

职业教育工业机器人技术应用专业规划教材

工业机器人操作 与编程技术

GONGYE JIQIREN CAOZUO YU BIANCHENG JISHU

◎ 何成平 董诗绘 主编



配教学资源

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

职业教育工业机器人技术应用专业规划教材

工业机器人操作与编程技术

主 编 何成平 董诗绘

副主编 谢丽华

参 编 刘军良 高 丹



机械工业出版社

本书针对 ABB 工业机器人以及离线编程软件 Robot Studio, 按照项目式教学方式对教学内容安排与整合。项目以实际工程案例为主, 分解为若干任务, 由任务驱动, 每个任务分解为任务目标、背景知识、任务实施, 体现了理实一体的教学原则。大部分项目最后辅以趣味性或综合性环节作为拓展练习, 以提高学习者的学习兴趣和参与度, 培养其发散思维和综合运用能力。

全书共分八个项目, 分别为: 认识工业机器人、ABB 机器人编程基础、工业机器人虚拟建模与仿真、搬运机器人、压铸机器人、焊接机器人、立体仓库和智能视觉。通过项目式教学, 读者可以系统学习 Robot Studio 软件的操作、建模、Smart 组件的使用、轨迹离线编程、仿真验证、实训台在线编程调试等, 内容涵盖机器人工作站创建、通信板卡设置、I/O 设置、示教器操作、坐标系设置、工具安装、轨迹目标点示教、常用编程指令讲解等工业机器人编程操作过程的基本环节。

本书可作为高职高专工业机器人应用技术及自动化类专业的教材, 也可供从事工业机器人开发、调试、维护的技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

工业机器人操作与编程技术/何成平, 董诗绘主编. —北京: 机械工业出版社, 2016. 8

职业教育工业机器人技术应用专业规划教材

ISBN 978-7-111-54179-0

I. ①工… II. ①何… ②董… III. ①工业机器人-操作-高等职业教育-教材②工业机器人-程序设计-高等职业教育-教材 IV. ①TP242. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 151982 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: 张晓媛 责任编辑: 韩 静 责任校对: 佟瑞鑫

封面设计: 路恩中 责任印制: 李 洋

三河市国英印务有限公司印刷

2016 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 15 印张 · 365 千字

0001—2000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-54179-0

定价: 36.80 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

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

封面防伪标均为盗版

前 言

“十三五”期间，中国制造业面临着向高端转变、承接国际先进制造、参与国际分工的巨大挑战，加快工业机器人技术的研究、开发与应用是抓住这个历史机遇的主要途径。目前，工业机器人已广泛应用于点焊、弧焊、装配、喷漆、切割、搬运、包装码垛等领域。工业机器人的普及是实现自动化生产、提高社会生产效率、推动企业和社会生产力发展的有效手段。在发达国家中，工业机器人自动化生产线成套设备已成为自动化装备的主流及未来的发展方向。国外汽车行业、电子电器行业、工程机械等行业已经大量使用工业机器人自动化生产线，以保证产品质量，提高生产效率，同时避免工伤事故。

本书针对 ABB 工业机器人以及离线编程软件 Robot Studio，按照项目式教学方式进行教学内容安排与整合，体现了理实一体的职业教育教学原则，具有以下几方面的特点：

1. 体系架构新颖，编写形式体现职业教育特色

本书打破了以原理为主线的教材章节体例，建立以工作任务为主线的项目编写体系。项目以实际工程案例为主，分解为若干任务，每个任务由任务目标、背景知识、任务实施组成。大部分项目最后辅以趣味性或综合性环节作为拓展练习，以提高读者的学习兴趣和参与度，培养其发散思维和综合运用能力，体现了教师教学引导和学生自主学习的统一。

2. 采用来自生产一线的典型案例，融入职业能力的相关要求

充分吸收来自生产一线的案例或工作任务，融入职业技能鉴定的相关内容和要求，体现了理实一体的教学原则。

3. 体系架构灵活，便于教学安排

本书各项目相对独立，在教学中可根据相关专业教学要求及实际设备情况选择部分项目进行教学，也可选择部分项目中的部分任务进行教学，体现了教学组织的科学性和灵活性的统一。

4. 项目按由易到难的方式编排，符合认知规律

各项目单元按由易到难的方式编排，注重实践练习和能力培养，符合高职学生的特点及认知规律。

5. 教学资源丰富

配套丰富的仿真模型、应用案例、视频录像、源程序等教学资源。书中大部分项目配有仿真模型，可仿真实现，也可在实际设备上运行。

本书由何成平、董诗绘任主编，由何成平提出编写提纲并进行统稿。编写分工如下：唐山工业职业技术学院高丹编写项目一；唐山工业职业技术学院董诗绘编写项目二、项目四；常州轻工职业技术学院何成平编写项目三、项目五及附录；常州轻工职业技术学院刘军良编写项目六；常州轻工职业技术学院谢丽华编写项目七和项目八。

