工业机器人应用技术



类目：机电类
书名：工业机器人应用技术
主编：蒋贤海 霍海锋 赵旭
出版社：湖南大学出版社
开本：大 16 开
书号：978-7-5667-4279-7
使用层次：通用
出版时间：2025 年 8 月
定价：48.00 元
印刷方式：双色
是否有资源：有

工业机器人应用技术





责任编辑：胡戈特
封面设计：旗语书装

ISBN978-7-5667-4279-7
定价：48.00元

人工智能类创新融合精品教材
“互联网+”教育改革新理念教材

工业机器人应用技术

主编◎蒋贤海　霍海锋　赵　旭

湖南大学出版社

人工智能类创新融合精品教材
“互联网+”教育改革新理念教材

工业机器人应用技术

主编◎蒋贤海　霍海锋　赵　旭





湖南大学出版社

机电类创新融合精品教材
“互联网+”教育改革新理念教材

工业机器人应用技术

主　编 ◎ 蒋贤海　霍海锋　赵　旭
副主编 ◎ 赵拓成　左亚飞　徐长友
亓晓鹏



湖南大学出版社
·长 沙·

图书在版编目(CIP)数据

工业机器人应用技术 / 蒋贤海，霍海锋，赵旭主编. 长沙 ：湖南大学出版社，2025. 8. -- ISBN 978-7-5667-4279-7

Ⅰ. TP242. 2

中国国家版本馆 CIP 数据核字第 2025BQ5334 号

工业机器人应用技术

GONGYE JIQIREN YINGYONG JISHU

主　　编：蒋贤海　霍海锋　赵　旭

责任编辑：胡戈特

印　　装：唐山唐文印刷有限公司

开　　本：889 mm×1194 mm　1/16　**印　　张**：10　**字　　数**：224 千字

版　　次：2025 年 8 月第 1 版　**印　　次**：2025 年 8 月第 1 次印刷

书　　号：ISBN 978-7-5667-4279-7

定　　价：48. 00 元

出 版 人：李文邦

出版发行：湖南大学出版社

社　　址：湖南·长沙·岳麓山　**邮　　编**：410082

电　　话：0731-88822559(营销部)，88821174(编辑室)，88821006(出版部)

传　　真：0731-88822264(总编室)

网　　址：http://press. hnu. edu. cn

电子邮箱：xiaoshulianwenhua@163. com

版权所有，盗版必究

图书凡有印装差错，请与营销部联系

前言

工业机器人是20世纪60年代在自动操作机基础上发展起来的一种能模仿人的某些动作和控制功能，并按照可变的预定程序、轨迹及其他要求操作工具，实现多种操作的自动化机械系统。工业机器人能够代替工人完成极其繁重、复杂、精密或充满危险的各类工作。它综合了精密机械、控制传感和自动控制技术等领域的最新成果，在工厂自动化生产和柔性生产系统中起着关键的作用，并广泛应用于工农业生产、航空航天和军事技术等领域。

该教材聚焦当前机器人发展的前沿技术，以实际开发实例为载体，以适应学科交叉和多学科相互渗透的要求，培养学生扎实的专业知识和较强的动手能力，同时融入思政元素，使学生认识到我国在机器人领域的成就和优势，培养学生的爱国主义精神和民族自豪感。

本教材增加了较多的应用实例，能让学生较好地掌握工业机器人的基础知识，培养其分析问题和解决问题的能力。教材多数基本概念和方法通过例题来进行解说，增加了可读性。

由于编者水平有限，书中难免有疏漏和不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编　者

2025年2月

目录

模块一 工业机器人基础知识 …… 1

任务 1 机器人制造商及我国工业机器人现状 …… 2
任务 2 工业机器人结构与类型 …… 5
任务 3 认识 ABB 机器人 …… 9
任务 4 机器人使用与保养 …… 11
习题 1 …… 13

模块二 工业机器人基本操作 …… 14

任务 1 机器人操作注意事项 …… 15
任务 2 认识示教器 …… 16
任务 3 机器人基本操作 …… 18
任务 4 工业机器人重要参数设定 …… 23
任务 5 机器人 I/O 通信 …… 26
习题 2 …… 30

模块三 工业机器人示教编程 …… 31

任务 1 坐标系的认识 …… 32
任务 2 数据类型与运算 …… 34
任务 3 程序流程控制 …… 42
任务 4 机器人基本运动控制指令 …… 47
任务 5 输入/输出信号设置 …… 53
任务 6 程序模块与 rapid 程序 …… 55
习题 3 …… 63

模块四 工业机器人离线编程 …… 64

任务 1 搭建工作站 …… 65
任务 2 创建工具工件坐标 …… 67

任务 3　创建与调试路径 …… 69
任务 4　轨迹仿真与碰撞检测 …… 71
任务 5　工业机器人离线编程综合应用技术 …… 72
习题 4 …… 86

模块五　工业机器人综合应用技术 …… 87
任务 1　完成工业机器人综合应用 …… 88
任务 2　实现工业机器人搬运 …… 93
任务 3　实现工业机器人压铸 …… 99
习题 5 …… 104

模块六　编程提升 …… 105
任务 1　计数指令 …… 106
任务 2　中断指令 …… 107
任务 3　高级运动指令 …… 110

模块七　FANUC 机器人操作与编程 …… 112
任务 1　示教器介绍 …… 113
任务 2　FANUC 工业机器人手动示教的方法 …… 119
任务 3　编写程序 …… 121
任务 4　示教运动状态 …… 123
任务 5　程序操作 …… 125
任务 6　程序实例 …… 127

模块八　华数机器人编程与操作 …… 131
任务 1　示教器（HRT－6－I 型） …… 132
任务 2　示教器操作 …… 133
任务 3　自动运行 …… 137
任务 4　运动指令练习 …… 138

附录　编程实例 …… 140
实例 1　轨迹运动 …… 141
实例 2　搬运 …… 142
实例 3　压铸 …… 147

参考文献 …… 153

模块一

工业机器人基础知识



工业机器人一般指在机械制造业中用于代替人完成具有大批量、高质量要求的工作，如车辆制造、舰船制造、某些家电产品制造(电视机、电冰箱、洗衣机)、化工生产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。

1974 年 ABB 公司第一台机器人诞生，IRC5 为当时最新的控制系统。所属机器人大部分用于焊接、喷涂及搬运。

当前工业生产使用的机器人常见型号为 IRB1410，其承重能力为 5 kg，上臂可承受 18 kg 的附加载荷，这在同类机器人中绝无仅有。最大工作半径 1 444 mm，常用于焊接与范围搬运，具备再扩展一个外部轴的能力。

任务 1　机器人制造商及我国工业机器人现状

1.1.1　英国马丁路德(Martin Lord)

马丁路德集团是全球工业机器人自动化加工及高精度制造方案的供应商。公司总部位于英国，在瑞典、美国和中国设有分支机构。集团专注于高精密机械以及电气技术研制、开发和设计，公司位于英国克兰菲尔德大学，该大学的精密工程研究所(CUPE)是目前全球公认水平最高的超精密机床研发机构。马丁路德公司汇聚了该所的专业人士以及来自瑞士的高精密机械专家，为高端制造业提供更高精度的制造方案，公司的客户涵盖了欧美军工、航天、电子等各重要领域。

1.1.2　日本发那科(FANUC)

