高等职业教育“十五五”系列教材 机电类专业

工业机器人编程与应用

主编 赵 亮 刘东海
主审 马 驰

移动终端
微课资源
互动教学
即扫即看

南京大学出版社

内容简介

本教材为任务驱动的项目式教材，有机融入了“1＋X”工业机器人应用编程职业技能等级证书（初、中）考核所涉及的知识点与技能点，以从事工业机器人应用编程相关工作的职业岗位分析和工作过程为导向，通过认识工业机器人、工业机器人编程基础、工业机器人应用和工业机器人仿真等4个项目23个任务，详细介绍了工业机器人认识、工业机器人坐标系、程序结构、程序数据、常用指令、应用编程和工业机器人仿真程序创建等内容。

本教材既适合作为高等职业教育工业机器人技术专业的教材和企业的培训用书，也可以作为高职院校机电及相关专业各类学生的专业基础或拓展课教材，同时可供从事ABB机器人操作与编程等工作的技术人员作参考。

图书在版编目(CIP)数据

工业机器人编程与应用 / 赵亮，刘东海主编.
南京 ：南京大学出版社，2025. 8. - - ISBN 978 - 7 - 305 - 29564 - 5

Ⅰ. TP242.2

中国国家版本馆 CIP 数据核字第 2025L6Z101 号

出版发行　南京大学出版社
社　　址　南京市汉口路22号　　邮　　编　210093

书　　名　工业机器人编程与应用
GONGYE JIQIREN BIANCHENG YU YINGYONG
主　　编　赵　亮　刘东海
责任编辑　吴　华　　编辑热线　025 - 83596997

照　　排　南京开卷文化传媒有限公司
印　　刷　扬州皓宇图文印刷有限公司
开　　本　787 mm×1092 mm　1/16开　印张 16.5　字数 422千
版　　次　2025年8月第1版　2025年8月第1次印刷
书　　号　978 - 7 - 305 - 29564 - 5
定　　价　49.80元

网　　址：http://www.njupco.com
官方微博：http://weibo.com/njupco
微信服务号：NJUYUNSHU
销售咨询热线：(025)83594756

前　言

在全球科技革命和产业变革的浪潮中，工业机器人作为智能制造的核心技术之一，正深刻地改变着制造业的生产方式和产业结构。我国作为制造业大国，正处于产业升级和转型的关键时期，工业机器人的广泛应用不仅能够提升生产效率、降低劳动成本，还能在复杂环境和高精度作业中发挥不可替代的作用，是推动我国制造业迈向智能化、高端化的关键力量。

党的二十大报告强调了科技是第一生产力、人才是第一资源、创新是第一动力，为我国制造业的高质量发展指明了方向。工业机器人技术的广泛应用，正是落实党的二十大精神、推动制造业转型升级的重要举措。近年来，随着我国对智能制造的重视程度不断提高，《中国制造 2025》等一系列国家战略规划的实施，工业机器人产业迎来了快速发展的机遇期。ABB 作为全球领先的工业机器人制造商之一，其产品在汽车、电子、机械、物流等多个领域得到了广泛应用，成为我国工业自动化和智能制造的重要支撑力量。

然而，工业机器人技术的广泛应用也带来了对专业人才的迫切需求，尤其是掌握工业机器人编程与应用技能的高素质技术人才。目前，我国在工业机器人编程与应用领域的教育和培训还存在一定的不足。一方面，理论与实践脱节的问题较为突出，许多教材和培训课程偏重于理论知识的传授，缺乏与实际生产紧密结合的案例和实践指导；另一方面，教学资源相对分散，缺乏系统性和实用性，难以满足学生和企业对高素质技能型人才的需求。

为解决这一问题，我们组织编写了这本《工业机器人编程与应用》教材。本书依据党的二十大精神，紧密结合国家战略需求，以培养适应新时代制造业发展的高素质技术技能人才为目标，采用校企联合开发的方式，将工业机器人应用编程岗位能力标准与课程标准相融合。依据高职教育的培养目标，采用项目导向模式进行编写，将工业机器人的基础知识、手动操作、坐标系的测量、现场示教编程、离线编程与仿真融入实际任务中。同时，本书在内容取舍上，注意处理好理论知识与实际操作技能的关系，重点突出应用性，突出学生的主导地位，有利于提高学生对课程的理解能力和实际操作能力，为我国制造业的高质量发展培养更多优秀的技术技能人才，助力实现科技强国、制造强国的目标。

本书针对 ABB 工业机器人编程与应用，以项目导向模式编写，操作步骤详实，从学习目标、任务导入、任务实施、项目拓展等方面展开介绍，将相关知识点与实际应用有机结合，便于学生将知识与技能融会贯通。

全书共分为 4 个项目，每个项目由若干任务组成，主要内容包括：项目一是 ABB 工业机器人认识；项目二是 ABB 工业机器人编程基础；项目三是 ABB 工业机器人应用；项目四是 ABB 工业机器人仿真。旨在帮助读者全面掌握工业机器人编程与应用的核心技能，提升其在智能制造领域的实践能力和创新水平。

项目	名称	学时			
		少学时		多学时	
		讲授	实训	讲授	实训
1	ABB工业机器人认识	8	5	9	7
2	ABB工业机器人编程基础	6	8	8	10
3	ABB工业机器人应用	6	6	6	8
4	ABB工业机器人仿真	7	4	9	5
学时小计		27	23	32	30
学时合计		50		62	

本教材具有以下特点：

1. 紧密结合行业需求，注重实践应用

教材内容紧密结合工业机器人在实际生产中的应用需求，通过丰富的案例和实践任务，引导学生将理论知识与实际操作相结合，培养学生的实践能力和解决实际问题的能力。每个任务都设计了详细的步骤和操作提示，确保学生能够在实践中快速掌握相关技能。

2. 系统性强，内容全面

教材内容系统性强，涵盖了工业机器人编程与应用的各个方面。从基础的机器人认知、示教器使用，到编程基础、运动指令、程序数据应用，再到复杂的应用场景和虚拟仿真，内容由浅入深，循序渐进，适合不同层次的学习者使用。

3. 突出项目化教学，激发学习兴趣

教材采用项目化教学模式，将复杂的知识点分解为多个具体任务，每个任务都围绕一个实际应用场景展开，使学生在完成任务的过程中逐步掌握相关知识和技能。这种教学模式不仅能够激发学生的学习兴趣，还能培养学生的自主学习能力和团队合作精神。

4. 配套资源丰富，支持多样化教学

教材提供了丰富的配套资源，包括教学课件、案例解析、在线学习资源等，方便教师教学和学生自主学习。通过二维码链接的在线学习资源，学生可以随时随地获取更多的学习资料和实践指导，满足个性化学习需求。

5. 校企合作开发，确保内容实用性和前瞻性

本教材由高校教师和企业工程师共同编写，紧密结合行业实际需求和技术发展趋势，确保教材内容的实用性和前瞻性。许多案例和实践任务都来源于企业的真实项目，使学生能够更好地了解行业动态，提升就业竞争力。

本教材由宝鸡职业技术学院赵亮担任主编负责项目1编写、广西职业技术学院刘东海负责项目3编写，宝鸡职业技术学院副院长马驰担任主审，江苏汇博机器人技术股份有限公司王振华、宝鸡职业技术学院常文利负责项目2编写，宝鸡职业技术学院崔永青和冯琛负责项目4编写。在编写过程中，江苏汇博机器人技术股份有限公司也给予了大力支持，提供了企业真实案例。同时，本教材参考了相关同类教材、专著、论文、手册等资料，在此，编者对原编著者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不当之处，恳请读者批评指正，可将意见和建议反馈至邮箱：657843438@qq.com。我们将不断改进和完善教材内容，为培养更多优秀的工业机器人编程与应用人才贡献力量。

编者　赵亮

目　录

项目 1　ABB 工业机器人认识

项目概述：随着工业自动化技术的飞速发展，工业机器人在现代制造业中扮演着越来越重要的角色。工业机器人可以替代人类从事危险、有害、有毒、低温和高热等恶劣环境中的工作，替代人完成繁重、单调的重复劳动，提高劳动生产率，保证产品质量，在经历几十年的发展后，已成为制造业中必不可少的生产装备。ABB 作为全球领先的工业机器人制造商之一，其产品广泛应用于汽车制造、电子、物流等多个行业，为提高生产效率、产品质量和企业竞争力做出了巨大贡献。本项目旨在引导学生全面认识 ABB 工业机器人定义、分类、结构和主要技术参数，为后续深入学习工业机器人应用与编程奠定坚实的基础。

学习目标

知识目标：

（1）了解机器人发展史、各国对机器人的定义、机器人分类标准、机器人应用的现状与未来。

（2）熟悉机器人的主要技术参数。

（3）掌握机器人的结构、工业机器人的坐标。

技能目标：

（1）能够掌握手动关节运动操纵，手动线性运动操纵，工业机器人手动重定位运动操作，手动大地坐标系操作，坐标系快速切换设置及工具坐标系操作。

（2）会单独导入程序，单独导入 EIO 文件，寻找零点，更新转数计数器来获取新的零点。

素质目标：

（1）养成良好的安全操作习惯：在学习 ABB 工业机器人的过程中，充分认识到工业机器人操作的安全重要性，严格遵守操作规程，正确穿戴劳保用品，规范操作机器人的示教器、控制柜等设备，确保自身和设备的安全，形成严谨细致、安全第一的工作作风，为今后的职业生涯筑牢安全防线。

（2）树立精益求精的工匠理想：通过对 ABB 工业机器人技术的学习，激发对工业机器人领域的热爱和追求，树立在工业机器人应用与编程领域精益求精、追求卓越的工匠理想，以高标准、严要求对待每一个学习任务和实践操作，努力提升自身专业素养，为成为工业机器人领域的高素质技术人才而不懈奋斗。

（3）提高自主学习与团队协作能力：在认识 ABB 工业机器人的学习过程中，面对复杂的知识和技术，能够主动查阅资料、自主学习，不断提升自主学习能力；同时，在小组讨论、实践操作等环节中，积极与同学合作交流，发挥团队优势，共同解决问题，提高团队协作能力，培养良好的团队精神和沟通能力，以适应未来工作中团队协作的复杂环境。

案例导入

细数那些令你拍案叫绝的工业机器人案例

随着制造业人口红利的逐渐消失，招工难、用人难已经成为大多数传统制造业所面临的一个严峻问题，因此，转型升级迫在眉睫。

当前机器人技术的发展，为传统制造业工厂的智能化转型升级，带来了良好的契机。越来越多的传统制造业工厂开始引入工业机器人，机器代人已是大势所趋。

图 1-1　工业机器人工业中应用

接下来，让我们一起盘点一下，刚刚过去的 2025 年里，有哪些令人拍案叫绝的工业机器人应用案例。

苏州市在“机器人＋人工智能”领域有众多应用案例。例如，拓斯达的新一代 X5 机器人控制平台实现了“感-算-控”一体化，推动了具身智能技术在工业的应用。此外，LRA 系列直线旋转执行器通过先进算法实现了精确力控，适用于多种工业场景。

在汽车制造领域，人形机器人如优必选 Walker S 和特斯拉 Optimus 正在开展质量检测、生产操作和物流搬运等场景的测试。这些探索充分利用了汽车厂商在机器视觉、传感器融合等领域的技术积累，展示了人形机器人在工业场景中的巨大潜力。

在半导体行业，高精度机器人如增广智能的电动夹爪和 ABB 机器人的操作振动值控制技术，有效降低了晶圆污染和损耗风险。这些机器人在晶圆质量管理和辅助操作中的应用，体现了机器人技术在高精度领域的突破。

在钢铁行业，智能机器人在质量追溯和安全巡检方面发挥了关键作用。例如，湛江钢铁采用无人机对废钢进行识别判级，广西钢铁的焊缝“云眼”机器人通过 5G 实时采集图像进行在线自动检测。这些应用显著提升了钢铁生产的安全性和可靠性。

还有宇树科技的人形机器人 H1 在 2025 年春季新品发布会上展示了动态行走与简单物体操作的能力，其核心零部件国产化率超过 85%。这一成就不仅体现了宇树科技在技术上的自主创新能力，也彰显了我国在高端制造业中不断追求技术突破的决心。

任务 1.1 工业机器人认知

任务导入：随着科技的飞速发展，工业机器人已经成为现代制造业中不可或缺的重要组成部分。它们在提高生产效率、保证产品质量、降低劳动强度等方面发挥着巨大的作用。接下来，我们将开启一段探索工业机器人的旅程，深入了解它们的奥秘。

知识链接

1.1.1 工业机器人概念

1. 什么是工业机器人

机器人目前已经渗透到生活的方方面面，它们或单独工作，或成群工作。有的机器人比一粒米还小，而有的机器人或许比草原上的粮仓还要大。它们或棱角分明，或圆润如球；或又短又粗，或又瘦又长。如今，机器人已可以完成一些以前认为是不可能通过机器完成的事情。例如，机器人可以清洗地毯，可以整理仓库，可以制作饮料，可以喷涂油漆，可以在学校体育馆跳华尔兹，也可以像受伤的动物一样蹒跚而行，甚至可以自主创作故事、绘制抽象画、清理核废料等。想必大家脑海里会有疑问：这些真的都是机器人吗？或者说，究竟什么才是机器人？现在，这个问题已经越来越难以回答，却非常关键。

通常在科技界，科学家会给每一个科技术语一个明确的定义，但对于机器人的定义尚未达成一致。究其原因在于机器人涉及“机器”和“人”两要素，其内涵、功能仍在快速发展和不断创新之中，成为一个暂时难以回答的哲学问题。国家标准 GB/T 12643—2013《机器人与机器人装备词汇》将机器人定义为：“具有两个或两个以上可编程的轴，以及一定程度的自主能力，可在其环境内运动以执行预期任务的执行机构。”按照预期的用途，机器人可划分为工业机器人和特种机器人。本书主要关注的是前者，即在工业环境下作业的机器人——工业机器人。GB/T 12643—2013 将其定义为：“工业机器人是一种自动控制的、可重复编程、多用途的操作机，可对三个或三个以上轴进行编程。”

作为先进制造业的关键支撑装备，工业机器人除了拥有机械和人的两大属性外，还具有三个基本特征：一是结构化，工业机器人是在二维或三维空间模仿人体肢体动作（主要是上肢操作和下肢移动）的多功能执行机构，具有形式多样的机械结构，并非一定“仿人型”；二是通用性，工业机器人可根据生产工作需要灵活改变程序，控制“身体”完成一定的动作，具有执行不同任务的实际能力；三是智能化，工业机器人在执行任务时基本不依赖于人的干预，具有不同程度的环境自适应能力，包括感知环境变化的能力、分析任务空间的能力和执行操作规划的能力等。

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装置，它能自动执行工作，是靠自身动力和控制能力来实现各种功能的一种机器。它是在机械手的基础上发展起

来的，国外称之为 Industrial Robot（工业机器人）。

国内机器人专家从应用环境出发，将机器人分为两大类，即工业机器人和特种机器人。工业机器人就是面向工业领域的多关节机械臂或多自由度机器人，特种机器人则是除工业机器人之外，用于非制造业并服务于人类的各种先进的机器人，包括服务机器人、水下机器人、娱乐机器人、军用机器人、农业机器人等。

工业机器人技术作为 20 世纪人类最伟大的发明之一，自 20 世纪 60 年代初问世以来，经历几十年的发展已取得长足的进步。工业机器人在经历了诞生—成长—成熟期后，已成为制造业中必不可少的装备。

1.1.2 工业机器人的行业应用分析

1. 工业机器人市场

自 2012 年以来，工业机器人市场销量正以年均 15.2%的速度快速增长。据 IFR（the International Federation of Robotics，国际机器人联盟）统计显示，2016 年全球工业机器人销售额首次突破 132 亿美元，近年来，在工业 4.0 及“中国制造 2025”政策的引导下，中国机器人产业整体市场规模持续扩大。2025 年中国机器人产业预计增长至 3400—4000 亿元，年均复合增长率约 15%—20%，继续保持全球领先地位。

2. 工业机器人使用密度

工业机器使用密度是指每万名工人配套使用工业机器人的数量。该指标是反映一个国家制造水平的重要参数。近年来，全球工业机器人行业保持快速发展，《中国机器人产业分析报告 2018》指出，2024 年，随着中国制造业应用需求的高速增长，工业机器人销量为 30.2 万台，使用密度达 300 台/万人，全球领先，仅次于韩国、新加坡。

3. 工业机器人技术人才缺失

工业机器人作为智能制造的基础支撑装备，被誉为“制造业皇冠顶端的明珠”，是制造业发展水平的重要标志。当前，我国工业机器人产业发展仍存在一定的短板，一个重要原因就是高技能人才的短缺。《中国工业机器人行业产销需求预测与转型升级分析报告》指出，全国的就业人员有 7.7 亿，技术工人则只有 1.65 亿，其中高技能人才仅有 4700 多万。换句话说，技术工人占就业人员的比重约占 20%，而高技能人才只占 6%。2023 年 1 月，工业和信息化部等十七部门印发的《“机器人＋”应用行动实施方案》中提出，到 2025 年制造业机器人密度较 2020 年翻番，推广 200 个以上典型应用场景。根据工业和信息化部最新发展规划，随着我国工业机器人产业快速发展，人才供需矛盾日益凸显。2025 年，全国工业机器人装机量预计将突破 50 万台，但与之配套的高技能人才缺口仍超过 30 万人。这一人才紧缺问题正在制约着工业机器人技术在国内制造业的深度应用和普及推广。

4. 工业机器人应用领域核心岗位

工业机器人应用领域的核心岗位分布见图 1－2，从图中我们可以看到最大的应用领域是机器人操作，占了整个应用领域的 29%，22%是安装调试，14%是技术支持，因此对于机器人操作的学习是很重要的。

