呈白色纤维状疏松粉末。相对密度5.7~5.8，表观密度0.01~0.5g/cm³，针状体晶须直径0.1~10μm，长度10~300μm，长径比(10~30):1，电阻率7.14Ω·cm，拉伸强度12GPa，弹性模量35GPa，热膨胀系数 $4 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 。具有优良的力学性能、抗静电性、紫外线吸收性、吸声性、电磁波防护功能及广谱抗菌防藻性能等。

用法及其特点 本品用作增强材料。用于环氧树脂粘合剂，与环氧树脂的相容性及

分散性好,具有增强、增韧、抗老化及抗静电等作用。本品与银离子复合时,可制得具有优异抗菌性能的无机抗菌剂,用于制备抗菌塑料及抗菌纤维。

3. 硫酸钙晶须

性质 晶须是在特殊条件下以单晶形式生长而成的纤维,原子排列结构高度有序,具有亚微米和纳米级的尺寸。硫酸钙晶须是指半水硫酸钙和无水硫酸钙纤维状单晶体。相对密度 2.96,熔点 1450℃,晶须直径 1~4μm,晶须长度 100~200μm,平均长径比 80,耐热温度 1000℃。具有强度高、韧性好、耐高温、耐腐蚀及电绝缘性好等特点。易进行表面处理,与合成树脂及橡胶的相容性好。

用法及其特点 本品用作塑料、橡胶等中等强度的增强剂,使用时须经硅烷表面处理,用于聚丙烯增强可提高抗拉和弯曲强度、弹性模量及热变形温度。本品用于环氧树脂,可提高粘合剂的耐高温及耐磨性能。本品也可替代石棉制作摩擦材料及建材。

4. 硼酸铝晶须

性质 一种极细的单结晶,常以三种形态的化合物存在,即 $9\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3$ 、 $2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{B}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{B}_2\text{O}_3$ 。工业品晶须为 $9\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3$, Al_2O_3 含量 86.8%。外观为白色针状,相对密度 2.93,熔点 1440℃,晶须直径 0.5~1.0μm,晶须长度 10~30μm,比表面积 2.0~2.5m²/g,拉伸强度 7840MPa,弹性模量 320GPa,莫氏硬度 7,耐热温度 1200℃。具有优良的强度、弹性模量、耐热性、耐化学药品性、电绝缘性、中子吸收性。无毒。

用法及其特点 本品用作增强及热绝缘材料。用于工程塑料、环氧树脂粘合剂、涂料等制品,可提高强度及弹性模量;用于镁、铝合金复合化可提高强度及耐磨性。本品也用于制造陶瓷及耐火材料等制品。

5. 碱式硫酸镁晶须

性质 白色粉状物。相对密度约 2.3,松堆密度 0.2~0.3g/cm³,晶须长度 0.5~15μm,比表面积 <15m²/g。易溶解成液体,与有机溶剂的亲性好。使用温度低于 250℃。分子结构中存在结晶水,故具有优良的阻燃性。表面平滑,与树脂易复合。

用法及其特点 本品可替代石棉用作塑料的增强材料,与树脂的相容性好。可单独使用或与滑石粉并用,用作聚丙烯树脂的填充剂,也可用作粘合剂及涂料等的增黏材料。

6. 碳酸钙晶须

性质 白色粉末,粒子呈针状或纤维状。碳酸钙含量 >98%。相对密度 2.8~2.9,晶须直径 0.1~4.0μm,晶须长度 20~30μm,比表面积 7m²/g,吸油值 5mL/g, pH 值 9~9.5。几乎不溶于水及醇,溶于稀酸溶液,放出二氧化碳。在空气中稳定。高于 820℃ 分解生成氧化钙和二氧化碳。

用法及其特点 本品用作聚合物增强材料。用于聚烯烃增强塑料,可提高抗冲击强度和抗弯强度,使制品表面有优异的平滑性,适用于制造汽车及家用电器的零部件,也用作粘合剂的增强、增韧剂。

第四节 偶 联 剂

一、简介

偶联剂也称表面处理剂,是一种能通过化学和(或)物理作用将两种性质差异很大的、原来不易结合的材料较牢固地结合起来的物质,主要用于无机增强材料或填料(极性物)与非极性的聚合物之间。偶联剂不仅可使填料和聚合物紧密相连而达到良好的机械强度,而且填料经过偶联剂处理后,聚集的颗粒直径大多明显减小,可提高填料在聚合物中的分散性,使填料聚合物体系的流动性得以改善。这些因素都有利于改进制品的力学性能、表观质量和加工性能。

偶联剂大致可分为硅烷系、钛酸酯系、铝酸酯系、锆酸酯系、铬络合物系及其他高级脂肪酸、醇、酯等几类,但应用广泛的主要是前两种。硅烷系偶联剂的功用是改变不同相的界面。在聚合物填充共混改性中,偶联反应可形成一个从有机相通过硅烷偶联剂到无机相的化学共价键,导致有机组分和无机组分之间的良好粘合以及在不良条件下键合的稳定性。钛酸酯偶联剂可与无机界面上的自由质子反应,在无机界面上形成有机单分子层,使两种不同物质界面之间形成分子桥。经钛酸酯处理的无机化合物一般都具有疏水性和亲有机物性,能起到有机官能团的作用,因而填料的分散性增强,易与聚合物或有机相结合。

选用偶联剂的基本原则是,酸性填料应使用含碱性官能团的偶联剂,而碱性填料应该使用含酸性官能团的偶联剂。另外,还要根据有机金属种类、基料组分的特定化学结构以及所要求的最终性能等作出决定。

二、主要品种与特性

(一) 硅烷类

1. 甲基三甲氧基硅烷

性质 淡黄色透明液体。相对分子质量 136.3, 相对密度(25℃) 0.950, 粘度(25℃) 0.50mPa·s, 折射率(25℃) 1.369, 闪点 0℃, 沸点 101℃。溶于水。

用法及应用特点 本品可作为无机填料或颜料的表面处理剂,改善与涂料、粘合剂、密封剂的基体和树脂的亲合力、润湿性。

2. 甲基三乙氧基硅烷

性质 淡黄色透明液体。相对分子质量 178.3, 相对密度(25℃) 0.890, 折射率(25℃) 1.382, 闪点 29℃, 沸点 143℃。溶于水。

用法及应用特点 本品可作为无机填料或颜料的表面处理剂,改善与涂料、粘合剂、密封剂的基体和树脂的亲合力、润湿性。

3. 三-[3-(三甲氧基硅烷基)丙基]异氰尿酸酯

性质 琥珀色透明液体。相对密度(25℃) 1.030, 粘度(25℃) ≈95mPa·s, 闪

点 127°C, 沸点 >150°C。溶于水。

用法及应用特点 本品可作为无机填料或颜料的表面处理剂, 改善与涂料、粘合剂、密封剂的基体和树脂的亲合力、润湿性。

4. 辛基三乙氧基硅烷

性质 白色不透明液体。相对分子质量 276.5, 粘度 (25°C) 0.0021, 相对密度 0.876, 沸点 98°C (1.1324.72Pa), 闪点 41°C (Tag 密封环)。可溶于醇、芳香族和脂肪族碳氢化合物。

用法及应用特点 本品可作为 TiO₂ 无机填料或颜料的表面处理剂, 改善与涂料、粘合剂、密封剂的基体和树脂的亲合力、润湿性。

5. 乙烯基三(甲氧乙氧基)硅烷

性质 具有酯香的无色(纯)或淡黄色液体, 在空气中遇水汽缓慢水解, 生成相应硅醇。相对分子质量 280.4, 相对密度 1.035, 沸点 285°C (101324.72Pa), 折射率 1.427, 闪点 64°C (Tag 密封环)。可溶于甲醇、乙醇、异丙醇、甲苯、丙酮等有机溶剂。可调制成 pH 值为 4.5 的透明水溶液, 水溶性达到 5%。

用法及应用特点 本品为含乙烯基的硅烷类偶联剂、适用于不饱和聚酯、环氧树脂、邻苯二甲酸二烯丙酯树脂和过氧化物交联的乙丙橡胶等。可以提高制品的力学性能、电性能和耐水性。本品用于处理聚氯乙烯和交联聚乙烯的填充剂, 可以改善两者的亲合性, 还可用于复合玻璃中间层处理、飞机挡风玻璃、电子元件、无机含硅涂料的表面处理以及用作粘合剂、特种涂料等。

6. 乙烯基甲基二甲氧基硅烷

性质 透明液体。相对密度 (25°C) 0.888, 闪点 7.8°C, 沸点 106°C。溶于水。

用法及应用特点 本品适用于聚烯烃等塑料, 还适用于聚酯等树脂。

7. 乙烯基三乙氧基硅烷

性质 相对分子质量 190.4, 相对密度 0.89, 粘度 0.0007Pa·s (25°C), 折射率 1.397, 闪点 54°C (Tag 密封杯)。溶于醇类、酮类和酯类溶剂及 pH = 3.0 ~ 3.5 的水中。

用法及应用特点 本品为含乙烯基的硅烷偶联剂, 适用于不饱和聚酯、丙烯酸树脂、聚丙烯、聚乙烯、聚氯乙烯等树脂。本品还可作为交联剂应用于硅烷交联聚乙烯电缆和管材。

8. 乙烯基三甲氧基硅烷

性质 无色或淡黄色液体。相对分子质量 148.2, 相对密度 0.968 (25°C), 折射率 1.3908 (25°C), 沸点 122°C (101324.72Pa), 闪点 28°C (Tag 密封杯)。可溶于水(水解)、醇、丙酮、甲苯、苯、乙醚、四氯化碳。

用法及应用特点 本品经过氧化物的引发可接枝到聚合物主链从而改性聚乙烯和其他聚合物, 令聚合物的侧链带有三甲氧基硅酯基, 作为温水交联的活性点。

9. 乙烯基三乙酰氧基硅烷

性质 相对分子质量 232, 相对密度 1.17, 沸点 223°C (101324.72Pa), 折射率

1.420。

用法及应用特点 本品为含乙烯基硅烷偶联剂，用量少，偶联效果高，经其处理的玻璃纤维适用于聚酯层压塑料，层压制品的压缩强度和弯曲强度良好。调制本品的溶液时，最好是一边搅拌一边向水或乙醇中加入本品，不必加催化剂。

10. 乙烯基三氯硅烷

性质 无色透明液体，有时呈淡黄色。相对分子质量 162，相对密度 1.2650，沸点 91℃ (101324.72Pa)，折射率 1.432。水解剧烈，为了降低水解速度，调制水溶液时可使用水与丙酮或甲苯的混合溶剂，也可醇解，溶于有机溶剂。

用法及应用特点 本品为含氯和乙烯基的硅烷偶联剂，适用于玻璃纤维的表面处理，可改善纤维与聚酯、环氧树脂、丙烯酸树脂等的粘合性。本品还可用于含氯树脂（如 PVC 树脂）的改性。用本品作原料可合成乙烯基系列硅烷偶联剂。

11. γ -氯代丙基三甲氧基硅烷

性质 相对分子质量 198，相对密度 1.08，沸点 192 ~ 196℃ (101324.72Pa)，折射率 1.418。溶于许多有机溶剂，在 pH 为 4.0 ~ 4.5 的水溶液中经搅拌可完全水解。

用法及应用特点 本品为含氯硅烷偶联剂，用于处理玻璃纤维可改善其润湿性以及聚合物的粘合性。特别适用于环氧树脂-玻璃纤维、聚苯乙烯-玻璃纤维层压品，改善制品的弯曲强度和干湿状态的拉伸强度。本品还可用于聚氨酯粘合剂。

12. γ -氯代丙基三乙氧基硅烷

性质 相对分子质量 240.80。溶于许多有机溶剂，在 pH 为 4.0 ~ 4.5 的水溶液中经搅拌可完全水解。

用法及应用特点 本品适用于环氧树脂、聚酯、聚氨酯等聚合物体系复合材料。

13. γ -(甲基丙烯酰氧基)丙基三甲氧基硅烷

性质 相对分子质量 248.04，相对密度 1.045，沸点 255℃ (101324.72Pa)，折射率 1.429，闪点 108℃ (Tag 密封杯)。可溶于甲醇、乙醇、异丙醇、丙酮、苯、甲苯、二甲苯，水溶液在 pH 值为 4.0 时经搅拌可全部水解。

用法及应用特点 本品为一应用广泛的硅烷类偶联剂，适用于不饱和聚酯、环氧树脂、聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、ABS 树脂、聚氯乙烯、聚甲基丙烯酸甲酯、苯乙烯-丙烯腈共聚物，可显著改善润湿状态时的力学性能和电性能。当本品加入树脂时，其添加量为 0.1% ~ 0.5%，具体用量取决于树脂类型；当用于预处理填料时，添加量为 0.1% ~ 0.5%，具体用量取决于填料类型。

14. 氯化(甲基丙烯酸二甲氨基乙酯基)丙基三甲氧基硅烷

性质 浅黄色黏稠液体，相对密度 1.054，折射率 1.457 ~ 1.459，硅含量 3.56%。

用法及应用特点 本品适用于聚烯烃、聚酯等热塑性树脂及热固性树脂与玻璃纤维复合材料。

15. γ -缩水甘油醚氧丙基三甲氧基硅烷

性质 淡黄色液体。相对分子质量 236.4，相对密度 1.069，沸点 290℃

(101324.72Pa), 折射率 1.427, 闪点 110°C (Tag 密封杯)。可溶于水 (水解)、醇、丙酮和大多数脂肪族酯类 (质量分数 <5%)。

用法及应用特点 本品为含环氧基的硅烷偶联剂, 适用于不饱和聚酯、环氧树脂、密胺树脂、酚醛树脂等热固性树脂, 也适用于聚氯乙烯、聚丙烯、聚乙烯、聚苯乙烯、聚碳酸酯、ABS 树脂、聚酰胺、苯乙烯-丙烯腈共聚物等热塑性树脂, 可大幅度提高增强塑料的力学性能和耐水性。本品还可改善密封料和涂料的粘合性, 提高填充白炭黑的硫黄硫化丁苯橡胶、三元乙丙橡胶的力学性能。

16. β -(3, 4-环氧环己基) 乙基三甲氧基硅烷

性质 相对分子质量 246, 相对密度 1.05, 沸点 310°C (101324.72Pa), 折射率 1.449。溶于许多有机溶剂, 调制水溶液时使用水和乙醇的混合溶剂。

用法及应用特点 本品为含环氧基的硅烷偶联剂, 适用于环氧树脂、不饱和聚酯、酚醛树脂、密胺树脂等热固性塑料, 也适用于聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚乙烯、聚丙烯、ABS 树脂、聚碳酸酯、聚酰胺、苯乙烯-丙烯腈共聚物等热塑性树脂。本品配合于聚氨酯密封料中可改善与玻璃纤维的粘合性。

17. γ -巯基丙基三甲氧基硅烷

性质 浅黄色透明液体。相对分子质量 196.4, 相对密度 1.057, 沸点 212°C (101324.72Pa), 折射率 1.440, 闪点 88°C (Tag 密封杯)。溶于甲醇、乙醇、异丙醇、丙酮、苯、甲苯、二甲苯, 在 pH 值为 5 的水溶液中经搅拌可完全水解。

用法及应用特点 本品为含巯基硅烷偶联剂, 适用于环氧树脂、聚苯乙烯等树脂, 在二元乙丙橡胶、三元乙丙橡胶、丁苯橡胶等硫黄硫化橡胶的填充体系中也具有良好的偶联效果, 可显著提高制品的力学性能。

18. γ -巯基丙基三乙氧基硅烷

性质 无色或浅黄色透明液体。含量 90%, 相对分子质量 238, 相对密度 1.057, 沸点 210°C (101324.72Pa), 折射率 1.4148, 闪点 88°C (Tag 密封杯)。溶于甲醇、乙醇、异丙醇、丙酮、苯、甲苯、二甲苯, 在 pH 值为 5 的水溶液中经搅拌可完全水解。

用法及应用特点 本品为含巯基硅烷偶联剂, 适用于环氧树脂、聚苯乙烯等树脂, 在二元乙丙橡胶、三元乙丙橡胶、丁苯橡胶等硫黄硫化橡胶的填充体系中也具有良好的偶联效果, 可显著提高制品的力学性能。

19. N- β -(氨乙基)- γ -氨丙基三甲氧基硅烷

性质 浅黄色透明液体。相对分子质量 222.4, 相对密度 1.030, 粘度 0.006Pa·s (25°C), 沸点 259°C (101324.72Pa), 折射率 1.448, 闪点 280°C (Pensky-Martens 密封杯)。溶于苯、乙醚, 和丙酮、四氯化碳、水反应。

用法及应用特点 本品为含氨基的硅烷偶联剂, 适用于酚醛树脂、密胺树脂、环氧树脂和聚丙烯等。可改善树脂的润湿性, 提高制品的透明性, 润湿状态的力学性能及电性能, 降低层压品的吸水性, 改良耐污染性。

20. N- β -(氨乙基)- γ -氨丙基甲基二甲氧基硅烷

性质 相对密度 0.97, 折射率 1.445, 溶于水。

用法及应用特点 本品为含氨基硅烷偶联剂，适用于环氧树脂、酚醛树脂、脲醛树脂、密胺树脂等热固性树脂，经其处理过的玻璃纤维不发硬。本品与水溶性酚醛树脂的溶液有良好的稳定性。

21. γ -氨丙基三乙氧基硅烷

性质 相对分子质量 221.3，相对密度 0.946，沸点 217°C (101324.72Pa)，折射率 1.420 (25°C)，闪点 96°C (Pensky-Martens 密封杯)。可立即完全溶于水、醇、芳香族和脂肪族碳氢化合物，但丙酮不宜作稀释剂。

用法及应用特点 本品为一应用广泛的含氨基硅烷偶联剂，适用于聚氯乙烯、环氧树脂、密胺树脂、酚醛树脂、聚乙烯、聚丙烯、聚碳酸酯、尼龙、聚甲基丙烯酸甲酯、聚砒等许多热塑性树脂和热固性树脂，在聚氯乙烯中尤具效果。

22. γ -氨丙基三甲氧基硅烷

性质 淡黄色透明液体。相对分子质量 179.3，粘度 (25°C) 1.68mPa·s，相对密度 (25/25°C) 1.014，闪点 82°C，沸点 210°C。溶于水。

用法及应用特点 本品适用于丙烯酸酯树脂、环氧树脂、呋喃树脂、三聚氰胺、聚酰胺、聚乙烯基丁醛、脲基甲醛、聚氨酯等塑料，还适用于纤维素、硝基纤维素、酚醛树脂、聚酯、乙烯基树脂等树脂。

23. 二 (γ -三甲氧基甲硅烷基丙基) 胺

性质 透明液体。相对分子质量 341.5，相对密度 (25/25°C) 1.040，闪点 113°C，沸点 152°C。溶于水。

用法及应用特点 本品适用于环氧树脂、呋喃树脂、三聚氰胺、酚醛树脂、脲基甲醛、聚氨酯等塑料，还适用于丙烯酸树脂、聚酰胺、聚烯烃、聚乙烯基丁醛、有机硅等树脂。

24. γ -脲基丙基三乙氧基硅烷

性质 相对分子质量 264，相对密度 0.91，折射率 1.386。溶于水。

用法及应用特点 本品为含酰胺基的硅烷偶联剂，适用于环氧树脂、密胺树脂、酚醛树脂等热固性塑料，可提高复合材料的强度。本品还适用于聚氯乙烯等热塑性塑料。

25. γ -脲基丙基三甲氧基硅烷

性质 淡黄色透明液体。相对分子质量 220，相对密度 (25°C) 1.150，折射率 (25°C) 1.386，闪点 99°C，沸点 217°C。溶于水。

用法及应用特点 本品为含酰胺基的硅烷偶联剂，适用于环氧树脂、密胺树脂、酚醛树脂、脲基甲醛、聚乙烯基丁醛等热固性塑料，可提高复合材料的强度。本品还适用于聚氯乙烯等热塑性塑料。

26. γ -脲基硫代丙基三羟基硅烷

性质 50% 水溶液呈无色或淡黄色。相对密度 1.190，粘度 0.010 ~ 0.020Pa·s，pH 值为 6。

用法及应用特点 本品可作为玻璃纤维增强聚苯乙烯、聚丙烯、苯乙烯-丙烯腈共

聚物等树脂的偶联剂。用本品处理过的玻璃短纤维干混到树脂中，可以提高注塑成型品的弯曲强度和拉伸强度。本品在环氧树脂-玻璃纤维层压塑料、酚醛树脂-玻璃纤维层压塑料、酚醛树脂-玻璃微球复合塑料中都具有良好的偶联效果。

27. γ -异氰酸酯丙基三乙氧基硅烷

性质 透明液体。相对分子质量 247，粘度（25℃）1.5mPa·s，相对密度（25/25℃）0.999，折射率（25℃）1.420，闪点 77℃，沸点 238℃。溶于水。

用法及应用特点 本品适用于聚酰胺、脲基甲醛、聚氨酯等塑料，还适用于丙烯酸酯树脂、纤维素、三聚氰胺等树脂。

28. N'-乙烯基苄基-N-三甲氧基硅烷基丙基乙二胺盐

性质 相对密度 0.933，粘度 0.0007 ~ 0.0010Pa·s，折射率 1.414。可溶于醇，50% 的甲醇溶液在水中可以乳化。

用法及应用特点 本品为阳离子型硅烷偶联剂，特别适用于热塑性树脂与玻璃纤维或金属的复合材料，可改善它们之间的粘合性。本品也可用于其他填充剂的表面处理，处理后放置一年活性不减。

29. 硅烷偶联剂 PC

性质 本品是 100% 有效的低粘度液体，其性能指标如下：

物 理 性 能	PC 硅烷偶联剂		
	PC-1A	PC-1B	PC-2A
外观	液体	液体	液体
颜色	浅琥珀色	浅琥珀色	浅琥珀色
相对密度(25/25℃)	1.075	0.916	1.08
闪点(Pensky-Martens 密封杯,ASTMD93)/℃	69	47	85

用法及应用特点 本品可提高拉伸强度、弯曲强度和冲击强度，改善热变形温度、长期老化性能、耐热性能和防湿性，较高挤出产率、较低注射成型压力、较宽加工宽容度、良好填料分散性，容易使用，可直接液体计量、预处理无机填料或共混加入，安全，没有高酸性残留物残留在设备上，生产过程中没有氯副产品释放出来，可使用低成本树脂，比丙烯酸接枝聚丙烯更符合经济效益。本品能显著提高填充玻璃纤维、云母、滑石粉、高岭土、硅灰石等的聚烯烃的物理性能，特别适用于填充玻璃纤维、云母或玻璃纤维/云母混合物的聚丙烯和云母增强 HDPE。

30. 苯胺丙基三乙氧基硅烷

性质 草黄色-琥珀色透明液体。相对密度 1.070（25℃），沸点 310℃（101324.72Pa），闪点 146℃（Pensky-Martens 密封杯）。氯含量 0 ~ 10 μ L/L，溶于醇、酮、醚、酯、烃等大部分溶剂中，不溶于水。

用法及应用特点 本品作为偶联剂可用于聚氨酯、环氧树脂、丙烯酸酯，能提高玻璃纤维布-酚醛树脂复合材料的高温老化性能。本品还可作为粘合剂、密封剂、涂料、

玻璃纤维的浸润剂和表面处理剂。

31. 苯胺甲基三甲氧基硅烷

性质 淡黄色油状液体。相对密度 1.0210 (25°C), 沸点 132°C (533.288Pa), 折射率 (25°C) 1.4857。氯含量 0 ~ 10 μ L/L。溶于醇、酮、醚、酯、烃等大部分溶剂中, 不溶于水。

用法及应用特点 本品可作为玻璃纤维增强塑料的偶联剂, 酚醛树脂、环氧树脂、聚氨酯及室温硫化硅橡胶的增粘剂。

32. 苯胺甲基三乙氧基硅烷

性质 淡黄色油状液体。含量 > 95%, 沸点 135 ~ 150°C/mmHg[⊖], 相对密度 1.0210, 折射率 1.4840 ~ 1.4870。能溶于醇、酮、酯、烃等大部分有机溶剂, 不溶于水。

用法及应用特点 本品用于 RTV 硅橡胶与其他材料的粘合, 以及用作酚醛、环氧、尼龙、三聚氰胺树脂的粘合剂, 也作含无机填料树脂的增强剂。

33. 顺丁烯二酰亚胺基丙基三乙氧基硅烷

性质 浅黄色黏稠液体。相对密度 1.062, 折射率 1.45, 闪点 98°C。溶于乙醇、乙醚等有机溶剂和水。

用法及应用特点 本品用作聚酯、环氧树脂、酚醛树脂、聚丙烯、聚氯乙烯等聚合物体系复合材料的偶联剂。

34. 顺丁烯酸铈胺基丙基三乙氧基硅烷

性质 浅黄色黏稠液体。相对密度 1.062, 折射率 1.45, 闪点 98°C。溶于乙醇、乙醚等有机溶剂和水。

用法及应用特点 本品用作聚酯、环氧树脂、酚醛树脂、聚丙烯、聚氯乙烯等聚合物体系复合材料的偶联剂。

(二) 钛酸酯类

1. 三(异硬脂酰基)钛酸异丙酯

性质 红棕色油状液体。相对分子质量 956, 相对密度 0.9897, 粘度 0.1645Pa·s, 闪点 179°C。

用法及应用特点 本品为单烷氧基型钛酸酯偶联剂, 适用于聚丙烯、聚乙烯、环氧树脂、聚氯乙烯、聚氨酯等树脂的填充体系, 对碳酸钙、水合氧化铝等不含游离水的干燥填充剂特别有效, 在顺丁橡胶、丁基橡胶和三元乙丙橡胶等合成橡胶填充体系中有良好的偶联效果。

2. 三(异辛酰基)钛酸异丙酯

性质 红棕色液体。相对密度 0.98 ~ 0.99, 闪点 176°C, 粘度 0.053Pa·s (25°C), 分解温度 271°C, 溶于丙酮、石油醚、汽油。

用法及应用特点 本品可用于聚烯烃和聚酯中的碳酸钙填充, 可提高碳酸钙等填料

⊖ 1mmHg = 133.322Pa。

的填充量,提高塑料制品的性能,并可降低加工粘度,改善无机填料在溶剂型基料中的分散性,用量为填料的0.5%。

3. 三(癸酰基)钛酸异丙酯

性质 红棕色液体。相对密度0.98~0.99,闪点176°C,分解温度250°C。溶于丙酮、石油醚。

用法及应用特点 本品可用于以碳酸钙为填料的钙塑制品中,可提高碳酸钙等填料的填充量,提高塑料制品的性能,并可降低加工粘度,提高制品的冲击性能,改善加工的流变性,降低制品表面粗糙度。本品在粘合剂中可提高与无机基材的粘结力。

4. 三(油酰基)钛酸异丙酯

性质 红色液体。相对分子质量951.3,相对密度0.8945,粘度0.0396Pa·s,闪点197°C。

用法及应用特点 本品为单烷氧基钛酸酯偶联剂,对聚烯烃的填充体系有优良的偶联效果,适用于碳酸钙等填料,可提高制品的冲击强度、伸长率、尺寸稳定性和热变形性,改善制品的表面光泽。

5. 二(油酰基)(二异辛氧)磷酰基钛酸异丙酯

性质 深红色透明黏稠液体。相对密度0.976,折射率1.477,闪点178°C,分解温度260°C,粘度(平氏) $(120 \pm 40) \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ 。溶于石油醚、丙酮,不溶于水,易水解。

用法及应用特点 本品适用于各种填料的PE、PVC、PP、PS等聚合物复合体系,可改善流动性,增加填料、颜料的填充量,提高制品的冲击性能。

6. 二(甲基丙烯酰基)异硬脂酰基钛酸异丙酯

性质 棕色黏稠液体。相对密度1.032,流动点-1°C,闪点130°C,分解温度193°C。溶于丙酮、石油醚,不溶于水。

用法及应用特点 本品可作为大多数无机填料/聚合物填充体系的偶联剂,用量为填料量的0.4%~1.0%。本品可使材料粘度降低,提高填充量,而且因不饱和结构的存在提供了交联网状结构和粘接效果,可提高制品的冲击性能等力学性能。

7. 三乙醇胺钛酸异丙酯

性质 淡黄色至淡棕色液体。相对分子质量509.48,粘度600~800mPa·s,相对密度(d_4^{25})1.1450~1.1460。溶于水和乙醇等极性溶剂。

用法及应用特点 本品适宜作为水性漆的颜料分散剂,既能提高分散效率,又能起防沉作用,即使已经沉淀的水性内墙涂料加入本品后也能搅起重新使用。用本品处理待涂钢板,可提高漆膜附着力和耐久性。本品用量为总漆量的0.5%~2.0%,拌合时加入。

8. 三(N-β-氨乙基-β-氨乙基)钛酸异丙酯

性质 相对密度1.19,闪点 $\geq 65.6^\circ\text{C}$,沸点 $\geq 121.1^\circ\text{C}$ 。

用法及应用特点 本品适用于以碳酸钙为填料的聚酰胺复合材料体系,可增加填充

量和提高制品的冲击性及改善加工流变性。

9. 三〔(二辛氧)磷酰基〕钛酸异丙酯

性质 近无色至淡黄色液体。密度 1.00 ~ 1.10 (30°C), 粘度 0.1 ~ 0.2 Pa·s (30°C), 分解温度 >240°C。可溶于异丙醇、甲苯、矿物油等溶剂。

用法及应用特点 本品为单烷氧基磷酸酯型钛酸酯偶联剂。热稳定性和水解稳定性良好, 有一定的阻燃效果, 适用于聚甲醛、低密度聚乙烯、软质聚氯乙烯、环氧树脂、不饱和聚酯、聚苯乙烯等树脂, 可提高制品的冲击性能, 增加填充量。

10. 4-氨基苯磺酰基二(十二烷基苯磺酰基)钛酸异丙酯

用法及应用特点 本品为单烷氧基钛酸酯偶联剂, 具有良好的热稳定性, 适用于软质聚氯乙烯、聚碳酸酯、酚醛树脂、合成橡胶等聚合物填充体系, 有交联效果, 制品的抗冲击性、热稳定性及模量高。

11. 三〔(二辛氧)焦磷酰基〕钛酸异丙酯

用法及应用特点 本品为单烷氧基焦磷酸酯基型钛酸酯偶联剂, 有吸收游离水的作用, 对含湿量较高的填料偶联效果好, 适用于聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、尼龙、热塑性聚酯、醇酸树脂、密胺树脂、环氧树脂等。可增加填充量, 改善加工性, 提高制品的冲击性能。

12. 二(二亚磷酸十三酯)钛酸四辛酯

用法及应用特点 本品为配位体型钛酸酯偶联剂, 适用于聚乙烯、聚乙酸乙烯酯、醇酸树脂、环氧树脂、不饱和聚酯等树脂的填充体系, 有提高填充量, 降低粘度, 改善散热性、颜料分散性和耐酸性等效果。

13. 二异硬脂酰基钛酸乙二酯

性质 棕褐色液体。相对密度 0.94 ~ 0.98 (25°C), 粘度 0.030 ~ 0.080 Pa·s, 分解温度 >240°C。易溶于甲苯、异丙醇、溶剂汽油等溶剂。

用法及应用特点 本品为螯合型钛酸酯偶联剂, 特别适合于湿含量高的填料, 如陶土、滑石粉、湿法二氧化硅、水处理玻璃纤维、硅酸铝、炭黑等, 在多种塑料中有良好的偶联效果, 可提高制品的抗冲击强度, 增加填充量, 改善加工流变性能。

14. 二油酰基钛酸乙二酯

性质 红棕色油状液体。相对分子质量 671, 相对密度 0.9796, 粘度 <0.500 Pa·s, 闪点(开口杯) >120°C, 碘值 70 ~ 80。不溶于水, 溶于石油醚、异丙醇、丙酮、汽油等有机溶剂。

用法及应用特点 本品广泛用于填充聚烯烃、聚氯乙烯、聚乙烯树脂及合成橡胶、油漆、涂料等高分子材料中, 能提高复合物熔融流动性和切口冲击强度、拉伸强度等。本品对橡胶可提高扯断力、抗撕裂强度和伸长率, 并改善永久变形。在涂料中使用本品, 可增强原料的着色效果, 改善颜料在体系中的分散性及流动性。本品在制革工业中也有明显效果。本品用量为填料量的 0.5% ~ 2.5%。

15. 钛酸正丁酯

性质 无色至浅黄色液体。相对分子质量 340.328, 密度 0.966 g/cm³, 沸点 310 ~

314°C, 闪点 76.7°C, 折射率 1.486, 铁含量 13.80% ~ 14.00%, 丁氧基含量 84.61% ~ 85.80%。易燃, 低于 -55°C 时为玻璃状固体, 遇水分解。除酮类外, 溶于多数有机溶剂。

用法及应用特点 本品用作环氧树脂粘合剂的偶联剂、聚硅氧烷密封胶的固化剂, 也可以制取金属与橡胶或金属与塑料的改性剂、耐高温染料的添加剂、医用粘合剂、交联剂和缩合反应的催化剂。本品作偶联剂时有两种用法: ①预处理法, 将偶联剂配成 1% ~ 20% 的溶液涂于粘接材料表面, 晾干后或烘干后再涂粘合剂; ②掺入法, 将偶联剂直接加在粘合剂内混合, 用量为胶总量的 0.5% ~ 3% 左右。

16. 二〔(二辛氧基)焦磷酸基〕钛酸氧代亚乙酯

用法及应用特点 本品为螯合型钛酸酯偶联剂, 吸湿性强, 对低密度聚乙烯/陶土、聚丙烯/果壳粉、聚苯乙烯/木粉、软质聚氯乙烯/碳酸钙等填充体系有良好的偶联效果, 可提高填充量和冲击强度, 改善加工流变性。本品还适用于环氧树脂、醇酸树脂、不饱和和聚酯等热固性树脂的填充体系。

(三) 其他偶联剂

1. 甲基丙烯酸氯化铬的络合物

性质 暗绿色液体。具有醇类气味, 固含量 > 28%, 铬含量 ≥ 6%, 相对密度 1.0 ~ 1.1 (20°C), pH 值 1 ~ 3。可溶于水, 用水稀释后会逐渐分离。不耐碱, 不耐高温及大量无机盐类。

用法及应用特点 本品可作为环氧树脂、聚酯、酚醛树脂等玻璃纤维增强塑料的偶联剂, 价格低廉, 一般用量为玻璃纤维质量的 0.03% ~ 0.06%, 在聚酯增强塑料中尤具效果。用本品处理过的玻璃纤维, 表面吸附的水分被除去, 使树脂与玻璃纤维表面直接接触, 可大大提高树脂的粘合力, 从而提高增强塑料的力学强度。本品呈阳离子活性, 可与非离子或阳离子表面活性剂同用, 但不能与阴离子活性剂混用。

2. DL-411 型偶联剂

性质 白色或淡黄色蜡状固体, 其技术指标如下:

熔化时间(160°C)/min	≤5	降粘幅度(%)	≥98
熔融温度/°C	75 ~ 80	热分解温度/°C	300

用法及应用特点 本品适用于多种无机填料或颜料的表面活化改性处理, 也适用于各类树脂。

3. RCA 型偶联剂

性质 白色膏状体, 其技术指标如下:

熔点/°C	<80	挥发分(%)	<0.5
改性度(%)	≥95	分解温度/°C	≥250

用法及应用特点 本品适用于多种无机填料或颜料的表面活化改性处理, 也适用于

各类树脂。

4. CHY-501 铝酸酯偶联剂

性质 为白色或乳白色固体，其技术指标如下：

熔点范围/°C	60 ~ 100	粘度/Pa · s	< 1
机械杂质(%)	< 0.01	热分解温度/°C	≥ 250

用法及应用特点 本品适用于多种无机、有机粉体材料的表面活化改性处理，也适用于各类树脂。

5. 铝钛复合偶联剂

性质 浅黄色蜡状固体。熔点 45 ~ 65°C。溶于三氯乙烯、石油醚、异丙醇、苯、甲苯等有机溶剂。

用法及应用特点 本品适用于聚乙烯/碳酸钙、聚丙烯/碳酸钙、聚氯乙烯、碳酸钙以及聚丙烯/滑石粉等体系，对复合物的弯曲强度、热变形温度、冲击强度、拉伸强度、撕裂强度等都有明显的提高。本品用于油墨中，对油墨的展色性、分散性以及流动性均有明显改善。本品在天然橡胶、涂料等方面使用也都表现出良好的效果。使用方法为：将填料加入高速混合机中搅拌、预热，在 90 ~ 110°C 分三次加入所需偶联剂，每次间隔 2min，偶联剂用量为填料量的 0.5% ~ 2.5%，从加入偶联剂至出料总时间为 10min。

6. 二聚磷酸二异辛酯硬脂酸镁

性质 淡黄色粉末，无味。相对分子质量 1258.4，分解温度 220°C。不溶于水，部分溶于石蜡油、苯等有机溶剂。

用法及应用特点 本品是以镁为中心原子的偶联剂，由我国南京大学化学系首创。本品分子结构中无水解基团，因此在与填充剂混合时对水分无严格要求。本品分子结构中还含有可与高分子缠绕的基团和增塑润滑基因，具有良好的偶联效果，并可减少增塑剂和润滑剂的用量。本品为粉末状产品，克服了液状偶联剂使用不方便、混合不均的缺点。使用时不必另添设备，操作简单，适用范围广，可用于极性和非极性脂肪族聚烯烃，也可用于橡胶和合成纸等材料，一般用量仅为填充剂的 2% ~ 2.5%。

第五节 力学性能改性剂的应用

一、在热塑性塑料中应用填充剂的准则

当使用填充剂时，必须考虑各个方面许多的问题，例如，最佳的粒度分布曲线，在填充剂表面可能有的催化活性，分散性及与塑料基体的结合，填充剂在加工设备中的摩擦作用，配合料的性能，粉尘等引起工业安全问题以及成本等。

填充剂和（或）增强剂的一个重要的判断准则是成本。只有当与未增强的基础聚合物相比，力学性能有明显提高，成本有所下降，或者用其他方法不能达到指定的综合

性能时，才能认为增强聚合物是合理的。表 3-67 列出了对填充剂和增强剂性能的要求，以及它们对复合材料性能的影响。

表 3-67 填充剂、增强剂对复合材料性能的影响

复合材料要满足的要求		对填充剂、增强剂性能的要求
复合材料的制备	配料前填充剂的储存	吸湿性低,表观密度高
	最佳配料	平均粒度,与整个聚合物基体有良好的可润湿性,无静电,分散性好,增强纤维不缩短
	在配料过程中粘度低	粒子尽量圆,比表面小,吸收率低,表面能低
	高速配料	比热小,导热性高
复合材料的加工	收缩小 内应力低 无裂纹 脱模较快	比热小,导热性高,热膨胀小,填充剂在基体中分布均匀,增强剂和塑料间有良好的粘附
	在加工设备中无磨损问题	硬度低,粒子小而圆,任何可能使用的表面处理剂都有良好的热稳定性
复合材料的性能力学性能	拉伸强度和伸长率高	强度比基体高,在纤维增强情况下,长径比大,填充剂-基体粘附好,在基体中分布良好
	挠曲强度高	与拉伸强度高的要求相同,重要的是制品要有光滑的表面
	压缩强度高	可压缩性低,对于部分结晶的聚合物,填料粒子要小而圆
	弹性模量高(劲度高)	在纤维状或层状增强剂情况下,长径比大,弹性模量比基体高,高取向,与其体粘附好
	冲击强度高	长纤维,与聚合物基体的粘附不要太好
	长期行为好(疲劳强度高)	粒子-基体永久结合,填充剂中无腐蚀性杂质,小而圆的粒子使制品有光滑的表面
	硬度高	硬度高,粒度分布适合于获得高填充密度,在部分结晶聚合物中有成核性
	低摩擦和良好的滑动性	硬度低,滑动性好(形成滑动膜)
	密度高	密度高,填充性好
热性能	热变形温度高	热稳定性好,其他性能与拉伸强度下的要求相同
	耐热冲击性高	导热性好,填充剂-基体接触良好
	热膨胀小	热膨胀系数小,各向异性,粒子硬,与基体粘附好
	耐焰和耐灼热性好	化学成分合适,导热性好,热稳定性高
电性能	损耗因数低 介电常数合适,绝缘性好	含湿量与增塑剂吸收低,与基体粘附好,有合适的电性能、绝缘性,在部分结晶聚合物中有成核作用

(续)

复合材料要满足的要求		对填充剂、增强剂性能的要求
化学性能	耐化学性高	有合适的化学成分
	耐候性好	耐光性高,耐化学性,耐水性好,与基体永久结合
	吸水性低	吸潮性低,与基体永久结合
光学性能	透明性好	折射指数合适
	遮光性好	化学成分合适
	表面质量高	填充剂粒子小,呈圆形或层状
成本	最大可能的填充度	粒子的形状,粒度和分布适宜,单位体积填充剂的成本低
	加工成本低	见复合材料的制备

二、在热塑性塑料中的应用

(一) 聚乙烯

1. 低密度聚乙烯 (LDPE)

低密度聚乙烯主要用于要求材料在低温下也有极好的韧性或高形变能力的场合，然而，这些性能或多或少也要受到填充剂的影响。

和高密度聚乙烯 (HDPE) 一样，LDPE 通常在不填充的状态下使用。LDPE 用填充剂必须满足的要求与 HDPE 相同。

低密度聚乙烯使用的填充剂有以下几种：

(1) 碳酸钙 用碳酸钙填充的 LDPE 比热容低，导热性高，因此使挤出和注塑具有较高的生产能力，并使制品的硬度、劲度、热变形温度、抗滑性和耐应力开裂性提高，使可焊性、印刷性和防粘连性改善，也使熔体指数、收缩率、伸长率、透水蒸气性和透氧性降低。碳酸钙对 LDPE 的光氧化性没有不利的影响，且可以降低二氧化钛的用量。

(2) 滑石/云母 加入滑石可以在相当宽的温度范围内保持绝大多数的力学性能，对电性能有好处。云母的加入可提高材料的刚性、热变形温度、阻燃性。

(3) 玻璃纤维 加入 20% 的玻璃纤维可使 LDPE 的刚性提高，收缩率减小。玻璃纤维通过碱处理可以改进对基体的粘附性。

(4) 石棉 含 20% ~ 40% (质量分数) 的石棉特别能提高挠曲强度和热变形温度。

(5) 炭黑 当材料通过辐射交联时有增强作用。它是有效的光稳定剂，能提高导电性。

(6) 硅胶 提高热变形温度，以防粘连。

(7) 硅灰石 提高冲击强度，有较好的电性能和热性能。

(8) 氢氧化铝 阻燃。

2. 高密度聚乙烯 (HDPE)

由于 HDPE 结晶性高，因此这种材料在低温下的强度受填充剂的影响要比 LDPE 大。和所有非极性聚合物一样，关键因素是填充剂和基体之间的粘附。采用带排气口的

挤出机能方便而明显地改进粘附作用和力学性能（弹性模量、冲击强度）。

高密度聚乙烯用的填充剂和增强剂有以下几种：

（1）玻璃纤维 玻璃纤维是最常用的增强剂，但遗憾的是有前面提到的粘附问题。后来通过硅烷处理得到了解决，也使弹性模量和收缩得到改善。当存在有 30%（质量分数）玻璃纤维时，热变形温度可提高到 108℃，而未增强材料为 50℃。

（2）碳酸钙 一直以来，矿质填充剂还仅限于仿纸薄膜。然而，吹塑制品现在也用碳酸钙作填充剂生产，其优点在于制品有较的劲度，同时由于比热容降低、导热性提高（冷却较快）而使生产能力较高。此外，在 LDPE 中使用碳酸钙具有的全部优点，如印刷性较好等，在 HDPE 中也有。

与绝大多数其他填充剂相比，使用表面涂覆的碳酸钙特别能获得较高的冲击强度，而熔体指数、伸长率、抗撕裂蔓延强度、收缩率、应力开裂和冷流由于有了填充剂都趋于降低。

（3）滑石/高岭土 与白垩相比，硅酸盐给予 HDPE 以较高的拉伸强度和劲度。

（4）炭黑 提高导电性和光稳定性。

（5）木粉 改进消音性。

（6）重金属粉末 防护中子和 γ 射线。

表 3-68 列出了填充剂对聚烯烃性能的影响。

表 3-68 填充剂对聚烯烃性能的影响

材 料	填充剂含量 (%)	拉伸强度 /(N/mm ²)	伸长率 (%)	弹性模量 /(N/mm ²)	熔体指数 (g/10min)	热变形温度 (ISO/R75A 1.85N/mm ²) /°C	球压入硬度 /(N/mm ²)	密度 /(g/cm ³)
低密度聚乙烯	—	10	500	210	1.7	35	16	0.92
白垩	40	16	220	900	0.2	—	—	1.26
玻璃纤维	30	24	65	1200	1.6	—	33	1.11
石棉	30	20	20	670	2.3	—	22	1.13
滑石	30	16	40	600	1.1	—	30	1.14
云母	30	13	46	440	1.2	—	27	1.16
玻璃球 <50 μ m	30	10	73	290	2.6	—	19	1.11
石英粉	30	12	77	400	2.5	—	23	1.14
高密度聚乙烯	—	27	>550	1400	22	50	46	0.95
玻璃纤维	30	60	2	7800	6	108	68	1.10
白垩	30	20	9	1900	18	—	48	1.17
木粉	30	28	6	2100	—	—	—	—
高岭土	40	26	11	2000	2.5	—	—	1.24
石棉	40	30	10	2100	0.7	77	—	—
聚丙烯	—	31	620	1600	1.0	62	75	0.90

(续)

材 料	填充剂含量 (%)	拉伸强度 /(N/mm ²)	伸长率 (%)	弹性模量 /(N/mm ²)	熔体指数 (g/10min)	热变形温度 (ISO/R75A 1.85N/mm ²) /°C	球压入硬度 /(N/mm ²)	密度 /(g/cm ³)
短玻璃纤维	30	49	5	7500	6.0	120	100	1.20
石棉	40	45	7	5000	4.0	96	84	1.28
滑石	40	30	11	3100	3.0	95	83	1.21
云母	30	30	—	6900	—	—	—	—
白垩	40	25	180	3400	2.5	73	63	1.23
木粉	40	20	8	2200	—	—	—	—
硅灰石	40	23	7	7000	—	85	88	1.24

(二) 聚丙烯 (PP)

使用了填充剂和增强剂的 PP 使得其有可能在高温下也能具有高的耐化学性和耐应力开裂性，并且在室温下有较高的劲度。温度为 0°C 以下的 PP 的脆性增加，而用了填充剂后则更进一步加剧。在此情况下，丙烯与乙烯的共聚物具有较高的冲击强度，同时在基体和填充剂或增强剂之间具有更好的粘附，因此增强剂主要在共聚物中发挥作用。填充剂的纯度十分重要，不应含有如铜、锰或钴等重金属，如果有的话量要很少，因为它们通常对热稳定性有不利影响。根据用途，使用了增强剂或填充剂的聚丙烯需要稳定化处理，以防止紫外线起不利的作用。

和绝大多数热塑性塑料一样，PP 使用增强剂后，劲度、弹性模量、挠曲模量、弯曲蠕变模量、硬度、受热下的尺寸稳定性、断裂拉伸应力、拉伸强度、压缩强度、尺寸稳定性、密度、交变弯曲强度、导热性和熔体强度等性能均有所改进，但是伸长率、无缺口冲击强度、缺口冲击强度、蠕变倾向、收缩、热膨胀、耐磨性和熔体指数等通常都有所降低。

聚丙烯用的填充剂和增强剂主要有以下几种：

(1) 玻璃纤维 在美国，玻璃纤维增强 PP 在所有增强热塑性塑料中最为重要。玻璃纤维增强的主要优点在于在较宽的温度范围内 PP 具有高的拉伸强度、劲度和改进蠕变行为。增强 PP 一般使用切碎的长玻璃纤维或短玻璃纤维。短玻璃纤维以高韧性和兼有良好的劲度而著称；长玻璃纤维在使用偶联剂时尤其能提高高温下的拉伸强度和扭曲劲度，并有较好的蠕变强度和挠曲劲度。一般说来，使用偶联剂可以改进力学性能，提高疲劳强度，并且有良好的长期性能，如较高的弯曲蠕变模量。玻璃纤维增强的缺点在于其有取向作用，降低冲击强度，使得制品表面无光和加剧加工设备的磨损。

(2) 玻璃球 它在 PP 中不常使用，但它可使其在高温下具有较高的劲度、较好的压缩强度和尺寸稳定性。

(3) 石棉 石棉使 PP 具有较高的劲度，但和滑石相比，蠕变倾向较为明显，但劲度可能要比玻璃纤维增强更高些。在各种石棉中，只有温石棉和直闪石适于使用。使用

石棉的 PP 取向问题一般没有玻璃纤维增强剂那么大，但 PP 必须针对石棉中所含的重金属再稳定化。

(4) 木粉 隔音性良好，用 40% ~ 60% (质量分数) 木粉填充比用滑石粉填充好。

(5) 硅灰石 它吸湿性低、冲击强度高、电性能和热性能良好。

(6) 氧化锌 它有防护紫外线和微生物的作用，能提高导热性。

(7) 增强纤维 聚酰胺和聚酯类纤维能提高 PP 的断裂拉伸应力和冲击强度。

(8) 金属粉末 热变形温度高，能提高其导电性。

(9) 云母 40% (质量分数) 的云母能和 30% (质量分数) 的玻璃纤维产生同样的劲度，而成本却较低。加入氯化石蜡能大大改进与基体的粘附。

(10) 滑石粉 在 PP 用的增强剂和填充剂中，滑石粉的改性效果更好。滑石粉是传统的填充剂，由于层状结构的关系，能给予 PP 较高的劲度，并提高热变形温度和尺寸稳定性。一般来说，除了降低其成本之外，和碳酸钙一样，劲度较高允许减小制品的壁厚，提高加工设备的操作循环速度。蠕变行为和弯曲蠕变模量也比填充同量石棉或短玻璃纤维者好。

滑石是良好的成核剂。含 40% (质量分数) 滑石的 PP，其扭曲劲度要超过加 30% (质量分数) 长玻璃纤维者。

PP 填充滑石的缺点是降低低温下的冲击强度，并使断裂拉伸应力较低，制品表面无光，损害焊接性能，对热氧化稳定性有不利影响。

(11) 碳酸钙 碳酸钙作为 PP 填充剂在很多方面有和滑石同样的优点。在同样的填充度下，虽然不能达到同样高的劲度，但冲击强度要高得多。碳酸钙作为填充剂 (包括涂覆剂) 在以下方面优于滑石：较易分散、熔体指数较高、紫外光稳定性较好。由于完全没有石棉，制品表面较好，可用于接触食品，对加工设备的磨损较小。

在注塑中，使用碳酸钙可在较短的注塑循环时间内 (导热性较高) 生产出具有较高劲度和尺寸稳定性的制品。在 PP 薄膜中，填充剂可改进深度撑压性；在 PP 绳索和带材中，使用填充剂可以避免出现不希望有的绞合，同时在挤出机模头中有清理作用。

用碳酸钙填充的 PP 可以作为聚苯乙烯和 ABS 的廉价代用品，在无规 PP 中也经常使用碳酸钙 (地毯加衬)。

(三) 聚氯乙烯 (PVC)

PVC 的大部分为无定型的热塑性材料，加工方法多种多样，具有广泛的应用领域。PVC 和聚乙烯一样，属于最常用的热塑性塑料。通过改变聚合物中增塑剂、稳定剂、润滑剂和填充剂的用量，可以在大范围内改变最终产品的性能。

在 PVC 中使用填充剂通常是为了降低成本 (增量剂)，因为除了冲击强度和电性能外，其他性能并没有改善。在电缆工业上，在 PVC 中使用填充剂的目的是为了在尽可能经济的情况下获得必要的性能。

1. 增塑 PVC

用于增塑 PVC 的填充剂和增强剂主要有以下几种。

(1) 天然碳酸钙 从用量和用途来说，天然碳酸钙是热塑性塑料中最重要的填充剂。

高质量、高分散级的白垩（主要成分是碳酸钙）平均粒径为 $1 \sim 1.5 \mu\text{m}$ ，上限为 $5 \sim 10 \mu\text{m}$ ，完全不含粗粒子和有磨损性的硅胶。增塑 PVC 经天然碳酸钙填充有以下好处：

- 1) 分散性好，特别是涂覆产品。
- 2) 对力学性能影响轻微。
- 3) 使用比表面积小的表面涂覆产品可减少增塑剂和添加剂的吸收。
- 4) 化学纯度高，不含对老化性能有催化作用的重金属。
- 5) 提高产量，改进制品表面（特别是通过使用涂覆白垩牌号），润滑剂需用量降低。
- 6) 部分代替昂贵的白颜料。
- 7) 白垩起氯化氢受体的作用。
- 8) 改进耐老化性，提高热变形温度和耐水性。
- 9) 改进电性能和介电性，因为使用白垩可减少增塑剂用量。
- 10) 减少收缩和表面附层，提高劲度。
- 11) 改进干料操作，防止粘附到压延辊上。
- 12) 与其他填充剂不同，微粉白垩牌号在加工设备中造成的磨损可以忽略。
- 13) 储存稳定性好。
- 14) 降低最终产品成本。

经表面处理的研磨碳酸钙对加工性有利，并能提高电性能。因此，电缆工业属于白垩最重要的应用领域之一。对碳酸钙作表面处理常常能产生与稳定剂的协同效应，因此，可以提高热稳定性，降低稳定剂的用量。

(2) 高岭土 高岭土和研磨白垩一起主要用于电缆工业，因为它能提高电缆专用料的比电阻。另外，软高岭土还用在地毯覆盖材料和家用制品中。高岭土主要缺点之一是对增塑剂的吸收作用大。

(3) 石棉 温石棉和白垩一起用于地毯覆盖材料，可提高强度、硬度和热稳定性，且耐磨性要比角闪石类石棉好，但需要另外加稳定剂。

(4) 炭黑 炭黑为唱片用填料，可大大改进绝缘性能，防护紫外线辐射。

(5) 硅酸盐 合成硅酸盐在电缆工业中起离子清除剂的作用，另外，还能减少表面附层和粘连。

(6) 氢氧化铝 提高阻燃性，特别适用于编织地毯覆盖材料的背面涂层。

(7) 滑石 和硅灰石一样，主要用于 PVC 石棉地毯覆盖材料。

(8) 白云石 用途同研磨白垩。

(9) 铁酸钡 用于磁性密封件。

2. 未增塑 PVC

用于未增塑 PVC 的填充剂和增强剂有以下几种。

(1) 天然碳酸钙 和增塑 PVC 一样，用于未增塑 PVC 的主要填充剂是天然白垩，但所用的只是粒度很细和经表面处理的牌号。最近的研究表明，加入冲击改性剂可以大大提高填充剂的用量。氯化聚乙烯和其他能提高冲击强度的助剂可以使填充剂用量达到 100 份（重量）白垩对 100 份（重量）PVC。

使用涂覆白垩可以提高劲度、降低收缩、减少表面附层，与未填充 PVC 相比，缺口冲击强度提高，耐老化性和热变形温度得到改进，可挤出性提高，并使单位体积产品的价格降低。

(2) 沉淀碳酸钙 沉淀碳酸钙主要用于未增塑 PVC。但是，由于这种填充剂的粒度小，因此导致在加工设备中的扭矩提高，使得可能加入的填充剂体积比研磨白垩牌号低得多。沉淀碳酸钙能改进表面质量、色调、白度、表面光泽和表面附层，提高弹性模量，但其他力学性能不受很大的影响。

除了在增塑 PVC 中所提及的填充剂外，下列产品也可以用于未增塑 PVC。

(1) 玻璃纤维 它是 PVC 注塑制品的增强剂，可冷成型玻璃纤维增强片材。

(2) 滑石 能提高弹性模量，挠曲强度和拉伸强度较高，但会降低断裂伸长率和低温下的冲击强度。

(3) 木粉 作刨花板用贴面片材、片材、型材。

3. PVC 增塑糊

(1) 天然碳酸钙 在涂布、蘸涂糊及 PVC 泡沫塑料中粒度分布好。增塑剂吸收少的研磨石灰石和大理石粉（两者的主要成分都是碳酸钙）都很重要，它们使增塑糊固结、密实，改进与基材的粘附并提高结合强度。最简单的方法是加入不同百分比的磨得极细并经涂覆的微晶白垩，调出所要求的触变性。

(2) 硅酸盐 使用合成硅酸盐可以使表面消光，改进涂布糊的渗透作用和提高触变性。

表 3-69 列出了填充 PVC 制品的各种配方。表 3-70 列出了填充未增塑 PVC 模塑料的性能。

（四）聚苯乙烯（PS）

未改性的通用级 PS 是无定形、硬而脆的塑料，具有良好的电性能、耐老化性和高的尺寸稳定性，但是脆性高，对环境应力开裂敏感。由于这些性能不能通过填料或增强剂得到改善，因此，PS 中的填料使用至今仍停留在低水平上。

聚苯乙烯使用的填充剂和增强剂主要有：

(1) 玻璃纤维 玻璃纤维可用于能充分提高强度、硬度和尺寸稳定性，而冲击强度（下降）不是重要因素的应用领域。使用 30%（质量分数）的玻璃纤维可使挠曲模量提高两倍，并使力学性能有所改善（脆性和冲击强度除外）。除了通用级 PS 外，玻璃纤维也用于增强抗冲 PS，在发泡 PS 和冲击改性 PS 中使用玻璃纤维同样能改善物理性能。

(2) 玻璃球 在 PS 中填充玻璃球可产生较高的劲度（特别是在提高温度的情况下）和较高的抗压缩性，并改善常温和受热下的尺寸稳定性，但结果会降低冲击强度和促使生成裂缝。

(3) 石棉 有良好的加工性、尺寸稳定性和阻燃性。

(4) 碳酸钙 是增量剂填充剂，也可以在发泡 PS 中用作成核剂。

(5) 滑石 可提高冲击强度，调节流变性。

表 3-69 填充 PVC 制品的配方 (质量份)

配合料组成		电缆芯	电缆护套	填充 专用料	薄膜	管材、型材	注塑鞋跟	压延地板 覆盖材料	聚氯乙烯 石棉地板
增 塑 PVC	PVC	悬浮型 K70(100)	悬浮型 K70(100)	悬浮型 K70(100)	悬浮型 K70(100)	悬浮型 K70(100)	悬浮型 K70(100)	悬浮型 K70(100)	悬浮型 K70(100)
	增塑剂	DINP(40)	DINP(40 ~ 60)	DOP(100)	DOP(50)	DOP(60 ~ 70)	DOP(80)	DOP(40 ~ 60)	DOP(45)
	稳定剂 ^①	Pb(4 ~ 6)	Pb(2.5 ~ 3.5)	Pb(3 ~ 4)	BaCd(5)	BaCd(2 ~ 3)	BaCd(3.5 ~ 5)	BaCd(3.5 ~ 5)	BaZn(6 ~ 8)
	润滑剂	(0.5 ~ 1.5)	(0.5 ~ 1.6)	(1.5)	(0.5)	(0.2 ~ 0.5)	(0.5)	(0.5)	(1)
	填充剂 ^②	EX-HISP (30 ~ 60)	EX-HISP (70 ~ 100)	BSH(500)	BSH(40) 0.90T(40) Hydrocarb(40) Durcal2(40)	BSH(50 ~ 60) 0.90T(50 ~ 60)	Durcal5(15)	Durcal40(200)	Durcal65(350) Abestos(100)
配合料组成		管材、异型材 高填料量	滚轮、百叶窗	压力管和下水管	窗、室外异型材	压延片材	硬 PVC 泡沫塑料	注塑	
未 增 塑 PVC	PVC	悬浮型 K65(100)	乳液 + 悬浮型 K70(100)	悬浮型 K65(100)	悬浮型 K65(100)	悬浮/本体型 K65 ~ 70(100)	悬浮型 K60(100)	悬浮/本体型 K55 ~ 58(100)	
	稳定剂 ^①	Pb(3)	Pb(3 ~ 4.5)	Pb(15 ~ 2.5)	BaCd(4 ~ 6) (1 ~ 1.5)	Sn(2 ~ 4.5) (0.8 ~ 1.7)	Sn(2.5 ~ 4) (1 ~ 1.6)	Pb(3) (1.8 ~ 2.5)	
	润滑剂	(1)	(0.5)	(0.5)	(6 ~ 12)	(5 ~ 10)	(6 ~ 10)	(1 ~ 2)	
	改性剂	CPE(2 ~ 10)	—	—	—	—	—	—	
	发泡剂	—	—	—	—	—	(0.3 ~ 1.0)	—	
配合料组成		95T(50)	95T(10 ~ 30)	95T(5)	HC95T(10 ~ 20)	95T(10 ~ 30)	95T(5 ~ 10)	95T(5 ~ 10)	
增 塑 糊	人造革		铺地材料		毡层加衬		增塑糊		蘸涂糊
	底涂层		底涂层		化学发泡		机械发泡		高填料量
	糊		糊		糊		糊		糊
	K65 ~ 70(100)		K65 ~ 70(100)		K65 ~ 70(100)		K65 ~ 70(100)		K65 ~ 70(100)
	(50 ~ 70)		—		(50 ~ 70)		(80 ~ 90)		(50 ~ 80)
	BaCd(3.5 ~ 5)		BaCd(3 ~ 4)		BaCd(1 ~ 2)		BaCd(1 ~ 1.5)		BaCd(2 ~ 4.5)
	化学发泡剂		—		(1 ~ 2)		—		—
	降粘剂		—		(1.5)		—		—
	物理发泡剂		—		—		(4)		—
	填充剂 ^②		Durcal40(500)		Hydrocarb(80)		Calibrite(120)		Calibrite(475) Onya BSH(50)

① 包括环氧增塑剂等辅助增塑剂。

② Onya 公司产品。

表 3-70 填充未增塑 PVC 模塑料的性能

填充剂	填充剂 含量 (份)	拉伸强度 /(N/mm ²)	断裂 伸长率 (%)	弹性 模量 /(N/mm ²)	维卡 软化点 /°C	缺口冲击强度 (单梁式,23°C) /(mJ/mm ²)	密度 /(g/cm ³)
悬浮 PVC 未增塑	—	60	6 ~ 10	2700	85	3	1.36
天然碳酸钙	30	46	8	3200	94	9	1.53
	100				116		1.78
沉淀碳酸钙	15	30 ~ 47	6	3100	87	14	1.45
滑石	20	34	6	3500	—	—	1.48
石英粉	20	38	—	3100	—	—	—
玻璃纤维	40	25	3	8000	85	—	—
石棉	30	33	1.2	5500	85	—	1.65
硅灰石	20	25	5.4	—	—	3	1.47

(6) 氢氧化铝 可提高阻燃性。

表 3-71 列出了增强聚苯乙烯最重要的性能数据。

表 3-71 几种增强塑料的性能

塑料及填充剂	填充剂 含量 (%)	拉伸强 度/(N/ mm ²)	伸长率 (%)	弹性模量 /(N/ mm ²)	缺口冲 击强度 /(N/mm ²)	热变形温度 (ISO/R75 A, 1.85N/mm ²)/°C	莫氏 硬度	密度 /(g/ cm ³)
聚缩醛(POM)	—	63	45	2700	9	101	155	1.41
玻璃纤维	30	104	4	7200	7.6	161	180	1.60
滑石	30	61	3	8600	2.6	—	160	1.64
乙烯-四氟乙烯共聚物(PTFE)	—	40	200	840	—	74	—	1.75
玻璃纤维	25	83	9	8400	—	210	—	1.86
碳纤维	30	100		10000	9	240	—	1.73
偏氟乙烯、PTFE 共聚物	20	86	3.5	7700	2.6	295	—	1.77
聚苯乙烯(PS)	—	55	4	3800	2	86	165	1.05
玻璃纤维	30	95	2	11000	4	93	240	1.32
石棉(温石棉)	20	71	—	8200	—	91	—	1.26
碳酸钙	30	15	2	2000	18	—	—	1.30
滑石	40	39	1.6	5600	—	—	—	—
苯乙烯-丙烯腈共聚物(SAN)	—	70	5	3600	2	90	—	1.08
玻璃纤维	35	110	3	10000	4.5	100	250	1.35
云母	30	83	3	16300	—	110	—	1.53

(续)

塑料及填充剂	填充剂 含量 (%)	拉伸强 度/(N/ mm ²)	伸长率 (%)	弹性模量 /(N/ mm ²)	缺口冲 击强度 /(N/mm ²)	热变形温度 (ISO/R75A, 1.85N/mm ²)/°C	莫氏 硬度	密度 (g/ cm ³)
ABS	—	43	15	2600	10	83	95	1.06
玻璃纤维	30	70	3	6600	6	94	130	1.33
石棉	20	70	—	4100	—	97	—	—
云母	50	65	3	14600	—	103	—	1.52
聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)	—	80	5	3200	5	75	195	1.18
玻璃纤维	35	120	—	12000	—	—	—	—

通过与弹性体接枝共聚合可改进通用级聚苯乙烯的缺点（如脆性高、对环境应力开裂敏感）。以下这些增韧改性材料比较适合于作填充剂和增强剂的基体材料。

1) 苯乙烯-丙烯腈共聚物（SAN）。用玻璃纤维增强 SAN 与未增强的材料相比，强度大有改进，破裂倾向降低，并使断裂伸长率减小。现在人们也在用玻璃球作 SAN 的填充剂。

2) 丁二烯-苯乙烯-丙烯腈共聚物（ABS）。玻璃纤维增强 ABS 能使挠曲强度提高 3 倍，弹性模量也大大提高。现在市场上已有特殊的吹塑用玻璃纤维增强牌号及 ABS 结构泡沫塑料。ABS 用玻璃球作填充剂可改进高温下的劲度，并获得较高的压缩强度和较好的尺寸稳定性。

在日本，使用高达 30%（质量分数）的白垩生产遥控机械装置部件，可以在不明显降低冲击强度的情况下改进 ABS 的力学性能。

某些增强 SAN 和 ABS 的性能也列于表 3-71 中。

（五）聚甲基丙烯酸甲酯（PMMA）

玻璃纤维是增强 PMMA 最常用的材料。用玻璃纤维增强 PMMA，可以生产出具有高强度的模塑制品，它在 100°C 下仍具有良好的力学性能。如白垩、高岭土、重晶石等矿质填料可减小收缩，提高硬度、密度、弹性模量和受热下的尺寸稳定性，而力学性能一般没有改进。在生产照明广告牌的不透明配方中也用到白垩。增强 PMMA 的某些性能数据列在表 3-71 中。

（六）聚酰胺（PA）

在工业上特别注重利用这类塑料的韧性和耐磨性。聚酰胺一般较硬，类似角质，不透明，具有良好的耐磨性和高的尺寸稳定性。这些性能可以用填充剂或增强剂加以改进，但是，填充剂对吸水性的影响程度很有限。

在所有的聚酰胺中，聚酰胺 66 的硬度、劲度、耐磨性和热变形温度均最高，聚酰胺 11 冲击强度最高，吸水倾向虽比聚酰胺 12 略高，但总体来说仍算较低，而聚酰胺 6（聚酰胺 6 是通过阴离子聚合制备的）则以其较高的韧性而著称。聚酰胺 610 的特点是

吸水性较低,尺寸稳定性较高。此外,以聚酰胺6为基础的聚酰胺铸塑树脂韧性好,很硬。

在各种填充剂和增强剂中,那些靠纤维状或层状结构能提高聚酰胺性能,或能改进耐磨性者最为重要。与金属相比,未填充聚酰胺的某些性能较差,即弹性模量低、拉伸和蠕变强度较低、力学性能与温度有明显的依赖关系、热膨胀和吸水性高,不过这些性能通过玻璃纤维增强剂能大大改善。

用于聚酰胺的填充剂和增强剂有:

(1) 玻璃纤维 在玻璃纤维增强聚酰胺中,聚酰胺6和聚酰胺66的玻璃纤维用量达50%,聚酰胺610、聚酰胺11和12用量为30%,它们代表了最重要的增强树脂牌号。

玻璃纤维增强(用量为30%)使聚酰胺的性能产生下列变化:

1) 弹性模量提高3倍,拉伸强度提高2倍,拉伸应力提高4倍,挠曲应力(劲度)提高3倍,莫氏硬度提高1.5倍,劲度随纤维长度增加而提高。

2) 蠕变强度大有改进,蠕变速率降低。

3) 降低比热容(循环时间较短,热变形温度较高,马丁耐热温度提高了100°C)。

4) 热膨胀系数较低,接近铝和锡合金的水平。

5) 吸水性较低,弹性模量与水含量的关系较小。

6) 耐老化性较好。

7) 当接触热水时,水解稳定性较好。

玻璃纤维增强的缺点是有一定的各向异性、变形(由于纤维取向、收缩不一致)和对加工设备的磨损。在短纤维增强聚酰胺中,这些问题一般要比使用长纤维的小些。

(2) 玻璃球 在聚酰胺66和聚酰胺12中使用达50%(质量分数)的玻璃球,能改进拉伸强度、挠曲强度、断裂伸长率,冲击强度和热变形温度,磨损的风险也比用玻璃纤维者小。玻璃球可使各个方向上的收缩均匀,公差减小,并具有良好的磨耗行为和平整的表面。

玻璃球经表面涂覆,一般也能与玻璃纤维并用,以提高缺口冲击强度。

(3) 碳纤维和石墨纤维,炭黑和石墨 在聚酰胺6中可以使用20%(质量分数)的碳纤维,聚酰胺66、聚酰胺11和聚酰胺12中可达40%(质量分数)。碳纤维增强对性能有以下好处:

1) 密度的增加比用玻璃纤维者小。

2) 弹性模量是用同量玻璃纤维增强的两倍。

3) 挠曲强度、拉伸强度、劲度和室温下的蠕变行为可与锡、铝或镁相比拟。

4) 和玻璃纤维相比,滑动性能较好,对加工设备的磨损较小。

5) 改进导热性和电性能。

用碳纤维作增强剂的缺点是对冲击强度有损害,另外,这种纤维仍然很贵。

石墨和炭黑的用量一般只在5%以下。

(4) 氧化硅 拉伸应力大大提高,挤出性改善,并能得到平滑的表面。

(5) 硅酸盐（云母、煅烧高岭土、石棉、硅灰石）通过加入达 40%（质量分数）的云母和滑石等矿质填充剂，特别能提高劲度、强度、硬度、热稳定性和尺寸稳定性，以改进表面质量和变形行为，对吸潮性、电性能和化学性能也有好的影响。和其他部分结晶的聚合物一样，滑石也可在其中用作成核剂。

(6) 碳酸钙 聚酰胺用碳酸钙填充可降低其材料价格，用于要求有良好尺寸稳定性和无收缩问题的地方，如电气工业、家用器具和汽车部件。用这种填充剂填充的模塑专用料具有以下特点：表面质量极好、热变形温度高、劲度和韧性好，能耐许多溶剂、燃料和油脂。

(7) 金属粉末 粉状的铝、黄铜、钢、铅、锌、铜和镍用于提高热变形温度和导电性、黄铜粉的用量可高达 95%。

(8) 二硫化钼 在玻璃纤维增强的聚酰胺牌号中，MoS₂ 用于改进滑动性能。

(9) 高铁酸钡 聚酰胺用高达 80%（质量分数）的铁酸钡填充，可用于制作小型磁铁。

(10) 聚四氟乙烯 含氟高聚物同样也可在玻璃纤维增强聚酰胺中使用，以改进滑动性能（和 MoS₂ 一样用于轴承材料）。

表 3-72 列出了增强剂在各类聚酰胺中的应用及所带来的性能变化。

表 3-72 增强聚酰胺的力学性能

材 料	填充剂 用量 (%)	拉伸强度 /(N/mm ²)	伸长率 (%)	弹性模量 /(N/mm ²)	缺口冲击 强度 /(N/mm ²)	热变形温度 (ISO/R75A, 1.85N/mm ²)/°C	洛氏 硬度	密度 /(g/cm ³)
聚酰胺 6	—	64	220	1200	25	80	111	1.13
短玻璃纤维	30	148	3.5	5500	16	208	55	1.37
玻璃球	30	65	20	3000	14	—	120	1.35
石棉	30	123	3.0	8000	3	193	85	1.30
碱纤维	20	100	—	8000	—	—	—	—
氧化硅	10	57	140	1000	—	—	—	1.19
白垩	30	50	30	3000	6	60	—	1.35
聚酰胺 66	—	63	60~300	1500	16	66~85	113	1.14
短玻璃纤维	30	153	3.0	7200	15	204~249	60~70	1.37
玻璃球	30	81	5.0	3700	11	74	120	1.35
石棉	30	133	—	9200	—	—	—	—
碳纤维	20	197	4	16900	—	257	—	1.23
云母	30	39	—	6900	—	—	—	—
聚酰胺 610	—	60	85~300	1900	11	—	111	1.19
短玻璃纤维	30	128	3.0	7800	12	204	30~40	1.30
滑石	20	60	5.0	40000	—	—	—	1.25

(续)

材 料	填充剂 用量 (%)	拉伸强度 /(N/mm ²)	伸长率 (%)	弹性模量 /(N/mm ²)	缺口冲击 强度 /(N/mm ²)	热变形温度 (ISO/R75A, 1.85N/mm ²)/°C	洛氏 硬度	密度 /(g/cm ³)
聚酰胺 11	—	58	325	1200	27	58	107	1.04
玻璃纤维	30	93	4.0	6200	11	173	115	1.26
黄铜粉	90	34	4.0	5500	—	100	106	4.00
聚酰胺 12	—	60	270	1200	20	—	108	1.02
玻璃纤维	30	83	6.0	3500	9	147	113	1.23
玻璃球	30	45	25	2500	8	120	113	1.23

(七) 聚碳酸酯 (PC)

聚碳酸酯是无定形的芳族聚酯,具有优良的硬度、透明性、拉伸强度和韧性,尤以低温下有高韧性而著称。它的玻璃化转变温度 (T_g) 高达 150°C,这正是其能用于工业机械方面的主要因素。由于在实际使用时温度不宜超过 T_g ,因此这种材料的最高使用温度为 115 ~ 140°C 左右。虽然聚碳酸酯不结晶,但在 T_g 以上有可能出现有序的取向状态。这种取向可用成核剂加以改进,并且也能出现在基体-增强剂的界面上。

增强聚碳酸酯适于制作承受高静态负荷,且在尺寸精度、尺寸稳定性和热变形温度方面有高标准要求的零件。在特殊增强牌号产品中,用玻璃纤维增强的牌号在无线电、录音机、电视、照相机等各类家用电器中确立了重要的地位。

用于聚碳酸酯的填充剂和增强剂主要有:

(1) 玻璃纤维 在热塑性塑料中,聚碳酸酯是继聚酰胺和聚烯烃之后,玻璃纤维增强剂应用的第三大领域,其中主要是使用短玻璃纤维。玻璃纤维经硅烷处理可以改进其粘附性。无碱玻璃在纤维和基体之间有较好的粘附作用。玻璃纤维增强聚碳酸酯用于注塑或层压,增加纤维长度通常能够大大提高劲度。

与未增强的塑料相比,用 10% ~ 40% (质量分数) 玻璃纤维增强的聚碳酸酯在性能上有以下改进:

1) 在较低伸长率下,拉伸强度提高 1 倍; 30% (质量分数) 的玻璃纤维使弹性模量增加 1 倍,硬度、压缩强度和劲度提高。

2) 线性热膨胀系数降低到 1/3,比热容下降,热变形温度提高 10°C。

3) 用 30% (质量分数) 玻璃纤维增强的聚碳酸酯能代替非铁金属材料或热固性塑料。

4) 常温下的尺寸稳定性较高,受热时的蠕变强度和尺寸稳定性较高。

5) 交变弯曲强度提高,达到了未增强聚缩醛的水平。

6) 蠕变倾向和冷流减小,收缩和对环境应力开裂的敏感性较低。

7) 电性能和耐焰性改进。

用玻璃纤维增强的聚碳酸酯的缺点是缺口冲击强度降低和密度提高，增加填料含量对提高热变形温度作用也不大。

最近已经出现了玻璃纤维增强的聚碳酸酯和 ABS，即所谓的共混聚合物。

(2) 石墨纤维 在美国推出的含 10% ~ 50%（质量分数）碳纤维的增强材料还没有被市场接受。

(3) 二硫化钼、聚四氟乙烯、石墨加入 15% ~ 20%（质量分数）的量可使磨损最小，并使磨损行为大大降低。

(4) 矿物质纤维、石棉 它们通常和玻璃纤维并用。在聚碳酸酯中掺入达 30%（质量分数）的石棉，可以得到高的劲度和良好的阻燃性。

(5) 硅灰石 用于提高劲度。

(6) 金属粉末 铝粉用于提高耐化学性和导电性。

表 3-73 列出了几种增强聚碳酸酯和其他增强工程塑料的性能。

表 3-73 增强工程塑料的性能

材 料	填充剂 用量 (%)	拉伸强度 /(N/mm ²)	伸长率 (%)	弹性模量 /(N/mm ²)	缺口冲击 强度 /(N/mm ²)	热变形温度 (ISO/R75A, 1.85N/mm ²)/°C	洛氏 硬度	密度 /(g/cm ³)
聚碳酸酯	—	69	98	2150	28	142.5	122	1.22
玻璃纤维	30	115	3.6	7100	11	145	125	1.43
硅灰石	50	44	—	8100	—	266	—	1.44
聚对苯二甲酸乙二醇酯	—	66	160	2800	5	72	107	1.35
玻璃纤维	30	165	4.0	11000	7	221	100	1.58
碳纤维	30	140	2.5	14300	—	221	—	1.47
聚对苯二甲酸丁二醇酯	—	60	120	2700	3.4	67	—	1.30
玻璃纤维	30	130	2.0	8500	10	205	120	1.52
玻璃球	20	50	4.0	3500	—	70	—	1.45
硅灰石	50	60	—	6500	—	130	—	—
芳族聚酯	—	70	9	2100	22	—	—	1.2
玻璃纤维	30	108	3.5	6900	8	—	—	1.44
改性聚苯醚(Noryl)	—	68	20	2500	—	130	—	—
玻璃纤维	30	120	2.5	8500	—	126	108	1.30
聚苯硫醚	—	76	3.0	3400	1.6	—	—	1.34
玻璃纤维	40	137	—	12000	4.3	218	123	1.6
碳纤维	30	190	—	17000	2.3	260	—	1.45
聚砒	—	75	75	2500	—	175	70	1.24
玻璃纤维	30	115	3.0	7600	—	177	90	1.43
碳纤维	30	130	2.0	13000	—	177	—	1.37

(八) 聚甲醛 (POM)

甲醛聚合得到的聚甲醛具有工业意义。高结晶的 POM 是具有高硬度和良好尺寸稳定性的韧性材料,主要用于滑动元件、轴承、机器零件等工业用途。POM 良好的回弹性在技术上也具有重要意义,但加入填充剂会使之下降。POM 本身劲度较高,通过使用填充剂可以使其劲度得到进一步的提高。

POM 用的填充剂和增强剂主要有:

(1) 玻璃纤维 由于 POM 对热应力和氧化应力的作用敏感,因此,一般只能在短时间内利用加填充剂的方法提高热变形温度,最高使用温度略高于 100°C。玻璃纤维增强是最为重要的方法,且长玻璃纤维和短玻璃纤维两者都可使用。通过使用偶联剂可进一步提高玻璃纤维改进拉伸强度和劲度的效果。和未填充的 POM 相比,用量为 20% ~ 30% 的玻璃纤维增强剂可提高拉伸强度 (2 倍)、挠曲模量 (2 ~ 3 倍)、断裂拉伸应力 (2 倍)、硬度、劲度及密度。玻璃纤维增强的 POM 可代替锌、黄铜和铝的铸件。人们把它用于对下列性能具有重要意义的应用场合:劲度、硬度、在室温和提高温度下具有良好的蠕变行为、吸水性低、尺寸稳定性高、膨胀系数低。

玻璃纤维增强剂对这些性能影响很大。玻璃纤维增强剂的缺点是韧性和缺口冲击强度降低,且单位体积的价格较高。

(2) 玻璃球 POM 可以填充多达 80% (质量分数) 的玻璃球。与未填充的材料相比,加工条件不一定要作大的改变。

POM 制的轴承材料使用二硫化钼、氟塑料和白垩比较合适,这可大大改进滑动性能和磨损行为。PTFE 也可以以纤维形式使用,它可使摩擦系数比之用 MoS_2 或石墨者更低。

(3) 其他填充剂和增强剂 少量应用的还有炭黑,用于提高紫外线稳定性。铝或青铜之类的金属粉末可用于提高受热下的尺寸稳定性和导电性。

增强 POM 的某些性能见表 3-71。

(九) 聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET) 和丁二醇酯 (PBT) 及芳香族聚酯 (APE)

这些饱和聚酯的滑动及磨损行为、尺寸稳定性和蠕变强度对于工业应用具有特别重要的意义,其蠕变强度超过聚酰胺或聚缩醛。

PET 以无定形、部分结晶 (结晶度 30% ~ 40%) 和填充料的方式供应市场。芳香链段可使 PET 链的活动性大受限制,使结晶速率减慢,导致在注塑过程中产生问题,不过这些问题可以通过使用纤维填充剂得到解决。增强聚对苯二甲酸乙二醇酯和丁二醇酯的主要应用领域是仪器和机械工程。

用于 PET 和 PBT 填充剂和增强剂的主要有:

(1) 玻璃纤维 玻璃纤维填充剂可改善性能,如有效地提高劲度、强度 (如冲击强度)、热变形温度、耐水性、长期使用性能、电性能和耐蚀性 (浓酸、浓碱除外),以及使得蠕变较低,在用作导轨和轴承元件时,具有较好的滑动性和耐磨性。但流动性、韧性、收缩、热膨胀和表面光泽随玻璃纤维含量提高而降低。

(2) 玻璃球 使用 20% (质量分数) 的玻璃球可降低其变形倾向。与玻璃纤维增

强者相比,表面硬度高,各向同性收缩,表面良好,设备磨损较小。

(3) 矿物质纤维 石棉和云母在电气工业中属于特殊用途的填充剂。虽然硅灰石能提高其强度,但由于比表面大,因此大大降低熔体指数。玻璃纤维和云母或硅灰石并用可提高韧性和降低变形。

表 3-73 列出了增强聚对苯二甲醇乙二醇酯和丁二醇酯的最主要性能。

除了聚碳酸酯和聚砜类具有热变形温度高的无定形热塑性塑料之外,芳族聚酯(APE)代表了另外一类有意义的热塑性塑料,同时也有以玻璃纤维增强的产品供应。

一般来说,玻璃纤维能提高 APE 的劲度和硬度,使蠕变行为得到改进,并使冲击强度和断裂伸长率降低。

有关玻璃纤维增强制品的力学性能可参见表 3-73。

(十) 聚苯醚(PPO)

PPO 的特点是热变形温度高,具有良好的力学性能、劲度、尺寸稳定性和电性能。PPO 和改性 PPO(Noryl)可列入象 PA、PC、ABS、POM 等的工程塑料之中。改性 PPO(Noryl)以玻璃纤维和碳纤维增强的方式(玻璃纤维质量分数 20%~40%)供应,主要用于工业零件。

玻璃纤维增强能提高拉伸强度、弹性模量、挠曲强度、剪切强度、介电性能和尺寸稳定性。增强 PPO 的力学性能和聚碳酸酯类似。玻璃纤维增强聚苯醚的性能列于表 3-73。

(十一) 含氟高聚物

聚四氟乙烯(PTFE)和聚三氟氯乙烯(PCTFE)等绝大多数含氟高聚物具有极高的耐化学性和极好的电性能,使用温度范围 $-250\sim 250^{\circ}\text{C}$,但存在蠕变倾向高、线性热膨胀系数大的问题,因此实际上只能在没有机械应力的地方使用。

合适的填充剂和增强剂能改进热塑性氟塑料的下列性能:

蠕变强度(近 9 倍),耐磨性、劲度(3~4 倍)、导热性(5~10 倍),压缩强度(3~4 倍),硬度、蠕变倾向和在高温下的热变形性。然而,填充剂和增强剂对断裂伸长率和缺口冲击强度有不利影响。

常用的填充剂和增强剂有:

(1) 玻璃纤维 使用 15%~25%(质量分数)的短玻璃纤维,有时和少量石墨一起使用。

(2) 碳纤维 在聚偏氟乙烯和乙烯与四氟乙烯的共聚物中,使用多至 20%(质量分数)的碳纤维。

(3) 金属、金属氧化物和金属化合物 与食物接触的含氟高聚物不允许使用金属填充剂(可溶的金属氟化物)。在轴承材料和密封件方面,偶而使用二硫化钼(有时与玻璃微球配合)、石墨、炭黑和多达 68%(质量分数)的青铜。

根据应用领域,在四氟乙烯与乙烯或全氟丙烯的共聚物中,石墨纤维可与玻璃纤维或滑石并用。

(4) 白垩 填充白垩的聚四氟乙烯在溶出白垩后可用作多孔电气材料。这类材料

的一些性能数据列于表 3-71 中。

(十二) 聚苯硫醚 (PPS)

高结晶度的 PPS 具有突出的性能, 如在高达 260°C 温度下长期加热的稳定性、高的耐化学性、良好的力学性能、电性能、高的尺寸稳定性、阻燃性和低的收缩性。PPS 的热变形温度甚至超过 PPO 和聚醚砜。

注塑用的 PPS 加入 40% (质量分数) 的玻璃纤维, 可以提高强度、劲度、受热下的尺寸稳定性和冲击强度。用石棉纤维增强具有类似的作用。用 30% (质量分数) 的碳纤维增强还能大大降低表面电阻, 获得导电性。采用矿质填料或白垩可以获得较好的加工性、较低的收缩、脱模尺寸更精确和提高表面光泽。加入石墨可改进劲度和蠕变倾向。加入 PTFE 具有更好的滑动和磨耗行为。增强 PPS 的性能列于表 3-73。

(十三) 聚砜、聚醚砜

聚砜和聚醚砜 (PES) 是耐热的热塑性塑料, 能在 100°C 以上的温度下使用, 未增强聚砜的性能与聚碳酸酯类似。用玻璃纤维和碳纤维增强可大大提高力学性能、热性能和化学性能, 但是, 热变形温度没有明显的提高。纤维增强降低收缩和热膨胀, 掺入 10% ~ 50% (质量分数) 的碳纤维可以获得良好的电性能和导热性。增强聚砜的某些性能列于表 3-73 中。

第四章 功能助剂

第一节 抗静电剂与导电剂

一、抗静电剂

抗静电剂在塑料添加剂中占有特殊的地位，多数场合均要使用这类添加剂，其原因不只是为了防火和技术稳定性上的要求，而是出于美观，至少是从安全的角度考虑。

（一）静电电荷的产生

静电现象在古代即为人所知，但其产生机理至今仍为很多人所不知。当把两块平的绝缘铜板和锌板合拢在一起，然后迅速分开，用验电器在两块板的接触面上就可以测到不同的电荷。这种特性不仅限于金属，非金属材料在用力摩擦后也会产生静电电荷。即使是静止的物体，也可能由于与周围流动空气的摩擦而产生静电。

一种固体带电荷的能力取决于表面条件、介电常数、表面电阻率和周围环境的相对湿度，其带电荷的能力与介电常数和相对湿度成反比，与其表面电阻率成正比。电荷的符号随物质的不同而不同，具有较低介电常数的物质带正电。

绝缘特性与静电积聚有关。由大多数塑料的化学结构可知，它们都是很好的绝缘体，这一特性使它们成为诸如雷达等高频设备必不可少的材料。由于大多数塑料具有较低的表面电导率，因而不能将电荷迅速释放掉，这也是塑料与金属的不同点。

根据表面电阻率的高低，材料可分成导体、半导体和绝缘体三种（见图 4-1）。

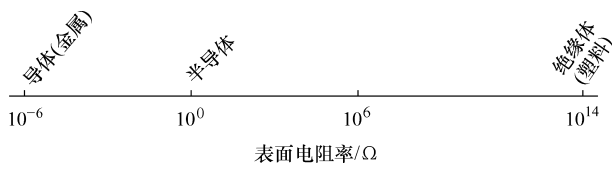


图 4-1 材料类别与其相应的表面电阻率范围

在塑料制品的使用过程中，静电电荷会引起各种麻烦，并会导致严重的、甚至是危险的后果。一般最常见的危害现象有：使塑料制品表面出现严重的积垢，静电吸尘后会影响唱片的放音质量，化纤地毯或塑料地板因静电而使人感到类似于“电击”现象的难受，塑料膜、片之间因静电粘着而影响正常生产，在气流输送过程中使固体粉末聚成团块。静电荷大量聚集而产生的放电火花甚至可引燃空气与尘埃或有机溶剂混合物，成为许多破坏性爆炸事故的一个原因。

（二）静电电荷的抑制措施

（1）增加相对湿度 随着模塑制品环境湿度的提高，其表面电导率也会增加，从而加快了电荷的消散。例如，吸水性聚酰胺的相对湿度高于 65% 时，实际上不存在静电，反之，当相对湿度远低于 20% 时，难免会出现表面电荷的平衡问题。这时，抑制静电的唯一真正有效的措施是采用添加导电基质的办法以降低体积电阻。

（2）增加空气的电导率 利用以电气或放射性原理工作的电离器来增加空气的电导率，使电荷迅速消散到环境空气中去。

（3）增加表面电导率 利用化学助剂（抗静电剂）添加于塑料中或应用于表面，增加表面电导率，从而使静电电荷消散。

二、抗静电剂的化学结构

抗静电剂是添加在模塑料之中或涂敷于模塑制品的表面，以达到减少静电积累目的的一类添加剂。通常，按施用方法的不同，抗静电剂可分为内加型和外涂型两大类。

（一）内加型抗静电剂

内加型抗静电剂是在成型加工之前或在成型期间，作为表面活性剂加入到高聚物中。它们都具有表面活性的特征，并可经过迁移而聚集在模塑制品的表面。这类添加剂的分子中同时含有亲水和疏水两种基团。疏水基团与高聚物间具有一定的相容性，并可使其分子粘固在制品的表面，而亲水基团的作用则体现在与制品表面的水分子进行结合和交换。

目前，申请过专利并已经实际采用的抗静电剂中大多数都具有表面活性的特征，可分为阳离子、阴离子和非离子等类型。此外，还有第四类，是由日本首先研制的两性离子型，不过这类抗静电剂并未在欧美市场占据重要地位。

1. 阳离子型抗静电剂

这类抗静电剂中，分子的活性部分通常含有一个体积庞大的阳离子基团，并常含有一个长烷基，如季铵盐、季磷盐或季铈盐。阴离子一般是在季化反应中形成的，有氯化物、甲基硫酸盐、硝酸盐等。在这类商业产品中季铵盐类抗静电剂占据了首要地位。

阳离子型抗静电剂用于极性基质（如 PVC 和苯乙烯类高聚物）效果最好。然而，由于它们对某些高聚物的热稳定性有不利影响，其采用有一定的局限性。

2. 阴离子型抗静电剂

在这类抗静电剂中，分子的活性部分是阴离子。其中，烷基磺酸盐、硫酸盐、磷酸盐、二硫代氨基甲酸盐或羧酸盐携带阴离子较多，阳离子通常是碱金属离子，有时亦可是碱土金属离子。如烷基磺酸钠，因应用于聚氯乙烯、聚苯乙烯类高聚物等均可获得满意的抗静电效果，从而在工业上被广泛采用，唯独在聚烯烃中的应用有一定的局限性。

3. 非离子型抗静电剂

这类抗静电剂有一个不带电荷且极性很小的表面活性分子基团（主要的有聚乙二醇的酯或醚类、脂肪酸酯或乙醇胺类、单或双甘油酯类、乙氧基脂肪胺类）。作为商品

提供的多为液态或低软化点的蜡状物。

这类添加剂的低极性特征使它们成为聚乙烯和聚丙烯理想的内加型抗静电剂，并具有很高的相容性。各种不同类型的聚乙烯和聚丙烯，其密度、结晶度和微观分子结构并非是一样的，因而，为获得每种抗静电剂的最佳分子结构，就应设法调整化合物中烷基链的长度及其羟基或醚基基团的数量，只有这样方能有效地确保预期的应用效果，如用于聚丙烯的典型抗静电剂在低密度聚乙烯中应用时，其效果就差一些，反之亦然。

值得一提的是作为润滑添加剂的蜡，由于它们降低了摩擦系数，也起到了一些轻微的抗静电作用。其中，较为典型的化合物有十八烷醇（硬脂肪醇）和硬脂肪酰胺。

经常可以发现，过量使用结构不适当的添加剂（例如在聚烯烃中使用季铵盐），虽可以获得一定的抗静电作用，但同时也会出现各种不希望有的副作用，诸如表面污染、由于润滑问题引起的模塑困难、热降解等。

（二）外涂型抗静电剂

外涂型抗静电剂是以水或酒精溶液的形式涂敷于模塑制品的表面。由于使用方法的不同，内加型抗静电剂中所提到的结构要求变得不很重要。所有具有表面活性的化合物以及不存在表面活性的许多吸湿性物质（如甘油、多元醇和聚乙二醇等），或多或少都具有抗静电的作用，且这些化合物的作用并不受与聚合物的相容性及其在聚合物中迁移性的影响。

三、主要品种与性能

（一）表面活性剂

用作抗静电剂的主要的表面活性剂见表 4-1。

表 4-1 用作抗静电剂的主要的表面活性剂

种 类	结 构	主 要 成 分	适用树脂(混炼法)
阳离子型(混炼,表面涂布)	季铵盐	(亲油基)单烷基、二烷基 (阴离子基)卤素、硝酸、过氯酸、有机酸	PVC
非离子型(混炼,表面涂布)	脂肪酸多元醇酯	(亲油基)单烷基、二烷基 (多元醇)丙三醇、山梨糖醇、聚甘油、聚氧化乙烯、多元醇	ABS、聚烯烃、PVC
	聚氧化乙烯附加物	(亲油基)烷基胺、烷基酰胺、脂肪醇、烷基醛 (亲水基)聚氧化乙烯、聚氧化乙烯/聚氧化丙烯	
两性型	丙铵盐	(阳离子基)胺、烷基酰胺、烷基间二氮杂环戊烯	聚苯乙烯、ABS、聚烯烃
	丙胺酸盐	(阳离子基)碳酸、磺酸	
阴离子型(混炼)	磷酸盐	(亲油基)脂肪醇、聚氧化乙烯附加物	聚苯乙烯、聚烯烃、PVC
	磺酸盐	(亲油基)烷基、烷基苯	
高分子型(表面涂布)	聚丙烯酸衍生物	(亲水基)季铵、磺酸、碳酸、聚氧化乙烯	PMMA

(二) 阴离子型

1. 醇醚磷酸单酯

性质 无色或淡黄色黏稠液体，总活性物 >95%，单酯含量 >80%，pH 值（10% 水溶性）<2。

用法及应用特点 本品可用作化纤、塑料的抗静电剂。

2. 烯丙基磺酸钠

性质 淡黄色蜡状颗粒，相对分子质量 320 ~ 335。

用法及应用特点 本品可减少粉尘对最终产品的外观及性能污染，减少运输、储存及包装过程中的问题，适用于聚苯乙烯、UPVC、TPU 的高效内部抗静电剂，以及挤出扁材和注塑模件。本品可作为外部抗静电剂（2% 的 ATMER190 水溶液），不推荐用于透明制品，添加量如下：ABS 1.0% ~ 2.0%，HIPS 1.0% ~ 1.5%，TPU 1.5% ~ 2.0%，UPVC 2.0% ~ 3.0%。

3. 烷基硫酸钠

性质 浅黄色颗粒。熔点约 220°C，堆积密度约 0.59g/cm³，烷基磺酸盐 ≥90%，石蜡 ≤1%，硫酸钠 4% ~ 6%，水 ≤1%。

用法及应用特点 本品在高温下挥发性极低，常用作高熔点热塑性工程塑料的加工助剂，特别适用于极性塑料的内加型抗静电剂。在那些不能直接加入到聚合物的情况下，它可以 1% 的水溶液的形式喷洒或浸渍在成品表面，在 PVC、PS、热塑性工程塑料中兼具外润滑性，具有优良的脱模和改善流动的作用，添加量为 0.1% ~ 2.0%。