FANUC 公司于 1956 年在日本创建，中文名称发那科，是当今世界上数控系统科研、设计、制造、销售实力最强大的企业，截至 2025 年，共有员工 8 164 人。FANUC 于 1959 年首先推出了电液步进电机，在后来的若干年中逐步发展并完善了以硬件为主的开环数控系统。进入 20 世纪 70 年代，微电子技术、功率电子技术等技术迎来快速发展，尤其是计算技术，发展之快超乎预期，FANUC 公司毅然舍弃了使其发家的电液步进电机数控产品，从美国 GETTES 公司引进直流伺服电机制造技术。1976 年 FANUC 公司成功研制数控 5 系统，随后又与德国 SIEMENS 公司联合研制了具有先进水平的数控 7 系统，从这时起，FANUC 公司

逐步发展成为世界上最大的专业数控系统生产厂家，产品日新月异，年年翻新。

1.1.3　瑞士 ABB

ABB 集团是全球 500 强企业之一，集团总部位于瑞士苏黎世。ABB 由两个有 100 多年历史的国际性企业瑞典阿西亚公司(ASEA)和瑞士布朗勃法瑞公司(BBC Brown Boveri)于 1988 年合并而成。ABB 是电力和自动化技术领域的领导者，其拥有的技术可以帮助公共事业和工业领域的客户提高业绩，同时降低对环境的不良影响。ABB 集团业务遍布全球 100 多个国家，现有员工 105 000 名，2024 年销售额高达 329 亿美元。

1.1.4　德国库卡(KUKA)

德国库卡公司成立于 1898 年，自 1977 年开始系列化生产各种用途的机器人，是目前国际上最大的机器人制造商之一。库卡机器人最显著的特点是采用 PC BASED 控制系统，该系统在微软的 Windows 界面下操作。PC BASED 控制系统的设计，再加上标准化的个人电脑硬件，以及简单的规划和设置，使其 MTBF(平均故障间隔时间)超过 7.5 万小时，机器人平均使用寿命更是长达 10～15 年。机器人应用于包装机械行业已有多年历史，最新型的库卡卸码垛机器人采用精巧的聚碳纤维材料制造，令机器人在非常轻巧的同时还能具有更高的强度，使其尤其适用于高负载作业。该机器人的卸码垛过程采用了 FEM 的最优化操作方式，四轴倾斜式的设计则降低了维护保养的成本。

1.1.5　瑞士史陶比尔(STAUBLI)

史陶比尔集团有着 100 多年的发展历史，是一家在纺织机械、工业快速接头和工业机器人三大领域均保持领先地位的世界知名企业。为了向客户就近提供更好、更快捷的服务，1997 年史陶比尔集团在亚洲建立了首家制造工厂——史陶比尔(杭州)精密机械电子有限公司[下称史陶比尔(杭州)公司]。秉承史陶比尔一贯的优良传统和专业精神，史陶比尔(杭州)公司竭诚向客户提供创新、完美的解决方案和优质的技术支持和服务。

1954 年，美国人德沃尔提出了工业机器人的概念，并申请了专利。该专利的要点是借助伺服技术控制机器人的关节，利用人手对机器人进行动作示教，机器人能实现动作的记录和再现，这就是所谓的示教再现机器人。1959 年，第一台工业机器人在美国诞生。

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人。它是自动执行指令的机器装置，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，也可以按照预先编排的程序运行。

图 1-1 为一种焊接工业机器人的外形图。有了工业机器人的介入，生产时既保证了产品质

量，又提高了生产效率，同时还可避免工伤事故的发生。近半个世纪的工业机器人的使用实践证明：工业机器人的应用与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。



图 1-1　焊接机器人

工业机器人的出现将人类从繁重、单一的劳动中解放出来，同时还能够从事一些不适合人类甚至超越人类能力的劳动，如在强辐射、强污染的环境里作业。工业机器人技术集成了机械工程、电子技术、计算机技术、自动控制理论及人工智能等多学科的最新研究成果，代表了机电一体化的最高成就，是现代科学技术发展中最活跃的领域之一，其研发、制造、应用等各环节已成为衡量一个国家科技创新和制造业水平的重要标志。

1.1.6　我国工业机器人发展及现状

随着机器人在世界范围内的蓬勃发展，其在我国也越来越受到政府、企业、金融机构等各方面的重视。《中国制造 2025》(国发〔2015〕28 号)也被称为中国版的“工业 4.0 规划”，工业机器人的应用与普及是实现中国制造业转型升级的强力技术手段。

中国机器人市场增长快速，2009 年至 2013 年，中国工业机器人市场销量以年均 60.7% 的速度高速增长。2016 年全年工业机器人产量达到 72 426 套，增长 34.3%。2021 年以来，工业机器人迎来国内市场上国际市场的双重利好，产量超 30 万台；2023 年产量 42.95 万台；2024 年 1～11 月，累计生产 48.39 万台，累计同比增长 11%。

中国工业机器人市场需求的高速增长带动了全球工业机器人产业快速发展，以 ABB、库卡(KUKA)、安川电机(YASKAWA)、发那科(FANUC)为代表的国外机器人企业占据了中国工业机器人 85%的市场份额。总体来看，国内工业机器人产品与外资产品技术水平差距较大。同发达国家相比，国内机器人生产企业市场份额占比相对较小，个体企业普遍存在规模较小、创新能力薄弱等问题。我国工业机器人从 20 世纪 80 年代科技攻关开始起步，在国家的大力支持下，机器人也取得了不少成果。“863 计划”机器人技术主题对机器人技术发展作了重要战略调整，将机器人从单纯的研发扩展到自动化装备技术的应用，并且将中心工作定义成“开发和研究面向先进制造的机器人系统、自动化装备、特种机器人，促进传统机器的智能化和机器人产业的发展，提高我国自动化技术的整体水平”。《“十四五”机器人产业发展规

划》指出：到 2025 年，我国成为全球机器人技术创新策源地、高端制造集聚地和集成应用新高地……到 2035 年，我国机器人产业综合实力达到国际领先水平。机器人成为经济发展、人民生活、社会治理的重要组成。

任务 2　工业机器人结构与类型

1.2.1　工业机器人的组成

工业机器人的组成

工业机器人系统构成如图 1-2 所示，由控制系统、驱动系统、机械结构系统（主体）和感知系统四大部分组成。

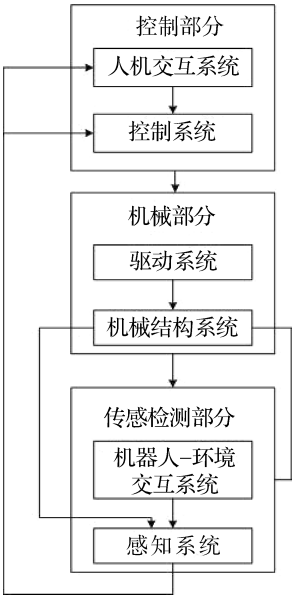


图 1-2　机器人系统构成

控制系统按照输入的程序对驱动系统和执行机构发出指令信号，并进行控制。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、通讯、运动学和动力学计算，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（中央处理器），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。

驱动系统包括动力装置和传动机构，用以使执行机构产生相应的动作，分为液压驱动、气动驱动、电动驱动。

主体即机座和执行机构，包括臂部、腕部和手部，有的机器人还有行走机构。大多数工业机器人有 3～6 个运动自由度，其中腕部通常有 1～3 个运动自由度。

感知系统由内部传感器和外部传感器组成。其作用是获取机器人内部和外部环境信息，并把这些信息反馈给控制系统。机器人对传感器的要求有：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重量轻、体积小、安装方便。

机器人-环境交互系统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，功能单元可以由多台机器人组成，也可以由多台机床或设备、多个零件存储装置等集成。

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和协调的单元，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。

1.2.2 工业机器人的坐标形式

1. 直角坐标型机器人

直角坐标型机器人的优点是刚度好，多做成大型龙门式框架结构，位置精度高，运动学求解简单，控制无耦合；但其结构庞大、动作范围小、灵活性差。因其稳定性好，常用于大负载的搬运，如图 1-3 所示。

