

工业机器人技术专业人才培养精品教材
“互联网+”创新型教材

工业机器人编程技术

主 编 丁 燕
副主编 金 玉 王军歌



北京邮电大学出版社
[www. buptpress. com](http://www.buptpress.com)

内 容 简 介

本书共5个项目,内容包括工业机器人概述、工业机器人基本操作、工业机器人的 I/O 通信、工业机器人编程与调试、工业机器人典型应用。

本书可作为高等职业院校机械、电气控制、自动化等专业的教材,也可供从事工业机器人操作、调试、维修的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工业机器人编程技术 / 丁燕主编. -- 北京:北京邮电大学出版社,2019.8(2022.11重印)

ISBN 978-7-5635-5846-9

I. ①工… II. ①丁… III. ①工业机器人—程序设计—高等教育—教材 IV. ①TP242.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 185999 号

策划编辑:马子涵 责任编辑:马子涵 封面设计:许胜文

出版发行:北京邮电大学出版社

社 址:北京市海淀区西土城路 10 号

邮政编码:100876

发 行 部:电话:010-62282185 传真:010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销:各地新华书店

印 刷:三河市龙大印装有限公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:13 插页 1

字 数:316 千字

版 次:2019 年 8 月第 1 版

印 次:2022 年 11 月第 4 次印刷

ISBN 978-7-5635-5846-9

定 价:39.80 元

· 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 ·

服务电话:400-615-1233



前言

PREFACE

随着《中国制造 2025》的出台,未来中国制造业将向着智能制造方向迈进。工业机器人在智能制造中的地位非常重要,其在工厂自动化和柔性制造系统中起着关键作用。本书以“符合人才培养需求,知识与技能一体”为指导思想,以培养学生对工业机器人的编程、操作能力为根本目的进行编写。

本书从实用的角度出发,深入浅出地介绍了工业机器人的编程与操作、I/O 通信的使用等内容,使读者结合具体的工业应用案例来对照学习具体的编程指令及参数设置,加深对编程指令的理解。本书可作为高等职业院校机械、电气控制、自动化等专业的教材,也可供从事工业机器人操作、调试、维修的工程技术人员参考。

本书具有如下特色。

(1)采用任务驱动方式编写,教学内容围绕任务展开,每个任务都包括任务描述、知识链接、任务实施、任务评价等环节,任务由简单到复杂,循序渐进地展开。

(2)学习任务服务于实际应用,教学内容涉及工业机器人的编程、调试、通信等知识技能,可以直接与企业中的工业机器人相关工作进行衔接,具有很强的参考性和可操作性。

(3)以培养知识、技能、素质为主线,结合高职院校学生的认知能力和专业特点,按照学习任务合理地安排学习进度与内容。

(4)按照教、学、做相结合的原则进行编写,结合理论实践一体化原则,适用于情境化教学。

本书参考学时为 78 学时,具体分配如下。

项 目	任 务	学时分配
项目一 工业机器人概述	任务一 机器人的定义及发展	6
	任务二 工业机器人的基本组成与分类	
	任务三 认识 ABB 工业机器人	
	任务四 工业机器人的维护与保养	
项目二 工业机器人基本操作	任务一 认识示教器	12
	任务二 示教器的基本操作与设定	
	任务三 认识工业机器人的坐标系	
	任务四 工业机器人的手动操作	
	任务五 转数计数器更新操作	
项目三 工业机器人的 I/O 通信	任务一 认识工业机器人 I/O 通信与 I/O 板	12
	任务二 工业机器人的信号配置	
项目四 工业机器人编程与调试	任务一 认识工业机器人程序数据	32
	任务二 工业机器人程序数据的建立	
	任务三 工业机器人的坐标设定和有效载荷设置	
	任务四 建立 RAPID 程序	
	任务五 基本运动指令	
	任务六 逻辑功能指令	
	任务七 I/O 控制指令	
	任务八 功能函数指令	
	任务九 中断程序 TRAP	
项目五 工业机器人典型应用	任务一 搬运工业机器人应用实例	16
	任务二 焊接工业机器人应用实例	

本书由连云港工贸高等职业技术学校丁燕任主编,金玉、王军歌任副主编。具体编写分工如下:王军歌编写项目一,项目四的任务一至任务三;丁燕编写项目二,项目四的任务四至任务九;金玉编写项目三和项目五。全书由丁燕统稿。苏州市职业大学顾丽亚协助收集了部分相关资料,在此表示感谢。

由于编者水平有限,书中不足之处在所难免,欢迎广大读者批评指正。

编 者



目录

CONTENTS

项目一 工业机器人概述	1
任务一 机器人的定义及发展	2
任务描述	2
知识链接	2
一、机器人的定义	2
二、机器人的发展	3
任务实施	4
任务评价	5
任务二 工业机器人的基本组成与分类	5
任务描述	5
知识链接	6
一、工业机器人的基本组成	6
二、工业机器人的分类	8
任务实施	11
任务评价	11
任务三 认识 ABB 工业机器人	12
任务描述	12
知识链接	12
一、ABB 工业机器人的产生与发展	12
二、ABB 工业机器人的型号及参数	13
三、ABB 工业机器人使用要求	14
四、ABB 工业机器人安全注意事项	15
任务实施	17
任务评价	17
任务四 工业机器人的维护与保养	18

任务描述	18
知识链接	18
一、系统控制柜的维护与保养	18
二、机器人本体的维护与保养	20
三、维护周期	22
任务实施	23
任务评价	23
项目二 工业机器人基本操作	24
任务一 认识示教器	25
任务描述	25
知识链接	25
一、示教器的结构	25
二、示教器的操作	27
任务实施	30
任务评价	31
任务二 示教器的基本操作与设定	32
任务描述	32
知识链接	32
一、设置示教器屏幕方向和亮度	32
二、设置示教器显示语言	33
三、设置工业机器人系统时间	34
四、数据的备份与恢复	34
五、工业机器人常用信息和日志的查看	36
任务实施	37
任务评价	37
任务三 认识工业机器人的坐标系	38
任务描述	38
知识链接	39
一、工业机器人常用坐标系	39
二、工业机器人坐标系切换	40
任务实施	41
任务评价	41
任务四 工业机器人的手动操作	42
任务描述	42

知识链接	42
一、动作模式的类型	42
二、动作模式的切换	43
任务实施	47
任务评价	48
任务五 转数计数器更新操作	49
任务描述	49
知识链接	49
任务实施	54
任务评价	55
项目三 工业机器人的 I/O 通信	56
任务一 认识工业机器人 I/O 通信与 I/O 板	56
任务描述	56
知识链接	57
一、ABB 机器人 I/O 通信种类	57
二、ABB 标准 I/O 板	59
任务实施	66
任务评价	67
任务二 工业机器人的信号配置	67
任务描述	67
知识链接	68
一、ABB 机器人 I/O 板 DSQC 651 通信设置	68
二、Profibus 适配器的连接	75
三、系统输入输出与 I/O 信号的关联	76
任务实施	80
任务评价	82
项目四 工业机器人编程与调试	83
任务一 认识工业机器人程序数据	84
任务描述	84
知识链接	84
任务实施	87
任务评价	87
任务二 工业机器人程序数据的建立	88
任务描述	88

