

机电类专业应用型人才培养特色教材

# 机器人技术

## 实践教程



俞建荣 主编

- ▶ 教育部卓越工程师教育培养计划推荐教材
- ▶ 教育部高等院校特色专业教材
- ▶ 国家工程教育认证专业教材
- ▶ “机电测控技术基础课程群北京市优秀教学团队”项目资助



机电类专业应用型人才培养特色教材

# 机器人技术实践教程

主 编 俞建荣

副主编 王殿君

参 编 王振华 陈 亚 杨德宇



机械工业出版社



本书用四篇分别介绍机器人基础知识和相关技术及其实训内容。

第1篇介绍机器人基础知识。第2篇以安川机器人为例,介绍工业机器人操作的相关技术和方法。第3篇基于六自由度可拆装模块化工业机器人的结构与拆装实验,使读者掌握工业通用串联机器人的结构与原理。第4篇介绍工业机器人工装夹具设计的特点和方法。

本书可作为应用型本科机电类各专业的教材,也可作为自学、远程教育、高职高专教育的教学用书以及有关工程技术人员的参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

机器人技术实践教程/俞建荣主编. —北京:机械工业出版社, 2016.7  
机电类专业应用型人才培养特色教材  
ISBN 978-7-111-54189-9

I. ①机… II. ①俞… III. ①机器人技术-高等学校-教材 IV. ①TP24

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 153223 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: 吕德齐 责任编辑: 吕德齐 版式设计: 霍永明  
责任校对: 肖琳 封面设计: 陈沛 责任印制: 乔宇  
北京富生印刷厂印刷  
2016 年 8 月第 1 版第 1 次印刷  
184mm × 260mm · 12.5 印张 · 270 千字  
0001—3000 册  
标准书号: ISBN 978-7-111-54189-9  
定价: 29.00 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

服务咨询热线: 010-88379833

读者购书热线: 010-88379649

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网: [www.cmpbook.com](http://www.cmpbook.com)

机工官博: [weibo.com/cmp1952](http://weibo.com/cmp1952)

教育服务网: [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

金书网: [www.golden-book.com](http://www.golden-book.com)

# 序

为了适应我国制造业的迅速发展，培养大批素质高、工程能力与实践能力强的应用综合型人才，需要在本科教学中改变以往重视工程科学，轻视工程实践训练；注重理论知识的传授，轻视创新精神的培养；注重教材的系统性和完整性，缺乏工程应用背景等现象。本套教材的编著者结合近年来在机电测控类课程群建设以及CDIO教学改革方面的经验积累，在总结多年教学的基础上，本着“重基本理论、基本概念，突出实践能力和工程应用”的原则，力求编写一套富有特色、有利于应用型人才培养的机电测控类本科教材，以满足工程应用型人才培养的要求。本套教材突出以下特点：

1) 科学定位。本套教材主要面向工程应用、具有较好的理论素养与实际结合能力、动手和实践能力强、复合型、复合型人才的培养。不同于培养研究型人才的教材，也不同于一般应用型本科的教材。

2) 简化理论知识的讲授，突出教学内容的实用性，强调对学生实践能力和技术应用能力的培养。

3) 采用循序渐进、由浅入深的编写模式，强调实践和实践属性，精练基础知识，突出实用技能，内容体系更加合理。

4) 注重现实社会发展和就业需求，以培养工程综合能力为目标，强化应用，有针对性地培养学生的实践能力。

5) 教材内容的设置有利于扩展学生的思维空间，培养学生的自主学习能力；着力于培养和提高学生的综合素质，使学生具有较强的创新能力，促进学生的个性发展。

本套教材由俞建荣、曹建树组织策划并主持编写。

本套教材得到北京市高等学校人才强教深化计划资助项目（PHR200907221）及北京市机电测控技术基础课程群优秀教学团队的资助。

俞建荣 曹建树



# 前 言

我国是制造业大国，未来的产业结构将逐渐由劳动力密集型转化为技术密集型，新设备中很多都与机器人有关，需要大量的掌握机器人应用技术的人才。这些人员需要进行机器人相关技术的培训，以提高从业人员的素质。

本书以机器人实际操作能力的培养为重点，是适合高等院校机电类、自动化等专业本科生学习的配套实训教程，也可作为高等职业教育、继续工程教育相关专业的教材。

全书较系统地介绍了机器人实际操作技术的基本方法，并引入若干工程实例。本书始终遵循“突出工程应用性、力求体现可读性和内容选材新颖性”的原则。

本教程从学生学习机器人相关技术和培训的角度，主要介绍如下四方面内容：

(1) 机器人基础知识。

(2) 以安川工业机器人为例，介绍工业机器人操作的相关技术和方法，提高学生的动手和操作能力。

(3) 基于六自由度可拆装模块化工业机器人的结构与拆装实验，使学生不仅能通过该机器人掌握工业通用串联机器人的结构与原理，还能够亲自动手分解操作，提高学生的实践动手能力。

(4) 以汽车车身机器人焊接为例，介绍机器人工装夹具设计的特点和方法。

本书共4篇14章，介绍机器人的相关技术及其实训内容。

第1篇包括两章，在第1章简要介绍机器人技术与发展的基础上，第2章介绍了机器人的驱动、传动及传感系统的主要部件。

第2篇以安川焊接机器人为例，介绍了工业机器人操作的相关技术和方法，主要内容包括机器人的结构及工作原理、机器人的编程和操作、机器人的简单程序示教及再现、机器人的示教操作要点、机器人的再现操作要点、工业机器人指令、机器人的安全和维护、工业机器人应用案例等。

第3篇主要内容为：可拆装模块化工业机器人的结构与拆装实验、运动学分析以及示教再现实验。

第4篇主要介绍工业机器人工装夹具设计的特点和方法，包括：工业机器人焊接工装设计及焊接夹具设计案例。

本书由俞建荣任主编，王殿君任副主编。第1篇第1章由俞建荣负责完成、第2章由王殿君、陈亚负责完成，第2篇、第4篇主要由俞建荣负责完成，第3篇主要由王振华、陈亚负责完成。杨德宇参加了第2篇、第4篇的编写，并在全稿文字处理方面做了许多工作。全书由俞建荣教授统稿。

本书可作为应用型本科机电类各专业的教材，也可作为自学、远程教育、高职高专教育的教学用书以及有关工程技术人员的参考书。

本书得到北京市属高等学校人才强教深化计划资助项目（PHR200907221）的支持。

本书的编写得到安川首钢机器人有限公司、苏州博实机器人技术有限公司等企业江中控研究院有限公司的大力支持，参考了其有关机器人培训方面的材料，在此一并表示衷心的感谢。

限于编者水平有限，书中不足与疏漏之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者



# 目 录

## 序 前言

## 第 1 篇 机器人基础知识

第 1 章 概述 .....	1	2.2.1 谐波减速器 .....	13
1.1 机器人技术及发展现状 .....	1	2.2.2 同步齿形带 .....	15
1.2 我国机器人技术发展的趋势及急需 解决的关键问题 .....	4	2.2.3 行星齿轮减速器 .....	15
1.2.1 我国机器人技术发展的趋势 .....	4	2.3 传感系统主要部件 .....	16
1.2.2 急需解决的关键问题 .....	5	2.3.1 红外测距传感器 .....	16
第 2 章 机器人驱动、传动及传感系统 主要部件 .....	7	2.3.2 激光测距传感器 .....	16
2.1 驱动系统主要部件 .....	7	2.3.3 旋转编码器 .....	18
2.1.1 舵机及舵机伺服控制 .....	7	2.3.4 光电开关传感器 .....	20
2.1.2 步进电动机 .....	8	2.3.5 接近开关 .....	21
2.1.3 伺服电动机 .....	11	2.3.6 磁性开关 .....	22
2.2 传动系统主要部件 .....	13	2.3.7 压力传感器 .....	23
		2.3.8 姿态传感器 .....	26
		2.3.9 温度传感器 .....	27

## 第 2 篇 安川机器人应用技术与实践

第 3 章 安川 NX100 机器人结构及 工作原理 .....	30	4.2.4 动作模式 .....	46
3.1 安川 NX100 机器人简介 .....	30	4.3 机器人的轴与坐标系 .....	47
3.2 安川 NX100 机器人的结构 .....	31	4.3.1 机器人的轴 .....	47
3.2.1 电源箱 .....	32	4.3.2 机器人的坐标系 .....	47
3.2.2 控制箱 .....	32	第 5 章 简单的示教和再现 .....	52
第 4 章 安川 NX100 机器人的编程 和操作 .....	36	5.1 示教 .....	52
4.1 机器人的开启 .....	36	5.1.1 示教前的准备 .....	52
4.1.1 开机前准备 .....	36	5.1.2 示教的基本步骤 .....	52
4.1.2 开机操作 .....	36	5.1.3 轨迹的确认 .....	57
4.2 示教编程器 .....	36	5.1.4 程序的修改 .....	57
4.2.1 示教编程器的按键功能 .....	36	5.2 程序再现 .....	57
4.2.2 示教编程器的画面显示 .....	40	5.2.1 程序再现前的准备 .....	57
4.2.3 示教编程器字符输入 .....	45	5.2.2 再现的步骤 .....	57
		5.3 机器人弧焊实例 .....	57
		5.3.1 程序 .....	57

5.3.2 示教·····	58	6.7.3 剪切·····	93
5.3.3 设定焊接条件·····	59	6.7.4 粘贴·····	93
5.3.4 轨迹和焊接的确认·····	60	6.7.5 反转粘贴·····	94
5.4 机器人搬运实例·····	60	6.8 试运行·····	95
5.4.1 程序·····	60	<b>第7章 再现操作要点</b> ·····	96
5.4.2 工具命令的使用方法·····	61	7.1 再现前的准备·····	96
5.4.3 示教·····	62	7.2 再现·····	96
5.4.4 轨迹和动作的确认·····	67	7.2.1 再现画面·····	96
5.5 机器人机加工实例·····	68	7.2.2 再现运行·····	97
5.5.1 程序·····	68	7.2.3 再现的特殊运行·····	97
5.5.2 示教·····	69	7.3 停止与再起动力·····	98
5.5.3 轨迹和动作的确认·····	71	7.4 修改再现速度·····	99
5.6 机器人点焊实例·····	72	<b>第8章 指令</b> ·····	101
5.6.1 程序·····	72	8.1 INFORM II 语言指令表·····	101
5.6.2 设定焊接条件·····	72	8.2 运动指令·····	101
5.6.3 示教·····	73	8.3 调用指令·····	103
5.6.4 轨迹和焊接的确认·····	74	8.4 跳转指令·····	103
5.7 机器人喷涂实例·····	75	8.5 I/O 指令·····	103
5.7.1 程序·····	75	8.6 延时指令“TIMER”和脉冲指令 “PULSE”·····	104
5.7.2 设定喷涂条件·····	76	8.7 等待指令·····	104
5.7.3 示教·····	76	8.8 运算指令·····	104
5.7.4 轨迹和动作的确认·····	79	8.9 操作命令·····	105
<b>第6章 示教操作要点</b> ·····	80	8.10 SHIFT 命令·····	106
6.1 示教前的准备·····	80	<b>第9章 机器人安全和维护</b> ·····	108
6.2 示教·····	80	9.1 操作安全事项·····	108
6.2.1 插补方式与再现速度的种类·····	80	9.1.1 操作人员安全注意事项·····	108
6.2.2 程序点示教·····	82	9.1.2 机器人的安装注意事项·····	110
6.3 确认程序点·····	84	9.2 机器人的维护·····	111
6.4 修改程序点·····	86	9.2.1 机械手保养注意事项·····	111
6.5 修改程序·····	87	9.2.2 控制箱保养注意事项·····	112
6.5.1 调出程序·····	87	9.2.3 机器人日常保养注意事项·····	112
6.5.2 与程序相关的画面·····	88	<b>第10章 工业机器人应用案例</b> ·····	113
6.5.3 修改程序的其他方面·····	88	10.1 机器人在汽车座椅骨架焊接中的 应用·····	113
6.6 命令编辑·····	88	10.1.1 机器人工作站的组成及系统 配置·····	113
6.6.1 命令组的说明·····	89	10.1.2 机器人示教轨迹的确定·····	114
6.6.2 程序举例·····	89	10.1.3 焊接参数的设定及控制·····	115
6.6.3 需要注意的其他方面·····	90	10.2 机器人在摩托车踏板式车架焊接	
6.7 程序的编辑·····	90		
6.7.1 选择范围·····	90		
6.7.2 复制·····	92		



中的应用.....	115	操作要领.....	118
10.2.1 机器人工作站组成.....	115	作业 B 焊接机器人空间直线运动	
10.2.2 机器人焊接生产线主要		实验.....	119
设备.....	116	作业 C 焊接机器人空间曲线运动	
第 2 篇作业 焊接机器人操作 .....	118	操作.....	120
作业 A 熟悉焊接机器人的基本功能和			

第 3 篇 机器人结构与拆装实验

第 11 章 可拆装模块化机器人的		12.1.2 实验原理.....	130
结构 .....	121	12.1.3 实验步骤.....	131
11.1 机器人简介.....	122	12.2 机器人运动学分析实验.....	133
11.2 机器人的机械结构.....	124	12.2.1 实验目的.....	133
11.2.1 机器人的总体机械结构.....	124	12.2.2 实验原理.....	133
11.2.2 各模块机械结构.....	125	12.2.3 实验步骤.....	134
11.3 机器人控制系统.....	128	12.3 机器人机械本体拆卸和装配	
11.3.1 机器人控制系统组成.....	128	实验.....	139
11.3.2 机器人步进电动机控制		12.3.1 实验目的.....	139
系统.....	128	12.3.2 实验原理.....	139
11.3.3 机器人交流伺服电动机控制		12.3.3 实验步骤.....	140
系统.....	128	12.4 机器人各关节机械结构设计	
第 12 章 可拆装模块化机器人		实验.....	155
实验 .....	130	12.4.1 实验目的.....	155
12.1 机器人示教-再现实验 .....	130	12.4.2 实验原理.....	155
12.1.1 实验目的.....	130	12.4.3 实验步骤.....	156

第 4 篇 工业机器人工装

第 13 章 工业机器人焊接工装设计		13.2.3 L 板及 H 腿.....	163
简介 .....	159	13.2.4 支板.....	164
13.1 概述.....	159	13.2.5 夹紧臂.....	164
13.1.1 机器人焊接工装夹具的设计		13.2.6 定位块.....	166
原则.....	159	13.2.7 垫片及侧板.....	166
13.1.2 焊接工装夹具的分类、组成和		13.2.8 定位销.....	167
特点.....	160	13.2.9 支架.....	170
13.1.3 机器人焊接工装夹具的方案		13.2.10 铰链销及链接 .....	171
设计.....	161	13.2.11 H 形链接 .....	173
13.2 机器人焊接工装夹具的常用		13.2.12 闭锁装置及保护罩 .....	173
结构.....	163	13.2.13 支承架 .....	174
13.2.1 夹具的基本组成.....	163	13.2.14 焊枪导向 .....	175
13.2.2 基板.....	163	13.2.15 工件导向及吊具导向装置 .....	176
		13.2.16 焊枪通过性 .....	176

---

13.2.17 旋转机构 .....	176	14.2.2 装配精度 .....	183
13.2.18 举升机构 .....	176	14.2.3 6点定则在车身焊装夹具上的 应用 .....	183
<b>第14章 机器人焊接夹具设计案例 分析 .....</b>	<b>179</b>	14.2.4 车身分块和定位基准的 选择 .....	184
14.1 摩托车车架机器人焊接夹具的 设计案例 .....	179	14.2.5 车身焊接夹具的结构及定位 夹紧特点 .....	184
14.1.1 车架焊接工装夹具设计方案 的确定 .....	179	14.3 用于汽车生产线上的机器人焊接 夹具设计案例 .....	185
14.1.2 车架在夹具中的定位以及 定位器与夹具体的确定 .....	179	第4篇作业 机器人焊接工装夹具 操作 .....	188
14.2 汽车车身装焊的工装设计案例 .....	181	<b>参考文献 .....</b>	<b>189</b>
14.2.1 汽车车身的结构特点及对装 焊工装的要求 .....	181		



# 第 1 篇 机器人基础知识

## 第 1 章 概 述

### 1.1 机器人技术及发展现状

机器人与智能装备产业是高度集成微电子、通信、计算机、人工智能、控制和图像处理等学科最新科研和产业成果的前沿高新技术产业。直接影响生活最优化和智能化的机器人技术是机器人与智能装备产业的技术核心，推动未来机器人与智能装备领域的科技创新力和产业竞争力。

机器人技术是以自动化技术和计算机技术为主体，有机融合各种现代信息技术的系统集成。经过半个多世纪的发展，机器人技术在工业生产领域得到了广泛的应用，极大地提升了生产品质并成功解放了劳动力。作为高新技术领域中重要的前沿技术之一，机器人技术具有前瞻性、先导性的特点，对学术研究、产业升级、培养创新意识、保障国家安全、引领未来经济社会的发展有着十分重要的作用。目前，相关领域的技术突破，从根本上为提升机器人技术的学术研究提供了必要的支持，机器人的应用范围已涵盖国防、航空航天、工业生产、服务、病人康复、教育甚至普通家庭生活，一场新的机器人技术研究高潮和发展契机已到来。

机器人技术是未来的战略性高新技术，充满机遇和挑战。目前，国际机器人市场中工业机器人占的比例最大，而且未来 10 年工业机器人的年产值将达 3000 亿元人民币；服务机器人将从原来的 300 多万台增加到 1200 多万台，特种机器人（如：排爆机器人、医疗机器人等）发展的呼声也越来越高。另外，微软等 IT 企业，丰田、奔驰等汽车公司，甚至还有家具、卫生洁具企业都纷纷参与机器人的研制与应用。

美国和日本多年来引领国际机器人的发展方向，代表国际上机器人领域的最高科技水平。日本除了比较关注特种机器人和服务机器人以外，还注重中间件的研制，但近年来日本基本上在做模仿性的工作，突破性技术比较少。美国在机器人领域的技术开发方面，一直保持着世界领先地位，军用机器人是其主要的高附加值产业，目前世界销售的一万余台军用机器人之中，有 60% 来自美国，如近期研制成功的 Big Dog 军用机器人，能负重 100kg，行进速度跟人相当，每小时达到 5km，还能适应各种地形，即使是在侧面受到冲击时也能保持很好的系统稳定性。

在各种机器人中，工业机器人应用较早，发展最为成熟。同时，技术的不断进步一

直在引领着机器人学科的发展，使机器人的应用领域从工业机器人扩展到特种机器人和服务机器人等，机器人技术正越来越深刻地影响着我们的生活。机器人不但将在工厂、实验室与人一起工作，还将在车站、机场、码头、交通路口为人们指引路径、回答问题、帮助行人，机器人还将步入千家万户，为老人端茶送水，护理伤病人等。未来机器人会越来越广泛地进入人类社会，人类对机器人的依赖会如同现在依赖计算机一样，即使是短时间的离开都可能会造成很大不便。

机器人化是先进制造领域的重要标志和关键技术，针对先进制造业生产效率提高的诸多瓶颈问题，尤其是在汽车产业中，机器人得到了广泛的应用。如在毛坯制造（冲压、压铸、锻造等）、机械加工、焊接、热处理、表面涂覆、上下料、装配、检测及仓库堆垛等作业中，机器人都已逐步取代了人工作业。目前汽车制造业是所有行业中人均拥有机器人密度最高的行业，如2004年德国制造业中每一万名工人拥有机器人的数量为162台，而在汽车制造业中每一万名工人拥有机器人的数量则为1140台；意大利的这一数值更能说明问题，2004年意大利制造业中每一万名工人拥有辅助操作的机器人数量为123台，而在汽车制造业中每一万名工人拥有机器人的数量则高达1600台。中国机器人的数量仅为日本的18%，德国的35%；而在汽车制造业中，每万名工人中机器人的拥有量只有90台，日本有1600多台，美国有800多台。

在国外，应用于制造业的机器人取得了较显著进展，已成为一种标准设备而得到工业界广泛应用，从而也形成了一批在国际上较有影响力的、知名机器人公司，如德国的KUKA、瑞典的ABB、日本的安川等。据专家预测，机器人产业是继汽车、计算机之后出现的又一种新的大型高技术产业。据联合国欧洲经济委员会（UNECE）和国际机器人联合会（IFR）的统计，2002年至2004年，世界机器人市场年增长率平均在10%左右，2005年达到创纪录的30%，2007年全球机器人实际安装量达到650万台，比2006年增加3%，2008年全球机器人行业总销售量比2006年增长25%。无论在使用、生产还是出口方面，日本一直是全球领先者，目前已经有130余家专业的机器人制造商。中国机器人发展起步较晚，但工业机器人的需求量每年增长15%~20%，2012年的销售量为2.7万台；服务行业机器人的总量仅占全球的8%左右，但需求量在未来几年将翻倍。世界各国主要行业对机器人的需求分布如图1-1所示。

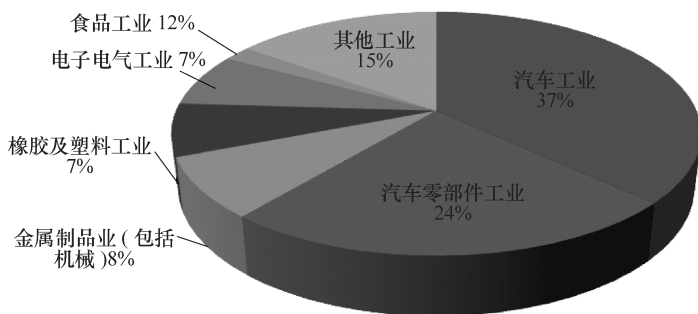


图 1-1 世界各国主要行业对机器人的需求分布

在发达国家,以工业机器人为基础的自动化生产线成套装备已成为自动化装备的主流及未来发展方向。汽车行业、电子电器行业、工程机械等行业大量使用机器人自动化生产线,以保证产品质量和生产效率。目前,典型的成套装备有:大型轿车壳体冲压自动化系统技术和成套装备,大型机器人车体焊装自动化系统技术和成套装备,电子电器等机器人柔性自动化装配及检测成套技术和装备,发动机、变速箱机器人装配自动化系统技术成套装备及板材激光拼焊成套装备等。这些机器人自动化成套装备的使用,大大推动了行业的快速发展。

从制造业的发展历程看,我国正处于工业化过程,生产手段必然要经历机械化、自动化、智能化、信息化的变革,工业制成品也将经历数量、质量、柔性低成本的发展阶段,目前制造业普遍需要技术和设备升级改造,以增强竞争力,提高经济效益,因此机器人产业的发展空间很大。

随着我国门户的逐渐开放,国内的机器人产业将面对越来越大的竞争与冲击,因此掌握国内机器人市场的实际情况,把握机器人与智能装备研究的相关进展,显得十分重要。我国的机器人从20世纪80年代“七五”科技攻关开始起步,在国家的扶持下,目前已基本掌握了机器人操作机的设计制造技术、控制系统硬件和软件设计技术、运动学和轨迹规划技术,生产了部分机器人关键元器件,开发出喷漆、弧焊、点焊、装配、搬运等机器人,其中有130多台套喷漆机器人在20余家企业的近30条自动喷漆生产线上获得规模应用,弧焊机器人已应用在汽车制造厂的焊装线上。我国现有机器人90%以上用于生产。在国内,机器人产业刚刚起步,但增长的势头非常强劲,经过20多年的发展已在产业化的道路上迈开了步伐。近几年,我国应用于制造业的机器人及自动化生产线和工程项目、相关产品的年销售额不断增长,机器人本体市场规模接近380亿元,再加上系统,工业机器人的市场规模将达到1140亿元。

我国的机器人产品生产企业比较少,目前沈阳新松机器人股份有限公司、哈尔滨博实自动化设备有限责任公司和北京机械工业自动化研究所工程中心是三家主要生产基地,每家企业年产值与国外企业相比仍有较大的差距,其中还包括一些机器人外围产品,没有形成规模化生产,规模经济并不突出。由于机器人在研制、设计和试验过程中,需要在运动学、动力学性能方面进行分析以及进行轨迹规划设计,而机器人又是多自由度、多连杆空间机构,其运动学和动力学问题十分复杂,计算难度和计算量都很大。若将机械手作为仿真对象,需运用计算机图形技术、CAD技术和机器人学理论在计算机中形成几何图形,并动画显示,然后对机器人的机构设计、运动学正反解分析、操作臂控制以及实际工作环境中的障碍避让和碰撞干涉等诸多问题进行模拟仿真,这样才可以很好地解决研发机器人过程中出现的问题。

从整体上来说,我国机器人产业还很薄弱,机器人研究仍然任重而道远。2012年,国内总共拥有工业机器人9.6万台,仅占全球总量123万台的7.8%,而日本为31万台,美国16.8万台。中国工业机器人主要靠进口,自主品牌研发不够,自主研发的机器人无论是质量还是数量距离国外先进技术还有很大差距,因而必须尽快发展壮大自主品牌及其自动化成套装备产业。由于机器人是最典型的机电一体化、数字化装备,技术

附加值很高，应用范围很广，作为先进装备制造业的支撑技术和信息化社会的新兴产业，将对未来生产和社会发展起着越来越重要的作用。随着国内企业自动化水平和人民生活需求水平的提高，机器人市场也会越来越大，这就给机器人研究、开发、生产者带来巨大商机。

国内机器人市场竞争越来越激烈，中国制造业面临着与国际接轨、参与国际分工的巨大挑战，加快机器人技术的研究开发与生产，即是抓住了这个历史机遇。国内机器人行业应该得到以下三方面的支持：第一，机器人技术是我国由制造大国向制造强国转变的主要手段和途径，政府对国产机器人应有更多的政策与经济支持，参考国外先进经验，加大技术投入与改造；第二，在国家的科技发展计划中，应该继续对智能机器人研究开发与应用给予大力支持，形成产品和自动化制造装备同步协调的新局面；第三，部分国产机器人技术水平已经与国外相当，企业采购机器人时不要盲目进口，应该综合评估，立足国产。

据资料显示，2008 年底我国制造业仅拥有 31400 台机器人，国产的不足千台，主要集中在汽车制造和汽车零部件制造领域。2012 年我国工业机器人销量为 2.7 万台，国产比例不足 10%。国内机器人研究在某些关键技术上有所突破，但还缺乏整体核心技术，尤其在自动控制、精加工和材料方面，具有中国知识产权的机器人很少，不少关键元器件至今尚不能自己生产或者性能不高，这些因素已经开始严重影响国产机器人做大做强的步伐。

目前，国际制造业中心正向中国转移，用信息化带动工业化、用高新技术改造传统产业已成为我国工业发展的必由之路。作为先进制造装备的典型代表的机器人必将有一个大的产业发展空间，市场前景广阔。

国内机器人潜在市场巨大，汽车、工程机械、电子、电机和金属加工等工业仍是应用机器人的主要领域。在这些领域，机器人的装机台数与实际需要相差甚远，而建筑、包装、空间、海洋、采矿（含海底采矿）、电力、农林和医疗等新的领域，机器人市场需求也是很大的。扩大机器人的应用领域是开拓国内机器人市场的必要举措之一。

开拓国内机器人市场的另一重要举措是出台扶持机器人产业的优惠政策。借鉴国外成功的经验，出台扶持政策，鼓励在恶劣工况、新建生产线和改造旧设备旧工艺中使用机器人，那么机器人的推广应用环境就会宽松得多。

## 1.2 我国机器人技术发展的趋势及急需解决的关键问题

### 1.2.1 我国机器人技术发展的趋势

随着计算机技术不断向智能化方向发展，机器人应用领域的不断扩展和深化以及在柔性制造系统（FMS）和计算机集成制造系统（CIMS）中的群体应用，工业机器人也在不断向智能化方向发展，以适应“敏捷制造”，满足多样化、个性化的需要，并适应多变的非结构环境作业，向非制造领域进军。

### 1. 感觉功能

感觉功能方面将实现多传感器信息的融合，以检测多变的外部环境，做出判断和决策，其实质类似于人的五官和身体的综合感觉功能，包括视觉、触觉、接近觉、压觉、听觉、味觉、嗅觉、温觉等。研究包括各类传感信息的采集及融合处理、传感器与驱动器一体化技术、感觉功能继承模块等。

### 2. 控制智能化

由引导示教向数字控制、离线编程发展，进而发展到进一步应用。随着系统化、集成化生产的发展，基于 PC 的开放式控制系统将是机器人控制和车间一级控制的发展方向。

### 3. 移动功能的智能化

为解决长距离搬运作业、大作业对象、多作业对象及极限作业等问题，需开发自主移动系统（包括滑动、滚动、行走、爬行、跳跃、飞行等）。

### 4. 系统应用与集成化

支持以人为核心的生产系统，实现生产系统中机器人群体协调功能、群智能和多机通信协议，开发能理解人的意志的“同事机器人”。国外专家预测，有可能 IP 多媒体系统（IMS）要走向多智能体系统 [MA (R) S]，而该系统中的“同事机器人”将成为操作人员不可或缺的伙伴。围绕着各种机器人与共存的诸多课题，正在兴起一门新学科“软机器人学”。

### 5. 安全可靠

由于大量不确定因素的存在，要实现智能化的安全可靠，机器人必须具有对各种意外情况的应变能力，及时采取预防措施和安全对策，包括硬件级、软件级、应用级和人机系统级的自诊断和自修复故障。

### 6. 微型化

向微型化发展，开发毫米级机器人，用于微加工、医学、宇宙和海洋开发等领域。就使用性和成本来看，毫米级最可行。

### 7. 多传感器信息融合与配置技术

机器人的传感器配置和融合技术，包括面向工艺过程的多传感器配置和融合技术，采用智能传感器的现场总线技术，面向工艺要求的新型传感器的研制。

机电一体化智能传感器，包括具有感知、自主运动、自清污（自调整、自适应）的机电一体化传感器研究；面向工艺要求的运动机构设计，实现检测和清污的自主运动；调节控制系统；机器人机构和控制在传感器设计中的应用。

## 1.2.2 急需解决的关键问题

目前，国际上一些大的机器人制造厂家，如德国 KUKA、瑞士 ABB、日本安川、FANUC、川崎重工等，以及与机器人有关的元器件、部件生产公司，都看准了中国市场，国内机器人市场面临国外机器人厂商的更大挑战。对此，必须加快研究步伐，抓住机遇，迎接挑战，促进发展。



目前，机器人发展急需解决的关键环节如下：

1) 增强企业研发实力和科研投资强度，投入先进的科研设备，促进科研和生产紧密联系，促进智能机器人与自动化工程技术科研成果的转化。

2) 自主开发高精度、高灵敏度、高可靠性、高安全性、使用方便的机器人产品，改变主要依赖进口的状态，增强自主创新能力，掌握自动化控制等核心技术。

3) 在目标选择方面，一方面要考虑国际机器人市场、技术发展动向；另一方面要考虑国家经济建设与社会发展的需求，特别是国有企业的技术改造，农业、能源、交通等产业以及基础设施和城市化建设、提高人民群众生活质量等需求。

## 第2章 机器人驱动、传动及传感系统主要部件

### 2.1 驱动系统主要部件

#### 2.1.1 舵机及舵机伺服控制

舵机主要由外壳、电路板、无核心电动机、齿轮组与电位器和驱动盘构成，如图2-1所示。其工作原理是由接收机发出信号给舵机，经由电路板上的集成电路（IC）判断转动方向，再驱动无核心电动机开始转动，通过减速齿轮将转矩传至摆臂，同时由位置检测器送回信号，判断是否已经到达定位点。位置检测器含有可变电阻，当舵机转动时电阻值随之改变，检测电阻值便可得知转动的角度。

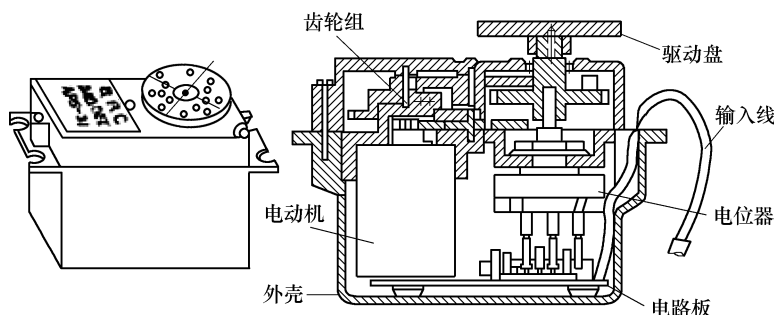


图 2-1 舵机的主要组成部分

为了适应不同的工作环境，有防水及防尘设计的舵机；因不同的负载需求，舵机的齿轮材料有金属和塑料两种。金属齿轮的舵机一般为大转矩、高速型，具有齿轮不会因负载过大而崩牙的优点。较高级的舵机安装球轴承，使得转动时能更轻快精准。

舵机的输入电源线共有三根，中间红色的是相线，一边黑色的是零线；这两根线给舵机提供最基本的能源保证，主要用于电动机的转动。另外一根线是控制信号线，一般为白色或橘黄色。电源有两种规格，一是4.8V，一是6.0V，分别对应不同的转矩标准。

舵机是一种位置伺服的驱动器，转动范围一般不超过180°，适用于那些需要角度不断变化并可以保持角的驱动当中。如机器人的关节、飞机的舵面等。也有一些特殊的舵机，转动范围可达到5周之多，主要用于模型帆船的收帆，俗称帆舵。

舵机是一种输入不同占空比的电压信号，输出并保持不同角度的执行器。如果采用开环控制，是不可能实现这个功能的，必须通过闭环控制系统才能保证舵机在各种负载

条件下都能够保持输出给定的角度。

这里对负载变化时舵机的内部伺服控制过程作简要说明。其流程如下：

1) 舵机的控制周期取决于其输入信号的周期，通常是 20ms。

2) 在一个控制周期中，首先检测安装在输出轴上的电位计，即旋转变阻器，通过测量该电位计的阻值，即可得到当前电动机输出轴的位置。

3) 当加在电动机轴上的负载（转矩）突然变大时，电动机会被转动，此时与电动机输出轴相连接的电位计也会转动，舵机内部的控制器会检测到这一变化。假设转动角度是  $d$ 。

4) 舵机内部的控制器会根据  $d$  的大小，给舵机的电动机增加输出电压  $V_p$ ，这是比例积分微分（PID）控制器的比例环节（P）起作用。增加电压后，舵机的输出转矩将增加，因此能抵消一部分增加的负载。

5) 假设这个增加转矩的舵机还是不够抵消全部的负载，舵机继续转动。这时，一方面控制器继续增加电动机的电压  $V_p$ ，另一方面随着时间的推移，PID 控制器的积分环节（I）起作用，会给电动机增加电压  $V_i$ ，最后电动机增加的电压是  $V_p + V_i$ 。

6) 如果负载很大，假设这个时候电动机输出轴还是与给定值有区别，随着时间的流逝，由于积分环节的作用， $V_i$  会越来越大，直到可以抵消负载为止，电动机输出轴将会回到给定的位置。

PID 控制器的微分环节（D）的工作过程不再详细描述。实际上，大多数舵机并不具有微分环节，因为对于简单的位置控制，具有 PI 调节器已经足够了。

## 2.1.2 步进电动机

### 1. 步进电动机概念与分类

步进电动机作为执行元件，是机电一体化的关键产品之一，广泛应用在各种自动化控制系统中，如图 2-2 所示。随着微电子和计算机技术的发展，步进电动机的需求量与日俱增，在各个国民经济领域都有应用。

步进电动机是一种将电脉冲转化为角位移的执行机构。当步进驱动器接收到一个脉冲信号时，就驱动步进电动机按设定的方向转动一个固定的角度（称为“步距角”），它的旋转是以固定的角度一步一步运行的。可以通过控制脉冲个数来控制角位移量，从而达到准确定位的目的；同时可以通过控制脉冲频率来控制电动机转动的速度和加速度，从而达到调速的目的。步进电动机可以作为一种控制用的特种电动机，利用其没有积累误差（精度为 100%）的特点，广泛应用于各种开环控制。

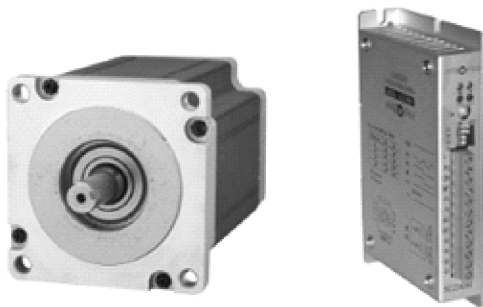


图 2-2 步进电动机及驱动器

现在比较常用的步进电动机有反应式步进电动机（VR）、永磁式步进电动机

(PM)、混合式步进电动机 (HB) 和单相式步进电动机等。

永磁式步进电动机一般为两相，转矩和体积较小，步进角一般为  $7.5^\circ$  或  $15^\circ$ 。

反应式步进电动机一般为三相，可实现大转矩输出，步进角一般为  $1.5^\circ$ ，但噪声和振动都很大。反应式步进电动机的转子磁路由软磁材料制成，定子上有多相励磁绕组，利用磁导的变化产生转矩。

混合式步进电动机混合了永磁式和反应式的优点，分为两相和五相。两相步进角一般为  $1.8^\circ$ ，五相步进角一般为  $0.72^\circ$ 。这种步进电动机的应用最为广泛，也是该机器人所选用的步进电动机。

## 2. 步进电动机的一些基本参数

(1) 电动机固有步距角 它表示控制系统每发一个步进脉冲信号，电动机所转动的角度。电动机出厂时给出了一个步距角的值，如 86BYG250A 型电动机给出的值为  $0.9^\circ/1.8^\circ$ （表示半步工作时为  $0.9^\circ$ ，整步工作时为  $1.8^\circ$ ），这个步距角可以称之为“电动机固有步距角”，它不一定是电动机实际工作时的真正步距角，真正的步距角和驱动器有关。

(2) 步进电动机的相数 相数是指电动机内部的线圈组数，目前常用的有二相、三相、四相、五相步进电动机。电动机相数不同，其步距角也不同，一般二相电动机的步距角为  $0.9^\circ/1.8^\circ$ 、三相的为  $0.75^\circ/1.5^\circ$ 、五相的为  $0.36^\circ/0.72^\circ$ 。在没有细分驱动器时，用户主要靠选择不同相数的步进电动机来满足自己步距角的要求。如果使用细分驱动器，则相数将变得没有意义，用户只需在驱动器上改变细分数，就可以改变步距角。

(3) 最大静转矩 最大静转矩也叫保持转矩，是指步进电动机通电但没有转动时，定子锁住转子的力矩。它是步进电动机最重要的参数之一，通常步进电动机在低速时的力矩接近保持转矩。由于步进电动机的输出力矩随速度的增大而不断衰减，输出功率也随速度的增大而变化，所以保持转矩就成了衡量步进电动机最重要的参数之一。比如，当人们说  $2\text{N} \cdot \text{m}$  的步进电动机，在没有特殊说明的情况下是指保持转矩为  $2\text{N} \cdot \text{m}$  的步进电动机。

(4) 定位转矩 定位转矩是指步进电动机没有通电的情况下，定子锁住转子的力矩。由于反应式步进电动机的转子不是永磁材料制造，所以它没有定位转矩。

## 3. 步进电动机的特征

(1) 高精度的定位 步进电动机最大特征即是能够简单地做到高精度的定位控制。以 5 相步进电动机为例：其定位基本单位（分辨率）为  $0.72^\circ$ （整步）/ $0.36^\circ$ （半步），是非常小的；停止定位精度误差皆在  $\pm 3'$ （ $\pm 0.05^\circ$ ）以内，且无累计误差，故可达到高精度的定位控制。步进电动机的定位精度取决于电动机本身的机械加工精度。

(2) 位置及速度控制 步进电动机在输入脉冲信号时，可以依输入的脉冲数做固定角度的回转，进而得到灵活的角度控制（位置控制），并可得到与该脉冲信号周波数（频率）成比例的回转速度。

(3) 具有定位保持力 步进电动机在停止状态下（无脉波信号输入时），仍具有励

磁保持力,故即使不依靠机械式的制动,也能做到停止位置的保持。

(4) 动作灵敏 步进电动机因为加速性能优越,所以可做到瞬时起动、停止、快速的正反转和频繁的定位动作。

(5) 开回路控制、不必依赖传感器定位 步进电动机的控制系统构成简单,不需要速度感应器(编码器、转速发电机)及位置传感器,就能以输入的脉波做速度及位置的控制。也因其属于开路控制,故最适合于短距离、高频度、高精度的定位控制的场合下使用。

(6) 中低速时具备高转矩 步进电动机在中低速时具有较大的转矩,故能够较同级伺服电动机提供更大的扭力输出。

(7) 小体积、大功率 步进电动机体积小、转矩大,尽管在狭窄的空间内,仍可顺利安装,并提供高转矩输出。

#### 4. 步进电动机驱动器

步进电动机是一种感应电动机,用分时供电的多相时序控制电流为步进电动机供电,它才能正常工作。驱动器就是为步进电动机分时供电的,多相时序控制器。

步进电动机的细分技术实质上是一种电子阻尼技术,其主要目的是减弱或消除步进电动机的低频振动,提高电动机的运转精度只是细分技术的一个附带功能。比如对于步进角为 $1.8^\circ$ 的两相混合式步进电动机,如果细分驱动器的细分数设置为4,那么电动机的运转分辨率为每个脉冲冲 $0.45^\circ$ ,电动机的精度能否达到或接近 $0.45^\circ$ ,还取决于细分驱动器的细分电流控制精度等因素。不同厂家的细分驱动器精度可能差别很大;细分数越大精度越难控制。

#### 5. 步进电动机的选择与应用

(1) 步进电动机的选择 步进电动机的性能由步距角(涉及相数)、最大静转矩及电流三大要素决定。一旦三大要素确定,步进电动机的型号便确定下来了。

1) 步距角的选择:电动机的步距角取决于负载精度的要求,将负载的最小分辨率(当量)换算到电动机轴上,每个当量电动机应走多少角度(包括减速)。电动机的步距角应等于或小于此角度。目前市场上步进电动机的步距角一般有 $0.36^\circ/0.72^\circ$ (五相电动机)、 $0.9^\circ/1.8^\circ$ (二、四相电动机)、 $1.5^\circ/3^\circ$ (三相电动机)等。

2) 最大静转矩的选择:步进电动机的动态转矩很难立刻确定,往往先确定电动机的最大静转矩。静转矩选择的依据是电动机工作的负载,而负载可分为惯性负载和摩擦负载两种。单一的惯性负载和单一的摩擦负载是不存在的。直接起动时(一般由低速)两种负载均要考虑,加速起动时主要考虑惯性负载,恒速运行时只要考虑摩擦负载。一般情况下,最大静转矩应为摩擦负载的2~3倍。最大静转矩一旦选定,电动机的机座及长度(几何尺寸)便能确定下来。

3) 电流的选择:最大静转矩一样的电动机,由于电流参数不同,其运行特性差别很大,可依据矩频特性曲线图,判断电动机的电流(参考驱动电源及驱动电压)。

4) 转矩与功率换算:步进电动机一般可在较大范围内调速,其功率是变化的,一般只用转矩来衡量,转矩与功率换算公式如下:



$$P = \Omega M, \Omega = 2\pi n/60$$

$$P = 2\pi nM/60$$

式中  $P$ ——功率 (W);

$\Omega$ ——角速度 (rad/s);

$n$ ——转速 (r/min);

$M$ ——转矩 (N·m)。

$$P = 2\pi fM/400 (\text{半步工作})$$

式中  $f$ ——每秒脉冲数 (简称 PPS)。

### (2) 应用中的注意

1) 步进电动机应用于低速场合——转速不超过 1000r/min, (0.9°时 6666 脉/s), 最好在 1000~3000 脉/s (0.9°) 间使用, 可通过减速装置使其在此范围工作, 此时电动机工作效率高, 噪声低。

2) 步进电动机最好不使用整步状态, 整步状态时振动大。

3) 转动惯量大的负载应选择大机座号电动机。

4) 电动机在较高速或大惯量负载时, 一般不在工作速度起动, 而采用逐渐升频提速, 原因是: 一电动机不失步; 二可以减少噪声, 同时可以提高停止时的定位精度。

5) 要求高精度时, 应通过机械减速、提高电动机速度, 或采用高细分数的驱动器来达到, 也可以采用 5 相电动机, 不过其整个系统的价格较贵, 生产厂家少。

6) 电动机不应在振动区内工作, 如果必须在振动区工作, 可通过改变电压、电流或加一些阻尼来解决。

7) 电动机在 600 脉/s (0.9°) 以下工作, 应采用小电流、大电感、低电压来驱动。

8) 应遵循先选电动机后选驱动器的原则。

## 2.1.3 伺服电动机

### 1. 定义

伺服电动机是在伺服系统中控制机械元件运转的发动机, 是一种辅助电动机间接变速装置。

### 2. 原理

伺服电动机主要靠脉冲来定位, 基本上可以这样理解, 伺服电动机接收到 1 个脉冲, 就会旋转 1 个脉冲对应的角度, 从而实现位移。因为伺服电动机本身具备发出脉冲的功能, 所以伺服电动机每旋转一个角度, 都会发出对应数量的脉冲, 这样, 和伺服电动机接受的脉冲形成了呼应, 或者叫闭环, 如此一来, 系统就会知道发了多少脉冲给伺服电动机, 同时又收了多少脉冲回来, 这样, 就能够很精确地控制电动机的转动, 从而实现精确的定位, 定位精度可以达到 0.001mm。

### 3. 分类

伺服电动机分为直流伺服电动机和交流伺服电动机。直流伺服电动机分为有刷和无刷电动机。

有刷电动机成本低，结构简单，起动转矩大，调速范围宽，控制容易；需要维护，但维护方便（换碳刷）；产生电磁干扰，对环境有要求。因此它可以用于对成本敏感的普通工业和民用场合。

无刷电动机体积小，重量轻，出力大，响应快，速度高，惯量小，转动平滑，转矩稳定。控制复杂，容易实现智能化，其电子换相方式灵活，可以方波换相或正弦波换相。电动机免维护，效率很高，运行温度低，电磁辐射很小，寿命长，可用于各种环境。

交流伺服电动机也是无刷电动机，分为同步电动机和异步电动机，目前运动控制中一般都用同步电动机，它的功率范围大，可以做到很大的功率。大惯量，最高转动速度低，且随着功率增大而快速降低。因而适合做低速平稳运行的应用。交流伺服电动机及驱动器，如图 2-3 所示。

#### 4. 步进电动机和交流伺服电动机性能比较

(1) 控制精度不同 两相混合式步进电动机步距角一般为  $3.6^\circ$ 、 $1.8^\circ$ 。交流伺服电动机的控制精度由电动机轴后端的旋转编码器保证。以松下全数字式交流伺服电动机为例，对于带分辨率为 2500 线增量型编码器的电动机而言，由于驱动器内部采用了四倍频技术，其脉冲当量为  $360^\circ/10000 = 0.036^\circ$ ，是步距角为  $1.8^\circ$  的步进电动机的脉冲当量的  $1/50$ 。对于带 17 位绝对型编码器的电动机而言，驱动器每接收  $2^{17} = 131072$  个脉冲电动机转一圈，即其脉冲当量为  $360^\circ/131072 = 9.89'$ ，是步距角为  $1.8^\circ$  的步进电动机的脉冲当量的  $1/655$ 。



图 2-3 交流伺服电动机及驱动器

(2) 低频特性不同 步进电动机在低速时易出现低频振动现象。振动频率与负载情况和驱动器性能有关，一般认为振动频率为电动机空载起跳频率的一半。这种由步进电动机的工作原理所决定的低频振动现象对于机器的正常运转非常不利。当步进电动机工作在低速时，一般应采用阻尼技术来克服低频振动现象，比如在电动机上加阻尼器，或驱动器上采用细分技术等。

交流伺服电动机运转非常平稳，即使在低速时也不会出现振动现象。交流伺服系统具有共振抑制功能，可涵盖机械的刚性不足，并且系统内部具有频率解析机能，可检测出机械的共振点，便于系统调整。

(3) 矩频特性不同 步进电动机的输出力矩随转速升高而下降，且在较高转速时会急剧下降，所以其最高工作转速一般在  $300 \sim 600 \text{ r/min}$ 。交流伺服电动机为恒力矩输出，即在其额定转速（一般为  $2000 \text{ r/min}$  或  $3000 \text{ r/min}$ ）以内，都能输出额定转矩，在额定转速以上为恒功率输出。

(4) 过载能力不同 步进电动机一般不具有过载能力。交流伺服电动机具有较强的过载能力。以松下交流伺服系统为例，它具有速度过载和转矩过载能力。其最大转矩

为额定转矩的三倍，可用于克服惯性负载在起动瞬间的惯性力矩。步进电动机因为没有这种过载能力，在选型时为了克服这种惯性力矩，往往需要选取较大转矩的电动机，而机器在正常工作期间又不需要那么大的转矩，便出现了力矩浪费的现象。

(5) 运行性能不同 步进电动机的控制为开环控制，起动频率过高或负载过大易出现丢步或堵转的现象，停止时转速过大易出现过冲的现象，所以为保证其控制精度，应处理好升、降速问题。交流伺服驱动系统为闭环控制，驱动器可直接对电动机编码器反馈信号进行采样，内部构成位置环和速度环，一般不会出现步进电动机的丢步或过冲的现象，控制性能更为可靠。

(6) 速度响应性能不同 步进电动机从静止加速到工作转速（一般为每分钟几百转）需要 200 ~ 400ms。交流伺服系统的加速性能较好，以松下 MSMA 400W 交流伺服电动机为例，从静止加速到其额定转速 3000r/min 仅需几毫秒，可用于要求快速起停的控制场合。

因此交流伺服系统在许多性能方面都优于步进电动机。但在一些要求不高的场合也经常用步进电动机来做执行电动机。

## 2.2 传动系统主要部件

### 2.2.1 谐波减速器

谐波减速器由三个基本构件组成。

1) 谐波发生器（简称波发生器）是由凸轮（通常为椭圆形）及薄壁轴承组成，随着凸轮转动，薄壁轴承的外环作椭圆形变形运动（弹性范围内）。

2) 刚轮是刚性的内齿轮。

3) 柔轮是薄壳形元件，具有弹性的外齿轮。

以上三个构件可以任意固定一个，成为减速传动及增速传动；或者发生器、刚轮主动，柔轮从动，成为差动机构（即转动的代数合成）。

谐波齿轮传动工作过程如图 2-4 所示，当波发生器为主动时，凸轮在柔轮内转动，使长轴附近柔轮及薄壁轴承发生变形（可控的弹性变形），这时柔轮的齿就在变形的过程中进入（啮合）或退出（啮出）刚轮的齿间，在波发生器的长轴处处于完全啮合，而短轴方向的齿就处于完全的脱开状态。

波发生器通常为椭圆形的凸轮，凸轮位于薄壁轴承内。薄壁轴承装在柔轮内，此时柔轮由原来的圆形而变成椭圆形，椭圆长轴两端的柔轮与之配合的刚轮齿则处于完全啮

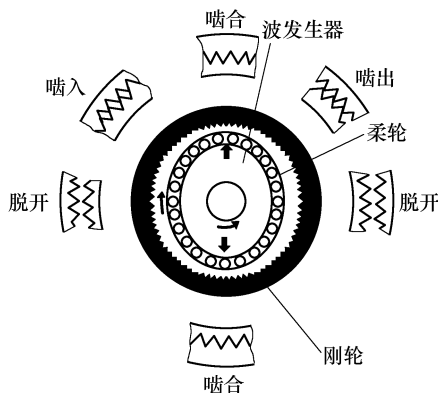


图 2-4 谐波齿轮传动工作过程

合状态，即柔轮的外齿与刚轮的内齿沿齿高啮合。这是啮合区，一般有 30% 左右的齿处在啮合状态；椭圆短轴两端的柔轮齿与刚轮齿处于完全脱开状态，简称脱开；在波发生器长轴和短轴之间的柔轮齿，沿柔轮周长的不同区段内，有的逐渐退出刚轮齿间，处在半脱开状态，称之为啮出；有的逐渐进入刚轮齿间，处在半啮合状态，称之为啮入。

波发生器在柔轮内转动时，迫使柔轮产生连续的弹性变形，此时波发生器的连续转动，就使柔轮齿的啮入—啮合—啮出—脱开这四种状态循环往复不断地改变各自原来的啮合状态。这种现象称之为错齿运动，正是这一错齿运动，使减速器可以将输入的高速转动变为输出的低速转动。

对于双波发生器的谐波齿轮传动，当波发生器顺时针转动  $1/8$  周时，柔轮齿与刚轮齿就由原来的啮入状态而成啮合状态，而原来脱开状态就成为啮入状态。同样道理，啮出变为脱开，啮合变为啮出，这样柔轮相对刚轮转动（角位移）了  $1/4$  齿；同理，波发生器再转动  $1/8$  周时，重复上述过程，这时柔轮位移一个齿距。依次类推，波发生器相对刚轮转动一周时，柔轮相对刚轮的位移为两个齿距。

柔轮齿和刚轮齿在节圆处啮合过程就如同两个纯滚动（无滑动）的圆环一样，两者在任何瞬间，在节圆上转过的弧长必须相等。由于柔轮比刚轮在节圆周长上少了两个齿距，所以柔轮在啮合过程中，就必须相对刚轮转过两个齿距的角位移，这个角位移正是减速器输出轴的转动，从而实现了减速的目的。

波发生器的连续转动，迫使柔轮上的一点不断地改变位置，这时在柔轮的节圆的任一点，随着波发生器角位移的过程，形成一个上下左右相对称的和谐波，故称之为“谐波”。

谐波齿轮传动的特点：

- 1) 传动比大、单级传动比为  $70 \sim 320$ 。
- 2) 侧隙小。由于其啮合原理不同于一般齿轮传动，侧隙很小，甚至可以实现无侧隙传动。
- 3) 精度高。同时啮合齿数达到总齿数的 20% 左右，在相差  $180^\circ$  的两个对称方向上同时啮合，因此误差被平均化，从而达到高运动精度。
- 4) 零件数少、安装方便。仅有三个基本部件，且输入轴与输出轴为同轴线，因此结构简单，安装方便。
- 5) 体积小、重量轻。与一般减速器比较，输出力矩相同时，通常其体积可减小  $2/3$ ，重量可减小  $1/2$ 。
- 6) 承载能力大。因同时啮合齿数多，柔轮又采用了高疲劳强度的特殊钢材，从而获得了高的承载能力。
- 7) 效率高。在齿的啮合部分滑移量极小，摩擦损失少。即使在高速比情况下，还能维持高的效率。
- 8) 运转平稳。周向速度低，又实现了力的平衡，故噪声低、振动小。

9) 利用其柔性的特点,可向密闭空间传递运动。这一点是其他任何机械传动无法实现的。

### 2.2.2 同步齿形带

同步齿形带是通过带齿与轮齿的啮合传递运动和动力,如图2-5所示。与摩擦型带传动相比,同步齿形带传动兼有带传动、链传动和齿轮传动的一些特点,与一般带传动相比具有以下特点:

- 1) 传动比准确,同步齿形带传动是啮合传动,工作时无滑动。
- 2) 传动效率高,可达98%以上,节能效果明显。
- 3) 不需依靠摩擦传动,预紧张力小,对轴和轴承的作用力小,带轮直径小,所占空间小,重量轻,结构紧凑。
- 4) 传动平稳,动态特性良好,能吸振,噪声小。
- 5) 齿形带较薄,允许线速度高,可达50m/s。
- 6) 使用广泛,传递功率由几瓦至数千瓦,速比可达10左右。
- 7) 使用保养方便,不需要润滑,耐油、耐磨性和抗老化性好,还能在高温、灰尘、水及腐蚀介质等恶劣环境中工作。
- 8) 安装要求较高,两带轮轴线平行度要高,中心距要求严格。
- 9) 带和带轮的制造工艺复杂、成本高。尽管如此,同步带传动不失为一种十分经济的传动装置,现已广泛用于要求精密定位的各种机械传动中。

### 2.2.3 行星齿轮减速器

行星齿轮减速器是比较典型的减速器之一,相对尺寸较小,容易获得大的速比。特点是低噪声、高精度、安装简单、效率高。

行星齿轮减速器的传动机构是齿轮,其结构简图很简单,有一大一小两个圆,两圆同心,在两圆之间的环形部分有另外三个小圆,所有的圆中最大的一个是内齿环,其他四个小圆都是齿轮,中间那个叫太阳轮,另外三个小圆叫行星轮,如图2-6所示。电动机带动减速器的太阳轮,太阳轮再驱动支撑在内齿环上的行星轮,行星轮通过其与外齿环的啮合传动,驱动与外齿环相连的输出轴,就达到了减速的目的,减速比与齿轮系的规格有关。

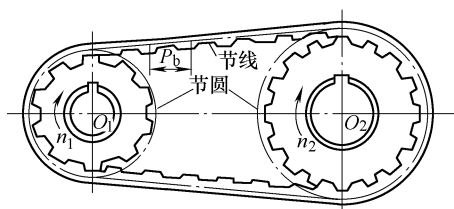


图 2-5 同步齿形带传动结构

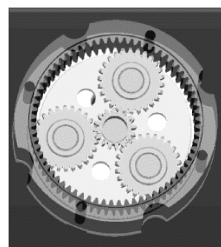


图 2-6 行星减速器结构



## 2.3 传感系统主要部件

### 2.3.1 红外测距传感器

红外测距传感器是以红外线为介质的测量系统，按照功能可分成五类：①辐射计，用于辐射和光谱测量；②搜索和跟踪系统，用于搜索和跟踪红外目标，确定其空间位置并对它的运动进行跟踪；③热成像系统，可产生整个目标红外辐射的分布图像；④红外测距和通信系统；⑤混合系统，是指以上各类系统中的两个或者多个的组合。按探测机理可分为光子探测器和热探测器。红外传感技术已经在现代科技、国防和工农业等领域获得了广泛的应用。

红外测距传感器发射出一束红外光，照射到物体后形成一个反射的过程，反射到传感器后信号被接收，然后利用 CCD 图像处理发射与接收的有关时间差的数据。经信号处理器处理后计算出物体的距离。这不仅可以用于自然表面，也可用于加反射板，测量距离远，具有很高的频率响应，适合于恶劣的工业环境。

红外测距传感器的特点：

- 1) 远距离测量，在无反光板和反射率低的情况下能测量较远的距离。
- 2) 有同步输入端，可多个传感器同步测量。
- 3) 测量范围广，响应时间短。
- 4) 外形设计紧凑，易于安装，便于操作。

日本夏普公司推出了一系列的红外测距传感器，用来测量前方物体和机器人之间的距离。这些传感器体积小（仅有手指大小）、重量轻（不到 10g）、接口简单，用于微型机器人的测距是非常理想的选择。夏普 GP2D12 红外测距传感器实物和工作原理如图 2-7 所示。

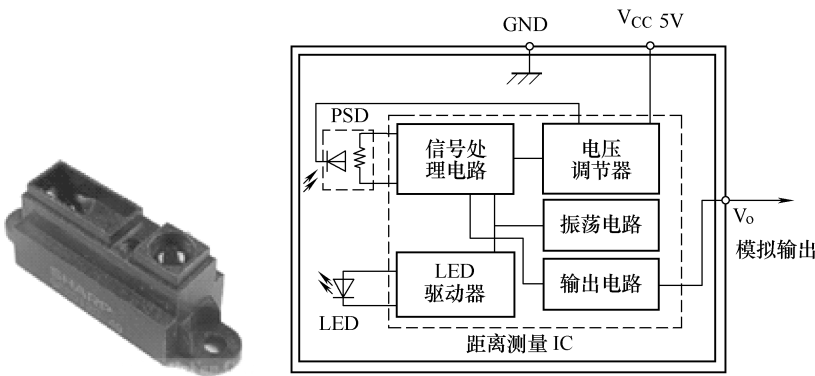


图 2-7 夏普 GP2D12 红外测距传感器实物和工作原理框图

### 2.3.2 激光测距传感器

传统的激光测距传感器的工作原理：由激光二极管对准目标发射激光脉冲，经目标



反射后激光向各方向散射，部分散射光返回到传感器的接收器，被光学系统接收后成像到雪崩光敏二极管上。雪崩光敏二极管是一种内部具有放大功能的光学传感器，能检测极其微弱的光信号，记录并处理从光脉冲发出到返回被接收所耗费的时间，即可测定目标距离。

激光传感器必须极其精确地测定传输时间，因为光速太快，光速约为  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ，要想使分辨率达到  $1\text{mm}$ ，测距传感器的电子电路必须能分辨出以下极短的时间： $0.001\text{m} \times (3 \times 10^8 \text{ m/s}) = 3\text{ps}$ 。要分辨出  $3\text{ps}$  的时间，这是对电子技术提出的过高要求，实现起来造价太高。

但是如今的激光传感器巧妙地避开了这一难题，利用一种简单的统计学原理，即平均法实现了  $1\text{mm}$  的分辨率，并且能保证响应速度。

现代激光测距传感器测量原理：是光学三角法，半导体激光器发出的光束被镜片聚焦到被测物体，反射光被镜片收集，投射到 CMOS 阵列上；信号处理器通过三角函数计算阵列上的光点位置得到距物体的距离。