(三) 阳离子型

1. 十八烷酰氨基丙基二甲基-β-羟乙基季铵硝酸盐

性质 商品形式是含本品 50% ~ 60% 的异丙醇-水溶液，呈淡黄色或琥珀色。相对分子质量 476，pH 值为 4 ~ 6，相对密度 0.95，闪点（开杯法）30 ~ 32.5°C，180°C 以上开始轻微分解，250°C 剧烈分解，在 5% 的苛性碱液或 5% 硫酸溶液中煮沸 1h 不发生水解。溶于水、丙酮、醇类、氯仿、二甲基甲酰胺、二氧六环、甲基（乙基或丁基）赛璐珞溶剂、苯等有机溶剂中，加热至 50°C 时可溶于四氯化碳、二氯乙烷、苯乙烯等。

用法及应用特点 本品用作塑料的抗静电剂，可增加制品表面的导电性，有效地消除静电积累，适用于硬质聚氯乙烯、抗冲击聚苯乙烯、丙烯酸树脂、ABS 树脂、聚乙烯、聚丙烯和聚酯等塑料，一般用量为 0.5% ~ 2%。本品可与阳离子表面活性剂和非离子表面活性剂并用，不宜与阴离子表面活性剂并用。

2. 硬脂酰氨基乙基二乙基苄基氯化铵

性质 室温下为固体结晶。相对分子质量 509.24，可溶于碳酸钠水溶液，表面活性大，起泡强，但无净洗力。

用法及应用特点 本品可用作抗静电剂、柔软剂、固色剂和湿润剂。

3. 烷基磷酸酯二乙醇胺盐

性质 浅黄至棕黄色黏稠膏状物。相对分子质量 410.40 ~ 466.5。易溶于水及有机

溶剂，具有一定吸湿性。

用法及应用特点 本品用作塑料制品的抗静电剂，在纺织工业中作涤纶、丙纶等合成纤维纺丝用的油剂组分之一，可起润滑作用及增加纤维的抗静电性能，用量为总油剂量的5%~10%。

4. (3-月桂酰氨基丙基) 三甲基硫酸甲酯铵

性质 白色结晶粉末。相对分子质量 410，相对密度 1.121（25℃），熔点 99~103℃，开始分解的温度 235℃，常温下（25℃）溶解度见表 4-2。

表 4-2 (3-月桂酰氨基丙基) 三甲基硫酸甲酯铵常温下（25℃）的溶解度

名 称	溶解度/(g/100mL)	名 称	溶解度/(g/100mL)
乙醇	105	丙酮	9.0
水	75	苯	<1.0
乙基溶纤剂	70	全氯乙烯	<0.2

用法及应用特点 本品可作为硬质和软质聚氯乙烯、聚苯乙烯、ABS 树脂、聚乙烯、聚丙烯和聚氨酯等塑料的内加型抗静电剂，静电消除效能高，热稳定性和流动性好，与树脂容易混合，一般用量 0.5%~2%。

5. N, N-双(2-羟基乙基)-N-(3'-十二烷氧基-2'-羟基丙基) 甲基硫酸甲酯铵

性质 商品形式是含本品 50% 的异丙醇-水溶液，为淡黄色液体，色度（APHA）200。10% 溶液的 pH 值为 4~6，相对密度 0.96，溶于水、丙酮、乙醇及其他低分子量极性溶剂，加热时可溶于非极性溶剂。

用法及应用特点 本品既可添加于配料中，也可外涂于制品表面。抗静电效能高，热稳定性好，着色性小，特别适用于聚氯乙烯、ABS 树脂、丙烯酸树脂等塑料，一般用量 0.5%~2%。

6. 甲基·三(羟乙基)季铵甲基硫酸盐

性质 淡黄色黏稠油状液体。相对分子质量 275。易溶于水，有吸湿性，游离三乙醇胺含量为 0~4%。

用法及应用特点 本品为塑料用抗静电剂，一般用量为 0.5%~2%。

7. 硬脂酰胺丙基二甲基-β-羟乙基磷酸二氢铵

性质 商品形式为含本品 35% 的异丙醇-水溶液，淡黄色透明液体，相对分子质量 509，相对密度 0.94，pH 值 6.3~7.2。闪点（开杯法）<26.5℃，在 5% 的氢氧化钠或硫酸溶液中煮沸 1h，不发生水解，溶于水、丙酮、醇类和其他低分子极性溶剂。

用法及应用特点 本品为塑料用抗静电剂。用于内部添加时，主要适用于硬质聚氯乙烯和碳酸钙填充的聚苯乙烯等塑料，一般用量为 0.5%~1.5%。用于外部喷涂、浸涂或刷涂时，适用于聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚碳酸酯、ABS 树脂、丙烯酸树脂、聚烯烃等多种塑料，一般用量为 1%~10%。本品还可作为合成纤维的抗静电剂。

8. N, N-十六烷基乙基吗啉硫酸乙酯盐

性质 橘黄色或琥珀色蜡状物。相对分子质量 453，相对密度 1.01，熔点 74℃，

pH 值 (10% 溶液) 为 4.5。

用法及应用特点 本品为阳离子型抗静电剂，涂敷于制品表面，适用于醋酸纤维素，一般用量 1% ~ 2%。在纤维加工中，本品可作为合成纤维的抗静电剂。

9. ASA-156

性质 常温下为淡黄色液体。相对密度 0.95 (25°C)，粘度约 0.30Pa·s (25°C)，季铵盐含量 >55%，水分 <0.8%，pH 值 7 ~ 8 (25°C, 10g/100mL 水)，易溶于水、乙醇等溶剂中。

用法及应用特点 可作为外涂型和内加型抗静电剂，具有优良的抗静电效果，适用于聚氨酯、PVC 制品、丙烯酸树脂和环氧树脂涂料等，一般用量为 0.1% ~ 0.6%。

10. Antistat 68

性质 纯度 99% ~ 100%，熔点 65°C，相对密度 0.965 (25°C)，粘度 0.032Pa·s (80°C)，色度 (APHA) (10% 水溶液) 90，pH 值 4.2 (25°C, 10g/100mL 水)，溶于水，分解温度 244°C。

用法及应用特点 本品为阳离子型有机电解质，可作为外涂型和内加型抗静电剂，具有优良的热稳定性，适用于聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、丙烯酸树脂和尼龙等塑料，一般用量为 0.1% ~ 0.5%。

11. Daltoped Ao 00008

性质 无色至淡黄色的无味液体。密度 (25°C) 0.998g/cm³，倾点约 6°C，闪点 (闭杯) >100°C。

用法及应用特点 本品是一种溶解于乙二醇中的含有季铵类的聚醚型内添加抗静电剂，主要用于聚氨酯鞋底料中的聚醚组分，还可用于聚氨酯的其他应用中。

(四) 非离子型

1. 混合甘油单硬脂酸酯

性质 白色或淡黄色蜡状固体。相对分子质量 359，熔点 56 ~ 58°C，相对密度 0.970 (25°C)，碘值 <2g I₂/100g，酸值 <2mgKOH/g，皂化值 164 ~ 174mgKOH/g，游离甘油含量 <1%，单甘酯含量一般为 60% ~ 65%。

用法及应用特点 本品可用作抗静电剂、润滑剂，还可作为硝酸纤维素的增塑剂、醇酸树脂的改性剂、胶乳分散剂及合成石蜡的配合剂。

2. 甘油单棕榈酸酯

性质 白色微粒。熔点 62 ~ 68°C。

用法及应用特点 本品可作为塑料的抗静电剂、润滑剂和乳化剂等。

3. 甘油 (12-羟基) 单硬脂酸酯

性质 白色微粒。相对分子质量 375，熔点 71 ~ 77°C。

用法及应用特点 本品可作为塑料的抗静电剂、润滑剂。

4. Armostat[®]

性质 淡黄色蜡状物。熔点 40 ~ 44°C，热稳定性 >300°C，皂化值 104mgKOH/g，

游离胺 <45mgKOH/g。

用法及应用特点 本品是烷基酰胺类非离子型表面活性剂，可作为软质、半硬质聚氯乙烯塑料的内加型抗静电剂，主要用于薄膜、片材、半硬质钙型聚氯乙烯贴面材料等，可使塑料的表面电阻值从 $10^{16}\Omega$ 下降至 $10^9 \sim 10^{10}\Omega$ 。

Armostat 400 是一种高纯度、低色度的来源于植物的饱和烷基双（2-羟乙基）胺。它是一种内添加型抗静电剂，可用在不同的树脂体系，如 PE、LDPE、PP、SAN、ABS 和 HIPS。由于 Armostat 400 具有相对较短的烷基链段，因此能给予材料持续的抗静电性能，尤其在薄膜中，其快速迁移性使抗静电性更为突出。

Armostat 400 常温下为液体，在单、双螺杆挤出机中可通过计量直接加入到聚合物中。颜料或色母料也可与本抗静电剂混合在一起挤出。预混合有助于 Armostat 400 在树脂中的分散均匀，同时 Armostat 400 还可作为分散剂帮助颜料或色母料分散。

Armostat 400 添加到聚合物中，能很快迁移到制品表面体现优异的抗静电性能。因相对分子质量较低，Armostat 400 是一种快速抗静电剂。饱和烷基链段使其具有较好的热稳定性，尤其可用在经过高温处理的应用中。而低色度则使其应用范围更为广泛，如许多无色透明制品。

本产品在不同聚合物中的建议添加量见表 4-3。

表 4-3 Armostat 400 在不同聚合物中的建议添加量

聚合物	PE	PP	PS	SAN	ABS	HIPS
助剂添加量(%)	0.1 ~ 0.3	0.1 ~ 0.3	2.0 ~ 4.0	1.0 ~ 2.0	1.5 ~ 3.0	1.5 ~ 2.5

Armostat 600 是一种来源于动物的饱和烷基双（2-羟乙基）胺。它是一种内添加型抗静电剂，可用在不同的树脂体系，如 PE、LDPE、PP、SAN、ABS。由于 Armostat 600 具有饱和烷基链段，因此能给予材料持续的抗静电性能并具有良好的热稳定性，尤其可用在经过高温处理的情况。

Armostat 600 常温下为固体。当加热到 50 ~ 55℃ 时，在单、双螺杆挤出机中可通过计量直接加入到聚合物中。

颜料或色母料也可与本抗静电剂混合一起挤出。预混合有助于 Armostat 600 在树脂中的分散均匀，同时 Armostat 600 还可作为分散剂帮助颜料或色母料分散。

Armostat 600 添加到聚合物中后，能很快迁移到制品表面体现优异的抗静电性能。

本产品在不同聚合物中的建议添加量见表 4-4。

表 4-4 Armostat 600 在不同聚合物中的建议添加量

聚合物	PE	PP	LDPE	ABS
助剂添加量(%)	0.1 ~ 0.3	0.1 ~ 0.3	0.1 ~ 0.3	1.5 ~ 3.0

Armostat 700 是一种经过精制的来源于动物的油基双（2-羟乙基）胺。它是一种内添加型抗静电剂，可用在不同的树脂体系，如 PE、LDPE、PP、SAN、ABS 和 HIPS。

Armostat 700 能给予材料持续的抗静电性，特别是在模塑制品中，其低熔点的特性可使其在较低的温度下在单、双螺杆挤出机中通过计量直接加入到聚合物中。

颜料或色母料也可与本抗静电剂混合一起挤出。预混合有助于 Armostat 700 在树脂中的分散均匀，同时 Armostat 700 还可作为分散剂帮助颜料或色母料分散。

由于经过了精制，Armostat 700 要比一般的油基产品 Armostat 300 耐热性好。

Armostat 700 添加到聚合物中后，能很快迁移到制品表面体现优异的抗静电性能。它是精制的油基双（2-羟乙基）胺，因此具有较高的平均分子量。这使它具有较好的热稳定性，可应用在（如 PP 的）模塑制品中。高分子量同时也延缓了分子向外迁移，这有利于薄膜下线后立即上印刷生产线。

本产品在不同聚合物中的建议添加量与 Armostat 400 相同。

5. N-（3-十二烷氧基-2-羟基丙基）乙醇胺

性质 白色流动性粉末，熔点 59 ~ 60°C，25°C 时的溶解度见表 4-5。

表 4-5 N-（3-十二烷氧基-2-羟基丙基）乙醇胺的溶解度（25°C）

名称	溶解度/(g/100mL)	名称	溶解度/(g/100mL)
庚烷	0.02	乙酸乙酯	1.5
乙醇	30.0	甲乙酮	23.0
甲苯	0.8	水	<0.01

用法及应用特点 本品为塑料用内加型抗静电剂，可迅速有效地消除静电聚集，加工后即可获得无静电制品，不像其他一些抗静电剂那样，需待数日或数周后方能见效。本品具有良好的热稳定性，在 250°C 下是稳定的，在挤塑和模塑加工过程中不发生分解变色。本品对聚乙烯特别是高密度聚乙烯的抗静电效果最显著，一般用量为 0.15% 左右。本品在聚丙烯和聚苯乙烯中亦具有良好效果，但用量较大，一般为 1.5% 左右。本品在聚氯乙烯中的效果较差。

6. N, N-双（2-羟乙基）烷基胺

性质 常温下为蜡状固体。色度（APHA）100，相对密度 0.910 ~ 0.912（25°C）。溶于丙酮、苯、四氯化碳、异丙醇等溶剂。

用法及应用特点 本品可作为聚丙烯、聚乙烯的抗静电剂，抗静电效能高，耐光性好，不着色，适用于薄膜、板材和模塑品，一般用量为 0.1% ~ 0.5%，制品不吸尘不粘灰。

7. SGK-03 型抗静电剂

性质 A、B 型外观分别为棕色或深棕色粉料和棕黄色或棕色黏稠液体，A 型熔点 56 ~ 58°C，游离胺 <3%，挥发物（280°C，30min）≤5%，折射率 1.462 ~ 1.465。B 型为脂肪酰胺类，pH 值 7 ~ 9，粘度（20°C）0.10Pa·s，总胺值 25 ~ 30mgKOH/g，相对密度 1.02。

用法及应用特点 本品为非离子型表面活性剂，可作为聚氯乙烯、聚乙烯、聚丙

烯、聚苯乙烯、ABS、合成纤维等材料的内加型抗静电剂，A 型添加量为 2 ~ 2.5 份，B 型添加量为 3 ~ 6 份。

8. ASA-10

性质 象牙白色片状固体，无味。凝固点 50 ~ 66°C。

用法及应用特点 本品为非离子型抗静电剂，使用时采用内加法，适用于 PE、PP、PVC 膜，可使表面电阻明显降低，一般用量为 0.3 ~ 0.5 份 (phr)。

9. ASA-40

性质 常温下为淡黄色液体，无味，凝固点 18°C，分解温度在 300°C 以上。

用法及应用特点 本品为烷基胺环氧乙烷加成物，使用时采用内加或外涂，适用于 PE 等聚烯烃类塑料，可使表面电阻明显降低，一般用量为容器 2 ~ 5 份 (phr)，薄膜 0.5 ~ 1.0 份 (phr)。

10. ASA-90

性质 淡黄色蜡状物，无味。凝固点 38 ~ 40°C，分解温度在 340°C 以上。

用法及应用特点 本品为非离子表面活性剂为主体的复合物，使用时采用内加法，适用于 ABS 和 PE 塑料制品，可使表面电阻明显降低，一般制品和制件用量为 3 ~ 4 份 (phr)。

11. PGE 308

性质 糊状。单甘酯含量约 25%，碘值 $\leq 2.0 \text{gI}_2/100\text{g}$ ，酸值 $\leq 3.0 \text{mgKOH/g}$ 。

用法及应用特点 本品是聚甘油酯和分子蒸馏单甘油酯的混合物，不含任何胺类和酰胺类，是一种优异的电子包装和食品接触级抗静电剂，应用于聚碳酸酯无腐蚀性和应力开裂现象，具有优异的热稳定性和工艺稳定性，其加工温度可达 250 ~ 280°C，与醇胺和酰胺类抗静电剂相比，具有更好的 TGA 曲线。本品具有良好的长效性，在大部分制品中，其抗静电性能可持续一年以上，在低温环境下也显示了良好的抗静电性能 (RH12%)。本品可用于透明包装，也可用于 LDPE、LLDPE 薄膜和 HDPE 的薄膜、注塑制品。

12. 聚甘油酯

性质 糊状 (25°C)。碘值约 $55 \text{gI}_2/100\text{g}$ ，皂化值约 115 ~ 135 mgKOH/g，滴点约 57°C。

用法及应用特点 本品是一种具有亲水和亲油性质的表面活性剂，可用于塑料中作为乳化剂、抗静电剂、润滑剂和填料、颜料的表面改性剂。

13. 甘油-酸酯复配物

性质 白色珠状固体颗粒。总酯含量 $\geq 95\%$ ，碘值 $\leq 2 \text{gI}_2/100\text{g}$ ，游离脂肪酸 $\leq 1.5\%$ 。外观为金属含量：砷 $\leq 2 \text{mg/kg}$ ，铅 $\leq 10 \text{mg/kg}$ ，重金属（以铅计） $\leq 20 \text{mg/kg}$ 。

用法及应用特点 本品是一种具有亲水/亲油性质非离子型乳化剂，可用于塑料中作为乳化剂、抗静电剂、润滑剂和填料、颜料的表面改性剂。

14. 分子蒸馏甘油单硬脂酸酯

性质 白色珠状固体颗粒。单酯含量 $\geq 90\%$ ，碘值 $\leq 2 \text{gI}_2/100\text{g}$ ，游离脂肪酸 $\leq$

1.5%，游离甘油 $\leq 1.0\%$ ，滴点约 $69 \sim 70^{\circ}\text{C}$ 。

用法及应用特点 本品是一种蒸馏单甘酯，由食用氢化植物油制成，是一种非离子型亲水/亲油乳化剂，可用于塑料中作为乳化剂、抗静电剂、润滑剂和填料、颜料的表面改性剂、淀粉配合剂，还可用于 PP 中作为抗静电剂和脱模剂，用量为 $0.1\% \sim 0.5\%$ 。本品也广泛应用于 PE、PS、ABS 中。

15. 分子蒸馏单甘酯

性质 类似塑料颗粒。单酯含量 $\geq 90\%$ ，碘值约 $75\text{gI}_2/100\text{g}$ ，游离脂肪酸 $\leq 4.0\%$ ，游离甘油 $\leq 1.0\%$ ，所含抗氧剂含量：棕榈酸维生素 C $\leq 200\mu\text{g/g}$ 、维生素 E $\leq 200\mu\text{g/g}$ 、柠檬酸 $\leq 200\mu\text{g/g}$ 。

用法及应用特点 本品是一种高含量蒸馏单甘酯，由食用氢化植物油制成，是一种非离子型亲水/亲油乳化剂，可用于塑料中作为乳化剂、抗静电剂、润滑剂和填料、颜料的表面改性剂。

16. 植物油酯与聚甘油酯的酯化物

性质 珠状颗粒。碘值 $\leq 2.0\text{gI}_2/100\text{g}$ ，皂化值约 160mgKOH/g ，酸值 $\leq 6.0\text{mgKOH/g}$ ，滴点约 57°C 。

用法及应用特点 本品是聚甘油酯和单甘油二酯的混合物，可用于 PE 作为抗静电剂，在 LDPE 和 LLDPE 薄膜中的添加量为 $0.1\% \sim 0.4\%$ 。

17. 脂肪酸酯和聚甘油酯的混合物

性质 淡黄色液体。酸值 $< 5\text{mgKOH/g}$ ，熔点 $54 \sim 60^{\circ}\text{C}$ ，有效成分 $\geq 99\%$ 。

用法及应用特点 本品用作 BOPP 的抗静电剂。

18. Quadrilan AT, S-18

性质 黄色至浅棕色黏稠液体或膏状物。胺值 $5.0 \sim 10.0\text{mgKOH/g}$ ，游离胺 $\leq 3.0\text{mgKOH/g}$ ，季铵盐含量 $(48 \pm 6)\%$ ，挥发分 $0 \sim 3.0\%$ ，能溶解于乙醇等有机溶剂。

用法及应用特点 本品是季铵盐阳离子表面活性剂与非离子表面活性剂组成的复合型抗静电剂，具有优良的耐热性、长效性，适用于一切软质、半硬质和硬质聚氯乙烯，添加量为 $2\% \sim 3\%$ 时，能使塑料表面电阻率降至 $10^7 \sim 10^8 \Omega$ 。本品还可用于聚氨酯橡胶、环氧树脂及涂料等。

19. HKD-169

性质 白色粉末。酸值 $\leq 5.0\text{mgKOH/g}$ ，挥发分 $\leq 3.0\%$ ，溶解乙醇时有少量沉淀产生。

用法及应用特点 本品具有优良的耐热性，适用于各种 ABS 塑料、PS 塑料及 PVC 塑料的片材、容器及零部件等塑料制品，添加量为 $2\% \sim 3\%$ 时，能使塑料表面电阻率降至 $10^8 \Omega$ 。

(五) 两性离子型

十二烷基二甲基甜菜碱

性质 无色或淡黄色透明液体。 20°C 时密度 1.03g/cm^3 ，在酸性介质中呈阳离子

性，在碱性介质中呈阴离子性，活性物含量 $(30 \pm 2)\%$ ，pH 值 6.5 ~ 7.5。

用法及应用特点 本品可用作抗静电剂。

(六) 高分子型

1. 辛基酚聚氧乙烯醚

性质 黄色透明液体。技术指标见表 4-6。

表 4-6 辛基酚聚氧乙烯醚的技术指标

技术指标	数值	技术指标	数值
色度	≤ 50	活性物	$\geq 99\%$
水分	$\geq 1\%$	浊点/ $^{\circ}\text{C}$	68 ~ 70
pH 值(1% ,25 $^{\circ}\text{C}$)	5 ~ 7	HLB 值	5

用法及应用特点 本品可作为聚丙烯、聚乙烯的抗静电剂。

2. 聚氧乙烯硬脂酸酯（10EO）

性质 白色软膏体。技术指标见表 4-7。

表 4-7 聚氧乙烯硬脂酸酯（10EO）的技术指标

技术指标	数值	技术指标	数值
pH 值(1% ,25 $^{\circ}\text{C}$)	6 ~ 7.5	浊点/ $^{\circ}\text{C}$	25 ~ 29
活性物	$\geq 99\%$	皂化值/(mgKOH/g)	71 ~ 77

用法及应用特点 本品可作为聚丙烯、聚乙烯的抗静电剂。

3. 聚氧丙基乙烯基醚

性质 浅黄色黏稠液体，具有水溶性。

用法及应用特点 本品为新型抗静电剂，适用于塑料和化学纤维，并可用作化纤柔软剂。

4. Atmos 150

性质 象牙白色颗粒。相对分子质量 413，熔点 57.1 ~ 61 $^{\circ}\text{C}$ ，高级脂肪酸的相对混合比是 $\text{C}_{18}:\text{C}_{16}:\text{C}_{14}=65.5:30.2:4.3$ ，单酯含量 61% ~ 66%，游离甘油含量 < 1.5%，游离脂肪酸（以油酸计）含量 < 0.5%，水分 < 0.5%。

用法及应用特点 本品为棕榈酸和硬脂酸的单双甘油酯，内加型抗静电剂，适用于聚乙烯、聚丙烯、软质和硬质聚氯乙烯，一般用量 0.5% ~ 2%。

5. Pelestat 230

性质 淡黄色粒子。熔点约 160 $^{\circ}\text{C}$ ，表面电阻率为 $5 \times 10^7 \Omega$ ，热降解温度为 250 $^{\circ}\text{C}$ 。

用法及应用特点 本品为一种用于聚烯烃的高分子量永久型抗静电剂，不会降低树脂基体的力学性能，可用于薄膜和片状材料中，添加量为 5% ~ 20%。

6. Pelestat NC6321

性质 淡黄色粒子。熔点约 203 $^{\circ}\text{C}$ ，表面电阻率为 $1 \times 10^9 \Omega$ ，热降解温度为 285 $^{\circ}\text{C}$ ，

熔体流动速率 MFR 为 20g/10min (ASTM D 1238), 折射率 1.51。

用法及应用特点 本品为一种由亲水和亲油链段组成的嵌段型热塑性弹性体, 一种用于苯乙烯类聚合物 (如 ABS、MS 等) 的高分子量永久型抗静电剂, 不会降低树脂基体的力学性能, 添加量为 10% ~ 15%。

(七) 复合型

1. ASA-150

性质 微黄色或黄色膏状物, 可溶于苯、甲苯、二甲苯、氯仿等有机溶剂, 微溶于水。

用法及应用特点 本品为非离子和阳离子复合型抗静电剂, 属内加型抗静电剂, 可用于聚氯乙烯、合成橡胶及天然橡胶、各种聚烯烃包装制品中, 一般用量为 0.2 ~ 5 份 (phr)。

2. ASA-51

性质 常温下为淡黄色蜡状物, 无味。凝固点 41 ~ 44°C, 分解温度在 350°C 以上。

用法及应用特点 本品是烷基胺环氧乙烷加成物为主体的复合物, 使用时采用内加法, 适用于聚烯烃类塑料, 特别适用于 BOPP 膜生产和使用, 可使表面电阻明显降低, 一般用量为容器 2 ~ 5 份 (phr), 薄膜 0.3 ~ 1.0 份 (phr)。

3. ASP-2

性质 乳白色蜡状物, 无味。凝固温度 45 ~ 47°C。

用法及应用特点 本品是专门为聚烯烃类制品提供有效的抗静电性能而设计的, 也可用于 ABS、尼龙等工程塑料制品。本品的抗静电效果在厚制品、薄膜制品上作用明显, 可大大降低制件的表面电阻, 消除静电危害。本品对制品的力学性能和光学性能基本无影响, 不会增加薄膜制品的雾度 (或者浊度), 适用于薄膜制品。

4. AB-33

性质 淡黄色蜡状物, 无味。凝固温度 50 ~ 53°C

用法及应用特点 本品是专门为聚烯烃类 (LDPE、PP) 制品提供长效的抗静电性能而设计的, 也可用于其他塑料制品, 如 ABS、PS 等。本品的抗静电效果在厚制品、薄膜制品上作用明显, 可大大降低制件的表面电阻, 消除静电危害。本产品制得的母粒爽滑性好。本品对聚烯烃类塑料制品的加工性和制品的其他性能无不良影响。

5. ASH-1

性质 乳白色蜡状物, 无味。凝固温度 43 ~ 45°C。

用法及应用特点 本品是专门为聚烯烃类 (LDPE、PP) 制品提供有效的抗静电性能而设计的, 也可用于其他塑料制品, 如 ABS、PS、尼龙等。本品的抗静电效果在厚制品、薄膜制品上作用明显, 可大大降低制件的表面电阻, 消除静电危害。

6. MS-2

性质 白色珠状。熔点 62 ~ 65°C, 沸点 185°C。

用法及应用特点 本品为树脂及塑料用抗静电剂, 对各类塑料制品可以起到很好的

防尘、抗静电作用，特别是对各类塑料板材、包装容器可以起到极佳的防尘和提高表面质量的效果，与各种树脂和塑料有良好的相容性，使用时采用内加法，添加量为2%。

7. 羟乙基烷基胺、高级脂肪酸和二氧化硅的复配物

性质 白色至灰白色粉状物。熔点约45℃，表观密度0.3~0.5g/cm³，羟值220~240mgKOH/g，胺值66~75mgKOH/g，酸值<3.0mgKOH/g，5%热失重温度约280℃。

用法及应用特点 本品为复配型非离子抗静电剂，属内添加型抗静电剂品种，适用于聚乙烯、聚丙烯、天然或合成橡胶制品，抗静电效能持久，尤其在聚烯烃塑料包装膜、日用塑料容器、矿用塑料管材、板材、丙纶纤维中的应用效果显著，可使制品的表面电阻由10¹⁶Ω降低到10⁹~10¹⁰Ω，推荐用量为0.3~1份。

四、导电、导热助剂

1. 石墨粉

性质 石墨粉的主要成分为灰黑色层状晶体结构的六方晶系微粉，有金属光泽，有滑腻感，高分散性，不粘结团。相对密度1.9~2.2，熔点3527℃，摩擦系数0.08~0.20，莫氏硬度1.0~1.15。在室温下不活泼，仅能用浓硝酸或氯酸钾强氧化剂处理，可得无传导性的石墨酸或石墨氧化物。在420℃时吸收氟生成氟化碳而失去光泽和传导性。450℃时开始氧化。与其他气体仅是物理吸附而无反应，因而具有耐高温和良好的热稳定性、导电性、导热性、可塑性和润滑性，但在真空条件下将失去润滑性。化学稳定性好，耐酸、耐碱、耐有机溶剂。石墨粉的质量指标见表4-8。

表 4-8 石墨粉的质量指标

项 目	00 [#]	0 [#]	1 [#]	2 [#]	特2	3 [#]
外观	灰黑色，带有金属光泽的粉末	灰黑色，带有金属光泽的粉末	灰黑色，带有金属光泽的粉末	灰黑色，带有金属光泽的粉末	灰黑色，带有金属光泽的粉末	灰黑色，带有金属光泽的粉末
细度(1.5μm)(%)	≥95	—	—	—	—	—
(2.3μm)(%)	—	≥90	—	—	—	—
(4.0μm)(%)	—	—	≥90	—	—	—
(15μm)(%)	—	—	—	≥90	—	—
(20μm)(%)	—	—	—	—	≥90	—
(30μm)(%)	—	—	—	—	—	≥90
灰分(%)	≤10	≤1.0	≤1.0	≤1.5	≤1.5	≤1.5
水分(%)	≤0.5	≤0.5	≤0.5	≤0.5	≤0.5	≤0.5
纯度(%)	≥99	≥99	≥99	≥98.5	≥98.5	≥98
pH 值	6~7	6~7	6~7	6~7	6~7	6~7

用法及应用特点 可用于制备导电塑料、电磁屏蔽塑料和抗静电塑料等，可用于工程塑料和特殊工程塑料为基体的材料填充，填充量为5%~20%（质量分数）。

2. 乙炔炭黑

性质 乙炔炭黑又称乙炔黑，简称ACET，是以乙炔为原料，在1400℃左右高温下

隔绝空气进行热分解，再经冷却收集制得。外观为黑色极细粉末，真密度 $1.59 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ （氮置换法），表观密度 $(0.02 \sim 0.03) \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ，平均粒径 $35 \sim 45 \text{ nm}$ ，比表面积 $55 \sim 70 \text{ m}^2/\text{g}$ ，吸油值 $2.5 \sim 3.5 \text{ mL/g}$ 。乙炔炭黑纯度很高，含碳量大于 99.5% ，氢含量小于 0.1% ，氧含量 $0.07\% \sim 0.26\%$ 。pH 值 $6 \sim 8$ 。具有较高的导电性和导热性，有抗静电效果。乙炔炭黑的技术指标见表 4-9。

表 4-9 乙炔炭黑技术指标（GB/T 3782—2006）

项 目	粉状	50% 压缩品		70% 压缩品
	合格品	优等品	合格品	合格品
视比容/ (cm^3/g)	30 ~ 50	14 ~ 17	13 ~ 17	9 ~ 12
吸碘值/ (g/kg)	≥ 80	≥ 90	≥ 80	≥ 80
盐酸吸液量/ $(\text{cm}^3/\text{g}) \geq$	3.9	3.9	3.7	2.9
电阻率/ $(\Omega \cdot \text{m}) \leq$	3.0	2.5	3.5	5.5
pH 值	6 ~ 8	6 ~ 8	6 ~ 8	6 ~ 8
加热减量 $(\%) \leq$	0.4	0.3	0.4	0.4
灰分 $(\%)$	0.3	0.2	0.3	0.3
粗粒分 $(\%)$	0.03	0.02	0.03	0.03
杂质	无	无	无	无

注：产品用于无线电元件时才考核 pH 值。

用法及应用特点 可用于填充各种塑料品种，制备电子电气用制件，一般填充量为 $5\% \sim 15\%$

3. CSF-Ⅲ导电型炭黑

性质 CSF-Ⅲ导电型炭黑是利用化工厂最终副产品为原料，经不同的化学方法处理而制得，具有明显的结晶特征，其结晶程度高于乙炔炭黑，故具有良好的导电性质。导电性几乎与乙炔炭黑不相上下，但价格低廉，仅为乙炔炭黑的 $1/3$ 左右。CSF-Ⅲ导电炭黑的质量指标见表 4-10。

表 4-10 CSF-Ⅲ导电型炭黑的质量指标

项 目	指 标	项 目	指 标
粒径/nm	30 ~ 70	pH 值	7 ~ 9
密度/ $(\times 10^3 \text{ kg/m}^3)$	1.15	干实体积/ (mL/g)	6
比表面积/ (m^2/g)	> 262	盐酸吸液量/ (mL/g)	2.8
DBP 吸油值/ (mL/g)	> 1.73	电阻率/ $(\text{k}\Omega \cdot \text{cm})$	< 3.1

用法及应用特点 可用于制备抗静电塑料，可应用于通用塑料和通用工程塑料，一般填充量为 $2\% \sim 10\%$ 。

4. 导电炉黑

性质 导电炉黑又称导电炭黑，简称 CF，黑色粉末。真密度 $1.80 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ，平均粒径 $21 \sim 29 \text{ nm}$ ，比表面积 $125 \sim 200 \text{ m}^2/\text{g}$ ，吸油值 1.3 mL/g ，pH 值 $8 \sim 9$ ，挥发分

1.5% ~2.0%。导电炉黑的质量指标见表 4-11。

表 4-11 导电炉黑的质量指标

项 目	指 标	项 目	指 标
平均粒径/nm	21 ~ 29	pH 值	8 ~ 9
比表面积 (BET 法)/(m ² /g)	125 ~ 200	挥发分(%)	1.5 ~ 2.0
吸油值/(mL/g)	1.3		

用法及应用特点 主要用于制备抗静电塑料，适用于各种塑料品种，添加量为 3% ~15%。

5. 超导电炉黑

性质 超导电炉黑又称超导电炭黑，简称 SCF，黑色粉末，真密度 $1.80 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ，平均粒径 16 ~ 25nm，比表面积 170 ~ 225m²/g，吸油值 1.3 ~ 1.5mL/g，挥发分 0.05% ~2.0%，氢含量 0.17% ~0.22%，氧含量 0.90% ~1.20%。超导电炉黑的质量指标见表 4-12。

表 4-12 超导电炉黑的质量指标

项 目	指 标	项 目	指 标
平均粒径/nm	16 ~ 25	灰分(%)	≤0.59
比表面积 (BET 法)/(m ² /g)	170 ~ 225	挥发分(%)	0.05 ~ 2.0
吸油值/(mL/g)	1.30 ~ 1.50		

用法及应用特点 主要用于制备导电塑料、电磁屏蔽材料和抗静电塑料，适用于各种塑料品种，添加量为 3% ~20%。

6. 高导电炉黑

性质 高导电炉黑又称谢尔炉新型导电炭黑、谢尔炉炭黑，黑色粉末，是一种特高导电炭黑。具有很高的结构性，呈空壳球状纤线性聚集结构，其一次结构平均粒径为 30nm，二次结构平均粒径为 5μm。高导电炉黑的质量指标见表 4-13。

表 4-13 高导电炉黑的质量指标

项 目	指 标	项 目	指 标
粒径/nm	20 ~ 32	灰分(%)	0.6 ~ 1.6
比表面积 (CTAB 法)/(m ² /g)	751 ~ 828	100 目筛余物	0
DBP 吸油值/(mL/g)	5.45 ~ 6.04	比体积/(cm ³ /g)	5 ~ 6.2
pH 值	6.6 ~ 8.0	电阻率/(kΩ · cm)	0.5
水分(%)	6.2 ~ 6.6		

用法及应用特点 主要用于抗静电塑料的制备，适用于各种塑料品种，添加量为 5% ~15%。

7. 铝粉

性质 铝粉俗称银粉，化学符号 Al，相对原子质量 26.98，银白色或银灰色微细粉

末。相对密度 2.702，熔点 660℃，沸点 2494℃。遮盖力强，稳定性大，能够燃烧，有爆炸性。

用法及应用特点 可用于制备导电、抗静电塑料，适用于各种塑料品种，添加量为 5% ~ 20%。

8. 锌粉

性质 锌粉的化学符号 Zn，相对原子质量 65.39，极细的深灰色金属粉末，相对密度 7.14，熔点 419.4℃，沸点 907℃。溶于酸和碱，缓慢溶于醋酸和氨水，不溶于水，具有强的还原性，与酸碱作用放出氢气，受潮后能与水作用产生高温，在干燥空气中稳定，当飞扬于空气中时能引起燃烧，并可能发生爆炸。锌粉的质量指标见表 4-14。

表 4-14 锌粉的质量指标 (GB 6890—2000)

规 格	筛余物不大于		粒度分布, % 不小于	
	最大粒径/ μm	含量(%)	30 μm 以下	10 μm 以下
FZn30	45	—	99.5	80
FZn45	90	0.3	—	—
FZn90	125	0.1	—	—
FZn125	200	1.0	—	—

用法及应用特点 主要用于制备抗静电塑料，适用于各种塑料品种，但需表面处理，添加量 5% ~ 15%。

9. 铜粉

性质 铜粉俗称金粉、铜金粉，主要成分是铜和少量的锌、铝、锡等金属，有很多色调不同的品种，具有较高的金色光泽，与铝粉相比，质地较重，遮盖力较弱，反射光和热的性能较差。铜粉的质量指标见表 4-15。

表 4-15 铜粉的质量指标

项 目	指 标	项 目	指 标
外观	金黄色(略带红色或微带青色)鳞片状粉末	漂浮试验(与标准样品比)	近似
筛余物(325 目)(%)	≤ 0.3	色光(与标准样品比)	近似

用法及应用特点 主要用于制备导电、抗静电和电磁屏蔽塑料，适用于各种塑料品种，但需表面处理，添加量 10% ~ 20%。

10. 银粉

性质 银粉的化学符号 Ag，相对原子质量 107.87，灰白色粉末，相对密度 10.5，熔点 960.5℃，沸点 2212℃ (1950℃)。溶于硝酸和热硫酸，不溶于水、盐酸和碱类。化学性质稳定，一般在空气中无变化，对水与大气中的氧都不起作用，但遇硫化氢、硫和臭氧会迅速变黑，生成硫化银或氧化银层。银粉具有良好的导热性和导电性。银粉的质量指标见表 4-16。

表 4-16 银粉的质量指标

项 目	指 标	项 目	指 标
w(Ag)(%)	≥99	盐酸不溶物(%)	≤0. 1
硝酸不溶物(%)	≤0. 05		

用法及应用特点 主要用于制备高级导电塑料和电磁屏蔽塑料，适用于各种塑料品种，但需表面处理，添加量 5% ~15%。

11. 还原铁粉

性质 还原铁粉的化学符号为 Fe，相对原子质量 55. 85，灰黑色无定形粉末，相对密度 7. 86，熔点 1535℃，沸点约 3000℃。溶于稀酸，不溶于浓酸、稀碱溶液和乙醚，露置潮湿空气中或遇水则易氧化。还原铁粉的质量指标见表 4-17。

表 4-17 还原铁粉的质量指标

项 目	指 标	项 目	指 标
w(Fe)(%)	≥97. 0	氮化合物(以 N 计)(%)	≤0. 01
硫酸不溶物(%)	≤0. 5	w(Cu)(%)	≤0. 02
硫化物(以 S 计)(%)	≤0. 15	水溶物(%)	≤0. 1

用法及应用特点 主要用于制备吸波塑料和抗静电蔽塑料，适用于热固性树脂，添加量 5% ~10%。

12. 镍粉

性质 镍粉的化学符号 Ni，相对原子质量 58. 70，灰色粉末，相对密度 8. 9，熔点 1453℃，易溶于硝酸和王水。镍粉的质量指标见表 4-18。

表 4-18 镍粉的质量指标

项 目	指 标	项 目	指 标
w(Ni)(%)	≥95	水溶物(%)	≤0. 1
硝酸不溶物(%)	≤0. 4	氮化合物(以 N 计)(%)	≤0. 01
氨水沉淀物(%)	≤0. 2	硫化物(以 S 计)(%)	≤0. 1

用法及应用特点 主要用于制备抗静电塑料，但导电性能较差，主要适用于热固性树脂，添加量 5% ~15%。

五、性能与应用

(一) 抗静电剂的作用方式

塑料的静电电荷可通过提高表面电导率或体积电导率的方法降低。理想的状态是电荷消散的速度比它们产生的速度快，这样就不会发生电荷积聚。一般规律是，在对塑料表面电荷的产生进行抑制之后，电荷的消散速度或多或少（取决于抗静电处理情况）都会得到加速。

1. 提高表面电导率

一般认为,具有表面活性的分子在制品表面聚集时,其中含有链烷基的疏水基团指向塑料的内部,而亲水基团则趋于指向外部,因而能在塑料表面吸附水分子。由于具有表面活性的特征,抗静电剂可减小水和塑料之间的界面接触角,因此可使水更均匀地分布于塑料表面。在塑料表面所形成的水膜中(膜厚取决于大气湿度),通过离子传导可达到增加表面电导率的效果,同时也说明了表面电导率及抗静电的作用可随大气湿度的降低而逐渐下降的原因。

新近有人认为,除离子传导机理外,还存在电荷交换。它是由水在塑料表面和环境之间的不断交换而产生的,这与空气电离机理是一致的。与之相比,塑料表面的抗静电剂则充当了电荷交换接触点。

此外,电荷的转换也可由质子转移作用来完成。带有一OH基或—NH₂基的抗静电剂可通过氢键联成链状,即使在较低的大气湿度下仍可表现其抗静电的作用。然而只能形成分子内氢键的化合物则不具备这一特征。

很多抗静电剂还具有吸湿特性,因而提高了塑料表面对水分子的吸附力。在同样的大气湿度下,具有吸湿性的抗静电剂可在塑料表面吸附更多的水分子,因而提高了其抗静电效果。

在正常用量范围内施用的抗静电剂,可使塑料表面的电阻率从 $10^{14} \sim 10^{16} \Omega$ 降至 $10^8 \sim 10^{10} \Omega$ 。若要再进一步降低其表面电阻率,则只能采取提高体积电导率的办法。

(1) 迁移性 为其分子能实现在塑料制品表面集聚,抗静电剂就必须在成型加工期间或以后由内部迁移出来。该迁移过程可通过对表面电阻率的连续测量等间接方法进行追踪。

抗静电剂的作用,即降低表面电阻率的能力,在一定程度上取决于聚合物的类型、密度及制品的成型加工方法。可以设想,抗静电剂在制品表面的形成过程,初始只是形成不均匀的类似“岛”状结构,而后逐渐扩展形成一个有一定厚度的连续膜。这种连续膜取决于塑料和抗静电剂本身的性质,其厚度可达到一个至若干个分子层。这种现象可以聚烯烃吹塑薄膜为例,通过在其表面的大量不同点上连续测量表面电阻率予以证实。根据不同的拉伸比,在整个表面达到一个稳定的电阻率可能要用好几天时间。在其他情况下,如烷基磺酸盐在硬质PVC中应用时,这种抗静电效应只能在成型过程刚刚完成时测到,但在成形以后,其表面电阻率增加就很少。

聚合物结晶度的不同,以及继而引起的密度的不同,对抗静电剂的迁移起到决定性的影响。如同是注塑聚烯烃的板条,LDPE(低密度聚乙烯)几乎在成型完成的瞬间就可以达到抗静电的效果,而HDPE(高密度聚乙烯)则要用长得多的时间,聚丙烯就更慢(在聚丙烯板条中,在成型之后10~20天才能达到最大的抗静电效果)。

抗静电效果的建立还取决于成型的方法。例如,聚乙烯的压缩模塑或注塑制品在成型过程完成之后马上就可以测到抗静电效果,而拉伸或吹塑薄膜制品就要经过相当长的时间才能发挥抗静电剂的作用。在聚丙烯拉伸带中,抗静电效果与拉伸比成反比,这是因为表面积与体积的比值是随着拉伸比的增加而增大的,故需要更多的抗静电剂覆盖表

面。当抗静电剂的用量较低时,则必须要有相应更长的迁移时间,以使表面得以充分覆盖。

除了这种简单的大多是定性的迁移试验之外,还有很多其他方法,这些方法虽较烦杂,但可以提供定量的数据。其中,最精确的是利用放射性同位素的示踪方法,即当一种具有放射性标志的添加剂被混配入模塑料中后,几乎每个从表面洗下的这种添加剂分子都能被检测到。此外,还有采用洗涤塑料表面,并测定该洗涤液的表面张力等其他试验方法。阳离子型添加剂,可通过火焰光度法或薄层色谱法来测定溶液中的金属离子。利用这些不同的方法,可测定抗静电剂在聚合物中的扩散系数。虽然所采用的方法不同,但结果都是很吻合的。

用这些方法也可检测到不同添加剂之间的相互作用。例如,低浓度的聚乙二醇或甘油可导致烷基磺酸钠的扩散速率增加2~20倍。相反,一些塑料常用的其他添加剂,实际上会影响抗静电剂的迁移作用,进而影响抗静电剂的效果,如炭黑和二氧化钛。含镍的紫外光稳定剂对很多抗静电剂的迁移作用也都有阻滞的倾向。

抗静电剂的长期效果是很重要的。对使用内加型抗静电剂的样品进行长达一年以上的周期性测定并不能发现抗静电活性有什么变化,只有当抗静电剂分子由于蒸发或洗涤而从表面散失时,才会使防静电聚集的作用降低,但这种情况在一定的时间范围内可由内部储备的分子的不不断迁移作用而得到弥补。也可能有例外的情况,如将成型制品存放于高温环境中,会引起更严重的损耗,最终使抗静电剂低于极限水平。外涂型抗静电剂的长期效果严格地受到表面蒸发和向成型制品内部迁移的制约。

(2) 表面浓度 上述提及的各种试验方法都适用于测定抗静电剂的表面浓度。对聚烯烃表面电阻率的测定,可定量确定抗静电剂的活性。当含有内加型抗静电剂的聚乙烯或聚丙烯的表面被彻底洗净(如用水/酒精混合液洗涤)后,表面电阻可达到未经抗静电剂处理试样表面那样高的数值,但在几小时或几天后表面电阻率又会恢复到洗涤之前的数值,其恢复时间的长短取决于聚合物的密度。这样的试验可重复十余次,以至于直到几乎所有添加剂消耗尽为止。

对于硬质聚氯乙烯和苯乙烯类聚合物,抗静电效果的恢复能力很弱,表面仅仅洗涤过一次,在很长时间之后抗静电效果也不能回复到令人满意的水平,或实际上根本不能完全恢复。

为满足抗静电处理的要求,应具备一定的表面浓度。

对于各种不同塑料,抗静电剂在表面层中的含量要达到0.1~10个分子层膜。对于高密度聚乙烯来说,一个十二烷基乙醇胺的单分子层膜的半衰期为2.5秒。该半衰期所对应的表面电阻率大致为 $10^{10}\Omega$,这与具有烷基磺酸锂单分子膜层的聚乙烯和聚苯乙烯所测定的表面电阻率为 $10^{10}\Omega$ 的结果是吻合的。另外,有些文献介绍了用于聚乙烯的环氧脂肪胺的数据(0.2个分子膜层相当于抗静电剂总用量的0.1%)。在表面反复洗涤后,这一浓度可准确地恢复。

在苯乙烯类聚合物中,烷基磺酸钠形成了厚为2(透明聚苯乙烯)到8层(抗冲击聚苯乙烯)的膜,占抗静电剂总用量的0.6%~2.1%。但该类聚合物不同于聚乙烯,

在表面被洗涤后,仅有 0.4~0.5 层分子膜重新形成,从而证实了上述关于聚苯乙烯中恢复能力较差的论述。

2. 增大体积电导率

为防止由静电电荷引起的爆炸事故,在危险环境中,塑料膜制品的表面电阻不得超过 $10^6 \Omega$ 。由于单独使用内加型或外涂型抗静电剂都不能达到这一数值,所以必须增加成型制品的体积电导率以利于电荷的迅速平衡。电子传导代替离子传导担负了抗静电作用。所选择的抗静电剂必须在聚合物中分布以形成一个不受聚合物组分影响的连续的传导体系。显然,与仅增加表面电导率相比,抗静电剂用量要大得多,同时,其作用效果也是以数量级关系提高。

在含 20%~30% 炭黑的聚烯烃中,体积电阻率可达到 $10^2 \Omega \cdot \text{cm}$,这已接近金属的体积电导率 ($10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$)。显然,如此大量的添加剂势必影响模塑制品的力学性能。因此,为降低添加剂的用量人们正努力开发改性的炭黑类型。目前采用一种具有规则粒子形状、表面积大的活性型炭黑(导电炭黑),用量只要 5%~10% 就能够达到前述的 $10^2 \Omega \cdot \text{cm}$ 的体积电阻率值。除了炭黑粒子的结构外,实际制品电导率还取决于聚合物的结晶度和成型加工工艺。较高的结晶度可增加电导率,而在成型过程中太强或太弱的剪切力都会削弱电导率。

另一个增加体积电导率的方法是在聚合物中加入金属粉,如在聚苯乙烯中添加银粉。成本是这种方法的一个大问题,此外,聚合物的热稳定性也必须考虑。众所周知,很多过渡金属由于它们对各种过氧化物分解为自由基的催化作用而降低了聚合物的稳定性,因而加速了聚合物的降解作用。在此必须指出,在 $\leq 20\%$ 的极低相对湿度下,这种抗静电处理是唯一能够消除静电电荷的方法。

(二) 应用

抗静电剂既可与聚合物物料混配使用(内加型),又可制成溶液或乳剂涂敷于模塑制品的表面(外涂型)。第三种应用方法,是利用具有共聚作用的抗静电剂,这已在许多专刊说明中有所叙述,但还没有在工业中实际应用,这是因为这种方法成本太高,以致使许多不同类型聚合物的生产厂商都难以接受。

1. 在聚合物料中混配

这种方法要求添加剂在 250~300°C 的温度范围内具有稳定性,以经受整个成型加工过程。如前所述,一种给定的抗静电剂的化学结构必须严格适应它所应用的聚合物类型。尽管有这些严格的选择标准,但在塑料中应用还是可以的,除非在极高的温度下成型加工,因为对此还找不到有效的热稳定性的混配料。在物料中添加抗静电剂的优点是处理极为简单,应用成本较低,且对某些聚合物在其表面被洗涤之后仍能很好地恢复其抗静电能力。

能提供有效抗静电效果所必须的添加剂用量范围,取决于聚合物的类型和特性。抗静电剂用量的多少可能与聚合物结构形态和玻璃化温度(T_g)紧密相关。

表 4-19 列出了主要聚合物所用抗静电剂的一般用量,但对某些成型技术,需要量可能要多些。

表 4-19 各种不同塑料抗静电剂的用量范围

聚 合 物	抗静电剂用量(%)	聚 合 物	抗静电剂用量(%)
低密度聚乙烯	0.05 ~ 0.1	硬质聚氯乙烯	0.5 ~ 1.5(取决于稳定剂体系)
高密度聚乙烯	0.2 ~ 0.3	透明聚苯乙烯	2.0 ~ 4.0
聚丙烯	0.5	抗冲击聚苯乙烯	1.5 ~ 2.5

在确定一种抗静电剂的用量时，必须牢记，太高的用量会导致表面形成粘的浸润的膜。这样的膜不仅有损制品的外观，也有碍后续的印色或印字工序。

抗静电剂通常与其他添加剂或颜料一起配成模塑料。如果使用可加热的内部混合器，则不需要预先进行掺合。如果在挤出机内进行掺合，那么添加剂与聚合物颗粒和粉末要在混合器内混配，以便在挤出之前将聚合物颗粒涂上一层添加剂。

抗静电剂用量多，可能会影响成型过程。因为大多数抗静电剂为粘性液体，且可起到模塑料润滑剂的作用，从而影响挤出机的加料操作。这一难点可由减少抗静电剂的加入量或掺入可增加摩擦的填充剂（如 SiO₂）来克服。近来，越来越多地应用抗静电剂的母体混合物的方法来解决这类问题。当然，这种配料方法只有在聚合物（如聚烯烃）所需添加剂用量不高时才适用。

抗静电剂可很大程度地降低热敏性聚合物的热稳定性。因此，在硬质聚氯乙烯中应用高效的季铵盐类抗静电剂将受到很大的限制。烷基磺酸钠对热稳定性的影响有一定好处，但存在着降低成型品透明度的缺点。此外，应用烷基磺酸钠必须对聚氯乙烯热稳定剂进行认真的筛选，因为它们之间有协同作用的可能性。

与锡稳定剂不同，铅和某些钡/镉型稳定剂在与烷基磺酸钠一同使用时会引起褪色（尽管这可由加入磷酸盐来抑制）。一般地说，抗静电剂及其他所有添加剂的最佳混配组分和用量应由制成品的使用试验而定。

2. 表面涂敷

表面涂敷在各种纺织物上有很广泛的实际应用，而应用于塑料制品则较少。这种方法是将成型制品喷涂或刷涂上抗静电剂溶液，或将其浸在溶液中，然后进行干燥。例如，在聚氯乙烯地面覆盖材料的最后处理阶段，将表面活性剂加入清洗水中。这种方法的优点是选择的灵活性，并可在不考虑聚合物的热稳定性和与聚合物的相容性的情况下使用任何一种抗静电剂。

这种方法的不足是装置和劳务费用较高。此外，外部涂敷法一个很大的缺点是缺乏抗静电效果的稳定性。这是由于一方面，一旦用湿法清洁表明，其抗静电效果便会消失，因为没有可迁移出来的内加型添加剂来补充损耗；另一方面，抗静电效果也由于抗静电剂向制品内部的迁移作用而渐渐消失。

以前认为，在制品的每平方米表面需要 100mg 的抗静电剂才能产生满意的效果，然而，近来的实验结果表明，在塑料表面使用大约 10mg/m² 的季铵盐或烷基磺酸钠盐，或 25mg/m² 的甘油单脂肪酸就足够了。

3. 抗静电剂的应用范围

目前，内加型抗静电剂只应用于有限的几种聚合物，主要是用于聚乙烯和聚丙烯

(薄膜、薄板、注塑制品、容器,尤其是包装材料)。应用于聚氯乙烯方面(如唱片)的数量较少,这是因为对这方面应用量的估计尚有分歧。

近年来,在苯乙烯类聚合物(聚苯乙烯、抗冲击聚苯乙烯)中抗静电剂的应用不断增加。与聚烯烃不同,为获得较好的活性,抗静电剂在这些基质中的用量必须高达4%。因此,除了诸如录像带盒、仪器壳等特殊产品外,成本因素限制了这种应用。

在通常所说的工程塑料(包括聚对苯二甲酸乙二醇酯、聚碳酸酯和聚砜)以及聚丙烯酸酯中,内加型抗静电剂没有得到任何应用,主要原因有如下两种:首先,这些材料都是在高温,有时是在很高温下成型的;其次,这些材料很多都有其重要的内在特性(如聚甲基丙烯酸酯和聚碳酸酯的透明性),这些内在特性在任何情况下都不能被破坏。

对于在有失火或爆炸危险的环境中使用的制品,越来越多地采用填充炭黑的办法来获得高的导电性。例如爆炸物的包装材料、坑道用的传输带、公共活动场所及化工生产厂房用的塑料地面材料等。

产品对人体健康无害是使用抗静电剂涂层的包装材料的进一步要求。由于在塑料表面会有抗静电剂分子,因此它与所包装的食品的接触是不可避免的。对于聚乙烯和聚丙烯,由于其抗静电剂含量低,因此不会产生什么严重问题,能够符合各国管理机构对添加剂使用的要求。众所周知,这些机构确定的极限值是根据抗静电剂迁移的量及对确定产品的分析而得出的。像苯乙烯类聚合物这样含较多抗静电剂的塑料,常会超出规定的极限值。但某些类似烷基磺酸钠的抗静电剂,允许其应用于如结晶聚苯乙烯等特殊种类的塑料,这是因为其迁移能力很低。其他种类的塑料(例如抗冲击聚苯乙烯)则由于抗静电剂过量的迁移而禁止使用。

第二节 光 学 助 剂

一、荧光增白剂

(一) 简介

长期以来,荧光增白剂一直被用来改进纸张、肥皂和纺织品的外观。随着热塑性塑料的发展,荧光增白剂也渗透到这一领域。

在塑料中使用荧光增白剂的目的与纸张、纺织品的情况一样,即改进塑料的原色(塑料本身常略带黄色)、生产亮白色的制品(如时兴的仿皮、包装材料等)、增加各种颜色和黑色制品的亮度。

一般来说,荧光增白剂可用于各种塑料。一种技术上适用的荧光增白剂在低浓度下就能显示出较高的增白效果。实际上,在热塑性塑料中其用量范围一般为 $(100 \sim 500) \times 10^{-6}$,只有在特殊应用中才会超过 1000×10^{-6} 。

大多数热塑性塑料可吸收日光中蓝色波段的光(“蓝色不足”),因此或多或少会略呈黄色(见图4-2)。有两种方法可弥补这一不足,即增加白度或提高光的反射。

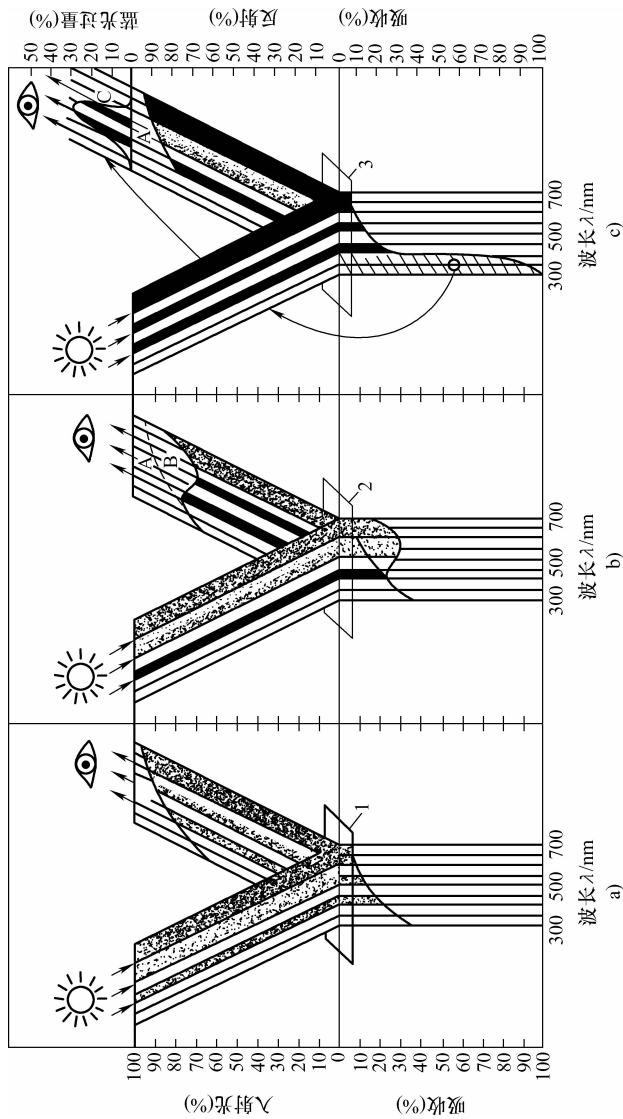


图 4-2 白色表面对日光的吸收和反射

a) 水处理基质主要吸收蓝光(A)呈微黄色(A)补偿了微黄色(A), 增加了对绿-黄光的吸收(B)造成亮度损失

c) 荧光增白基质: 二次发射 + 蓝光可以补偿微黄色 + 蓝光过量(C)

1—未处理基质: 黄白色 2—基质 + 增蓝染料, 增白, 但变暗 3—基质 + 荧光增白剂: 更白、更亮

几十年前，人们就在纺织品中添加少量蓝色颜料，以起到增白作用，这一操作被称为“蓝色漂白”。应用这种方法，基质由于增加蓝色光部分的反射而使其微黄色得以补偿，显得更白了，但由于总的反射光的减少（见图 4-2），因此显得发暗。

荧光增白剂可吸收不可见的紫外光（波长范围为 360 ~ 380nm），并可将紫外光转换成波长较长蓝光或紫色的可见光，因而可补偿基质中不想要的微黄色。同时荧光增白剂可反射出比原来入射的波长（范围在 400 ~ 600nm）更多的可见光，从而使制品显得更白、更亮、更鲜艳（见图 4-2）。

荧光增白剂分子运动的实际方式如图 4-3 所示。通过从紫外光中吸收光子（能量），增白剂分子的能量从基态 S_0 跃迁到激发电子态 S_2 。由于非辐射性的失活作用，它失去部分能量，降至能级 S_1 。最终，由于荧光发射，又返回到基态 S_0 。

由于一部分接受的能量以非辐射能形式发射出去，所以发射的光子处于较低能级，即发射光具有较长波长。少量的外来物质（如催化剂、杂质）由于其对激发能的吸收作用，可部分或完全抑制荧光发射。

（二）主要品种与特性

1. 荧光增白剂 PEB

性质 黄褐色粉末，细度（100 目筛余物） $\leq 5\%$ ，在 170℃ 短时间受热不分解，不溶于水、乙醚、石油醚，可溶于苯、丙酮、氯仿、乙醇、乙酸等。

用法及应用特点 本品为香豆满酮型荧光增白剂，荧光色调为蓝色，主要用于赛璐珞白料、聚氯乙烯、乙酸纤维素的增白和增艳，在透明聚氯乙烯制品中的用量一般为 0.05% ~ 0.1%，不透明制品中为 0.01% ~ 0.1%。本品还可用于聚乙烯、聚苯乙烯、聚酯、聚丙烯酸酯等塑料的增白，在透明料中的用量一般为 0.05%。

2. 荧光增白剂 DBS

性质 绿黄色粉末，熔点 $(360 \pm 2)^\circ\text{C}$ ，分解温度 $> 360^\circ\text{C}$ ，紫外线最大吸收波长 372 ~ 380nm，耐强酸、强碱，微溶于乙醇、二甲基甲酰胺、苯、甲苯、水等。

用法及应用特点 本品适用于聚丙烯、聚乙烯、聚苯乙烯、聚氯乙烯、高抗冲聚苯乙烯、ABS 树脂、不饱和树脂、聚甲醛、聚碳酸酯、尼龙等塑料。本品用量低，适应性强，分散性好，可在后加工或聚合时加入，被增白物泛蓝紫色色调荧光，白度高，耐高温。本品还可做成浆状物用于纺织物的增白。

3. 2, 5-二（2-苯并噁唑基）噻吩

性质 淡黄色均匀分散液，含有效荧光物质 8% ~ 23%，中性，可与水以任何比例稀释分散。相对分子质量 318.36，能耐硬水，耐碱，耐晒，并且氧化漂白稳定性好。

用法及应用特点 本品为苯并噁唑基到荧光增白剂，能与大多数用于白色织物的树脂整理剂和染色助剂共用，主要用于醋酸纤维、涤纶、氯纶、锦纶、丙纶和三醋酸纤维

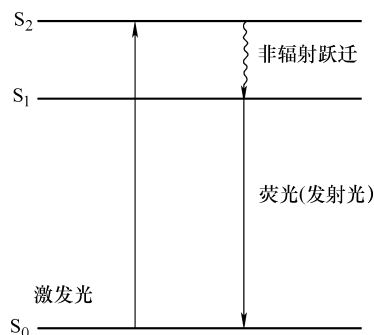


图 4-3 激发增白剂分子物理过程简单示意图

的增白。

4. 2, 5-二(5'-叔丁基苯并噁唑-2'-基)-2-噻吩

性质 亮黄绿色粉末, 相对分子质量 430.55, 熔点 196 ~ 203°C, 细度(通过 100 目筛) ≤ 5%, 含水量 < 0.1%, 灰分 < 0.2%, 挥发分 < 0.2%, 最大吸收光波长 375nm (乙醇中), 最大荧光波长 435nm (乙醇中), 溶解度(25°C): 甲醇 0.04g/100mL、乙醇 0.09g/100mL、甲苯 5.3g/100mL、丙酮 0.5g/100mL、甲乙酮 1.3g/100mL、四氧化碳 5.9g/100mL、二氧六环 2.9g/100mL、二甲基甲酰胺 0.8g/100mL。

用法及应用特点 本品为苯并噁唑基型荧光增白剂, 荧光色调为蓝至绿, 耐热性优良, 耐光性也较好, 可广泛适用于 PVC、PE、PP、PS、ABS、PBT、PA 等热塑性树脂以及油漆、油墨及涂料等的增白和增艳, 在聚氯乙烯软质或硬质透明制品中的用量为 0.01 份, 白色或彩色制品中的用量为 0.05 ~ 0.2 份。

5. 2, 2'-(4, 4'-二苯乙烯基)双苯并噁唑

性质 黄色结晶粉末, 无气味, 相对分子质量 414.4, 熔点 358 ~ 359°C, 相对密度 1.35 (20°C), 颗粒大小 < 250μm, 水分含量 < 0.1%, 灰分 < 0.2%, 挥发分 < 0.5%, L. C. 有效成分 > 93.5%。

用法及应用特点 本品在无色的聚合物中建议用量 $(25 \sim 75) \times 10^{-6}$, 在钛白粉处理的聚合物中建议用量范围 $(75 \sim 255) \times 10^{-6}$ 。当本品仅被用作跟踪剂时, 仅用 5×10^{-6} 。不建议在软质 PVC 或聚乙烯中使用本品。本品还可用于聚酯原液的增白, 是一种耐久性很强的荧光增白剂。

6. 4, 4'-双(5-甲基-2-苯并噁唑基)二苯乙烯

性质 黄色结晶粉末, 无气味, 相对分子质量 442, 熔点 278°C, 不溶于水, 性能稳定。

常用质量指标: 外观黄色结晶粉末, 固含量 ≥ 99.5%, 细度通过 120 目。

用法及应用特点 本品属苯并噁唑类化合物, 是目前众多的荧光增白剂中特优升级换代产品, 色光蓝紫, 耐光性优良, 适用于聚酯、聚酰胺、聚丙烯腈纤维的增白, 还可用于塑料方面的增白, 尤其在合成纤维中具有极强的增白效果。本品一般常用量为 0.01% ~ 0.03%, 即每 100kg 塑料原料中添加荧光增白剂 KSN10 ~ 30g 左右, 用户可根据产品要求进行适当调整。在聚合物中添加任何紫外线吸收剂时, 应注意适当调整本品的最佳用量。本品也可应用于涂料、油漆、油墨等行业的材料增白和增艳。

7. 1, 2-双(5-甲基-2-苯并噁唑基)乙烯

性质 淡黄色结晶粉末, 相对分子质量 290.32, 熔点 182 ~ 188°C, 相对密度 1.287 (25°C), 最大吸收波长 363nm, 不溶于水, 溶解于苯、醇、酯、醚等有机溶剂。耐酸、耐碱, 化学性能比较稳定, 呈中性。

常用质量指标: 外观淡黄色结晶粉末, 细度通过 100 目, 色光鲜艳红光蓝, 固含量 ≥ 99.5%。

用法及应用特点 本品荧光色调红光蓝, 有较好的牢度和耐光性能, 主要用于聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚丙烯酸酯、聚酯薄膜、高低压聚乙烯、ABS 树脂、有机玻璃、名

片、高级纸张等增白和增艳。

8. 4, 4'-二(2-甲氧基苯乙烯基)-1, 1'-联苯

性质 淡黄色粉末，相对分子质量 418，熔点 105 ~ 110°C，最大吸收波长为 350 ~ 355nm，溶于芳烃、酯、酮等有机溶剂。

常用质量指标：外观淡黄色结晶粉末，细度通过 100 目，固含量 $\geq 99.0\%$ ，挥发分 $\leq 0.5\%$ ，灰分 $\leq 0.1\%$ 。

用法及应用特点 本品为二苯乙烯-联苯型荧光增白剂，特别适用于聚氯乙烯和聚苯乙烯系列产品的增白，与聚氯乙烯和聚苯乙烯系列有良好的配伍性，也可用于其他热塑性塑料的增白，在无颜料的聚烯烃中的用量为 0.0005% ~ 0.0010%，在其他塑料中的用量为 0.005% ~ 0.100%。

9. 4, 4'-二(2-磺酸苯乙烯基)-1, 1'-联苯

性质 白色固体粉末，相对分子质量 518，熔点 105 ~ 110°C，固含量 $\geq 99.5\%$ ，溶于芳烃、酯、酮等有机溶剂。

用法及应用特点 本品为二苯乙烯-联苯型荧光增白剂，荧光色调微青，主要用于纤维素纤维、聚酰胺、蛋白纤维、棉布的增白，大量用于合成洗衣粉，其高浓度产品对棉布的增白效果相当于二苯乙烯双三嗪类荧光增白剂的 2.7 倍。

10. 荧光增白剂 KB

性质 淡黄色粉末，挥发分 $\leq 0.5\%$ ，有效含量 $\geq 98\%$ ，细度大于 200 目，热稳定性好，330°C 高温不分解，耐晒性好。

用法及应用特点 本品主要成分为双苯乙烯型衍生物，荧光色调荧光白，适用于聚氯乙烯和聚苯乙烯、ABS 树脂等塑料的增白和增艳。本品荧光强度好，白度高，特别适用于 PVC 扣板和型材的增白和增亮。本品一般用量 0.01% ~ 0.05%（占塑料原料质量分数），特殊情况下（如填料比例高）。需要试验确定，在 PVC 扣板上用量只需要 PF 的一半，白度远高于 PF。

11. 1, 4-双(2-氰基苯乙烯基)苯

性质 黄绿色结晶物（粉状），无气味，熔点 230 ~ 234°C，水分含量 0.1%，能溶于大多数有机溶剂。

用法及应用特点 本品可作为聚乙烯及制品的荧光增白剂，具有很好的增白效果。在聚酯切片及回收聚酯切片成型加工过程中加入本品，能明显提高产品档次。

12. 1, 4-(2-苯并噁唑基)萘

性质 黄绿色粉末，相对分子质量 362，熔点 212°C，最大光谱吸收波长为 370nm，不溶于水。

常用质量指标：外观黄绿色粉末，细度通过 100 目，色光鲜艳蓝亮白色光，固含量 $\geq 99.5\%$ 。

用法及应用特点 本品荧光色调为蓝亮白色光，具有使用方便、用量小及效果佳等特点，主要用于合成纤维与塑料制品的增白，对有色塑料制品有明显的增艳效果，可广

泛用于塑料薄膜、压模成型材料、注塑成型材料，还可用于聚酯纤维、共聚物（EVA等），或者涂料、天然漆的增白，以及 ABS、PVC 等聚合物材料的加工，推荐用量 0.005% ~ 0.05%（占塑料原料质量分数）。

13. Tinopal PCRP

性质 浅黄色粉末，溶解度：乙醇 2.6g/100g 溶剂、苯 23.5g/100g 溶剂、丙酮 12.5g/100g 溶剂、邻苯二甲酸二辛酯 8.1g/100g 溶剂、磷酸三甲苯酯 10.8g/100g 溶剂、癸二酸二辛酯 5.6g/100g 溶剂。

用法及应用特点 本品为蔡并三唑型荧光增白剂，荧光色调为紫色，耐热性、耐光性优良，可用于聚氯乙烯等多种塑料的增白和增艳，在聚氯乙烯软质或硬质透明制品中的一般用量为 0.02 ~ 0.05 份，在白色或彩色制品中为 0.05 ~ 0.5 份（最高可达二氧化钛的 1/5）。在着色塑料中，本品可提高蓝色、紫色、淡红色颜料的色彩鲜艳度。

14. Tinopal PGP

性质 黄色粉末，熔点 105 ~ 110°C，溶于芳烃、酯、酮等有机溶剂及增塑剂。

用法及应用特点 本品为氧杂蔡邻酮型（香豆素）荧光增白剂，荧光色调为蓝色，耐光性好，对热稳定剂和抗氧化剂呈惰性，可作为聚氯乙烯等塑料的增白剂和增艳剂，在聚氯乙烯透明制品中的用量为 0.05 ~ 1 份，白色制品中为 0.1 ~ 0.5 份。本品在乳白色制品中易与锐钛型二氧化钛并用，在彩色制品中与黄色或绿色颜料并用可增加色彩鲜艳度。

15. Blankohpor KL

性质 淡黄色细微粉末，熔点 70°C，溶解度（20°C）：丙酮 15g/100mL、苯 1g/100mL、二氯甲烷 12g/100mL、汽油 0.3g/100mL、二甲基甲酰胺 15g/100mL，不溶于水。

用法及应用特点 本品可作为塑料用荧光增白剂，耐热性和耐酸碱性好，在聚氯乙烯软质或硬质透明制品中的用量为 0.1 ~ 0.3 份，白色制品中为 0.2 ~ 0.6 份。本品对加工设备无污染性，在常温下即可溶解于增塑剂，温度较高时溶解度增大。

16. Blankophor K2002

性质 淡黄色粉末，熔点 95 ~ 100°C，溶解度（20°C）：乙酸乙酯 4g/100mL、丙酮 30g/100mL、乙醇 25g/100mL、环己酮 15g/100mL、二甲基甲酰胺 30g/100mL、汽油 < 1g/100mL。不溶于水，常温下可溶于增塑剂。

用法及应用特点 本品可作为塑料用荧光增白剂，荧光色调为蓝色，耐热性好，一般用量为 0.005% ~ 0.5%，在含二氧化钛多的物料中用量可酌情增加。

17. Lunaglo BAS-B

性质 耐热 350°C，不溶于大多数有机溶剂，不迁移。

用法及应用特点 本品可作为聚氯乙烯等塑料的荧光增白剂，适用于软质制品、硬质制品和增塑糊，一般用量为树脂量的 1/6000 ~ 1/1000。

18. LeucoPure EGM

性质 黄绿色粉末，熔点 253 ~ 254°C，耐热温度 > 350°C，最大吸收波长（氯仿中）375nm，最大发射波长（氯仿中）440nm。

用法及应用特点 本品可作为聚氯乙烯等塑料的荧光增白剂，在透明制品中的用量为 0.005% 左右，不透明制品中为 0.01% ~ 0.015%。

19. 噻吩类衍生物

性质 黄色或黄绿色结晶粉末，相对分子质量 430，熔点 196 ~ 203°C，含量 ≥ 99.0%，灰分 ≤ 0.3%，最大吸收光谱波长 375nm（乙醇中），最大荧光发射波长 435nm（乙醇中）。

用法及应用特点 本品是在 OB 的基础上发展起来的系列产品，增白度更强，适合于 OB 的一切应用范围。荧光增白剂 OB-100 可广泛应用于 PVC、PS、ABS、PE、PP 等塑料，由于其具有优越的荧光增白效果，良好的热稳定性，添加量很少的特点，已作为国内普遍采用的荧光增白剂之一。本品也适用于聚酯纤维、涂料、油漆、油墨和丙烯酸树脂的增白。本品可与染料共用产生特殊的光亮度，这种作用在色彩配方中特别有效。

20. 荧光增白剂 SWN

性质 白色结晶粉末，熔点 70.5 ~ 71.9°C，含量 ≥ 98.0%，灰分 < 0.06%，可溶于乙醇和乙二醇、酸性水溶液、树脂、清漆及一些有机溶剂中，而在水中的溶解度仅为 0.006%。

用法及应用特点 商品化产品一般需将其与硫酸或盐酸成盐后或与有机酸（如酒石酸、柠檬酸、草酸）混合，或加入助溶物质提高溶解度后与分散剂制成溶液型加以应用。主要商品名有：Uvitex SWN、SWR、Leucophor DC、WS、Blankophor FBO。本品主要用于羊毛、天然丝、锦纶、醋酸纤维、三醋酸纤维的增白，可用于棉和腈纶的增白，还可以加入树脂用于纤维素纤维的增白，本品可添加于肥皂和洗涤剂中用于洗涤织物，在 pH 值为 3 ~ 11 范围内有效，可改善洗涤后织物的外观白度，加入纺织品中呈红光紫色调。本品还可用于涂布纸、塑料及套色印刷涂料等方面。本品不宜与亚氯酸钠同浴。本品用量：锦纶 0.05% ~ 0.3%、羊毛 0.05% ~ 0.35%、醋酸纤维 0.05% ~ 0.4%、三醋酸纤维 0.1% ~ 2%、腈纶 0.05% ~ 0.8%。

（三）应用

1. 应用要求

荧光增白剂工艺适用性的一个主要判据，是其在所应用基质中的耐光性。荧光增白剂通常或多或少对激发其分子产生荧光所需的波长范围的光有光敏性，因此，增白剂的耐光性有限，并大大低于颜料的耐光性和大多数塑料的光稳定性。荧光增白剂在光化学降解后期不能出现可导致泛黄的着色结构。

荧光增白剂的耐光性受基质的影响很大。通常，其耐光性顺序为透明聚苯乙烯 > 聚氯乙烯 > 聚丙烯 > 聚乙烯 > 聚氨酯。

为达到最佳使用效果，荧光增白剂必须完全溶解并均匀分布于制品中，即必须以单分子分布，同时也必须有足够的相容性以防渗出。用于热塑性塑料的荧光增白剂在热稳定性和低挥发性方面的要求，要比用于诸如纺织业湿法染色中的增白剂更高。

在软质聚氯乙烯和聚氨酯涂料中，必须特别考虑荧光增白剂迁移稳定性。在软质聚氯乙烯中，一种不能完全相容的增白剂可随着增塑剂的迁移而转移到制品的表面，其结

果可导致部分增白剂的损失，甚至造成表面色斑。

色调在某种程度上也会影响增白剂的效果。通常，以一般的蓝至蓝绿的色调为最理想。

2. 掺合和产品形式

荧光增白剂只需在热塑性塑料成型加工前加入物料中，不需要另外配成溶液后再使用，因此，有“本体增白”这一提法。

通常，荧光增白剂与塑料（粉状或粒状料）干掺合。如果必要，可加入诸如硬脂酸丁酯的粘合促进剂。在软质聚氯乙烯中，荧光增白剂以溶液或增塑剂的分散体形式使用。

为达到在低浓度下较均匀的分布，荧光增白剂常作成浓缩物或母料，如将 10% 的有效组分与白垩粉或一种增塑剂掺合。

3. 选择

对某种塑料选择最合适的荧光增白剂的决定因素有：①可达到的增白效果；②耐光性；③相容性。

某种荧光增白剂的耐光性和可达到的增白程度取决于基质（见图 4-4）。同时，增白度还受到加工条件的影响。此外，还应考虑增白剂配方中的其他组分（如白色颜料和紫外线吸收剂）的相互影响。二氧化钛白色颜料可吸收较长波长的紫外光，这一波段的紫外光正是激发荧光增白剂所必不可少的，因此会降低增白度。锐钛矿型颜料可吸收约 40% 380nm 的光，金红石型颜料可吸收约 90% 380nm 的入射光（见图 4-5）。

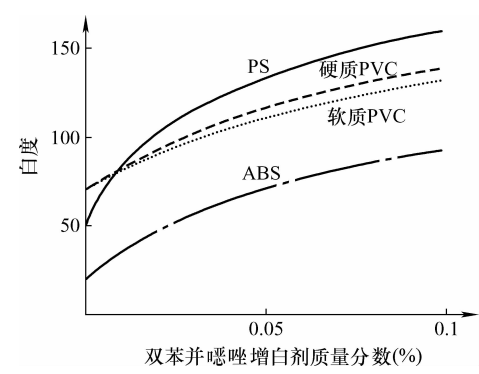


图 4-4 双苯并噁唑增白剂在加有颜料（金红石型钛白粉）不同塑料中，其用量与增白效果的关系

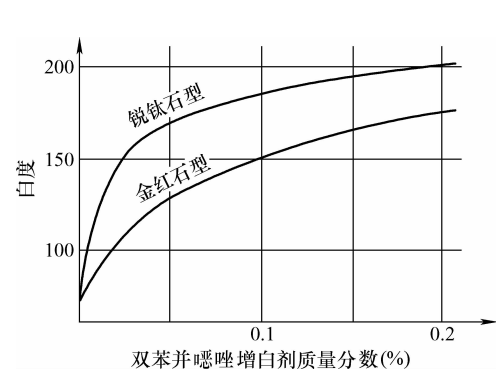


图 4-5 双苯并噁唑增白剂在软质 PVC（5% 锐钛石型或金红石型钛白粉）中增白效果与用量间的关系

紫外线吸收剂也吸收荧光增白剂激发范围的光，因而会导致白度降低。然而，这种白度降低较少，因为表面的荧光增白剂能接受到足够使其激发的能量。

4. 应用实例

在热塑性塑料中荧光增白剂的最重要的应用见表 4-20：

表 4-20 荧光增白剂的应用

塑 料	加工方法与最终用途
硬质和软质 PVC	薄膜、挤出、注塑、塑料糊、人造革
透明聚苯乙烯 (PS)	挤出、注塑
抗冲击聚苯乙烯 (IPS)	
苯乙烯-丙烯腈共聚物 (SAN)	
丙烯腈-丁二烯-苯乙烯三元共聚物 (ABS)	
聚氨酯 (PUR)	涂覆、注塑
聚碳酸酯 (PC)	挤出、注塑
聚丙烯 (PP)	薄膜、注塑
聚乙烯 (PE)	薄膜、注塑、纸涂层

例 1 聚氯乙烯

双苯并𨾏唑和苯基氧杂萘邻酮常用于软质和硬质聚氯乙烯中，它们的耐光性为蓝色色标 3 到 4。

荧光增白剂的掺合并没有特殊的困难。通常，与 PVC 粉料和常用的热稳定剂进行干混合或混配，以及在混炼机上塑炼，便可获得充分的均匀分布。在软质聚氯乙烯中，荧光增白剂通常是在增塑剂中预溶或分散。然而，更常采用的是以浓缩物或混合物的形式加入荧光增白剂。对于透明料，则采用增塑剂或将 PVC 做成浓缩物。对于加有颜料的配料，也采用与白垩粉混合的办法。

为改善聚氯乙烯的基本白度，用很少量的荧光增白剂就足够了。通常，采用 $(50 \sim 100) \times 10^{-6}$ 或更低的用量就足以补偿其微黄色调。这样，透明配方就可获得像水一样清澈的外观。对于增白颜料的 PVC 制品，荧光增白剂的要求用量约为 500×10^{-6} ，对于金红石型颜料则高达 1000×10^{-6} 。一定要避免过量，因为某些荧光增白剂在过高浓度时往往会发绿，产生令人不满意的那种白色调，并且还会使白度降低。一般说来，热稳定剂配方对增白效果的影响极微。

聚氯乙烯的成型温度通常在 $160 \sim 200^{\circ}\text{C}$ ，这对荧光增白剂热稳定性的要求不太严格。另一方面，溶解性和迁移稳定性（尤其是对软质聚氯乙烯）则是很重要的。

例 2 聚苯乙烯和苯乙烯类共聚物

用于聚氯乙烯的双苯并𨾏唑和苯基氧杂萘邻酮型荧光增白剂同样可用于聚苯乙烯类塑料。在透明聚苯乙烯中的耐光性为 0.5 ~ 1（蓝色色标），比在聚氯乙烯中要好些，然而在其他苯乙烯类共聚物中则稍差一些。

双（苯乙烯基）联苯也能取得很好的增白效果，但其耐光性比上面介绍的几类化学品要差一些。

透明聚苯乙烯具有少量的荧光性，它会被成型加工过程（挤出、注塑）中的热应力所产生的微量黄色降解物所抑制。然而，同聚氯乙烯一样，这种微黄色调可由极低浓度（低于 50×10^{-6} ）的荧光增白剂来补偿。对于白色透明的聚苯乙烯（通常用金红白型二氧化钛），可加入约 500×10^{-6} 的荧光增白剂来获得增白制品。

苯乙烯类共聚物，诸如抗冲击聚苯乙烯（IPS）、苯乙烯-丙烯腈共聚物（SAN）、丙

烯腈-苯乙烯-丙烯酸酯共聚物（ASA）、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯三元共聚物（ABS）、苯乙烯-丁二烯-苯乙烯共聚物（SBS）等有时具有明显的微黄色，这可由加入荧光增白剂来补偿。为此，需要用比透明聚苯乙烯更高浓度的荧光增白剂。为在着色物料中获得合适的增白效果，需加入约 1000×10^{-6} 甚至更大浓度的增白剂。这样的增白效果通常与透明聚苯乙烯中的不同，常带有绿色色调。为确保达到最佳增白效果和最优的浓度，建议进行试验。

为了把增白剂掺入苯乙烯类聚合物中，常在加工前把增白剂和聚合物粒料进行干混。

例3 聚碳酸酯

聚碳酸酯在约 300°C 或更高的温度下加工，由此常会变黄。很明显，这样高的成型加工温度对荧光增白剂的热稳定性和挥发性提出了更高的要求。

使用约 50×10^{-6} 。与聚氯乙烯和苯乙烯类聚合物所用的同样类型的增白剂，就可以补偿未加颜料的聚碳酸酯的发黄现象。对于超白（使用颜料）制品，需要约 500×10^{-6} 的浓度。

在聚碳酸酯中加入荧光增白剂的方法与在聚苯乙烯中一样，即在加工前与干粒料进行干掺合。为增加增白剂与聚碳酸酯粒料的粘合，建议使用粘合促进剂，如硬脂酸丁酯 [浓度为 $(50 \sim 100) \times 10^{-6}$]。

例4 聚氨酯

在聚氨酯领域中，仅有单组分体系才常用荧光增白剂，它们常用于薄膜和涂层中（溶液涂层、热塑性塑料涂层）。荧光增白剂可直接加入聚氨酯溶液中或与粒料干掺合。

在浇注膜中应用时，要特别注意溶解性和渗移稳定性，因为在干燥过程中，荧光增白剂有可能被蒸发的溶剂带到薄膜表面。这样，渗出的光学增白剂就会产生无规则的黄斑点。

在聚氨酯中，荧光增白剂的耐光性通常比在其他塑料中差。对于超白制品，所需浓度在 500×10^{-6} 左右。

荧光增白剂的最佳选择应借助于对各种聚氨酯配方的试验，并考虑荧光增白剂生产厂的建议。

例5 聚烯烃

聚烯烃也常进行物料本体的增白，特别是用于纸张涂膜的聚乙烯薄膜。选择合适的增白剂产品的基本标准是它与基质的相容性。增白剂与聚烯烃的相容性的顺序通常为：聚丙烯 > 高密度聚乙烯 > 低密度聚乙烯。

增白剂在聚烯烃中的耐光性通常都不太好（蓝色色标数 1~2）。

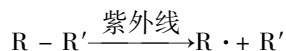
二、光敏剂

（一）简介

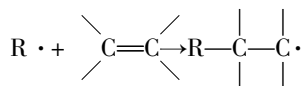
光敏剂又称敏化剂、增感剂、光引发剂，是一类能吸收一定波长的紫外线而产生自由基或离子并引发光聚合的化合物。光敏剂是光学光敏胶、光交联水分散性聚氨酯、光刻胶及光固化涂料等的重要组成部分之一。光敏胶含有光敏树脂、交联剂、光敏剂及阻聚剂

等。光敏树脂是具有活泼双键的线型结构化合物（如丙烯酸酯类环氧树脂、不饱和聚酯及聚氨酯等），交联剂单体分子结构中也含有一个或两个不饱和双键。光敏剂吸收适量光能后，发生光物理过程到某一激发态，若此时能量大于断裂所需的能量，就能产生活性种，如自由基或阳离子，从而引发聚合反应。光敏胶的光致固化历程大致按下述四个阶段进行：

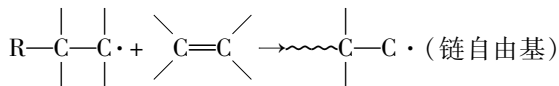
1) 光敏剂吸收紫外线后发生均裂而产生自由基：



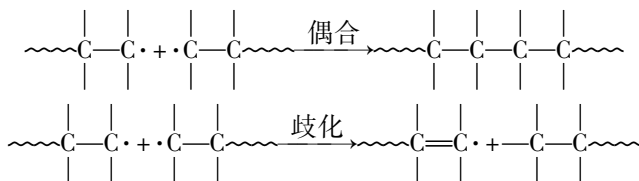
2) 链引发。光敏剂自由基引发光敏树脂和交联剂分子的不饱和双键产生新的自由基：



3) 链增长。新产生的自由基继续引发光敏树脂和交联剂分子中的不饱和双键产生自由基，进行自由基连锁反应，而且反应速度很快：



4) 链终止。化学反应中，由于自由基含有未偶化电子，非常活泼，极易倾向于与其他自由基偶合或发生歧化作用，产生偶合终止或歧化终止，使链反应活性中心失活，链反应也就终止：



反应结果生成相对分子质量较大的共聚物，使光敏胶由液态转变为固态。

光敏剂类型很多，有羰基化合物、偶氮化合物、有机硫化物、氧化还原物、有机金属化合物、增感染料等。应用较广泛的光敏剂有以下几类：

- 1) 安息香及醚类（安息香、安息香甲醚、安息香乙醚、安息香丁醚等）。
- 2) 二苯甲酮类（二苯甲酮、2, 4-二羟基二苯甲酮、米蚩酮）。
- 3) 苯偶酰类。
- 4) 苯乙酮衍生物（二乙氧基苯乙酮、二甲氧基苯基苯乙酮、羟基环己基苯基酮）。
- 5) 硫杂蒽类（硫代丙氧基硫杂蒽酮、异丙基硫杂蒽酮）。

光敏剂的一般用量为 0.01% ~ 5%。

选用光敏剂时，首先应根据主体材料光敏树脂的性质选用适当的光敏剂，同时考虑光敏剂的引发效率要高、用量要少、有一定热稳定性（85℃ 以下不分解）、无毒害及环境污染。有时将几种光敏剂复合使用时，可在不同波长范围引发聚合，比使用单一光敏剂时的固化速度更快。

(二) 主要品种与性能

1. 安息香

别名 苯偶姻、二苯乙醇酮、二苯羟乙酮。

化学式 $C_{14}H_{12}O_2$

结构式 $C_6H_5CH(OH)COC_6H_5$

性质 无色或淡黄色棱柱状结晶。相对密度 1.310，熔点 137℃，沸点 344℃ (0.102kPa)。微溶于冷水及乙醚，溶于热水、沸乙醇、丙酮、氯仿及吡啶等。与浓硫酸作用时会生成联苯酰，受热分解或燃烧时放出剧毒的刺激性气体，吸入或与皮肤接触会中毒。安息香光分解后产生两个初级自由基，它们都可以引发单体聚合，但如初级自由基扩散太慢，则会导致其偶合而降低引发效率。此外，由于安息香在光聚合体系中易发生暗聚合，使存放稳定性下降，因此目前更多地使用安息香衍生物。

用法及应用特点 用作光敏粘合剂的光敏剂，也用作医药中间体及用于制造染料及涂料等。

不饱和聚脂感光性树脂的配比见表 4-21。

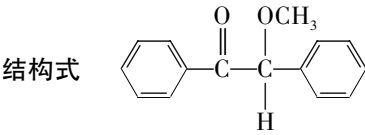
表 4-21 不饱和聚酯感光性树脂（质量份）

不饱和聚酯	100	对苯二酚	0.05 ~ 0.2
丙烯酸	18 ~ 22	安息香	1.5 ~ 3
丙烯酰胺	28 ~ 32		

2. 安息香甲醚

别名 苯偶姻甲醚、甲氧基苯偶姻。

化学式 $C_{15}H_{14}O_2$



性质 白色至淡黄色针状结晶。相对密度 1.1276 (14℃)，熔点 49 ~ 50℃，沸点 188 ~ 189℃ (1.99kPa)。不溶于水，溶于醇、醚、芳烃及氯代烃等。在相同体系中，安息香甲醚的光固化速率是安息香的二倍左右。低毒！储存稳定性稍差。

用法及应用特点 用作光敏剂，用于配制光敏胶、光固化涂料及印刷工业的感光树脂板等。环氧树脂光敏胶的配比见表 4-22。

表 4-22 环氧树脂光敏胶（质量份）

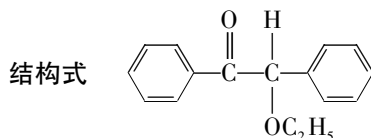
环氧树脂(711)	60	安息香甲醚	1.5
甲基丙烯酸甲酯	40		

注：本品可用于玻璃或有机玻璃与金属粘接。

3. 安息香乙醚

别名 苯偶姻乙醚、乙氧基苯偶姻。

化学式 $C_{16}H_{16}O_2$



性质 白色至淡黄色针状结晶。相对密度 1.1016 (17°C), 熔点 58 ~ 60°C (dl 体), 沸点 194 ~ 195°C (2.67kPa), 折射率 1.5727 (27°C)。不溶于水, 溶于醇、醚、酮及芳烃等有机溶剂。是烯类单体光聚合中应用较广的光敏剂, 具有近紫外吸收较高及光裂解产率高的特点。低毒!