知识链接	88
一、建立程序数据	88
二、工具数据 tooldata 的设定	91
任务实施	106
任务评价	106
任务三 工业机器人的坐标设定和有效载荷设置	107
任务描述	107
知识链接	107
一、工件坐标 wobjdata	107
二、有效载荷 loaddata	114
任务实施	115
任务评价	116
任务四 建立 RAPID 程序	116
任务描述	116
知识链接	117
一、RAPID 程序的组成与基本架构	117
二、创建 RAPID 程序模块	117
三、创建例行程序	120
四、编辑例行程序	121
五、查看 RAPID 程序	124
任务实施	125
任务评价	126
任务五 基本运动指令	127
任务描述	127
知识链接	127
一、基本运动指令的分类	127
二、指令编辑基本操作	130
三、程序调试	131
任务实施	134
任务评价	134
任务六 逻辑功能指令	135
任务描述	135
知识链接	135
一、赋值指令	135
二、条件判断指令	139

三、重复执行判断指令 FOR	142
四、条件判断指令 WHILE	142
五、其他常用指令	143
任务实施	145
任务评价	145
任务七 I/O 控制指令	146
任务描述	146
知识链接	146
一、置位、复位类指令	146
二、信号判断类指令	148
任务实施	152
任务评价	152
任务八 功能函数指令	152
任务描述	152
知识链接	153
一、取绝对值功能 Abs	153
二、偏移功能 Offs	154
任务实施	156
任务评价	156
任务九 中断程序 TRAP	157
任务描述	157
知识链接	157
一、中断程序的基本概念	157
二、中断指令	158
任务实施	160
任务评价	160

项目五 工业机器人典型应用 **161**

任务一 搬运工业机器人应用实例	161
任务描述	161
知识链接	162
一、码垛机器人的运用场合	162
二、码垛机器人的优势	162
任务实施	163
一、用 Smart 组件创建动态输送链 SC_InFeeder	163

二、用 Smart 组件创建夹具 SC_Gripper	171
三、工作站逻辑设定与仿真运行	180
任务评价	185
任务二 焊接工业机器人应用实例	186
任务描述	186
知识链接	186
一、焊接机器人的分类和应用场合	186
二、焊接机器人的优势	189
任务实施	190
任务评价	198
参考文献	200



项目一

工业机器人概述

知识目标

1. 了解机器人的定义及发展；
2. 掌握工业机器人的组成；
3. 掌握工业机器人各个组成部分的功能；
4. 了解常用的 ABB 工业机器人的型号和参数；
5. 掌握 ABB 工业机器人的应用注意事项；
6. 掌握工业机器人的维护和保养知识。

技能目标

1. 能够根据机器人的特征进行分类；
2. 能够根据要求选用 ABB 工业机器人；
3. 能够合理检查控制器的散热情况；
4. 能够采用正确的方法清理示教器；
5. 能够对机器人的本体进行合理的维护；
6. 能够进行轴制动测试。

任务一 机器人的定义及发展

任务描述

了解机器人的定义和各个国家对机器人定义的区别,掌握机器人在我国的标准定义;能够根据机器人的特征对机器人进行分类。

知识链接

一、机器人的定义

由于机器人的应用领域众多、发展速度快,加上它又涉及人类的有关概念,因此,对于机器人,世界各国标准化机构甚至同一国家的不同标准化机构至今尚未形成一个统一、准确、世界所公认严格定义。

例如,欧美国家一般认为,机器人是一种“由计算机控制、可通过编程改变动作的多功能、自动化机械”;而日本作为机器人生产的大国,则将机器人分为“能够执行人体上肢(手和臂)类似动作”的工业机器人和“具有感觉和识别能力,并能够控制自身行为”的智能机器人两大类。

客观地说,欧美国家的机器人定义侧重于其控制方式和功能,其定义和现行的工业机器人比较接近;而日本的机器人定义关注的是机器人的结构和行为特性,而且已经考虑到现代智能机器人的发展需要,其定义更为准确。

作为参考,目前在相关资料中使用较多的机器人定义主要有以下几种。

(1) 国际标准化组织(International Organization for Standardization, ISO)的定义:机器人是一种“自动的、位置可控的、具有编程能力的多功能机械手”,这种机械手具有几个轴,能够借助可编程序操作来处理各种材料、零件、工具和专用装置,执行各种任务。

(2) 日本机器人协会(Japan Robot Association, JRA)将机器人分为工业机器人和智能机器人两大类,工业机器人是一种“能够执行人体上肢(手和臂)类似动作的多功能机器”,智能机器人是一种“具有感觉和识别能力,并能够控制自身行为的机器”。

(3) 美国机器人协会(Robotics Industries Association, RIA)的定义:机器人是一种“用于移动各种材料、零件、工具或专用装置的,通过可编程的动作来执行各种任务的,具有编

程能力的多功能机械手”。

(4)我国国家标准 GB/T 12643—2013《机器人与机器人装备 词汇》的定义:机器人是一种能够自动定位控制,可重复编程的,多功能的、多自由度的操作机构,能搬运材料、零件或操持工具,用于完成各种作业。

以上标准化机构及专门组织对机器人的定义,都是在特定时间所得出的结论,多侧重于工业机器人,但科学技术对未来是无限开放的,当代智能机器人无论在外观还是在功能、智能化程度等方面,都已超出传统工业机器人的范畴。机器人正在不断地向人类活动的各个领域渗透,它所涵盖的内容越来越丰富,其应用领域和发展空间正在不断延伸与扩大,这也是机器人与其他自动化设备的重要区别。

二、机器人的发展

机器人最早用于工业领域,主要用来协助人类完成重复、频繁、单调、长时间的工作,或在高温、粉尘、有毒、辐射、易燃、易爆等恶劣而危险的环境下作业。随着社会进步、科学技术和智能化技术研究的深入,各式各样具有感知、决策、行动和交互能力,可应用于不同领域、各种特殊要求的智能机器人相继被研发出来。机器人已开始进入生产、生活的各个领域,并在其中某些领域逐步取代人类而独立从事相关工作。根据机器人现有的技术水平,人们一般将机器人产品分为以下三代。

1. 第一代机器人

第一代机器人一般是指能通过离线编程或示教操作生成程序,并再现动作的机器人。第一代机器人所使用的技术和数控机床十分相似,既可通过离线编制的程序控制机器人的运动,又可通过手动示教操作(数控机床称为 teach in 操作)记录运动过程生成程序。

第一代机器人的全部行为完全由人控制,它没有分析和推理能力,不能改变程序动作,无智能性,其控制以示教、再现为主,故又称示教再现机器人。第一代机器人现在已经使用和普及,图 1-1-1 所示的工业机器人大都属于第一代机器人。

2. 第二代机器人

第二代机器人装备有一定数量的传感器,它能获取作业环境、操作对象等简单信息,并通过计算机的分析与处理,做出简单的推理,从而适当调整自身的动作和行为。例如,在图 1-1-2 所示的探测机器人上,可通过所安装的摄像头及视觉传感系统,识别图像,判断和规划探测车的运动轨迹,它对外部环境具有一定的适应能力。

