



中国焊接协会指定教材
焊接机器人系列教材第五册
现代焊接技术与应用培训教程

焊接机器人 操作编程及应用

主编 刘伟 李飞 姚鹤鸣

**The Operation Programming and
Application of Welding Robot**



ABB、KUKA、安川、FANUC、OTC



5in1



**机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS**

中国焊接协会指定教材
焊接机器人系列教材第五册
现代焊接技术与应用培训教程

焊接机器人操作 编程及应用

主编 刘 伟 李 飞 姚鹤鸣
参编 胡煌辉 郭广磊 关 强 李金铎
主审 戴建树 杜志忠



机械工业出版社

本书以焊接机器人的系统构成、操作方法和编程指令为主线,介绍了具有代表性、市场占有率较大的5种品牌机器人的操作及应用。本书分为6个部分,先简单介绍了机器人的基础知识,随后分别列举了ABB、安川、FANUC、KUKA、OTC五种焊接机器人的编程操作方法。本书突出实用性,循序渐进,理论联系实际,并配备了精彩视频供读者参考。

本书可作为焊接机器人技能培训教程,也可作为职业技术学院焊接及相关专业的教材,还可作为专业技术人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

焊接机器人操作编程及应用/刘伟,李飞,姚鹤鸣主编. —北京:机械工业出版社, 2016.10 (2018.1重印)

现代焊接技术与应用培训教程

ISBN 978-7-111-55192-8

I. ①焊… II. ①刘…②李…③姚… III. ①焊接机器人—程序设计—技术培训—教材 IV. ①TP242.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第249465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:侯宪国 责任编辑:侯宪国

责任校对:杜雨霏 封面设计:张静

责任印制:孙炜

北京中兴印刷有限公司印刷

2018年1月第1版第2次印刷

184mm×260mm·19印张·460千字

3001—6000册

标准书号:ISBN 978-7-111-55192-8

ISBN 978-7-89386-086-7(光盘)

定价:49.8元(含1DVD)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88361066

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294

机工官博:weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网:www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

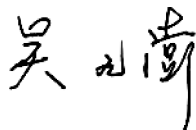
教育服务网:www.cmpedu.com

序

近年来，广州、佛山、中山等地相继出台政策，推进“机器人换工人”计划。珠三角地区的机器人革命是全国工业化转型的一个缩影，机器人作为自动化技术的集大成者，是“工业 4.0”最主要的基础设施之一。作为世界第一制造业大国，我国正在向制造强国的目标进发。2015 年 5 月，我国实施强国战略第一个十年的行动纲领《中国制造 2025》出台，将高档数控机床和机器人技术纳入到我国大力推动的十大重点领域。据中国机器人产业联盟统计数据显示，2009—2014 年，我国工业机器人销量平均年增速达到了 58.9%。2014 年，我国市场销售的机器人达到 5.7 万台，增长达 51%，连续两年成为全球最大的机器人消费国。根据工信部的发展规划，到 2020 年，机器人装机量将达到 100 万台，大概需要 20 万机器人应用人员。这就意味着，从 2015 年开始到 2020 年，平均每年需要培养 4 万名左右的机器人应用人才，而焊接用机器人占全部机器人的 45% 以上，因此每年至少需新增焊接机器人操作员 1.8 万名。

反观我国的焊接技术人才现状，人们对传统手工焊接岗位的从业意愿逐年下降，焊接技术职业教育专业课程设置严重滞后，人才规格与培养目标与企业的实际需求不符，机器人应用人才缺乏。为此，中国焊接协会在各地陆续建立了 15 个机器人焊接培训基地，几年来，为企业输送了 5000 余名机器人焊接编程人员，缓解了企业在该岗位的人员紧缺局面。中国焊接协会机器人焊接（厦门）培训基地的刘伟老师主编出版的《焊接机器人基本操作及应用》《中厚板焊接机器人系统及传感技术应用》《焊接机器人离线编程及仿真系统应用》《点焊机器人系统及编程应用》四本机器人焊接系列教材，较为全面地概括了机器人编程及应用的相关知识，填补了国内机器人操作应用培训教材的不足。但由于该系列教材主要以松下机器人为范例，对于其他品牌机器人来说编程语言不同、操作方法各异，因此在普适性方面有一定的局限。为此，中国焊接协会机器人焊接（厦门）培训基地的刘伟老师以 ABB、KUKA、FANUC、安川、OTC 等市场占有率较高的弧焊机器人品牌为素材，编写了这本《焊接机器人编程操作及应用》，普适性较强，便于读者选学和比较。中国焊接协会机器人焊接培训基地的部分老师参与了本书的编审工作。希望通过这本焊接机器人培训教程的出版，进一步促进我国焊接机器人编程应用工作的普及和提高。

