

工业机器人

苏娜 康瑞芳 著



国家一级出版社



中国纺织出版社

全国百佳图书出版单位

工业机器人

苏 娜 康瑞芳 著



 中国纺织出版社

内 容 提 要

本书系统地介绍了与工业机器人技术相关的基础知识,全书共分为九章,主要包括:概述、工业机器人电气控制系统的构成、工业机器人及控制器的连接、工业机器人指令信号与反馈信号电路、工业机器人驱动方式、工业机器人PLC控制、机器人路径规划、工业机器人的安全防护及工业机器人的发展趋势。

本书内容全面新颖,由浅入深,从机器人技术的基础出发,涉及机器人的操作、日常维护检修、安全使用等各个方面,实用性强,有利于学生实践能力的培养,可作为机械、电气控制、自动化及相近专业的本科教材,同时也可作为专业技术人员、机器人爱好者的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

工业机器人 / 苏娜, 康瑞芳著. — 北京: 中国纺织出版社, 2018.12

ISBN 978-7-5180-5704-7

I. ①工… II. ①苏… ②康… III. ①工业机器人
IV. ①TP242.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 272920 号

责任编辑:苗 苗 责任校对:楼旭红 责任印制:王艳丽

中国纺织出版社出版发行

地址:北京市朝阳区百子湾东里 A407 号楼 邮政编码:100124

销售电话:010—67004422 传真:010—87155801

<http://www.c-textilep.com>

E-mail:faxing@c-textilep.com

中国纺织出版社天猫旗舰店

官方微博 <http://weibo.com/2119887771>

北京虎彩文化传播有限公司制版印刷 各地新华书店经销

2018 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:10.5

字数:166 千字 定价:68.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社图书营销中心调换

前 言

工业机器人是面向工业领域的多关节机械手或多自由度的机器装置,它能自动执行工作,是靠自身动力和控制能力来实现各种功能的一种机器。工业机器人作为生产线辅助设备,已逐步应用到汽车、电子信息、食品、医药、塑胶化工、金属加工等多个制造业领域,并成为助推传统制造模式向先进制造模式升级的重要驱动力,代表着未来智能装备的发展方向。随着机器人应用的日益广泛和装机容量的直线上升,对这类技术人员的需求也变得越来越迫切。但由于各工业机器人厂家高端机电设备的本体和控制器都是专门设计的,其内部结构不可视,因此缺乏直观的教学效果,学生参与性差,无法对机器人本体和电控系统进行拆装,也无法深入了解其内部结构和原理。

本教材共分为九章。第一章对工业机器人进行了概述;第二章主要是使学生对工业机器人电气控制系统具有一个整体的认识,对各个控制元件的功能有所了解,对工业机器人的控制过程建立一个总体思路框架;第三章至第五章主要完成电气控制系统电路的连接及驱动工作,以机器人与控制器的连接为主线,论述了工业机器人指令信号与反馈信号电路,并介绍了工业机器人驱动方式与保养,逐步完成工业机器人电气控制系统的电路连接与驱动工作;第六章介绍了工业机器人中 PLC 的作用,如何利用 PLC 完成机器人与外部设备的通信工作,保证设备间的协调运行;第七章将理论与实践相结合,深刻论述了机器人路径规划;第八章介绍了机器人的日常安全防护;第九章对工业机器人的未来发展进行了展望,希望更多的同学对工业机器人产生浓厚兴趣,进而培养更多相关的高科技人才。

本教材的特点是理论深度适当,注重实际应用,易读易懂,全方位介绍机器人的相关知识与应用技术。此外,作者结合工作、教学和科研经验,力图以任务引领、项目驱动、小组合作的方式组织教学内容、开展教学活动。在课程中,通过知识准备,可以提高学生分析问题和解决问题的能力;通过完成实施任务,可以增强学生的创新意识,锻炼动手能力;通过以小组合作的形式完成机器人项目,可以培养学生们的协作能力和团队精神。