第二代机器人已具备一定的感知和简单推理等能力,有一定程度的智能,故又称感知

机器人或低级智能机器人,当前使用的大多数服务机器人或多或少都已经具备第二代机器人的特征。



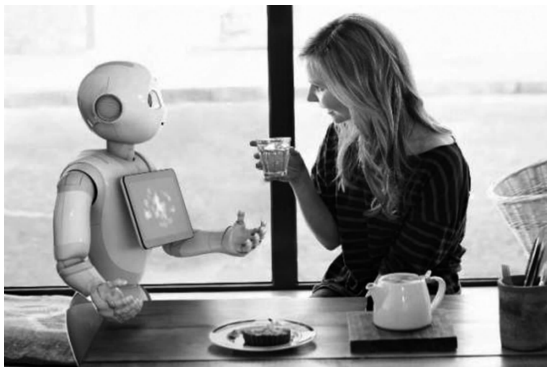
图 1-1-1 第一代机器人



图 1-1-2 第二代机器人

3. 第三代机器人

第三代机器人具有高度的自适应能力,有多种感知机能,可通过复杂的推理做出判断和决策,自主决定机器人的行为,具有相当程度的智能,故称为智能机器人。第三代机器人目前主要用于家庭、个人服务及军事、航天等领域,总体尚处于实验和研究阶段,目前还只有美国、日本、德国等少数发达国家掌握和应用。图 1-1-3 所示为第三代机器人。



(a) 服务型机器人



(b) 护理型机器人

图 1-1-3 第三代机器人

任务实施

- (1) 总结机器人的定义。
- (2) 根据机器人的特征对其进行分类。

任务评价

根据任务完成过程中的表现,在表 1-1-1 中完成任务评价表的填写。

表 1-1-1 任务评价表

项目	评价要素	评价标准	自我评价	小组评价	综合评价
知识准备	资料准备	参与资料收集、整理,自主学习			
	计划制订	能初步制订计划			
	小组分工	分工合理,协调有序			
任务过程	机器人定义	内容的掌握、理解程度			
	定义的区别	内容的掌握、理解程度			
	机器人的发展	内容的掌握、理解程度			
	机器人的分类	内容的掌握、理解程度			
	总结	内容的掌握、理解程度			
拓展能力	知识迁移	能实现前后知识的迁移			
	应变能力	能举一反三,提出改进建议或方案			
学习态度	主动程度	自主学习,主动性强			
	合作意识	协作学习,能与同伴团结合作			
	严谨细致	仔细认真,不出差错			
	问题研究	能在实践中发现问题,并用理论知识解决实践中的问题			
安全规程		遵守操作规程,安全操作			

任务二 工业机器人的基本组成与分类**任务描述**

本任务学习工业机器人的基本组成和分类,通过学习掌握工业机器人的主要组成部分及各个部分的主要功能,能够根据不同的特征对工业机器人进行分类。

一、工业机器人的基本组成

工业机器人是一种功能完整、可独立运行的典型机电一体化设备,它有自身的控制器、驱动系统和操作界面,可对其进行手动、自动操作及编程,能依靠自身的控制能力来实现所需要的功能。广义上的工业机器人是由机器人及相关附加设备组成的完整系统,总体可分为机器人本体、电气控制柜和示教器三大部分,如图 1-2-1 所示。

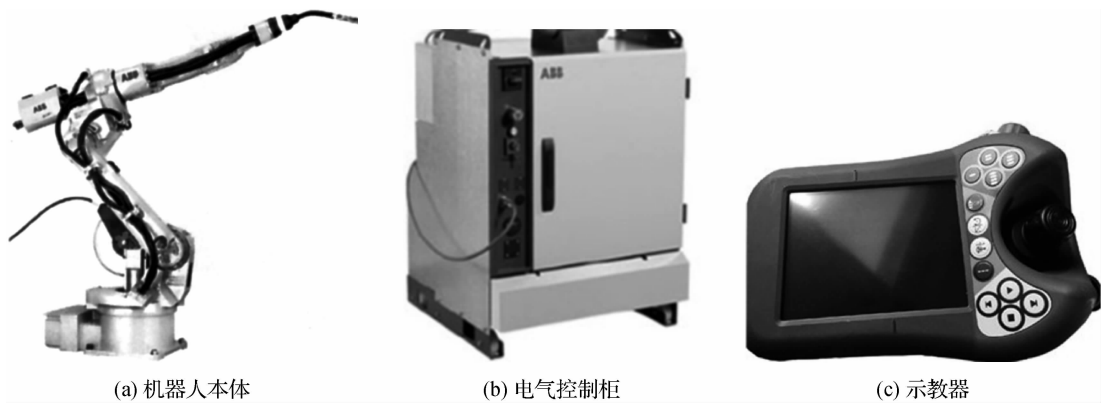


图 1-2-1 工业机器人的组成部分

工业机器人系统的机械部件包括机器人本体、末端执行器、变位器等;电气控制系统主要包括控制器、驱动器、操作单元、上级控制器等。其中,机器人本体、末端执行器及控制器、驱动器、操作单元是机器人必需的基本组成部件,所有机器人都必须配备。

1. 机器人本体

机器人本体又称操作机,它是用来完成各种作业的执行机构,包括机械部件及安装在机械部件上的驱动电机、传感器等。

机器人本体的形态各异,但绝大多数由若干关节(joint)和连杆(link)连接而成,以常用的六轴垂直串联型(vertical articulated)工业机器人为例,其运动主要包括整体回转(腰关节)、下臂摆动(肩关节)、上臂摆动(肘关节)、腕回转和弯曲(腕关节)等。机器人本体的典型结构如图 1-2-1(a)所示,其主要组成部件包括手部、腕部、上臂、下臂、腰部、基座等。

机器人的手部安装有末端执行器,它既可以安装类似人类的手爪,也可以安装吸盘或其他各种作业工具;腕部用来连接手部和手臂,起到支撑手部的作用;上臂用来连接腕部和下臂,上臂可回绕下臂摆动,实现手腕大范围的上下(俯仰)运动;下臂用来连接上臂和腰部,并可回绕腰部摆动,以实现手腕大范围的前后运动;腰部用来连接下臂和基座,它可以

在基座上回转,以改变整个机器人的作业方向;基座是整个机器人的支持部分。机器人的基座、腰、下臂、上臂通称机身,机器人的腕部和手部通称手腕。

机器人的末端执行器又称工具,它是安装在机器人手腕上的作业机构。末端执行器与机器人的作业要求、作业对象密切相关,一般需要由机器人制造厂和用户共同设计与制造。例如,用于装配、搬运、包装的机器人需要配置吸盘、手爪等用来抓取零件、物品的夹持器,而加工类机器人需要配置用于焊接、切割、打磨等加工的焊枪、割枪、铣头、磨头等各种工具或刀具等。

2. 电气控制系统

在机器人电气控制系统中,上级控制器仅用于复杂系统各种机电一体化设备的协同控制、运行管理和调试编程。它通常以网络通信的形式与机器人控制器进行信息交换,因此,它实际上属于机器人电气控制系统的外部设备;而机器人控制器、操作单元、伺服驱动器及辅助控制电路则是机器人控制必不可少的系统部件。电气控制系统各组成部件的功能如下。

1) 机器人控制器

机器人控制器是用于机器人坐标轴位置和运动轨迹控制的装置,输出运动轴的插补脉冲,其功能与数控装置(CNC)非常类似。控制器的常用结构有工业计算机型和 PLC 型两种。