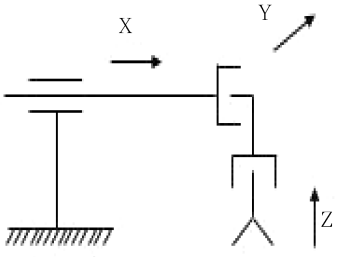


图 1-3 直角坐标型机器人

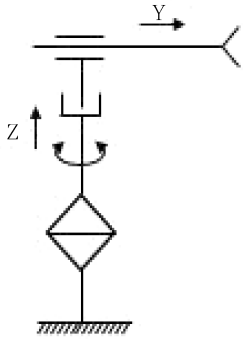


图 1-4 圆柱坐标型机器人

2. 圆柱坐标型机器人

圆柱坐标型机器人的优点是结构简单、占地面积小、位置精度高、运动直观、控制简单、不能抓取靠近其附近或地面的物体，如图 1—4 所示。

3. 球(极)坐标型机器人

球(极)坐标型机器人的优点是结构紧凑、动作灵活、占地面积小，但其结构复杂、定位

精度低、运动直观性差，如图 1-5 所示。

4. 关节坐标型机器人

关节坐标型机器人的优点是工作范围大、动作灵活、能抓取靠近机身的物体；但运动直观性差，难以得到高的定位精度。由于该类机器人灵活性高，应用最广泛，如图 1-6 所示。

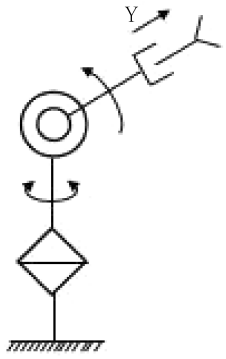


图 1-5　球(极)坐标型机器人

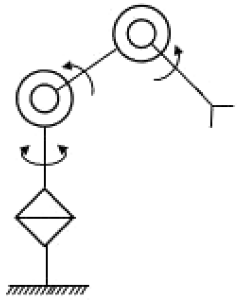


图 1-6　关节坐标型机器人

5. SCARA 型机器人

SCARA 型机器人(selective compliance assembly robot arm) 由日本山梨大学牧野洋教授发明，它有 3 个转动关节，其轴线相互平行，可在平面内进行定位和定向。该类机器人的特点是在垂直平面内具有很好的刚度，在水平面内具有较好的柔顺性，动作灵活，速度快，定位精度高，如图 1-7 所示。

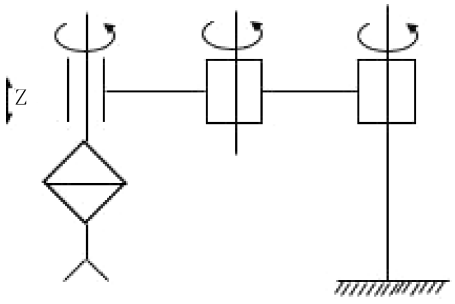


图 1-7　SCARA 型机器人

1.2.3　工业机器人的分类

1. 示教再现机器人

示教再现机器人能够按照人类预先示教的轨迹、顺序、行为、速度重复作业。早期的示教为“直接示教”，如操作人员拿起喷漆机器人上的喷枪，沿喷漆路线示范一遍，机器人记住这些动作，工作时自动重复，从而完成相应位置的喷涂作业。

现在比较普遍的示教方式是“示教器示教”。操作人员使用示教器上的开关、按键来控制机器人一步一步运动，机器人自动记录，然后重复。

2. 感知机器人

感知机器人具备环境感知装置，能在一定程度上适应环境变化。以焊接机器人为例，机器人焊接时按示教路线进行，但不同工件的实际焊接位置会有偏差。这种类型的机器人采用焊缝跟踪技术，通过传感器感知焊缝位置，自动对示教路线进行修正，按实际焊缝位置焊接。

3. 智能机器人

智能机器人具有可自主发现问题并且加以解决的能力。智能机器人具有多种传感器，不仅可以感知自身的状态，如所处位置、自身运行状况等，还能够感知外部环境变化。更重要的是，智能机器人可根据获得的信息进行逻辑推理和判断决策，对机器人自身的运行状态做出调整以适应环境改变。

1.2.4 工业机器人的技术参数

1. 自由度

自由度是指机器人所具有的独立运动的坐标轴数目，不包括末端操作的开合自由度。机器人上一个自由度就对应一个关节，所以自由度和关节数是相等的。自由度是表示机器人动作灵活程度的参数，自由度越多越灵活，但结构越复杂，控制难度越大。

人类的手臂(大臂、小臂、手腕)共 7 个自由度。

机器人的自由度根据用途设计，一般为 3～6 个。大于 6 个的自由度称为冗余自由度，冗余自由度增加了机器人的灵活性，可方便机器人躲避障碍物和改善动力性能。

2. 定位精度和重复定位精度

定位精度和重复定位精度是机器人的两个精度指标。

定位精度是指机器人末端操作器的实际位置与目标位置的偏差，由机械误差、控制算法误差和系统分辨率等部分组成。

重复定位精度是指在同一环境、同一目标动作、同一命令下，机器人连续重复运动若干次时，其位置的分散情况。

3. 工作空间

工作空间表示机器人的工作范围，它是指机器人运动时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。

由于末端操作器的形状和尺寸是多种多样的，其真实地反映了机器人的特征参数，故工作空间是指不安装末端操作器时的工作区域，其空间的大小不仅与机器人各连杆的尺寸有关，迁与机器人的总体结构形式有关。

4. 最大工作速度

生产机器人的厂家不同，其所指的最大工作速度也不同。有的厂家将最大工作速度认定为工业机器人主要自由度上的最大稳定速度；有的厂家则认为是手臂末端的最大合成速度。

最大工作速度越快，其工作效率越高。但是，工作速度越快，就要花费更多的时间用于加速或减速，即对机器人的最大加速率或最大减速率的要求就越高。

5. 承载能力

承载能力是指机器人在工作范围内的任何位姿上所能承受的最大重量。

承载能力不仅仅取决于负载重量，而且与机器人运行速度和加速度的大小和方向有关。为保证安全，将承载能力这一技术指标确定为机器人高速运行时的承载能力。通常，承载不仅指负载重量，还包括机器人末端操作器的重量。

任务 3　认识 ABB 机器人

1.3.1　发展历程

1974 年，向瑞典南部一家小型机械工程公司交付全球首台微机控制电动工业机器人——由 ASEA 制造的 IRB 6，该机器人设计于 1972 年获发明专利。

1975 年，售出首台弧焊机器人(IRB 6)。

1979 年，推出首台电动点焊机器人(IRB 60)。

1986 年，推出有效载荷为 10 kg 的 IRB 2000 机器人，这是全球首台由交流电机驱动的机器人，采用无间隙齿轮箱，工作范围大，精度高。

1991 年，推出有效载荷为 200 kg 的 IRB 6000 大功率机器人。该机器人采用模块化结构设计，是当时市场上速度最快、精度最高的点焊机器人。

1998 年，推出 FlexPicker 机器人——世界上速度最快的拾放料机器人。

2001 年，推出全球首台有效载荷高达 500 kg 的工业机器人 IRB 7600 。

2002 年，在 Euroblech 展览会上推出 IRB 6600 机器人，这是一种可向后弯曲的大功率机器人。

2004 年，推出新型机器人控制器 IRC 5。该控制器采用模块化结构设计，是一种全新的按照人机工程学原理设计的 Windows 界面装置，可通过 MultiMove 功能实现多机器人(最多