用法及应用特点 用作光敏剂, 主要用于配制感光敏剂及印刷工业制作感光树脂板, 在涂料工业中配制溶剂时用作光敏剂起光固化作用, 三乙醇胺对安息香乙醚有促进作用。环氧丙烯酸型光敏胶的配比见表 4-23。

表 4-23 环氧丙烯酸型光敏胶 (质量份)

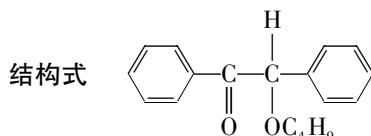
环氧丙烯酸树脂	100	安息香乙醚	2
邻苯二甲酸二丁酯	6	对苯二酚	0.08
邻苯二甲酸二丙烯酸酯	28		

注: 本品可用于陶瓷谐振器粘接。

4. 安息香丁醚

别名 苯偶姻丁醚、丁氧基苯偶姻。

化学式 $C_{18}H_{20}O_2$



性质 玫瑰色或浅黄色油状液体。相对密度 1.06, 沸点 128 ~ 130°C (0.4kPa)。不溶于水, 溶于丙酮、乙醚、苯等多数有机溶剂。

用法及应用特点 用作光敏剂, 用于配制光敏胶、光固化涂料及印刷工业用于配制感光树脂板等。光固化丙烯酸酯涂料 (一) 的配比见表 4-24。

表 4-24 光固化丙烯酸酯涂料 (一) (质量份)

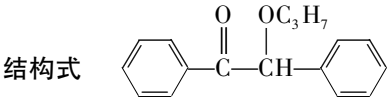
聚氨酯丙烯酸酯	35	安息香丁醚	6
聚酯丙烯酸酯	12	偶联剂	2
环氧丙烯酸酯	10	胺催化剂	5
三羟甲基丙烷三丙烯酸酯	25	吐温	3

注: 本品可用于保护热转印图像不退色。

5. 安息香异丙醚

别名 苯偶姻异丙醚。

化学式 $C_{17}H_{18}O_2$



性质 白色至浅黄色结晶。熔点 72 ~ 75℃，微溶于水，溶于醇、醚、酮及芳烃等多数有机溶剂。其光固化速率比安息香高，而且使用寿命长、储存稳定性好。最高紫外线吸收范围为 240 ~ 260nm。

用法及应用特点 可作光敏剂，用于配制光敏胶、光固化涂料及印刷工业用于配制感光树脂板等。改性环氧光敏胶的配比见表 4-25。

表 4-25 改性环氧光敏胶（质量份）

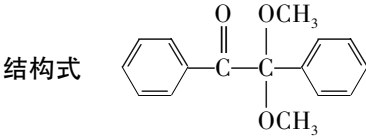
顺酐改性丙烯酸环氧树脂	100	安息香异丙醚	1.2
邻苯二甲酸二丁酯	4.5	气相白炭黑	6
过氧化苯甲酰	0.3		

注：本品可用于透明材料与陀螺布线粘接。

6. 安息香双甲醚

别名 安息香二甲醚、2, 2-二甲氧基-2-苯基苯乙酮。

化学式 C₁₆H₁₆O₃



性质 白色至淡黄色结晶。熔点 67 ~ 70℃，不溶于水，溶于醇、醚、酮及芳烃等多数有机溶剂。具有较高的光引发活性及长的使用寿命，最佳紫外线吸收范围为 340 ~ 350nm。其主要缺点是使用时会使聚合体系变色，变色原因是其自由基会结合生成醌式结构所致。一般用量为 0.5% ~ 5%。

用法及应用特点 用作光敏剂，用于配制油墨、光敏胶及光固化涂料等。光固化丙烯酸酯涂料（二）的配比见表 4-26。

表 4-26 光固化丙烯酸酯涂料（二）（质量份）

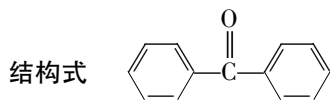
丙烯酸丁酯	10	安息香二甲醚	5
丙烯酸异戊酯	28	抗静电剂 G	2
二季戊四醇六丙烯酸酯	40	三羟甲基丙烷三丙烯酸酯	32

注：本品可涂覆于含聚合物的注射盘。

7. 二苯甲酮

别名 苯酮、二苯酮、苯酰苯。

化学式 C₁₃H₁₀O



性质 白色片状或斜方晶系结晶，有甜味，有类似玫瑰香气。相对密度 1.108 (23°C)，熔点 48.5°C，沸点 305.4°C，折射率 1.5975 (45.2°C)。不溶于水，溶于醇、醚、酮及氯代烃等有机溶剂。对碱比较稳定，有毒！

用法及应用特点 用作光敏胶、光固化涂料的光敏剂，但单独用于光固化涂料或光敏胶时无光引发作用，必须与含活泼氢的化合物（如脂肪胺）并用才有效。也用于制造香皂，用作定香剂和东方型香精的调和香料。光固化丙烯酸酯涂料（三）的配比见表 4-27。

表 4-27 光固化丙烯酸酯涂料（三）（质量份）

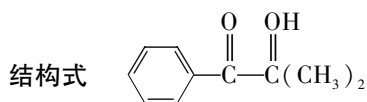
三羟甲基丙烷三丙烯酸酯	50	二苯甲酮	3
己二醇丙烯酸酯	28	二乙醇胺	3
丙烯酸-β-羟乙酯	22		

注：本品可用于金属、塑料、陶瓷、木材等底材的涂装。

8. 2-羟基-2-甲基苯丙酮

别名 α-羟基-α-甲基苯丙酮，简称 HMPP。

化学式 C₁₀H₁₂O₂



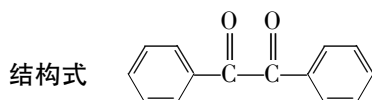
性质 无色透明液体。相对密度 1.077，沸点 102 ~ 103°C (0.533kPa)，折射率 1.5330。不溶于水，溶于醚、酮、芳烃等有机溶剂，也易与树脂混溶。属 α-羟烷基芳基酮类光敏剂，具有热稳定性好、引发效率高、耐黄变性能优良等特点。

用法及应用特点 用作制造紫外线光固化油墨、粘合剂及涂料等的光敏剂，常用于聚酯、丙烯酸酯类光敏胶，也可用于水性紫外线光固化体系。

9. 苯偶酰

别名 联苯酰、二苯基乙二酮

化学式 C₁₄H₁₀O₂



性质 白色至黄色晶体。相对密度 1.230 (15°C)，熔点 95°C，沸点 346 ~ 348°C (分解)。不溶于水，溶于醇、醚、芳烃及氯代烃等。储存稳定性较好。

用法及应用特点 用作制造光敏胶、光固化涂料等的光敏剂，也用作有机合成中间体，用于生产抗癫痫药苯妥英钠及光敏剂安息香双甲醚等。

第三节 生物抑制剂

一、生物变质

(一) 简介

天然高聚物（如纤维素和淀粉）很容易出现生物降解现象。但是，大多数工业合成的高聚物则具有明显的抗生物降解的性能。这是因为微生物并不能直接吸收消化这些合成高聚物。然而，合成高聚物制品也存在生物降解，只不过微生物所能降解的往往并不是高聚物本身，而是制品配方中诸如增塑剂等其他组分。

塑料的生物变质（有时又称生物腐蚀），目前已成为人们注视的一大问题。增塑的聚氯乙烯更为突出。应该指出，微生物侵蚀的并不是聚氯乙烯树脂本身而是增塑剂。在增塑聚氯乙烯中，一旦相当高比例的增塑剂被降解，那么其制品的使用性能就会受到很大的损害。

有的文献报道了各种不同微生物敏感性的增塑剂类别。增塑剂按敏感程度大致可分为以下三大类型。

高度敏感：如油酸酯类、硬脂酸酯类、聚酯类等增塑剂。

中度敏感：如己二酸类、环氧脂肪酸类增塑剂。

不敏感或低度敏感：如邻苯二甲酸酯类、磷酸酯类、甲苯磺酸酯类增塑剂。

但是，这种分类方法并不是绝对的。因为根据微生物降解机理的假设，大多数酯类增塑剂的生物降解是天然酶对其中酯键的破坏而开始引发的，因而严格地说任何酯类增塑剂都会受到微生物的侵蚀。对微生物敏感性的差异，仅仅是相对于时间而言。

润滑剂及其相关的助剂，如爽滑剂、防粘连剂等具有与 PVC 增塑剂不同的微生物敏感性，但此类助剂的用量要比增塑剂低得多。

上述结果是基于某特定的实例，并不能全面反映 PVC 制品的情况，诸如相容性、扩散平衡等有关因素均能在很大程度上影响增塑 PVC 对微生物的敏感程度。

经研究表明，细菌、霉菌、酵母，有时还有海藻等各种微物都会导致 PVC 制品变质。实际上，在增塑的聚氯乙烯制品中，所有类型的微生物均可找到。

(二) 微生物变质的表现形式

(1) 色斑 色斑很可能是由微生物代谢产物所形成不可消除的着色物质造成的。除常见的粉红色色斑外，还可见到黄色、灰色或黑色的色斑。此外，色斑也可能是由于光和/或氧影响微生物降解产物造成的。物理力学性能的降低并不一定会随之出现变色反应。

(2) 气味 霉菌的代谢产物以及微生物引起的降解物都可能是气味的来源。气味的出现并不一定伴随力学性能的下降，因为有味物质在很低浓度下人们即可觉察到。

(3) 影响电性能 只要微生物在制品表面生长，即使微生物的任何的损害现象未出现，则制品的电绝缘性能也会受到影响。

(4) 吸尘积垢 制品表面吸尘积垢是表面粗糙、发粘引起的,其根本原因可能是光降解作用或出于配料不当而导致增塑剂析出。就增塑聚氯乙烯而言,这种现象通常就是微生物开始降解增塑剂的征兆。

(5) 渗透性改变 制品对于气体和溶剂的渗透能力受到微生物降解的影响。增塑剂本身的降解和增塑剂降解物(如醇类)或微生物代谢产物(如酸类)是导致耐溶剂性改变的两个原因。

(6) 力学性能劣化 这是生物降解量严重的后果。脆化和失重是增塑剂损失的直接表现。同时,生物降解产物又可加速聚氯乙烯制品的光和氧的降解作用。

(7) 卫生问题 塑料表面微生物的繁殖不仅影响外观,而且还潜在着传播病菌的危险。对此,人们往往低估了传染病传播媒介的作用。

(三) 微生物抑制剂的应用范围

微生物生长需要一定的温度、湿度等环境条件。最适宜的条件是:相对湿度 63%~99%、温度 10~40℃。如果环境条件具备,并存在有增塑剂或其他添加剂等营养源,那么聚氯乙烯制品将会明显地受到侵害,如充气建筑物、屋面防水膜材、地板、壁纸、固体废物处理站的隔栅膜材、电线包皮和护套、软管、设备器材的垫片、农用薄膜、汽车顶蓬、盖板、遮光板、雨布和船上装饰件,以及淋浴帘幕、浴垫、水槽、凉棚、帐篷、池塘衬膜、公园露天家具、鞋靴等工农业、建筑、交通运输和日用品等方面广泛应用的聚氯乙烯制品。

在增塑聚氯乙烯的生物降解抑制措施中,对塑料地板、壁纸、屋面防水膜材、游泳池内衬等的底面在施工安装前作适当的处理是必要的。聚氯乙烯片材在用作防潮、防水层时,若忽视化学和生物处理,隔层之下便可提供微生物很好的生长条件,塑料保护层就会在霉菌的作用下变质。在这种条件下,底层霉菌的着色代谢物可加速塑料膜材的色变,同时还常伴随有气味的产生。

二、生物抑制剂的品种与性能

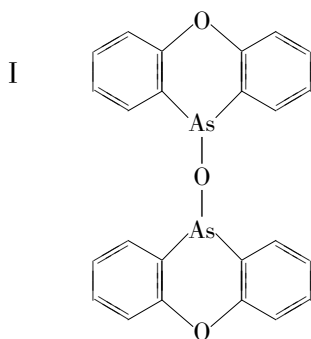
(一) 性能要求

一种有效的生物抑制剂应具备以下性能和条件,如广泛的抗微生物活性,低温效果,不给保护材料带来不利影响(如色污、热和光稳定性等),与增塑剂、加工助剂及其他助剂(稳定剂、润滑剂、抗氧剂和紫外吸收剂等)的相容性,对最终产品无不利效应(诸如腐蚀、表面损坏和气味等),加工条件下不挥发或低挥发等热稳定性,储存稳定,使用方便,长效性,对人和环境的低毒性并需经某些国家机构(如美国环保局)注册批准。

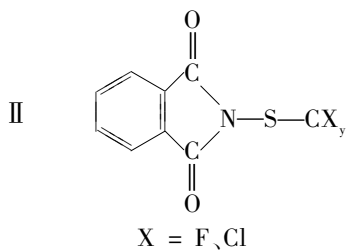
(二) 产品

一些专利和出版物虽曾报道了大量的生物活性产品,但具有工业意义的产品却不多。常用的生物抑制剂主要有以下几种:

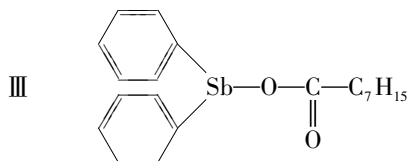
1) 10, 10'-氧代双吩噻唑。



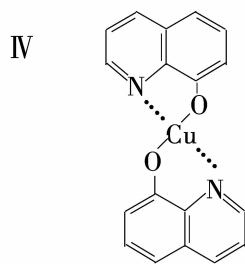
2) N (三卤甲基硫代) 邻苯二甲酰亚胺及其相应的四氢化衍生物。



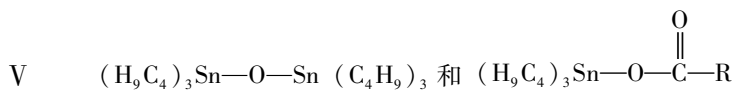
3) 二苯基胂-2-乙基己酸酯。



4) 双(8-羟基喹啉)铜。



5) 三丁基氧化锡及其衍生物。



目前,许多厂家对上述活性组分使用了各种不同的商名称。产品可以是含 100% 活性组分的纯药,亦可是活性组分与增塑剂、环氧大豆油等助稳定剂和作为赋形剂应用的溶剂等复配成剂。因应用要求不同,成剂中活性组分含量范围有所不同,一般为 0.3%

~5%（质量分数）。

三、抗菌防霉剂

（一）简介

塑料在一定的条件下，如微生物尤其是霉菌的作用下，会变色产生霉斑，甚至生长菌丝。这时用显微镜可以观察到材料被侵蚀的地方有许多微细的穿孔。这种霉菌老化对高分子十分有害，它可使制品强度降低，其他力学性能受到不同程度的影响，严重时甚至霉烂发臭，以至完全不能使用。防霉剂就是能杀死霉菌或抑制其生长的一种化学添加剂，它可保护聚合物材料免受霉菌侵蚀。

导致聚合物材料受霉菌侵蚀的主要因素是其体系内添加的各种助剂。因此，减少那些易受霉菌侵蚀的助剂数量，或加入抑菌防霉剂都是增强材料抗菌能力的有效手段。

抑菌防霉剂对霉菌的杀灭作用，是通过其孢子的细胞膜进入细胞内，消灭孢子或阻止其发芽以达到防止霉菌生长的目的，抑菌防霉剂在霉菌孢子细胞内的毒杀作用有如以下几种方式：

1) 抑制酵素系统的活性。因为酵素系统与霉菌孢子细胞内的各种代谢作用有密切的关系。

2) 破坏能量释放体系。

3) 和酵素的一 NH_2 和一 SH 反应，从而抑制酵素（如有机汞化物、有机砷及醌类）的机能。

4) 过分地促进磷酸氧化-还原体系，从而破坏细胞的机能。

5) 抑制细胞发芽时所进行的核糖核酸（RNA）合成、从而阻止其孢子发芽。

6) 抑制电子传递体系或转氨酶体系。

选用抑菌防霉剂时，一是注意其迁移速度不能太快，以免降低塑料制品的使用寿命，二是其使用应得到有关卫生部门的批准。

（二）主要品种与性能

1. 五氯苯酚

性质 白色结晶。相对分子质量 266，熔点 190°C ，沸点 293°C ，分解温度 310°C ，蒸气压 0.014665Pa （ 20°C ），在水中的溶解度（g/100g 水）分别为 0.0005 （ 0°C ）、 0.0018 （ 27°C ）、 0.0035 （ 50°C ）、 0.0085 （ 70°C ），在有机溶剂中的溶解度（ 20°C ）见表 4-28。

表 4-28 五氯苯酚在有机溶剂中的溶解度

有机溶剂	溶解度/（g/100g 溶剂）	有机溶剂	溶解度/（g/100g 溶剂）
二硫化碳	3	苯	11.9
甲醇	57	甲苯	11.5
乙醇（100%）	53	丙酮	21.5
乙醇（95%）	47.5	四氯化碳	2

用法及应用特点 本品为广泛使用的防霉剂，灭菌效力高，适用于聚氯乙烯等塑料、涂料、皮革、粘合剂、橡胶、木材、纤维、纸张等。本品无色，不污染处理物，化学稳定性好，不变色，不挥发，耐久性高，可以制成油溶性和水溶性两种形式，使用简便，一般用量为 0.1% ~0.5%。本品的热稳定性虽然较高，但若加热到 300℃ 以上，则可分解生成六氯苯和八氯联苯醚，失去防霉效果。

2. 五氯苯酚钠

性质 白色或灰白色结晶。相对分子质量 288.36，熔点约 190℃，游离碱（NaOH）含量 0.5% ~0.9%，在水中的溶解度（g/100g 水）分别为 20.8（4℃）、26.1（25℃）、28.0（35℃），在有机溶剂中的溶解度（20℃）见表 4-29。

表 4-29 五氯苯酚钠在有机溶剂中的溶解度

有机溶剂	溶解度/（g/100g 溶剂）	有机溶剂	溶解度/（g/100g 溶剂）
二硫化碳	微溶	苯	0.1
甲醇	17.8	甲苯	不溶
乙醇（100%）	39	丙酮	27.0
乙醇（95%）	32 ~ 33	四氯化碳	微溶

用法及应用特点 本品为一有效的防霉剂，具有很强的防霉和杀菌作用，无臭，常温下不挥发，适用于聚氯乙烯地板料、胶乳、粘合剂、纤维等。

3. 月桂酸五氯苯酯

性质 褐色油状黏稠液体。相对密度 1.28。

用法及应用特点 本品为一有效的防霉剂，杀菌和防霉效能高，具有疏水性，适用于塑料、纤维、木材、海底电缆等，一般用量为 0.5% ~1%。

4. 2，2'-亚甲基双（3，4，6-三氯苯酚）

性质 白色或浅黄色结晶性自由流动粉末，无味或略带苯酚气味。熔点 164 ~ 167℃，溶于醇、醚、丙酮、氯仿、丙二醇、橄榄油、棉籽油和稀碱液，不溶于水。

用法及应用特点 本品用作 PE、PS、PVC、ABS、醋酸纤维素的防菌剂，还可用于痱子、襁褓斑疹、面疱的治疗药和婴儿扑粉、药皂等以及外科手术时的消毒。

5. 水杨酰苯胺

性质 白色或乳白色粉末。熔点 130℃，相对密度 1.22，溶于丙酮、乙醇，微溶于水，其钠盐易溶于水。

用法及应用特点 本品可作为聚氯乙烯等塑料的防霉剂，杀菌效力一般，无臭，无刺激性，使用时可将其配成丙酮溶液或钠盐水溶液。本品也可作为橡胶、涂料、粘合剂、皮革、织物等材料的防霉剂。

6. 8-羟基喹啉铜或双（吡羟基喹啉基）铜

性质 黄绿色粉末。相对密度（26℃）0.9542 ~0.9545，在溶剂中的溶解度小，与 2-乙基己酸镍混合可将其溶解度提高到 10%。

用法及应用特点 本品可作为聚氯乙烯等塑料的防霉剂，杀菌效力高，但本品影响

制品的透明性和着色性，与增塑聚氯乙烯料相容性较差的缺点，这些限制了本品的广泛应用。

7. 双（三正丁基锡）氧化物

性质 无色或淡黄色透明液体。相对分子质量 59.6，相对密度 1.160 ± 0.015 ，锡含量 $(39.8 \pm 1)\%$ ，凝固点 $< -45^{\circ}\text{C}$ ，沸点 182°C （266.322Pa），闪点 $> 212^{\circ}\text{C}$ ，溶于有机溶剂，不溶于水。

用法及应用特点 本品可作为聚氯乙烯等塑料的防霉剂，具有很强的杀菌防霉效能，一般用量为 $0.5\% \sim 1\%$ 。将本品溶于有机溶剂后配以表面活性剂，可使之易于水中乳化。

8. 双（三丁基锡）硫化物

性质 无色或淡黄色液体。相对分子质量 612，沸点 191°C （93.32Pa），相对密度（ 25°C ） $1.192 \pm 0.01\%$ ，锡含量 $(38.7 \pm 1)\%$ ，溶于有机溶剂，不溶于水。

用法及应用特点 本品可作为塑料和橡胶用防霉剂，一般用量为 $0.5\% \sim 1\%$ 。

9. 乙酸三丁基锡

性质 白色针状结晶。相对分子质量 349，熔点 $81 \sim 87^{\circ}\text{C}$ ，锡含量 $(34 \pm 1)\%$ ，溶于有机溶剂，不溶于水。

用法及应用特点 本品可作为塑料用防霉剂，一般用量为 $0.5\% \sim 1\%$ 。

10. 三丁基氯化锡

性质 无色或微黄色液体。相对分子质量 325.5，沸点（3333.05Pa） $145 \sim 147^{\circ}\text{C}$ ，相对密度（ 25°C ） $1.15 \sim 1.25$ ，锡含量 $(36.4 \pm 1)\%$ ，微溶于有机溶剂，不溶于水。

用法及应用特点 本品可用作塑料防霉剂，一般用量为 $0.5\% \sim 1.0\%$ 。

11. 富马酸三丁基锡

性质 白色结晶粉末。熔点 $124.5 \sim 128.5^{\circ}\text{C}$ 。

用法及应用特点 本品具有很强的防腐、防霉作用，适用于塑料和橡胶等高分子材料。

12. 三丁基氟化锡

性质 白色结晶。相对分子质量 309，熔点 $250 \sim 257^{\circ}\text{C}$ ，锡含量 $(38.4 \pm 1)\%$ ，可溶于有机溶剂，不溶于水。

用法及应用特点 本品可作为塑料用防霉剂，一般用量为 $0.5\% \sim 1\%$ 。

13. N-（三氯甲硫基）邻苯二甲酰亚胺

性质 粉末状物。

用法及应用特点 本品可作为聚氯乙烯等乙烯基塑料的防霉剂，杀菌防霉效力高，热稳定性好，适用于压延、挤塑和增塑糊等制品。本品在使用浓度范围内无毒、无刺激性，与树脂料的相容性好，可用于透明制品和不透明制品。

14. N-（三氯甲硫基）-4-环己烯-1，2-二甲酰亚胺

性质 白色细微粉末。不溶于水、甘油、丙二醇，溶于许多有机溶剂。

用法及应用特点 本品为高效的防霉剂和杀菌剂，热稳定性好，不影响制品的透明性，适用于聚氯乙烯塑料，在压延、挤塑及增塑糊制品中均可使用。

15. 5, 6-二氯苯并噁唑啉酮

性质 白色至米色粉末。相对分子质量 204，熔点 186 ~ 192℃，溶于酒精和香蕉水中，溶于酒精后再加入适量水不会析出。

用法及应用特点 本品可作为塑料、橡胶和涂料的防霉防，分散性比较好，一般用量 1% 左右，在浅色塑料制品中用量不宜过多。使用时，可将本品直接拌入物料，也可溶于酒精或香蕉水中再加入到物料中。

16. N-（氟二氯甲硫基）邻苯二甲酰亚胺

性质 白色或淡黄色粉末。熔点 142 ~ 146℃，不溶于水。

用法及应用特点 本品可作为塑料和橡胶用防霉剂，一般用量为 0.1% ~ 0.5%。

17. N, N-二甲基-N'-苯基（氟二氯甲硫基）磺酰胺

性质 白色粉末，不溶于水。在溶剂中的溶解度为：氯甲烷 32.5%、邻二氯苯 32.5%、乙酸乙酯 11.7%、甲醇 1.5%、混合二甲苯 7.0%。

用法及应用特点 本品可作为橡胶和塑料的防霉剂，杀菌效力比 N-（氟二氯甲硫基）邻苯二甲酰亚胺高。

18. 2, 2'-二羟基-5, 5'-二氯二苯基甲烷

性质 浅灰色粉末，具有苯酚气味。相对密度 1.4 ~ 1.5，熔点 160 ~ 164℃，溶解度为：丙酮 80g/100mL 溶剂、甲乙酮 75g/100mL 溶剂、乙醇 53g/100mL 溶剂、正丁醇 43g/100mL 溶剂、水 0.003g/100mL 溶剂。

用法及应用特点 本品为一广泛使用的防霉剂，挥发性小，不被水抽出，持久性高，适用于软质聚氯乙烯薄膜、人造革、橡胶、织物、涂料、粘合剂、木材等。

19. 2-（4-噻唑基）苯并咪唑

性质 淡黄色粉末。相对密度 1.44，熔点 300℃，在溶剂中的溶解度为：甲乙酮 1.25%、乙醇 0.68%、乙二醇 0.77%、甲醇 0.093%、水 0.003%。

用法及应用特点 本品可作为塑料和橡胶用防霉剂，热稳定性好、不水解、一般用量为 0.1% ~ 0.5%。

20. 苯并咪唑-2-基氨基甲酸甲酯

性质 纯品为白色粉末。熔点 306℃（分解），在 216 ~ 217℃ 开始升华。工业品为浅棕色粉末，熔点 290℃ 以上（分解），相对分子质量 191.19，不溶于水，微溶于丙酮、氯仿、乙酸乙酯，溶于乙酸和无机酸生成相应的盐，有较强的吸水性，对热稳定。

用法及应用特点 本品为非汞型防霉杀菌剂，用于涂料、漆布、纸制品、皮革、纺织品和橡胶制品，在水性漆和溶剂型漆中也均能用。与其他防霉杀菌剂配合成加入少许氧化锌能显著提高药效，与福美双混配能提高抑菌作用。用于涂料时，本品用量为总量的 0.2% ~ 1.0%，调漆时拌入。本品还可作为药剂用于农药工业，制造广谱内吸杀菌剂。

21. 对氯间二甲基苯酚

性质 白色粉末。相对密度 1.4, 熔点 125 ~ 145℃, 在溶剂中的溶解度为甲苯 1g/L、邻苯二甲酸二辛酯 5g/L、甲乙酮 20g/L、四氢呋喃 91g/L。

用法及应用特点 本品可作为塑料用防霉剂, 耐热性和耐候性好, 水抽出性小, 在树脂中的持久性强, 特别适用于硬质和半硬质聚氯乙烯板材, 人造革等, 一般用量 2%。

22. 2, 4, 5, 6-四氯间苯二腈

性质 白色至淡褐色粉末, 有效成分 96% 以上。密度 1.8g/mL, 沸点 350℃ (0.1MPa)。在常温下储存稳定, 在中度碱和酸的水溶液中不水解, 对紫外线较稳定, 对金属无腐蚀性。

用法及应用特点 本品为非汞型防霉杀菌剂的最有效品种之一, 用作水溶性漆和乳胶漆及溶剂型漆的防霉剂, 成漆时拌入, 用量为总量的 0.5% ~ 1.5%。

23. 二硫化四甲基秋兰姆

性质 纯品为无色无臭结晶。相对密度约为 1.40, 熔点 155 ~ 156℃, 工业品为无色或淡黄色粉末。相对分子质量 240.4, 易溶于苯、氯仿、丙酮、二硫化碳等有机溶剂, 微溶于乙醇和乙醚, 不溶于水, 遇酸分解。

用法及应用特点 本品用于处理种子和土壤, 防止禾类白粉病、黑穗病及蔬果病害。本品与多菌灵、甲基托布津等混用是良好的种子处理剂, 可防治稻瘟病、稻秧苗立枯病、麦类立枯病、玉米黑粉病以及蔬菜多种病害。本品可作为橡胶制品有硫化或无硫化工艺的快速促进剂, 在乳胶漆中作为防霉剂, 并有一定防腐作用。本品可配成水悬浮液使用, 成漆前加入, 混合均匀。

24. 溴乙酸苄乙酯

性质 相对密度 1.43 ~ 1.48, 易溶于水, 在酸性和碱性介质中稳定, 在水中不水解。

用法及应用特点 本品即使在浓度很低时也能抑制微生物的发育, 有良好的防霉作用。本品用作乳胶漆防霉剂时, 用量 0.1% ~ 0.2%。

25. N-叔丁基-N'环丙基-6-(甲硫基)-1, 3, 5-三嗪-2, 4-二胺

性质 白色或淡黄色粉末。相对分子质量 253.4, 熔点 133℃, 体积密度 280 ~ 350g/L, 溶解度为: 二甲苯 5g/100g 溶剂、辛醇 5g/100g 溶剂、丁二醇 15g/100g 溶剂、水 (pH=7) 0.001g/100g 溶剂。

用法及应用特点 本品是一种高效的光合作用抑制剂, 可有效抑制藻类和苔藓类在塑料表面的生长, 可应用于聚烯烃、PMMA、PS、PVC、UP 等高分子材料, 尤其在一些木塑制品上具有广泛的应用。本品用量为: 聚乙烯 0.1% ~ 0.5%、聚丙烯 0.1% ~ 0.5%、软质 PVC 0.1% ~ 0.5%、硬质 PVC 0.5% ~ 1.0%、PN-MA 0.1% ~ 0.5%、UP 0.1% ~ 1.0%。

26. 2, 4, 4'-三氯-2'-羟基二苯基醚

性质 灰白色微细粉末。相对分子质量 289.5, 熔点 133℃, 相对密度 (20℃)

1.58g/cm³，体积密度 550 ~ 610g/L，闪点（DIN51758）223℃，蒸气压 5.3×10^{-4} Pa（20℃）、 2.7×10^{-4} Pa（100℃）、溶解度为：丙酮 > 100g/100g 溶剂、异丙醇 > 100g/100g 溶剂、正己烷 8.5g/100g 溶剂、甘油 0.15g/100g 溶剂、水（pH = 7）0.001g/100g 溶剂。

用法及应用特点 本品是一种高活性的广谱革兰氏菌抑制剂，热稳定性优良，可达到 300℃，可应用于聚烯烃、EVA、PMMA、PS、UP、PUR、TPU、UF、胶乳、赛璐珞等高分子材料，也可用于 PVC 和 ABS，主要在卫生用品、垃圾袋、鞋垫、医疗用品等具有较多的应用。其用量为：聚乙烯 0.1% ~ 0.3%、聚丙烯 0.1% ~ 0.5%、PUR0.2% ~ 1.0%、PVC0.5% ~ 1.0%、PMMA0.3% ~ 1.0%、UP0.1% ~ 1.0%、TPU0.1% ~ 0.5%。

27. 2, 2'-硫代双（4, 6-二氯苯酚）

性质 白色结晶粉末。熔点 185.5 ~ 186.5℃，密度（20℃）1.73g/cm³，易溶于乙醇、丙酮，溶于稀碱溶液，不溶于水。

用法及应用特点 本品用作抗菌剂，可作为天然胶乳的保存剂，也有显著的抗凝固作用。本品既可单独使用，也可与氨并用，一般用量为 0.001% 以上，经乳化或分散加入胶乳，也可以碱金属或铵盐形式加入胶乳。本品也可用于制造驱虫剂，对肺吸虫囊蚴有明显杀灭作用，对姜片虫、华支睾吸虫均有效。

28. 邻苯基苯酚

性质 白色针状结晶或颗粒状固体粉末，微有特殊气味。熔点 55.5 ~ 57.5℃，沸点 275℃（0.1MPa）、152 ~ 154℃（2.0265kPa），闪点 123℃，溶于醇、酮、苯等大多数有机溶剂及氢氧化钠溶液，几乎不溶于水。

用法及应用特点 本品用作塑料、橡胶的防霉剂，也用作疏水性合成纤维氯纶、涤纶等采用载体染色法时的载体，塑料的热稳定剂、表面活性剂、杀菌防腐剂、染料中间体等。

29. 邻苯基苯酚钠盐

性质 浅黄色颗粒状固体，含四个结晶水，脱水后为白色或浅红色粉末。相对密度（20℃）1.29，20℃时 2% 水溶解 pH 值为 11.0 ~ 12.2，极易溶解于水，易溶于丙酮、甲醇，溶于甘油，不溶于芳香烃、氯化溶剂和油脂。

用法及应用特点 本品用作人造革和帆布的防霉剂，可混入纤维中，也可用作合成橡胶的防腐剂以及食品添加剂。本品还可用于柑橘的防霉，使柑橘腐烂降低到最低程度，也可用于苹果、梨、菠萝等的防霉。

30. Preventol kl

性质 淡灰色粉末。熔点 125 ~ 127℃。

用法及应用特点 本品为一高效防霉剂，杀菌作用强，适用于各种塑料制品，特别是聚氯乙烯地板材，与增塑剂、热稳定剂及其他助剂有良好的相容性，耐热性好，在混炼、挤塑、注塑等加工的高温（170℃）条件下不发生分解，但在 170℃ 以上有变黄现

象。

31. Cubide

性质 淡黄色粉末。熔点 100 ~ 110℃，含铜 12% ~ 13%，含磷 11% ~ 13%，闪点 150℃ 以上，溶于乙醇、苯、庚烷，微溶于水。

用法及应用特点 本品为含磷的有机金属化合物，可作为塑料、海洋用漆的防霉剂，杀菌效果好，在塑料中的用量一般为 2% 以下。

32. ASC-4

性质 白色细微粉末，微具芳香味。溶解度为：苯 1g/100mL、异丙醇 0.25g/100mL、乙醇（95%）0.25g/100mL、甘油 0.008g/100mL、蒸馏水 0.0015g/100mL。

用法及应用特点 本品为水杨酸替苯胺的含卤衍生物，杀菌力强，适用于塑料、橡胶、涂料、皮革、纤维、纸等。

33. 无机抗菌剂 YY-Z50

性质、用法及应用特点 本品为一种白色超细粉末的非有机药物性抗菌剂，含有活性基团，耐热温度为 1300℃，不溶于水，可与各种塑料和橡胶材料良好地相容。本品具有自发长久的、高效广谱抗菌防霉能力，可应用于一切与塑胶有关的行业，如化学建材、食品包装膜、玩具、机壳、内壳等。

34. 二氧化钛

性质、用法及应用特点 本品是一种具有极强氧化能力的半导体活性材料，通过光的作用在其表面激起氧化还原反应，并释放出活性极强的氢氧自由基（ $\cdot\text{OH}$ ）及超级阴氧离子自由基（ $\cdot\text{O}_2^-$ ），并使之和空气中的污染物及各种细菌发生链式降解反应，从而达到净化空气、抗菌防霉、抗污除臭、亲水自洁等功能，是一种高效并具持久性的高新环保产品。本品反应原理为：当纳米级二氧化钛超微粒子接受波长为 388nm 以下的紫外线照射时，其内部由于吸收光能而激发产生电子、空穴对，即光生载流子，然后迅速迁移到其表面并激活被吸附的氧和水分，产生活性氢氧自由基（ $\cdot\text{OH}$ ）和超级阴氧离子自由基（ $\cdot\text{O}_2^-$ ），当污染物以及细菌吸附其表面时，就会发生链式降解反应。本品可用于家居、汽车等的空气净化，抗菌防霉，抗污除臭，亲水自洁。

35. 复合抗菌剂 KHFS-ZN

性质 外观：大小均匀，塑化良好，表面光洁，色泽一致，无明显杂质。粒度：没有长度超过 20nm 以上的连粒，6nm 以上、20nm 以下长度的连粒不超过总质量的 3%。清洁度：杂粒（直径在 0.2 ~ 1mm 的黑色或其他带色物质）不多于 10 颗/100g。水分及挥发物含量： $\leq 0.5\%$ 。分散均匀性：添加抗菌母料的制件表面不存在肉眼可见的固体颗粒。

用法及应用特点 本品可用于家电行业、电信行业、化学建材、包装行业、医疗行业、纤维制品、办公用品、玩具等。本品低添加量时 24h 抗菌率 $> 90\%$ ，高限加量时 24h 抗菌率 $> 99\%$ 。

第四节 阻燃剂

一、简介

加到塑料中能阻止燃烧、降低燃烧速度或（和）提高着火点的物质称为阻燃剂。阻燃剂主要是含磷、卤素、硼、锑和铝等元素的有机物和无机物。含有阻燃剂的塑料大多数是自熄性的，也可以是不燃性的。

阻燃剂的分类见表 4-30。

表 4-30 阻燃剂的分类

类别	种类	特 性	典型的代表物	用 途
按使用方法分	反应型阻燃剂	作为原料加入树脂中，通过化学反应成为树脂链节的一部分，塑料性能良好，阻燃性持久	卤代酸酐、含磷多元醇	热固性塑料
	添加型阻燃剂	在塑料加工时简单地混入，优点是使用方便，适应面广，缺点是对塑料某些性能有不良影响	磷酸酯、卤代烃、氧化锑	热塑性塑料
按所含阻燃剂化学元素分	含卤素阻燃剂	绝大多数氯系阻燃剂对热比较稳定，溴系阻燃剂热稳定性好，可高温成型	氯化石蜡、六溴苯	聚烯烃、尼龙、聚酯
	含磷阻燃剂	耐热性、耐汽油性突出，塑化效果好，不易着色	磷酸三甲苯酯、磷酸三苯酯、磷酸三辛酯	PVC、工程塑料
	无机阻燃剂	与树脂易混合，价廉，无毒，应用广泛，虽阻燃效果不强，但对降低发烟有效	氢氧化铝、三氧化二锑	PVC、聚酯、聚烯烃

对阻燃剂的要求

- 1) 不降低塑料的物理力学性能。
- 2) 阻燃剂的分解温度要与塑料的使用要求相适应。
- 3) 具有持久性。
- 4) 具有耐候性。
- 5) 毒性小，价廉等。

二、主要品种与性能

（一）卤系阻燃剂

1. 氯化石蜡-70

性质 白色树脂状粉末。氯含量 70% 左右，平均相对分子质量 1060 ~ 1100，相对

密度 1.25 ~ 1.70 (25℃), 软化点 95 ~ 120℃, 折射率 1.56 ~ 1.58 (25℃), 体积电阻率 100kΩ · cm, 不溶于水和低碳醇, 溶于矿物油、芳烃、乙醚、酮、酯、蓖麻油等有机溶剂。

用法及应用特点 本品为添加型氯系阻燃剂的主要品种、氯含量高, 挥发性小, 阻燃效果持久, 且具有防潮和抗静电功能, 能够提高树脂成型时的流动性并改善制品的表面光泽, 可用于阻燃聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、聚甲基丙烯酸甲酯、各种天然橡胶和合成橡胶制品, 亦可用于制造防火涂料, 与三氧化二锑、硼酸锌等有良好的协同效果。本品以添加方式使用, 多与锑类协效剂并用, 用量视阻燃级别和被阻燃基材而异。

2. 四氯邻苯二甲酸酐

性质 白色粉末。相对分子质量 285.9, 色泽 (APHA) <300, 氯含量 49.6%, 结合水 ≤ 0.5%, 熔点 255℃, 沸点 371℃, 溶于丙酮、苯及氯苯 (室温时的溶解度为 2 ~ 4g/100g 溶剂), 微溶于水, 生成四氯邻苯二甲酸 (pH 值约为 2), 本品的钾盐、钠盐极易溶于水。

用法及应用特点 本品为反应型阻燃剂, 适用于不饱和聚酯和环氧树脂, 可给予树脂良好的阻燃性和高温稳定性, 但本品的阻燃效能不及四溴邻苯二甲酸酐。

3. 4, 4'-异亚丙基双 (2, 6-二氯苯酚)

性质 白色结晶粉末。相对分子质量 366.08, 氯含量 38.7%、熔点 133℃ 以上、溶于甲醇、乙醇、苯、丙酮、乙酸乙酯、二甲苯、碱水溶液, 不溶于水、正己烷。

用法及应用特点 本品为反应型阻燃剂, 适用于环氧树脂、不饱和聚酯、酚醛树脂、聚碳酸酯等塑料, 性能不及四溴双酚 A, 但成本较低。

4. 1, 2, 3, 4, 5, 5'-六氯环-1, 3-戊二烯

性质 浅黄色油状液体。有刺激性气味, 不可燃, 熔点 -9℃, 沸点 234℃ (0.103MPa)、68 ~ 70℃ (133.3 ~ 173.3Pa), 相对密度 1.7019 (25℃/4℃), 折射率 1.5658, 溶于乙醚、四氯化碳等有机溶剂, 不溶于水。

用法及应用特点 本品为反应型阻燃剂, 主要用于聚酯和聚氨酯泡沫塑料, 也用于制造海特酸酐 (氯桥酸酐)、得克隆等含氯阻燃剂, 还用于制造有机氯杀虫剂等。

5. 1, 4, 5, 6, 7, 7'-六氯双环 [2.2.1] -5-庚烯-2, 3-二羧酸酐

性质 白色结晶粉末。相对分子质量 370.85, 氯含量 57.4%, 熔点 240℃, 25℃ 时的溶解度: 苯 40.4g/100g 溶剂、己烷 4.5g/100g 溶剂、丙酮 127.0g/100g 溶剂、四氯化碳 6.7g/100g 溶剂、亚麻子油 19.3g/100g 溶剂, 在水中水解为氯桥酸。

用法及应用特点 本品为反应型阻燃剂和环氧树脂固化剂, 适用于不饱和聚酯、聚氨酯和环氧树脂。由本品固化的环氧树脂制品的热变形温度约为 180℃, 耐药品性亦好。

6. 1, 4, 5, 6, 7, 7'-六氯双环 [2.2.1] -5-庚烯-2, 3-二羧酸

性质 白色结晶粉末。相对分子质量 388.87, 氯含量 54.7%, 熔点 (封管法) 208 ~ 210℃, 在 230 ~ 235℃ 脱水成为酸酐, 溶解度 (25℃): 苯 0.81g/100g 溶剂、四氯化碳 0.21g/100g 溶剂、正己烷 0.02g/100g 溶剂、亚麻子油 9.65g/100g 溶剂、水

(22.8℃) 0.35g/100g 溶剂。

用法及应用特点 本品为反应型阻燃剂，用途与氯桥酸酐相同，适用于环氧树脂、不饱和聚酯、聚氨酯。

7. 全氯戊环癸烷

性质 白色结晶粉末。相对分子质量 546，氯含量 78.3%，相对密度 2.02，熔点 486℃，初始分解温度 650℃，折射率 1.630，溶于苯、甲苯、二甲苯、三氯乙烯、苯乙烯。

用法及应用特点 本品为添加型阻燃剂，氯含量大，阻燃效能高，热稳定性和化学稳定性亦好，与氧化锑有协同效应，适用于聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯及 ABS 树脂等，但本品会导致塑料制品的力学性能有所下降。

8. 双（六氯环戊二烯）环辛烷

性质 白色粉末。熔点 350℃，氯含量 65%，相对密度 1.8~2.0，堆积密度 0.61~0.67g/cm³。

用法及应用特点 本品具有良好的稳定性，优异的电气性能，易于着色和配色，可与大多数高聚物复配加工，阻燃性优良，点燃后可自熄，生烟量低，一般加工温度范围在 200~320℃ 之间，可用于 HIPS、PS、ABS、PE、PP、聚丙烯酸酯、酚醛树脂以及尼龙 66 和尼龙 6 等。

9. 2, 3-二溴丙醇

性质 淡黄色透明液体。纯度 ≥97%，溶于氯仿、甲苯、异丙醇、甲乙酮、微溶于水。

用法及应用特点 本品为反应型阻燃剂，适用于聚氨基甲酸酯。

10. 二溴新戊二醇

性质 白色片状粉末。相对分子质量 262，溴含量 61%，熔点 109~110℃，溶于甲醇、丙酮、甲乙酮、热水，微溶于冷水。

用法及应用特点 本品为反应型阻燃剂，反应性强，阻燃效能高，光稳定性和制品的物理性能亦好，适用于不饱和聚酯、环氧树脂、聚氨酯、酚醛树脂及涂料用树脂。

11. 二溴苯酚

性质 白色粉末。纯度 ≥97%，熔点 37℃，溶于异丙醇、甲乙酮，不溶于氯仿和甲苯，钠盐或钾盐可溶于水（pH 值 ≥9）。

用法及应用特点 本品为反应型阻燃剂，适用于环氧树脂等塑料，也可作为制备其他阻燃剂的中间体。

12. 三溴新戊醇

性质 白色片状粉末。相对分子质量 324.84，溴含量 73.80%，熔点 68~69℃，沸点 125℃（133.Pa），易溶于苯、醇，溶于正庚烷、汽油，微溶于水。

用法及应用特点 本品为反应型阻燃剂，适用于聚氨酯泡沫塑料，也可作为其他阻燃剂的中间体。

13. 2, 4, 6-三溴苯酚

性质 棕黄色粉末。纯度 $\geq 97\%$ ，熔点 $86 \sim 92^{\circ}\text{C}$ ，溶于异丙醇、甲苯、甲乙酮、氯仿，以钠盐或钾盐的形式溶于水。

用法及应用特点 本品为反应型阻燃剂，适用于环氧树脂、聚氨酯等塑料，也可作为制备其他阻燃剂的中间体。

14. 四溴乙烷

性质 无色或浅黄色油状液体，工业品呈淡黄琥珀色，有似樟脑气味。相对密度 2.9656，熔点 0.1°C ，沸点 $239 \sim 242^{\circ}\text{C}$ ，折射率 1.63795，能与醇、醚、氯仿、苯胺和乙酸混溶，溶于丙酮和苯，不溶于水。

用法及应用特点 本品为添加型阻燃剂，可用作合成季铵化合物、医药、染料的中间体，还可用于制取化学纤维催化剂、涤纶氧化工序的引发剂、制冷剂、防火剂和熏蒸消毒剂等。

15. 四溴邻苯二甲酸酐

性质 淡黄白色粉末。相对分子质量 463.7，溴含量 $67\% \sim 68.9\%$ ，熔点 $240 \sim 280^{\circ}\text{C}$ ，起始分解温度 400°C ，溶于硝基苯、二甲基甲酰胺，微溶于丙酮、二甲苯、氯代溶剂、二氧杂环己烷，不溶于水及脂肪烃类溶剂。

用法及应用特点 本品作为反应型阻燃剂，适用于不饱和聚酯、环氧树脂、聚碳酸酯、阻燃效能比四氯邻苯二甲酸酐和氯桥酸酐大。本品也可作为添加型阻燃剂用于聚乙烯、乙烯-乙酸乙烯共聚物等塑料。

16. 四溴苯酐二醇

性质 相对分子质量 627.9，溴含量 46.0%，相对密度 1.9，粘度 $100\text{Pa} \cdot \text{s}$ (25°C)，溶解度：水 $< 0.5\text{g}/100\text{g}$ 溶剂、甲醇 $9\text{g}/100\text{g}$ 溶剂。

用法及应用特点 本品可应用于硬质聚氨酯泡沫塑料、粘合剂和涂料。

17. 四溴环辛烷

性质 白色粉末。相对分子质量 427.8，溴含量 74.7%，相对密度 2.40，熔点 103°C ，折射率 1.74，体积密度 $93\text{kg}/\text{m}^3$ ，溶解度（质量）(25°C)：水 $< 0.05\%$ 、丙酮 23.40%、甲醇 2.50%、甲苯 38.60%、戊烷 3.50%、苯乙烯 39.00%。

用法及应用特点 本品是涂覆应用类专用阻燃剂，可用于纺织品、涂料等，也可用于 PS 泡沫塑料中。

18. 1, 2-双（四溴邻苯二甲酰亚胺）乙烷

性质 BT-93 及 BT-93W 的差别在于色泽，BT-93 为淡黄色粉末，色度（Hunter “1.” 值）为 92，Hunter 黄色指数为 29.0；BT-93W 为白色粉末，色度（Hunter “1.” 值）为 90，Hunter 黄色指数为 12.0。两者的其他性能及规格均相同。相对分子质量 951.43，熔点 $450 \sim 455^{\circ}\text{C}$ ，理论溴含量 67.18%，密度 $2.7\text{g}/\text{cm}^3$ ，堆积密度为 $1069\text{kg}/\text{m}^3$ （密堆）或 $526\text{kg}/\text{m}^3$ （松散），加热失重温度 381°C （1%）、 442°C （5%）、 458°C （10%）、 489°C （50%）、 750°C （90%）、在水、丙酮、甲醇、甲苯中的溶解度均小于

0.1% (25℃)。工业品的熔点应不低于 145℃, 挥发分含量小于 0.5% (30min, 110℃), 酸值小于 1.0mgKOH/g, 颗粒的粒径应小于 16μm。

用法及应用特点 本品可用于电线、电缆, 计算机部件及自动仪表元件中, 也可用于阻燃 PBT、HIPS、ABS、PE、PP、EP 及各类弹性体。本品的热稳定性优异, 抗紫外线性能极佳, 且不起霜, 具有优秀的电气性能。

19. N, N'-1, 2-乙烷-双(5, 6-二溴降冰片烷-2, 3-二酰亚胺)

性质 白色粉末。熔点 >313℃, 不溶于水、乙醇、丙酮、氯仿、四氯化碳等一般有机溶剂, 微溶于 N, N-二甲基甲酰胺、二甲基亚砷。

用法及应用特点 本品具有优良的热稳定性, 分解温度超过 294℃, 主要用于聚烯烃, 在聚烯烃加工过程中无溴化氢产生, 不腐蚀设备, 不影响制品色泽, PP 中用量 2.5% ~ 3.5%。

20. 四溴双酚 S

性质 白色结晶粉末。相对分子质量 565.9, 溴含量 56.5%, 熔点 287 ~ 293℃。

用法及应用特点 本品为添加型阻燃剂, 与三氧化二锑并用有良好的协同效应, 适用于聚丙烯、聚苯乙烯、ABS 树脂、丙烯酸树脂等塑料。

21. 4, 4'-异亚丙基双(2, 6-二溴苯酚)

性质 淡黄色或白色粉末。相对分子质量 544, 溴含量 57% ~ 58%, 熔点 175 ~ 181℃, 起始分解温度 240℃, 溶于乙醇、丙酮、苯、冰醋酸等有机溶剂, 不溶于水, 但可溶于碱水溶液。

用法及应用特点 本品为反应型阻燃剂, 主要用于环氧树脂和聚碳酸酯, 可以给予树脂优良的耐燃性。本品还可用于酚醛树脂、不饱和聚酯、聚氨酯等塑料, 作为添加型阻燃剂可用于聚苯乙烯、苯乙烯-丙烯腈共聚物、ABS 树脂。

22. 四溴双酚 A 双(羟乙氧基)醚

性质 白色粉末。熔点 113 ~ 119℃, 热稳定性很好, 质量损失 5% 的温度为 322℃, 可溶于甲乙酮、甲醇、二氯甲烷、苯及丙酮, 微溶于水。

用法及应用特点 本品为反应型阻燃剂, 可用于聚酯、环氧树脂、聚氨酯、也可用于 ABS 树脂和聚酯纤维。

23. 苯氧基四溴双酚 A 聚碳酸酯低聚物

性质 白色粉末。相对分子质量 2500 ~ 3500, 工业上生产的四溴双酚 A 聚碳酸酯低聚物有两种: 一种为苯氧端基, 溴含量 52%, 相对分子质量约 2500, 熔点 210 ~ 230℃, 质量损失 5% 的温度为 430℃; 另一种为三溴苯氧端基, 溴含量 58%, 相对分子质量约为 3500, 熔点 230 ~ 260℃, 质量损失 5% 的温度也是 430℃。

用法及应用特点 本品广泛用于阻燃工程塑料 PBT 及 PET (增强的及未增强的)。

24. 四溴双酚 A 环氧树脂低聚物

性质 溴代环氧树脂通常按分子量分类, 低分子量者适于阻燃 ABS 和 HIPS, 高分子量者适于阻燃 ABS/PC 合金和 PBT。溴代环氧树脂的溴含量可达 50%, 相对分子质量

可为 1000 ~ 45000, 如 Dead Sea Bromine 公司所生产的 F-2000 系列溴代环氧树脂, 有相对分子质量为 1100 (F-2001)、2200 (F-2310)、3600 (F-2300)、20000 (F-2300H)、30000 (F-2400E) 及 45000 (F-2400) 等几种, 它们常与三氧化二锑或锑酸钠协同使用。

用法及应用特点 溴代环氧树脂可用于阻燃 PS、ABS、PE、PBT、PET、PC、尼龙、弹性体、高聚物合金等, 具有令人满意的熔流速率和较高的阻燃效率, 优良的热稳定性和光稳定性, 且能给予被阻燃基材良好的力学性能, 不起霜。溴代环氧树脂的分子质量影响其阻燃塑料的物理性能、耐热性和抗冲击性能, EP 型与 EC 型相比, 前者的耐光性较佳, 但溴含量较低, 而后者阻燃的 ABS 及 HIPS 具有较优的冲击强度。

25. 一氯五溴环己烷

性质 白色结晶粉末。相对分子质量 513.09, 溴含量 77.87%, 氯含量 6.91%, 熔点 190 ~ 197℃, 分解温度 200℃, 微溶于丙酮、苯、乙醚, 几乎不溶于水。

用法及应用特点 本品为添加型阻燃剂, 适用于允许其在 200℃ 分解而不受影响的聚合物, 特别是聚苯乙烯。

26. 五溴乙苯

性质 白色结晶粉末。相对分子质量 500.7, 溴含量 79.8%, 熔点 136 ~ 138℃, 易溶于苯, 溶于四氯化碳, 微溶于丙酮, 不溶于水。

用法及应用特点 本品为添加型阻燃剂, 与氧化锑有协同效应, 适用于环氧树脂、ABS 树脂、酚醛树脂、不饱和聚酯、丙烯酸树脂、聚丙烯、聚苯乙烯聚氨酯等塑料。

27. 六溴苯

性质 白色结晶粉末。相对分子质量 551.6, 溴含量 >85%, 熔点 320 ~ 326℃, 初期分解温度 220℃, 分解温度 340℃, 不溶于水, 水解稳定性高, 微溶于乙醇、乙酸, 溶于苯。

用法及应用特点 本品为添加型阻燃剂, 与三氧化二锑并用有协同效应, 适用于聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、ABS 树脂、环氧树脂、聚酰胺、聚酯等许多塑料。

28. 六溴联苯

性质 鳞片状物。溴含量 75%, 相对密度 2.75, 软化点 67 ~ 68℃, 加热失重 25% (300℃)、50% (320℃)、75% (332℃)。

用法及应用特点 本品为添加型阻燃剂, 适用于多种塑料和合成纤维, 阻燃效能高, 热稳定性好, 可用于高温加工。本品在树脂中的分散性好, 在捏炼机辊筒和模具上无离析结垢现象。欧盟 ROHS 法令已禁用本品。

29. 八溴二苯醚

用法及应用特点 本品为添加型阻燃剂, 适用于 ABS 树脂、聚苯乙烯、聚丙烯、聚乙烯、聚碳酸酯、聚氨酯软质泡沫塑料、环氧树脂等塑料。欧盟 ROHS 法令已禁用本品。

30. 十溴联苯醚

性质 自由流动、微颗粒化的白色结晶粉末。相对分子质量 959.2, 溴含量 83%,

水分 < 0.1%，相对密度 3.0（20℃），熔点 300 ~ 305℃，分解温度 425℃，溶解度（25℃）：丙酮 0.05g/100g、苯 0.49g/100g、氯苯 0.60g/100g、二溴甲烷 0.42g/100g、二氯甲烷 0.09g/100g、邻二甲苯 0.87g/100g。

用法及应用特点 本品为添加型阻燃剂，溴含量大，阻燃效能高，热稳定性好，适用于聚丙烯、聚苯乙烯、环氧树脂、酚醛树脂、ABS 树脂、尼龙、聚酯（PET、PBT）、聚苯醚等塑料。

31. 十溴二苯基乙烷

性质 相对分子质量 971.27，工业品的平均粒度为 3μm，溴含量 82%，密度 3.25g/cm³，初熔点 345℃，热稳定性（质量损失）1%（304℃）、5%（369℃）、10%（417℃）、90%（441℃）。25℃在水、甲醇、丙酮中的溶解度均小于 0.01%，在甲苯中小于 0.1%。

用法及应用特点 本品具有极优异的热稳定性，极高的溴含量，且价廉，可用于阻燃苯乙烯类高聚物、热塑性工程塑料、电线和电缆、弹性体及热固性塑料。

32. 2, 2-双[4-(2, 3-二溴丙氧基)-3, 5-二溴苯基]丙烷

性质 微泛黄色的白色粉末。溴含量 66% ~ 67%，熔点 85 ~ 90℃，溶于氯代烃类溶剂，微溶于醇，其技术指标如下：溴含量 ≥ 67%，熔点 ≥ 105℃，丙酮不溶物 ≤ 0.1%，游离溴 ≤ 0.05%，细度 60 目筛通过 90%。

用法及应用特点 本品为添加型阻燃剂，适用于聚烯烃、ABS 树脂及丙烯酸类纤维。

33. 2, 2-双[4-(2, 3-二溴丙氧基)-3, 5-二溴苯基]砒

性质 白色粉末。其技术指标如下：溴含量 ≥ 65%，熔点 115 ~ 120℃，挥发分 ≤ 0.3%，炭化温度 > 250℃，游离溴 ≤ 0.05%。

用法及应用特点 本品为添加型阻燃剂，适用于聚烯烃、PS、ABS 树脂、橡胶、纤维等高分子材料。稳定性优于八溴醚。

34. 三(2, 3-二溴丙基)-异氰尿酸酯

性质 白色结晶粉末。相对分子质量 729，溴含量 66%，密度 2.50g/cm³，熔点 100 ~ 110℃，分解温度 220℃，失重 5% 温度 285℃，溶于甲苯、丙酮、苯，微溶于甲醇，不溶于水、醇、环烷烃。

用法及应用特点 本品为添加型阻燃剂，储存稳定性、光稳定性优良，与多种增塑剂和溶剂相容性好，适用于聚烯烃、聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚氨酯泡沫塑料、ABS 树脂、橡胶、丙纶、聚甲基丙烯酸树脂，亦可用于制备浸渍型阻燃溶液或乳液。

35. 三溴苯基二溴丙基醚

性质 浅棕黄色糊状物。纯度 > 97%，溶于甲苯、氯仿、甲乙酮，不溶于异丙醇和水。

用法及应用特点 本品为添加型阻燃剂，兼具芳香族溴化物和脂肪族溴化物两类阻燃剂的优点，适用于多种塑料。

36. 1, 2-双(2, 4, 6-三溴苯氧基)乙烷

性质 白色结晶粉末。相对分子质量 687.71, 溴含量约 69.7%, 相对密度 2.58, 熔点 223 ~ 225℃, 失重 5% 温度 > 310℃, 不溶于水、乙醇、丙酮, 稍溶于热苯、甲苯、二甲苯。

用法及应用特点 本品为添加型阻燃剂, 具有优良的耐光性、耐碱耐酸性和电绝缘性, 可广泛用于热塑性和热固性塑料中, 如聚烯烃、聚苯乙烯、ABS 树脂、聚碳酸酯、聚酯(饱和或不饱和)、聚氨基甲酸酯等, 在很大范围内可替代十溴联苯醚、四溴双酚 A 使用, 特别适用于浅色或艳色制品, 以及对加工过程中逸出的微量酸性气体敏感的塑料。

37. 双(2, 3-二溴丙基)反丁烯二酸酯

性质 白色结晶粉末。熔点 ≥ 57℃, 失重 5% 温度 220℃。

用法及应用特点 本品可作为 ABS 树脂和不饱和聚酯树脂的反应型阻燃剂, 具有良好的阻燃效果。在 ABS 树脂中加入 15% (质量分数, 下同) 本品可达离火自熄; 在不饱和聚酯树脂中加入 15% 本品、5% 三氧化二锑和 0.5% 过氧化二异丙苯, 可达离火自熄; 在聚丙烯中加入 7% 本品和 5% 三氧化二锑, 可达离火自熄。本品还可作为添加型阻燃剂用于聚丙烯、聚苯乙烯泡沫塑料、氯磺化聚乙烯中。

38. 缩水甘油二溴苯基醚

性质 黄色至棕色透明液体。溴含量 46% ~ 52%, 相对密度 1.76, 粘度 0.15 Pa·s (25℃), 溶于丙酮、苯、甲苯, 不溶于水、甲苯和石油醚。

用法及应用特点 本品可与环氧树脂以任何比例混合, 配制成各种阻燃环氧树脂灌封料及包装料, 可用于制造各种阻燃绝缘层压板、阻燃绝缘浸渍涂料、环氧阻燃玻璃钢和聚酯型阻燃玻璃钢及阻燃粘合剂等。本品可通过端基改性制造阻燃环氧树脂、酚醛树脂及聚氨酯泡沫塑料。本品还可用于 ABS、PP、PS、聚酯等。

39. 缩水甘油二溴甲苯基醚

性质 淡黄色透明液体。环氧当量 350 ~ 370, 溴含量 48% ~ 50%, 相对密度 1.76, 粘度 0.20 ~ 0.30 Pa·s (25℃)。

用法及应用特点 本品为反应型阻燃剂, 适用于环氧树脂、酚醛树脂、不饱和聚酯等热固性树脂。本品粘度低, 使用方便, 不降低固化树脂的物性, 可得到透明制品, 这用于层压、浸渍、浇注等成型工艺。

40. 环氧溴丙烷

性质 无色透明流动性液体。相对分子质量 137, 溴含量 58.3%, 相对密度 1.658, 折射率 1.7497, 易溶于醇、醚、丙酮、苯, 微溶于水。

用法及应用特点 本品为反应型阻燃剂, 适用于环氧树脂、聚氨酯泡沫塑料, 也可作为其他阻燃剂的中间体。

41. 2, 2'-[异亚丙基双(2, 6-二氯对酚氧基)]聚环氧丙烷二醇

性质 琥珀色黏稠液体。相对分子质量 587, 羟值 191 mgKOH/g, 氯含量 24.1%,

相对密度 1.23, 粘度 0.15 ~ 0.20 Pa · s (99℃), 溶于低级醇、苯、二甲苯、氯化溶剂、乙酸乙酯、醚、二元醇、三元醇, 不溶于水和己烷。

用法及应用特点 本品为反应型阻燃剂, 不仅具有阻燃效果, 而且可以改善树脂的化学稳定性, 适用于环氧树脂、不饱和聚酯和聚氨酯。

42. 十四溴二苯氧基苯

性质 白色粉末。相对分子质量 136.9, 溴含量 81.8%, 熔点 382℃, 相对密度 3.25, 平均粒径 3.51 μm, 折射率 1.85, 体积密度 96 kg/m³, 溶解度 (质量) (25℃): 水 < 0.01%、丙酮 < 0.01%、甲醇 < 0.01%、甲苯 < 0.01%。

用法及应用特点 本品具有优异的热稳定性、低挥发性和耐候性, 主要用于聚酰胺、线型聚酯工程塑料及合金, 也可用于聚烯烃、电线电缆、苯乙烯树脂中。

43. 聚二溴苯乙烯

性质 相对分子质量 ~ 60000, 溴含量 59.0%, 相对密度 1.9, 熔融温度 140.5℃, 溶解度: 水 < 0.1 g/100g 溶剂、二氯甲烷 39 g/100g 溶剂、甲醇 < 0.1 g/100g 溶剂、MEK 2 g/100g 溶剂。

用法及应用特点 本品可应用于尼龙、PBT、PET。

44. 溴化聚苯乙烯

性质 白色或淡黄色粉末或颗粒。相对分子质量 150000 ~ 180000, 玻璃化温度 (175 ± 3)℃, 溴含量 ≥ 60%, 氯含量 ≤ 5%, 游离溴 ≤ 100 × 10⁻⁶, 热分解温度 ≥ 310℃, 不溶于水。

用法及应用特点 本品具有高阻燃性、突出的耐析出性以及较好的热稳定性和光稳定性, 是一种无毒低烟的高分子阻燃剂, 广泛用于 PBT、PET、PA、PS、HIPS、ABS、PE、交联 PE、PP、不饱和树脂、PPO、MPPO、环氧树脂等热固性塑料中。本品具有耐电弧、耐表面漏电及漏电无径迹等优良综合电性能, 在工程塑料的电气元件上具有重要的应用价值。

45. 聚 (2, 6-二溴亚苯基醚)

性质 浅灰色结晶。相对分子质量约 6000, 溴含量 62% ~ 64%, 相对密度 2.07 (25℃), 软化温度 210 ~ 240℃, 熔融温度 250 ~ 260℃, 开始分解温度 330℃, 溶于氯仿, 不溶于水、丙酮、乙醇、二氯甲烷等。

用法及应用特点 本品为添加型溴系阻燃剂, 相对分子质量大, 热稳定性好, 耐析出, 耐紫外线, 耐化学性高, 与聚合物树脂具有良好的相容性, 特别适用于 PBT、PET、POM、PA、HIPS、ABS 等热塑性工程塑料制品的阻燃。本品可单独使用, 亦可与阻燃协效剂并用。

46. SAYTEX RB-79、SAYTEX RB-7980

性质 SAYTEX RB-79 阻燃剂是一种稳定的、反应型的、含溴的二酯/醚二醇类四溴邻苯二甲酸酐, 通常结构为一个带有二乙烯乙二醇和丙烯乙二醇的四溴邻苯二甲酸酐混合酯。SAYTEX RB-7980 阻燃剂则为 SAYTEX RB-79 阻燃剂、多元醇以及一种液体磷

酸酯的混合物。二酯/醚二醇类四溴邻苯二甲酸酐与磷酸酯的混合物是一种比 RB-79 阻燃剂粘度更低的液体，其优点是改善了处理和储存特性。室温下较低的粘度避免了二者对加热、隔离储存和圆桶加热设备的需要。

用法及应用特点 二者均耐烘烤，用于硬质聚氨酯泡沫的反应型二醇、聚氨酯弹性体和涂料。

47. FR-3100 阻燃剂

性质 白色粉末。相对密度 2.2 (25℃)，熔点 90 ~ 105℃，溴含量 ≥ 67.4%，挥发量 < 0.5% (130℃, 2h)，溶解度 (25℃)：二氯甲烷 43g/100g 溶剂、四氢呋喃 59g/100g 溶剂、甲醇 < 0.1g/100g 溶剂、水 < 0.1g/100g 溶剂、丙醇 3g/100g 溶剂、甲苯 21g/100g 溶剂。

用法及应用特点 本品具有优异的阻燃效果，与 Sb_2O_3 等助剂一起使用效果更好，添加后引起的树脂降解少，适用于聚丙烯、聚苯乙烯类的树脂。

48. FRBN

性质 性能指标如下：氮含量（质量分数） $4.5\% \pm 0.5\%$ ，溴含量（质量分数） $65.0\% \pm 2.0\%$ ，熔点 220 ~ 230℃，2% 热失重温度 360℃，游离溴 $\leq 10 \times 10^{-6}$ ，含水量（质量分数） $\leq 0.5\%$ ，细度 $\leq 25\mu\text{m}$ 。

用法及应用特点 本品是一种含溴、氮的耐迁移阻燃剂，具有良好的热稳定性，优异的耐光性、耐迁移性、耐黄变性能，主要用于热塑性工程塑料，如 ABS、HIPS、PBT、PC/ABS、PA、PC、PET 等。本品使用中一般需添加 Sb_2O_3 ，能满足各种加工要求，并能顺利进行再生利用。本品初始分解温度高，不含游离溴，对加工设备更安全，制品性能也更为优异，因此更适宜于高温加工成型的 PBT、PC、PA。

(二) 磷系阻燃剂

1. 磷酸三甲酯

性质 无色透明液体。酸值 0.20mgKOH/g，相对密度 1.2144 (20℃)，熔点 -46℃，沸点 197.2℃ (101324.7Pa)、85℃ (3200Pa)，折射率 1.3067 (20℃)，溶于水及一般有机溶剂。

用法及应用特点 本品为塑料的阻燃剂、增塑剂，但效能不高，挥发性大，不能单独使用，可与其他阻燃剂和增塑剂配合使用。

2. 甲基磷酸二甲酯

性质 无色透明。相对分子质量 124.07，密度 1.160g/cm³，粘度 1.75mPa·s，折射率 1.411，沸点 (B. P.) 180℃，闪点 90℃，分解温度 180℃。

用法及应用特点 本品作为阻燃剂，主要用于 PU。

3. 磷酸三乙酯

性质 无色透明液体。相对分子质量 166.2，熔点 -56.4℃，沸点 215℃，闪点 116℃，密度 1.0725g/cm³ (19℃)。

用法及应用特点 本品作为阻燃剂，主要用于聚氨酯和热塑性塑料等。

4. 磷酸三苯酯

性质 白色针状结晶，微具芳香气味。相对分子质量 326，酸值 $< 0.10\text{mgKOH/g}$ ，游离酚含量 $< 0.1\%$ ，相对密度 $1.185 \sim 1.202$ (25°C)，粘度 $0.011\text{Pa} \cdot \text{s}$ (50°C)，熔点 49.2°C ，沸点 370°C (101324.72Pa)，闪点（开杯法） 225°C ，着火点 305°C ，折射率 $1.5518 \sim 1.5630$ (25°C)，挥发度 1.15% (100°C , 6h)，在水中的溶解度 0.001% (34°C)。

用法及应用特点 本品可作为纤维素树脂、乙烯基树脂、天然橡胶和合成橡胶的阻燃性辅助增塑剂，挥发性低，阻燃效率高，具有优良的力学性能保持率、透明性、柔软性和强韧性。本品的耐光性差，易变色，不适用于白色或浅色制品。本品用量过多时（一般超过 30% ，在乙酸纤维素中超过 $8\% \sim 10\%$ ）有结晶析出的现象，必须与邻苯二甲酸酯类溶剂型增塑剂并用。本品主要用作乙烯纤维素薄膜和模塑料的增塑剂，在硝酸纤维素中的溶剂化能力比磷酸三甲苯酯高。

5. 磷酸三甲苯酯

性质 微具气味的清亮黏稠液体。相对分子质量 368，色泽（APHA） < 50 ，酸值 $< 0.15\text{mgKOH/g}$ ，游离甲酸含量 $< 0.15\%$ ，相对密度 $1.160 \sim 1.180$ (20°C)，粘度 $0.078 \sim 0.185\text{Pa} \cdot \text{s}$ (20°C)，凝固点 $< -20^\circ\text{C}$ ，沸点 $410 \sim 440^\circ\text{C}$ (101324.72Pa ，伴有分解)、 $235 \sim 255^\circ\text{C}$ (533.3Pa)，闪点（开杯法） $215 \sim 230^\circ\text{C}$ ，蒸气压 $> 2.67\text{Pa}$ (150°C)、 38.7Pa (200°C)，膨胀系数 $0.00068^\circ\text{C}^{-1}$ ($10 \sim 40^\circ\text{C}$)，折射率 $1.553 \sim 1.556$ (25°C)，表面张力 0.044N/m (20°C)，挥发速度 $0.000078\text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{h})$ (100°C)，在水中的溶解度 $< 0.002\%$ (85°C)，水在本品中的溶解度 0.4% (25°C)。溶解作用强，溶于苯、醚类、醇类、亚麻子油、蓖麻油等有机溶剂和油类。

用法及应用特点 本品为阻燃性增塑剂，可与乙酸纤维素、乙基纤维素、乙酸丙酸纤维素、聚氯乙烯、氯乙烯共聚物、聚苯乙烯、酚醛树脂等许多树脂很好地相容，水解稳定性好，耐油性和电绝缘性优良，耐真菌性高，不抑菌。本品用于聚氯乙烯人造革、薄膜、片材、板材、运输带、地板料、电线电缆料时，可改善制品的加工性、抗污染性、阻燃性、防毒性和耐磨性。本品的耐寒性较差，可通过与耐寒性增塑剂并用加以改善。本品与大多数油漆用树脂的相容性好，可以增加漆膜的柔韧性，故在造漆工业中广泛使用。本品还可用作丁苯橡胶、氯丁橡胶等合成橡胶的阻燃性增塑剂。

6. 磷酸三（ β -氯乙基酯）

性质 无色透明液体，工业产品带浅黄色。相对分子质量 285.48，理论氯含量为 37.25% ，理论磷含量为 10.85% ，密度 $1.425\text{g}/\text{cm}^3$ (20°C)，凝固点 -64°C ，沸点 145°C (0.67kPa) 或 194°C (1.33kPa)，闪点（开杯法） 232°C ，着火点 291°C ，热分解温度 $240 \sim 280^\circ\text{C}$ ，蒸气压 1.33Pa (20°C)，折射率 $n_D^{20} 1.4745$ ，粘度 $40\text{mPa} \cdot \text{s}$ (22.8°C)，工业 TCEP 的色度（APHA）50，酸值 $< 0.01\text{mgKOH/g}$ ，水分 $< 0.10\%$ ，灰分 $< 0.5\%$ 。不溶于脂肪烃，微溶于水（ 20°C 时为 0.72% ），溶于醇、酮、酯、醚、苯、甲苯、二甲苯等，能与氯仿及四氯化碳混溶。

用法及应用特点 本品具有很佳的阻燃性，与乙酸纤维素、硝酸纤维素、乙酸丙酸

纤维素、乙基纤维素、聚氯乙烯、聚苯乙烯、酚醛树脂、聚丙烯酸酯等高聚物相容性良好，优良的抗低温性及抗紫外线性，其蒸气只有在 225℃ 用直接火焰方能点燃，且移走火源后即自熄。以本品为阻燃剂，不但可提高被阻燃材料的阻燃级别，而且可改善被阻燃材料的耐水性、耐酸性、耐寒性及抗静电性。本品常用于阻燃以硝酸纤维素和乙酸纤维素为基的油漆和涂料、不饱和聚酯、聚氨酯、聚丙烯酸酯、酚醛树脂等，也可用于软质聚氯乙烯的增塑阻燃剂，但制品易起霜，且柔软性恶化，故多用为辅助增塑阻燃剂。本品的用量，在阻燃不饱和聚酯中可为 10% ~ 20%，在硬质聚氨酯泡沫塑料（以阻燃聚醚为原料）中可为 10% 左右，在软质聚氯乙烯中作为辅助增塑阻燃剂时可为 5% ~ 10%。

7. 磷酸三（2，3-二氯丙基）酯

性质 淡黄色透明黏稠液体。相对分子质量 428，磷含量 7.2%，氯含量 49.4%，相对密度 1.5129（25℃），粘度 0.80Pa·s（25℃），凝固点 5℃，闪点 251.7℃，着火点 282.2℃，自燃温度 513℃，沸点 >200℃（533.3Pa），开始分解温度 230℃，折射率 1.5019（25℃），皂化值 790.6mgKOH/g，表面张力 0.044N/m（25℃），溶于醇、苯、四氯化碳，在水中的溶解度 0.01%（质量）（30℃），水在本品中的溶解度 0.98%（质量）（30℃）。

用法及应用特点 本品为广泛应用的添加型阻燃剂，阻燃效能高，挥发性小，耐油性和耐水解性好，适用于软质和硬质聚氨酯泡沫塑料、聚氯乙烯、环氧树脂、不饱和聚酯、酚醛树脂等塑料，一般用量 10% ~ 20%。在软质聚氯乙烯中加入 10% 的本品可将自熄时间从 8.6s 缩短为 0.3s；在聚氨酯泡沫塑料中加入 5% 本品即可产生自熄性，加入 10% 本品则可达到离火自熄或不燃；在不饱和聚酯中加入 15% 本品可将自熄时间从大于 120s 缩短为 6s。

8. 磷酸三（2，3-二溴丙基）酯

性质 淡黄色黏稠液体。相对分子质量 698，溴含量 68.7%，磷含量 4.4%，相对密度 2.10 ~ 2.30，粘度 1.50Pa·s（25℃），凝固点 -8 ~ -3℃，折射率 1.5730（20℃），溶于醇、苯、四氯化碳，不溶于水。

用法及应用特点 本品为添加型阻燃剂，阻燃效能高，并具有一定的增塑作用，与三氧化二锑有协同效应，适用于聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚乙酸乙烯酯、软质和硬质聚氨酯泡沫塑料、不饱和聚酯、酚醛树脂、丙烯酸树脂、乙酸钠纤维素、硝酸纤维素等多种塑料，一般用量 2% ~ 10%。本品的主要缺点是热稳定性较差，易受热变色，使塑料变黄，因此，加有本品的塑料应避免长期处于高温。

9. 磷酸三（氯丙基）酯

性质 无色透明液体。相对分子质量 328，氯含量 32.5%，磷含量 9.5%，折射率 1.4916（21.5℃），相对密度 1.27 ~ 1.31，粘度 0.058Pa·s（25℃），溶于醇、苯、四氯化碳，不溶于水。

用法及应用特点 本品为添加型阻燃剂，阻燃效能不及磷酸三（2，3-二氯丙基）酯，但价格较便宜，适用于聚苯乙烯、聚氨酯、聚氯乙烯、酚醛树脂、丙烯酸树脂等。

10. 磷酸三(2-溴-3-氯丙)酯

性质 无色或淡黄色液体。溴含量 >42%，氯含量 >18%，相对密度 1.8 ~ 1.9，折射率 1.5，开始分解温度 200℃，溶于苯、丙酮、四氯化碳、醇等有机溶剂，不溶于水。

用法及应用特点 本品为添加型阻燃剂，适用于软质聚氯乙烯、聚苯乙烯、软质和硬质聚氨酯泡沫塑料、环氧树脂、丙烯酸树脂、酚醛树脂等塑料。

11. 磷酸双(2, 3-二溴丙酯)二氯丙酯

性质 黄色透明液体。磷含量 5.1%，溴含量 52.6%，氯含量 11.6%，相对密度 2.09，粘度 4.50 ~ 6.50 Pa·s (25℃)，凝固点 -4℃，溶于一般的有机溶剂，不溶于水。

用法及应用特点 本品为添加型阻燃剂，适用于聚苯乙烯、聚氨酯泡沫塑料、聚氯乙烯、环氧树脂等塑料，也可用于合成纤维和纸。

12. 三(2, 4-二溴苯基)磷酸酯

性质 白色固体粉末。相对分子质量 800，相对密度 2.3，可溶于芳烃、卤代烃、酯、丙酮等，不溶于水、醇、烷烃等。

其技术指标如下：熔点 ≥ 105℃，溴含量 ≥ 59.0%，磷含量 ≥ 3.8%，酸值 ≤ 1mgKOH/g，游离溴 ≤ 20mg/kg。

用法及应用特点 本品为添加型阻燃剂，主要用于各种透明塑料(PC、PMMA、AAS、PS等)，也可用于PPO、PBT、PET、ABS等工程塑料及其合金。

13. 磷酸三(溴甲苯)酯

性质 白色粉末。溴含量 >38%，熔点 >70℃，溶于甲醇、苯、丙酮，不溶于水。

用法及应用特点 本品为添加型阻燃剂，对加工性能几乎没有影响，不降低树脂的物性，着色性小，蒸散性低，适用于多种塑料。

14. 磷酸二(2, 3-二氯丙基)异辛酯

性质 无色至浅黄色透明液体。相对分子质量 432.15，分解温度 215℃，相对密度 1.192，折射率 1.4724，闪点(开杯法) >200℃，溶于醇、酮、醚、甲苯、苯、四氯化碳，不溶于水。

用法及应用特点 本品粘度小，阻燃性能同磷酸三(2, 3-二氯丙基)酯接近，优于目前大量使用的三氯乙基磷酸酯。本品的增塑性能很好，可用作阻燃增塑剂，适用于阻燃不饱和聚酯、聚氨酯泡沫塑料、环氧树脂、酚醛树脂、聚氯乙烯、聚苯乙烯、合成橡胶及乙酸纤维素、硝基纤维素、乙基纤维素等。

15. 四(2, 3-二溴丙基)乙二醇双磷酸酯

性质 浅黄色透明液体。相对分子质量 705.90，折射率 1.5645，酸值 0.16mgKOH/g，水分 <0.5%，粘度 2.0Pa·s，溶于大多数有机溶剂。

用法及应用特点 本品因溴磷协同效应而具有较高的阻燃性能，且粘度较低，相容性好，热稳定性适中。将本品用于阻燃软质聚氨酯泡沫塑料，添加量为 12% ~ 15%，加工性较好，无“烧芯”现象，可自熄，对泡沫体的力学性能影响较小，持久性能好。

16. 1, 2-二(5, 5'-二溴甲基-1, 2, 3-三氧-2-磷杂己烷基)乙烷

性质 浅黄色透明液体。酸值 0.18mgKOH/g，水分 <0.5%，粘度 1.48Pa·s。

用法及应用特点 本品为新型溴代磷酸酯阻燃剂，粘度较低，与高聚物相容性较好，热稳定性适中，添加于软质聚氨酯泡沫塑料中，阻燃效果和力学性能均优良。

17. 2, 2-二甲基-3-溴丙基双(1, 3-二卤-2-丙基)磷酸酯

性质 密度 $1.460\text{g}/\text{cm}^3$ (25℃)，粘度 $41\text{Pa} \cdot \text{s}$ (25℃)，折射率 (n_D^{25}) 1.4812，酸值 $0.20\text{mgKOH}/\text{g}$ ，水含量 $<0.2\%$ 。

用法及应用特点 本品为聚氨酯泡沫塑料一种较理想的阻燃剂，它对人体细胞无诱变效应，不引起软泡的“烧芯”现象，且发泡过程易于控制，阻燃效率高，对软质泡沫塑料力学性能的影响小。

18. 2, 2-二溴甲基-3-氯丙基双(1, 3-二氯-2-丙基)磷酸酯

性质 无色或淡黄色透明黏稠液体。相对分子质量 582.29，溴含量 27.93% (理论值 27.45%)，氯含量 31.04% (理论值 30.44%)，密度 $1.490\text{g}/\text{cm}^3$ (25℃)，粘度 $78\text{Pa} \cdot \text{s}$ (25℃)，折射率 (n_D^{25}) 1.5314，酸值 $0.40\text{mgKOH}/\text{g}$ ，水含量 $<0.2\%$ ，溶于大多数有机溶剂，如乙醇、丙酮、甲苯等，不溶于脂肪烃。

用法及应用特点 本品可用作聚氨酯泡沫塑料的阻燃剂。

19. 1, 2-亚乙基四(1-氯-2-丙基)二磷酸酯

性质 相对分子质量 528.1，密度 $1.33\text{g}/\text{cm}^3$ (25℃)，粘度 $0.8\text{Pa} \cdot \text{s}$ (25℃)。

用法及应用特点 本品主要用于阻燃聚氨酯泡沫塑料。

20. 2, 2-二氯甲基-1, 3-丙二基双磷酸二(1', 3'-二氯丙基)酯

性质 无色或淡黄色黏稠液体，相对分子质量 582.96，氯含量 46.04% (理论值 45.09%)，密度 $1.475\text{g}/\text{cm}^3$ (25℃)，粘度 $66\text{Pa} \cdot \text{s}$ (25℃)，折射率 (n_D^{25}) 1.5181，酸值 $0.37\text{mgKOH}/\text{g}$ ，水含量 $<0.2\%$ 。

用法及应用特点 本品主要用于聚氨酯泡沫塑料。

21. 乙二醇双磷酸二(1, 3-二氯丙基)酯

性质 无色或淡黄色透明黏稠液体。相对分子质量 472.00，氯含量 43.18% (理论值 42.64%)，密度 $1.455\text{g}/\text{cm}^3$ (25℃)，粘度 $27\text{Pa} \cdot \text{s}$ (25℃)，折射率 (n_D^{25}) 1.4671，酸值 $0.20\text{mgKOH}/\text{g}$ ，水含量 $<0.2\%$ 。

用法及应用特点 本品主要用于聚氨酯泡沫塑料。

22. 亚乙基双[三(2-氰乙基)溴化磷]

性质 灰白色流动性粉末。溴含量 28%，氮含量 14.6%，磷含量 10.8%，熔点 $300 \sim 302^\circ\text{C}$ ，相对密度 1.47 (25℃)，分解温度 $>290^\circ\text{C}$ 。

用法及应用特点 本品为添加型阻燃剂，适用于聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯。其一般用量如下：通用型聚苯乙烯 2% ~ 5%、耐冲击聚苯乙烯 2% ~ 5%、聚丙烯 10% ~ 15%、聚乙烯 10% ~ 15%。在通用型聚苯乙烯中添加 2% ~ 5% 本品可获得自熄性，在其他塑料中与等量的氯代或溴代烃类阻燃剂并用可达到最佳效果。

23. 四(2-氰乙基)溴化磷

性质 灰白色流动性粉末。溴含量 24.5%，氮含量 17.0%，磷含量 9.5%，相对密

度 1.44 (25℃), 熔点 276 ~ 280℃, 分解温度 >280℃。

用法及应用特点 本品为添加型阻燃剂, 有良好的阻燃效能和热稳定性, 与其他含溴或含氯的阻燃剂如六溴苯、六溴联苯等并用有协同效应, 适用于耐冲击聚苯乙烯 (一般用量 5% ~ 10%)、聚乙烯 (一般用量 10% ~ 15%)、聚丙烯 (一般用量 10% ~ 15%)。

24. 四(羟甲基)氯化磷

性质 商品形式为无色透明的液体 (80% 水溶液)。相对密度 1.337, pH 值 0.4, 溶于水和醇。

用法及应用特点 本品为添加型阻燃剂, 适用于塑料、纤维和纸等材料。

25. O, O'-二乙基-(2-琥珀酸二乙酯基)磷酸酯

性质 淡黄色液体, 具有令人愉快的枣香气味。相对分子质量 310.28, 沸点 150 ~ 176℃ (266.6Pa), 相对密度 1.13, 溶于大多数有机溶剂。

用法及应用特点 本品是新近开发出的磷酸酯阻燃剂, 具有优良的阻燃性能和物理性能, 可用于芳香聚氨酯类树脂、粘合剂和涂料。

26. O, O'-二乙基-N, N-双(2-羟乙基)氨甲基磷酸酯

性质 琥珀色透明液体。相对分子质量 255, 羟值 450mgKOH/g, 酸值 $\leq 2\text{mgKOH/g}$, 水分 $\leq 0.10\%$, 磷含量 12.2% ~ 12.6%, 氮含量 5.2% ~ 5.8%, 相对密度 1.160 (25℃), 粘度 0.195Pa·s (22.8℃)。

用法及应用特点 本品为反应型阻燃剂, 适用于硬质聚氨酯泡沫塑料, 可作为多元醇代替部分聚醚用于泡沫塑料配方, 仅需加入 5% ~ 15% 的本品即可给予制品良好的阻燃性。

27. 二(聚氧亚乙基)羟甲基磷酸酯

性质 无色透明液体。酸值 0.50mgKOH/g, 水分 0.05%, 磷含量 8.5%, 折射率 1.4758, 粘度 1.001Pa·s (25℃), 溶于水、甲醇、乙醇、多元醇、二氯乙烷, 不溶于丙酮。

用法及应用特点 本品为反应型阻燃剂, 阻燃效能高, 不影响塑料的光稳定性, 适用于聚酯、聚氨酯、酚醛树脂及环氧树脂。

28. 四苯基间苯二酚基二磷酸酯

性质 无色或淡黄色透明液体。相对密度 1.294 ~ 1.318 (25℃), 磷含量 $\leq 11.0\%$, 闪点 $\geq 230^\circ\text{C}$, 粘度 $\leq 800\text{mPa}\cdot\text{s}$ (25℃), 酸值 $\leq 0.12\text{mgKOH/g}$, 水分 0.10%。

用法及应用特点 本品为高分子量阻燃剂, 迁移性小, 挥发损失少, 可改善热老化性能, 提高热变形温度, 可改善挠曲性, 在模具中既保持极好的流动性又降低烧蚀, 适用于改性聚苯醚 (MPPO)、PC/ABS 合金、聚氨酯发泡体等。

29. 双酚 A 四苯基磷酸酯

性质 无色透明液体。相对分子质量 692, 闪点 320℃, 粘度 400 ~ 800mPa·s, 水

分 $\leq 0.10\%$ ，酸值 $\leq 0.12\text{mgKOH/g}$ ，色度（Pt-Co） ≤ 100 。

用法及应用特点 本品作为磷酸酯阻燃剂，主要用于 ABS 树脂、PC、环氧树脂、不饱和树脂、聚酰亚胺酯和其他热塑性塑料。

30. 磷系共混型高分子阻燃剂

性质 白色或淡黄色粉末。相对分子质量 7000 ~ 10000，熔点 180 ~ 220℃。

用法及应用特点 本品主要用于 PET 中。

31. 微胶囊化红磷

性质 紫红色粉末。红磷含量为 85%，黄磷含量小于 0.005%，pH 值（5% 水悬浮液）9.5 ~ 10.0，真密度 2.0g/cm^3 ，装填密度 0.58g/cm^3 ，平均粒径为 $20\mu\text{m}$ ，在 25℃ 下真空干燥质量损失 0.28%。

用法及应用特点 本品可用于阻燃聚烯烃、聚苯乙烯、聚酯、尼龙、聚碳酸酯、聚甲醛、环氧树脂、不饱和聚酯等，对 PET、PC 及酚醛树脂等含氧高聚物的阻燃尤为有效。与其他磷系阻燃剂相比，相同质量的本品能产生更多的磷酸，故其用量较小。将本品与卤系阻燃剂并用，可提高阻燃效率。

32. 聚磷酸铵

性质 白色粉末，接近中性，短链 APP 具有水溶性，长链 APP 难溶于水。工业 APP 水中溶解度为 $1.3\text{g}/100\text{mL}$ （15℃）或 $3.0\text{g}/100\text{mL}$ （25℃）。吸湿性随聚合度增加而降低，在水中可水解，且随粒径、温度及 pH 值而变化。热稳定性良好，热分解温度在 250℃ 以上。

用法及应用特点 本品通常与其他阻燃剂并用以实现阻燃功能，可用于阻燃塑料、纤维。

33. 磷酸胍

性质 白色结晶粉末。分解温度 246℃，20℃ 时在 100g 水中可溶解 15.5g，在 100g 甲醇中可溶解 0.1g，几乎不溶于有机溶剂。

用法及应用特点 本品用作纤维、纸张、木材等的阻燃剂阻燃效果好，吸湿性小，具有防止腐蚀的特点，也可用作防锈剂。

34. Exolit AP750

性质 磷含量 $21\% \pm 1\%$ ，氮含量 $12\% \pm 1\%$ ，分解温度 $> 260^\circ\text{C}$ ，密度约 $1.8\text{g}/\text{cm}^3$ ，水分约 0.5%。

用法及应用特点 本品是基于多聚磷酸铵的不含卤素的阻燃剂，通过磷氮系统起作用，加入热塑性塑料中显示高度的加工稳定性。本品可用于一系列热塑性塑料中，尤其是 PP、PE、EVA 共聚物和混合物，适用于挤出和注射，也适用于热溶胶及涂料。

35. JLS-PNP1、1A、1C、1D

性质 其性能指标如下：磷含量 $23\% \pm 1\%$ ，分解温度 $\geq 250^\circ\text{C}$ ，堆积密度约 $0.7\text{g}/\text{cm}^3$ ，密度约 $1.8\text{g}/\text{cm}^3$ ，含水量 $\leq 1.0\%$ 。

用法及应用特点 本品是一种特殊磷氮结构的聚烯烃阻燃剂，与树脂相容性好，耐

候性和耐老化性能优异,耐迁移性优良,电性能优越,有利于回收加工,主要用于 PE、PP、EVA 以及热塑性弹性体,适用于电子电气、电线电缆、汽车、高速火车以及大型的公用建筑等。

36. 磷系共聚阻燃剂

性质 熔点 $\geq 152^{\circ}\text{C}$, 磷含量 $14.5\% \pm 0.5\%$, 酸值 $(522.0 \pm 4.0) \text{ mgKOH/g}$, 铁含量 $\leq 0.02\%$ 。

用法及应用特点 采用本品生产的阻燃 PET 切片可纺性好,在合理的工艺条件下,可纺成性能优良的长、短纤维。

37. 三聚氰胺焦磷酸盐

性质 精细白色粉末。磷含量 $> 14\%$, 氮含量 $> 38\%$, pH 值 (20°C , 饱和液) $5.0 \sim 6.0$, 密度 1.80 g/cm^3 , 水溶性 $< 0.15 \text{ g/100g 水}$ (20°C), 细度 ($30\mu\text{m}$ 筛网通过) $> 95\%$, 分解温度 $> 350^{\circ}\text{C}$ 。

用法及应用特点 本品是一种含氮和含磷的阻燃剂,热稳定性好,水不溶性小,发烟量小,不吸湿,应用于热塑性塑料和热固性塑料、橡胶等制品,适用于膨胀型阻燃体系和膨胀型防火涂料。

38. 双(1-氧代-4-亚甲基-1-磷杂-2,6,7-三氧杂双环[2.2.2]辛烷)笼状磷酸酯三聚氰胺盐

性质 白色粉末。磷含量 16.95% , 熔点 $> 300^{\circ}\text{C}$ 。

用法及应用特点 本品为膨胀型阻燃剂,具有丰富的碳源和酸源,因笼状磷酸酯基的空间效应作用,其吸潮性降低。本品生烟量低,产生腐蚀性气体少,可给予材料极佳的阻燃性,可应用于聚烯烃等高分子材料,如聚烯烃、乙烯-乙酸乙烯共聚物及弹性体。

39. 三(5,5-二甲基-1,3-二氧-2-磷杂环己烷-2-氧甲基)胺

性质 白色固体。熔点 219°C , 易溶于乙酸、三氟乙酸,不溶于水、乙醇、丙酮、氯仿、苯、二甲基亚砷等溶剂。

用法及应用特点 本品具有低发烟、不阻燃,良好的热稳定性和水解稳定性,熔点较高,与材料的相容性好,不易迁移和起霜,对材料的力学性能影响甚微,可有效地避免新戊二醇的吸湿性等特点。本品可应用于聚苯乙烯、聚氯乙烯、聚碳酸酯等,尤其适用于聚氨酯泡沫塑料,在软质聚氨酯泡沫塑料中添加 10% (以聚醚计),可使燃烧速度降低 50% , 燃烧时间大大缩短,具有自熄性。

40. 磷酸三(二甲苯)酯

性质 磷含量 7.8% , 相对密度 1.14 , 粘度 $95 \sim 125 \text{ mm}^2/\text{s}$ (25°C), 在水中可溶。

用法及应用特点 本品是一种广泛使用的阻燃增塑剂,可应用于 PVC、热塑性弹性体、酚醛树脂、硬质和软质聚氨酯泡沫塑料、粘合剂以及涂料、纺织品。

41. 磷酸甲苯二苯酯

性质 磷含量 9.1% , 相对密度 1.21 , 粘度 $28 \sim 40 \text{ mm}^2/\text{s}$ (25°C), 在水中可溶。

用法及应用特点 本品可应用于 PC/ABS、热塑性弹性体、酚醛树脂、硬质和软质

聚氨酯泡沫塑料、粘合剂以及涂料、纺织品。

42. 磷氮膨胀型阻燃剂

性质 磷含量 15.1%，不含卤元素，相对密度 1.4，熔融温度 190 ~ 200℃，可溶于二氯甲烷、甲苯，在水、甲醇中的溶解度分别为 1g/100g 溶剂、2g/100g 溶剂。

用法及应用特点 本品可应用于 PP、PE、热塑性弹性体。

43. 磷酸三异丙基芳基酯

性质 Reofos 35、50、65、95、NHP 磷含量分别为 8.6%、8.4%、8.1%、7.6%、7.4%，相对密度分别为 1.18、1.17、1.16、1.14、1.12，粘度分别为 42 ~ 47mm²/s、45 ~ 55mm²/s、55 ~ 65mm²/s、88 ~ 100mm²/s、110 ~ 125mm²/s (25℃)，除 NHP 外均可水溶。

用法及应用特点 本品可应用于 PVC、热塑性弹性体、酚醛树脂、硬质和软质聚氨酯泡沫塑料、粘合剂以及涂料、纺织品。

44. N-羟甲基-3-二甲基磷酰基丙酰胺

性质 无色或微淡黄色的透明黏稠液体，在酸性条件下，呈微阳离子性。固含量 ≥ 80%，pH 值 6 ~ 6.5，能与任何比例的水混合。

用法及应用特点 本品可应用于天然和/或再生纤维织物的阻燃整理，可与大多数整理剂并用。对多数染料的色光和牢度影响甚微。本品于 20℃ 正确储存于密闭容器中时稳定 18 个月。本品对低温不敏感，但对于 40℃ 以上温度敏感。

45. 环状烷基磷酸酯

性质 澄清无色黏性液体。磷含量 19.5% ~ 21.6%，pH 值（10% 溶液）2.0 ~ 3.0，折射率 1.474 ~ 1.480 (25℃)，有效成分 93% ± 1%。

用法及应用特点 本品用于化纤织物及其混纺织物的阻燃剂。根据不同织物、不同的添加量，可使织物获得非永久、半永久或永久性的阻燃效果。经本品处理的织物其强力、手感不受影响，无变色、渗色及粘色现象，织物表面不反射光线，耐水洗，干洗性好。

（三）无机阻燃剂

1. 氢氧化铝

性质 白色细微结晶。粒径 1 ~ 20μm，相对密度 2.42，折射率 1.57，pH 值（30% 浆料）9.5 ~ 10.5，起始脱水温度 200℃，吸热量 1.97kJ/g。

用法及应用特点 本品在 200℃ 以上脱水，放出 3 分子结晶水，可以吸收大量的热量，降低温度，从而防止塑料的着火和火焰的蔓延，可作为环氧树脂、酚醛树脂、不饱和聚酯、ABS 树脂、丙烯酸树脂、聚氯乙烯、聚乙烯、聚氨酯软质泡沫等多种塑料的阻燃剂。本品的阻燃效果取决于添加量，通常添加份数高达 40 ~ 60 份，对基材的力学性能影响较大。本品除具有阻燃效能外，还有减少烟雾和有毒气体的作用。

2. 氢氧化镁

性质 白色粉状。相对密度 2.36，莫氏硬度 2.35，白度 > 95%，折射率 1.559 ~ 1.580，MgO 含量 > 65%，酸不溶物含量 < 2.5%，铁含量 < 0.30%，硫酸盐含量 <

0.03%，氯化物含量<0.03%，340℃开始分解，生成氧化镁和水，490℃分解，脱水温度高于氢氧化铝，不溶于水和醇，但溶于酸及胺盐溶液。

用法及应用特点 本品可用于聚烯烃系列产品和尼龙的阻燃。

3. 硫酸镁七水合物

用法及应用特点 本品为添加型阻燃剂，适用于丙烯酸树脂、环氧树脂、不饱和聚酯和聚氨酯等塑料。

4. 镁盐晶须

性质 本品是一种新型的无机阻燃、增强纤维材料。产品呈单晶体结构，直径为纳米尺寸，具有很高的力学性能，加入塑料有明显的增强和阻燃双重效果。

用法及应用特点 本品作为无机阻燃剂，吸热值大，使用温度比氢氧化铝高，无毒，并能抑制发烟，还具有独特的增粘性、触变性、消光性和良好的过滤特性，符合安全、再生重复利用的要求。本品适用于塑料、复合材料、涂料等行业，在家电、汽车、化工、建材等工业领域有十分广阔的应用前景。

5. 三氧化二锑

性质 白色结晶粉末，无味，立方晶体最高可达到95%以上。相对分子质量291.52，典型的化学组成为：三氧化二锑>99.5%（质量分数，下同），五氧化二锑1.5%、三氧化二铁0.01%、砷0.35%、铅0.1%、硫0.1%，平均粒径1~3μm，相对密度5.2，熔点656℃，沸点1425℃，折射率2.087，加热损失0.1%（105℃，2h），白度>93%，不溶于水、醇、稀硝酸和有机溶剂，溶于浓硫酸、浓盐酸、碱（氢氧化钠、氢氧化钾）及酒石酸溶液。辰州牌（常德辰州锑品有限责任公司）氧化锑产品指标见下表：

