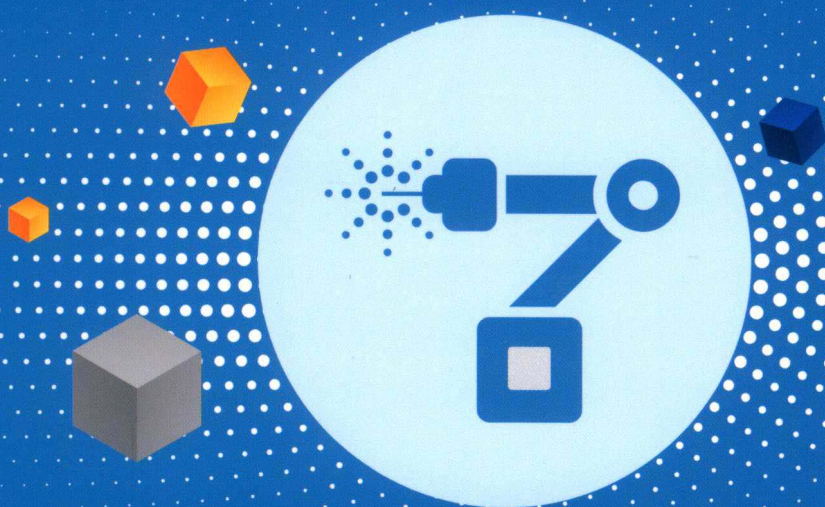


中国电子学会嵌入式系统
与机器人分会推荐教材

工业机器人 程序设计与实践

© 吴鹏 主编

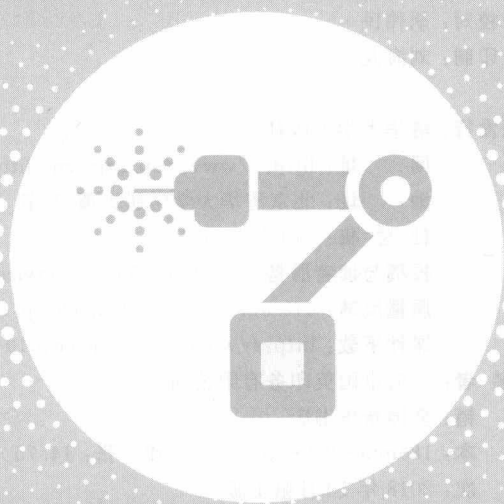


清华大学出版社



工业机器人 程序设计与实践

© 吴鹏 主编



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书把工业机器人技术与专业教学资源相融合,既有理论基础又有实践操作。教材编写组由沈阳师范大学、北京博创智联科技有限公司、中国电子学会嵌入式系统与机器人分会组成。本书第1~6章为工业机器人应用基础,介绍了ABB工业机器人基本操作、工业机器人I/O通信、工业机器人基本编程、工业机器人离线仿真,第7~10章为机器人工装平台设计,第8~16章为应用案例,机器人教学设备由北京博创智联科技有限公司提供。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

工业机器人程序设计与实践/吴鹏主编. —北京:清华大学出版社,2018
ISBN 978-7-302-49106-4

I. ①工… II. ①吴… III. ①工业机器人—程序设计 IV. ①TP242.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第202192号

责任编辑:贾 斌 薛 阳

封面设计:刘 键

责任校对:胡伟民

责任印制:刘海龙

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座

邮 编:100084

社总机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印装者:三河市国英印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:14.75

字 数:362千字

版 次:2018年10月第1版

印 次:2018年10月第1次印刷

印 数:1~1500

定 价:49.00元

产品编号:076537-01

中国电子学会嵌入式系统与 机器人分会成员及本书编委会

主任：王田苗

副主任：赵杰 黄强 韩建达 孙立宁 侯增广

吕卫峰 苏中 蔡强 陆海军

主编：吴鹏

副主编：王晓薇 王利 温丹丽 王晨



序

众所周知,伴随《中国制造 2025》和工业 4.0 时代的到来,作为智能制造的基础装备——工业机器人及其技术与产业的发展越来越受到高度重视,这不仅是因为它在提高智能制造产品加工效率与质量方面的独特优势;同时它也是解决制造生产第一线存在的大量、繁重、单调,甚至危险作业而导致的招工难、劳动力短缺、劳动力成本上升问题的一种手段;更是面对多品种、小批量、定制化、柔性化、网络化设计制造模式的发展趋势;以及提升一个国家智能制造综合竞争力的必然选择。正如国家主席习近平在 2014 年 6 月 9 日的两院院士大会上所说:“机器人革命”有望成为“第三次工业革命”的一个切入点和重要增长点,将影响全球制造业格局。他还指出,机器人是“制造业皇冠顶端的明珠”,其研发、制造、应用是衡量一个国家科技创新和高端制造业水平的重要标志。