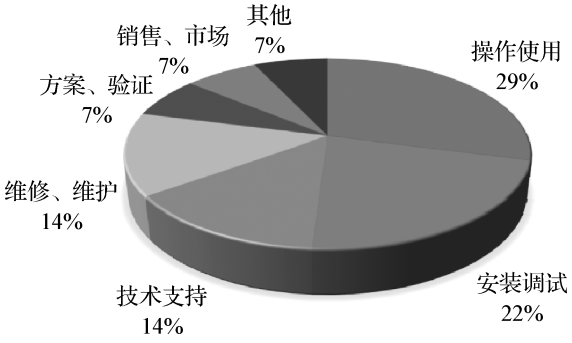


图 1－2　工业机器人应用领域核心岗位分布

1.1.3　工业机器人的品牌

随着智能装备的发展，机器人在工业制造中应用的优势越来越显著，机器人企业犹如雨后春笋般出现，其中占据主导地位企业见表 1－1。

表 1－1　占主导地位的工业机器人品牌

品牌及国家	特　　点
ABB－瑞士	ABB 机器人是世界机器人四大家族之一，广泛应用在焊接、装配、铸造、密封涂胶、材料处理、包装、喷漆、水切割等领域。目前，中国已经成为 ABB 全球第一大市场
发那科(FANUC)－日本	FANUC 机器人是全球使用量最多的品牌之一，是世界机器人四大家族之一。FANUC 机器人产品系列多达 240 种，负重 0.5—1350 kg，广泛应用在装配、搬运、焊接、铸造、喷涂、码垛等生产环节
安川(Yaskawa)－日本	Yaskawa 机器人是世界机器人四大家族之一，广泛应用在焊接、搬运、装配、喷涂以及放置在无尘室内的液晶显示器、等离子显示器和半导体制造的搬运等领域
库卡(KUKA)－德国	KUKA 机器人是世界机器人四大家族之一，广泛应用于汽车、冶金、食品和塑料成形等行业
川崎(Kawasaki)－日本	川崎机器人广泛应用在饮料、食品、肥料、太阳能、炼瓦等领域
新松(SIASUN)－中国	新松机器人广泛应用于汽车整车及汽车零部件、工程机械、轨道交通、低压电器、电力、IC 装备、军工、烟草、金融、医药、冶金及印刷出版等行业

在众多的机器人品牌中，慢慢形成世界上公认的四大家族，分别是 ABB、KUKA、FANUC 及 Yaskawa，本书以 ABB 机器人为例，进行操作和编程的介绍。

1.1.4　我国工业机器人发展态势

我国工业机器人起步较晚，但发展很快，经历 20 世纪 70 年代的萌芽期，80 年代的开发期，90 年代的实用期，先后研制出了点焊、弧焊、装配、喷涂、切割、搬运、包装码垛等各种用途的工业机器人，到 2014 年中国已成为全球最大的机器人市场。目前已经形成百余个从事机器人研发设计、生产制造、工程应用以及零部件配套的产业集群。

任务 1.2　工业机器人分类及应用

任务导入：我们已经对工业机器人有了初步的认识，了解了它们在现代制造业中的重要作用。那么，接下来我们将进一步深入了解工业机器人的分类及其在不同领域的应用。我们将学习各种类型机器人的特点和优势，了解它们在实际生产中的应用，并探讨如何根据不同的需求选择合适的机器人类型。

知识链接

1.2.1　工业机器人的分类

工业机器人可按照功能、结构、关节数量、应用领域等条件进行分类。这里我们以最直观的关节数与结构为例将工业机器人分为串联六关节工业机器人、并联三/四关节工业机器人(Delta)、水平四关节工业机器人(SCARA)、人机协作工业机器人、七关节工业机器人(喷涂、协作)等。

1. 串联六关节工业机器人

串联六关节工业机器人是当今工业领域中最常见的工业机器人形态之一，适用于诸多工业领域的机械自动化作业，例如，自动装配、加工、搬运、焊接(点焊、弧焊)、表面处理、测试、测量等工作，见图 1－3。

2. 四关节工业机器人(搬运、码垛)

四关节工业机器人相对于六关节工业机器人省去了第五关节(腕关节)和第四关节(小臂旋转)，这种机器人在搬运、码垛时更快、更为稳定，在相同臂展及结构下，四关节工业机器人比六关节工业机器人承担的负载更大一些，这更有助于快速地搬运重物，见图 1－4。

图 1－3　串联六关节工业机器人

图 1－4　四关节工业机器人

3. 并联三/四关节工业机器人(Delta)

并联三/四关节工业机器人又名 Delta 机器人、并联机器人或蜘蛛手机器人，具有三个

空间自由度和一个转动自由度，通过示教编程或视觉系统捕捉目标物体，由三个并联的伺服轴确定抓具中心(TCP)的空间位置，实现对目标物体的快速拾取、分拣、装箱、搬运、加工等操作。主要应用于乳品、食品、药品和电子产品等行业，具有重量轻、体积小、速度快、定位精、成本低、效率高等特点，见图 1－5。

4. 水平四关节工业机器人(SCARA)

水平四关节工业机器人又名 SCARA 机器人。该工业机器人有三个旋转关节，其轴线相互平行，在平面内进行定位和定向运动；另一个关节是移动关节，用于完成工业机器人末端在垂直于平面方向上的运动。SCARA 机器人广泛应用于塑料工业、汽车工业、电子产品工业、药品工业和食品工业等领域。它的主要职能是快速搬取零件和装配，见图 1－6。

图 1－5　Delta 机器人

图 1－6　水平四关节工业机器人

5. 人机协作工业机器人

人机协作工业机器人是和人类在共同工作空间中有近距离互动的机器人。这种机器人可以完成灵活度要求较高的精密电子零部件的装配与分拣工作，在工作时能与人类并肩作战。机器人全身都覆盖有感知装置，即使在工作中触碰到人类也能及时做出反应，以便继续作业，见图 1－7。

图 1－7　人机协作工业机器人

图 1－8　七关节喷涂工业机器人

6. 七关节喷涂工业机器人

喷涂工业机器人腕部一般有 2—3 个自由度，可灵活运动。较先进的喷涂机器人腕部采

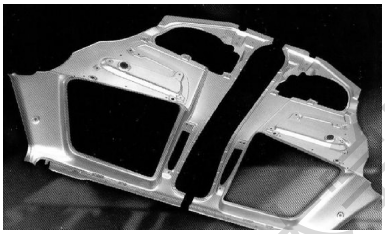
用柔性手腕，既可向各个方向弯曲，又可转动，其动作类似人的手腕，能方便地通过较小的区域伸入工件内部，喷涂其内表面。喷涂工业机器人一般采用液压驱动，具有动作速度快、防爆性能好等特点，可通过手把手示教或点位示数来实现示教。喷涂工业机器人广泛用于汽车、仪表、电器、搪瓷等工艺生产部门，见图 1－8。

1.2.2 工业机器人应用领域

现阶段工业机器人应用领域大致可以分为抛光打磨、清洗、装配、切割、喷涂/涂胶、机床上下料、码垛/搬运、焊接、铸造、分拣等。其中应用量最大、应用程度最为广泛的则是汽车行业。很多影视场景喜欢取材汽车焊接生产线来诠释工业机器人的先进与智能，其实在汽车很多生产环节中都要用到工业机器人，而且现代化汽车生产线的技术水平和自动化程度都在不断提升中，更多的工业机器人应用也会不断被开发出来代替传统人力。

工业机器人在汽车行业应用时可以细致地划分为冲压、焊装、涂装、总装四大领域，具体应用见表 1－2。

表 1－2 工业机器人在汽车行业的应用

应用领域	应用环境
冲压 	在这个生产环节，工业机器人主要用于冲压零件的上下料搬运。工业机器人的机械臂前端一般都装有夹具，如果零件尺寸较大时，夹具也会更重，所以大负载工业机器人在这个环节往往拥有更大发挥空间。另外上下料经常受到空间的限制，所以运动半径也是主要考虑因素之一，一般选择多关节、长距离、高负载产品，以覆盖更大的工作面积
焊装 	焊装是汽车生产线中最酷的环节，冲压后的部件在这一步完成基本的拼装。在固定的生产节奏下，整个生产线的夹具与工业机器人协作配合，将一块块铁皮连接变成造型漂亮的车身
涂装 	涂装属于表面处理环节，大面积的车身涂装靠酸洗后的电泳技术解决，但也会出现电泳不能覆盖的死角。在整车大面积电泳完成后，由工业机器人进一步喷漆完善

续 表

应用领域	应用环境
总装 	总装工艺中工业机器人主要用在涂胶、玻璃安装、搬运以及一些紧固类安装工作场合。剩下的内饰安装工作基本上还是以人工+省力机械为主。由于目前夹具技术已经非常先进并且完全数字化,所以工作强度有了明显改善

任务 1.3 机器人的基本组成与结构

任务导入:我们已经了解到工业机器人在现代制造业中发挥着越来越重要的作用。那么,今天我们将深入探究工业机器人的基本组成与结构,这是理解机器人工作原理和应用的关键。

工业机器人通常由以下几个主要部分组成:机械本体、控制系统、驱动系统和感知系统。机械本体是机器人的“身体”,它决定了机器人的运动范围和工作能力;控制系统是机器人的“大脑”,负责规划和指挥机器人的动作;驱动系统是机器人的“肌肉”,为机器人的运动提供动力;感知系统则是机器人的“感官”,帮助机器人感知外部环境并做出相应反应。

知识链接

1.3.1 工业机器人操作准备

工业机器人应用编程人员在开始操作工业机器人之前,需要正确穿戴安全护具了解工业机器人的基本组成,掌握工业机器人正确开机与关机步骤、急停报警的解除方法,为工业机器人基本操作做好准备工作。本任务包括以下几项内容:

(1) 启动工业机器人系统;

(2) 配置示教器环境参数;

(3) 模拟紧急情况下按下急停按钮,并进行紧急停止报警解除;

(4) 关闭工业机器人系统。

1.3.2 常用安全护具

工业机器人应用编程人员应正确穿戴相应的安全护具,以降低意外带来的伤害。工业机器人应用编程人员常用的安全护具包括安全帽、工作服、劳保鞋、防护眼镜等,如图 1-9 所示。

(a) 安全帽　(b) 工作服　(c) 劳保鞋　(d) 防护眼镜

图 1－9　工业机器人应用编程人员常用的安全护具

1. 安全帽

安全帽是指对人的头部受坠落物及其他特定因素引起的伤害起防护作用的帽子。安全帽由帽壳、帽衬、下领带及附件等组成。

2. 工作服

工作服是为工作需要而特制的服装，也是企业员工统一穿着的服装。工业机器人应用编程人员在操作工业机器人时，需正确穿戴工作服：穿着合身的工作服，束紧领口、袖口和下摆，内衣物不外露，裤管需束紧，不得翻边。

3. 劳保鞋

劳保鞋是一种对足部有安全防护作用的鞋子。工业机器人应用编程人员应根据工作环境的危害性质和危害程度选用劳保鞋。

4. 防护眼镜

防护眼镜是个体防护装备中重要的组成部分。防护眼镜是一种特殊型眼镜，它是为防止放射性、化学性、机械性和不同波长的光损伤而设计的。

1.3.3　工业机器人基本组成

工业机器人系统主要由工业机器人本体、控制柜、示教盒、配电箱和连接电缆组成，其中连接电缆主要有电源电缆、示教盒电缆、控制电缆和编码器电缆，如图 1－10 所示。

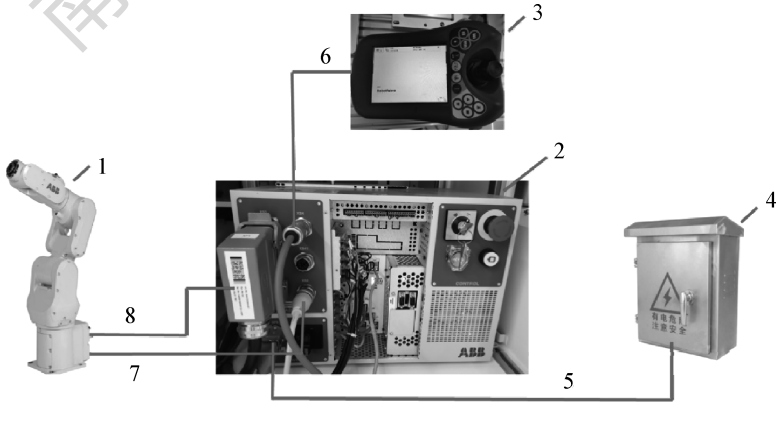


图 1－10　工业机器人基本组成

1—工业机器人本体；2—控制柜；3—示教盒；4—配电箱；
5—电源电缆；6—示教盒电缆；7—编码器电缆；8—控制电缆。

1. 工业机器人本体

工业机器人本体是工业机器人的支承基础，也是工业机器人完成作业任务的执行机构。工业机器人本体主要由传动部件、机身、臂部（大臂和小臂）、腕部和手部五个部分组成，如图 1－11 所示。

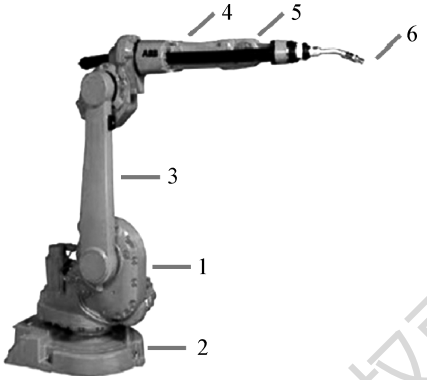


图 1－11　工业机器人本体组成

1—传动部件；2—机身；3—大臂；4—小臂；5—腕部；6—手部。

（1）传动部件：包括各种驱动电机、减速器、齿轮、轴承、传动带等部件。

（2）机身：机身又称机座，是整个工业机器人的支持部分，具有一定的刚度和稳定性。机座有固定式和移动式两类，若机座不具备行走功能，则构成固定式工业机器人；若机座具备移动机构，则构成移动式工业机器人。

（3）臂部：臂部一般由大臂和小臂（或多臂）组成，用来支撑腕部和手部，实现较大的运动范围。

（4）腕部：腕部位于工业机器人手部和臂部之间，腕部主要帮助手部呈现期望的姿态，扩大臂部运动范围。

（5）手部：手部又称为末端执行器或末端工具，是工业机器人执行任务的工具，一般安装在工业机器人末端的法兰上。根据应用功能不同，手部可以分为夹钳式、吸附式、专用手部工具和工具快换装置等多种形式。

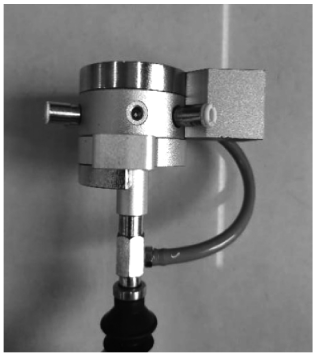
工业机器人工具快换装置可以实现快速更换末端执行器，提高工作效率。它通常由主盘和工具盘组成，主盘安装在工业机器人法兰盘上，如图 1－12(a)所示，工具盘与末端执行器连接。工具快换装置的释放和夹紧可以由主盘和工具盘通过气动的形式来实现。常见工业机器人工具快换装置有吸盘工具、弧口手爪工具、平口手爪工具和绘图笔工具等，如图 1－12(b)～(e)所示。

本书各任务中所使用的是 ABB IRB120 紧凑型工业机器人，其负载为 3 kg，工作区域为 580 mm。该型号工业机器人具有敏捷、紧凑、轻量的特点，控制精度与路径精度俱优，是物料搬运与装配应用的理想选择，主要应用于装配、上下料、物料搬运、包装和涂胶密封等。

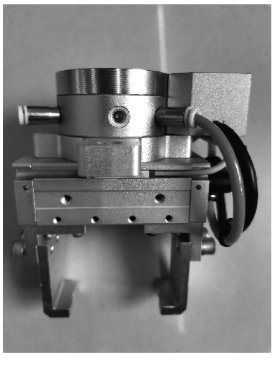
2. 控制柜

工业机器人控制柜作为工业机器人最为核心的零部件之一，对工业机器人的性能起着决定性的影响，在一定程度上影响着工业机器人的发展。工业机器人控制系统的主要任务是控制工业机器人在工作空间中的运动位置、姿态和轨迹，操作顺序及动作的时间等。

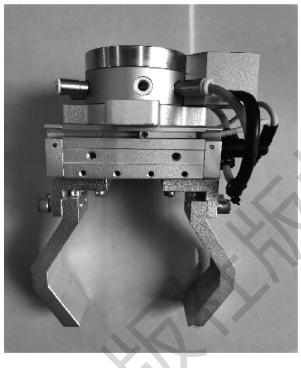
(a) 快换装置主盘



(b) 吸盘工具



(c) 平口手爪工具



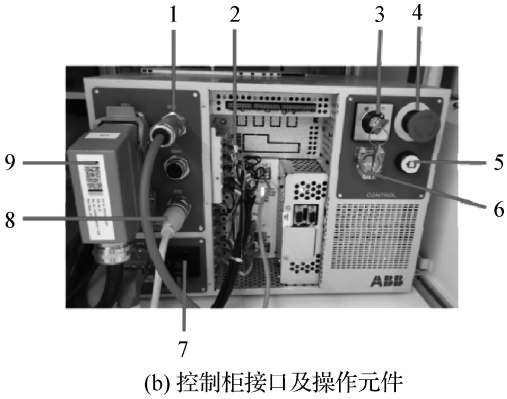
(d) 弧口手爪工具

(e) 绘图笔工具

图 1－12　工业机器人工具快换装置

本书各任务中所用的工业机器人控制柜为 ABB 公司生产的 IRC5 compact 控制柜，如图 1－13 所示。该控制柜以先进的动态建模技术为基础，对工业机器人性能实施自动优化，大幅提升了 ABB 工业机器人执行任务的效率。IRC5compact 控制柜包括电源开关、模式切换旋钮、急停按钮、抱闸按钮、伺服上电按钮、IO 端子排、动力电缆、编码器电缆和示教盒电缆等，控制柜接口及操作元件的功能说明如表 1－3 所示。

(a) 控制柜正视图



(b) 控制柜接口及操作元件

图 1－13　IRC5 compact 控制柜

1—示教盒电缆；2—IO 端子排；3—模式切换旋钮；4—急停按钮；5—伺服上电按钮；6—抱闸按钮；7—电源开关；8—编码器电缆；9—动力电缆。

表 1－3　IRC5 compact 控制柜接口及操作元件说明

标号	部件名称	说明
1	示教盒电缆	示教盒与工业机器人控制柜的通信连接
2	IO 端子排	IO(输入输出)接口,与外部进行 IO 通信
3	模式切换旋钮	用于切换工业机器人自动运行与手动运行
4	急停按钮	工业机器人的紧急制动
5	伺服上电按钮	工业机器人伺服上电(主要应用于自动运行模式)
6	抱闸按钮	按下按钮后,工业机器人的所有关节失去抱闸功能,便于拖动示教工业机器人或拖动工业机器人离开碰撞点,避免二次碰撞,损坏工业机器人
7	电源开关	控制工业机器人设备电源的通断
8	编码器电缆	工业机器人 6 轴伺服电机编码器的数据传输
9	动力电缆	工业机器人伺服电机的动力供应

3. 示教盒

示教盒(又称示教器)是用于工业机器人的手动操作、程序编写、参数配置以及监控的手持装置。

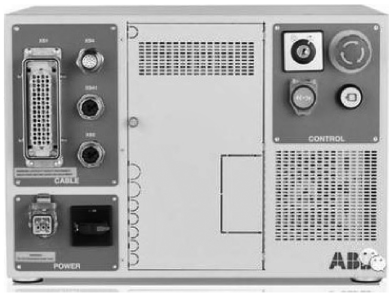
4. 连接电缆

工业机器人使用的连接电缆主要有电源电缆、示教盒电缆、控制电缆和编码器电缆。其中电源电缆用于给工业机器人控制柜提供 220V 交流电源;示教盒电缆用于连接示教盒和控制柜;控制电缆和编码器电缆用于连接工业机器人本体和控制柜。