类 别	Sb ₂ O ₃ ，99.80		Sb ₂ O ₃ ，99.50		Sb ₂ O ₃ ，99.00
	低砷铅	超细高纯	超细	普通	普通
Sb ₂ O ₃ （%）	≥99.80	99.80	99.50	99.50	99.00
As ₂ O ₃ （%）	≤0.03	0.05	0.05	0.06	0.12
PbO（%）	≤0.02	0.05	0.05	0.06	0.12
Fe ₂ O ₃ （%）	≤0.003	0.003	0.003	0.006	—
CuO（%）	≤0.002	0.002	0.002	0.002	—
Se（%）	≤0.001	0.001	0.002	0.005	—
Bi（%）	≤0.004	0.004	0.005	0.005	—
白度（%）	≥95	95	95	95	93
平均粒度/μm	0.6~0.8	0.3~0.6 0.6~0.8	0.3~0.6	0.6~0.8	—
	0.8~1.5			0.8~1.5	
	1.5~2.5			1.5~2.5	

用法及应用特点 本品为应用广泛的添加型阻燃剂，适用于聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、聚氯乙烯、聚酯、环氧树脂、聚氨酯等塑料。本品单独使用时阻燃效果低，与含

卤化合物并用，有良好的协同效应，阻燃效能显著提高。

6. 五氧化二锑

性质 白色粉末。五氧化二锑含量 $\geq 42.0\%$ ，铅含量 $\leq 0.02\%$ ，砷含量 $\leq 0.01\%$ ，粘度 $\leq 20\text{mPa}\cdot\text{s}$ ，pH 值 4~6，密度 $1.68\text{g}/\text{cm}^3$ ，粒度 $0.04\sim 0.06\mu\text{m}$ 。

用法及应用特点 本品在需要透明度的聚酯树脂、酚醛树脂、玻璃纤维增强塑料及 PVC 中作阻燃剂。

7. 锑酸钠

性质 白色结晶，四方晶系。平均粒径小于 $150\mu\text{m}$ ，水分小于 0.3%，锑含量（以 Sb_2O_3 计）57.6%~59.2%， Sb_2O_3 含量 64.1%~65.5%（一极品）或 63.5%~65.5%（二极品）， Na_2O 含量 12%~13%（一极品）或 12%~13.5%（二极品）。

用法及应用特点 本品与氧化锑类似，可用作卤系阻燃剂的协效剂，特别是在那些不适于以氧化锑为协效剂的阻燃材料中（如 PET 中 Sb_2O_3 可能引起 PET 解聚）。本品因锑含量较低，用量较 Sb_2O_3 稍高。

8. 硅合氧化锑

性质 白色粉末。氧化锑含量 50%，氧化硅含量 50%，相对密度 3.6，细度（325 目筛余物）0.3%。

用法及应用特点 本品是在氧化硅表面熔合一层氧化锑的产物，为阻燃性着色剂，兼具阻燃和着色双重功能，在聚氯乙烯中用量为 4%~8% 时即可获得良好的阻燃性，适用于聚氯乙烯、氯乙烯共聚物、氯化聚酯、氯磺化聚乙烯、环氧树脂、聚氨酯等塑料。

9. 硼酸锌

性质 白色粉末。相对分子质量 434.75，氧化锌含量 37.5%~40.0%，三氧化二硼含量 45%~48%，灼烧失重 13.5%~15.5%，失水温度 250~300℃，平均粒径 $2\sim 10\mu\text{m}$ ，相对密度 2.69，折射率 1.58~1.59，在冷水中溶解性极低，在热水中可缓慢溶解形成含 1% B_2O_3 的溶液。

用法及应用特点 本品为一廉价阻燃剂，可作为三氧化二锑的代用品，对卤化聚合物有良好的阻燃性，在不饱和聚酯中可完全代替三氧化二锑，在软质聚氯乙烯树脂中也可部分代替三氧化二锑以降低成本。本品在 260℃ 以上仍能保持其结晶水，故适于高温加工的需要。本品的效能不及三氧化二锑，但价格只为其三分之一左右，与含卤阻燃剂并用也有良好的协同效应。本品适用于不饱和聚酯、聚氯乙烯、环氧树脂、聚烯烃、聚碳酸酯、聚氨酯、ABS 树脂等塑料。

10. 偏硼酸钡

用法及应用特点 本品为添加型阻燃剂，可作为氧化锑的廉价代用品，与含卤阻燃剂并用有协同效应，阻燃效能不及氧化锑，多数场合是用它代替部分氧化锑以降低成本，适用于不饱和聚酯、环氧树脂、酚醛树脂、聚氯乙烯、ABS 树脂、丙烯酸树脂、聚乙酸乙烯酯、聚氨酯等塑料。本品有抗微生物的作用。

11. 氧化铈

用法及应用特点 本品可作为氧化铈的代用品,兼具阻燃剂和发烟抑制剂双重功能,适用于聚氯乙烯、不饱和聚酯等塑料。本品与氧化铈或氢氧化铝有协同效应,可降低成本,提高阻燃性,减少发烟量。

12. 八钨酸铵

性质 白色粉末。相对分子质量 1255.66,钨含量 60.6%~61.1%。

用法及应用特点 本品主要用在塑料、聚酯中作抑烟剂,常与其他阻燃抑烟剂共同使用。

13. 三聚氰胺

性质 白色结晶粉末。相对分子质量 126.12,密度 $1.57\text{g}/\text{cm}^3$, pH 值 7.5~9.5,色度 ≤ 30 , 354°C 分解升华,溶于甘油、热乙二醇、乙酸、甲醛等有机溶剂。

用法及应用特点 本品可用于塑料、皮革、涂料和造纸等行业中。

14. 三聚氰胺尿酸酯

性质 白色结晶粉末,无味,有滑腻感。相对分子质量 255.2,白度 $\geq 96\%$, pH 值 5~7,密度 $1.7\text{g}/\text{cm}^3$,堆积密度 $0.3\sim 0.4\text{g}/\text{cm}^3$,水溶性 $0.002\text{g}/100\text{mL}$ 水,热稳定性好,在 300°C 下长期加热损失率很低, 600°C 以上分解,不溶于水和大部分有机溶剂。

用法及应用特点 本品是兼有阻燃和润滑性能的多功能性助剂,其特点是氮含量高(约 30%),在橡胶、塑料,特别是在尼龙中适量添加即可起到明显的阻燃作用,阻燃效果好,加工烟雾少,阻燃等级可达到 UL94 V-0 级。本品在高温、高速、低温、低速或温差急剧变化的条件下具有稳定的润滑特性,可在高温、高压、高载荷、冲击载荷条件下使用。本品可取代二硫化钼和聚四氟乙烯,是一种润滑效果极佳的新材料。

(四) 其他阻燃剂

1. SFR-100 树脂

性质 一种透明、黏稠的聚硅氧烷聚合物。

用法及应用特点 本品通常与一种或几种协同剂 [II A 族有机金属盐、聚磷酸铵 (APP) 与季戊四醇的混合物、氢氧化铝等] 并用,只需低用量即可满足一般阻燃要求,并能保持基材原有的性能,若提高用量,则可给予基材特别优异的阻燃性和抑烟性,使这类阻燃材料能用于防火安全要求非常严格而以前的阻燃体系又不能使用的场所。

2. WBZ 聚烯烃无卤阻燃剂

性质 105°C 挥发度 $\leq 1.1\%$, pH 值 9.5~10.1,密度 $2.10\sim 2.40\text{g}/\text{cm}^3$,氧指数 (PP: WBZ = 1:1) $\geq 26.0\%$ 。

用法及应用特点 本品是用于聚烯烃的一种新型功能性无卤阻燃改性剂。本品主要以微细化的无机粉体粒子氢氧化镁、氢氧化铝为主基料,采用自行开发的新型多维配位型改性剂,通过独特的配位包裹处理技术,改变了无机粒子表面性能及高聚物复合体的流变性能,改善了无机粒子在高聚物基体中的浸润性和分散性。微细尺度的无机粉体粒子发挥其表面界面效应,增强与基体的结合力,在给予聚烯烃复合材料良好的阻燃性能

的同时,改善聚烯烃改性材料的韧性、加工流动性、耐热性及尺寸稳定性,使复合体系具有较均衡的综合性能,阻燃,无毒,降低生产成本。

使用时,与聚烯烃或基础物料混合均匀后挤出造粒,加入量为 100 ~ 120 份 (phr) 树脂,用以生产无卤阻燃复合材料,也可以在加入量为 10 ~ 100 份 (phr) 树脂情况下,减少卤素阻燃剂的用量,用以生产低卤阻燃复合材料。本品也可用于聚酰胺或其他塑料。

本品具有下述应用特点:

- 1) 无卤、无毒、低烟、无滴落。
- 2) 与聚烯烃基体树脂相容性好,能够充分均匀分散,在给予聚烯烃复合材料良好的阻燃性能的同时,改善聚烯烃改性材料的韧性、耐热性及尺寸稳定性等性能。
- 3) 可降低聚烯烃复合物的熔体粘度,改善加工流动性能,节能降耗。
- 4) 综合性能优于一般偶联剂处理的产品,能够实现高填充,改善制品的力学性能和表面光泽,降低生产成本。

三、应用

(一) 应用范围

阻燃热塑性塑料主要用于电气、交通运输、建筑和家具工业,例如阻燃绝缘电缆(主要材料是 PVC,但也使用高密度和低密度聚乙烯)就占较大的比例。阻燃苯乙烯系聚合物主要用作电视机和录音机的外壳,以及电子和电话装置的壳体。

大量热塑性塑料用作车辆构件和车辆内部装饰件,因此必须符合特殊的试验标准,对飞机和船舶结构件的要求非常严格,而对汽车构件和内装饰件的要求次之。

阻燃聚烯烃管材常用于建筑业,而阻燃 PVC 则用作地板和护墙板。在欧洲,阻燃排水管主要使用聚丙烯,但在美国主要使用阻燃 PVC。阻燃聚乙烯也用作屋顶防水膜的材料。

适当阻燃的聚烯烃、高抗冲聚苯乙烯和 ABS 一般用于制造阻燃家具。

阻燃热塑性塑料的重要应用还包括:办公设备的壳体、娱乐用品、阻燃 ABS 容器、家用吸尘器、电器用注塑制品、医疗设备、设备部件、聚乙烯及聚丙烯的异型材和片材、增塑 PVC 运输带。

(二) 阻燃热塑性塑料的配方举例

阻燃热塑性塑料可采用以下几种方法制得:

- 1) 热塑性塑料粉末与阻燃剂及其他添加剂在流体或涡轮式混合机中掺混,用双螺杆挤出机挤出造粒。
- 2) 热塑性塑料颗粒与粉状阻燃剂及其他添加剂在可加热的班伯里混炼机 (Banbury mixer) 中进行混合,然后将均匀混合物料送至辊炼机,接着由辊炼机连续送出一定厚度的片材,片材通过带式造粒机得到方块形粒料。
- 3) 阻燃剂也可以浓缩物(母料)方式加入,浓缩物中阻燃剂浓度为 50% ~ 80%。阻燃剂浓缩物和基础树脂进行充分的预混合,在后续挤出或注塑过程中就可达到足够的

均化程度。

采用以下试验方法测定阻燃剂的防火性能和物理性能：

1) 防火性能：

ASTM D635—77，ATB 值（平均燃烧时间）以秒计，AEB 值（平均燃烧长度）以毫米计。

ASTM 2863—77，简称 LOI 试验，氧指数以% O₂ 表示。

DIN 53438，与 DIN4102（第一部分）的小灯试验相同。

DIN 4102（第一部分），火井试验。

UL94（试样厚度以毫米计）。

2) 物理性能：

密度，根据 DIN53479（ASTM D792—75、D1505—75）测定，单位 kg/m³。

熔体流动指数（MFI）190/5，根据 DIN53735（ASTM D1238—73）测定，单位 g/10min。

缺口冲击强度，根据 DIN53453（ASTM D256—73、ISO R179—1961）测定，单位 kJ/m²。

冲击强度，根据 DIN53453 测定，单位 kJ/m²。

拉伸强度，根据 DIN53455（ASTM D638—77、ISO/R527—1966）测定，单位 N/mm²。

断裂伸长率，根据 DIN53455（ASTM D638—77、ISO/R527—1966）测定，以百分数表示。

负荷下的热变形温度（HDT），根据 DIN53461 的方法 B（ASTM D648—61、ISO 75—1974）测定，单位 K。

在下述配方中，阻燃热塑性塑料的性能相当于基础树脂，括号中数值表示基础树脂的性能。

1. 高密度聚乙烯（HDPE）

高密度聚乙烯	89.9%
八溴联苯	5%
氯化石蜡	1.6%（氯含量 70%）
三氧化二锑	3.5%

按上述配方加工得到的材料性能如下：

ASTM	ATB/s	<5	(210)
	AEB/mm	20	(100)
UL94 (1.6)		V2	(燃烧)
LOI (% O ₂)		25.75	(16.75)
密度/ (kg/m ³)		1045	(946)
HDT/K		341	(344)

熔体流动指数、缺口冲击强度、拉伸强度和断裂伸长率与非阻燃材料相同。

为使 HDPE 达到 V0 级阻燃标准（根据 UL94，试样 3.2mm × 1.6mm），使用以下配方：

高密度聚乙烯	80%
十溴联苯	10%
三氧化二锑	10%

经测定，LOI 值为 26.5，非阻燃材料为 16.75。

2. 低密度聚乙烯（LDPE）

低密度聚乙烯	90.5%
氯化石蜡	6.0%（氯含量 70%）
三氧化二锑	3.5%

材料性能如下：

ASTM	ATB/s	<5	(160)
	AEB/mm	18	(100)
UL94 (3.2)		V2	(不分级别)
LOI (% O ₂)		23.75	(17.5)

拉伸强度、断裂伸长率和冲击强度与一般 LDPE 相同。

使用八溴联苯的配方如下：

低密度聚乙烯	89.9%
八溴联苯	4.9%
氯化石蜡	1.6%（氯含量 70%）
三氧化二锑	3.6%

根据 ASTM 和 UL94 方法测定上述阻燃材料的阻燃性能，结果表明，与氯化石蜡配方的情况相同。LOI 值由 25.5 增至 26.75。

缺口冲击强度、拉伸强度、断裂伸长率和 HDT 实际上与一般 LDPE 相同，但肖氏硬度稍为提高。

3. 聚丙烯

聚丙烯	94.5%
四溴双酚 A 的双（二溴丙醚）	3.5%
三氯化二锑	2.0%

得到的阻燃聚丙烯具有以下性能：

ASTM	ATB/s	5	(195)
	AEB/mm	14	(100)
LOI (% O ₂)		27.5	(18.25)

具有 UL94 标准 V1 级阻燃性能的聚丙烯，其阻燃配方如下：

聚丙烯	60%
Dechlorane	27%
三氧化二锑	13%

配合料的性能如下：

UL94 (1.6)	V1	(燃烧)
LOI (% O ₂)	25.5	(18.25)
拉伸强度/ (N/mm ²)	25	(24)
断裂伸长率 (%)	0.7	(4.9)
HDT/K	370	(360)

4. 增塑聚氯乙烯

无色增塑聚氯乙烯阻燃片材的配方如下：

悬浮法 PVC	53.5%
邻苯二甲酸二辛酯	27.7%
环氧油酸酯	4.9%
五溴联苯醚	4.9%
磷酸三 (甲苯酯)	8.3%
润滑剂	0.5%
稳定剂 (丁基锡羧酸盐)	0.4%

根据 DIN53438 方法对片材进行测试，火焰在未到达标记之前熄灭（方法 K1）。此种片材与一般片材比较，低温脆性和断裂伸长率没有差别。上述配方也通过了 FMVSS 302 试验。

5. 聚苯乙烯

按下述配方可得到高抗冲聚苯乙烯、抗冲聚苯乙烯、结晶性聚苯乙烯和聚苯乙烯泡沫的阻燃品种。

(1) 高抗冲聚苯乙烯

高抗冲聚苯乙烯	80%
Dechlorane 602	15%
三氧化二锑	5%

性能：

UL94 (1.6)	V1	(燃烧)
LOI (% O ₂)	26	(16.5)
冲击强度/ (kJ/m ²)	53	(76)
断裂伸长率 (%)	0.25	(0.4)

阻燃树脂的拉伸强度、HDT 和缺口冲击强度与基础树脂几乎相同。

(2) 抗冲聚苯乙烯

抗冲聚苯乙烯	80%
八溴联苯	15%
三氧化二锑	5%

性能：

UL94 (1.6 和 3.2)	V0	(燃烧)

DIN4102		B2	(B3)
ASTM D635	ATB/s	<5	(150)
	AEB/mm	17	(100)
LOI (% O ₂)		25.0	(16.5)
熔体流动指数 MFI/ (g/10min)		10.4	(8.5)
冲击强度/ (kJ/m ²)		30	(42)
缺口冲击强度/ (kJ/m ²)		4.4	(5)

拉伸强度、断裂伸长率和 HDT 与普通聚苯乙烯几乎相同。

(3) 结晶性聚苯乙烯

阻燃配方：

聚苯乙烯 97%

六溴环十二烷 3%

阻燃性能：

ASTM D635 ATB/s <5 (117)

AEB/mm 28 (100)

UL94 (1.6) V2 (燃烧)

DIN 4102 B2 (B3)

物理性能几乎与普通结晶性聚苯乙烯相同。

(4) 聚苯乙烯泡沫

阻燃配方：

聚苯乙烯 82%

十溴联苯醚 13%

三氧化二锑 5%

阻燃性能：

ASTM D635 ATB/s <5 (90)

AEB/mm 19 (100)

UL94 (6.4) V0 (燃烧)

阻燃聚苯乙烯泡沫的力学性能与普通聚苯乙烯泡沫相同。

6. ABS

阻燃等级符合 UL94 V1 的 ABS，其阻燃配方如下：

ABS 78%

双(2, 4, 6-三溴苯氧基)乙烷 17%

三氧化二锑 5%

符合 UL94 V0 (试样厚度 1.6mm) 的阻燃 ABS 的配方如下：

ABS 82%

八溴联苯醚 13%

三氧化二锑 5%

性能:

ASTM D635	ATB/s	<5	(195)
	AEB/mm	10	(100)
LOI (% O ₂)		24	(18)
UL94 (1.6)		V0	(燃烧)
密度/ (kg/m ³)		1200	(1050)
缺口冲击强度/ (kJ/m ²)		5	(8)

拉伸强度、表面电阻和介电强度 (ASTM D149—75) 实际上和非阻燃 ABS 相同。

7. 聚酰胺

聚酰胺及其玻璃纤维增强材料可加工成阻燃品种，阻燃配方如下：

(1) 聚酰胺 6

阻燃配方：

聚酰胺 6	84%
十溴联苯醚	10%
三氧化二锑	6%

阻燃材料的冲击强度和缺口冲击强度与非阻燃材料几乎相同，但是拉伸强度由 88 降至 67。

阻燃性能：

ASTM D635	ATB/s	<5	(178)
	AEB/mm	17	(60)
LOI (% O ₂)		22.75	(21.75)
UL94 (1.6)		V1	(燃烧)
(3.2)		V0	(燃烧)

(2) 玻璃纤维增强聚酰胺 6

阻燃配方：

聚酰胺 6	53%
玻璃纤维	22%
Dechlorane 602	18%
三氧化二锑	7%

阻燃材料符合 UL94 V0 阻燃等级 (试样厚度 1.6mm)，其他性能如下：

LOI (% O ₂)	32	(21)
拉伸强度/ (N/mm ²)	135	(170)
断裂伸长率 (%)	0.02	(0.03)
冲击强度/ (kJ/m ²)	32	(40)
缺口冲击强度/ (kJ/m ²)	5	(12)
HDT/K	438	(493)

(3) 聚酰胺 12

阻燃配方：

聚酰胺 12	85%
十溴联苯醚	10%
三氧化二锑	5%

阻燃材料的性能：

ASTM D635	ATB/s	<5	(445)
	AEB/mm	15	(100)
LOI (% O ₂)		29	(20)
UL94 (1.6)		V0	(燃烧)
缺口冲击强度/ (kJ/m ²)		9	(15)
拉伸强度/ (N/mm ²)		47	(53)
断裂伸长率 (%)		2.1	(3)

8. 饱和聚酯

聚酯树脂及其玻璃纤维增强材料均可加工成阻燃材料。

(1) 聚酯

阻燃配方：

聚对苯二甲酸丁二醇酯 (PBTP)	88%
八溴联苯	8%
三氧化二锑	4%

阻燃材料的性能：

ASTM D635	ATB/s	<5	(240)
	AEB/mm	16	(100)
LOI (% O ₂)		28.5	(22.0)
UL94 (1.6)		V0	(燃烧)

(2) 玻璃纤维增强聚酯

阻燃配方：

PBTP	87%
十溴联苯	9%
三氧化二锑	4%

阻燃材料的性能：

UL94 (1.6)	V0	(燃烧)
LOI (% O ₂)	33	(19)
拉伸强度/ (N/mm ²)	95	(135)
断裂伸长率 (%)	0.02	(0.03)
缺口冲击强度/ (kJ/m ²)	5.9	10.5
冲击强度/ (kJ/m ²)	15 ~ 16	(39)

9. 聚碳酸酯

生产阻燃聚碳酸酯，最好是在缩聚前加入阻燃剂四溴双酚 A，也可以在聚碳酸酯树脂中掺入阻燃剂进行加工，得到阻燃级聚碳酸酯材料。阻燃配方如下：

聚碳酸酯		93.1%	
十溴联苯醚		5.0%	
三氧化二锑		1.9%	
阻燃级聚碳酸酯的性能：			
ASTM D635	ATB/s	<5	(17)
	AEB/mm	12	(24)
LOI (% O ₂)		40	(25)
UL94 (1.6)		V0	(V2)

第五节 稀 土 助 剂

一、简介

稀土化合物作为一类性能奇特的物质，具有独特的光、电、磁以及界面效应、屏蔽作用和化学活泼性等多种功能。目前，塑料用稀土类功能添加剂的研究已取得了不少成效良好或前景诱人的研发成果。稀土化合物已成功地用作 PVC 热稳定剂，利用稀土化合物的荧光性质也已制成发光塑料，利用磁性稀土材料制成了磁性塑料，利用稀土化合物的光转换性质制成了发光塑料等。高效、多功能塑料用稀土助剂以及具有特种功能的稀土高分子材料的开发应用，必将成为我国高分子材料领域原始性技术创新、产品创新的热点和亮点。

目前，我国塑料用稀土助剂的研究和应用还处于初级阶段，但稀土化合物用作高分子材料助剂的工业化成果不断推出，已使我国塑料用稀土助剂的研究和应用处于国际领先水平。

发展塑料用稀土助剂不仅可实现我国塑料助剂的高技术化，促进通用塑料的高性能化，为我国开发新型高分子材料，提高现有高分子材料的使用性能和使用价值开拓一条新的途径，对带动我国稀土工业的发展、促进山区经济建设有深刻的影响和推动作用，主要表现在以下几方面：

- 1) 塑料用稀土助剂用作 PVC 热稳定剂，对于稳定剂产品结构的调整，促进稳定剂向无毒、高效、环保发展以及提升我国 PVC 建材的绿色化和使用性能做出贡献。
- 2) 塑料用稀土助剂作为聚烯烃的新型改性剂，可提高聚烯烃的使用性能或改善其加工性，从而提升使用价值，为实现通用树脂的高性能化、工程化开辟了一条新路。
- 3) 塑料用稀土助剂作为塑料填充改性的原料——无机粉体新型表面处理剂，可提高无机粉体与基础树脂的相容性，使填充改性材料的多种性能发生质的飞跃，大幅度提升附加值，“点石成金”。这不仅对发展无机刚性粒子增韧高分子材料有贡献，而且对

我国无机粉体传统产业的提升和高附加值产品的发展有积极的推动作用。

4) 塑料用稀土助剂用作加工助剂和高效润滑剂的开发,可促进我国塑料加工工艺高速化。

5) 塑料用稀土助剂在合成树脂、塑料增塑剂的合成过程中用作催化剂或添加剂,可提高产品质量,降低成本,带动合成工业的发展。

6) 采用塑料用稀土助剂,可制成特殊工程塑料和功能材料,提升国际市场竞争力。

二、主要品种与特性

1. WOT 系列无机粉体稀土多功能表面改性剂

性质 白色粉末,软化点 $92 \sim 100^{\circ}\text{C}$, 粘度 (130°C) $\leq 995\text{mPa} \cdot \text{s}$, 挥发分 (105°C , 4h) $\leq 2.5\%$, 金属氧化物含量 $\geq 8.0\%$ 。

用法及应用特点 本系列产品是根据无机刚性粒子增韧机理和多向配位原理研究开发的一种配位型无机粉体表面处理剂,用于处理碳酸钙、硫酸钡、蒙脱土、氢氧化镁、氢氧化铝、云母、滑石粉等无机粉体,可显著改善无机粉体在聚烯烃等高聚物基体中的浸润性和分散性,并在无机粉体与高聚物基体中产生一定的界面作用和界面层,增强无机粉体与基体树脂的结合力,提高无机粉体/高聚物复合体系的力学性能,特别是冲击性能。

该系列产品还能改善无机粉体-高聚物复合体系的流变性能,提高制品的表面光泽,在聚丙烯基材料中还具有晶型改质剂的功效,是一种多功能的无机粉体表面改性剂。

该系列产品具有下述应用特点:显著改善无机粉体在聚烯烃等高聚物基体中的浸润性和分散性,增加无机粉体的加入量;提高复合体系的力学性能;改善复合体系的加工流动性,对高填充体系和 LLDPE 体系的效果更加显著;提高塑料制品的表面光泽,改变 PP 的晶型结构,从而显著提高 PP 基材的力学性能,特别是冲击性能和热性能。

2. XL-955 稀土铝酸酯偶联剂

性质 熔融温度 $< 5.0^{\circ}\text{C}$, 熔化时间 $\geq 95\text{min}$, 挥发分 $< 0.5\%$, 降黏幅度 $\geq 98\%$, 热分解温度 $\geq 250^{\circ}\text{C}$ 。

用法及应用特点 本品适用于多种无机填料或颜料及各类树脂的表面活化改性处理。

3. RE-120 稀土稳定剂

性质 淡黄色油状透明液体。酸值 $< 10\text{mgKOH/g}$, 水分 $< 0.5\%$, 色度 (Pt/Co) < 200 号。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯新型热稳定剂,0.4 份 RE-120 可代替 25 份液体 Ba/Zn 或液体 Ca/Zn。本品因效能高,用量少,使配方成本显著降低,制品毒性亦大大改善。本品的热稳定效率是一般铅盐复合稳定剂的 2~8 倍,可应用于层压板、挤出板材、管材、鞋底料等。

4. 稀土复合稳定剂

性质 白色或微黄色粉末，无臭。稀土金属总含量 >10%，水分 <2%，细度 >200 目。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯新型热稳定剂，具有优良的初期、长期热稳定性和透明性，无污染，与树脂的相容性、分散性、压析性优良，加工性、润滑性好。因本品综合性能优良，适用于不同加工方法、不同用途的聚氯乙烯软、硬制品。

5. 硬脂酸稀土/锌复合稳定剂

性质 粉末状。熔点 >112℃，细度（通过 0.075mm 筛）>95%，氧化稀土总量 >15%，锌含量 >1.5%，水分 <2.0%，游离酸 <1.5%。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂，适用于聚氯乙烯软质、硬质的透明与不透明制品，如线槽、型材、中空透明矿泉水瓶、塑料鞋、硬质管材、管件等。本品可替代镉盐、钡盐稳定剂，也可在某些产品中替代铅盐、有机锡稳定剂。

6. REC-LSS 稀土多功能复合稳定剂

用法及应用特点 使用本品制造的塑料制品具有优越的耐热、耐光及耐候性，优异的电绝缘性能，高分散性，低析出性，高的偶联、增韧及促进熔融作用，可加大填充剂用量，提高加工性，降低能耗，提高产品质量及产量，降低产品综合成本，提高发泡倍率，令产品泡孔细度均匀稳定、易粘贴、印刷性高，主要用于电缆料、电线制品、耐硫化人造革、泡沫人造革、着色填充薄膜、药品器皿、管道、输送带等软制品。

7. REC-LSR 稀土多功能复合稳定剂

用法及应用特点 使用本品制造的塑料制品具有优异的热稳定性、光稳定性、耐候性，不产生硫化污染，可提高产品的力学性能及外观质量，主要用于门窗型材、管材、装饰板材等硬制品。该产品具有下述优点：具有独特的偶联、增韧作用，可加大填充剂用量，降低产品成本；兼具润滑性和加工性，促进物料熔融，提高塑化度和塑化程度；减少润滑剂用量，简化配方，并使加工工艺范围变宽，操作简便；优异的焊接性能，高焊角强度，提高后加工的质量；无粘附，无腐蚀，脱模性能好，清模周期成倍延长；能给予着色型材、管材高的色泽鲜艳度，提高饱和度、牢固度及持久性。

8. REC-LST 稀土多功能复合稳定剂

用法及应用特点 使用本品制造的塑料制品具有优异的热稳定性、抗氧化性、耐候性，无硫化污染，高维卡软化点，透明性优于有机锡类稳定剂。本品可提高着色制品的鲜艳度、色饱和度及持久性，具有优异的润滑性及加工性，兼具增韧、促进熔融作用，能提高制品的力学性能，主要用于软、硬质透明制品。

9. XW 稀土稳定剂

性质 白色滑腻感粉末。熔点 100 ~ 110℃，水分含量 ≤3%，细度（孔径 0.9mm）≥98%。不溶于水，溶于乙醇和三氯甲烷。

用法及应用特点 本品是由稀土和脂肪酸等合成的新型 PVC 稳定剂，配伍性好，用于硬质、半硬质及软质 PVC 的加工，尤其用于压延、注塑、吹塑等 PVC 制品热稳定

性能好,协同配伍好,可降低成本,提高制品耐候性。本品能等量代替有机锡类稳定剂,推荐用量 0.3~1 份(phr)。

10. 稀土钙锌热稳定剂

性质 技术指标见表 4-31。

表 4-31 稀土钙锌热稳定剂的性能指标

项 目	WWP-A	WWP-C	WWP-11	WWP-1
外观	白色或微黄色粉末、粒状			
金属氧化物含量 (%)	> 7	7	6	7
挥发分 (%)	< 2.0	2.0	2.0	2.0

用法及应用特点 该系列产品是通过独特的合成调优技术,由钙、锌、稀土等多种元素有机功能化合物和高效协效剂复合而成,适用于 PVC 制品。

产品型号及适用范围见表 4-32。

表 4-32 稀土钙锌热稳定剂的产品型号及适用范围

型 号	适用范围	推荐用量/份(phr)
WWP-A	注塑专用	4.0~6.0
WWP-C	透明及非透明硬制品	3.0~4.0
WWP-11	透明软、硬制品	2.0~4.0
WWP-1	电线、电缆及其他软制品	2.0~5.0

产品具有如下应用特点:

- 1) 具有优异的热稳定性、润滑性、耐候性。
- 2) 无毒、无臭、无铅污染、安全卫生,利于环境保护。
- 3) 与 PVC 混配料的分散性、相容性、配伍协效性好,无硫化污染,制品透明度高,电绝缘性好。
- 4) 无析出,成型加工性好,促进熔融,提高 PVC 熔体强度。
- 5) 挤出速率高,特别适用于高速挤塑加工。

11. WBT 系列聚烯烃无机增韧改性剂

性质 密度 2.68~2.75g/cm³,挥发分≤0.3%,pH 值 7~9,白度≥90。

用法及应用特点 该系列产品是一种新型功能性改性助剂,用于聚烯烃,加入量为 10~120 份(phr)树脂。该系列产品是以纳微尺度的无机粉体粒子如碳酸钙、硫酸钡等为基料,采用新型多维配位型改性剂为表面处理剂,通过独特的配位包裹处理技术制成的增韧补强改性剂。该系列产品改变了无机粒子表面性能,改善了无机粒子在高聚物基体中的浸润性和分散性,并在无机粒子和基体之间产生了界面作用,提高与基体的结合力。在聚丙烯加工成型过程中,该系列产品能改变聚丙烯的结晶形态,明显地提高聚丙烯改性材料的韧性、加工流动性、刚性、模量、耐热及尺寸稳定性,有效降低物料成本。

该系列产品应用特点为:①与聚烯烃基体树脂相容性好,能够均匀分散,提高材料

韧性的同时提高材料的刚性、耐热性及尺寸稳定性等。②可降低聚烯烃复合物的熔体粘度，改善加工流动性能，节能降耗。③综合性能优于一般偶联剂处理的产品，能够实现高填充，改善制品的力学性能。

12. 稀土类晶型改性剂

性质 白色粉体。密度约 1.1g/cm²，金属氧化物含量 >3.0%，挥发分（105℃，2h）≤1.5%。

用法及应用特点 本系列产品是新型 β 晶型成核剂，β 晶型转化率达 95% 以上。该品在明显改善聚丙烯树脂韧性和热变形温度的同时，不降低其他力学性能。加入少量该系列产品，可明显改善聚丙烯材料的韧性和其他性能。该系列产品可制成母料加入，也可以直接与 PP 掺混使用。该系列产品在聚丙烯的多次加工过程中结构和性能稳定，不影响成核效果。推荐用量：按质量份（phr）PP 计，添加量 0.05% ~ 0.5%，最佳用量 0.1% ~ 0.3%。

13. WMH 改质剂

性质 产品技术指标见表 4-33。

表 4-33 WMH 改质剂的技术指标

项 目		指 标		
		WMH-2A	WMH-2B	WMH-2C
密度/（g/cm ³ ）		≤2.45	2.60	
挥发度（105℃，4h）（%）		≤1.5		≤1.0
pH 值		7.0～9.0		8.0～9.0
过筛率	（通过0.075mm 筛）（%）	≥95.0		
	（通过0.25mm 筛）（%）	≥98.0		
白度（%）		≥90	≥85	≥90

用法及应用特点 本品是以微细化的无机粉体粒子碳酸钙、硫酸钡等为基料，采用特殊表面处理剂，通过独特的表面化学包裹处理技术制成的增韧增刚改性剂。本品是 PVC 高分子材料用的一种无机刚性粒子增韧剂。使用时，厂家原生产配方组成及填充体系不变，一般制品可加入本产品 10 ~ 20 份（phr）树脂，高档制品加入本产品 3 ~ 5 份（phr）树脂，加入方法与 CaCO₃ 填充料相同，无需改变原生产工艺条件，厂家可根据自身要求进行调整。

该产品改善了无机粒子在高聚物基体中的浸润性和分散性，表现出明显的无机粒子增韧效果，使 PVC 复合体系具有较均衡的韧性和强度。能够实现高填充，提高制品的力学性能和表面光泽，降低生产成本。

本品具有如下应用特点：

- 1) 与 PVC 树脂相容性好，能够充分均匀分散，提高材料韧性的同时，提高其刚性、耐热性及尺寸稳定性等性能。
- 2) 可降低 PVC 复合物熔融粘度，改善加工流动性能。
- 3) 综合性能优于一般偶联剂处理的产品，能够实现高填充，改善制品的力学性能，降低生产成本。

第五章 制品质量改性剂

第一节 增 塑 剂

一、简介

增塑剂是一种使聚合物软化、固有的刚性甚至脆性变为具有挠曲性的添加剂。它通常是一种不易挥发的高沸点有机液体（一般沸点高于 250℃），少数是低熔点的固体。其作用主要有：①通过内部润滑作用使聚合物熔融温度、熔融粘度、成型加工温度降低，有利于聚合物的成型加工。②在制品的使用温度范围内，使其具有柔韧性，并改善制品的弹性、耐低温性等相关性能，并且这些性能具有持久性。

80% 的增塑剂用于 PVC，其他则用于纤维素、尼龙、聚乙酸乙烯酯等。

增塑作用分为外增塑作用和内增塑作用。外增塑作用是把分子量低的化合物或聚合物添加到需要增塑的聚合物中，起到隔离大分子、削弱分子间引力的作用；内增塑作用则是把某些单体与需增塑的聚合物单体通过嵌段、接枝等方法来破坏大分子的规整性，以减弱分子间的作用力，从而达到增塑的目的，可避免小分子增塑剂的离析现象。

按增塑作用的程度不同，增塑剂可分为主增塑剂、助增塑剂、共增塑剂。主增塑剂可为单一的增塑成分，常用的为有机酯类，其作用高效、稳定；助增塑剂是一类可提供柔性但自身并不符合基本增塑剂要求的添加剂；共增塑剂则是含有酯类功能团的其他成分，除起补充增塑作用外，还可增加热稳定性。在应用时，往往将几种增塑剂搭配使用，取长补短。

主增塑剂应具备以下条件：

- 1) 增塑效率高。
- 2) 与树脂的相容性良好。
- 3) 保留性能好，即挥发性小，迁移性小，耐水、耐油等抽出性良好。
- 4) 对光、热及氧化稳定性好。
- 5) 低温柔软性良好。
- 6) 电绝缘性好。
- 7) 阻燃性好。
- 8) 耐菌性好。
- 9) 无毒、无色、无味。
- 10) 耐污染性好。
- 11) 增塑糊粘度稳定性好。

12) 价格便宜。

随着人们环境意识的增强,对卫生安全的重视,各国对塑料制品中有毒害的物质制定了一系列禁止或限制性措施、政策、法令。欧盟于2006年7月1日起禁止6种邻苯二甲酸酯类增塑剂在儿童玩具和儿童用品中使用,欧盟的HOHS法令则进一步扩大了禁用范围,因此今后在选用增塑剂时要特别注意,尤其是对可能出口的产品。

二、主要品种与性能

(一) 邻苯二甲酸酯类

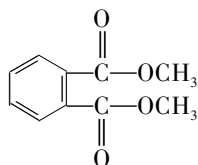
1. 邻苯二甲酸二甲酯

化学名 邻苯二甲酸二甲酯

英文名 Dimethyl phthalate, DMP

化学文摘 CAS No. 131-11-3

结构式



性质 无色透明油状液体,具芳香味。相对分子质量194,酯含量98%~99%,相对密度1.188~1.192(25℃),粘度0.0114Pa·s(25℃)、22Pa·s(20℃),色度(APHA)<30,酸度(以邻苯二甲酸计)<0.01%,凝固点0℃,沸点280~285℃(101324.72Pa)、146℃(1333.22Pa),闪点(开杯法)149~157℃,着火点154℃,蒸气压1.333Pa(25℃),膨胀系数0.00042℃⁻¹,折射率1.5123~1.5143(25℃),溶于丙酮、甲乙酮、环己酮、乙酸乙酯、乙醚、甲醇、正丁醇、四氯化碳、甲苯等有机溶剂,不溶于矿物油,在水中的溶解度0.45%(25℃),水在本品中的溶解度1.8%(25℃),沸水中煮沸96h的水解度0.1067%。

用法及应用特点 本品可作为纤维素树脂、乙烯基树脂的增塑剂、溶剂,有优良的防水性、黏着性和成膜性,光和热稳定性也很高,主要用于醋酸纤维素薄膜、清漆、玻璃纸等,在醋酸纤维素清漆中的用量可达75%,漆膜柔软防水。本品沸点低,挥发性大,给使用操作带来困难,而且制成的薄膜易脆化,此外本品在低温下容易结晶,这些缺点限制了它的广泛应用。本品通常多与邻苯二甲酸二乙酯(DEP)等增塑剂并用,使上述缺点得到一定改善。本品用作橡胶的增塑剂时,对橡胶的硫化无影响,而且制品的耐寒性良好。

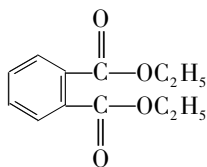
2. 邻苯二甲酸二乙酯

化学名 邻苯二甲酸二乙酯

英文名 Diethyl phthalate, DEP

化学文摘 CAS No. 84-66-2

结构式



性质 无色透明油状液体，微具芳香味。相对分子质量 222，酯含量 98.5% ~ 99%，相对密度 1.115 ~ 1.123 (20℃)，粘度 0.013Pa·s (20℃)、0.0098Pa·s (25℃)，色度 (APHA) <30，酸度 (以邻苯二甲酸计) <0.01%，凝固点 -4℃，沸点 298℃ (101324.72Pa)，闪点 (开杯法) 152℃，着火点 155℃，蒸气压 1866.5Pa (163℃)、3999.66Pa (182℃)、97858.3Pa (295℃)，膨胀系数 0.00076℃⁻¹，折射率 1.4990 ~ 1.5019 (20℃)，溶于大多数有机溶剂，与脂肪烃仅部分相容，在水中的溶解度 0.09% (25℃)，水在本品中的溶解度 0.7% (25℃)。

用法及应用特点 本品与乙酸纤维素、硝酸纤维素、乙基纤维素、聚甲基丙烯酸甲酯、聚苯乙烯、聚乙酸乙烯酯、聚乙烯醇缩丁醛、氯乙烯-乙酸乙烯共聚物等大多数树脂有良好的相容性，主要作为纤维素树脂的增塑剂，低温柔软性和耐久性优于邻苯二甲酸二甲酯。本品用于乙酸纤维素时，常与邻苯二甲酸二甲酯并用，以提高制品的耐水性、弹性及给予制品适当硬度。本品用于硝酸纤维素，可得到耐光性、强韧性优良的无臭味赛璐璐制品。本品还可用于提高聚乙酸乙烯酯粘合剂的粘合力，用作醇酸树脂的增塑剂。本品因挥发性大，限制了其应用。

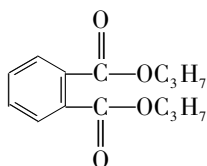
3. 邻苯二甲酸二丙酯

化学名 邻苯二甲酸二丙酯

英文名 Dipropyl phthalate

化学文摘 CAS No. 131-68-8

结构式



性质 无色易流动液体。相对分子质量 250，相对密度 1.071 (25℃)，沸点 130℃ (133.3Pa)，折射率 1.494 (25℃)。

用法及应用特点 本品可作为乙酸纤维素和硝酸纤维素的增塑剂，但挥发性大，实际应用很少。

生产厂家 Dow Corning (美国)。

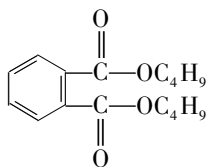
4. 邻苯二甲酸二正丁酯

化学名 邻苯二甲酸二正丁酯

英文名 Di-*n*-butyl phthalate, DBP

化学文摘 CAS No. 84-74-2

结构式



性质 无色油状液体，微具芳香味。相对分子质量 278，酯含量 99% ~ 100%，相对密度 1.042 ~ 1.049 (25℃)，粘度 0.017 ~ 0.022Pa · s (20℃)、0.0156Pa · s (25℃)，色度 (APHA) <25，酸值 <0.1mgKOH/g，凝固点 -40 ~ -35℃，沸点 340℃ (101324.72Pa)，闪点 (开杯法) 171 ~ 185℃，着火点 202℃，蒸气压 < 1.333Pa (20℃)、146.7Pa (150℃)，膨胀系数 0.00076℃⁻¹，折射率 1.4895 ~ 1.4926 (25℃)，汽化热 28.47J/g (101324.72Pa)，挥发速度 0.98mg/(cm² · h) (100℃)、48mg/(cm² · h) (190℃)，在沸水中煮沸 96h 的水解量 0.0483%，溶于多数有机溶剂和油类，在矿物油中的溶解度为 34% (质量)，在水中的溶解度 <0.01% (20℃)，水在本品中的溶解度为 0.46% (20℃)。

用法及应用特点 本品与硝酸纤维素、乙基纤维素、聚甲基丙烯酸甲酯、聚氯乙烯、聚乙酸乙烯酯、聚乙烯醇缩丁醛、氯乙烯-乙酸乙烯共聚物、聚苯乙烯等大多数塑料都有良好的相容性，是应用最广泛的增塑剂之一。本品价廉易得，主要用作纤维素树脂和聚氯乙烯的主增塑剂，特别适用于硝酸纤维素涂料，具有优良的溶解性、分散性和粘着性，漆膜的柔软性和稳定性亦佳，但阻燃性和耐水性较差，在漆中的一般用量为 10% ~ 60% (视漆的透明性和着色性而定)。本品与颜料的相容性好，用于着色薄膜、人造革和塑料制品时，可以在着色剂分散过程中与蓖麻油一起加入。本品与乙酸纤维素的相容性较小，增塑作用也偏低，挥发性和油抽出性较大，耐久性较差。本品还可作为天然橡胶和合成橡胶的增塑剂、软化剂，可提高制品的回弹性。

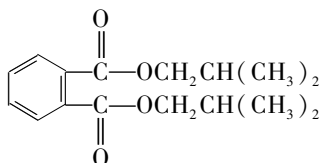
5. 邻苯二甲酸二异丁酯

化学名 邻苯二甲酸二异丁酯

英文名 Diisobutyl phthalate, DIBP

化学文摘 CAS No. 84-69-5

结构式



性质 无色透明液体。相对分子质量 278，相对密度 1.040 (20℃)，色度 (APHA) <50，粘度 0.03Pa · s (20℃)，凝固点 -50℃，沸点 327℃ (101324.72Pa)，闪点 174℃，着火点 185℃，折射率 1.4900 (25℃)，在水中的溶解度 0.05g/L (25℃)，沸水中煮沸 96h 的水解量 0.022%。

用法及应用特点 本品与乙酸纤维素、硝酸纤维素、乙基纤维素、聚氯乙烯、聚乙酸乙烯酯、聚乙烯醇缩丁醛、聚苯乙烯等树脂相容，可作为纤维素树脂、乙烯基树脂等

的增塑剂，增塑效能与 DBP 类似，但挥发性和水抽出性比 DBP 大，可作为 DBP 的代用品。本品对农作物有毒害作用，不宜用于农用聚氯乙烯薄膜。

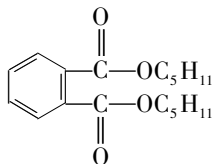
6. 邻苯二甲酸二戊酯

化学名 邻苯二甲酸二戊酯

英文名 Diamyl phthalate, DAP

化学文摘 CAS No. 131-18-0

结构式



性质 微具气味的无色透明液体。相对密度 1.022 ~ 1.026 (20℃)，沸点 251℃ (666.1Pa)，闪点 (开杯法) 171℃，膨胀系数 $0.00076^{\circ}\text{C}^{-1}$ ，折射率 1.487 ~ 1.489 (25℃)，表面张力 0.0315N/m (20℃)，酸度 (以邻苯二甲酸计) < 0.03%，挥发度 2.04% (100℃, 6h)，可与大多数有机溶剂混溶，在水中的溶解度 0.05% (25℃)，水在本品中的溶解度 0.05% (25℃)。

用法及应用特点 本品可作为纤维素树脂、乙烯基树脂、聚甲基丙烯酸甲酯、聚苯乙烯的增塑剂，相容性好，能够给予薄膜制品良好的弹性、耐候性和拉伸强度。

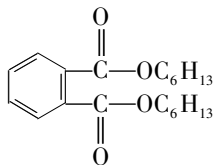
7. 邻苯二甲酸二正己酯

化学名 邻苯二甲酸二正己酯

英文名 Di-*n*-hexyl phthalate, D-*n*-HP

化学文摘 CAS No. 84-75-3

结构式



性质 透明液体，具有令人愉快的气味。相对分子质量 334，相对密度 1.0074 (20℃) 粘度 0.037Pa·s (20℃)，酸度 (以乙酸计) < 0.02%，流动点 -33℃，沸点 220℃ (666.61Pa)，闪点 (开杯法) 193℃，蒸气压 266.6Pa (200℃)，膨胀系数 (20℃) $0.00077^{\circ}\text{C}^{-1}$ ，折射率 1.491 (20℃)，溶于多数有机溶剂，常温不溶于水，水在本品中的溶解度 0.24% (20℃)。

用法及应用特点 本品是溶剂型的主增塑剂，与聚氯乙烯、氯乙烯-乙酸乙烯共聚物、聚乙烯醇缩丁醛、硝酸纤维素、乙基纤维素有良好的相容性。本品多与邻苯二甲酸二辛酯以 30:70 (质量比) 的比例用于聚氯乙烯、氯乙烯-乙酸乙烯共聚物，以改善加工性、制品的稳定性、低温柔软性。本品用于硝酸纤维素漆可提高漆膜的耐久性、光稳定性和热稳定性。本品还可用作粘合剂、人造革、印刷油墨的溶剂和增塑剂。

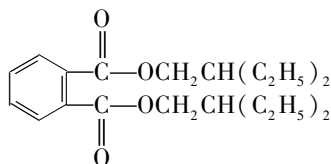
8. 邻苯二甲酸二(2-乙基丁)酯

化学名 邻苯二甲酸二(2-乙基丁)酯

英文名 Di(2-ethyl butyl) phthalate, DIHP

化学文摘 CAS No. 7299-89-0

结构式



性质 浅草黄色透明油状液体，微具芳香气味。相对分子质量 334，酯含量 > 98%，相对密度 1.010 ~ 1.016 (20℃)，沸点 350℃，闪点 194℃，折射率 1.4880 (25℃)，酸度（以邻苯二甲酸计）< 0.01%，沸水中煮沸 96h 的水解度 0.0591%，常温下不溶于水，溶于多数有机溶剂。

用法及应用特点 本品为邻苯二甲酸二正己酯的异构体，两者性能类似，实际上在工业产品中，往往是两种异构体的混合物。本品增塑效能介于 DBP 和 DOP 之间，主要作为硝酸纤维素的增塑剂和溶剂，用于造漆、流延薄膜、模塑制品、人造革、印刷油墨等。

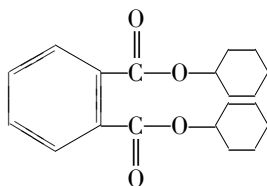
9. 邻苯二甲酸二环己酯

化学名 邻苯二甲酸二环己酯

英文名 Dicyclohexyl phthalate, DCHP

化学文摘 CAS No. 94-61-7

结构式



性质 微具芳香气味的白色结晶粉末。相对分子质量 330，熔点 58 ~ 65℃，沸点 218℃ (666.61Pa)，相对密度 1.148 ~ 1.290 (20℃)，粘度 0.223Pa·s (60℃)，闪点（开杯法）207℃，着火点 240℃，色度（APHA）300，蒸气压 < 7.8Pa (150℃)、146.6Pa (200℃)，表面张力 0.036N/m (75℃)，溶于丙酮、甲乙酮、环己酮、乙醚、正丁醇、四氯化碳、甲苯等有机溶剂，在热汽油和矿物油中完全溶解，微溶于乙二醇类和某些胺类，难溶于水（25℃时的溶解度 < 0.01%）。

用法及应用特点 本品可作为聚氯乙烯、丙烯酸树脂、聚苯乙烯、硝酸纤维素等树脂的主增塑剂，具有防潮作用，与其他增塑剂并用，可使制品收缩致密，防止水蒸气透过和增塑剂挥发，含有本品的塑料制品表面光洁、手感好。本品用量一般为增塑剂总量的 10% ~ 20%，用量不宜过大，否则制品硬度增大。本品可改善树脂料在热加工时的流动性，在合成树脂粘合剂中可提高其粘合力、耐油性和耐久性。本品用于硝酸纤维素

和一些天然树脂，可制造防潮涂料。

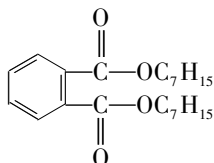
10. 邻苯二甲酸二庚酯

化学名 邻苯二甲酸二庚酯

英文名 Diheptyl phthalate, DHP

化学文摘 CAS No. 3649-21-3

结构式



性质 无色透明油状液体。相对分子质量 362.5, 酯含量 99% ~ 100%, 相对密度 0.992 ~ 0.995 (20℃), 凝固点 $< -46^{\circ}\text{C}$, 沸点 $235 \sim 240^{\circ}\text{C}$ (1333.2Pa)、 360°C (101324.72Pa), 闪点 225°C , 色度 (APHA) 20, 酸值 $< 0.1\text{mgKOH/g}$, 加热减量 $< 0.20\%$ (125°C , 3h), 体积电阻率 $< 1.0 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ (30°C), 在水中的溶解度 0.01%, 水在本品中的溶解度 0.14%, 溶于苯、甲苯、石油、煤油等有机溶剂和油类。

用法及应用特点 本品可作为聚氯乙烯的主增塑剂, 可作为 DOP 或 DBP 的代用品, 因相对分子质量比 DOP 稍低, 故挥发性和水抽出性较大, 但比 DBP 小。本品粘度低, 与树脂的相容性和加工润滑性好, 增塑效率高, 耐寒性也较好。使用本品增塑的制品表面光泽悦目, 力学性能与 DOP 增塑的制品基本相同。

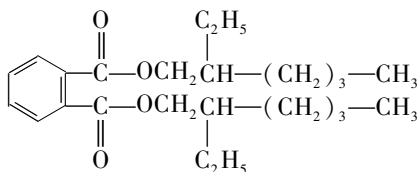
11. 邻苯二甲酸二(2-乙基己)酯

化学名 邻苯二甲酸二(2-乙基己)酯

英文名 Di-(2-ethyl hexyl) phthalate

化学文摘 CAS No. 117-81-7

结构式



性质 无色或淡黄色油状透明液体, 有二辛酯的特殊气味。相对分子质量 391, 酯含量 99% ~ 100%, 相对密度 0.980 ~ 0.986 (25℃), 粘度 0.080Pa · s (20℃)、0.058Pa · s (25℃), 凝固点 -53°C , 沸点 386°C (101324.72Pa), 闪点 (开杯法) $216 \sim 218^{\circ}\text{C}$, 着火点 241°C , 色度 (APHA) < 30 , 酸值 $< 0.10\text{mgKOH/g}$, 蒸气压 1.333Pa (20℃)、8.0Pa (150℃)、160.0Pa (200℃), 膨胀系数 (20℃) $0.0007^{\circ}\text{C}^{-1}$, 折射率 1.4830 ~ 1.4859 (20℃), 挥发速度 $0.0206\text{g}/(1000\text{cm}^2 \cdot \text{h})$ (100°C), 表面张力 0.033N/m (20℃), 体积电阻率 $1 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$, 比热容 0.57J/(kg · K) (50 ~ 150°C), 在水中的溶解度 $< 0.01\%$ (25℃), 水在本品中的溶解度 0.2% (25℃), 溶于大多数有机溶剂和烃类, 微溶于乙二醇、甘油和某些胺类。

用法及应用特点 本品与大多数工业用树脂如聚氯乙烯、氯乙烯-乙酸乙烯共聚物、

聚苯乙烯、聚甲基丙烯酸甲酯、硝酸纤维素、乙基纤维素等树脂和橡胶有良好的相容性，与乙酸纤维素、聚乙烯醇缩丁醛、聚乙酸乙烯酯部分相容，是塑料加工中使用最广泛的增塑剂之一。本品具有优良的综合性能，增塑效率高，挥发性小，耐紫外线，耐水抽出，迁移性小，而且耐寒性、柔软性和电性能等也都良好，是一类比较理想的主增塑剂，广泛用于聚氯乙烯、氯乙烯共聚物、纤维素树脂的加工，制造薄膜、人造革、电线和电缆包皮、片材、板材、模塑品、增塑糊等。本品用于硝酸纤维素漆，可提高漆膜的弹性和拉伸强度。本品也可作为合成橡胶如丁腈橡胶的软化剂，能够改善制品的回弹性，降低压缩永久变形，而且对胶料的硫化无影响。

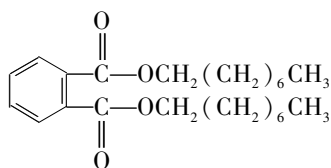
12. 邻苯二甲酸二正辛酯

化学名 邻苯二甲酸二正辛酯

英文名 Di-*n*-octyl phthalate, *n*-DOP

化学文摘 CAS No. 117-84-0

结构式



性质 油状透明液体，微具气味。相对分子质量 391，酯含量 > 98%，相对密度 0.978 (20℃)，粘度 0.025 Pa·s (30℃)，凝固点 < -25℃，沸点 230℃ (533.3 Pa)，闪点 (开杯法) 219℃，着火点 260℃，色度 (APHA) < 30，酸度 (以乙酸计) < 0.01%，蒸气压 < 2.67 Pa (150℃)、93.3 Pa (200℃)，膨胀系数 0.0008℃⁻¹ (10 ~ 40℃)，折射率 1.482 (25℃)，比热容 0.57 J/(kg·K) (50 ~ 150℃)，挥发度 0.25% (105℃, 24h)，表面张力 0.031 N/m (20℃)，在水中的溶解度 < 0.01% (25℃)，水在本品中的溶解度 0.4% (25℃)，溶于汽油、矿物油，微溶于甘油、乙二醇类。

用法及应用特点 本品为 DOP 的异构体，可与聚氯乙烯、氯乙烯-乙酸乙烯共聚物、聚乙烯醇缩丁醛、硝酸纤维素、乙基纤维素、聚甲基丙烯酸甲酯、聚苯乙烯等树脂相容，与乙酸纤维素、聚乙酸乙烯酯不相容，增塑效率与 DOP 相同，但耐寒性、耐候性、耐挥发性及对增塑糊粘度的稳定性均比 DOP 好，电绝缘性比 DOP 稍差。本品可用作乙烯基树脂、纤维素树脂和合成橡胶的增塑剂，但价格高，应用不广泛。

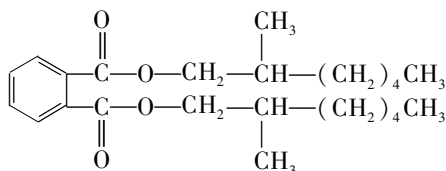
13. 邻苯二甲酸二异辛酯

化学名 邻苯二甲酸二异辛酯

英文名 Diisooctyl phthalate, DIOP

化学文摘 CAS No. 27554-17-2

结构式



性质 透明油状黏稠液体，微具气味。相对分子质量 391，酯含量 >99%，水含量 <0.1%，相对密度 0.986 (20℃)，粘度 0.053 ~ 0.083Pa · s (20℃)，凝固点 <-45℃，沸点 235℃ (666.6Pa)，闪点 (开杯法) 219℃，着火点 246℃，色度 (APHA) <50，酸度 (以乙酸计) <0.01%，蒸气压 <6.666Pa (150℃)、133.3Pa (200℃)，膨胀系数 0.0007℃⁻¹ (20℃)，折射率 1.484 (25℃)，表面张力 0.032N/m (20℃)，在水中的溶解度 <0.01% (25℃)，水在本品中的溶解度 0.4% (25℃)，溶于大多数有机溶剂，完全溶于汽油、矿物油，微溶于甘油、乙二醇类及某些胺类。

用法及应用特点 本品可作为聚氯乙烯、氯乙烯共聚物、纤维素树脂和合成橡胶的主增塑剂，其一般性能与 DOP 大体相同，但电性能、增塑效率、低温性能略逊于 DOP，可代替 DOP 用于制作薄膜、片材、挤塑品和增塑糊。本品在增塑糊中特别适用，其初始粘度低，且储存过程中粘度的变化小。

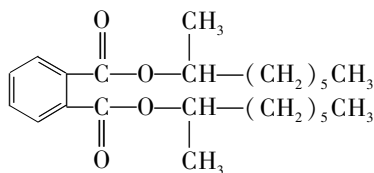
14. 邻苯二甲酸二仲辛酯

化学名 邻苯二甲酸二仲辛酯

英文名 Dicapryl phthalate, DCP

化学文摘 CAS No. 131-15-7

结构式



性质 淡黄色黏稠液体。相对分子质量 390.5，相对密度 0.965 ~ 0.978 (25℃)，粘度 0.05 ~ 0.06Pa · s (25℃)，凝固点 <-60℃，沸点 190℃ (133.3Pa)、210℃ (1333.2Pa，伴有分解)，闪点 (开杯法) 201 ~ 206℃，着火点 227 ~ 230℃，折射率 1.480 (20℃)，在水中的溶解度 <0.03% (25℃)，水在本品中的溶解度 <0.15% (25℃)，溶于多数普通溶剂。

用法及应用特点 本品可作为聚氯乙烯、硝酸纤维素等树脂的增塑剂，其一般性能类似于 DOP，但增塑效率、耐油性、耐汽油抽出性较低，耐热性、耐光性、耐候性较好，通常可用作 DOP 的代用品。本品在增塑糊中特别适用，粘度稳定性好。

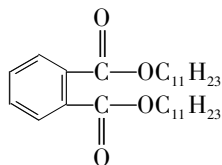
生产厂家 山东海化天合有机化工有限公司。

15. 邻苯二甲酸二异壬酯

化学名 邻苯二甲酸二异壬酯

英文名 Diisononyl phthalate, DINP

结构式



性质 透明油状液体，轻微气味。酯含量 ≥99.0%，水分 ≤0.1%，相对密度 0.973

~0.977 (25℃), 粘度 0.078 ~ 0.082 Pa·s (20℃), 闪点 (开杯法) ≥219℃, 折射率 1.484 ~ 1.488 (20℃), 酸值 ≤0.1 mgKOH/g, 色度 (Pt-Co) ≤30。

用法及应用特点 本品为性能优良的通用型主增塑剂, 与聚氯乙烯相容性好, 挥发性、迁移性好, 可作为聚氯乙烯等树脂的增塑剂, 性能优于 DOP, 能给予制品良好的耐光性、耐热性、耐老化性和电绝缘性能。

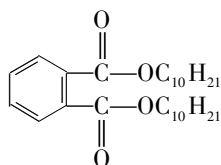
16. 邻苯二甲酸二异癸酯

化学名 邻苯二甲酸二异癸酯

英文名 Diisodecyl phthalate, DIDP

化学文摘 CAS No. 19269-67-1

结构式



性质 黏稠的油状液体, 微具气味。相对分子质量 446, 酯含量 >99%, 水分 <0.1%, 相对密度 0.961 ~ 0.969 (25℃), 粘度 0.083 ~ 0.125 Pa·s (20℃), 凝固点 <-20℃, 沸点 250 ~ 257℃ (533.3 Pa)、420℃ (101324.72 Pa), 闪点 (开杯法) 221 ~ 236℃, 着火点 271℃, 色度 (APHA) <50, 酸度 (以乙酸计) <0.01%, 蒸气压 <2.67 Pa (150℃)、46.7 Pa (200℃), 膨胀系数 0.00074℃⁻¹ (10 ~ 40℃), 折射率 1.484 (20℃), 表面张力 0.0325 N/m (23℃), 在水中的溶解度 <0.01% (25℃), 水在本品中的溶解度 0.9% (25℃), 溶于醇类、酮类、醚类、酯类、脂肪烃、芳香烃、氯代烃等有机溶剂, 微溶于甘油、乙二醇和某些胺类。

用法及应用特点 本品可作为乙烯基树脂、纤维素树脂的主增塑剂, 挥发性小, 耐迁移性、耐抽出性、电绝缘性出色, 含有本品的制品柔软性随温度的变化较小, 适用于使用温度范围宽的制品, 如电线电缆护套、农用薄膜、运输带等。本品的相对分子质量较高, 故相容性、增塑效率和耐寒性不及 DOP。本品用于增塑糊可给予糊料良好的流动性, 长期存放的粘度变化小。本品受热易变色, 通过与酚类抗氧化剂并用可以改善此性能。本品还可作为合成橡胶的增塑剂, 对胶料的硫化无影响。

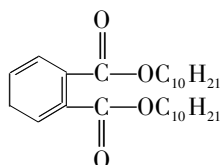
17. 邻苯二甲酸二癸酯

化学名 邻苯二甲酸二癸酯

英文名 Didecyl phthalate, DDP

化学文摘 CAS No. 84-77-5

结构式



性质 无色透明低粘度液体, 微具特殊气味。相对分子质量 446, 相对密度 0.961

~0.967 (25℃), 粘度 0.081 ~ 0.108 Pa · s (20℃), 流动点 -37℃, 沸点 249 ~ 256℃ (533.3 Pa), 闪点 (开杯法) 232℃, 折射率 1.4835 (20℃), 挥发度 0.3% (105℃, 24h)。

用法及应用特点 本品可作为乙烯基树脂和纤维素树脂的增塑剂。与 DOP 相比, 本品的挥发性很小, 仅为 DOP 的四分之一, 而且迁移性小, 耐抽出性好。

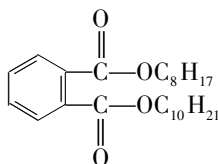
18. 邻苯二甲酸正辛·正癸酯

化学名 邻苯二甲酸正辛·正癸酯

英文名 *n*-Octyl-*n*-decyl phthalate

化学文摘 CAS No. 119-07-3

结构式



性质 流动性液体。相对密度 0.970 (25℃), 粘度 0.140 Pa · s (0℃)、0.0037 Pa · s (100℃), 凝固点 -28℃, 闪点 (开杯法) 227℃, 折射率 1.480 (25℃), 色度 (APHA) 25。

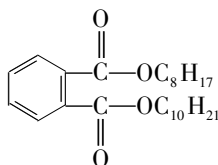
用法及应用特点 本品与聚氯乙烯、氯乙烯共聚物、硝酸纤维素、乙基纤维素、聚苯乙烯等有良好的相容性, 与乙酸纤维素、聚乙酸乙烯酯不相容, 可作为乙烯基树脂、纤维素树脂的增塑剂, 挥发性低, 适于高温加工使用, 其耐寒性, 柔软性比 DOP 好, 但略有迁移性。本品还可作为氯丁橡胶、丁腈橡胶、氯化橡胶的增塑剂。

19. 邻苯二甲酸异辛·异癸酯

化学名 邻苯二甲酸异辛·异癸酯

英文名 Isooctyl isodecyl phthalate

结构式



性质 无色透明的液体, 微具气味。相对分子质量 418, 相对密度 0.967 (25℃), 粘度 0.060 Pa · s (25℃), 凝固点 -48℃, 沸程 234 ~ 252℃ (666.6 Pa, 95% 馏出), 闪点 (开杯法) 221℃, 膨胀系数 $0.001^{\circ}\text{C}^{-1}$ (25 ~ 50℃), 折射率 1.482 ~ 1.486 (25℃), 表面张力 0.0343 N/m (25℃), 溶于丙酮、正丁醇、四氯化碳、环己酮、乙酸乙酯、乙醚、甲醇、甲乙酮、石脑油、甲苯等有机溶剂, 在水中的溶解度 < 0.1 mL/100 mL (25℃), 水在本品中的溶解度 0.1 mL/100 mL (25℃)。

用法及应用特点 本品与聚氯乙烯、氯乙烯共聚物, 乙基纤维素、硝酸纤维素、聚苯乙烯等树脂有良好的相容性, 可作为乙烯基树脂、纤维素树脂、天然橡胶和合成橡胶的增塑剂。

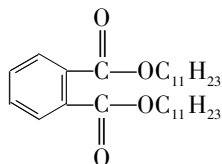
20. 邻苯二甲酸二（十一）酯

化学名 邻苯二甲酸二（十一）酯

英文名 Diundecyl phthalate, DUP

化学文摘 CAS No. 3648-20-2

结构式



性质 无色清亮液体。相对分子质量 475，相对密度 0.950 ~ 0.954（25℃），粘度 0.0537Pa·s（25℃），凝固点 < -10℃，沸点 262℃（1333.2Pa），折射率 1.481（25℃）。

用法及应用特点 本品可作为聚氯乙烯用主增塑剂，在邻苯二甲酸酯类增塑剂中，其耐挥发性和耐寒性均为上乘，电性能也很好，主要用于电线电缆料和汽车内装饰用品。

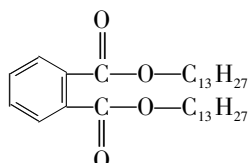
21. 邻苯二甲酸二（十三）酯

化学名 邻苯二甲酸二（十三）酯

英文名 Ditridecyl phthalate, DTDP

化学文摘 CAS No. 119-06-2

结构式



性质 黏稠透明液体。相对分子质量 530，酯含量 ≥ 99.6%，水分 < 0.10%，相对密度 0.950 ~ 0.956（20℃），粘度 0.210 ~ 0.225Pa·s（20℃），凝固点 -35℃，闪点 238 ~ 250℃，着火点 272℃，沸点 433℃（101324.72Pa）、280 ~ 290℃（533.3Pa），蒸气压 2.67Pa（150℃）、4.0Pa（200℃），膨胀系数 0.00076℃⁻¹，折射率 1.4845（25℃），表面张力 0.0342N/m，酸度（以乙酸计）< 0.01%，色度（APHA）20，溶于乙醇、甲苯、二甲苯和石油烃类溶剂，不溶于乙二醇和山梨糖醇，在水中的溶解度 < 0.01%（25℃），水在本品中的溶解度 < 0.20%（25℃）。

用法及应用特点 本品与聚氯乙烯、聚乙烯醇缩丁醛、氯乙烯-乙酸乙烯共聚物、硝酸纤维素、乙基纤维素有良好的相容性，可作为乙烯基树脂、纤维素树脂和合成橡胶的主增塑剂。本品电绝缘性好，耐挥发性和耐迁移性比邻苯二甲酸二异癸酯好，特别是高温性能尤佳。适用于高温用（90℃或105℃等级）聚氯乙烯电缆料及其他高温用制品。本品耐皂水抽出性好，可与聚合型增塑剂媲美，而且具有优越的耐菌性。本品在聚氯乙烯增塑糊中也很适用，可给予糊料良好的粘度稳定性。因相对分子质量较高，本品与树脂的相容性较低，此外，本品在加工时有受热变色之弊，这可通过与抗氧剂并用来

克服。

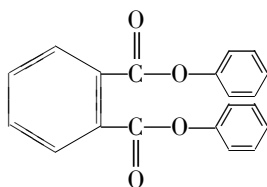
22. 邻苯二甲酸二苯酯

化学名 邻苯二甲酸二苯酯

英文名 Diphenyl phthalate

化学文摘 CAS No. 84-62-8

结构式



性质 白色结晶粉末，熔融后呈黄色或褐色。相对密度 1.28 (25℃)，游离酚含量 0.22%，水含量 0.25%，灰分 < 0.05%，熔点 69℃，沸点 257℃ (1333.2Pa)、405℃ (101324.72Pa)，闪点 224℃，折射率 1.572 (74℃)。

用法及应用特点 本品与氯乙烯类树脂、纤维素树脂、酚醛树脂、聚苯乙烯等有良好的相容性，可作为增塑剂、软化剂用于聚氯乙烯泡沫塑料、薄膜、油漆、热合及迟效性粘合剂，也可用于丁腈橡胶和丁苯橡胶。本品用于聚氯乙烯，可使高温 (150 ~ 170℃) 下的压延和挤塑操作容易进行，但冷却后本品易结晶，使制品变硬，因此用量不宜多。本品用于硝酸纤维素漆，可提高漆膜的硬度、光泽、耐候性和耐水性，常与其他增塑剂并用，以改善其柔软性。

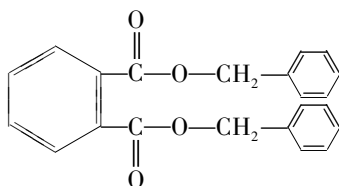
23. 邻苯二甲酸二苄酯

化学名 邻苯二甲酸二苄酯

英文名 Dibenzyl phthalate

化学文摘 CAS No. 523-31-9

结构式



性质 淡黄色液体，微具芳香气味。相对密度 1.17 (28℃)，凝固点 42 ~ 44℃，沸点 261℃ (666.6Pa)、291℃ (1999.8Pa)，皂化值 315mgKOH/g，可与大多数漆用溶剂混溶。

用法及应用特点 本品主要用作硝酸纤维素和合成橡胶的增塑剂，挥发性小，耐高温性能好，制品的低温柔软性也较好。

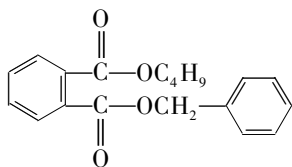
24. 邻苯二甲酸丁苄酯

化学名 邻苯二甲酸丁苄酯

英文名 Butyl benzyl phthalate, BBP

化学文摘 CAS No. 85-68-7

结构式



性质 无色油状透明液体，微具芳香味。相对分子质量 312，相对密度 1.111 ~ 1.123 (25℃)，酸值 $\leq 0.35 \text{ mgKOH/g}$ ，皂化值 $(355 \pm 5) \text{ mgKOH/g}$ ，灰分 $< 0.02\%$ ，粘度 $0.0415 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ (25℃)、 $0.061 \sim 0.063 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ (20℃)，凝固点 -35°C ，沸点 370°C (101324.72Pa)、 221°C (666.6Pa)，闪点 (开杯法) $199 \sim 210^\circ\text{C}$ ，着火点 240°C ，折射率 $1.535 \sim 1.540$ (25℃)，挥发速度 $0.0005 \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{h})$ (105℃)，溶于一般的有机溶剂，极难溶于水， 30°C 在水中的溶解度为 0.0003% 。

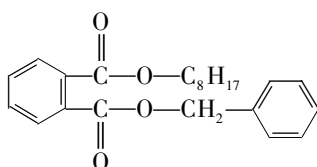
用法及应用特点 本品与大多数树脂有良好的相容性，溶剂化作用很强，高温挥发性小，耐热性、耐光性和耐寒性好，可作为聚氯乙烯、氯乙烯共聚物、纤维素树脂、天然橡胶和合成橡胶的增塑剂，特别是在聚氯乙烯中可显著改善其加工性。本品具有优良的电绝缘性、耐水性和耐油抽出性，动植物油对它的抽出量只有 DOP 的 $1/10 \sim 1/5$ 。由本品增塑制得的制品抗污染，耐磨耗。本品多与其他增塑剂配合用于地板砖、瓦楞板等高填充塑料制品。作为辅助增塑剂，本品与 DOP 等增塑剂并用于薄膜、人造革（本品能够溶解有机颜料），可给予制品优良的透明性和表面光滑性。本品还可用于后发泡的压延配方，降低加工温度，避免发泡剂过早分解。本品用于乙基纤维素可制得透明坚韧的板材、薄膜、模制品和热熔粘合剂。本品用于硝酸纤维素漆中可以获得透明柔韧的漆膜，但耐光性不及使用 DBP 的漆膜。

25. 邻苯二甲酸辛苄酯

化学名 邻苯二甲酸辛苄酯

英文名 Octyl benzyl phthalate, OBP

结构式



性质 透明油状液体，相对分子质量 368，相对密度 1.070 (25℃)，粘度 $0.053 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ (25℃)，凝固点 -45°C ，沸点 252°C (1333.2Pa)，折射率 1.526 (25℃)。

用法及应用特点 本品可作为聚氯乙烯树脂、丙烯酸树脂涂料的增塑剂，具有与低相对分子质量聚酯类增塑剂类似的性能，而且保持着单体型增塑剂良好的加工性能，特别适用于聚氯乙烯薄膜、板材、人造革、增塑糊、泡沫体以及聚丙烯酸酯油漆等。

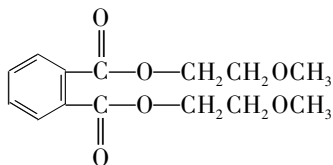
26. 邻苯二甲酸二（甲氧基乙）酯

化学名 邻苯二甲酸二（甲氧基乙）酯

英文名 Di (methoxyethyl) phthalate, DMEP

化学文摘 CAS No. 117-82-8

结构式



性质 浅色或无色液体，微具芳香味。相对分子质量 282，酯含量 >99%，相对密度 1.171 (20℃)，粘度 0.033Pa·s (25℃)，凝固点 -40℃，沸点 350℃ (101324.72Pa)，闪点 (开杯法) 210℃，着火点 222℃，色度 (APHA) <50，蒸气压 1.333Pa (20℃)、<33.33Pa (150℃)、733.3Pa (200℃)，膨胀系数 0.00076℃⁻¹ (10~40℃)，折射率 1.500 (25℃)，比热容 0.52J/(kg·K) (50~150℃)，表面张力 0.043N/m (20℃)，挥发速度 0.0041g/(1000cm²·h) (100℃)，在沸水中煮沸 96h 的水解量 0.132%，在水中的溶解度 0.85% (25℃)，水在本品中的溶解度 3.2% (25℃)，溶于甲醇、乙醇、丙酮、石脑油、矿物油、植物油等多数有机溶剂和油类，微溶于甘油、乙二醇及某些胺类。

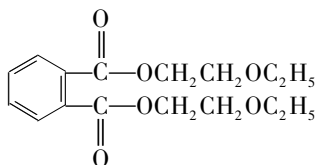
用法及应用特点 本品与大多数树脂有良好的相容性，可作为纤维素树脂、乙烯基树脂、合成橡胶的增塑剂，挥发性比 DBP、DEP 小，可给予制品良好的光稳定性和耐久性。本品耐油性和耐汽油性优异，制品外观光泽度好。本品为溶剂型增塑剂，主要用于乙酸纤维素提高薄膜的耐久性和强韧性，还可用于电缆涂料、乙酸纤维素模塑料、层压塑料粘合剂、电线用高强度漆等方面。本品用于橡胶时，对胶料的硫化无影响。本品在松节油中的溶解性在 30℃ 以下大为下降，这一性质可用于制造耐油性塑料和橡胶。

27. 邻苯二甲酸二(乙氧基乙)酯

化学名 邻苯二甲酸二(乙氧基乙)酯

英文名 Di(ethoxyethyl) phthalate

结构式



性质 白色玻璃状固体，微具气味。相对分子质量 310，相对密度 1.120 (20℃)，凝固点 31℃，沸点 345℃ (101324.72Pa，伴有分解)，闪点 186℃，着火点 220℃，色度 (APHA) <50，蒸气压 1.333Pa (20℃)、533.3Pa (200℃)，折射率 1.491 (25℃)，表面张力 0.00073N/m (20~40℃)，在水中的溶解度 0.25% (25℃)，水在本品中的溶解度 2% (25℃)，溶于大多数有机溶剂，微溶于甘油、乙二醇和某些胺类。

用法及应用特点 本品溶解作用强，可溶解乙酸纤维素、硝酸纤维素，也可与乙基纤维素、氯乙烯-乙酸乙烯共聚物相容，作为溶剂型增塑剂主要用于涂料、人造革等方面，制品的耐油性好。

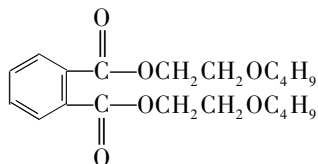
28. 邻苯二甲酸二（丁氧基乙）酯

化学名 邻苯二甲酸二（丁氧基乙）酯

英文名 Di (butoxyethyl) phthalate, DBEP

化学文摘 CAS No. 117-83-9

结构式



性质 无色透明液体。相对分子质量 366，酯含量 >99%，水分 <0.1%，灰分 <0.02%，相对密度 1.057 ~ 1.060（20℃），粘度 0.030Pa·s（25℃），凝固点 -50 ~ -47℃，沸点 335℃（101324.72Pa），闪点（开杯法）204 ~ 208℃，着火点 243℃，色度（APHA）<20，酸度（以邻苯二甲酸计）<0.1%，膨胀系数 0.00077℃⁻¹（10 ~ 40℃），蒸气压 1.333Pa（20℃）、160.0Pa（200℃），表面张力 0.033N/m（20℃），在沸水中回流 2h 的水解度 0.04%，在水中的溶解度 0.03%（25℃），水在本品中的溶解度 0.75%（25℃），完全溶于汽油，溶于矿物油，微溶于甘油、乙二醇和一些胺类。

用法及应用特点 本品与树脂的相容性好，可作为乙烯基树脂、硝酸纤维素、乙基纤维素等树脂的增塑剂，能增快树脂的熔融，改进其流动性质，只需用 10% ~ 20% 的本品代替一般的增塑剂，就可以消除气泡，得到优良的压延制品。本品的增塑效率比邻苯二甲酸二丁酯高，更兼蒸气压极低，挥发性小，耐水解和耐水抽出性好，可给予制品良好的低温柔软性和紫外线稳定性。本品用于增塑糊和有机溶胶中，可以降低初始粘度和塑化温度。

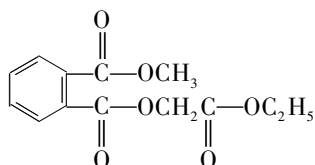
29. 甲基邻苯二甲酰基乙醇酸乙酯

化学名 甲基邻苯二甲酰基乙醇酸乙酯

别名 邻苯二甲酸甲（乙醇酸乙酯）酯

英文名 Methyl phthalate ethyl glycollate, MPEG

结构式



性质 无色透明液体，微具水果味。相对分子质量 266，相对密度 1.220（20℃），色度（APHA）<20，酸度（以乙酸计）<0.02%，凝固点 -35℃，沸点 310℃（101324.72Pa）、189℃（666.6Pa），闪点（开杯法）190 ~ 193℃，折射率 1.504 ± 0.002（25℃），挥发速度 0.000221g/（cm²·h）（100℃），在水中的溶解度 0.09%（质量）（30℃），溶于大多数漆用溶剂，但不溶于蓖麻油、亚麻子油、石油烃之类的油类。

用法及应用特点 本品在 -30℃ 的低温下仍能保持液态，可作为乙酸纤维素、硝酸纤维素的溶剂型增塑剂，对乙酸纤维素的增塑效果最高，具有优良的耐光性、耐老化

性、耐湿性，混合成型时不需要溶剂，一般用量 5% ~ 40%。本品在乙酸纤维素中的保持性取决于树脂中的乙酸基含量，当乙酸纤维素中的乙酸基含量高时，本品易渗出。本品也可用作乙烯基树脂、醇酸树脂、聚苯乙烯、酚醛树脂、天然橡胶和合成橡胶的增塑剂，在耐油性制品中尤为适用。

30. 乙基邻苯二甲酰基乙醇酸乙酯

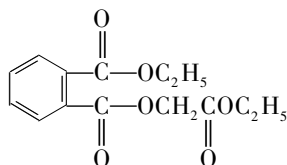
化学名 乙基邻苯二甲酰基乙醇酸乙酯

别名 邻苯二甲酸乙（乙醇酸乙酯）酯

英文名 Ethyl phthalate ethyl glycollate, EPEG

化学文摘 CAS No. 84-72-0

结构式



性质 无色液体，微具气味。相对分子质量 280，相对密度 1.184 (20℃)，粘度 0.063 Pa·s (25℃)，色度 (APHA) < 25，酸度 (以乙酸计) < 0.02%，凝固点 20℃，沸点 310℃ (101324.72 Pa)，190℃ (666.6 Pa)，闪点 (开杯法) 193 ~ 196℃，折射率 1.490 (25℃)，挥发速度 0.0001106 g/(cm²·h) (100℃)，在水中的溶解度 0.0175% (质量) (30℃)，溶于大多数普通的有机溶剂，不溶于石油烃，可溶于热植物油，但冷却时有部分析出。

用法及应用特点 本品对乙基纤维素、醇酸树脂、聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚乙酸乙烯酯及一些合成橡胶等都有很好的相容性，挥发性小，溶剂化作用强，具有良好的耐光性、耐湿性，特别适宜作乙酸纤维素和硝酸纤维素的溶剂型增塑剂。本品用于纤维素漆时可给予漆膜优良的柔韧性和弹性。由于具有很好的相容性，本品可作为上述树脂的增塑剂或溶剂使用。

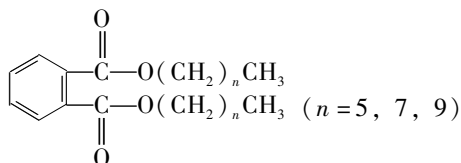
31. 邻苯二甲酸 C₆ ~ C₁₀ 正构醇混合酯

化学名 邻苯二甲酸 C₆ ~ C₁₀ 正构醇混合酯

别名 610 酯

英文名 Mixed phthalates of C₆ ~ C₁₀ normal alcohols

结构式



性质 近乎无色的油状液体。平均相对分子质量 401，相对密度 0.977 (20℃)，粘度 0.042 Pa·s (20℃)，凝固点 -50 ~ -40℃，沸点 208 ~ 255℃ (399.9 Pa)，闪点 240℃，着火点 307℃，蒸汽压 40.0 Pa (150℃)、200.0 Pa (200℃)，膨胀系数 0.00075℃⁻¹ (10 ~ 40℃)，折射率 1.483 (25℃)，表面张力 0.0339 N/m (20℃)，在水

中的溶解度 $<0.01\%$ (25°C)，水在本品中的溶解度 0.15% (25°C)，微溶于甘油、乙二醇和某些胺类，溶于大多数有机溶剂和烃类。

用法及应用特点 本品可作为聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚甲基丙烯酸甲酯、聚乙烯醇缩丁醛、硝酸纤维素、乙酸纤维素和合成橡胶的增塑剂。与支链醇酯类相比，本品具有许多优点，如增塑效率高、透明性好、挥发性低、迁移性小、耐寒性和耐水抽出性好等，电性能亦佳。本品可单独使用，也可与支链醇酯类并用，以改善后者的性能。本品用于增塑糊可给予适宜的低初始粘度和良好的使用期限。

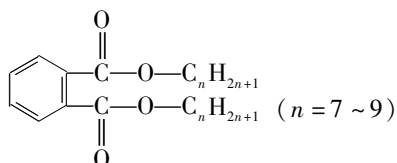
32. 邻苯二甲酸 $\text{C}_7 \sim \text{C}_9$ 醇混合酯

化学名 邻苯二甲酸 $\text{C}_7 \sim \text{C}_9$ 醇混合酯

别名 79 酯

英文名 Mixed phthalates of $\text{C}_7 \sim \text{C}_9$ alcohols

结构式



性质 油状液体。相对分子质量 $380 \sim 390$ ，相对密度 $0.980 \sim 0.989$ (20°C)，粘度 $0.0365 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ (20°C)，色度 (APHA) <30 ，凝固点 -60°C ，闪点 $208 \sim 215^{\circ}\text{C}$ ，折射率 1.4828 (35°C)。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯、氯乙烯共聚物等树脂的主增塑剂，可作为 DOP 的代用品，具有优良的耐寒性和耐挥发性，耐热性和电绝缘性也好，适用于电绝缘制品。本品用于增塑糊时，糊料的初始粘度低，粘度稳定性好。本品气味较大、色度较深。

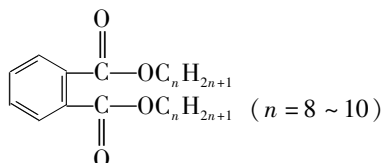
33. 邻苯二甲酸 $\text{C}_8 \sim \text{C}_{10}$ 正构醇混合酯

化学名 邻苯二甲酸 $\text{C}_8 \sim \text{C}_{10}$ 正构醇混合酯

别名 810 酯

英文名 Mixed phthalates of $\text{C}_8 \sim \text{C}_{10}$ normal alcohols

结构式



性质 近乎无色的油状液体。平均相对分子质量 418 ，相对密度 $0.968 \sim 0.974$ (20°C)，水分 $<0.1\%$ ，粘度 $0.046 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ (20°C)，色度 (APHA) <50 ，酸度 (以邻苯二甲酸计) $<0.025\%$ ，凝固点 -33°C ，闪点 229°C ，着火点 266°C ，蒸气压 2.67 Pa (150°C)、 82.66 Pa (200°C)，膨胀系数 $0.00075^{\circ}\text{C}^{-1}$ ，折射率 1.483 (25°C)，表面张力 0.034 N/m ，微溶于甘油、乙二醇和某些胺类，溶于大多数有机溶剂和烃类，难溶于水，在水中的溶解度 $<0.01\%$ (25°C)，水在本品中的溶解度 0.14% (25°C)。

用法及应用特点 本品可作为聚氯乙烯及氯乙烯共聚物的主增塑剂，其耐挥发性、耐热性、耐寒性及耐水抽出性均比 610 酯更好，特别适用于要求耐久性和耐低温性能的制品。本品用于增塑糊中可以降低糊料的初始粘度。

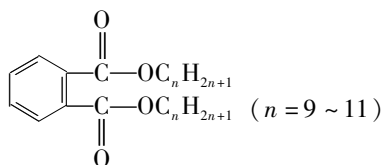
34. 邻苯二甲酸 $C_9 \sim C_{11}$ 醇混合酯

化学名 邻苯二甲酸 $C_9 \sim C_{11}$ 醇混合酯

别名 911 酯

英文名 Mixed phthalates of $C_9 \sim C_{11}$ alcohols

结构式



性质 油状液体。平均相对分子质量 450，相对密度 0.965 ~ 0.967 (20℃)，粘度 0.075 Pa·s (20℃)、0.049 Pa·s (25℃)，凝固点 < -18℃，沸点 250℃ (666.6 Pa)。

用法及应用特点 本品可作为聚氯乙烯、氯乙烯共聚物等树脂的增塑剂，耐寒性极佳，挥发性低，耐热性和耐水抽出性良好，用本品增塑的制品的物性优于 DOP 增塑的制品。本品用于增塑糊中可给予糊料良好的粘度稳定性。

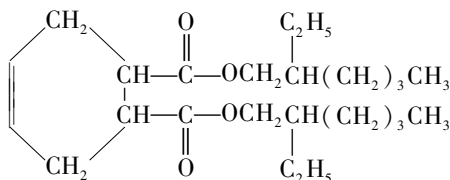
35. 四氢化邻苯二甲酸二(2-乙基己)酯

化学名 四氢化邻苯二甲酸二(2-乙基己)酯

别名 四氢化邻苯二甲酸二辛酯

英文名 Di-(2-ethylhexyl) tetrahydrophthalate, DOTP

结构式



性质 清澈明亮的液体。相对分子质量 395，相对密度 0.969 (20℃)，粘度 0.0472 Pa·s (20℃)，色度 (APHA) 30，沸点 220℃ (666.6 Pa)，蒸气压 266.6 Pa (200℃)，不溶于水，水在本品中的溶解度 0.26% (20℃)。

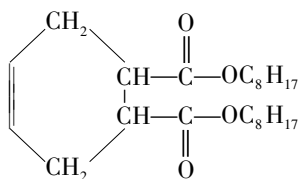
用法及应用特点 本品系脂环族二元酸的酯，可作为乙烯基树脂和一些纤维素树脂的增塑剂。与其他邻苯二甲酸酯类相比，本品的挥发性小，耐寒性和对增塑糊的粘度稳定性好，主要用于人造革、薄膜、增塑糊、管材等制品中，由本品增塑的制品具有优良的低温柔软性和电性能。本品用于聚氯乙烯时，在加入的几周后有渗出之弊，与邻苯二甲酸二辛酯并用可克服，并用比例一般为 3 份本品 + 1 份 DOP。本品与邻苯二甲酸二辛酯的并用体系用于增塑糊时，可以保持糊料在存放过程中粘度的稳定性。

36. 四氢化邻苯二甲酸二正辛酯

化学名 四氢化邻苯二甲酸二正辛酯

英文名 Di-*n*-octyl tetrahydrophthalate, *n*-OTP

结构式



性质 油状液体。相对分子质量 395，相对密度 0.942 (20℃)，粘度 0.0339Pa·s (20℃)，色度 (APHA) 30，闪点 208℃。

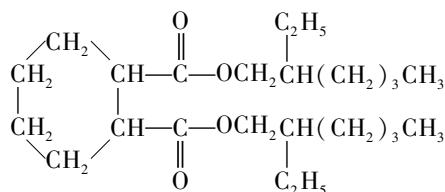
用法及应用特点 本品的性能和用途与 DOTP 相同，耐寒性尤佳，比 DOP 好得多。

37. 六氢化邻苯二甲酸二(2-乙基己)酯

化学名 六氢化邻苯二甲酸二(2-乙基己)酯

英文名 Di(2-ethylhexyl) hexahydrophthalate

结构式



性质 油状液体。相对分子质量 396.6，相对密度 0.9550 ~ 0.9600 (20℃)，粘度 0.0421Pa·s (20℃)，色度 (APHA) < 25，酸度 (以乙酸计) < 0.02%，凝固点 -53℃，沸点 216℃ (666.6Pa)，闪点 (开杯法) 218.3℃，膨胀系数 0.00077℃⁻¹ (20℃)，蒸气压 293.3Pa (200℃)，折射率 1.4619 (20℃)。

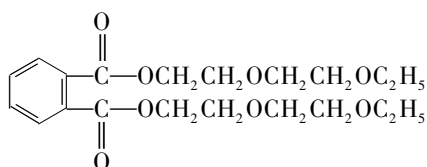
用法及应用特点 本品在化学结构上与邻苯二甲酸二(2-乙基己)酯类似，两者在基本性能上也有许多相似之处，可作为聚氯乙烯及氯乙烯共聚物的主增塑剂，用于压延、挤塑、模塑制品及增塑糊，既适用于透明制品，也适用于着色制品。使用本品增塑的制品，其高温强度及低温 (-15℃) 柔软性优于四氢化邻苯二甲酸酯增塑的制品，而且耐紫外线性耐湿性好。

38. 邻苯二甲酸双(乙氧基乙氧基乙)酯

化学名 邻苯二甲酸双(乙氧基乙氧基乙)酯

英文名 Bis(ethoxy ethoxy ethyl) phthalate

结构式



性质 淡黄色液体。相对分子质量 398，相对密度 1.121 ~ 1.141 (20℃)，水含量 < 0.1%，粘度 0.082Pa·s (20℃)，色度 (APHA) < 500，酸度 (以乙酸计) <

0.06%，凝固点 -35°C ，沸程 $220 \sim 260^{\circ}\text{C}$ (533.3Pa，有 15% ~ 35% 的非馏出物)，闪点 201°C ，着火点 260°C ，蒸气压 $< 13.33\text{Pa}$ (150°C)、 186.7Pa (200°C)，膨胀系数 $0.00079^{\circ}\text{C}^{-1}$ ($10 \sim 40^{\circ}\text{C}$)，折射率 1.492 ± 0.002 (25°C)，表面张力 0.040N/m (20°C)，比热容 $0.55\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ($50 \sim 150^{\circ}\text{C}$)，溶于丙酮、乙酸乙酯和甲苯等大多数有机溶剂，不溶于或微溶于甘油、乙二醇类和某些胺类，溶解度 (25°C) 水中 0.8%、汽油中 2.1% (体积)、矿物油中 1%，水在本品中的溶解度 4% ~ 6%。

用法及应用特点 本品可作为聚乙酸乙烯酯、硝酸纤维素、乙酸纤维素和合成橡胶的主增塑剂，给予制品优良的柔韧性、透明性和粘合性，特别适用于涂料和粘合剂。本品与聚氯乙烯的相容性差，用量大时易渗出。

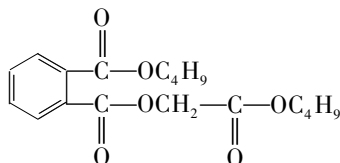
39. 丁基邻苯二甲酰基乙醇酸丁酯

化学名 丁基邻苯二甲酰基乙醇酸丁酯

英文名 Butyl phthalyl butyl glycollate

化学文摘 CAS No. 85-70-1

结构式



性质 几乎无色的油状液体，无味，无臭。相对分子质量 336.4，凝固点 -35°C ，沸点 345°C (0.1MPa)、 219°C (0.67kPa)，折射率 1.490 (25°C)，闪点 (开杯法) 199°C ，粘度 $51\text{mPa} \cdot \text{s}$ ，水中溶解度 0.0012% (30°C)，可与蓖麻油、亚麻子油、中国桐油混溶。

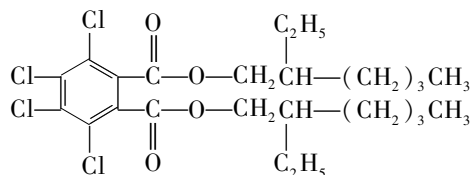
用法及应用特点 本品有良好的耐光性、耐碱性、耐寒性，与大部分树脂相容性较好，适用于 PVC、PS、丙烯酸树脂和醇酸树脂，用量为 5% ~ 10%。本品用于苯酚树脂、聚乙酸乙烯酯和乙酸丁酯纤维素时，用量为 30% 左右；用于乙酸丙烯纤维素、聚乙烯醇缩丁醛、氯化橡胶时，用量为 10% ~ 25%。本品可给予制品优良的柔软性、耐候性和弹性，耐油和耐溶剂抽出性好，特别适用于制作食品包装和医疗用输血管、输液袋等。