4 台)完全同步控制，从而为机器人控制器确立了新标准。

2005 年，推出 55 种新产品和机器人功能，包括 4 种新型机器人：IRB 660、IRB 4450S、IRB 1600 和 IRB 260。

2009 年，研制出当时全球精度最高、速度最快、重量为 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的可实现人机协作的机器人 Yumi。

1.3.2 ABB 机器人常见型号

1. IRB 120 机器人

本工作站采用型号为 ABB IRB 120 的六自由度工业机器人，与其配套的机器人控制柜型号为 IRC5，IRB 120 机器人如图 1-8 所示，参数如表 1-1 所示。



图 1-8 IRB 120 机器人及其控制柜

表 1-1 IRB 120 机器人参数

规格参数			
轴数	6	防护等级	IP30
有效载荷	3 kg	安装方式	落地式
到达最大距离	580 mm	机器人底座规格	180 mm×180 mm
机器人重量	25 kg	重复定位精度	0.01 mm
运动性能及范围			
轴序号	动作范围		最大速度
1 轴	回转：+165～−165		250 mm/s
2 轴	立臂：+110～−110		250 mm/s
3 轴	横臂：+70～−90		250 mm/s
4 轴	腕：+160～−160		360 mm/s
5 轴	腕摆：+120～−120		360 mm/s
6 轴	腕传：+400～−400		420 mm/s

2. IRB 1410 机器人

IRB 1410 机器人主要应用于弧焊、装配、物料搬运、涂胶等方面，其性能卓越，经济效益高，如图 1-9 所示。



图 1-9　IRB 1410 机器人



图 1-10　IRB 1600ID 机器人



图 1-11　IRB 360 机器人

3. IRB 1600ID 机器人

IRB 1600ID 机器人主要应用于弧焊方面。该机器人线缆包供应弧焊所需的全部介质，包括电源、焊丝、保护气和压缩气体，如图 1-10 所示。

4. IRB 360 机器人

IRB 360 主要应用于装配、物料搬运、拾料、包装等方面，是实现高精度拾放料作业的第二代机器人解决方案。具有操作速度快、有效载荷大、占地面积小等特点，如图 1-11 所示。

任务 4　机器人使用与保养

1.4.1　使用注意事项

自动模式中，任何人不得进入机器人工作区域。

长时间待机时，夹具上不宜放置任何工件。

机器人动作中发生紧急情况或工作不正常时，均可使用 E－stop 键，停止运行(但这将直接使程序终止不可继续)。

进行编程、测试及维修等工作时，必须将机器人置于手动模式。

调试机器人过程中，不需要移动机器人时，必须释放使能器。

调试人员进入工作区域时，必须随身携带使能器，以防他人操作。

突然停电时，必须立即关闭机器人主电源开头，并取下夹具上的工件。

严禁非授权人员操作机器人。

1.4.2 机器人的维护与保养

机器人日常检查与保养注意事项包括以下方面：

(1)检查设备的外表有没有灰尘附着。

(2)外部电缆磨损，压损，各接头是否固定良好，有无松动。

(3)冷却风扇是否正常工作。

(4)各操作按钮支持动作是否正常。

(5)机器人动作是否正常

1.4.2 机器人日常检查

1. 刹车检查

正常运行前，需检查电机刹车每个轴的电机刹车，检查方法如下：

(1)运行每个机械手的轴到其负载最大的位置。

(2)机器人控制器上的电机模式选择开关打到电机关(MOTORS OFF)的位置 。

(3)检查轴是否在其原来的位置，如果电机关掉后，机械手仍保持其位置，说明刹车良好。

2. 失去减速运行(250 mm/s)功能的危险

不要从电脑或者示教器上改变齿轮变速比或其它运动参数。这将影响减速运行(250 mm/s)功能。

3. 安全使用示教器

安装在示教器上的使能设备按钮(enabling device)，当按下一半时，系统变为电(MOTORS ON)模式。当松开或全部按下按钮时，系统变为电机关(MOTORS OFF)模式。为了安全使用示教器，必须遵循以下原则：使能设备按钮(enabling device)不能失去功能编程或调试的时候，当机器人不需要移动时，立即松开能使设备按钮(enabling device)。

当编程人员进入安全区域后，必须随时将示教器带在身上，避免其他人移动机器人。

4. 在机械手的工作范围内工作

如果必须在机械手工作范围内工作，需遵守以下几点：

(1)控制器上的模式选择开关必须打到手动位置，以便操作使能设备来断开电脑或遥控操作。

(2)当模式选择开关在<250 mm/s 位置时候，最大速度限制在 250 mm/s．进入工作区，开关一般都打到这个位置．只有对机器人十分了解的人才可以使用全速(100%full speed)。

(3)注意机械手的旋转轴，当心头发或衣服搅到上面．另外注意机械手上其他选择部件或其他设备。

(4)检查每个轴的电机刹车。

习题 1

1. 机器人分为几类?
2. 机器人由哪几部分组成?
3. 什么是自由度?
4. 机器人技术参数主要有哪些?
5. 工业机器人控制方式有几种?
6. 机器人控制系统的基本单元有哪些?
7. 常见的机器人外部传感器有哪些?

模块二

工业机器人基本操作

任务 1　机器人操作注意事项

1. 关闭总电源

在进行机器人的安装、维修、保养时切记要将总电源关闭。操作人员带电作业可能会产生致命性后果。如果不慎遭高压电击，可能会导致操作人员心跳停止、烧伤或其他严重伤害。

在得到停电通知时，要预先关闭机器人的主电源及气源。突然停电后，要在来电之前预先关闭机器人的主电源开关，并及时取下夹具上的工件。

2. 保持安全距离

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，从而严重伤害操作人员或损坏机器人工作范围内的任何设备。所以操作人员必须时刻警惕，与机器人保持足够的安全距离。

3. 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。出现下列情况时请立即按下任意紧急停止按钮：

(1)机器人运行时，工作区域内有工作人员。

(2)机器人伤害了工作人员或损坏了机器设备。

4. 工作中的安全

(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，例如切削工具和锯。确保在接近机器人之前，这些工具已经停止运动。

(4)注意工件和机器人系统的表面，机器人电动机长期运转后温度往往很高。

(5)注意夹具并确保夹好工件。如果夹具打开，工件会脱落并导致人员伤害或设备损坏。夹具非常有力，如果不按照正确方法操作，也会导致人员伤害。机器人停机时，夹具上不应置物，必须空机。

(6)注意液压、气压系统以及带电部件。即使断电，这些电路上的残余电量也很危险。

5. 示教器的安全

(1)小心操作。不要摔打、抛掷或重击示教器，这样会导致其破损或故障。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)示教器在使用和存放时应避免电缆被人踩踏。

(3)切勿使用锋利的物体(例如螺钉、刀具或笔尖)操作触摸屏。这样可能会使触摸屏受损。应用手指或触摸笔去操作示教器触摸屏。

(4)定期清洁触摸屏，否则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。如果端口暴露在灰尘中，那么它会中断或发生故障。

6. 手动与自动模式安全

(1)在手动减速模式下，机器人只能减速操作。只要在安全保护空间之内工作，就应始终以手动速度进行操作。

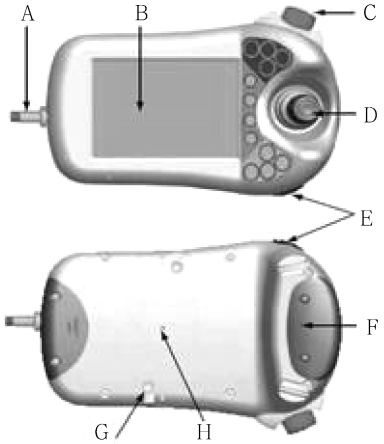
(2)手动全速模式下，机器人以程序预设速度移动。手动全速模式应仅用于所有人员都处于安全保护空间之外时，而且操作人员必须经过特殊训练，熟知潜在的危险。