工业计算机(工业 PC)型机器人控制器的主机和通用计算机并无本质区别,但机器人控制器控制需要增加传感器、驱动器接口等硬件,这种控制器的兼容性好、软件安装方便、网络通信容易。PLC(可编程控制器)型控制器以类似 PLC 的 CPU 模块作为中央处理器,然后通过选配各种 PLC 功能模块,如测量模块、轴控制模块等,来实现对机器人的控制,这种控制器的配置灵活,模块通用性好,可靠性高。

2) 驱动器

驱动器实际上是用于控制器的插补脉冲功率放大的装置,实现驱动电机位置、速度、转矩控制,通常安装在控制柜内。驱动器的形式决定于驱动电机的类型,伺服电机需要配套伺服驱动器,步进电机则需要使用步进驱动器。机器人目前常用的驱动器以交流伺服驱动器为主,它有集成式、模块式和独立型三种基本结构形式。

集成式驱动器的全部驱动模块集成一体,电源模块可以独立或集成,这种驱动器的结构紧凑、生产成本低,是目前使用较为广泛的结构形式。模块式驱动器的电源模块为公用,驱动模块独立,驱动器需要统一安装。集成式、模块式驱动器不同控制轴间的关联性强,调试、维修和更换相对比较麻烦。独立型驱动器的电源和驱动电路集成一体,每一轴的驱动器可独立安装和使用,因此,其安装使用灵活、通用性好,调试、维修和更换也较方便。

3) 辅助控制电路

辅助控制电路主要用于控制器、驱动器电源的通断控制和接口信号的转换。由于工业机器人的控制要求类似,接口信号的类型基本统一,为了缩小体积、降低成本、方便安装,辅助控制电路常被制成标准的控制模块。

3. 示教器

工业机器人的现场编程一般通过示教操作实现,它对操作单元的移动性能和手动性能的要求较高,但其显示功能一般不及数控系统,因此,机器人的操作单元以手持式为主,习惯上称之为示教器。

在电气控制柜中,示教器是用于工业机器人操作、编程及数据输入/显示的人机界面。为了方便使用,示教器一般为可移动式悬挂部件,其他控制部件通常统一安装在电气控制柜内。

传统的示教器由显示器和按键组成,操作者可通过按键直接输入命令操作。目前常用的示教器为菜单式,它由显示器和操作菜单键组成,操作者可通过操作菜单选择需要的操作。先进的示教器使用了与目前智能手机同样的触摸屏和图标界面,这种示教器的最大优点是可直接通过 Wi-Fi 连接控制器和网络,从而省略了示教器和控制器间的连接电缆;智能手机型操作单元使用灵活方便,是适合网络环境下使用的新型操作单元。

AR

二、工业机器人的分类

1. 按操作机坐标形式分类

操作机的坐标形式是指操作机的手臂在运动时所取的参考坐标系的形式。按操作机机械坐标形式,工业机器人可分为直角坐标型工业机器人、圆柱坐标型工业机器人、球坐标型工业机器人、多关节型工业机器人和平面关节型工业机器人。

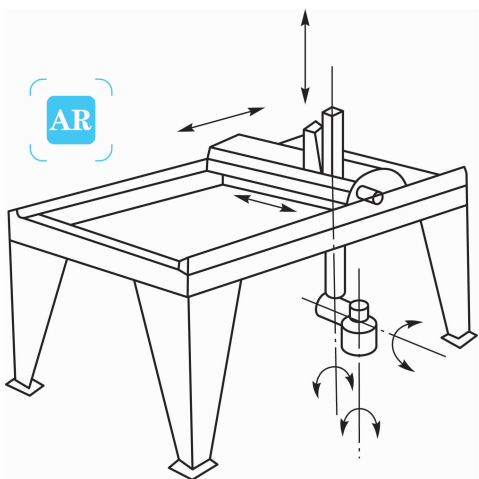


图 1-2-2 直角坐标型工业机器人

1) 直角坐标型工业机器人

直角坐标型工业机器人的运动形式由三个相互垂直的直线移动组成的运动系统来实现,如图 1-2-2 所示,其工作空间图形为长方体。

直角坐标型工业机器人各个轴向的移动距离可在各个坐标轴上直接读出,直观性强;易于位置和姿态的编程计算,定位精度最高,控制无耦合,结构简单。但其机体所占空间体积大,动作范围小,灵活性较差,难与其他工业机器人协调工作。

2) 圆柱坐标型工业机器人

圆柱坐标型工业机器人的运动形式是通过一个转动和两个移动组成的运动系统来实现的,其工作空间图形为圆柱形,如图 1-2-3 所示。

与直角坐标型工业机器人相比,在相同的工作空间条件下,圆柱坐标型工业机器人机体所占体积小,而运动范围大。其位置精度仅次于直角坐标型工业机器人,与其他机器人协调工作难。

3) 球坐标型工业机器人

球坐标型工业机器人又称极坐标型工业机器人,其手臂的运动由两个转动和一个直线移动所组成,如图 1-2-4 所示。

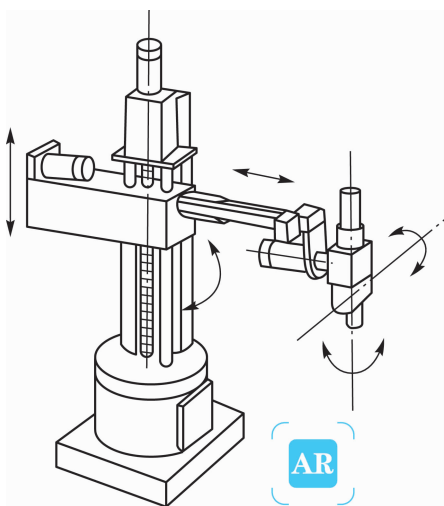


图 1-2-3 圆柱坐标型工业机器人

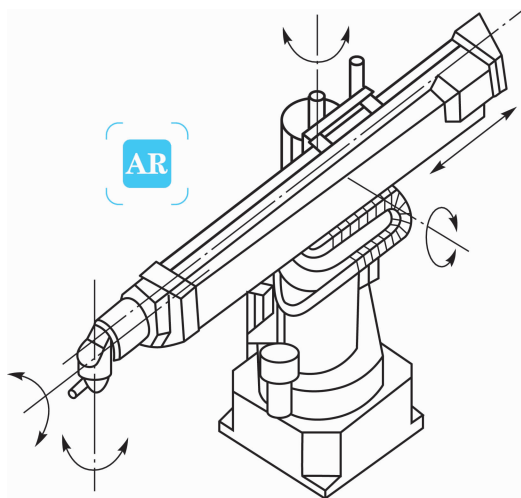


图 1-2-4 球坐标型工业机器人

球坐标型工业机器人的工作空间为一球体,可以做上下俯仰动作并能抓取地面上或较低位置的工件,具有结构紧凑、工作空间范围大的特点,能与其他工业机器人协调工作。其位置精度尚可,位置误差与臂长成正比。

4) 多关节型工业机器人

多关节型工业机器人又称回转坐标型工业机器人,它的手臂与人体上肢类似,前三个关节都是回转副。多关节型工业机器人由立柱和大小臂组成。立柱与大臂间形成肩关节,大臂与小臂间形成肘关节,可使大臂做回转运动和俯仰摆动,小臂做俯仰摆动,如图 1-2-5 所示。