中国焊接协会副秘书长



前 言

近年以来，“工业 4.0”成为社会各界广泛热议的话题。在“工业 4.0”时代，人们可以通过应用信息通信技术和互联网将虚拟系统信息与物理系统相结合，进而完成各行各业的产业升级。机器人是工业 4.0 最主要的基础设施之一。目前，我国工业机器人密度仅为 30 台/万人，不足全球平均水平的一半，与工业自动化程度较高的韩国（437 台/万人）、日本（323 台/万人）和德国（282 台/万人）相比差距更大，今后的市场需求潜力巨大。

纵观机器人生产企业和市场占有率情况，目前国产焊接机器人（广数、华数、新松、埃夫特等）的市场占有率还较低，而日系（安川、松下、OTC、FANUC、神钢、不二越、川崎等）和欧系（德国 KUKA、CLOOS，瑞典 ABB，意大利 COMAU，奥地利 IGM 等）的机器人占有很大的市场。由于机器人品牌众多，编程语言不同，操作方法各异，而现有的机器人编程教材都是以某一种机器人品牌为范本，给教学工作带来很大困难，同时浪费了教学资源。为丰富机器人教学资源，总结焊接机器人教学规律与经验，推广机器人操作技术，普及机器人知识，特此编写本书。本书将企业应用中最具代表性、市场占有率较大的几种机器人品牌的编程和操作方法汇总在一起，便于操作者比较、理解、分析和掌握。

本书共 6 个部分，先简单介绍了机器人的基础知识，随后列举了 ABB、安川、FANUC、KUKA、OTC 五种焊接机器人的编程操作方法，具有较强的普适性和实用性。

本书由中国焊接协会机器人焊接（厦门）培训基地的刘伟老师，中国焊接协会机器人焊接（昆明）培训基地的李飞老师，欧地希机电（上海）有限公司的姚鹤鸣老师担任主编，刘伟老师统稿。同时，湖南智谷焊接技术培训有限公司的胡煌辉老师，厦门集美职校的郭广磊、关强老师也参与了编写工作。除此之外，中国焊接协会培训工作委员会的戴建树主任、厦门集美职校的杜志忠校长担任了本书的审核工作，并提出了宝贵的意见。

本书在编写过程中，还得到了中国焊接协会的大力支持，ABB、安川、FANUC、KUKA、OTC 机器人企业给予了素材方面的提供和帮助，在此一并表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，书中难免有疏漏和错误之处，敬请读者提出宝贵意见！

全书 PPT 教学文档参见配套光盘。

编者

目 录

序

前言

第1章 机器人基础知识 1

- 1.1 基本概念 1
 - 1.1.1 工业机器人常用术语 1
 - 1.1.2 工业机器人运动控制 1
 - 1.1.3 机器人关节驱动机构 3
 - 1.1.4 工业机器人位置控制 5
- 1.2 机器人焊接安全生产管理体系 7
 - 1.2.1 机器人安全保障 7
 - 1.2.2 焊接机器人安全操作注意事项 8
 - 1.2.3 示教器使用安全注意事项 9
 - 1.2.4 焊接生产质量管理概述 9
 - 1.2.5 焊接生产质量管理体系 10
- 1.3 焊接机器人日常维护及保养 12
 - 1.3.1 日检查及维护 12
 - 1.3.2 周检查及维护 13
 - 1.3.3 一年检查及维护（包括日常、三个月） 13
 - 1.3.4 三年检查及维护（包括日常、三个月、一年） 13
 - 1.3.5 机器人设备管理条例 14
- 1.4 焊接机器人设备基本构成 14
- 1.5 示教和运行 15
 - 1.5.1 示教作业的基本步骤 15
 - 1.5.2 自动运转程序 15

第2章 ABB 机器人 16

- 2.1 ABB 机器人简介 16
 - 2.1.1 ABB 机器人本体构造及技术参数 16
 - 2.1.2 焊接机器人示教器 17
 - 2.1.3 焊接机器人控制系统 24
- 2.2 手动操作机器人 30
 - 2.2.1 焊接机器人操作注意事项 30
 - 2.2.2 手动（微动）控制 31

- 2.3 焊接机器人编程 35
 - 2.3.1 焊接机器人常用指令 35
 - 2.3.2 焊接机器人示教编程 41
- 2.4 机器人设定 46
 - 2.4.1 工具数据的设定及使用 46
 - 2.4.2 工件坐标的设定及使用 48
- 2.5 手动模式运行程序 51