(3)自动模式用于在生产中运行机器人程序。在自动模式操作情况下，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 2　认识示教器

2.2.1　示教器外部结构

ABB 示教器的外部结构如图 2-1 所示。

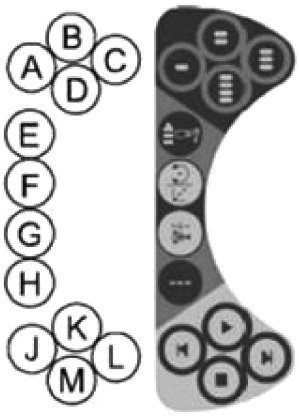


A:连接电缆
B:触摸屏
C:急停开关
D:手动操作摇杆
E:数据备份用USB接口
F:使能器按钮
H:示教器复位按钮
G:触摸屏用笔

图 2-1　ABB 示教器

2.2.2　示教器按钮

ABB 示教器按钮如图 2-2 所示。



A~D:预设按键，1-4
E: 选择机械单元
F:切换运动模式，重定向或线性
G:切换运动模式，轴1-3或轴4-6
H:切换增量
J:步退按钮。按下此按钮，可使程序后退至上一条指令
K:启动按钮。开始执行程序
L:步进按钮。按下此按钮，可使程序前进至下一条指令
M:停止按钮。停止程序执行

图 2-2　示教器按钮

2.2.3　手持示教器的方法

手持示教器的方法如图 2-3 所示。

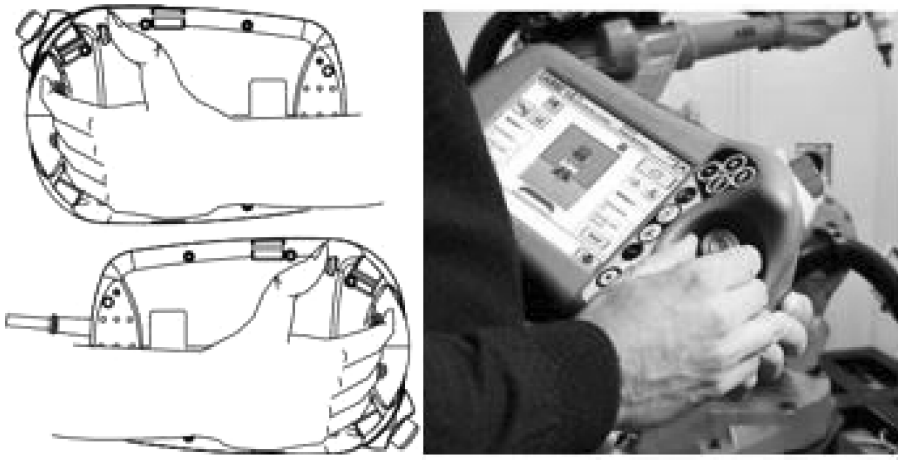


图 2-3　示教器手持法

2.2.4 示教器屏幕主界面

示教器屏幕主界面如图 2-4 所示。



标号	说明
A	ABB菜单
B	操作员窗口 操作员窗口显示来自机器人程序的消息。程序需要操作员做出某种响应以便继续时往往会出现此情况
C	状态栏 状态栏显示与系统状态有关的重要信息，如操作模式、电机开启/关闭、程序状态等。
D	关闭按钮 点击关闭按钮前关闭当前打开的视图或应用程序
E	任务栏 透过ABB菜单，您可以打开多个视图。但一次只能操作一个，任务栏显示所有打开的视图，并可用于视图切换
F	快速设置菜单 快速设置菜单包含对微动控和程序执行进行的设置

图 2-4 示教器屏幕

2.2.5 正确使用使能按钮

使能按钮位于示教器摇杆的右侧，分为两档。在手动状态下第一档按下后机器人将处于电机开启状态，只有使能按钮被按下并保持在“电机开启”状态时才可以对机器人进行手动操作和程序调试。第二档按下时机器人会处于防护停止状态。当发生危险时，人本能地将使能按钮松开或按紧，这两种情况下机器会立刻停止，保证人身与设备的安全。

任务 3 机器人基本操作

2.3.1 机器人开关与启动



机器人开关与启动

机器人实际操作的第一步就是开机，只需将机器人控制柜上的总电源旋钮从【OFF】扭转到【ON】即可，控制柜开关如图 2-5 所示。

关闭机器人系统，只需将机器人控制柜上的总电源旋钮逆时针从【ON】扭转到【OFF】即可。

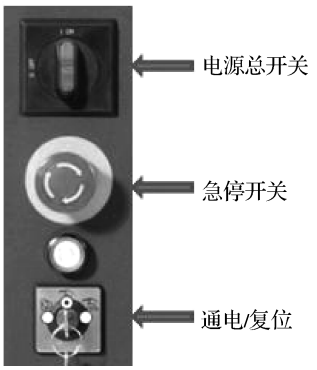


图 2-5　控制柜开关

ABB 机器人系统可以长时间进行工作，无需定期重新启动运行。但出现以下情况时需要重新启动机器人系统：

(1)安装了新的硬件。

(2)更改了机器人系统配置参数。

(3)出现系统故障(SYSFAIL)。

(4)RAPID 程序出现故障。

重新启动的类型包括重启、重置系统、重置 RAPID、恢复到上次自动保存的状态和关闭主计算机。各类型说明见表 2-1：

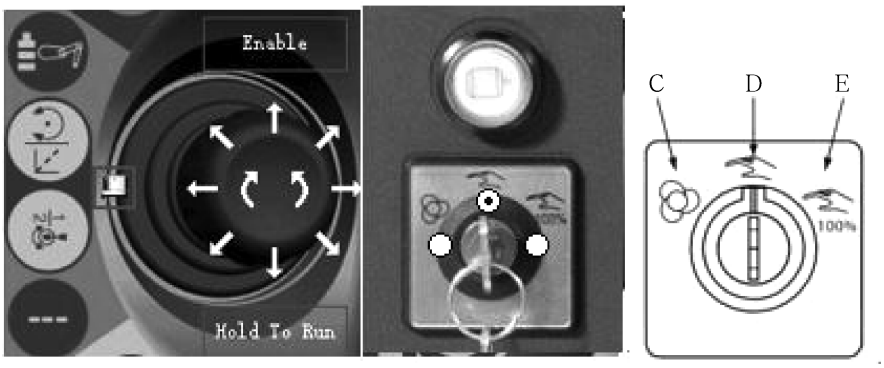
表 2-1　重启动各类型说明

重启动类型	说明
重启	使用当前的设置重新启动当前系统
重置系统	重启并丢弃当前的系统参数设置和 RAPID 程序，将会使用原始的系统安装设置
重置 RAPID	重启并丢弃当前的 RAPID 程序和数据，但会保留系统参数设置
恢复到上次自动保存的状态	重启并尝试回到上一次自动保存的系统状态。一般在从系统崩溃中恢复时使用
关闭主计算机	关闭机器人控制系统，应在控制器 UPS 故障时使用

操作步骤：单击 ABB 按钮，点击“重新启动”，再点击“高级...”，即可选择重启类型。

2.3.2　切换机器人工作模式

控制柜的模式选择开关，可以选择自动模式、手动低速模式、手动全速模式三种，将模式选择开关设为手动模式，手动低速模式的线速度设为小于 250 mm/s，用于机器人编程测试。切换工作模式如图 2-6 所示。