在很多场合，需要精确地感知机器人周围的环境，不仅仅是为了避开障碍物，更是为了得到周围环境的精确信息，例如画出周围环境的平面电子地图，并由此确定机器人所处的位置。对于很多研究移动机器人的专家来讲，同步定位与地图构建（SLAM）是一个相当重要的研究课题。

对于这类应用，超声声呐和红外测距传感器都难以胜任。声呐的问题主要是两点：一是测量距离有限，对于尺寸较大的环境无法探测到四周；二是由于多次反射会带来串扰，严重影响测量的精度。这种情况下激光扫描测距传感器（激光雷达）是最理想的传感器，其优点主要有以下几点：

- 1) 测量范围广，扫描频率高。
- 2) 精度高。由于激光的方向性非常好，且能量集中，可以获得很高的精度。

这类传感器的原理通常是利用旋转的激光光源，经过反射镜反射到环境中，反射光束被传感器的敏感元件接收到，通过计算发射光束和接收光束的时间差来达到测距的目的。SICK LMS200 激光雷达的外形及工作原理如图 2-8 所示。

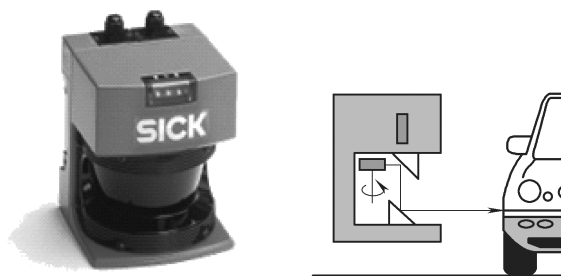


图 2-8 SICK LMS200 激光雷达外形及工作原理图

激光雷达的优点很多，原理、结构简单，但是缺点也很明显：价格昂贵，尺寸大，整机较重。激光测距主要用于军事和科学研究方面，在工业自动化方面很少见，因为其

售价太高，一般在几千美元。

### 2.3.3 旋转编码器

旋转编码器是一种角位移传感器，分为光电式、接触式和电磁式三种。光电式旋转编码器是闭环控制系统中最常用的位置传感器，通过光电转换，可将输出轴的角位移、角速度等机械量转换成相应的电脉冲以数字量输出（REP），输出方式有单路和双路两种，技术参数主要有每转脉冲数（几十个到几千个）和供电电压等。旋转编码器还可分为增量式和绝对式两种。增量式编码器是将位移转换成周期性的电信号，再把这个电信号转变成计数脉冲，用脉冲的个数表示位移的大小。绝对式编码器的每一个位置对应一个确定的数字码，它的示值只与测量的起始和终止位置有关，而与测量的中间过程无关。

常见旋转增量式编码器外形如图 2-9 所示。其转动时输出脉冲，通过计数设备记录其位置信息，当编码器不动或停电时，依靠计数设备的内部记忆来记住位置信息。因此当通电工作时，编码器输出脉冲过程中不能有任何干扰，那样会丢失脉冲，当停电时，编码器不能有任何移动，否则计数设备记忆的零点就会偏移，而且这种偏移的量对工作人员来说是无从知道的，只有错误的生产结果出现后才能知道。解决的方法是增加参考点，编码器每经过参考点，将参考位置修正进计数设备的记忆位置。在参考点以前，是不能保证位置的准确性的。为此，在工业控制中就有每次操作先找参考点，开机找零等操作过程。

比如，打印机、扫描仪的定位就是用的增量式编码器原理。每次开机，我们都能听到一阵响声，它在找参考零点，然后才工作。这样的方法对有些工业控制项目较为不便，甚至不允许开机找零（开机后就要知道准确位置），于是就有了绝对式编码器的出现。

常用绝对式编码器外形如图 2-10 所示，其光码盘上有许多道刻线，每道刻线依次以 2 线、4 线、8 线、16 线，…编排，在编码器的每一个位置，通过读取每道刻线的通、暗，获得一组从 2 的零次方到 2 的  $n-1$  次方的唯一的二进制编码（格雷码），称为  $n$  位绝对编码器。这样的编码器是由光码盘的机械位置决定的，它不受停电、电磁干扰的影响。



图 2-9 旋转增量式编码器外形



图 2-10 绝对式编码器外形

绝对式编码器能提供运转角度范围内的绝对位置信息，也就是表示精确位置的一种模式或编码。与之相比，增量式编码器则可为每个运动增量提供输出脉冲，为了计算绝对位置，增量式编码器通常需要集成一个独立的通道——索引通道，在每次旋转到定义的零点或原点位置时提供一个脉冲，通过来自这个原点的脉冲，计算出绝对位置，一旦断电，安装了增量式编码器的系统必须在重新设置机械原点之后，才能再一次恢复绝对位置。

绝对式编码器的工作原理如图 2-11 所示。图 2-11a 示意了从发光管经过分光滤镜等光学组件，通过编码盘的透射光被光学敏感器件检测到的原理。图 2-11b 是一个 8 位（256 点分辨率）绝对式光码盘的示意图，光码盘具有 8 个同心圆，分别代表 8 个有效位，黑色表示不透光，白色表示透光，发光管发出的光线经过分光组件后变成 8 组平行光，穿过光码盘的光投射到光学敏感器件上就可以得到编码盘当前的角度信息。

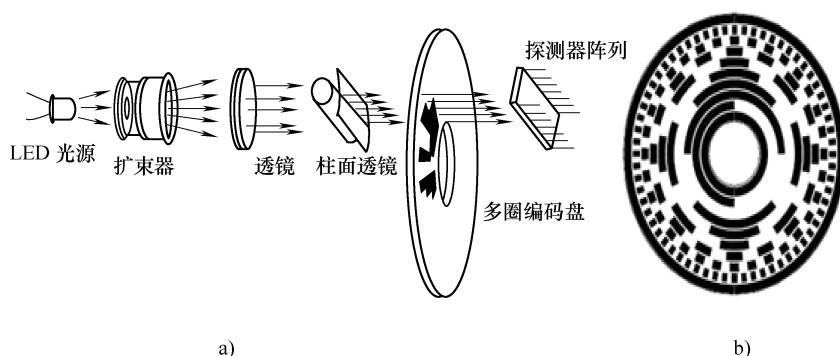


图 2-11 绝对编码器的工作原理

绝对式编码器因其高精度，故输出位数较多，又因仍采用并行输出，所以每一位输出信号必须确保连接很好，对于较复杂工况还要进行隔离，连接电缆芯数多，由此带来诸多不便并降低了可靠性。因此绝对编码器在多位数输出时，一般选用串行输出或总线型输出，德国生产的绝对式编码器最常用的是同步串行输出（SSI）。

绝对式旋转编码器的机械安装有高速端安装、低速端安装、辅助机械装置安装等多种形式。

1) 高速端安装：安装于电动机转轴端（或齿轮连接），此方法优点是分辨率高，由于多圈编码器有 4096 圈，电动机转动圈数在此量程范围内，可用足量程而提高分辨率，缺点是运动物体通过减速齿轮后，来回行程有齿轮间隙误差，一般用于单向高精度控制定位，例如轧钢的辊缝控制。另外编码器直接安装于高速端，电动机抖动必须较小，不然易损坏编码器。

2) 低速端安装：安装于减速齿轮后，如卷扬钢丝绳卷筒的轴端或最后一节减速齿轮轴端，此方法已无齿轮来回行程间隙，测量较直接，精度较高，一般测量长距离定位，例如各种提升设备，送料小车定位等。

目前机器人等伺服系统上广泛应用的是增量式编码器，绝对式编码器在定位方面明显地优于增量式编码器，已经越来越多地应用于工业控制定位中，但绝对式编码器也有

成本较高等缺点。

### 2.3.4 光电开关传感器

光电开关传感器也叫光电接近开关，它是利用被检测物对光束的遮挡或反射，由同步回路选通电路，从而检测有无物体。不限于金属，所有能反射光线的物体均可被检测。光电开关将发射器上的输入电流转换为光信号射出，接收器再根据接收到的光线的强弱或有无对目标物体进行探测，工作原理如图 2-12 所示。多数光电开关选用的是波长接近可见光的红外线光波型，因此也称为红外开关。

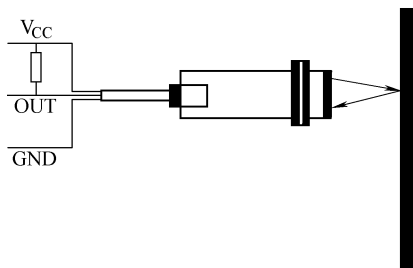


图 2-12 光电开关传感器工作原理

#### 1. 漫反射式光电开关

漫反射式光电开关是一种集发射器和接收器

于一体的传感器，当有被检测物体经过时，物体将光电开关发射器发射的足够量的光线反射到接收器，于是光电开关就产生了开关信号。当被检测物体的表面光亮或其反光率极高时，漫反射式的光电开关是首选的检测模式。其主要特征如下：

- 1) 有效作用距离由目标的反射能力、表面性质和颜色决定。
- 2) 较小的装配开支，当开关由单个元件组成时，通常可以达到粗定位。
- 3) 采用背景抑制功能调节测量距离。
- 4) 对目标上的灰尘敏感，对目标反射性能的变化敏感。

#### 2. 镜面反射式光电开关

镜面反射式光电开关集发射器与接收器于一体，光电开关发射器发出的光线经过反射镜反射回接收器，当被检测物体经过且完全阻断光线时，光电开关就产生了检测开关信号。其主要特征如下：

- 1) 能辨别不透明的物体。
- 2) 借助反射镜部件，形成较大的有效距离范围。
- 3) 不易受干扰，可以可靠地使用在野外或者有灰尘的环境中。

#### 3. 对射式光电开关

对射式光电开关包括在结构上相互分离且光轴相对放置的发射器和接收器，发射器发出的光线直接进入接收器，当被检测物体经过发射器和接收器之间且阻断光线时，光电开关就产生了开关信号。当检测物体为不透明时，对射式光电开关是最可靠的检测装置。其主要特征如下：

- 1) 能辨别不透明的反光物体。
- 2) 有效距离大，因为光束单次跨越感应距离。
- 3) 不易受干扰，可以可靠地使用在野外或者有灰尘的环境中。
- 4) 装置的消耗高，两个单元都必须敷设电缆。

#### 4. 槽式光电开关

槽式光电开关通常采用标准的 U 形结构,发射器和接收器分别位于 U 形槽的两边,并形成一光轴,当被检测物体经过 U 形槽且阻断光轴时,光电开关就产生了开关信号。槽式光电开关比较适合检测高速运动的物体,并且能分辨透明与半透明物体,使用安全可靠。

#### 5. 光纤式光电开关

光纤式光电开关采用塑料或玻璃光纤传感器来引导光线,可以对距离远的物体进行检测。通常光纤传感器分为对射式和漫反射式。

#### 6. 红外开关

红外开关是红外线光电开关的简称,利用被检测物体对红外线光束的遮光或反射,由同步回路选通而检测有无障碍物,不限于金属,对所有能反射光线的物体均可检测。现有的光电传感器优先使用的是波长  $780\text{nm} \sim 3\mu\text{m}$  的近红外线,并已有比较稳定的集成化产品,与数字电路的接口也非常简单。

光电开关输出是开关量,只能判断在测量距离内有无障碍物,不能给出障碍物的实际距离。但是该传感器带有一个灵敏度调节旋钮,可以调节传感触发的距离。

### 2.3.5 接近开关

接近开关也叫近接开关,又称无触点行程开关,它除可以完成行程控制和限位保护外,还是一种非接触型的检测装置,用于检测零件尺寸和测速等,也可用于变频计数器、变频脉冲发生器、液面控制和加工程序的自动衔接等。它是一种非接触传感器,用来代替传统的微动开关等机械式触觉传感器。由于接近开关不需要接触被测物体,所以其特点有工作可靠、寿命长、功耗低、复定位精度高、操作频率高以及适应恶劣的工作环境等。

因为位移传感器可以根据不同的原理和不同的方法做成,而不同的位移传感器对物体的“感知”方法也不同,所以常见的接近开关有以下几种。

#### 1. 电感式接近开关

这种开关有时也叫涡流式接近开关。它是利用导电物体在接近这个能产生电磁场的接近开关时,使物体内部产生涡流,这个涡流反作用到接近开关,使开关内部电路参数发生变化,由此识别出有无导电物体移近,进而控制开关的通或断。这种接近开关所能检测的物体必须是导电体。

电感式接近开关由三大部分组成:振荡器、开关电路及放大输出电路。

电感式接近开关只能感测导电物体,无法感测塑料、木材等非导电材料。其典型有效距离为  $1 \sim 20\text{mm}$ 。图 2-13 为一种电感式接近开关的外形图。

#### 2. 电容式接近开关

这种开关的测量部件通常是构成电容器的一个极板,而另一个极板是开关的外壳,这个外壳在测量过程中通常是接地或与设备的机壳相连接。当有物体移向接近开关时,不论是否为导体,由于它的接近,使电容的介电常数发生变化,从而使电容量发生变化,和测量头相连的电路状态也随之发生变化,由此便可控制开关的接通或断开。这种接近开关检测的对象不限于导体,可以是绝缘的液体或粉状物等。通常市场上常见的电



容式接近开关检测距离约为 1 ~ 20mm。图 2-14 为一种电容式接近开关的外形图。



图 2-13 电感式接近开关的外形图



图 2-14 电容式接近开关的外形图

### 3. 霍尔效应接近开关

霍尔元件是一种磁敏元件，利用霍尔元件做成的开关，叫作霍尔效应接近开关，简称霍尔开关。当磁性物件移近霍尔开关时，开关检测面上的霍尔元件因产生霍尔效应而使开关内部电路状态发生变化，由此识别附近有磁性物体存在，进而控制开关的通或断。这种接近开关的检测对象必须是磁性物体。通常市场上常见的霍尔效应接近开关的检测距离约为 10mm 左右。图 2-15 所示为一种霍尔效应接近开关的外形图。

#### 2.3.6 磁性开关

这里讲到的磁性开关不是 2.3.5 节中提到的霍尔效应接近开关。之前所介绍的电感式接近开关、电容式接近开关和霍尔效应接近开关都是有源传感器，必须有电源才能工作，这里讲到的磁性开关更类似于干簧管，只有两个端子。如果有磁性物体接近，两个端子之间的电阻为零，即导通；一旦磁性物体远离，两个端子就断开，即电阻无穷大。这种开关不需要电源，通过磁力感应控制开关的通断状态。当磁或者铁质触发器靠近开关磁场时，开关内部磁力作用控制闭合。特点：不需要电源，非接触式，免维护，环保。图 2-16 为一种磁性开关的外形图。



图 2-15 霍尔效应接近开关的外形图



图 2-16 磁性开关的外形图

2.3.7 压力传感器

压力传感器的种类繁多，如电阻应变片压力传感器、半导体应变片压力传感器、压阻式压力传感器、电感式压力传感器、电容式压力传感器、谐振式压力传感器及电容式加速度传感器等。有直接测量压力的，例如电阻应变片传感器；也有测量压强，再通过受压面积换算为压力的，例如扩散硅压强传感器。应用最为广泛的是压阻式压力传感器，它具有极低的价格和较高的精度以及较好的线性特性。

1. 压阻式压力传感器

在了解压阻式压力传感器之前需要认识一下电阻应变片。电阻应变片是一种将被测件上的应变变化转换成一种电信号的敏感器件，它是压阻式应变传感器的主要组成部分之一。电阻应变片应用最多的是金属电阻应变片和半导体应变片。金属电阻应变片有丝状应变片和金属箔状应变片两种，通常是将应变片通过特殊的黏合剂紧密地黏合在产生力学应变基体上，当基体受力发生应变时，电阻应变片也一起产生形变，使应变片的电阻值发生改变，从而使加在电阻上的电压发生变化。这种应变片在受力时产生的阻值变化通常较小，一般这种应变片都组成应变电桥，并通过后续的仪表放大器进行放大，再传输给处理电路（通常是 A/D 转换和 CPU）及显示或执行机构。

图 2-17 是金属电阻应变片的内部结构示意图，它由基体材料、金属应变丝或应变箔、绝缘保护片和引出线等部分组成。根据不同的用途，电阻应变片的阻值可以由设计者设计。设计电阻的取值范围时应注意：阻值太小时，所需的驱动电流太大，同时应变片的发热致使本身的温度过高，在不同的环境中使用时，使应变片的阻值变化太大，输出零点漂移明显，调零电路过于复杂；电阻太大时，阻抗太高，抗外界的电磁干扰能力较差。阻值一般为几十欧至几十千欧。

金属电阻应变片的工作原理是吸附在基体材料上应变电阻随机械形变而产生阻值变化，俗称为电阻应变效应。

以金属丝应变电阻为例，当金属丝受外力作用时，其长度和断面面积都会发生变化，其电阻值即会发生改变，假如金属丝受外力作用而伸长时，其长度增加，而断面面积减少，电阻值便会增大。当金属丝受外力作用而压缩时，长度减小而断面面积增加，电阻值则会减小。只要测出电阻的变化（通常是测量电阻两端的电压），即可获得应变金属丝的应变情况。图 2-18 所示为 CBM-3000 通用型压力传感器。

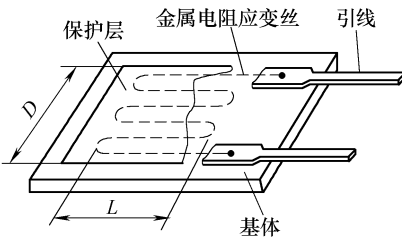


图 2-17 金属电阻应变片的内部结构

2. 陶瓷压力传感器

耐蚀的陶瓷压力传感器没有液体的传递，压力直接作用在陶瓷膜片的前表面，使膜片产生微小的形变，厚膜电阻印制在陶瓷膜片的背面，连接成一个惠斯通电桥（闭桥），由于压敏电阻的压阻效应，使电桥产生一个与压力、激励电压成正比的高度线性电压信



号,标准的信号根据压力量程的不同标定为 $2.0\text{mV/V}$ 、 $3.0\text{mV/V}$ 、 $3.3\text{mV/V}$ 等,可以和应变式传感器相兼容。通过激光标定,传感器具有很高的温度稳定性和时间稳定性,传感器自带温度补偿 $0\sim 70^{\circ}\text{C}$ ,并可以和绝大多数介质直接接触。

陶瓷是一种公认的高硬度、耐蚀、抗磨损、化学性质稳定、不溶解和耐高温的材料。陶瓷的热稳定特性及它的厚膜电阻可以使其工作温度范围在 $-40\sim 135^{\circ}\text{C}$ 之间,而且具有测量的高精度、高稳定性。电气绝缘程度大于 $2\text{kV}$ ,输出信号强,长期稳定性好。高特性、低价格的陶瓷传感器将是压力

传感器的发展方向,在欧美国家有全面替代其他类型传感器的趋势,在中国也有越来越多的用户使用陶瓷传感器替代扩散硅压力传感器。图 2-19 所示为陶瓷压力传感器。

### 3. 扩散硅压力传感器

工作原理为被测介质的压力直接作用于传感器的膜片上(不锈钢或陶瓷),使膜片产生与介质压力成正比的微位移,传感器的电阻值发生变化,用电子线路检测这一变化,并转换输出一个对应于这一压力的标准测量信号。图 2-20 所示为 TBP-1 扩散硅无腔压力传感器。



图 2-18 CBM-3000 通用型压力传感器



图 2-19 陶瓷压力传感器



图 2-20 TBP-1 扩散硅无腔压力传感器

### 4. 蓝宝石压力传感器

蓝宝石压力传感器利用应变电阻的工作原理,采用硅-蓝宝石作为半导体敏感元件,具有最佳的计量特性。

蓝宝石是由单晶体绝缘体元素组成,不会发生滞后、疲劳和蠕变现象;比硅要坚固,硬度更高,不怕形变;在 $1000^{\circ}\text{C}$ 以内时,有着非常好的弹性、绝缘特性和极强的抗辐射特性。利用硅-蓝宝石制造的半导体敏感元件,对温度变化不敏感,即使在高温条件下,也有着很好的工作特性;另外,硅-蓝宝石半导体敏感元件无 P-N 漂移,因此从根本上简化了制造工艺,提高了重复性,确保了高成品率。

用硅-蓝宝石半导体敏感元件制造的压力传感器和变送器,可在最恶劣的工作条件下正常工作,并且可靠性高、精度好、温度误差极小、性价比高。

表压压力传感器和变送器由钛合金测量和接收双膜片构成,印制有异质外延性应变灵敏电桥电路的蓝宝石薄片,被焊接在钛合金测量膜片上,被测压力传送到接收膜片上(接收膜片与测量膜片之间用拉杆坚固地连接在一起)。在压力的作用下,钛合金接收膜片产生形变,该形变被硅-蓝宝石敏感元件感知后,其电桥输出会发生变化,变化的幅度与被测压力成正比。

传感器的电路设计能够保证应变电桥电路的供电,并将应变电桥的失衡信号转换为统一的电信号输出( $0 \sim 5V$ ,  $4 \sim 20mA$ )。在绝压压力传感器和变送器中,蓝宝石薄片与陶瓷基极玻璃焊料连接在一起,起到了弹性元件的作用,将被测压力转换为应变片形变,从而达到压力测量的目的。

### 5. 压电传感器

压电传感器中主要使用的压电材料有石英、酒石酸钾钠和磷酸二氢胺。其中石英(二氧化硅)是一种天然晶体,压电效应就是在这种晶体中发现的,在一定的温度范围之内,压电性质一直存在,但温度超过这个范围之后,压电性质完全消失(这个温度就是所谓的“居里点”)。由于随着应力的变化电场变化微小(也就是说压电系数比较低),所以石英逐渐被其他的压电晶体替代。酒石酸钾钠具有很大的压电灵敏度和压电系数,但是它只能在室温和湿度比较低的环境下应用。磷酸二氢胺属于人造晶体,能够承受高温和相当高的湿度,所以已经得到了广泛的应用。图2-21所示为一种压电传感器外形。

现在压电效应也应用在多晶体上,比如压电陶瓷,包括钛酸钡压电陶瓷、PZT、铌酸盐系压电陶瓷、铌镁酸铅压电陶瓷等。

压电效应是压电传感器的主要工作原理,压电传感器不能用于静态测量,因为经过外力作用后的电荷,只有在回路具有无限大的输入阻抗时才得到保存。实际阻抗不可能无穷大,所以这决定了压电传感器只能够测量动态的应力。

压电传感器主要应用在加速度、压力和力等的测量中,既可以用来测量大的压力,也可以用来测量微小的压力。压电式加速度传感器是一种常用的加速度计。它具有结构简单、体积小、重量轻、使用寿命长等特点,在飞机、汽车、船舶、桥梁和建筑的振动和冲击测量中已经得到了广泛的应用,特别是航空和宇航领域中更有它的特殊地位。压电式传感器还可以用来测量发动机内部燃烧压力与真空度,也可以用于军事工业,例如用它来测量枪炮子弹在膛中击发一瞬间的膛压的变化和炮口的冲击波压力。



图2-21 压电传感器外形

### 2.3.8 姿态传感器

姿态传感器系统包含三轴陀螺仪、三轴加速度计、三轴电子罗盘等辅助运动传感器，通过内嵌的低功耗 ARM 处理器输出校准过的角速度、加速度、磁数据等三维姿态数据。

姿态传感器可广泛应用于航模无人机、机器人、天线云台、聚光太阳能、地面及水下设备、人体运动分析等需要低成本、高动态三维姿态测量的产品设备中。

#### 1. 水银开关

水银开关，又称倾侧开关，是电路开关的一种。水银开关里面有一个位于玻璃管中的一小滴水银，容器中多数为真空或注入惰性气体。在水银粒处于玻璃管一端时，水银开关输出高电平；当传感器由于某种原因姿态改变过大时水银粒移动到玻璃管另一端，水银开关输出低电平。利用水银开关这种输出信号与其本身姿态有关的特性，来检测机器人的姿态。图 2-22 为水银开关的工作原理图。

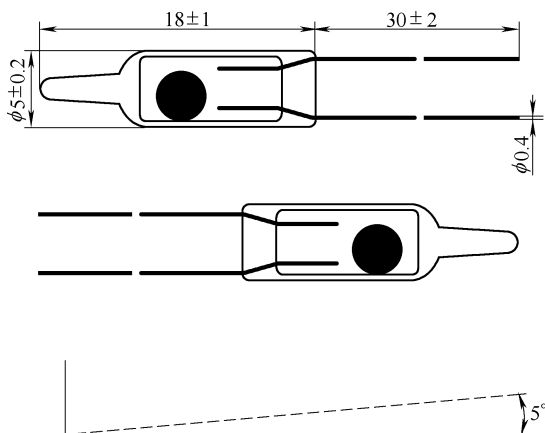


图 2-22 水银开关的工作原理图

水银开关是根据封装在玻璃外壳或金属外壳内的水银移动来实现开关通断的，因而与机械开关相比，有许多特点。

1) 可以在恶劣环境条件下使用。由于水银开关是密封的，内部的水银和外界隔绝，因此它可以用在有油、蒸汽、灰尘及腐蚀性气体的环境中。

2) 通断所需的外力小。水银是唯一能在常温下保持液态的金属，它的表面张力和密度都较大，只要稍加外力使水银开关产生倾斜，水银便可移动，使开关实现通断。

3) 水银的导电性较好，水银开关电极间的接触电阻一般小于 100mΩ。

4) 水银开关允许通过的电流取决于电极的材料，钨丝电极最大允许电流为 10A，而合金丝最大允许电流一般为 1A。

5) 由于水银开关的通断由水银重力确定，所以它可以长期可靠地工作。

6) 电极的接点是液态接触，无任何噪声。

7) 由于水银可以流动，只要加速度达到设定值以上，水银开关就可以通或断，因

而可以作为振动的敏感元件使用。

8) 体积小, 形式多样, 且为全密封式器件。

9) 结构简单, 价格低廉。

## 2. 电子罗盘

电子罗盘的原理是利用磁传感器测量地磁场。地球磁场大致为双极模式: 在北半球, 磁场指向下; 赤道附近指向水平; 在南半球, 磁场指向上。无论何地, 地球磁场的水平分量永远指向磁北极, 由此, 可以用电子罗盘系统确定方向。电子罗盘有以下几种传感器组合。

(1) 双轴磁传感器系统 由两个磁传感器垂直安装于同一平面组成, 测量时必须持平, 适用于手持、低精度设备。

(2) 三轴磁传感器双轴倾角传感器系统 由三个磁传感器构成  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  轴磁系统, 加上双轴倾角传感器进行倾斜补偿, 测量航向的同时还可以测量系统的俯仰角和横滚角。适合于需要方向和姿态显示的精度要求较高的设备。

(3) 三轴磁传感器三轴倾角传感器系统 由三个磁传感器构成  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  轴磁系统, 加上三轴倾角传感器(加速度传感器)进行倾斜补偿, 同时除了测量航向, 还可以测量系统的俯仰角和横滚角。适合于需要方向和姿态显示的精度要求较高的设备。

## 3. 角速率陀螺仪

移动机器人在行进的时候可能会遇到各种地形或者障碍, 这时即使机器人的驱动装置采用闭环控制, 也会由于轮子打滑等原因造成机器人偏离设定的运动轨迹, 并且这种偏移是旋转编码器无法测量到的, 这时必须依靠电子罗盘或者角速率陀螺仪来测量这些偏移, 并做必要的修正, 以保证机器人行走方向不偏离。

商用的电子罗盘传感器精度通常为  $0.5^\circ$  或者更差, 如果机器人运动距离较长,  $0.5^\circ$  的航向偏差可能导致机器人运动的线位移偏离值过大, 极高精度的电子罗盘价格昂贵且不容易买到。而陀螺仪可以提供极高精度(16位精度, 甚至更高)的角速率信息, 通过积分运算在一定程度上弥补电子罗盘的误差。UP-VoyagerII 机器人的运动控制器上配置的角速率陀螺仪, 被用来测量机器人绕铅垂线的角速率值, 再通过闭环控制来保证机器人在打滑、受到外力偏移等情况下运动方向不受影响。

绕一个支点高速转动的刚体称为陀螺, 通常所说的陀螺是特指对称陀螺, 它是一个质量均匀分布的、具有轴对称形状的刚体, 其几何对称轴就是它的自转轴。

在一定的初始条件和一定的外力矩作用下, 陀螺会在不停自转的同时, 还绕着另一个固定的转轴不停地旋转, 这就是陀螺的旋进, 又称为回转效应。陀螺旋进是日常生活中常见的现象, 许多人小时候玩过的陀螺就是一例。

人们利用陀螺的力学性质制成的各种功能的陀螺装置称为陀螺仪, 它在科学、技术、军事等各个领域有着广泛的应用。比如: 回转罗盘、定向指示仪、炮弹的翻转等。利用陀螺仪的回转效应, 可以制成测量角速率的传感器。

### 2.3.9 温度传感器

温度传感器是利用物质的各种物理性质随温度变化的规律把温度转换为电量的传感

器，按测量方式可分为接触式和非接触式两大类，按照传感器材料及电子元件特性分为热电阻和热电偶两类。

温度传感器被广泛用于工农业生产、科学研究和生活等领域，数量高居各种传感器之首。近百年来，温度传感器的发展大致经历了三个阶段：传统的分立式温度传感器（含敏感元件）阶段、模拟集成温度传感器/控制器阶段、智能温度传感器阶段。目前，国际上新型温度传感器正从模拟式向数字式，由集成化向智能化和网络化的方向发展。

### 1. 接触式温度传感器

接触式温度传感器的检测部分与被测对象有良好的接触，又称温度计。温度计通过传导或对流达到热平衡，从而使温度计的示值能直接表示被测对象的温度，一般测量精度较高。在一定的测温范围内，温度计也可测量物体内部的温度分布，但对于运动体、小目标或热容量很小的对象则会产生较大的测量误差。常用的温度计有双金属温度计、玻璃液体温度计、压力式温度计、电阻温度计、热敏电阻和温差电偶等，它们广泛应用于工业、农业、商业等部门，在日常生活中人们也常常使用这些温度计。随着低温技术在国防工程、空间技术、冶金、电子、食品、医药和石油化工等部门的广泛应用和超导技术的研究，测量 $-153^{\circ}\text{C}$ 以下温度的低温温度计得到了发展，如低温气体温度计、蒸汽压温度计、声学温度计、顺磁盐温度计、量子温度计、低温热电阻和低温温差电偶等。低温温度计要求感温元件体积小、准确度高、复现性和稳定性好。利用多孔高硅氧玻璃渗碳烧结而成的渗碳玻璃热电阻就是低温温度计的一种感温元件，可用于测量 $-271.4\sim 27^{\circ}\text{C}$ 范围内的温度。

### 2. 非接触式温度传感器

它的敏感元件与被测对象互不接触，又称非接触式测温仪表。这种仪表可用来测量运动物体、小目标和热容量小或温度变化迅速（瞬变）的表面温度，也可用于测量温度场的温度分布。

最常用的非接触式测温仪表基于黑体辐射的基本定律，称为辐射测温仪表。辐射测温法包括亮度法（见光学高温计）、辐射法（见辐射高温计）和比色法（见比色温度计）。各类辐射测温方法只能测出对应的光度温度、辐射温度或比色温度，只有对黑体（吸收全部辐射并不反射光的物体）所测温度才是真实温度。如欲测定物体的真实温度，则必须进行材料表面发射率的修正，而材料表面发射率不仅取决于温度和波长，还与表面状态、涂膜和微观组织等有关，因此很难精确测量。在自动化生产中往往需要利用辐射测温法来测量或控制某些物体的表面温度，如冶金中的钢带轧制温度、轧辊温度、锻件温度和各种熔融金属在冶炼炉或坩埚中的温度。在这些具体情况下，物体表面发射率的测量是相当困难的。对于固体表面温度自动测量和控制，可以采用附加的反射镜使之与被测表面一起组成黑体空腔，附加辐射的影响能提高被测表面的有效辐射和有效发射系数，利用有效发射系数通过仪表对实测温度进行相应的修正，最终可得到被测表面的真实温度。最为典型的附加反射镜是半球反射镜，球中心附近被测表面的漫射辐射能受半球镜反射回到表面而形成附加辐射，从而提高有效发射系数，至于气体和液体介质真实温度的辐射测量，则可以用插入耐热材料管至一定深度以形成黑体空腔的方



法，通过计算求出与介质达到热平衡后的圆筒空腔的有效发射系数，在自动测量和控制中就可以用此值对所测腔底温度（即介质温度）进行修正而得到介质的真实温度。

非接触测温优点：测量上限不受感温元件耐温程度的限制，因而对最高可测温度原则上没有限制。对于 1800℃ 以上的高温，主要采用非接触测温方法。随着红外技术的发展，辐射测温逐渐由可见光向红外线扩展，700℃ 以下直至常温都已采用，且分辨率很高。



# 第 2 篇 安川机器人应用技术与实践

## 第 3 章 安川 NX100 机器人结构及工作原理

### 3.1 安川 NX100 机器人简介

安川 NX100 机器人是由日本安川公司（YASKAWA）开发的用于工业制造的机器人，广泛应用于浇铸、焊接、涂胶、取放、水刀切割、灌注、堆叠等工业领域。NX100 机器人有 6 个自由度，使用高精度伺服电动机，在一定工作范围内可以像人的手臂一样灵活、准确地运动。有 40 个通用 I/O 接口，单个机器人可同时与多个外部设备配套，也可以多个机器人共同协作运动，高效而准确地完成各种复杂的工序，极大地提高了工业生产的效率和精度。

安川 NX100 机器人系统结构及配置如图 3-1 所示。

安川 NX100 机器人在工业中的应用如图 3-2 所示。

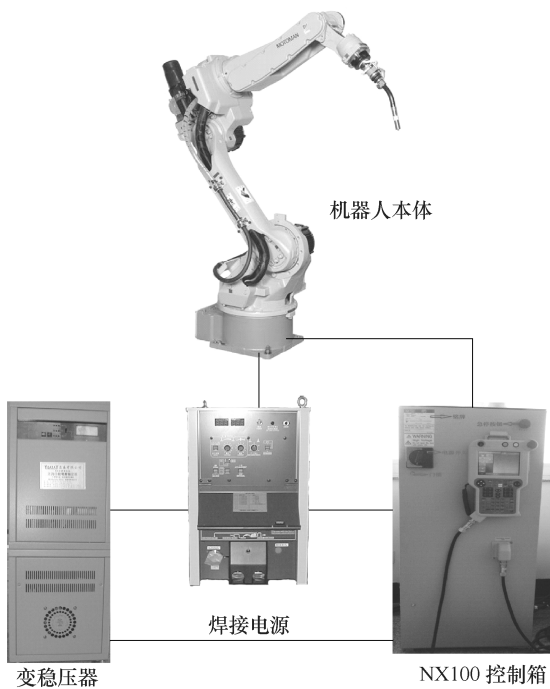
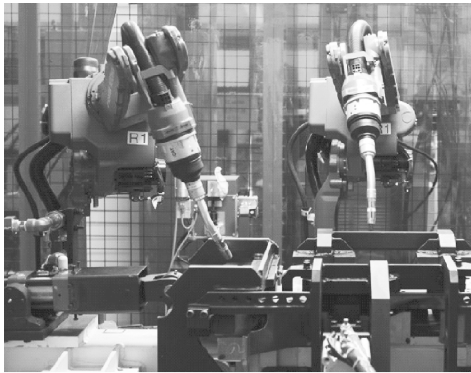
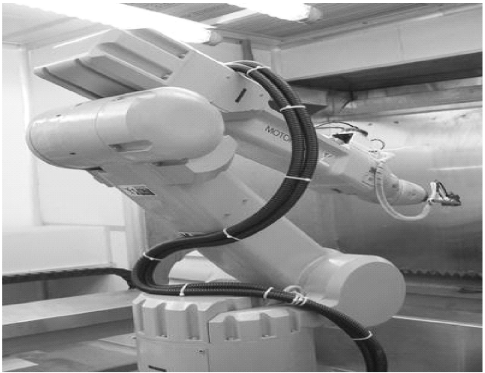


图 3-1 安川 NX100 机器人系统结构及配置



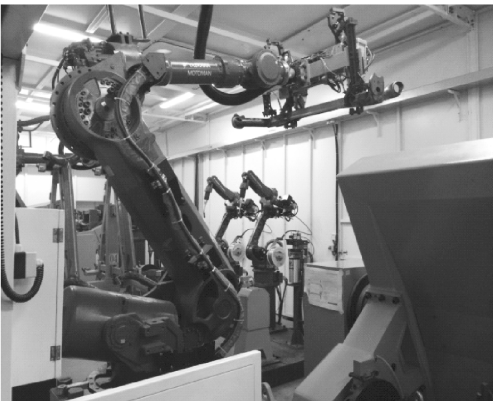
a) 弧焊



b) 喷涂



c) 浇注



d) 搬运



e) 切割



f) 码垛

图 3-2 安川 NX100 机器人在工业中的应用

### 3.2 安川 NX100 机器人的结构

安川 NX100 机器人系统由五部分组成，分别是控制箱、电源箱、本体、示教编程器和配套设备。机器人本体、示教编程器和配套设备将在后面章节介绍，这里只介绍电

源箱和控制箱。

### 3.2.1 电源箱

电源箱的作用是为控制箱和本体提供稳定的电源，输入电源为三相交流电源，输入电压为 AC220V ( -15% ~ +10% )，频率为 50Hz 或 60Hz (  $\pm 2\%$  )，输出电压为 AC 220V，最大输出电流为 7A。

### 3.2.2 控制箱

控制箱与本体通过两条专用电缆连接，两条电缆分别给传输编码器和伺服电动机供电。

控制箱连接示教编程器和本体，所有在示教编程器上对本体及配套设备的操作都通过控制箱进行指令解读并转化为相应的输出信号。

控制箱外观如图 3-3 所示。

控制箱内部结构如图 3-4 所示。

#### 1. 断路器

断路器既有手动开关作用，又能对控制箱自动进行失压、欠压、过载和短路保护，对电源线路及电动机等实行保护。

#### 2. 电源接通单元

电源接通单元是由电源接通顺序基板（代号：JANCD-NTU）和伺服电源接触器 KM1、KM2 以及线路滤波器 Z1 组成。电源接通单元根据来自电源接通顺序基板的伺服电源控制信号的状态，打开或关闭伺服电源接触器，供给伺服单元电源（三相交流 200 ~ 220V）。电源接通单元经过线路滤波器对控制电源供电（单相交流 200 ~ 220V）。

电源接通顺序基板由基本轴控制基板（代号：SGDR-AXA01A）控制，其主要功能如下：

- 1) 伺服电源接通输入/输出回路（安全双回路）。
- 2) 制动电源输出回路。
- 3) 超程信号输入，防碰撞传感器信号输入，给机器人的灯用电源输出回路。
- 4) 外部超程信号输入回路（安全双回路）。
- 5) 伺服接通可能信号输入回路（安全双回路）。
- 6) 风扇报警（选项）输入回路。
- 7) 风扇控制信号输出回路。

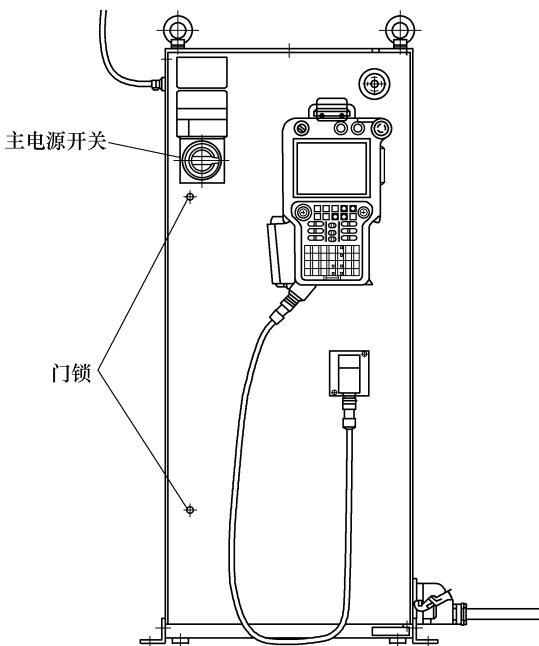


图 3-3 控制箱正面

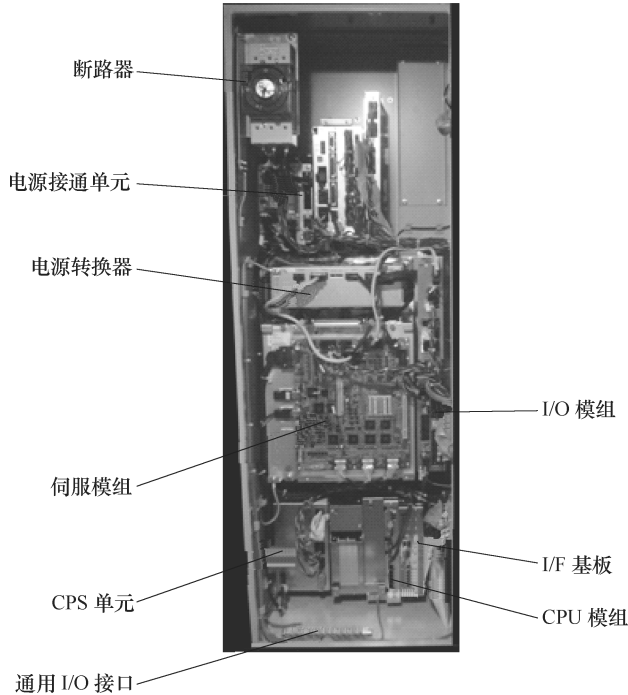


图 3-4 控制箱内部结构

8) 接触器控制信号输出回路（安全双回路）。

电源接通单元配置如图 3-5 所示。

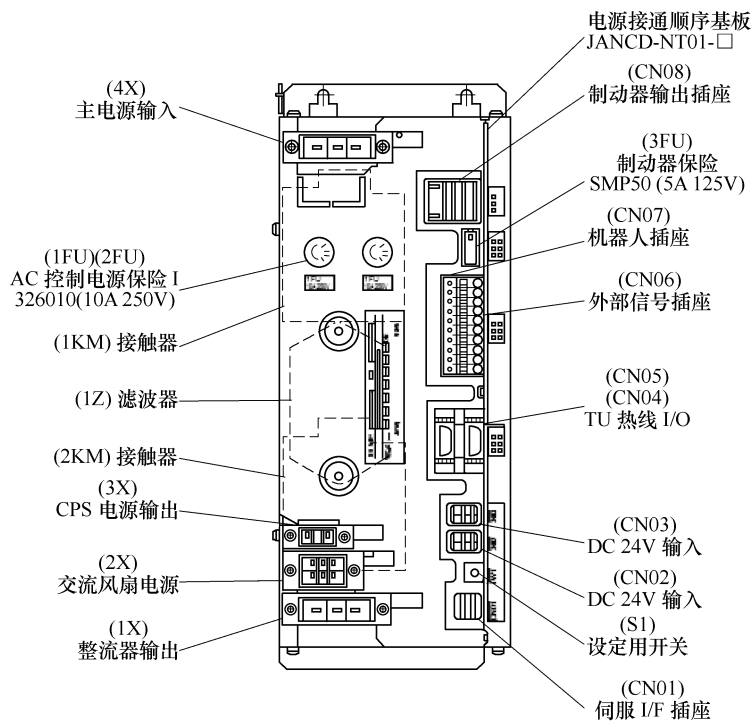


图 3-5 电源接通单元配置

3. 电源转换器

电源转换器将电源箱输入的 220V 交流电源转换为控制箱所需要的 24V 和 5V 直流稳压电源。

4. 伺服模组

伺服模组用于驱动及控制本体的六个精密伺服电动机，它由整流器、脉宽调制（PWM）放大器组成。工作原理是：整流器将交流电（AC200/AC220V）转换为直流电，并提供给每个轴所用的 PWM 放大器；PWM 放大器把整流器供给的直流电转换成一个三相电动机所需的电源，并输送给每台伺服电动机。

5. CPS 单元

CPS 单元提供控制用（系统、输入/输出、制动器）直流电（DC 5V、DC 24V、DC 3.3V、DC ±12V），也备有控制电源的 ON/OFF 输入。详细信息见表 3-1。

表 3-1 CPS 单元提供控制用电源技术规格表

项目	技术规格		
输入	额定输入电压:AC 200V/AC 220V 电压波动范围: +10% ~ -15% (AC 170 ~ 242V) 频率:(50 ~ 60) Hz ± 2Hz(48 ~ 62Hz)		
输出电压	DC +5V;20A DC +24V;12A (24V1;4A;24V2;3.5A;24V3;4.5A) DC +3.3V;12A DC +12V;1.5A DC -12V;0.5A		
指示器	显示	颜色	状态
	SOURCE	绿色	有交流电源输入时灯亮(正常时灯亮)
	POWER ON	绿色	直流电源正常输出时灯亮(正常时灯亮)
	+5V	红色	输出电压不是 +5V 时灯亮(异常时灯亮)
	+24V	红色	输出电压不是 +24V 时灯亮(异常时灯亮)
	OTHER	红色	输出电压不是 +3.3V, ±12V 时灯亮(异常时灯亮)
	FAN	红色	控制电源单元中的风扇异常时灯亮(异常时灯亮)
	OHT	红色	控制柜内过热时灯亮(异常时灯亮) 检测温度;约 65℃

6. 通用 I/O 接口

控制箱内共有 40 个通用 I/O 接口供扩展使用，通过它与配套设备连接并进行信息通信。

7. I/O 模组

I/O 模组包括专用 I/O 模块和通用 I/O 模块，专用 I/O 模组中点焊、弧焊和搬运三组专用 I/O 信号分配口。

8. I/F 基板

机器人 I/F 单元（JZNC-NIF01）是由机器人 I/F 基板（JANCD-NIF01）和输入/输出基板（JANCD-NIO01）组成。

（1）机器人 I/F 基板（JANCD-NIF01） 机器人 I/F 基板控制整个机器人系统,用

一个在后板上的 PCI 总线接口与控制基板 (JANCD-NCP01) 连接, 使用高速串行通信 (接口在 NIO10 基板) 与轴控制基板 (SGDR-AXA01A) 连接, 并且内置安全信号的安全双回路。

(2) 输入/输出基板 (JANCD-NIO01) 数字输入/输出 (通用输入/输出) 用的插座有 4 个, 输入输出的点数为输入 40 点、输出 40 点。输入/输出分为两种类型: 即通用输入/输出和专用输入/输出。输入/输出的信号分配随其用途不同而有所不同。专用输入/输出是一个预先决定了用途的信号, 当外部操作设备 (如系统固定夹具控制柜和集中控制柜) 将机器人和相应的设备作为一个系统来控制时, 要使用专用输入/输出。通用输入/输出主要在程序中使用, 可以用作机器人和外部设备的定时信号。

## 9. CPU 模组

CPU 模组是由基板架和控制基板组成。控制基板用于控制整个系统、示教编程器上的屏幕显示、操作键的管理、操作控制、插补运算等, 配有 RS-232C 串行接口、视频输出、PS2 连接器和 LAN 接口 (100BASE-TX/10BASE-T), 但是不能使用视频输出和 PS2 连接器。



# 第 4 章 安川 NX100 机器人的编程和操作

## 4.1 机器人的开启

机器人与其他机械设备的要求通常不同，它的大运动范围、快速的操作、手臂的快速运动等都会造成安全隐患，所以要严格按照操作顺序和要求来执行。

### 4.1.1 开机前准备

- 1) 检查电源电压是否稳定。
- 2) 检查控制箱前门是否关好。
- 3) 检查控制箱主电源开关是否处于“OFF”状态。
- 4) 检查控制箱上急停开关和示教编程器的急停开关是否处在关闭状态。

### 4.1.2 开机操作



- 1) 打开电源开关，按下电源“启动”按钮。
- 2) 把控制箱前门上的主电源开关扳转到接通“ON”的位置，此时主电源接通，进行初始化诊断和读入当前开始位置值。
- 3) 接通主电源时，系统进行初始化诊断，在示教编程器的屏幕上显示启动画面。

## 4.2 示教编程器

### 4.2.1 示教编程器的按键功能

示教编程器外观如图 4-1 所示，其按键功能见表 4-1。

表 4-1 示教编程器按键功能表

按键及名称	功 能 说 明
急停键 	按下此键,伺服电源切断 切断伺服电源后,示教编程器“SERVO ON LED”的指示灯熄灭 屏幕上显示急停信息
安全开关 	按下此键,伺服电源接通 在“SERVO ON LED”的指示灯闪烁状态下,安全插头 ON,模式旋钮设定在“TEACH”上时,轻轻握住安全开关,伺服电源接通,此时,若用力握紧,则伺服电源切断

(续)

按键及名称	功 能 说 明
<div>光标键</div> <div></div>	<p>按此键时,光标朝箭头方向移动</p> <p>根据画面的不同,光标的大小、可移动的范围和区域有所不同</p> <p>在显示程序内容的画面中,光标在“NOP”行时,按光标键的上箭头,光标将跳到程序最后一行,光标在“END”行时,按光标键的下箭头,光标将跳到程序第一行</p> <p>[转换] + 上箭头:退回画面的前页</p> <p>[转换] + 下箭头:翻至画面的下页</p> <p>[转换] + 右箭头:向右滚动程序内容画面、再现画面的命令区域</p> <p>[转换] + 左箭头:向左滚动程序内容画面、再现画面的命令区域</p>
<div>选择</div> <div></div>	<p>选择主菜单、下拉菜单的键</p>
<div>主菜单</div> <div></div>	<p>显示主菜单</p> <p>在主菜单显示的状态下按下此键,主菜单关闭</p> <p>当一个窗口打开时,按[转换] + [主菜单]两键,窗口按窗口→子菜单→主菜单顺序变换</p>
<div>区域</div> <div></div>	<p>按下此键,光标在菜单区和通用显示区之间移动</p> <p>当同时按[转换]键时:</p> <p>[转换] + [区域]:具有双语功能时,可以进行语言转换(双语功能是选项)</p> <p>光标键的下箭头 + [区域]:把光标移动到屏幕上显示的操作键上</p> <p>光标键的上箭头 + [区域]:当光标在操作键上时,把光标移动到通用显示区</p>
<div>翻页</div> <div></div>	<p>按下此键,显示下页</p> <p>和[转换]键同时按[转换] + [翻页],显示上页</p> <p>只有在屏幕的状态区域显示图标时,才可进行翻页</p>
<div>直接打开</div> <div></div>	<p>按下此键,显示与当前行相关联的内容</p> <p>显示程序内容时,把光标移到命令上,按此键后,显示出与此命令相关的内容</p> <p>例如:</p> <p>对于 CALL 命令,显示被调用的程序内容</p> <p>对于作业命令,显示条件文件的内容</p> <p>对于输入输出命令,显示输入输出状态</p>
<div>坐标</div> <div></div>	<p>手动操作时,机器人的动作坐标系选择键</p> <p>可在关节、直角、圆柱、工具和用户五种坐标系中选择,此键每按一次,坐标系按“关节”→“直角/圆柱”→“工具”→“用户”顺序变化</p> <p>被选中的坐标系显示在状态区域</p> <p>坐标系为工具坐标或用户坐标时,按下[转换] + [坐标]键,可更改坐标序号</p>
<div>手动速度键</div> <div></div>	<p>手动操作时,机器人运行速度的设定键</p> <p>此时设定的速度在前进和后退的动作中均有效</p> <p>手动速度有四个等级(低、中、高和微动)</p> <p>每按一次[高],速度按“微动”→“低”→“中”→“高”顺序变化</p> <p>每按一次[低],速度按“高”→“中”→“低”→“微动”顺序变化</p> <p>被设定的速度显示在状态区域</p>

(续)

按键及名称	功 能 说 明
<p>高速</p> 	<p>手动操作时,按住轴操作键中的一键再按此键,此时,机器人可快速移动,没有必要进行速度修改</p> <p>按此键时的速度已预先设定</p>
<p>插补方式</p> 	<p>再现运行时,机器人插补方式的指定键</p> <p>所选定的插补方式种类显示在输入缓冲区</p> <p>每按一次此键,插补方式按 MOVJ→MOVL→MOV C→MOV S 顺序变化</p> <p>按[转换]+[插补方式],插补方式按“标准插补方式”→“外部基准点插补方式”→“传送带插补方式”顺序变化</p> <p>在任何模式下,均可变更插补方式</p> <p>“外部基准点插补方式”和“传送带插补方式”是选项功能</p>
<p>机器人切换</p> 	<p>轴操作时,机器人轴切换键</p> <p>在 1 个 NX100 控制多台机器人的系统或带有外部轴的系统,[机器人切换]键有效</p>
<p>外部轴切换</p> 	<p>轴操作时,外部轴(基座轴或工装轴)切换键</p> <p>在带有外部轴的系统,[外部轴切换]键有效</p>
<p>轴操作键</p> 	<p>对机器人各轴进行操作的键</p> <p>只有按住轴操作键,机器人才动作</p> <p>可以按住两个或更多的键,操作多个轴</p> <p>机器人按照选定坐标系和手动速度运行,在进行轴操作前,请务必确认设定的坐标系和手动速度是否正确</p>
<p>试运行</p> 	<p>此键与[联锁]键同时按下时,机器人运行,可把示教的程序点作为连续轨迹加以确认</p> <p>在三种循环方式中(连续、单循环、单步),机器人按照当前选定的循环方式运行</p> <p>机器人以命令速度运行,但当命令速度超过示教模式最高速度时,以示教模式最高速度运行</p> <p>同时按下[联锁]+[试运行],机器人沿示教点连续运行</p> <p>在连续运行中,松开[试运行]键,机器人停止运行</p>
<p>前进</p> 	<p>按住此键时,机器人按示教的程序点轨迹运行</p> <p>只执行移动命令</p> <p>[联锁]+[前进]:执行移动命令以外的其他命令</p> <p>[转换]+[前进]:连续执行移动命令</p> <p>[参考点]+[前进]:</p> <p>机器人按照设定的手动速度运行,在开始操作前,请务必确认设定的手动速度是否正确</p>
<p>后退</p> 	<p>按住此键时,机器人按示教的程序点轨迹逆向运行</p> <p>只执行移动命令</p> <p>机器人按照设定的手动速度运行,在开始操作前,请务必确认设定的手动速度是否正确</p>
<p>命令一览</p> 	<p>在程序编辑中,按此键后显示可输入的命令一览</p>

(续)

按键及名称	功 能 说 明
<div>清除</div> <div></div>	按下此键,清除输入中的数据和错误
<div>删除</div> <div></div>	按下此键,删除已输入的命令 此键指示灯点亮时,按下[回车]键,删除完成
<div>插入</div> <div></div>	按下此键,插入新命令 此键指示灯点亮时,按下[回车]键,插入完成
<div>修改</div> <div></div>	按下此键,修改示教的位置数据、命令等 此键指示灯点亮时,按下[回车]键,修改完成
<div>回车</div> <div></div>	执行命令或数据的登录,机器人当前位置的登录,与编辑操作等相关的各项处理时的最后确认键 在输入缓冲行中显示的命令或数据,按[回车]键后,会输入到显示屏的光标所在位置,完成输入、插入、修改等操作
<div>转换</div> <div></div>	与其他键同时使用,有各种不同功能 可与[转换]键同时使用的键有:[主菜单]、[坐标]、[插补方式]、[翻页]、光标键、数字键 关于[转换]键与其他键同时使用的功能,请参阅各键的说明
<div>联锁</div> <div></div>	与其他键同时使用,有各种不同功能 可与[联锁]键同时使用的键有:[试运行]、[前进]、数字键(数字键的用户定义功能) 关于[联锁]键与其他键同时使用的功能,请参阅各键的说明
<div>数字键</div> <div></div>	输入行前出现“>”时,按数字键可输入键的左上角的数字和符号 “.”是小数点,“-”是减号或连字符 数字键也作为用途键来使用
<div>启动</div> <div></div>	按下此按钮,机器人开始再现运行 再现运行中,此指示灯亮 通过专用输入的启动信号使机器人开始再现运行时,此指示灯也亮 由于发生报警、暂停信号或转换模式使机器人停止再现运行时,该指示灯熄灭
<div>暂停</div> <div></div>	按下此键,机器人暂停运行 此键在任何模式下均可使用 此键指示灯只在按住此键时点亮,放开时熄灭。机器人未得到再次启动命令时,即使此灯熄灭,机器人仍处于停止状态 暂停指示灯亮时,表示系统进入暂停状态,在以下情况下,该灯也自动点亮。另外,该灯亮时机器人不能启动及进行轴操作 通过专用输入使暂停信号 ON 远程模式时,通过外部设备发出暂停请求 各种作业引起的停止(如弧焊时的焊接异常等)

(续)

按键及名称	功 能 说 明
<div>模式旋钮</div> <div></div>	选择再现模式、示教模式或远程模式
	PLAY;再现模式 可对示教完的程序进行再现运行 在此模式中,外部设备发出的启动信号无效
	TEACH;示教模式 可用示教编程器进行轴操作和编辑 在此模式中,外部设备发出的启动信号无效
	REMOTE;远程模式 可通过外部信号进行操作 在此模式中,[START]按钮无效
<div>多画面</div> <div></div>	按下此键,可显示多个画面 此功能是将来的功能,目前无此功能 最多同时可显示4个画面 [转换]+[多画面]:显示选择多画面显示形式的对话框
<div>快捷方式</div> <div></div>	按下此键,显示快捷选择对话框 此功能是将来的功能,目前无此功能 登录操作中经常打开的画面,在快捷选择对话框中,只要一点登录的画面,可立即显示
<div>伺服准备</div> <div></div>	按下此键,伺服电源有效接通 由于急停、超程等原因伺服电源被切断后,用此键有效地接通伺服电源 按下此键后: 1)再现模式时,安全栏关闭的情况下,伺服电源被接通 2)示教模式时,此键的指示灯闪烁,安全开关接通的情况下,伺服电源被接通 伺服电源接通期间,此键指示灯亮
<div>辅助</div> <div></div>	按下此键,对应当前画面,出现帮助操作的菜单 此功能是将来的功能,目前无此功能 当光标在程序编辑画面时,按下此键,显示复制、剪切、粘贴、撤销、插入命令等程序编辑操作的菜单 在文件编辑画面时,按下此键,显示与操作对应的帮助指导 [转换]+[辅助]:显示和[转换]键一起使用的键的功能表 [联锁]+[辅助]:显示和[联锁]键一起使用的键的功能表
<div>退位</div> <div></div>	输入字符时,删除最后一个字符

4.2.2 示教编程器的画面显示

1. 显示区介绍

示教编程器的显示屏是 6.5in 的彩色显示屏，能够显示数字、字母和符号。显示屏分为五个显示区，如图 4-2 所示，其中的通用显示区、菜单区、人机对话显示区和主菜单区可以通过按 [区域] 键从显示屏上移开，或用直接触摸屏幕的方法，选中对象，

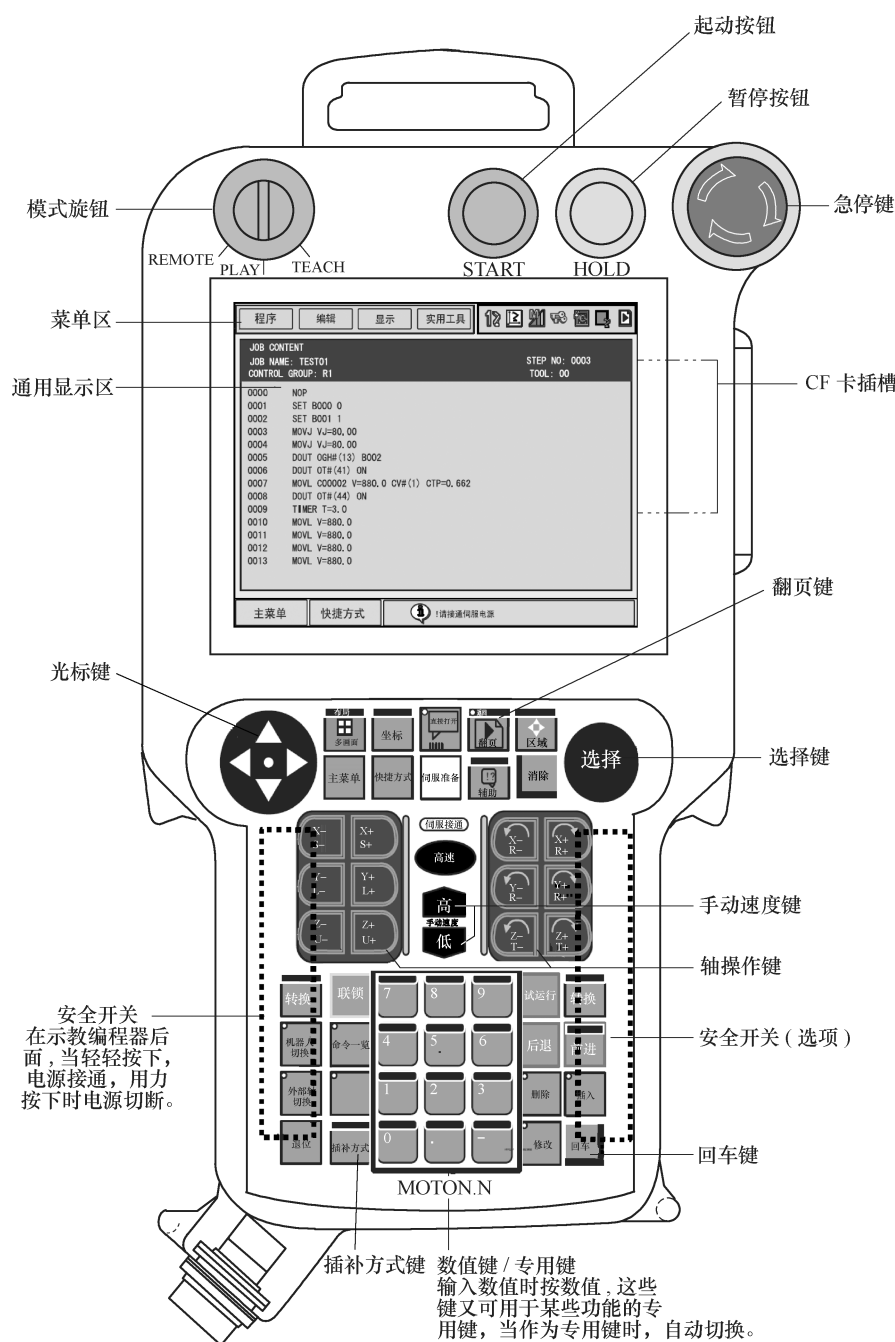


图 4-1 示教编程器外观图

如图 4-3 所示。

操作中，显示屏上显示相应的画面，该画面的名称显示在通用显示区的左上角。

2. 通用显示区

在通用显示区，可对程序、特性文件、各种设定进行显示和编辑。根据画面的不





图 4-2 示教编程器显示屏的 5 个显示区



图 4-3 示教编程器显示区

同，画面下方显示操作键。

- 1) 按 [区域] + 光标下箭头，光标从通用显示区移动到操作键。
- 2) 按 [区域] + 光标上箭头，或按 [清除] 键，光标从操作键移动到通用显示区。
- 3) 按光标左箭头或光标右箭头，光标在操作键之间移动。
- 4) 要执行哪个操作键，则把光标移动到该操作键上，然后按 [选择] 键。
  - ① 执行：继续操作在通用显示区显示的内容。
  - ② 清除：清除通用显示区显示的内容，回到前一画面。
  - ③ 完成：完成在通用显示区显示的设定的操作。

- ④ 中断：当用外部存储设备进行安装、存储、校验时，可以中断处理。
- ⑤ 解除：设定解除超程和碰撞传感功能。
- ⑥ 消除：消除报警（不能消除重大报警）。
- 5) 进入指定页面：跳转到指定画面。

① 在可以切换页面的画面，选择“进入指定页”后，在对话框中直接输入页号，再按 [回车] 键。如图 4-4a 所示。

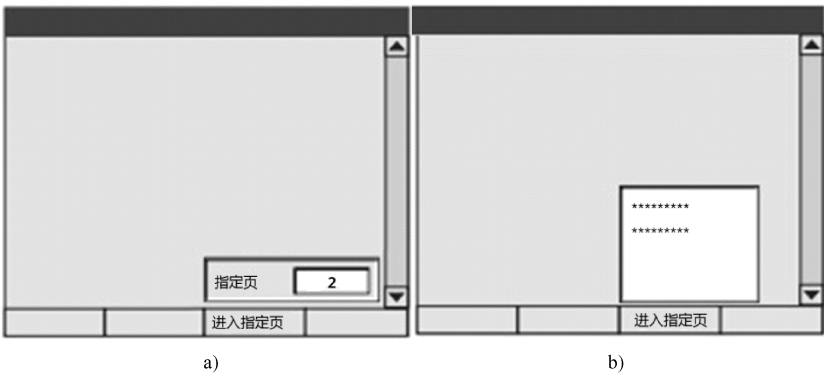


图 4-4 通用显示区跳转画面

② 在页面可以列表选择时，选择“进入指定页”后，显示列表，通过上下移动光标，选定所需条目后，按 [回车] 键。如图 4-4b 所示。

3. 主菜单区

每个菜单和子菜单都显示在主菜单区，通过按 [主菜单] 键或点画面左下部的“主菜单”，显示主菜单，如图 4-5 所示。

4. 状态显示区

状态显示区显示控制柜的状态，显示的信息根据控制柜的模式不同（再现/示教）而改变。如图 4-6 所示。

(1) 可进行轴操作的轴组 在带工装轴的系统 and 有多台机器人轴的系统中,轴操作时,显示可能操作的轴组。

12至42：最多 4 台（机器人轴）。

1至4：最多 4 轴（基座轴）。

10至120：最多 12 轴（工装轴）。

(2) 动作坐标系 显示被选择的坐标系。通过按 [坐标] 键






选择坐标系。包括：关节坐标、直角坐标、圆柱坐标、工具坐标、用户坐标.