第3章 安川机器人 57

- 3.1 安川机器人简介 57
 - 3.1.1 机器人本体 57
 - 3.1.2 机器人控制柜 58
 - 3.1.3 示教编程器 60
- 3.2 模式的选择 72
 - 3.2.1 动作模式 72
 - 3.2.2 安全模式 73
- 3.3 机器人坐标系 74
 - 3.3.1 坐标系的种类 74
 - 3.3.2 坐标系的操作应用 79
- 3.4 示教和再现 81
 - 3.4.1 示教编程 81
 - 3.4.2 程序点的示教 85
 - 3.4.3 确认程序点 92
 - 3.4.4 修改程序点 95
 - 3.4.5 修改程序 96
- 3.5 命令的编辑 98
 - 3.5.1 命令组的说明 99
 - 3.5.2 命令的追加 99
 - 3.5.3 命令的删除 103
 - 3.5.4 命令的修改 103
 - 3.5.5 其他附加项的编辑 105
 - 3.5.6 程序的编辑 107
- 3.6 示教编程操作步骤 111
 - 3.6.1 示教编程命令登录 111
 - 3.6.2 摆焊的示教 112

3.6.3 示教编程实例	115	实例 7B 输入焊接参数	173
3.6.4 再现	127	实例 8 在盒子上示教圆形路径	175
3.7 焊接示教编程	128	实例 9 焊接圆形焊缝	177
3.7.1 程序举例	128	实例 10 摆动 (WEAVING)	178
3.7.2 示教	128		
3.7.3 设定焊接条件	131		
3.7.4 轨迹和焊接的确认	131		
第 4 章 FANUC 机器人	133	第 5 章 KUKA 机器人	179
4.1 FANUC 机器人概述	133	5.1 KUKA 机器人概述	179
4.1.1 FANUC 机器人简介	133	5.1.1 库卡机器人应用简介	179
4.1.2 控制器	135	5.1.2 KUKA 机器人设备构成 及功能	179
4.1.3 操作安全	141	5.1.3 KUKA 机器人编程类型	185
4.2 示教编程	143	5.2 机器人运动	186
4.2.1 运动类型和指令	143	5.2.1 机器人控制系统的信息提示	186
4.2.2 手动操作机器人	144	5.2.2 选择并设置运行方式	187
4.2.3 编程	145	5.2.3 单独运动机器人的各轴	189
4.3 执行程序	155	5.2.4 与机器人相关的坐标系	192
4.3.1 手动 I/O 控制	155	5.2.5 机器人在世界坐标系中运动	193
4.3.2 手动执行程序	156	5.2.6 在工具坐标系中移动机器人	196
4.3.3 程序中断和恢复	157	5.2.7 在基坐标系中移动机器人	198
4.3.4 自动运行	158	5.3 机器人的零点标定	201
4.3.5 Wait 语句	159	5.4 执行机器人程序	204
4.4 程序结构	159	5.4.1 执行初始化运行	204
4.4.1 焊接指令	160	5.4.2 选择和启动机器人程序	204
4.4.2 寄存器指令	160	5.5 程序文件的使用	209
4.4.3 I/O 指令	161	5.5.1 创建程序模块	209
4.4.4 分支指令	161	5.5.2 编辑程序模块	210
4.4.5 等待指令	162	5.5.3 存档和还原机器人程序	211
4.4.6 条件指令	163	5.5.4 通过运行日志了解程序和 状态变更	212
4.4.7 程序控制指令	163	5.6 创建及更改编程的运动	214
4.4.8 其他指令	163	5.6.1 创建新的运动指令	214
4.5 编程实例	164	5.6.2 创建优化节拍的 运动 (轴运动)	217
实例 1 上电开机和操作移动机器人	164	5.6.3 创建沿轨迹的运动	221
实例 2 创建程序名	165	5.6.4 更改运动指令	227
实例 3 创建和测试程序: BEAD - ON - BOX	166	5.6.5 具有外部 TCP 的运动编程	228
实例 4 编辑程序 1	167	5.7 故障编号信息	229
实例 5 编辑程序 2	169		
实例 6 生成第二个程序: BEAD - AROUND - BOX	170	第 6 章 OTC 机器人	230
实例 7A 生成第三个程序—在平板上 真实焊接	171	6.1 OTC 机器人概述	230
		6.1.1 OTC 机器人常用术语	230
		6.1.2 机器人系统构成及功能	231
		6.1.3 坐标系介绍	242

6.1.4 TP 显示画面的构成	247	6.3 自动运行	289
6.1.5 可记录的步数	250	6.3.1 自动运行时的按钮标识	289
6.1.6 作业程序的构成	251	6.3.2 自动运行时的开始步指定及开始步 指定时的动作速度	289
6.2 示教	264	6.3.3 自动运行	290
6.2.1 从示教到再生的步骤	264	6.4 运转准备 OFF 及机器人关机	294
6.2.2 示教前的准备	265	6.4.1 运转准备 OFF	294
6.2.3 实际示教	270	6.4.2 机器人关机	294
6.2.4 作业程序动作检查及 逻辑检查	287	参考文献	295
6.2.5 修正作业程序	287		