C 为自动模式，D 为手动模式，E 为手动全速模式

图 2-6　切换工作模式

2.3.3 机器人系统的备份与恢复

机器人数据备份是对所有正在系统内存运行的 RAPID 程序和系统参数进行保存。当机器人出现数据错乱或重新安装系统后，可快速地将备份好的数据恢复到机器人系统中，在短时间内让机器人恢复到备份前的工作状态。

1. 备份

数据备份如图 2-7 所示。



图 2-7 备份

2. 恢复

系统恢复如图 2-8 所示。



图 2-8 恢复系统

2.3.4　设置示教器中文界面

在虚拟示教器中主要设置“Language”，使其显示中文界面，方便操作，如图 2-9 所示。



图 2-9　设置中文

2.3.5　设置系统日期和时间

系统日期和时间设置面版如图 2-10 所示。

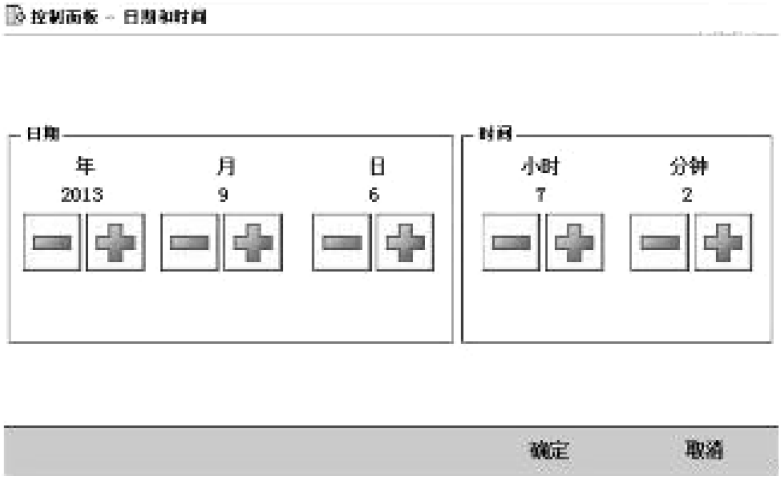


图 2-10　设置系统日期和时间

2.3.6　工业机器人的手动操作方式

手动操作可以选择机械单元，并对动作模式、坐标系、工具坐标、工件坐标等属性进行修改。

(1)单轴运动。通常，机器人由六个伺服电动机分别驱动机器人的六个关节轴，每次手动操作一个关节轴的运动，称为单轴运动。如图 2-11 所示。

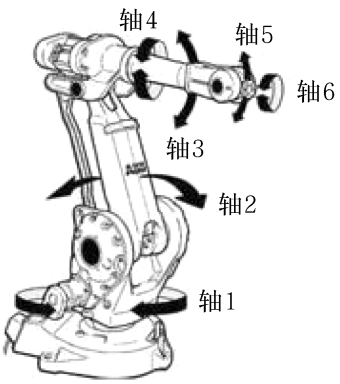


图 2-11　单轴运动

点击轴选择键进入单轴动作模式，可分别选择轴 1－3 或轴 4－6 对单轴进行操作，如图 2-12 所示。



图 2-12　单轴动作模式

(2)更新转数计数器。工业机器人内部有用电池供电的转数计数器，其作用是记录各个轴的数据，保证机器人正确移动到程序设定或指定的坐标位置。ABB 机器人的每个关节轴都有一个机械原点，在以下情况发生时，需要对机械原点位置进行转数计数器更新操作：

①更换伺服电动机转数计数器电池后 。

②转数计数器发生故障修复后 。

③转数计数器与测量板断开过以后。

④断电后，机器人关节轴发生了移动。

⑤当系统报警提示“10036 转数计数器未更新”时。

计数器的机械原点和机器人铭牌上的校准偏移数据如图 2-13 所示。

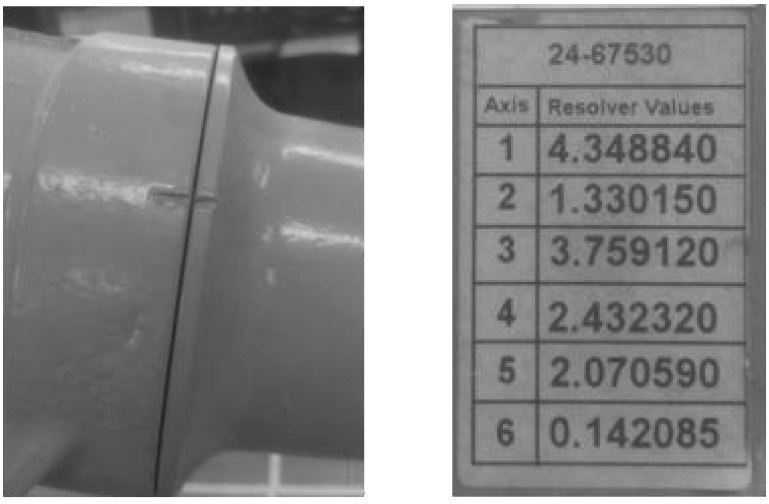


图 2-13　机械原点、机器人铭牌上的电动机校准偏移数据

(3)线性运动。机器人的线性运动是指安装在机器人第六轴法兰盘上的工具在空间中做直线运动。

机器人做线性运动时，操作者面向机器人，操作杆向某个方向移动，机器人也向相应的方向运动。即操作杆向左时，机器人也向左运动；操作杆向右时，机器人也向右运动；操作杆向靠近操作者运动(向前)时，机器人做靠近操作者运动；操作杆向远离操作者运动(向后)时，机器人也做远离操作者运动；这时旋转旋钮可控制机器人上下运动。

(4)重定位运动。机器人的重定位运动是指机器人第六轴法兰盘上的工具坐标原点在空间

中绕坐标轴旋转的运动。也可以理解为机器人绕着工具坐标原点做姿态调整的运动。如图 2-14 所示。

(5)快捷操作与增量设置。手动操作机器人执行单轴运动、线性运动和重定位运动在程序编写和调试中应用广泛，如果每次都通过菜单操作，比较繁琐。示教器提供了快捷按钮和快捷菜单简化操作步骤，如图 2-15 所示。

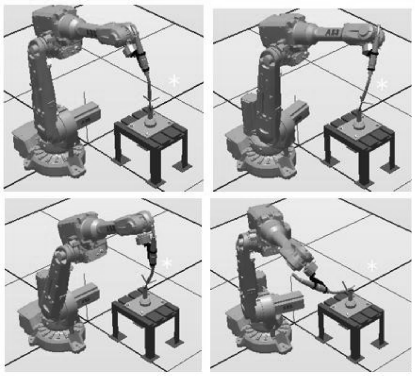


图 2-14　重定位

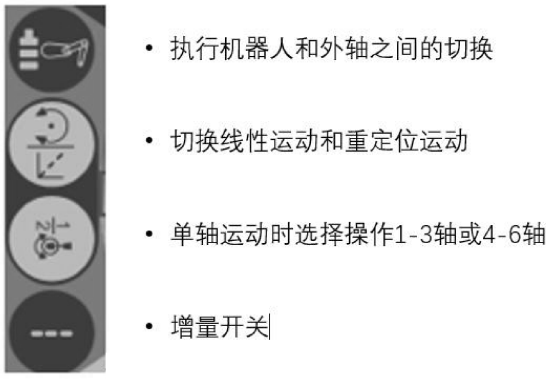


图 2-15　快捷操作

任务 4　工业机器人重要参数设定

2.4.1　设定工具数据 tooldata

工具数据 tooldata 用于描述安装在机器人第六轴上的工具的 TCP(工具中心点坐标系)、质量、重心等参数。不同任务使用不同工具，都需要配置 tooldata。tool0(原始 TCP 点)如图 2-16 所示。