因编者水平有限，书中难免有错漏和不当之处，恳请广大读者批评指正，并欢迎您对本书提出宝贵意见和建议。

编 者

目 录

前 言

项目一 认识工业机器人	1
任务一 工业机器人的构成与选型	1
任务二 ABB 机器人基本操作	10
项目二 ABB 机器人编程基础	24
任务一 建立机器人工作站	24
任务二 虚拟示教器手动操作	41
任务三 创建机器人工件坐标及轨迹方程	48
项目三 工业机器人虚拟建模与仿真	55
任务一 Robot Studio 建模功能	55
任务二 Smart 组件应用	62
任务三 简易机器人系统创建与仿真	77
项目四 搬运机器人	88
任务一 多功能机器人实训台认识	88
任务二 工件抓放	94
任务三 搬运轨迹设计	105
项目五 压铸机器人	113
任务一 压铸工艺及压铸机器人编程	113
任务二 压铸系统仿真设计	119
项目六 焊接机器人	139
任务一 建立焊接机器人系统	139
任务二 焊接机器人的 I/O 配置	142
任务三 焊接指令编程	155
项目七 立体仓库	161
任务一 传送带调速控制	161
任务二 工装的夹取与释放	178
任务三 工件盒加盖	184
任务四 工件入库	188
项目八 智能视觉	191
任务一 颜色及编号的识别	191
任务二 工件识别及工件角度调整	202
附录	220
附录 A 常用 RAPID 程序指令	220
附录 B Smart 子组件	228
参考文献	234



认识工业机器人

任务一 工业机器人的构成与选型

【任务目标】

1. 认知工业机器人的系统组成
2. 领会工业机器人的控制方式
3. 掌握工业机器人的性能指标及选型

【背景知识】

工业机器人一般指用于机械制造业中代替人完成具有大批量、高质量要求的工作，如汽车制造、摩托车制造、舰船制造、某些家电产品（电视机、电冰箱、洗衣机）、化工等行业自动化生产线中的点焊、弧焊、喷漆、切割、电子装配及物流系统的搬运、包装、码垛等作业的机器人。

一、工业机器人的系统组成

工业机器人的系统由三大部分六个子系统组成，三大部分为控制部分、机械部分和传感检测部分，六大子系统为：人机交互系统、控制系统、驱动系统、机械结构系统、感受系统、机器人—环境交互系统，如图 1-1 所示。

1. 人机交互系统

人机交互系统是使操作人员参与机器人控制并与机器人进行联系的装置，也是人和机器人联系与协调的单元，该系统归纳起来可以分为两大类：指令给定装置和信息显示装置。例如，计算机的标准终端、指令控制台、信息显示板、危险信号报警器等。

2. 控制系统

一种是集中式控制，即机器人的全部控制由一台微型计算机（简称微机）完成。另一种是分散（级）式控制，即采用多台微机来分担机器人的控制，如当采用上、下两级微机共同完成机器人的控制时，主机常用于负责系统的管理、通信、运

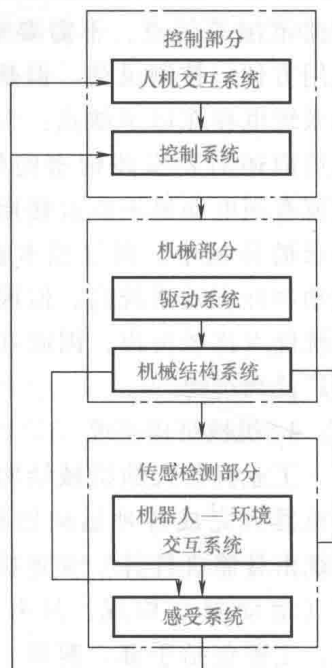


图 1-1 工业机器人的系统构成



动力学和动力学计算，并向下级微机发送指令信息；作为下级从机，各关节分别对应一个CPU，进行插补运算和伺服控制处理，实现给定的运动，并向主机反馈信息。

3. 驱动系统

工业机器人的驱动系统按动力源可分为液压驱动、气动驱动和电动驱动三种基本驱动类型。根据实际需要，可采用三种基本驱动中的一种或几种结合起来应用。

(1) 液压驱动

液压驱动一般由电动机带动液压泵，液压泵转动形成高压液流（动力），液压管路将高压液体（一般是液压油）接到液压马达，使液压马达转动，形成驱动力。

液压技术是一种比较成熟的技术，具有动力大、力（或力矩）与惯量大、响应快、易于实现直接驱动等特点，适合在承载能力大、惯量大以及在防焊环境中工作的机器人中应用。但液压系统需进行能量转换（电能转换成液压能），速度控制多数情况下采用节流调速，效率比电动驱动系统低。液压系统的液体泄漏会对环境产生污染，工作噪声也较高。由于这些弱点，近年来，在负荷为 100kg 以下的机器人中，液压系统往往被电动系统所取代。

(2) 气动驱动

气动驱动与液压驱动相似，气动驱动是利用气体抗挤压力来实现力的传递。

气动驱动具有速度快、系统结构简单、维修方便、价格低等特点，适合在中、小负荷的机器人中采用。但因难于实现伺服控制，多用于程序控制的机器人中，如在上、下料和冲压机器人中应用较多。

(3) 电动驱动

电动驱动利用各种电动机产生的力矩和力，其系统结构如图 1-2 所示。电动驱动具有较高的功率质量比、高起动转矩、低惯量和较宽广且平滑的调速范围等优点，不需要能量转换，使用方便，控制灵活。但是，这类驱动系统也存在以下缺点：大多数电动机后面还需要安装精密的传动机构，直流有刷电动机不能直接用于有防爆要求的环境中，而且成本也较液压、气动两种驱动系统高。但因电动驱动系统优点比较突出，因此在机器人中被广泛地选用。

4. 机械结构系统

工业机器人的机械结构系统是工业机器人完成各种运动的机械部件。系统由骨骼（杆件）和连接它们的关节（运动副）构成，具有多个自由度，主要包括手部、腕部、臂部、机身等部件，如图 1-3 所示。