工业机器人技术是一门以高效率制造优质产品为核心,涉及机械学、电子学、计算机科学、控制技术、传感器技术、仿生学、人工智能,甚至生命科学等多学科的交叉性高新技术,在有些国家,工业机器人已经成为一种标准设备在工业自动化领域广泛应用,形成了一批在国际上具有较高影响力的工业机器人公司,如瑞典的 ABB、德国的 KUKA、日本的 FANUC 和 YASKAWA。在国内工业机器人市场正在呈现井喷式增长,2016 年中国市场工业机器人销售总量达 8.3 万台,同比增长 56%,一大批诸如新松、埃夫特、新时达、哈工大博实、广州数控等国产自主品牌的工业机器人公司正在崛起,他们的产品广泛应用于汽车制造业、电子电气行业、橡胶及塑料工业、铸造行业、化工行业、食品行业等。

当前工业机器人技术与产业的发展趋势主要表现为标准化、模块化、小型化、网络化、智能化、多机协调化等。工业机器人技术的发展依赖于这些相关学科技术的发展和进步,更依赖于掌握相关技术的高层次人才,其中对于推动工业机器人技术高速发展的工程应用人才的需求更是迫切。

如今市场上有许多关于工业机器人方面的书籍,这方面图书的出版呈现了欣欣向荣的景象,对于学习、应用、研究的读者来说受益匪浅。目前在互联网、书店或市场上看到的工业机器人技术书籍主要分为两类,一类是各机器人厂家的操作指导说明书,过于简单,缺乏相关技术的理解与支撑;另一类是偏于理论与技术研究的书籍,过于学术,缺乏案例指导与实践。这两类书籍对于广大读者想要将来走向制造生产第一线的应用工程师来说都不太实用。因此,一种相对全面系统,针对零基础学习者使用的工业机器人技术教材就成为时下图书出版的当务之急。

本书以工业机器人的工程技术应用人才培养为核心,以工业生产和实际应用为主导思

想,以瑞典 ABB 机器人为对象,详细阐述和讲解了工业机器人应用过程中所涉及的本体操作、示教编程、工装卡具、电气设备等相关知识。本书图文并茂、言简意赅,深入浅出地介绍了工业机器人码垛、搬运、视觉分拣、焊接、装配等各应用知识,打破传统理论教学与实践教学的界限,将知识点和技能点融入具体的案例项目中,采用工学结合、案例引导、“教学与实践”一体化的教学模式,旨在全面培养读者的应用能力与创新思维,使读者所学即所用,特别适合高校和院所作为工业机器人工程技术应用专业的基础教材。

希望广大读者能够通过对本书的学习、思考与实践,从容地胜任各类工业机器人工程应用岗位的要求。

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized Chinese characters, likely the author's name.



前言

在工业领域,人们把可编程控制技术、数控技术和工业机器人技术称为现代制造业的三大支柱。工业机器人技术自从问世以来,就力求在高速度、高精度、高可靠性、便于操作和维护等方面不断有所突破。随着视觉技术、速度、加速度等传感器技术与工业机器人技术的结合,工业机器人的智能化、适应性和安全性得到了前所未有的提升。工业机器人以其稳定、高效、低故障率等众多优势正越来越多地代替人工劳动,成为现在和未来加工制造业的重要技术和自动化装备。

随着工业产品竞争的日趋激烈,世界各国都在致力于发展智能工厂、智能生产和智能物流的柔性智能产销体系。我国顺应国际发展趋势和国情,提出了中国制造蓝图,提出了我国加工制造业的转型方向和目标。不久的将来,我国对工业机器人这种智能化终端设备的使用量将呈快速增长的态势,这些设备的投入将给生产现场的技术人员提出新的技术要求和挑战。