第 1 章 机器人基础知识

1.1 基本概念

1.1.1 工业机器人常用术语

1. 自由度 (Degree of Freedom, DOF)

物体相对坐标系能够进行独立运动的数目称为自由度，对于自由刚体，具有 6 个自由度。自由度通常作为机器人的技术指标，反映机器人的灵活性，对于弧焊机器人一般应具有 6 个或以上的自由度。

2. 位姿 (Pose)

位姿指工具的位置和姿态。

3. 末端操作器 (End Effector)

末端操作器位于机器人腕部末端，是直接执行工作要求的装置，如夹持器、焊枪、焊钳等。

4. 载荷 (Payload)

载荷指机器人手腕部的最大负重，通常情况下弧焊机器人载荷为 5 ~ 20kg，点焊机器人载荷为 50 ~ 200kg。

5. 工作空间 (Working Space)

工作空间是指机器人工作时，其腕轴交点能在空间活动的范围。

6. 重复位姿精度 (Pose Repeatability)

在同一条件下，重复 N 次所测得的位姿一致的程度。

7. 轨迹重复精度 (Path Repeatability)

沿同一轨迹跟随 N 次，所测得的轨迹之间的一致程度。

1.1.2 工业机器人运动控制

1. 机器人连杆参数及连杆坐标系变换

机器人手臂可以看作是一个开链式多连杆机构，始端连杆就是机器人的机座，末端连杆与工具相连，相邻连杆之间用一个关节连接在一起。

一个有 6 个自由度的机器人，由 6 个连杆和 6 个关节组成。编号时，机座称为连杆 0，不包含在这 6 个连杆内，连杆 1 与机座由关节 1 相连，连杆 2 通过关节 2 与连杆 1 相连，以此类推，如图 1-1 所示。

下面通过两个关节轴及连杆的示意图，说明连杆参数和动作关系，如图 1-2 所示。

(1) 连杆参数

1) 连杆长度 a_{i-1} ：连杆两端轴线间的距离。

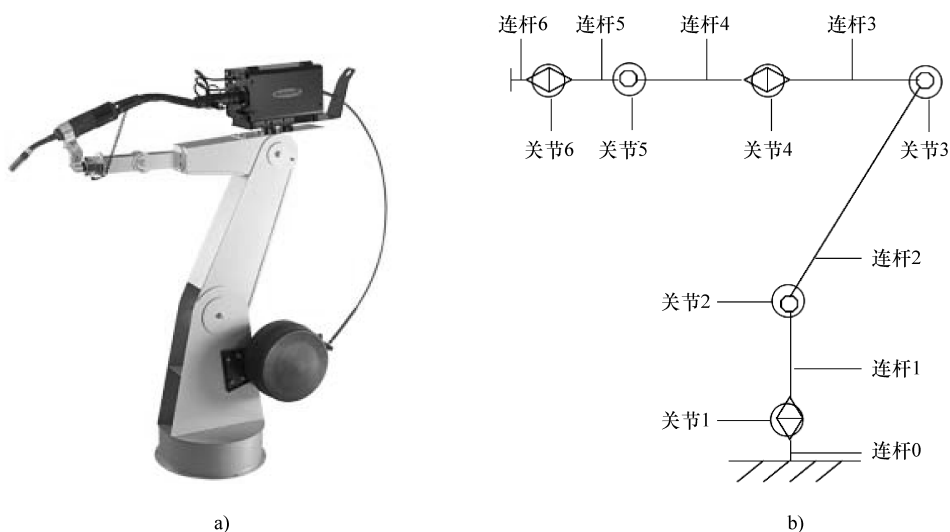


图 1-1 机器人手臂关节链

a) 机器人手臂 b) 关节链

2) 连杆扭角 α_{i-1} : 连杆两端轴线间的夹角, 方向为从轴 $_{i-1}$ 到轴 $_i$ 。

(2) 连杆连接参数

1) 连杆之间的距离 d_i : a_i 、 a_{i-1} 之间的距离。

2) 关节角 θ_i : α_i 、 α_{i-1} 之间的夹角, 方向为从 a_{i-1} 到 a_i 。

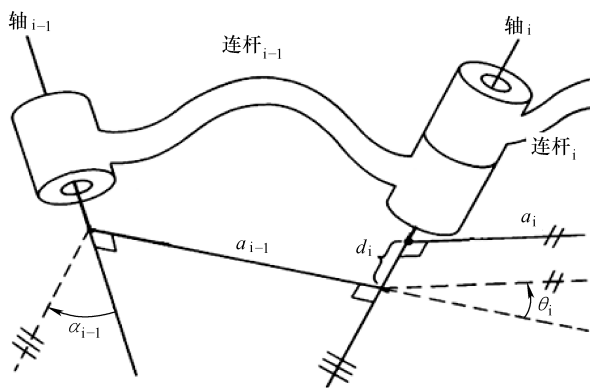


图 1-2 关节轴及连杆参数标识示意

2. 机器人运动学

机器人运动学主要包括两方面内容:

(1) 运动学正运算 已知各关节角值, 求工具在空间的位置和姿态。实际上这是建立运动学方程的过程。如果通过传感器 (通常为绝对编码器) 获得各关节变量的值, 就可以确定机器人末端连杆上工具的位置和姿态。这样就解决了机器人的正运动学问题。

(2) 运动学逆运算 已知工具的位姿,求各关节角值,这是求解运动学方程的问题。换句话说,机器人运动学方程,描述的是末端连杆(工具)相对于基坐标系之间的变换矩阵与关节变量之间的关系,是运动学方程求解的过程。

机器人运动学只限于对机器人相对于参考坐标系的位姿和运动问题的讨论,未涉及引起这些运动的力和力矩以及与机器人运动的关系。

3. 机器人动力学

机器人动力学主要研究机器人运动和受力之间的关系,目的是对机器人进行控制、优化设计和仿真。机器人动态性能不仅与运动学因素有关,还与机器人的结构形式、质量分布、执行机构的位置、传动装置等对动力学产生重要影响的因素有关。

1) 机器人是一个复杂的动力学系统,在关节驱动力矩(驱动力)的作用下产生运动变化,或与外载荷取得力矩平衡。

2) 机器人控制系统是多变量的、非线性的自动控制系统,也是动力学耦合系统,每一个控制任务本身就是一个动力学任务。

3) 动力学的正、逆问题:①正问题是已知机器人各关节的作用力或力矩,求机器人各关节的位移、速度和加速度(即运动轨迹),主要用于机器人的仿真;②逆问题是已知机器人各关节的位移、速度和加速度,求解所需要的关节作用力或力矩,以便实现实时控制。

机器人动力学的实质,即求解机器人动态特性的运动方程式,一旦给定输入的力或力矩,就确定了系统的运动结果。

1.1.3 机器人关节驱动机构

1. 驱动电动机

电动机是机器人驱动系统中的执行元件。机器人常采用的电动机有:步进电动机、直流伺服电动机、交流伺服电动机。

(1) 步进电动机 经常应用于开环控制系统,特点为具有较大的低速转矩,可不配减速器,直接驱动。主要分为三类:

1) 永磁式步进电动机:转子由磁性材料制成,具有低力矩、低速度、低成本的特点,一般用于计算机外围设备(打印机、光驱等)。

2) 变磁阻式步进电动机:没有磁性材料,不通电时,没有保持力矩,也称感应式步进电动机。

3) 混合式步进电动机:上述两种步进电动机的结合,是目前应用越来越广的一种电动机。

步进电动机驱动多为开环控制,控制简单但功率不大,有较好的制动效果,但在速度很低或大负载情况下,可能产生丢步现象,多用于低精度、小功率机器人系统。

(2) 直流伺服电动机 该类电动机在20世纪80年代中期以前被广泛使用,优点是易于控制,缺点是需要定期维护,速度不能太高,功率不能太大。

(3) 交流伺服电动机 转子是永磁的,线圈绕在定子上,没有电刷。线圈中通交变电流。转子上装有码盘传感器,检测转子所处的位置,根据转子的位置,控制通电方向。

由于线圈绕在定子上,可以通过外壳散热,可做成大功率电动机。由于没有电刷,可以免维护。目前,该类电动机是机器人上应用最多的电动机。交流伺服电动机结构如图1-3

所示。

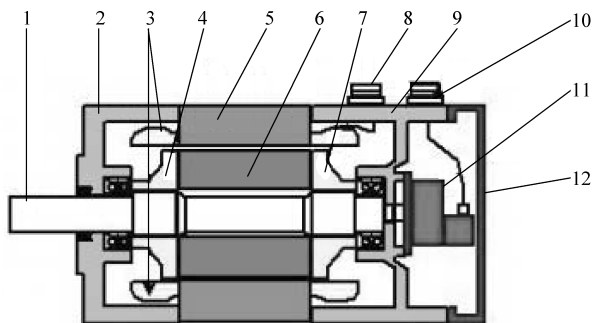


图 1-3 交流伺服电动机的结构

1—电动机轴 2—前端盖 3—三相绕组线圈 4—压板 5—定子 6—磁钢 7—后压板
8—动力线插头 9—后端盖 10—反馈插头 11—脉冲编码器 12—电动机后盖