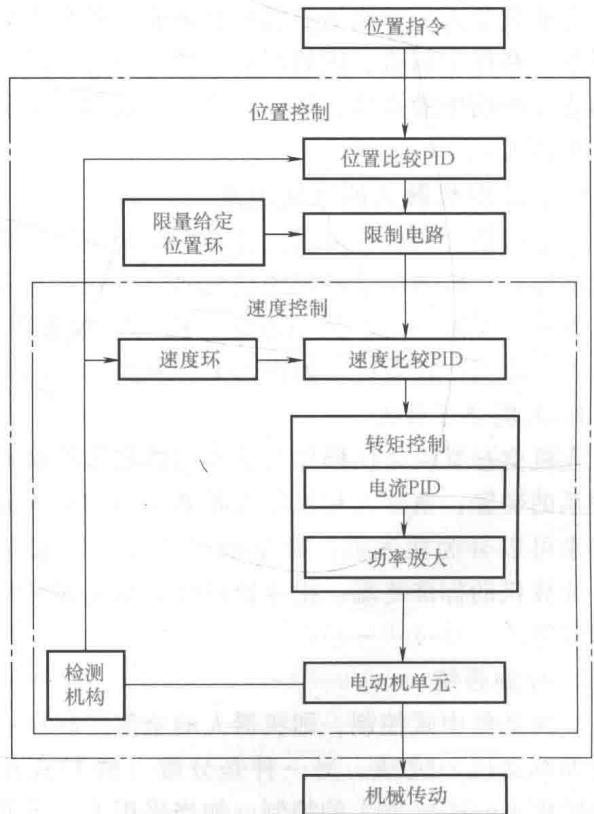


图 1-2 电动驱动系统框图



1) 手部：又称为末端执行器或夹持器，是工业机器人对目标直接进行操作的部分，在手部可安装专用的工具，如焊枪、喷枪、电钻、电动螺钉（母）拧紧器等。

2) 腕部：腕部是连接手部和臂部的部分，主要功能是调整手部的姿态和方位。

3) 臂部：用以连接机身和腕部，是支撑腕部和手部的部件，由动力关节和连杆组成，用以承受工件或工具的负荷，改变工件或工具的空间位置，并将它们送至预定位置。

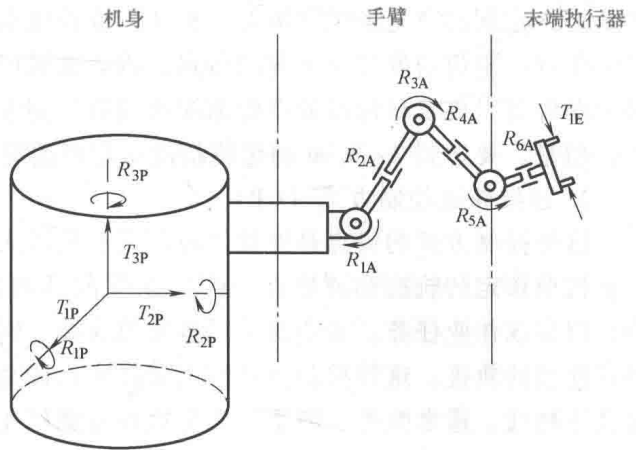


图 1-3 工业机器人的机械结构

4) 机身：机身是机器人的支撑部分，有固定式和移动式两种。

5. 感受系统

感受系统由内部传感器和外部传感器构成。传感器处于连接外界环境与机器人的接口位置，是机器人获取信息的窗口。

(1) 传感器的分类

根据传感器在机器人上应用目的与使用范围的不同，将其分成两类：内部传感器和外部传感器。

内部传感器：用于检测机器人自身的状态，如测量回转关节位置的轴角编码器、测量速度以控制其运动的测速计。

外部传感器：用于检测机器人所处的环境和对象状况，如视觉传感器。它可为高层次的机器人控制提供更多的适应能力，也给工业机器人增加了自动检测能力。外部传感器可进一步分为末端执行器传感器和环境传感器。

(2) 机器人对传感器的要求

- 1) 精度高、重复性好。
- 2) 稳定性和可靠性好。
- 3) 抗干扰能力强。
- 4) 质量轻、体积小、安装方便。

6. 机器人—环境交互系统

机器人—环境交互系统可实现机器人与外部设备的联系和协调，并构成功能单元，如加工制造单元、焊接单元、装配单元等。可以是多台机器人，也可以是多台机床或设备、多个零件存储装置等集成为一个去执行复杂任务的功能单元。

二、工业机器人的控制方式

工业机器人的控制方式主要有四种：点位控制方式（PTP）、连续轨迹控制方式（CP）、力（力矩）控制方式、智能控制方式。

1. 点位控制方式（PTP）

这种控制方式的特点是指控制工业机器人末端执行器在作业空间中某些规定的离散点上



的位姿。控制时只要求工业机器人快速、准确地实现相邻各点之间的运动。由于其控制方式易于实现、定位精度要求不高的特点，因而常被应用在上下料、搬运、点焊和在电路板上安插元器件等只要求目标点处保持末端执行器位姿准确的作业中。一般来说，这种方式比较简单，但是，要达到 $2\sim 3\mu\text{m}$ 的定位精度是相当困难的。

2. 连续轨迹控制方式 (CP)

这种控制方式的特点是连续地控制工业机器人末端执行器在作业空间中的位姿，要求其严格按照预定的轨迹和速度在一定的精度范围内运动，而且速度可控、轨迹光滑、运动平稳，以完成作业任务。工业机器人各关节连续、同步地进行相应的运动，其末端执行器即可形成连续的轨迹。这种控制方式的主要技术指标是工业机器人末端执行器位姿的轨迹跟踪精度及平稳性。通常弧焊、喷漆、去毛边和检测作业机器人都采用这种控制方式。