图 4-5 主菜单区

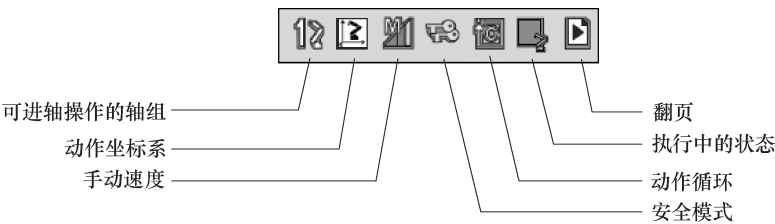


















图 4-6 状态显示区

(3) 手动速度 显示被选定的手动速度。包括：微动、低速、中速、高速。

(4) 安全模式 显示当前的安全模式。包括：操作模式、编辑模式、管理模式。

(5) 动作循环 显示当前的动作循环。包括：单步、单循环、连续。

(6) 执行中的状态 显示当前状态。包括：停止、暂停、急停、报警和运行。

(7) 翻页 翻页时能够显示目前处于哪一页，图标为。

5. 人机接口显示区


当有两个以上的错误信息时，人机接口显示区显示标记，如图 4-7 所示。



图 4-7 人机接口显示区

激活人机接口显示区，按 [选择] 键，可浏览当前错误表。按 [清除] 键，关闭错误表。

6. 菜单区

如图 4-8 所示的菜单区用于编辑程序、管理程序，执行各种实用工具的功能。

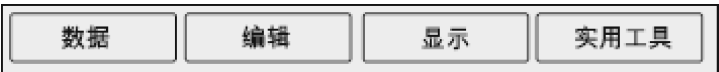


图 4-8 菜单区

4.2.3  示教编程器字符输入

在文字输入画面中，显示软键盘。软键盘共有三种：数字和大写字母、数字和小写字母、符号，字母软键盘和符号软键盘的切换方法是：单击画面上的按钮或按示教编程器上的〔翻页〕键。字母软键盘的大小写切换，单击“CapsLock OFF”或“CapsLock ON”。

1. 操作按键说明

详细的操作按键说明见表 4-2。

表 4-2  操作按键说明表

按键名称	示教编程器上的按键	说    明
①		用十字光标键移动光标
①		用[ 选择 ]键选择字符
清除		清除所有正在输入字符 按两次此键,停止输入方法编辑
退位		删除前一个字符
回车		确定已输入的文字
转换按钮		示教编程器上的转换软键盘的开关
清除	 或 	关闭输入方法编辑画面
数字键	 至 	输入数字

① 在显示屏上直接触摸选定的对象。

2. 字符输入操作

按翻页键，使画面显示字符软键盘，如图 4-9 所示。把光标移到想选择的字符上，按“选择”键进行确认。注意，程序的名称不能使用小数点和符号。

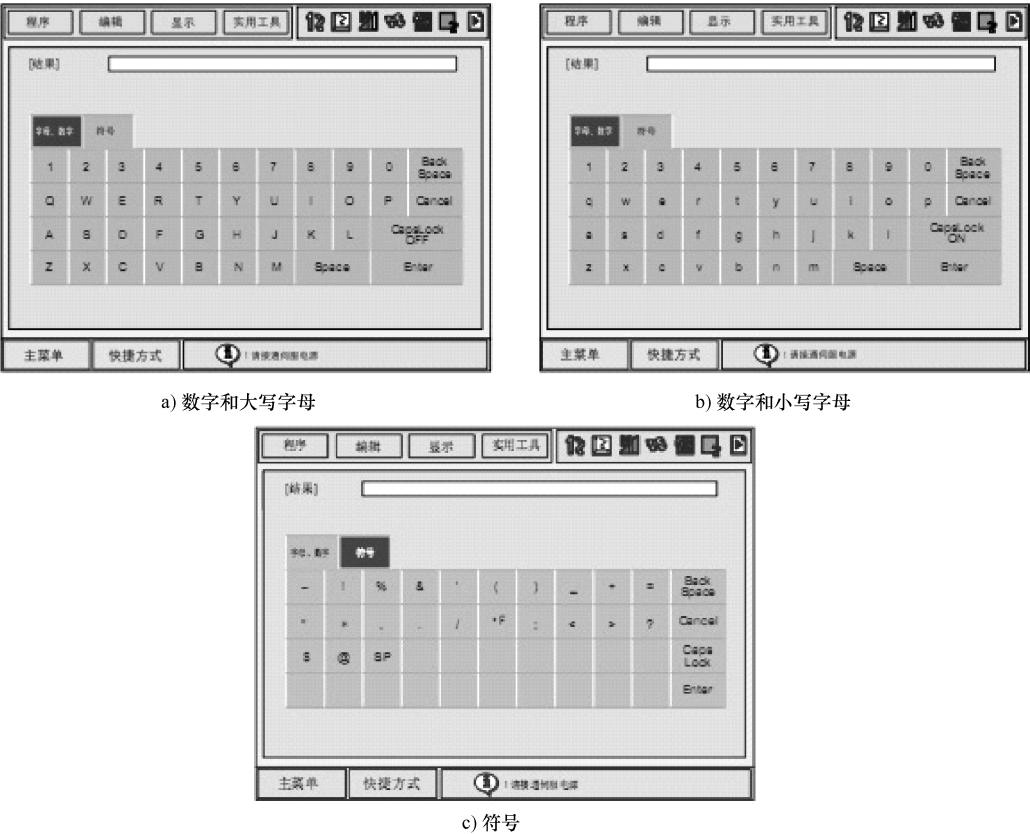


图 4-9 字符输入操作

4.2.4 动作模式

1. 示教模式

在示教模式下可以进行：编制、示教程序，修改已登录程序，各种特性文件和参数的设定。

2. 再现模式

在再现模式下可以进行：示教程序的再现，各种条件文件的设定、修改或删除。

3. 远程模式

在远程模式下，可以通过外部输入信号指定进行以下操作：接通伺服电源、启动、调出主程序、设定循环等与开始运行有关的操作。

在远程模式下，外部输入信号有效，示教编程器上的 [START] 按钮失效，数据传输功能（选项功能）有效。

注意：出于安全方面的考虑，模式切换时，示教模式优先。在示教模式下，从外部设备输入的信号无效，再现运行用的 [START] 按钮也无效。

## 4.3 机器人的轴与坐标系

### 4.3.1 机器人的轴

NX100 机器人的外部轴采用基座/工装方式，所以构成机器人系统的各轴根据其功能分别称作机器人轴、基座轴和工装轴，如图 4-10 所示。为避免各轴运转过度导致设备损坏，各轴均有限位设置。在控制程序中也设置了软限位，该限位略小于硬限位。实际工作中，当设备将要运行至硬限位时，电动机将会减速，到软限位时停止并提示“超出运动范围”。

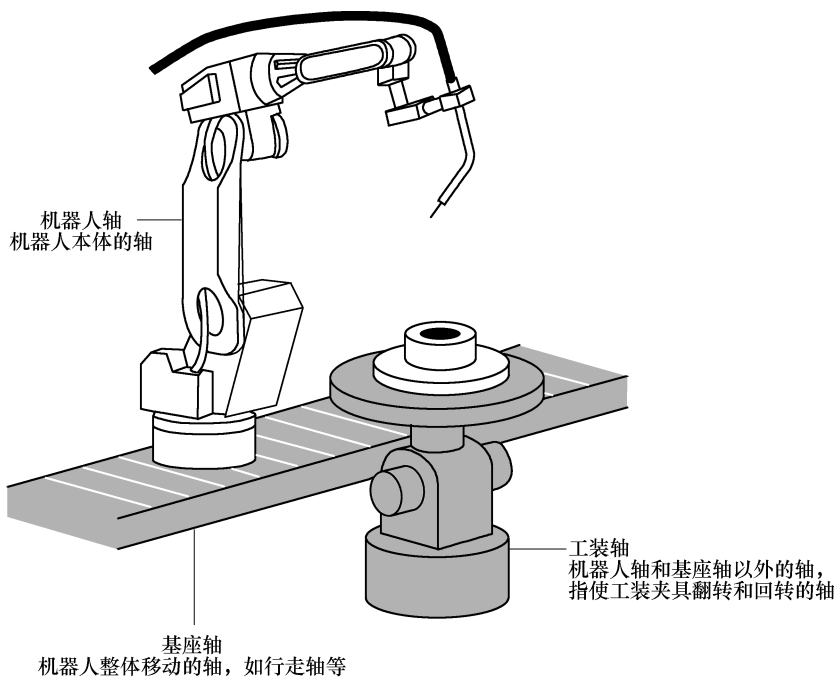


图 4-10 机器人各轴名称

### 4.3.2 机器人的坐标系

#### 1. 坐标系的种类

对机器人进行轴操作时，可以使用以下几种坐标系，如图 4-11 所示。

- (1) 关节坐标系 机器人各轴进行单独动作。
- (2) 直角坐标系 不管机器人处于什么位置，均可沿设定的  $X$  轴、 $Y$  轴、 $Z$  轴平行移动。
- (3) 圆柱坐标系  $\theta$  轴绕  $S$  轴运动， $R$  轴沿  $L$  轴臂、 $U$  轴臂轴线的投影方向运动， $Z$  轴运动方向与直角坐标完全相同。



(4) 工具坐标系 把机器人腕部法兰盘所持工具的有效方向作为  $Z$  轴，并把坐标定义在工具的尖端点。

(5) 用户坐标系 机器人沿所指定的用户坐标系各轴平行移动。

在关节坐标系以外的其他坐标系中，均可只改变工具姿态而不改变工具尖端点（控制点）位置，这叫作控制点不变动作。

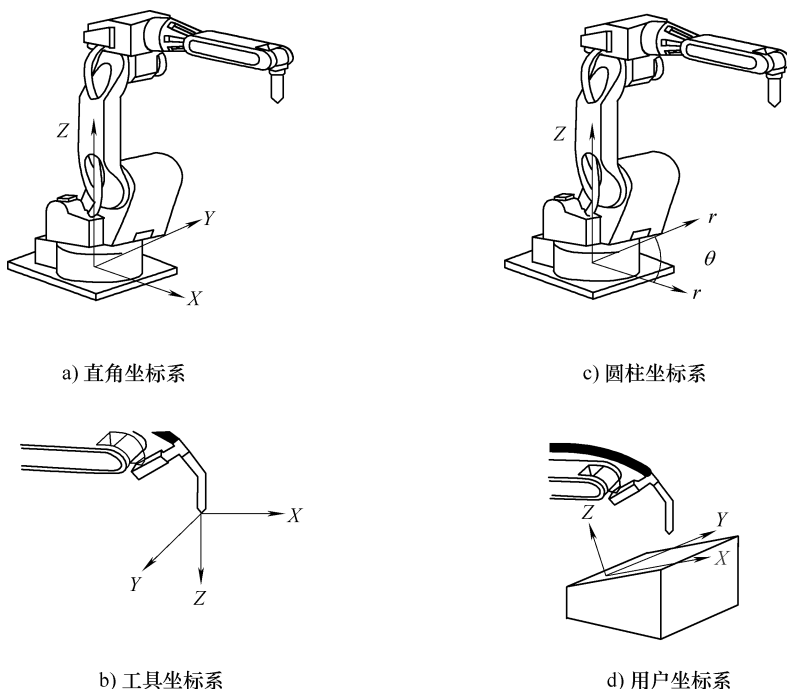


图 4-11 各坐标系示意图

## 2. 坐标系的选择

按 [坐标] 键，每按一次此键，坐标系按：关节→直角→圆柱→工具→用户的顺序变化，通过状态区的显示来确认。

(1) 手动速度的选择。手动速度可选择高、中、低速或微动，此外，还可通过按 [高速] 键，采用高速移动。所设定的手动速度，除了轴操作键以外，[前进] / [后退] 键操作时也有效。用示教编程器让机器人工作时，控制点的最高速度限制为  $250\text{mm/s}$ 。

按手动速度 [高] 或 [低] 键，每按一次，手动速度按顺序变化，通过状态区的显示来确认。

按住轴操作键的同时，按 [高速] 键，机器人进行高速移动，但手动速度设定为“微动”时，按 [高速] 键无效。

(2) 关节坐标系 设定为关节坐标系时，机器人的  $S$ 、 $L$ 、 $U$ 、 $R$ 、 $B$ 、 $T$  各轴分别运动，按轴操作键时各轴的动作情况见表 4-3。

表 4-3 关节坐标系的轴动作

轴名称		轴操作键	动 作
基本轴	S 轴		本体左右回旋
	L 轴		下臂前后运动
	U 轴		上臂上下运动
腕部轴	R 轴		上臂带手腕回旋
	B 轴		手腕上下运动
	T 轴		手腕回旋

- 参考
- 同时按下两个以上轴操作键时，机器人按合成动作运动，但如果像 [S -] + [S +] 这样，同轴反方向两键同时按下，全轴不动。
  - 在使用 7 轴或 8 轴机器人时，同时按 [转换] + [S -] 或 [转换] + [S +]，移动 C 轴（第 7 轴），同时按 [转换] + [L -] 或 [转换] + [L +]，移动 W 轴（第 8 轴）。

各轴运动方向如图 4-12 所示。

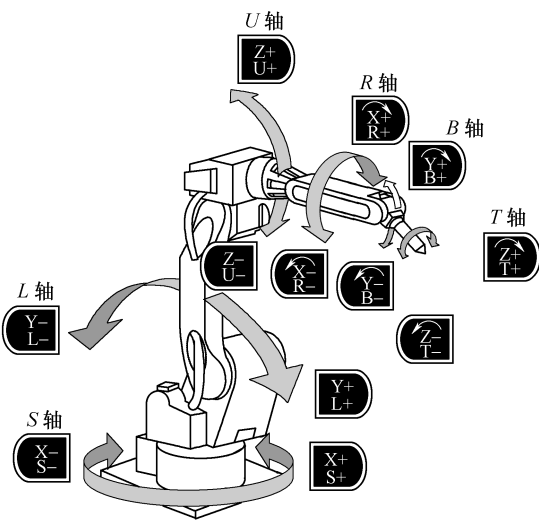

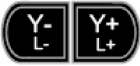



图 4-12 各轴运动方向示意图

(3) 直角坐标系 设定为直角坐标系时，机器人控制点沿 X、Y、Z 轴平行移动，按住轴操作键时，各轴的动作见表 4-4。

表 4-4 直角坐标系的轴动作

轴名称		轴操作键	动 作
基本轴	X 轴		沿 X 轴平行移动
	Y 轴		沿 Y 轴平行移动
	Z 轴		沿 Z 轴平行移动
腕部轴		腕部轴控制点不变动作	

腕部轴围绕控制点动作，控制点位置不变。同时按下两个以上轴操作键时，机器人按合成动作运动。但是如果像  $[X-] + [X+]$  这样，同轴反方向两键同时按下，全轴不动。动作示意如图 4-13 所示。

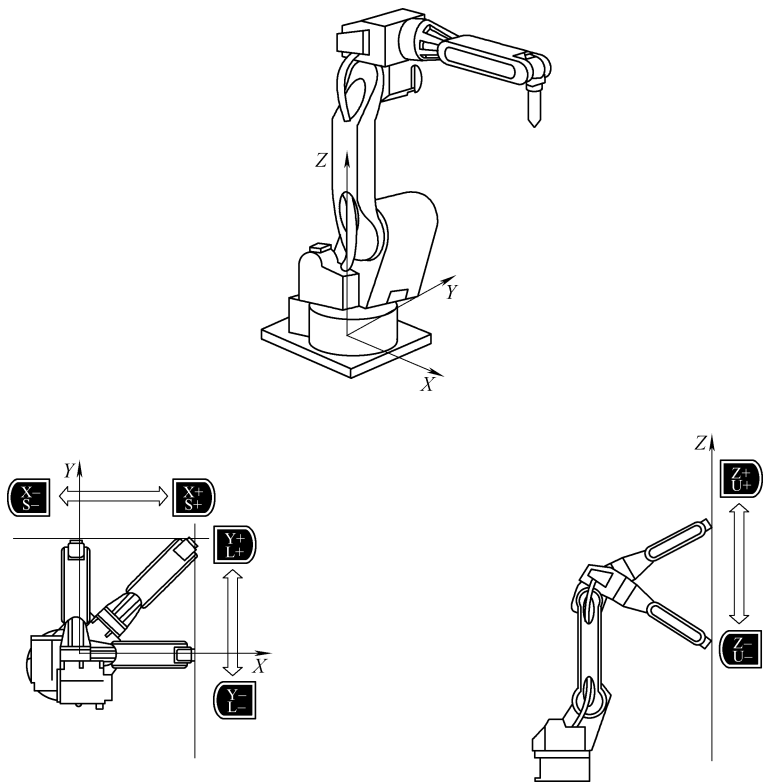


图 4-13 直角坐标系动作示意图

(4) 圆柱坐标系 设定为圆柱坐标系时，机器人控制点以本体轴 S 轴为中心作回旋运动，或与 Z 轴呈直角作平行移动。按住轴操作键时，各轴的动作说明见表 4-5，动作示意如图 4-14 所示。

表 4-5 圆柱坐标系的轴动作

轴名称		轴操作键	动 作
基本轴	$\theta$ 轴	<div><div>X<sup>-</sup> S<sup>-</sup></div><div>X<sup>+</sup> S<sup>+</sup></div></div>	本体绕 S 轴回旋
	$r$ 轴	<div><div>Y<sup>-</sup> L<sup>-</sup></div><div>Y<sup>+</sup> L<sup>+</sup></div></div>	垂直于 Z 轴移动
	Z 轴	<div><div>Z<sup>-</sup> U<sup>-</sup></div><div>Z<sup>+</sup> U<sup>+</sup></div></div>	沿 Z 轴平行移动

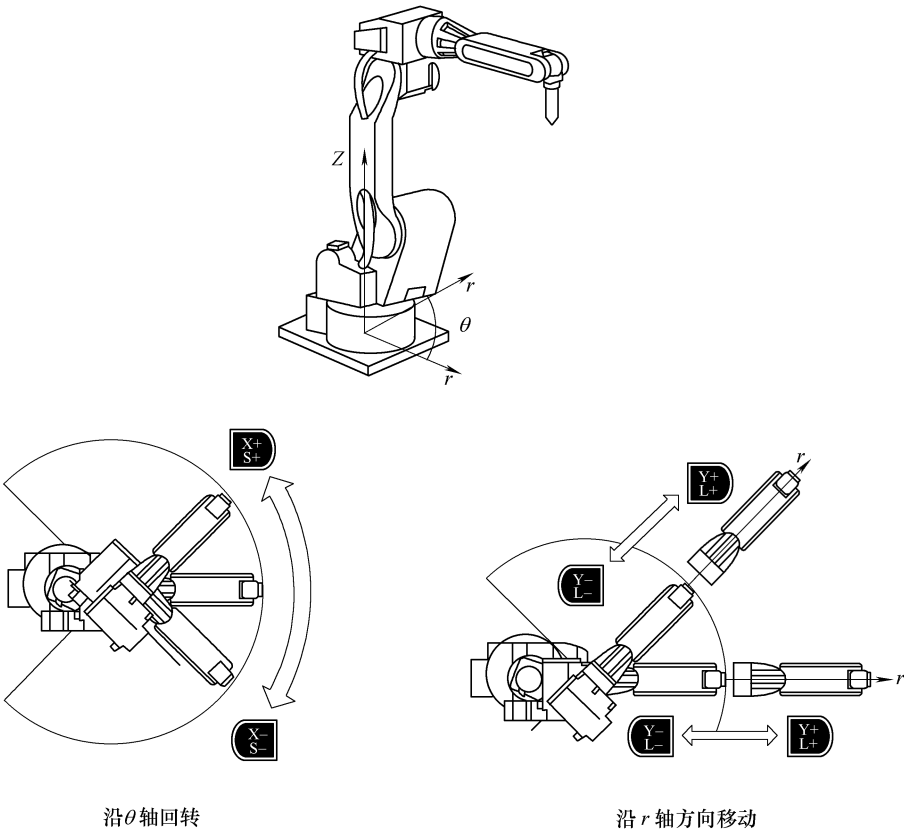


图 4-14 圆柱坐标系具体动作示意图

# 第 5 章 简单的示教和再现

MOTOMAN 机器人是具有记忆再现功能的机器人。操作者预先对机器人进行示教，机器人记忆有关作业程序、位置及其他信息，然后按照再现指令，逐条取出解读，在一定精度范围重复被示教的程序，完成工作任务。采用“示教/再现”（teaching/play-back）方式（简称 T/P 方式），可使机器人有通用性和灵活性。

## 5.1 示教

### 5.1.1 示教前的准备

开始示教前，把动作模式设定为示教模式，输入程序名。

- 1) 确认示教编程器上的模式旋钮对准“TEACH”，设定为示教模式。
- 2) 按〔伺服准备〕键。伺服电源接通指示灯开始闪烁。如果不按〔伺服准备〕键，即使按住安全开关，伺服电源也不会接通。
- 3) 在主菜单选择“程序”，然后在子菜单选择“新建程序”。
- 4) 显示新建程序画面后，按〔选择〕键。
- 5) 显示字符输入画面后，输入程序名。现以“TEST”为程序名举例说明如下：把光标移到字母“T”上，按〔选择〕键，选中“T”，用同样的方法再选择“E”“S”“T”。也可以用手指直接在显示屏上点“T”“E”“S”“T”，输入程序名。
- 6) 按〔回车〕键进行登录。
- 7) 光标移动到“执行”上，按〔选择〕键，程序“TEST”被登录，画面上显示该程序，“NOP”和“END”命令自动生成。

### 5.1.2 示教的基本步骤

为了使机器人能够进行再现，就必须把机器人运动命令编成程序。控制机器人运动的命令就是移动命令。在移动命令中，记录移动到的位置、插补方式、再现速度等。因为 NX100 机器人所使用的 INFORMIII 语言主要的移动命令都以“MOV”开头，所以也把移动命令叫作“MOV 命令”。

例如：

- MOVJ VJ = 50.00                      ； 机器人采用关节运动方式以 50% 基准速度运动到指定点。
- MOVL V = 1122    PL = 1            ； 机器人采用直线运动方式以 1122mm/s 运动到指定点，位置精度为 1 级。

当示教如图 5-1 所示程序内容时，机器人按照程序点 1 的移动命令中输入的插补方式和示教速度移动到程序点 1 的位置。然后在程序点 1 和 2 之间，按照程序点 2 的移动命令中输入的插补方式和再现速度移动。同样，在程序点 2 和 3 之间，按照程序点 3 的移动命令中输入的插补方式和再现速度移动。当机器人到达程序点 3 的位置后，依次执行“TIMER”命令和“DOUT”命令，然后移向程序点 4 的位置。

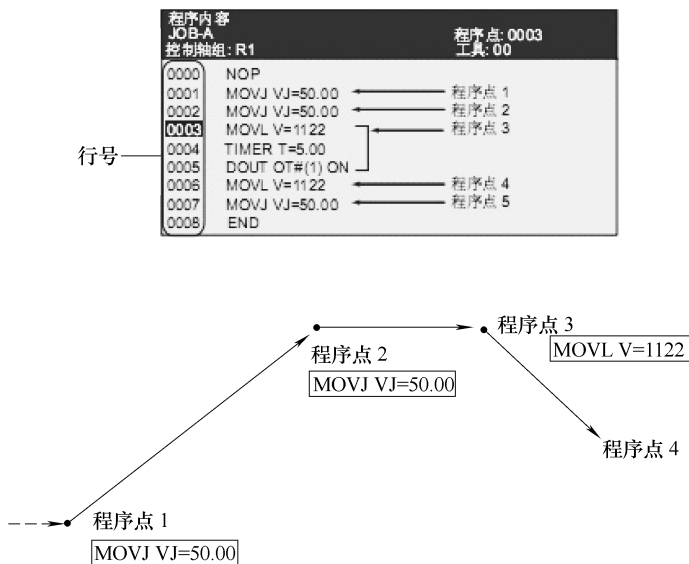


图 5-1 示教再现程序

示例：为机器人输入如图 5-2 所示的从工件 A 点到 B 点的移动程序。

- (1) 程序点 1——开始位置 把机器人移动到空旷的位置，输入程序点 1，如图5-3 所示。
- 1) 握住安全开关，接通伺服电源，机器人进入可动作状态。
  - 2) 用轴操作键把机器人移动到开始位置，开始位置应设置在安全并适合作业准备的位置。
  - 3) 按 [ 插补方式 ] 键，把插补方式定为关节插补。输入缓冲显示行中显示关节插补命令“MOVJ...”，界面显示为“MOVJ VJ=0.78”。
  - 4) 光标放在行号 0000 处，按 [ 选择 ] 键。
  - 5) 把光标移到右边的“VJ = \* . \* \* ”上，按 [ 转换 ] 键的同时按光标键，设定再现速度，试设定速度为 50%。
  - 6) 按 [ 回车 ] 键，输入程序点 1（行 0001）。
- (2) 程序点 2——作业开始位置附近
- 1) 用轴操作键，使机器人姿态成为作业姿态，如图 5-4 所示。
  - 2) 按 [ 回车 ] 键，输入程序点 2（行 0002）。
- (3) 程序点 3——作业开始位置 保持程序点 2 的姿态不变，移向作业开始位置。如图 5-5 所示。



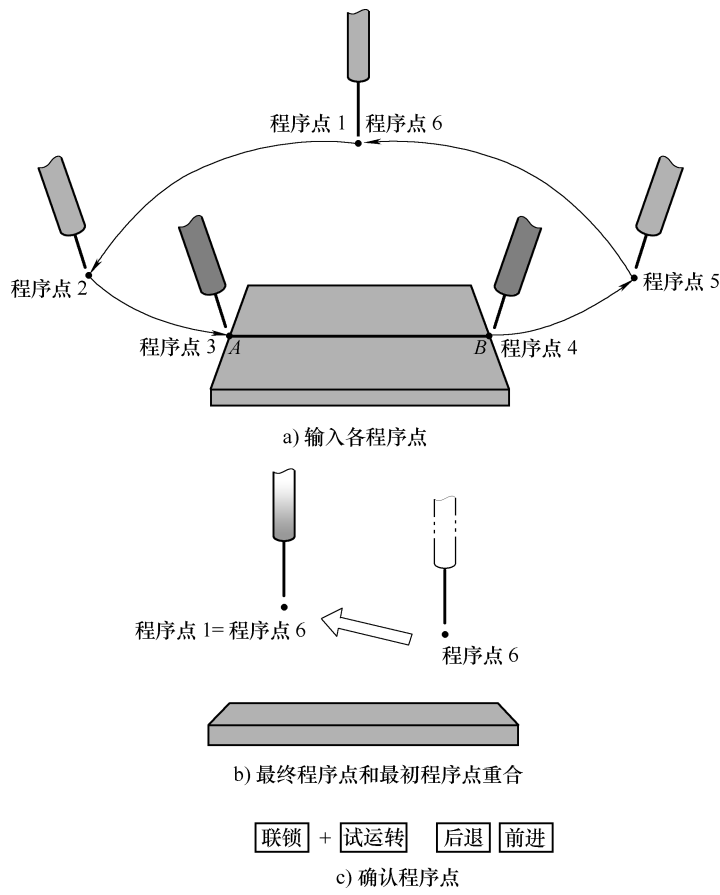


图 5-2 示教程序点

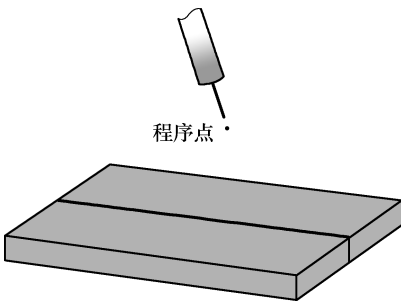


图 5-3 开始位置

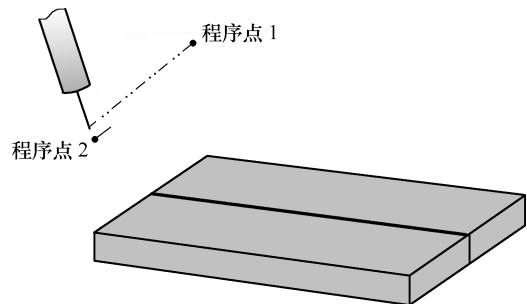


图 5-4 作业开始位置附近

- 1) 按手动速度 [高] 或 [低] 键，直到在状态显示区域显示中速。
- 2) 保持程序点 2 的姿态不变，按 [坐标] 键，设定机器人坐标系为直角坐标系，用轴操作键把机器人移到作业开始位置。
- 3) 光标在行号 0002 处，按 [选择] 键。
- 4) 把光标移到右边的“VJ = \* . \* \*”上，按 [转换] 键的同时按光标键上下，设定再现速度，直到设定速度为 12.50%。

5) 按 [回车] 键, 输入程序点 3 (行 0003)。

(4) 程序点 4——作业结束位置 作业结束位置如图 5-6 所示。

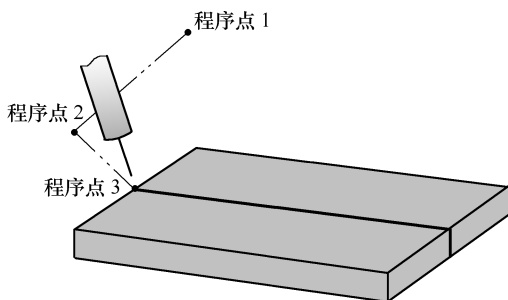


图 5-5 作业开始位置

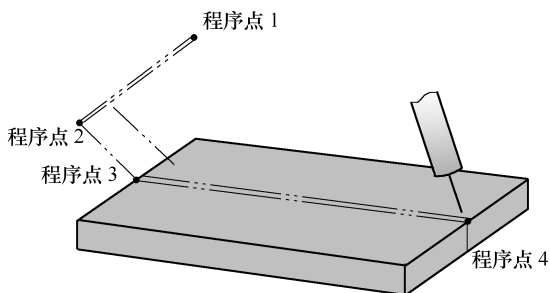


图 5-6 作业结束位置

1) 用轴操作键把机器人移动到作业结束位置。从作业开始位置到结束位置, 不必精确沿焊缝移动, 为了不碰撞工件, 移动轨迹可远离工件。

2) 按 [插补方式] 键, 插补方式设定为直线插补 (MOVL)。

3) 光标在行号 0003 处, 按 [选择] 键。

4) 把光标移到右边的 “V = \* . \* \*” 上, 按 [转换] 键的同时按光标键上箭头或下箭头, 设定再现速度, 直到设定速度为 138 cm/min, 界面显示为 “MOVL V = 138”。

5) 按 [回车] 键, 输入程序点 4 (行 0004)。

(5) 程序点 5——不触碰工件、夹具的位置 不触碰工件、夹具的位置如图 5-7 所示。

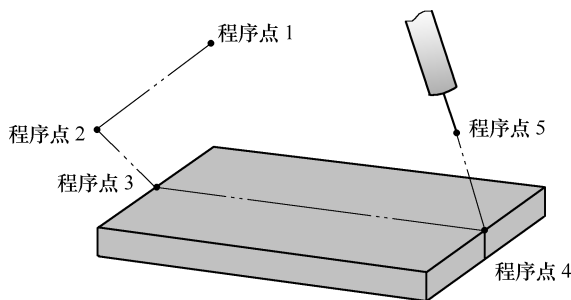


图 5-7 不触碰工件、夹具的位置图

1) 按手动速度 [高] 键, 设定为高速。

2) 用轴操作键把机器人移动到不触碰夹具的位置。

3) 按 [插补方式] 键, 设定插补方式为关节插补 (MOVJ)。

4) 光标在行号 0004 上, 按 [选择] 键。

5) 把光标移到右边的 “VJ = 12.50 上”, 按 [转换] 键的同时按光标键的上箭头或下箭头, 直到出现希望的速度。把再现速度设定为 50%。界面显示为 “MOVJ VJ = 50.00”

6) 按 [回车] 键, 输入程序点 5 (行 0005)。

(6) 程序点 6——开始位置附近  
开始位置附近如图 5-8 所示。

1) 用轴操作键把机器人移动到开始位置附近。

2) 按 [回车] 键, 输入程序点 6 (行 0006)。

(7) 程序点 7——最初的程序点和最后的程序点重合。现在, 机器人停在程序点 1 附近的程序点 6 处。如果能从作业结束位置的程序点 5 直接移动到程序点 1 的位置, 就可以立刻开始下一个工件的操作, 从而提高工作效率。下面就试着把程序点 6 与程序点 1 设在同一个位置, 如图 5-9 所示。

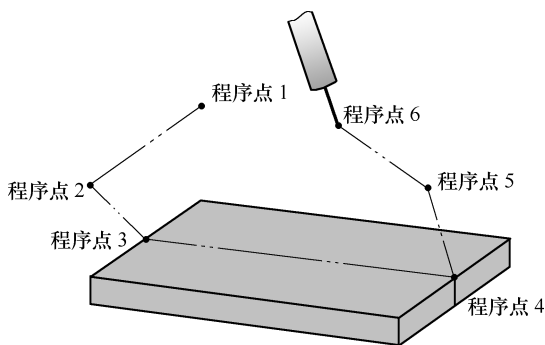


图 5-8 开始位置附近

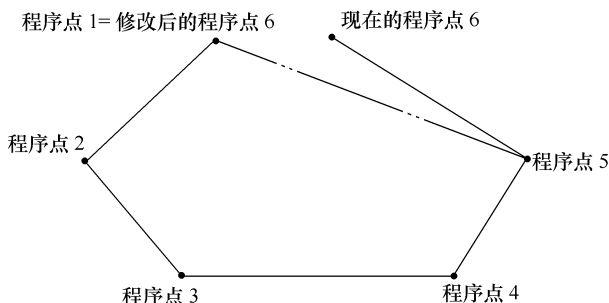


图 5-9 最初的程序点和最后的程序点重合示意图

- 1) 把光标移动到程序点 1 (行 0001)。
  - 2) 按 [前进] 键, 机器人移动到程序点 1。
  - 3) 把光标移动到程序点 6 (行 0006)。
  - 4) 按 [修改] 键。
  - 5) 按 [回车] 键, 程序点 6 的位置被修改到与程序点 1 相同的位置。
- 完整程序如下:

```

0000      NOP
0001      MOVJ VJ = 50.00
0002      MOVJ VJ = 50.00
0003      MOVJ VJ = 12.50
0004      MOVL V = 138
0005      MOVJ VJ = 50.00
0006      MOVJ VJ = 50.00
0007      END
  
```

### 5.1.3 轨迹的确认

完成机器人动作程序输入后，运行这个程序，以便检查各程序点是否有不妥之处。

1) 把光标移到程序点 1 (行 0001)。

2) 按手动速度的 [高] 或 [低] 键，设定速度为中。

3) 按 [前进] 键，通过机器人的动作确认各程序点。每按一次 [前进] 键，机器人移动一个程序点。

4) 程序点确认完成后，把光标移到程序起始处。

5) 按下 [联锁] 键的同时，按 [试运行] 键，机器人连续再现所有程序点，一个循环后停止运行。

### 5.1.4 程序的修改

程序的修改包括插入程序点、删除程序点和修改程序点，修改程序点又包括位置数据的修改、再现速度的修改和插补方式的修改。

## 5.2 程序再现

### 5.2.1 程序再现前的准备

当从程序开始处运行时，先进行以下操作：

1) 把光标移到程序开头。

2) 用轴操作键把机器人移到程序点 1。

再现时，机器人从程序点 1 开始移动。

### 5.2.2 再现的步骤

1) 把示教编程器上的模式旋钮设定在“PLAY”上，设定为再现模式。

2) 按 [伺服准备] 键，接通伺服电源。

3) 按启动键。机器人把示教过的程序运行一个循环后停止。

工业机器人广泛应用于弧焊、点焊、涂胶、切割、搬运、码垛、喷漆、科研及教学。前两节对简单的示教和再现进行了学习，接下来举例介绍示教和再现在弧焊、搬运、通用、点焊和喷涂等方面的具体应用。

## 5.3 机器人弧焊实例

### 5.3.1 程序

以图 5-10 所示的工件的焊接为例，说明编写程序的步骤。

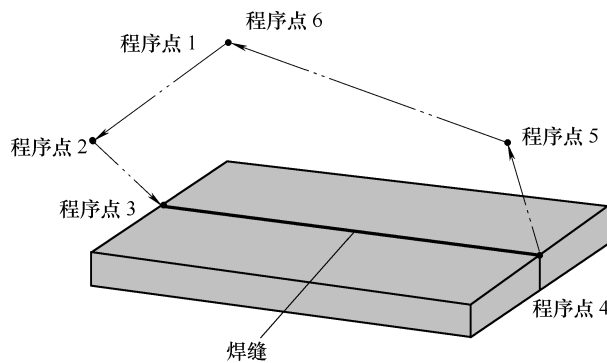


图 5-10 工件的焊接程序点示意图

工件的焊接具体命令及内容说明见表 5-1。

表 5-1 工件的焊接具体命令及内容说明

行	命 令	内 容 说 明
0000	NOP	程序开始
0001	MOVJ VJ = 25. 00	移到待机位置 (程序点 1)
0002	MOVJ VJ = 25. 00	移到焊接开始位置附近 (程序点 2)
0003	MOVJ VJ = 12. 50	移到焊接开始位置 (程序点 3)
0004	ARCON	焊接开始
0005	MOVL V = 50	移到焊接结束位置 (程序点 4)
0006	ARCOF	焊接结束
0007	MOVJ VJ = 25. 00	移到不碰触工件和夹具的位置 (程序点 5)
0008	MOVJ VJ = 25. 00	移到待机位置 (程序点 6)
0009	END	程序结束

5.3.2 示教

以下对决定焊枪姿态的程序点 2、焊接开始的程序点 3、焊接结束的程序点 4 的示教方法进行说明。

重要

- 待机位置的程序点 1、6，要处于与工件、夹具不干涉的位置。另外，程序点 5 在向程序点 6 移动时，也要处于与工件、夹具不干涉的位置。
- 再现时焊丝伸出长度要和示教时的伸出长度相同。用点动送出焊丝时，剪取适当长度的焊丝。
- 在示教中，焊丝因和工件接触发生弯曲时，把焊丝送出 50 ~ 100mm，剪取适当的长度，继续示教。
- 示教结束后，用 [前进]、[后退] 键确认轨迹。

(1) 程序点 2——焊接开始位置附近 该点决定焊枪姿态。

1) 用轴操作键，使焊接机器人姿态呈作业姿态。

2) 按 [回车] 键, 输入程序点 2, 其编辑画面如图 5-11 所示。

0000	NOP
0001	MOVJ VJ=25.00
0002	MOVJ VJ=25.00
0003	END

图 5-11 程序点 2 编辑画面

(2) 程序点 3——焊接开始位置 保持程序点 2 的姿态, 把焊枪移动到焊接开始位置, 输入引弧命令 “ARCON”。

1) 按手动速度 [高] 或 [低] 键, 直到状态显示区中显示中速。

2) 按轴操作键, 让机器人移动到焊接开始位置, 保持程序点 2 的姿态不变。

3) 光标处于行号处时, 按 [选择] 键。

4) 把光标移到右边的 “VJ = \*. \*\*” 上, 按 [转换] 键的同时按光标键的上箭头或下箭头, 直到出现希望的速度, 把再现速度设定为 12.50%。

5) 按 [回车] 键, 输入程序点 3。

6) 按 [引弧] 键, 输入缓冲行显示 “ARCON”。

7) 按 [回车] 键, 输入 “ARCON” 命令。

(3) 程序点 4——焊接结束位置 该点决定焊接结束位置。

1) 用轴操作键把机器人移到焊接结束位置。从焊接开始位置到结束位置, 不必精确沿焊缝移动, 为了不触碰工件, 移动轨迹可远离工件。

2) 按 [插补方式] 键, 把插补方式设定为直线插补 “MOVL”。

3) 光标在行号处时, 按 [选择] 键。

4) 把光标向右移动到 “V = 66” 上, 按 [选择] 键, 成为数值输入状态, 用数值键输入速度 50cm/min, 再按 [回车] 键。

5) 按 [回车] 键, 输入程序点 4。

6) 按 [熄弧] 键, 输入缓冲行显示 “ARCOF”。

7) 按 [回车] 键, 输入 “ARCOF” 命令。

### 5.3.3 设定焊接条件

焊接条件的登录方法有设定引弧条件文件和在 “ARCON” 命令的附加项中直接设定焊接条件两种。在此, 对在 “ARCON” 命令的附加项中直接设定焊接条件的方法进行说明。

1) 把光标移到 “ARCON” 命令上, 按 [选择] 键, 进入行编辑状态, 再次按 [选择] 键, 显示详细编辑画面。

2) 在详细编辑画面中, 焊接电流设定为 “未使用” 或 “ASF# ( )” 时, 按 [选择] 键, 从选择对话框中选择 “AC = ”。详细编辑画面如图 5-12 所示。

3) 要改变电流值 “AC = ” 和电压值 “AVP = ” 或 “AV = ”, 先把光标移到电流值或电压值上, 按 [选择] 键, 成为数值输入状态, 用数值键输入电流值、电压值后,



详细编辑  
ARCON

电流值	<input type="checkbox"/>	AC= 200	<input checked="" type="checkbox"/>
电压值	<input type="checkbox"/>	AVP= 100	<input checked="" type="checkbox"/>
定时器	<input type="checkbox"/>	T= 3.00	<input checked="" type="checkbox"/>
速度	<input type="checkbox"/>	未使用	
再引弧	<input type="checkbox"/>	未使用	

图 5-12 编辑画面

按 [回车] 键。在输入缓冲行中，设定的焊接条件以“ARCON”命令的附加项被显示。再次按 [回车] 键，设定的条件输入到程序中。

5.3.4 轨迹和焊接的确认

1. 检查运行

检查运行是为了确认示教的轨迹。检查运行时，因为不执行“ARCON”等作业输出命令，所以可以进行空运行。

2. 限速运行

限速运行是为了确认示教后的轨迹。限速运行时，所有动作都以低于示教模式限制的速度动作（通常为 250mm/s）。速度低于限制速度的程序点按示教速度动作。

- 1) 把示教编程器上的模式旋钮对准“PLAY”，设定为再现模式。
- 2) 把光标移到菜单区，选择“实用工具”，再选择“设定特殊运行”。显示特殊运行画面。
- 3) 把光标移到“检查运行”的设定值上，按 [选择] 键，状态从“无效”转变为“有效”，检查运行的设定即成为有效设定。
- 4) 在机器人附近没有人的情况下，按 [启动] 按钮，确认机器人的动作是否正确。

3. 焊接

轨迹确认结束，可以进行焊接。如果关闭检查运行，“ARCON”“ARCOF”作业命令也将被执行。

5.4 机器人搬运实例

5.4.1 程序

搬运工件的程序点如图 5-13 所示，搬运工件程序命令及内容说明见表 5-2。

表 5-2 搬运工件程序命令及内容说明

行	命 令	内 容 说 明
0000	NOP	程序开始
0001	MOVJ VJ=25.00	移到初始位置 (程序点 1)

(续)

行	命 令	内 容 说 明
0002	MOVJ VJ = 25. 00	移到抓取位置附近(抓取前) (程序点 2)
0003	MOVL V = 100. 0	移到抓取位置 (程序点 3)
0004	HAND I ON	抓取工件
0005	TIMER T = 0. 50	等待抓取工件结束
0006	MOVL V = 100. 0	移到抓取位置附近(抓取后) (程序点 4)
0007	MOVJ VJ = 25. 00	移到初始位置 (程序点 5)
0008	MOVJ VJ = 25. 00	移到放置位置附近(放置前) (程序点 6)
0009	MOVL V = 100. 0	移到放置辅助位置 (程序点 7)
0010	MOVL V = 50. 0	移到放置位置 (程序点 8)
0011	HAND I OFF	放置工件
0012	TIMER T = 0. 50	等待放置工件结束
0013	MOVL V = 100. 0	移到放置位置附近(放置后) (程序点 9)
0014	MOVJ VJ = 25. 00	移到初始位置 (程序点 10)
0015	END	程序结束

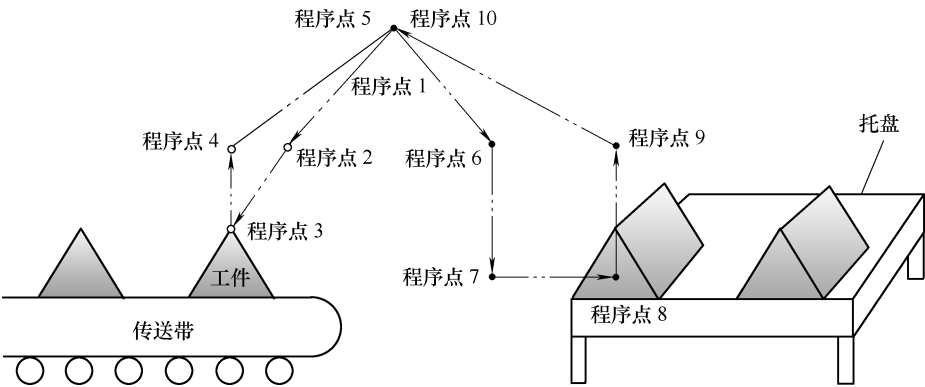


图 5-13 搬运工件程序点示意图

5.4.2 工具命令的使用方法

用这些命令使装在机器人上的工具开、闭，可用于单位、双位、三位电磁阀。一台机器人最多可控制四个工具。对应于不同的电磁阀有如下顺序的信号控制。

1. SP（单位电磁阀）

用 HAND 命令对工具阀（x-1）进行 ON/OFF 控制。它的反转信号被输出到工具阀（x-2）。使用单位电磁阀时，两个信号接任意一个。

2. 2P（双位电磁阀）

用 HAND 命令对工具阀（x-1）进行 ON/OFF 控制。它的反转信号被输出到工具阀（x-2）。

3. 3P（三位电磁阀）

在 HAND 命令后附加一个 ALL，工具阀（x-1）和工具阀（x-2）可以共同 ON/

OFF。不附加 ALL 时，和双位电磁阀相同。各电磁阀的状态见表 5-3。

表 5-3 电磁阀的状态

命令 ( <i>x</i> :工具号)	SP (阀 <i>x</i> - 1/ <i>x</i> - 2)	2P (阀 <i>x</i> - 1/ <i>x</i> - 2)	3P (阀 <i>x</i> - 1/ <i>x</i> - 2)
HAND <i>x</i> ON	ON/- (-/OFF)	ON/OFF	ON/OFF
HAND <i>x</i> OFF	OFF/- (-/OFF)	OFF/ON	OFF/ON
HAND <i>x</i> ON ALL	—	—	ON/ON
HAND <i>x</i> OFF ALL	—	—	OFF/OFF

4. 命令和附加项

命令和附加项组成方式如图 5-14 所示。

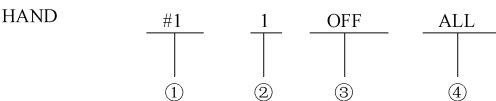


图 5-14 命令和附加项组成方式

- ① 设备号（1 号或 2 号）：仅在两台机器人共同搬运时设定。
- ② 工具号（1 ~ 4）：不可省略。
- ③ 工具输出状态（ON/OFF）：ON 或 OFF 选择一个，不可省略。
- ④ 阀同时控制（ALL）：使用三位电磁阀，阀 1、2 同时 ON 或 OFF 时使用。

5.4.3 示教

以下对有关抓取动作的程序点 2、3、4 和放置动作的程序点 6、7、8、9 的示教方法进行说明。

（1）程序点 2——抓取位置附近（抓取前） 该点决定抓取姿态。

1) 用轴操作键设置机器人可以抓取工件的姿态，必须选取机器人在接近工件时不与工件发生干涉的方向、位置（通常在抓取位置的正上方）。

2) 按 [回车] 键，输入程序点 2，编辑界面如图 5-15 所示。



图 5-15 程序点 2 编辑界面

（2）程序点 3——抓取位置 保持程序点 2 的姿态，移到抓取位置，输入工具命令“HAND”。

1) 按手动速度 [高] 或 [低] 键，让状态显示区显示中速，如图 5-16 所示。

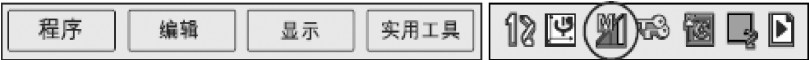


图 5-16 手动速度键选择

2) 用轴操作键把机器人移到抓取位置，保持程序点 2 的姿态不变。

3) 按 [ 插补方式 ] 键, 设定插补方式为直线插补 “MOVL”, 如图 5-17 所示。

⇒ MOVL V=11.0

图 5-17 设定插补方式

4) 光标位于行号处, 按 [ 选择 ] 键, 如图 5-18 所示。

⇒ **MOVL** V=11.0

图 5-18 光标显示

5) 把光标向右移动到 “V = 11.0” 上, 按 [ 选择 ] 键, 成为数值输入状态, 用数值键输入速度 100mm/s, 再按 [ 回车 ] 键。

6) 按 [ 回车 ] 键, 输入程序点 3, 编辑界面如图 5-19 所示。

0000	NOP
0001	MOVJ VJ=25.00
0002	MOVJ VJ=25.00
<b>0003</b>	MOVL V=100.0
0004	END

图 5-19 程序点 3 编辑界面

7) 按 [ 抓手 1 通/断 ] 键, 输入缓冲行显示 “HAND 1 ON”, 如图 5-20 所示。

⇒ **HAND** 1 ON

图 5-20 抓手 1 通/断设定

8) 按 [ 回车 ] 键, 输入 “HAND” 命令 (抓取)。

9) 按 [ 命令一览 ] 键, 显示命令一览, 把光标移到 “控制” 上, 按 [ 选择 ] 键, 然后把光标移到 “TIMER” 上, 按 [ 选择 ] 键, 定时操作如图 5-21 所示。

⇒ **TIMER** T=1.00

图 5-21 定时操作

10) 在缓冲显示行, 把光标移到右边的 “T = 1.00” 上, 按 [ 选择 ] 键, 成为数字输入状态, 用数值键输入所希望的值 0.5s, 按 [ 回车 ] 键, 定时数值修改如图 5-22 所示。

⇒ TIMER T=**0.50**

图 5-22 定时数值修改

11) 按 [ 回车 ] 键, 输入 “TIMER” 命令。

12) 再次按 [ 命令一览 ] 键, 键左上角的灯熄灭。

(3) 程序点 4——抓取位置附近 (抓取后) 程序点 4 决定抓取后的退让等待位置。

1) 用轴操作键把机器人移到抓取位置附近。移动时, 选择与周边设备和工具不发

生干涉的方向、位置（通常在抓取位置的正上方，和程序点 2 在同一位置也没关系）。

2) 光标位于行号处，按 [选择] 键，光标显示如图 5-23 所示。

⇒ **MOVL** V=11.0

图 5-23 光标显示

3) 在输入缓冲行，把光标移到右边的“V = 11.0”上按 [选择] 键，成为数值输入状态，用数值键输入希望的速度，输入“100.0”（表示 100.0mm/s），按 [回车] 键。

4) 按 [回车] 键，输入程序点 4，编辑界面如图 5-24 所示。

```
0000  NOP
0001  MOVJ VJ=25.00
0002  MOVJ VJ=25.00
0003  MOVL V=100.0
0004  HAND 1 ON
0005  TIMER T=0.50
0006  MOVL V=100.0
0007  END
```

图 5-24 程序点 4 编辑界面

(4) 程序点 6——放置位置附近（放置前） 程序点 6 决定放置姿态。

1) 用轴操作键设定机器人能够放置工件的姿态。在机器人接近工作台时，要选择把持的工件和堆积的工件不干涉的场所，并决定位置（通常在放置辅助位置的正上方）。

2) 按 [插补方式] 键，设定插补方式为关节插补“MOVJ”，如图 5-25 所示。

⇒ **MOVJ** V=0.78

图 5-25 设定插补方式

3) 光标位于行号处，按 [选择] 键，选择“VJ”，如图 5-26 所示。

⇒ **MOVJ** **VJ** =0.78

图 5-26 选择“VJ”

4) 在输入缓冲行，把光标移到右边的“VJ = 0.78”上，按 [转换] 键的同时，按光标键上下，设定再现速度，把速度设定为 25.00%，再现速度设定如图 5-27 所示。

⇒ **MOVJ** VJ= **25.00**

图 5-27 再现速度设定

5) 按 [回车] 键，输入程序点 6，编辑界面如图 5-28 所示。

(5) 程序点 7——放置辅助位置 程序点 7 决定进行放置的辅助位置。

1) 从程序点 6 直接移到放置位置，已经放置的工件和把持着的工件可能发生干涉，这时为了避开干涉，要设一个辅助位置，姿态和程序点 6 相同。

0000	NOP
0001	MOVJ VJ=25.00
0002	MOVJ VJ=25.00
0003	MOVL V=100.0
0004	HAND 1 ON
0005	TIMER T=0.50
0006	MOVL V=100.0
0007	MOVJ VJ=25.00
0008	MOVJ VJ=25.00
0009	END

图 5-28 程序点 6 编辑界面

2) 按 [插补方式] 键，插补方式设定为直线插补“MOVL”，如图 5-29 所示。



图 5-29 插补方式设定

3) 光标位于行号处，按 [选择] 键，如图 5-30 所示。



图 5-30 光标显示

4) 在输入缓冲行，把光标移到右边的“V = 11.0”上，按 [选择] 键，成为数值输入状态，用数值键把速度设定为“100.0”（表示 100.0 mm/s），然后按 [回车] 键。

5) 按 [回车] 键，输入程序点 7，编辑界面如图 5-31 所示。

0000	NOP
0001	MOVJ VJ=25.00
0002	MOVJ VJ=25.00
0003	MOVL V=100.0
0004	HAND 1 ON
0005	TIMER T=0.50
0006	MOVL V=100.0
0007	MOVJ VJ=25.00
0008	MOVJ VJ=25.00
0009	MOVL V=100.0
0010	END

图 5-31 程序点 7 编辑界面

(6) 程序点 8——放置位置 保持程序点 7 的姿态移到放置位置，输入工具命令“HAND”。

1) 按手动速度 [高]、[低] 键，让状态显示区中显示中速，如图 5-32 所示。

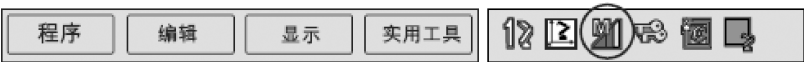


图 5-32 手动速度设定

2) 用轴操作键把机器人移到放置位置，保持程序点 7 的姿态不变。

3) 光标位于行号处，按 [选择] 键，如图 5-33 所示。

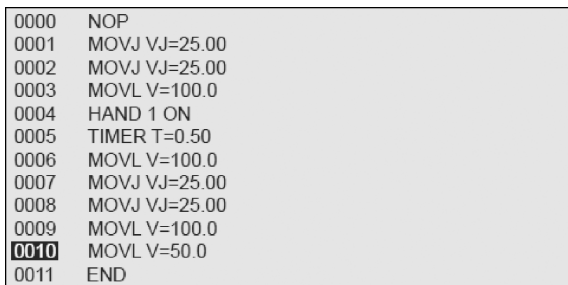




图 5-33 光标显示

4) 在输入缓冲行, 把光标移到右边的“V = 11.0”上, 按 [ 选择 ] 键, 成为数值输入状态, 用数值键把速度设定为“50.0” (表示 50.0mm/s), 然后按 [ 回车 ] 键。

5) 按 [ 回车 ] 键, 输入程序点 8, 编辑界面如图 5-34 所示。



```

0000  NOP
0001  MOVJ VJ=25.00
0002  MOVJ VJ=25.00
0003  MOVL V=100.0
0004  HAND 1 ON
0005  TIMER T=0.50
0006  MOVL V=100.0
0007  MOVJ VJ=25.00
0008  MOVJ VJ=25.00
0009  MOVL V=100.0
0010  MOVL V=50.0
0011  END
  
```

图 5-34 程序点 8 编辑界面

6) 按 [ 抓手 1 通/断 ] 键, 输入缓冲行显示“HAND 1 ON”, 如图 5-35 所示。



图 5-35 抓手 1 通/断设定

7) 在输入缓冲行, 把光标移到右边的“ON”上, 按 [ 转换 ] 键的同时, 按光标键上下, 直到显示“OFF”, 修改通/断方式如图 5-36 所示。



图 5-36 修改通/断方式

8) 按 [ 回车 ] 键, 输入“HAND”命令 (松开)。

9) 按 [ 命令一览 ] 键, 显示命令一览, 把光标移到“控制”上, 按 [ 选择 ] 键, 再把光标移到“TIMER”上, 按 [ 选择 ] 键, 定时选择如图 5-37 所示。