在教材方面,工业机器人的操作编程只能依靠机器人企业的培训和产品手册,极度缺乏系统学习和相关知识技能的指导。虽然市面上有一些关于工业机器人方面的教材,但普遍偏向于理论和研究,适合高等院校教学的教材尚不多。因此开发适合职业教育特点的教材是当前开展工业机器人技术专业人才培养急需解决的问题。

本书集合了工业机器人技术专业教学资源库建设成果,教材编写组由沈阳师范大学、北京博创智联科技有限公司、中国电子学会嵌入式系统与机器人分会组成。本书第1~6章为工业机器人应用基础,介绍了ABB工业机器人基本操作、工业机器人I/O通信、工业机器人基本编程、工业机器人离线仿真;第7~10章为机器人应用搭建,第8~16章为工业机器人应用案例,机器人教学设备由北京博创智联科技有限公司提供。

由于编者水平有限,书中难免出现疏漏,欢迎广大读者提出宝贵意见和建议。

编者

2018年8月



目录

第 1 章 机器人基础知识	1
1.1 机器人概况	1
1.2 机器人的安全注意事项	2
1.2.1 机器人操作前的注意事项	3
1.2.2 机器人操作时的注意事项	3
1.2.3 急停键的使用	4
1.3 机器人的安装与连接	4
1.4 机器人的维护	8
第 2 章 机器人的基本操作	10
2.1 机器人的开启与关闭	10
2.2 机器人示教器的认知	13
2.3 设定示教器的显示语言	15
2.4 机器人系统的备份与恢复	16
2.5 机器人的手动操纵	19
2.6 机器人转数计数器的更新	21
第 3 章 工业机器人的 I/O 通信	25
3.1 机器人 I/O 通信的种类	25
3.2 ABB 标准 I/O 板 DSQC652	26
3.3 定义 DSQC652 板的总线连接	27
3.4 定义数字输入信号 di1	31
3.5 定义数字输出信号 do1	34
3.6 I/O 信号的监控	37
3.7 I/O 信号的强制仿真和强制操作	38
第 4 章 RobotStudio 简介	40
4.1 RobotStudio 概述	40

4.2	RobotStudio 的下载、安装	41
4.3	RobotStudio 的界面介绍	47
4.4	创建机器人控制系统	49
第 5 章	机器人的程序数据	54
5.1	程序数据基础	54
5.2	程序数据	55
5.2.1	常用的程序数据	55
5.2.2	数据的类型分类	56
5.2.3	数据的存储类型	57
5.3	建立程序数据的操作	59
5.3.1	建立布尔型数据	59
5.3.2	建立程序数据	61
5.4	程序中的常用关键性数据	63
5.4.1	工具数据	63
5.4.2	工件坐标	66
5.4.3	有效载荷	70
第 6 章	机器人的编程指令	74
6.1	RAPID 程序设计基础	74
6.1.1	程序的基本结构	74
6.1.2	程序的基本元素	75
6.1.3	编程指令	77
6.2	建立程序模块与例行程序	78
6.3	常用 RAPID 指令	82
6.3.1	赋值指令	82
6.3.2	机器人运动指令	83
6.3.3	I/O 控制指令	89
6.3.4	条件逻辑判断指令	93
6.3.5	其他常用指令	97
6.4	RAPID 程序及指令设置	99
6.4.1	赋值指令	99
6.4.2	机器人运动指令设置	104
6.4.3	I/O 控制指令	107
6.4.4	条件逻辑判断指令	109
6.4.5	其他的常用指令	112
第 7 章	工业机器人教学系统	113
7.1	工业机器人教学系统的组成	114