1.3.4　工业机器人开机和关机

汇博工业机器人应用编程一体化教学创新平台(A 型)(设备型号:HB-JSBC-Alb)的电源开关位于控制台触摸屏的右下角,如图 1－14(a)所示;ABB 公司生产的 IRC5 compact 控制柜电源开关位于操作面板的左下角,如图 1－14(b)所示。

(a) 平台电源开关



(b) 控制柜电源开关

图 1－14　工业机器人电源开关

1. 工业机器人开机

工业机器人的正确开机步骤如下:

第一步　检查工业机器人周边设备、作业范围是否符合开机条件；
第二步　检查电源是否正常接入；
第三步　确认控制柜和示教盒上的急停按钮已经按下；
第四步　打开平台电源开关；
第五步　打开工业机器人控制柜电源开关；
第六步　打开气泵开关和供气阀门；
第七步　示教盒画面自动开启，工业机器人开机完成。

2. 工业机器人关机

工业机器人的正确关机步骤如下：
第一步　将工业机器人控制柜模式开关切换到手动操作模式；
第二步　手动操作工业机器人返回到原点位置(详见任务手动关节坐标系操作)；
第三步　按下示教盒上的急停按钮；
第四步　按下控制柜上的急停按钮；
第五步　将示教盒放置到指定位置；
第六步　关闭控制柜电源开关；
第七步　关闭气泵开关和供气阀门；
第八步　关闭平台电源开关；
第九步　整理工业机器人系统周边设备、电缆、工件等物品。

1.3.5　紧急停止按钮

紧急停止按钮，简称急停按钮，当发生紧急情况时，用户可以通过快速按下此按钮来达到保护的目的。在工厂的一些大中型机器设备或者电器上都可以看到醒目的红色按钮，标准情况下会标示与紧急停止含义相同的红色字体，这种按钮可统称为急停按钮。此按钮只需直接向下按下，就可以快速地让整台设备立马停止或释放一些传动部位。要想再次启动设备必须释放此按钮，一般只需顺时针方向旋转大约 45°后松开，按下的部分就会弹起，也就是释放。

由于工业安全要求，在发生异常情况时，凡是一些传动部位会直接或者间接地对人体产生伤害的机器都必须施加保护措施，急停按钮就是保护措施之一。因此，在设计一些带有传动部位的机器时必须加上急停按钮，而且要设置在人员可方便按下的机器表面，不能有任何遮挡物存在。

工业机器人作为工业领域能自动执行工作、靠自身动力和控制能力来实现各种功能的机器装置，为保证作业的安全，在系统中设置了 3 个紧急停止按钮(不包括外围设备的紧急停止按钮)，分别是：

＊工业机器人示教盒上的紧急停止按钮；
＊工业机器人控制柜上的紧急停止按钮；
＊实训平台外部紧急停止按钮。

如图 1－15 所示，按下任何一个紧急停止按钮，工业机器人立刻停止运动。

当工业机器人在工作中出现下列情况时，必须立即按下紧急停止按钮：

(a) 控制柜紧急停止按钮

(b) 示教盒紧急停止按钮

(c) 平台紧急停止按钮

图 1－15　紧急停止按钮

＊工业机器人作业时，机器人工作区域内有工作人员；

＊工业机器人作业时伤害了工作人员或损伤了周边设备。

按下紧急停止按钮后，工业机器人示教盒画面出现紧急停止报警。再次运行工业机器人前，必须先清除紧急停止及其报警。松开紧急停止按钮，按下控制柜操作面板上的伺服上电按钮，确认示教盒上状态栏中的报警信息消失。

1.3.6　穿戴安全护具

工业机器人应用编程人员需要按照要求正确规范穿戴安全护具，具体要求如下：

（1）佩戴工作帽，头发尽量不外露，长发者可将头发盘于帽内，需正确规范地扣紧帽绳，防止操作工业机器人时安全帽脱落，造成安全隐患；

（2）穿着合身的工作服，束紧领口、袖口和下摆，扣好纽扣，内侧衣物不外露，必要时系好安全带；

（3）不佩戴首饰，尤其是手指和腕部；

（4）裤管需束紧，不得翻边；

（5）尽量穿着劳保鞋，系紧鞋带；

（6）操作示教盒时不能佩戴手套；

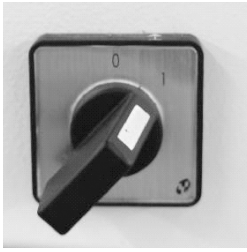
（7）根据工作现场要求佩戴口罩、防护眼镜等安全护具。

1.3.7　工业机器人开机操作

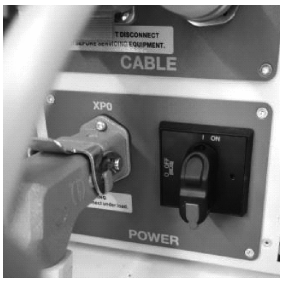
1.3.7　工业机器人开机操作视频

ABB 工业机器人开机操作步骤如表 1－4 所示。

表 1－4　工业机器人开机操作步骤

操作步骤	操作说明	示意图
1	将控制台上平台电源开关旋至“1”位置，接通平台主电源	

续　表

操作步骤	操作说明	示意图
2	将工业机器人控制柜电源开关旋至“ON”位置，接通工业机器人主电源	
3	将气泵开关向上拉起，气泵上电	
4	将气泵供气阀门旋至与气管平行方向，打开阀门	
5	控制柜电源开关上电后，系统自动启动，查看示教盒状态，系统启动完成，如右图所示	

任务 1.4　工业机器人示教器的使用

任务导入：我们已经学习了工业机器人的基本组成与结构，了解了机械本体、控制系统、驱动系统和感知系统的作用。我们将进一步深入学习工业机器人的重要组成部分——示教

器的使用。

示教器是工业机器人控制系统的重要组成部分，它就像是机器人的“遥控器”，通过示教器，操作人员可以对机器人进行编程、调试和控制。示教器通常具有直观的操作界面，包括显示屏、按键和操纵杆等，操作人员可以通过这些界面输入指令，控制机器人的运动和动作。

在实际操作中，示教器的使用非常关键。它不仅可以帮助操作人员快速完成机器人的编程和调试，还能在生产过程中实时监控机器人的运行状态，确保生产的安全和高效。例如，在汽车制造生产线中，操作人员通过示教器对机器人进行示教编程，使机器人能够精准地完成焊接、喷涂等复杂任务。

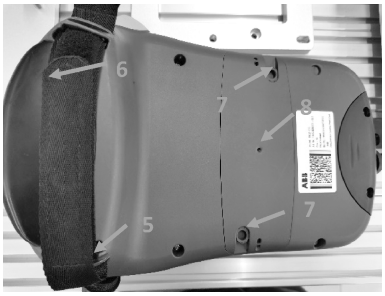
知识链接

1.4.1 示教器外形介绍

操纵工业机器人就必须和机器人示教器打交道，这一任务主要了解工业机器人示教器的操纵方法。示教器是进行工业机器人的手动操纵、程序编写、参数配置以及监控的手持装置，也是最常用的工业机器人控制装置。ABB 工业机器人示教器主要组成见表 1－5。

1.4.1 工业机器人示教器主要组成视频

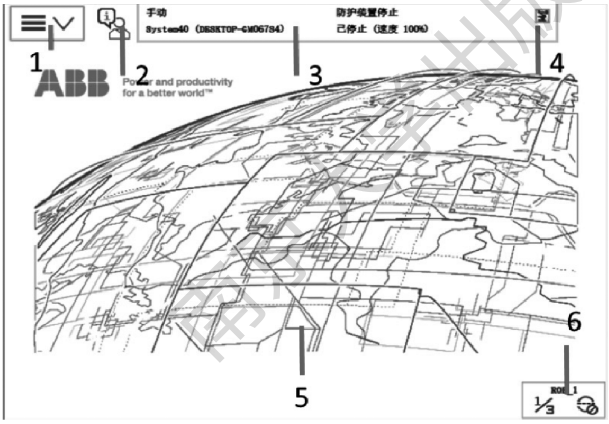
表 1－5 ABB 工业机器人示教器主要组成

图示	明说
正面 	1—连接器 2—触摸屏 3—紧急停止按钮 4—控制杆
背面 	5—USB 端口 6—三位使动装置 7—触摸笔 8—重置按钮

1.4.2 示教器的按键及主菜单介绍

示教器的按键用数字 1—12 表示，各个部分代表的含义见表 1－6。

表 1－6 ABB 工业机器人示教器按键及主菜单

图示	说明
	1—4—预设按键，1—4 5—选择机械单元 6—切换运动模式，重定向或线性 7—切换运动模式，轴 1—3 或轴 4—6 8—切换增量 9—步退（Step BACKWARD）按钮，按下此键，可使程序后退至上一条指令 10—启动（START）按键，开始执行程序 11—步进（Step FORWARD）按键，按下此按键，可使程序前进至下一条指令 12—停止（STOP）按键，停止程序执行
	1—ABB 菜单 2—操作员窗口 3—状态栏 4—关闭按钮 5—任务栏 6—快速设置菜单
	操作 FlexPendant 时，通常会手持该设备。惯用右手者，用左手持设备，右手在触摸屏上执行操作

续 表

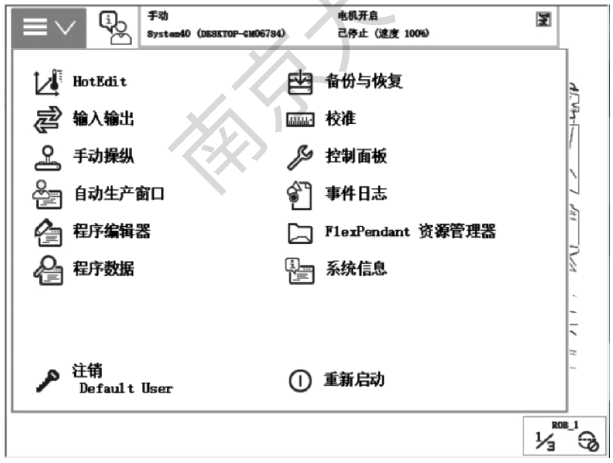
图示	说明
	使能按钮位于示教器手动操纵杆的右侧，工业机器人工作时，使能按钮必须在正确的位置，以保证工业机器人各个关节电动机上电。使能按钮分两挡，在手动状态下，第一挡按下去，工业机器人将处于电动机开启状态

1.4.3 ABB 菜单中的主要选项

单击 ABB 主菜单，可以看到 ABB 主菜单下的主要选项，见表 1－7。

1.4.3 ABB 菜单中主要选项视频

表 1－7 ABB 菜单中主要选项

图示	选项
	(1) HotEdit (2) 输入输出 (3) 手动操纵 (4) 自动生产窗口 (5) 程序编辑器 (6) 程序数据 (7) 备份与恢复 (8) 校准 (9) 控制面板 (10) 事件日志 (11) Flex Pendant 资源管理器 (12) 系统信息 (13) 注销 (14) 重新启动

1. “HotEdit”功能介绍

(1) “HotEdit”功能是对编程位置进行调节的一项功能。该功能可在所有操作模式下运行，即使是在程序运行的情况下，坐标和方向均可调节。

（2）HotEdit 仅用于已命名 robtarget 类型的位置，见图 1－16。

图 1－16　“HotEdit”功能

（3）HotEdit 中的可用功能可能会受到用户授权系统（UAS）的限制。

2.“输入输出”功能介绍

在“输入输出”功能中，我们可以监控和浏览工业机器人控制器下所有的总线及总线下的信号状态，同时还可以看到挂在总线下的各种 I/O 板卡或其他通信装置的状态。选择“视图”菜单可以查看到数字量的输入输出状态、模拟量的输入输出状态及组信号的输入输出状态，并且在手动状态调试时还可以强制执行某些信号来快速看到效果，见图 1－17。

图 1－17　“输入输出”功能

3.“手动操纵”功能介绍

在“手动操纵”功能下，我们可以选择当前激活的机械单元，选择工业机器人的动作模式，例如：线性、关节运动模式等，同时还可以选择工业机器人当前的运动坐标系以及为工业机器人指定当前用的工件坐标及工具坐标。在“有效载荷”功能下可为工业机器人建立

符合要求的载荷数据，同时也可以锁定示教器的操纵杆及是否应用增量模式等，见图1－18。

图1－18 “手动操纵”功能

4.“自动生产窗口”功能介绍

“自动生产窗口”功能是在工业机器人自动状态下使用的一个功能，它可以快速为当前工业机器人指定程序任务，并且可以将 PP 程序指针快速移动到 Main 主程序。如果有 Multi-Task 和 MultiMove 配置的工业机器人，我们可以直接利用“自动生产窗口”功能快速调节程序任务，方便查看程序运行效果，见图1－19。

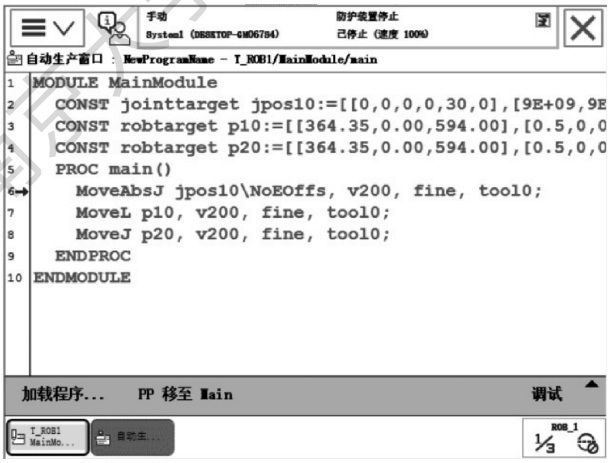


图1－19 “自动生产窗口”功能

5.“程序编辑器”功能介绍

“程序编辑器”功能是在调试工业机器人程序时经常要用到的功能。在程序编辑器中可以对工业机器人进行程序编写、位置示教、在线调试等，见图1－20。

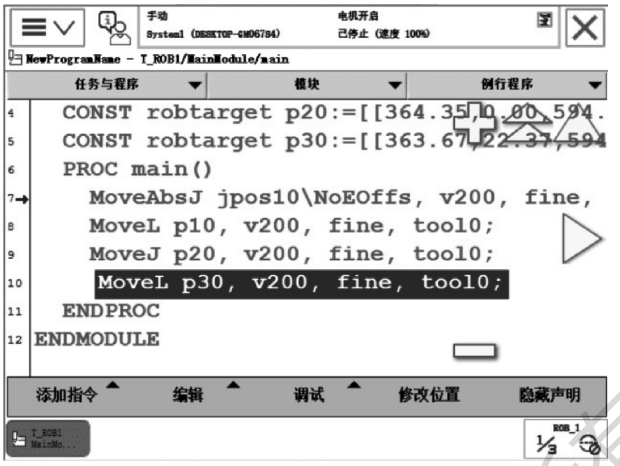


图 1－20 “程序编辑器”功能

6.“程序数据”功能介绍

“程序数据”功能主要用于查看和使用数据类型和实例。“程序数据”菜单中包含了工业机器人在编程中会用到的上百种数据及变量，例如时钟 clock、数字型 num、工具数据 tooldata、机器人目标点数据 robtarget 等，见图 1－21。我们可以同时打开一个以上的程序数据窗口，在查看多个实例或数据类型时，此功能非常有用。

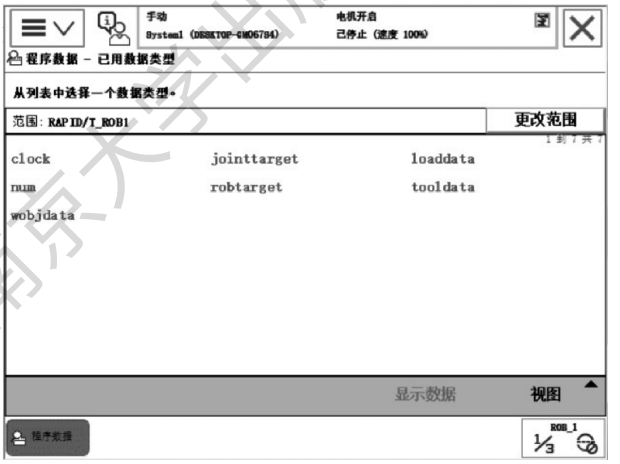


图 1－21 “程序数据”功能

7.“备份与恢复”功能介绍

“备份与恢复”功能主要用于备份机器人当前的所有系统及数据。一般在调试或调试完成后，都应养成系统备份的习惯，这有助于项目的顺利实施；在系统出现问题或故障时，可以利用恢复系统功能将工业机器人恢复到之前所备份的状态，方便快速解决现场问题。单击“备份当前系统”即可完成系统备份，单击“恢复系统”就可以对已经备份的系统进行恢复，见图 1－22。

图 1－22 “备份与恢复”功能

8.“校准”功能介绍

“校准”功能一般用于对工业机器人进行转数计数器的更新操作。当工业机器人在掉电状态下各关节轴发生了相应的位移后，工业机器人重新上电时就需要利用校准功能对工业机器人的转数计数器进行更新，见图 1－23。同时，当工业机器人的 SMB 内存参数出现不匹配等错误时，也需要利用校准功能来重新建立 SMB 内存参数。当工业机器人需要进行跟踪任务时，同样需要利用“校准”菜单中的基座功能标定输送线。

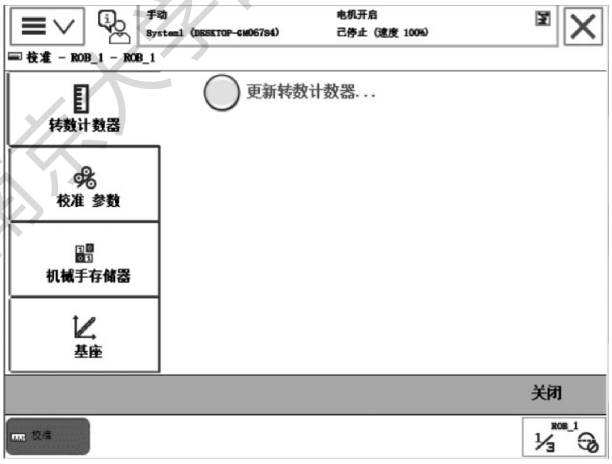
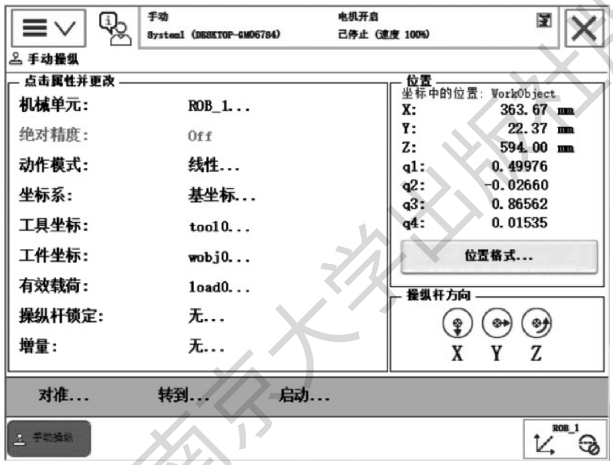
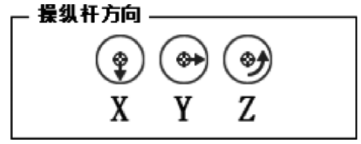
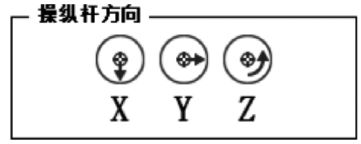