图 5-37 定时选择

10) 在输入缓冲行, 把光标移到右边的“T = 1.00”上, 按 [ 选择 ] 键, 成为数值输入状态, 用数值键把时间设定为“0.5” (表示 0.5s), 定时数值修改如图 5-38 所示。



图 5-38 定时数值修改

11) 按 [ 回车 ] 键, 输入“TIMER”命令。

12) 再次按 [ 命令一览 ] 键, 命令一览键左上角的灯熄灭。

(7) 程序点 9——放置位置附近（放置后） 程序点 9 决定放置后的退让等待位置。

1) 用轴操作键把机器人移到放置位置附近。移动时，选择工件和工具不干涉的方向、位置（通常是在放置位置的正上方）。

2) 光标位于行号上，按 [ 选择 ] 键，光标显示如图 5-39 所示。



图 5-39 光标显示

3) 在输入缓冲行，把光标移到右边的“V = 11.0”上，按 [ 选择 ] 键，成为数值输入状态，用数值键设定速度为“100.0”（表示 100.0mm/s），按 [ 回车 ] 键。

4) 按 [ 回车 ] 键，输入程序点 9，编辑界面如图 5-40 所示。

0000	NOP
0001	MOVJ VJ=25.00
0002	MOVJ VJ=25.00
0003	MOVL V=100.0
0004	HAND 1 ON
0005	TIMER T=0.50
0006	MOVL V=100.0
0007	MOVJ VJ=25.00
0008	MOVJ V=25.00
0009	MOVL V=100.0
0010	MOVL VJ=50.0
0011	HAND 1 OFF
0012	TIMER T=0.50
0013	MOVL V=100.0
0014	END

图 5-40 程序点 9 编辑界面

5.4.4 轨迹和动作的确认

1. 限速运行

限速运行是为了确认示教后的轨迹。限速运行时，所有动作都以低于示教模式限制的速度动作（通常为 250mm/s），速度低于限制速度的程序点按示教速度动作。

1) 把模式旋钮对准“PLAY”，设定为再现模式。

2) 在主菜单中选择“实用工具”，再选择“设定特殊运行”，显示特殊运行设定画面，如图 5-41 所示。

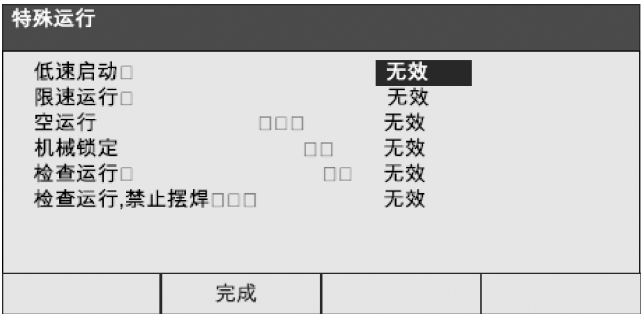


图 5-41 特殊运行设定方式

3) 把光标移到“限速运行”的设定值上,按[选择]键,状态从“无效”变为“有效”,限速运行的设定有效,如图 5-42 所示。

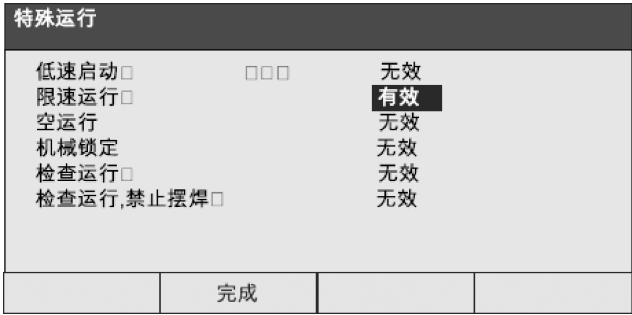


图 5-42 限速运行设定

4) 当机器人附近没有人时,按启动键,确认机器人正确运行。

2. 搬运

如果搬运轨迹合适,便以实际速度运行,“限速运行”处于“无效”状态时,机器人以示教的速度运行。

5.5 机器人机加工实例

5.5.1 程序

以切削加工为例,如图 5-43 所示,说明编写程序的步骤见表 5-4。

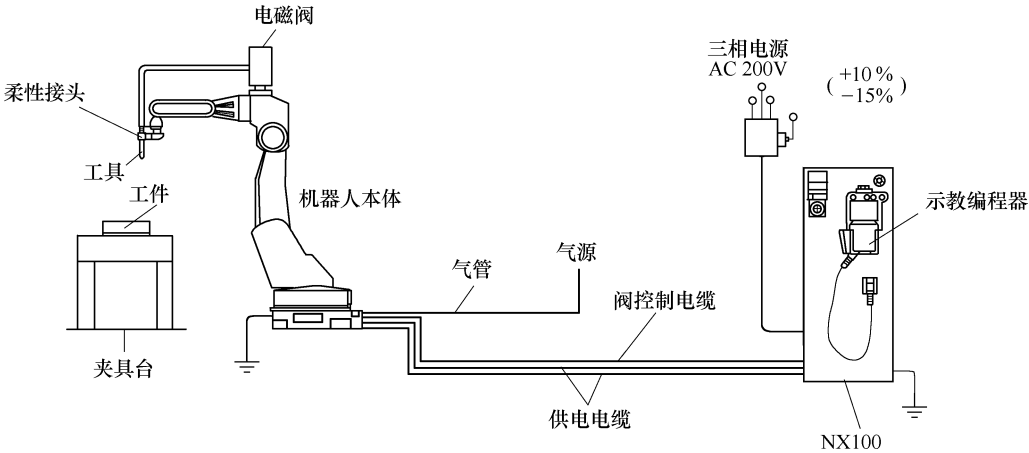


图 5-43 切削加工示意图

表 5-4 切削加工命令及内容说明

行	命 令	内 容 说 明
0000	NOP	程序开始
0001	MOVJ VJ = 25. 00	移到待机位置 (程序点 1)

(续)

行	命 令	内 容 说 明
0002	MOVJ VJ = 25. 00	移到切削开始位置附近 (程序点 2)
0003	MOVJ VJ = 12. 50	移到切削开始位置 (程序点 3)
0004	TOOLON	切削开始
0005	MOVL V = 50. 0	移到切削结束位置 (程序点 4)
0006	TOOLOF	切削结束
0007	MOVJ VJ = 25. 00	移到不碰撞工件和夹具的位置 (程序点 5)
0008	MOVJ VJ = 25. 00	移到待机位置 (程序点 6)
0009	END	程序结束

5.5.2 示教

以下对决定切削姿态的程序点 2 和切削区的程序点 3、4 的示教方法进行说明。

(1) 程序点 2——切削开始位置附近 程序点 2 决定切削姿态。

- 1) 用轴操作键，设定机器人开始切削的姿态。
- 2) 按 [回车] 键，输入程序点 2，编辑界面如图 5-44 所示。

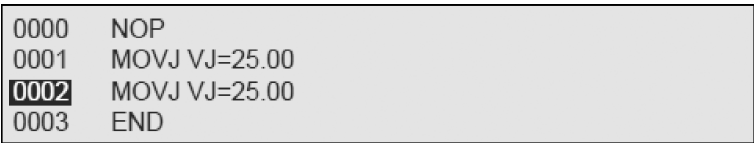


图 5-44 输入点 2 编辑界面

(2) 程序点 3——切削开始位置 保持程序点 2 的姿态，移到切削开始位置，输入工具启动命令“TOOLON”。

- 1) 按手动速度 [高] 或 [低] 键，让状态显示区显示中速，如图 5-45 所示。



图 5-45 手动速度设定

2) 按轴操作键，把机器人移到切削开始位置，这时，务必保持程序点 2 的姿态不变。

- 3) 光标处于行号上时，按 [选择] 键，光标显示如图 5-46 所示。



图 5-46 光标显示

4) 在输入缓冲行，把光标移到右边的“VJ = 25.00”上，在按 [转换] 键的同时，按光标键上下，设定速度为 12.50%，修改速度大小如图 5-47 所示。



图 5-47 修改速度大小

5) 按 [回车] 键, 输入程序点 3, 编辑界面如图 5-48 所示。

0000	NOP
0001	MOVJ VJ=25.00
0002	MOVJ VJ=25.00
<b>0003</b>	MOVJ VJ=12.50
0004	END

图 5-48 程序点 3 编辑界面

6) 按 [2/TOOLON] 键, 输入缓冲行显示 “TOOLON”, 如图 5-49 所示。

⇒ **TOOLON**

图 5-49 输入缓冲行

7) 按 [回车] 键, 输入 “TOOLON” 命令。

(3) 程序点 4——切削结束位置 程序点 4 决定结束切削的位置。

1) 用轴操作键把机器人移到切削作业结束位置。从作业开始位置到结束位置, 不必精确沿加工处移动, 为了不碰撞工件, 移动轨迹可远离工件。

2) 按 [插补方式] 键, 设定插补方式为直线插补 “MOVL”, 如图 5-50 所示。

⇒ **MOVL** V=11.0

图 5-50 设定插补方式

3) 光标位于行号上时, 按 [选择] 键, 光标显示如图 5-51 所示。

⇒ **MOVL** V=11.0

图 5-51 光标显示

4) 在输入缓冲行, 把光标移到右边的 “V = 11.0” 上, 按 [选择] 键, 成为数值输入状态, 用数值键设定速度为 “50.0” (表示 50.0mm/s), 然后按 [回车] 键。

5) 按 [回车] 键, 输入程序点 4, 编辑界面如图 5-52 所示。

0000	NOP
0001	MOVJ VJ=25.00
0002	MOVJ VJ=25.00
0003	MOVJ VJ=12.50
0004	TOOLON
<b>0005</b>	MOVL V=50.0
0006	END

图 5-52 程序点 4 编辑界面

6) 按 [./TOOLOF] 键, 输入缓冲显示行显示 “TOOLOF”, 如图 5-53 所示。

⇒ **TOOLOF**

图 5-53 输入缓冲显示行

7) 按 [回车] 键，输入“TOOLOF”命令。

5.5.3 轨迹和动作的确认

1. 限速运行

限速运行是为了确认示教后的轨迹。限速运行时，所有动作都以低于示教模式限制的速度动作（通常为 250mm/s），速度低于限制速度的程序点按示教速度动作。

1) 把模式旋钮对准“PLAY”，设定为再现模式。

2) 在主菜单中选择“实用工具”，再选择“设定特殊运行”，显示特殊运行设定画面，如图 5-54 所示。



图 5-54 特殊运行设定画面

3) 把光标移到“限速运行”的设定值上，按 [选择] 键，状态从“无效”变为“有效”，限速运行的设定生效，如图 5-55 所示。

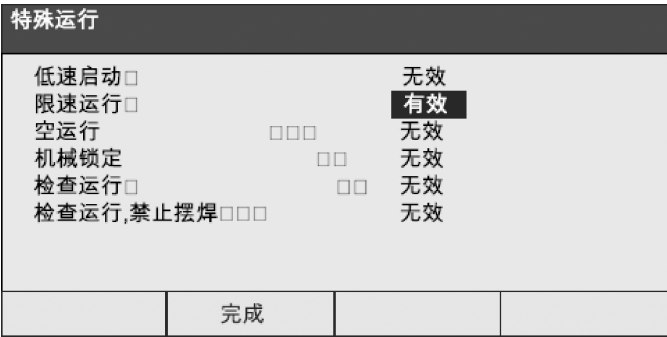


图 5-55 限速运行设定

4) 确定机器人附近无人后，再按 [启动] 按钮，确认机器人的运行轨迹正确。

2. 切削

切削时如果轨迹正确，便以实际速度运行。“限速运行”处于“无效”状态，按照示教的速度运行。



5.6 机器人点焊实例

5.6.1 程序

以工件的点焊为例，点焊示意如图 5-56 所示，编写程序的步骤见表 5-5。

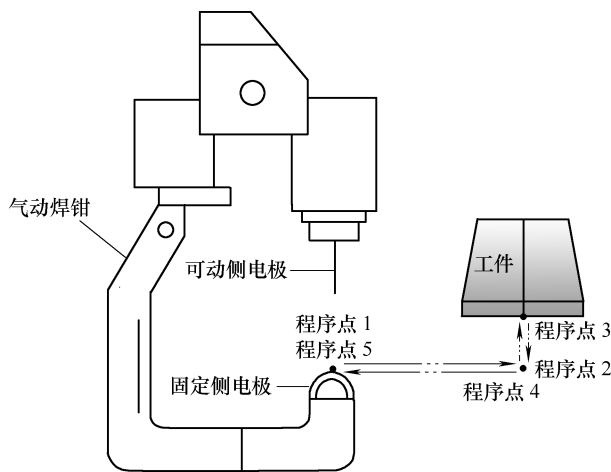


图 5-56 点焊示意图

表 5-5 点焊命令及内容说明

行	命 令	内 容 说 明
0000	NOP	程序开始
0001	MOVJ VJ = 25. 00	移到待机位置 (程序点 1)
0002	MOVJ VJ = 25. 00	移到焊接开始位置附近 (程序点 2)
0003	MOVJ VJ = 25. 00	移到焊接开始位置 (程序点 3)
0004	SPOT GUN#(1) MODE = 0 WTM = 1	焊接开始 指定焊钳 no. 1 指定单行程点焊钳 指定焊接条件 1
0005	MOVJ VJ = 25. 00	移到不碰撞工件、夹具的地方 (程序点 4)
0006	MOVJ VJ = 25. 00	移到待机位置 (程序点 5)
0007	END	程序结束


5.6.2 设定焊接条件

焊钳条件文件需设定以下内容，见表 5-6。

- (1) 焊钳号 初始值：1。
- (2) 焊钳类型 初始值：单行程。
- (3) 焊机号 初始值：1。

- (4) 小开检测 初始值：关。
- (5) 设定停止时的焊钳状态 初始值：开。
- 如果设定的内容和用户系统不同，请改变文件内容。

表 5-6 设定焊钳条件

序号	操 作	说 明
1	选择主菜单的“点焊”	
2	选择“焊钳条件”	显示焊钳条件画面 
3	把光标移到欲设定的项上	—
4	按[ 选择 ]键	—

5.6.3 示教

这里仅对决定焊接姿态的程序点 2 和焊接开始位置的程序点 3 的示教方法进行说明。

重要

- 待机位置的程序点 1，设在与工件、夹具等不干涉的位置。
- 示教时，把焊钳设为开放状态。
- 示教结束后，用 [ 前进 ]、[ 后退 ] 键确认轨迹。

- (1) 程序点 2——焊接开始位置附近 程序点 2 确定焊接姿态。
- 1) 用轴操作键，设定机器人能够进行焊接的姿态。
- 2) 按 [ 回车 ] 键，输入程序点 2，编辑界面如图 5-57 所示。



图 5-57 程序点 2 编辑界面

- (2) 程序点 3——焊接开始位置 移到焊接开始位置，输入焊接开始命令“SPOT”。
- 1) 按手动速度 [ 高 ] 或 [ 低 ] 键，使状态显示区显示中速，如图 5-58 所示。

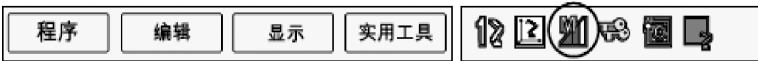


图 5-58 手动速度设定

- 2) 按轴操作键，把机器人移到焊接开始位置。
- 3) 按 [回车] 键，输入程序点 3，编辑界面如图 5-59 所示。

0000	NOP
0001	MOVJ VJ=25.00
0002	MOVJ VJ=25.00
0003	MOVJ VJ=25.00
0004	END

图 5-59 程序点 3 编辑界面

- 4) 按 [./焊接] 键，输入缓冲显示行显示 “SPOT GUN# (1) MODE = 0 WTM = 1”，如图 5-60 所示。



图 5-60 输入缓冲显示行

- 5) 按 [回车] 键，输入 “SPOT” 命令。

5.6.4 轨迹和焊接的确认

1. 检查运行

检查运行是为了确认示教的轨迹。检查运行时，因为不执行 “SPOT” 命令，所以能进行空运行。

- 1) 把模式旋钮对准 “PLAY”，设定为再现模式。
- 2) 在主菜单中选择 “实用工具”，再选择 “设定特殊运行”，显示特殊运行的设定画面，如图 5-61 所示。

特殊运行			
低速启动	<input type="checkbox"/>		无效
限速运行	<input type="checkbox"/>		无效
空运行	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	无效
机械锁定		<input type="checkbox"/>	无效
检查运行	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	无效
检查运行,禁止摆焊	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	无效
完成			

图 5-61 特殊运行设定

- 3) 把光标移到 “检查运行” 的设定值上，按 [选择] 键，使状态成为 “有效”。每按一次 [选择] 键，状态在 “有效” 和 “无效” 之间切换，如图 5-62 所示。
- 4) 当机器人附近没有人时，再按 [启动] 按钮，确认机器人的运行轨迹正确。

2. 焊接

轨迹合适时，开始进行实际焊接。如果 “检查运行” 处于 “无效” 状态，“SPOT” 命令也被执行。

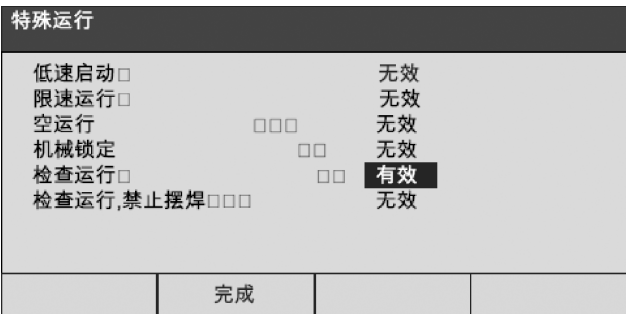


图 5-62 检查运行设定

5.7 机器人喷涂实例

5.7.1 程序

以工件的喷涂为例，如图 4-63 所示，说明编写程序的步骤见表 5-7。

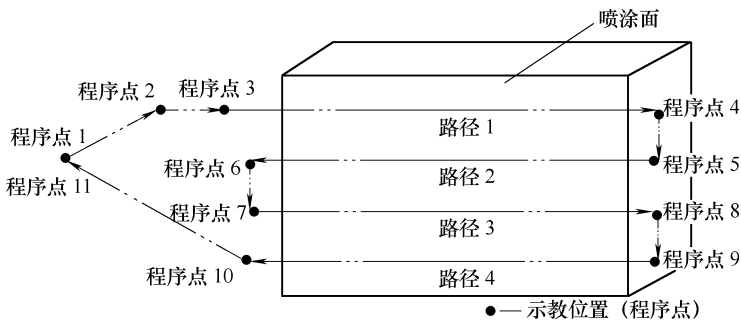


图 5-63 工件的喷涂

表 5-7 工件的喷涂命令及内容说明

行	命 令	内 容 说 明
0000	NOP	程序开始
0001	MOVJ VJ = 25.00	移到待机位置 (程序点 1)
0002	MOVL V = 50	移到喷涂开始位置附近 (程序点 2)
0003	MOVL V = 50 NWAIT	移到喷涂开始位置(路径 1 始点) (程序点 3)
0004	PAINTSET PCF#(1)	设定喷涂条件号 1
0005	SPYON ANT = 1.00	喷涂 ON
0006	MOVL V = 100	移到路径 1 终点 (程序点 4)
0007	MOVL V = 100	移到路径 2 始点 (程序点 5)
0008	MOVL V = 100	移到路径 2 终点 (程序点 6)
0009	MOVL V = 100	移到路径 3 始点 (程序点 7)
0010	MOVL V = 100	移到路径 3 终点 (程序点 8)

(续)

行	命 令	内 容 说 明
0011	MOVL V = 100	移到路径 4 始点 (程序点 9)
0012	MOVL V = 100 NWAIT	移到路径 4 终点 (程序点 10)
0013	SPYOF ANT = -1.00	喷涂 OFF
0014	PAINTEND	喷涂结束
0015	MOVL V = 50	移到待机位置 (程序点 11)
0016	END	程序结束

5.7.2 设定喷涂条件

1) 在主菜单中选择“喷涂”，在子菜单中选择“喷涂条件”，显示喷涂条件设定画面，如图 5-64 所示。



图 5-64 喷涂条件设定画面

2) 把光标移到“吐出量”“旋杯旋转”“调扇幅气压”和“高电压”上，用数值键分别输入各项对应的数值，用翻页键可显示以后的条件序号的喷涂条件设定画面。在显示条件序号的画面，可以通过输入条件序号进行搜寻，方法如下：把光标移到条件序号处，按 [ 选择 ] 键，用数值键输入条件序号，按 [ 回车 ] 键，显示该序号的喷涂条件设定画面。

5.7.3 示教

以下对决定喷涂开始姿态的程序点 2、喷涂作业开始位置的程序点 3 以及喷涂结束位置的程序点 10 的示教方法进行说明。

重要

- 对于待机位置的程序点 1、程序点 11，要确保其位置与工件或夹具不发生干涉。
- 示教结束后，用 [ 前进 ]、[ 后退 ] 键确认轨迹。

- (1) 程序点 2——喷涂开始位置附近 程序点 2 确定喷涂开始位置的姿态。
- 1) 用轴操作键，设定机器人为喷涂开始时的姿态。
- 2) 按 [ 回车 ] 键，输入程序点 2，编辑界面如图 5-65 所示。



图 5-65 程序点 2 编辑界面

(2) 程序点 3——喷涂开始位置 保持程序点 2 的姿态不变，移动到喷涂开始位置，输入喷涂条件设定命令“PAINTSET”及喷涂开始命令“SPYON”。

1) 按手动速度的 [高] 或 [低] 键，在状态显示区显示中速，如图 5-66 所示。

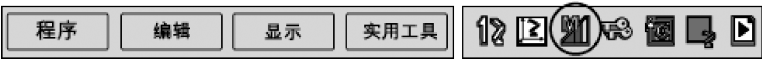


图 5-66 手动速度设定

2) 按轴操作键，将机器人移动到喷涂开始位置。此时，要保持程序点 2 的姿态不变。

3) 按 [命令一览] 键，显示命令一览。选择“作业”，再选择“PAINTSET”，如图 5-67 所示。



图 5-67 作业选择

4) 在输入缓冲行，把光标移到喷涂条件序号“PCF# (0)”上，用数值键设定喷涂条件序号 1，按 [回车] 键，输入“PAINTSET”命令，如图 5-68 所示。



图 5-68 喷涂条件选择

5) 在命令一览中，把光标移动到喷涂开始“SPYON”上，按 [选择] 键，如图 5-69所示。



图 5-69 选择喷涂开始指令

6) 把光标移到喷涂 ON 时间“ANT = 0.00”上，用数值键将时间设定为“1.00”，按 [回车] 键，输入“SPYON”命令，如图 5-70 所示。



图 5-70 喷涂 ON 时间修改

7) 光标位于程序行号上，按 [回车] 键，如图 5-71 所示。



图 5-71 光标显示

8) 按 [插补方式] 键, 将插补方式设定为 “MOVL”, 如图 5-72 所示。



图 5-72 插补方式设定

9) 把光标移到速度 “V = 66” 上, 设定速度, 用数值键将速度设定为 “100.0” (表示 100mm/s), 如图 5-73 所示。



图 5-73 速度修改

10) 按 [回车] 键, 输入程序点 3。

(3) 程序点 10——喷涂结束位置 把机器人移到喷涂结束位置, 输入喷涂结束命令 “SPYOF”。

1) 按手动速度 [高] 或 [低] 键, 在状态区中显示中速, 如图 5-74 所示。



图 5-74 手动速度设定

2) 按轴操作键, 把机器人移动到喷涂结束位置。

3) 按 [命令一览] 键, 显示命令一览, 选择 “SPYOF”, 如图 5-75 所示。



图 5-75 喷涂结束设定

4) 在输入缓冲行, 把光标移到喷涂时间 “ANT = 0.00” 上, 用数值键将时间设定为 “1.00”, 按 [回车] 键, 输入 “SPYOF” 命令, 如图 5-76 所示。

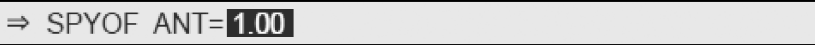


图 5-76 喷涂结束时间修改

5) 光标位于程序行号上, 按 [选择] 键, 如图 5-77 所示。



图 5-77 光标显示

6) 按 [插补方式] 键, 将插补方式设定为直线插补 “MOVL”, 如图 5-78 所示。



图 5-78 插补方式设定

7) 将光标移到速度 “V = 66” 上, 用数值键将速度设定为 “100.0” (表示 100mm/s), 如图 5-79 所示。



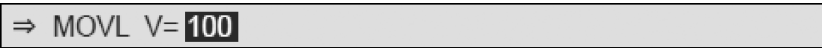


图 5-79 速度修改

8) 按 [回车] 键，输入程序点 10。

5.7.4 轨迹和动作的确认

1. 限速运行

用限速运行确认示教的轨迹。限速运行时，所有动作均在示教模式的限速以下（通常为 250mm/s）进行。如运行速度为限速以下的程序点时，按示教的速度动作。

1) 把模式旋钮对准“PLAY”，设定为再现模式。

2) 在主菜单中选择“实用工具”，再选择“设定特殊运行”，显示特殊运行设定画面，如图 5-80 所示。

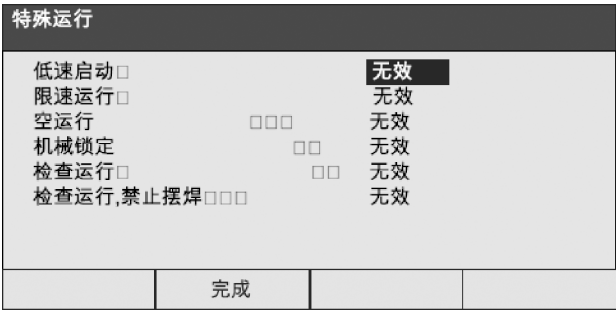


图 5-80 特殊运行设定

3) 把光标移动到“限速运行”的设定值上，按 [选择] 键，状态从“无效”转换为“有效”，如图 5-81 所示。



图 5-81 限速运行设定

4) 确认机器人附近无人，再按启动按钮，确认机器人运行正常。

2. 喷涂

轨迹合适时，开始进行实际喷涂，如果“限速运行”处于“无效”状态，喷涂命令也能被执行。

# 第 6 章 示教操作要点

## 6.1 示教前的准备

作为示教前的准备，并出于安全考虑，先执行以下操作：

- 1) 确认急停键是否可以正常工作。
- 2) 模式旋钮对准“TEACH”。
- 3) 登录程序。

## 6.2 示教

### 6.2.1 插补方式与再现速度的种类

机器人再现时，决定程序点采取何种轨迹移动，称为插补方式，并把此时程序点间的移动速度称为再现速度。通常，在机器人轴的程序点中，会同时输入位置数据、插补方式和再现速度。当进行示教时，如果省略插补方式和再现速度的设定，则会自动输入前次的设定。

#### 1. 关节插补

机器人在未规定采取何种轨迹移动时，使用关节插补。用关节插补示教机器人轴时，移动命令为“MOVJ”，按[插补方式]键，输入缓冲行的移动命令会被切换。

设定关节插补的再现速度：以最高速度的百分比来表示再现速度；当设定“0：速度省略”时，速度设定为预先决定的速度。

#### 2. 直线插补

用直线插补示教的程序点，以直线轨迹移动。用直线插补示教机器人轴时，移动命令为“MOVL”。直线插补常被用于像焊接区间这样的作业区间，如图 6-1 所示，机器人在移动过程中自动改变手腕的位置。

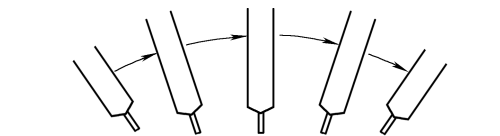


图 6-1 直线插补

设定直线插补的再现速度（与圆弧插补、自由曲线插补相同）：速度单位格式根据机器人的用途有所区别，弧焊用途默认单位为 cm/min，其他用途默认单位为 mm/s。可以通过主菜单“设置”下的“操作条件”子菜单切换单位格式。

3. 圆弧插补

机器人沿着用圆弧插补示教的三个程序点执行圆弧轨迹移动。用圆弧插补示教机器人轴时，移动命令为“MOVC”。

(1) 单一圆弧插补 只有一个圆弧时，如图 6-2 所示，用圆弧插补示教 P1、P2、P3 三个程序点。用关节插补或直线插补示教进入圆弧插补前的 P0 点时，P0 点至 P1 点的移动轨迹自动成为直线。单一圆弧的插补方式见表 6-1。

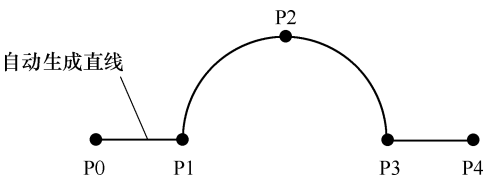


图 6-2 单一圆弧插补

表 6-1 单一圆弧的插补方式

点	插补方式	命令
P0	关节或直线	MOVJ 或 MOVL
P1	圆弧	MOVC
P2		
P3		
P4	关节或直线	MOVJ 或 MOVL

(2) 连续圆弧插补 两个以上圆弧相连时，必须执行圆弧分离，如图 6-3 所示，在 P4 点，即前圆弧与后圆弧的连接点处，同一点加入关节插补或直线插补的程序点。连续圆弧的插补方式见表 6-2。

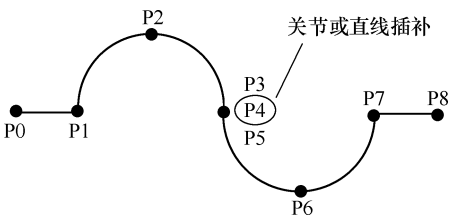


图 6-3 连续圆弧插补

圆弧插补的再现速度：再现速度的设定与直线插补相同。P1 点至 P2 点间用 P2 点的速度，P2 点至 P3 点间用 P3 点的速度。高速示教圆弧动作时，实际运行轨迹要比示教的圆弧轨迹小。

表 6-2 连续圆弧的插补方式

点	插补方式	命令
P0	关节或直线	MOVJ 或 MOVL
P1	圆弧	MOVC
P2		
P3		
P4	关节或直线	MOVJ 或 MOVL
P5	圆弧	MOVC
P6		
P7		
P8	关节或直线	MOVJ 或 MOVL

4. 自由曲线插补

执行焊接、切割、喷涂等作业时，对于有不规则曲线的工件，使用自由曲线插补方式后，可使此类示教更为简单。移动轨迹为经过三点的抛物线。用自由曲线插补示教机

器人轴时，移动命令为“MOVS”。

(1) 单一自由曲线插补 如图 6-4 所示，用自由曲线插补示教 P1、P2、P3 三个程序点。用关节插补或直线插补示教进入自由曲线前的 P0 点后，P0 点至 P1 点的移动轨迹自动成为直线。单一自由曲线的插补方式见表 6-3。

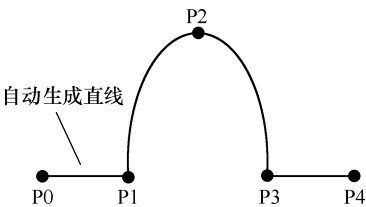


图 6-4 单一自由曲线插补

表 6-3 单一自由曲线的插补方式

点	插补方式	命令
P0	关节或直线	MOVJ 或 MOVL
P1 P2 P3	自由曲线	MOVS
P4	关节或直线	MOVJ 或 MOVL

(2) 连续自由曲线插补 用重叠的抛物线的合成作为轨迹。与圆弧插补不同，两个自由曲线的连接点不用加入同一个程序点，如图 6-5 所示。连续自由曲线插补方式见表 6-4。

表 6-4 连续自由曲线插补方式

点	插补方式	命令
P0	关节或直线	MOVJ 或 MOVL
P1 ~ P5	自由曲线	MOVS
P6	关节或直线	MOVJ 或 MOVL

重叠抛物线时，做成合成的轨迹，如图 6-6 所示。

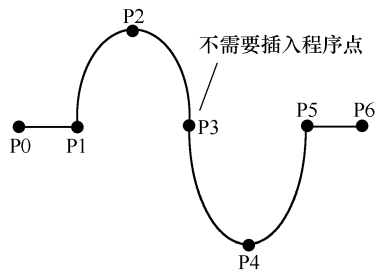


图 6-5 连续自由曲线插补



图 6-6 合成的轨迹

自由曲线插补动作的再现速度：再现速度的设定与直线插补相同。P1 点至 P2 点间用 P2 点的速度，P2 点至 P3 点间用 P3 点的速度运行。

6.2.2 程序点示教

1. 输入移动命令

每示教一个程序点，需输入一个程序命令。程序点的示教有按顺序示教和在示教过

的程序点间插入程序点两种情况，如图 6-7 所示。

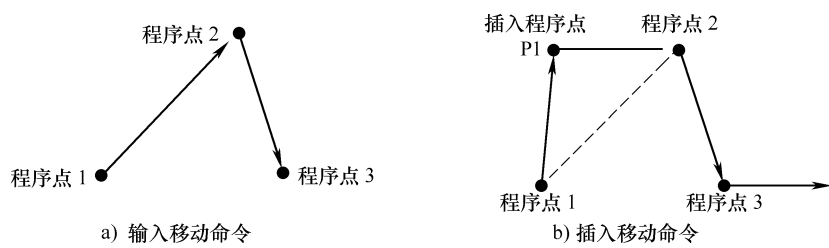


图 6-7  输入移动命令与插入移动命令

图 6-7a 显示了作为输入新程序的操作，图 6-7b 显示了插入程序点的操作，和左图的区别是插入了一个点 P1。

输入与插入移动命令基本操作是相同的，区别在于按不按 [插入] 键。从头开始按照程序点顺序进行示教，通常在“END”命令前输入，在“END”命令前输入时不用按 [插入] 键，插入程序点时，必须按 [插入] 键。

通过反复设定位置数据、选择工具号、设定插补方式、设定再现速度等操作，然后设定位置等级。位置等级是指机器人经过示教的位置时的接近程度，可附加于移动命令关节插补“MOVJ”和直线插补“MOVL”。未设定位置等级时的精确度根据运动速度而发生变化，而设定了合适的位置等级时，可使机器人运行出与周围状况和工件相适应的轨迹。若要设定位置等级作为默认项在命令中显示，从菜单中选择“编辑”，再选择“显示位置等级”，如图 6-8 所示。

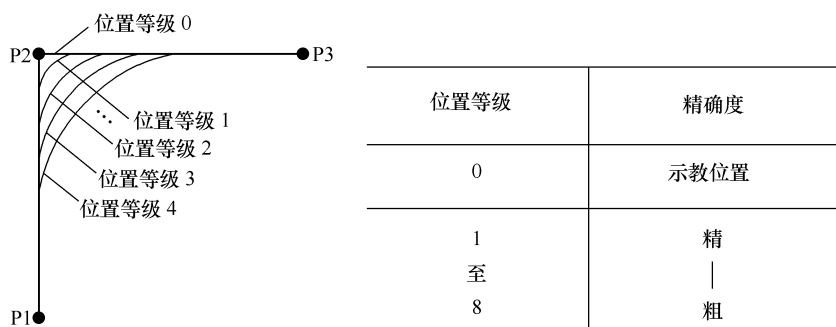


图 6-8  位置等级设定

例如执行如图 6-9 所示的程序点的操作。

程序点 P2、P4 和 P5 只是一般的经过点，不必准确地定位。且在此类程序点的移动命令上附加 PL = 1 ~ 8 后，机器人做内转动作，可缩短运行周期。像 P3、P6 点那样必须要准确定位的点，则附加“PL = 0”。

例如：

经过点 P2、P4 和 P5：MOVL V = 138 PL = 3

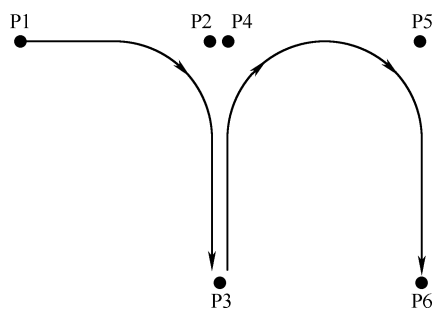


图 6-9  程序点操作

到位点 P3 和 P6：MOVL V = 138 PL = 0

2. 输入参考点命令

参考点命令是指设定摆焊壁点等辅助点的位置数据的命令。参考点命令用“REFP”来表示，参考点号码 1~8 的功能各不相同，可按步骤输入参考点命令。

3. 输入定时命令

定时命令是使机器人在设定的时间内停止动作的命令，可按步骤输入定时命令。

6.3 确认程序点

示教的程序点位置正确与否，用示教编程器的〔前进〕或〔后退〕键进行确认。按住〔前进〕或〔后退〕键时，机器人以程序点为单位动作。为了安全，手动速度应设定为中速或更低。

1. 前进运动

前进运动流程如图 6-10 所示。

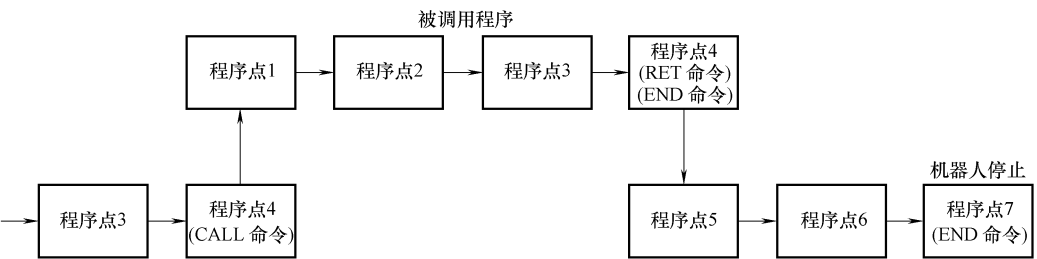


图 6-10 前进运动流程图

- 1) 机器人按程序点号的顺序运行。按〔前进〕键时，只执行移动命令，同时按〔联锁〕+〔前进〕键，执行所有的命令。
- 2) 动作执行一个循环后停止。到达“END”命令后，即使再按〔前进〕键机器人也不再动作，但是如果是在被调用程序中则会进入“CALL”命令的下一个命令。

2. 后退运动

后退运动流程如图 6-11 所示。

- 1) 机器人逆程序点号顺序运动，只执行移动命令。
- 2) 到达程序点 1 后，即使再按〔后退〕键，机器人也不再动作，但是如果是在被

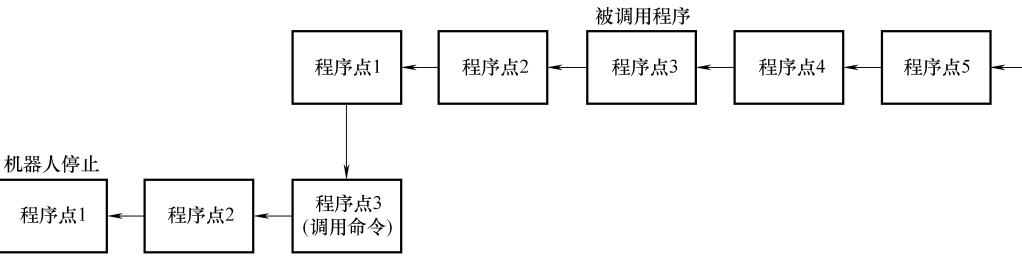


图 6-11 后退运动流程图

调用程序中则会后退到“CALL”命令前的移动命令。

### 3. 前进/后退的圆弧运动

前进/后退的圆弧运动如图 6-12 所示。

- 1) 向圆弧插补的最初程序点移动时所做的运动为直线运动。
- 2) 圆弧插补的程序点三点不连续时不能执行圆弧运动。
- 3) 中途停止前进/后退操作，执行光标移动或搜索操作后，再继续执行前进/后退操作，机器人在到达下一程序点前，做直线运动。
- 4) 中途停止前进/后退操作，执行轴操作后再执行前进/后退操作时，机器人在到达下一个圆弧插补点 P2 前，做直线运动。P2 点、P3 点间做圆弧运动。

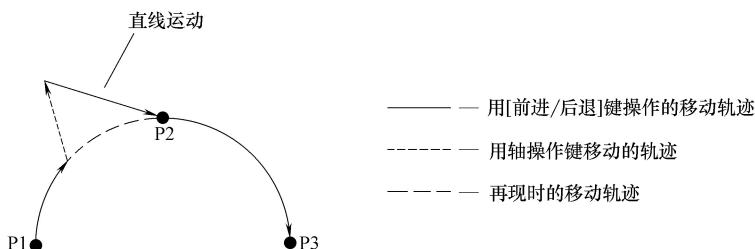


图 6-12 前进/后退的圆弧运动

### 4. 前进/后退的自由曲线运动

前进/后退的自由曲线运动如图 6-13 所示。

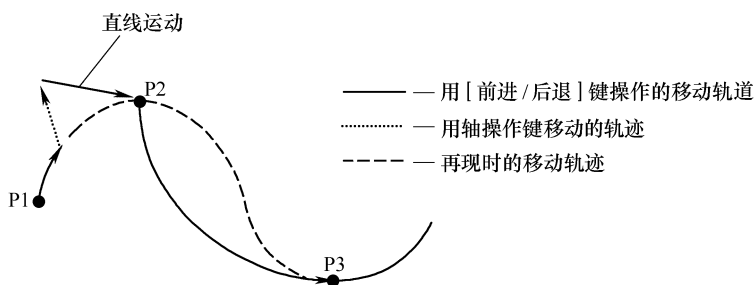


图 6-13 前进/后退的自由曲线运动

- 1) 向自由曲线插补的最初程序点移动时所做的运动为直线运动。
- 2) 自由曲线插补的程序点三点不连续时不能执行自由曲线运动。
- 3) 根据前进/后退操作的执行位置，有时可能发生“示教点间距离不相等”的报警。执行前进/后退的微动速度操作时，轨迹会有所改变，同时也容易发生上述报警。
- 4) 中途停止前进/后退操作，执行光标移动或搜索操作后，继续执行前进/后退操作时，机器人在到达下一程序点前做直线运动。
- 5) 中途停止前进/后退操作，执行轴操作键后再次执行前进/后退操作时，机器人在到达下一个自由曲线插补程序点 P2 前做直线运动，P2 点以后转为自由曲线运动。但是，P2 点至 P3 点之间的轨迹和再现时的轨迹多少有些差异。



6) 不同操作的轨迹如图 6-14 所示。用 [前进] 键运动到 P3 点后暂停, 再用 [后退] 键退到 P2 点, 再次执行前进运动, 可以看出 P2 点至 P3 点之间的轨迹, 在开始时的前进运动、后退运动、再次执行前进运动的轨迹各不相同。

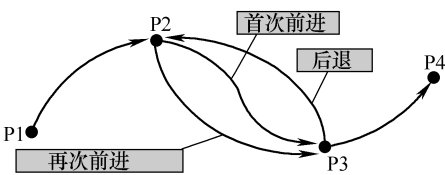


图 6-14 不同操作的轨迹

5. 试运行

试运行是指在不改变示教模式的前提下执行模拟再现动作的功能。此功能对于确认连续轨迹和各命令的动作确认非常方便。试运行与再现模式下的再现动作有以下区别。

- 1) 动作速度超过示教最高速度时, 以示教最高速度来限制。
- 2) 在再现模式下执行再现时可能出现的特殊操作中, 只能执行机械锁定操作。
- 3) 不能执行引弧等作业命令输出。

试运行用 [联锁] 和 [试运行] 键来操作。为了安全, 只有按住此两键时机器人才能执行动作。

6.4 修改程序点

1. 插入或删除移动命令的主要流程

插入或者删除移动命令的主要流程如图 6-15 所示。

2. 修改移动命令的主要流程

修改移动命令的主要流程如图 6-16 所示。

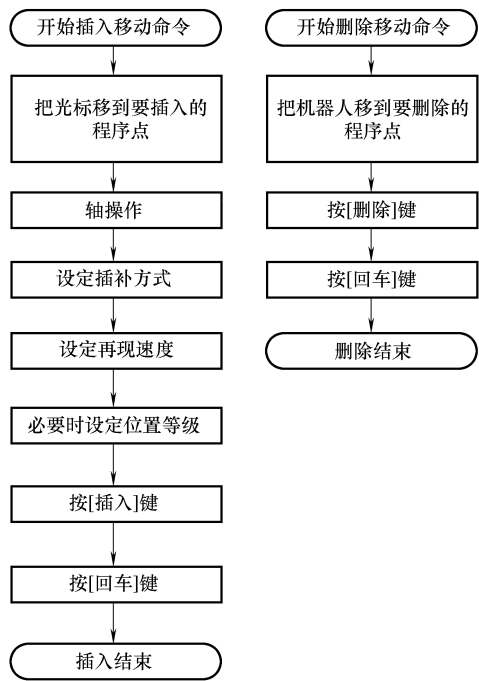


图 6-15 插入或者删除移动命令的主要流程图

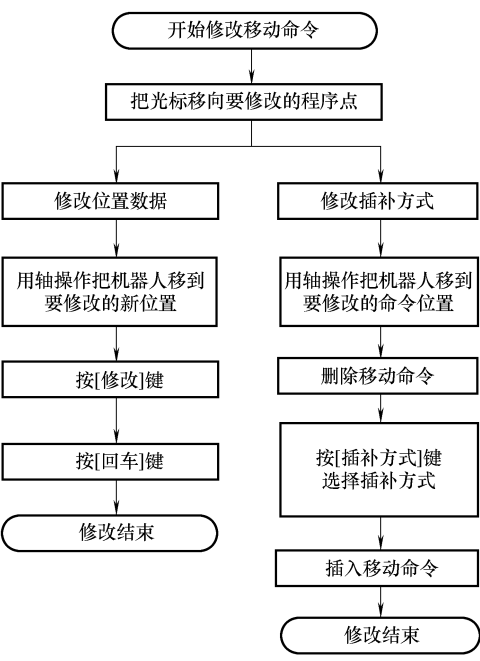


图 6-16 修改移动命令的主要流程图

注意：移动命令与参考点命令都有位置数据，不能将移动命令改为参考点命令，反过来也同样不行。

3. 修改和删除参考点命令的主要流程

修改和删除参考点命令的主要流程如图 6-17 所示。

4. 修改和删除定时命令的主要流程

修改和删除定时命令的主要流程如图 6-18 所示。

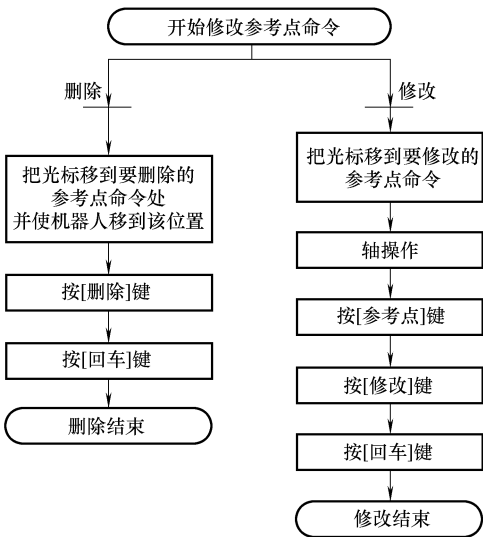


图 6-17 修改和删除参考点命令的主要流程

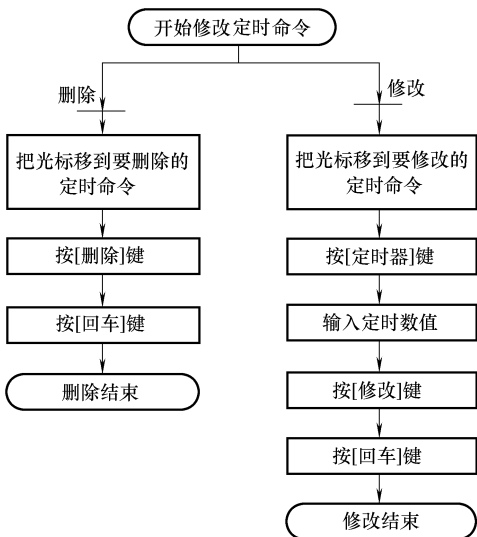



图 6-18 修改和删除定时命令的主要流程

6.5 修改程序

6.5.1 调出程序

调出程序的相关步骤见表 6-5。

表 6-5 调出程序的相关步骤

	操作步骤	说 明
1	选择主菜单的“程序”	
2	选择“选择程序”	显示程序一览画面 
3	选择欲调用的程序	

### 6.5.2 与程序相关的画面

程序画面有以下五种，可确认或编辑各程序的设定及输入。

- 1) 程序信息画面：显示及编辑注释、登录时间、禁止编辑的状态等。
- 2) 程序内容画面：显示及编辑输入的程序内容。
- 3) 命令位置画面：显示示教点的位置数据。
- 4) 程序一览画面：显示登录的程序，可进行程序的选择。
- 5) 程序容量画面：显示存储程序的个数、使用的存储空间和输入的程序点数。

### 6.5.3 修改程序的其他方面

1) 注释的编辑：为了容易知道程序的内容，可以加注释，注释的编辑也在程序信息画面进行。

2) 设定程序的编辑锁定：为了防止已登录的程序、已设定的数据被改动，可以对程序设定编辑锁定。设定了编辑锁定的程序，不仅不能对其内容进行修改，也不能删除程序本身。编辑锁定的设定和解除操作，在各程序的程序信息画面进行。

3) 设定只可修改位置数据：在设定了编辑锁定的程序中，也能进行只修改位置数据的设定。

## 6.6 命令编辑

对于命令的编辑，光标在地址区或在命令区，可编辑的内容不同，如图 6-19 所示。



图 6-19 命令编辑

1) 光标在地址区时，可以进行命令的插入、删除、修改。

2) 光标在命令区时，可以进行已输入的命令的附加项的数据修改及进行附加项的插入、修改、删除。仅对附加项的编辑，称为“行编辑”。

进行命令的插入或修改时，用 [ 定时器 ] 这样的功能键，或命令一览的对话框输入命令，显示在输入缓冲显示行的命令附加项和上一次输入的附加项相同。对附加项的插

入、删除、修改，在命令的详细编辑画面进行，如无须编辑，则直接输入程序。

6.6.1 命令组的说明

命令根据用途不同，分成了 8 个组。按〔命令一览〕键，显示命令组一览对话框，如图 6-20 所示，命令组及内容举例见表 6-6。



图 6-20 命令组对话框

表 6-6 命令组及内容举例

显示	命令组	内 容	举例
输入/输出	I/O 命令	控制输入输出	DOUT, WAIT
控制	控制命令	进行处理和作业的控制	JUMP, TIMER
作业	作业命令	关于弧焊、点焊、搬运、喷涂等作业的命令	ARCON, WVON, SVSPOT, SPYON
移动	移动命令	关于移动和速度的命令	MOVJ, REFP
演算	演算命令	对变量等进行演算的命令	ADD, SET
平移	平移命令	平移示教点时使用的命令	SFTON, SFTOF
其他	其他命令	其他功能命令	SHCKSET
同样	—	同光标所在处的命令	—
同前	—	同上次输入的命令	—

6.6.2 程序举例

1. 输入输出命令

以下程序中的输入输出命令用于机器人与外部设备（如：工件夹具）的通信。

- WAIT IN#(1) = ON
- CALL JOB; WORK
- DOUT OT#(1) ON
- 机器人等待，直至夹具夹紧后给出信号
- 机器人工作
- 机器人工作结束，给出信号通知夹具松开

通过输入输出命令的使用，可以使机器人与外部设备协调工作。

2. 控制命令

以下程序为单工作台适应多种工件的机器人系统主程序。在工作台上安装接触开关或接近开关，通过接通不同的输入口来判断工件的种类，从而调用不同的程序。

* A	JUMP 命令跳转的目标
CALL JOB: A IF IG#(1) = 1	1 号输入口接通，调用程序 A
CALL JOB: B IF IG#(1) = 3	1 号、2 号输入口接通，调用程序 B
CALL JOB: C IF IG#(1) = 5	1 号、3 号输入口接通，调用程序 C
JUMP * A	跳转回 * A

3. 变量及演算命令

变量和演算命令一起使用，可以控制程序执行的次数。以下程序为弧焊机器人在每焊完三个工件后自动进行清枪操作。

SET I000 0	变量 1000 作为计数器，首先清零
* A	JUMP 命令跳转的目标
CALL JOB: WELD	执行焊接程序
INC I000	计数器 1000 加 1
JUMP * A IF I000 < 3	判断 I000 的当前值，如果小于 3 跳转回 * A，控制焊接程序执行 3 次
CALL JOB: CLEAN	执行清枪程序

6.6.3 需要注意的其他方面

命令编辑还包括命令的追加、命令的删除、命令的修改、修改附加项的数据、修改附加项、追加附加项和删除附加项等方面，不再赘述。

6.7 程序的编辑

程序的编辑包括以下五种操作。

- 1) 复制：把指定的内容复制到编辑缓冲区。
- 2) 剪切：把指定的内容从程序中删除并复制到编辑缓冲区。
- 3) 粘贴：把编辑缓冲区的内容插入程序。
- 4) 反转粘贴：把编辑缓冲区的内容反转后插入程序。
- 5) 轨迹反转粘贴：把编辑缓冲区中的内容顺序反转后，并把程序点之间的速度调整为和反转前相同，再插入程序，如图 6-21 和图 6-22 所示。

6.7.1 选择范围

选择范围以后可以进行复制和剪切，具体操作步骤见表 6-7。

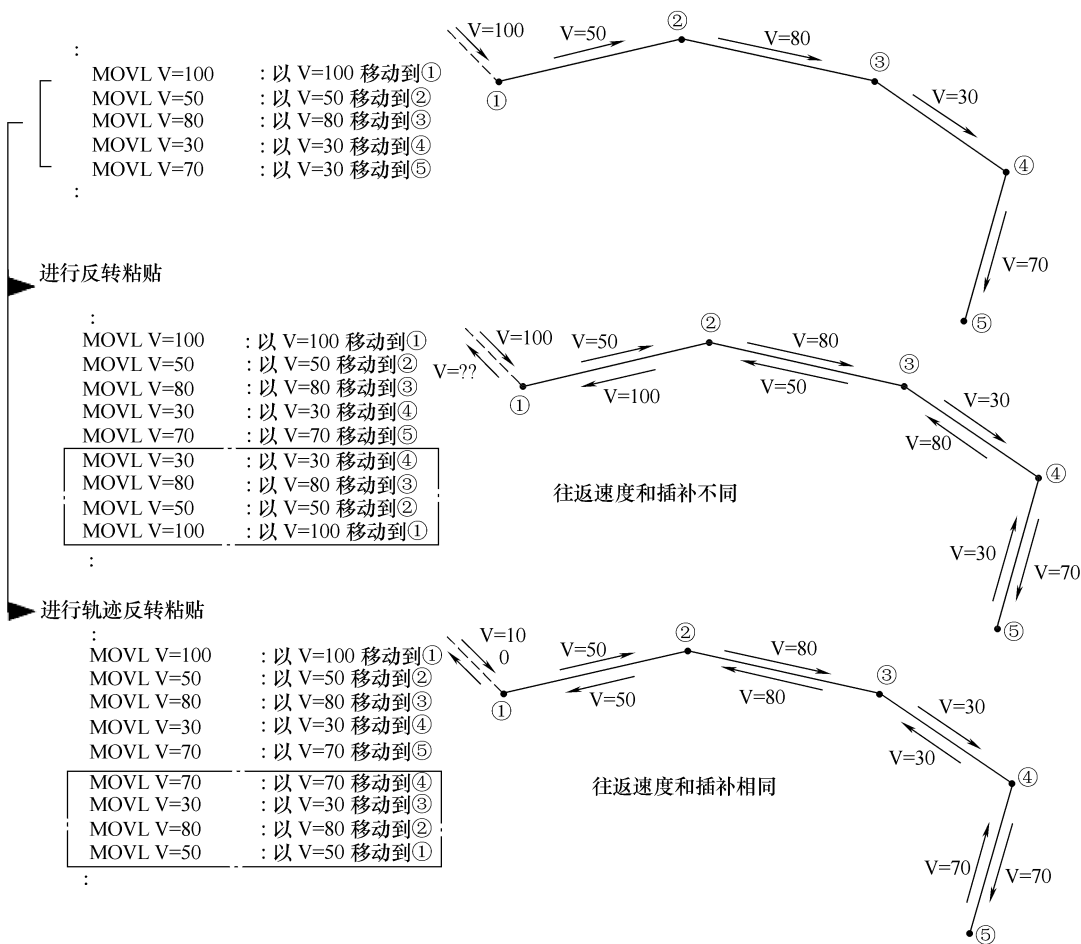


图 6-21 轨迹反转粘贴

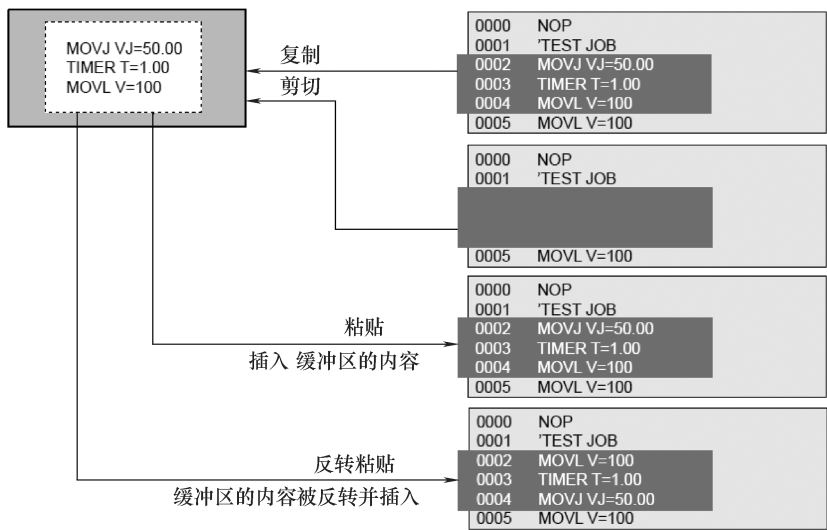


图 6-22 程序的编辑


表 6-7 选择范围具体操作步骤

操作步骤		说 明
1	在程序内容画面,把光标移到命令区	<div></div>
2	把光标放在开始行,按下[转换] + [选择]键	<div><p>指定范围的地址区序号反黑显示</p><div></div></div>
3	把光标移到结束行	随着光标的移动,选定范围发生变化,光标所至行为结束行

6.7.2 复制

复制前请选定复制范围,复制具体操作步骤见表 6-8。

表 6-8 复制操作步骤



操作步骤		说 明
1	选择菜单的“编辑”	<div><p>显示下拉菜单</p><div></div></div>
2	选择“复制”	所指定范围的命令在编辑缓冲区复制



6.7.3 剪切

剪切前请选定剪切范围，具体剪切操作步骤见表 6-9。


表 6-9 剪切操作步骤

	操作步骤	说 明
1	选择菜单的“编辑”	显示下拉菜单 
2	选择“剪切”	显示确定对话框,选择“是”,所指定范围的命令被剪切,并在编辑缓冲区复制。选择“否”,取消剪切 

6.7.4 粘贴

粘贴前，要粘贴的内容必须存储在编辑缓冲区中，具体粘贴操作步骤见表 6-10。

表 6-10 粘贴操作步骤

	操作步骤	说 明
1	在程序内容画面,把光标移到要粘贴处的上一行	
2	选择菜单“编辑”	显示下拉菜单 

(续)

	操作步骤	说 明
3	选择“粘贴”	<p>在光标的下一行插入编辑缓冲区的内容,该行号反黑显示,同时显示确认对话框</p> <p>选择“是”,进行粘贴</p> <p>选择“否”,取消粘贴</p> <div><div>粘贴吗?</div><div><div>是</div><div>否</div></div></div>

6.7.5 反转粘贴

粘贴前,要粘贴的内容必须存储在编辑缓冲区中,反转粘贴具体操作步骤见表6-11。

表 6-11 反转粘贴具体操作步骤

	操作步骤	说 明
1	在程序内容画面,把光标移到要粘贴处的上一行	
2	选择菜单“编辑”	<p>显示下拉菜单</p> <div><div><div>程序</div><div>编辑</div><div>显示</div><div>实用工具</div><div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div></div></div><div><div>程序内容</div><div>程序名称:</div><div>控制结构</div><div>0000 N</div><div>0001 S</div><div>0002 S</div><div>0003 MOVJ VJ=80.00</div><div>0004 MOVJ VJ=80.00</div><div>0005 DOUT OGH(13) B002</div><div>0006 WAIT IF IN(5)=ON</div><div>0007 MOV L V=880.0</div><div>0008 DOUT OT(44) ON</div><div>0009 TIMER T=3.0</div><div>0010 MOV L V=880.0</div><div>0011 MOV L V=880.0</div><div>0012 MOV L V=880.0</div><div>⇒ MOVJ VJ=50.00 PL=1</div></div><div><div>主菜单</div><div>快捷方式</div></div></div>

6.8 试运行

试运行是指在不改变模式的前提下，可执行模拟再现动作的功能。此功能对于确认连续轨迹和各命令的动作确认非常方便。试运行与再现模式下的再现动作有以下区别。

- 1) 动作速度超过示教最高速度时，以示教最高速度来限制。
- 2) 在再现模式下可执行的特殊运行中，只有机械锁定可在试运行中执行。
- 3) 不能执行圆弧等作业命令。