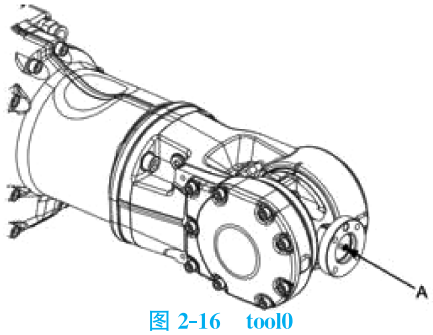


图 2-16　tool0

(1)四点法设定 TCP。四点法设定 TCP 即找一个尖点，将机械臂工具末端点绕着尖点示教四个位置(姿态差别要大)，设置完毕后系统可自动计算出结果。如图 2-17、图 2-18 所示。

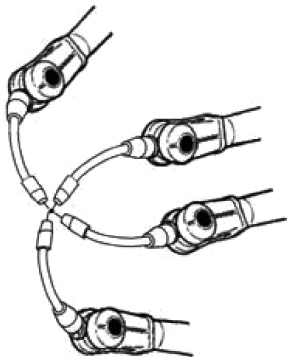


图 2-17　设定 TCP



图 2-18　四点法设定 TCP

(2)TCP 取点数量的区别。四点法、五点法、六点法都是先移动工具上的参考点以四种不同的机器人姿态尽可能与固定点刚好碰上。通常第 2 点和第 3 点从第 1 点的左侧、右侧靠上固定点。五点法中，第 4 点是以垂直方式靠上固定点，第 5 点让工具参考点从固定点向将要设定为 TCP 的 X 方向移动；六点法在五点法基础上，参考点先回到固定点，第 6 点从固定点向设定为 TCP 的 Z 方向移动。最后，机器人通过这些位置点的位置数据计算求得 TCP 的数据并保存在 tooldata 中以供程序调用。

三种 TCP 取点数量的不同之处在于，四点法不改变 tool0 的坐标方向，五点法改变 tool0 的 X 方向，六点法改变 tool0 的 X 和 Z 方向。六点法在焊接应用上最为常用。

2.4.2　设定工件坐标 wobjdata

工件坐标系设定时，通常采用三点法。只需在对象表面位置或工件边缘角位置上，定义三个点位置，来创建一个工件坐标系。其设定原理如下：

(1)手动操作机器人，在工件表面或边缘角的位置找到一点 X1，作为坐标系的原点。

(2)手动操作机器人，沿着工件表面或边缘找到一点 X2，以 X1、X2 确定工件坐标系的 X 轴的正方向，(X1 和 X2 距离越远，定义的坐标系轴向越精准)。

(3)手动操作机器人，在 XY 平面上 Y 值为正的方向找到一点 Y1，确定坐标系的 Y 轴的正方向。

建立新的 wobjdata，如图 2-19 所示。



图 2-19　示教器建立新的工件数据 wobj1

2.4.3　设定有效载荷 loaddata

有效载荷的质量、重心位置等数据的设定如图 2-20 所示。



图 2-20　设定载荷的质量 mass、重心位置数据

任务 5　机器人 I/O 通信

2.5.1　ABB 标准 I/O 板

(1)ABB 标准 I/O(输入/输出)板提供的常用信号处理有数字输入 DI、数字输出 DO、模拟输入 AI、模拟输出 AO 以及输送链跟踪；常用的标准 I/O 板有 DSQC651 和 DSQC652。

(2)ABB 机器人可以选配标准 ABB 的 PLC，省去了与外部 PLC 进行通信设置的麻烦，并且可以在机器人的示教器上实现与 PLC 相关的操作。

ABB 标准 I/O 板是挂在 DeviceNet 网络上的，所以要设定模块在网络中的地址。常用的 ABB 标准 I/O 板如表 2-1 所示。

表 2-1　常用的 ABB 标准 I/O 板

序号	型号	说明
1	DSQC651	分布式 I/O 模块 DI8、DO8、AO2
2	DSQC652	分布式 I/O 模块 DI16、DO16
3	DSQC653	分布式 I/O 模块 DI8、DO8 带继电器
4	DSQC355A	分布式 I/O 模块 AI4、AO4
5	DSQC377A	输送链跟踪单元

DSQC651 板主要提供八个数字输入信号、八个数字输出信号和两个模拟输出信号的处理。如图 2-21 所示。

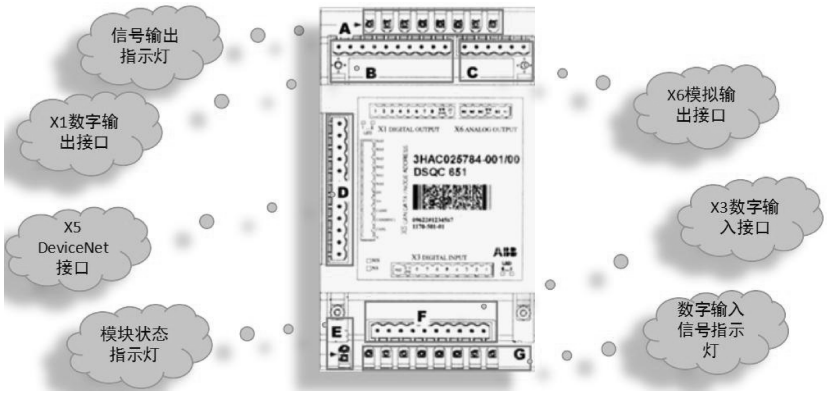


图 2-21　DSQC651 板

2.5.2　ABB I/O 板配置

ABB 标准 I/O 板都是下挂在 DeviceNet 现场总线下的设备，通过 X5 端口与 DeviceNet 现场总线进行通信。定义 DSQC651 板总线连接的相关参数，如表 2-2 所示。

表 2-2　DSQC651 板参数设定

参数名称	设定值	说明
Name	Board10	设定 I/O 板在系统中的名字
Type of Unit	D651	设定 I/O 板的类型
Connected to Bus	DeviceNet1	设定 I/O 板连接的总线
DeviceNet Address	10	设定 I/O 板在总线中的地址