40. 四氯邻苯二甲酸二辛酯

化学名 四氯邻苯二甲酸二辛酯

英文名 Dioctyl tetrachloro phthalate, DOTCP

结构式



性质 无色透明溶液。

用法及应用特点 本品具有阻燃和增塑的双重功能，具有良好的光、热稳定性及优

异的电性能和低挥发性，可作为聚乙烯树脂的新型阻燃性增塑剂。

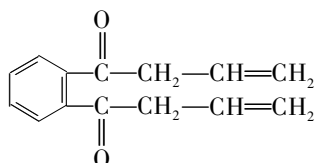
41. 邻苯二甲酸二烯丙酯

化学名 邻苯二甲酸二烯丙酯

英文名 Diallyl phthalate, DAP

化学文摘 CAS No. 131-17-9

结构式



性质 无色或淡黄色油状液体，气味温和，易燃，有催泪性。相对分子质量 246，熔点 -70°C ，沸点 $158 \sim 165^{\circ}\text{C}$ (533.29Pa)，相对密度 1.120 (20°C)，粘度 $13\text{mPa} \cdot \text{s}$ (20°C)，折射率 1.520 (20°C)，闪点 165.7，溶于乙醚、丙酮、乙酸乙酯、苯、甲苯等，不溶于水，在汽油、矿物油、甘油、乙二醇中部分溶解。

用法及应用特点 本品可用作不加抑制剂易自聚的树脂的增塑剂，还可用于邻苯二甲酸二异丙酯树脂 (DAP)、不饱和聚酯树脂的交联剂、纤维素树脂的增塑剂。

(二) 间苯二甲酸酯类

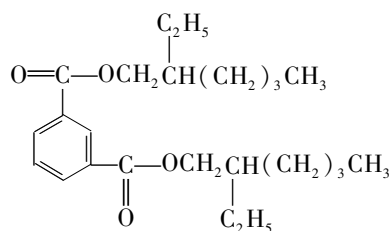
1. 间苯二甲酸二(2-乙基己)酯

化学名 间苯二甲酸二(2-乙基己)酯

别名 间苯二甲酸二辛酯

英文名 Di-(2-ethylhexyl) isophthalate, Dioctyl isophthalate, DOIP

结构式



性质 透明油状液体，微具气味。相对分子质量 390.5，相对密度 0.982 ~ 0.983 (25°C)，酯含量 $>99.5\%$ ，水分 $<0.1\%$ ，粘度 $0.087\text{Pa} \cdot \text{s}$ ，色度 (APHA) <50 ，酸度 (以乙酸计) $<0.01\%$ ，流动点 $-44 \sim -43^{\circ}\text{C}$ ，沸点 241°C (666.6Pa)，闪点 (开杯法) 232°C ，着火点 265.5°C ，蒸气压 92.0Pa (200°C)，膨胀系数 $0.00076^{\circ}\text{C}^{-1}$ (20°C)，在水中的溶解度 $<0.01\%$ (20°C)，水在本品中的溶解度 0.07% (20°C)。

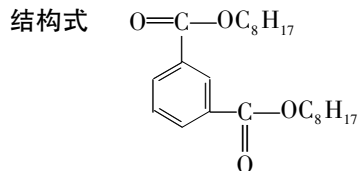
用法及应用特点 本品可作为聚氯乙烯、氯乙烯共聚物、乙基纤维素、硝酸纤维素、氯化橡胶等聚合物的增塑剂，成本低廉，可以代替 DOP 用于各种聚氯乙烯软质制品，电气性能优良，低温性能、热和光稳定性也很好。与 DOP 相比，本品的挥发性低，耐抽出性好，但增塑效率不及 DOP。本品用于增塑糊中，可给予糊料低的初始粘度，而且在储存过程中粘度变化小。本品特别适用于与硝酸纤维素漆膜接触的聚氯乙烯制品，

它向漆膜的迁移性非常小。

2. 间苯二甲酸二异辛酯

化学名 间苯二甲酸二异辛酯

英文名 Diisooctyl isophthalate, DIOIP



性质 无色液体。相对分子质量 258，相对密度 0.961 ~ 0.965 (20℃)，粘度 0.005 ~ 0.006 Pa·s (20℃)，凝固点 -20℃，沸点 168℃ (1333.2 Pa)，闪点 (开杯法) 150 ~ 175℃，折射率 1.434 (25℃)，不溶于水。

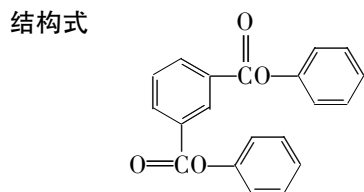
用法及应用特点 本品与聚氯乙烯、氯乙烯-乙酸乙烯共聚物、聚乙烯醇缩丁醛、聚乙酸乙烯酯、硝酸纤维素、乙基纤维素相容，与乙酸纤维素部分相容，可作为乙烯基树脂、纤维素树脂及合成橡胶的增塑剂。本品粘度低，耐寒性优良，但易挥发，持久性较差，在聚氯乙烯中的配合量不易过大。本品有良好的凝胶化特性，可用于硝基纤维素涂料。

3. 间苯二甲酸二苯酯

化学名 间苯二甲酸二苯酯

英文名 Diphenyl *m*-phthalate

化学文摘 CASNo. 744-45-6



性质 白色结晶。相对分子质量 318.33，熔点 141 ~ 142℃，溶于醇和丙酮，不溶于水。

用法及应用特点 本品主要适用于尼龙，也可作为有机合成的中间体或聚合物的单体组分之一。

(三) 己二酸酯类

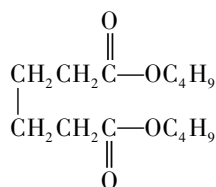
1. 己二酸二正丁酯

化学名 己二酸二正丁酯

英文名 Di-*n*-butyl adipate

化学文摘 CAS No. 105-99-7

结构式



性质 无色液体。相对分子质量 258，相对密度 0.961 ~ 0.965 (20℃)，粘度 0.005 ~ 0.006 Pa·s (20℃)，凝固点 -20℃，沸点 168℃ (1333.2 Pa)，闪点 (开杯法) 150 ~ 175℃，折射率 1.434 (25℃)，不溶于水。

用法及应用特点 本品与聚氯乙烯、氯乙烯-乙酸乙烯共聚物、聚乙烯醇缩丁醛、聚乙酸乙烯酯、硝酸纤维素、乙基纤维素相容，与乙酸纤维素部分相容，可作为乙烯基树脂、纤维素树脂及合成橡胶的增塑剂。本品粘度低，耐寒性优良，但易挥发，持久性较差，在聚氯乙烯中的配合量不易过大。本品有良好的凝胶化特性，可用于硝基纤维素涂料。

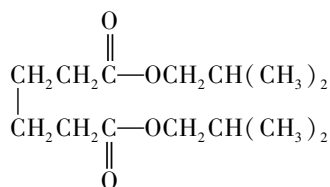
2. 己二酸二异丁酯

化学名 己二酸二异丁酯

英文名 Diisobutyl adipate, DIBA

化学文摘 CAS No. 141-04-8

结构式



性质 无色无味的液体。相对分子质量 258，相对密度 0.950 ~ 0.957 (20℃)，粘度 0.020 Pa·s (20℃)，色度 (APHA) < 20，酸度 (以乙酸计) < 0.01%，凝固点 -20℃，沸程 145 ~ 163℃ (533.3 Pa，馏出物 > 99%)，闪点 (开杯法) 160℃，着火点 166℃，折射率 1.4293 (25℃)，挥发度 3.8% (105℃, 4h)，水解度 0.02% (100℃, 24h)，不溶于水。

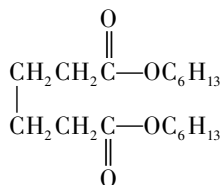
用法及应用特点 本品与聚氯乙烯、氯乙烯-乙酸乙烯共聚物、聚乙酸乙烯酯、硝酸纤维素等有良好的相容性，可作为乙烯基树脂的增塑剂。增塑效率高，加工性优良，可以改善制品的低温柔软性，降低其压缩永久变形，多用于低温使用的模具机械零件、垫片、软管及冷冻食品的包装材料等。本品挥发性较大，耐久性较差。

3. 己二酸二正己酯

化学名 己二酸二正己酯

英文名 Di-*n*-hexyl adipate

结构式



性质 油状液体，微具特殊气味。相对分子质量 314，相对密度 0.929 ~ 0.936 (25℃)，粘度 0.078Pa·s (25℃)，色度 (APHA) < 50，皂化值 351 ~ 358mgKOH/g，凝固点 < -20℃，沸点 205℃ (1066.6Pa)，闪点 185℃，着火点 209℃，折射率 1.4393 (25℃)，在水中的溶解度 0.02% (25℃)，溶于丙酮、甲醇、矿物油、甲苯、植物油、乙酸乙酯、氯仿，不溶于甘油。

用法及应用特点 本品可作为聚氯乙烯、硝酸纤维素、聚乙酸乙烯酯的耐寒性增塑剂。

4. 己二酸二(2-乙基己)酯

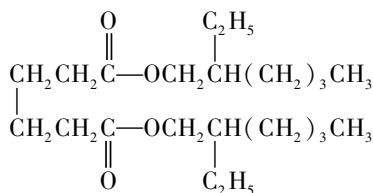
化学名 己二酸二(2-乙基己)酯

别名 己二酸二辛酯

英文名 Dioctyl adipate, Di(2-ethylhexyl) adipate, DOA, DEHA

化学文摘 GAS No. 103-23-1

结构式



性质 无色透明油状液体，微具气味。相对分子质量 371，相对密度 0.921 ~ 0.927 (25℃)，酯含量 ≥ 99%，酸值 ≤ 0.2mgKOH/g，挥发分 < 0.3%，粘度 0.012 ~ 0.015Pa·s (20℃)，凝固点 -75℃，沸点 215℃ (666.6Pa)，闪点 (开杯法) 192 ~ 206℃，着火点 229℃，色度 (APHA) < 30，蒸气压 < 20.0Pa (150℃)、333.3Pa (200℃)，膨胀系数约 0.00078℃⁻¹ (10 ~ 40℃)，折射率 1.444 ~ 1.448 (25℃)，比热容 0.59J/(kg·K) (50 ~ 150℃)，挥发速度 3.5mg/(cm²·h) (150℃)，加热减量 < 0.10% (125℃, 3h)，表面张力 0.029N/m (20℃)，体积电阻率 2 × 10¹¹Ω·cm (30℃)，不溶于水，水在本品中的溶解度 0.2% (25℃)，溶于氯仿、汽油、乙酸乙酯、甲醇、甲苯、矿物油、植物油等有机溶剂，微溶于乙二醇类。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯、氯乙烯共聚物、聚苯乙烯、硝酸纤维素、乙基纤维素和合成橡胶的典型耐寒性增塑剂。增塑效率高，受热变色性小，可给予制品良好的低温柔软性和耐光性。本品在加工时显示良好的润滑性，制品的手感性好，多与 DOP、DBP 等主增塑剂并用于耐寒性农业薄膜、冷冻食品包装膜、电线电缆包覆层、人造革、板材、户外用水管等。本品用于增塑糊时，糊料的初始粘度低，粘度稳定性好。本品的挥发性较大，耐水性、迁移性、电绝缘性等方面也都有一定不足，使用时应予注

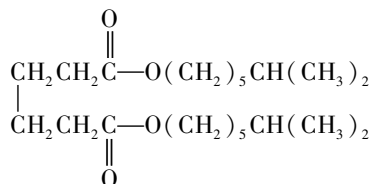
意。

5. 己二酸二异辛酯

化学名 己二酸二异辛酯

英文名 Diisooctyl adipate, DIOA

结构式



性质 无色油状液体，微具特殊气味。相对分子质量 370.3，相对密度 0.928 (20℃)，酯含量 > 99%，水分 < 0.1%，灰分 < 0.01%，粘度 0.0177 ~ 0.0270 Pa·s (20℃)，色度 (APHA) < 50，酸度 (以己二酸计) < 0.02%，凝固点 -70 ~ -40℃，沸点 215 ~ 218℃ (666.6Pa)，闪点 (开杯法) 195 ~ 210℃，着火点 236℃，蒸气压 < 16.0Pa (150℃)、200.0Pa (200℃)，膨胀系数 0.0008℃⁻¹，折射率 1.445 ~ 1.449 (20℃)，表面张力 0.030N/m，比热容 0.6J/(kg·K) (50 ~ 150℃)，不溶于水，水在本品中的溶解度 0.2% (25℃)，溶于氯仿、乙酸乙酯、丙酮、甲醇、甲苯、矿物油、植物油、汽油等有机溶剂。

用法及应用特点 本品与聚氯乙烯、氯乙烯共聚物、聚苯乙烯、硝酸纤维素、乙基纤维素、聚甲基丙烯酸甲酯等树脂有良好的相容性，可作为多种树脂的耐寒性增塑剂，特别是用于聚氯乙烯和氯乙烯共聚物。本品的增塑效率高，低温柔软性好，耐水抽出性、耐热性和耐光性高。使用本品增塑的制品有良好的手感，电性能亦佳，体积电阻率低，因而有抗静电作用。本品有良好的加工性，可以改善压延操作。用于增塑糊时，糊料的粘度低。在硝酸纤维素、乙基纤维素中加入少量本品即可获得透明而富有弹性的薄膜。本品还可作为天然橡胶、丁苯橡胶的增塑剂和软化剂。

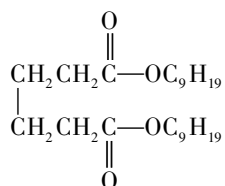
6. 己二酸二异壬酯

化学名 己二酸二异壬酯

英文名 Diisononyl adipate, DINA

化学文摘 CAS No. 33703-08-1

结构式



性质 无色透明液体。相对分子质量 398，相对密度 0.924 ~ 0.930 (20℃)，粘度 0.022 ~ 0.25 Pa·s (20℃)，凝固点 -65 ~ -59℃，闪点 (开杯法) 225℃，折射率 1.446 ~ 1.451 (25℃)。

用法及应用特点 本品挥发性小，耐热性、耐候性优良，制品的手感好，可作为聚

氯乙烯、氯乙烯共聚物等树脂的耐寒性增塑剂，低温柔软性与己二酸二辛酯大体相当。

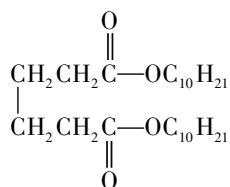
7. 己二酸二异癸酯

化学名 己二酸二异癸酯

英文名 Diisodecyl adipate, DIDA

化学文摘 CAS No. 27187-16-1

结构式



性质 具气味的清亮油状液体。相对分子质量 426，相对密度 0.914 ~ 0.922 (20℃)，酯含量 > 99.6%，水分 < 0.10%，粘度 0.026 ~ 0.028 Pa·s (20℃)，色度 (APHA) < 50，酸度 (以乙酸计) < 0.01%，凝固点 -84 ~ -43℃，沸点 239 ~ 248℃ (533.3 Pa)，闪点 229℃，膨胀系数 0.0012℃⁻¹ (25 ~ 50℃)，折射率 1.4495 ~ 1.4510 (25℃)，表面张力 0.0336 N/m (25℃)，体积电阻率 > 2 × 10¹¹ Ω·cm，加热减量 < 0.10% (125℃, 3h)，溶于丙酮、正丁醇、四氯化碳、环己酮、乙酸乙酯、乙醚、甲醇、环己酮、甲苯等有机溶剂。

用法及应用特点 本品与许多树脂有良好的相容性，耐水性、迁移性和电绝缘性亦优，可为乙烯基树脂、纤维素树脂的优良耐寒性增塑剂，但耐寒性不及 DOA。本品挥发性低，在聚氯乙烯中其挥发性仅为 DOA 的三分之一。本品与聚氯乙烯的相容性较差，多与 DOP 之类的主增塑剂并用，用于人造革、薄膜、片材、板材、电线和电缆护套、户外用水管等，可给予制品良好的耐寒性和耐久性。本品与 DOP 并用于增塑糊中可降低初始粘度，提高粘度的稳定性。本品亦可作为天然橡胶和合成橡胶的增塑剂，对胶料的硫化无影响。本品的缺点是加工时易受热变色，这可通过与抗氧剂并用予以改善。

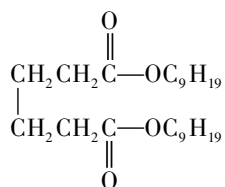
8. 己二酸二壬酯

化学名 己二酸二壬酯

英文名 Dinonyl adipate, DNA

化学文摘 CAS No. 33703-08-1

结构式



性质 微具气味的明亮液体。相对分子质量 398，相对密度 0.9150 ~ 0.9168 (20℃)，酯含量 > 99%，酸度 (以己二酸计) < 0.025%，水分 < 0.1%，灰分 < 0.01%，铁含量 < 15 × 10⁻⁶，粘度 0.019 Pa·s (25℃)，凝固点 -65℃，沸点 206℃

(666.6Pa), 闪点(开杯法) 202~232℃, 着火点 235℃, 折射率 1.445 (25℃), 体积电阻率 $4.4 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ 。

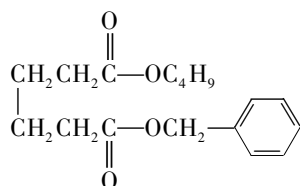
用法及应用特点 本品为耐寒性增塑剂, 适用于聚氯乙烯、氯乙烯共聚物、硝酸纤维素、乙基纤维素、聚苯乙烯和某些合成橡胶, 具有优良的耐热性、耐光性和电性能, 特别适用于电绝缘材料。但本品的耐寒性不及其他己二酸酯类, 加之三甲基己醇的来源有限, 故其应用不广。

9. 己二酸正丁苄酯

化学名 己二酸正丁苄酯

英文名 Benzyl-*n*-butyl adipate

结构式



性质 无色液体。相对分子质量 292, 相对密度 1.12, 粘度 0.060Pa·s (20℃), 凝固点 -35℃, 沸点 235~254℃ (1333.2Pa), 闪点 180℃, 折射率 1.540 (20℃), 挥发度 <1.2% (90℃, 24h), 不溶于水, 可与大多数有机溶剂混溶。

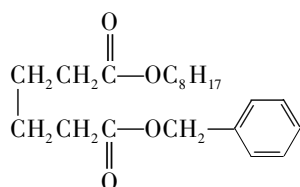
用法及应用特点 本品可作为乙烯基树脂、纤维素树脂和合成橡胶的增塑剂, 效能与己二酸二正丁酯类似, 但挥发性较高, 耐光性较差。

10. 己二酸辛苄酯

化学名 己二酸辛苄酯

英文名 Benzyl octyl adipate, BOA

结构式



性质 浅黄色液体。相对分子质量 348, 相对密度 1.003~1.008 (20℃), 粘度 0.016~0.017Pa·s (20℃), 凝固点 <-60℃, 沸点 235~255℃ (1333.2Pa), 闪点(开杯法) 200~220℃, 折射率 1.479~1.482 (20℃), 挥发度 <1% (90℃, 24h), 不溶于水, 可与大多数有机溶剂混溶。

用法及应用特点 本品与聚氯乙烯、氯乙烯-乙酸乙烯共聚物、聚苯乙烯、硝酸纤维素、乙基纤维素、丁腈橡胶、氯丁橡胶、丁苯橡胶等有良好的相容性, 可为乙烯基树脂、纤维素树脂和合成橡胶的耐寒性增塑剂。本品增塑效率高, 与主增塑剂并用具有优良的低温特性, 可制得柔软而富有弹性的制品。本品渗出性较大, 尤其在高温下更甚, 故在使用时最好配用其他不渗性增塑剂。

(四) 壬二酸酯类

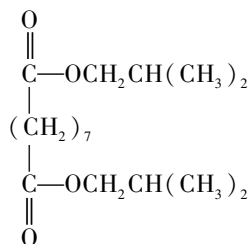
1. 壬二酸二异丁酯

化学名 壬二酸二异丁酯

英文名 Diisobutyl azelate, DIBZ

化学文摘 CAS No. 105-80-6

结构式



性质 玫瑰色透明油状液体。相对分子质量 300, 相对密度 0.929 ~ 0.937, 沸点 164 ~ 177℃ (533.3Pa), 闪点 (开杯法) 160℃。

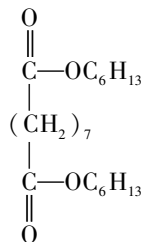
用法及应用特点 本品可作为乙烯基树脂和纤维素树脂的增塑剂, 与聚氯乙烯、氯乙烯-乙酸乙烯共聚物、聚乙烯醇缩丁醛相容, 可给予制品低温柔软性。本品也可作为合成橡胶的增塑剂和软化剂, 对胶料的硫化无影响。

2. 壬二酸二正己酯

化学名 壬二酸二正己酯

英文名 Di-*n*-hexyl azelate

结构式



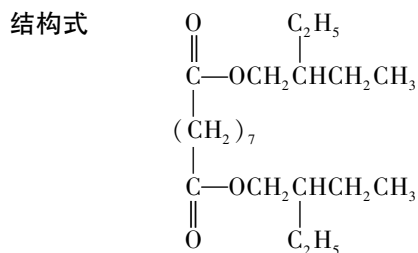
性质 透明油状液体。相对分子质量 356, 相对密度 0.927 ~ 0.977 (20℃), 粘度 0.0078 ~ 0.0102Pa · s (25℃), 凝固点 -24℃, 沸点 216℃ (666.6Pa), 闪点 (开杯法) 204 ~ 205℃, 着火点 238℃, 折射率 1.444 (25℃)。

用法及应用特点 本品与硝酸纤维素、乙基纤维素、乙酸纤维素、乙酸丁酸纤维素也有良好的相容性, 可作为聚氯乙烯、氯乙烯共聚物的耐寒性增塑剂, 制品的柔软性和透明性优良, 用量一般为 30% ~ 35%。

3. 壬二酸二(2-乙基丁)酯

化学名 壬二酸二(2-乙基丁)酯

英文名 Di(2-ethylbutyl) azelate



性质 无色透明液体。相对分子质量 356，相对密度 0.934，流动点 -29.4°C ，沸点 230°C (666.6Pa)，闪点 185°C ，着火点 221°C ，折射率 1.443 (25°C)，挥发度 1.26% (105°C , 1h)，2.02% (105°C , 5h)。

用法及应用特点 本品可与聚氯乙烯、氯乙烯-乙酸乙烯共聚物、硝酸纤维素、乙基纤维素等良好相容，为乙烯基树脂、纤维素树脂和合成橡胶的耐寒性增塑剂，增塑效率高，制品的低温柔韧性和耐水性优良，适用于高透明薄膜、片材、挤塑制品，也可用于增塑糊。

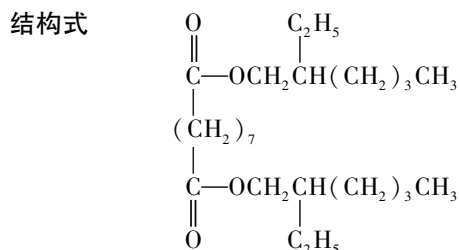
4. 壬二酸二(2-乙基己)酯

化学名 壬二酸二(2-乙基己)酯

别名 壬二酸二辛酯

英文名 Di(2-ethylhexyl) azelate, Dioctyl azelate, DOZ

化学文摘 CAS No. 26544-17-2



性质 近乎无色的透明液体。相对分子质量 421.6，相对密度 0.917 (25°C)，酯含量 $>99\%$ ，粘度 $0.015\text{Pa} \cdot \text{s}$ (20°C)，色度 (APHA) <80 ，酸度 (以壬二酸计) $<0.03\%$ ，凝固点 -65°C ，沸点 238°C (666.6Pa)、 376°C (101324.72Pa)，闪点 (开杯法) 227°C ，着火点 249°C ，折射率 1.446 ~ 1.448 (25°C)，加热减量 $<0.1\%$ [$(125 \pm 3)^\circ\text{C}$, 3h]，挥发度 0.73% (105°C , 1h)、0.96% (105°C , 5h)，体积电阻率 $>2 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$ (30°C)，不溶于水，溶于大多数有机溶剂。

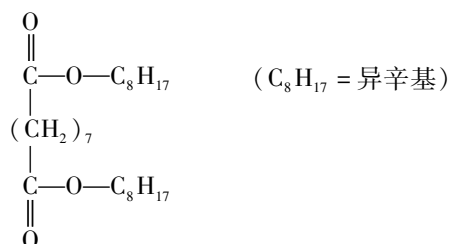
用法及应用特点 本品与聚氯乙烯、氯乙烯-乙酸乙烯共聚物、聚苯乙烯、聚乙酸乙烯酯、硝酸纤维素、乙基纤维素等树脂有良好的相容性，为乙烯基树脂，纤维素树脂的优良耐寒性增塑剂。本品粘度低，沸点高，增塑效率高，挥发性和迁移性小，具有优良的耐热性、耐光性、电绝缘性和对增塑糊的粘度稳定性，耐寒性比 DOA 好，适用于人造革、薄膜、薄板、电线和电缆护套、增塑糊等，可给予制品良好的低温性能。本品还可单独或与其他增塑剂配合用作丁腈橡胶、丁苯橡胶、氯丁橡胶等合成橡胶的增塑剂。

5. 壬二酸二异辛酯

化学名 壬二酸二异辛酯

英文名 Diisooctyl azelate, DIOZ

结构式



性质 无色透明液体。相对分子质量 413，相对密度 0.918 ~ 0.920 (20℃)，粘度 0.003Pa·s· (98.9℃)，凝固点 -68℃，沸点 225 ~ 244℃ (533.3Pa)，闪点 (开杯法) 213 ~ 219℃，着火点 241℃，折射率 1.448 ~ 1.450 (25℃)，挥发度 0.72% (105℃, 1h)、0.97% (105℃, 5h)，酸度 (以壬二酸计) 0.025%。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯、氯乙烯共聚物、硝酸纤维素、乙基纤维素等树脂的耐寒性增塑剂，具有优良的低温性能，挥发性低，水抽出性小，光稳定性和热稳定性良好，适用于压延薄膜、片材、软管、增塑糊、挤塑制品等。本品也可作为丁腈橡胶、丁苯橡胶等合成橡胶的增塑剂。本品的性能与壬二酸二辛酯十分类似，两者可互相代用。

(五) 癸二酸酯类

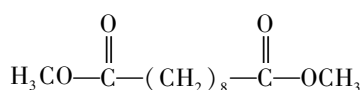
1. 癸二酸二甲酯

化学名 癸二酸二甲酯

英文名 Dimethyl sebacate, DMS

化学文摘 CAS No. 106-79-6

结构式



性质 无色透明液体。相对分子质量 230，相对密度 0.990 (25℃)，凝固点 -24.5℃，沸点 294℃ (101324.72Pa)，闪点 145℃，折射率 1.4376 (20℃)，在水中的溶解度 <0.3% (体积) (25℃)，其技术指标见表 5-1。

表 5-1 癸二酸二甲酯的技术指标

指标名称		一级品	二级品
酯含量 (%)	≥	99.30	99.00
酸值/ (mgKOH/g)	≤	0.20	0.30
色度 (Pt-Co)	≤	20	30
闪点/℃	≥	146	146
相对密度 (20 ~ 25℃)		0.9875 ~ 0.9885	0.9875 ~ 0.9885

用法及应用特点 本品与乙酸纤维素、硝酸纤维素、乙基纤维素、聚氯乙烯、氯乙烯-乙酸乙烯共聚物、聚乙酸乙烯酯、聚苯乙烯、聚甲基丙烯酸甲酯等许多树脂都有良好的相容性，可作为纤维素树脂、乙烯基树脂和合成橡胶的增塑剂、软化剂和溶剂。但本品挥发性大，为癸二酸酯类增塑剂中挥发性最大的，因此限制了其广泛应用。

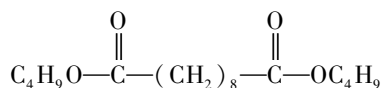
2. 癸二酸二正丁酯

化学名 癸二酸二正丁酯

英文名 Di-*n*-butyl sebacate, DBS

化学文摘 CAS No. 109-43-3

结构式



性质 无色或浅黄色透明液体，微具气味。相对分子质量 314，相对密度 0.934 ~ 0.942 (20℃)，粘度 0.010Pa·s (20℃)、0.019Pa·s (100℃)，色度 (APHA) < 40，酸度 (以乙酸计) < 0.03%，酯含量 ≥ 99.6%，水分 < 0.10%，灰分 < 0.001%，丁醇含量 < 0.1%，凝固点 -12 ~ -10℃，沸点 344 ~ 345℃ (101324.72Pa)、200℃ (666.6Pa)，闪点 (开杯法) 202℃，着火点 211 ~ 218℃，膨胀系数 0.00078℃⁻¹，折射率 1.4400 ~ 1.4423 (20℃)，表面张力 0.0339N/m (25℃)，在水中的溶解度 0.4g/L (20℃)，水在本品中的溶解度 0.2% (25℃)，溶于大多数有机溶剂。

用法及应用特点 本品系耐寒性增塑剂，可与聚氯乙烯、氯乙烯-乙酸乙烯共聚物、聚苯乙烯、聚甲基丙烯酸甲酯、乙基纤维素、硝酸纤维素、酚醛树脂、脲醛树脂等许多树脂相容，增塑效率高，热稳定性和光稳定性好，可给予制品良好的低温柔软性、弹性恢复力和耐光致黄变性。制品的手感亦好。但本品的挥发性大，易迁移，容易被水、皂水、洗涤液抽出，在制品中的持久性差，因此，多与耐久性好的邻苯二甲酸酯类增塑剂并用。

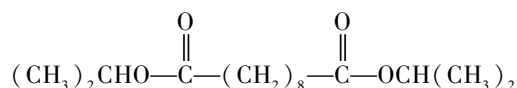
3. 癸二酸二异丙酯

化学名 癸二酸二异丙酯

英文名 Diisopropyl sebacate

化学文摘 CAS No. 749-02-3

结构式



性质 油状液体。相对密度 0.936 (25℃)，闪点 (开杯法) 190℃，折射率 1.431 (25℃)。

用法及应用特点 本品可作为辅助耐寒性增塑剂，与树脂的相容性差。

4. 癸二酸二(2-乙基己)酯

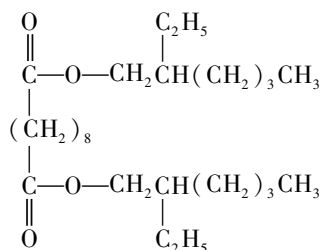
化学名 癸二酸二(2-乙基己)酯

别名 癸二酸二辛酯

英文名 Dioctyl sebacate, Di-(2-ethyl hexyl) sebacate, DOS

化学文摘 CAS No. 122-62-3

结构式



性质 淡黄色或无色透明油状液体。相对分子质量 426，相对密度 0.911 ~ 0.913 (25℃)，酯含量 > 99%，灰分 < 0.01%，粘度 0.025 Pa·s (25℃)，色度 (APHA) < 40，酸值 < 0.1 mgKOH/g，凝固点 - 40℃，沸点 377℃ (101324.72 Pa)、256℃ (666.6 Pa)，闪点 (开杯法) 215℃，着火点 257 ~ 263℃，折射率 1.449 ~ 1.451 (25℃)，在水中的溶解度 0.02% (20℃)，水在本品中的溶解度 0.15% (20℃)，溶于烃类、醇类、酮类、酯类、氯代烃类，不溶于二元醇类。

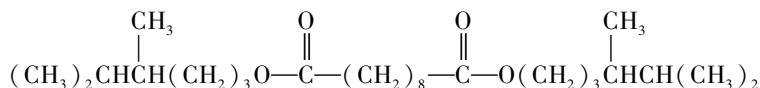
用法及应用特点 本品为优良的耐寒性增塑剂，主要用于聚氯乙烯、氯乙烯共聚物、硝酸纤维素、乙基纤维素及合成橡胶等。本品增塑效率高，挥发性低，既具有优良的耐寒性，又有较好的耐热性、耐光性和电绝缘性，特别适用于制作耐寒电线和电缆料、人造革、薄膜、板材、片材等制品。本品迁移性较大，易被烃类溶剂抽出，耐水性也不太理想 (但比 ABS 好)，因此，常与邻苯二甲酸酯类并用。本品还可作为多种合成橡胶的低温用增塑剂，对橡胶的硫化无影响。

5. 癸二酸二异辛酯

化学名 癸二酸二异辛酯

英文名 Diisooctyl sebacate, DIOS

结构式



性质 清亮液体，微具气味。相对分子质量 426，相对密度 0.912 ~ 0.916 (20℃)，酯含量 > 99%，粘度 0.0226 Pa·s (25℃)，色度 (APHA) < 50，酸度 (以癸二酸计) < 0.03%，灰分 < 0.001%，凝固点 - 50 ~ - 42℃，沸点 256℃ (666.6 Pa)，闪点 (开杯法) 235 ~ 246℃，膨胀系数 0.0008℃⁻¹，折射率 1.447 (25℃)，表面张力 0.0331 N/m (25℃)，微溶于水，溶于酮类、醇类、酯类、芳香烃、脂肪烃等有机溶剂，部分溶于某些胺类和多元醇。

用法及应用特点 本品为耐寒性增塑剂，可与聚氯乙烯、氯乙烯共聚物、乙基纤维素、聚苯乙烯、聚甲基丙烯酸甲酯及合成橡胶等相容，增塑效能与 DBS 类似，但挥发性低，耐水抽出性好，制品的低温柔软性和耐久性优良。

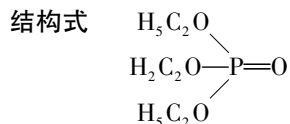
(六) 磷酸酯类

1. 磷酸三乙酯

化学名 磷酸三乙酯

英文名 Triethyl phosphate, TEP

化学文摘 CAS No. 78-40-0



性质 微具气味的无色液体。相对分子质量 182, 相对密度 1.065 ~ 1.072 (20℃), 粘度 0.0016Pa·s (20℃), 酸度 (以磷酸计) < 0.02%。凝固点 -56℃, 沸点 210 ~ 220℃ (101324.72Pa), 闪点 (开杯法) 115 ~ 116℃, 蒸气压 1333.2Pa (73℃), 折射率 1.4055 (20℃), 可与水以任何比例混溶, 在高温下本品在水溶液中缓慢水解, 与大多数有机溶剂混溶。

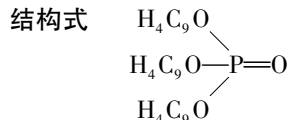
用法及应用特点 本品对乙烯基树脂、纤维素树脂等许多树脂有很强的溶解力, 可作为这些树脂的增塑剂和高沸点溶剂, 但因挥发性大, 用途有限。本品有阻燃效能, 可与其他阻燃剂并用。

2. 磷酸三丁酯

化学名 磷酸三丁酯

英文名 Tributyl phosphate, TBP

化学文摘 CAS No. 126-73-8



性质 无色无臭的液体。相对分子质量 266, 相对密度 0.973 ~ 0.978 (20℃), 粘度 0.0350 ~ 0.0122Pa·s (25℃), 色度 (APHA) 15, 酸度 (以磷酸计) 0.01%, 凝固点 < -80℃, 沸点 289℃ (101324.72Pa)、177 ~ 178℃ (3400.0Pa), 闪点 193℃, 着火点 204℃, 蒸气压 2666.4Pa (20℃)、> 66661Pa (200℃), 膨胀系数 0.00086℃⁻¹ (10 ~ 40℃), 折射率 1.4226 (20℃), 表面张力 0.029N/m (20℃), 在水中的溶解度 0.1% (25℃), 水在本品中的溶解度 7% (25℃), 溶于大多数有机溶剂, 微溶于甘油、乙二醇类或某些胺类。

用法及应用特点 本品与硝酸纤维素、乙酸纤维素、酚醛树脂、聚甲基丙烯酸甲酯、聚苯乙烯、聚乙烯醇缩丁醛、聚乙酸乙烯酯、乙基纤维素等树脂相容, 与聚氯乙烯部分相容, 可作为这些树脂的增塑剂, 可给予制品良好的耐寒性、耐光性和阻燃性。本品沸点低, 挥发损失大, 作为增塑剂应用有限, 多用作涂料和粘合剂的溶剂。本品有一定的阻燃效能, 可作为乙酸纤维素等树脂的阻燃剂。

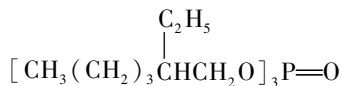
3. 磷酸三辛酯

化学名 磷酸三辛酯

别名 磷酸三(2-乙基己)酯

英文名 Trioctyl phosphate, Tri (2-ethylhexyl) phosphate, TOP, TOF, TEHP

结构式

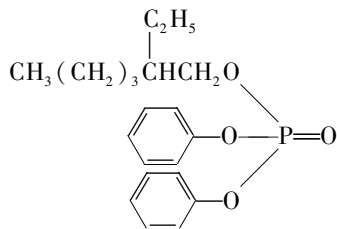


用法及应用特点 本品为乙烯基树脂、纤维素树脂和合成橡胶的阻燃性增塑剂，耐寒性优良，低温性能优于己二酸酯类，加有本品的聚氯乙烯制品在 -60°C 仍能保持良好的柔软性和弹性，而且耐光性、耐水性、防霉性和电绝缘性良好，适用于模塑、压延、挤塑、增塑糊、涂料等制品。本品挥发性虽然不高，但迁移性大，故应用受到限制。本品塑化性能较差，与磷酸三甲苯酯（TGP）并用可得改善。本品与 DOP 等量并用具有一定的阻燃性。

化学名 磷酸二苯异辛酯

别名 磷酸二苯 2-乙基己酯

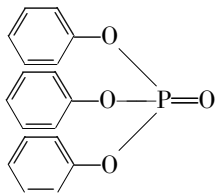
结构式



用法及应用特点 本品为阻燃性增塑剂，与聚氯乙烯、氯乙烯-乙酸乙烯共聚物、聚甲基丙烯酸甲酯、聚苯乙烯、聚乙烯醇缩丁醛、聚乙酸乙烯酯、硝酸纤维素、乙基纤维素等许多树脂都有良好的相容性，挥发性低，耐寒性和耐候性好，毒性小，可用于食品包装和医用制品。本品与邻苯二甲酸酯类增塑剂配合使用，可提高制品的韧性和耐候性，用于聚氯乙烯薄膜时，可提高拉伸强度，改善耐磨性和耐湿性。与磷酸三甲苯酯相比，本品用于聚氯乙烯时，制品的耐油性、热稳定性、光稳定性均高，压缩永久变形小。本品也可作为合成橡胶的阻燃性增塑剂。

化学名 磷酸三苯酯

结构式



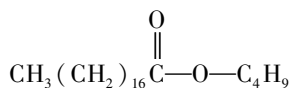
性质 白色针状结晶，微具芳香气味。相对分子质量 326，熔点 49.2°C ，相对密度 $1.185 \sim 1.202$ (25°C)，粘度 $0.011\text{Pa} \cdot \text{s}$ (50°C)，挥发度 1.15% (100°C , 6h)，酸值 $<0.10\text{mgKOH/g}$ ，游离酚含量 $<0.1\%$ ，沸点 370°C (101324.72Pa)，闪点（开杯法） 225°C ，着火点 305°C ，折射率 $1.5518 \sim 1.5630$ (25°C)，在水中的溶解度 0.001% (34°C)。

用法及应用特点 本品可作为纤维素树脂、乙烯基树脂、天然橡胶和合成橡胶的阻燃性辅助增塑剂，挥发度低，阻燃效率高，具有优良的力学性能保持率、透明性、柔软性和强韧性。本品的耐光性差，易变色，不适用于白色或浅色制品。本品用量过多时（一般超过 30% ，在乙酸纤维素中超过 $8\% \sim 10\%$ ）有结晶析出的现象，需与邻苯二甲酸酯类溶剂型增塑剂并用。本品主要用作乙酸纤维素薄膜和模塑料的增塑剂，在硝酸纤维素中的溶剂化能力比磷酸三甲苯酯高。

（七）硬脂酸酯类

1. 硬脂酸正丁酯

结构式

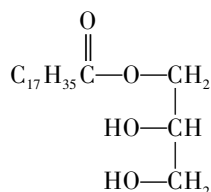


性质 无色或淡黄色油状液体，微具脂肪味。相对分子质量 341，相对密度 $0.855 \sim 0.862$ (25°C)，酯含量 98% ，粘度 $0.008\text{Pa} \cdot \text{s}$ (25°C)，色度（APHA） <80 ，酸度（以硬脂酸计） $<0.5\%$ ，凝固点 $16 \sim 22^{\circ}\text{C}$ ，沸点 $220 \sim 225^{\circ}\text{C}$ (3333Pa)，闪点（开杯法） 188°C ，着火点 208°C ，蒸气压 2666.4Pa (20°C)、 14.67Pa (150°C)、 360.0Pa (200°C)，膨胀系数 $0.00083^{\circ}\text{C}^{-1}$ (20°C)，折射率 1.4418 (25°C)，挥发度 0.26% (100°C , 5h)，水解度 0.16% （沸水，1h），在水中的溶解度 $<0.01\%$ (25°C)，水在本品中的溶解度 0.1% (25°C)，溶于丙酮、氯仿、乙酸乙酯、甲苯、甲醇、芳香烃、脂肪烃、矿物油、植物油、蜡和大多数合成增塑剂，微溶于甘油、乙二醇、甲醇和某些胺类。

用法及应用特点 本品主要作为硝酸纤维素、乙基纤维素的增塑剂，用于涂料时，可改善漆膜的光泽性、耐水性、耐寒性和耐划痕性，若将本品溶解于溶剂型增塑剂中再使用，能提高增塑效率。本品对聚氯乙烯的增塑效率低，但可作为润滑剂用于该树脂的挤塑、注塑和压延，一般用量 $0.5 \sim 1$ 份。本品还可有效地改善聚苯乙烯、氯乙烯-乙酸乙烯共聚物和丁腈橡胶等的加工性和脱模性。

2. 甘油单硬脂酸酯

结构式

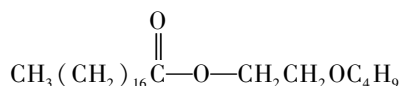


性质 白色或淡黄色蜡状固体。相对分子质量 359，熔点 $56 \sim 58^\circ\text{C}$ ，相对密度 0.970 (25°C)，3% 水分散液的 pH 值为 $9.3 \sim 9.7$ ，碘值 $< 2\text{gI}_2/100\text{g}$ ，酸值 $< 2\text{mgKOH/g}$ ，皂化值 $164 \sim 174\text{mgKOH/g}$ ，游离甘油含量 $< 1\%$ 。

用法及应用特点 本品可作为硝酸纤维素的增塑剂、醇酸树脂的改性剂、胶乳分散剂及合成石蜡的配合剂，还可用作润滑剂。

3. 硬脂酸 2-丁氧基乙酯

结构式

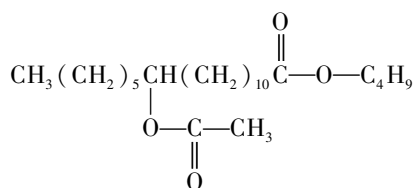


性质 透明的油状液体，微具气味。相对分子质量 384，相对密度 0.8821 ± 0.0050 (20°C)，粘度 $0.0133\text{Pa} \cdot \text{s}$ (20°C)，色度 (APHA) < 50 ，酸度 (以乙酸计) $< 0.2\%$ ，凝固点 $15 \sim 17^\circ\text{C}$ ，沸点 230°C (533.3Pa)，闪点 (开杯法) 210°C ，着火点 243°C ，蒸气压 $< 8.0\text{Pa}$ (150°C)、 173.3Pa (200°C)、 1.333Pa (20°C)，膨胀系数 $0.00088^\circ\text{C}^{-1}$ ($10 \sim 40^\circ\text{C}$)，折射率 1.446 (25°C)，挥发度 0.034% (105°C , 4h)，表面张力 0.031N/m (20°C)，比热容 $0.63\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ($50 \sim 150^\circ\text{C}$)，在水中的溶解度 $< 0.01\%$ (25°C)，水在本品中的溶解度 0.1% (25°C)，溶于乙醇、丙酮、乙酸乙酯、芳香烃和脂肪烃等有机溶剂，微溶于甘油、乙二醇和某些胺类。

用法及应用特点 本品可作为硝酸纤维素、乙基纤维素和聚苯乙烯等树脂的主增塑剂，其溶剂能力和常温保持液态的能力超过硬脂酸丁酯。本品可作为辅助增塑剂与其他增塑剂配合用于聚氯乙烯树脂，以增加润滑性，改善制品的透明性、低温柔软性和耐水性。本品与邻苯二甲酸二丁氧基乙酯以 1:4 的比例配合，增塑效果最好，这种混合增塑剂的用量一般为树脂量的 $15\% \sim 50\%$ 。本品还可作为氯丁橡胶的增塑剂，给予制品良好的回弹性和低温柔软性。本品有殖民的缺点，必要时应配合适当的防霉剂。本品与聚氯乙烯的相容性差。

4. 乙酰氧基硬脂酸丁酯

结构式



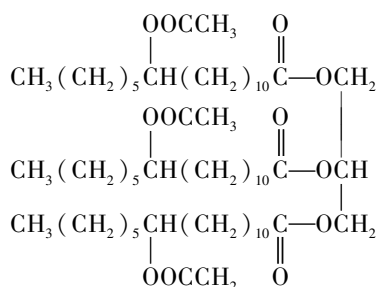
性质 油状液体。相对分子质量 398，熔点 -7°C ，相对密度 $0.918 \sim 0.922$

(25℃), 闪点(开杯法) 207℃, 折射率 1.448 (25℃), 酸值 4mgKOH/g, 皂化值 276mgKOH/g, 不溶于水。

用法及应用特点 本品可作为聚氯乙烯、氯乙烯共聚物、硝酸纤维素和乙基纤维素等树脂的增塑剂, 耐氧化性能高, 不迁移, 用于增塑糊时可保持糊料的低粘度。

5. 甘油三(乙酰氧基硬脂酸)酯

结构式



性质 相对分子质量 1066, 相对密度 0.955 (25℃), 粘度 0.18Pa·s (37.8℃), 凝固点 30℃, 闪点(开杯法) 300℃, 折射率 1.4595 (25℃), 酸值 1mgKOH/g, 皂化值 298mgKOH/g, 碘值 2gI₂/100g, 不溶于水。

用法及应用特点 本品与聚氯乙烯、氯乙烯-乙酸乙烯共聚物、聚乙烯醇缩丁醛、聚乙酸乙烯酯、硝酸纤维素、乙基纤维素等树脂相容, 可作为乙烯基树脂、纤维素树脂的增塑剂和润滑剂。本品挥发性低, 电性能和挤塑润滑性优异, 热氧稳定性亦佳, 特别适用于电线和电缆护套等制品。本品也是颜料着色树脂料的优良研磨介质。

(八) 月桂酸酯类

1. 单月桂酸 1, 2-丙二醇酯

结构式

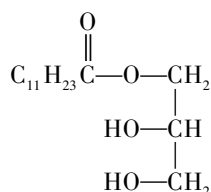


性质 油状液体。相对分子质量 258, 相对密度 0.911 (25℃), 粘度 0.0194Pa·s (25℃), 凝固点 0~12℃, 闪点(开杯法) 188℃, 不溶于水。

用法及应用特点 本品可作为硝酸纤维素、乙基纤维素、聚苯乙烯、聚氯乙烯及其他乙烯基树脂的增塑剂。

2. 单月桂酸甘油酯

结构式



性质 相对分子质量 274, 熔点 26~28℃, 相对密度 0.970 (25℃), 闪点(开杯法) 218℃, 不溶于水。

用法及应用特点 本品可作为纤维素树脂、乙烯基树脂及聚苯乙烯的增塑剂。

3. 单月桂酸二甘醇酯

化学名 单月桂酸二甘醇酯

结构式



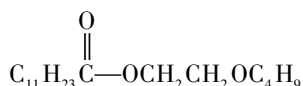
性质 淡黄色液体。相对分子质量 288，熔点 9 ~ 11℃，相对密度 0.960 (25℃)，不溶于水。

用法及应用特点 本品可作为乙基纤维素、硝酸纤维素、聚乙烯醇缩丁醛和氯乙烯-乙酸乙烯共聚物的增塑剂。

4. 月桂酸丁氧乙酯

化学名 月桂酸丁氧乙酯

结构式



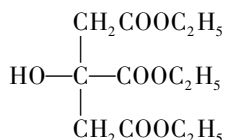
性质 琥珀色液体。相对分子质量 300，相对密度 0.883 ~ 0.884，凝固点 -12 ~ -3℃。沸点 156 ~ 198℃ (666.6Pa)，不溶于水。

用法及应用特点 本品低温性能好，而且不影响硫化，可作为纤维素塑料、乙烯基树脂和聚苯乙烯的增塑剂，也可用作合成橡胶的耐寒性增塑剂。

(九) 柠檬酸酯类

1. 柠檬酸三乙酯

结构式

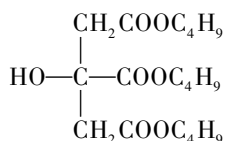


性质 无色透明液体，微具气味。相对分子质量 276，相对密度 1.136 (25℃)，粘度 0.0352Pa·s (25℃)，色度 (APHA) 50，酸度 (以柠檬酸计) <0.02%，凝固点 -55℃，沸点 150℃ (400Pa)、176℃ (1600Pa)，闪点 (开杯法) 155℃，折射率 1.4405 (24.5℃)，挥发速度 (105℃) 0.000676g/(cm²·h)，水解度 (100℃, 6h) 0.04%，溶于大多数有机溶剂，难溶于油类，在矿物油中的溶解度为 0.8g/100cm³。

用法及应用特点 本品与乙酸纤维素、硝酸纤维素、乙基纤维素、聚氯乙烯、氯乙烯-乙酸乙烯共聚物、聚乙烯醇缩丁醛、聚乙酸乙烯酯、氯化橡胶等有良好的相容性，可作为纤维素树脂和乙烯基树脂的增塑剂。本品溶解力强，耐油性和耐光性好，因此特别适用于涂料。本品在树脂中不助长霉菌的生长，有抗霉性。

2. 柠檬酸三正丁酯

结构式

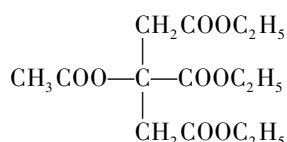


性质 无色油状液体，微具气味。相对分子质量 360，相对密度 1.045 ~ 1.049 (20℃)，粘度 0.0319Pa · s (25℃)，色度 (APHA) 50，酸度 (以柠檬酸计) < 0.02%，水分 < 0.30%，凝固点 -20℃，沸点 170℃ (133.3Pa)、225℃ (666.6Pa)、233℃ (2933Pa)，闪点 (开杯法) 185℃，折射率 1.4453 (20℃)，挥发速度 0.000065g/(cm² · h) (105℃)，水解度 < 0.1% (100℃, 6h)，在水中的溶解度 (25℃) < 0.002g/100cm³，溶于甲醇、丙酮，四氯化碳、矿物油、冰醋酸、蓖麻油、亚麻子油等有机溶剂。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯和氯乙烯共聚物、纤维素树脂的增塑剂，相容性好，增塑效率高。耐寒性、耐光性、耐水性优良，挥发性小，而且无毒，可用于食品包装和医疗卫生制品，但本品的电绝缘性能较差。本品不助长霉菌的生长，有抗霉性。

3. 柠檬酸乙酰基三乙酯

结构式

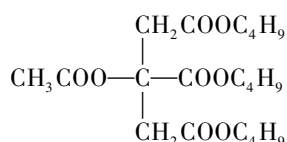


性质 无色油状液体。相对分子质量 318，相对密度 1.135 (23℃)，粘度 0.539Pa · s (25℃)，色度 (APHA) 50，酸度 (以柠檬酸计) < 0.02%，凝固点 -50℃，沸点 132℃ (133.3Pa)，闪点 (开杯法) 188℃，折射率 1.4386 (23℃)，挥发速度 0.000497g/(cm² · h) (105℃)，水解度 0.1% (100℃, 6h)，在水中的溶解度 0.72g/100cm³ (25℃)，溶于一些有机溶剂，在矿物油中的溶解度为 1.2cm³/100cm³。

用法及应用特点 本品与乙酸纤维素、硝酸纤维素、乙基纤维素相容，主要用作纤维素树脂的增塑剂。本品用于乙基纤维素时，制得的制品翘曲性小，油漆的耐光性好。本品沸点高、挥发性小、耐水解、毒性低，可用于制作食品包装材料。在聚氯乙烯及氯乙烯共聚物中，本品可作为辅助增塑剂。在聚偏二氯乙烯中，本品有稳定效能。

4. 柠檬酸乙酰基三正丁酯

结构式



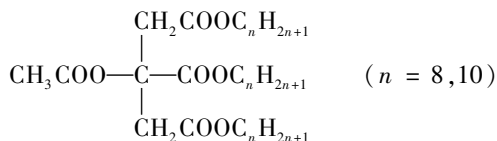
性质 无色油状液体。相对分子质量 402，相对密度 1.046 (25℃)，粘度 0.0427Pa · s (25℃)，色度 (APHA) < 50，酸度 (以柠檬酸计) < 0.02%，凝固点 -80℃，沸点 173℃ (133.3Pa)，343℃ (101324.72Pa)，闪点 (开杯法) 204℃，折射率 1.4408 (25.5℃)，挥发速度 0.000009g/(cm² · h) (105℃)，水解度 0.1% (100℃, 6h)，在水中的溶解度 < 0.002g/100cm³ (25℃)，溶于多数有机溶剂。

用法及应用特点 本品系柠檬酸酯类增塑剂中应用最广的品种，与硝酸纤维素、乙基纤维素、聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚乙酸乙烯酯、氯乙烯-乙酸乙烯共聚物、氯乙烯-偏二氯乙烯共聚物、聚乙烯醇缩丁醛、氯化橡胶相容，与乙酸纤维素部分相容，无毒、无

臭,耐热性、耐寒性、耐光性和耐水性优良,可用于食品包装容器、薄膜、板材、纤维素涂料等制品,也可作为聚偏二氯乙烯的稳定剂。本品可以改善薄膜与金属的粘合性,使之经受长期浸水后仍能牢固粘合。

5. 乙酰柠檬酸(正辛·正癸)酯

结构式



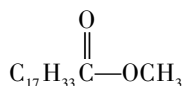
性质 油状液体。相对分子质量 606, 相对密度 0.9711 (20℃), 粘度(赛波特通用粘度计秒数) 42.9s (99℃), 色度 (APHA) <75, 流动点 -119℃, 闪点 249℃。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯薄膜用耐寒性增塑剂, 挥发性小, 耐水性和耐油性良好, 是一种防雾性增塑剂, 适用于无滴薄膜。

(十) 油酸酯类

1. 油酸甲酯

结构式

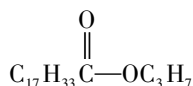


性质 黄色透明液体。相对分子质量 296, 相对密度 0.875 ~ 0.885 (25℃), 凝固点 -16℃, 沸点 165 ~ 170℃ (266.6Pa), 闪点(开杯法) 177℃, 折射率 1.4505 (25℃)。

用法及应用特点 本品可作为硝酸纤维素、乙基纤维素、聚苯乙烯的增塑剂, 与聚氯乙烯及氯乙烯共聚物的相容性小。本品也可作为丁腈橡胶、丁苯橡胶的增塑剂和软化剂, 对硫化无影响。

2. 油酸正丙酯

结构式

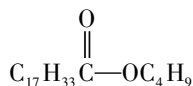


性质 油状液体, 相对密度 0.869 (25℃), 凝固点 -20℃, 沸点 180 ~ 190 (266.6Pa), 闪点(开杯法) 166℃, 折射率 1.4494 (25℃)。

用法及应用特点 本品与聚氯乙烯及丙烯酸树脂的相容性小, 可作为硝酸纤维素、乙基纤维素、聚苯乙烯的增塑剂。

3. 油酸丁酯

结构式



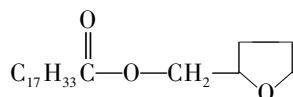
性质 浅琥珀色透明油状液体, 微具脂肪味。相对分子质量 339, 相对密度 0.869 ~ 0.875 (25℃), 酯含量 >99%, 粘度 0.088Pa·s (3℃), 色度 (APHA) <250, 酸度(以油酸计) <0.5%, 灰分 <0.001%, 水分 <0.1%, 凝固点 -10℃, 沸点 190 ~

230℃ (866.6Pa), 闪点 (开杯法) 193℃, 着火点 224℃, 折射率 1.451 (20℃), 挥发度 0.75% (105℃, 4h), 溶于醇类、酮类、芳香烃、植物油和矿物油, 不溶于甘油。

用法及应用特点 本品可作为乙烯基树脂、纤维素树脂的耐寒性辅助增塑剂, 挥发性介于 DOP 和 DBP 之间, 粘度低, 热稳定性和耐水性好, 润滑性也大, 其用量占增塑剂总量的 15% ~ 20% 即达很好的增塑效果, 但在低温加工时, 如果用量超过 30%, 则有出汗现象。本品溶解力有限, 用于涂料时需掺加溶剂或溶剂性增塑剂。本品也可作为橡胶用低温增塑剂。

4. 油酸四氢呋喃甲酯

结构式

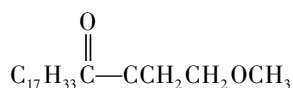


性质 黄色油状液体, 微具脂肪味。相对分子质量 367, 相对密度 0.928 (20℃), 粘度 0.096Pa·s (25℃), 色度 (APHA) <100, 酸度 (以油酸计) <0.1%, 灰分 <0.001%, 皂化值 147 ~ 155mgKOH/g, 凝固点 -28℃, 沸点 240℃ (666.6Pa), 闪点 (开杯法) 213℃, 着火点 230℃, 膨胀系数 $0.0009^\circ\text{C}^{-1}$ (20℃), 折射率 1.462 (25℃), 表面张力 0.030N/m (25℃), 完全溶于甲醇、乙醇、丙酮、乙酸乙酯、矿物油、植物油、烃类溶剂。

用法及应用特点 本品为耐寒性辅助增塑剂, 与聚氯乙烯、氯乙烯-乙酸乙烯共聚物, 聚苯乙烯、聚甲基丙烯酸甲酯、聚乙酸乙烯酯、乙基纤维素、硝酸纤维素、乙酸丁酸纤维素相容, 与乙酸纤维素部分相容, 塑化性能好, 可提高树脂料的捏合和塑化速度, 改善挤塑和压延加工性能, 给予制品良好的低温柔软性。作为聚氯乙烯的辅助增塑剂, 本品的用量一般为增塑剂总量的 25% ~ 50%。本品用于增塑糊时, 糊料的初始粘度低。在铅稳定剂和类似的金属化合物存在下, 本品的稳定性较差。本品也可作为天然橡胶和合成橡胶的低温增塑剂。

5. 油酸甲氧基乙酯

结构式



性质 黄色油状液体。相对分子质量 340, 相对密度 0.902 (20℃), 粘度 0.0094Pa·s (20℃), 色度 (APHA) <500, 酸度 (以乙酸计) <0.1%, 凝固点 -20℃ (部分结晶), 沸点约 360℃ (101324.72Pa), 闪点 (开杯法) 197℃, 着火点 228℃, 蒸气压 1.333Pa (20℃)、493.3Pa (200℃), 膨胀系数 $0.0086^\circ\text{C}^{-1}$ (10 ~ 40℃), 折射率 1.453 (25℃), 挥发度 0.34% (105℃, 4h), 表面张力 0.0338N/m (20℃), 溶于甲醇、乙醇、丙醇、乙酸乙酯、汽油、矿物油、植物油和其他烃类溶剂, 微溶于甘油、乙二醇类和某些胺类, 不溶于水。

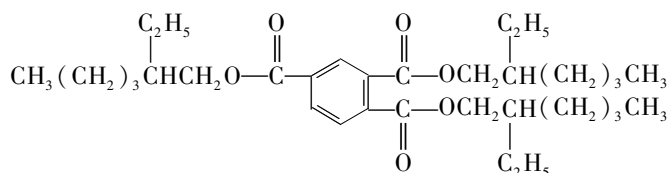
用法及应用特点 本品与乙烯基树脂的相容性不太好, 可作为乙烯基树脂的辅助增塑剂, 在与其他主增塑剂并用时其用量一般为 20% ~ 33%。本品还可作为乙基纤维素、

聚乙烯醇缩丁醛的主增塑剂，给予制品良好的低温柔韧性和耐水性，此时多与邻苯二甲酸酯或磷酸酯类增塑剂并用。本品耐菌性较差，易受真菌的侵袭，因此，在薄膜料中应加入适当的防霉剂。

(十一) 偏苯三酸酯类

1. 偏苯三酸三(2-乙基己)酯

结构式

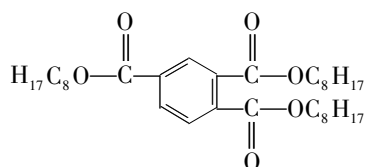


性质 透明黏稠油状液体，微具气味。相对分子质量 547，相对密度 0.987 ~ 0.997 (20℃)，粘度 0.100 ~ 0.300 Pa·s (20℃)，色度 (APHA) < 250，酸值 < 0.3 mgKOH/g，皂化值 (300 ± 10) mgKOH/g，凝固点 < -30℃，沸点 283℃ (400Pa)、430℃ (101324.72Pa)，闪点 > 245℃，着火点 290℃，折射率 1.485 (25℃)。

用法及应用特点 本品为耐热性和耐久性增塑剂，适用于聚氯乙烯、氯乙烯共聚物、硝酸纤维素、乙基纤维素、聚甲基丙烯酸甲酯等多种塑料。本品的增塑效率和加工性能与邻苯二甲酸酯类增塑剂相近，耐久性可与聚合型增塑剂媲美，挥发性低，耐水抽出性、耐迁移性、低温性能和电性能皆优，可用于耐热电线电缆料、板材、片材、密封垫等要求耐热性和耐久性的制品。本品的耐油性不及聚酯增塑剂，捏合性不及邻苯二甲酸二辛酯。

2. 偏苯三酸三正辛酯

结构式

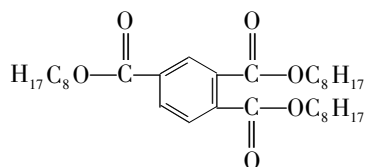


性质 透明油状液体。相对分子质量 547，相对密度 0.980 (25℃)，色度 (APHA) < 100。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯用耐热性增塑剂，挥发性低，电绝缘性、耐寒性和耐皂液抽出性优异，特别适用于耐热电线电缆料，也可用于高级人造革布、增塑糊和涂料等。

3. 偏苯三酸三异辛酯

结构式



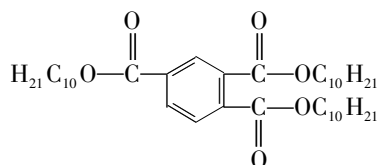
(C₈H₁₇ = 异辛基)

性质 微具气味的油状液体。相对分子质量 546，相对密度 0.9896 (20℃)，酯含量 > 99%，粘度 0.100Pa · s (25℃)，色度 (APHA) < 50，酸度 (以乙酸计) < 0.02%，水分 < 0.10%，凝固点 < -45℃，沸点 290℃ (666.6Pa)，闪点 > 260℃，折射率 1.4830 (23℃)。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯、氯乙烯共聚物等树脂的耐热性增塑剂，性能和用途与偏苯三酸三(2-乙基己)酯类似。

4. 偏苯三酸三异癸酯

结构式



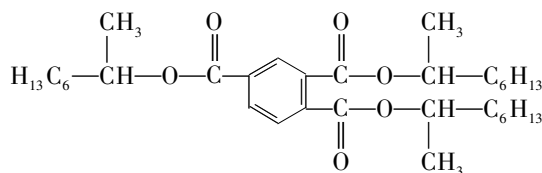
(C₁₀H₂₁ = 异癸基)

性质 油状液体，微具气味。相对分子质量 630，相对密度 0.969 (25℃)，酯含量 > 99%，粘度 (赛波特通用粘度计秒数) 69.4s (99℃)，色度 (APHA) < 50，酸度 (以乙酸计) < 0.02%，水分 < 0.01%，凝固点 -37℃，闪点 > 271℃，折射率 1.4830 (25℃)。

用法及应用特点 本品挥发性小，耐久性优良，加工性能也比较好，为聚氯乙烯、氯乙烯共聚物的耐热性增塑剂，性能和用途与偏苯三酸三辛酯类似。

5. 偏苯三酸三辛酯

结构式



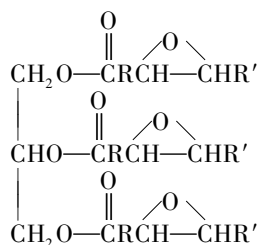
性质 油状液体。相对分子质量 549，相对密度 0.977 (25℃)，粘度 0.242Pa · s (25℃)，凝固点 -40℃，闪点 (开杯法) 268℃，折射率 1.4780 (25℃)。

用法及应用特点 本品为耐热性增塑剂，有良好的耐热性、耐抽出性和耐湿性，适用于聚氯乙烯、氯乙烯共聚物、乙基纤维素、硝酸纤维素、聚甲基丙烯酸甲酯等树脂。

(十二) 环氧类衍生物

1. 环氧大豆油

结构式

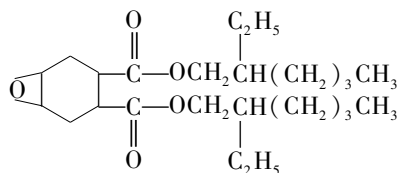


性质 浅黄色油状液体。平均相对分子质量约为 950，相对密度 0.985 ~ 1.000 (25℃)，凝固点 -10 ~ 5℃，沸点 150℃ (533.3Pa，伴有分解)，闪点 280 ~ 310℃，着火点 310℃，蒸气压 < 133.3Pa (330℃)、13.33Pa (150℃)，表面张力 0.034N/m (20℃)，膨胀系数 $0.00071^{\circ}\text{C}^{-1}$ (10 ~ 40℃)，折射率 1.472 (25℃)，加热减量 < 0.3% (125℃, 3h)，环氧值 > 6%，加热后环氧值 > 5% (177℃, 3h)，在水中的溶解度 < 0.01% (25℃)，水在本品中的溶解度 0.55% (25℃)，溶于脂肪烃、芳香烃、酮类、酯类、丁醇、高级醇等有机溶剂，微溶于乙醇。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯的增塑剂兼热稳定剂，与聚氯乙烯的相容性好，挥发性低，迁移性小，具有优良的热稳定性和光稳定性，耐水性和耐油性亦佳，可给予制品良好的强度、耐候性及电性能。本品适用于各种聚氯乙烯制品，可与聚酯类增塑剂并用，减小聚酯的迁移，与热稳定剂并用有显著的协同效应。

2. 4, 5-环氧四氢邻苯二甲酸二(2-乙基己)酯

结构式

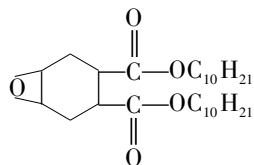


性质 无色或淡黄色油状液体。相对分子质量 410，相对密度 1.010 (25℃)，粘度 0.118Pa·s (20℃)，皂化值 272mgKOH/g，环氧值 3.45%，碘值 3.0gI₂/100g，凝固点 < -30℃，闪点 217℃，折射率 1.4656 (25℃)，体积电阻率 $1.6 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$ (30℃)。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯的增塑剂兼稳定剂，增塑效率与 DOP 类似，混合性能优于 DOP，挥发性低，迁移性小，耐抽出性好。本品可给予制品优良的光稳定性和热稳定性、耐菌性和耐久性，特别适用于透明薄膜之类的制品，也广泛用于人造革、板材、片材、电线和电缆料、涂料及各种成型品。加有本品的制品无油样触感或渗出现象。

3. 4, 5-环氧四氢邻苯二甲酸二异癸酯

结构式



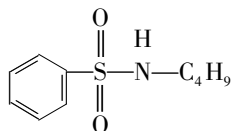
性质 油状液体。相对分子质量 466，相对密度 0.984 (20℃)，粘度 0.180Pa·s (20℃)，环氧值 3.1%。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯的增塑剂兼稳定剂，混合性与邻苯二甲酸二异癸酯相似，挥发性低，加工性好，制品的热稳定性及力学性质良好。

(十三) 磺酸衍生物

1. 苯磺酰丁胺

结构式

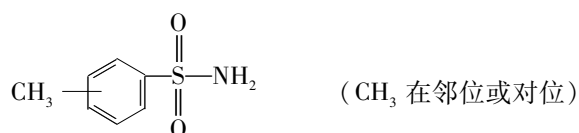


性质 相对分子质量 213，相对密度 1.148（25℃），沸点 205 ~ 220℃（1333.2Pa），折射率 1.525（25℃）。

用法及应用特点 本品可作为纤维素树脂和聚乙酸乙烯酯的增塑剂，与聚氯乙烯的相容性差。

2. 邻、对甲苯磺酰胺

结构式

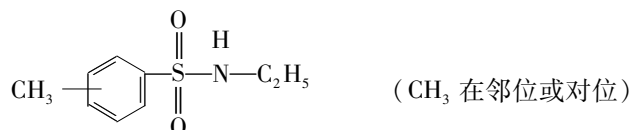


性质 白色或淡黄色微粒。相对分子质量 171，相对密度 1.353（25℃），色度（APHA，33.3% 丙酮溶液）< 85，软化点 105℃，沸点 214℃（1333.2Pa）、360℃（101324.72Pa），闪点（开杯法）206℃。

用法及应用特点 本品为热固性塑料用优良固体增塑剂，适用于酚醛树脂、密胺树脂、脲醛树脂和聚酰胺等树脂。本品少量配合即可改善加工性，使固化均匀，给予制品良好的光泽。本品没有液体增塑剂的软化效果，与聚氯乙烯及氯乙烯共聚物不相容，与乙酸纤维素和硝酸纤维素部分相容。

3. N-乙基-邻、对甲基苯磺酰胺

结构式



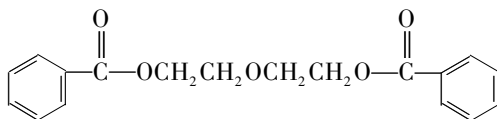
性质 淡黄色黏稠液体，微具特殊气味。相对分子质量 199，相对密度 1.190（25℃），粘度 0.358Pa·s（25℃），酸度（以乙酸计）< 0.1%，熔点 18℃，沸点 196℃（1333.2Pa）、340℃（101324.72Pa），闪点 174℃，折射率 1.540（25℃），挥发速度 0.0002659g/（cm³·h）（100℃），在水中的溶解度约 0.13%（23℃），可溶于大多数普通有机溶剂和蓖麻油，微溶于中国桐油，不溶于亚麻子油和汽油。

用法及应用特点 本品是聚酰胺最适用的增塑剂之一，其熔点较低，有助于改善树脂的加工性，而且制品的柔韧性好。本品也可作为乙酸纤维素和硝酸纤维素漆的增塑剂，由于不溶于汽油，故很适用于耐汽油涂料中，得到的漆膜有良好的耐溶剂性、耐水性和耐划伤性。本品还可用于聚乙酸乙烯酯粘合剂，粘性大，柔软性好。本品与树脂的相容性比邻，对甲苯磺酰胺好，可良好地与乙酸纤维素、乙酸丙酸纤维素、聚乙酸乙烯酯和聚乙烯醇缩丁醛等树脂相容，但与聚氯乙烯及氯乙烯共聚物不相容。

(十四) 乙二醇衍生物、甘油衍生物、丙二醇衍生物及其他多元醇衍生物

1. 二甘醇二苯甲酸酯

结构式

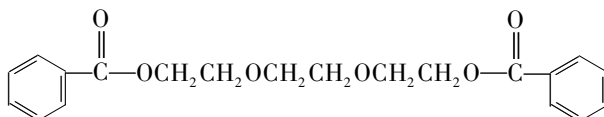


性质 微具气味的液体。相对分子质量 314, 相对密度 1.1765 ~ 1.1780 (20℃), 酯含量 >98%, 粘度 0.160 Pa·s (25℃), 色度 (APHA) <50, 酸度 (以苯甲酸计) 0.1%, 凝固点 28℃, 沸点 236 ~ 240℃ (666.6 Pa), 闪点 (闭杯法) 232℃, 蒸气压 6.67 Pa (150℃)、118.7 Pa (200℃), 膨胀系数 0.00071℃⁻¹ (20℃), 折射率 1.5424 ~ 1.5449 (20℃), 不溶于水, 水在本品中的溶解度 1% (20℃)。

用法及应用特点 本品可作为聚氯乙烯、聚乙酸乙烯酯等许多树脂的增塑剂。本品溶解作用强, 相容性好, 挥发性小, 耐油性、耐水性、耐污染性和耐光变色性好, 闪点高, 使用安全, 适用于聚氯乙烯石棉地板料、增塑糊、聚乙酸乙烯酯粘合剂以及合成橡胶等。

2. 三甘醇二苯甲酸酯

结构式

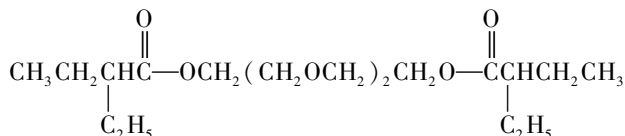


性质 白色块状物。相对分子质量 358, 相对密度 1.2715 (30℃), 酯含量 >98.0%, 熔点 47℃。沸点 223 ~ 237℃ (133.3 Pa), 闪点 (开杯法) 237℃, 酸度 (以苯甲酸计) 0.2%, 在水中的溶解度 0.05%。

用法及应用特点 本品为防粘性增塑剂, 特别适用于乙烯基树脂热封粘合剂, 在加热时与树脂的相容性好, 在常温下有结晶和喷出的倾向, 故用量不宜过大。

3. 三甘醇二(2-乙基丁酸)酯

结构式



性质 具有特殊气味的液体。相对分子质量 346, 相对密度 0.9946 (20℃), 粘度 0.009 Pa·s (20℃), 凝固点 -65℃, 沸点 196 ~ 202℃ (666.6 Pa), 闪点 (开杯法) 196℃, 蒸气压 53.3 Pa (150℃), 折射率 1.4404 (25℃), 在水中的溶解度 0.02% (20℃)。

用法及应用特点 本品为耐寒性增塑剂, 具有优良的耐光性、低温特性、粘合性、韧性、柔软性、耐湿性和耐久性, 广泛用于聚乙烯醇缩丁醛安全玻璃制品。本品在聚氯乙烯中多作为辅助增塑剂。本品还可用于印刷油墨、纤维素酯制品、玻璃纸和防水涂料等。

(十五) 马来酸酯类

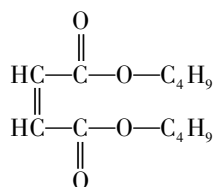
1. 马来酸二正丁酯

化学名 马来酸二正丁酯

英文名 Di-*n*-butyl maleate, DBM

化学文摘 CAS No. 105-76-0

结构式

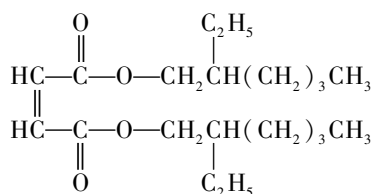


性质 无色透明油状液体。相对分子质量 228，相对密度 0.9944 (20℃)，粘度 0.007Pa·s (23℃)，色度 (APHA) < 30，凝固点 -80 ~ -65℃，沸点 174 ~ 178℃ (5332.3Pa)、280℃ (101324.72Pa)，闪点 (开杯法) 141℃，折射率 1.444 (25℃)，表面张力 0.032N/m (23℃)，溶于大多数有机溶剂。

用法及应用特点 本品为内增塑剂，可与氯乙烯、乙酸乙烯酯、苯乙烯或丙烯酸酯类等单体共聚，共聚物用于涂料、薄膜、粘合剂、橡胶、颜料固着剂等，在共聚物中本品所占比例不宜太大，一般应小于 10%，比例太大则导致树脂的耐热性能和力学性能逐渐下降。本品溶剂能力很强，对一般不易增塑的树脂（如丙烯腈、甲基丙烯酸酯）本品可有效地增塑。本品用于聚氯乙烯制品，可使制品柔软性、光洁度、透明度好，电性能得到改善。

2. 马来酸二(2-乙基己)酯

结构式



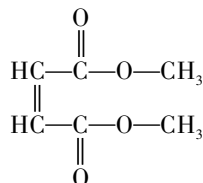
性质 近乎无色的清亮液体，微具气味。相对分子质量 340.5，相对密度 0.944 (25℃)，酯含量 > 98%，水分 < 0.1%，粘度 0.017Pa·s (23℃)，色度 (APHA) < 50，酸值 < 0.10mgKOH/g，凝固点 -50℃，沸点 195 ~ 207℃ (666.6Pa)，闪点 (开杯法) 180℃，蒸气压 < 1.333Pa (20℃)，折射率 1.4535 (25℃)，比热容 0.94J/(kg·K) (20℃)，表面张力 0.031N/m (23℃)，溶于大多数有机溶剂。

用法及应用特点 本品为内增塑剂，挥发性比 DMM 和 DEM 小得多，可与氯乙烯、乙酸乙烯酯、苯乙烯和丙烯酸酯类单体共聚，得到的共聚物具有优良的耐冲击性、抗龟裂性、电性能及光学性能，可用于薄膜、涂料、粘合剂、橡胶、颜料固着剂、石油添加剂、纸张处理剂等方面。本品与乙酸乙烯酯的共聚物为富有弹性的橡胶状物，可作为涂料使用。本品与氯乙烯的共聚物做成的薄膜具有良好的低温柔软性，但本品在共聚物中的比例不宜过大，一般不超过 10%，过大时，共聚树脂的耐热性和力学性能下降。本

品与多数天然树脂和合成树脂相容，但不与水溶性树脂相容。

3. 马来酸二甲酯

结构式



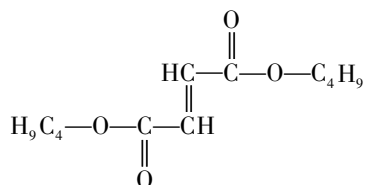
性质 无色明亮的液体。相对分子质量 144，相对密度 1.152（20℃），凝固点 -65℃，沸点 110~120℃（2666.4Pa），闪点 97℃。

用法及应用特点 本品为内增塑剂，可与氯乙烯、乙酸乙烯酯、偏二氯乙烯和苯乙烯等单体共聚，制得各具特色的共聚物。本品的挥发性大。

（十六）富马酸酯类

1. 富马酸二正丁酯

结构式

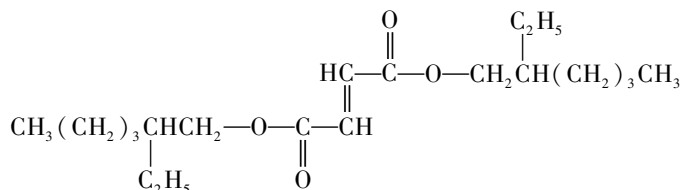


性质 微具特殊气味的无色液体。相对分子质量 228，相对密度 0.987（20℃），酯含量 >98%，水分 <0.5%，粘度 0.0095Pa·s（25℃），色度（APHA）<50，酸度（以乙酸计）<0.01%，凝固点 -21~-12.5℃，沸点 138℃（666.6Pa）、285℃（101324.72Pa），闪点（开杯法）138℃，表面张力 0.032N/m（25℃），膨胀系数 0.0007℃⁻¹，折射率 1.444（25℃），溶于大多数有机溶剂。

用法及应用特点 本品为内增塑剂，可与氯乙烯、乙酸乙烯酯、苯乙烯和丙烯酸酯类单体共聚，由这些共聚物制得的薄膜，不会因增塑剂的挥发、迁移或被溶剂抽出而脆化，显示永久的增塑效应。本品与乙酸乙烯共聚物可作为粘合剂、表面处理剂和涂料等。本品可与多数合成和天然树脂相容，但不与水溶性树脂相容。

2. 富马酸二（2-乙基己）酯

结构式



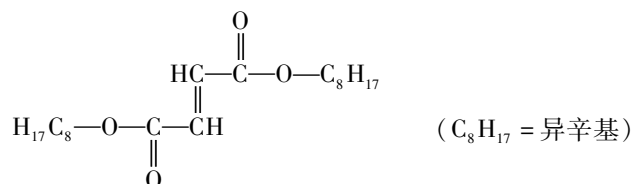
性质 近乎无色的液体，微具气味。相对分子质量 340，相对密度 0.934~0.942（20℃），粘度 0.0206Pa·s（25℃），色度（APHA）<25，酸度（以乙酸计）<0.01%，凝固点 -62~-58℃，沸点 160℃（666.6Pa），闪点（开杯法）193℃，膨胀

系数 $0.00069^{\circ}\text{C}^{-1}$ ，折射率 1.544 (25℃)，表面张力 0.032N/m (23℃)，溶于大多数有机溶剂。

用法及应用特点 本品为内增塑剂，挥发性较低，可与多种单体共聚，所得的共聚物用于增强塑料、离子交换树脂和橡胶等，制品显示永久性的增塑效应。本品可与多数合成树脂和橡胶相容，但不与水溶性聚合物相容。

3. 富马酸二异辛酯

结构式



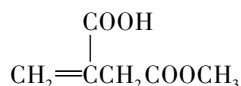
性质 近乎无色的液体。相对分子质量 340，沸点 219℃ (666.6Pa)，闪点 (开杯法) 182℃。

用法及应用特点 本品为内增塑剂，性能和用途与富马酸二(2-乙基己)酯类似。

(十七) 衣康酸酯类

1. 衣康酸单甲酯

结构式



性质 白色结晶，无臭。相对分子质量 144，熔点 67℃，沸点 149℃ (1600Pa)，色度 (APHA) <500。

用法及应用特点 本品为内增塑剂，可作为单体参与共聚，也可作交联剂。

2. 衣康酸单丁酯

结构式

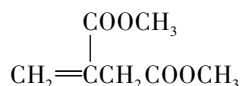


性质 白色或浅黄色结晶，无臭。相对分子质量 186，熔点 40℃，色度 (APHA) <1000。

用法及应用特点 本品为内增塑剂，可作为共聚单体，也可用作交联剂。

3. 衣康酸二甲酯

结构式

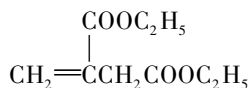


性质 白色结晶，微具特殊气味。相对分子质量 158，相对密度 1.124 (20℃)，凝固点 38℃，沸点 208℃ (101324.72Pa)，色度 (APHA) <100。

用法及应用特点 本品为内增塑剂，可作为共聚单体，也可用作交联剂。

4. 衣康酸二乙酯

结构式



性质 无色透明液体，微具特殊气味。相对分子质量 186，相对密度 1.046 (20℃)，粘度 0.0037Pa·s (20℃)，沸点 228℃ (101324.72Pa)，色度 (APHA) <100。

用法及应用特点 本品为内增塑剂，可作为共聚单体，也可用作交联剂。

(十八) 聚合型增塑剂

1. 聚乙二醇

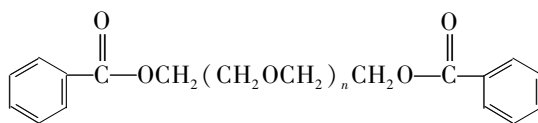
结构式 $\text{H}(\text{OCH}_2\text{CH}_2)_n\text{OH}$

性质 相对分子质量 200~6000。

用法及应用特点 本品由环氧乙烷催化聚合而成，俗称氧化石蜡，可作为硝酸纤维素和橡胶的增塑剂，也可用作加工助剂，改善配合料的润滑性。

2. 聚乙二醇(200)二苯甲酸酯

结构式

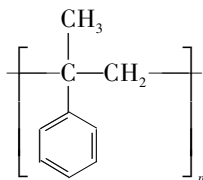


性质 无色液体，微具气味。平均相对分子质量 408，相对密度 1.158 (25℃)，粘度 0.101Pa·s (20℃)，色度 (APHA) <100，酸度 (以苯甲酸计) 0.1%，溶于醇类、酮类、卤代烃等许多有机溶剂，微溶于石蜡，在水中的溶解度 0.80%。

用法及应用特点 本品与许多树脂有一定的相容性，但与聚氯乙烯的相容性小，主要用于酚醛树脂，特别是层压板方面。本品可改善制品的挠曲性和耐热扭变性，同时对电性能无不良影响。本品还可用于醇酸树脂改性的酚醛树脂漆、聚乙酸乙烯酯粘合剂。

3. 聚 α-甲基苯乙烯树脂

结构式



性质 因聚合度不同，产品物化性质不一，现以“Dow resin276-V9”为例介绍其性能：透明或浅黄色黏稠液体，相对分子质量 355，相对密度 1.04 (60℃)，沸程 150~300℃ (666.6Pa)，碘值 4gI₂/100g，闪点 (开杯法) 182℃，着火点 207℃，粘度 0.70~1.0Pa·s (60℃)，折射率 1.57 (60℃)，挥发度 18%~20% (100℃, 100h)，可溶于许多有机溶剂。

用法及应用特点 本品为乙烯基树脂的辅助增塑剂，具有优良的光热稳定性、耐化学药品性和电性能，迁移性小，适用于聚氯乙烯压延、挤塑、模塑制品和增塑糊，一般

用量为 10% ~ 20%，可提高制品的电绝缘性能，改善制品的外观特征，特别是在挤塑和压延制品中，效果尤为突出，制品表面光亮，透明性好，手感滑爽。本品还可用于以乙基纤维素为基质的热熔可剥涂层。

4. 聚酯类增塑剂

用法及应用特点 相对分子质量在 800 ~ 8000 之间的低相对分子质量聚酯，由饱和的脂肪族二元酸（有时用邻苯二甲酸）与二元醇缩聚而得，大量的商品聚酯增塑剂用一元醇或一元酸封端。这类增塑剂的特点是耐久性特别好，因此有永久性增塑剂之称。如低相对分子质量聚己二酸-1, 3-丁二酯 [Poly (1, 3-butylene adipate)]、聚己二酸-1, 4-丁二酯 [Poly (1, 4-butylene adipate)]、聚戊二酸癸二酯 [Poly (decamethylene glutarate)]、聚戊二酸乙二酯 [Poly (ethylene glutarate)]、聚辛二酸乙二酯 [Poly (ethylene glycol suberate)] 等一大类。本品用作聚氯乙烯及橡胶制品的增塑剂。

5. 低分子量聚三氟氯乙烯

结构式 $[-CF_2-CFCl-]_n$

性质 无色透明油状液体。相对分子质量约 900 的本品相对密度 1.935 ~ 1.955 (25℃)，流动点 -20 ~ 0℃，粘度 100 ~ 250mPa · s，相对分子质量约 1000 的本品相对密度 1.960 ~ 1.975 (25℃)，流动点 5 ~ 15℃，粘度 350 ~ 1500mPa · s。

用法及应用特点 本品可作为塑料的增塑剂、脱模剂。本品可调节塑料制品的硬度，并给予其弹性，加入到环氧树脂中可延长其使用寿命，增加柔软性，提高表面电阻率。

6. 低分子量聚苯乙烯

性质 浅色液体或固体，相对密度 1.01 ~ 1.05，熔点分 5℃、25℃、50℃、75℃ 各等级；而相对密度 1.05 ~ 1.06 的固体，熔点为 75℃、100℃、125℃、150℃ 等级别。

用法及应用特点 分子量很低，常温下为液体的产品多用作树脂的增塑剂，分子量相对较高的固体产品用作树脂的增粘剂和增量剂、环氧树脂的改性剂，高熔点的产品用作橡胶补强剂。

第二节 发 泡 剂

一、简介

发泡剂是指能在塑料加工过程中放出气体，从而形成泡孔结构，即制造发泡塑料而添加的一类助剂。它们在特定的条件下产生大量气体，使塑料形成气固结合的多孔结构，可降低塑料的密度和硬度，或增强其隔音性和隔热性。

发泡剂按其产生气体的方式可分为物理发泡剂和化学发泡剂两种。

物理发泡剂包括三类：①压缩气体；②可溶性固体；③沸点低于 110℃ 的挥发性液体。物理发泡剂主要是通过其物理状态变化来产生气体。例如，在加工过程中，当压力消除时，压缩气体膨胀或液体受热蒸发膨胀，溶出可溶性固体或物质升华来形成塑料中

的泡孔。其中，挥发性液体是物理发泡剂的主要品种。液体挥发是一个吸热过程，采用挥发性液体发泡剂时容易控制温度，防止聚合物的热降解，阻止“芯烧”，有利于制得较厚的发泡体。

化学发泡剂又称分解性发泡剂。它们能均匀地分散于树脂中，受热分解，可产生至少一种气体。化学发泡剂可分为无机发泡剂和有机发泡剂两类。有机发泡剂是塑料中使用的主要发泡剂，主要是偶氮类、亚硝基类和磺酰肼类。另外还有一些发泡剂组成物，其发泡气体是通过两个组分间的吸热反应而释放出来的。

发泡剂应具备如下条件：

- 1) 单位质量的发气量大，发气速率可调节。
- 2) 发泡剂的分解温度与树脂基体的熔融温度或硬化反应温度接近，且分解温度应落在塑料加工温度的一定狭窄范围内。
- 3) 无色、无臭，分解残余物无毒性，无不良气味，对塑料无着色和污染，不析出。
- 4) 放出气体无腐蚀性、无刺激性、无毒、不燃。
- 5) 具有一定的稳定性，便于储存和运输。
- 6) 分解放热小，产生的气体在树脂熔体中扩散速度小。
- 7) 不影响树脂固化或交联反应，对聚合物的稳定性能及耐候性无影响。
- 8) 价格便宜。

二、主要品种与性能

(一) 偶氮类

1. 偶氮二甲酰胺

性质 橘黄色结晶粉末。相对分子质量 116.1，相对密度 1.65，细度（200 目通过） $\geq 99.5\%$ ，水分 $\leq 0.1\%$ ，灰分 $\leq 0.1\%$ ，溶于碱，不溶于醇、汽油、苯、吡啶等一般有机溶剂，难溶于水，分解温度 190 ~ 205℃，不易燃。发气量为 200 ~ 300mL/g，主要是氮气、一氧化碳和少量二氧化碳。室温储存稳定，有自熄性，但在 120℃ 以上时因分解产生大量气体，在密闭容器中易发生爆炸。

用法及应用特点 本品作为高效发泡剂，应用广泛，发气量大，价格较便宜，适用于 PE、PVC、PS、PP、ABS 等。其分解产物无毒、无臭、不污染，可以制得纯白的泡沫体。本品分解温度高，产生的气泡均匀、致密，适用于闭孔泡沫体、常压或加压发泡体，厚的或薄的发泡体等各种发泡制品，如 PVC 和增塑糊发泡体，聚烯烃的压延和模塑发泡体，发泡人造革等。有机酸及其盐类、尿素、缩二脲、联二脲、硼砂、乙醇胺、氧化锌、碱式铅盐等对本品有活化作用，可以降低分解温度。用于 PVC 时，配方中的铅盐热稳定剂对本品有活化作用，会影响发泡条件，在配方设计时应予以注意。

2. 2, 2'-偶氮二异丁腈

性质 白色结晶粉末。相对密度 1.1，挥发分 1%，甲醇不溶物 0.1%，熔点 $> 99^\circ\text{C}$ 。溶于甲醇、乙醇、丙醇、乙醚、石油醚等有机溶剂，不溶于水。分解温度 98 ~ 110℃，放出氮气，发气量 130 ~ 155mL/g。室温下缓慢分解，30℃ 下储存数月后显著变

质,应在 10℃ 以下存放。

用法及应用特点 本品是最早使用的偶氮类发泡剂,特别适用于 PVC,还可用于环氧树脂、PS、酚醛树脂及橡胶等。分解发热量低,约 125.6 ~ 167.5J/mol,故使用量高达 40% 也不致使制品烧焦,可制得洁白制品。本品分解温度低,可用于普通的 PVC 糊。本品毒性较大,大大限制了其应用领域。近年来,其作为发泡剂应用已日渐减少,主要用作聚合引发剂。

3. 偶氮二异庚腈

性质 无色或白色菱形片状结晶,易燃易爆。有顺式和反式两种异构体,其熔点分别是 55.5 ~ 57℃ 和 74 ~ 76℃。不溶于水,溶于醇、醚和二甲基甲酰胺等有机溶剂。遇热和光分解放出氮气,同时产生含氰游离基。结晶体活性氧含量相当于 6.35%。

用法及应用特点 本品可作 PVC、PVOH、PMMA 等高分子化合物的聚合引发剂,也可用作塑料和橡胶的发泡剂。

4. 偶氮二甲酸二异丙酯

性质 橙色油状液体。相对分子质量 202,凝固点 2.4℃,沸点 75.5℃ (33.31Pa)。单独加热时,240℃ 下仍然稳定。使用铅盐、有机锡化合物、镉皂和锌皂等热稳定剂可以使其活化,降低分解温度。在 100 ~ 200℃ 内的发气量为 200 ~ 350mL/g。溶于常见的增塑剂。

用法及应用特点 本品为液体发泡剂,适用于 PE、PP、PVC 等。本品在塑料中易分散,泡孔结构均匀致密,分解产物无臭、无毒、无色、不污染,可以制造色泽极浅的泡沫塑料。调整配方和加工条件,可制得闭孔或开孔泡沫体。

5. 偶氮二羧酸钡

性质 亮黄色粉末。相对分子质量 253.37,相对密度 1.67,分解温度 240 ~ 250℃。发气量 170 ~ 175mL/g,分解产生氮气、一氧化碳、二氧化碳、碳酸钡等,在普通溶剂中不溶。

用法及应用特点 本品为高温发泡剂。分解温度高,加工安全性好。适用于软化点高的聚合物,特别是 PP。本品作为尼龙树脂的注塑成型和挤塑成型用发泡剂也有良好的效果,还可用于硬质和半硬质 PVC、ABS 等。

6. 偶氮二羧酸二乙酯

性质 红色无气味的油状液体。相对分子质量 174.16,分解温度 110 ~ 120℃。发气量 190mL/g,溶于增塑剂。储存稳定,对硫化促进剂无反应,对水分和 pH 变化敏感。金属盐 (Cu、Fe、Co、Pb、Al、Sn 等金属) 可促进分解。

用法及应用特点 本品可作为 PVC 及其共聚物、PE、聚酯、环氧树脂、PS、橡胶的发泡剂,用量为 0.5% ~ 10%。

7. 偶氮胺苯

性质 黄棕色结晶,有特殊气味。相对分子质量 197.24,熔点 96 ~ 98℃,分解温度 150℃,发气量 113mL/g,储存稳定。易从制品表面析出结晶,在酸性介质中会在较

低温度下分解。

用法及应用特点 本品可作为 PVC 及其共聚物、PS、PE、酚醛树脂、环氧树脂、生胶和橡胶、聚硅氧烷聚合物的发泡剂，属于污染性发泡剂，用量 0.1% ~ 5%。

（二）亚硝基化合物类

1. N, N'-二亚硝基五亚甲基四胺

性质 淡黄色结晶粉末。相对分子质量 186.18，相对密度 1.45。本身无臭，在潮湿状态下有甲醛味。溶解度（室温）：甲乙酮 1.6g/100g 溶剂、吡啶 1.8g/100g 溶剂、乙酰乙酸乙酯 2.6g/100g 溶剂、乙腈 5.6g/100g 溶剂、吗啉 2.0g/100g 溶剂、1-硝基丙烷 1.4g/100g 溶剂、二甲基甲酰胺 14.7g/100g 溶剂。在水、乙醇、苯、乙醚、丙酮中的溶解性良好。分解温度 190 ~ 205℃（空气中）、130 ~ 190℃（树脂中或使用分解助剂），发气量 260 ~ 270mL/g。分解气体主要是氮气，有少量一氧化碳和二氧化碳等。本品易燃，与酸或酸雾接触会迅速起火燃烧，故不能与这些物质共同存放，并应严禁明火。

用法及应用特点 本品作为发泡剂多用于 PVC。发气量大，发泡效率高，使用水杨酸、己二酸、邻苯二甲酸等有机酸或尿素为发泡助剂，可以降低分解温度（通常调节在 90 ~ 130℃）。分解时发热量大，易造成厚制品的“芯烧”，且分解产物有恶臭。并用尿素后可消除臭味。本品在 PVC 中的用量为 7% ~ 15%。