试运行用〔联锁〕+〔试运行〕键来操作。为了安全，只有按住此两键时机器人才执行动作，同时按下〔联锁〕+〔试运行〕键操作机器人时，务必确认周围的安全，具体试运行操作步骤见表 6-12。

表 6-12 试运行操作步骤

	操作步骤	说 明
1	选择主菜单的“程序”	
2	选择“程序内容”	显示试运行程序的程序内容画面
3	按〔联锁〕+〔试运行〕键	机器人开始运行,动作开始后,即使放开〔联锁〕键,也会继续运行。但在开始时,必须两键同时按,机器人才能运行。放开〔试运行〕键,机器人马上停止

# 第 7 章 再现操作要点

## 7.1 再现前的准备

执行示教过的程序称为再现。作为再现前的准备，首先调出要再现的程序。

## 7.2 再现

### 7.2.1 再现画面

显示程序内容画面的情况下，转换成再现模式时显示再现画面，如图 7-1 所示。



图 7-1 再现画面

- 1) 程序内容：光标跟随再现过程移动，程序内容自动滚动显示。
- 2) 设定速度调节：已设定速度调节时显示。
- 3) 循环周期：机器人作业时间的测算结果，每次启动后，前一次的循环计时被重置，测算重新开始。可设定为显示或不显示。
- 4) 开始程序点：指测算的起始程序点。[启动] 按钮的指示灯点亮，再现开始的同时开始测算。
- 5) 移动时间：从 [START] 键的指示灯点亮到指示灯熄灭，机器人移动的时间。
- 6) 再现时间：显示从开始测算到测算结束的时间。任何原因引起机器人停止时，

示教编程器的〔启动〕按钮指示灯熄灭的同时测算结束。

### 7.2.2 再现运行

再现是让示教过的程序再运行的过程。用示教编程器再现时，按以下步骤进行。

#### 1. 选择启动装置

把示教编程器上的模式旋钮对准“PLAY”位置，可通过示教编程器转换为在线模式。

#### 2. 启动操作

按示教编程器上的〔START〕键，指示灯亮，机器人开始移动。

#### 3. 动作循环

机器人的动作循环有以下三种。

- 1) 连续：连续、反复执行程序时选此项。
- 2) 单循环：到程序的END命令为止，只执行一次时选此项。但在被调用程序中，END命令结束后继续执行原来的程序。
- 3) 单步：逐个执行命令时选此项。

### 7.2.3 再现的特殊运行

再现时可执行的特殊运行：低速启动、限速运行、空运行、机械锁定运行、检查运行。

可同时执行两项以上的特殊运行，此时的再现速度被设定为所设最低速度。特殊运行的设定在特殊运行画面执行。

显示再现画面时，把光标移到菜单区选择“实用工具”→“设定特殊运行”，即显示特殊运行画面。

#### 1. 低速启动

设定了低速启动后，机器人只对启动后最初的一个程序点执行低速运行，此程序点动作完成后，不管动作循环怎样，机器人都会停止，停止动作的同时解除低速启动。低速启动过程中，如果使机器人停止运动，则同时也解除了低速启动方式。

#### 2. 限速运行

设为限速运行时，机器人在示教模式的限制速度内再现。通常把控制点的最高速限制为250mm/s。执行限速运行时对控制点的速度执行监视，对超过250mm/s的速度执行速度限制。控制点速度在250mm/s以下的程序点仍按示教速度执行。

#### 3. 空运行

空运行速度指的是设定一个与示教速度无关的速度，通常设定为最高速度的10%。按空运行速度再现时，机器人把所有的程序点都按同一速度再现。用于对低速作业集中的程序的动作确认，可以缩短确认时间。限速运行速度和空运行速度如图7-2所示。

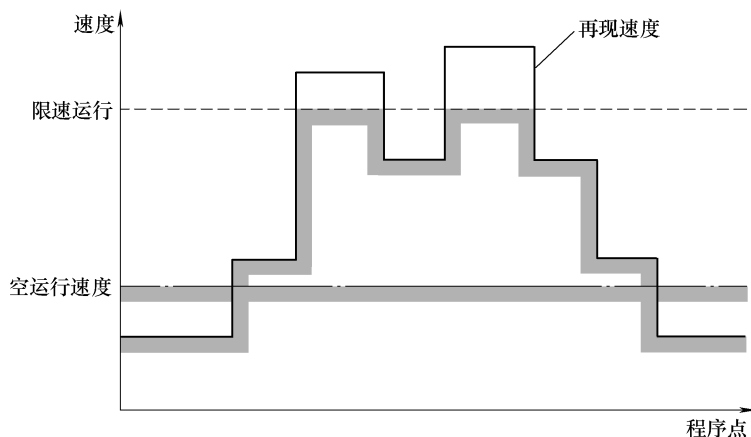


图 7-2 限速运行速度和空运行速度

#### 4. 机械锁定运行

执行机械锁定运行时，再现程序，但机器人不动作，可确认输入输出相关的状态。

#### 5. 检查运行

执行检查运行时，不执行引弧等作业命令，只执行空再现。对在再现模式下执行轨迹确认等操作较为方便。

#### 6. 检查运行禁止摆焊

指定检查运行时禁止摆焊，则在执行检查运行时，机器人不执行摆焊动作。

#### 7. 取消全部选择

切断主电源时，所有的特殊运行均被解除。

### 7.3 停止与再起动

使动作中的机器人停止或让机器人自动停止，其原因有：暂停操作、急停操作、报警引起的停止、其他停止、由于各项作业引起的停止。

#### 1. 暂停操作

执行暂停后，机器人暂时停止动作，暂停可用示教编程器上的 [HOLD] 外部输入信号（专用）完成。

用示教编程器执行暂停时的操作如下：

- 1) 暂停：按示教编程器的 [HOLD] 按钮后，机器人暂停动作。
- 2) 解除：按示教编程器的 [START] 按钮，机器人从暂停时的位置继续开始动作。

#### 2. 急停操作

急停操作后，伺服电源被切断，机器人立即停止动作。急停操作可在以下各处执行：

- 1) NX100 机器人控制箱的门上。

- 2) 示教编程器。
- 3) 外部输入信号（专用）。

### 3. 急停后的再启动

急停后再次启动时，用前进操作来确认位置，确认无工件、夹具的干涉。

连续程序在高速再现过程中被急停后，机器人有时会在所显示的程序点前 2 至 3 个程序点附近停止。从此处再启动可能会有工件或夹具的干涉。

### 4. 报警引起的停止

动作过程中发生报警后，机器人会立刻停止动作。示教编程器上显示出报警画面，通知用户由于报警引起了停止。同时发生多个报警时，所有报警同时显示，一个画面无法显示时，用光标滚动显示。

发生报警时，可执行的操作只有画面显示、模式切换、报警解除和急停。报警过程中切换成其他的画面后，可选主菜单的“系统信息”→“报警历史”，再次显示报警画面。

报警可分为轻故障报警和重故障报警两大类。解除轻故障报警，按选择键，在报警画面上选择“清除报警”，解除报警状态。使用外部输入信号（专用）时，使“清除报警”信息接通。

如果发生硬件故障等重故障报警时，系统自动切断伺服电源，机器人立刻停止。恢复前，应先切断主电源，排除报警因素。

### 5. 其他停止

(1) 切换模式引起的暂停 再现过程中，从再现模式切换到示教模式时机器人立即停止动作。再次启动时，应回到再现模式并执行启动操作。

(2) 执行 PAUSE 命令引起的暂停 执行 PAUSE 命令，使机器人暂停动作。再次开始动作时，要执行启动操作，机器人从下一个命令处开始继续动作。

## 7.4 修改再现速度

再现速度可通过速度调节来修改包括：设定速度调节、修改再现速度、修改速度调节比例和解除速度调节的设定等方面，通过速度调节执行再现速度的修改有以下特点：

- 1) 可边再现边修改。
- 2) 可对速度执行几次试验性试修改后，在确认了动作的基础上执行修改。
- 3) 可用相对于当前速度的比例执行增减，比例的设定范围是 50% ~ 150%（单位 1%）。
- 4) 该程序所使用的一切再现速度均可按一定比例执行增减。比如，一律提高到现速度的 150% 等。通过速度调节执行的再现速度修改操作流程如图 7-3 所示。

此外，还需要设定速度调节、修改再现速度、修改速度调节比例和解除速度调节的设定。



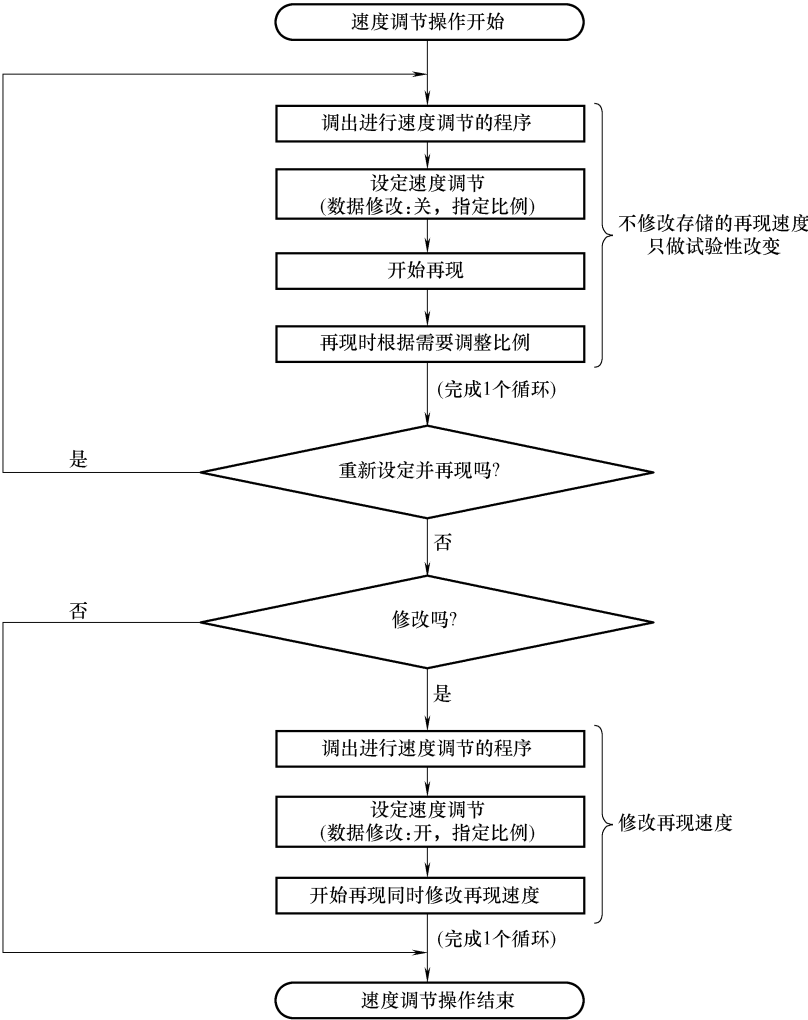


图 7-3 通过速度调节执行的再现速度修改操作流程

# 第 8 章 指 令

## 8.1 INFORM II 语言指令表

在示教盒上按下 [INFORM LIST] 键，屏幕上将显示指令分类表，如图 8-1 所示。用光标键和 [SETECT] 键选择指令类别，选择后会弹出该类别的指令表。

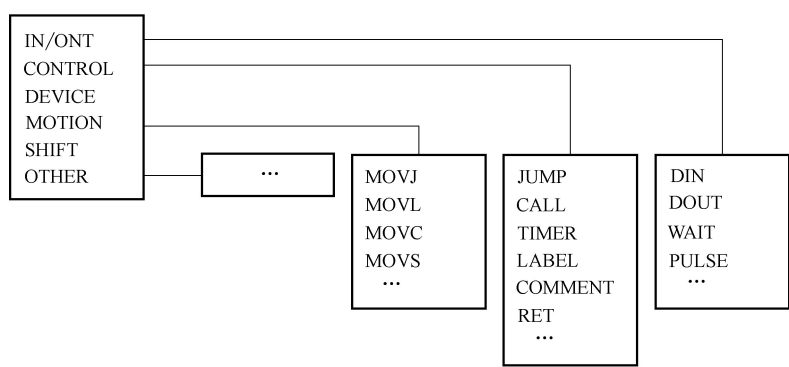


图 8-1 指令分类表

### 例 1:

输入“DOUT OT#(1) ON”语句打开 1 端口，按 [INFORM LIST] 键，选择 IN/OUT→DOUT，再选择格式。

“DOUT OT#(1)”有两种数据格式：ON——打开 1 号端口，OFF——关掉 1 号端口。选中 DOUT 时，可能显示为“DOUT OT#(1) OFF”，如要修改，将光标移到修改处，把 OFF 改为 ON。一般方法是按 [SHIFT] + 光标键修改。

### 例 2:

JUMP JOB: TEST1 IF DIN#(14) = OFF

如果 14#端口是关闭的，则跳到 JEST1 作业

## 8.2 运动指令

MOVJ VJ = 50. 00	机械手以关节运动类型移动到示教点
MOVL V = 138	机械手以直线运动类型移动到示教点
MOVC V = 138	机械手以圆弧运动类型移动到示教点
MOVS V = 120	机械手以样条运动类型移动到示教点

注意圆弧运动类型和样条运动类型的应用特点。

1. 圆弧运动类型

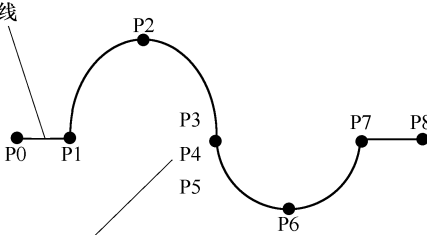
(1) 单个圆弧 单个圆弧指令见表 8-1，在 P0→P1 的过程中，尽管应用的指令为“MOVJ”，但系统自动将该路径转换为直线轨迹。

表 8-1 单个圆弧指令

点	运动类型	指令	轨 迹 图
P0	关节或直线	MOVJ MOVL	
P1 P2 P3	圆弧	MOVJ MOVL	
P4	关节或直线	MOVJ MOVL	

(2) 连续多个圆弧 连续多个圆弧指令见表 8-2，为实现连续多个圆弧轨迹，在两个圆弧之间必须在同一点插入一关节或直线运动类型的步骤，并在同一点应用圆弧运动类型。

表 8-2 连续多个圆弧指令

点	运动类型	指令	轨 迹 图
P0	关节或直线	MOVJ MOVL	
P1 P2 P3	圆弧	MOVJ MOVL	
P4	关节或直线	MOVJ MOVL	
P5 P6 P7	圆弧	MOVJ MOVL	
P8	关节或 直线	MOVJ MOVL	

2. 样条运动类型

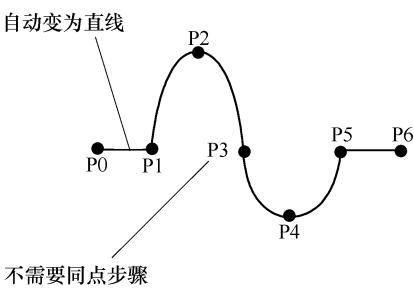
(1) 一条自由曲线 一条自由曲线指令见表 8-3，在 P0→P1 的过程中，尽管应用的指令为“MOVJ”，但系统将自动将该路径转换为直线轨迹。

表 8-3 一条自由曲线指令

点	运动类型	指令	轨 迹 图
P0	关节或直线	MOVJ MOVL	
P1 P2 P3	样条	MOVJ MOVL	
P4	关节或直线	MOVJ MOVL	

(2) 连续多条自由曲线 连续多条自由曲线指令见表 8-4，为实现连续多条自由曲线轨迹，可连续应用样条运动类型指令。

表 8-4 连续多条自由曲线指令

点	运动类型	指令	轨 迹 图
P0	关节或直线	MOVJ MOVL	
P1 P2 P3 P4 P5	样条	MOVS	
P6	关节或直线	MOVJ MOVL	

8.3 调用指令

CALL JOB: xxx

CALL JOB: xxx IF DIN#(1) = ON

无条件调用作业

当 1 号端口打开时，调用作业

8.4 跳转指令

JUMP \* xxxx

JUMP \* xxxx IF DIN#(4) = OFF

JUMP \* xxxx IF B000 = 3

无条件转到指定标号处，标号应以“\*”开头

如果 4 号输入端口关闭，则跳转到指定标号处

如果变量 B000 的值为 3，则跳转到指定标号处

8.5 I/O 指令

系统共有输入通道 40 点，分 4 组：第 1 组 1~8 点，共 8 点；第 2 组 9~16 点，共 8 点；第 3 组 17~28 点，共 12 点；第 4 组 29~40 点，共 12 点。

输出通道 40 点，分 4 组：第 1 组 1~8 点，共 8 点；第 2 组 9~16 点，共 8 点；第 3 组 17~28 点，共 12 点；第 4 组 29~40 点，共 12 点。

例如：

DIN B000 IN#(2)

DIN B000 IG#(1)

DIN B000 IGH#(1)

DOUT OT#(1) ON/OFF

DOUT OG#(2) B000 = 3

2 号通道数据送 B000 变量（接收 1 位）

1 组通道数据送 B000 变量（接收 8 位）

把第一组输入通道的高 4 位（5~8 点）数据传给 B000 变量

1 号输出通道的开/关设置

同时送 8 位，00000011

第2组的第1位(9通道)开  
第2组的第2位(10通道)开  
第2组的第3位(11通道)关  
.....  
第2组的第8位(16通道)关  
同时送8位, 11000000, 第2组  
第2组的第5位(13通道)关  
第2组的第6位(14通道)关  
第2组的第7位(15通道)开  
第2组的第8位(16通道)开

1) ADD B000 B001	$B000 + B001 \rightarrow B000$	字节运算
ADD B000 15	$B000 + 15 \rightarrow B000$	
ADD I000 I005	$I000 + I005 \rightarrow I000$	整型量运算 (2 字节)
ADD I001 32767	$I001 + 32767 \rightarrow I001$	
ADD R000 R001	$R000 + R001 \rightarrow R000$	实数量运算 (4 字节)
ADD R000 32.5	$R000 + 32.5 \rightarrow R000$	
2) SUB 与 ADD 相似。		
3) INC B000	$B000 + 1 \rightarrow B000$	
4) DEC B000	$B000 - 1 \rightarrow B000$	
5) MUL I012 I013	$I012 \times I013 \rightarrow I012$	

目标操作数可以是位置变量  $P \times \times \times$  的分量，代表坐标轴数据。

P000 (1)：代表 X 轴数据；

P000 (2)：代表 Y 轴数据；

P000 (3)：代表 Z 轴数据；

P000 (4)：代表 TX 轴数据，绕 X 轴旋转的轴；

P000 (5)：代表 TY 轴数据，绕 X 轴旋转的轴；

P000 (6)：代表 TZ 轴数据，绕 X 轴旋转的轴；

P000 (0)：代表所有轴的数据；

P000 位置变量包含 6 个分量，P000 (1) ~ P000 (6)。

例如：

P000 初值  $X = 100, Y = 200, Z = 100$ ；

执行 MUL P000 (3) 2；

结果：P000  $X = 100, Y = 200, Z = 200$ ；

再执行 MUL P000 (0) 2；

结果：P000  $X = 200, Y = 400, Z = 400$ 。

6) DIV I012 I013            除法指令 I012/I013→I012

    DIV P000(3) 2            Z 轴数据被 2 除

7) AND B012 B020            逻辑与（操作数只能是字节变量  $B \times \times \times$ ，用于关掉某些位）

8) OR B012 B020            逻辑或（用于打开某些位）

9) NOT B012            逻辑非

10) XOR B012 B020            异或（用于某些位取反）

例如：

B012	B020	AND	OR	XOR
0	0	0	0	0
1	0	0	1	1
0	1	0	1	1
1	1	1	1	0

DIN B000 IG# (1)    取第 1 组数据

AND B000 6            只保留第 2, 3 位 (6 = 00000110)

## 8.9 操作命令

1) SET I012 I020            把 I020→I012

2) SETE P012 (3) D005    设置位置变量的分量

3) GETE D006 P012 (4)    TX 数据→D006，提取位置变量的分量数据

8.10 SHIFT 命令

SFTON P000                    启动偏移量转换操作  
SFTOF P000                   停止偏移量转换操作  
例如：一个循环焊接 3 个相同工件，如图 8-2 所示。

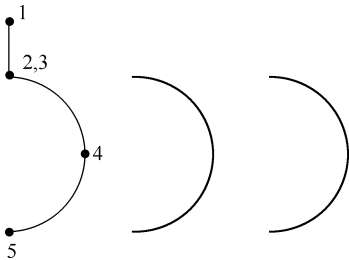


图 8-2 焊接工件

具体程序如下：

MOVJ VJ = 50	位置 1→位置 2
* ABC	标号
SFTON P000	启动偏移量转换，P000 存放偏移量，以下示教数据自动加上偏移量
MOVC V = 200	位置 2→位置 3
MOVC V = 200	位置 3→位置 4
MOVC V = 200	位置 4→位置 5
SFTOF P000	停止偏移量转换，以后运动指令与偏移量无关
ADD P000 P001	修改偏移量
DEC B000	修改循环变量
JUMP * ABC IF B000 > 0	

本程序用 3 个变量，一个字节变量 B000 作循环控制变量，P000、P001 为两个位置变量。

P000 为偏移量累加值，初值为  $X = 0, Y = 0, Z = 0$ 。

P001 每次偏移量（固定值） $X = \Delta X0, Y = \Delta Y0, Z = \Delta Z0$ 。

用变量菜单设置 P000、P001，按 [TOP MEMU] 键，选择“VARIABLE”菜单项，各变量名称见表 8-5。

表 8-5 各变量名称

变量代号	变量名称	变量代号	变量名称
B	字节变量	R	实型变量
I	整型变量	P	位置变量
D	长整型变量		

用光标键和 [SETECT] 键选择，选中 P 变量。各轴的关节坐标值见表 8-6，直角坐标值见表 8-7。

表 8-6 各轴的关节坐标值

轴	坐标值	轴	坐标值
S	2500	L	0
U	0	R	0
B	0	T	0



表 8-7    各轴的直角坐标值

轴	坐标	轴	坐标	轴	坐标
X	20.0	Y	10.0	Z	0
RX	0	RY	0	RZ	0

然后用〔SHIFT〕+光标键，修改变量值。

此外，还可以在程序中设置变量值

SET B000 3	
SET E P000 (1) 0	
SET E P000 (2) 0	
SET E P000 (3) 0	
SET E P001 (1) 80	
SET E P001 (2) 0	
SET E P001 (3) 0	
MOVJ VJ = 50.00	位置 1→位置 2
* ABC	标号
SFTON P000	启动偏移量转换，P000 存放偏移量，以下示教数据要加上偏移量。
MOVC V = 200	位置 2→位置 3
MOVC V = 200	位置 3→位置 4
MOVC V = 200	位置 4→位置 5
SFTOF P000	停止偏移量转换
ADD P000 P001	修改偏移量
DEC B000	修改循环变量
JUMP * ABC IF B000 > 0	

# 第9章 机器人安全和维护

## 9.1 操作安全事项

### 9.1.1 操作人员安全注意事项

机器人与其他机械设备的要求通常不同，如它的大运动范围、快速操作、手臂的快速运动等，这些都会造成安全隐患。整个机器人在最大动作范围内均具有潜在的危险性。为机器人工作的所有人员（安全管理员、安装人员、操作人员和维修人员）必须时刻树立安全第一的思想，以确保所有人员的安全。

#### 1. 操作前注意事项

- 1) 机器人的安装区域内禁止进行任何危险作业。
- 2) 请采取严格的安全预防措施，在实验室的相关区域内应安放如“易燃”“高压”“止步”或“闲人免进”等相应警示牌。忽视这些警示可能会引起火警、电击或由于任意触动机器人和其他设备而造成的伤害。
- 3) 严格遵守下列条款：
  - ① 穿着工作服（不穿宽松的衣服）。
  - ② 操作机器人时不许戴手套。
  - ③ 内衣裤、衬衫和领带不要从工作服内露出。
  - ④ 不佩戴大的首饰，如耳环、戒指或垂饰等。
  - ⑤ 必要时穿戴相应的安全防护用品，如安全帽、安全鞋（带防滑底的）、面罩、防护镜和手套。
- 4) 未经许可的人员不得接近机器人和其外围的辅助设备。任意触动机器人及其外围设备，将会有造成伤害的危险。
- 5) 不遵守上述提示可能会由于触动机器人系统控制柜、工件、定位装置等而造成伤害。
- 6) 绝不可强制地扳动机器人的轴，否则可能会造成人身伤害和设备损坏。
- 7) 绝不可倚靠在机器人系统或其他控制柜上；不要随意地按动操作键，否则可能会造成机器人产生未预料的动作，从而引起人身伤害和设备损坏。

#### 2. 操作时注意事项

- 1) 在操作期间，绝不允许非工作人员触动机器人。
- 2) 在理解机器人使用说明书的“警告标志”的基础上，使用机器人。
- 3) 工具安装。当在机器人上安装一个工具时，务必先切断（OFF）控制柜及所装

工具上的电源并锁住其电源开关，而且要挂一个“禁止通电”的警示牌，如图 9-1 所示。

4) 在机器人动作范围内示教时，请遵守以下事项：

- ① 保持从正面观看机器人。
- ② 遵守操作步骤。
- ③ 考虑机器人突然向自己所处方位运动时的应变方案。

④ 确保设置躲避场所，以防万一。

5) 由于误操作造成的机器人动作，可能引发人身伤害事故。进行以下作业时，请确认机器人的动作范围内没人，并且操作者处于安全位置操作。

- ① 机器人接通电源时。
- ② 用示教编程器操作机器人时。
- ③ 试运行时。
- ④ 再现操作时。

6) 不慎进入机器人动作范围内或与机器人发生接触，都有可能引发人身伤害事故。发生异常时，请立即按下急停键。NX100 机器人的急停键位于控制箱的前门及示教编程器的右侧，如图 9-2 所示。

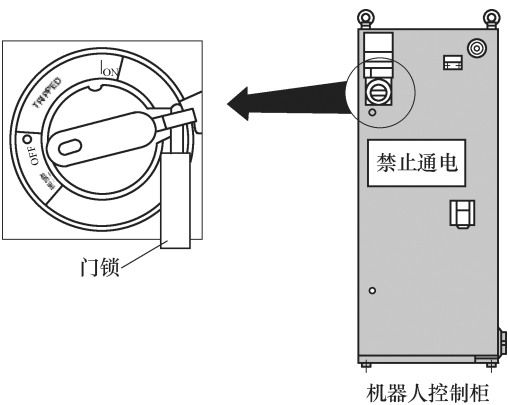


图 9-1 工具安装注意事项

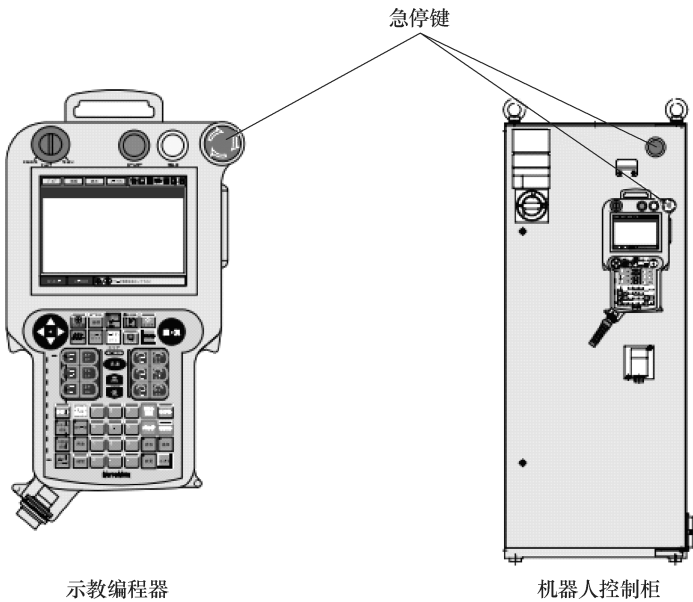


图 9-2 NX100 机器人控制柜及示教编程器急停键位置

在操作机器人前，应先按 NX100 机器人控制柜前门及示教编程器右上方的急停键，以检查“伺服准备”的指示灯是否熄灭，并确认其电源确已关闭。伺服电源切断后，

示教编程器上的伺服准备指示灯熄灭。紧急情况下，若没有及时制动机器人，则可能引发人身伤害或设备损坏事故。解除急停后再接通伺服电源时，要解除造成急停的事故后才可接通伺服电源。

7) 示教编程器用完后必须放回原处。如不慎将示教编程器放在机器人、夹具或地上，当机器人运动时，示教编程器可能与机器人或夹具发生碰撞，从而引发人身伤害或设备损坏事故。

9.1.2 机器人的安装注意事项

在安装机器人时，要遵守下列事项。

(1) 安装区域 选择一个区域安装机器人，并确认此区域足够大，以确保装有工具的机器人转动时不会碰着墙、安全围栏或控制柜，并且确认有足够的空间来维修机器人、控制箱和其他外围设备，否则可能会因机器人产生未预料的动作而引起人身伤害或设备损坏。具体要求如图 9-3 所示。

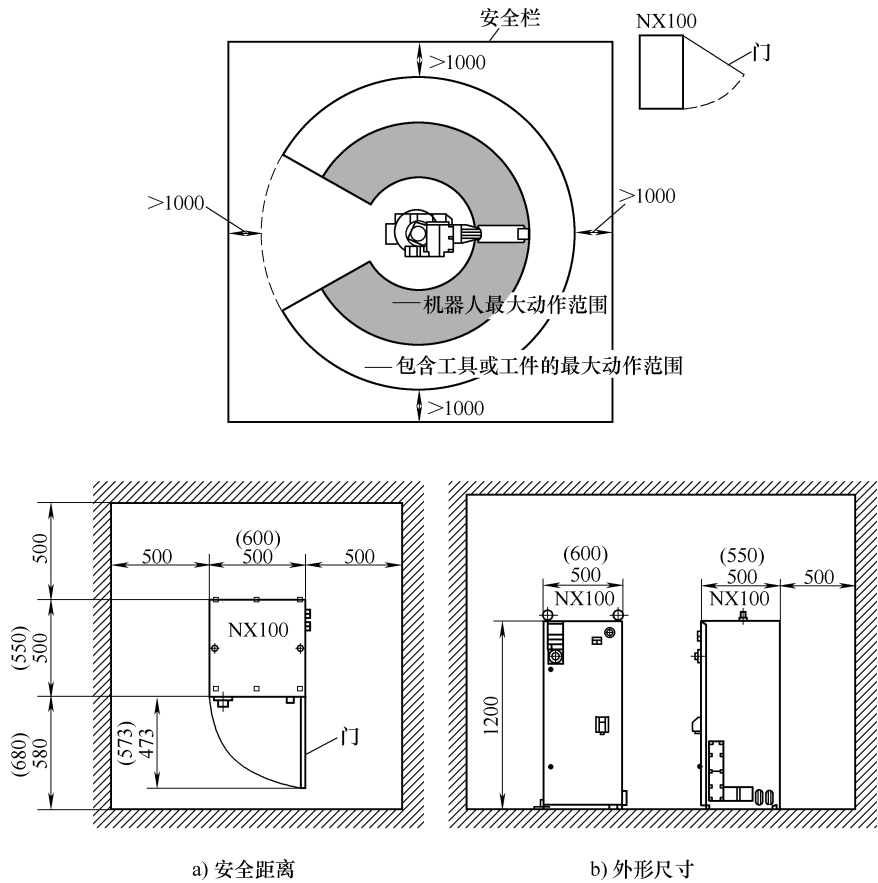


图 9-3 安装区域

(2) 吊运设备 通常起吊 NX100 机器人控制箱必须使用固定在其上的吊环螺栓，穿好钢丝绳由桥式起重机（俗称天车）进行起吊。要事先确认钢丝绳足够坚固，以能

承受其重量（100kg），如图 9-4 所示。

注意：吊车、吊具或叉车应由经授权的人员进行操作。NX100 机器人控制箱一定要安装在机器人动作范围的安全围栏之外。

（3）固定 使用 NX100 机器人控制箱底部的螺栓孔用螺栓将其固定在地面或台架等其他物体上，如图 9-5 所示。

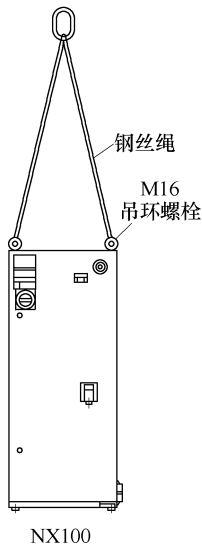


图 9-4 NX100 机器人  
控制箱吊装示意图

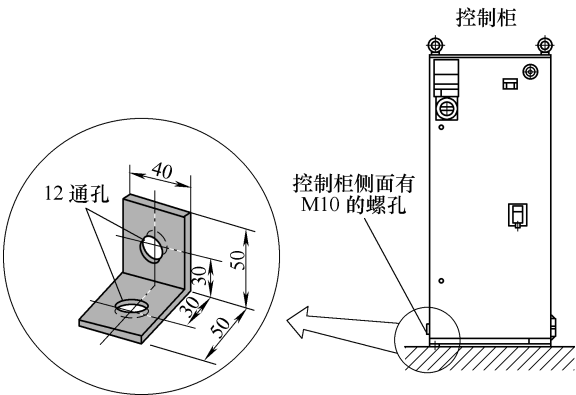


图 9-5 机器人控制箱的固定

（4）机器人配线 为机器人配线前必须熟悉配线图，配线必须按配线图进行。在进行控制箱与机器人本体、外围设备间的配线及配管时必须采取防护措施，如将管、线或电缆从坑内穿过或加保护盖予以遮盖，以免被人踩坏或被叉车碾压损坏。

（5）工具放置 备用工具及类似的器材应放在安全围栏外的合适区域内。

## 9.2 机器人的维护

### 9.2.1 机械手保养注意事项

- 1) 切勿在机械手臂上加装重物。
- 2) 施加油品的方式及施加周期要正确，并注意油的气味及油中是否含有金属粒；加油时加油孔和出油孔不能混淆，加油后运转半小时，使其充分润滑后再密封。
- 3) 示教时切记减少摩擦或碰撞。
- 4) 正确地使用速度，切勿从头到尾都是示教极速。
- 5) 平常检查是否有油品渗漏现象或油塞损坏。
- 6) 检查是否有齿隙以及噪声出现，尤其高湿度环境或潮湿地段。

- 7) 定期检查底座螺栓以及其他螺钉。

### 9.2.2 控制箱保养注意事项

- 1) 检查散热以及通风是否良好，风扇是否正常运转。
- 2) 定期进行粉尘清洁。
- 3) 内部电源接头、主电源接头以及地线是否牢固。
- 4) 切记勿在机器人上放置手工焊接的搭线，此举可能会把机器人的电动机编码器烧毁或引发其他故障。
- 5) 把不需要的孔位盖住，以防动物进入咬断电缆。

### 9.2.3 机器人日常保养注意事项

- 1) 检查机器人电缆线、示教编程器、操作面板及周边设备是否有损伤现象。
- 2) 要确保控制箱门在任何情况下都处于完好关闭状态，即使在控制箱不工作时。
- 3) 打开控制箱时，检查门的边缘密封垫有无破损。
- 4) 检查控制箱内部是否有异常污垢。如有，查明原因后尽早清扫。
- 5) 在控制箱门关好的状态下，检查有无缝隙。
- 6) 平时运行中注意机器人有无异常声音和其他不正常现象。
- 7) 在机器人动作前，确认在伺服电动机接通后能否用急停键将其断开。
- 8) 保持机器人和控制箱周围清洁。
- 9) 正确开机、关机。
- 10) 本体和控制箱内的锂电池如低于 2.8V 就必须更换，注意更换电池时必须在控制箱和本体通电的状态下进行。

# 第 10 章 工业机器人应用案例

## 10.1 机器人在汽车座椅骨架焊接中的应用

汽车座椅骨架多由管件和冲压件组焊构成，图 10-1 为某型汽车双人座椅骨架总成。此类结构中材料厚度较薄，多为 1.5 ~ 3mm，人工焊接容易出现气孔、夹渣、咬边、焊瘤、弧坑、裂纹、未熔合、焊穿等缺陷；另外，焊缝长度短，多为 5 ~ 20mm，焊点多，动作多，容易出现漏焊，劳动强度大。该结构适合于自动化焊接，建立焊接机器人工作站，采用机器人焊接。

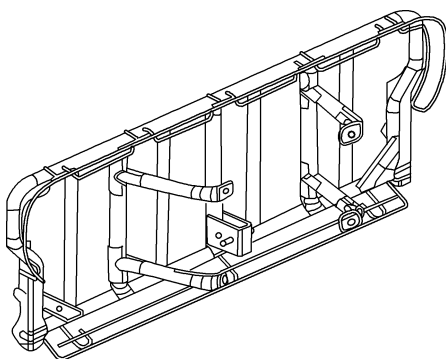


图 10-1 汽车双人座椅骨架总成示意图

### 10.1.1 机器人工作站的组成及系统配置

#### 1. 机器人工作站的组成

机器人工作站的组成如图 10-2 所示。

机器人工作站主要由以下几部分组成：

- 1) 焊接机器人 1 台，包括机器人本体一个，机器人控制器一个。
- 2) 焊机一套，包括焊接电源、送丝机构、冷却系统和预热装置等。
- 3) 自制变位机一台。
- 4) 伺服变压器一个。
- 5) 自制夹具 3 套，其中变位机夹具 1 套，固定夹具 2 套。
- 6) 自制操作台 2 个及自制安全围栏 1 套。

#### 2. 机器人工作站的系统配置

1) 供电系统：焊接机器人工作站总容量 30kVA。其中单台焊机负荷功率 19kVA，单台机器人控制器负荷功率 10kVA，周边控制柜负荷功率 1kVA。

2) 供气系统：压缩空气总流量大于 300L/min，压力 0.5MPa，需滤出水、油。

3) 机器人控制器与周边控制柜接口技术：①机器人与焊机之间通信电缆 1 根；机器人本体上的送丝机构的控制电缆由焊机引出，连到机器人本体下部的后面相对应的航空插座上。②机器人控制器引出的机器人本体上 6 个轴伺服电动机码盘信号电缆、动力电缆各 1 根，直接接入机器人本体下部的后面相对应的航空插座上；引出的外部轴伺服



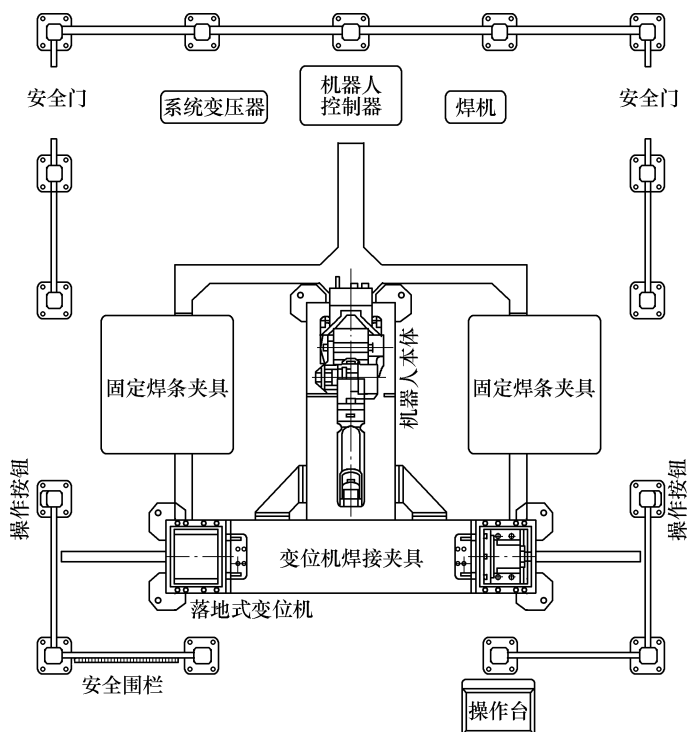


图 10-2 机器人工作站的布局

电动机码盘信号电缆和动力电缆各 1 根，直接穿过转台内部，连接到相应的电动机航空插座上。③机器人控制器通过本身的 I/O 接口板上的输入输出接口与周边控制柜内的可编程序控制器（PLC）进行通信。④周边控制柜内的 PLC 采集周边信号，以使系统能顺利完成预定的各项工作。⑤工作站的夹具、安全门开关、操作台等信号全部通过电缆连接到周边控制柜内，由 PLC 控制整个工作站的运行。

4) 接地、屏蔽、抗干扰措施：工作站的机器人控制器、焊机和工作台等分别单独安装接地装置。能抑制外界静电强磁场的干扰，保证机器人焊接过程的可靠性。动力电缆与信号电缆尽量避免平行走线，若无法避免，应至少保持 20mm 的距离；机器人控制器、焊机和工作台相互之间要保持 1.5m 以上的距离；动力电缆不能盘绕；机器人码盘信号和焊接参数的模拟信号、通信信号等，均采用双绞屏蔽电缆；所有信号电缆都外套 1 个涂塑金属软管，可起到抗拉伸、防碰撞、防腐蚀的作用，并具有附加一层屏蔽抗干扰的效果。

### 10.1.2 机器人示教轨迹的确定

焊接机器人是严格按照操作人员编制的示教程序来完成动作轨迹的。示教前首先对焊枪定位并设置基准点，然后通过编程器完成焊接过程的示教编程。周边设备的控制及工件的装夹和焊接过程的控制逻辑由配套的机器人控制器内的可编程控制器（PLC）、周边控制柜中的可编程控制器和用户焊接示教程序来共同完成，工件翻转机构（变位机）的

换位动作是由机器人控制器内的交流伺服单元来驱动和控制的。机器人操作机和相应的外部轴上的配套工件夹具在焊接示教程序中可实现同时、同步的插补协调工作。

### 10.1.3 焊接参数的设定及控制

由于座椅骨架材料厚度是变化的,除分区段设置焊接电流、电弧电压外,还应根据需要对不同位置的焊接速度分别设定,采用  $\text{Ar} + \text{CO}_2$  混合气体保护焊,  $\text{Ar}$  与  $\text{CO}_2$  气体比例为 4:1。直流反接(工件接阴极),焊丝直径 1mm,焊接电流 140 ~ 160A,电弧电压 24 ~ 28V,细颗粒过渡。焊丝伸出长约为焊丝直径的 10 倍,保护气体流量为 15 ~ 20L/min,焊速为 5 ~ 8mm/s (18 ~ 28m/h)。可通过焊接辅助条件程序对引弧、焊接中断以及熄弧过程进行控制和管理。在焊接前,通过参考点的设定,使每一次焊接前将用户坐标系重新设定,焊接程序就能以参考点为中心进行平移。机械手前部的探测器通过探测工件位置,将其竖直及水平位置的偏差记录下来,在焊接系统中加以补正,由于其重复精度很高,完全可以消除工件位置带来的误差。同时由于其再现精度较高,一套焊接程序,只要所焊工件相同,就可以反复应用同一示教程序,不用重复示教,因此可以大幅度提高生产效率。另外,在工件摆放和焊接加热过程中不可避免地会出现水平、竖直方向的偏差及挠度等问题,除采用探测器检查外,还可以在程序中进行设定,实现动态修改,及时弥补焊接时的偏差。

## 10.2 机器人在摩托车踏板式车架焊接中的应用

摩托车作为一种轻便、快捷的交通工具,需求量逐年上升。为进一步提高摩托车的产量,国内各摩托车生产厂都在积极地使生产过程自动化。摩托车车架是摩托车的主要组成部件之一,由薄板冲压件和成形管件组成,是轻型全焊结构。车架各组件的焊接通常采用半自动  $\text{CO}_2$  焊或 MAG 焊。由于采用手工操作很难保证焊接质量的一致性,而采用机器人焊接不仅可以大幅度提高生产效率,而且可确保焊接质量。摩托车车架典型结构如图 10-3 所示。



图 10-3 摩托车车架典型结构

### 10.2.1 机器人工作站组成

#### 1. 车头焊接机器人工作站

车头组件焊缝总长度为 977mm,采用由单台机器人、2 台翻转机、2 套夹具以及焊接电源、送丝机、焊枪、系统集成控制箱、清枪器和安全围栏等组成的机器人工作站进行加工,可使焊接与组装同时进行,大幅度缩短了机器人待机时间。2 台变位机呈八字形布置于机器人两侧,以排除焊接与组装之间的相互干扰,该机器人工作站的工作节拍为 70s。

2. 车架总成（I）机器人工作站

车架总成（I）的焊缝最长达 1257mm，其总体布置如图 10-4 所示，其由 2 台焊接机器人、2 台焊接电源和送丝机、2 把焊枪、1 台三轴焊接变位机、2 套夹具底座、系统集成控制箱、清枪器和安全围栏等组成。2 台机器人在 A 侧翻转机上焊接组件时，在 B 侧翻转机上进行上料组对，夹紧定位。待机器人焊接结束后由回转平台将 A 侧翻转机转向上下料位置，B 侧翻转机转至机器人位置进行焊接，如此连续交替工作，以规定的生产节拍完成车架总成（I）的所有焊缝的焊接，计算的生产节拍为 93s。

3. 车架总成（II）机器人工作站

车架总成（II）组件焊缝总长度最短，仅为 546mm，但组装零件数与总成（I）的相同，装配时间较长，拟采用 1 台焊接机器人和 1 台三轴变速机组成的焊接机器人工作站。工作顺序同车架总成（I）机器人工作站，测算的生产节拍为 84s。

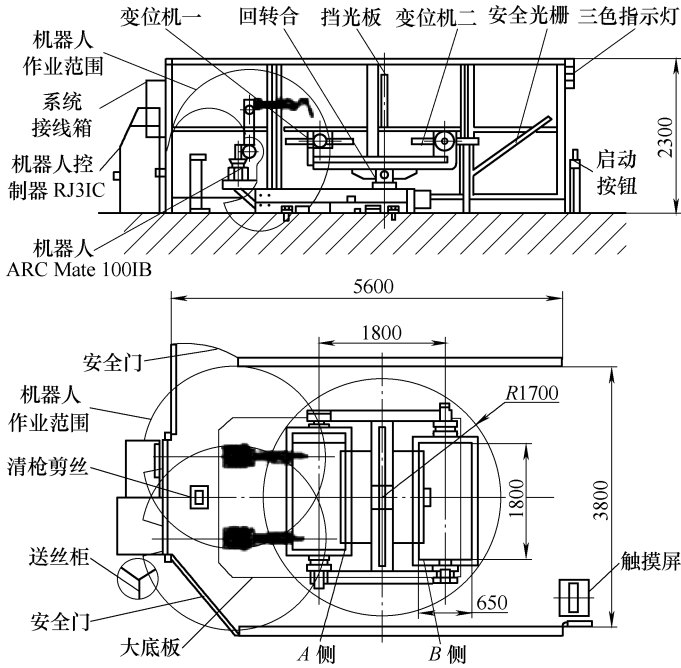


图 10-4 车架总成（I）焊接机器人工作站总体布置图

10.2.2 机器人焊接生产线主要设备

焊接生产线主要由焊接机器人、焊接电源、焊接变位机、定位焊接夹具组成。

1. 焊接机器人

根据摩托车车架焊接工艺要求，可选用安川首钢弧焊机器人。对于弧焊机器人的主要技术特性要求如下：

- 1) 重复定位精度要高（一般不低于 0.1mm）；
- 2) 机器人手臂具有较高的刚性。

2. 焊接电源

焊接电源可选用全数字控制逆变 CO<sub>2</sub>/MAG 焊电源，要求设有数字通信接口，可与

机器人直接连接。额定焊接电流范围为 30 ~ 350A，由数字控制模块精确控制，完全满足薄板高速焊的工艺要求。配四轮驱动编码测速反馈，使送丝速度极为稳定，以适应弧焊机器人的工作条件。

### 3. 焊接变位机

与上述机器人工作配套的焊接变位机有精密头尾架变位机和三轴变位机。

1) 精密头尾架变位机结构如图 10-5 所示。由机座、头架、尾架、回转支架、传动系统和电控器组成。驱动电动机可配伺服电动机，功率约为 1.6 ~ 2kW，头架主轴转速为 0.5 ~ 5r/min，重复定位精密度达  $\pm 0.1\text{mm}$ 。尾架可在机座导轨上滑动，以适应不同长度的工件。装配夹具装在回转架上，便于快速装卡。

2) 三轴变位机的结构如图 10-6 所示。其由底座、回转平台、头尾架变位机、气动驱动系统和控制系统、挡光板等组成。变位机和回转平台主轴均由交流伺服电动机驱动，其中变位机旋转轴可与机器人协同动作。回转平台由进口气缸驱动，可作  $\pm 180^\circ$  旋转，切换时间 4 ~ 6s。变位机转速 0.5 ~ 5r/min，载重 400kg。电动机功率 1.6kW，回转平台载重 1.5t，采用直径 160mm 进口气缸驱动。

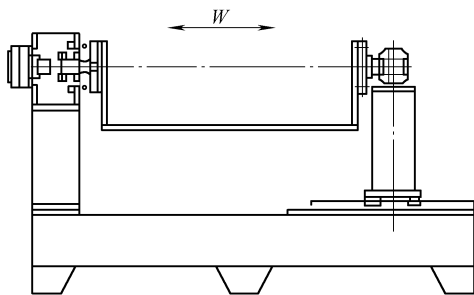


图 10-5 头尾架变位机结构示意图

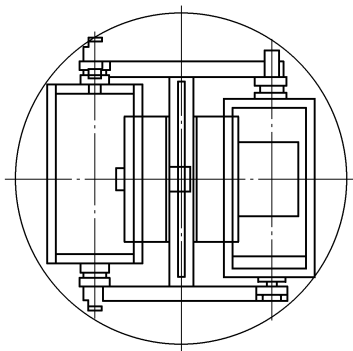


图 10-6 三轴变位机结构示意图

### 4. 定位焊接夹具

定位焊接夹具的设计是焊接机器人工作站的关键技术之一，因此在夹具设计时首先要确立可靠的定位基准，最大限度地消除定位误差。夹具初步设计完成后，利用机器人示教再现功能进行机器人焊枪可达性模拟，确认满足所有要求后再作施工设计。定位焊接夹具由夹具体、定位销、定位块、快速夹钳、气缸和连杆机构等组成，保证夹紧快捷、可靠。图 10-7 为定位焊夹具模型图。

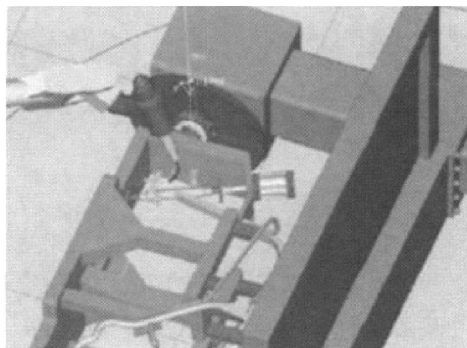


图 10-7 定位焊夹具模型

实际生产应用证明，摩托车车架采用机器人焊接生产线进行大批量的连续生产是完全可行的，获得了优质、高效、低成本的预期效果。

# 第 2 篇作业    焊接机器人操作

## 作业 A    熟悉焊接机器人的基本功能和操作要领

### 1. 实验目的

通过三个基本实验的综合训练，使学生掌握工业焊接机器人的基本操作方法。

- 1) 了解控制箱的基本组成。
- 2) 认识熟悉示教编程器的基本操作键和操作界面。
- 3) 学习命名一个最基本的程序。
- 4) 观察机器人的基本运动操作。

### 2. 实验平台

安川工业机器人、控制箱、示教编程器。

### 3. 实验要求

要求学生仔细听老师的讲解，了解开机的基本注意事项，并在老师的指导下独立完成开机，了解示教编程器上的基本参数和基本功能。

### 4. 实验步骤

关于坐标系的轴操作见表 A-1。

表 A-1    坐标系的轴操作

轴名称		轴操作键	动作
基本轴	S 轴	S - ;S +	本体左右回旋
	L 轴	L - ;L +	下臂前后运动
	U 轴	U - ;U +	上臂上下运动
腕部轴	R 轴	R - ;R +	上臂带手腕回旋
	B 轴	B - ;B +	手腕上下运动
	T 轴	T - ;T +	手臂回旋

- 1) 接通电源。接通电源前，必须充分确认机器人的周围是否安全。接通电源时，请务必按照先开主电源再开伺服电源的顺序。
- 2) 接通主电源。把控制箱正面主电源开关旋至“ON”位置，进行初始化诊断和生成当前位置值。
- 3) 初始化诊断。接通主电源后，示教编程器上出现初始画面。
- 4) 机器人工作有两种操作模式，再现模式和示教模式。
  - ① 再现模式时，安全栏关闭，按示教编程器的 [SERVO ON READY] 键，接通伺服电源，这个键灯亮。

② 示教模式时，按示教编程器的 [SERVO ON READY] 键，这个键闪烁。

5) 握住安全开关，接通伺服电源。示教编程器的 [SERVO ON READY] 键灯亮。

6) 了解示教编程器上的基本参数和基本功能，对机器人各轴进行操作运转。

7) 参照示范程序，掌握机器人指令的编辑方法。

8) 掌握机器人示教、再现的基本方法。

### 5. 注意事项

1) 安全栏打开时，不能接通伺服电源。

2) 控制箱上有报警按钮，此按钮灯亮时，说明操作有危险或进行了非法操作，机器人将停止运行。

### 6. 考查方式

现场实际操作。

## 作业 B 焊接机器人空间直线运动实验

### 1. 实验目的

1) 学会命名和修改一个程序名的基本方法。

2) 学会编写基本的直线插补程序。

### 2. 实验平台

安川工业机器人、控制箱、示教编程器。

### 3. 实验要求

在老师的指导下能够独立完成开机操作，顺利进入示教程序的开机画面，熟练掌握系统程序的命名，能够独自编写一个简单的直线运行程序。

### 4. 实验步骤

1) 确认示教编程器上“REMOTE”按钮的灯是熄灭状态。如果“REMOTE”按钮的灯是亮的，按一下“REMOTE”按钮，使灯灭，示教编程器的操作有效。

2) 将示教编程器的模式旋钮置于“TEACH”位置，定为示教模式。

3) 按示教锁定键，示教锁定键的灯亮，这时通过示教编程器和外部输入信号发出的动作模式，循环状态的修改及再现启动都被禁止。另外，未加示教锁定时，不能通过安全开关接通伺服电源。

4) 在主菜单选择“程序”，然后在子菜单中选择“新建程序”。

5) 显示新建程序画面，按 [选择] 键。

6) 输入文件名。

7) 光标移动到执行上，按 [选择] 键，程序被输入到控制箱的内存中，程序被显示，NOP 和 END 命令自动生成。

如果需要，可以将结束位置修改为与起始的程序点 1 的位置重合，这样来构成一个循环。按下 [前进] 键，利用机器人动作确认每一个程序点，每按一次 [前进] 键，机器人移动一个程序点。在按下 [连锁] 键的同时按下 [试运行] 键，机器人连续再

现所有程序点，一个循环后停止。

## 作业 C 焊接机器人空间曲线运动操作

### 1. 实验目的

- 1) 复习前两节的内容，学习焊接机器人空间曲线运动的操作方法。
- 2) 了解机器人的高低不同的速度操作。
- 3) 学习修改程序点命令，插入、删除、移动等各种不同的命令操作。
- 4) 机器人系统的再现程序操作。
- 5) 了解外部设备的控制。

### 2. 实验平台

安川机器人、控制箱、示教编程器

### 3. 实验要求

- 1) 能够独自修改程序点命令，完成插入、删除、移动等各种不同的命令操作，认识各种不同的指令所表达的不同含义。
- 2) 独自编写一个螺旋线的运行程序，完成焊接机器人空间曲线运动的实验。



## 第3篇 机器人结构与拆装实验

### 第11章 可拆装模块化机器人的结构

苏州博实机器人技术有限公司推出的六自由度可拆装模块化机器人是一套基于模块化设计原则的非单一本体式教学机器人。机械与电控专业学生不仅能通过该机器人掌握工业通用串联机器人的结构与原理，还能够亲自动手分解操作，提高实践动手能力。

所谓模块化又称作模件化，也称为积木化，是指一组具有同一功能的结合要素（连接部分的形状、尺寸、配合等），但有不同性能用途和结构，能够互换的各个单元，或是能增加机械功能的单元模块。

模块化具备下列四个基本含义。

#### 1. 必须具有一定数量的模块

所谓模块，就是具有同一功能的连接要素，但有不同的结构且能够互换。模块是组成模块化系统的基本单元，它可能是一个零件，也可能是一个组件或部件。要成为模块，必须具备下列四个条件。

（1）具有独立的功能 每一模块都具有自己特定的功能，而该功能又是总功能的组成部分，这种功能能够单独进行调试。

（2）具有连接要素 每一模块与其他模块组合后要体现总功能要求。这种组合不是简单的叠加，而是通过一定的连接形式进行叠加，这种形式必须通用而且标准化。

（3）具有互换性 各个模块之间可以互换，便于不同模块的组合，得到不同的功能。连接要素的互换性是模块互换性的组成部分，更主要的是不同功能的模块组合后仍能满足原定功能的需要。

（4）是一组具有不同用途、不同结构的基本单元 这里强调的是一组而不是单一。只有一组单元，才可以选择不同的组合后达到不同的功能要求来适应不同的需要。这一组单元就是模块，模块本身没有大小的区别，而只是用途和结构上的区别。

#### 2. 应用系统组合原理

模块系统的多功能不像其他产品在不调换附件的情况下体现，而是通过不同模块的组合体现的，所以模块系统的产品必须应用组合论原理，按需组合。这种组合的关键是必须保证各模块连接要素的一致性。

#### 3. 最终要获得能基本满足各种不同功能的需要

模块化的功能是由各模块组合后体现的，故不同功能模块经组合后体现不同的功



能。总的来说，模块系统是多功能的，这种不同的功能，也可以体现在性能上的不同。

#### 4. 模块化的可分性

模块化系统可分为若干个模块，而每个模块均有其独立性，可用计算机对模块库进行建立和管理，也非常有利于维修。

机器人模块化可以降低机器人研发的复杂度，使设计、制作、调试和维护等操作简单化、经济化、高效化。模块化机器人的研究已经成为机器人产业前期的热门课题之一。

六自由度可拆装模块化工业机器人由六个单一模块组成，每个模块可以单独运行操作，并能按照统一接口组合成2~6自由度机器人，每种自由度可实现不同尺寸、不同操作的功能。设计思想完全满足模块化设计的所有要求和原则，体现了可拆装的优势，便于开设机械本体拆卸和装配实验。

## 11.1 机器人简介

六自由度可拆装模块化工业机器人系统包括机器人1台、控制柜1台、实验配件1套（包括轴、套）和机器人控制软件1套。

机器人采用模块组合式串联开链结构，即机器人各连杆由旋转关节模块或移动关节模块组合串联连接，如图11-1所示。各关节轴线相互平行或垂直，连杆的一端装在固定的支座上（底座），另一端处于自由状态，可安装各种工具以实现机器人作业，关节的作用是使相互连接的两个连杆产生相对运动。各模块的传动采用可视化结构，由锥齿轮、同步齿型带和谐波减速器等多种传动结构配合实现。

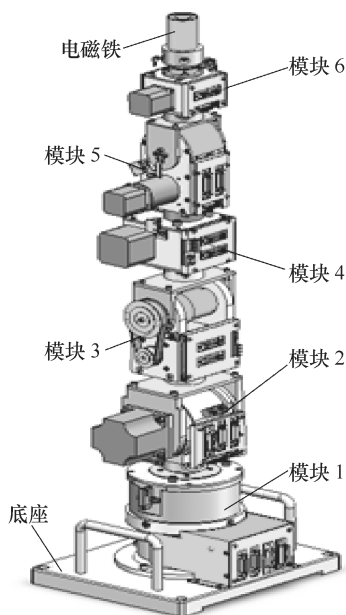


图 11-1 机器人结构

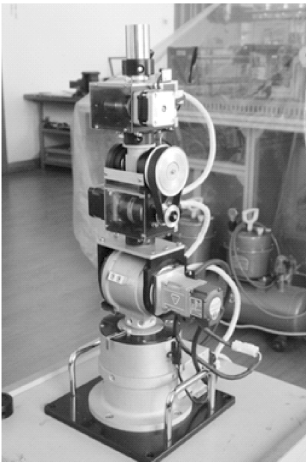
机器人各模块采用步进电动机驱动（模块 2 采用伺服电动机驱动），并通过 Windows 环境下的软件编程对机器人控制，可任意组合成 2~6 自由度机器人，如图 11-2 所示，能够在工作空间内任意位置精确定位。



a) 2自由度



b) 3自由度



c) 4自由度



d) 5自由度



e) 6自由度

图 11-2 机器人组合成 2~6 自由度机器人

机器人技术参数见表 11-1。

表 11-1 机器人技术参数

模块数量	6
驱动方式	步进、伺服电动机混合驱动( RBT-6T/S01M)
负载能力/kg	0.5
重复定位精度/mm	±0.8

(续)