7.2	工业机器人教学系统实现的功能	115
7.3	机器视觉开发平台	116
第 8 章	机器人工装	117
8.1	实验台夹具	117
8.1.1	机器人夹具概述	117
8.1.2	实验台快换工装夹具的设计	118
8.2	变位机	119
8.2.1	变位机概述	119
8.2.2	变位机的结构形式	120
8.2.3	实验平台的变位机	121
8.3	上料机构	121
8.3.1	上料机构概述	121
8.3.2	上料机构的基本结构	122
8.3.3	上料机构的相关部件	122
8.4	传送带	123
8.4.1	皮带输送机概述	123
8.4.2	皮带输送机的基本要求	123
第 9 章	电气控制与 PLC 应用	124
9.1	电气控制接线部分	124
9.2	PLC 控制应用实例	125
9.2.1	变位机的 PLC 控制	125
9.2.2	自动上料装置	130
第 10 章	气压传动与气动系统	132
10.1	气动系统介绍	132
10.2	部分气动元器件介绍	133
10.2.1	气源装置	133
10.2.2	气动执行元件——气缸	134
10.2.3	气动控制元件	136
10.2.4	真空元件	137
10.3	机器人本体接口	138
10.4	工作站气动系统实例	139
第 11 章	机器人工具校验训练	141
11.1	训练目标	141
11.2	任务描述	141
11.3	知识学习	141

11.4 任务实施	142
第 12 章 工业机器人模拟焊接训练	150
12.1 训练目标	150
12.2 任务描述	150
12.3 任务准备	150
12.3.1 标准 I/O 板配置	150
12.3.2 数字 I/O 配置	151
12.3.3 系统 I/O 配置	152
12.3.4 数字 I/O 信号设置参数介绍	152
12.3.5 系统输入输出	153
12.4 任务实施	154
12.4.1 机器人工具标定	154
12.4.2 创建载荷数据	154
12.4.3 配置 I/O 单元	155
12.4.4 配置 I/O 信号	155
12.4.5 配置系统输入输出	155
12.4.6 程序注解	156
12.4.7 操作步骤	158
第 13 章 工业机器人搬运训练	161
13.1 训练目标	161
13.2 任务描述	161
13.3 任务准备	161
13.3.1 标准 I/O 板配置	161
13.3.2 数字 I/O 配置	163
13.3.3 系统 I/O 配置	163
13.4 任务实施	163
13.4.1 机器人工具标定	163
13.4.2 创建载荷数据	164
13.4.3 配置 I/O 单元	164
13.4.4 配置 I/O 信号	164
13.4.5 配置系统输入输出	165
13.4.6 程序注解	165
13.4.7 操作步骤	168
第 14 章 工业机器人码垛训练	170
14.1 训练目标	170
14.2 任务描述	170

14.3	知识学习	170
14.3.1	Offs 指令:取代一个机械臂的位置	170
14.3.2	复杂程序数据赋值	171
14.4	任务准备	172
14.4.1	标准 I/O 板配置	172
14.4.2	数字 I/O 配置	173
14.4.3	系统 I/O 配置	173
14.5	任务实施	173
14.5.1	机器人工具标定	173
14.5.2	创建载荷数据	174
14.5.3	配置 I/O 单元	174
14.5.4	配置 I/O 信号	174
14.5.5	配置系统输入输出	175
14.5.6	程序注解	175
14.5.7	操作步骤	181
第 15 章	工业机器人装配训练	184
15.1	训练目标	184
15.2	任务描述	184
15.3	任务准备	184
15.3.1	标准 I/O 板配置	184
15.3.2	数字 I/O 配置	185
15.3.3	系统 I/O 配置	186
15.4	任务实施	186
15.4.1	机器人工具标定	186
15.4.2	创建载荷数据	187
15.4.3	配置 I/O 单元	187
15.4.4	配置 I/O 信号	187
15.4.5	配置系统输入输出	188
15.4.6	程序注解	188
15.4.7	操作步骤	189
第 16 章	机器视觉	191
16.1	机器视觉简介	191
16.1.1	机器视觉的概念	191
16.1.2	机器视觉的优点	191
16.1.3	机器视觉的系统构成	192
16.1.4	工业相机	193
16.1.5	工业镜头	195

16.1.6	光源	196
16.1.7	机器视觉流行的软件平台和工具包简介	198
16.2	图像的采集保存与读取	199
16.2.1	采集单幅图像	199
16.2.2	连续采集图像	200
16.2.3	利用快速 VI 采集图像	201
16.2.4	图像的保存	204
16.2.5	图像的读取	206
16.3	相机标定	206
16.3.1	Point Distance Calibration 点距标定	206
16.3.2	Distortion Modeling 畸变模式	211
16.4	视觉分拣	215
参考文献		222