3. 力 (力矩) 控制方式

在完成装配、抓放物体等工作时，除了要准确定位之外，还要求使用适度的力或力矩进行工作，这时就要利用力 (力矩) 控制方式。这种方式的控制原理与位置伺服控制原理基本相同，只不过输入量和反馈量不是位置信号，而是力 (力矩) 信号，因此系统中必须有力 (力矩) 传感器。有时也利用接近、滑动等传感功能进行自适应式控制。

4. 智能控制方式

机器人的智能控制是通过传感器获得周围环境的信息，并根据自身内部的知识库做出相应的决策。采用智能控制技术，使机器人具有了较强的环境适应性及自学习能力。智能控制技术的发展有赖于近年来人工神经网络、基因算法、遗传算法、专家系统等人工智能的迅速发展。

三、工业机器人的性能指标

1. 自由度

自由度是指机器人操作机在空间运动所需的变量数，用以表示机器人动作灵活程度的参数，一般是以沿轴线移动和绕轴线转动的独立运动数目来表示。工业机器人往往是个开式连杆系，每个关节运动副只有一个自由度，因此通常机器人的自由度数目就等于其关节数。机器人的自由度数目越多，功能就越强。目前工业机器人通常具有 $4\sim 6$ 个自由度。当机器人的关节数 (自由度) 增加到对末端执行器的定向和定位不再起作用时，便出现了冗余自由度。冗余自由度的出现增加了机器人工作的灵活性，但也使控制变得更加复杂。

工业机器人在运动方式上，可以分为直线运动 (简记为P) 和旋转运动 (简记为R) 两种，应用简记符号P和R可以表示操作机运动自由度的特点，如RPRR表示机器人操作机具有四个自由度，从基座开始到臂端，关节运动的方式依次为旋转-直线-旋转-旋转。此外，工业机器人的运动自由度还有运动范围的限制。

2. 精度

工业机器人精度是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，用反复多次测试的定位结果的代表点与指定位置之间的距离来表示。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，以实际位置值的分散程度来表示。实际应用中常以重复测试结果的标准偏差值的3倍来表示，它用于衡量一系列误差值的密集度。

3. 工作范围

在选择机器人的时候，用户需要了解机器人要到达的最大距离。选择机器人不但要关注



负载，还要关注其最大运动范围。每一个公司都会给出机器人的运动范围，用户可以从其中看出是否符合应用的需要。最大垂直运动范围是指机器人腕部能够到达的最低点（通常低于机器人的基座）与最高点之间的范围。最大水平运动范围是指机器人腕部能水平到达的最远点与机器人基座中心线的距离。用户还需要参考最大动作范围（用度表示）。这些规格不同的机器人区别很大，对某些特定的应用存在限制。

4. 工作速度

速度对于不同的用户需求也不同。它取决于工作需要完成的时间。规格表上通常只是给出最大速度，机器人能提供的速度介于0和最大速度之间，其单位通常为度/秒。一些机器人制造商还给出了最大加速度。

5. 负载能力

负载是指机器人在工作时能够承受的最大载重。如果将零件从一台机器处搬至另外一处，就需要将零件的重量和机器人抓手的重量计算在负载内。

有效负载（Payload）是指机器人操作机在工作时臂端可能搬运的物体重量或所能承受的力或力矩，用以表示操作机的负荷能力。

机器人在不同位姿时，允许的最大可搬运质量是不同的，因此机器人的额定可搬运质量是指其臂杆在工作空间中任意位姿时腕关节端部都能搬运的最大质量。

四、工业机器人的主体结构

工业机器人主体结构中各个关节运动副和连杆构件组成了不同的坐标系。常见的坐标系统有：直角坐标系、圆柱坐标系、极坐标系、关节坐标系。

1. 直角坐标机器人

如图1-4所示，这一类机器人手部的的位置变化是通过沿着三个相互垂直的轴线移动来实现的，这类形式的机器人常应用于生产设备的上下料和高精度装配。

直角坐标机器人是以XYZ直角坐标系统为基本数学模型，其工作的行为方式主要是完成沿着X、Y、Z轴上的线性运动。直角坐标机器人以伺服电动机、步进电动机为驱动的单轴机械臂为基本工作单元，以滚珠丝杠、同步传送带、齿轮齿条为常用的传动方式所架构起来的机器人系统，可以完成在XYZ三维坐标系中任意一点的到达和遵循可控的运动轨迹。

直角坐标机器人采用运动控制系统实现对其的驱动及编程控制，直线、曲线等运动轨迹的生成为多点插补方式，操作及编程方式为引导示教编程方式或坐标定位方式。

2. 圆柱坐标机器人

如图1-5所示，圆柱坐标机器人包括上下圆盘的旋转台，相对于包括上下固定板的框架旋转。丝杠和导杆安装在上下圆盘上。轴结构包括：具有纵向空腔的内轴、外轴和中间轴，外轴和中间轴与内轴同心并可分开地旋转。设有一对臂驱动轴的臂支撑框架安装在轴结构上，设有第一、第二和第三驱动装置，

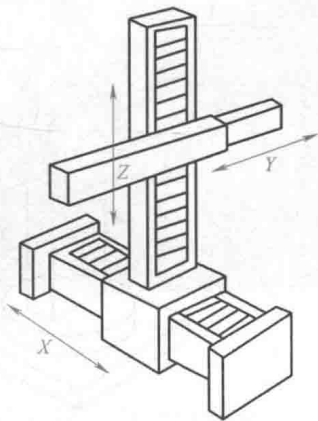


图1-4 直角坐标工业机器人

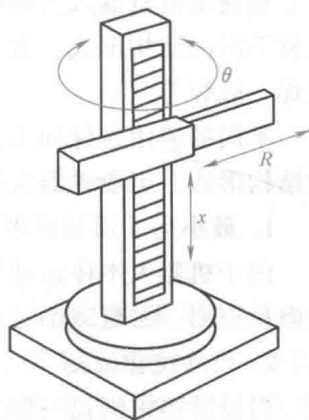


图1-5 圆柱坐标工业机器人



相对于框架旋转旋转台，相对于旋转台旋转丝杠，并相对于旋转台旋转各轴。圆柱坐标型机器人的结构如图 1-5 所示， R 、 θ 和 x 为坐标系的三个坐标，其中 R 是手臂的径向长度， θ 是手臂的角位置， x 是垂直方向上手臂的位置。如果机器人手臂的径向坐标 R 保持不变，机器人手臂的运动将形成一个圆柱表面。