图 1－23 “校准”功能

1.4.4 示教器操纵杆的介绍

示教器操纵杆可以控制工业机器人在不同模式下的运动方向，不同运动模式操纵杆表示的含义见表 1－8。

表 1－8　工业机器人操纵杆及运动模式

运动模式	操纵杆方向
	
	
	

可以将 ABB 工业机器人的操纵杆比作汽车的油门，操纵杆扳动或旋转的幅度与工业机器人速度相关。工业机器人操纵杆是 8 位带旋转的摇杆，摇杆可以灵活控制工业机器人在空间进行关节运动、线性运动、重定位运动，见图 1－24。

图 1－24　示教器上的操纵杆

（1）摇杆扳动或旋转的幅度小，则机器人运行速度较慢。

（2）摇杆扳动或旋转的幅度大，则机器人运行速度较快。

特别提醒：在手动操作工业机器人时，尽量小幅度操纵操纵杆，使工业机器人在慢速状态下运行，增强可控性。

1.4.5　示教器自定义编程按钮的介绍

ABB 工业机器人示教器上配备了 4 个可编程按键，便于对工业机器人的输入信号、输出信号、系统信号进行操作。定义了可编程按键后，若需要强制一个输出信号时就可省去原有繁杂的操作。这极大地提高了用户在现场调试的效率。示教器上的可编程按键见图 1－25。

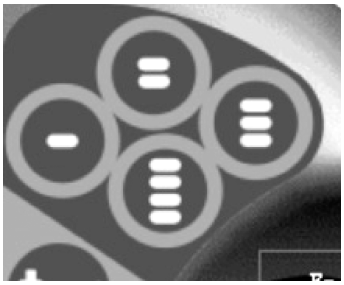
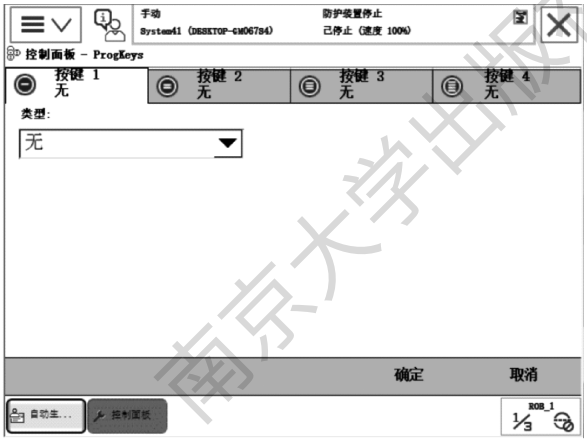
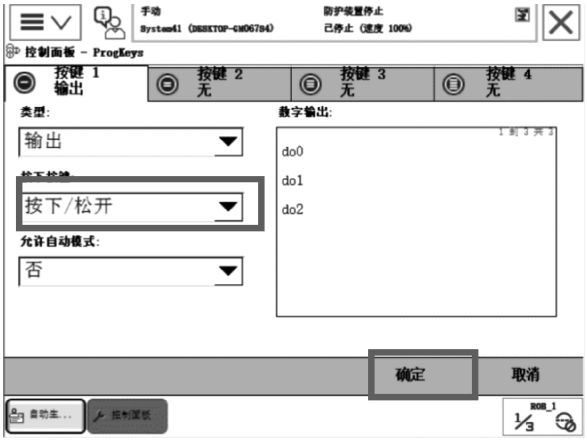


图 1－25　示教器上的可编程按键

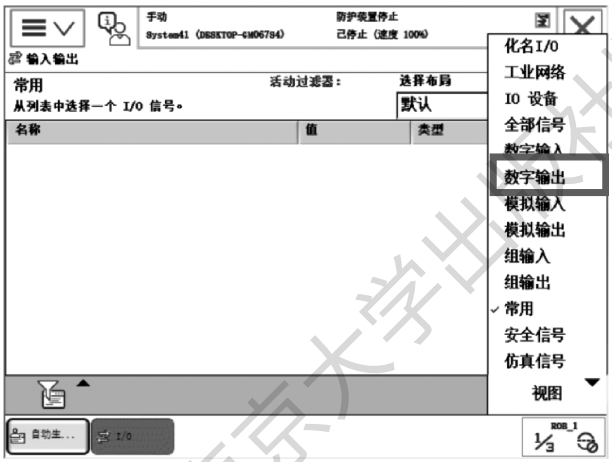
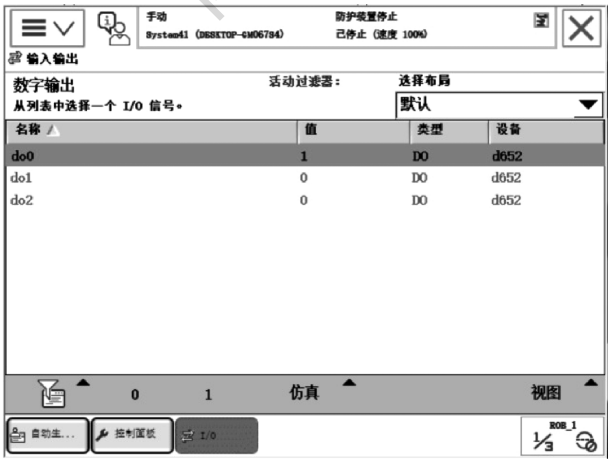
进入“可编程按键”功能后，选择对应的按键编号，同时选择好对应的“类型”。这里以输出信号为例，可编程按键 1 配置数字输出信号 do1 的操作步骤见表 1－9。

1.4.5 示教器自定义编程按钮视频

表 1－9 为可编程按键 1 配置数字输出信号 do1 的操作步骤

图示	说明
	第一步　在“控制面板”中选择“配置可编程按键”
	第二步　选中想要设置的按键，然后在“类型”中，选择“输出”
	第三步　选中“do1” 第四步　在“按下按键”中选择“按下/松开”，也可以根据实际需要选择按键的动作特性 第五步　单击“确定”完成设定，就可以通过可编程按键 1 在手动状态下对 do1 进行强制的操作

续 表

图示	说明
	第六步　打开示教器菜单，选择“输入输出”
	第七步　单击右下角“视图”，选择“数字输出”
	第八步　单击所设定按键进行仿真，do1 数值就会显示为“1”，松开鼠标，do1 数值又会变为“0”

1.4.6 示教器触摸屏校准

ABB 工业机器人的触摸屏在出厂时已校准，通常不需要重新校准。但使用一段时间后，示教器的屏幕可能出现单击位置不准确或发生屏幕触发位置“漂移”等问题，这时需要利用示教器中的“屏幕校准”功能对示教器屏幕的触摸坐标重新进行校准，见图 1－26。

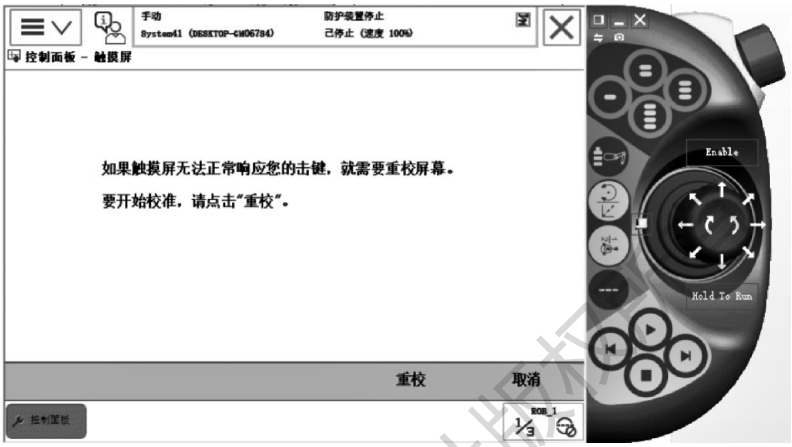


图 1－26 示教器触摸屏校准

操作步骤：

第一步 在 ABB 菜单上，单击“控制面板”。

第二步 单击“触摸屏”。

第三步 单击“重新校准”，屏幕将在数秒内显示为空白。随后屏幕上将出现一系列符号，一次一个。

第四步 用示教器专用触摸笔单击每个符号的中心。

第五步 重新校准完成。

任务 1.5 工业机器人手动操纵

任务导入：我们已经学习了工业机器人的基本组成与结构，以及示教器的使用方法。接下来，我们将进入一个非常重要的实践环节——工业机器人的手动操纵。

在实际生产中，手动操纵是操作人员对工业机器人进行调试、维护和故障排除时不可或缺的技能。通过手动操纵，操作人员可以精确控制机器人的运动，确保机器人在各种复杂环境下的安全和高效运行。例如，在机器人安装调试阶段，操作人员需要通过手动操纵来校准机器人的位置和姿态；在生产过程中，如果遇到突发情况，操作人员也可以通过手动操纵及时调整机器人的动作，避免生产事故。

今天，我们将通过一系列任务，学习工业机器人的手动操纵方法。我们将从手动操纵的基本操作讲起，包括如何通过示教器上的按键和操纵杆控制机器人的运动；然后通过实际操

作练习，掌握机器人的单轴、线性和重定位运动模式切换等操作技能。

知识链接

手动操纵机器人运动一共有三种模式：手动关节运动（单轴运动）、手动线性运动和手动重定位运动。下面介绍如何手动操纵工业机器人进行这三种运动。

1.5.1 工业机器人手动操纵视频

1.5.1 手动关节运动操纵

一般地，ABB 工业机器人由 6 个伺服电动机分别驱动它的 6 个关节轴，见图 1－27。每次手动操纵一个关节轴的运动，就称为单轴运动。

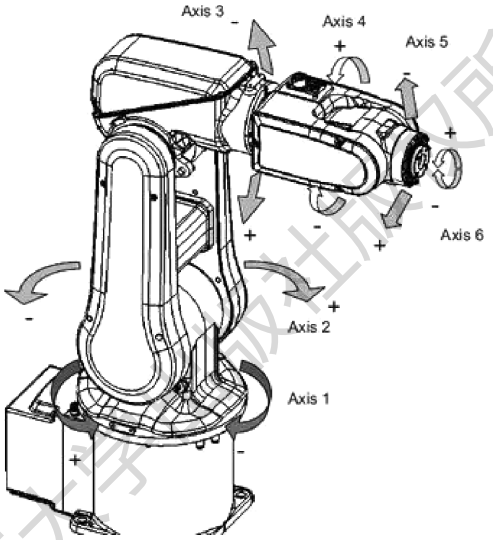
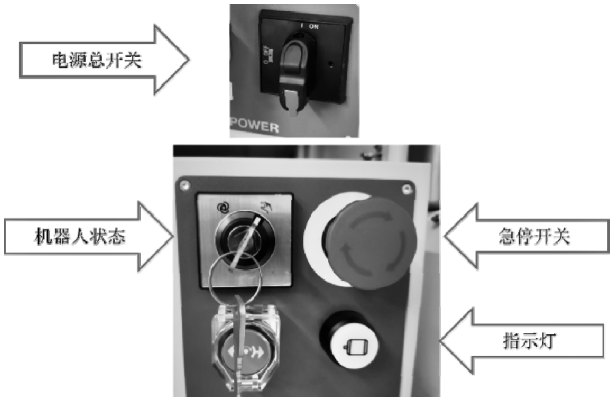


图 1－27 工业机器人 6 个关节轴

工业机器人单轴运动操纵步骤见表 1－10。

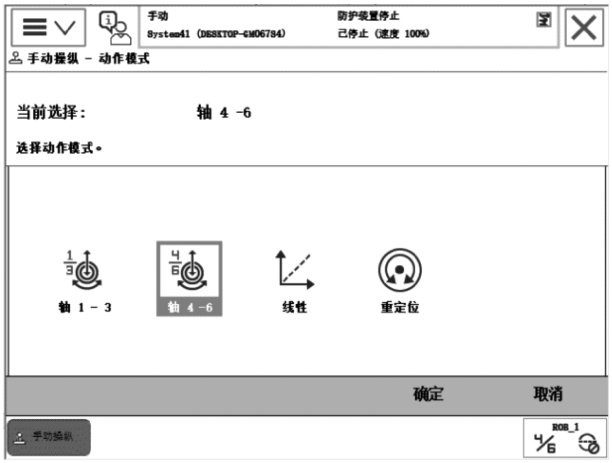
表 1－10 工业机器人单轴运动操纵步骤

图示	说明
	第一步 接通电源，把工业机器人状态钥匙切换到中间的手动限速状态

续　表

图示	说明
	第二步　在状态栏确定工业机器人的状态已切换为手动状态，单击ABB主菜单的下拉菜单
	第三步　单击“动作模式”
	第四步　选中“轴 1—3”，然后单击“确定”

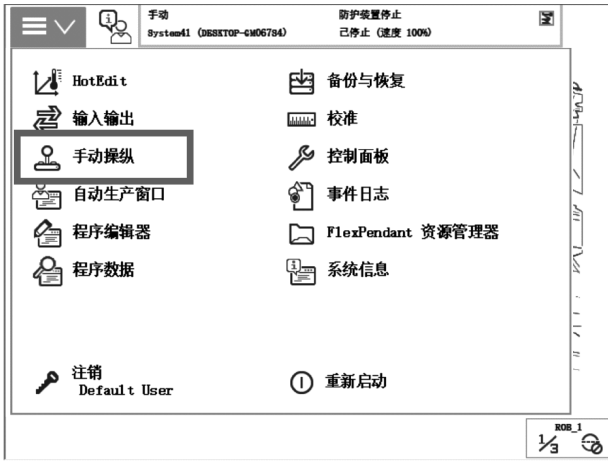
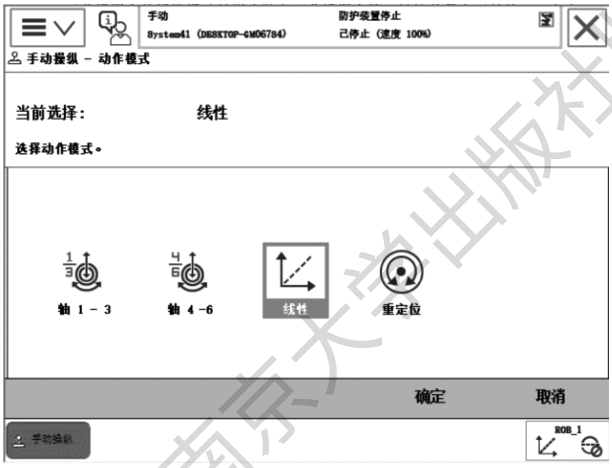
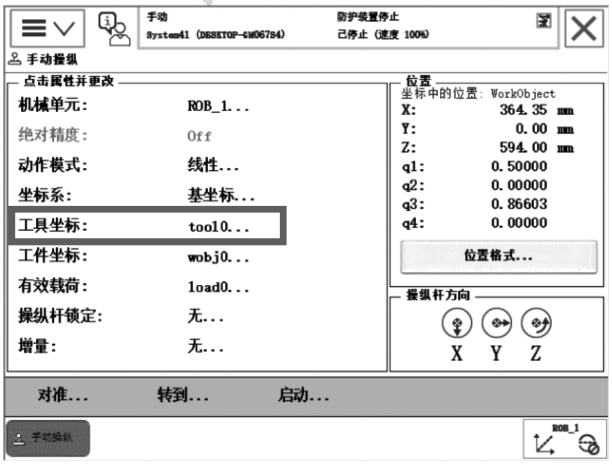
续 表

图示	说明
	第五步　用左手按下使能按钮，进入“电机开启”状态，操纵工业机器人的1—3轴动作，操纵杆的操纵幅度越大，工业机器人的动作速度越快。以同样的方法，选择“轴 4—6”操纵工业机器人的4—6轴动作
	第六步　操纵杆方向栏的箭头和数字代表各个轴运动时的正方向

1.5.2　手动线性运动操纵

工业机器人的线性运动是指安装在工业机器人第6轴法兰盘上工具的TCP在空间做线性运动。线性运动时要指定坐标系。坐标系包括大地坐标、基坐标、工具坐标、工件坐标。线性运动手动操纵步骤见表1－11。

表 1－11　线性运动手动操作步骤

图示	说明
	第一步　在 ABB 主菜单中单击“手动操纵”
	第二步　单击“动作模式”，当前选择“线性”方式
	第三步　选择工具坐标系“tool0”（这里用系统自带的工具坐标，关于工具坐标的建立请参考任务六）

续 表

图示	说明
	第四步 电机上电，操作示教器上的操纵杆，工具坐标 TCP 点在空间做线性运动，操纵杆方向栏中 X、Y、Z 的箭头方向代表各个坐标轴运动的正方向

如果对通过位移幅度来控制工业机器人运动的速度不熟练，那么可以使增量模式来控制工业机器人的运动。

采用增量移动对工业机器人进行微幅调整，可非常精确地进行定位操作。操纵杆偏转一次，工业机器人就移动一步(增量)。如果操纵杆偏转持续一秒或数秒，工业机器人就会持续移动(速率为 10 步/s)。若默认模式不是增量移动，当操纵杆偏转时，工业机器人将会持续移动。增量模式操作步骤见表 1－12。