由于编者水平所限,加之工业机器人控制技术发展迅速,教材中存在不足在所难免,诚请广大读者批评指正。

编 者

2018 年 7 月

前 言

工业机器人是面向工业领域的多关节机械手或多自由度的机器装置,它能自动执行工作,是靠自身动力和控制能力来实现各种功能的一种机器。工业机器人作为生产线辅助设备,已逐步应用到汽车、电子信息、食品、医药、塑胶化工、金属加工等多个制造业领域,并成为助推传统制造模式向先进制造模式升级的重要驱动力,代表着未来智能装备的发展方向。随着机器人应用的日益广泛和装机容量的直线上升,对这类技术人员的需求也变得越来越迫切。但由于各工业机器人厂家高端机电设备的本体和控制器都是专门设计的,其内部结构不可视,因此缺乏直观的教学效果,学生参与性差,无法对机器人本体和电控系统进行拆装,也无法深入了解其内部结构和原理。

本教材共分为九章。第一章对工业机器人进行了概述;第二章主要是使学生对工业机器人电气控制系统具有一个整体的认识,对各个控制元件的功能有所了解,对工业机器人的控制过程建立一个总体思路框架;第三章至第五章主要完成电气控制系统电路的连接及驱动工作,以机器人与控制器的连接为主线,论述了工业机器人指令信号与反馈信号电路,并介绍了工业机器人驱动方式与保养,逐步完成工业机器人电气控制系统的电路连接与驱动工作;第六章介绍了工业机器人中 PLC 的作用,如何利用 PLC 完成机器人与外部设备的通信工作,保证设备间的协调运行;第七章将理论与实践相结合,深刻论述了机器人路径规划;第八章介绍了机器人的日常安全防护;第九章对工业机器人的未来发展进行了展望,希望更多的同学对工业机器人产生浓厚兴趣,进而培养更多相关的高科技人才。

本教材的特点是理论深度适当,注重实际应用,易读易懂,全方位介绍机器人的相关知识与应用技术。此外,作者结合工作、教学和科研经验,力图以任务引领、项目驱动、小组合作的方式组织教学内容、开展教学活动。在课程中,通过知识准备,可以提高学生分析问题和解决问题的能力;通过完成实施任务,可以增强学生的创新意识,锻炼动手能力;通过以小组合作的形式完成机器人项目,可以培养学生们的协作能力和团队精神。

由于编者水平所限,加之工业机器人控制技术发展迅速,教材中存在不足在所难免,诚请广大读者批评指正。

编 者

2018 年 7 月

目 录

CONTENTS

第一章	概 述	1
第一节	工业机器人的定义	2
第二节	工业机器人的分类及技术参数	2
第三节	工业机器人产业发展现状及趋势	4
第二章	工业机器人电气控制系统的构成	8
第一节	工业机器人的组成	8
第二节	工业机器人的控制和编程	9
第三节	工业机器人电气控制系统的构成	11
第四节	工业机器人电气柜控制系统	15
第五节	工业机器人供电电路	16
第三章	工业机器人及控制器的连接	21
第一节	工业机器人各部分名称及用途	21
第二节	控制器各部分接口名称及用途	22
第三节	机器人与控制器及外围设备连接	23
第四节	急停及安全信号	25
第五节	模式选择信号	28
第六节	I/O 信号的连接及功能定义	28
第七节	实用工业机器人控制系统的构建	36
第四章	工业机器人指令信号与反馈信号电路	40
第一节	NCUC 总线	40
第二节	伺服驱动器反馈接口	44
第三节	工业机器人位置检测元件的要求及分类	46
第四节	光电式编码器的结构与作用	48