和步进电动机相比，伺服电动机有以下几点优势：

- 1) 实现了位置、速度和力矩的闭环控制，克服了步进电动机失步的问题。
- 2) 高速性能好，一般额定转速能达到 2000 ~ 3000r/min。
- 3) 抗过载能力强，能承受三倍于额定转矩的负载，对有瞬间负载波动和要求快速起动的场合特别适用。
- 4) 低速运行平稳，低速运行时不会产生类似于步进电动机的步进运行现象。
- 5) 电动机加减速的动态相应时间短，一般在几十毫秒之内。
- 6) 发热和噪声明显降低。

2. 关节减速机构

为了提高机器人控制精度，增大驱动力矩，一般均需配置减速机。

(1) 谐波减速机 具有传动比大、传动平稳、齿面磨损小而均匀、传动效率和精度高、回差小等优点，常作为机器人手腕关节的减速及传动装置。

(2) RV 摆线针轮减速机 具有传动速比大、同轴线传动、结构紧凑、效率高、刚度好、转动惯量小的优点，但质量较大，适用于作为机器人的第一级旋转关节（腰关节），如图 1-4 所示。

机器人是由多轴（关节）组成的，每轴的运动都影响机器人末端的位置和姿态。如何协调各轴的运动，使机器人末端完成要求的轨迹，是需要解决的问题。

(3) 滚动螺旋传动（滚珠丝杠） 滚动螺旋传动能够实现回转运动与直线运动的相互转换。在一些机器人的直线传动中有螺旋传动的应用。

3. 关节传动机构

大部分机器人的关节是间接驱动的，通常有下列两种形式：

(1) 链条、钢带 链条和钢带的刚度好，是远程驱动的手段之一，而且能传递较大的力矩。

(2) 平行四边形连杆 这种方式的特点是能够把驱动器安装在手臂的根部，而且该结构能够使坐标变换运算变得极为简单。

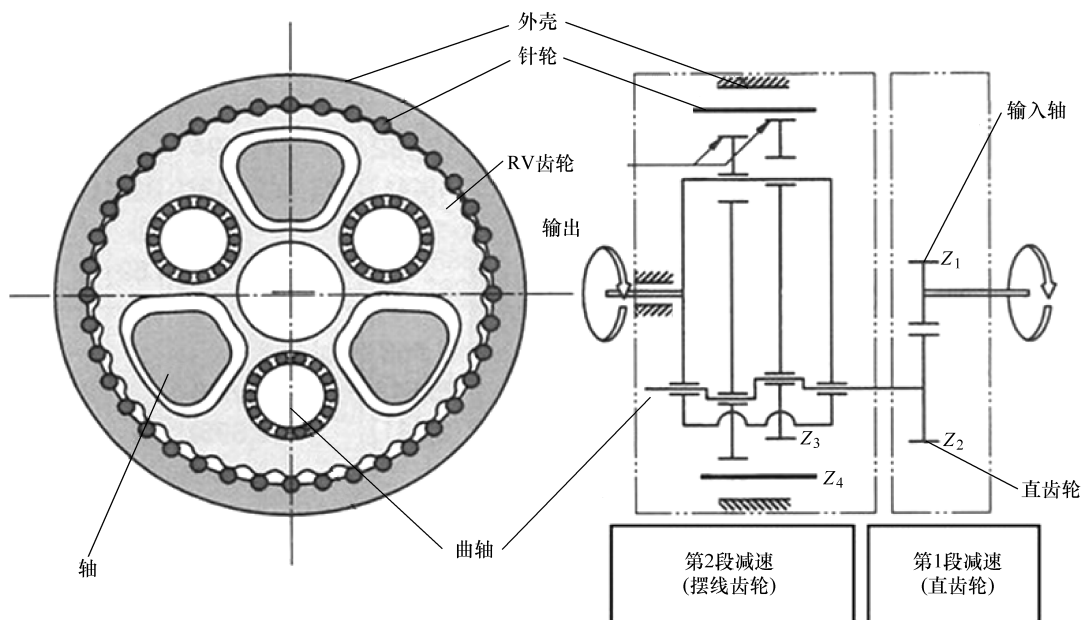


图 1-4 RV 减速机结构原理图

1.1.4 工业机器人位置控制

1. 关节轴控制原理

绝大多数工业机器人采用关节式运动形式，很难直接检测机器人末端的运动，只能对各关节进行控制，属于半闭环系统，即仅从电动机轴上闭环，如图 1-5 所示。

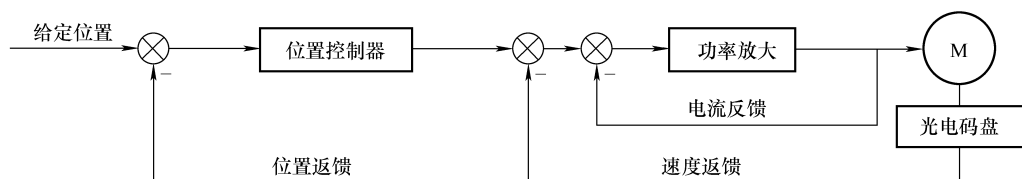


图 1-5 关节轴控制原理框图

目前，工业机器人基本操作方式多为示教再现。示教时，不能将轨迹上的所有点都示教一遍，一是费时，二是占用大量的存储器。