动作范围/(°)	模块 1	- 90 ~ 90
	模块 2	- 45 ~ 45
	模块 3	- 45 ~ 45
	模块 4	- 90 ~ 90
	模块 5	- 45 ~ 45
	模块 6	- 180 ~ 180
最大速度/(°/s)	模块 1	40
	模块 2	30
	模块 3	30
	模块 4	20
	模块 5	20
	模块 6	20
最大展开半径/mm		485
高度/mm		685
本体重量/kg		≤10
操作方式		示教再现/编程
电源容量		单相 220V 50Hz 3A

11.2 机器人的机械结构

11.2.1 机器人的总体机械结构

机器人各模块机械系统主要由以下几大部分组成：原动部件、传动部件、执行部件。基本机械结构连接方式为原动部件→传动部件→执行部件。机器人的传动结构如图 11-3 所示。

模块 1 传动链主要由步进电动机、谐波减速器构成。

模块 2 传动链主要由伺服电动机、谐波减速器构成。

模块 3 传动链主要由步进电动机、同步带、行星齿轮减速器构成。

模块 4 传动链主要由步进电动机、蜗轮蜗杆构成。

模块 5 传动链主要由步进电动机、行星减速器、同步带构成。

模块 6 传动链主要由步进电动机、锥齿轮构成。

在机器人末端还有一个电磁铁或气动夹持器。

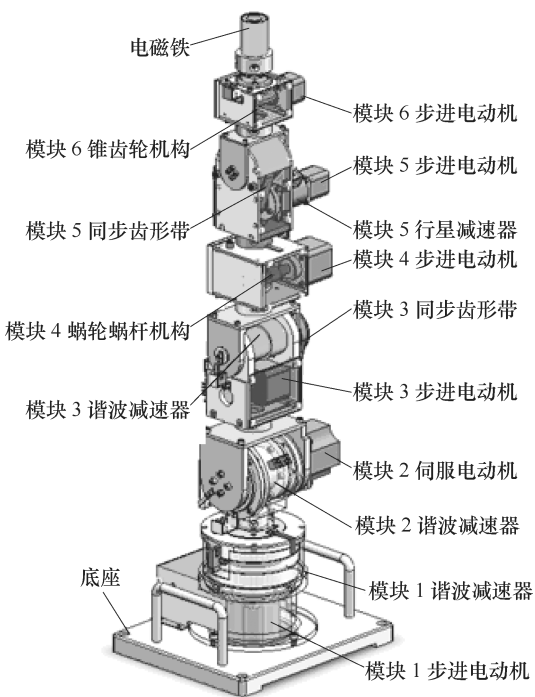


图 11-3 机器人传动结构简图

原动部件包括步进电动机和伺服电动机两大类，模块 2 采用伺服电动机驱动方式；模块 1、3、4、5、6 采用步进电动机驱动方式。机器人采用了同步齿型带传动、谐波齿轮传动、行星齿轮传动、锥齿轮传动、蜗轮蜗杆传动等方式。执行部件采用了电磁铁或气动手爪吸附机构，以完成抓取、装配等作业。

模块采用圆柱状接口连接各部分，某模块只能在下一级模块之上安装。多台模块化机器人之中，同模块可以互换。模块本身安装有传感器限位开关，用以固定行程和角度。

11.2.2 各模块机械结构

1. 模块 1 机械结构

模块 1 采用步进电动机驱动，谐波减速器直连垂直放置结构，末端旋转运动，角度可达到  $\pm 90^\circ$ ，如图 11-4 所示。考虑到拆卸方便，采用两体结构，铝合金材料。此模块为整体模块化机器人的基体模块，设计中考虑到可靠性和安全的需要，完全可拆卸。

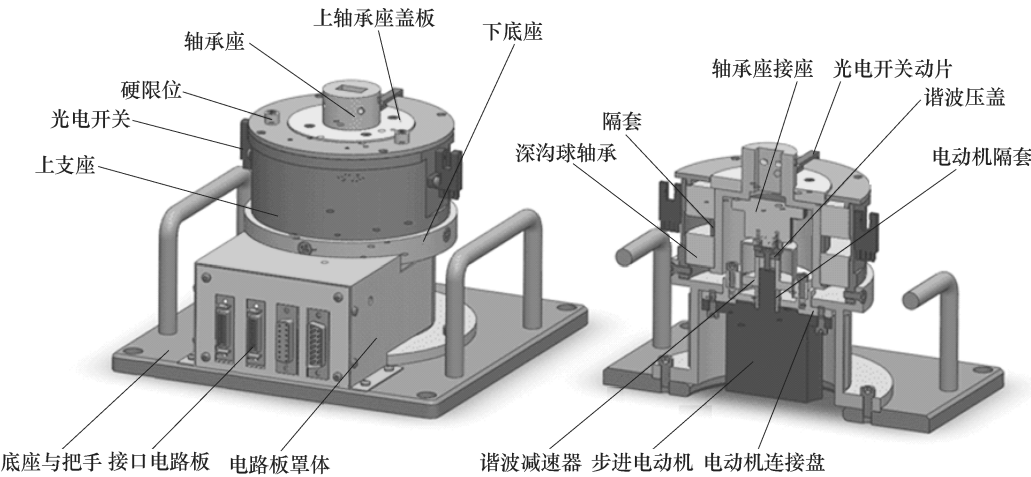


图 11-4 模块 1 机械结构

2. 模块 2 机械结构

模块 2 采用伺服电动机驱动，XB1 型谐波减速器直连水平放置结构，末端回转运动，角度为  $\pm 45^\circ$ ，如图 11-5 所示。此模块在整体组合后承受力矩最大，为保证整体精度与可靠性，根据工业机器人结构特点，应减少传动结构，采用工业结构进行模块设计。

3. 模块 3 机械结构

模块 3 采用步进电动机驱动，同步带减速传动连接谐波减速器输出，直连水平放置结构，末端回转运动，角度为  $\pm 45^\circ$ ，如图 11-6 所示。此结构突出谐波减速器传动特点，属于工业机器人典型结构，拆卸方便。

4. 模块 4 机械结构

模块 4 采用步进电动机驱动，蜗轮蜗杆传动输出结构，末端旋转运动，角度为

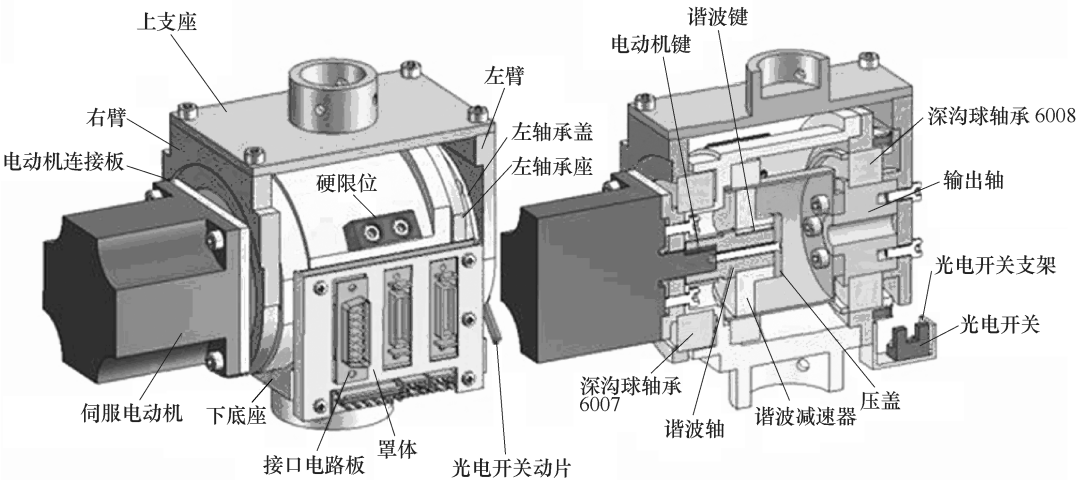


图 11-5 模块 2 机械结构

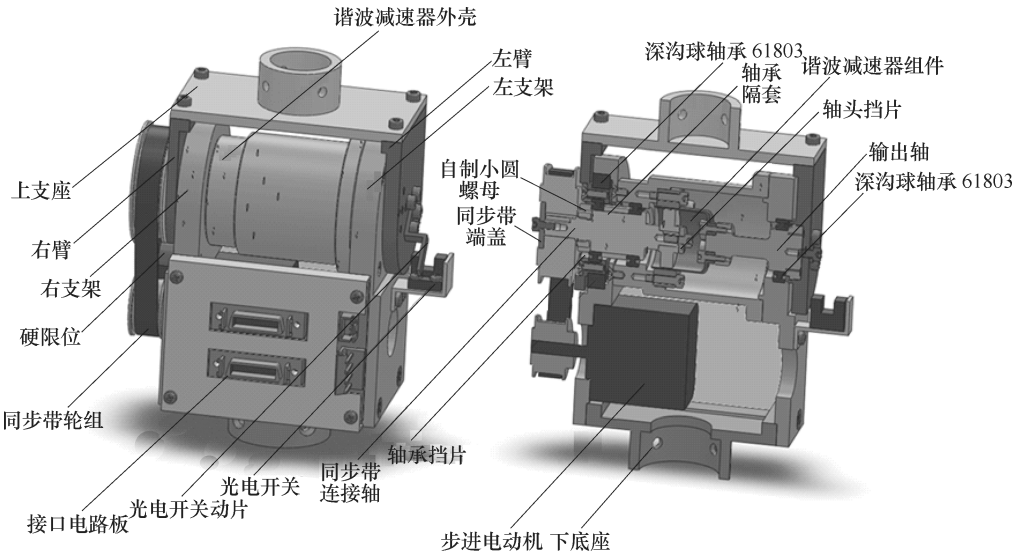


图 11-6 模块 3 机械结构

$\pm 90^\circ$ ，如图 11-7 所示。此模块突出蜗轮蜗杆的设计思想以及传动特点，是某些电子行业机器人常用的传动结构。

5. 模块 5 机械结构

模块 5 采用步进电动机驱动，直连行星齿轮减速器，同步带传动，直连水平放置结构，末端回转运动，角度为  $\pm 45^\circ$ ，如图 11-8 所示。此结构也是工业机器人典型结构，着重于同步带的使用方法和特点。

6. 模块 6 机械结构

模块 6 采用步进电动机驱动，锥齿轮减速传动，垂直放置结构，末端旋转运动，角度为  $\pm 180^\circ$ ，如图 11-9 所示。此结构也是工业机器人典型结构，着重于齿轮传动的使用方法和特点。



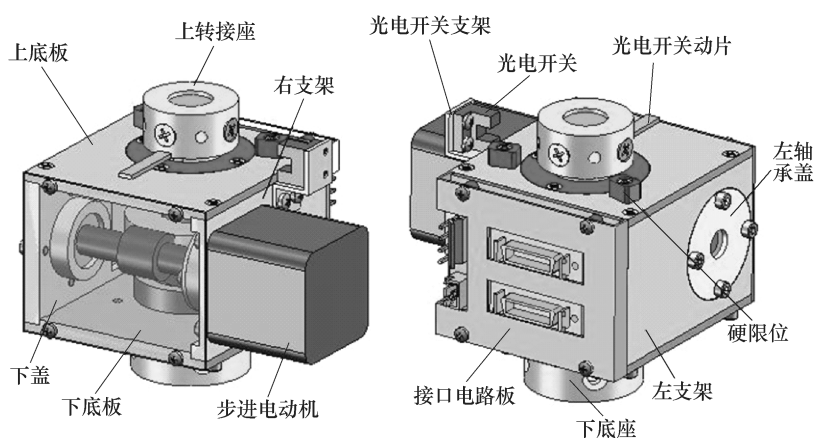


图 11-7 模块 4 机械结构

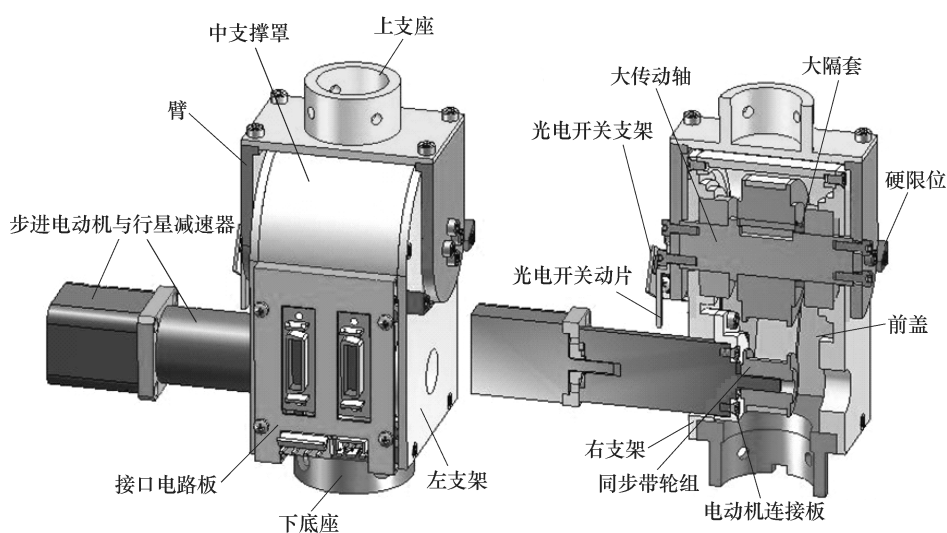


图 11-8 模块 5 机械结构

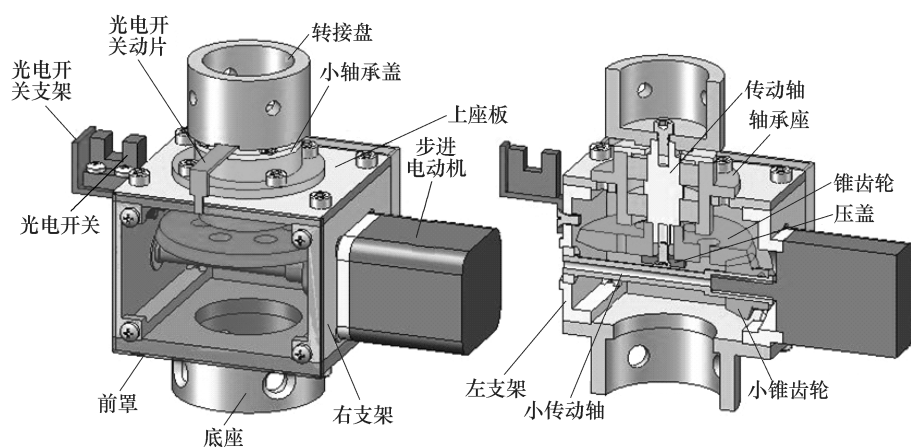


图 11-9 模块 6 机械结构

## 11.3 机器人控制系统

### 11.3.1 机器人控制系统组成

模块化机器人控制系统主要由计算机、步进（或伺服）电动机驱动器及步进（或伺服）电动机、电源、控制柜、操作电路等几部分组成。

计算机内安装有运动控制卡和机器人控制软件。

运动控制卡由高性能 DSP 处理器、CPLD 可编程器件及伺服电动机接口器件等组成，用于实现伺服电动机的位置、速度、加速度的控制及多个伺服电动机的多轴协调控制。其主要功能为：S 形、梯形自动加减速曲线规划；输出控制脉冲到电动机驱动器使电动机运动；具有编码器位置反馈信号接口，监控电动机实际运行状态；能利用零位开关、减速开关及编码器 Z 相信号实现高速高精度原点返回操作；具有伺服驱动器报警信号 ALM 等伺服驱动器专用信号接口。

步进（或伺服）电动机驱动器用来把运动控制卡提供的低功率的脉冲信号转换为能驱动电动机的大功率电信号，以驱动电动机带动负载旋转。

电源部分用来给控制柜提供各驱动器的控制用电源，包括相关保护、滤波器件等。

操作电路提供电气系统所需的电源开、关顺序操作及保护、报警、状态指示等控制操作。

### 11.3.2 机器人步进电动机控制系统

步进电动机控制系统示意图如图 11-10 所示。

其主要的控制信号如下。

(1) 步进脉冲信号 CP 这是最重要的一路信号，控制卡发出此信号用来控制步进电动机旋转，驱动器每接受一个脉冲信号 CP，就驱动步进电动机旋转一个步距角，CP 的频率和步进电动机的转速成正比，CP 的脉冲个数决定了步进电动机旋转的角度，这样，控制系统通过脉冲信号 CP 就可以达到控制电动机位置和速度的目的。

(2) 方向电平信号 DIR 控制卡发出此信号用来控制电动机的旋转方向，此信号为高电平时电动机为顺时针旋转，此信号为低电平时电动机则为反方向逆时针旋转。

(3) 使能信号 EN 此信号在不连接时默认为有效状态，这时驱动器正常工作；当此信号回路导通时，驱动器停止工作，此信号为选用信号。

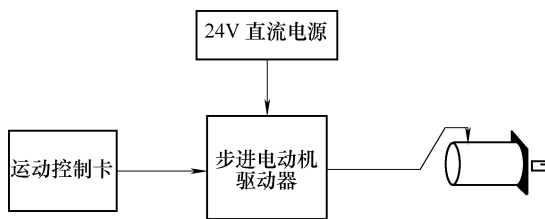


图 11-10 步进电动机控制系统

### 11.3.3 机器人交流伺服电动机控制系统

机器人的交流伺服控制系统为松下 MADD 系列伺服驱动器控制系统，如图 11-11

所示。

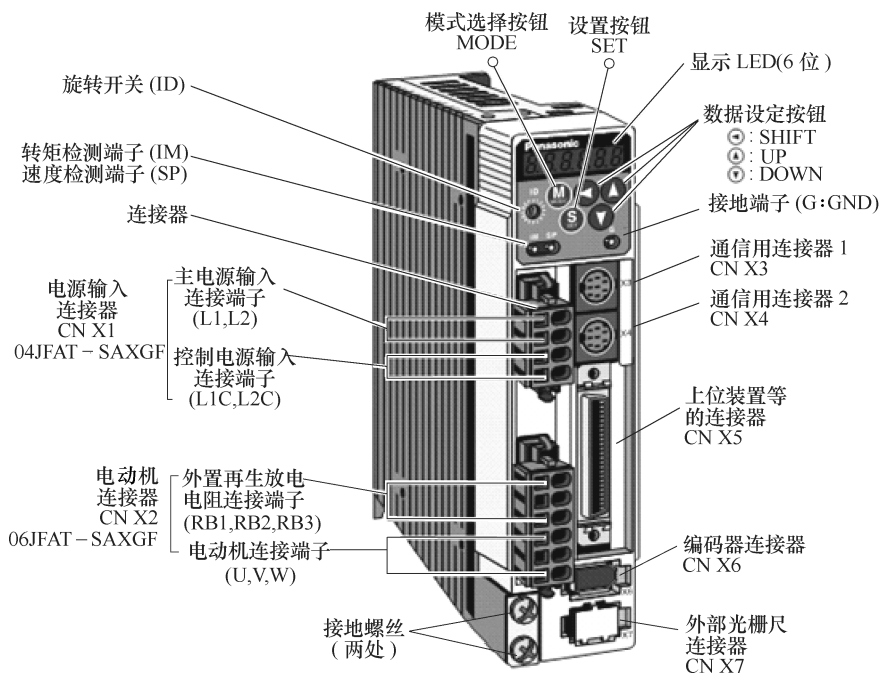


图 11-11 松下 MADD 系列伺服驱动器控制系统示意图

其主要控制信号如下。

- (1) 脉冲信号 PULS 此信号由运动控制卡发出，驱动器接收此信号驱动伺服电动机旋转。
- (2) 方向信号 SIGN 此信号由运动控制卡发出，用来控制电动机旋转方向。
- (3) 原点信号 ORG 此信号由零位开关发出，可单独用于寻零操作，也可与编码器 Z 相信号配合得到精度更高的寻零操作。
- (4) 限位信号 EL 此信号由限位开关发出，+EL 为电动机运行正方向的限位信号，-EL 为电动机运行负方向的限位信号，当与电动机运行方向相同的 EL 信号为“ON”状态时，控制卡立即停止发出脉冲，电动机自动停止运行。这个信号被锁存，即使 EL 又恢复成“OFF”状态，控制卡也不会再发出脉冲，可由指令发出相反方向运动的脉冲链使电动机反向运动，解除这一锁存状态。
- (5) 驱动器报警信号 ALM 此信号由驱动器发出，当驱动器发生故障时，报警信号 ALM 为“ON”状态，控制卡接收到这个信号后立即停止发出脉冲，电动机自动停止运行。
- (6) 伺服 ON 信号 此信号由运动控制卡发出，伺服驱动器接收到此信号后，即处于伺服状态。
- (7) 编码器信号 编码器输出 A、B、Z 相信号送到伺服驱动器，经伺服驱动器分频后发送到运动控制卡，用来反馈伺服电动机实际运行位置及实现闭环控制。



# 第 12 章 可拆装模块化机器人实验

## 12.1 机器人示教-再现实验

### 12.1.1 实验目的

- 1) 掌握机器人的机构组成和工作原理。
- 2) 了解机器人示教与再现的原理。
- 3) 掌握机器人示教和再现过程的操作方法。

### 12.1.2 实验原理

#### 1. 示教-再现的步骤

机器人的示教-再现过程分为如下四个步骤进行。

(1) 示教 操作者把规定的目标动作（包括每个运动部件，每个运动轴的动作）一步一步地教给机器人，示教的简繁标志着机器人自动化水平的高低。

(2) 记忆 机器人将操作者所示教的各个点的动作顺序信息、动作速度信息、位置信息等记录在存储器中。存储信息的形式、存储量的大小决定机器人能够进行的操作的复杂程度。

(3) 再现 将示教信息再次浮现，即根据需要，将存储器所存储的信息读出，向执行机构发出具体的指令。是根据给定顺序再现，还是根据工作情况，由机器人自动选择相应的程序再现，这一功能的不同，标志着机器人对工作环境的适应性。

(4) 操作 机器人以再现信号作为输入指令，使执行机构重复示教过程规定的各种动作。

在示教-再现这一动作循环中，示教和记忆是同时进行的，再现和操作也是同时进行的。这种方式是机器人控制中比较方便和常用的方式。

#### 2. 示教的方法

示教的方法有主从式、编程式、示教盒式等多种。

(1) 主从式 由结构相同的大、小两个机器人组成，当操作者对主动小机器人手把手进行操作控制的时候，由于两机器人所对应的关节之间装有传感器，所以从动大机器人可以用相同的运动姿态完成示教操作。

(2) 编程式 运用上位机进行控制，将示教点以程序的格式输入到计算机中，当再现时，按照程序语句一条一条地执行。这种方法除了计算机外，不需要任何其他设备，简单可靠，适用小批量、单件机器人的控制，六自由度可拆装模块化工业机器人采

用的即是这种方法。

(3) 示教盒式 示教盒式和上位机控制的方法大体一致，只是由示教盒中的单片机代替了电脑，从而使示教过程简单化。这种方法由于成本较高，所以适用在较大批量的成型的产品中。

### 12.1.3 实验步骤

- 1) 接通控制柜电源。
- 2) 启动计算机，运行机器人软件，出现如图 12-1 所示主界面。



图 12-1 主界面

3) 单击主界面“模块组合方式”按钮，出现如图 12-2 所示界面，将 6 个模块都选上，电磁铁也选上，并单击“确定”按钮。

4) 单击主界面“机器人复位”按钮，机器人进行回零运动。观察机器人的运动，所有模块全部运动完成后，机器人处于零点位置。

5) 单击“示教”按钮，出现如图 12-3 所示界面。

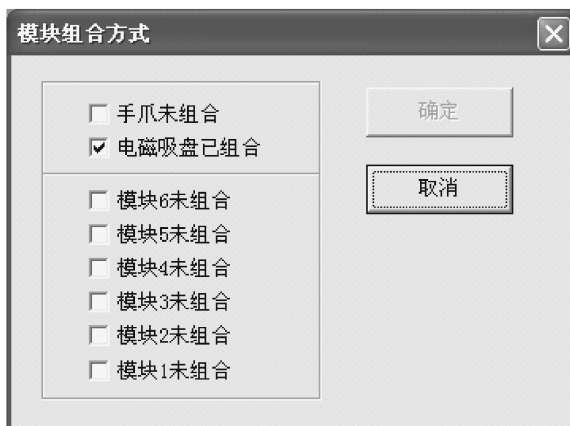


图 12-2 模块组合方式界面



图 12-3 示教界面

6) 在“速度”中选择示教速度（由左到右从低速到高速有  $1.5^{\circ}/s$ 、 $6^{\circ}/s$ 、 $12^{\circ}/s$ 、 $24^{\circ}/s$  共四个挡，默认是  $6^{\circ}/s$ ，一般情况下建议选择  $12^{\circ}/s$ ；在“模块运动”中有每个关节的正反向运动，持续按下相应模块的按钮，机器人的模块会按照指令运动，松开相应的按钮，机器人的模块会停止运动。

7) 在机器人“模块状态”和“当前坐标”中，可以实时显示机器人的运动状态，当每运动到一个点，必须按下“记录”按钮，再现时机器人将忽略中间过程而只再现各个点，在“示教列表”中会记录并显示机器人相应模块运动的信息，继续运动其他模块，直到整个示教程序完成。

8) 在示教界面中将模块 2 运动  $+45^{\circ}$ ，即右限位位置，每示教一步都要记录。

9) 在示教界面中将模块 3 运动  $+45^{\circ}$ ，即右限位位置，此时机器人为最大展开状态。

10) 在示教界面中将模块 1 由  $+90^{\circ}$  运动到  $-90^{\circ}$ 。

11) 在示教界面中将模块 2 运动  $-45^{\circ}$ ，即左限位位置。

12) 在示教界面中将模块 3 运动  $-45^{\circ}$ ，即左限位位置，此时机器人也为最大展开状态。

13) 在示教界面中将模块 1 由  $+90^{\circ}$  运动到  $-90^{\circ}$ 。

14) 点击“保存”按钮，示教完的信息以 (\*.RBT6) 格式保存在示教文件中。

- 15) 单击“再现”按钮，机器人按照记录的各模块信息再现一遍运动轨迹。
- 16) 单击“清空”按钮会把示教列表全部清除。
- 17) 单击“退出”按钮，退出当前界面。

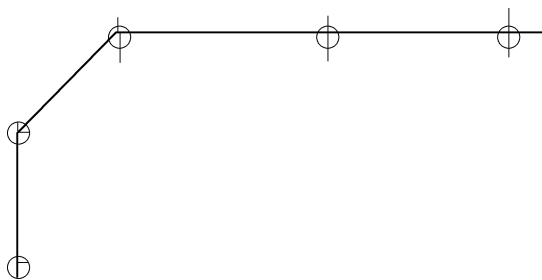
前界面。

18) 单击“机器人复位”按钮，使机器人回到零点位置。

19) 关闭计算机。

20) 断开控制柜电源。

机器人最大展开状态如图 12-4



所示。

图 12-4 机器人最大展开状态

## 12.2 机器人运动学分析实验

### 12.2.1 实验目的

- 1) 了解齐次变换矩阵和机器人工作空间的概念。
- 2) 掌握用 D-H 方法建立机器人坐标系的步骤。
- 3) 掌握运用齐次变换矩阵求解机器人正运动学和逆运动学的方法。

### 12.2.2 实验原理

机器人运动学只涉及物体的运动规律，不考虑产生运动的力和力矩。机器人运动学所研究的内容是：给定机器人各关节的角度或位移，计算求解机器人末端执行器相对于参考坐标系的位置和姿态问题。

机器人坐标系的建立常用的是 D-H 方法，这种方法严格定义了每个关节的坐标系，并对转动关节连杆定义了 4 个参数，如图 12-5 所示。

机器人机械臂是由一系列连接在一起的连杆（杆件）构成的。需要用两个参数来描述一个连杆，即公共

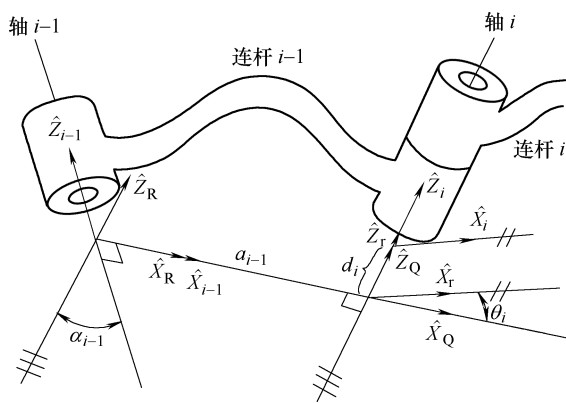


图 12-5 转动关节连杆 4 个参数示意图

法线距离  $a_i$ （称为“连杆长度”）和垂直于  $a_i$  所在平面内两关节的夹角  $\alpha_i$ （称为“连杆转角”）；需要另外两个参数来表示相邻两杆的关系，即两连杆的相对位置  $d_i$ （称为“连杆偏距”）和两关节轴法线的夹角  $\theta_i$ （称为“关节角”）。

除第一个和最后一个连杆外，每个连杆两端的轴线各有一条法线，分别为前、后相邻连杆的公共法线。这两法线沿相邻连杆公共轴线方向的距离即为  $d_i$ 。

一旦对全部连杆规定坐标系之后，我们就能够按照下列顺序由两个旋转和两个平移来建立相邻两连杆  $i-1$  与  $i$  之间的相对关系。

$a_i$  = 沿  $\hat{X}_i$  轴，从  $\hat{Z}_i$  移动到  $\hat{Z}_{i+1}$  的距离；

$\alpha_i$  = 绕  $\hat{X}_i$  轴，从  $\hat{Z}_i$  旋转到  $\hat{Z}_{i+1}$  的角度；

$d_i$  = 沿  $\hat{Z}_i$  轴，从  $\hat{X}_{i-1}$  移动到  $\hat{X}_i$  的距离；

$\theta_i$  = 绕  $\hat{Z}_i$  轴，从  $\hat{X}_{i-1}$  旋转到  $\hat{X}_i$  的角度；

这种关系可由表示连杆  $i$  对连杆  $i-1$  相对位置的四个齐次变换来描述，此关系式为

$${}^{i-1}_iT = R_X(\alpha_{i-1})D_X(a_{i-1})R_Z(\theta_i)D_Z(d_i)$$

各连杆变换矩阵相乘，可得到机器人末端执行器的位姿方程（正运动学方程）为：

$${}^0_6T = {}^0_1T {}^1_2T {}^2_3T {}^3_4T {}^4_5T {}^5_6T = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

上式表示了机器人变换矩阵，它描述了末端连杆坐标系  $\{6\}$  相对基坐标系  $\{0\}$  的位置，是机械手运动分析和综合的基础。

机器人的运动学逆解存在的区域称为机器人的工作空间，求解机器人逆解的目的在于求出机器人的工作空间。工作空间是操作臂的末端能够到达的空间范围，即末端能够到达的目标点集合。值得指出的是，工作空间应该严格地区分为两类。

(1) 灵活（工作）空间 指机器人手爪能够以任意方位到达的目标点集合，在灵活空间的每个点上，手爪的指向可任意规定。

(2) 可达（工作）空间 指机器人手爪至少在一个方位上能够到达的目标点集合。

机器人操作臂运动学逆解的数目决定于关节数目和连杆参数（对于旋转关节操作臂指的是  $\alpha_i$ ， $a_i$  和  $d_i$ ）和关节变量的活动范围。

在解运动学方程时，碰到的另一问题是解不唯一（称为多重解）。在工作空间中任何点，机械手能以任意方位到达，并且有两种可能的形位，即运动学方程可能有两组解。

12.2.3 实验步骤

1. 正向运动学分析

1) 参照机器人的运动机构简图（如图 12-6 所示），根据  $D-H$  方法建立机器人的笛卡儿坐标系，并且标出每个关节坐标系的原点（如图 12-7 所示）。

2) 建好坐标系后填写表 12-1 的各个变量的值。

表 12-1 机器人的参数

杆件	扭角 $\alpha_{i-1}$	杆长 $a_{i-1}/\text{mm}$	偏距 $d_i/\text{mm}$	变量为转角 $\theta_i$
1	0	0	$d_1$	$\theta_1$
2	$-90^\circ$	0	0	$\theta_2$
3	0	$a_2$	0	$\theta_3$

(续)

杆件	扭角 $\alpha_{i-1}$	杆长 $a_{i-1}/\text{mm}$	偏距 $d_i/\text{mm}$	变量为转角 $\theta_i$
4	$-90^\circ$	0	$d_4$	$\theta_4$
5	$90^\circ$	0	0	$\theta_5$
6	$-90^\circ$	0	0	$\theta_6$
7	0	0	$d_7$	0

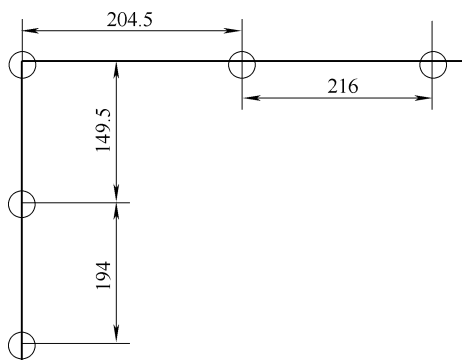


图 12-6 机器人运动机构简图

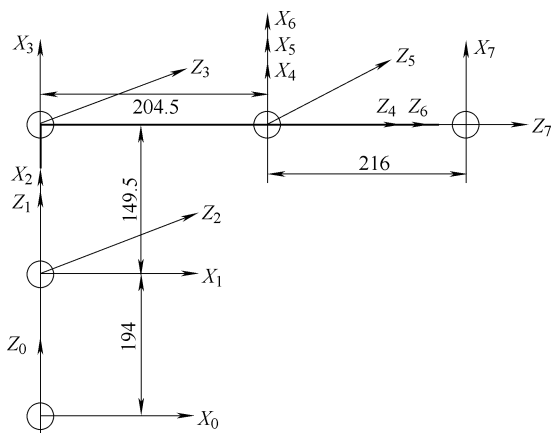


图 12-7 机器人 D-H 坐标系的建立

其中  $d_1 = 194\text{mm}$ ;  $a_2 = 149.5\text{mm}$ ;  $d_4 = 204.5\text{mm}$ ;  $d_7 = 216\text{mm}$ 。

3) 根据表 12-1 的各个变量的值以及各杆件之间关系, 写出相应的矩阵。

$$\begin{aligned}
 {}^0_1T &= \begin{bmatrix} c_1 & -s_1 & 0 & 0 \\ s_1 & c_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} & {}^1_2T &= \begin{bmatrix} c_2 & -s_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -s_2 & -c_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} & {}^2_3T &= \begin{bmatrix} c_3 & -s_3 & 0 & a_2 \\ s_3 & c_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 {}^3_4T &= \begin{bmatrix} c_4 & -s_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_4 \\ -s_4 & -c_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} & {}^4_5T &= \begin{bmatrix} c_5 & -s_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ s_5 & c_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 {}^5_6T &= \begin{bmatrix} c_6 & -s_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -s_6 & -c_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} & {}^6_7T &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_7 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

其中  $c_i = \cos\theta_i$   $s_i = \sin\theta_i$

4) 根据  ${}^0_7T = {}^0_1T {}^1_2T {}^2_3T {}^3_4T {}^4_5T {}^5_6T {}^6_7T$ , 写出  $T$  矩阵。

$$T = {}^0_7T = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

5) 根据机器人坐标系的建立, 得出  $T$  矩阵, 根据一一对应的关系, 写出机器人正解的运算公式, 并填入表 12-2 中;

表 12-2 机器人的正运动学的参数

参数	计算公式
$n_x$	$c_1 c_{23} (c_4 c_5 c_6 - s_4 s_6) - c_1 s_{23} s_5 c_6 - s_1 (s_4 c_5 c_6 + c_4 s_6)$
$n_y$	$s_1 c_{23} (c_4 c_5 c_6 - s_4 s_6) - s_1 s_{23} s_5 c_6 + c_1 (s_4 c_5 c_6 + c_4 s_6)$
$n_z$	$-s_{23} (c_4 c_5 c_6 - s_4 s_6) - c_{23} s_5 c_6$
$o_x$	$-c_1 c_{23} (c_4 c_5 s_6 + s_4 s_6) + c_1 s_{23} s_5 s_6 + s_1 (s_4 c_5 s_6 - c_4 c_6)$
$o_y$	$-s_1 c_{23} (c_4 c_5 s_6 + s_4 s_6) + s_1 s_{23} s_5 s_6 - c_1 (s_4 c_5 s_6 - c_4 c_6)$
$o_z$	$s_{23} (c_4 c_5 s_6 + s_4 s_6) + c_{23} s_5 s_6$
$a_x$	$c_1 c_{23} c_4 s_5 + c_1 s_{23} c_5 - s_1 s_4 s_5$
$a_y$	$s_1 c_{23} c_4 s_5 + s_1 s_{23} c_5 + c_1 s_4 s_5$
$a_z$	$-s_{23} c_4 s_5 + c_{23} c_5$
$p_x$	$d_7 c_1 c_{23} c_4 s_5 + c_1 s_{23} (d_7 c_5 + d_4) + a_2 c_1 c_2 - d_7 s_1 s_4 s_5$
$p_y$	$d_7 s_1 c_{23} c_4 s_5 + s_1 s_{23} (d_7 c_5 + d_4) + a_2 s_1 c_2 + d_7 c_1 s_4 s_5$
$p_z$	$-d_7 s_{23} c_4 s_5 + c_{23} (d_7 c_5 + d_4) - a_2 s_2 + d_1$

6) 将数据带入, 求出各个分量的值, 填入表 12-3 中。

表 12-3 机器人的正运动学的输入和输出参数

输入值	$\theta_1$		$\theta_2$		$\theta_3$		$\theta_4$	
	$\theta_5$		$\theta_6$					
输出值	$n_x$		$o_x$		$a_x$		$p_x$	
	$n_y$		$o_y$		$a_y$		$p_y$	
	$n_z$		$o_z$		$a_z$		$p_z$	

7) 运行机器人控制系统软件, 单击“空间学计算”按钮, 出现如图 12-8 所示界面, 在“关节角度”中相应的位置输入各个关节的变量值, 单击“正解计算”按钮, 各个参数的值显示在“末端位姿”相应的框内。

8) 将计算的值和控制系统软件计算出的值相比较, 看看结果是否一致, 如果不一致请分析原因。

2. 逆向运动学分析

进行逆向运动学分析, 末端的位置必须在工作空间内, 否则无解, 所以首先基于 MATLAB 进行工作空间分析。

运用 MATLAB 进行工作空间仿真的基本方法是: 在各关节变量的变化范围内, 从第一个关节到第六个关节依次以一定的步长转动, 为保证能得到独立的关节变量组合, 并使末端执行件到达工作空间中尽可能多的点, 采用如下规则: 后面关节的运动具有优先权, 即前面关节运动一个步长, 其后的关节要以一定步长从其最小值运动到最大值。如此得到多个独立的关节变量组合, 将其代入  $P_x$ 、 $P_y$ 、 $P_z$  的表达式中, 求得末端执行件在基坐标系中的多个坐标, 以打点的形式显示出来, 便得到工作空间仿真图。

1) 运用 MATLAB 进行工作空间域仿真得到整个工作空间域的三维图, 如图 12-9 所示, 以及工作空间域在各个坐标平面的投影图, 图 12-10 所示是  $y$ - $z$  方向视图, 图 12-11 所示是  $x$ - $y$  方向视图, 图 12-12 所示是  $x$ - $z$  方向视图。



空间学计算

末端位姿

NX

0

OX

0

AX

0

PX

0

NY

0

OY

0

AY

0

PY

0

NZ

0

OZ

0

AZ

0

PZ

0

逆解计算

输入范围必须满足： $NX^2+NX^2+NY^2+NY^2+NZ^2+NZ^2=1$

$OX^2+OX^2+OY^2+OY^2+OZ^2+OZ^2=1$

$AX^2+AX^2+AY^2+AY^2+AZ^2+AZ^2=1$

关节角度

关节1的角度  $\theta_1$ :

0

-90.00~90.00度

关节2的角度  $\theta_2$ :

-90

-135.00~-45.00度

关节3的角度  $\theta_3$ :

0

-135.00~-45.00度

关节4的角度  $\theta_4$ :

0

-90.00~90.00度

关节5的角度  $\theta_5$ :

0

-50.00~50.00度

关节6的角度  $\theta_6$ :

0

-180.00~180.00度

正解计算

退出

图 12-8 空间学计算界面

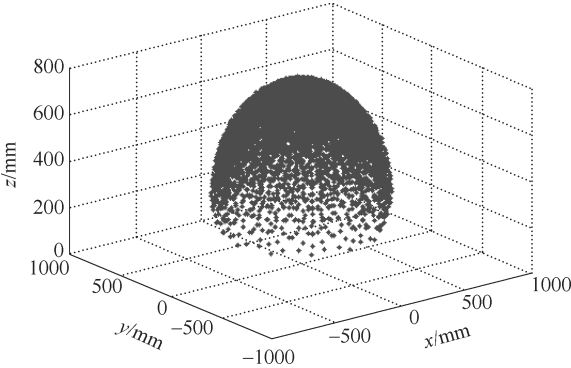


图 12-9 workspace 三维图

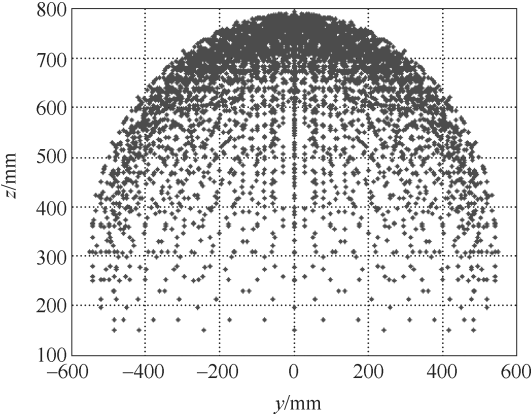


图 12-10 workspace y-z 方向投影



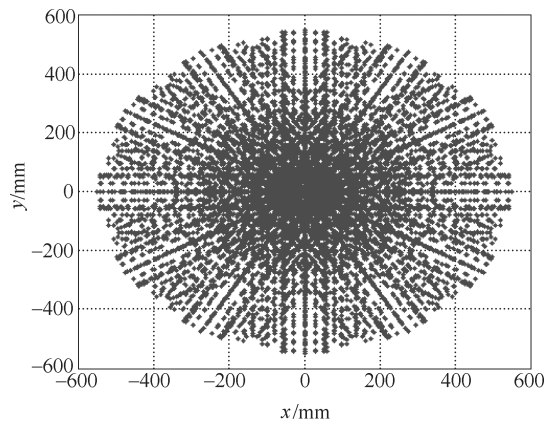


图 12-11 工作空间  $x$ - $y$  方向投影

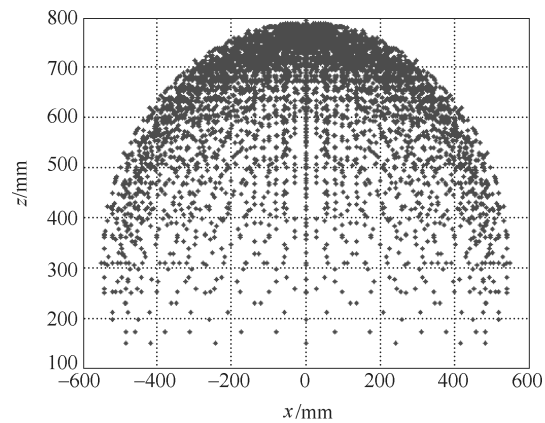


图 12-12 工作空间  $x$ - $z$  方向投影

2) 计算出机器人运动学方程，根据一一对应的关系，求解出机器人逆解的运算公式，如果有的变量有两个值应该全部保留，并填入表 12-4 中。

表 12-4 机器人的逆运动学求解公式

关节变量	求解公式
$\theta_1$	
$\theta_2$	
$\theta_3$	
$\theta_4$	
$\theta_5$	
$\theta_6$	

3) 将设定的数据代入表 12-5 中，求出各个分量的值，如果有两组值，则分别填入。

表 12-5 机器人的逆运动学的输入和输出参数

输入值	$p_x$		$p_y$		$p_z$	
	$n_x$		$n_y$		$n_z$	
	$o_x$		$o_y$		$o_z$	
	$a_x$		$a_y$		$a_z$	
输出值	$\theta_1$		$\theta_2$		$\theta_3$	
	$\theta_4$		$\theta_5$		$\theta_6$	

4) 运行机器人控制系统软件，单击“空间学计算”按钮，出现如图 12-8 所示界面，在“末端位姿”中相应的位置输入末端位姿的变量值，单击“逆解计算”按钮，逆解的值显示在“关节角度”中相应的框内。

5) 将计算的值和控制系统软件计算出的值相比较，看看结果是否一致，在机器人的运动空间内，机器人有两组解，软件只是输出一组解，分析另外一组解的合理性。

## 12.3 机器人机械本体拆卸和装配实验

### 12.3.1 实验目的

- 1) 了解拆卸和装配的概念。
- 2) 掌握零部件拆卸和装配的方法和步骤。

### 12.3.2 实验原理

根据规定的技术要求，将零件或部件进行配合和连接，使之成为半成品或成品的过程称为装配。机器的装配是机器制造过程中最后一个环节，它包括装配、调整、检验和试验等工作。装配过程使零件、套件、组件和部件间获得一定的相互位置关系，所以装配过程也是一种工艺过程。装配对设备的精度和工作质量有很大的影响。例如：车床的主轴与床身导轨装配得不平行，车削出来的零件就会出现锥度；车床的主轴与横溜板导轨装配得不垂直，加工出来的零件端面就会不平。装配时，零件表面如果有碰伤或者配合表面擦洗得不干净，设备工作起来，零件很快磨损，降低设备的使用寿命。装配得不好的设备，其生产能力降低，消耗的功率增加。

为保证有效地进行装配工作，通常将机器划分为若干能进行独立装配的单元。

- (1) 零件 组成机器的最小单元，由整块金属或其他材料制成。
- (2) 套件 在一个基准零件上，装上一个或若干个零件构成套件，是最小的装配单元。
- (3) 组件 在一个基准零件上，装上若干套件及零件而构成组件，如主轴组件。
- (4) 部件 在一个基准零件上，装上若干组件、套件和零件而构成，如车床的主轴箱。部件的特征是在机器中能完成一定的、完整的功能。

总的来说,装配的过程可以分为装配前的准备、部件装配、总装配、调整和试验、装配后的整理和修饰。根据以上介绍和下面的步骤进行模块化机器人的动手分解装配,并严格按照下述介绍进行正确的零部件组装。

### 12.3.3 实验步骤

#### 1. 准备工作

1) 熟悉装配图和有关技术文件,了解所装机械的用途、构造、工作原理、各零部件的作用、相互关系、连接方法及有关技术要求,掌握装配工作的各项技术规范。

模块机器人提供了各模块及总体装配图以及模块机器人三维立体图,学生结合装配说明熟悉各零件及其装配关系,并选择一组模块进行装配。

2) 确定装配的方法和程序,准备必要的工艺装备。学生实验组安排妥当之后,按照装配说明对每组进行装配工具和辅具的分配。该机器人所需工装主要为内六角扳手、螺钉旋具等工具。同时学生熟悉并掌握所装配模块的零件数量、特征及采用的装配方法。

3) 准备好所需的各种物料。为方便拆装并节省时间,除轴承需要木槌及铝棒安装之外,其他零件皆为螺钉连接安装。

4) 检查零部件在搬运和堆放过程中是否有变形和碰伤,并根据需要进行适当的补救措施。对于直流电动机及旋转编码器一定要轻拿轻放,安装过程中不能有磕碰、用力过大等现象发生。

5) 所有的耦合件和不能互换的零件,拆卸、修理或制造时做记号妥善摆放,标准件等规格型号要采用标签标示,以便成对成套地进行装配。

6) 装配前,对零件进行彻底清洗,因为任何脏物或灰尘都会引起严重的磨损。装配时,首先要对零部件进行严格的清理和洗涤,这对加快装配速度、提高产品质量和寿命均有很大影响。

#### 2. 接口电路板拆卸

模块机器人在机械本体拆卸之前,需拆下模块本体上的接口电路板,然后再进行拆装;反之,当各模块装配时,电路板装配过程正是拆卸的逆过程。电路板拆卸之前首先将 SISC-26 与 DB 等电缆逐一拿下(2 模块以上 4 条 SCSI-26 电缆相同,可自由更换,其他有专用标记或专用电缆,接口板上两个 SCSI-26 插口可互换)。各模块拆卸操作如下。

(1) 模块 1 接口电路板拆卸 模块 1 应用的光电开关型号为 BS5-T2M。首先将两侧光电传感器开关的下方连接器拆下,此处注意连接器应顺着光电开关四个连接针脚向下轻轻用力拔出,不可弯曲角度用力拔出,否则容易造成针脚折断,开关损坏,如图 12-13 所示。

光电开关连接器拆下之后,连接



图 12-13 拆卸光电开关

器与开关电缆还与接口电路板罩体形成一体，此时用螺钉旋具拧下接口电路板罩体下方固定在底座上的四枚螺钉，放置于专用存储盒（用户自制）内保存。然后将整体接口电路板罩拿出，注意此时模块 1 步进电动机线还与接口电路板连接，将整体翻转过来，卸下电动机线在电路板上的插头（电路板上焊接接头为卡紧式，首先将卡头外侧体向外稍用力拉开，脱离电动机接头，然后卸下，以下同），整体接口电路板罩即完全拆下。按照实验室规定放置到固定位置处存放，如图 12-14 所示。

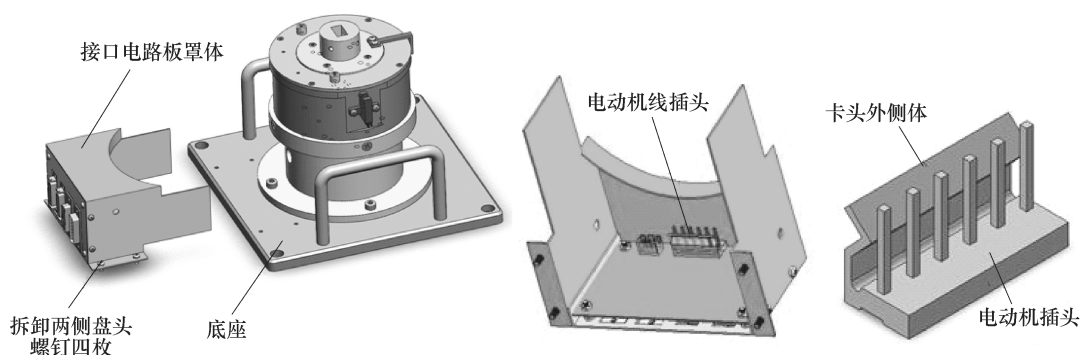


图 12-14 模块 1 接口电路板插头拆卸

（2）模块 2 接口电路板拆卸 模块 2 及以上模块应用的都是日本神视 PM-L24 型号光电开关，而且均使用一个开关用以限位，此开关无连接器，开关本体直接带有电缆线。

首先将电动机电缆插头和光电开关插头从接口电路板拔下，注意不能拉扯电缆线，需要掐住接头进行操作，否则容易将电缆线拉断（模块 2 为伺服电动机，需要将电动机编码器连接电缆拆除）。拆卸插头的方法同模块 1，如图 12-15 所示。然后用螺钉旋具拧下电路板罩外三个螺钉，整体电路板罩即拆下，放置于固定位置处，如图 12-16 所示。注意罩体与电路板间尼龙隔套切勿丢失。

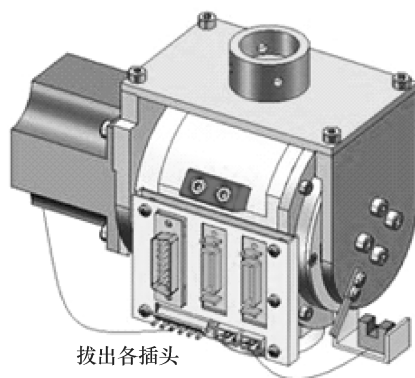


图 12-15 模块 2 接口电路板插头拆卸

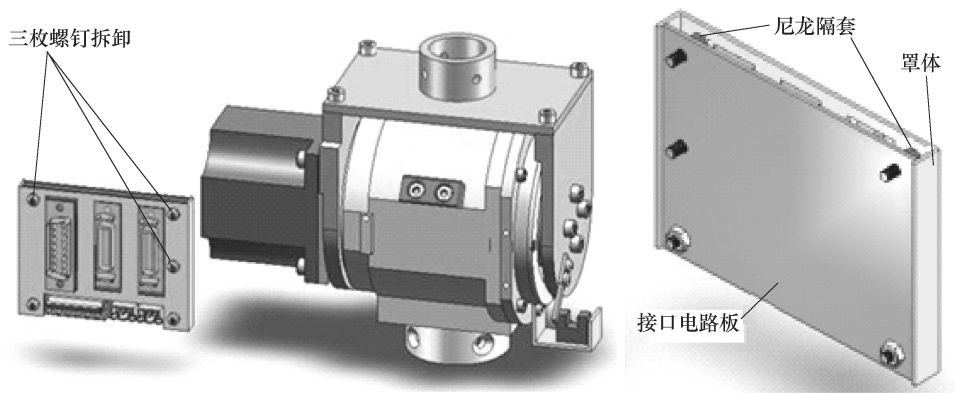


图 12-16 模块 2 接口电路板拆卸

(3) 模块 3 接口电路板拆卸 同理，首先将电动机与开关插头卸下，然后用螺钉旋具拧下螺钉即可拆除，如图 12-17 所示。注意拧下螺钉后，拿下电路板时，将接口电路板与罩体掐住拿下，以免尼龙隔套串位或丢失。

说明：①模块 4、5、6 的接口电路板拆卸与模块 3 完全一致，此处不再赘述。②个别模块为运行可靠，电动机与开关线在与接口电路板插头连接过程中，用线夹将二者线固定，以免线路过长干涉其他模块运行，在拆卸时注意此处，装配时也需记录何处安装线夹，避免遗忘。

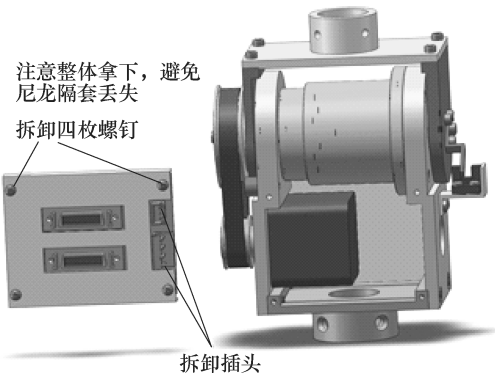


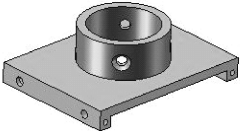
图 12-17 模块 3 接口电路板拆卸

3. 模块的装配

以模块 3 为例，详细介绍其装配过程。

(1) 机器人模块 3 机加工零件（表 12-6）

表 12-6 机器人模块 3 机加工零件

序号	零件名称	简 图	材料	数量	备注
1	下底座		2A12	1	

(续)

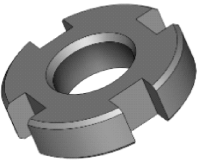
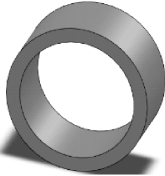
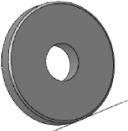
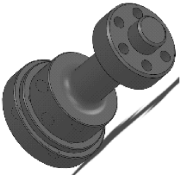
序号	零件名称	简 图	材料	数量	备注
2	右支架		2A12	1	硬限位视为一体
3	右臂		2A12	1	
4	上支座		2A12	1	
5	左臂		2A12	1	
6	左支架		2A12	1	
7	光电开关动片		Q235-A	1	

(续)

序号	零件名称	简 图	材料	数量	备注
8	前盖板		有机玻璃	1	
9	同步带端盖		2A12	1	
10	光电开关支架		Q235A	1	
11	谐波减速器外壳		2A12	1	
12	轴承挡盖		2A12	1	
13	同步带连接轴		45 钢	1	

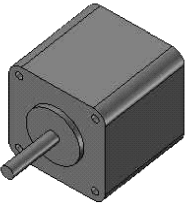
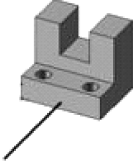


(续)

序号	零件名称	简 图	材料	数量	备注
14	自制小圆螺母 M10×1		45 钢	1	
15	轴承隔套		2A12	1	
16	轴头挡片		2A12	1	
17	输出轴		45 钢	1	

(2) 机器人模块 3 外购件与标准件（表 12-7）

表 12-7 机器人模块 3 外购件与标准件

序号	名称	简 图	型号规格	数量	备注
1	步进电动机		16H34-0404A	1	四宏
2	光电开关		PM-I24	1	日本神视

(续)

序号	名称	简 图	型号规格	数量	备注
3	深沟球轴承		61807 35 × 47 × 7	1	
4	深沟球轴承		61803 26 × 17 × 5	3	
5	谐波减速器		XB1-25-63	1	
6	带轮组		3M-9	1	
7	内六角圆柱头螺钉		M3 × 8	14	
8	内六角圆柱头螺钉		M3 × 10	9	其中两个安装硬限位
9	内六角圆柱头螺钉		M3 × 12	4	
10	内六角圆柱头螺钉		M3 × 16	6	

(续)

序号	名称	简 图	型号规格	数量	备注
11	内六角沉头螺钉		M3 × 10	5	
12	内六角沉头螺钉		M3 × 6	2	
13	十字槽盘头螺钉		M2. 5 × 6	6	
14	十字槽盘头螺钉		M2. 5 × 10	4	
15	十字槽盘头螺钉		M3 × 6	2	
16	十字槽沉头螺钉		M4 × 10	4	
17	紧定螺钉		M3 × 6	2	
18	从动键		35	1	
19	谐波键		35	1	

(3) 模块 3 装配体结构说明 如图 11-6 所示，模块 3 由步进电动机通过带传动带动谐波减速器实现左、右臂的旋转运动。

(4) 模块 3 装配准备工具和物料（自备） 内六角扳手、十字螺钉旋具、棉纱与润滑油、木槌与铝棒、尼龙棒、垫块。

(5) 模块3 装配过程 装配前需要清点并统一清洗零部件,用棉纱擦干。放置于装配试验台固定位置处。根据表 12-6 和表 12-7 内零部件种类、数量、质量等进行检查,确认后方可开始装配。

由上装配体标注可知,模块3 可以分为围绕谐波减速器组件及其他固定支架组件组成,装配时按照这个概念进行装配,然后整体组合即可。以下开始分解说明模块3 组件、部件与总装过程。

1) 右臂组件装配如图 12-18 所示。

① 用润滑油对轴承 61803 进行润滑,润滑量为轴承容积的 1/3 即可。

② 将右臂放置安装位置,然后将深沟球轴承 61803 压入右臂台阶内,注意螺栓孔位置对齐,用木槌及尼龙棒敲击轴承外圈端面,轻敲对角,使两者完全贴合,然后扣上轴承挡片,注意螺栓孔位置对齐,通过 4 个内六角沉头螺钉 M3×10 拧紧,保证上装配体各零件装配紧密可靠。

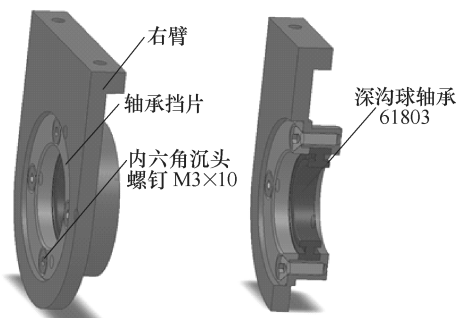


图 12-18 右臂组件装配

2) 右支架组件装配如图 12-19 所示。

① 用润滑油对深沟球轴承和谐波减速器刚轮进行润滑,深沟球轴承 61803 和 61807 润滑量为轴承容积的 1/3 即可,谐波减速器刚轮润滑齿部,以不超过齿高为准。

② 安装谐波减速器外壳及刚轮,将谐波减速器外壳置于安装位置,为防止擦伤,底部可垫上塑胶片等;然后将谐波减速器刚轮从壳体大径方向放入,沿中心线方向初步压入壳体如图 12-19 所示的台阶面,注意保证螺栓孔对齐,然后用木槌及尼龙棒沿对称点轻轻敲击刚轮端面,注意不要敲到刚轮内齿部位,最终使得刚轮和壳体完全贴牢,拧入 6 个内六角圆柱头螺钉 M3×16,两两对角拧紧,保证整个装配体紧密可靠。