多关节型工业机器人结构紧凑,灵活性大,占地面积最小,工作空间最大,能与其他工业机器人协调工作。目前,这种机器人的应用越来越广泛。但是其位置控制精度较低,存在平衡问题,控制耦合也比较复杂。

5) 平面关节型工业机器人

平面关节型工业机器人采用一个移动关节和两个回转关节,移动关节实现上下运动,

两个回转关节则控制前后、左右运动,如图 1-2-6 所示。

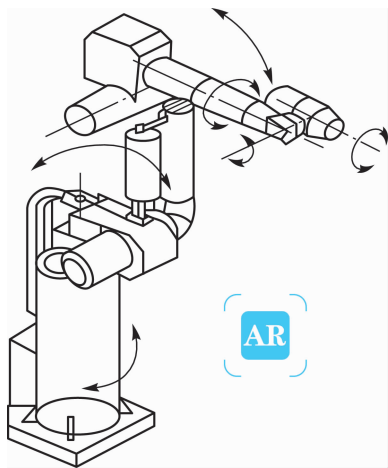


图 1-2-5 多关节型工业机器人

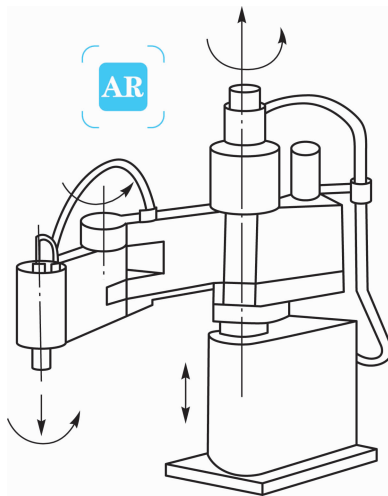


图 1-2-6 平面关节型工业机器人

平面关节型工业机器人又称 SCARA 装配机器人,其在水平方向具有柔顺性,而在垂直方向有较大的刚性。其结构简单、动作灵活,多用于装配作业中,特别适合小规格零件的插接装配,如在电子工业零件的插接、装配中应用广泛。

AR

2. 按控制方式分类

按控制方式,工业机器人可分为点位控制工业机器人和连续轨迹控制工业机器人。

1) 点位控制工业机器人

点位控制工业机器人采用点到点的控制方式,它只在目标点处准确控制工业机器人手部的位姿,完成预定的操作要求,而不对点与点之间的运动过程进行严格的控制。目前应用的工业机器人中,多数属于点位控制方式,如上下料搬运机器人、点焊机器人等。

2) 连续轨迹控制工业机器人

连续轨迹控制工业机器人各关节同时做受控运动,准确控制工业机器人手部按预定轨迹和速度运动,而手部的姿态也可以通过腕关节的运动得以控制。弧焊、喷漆和检测机器人均属连续轨迹控制方式。

3. 按驱动方式分类

按驱动方式,工业机器人可分为气动式工业机器人、液压式工业机器人和电动式工业机器人。

1) 气动式工业机器人

气动式工业机器人以压缩空气来驱动操作机。其优点是空气来源方便,动作迅速,结

构简单,造价低,无污染,适合防爆环境。其缺点是空气具有可压缩性,导致工作速度的稳定性较差,又因为气源压力只有 6 kPa 左右,所以抓举力较小,一般只有几十牛顿,最大也只有百余牛顿。

2) 液压式工业机器人

因为液压比气压压力高,一般为 70 kPa 左右,故液压式工业机器人具有较大的抓举能力,可达上千牛顿。这类工业机器人结构紧凑,传动平稳,动作灵敏,但对密封要求较高,且不宜在高温、低温和易燃易爆环境下工作。

3) 电动式工业机器人

电动式工业机器人是目前用得最多的一类工业机器人。电动机品种众多,为工业机器人设计提供了多种选择,而且可运用多种灵活的控制方法。

早期机器人多采用步进电机驱动,后来发展了直流伺服驱动单元,目前交流伺服驱动单元也在迅速发展。

任务实施

- (1) 认识工业机器人的各个组成部分。
- (2) 说明工业机器人各个部分的主要功能。
- (3) 按控制方式对实训室的工业机器人进行分类。

任务评价

根据任务完成过程中的表现,在表 1-2-1 中完成任务评价表的填写。

表 1-2-1 任务评价表

项目	评价要素	评价标准	自我评价	小组评价	综合评价
知识准备	资料准备	参与资料收集、整理,自主学习			
	计划制订	能初步制订计划			
	小组分工	分工合理,协调有序			
任务过程	工业机器人的组成部分	认知清楚、概念清晰			
	工业机器人的主体组成	认知清楚、概念清晰			
	电气控制系统的作用	认知清楚、概念清晰			
	示教器的作用	认知清楚、概念清晰			
	总结	认知清楚、概念清晰			
拓展能力	知识迁移	能实现前后知识的迁移			
	应变能力	能举一反三,提出改进建议或方案			

续表

项目	评价要素	评价标准	自我评价	小组评价	综合评价
学习态度	主动程度	自主学习,主动性强			
	合作意识	协作学习,能与同伴团结合作			
	严谨细致	仔细认真,不出差错			
	问题研究	能在实践中发现问题,并用理论知识解决实践中的问题			
安全规程		遵守操作规程,安全操作			

任务三 认识 ABB 工业机器人

任务描述

通过该任务的学习,了解 ABB 工业机器人的发展,掌握常用 ABB 工业机器人的型号和参数、ABB 工业机器人应用的注意事项。

知识链接

一、ABB 工业机器人的产生与发展

ABB 致力于研发、生产机器人已有 50 年的历史。ABB 在瑞典、挪威和中国等地设有机器人研发、制造和销售基地。ABB 于 1969 年售出全球第一台喷涂机器人,1974 年发明了世界上第一台工业机器人。

ABB 机器人早在 1994 年就进入中国市场。经过 20 多年的发展,在中国,ABB 先进的机器人自动化解决方案和包括白车身、冲压自动化、动力总成和涂装自动化在内的四大系统正为各大汽车整车厂和零部件供应商,以及消费品、铸造、塑料和金属加工工业提供全面完善的服务。2005 年,ABB 在上海开始制造工业机器人并建立了国际领先的机器人生产线,同年,机器人研发中心在上海设立。

ABB 机器人的发展里程碑如下。

1974 年,世界上第一台工业机器人诞生。

1979 年,成套生产机器人焊接系统。

- 1983 年,采用带操纵杆的示教器。
- 1986 年,采用交流伺服电机。
- 1991 年,采用中空手腕。
- 1998 年,离线编程新突破。
- 1998 年,开始生产世界上运行最快的机器人。
- 2001 年,开始生产最大承载为 500 kg 的机器人。
- 2009 年,研制出当时全球精度最高、速度最快、质量为 25 kg 的六轴小型工业机器人 IRB 120。
- 2011 年,研制出全球最快码垛机器人 IRB 460。
- 2014 年,研制出全球首台真正意义上可实现人机协作的机器人 Yumi。
-