第五节	反馈线航空插头引脚的分布与定义	50
第六节	示教器与 IPC 电路连接	51
第五章	工业机器人驱动方式	54
第一节	工业机器人驱动方式的辨识	54
第二节	其他常见电动机及伺服驱动器	59
第三节	工业机器人电气控制柜的布置	70
第四节	GK 系列电动机与伺服驱动器	83
第五节	ST 系列电动机与伺服驱动器	90
第六章	工业机器人 PLC 控制	101
第一节	PLC 的概念	101
第二节	PLC 的编程语言	106
第三节	PLC 实现电动机循环正反转控制	110
第四节	工业机器人的 PLC 控制	112
第七章	机器人路径规划	117
第一节	关节空间路径规划	117
第二节	直角坐标空间路径规划	124
第三节	移动机器人路径规划	129
第四节	遗传算法简介	133
第五节	基于遗传算法的移动机器人路径规划	135
第八章	工业机器人的安全防护	138
第一节	安全防护措施	138
第二节	机器人干涉	143
第三节	电磁干扰	146
第九章	工业机器人的发展趋势	149
第一节	机器人的最新发展	149
第二节	智能机器人技术	150
第三节	网络机器人技术	156
参考文献		162



第一章 概述

说到机器人,人们会想起美丽的佳佳(图 1-1)和萌萌的小曼(图 1-2)。



图 1-1 佳佳机器人



图 1-2 小曼机器人

当然还有更炫更酷的,如我国深圳优必选公司研制的阿尔法机器人(图 1-3),以及日本电气股份有限公司(NEC)研制的 PaPeRo 机器人(图 1-4),还有法国 Aldebaran Robotics 公司研制的 NAO 机器人(图 1-5)。



图 1-3 阿尔法机器人



图 1-4 PaPeRo 机器人

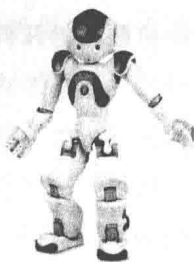


图 1-5 NAO 机器人

国际机器人联合会(IFR)统计表明:中国自 2013 年起连续三年成为全球最大的工业机器人消费市场。全球四大工业机器人巨头 FANUC(发那科)、Yaskawa(安川)、KUKA(库卡)和 ABB 占 50%左右的市场份额。

2016 年 10 月 20 日,由工业和信息化部和中国科学技术协会、北京市人民政府主办的“2016 世界机器人大会”在北京召开,包括工业机器人在内的各式机器人轮番亮相,真可谓异彩纷呈。





第一节 工业机器人的定义

工业机器人是面向工业领域的多关节机械手或多自由度的机器装置,它能自动执行工作,是靠自身动力和控制能力来实现各种功能的一种机器。它可以接受人类指挥,也可以按照预先设定的程序运行。

美国机器人协会提出的工业机器人定义为:“工业机器人是用来进行搬运材料、零件、工具等可再编程的多功能机械手,或通过不同程序的调用来完成各种工作任务的特种装置。”

国际标准化组织(ISO)曾于 1987 年对工业机器人给出了定义:“工业机器人是一种具有自动控制的操作和移动功能,能够完成各种作业的可编程操作机。”

ISO 8373 对工业机器人给出了更为具体的解释:“机器人具备自动控制及可再编程、多用途功能;机器人末端操作器具有三个或三个以上的可编程轴;在工业自动化应用中,机器人的底座可固定也可移动。”

第二节 工业机器人的分类及技术参数

一、工业机器人的分类

关于工业机器人的分类,国际上没有制定统一的标准,可按机器人的几何结构、智能程度、应用领域等来划分。

1. 按机器人的几何结构分类

机器人的结构形式多种多样,最常见的结构形式是用其坐标特性来描述的。这些坐标结构包括笛卡尔坐标结构、柱面坐标结构、极坐标结构、球面坐标结构和关节式结构等。

2. 按机器人的智能程度分类

(1)示教再现机器人是第一代工业机器人。它能够按照人类预先示教的轨迹、行为、顺序和速度重复作业,示教可由操作员手把手进行或通过示教器完成。

(2)感知机器人是第二代工业机器人。它具有环境感知装置,能够在一定程度上适应环境的变化,目前已经进入应用阶段。

(3)智能机器人是第三代工业机器人。它具有发现问题,并且能够自主解决问题的能力。到目前为止,在世界范围内还没有一个统一的智能机器人定义。大多数专家认为智能机器人至少要具备以下三个要素:一是感觉要素,用来认识周围环境状态;二是运动要素,对外界做出反应性动作;三是思考要素,根据感觉要素所得到的信息,思考出采用什么样的动作。