第1章

机器人基础知识

1.1 机器人概况

机器人是集机械、电子、控制、计算机、传感器、人工智能等多学科先进技术于一体的现代制造业重要的自动化装备。国际标准化组织(ISO)对机器人进行了定义：“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。”

机器人诞生在 20 世纪中期,按照现在机器人的技术发展水平,可将机器人划分为三代。第一代为示教再现机器人,该机器人能够沿着事先示教好的轨迹、行为进行重复作业运动。操作人员利用机器人的示教器来控制机器人一步一步地运动,并把每一步的运动信息存储下来,机器人即可通过读取这些信息来自动实现运动。第二代机器人为感知机器人,为了适应环境的变化,需要在该机器人上面安装环境感知装置,通过对环境感知装置的数据读取来认识环境的变化,根据环境的变化做出相应的处理动作。第三代机器人是智能机器人,因为它被智能化,所以可以像人一样,自己发现问题并解决问题。

机器人技术及其产品发展很快,已成为柔性制造系统(Flexible Manufacture System, FMS)、自动化工厂(Factory Automation, FA)、计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing System, CIMS)的自动化工具。采用机器人,不仅可提高产品的质量与产量,而且对保障人身安全,改善劳动环境,减轻劳动强度,提高劳动生产率,节约原材料消耗以及降低生产成本,有着十分重要的意义。与计算机、网络技术一样,机器人的广泛应用正在日益改变着人类的生产和生活方式,现在的机器人已经被广泛应用在传统的机械加工及制造领域,在工业生产中,弧焊机器人、点焊机器人、分拣机器人、装配机器人、喷涂机器人及搬运机器人等机器人都已被大量采用。对于一些新兴的医疗、电子、食品工业领域也有大量的机器人被投入使用,在不久的将来机器人会出现在更多的应用领域。

机器人实用功能和智能程度在很大程度上取决于机器人的编程能力。机器人编程有在

线编程(On-Line Programming)和离线编程(Off-Line Programming)两种形式。在机器人所要完成的作业不很复杂,以及示教时间相对工作时间比较短的情况下,在线示教编程是一种切实可行的方式。随着企业对柔性加工要求的提高和计算机的发展,出现了机器人离线编程技术。机器人离线编程系统利用计算机图形学的成果,建立机器人及其工作环境的模型,再利用一些规划算法,通过对图形的控制和操作,在不使用实际机器人的情况下进行轨迹规划,进而产生机器人程序。

1.2 机器人的安全注意事项

安全在生产中是最重要的,无论是自身的安全,还是他人及设备的安全都很重要,所以机器人的安全注意事项须放在首位。机器人与其他机械设备的的要求通常不同,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。整个机器人在最大运动范围内均存在潜在的危险性。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。下面是关于机器人安全方面的图标表示,这些图标代表不同的含义。

图 1.1 表示危险,如果不依照说明操作,就会发生事故,并导致严重或致命的人员伤害或严重的产品损坏。它适用诸如接触高压电气装置、爆炸或火灾、有毒气体风险、压轧风险、撞击和从高处跌落等危险。

图 1.2 表示警告,如果不依照说明操作,可能会发生事故,该事故可造成严重的伤害(可能致命)或重大的产品损坏。它同样适用诸如接触高压电气装置、爆炸或火灾、有毒气体风险、压轧风险、撞击和从高处跌落等危险。



图 1.1 危险标识



图 1.2 警告标识

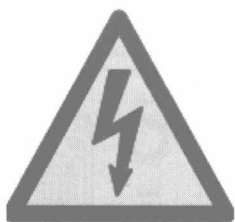
图 1.3 表示电击,针对可能会导致严重的人员伤害或死亡的电气危险的警告。

图 1.4 表示小心,如果不依照说明操作,可能会发生会造成伤害或产品损坏的事故。它适用于包括烧伤、眼睛伤害、皮肤伤害、听觉损害、压轧或打滑、跌倒、撞击和从高处跌落等风险的警告。此外,安装和卸除有损坏产品或导致故障的风险的设备时,它还适用于包括功能需求的警告。