产品质量标准 见表 5-2。

表 5-2 N, N'-二亚硝基五亚甲基四胺的产品质量标准

外观	浅黄色细晶粉末	分解温度/℃	≥200
熔点/℃	>200	灰分（%）	≤0.15
发气量/（mL/g）	≥240	细度/目	120
纯度（%）	≥98	水分（%）	≤0.2

2. N, N'-二甲基-N, N'-二亚硝基对苯二甲酰胺

性质 黄色粉末。相对分子质量 250.21，相对密度 1.2，商品化产品中有效成分为 70%，空气中分解温度为 105℃，树脂中为 90 ~ 105℃，发气量为 126mL/g，分解气体主要是氮气。纯品为爆炸物，对冲击和摩擦敏感，故商品中充入惰性填料以增加安全性。

用法及应用特点 本品可用作 PVC 发泡剂，特别适用于 PVC 糊，不使用发泡助剂即可制得开孔和闭孔的泡沫体。分解生热小，可用于厚制品，分解残余物无污染，但在塑料中会喷霜。

3. 硝基胍

性质 白色针状或棱状晶体。相对分子质量 104.07，熔点约 203℃，水中溶解度 82.5g/L（100℃）、4.4g/L（25℃），微溶于乙醇、丙酮，几乎不溶于乙醚，易爆炸。

用法及应用特点 本品适合作高软化点的聚烯烃的发泡剂，也可用于有机合成，制备氨基胍、药物乐可安等，也可用于炸药和无烟火药的配制。

（三）磺酰肼类

1. 苯磺酰肼

性质 淡黄色或白色细微粉末。相对分子质量 172.20，相对密度 1.43 ~ 1.48，熔点 99℃，空气中分解温度 >95℃，塑料中分解温度为 95 ~ 100℃，发气量为 130mL/g，分解气体中主要是氮气，有少量水蒸气。

用法及应用特点 可用于 PVC、酚醛树脂、聚酯发泡剂。分解过程伴有发热，使制品内部温度升高，故最好与碳酸氢钠混合使用。本品分解后产生的含硫化合物有臭味。

2. 对甲苯磺酰肼

性质 白色结晶细微粉末。相对分子质量 186，相对密度 1.40 ~ 1.42，熔点 100 ~ 110℃，易溶于碱，溶于甲醇、乙醇、甲乙酮，微溶于水、醛类，不溶于苯和甲苯，分解温度 100 ~ 110℃，放出氮气和少量水，发气量为 110 ~ 125mL/g，在热水中水解产生磺酸，并放出氮气。常温下无吸湿潮解现象，化学性质稳定，本品为可燃性物质，但遇酸不燃烧。

用法及应用特点 本品为低温发泡剂，适用于 PVC 等多种塑料和橡胶。发生的气体和分解残渣无毒、无臭、无污染。本品产生的泡孔结构细密均匀，制品收缩率小，撕裂强度大，特别适合于制造闭孔泡沫塑料和海绵胶。本品用于 PVC 可制得白色泡沫体，但用于此场合的模具表面必须镀铬。由于本品分解温度较低，捏炼加工时应避免温度过高（一般低于 80℃），以防提前发泡。使用本品时可不用发泡助剂。本品不能与发泡剂 H 并用，因这两种发泡剂反应产生大量热量，可导致制品内部烧焦。本品也不宜与铅盐并用，以免产生黑色硫化铅沉淀。

产品质量标准 见表 5-3。

表 5-3 对甲苯磺酰肼的产品质量标准

外观	白色粉末	灰分 (%)	≤0.5
水分 (%)	≤1	纯度 (%)	≥95
细度(通过 100 目英国标准筛)(%)	100		

3. 4, 4'-氧双（苯磺酰肼）

性质 白色或淡黄色结晶粉末。相对分子质量 358.39，相对密度 1.52，分解温度 140 ~ 160℃，放出氮气和水蒸气，发气量约为 120mL/g。溶于环己酮、乙二醇、乙醚，微溶于乙醇和温水，不溶于苯和汽油。

用法及应用特点 本品为适应性极广的发泡剂，有万能发泡剂之称。可用于 PVC、PE、PP、ABS 树脂等，也可作为塑料与橡胶的共混物及各种合成橡胶的发泡剂。其结构中虽然含有醚键，但非常稳定。在树脂中的分解温度为 120 ~ 140℃。使用碳酸氢钠可使其活化，降低分解温度。泡孔结构细微均匀，分解气体和残余物无毒、无臭，不污染制品。适用于制造 PE 发泡电线电缆绝缘材料，微孔 PVC 糊泡沫体等各种泡沫塑料。本品加工安全性高，在 100℃以内不提前发泡。本品在分解发泡时产生水，故对于忌水场合不适用。

4. 3, 3'-二磺酰肼二苯砷

性质 灰白色粉末。相对分子质量 406.45, 相对密度 1.60, 在空气中的分解温度为 148℃, 在乙烯基塑料中的分解温度为 135 ~ 145℃, 发气量为 110mL/g。

用法及应用特点 本品主要作为软质 PVC 发泡剂, 也可用于硬质 PVC 和 PE。发泡时分解生成的气体无恶臭, 无毒, 但残余物有污染性, 可使制品带色。

5. 1, 3-苯二磺酰肼

性质 商品形式为 50% 本品与 50% 氯化石蜡的混合物, 是含有灰白色细微粒子的膏状物。相对分子质量 266.29, 相对密度 1.5, 在空气中的分解温度约为 150℃, 在塑料中的分解温度为 115 ~ 130℃, 发气量 300mL/g。

用法及应用特点 本品可作为橡胶和塑料发泡剂, 主要用于橡胶。加工安全性高, 提前发泡的危险性小。碱性物质可降低其分解温度。分解产生的气体主要是氮气。

6. 对甲苯磺酰氨基脲

性质 白色细微粉末。相对分子质量 229.25。溶于二甲基亚砷、二甲基甲酰胺、二甲基乙酰胺、浓氢氧化铵和碱水, 不溶于乙酸、丙酮、四氯化碳、乙二醇、异丙醇、石油醚、甲苯和水。在空气中的分解温度为 230℃, 在塑料中的分解温度为 213 ~ 225℃。放出的气体主要是氮气和二氧化碳 (约 2:1)。分解后的固体残余物主要是对二甲苯二硫化物和对甲苯磺酸铵, 前者可溶于苯, 后者可溶于水。本品在室温下有良好的储存稳定性, 但应避免靠近蒸汽管道、火源和阳光直晒。

用法及应用特点 本品为高温氮气发泡剂, 特别适用于高温加工的塑料, 如 ABS 树脂、尼龙、硬质 PVC、HDPE、PP、PC 等。加工安全性好, 无提前发泡的危险。本品也可用于天然橡胶和合成橡胶的发泡。

7. 4, 4'-氧双 (苯磺酰氨基脲)

性质 分解温度为 210 ~ 220℃, 发气量约为 145mL/g, 放出的气体主要是氮气和二氧化碳。

用途 本品为高温发泡剂, 适用于硬质 PVC、HDPE、高软化点 PP、PC、ABS 树脂等加工温度高的塑料。

(四) 发泡促进剂

1. KZ-110 催发泡稳定剂

性质 黄色或浅黄色黏稠液体。相对密度 0.92 ~ 0.96 (25℃), 金属总含量 ≥10%。

用法及应用特点 本品为偶氮二甲酰 (A.C) 化学热分解的促进剂, 能降低 A.C 发泡分解温度, 兼有热稳定作用, 并且具有发泡制品倍率高和泡孔均匀、细等优点。本品广泛应用于 PVC 发泡制品中, 添加量为 2 ~ 3 份。

2. 甲基丙烯酸异丁酯与各种添加剂的混合物

用法及应用特点 该产品适用于人造革、地板革等各种 PVC 发泡制品, 高发泡制品使用本品效果更佳。本品能提高制品的发泡倍率, 改进制品的泡孔结构, 使制品的泡

孔均匀细密,增强制品的拉伸强度和柔性。因本品为高粘度产品,不易分散,使用时最好用一定比例增塑剂稀释以达到均匀分散的效果,添加量为 0.3~0.7 份。

3. PVC 发泡调节剂 ZB-530

性质 具有多层结构的超高分子量聚合物,白色易流动粉末。粒度(40 目) $\geq 98\%$,水分含量 $\leq 1.0\%$,特性粘度(η , 25℃) 4.5~6.5。

用法及应用特点 本品广泛用于 PVC 发泡制品。在 PVC 低发泡材料中添加发泡调节剂 ZB-530 可促进 PVC 的塑化,改善表面质量和提高熔体的强度及延伸性,从而使材料得到致密的泡孔结构和低的制品密度。本品用在 PVC 挤出低发泡板材、管材、异型材中特别有效,添加量为:FPVC 板中 5~10 份、FPVC 管中 3~8 份、FPVC 异型材中 6~8 份。

4. 超高分子量 AS (苯乙烯和丙烯腈) 共聚物

性质 白色易流动粉末。相对分子质量 $>3 \times 10^6$,细度(40 目) 0.45mm $\geq 98\%$,水分含量 $\leq 1.0\%$ 。

用法及应用特点 ZB-400 适合于自由发泡制品的应用,与其他牌号发泡调节剂比较有功能相近、成本低的优点,在增加熔体黏弹性方面更好,在促进塑化方面略差,可调节制品发泡密度并增强其强度。添加量为 5~10 份。

5. MS-1 发泡助剂

性质 白色珠状。熔点 63~65℃,沸点 185℃。

用法及应用特点 本品是专门针对聚乙烯发泡塑料的高效稳泡剂。配合丁烷等发泡剂使用有非常好的效果,可以改善发泡体系的稳定性,均衡气泡分布,提高发泡率,增加产品洁白度。添加量为 3%~4%。

(五) 其他发泡剂

1. 三胍基三嗪

性质 白色或灰白色粉末。相对分子质量 171.61,分解温度 235~275℃,发气量约为 247mL/g。放出的气体主要是氮气和二氧化碳。

用法及应用特点 本品为高温发泡剂,适用于硬质和半硬质 PVC、PP、PC、ABS 树脂、聚酰胺等加工温度高的塑料。加工安全性好。

2. 5-苯基四唑

性质 液体状物。相对密度 1.105 (50℃)。

用法及应用特点 本品为高温发泡剂,适用于 PC、聚酰胺等熔融温度高的聚合物。

3. 聚硅氧烷-聚烷氧基醚共聚物

性质 黄色或棕黄色油状黏稠透明液体,相对密度 1.04~1.08,酸值 $< 0.2\text{mgKOH/g}$,粘度 0.15~0.5Pa·s (50℃)。

用法及应用特点 本品是聚醚型聚氨酯泡沫塑料一步法生产中用的泡沫稳定剂,也可作为聚氨酯类、丙烯酸酯类涂料的流平剂,在彩色胶片防光晕层的涂布方面也有应用。

4. 碳酸氢铵

性质 无色正交结晶或白色单斜结晶。相对分子质量 79.06，相对密度 1.58。干燥品几乎无氨味。有潮气时 36℃ 以上开始缓慢分解，生成氨、二氧化碳和水。溶于水，不溶于醇、丙酮等有机溶剂，水溶液呈碱性。

用法及应用特点 本品用作海绵橡胶制品的发泡剂，用量为 10% ~ 15%。由于本品分解可逆，应控制其分解速度，可制得均匀的微孔泡沫制品。本品还是一种中性肥料，适用于各种作物和各种土壤。本品也可用于食品行业和制药工业。

5. 碳酸氢钠

性质 白色粉末或不透明单斜晶系细微结晶，无臭、无毒、味咸。相对分子质量 84.00，相对密度 2.159。分解温度 100 ~ 140℃，放出气体为二氧化碳和水。发气量为 267L/kg。加热到 270℃ 熔融并完全失去二氧化碳。在潮湿的空气中会缓慢分解。易溶于水，微溶于乙醇。水溶液呈碱性。

用法及应用特点 本品用作橡胶及酚醛树脂的发泡剂，还可作为聚氯乙烯、聚苯乙烯的助发泡剂。在食品工业中用作发酵剂、汽水和冷饮中的二氧化碳发生剂、黄油保护剂。本品可直接用作制药工业的原料及羊毛洗涤剂、泡沫灭火剂，还可用于电影制片、鞣革、选矿、冶金、金属热处理及农业浸种剂等。

6. Ficel CR

性质 黄色粉末。在 PVC 树脂中的分解温度为 170℃，在橡胶胶料中的分解温度 150 ~ 160℃。发气量略高于偶氮二甲酰胺。

用法及应用特点 本品可作为 PVC 用发泡剂，根据加工条件亦可用于 EVA 树脂。本品的发泡残余物近似白色，故可用于浅色泡沫制品。由本品制得的 PVC 泡沫塑料有时残存微弱的臭味，但在短时间内即可消失。

7. WFB 系列 UPVC 微发泡多功能综合剂（无铅化）

性质 产品技术指标见表 5-4。

表 5-4 WFB 系列 UPVC 微发泡多功能综合剂（无铅化）的技术指标

项 目	指 标		
	WFB	WFB-P	WFB-X
外观	浅黄色粉体		
表观密度/（g/cm ³ ）	0.40 ~ 0.60	0.30 ~ 0.50	0.30 ~ 0.50
挥发分（105℃，4h）（%）	≤2.0	≤2.0	≤2.0
金属氧化物含量（%）	≤24	≤24	≤24

用法及应用特点 应用本产品，PVC 加工配方中无需加入稳定剂、润滑剂、调节剂和整泡剂。

WFB 系列 UPVC 微发泡多功能综合剂（无铅化）系列产品可满足 PVC 结皮发泡的加工需要，制品发泡倍率高、密度小、泡孔微细均匀、力学性能优良。可为用户简化配

方设计,降低生产成本。本品是一种新型的 PVC 多功能复合添加剂。

本系列产品具有下述应用特点:

- 1) 具有优异的热稳定性、润滑性和耐候性。
- 2) 采用无铅化稳定体系,耐硫化污染,环保卫生。
- 3) 具有优异的发泡调节性,发泡倍率高,泡孔微细均匀,制品密度小。
- 4) 抗析出,发泡成型加工稳定性好,能进行长期稳定的生产。
- 5) 简化配方,配料方便,节时省力。

8. WFL 系列 UPVC 微发泡多功能综合剂

性质 产品技术指标见表 5-5。

表 5-5 WFL 系列 UPVC 微发泡多功能综合剂的技术指标

项 目	指 标		
	WFL	WFL-P	WFL-X
外观	浅黄色粉体		
表观密度/(g/cm ³)	0.40~0.60	0.40~0.60	0.40~0.60
挥发分(105℃,4h)(%)	≤2.0	≤2.0	≤2.0
金属氧化物含量(%)	≤24	≤40	≤40

用法及应用特点 WFL 系列 UPVC 微发泡多功能综合剂系列产品可满足 PVC 结皮发泡的加工需要,制品发泡倍率高、密度小、泡孔微细均匀、力学性能优良,可为用户简化配方设计,降低生产成本。本品是一种新型的 PVC 多功能复合添加剂。应用本产品,PVC 加工配方中无需加入稳定剂、润滑剂、调节剂和整泡剂。

本品具有下述应用特点:

- 1) 具有优异的热稳定性、润滑性和耐候性。
- 2) 具有优异的发泡调节性,发泡倍率高,泡孔微细均匀,制品密度小。
- 3) 与 PVC 相容性好,能促进 PVC 熔融塑化,提高熔体强度,加工性能优良。
- 4) 抗析出,发泡成型加工稳定性好,能进行长期稳定的生产。
- 5) 简化配方,配料方便,节时省力。

适用范围及推荐用量见表 5-6。

表 5-6 WFB 系列和 WFL 系列 UPVC 微发泡多功能综合剂的适用范围及推荐用量

型 号	适用范围	推荐用量/份(phr)
WFB	板材	21~25
WFB-P	皮层	10
WFB-X	芯层	13~15
WFL	板材	23~25
WFL-P	皮层	10
WFL-X	芯层	13~15

第三节 着色剂

一、简介

在塑料加工业中，着色是关系到塑料制品质量和商品价值的主要因素之一。着色能使制品充分体现时尚、流行，刺激消费者的购买欲望；也可用作鉴别信号，区分电信和电气工程线路，标志产品品种、等级及批号等。因此，塑料的着色越来越受到塑料制品生产厂商的重视。

塑料用着色剂就是能使塑料着色的一种助剂，主要有颜料和染料两种。颜料是一种不溶的，以不连续的细小颗粒分散于整个树脂中而使之着色的着色剂，包括有机物和无机物两类。染料则是可溶解于树脂中的着色剂，它们是有机化合物，比无机化合物鲜艳、牢固和透亮。

一般说来，着色剂应具备如下条件：色彩鲜艳，着色力大，透明度好，色相与给定的标准色样尽量接近，耐热性好，耐候性强，与树脂有好的相容性或分散性，对塑料的流动性、加工性、可塑性等无影响，对涂饰、印刷等二次加工无害，稳定性好，用量范围较大，对热固性树脂的固化、交联或缩聚无妨碍，耐溶剂性好，耐化学性好，不影响制品的使用性能（尤其是电性能），无毒、无味、无污染，便于处理，价廉易得。

当针对某一树脂选配着色剂时需考虑诸多方面的因素，主要是加工温度（过高时可能烧焦）、化学相容性（渗色或变色）、光稳定性（防老化）等方面。若用于食品包装或医疗方面，还应考虑其使用限制问题，即只可使用那些不含重金属的着色剂或经有关单位批准可用于与食品接触的着色剂。

二、主要品种与性能

（一）无机着色剂

1. 二氧化钛

化学名 二氧化钛

英文名 Titanium dioxide

商品名 钛白粉

结构式 TiO_2

性质 无臭无味的白色粉末。相对分子质量 79.9，相对密度 3.9 ~ 4.2，熔点 1560 ~ 1580℃，折射率 2.55 ~ 2.70，平均粒径 0.25 ~ 0.32 μm，钛含量 < 0.5%，水溶物含量 < 0.5%，加热减量 < 0.5%，吸油量 11.0 ~ 14.0 g/100g，不溶于水、有机酸、稀无机酸、有机溶剂和油，微溶于碱，在浓硫酸和氢氟酸中长时间煮沸可完全溶解。根据结晶形式，本品可分为以下两种：金红石型（简称 R 型），相对密度 4.26，折射率 2.72；锐钛型（简称 A 型），相对密度 3.84，折射率 2.55。

用法及应用特点 钛白粉是白色颜料中着色力最强的品种，具有优良的遮盖力和着色牢度，适用于不透明的白色制品。金红石型钛白粉质地较软，耐候性和耐热性较好，屏蔽紫外线的作用强，不易变黄，而且耐水性也较好，特别适用于户外使用的塑料制品，可给予制品良好的光稳定性。锐钛型钛白粉的耐热性和耐光性较差，有促进聚合物老化的作用，主要适用于室内使用的制品，但该晶型略带蓝色，白度高，遮盖力大，着色力强，而且分散性较好。钛白粉的价格较高，在实际配方中多将其与其他白色颜料配合使用，不过在混合颜料中钛白粉的含量越小，着色力越低。为了提高钛白粉的性能，可以对其进行表面处理，例如，利用气相煅烧法在钛白粉粒子表面沉积一单分子层的氧化锌、氧化铝、二氧化硅或其他氧化物可以改善光稳定性和热稳定性。

2. 锌钡白

化学名 锌钡白

别名 立德粉

英文名 Lithopone

性质 化学组成为硫化锌（ZnS）和硫酸钡（BaSO₄）混合物，白色粉末。细度（325 目筛余物）<0.5%，平均粒径 0.3 ~ 0.5 μm，锌化合物（以硫化锌计）含量 > 28%，溶于乙酸的锌化合物（以氧化锌计）含量 < 1.25%，水溶性盐含量 < 0.5%，水分 < 0.5%，加热减量 < 0.3%，折射率约 2，遮盖力（以干颜料计）< 100 g/m²，吸油量 18%，日光晒 3600s 不变化，着色力 > 95%，不溶于水，与硫化氢及碱溶液不起作用，遇酸液分解释放出硫化氢，经长期日晒会变色，但放于暗处仍可恢复原色。

用法及应用特点 本品可作为塑料用白色颜料，遮盖力和着色力比锌白大，但不及钛白，价格低廉，制品经曝晒后有泛黄现象，适用于聚烯烃、乙烯基树脂、ABS 树脂、聚苯乙烯、聚碳酸酯、尼龙和聚甲醛等多种塑料，在聚氨酯和氨基树脂中效果较差，在氟塑料中不适用。本品还可作为填料使用。

3. 氧化锌

化学名 氧化锌

别名 锌氧粉，锌白

英文名 Zinc oxide

结构式 ZnO

性质 白色六角晶体或粉末。相对分子质量 81.38，相对密度 5.5 ~ 6.5，熔点 1720℃，折射率 1.95 ~ 2.0，细度（200 目筛余物）< 0.1%，平均粒径 0.2 ~ 0.8 μm，氧化锌 > 99.5%，氧化铅 < 0.06%，盐酸不溶物 < 0.008%，水溶性盐 < 0.1%，加热减量 < 0.2%，遮盖力 < 100 g/m²，吸油量 < 20%，着色力 < 95%。本品系两性化合物，溶于酸、碱金属氢氧化物、氯化铵和碳酸铵溶液，不溶于水和乙醇，加热时呈黄色，冷却后恢复白色，加热至 1800℃ 升华，在空气中能吸收二氧化碳和水。

用法及应用特点 本品可作为塑料用白色颜料，耐光性、耐热性、耐水性、耐碱

性、耐溶剂性优良，价格低廉，但耐酸性差，着色力较低，不及钛白和锌钡白。本品适用于 ABS 树脂、聚苯乙烯、环氧树脂、酚醛树脂、氨基树脂和聚氯乙烯等塑料，不适用于不饱和聚酯、硅树脂、抗冲聚苯乙烯、聚甲醛、尼龙和纤维素等塑料。特种氧化锌可作为聚合物的光稳定剂。

4. 镉红

化学名 镉红

别名 硒红

英文名 Cadmium red

性质 化学组成为硫化镉和硒化镉的混合物 ($\text{CdS} \cdot \text{CdSe}$)，火红色粉末，色彩鲜艳。相对密度 4.5 ~ 5.3，折射率 2.5，平均粒径 0.3 ~ 2 μm ，耐热 $> 370^\circ\text{C}$ ，耐光性、耐热丝、耐水性、耐溶剂性、耐碱性优良，耐酸性较差，不溶于水和有机溶剂。

用法及应用特点 本品可作为塑料用红色着色剂，色泽鲜艳，遮盖力强，着色力大，耐热性高，特别适用于耐热制品，可用于聚氯乙烯、聚烯烃、聚苯乙烯、ABS 树脂、丙烯酸树脂、尼龙、聚碳酸酯、纤维素树脂、环氧树脂、不饱和聚酯等几乎所有的塑料品种。本品价格较高，用量较大，而且不适用于透明制品，与硫酸钡混合使用可适当降低成本。

5. 氧化铁红

化学名 氧化铁红

别名 铁丹，铁红

英文名 Red iron oxide

性质 化学组成为三氧化二铁 (Fe_2O_3)，一般为红色粉末，有天然产品和人工合成产品两种。天然产品主要取自赤铁矿的加工，含杂质多；合成产品的纯度较高，粒径均匀，适宜作塑料着色剂使用。因制法不同，产品颜色从红黄色到暗红色不等。相对密度 5.1 ~ 5.2，不溶于水、油和各种有机溶剂。

用法及应用特点 本品可作为塑料用红色着色剂，价格低廉，遮盖力强，着色力大，具有优良的耐光性、耐热性、耐溶剂性、耐水性和耐酸碱性，适用于聚烯烃、ABS 树脂、尼龙、聚苯乙烯、酚醛树脂、环氧树脂等多种塑料。本品在聚氯乙烯中也可使用，但有促进聚氯乙烯分解的副作用，一般不用于电缆料，多用于人造革中，可以单独使用，也可以拼色。本品不适用于透明制品。

6. 镉银朱

化学名 镉银朱

英文名 Cadmium vermillion

性质 化学组成为硫化镉和硫化汞的混合物 ($\text{CdS} + \text{HgS}$)，橙色至深红色粉末。相对密度 4.2 ~ 4.5。

用法及应用特点 本品可作为塑料用红色着色剂，具有良好的耐光性、耐热性、耐溶剂性和耐碱性，但不耐酸。着色力尚可，适用于聚氯乙烯、聚烯烃、ABS 树脂、尼龙、环氧树脂、不饱和聚酯、纤维素树脂等多种塑料。本品价格较高，多与硫酸钡

混用。

7. 镉朱红

化学名 镉朱红

英文名 Chrome vermillion

性质 化学组成为镉酸铅、钼酸铅和硫酸铅的混合结晶 ($\text{PbCrO}_4 \cdot \text{PbMoO}_4 \cdot \text{PbSO}_4$)，红色粉末。粒径 $0.2 \sim 0.6 \mu\text{m}$ ，耐热 180°C 。

用法及应用特点 本品可作为塑料用红色着色剂，适用于聚氯乙烯、聚苯乙烯、环氧树脂、纤维素树脂等，不适宜于高密度聚乙烯和聚丙烯。本品耐光性较低，通过表面处理可得以改善。

8. 镉黄

化学名 镉黄

英文名 Cadmium yellow

性质 主要成分是硫化镉 CdS ，淡黄色至橘黄色粉末。相对密度 $4.3 \sim 4.6$ ，平均粒径 $1 \sim 3 \mu\text{m}$ ，不溶于水和有机溶剂，溶于酸，易溶于氨水。

用法及应用特点 本品可作为塑料的黄色着色剂，颜色鲜艳，耐光性、耐热性优良，耐溶剂性、耐水性和耐碱性亦好，但不耐酸，着色力和遮盖力不太高，几乎适用于所有的塑料，可用于户外制品。

9. 铬黄

化学名 铬黄

英文名 Chrome yellow

性质 本品是铬酸铅或碱性铬酸铅与硫酸铅等不溶性盐的混合晶体，颜色随成分而异，从淡黄色到橙色，通常将其分成柠檬黄、淡铬黄、中铬黄、深铬黄和橘铬黄五种。相对密度 $6.0 \sim 6.6$ ，平均粒径 $0.2 \sim 1 \mu\text{m}$ 。

用法及应用特点 本品为不透明无机颜料，可作为塑料用黄色着色剂，着色力大，遮蔽力强，耐水性和耐溶剂性优良，但耐碱性差，耐光性和耐热性中等，多用于聚氯乙烯、聚苯乙烯、丙烯酸树脂等热塑性塑料，也可用于酚醛树脂、环氧树脂、氨基树脂、不饱和聚酯等热固性塑料，但色泽发暗。本品遇硫化物有变黑趋势，应避免与含硫着色剂并用。

10. 钛黄

化学名 钛黄

别名 钛镍黄

英文名 Titanium yellow

性质 主要成分是 $\text{TiO}_2 \cdot \text{NiO} \cdot \text{Sb}_2\text{O}_3$ ，柠檬黄色粉末。相对密度 4.4 ，平均粒径 $0.4 \sim 1.2 \mu\text{m}$ 。

用法及应用特点 本品可作为塑料用黄色着色剂，具有良好的耐光性、耐热性、耐水性、耐溶剂性和耐酸碱性，遇硫化物不反应变色，但着色力低。本品的适应性广，可用于各种热塑性塑料和热固性塑料。

11. 锌黄

化学名 锌黄

别名 锌铬黄

英文名 Zinc yellow

性质 化学组成为铬酸锌和铬酸钾的复合物 $[\text{K}_2\text{O} \cdot 4\text{ZnO} \cdot 4\text{CrO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}]$ 或 $\text{Zn} \cdot \text{CrO}_4 \cdot 4\text{Zn}(\text{OH})_2$ ，柠檬黄色粉末。相对密度 3.9 左右，温度达 150℃ 不致分解变色，溶于酸和碱，因含水分多，可部分溶于水。

用法及应用特点 本品可作为塑料用黄色着色剂，耐光性好，着色力和遮盖力较铬黄低，适用于聚苯乙烯、纤维素类树脂，在聚乙烯、环氧树脂及酚醛树脂中也可酌情使用，但不适用于聚氯乙烯、聚丙烯、尼龙、聚碳酸酯等塑料。

12. 群青

化学名 群青

别名 佛青，云青

英文名 Ultramarine

性质 化学组成为含多硫化钠的硅酸铝，蓝色粉末。相对密度 2.35 ~ 2.74，平均粒径 0.3 ~ 2.0 μm，折射率 1.50 ~ 1.54，加热减量 < 0.7%，游离硫 < 0.3%，不溶于水和有机溶剂，易受酸或空气作用而变色。

用法及应用特点 本品可作为塑料用蓝色着色剂，色彩鲜艳美丽，具有优良的耐光性、耐热性、耐水性、耐溶剂性和耐碱性，有增白作用，可以消除或降低白色料中所含的黄光，适用于聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、丙烯酸树脂、ABS 树脂、尼龙、聚碳酸酯、酚醛树脂、氨基树脂、不饱和聚酯等多种塑料，在聚氯乙烯中可酌情使用。本品耐酸性较差，并含有硫，与铅作用易污染制品。

13. 群青蓝

化学名 群青蓝

英文名 Ultramarine blue

性质 蓝色粉末。相对密度 2.35，筛余量 < 0.10%，水分 < 1.30%，可溶盐 < 0.70%，色差 $dE < 1.00\%$ ，吸油量 36% ~ 40%，游离硫 < 0.05%，耐碱性、耐溶剂性、耐候性优异，耐酸性差，热稳定温度高于 350℃。

用法及应用特点 本品可用于各种塑料着色。

14. 群青紫

化学名 群青紫

英文名 Ultramarine violet

性质 蓝色粉末。相对密度 2.35，筛余量 < 0.02%，水分 < 0.2%，可溶盐 < 0.70%，色差 $dE < 0.75\%$ ，吸油量 35%，游离硫 < 0.01%，耐碱性、耐溶剂性、耐候性优异，耐酸性差，热稳定温度高于 300℃。

用法及应用特点 本品可用于各种塑料着色。

15. 铁蓝

化学名 铁蓝

别名 普鲁士蓝, 华蓝

英文名 Iron blue

性质 主要成分是亚铁氰化铁 $\{\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}\}$, 深蓝色粉末, 因成分不同产品色彩不一。相对密度 1.8 ~ 1.9, 平均粒径 0.2 μm , 在 120℃ 时稳定, 在较高温度下变暗, 一般在 170℃ 以上失水分解或燃烧放出氨和氢氰酸, 不溶于水、乙醇和乙醚。

用法及应用特点 本品可作为塑料用蓝色着色剂, 着色力强, 透明性好, 耐光性亦佳, 并有增白作用, 但因耐热性较差, 受热时着色力下降, 因此仅适用于低温加工和使用的制品。

16. 钴蓝

化学名 钴蓝

英文名 Cobalt blue

性质 主要成分是铝酸钴 ($\text{CoO} \cdot n\text{Al}_2\text{O}_3$), 浅蓝色或深蓝色粉末。相对密度 3.4 ~ 3.7, 平均粒径 0.2 ~ 1 μm 。

用法及应用特点 本品可作为塑料用蓝色着色剂, 适用于多种热塑性塑料和热固性塑料。本品耐光性、耐热性、耐酸碱性、耐水性和耐溶剂性优良, 有透明感, 但着色力较低, 价格较高。

17. 氧化铬绿

化学名 氧化铬绿

别名 铬绿

英文名 Chromium oxide green

性质 主要成分是三氧化二铬 (Cr_2O_3), 橄榄绿色粉末。相对密度 4.9 ~ 5.2, 平均粒径 0.3 ~ 1 μm 。

用法及应用特点 本品可作为塑料用绿色着色剂, 适用范围广, 可用于各种热塑性塑料和热固性塑料, 主要用于不透明制品。本品具有优良的耐热性、耐光性、耐酸性、耐水性和耐溶剂性, 但着色性小, 色彩不鲜艳, 价格也较高。

18. 钴紫

化学名 钴紫

英文名 Cobalt violet

性质 主要成分是氧化钴、氧化锰和三氧化二硼 ($\text{CoO} \cdot \text{MnO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3$)。

用法及应用特点 本品可作为塑料用紫色着色剂, 耐光性、耐热性、耐水性和耐溶剂性优良, 但着色力较低, 耐酸碱性差, 价格也较高, 适用于聚氯乙烯、聚丙烯、聚乙烯、聚碳酸酯和氨基树脂等。

19. 锰紫

化学名 锰紫

英文名 Manganese violet 或 Mineral violet

性质 主要成分是 $(\text{NH}_4)_2 \cdot \text{MnO}_2 \cdot (\text{P}_2\text{O}_7)_2$ ，紫色粉末。相对密度 2.6，平均粒径 $0.2 \sim 1\mu\text{m}$ 。

用法及应用特点 本品可作为塑料用紫色着色剂，具有良好的耐光性、耐热性、耐溶剂性和耐酸性，但着色力较低，耐碱性、耐氧化性差，适用于聚乙烯、聚丙烯、环氧树脂、酚醛树脂等，在聚氯乙烯、聚苯乙烯、ABS 树脂等其他塑料中也可酌情使用。

20. 氧化铁棕

化学名 氧化铁棕

英文名 Brown iron oxide

用法及应用特点 本品为氧化铁的一种，可作为塑料用棕色颜料，适用范围与氧化铁红类似，用于聚氯乙烯时应避免使用铅盐类热稳定剂。

21. 炭黑

化学名 炭黑

英文名 Carbon black

性质 炭黑的遮盖力强，着色力大，具有极高的耐光性，可以单独使用，也可用于拼配咖啡色或灰色等。作为着色剂使用的炭黑一般是槽法炭黑，粒径 $10 \sim 30\text{nm}$ ，比表面积 $90 \sim 200\text{m}^2/\text{g}$ ，黑色度 $70 \sim 90$ ，pH 值 $4.5 \sim 8.0$ 。

用法及应用特点 本品是最主要的塑料用黑色颜料。

(二) 有机着色剂

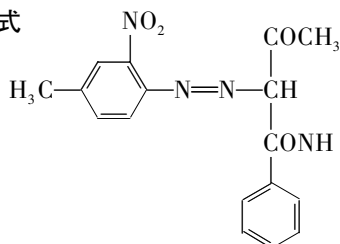
1. 汉沙黄 G

化学名 汉沙黄 G

别名 耐晒黄 G，颜料黄 G

英文名 Hensa yellow G

结构式



性质 淡黄色粉末，于浓硫酸中呈金黄色。熔点 256°C ，耐晒 6~7 级，耐热 $150 \sim 160^\circ\text{C}$ ，耐酸 1 级，耐碱 1 级，吸油量 $40\% \pm 5\%$ 。

用法及应用特点 本品可作为塑料用黄色颜料，具有良好的耐光性、耐水性、耐酸性和耐碱性，耐热性亦可，但耐溶剂性差，易迁移和渗析结垢，易升华，着色性一般，主要用于酚醛树脂、脲醛树脂、丙烯酸树脂和氨基树脂等，在其他塑料中使用不多。

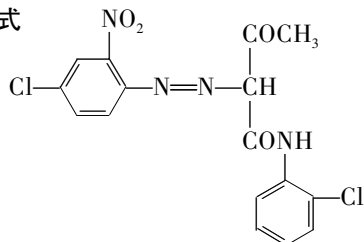
2. 汉沙黄 10G

化学名 汉沙黄 10G

别名 耐晒黄 10G, 颜料黄 10G

英文名 Hensa yellow 10G

结构式



性质 带绿光的淡黄色粉末。熔点 258℃, 耐晒 6~7 级, 耐热 140~150℃, 耐酸 1 级, 耐碱 1 级, 吸油量 40% ± 5%, 油渗性 1~2 级, 水渗性 1~2 级, 遮盖力强, 微溶于乙醇、丙酮和苯。

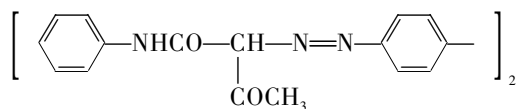
用法及应用特点 本品可作为塑料用黄色颜料, 性能和用途与汉沙黄 G 相似。

3. 联苯胺黄 G

化学名 联苯胺黄 G

英文名 Benzidine yellow G

结构式



性质 淡黄色粉末, 于浓硫酸中呈红橙色。熔点 317℃, 耐晒 4~5 级, 耐热 170~180℃, 耐酸 1~2 级, 耐碱 1~2 级, 油渗性 1~2 级, 吸油量 50%~60%, 水渗性 1~2 级, 不溶于水, 微溶于乙醇。

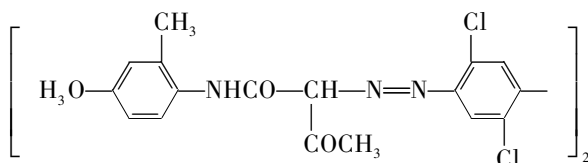
用法及应用特点 本品可用作塑料着色剂, 耐热性、耐光性和耐溶剂性好, 具有鲜艳的黄色, 适用于软质聚氯乙烯、聚苯乙烯、ABS 树脂、丙烯酸树脂、聚乙烯、酚醛树脂、不饱和聚酯、氨基树脂、环氧树脂、硅树脂及纤维素树脂等, 但不适用于聚丙烯、硬质聚氯乙烯、尼龙、聚碳酸酯、聚甲醛等塑料。

4. 联苯胺黄 10G

化学名 联苯胺黄 10G

英文名 Benzidine yellow 10G

结构式



性质 黄色粉末。耐晒 7 级, 耐热 170~180℃。

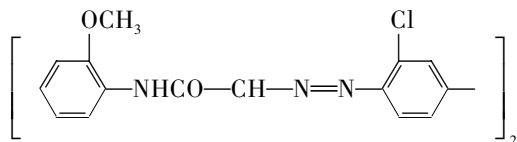
用法及应用特点 本品的用途与联苯胺黄 G 类似, 耐光性尤佳。

5. 永固黄 GG

化学名 永固黄 GG

英文名 Permanent yellow GG

结构式



性质 鲜艳的绿光黄。耐晒 6 ~ 7 级，耐热 160 ~ 170℃，吸油量 50% ± 5%，油渗性 4 级，水渗性 5 级。

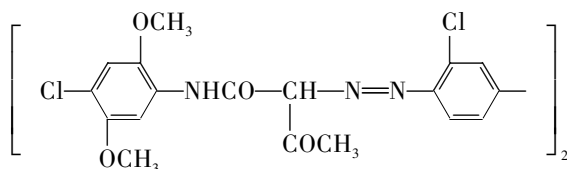
用法及应用特点 本品可作为塑料用着色剂，色泽较暗。

6. 永固黄 HR

化学名 永固黄 HR

英文名 Permanent yellow HR

结构式



性质 红光黄色粉末，透明性好。耐晒 7 ~ 8 级，耐热 200℃，吸油量 94%。

用法及应用特点 本品可作为塑料用着色剂，耐候性、耐溶剂性优良，耐热性亦佳，无迁移性，遮盖力强，可以单独使用，也可拼色用于透明制品中，色泽美艳，一般用量为 0.06%。

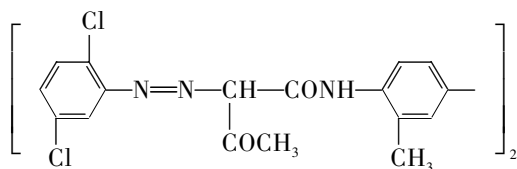
7. 永固黄 GR

化学名 永固黄 GR

别名 1137 永固黄，6203 永固黄，耐晒黄 GR

英文名 Permanent yellow GR

结构式

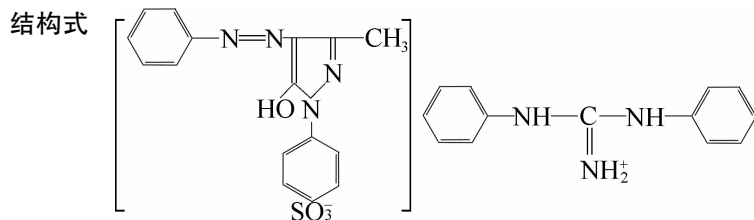


性质 黄色粉末。熔点 325℃，耐晒 6 ~ 7 级，耐热 200℃，耐酸 1 级，耐碱 1 级，吸油量 45% ± 5%。

用法及应用特点 本品可作为塑料薄膜用着色剂。

8. 醇溶耐晒黄 CGG

化学名 醇溶耐晒黄 CGG



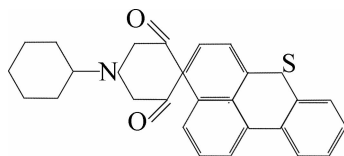
性质 黄色粉末，于浓硫酸中呈黄色。耐晒 4~5 级，耐热 160℃，耐酸 1~2 级，耐碱 3 级，乙醇（95%）溶解度 11g/L，极易溶于水和乙醇，溶于丙酮，微溶于苯。

用法及应用特点 本品可作为塑料用着色剂。

9. 荧光黄 YG-51

化学名 荧光黄 YG-51

结构式



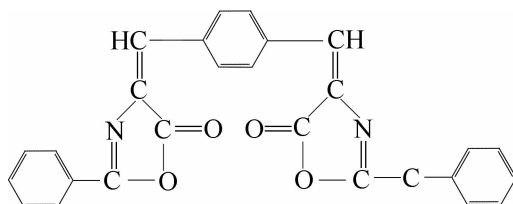
性质 橘黄色粉末。细度（100 目筛）全通过，不溶于水，微溶于有机溶剂，在空气中稳定。

用法及应用特点 本品适用于聚苯乙烯、聚乙烯、聚丙烯、硬质聚氯乙烯、有机玻璃、ABS 树脂等塑料的着色。本品用于聚苯乙烯时符合下列指标：①最高耐热温度为 300℃；②荧光色泽为绿光黄色；③耐光性（天然日晒）6~7 级；④耐候性 3 级；⑤耐酸性、耐碱性均为 5 级。

10. 荧光黄 G1003

化学名 荧光黄 G1003

结构式

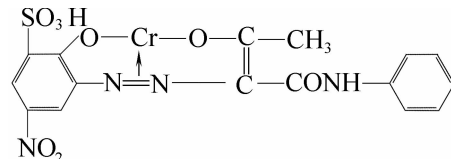


性质 黄色粉末。细度（100 目筛）全通过，不溶于水，微溶于有机溶剂。

11. 醇溶耐晒黄 GR

化学名 醇溶耐晒黄 GR

结构式



性质 黄色粉末，在浓硫酸中为黄棕色，稀释后为浅棕色溶液。

用法及应用特点 本品可作为塑料和涂料的着色剂。

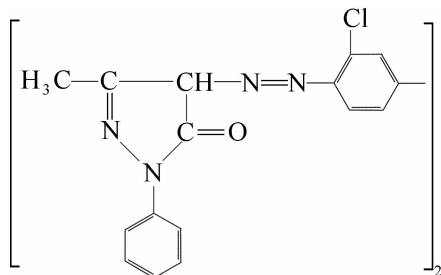
12. 永固橙 G

化学名 永固橙 G

别名 联苯胺橙, 坚牢橙 G, 永固橙黄 G

英文名 Permanent orange G

结构式



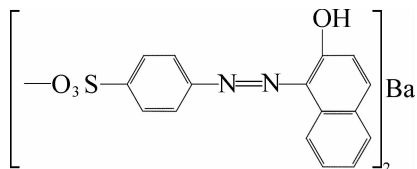
性质 橙色粉末, 于浓硫酸中为蓝光橙色。熔点 332℃, 耐晒 5~6 级, 耐热 140~150℃, 耐酸 1 级, 耐碱 2 级, 水渗性 3 级, 乙醇渗性 2 级, 石蜡渗性 1 级, 油渗性 1~2 级, 吸油量 50%~60%。

用法及应用特点 本品可作为塑料用橙色着色剂, 着色力强, 耐光性、耐热性、耐酸性、耐碱性和遮盖力也较好, 但透明性差, 迁移性较大, 特别是在高温下尤为显著, 耐溶剂性较低, 可酌情用于聚氯乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、丙烯酸树脂、ABS 树脂、聚乙烯、环氧树脂、酚醛树脂、氨基树脂、不饱和聚酯、聚氨酯等树脂中。

13. 色淀橙

化学名 色淀橙

结构式



性质 橙黄色粉末, 于浓硫酸中呈洋红色。耐晒 4~5 级, 耐热 150℃, 吸油量 50%, 溶于水和乙醇。

用法及应用特点 本品可作为塑料、橡胶和油墨的橙色着色剂, 但耐晒性差。

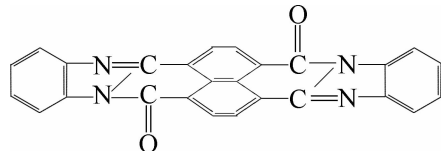
14. 还原艳橙 GR

化学名 还原艳橙 GR

别名 阴丹士林亮橙

英文名 Indanthrene brilliant orange GR

结构式



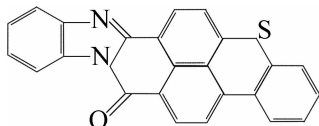
性质 橙红色粉末，在浓硫酸中为红黄色。耐晒 6~7 级，微溶于邻二甲苯、吡啶，不溶于丙酮、醇、氯仿、甲苯。

用法及应用特点 本品可作为聚乙烯、聚丙烯等塑料的橙色着色剂，色彩鲜艳，耐晒、耐热、耐气候、耐溶剂、耐迁移、耐酸碱等性能均较好。

15. 荧光橙 ROR-4

化学名 荧光橙 ROR-4

结构式



性质 橘红色粉末。细度（100 目筛）全通过，不溶于水，微溶于有机溶剂，在空气中稳定。

用法及应用特点 本品适用于聚苯乙烯、聚乙烯、聚丙烯、硬质聚氯乙烯、有机玻璃、ABS 树脂等塑料的着色。本品用于聚苯乙烯时符合下列指标：①最高耐热温度为 300℃；②荧光色泽为红光橙色；③耐光性（天然日晒）6 级；④耐候性 3 级；⑤耐酸性、耐碱性均为 5 级。

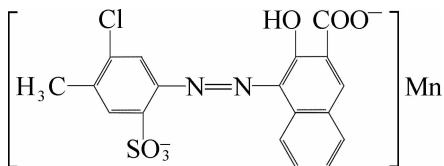
16. 永固红 2BL

化学名 永固红 2BL

别名 永固红 2B-Mn

英文名 Permanent red 2BL

结构式



性质 红色粉末，在浓硫酸中为紫红色。耐晒 6~7 级，耐热 180℃。

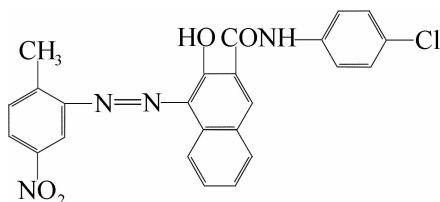
用法及应用特点 本品可作为塑料用红色着色剂，耐晒性、耐热性、耐酸碱性较好，适用于软质聚氯乙烯、低密度聚乙烯、聚苯乙烯、纤维素树脂等塑料。

17. 永固红 F4R

化学名 永固红 F4R

英文名 Permanent red F4R

结构式



性质 红色粉末，于浓硫酸中为黄光大红色。耐晒 5~6 级，耐热 100℃，耐酸 1 级，耐碱 2 级，水渗性 1 级，乙醇渗性 1 级，石蜡渗性 2 级，油渗性 2 级，吸油量 50% ± 5%。

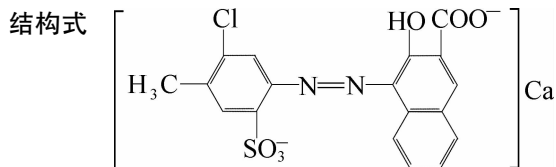
用法及应用特点 本品可作为塑料用红色着色剂，遮盖力较好，适用于人造革等制品。

18. 永固红 F5R

化学名 永固红 F5R

别名 嘉基 R 红

英文名 Permanent red F5R



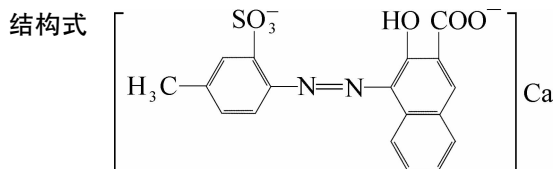
性质 紫红色粉末，于浓硫酸中为紫红色。耐晒 6~7 级，耐热 170~180℃。

用法及应用特点 本品可作为塑料用红色着色剂，耐光性、耐溶剂性、耐酸性、耐水性、耐氧化性好，着色力强，适用于聚氯乙烯、低密度聚乙烯，在聚苯乙烯、ABS 树脂、聚丙烯、聚甲醛和纤维素塑料中也可酌情使用。本品在透明制品中的用量一般为 0.08%。

19. 立索尔宝红 BK

化学名 立索尔宝红 BK

别名 罗宾红

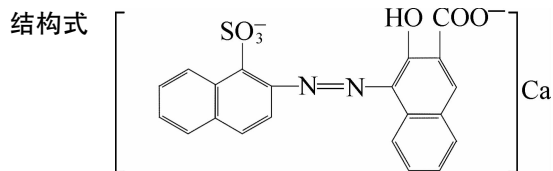


性质 深紫色粉末，于浓硫酸中为洋红色。耐晒 4~5 级，耐热 150℃，油渗性 2~3 级，水渗性 2~3 级，耐酸 4 级，耐碱 5 级，吸油量 60% ± 5%，溶于热水，不溶于乙醇。

用法及应用特点 本品可作为塑料用红色着色剂，着色力较强，透明性亦好，是目前国内主要的塑料着色剂之一，适用于聚苯乙烯、酚醛树脂、氨基树脂和纤维素树脂，在聚氯乙烯、聚乙烯、聚丙烯、丙烯酸树脂、环氧树脂、不饱和聚酯等塑料中也可酌情使用。本品的耐光性与用量的临界浓度有关，一般不宜作浅色或拼色之用，用于透明制品时的用量通常为树脂的 0.08%。

20. 立索尔紫红 2R

化学名 立索尔紫红 2R



性质 酱红色粉末。耐晒 5~6 级，耐热 150~160℃，耐酸 1 级，耐碱 1 级，吸油量 45% ± 5%。

用法及应用特点 本品可作为塑料、皮革、涂料、油墨及橡胶制品的红色着色剂。

21. 喹吖啶酮红

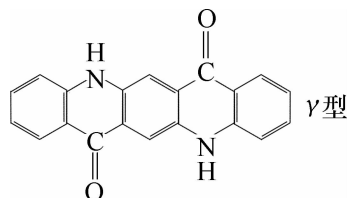
化学名 喹吖啶酮红

别名 酞菁红

英文名 Quinacridone red

化学文摘 CAS No. 1047-16-1

结构式



性质 红色粉末。耐晒 7~8 级，耐热 300℃ 以上，耐酸 1 级，耐碱 1~2 级，吸油量 45% ± 5%。

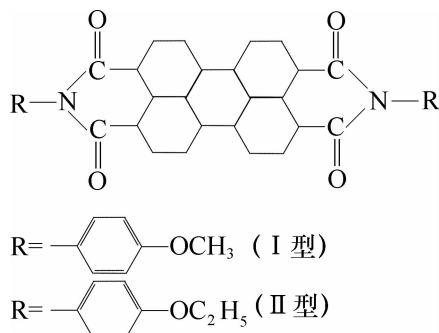
用法及应用特点 本品可作为塑料用着色剂，性能与酞菁蓝相似，故有酞菁红之称。本品耐候性、耐热性、耐溶剂性优良，适用于聚氯乙烯、氯乙烯共聚物等多种塑料，可配制红色、橙色、栗色、紫色等色调。

22. 塑料红 B

化学名 塑料红 B

别名 B 红

结构式

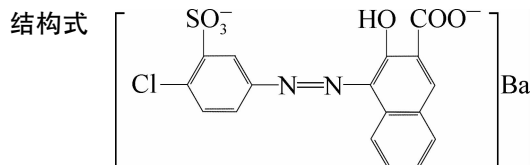


性质 红色粉末。耐晒 7~8 级，耐热 200℃。

用法及应用特点 本品系带微蓝色的红色透明颜料，适用于聚氯乙烯等多种塑料，色泽美艳，在透明制品和不透明制品中均可使用，也可用于拼色，在透明制品中的用量为树脂的 0.06% 左右。

23. 橡胶大红 LG

化学名 橡胶大红 LG



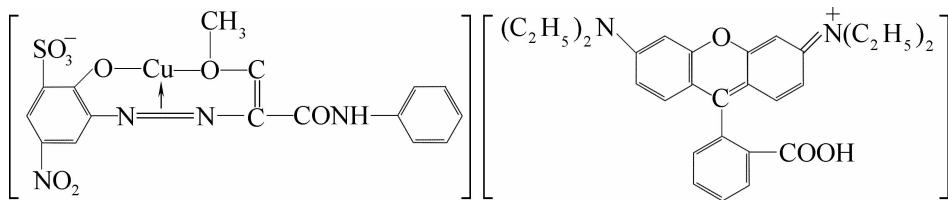
性质 红色黄光粉末。耐晒 4~5 级，耐热 140℃，耐酸 2~3 级，耐碱 2 级，水渗性 2 级，乙醇渗性 1 级，石蜡渗性 1 级，油渗性 1~2 级，吸油量 50% ± 5%。

用法及应用特点 本品可作为塑料和橡胶用红色着色剂，遮盖力良好，适用于聚氯乙烯等塑料。

24. 醇溶耐晒火红 B

化学名 醇溶耐晒火红 B

结构式

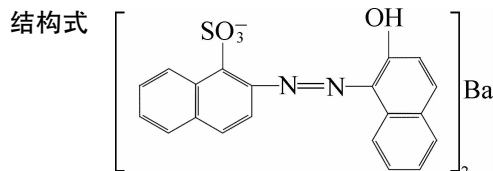


性质 红色粉末。

用法及应用特点 本品可作为塑料和涂料用着色剂。

25. 立索尔大红

化学名 立索尔大红



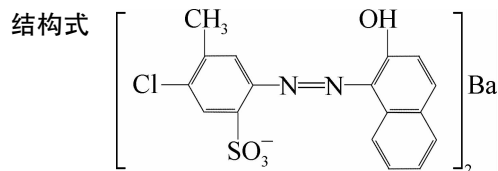
性质 红色粉末，于浓硫酸中呈紫红色。耐晒 4~5 级，耐热 120~130℃，耐酸 2~3 级，耐碱 3 级，水渗性 2 级，乙醇渗性 1 级，油渗性 2 级，吸油量 50% ± 5%，微溶于热水、热乙醇和丙酮。

用法及应用特点 本品可作为塑料用红色着色剂，着色力强，遮盖力较低，耐热性、耐光性和耐酸碱性都不算好，可用于一般性制品。

26. 金光红 C

化学名 金光红 C

别名 色淀红 C, 橡胶大红 LC



性质 黄光红色粉末, 于浓硫酸中为红色。耐晒 4~5 级, 耐热 150~160℃, 耐酸 1 级, 耐碱 2~3 级, 吸油量 50% ± 5%, 水渗性 1 级, 乙醇渗性 2 级, 石蜡渗性 1 级, 油渗性 1 级, 微溶于水和乙醇。

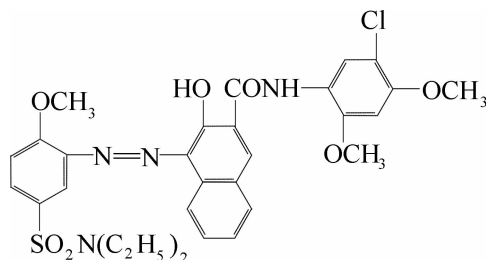
用法及应用特点 本品可作为塑料用红色着色剂, 着色力强, 耐水性和耐溶剂性好, 耐光性和耐热性一般, 适用于聚氯乙烯、丙烯酸树脂、酚醛树脂、氨基树脂等塑料, 在聚苯乙烯、ABS 树脂、纤维素树脂、环氧树脂、低密度聚乙烯、不饱和聚酯等塑料中也可酌情使用。

27. 坚固洋红 FB

化学名 坚固洋红 FB

别名 永固桃红 FB

结构式



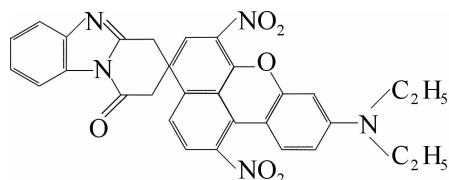
性质 红色粉末。熔点 306℃, 耐晒 7~8 级, 耐热 130~140℃, 耐酸 1 级, 耐碱 1~2 级, 水渗性 2~3 级, 油渗性 2 级。

用法及应用特点 本品可作为塑料用着色剂, 着色力强, 耐光性好, 但耐溶剂性和耐热性略低, 适用于酚醛树脂、氨基树脂、不饱和聚酯和聚氨酯等。

28. 荧光红 6B

化学名 荧光红 6B

结构式



性质 暗红色粉末。细度 (60 目筛) 全通过, 不溶于水, 微溶于有机溶剂, 在空

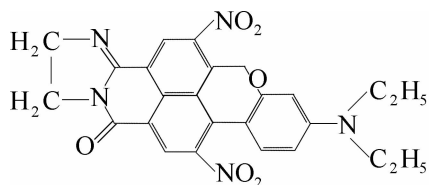
气中稳定。

用法及应用特点 本品适用于聚苯乙烯、偏聚氯乙烯、有机玻璃、ABS 树脂等塑料的着色，不适用于聚乙烯、聚丙烯。

29. 荧光橘红 B

化学名 荧光橘红 B

结构式



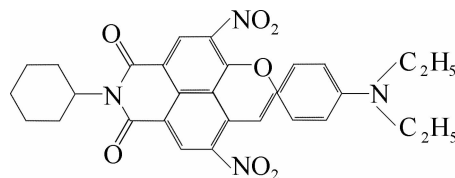
性质 红色粉末。细度（80 目筛）全通过，不溶于水，微溶于有机溶剂，在空气中稳定。

用法及应用特点 本品适用于聚苯乙烯、硬质聚氯乙烯、有机玻璃、ABS 树脂等塑料的着色，不适用于聚乙烯、聚丙烯。

30. 荧光橘红 R

化学名 荧光橘红 R

结构式



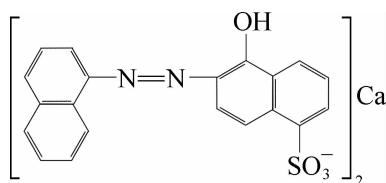
性质 红色粉末。细度（80 目筛）全通过，不溶于水，微溶于有机溶剂，在空气中稳定。

用法及应用特点 本品适用于聚苯乙烯、硬质聚氯乙烯、有机玻璃、ABS 树脂等塑料的着色，不适用于聚乙烯、聚丙烯。

31. 色淀酱紫 BLC

化学名 色淀酱紫 BLC

结构式



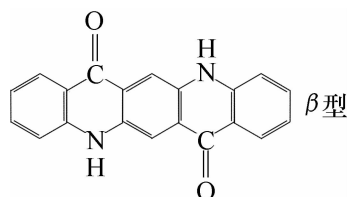
性质 深紫色粉末，于浓硫酸中为蓝色。耐晒 4~5 级，耐热 150~160℃，耐酸 1 级，耐碱 3 级，水渗性 2 级，乙醇渗性 2~3 级，石蜡渗性 1 级，油渗性 2 级，吸油量 55% ± 5%，微溶于水。

用法及应用特点 本品可作为塑料、涂料等用紫色着色剂。

32. 喹吖啶酮紫

化学名 喹吖啶酮紫

结构式

性质 紫红色粉末。吸油量 $45\% \pm 5\%$ 。

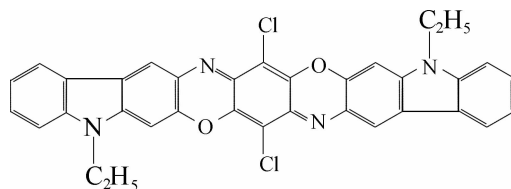
用法及应用特点 本品可作为塑料用紫色着色剂，耐热性、耐溶剂性、耐光性优良，适用于聚氯乙烯等多种塑料。

33. 塑料紫 RL

化学名 塑料紫 RL

别名 永固紫 RL

结构式

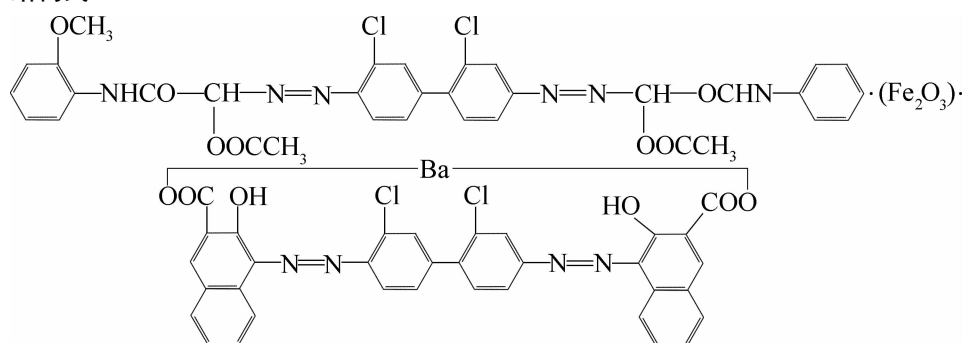
性质 蓝光紫色粉末。耐晒 7~8 级，耐热 200°C ，吸油量 38%。

用法及应用特点 本品可作为塑料用紫色着色剂，耐光性、耐热性、耐溶剂性优良，迁移性小，适用于聚氯乙烯等多种塑料。

34. 塑料棕

化学名 塑料棕

结构式



性质 棕色粉末。细度（60 目通过）95%，油渗性 3 级，水渗性 2 级，吸油量 $20\% \pm 5\%$ 。

用法及应用特点 本品可作为塑料用着色剂。

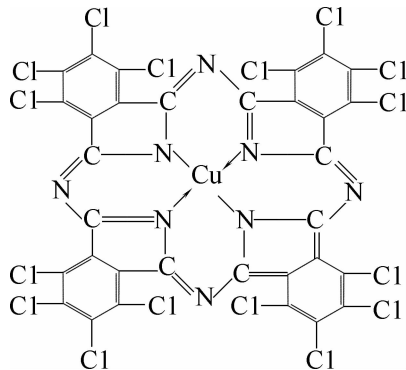
35. 酞菁绿 G

化学名 酞菁绿 G

别名 酞菁绿

英文名 Phthalocyanine green

结构式



性质 深绿色粉末，于浓硫酸中为橄榄绿色。耐晒 8 级，耐热 200℃，耐酸 1 级，耐碱 1 级，水渗性 1 级，乙醇渗性 1 级，石蜡渗性 1 级，油渗性 1 级，吸油量 40% ± 5%。

用法及应用特点 本品为塑料工业中广泛使用的有机绿色颜料，着色力强，色彩鲜艳。耐热性、耐光性优良，耐酸碱性和耐溶剂性亦佳，在树脂中容易分散，与白色颜料拼用可得到鲜绿色，与黄色颜料拼用可得到果绿色，一般用量为 0.05%，适用于聚氯乙烯、聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、尼龙、聚碳酸酯、ABS 树脂、酚醛树脂、环氧树脂、纤维素树脂等多种塑料。本品的缺点是透明性较差。

36. 酞菁绿 3G

化学名 酞菁绿 3G

用法及应用特点 本品可作为塑料和油漆的绿色着色剂。

37. 荧光绿 GG

化学名 荧光绿 GG

性质 粉末状物。细度（100 目筛）全通过，不溶于水，微溶于有机溶剂，在空气中稳定。

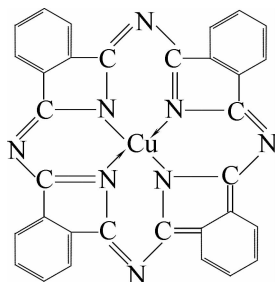
用法及应用特点 本品适用于聚苯乙烯、聚乙烯、聚丙烯、硬质聚氯乙烯、有机玻璃、ABS 树脂等塑料的着色。本品用于聚苯乙烯时符合下列指标：①最高耐热温度为 300℃；②耐光性（天然日晒）6~7 级；③耐候性 3 级；④耐酸性、耐碱性均为 5 级。

38. 酞菁蓝

化学名 酞菁蓝

英文名 Phthalocyanine blue

结构式



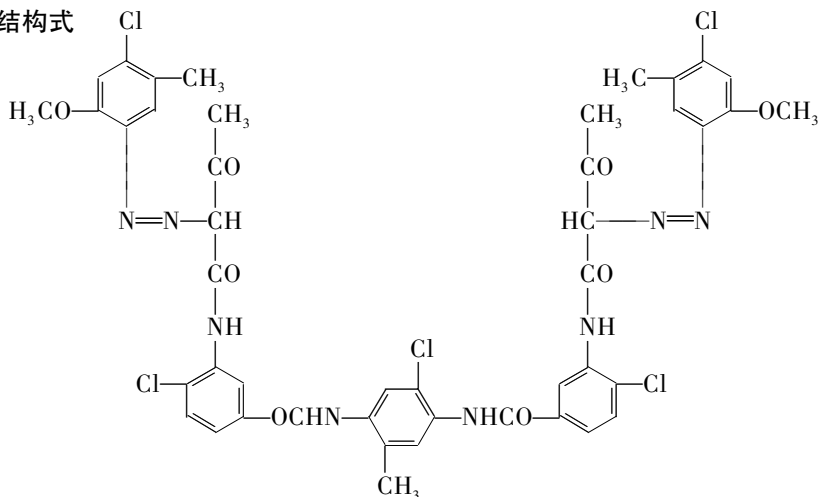
性质 深蓝色粉末，于浓硫酸中为橄榄绿色。耐晒 7~8 级，耐热 200℃，吸油量 60% ± 5%，耐酸 1 级，耐碱 1 级，水渗性 1 级，乙醇渗性 1 级，石蜡渗性 1 级，油渗性 1 级，溶于 98% 的硫酸中，不溶于水、乙醇及烃类。

用法及应用特点 本品为塑料工业中广泛使用的蓝色着色剂，遮盖力强，着色力大，为群青的 20~40 倍。本品具有优良的耐热性、耐光性、耐酸碱性和耐溶剂性，分散容易，不迁移，适用于聚烯烃、聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚碳酸酯、尼龙、丙烯酸树脂、ABS 树脂、酚醛树脂、环氧树脂、氨基树脂、纤维素树脂等许多塑料，一般用量为 0.02%，主要用于蓝色透明制品，可单独使用，也可用于拼色。

39. 汽巴黄 3G

化学名 汽巴黄 3G

结构式

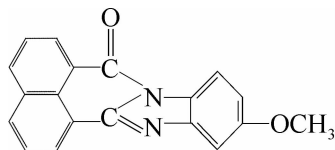


用法及应用特点 本品为不溶性双偶氮类黄颜料，可作为塑料着色剂，耐晒性、耐热性和耐迁移性优良，但有致癌之嫌。

40. 分散荧光黄 II

化学名 分散荧光黄 II

结构式



性质 本品在纯涤纶上染色坚牢度（浓度为 3g/L）如下：耐晒 6~7 级，耐皂洗（60℃）4~5 级，耐升华（180℃，30s）4 级，耐汗渍 5 级，耐磨 4~5 级，耐气候 6~7 级。

用法及应用特点 本品为黄色分散染料，主要用于涤纶和锦纶的染色。纯染料可用于聚乙烯的着色。

41. Cromophthal Red 2028

商品名 Cromophthal Red 2028

用法及应用特点 本品是一种新型的粘附性强的着色颜料，经其着色后的材料易加工，有利于保证产品应用时的尺寸稳定性，主要用于聚烯烃材料及其他聚合物，如聚苯乙烯、PVC、弹性体等。

三、着色剂的应用

（一）着色的目的

- 1) 使制品美观，如用于家电制品、汽车内外装饰品、人造革、日用器皿等。
- 2) 使产品便于识别，如用于电线、包装材料、道路标志物等。
- 3) 隐蔽和保护内容物，如用于包装薄膜和容器等。
- 4) 提高制品的耐候性，如添加炭黑可使许多聚合物材料的耐候性得以改善。
- 5) 改变光学性能，如用于照明器具。
- 6) 改变电气性能，如以导电炭黑着色获得导电性等。

（二）着色剂选择原则

按照化学工业观点，塑料着色剂可分为以下类别：无机颜料、有机颜料、染料、碳质颜料（炭黑）、美饰颜料。

着色剂的选择原则与着色剂的加工性能及其在最终制品中的性能要求有密切的关系。因此，对塑料着色剂坚牢度的要求显然与涂料或印刷油墨有所不同。如果我们不考虑在聚合前或在聚合过程中添加着色剂，那么就要在聚合物加工过程中进行着色，即在配料阶段（低速混合机/高速混合机），或在塑化阶段直接在塑料加工设备（如挤出机、注塑机、聚氨酯发泡机等）上进行着色，着色剂通过计量装置加入。在各种情况下遇到的种种着色问题主要与塑料类型有关（如未增塑或增塑聚氯乙烯、低密度聚乙烯、高密度聚乙烯、聚丙烯等）。一般根据技术要求和着色剂的性能来选择适当的着色剂。值得注意的是，着色剂和塑料配方中其他组分间可能存在相互作用。如果必须要求通过着色剂复配以得到一定的色泽，以及必须要求着色剂具有特殊的光学性能（如红外光反射性能），那么筛选配方是一项十分复杂的工作。

（三）着色剂的性能及其对树脂的适用性（见表 5-7）

表 5-7 着色剂的性能及其对树脂的适用性

颜色	品名	性 能				适 用 性																			
		耐酸性	耐碱性	耐氧化性	耐还原性	耐水性	耐溶剂性	耐热性	耐光着色力	聚氨基酯	聚酰胺	低密度聚乙烯	高密度聚乙烯	聚丙烯	丙烯酸酯	环氧树脂	聚苯乙烯	ABS	纤维树脂	氟树脂	醛树脂	硅树脂	环氧树脂	聚酯	
白	钛白	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	锌白	×	○	△	△	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	锌钡白	△	△	○	△	○	○	○	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	炭黑	○	○	○	○	○	○	○	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△	△	△	
	苯胺黑	△	△	○	×	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
黄	铬黄	○	×	△	○	○	○	△	○	×	△	△	×	△	○	△	○	○	×	○	×	×	×	×	
	镉黄	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△	×	
	铁黄	○	○	○	○	○	○	○	△	○	×	×	×	×	×	△	△	×	×	×	×	×	×	×	
	耐晒黄(汉沙黄)	○	○	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	×	
	联苯胺黄	○	○	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	×	
	异吡啶酮黄	○	○	○	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	油溶性黄(偶氮染料)	○	△	○	○	△	×	△	○	×	×	×	×	×	×	×	×	△	△	△	△	△	△	○	
	喹啉黄(染料)	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○	×	×	×	×	×	×	△	△	△	△	△	△	○	
橙	联苯胺橙	○	○	△	△	△	△	△	△	×	△	△	△	△	△	△	△	△	△	○	×	×	×	×	
	还原艳橙 GR	○	○	○	×	○	○	○	○	△	×	×	×	×	×	×	×	△	△	○	○	○	○	×	
	油溶性橙(偶氮染料)	○	×	○	△	△	×	△	×	×	×	×	×	×	×	×	×	△	△	×	×	×	×	×	
红	镉红	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△	△	△	○	○
	铁红	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	喹吖啶酮红	△	○	○	○	○	○	△	△	×	△	△	△	△	△	△	△	△	△	×	×	×	×	×	
	联苯胺红 B	○	△	○	○	○	△	△	△	×	×	△	△	△	△	△	△	△	△	×	×	×	×	×	
	永固红 FSR	○	△	○	○	○	△	△	△	×	×	△	△	△	△	△	△	△	△	×	×	×	×	×	
	金光红 C	△	△	△	×	○	△	△	△	×	×	△	△	△	△	△	△	△	△	×	×	×	×	×	
	立索尔宝红	○	△	○	○	○	△	△	△	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	
	硫靛红	○	○	○	×	○	△	△	△	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	
	花红	○	○	○	×	○	○	○	○	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	
	油溶性红(偶氮染料)	○	○	○	○	○	△	△	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	

(续)

颜色	品名	性 能					适 用 性																	
		耐酸性	耐碱性	耐氧化性	耐还原性	耐热性	耐溶剂性	耐光着色力	酚醛氨基树脂	聚氨酯	聚酰胺	低密度聚乙烯	高密度聚乙烯	聚丙烯	聚苯乙烯	聚苯乙烯	ABS树脂	纤维素树脂	氟树脂	聚甲醛	硅树脂	环氧树脂	聚酯	
紫	锰紫	○	×	×	×	○	△	○	△			○	○	○	×	△	△	○		○				
	钴紫	×	×	×	×	○	○	○	△			△	○	○	○	○							○	
	萘醌紫类	○	○	○	×	○	○			△		×	×	△	△	○	○	×			○		○	
蓝	群青	×	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○	○	△	△	○	○	○	
	铁蓝	×	×	○	×	○	○	○	○	×		×	×	×	×	×	○	○			○	○	○	
	钴蓝	○	○	○	○	○	×	○	○			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	酞菁蓝	○	○	△	○	○	○	○	○	△		○	○	○	○	○	○	○	△	△	○	○	○	
	士林蓝	○	○	○	△	○	×			×		○	○	○	○	○	△	△					○	
绿	氧化铬绿	○	○	○	○	○	△	○	○	○						○	○	○	△	△	○	○	○	
	酞菁绿	○	○	○	△	○	○	○	○	×		○	○	○	○	○	○	○	△	△	○	○	○	
其他	铝粉(银粉)	×	×	△	×	○	○	○			△	○	○	○	○	○	○			△			△	
	黄铜粉(金粉)	×	×	△	×	○	○	○	△			○	○	△	△	○	△			△			△	

注：1. “性能”栏内符号含义：

- 耐酸性（无机酸）
耐碱性（强碱）
耐氧化性（过氧化氢）
耐还原性（漂白粉）
耐水性（沸水）
耐溶剂性（苯）
- 变化者×，稍变化者△，不变化者○。
- 溶解者×，稍溶者△，不溶者○。
- 耐热性（150℃，30min）变化者×，稍变化者△，不变化者○。
- 耐光性（Blue Scale）3级以下×，6级以下△，6级以上○。
- 着色力强○，中等△，差者×

2. “适用性”栏内符号含义：适用○，可用△，不适用×

（四）着色方法

1. 着色剂的形态及组成

着色剂形态是指颜料或染料加入分散剂等助剂后经加工而成的各种形态，可分为三大类：颗粒状、粉状和膏状。各种着色剂的形态与组成见表 5-8。

表 5-8 着色剂的形态与组成

形态	类型	组 成	特 征			
			分散性	飞散性	操作性	自动计量性
颗粒	着色母粒	颜料在树脂中的高浓度（质量分数为 5% ~ 50%）分散体，在使用时用树脂稀释 10 ~ 50 倍	优	无	易	易
粉状	干色料	颜料加上分散剂	良	有	较难	较难
	润滑性色料	颜料在树脂中高浓度分散后，再加工成细微粒状粉末	优	无	易	易
	颜（染）料原粉	颜（染）料与酚醛、氨基等树脂粉末混合后再球磨成细粉	良	有	难	难
膏状	膏状着色剂	颜料分散在增塑剂等不挥发性有机体中成糊状	优	无	易	难
	液体着色剂	颜料以高浓度的形式分散在有机液体中	优	无	易	易

2. 着色工艺

塑料的着色可分为整体着色和表面着色两种，表面着色是对塑料制品表面进行喷涂、印花、贴花、染色等着色装饰。表面着色实际上属于制品的二次加工。本节只介绍整体着色的方法。

塑料的整体着色方法有：干混着色、色浆着色及浓色母粒着色。

（1）干混着色 用混合或混炼的方法，将粉状着色剂与树脂颗粒混合后，直接进行成型加工。此法适用于绝大多数热塑性树脂。

（2）色浆着色 是将树脂、色浆（液体着色剂）和其他添加剂混合、混炼、切粒后再进行成型加工。

（3）浓色母粒着色 将浓色母粒与未着色树脂（即本色料）在加工时按所需着色浓度进行配料，得到均匀的预定色彩。

浓色母粒着色的优点：

- 1) 可省去染色、挤出造粒等工序，节约能源，减少投资。
- 2) 可以大大改善因染色造成的环境污染。
- 3) 颜料能得到充分利用，颜色重复性好，色泽鲜艳，分散均匀，着色力强。
- 4) 着色工艺简单，使用方便，适用于自动化连续生产。

着色的比例一般为 1:20，即 1kg 浓色母粒可着色 20kg 本色料。有时比例也可为 1:50。

通常，对粒状热塑性树脂多采用干混着色或浓色母粒着色，而对粉状及液状热固性树脂则采用研磨的方法着色。

着色剂形态与树脂的适应性见表 5-9。

表 5-9 着色剂形态与树脂的适应性

着色剂形态		适 应 性		备 注
		树脂	制品	
粉 状	颜料原粉	酚醛、脲醛、密胺树脂	工业部件、一般成型品	照配方将染料、颜料及其他组分与粉状树脂由球磨机粉碎混合
	干色料	大多数热塑性树脂（硬聚氯乙烯、聚乙烯、聚苯乙烯、ABS、聚碳酸酯等）	管、薄膜、一般成型品	操作及设备极为简单，热塑性树脂的着色多数采用本方法
膏 状	液体着色剂	软聚氯乙烯、丙烯酸树脂、聚酯、环氧、聚氨酯等	薄膜、人造革、泡沫塑料、电线等	对使用增塑剂的 PVC 或经过单体浇铸成型过程的树脂最为适用
	膏状着色剂	聚氯乙烯	电线、薄膜、膜板、瓦楞板	使用捏合机等混炼机，用于粉末配料
浓色母粒		热塑性树脂特别是聚烯烃	薄膜、管、电线、人造革	用相同牌号树脂进行混合至所要求的浓度即可使用

3. 着色剂的选用

聚氯乙烯可选用的颜料及用量范围见表 5-10。

表 5-10 聚氯乙烯选用的颜料及用量范围举例

色别	拼色所用的颜料	用量/g(以每 kg PVC 树脂计)	色别	拼色所用的颜料	用量/g(以每 kg PVC 树脂计)
红	立索尔宝红 BK 或塑料红 GR	10 ~ 30	浅蓝	酞菁蓝	5 ~ 10
大红	橡胶大红 联苯胺黄	0.5 ~ 1	深蓝	酞菁蓝 炭黑	5 ~ 10 1 ~ 2
黄	汉沙黄或联苯胺黄	5 ~ 10	棕	塑料棕 炭黑	50 ~ 80 2
橙黄	联苯胺黄 立索尔宝红	10 2	紫	塑料紫 RL	10 ~ 20
绿	酞菁绿	5 ~ 10	白	钛白粉	20 ~ 30
果绿	酞菁绿 联苯胺黄	8 5	灰	炭黑	2 ~ 3.5
军绿	铬黄 炭黑	20 0.5	黑	炭黑 酞菁蓝	80 2

注：可在上述明色配方中加入适量钛白粉以成实色。

聚乙烯、聚丙烯常用的颜料有钛白、铁红、群青、钴蓝及镉系等无机颜料和炭黑、双偶氮和多偶氮、酞菁、喹吖啶酮等有机颜料。染料一般不适用于聚烯烃。

聚苯乙烯着色性能很好，普通的颜料和染料都可适用。由于聚苯乙烯制品多系透明的，所以很少使用无机颜料。

ABS 常用的着色剂是钛白、镉系颜料、铁红、群青等无机颜料和炭黑、酞菁系和喹吖啶酮系有机颜料，用量一般在 2% 左右，钛白用量可高达 10%。

聚碳酸酯着色时，必须对着色剂进行干燥（120 ~ 125℃，4h）。

聚甲醛常用着色剂及其用量见表 5-11。

表 5-11 聚甲醛着色剂的用量

着色剂	添加量(%)	着色剂	添加量(%)
钛白(金红石型)	0.4	钴紫	0.1
钛白(锐钛型)	0.07	酞菁蓝(一般用)	0.04
镉黄	0.2	酞菁蓝(专用)	0.1
镉橙	0.3	酞菁绿	0.03
镉红	0.4	炭黑(槽法)	0.04
铁红	0.3	炭黑(炉法)	0.3
硫化汞	0.2		

有机玻璃常用的颜料有钛白、镉系颜料、群青、酞菁酮、铁红、多偶氮等。

某些热塑性塑料着色配方举例见表 5-12。

表 5-12 某些热塑性塑料着色配方举例

颜色	组 成	配比	颜色	组 成	配比
草绿	聚乙烯	25kg	青莲紫 (透明)	聚苯乙烯	50kg
	中铬黄	100g		油溶红	0.6g
	酞菁绿	45g		荧光蓝	0.5g
	白油(44#)	50mL		乙醇	50mL
杏黄	聚丙烯	25kg	藕荷色 (不透明)	聚苯乙烯	50kg
	硫靛红	1.5g		酞菁蓝	2.5g
	联苯胺黄	1g		永固桃红	11g
	锭子油(7#)	50mL		钛白粉	100g
大红	聚氯乙烯	75kg	紫罗蓝	聚乙烯	50kg
	立索尔宝红色浆(与二辛酯以 2:3 配浆)	85g		E5B 粉红	4g
	联苯胺黄浆(与二辛酯以 1:2 配浆)	17g		永固紫	4g
				钛白粉	80 ~ 100g
				白油(1#)	适量

(续)					
颜色	组 成	配比	颜色	组 成	配比
蓝色	ABS	50kg	黑色	聚甲醛	50kg
	软质墨灰	2. 5g		软质墨灰	75g
	酞菁蓝	6. 5g		炭黑	250g
	酞菁绿	0. 65g		松节油	150mL
	磷酸三甲苯酯	100mL	咖啡色	深红色废软聚氯乙烯	50kg
军绿	尼龙 6	50kg		铬铜红浆	500g
	酞菁蓝	2g		墨灰浆	1250g
	酞菁绿	2g	金黄色	聚乙烯	1kg
	铬黄	250g		PV-HR 黄	1. 2g
	油溶黑	2. 5g		132 透明玫红	0. 08g
	磷酸三甲苯酯	150mL		钛白粉	2g

注：此表仅供配料时参考。

玻璃纤维增强热固性塑料选用的着色剂见表 5-13。

表 5-13 玻璃纤维增强热固性塑料选用的着色剂

色泽	不饱和聚酯	环氧树脂	酚醛树脂
白	钛白粉	钛白粉 三氧化二锑 氧化锌	钛白粉 三氧化二锑 氧化锌
黄	联苯胺黄 钛黄 汉撒黄 镍偶氮黄	联苯胺黄 铬黄 锆黄	汉撒黄 锆黄
橙	铬橙 联苯胺橙	钼酸盐橙	砖橙
红	正红 胭脂红 FB 枣红 喹吖酮红	氧化铁红 猩红 喹吖酮红	猩红 砖红
紫	铬紫 喹吖酮紫	群青紫	群青紫
绿	酞菁绿 铬绿 氧化铬绿	酞菁绿 铬绿	酞菁绿 铬绿

(续)

色泽	不饱和聚酯	环氧树脂	酚醛树脂
蓝	群青蓝 铬蓝 酞菁蓝	酞菁蓝 铬蓝 钴蓝	酞菁蓝 钴蓝
黑	铁黑 炭黑	炭黑 铁黑	炭黑 铁黑

(五) 聚烯烃着色

1. 着色要求

聚烯烃是具有广泛用途的塑料品种。选择着色剂时应考虑聚烯烃品种和加工方法。如果塑料加工厂自行着色,可选用多种具有不同坚牢度的着色剂,一般倾向于选用无机和有机粉末颜料,以及粒状和粉状色母料。但是,也可采用由相容性良好的载色体配制的色浆,用于小型注塑件和中空模塑品的成型加工,可保证操作完全无粉尘。鉴于加工方法的多样性,所以必须要求颜料具有较高的热稳定性。在注塑场合下,热稳定性温度一般约 280℃,但加工低密度聚乙烯(LDPE)时,要求热稳定性温度约 240℃即可。使用有机颜料时,要求测定颜料的耐迁移性能。因为一种有机颜料可能在高密度聚乙烯(HDPE)或聚丙烯(PP)中具有足够的稳定性,但在 LDPE 中稳定性却较差,染料的耐迁移性能不好,所以也不适用,尽管在少数情况下曾经测得在 PP 中有较好的耐迁移性能。特别是锰色淀颜料(如 C. I. 颜料红 48/4)用于薄壁制品(如薄膜),当颜料加入量很大时,表现出很不好的特性,即使不存在光、湿气和热的作用,也会导致聚乙烯的催化降解,结果使聚乙烯丧失其典型性能且变脆。尽管存在这种危险性,但使用锰色淀颜料对使用寿命短的制品进行着色仍有一定意义。这是由于此种颜料具有良好的成本性能比,并具有深红色色泽。目前,锰色淀颜料正在日益被较稳定的镉色淀颜料所代替。锰和钡色淀颜料不适用于使用寿命短的日用品的着色。

在有机颜料中,酞菁蓝和酞菁绿由于具有高度稳定性而获得很高的评价。但是,此类颜料用于大型注塑制品(如瓶箱)时也会产生问题,因为酞菁颜料可加速塑料的结晶过程(成核作用),对 HDPE 尤为显著,结果使注塑制品在纵向和横向产生应力,导致制品变形和尺寸稳定性的降低。对于要求尺寸公差很小的小型注塑件(如罐头盖)也可能产生类似问题。上述现象不仅存在于酞菁类颜料,其他很多有机颜料,如茚类或双偶氮颜料也存在类似问题。然而,当使用聚丙烯的均聚物和共聚物时,上述颜料对制品的尺寸稳定性没有任何不良影响。无机颜料绝对不会使聚烯烃塑料制品发生变形。

硬质颜料的缺点是磨蚀作用。氧化铬绿、钛白粉和镍-铬-钛颜料是具代表性的硬质颜料。在塑料配料的混合操作及后续加工中,硬质颜料会引起混合机壁面、高速螺杆、筒型模塑机、膜片挤出模头狭缝以及喷丝头等的磨损。这些可以通过选用其他颜料予以

补救。此外,选用颜料时应根据磨蚀性和坚牢度进行适当处理,或者可使用色母料代替粉末颜料,或使用经表面硬化处理的设备和模具部件。

2. 注塑制品的耐候着色

由高密度聚乙烯(HDPE)和共聚的聚丙烯加工生产的瓶子和运输箱是典型的户外用注塑制品。多年来,此类制品一直使用高级无机颜料。白色使用经过后处理的稳定化钛白粉(金红石型),黄色使用镉黄、镍钛黄、铬钛黄,红色使用镉红、氧化铁红,蓝色使用钴蓝、群青蓝,绿色使用钴绿、氧化铬绿,棕色使用氧化铁棕、铬铁棕,黑色使用炭黑(炉黑)。

镉黄单独使用时具有特别优良的耐候性能。混合颜料(如钴蓝或钴绿)也具有好的耐候性能。在气候炎热和潮湿的环境里,塑料制品在户外使用较短时间后,由于硫化镉黄色颜料被氧化而使色泽变蓝。群青颜料的耐候性能较差。

只有某些经过筛选的有机颜料才可以使用,特别是与钛白粉调合的有机颜料应严格选择。有机颜料的色泽经过数月后将发生显著变化,聚乙烯制品的性能最终也会因降解和脆化而受到严重损害。

虽然聚烯烃使用无机颜料可在相当长时间内防止制品变脆,但原则上户外聚烯烃制品应加入光稳定剂。光稳定剂的类型和加入量与聚合物类型和用途有关,同时也和该地区的气候条件有关(参看第三章光稳定剂)。

3. 挤出

(1) 中空模塑制品 几乎所有各种着色剂均可用于中空模塑制品,它们包括:①调合到一定色泽并能自由流动的混合颜料。②适于自动计量的粒状或粉状色母料。③无粉尘、适于自动计量的液体色母料。

若使用粉末颜料或无粉尘的粉状颜料配方时,建议在塑料粒料中加入0.5%(最大用量)粘附促进剂,以改进着色质量。对颜料除要求具有热稳定性、耐迁移性和耐光坚牢度等重要性能外,耐化学品性能也很重要。塑料着色必须满足生理惰性要求,但着色剂迁移与容器内包装物品的性质有着密切关系。使用有机颜料时,着色剂可能迁移到含有油脂的包装物品中,因此应特别重视着色剂的迁移问题,并应注意着色剂中重金属和芳族胺的含量。选择颜料配方着色浓度时,应保证重金属和芳族胺在包装物品中的含量不超过最高允许浓度(注意不同国家卫生部门的浓度标准及有关法规)。

(2) 塑料薄膜、纤维、扁丝 塑料薄膜、纤维和扁丝的着色几乎都使用粒状浓色母料。如果挤出机的均化能力属于中等,或者是将少量着色剂分散在大量塑料中,则以使用粉状颜料为宜。未经预分散处理的粉末颜料不适用于直接着色。浓色母料的加入量取决于所需着色深度、膜厚度和遮光度,加入量一般为1%~10%。对于纤维,除测定热稳定性和耐光坚牢度外,还要测定耐洗坚牢度(DIN54010 试验方法3)和摩擦坚牢度(DIN54021)。应该注意,使用织物整饰剂和柔软剂的类型和数量可影响摩擦坚牢度,特别是在户外使用情况下,聚烯烃纤维和薄膜被阳光中的紫外线所破坏,颜料可加重或减轻这种破坏作用。加入适当组合和一定浓度的光稳定剂和热稳定剂,则可防止或降低颜料的不良影响。

(六) 苯乙烯类聚合物的着色

1. 着色要求

以往通用聚苯乙烯和苯乙烯共聚物一般都是由树脂生产厂进行着色,几乎完全是使用单一颜料在聚合物熔融状态下利用捏合机或挤出机进行着色。由于技术原因,特别是为了改善最终制品的着色质量,在塑料加工厂家自行着色时,目前一般都倾向于使用固体浓色母料,有时也使用色浆。

此外,也可以使用易分散的粉末着色剂进行直接着色。粉末着色剂和聚苯乙烯粒料于混合机内在室温下进行掺混,必要时加入 0.5% (最大量) 粘附促进剂或分散剂一起混合。随后在螺杆注塑机上在高背压条件下进行加工,在这种加工条件下混合作用良好,或者也可在挤出机上进行加工。

如果着色剂和聚苯乙烯进行干混合,则必须考虑到透明通用聚苯乙烯是十分坚硬、易脆的热塑性塑料。如果使用对磨损特别敏感的颜料,聚苯乙烯颗粒的锐利棱角可能使色泽发生变化。在金属滚筒内混合时,由于金属的磨蚀作用也可能引起色泽变化。解决办法是使用塑料衬里的混合机,或在塑料容器(滚筒混合机)内进行混合。

抗冲聚苯乙烯(IPS)和 ABS 通常是不透明树脂,特别是 ABS 本身或多或少呈黄色。为了抵销聚合物的自然色泽,必须使用较高的颜料浓度。颜料的加入量一般为 3%~5%。使用粉末颜料进行着色时,由于聚合物颗粒表面不能粘附足够数量的颜料,因此要求聚合物生产厂利用加热的捏合机进行着色。耐候性较好的丙烯腈-苯乙烯-丙烯酸酯三元共聚物(ASA)也使用这种着色方法。推荐使用具有高热稳定性的耐候颜料进行着色。

供卫生设备上使用的可热成型的共挤出 ABS/PMMA 片材(PM-MA 为聚甲基丙烯酸甲酯)着色较困难。使用 BASF 公司生产的相容性良好的色母料(商品名为 Sicoversal 颜料),可获得良好的分散性和色泽保持性。

2. 聚苯乙烯和苯乙烯/丙烯腈共聚物的着色

这些塑料具有高透明度,可生产与玻璃一样透明的着色制品。最适宜使用的着色剂是可溶性染料,此种染料在聚苯乙烯和苯乙烯/丙烯腈共聚物中形成单分子溶液,分散性非常好,在极低的添加量(0.03%)下就呈现很高的着色强度。由于可溶性染料具有很高的着色强度,所以可溶性染料和无机颜料调合使用,可以经济地得到不透明的着色制品。透明着色制品具有良好至中等的耐光坚牢度,但掺入白色颜料制得的不透明着色制品的耐光坚牢度有所下降,白色颜料对耐光坚牢度有显著的不良影响。由于聚苯乙烯和苯乙烯/丙烯腈共聚物具有较高的玻璃化温度,以及可溶性染料在塑料中具有良好的溶解能力,所以染料发生迁移的可能性很小。使用抗冲聚苯乙烯和 ABS 制作的日用品和玩具,必须进行萃取试验以确定制品的安全性。

除使用可溶性染料外,几乎所有在 220~280℃ 加工温度下稳定的有机和无机颜料也都适用。部分溶解的有机颜料不仅以一种不可控制的方式改变色泽,同时也改变颜料的稳定性。

使用粒状色母料或粉状色母料,有利于塑料加工厂进行着色操作。此外,也使用色

浆（色浆是将染料和/或颜料溶解或预分散于适当的载体中而成）。

使用粒状色母料、粉状色母料和色浆具有以下优点：可在自动装置上对色浆进行体积计量，不再需要使用脱模剂，操作时无粉尘，利用重力混合机或高速混合机可对塑料粒料进行大批量着色，利用适当的混合机也可对塑料粉料进行着色。

由于液体载体对聚合物一般只具有有限的相容性，因此要注意限制加入量，液体载体的最大加入量一般为 1.5%。使用色浆对日用品进行着色时，建议最好向色浆生产厂家求教使用方法。

（七）聚酰胺和聚碳酸酯的着色

由于化学结构的关系，聚酰胺和聚碳酸酯具有亲水性，都对潮气敏感。为保证顺利加工，必须对聚合物和所有掺混物质，即颜料或色母料进行彻底的干燥预处理。几乎全部热稳定温度在 300℃ 以上的无机颜料都适合作为聚酰胺的着色剂。由于有机颜料和染料迅速受到聚酰胺熔体的还原性影响，并且在高温下可能被破坏，所以使选择有机颜料和染料受到很大限制。此外，曾经发现在包装材料（特别是聚酰胺 6）中，镉颜料能与包装的酸性物质发生反应，导致包装物质受到污染。

因此，使用聚酰胺作包装材料时，应该向颜料生产厂索取资料，了解着色剂对包装物质是否稳定。利用聚酰胺的极性特性，可用染料水溶液对聚酰胺制品的表面进行后着色，操作方法和纺织工业中的印染方法相同。

聚碳酸酯不仅因存在潮气（水解）而使着色困难，同时也遇到润湿问题，但这些问题可通过加入少量硬脂酸镁来解决。由于加工温度超过 300℃，因此着色剂（某些有机颜料和染料、几乎全部无机颜料）的选择范围受到限制。

（八）聚氨酯着色

聚氨酯着色几乎全部使用色浆。使用时可直接在发泡机的混合室加入色浆，或把色浆搅拌加入到多元醇组分中。由于有机颜料着色强度很高，所以优先选用有机颜料。但是制品中可能存在用作发泡剂的有机溶剂，因此必须对有机颜料的耐迁移牢度进行测定。

市场上供应的特殊色母料可用于聚氨酯涂料和注塑料的着色，此类色母料含有高着色强度的有机颜料和高遮光性无机颜料。色母料需使用特殊溶剂配制成悬浮液，然后分数次加入涂料组分中。

第六章 加工助剂

第一节 润 滑 剂

一、简介

能减少物体表面间摩擦和磨损的物质称为润滑剂。在塑料成型加工中，能增加物料流动性或提高模塑件脱模作用的材料亦称润滑剂。广义地说，薄膜的爽滑剂、防粘剂（或称开口剂）、注射制品的平滑剂、光泽剂等，也属于润滑剂的范畴。与树脂相容性差，在加工机械表面和树脂间起润滑层作用的称外润滑剂，与树脂相容性好，能降低树脂的熔体粘度，提高流动性的称内润滑剂。

（一）在塑料加工中的作用

热塑性塑料一般是高分子量的物质，其熔体通常具有高粘性。由于熔融的聚合物必须在尽可能短的时间内通过窄缝、流道或挤管模头，因此，所有热塑性塑料实际上都在熔融状态和剪切作用下加工。为了在机械磨损最小、能量消耗最低的情况下提高生产能力，尽量降低熔体粘度是十分重要的。可以通过两种途径达到这一目的：第一，采用物料可承受的最高加工温度；第二，加入能降低内摩擦和外摩擦的助剂，即润滑剂。