3. 极坐标机器人

如图 1-6 所示，极坐标机器人的手臂能上下俯仰、前后伸缩，并能绕立柱回转，在空间构成部分球面。这类机器人占地面积较小，结构紧凑，比圆柱坐标机器人更为灵活，操作范围更大，能与其他机器人协调工作，重量较轻，但避障性差，有平衡问题，位置误差与臂长成正比。极坐标机器人又称为球坐标机器人，其结构如图 1-6 所示， R 、 θ 和 β 为坐标系的坐标。其中 θ 是绕手臂支撑底座垂直的转动角， β 是手臂在铅垂面内的摆动角。这种机器人运动所形成的轨迹表面是半球面。

4. 多关节机器人

如图 1-7 所示，它是以其各相邻运动部件之间的相对角位移作为坐标系的。 θ 、 α 和 Φ 为坐标系的坐标，其中 θ 是绕底座铅垂轴的转角， Φ 是过底座的水平线与第一臂之间的夹角， α 是第二臂相对于第一臂的转角。这种机器人手臂可以达到球形体积内绝大部分位置，所能达到区域的形状取决于两个臂的长度比例。

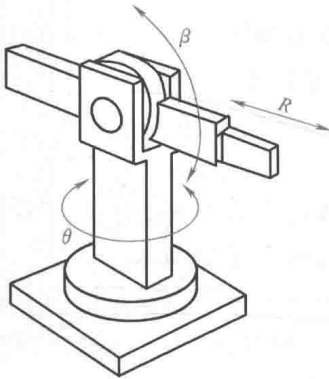


图 1-6 极坐标工业机器人

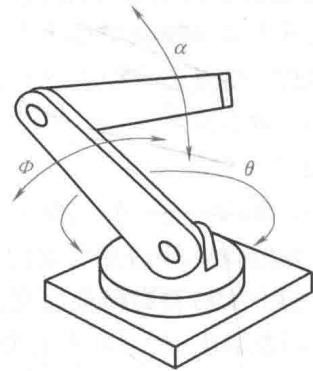


图 1-7 多关节工业机器人

五、工业机器人选型

目前工业机器人主要用于弧焊、点焊、喷涂、装配及搬运等工业作业，不同用途的机器人有不同的结构形式、自由度数目及控制要求，而专用机器人只用于某几种作业，如装配、点焊、弧焊等。

不同的应用条件和工艺要求，对机器人的负荷、速度以及精度控制要求不同，需要不同的结构形式。工业机器人选型一般遵循以下原则：

1. 最小运动惯量原则

由于机器人本体运动部件较多，运动状态经常改变，必然产生冲击和振动。采用最小运动惯量原则，尽量减小运动部件的质量，可增加本体运动的平稳性，提高本体动力学特性。

2. 尺寸优化原则

当设计要求满足一定工作空间要求时，通过尺寸优化以选定最小的臂杆尺寸，这将有利于本体刚度的提高，使运动惯量进一步降低。



3. 高强度材料选用原则

由于机器人本体从手腕、小臂、大臂到机座是依次作为负载起作用的，选用高强度材料以减轻零部件的质量，减少运转的动载荷与冲击，减小驱动装置的负载，提高运动部件的响应速度是十分必要的。

4. 刚度设计的原则

要使刚度最大，必须恰当地选择杆件截面形状和尺寸，提高支承刚度和接触刚度，合理安排作用在臂杆上的力和力矩，尽量减少杆件的弯曲变形。

5. 可靠性原则

机器人本体因结构复杂、环节较多，可靠性问题显得尤为重要。一般来说，元器件的可靠性应高于部件的可靠性，而部件的可靠性应高于整机的可靠性。

6. 工艺性原则

机器人本体是一种高精度、高集成度的自动机械系统，良好的加工和装配工艺性是设计时要体现的重要原则之一。

六、工装、夹具

工装，即工艺装备：指制造过程中所用的各种工具的总称。包括刀具、夹具、模具、量具、检具、辅具、钳工工具、工位器具等，工装为其通用简称。工装分为专用工装、通用工装、标准工装（类似于标准件），如图 1-8 所示。

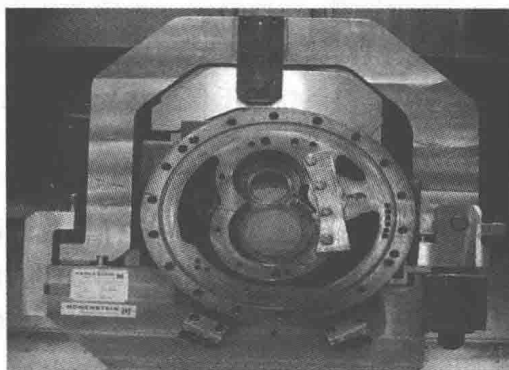


图 1-8 工装实物图

夹具是加工时用来迅速紧固工件，使机床、刀具、工件保持正确相对位置的工艺装置。夹具又称卡具。从广义上说，在工艺过程中的任何工序，用来迅速、方便、安全地安装工件的装置，都可称为夹具。例如焊接夹具、检验夹具、装配夹具、机床夹具等。