依据机器人运动学理论，机器人手臂关节在空间进行运动规划时，需进行的大量工作是对关节变量的插值计算。插补是一种算法，对于有规律的轨迹，仅示教几个特征点。例如，对直线轨迹，仅示教两个端点（起点、终点）；对圆弧轨迹，需示教三点（起点、终点、中间点），轨迹上其他中间点的坐标通过插补方法获得。实际工作中，对于非直线和圆弧的轨迹，可以切分成若干个直线段或圆弧段，以无限逼近的方法实现轨迹示教。多关节（轴）机器人控制原理如图 1-6 所示：

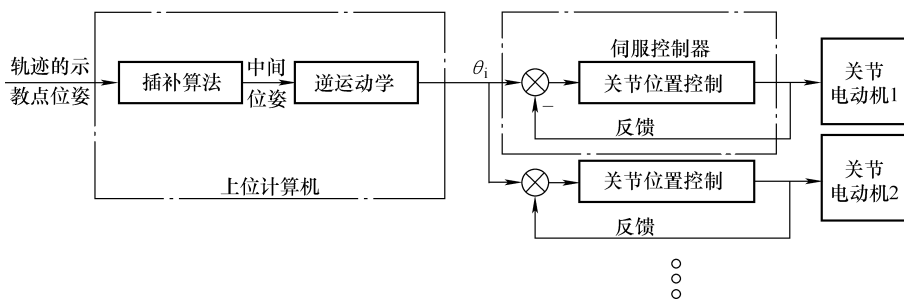


图 1-6 多关节（轴）机器人控制原理框图

2. 插补方式

(1) 定时插补 每隔一定时间插补一次，插补时间间隔一般不超过 25ms。

(2) 定距插补 每隔一定距离插补一次，可避免快速运动时，定时插补造成的轨迹失真，但也受伺服周期限制。

3. 插补算法

(1) 直线插补 在两示教点之间按照直线规律计算中间点坐标。

(2) 圆弧插补 按圆弧规律计算中间点。

4. 弧焊机器人编程技术

(1) 示教编程 示教编程是目前工业机器人广泛使用的编程方法，根据任务的需要，将机器人末端工具移动到所需的位置及姿态，然后把每一个位姿连同运行速度、焊接参数等记录并存储下来，机器人便可以按照示教的位姿再现。示教方式有两种：

1) 手把手示教（早期的机器人采用）。

2) 示教盒示教（目前的机器人多采用）。

示教编程的优点是不需要预备知识和复杂的计算机装置，方法简单、易于掌握。而它的缺点是占用生产时间，难于适应小批量、多品种的柔性生产需要；编程人员工作环境差、强度大，一旦失误，会造成人员伤亡或设备损坏；编程效率低。

(2) 离线编程 在计算机中建立设备、环境及工件的三维模型，对虚拟环境中的机器人进行编程。它充分利用了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 and 操作，在离线的情况下进行编程。离线编程的主要优点如下：

1) 减少机器人不工作时间。

2) 改善了编程环境，使编程者远离危险的工作环境。

3) 提高了编程效率与质量，可使用高级语言对复杂任务进行编程。

4) 便于和 CAD 系统集成，实现 CAD/CAM/Robotics 一体化。

因此，离线编程能够提高工作效率和工作质量，这是今后应用和发展的方向。

1.2 机器人焊接安全生产管理体系

1.2.1 机器人安全保障

1. 机器人培训间安全装置

机器人系统必须始终装备相应的安全设备。例如，隔离性防护装置（防护围栏、光栅、安全门等）、紧急停止按钮、制动装置、轴范围限制装置等。培训间的安全装置示意如图 1-7 所示。