表 1－12 增量模式操作步骤

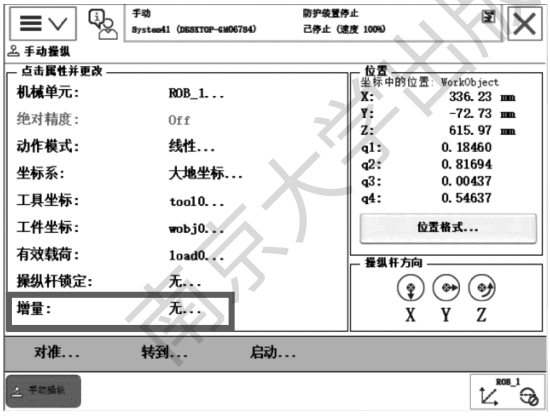
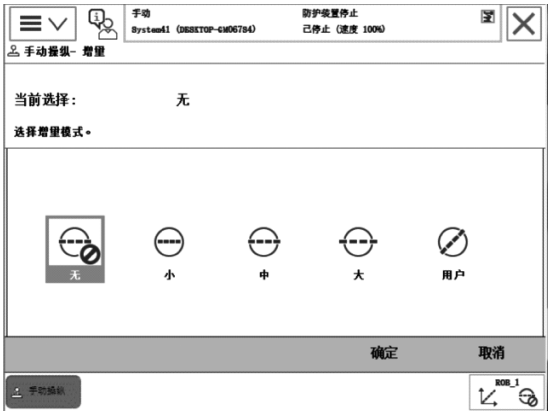
图示	说明
	第一步 在 ABB 主菜单下，单击“增量”
	第二步 其中增量对应位移及角度的大小见表 1－13，根据需要选择增量模式的移动距离，然后进行确定

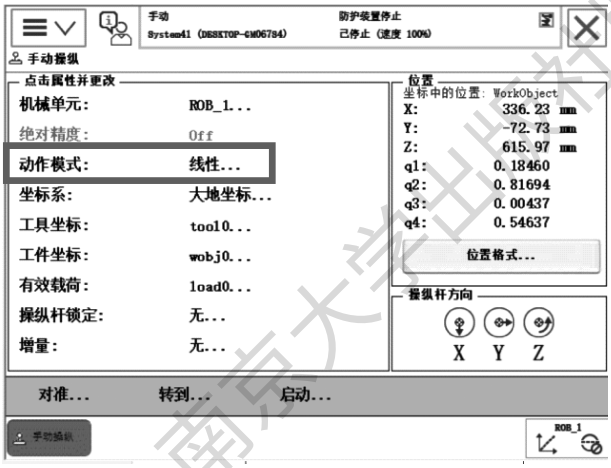
表 1－13　增量对应的位移及角度的大小

增量	移动距离/mm	角度/°
小	0.05	0.005
中	1	0.02
大	5	0.2
用户	自定义	自定义

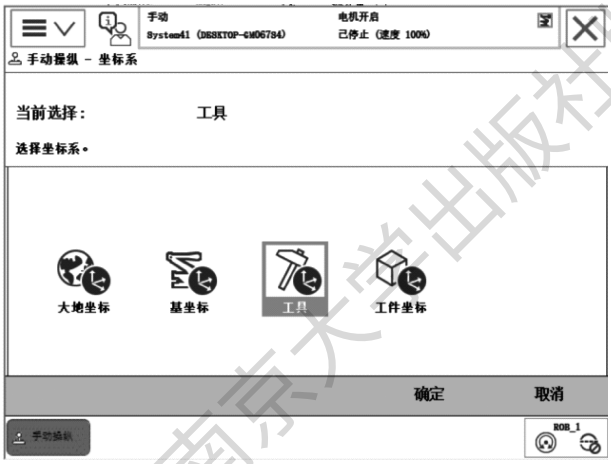
1.5.3　工业机器人手动重定位运动操作

工业机器人的重定位运动是指工业机器人第 6 轴法兰盘上的工具 TCP 点在空间绕着坐标轴旋转的运动，也可以理解为工业机器人绕着工具 TCP 点做姿态调整的运动。以下就是手动操纵重定位运动的方法，具体操作步骤见表 1－14。

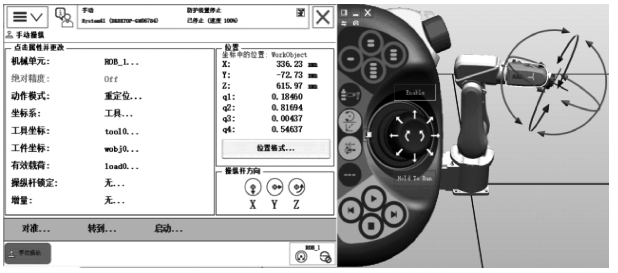
表 1－14　工业机器人手动重定位运动操作步骤

图示	说明
	第一步　在 ABB 菜单单击“动作模式”
	第二步　选中“重定位”，单击“确定”

续 表

图示	说明
	第三步 单击“坐标系”
	第四步 选取“工具坐标系”，单击“确定”
	第五步 用左手按下使能按钮，进入“电机开启”状态，在状态栏确定电动机处于开启状态

续　表

图示	说明
	第六步　操纵摇杆，使机器人在空间中进行重定位运动

任务 1.6　工业机器人坐标系

任务导入：我们已经学习了工业机器人的手动操纵方法，掌握了如何通过示教器控制机器人的运动。接下来，我们将深入学习一个非常重要的概念——工业机器人的坐标系。

在工业机器人的操作中，坐标系是描述机器人位置和姿态的基础。通过坐标系，我们可以精确地定义机器人在空间中的位置和运动轨迹。不同的坐标系有不同的应用场景，例如，关节坐标系用于控制机器人的关节运动，直角坐标系用于控制机器人在三维空间中的直线运动，而工具坐标系则用于控制机器人末端执行器的运动。

在实际应用中，正确选择和使用坐标系对于提高机器人的工作效率和精度至关重要。例如，在汽车制造中，机器人需要在复杂的三维空间中进行焊接和装配，这就需要通过精确的坐标系控制来实现。在物流仓储中，机器人需要在货架之间进行货物搬运，这就需要通过直角坐标系来控制机器人的运动轨迹。

知识链接

1.6.1　基坐标系的概念及应用

基坐标系是在工业机器人基座中设置相应的零点，使固定安装的工业机器人的移动具有可预测性，见图 1－28。

在正常配置的工业机器人系统中，当站在工业机器人的正前方并在基坐标系中对工业机器人进行微动控制时，将操纵杆拉向自己时，工业机器人将沿 X 轴移动；向两侧移动操纵杆时，工业机器人将沿 Y 轴移动。扭动操纵杆，工业机器人将沿 Z 轴移动。在基坐标系下我们可以看到各关节在零位的时候在 X、Y、Z 方向上都有其对应的坐标值，见图 1－29，而这些数值是根据基坐标系的原点位置偏移计算得出的，由此可见有了基坐标系工业机器人才能知道自己的末端在空间中所对应的位置。

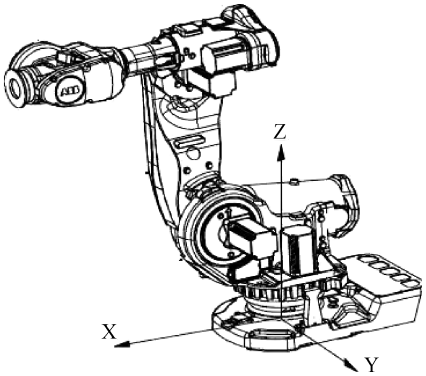


图 1－28　基坐标系位置

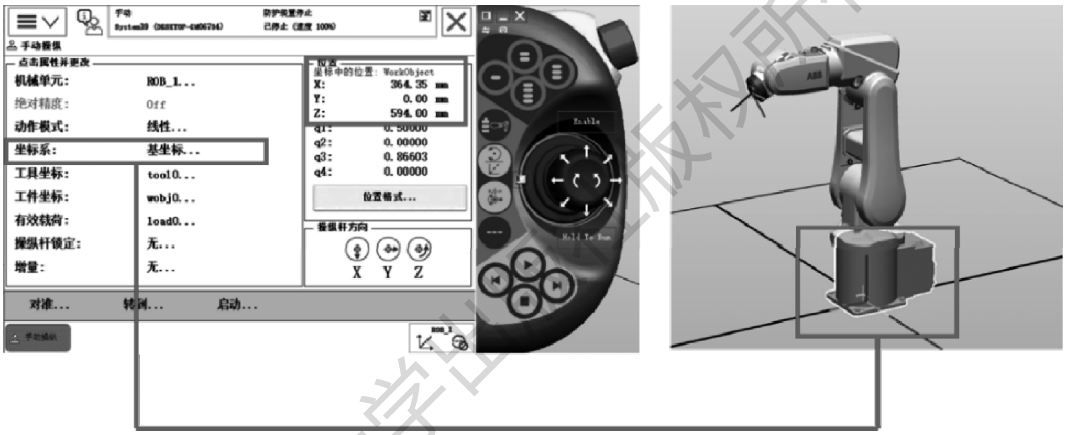


图 1－29　基坐标系下工业机器人关节零位时工具的坐标值

1.6.2　大地坐标系的概念及应用

大地坐标系在工作单元或工作站中的固定位置有其相应的零点，这有助于处理若干个工业机器人或由外轴移动的工业机器人。默认情况下，大地坐标系与基坐标系是一致的。

例如图 1－30 中有两台工业机器人，一台安装于地面，另一台倒置。倒置工业机器人的基坐标系也将上下颠倒。

如果在倒置工业机器人的基坐标系中进行微动控制，则很难预测移动情况，此时可选择大地坐标系取而代之。

如果一台工业机器人在现场需要正向倒置安装（正向吊装），通过操作就可以发现，如果在不改变原有工业机器人大地坐标系进行线性运动的情况下，工业机器人的 X 轴与 Z 轴的运动方向将和我们所预料的常规方向相反。为了使倒置安装的工业机器人更方便地进行示教及程序编写，则需要对工业机器人原有大地坐标系的参数进行相应的修改。操作步骤见表 1－15。

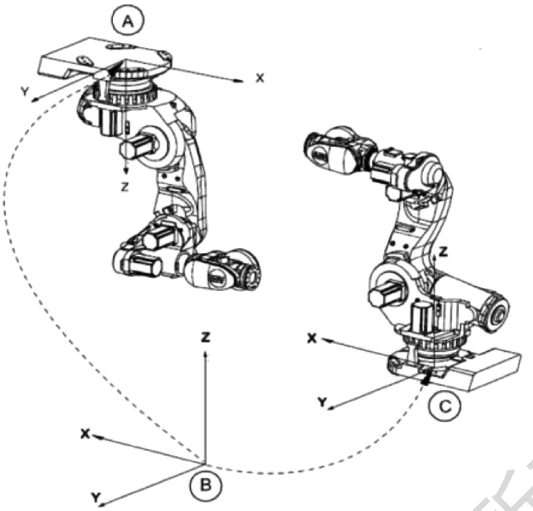
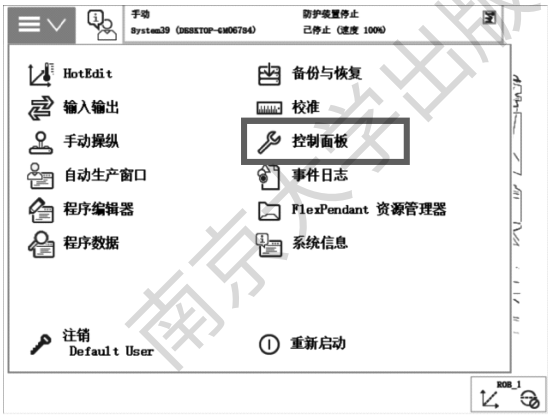


图 1－30　工业机器人放置位置

1. 工业机器人吊装坐标系的设置

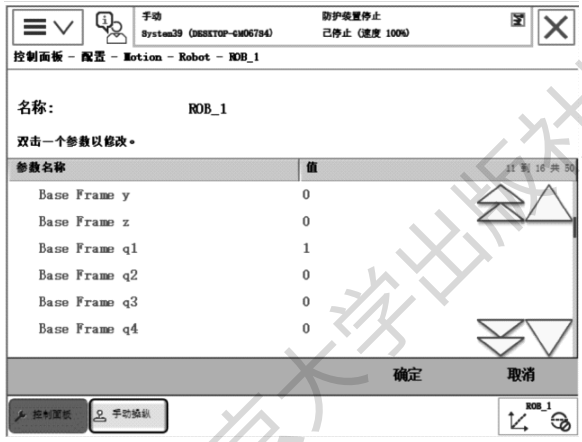
表 1－15　工业机器人吊装坐标系的设置

图示	说明
	第一步　在 ABB 主菜单下，选择“控制面板
	第二步　选择“配置系统参数”

续 表

图示	说明
	第三步 选择“主题”
	第四步 选择“Motion”功能
	第五步 选择“Robot”

续　表

图示	说明
	第六步　选择“ROB_1”工业机器人
	第七步　在“ROB_1”下“Base Frame”则代表了大地坐标系，其后的 Y、Z、q1、q2、q3、q4 则是大地坐标系的基本参数。可以根据现场的实际需求对这 6 个参数进行相应的修改

2. 手动大地坐标系操作

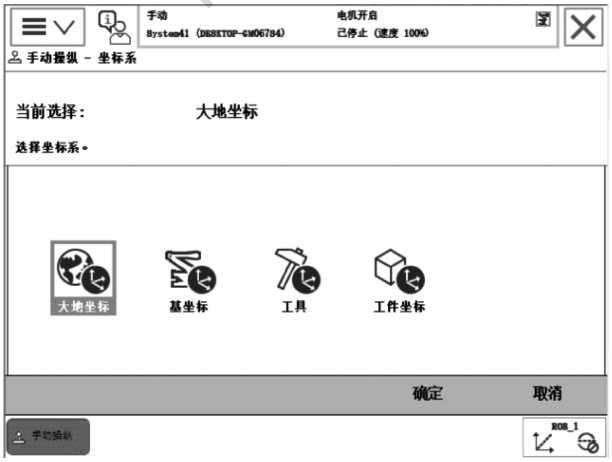
ABB 工业机器人手动大地坐标系操作步骤如表 1－16。

1.6.2　手动大地坐标系操作视频

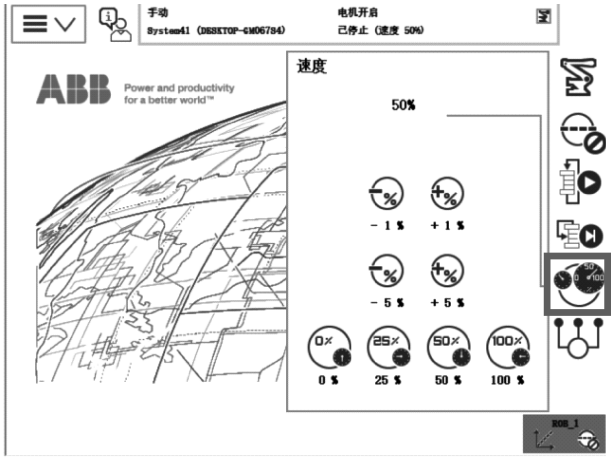
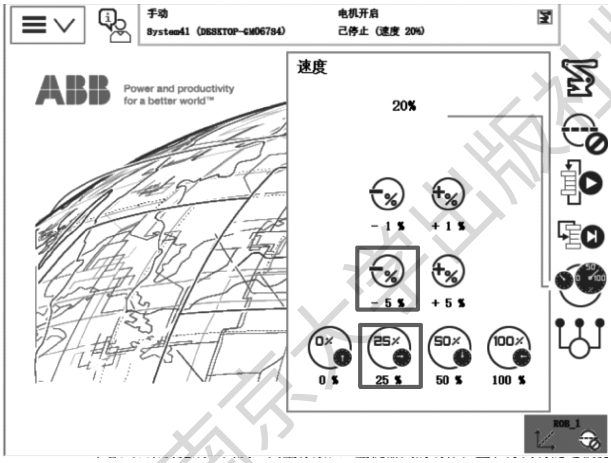
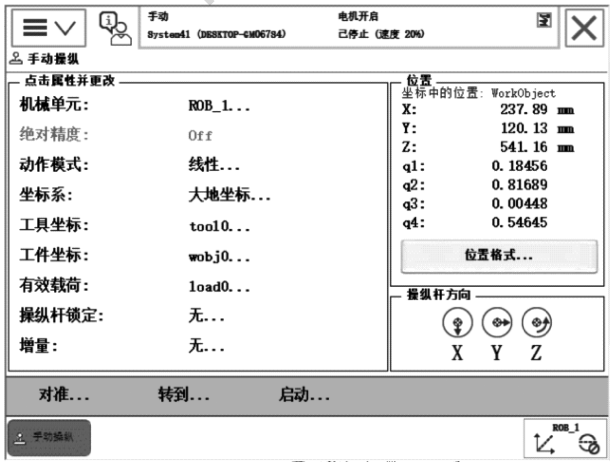
表 1－16　手动大地坐标系操作步骤

图示	说明
	工业机器人开机完成后，将控制柜模式开关打到手动模式

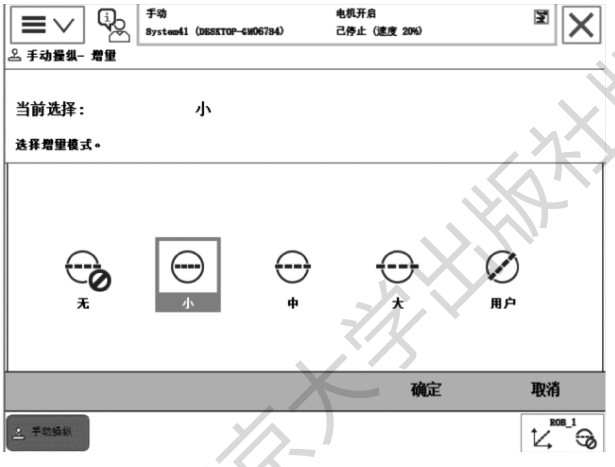
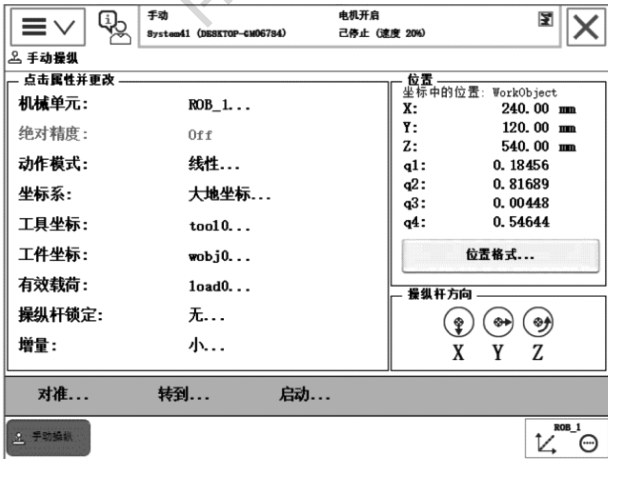
续 表

图示	说明
	打开示教盒的“手动操纵”界面。“工具坐标”选择默认的“tool0”，“工件坐标”选择默认的“wobj0”
	将“动作模式”切换为“线性”，单击“坐标系”，进入“坐标系”设定窗口
	选择“大地坐标系”，完成后单击“确定”按钮，保存退出