在一定的剪切速率下，容许温升是有限制的。如果温度再高，聚合物的长链分子就会断裂，熔体粘度就会下降，并使解聚的材料失去强度。尽管有稳定剂存在，但高的热应力也会导致分子降解，生成不希望有的反应产物，严重变色甚至炭化。一个众所周知的例子是 PVC 由于脱氯化氢而造成的热降解。解决这一问题的唯一办法是使用有效的润滑剂。

润滑剂是通过提高熔体流动性，降低熔体对机器零部件的粘附来促进塑料加工的添加剂。除此项功能之外，润滑剂还可以起熔融促进剂、防粘连剂和防静电剂，以及色泽与冲击改进剂的作用。

润滑剂主要是有机化合物，有些是天然产物，如石油、动植物油脂和蜡；有些是合成产物，如低分子聚乙烯。其应用形态，主要是自由流动且不聚结的固体颗粒，熔点上限约为 150℃，但液体产品也可用，而糊状产品则因难以操作而不用。

（二）润滑剂的技术

润滑剂和塑料之间的关系可以比作电气系统和汽车。润滑剂表面上看虽然是附属品，但是就像没有电气系统，汽车就无法开动一样，没有润滑剂就不可能实现 PVC 制品的工业化生产。其他本来没有润滑剂也能加工的热塑性塑料，如聚苯乙烯或聚烯烃，现在也越来越需要使用这些添加剂，以解决提高生产率带来的问题。在特种塑料中使用

润滑剂虽然看来不大引人注目，但也具有一定的重要性。

人们利用润滑剂不仅要改进流动性，提高生产率（这些使它们成了不可取代的一种助剂），而且还要求得到高质量的制品，特别是外表质量高的制品。无论从审美角度还是从技术角度看，这一点都是重要的。例如，家用制品和包装薄膜要求光泽和平整度，瓶子和管道要防止内表面粗糙。在过去十年中，高性能压延机、吹塑和注射模塑机、挤出机等塑料加工设备的大量开发和应用，正是通过同时开发专用润滑剂才获得了成功。

由于润滑剂在塑料中的浓度比较低，故又称为“工艺作料”。塑料中润滑剂的质量分数一般在 0.01% ~ 4.0% 的范围内，但实际用量取决于塑料种类。对加工设备和最终制品来说，工业上实际用量范围是 0.5% ~ 1.0%。

（三）润滑剂类别和组成

润滑剂分子起润滑作用的往往是长度不等且或多或少有支化的烃链，这方面的差异已经为解决面临的问题提供了很多可能性。通过在这样的链中引入极性基团，在溶解度和相容性方面进一步改变与聚合物的相互作用，可以进一步增加这种可能性，使得我们可以按照人们的愿望来影响润滑作用、分离性能以及产生有益的副作用。

极性基团大都有氧，往往由氧和金属，或者氧和氮组成，有时由卤素组成。润滑剂的品种可分为以下几类：烃类、醇、羧酸、羧酸酯、酮、羧酸的金属盐、酰胺和卤代烃。

大多数润滑剂有天然来源，但能在找到或采集状态下使用的几乎没有。由于来源地点、气候条件、测定方法及杂质含量的不同，其成分差异可能很大。因此，还必须通过加工精制，使之符合质量标准。

一种较为常见的润滑剂是从原油沉积物、缓慢燃烧褐煤以及从沥青中获得的天然石蜡。经过炼制和蒸馏之后，可以将其按熔点分类。它们是成分较纯的工业产品。

植物和动物油脂是润滑剂最重要的原料来源。由它们提供的天然脂肪酸构成了大多数润滑剂合成的基础，特别重要的有 C_{16} 至 C_{18} 酸的混合物（即棕榈酸、硬脂酸和油酸），其中硬脂酸最为重要。偶而也使用链较短的酸，如月桂酸（ C_{12} ），但由于其挥发性较高，因而严重地影响了它满足润滑剂要求的能力。更高级的同系物，如花生酸（ C_{20} ）和山萘酸（ C_{22} ）当然更好，但不能大量获得来作为工业用的润滑剂。

羟基硬脂酸及其三甘油酯都是特别好的润滑剂组分，两者都容易通过蓖麻油加氢获得。脂肪酸可进一步加氢得到相应的醇类，其中最有用的醇是十八烷醇及其伴生产物十六烷醇，它们或单独使用，或供合成用。

有 30 个左右碳原子烃链的蜡虽然较贵，但它们是工业上最重要的润滑剂。通过溶剂抽提褐煤得到的蒙旦蜡是最重要的代表，这是一种实际上取之不竭的物质。这种蜡即使处于初始状态，也完全适合于作 PVC 的添加剂，只是由于它呈黑色，因而使聚合物的颜色不太好。基本无色的工业褐煤酸（ $C_{28} \sim C_{32}$ ）是由脱树脂的粗蜡经铬酸氧化得到的。利用这一产物和以它为基础的改性蜡，使我们得到了质量稳定的添加剂，并能使聚合物顺利地进行加工。

用化学方法制备的新型半合成润滑剂是以前述的脂肪酸或石蜡为基础，与醇生成酯，与金属氧化物或氢氧化物生成皂，与胺生成酰胺。

在配方中也经常使用全合成的产物。它们是由水煤气制备的费-托合成蜡、低分子量的聚乙烯蜡和聚丙烯蜡。以乙烯和醋酸乙烯、丙烯酸或巴豆酸为基础的蜡状共聚物，可合成极性润滑剂，其中比较重要的是氧化聚乙烯蜡。

（四）润滑作用机理

所有润滑作用都能减小摩擦。在掺混合加工过程中，将润滑剂涂布在聚合物粒子表面，就能使粉末得到润滑，在加工设备冷的部位比较容易流动。随着温度的提高，聚合物开始软化，润滑剂熔融，并渗入到聚合物中。对于流动性而言，在挤出机筒中何处发生上述过程是决定性的。润滑剂的熔点及熔体粘度对其作用有影响。显然，低粘度熔体的行为方式与高粘度熔体不同。甚至有所谓“加工助剂”（主要是聚甲基丙烯酸酯类或聚甲基苯乙烯类）的特殊添加剂，其作用和润滑剂十分相似。由于它们的高粘熔体牢固地粘附在聚合物粉末上，从而能大大加速塑化。

润滑剂渗入到聚合物中的速率受其可溶性控制，而可溶性则取决于润滑剂的分子结构及相对于聚合物的极性。润滑剂与聚合物可以有各种各样的可溶性关系，即从全部溶解到几乎完全不溶。在全部溶解的情况下，我们将润滑剂称作溶剂，因为其溶剂化作用强，实际上它会妨碍流动，而且使材料脆化（例如，在 PVC 中有少量增塑剂）。另一方面，润滑剂和长链分子之间不太强的结合可产生类似于滚珠轴承的作用。因此，它们自身能够在流动方向上排列，从而能互相滑动。这是内润滑剂的典型功能。

通过改变聚合物和增塑剂之间的结合强度，可以实现细的调整，且结合强度越弱，就越容易移动，聚合物与润滑剂分子就越不相容。在高压下，润滑剂会从配合料中挤出，覆盖在表面上，在热塑性塑料和设备壁之间起润滑剂的作用。在极端不利的情况下，它们会形成一层隔离膜，彻底消除对壁的必要的粘附。在加工过程中这是缺点，因为“过润滑”的结果会妨碍塑化和平稳的流动。实用的加工技术包括给指定的聚合物和加工设备选用合适的润滑剂体系。这种合适的润滑剂体系由调配好的成分合适的共混物组成，能在恰当的地方和适当的浓度下，提供正确的内外润滑作用。

将润滑剂称作内润滑剂或外润滑剂是一种普通的但有点粗略的分类方法，因为实际上没有哪一个产品完全能起内润滑作用或外润滑作用，正确地说法应当是以内润滑为主，或以外润滑为主。在低浓度下起内润滑作用但其相容性极其有限的润滑剂，在较高浓度下的行为类似于外润滑剂。硬脂酸在 PVC 中的行为是一个典型的例子。润滑剂分子（石蜡除外）往往由极性基团和不同长度的烃链组成，两者之间的比例决定其润滑作用。因此，在内润滑作用和外润滑作用的衡量尺度上，一种化合物所起的作用对于各类聚合物是不同的。相对来说有极性的润滑剂，如单硬脂酸甘油酯能很好地溶于 PVC，因而起内润滑作用；而对非极性的聚烯烃来说，它是强的外润滑剂。另一方面，聚乙烯蜡和石蜡在 PVC 中起强外润滑剂的作用，它们与 PVC 只有有限的相容性，而对聚烯烃，则几乎是理想的内润滑剂。

如果配方中含有其他的润滑剂和添加剂，如热稳定剂和光稳定剂，那么聚合物-润

滑体系就变得更加复杂，可能还会出现强的协同效应。这种协同效应在加工过程中可用于改进流动性和节省能量。

如果金属皂和烃复合使用，就会显示出这种效应。不改变毛细管流变仪的压力、温度或配合料中的润滑剂用量水平，只要通过改变几种润滑剂之间的比例，就能无限地改变流率。这类结果能与挤出机或注射模塑机中的效果很好地对应起来。图 6-1 所示为低分子量聚乙烯和蒙旦蜡皂之间的这种相互作用。

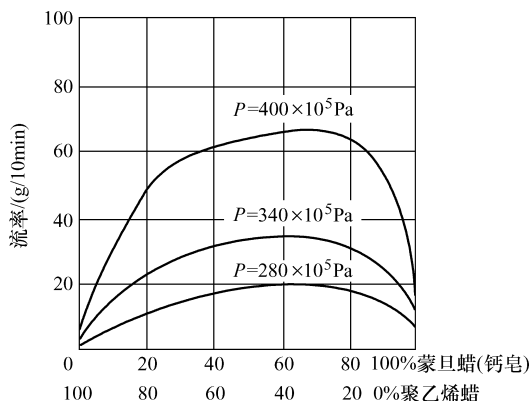


图 6-1 润滑剂用量与 PVC 流动特性的关系

- 注：1. 以高压毛细管流变仪（Göttfert）测定硬 PVC 的流动特性，毛细管直径比为 15:1，测试温度 180℃，口模前压力见图中。
2. 试样配方：S-PVC（K = 70）100 份，锡稳定剂（HostastabSnS₆₁）1 份，润滑剂（蒙旦蜡和聚乙烯蜡并用）2 份。

有效的润滑作用意味着在加工过程中能耗较低，从而使内部发热较少，如施加在熔体上的热应力和机械应力较小，就会使熔体具有较高的稳定性，这样，润滑剂可同时起稳定剂的作用。例如，没有稳定剂或润滑剂的 S-PVC 在双辊混炼机上塑化和捏合，温度为 180℃，在约 2min 后即分解；含 3% 蒙旦蜡的物料在同样条件下操作，约 20min 后分解，终点的标志是料片突然变暗。这一混炼时间对于许多工艺已经足够。在实践中，更高的稳定性也是需要的，特别是在要求颜色变化最小时。

有人还指出了熔融润滑剂的粘度对于配合料稳定的重要性。换句话说，熔融润滑剂的粘度范围（在 150℃）约在 5 ~ 30000mPa · s，超过此范围，通常就是前面所述的“加工助剂”了。

聚合物熔体的粘性行为处在粘性液体和橡胶之间。在长链分子区域起润滑作用的内润滑剂在很大程度上影响熔体的粘弹行为，从而常常起好的副作用，即大大降低离模膨胀。

（五）对润滑剂的要求

- 1) 与聚合物有一定的相容性。
- 2) 不影响制品的物理性能和外观。

二、主要品种与性能

(一) 润滑剂的分类

按作用机理分为两类，即内部润滑剂和外部润滑剂。

按化学结构分为七大类：烃类、脂肪酸类、脂肪酸酰胺类、酯类、醇类、金属皂和复合润滑剂。润滑剂的种类见表 6-1。

表 6-1 润滑剂的种类

种 类	举 例	种 类	举 例
烃类	液体石蜡 天然石蜡 微晶石蜡 聚乙烯蜡（低分子量聚乙烯） 氯代烃 氟代烃	酯类	脂肪酸低级醇酯和高级醇酯 脂肪酸多元醇酯 脂肪酸聚乙二醇酯
		醇类	高级脂肪醇 多元醇 聚乙二醇或聚丙二醇
脂肪酸类	高级脂肪酸 羟基脂肪酸（醇酸）	金属皂	硬脂酸钙、硬脂酸镁、硬脂酸铅等
脂肪酸酰胺类	脂肪酰胺 亚乙基双脂肪酰胺		

(二) 脂肪酸及其衍生物

1. 硬脂酰胺

性质 白色或淡黄褐色粉末。相对分子质量 283.5，熔点 98 ~ 103℃，相对密度 0.96 左右，氮含量 > 4.8%，酸值 < 2.5mgKOH/g，碘值 1 ~ 5gI₂/100g，沸点 250℃ (1599.86Pa)。溶于热乙醇、氯仿、乙醚，难溶于冷乙醇，不溶于水。

用法及应用特点 本品为聚烯烃的爽滑剂和薄膜抗粘连剂，还可作为聚氯乙烯、聚苯乙烯、脲醛树脂等塑料加工用润滑剂和脱模剂，具有优良的外部润滑效果和脱模性，透明性和电绝缘性亦佳。本品也可作为天然橡胶和合成橡胶的内部脱模剂和润滑剂，改善胶料的加工性，提高颜料等其他助剂的分散效果，给予制品良好的光泽。本品在树脂中用量过大时易向制品表面析出，影响印刷性和透明性。

2. N，N'-亚甲基双硬脂酰胺

性质 白色蜡状粉末。相对分子质量 579，熔点 130 ~ 140℃，酸值 < 15mgKOH/g，碘值 < 1mgI₂/100g，相对密度 0.93。不溶于水，室温下在酮、醇、酯类有机溶剂中溶解度极小，随温度提高溶解度增大。

用法及应用特点 本品是典型的脂肪双酰胺类润滑剂，广泛应用于硬质聚氯乙烯、聚苯乙烯、ABS、AS 树脂等塑料制品的加工，用于 PVC 时显示外润滑作用，能有效降低树脂熔体和金属表面之间的摩擦系数，改善制品的加工性能，配合适当时显示良好的透明性。本品还可作为聚氯乙烯、聚烯烃薄膜的防粘连剂使用。本品热稳定性欠佳，高

温易分解，释放出醛类产物。应用不及亚乙基双硬脂酰胺（EBS）普遍。本品以添加方式使用，用量范围在 0.3 ~ 1.2 份（phr）之间。

3. N, N'-亚乙基双硬脂酰胺

性质 白色或乳白色粉末或粒状物。相对分子质量 593，氮含量约 4.8%，游离脂肪酸 < 4%，酸值 < 7mgKOH/g，水分 < 0.5%，相对密度（25℃）0.98，熔点 $\geq 142^{\circ}\text{C}$ ，闪点约 285°C ，挥发分（ 105°C ，2h）< 1.5%。耐酸、碱和水介质，不溶于水，常温下不溶于乙醇、丙酮、四氯化碳等大多数普通溶剂，可溶于热的氯代烃类和芳烃类溶剂，但溶液冷却时会沉淀析出或凝胶。

用法及应用特点 本品为应用广泛的爽滑剂、抗粘连剂、润滑剂和抗静电剂，兼具优良的内部润滑和外部润滑作用，适用于聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、ABS 树脂、酚醛树脂、氨基树脂等许多热塑性塑料和热固性塑料。本品用作爽滑剂和抗粘连剂的一般用量为 0.2% ~ 2.0%。

4. 油酰胺

性质 白色粉末状、碎片状或珠粒状物。相对分子质量 281.5，熔点 $68 \sim 79^{\circ}\text{C}$ ，相对密度 0.9 左右，氮含量 > 4.8%，酸值 < 0.8mgKOH/g，碘值 $80 \sim 90\text{gI}_2/100\text{g}$ ，闪点 210°C ，着火点 235°C 。熔融物带有淡褐色，不溶于水，溶于乙醚、乙醇等许多有机溶剂。

用法及应用特点 本品可作为聚乙烯、聚丙烯、聚酰胺等塑料的爽滑剂、防粘剂和抗粘连剂，改善注射成型和挤出成型中的加工操作性，使管式薄膜开口容易。本品还有抗静电效果，可减少灰尘在制品表面的附着积累。本品在聚氯乙烯中有内部润滑作用。

5. 芥酰胺

性质 白色粉末或片状物。平均相对分子质量 335，熔点 $75 \sim 85^{\circ}\text{C}$ ，氮含量 > 4%，碘值 $72 \sim 90\text{gI}_2/100\text{g}$ ，酸值 < 0.8mgKOH/g，游离脂肪酸 < 1%，水分 < 0.5%。

用法及应用特点 本品挥发性小，可作为高温加工的爽滑剂，特别适用于聚丙烯。采用本品的薄膜在刚刚制造后仅有有限的爽滑性，但经过 24h 后即显示优良的爽滑性。本品不影响制品的印刷性和粘合性。

6. 山嵛酰胺

性质 粉状、片状或粒状物。熔点 $103 \sim 105^{\circ}\text{C}$ ，酰胺含量 99%，游离酸含量 0.2%。

用法及应用特点 本品可作为塑料用抗粘连剂和爽滑剂。

7. 柠檬酸三（十八）酯

性质 白色固体。熔点 $56 \sim 57^{\circ}\text{C}$ ，不溶于水，在矿油精中的溶解度为 $6.5\text{g}/100\text{mL}$ 。

用法及应用特点 本品具有良好的爽滑性和抗粘连性，可用于硬质聚氯乙烯、ABS 树脂的内部润滑剂，能改善熔融树脂的流动性和制品的表面光泽，不影响热变形性和透明性，一般用量 0.5% ~ 1%。

8. 甘油单硬脂酸酯

性质 白色或淡黄色蜡状固体。相对分子质量 359，熔点 $56 \sim 58^{\circ}\text{C}$ ，相对密度

0.970 (25℃), 3%水分散液的 pH 值为 9.3 ~ 9.7, 碘值 $< 2\text{gI}_2/100\text{g}$, 酸值 $< 2\text{mgKOH/g}$, 皂化值 164 ~ 174mgKOH/g, 游离甘油含量 $< 1\%$ 。

用法及应用特点 本品可作为硝酸纤维素的增塑剂, 醇酸树脂的改性剂, 胶乳分散剂及合成石蜡的配合剂, 还可用作润滑剂。

9. 甘油单油酸酯

性质 白色或淡黄色蜡状物。相对分子质量 359, 熔点 37 ~ 45℃, 相对密度 0.970 (25℃), 单甘酯含量 $> 95\%$, 皂化值 164 ~ 174mgKOH/g, H. L. B. 值为 4.2 ~ 4.3。

用法及应用特点 本品可作为添加型流滴剂或其组分, 具有良好的初期流滴性和低温流滴性, 适用于食品包装薄膜, 在聚氯乙烯中的一般用量为 1 ~ 1.5 份, 在聚烯烃中用量为 0.5 ~ 1 份。

10. 二甘油醚单油酸酯

性质 室温下为黄色或浅黄色透明油状液体。相对分子质量 430, 相对密度 (20℃) 0.92 ~ 0.95, 折射率 (20℃) 1.468 ~ 1.472, 闪点 (开口法) 245℃, 粘度 (20℃) 90 ~ 150mPa · s。不溶于水, 可溶于乙醇、异丙醇等有机溶剂。

用法及应用特点 酯类润滑剂 G-16 系 PVC 内润滑剂, 尤其适用于硬质透明制品, 透明效果好, 不迁移析出, 与钙/锌复合稳定剂并用能改善热稳定性能, 在农用或包装用 PVC、聚烯烃薄膜中配合有给予制品抗静电和防雾滴功能的作用, 可直接与树脂混配, 用量范围在 0.5 ~ 3 份 (phr) 之间。

11. 改性甘油三酸酯

性质 外观为珠状。甘油三酸酯含量 $\geq 90.0\%$, 滴点约 60℃。

用法及应用特点 本品是一种完全由来源于蔬菜中可食用的硬化油脂提纯出来的改性甘油三酸酯, 是一种具有亲油性的非离子性表面活性剂, 可与食品接触, 可应用于塑料中作为包装材料的润滑剂, 也可作为填料和颜料的表面改性剂。

12. 酯类润滑剂 G60

性质 白色蜡状微颗粒。熔点 42 ~ 46℃, 不溶于水, 溶于乙醇、异丙醇等有机溶剂。

用法及应用特点 本品系 PVC 内润滑剂, 适用于 PVC 透明片材、瓶、低发泡异型材、电线电缆护套等硬质、半硬质制品的加工, 具有降低熔体粘度, 改善树脂熔融流动性, 给予制品透明效果的作用, 与 Pb、复合金属皂、有机锡、有机锑、稀土稳定剂等各种热稳定体系具有良好的协同作用, 素有“万能内用润滑剂”之称。本品直接与树脂混配, 推荐用量范围在 0.5 ~ 1.5 份 (phr) 之间。

13. 复合酯类润滑剂 G70

性质 白色自由流动的微颗粒。熔点 53 ~ 58℃, 折射率 (80℃) 1.440 ~ 1.450, 粘度 (80℃) 60 ~ 100mPa · s, 相对密度 (80℃) 0.918 ~ 0.930, 不溶于水, 可部分溶于醇类等有机溶剂。

用法及应用特点 本品为外润滑剂, 主要适用于 PVC 透明制品。具有不喷霜、透

明性好、给予制品表面光滑、易脱模等特点。本品亦可作为聚氨酯外用脱膜剂使用。本品与内润滑剂协同使用，在配合时直接混配，推荐用量范围在 0.3% ~ 1.0%（质量）之间。

14. 复合酯类润滑剂 G74

性质 白色自由流动的微粒。熔点 40 ~ 50℃，相对密度（80℃）0.887 ~ 0.920，折射率（80℃）1.442 ~ 1.446，粘度（80℃）85 ~ 100mPa · s。不溶于水，可溶于部分醇类有机溶剂。

用法及应用特点 本品为 PVC 外润滑剂，常与 G16、G60 等酯类内润滑剂配合使用，尤其在硬质 PVC 透明制品中应用广泛。本品相对分子质量高，不易挥发，给予制品良好的外润滑和脱模效果，不影响透明性。

15. 褐煤蜡

性质、用法及应用特点 作为润滑剂使用的褐煤蜡包括 OP 蜡、E 蜡、GL 蜡和蜡四个基本品种，其化学组成分别为：

(1) OP 蜡 褐煤酸的 1, 4-丁二醇酯部分皂化物。

(2) E 蜡 褐煤酸的乙二醇酯化物。

(3) GL-3 蜡 褐煤酸酯部分皂化物。

(4) O 蜡 E 蜡的部分钙皂。

褐煤蜡的技术指标见表 6-2。

表 6-2 褐煤蜡的技术指标

品 种	OP 蜡	E 蜡	GL-3 蜡	O 蜡
外观	近白色粉末或磷片状	白色或浅黄色蜡状物	浅棕色粉状固体	白色或浅黄色蜡状物
熔点/℃	74 ~ 79	70 ~ 74	88 ~ 93	102 ~ 106
相对密度(20℃)	1.01 ~ 1.03	1.01 ~ 1.03	1.01 ~ 1.04	1.03 ~ 1.04
酸值/(mgKOH/g)	10 ~ 15	15 ~ 20	20 ~ 30	10 ~ 15
皂化值/(mgKOH/g)	100 ~ 115	140 ~ 160	—	111 ~ 133

本品系褐煤中提取的 C₂₄ 以上高级脂肪酸及其酯化物和皂化物，润滑性突出，与 PVC 等树脂相容性好，对热稳定，不析出，不喷霜，多数品种不影响制品的透明性。不同改性品种的应用性能各有差异。

OP 蜡外观为近白色粉末或磷片状，适用于聚氯乙烯、聚甲醛、聚碳酸酯等热塑性制品的加工，具有优异的内润滑性和外润滑性，不析出，不喷霜，高浓度使用时无过润滑现象，和 E 蜡有良好的协同作用。

E 蜡适用于聚氯乙烯等热塑性树脂的加工，外润滑性优于 OP 蜡，润滑效果突出，不影响制品的透明性，特别适用于硬质透明 PVC 管材、板材和容器制品成型工艺，和 OPP 蜡并用有协同效果。

GL-3 蜡外观为浅棕色粉状固体，可作为聚氯乙烯润滑剂使用，与树脂相容性好，

内润滑作用优于 OP 蜡。对光、热稳定，主要用于户外电线电缆料、管材等制品的加工。

O 蜡是 E 蜡的改进品种，用于 PVC、聚甲醛等制品加工，能给予制品一定的自润滑性，兼备内、外润滑特性，对吹塑、挤塑、压延等成型工艺适应性强，高浓度使用时无过润滑现象。

用法为与树脂直接混配，推荐用量范围在 0.5% ~ 1.5%（质量）之间。

16. 甘油三羟硬脂酸酯

性质 粉末状物。熔点 85 ~ 87℃，色度（APHA）<200。

用法及应用特点 本品可作为聚氯乙烯、ABS 树脂、MBS 树脂的润滑剂和爽滑剂，具有优良的耐热性和流动性。本品也可作为合成橡胶的脱模剂。

17. 硬脂酸正丁酯

性质 无色或淡黄色油状液体，微具脂肪味。相对分子质量 341，色度（APHA）<80，酸度（以硬脂酸计）<0.5%，酯含量 98%，相对密度（25℃）0.855 ~ 0.862，粘度（25℃）0.008Pa·s，凝固点 16 ~ 22℃，沸点（3333Pa）220 ~ 225℃，闪点（开杯法）188℃，着火点 208℃，蒸气压 2666.4Pa（20℃）、14.67Pa（150℃）、360.0Pa（200℃），膨胀系数（20℃）0.00083℃⁻¹，折射率（25℃）1.4418，挥发度（100℃，5h）0.26%，水解度（沸水，1h）0.16%，在水中的溶解度（25℃）<0.01%，水在本品中的溶解度（25℃）0.1%。溶于丙酮、氯仿、乙酸乙酯、甲苯、甲醇、芳香烃、脂肪烃、矿物油、植物油、蜡和大多数合成增塑剂，微溶于甘油、乙二醇、甲醇和某些胺类。

用法及应用特点 本品主要作为硝酸纤维素、乙基纤维素的增塑剂，用于涂料时，可改善漆膜的光泽度、耐水性、耐寒性和耐划痕性，若将本品溶解于溶剂型增塑剂中再使用，能提高增塑效率。本品对聚氯乙烯的增塑效率低，但可作为润滑剂用于该树脂的挤塑、注塑和压延，一般用量 0.5 ~ 1 份。本品还可有效地改善聚苯乙烯、氯乙烯-乙酸乙烯共聚物和丁腈橡胶等许多树脂的加工性和脱模性。

18. 十八醇

性质 白色粒状物。相对分子质量 270，熔点 56 ~ 60℃，相对密度 0.815，色度（APHA）<30，羟值 199 ~ 209mgKOH/g，酸值 <0.2mgKOH/g，皂化值 <2mgKOH/g，碘值 <0.5gI₂/100g，水分 <0.5%。

用法及应用特点 本品为硬制聚氯乙烯的润滑剂，内部润滑作用大，透明性好，在挤塑中显示良好的初期和中期润滑效果。与金属皂类、硫醇类有机锡稳定剂有协同效应，用量一般为 0.2% ~ 0.5%。

19. 十二酸

性质 白色针状晶体。熔点 44℃，相对密度 0.869，沸点 225℃（13.33kPa）、176℃（2.00kPa）、141 ~ 142℃（0.08 ~ 0.093kPa），折射率 1.4183（82℃）、1.4323（45℃）。溶于醇、酮、醚、苯和石油醚，不溶于水。

用法及应用特点 本品作为润滑剂，具有润滑和硫化等多种功能。本品对金属有腐

蚀作用，故一般不用于电线、电缆等塑料制品。本品在表面活性剂工业应用最为广泛，还可用于香料工业、制药工业。

20. W 型塑料润滑剂

性质 产品技术指标见表 6-3。

表 6-3 W 型塑料润滑剂的技术指标

项 目	指 标		
	W-74	W-80	W-60
相对密度(d_{40}^{20})	0.910 ~ 0.950	0.920 ~ 0.960	0.900 ~ 0.940
粘度(80℃)/mPa·s	66.0 ~ 74.0	36.0 ~ 43.0	10.0 ~ 15.0
软化点/℃	45 ~ 53	46 ~ 54	45 ~ 55
折射率(60℃)	1.456 ± 0.003	1.452 ± 0.003	1.463 ± 0.003
酸值/(mgKOH/g) ≤	30.0	35.0	3.5
闪点/℃ >		230	

用法及应用特点 本系列产品属多官能团脂肪酸酯类有机化合物，适用于 PVC 塑料制品，尤其是硬质、透明塑料制品的应用。

产品型号、适用范围及推荐用量见表 6-4。

表 6-4 W 型塑料润滑剂的产品型号、适用范围及推荐用量

型号	适 用 范 围	推荐用量/份 (phr)
W-74	透明制品、内外润滑剂	0.2 ~ 1.2
W-80	注塑专用、内外润滑剂	0.2 ~ 0.8
W-60	透明制品、内润滑剂	0.2 ~ 0.8

该系列产品具有如下应用特点：①改善熔体流动性，有利于复杂形状的挤出成型和注塑成型制品的加工。②润滑持效性好，与其他润滑剂、稳定剂的相容性良好，不喷霜、不结垢。③优良的防粘模性能，有利于加工过程的正常进行。④改善制品的外观和表面光洁度。⑤透明性好。

21. Slip-Eze

Slip-Eze 的化学名：高纯度含氮脂肪族化合物（主要成分是约占 66% 油酰胺）。

性质 白色粉末或粒状物。熔点 70 ~ 75℃，游离酸含量 < 0.5%，水分 < 0.1%，碘值 82 ~ 88gI₂/100g，总酰胺含量 > 98%。

用法及应用特点 本品可作为聚乙烯、聚丙烯等热塑性塑料的爽滑剂、防粘连剂和脱模剂。

22. 单油酸（季戊四醇甘油醚）酯

性质 浅黄透明液体。酸值 mgKOH/g ≤ 0.8，折射率 1.465 ~ 1.175，相对密度 0.92

~0.93。

用法及应用特点 本品是一种具有良好热稳定性和低挥发性的高效内润滑剂，通过控制羟基含量和酯化程度，在 PVC 加工过程中可使粘度降低，热耗能减少，在相同温度下降低 PVC 熔体的粘度。

23. 聚酯

用法及应用特点 本品是一种低粘度的具有梳形结构的聚酯，可显著改善聚合物/填料体系的填料分散性、较高的熔体粘度、熔体强度和对加工设备的污染问题等。本品显示了优良的内外润滑效果。对于原料混合物，本品可提高填料的分散效果、降低熔体粘度、减少对加工设备的污染、降低能耗、提高填充体系的熔体强度。在加工过程中，本品可改善流动性，有利于模件脱模。对于成型制品，本品则可明显地改善外观状况，提高冲击强度和断裂伸长率。

本品是一种性能优良的聚合物/填料体系的加工助剂，可用于 PP、PE、工程塑料、弹性体等聚合物和碳酸钙、滑石粉、炭黑、氢氧化铝、氢氧化镁、淀粉、颜料等体系中，推荐用量 0.5% ~2.0%。

24. Licolub FAI

性质 本品为细颗粒，微粉化，白色。密度 0.99 ~ 1.01g/cm³，粘度（150℃）约 15mm²/s，熔点 139 ~ 144℃，酸值 < 15mgKOH/g，皂化值 < 15mgKOH/g。

用法及应用特点 本品可用于 PE、PVC、PS、ABS、其他工程塑料、颜料浓缩物中。本品作为抗粘连剂（开口剂），具有极好的热稳定性，低挥发性使其适用于加工温度较高的塑料。

25. W 型系列 PVC 新型加工润滑剂

性质 产品技术指标见表 6-5。

表 6-5 W 型系列 PVC 新型加工润滑剂的技术指标

项 目	指 标		
	W-74	W-80	W-60
相对密度	0.910 ~ 0.950	0.920 ~ 0.960	0.900 ~ 0.940
粘度(80℃)/mPa·s	66.0 ~ 74.0	36.0 ~ 43.0	10.0 ~ 15.0
软化点/℃	45 ~ 53	46 ~ 54	45 ~ 55
折射率(60℃)	1.456 ± 0.003	1.452 ± 0.003	1.463 ± 0.003
酸值/(mgKOH/g)	≤ 30.0	35.0	3.5
闪点/℃	> 230		

用法及应用特点 本系列产品属多官能团脂肪酸酯类有机化合物，适用于 PVC 塑料制品，尤其是硬质、透明塑料制品的应用。

产品型号、适用范围及推荐用量见表 6-6。

表 6-6 W 型系列 PVC 新型加工润滑剂的产品型号、适用范围及推荐用量

型号	适 用 范 围	推荐用量/份 (phr)
W-74	透明制品、内外润滑剂	0.2 ~ 2.0
W-80	注塑专用、内外润滑剂	0.2 ~ 2.0
W-60	透明制品、内润滑剂	0.2 ~ 2.0

应用特点如下:

- 1) 改善熔体流动性, 有利于复杂形状的挤出成型和注射成型制品的加工。
- 2) 润滑持效性好, 与其他润滑剂、稳定剂的相容性好, 不喷霜, 不结垢。
- 3) 优良的防粘模性能, 有利于加工过程的正常进行。
- 4) 改善制品的外观和表面光泽度。
- 5) 透明性好。

(三) 硬脂酸皂类

硬脂酸镁

性质 白色细粉末。相对分子质量 591.25, 熔点 144 ~ 148℃, 密度 1.07g/cm³, 镁含量 4.1%, 氧化镁含量 6.8% ~ 8%, 游离酸 (硬脂酸) 含量 < 3%, 细度 (325 目通过) 99%, 微溶于水 (室温, 77 ~ 79mg/L), 溶于热的乙醇。遇强酸分解为硬脂酸和相应的镁盐。

用法及应用特点 本品为聚氯乙烯热稳定剂, 稳定效能及其他性能与硬脂酸钙类似, 可与锌皂或钙皂配合用于食品包装材料, 但应用不广泛。

(四) 石蜡及烃类树脂

1. 微晶石蜡

性质 白色或微黄色鳞片状或粒状物。相对分子质量约 500 ~ 1000 (C₆₀ ~ C₇₀), 熔点 70 ~ 90℃, 固体相对密度 0.89 ~ 0.94, 液体相对密度 (100℃) 0.78 ~ 0.81, 闪点 (开杯法) 260 ~ 340℃, 折射率 (100℃) 1.435 ~ 1.445, 溶于非极性溶剂, 不溶于极性溶剂。

用法及应用特点 本品热稳定性、润滑性优于石蜡, 但会降低凝胶化速度, 故用量不宜过大, 用作塑料润滑剂。

2. 低分子量聚乙烯

性质 白色粉末、相对分子质量 1500 ~ 9500, 相对密度 0.9 ~ 0.93, 软化点 100 ~ 115℃。

用法及应用特点 在色母粒制造中用作颜料分散剂, 在 PVC-U 中作润滑剂, 在塑料加工中作脱模剂, 用量 0.1 ~ 0.5 份。

3. 氧化聚乙烯蜡

性质 白色或淡黄色粉末或颗粒。H12、PED191 的技术指标见表 6-7。

表 6-7 H12、PED191 的技术指标

指 标	H12	PED191	指 标	H12	PED191
熔点/℃	100 ~ 108	120 ~ 125	粘度(120℃)/mPa·s	约 350	约 4000
酸值/(mgKOH/g)	15 ~ 19	15 ~ 17	颜色	白色	接近白色
皂化值/(mgKOH/g)	30 ~ 45	20 ~ 35	物理形态	细颗粒	片状、粉状
密度/(g/cm ³)	0.94 ~ 0.96	0.97 ~ 0.99			

用法及应用特点 本品为聚乙烯蜡的部分氧化产物，润滑效率高，可提高挤出速率，用作 PVC-U 加工用润滑剂、颜料分散剂。

(五) 其他

1. 月桂酸衍生的对称脂肪酮

性质 白色碎片状物。熔点 69℃，相对密度 0.98。

用法及应用特点 本品可作为聚乙烯、聚氯乙烯的爽滑剂和抗粘连剂。

2. HTSA#3

性质 淡黄色粉末。熔点 73 ~ 77℃，游离酸含量 0.4%，水分 < 0.1%，沸点 440℃。

用法及应用特点 本品可作为热塑性塑料的爽滑剂、防粘连剂和脱模剂，能耐 315℃ 以上的加工温度，不结垢，透明性好，适用于聚氯乙烯、聚烯烃、聚酰胺、纤维素树脂等多种塑料，一般用量 0.05% ~ 0.4%。

3. HG-16

性质 淡黄色透明油状液体。

用法及应用特点 本品为 PVC 内部润滑剂，透明性好，能抗拒结垢，与 PVC 树脂的相容性好。

4. HG-70S

性质 白色或淡黄色片状、粉状。

用法及应用特点 本品为 PVC 外部润滑剂，具有良好的脱模效果，在加工中可改善自由流动性和不粘性，与各种商用稳定剂有良好相容性。

5. WXC 系列高效润滑光亮剂

性质 产品技术指标见表 6-8。

表 6-8 WXC 系列高效润滑光亮剂的技术指标

项 目	CX 型		WPC 型		
	CX- I	CX- II	WPC18-1	WPC18-2	WPC18-4
外观	白色或微黄色粉末		白色或微黄色		
软化点/℃	101 ~ 108	109 ~ 115	79 ~ 88	89 ~ 102	90 ~ 103
粘度(130℃)/mPa·s	≤	115 ~ 195	196 ~ 280	14.0 ~ 26.0	27.0 ~ 42.0
				75.0 ~ 90.0	

(续)

项 目		CX 型		WPC 型		
		CX- I	CX- II	WPC18-1	WPC18-2	WPC18-4
挥发度(105℃,4h)(%)	≤	1.0		1.5		
加热减量(200℃,1h)(%)	≤	4.0		5.5		
游离酸值(%)	≤	3.0		15.0		11.0
闪点/℃	>	230		220		230

用法及应用特点 本系列产品是采用分子组装优化设计技术开发研制成功的新型产品,用作 PVC 塑料硬制品高速加工用的高级复合润滑剂,主要适用于门窗型材、管材及注塑管件等硬制品。

该系列产品具有高效、多功能、无毒、使用方便、针对性强等特点,而且润滑效果好,能改善物料熔体的流动性,对提高制品生产加工效率、延长设备运转周期,改进产品性能有良好效果,深受用户好评,是一种综合性能优良的润滑剂。

第二节 脱 模 剂

一、简介

塑料在注射成型或模压成型时,被高压充满到模腔中,冷却后易发生粘附于模腔表面而使成型的制件难以脱离或不能脱离的现象。这时需要一种能在塑料制品表面形成一薄层高效隔离膜,使模塑制品能自行脱模的脱模剂。

脱模剂是一种能在两个彼此易于粘着的物体表面形成界面隔离层,使物体表面易脱离、光滑和洁净的添加剂,又称为脱模润滑剂。

脱模剂的成分为蜡、硅氧烷、金属硬脂酸盐、聚乙烯醇、含氟低聚物及聚烯烃等,也有它们与脂肪酸、聚二甲基硅氧烷及其他复杂聚合混合物的掺混物。根据其使用方式,脱模剂可分为内脱模剂和外脱模剂两种。其中,喷雾剂型硅氧烷因效果好、价廉而广泛用于热塑性塑料加工中。

脱模剂应具有一定的热稳定性和化学惰性,不腐蚀模具表面,在模具和制品表面不残留分解物,给予制品良好的外观,不影响制品的色泽、粘性、耐老化性能,不产生气味,无毒。并应具有较大的拉伸强度,以使它在与模压树脂经常接触时不易被磨光。

选用脱模剂时需考虑的因素较多,有模压材料及组成、循环时间、温度、成品件的使用及二次加工等,必须保证脱模剂的性能与模压条件一致。

随着环保问题的进一步深化,全球范围内要求降低工作环境中的有害蒸汽,使得氯氟烃类溶剂载体被取缔。为此,许多含有新型水基脱模剂的配方被大范围引入到热固性树脂应用中。内部添加型脱模剂也因此越来越受到重视,而外部脱模剂则正被停止使

用。

二、主要品种与性能

(一) 酯或盐类

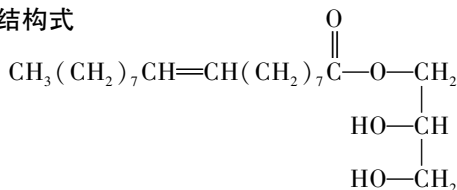
1. 羟基硬脂酸甲酯

性质 白色蜡状固体。熔点 $51 \sim 52^{\circ}\text{C}$ ，相对密度 $1.018 \sim 1.02$ ，酸值 5mgKOH/g ，碘值 $3\text{gI}_2/100\text{g}$ ，皂化值 179mgKOH/g ，羟值 164mgKOH/g 。

用法及应用特点 本品可作为聚乙烯、丁基橡胶、乙丙橡胶等聚合物的润滑剂和脱模剂。

2. 甘油单油酯

结构式



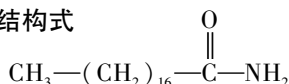
性质 白色蜡状物。单甘酯含量 $>95\%$ ，相对分子质量 359，熔点 $56 \sim 58^{\circ}\text{C}$ ，相对密度 (25°C) 0.970 ，皂化值 $164 \sim 174\text{mgKOH/g}$ 。

用法及应用特点 本品可作为内加型脱模剂，具有良好的脱模效果，适用于聚烯烃树脂、聚氯乙烯等制品，一般用量为 $0.2\% \sim 0.8\%$ 。

(二) 酰胺类

1. 硬脂酰胺

结构式

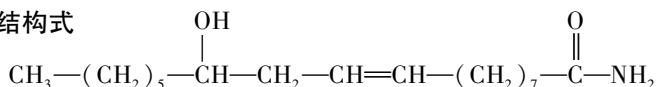


性质 白色或淡黄褐色粉末。相对分子质量 283.5，熔点 $98 \sim 103^{\circ}\text{C}$ ，相对密度 0.96 左右，氮含量 $>4.8\%$ ，酸值 $<2.5\text{mgKOH/g}$ ，碘值 $1 \sim 5\text{gI}_2/100\text{g}$ ，沸点 (1600Pa) 250°C ，溶于热乙醇、氯仿、乙醚，难溶于冷乙醇，不溶于水。

用法及应用特点 本品可作为聚氯乙烯、聚苯乙烯、脲醛树脂等塑料加工用的润滑剂和脱模剂，具有优良的外部润滑效果和脱模性，透明性和电绝缘性亦佳。本品用于硬质透明挤塑成型品时，一般用量为 $0.3 \sim 0.8$ 份。本品的润滑性不及硬脂酸，持效性也较短，热稳定性较差，有初期着色性，与少量高级醇 ($\text{C}_{16} \sim \text{C}_{18}$) 配合，可以克服上述缺点。本品在树脂中用量过大时易向制品表面析出，影响印刷性和透明性。本品还可作为聚烯烃的爽滑剂和薄膜抗粘连剂，也可作为天然橡胶和合成橡胶的内部脱模剂和润滑剂，改善胶料的加工性，提高颜料等其他助剂的分散效果，给予制品良好的光泽。

2. 蓖麻醇酸酰胺

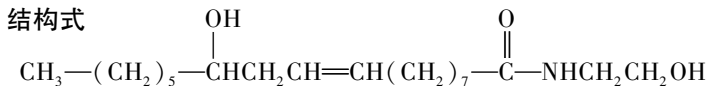
结构式



性质 淡黄色粒状物。熔点 $65 \sim 68^{\circ}\text{C}$ ，氮含量 $>4.5\%$ ，酸值 $1 \sim 2\text{mgKOH/g}$ ，碘值 $80 \sim 90\text{gI}_2/100\text{g}$ ，羟值 $150 \sim 170\text{mgKOH/g}$ ，水分 $<0.2\%$ ，溶于极性和非极性溶剂。

用法及应用特点 本品可作为塑料用脱模剂。

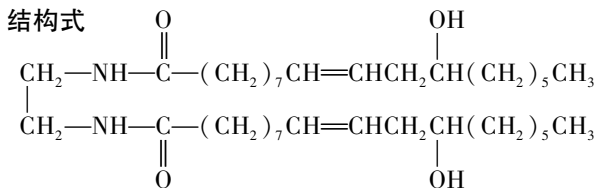
3. N-(β -羟乙基) 蓖麻醇酸酰胺



性质 熔点 46°C ，相对密度 (25°C) 1.00，酸值 5mgKOH/g ，碘值 $80\text{gI}_2/100\text{g}$ ，羟值 295mgKOH/g ，皂化值 15mgKOH/g 。

用法及应用特点 本品可作为塑料用润滑剂和脱模剂，具有良好的润滑作用，并有抗静电效果。

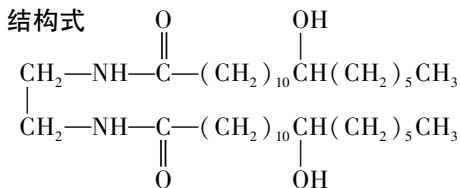
4. N, N'-亚乙基双蓖麻醇酸酰胺



性质 白色蜡状物。熔点 89°C ，相对密度 1.02，酸值 5mgKOH/g ，碘值 $93\text{gI}_2/100\text{g}$ ，羟值 159mgKOH/g ，皂化值 159mgKOH/g 。

用法及应用特点 本品可作为塑料用润滑剂和脱模剂，除具有润滑作用外，还有抗静电效果。

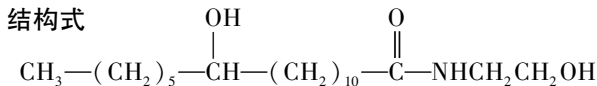
5. N, N'-亚乙基双(12-羟基硬脂酰胺)



性质 熔点 140°C ，相对密度 (25°C) 1.02，酸值 4mgKOH/g ，碘值 $4\text{gI}_2/100\text{g}$ ，羟值 160mgKOH/g ，皂化值 14mgKOH/g 。

用法及应用特点 本品可作为塑料用内部润滑剂和脱模剂，适用于硬质聚氯乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯等，制品透明性良好，最大用量 2% 。

6. N-(2-羟乙基)-12-羟基硬脂酰胺

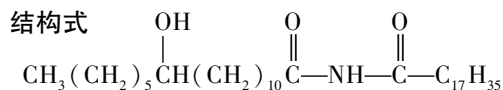


性质 固体状物。熔点 104°C ，相对密度 (25°C) 1.05，酸值 1mgKOH/g ，碘值 $4\text{gI}_2/100\text{g}$ ，羟值 300mgKOH/g ，皂化值 14mgKOH/g 。

用法及应用特点 本品可作为塑料用内部润滑剂和脱模剂，适用于硬质聚氯乙烯

等，制品透明性良好，最大用量 2%。

7. N-硬脂酰基-12-羟基硬脂酰胺



性质 固体状物。熔点 102℃，相对密度 0.98（25℃），酸值 1mgKOH/g，碘值 5gI₂/100g，羟值 93mgKOH/g，皂化值 80mgKOH/g。

用法及应用特点 本品可作为塑料用润滑剂和脱模剂。

（三）蜡类

1. 固体石蜡

性质 白色固体。熔点 57 ~ 63℃，相对密度 0.87 ~ 0.92，溶于汽油、氯仿、二硫化碳、二甲苯、乙醇等溶剂，微溶于醇类，不溶于水。

用法及应用特点 本品广泛用作各种塑料的润滑剂和脱模剂，外部润滑作用强，制品表面有光泽，在硬质聚氯乙烯中使用较多，适用于单螺杆和双螺杆挤塑，一般用量 0.2 ~ 1 份。本品的透明性差，制品易泛白模糊。本品在聚氯乙烯中的相容性、热稳定性和分散性均低，所以用量不宜过大，最好与内部润滑剂并用。

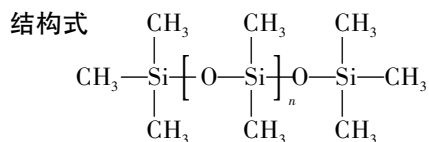
2. 白油（液体石蜡）

性质 无色、无异味的透明油状液体。溶于乙醚、氯仿、汽油、苯等，不溶于水和乙醇。

用法及应用特点 本品对酸、热、光稳定，可作为内加型脱模剂，具有良好的脱模效果。

（四）硅氧烷类

1. 聚二甲基硅氧烷



性质 无色透明粘稠液体。相对分子质量约为 5000 ~ 100000，粘度 0.00065 ~ 60Pa · s，长期使用温度范围 -50 ~ 180℃，在隔绝空气条件下或在惰性气体中可在 200℃ 下长期使用。粘度系数 0.31 ~ 0.61，表面张力 0.016 ~ 0.022N/m，介电常数（23℃，100Hz）2.18 ~ 2.17，体积电阻（23℃）1.0 × 10¹⁴ ~ 1.0 × 10¹⁶Ω · cm，介电损耗角正切值（23℃，100Hz）0.00002 ~ 0.00004，击穿电压强度 13.7 ~ 17.7kV/mm。溶于乙酸、苯、甲苯、二甲苯，部分溶于丙酮、乙醇、丁醇，不溶于甲醇、环己醇、石蜡油、植物油、水。

用法及应用特点 本品广泛用作塑料脱模剂，具有优良的耐高低温性能、透光性、电性能、憎水性、防潮性和化学稳定性，一般用于大型成型物高温操作脱模，如酚醛树脂、不饱和聚酯层压板。为了适应不同用途的需要，通常还将硅油加工成溶液、乳剂和

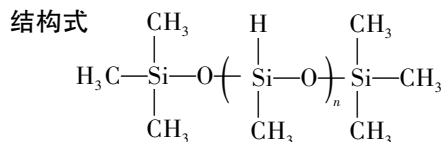
硅膏的形式,其组成和用途如下。

(1) 溶液 将硅油溶于四氯化碳、甲苯或二甲苯等有机溶剂中调配而成,浓度一般为 0.5% ~ 2%。适于在 60 ~ 110℃ 下使用。

(2) 乳剂 由硅油、乳化剂和水调制而成,使用时稀释到 0.5% ~ 2.0%。适用于 120℃ 以上的加工场合及形状复杂的制品。

(3) 硅膏 由硅油和超细二氧化硅炼制而成。耐热性良好,适用于表面积大而平滑且形状简单的制品。

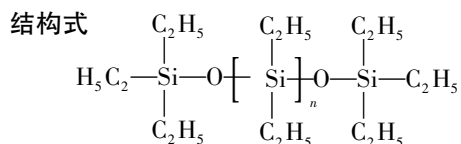
2. 甲基含氢硅油



性质 浅黄色或无色透明液体。相对密度 0.98 ~ 1.10, 粘度 10 ~ 15mPa · s, 含氢量 0.8% ~ 1.4%。溶于苯、二甲苯、乙醚, 不溶于水和醇。

用法及应用特点 本品耐热性不如二甲基硅油, 但憎水防潮和防粘等特性要优于二甲基硅油, 可广泛用于橡胶和塑料工业的脱模剂、纸张和包装材料的防粘连剂。涂有本品的光学玻璃不仅透光率高, 而且具有优良的防霉、防潮性能。本品还可作为金属的防锈剂。

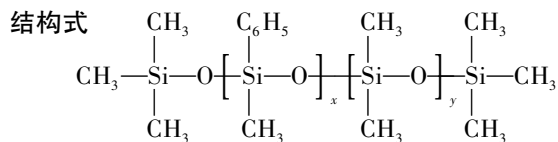
3. 聚二乙基硅氧烷



性质 无色或浅黄色透明液体。相对分子质量 300 ~ 100000。溶于乙醚、氯仿、甲苯, 可与石油产品任意混合。

用法及应用特点 本品可作为塑料、橡胶等工业用脱模剂, 使用温度 -70 ~ 150℃。本品具有优良的润滑性和电性能, 比二甲基硅油更耐低温, 粘度系数小 (约 0.65), 蒸气压低, 可压缩性较大, 表面张力较小, 防水性能好, 耐化学腐蚀, 对金属表面不腐蚀, 能与矿物润滑油互溶进一步改善润滑性, 可以调配成不同粘度以供需要。

4. 聚甲基苯基硅氧烷



性质 无色或淡黄色油状液体。相对密度 1.00 ~ 1.11 (23℃), 折射率 1.425 ~ 1.533 (23℃), 物理性质随组成和相对分子质量而异。苯基含量提高, 密度和折射率增大, 低苯基含量的硅油凝固点低于 -70℃。中苯基和高苯基含量的热稳定性大为提

高, 在没有空气存在的情况下, 250°C 经几千小时后物性无变化, 同时氧化稳定性也大大提高。中、高苯基含量的硅油还具有良好的耐辐射性, 室温下剂量达 2×10^8 伦琴 (R) ($1\text{R} = 2.58 \times 10^4 \text{C/kg}$) 后仍然可以使用。

用法及应用特点 本品可作为各种用途的润滑剂和脱模剂, 润滑性能、耐高温和抗辐射性能优于二甲基硅油。

(五) 其他

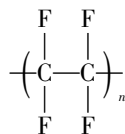
1. 氧化乙烯和氧化丙烯的嵌段共聚物

性质 透明液体或片状物。片状物的熔点 $> 50^{\circ}\text{C}$, 相对密度约 1.0, pH 值 (1% 水溶液) 4.0 ~ 7.5。

用法及应用特点 本品可作为酚醛树脂的内部润滑剂和脱模剂, 可增加树脂的柔软性, 减少脆性。本品加入 0.1% 以上即有良好的脱模作用, 用量在 10% 以上时有抗静电效果。

2. 聚四氟乙烯

结构式



性质 中性时透明, 厚度增加而成灰白色。无真正熔点, 450°C 以上慢慢分解直接变为气体, 相对密度 2.2 ~ 2.3, 折射率 (20°C) 1.37 ~ 1.38, 不溶于任何溶剂。除了能与熔融的碱金属反应外, 不受任何物质的侵蚀, 即使在氢氟酸、王水或发烟硫酸、氢氧化钠中煮沸, 也不起任何变化。

用法及应用特点 本品适用于热塑性和热固性聚合物的脱模剂, 承载能力优良, 在弹性体和橡胶工业以及防腐制品中广泛使用。

第七章 反应助剂

第一节 固化剂

一、简介

固化剂是交联剂的一类，能将可溶（熔）的线型结构高分子化合物转变成不溶（熔）的体型结构，固化剂本身参与反应而成为固化树脂的一部分。催化剂仅起固化的催化作用，而本身不加入固化树脂的分子内。固化剂因应用行业不同而各有称谓。橡胶工业称其硫化剂，涂料、树脂工业统称固化剂。固化剂的品种很多，应根据被加工的材料种类选择，如环氧树脂选用胺类、酸酐类、咪唑类固化剂；不饱和树脂则选用过氧化物固化剂，如过氧化环己酮；氨基树脂为涂料中常用的固化剂，与丙烯酸树脂、环氧树脂或醇酸树脂交联固化而成膜。

选择固化剂应注意：①固化效率高，固化后结构稳定。②加工安全性大，使用方便，加入聚合物后的有效使用期适中，即不可过早，也不可过迟。③不影响制品的加工性能和使用性能。④无毒（或毒性小）、无污染、不刺激皮肤和眼睛。⑤价格便宜。

二、主要品种与性能

（一）胺类

1. 乙二胺

结构式 $\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}_2$

性质 无色透明的黏稠液体。相对分子质量 60.11，熔点 85°C ，相对密度（ d_4^{20} ）0.8995，沸点 116.5°C ，pH 值（25% 溶液）11.9（ 20°C ），蒸气压（ 20°C ）1.426kPa，粘度（ 20°C ）1.6mPa·s，闪点（闭环） 43°C ，折射率（ n_D^{20} ）1.4586。溶于水和乙醇，微溶于乙醚，不溶于苯，有氨臭，易燃，具有强碱性，遇酸易生成盐，与水生成水合物。

用法及应用特点 用于环氧粘合剂的固化剂（对双酚 A 环氧树脂配合量为 8% 左右）、抗冻剂、橡胶促进剂，也广泛用于制造有机化合物、药物、染料、农药、螯合剂、防蚀剂、润滑剂等。

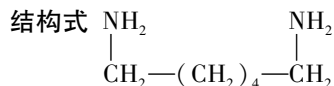
2. 1, 2-丙二胺

结构式
$$\begin{array}{c} \text{NH}_2 \quad \text{NH}_2 \\ | \quad | \\ \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_2 \end{array}$$

性质 无色透明黏稠液体。相对分子质量 74.13，沸点 117℃，相对密度 0.8732 (20℃)，闪点 71.2℃，折射率 1.4460，有氨味。溶于水、乙醇，不溶于苯。具有强的吸湿性，能在空气中吸收水和二氧化碳，易燃。

用法及应用特点 本品用作航空用树脂固化剂、橡胶硫化促进剂以及选矿药剂、金属钝化剂，也用于染料、电镀等方面，本品还用作分析试剂。

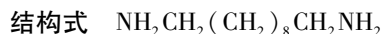
3. 1, 6-己二胺



性质 无色或浅黄色结晶。相对分子质量 116.21，熔点 42℃，沸点 204 ~ 205℃ (0.1013MPa)、100℃ (2.666kPa)，闪点 81℃，有吡啶气味。溶于水、乙醇、乙醚和苯，易吸收空气中的水和二氧化碳，易燃。

用法及应用特点 本品用作脲醛树脂、环氧树脂的固化剂，用量为 15 份，固化条件 25℃/1 天，可提高制品的柔韧性。本品可用于制备尼龙 66、尼龙 610、粘合剂和涂料等，也用作橡胶硫化促进剂。

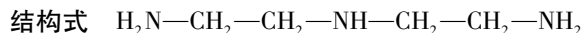
4. 1, 10-癸二胺



性质 白色结晶。相对分子质量 172.32，熔点 61.5℃，沸点 (1.6kPa) 140℃，溶于乙醇，在空气中吸收二氧化碳迅速成盐。

用法及应用特点 本品用作环氧树脂固化剂，用量为 25 份，固化条件 25℃/7 天或 60℃/5h。本品用于制备尼龙 1010，也用作有机合成原料。

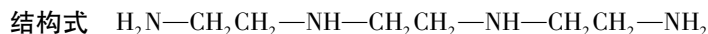
5. 二亚乙基三胺



性质 无色液体。相对分子质量 103.17，相对密度 0.9542，粘度 (20℃) 0.00714Pa·s，凝固点 -29℃，沸点 206.7℃，闪点 (开杯法) 101.5℃，活泼氢当量 20.7，带有氨味。

用法及应用特点 高活性环氧树脂固化剂，固化速度快，适用于室温固化。固化温度为 100℃，固化时间 30min ~ 4 天。粘度低，使用方便，一般用量为 5 ~ 10 份。主要用于层压制品、浇铸制品、粘合剂和涂料等方面。本品反应速度太快，使用寿命较短 (约 20min)，不适用于制造大型制品，而且制品的热变形温度较低 (约 80℃)。此外，本品的吸湿性较强。

6. 三亚乙基四胺



性质 淡黄色粘稠液体。相对分子质量 146.24，相对密度 (20℃) 0.9818，凝固点 12℃，沸点 277.5℃，闪点 143℃，折射率 (25℃) 1.4951，粘度 (20℃) 0.0267Pa·s，总氮量 >34%，氯化物 <0.1%，灼烧残渣 <0.1%，活泼氢当量 24.4，具有氨味，溶于水。

用法及应用特点 环氧树脂最常用的固化剂之一。无发烟性，粘度低，活性高，反应速度快，适用于常温固化和快速固化。主要用于层压、浇铸、粘合和涂料等方面，特别是在小型浇铸制品和粘合剂中应用最广。一般用量 6 ~ 14 份。固化温度为 100℃，固化时间 30min ~ 4 天，使用寿命 20 ~ 30min。使用本品固化的制品，力学强度、电性能和化学稳定性较高，热变形温度也较二亚乙基三胺的固化物高，可达 115 ~ 120℃。

7. 四亚乙基五胺

结构式



性质 橘红或橙红色粘稠液体。相对分子质量 189.31，沸点 333℃，相对密度（20℃）0.9980，闪点 162.9℃，折射率 1.5015。易溶于水和乙醇，不溶于苯和乙醚，呈碱性，与酸作用生成相应的盐，在空气中易吸收水分和二氧化碳，可燃。

用法及应用特点 本品为环氧树脂固化剂，活性高粘度低，适用于环氧树脂制品的室温固化和快速固化。本品还可用作氟橡胶的硫化剂，用于工业橡胶制品。本品也用作润滑剂、燃料油、无氰电镀的添加剂，以及聚酰胺树脂、阴离子交换树脂的合成原料。此外，本品在军事工业中也有重要用途。

8. 3-二甲氨基丙胺

结构式

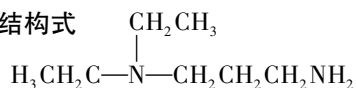


性质 无色液体。相对分子质量 102.18，凝固点 -70℃，沸点 123℃，相对密度（30℃）0.8100，折射率（25℃）1.4328。溶于水和乙醇、乙醚等有机溶剂。

用法及应用特点 本品用作环氧树脂的固化剂，且兼具促进剂功能。主要用于层压品、浇铸品和粘合剂等，一般用量 2 ~ 6 份。本品还可用作有机合成中间体，用来制取染料、离子交换树脂及镀锌添加剂。

9. 二乙氨基丙胺

结构式

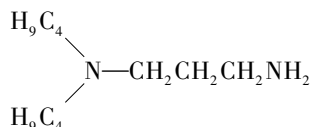


性质 无色黏稠液体。相对分子质量 130.23，凝固点 -100℃，沸点 164 ~ 168℃，相对密度（20℃）0.823，折射率（25℃）1.4416，闪点 58℃，有氨味。溶于水。

用法及应用特点 本品用作环氧树脂的固化剂，固化速度慢，使用寿命较长，适用于小型浇铸件、层压制品和粘合剂，用量 6 ~ 12 份，固化条件 60℃/4h 或 120℃/1h。本品粘度低，使用方便，用本品固化的制品具有良好的电气性能和低温性能，热变形温度约 100℃。本品还可用作溶剂、萃取剂及有机合成中间体。

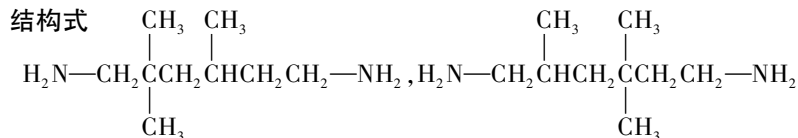
10. 二丁氨基丙胺

结构式



用法及应用特点 本品可作为环氧树脂固化剂，使用寿命相当长（3~6h），适用于浇铸制品、层压制品和粘合剂，一般用量为8~14份，固化条件为60℃/4h或120℃/1h。

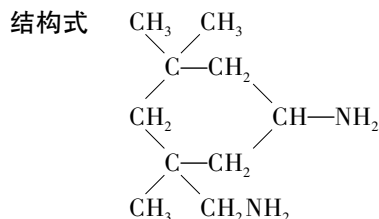
11. 三甲基六亚甲基二胺



性质 无色液体。活泼氢当量 39.6，相对密度 0.867，凝固点 -80℃，粘度（20℃）0.0056Pa·s。

用法及应用特点 本品为相对分子质量较高的脂肪族二胺，可作为环氧树脂的固化剂，使用寿命长，固化速度也较快，适用于电气零件的浇铸和涂料等，用量一般为21份。固化制品透明性和耐光性好，而且富有弹性和耐药性。此外，本品还可作为脂环族二胺（如IPD）的活化剂。

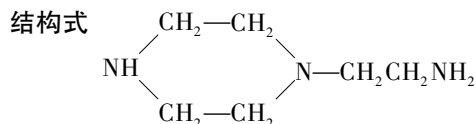
12. 异佛尔酮二胺



性质 低粘度无色液体。活泼氢当量 42.6，相对密度 0.924，粘度（20℃）0.0182Pa·s，熔点 10℃。

用法及应用特点 本品可作为环氧树脂固化剂，适用于涂料、层压、浇铸等方面。本品在常温下即可与环氧树脂反应，但要实现完全固化尚需加热或配合适当的促进剂，一般用量为24份，固化条件为80℃/4h或150℃/1h，固化物的热变形温度149℃。

13. N-氨乙基哌嗪



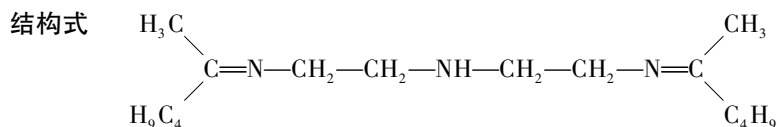
性质 无色或淡黄色液体。活泼氢当量 43，相对密度 0.986，粘度（25℃）0.02Pa·s，凝固点 -17.6℃，沸点 260~280℃。

用法及应用特点 本品可作为环氧树脂的固化剂，活性高，可在室温快速固化，使用操作方便，主要用于浇铸制品和层压材料，可制造比较大型的浇铸件，一般用量20~22份。固化温度为200℃，固化时间30min~7天，使用寿命20~30min。固化物具有优良的抗冲击性和介电性能，热变形温度约114℃。

14. 双（六亚甲基）三胺及其同系物的混合物

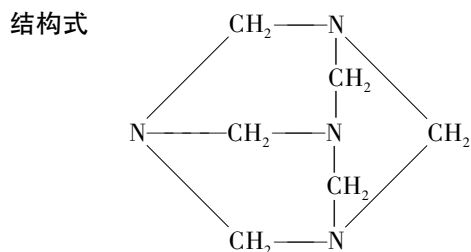
性质 暗褐色液体，微具臭味。活泼氢当量 42.9，相对密度 0.998，粘度（29℃）0.069Pa·s。

用法及应用特点 本品系脂肪族多胺的混合物，可作为环氧树脂的低成本固化剂，适用于浇铸制品和粘合剂等，一般用量 35 份，固化温度为 100℃，固化时间 4~30min。本品还可作为丁苯乳液的凝固剂。

15. 双-N, N'-甲基丁基亚甲基二亚乙基三胺

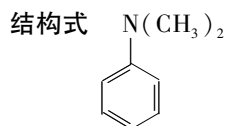
性质 淡黄色液体。粘度 0.025~0.030Pa·s。

用法及应用特点 本品可作为环氧树脂的潜伏性固化剂，特别适用于在潮湿或水下固化。

16. 六亚甲基四胺

性质 白色结晶粉末。相对分子质量 140.189，相对密度 1.27（25℃），无臭，微具甜味。不熔融，230℃开始升华，263℃以上部分分解，在封管中于 280℃炭化。易溶于水、氯仿、甲醇，难溶于苯、丙酮、四氯化碳、乙酸乙酯，不溶于石油醚和汽油，吸湿性较强，对皮肤有刺激性。

用法及应用特点 本品可作为酚醛塑料的固化剂，在空气中受热直接分解为甲醛和氨气，在酚醛树脂的酚核之间形成亚甲基键或胺型键交联，氧化钙或氧化镁可促进其分解。本品还可作为氨基塑料固化的催化剂和橡胶硫化用促进剂。

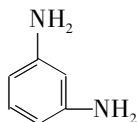
17. N, N-二甲基苯胺

性质 浅黄色呈褐色油状液体。相对分子质量 121.18，相对密度（ d_4^{20} ）0.9557，沸点 194℃，熔点 2.45℃，闪点 62.8℃，折射率（ n_D^{20} ）1.5582，自燃点 317℃，可燃，有刺激臭味。微溶于水，溶于乙醇、氯仿、乙醚及芳香族有机溶剂。

用法及应用特点 用作环氧树脂的固化剂。

18. 间苯二胺

结构式

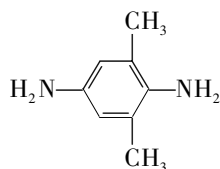


性质 浅灰色或琥珀色结晶。活泼氢当量 34，相对密度 1.39，熔点 63℃，沸点 282 ~ 284℃，折射率 1.6339。

用法及应用特点 本品可作为环氧树脂固化剂，适用于层压、浇铸、粘合、涂料等制品，一般用量 14 ~ 16 份，固化条件 150℃/4 ~ 5h，室温下的使用寿命约 6h。由本品固化的制品具有优良的耐热性、耐药品性和电性能，热变形温度高（150℃）。但本品固化时放热量较大，与二亚乙基三胺相当，且固化物的着色显著。

19. 间二甲苯二胺

结构式

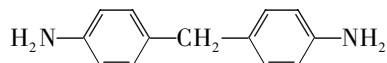


性质 无色或微黄色低粘度液体。活泼氢当量 34.1，相对密度 1.047 ~ 1.052，粘度（20℃）0.0068Pa·s，凝固点 14.1℃，微具氨味。

用法及应用特点 本品可作为环氧树脂的室温固化剂，使用寿命长，无发烟性，粘度低，加工操作性能好，一般用量 16 ~ 18 份。固化物的耐药品性、抗冲击性、电性能和粘性好，表面光泽，无泛白现象，热变形温度为 1.08 ~ 120℃。

20. 4, 4'-二氨基二苯甲烷或 4, 4'-二甲基二苯胺

结构式

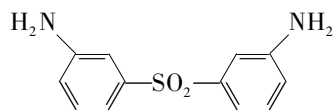


性质 白色或浅褐色固体。活泼氢当量 49.6，相对密度 1.15，熔点 90 ~ 92℃，沸点（1200Pa）232℃。溶于丙酮、甲醇，难溶于苯、乙醚。

用法及应用特点 本品可作为环氧树脂的固化剂，性能类似于间苯二胺，适用于浇铸品、层压品、粘合剂和涂料，反应性稍低，一般用量 27 ~ 30 份。固化条件 120℃/3h 或 150℃/2h。固化物在高温下的电性能、耐药品性和耐溶剂性优良，热变形温度高（150℃）。本品着色性小，但长期受日光照射后变为暗褐色。

21. 3, 3'-二氨基二苯砜

结构式

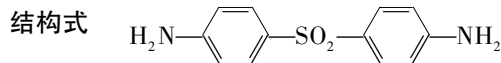


性质 棱状晶体。相对分子质量 248.30，熔点 168℃，相对密度（20℃）1.33。难溶于冷水、醇，不溶于碱，溶于稀无机盐溶液。

用法及应用特点 本品主要作为环氧树脂的固化剂，制品的力学性能、电性能、耐

药性能均可得到提高。本品特别适用于有机耐热要求高的电绝缘材料，还可用于耐热树脂和有机合成。

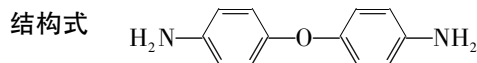
22. 4, 4'-二氨基二苯砜



性质 浅褐色固体。活泼氢当量 62.1，相对密度 1.33，熔点 170℃。

用法及应用特点 本品可作为环氧树脂的固化剂，反应性低，使用寿命长（约 1 年）。适用于浇铸品、层压品和粘合剂等，一般用量 30 ~ 35 份，固化条件为 110℃/4h 或 200℃/2h。固化物具有优良的热稳定性和突出的化学稳定性，热变形温度很高（170 ~ 180℃）。由于本品与树脂的混合物粘度很高，故用于浇铸制品时一般在 100℃ 以上的高温下进行。

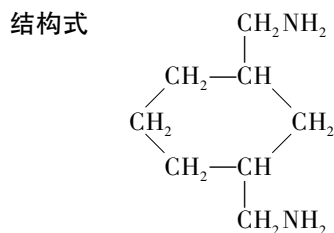
23. 4, 4'-二氨基二苯醚



性质 白色或浅黄色结晶。相对分子质量 200.24，熔点 186 ~ 187℃，易溶于盐酸，不溶于苯。

用法及应用特点 本品可作为环氧树脂的固化剂。固化物热变形温度高，热稳定性好，耐化学药品性及耐水性优良。本品是耐热型树脂聚酰胺-酰亚胺树脂、聚酯-酰亚胺树脂、聚酰亚胺树脂、聚马来酰亚胺树脂等的原料。

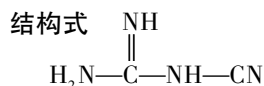
24. 1, 3-双（氨基甲基）环己烷



性质 无色透明液体。色度（APHA）< 20，相对密度 0.942，粘度（20℃）0.0091Pa·s，凝固点 < -70℃。

用法及应用特点 本品可作为环氧树脂的固化剂，性能和用途与间二甲苯二胺类似，一般用量 17.8 份。固化物的拉伸强度大，热变形温度高（119℃），表面光泽性好。

25. 双氰胺



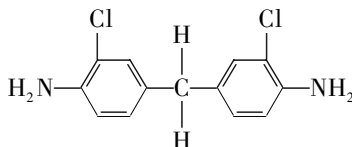
性质 白色结晶。活泼氢当量 21，相对密度 1.4，熔点 203 ~ 210℃。溶于热水，微溶于乙醇和醚。

用法及应用特点 本品可作为环氧树脂的潜伏性固化剂，使用寿命极长，可达一年以上，但当加热至 145 ~ 165℃ 后即迅速反应。本品适用于层压制品、粘合剂和粉体涂

料等，一般用量 4~8 份，固化条件为 160℃/30min。固化物耐热性高，物理性能良好。本品在加热固化时，放热量大，难以控制。

26. 3, 3'-二氯-4, 4'-二氨基二苯甲烷

结构式

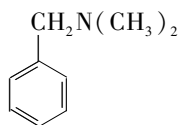


性质 白色或浅黄色粉状结晶。相对分子质量 266.2，相对密度 1.39~1.44，熔点 100~109℃，加热变黑。溶于酮及芳香烃，微具吸湿性，在密闭容器内储存具有一定的稳定性，应注意避光、防潮。

用法及应用特点 本品为聚氨酯橡胶的交联剂，也可作环氧树脂的固化剂、橡胶硫化剂。

27. 苄基二甲胺

结构式

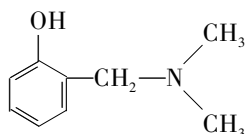


性质 无色至浅黄色液体。有氨味，相对分子质量 135.23，熔点 -75℃，沸点 183~184℃ (0.101MPa)、65~68℃ (2.4kPa)，相对密度 0.894 (27℃)，折射率 1.4985~1.5011，溶于热水，易溶于乙醇、乙醚，微溶于水，易吸收空气中的二氧化碳，易燃。

用法及应用特点 本品是环氧树脂常用的叔胺类固化剂，用量为 6g/100g 树脂，使用寿命 4h，固化条件为 80℃/1h。本品还是有机合成中间体，用于合成季铵盐及药物新洁尔灭等。本品还用于脱氢催化剂、酸性中和剂、防腐剂及电子显微镜切片包埋用加速剂等。

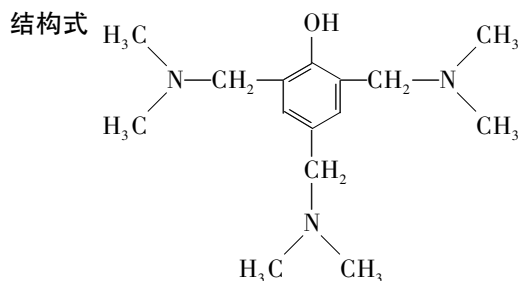
28. 2-二甲氨基甲基苯酚

结构式



性质 活泼氢当量 151，相对密度为 1.03 的液体。

用法及应用特点 本品可作为环氧树脂的固化剂，适用于浇铸制品和层压制品，固化条件为常温/4 天或 80℃/1h。

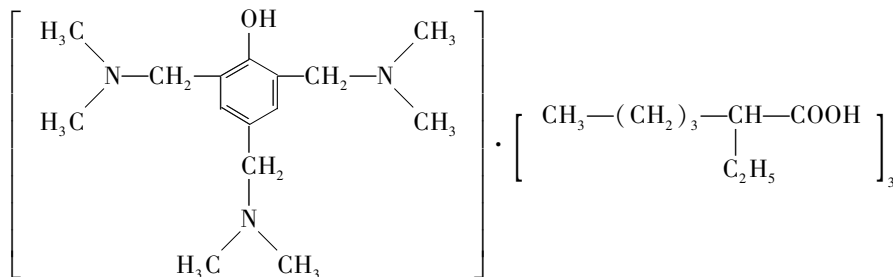
29. 2, 4, 6-三(二甲氨基甲基)苯酚

性质 琥珀色或褐色液体。活泼氢当量 265，相对密度 0.97 ~ 0.99，粘度约 (25℃) 0.2Pa · s。

用法及应用特点 环氧树脂的固化剂和促进剂。分子结构中含有酚羟基，因而活性增加，可用于快速固化，但使用寿命短，主要用于粘合剂。本品可作为酸酐固化剂的促进剂用于浇铸和层压制品。本品作为固化剂的用量一般为 10 份，作为促进剂的用量一般为 0.1 ~ 3 份。

30. 2, 4, 6-三(二甲氨基甲基)苯酚三(2-乙基己酸)盐

结构式

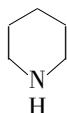


性质 琥珀色油状液体。相对密度 0.966 ~ 0.976，粘度 0.5 ~ 0.75Pa · s (25℃)。

用法及应用特点 本品可作为环氧树脂的固化剂，粘度较高，活性较小，使用寿命长，反应发热低，主要用于小型或中型浇铸制品、湿式层压品和耐热 80℃ 的电气零件，一般用量 10 ~ 14 份，固化条件为 100℃/1h、80℃/2h、65℃/4h，本品在室温下的使用寿命约 3 ~ 6h。

31. 哌啶

结构式



性质 无色液体，有刺激性气味。相对分子质量 85.05，熔点 -9℃，沸点 106℃ (0.1013MPa)、17.7℃ (2.666kPa)，相对密度 0.8622，折射率 1.4534，闪点 4℃。溶于水、醇、苯和氯仿等有机溶剂。

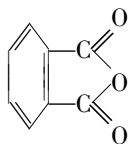
用法及应用特点 本品是环氧树脂常见的叔胺类固化剂之一，用量为 15 份/100 份

树脂，固化条件为 60℃/4h，可提高制品的柔韧性，也用作橡胶硫化促进剂，以及止痛药、杀菌剂、潮湿剂、局部麻醉剂的原料。

(二) 酸酐类

1. 邻苯二甲酸酐

结构式

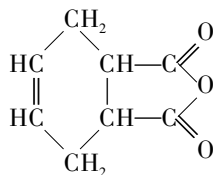


性质 白色结晶粉末或片状物。相对密度 (25℃) 1.527 ~ 1.53，熔点 128 ~ 131℃，具有特殊的刺激性气味。常温下几乎不溶于水，但易溶于热水。

用法及应用特点 本品为广泛使用的酸酐类环氧树脂固化剂，价格低廉，固化时发热量小，特别适用于大型浇铸制品和层压品。固化物具有良好的电性能和强度，耐药品性亦佳（但耐碱性较差），热变形温度为 110 ~ 147℃。一般用量 30 ~ 50 份，固化条件为 100℃/5h + 150℃/5h。本品熔点较高，有升华性，使用寿命较短（110℃，3.5h）。

2. 四氢邻苯二甲酸酐

结构式

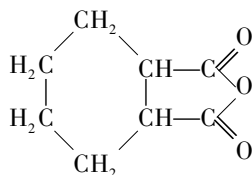


性质 白色片状结晶。碘值 164 ~ 168gI₂/100g，相对密度 1.20，熔点 100℃。

用法及应用特点 本品不升华，熔点比邻苯二甲酸酐低，使用寿命短（100℃下约 2h），单独使用少，多用于其他酸酐的改性，如作为六氢邻苯二甲酸酐的共熔固化剂。本品固化温度 100 ~ 200℃，固化时间 1 ~ 3h，一般用量 75 ~ 85 份。固化物的力学性能和电性能良好，热变形温度为 122℃。

3. 六氢邻苯二甲酸酐

结构式

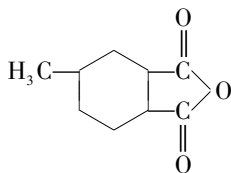


性质 白色玻璃状固体。碘值 < 1gI₂/100g，相对密度 1.18，熔点 34 ~ 36℃。

用法及应用特点 本品可作为环氧树脂的固化剂，熔点低，可与树脂在低温混合，混合物的粘度低，使用寿命长（6 天），固化时的发热小，主要用于浇铸制品，一般用量 75 ~ 85 份，固化条件为 100 ~ 200℃/1 ~ 3h，固化物的电性能和耐药品性优良，热变形温度 110 ~ 130℃。本品还可作为氯桥酸酐和四氢邻苯二甲酸酐的共熔固化剂。

4. 甲基六氢邻苯二甲酸酐

结构式

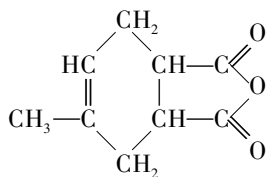


性质 无色透明液体。相对分子质量 168.27，碘值 $< 1.0 \text{ gI}_2/100\text{g}$ ，相对密度 (25℃) 1.17，闪点 147℃，熔点 $< -15^\circ\text{C}$ ，沸点 173℃，能与苯、甲苯、丙酮、四氯化碳、氯仿、乙醇和乙酸乙酯等有机溶剂混溶。

用法及应用特点 本品可作为环氧树脂的固化剂，适用于浇铸制品特别是大型浇铸制品的制造，也适用于纤维缠绕制品的制造，一般用量 80 ~ 95 份。

5. 3-甲基-1, 2, 3, 6-四氢邻苯二甲酸酐

结构式



性质 淡黄色液体。相对密度 1.21，粘度 (25℃) $0.050 \sim 0.080 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ，凝固点 $< -15^\circ\text{C}$ ，中和当量 81 ~ 85。

用法及应用特点 本品可作为环氧树脂的固化剂。粘度低，易溶于各种环氧树脂中，使用寿命较长，通过选择促进剂可以广泛地改变凝胶时间，适用于浇铸、浸渍和层压等制品，一般用量 80 份，固化条件为 $100^\circ\text{C}/4\text{h} + 150^\circ\text{C}/4\text{h}$ 。固化物的电性能和力学性能良好，热变形温度为 130°C 。

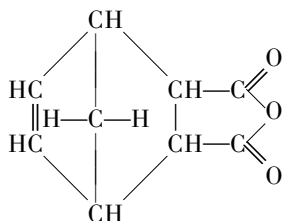
6. 四氢邻苯二甲酸酐和六氢邻苯二甲酸酐的共熔混合物

性质 淡黄色液体。相对密度 1.23，粘度 (25℃) $0.350 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ，凝固点 $< -20^\circ\text{C}$ 。

用法及应用特点 本品可作为环氧树脂的固化剂，使用方便。使用寿命长 (10 天)，主要用于层压和浇铸制品，一般用量 80 份。固化物有良好的电性能和耐药品性。

7. 桥亚甲基四氢邻苯二甲酸酐

结构式



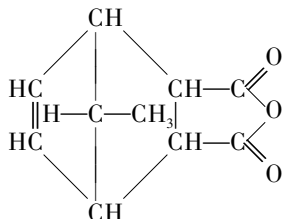
性质 白色结晶。熔点 $162 \sim 167^\circ\text{C}$ 。

用法及应用特点 本品可作为环氧树脂的固化剂，适用于浇铸、层压、粉体成型

等，一般用量 75 ~ 95 份，固化条件为 100℃/2h + 150℃/5h，固化物具有优良的耐候性、耐热性和电性能。

8. 甲基桥亚甲基四氢邻苯二甲酸酐

结构式

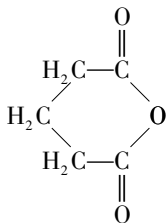


性质 淡黄色液体。相对密度 1.23，粘度（25℃）0.150 ~ 0.300Pa · s，凝固点 < -15℃。

用法及应用特点 本品可作为环氧树脂的固化剂，吸湿性比较稳定，粘度低，易溶于环氧树脂，使用寿命长，无毒，颜色浅，适用于浇铸、浸渍、层压、玻璃纤维增强塑料等，一般用量 75 ~ 90 份，固化条件为 100℃/2h + 150℃/4h，固化物的电性能和力学性能良好，热变形温度 150 ~ 175℃。

9. 戊二酸酐

结构式

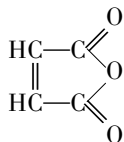


性质 针状结晶。相对分子质量 114.10，有强烈的刺激性气味，相对密度 1.429，熔点 55 ~ 56℃，沸点 287℃（0.1MPa）、150℃（1.33kPa）。溶于乙醚、乙醇和四氢呋喃，吸水后生成戊二酸。

用法及应用特点 本品可作为环氧树脂的固化剂、制造合成树脂和合成橡胶的聚合引发剂等。

10. 马来酸酐

结构式

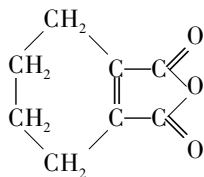


性质 白色针状或粒状结晶，有强烈的刺激性气味。相对密度 1.509，熔点 53℃。

用法及应用特点 本品可作为环氧树脂的固化剂，但因具有反应性和挥发性强，不宜单独使用，多与其他酸酐（如均苯四酸二酐等）并用于浇铸和层压制品，一般用量 19 ~ 27 份。

11. 四亚甲基马来酸酐

结构式

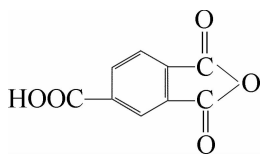


性质 液体。粘度 0.280 ~ 0.310 Pa·s，酸值 730 ~ 750 mgKOH/g。

用法及应用特点 本品可作为环氧树脂的固化剂，使用方便，固化速度快，一般用量 75 ~ 80 份。固化物的性能与固体的六氢邻苯二甲酸酐的固化物类似，热变形温度高 (125 ~ 135℃)。

12. 偏苯三酸酐

结构式

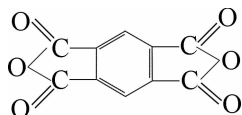


性质 白色粉末或片状物，熔点 168℃。

用法及应用特点 本品可作为环氧树脂的固化剂，反应性极高，适用于浇铸和层压制品，一般用量 33 份，固化条件 150℃/1h + 180℃/4h。固化物热变形温度高，电性能和耐药品性亦佳。

13. 均苯四甲酸二酐

结构式

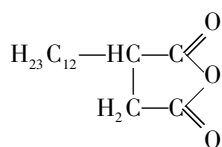


性质 白色结晶粉末。相对密度 0.95，熔点 286℃，呈不溶性。

用法及应用特点 本品为一高熔点的环氧树脂固化剂，反应性极强，但因呈不溶性，难以与树脂混合，可溶解于邻苯二甲酸酐或马来酸酐，多与这些酸酐混合作为固化剂，一般用量 56 份。固化物具有优良的耐热性和力学性能，热变形温度可达 200 ~ 250℃。

14. 十二烯基丁二酸酐

结构式

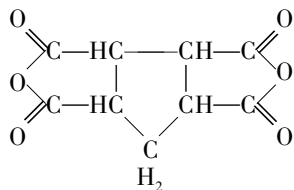


性质 褐色透明液体。相对密度 1.02，粘度 (25℃) 0.290 Pa·s，无刺激性。

用法及应用特点 本品可作为环氧树脂的固化剂，与树脂容易混合，混合物的粘度低，使用寿命长 (3 ~ 4 天)，主要用于浇铸和层压制品，一般用量 120 ~ 150 份，固化条件为 100℃/2h + 150℃/5h。制品具有良好的冲击强度和电性能，但耐热性略差。

15. 环戊烷四甲酸二酐

结构式

性质 白色结晶，熔点 212°C 。

用法及应用特点 本品可作为环氧树脂固化剂，适用于浇铸、层压和粉体成型等。固化物具有良好的耐热性、耐候性和电性能。

16. 聚癸二酐

性质 黄褐色碎块状固体。熔点 $75 \sim 82^{\circ}\text{C}$ ，粘度 $\geq 300\text{mm}^2/\text{s}$ (90°C)。

用法及应用特点 本品熔点低，粘度适中，低毒，与各类环氧树脂相容性好。本品适用于各类型环氧树脂，具有特殊的增韧抗开裂性能，广泛应用于民用电器、机电、电子和国防工业等。固化体具有良好的热态电性能、力学性能，耐冷热，冲击强度好。

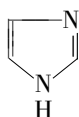
(三) 固化促进剂

凡能加快热固性树脂与固化剂反应速率的物质，统称为固化促进剂，简称促进剂。它可大大加快热固性树脂与固化剂之间的反应，降低固化温度，缩短固化时间，减少固化剂用量，同时热固性树脂的力学性能、化学性能以及外观也能得到相应的改善。

促进剂分无机促进剂和有机促进剂两类。无机促进剂因其效率低、使热固性树脂性能差，除在个别情况下少量使用外，目前已被有机促进剂取代。有机促进剂效能高，使热固性树脂的力学性能与老化性能优良，因而得到了较为迅速的发展，主要为咪唑类。

1. 咪唑

结构式

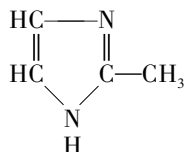


性质 无色棱形结晶。相对分子质量 68.10，熔点 $90 \sim 91^{\circ}\text{C}$ ，沸点 257°C ，相对密度 (d_{20}^{101}) 1.0303，折射率 (n_D^{101}) 1.4801。呈弱碱性，易溶于水、乙醇、乙醚、氯仿、吡啶，微溶于苯，难溶于石油醚。

用法及应用特点 本品为环氧粘合剂的优良固化剂，可改善胶层韧性，固化后树脂热变形温度高，有较好的强度、电性能，一般用量为环氧树脂的 $3\% \sim 5\%$ 。本品还用来制取药物、农药等。

2. 2-甲基咪唑

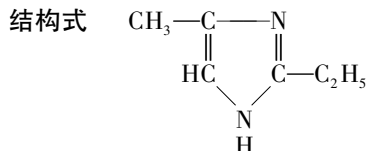
结构式



性质 淡黄色粉末，熔点 145 ~ 149℃，呈碱性。

用法及应用特点 本品为环氧树脂的中温固化促进剂，可以单独使用，但主要用作粉末成型和粉末涂装的固化促进剂。

3. 2-乙基-4-甲基咪唑

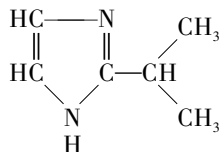


性质 淡黄色液体或固体，熔点 43 ~ 55℃，呈碱性。

用法及应用特点 本品主要用作环氧树脂的固化促进剂，适用于浇铸、浸渍和层压等制品，一般用量 2 ~ 7 份，固化温度 60 ~ 150℃，固化时间 30min ~ 6h，使用寿命 2 ~ 7h。固化物的力学性能和电性能良好。

4. 2-异丙基咪唑

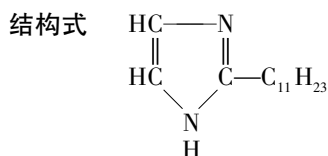
结构式



性质 淡黄色粉末，熔点 133 ~ 135℃。

用法及应用特点 本品为环氧树脂的中温固化促进剂，适用于粉末成型和粉末涂装。

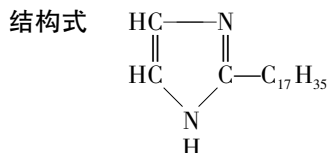
5. 2-十一烷基咪唑



性质 白色粉末，熔点 71 ~ 73℃。

用法及应用特点 本品为环氧树脂的中温固化促进剂，适用于粉末成型、粉末涂装及各种工业用粘合剂。

6. 2-十七烷基咪唑



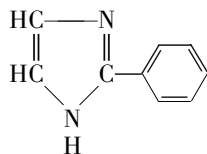
性质 白色粉末，熔点 88℃。

用法及应用特点 本品为环氧树脂的中温固化促进剂，适用于粉末成型、粉末涂装

及各种工业用粘合剂。

7. 2-苯基咪唑

结构式

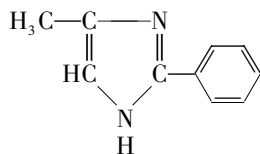


性质 淡粉红色粉末，熔点 147 ~ 149℃，呈碱性。

用法及应用特点 本品主要用作环氧树脂的固化促进剂，适用于粉末成型和粉末涂装。

8. 2-苯基-4-甲基咪唑

结构式



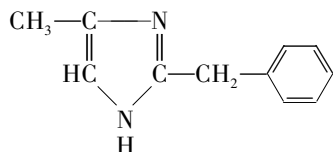
性质 白色粉末，熔点 178 ~ 179℃，呈碱性。

用法及应用特点 本品主要用作环氧树脂的固化促进剂，适用于粉末成型和粉末涂装。

9. 2-苄基-4-甲基咪唑

化学名 2-苄基-4-甲基咪唑

结构式

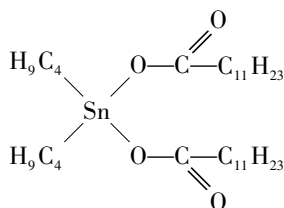


性质 淡黄色液体。

用法及应用特点 本品可作为环氧树脂的中温固化促进剂，适用于电气、电子零件的浇铸和浸渍等。

10. 二月桂酸二丁基锡

结构式

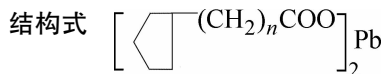


性质 淡黄色透明易燃液体。相对分子质量 631.532，相对密度 (d_{20}^{20}) 1.066，凝固点 8℃，密度 1.0425kg/L，闪点 226.7℃，色度 (碘比色) < 5，锡含量 18.6% ± 0.6%，溶于丙酮和苯，不溶于水。

用法及应用特点 本品用作聚氨酯粘合剂的固化促进剂和聚硅氧烷密封胶固化促进

剂, 还用于聚氨酯泡沫塑料的催化剂、硅橡胶熟化剂、聚氨酯防水涂料固化促进剂等。在聚氨酯粘合剂中一般与胺类催化剂复合使用, 用量 0.5% 左右, 硅胶中与硼酸正丁酯、钛酸正丁酯复合使用, 用量为 1.3% 左右。

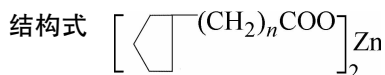
11. 环烷酸铅



性质 软的黄色半透明树脂状粘稠物。熔点接近 100℃, 可燃。在强酸性油中产生沉淀, 当与过量钴盐或锰盐混合时不产生沉淀, 不溶于水, 溶于乙醇、苯、甲苯、松节油和松香水。

用法及应用特点 本品用作不饱和聚酯粘合剂、丙烯酸酯、烯烃类粘合剂的固化促进剂, 清漆的催干剂、扩散剂, 木材防腐剂、杀虫剂, 也可用于配制润滑剂。本品用作粘合剂中作固化促进剂时一般与过氧化物复合使用, 用量为 0.04% ~ 0.15%。

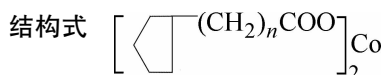
12. 环烷酸锌



性质 琉璃色黏稠碱性液体或碱性固体。液体含锌 8% ~ 10%, 固体含锌 16%, 易燃, 不溶于水, 微溶于乙醇, 溶于苯、甲苯、丙酮、松节油和松香水等。

用法及应用特点 本品用作不饱和聚酯类、丙烯酸酯、烯烃类粘合剂的固化促进剂, 油漆、印刷油墨和树脂的催干剂、润滑剂、杀虫剂、杀菌剂、防腐剂、木材防腐剂、纺织品防水剂和绝缘材料。本品用作粘合剂固化促进剂时一般与过氧化物复合使用, 用量为 0.04% ~ 0.15%。

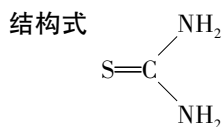
13. 环烷酸钴



性质 棕褐色无定形粉末或紫色固体, 组成不定。含钴量 7.5% ~ 8%, 易燃, 不溶于水, 溶于乙醇、乙醚、苯、甲苯、松节油和松香水等。

用法及应用特点 本品用作不饱和聚酯、丙烯酸酯、烯烃类粘合剂的固化促进剂, 油漆、油墨的催化剂, 也用于油漆的紫色颜料。本品用作粘合剂固化促进剂时, 一般与有机过氧化物复合使用, 用量为 0.04% ~ 0.15%。

14. 硫脲



性质 白色或浅黄色有光泽的片状、粒状或针状结晶。相对分子质量 76.12, 熔点 182℃, 相对密度 (d_{20}^{20}) 1.405, 有味, 可燃。能溶于水和乙醇, 几乎不溶于乙醚, 易