连接步骤如图 2-22～图 2-26 所示。



图 2-22　步骤一

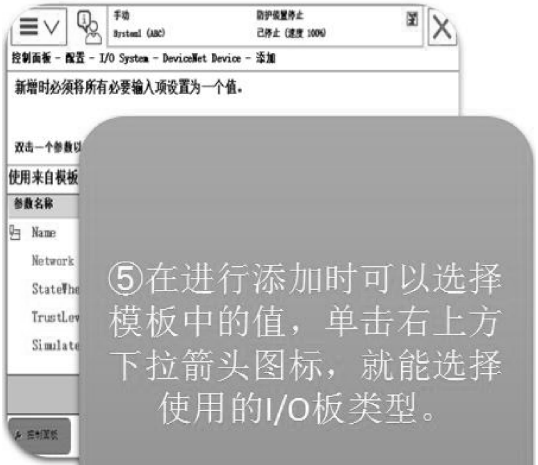


③进入到配置系统参数界面后，双击“DeviceNet Device”，进行DSQC651模块的选择及其地址设定。

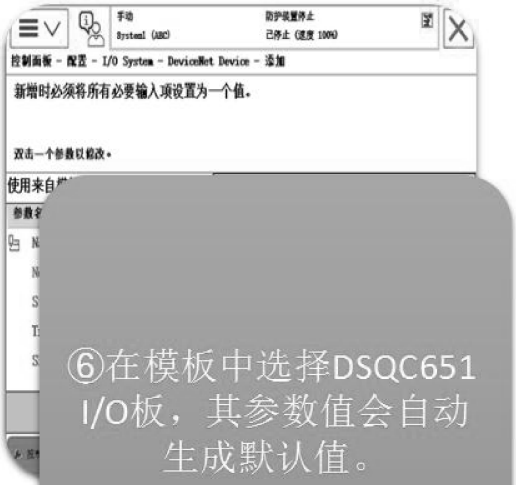


④单击“添加”，新增然后进行编辑。

图 2-23　步骤二



⑤在进行添加时可以选择模板中的值，单击右上方下拉箭头图标，就能选择使用的I/O板类型。



⑥在模板中选择DSQC651 I/O板，其参数值会自动生成默认值。

图 2-23　步骤三



图 2-25　步骤四

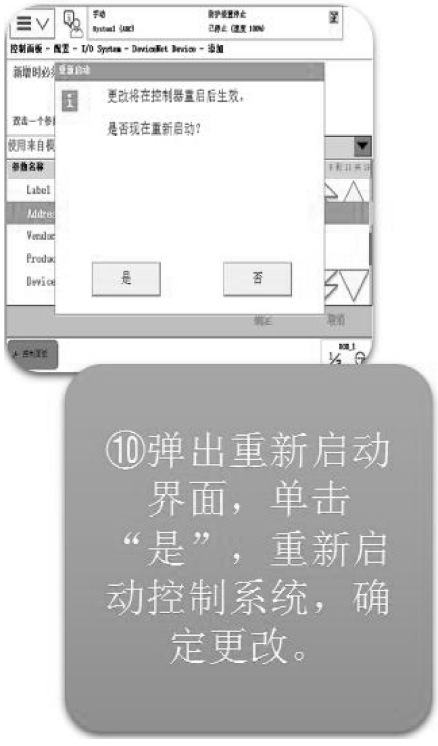


图 2-26　步骤五

习题 2

1. 默认机器人的工具中心点的位置为(　　)。

A. 基座中心点　　B. 法兰盘的中心点　　C. 随机、不能确定　　D. 1 轴

2. 以下哪种方法无法建立工具坐标?(　　)

A. 六点法　　B. 五点法　　C. 四点法　　D. 一点法

3. ABB 工业机器人系统中，坐标系种类不包括(　　)。

A. 基坐标系　　B. 圆柱坐标系　　C. 工件坐标系　　D. 工具坐标系

4. 下列不属于工业机器人系统组成的是(　　)-

A. 工业机器人本体　　B. 控制柜　　C. 示教器　　D. 末端工具

5. ABB IRB120 工业机器人本体底座处的接口不包括(　　)-

A. 压缩空气接口　　B. SMB 电缆连接口

C. 电动机动力电缆接口　　D. 示教器电缆接口

模块三

工业机器人示教编程

本模块将开始讲解工业机器人示教编程的相关知识，其类型和重点组成见表 3-1。

表 3-1　工业机器人示教编程组成

概念	说明
在线编程	与真实控制器相连时的编程。这种表达也指使用机器人创建位置和运动
离线编程	未与机器人或真实控制器连接时的编程
真正离线编程	指 ABB Robotics 中关于将仿真环境与虚拟控制器相连的概念它不仅支持程序创建，而且支持程序测试和离线优化
虚拟控制器	一种仿真 FlexController 的软件，可使控制机器人的同一软件(RobotWare，系统)在 PC 上运行。该软件可使机器人在商线和在线时的行为相同
MultiMove	使用同一个控制模块运行多个机器人操纵器
坐标系	用于定义位置和方向。对机器人进行编程时，可以利用不同坐标系更加轻松地确定对象之间的相对位置
Frame	坐标系
工作对象校准	如果所有目标点都定义为工作对象坐标系的相对位置，则只需在部署商线程序时校准工作对象即可

任务 1　坐标系的认识

3.1.1　工具中心点坐标系

工具中心点坐标系(也称为 TCP)是工具的中心点，操作人员可以为一个机器人定义不同的 TCP。所有的机器人在工具安装点处都有一个被称为 tool0 的预定义 TCP。当程序运行时，机器人将该 TCP 移动至编程的位置。

3.1.2　RobotStudio 大地坐标系

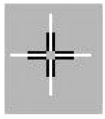
RobotStudio 大地坐标系用于表示整个工作站或机器人单元。这是层级的顶部，所有其他坐标系均与其相关(使用 RobotStudio 时)。

3.1.3　工件坐标系

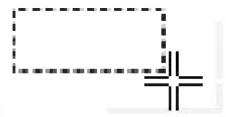
工件坐标系通常表示实际工件。它由用户框架和对象框架两个坐标系组成，其中，后者是前者的子框架。对机器人进行编程时，所有目标点(位置)都与工作对象的对象框架相关。如果未指定其他工作对象，目标点将与默认的 wobj0 关联，wobj0 始终与机器人的基座保持一致。如果工件的位置已发生更改，可利用工件轻松地调整发生偏移的机器人程序。因此，工件可用于校准离线程序。如果固定装置或工件的位置相对于实际工作站中的机器人与离线工作站中的位置无法完全匹配，只需调整工件的位置即可。

表 3-2 介绍了如何使用鼠标导航图形窗口。

表 3-2　鼠标使用

选择项目  selectio	 left-cli	只需单击要选择的项目即可。要选择多个项目，请按 Ctrl 键的同时单击新项目
旋转工作站  rotate	Ctrl+Shift+  left-cli	按 Ctrl＋Shift 及鼠标左键的同时，拖动鼠标对工作站进行旋转 有了三键鼠标，可以使用中间键和右键替代键盘组合
平移工作站  pan	Ctrl+  left-cli	按 Ctrl 键和鼠标左键的同时，拖动鼠标对工作站进行平移
缩放工作站  zoom	Ctrl+  right-cl	按 Ctrl 键和鼠标右键的同时，将鼠标拖至左侧可以缩小，将鼠标拖至右侧可以放大。有了三键鼠标，还可以使用中间键替代键盘组合
使用窗口缩放  window_z	Shift+  right-cl	按 Shift 键及鼠标右键的同时，将鼠标拖过要放大的区域

续表

使用窗口选择  window_s		按 Shift 键并鼠标左键的同时，将鼠标拖过该区域，以便选择与当前选择层级匹配的所有项目

任务 2　数据类型与运算

在 ABB 机器人中对机器人进行逻辑、运动以及 I/O 控制的编程语言叫作 RAPID。RAPID 是一种英文编程语言，与计算机编程语言类似，和 VB(Visual Basic)、C 语言结构相近。所包含的指令可以移动机器人、设置输出、读取输入，还能实现决策、重复其他指令、构造程序、与系统操作员交流等。只要有计算机高级语言编程的基础，就能快速掌握 RAPID 语言编程。

3.2.1　数据类型



数据类型

(1)注释。注释是对程序代码的解释和说明，使代码更易于阅读与维护。RAPID 程序注释以感叹号(!)开始，以换行符结束，占一整行，不包含换行符。

(2)标识符。标识符用于程序编写中对模块、例行程序、数据和标签命名。标识符的首个字符必须为字母，其余部分可采用字母、数字或下划线(_)组成。标识符最长不超过 32 个字符，不区分大小写。

(3)保留字。保留字是 RAPID 语言事先定义并赋予特殊意义的字符，不能用作标识符，保留字为大写。表 3-3 为 RAPID 中的保留字。此外，还有许多预定义数据类型名称、系统数据、指令和有返回值的程序也不能用作标识符，如表 3-3 所示。

表 3-3　RAPID 保留字

ALIAS	AND	BACKWARD	CASE
CONNECT	COSNT	DEFAULT	DIV
DO	ELSE	ELSEIF	ENDFOR
ENDFUNC	ENDIF	ENDMODULE	ENDPROC
ENDRECORD	ENDTEST	ENDTRAP	ENDWHILE