3. 按机器人的应用领域分类

按作业任务将工业机器人分为焊接、搬运、装配、喷涂和处理机器人等，如图 1-6 所示。

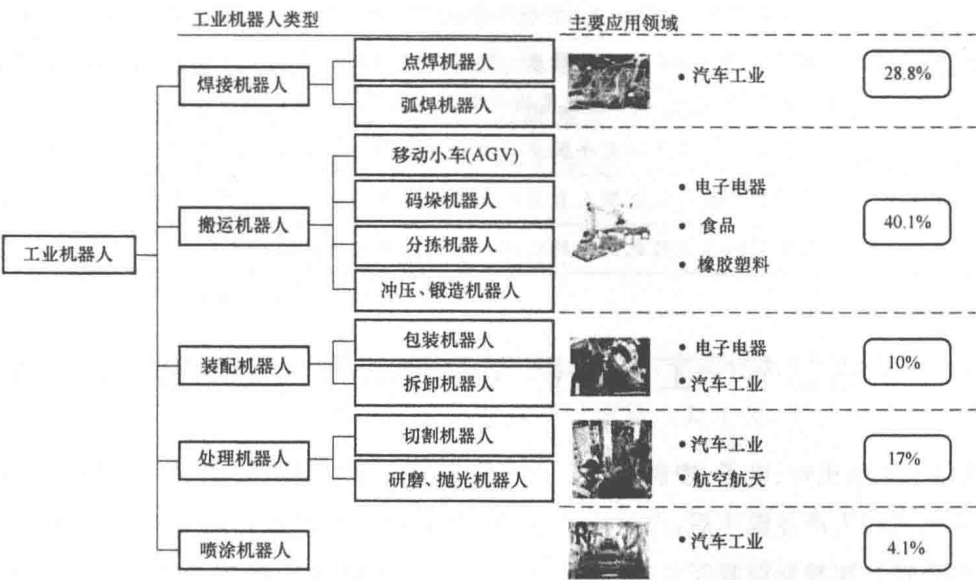


图 1-6 按机器人的应用领域分类

我国的机器人专家从应用环境出发，将机器人分为两大类，即工业机器人和特种机器人。所谓工业机器人就是面向工业领域的多关节机械手或多自由度机器人。而特种机器人则是除工业机器人之外的、用于非制造业并服务于人类的各种先进机器人，主要包括服务机器人、水下机器人、娱乐机器人、军用机器人和农业机器人等。在特种机器人中，有些分支发展很快，有独立成体系的趋势，如服务机器人、水下机器人、军用机器人和微操作机器人等。目前，国际上的机器人学者，从应用环境出发将机器人也分为两类：制造环境下的工业机器人和非制造环境下的服务与仿人型机器人，这我国的分类是一致的。