图 1.5 表示静电放电,针对可能会导致严重产品损坏的电气危险的警告。

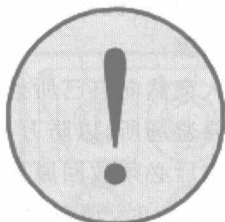
图 1.6 表示注意,描述重要的事实和条件。

图 1.7 表示提示,描述从何处查找附加信息或者如何以更简单的方式进行操作。



Electrical shock

图 1.3 电击标识



caution

图 1.4 小心标识

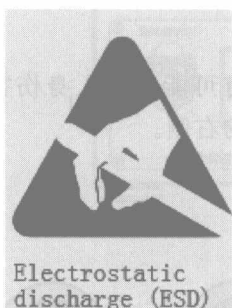
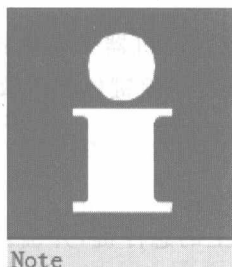
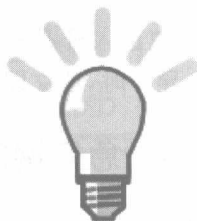
Electrostatic
discharge (ESD)

图 1.5 静电放电标识



Note

图 1.6 注意标识



Tip

图 1.7 提示标识

1.2.1 机器人操作前的注意事项

机器人操作前的注意事项如下。

- 机器人的安装区域内禁止进行任何危险的操作。
- 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灾、电击或由于任意触动机器人和其他设备而造成的伤害。
- 穿着工作服(不穿宽松的衣服);操作机器人时不许戴手套,内衣、衬衫和领带不要从工作服内露出;不佩戴大的首饰,如耳环、戒指等。
- 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。
- 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;绝不可以强制扳动机器人的轴,否则可能造成人身伤害和设备损坏。
- 绝不可以倚靠在机器人或其控制柜上,不要随意按动操作键,否则可能会造成机器人产生不可预料的动作,从而造成人身伤害和设备损坏。

1.2.2 机器人操作时的注意事项

在操作期间,绝不允许非工作人员触动机器人。

在机器人动作范围内示教时,要遵循以下事项:

(1) 保持从正面观看机器人。

- ① 遵守操作步骤；
- ② 考虑机器人突然向自己所处方位运动时的应变方案；
- ③ 确保设置躲避场所，以防万一；
- ④ 示教器用完后必须放回原处。

(2) 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 接通电源时；
- ② 用示教编程器操作机器人时；
- ③ 试运行；
- ④ 自动再现时。

(3) 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。另外，发生异常时，请立即按下急停键。急停键位于示教编程器的右侧。

1.2.3 急停键的使用

操作机器人前，按下示教编程器上的急停键，并确认伺服电源被切断。伺服电源切断后，示教编程器上的伺服接通灯熄灭。紧急情况下，若不能及时制动机器人，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再接通伺服电源，急停按键如图 1.8 所示。

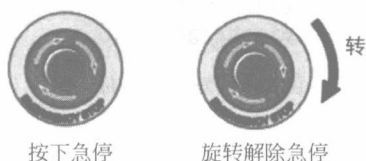


图 1.8 急停按钮的用法

1.3 机器人的安装与连接

机器人的动作是由机器人控制器控制其完成的，控制器包含移动和控制机器人的所有必要功能，这里以 ABB 公司的 IRC5-C 控制器控制 IRB120 机器人加以说明。IRC5-C 控制器可以包含单个机柜或分为两个独立的模块：控制模块和驱动模块，在单个机柜中，控制和驱动模块集成于一个模块中。控制模块包含所有的电子控制装置，例如主机、I/O 电路板和闪存。驱动模块包含所有为机器人电机供电的电源设备。IRC5-C 驱动模块可包含多个驱动单元，它能处理 6 根外轴和 2 根附加轴，具体取决于机器人的型号。一般一个控制器控制一个机器人，有时为了节约成本，也可以使用一个控制器运行多个机器人，只需使用一个控制模块，但必须为每个附加机器人添加额外的驱动模块，IRC5-C 控制器外观如图 1.9 所示。



图 1.9 IRC5 控制器

一般机器人控制器与机器人等外部部件有多种接口和一些控制按钮，如图 1.10 所示。