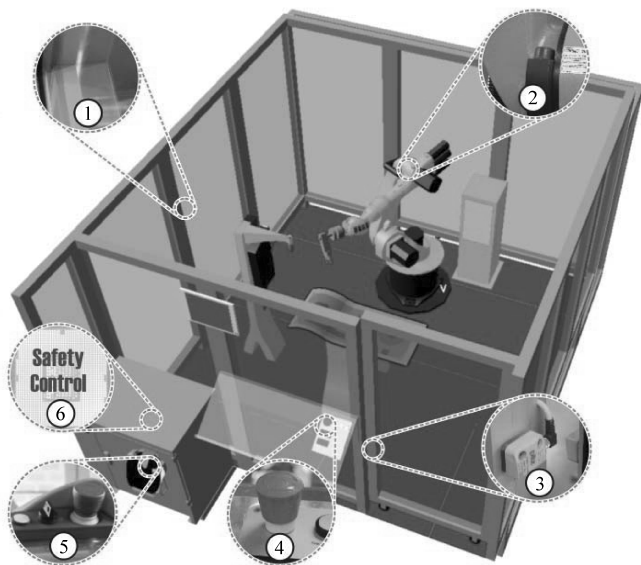


图 1-7 培训间的安全装置示意图

图中①表示防护围栏；②表示轴 1、2 和 3 的机械终端止挡或者轴范围限制装置；③表示防护门及具有关闭功能监控的门触点或光栅；④表示紧急停止按钮（外部）；⑤表示紧急停止按钮、确认键、调用连接管理器的钥匙开关；⑥表示内置的安全控制器。

警告：

在安全防护装置功能不完善的情况下，机器人系统可能会导致人员受伤或财产损失。在安全防护装置被拆下或关闭的情况下，不允许运行机器人系统。

2. 机器人系统急停装置的使用及说明

(1) 紧急停止装置 工业机器人的紧急停止装置位于示教编程器右上方（通常为红色）。在出现危险情况或紧急情况时必须按下此按钮。按下紧急停止按钮后，若欲继续运行，则必须旋转紧急停止按钮以将其解锁，接着对停机信息进行确认。

警告：

与机械手相连的工具或其他装置若可能引发危险，必须将其连入设备侧的紧急停止回路中。如果没有遵照执行这一规定，则可能会造成死亡、严重身体伤害或巨大的财产损失。至少要安装一个外部紧急停止装置，以确保紧急停止装置方便使用。

(2) 外部紧急停止 在每个可能引发机器人运动或其他可能带来危险情况的工位上都必须有紧急停止装置可供使用。系统集成商应对此承担责任。

至少要安装一个外部紧急停止装置，外部紧急停止装置通过客户方的接口连接。外部紧急停止装置不包括在工业机器人的供货范围中。

(3) 操作人员防护装置 操作人员防护装置信号用于锁闭隔离性防护装置，如防护门触点、安全光栅等。没有此信号，就无法使用自动运行方式。如果在自动运行期间出现信号缺失的情况（如防护门被打开），则机器人停止工作，以保证人员安全。

警告：

在出现信号缺失后，不允许仅仅通过关闭防护装置来重新继续自动运行，而是要先进行确认。系统集成商必须对此负责。由此可以避免在危险区域中有人员停留时因疏忽（如防护门意外闭合）而继续进行自动运行。

确认必须被设置为可事先对危险区域进行实际检查。不具备此种设置的确认（比如在防护装置关闭时自动确认）是不允许的。如果没有注意这一点，则可能会造成巨大的财产损失、严重的身体伤害甚至人员死亡。

1.2.2 焊接机器人安全操作注意事项

1. 示教操作时的注意事项

(1) 电源投入使用前，请确认以下事项：

- 1) 安全栅栏有无破损。
- 2) 是否按要求穿戴工作服。
- 3) 是否准备保护用品（安全帽、安全鞋等）。
- 4) 机器人本体、控制箱、控制电缆有无破损。
- 5) 焊机、焊接电缆有无破损。
- 6) 安全装置（紧急停止、安全插销、配线等）有无破损。

(2) 示教作业前，请确认以下事项：

- 1) 手动操作机器人，确认有无异响及异常。
- 2) 在伺服电源供电状态按压紧急停止按钮，确认机器人的伺服供电能否正确切断。
- 3) 在伺服电源供电状态松开示教盒背面的拉杆开关，确认机器人伺服供电能否正确切断。

(3) 示教操作过程中，请确认以下事项：

- 1) 示教作业时，操作场所应确保操作人员可及时避让至机器人动作范围外。
- 2) 操作机器人时，请尽量面向机器人进行操作（视线勿离开机器人）。
- 3) 不操作机器人时，尽量避免站立于机器人的动作范围内。
- 4) 不操作机器人时，按下紧急停止按钮让机器人停止。
- 5) 在配备安全栅栏等安全对策时，需有协助监视人员陪同，监视人员不在场时，避免操作机器人。

2. 自动运行时的注意事项

(1) 自动运行前，请确认以下事项：