空中机器人又称为无人机器(简称无人机)，在军用机器人家族中，无人机是科研活动最活跃、技术进步最大、研究及采购经费投入最多、实战经验最丰富的领域。

无人机可以搭载电子战综合系统，执行通信侦察干扰、雷达侦察干扰等任务，对敌方进行区域干扰压制。此外还可用于民用领域，在航空测量和海洋海事巡逻方面大展身手。

人形服务型机器人是为人类服务的特种机器人，能够代替人完成家庭服务工作，是未来家庭的“万能”管家。

二、工业机器人的技术参数

工业机器人的技术参数，指各工业机器人制造商在产品供货时所提供的技术数据，主要



包括自由度、精度、工作范围、最大工作速度和承载能力等,如表 1-1 所示。

表 1-1 工业机器人主要技术参数

参数名称	参数含义
自由度	指机器人所具有的独立坐标轴运动的数目,不应包括手爪(或末端执行器)的开合自由度
精度	指定位精度和重复定位精度。定位精度是指机器人手部实际到达位置与目标位置之间的差异;重复定位精度是指机器人重复定位手部于同一目标位置的能力
工作范围	指机器人手臂末端或手腕中心所能到达的所有点的集合,也称为工作区域
最大工作速度	有的厂家指工业机器人自由度上最大的稳定速度,有的厂家指手臂最大合成速度
承载能力	指机器人在工作范围内的任何位置上所能承受的最大质量

第三节 工业机器人产业发展现状及趋势

机器人是集机械、电子、控制、传感、人工智能等多学科先进技术于一体的自动化装备。自 1956 年机器人产业诞生后,经过近 60 年发展,机器人已经被广泛应用在装备制造、新材料、生物医药和智慧新能源等高新产业。机器人与人工智能技术、先进制造技术和移动互联网技术的融合与发展,推动了人类社会生活方式的巨大变革。

一、机器人产业发展现状

IFR 认为,2016—2017 年,美洲和欧洲的机器人销量预计年均增长 6%,亚洲和澳洲预计年均增长 16%。至 2017 年年底,全球范围内工业机器人保有量预计将达 200 万台。图 1-7,所示为 2001—2020 年中国工业机器人销量及预测。

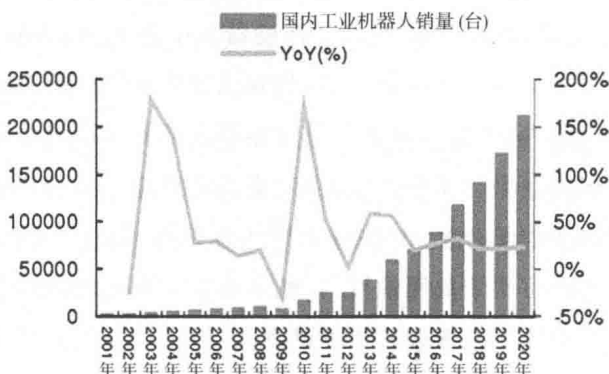


图 1-7 2001—2020 年中国工业机器人销量及预测

国际机器人联盟主席 ArturoBaroncelli 在世界机器人大会上称,到 2018 年,全球范围内工业机器人保有量将突破 230 万台,其中 140 万台在亚洲,占比超过 1/2。



根据 IFR 的统计,亚洲是目前全球工业机器人使用量最大的地区,占世界范围内机器人使用量的 50%,其次是美洲(包括北美、南美)和欧洲。

工业机器人的主要产销国集中在日本、韩国和德国,这三国的机器人保有量和年度新增量位居全球前列。

目前,全球服务机器人市场仅有部分国防机器人、家用清洁机器人、农业机器人实现了产业化,而技术含量更高的医疗机器人、康复机器人等仍然处于研发试验阶段。2012—2017 年服务机器人市场年复合增长率将达到 17.4%,市场规模预计将在 2017 年达到 461.8 亿美元。

二、机器人产业发展趋势分析

当前各个国家对机器人技术都是非常重视,人们生活对智能化要求的提高也促进了机器人的发展,在这样的背景下,机器人技术的发展可以说是一日千里,未来机器人将在以下关键技术的基础上飞速发展,如图 1-8 所示。