潮解。

用法及应用特点 本品用作丙烯酸酯粘合剂的固化促进剂、橡胶硫化促进剂、金属矿物的浮选剂、金属防锈蚀剂、邻苯二甲酸酐和富马酸生产的催化剂，也可用作合成磺胺噻唑、蛋氨酸和肥猪片等药物。在照相材料方面，可作为显影剂和调色剂。本品还可用于电镀工业。粘合剂中用量为 0.002% 左右。

15. 氯化亚锡

分子式 $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

性质 无色或白色单斜晶系。结晶密度 $2.710\text{g}/\text{cm}^3$ ，相对分子质量 225.63，熔点 37.7°C 。在熔点下分解为盐酸和碱式盐，在空气中逐渐氧化成不溶性氯氧化物，溶于乙醇、乙醚、丙酮、冰醋酸，在浓盐酸中溶解度大大增加，遇水分解，中性的水溶液易分解生成沉淀，酸性溶液有强还原性。

用法及应用特点 本品用作聚硅氧烷密封胶固化促进剂，在聚氨酯粘合剂中常与乙苯汞等复合作用。

16. 正丁醛-苯胺缩聚物

性质 棕红色或琉璃色黏稠液体，有特殊气味。密度 $0.94 \sim 0.98\text{g}/\text{cm}^3$ ，闪点 135°C 。溶于乙醇、汽油、苯，不溶于水。

用法及应用特点 本品用作天然胶、乳胶、第二代丙烯酸酯等粘合剂的强促进剂。

第二节 交联剂

一、简介

交联剂是一种受热能放出游离基来活化高分子链，使它们发生化学反应而相互交联起来的一种助剂。线型的热塑性树脂通过高分子链之间的交联反应可以得到三维的网状结构，这种结构可改进塑料耐热性差、强度不高等缺点，尤其是提高塑料在高温下的热稳定性和化学耐蚀性，使其具有工程塑料的某些性能，从而扩大其用途。有些加工工艺如聚烯烃的发泡成型，若没有交联剂的参与就难以实施，特别像聚丙烯泡沫塑料更无法成型。

线型高分子之间的交联通常采用射线辐照法或化学反应法。还有一种可能的交联方法是让水扩散进入硅化乙烯共聚物内部，通过水解及之后的缩聚反应引发交联形成 $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$ 键。乙烯硅橡胶在聚乙烯上的接枝也同此方法类似。

塑料工业中最常见的交联剂是有机过氧化物，若再加上乙烯基硅氧烷或其他不饱和化合物作助交联剂，可在高分子链上产生接枝交联，则能进一步改善性能。

过氧化物作为交联剂时一般应满足以下条件：

- 1) 在规定的温度下，其分解产物应保证交联迅速进行，而无过早反应的倾向。
- 2) 只发生对聚合物改性的交联反应。
- 3) 与弹性体和塑料充分相容。

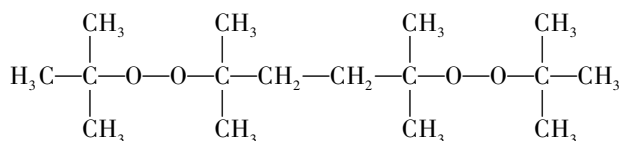
- 4) 在运输、储存和加工过程中必须是安全的。
- 5) 不易挥发, 以避免在混合过程中损失。
- 6) 在含有其他混合成分如填料或增强剂时, 也必须有活性。
- 7) 过氧化物及其分解产物必须无毒, 应满足工业卫生要求。

二、主要品种与性能

(一) 有机过氧化物

1. 2, 5-二甲基-2, 5-双(叔丁过氧基)己烷

结构式

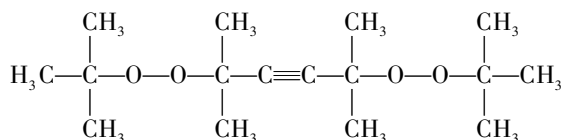


性质 商品形式有两种: 纯度为 90% 左右的为淡黄色液体 (相对密度 0.85, 凝固点 8℃), 纯度为 40% ~ 50% 的为白色粉末。相对分子质量 290, 纯品的凝固点 4℃, 闪点 55℃, 燃点 175℃, 理论活性氧量 11.02%, 活化能 150.7 kJ/mol, 分解温度 179℃ (半衰期 1min)、118 ~ 119℃ (半衰期 10h), 半衰期 17h (115℃)、2.8h (130℃)、0.4h (145℃)、17min (150℃)、5.8min (160℃)、0.9min (190℃)。

用法及应用特点 本品为高温交联剂, 适用于聚乙烯、氯化聚乙烯、乙烯-乙酸乙烯共聚物, 制品的拉伸强度和硬度高, 伸长率和压缩永久变形小, 可使用一般的混炼设备在较高的温度范围内与填料混合, 无焦烧之虞。本品的交联效率不及过氧化二异丙苯, 但气化性和臭味小。本品还可作为不饱和聚酯、硅橡胶和三元乙丙橡胶等的交联剂。

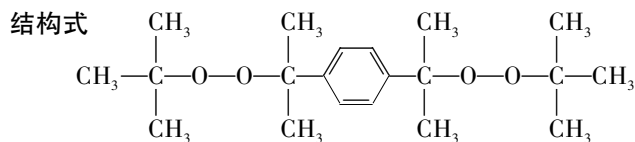
2. 2, 5-二甲基-2, 5-双(叔丁过氧基)-3-己炔

结构式



性质 商品形式有两种: 纯度为 90% 左右的是淡黄色液体 (相对密度 0.886, 凝固点 8℃), 纯度 40% ~ 50% 的为白色粉末。相对分子质量 286, 纯品的熔点 > 92℃, 燃点 188℃, 理论活性氧量为 11.17%, 分解温度 193℃ (半衰期 1min)、127 ~ 128℃ (半衰期 10h), 活化能 151.6 kJ/mol, 半衰期 49h (115℃)、8.2h (130℃)、1.7h (145℃)、0.3h (160℃)。

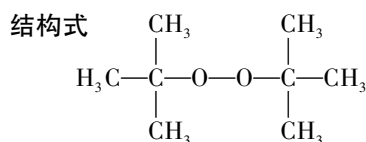
用法及应用特点 本品为高温交联剂, 适用于高密度和低密度聚乙烯、乙烯-乙酸乙烯共聚物、不饱和聚酯等塑料, 交联效率不受酸、碱和中性填料的影响。本品也可作为硅橡胶、氟橡胶、乙丙橡胶等的交联剂。

3. α, α -双(叔丁过氧基)二异丙苯

性质 白色结晶(纯度 95%)或白色粉末。相对分子质量 338, 理论活性氧量 9.45%, 活化能 151.1 kJ/mol, 分解温度 182℃(半衰期 1min)、118 ~ 120℃(半衰期 10h), 半衰期 125h (100℃)、5.2h (25℃)。

用法及应用特点 本品为聚乙烯、不饱和聚酯、硅橡胶的交联剂。

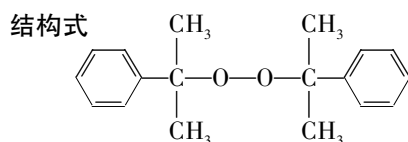
4. 二叔丁基过氧化物



性质 无色至微黄色透明液体。相对分子质量 146, 相对密度 0.7940 (20℃), 沸点 111℃ (101324.7Pa), 熔点 -40℃, 闪点(开杯法) 18℃, 燃点 182℃, 折射率 1.3890 (20℃)。不溶于水, 溶于丙酮、甲苯等有机溶剂, 理论活性氧量 10.94%, 活化能 147.0 kJ/mol, 半衰期 218h (100℃)、34h (115℃)、0.15h (130℃), 分解温度 193℃(半衰期 1min)、126℃(半衰期 10h)。

用法及应用特点 本品可作为不饱和聚酯和硅橡胶的交联剂。在过氧化物交联剂中, 本品的临界温度是比较高的, 半衰期比较长。本品还可用作聚合引发剂。

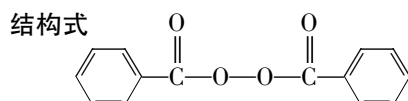
5. 过氧化二异丙苯



性质 商品形式有两种: 纯度 97% 左右的为白色结晶(相对密度 1.02), 纯度 40% 左右的为白色粉末或糊状物。相对分子质量 270, 纯品熔点 39℃, 燃点 210℃, 理论活性氧量 5.92%, 半衰期 50h (100℃), 2.3h (125℃), 0.15h (150℃)、0.015h (175℃)、0.4min (180℃)、0.2min (190℃), 活化能 170.0 kJ/mol, 分解温度 171℃(半衰期 1min)、113 ~ 117℃(半衰期 10h)。

用法及应用特点 本品可作为聚乙烯、不饱和聚酯、硅橡胶、聚氨酯橡胶等聚合材料的交联剂, 交联效率高, 挥发性低, 制品的透明性和耐热性好, 压缩永久变形小, 但使用本品交联的制品易残存臭味。

6. 过氧化苯甲酰

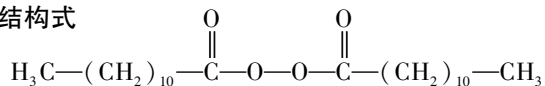


性质 商品形式有两种：纯度 98% 的为白色结晶，纯度 50% 的为糊状物。相对分子质量 242，纯品熔点 103℃（分解）。不溶于水，微溶于乙醇，可溶于苯、氯仿等。理论活性氧量 6.62%，活化能 125.6 kJ/mol，分解温度 133℃（半衰期 1min）、72 ~ 73℃（半衰期 10h），半衰期 13h（70℃）、2.1h（85℃）、1h（90℃）、0.4h（100℃）、8min（110℃）、1min（130℃）、0.4min（140℃）、0.2min（150℃）。

用法及应用特点 本品可作为不饱和聚酯、硅橡胶、氟橡胶的交联剂，特别适用于薄形制品，在厚制品的场合易发泡形成多孔物质。本品还可作为聚合用引发剂。

7. 过氧化月桂酰

结构式

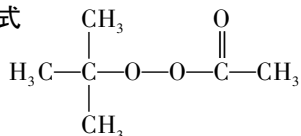


性质 白色结晶。相对分子质量 398.61，熔点 53 ~ 55℃。不溶于水，易溶于丙酮、氯仿等有机溶剂。理论活性氧量 4.02%，活化能 128.5 kJ/mol，分解温度 115℃（半衰期 1min）、62℃（半衰期 10h），半衰期 13h（60℃）、3.4h（70℃）、0.5h（85℃）。

用法及应用特点 本品为不饱和聚酯用交联剂，聚合用引发剂。

8. 过氧化乙酸叔丁酯

结构式

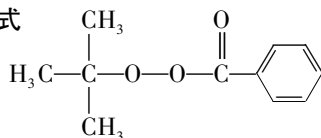


性质 商品形式通常是含本品 75% 或 50% 的溶液。相对分子质量 132，理论活性氧量 12.11%，活化能 150.3 kJ/mol，半衰期 88h（85℃）、12.5h（100℃）、1.9h（115℃）、0.33h（130℃），分解温度 159℃（半衰期 1min），102℃（半衰期 10h）。

用法及应用特点 本品为不饱和聚酯的交联剂和聚合用引发剂。

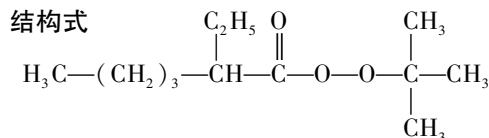
9. 过氧化苯甲酸叔丁酯

结构式



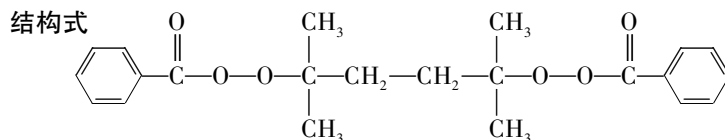
性质 淡黄色透明液体，不挥发，具有芳香味。相对分子质量 194，相对密度 1.036 ~ 1.045（25℃），沸点 124℃（101324.7Pa），燃点 171℃。熔点约 8℃，闪点（开杯法）65℃，折射率 1.495 ~ 1.499。不溶于水，能与大多数有机溶剂完全混合。室温下稳定，对撞击不敏感。理论活性氧量 8.24%，半衰期 18h（100℃）、3.1h（115℃）、0.55h（130℃）、14min（140℃）、5.6min（150℃）、2.3min（160℃），分解温度 166℃（半衰期 1min）、165℃（半衰期 10h），活化能 145.3 kJ/mol。

用法及应用特点 本品可作为不饱和聚酯和硅橡胶的交联剂，也可作为聚合用引发剂。

10. 过氧化(2-己酸乙基)叔丁酯

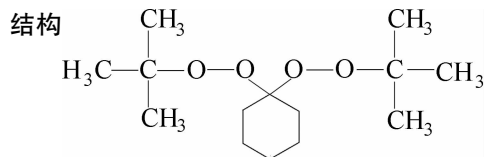
性质 纯度 97% 时为液体。相对分子质量 216，理论活性氧量 7.4%，半衰期 13h (70℃)、2.2h (85℃)、0.4h (100℃)，活化能 122.3kJ/mol，分解温度 135℃ (半衰期 1min)、72℃ (半衰期 10h)。

用法及应用特点 本品可作为不饱和聚酯的交联剂和聚合用引发剂。

11. 2, 5-二甲基-2, 5-双(过氧化苯甲酰)己烷

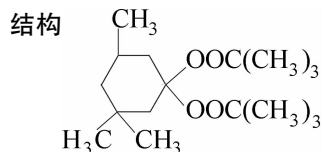
性质 白色结晶粉末，微具芳香味。熔点 117 ~ 119℃，相对分子质量 386，理论活性氧量 8.28%，半衰期 10h (100℃)、1.5h (115℃)、0.27h (130℃)，活化能 154.1kJ/mol，分解温度 162℃ (半衰期 1min)、100℃ (半衰期 10h)。

用法及应用特点 本品可作为不饱和聚酯、硅橡胶、二元乙丙橡胶等聚合物材料的交联剂。

12. 1, 1-双(过氧化叔丁基)环己烷

性质 相对分子质量 302，理论活性氧量 10.6%，活化能 148.2kJ/mol，分解温度 153℃ (半衰期 1min)、95℃ (半衰期 10h)，半衰期 14h (90℃)、4h (100℃)、1.17h (110℃)、1h (111℃)、0.46h (120℃)、8.4min (135℃)、1.8min (150℃)。

用法及应用特点 本品可作为聚乙烯、不饱和聚酯、硅橡胶等的交联剂。

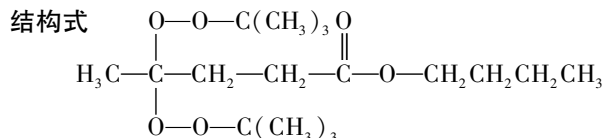
13. 1, 1-双(过氧化叔丁基)-3, 3, 5-三甲基环己烷

性质 商品形式多是由 40% 本品与惰性填料调成的白色粉末。纯品为无色液体，相对分子质量 302，相对密度 0.9039 ~ 0.9088，闪点 57℃，燃点 154℃，溶于普通的有机溶剂。理论活性氧量 10.6%，半衰期 27h (85℃)、3.8h (100℃)、0.71h (115℃)、

2.4min (140℃)、0.9min (150℃)、0.4min (160℃)、0.2min (170℃), 活化能 148.2kJ/mol, 分解温度 153℃ (半衰期 1min)、92~95℃ (半衰期 10h)。

用法及应用特点 本品可作为聚乙烯、聚苯乙烯、乙烯-乙酸乙烯共聚物的交联剂, 特别适用于收缩薄膜, 还可作为各种不饱和聚酯的交联剂, 反应放热小, 使用寿命适中, 也可作为硅橡胶、乙丙橡胶等合成橡胶的交联剂。本品的交联温度低, 臭味小。

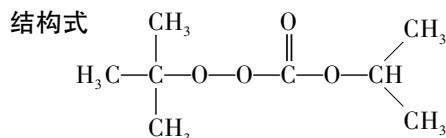
14. 4, 4'-双(过氧化叔丁基)戊酸正丁酯



性质 商品形式有两种: 纯度为 90% 的是淡黄色液体, 纯度 40% (加无机填料) 的为白色粉末。纯品为淡黄色液体, 相对分子质量 334, 闪点 71℃, 燃点 163℃, 理论活性氧量 9.58%, 半衰期 33h (100℃)、12min (140℃)、4.4min (150℃)、1.7min (160℃)、0.7min (170℃)、0.3min (180℃), 活化能 155.0kJ/mol, 分解温度 165℃ (半衰期 1min)、107~108℃ (半衰期 10h)。

用法及应用特点 本品可作为聚乙烯、乙烯-乙酸乙烯共聚物、不饱和聚酯、硅橡胶、乙丙橡胶及聚氨酯橡胶的交联剂, 交联温度比较低, 臭味较小。

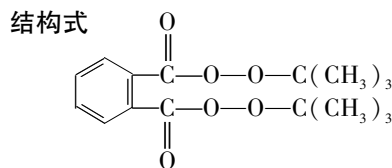
15. 过氧化叔丁基碳酸异丙酯



性质 淡黄色液体。相对分子质量 176, 理论活性氧量 9.08%, 半衰期 57.3h (85℃)、8.7h (100℃)、1.4h (115℃), 活化能 141.1kJ/mol, 分解温度 158℃ (半衰期 1min)、98~99℃ (半衰期 10h)。

用法及应用特点 本品可作为乙烯基树脂、不饱和聚酯、硅橡胶、乙丙橡胶、聚氨酯橡胶等聚合物的交联剂。

16. 二过氧化邻苯二甲酸二叔丁酯

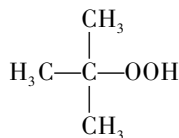


性质 商品形式通常是含本品 50% 的邻苯二甲酸二丁酯溶液。相对分子质量 310, 理论活性氧量 10.32%, 半衰期 18h (100℃)、2.5h (115℃)、0.4h (130℃), 活化能 157.8kJ/mol, 分解温度 159℃ (半衰期 1min)、105℃ (半衰期 10h)。

用法及应用特点 本品可作为聚乙烯、不饱和聚酯的交联剂, 也可作为聚合用引发剂。

17. 叔丁基过氧化氢

结构式

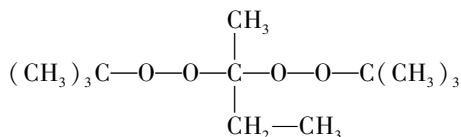


性质 淡黄色液体（纯度 70% ~ 90%）。相对分子质量 90，理论活性氧量 17.78%，分解温度 264℃（半衰期 1min）、172℃（半衰期 10h），半衰期 165.3h（100℃）、21.5h（115℃）、3.2h（130℃）、1h（140℃）。

用法及应用特点 本品可作为不饱和聚酯的中温和高温用交联剂，也可作为聚合用引发剂。

18. 2, 2'-双（过氧化叔丁基）丁烷

结构式

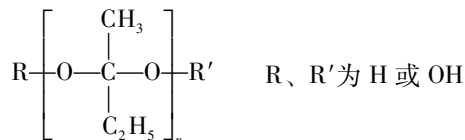


性质 商品形式通常是含本品 50% 的邻苯二甲酸二甲酯溶液。相对分子质量 234，理论活性氧量 13.68%，分解温度 199℃（半衰期 1min）、110℃（半衰期 10h），活性能 108.0kJ/mol，半衰期 29h（95℃）、0.8h（125℃）。

用法及应用特点 本品可作为聚乙烯、不饱和聚酯和硅橡胶的交联剂。

19. 过氧化甲乙酮

结构式

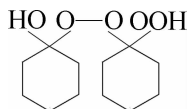


性质 无色液体（含本品 50% ~ 60% 的邻苯二甲酸二甲酯溶液）。理论活性氧量 18.2%，分解温度 105℃（半衰期 10h）。

用法及应用特点 本品可作为不饱和聚酯的交联剂。

20. 过氧化环己酮

结构式

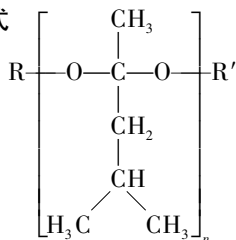


性质 白色糊状物（含本品 50% 的 DBP 或 DOP 溶液）。理论活性氧量 12.99%，分解温度 174℃（半衰期 1min）、97℃（半衰期 10h）。

用法及应用特点 本品可作为不饱和聚酯的交联剂。

21. 过氧化甲基异丁基酮

结构式



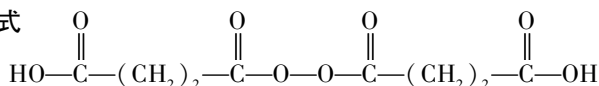
R、R' 为 H 或 OH

性质 无色液体（纯度约 80%）。理论活性氧量 13.79%，分解温度 105℃（半衰期 10h）。

用法及应用特点 本品可作为不饱和聚酯的交联剂。

22. 过氧化丁二酸

结构式

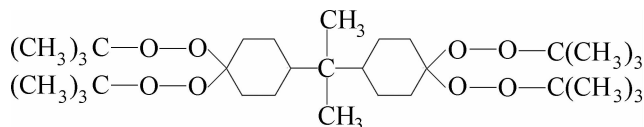


性质 白色结晶。相对分子质量 234，理论活性氧量 6.83%，半衰期 6.9h（70℃）、1.6h（85℃）、0.4h（100℃），活化能 99.6kJ/mol，分解温度（丙酮中）144℃（半衰期 1min）、66℃（半衰期 10h）。

用法及应用特点 本品可作为不饱和聚酯的交联剂和聚合用引发剂。

23. 2, 2-双（4, 4'-二叔丁过氧环己基）丙烷

结构式

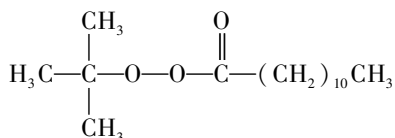


性质 结晶状物。相对分子质量 560，理论活性氧量 11.43%，活化能 148.6kJ/mol，分解温度 154℃（半衰期 1min）、92℃（半衰期 10h）。

用法及应用特点 本品可作为不饱和聚酯和硅橡胶的交联剂。

24. 过氧化月桂酸叔丁酯

结构式

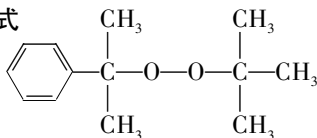


性质 无色液体（纯度 90%）。相对分子质量 272，理论活性氧量 5.87%，活化能 119.3kJ/mol，分解温度 165℃（半衰期 1min）、96℃（半衰期 10h）。

用法及应用特点 本品可作为不饱和聚酯的交联剂和聚合用引发剂。

25. 过氧化叔丁基异丙苯

结构式

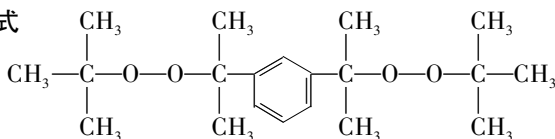


性质 淡黄色液体。相对分子质量 208，相对密度 0.942，熔点 15°C ，沸点 $60 \sim 69^{\circ}\text{C}$ (300Pa)，理论活性氧量 7.68%，活化能 160.44kJ/mol ，分解温度 178°C (半衰期 1min)、 120°C (半衰期 10h)。溶于丙酮、乙醇、酯、氯代烃及芳香烃，微溶于水。

用法及应用特点 本品可作硅橡胶、不饱和聚酯等树脂的交联剂。

26. 1, 3-双-(2-叔丁基过氧基异丙基) 苯

结构式



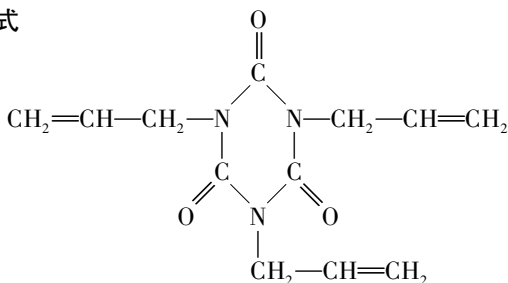
性质 白色结晶粉末。相对分子质量 338.49，表观密度 0.32g/mL ，活性氧量 $> 9.26\%$ ，闪点 120°C ，熔点 $50 \sim 52^{\circ}\text{C}$ ，燃点 210°C ，半衰期 10h (121°C)。

用法及应用特点 本品可作为聚乙烯、三元乙丙橡胶、乙烯-乙酸乙烯共聚物、丁腈橡胶、硅橡胶等塑料和橡胶的交联剂，在同等交联效果的情况下，添加量仅为 DCP 的 $2/3$ 。本品的熔点和分解温度高，易于使用，可常温长期保存，操作过程中及制成的制品中刺激性臭味少。本品还可作为苯乙烯聚合的引发剂。

(二) 其他

1. 异氰尿酸三烯丙酯

结构式

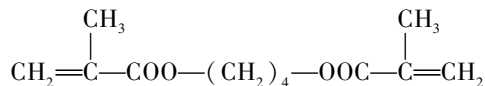


性质 室温下为无色或六方片状晶体。相对分子质量 249.27，相对密度 1.155 (30°C)，熔点 24°C (纯品)、 $17 \sim 21^{\circ}\text{C}$ (工业品)，沸点 144°C (400Pa)、 297°C (N_2 , 101324.7Pa)，粘度 $(0.083 \pm 0.003)\text{Pa} \cdot \text{s}$ (30°C)，比热容 0.6 (40°C) $\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ ，活性氧量 $> 9.26\%$ ，闪点 355°C ，折射率 (n_D^{30}) $1.5070 \sim 1.5100$ 。溶于芳烃、卤代烃、环烷烃、丙酮、多种醇等，微溶于低级烷烃，不溶于水。

用法及应用特点 本品可作为热塑性聚酯和不饱和聚酯的交联改性剂，可显著提高制品的耐热性、抗腐蚀性、尺寸稳定性、耐候性和强度等。对于热压型不饱和聚酯玻璃钢制品，以本品为交联剂制成的热压制品的适用温度可达 180°C 以上。

2. 二甲基丙烯酸丁二酯

结构式



性质 商品形式为本品与硅酸盐的共混物，灰白色粉末，不飞扬，纯品为液体。相对分子质量 226，相对密度 1.010（20℃），粘度 3.5mPa·s（25℃），沸点 73℃（13.33Pa）、290℃（0.1MPa），闪点 ≤116℃，相对密度 1.19。

用法及应用特点 本品为过氧化物交联时的助交联剂，适用于顺丁橡胶、氯丁橡胶、异戊橡胶、丁腈橡胶、丁基橡胶、二元乙丙橡胶、三元乙丙橡胶等，混炼时有增塑作用，交联时有增硬作用，可缩短交联时间，提高定伸强度和压缩永久变形。

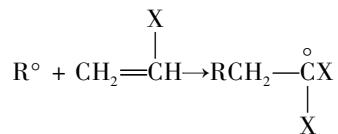
第三节 引 发 剂

一、简介

聚合是由单体合成分子量较高的化合物的反应，常是烯类单体双键打开或环状单体开环形成高分子的反应，而打开双键或环的活性中间体可以是自由基（又称游离基，分子中具有一个未成对电子的化合物）、正离子（带有正电荷的离子）或负离子（带有负电荷的离子或原子团）。活性种是自由基时，分别称自由基聚合或自由基开环聚合；活性种是正、负离子时，则分别称正、负离子聚合或正、负离子开环聚合。而就聚合机理而言，烯类单体的聚合是链式反应，而环状单体的开环聚合有些是链式反应，有些是逐步反应。工业上，约有一半的聚合物是以自由基聚合方式制得的。根据是否使用溶剂和所用介质，聚合物又可分为本体聚合、溶液聚合、乳液聚合及悬浮聚合四种。而正、负离子聚合由于不能用水作介质，只能进行本体或溶液聚合。其中，本体聚合是不用溶剂而只用单体和少量引发剂进行聚合的方法，它适用于链式聚合和逐步聚合，能制得较纯的聚合物；溶液聚合是单体和引发剂溶解在溶剂中进行的聚合反应，所得聚合物产品可以聚合物溶液形式直接使用，如粘合剂、涂料等；乳液聚合是借助乳化剂的作用使单体分散在介质（通常为水）中形成乳状液，由引发剂引发单体聚合而生成高聚物的一种方法，广泛用于合成橡胶、涂料、粘合剂等；悬浮聚合是以水为介质，在分散剂存在下将单体强力搅拌分散成小液滴的聚合，是自由基聚合的一种方法，聚合反应在单体液滴中进行，如生产聚氯乙烯、聚苯乙烯等的反应都是悬浮聚合反应。

引发剂又称聚合引发剂，是容易产生自由基或离子的活性种来引发链式聚合（链反应）的物质。由于使用量小而又能使大量单体在较温和条件下反应，故引发剂又视作催化剂或聚合催化剂。自由基聚合的引发首先是产生自由基，最常用的是引发剂的受热分解或两组分引发剂的氧化-还原分解产生的自由基（R[·]），也可以用加热、光照、高能辐射以及电解等方法产生自由基。生成的自由基与单体相遇，立即起反应，打开双

键形成另一个新自由基：



生成的新自由基可以与单体进行下一步增长反应。

引发剂种类很多，常用的自由基型引发剂有过氧化物类、偶氮化合物类及氧化-还原体系类。过氧化物类引发剂具有过氧键结构—O—O—，受热后分解生成两个自由基。它又可分为有机过氧化物引发剂及无机过氧化物引发剂。

有机过氧化物的结构通式为 R—O—O—H 或 R—O—O—R（R 为烷基、酰基、碳酸酯基等），它又可分为以下六类：①酞类过氧化物（如过氧化苯甲酰）。②氢过氧化物（如叔丁基过氧化氢）。③烷基过氧化物（如过氧化二异丙苯）。④酮类过氧化物（如过氧化环己酮）。⑤酯类过氧化物（如过氧化苯甲酸叔丁酯）。⑥二碳酸酯过氧化物（如过氧化二碳酸二异丙酯）。

无机过氧化物主要是过硫酸盐，最常用的是过硫酸铵及过硫酸钾。

偶氮化合物是分子结构中含有偶氮基—N=N—与两个烃基 R、R' 相连的化合物，通式为 R—N=N—R'，在热和光等作用下会分解而放出氮气，同时生成自由基。偶氮化合物引发剂有偶氮二异丁腈、偶氮二异庚腈，属低活性引发剂，常用的是偶氮二异丁腈。

氧化-还原体系类引发剂是利用氧化-还原反应产生自由基来引发聚合反应。可构成氧化-还原体系的有过硫酸铵/亚硫酸氢钠、过硫酸钾/亚硫酸氢钠、过硫酸铵/硫酸亚铁、过硫酸钾/氯化亚铁、过硫酸铵/硫醇、过氧化氢/酒石酸、过氧化氢/硫酸亚铁、过氧化氢/氯化亚铁、过氧化苯甲酰/蔗糖、过氧化苯甲酰/二乙基苯胺、异丙苯过氧化氢/氯化亚铁、异丙苯过氧化氢/四乙烯亚胺等。

不同的聚合方式及工艺条件应选择和使用不同的引发剂。对本体聚合、悬浮聚合及溶液聚合应选用偶氮化合物类或油溶性有机过氧化物类引发剂，而乳液聚合及水溶液聚合则应选用过硫酸盐水溶性引发剂或氧化-还原体系类引发剂。

聚合温度是影响聚合速度的主要参数，并对聚合物分子量有重要影响。对于自由基聚合，通常在 60℃ 左右进行，若温度升高 10℃，则聚合速度增加 2 ~ 3 倍，且温度升高，聚合物分子量也增大。聚合在何种温度下进行，主要决定于所采用的引发剂种类。采用过氧化二叔丁基等高温引发剂，聚合温度宜在高于 100℃ 进行；采用过氧化二碳酸二环己酯等低温引发剂，聚合温度宜在 40℃ 进行；采用过氧化苯甲酰等中温引发剂，聚合温度应选在 60 ~ 80℃ 为宜；如果在室温或更低温度下进行聚合反应，应选用氧化-还原体系类引发剂。

引发剂浓度也是影响聚合速度及分子量的重要因素。引发剂用量过多，则反应速度太快，反应难以控制；引发剂用量过少，则不易引发，反应不能正常进行。适宜用量通常须由实验来确定。此外，如引发剂的半衰期（引发剂分解至起始浓度一半时所需时

间) 过长, 则分解速率过低, 将使聚合时间延长; 而半衰期过短, 则引发过快, 反应温度会难以控制, 有可能引起爆聚, 生成坚硬的交联不溶性聚合物, 产生反应物结块, 堵塞管道。一般应选择半衰期与聚合时间相当的引发剂。

另外, 在选用引发剂时, 还应考虑到所选用的引发剂不会对聚合物质量产生影响, 无毒, 不危害健康, 不对环境产生负面影响, 储存稳定, 来源可靠等。

二、主要品种与性能

1. 过氧化二苯甲酰

别名 过氧化苯甲酰、过氧化苯酰、苯甲酰过氧化物, 简称 BPO。

化学式 $C_{14}H_{10}O_4$

结构式 $C_6H_5COOOCOC_6H_5$

性质 白色斜方晶系结晶或结晶粉末, 稍有苯甲醛气味, 有杏仁味。相对密度 1.3440 (25℃), 熔点 103 ~ 106℃ (分解, 并可引起爆炸), 闪点 (开杯) 125℃, 半衰期 2.4h (85℃)、4.3h (80℃)、8.4h (75℃)、10h (72℃), 理论活性氧含量 6.62%, 活化能 125.6kJ/mol。极微溶于水, 微溶于甲醇、异丙醇, 稍溶于乙醇, 溶于乙醚、丙酮、苯、乙酸乙酯等。常温下稳定, 在碱性溶液中缓慢分解, 干品极不稳定, 遇热、摩擦、撞击或还原剂可引起爆炸。加入硫酸可燃烧, 为强氧化剂, 对皮肤、粘膜有刺激, 可引起炎症。储存时可加入磷酸钙、碳酸钙等不溶性盐类稀释至 20%, 或以水作稳定剂, 使含水量为 30% 左右, 不可与有机易燃物相遇。使用时应将水脱除, 可晾干, 也可用无水乙醇洗或烘干 (烘干温度 50 ~ 60℃, 不要过高, 以免爆炸)。应存放于阴凉干燥处, 不宜久存。

用法及应用特点 本品用作乙烯系、丙烯酸系、苯乙烯系、氯乙烯系及乙酸乙烯系等单体的聚合引发剂, 既可单独使用, 也可与二烷基苯胺形成氧化-还原体系引发剂用于室温或低温聚合。本品还可用作不饱和聚酯、丙烯酸酯的交联剂, 硅橡胶及氟橡胶的硫化剂, 公路修补时的快速粘合剂, 油脂精炼漂白剂及纤维脱色剂, 医药杀菌清洁剂等。食品级过氧化二苯甲酰也用作面粉漂白剂, 最大用量为 0.3g/kg 面粉, 但对面粉中的 β-胡萝卜素及维生素等营养成分有较强破坏作用。

光固化环氧丙烯酸酯涂料的配比见表 7-1。

表 7-1 光固化环氧丙烯酸酯涂料 (质量份)

环氧丙烯酸酯	100	过氧化二苯甲酰	0.8 ~ 1.2
苯乙烯	30	安息香甲醚	0.5 ~ 1.0
甲基丙烯酸甲酯	18	对苯二酚	0.02 ~ 0.04
甲基丙烯酸环氧丙酯	10		

2. 过氧化二叔丁基

别名 二叔丁基过氧化物、过氧化二特丁基、引发剂 A, 简称 DTBP。

化学式 $\text{C}_8\text{H}_{18}\text{O}_2$

结构式 $(\text{CH}_3)_3\text{COOC}(\text{CH}_3)_3$

性质 无色至微黄色透明液体。相对密度 0.794，沸点 $50 \sim 52^\circ\text{C}$ (0.675Pa)，熔点 -40°C ，闪点（开杯） 9°C ，燃点 182°C ，折射率 1.3890 (20°C)，分解温度 126°C ，活性氧含量 10.94%，半衰期 1.6h (140°C)、4.9h (130°C)、10h (126°C)、20h (120°C)。不溶于水，溶于乙醇、丙酮、苯乙烯，与苯及石油醚混溶。为强氧化剂，其蒸气与空气组成爆炸性混合物。室温下稳定，对撞击不敏感，对钢和铝无腐蚀作用。无明显毒性，但对皮肤、眼睛有刺激性。

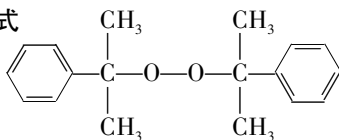
用法及应用特点 本品用作乙烯、苯乙烯高温聚合和乳液聚合的引发剂、不饱和聚酯的中温和高温引发剂、厌氧胶引发剂、天然橡胶及硅橡胶等的交联剂、烯烃的环氧化剂，也用作干性油添加剂，加入蓖麻油、桐油及亚麻油等中可改善其干燥性，加入塑料中可提高其耐药品性及光泽度。

3. 过氧化二异丙苯

别名 二异丙苯过氧化物、二枯基过氧化物，简称 DCP。

化学式 $\text{C}_{18}\text{H}_{22}\text{O}_2$

结构式



性质 白色至微粉红色结晶粉末，遇光颜色加深。相对密度 1.082，熔点 $39 \sim 41^\circ\text{C}$ ，闪点（开杯） 133°C ，燃点 218°C ，分解温度 $120 \sim 125^\circ\text{C}$ ，升华温度 160°C (26.7Pa)，活性氧含量 5.92%，半衰期（苯溶液）1min (171°C)、10h (117°C)、100h (101°C)。不溶于水，微溶于冷乙醇，易溶于苯、甲苯及异丙苯等芳烃。为强氧化剂，与浓硫酸及高氯酸相遇则分解，对振动和摩擦不敏感，是有机过氧化物中最安全的一种。对皮肤有弱刺激性。

用法及应用特点 本品用作聚合反应的引发剂，可用于白色、透明及要求压缩变形性低及耐热的制品，也用作不饱和聚酯、聚烯烃、硅橡胶的高温交联反应的交联固化剂。本品还可用作天然橡胶及合成橡胶（不适用于丁基橡胶）的硫化剂，可使硫化制品耐热、耐龟裂，对溶剂和油稳定。

环氧树脂粘合剂的配比见表 7-2。

表 7-2 环氧树脂粘合剂（质量份）

环氧树脂	100	双氰胺	8 ~ 12
羧基丁腈	16 ~ 22	聚乙烯醇缩丁醛	12 ~ 16
正硅酸丁酯	1 ~ 3	过氧化二异丙苯	0.3 ~ 0.6

4. 过氧化氢二异丙苯

别名 2-(4-异丙苯基)过氧氢。

化学式 $C_{12}H_{18}O_2$

结构式 $(CH_3)_2CH-\text{C}_6\text{H}_4-C(CH_3)_2OOH$

性质 无色至淡黄色油状透明液体。含量 50% ~ 60% 时的相对密度为 0.935 ~ 0.960, 折射率 1.4880 ~ 1.510, pH 值为 4, 对位结构为 30% 时其熔点为 30℃。有氧化性, 遇酸、碱及受热易分解。遇强热、光照、明火、撞击及接触硫酸时会产生燃烧及爆炸的危险。

用法及应用特点 本品用作自由基悬浮聚合引发剂, 可与还原剂亚铁盐组成氧化-还原引发剂, 主要用作丁苯橡胶低温聚合引发剂, 其引发速度比过氧化氢异丙苯快 30% ~ 50%, 但比过氧化氢叔丁基异丙苯及过氧化氢三异丙苯要慢。本品也用作不饱和聚酯固化剂、丙烯酸结构粘合剂的快速固化引发剂等。

5. 过氧化十二酰

别名 过氧化月桂酰、过氧化双十二酰、引发剂 B, 简称 LPO。

化学式 $C_{24}H_{46}O_4$

结构式 $CH_3(CH_2)_{10}-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-O-O-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-(CH_2)_{10}-CH_3$

性质 白色粒状固体。熔点 53 ~ 55℃, 分解温度 70 ~ 80℃, 半衰期 1min (115℃)、30min (80℃)、3.4h (70℃)、10h (62℃), 理论活性氧含量 4.02%, 活化能 128.54kJ/mol。不溶于水, 溶于丙酮、氯仿等溶剂。常温下稳定, 无毒。有氧化作用, 干品遇有机物或受热会爆炸。储存时需用水覆盖, 并密封存放于阴凉干燥处。

用法及应用特点 本品用作高压聚乙烯、聚氯乙烯等聚合引发剂及不饱和聚酯交联剂, 也用作发泡剂、油脂漂白剂等。

6. 过氧化二碳酸二异丙酯

别名 引发剂 IPP。

化学式 $C_8H_{14}O_6$

结构式 $(CH_3)_2CHOOCOOCOCH(CH_3)_2$

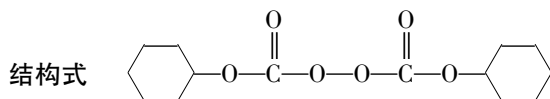
性质 低温下为白色粉状晶体, 常温下为无色液体。相对密度 1.080 (15.5℃), 熔点 8 ~ 10℃, 分解温度 47℃, 折射率 1.4034 (20℃), 活性氧含量 7.76%。微溶于水, 溶于脂肪烃、芳香烃、氯代烃、酯、醚等有机溶剂。有强氧化性, 对温度、撞击及酸、碱等化学药品特别敏感, 极易分解并发生爆炸, 故须用二甲苯等溶剂稀释后储存。室温下也会逐渐自行分解, 释放出可燃性物质, 故应密封存放于 -10℃ 的低温环境中。对眼睛及皮肤有强刺激性。

用法及应用特点 本品为自由基型引发剂, 用作烯类单体或其他单体聚合或共聚时的低温引发剂。

7. 过氧化二碳酸二环己酯

别名 引发剂 DCPD。

化学式 $C_{14}H_{22}O_6$



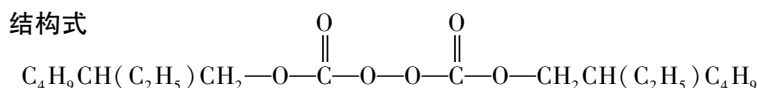
性质 白色固体粉末。熔点 $44 \sim 46^\circ\text{C}$ (含量大于 97%), 分解温度 44°C , 理论活性氧含量 5.6%, 半衰期 75h (30°C)、4.2h (50°C)、0.27h (70°C)。不溶于水, 微溶于乙醇、脂肪烃, 溶于酯、酮类, 易溶于氯代烃、芳烃。对撞击及摩擦不敏感, 但与铁、铜等金属及催化剂接触时会加速其分解。为防止分解, 应在低于 5°C 下储存。低毒! 对皮肤及眼睛有刺激性。

用法及应用特点 本品用作乙烯、氯乙烯、丙烯酸酯类、乙酸乙烯酯-氯乙烯等单体聚合或共聚时的高效引发剂, 也用作不饱和聚酯的催化剂。

8. 过氧化二碳酸二(2-乙基己基)酯

别名 过氧化二碳酸辛酯、引发剂 EHP。

化学式 $C_{18}H_{34}O_6$



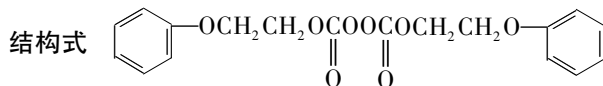
性质 无色透明液体, 有特殊气味。纯品相对密度 0.964, 熔点低于 -50°C , 分解温度 49°C , 折射率 1.4310 (20°C), 理论活性氧含量 4.62%, EHP 含量为 46%, 溶液的半衰期 10.33h (40°C)、1.5h (50°C)。受热或光照下易分解成相应的自由基。一般商品配制成含 EHP50% ~ 65% 的甲苯、二甲苯或矿物油溶液。有氧化性, 低毒! 对皮肤、眼睛有刺激性。避光保存于阴凉干燥处。

用法及应用特点 本品为自由基引发剂, 用作氯乙烯本体或悬浮聚合引发剂, 也用作乙烯、丙烯酸酯、丙烯腈、偏氯乙烯等的高效引发剂。

9. 过氧化二碳酸双(2-苯基乙氧基)酯

别名 引发剂 BPPD。

化学式 $C_{18}H_{18}O_8$



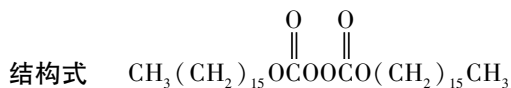
性质 白色或微黄色结晶颗粒。熔点 $97 \sim 100^\circ\text{C}$, $92 \sim 93^\circ\text{C}$ 开始分解, 理论活性氧含量 4.4%, 半衰期 (甲苯溶液中) 7h (50°C)、1.5h (70°C)。不溶于水, 微溶于苯、甲苯、二甲苯及乙醚等, 易溶于二氯甲烷、三氯甲烷。有氧化性, 避免与铁、铜等金属接触。避光存放于阴凉干燥处。

用法及应用特点 本品用作乙烯、丙烯、氯乙烯、丙烯酸酯、丙烯腈及不饱和树脂等的高效聚合引发剂, 也用作氯乙烯-乙酸乙烯酯的共聚引发剂及橡胶硫化促进剂。

10. 过氧化二碳酸双十六烷基酯

别名 简称 DCP。

化学式 $\text{C}_{34}\text{H}_{66}\text{O}_6$



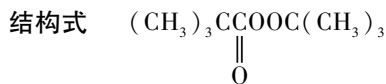
性质 白色结晶粉末。熔点 54°C ，活性氧含量 2.8%。不溶于水，微溶于醇，溶于丙酮、酯及芳烃。有氧化性。

用法及应用特点 本品用作悬浮法氯乙烯聚合引发剂，也用作其他烯类单体聚合的引发剂。

11. 过氧化新戊酸叔丁酯

别名 叔丁基过氧化新戊酸酯、引发剂 PV，简称 BPP、tBPP。

化学式 $\text{C}_9\text{H}_{18}\text{O}_3$



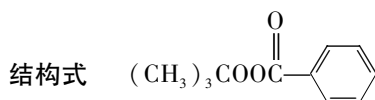
性质 无色液体，具有酯的香味。相对密度 0.854 (25°C)，熔点 -19°C ，闪点 (开杯) $68 \sim 71^\circ\text{C}$ ，折射率 1.4100 (25°C)，分解温度 (苯溶液中) 55°C ，半衰期 1min (110°C)、20h (50°C)。不溶于水及乙二醇，溶于多数有机溶剂。商品一般为含 BPP75% 的己烷溶液。有氧化性，必须在 0°C 以下储运。

用法及应用特点 本品用作氯乙烯单体的悬浮聚合引发剂，也用作乙烯、丙烯、乙酸乙烯酯等单体的自由基聚合引发剂及厌氧胶制备引发剂。

12. 过氧化苯甲酸叔丁酯

别名 叔丁基过氧化苯甲酸酯、引发剂 C、引发剂 CP-02，简称 TBPB、TPB。

化学式 $\text{C}_{11}\text{H}_{14}\text{O}_3$



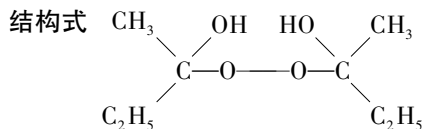
性质 无色至淡黄色透明液体，略带芳香气味。相对密度 1.036 ~ 1.045 (25°C)，熔点 8.5°C ，沸点 112°C (分解)，闪点 (开杯) 65°C ，熔点 171°C ，折射率 1.4950 ~ 1.4990 (25°C)，半衰期 1.8h (120°C)、2.8h (115°C)、5.1h (110°C)、8.9h (105°C)，活性氧含量 8.2%，活化能 145.3kJ/mol。不溶于水，遇水分解，溶于醇、酮、醚、酯及烃类等多数有机溶剂。常温下稳定，对钢、铝等金属无腐蚀性。有氧化性，对撞击不太敏感。可燃，低毒。

用法及应用特点 本品用作乙烯、丙烯、苯乙烯等单体聚合的引发剂，也用作橡胶硫化剂、不饱和聚酯固化引发剂、油漆干燥剂及橡胶型粘合剂的引发剂等。

13. 过氧化甲乙酮

别名 过氧化-2-丁酮，简称 MEKP。

化学式 $\text{C}_8\text{H}_{18}\text{O}_4$



性质 无色透明液体，具有宜人气味。相对密度 1.091，闪点（开杯）50℃，130℃时分解。不溶于水，溶于醇、醚、酯及芳烃等有机溶剂。室温下稳定，温度高于 100℃时会发生爆炸。对摩擦、撞击十分敏感。理论活性氧含量 18.20%，半衰期 10h（105℃）。实际使用的是含 MEKP 为 50% ~ 60% 的邻苯二甲酸二甲酯溶液。低毒！蒸气对粘膜及皮肤有刺激性。

用法及应用特点 本品用作不饱和聚酯室温固化引发剂、丙烯酸酯粘合剂引发剂、丙烯酸酯涂料催干剂及不饱和聚酯的交联剂等。

人造玛瑙的配比见表 7-3。

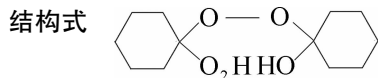
表 7-3 人造玛瑙（质量份）

不饱和聚酯树脂	100	骨料	260 ~ 320
过氧化甲乙酮	2 ~ 5	胶衣树脂	适量
羧酸钴	1.5 ~ 4	石蜡	适量

14. 过氧化环己酮

别名 简称 CHP。

化学式 $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_5$



性质 白色至浅黄色结晶性粉末。熔点 76 ~ 78℃，理论活性氧含量 12.99%，半衰期 1min（174℃）、10h（97℃），50% 的白色糊状物的活性氧含量为 6% 左右。不溶于水，溶于乙醇、丙酮、苯及乙酸乙酯等有机溶剂。化学性质十分活泼，易燃、易爆，商品常加水或惰性溶剂作稳定剂，或与邻苯二甲酸二丁酯配成安全性较高的 50% 糊状物。有强氧化性，受高温、撞击或遇还原剂等会引起燃烧或爆炸。

用法及应用特点 本品用作橡胶及合成树脂的聚合引发剂、不饱和聚酯粘合剂的交联剂。

15. 叔丁基过氧化氢

别名 特丁基过氧化氢。

化学式 $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}_2$

结构式 $(\text{CH}_3)_3\text{COOH}$

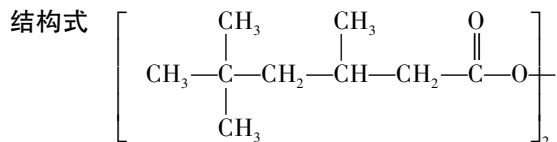
性质 常温下为无色液体。熔点 -8℃，沸点 33 ~ 34℃（2.27kPa），分解温度 80 ~ 90℃，半衰期 170h（100℃）、12h（120℃）。不溶于水，溶于碱及醇、醚等常用有机溶剂。有强氧化性，遇高温、撞击会有燃烧及爆炸危险。

用法及应用特点 本品用作聚合反应的自由基引发剂，通常在高于 100℃ 时使用。本品也用作不饱和聚酯、马来酰胺树脂等的高温（100 ~ 150℃）固化交联引发剂，如用钴盐作促进剂时，使用温度可降至 40℃。

16. 过氧化双（3，5，5-三甲基己酰）

别名 CP-10、引发剂 K。

化学式 $C_{18}H_{34}O_4$



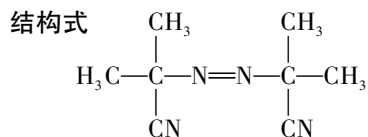
性质 无色至微黄色液体。相对密度 0.926，熔点低于 -70℃，分解温度 78 ~ 83℃，折射率 1.4430（20℃），理论活性氧含量 5.09%，半衰期（5% 苯溶液中）10h（59℃）。有强氧化性。使用时用白油配成溶液。25% 溶液储存温度低于 15℃；75% 溶液储存温度低于 5℃；97% 以上产品储存温度应低于 0℃。

用法及应用特点 本品用作低密度聚乙烯聚合的高温引发剂。

17. 偶氮二异丁腈

别名 2，2'-二氰基-2，2'-偶氮丙烷、2，2'-偶氮双（2-甲基丙腈），简称 AIBN、ABIN。

化学式 $C_8H_{12}N_4$



性质 白色粉状结晶或结晶性粉末。相对密度 1.10，熔点 107℃。加热至 70℃ 时会放出氮及含 $-(\text{CH}_3)_2\text{CCN}$ 基的氰化物。加热至 100 ~ 107℃ 熔融时急剧分解，放出氮及对人体有毒的有机腈化合物，同时引起燃烧、爆炸。不溶于水，略溶于乙醇，溶于甲醇，易溶于热乙醇。溶于丙酮时会发生爆炸。本品是最常用的偶氮类引发剂，其分解活化能为 125.5 kJ/mol，一般在 45 ~ 65℃ 下使用。有毒！有动物的血、肝、脑等组织内代谢成氰氢酸。

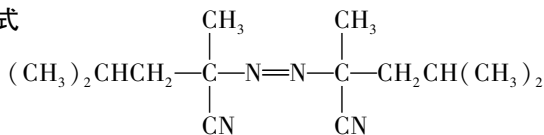
用法及应用特点 本品用作氯乙烯、丙烯腈、乙酸乙烯酯、甲基丙烯酸甲酯及离子交换树脂的聚合引发剂，也用作光聚合的光敏剂，还用作合成及天然橡胶、合成树脂的发泡剂，具有分解温度低、发热量小、可制得白色产品的特点，但分解时产生的四甲基丁二腈及少量氰化氢气体有毒，不宜用于食物及衣物用发泡制品。此外，也是有机合成及农药的中间体。

18. 偶氮二异庚腈

别名 2，2'-偶氮二（2，4-二甲基）戊腈，简称 ABVN。

化学式 $C_{14}H_{24}N_4$

结构式



性质 白色菱形片状结晶。相对密度 0.991 ~ 0.997。有顺式、反式两种异构体，其熔点分别为 55 ~ 57℃ 和 74 ~ 76℃。商品中顺、反两种异构体的混合比例为 45:55。不溶于水，溶于醇、醚及二甲基甲酰胺等有机溶剂。为易燃、易爆的有毒物质，遇热或光则产生分解，并放出氮气及含氰自由基。52℃ 时分解，在 30℃ 下储存 15 天也即分解失效。

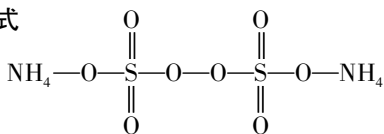
用法及应用特点 本品用作氯乙烯、甲基丙烯酸甲酯、丙烯腈及乙酸乙烯酯等单体聚合用引发剂，也用作天然橡胶、合成橡胶及塑料发泡剂。

19. 过硫酸铵

别名 过二硫酸铵、高硫酸铵，简称 APS。

化学式 $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$

结构式



性质 无色单斜晶系结晶或白色结晶粉末。相对密度 1.982。120℃ 分解并放出氧气而形成焦硫酸铵。温度及溶液的 pH 值对分解速度有影响，pH > 4 时，半衰期 38.5h (60℃)、2.1h (80℃)；pH = 3 时，半衰期 25h (60℃)、1.62h (80℃)。干燥的成品有良好的稳定性，潮湿空气中易受潮结块。易溶于水，水溶液呈酸性反应，在室温下会缓慢分解放出氧而形成硫酸氢铵。温度高时分解会加速 (40 ~ 50℃ 时，一昼夜分解 2.2%)。有强氧化性，与有机物、金属及盐类接触产生分解，与还原性强的有机物混合可燃烧或爆炸。

用法及应用特点 本品用作乙酸乙烯酯、苯乙烯、丙烯腈、丙烯酸酯及氯乙烯单体聚合或共聚引发剂，尤多用于乳液聚合及悬浮聚合，也用作脲醛树脂固化剂，适用于快速固化。本品在印染工业上用作亚氯酸钠漂白活化剂、硫化蓝染料氧化剂。本品在制造淀粉粘合剂时用作助氧化剂，与淀粉中的蛋白质成分发生反应而提高胶粘性。本品还用作金属铜表面处理剂、油类脱色及脱臭剂、印刷电路板蚀刻剂及蛋白试剂和钢铁分析试剂。食品级过硫酸铵可用作啤酒酵母防霉剂、小麦粉改质剂等。

丙烯酸-丙烯酰胺共聚物吸水性树脂的配比见表 7-4。

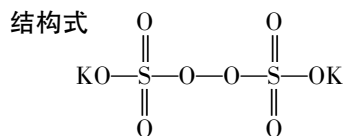
表 7-4 丙烯酸-丙烯酰胺共聚物吸水性树脂 (质量份)

丙烯酸	48	过硫酸铵	0.05
丙烯酰胺	52	氢氧化钠	22
N,N'-亚甲基双丙烯酰胺	0.02	脱离子水	180
亚硫酸氢钠	0.05		

20. 过硫酸钾

别名 过二硫酸钾、高硫酸钾，简称 KPS。

化学式 $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$



性质 无色或白色三斜晶系片状结晶或粉末。相对密度 2.477，折射率 1.4610 (20℃)。100℃时完全分解放出氧而形成焦硫酸钾。溶于水，溶解速度比过硫酸铵稍慢，水溶液呈酸性，不溶于乙醇。水溶液在室温下缓慢分解而生成过氧化氢，在潮湿空气中也会逐渐分解。温度及溶液 pH 值对分解速度有影响，温度越高，pH 值对分解速度影响越小。有乳化剂及硫醇存在能加速分解，在碱性溶液中能使 Ni^{2+} 、 Co^{2+} 、 Pb^{2+} 及 Mn^{3+} 等金属离子形成黑色氧化物沉淀。有强氧化性，与有机物混合易引起燃烧或爆炸。无毒。粉末对鼻粘膜有刺激性。

用法及应用特点 本品用作乙酸乙烯酯、丙烯酸酯类、四氟乙烯、丙烯腈、苯乙烯及氯乙烯等单体乳液聚合引发剂（使用温度 60 ~ 80℃），合成树脂聚合促进剂，肥皂及油脂漂白剂和医用消毒剂，也用作制造炸药、染料的氧化剂，织物漂白及胶片冲洗时用作硫代硫酸钠脱除剂等。

淀粉-丙烯酸共聚物吸水性树脂的配比见表 7-5。

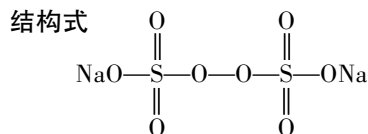
表 7-5 淀粉-丙烯酸共聚物吸水性树脂

淀粉	100g	N,N'-亚甲基双丙烯酰胺	0.2 ~ 1g
丙烯酸	150mL	氢氧化钠	60 ~ 80g
过硫酸钾	0.5 ~ 2g	脱离子水	1.2 ~ 1.5L

21. 过硫酸钠

别名 过二硫酸钠、高硫酸钠。

化学式 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$



性质 白色晶体或结晶性粉末，无臭、无味，易溶于水。常温下会缓慢分解，加热或在乙醇中则快速分解，放出氧而变成焦硫酸钠。在 200℃时急剧分解而放出过氧化氢。在低温干燥条件下具有极好的储存稳定性，遇潮易分解，有 Fe^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Ni^{2+} 、 Ag^+ 、 Pt^{2+} 等离子存在时会促使其分解。本品为强氧化剂，可将 Mn^{2+} 、 Cr^{3+} 等离子氧化成相应的高氧化态化合物。

用法及应用特点 本品可替代过硫酸钾用作乙酸乙烯酯、丙烯酸酯、苯乙烯、氯乙烯

烯等单体乳液聚合的引发剂，也用作有机合成氧化剂、石油钻井稳定剂、纺织行业的脱浆剂、染料着色剂、杀菌消毒剂、油脂漂白剂、金属表面处理剂、电池去极剂等，还大量用于金属的清洗和蚀刻，尤其是用于生产线路板铜的蚀刻。

淀粉接枝苯乙烯高吸水性树脂见表 7-6。

表 7-6 淀粉接枝苯乙烯高吸水性树脂

淀粉	100g	过硫酸钠	0.01 ~ 0.03g
苯乙烯	8 ~ 10g	脱离子水	150 ~ 170mL
马来酸酐	10 ~ 15g		

第四节 中和剂

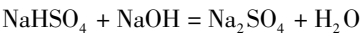
一、简介

中和剂又称 pH 调节剂、酸度调节剂、缓冲剂，是酸（或酸式盐）与碱（碱式盐）相互作用调节 pH 值的物质。

中和作用是酸和碱相互作用生成盐和水的反应，其实质是酸电离产生的氢离子和碱电离产生的氢氧根离子结合生成了难电离的水。强酸、强碱之间的中和作用可表示为



对于多元强酸的酸式盐与强碱之间的中和作用，以硫酸氢钠和氢氧化钠为例，可表示为



通常用已知浓度的标准酸（或碱）溶液测定未知浓度的碱（或酸）溶液的浓度，常称为酸碱中和滴定。用碱或酸调节酸性溶液或碱性溶液的 pH 值实质上是发生了中和反应。中和作用的应用十分广泛，在酸催化反应、有机合成、油脂及淀粉水解、乳液聚合、树脂固化、食品保藏、胶乳储存、化妆品膏霜制造、印染、制革及油田水基冻胶压裂液配制等过程都有十分重要的影响。

二、主要品种与性能

1. 甲酸

别名 蚁酸。

化学式 CH_2O_2

结构式 $HCOOH$

性质 最简单的脂肪酸。因少量存在于赤蚁体内及某些毛虫的分泌物中，故别名蚁酸。无色而有刺激性气味的液体，发烟，易燃。相对密度 1.220，熔点 8.6℃，沸点 100.8℃，闪点（开杯）68.9℃，自燃点 601℃，折射率 1.3714（20℃）。溶于水、乙醇、乙醚、甘油，不溶于烃类。容易氧化，易被氧化成水和二氧化碳。当锌、镁、铁溶

于甲酸时放出氢气。有毒！对脂肪有溶解性，能刺激皮肤起泡，且痊愈很慢。80% ~ 90%（质量分数）的甲酸水溶液在寒冷天气下易结冰。

用法及应用特点 本品用作 pH 值调节剂、消毒剂、防腐剂、橡胶凝聚剂、水泥促凝剂、助染剂、催化剂，也是基本有机原料，用于合成各种甲酸盐，制造冰片、维生素等药物。

2. 乙酸

别名 醋酸。

化学式 $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$

结构式 CH_3COOH

性质 无色透明液体，有刺激性酸味，是醋的重要成分。无水物相对密度 1.049，沸点 118℃，熔点 16.6℃，闪点（开杯）57℃，自燃点 427℃，折射率 1.3716（20℃）。本品是一种弱酸，但能与碱起中和作用而生成乙酸盐，也能与醇类起酯化作用而生成各种酯类。可与水、乙醇、乙醚、甘油及苯混溶，不溶于二硫化碳。乙酸蒸气极易着火，与空气混合物的爆炸范围为 4% ~ 17%（质量分数）。低浓度无毒，高浓度有强腐蚀性。普通乙酸含量约为 36%。

用法及应用特点 本品用作 pH 值调节剂、酸味剂、消毒剂、杀菌剂、催化剂及溶剂等，也是重要的有机化工原料，用于合成乙酸醋、乙酸盐及制造药品、染料、农药等。

3. 冰乙酸

别名 冰醋酸、无水乙酸、乙酸冰。

化学式 $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$

结构式 CH_3COOH

性质 98% ~ 100%（质量分数）的乙酸在 16℃ 时成冰状物，故名冰乙酸。16℃ 以上时为无色透明液体，具有刺激性特殊气味，用水充分稀释则呈酸味；16℃ 以下为吸湿性叶状晶体。沸点 118℃，相对密度 1.086（0℃）。与少量水混合则发热，体积减小，相对密度增加，冰乙酸含量为 77% ~ 79% 时相对密度最大。冰乙酸在 16℃ 以下结晶时体积膨胀，往往会将玻璃瓶胀裂，而在炎热天气，因乙酸蒸气溢出，会使瓶内压力增高而致瓶塞跳落，宜存放于 17 ~ 32℃ 的室内。可与水、乙醇、丙二醇、甘油等共溶，溶解能力很强，可溶解磷、硫、脂肪、油、树脂及蛋白质等。与氨接触产生白烟。皮肤接触有刺激感及灼烧感。

用法及应用特点 同“乙酸”。

4. 柠檬酸

别名 枸橼酸、2-羟基丙烷-1, 2, 3-三羧酸、β-羟基丙三羧酸。

化学式 $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$

结构式

$$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{COOH} \\ | \\ \text{HO}-\text{C}-\text{COOH} \\ | \\ \text{CH}_2\text{COOH} \end{array}$$

性质 有两种形式：从热的浓水溶液中析出的半透明无水晶体是无水物，相对密度 1.665 (18℃)，熔点 153℃，折射率 1.493 ~ 1.509 (20℃)；从冷水溶液中析出的半透明无色晶体是一水物，相对密度 1.5420 (18℃)，熔点 100℃，在 75℃ 开始软化，加热至 40 ~ 50℃ 开始脱水而成为无水物，继续加热则熔融。溶于水、乙醇、乙醚，不溶于苯、氯仿。本品是强有机酸，对碳钢有强腐蚀性，遇强氧化剂可被氧化成草酸，与氢氧化钾熔融时，分解为乙酸及草酸。

用法及应用特点 本品用作 pH 值调节剂、酸味剂、螯合剂、抗氧化剂、防垢剂、收敛剂、金属清洗剂、电镀光亮剂、织物柔软剂、烟草增香剂等，也是有机合成原料，用于制造柠檬酸盐及甘油单、双酯等。

5. 乳酸

别名 2-羟基丙酸、丙醇酸。

化学式 $C_3H_6O_3$

结构式 $CH_3CHOHCOOH$

性质 一种羟基酸，最早是由酸牛奶中获得，故名乳酸。因分子中有一个不对称碳原子，所以有两种旋光异构体及一种外消旋体，市售品均为外消旋体 DL-乳酸，呈无色或白色结晶或浅黄色糖浆状，有吸湿性，无臭，有酸味，相对密度 1.2060 (25℃)，熔点 18℃，沸点 122℃ (2kPa)，折射率 1.4392 (20℃)。溶于水、乙醇，微溶于乙醚，不溶于氯仿、二硫化碳。与醇作用生成乳酸酯，与酸酐作用生成羧酸酯。加热至 250℃ 以上时生成乙醛，放出二氧化碳和水。无毒。

用法及应用特点 本品用作 pH 值调节剂、酸味剂、增香剂、防腐剂、杀菌剂、收敛剂、含漱剂、浮选剂等，也是有机合成原料，用于制造乳酸盐、乳酸酯等。

6. 己二酸

别名 肥酸、1,4-丁二羧酸、丁烷二羧酸。

化学式 $C_6H_{10}O_4$

结构式 $HOOC(CH_2)_4COOH$

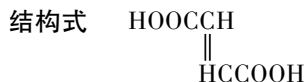
性质 白色结晶粉末，有骨头烧焦气味。相对密度 1.360 (25℃)，熔点 152℃，沸点 337.5℃ (分解)，闪点 (开杯) 209.9℃，燃点 231.9℃。微溶于水及乙醚，极易溶于沸水，易溶于甲醇、乙醇，不溶于苯、石油醚。0.1% 己二酸水溶液的 pH 值为 3.2。不吸湿，可燃。加热至 300℃ 以上时脱羧生成环戊酮，具有二元酸的性质，可以酯化。

用法及应用特点 本品用作 pH 值调节剂、缓冲剂，其水溶液是常用酸味剂中酸度最低的，在很大浓度范围内其 pH 值变化很小。本品也是有机合成原料，用于合成己二酸二乙酯、己二酸二丁酯等酯类，是制造尼龙 66 及聚氨酯泡沫塑料的重要原料。本品也用于合成医药、香料及用作增香剂、润滑剂等。

7. 反丁烯二酸

别名 富马酸、延胡索酸、紫堇酸。

化学式 $C_4H_4O_4$



性质 单斜晶系无色针状或小叶状结晶，无臭，有水果酸味。相对密度 1.635，熔点 286 ~ 287℃，加热至 290℃ 时升华，300℃ 时失水而成顺丁烯二酸酐。微溶于水、乙醚、丙酮、氯仿及乙酸，溶于乙醇。化学性质十分活泼，能进行聚合、酰化、卤化、水合及异构化等反应。有很强的缓冲能力，能使水溶液的 pH 值维持在 3.0 左右。

用法及应用特点 本品用作油田水基压裂液的 pH 值调节剂，在食品工业中广泛用作酸味剂、增香剂、膨胀剂及抗氧化助剂，也用于制造不饱和聚酯、粘合剂、光学漂白剂、医药及农药等。

8. 甘氨酸

别名 氨基乙酸、乙氨酸、氨基醋酸。

化学式 $\text{C}_2\text{H}_5\text{NO}_2$

结构式 $\text{H}_2\text{NCH}_2\text{COOH}$

性质 白色单斜晶系或六方晶系晶体或结晶性粉末，无臭，有特殊甜味。相对密度 1.1607，熔点 232 ~ 248℃（分解）。易溶于水，微溶于丙酮、甲醇，不溶于乙醇、乙醚，难溶于其他有机溶剂。能与盐酸反应生成盐。

用法及应用特点 本品用作中和剂，如用作氯丁胶乳水基粘合剂的 pH 值调节剂，也用作饲料营养添加剂、抗氧化剂、鱼制品防腐剂、二氧化碳吸收剂、电镀液添加剂。本品也是有机合成中间体，用于制造甘氨酸衍生物、医药、除草剂及解毒剂等。

9. 氨基磺酸

化学式 $\text{H}_3\text{NO}_3\text{S}$

结构式 $\text{NH}_2\text{SO}_2(\text{OH})$

性质 无色或白色斜方晶系结晶，无臭，无味。相对密度 2.126，熔点 205℃（开始分解），折射率 1.5530。溶于水、吡啶，易溶于热水、液氨，难溶于甲醇、乙醇。是一种强酸，1% 水溶液的 pH 值为 1.18。常温下稳定，加热至 260℃ 以上时，分解成二氧化硫、三氧化硫、氮和水等。可与金属氧化物、氢氧化物及碳酸盐等反应而生成相应的盐。无毒。

用法及应用特点 本品用作延缓作用的 pH 值调节剂，如用于油田水基压裂液的 pH 值调节剂，调节范围为 1.5 ~ 3.5。本品也用作游泳池水中氯的稳定剂、氧化亚氮发生剂，以及用于制造甜味剂、除草剂、表面活性剂、杀菌剂及阻燃剂等。

10. 氢氧化钠

别名 苛性钠、烧碱、火碱、苛性曹达。

化学式 NaOH

性质 纯品为无色透明的晶体。相对密度 2.130，熔点 318.4℃，沸点 1390℃。市售烧碱有固态和液态两种：纯固体烧碱呈白色，有片状、块状、粒状和棒状，质脆；纯液体烧碱称为液碱，为无色透明液体。固体烧碱有很强的吸湿性，易溶于水，溶液呈强

碱性，也易溶于乙醇及甘油，不溶于乙醚、丙酮。与酸相遇则起中和作用而生成盐和水。有皂化油脂能力，生成皂与甘油。腐蚀性极强，对皮肤、纤维、玻璃等均有腐蚀作用。

用法及应用特点 本品用作酸中和剂、pH 值调节剂、脱色剂、脱臭剂、淀粉糊化剂、混凝土早强剂、煮炼剂、棉布退浆剂、溶剂，是重要化工原料，广泛用于制造洗涤剂、肥皂、医药、农药、涂料、搪瓷及日用化工产品等方面。

氯乙烯乳液的配比见表 7-7。

表 7-7 氯乙烯乳液（质量份）

氯乙烯	100	氢氧化钠	适量(调 pH = 10 ~ 10.5)
十二烷基硫酸钠	0.6	脱离子水	150
过硫酸铵	0.1		

11. 氢氧化钾

别名 苛性钾。

化学式 KOH

性质 白色半透明晶体，商品有片状、块状、棒状及粒状。工业品为白色至浅灰色，相对密度 2.044，熔点 360℃（无水物 380℃），沸点 1320℃，极易从空气中吸收水和二氧化碳而生成碳酸钾。易溶于水并激烈放热，溶于乙醇及甘油，微溶于乙醚。有极强的碱性及腐蚀性，其性质与烧碱相似。

用法及应用特点 本品用作酸中和剂、脱水剂、脱脂剂、漂白剂等，也是化工基础原料，用于制造钾盐、钾肥皂、医药、人造纤维及日用化工产品等。

12. 碳酸钠

别名 纯碱、苏打、碱灰。

化学式 Na₂CO₃

性质 碳酸钠有无水碳酸钠、一水碳酸钠及十水碳酸钠（又称冰碱或结晶碳酸钠）等。无水碳酸钠工业品俗称纯碱或苏打，外观为白色粉末或细粒结晶，味涩。相对密度 2.532（25℃），熔点 851℃。含有少量氯化物、硫酸盐及铁等杂质。易溶于水，水溶液呈强碱性，不溶于乙醇、乙醚。暴露于空气中能吸收空气中的水分和二氧化碳而生成碳酸氢钠。能与酸进行中和反应生成相应的盐并放出二氧化碳。高温下分解生成二氧化碳和氧化钠。

用法及应用特点 本品用作酸中和剂、乳液聚合 pH 值调节剂、混凝土早强剂、洗涤剂、脱软剂、软水剂、助染剂等，也是基本化工原料之一，用途极广，主要用于钢铁、冶金、化工、化纤、橡胶、塑料、造纸、医药、轻工及日化等各行业。

13. 碳酸氢钠

别名 小苏打、重碳酸钠、焙碱、酸式碳酸钠。

化学式 NaHCO₃

性质 白色粉末或不透明单斜晶系细微结晶，味凉而微涩。相对密度 2.159。溶于水，不溶于乙醇，水溶液呈微碱性。遇湿气会放出二氧化碳而变为倍半碳酸钠 ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)。受热分解生成碳酸钠、二氧化碳及水。遇酸立即水解成盐和水，并放出二氧化碳，遇碱生成纯碱和水，在热空气中缓缓失去部分二氧化碳，加热至 270℃ 失去全部二氧化碳。

用法及应用特点 本品用作酸中和剂、乳液聚合 pH 值调节剂、缓冲剂、脱脂剂、浴用剂、泡沫灭火剂等，在塑料工业上用作发泡助剂，在铸造工业上用作助熔剂，在食品工业上用作发酵剂、膨松剂、抑酸剂、保鲜剂及灭菌剂等。

14. 硅酸钠

别名 水玻璃、泡花碱、偏硅酸钠。

化学式 $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$

性质 有固体及液体两种。无水物固体为无定形，呈天蓝色或黄绿色，易吸湿潮解。易溶于水，溶于稀氢氧化钠，不溶于醇。液体为无色、灰色或略带绿色的粘稠液体，商品一般都是液体，以密度表示，也有以波美度表示的，大部分是 40°Be'、50°Be' 和 52°Be'，而以 40°Be' 的最多。SiO₂ 含量越多，碱性越低。水玻璃在水中有水解作用，水溶液呈碱性。酸和一些盐（如 NH₄Cl）在室温或加热时能使水玻璃析出二氧化硅。

用法及应用特点 本品用作酸中和剂，洗涤及洗涤助剂、张纸漂白剂、橡胶防水剂、土壤稳定剂、防腐剂等，也广泛用来制造分子筛、硅胶、硅铝催化剂、白炭黑、耐酸水泥及粘合剂等。

15. 氨水

别名 氢氧化铵、阿摩尼亚水、氨溶液。

化学式 NH_4OH

性质 氨水是气体氨的水溶液，一般含氨 28% ~ 29%（质量分数），有浓重的辛辣窒息性气味。氨水中仅有一小部分氨分子与水反应而生成铵离子 (NH_4^+) 和氢氧根离子 (OH^-)，呈弱碱性。含氨量越多，密度越小，最浓的氨水含氨 35.28%（质量分数），相对密度 0.88。能溶于水、乙醇及乙醚。煮沸时分解为 NH₃ 及 H₂O。与盐酸、硫酸等酸类接触时发生中和作用，分别生成氯化铵、硫酸铵和水并放出热量。对破损皮肤、眼睛及粘膜等有刺激性。

用法及应用特点 本品用作酸中和剂及 pH 值调节剂、催化剂等，在工业上用于制造胺盐、胺化剂及医药等，稀释后大量用作化肥。本品也用作混凝土防冻剂，掺氨水的混凝土能在很低的负温下不遭受冻害。

叔碳酸乙酸酯-丙烯酸共聚乳液的配比见表 7-8。

表 7-8 叔碳酸乙烯酯-丙烯酸共聚乳液（质量份）

叔碳酸乙烯酯	85	磷酸氢二钠	0.5
丙烯酸	2	OP-10	1.0
甲基丙烯酸甲酯	13	氨水	112
过硫酸铵	0.5	脱离子水	适量(调 pH 至 7~8)

16. 磷酸二氢钠

别名 磷酸一钠。

化学式 $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

性质 有无水物、一水合物及二水合物三种结晶。常见为二水合物。为无色斜方晶系结晶。相对密度 1.91，熔点 60℃。易溶于水，1% 水溶液 pH 值为 4.4，不溶于乙醇，微溶于氯仿。在潮湿空气中易吸水结块。加热至 60 ~ 100℃ 时失去一个水分子，100℃ 时失去结晶水而生成无水物，无毒。

用法及应用特点 本品用作酸中和剂、缓冲剂、油田水基压裂液及乳液共聚的 pH 值调节剂、食品添加剂、金属洗净剂、软水剂、颜料沉淀剂、玉米淀粉氧化后的酯化剂等，也用于制造六偏磷酸钠、缩聚磷酸盐及焙粉等。

17. 一乙醇胺

别名 乙醇胺、2-羟基乙胺、2-氨基乙醇。

化学式 $\text{C}_2\text{H}_7\text{NO}$

结构式 $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$

性质 无色粘稠液体，有氨味，呈强碱性。相对密度 1.0180，熔点 10.5℃，沸点 170.5℃，闪点（开杯）93℃，粘度 18.95mPa·s（25℃），折射率 1.4541。与水、甲醇、乙醇和丙酮混溶，微溶于乙醚和四氯化碳。有极强的吸湿性。能吸收酸性气体，加热后又能解析。有乳化及起泡作用。能与无机酸及有机酸生成盐，与酸酐作用生成酯。可燃。蒸气有毒！

用法及应用特点 本品用作酸中和剂、酸性气体吸收剂、乳化剂、起泡剂、织物防蛀剂、印染增白剂等，也用于制造表面活性剂、增塑剂、医药、农药。

18. 三乙醇胺

别名 三羟乙基胺、2, 2', 2'-三羟基三乙胺、氨基三乙醇。

化学式 $\text{C}_6\text{H}_{15}\text{NO}_3$

结构式 $\text{N}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_3$

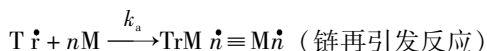
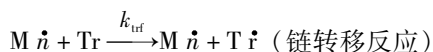
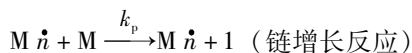
性质 无色至淡黄色透明粘稠液体，微有氨味，低温时成为无色至淡黄色立方晶系晶体。相对密度 1.1242，熔点 20 ~ 21℃，沸点 335.4℃，闪点 185℃，折射率 1.4852（20℃）。易溶于水、乙醇、丙酮、甘油及乙二醇等，微溶于苯、乙醚。水溶液呈碱性。有吸湿性，能吸收二氧化碳及硫化氢等酸性气体。对混凝土有明显的低温早强作用。可燃。蒸气有毒！

用法及应用特点 本品用作中和剂，在化妆品配方中与脂肪酸中和成皂，与硫酸化脂肪酸中和成胺盐。废气处理中用作脱除硫化氢及二氧化碳等酸性气体的洗净液，也用作橡胶硫化活化剂、润滑油抗腐蚀添加剂、混凝上防冻剂及早强剂，以及用于制造表面活性剂、洗涤剂及稳定剂等。

第五节 分子量调节剂

一、简介

分子量调节剂又称聚合调节剂、链长调节剂、链转移剂，是一种能在聚合反应中控制、调节聚合物分子量和减少聚合物链支化作用的物质，是一类链转移常数较大的高活性物质，容易和自由基发生链转移反应，终止活性链，使之变成具有特定分子量的终聚物。其反应过程可简示如下：



式中 $M\dot{n}$ 、 $M\dot{n} + 1$ ——活性链自由基；

M ——单体；

Tr ——分子量调节剂；

Mn ——聚合度为 n 的终聚物；

k_p 、 k_{tr} 、 k_a ——分别为链增长、链转移和转移链再引发的速度常数。

可用作分子量调节剂的化合物很多，从结构上讲都是一些含有弱共价键的化合物，如偶氮键、二硫键以及苯甲氢、烯丙氢、第三氢等碳氢键等。根据其组成与结构可分为脂肪族的硫醇类、黄原酸二硫化物类、卤化物、多元酚、硫黄及各种硝基化合物等。对于多数单体的乳液聚合反应，应用最广的分子量调节剂是硫醇，包括正硫醇和带支链的硫醇。

对于化学控制的聚合反应（如本体聚合），分子量调节剂的分子量对其消耗速率无影响，而在扩散控制的聚合反应（如乳液聚合）中，分子量调节剂的分子量大小对其扩散速度影响很大，分子量很小时，容易扩散。当分子量增大到某一程度时，其消耗速度等于其由单体向乳胶粒扩散的速度，此时应具有最好的活性。分子量再继续增大，则其消耗速率逐渐降低。用硫醇为分子量调节剂的乳液聚合反应中，硫醇分子中的碳原子数会影响硫醇的活性，一般以平均含 10 ~ 12 个碳原子的硫醇最为活泼，多于或少于此数目碳原子的硫醇不宜使用。

二、主要品种与性能

1. 叔十二硫醇

别名 叔十二烷基硫醇。

化学式 $C_{12}H_{26}S$

结构式 $(CH_3)_2CSH(CH_2)_8CH_3$

性质 无色至微黄色或灰黄色液体，有特殊气味。相对密度 0.8450（26℃），熔点 -7℃，沸点 165 ~ 166℃（5.19kPa）。不溶于水，溶于乙醇、乙醚、苯、丙酮及汽油等。有毒！蒸气对皮肤及粘膜有刺激性。

用法及应用特点 本品用作合成树脂、合成橡胶及合成纤维的聚合反应分子量调节剂，能降低高分子链的支化度，使聚合物具有优良的加工性能及物理、力学性能。本品也用作聚烯烃及聚氯乙烯的稳定剂及抗氧化剂，以及用作油井酸化剂、润滑油添加剂、防锈剂等。本品还用作制造杀虫剂、杀菌剂及表面活性剂等原料。

冷丁苯胶乳的配比见表 7-9。

表 7-9 冷丁苯胶乳（质量份）

丁二烯	70	雕白粉	0.2
苯乙烯	30	叔十二硫醇	0.1
歧化松香酸钾	6.6	乙二胺四乙酸二钠	0.10
过氧化氢二异丙苯	0.28	二甲基二硫代氨基甲酸钠	0.20
硫酸亚铁	0.03		

2. 正十二硫醇

别名 正十二碳硫醇、正十二烷硫醇。

化学式 C₁₂H₂₆S

结构式 CH₃(CH₂)₁₀CH₂SH

性质 无色至淡黄色黏稠液体，有特殊气味。相对密度 0.8450，熔点 -7.5℃，沸点 143℃（2kPa），折射率 1.4589（20℃）。不溶于水，溶于甲醇、乙醇、乙醚、丙酮、苯及汽油。工业品常是几种同分异构体的混合物，馏程 200 ~ 235℃，折射率 1.45 ~ 1.47，闪点 87℃。有毒！蒸气对皮肤及粘膜有刺激性。

用法及应用特点 本品用作合成树脂、合成橡胶及粘合剂等乳液聚合的分子量调节剂、金属防腐剂、润滑油添加剂等，也用作制造杀虫剂、杀菌剂、药物及非离子型表面活性剂等原料。

热丁苯胶乳的配比见表 7-10。

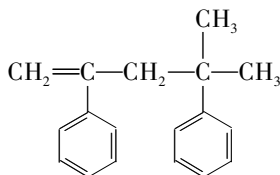
表 7-10 热丁苯胶乳（质量份）

丁二烯	75	正十二硫醇	0.5
苯乙烯	25	二甲基二硫代氨基甲酸钠	0.2
硬脂酸钠	4 ~ 6	氯化钾	0.02
过硫酸铵	0.2 ~ 0.5	脱离子水	180

3. 2, 4-二苯基-4-甲基-1-戊烯

化学式 $C_{18}H_{20}$

结构式



性质 淡黄色黏稠液体，无臭。闪点（开杯） 100°C 。不溶于水，溶于乙醇、丙酮、苯等有机溶剂。可燃。无毒。

用法及应用特点 本品是一种非硫醇分子量调节剂，用于乳液聚合，可等摩尔替代正十二硫醇或叔十二硫醇，且价格低廉，又无臭味。

4. 二硫化二异丙基黄原酸酯

别名 连二异丙基黄原酸酯、调节剂丁、促进剂 DIP。

化学式 $C_8H_{14}O_2S_4$

结构式 $(CH_3)_2CHO-C(=S)-S-S-C(=S)-OCH(CH_3)_2$

性质 淡黄色至黄绿色粒状结晶。相对密度 1.28，熔点不低于 52°C 。不溶于水，溶于乙醇、丙酮、苯、乙酸乙酯及汽油。有毒！触及时可引起皮肤过敏肿胀，受热分解时会产生窒息性气体 CS_2 。

用法及应用特点 本品用作丁苯橡胶、丁腈橡胶聚合及烯类单体乳液聚合的分子量调节剂及橡胶加工促进剂，也用作矿物浮选剂、润滑油添加剂及制造杀菌剂、除草剂等原料。

5. 乙二醇二甲醚

别名 1, 2-二甲氧基乙烷，简称 GDME。

化学式 $C_4H_{10}O_2$

结构式 $CH_3OCH_2CH_2OCH_3$

性质 无色液体，有醚样气味。相对密度 0.8628，熔点 -58°C ，沸点 $82 \sim 84^{\circ}\text{C}$ ，闪点 4.5°C ，折射率 1.3796，粘度 $1.10\text{mPa} \cdot \text{s}$ (20°C)。溶于水和烃类溶剂，与乙醇、乙醚及丙酮混溶。性质稳定，不易起化学反应，有很强的溶解能力。低毒！易燃。遇高温及明火易燃烧或爆炸。

用法及应用特点 本品用作 1, 2-聚丁二烯橡胶聚合的分子量调节剂，可调节和控制 1, 2-聚丁二烯的 1, 2-链节含量，也用作纤维及皮革匀染剂、图片印刷平调剂、润滑油添加剂及渗透剂等。本品是丙烯酸树酯、乙基纤维素，硝基纤维素及甲基丙烯酸树脂等的优良溶剂，也用作涂料、油墨溶剂及医药萃取用溶剂等。

6. 氢气 Hydrogen

别名 调节剂氢气。

化学式 H_2

性质 无色无臭无味可燃气体。相对密度：气态 0.0694、液态 0.070 (-252.89°C)，熔点 -259.14°C ，沸点 -252.87°C 。难液化，临界温度 -239.9°C ，临界压力 1.297MPa。水中溶解度 $2.14\text{cm}^3/100\text{cm}^3$ 水 (0°C)，在其他各种液体中溶解度甚微。常温下不活泼，在高温或有催化剂存在时则十分活泼，与空气、氧气、氯气等混合会燃烧或爆炸。化合价 ± 1 。能与许多金属或非金属直接化合，高温下能将许多金属氧化物还原成金属或低级氧化物。用作聚合的分子量调节剂时可与增长链发生链转移反应，使链增长终止，导致聚合物分子量降低，同时产生新的活性中心，引发单体聚合继续进行。

用法及应用特点 本品用作丙烯聚合及乙丙橡胶聚合的分子量调节剂，是合成氨、有机合成、石油化工中氢化反应和油脂硬化等的原料，冶炼工业中用作还原剂。氢氧焰用于金属焊接及切割，液态氢用作高能燃料。

第六节 聚合终止剂

一、简介

在制备高聚物的聚合反应中，由于单体竞聚率不同，所得共聚物的组成会随转化率的升高而发生变化。转化率不仅影响聚合物的共聚组成，而且影响聚合物的平均分子量、分子量分布及分子结构。聚合终止剂也称终止剂或链终止剂，是能与引发剂（或催化剂）或增长链迅速起反应，从而有效地破坏其活性，使聚合反应终止的物质。适时终止聚合反应，可获得分子量均匀、分子结构稳定的高品质聚合物产品。终止剂除起着消除体系活性中心的作用外，还兼有防止老化的作用。因此，工业上许多防老剂往往也是终止剂。

由于大分子自由基之间的偶合终止和歧化终止的反应活性很低，链终止反应速率极快，因此在高温聚合的情况下，当达到所要求的转化率后，只要将物料温度降至室温，引发剂分解反应及聚合反应均会自行停止，因而无需加入终止剂。而对采用氧化还原引发体系的低温乳液聚合过程，必须加入终止剂才能使反应停止。如乳液法合成丁苯橡胶时，为保证聚合物的优良性能，常用酚、二硫化秋兰姆作终止剂，以控制聚合的深度。

终止剂的种类很多，一般为能与自由基结合生成稳定化合物的一类物质，如醌、硝基、亚硝基、芳基多羟基化合物以及许多含硫化合物。高温乳液聚合中常用对苯二酚、对叔丁基邻苯二酚、木焦油等作终止剂；低温乳液聚合中常用二甲基二硫代氨基甲酸钠、多硫化钠及亚硝酸钠等作终止剂；溶液聚合一般用水和醇作聚合终止剂。

选择聚合终止剂时应考虑以下因素：①加入少量就可使聚合反应终止，并在单体脱除等后续过程中仍起作用。②不影响乳液稳定性及聚合物的物理化学性质，不使聚合物变色。③易溶于水，并能以水溶液形式储存。④乳液出料后，易从反应器除尽，不会对

下一批聚合反应产生阻聚作用。⑤价格便宜，使用安全。

二、主要品种与性能

1. 二甲基二硫代氨基甲酸钠

别名 福美钠、促进剂、S，简称 SDD。

化学式 $\text{C}_3\text{H}_6\text{NNaS}_2$

结构式

$$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \\ \diagdown \\ \text{N}-\text{C}-\text{S}-\text{Na} \\ \diagup \quad \parallel \\ \text{H}_3\text{C} \quad \text{S} \end{array}$$

性质 白色或近白色结晶。工业品含量为 40%，琥珀色至淡绿色结晶或淡黄至橘黄色液体。相对密度 1.17 ~ 1.20 (25℃)，熔点 -1.5℃，燃点 110℃。溶于水。有毒！对皮肤及眼睛有刺激性，其粉尘与空气的混合物遇明火有爆炸危险，有吸湿性，应储存于低温干燥环境，不宜储于铁制容器中。

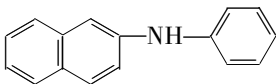
用法及应用特点 本品用作丁苯橡胶聚合及烯类单体低温乳液聚合的终止剂，也用作天然橡胶、丁苯橡胶及氯丁橡胶胶乳促进剂，用于制造白色及透明制品。本品也是制造促进剂 TMTD 及农药福美双的原料。

2. N-苯基-β-萘胺

别名 防老剂 J、防老剂 D、尼奥宗 D。

化学式 $\text{C}_{16}\text{H}_{13}\text{N}$

结构式



性质 纯品为白色粉末，商品为浅灰色粉末，暴露于空气中或日光下渐渐变成灰红色或棕色。易燃。相对密度 1.18，熔点 108℃，沸点 395.5℃。不溶于水和汽油，溶于乙醇、四氯化碳，易溶于苯、丙酮、二硫化碳、乙酸乙酯等溶剂。有毒！对皮肤、粘膜有刺激性。

用法及应用特点 本品用作乳液聚合终止剂，也是通用型橡胶防老剂，广泛用于天然橡胶及合成橡胶，对氧、热和挠曲引起的橡胶老化有防护作用。由于有污染性，会使胶料变色，不宜用于浅色及艳色制品。本品还用作各种合成橡胶后处理和储存时的稳定剂，聚乙烯、聚甲醛及聚异丁烯塑料的抗热老化剂。

3. 多硫化钠

化学式 Na_2S_n ($n = 2.8 \sim 3.5$)

结构式 $\text{Na}-\text{S}\cdots\text{S}-\text{Na}$

性质 黄色或灰黄色结晶粉末。相对密度 1.23 ~ 1.28 (25℃)。吸湿性很强，易溶于水，加热变橙红色，在远低于熔点的温度即分解为 $\text{Na}_2\text{S}_2 + \text{Na}_2\text{S}_4$ 。工业品为多硫化钠水溶液，呈橙红色，硫化钠含量 28% ~ 34%，硫代硫酸钠含量 < 6.0%，总硫量 > 40%。

用法及应用特点 本品用作聚合终止剂，主要用于丁苯橡胶聚合，与二甲基二硫代氨基甲酸钠配用可增强丁苯橡胶聚合的终止效果，且不会使聚合物变色，也用作制造促进剂 M 的中间体。

4. 盐酸羟胺

别名 氯化羟胺、盐酸胍。

化学式 H_4ClNO

结构式 $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$

性质 无色针状结晶。相对密度 1.67 (17℃)，熔点 151℃。常温下会逐渐分解。溶于冷水、乙醇、甲醇、甘油。吸湿性很强，有腐蚀性，遇高温有爆炸危险。

用法及应用特点 本品用作氯丁胶液的聚合终止剂，用量约 0.1%，并配合使用抗氧剂 264 约 2.2%。本品也用作还原剂、显像剂及有机合成和制药的原料。

5. 硫代硫酸钠

别名 大苏打、海波。

化学式 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

性质 无色透明单斜晶体，无臭，具吸潮性，有清凉而带苦的味道。相对密度 1.729 (17℃)，熔点 40 ~ 45℃，在干燥空气中超过 33℃ 即产生风化，18℃ 以上即溶于它本身的结晶水中，加热至 100℃ 时失去结晶水成为无水物，灼烧则分解成硫化钠和硫酸钠。易溶于水，水溶液接近中性或弱碱性。溶于松节油及液氨，不溶于乙醇。具强还原性，水溶液有溶解卤素及卤化银的特性。遇无机酸生成游离的硫代硫酸 ($\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_3$)，它极不稳定，立即分解成水、硫和二氧化硫，生成的硫使溶液变混浊。无毒。

用法及应用特点 本品用作制造淀粉粘合剂的终止剂，能终止氧化剂与粘合剂继续反应，延长储存期，参考用量为淀粉的 0.3% 左右。印染工业中用作纤维漂白后的脱氧剂，制革工业中用作还原剂，照相工业中用作显影剂，食品级硫代硫酸钠可用作食品抗氧化剂、螯合剂及脱氯剂。本品还用作饮用水净化剂、混凝土早强剂及医疗上用于治疗皮肤瘙痒症等。

6. 木焦油

别名 杂酚油、木馏油。

性质 木材干馏所得的副产物，黑褐色、黄色或几乎无色的油状液体，有酚样特殊臭味。含有酚类、有机酸及烃类，酚含量 > 65%。相对密度 1.05 ~ 1.20。不溶于水，溶于常用有机溶剂，易溶于氢氧化钠溶液，难溶于氨水，有腐蚀性。

用法及应用特点 本品用作高温乳液聚合反应的终止剂及合成橡胶的阻聚剂，也用作木材防腐剂、矿物浮选剂，医药上用作蛀牙止痛及祛痰剂。

参 考 文 献

- [1] R. 盖希特. 塑料添加剂手册[M]. 北京: 中国石化出版社, 1992.
- [2] 山西化工研究所, 塑料橡胶加工助剂[M]. 北京: 化学工业出版社, 1983.
- [3] 区英鸿. 塑料手册[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1991.
- [4] 马之庚. 工程塑料手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [5] 陈宇, 王朝晖, 郑德. 实用塑料助剂手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [6] 朱洪法, 朱王霞. 工业助剂手册[M]. 北京: 金盾出版社, 2007.
- [7] 张玉龙. 塑料配方及其组分设计宝典[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.

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

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 978-7-111-38732-9

策划编辑◎张秀恩/封面设计◎赵颖喆

ISBN 978-7-111-38732-9



9 787111 387329 >

定价: 59.00元