夹具通常由定位元件（确定工件在夹具中的正确位置）、夹紧装置、对刀引导元件（确定刀具与工件的相对位置或导引刀具方向）、分度装置（使工件在一次安装中能完成数个工位的加工，有回转分度装置和直线移动分度装置两类）、连接元件以及夹具体（夹具体底座）等组成。在焊接过程中，合理的夹具结构有利于合理安排流水线生产，便于平衡工位时间，降低非生产用时。

【任务实施】

下面以弧焊机器人（Arc Welding Robot）为例进行工业机器人选型分析。

一、弧焊机器人的工艺要求

1. 焊接或切割方法

选用适用的焊接或切割方法对弧焊机器人尤为重要，这实质上反映了机器人控制和驱动系统抗干扰的能力。由于机器人控制和驱动系统没有特殊的抗干扰措施，因此现在一般弧焊机器人只采用熔化极气体保护焊方法，因为这些焊接方法不需要采用高频引弧起焊。能采用钨极氩弧焊的弧焊机器人是近几年的新产品，它有一套特殊的抗干扰措施，这一点在选用机



机器人时要加以注意。

2. 摆动功能

摆动功能对弧焊机器人甚为重要，它关系到弧焊机器人的工艺性能。现有弧焊机器人的摆动功能差别很大，有的机器人只有固定的几种摆动方式，有的机器人只能在 X - Y 平面内任意设定摆动方式和参数，最佳的选择是能在三维立体空间 (X - Y , Z) 范围内任意设定摆动方式和参数。

3. 焊接工艺故障自检和自处理功能

常见的焊接工艺故障有弧焊的粘丝、断丝，点焊的粘电极等，这些故障发生后，如果不及时采取措施，则会发生损坏机器人或报废工件等事故。因此，机器人必须具有检出这类故障并实时自动停车报警的功能。

4. 引弧和收弧功能

为确保焊接质量，需要改变参数。在机器人焊接中，在示教时应能设定和修改参数，这是弧焊机器人必不可少的功能。

二、弧焊机器人的技术指标

1. 自由度数

这是反映机器人灵活性的重要指标。一般来说，有 3 个自由度数就可以达到机器人工作空间任何一点，但焊接不仅要达到空间某位置，而且要保证焊枪（割具或焊钳）的空间姿态。因此，对弧焊和切割机器人至少需要 5 个自由度，点焊机器人需要 6 个自由度。

2. 负载

指机器人末端能承受的额定载荷，焊枪及其电缆、割具及气管、焊钳及电缆、冷却水管等都属于负载。因此，弧焊和切割机器人的负载能力为 6 ~ 10kg，点焊机器人如使用一体式变压器和一体式焊钳，其负载能力应为 60 ~ 90kg，如使用分离式焊钳，其负载能力应为 40 ~ 50kg。

3. 工作空间

厂家所给出的工作空间是机器人未装任何末端操作器情况下的最大可达空间，用图形来表示。应特别注意的是，在装上焊枪（或焊钳）后，又需要保证焊枪姿态。实际的可焊接空间会比厂家给出的小一些，需要认真地用比例作图法或模型法核算一下，以判断是否满足实际需要。

4. 最大速度

这在生产中是影响生产效率的重要指标。产品说明书给出的是在各轴联动的情况下，机器人手腕末端所能达到的最大线速度。由于焊接要求的速度较低，最大速度只影响焊枪（或焊钳）的到位、空行程和结束返回时间。

5. 点到点重复精度

这是机器人性能的最重要指标之一。例如：对于点焊机器人，从工艺要求出发，其精度应达到焊钳电极直径的 $1/2$ 以下，即 1 ~ 2mm；而对于弧焊机器人，则应小于焊丝直径的 $1/2$ ，即 0.2 ~ 0.4mm。

6. 轨迹重复精度

这项指标对弧焊机器人十分重要，但各机器人厂家都不给出这项指标，因为测量比较复杂。但各机器人厂家内部都做这项测量，可向厂家索要其精度数据，对弧焊和切割机器人，



其轨迹重复精度应小于焊丝直径或割具切孔直径的 $1/2$ ，一般需要达到 $0.3 \sim 0.5\text{mm}$ 以下。

7. 插补功能

对弧焊、切割和点焊机器人，都应具有直线插补和圆弧插补功能。

8. 自诊断功能

机器人应具有对主要元器件、主要功能模块进行自动检查、故障报警、故障部位显示等功能。这对保证机器人快速维修和进行保障非常重要。因此，自诊断功能是机器人的重要功能，也是评价机器人完善程度的主要指标之一。

9. 自保护及安全保障功能

机器人具有自保护及安全保障功能，主要包括驱动系统过热自断电保护和动作超限位自断电保护，用于防止机器人伤人或损伤周边设备。在机器人的工作部位装有各类触觉、接近觉或视觉传感器，并能使机器人自动停止工作。

三、弧焊机器人本体的选型

机器人选型应遵循上述选型原则，结合实际工艺要求及技术指标，按以下步骤统筹考虑：

1) 首先要根据具体产品加工类型确定机器人的负荷要求、定位精度以及是否配备寻位、跟踪、激光传感功能。如果是电阻焊用的机器人，则手臂负重较大；如果是电弧焊用的机器人，则手臂负重较小。

2) 其次是考虑机器人加工对象的形状结构特点（如材料、板厚、结构、尺寸、工件的精度等），根据其形状和大小选择确定工业机器人的工作范围、定位精度、运动方式等，一般保证一次将产品上的所有焊点焊到为准。同时考虑生产批量、效率和成本，选择主体结构、轴数和速度。