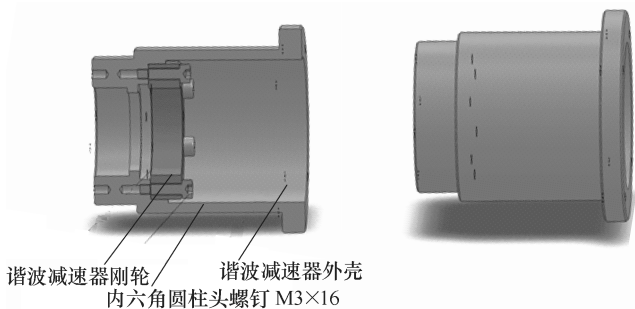


图 12-19 谐波减速器外壳、刚轮装配

③ 将上述组件翻转,大圆端面朝下,可垫上塑胶片等,将深沟球轴承 61803 沿减速器外壳轴线方向压入,并与台阶面贴合,可用木槌及尼龙棒沿对称点轻敲轴承外圈端面,以达到贴合效果;然后扣上右臂,注意螺栓孔位置对齐,拧入 4 个内六角沉头螺钉 M3×6,保证两配合面紧密贴合;再将深沟球轴承 61807 沿右支架大孔轴线方向压入,用尼龙棒及木槌沿对称点轻敲轴承外圈端面,使得深沟球轴承 61807 完全与右支架台阶面紧密贴合,右支架组件装配完毕,如图 12-20 所示。

### 3) 同步带连接轴组件装配。

① 用润滑油对谐波发生器进行润滑，润滑量为谐波发生器容积的 1/3。

② 将同步带连接轴放置在安装位置，将谐波键压入如图 12-21 所示的同步带连接轴的键槽内；然后将谐波发生器沿轴方向压入，装配对准键槽方向，用木槌垫铝棒沿对称点轻轻敲击波发生器大圆端面，注意敲击力度及各面倾斜情况，随时调整敲击位置及力度，防止同步带连接轴变形，直至谐波发生器底面与轴肩完全贴合为止；最后将轴头挡片贴合波发生器端面，用内六角圆柱头螺钉 M3×8 拧紧，同步带连接轴组件装配完毕。

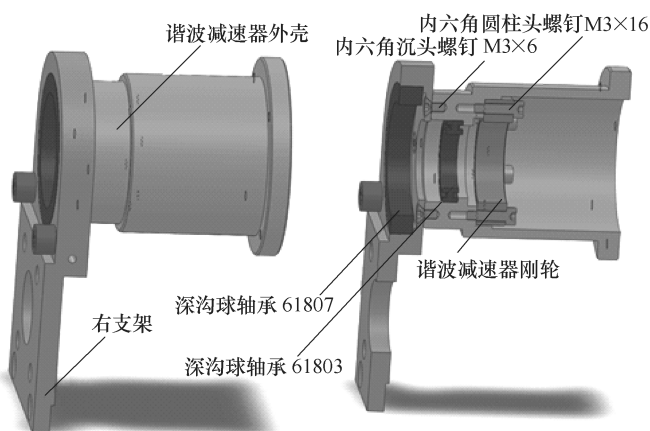


图 12-20 右支架组件装配

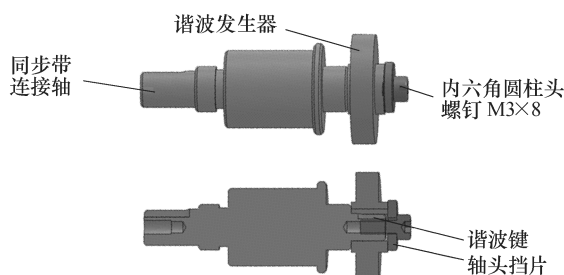


图 12-21 同步带连接轴组件装配

### 4) 右部组件装配如图 12-22 所示。

① 首先将右支架组件放置在安装位置，然后将同步带连接轴组件从如图 12-22 所示位置沿谐波减速器外壳轴线方向压入，轴大圆面与轴承 61803 内圈配合且使得同步带连接轴的轴肩处与轴承 61803 内圈端面对齐，两组件内部装配位置不变。

② 将轴承隔套沿同步带连接轴方向套在轴上，隔套端面和轴承 61803 内圈贴紧；再将右臂组件沿同步带连接轴方向装配，右臂组件中的轴承 61803 与同步带连接轴配合，内圈端面与轴承隔套端面贴合。右臂组件中的右臂大圆凸台外圆与右支架组件中的

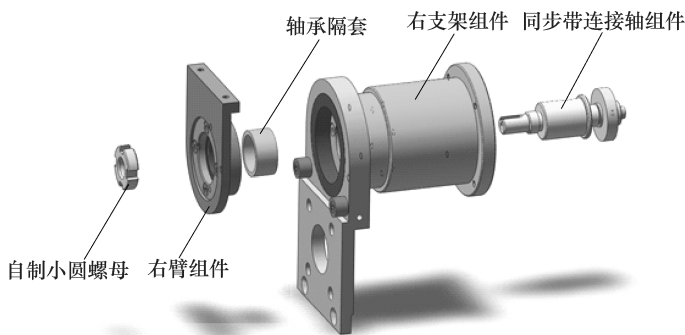


图 12-22 右部组件装配分解图

轴承 61807 内圈配合，且轴承 61807 内圈端面与右臂台阶面贴合，可用木槌及尼龙棒敲击使得各组件装配到位，注意敲击力度。最后用自制小圆螺母拧上同步带连接轴螺纹外圈，将以上整个装配体拧紧，如图 12-23 所示。

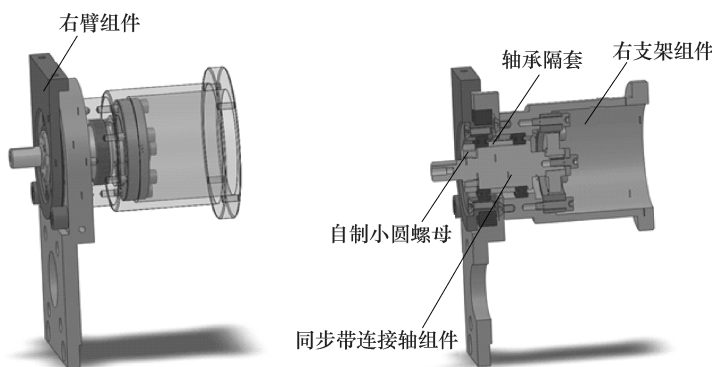


图 12-23 右部组件装配图

5) 左支架装配如图 12-24 所示。

① 用润滑油对轴承 61803 进行润滑，润滑量为轴承容积的 1/3。

② 将轴承 61803 沿左支架轴承安装孔轴线方向压入左支架，直至轴承外圈端面与左支架内孔台阶面贴合，然后将输出轴如图 12-24 所示方向从左端往右端压入轴承内孔，使得轴承内圈端面与输出轴轴肩面

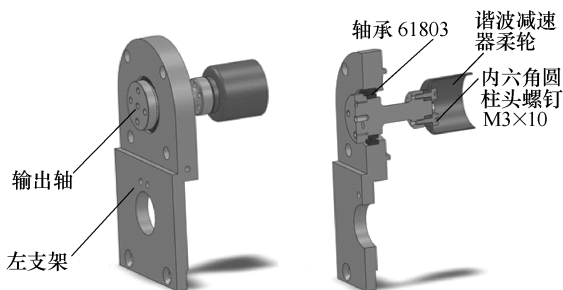


图 12-24 左支架装配

完全贴合，可用木槌及尼龙棒沿对称点轻敲输出轴大圆端面，使得以上装配安装到位。

③ 将谐波减速器柔轮内孔与输出轴小径配合，并且台阶面贴合，注意螺栓孔位置对齐，然后用 6 个内六角圆柱头螺钉 M3 × 10 将输出轴与谐波减速器柔轮连接在一起。

左支架装配完毕。

④ 用润滑油对减速器柔轮进行润滑，润滑齿部位置，以不超过齿高为准。

6) 左支架、右部组件装配如图 12-25 所示。

① 将右部组件放置在安装位置，将左支架组件中左支架右侧凸台沿减速器外壳轴线方向装配，使得凸台外圆与减速器外壳内孔相接，左支架右端面与减速器外壳左端面紧密贴合，注意螺栓孔位置对齐，同时保证谐波减速器柔轮刚好进入谐波减速器刚轮和谐波发生器的间隙中，可用木槌及尼龙棒轻敲左支架以达到上述要求，注意敲击力度，随时目测以调整敲击位置，以免造成零部件变形，用 4 个内六角圆柱头螺钉  $M3 \times 12$  拧紧，同时保证各组件内部装配位置不变。

② 将左臂右侧凹面扣在输出轴大圆面上，用木槌及尼龙棒轻敲左臂圆周面，使得输出轴大圆端面与右臂的凹台内端面紧密贴合，注意螺栓孔位置对齐，通过 3 个内六角圆柱头螺钉  $M3 \times 8$  拧紧，注意螺栓拧紧位置，另外两个孔位安装光电开关挡片。

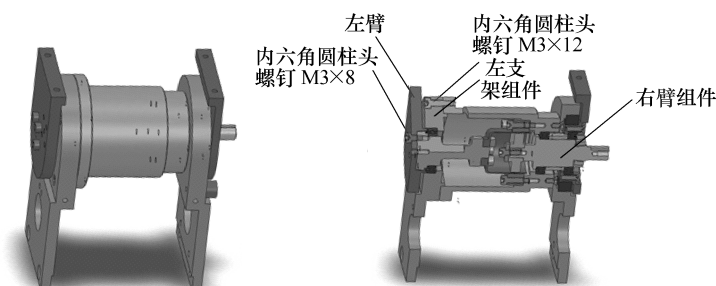


图 12-25 左支架、右臂组件装配

7) 电动机装配如图 12-26 所示。将步进电动机按图示装入右支架下方止口内，然后用 4 个内六角圆柱头螺钉  $M3 \times 8$  固定住电动机。

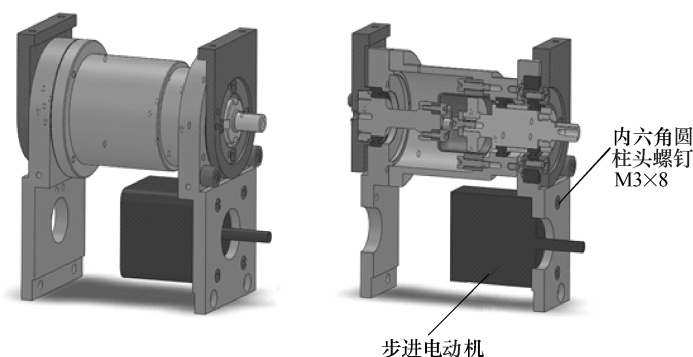


图 12-26 电动机装配

8) 下底座、上支座装配如图 12-27 所示

① 将下底座按图示位置对正左、右支架下部止口，螺钉孔对正，然后用 4 个十字槽沉头螺钉  $M4 \times 10$  固定。



② 左右臂对正，将上支座按图示位置安装，用4个内六角圆柱头螺钉 M3 × 8 固定。

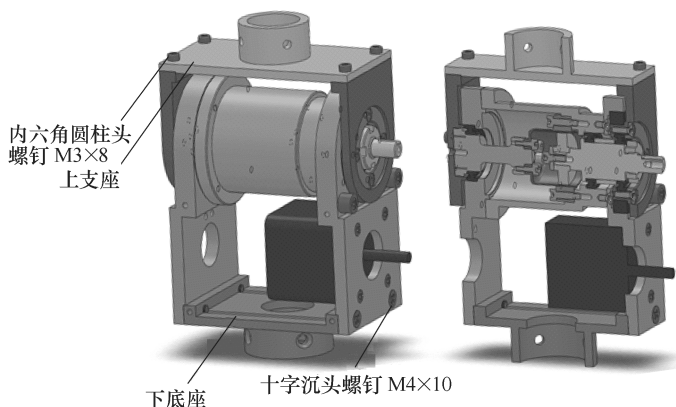


图 12-27 下底座、上支座装配

9) 带轮装配如图 12-28 所示

① 将从动键压入同步带连接轴键槽内到位，将同步带套入大小带轮内按图示方向、位置进行安装，大带轮孔与键槽对同步带连接轴相应部位，小带轮对正电动机轴，整体同步进行推进或轻敲击装配，直到大带轮与同步带连接轴轴肩完全到位，此时大、小带轮外端面处于一个平面内即可。

② 将紧定螺钉 M3 × 6 拧进小带轮齿面螺纹孔内，直到顶紧电动机轴为止。

③ 用内六角沉头螺钉 M3 × 10 固定大带轮与同步带连接轴。

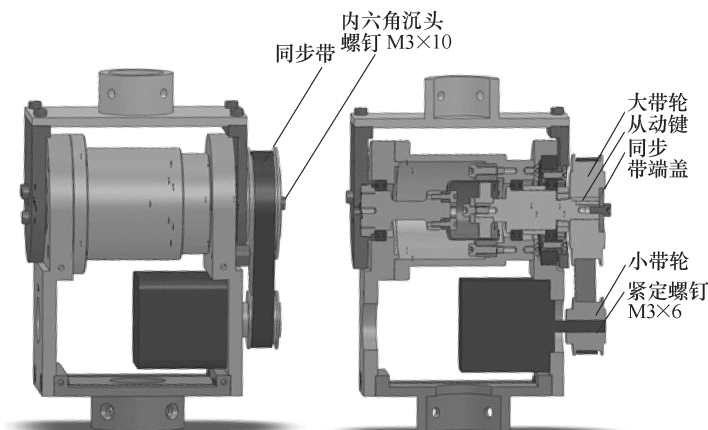


图 12-28 带轮装配

10) 光电开关等零件装配如图 12-29 所示。将光电开关与光电开关支架用盘头螺钉 M2.5 × 6 按图示位置安装，然后整体用盘头螺钉 M3 × 6 安装到左支架相应孔侧。将光电开关动片按照图示，用两个内六角圆柱头螺钉 M3 × 8 锁紧在左臂侧。拿起有机玻璃前盖板，用盘头螺钉 M2.5 × 6 固定在图中一侧即可。

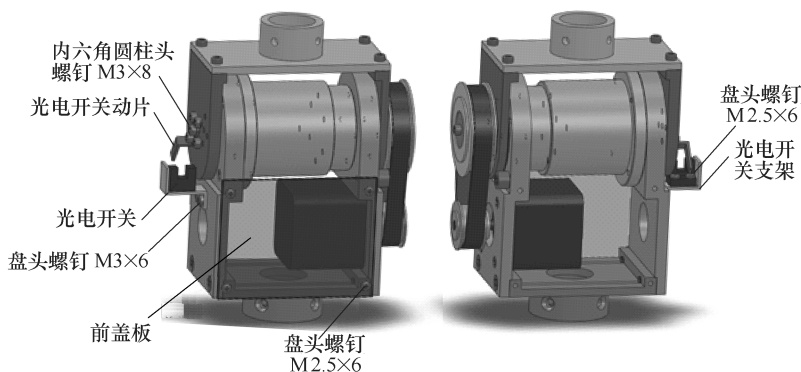


图 12-29 光电开关等零件装配

11) 接口电路板安装。参考前述接口电路板拆装过程，将电路板安装到刚装配完毕的本体上。

12) 接线调试。

① 拿出模块 3 连接电缆，按照电气说明将光电开关连接线接入接口电路板相应插座内，电动机线相同，进行操作调试。

② 认真做好起动过程的监视工作。模块起动后，应立即观察主要工作参数和运动件是否正常运动。主要工作参数包括运动的速度、运动的平稳性、末端旋转情况、振动和噪声等。只有起动阶段各运动指标正常、稳定，才能试运转。

#### 4. 模块 3 拆卸过程

如图 12-30 所示，拆卸过程总体来说正好是装配过程的逆向行为，首先断开电缆连接接头，将步进电动机与光电开关插头拔下；拆下接口电路板，然后用螺钉旋具卸下螺钉，拿走光电开关支架和三节垫片与三节光电开关动片；按照装配顺序的反方向进行拆卸。

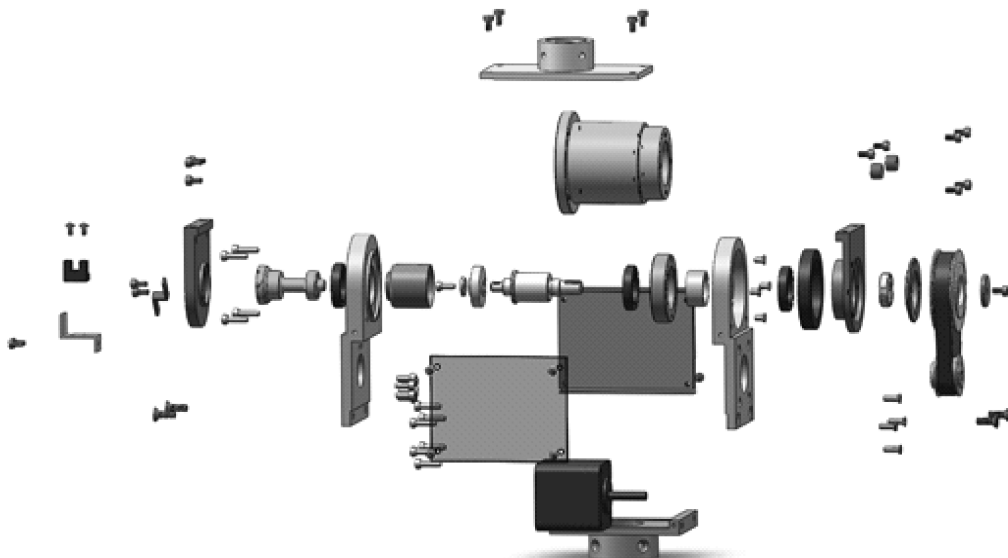


图 12-30 模块 3 拆卸图

### 5. 模块3 装配拆卸注意事项

1) 装拆过程中螺钉要专门放好, 避免不必要丢失, 如果发生螺钉旋紧部位如十字槽等损伤, 要及时更换。

2) 带轮的装配要求是两带轮轴线必须平行, 轮槽中心应对正, 偏移过大会使带轮张力不均匀, 造成传动带滑脱和加速磨损。

3) 模块机器人多数零件采用均布四个螺钉固定, 装配时注意采用对角线方式逐渐、逐个拧紧固定螺钉。

4) 严禁无保护状态下敲击电动机轴, 避免电动机任何部位受外力过大, 否则容易造成电动机损坏或运行不正常。

5) 零件比较小, 刚度相对比较低, 在敲击装拆过程中, 要避免用力过大, 防止造成零部件变形无法使用。

6) 装拆过程中, 用铝棒、垫块等接触零件时要注意防止损伤电动机及零件, 更不能损伤零部件表面质量。

7) 操作过程中尽量注意, 特别是使用螺钉旋具等工具时, 应避免划伤零部件表面。

8) 避免异物进入装配体内部, 否则容易造成零部件损伤, 以致影响整体模块质量。

9) 光电开关尾部连接电缆需注意防止弯折, 弯折容易断掉, 造成开关损坏。

10) 各处螺钉旋紧不宜过猛, 不松动即可, 防止螺钉本身损伤及铝合金零件螺扣损伤。

11) 各装配工位建议配置监督检验操作员, 严格检查装配工艺及注意事项执行情况。

12) 拆卸轴承后注意每次装配前都需清洗干净, 装配期间重新润滑。

13) 装拆零件过程中, 用力敲击时需时刻注意零件位置变化, 防止位置不当造成零件之间硬碰硬情况的发生, 铝合金材料容易造成零件之间互相啃伤。

14) 轴承等零件装拆过程中要经常转动检查, 防止滚珠损坏。

### 6. 整体模块机器人装配过程

单体模块机器人装配完毕后, 即可按照需求连接各模块, 可以搭建从 2~6 自由度五种组合方式机器人系统。

如图 12-31 所示, 连接方法为每种模块的下底座插入下方模块的上支座, 所有模块对应的下底座和上支座尺寸一致, 接口统一; 然后让所有模块接口电路板在机器人的一侧方向, 并用十字槽沉头螺钉 M4×10 固定相连接的两模块即可; 最后在上端用同样方法安装需要的末端工具, 气

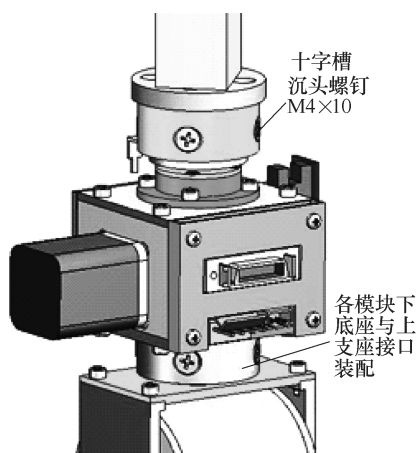


图 12-31 模块间的连接

动手爪装置或电磁铁装置。模块连接注意不可用力过大，应柔和推进，并对正螺钉孔。

12.4 机器人各关节机械结构设计实验

12.4.1 实验目的

- 1) 掌握机器人各关节的机械结构组成。
- 2) 掌握机器人各关节机械结构设计的方法和步骤。

12.4.2 实验原理

机器人机械本体设计方面应遵循以下几项原则。

- (1) 惯量最小原则 当机器人结构较为复杂，机械本体零部件较多，而且伴随着运动状态时常变化的情况下，必然会发生冲击和振动，用此原则进行机器人结构设计可减轻运动部件的质量，从而提高机器人运动的稳定性。
- (2) 结构尺寸优化原则 在结构设计过程中，当机械结构尺寸满足工作空间要求时，可通过此原则优化选定的最小机械结构尺寸，此方法可提高机械结构刚度，从而减小机器人运动惯量。
- (3) 设计合理性原则 机械结构设计得不合理，可能导致臂杆间干涉或者驱动模块无法安装，关节不能正常运动等问题，所以机械结构设计需合理。

(4) 刚度设计原则 为使机器人获得更大得刚度，需要设计合理的断面形状和尺寸，优化作用于臂杆上的力和力矩，增加其支撑刚度，进而减轻杆件的弯曲变形。

(5) 可靠性设计原则 通常机器人结构较为复杂，所以可靠性问题至关重要。通常情况下电子元器件的可靠性要比零部件的高，零部件的可靠性要比整机的高。

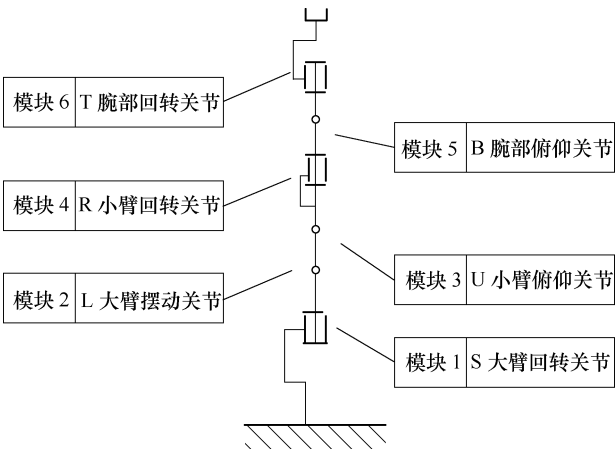


图 12-32 机器人结构原理图

该机器人为六自由度模块化机器人，在机器人设计中必须有一定数量的模块，而且这些模块应具有独立的功能、连接要素和互换性，还应是一组具有不同用途、不同结构的基本单元。参考机器人设计原则和模块化的特点，六自由度机器人按照关节划分为六个模块，分别为模块 1 到模块 6。每一个模块都可以单独控制运动，模块中包含旋转运动和回转运动两种形式，将六个模块组合起来构成六自由度模块化机器人。机器人结构原理如图 12-32 所示。本实验

要求选择其中一个关节完成机械结构设计。

### 12.4.3 实验步骤

#### 1. 传动方案选择（选择模块 1 作为设计对象）

根据机器人的实际应用初步确定两种传动方案：方案一为步进电动机配合谐波减速器的方式；方案二为采用交流伺服电动机驱动、谐波减速器传动方式。方案一中步进电动机价格低廉，在控制方面操作简单，而且运动精度和传动平稳性可满足本设计需求。谐波减速器传动平稳、减速比大，可应用在受力较大的模块单元。方案二中采用交流伺服电动机进行驱动，虽然伺服电动机精度高、传动稳定性优越，但是价格较贵。综合分析后考虑经济性的基本原则，本设计采用第一种传动方案。

#### 2. 标准件的选型

对于机器人标准件的选型主要考虑的是负载参数、减速器参数、电动机参数三大因素。

(1) 机器人负载参数计算 主要包括机器人运转时间和负载力矩的确定。

根据机器人的参数指标可知，机器人模块 1 的角速度从 0 加速到最大速度  $40^\circ/\text{s}$  所用时间  $t_A$  为 0.2s（此部分时间由经验可得）。

$$a = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_A} = \frac{40^\circ/\text{s}}{0.2\text{s}} = 200^\circ/\text{s}^2$$

当加速时间  $t_A = 0.2\text{s}$  时，机器人模块 1 转过的角度  $\theta_A$  为：

$$\theta_A = \frac{a \times t_A^2}{2} = \frac{200^\circ/\text{s}^2 \times (0.2\text{s})^2}{2} = 4^\circ$$

因为机器人 S 关节所能活动的范围是  $-90^\circ \sim 90^\circ$ ，因此可设机器人在  $-90^\circ \sim -86^\circ$  内是加速运动阶段，此阶段时间用  $t_A$  表示；设机器人在  $-86^\circ \sim 86^\circ$  内是匀速运动阶段，此阶段时间用  $t_R$  表示；在  $86^\circ \sim 90^\circ$  阶段为减速运动，此阶段时间为  $t_B$ 。可计算得匀速时间  $t_R$  为：

$$t_R = \theta/\omega = \frac{86^\circ + 86^\circ}{40^\circ/\text{s}} = 4.3\text{s}$$

因为机器人的加速和减速所用时间相等，所以减速时间  $t_B = 0.2\text{s}$ 。则计算可得运转时间  $t_0$  为：

$$t_0 = t_A + t_R + t_B = 0.2\text{s} + 4.3\text{s} + 0.2\text{s} = 4.7\text{s}$$

设机器人休止时间  $t_p$  与运转时间  $t_0$  相等，即  $t_p = 4.7\text{s}$ ，则运转周期  $T$  为：

$$T = t_p + t_0 = 4.7\text{s} + 4.7\text{s} = 9.4\text{s}$$

机器人的负载力矩应用 ADAMS 软件来确定。根据已知条件，设定 ADAMS 仿真参数为：

```
step(time,0,0d,0.3,30d) + step(time,0.3,0d,0.33,0d) + step(time,0.33,0d,0.63,
-30d) + step(time,0.63,0d,0.685,-15d) + step(time,0.685,0d,1.941,0d) + step
(time,1.941,0d,1.996,15d)
```

通过观察 ADAMS 仿真输出负载力矩曲线（图 12-33）可知：启动时峰值力矩  $M_A = 0.95 \text{ N} \cdot \text{m}$ ，停止时峰值力矩  $M_B = 0.58 \text{ N} \cdot \text{m}$ ，匀速转动力矩  $M_R = 0.95 \text{ N} \cdot \text{m}$ ，冲击系数  $F_{s2} = 1$ 。通过仿真数据可对模块 1 的电动机和减速器进行初选。

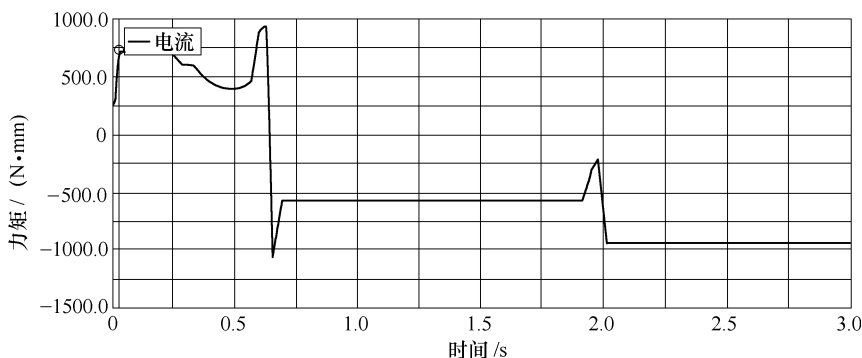


图 12-33 模块 1 力矩与时间第一次仿真输出曲线

(2) 减速器选型参数 设机器人模块 1 加速过程中的平均输入转速是  $n_A$ ，减速过程中的平均输入转速是  $n_B$ ，匀速运转过程中的输入转速是  $n_R$ ，设  $n_A = n_B = n_R/2$ ，其中  $n_R = 500 \text{ r/min}$ （为预选电动机的额定转速），则平均输入转速  $n_E$  为：

$$n_E = \frac{t_A n_A + t_R n_R + t_B n_B}{t_0} = \frac{0.2 \text{ s} \times 250 \text{ r/min} + 4.3 \text{ s} \times 500 \text{ r/min} + 0.2 \text{ s} \times 250 \text{ r/min}}{4.7 \text{ s}} = 478.7 \text{ r/min}$$

则平均负载力矩  $M_E$  为

$$M_E = \left( \frac{t_A n_A M_A^{10/3} + t_R n_R M_R^{10/3} + t_B n_B M_B^{10/3}}{t_0 n_E} \right)^{0.3} F_{s2}$$

$$= \left[ \frac{0.2 \text{ s} \times 250 \text{ r/min} \times (0.95 \text{ r/min})^{10/3} + 4.3 \text{ s} \times 500 \text{ r/min} \times (0.95 \text{ r/min})^{10/3} + 0.2 \text{ s} \times 250 \text{ r/min} \times (0.58 \text{ r/min})^{10/3}}{4.7 \text{ s} \times 478.7 \text{ r/min}} \right]^{0.3} \times 1$$

$$= 0.94 \text{ N} \cdot \text{m}$$

减速比  $i$  为

$$i = \frac{n_{\max \text{ 电}}}{n_{\text{负载}}} = \frac{500 \text{ r/min}}{\frac{40^\circ/\text{s}}{360^\circ} \times 60 \text{ s/min}} = 75$$

考虑到模块 1 承受的载荷较大，对刚性的要求比较严格，因此选用谐波减速器，预选型号为 XB1—32—80，减速比为 80:1。

(3) 电动机参数的确定 驱动电动机的额定输出转矩  $M_{\text{电}}$  为

$$M_{\text{电}} = \frac{0.94 \text{ N} \cdot \text{m}}{80} = 0.012 \text{ N} \cdot \text{m}$$

驱动电动机轴的转动角速度为：

$$\omega = \frac{2\pi n_R}{60} = \frac{2 \times 3.14 \times 500 \text{ r/min}}{60 \text{ s/min}} = 52.33 \text{ rad/s}$$

电动机输出功率  $P$ ：



$$P = M_{\text{电}} \omega = 0.012 \text{ N} \cdot \text{m} \times 52.33 \text{ rad/s} = 0.63 \text{ W}$$

可选上海四宏电机公司生产的步进电动机，其型号为：57BYGHR102—23MJ。

通过上述的计算过程后，将选定的电动机和减速器重新核定机器人的三维模型，设各关节杆件密度为  $2700 \text{ kg/m}^3$ ，减速器和电动机的密度为  $8300 \text{ kg/m}^3$ ，然后应用 ADAMS 对模块 1 重复上次仿真过程，仿真出的力矩结果曲线如图 12-34 所示，通过仿真结果对电动机和减速器重新校核。

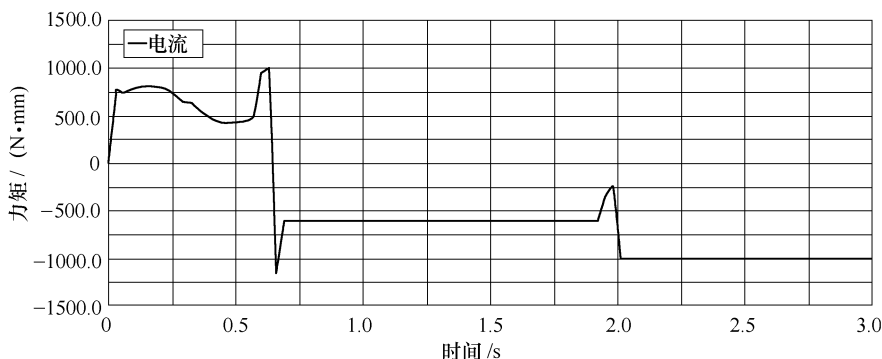


图 12-34 模块 1 力矩与时间第二次仿真输出曲线

由曲线可以看出，根据电动机和减速器实际情况改变参数后的仿真结果，起动和停止时的峰值力矩  $M_A = M_B = 1.01 \text{ N} \cdot \text{m}$ ，其值小于减速器 XB1—32—80 起动和停止力矩，匀速阶段力矩  $M_R = 0.612 \text{ N} \cdot \text{m}$ ，冲击系数  $F_{S2} = 1$ ，由经验公式计算实际情况下的平均负载力矩为：

$$M_E = \left( \frac{t_A n_A M_A^{10/3} + t_R n_R M_R^{10/3} + t_B n_B M_B^{10/3}}{t_0 n_E} \right)^{0.3} F_{S2}$$

$$= \left[ \frac{0.2 \text{ s} \times 250 \text{ r/min} \times (1.01 \text{ N} \cdot \text{m})^{10/3} + 4.3 \text{ s} \times 500 \text{ r/min} \times (0.612 \text{ N} \cdot \text{m})^{10/3} + 0.2 \text{ s} \times 250 \text{ r/min} \times (1.01 \text{ N} \cdot \text{m})^{10/3}}{4.7 \times 478.7} \right]^{0.3} \times 1$$

$$= 0.64 \text{ N} \cdot \text{m}$$

计算得到的平均负载力矩  $M_E$  小于减速器 XB1—32—80 的额定输出转矩  $5.5 \text{ N} \cdot \text{m}$ ，所以选型符合条件。

所选的电动机输出转矩  $M_{\text{电}}$  为

$$M_{\text{电}} = \frac{M_E}{i} = \frac{0.64}{80} = 0.008 \text{ N} \cdot \text{m}$$

其值小于电动机 57BYGHR102—23MJ 的额定输出转矩  $0.65 \text{ N} \cdot \text{m}$ ，所以选型符合条件。

### 3. 工程图的绘制

六自由度模块化机器人模块 1 的工程图如图 12-35 所示。

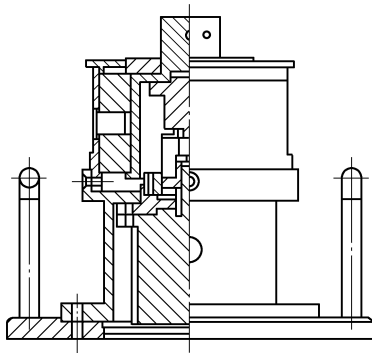


图 12-35 模块 1 工程图



## 第 4 篇 工业机器人工装

本篇重点介绍工业机器人的焊接工装设计，并给出了通过摩托车车架、汽车车身等焊接工装的设计案例。

# 第 13 章 工业机器人焊接工装设计简介

## 13.1 概述

### 13.1.1 机器人焊接工装夹具的设计原则

1) 焊接工装夹具动作迅速、操作方便。操作位置处在工人容易接近、最易操作的部位。特别是手动夹具，其操作力适中，操作频率适中，操作高度设在工人最易用力的部位，当夹具处于夹紧状态时，能自锁。

2) 焊接工装夹具具有足够的装配、焊接空间，不影响焊接操作和焊工观察，不妨碍焊件的装卸。所有的定位元件和夹紧机构应与焊道保持适当的距离，或者布置在工件的下方或侧面。夹紧机构的执行元件能够伸缩或转位。

3) 夹紧可靠，刚性适当。夹紧时不破坏工件的定位位置和几何形状，夹紧后既不能使工件松动滑移，又不能使工件的拘束度过大而产生较大的应力。

4) 为了保证使用安全，设置配有必要的安全连锁保护装置。

5) 夹紧时不损坏工件的表面质量，夹紧薄件和软质材料的工件时，应限制夹紧力，或者采取压头行程限位，加大压头接触面积，添加铜、铝衬垫等措施。

6) 接近焊接部位的夹具，操作手把配有隔热套防止焊接飞溅物对夹紧机构和定位器表面的损伤。

7) 夹具的施力点位于工件的支承处或者布置在靠近支承的地方，防止支承反力与夹紧力、支承反力与重力形成力偶。

8) 考虑到各种焊接方法在导热、导电、隔磁、绝缘等方面对夹具的特殊要求。例如，凸焊和闪光焊时夹具兼作导体，钎焊时夹具兼作散热体，因此要求夹具本身具有良好的导电、导热性能。再如，真空电子束焊所使用的夹具，为了不影响电子束聚焦，在枪头附近的夹具零件不能用磁性材料制作，夹具也不能带有剩磁。

9) 用于大型板焊结构的夹具，要有足够的强度和刚度，特别是夹具体的刚度，对结构的形状精度、尺寸精度影响较大，设计时应留有较大的裕度。

10) 在同一个夹具上, 定位器和夹紧机构的结构形式尽量少, 并且尽量只选用一种动力。

11) 工装夹具本身应具有较好的制造工艺性和较高的机械效率。

12) 尽量选用已通用化、标准化的夹紧机构以及标准的零部件来制作焊接工装夹具。

### 13.1.2 焊接工装夹具的分类、组成和特点

#### 1. 焊接工装夹具的分类与组成

焊接工装夹具按动力源分为七类: 手动夹具、气动夹具、液压夹具、真空夹具、磁力夹具、电动夹具、混合式夹具。

一个完整的焊接夹具, 是由定位器、夹紧机构、夹具体三部分组成的。在装焊作业中, 多使用在夹具体上装有多个不同夹紧机构和定位器的复杂夹具(又称为胎具或专用夹具)。其中, 除夹具体是根据焊件结构形式进行专门设计外, 夹紧机构和定位器多是通用的结构形式。

定位器大多数是固定式, 也有一些为了便于工件装卸, 做成伸缩式或转动式, 并采用手动、气动、液压等驱动方式。夹紧机构是夹具的主要组成部分, 其结构形式很多, 且相对复杂, 驱动方式也多种多样。在一些大型复杂的夹具上, 夹紧机构的结构形式有多种, 使用多种动力源, 有手动加气动的、气动加电磁的等。这种多动力源夹具, 称作混合式夹具。在先进工业国家, 对广泛采用的一些夹紧机构已经标准化、系列化, 在工艺设计时进行选用即可。我国机器人工作者, 正进行着这方面的研究开发工作, 相信不久也会有我们自己的系列化、标准化的夹紧机构出现。

#### 2. 机器人焊接工装夹具的特点

机器人焊接工装夹具的特点由装配焊接工艺和焊接结构的形式决定, 与机床夹具比较有如下特点:

1) 由于工件一般由多个简单零件组焊而成, 这些零件的装配和定位焊, 在机器人焊接工装夹具上是按顺序进行的, 因此它们的定位和夹紧是一个个单独进行的。而机床夹具是对一个待加工的整体毛坯进行一次定位和夹紧。

2) 在焊接过程中, 零件会因加热而伸长或因冷却而缩短, 为了减少或消除焊接变形, 要求工装夹具能对某些零件给予反变形或者作刚性夹固; 为了减少焊接应力, 就需要允许某些零件在某一方向可以自由伸缩, 因此机器人焊接工装夹具不是对所有的零件都作刚性夹固。机床夹具则不然, 除少数加工细长件的夹具, 如加工光杠、丝杠用的顶尖, 要考虑工件机械加工时的热变形对其作游动夹固外, 其他夹具均对工件作刚性夹固。

3) 对机床夹具而言, 加工后的工件, 尺寸减小、重量减少, 便于从夹具上取下。对机器人焊接工装夹具而言, 装焊完的结构尺寸增大, 重量增加, 形状变得复杂, 增加了从工装夹具上卸下的难度。

4) 对用于熔焊的夹具, 工作时主要承受工件的重力、焊接应力和夹紧力, 有的还

要承受装配时的锤击力，用于压焊的夹具还要承受顶锻力。而机床夹具主要承受工件的部分重力和切削力，且此切削力远远小于机器人工装夹具所承受的各种力。

5) 与机床夹具不同，机器人焊接工装夹具往往是焊接电源二次回路的一个组成部分，因此绝缘和导电是设计中必须注意的一个问题。例如，在设计电阻焊用的夹具时，如果绝缘处理不当，将引起分流，使接头强度降低。但对机床夹具而言，除电加工所用夹具外，不存在导电和绝缘的问题。

6) 机器人焊接工装夹具一般比机床夹具大。装配夹具和装焊夹具上的夹紧点、定位点比机床夹具上的多几倍甚至十几倍，因此设计难度较大，特别是定位点、夹紧点的数量、选位和两者的对应关系，都会影响夹具的功能和定位夹紧的质量。

7) 机器人焊接工装夹具主要用来保证焊接结构各连接件的相对位置精度和整体结构的形状精度，而机床夹具主要用来保证零件的加工精度。

8) 除精密焊件所用的夹具外，一般机器人工装夹具本身的制造精度和对焊件的定位精度均低于机床夹具的相应指标。

以上是机器人焊接工装夹具与机床夹具的主要不同之处，设计机器人焊接工装夹具时，要充分考虑这些区别，使设计出来的夹具，能满足使用要求。

### 13.1.3 机器人焊接工装夹具的方案设计

#### 1. 机器人焊接工装夹具设计方案的确

确定工装夹具方案时，夹具的合理性和经济性是主要考虑的因素。当工件的焊接方法及工艺确定后，所选夹具结构首先要能保证焊接工艺的实施。同时，工件结构尺寸以及组成工件坯料的制作工艺和制造精度，则是确定夹具定位方法、定位基准和夹紧机构方案的重要依据。除此之外，还应考虑经济因素，使夹具的制造、使用费用最低且取得的经济效益最大。由于上述各因素不是孤立存在的，它们之间往往有联系又有制约，所以在确定夹具方案时要对上述各因素进行综合分析，只有全面考虑，才能制定出最佳的设计方案。具体确定设计方案时，应结合以下几个方面进行考虑。

1) 工件的整体尺寸和制造精度以及组成工件的各个坯件的形状、尺寸和精度。其中，形状和尺寸是确定夹具设计方案、夹紧机构类型和结构形式的主要依据，并且直接影响其几何尺寸的大小；制造精度是选择定位器结构形式和定位器配置方案以及确定定位器本身制造精度和安装精度的主要依据。

2) 装焊工艺对夹具的要求。例如与装配工艺有关的定位基面、装配次序、夹紧方向对夹具结构提出的要求。再如，不同的焊接方法对夹具提出的要求不同，埋弧焊可能要求在夹具上设置焊剂垫；电渣焊要求夹具能保证在垂直位置上施焊；电阻焊要求夹具本身就是电极之一等。

3) 装、焊作业可否在同一夹具上完成，或是需要单独设计装配夹具和焊接夹具，通常与下述因素有关。

① 在装焊夹具上，工件的所有焊缝能否在最有利的施焊位置上焊完。

② 从装配夹具上取下由装配点定好位的部件时，是否会破坏各零件的相互位置。

若部件刚性不好,则会发生整体变形,甚至定位焊点发生开裂,使已装配好的零件发生位置变化。

③ 装配时不需要使焊件翻转变位,而在焊接时,则需要使工件翻转变位,这样,若采用装焊夹具方案,是否会使夹具结构复杂化。

④ 装配夹具的定位器和夹紧机构较多,若用于机器人焊接,是否影响机器人机头的焊接性;为了防止焊件变形,焊接夹具应具有较大的刚度和强度,用于装配时,要考虑能否承受装配时的锤击力。

⑤ 装、焊作业若在同一夹具上完成,能否合理地组织装配工人、焊接工人相互协调作业,车间的作业面积和起重运输设备的负荷能力是否允许装配和焊接作业分别在各自的夹具上进行。在大批量焊件生产中,应选用专用、高效、省力的夹具结构,像各种有动力源的夹具和联动夹具就属此类。在中小批量焊件生产中,夹具主要以保证装焊质量为主,效率的高低是较为次要的问题,因此应选用结构简单、适应性广的通用夹具,使夹具的结构方案与焊件的产量相匹配。

## 2. 焊接工装夹具方案设计应考虑的其他相关方面

在工装夹具设计过程中,除要保证工件的加工精度外,还要在提高生产效率,降低劳动强度,减少制造成本,保证职工安全等方面注意几个易于忽视的细节。

(1) 夹紧、支承元件的统一性 在一套较为复杂的工装夹具中,往往设有多处夹紧、辅助支承、调节支承等元件,像常用的螺母、螺栓等部件,由于受空间位置、夹紧力大小等因素的影响,不同部位的螺纹尺寸会不尽相同。如果按理论设计,这些元件的外形操作部位也会不相同,不同的外形尺寸或结构需要操作者用多种工具才能完成夹紧、调节等工序,加工极不方便,效率大幅度降低。可见,在工装夹具设计过程中注意夹紧、支承元件外形操作部位的统一性对于提高生产效率,降低劳动强度有着非常重要的作用。

(2) 夹紧元件的安全性 开口压板在许多工装夹具中是比较常见的压紧部件,由于其螺母大径小于工件孔径,只要稍松螺母,取下开口压板,工件即可方便地穿过螺母而取出,是一种比较实用的快速夹紧结构,但这种结构在回转体压紧装置中存在着一定的安全隐患。当螺母因意外原因松动时,开口压板极易在离心力的作用下由开口处从夹具中飞出。

(3) 夹紧元件的耐用性 同样一件压紧部件,由于设计结构不同,其使用寿命也不同,材料、热处理也非常重要。中间开口压板虽然在工作时受力的大小和方向是相同的,但由于结构不同其受力的作用点是不同的,侧面开口压板受力处在开口的右侧,属单边受力;中间开口压板受力处在开口的两侧,属两侧受力。很明显中间开口压板的刚性胜过侧面开口压板,从耐用性上看,中间开口压板的结构要优于侧面开口压板,即中间开口压板的使用寿命长,因此能够有效减少工装费用,降低制造成本。

(4) 定位元件的灵活性 定位基准在最初的工序中是铸造、锻造或轧制等得到的表面,因为表面未经加工,我们称为粗基准,所以在利用其外形定位时需将定位元件设计为可调式,以应对毛坯外形的变化。

(5) 对刀装置的必要性 在设计铣夹具、镗孔夹具时，一定注意要有对刀装置，如对刀块、定向元件（定向键）等，同时设置必要的找正基面、找正基孔等。这一点虽然在许多夹具设计手册上都有详细的说明，但在设计工装夹具时往往被忽略，由此给生产带来极大不便。

13.2 机器人焊接工装夹具的常用结构

13.2.1 夹具的基本组成

1. 夹紧单元

一个典型的夹紧单元如图 13-1 所示，通常包括 L 板、支板、夹紧臂、定位块、垫片、回转销、定位销、定位销连接板、到位止动块或限位块、连接板、气缸等。

2. 夹具

一套完整的夹具一般包含若干夹紧单元、基板、举升机构甚至旋转机构。根据操作方式可划分为手动夹具、气动夹具及液压夹具；根据控制方式可划分为气控夹具、电控夹具等。图 13-2 所示为气控夹具，图 13-3 所示为电控夹具。

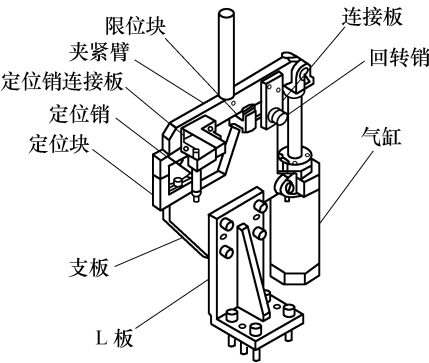


图 13-1 典型夹紧单元

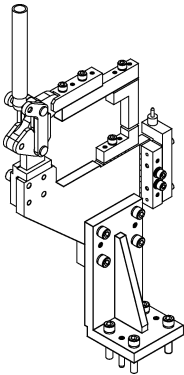


图 13-2 气控夹具

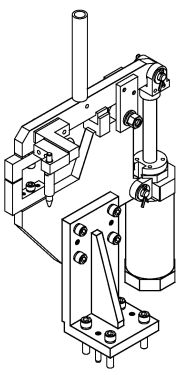


图 13-3 电控夹具

3. 基准点

一般情况下汽车坐标系的原点规定为车前轮轴心线的中点。有时，汽车生产厂家也可自行规定基准点及坐标系的位置。

13.2.2 基板

基板可采用钢板焊接而成，也可采用矩形方管与钢板焊接而成，如图 13-4、图 13-5 所示。

13.2.3 L 板及 H 腿

L 板是固定在基板或 H 腿上，用以连接支板、夹紧臂及定位块等的专用支座。其高

度在 100mm ~ 500mm 间分为多种规格，已形成标准。有时也可将 L 板与支板作为一体或采用其他形式。如图 13-6 及图 13-7 所示。

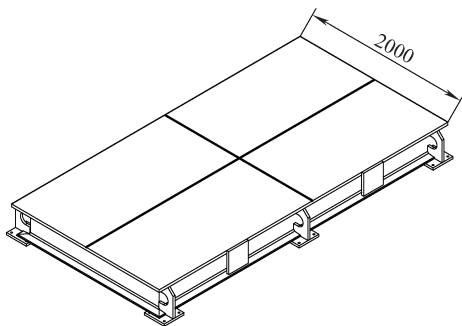


图 13-4 钢板焊接的基板

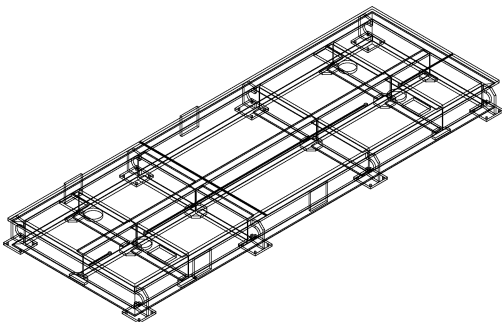


图 13-5 矩形方管与钢板焊接的基板

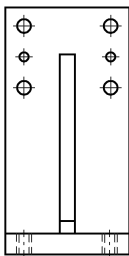


图 13-6 L 板固定在支板上

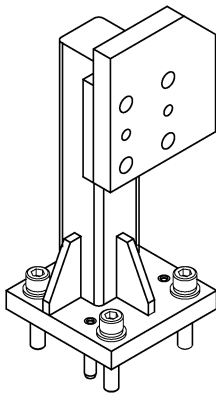


图 13-7 L 板固定在其他结构上

当工件与基面间尺寸较大时，往往需在 L 板及基板间采用一个过渡的支撑架——H 腿。目前 H 腿的高度在 400mm ~ 1000mm 间有多种规格，且已形成标准件。如图 13-8 所示。

13.2.4 支板

目前，支板通常只将定位面与 L 板连接起来，其本身并不直接定位工件，支板所用材料通常为 Q235-A 钢，其厚度有 16mm 及 19mm 两种规格。当支板尺寸过大时为减轻重量，可开孔处理，如图 13-9 所示；或将该夹紧单元分为两个，如图 13-10 所示。

13.2.5 夹紧臂

1. 夹紧臂的夹紧力

普通夹紧单元中夹紧臂的夹紧力一般不得小于 3MPa，当

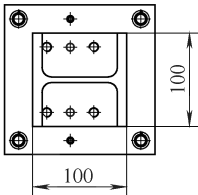
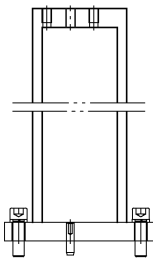


图 13-8 H 腿结构



夹紧单元为双级夹紧臂时，第一级气缸直径为  $\phi 63\text{mm}$ ，第二级气缸直径为  $\phi 50\text{mm}$ ，如图 13-11 所示。当夹紧单元为双夹紧臂且分为支板和夹紧臂时，支板侧气缸直径为  $\phi 63\text{mm}$ ，夹紧臂侧气缸直径为  $\phi 50\text{mm}$ ，如图 13-12 所示。

一般情况下图 13-12 中尺寸  $A = 60\text{mm}$ ，系统压力为  $0.5\text{MPa}$ ，气缸的效率为  $80\%$  时，夹紧臂的夹紧力见表 13-1 所示。

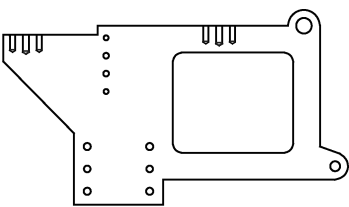


图 13-9 支板的开孔形式

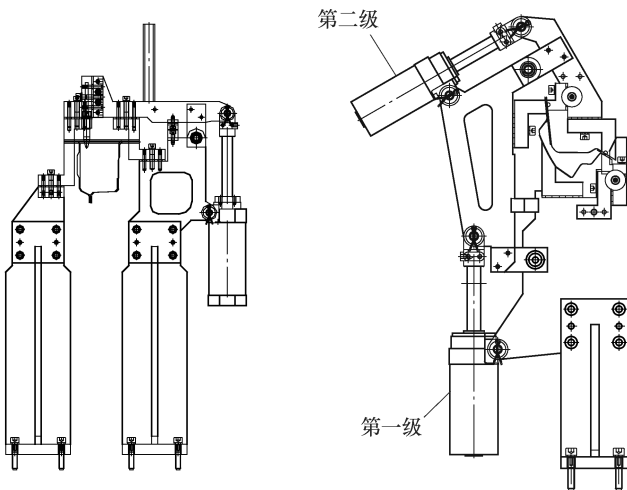


图 13-10 两个夹紧单元的支板

图 13-11 双级夹紧臂

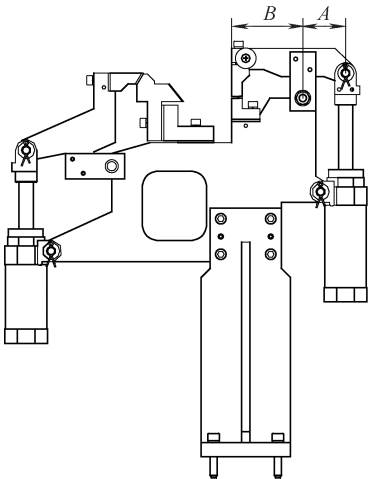


图 13-12 具有支板的夹紧臂

表 13-1 夹紧臂的夹紧力

缸径/mm	气缸力/MPa	B/A
50	7.85	2.5
63	12.5	4.2
80	20	2.8

此外，对于汽车车架类夹具，由于其板厚较大，需要夹紧力在  $500 \sim 800\text{N}$ 。此时，气缸直径应为  $\phi 63\text{mm}$  或  $\phi 80\text{mm}$ 。

2. 夹紧臂的开启角度：

为方便装卸工件，必须保证夹紧臂有一定的开启角度，一般而言，夹紧臂打开以后，其与工件间隙沿搬运方向的投影不小于  $30\text{mm}$ ，如图 13-13 所示。

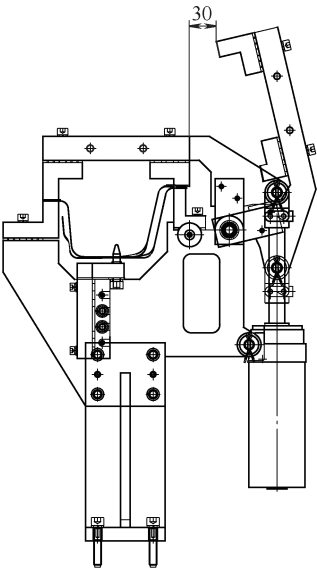


图 13-13 夹紧臂的开启角度



13.2.6 定位块

为便于调整，焊接夹具广泛采用了定位块。

1. 种类

定位块的毛坯已成标准件：依高度划分为三种规格 50mm、70mm、90mm；依宽度又可划分为两种规格 16mm、19mm。定位块有四种类型，如图 13-14 所示。

2. 材料

普通定位块毛坯的材料通常为 45 钢精密铸造且表面发黑处理，形面加工后表面高频淬火 32~35HRC，但当定位块与外板等覆盖件直接接触时，为避免划伤工件表面，其材料为尼龙，厚度为 22mm；为防止其转动，一般在支板或夹紧臂上加工止口，如图 13-15 所示。

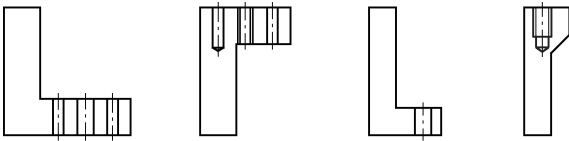


图 13-14 定位块

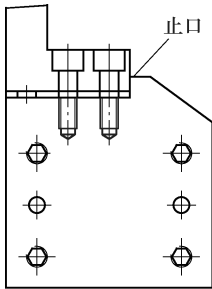


图 13-15 加工止口

13.2.7 垫片及侧板

垫片一般与定位块配合使用，如图 13-16a 所示。为防止个别定位块旋转，需加装侧板，如图 13-16b 所示。

(1) 厚度 垫片的厚度有两种规格  $t=0.5\text{mm}$  及  $1.0\text{mm}$ ，一般而言，一组垫片厚度为 3mm，由四片组成，即  $0.5\text{mm} + 0.5\text{mm} + 1.0\text{mm} + 1.0\text{mm} = 3\text{mm}$ ，如图 13-17 所示。

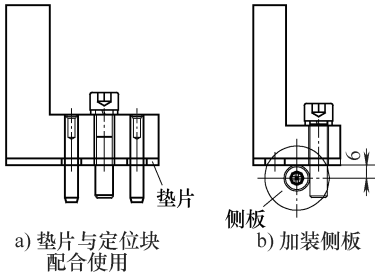


图 13-16 垫片与侧板的使用

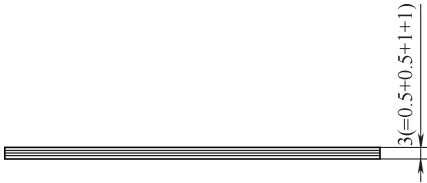


图 13-17 垫片组合

(2) 宽度 垫片宽度分为两种规格 16mm 及 19mm。

(3) 长度 垫片的长度主要采用两种规格，如图 13-18 所示。

上述垫片已经形成标准件，具体规格及尺寸详见标准件图册。侧板已形成标准件，其尺寸如图 13-19 所示。

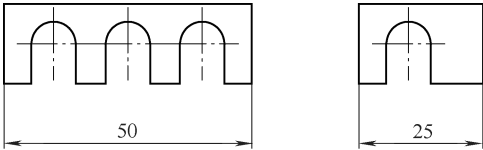


图 13-18 垫片长度规格

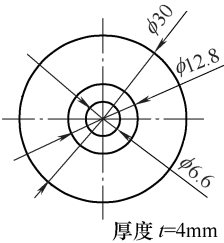


图 13-19 侧板尺寸标准

13.2.8 定位销

为使焊接件在夹具中能够准确定位，便于焊接，焊接夹具大量采用了定位销，一般来说每一个焊接件均需采用两个定位销定位。定位孔的选用优先考虑基准孔，其次应采用工件上精度较高的孔，最后采用螺孔并且间距尽可能大，而当两孔间距过大时，其中一孔应采用菱形销。此外，从分总成夹具至总成夹具应尽量采用相同的基准孔，以免造成基准不重合误差。

1. 定位销的设计

(1) 定位销的直径及公差 原则上定位销的直径应是工件的相应孔减 0.2mm，同时定位销公差为  $d_{-0.02}^0$ 。

(2) 定位销的长度 原则上定位销有效长度应伸出工件 5 ~ 8mm，如图 13-20 所示。其长度通常为 15mm、20mm、25mm 三个系列，且尽量选用长度大于 20mm 的长销。

(3) 定位销的装配 原则上优先选用 A 型销，当结构所限，用 A 型销定位有困难时，才用 B 型销，如图 13-21 所示。

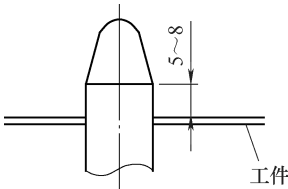


图 13-20 定位销有效长度

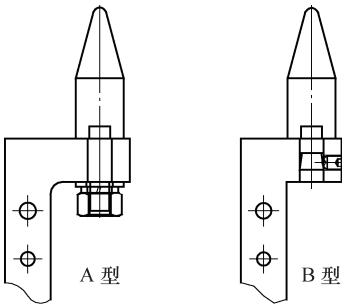


图 13-21 B 型定位销

- 1) 当定位销直径  $D \geq 32\text{mm}$  时，销的固定方式如图 13-22 所示。
- 2) 当定位销直径  $D \leq 7\text{mm}$  时，为保证定位销的刚性，有效长度  $L$  一般取 15 ~ 20mm，不宜过长，但为防止工件与支架发生干涉，定位销结构如图 13-23 所示。

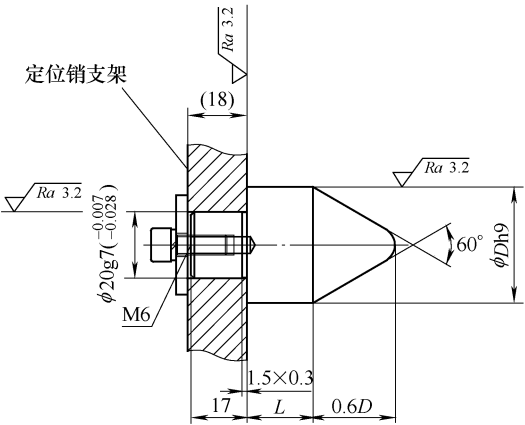


图 13-22 定位销固定方式

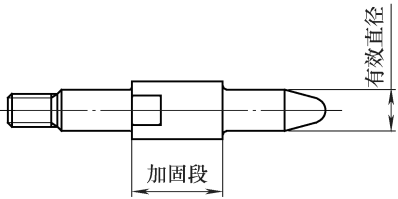


图 13-23 定位销结构

- (4) 定位销的材料及硬度 定位销材料一般为 45 钢，前部高频淬火；硬度为 42 ~ 45HRC，发黑处理。
- (5) 定位销的前端形式 如无特殊要求定位销的前端如图 13-24 所示。而当有特殊要求时，其前部可做成图 13-25 所示的形式。
- (6) 定位销的装配公差 如图 13-26a、b 所示。