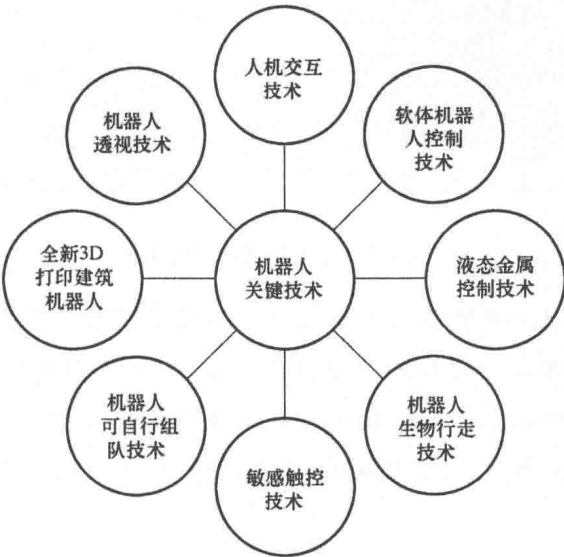


图 1-8 机器人关键技术

三、我国机器人产业发展现状及前景

工业机器人是现代制造业重要的自动化装备,已成为国内外备受重视的高新技术产业,它作为现代制造业的主要自动化装备在制造业中广泛应用,也是衡量一个国家制造业综合实力的重要标志。



1. 发展现状

我国机器人的研究制造始于 20 世纪 70 年代,在“十五”和“十一五”攻关计划和 863 计划等科技计划的支持下,尤其是在制造业转型升级市场需求的拉动下,我国工业机器人产业发展迅速,在技术攻关和设计水平上有了长足的进步。

工业机器人产业链由零部件供应企业、本体制造商、代理商、系统集成商和用户端等构成,如图 1-9 所示。

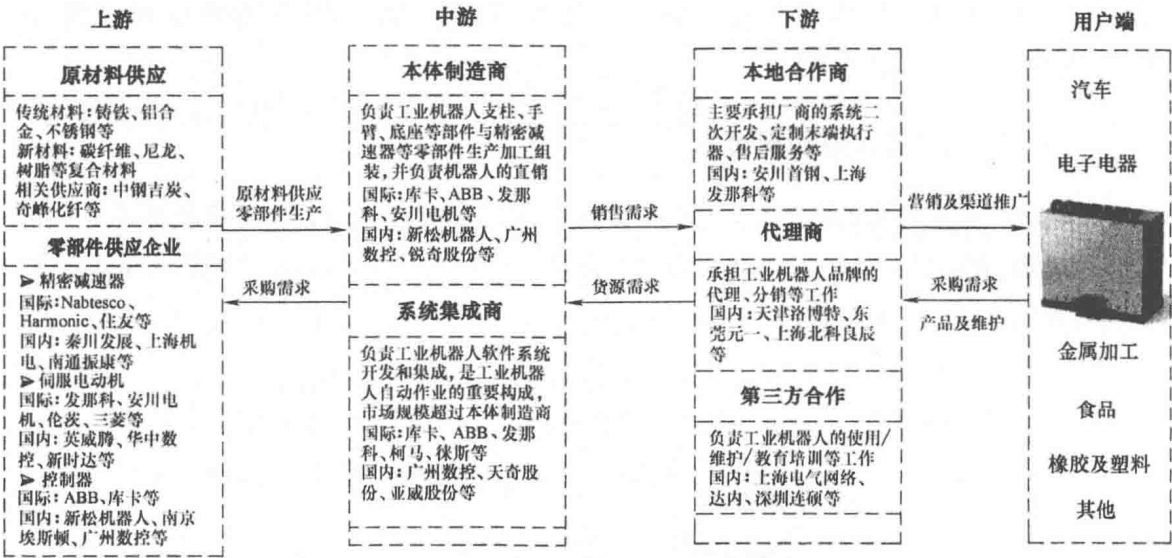


图 1-9 工业机器人产业链

在外企纷纷通过本土企业使得自己更加适合中国市场生态的同时,国内大小企业也在纷纷抢滩。2016 年年初工信部的一项调查显示,中国涉及机器人生产及集成应用的企业达到 800 余家。中国机器人也出现了不少自主品牌,如沈阳新松、广州数控、长沙长泰、安徽埃夫特、昆山华恒、北京机械自动化所等为数不多的十几家具备一定规模和水平的企业。