二、ABB 工业机器人的型号及参数

1. IRB 1410

IRB 1410 尺寸如图 1-3-1 所示。

1) 主要技术参数

到达距离:1.44 m。

重复定位精度:0.05 mm。

6 轴承重:5 kg。

1 轴工作范围: $\pm 170^\circ$ 。

1 轴负载 19 kg(如送丝盘),3 轴负载 18 kg(如送丝机)。

2) 选型注意

无法倒挂使用,不能同时与一个以上的外部轴协调。

3) 特点

(1) 可靠性好,坚固耐用。IRB 1410 以其坚固可靠的结构而著称,而由此带来的其他优势是噪声低,例行维护间隔时间长,使用寿命长。

(2) 稳定、可靠,适用范围广。卓越的控制水平,重复定位精度达 0.05 mm,确保了出色的工作质量。该机器人工作范围大,到达距离长(最长 1.44 m),结构紧凑,手腕极为纤细,即使在条件苛刻、限制颇多的场所,仍能实现高性能操作。承重能力为 5 kg,上臂可承受 18 kg 的附加载荷。

(3) 高速,较短的工作周期。机器人本体坚固,配备快速精确的 IRC5 控制器,可有效

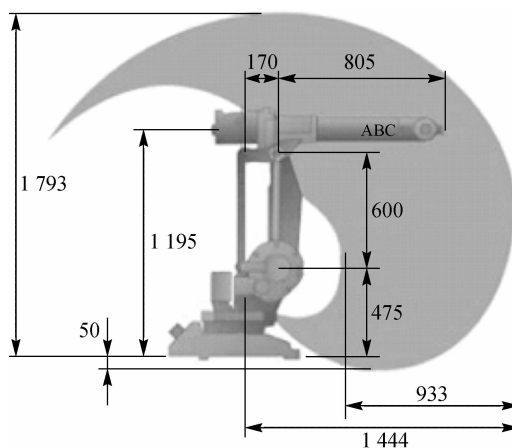


图 1-3-1 IRB 1410 尺寸

缩短工作周期,提高生产率。

(4)专为弧焊设计。IRB 1410 采用优化设计,设有送丝机走线安装孔,为机械臂搭载工艺设备提供便利。标准 IRC5 机器人控制器内置各项人性化弧焊功能,可通过拥有专利的编程操作手持终端进行操控。

2. IRB 1600

IRB 1600 尺寸如图 1-3-2 所示。

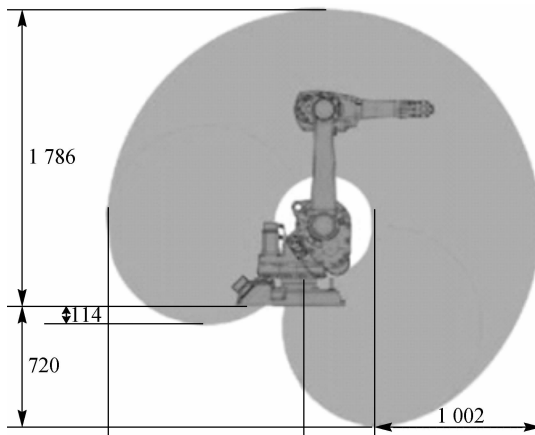


图 1-3-2 IRB 1600 尺寸

1) 主要技术参数

到达距离:1.2 m 或 1.45 m。

重复定位精度:0.05 mm。

6 轴承重:5 kg 或 7 kg。

1 轴工作范围: $\pm 180^\circ$ 。

质量:250 kg。

2) 选型注意

可倒置、壁挂、倾斜安装。

壁挂安装时 1 轴动作范围只有 $\pm 20^\circ$,后仰及下探工作范围大,有铸造版、清洗版。

3) 特点

(1)可靠性强,正常运行时间长。具有平均故障间隔时间(MTBF)长、维护要求低、维护时间短等多项优点。

(2)速度快,工作循环时间短。同类机器人中操作速度最快,工作循环时间短。

(3)精度高,零件生产质量稳定。具有极高的重复定位精度(± 0.05 mm)和轨迹精度。

(4)坚固耐用,适合恶劣生产环境。IP67 防护等级,洁净室 ISO 5 级,可蒸汽清洗,有“铸造专家型”备选。

(5)ABB 洁净室型机器人经过特殊工艺制造而成,全面检测包装,最大限度减少操作中产生的微粒。

(6)通用性佳,柔性化集成和生产。采用后弯式设计,提供多种安装选项,如墙面安装、地面安装、倒置安装和倾斜安装等。

三、ABB 工业机器人使用要求

工业机器人是综合应用计算机、自动控制、自动检测及精密机械装置等高新技术的产物,是技术密集度及自动化程度很高的典型机电一体化加工设备。使用工业机器人的优越

性显而易见,不仅精度高、产品质量稳定,而且自动化程度极高,可大大减轻工人的劳动强度,提高生产效率。特别值得一提的是,工业机器人可完成一般人工操作难以完成的精密工作,如激光切制、精密装配等,因而机器人在自动化生产中的地位越来越重要。但是,我们要清醒地认识到,能否达到工业机器人的以上优点,还要看操作者在生产中能不能恰当、正确地使用,减少工业机器人因不当操作而损坏的情况。

1. 遵循正确的操作规程

不管是哪种工业机器人,它都有自己的操作规程。正确的操作规程既是保证操作人员安全,也是保证设备安全、产品质量等的重要措施。使用者在初次操作机器人时,必须认真阅读设备提供商提供的使用说明书,按照操作规程正确操作。机器人在第一次使用或长期没有使用时,应先慢速手动操作其各轴进行运动。如有需要,还要进行机械原点的校准,这些内容初学者应高度重视,因为缺乏相应的操作培训,往往在这方面容易犯错。

2. 提高操作人员的综合素质

工业机器人的使用有一定的难度,因为工业机器人是典型的机电一体化产品,它涉及的知识面较宽,即操作者应具有机、电、液、气等领域的专业知识,因此对操作人员提出的素质要求是很高的。目前,一个不可忽视的现象是工业机器人的用户越来越多,但工业机器人利用率还不算高,当然有时是生产任务不足造成的,还有一个更为关键的因素是工业机器人的操作人员素质不够高,碰到一些问题时不知如何处理。这就要求使用者具有较高的素质,能冷静对待问题,头脑清醒,现场判断能力强,当然还应具有较扎实的自动化控制技术基础等。

3. 提高机器人的使用率

工业机器人购进后,如果它的开动率不高,不但使用户投入的资金不能起到再生产的作用,而且很可能因过保修期,设备发生故障而需要支付额外的维修费用。在保修期内尽量多地发现问题,平常缺少生产任务时也不能空闲不用。设备如果长期不用,可能会由于受潮等原因加快电子元器件的变质或损坏,并出现机械部件的锈蚀问题。使用者要定期对机器人通电,使之空运行 1 h 左右。

四、ABB 工业机器人安全注意事项

1. 关闭总电源

在进行机器人的安装、维修和保养时切记要将总电源关闭。带电作业可能会产生致命

后果。如不慎遭高压电击,可能会导致烧伤、心跳停止或其他严重伤害。

2. 与机器人保持足够安全距离

在调试与运行机器人时,它可能会执行一些意外的或不规范的运动,并且所有的运动都会产生很大的力量,从而严重伤害个人或损坏机器人工作范围内的设备,所以应时刻与机器人保持足够的安全距离。