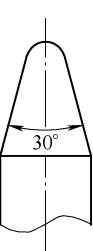


图 13-24 定位销普通前端形式

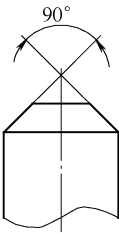
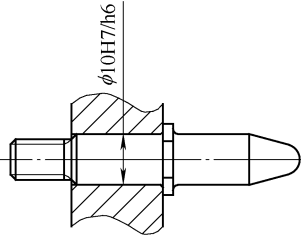
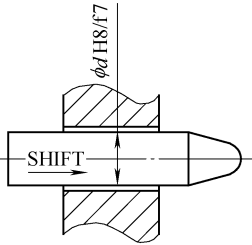


图 13-25 定位销特殊前端形式



a)



b)

图 13-26 定位销的装配公差

2. 定位销的形式

定位销一般分为固定式（图 13-27）和滑动式。其中滑动式又分为手动滑动（图 13-28）和气动滑动两种形式。气动滑动式分为单销机构及双销机构（图 13-29），其行

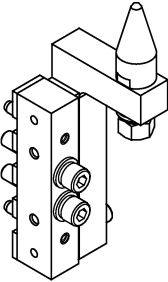
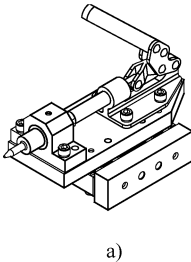
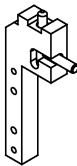


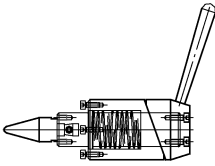
图 13-27 固定式定位销



a)



b)



c)

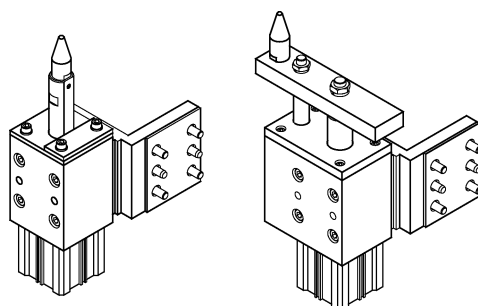
图 13-28 手动滑动式定位销

程为 30mm，已形成标准，当需较大行程时可采用如图 13-30 所示结构。

### 3. 定位销设计时应注意的问题

1) 应注意定位销支座与工件干涉，如图 13-31 所示。

2) 定位销直径  $D \geq 32\text{mm}$  时，其四面应削平，以便于工件的装卸，如图 13-32 所示。



a) 单销

b) 双销

图 13-29 气动滑动式定位销

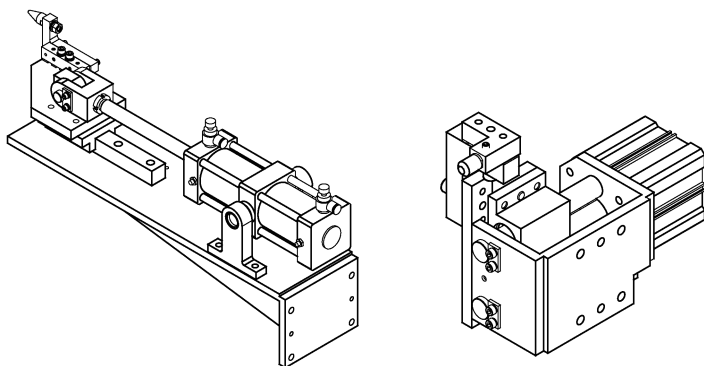


图 13-30 大行程气动滑动式定位销

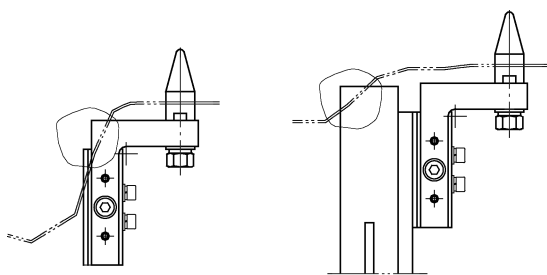


图 13-31 定位销支座与工件发生干涉

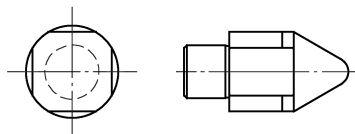


图 13-32 四面削平的定位销

3) 当定位孔为长孔时，可同时使用两圆销定位，但要布置得当，如图 13-33 所示。

4) 当单独使用定位销时，可将其固定于支架上，支架可用  $40\text{mm} \times 40\text{mm}$  的方管焊接而成，如图 13-34 所示。

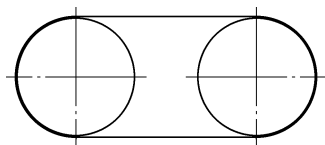


图 13-33 两圆销定位

5) 当工件定位孔倾斜时（含螺纹孔），应作其在水平面的投影，该投影为一近似椭圆。当其长短轴  $D - d \leq 0.2\text{mm}$  时，可选用普通定位销；而当其  $D - d \geq 0.2\text{mm}$  时，应考虑采用伸缩销。

6) 空中点处尺寸的标注，定位销在倾斜使用时如图 13-35a 所示，如果仅对  $P$  点标

注，在加工及测量中因  $P$  点为空中虚拟点不便标注及测量，因此必须如图 13-35b 所示在  $Q$  点处标注尺寸， $P$  点作为参考。

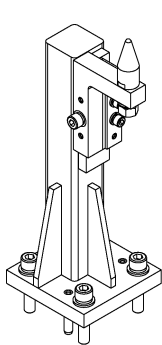


图 13-34 定位销  
固定在支架上

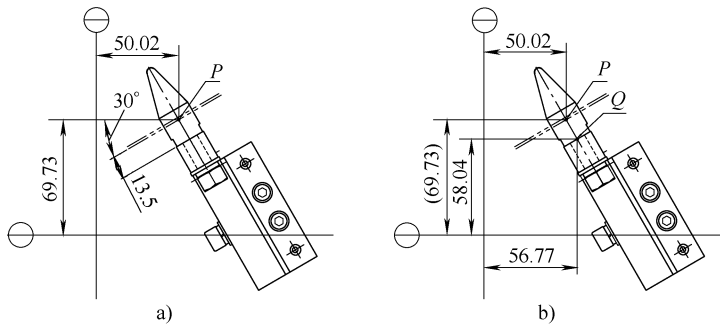


图 13-35 定位销的倾斜使用法

7) 采用滑动式定位销及直线导轨、直线轴承时，应考虑焊渣飞溅及粉末因素，滑动部分应加装防护套，如图 13-36 所示。为防焊接飞溅及垃圾积存而被卡住，设计滑动式垂直定位销时要使定位销的端面比工件端面高，如图 13-37 所示。

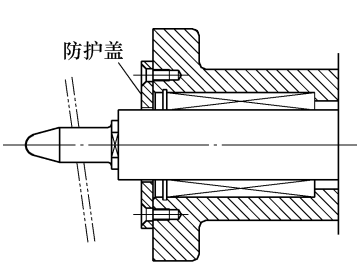


图 13-36 加装防护套的定位销

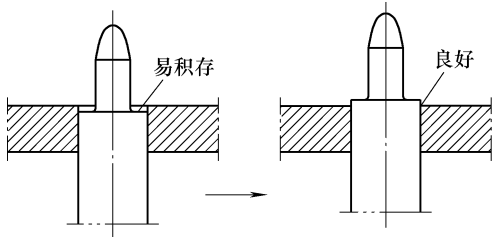


图 13-37 定位销与工件的相对位置

### 13.2.9 支架

为使定位销两向可调，可采用定位销支架及键。目前依长度的不同将支架分为 80mm 和 100mm 两个系列，如图 13-38 所示，同时每个系列内部又因定位销及安装形式划分为 A、B、C、D、E 五个型号，如图 13-39 和图 13-40 所示，目前上述支架均已纳入标准。

此外，为避免支架与工件干涉，可将标准定位销加长，但加长时应注意其强度，如图 13-41 所示。

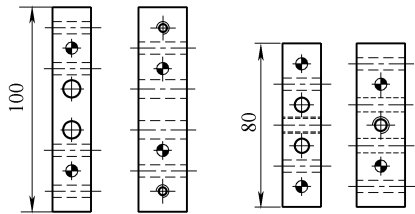


图 13-38 支架的两个系列

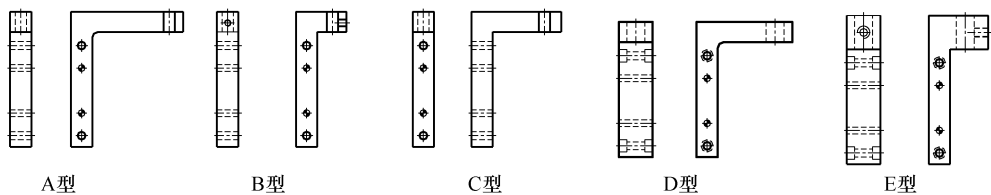


图 13-39 100 系列的 5 种支架

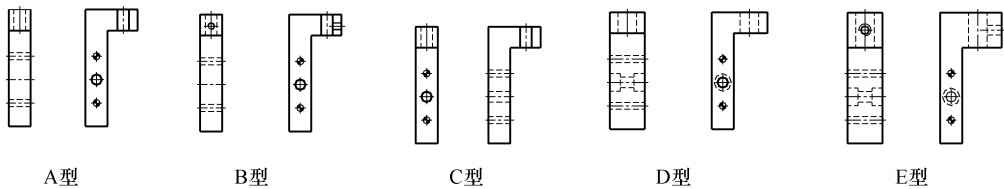
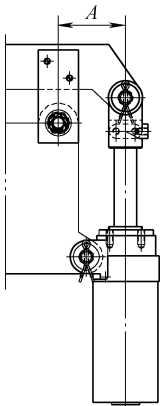
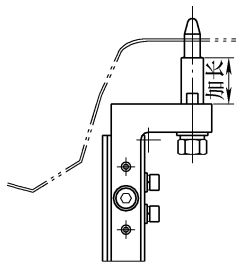


图 13-40 80 系列的 5 种支架

13.2.10 铰链销及链接

1. 基本结构

铰链销及链接的基本结构如图 13-42 所示，尺寸 A 一般选为 60mm，特殊情况可变化。



2. 铰链销位置的确定

确定铰链销的位置在夹紧单元设计中非常重要，应充分考虑以下几个方面：

- 1) 夹紧臂在旋转中是否有干涉现象，如图 13-43 所示。
- 2) 带定位销的夹紧臂，铰链销的位置应与定位孔的位置在一个平面内（为使铰链销在支板上钻孔位置为整数，铰链销的具体位置可做微调），以保证定位销可安全退出，如图 13-44 所示。

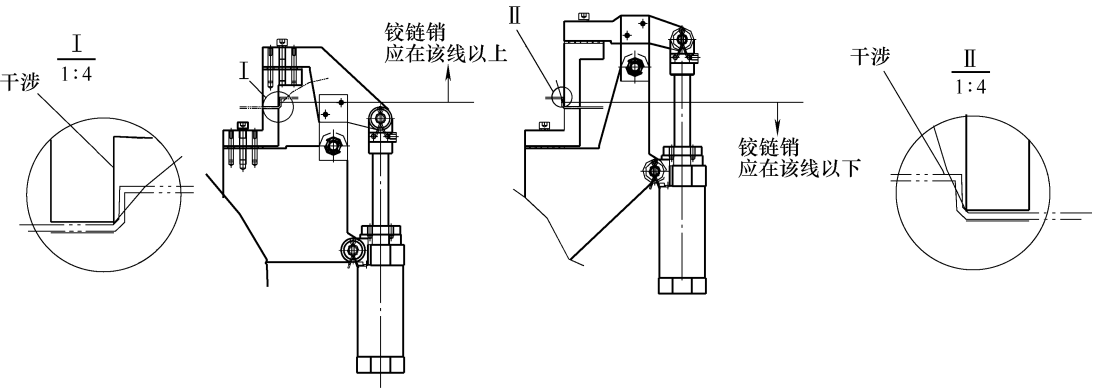


图 13-43 夹紧臂在旋转中的干涉现象

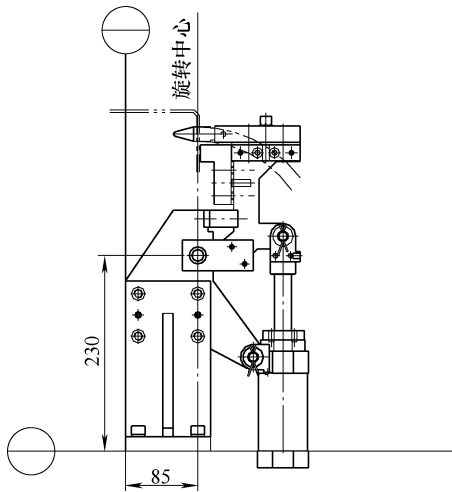


图 13-44 带定位销的夹紧臂

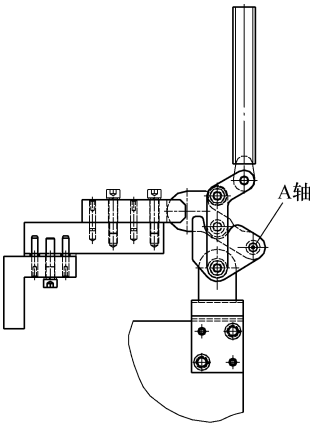


图 13-45 手动夹紧臂

轴径  $20\text{mm} \leq d \leq 60\text{mm}$

3) 轴销所处的位置应能保证工件的正常装卸，并在夹紧臂打开时，应能保证夹紧臂的夹紧力在 3MPa 以上。

4) 手动夹紧臂如图 13-45 所示，A 轴位置的确定与铰链销位置的确定方法相同。

### 3. 铰链销的种类

标准铰链销直径为  $\phi 16\text{mm}$ ，依据支板厚度的不同，当  $t = 16\text{mm}$  时  $A = 34\text{mm}$ ，而  $t = 19\text{mm}$  时  $A = 37\text{mm}$ （图 13-46），一般情况下与轴销成套使用的轴套外径  $D = 18\text{mm}$ ，但有时因夹紧臂过重或双级夹紧臂中的第一级，轴套的外径为  $D = 22\text{mm}$ 。

### 4. 其他的铰链销

在一些非标准的旋转机构中需采用特殊的铰链销时，其结构及尺寸如图 13-47 所示。



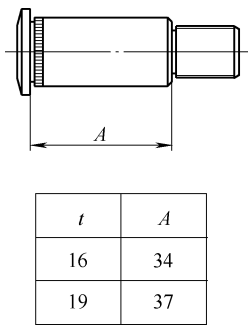


图 13-46 标准铰链销

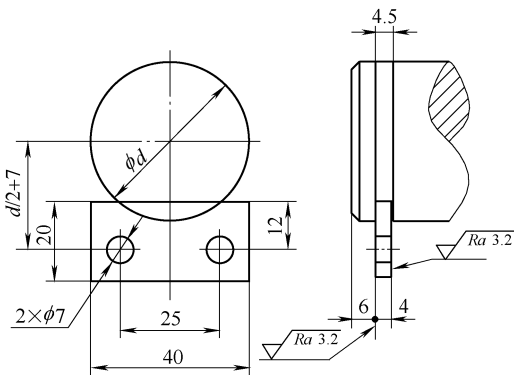


图 13-47 非标准铰链销

5. 链接的种类

链接目前已经形成标准系列，如图 13-48 所示，应优先选用  $L = 40\text{mm}$  的链接。

13.2.11 H 形链接

设计中遇到夹紧臂打开高度受限制且开启角度要求大，或者夹紧臂运动轨迹受限制时，可考虑使用 H 形链接，它与普通链接在使用上有区别。与 H 形链接相配的气缸，在运动过程中气缸无摆动，可选用防转架将气缸固定，如图 13-49 所示，一般情况下  $A = 60\text{mm}$ ， $B = 70\text{mm}$  已形成标准。

注意：与 H 形链接挡铁相接触的支板侧面一定要加工，且有公差，如图 13-50 所示。

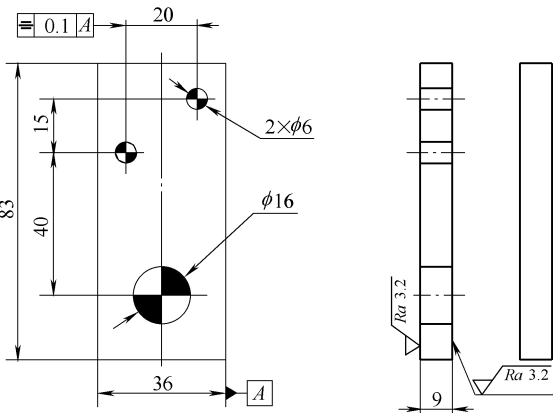


图 13-48 链接标准系列

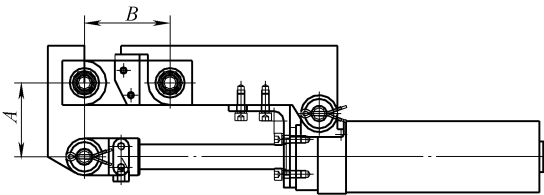


图 13-49 H 形链接结构

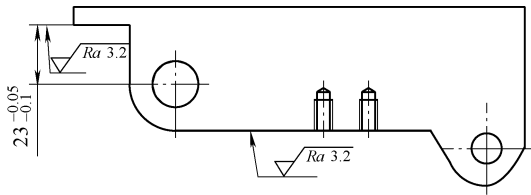


图 13-50 H 形链接支板

13.2.12 闭锁装置及保护罩

为防止压紧力或冲击过大，造成工件变形或划伤工件表面，使用闭锁装置，而在夹紧臂板厚度方向有精度要求时使用保护罩。

1) 夹紧臂上有定位销时，使用单孔保护罩，如图 13-51a 所示。

- 2) 双级夹紧臂的第一级, 使用单孔保护罩, 如图 13-51b 所示。
- 3) 当夹紧单元的 A、B 面相差大于 3mm 时, 使用单孔保护罩, 如图 13-51c 所示。
- 4) 当夹紧臂臂长超过 250mm 时, 使用单孔保护罩, 如图 13-51d 所示。

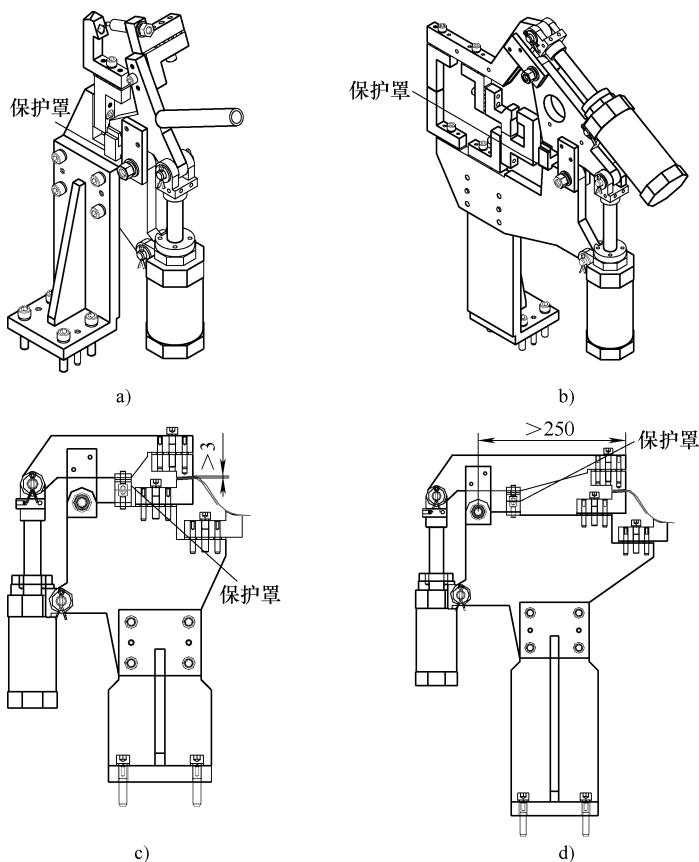


图 13-51 夹紧臂闭锁装置的单孔保护罩

5) 当夹紧臂上有定位销且距铰链销超过 250mm 时, 使用双孔保护罩, 如图 13-52a 所示。

6) 双级夹紧单元且第二级夹紧臂上有定位销时, 第一级使用双孔保护罩, 如图 13-52b 所示。

7) 为配合不同的支板板厚, 闭锁装置及保护罩均有两种宽度尺寸, 其中保护罩还分为单孔及双孔 (已形成标准)。此外闭锁装置及保护罩应尽量远离铰链销, 以求得最佳的定位效果。

### 13.2.13 支承架

在外板夹具设计中, 为避免焊后留下痕迹影响美观, 采用了支承架, 将其放置于外板外侧, 焊接时焊枪的两个电极分别与外板内侧及支承架接触, 这样就不会在外板外侧留下焊接痕迹, 如图 13-53 所示。

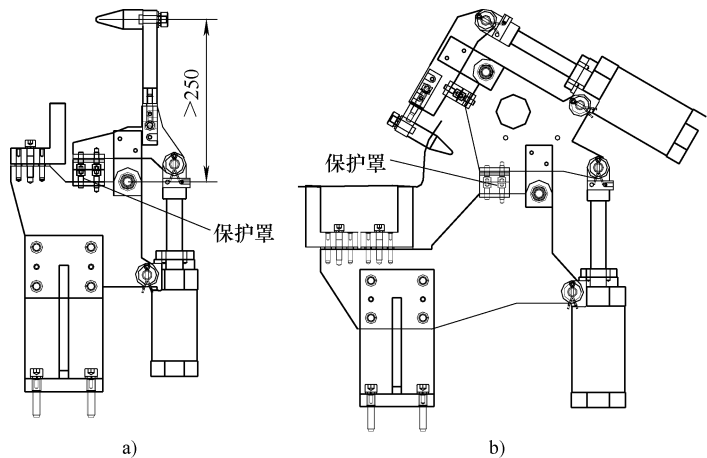


图 13-52 夹紧臂闭锁装置的双孔保护罩

支架应使用导电性能良好且耐磨性较好的铬青铜（QCt0.5）材料，支架设计时应有一定的浮动量，以保证工件定位可靠，目前主要采用螺栓式支架，其厚度为 10mm（或 8mm），已形成标准。

13.2.14 焊枪导向

焊枪导向装置主要用于以下几个方面：

- 1) 夹具中夹紧单元较密集，焊枪难于定位在正确的焊点位置。
- 2) 焊点位置及数量有较高要求。
- 3) 将两个工件焊合时，上面的工件完全遮盖了下面的工件，无法快速、准确地找到焊点位置。

设计焊枪导向装置时，应首先确定焊枪，并将其摆放在正确位置之后进行导向装置设计。

注意：焊枪导向装置应导引电极臂，不要导引电极头，如图 13-54a 所示。

焊枪导向装置一般用尼龙等绝缘材料制成，用沉头螺钉与支架连接起来。

若只导引一个焊点时，焊枪导向装置如图 13-54b 所示；若焊几个焊点且相距不远时，焊枪导向装置如图 13-54c 所示；尼龙板厚  $t = 10\text{mm}$ ，其与支架的连接如图 13-55 所示；支架可与相邻夹紧单元连接或另外在基板上单独做支架。

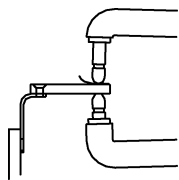


图 13-53 支架

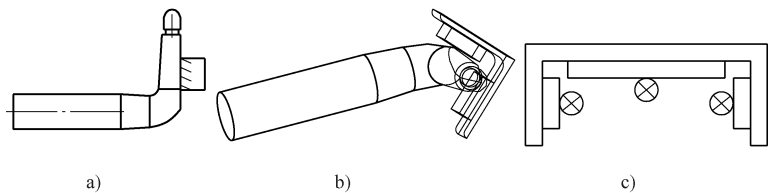


图 13-54 焊枪导向装置

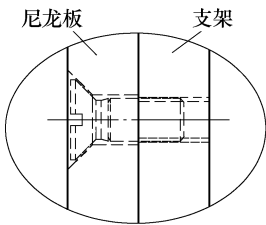


图 13-55 尼龙板与支架的连接

### 13.2.15 工件导向及吊具导向装置

1) 在一些夹具中为便于放入及取出工件, 采用了导向装置, 如图 13-56a 所示, 导向装置已形成标准。若导向角度较大或导向较长时可做成图 13-56b 所示的形式。

2) 为使吊具方便抓取工件, 特设置了吊具导向装置, 如图 13-57 所示, 吊具导向装置已形成标准。

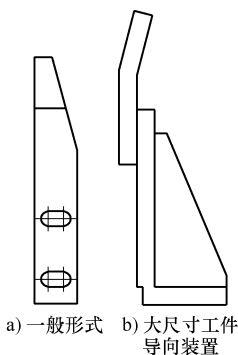


图 13-56 工件导向装置

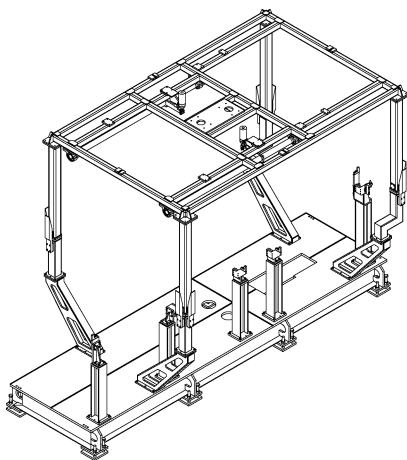


图 13-57 吊具导向装置

### 13.2.16 焊枪通过性

当夹具在工艺规划时, 根据焊点的位置、板厚初选了焊枪, 夹具在进入建模设计时更要时时注意留出焊枪通道, 要注意周围的焊点及焊枪可达性, 当夹具模型全部建成后, 要进行焊枪通道检验。

一般而言, 焊枪通道是指焊枪与周围夹紧单元、工件间的间隙, 对于有一定深度的焊点, 其间隙如图 13-58 所示, 而对于边沿上的焊点, 间隙如图 13-59 所示; 对于地板本体类的夹具, 其地板较大, 但所焊合的工件较小且都位于居中位置, 这时更要注意焊枪通道。对于一些装焊小件的工位, 因小件的工艺性较差, 往往一个孔周围没有太多的翻边, 因而给焊接造成困难, 此时焊件与定位块的间隙要酌情而定, 但间隙应大于 5mm。

### 13.2.17 旋转机构

为便于焊接涂胶等操作, 很多夹具都配有旋转机构, 其主要分为两种类型, 水平面内旋转机构 (图 13-60) 及竖直面内旋转机构 (图 13-61)。

### 13.2.18 举升机构

当某些工件因定位销孔较多, 或工件本体较大, 焊接完成后难以手工取出时, 就要

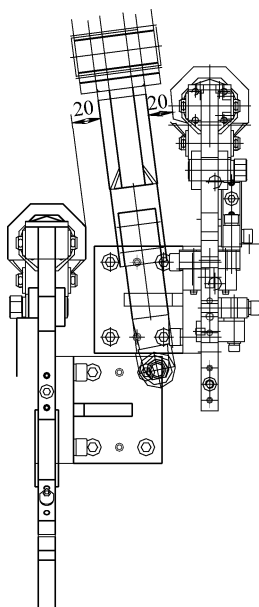


图 13-58 深焊点间隙

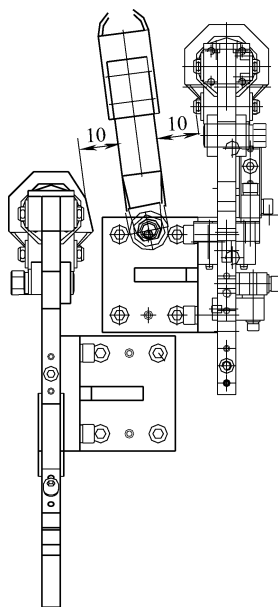


图 13-59 边沿焊点间隙

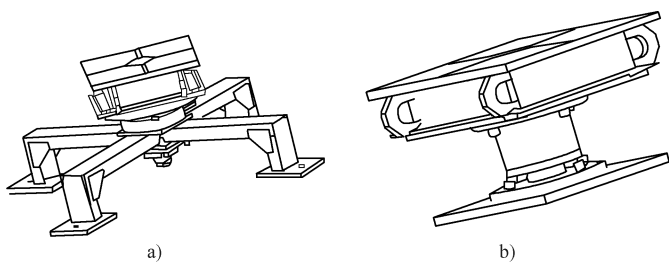


图 13-60 水平面内旋转机构

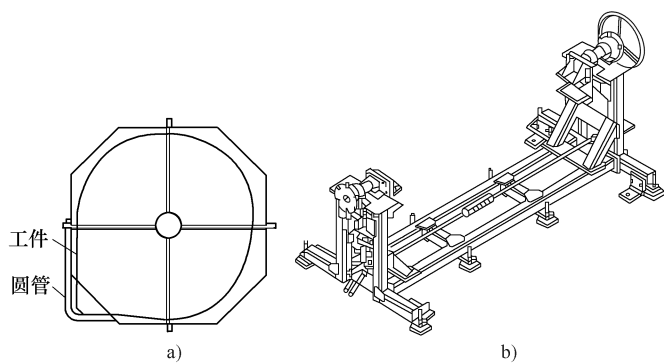


图 13-61 垂直面内旋转机构

采用举升机构。标准的举升机构如图 13-62a 所示，为单气缸双导向杆结构，导向杆直径为  $\phi 30\text{mm}$ ，气缸的直径分为  $\phi 63\text{mm}$ 、 $\phi 80\text{mm}$ 、 $\phi 100\text{mm}$ 、 $\phi 125\text{mm}$  四个系列，其中  $\phi 80\text{mm}$  及  $\phi 100\text{mm}$  两种系列最为常用，已纳入标准。当工件较小或其为一长条形状时，

应采用单导向杆结构，如图 13-62b 所示；当空间较为紧凑时可采用图 13-62c 所示结构；而当导向精度要求不高时，也可采用图 13-62d 所示结构。

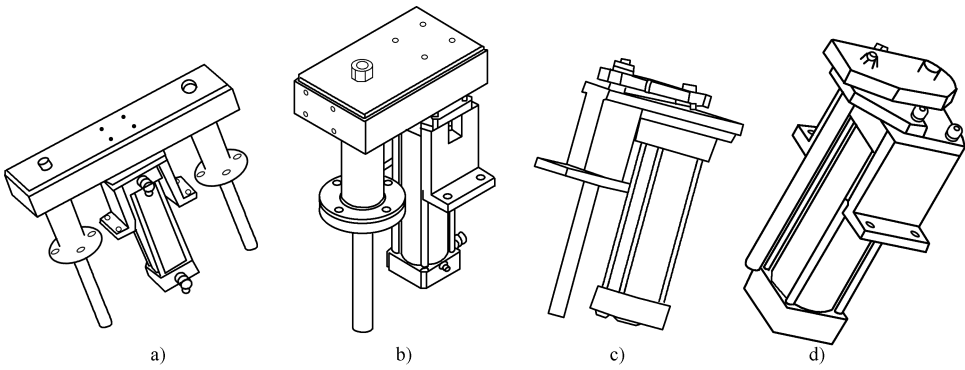


图 13-62 举升机构

# 第 14 章 机器人焊接夹具设计案例分析

## 14.1 摩托车车架机器人焊接夹具的设计案例

### 14.1.1 车架焊接工装夹具设计方案的确

确定摩托车车架工装夹具方案时，应遵循 13.1.1 节机器人焊接工装夹具的设计原则，同时在具体确定设计方案时，应联系以下几个方面进行考虑。

1) 车架的形状和尺寸是确定夹具设计方案、夹紧机构类型和结构形式的主要依据，并且直接影响其几何尺寸的大小；制造精度是选择定位器结构形式和定位器配置方案以及确定定位器本身制造精度和安装精度的主要依据。

2) 装焊工艺对夹具的要求。夹具除定位、夹紧可靠外，还应便于装配和拆卸。

3) 车架的产量。设计机器人焊接工装夹具时必须使夹具的结构方案与车架的产量相匹配。

### 14.1.2 车架在夹具中的定位以及定位器与夹具体的确定

#### 1. 车架在夹具中的定位

6 点定则指限制 6 个方向运动的自由度，在设计车身焊装夹具时，常有两种误解，一是认为 6 点定则对薄板焊装夹具不适用；二是薄板焊装夹具上有超定位现象。产生这两种误解的原因是把限制 6 个方向运动的自由度理解为限制 6 个方向的自由度，焊接夹具设计的宗旨是限制 6 个方向运动的自由度，这种限制不仅依靠夹具的定位夹紧装置，而且依靠制件之间的相互制约关系。只有正确认识薄板冲压件焊装生产的特点，同时又正确理解 6 点定则，才能正确应用这个原则。从定位原则看，支承对薄板来说是必不可少的，可消除由于工件受夹紧力作用而引起的变形。超定位使接触点不稳定，产生装配位置上的干涉，但在调整夹具时只要认真修磨支承面，其超定位引起的不良后果是可以控制在允许范围内的。

设计焊接夹具时，首先应考虑车架零件在夹具上如何进行定位，为了降低焊接夹具的高度，降低夹具的制造难度，需将车架作适当旋转。例如，设计摩托车车架车头组焊夹具时，有两种旋转方式：将车架立管旋转到与水平面垂直位置；将车头部件整体旋转到与水平面平行位置。为了保证装配精度，应将焊接几何形状比较规则的边和面与定位器的面接触，并得到完全的覆盖。

在夹具体上布置定位器时，应不妨碍焊接和装卸作业，同时要考虑焊接变形的影响。如果定位器对焊接变形有限制作用，则多做成拆卸或退让式的。操作式定位器应设



置在便于操作的位置上。

对定位器的技术要求包括对耐磨度、刚度、制造精度和安装精度等参数的要求。安装在基面上的定位器主要承受工件的重力，其与工件的接触部位易磨损，要有足够的硬度。在导向基面上的定位器，常承受工件因焊接而产生的变形力，要有足够的强度、刚度和硬度。

夹具体就是各种焊接变位机械上的工作台以及装焊车间里的各种固定式平台，在其台面上开有安装槽、孔，用来安放和固定各种定位器和夹紧机构。

在批量生产中使用的专用夹具，根据工件形状、尺寸、定位及夹紧要求、装配施焊工艺等专门设计。

对夹具的具体要求是：有足够的强度和刚度；便于装配和焊接作业的实施；能将装焊好的焊件方便卸下；满足必要的导电、导热、通水、通气及通风条件；容易清理焊渣、锈皮等污物；有利于定位器、夹紧机构位置的调节与补偿；必要时，还应具有反变形的功能。

## 2. 焊接所需夹紧力的确定

装配、焊接时，工件所需的夹紧力，按性质可分为四类：第一类是在焊接及随后的冷却过程中，防止工件发生焊接变形所需的夹紧力；第二类是为了减少或消除焊接变形，焊前对工件施以反变形所需的夹紧力；第三类是在工件装配时，为了保证安装精度，使各相邻工件相互紧贴，消除它们之间的装配间隙所需的夹紧力，或者根据图样要求，保证给定间隙和位置所需的夹紧力；第四类是在具有翻转或变位功能的夹具或台具上，为了防止工件翻转时在重力作用下坠落或移位所需的夹紧力。

工件所需夹紧力的确定方法，要随焊接结构形式不同而异。所确定的夹紧力要适度，既不能过小失去夹紧作用，又不能过大使工件在焊接过程中受到的拘束作用太强，以致出现焊接裂纹。因此在设计夹具时，应使夹紧机构的夹紧力能在一定范围内调节，这在气动、液压、弹性等夹紧机构中是不难实现的。

对夹紧机构的基本要求是：夹紧作用准确，处于夹紧状态时应能保持自锁，保证夹紧定位的安全可靠；夹紧动作迅速，操作方便省力，夹紧时不应损害零件表面质量；夹紧件应具备一定的刚性和强度，夹紧作用力应是可调节的；结构力求简单，便于制造和维修。

机器人焊接夹具的夹紧机构主要有手动和气动两类，手动夹紧机构为辅助夹紧机构，采用手动夹紧机构时必须考虑锁紧机构；气动夹紧机构为主要夹紧机构。在焊接夹具中，主要根据出力、活塞行程、安装方式来选用标准化的气缸。由于摩托车零件主要采用薄板加工而成，选用气缸时，气缸的缸径不宜过大，通常选用直径为 50mm 的气缸。

摩托车车架机器人焊接夹具的设计是一门经验性很强的综合性技术，在设计时首先要确定生产纲领，熟悉产品结构，了解变形特点，把握零部件装配精度，通晓工艺要求。只有做到这些，才能对焊接夹具进行全方位的设计。摩托车车架机器人焊接夹具的设计与冲压件、工序件结构及精度关系极为密切，在设计时，除了考虑遵循一般的规律

外,还必须具体问题具体对待。

## 14.2 汽车车身装焊的工装设计案例

### 14.2.1 汽车车身的结构特点及对装焊工装的要求

#### 1. 汽车车身的结构特点

汽车车身一般由外覆盖件、内覆盖件和骨架件组成,覆盖件的钢板厚度一般为0.8~1.2mm,骨架件的钢板厚度多为1.2~2.5mm,均为薄板件。对焊接夹具设计来说,有以下特点:

(1) 结构形状复杂,构图困难 汽车车身都是由薄板冲压件装焊而成的空间壳体,为了壳体具有一定的刚性且造型美观,其组成零件通常是经过拉延成形的空间曲面体,结构形状较为复杂。

(2) 刚性差、易变形 经过成形的薄板冲压件有一定的刚性,但和机械加工件相比,刚性要差得多,而且单个的大型冲压件容易变形,只有焊接成车身壳体后,才具有较强的刚性。

(3) 以空间三维坐标标注尺寸 汽车车身产品图以空间三维坐标来标注尺寸,为了表示覆盖件在汽车上的位置和便于标注尺寸,汽车车身一般每隔200mm或400mm画一坐标网线。三个坐标的基准是:前后方向(Y向)以汽车前轮中心为0,往前为负值,往后为正值;上下方向(Z向)以纵梁上平面为0,向上为正值,向下为负值;左右方向(X向)以汽车对称中心为0,往左为正,往右为负。

汽车车身装焊的工装主要是指装焊夹具,由工作平台上布置的定位件、夹紧件、导向支架和骨架(支座)等附具组成,是用来定位、夹紧结构零件的机械装置,是车身机器人结构生产中完成装焊程序的最重要、最大的基本工艺装备(它是产品制造控制源)。由于汽车产品的形式和种类繁多,在机器人装配零件过程中使用的夹具种类和要求也存在较大的差别;许多生产厂家都是根据产品本身自行设计与制造机器人装配夹具。

#### 2. 车身机器人装焊夹具的组成部分

1) 定位支承副只对钣金件的一个侧面起支承作用。

2) 定位夹紧副在钣金零件上定位压紧,对两个以上的重叠件可同时施加作用力。通常定位夹紧方式有:手动、气动、磁力三种。手动包括斜楔夹紧机构、螺旋夹紧机构、偏心夹紧机构、定位夹紧机构、铰链夹紧机构、多件多位夹紧机构;气动包括气缸运动、真空吸盘;磁力包括:永久磁铁、电磁力。

3) 定位销(孔)副定位精度高,制造容易,且最常见。

4) 活动定位销(孔)副适用于定位销(孔)轴向与夹具有角度(不为0°)的情况,便于拆卸。

5) “让位—到位—夹紧”的复合式辅助连杆机构。

6) 水平回转、翻转、顶升卸件机构等。

### 3. 车身装焊工装的特殊性

1) 汽车装焊构件大多是薄板冲压件（弹性件），尺寸大、刚性小、易变形，因而零件尺寸的稳定性受材质与冲压工艺等因素影响较大。

2) 汽车是一个空间曲面，外形复杂的结构件，其零件多为形状不规则的曲面件。通常用三维坐标描述其尺寸关系，因此装焊夹具设计时尽量选用零件的规则平面或斜面，少用复杂的曲线或曲面。在很多情况下钣金用仿形定位，在保证定位可靠的前提下尽量减少零件与定位元件的接触面。

3) 汽车零件装焊的机器人工艺方法通常为电阻点焊，目前已发展了薄板激光焊代替电阻点焊，但因技术含量及成本较高，多数用在中高级轿车制造上。

4) 由于装焊零件是薄板冲压而成，弹性变形较大，因此装焊夹具多为过定位设计，结构较为复杂。夹具的定位元件有“定位—夹紧”和检验零件尺寸的功能，并通过压紧使零件适度变形到位，起到校正原始尺寸的功能。

5) 针对钣金冲压件批量的尺寸不稳定变化，其定位、夹紧的单元应在二维或三维方向上具有可调性。

### 4. 设计车身装焊工装的关键要点

1) 前后风窗止口、门、顶盖、后背门类总成件的洞口沿周的尺寸控制。

2) 发动机、变速箱、悬架、前后灯具等总成的装配位置尺寸控制。

3) 仪表盘系统、座椅、操纵系统等内饰件的装配尺寸控制。

4) 四门、顶盖、后背门类总成及车身总成的装配位置尺寸控制。

5) 两件搭接头处相对位置的一致性、贴合性、吻合性的要求。

6) 车体的主要轮廓尺寸的控制，包括光顺性、对称性等要求。

### 5. 车身夹具设计遵循的原则

1) 汽车单个零件一般采用二销（或二孔）二型面的“定位—夹紧”原则。特别大的零件，因薄板钣金件的弹性变形大，可适当增加销（或孔）与型面的定位、夹紧，以保证局部焊接的稳定性。

2) 定位尺寸一致性传递原则（根据基准一致的原则，定位尺寸基准与车身装配基准和车身设计基准应尽量保持一致，以减少积累误差），即不同工序，不同夹具定位尺寸应一致。

3) 总成件上大多数点焊接头面向操作可视，并可作为在夹具上的姿态位置依据。

4) 较复杂、大尺寸零件先装上夹具，其余散、小件随后装上夹具，并依次定位、夹紧。

5) 各定位、夹紧元件应能满足二维或三维可调原则。

6) 装焊夹具各定位夹紧机构具有敞开性，确保装卸工件方便、无干涉，操作空间顺畅，无局促感。

总之，只有充分建立车身装焊夹具规格化和标准化的夹具元件库，包括国家标准、企业标准及规格化夹具结构图册等，才能大幅缩短夹具设计制造的周期，节约原材料，

节省夹具的加工费用,从而降低夹具的制造成本,同时便于夹具改型和更新换代。另外使用标准化和规格化的元件约有 50% ~ 70% 能重复利用,便于设计人员集中精力解决夹具设计问题,提高其设计质量。

### 14.2.2 装配精度

装配精度包括外观精度和骨架精度。外观精度指车门装配后的间隙面差,骨架精度指三维坐标值。货车车身的装配精度一般控制在 2mm 内,轿车车身的装配精度控制在 1mm 内。焊接夹具的设计既要保证工件之间的焊装要求,又要保证总体的焊接精度,通过调整工件之间的匹配状态来满足整体的装配要求。

### 14.2.3 6 点定则在车身焊装夹具上的应用

20 世纪 80 年代,车身焊接使用的大量夹具其形式是从冲压模具的定位面截切而来,即在车身冲压零件的型腔上定位,它被称为“定位块”,其特点是定位面积大,据统计投影面积在 50mm × 100mm 以上。定位块是加工件,其余支承部分为铸铁件,定位块在装配调整后再配做定位销。在外观上它有两种式样:大面积的定位块,小面积的气动或手动压头;大面积的定位块,大面积的气动或手动压头。前者定位块加工复杂,车身零件压紧力不够;后者易干涉焊钳的操作及装件困难。在生产中使用的夹具,其精度必须保证产品总成的要求;其定位面选择的数量也是比较保守的,宁多勿少。另外,每个定位块用四个沉头螺钉固定在焊接支承底板上,因焊渣飞溅的填充,造成返修更换困难。因此这种整体为铸件的定位块式夹具耗能耗材,其设计、制造周期和成本都比较高。

随着工装制造水平与检测手段的提高,车身焊接夹具采用定位板定位,板的厚度在 16mm、19mm、25mm 中选用。整个夹具本体改为焊接件,在制造、装配上都缩短了周期,相对降低了成本。定位板与角支座、角支座与底板各定位销孔均采用镗孔,孔间距偏差为  $L \pm 0.02\text{mm}$ 。在加工上采用此方式,调试中若车身产品尺寸略有变化(如冲压件常有的尺寸误差),机加工中保证的尺寸精度就浪费掉了。要想使车身几何精度在夹具上一次装调成功,冲压件就不能有较大的尺寸偏差,而且定位点的数量也比较多。用直角块调定位的方式与上述镗孔相同,只是定位板、压头用直角块加垫片过渡。它的优点是定位板、压头用损后修复、装调比较方便,也比较容易形成标准化设计、制造(除定位块、压头上压块外,其余零件均可制成标准件)。但设计人员要解决镗出的定位销孔与垫片的关系,不能让定位板无公差加工。这种定位方式延长了装配周期,从定位型面到检测销孔等尺寸链增多,累计误差上升。如平头车身左、右侧围夹具,仅直角块就有 900 个左右。

采用三个圆柱销定位各零部件,把以上两种定位方法的加工精度从  $L \pm 0.02\text{mm}$  降到  $L \pm 0.05\text{mm}$ ,使车身装焊精度得到了保证。但在设计、装配中,要考虑定位部件的使用状况,否则精度就会随磕碰等不良因素降低。

### 14.2.4 车身分块和定位基准的选择

车身焊接总成一般由底板、前围、后围、侧围和顶盖几大部分组成，不同的车型分块方式不同，在选择定位基准时，一般应做到：

**1. 保证门洞的装配尺寸** 当总成焊接无侧围分块时，门洞必须作为主要的定位基准，在分装夹具中，凡与前后立柱有关的分总成装焊都必须直接用前后立柱定位，而且从分装到总装定位基准应统一；当总成焊接有侧围分块时，门洞应在侧围焊接夹具上形成，总装焊时以门洞及工艺孔定位，且从分装到总装定位基准也应统一。

**2. 保证前后悬置孔的位置准确度** 车身底板上的悬置孔一般冲压在底板加强梁上，装焊时要保证悬置孔的相对位置，以便使车身顺利地下降到车架上。

**3. 保证前后风窗口的装配尺寸** 前后风窗口一般由外覆盖件和内覆盖件组成，有的是在前后围总成上形成，在分装夹具上要注意解决其定位，有的在总装夹具上形成，一般在专门的窗口定位装置对窗口精确定位，以保证风窗玻璃的装配。

### 14.2.5 车身焊接夹具的结构及定位夹紧特点

#### 1. 车身焊装夹具的结构特点

车身焊装夹具体积庞大，结构复杂，为了便于制造、装配、检测和维修，必须对夹具结构进行分解，否则无法进行测量。车身总装夹具有三个装配基准：底板、左侧围和右侧围。在它们的平面上都加工有基准槽和坐标线，定位夹紧组合单元按各自的基准槽进行装配、检测，最后将三大部分组合起来，成为一套完整的夹具。

#### 2. 车身焊装夹具的定位特点

车身焊装夹具大都以冲压件的曲面外形、在曲面上经过整形的平台、拉延和压弯成形的台阶、经过修边的窗口和外部边缘、装配用孔和工艺孔定位，这就在很大程度上决定了它的定位元件形状比较特殊，很少能用标准元件。焊接夹具上要分别对各被焊工件进行定位，并使其不互相干涉，在设计定位元件时要充分利用工件装配的相互依赖关系作为自然的定位支承。有的工件焊接成封闭体，无法设置定位支承，可要求产品设计时预冲平台、翻边作为定位控制点。总之，对于要求不严格的装配，尽量不使用焊接夹具。车身焊装夹具上板状定位较多，定位板一般用 Q235 钢板，厚度为 12 ~ 20mm。定位块间距既要保证定位精度，又要保证焊钳伸入的方便性。定位件按坐标标注尺寸，不标注公差。

#### 3. 车身焊装夹具的夹紧特点

车身冲压件装配后，多使用电阻焊，工件不受扭转力矩，当工件的重力与点焊时加压方向一致，焊接压力足以克服工件的弹性变形，并仍能保持准确的装配位置与定位基准贴合，此时可以省去夹紧机构。

电阻焊是一种高效焊接工艺，通常在两个工件间进行，夹紧点一般都比较多，为减少装卸工人的辅助时间，夹紧应采用高效快速装置和多点联动机构。

对于薄板冲压件，夹紧力作用点应作用在支承点上，只有对刚性很好的工件才允许



作用在几个支承点所组成的平面内,以免夹紧力使工件弯曲或脱离定位基准。夹紧力主要用于保持工件装配的相对位置,克服工件的弹性变形,使其与定位支承或导电电极贴合,对于1.2mm厚度以下的钢板,贴合间隙不大于0.8mm,每个夹紧点的夹紧力一般在300~750N范围内;对于1.5~2.5mm之间的冲压件,贴合间隙不大于1.5mm,每个夹紧点的夹紧力在500~3000N范围内。

夹紧器按照夹紧方向有平面、垂直、45°夹紧器;按照操作方式有螺栓夹紧、快速夹紧、手柄螺旋夹紧;还有手工、气动或液压夹紧器。其中带补偿的螺旋夹紧器最为常用,这种夹紧器在悬臂中增加了弹性伸缩,抵消夹紧时的侧向分力,以补偿夹具本身的变形和插入过程中的间隙,保证夹紧力与受力面垂直。夹紧头部一般由碳钢、不锈钢、尼龙材料制成,以适合不同的工件要求。如果配备两点、三点夹紧桥,可以同时夹紧不同高度的两个位置的工件,也可以按照夹紧的型面加工特殊的夹紧头。

### 14.3 用于汽车生产线上的机器人焊接夹具设计案例

在汽车焊接流水线上,真正用在焊接上的工作量仅占约30%~40%,而其他60%~70%工作量却用在辅助和装夹上。因为装夹是在焊接夹具上完成的,所以夹具在整个汽车焊接流程中起着至关重要的作用。合理的夹具结构既有利于合理安排流水线生产,又便于平衡工位时间,可以提高生产率、降低生产成本。

汽车生产线焊接夹具主要由夹具体、定位装置和夹紧装置三部分组成。

#### 1. 夹具体

夹具体是夹具的基础单元,不仅承载着定位装置和夹紧装置,而且还承担着吊装、三坐标检测和校枪的功能。在设计夹具体时不仅要考虑夹具体的强度、空间必须满足实际装配和测量的需要,还要尽量减轻夹具体的自重,缩小夹具体的外形尺寸。例如,根据工件外形和焊缝要求,灵活采用框架或单梁结构,这样既可以节约材料、减轻夹具自重、方便气管和电信号的连接,又可给机器人较大的焊接空间,提高焊缝质量和焊接效率。

#### 2. 定位装置

定位装置中的定位件通常有固定销、插销、挡铁、V形块以及根据焊件实际形状确定的定位块等。设计夹具定位时,应主要考虑以下几方面:

(1) 定位件的材料和强度 由于焊接夹具使用频率非常高,为了满足定位件使用精度和使用寿命的要求,每个定位件必须满足一定的刚性和硬度,定位件一般选用45钢并进行热处理来增加耐磨性。

(2) 定位装置的可调性 由于汽车零部件通常由冲压或者拉延成形的空间曲面体等结构较为复杂的形状组成,一致性也很不好,因此为了便于调整和更换,定位件应该尽量与支撑件分体设计。定位结构尽可能设计成组合可调式。例如图14-1中的定位块在 $z$ 方向上、定位销在 $x$ 、 $y$ 方向上均可通过垫片进行调整。这种能在三个方向上实现自由调整的定位结构,不仅能更好地适应工件,加快调试速度,而且还可以通过更换定位件

达到适应不同车型的需要。

用于机器人焊接的汽车零部件多是板材，而且大多通过冲压和拉伸成形，表面形状有的很不规则，此时如果采用三个圆柱销支撑定位的方式（图 14-2），既可节约材料、降低成本又能保证定位面的精确性和可调性。

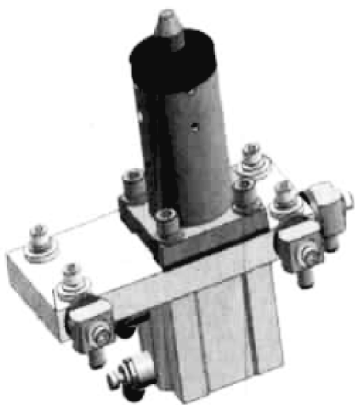


图 14-1 定位装置

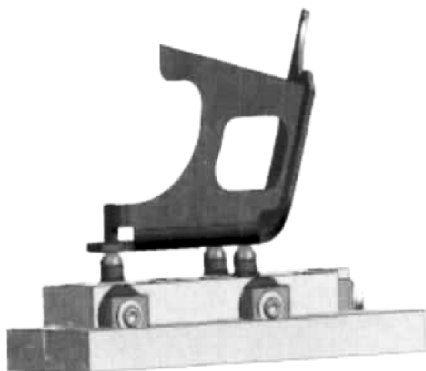


图 14-2 三圆柱销支撑定位

（3）工件的可拆卸性 可拆卸性主要针对使用定位销的情况而言。对于汽车零部件中的主要定位孔，定位精度要求高，焊缝较长，焊后变形大，导致焊接后工件拆卸困难，这时可以考虑用胀销机构（图 14-3）。此外，还可以增加卸件机构将工件顶出。

### 3. 夹紧装置

焊接夹具中，夹紧装置的作用毋庸置疑。夹紧装置中的夹紧元件包括手动夹钳、气动夹钳、气缸、液压缸和气-液转换缸等。在设计夹紧装置时应主要考虑以下几点：

（1）夹紧力的作用点 对于薄板冲压件而言，夹紧力作用点应作用在支撑点上，只有对刚性很好的工件才允许作用在几个支撑点所组成的平面内，以免夹紧力使工件弯曲或脱离定位基准。

（2）夹紧力的大小 夹紧力主要用于保持工件装配的相对位置，克服工件的弹性变形，使其与定位支撑或导电电极贴合。对于厚度小于 1.2mm 的钢板，贴合间隙小于等于 0.8mm，每个夹紧点的夹紧力一般为 300 ~ 750N，对于 1.5 ~ 2.5mm 的冲压件，贴合间隙小于等于 1.5mm，每个夹紧点的夹紧力为 500 ~ 3000N。

（3）夹紧装置的可调性 对于形状复杂，高度不一致的工件，夹紧机构可以做成桥形多点夹紧，或者角度可调的形式，如图 14-4 所示。这种结构可以保证压紧点与工件充分接触，适应了工件复杂表面的需求。

（4）方便装卸件 为了方便操作工人装卸件，夹紧装置打开的方向尽量不在操作

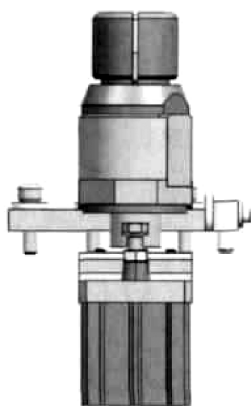


图 14-3 胀销机构



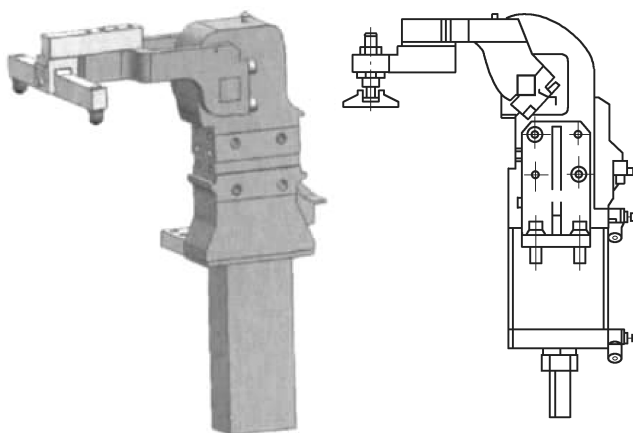


图14-4 夹紧装置

工人的一侧，以免压紧臂的高度影响工人装卸件。

汽车焊接生产线是汽车制造中的关键，而工装夹具又是焊接生产线的重中之重。只有掌握夹具设计的基本原理和准则并不断探索和学习先进的设计方法和理念，才能更好地顺应汽车发展的潮流。

# 第 4 篇作业 机器人焊接工装夹具操作

## 1. 实验目的

通过对实验室工装夹具的操作，掌握机器人工装夹具设计的基本特点和方法。

## 2. 实验平台

提供工装夹具组件。

## 3. 实验要求

- 1) 了解实验室提供的工装夹具组件的具体特点和基本操作方法。
- 2) 能够完成某一给定简单焊接件夹具的基本设计和夹装操作。
- 3) 完成实验总结报告。

## 参 考 文 献

- [1] NX100 机器人培训操作要领书 [R]. 安川首钢机器人有限公司.
- [2] YASNAC XRC 工业焊接机器人操作指南 [R]. 安川首钢机器人有限公司.
- [3] 安川 NX100 MMH6 机器人教程 [R]. 浙江中控研究院有限公司.
- [4] 杨握铨. 汽车装焊技术及夹具设计 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1996.
- [5] 林忠钦. 汽车车身制造质量控制技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [6] 贾安冬. 焊接结构及生产设计 [M]. 天津: 天津大学出版社, 1989.
- [7] 王政. 焊接工装夹具及变位机械 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [8] 陈焕明. 焊接工装设计基础 [M]. 北京: 航空工业出版社, 2004.
- [9] 中国机械工程学会焊接学会. 焊接手册. 2 版 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [10] 胡家秀. 简明机械零件设计使用手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1999.
- [11] 陈永华, 李富荣, 徐夕斌. 汽车车架焊接工艺分析及工装设计 [R]. 北汽福田汽车有限公司诸城汽车厂, 2006.
- [12] 刘尧铭. 汽车车身装焊技术中的工艺设计与工装设计 [R]. 靖江市新程轿配制造有限公司, 2006.
- [13] 车身焊接夹具基础讲义 (技能培训) [R]. 一汽海南汽车有限公司, 2006.
- [14] 刘艳琴, 邢海涛. 用于汽车生产线上的机器人焊接夹具设计 [J]. 金属加工: 热加工, 2010 (4): 47-49.
- [15] 方少勇. 焊接机器人在汽车座椅骨架焊接中的应用 [J]. 焊接技术, 2008, 37 (1): 62-64.
- [16] 曹向成, 汪春华, 郑志东, 等. 摩托车踏板式车架机器人焊接生产线的设计 [J]. 焊接设备与材料, 2010, 39 (4): 53-55.
- [17] John J Craig. 机器人学导论 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2012.
- [18] 六自由度可拆装模块化工业机器人实验指导书 [R]. 苏州博实机器人技术有限公司.
- [19] 六自由度可拆装模块化工业机器人装配说明书 [R]. 苏州博实机器人技术有限公司.
- [20] 陈航, 殷国富, 赵伟, 等. 工业机器人模块化设计研究 [J]. 机器人技术, 2009, 36 (3): 56-58.
- [21] 张颖. 步进电机与交流伺服电机性能对比分析 [J]. 农机化研究, 2004, 5 (3): 98.
- [22] 肖南峰. 工业机器人 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.
- [23] 蔡自兴. 机器人学 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.
- [24] 熊有伦. 机器人技术基础 [M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1999.
- [25] 孙学俭, 薛龙, 俞建荣. 机器人技术基础 [M]. 北京: 兵器工业出版社, 2010.
- [26] 李团结. 机器人技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.
- [27] 王永龙, 张兆忠, 张桂红. MATLAB 语言基础与应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2010.
- [28] 侯国章. 测试与传感技术 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1998.
- [29] 石利英, 毕长青. 传感器技术 [M]. 上海: 同济大学出版社, 1995.
- [30] 单成祥. 传感器理论与设计基础及其应用 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1999.

## 本书特色

- 科学定位** 主要面向工程应用，培养既有理论素养，又有动手和实践能力的复合型人才。
- 内容全面** 系统地介绍了机器人实际操作技术的基本方法，并引入若干工程实例。
- 突出实用性** 简化理论知识，强调对实践能力和技术应用能力的培养。

地址：北京市百万庄大街22号  
邮政编码：100037

电话服务  
服务咨询热线：010-88379833  
读者购书热线：010-88379649

网络服务  
机工官网：www.cmpbook.com  
机工官博：weibo.com/cmp1952  
教育服务网：www.cmpedu.com  
金书网：www.golden-book.com  
封面无防伪标均为盗版



机工教育微信服务号



机械工业出版社科普平台  
科技有的聊



机械工业出版社制造业资讯  
制造业那些事儿

ISBN 978-7-111-54189-9

策划编辑◎吕德齐

ISBN 978-7-111-54189-9



9 787111 541899 >

定价：29.00元