2. 发展前景

随着我国工业转型升级、劳动力成本不断攀升及机器人生产成本下降,未来“十三五”期间,机器人是重点发展对象之一,国内机器人产业正面临加速增长拐点。

工信部发布的《机器人产业发展规划(2016—2020 年)》中指出:到 2020 年我国自主品牌工业机器人年产量达到 10 万台,六轴及以上工业机器人年产量达到 5 万台以上;服务机器人年销售收入超过 300 亿元,在助老助残、医疗康复等领域实现小批量生产及应用;培育 3 家以上具有国际竞争力的龙头企业,打造 5 个以上机器人配套产业集群。图 1-10 所示为我国机器人产业发展规划(2016—2020 年)。





图 1-10 我国机器人产业发展规划(2016—2020 年)

人工智能是研究、开发用于模拟、延伸和扩展人的智能的理论、方法、技术及应用系统的一门新的技术科学。人工智能从诞生以来,理论和技术日益成熟,应用领域也不断扩大,可以设想,未来人工智能带来的科技产品,将会是人类智慧的“容器”。





第二章 工业机器人电气控制系统 的构成

“机器人”是一个新造词，它体现了人类长期以来的一种愿望，即创造出一种机器，代替人去做各种工作。

现代的工业机器人还可以根据人工智能技术制定的原则纲领行动。

第一节 工业机器人的组成

工业机器人一般由控制系统、驱动系统、位置检测机构及执行机构等几部分组成。

一、控制系统

控制系统是工业机器人的大脑，支配着机器人按规定的程序运动，并记忆人们给予的指令信息（如动作顺序、运动轨迹、运动速度等），同时按其控制系统的信息对执行机构发出执行指令。

二、驱动系统

驱动系统是按照控制系统发来的控制指令驱动执行机构运动的装置。常采用电气、液压、气压等驱动形式。

三、位置检测机构

通过速度、位置、触觉、视觉等传感器检测工业机器人的运动位置、运动速度和工作状态，并随时反馈给控制系统，以便使执行机构到达设定的位置。

四、执行机构

执行机构是一种具有和人手相似的动作功能，可在空间抓持物体或执行其他操作的机械装置，主要包括如下部件。





手部:又称抓取机构或夹持器,用于直接抓取工件或工具。此外,在手部安装的某些专用工具,如焊枪、喷枪、电钻、螺钉/螺帽拧紧器等,可视为专用的特殊手部。

腕部:连接手部和手臂的部件,用以调整手部的姿态和方位。

手臂:支撑手腕和手部的部件,由动力关节和连杆组成。用以承受工件或工具的载荷,改变工件或工具的空间位置,并将它们送至预定的位置。

机座:包括立柱,是整个工业机器人的基础部件,起着支撑和连接的作用。

第二节 工业机器人的控制和编程

一、工业机器人的控制原理

控制系统是工业机器人的重要组成部分,它使工业机器人按照作业要求去完成各种任务。由于工业机器人的类型较多,其控制系统的形式也是多种多样的。按照控制回路的不同可将工业机器人控制系统分为开环式和闭环式;按对工业机器人手部运动控制轨迹的不同,可分为点位控制和连续轨迹控制。

最常见的控制系统是闭环控制系统。控制系统把位置控制指令送到系统的比较器,再跟反映工业机器人实际位置的反馈信号进行比较,得到位置差值,将其差值加以放大,驱动伺服电动机旋转,使工业机器人的某一环节运动。工业机器人新的运动位置经检测再次送到比较器与位置指令进行比较,产生新的误差信号,误差信号继续控制工业机器人运动,这个过程一直持续到误差信号为零为止。