续　表

图示	说明
	单击示教盒屏幕右下角的“快速设置按钮”，在弹出的菜单中单击“速度设置按钮”
	先单击“25%”，再单击“－5%”，将全局速度设为 20%
	使用操作杆移动工业机器人，在大地坐标系下分别沿 X、Y、Z 轴方向运动，使工业机器人当前位置的值接近 240 mm、120 mm、540 mm

续 表

图示	说明
	查看工业机器人当前位姿状态，此时工业机器人姿态如左图所示
	微动增量速度设为“小”
	再次操作操作杆沿 X、Y、Z 轴方向运动，使工业机器人当前位置各轴的值精确到 240.00 mm、120.00 mm、540.00 mm

1.6.3 工具坐标系的概念及应用

1.6.3 工具坐标系视频

工具坐标系将工具中心点设为零点，由此定义工具的位置和方向。工具坐标系经常被缩写为 TCPF（Tool Center Point Frame），而工具坐标系中心缩写为 TCP（Tool Center Point）。执行程序时，工业机器人将 TCP 移至编程位置。这意味着，如果要更改工具及工具坐标系，工业机器人的动作位置和方向将随之被更改，以便随着新的 TCP 到达目标，见图 1－31。

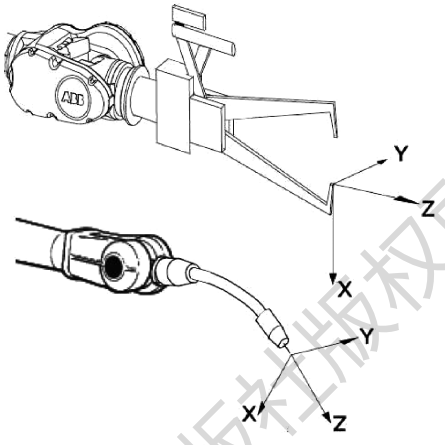


图 1－31 工具坐标系位置

所有工业机器人在手腕处都有一个预定义工具坐标系，该坐标系被称为 tool0。这样就能将一个或多个新工具坐标系定义为 tool0 的偏移值。微动控制工业机器人时，如果机器人做重定位运动，要求机器人运动时不改变工具 TCP 点的方向（例如移动锯条时不使其弯曲），工具坐标系就显得非常有用了。

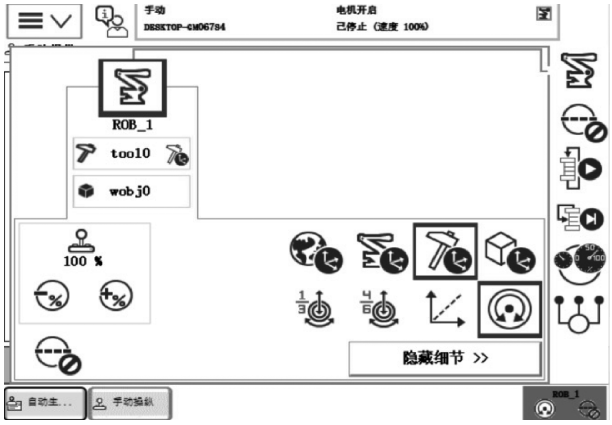
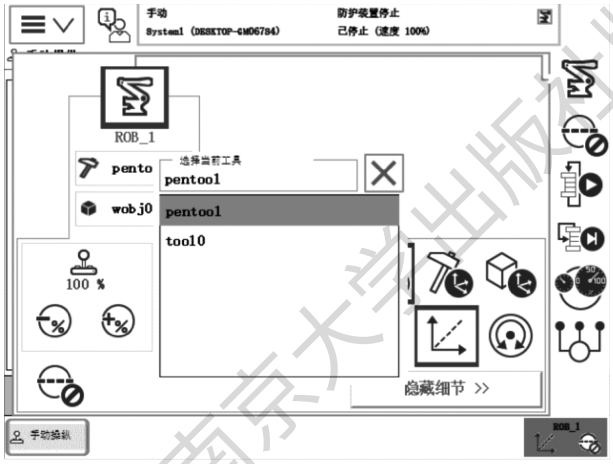
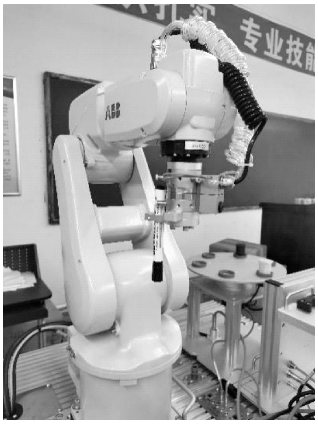
1. 坐标系快速切换设置及工具坐标系操作

ABB 工业机器人坐标系快速切换设置操及手动工具操作步骤如表 1－17。

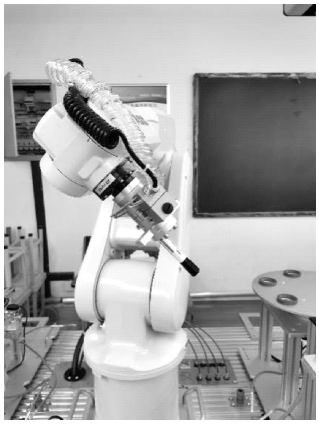
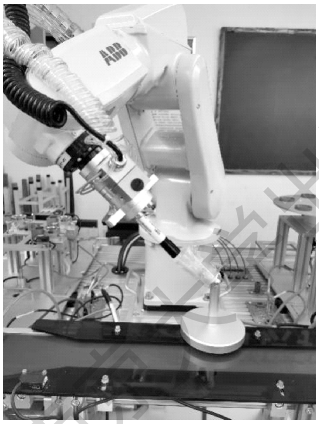
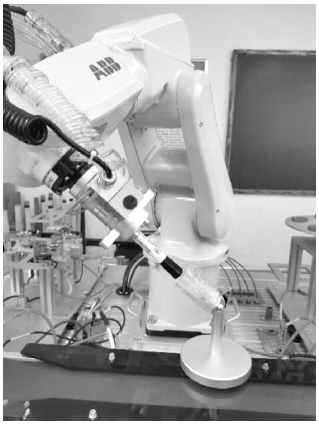
表 1－17 机器人坐标系快速切换设置操及手动工具操作步骤

图示	说明
	单击坐标系快速切换界面按钮，单击“显示详情”展开设置菜单

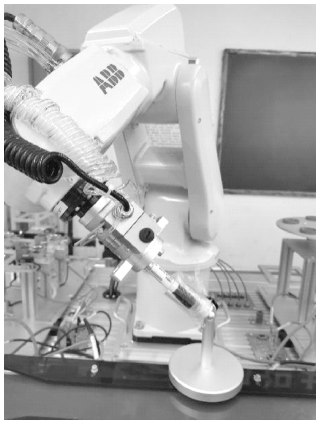
续 表

图示	说明
	在坐标系快速切换界面中，动作模式选择重定位，坐标系选择工具坐标
	选择工具“pentool”(绘图笔)，如左图所示。工具“pentool”已经标定完成，且预置在工业机器人系统中
	使用关节动作模式将工业机器人调整到各轴角度为 0°，－20°，20°，0°，90°，0°位置

续　表

图示	说明
	手动操作工业机器人使用重定位功能，将绘图笔近似对齐笔筒开口
	将动作模式切换为线性，坐标系切换为大地坐标系。手动操作工业机器人以线性方式移动，使绘图笔以近似对齐笔筒的姿态靠近开口位置
	再次将坐标系切换到工具坐标系，并在重定位动作模式下，调整绘图笔工具的姿态，使绘图笔的笔杆方向和笔筒的中心轴线方向保持平行

续 表

图示	说明
	将动作模式切换为线性，单独使用 Z 轴操作，将绘图笔工具插入笔筒

1.6.4 工件坐标系的概念及应用

工件坐标系是工件相对于大地坐标系(或其他坐标系)的位置。工件坐标系必须定义于两个框架：用户框架(与基座相关)和工件框架(与用户框架相关)。工业机器人可以拥有若干工件坐标系，可以表示不同工件，或者表示同一工件在不同位置的若干副本，见图 1－32。

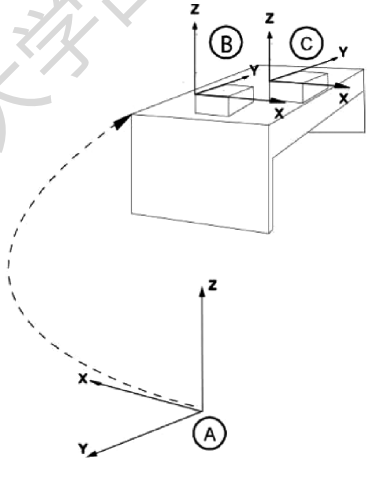


图 1－32 工件坐标系位置

对工业机器人进行编程实际上就是在工件坐标系中创建目标和路径。利用工件坐标系有以下优点：

(1) 重新定位工作站中的工件时，只需更改工件坐标系的位置，所有路径将即刻随之更新。

(2) 允许操作以外轴或传送导轨移动的工件，因为整个工件可连同其路径一起移动。

(3) 工件坐标系建立对轨迹的影响较小。

任务 1.7　工业机器人系统备份与恢复

任务导入：我们在学习工业机器人的过程中，已经掌握了机器人的基本组成、操作方法以及坐标系的使用。这些知识和技能都是确保机器人正常运行的重要基础。然而，在实际工作中，机器人系统可能会因为各种原因出现故障或数据丢失，这就需要我们掌握系统备份与恢复的技能，以确保机器人的稳定运行和数据安全。

系统备份与恢复是工业机器人维护中的重要环节。通过备份，我们可以将机器人的系统参数、程序代码和运行数据等保存到外部存储设备中。在系统出现故障或数据丢失时，我们可以通过恢复操作，将备份的数据重新加载到机器人系统中，从而快速恢复机器人的正常运行。这不仅节省了维修时间和成本，还减少了生产中断带来的损失。

我们将学习工业机器人系统备份与恢复的方法和步骤，了解备份和恢复的方法；然后通过实际操作，学习如何使用示教器进行系统备份和恢复。

知识链接

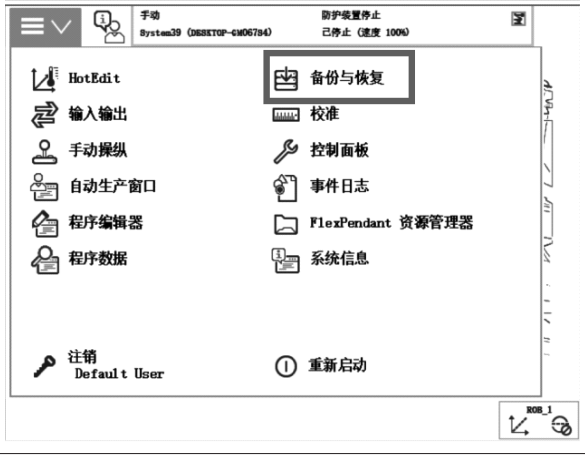
定期对 ABB 工业机器人的数据进行备份，是保证 ABB 工业机器人正常操作的良好习惯。ABB 工业机器人数据备份的对象是所有正在系统内存运行的 RAPID 程序和系统参数。当工业机器人系统出现错误或重新安装后，可以通过备份快速地把工业机器人恢复到原有状态。

1.7.1　工业机器人数据备份和恢复视频

1.7.1　ABB 工业机器人数据备份和恢复的步骤

ABB 工业机器人数据备份和恢复的操作步骤见表 1－18。

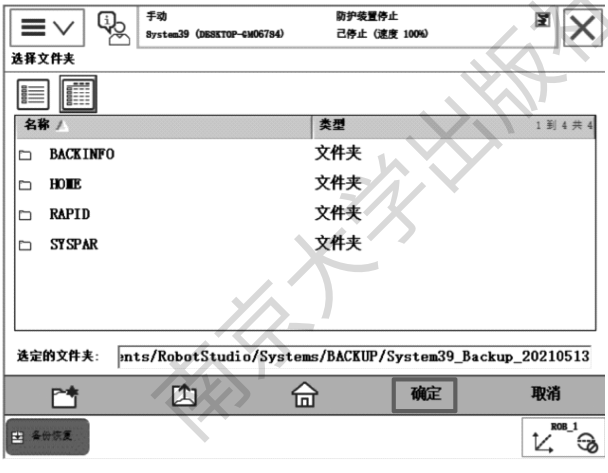
表 1－18　ABB 工业机器人数据备份和恢复操作步骤

图示	说明
	第一步　在 ABB 主菜单页面下，单击“备份与恢复”

续 表

图示	说明
	第二步 单击“备份当前系统”
	第三步 单击“ABC”,进行存放备份数据目录的设定,单击“...”选择备份存放的位置(工业机器人硬盘或USB存储设备),单击“备份”,进行备份操作,等待备份完成。
	第四步 重回第二步界面单击“恢复系统”,进行恢复备份操作。

续　表

图示	说明
	第五步　单击“...”，选择备份存放的目录，然后单击“恢复”。
	第六步　选择恢复的数据或程序名，单击“确定”。

在进行数据恢复时，要注意的是，备份数据是具有唯一性的，不能将一台工业机器人的备份恢复到另一台机器人中去，这样将会造成系统故障。但是，通常会使用通用的程序和I/O的定义，方便在批量生产时使用，可以通过分别单独导入程序和 EIO 文件来解决实际需要。

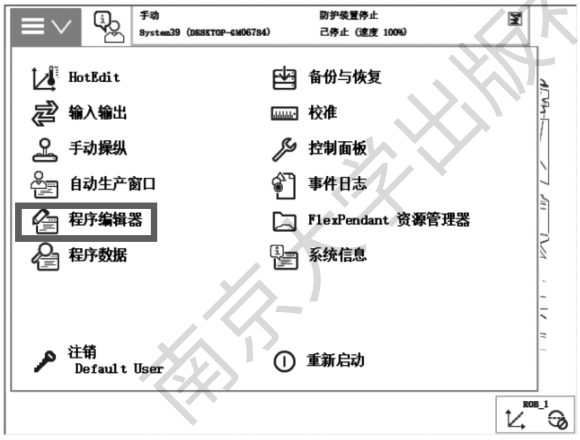
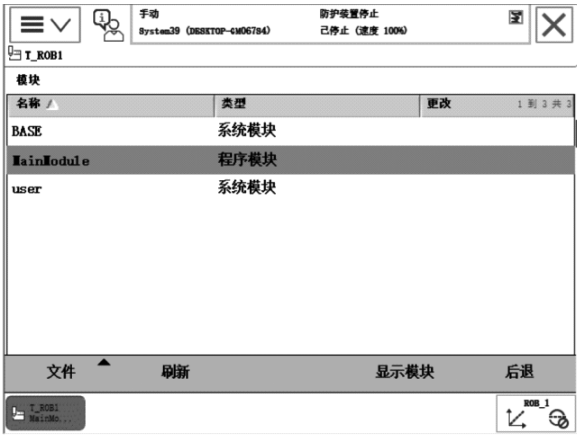
1.7.2　单独导入程序

在工业机器人操作中，有时需要将图 1－33 所示的程序或参数进行直接导入操作。

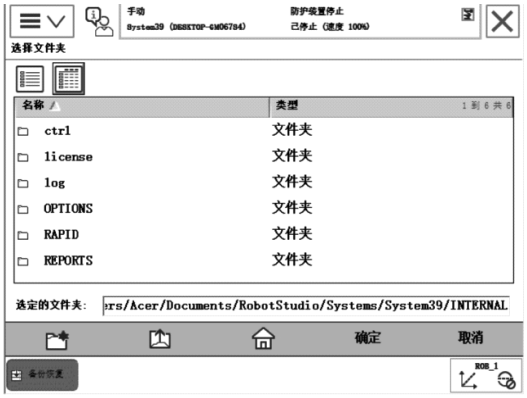
图 1－33　工业机器人程序内容

导入程序操作步骤见表 1－19。

表 1－19　导入程序操作步骤

图示	说明
	第一步　在 ABB 主菜单下，选择“程序编辑器”
	第二步　单击“MainModule”程序模块

续　表

图示	说明
	第三步　从备份目录中选择需要的文件夹进行加载，如 RAPID 程序模块

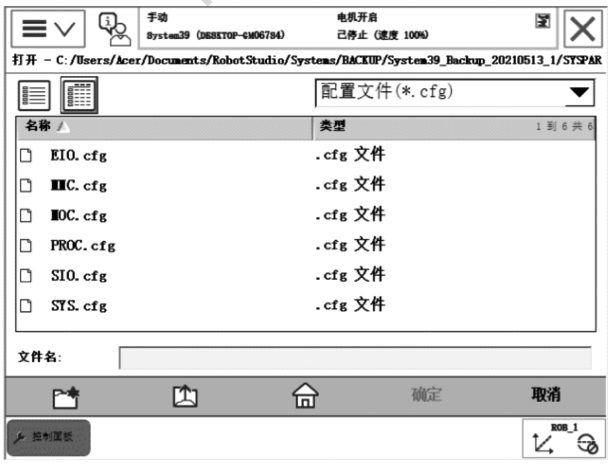
1.7.3　单独导入 EIO 文件

单独导入 EIO 文件操作步骤见表 1－20。

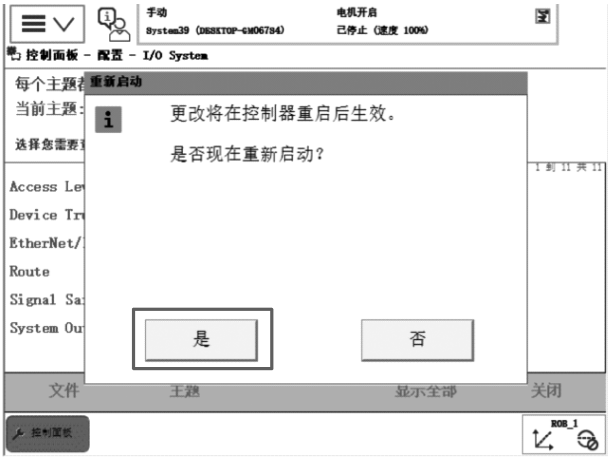
表 1－20　单独导入 EIO 文件操作步骤

图示	说明
	第一步　在 ABB 主菜单下，单击“控制面板”，选择“配置”
	第二步　打开文件菜单

续 表

图示	说明
	第三步 单击“加载参数”
	第四步 选择“删除现有参数后加载”
	第五步 在备份目录\SYSPAR 找到 EIO.cfg 文件，然后单击“确定”按钮

续　表

图示	说明
	第六步　单击“是”，重启后完成信号导入

任务 1.8　工业机器人转数计数器更新

任务导入：我们在学习工业机器人的过程中，已经掌握了机器人的基本操作和维护技能。接下来我们将学习一个非常重要的维护任务——转数计数器的更新。

转数计数器是工业机器人中的一个重要部件，它记录了每个关节电机的旋转圈数。这些数据对于机器人的精确控制和运动规划至关重要。如果转数计数器的数据丢失或出现错误，机器人可能会出现运动异常，甚至导致碰撞等安全事故。因此，定期更新和校准转数计数器是确保机器人安全运行的重要环节。