3) 最后综合考虑机器人产品的可靠性、维修、售后服务、编程操作等其他因素，确定机器人生产厂家、型号。

表 1-1 为几种典型 ABB 工业机器人的性能参数及应用领域。

表 1-1 几种典型 ABB 工业机器人的性能参数及应用领域

型号	IRB140	IRB1410	IRB1600	IRB2400
图示				
性能参数	有效载荷:6kg; 到达距离:810mm; 重复定位精度:±0.03mm	有效载荷:5kg,上臂可承受18kg的附加载荷; 重复定位精度:±0.05mm; 到达距离:1.44m	有效载荷:5~7kg; 重复定位精度:±0.05mm; 到达距离:1.45m	有效载荷:7~20kg; 重复定位精度:±0.06mm; 到达距离:1.810m



型号	IRB140	IRB1410	IRB1600	IRB2400
适用领域	弧焊、装配、切割/去毛刺、模铸、上胶/密封、注塑、机械管理、物料搬运、拾料、包装、喷涂	弧焊、上胶、注塑、包装、机械管理、物料搬运	弧焊、装配、模铸、注塑、包装、机械管理、物料搬运	弧焊、装配、铸件清洗、切割/去毛刺、模铸、上胶/密封、研磨/抛光、注塑、机械管理、物料搬运、包装

四、弧焊机器人夹具的选型

选用夹具时，通常考虑以下几点：

- 1) 夹具应有足够的强度和刚度。
- 2) 焊接操作灵活。
- 3) 产品在装配、定位焊或焊接后能够从工装夹具中顺利取出。
- 4) 应具有良好的工艺性。
- 5) 外观质量好。

以塔吊主肢焊接为例，基于夹具选取原则可以选取气动夹具，在保证强度的前提下设计为快速装卸的方式，且减少对焊接位置的遮挡。焊接夹具的设计力求模块化和标准化，采用一体化底座，确保各单元相对位置的稳定性。另外，在夹具

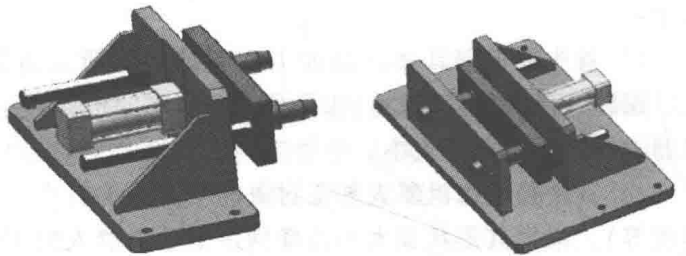


图 1-9 气动夹具示意图

模块与变位机的法兰之间、安装底座与底板之间采用螺栓紧固和定位销定位。使之在夹具调换过程中保证整个系统的准确定位，如图 1-9 所示。

任务二 ABB 机器人基本操作

【任务目标】

1. 认知 ABB 机器人的系统组成
2. 领会 ABB 机器人系统各部分的功能
3. 掌握示教器的使用方法

【背景知识】

机器人系统一般由机器人本体（机械手）、控制器（Controller）、示教器三部分构成，下面以 ABB 机器人为例进行说明。

一、ABB 机器人本体

机械手是由六个转轴组成的空间六杆开链机构，理论上可以达到运动范围内的任意一点。每个转轴均可带有一个齿轮箱。机械手带有串口测量板（SMB），串口测量板带有六节可充电的镍铬电池，起保存数据的作用。机械手带有手动松闸按钮，在维修时才使用，非正



常使用会造成设备或人员伤害，机械手带有平衡气缸或弹簧。

六个转轴均由 AC 伺服电动机驱动，运动精度（综合）达 $\pm 0.05 \sim 0.2\text{mm}$ 。每个电动机后均有编码器。工业机器人转轴分布示意图如图 1-10 所示。