目前最为常见的编程系统为“示教再现式”系统。这种控制系统的工作过程被分为“示教”和“再现”两个阶段。在示教阶段,由操作者拨动示教盒上的开关按钮,手动控制工业机器人,使它按需要的姿势、顺序和路线进行工作。此时,工业机器人会将示教的各种信息通过反馈回路逐一返回到记忆装置中存储起来。在实际工作时,拨动控制面板上的相应开关可使工业机器人转入再现阶段,于是工业机器人从记忆装置中依次读出在示教阶段所存储的信息,利用这些信息去控制工业机器人再现示教阶段的动作。这种控制方法的优点在于,工业机器人一边工作一边可自动完成作业程序的编制,省去了编程的麻烦。此外,操作人员在示教时可以随时用眼睛监视工业机器人的各种动作,可以避免发出错误指令,产生错误动作。

在点位控制机器人中(如点焊机器人),每个运动轴通常都是单独驱动的,各个运动轴相互协调运动,实现各个坐标点的精确控制。在示教状态下,操作者使用示教盒上的控制按钮,分别移动各个运动轴,使工业机器人的臂部到达一个个控制点,按下示教盒编程按钮存储各个控制点的位置信息。再现或自动操作时,各个坐标轴以相同的速度互不相关地进行





运动。哪个运动轴移动距离短便先到达控制点,自动停止下来等待其他运动轴。就这样,完成了一个控制点的运动。由此可见,点位控制是控制点与点的位置,它们之间所经过的路线不必考虑,也很难预料。

在连续轨迹控制机器人中(如涂装、弧焊机器人),其控制与数控机床比较相似,它对连续轨迹进行离散化处理,用许多小间隔的空间坐标点表示曲线,将这些坐标点存储在存储器内。在示教时,操作者可以直接移动工业机器人或使用手臂引导工业机器人通过预期的路径来编制这个运动程序,控制器按一定的时间增量记下工业机器人的有关位置,时间增量可在每秒5~80个点的范围内变化。存储时,不仅要位置信息、动作顺序存储起来,还必须将工业机器人动作的时间信息一起存储到存储器中,以便控制工业机器人的运动速度。再现时,工业机器人运动的位置信息从存储器上读出,送到控制器中控制工业机器人完成规定的动作。

值得说明的是,由计算机控制的现代工业机器人大都具有轨迹插补功能。这样,工业机器人在操作使用方便性和工作精度方面都得到了大大提高。

二、工业机器人的编程方法

工业机器人的编程是与其所采用的控制系统相一致的,因而,不同工业机器人的运行程序的编程也有不同的方法,常用的编程方法有示教法和离线编程法等。

1. 手控示教编程

这是一种最简单,也是一种最常用的机器人编程方法。对于点位控制机器人和连续轨迹机器人有着不同的示教方法。点位控制机器人示教编程时,是通过示教盒上的按钮,逐一地使工业机器人的每个运动轴运动,到达需要编程点位置后,操作者就将这一点的位置信息存储在其存储器内。每个控制点的程序都要经过一次这样的编程过程。

而连续轨迹控制机器人示教编程时则通过操作者握住工业机器人的手部,以要求的速度通过需要的路线进行示教,同时由存储器记录每个运动轴的连续位置。但是,由于有些工业机器人传动系统和某些传动元件(如齿轮、丝杆)的关系,不可能由操作者拖着工业机器人的手部进行运动。因而,这类工业机器人往往附设一个没有驱动元件并装有反馈装置的工业机器人模拟机,通过这种模拟机对工业机器人进行示教编程。操作者牵着模拟机通过所要求的路径,同时将每个运动轴的移动信息按一定的频率进行采样,并将采样信息处理后存入计算机。

这种编程方法的优点是直接产生工业机器人的控制程序,较为方便。但也有运动轨迹准确度不高、不能得到正确的运动速度、需要相当大的存储容量等缺点。

2. 离线编程法

由计算机控制的工业机器人一般都采用离线编程法,这种方法与 NC 机床编程方法相