3. 静电放电危险防护

静电放电(ESD)是电势不同的两个物体间的静电传导,它可以通过直接接触传导,也可以通过感应电场传导。搬运部件或部件容器时,未接地的人员可能会传导大量的静电荷,这一放电过程可能会损坏敏感的电子设备。所以在有此标识的情况下,要做好静电放电防护。

4. 紧急停止

紧急停止优先于任何其他机器人控制操作。它会断开机器人电动机的驱动电源,停止所有运转部件,并切断由机器人系统控制且存在潜在危险的功能部件的电源。

5. 灭火

发生火灾时,确保全体人员安全撤离后再行灭火。应首先处理受伤人员,当电气设备(如机器人或控制器)起火时,使用一氧化碳灭火器。切勿使用水或泡沫灭火器。

6. 工作中的安全

机器人速度慢,但运动中的停顿或停止都会产生危险。即使可以预测运动轨迹,但外部信号有可能改变操作,会在没有任何警告的情况下产生预想不到的运动。因此,当进入保护空间时,务必遵循所有的安全条例。

- (1)如果在保护空间内有工作人员,请手动操作机器人系统。
- (2)当进入保护空间时,请准备好示教器,以便随时控制机器人。
- (3)注意旋转或运动的工具,确保在接近机器人之前工具已经停止运动。
- (4)机器人电动机长期运转后温度很高,应注意工件和机器人系统的高温表面。
- (5)如果夹具打开,工件会脱落并导致人员伤害或设备损坏,应注意夹具并确保夹好工件。
- (6)注意液压、气压系统及带电部件。即使断电,这些电路上的残余电量也很危险。

7. 示教器的安全

示教器 FlexPendant 是一种高品质的手持式终端,它配备了高灵敏度的电子设备。为避免操作不当引起的故障或损害,应在操作时遵循以下说明。

(1)小心操作,不要摔打、抛掷或重击示教器,这样会导致破损或故障。在不使用该设备时,将它挂到专门存放它的支架上,以防意外掉到地上。

(2)示教器的使用和存放应避免被人踩踏电缆。

(3)切勿使用锋利的物体(如螺钉旋具或笔尖)操作触摸屏,否则会使触摸屏受损。应用手指或触摸笔操作示教器触摸屏。

(4)定期清洁触摸屏。灰尘和小颗粒可能会挡住屏幕,造成故障。

(5)切勿使用溶剂、洗涤剂或擦洗海绵清洁示教器。使用软布蘸少量水或中性清洁剂清洁。

(6)没有连接 USB 设备时务必盖上 USB 端口的保护盖。如果端口暴露到灰尘中,那么它会中断或发生故障。

8. 手动模式下的安全

在手动减速模式下,机器人只能减速(250 mm/s 或更慢)操作。只要在安全保护空间内工作,就应始终以手动速度进行操作。

在手动全速模式下,机器人以程序预设速度移动。手动全速模式应仅用于所有人员都位于保护空间之外时,而且操作人员必须经过特殊训练,熟知潜在的危险。

9. 自动模式下的安全

自动模式用于车间生产中运行机器人程序。在自动模式下,常规模式停止(GS)机制、自动模式停止(AS)机制和上级停止(SS)机制都将处于活动状态。

任务实施

- (1)简述 ABB 工业机器人的发展。
- (2)了解常用 ABB 工业机器人的型号。
- (3)ABB 工业机器人的应用注意事项。

任务评价

根据任务完成过程中的表现,在表 1-3-1 中完成任务评价表的填写。

表 1-3-1 任务评价表

项目	评价要素	评价标准	自我评价	小组评价	综合评价
知识准备	资料准备	参与资料收集、整理,自主学习			
	计划制订	能初步制订计划			
	小组分工	分工合理,协调有序			
任务过程	ABB 工业机器人的发展	操作正确性、熟练程度			
	ABB 工业机器人的型号	操作正确性、熟练程度			
	应用的注意事项	操作正确性、熟练程度			
	总结	操作正确性、熟练程度			
拓展能力	知识迁移	能实现前后知识的迁移			
	应变能力	能举一反三,提出改进建议或方案			
学习态度	主动程度	自主学习,主动性强			
	合作意识	协作学习,能与同伴团结合作			
	严谨细致	仔细认真,不出差错			
	问题研究	能在实践中发现问题,并用理论知识解决实践中的问题			
安全规程		遵守操作规程,安全操作			

任务四 工业机器人的维护与保养

任务描述

本任务主要介绍工业机器人的维护和保养的知识,先进行理论讲解,然后对工业机器人进行实际检查、维护,应掌握工业机器人维护和保养的知识点与实际操作技能。

知识链接

工业机器人在恶劣条件下运行,所以必须定期进行常规检查和预防性维护。

一、系统控制柜的维护与保养

1. 检查控制器散热

确保以下影响散热的因素无一出现。

- (1) 控制器覆盖了塑料或其他材料。
- (2) 控制器后面和侧面没有留出足够间隔(>120 mm)。
- (3) 控制器的位置靠近热源。
- (4) 控制器顶部放有杂物。
- (5) 控制器过脏。
- (6) 一台或多台冷却风扇不工作。
- (7) 风扇进口或出口堵塞。
- (8) 空气滤布过脏。

2. 示教器清洁

应从实际需要出发按适当的频度清洁示教器；尽管面板漆膜能耐受大部分溶剂的腐蚀，但仍应避免接触丙酮等强溶剂；若有条件，示教器不用时应拆下并放置在干净的场所。

3. 清洗控制器内部

应根据环境条件按适当间隔（如每年一次）清洁控制器内部；须特别注意冷却风扇和进风口/出风口的清洁。清洁时使用除尘刷，并用吸尘器吸去刷下的灰尘。请勿用吸尘器直接清洁各部件，否则会导致静电放电，进而损坏部件。

注意：清洁控制器内部前，一定要切断电源！

4. 清洗/更换滤布

- (1) 找到控制柜的滤布。
- (2) 提起并去除滤布架。
- (3) 取下滤布架上的旧滤布。
- (4) 将新滤布插入滤布架。
- (5) 将装有新滤布的滤布架滑入就位。

注意：除更换滤布外，也可选择清洗滤布。在加有清洁剂的 30~40 °C 水中清洗滤布 3~4 次。不得拧干滤布，可以将滤布放置在平坦表面晾干，也可以用洁净的压缩空气将其吹干净。

5. 更换电池

每月和长假前，必须在硬件报警中查看是否有 SMB 电池电量不足报警，SMB 电池电量消耗完后会造成零位丢失。SMB 电池为一次性电池（非充电电池）。电池需要更换时，消息日志会出现一条信息。该信息出现后电池电量可维持约 1 800 h（建议在上述信息出现时更换电池）。SMB 电池仅在控制柜“断电”的情况下工作，其使用寿命约 7 000 h。