二、控制器（Controller）

控制器由主开关（Mains Switch）、操作盘（Operator's Panel）、磁盘驱动器（Disk Drive）等组成，如图 1-11 所示。

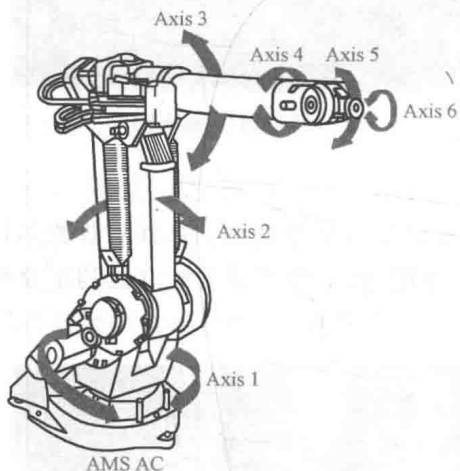


图 1-10 工业机器人转轴分布示意图

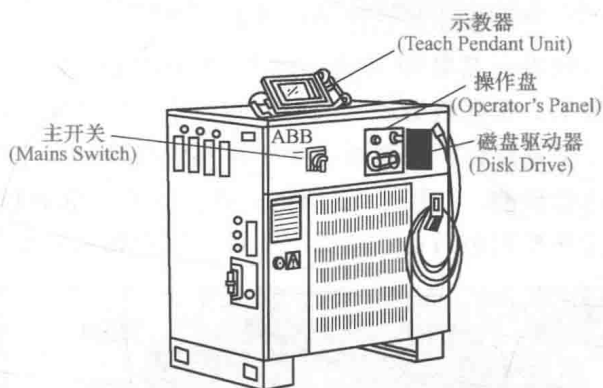


图 1-11 机器人控制器

控制器内部主要由主计算机板、轴计算机、机器人六轴驱动器、串口测量板、I/O 电源板、电源分配板、安全面板、电容、辅助部件、各种连接线等组成。

主计算机板含内存，控制整个系统，相当于计算机的主机，存放系统和数据，如图 1-12 所示。

轴计算机的作用是进行每个机器人轴的转数计算，如图 1-13 所示。

机器人六轴驱动器的主要作用是用于驱动机器人各个轴的电动机，如图 1-14 所示。

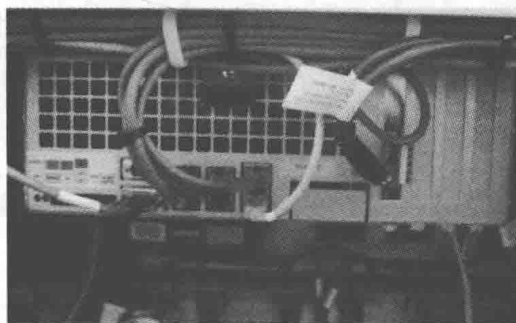


图 1-12 主计算机板

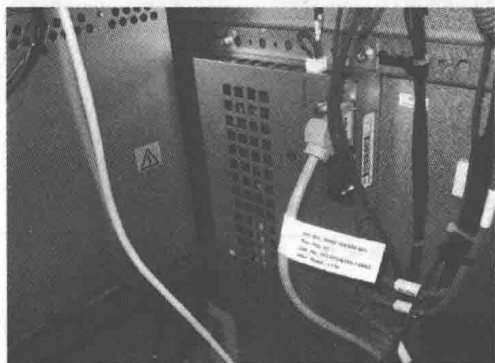


图 1-13 轴计算机

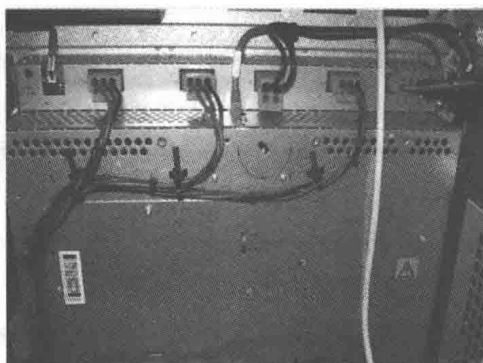


图 1-14 机器人六轴驱动器



串口测量板（见图 1-15）的主要作用是控制单元主板与 I/O LINK 设备的连接，控制单元主板与串行主轴及伺服轴的连接，控制单元 I/O 板与显示单元的连接。

I/O 电源板的作用是给 I/O（输入/输出）板提供电源。电源分配板的作用是给机器人各轴运动提供电源。

安全面板的主要作用是用于控制柜工作状态显示，急停按钮从它这里接入。

电容：充电和放电，此电容用于机器人关闭电源后，保存数据后再断电，相当于延时断电功能。

辅助部件：跟踪板，用于采集焊接坡口和工件的高度，通过信号变化，从而对焊枪的位置进行检测，如图 1-16 所示；外部轴上的电池和 TRACKSMB 板，外部轴上的电池的主要作用是在控制柜断电的情况下，可以保持相关的数据，如图 1-17 所示。

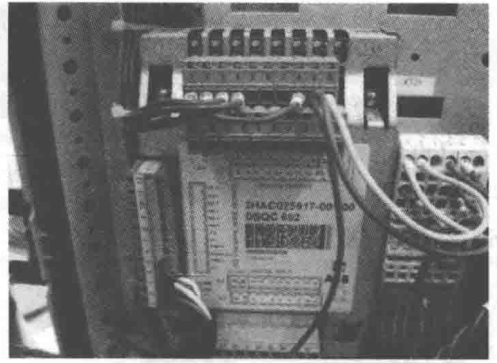


图 1-15 串口测量板

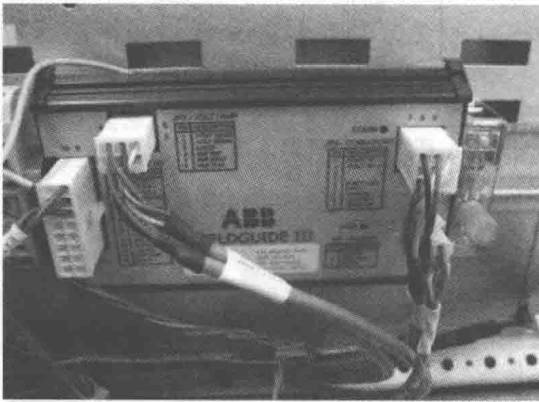


图 1-16 跟踪板



图 1-17 外部轴电池

连接线包括连接电动机、清枪器和焊机的连线，如图 1-18 所示；SMB 线和动力线。服务器信息块（SMB）协议是一种 IBM 协议，用于在计算机间共享文件、打印机、串口等。一旦连接成功，客户机可发送 SMB 命令到服务器上，从而使客户机能够访问共享目录、打开文件、读写文件，以及完成一切在文件系统上能做的所有事情，通往外部轴的 SMB 线（细线）、动力线（粗白线）和地线（粗黑线），如图 1-19 所示；机器人上的动力线和 SMB 线如图 1-20 所示。



图 1-18 电动机、清枪器和焊机的连线

三、示教器

示教器又叫示教编程器（以下简称示教器）是机器人控制系统的核心部件，是一个用来注册和存储机械运动或处理记忆的设备，该设备是由电子系统或计算机系统执行的。示教器包括连接器、触摸屏、紧急停止按钮、使能按钮和控制杆，如图 1-21 所示。