我们将从转数计数器的作用和重要性讲起，了解其在机器人控制系统中的作用；然后通过实际操作，学习如何使用示教器进行转数计数器的更新。

知识链接

1.8.1　转数计数器更新

工业机器人各个关节后都有一个转数计数器，用独立的电池供电，以记录各个轴的数据。如果示教器提示 SMB(Serial Measurment Board 串口测量板卡，用于将机器人电动机编码器的模拟量信号转化为数字量信号)，转数计数器电池电压不足，或者工业机器人在断电情况下关节发生了移动，例如运输或搬运过程中的颠簸与碰撞，这时候需要对转数计数器进行更新，否则工业机器人运行位置会发生偏差。ABB 工业机器人电动机所带的转数计数器采用单圈绝对值编码器，即电动机转一圈，编码器能输出电动机在该圈下的绝对位置，见

图 1－34。当实际工业机器人转一定度数时，电动机可能需要转几十圈到几百圈，这取决于电动机和减速器之间的减速比。

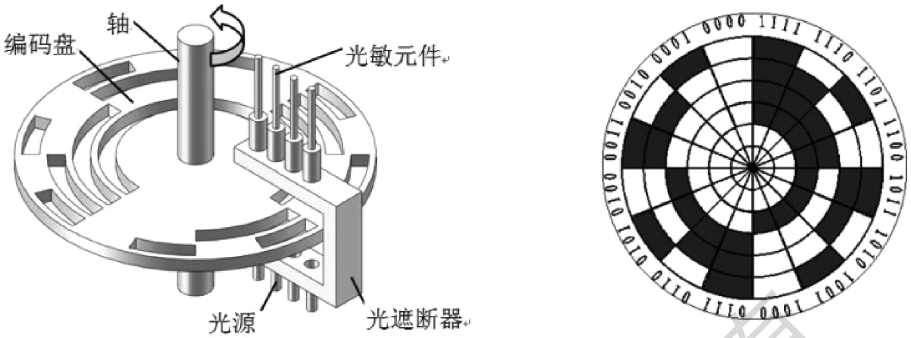


图 1－34　单圈绝对值编码器示意图

工业机器人的电动机旋转超过一圈时，此时旋转的圈数就通过工业机器人来计数(SMB)，见图 1－35。工业机器人实际显示的位置就是由圈数(SMB)＋单圈偏移(编码器)再乘以减速比得到的。

1.8.2　对转数计数器进行更新

在以下情形时可能会出现转数计数器存储器的内容丢失。

(1) 更换伺服电动机转数计数器的电池后。

(2) 当转数计数器发生故障并修复后。

(3) 转数计数器与测量板之前断开以后。

(4) 断电后，工业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。若出现上述情况，则需对转数计数器进行更新。

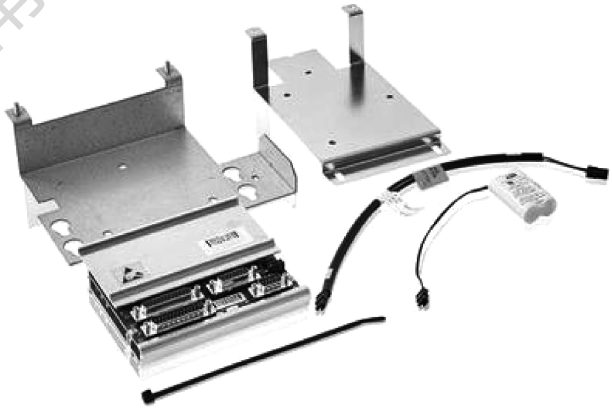


图 1－35　SMB

1.8.3 ABB 工业机器人如何寻找零点

利用手动关节运动的方式，将工业机器人各个关节移动到各自的关节零点。其关节零点会因为工业机器人型号的不同而有所不同。IRB120 工业机器人的校准范围和标记的位置见图 1－36。

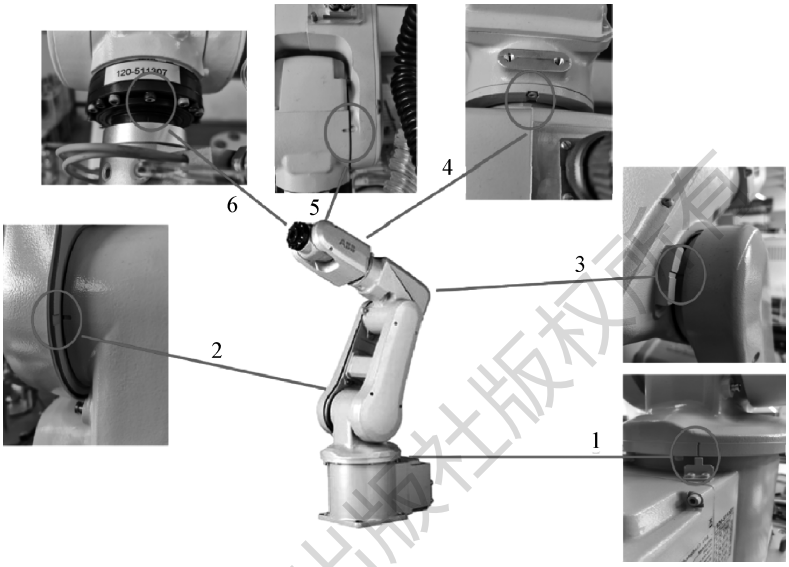


图 1－36　工业机器人零点位置

1.8.4 更新转数计数器来获取新的零点

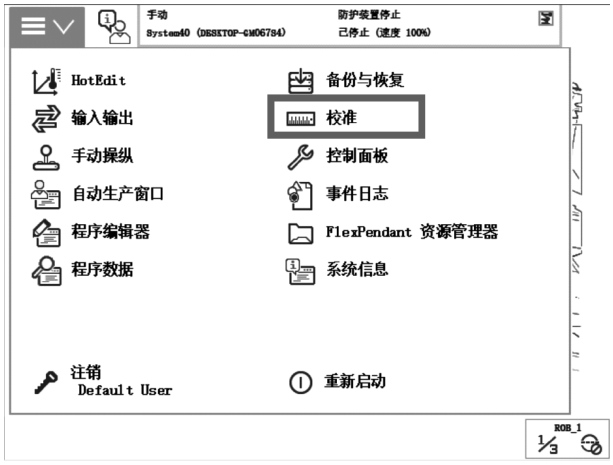
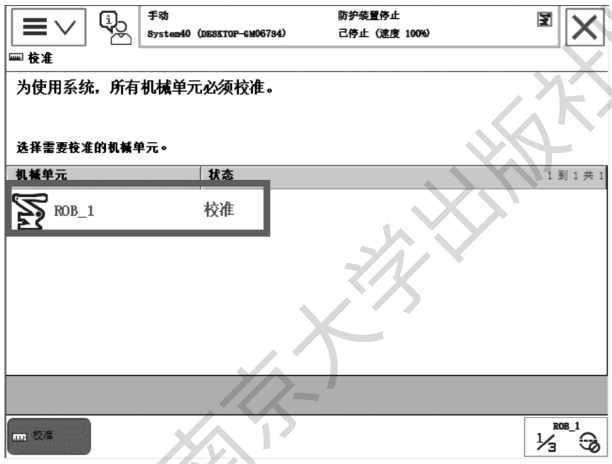
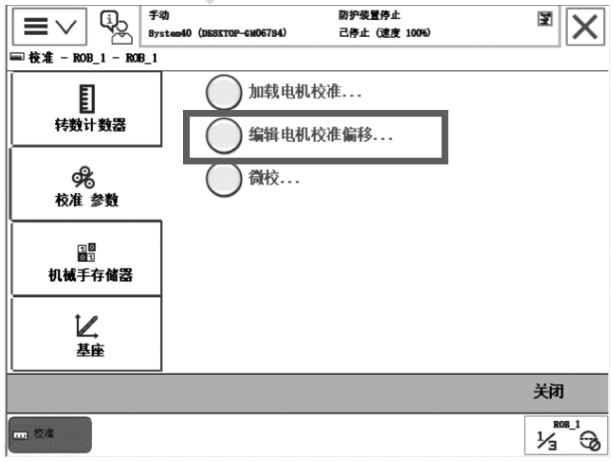
1.8.4　更新转数计数器视频

更新转数计数器操作步骤见表 1－21。

表 1－21　更新转数计数器操作步骤

图示	说明
	第一步　使用手动操作让工业机器人各个关节轴运动到关节零点刻度位置，各个轴运动的顺序是：4—5—6—1—2—3，各个轴关节零点的位置在工业机器人各轴的轴身上

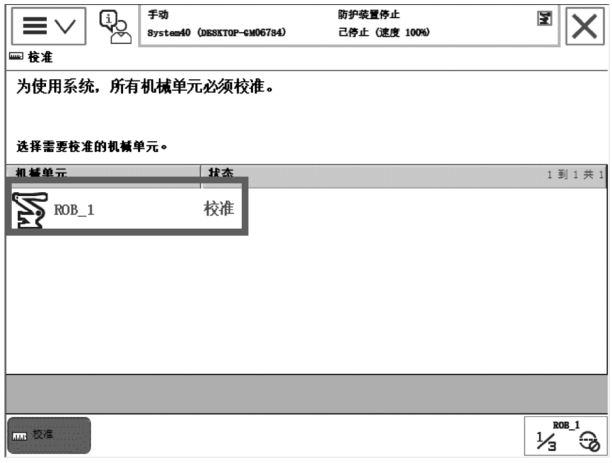
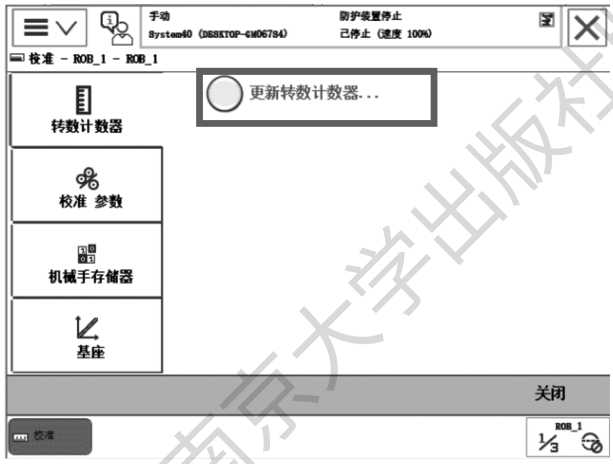
续 表

图示	说明
	第二步　在 ABB 主菜单单击“校准”
	第三步　单击“ROB_1”校准
	第四步　选择“校准参数”，单击“编辑电动机校准偏移”

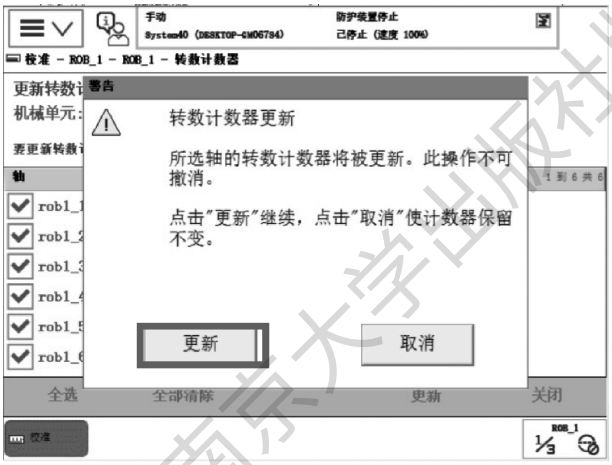
续　表

图示	说明
	第五步　将工业机器人本体上第 2 轴或者机座上的电动机校准偏移记录下来，填入校准参数 rob_1 - rob_6 的偏移值中，单击“确定”按钮。如果示教器显示的数值与工业机器人本体上的标签数值一致，则无需修改，单击“确定”按钮
	第六步　参数要有效，必须重新启动系统
	第七步　重新启动后，继续单击“校准”

续 表

图示	说明
	第八步　单击“ROB_1”校准
	第九步　单击“转数计数器”，选择“更新转数计数器”
	第十步　系统提示是否更新转数计数器，选择“是”

续　表

图示	说明
	第十一步　单击“全选”，对 6 个轴同时进行更新操作。如果工业机器人由于安装位置关系，无法使 6 个轴同时到达关节零点，则可以逐一对关节进行转数计数器更新
	第十二步　在弹出的对话框中单击“更新”
	第十三步　操作完成后，转数计数器更新已成功完成，单击“确定”

课后练习

一、填空题

1. 工业机器人根据其结构和功能可以分为不同类型，常见的分类方式包括按_____分类、按_____分类和按_____分类。

2. 工业机器人的基本组成包括_____、_____和_____三个主要部分。

3. 在使用工业机器人的示教器时，可以通过示教器上的_____和_____来实现对机器人的手动操纵。

4. 工业机器人常用的坐标系包括_____坐标系、_____坐标系、_____坐标系和_____坐标系。

5. 为了确保工业机器人系统的安全性和可恢复性，需要定期进行_____和_____操作。

6. 当工业机器人的转数计数器出现异常时，需要进行_____操作以恢复其正常功能。

二、选择题

1. ABB 工业机器人的主要组成部分包括以下哪些？（　　）

A. 机械本体、控制系统、驱动系统

B. 控制系统、感知系统、驱动系统

C. 机械本体、控制系统、驱动系统、感知系统

D. 机械本体、感知系统、驱动系统

2. ABB 工业机器人的示教器主要用于以下哪些操作？（　　）

A. 编程、调试和监控　　B. 仅编程

C. 仅调试　　D. 仅监控

3. ABB 工业机器人的坐标系包括以下哪些类型？（　　）

A. 关节坐标系、直角坐标系、工具坐标系

B. 关节坐标系、直角坐标系、用户坐标系

C. 直角坐标系、工具坐标系、用户坐标系

D. 关节坐标系、工具坐标系、用户坐标系

4. ABB 工业机器人系统备份的主要目的是什么？（　　）

A. 提高运行速度　　B. 确保数据安全

C. 优化程序代码　　D. 节省存储空间

5. ABB 工业机器人转数计数器更新的主要作用是什么？（　　）

A. 提高机器人的精度　　B. 确保机器人的安全运行

C. 延长机器人的使用寿命　　D. 优化机器人的运动轨迹

三、判断题

1. ABB 工业机器人的控制系统是机器人的“大脑”，负责规划和指挥机器人的动作。（　　）

2. ABB 工业机器人的示教器可以用于实时监控机器人的运行状态。（　　）

3. ABB 工业机器人的转数计数器更新操作只能在系统恢复后进行。（　　）

4. ABB 工业机器人的系统备份文件可以保存到外部存储设备中，以便在需要时恢复。（　　）

5. ABB 工业机器人的日志文件记录了机器人的操作历史和故障信息，但不能用于故障诊断。（　　）

四、问答题

1. 阐述工业机器人的概念，并说说你想从事的工业机器人技术岗位。

2. 除了汽车领域，工业机器人还在哪些领域应用比较广泛？

3. ABB 工业机器人的基本组成包括哪些部分？请简述各部分的作用。

4. ABB 工业机器人的示教器有哪些主要功能？

5. ABB 工业机器人的坐标系有哪些类型？请简述每种坐标系的特点和应用场景。

6. ABB 工业机器人系统备份的主要步骤是什么？

7. ABB 工业机器人转数计数器更新的步骤是什么？

五、实操题

1. 熟悉示教器的使用，尝试设置增量模式，并操作工业机器人移动。

2. 在工业机器人工作台上找 A 和 B 两个点，利用单轴运动，使工业机器人从 A 点移动到 B 点，再利用线性运动，使工业机器人从 B 点移动到 A 点，说出二者所走的路径有何不同。

3. 在关节坐标系下按住使能按键，通过操作杆手动操作工业机器人，将工业机器人关节移动到表 1－22 所示的指定角度。

表 1－22　手动关节坐标系操作指定角度

轴	指定角度/(°)	轴	指定角度/(°)
轴 1	90	轴 4	10
轴 2	30	轴 5	90
轴 3	20	轴 6	－90

4. 在大地坐标系线性模式下手动操作工业机器人，使工业机器人移动到表 1－23 所示的指定位置。

表 1－23　手动大地坐标系操作指定位置

轴	指定位置/mm	轴	指定位置/mm
X	250.0	Z	520.0
Y	110.0		

5. 在工具坐标系下采用重定位动作模式手动操作工业机器人，使工业机器人移动到表 1－24 所示的指定角度。

表 1－24　手动工具坐标系操作指定角度

轴	指定角度/(°)	轴	指定角度/(°)
绕 X	25	绕 Z	30
绕 Y	－45		

6. 请在示教器上备份实训室内任意工业机器人的系统，并用 U 盘拷贝，存放在计算机上。

7. 把上一题备份系统中的程序模块和系统参数分别导入到与原工业机器人系统硬件配置一致的其他机器人系统，并观察结果。

8. 请参照书中步骤更新实训室内任意工业机器人系统的转数计数器。

项目评价

表 1－25　项目评价

评价项目	评价指标	分值	评分标准	自评	小组评	教师评
知识掌握（30 分）	工业机器人认知	3	能够准确描述工业机器人的定义和作用，列举应用场景。			
	工业机器人分类及应用	3	能够准确分类工业机器人，并说明每种类型的机器人特点及应用案例。			
	机器人的基本组成与结构	5	能够准确描述机器人各组成部分的名称和功能，通过示意图或实物展示组成结构。			
	工业机器人示教器的使用	5	能够熟练操作示教器进行基本操作，完成简单的编程和调试任务。			
	工业机器人手动操纵	5	能够熟练进行手动操纵，控制机器人完成指定动作，正确使用不同坐标系。			
	工业机器人坐标系	3	能够准确描述不同坐标系的特点和应用场景，通过示教器切换和使用不同坐标系。			
	工业机器人系统备份与恢复	3	能够准确描述系统备份与恢复的重要性，通过示教器完成系统备份与恢复操作。			
	工业机器人转数计数器更新	3	能够准确描述转数计数器的作用和更新的重要性，通过示教器完成转数计数器的更新操作。			
技能操作（40 分）	实践操作表现	20	每个学习任务的实践操作表现，包括操作的规范性、熟练程度和准确性。			
	综合应用能力	20	能够综合运用所学知识和技能，完成复杂的操作任务，在实际操作中解决遇到的问题。			