如需更换 SMB 电池,必须先手动操作,分别将机器人 1~6 轴回零位,否则会导致机器人零位丢失。

6. 检查冷却器

冷却回路采用免维护密闭系统设计,需按要求定期检查和清洁外部空气回路的各个部件;环境湿度较大时,需检查排水口是否定期排水。

操作步骤如下。

- (1) 拆下冷却器外壳的百叶窗,断开显示器接头。
- (2) 从百叶窗取下滤布(若有),用吸尘器清洁滤布,或视需要更换。
- (3) 拧下 4 个螺钉,卸下外部回路风扇。
- (4) 拔下风扇接头。
- (5) 拧下 4 个螺钉,取下盖板。
- (6) 将显示器电缆向后推,穿过电缆接头。
- (7) 拆下冷却器外壳的盖板。
- (8) 拆下盖板与外壳间的接地电缆。

(9) 用吸尘器或压缩空气清理百叶窗、盖板、风扇、热交换器盘管和压缩机室。可使用去油剂等不易燃洗涤剂去除顽固油污。

二、机器人本体的维护与保养

1. 一般维护

1) 清洗机械手

应定期清洗机械手底座和手臂。使用溶剂时需谨慎操作,避免使用丙酮等强溶剂。可使用高压清洗设备,但应避免直接向机械手喷射。如果机械手有油脂膜等保护,应按要求去除(避免使用塑料保护)。为防止产生静电,必须使用浸湿或潮湿的抹布擦拭非导电表面,如喷涂设备、软管等。请勿使用干布。

2) 中空手腕

如有必要,中空手腕视需要清洗,以避免灰尘和颗粒物堆积。用不起毛的布料进行清洁。中空手腕清洗后,可在手腕表面添加少量凡士林或类似物质,以后清洗时更加方便。

3) 定期检查

视需要经常检查下列要点。

- (1) 检查是否漏油,如发现严重漏油,应向维修人员求助。
- (2) 检查齿轮游隙是否过大,如发现游隙过大,应向维修人员求助。

(3)检查控制柜、吹扫单元、工艺柜和机械手间的电缆是否受损。

4)检查基础固定螺钉

将机械手固定于基础上的紧固螺钉和固定夹必须保持清洁,不可接触水、酸碱溶液等腐蚀性液体,以避免紧固件腐蚀。如果镀锌层或涂料等防腐蚀保护层受损,需清洁相关零件并涂以防腐蚀涂料。

2. 轴制动测试

在操作过程中,每个轴电机制动器都会正常磨损。为确定制动器是否正常工作,必须按照以下所述检查每个轴电机制动器。

(1)运行机械手轴至相应位置,该位置机械手臂总质量及所有负载量达到最大值(最大静态负载)。

(2)电机断电。

(3)检查所有轴是否维持在原位。

如电机断电时机械手仍没有改变位置,则制动力矩足够。还可手动移动机械手,检查是否还需要进一步的保护措施。当移动机器人紧急停止时,制动器会帮助停止,因此可能会产生磨损。所以,在机器使用寿命期间需要反复测试,以检验机器是否维持着原来的能力。

3. 润滑 3 轴副齿轮和齿轮

工具和用品:K-NATE(或 Omega 77)润滑脂、润滑脂泵。

操作步骤如下。

(1)开始执行步骤前,确保机器人及相关系统关闭并处于锁定状态。

(2)将指定类型润滑脂注入润滑脂泵。

(3)每个油嘴中挤入少许(1 g)润滑脂,注意不要挤入太多,以免破坏密封。

4. 润滑中空手腕

工具和用品:K-NATE(或 Omega 77)润滑脂、润滑脂泵。

每个注脂嘴只需几滴润滑剂(1 g)。不要注入过量润滑剂,否则会损坏腕部密封和内部套筒。将轴 4、5、6 分别转动 90°、180°、270°后再润滑。

5. 检查齿轮箱内油位

工业机器人齿轮箱加油塞如图 1-4-1 所示。

1 轴:打开加油塞 1 和加油塞 3 或 5。

2 轴:打开加油塞 4 和加油塞 2 或 6。

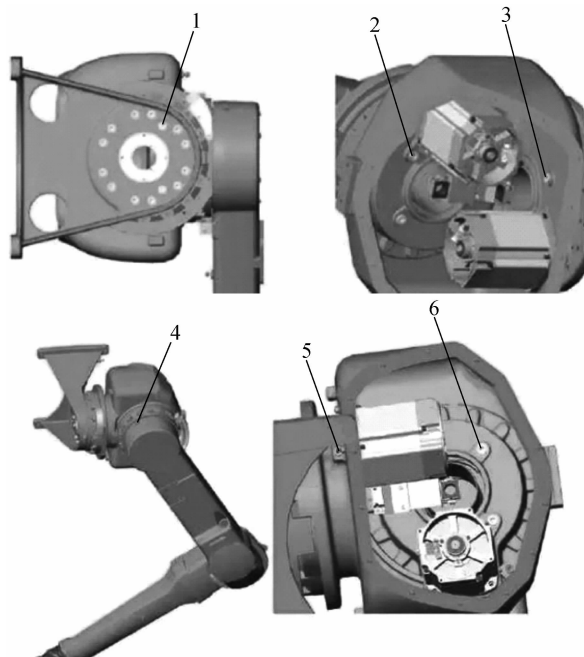


图 1-4-1 工业机器人齿轮箱加油塞

3 轴:打开加油塞 1。

4、5、6 轴:打开加油塞 2 或 3。

注意:3 轴臂必须水平放置。

三、维护周期

工业机器人维护周期如下。

- (1)一般维护,1 次/天。
- (2)清洗/更换滤布,1 次/500 小时。
- (3)测量系统电池的更换,2 次/7 000 小时。
- (4)计算机风扇单元的更换、伺服风扇单元的更换,1 次/50 000 小时。
- (5)检查冷却器,1 次/月。
- (6)轴制动测试,1 次/天。
- (7)润滑 3 轴副齿轮和齿轮,1 次/1 000 小时。
- (8)润滑中空手腕,1 次/500 小时。
- (9)各齿轮箱内的润滑油,第一次使用满 1 年更换,以后每 5 年更换一次。

时间间隔主要取决于环境条件,视机器人运行时数和温度而定;适当确定机器人的运行顺畅与否。

任务实施

- (1)检查控制器散热的问题,是否有影响散热的因素。
- (2)清洁示教器。
- (3)检查冷却器的位置。
- (4)检查并清洁机械手和空中手腕。
- (5)润滑各个轴。
- (6)了解各个部分的维护频率。

任务评价

根据任务完成过程中的表现,在表 1-4-1 中完成任务评价表的填写。

表 1-4-1 任务评价表

项目	评价要素	评价标准	自我评价	小组评价	综合评价
知识准备	资料准备	参与资料收集、整理,自主学习			
	计划制订	能初步制订计划			
	小组分工	分工合理,协调有序			
任务过程	控制器散热检查	操作正确性、熟练程度			
	清洁示教器	操作正确性、熟练程度			
	检查冷却器	操作正确性、熟练程度			
	工业机器人一般维护	操作正确性、熟练程度			
	轴制动测试	操作正确性、熟练程度			
拓展能力	知识迁移	能实现前后知识的迁移			
	应变能力	能举一反三,提出改进建议或方案			
学习态度	主动程度	自主学习,主动性强			
	合作意识	协作学习,能与同伴团结合作			
	严谨细致	仔细认真,不出差错			
	问题研究	能在实践中发现问题,并用理论知识解决实践中的问题			
安全规程		遵守操作规程,安全操作			