续　表

评价项目	评价指标	分值	评分标准	自评	小组评	教师评
团队协作（10 分）	小组讨论	5	在小组讨论中的参与度和贡献度，积极参与讨论，提出自己的见解和建议。			
	团队合作	5	在团队实践操作中的协作能力和团队精神，与团队成员有效沟通，共同完成任务。			
自主学习（10 分）	自主学习能力	5	能够主动查阅资料，学习相关知识，通过自主学习解决学习中的问题。			
	作业完成情况	5	每次作业的完成情况，包括作业的质量和按时提交情况，通过作业巩固所学知识。			
安全意识（10 分）	安全操作习惯	5	在实践操作中严格遵守安全操作规程，正确使用安全设备，确保自身和设备的安全。			
	安全意识	5	在操作过程中能够及时发现潜在的安全隐患并采取措施，在团队中宣传安全知识，提高团队的安全意识。			

拓展阅读

从两根轴承看中国制造转型升级制造大国加快迈向制作强国

制造业，是立国之本、强国之基。乘“数”而上、向“新”而行，中国制造转型升级步履铿锵。

习近平总书记强调，“任何时候中国都不能缺少制造业”“要坚定不移把制造业和实体经济做强做优做大”“加快建设制造强国”。

轴承，工业的“关节”。

今年 6 月，福建漳州六鳌海上风电场，搭载国产主轴轴承的 16 兆瓦风电机组实现批量化运营、全容量并网。

江苏苏州地铁 6 号线，搭载国产 3 米级主轴承的“中铁 872 号”盾构机立下新功。

两根轴承，从无到有、从有到优，折射出新中国成立 75 年来中国制造从小到大、从大到强的坚实步伐。

拥有全球最完备产业体系，制造业总体规模连续 14 年位居世界首位，220 多种产品产量位居全球第一……中国制造彰显出的坚实底气、创新动能、澎湃活力，为推进中国式现代化提供有力支撑。

从完备产业体系看中国制造坚实底气

习近平总书记强调："制造业是国家经济命脉所系""我国是个大国，必须发展实体经济，不断推进工业现代化、提高制造业水平"。

洛轴集团是16兆瓦风电机组主轴轴承生产厂家，集团党委书记、董事长王新莹坦言："10多年前，高端轴承我们还'摸不着'，但再难也要啃下这块'硬骨头'。"

"强内功"，组建国家重点实验室等创新平台；"借外力"，与清华大学等高校院所密切合作。从新能源汽车轴承到风电主轴轴承，再到轨道交通轴承，洛轴新产品接连下线，应用到"嫦娥""天宫""中国天眼"等重大装备之中。

洛轴把"一类产品"做到极致，铁建重工专攻盾构机"一种产品"。

研发主轴承，补上盾构机产业链国产化"最后一块拼图"。2019年，铁建重工专门成立研究设计院，历经1000多个日夜终于成功研制出9米级盾构机主轴承。

"这是全球直径最大、承载最高的盾构机主轴承，可供目前全球最大型号的盾构机使用。"铁建重工首席科学家刘飞香感慨，"过去有什么设备施什么工，现在是需要施什么工，我们就能制造出什么装备。"

两根轴承背后，是中国制造完备产业体系彰显的坚实底气。

1949年，新中国第一炉铁水在鞍钢奔腾而出，如今，我国已连续28年居世界第一产钢大国，"手撕钢"不断刷新世界纪录；1956年，第一辆解放牌卡车驶下一汽生产线，如今，我国汽车产销量已连续15年居全球第一，新能源汽车产销量连续9年稳居世界第一。

从"造不了"到"造得出"再到"造得好"，我们用几十年走完发达国家几百年的工业化历程，制造业拥有31个大类、179个中类和609个小类，全球产业门类最齐全、产业体系最完整，产业链、供应链韧性和竞争力持续提升。2023年，制造业增加值占国内生产总值比重26.2%，占全球比重约30%。

体魄强健、筋骨壮实，今天的中国制造拥有稳如磐石的根基与底气。

从产业链协同看中国制造创新动能

习近平总书记强调："制造业的核心就是创新，就是掌握关键核心技术，必须靠自力更生奋斗，靠自主创新争取。"

9米级盾构机主轴承的突破，背后正是一场原材料、工业母机、工程应用等环节共同参与的创新"接力"——

"压不碎、磨不烂"，材料首先要够硬。以主轴承内齿圈为例，8毫米厚的圈层，洛氏硬度需大于58，常规中碳轴承钢远无法达标。

怎么办？铁建重工与高校合作，历经2年多时间、30多组试验、上百万次疲劳试验，选出最佳钢材元素配比。多家钢铁企业，历经数十次技术讨论与测试，将配方变成产品。

有了材料，还要精密加工。2020年启动研发、2022年产品下线、国产化率超过90%，铁建重工与合作伙伴共同研制的国产9米高速数控铣齿机床，助力主轴承顺利下线。

16兆瓦风电主轴轴承的研发，同样离不开有关方面的"集团作战"。

"大兆瓦风机主轴轴承，没有相关参考资料。关键时刻，主机厂商金风科技送来各类型风机运行数据，解了'燃眉之急'。"洛轴销售总公司风电部部长姚东感慨，"同舟共济、协同创新，中国制造就有无限可能。"

大中小企业融通创新，产学研各方通力合作，大飞机翱翔蓝天、高速磁浮贴地飞行、国产

大型邮轮投入商用……一大批重大标志性创新成果引领中国制造不断攀上新高度。2023年，高技术制造业增加值占规上工业增加值比重为15.7%，比2012年提高6.3个百分点。

推陈致新，升级传统产业；与日俱新，壮大新兴产业；聚焦前沿，布局未来产业……我国因地制宜发展新质生产力，不断塑造发展新动能新优势。目前，战略性新兴产业占国内生产总值比重约13%，全国高新技术企业数量达46.3万家。

以自强不息的精神奋力攀登，今天的中国制造，到处都是日新月异的创造。

从高端化、智能化、绿色化看中国制造澎湃活力

习近平总书记强调，“推动制造业高端化、智能化、绿色化发展。”

全面提升，布局高端，轴承产品持续“上新”：

3月10日，洛轴研制的长白山40米口径射电望远镜轴承通过验收，未来该射电望远镜将为月球探测器精准“引路”。

3月14日，世界首台25兆瓦风电主轴轴承在洛阳轴研科技顺利下线，刷新全球风电轴承最大单机容量纪录。

产品更高端，生产也要更智能。走进铁建重工长沙第二产业园总装厂房，一个现实车间，一个数字车间，线上线下，实时同步。

“瞧，这是一组盾构机刀盘正面数字孪生画面，深浅不一的颜色代表着刀片的受力、磨损情况。”铁建重工数字孪生研究所副所长王永胜说，实时分析这些数据，工程师可以有针对性地优化下一代产品。

“两根轴承”是一个缩影。持续推动产业优化升级，中国制造硕果累累。

向“微笑曲线”两端攀登。量产动力电池单体能量密度达300瓦时每公斤，处于国际领先水平；晶硅—钙钛矿叠层电池效率达34.6%，屡屡刷新世界纪录；新能源汽车、锂电池、光伏产品“新三样”年出口突破万亿元大关……中国制造加快迈向全球产业中高端。

向“数实融合”深度进军。重点工业企业数字化研发设计工具普及率达80.1%，关键工序数控化率达62.9%，工业互联网实现工业大类全覆盖……产业数字化、数字产业化步伐不断加快。

向“绿色低碳”持续发力。推进绿色低碳改造、构建绿色制造体系、培育壮大绿色产业……“十四五”前两年，规模以上工业单位增加值能耗累计下降6.8%。

瞄准“高科技”、追求“高效能”、迈向“高质量”，今天的中国制造，展露新模样，打开新空间，激荡新活力。

“我们将围绕推进新型工业化、发展新质生产力、保持制造业合理比重，把建设制造强国同发展数字经济、产业信息化等有机结合，加快建设以先进制造业为骨干的现代化产业体系。”工业和信息化部党组书记、部长金壮龙表示。

（来源：中国政府网《从两根轴承看中国制造转型升级——制造大国加快迈向制造强国》人民日报，时间：2024-09-11）

项目 2　ABB 工业机器人编程基础

项目概述：在当今智能制造蓬勃发展的时代，ABB 工业机器人作为全球领先的自动化设备，广泛应用于汽车制造、机械加工、电子装配等多个领域。掌握 ABB 工业机器人编程基础，不仅是进入高端制造业的关键技能，更是推动我国制造业转型升级的重要力量。

本项目以“理论与实践相结合”为核心，旨在帮助学习者系统地掌握 ABB 工业机器人的编程方法和应用技巧。通过精心设计的项目任务，从基础的机器人操作与编程指令，到复杂的程序逻辑与路径规划，学习者将逐步深入，积累丰富的编程经验。每一个任务都紧密结合实际生产场景，确保学习者能够在真实的工作环境中灵活运用所学知识，解决实际问题。

此外，本项目还强调实践操作的重要性。通过大量的实际编程任务，学习者不仅能够掌握理论知识，还能在实践中不断提升动手能力。这种“做中学”的教学模式，有助于学习者更好地理解和掌握 ABB 工业机器人的编程技巧，为未来的职业发展打下坚实的基础。

学习目标

知识目标：

(1) 掌握 RAPID 程序的结构组成：理解 RAPID 程序的基本框架，包括程序模块、程序主体(MAIN 程序)和子程序的组织方式，明确各部分的功能与作用。

(2) 学会工业机器人运动指令运用：熟悉 ABB 工业机器人的运动指令(如 MoveJ、MoveL、MoveC 等)，掌握其语法格式、运动特点和适用场景，能够根据任务需求选择合适的运动指令。

(3) 了解工业机器人程序数据的定义：熟悉程序数据的类型(如位置数据、数值数据、I/O数据等)，掌握其定义方法和作用范围，了解不同类型数据在程序中的应用。

(4) 学会工业机器人重要程序数据的建立：掌握关键程序数据(如工具数据、工件数据、系统数据等)的创建方法，能够根据实际任务需求合理设置和调整这些数据，确保程序的正确执行。

(5) 学会工业机器人示教板零件的编程：掌握使用示教板进行零件编程的方法，包括手动输入程序、示教点位、调整参数等操作，能够通过示教板完成简单零件的编程任务。

(6) 学会工业机器人常用的指令应用：熟悉常用的 RAPID 指令(如赋值指令、逻辑控制指令、I/O 控制指令等)，掌握其使用方法和应用场景，能够灵活运用这些指令实现复杂的程序逻辑。

技能目标：

(1) 能够编写结构清晰的 RAPID 程序：根据实际任务需求，编写符合规范的 RAPID 程序，合理组织程序模块和子程序，确保程序的可读性和可维护性。

(2) 熟练运用运动指令完成任务：能够根据任务要求，选择合适的运动指令编写程序，实现机器人在不同路径下的精确运动，确保运动的平滑性和准确性。

(3) 正确定义和使用程序数据：能够根据任务需求，正确定义和使用各种程序数据，合理设置数据的类型、范围和初始值，确保程序的正确执行。

(4) 熟练建立重要程序数据：掌握工具数据、工件数据等重要程序数据的创建和调整方法，能够根据实际应用场景灵活设置这些数据，确保机器人在不同任务中的适应性。

(5) 熟练使用示教板进行编程：能够熟练操作示教板，完成零件的编程任务，包括手动输入程序、示教点位、调整参数等操作，确保程序的准确性和可靠性。

素质目标：

(1) 培养严谨的逻辑思维能力：通过 RAPID 程序的编写和调试，培养学生的逻辑思维能力和问题分析能力，使其能够清晰地规划程序结构，合理安排程序逻辑。

(2) 增强实践操作能力与动手能力：通过示教板编程和实际操作练习，提高学生的实践操作能力和动手能力，使其能够熟练掌握机器人的操作方法和编程技巧。

(3) 培养创新意识与解决问题的能力：鼓励学生在编程过程中积极探索新的方法和优化方案，培养其创新意识和解决实际问题的能力，使其能够适应不断变化的工业自动化需求。

(4) 树立团队协作精神与沟通能力：在复杂的编程任务中，引导学生分工合作，相互配合，共同攻克技术难题，培养其团队协作精神和沟通能力。

(5) 培养安全意识与规范操作习惯：强调工业机器人操作的安全规范，培养学生在实际工作中严格遵守安全操作规程的习惯，确保自身和设备的安全。

(6) 激发学习兴趣与职业责任感：通过实际任务的完成，激发学生对工业机器人编程的学习兴趣，培养其职业责任感和敬业精神，使其在未来的工作中能够认真负责地完成各项任务。

案例导入

又一新国标来了！为什么顶级机器人公司都在发力国家标准？

在全球化竞争日益激烈的新时代，标准已跃升为重塑产业格局的核心驱动力。在智能制造、机器人等战略新兴领域，标准更是重构产业链、价值链的关键要素。

作为我国标准体系中的“金字塔尖”，国家标准不仅是行业治理体系的重要组成部分，更是引领技术创新与提升企业核心竞争力的战略利器。

在机器人产业向智能化、高端化转型的关键阶段，近期，由协作机器人头部企业节卡机器人作为牵头起草单位，主导制定的国家标准——《机器人智能化视觉评价方法及等级划分》正式发布。


全国标准信息公共服务平台
National public service platform for standards information

首页 国家标准 行业标准 地方标准 团体标准 企业标准 国际标准 国外标准 技术委员会

机器人智能化视觉评价方法及等级划分
Robot intelligent vision evaluation method and classification
国家标准 推荐性 即将实施
英文版计划

国家标准《机器人智能化视觉评价方法及等级划分》由TC591（全国机器人标准化技术委员会）归口，主管部门为中国机械工业联合会。

主要起草单位 上海机器人产业技术研究院有限公司、节卡机器人股份有限公司、广东博智林机器人有限公司、美的集团（上海）有限公司、上海纵智智能科技有限公司、法奥意威（苏州）机器人系统有限公司、上海擎朝智能科技有限公司、北京洛必德科技有限公司、启元实验室、中移(杭州)信息技术有限公司、上海电器科学研究所（集团）有限公司、上海国评智检机器人有限公司、威凯检测技术有限公司、华东师范大学、科沃斯机器人股份有限公司、砾客策(上海)智能医疗科技有限公司、上海中翼科技股份有限公司、赛那德科技有限公司、苏州明图智能科技有限公司、四川蓝海智能装备制造有限公司、互科智能科技（上海）有限公司、重庆凯瑞认证服务有限公司、上海图灵智造机器人股份有限公司、重庆凯瑞机器人技术有限公司、江苏汇博机器人技术股份有限公司、上海贝特威自动化科技有限公司、长三角哈特机器人产业技术研究院。

主要起草人 郑军奇、许雄、胡佳文、李飞飞、张建政、王超、唐宛亲、霍向、梁斌、夏开、邢琳、范俊琪、邢军、邹裕、严海、孟祥、张兆东、王铭秋、李华、吕新伟、兰冰、姜慧、唐臣玉、周俊杰、王雨琴、吴鑫航、陈红光、赵立军。

该标准紧密围绕机器人智能化视觉领域的应用需求，首次明确了机器人智能化视觉测试包括视觉算法测试、整机测试，定义了包括人体姿态估计、人脸识别、字符识别、物体识别、安全性的5大类19项机器人智能化视觉测试指标，并详细描述了指标的测试与计算方法，适用于工业机器人、服务机器人、特种机器人等的智能化视觉评价。

这一标准的发布，不仅填补了机器人智能化视觉领域的标准空白，更标志着我国在机器人核心技术的国家标准制定上迈出了里程碑式一步。

在机器人行业快速发展的当下，标准体系的构建却仍在摸索中前行。近年来，尽管行业内陆续有团体标准、地方标准出台，试图规范市场，但整体仍呈现出一种“乱象丛生”的状态，缺乏系统性和权威性。

其中，国家标准的身影尤为稀缺，尤其是涉及机器人智能化视觉这一板块，多数企业仍聚焦于硬件参数或基础性能优化，这也导致了市场上机器人产品的视觉智能化水平参差不齐，企业之间缺乏统一的衡量标尺，消费者在选择产品时往往无所适从。

机器人智能化主要体现在机器人感知、认知、决策等功能在非结构化或动态环境下实现自主作业的能力。而机器人视觉系统则是通过多模态视觉传感，采集目标环境的图像或视频，并对其进行分析处理以获取目标物相关信息，主要包括视觉传感器、图像采集装置、视觉处理软件等。

在AI时代的浪潮下，机器人正从单纯的自动化工具，向着与具身智能深度融合的方向迈进，智能化已然成为行业发展的必经之路。而视觉作为机器人感知环境的核心技术，其评价方法及等级划分的缺失制约了行业发展。

只有具备更强大的智能化识别能力，机器人才能作为智能化决策单元，灵活且精准地完成更多复杂场景下的任务，满足工业制造、医疗服务、物流配送等多领域的多样化需求。

作为协作机器人领域的排头兵，节卡始终走在机器人技术前沿，在感知、认知、决策、执行四大要素上不断突破，并把先进技术成果转化到产品中。

此次节卡主导制定的《机器人智能化视觉评价方法及等级划分》国家标准具备独特产业价值：有效填补了行业在智能化视觉领域的规范空白，可帮助行业对机器人产品的视觉识别智能性进行客观、准确的评估，为企业研发提供了技术依据，也为市场建立了统一的质量评估体系，有助于推动整个机器人产业的高质量发展。

结合机器人应用场景，针对不同类型的机器人，此标准还创新性地定义了 3 类视觉智能等级，并明确了不同智能项目的等级要求与等级判断依据，帮助企业精准定位产品层级，明确机器人智能化视觉发展基线与提升方向，推动行业上下游持标规范机器人设计和生产，提升产业整体智能化品质。

（来源：中国机器人网，时间：2025－06－26）

任务 2.1　RAPID 程序结构组成

任务导入：在工业自动化领域，ABB 工业机器人凭借其高效、精准的性能，广泛应用于汽车制造、机械加工等行业。而 RAPID 编程语言作为 ABB 机器人的核心控制语言，其程序结构的合理设计直接影响到机器人任务的执行效率与准确性。我们将深入探究 RAPID 程序的结构组成，开启工业机器人编程的精彩之旅。

在汽车生产线上，ABB 机器人需要完成复杂的焊接任务。这不仅要求机器人能够精准地到达每一个焊接点，还需要按照既定的顺序和逻辑执行任务。这就需要我们编写结构清晰、逻辑严谨的 RAPID 程序。程序中包含主程序、子程序、中断程序等不同模块，它们各司其职，协同工作，确保机器人能够高效、稳定地完成任务。

通过本任务的学习，我们将掌握 RAPID 程序的基本结构组成，学会如何合理组织程序模块，为后续的机器人编程打下坚实的基础。让我们一起走进 RAPID 程序的世界，开启工业机器人编程的智慧之门，用代码赋予机器人灵动的生命力，让它在生产线上大放异彩，助力制造业的智能化发展。

知识链接

2.1.1 RAPID 程序结构

ABB 工业机器人编程采用 RAPID 语言。RAPID 是一种英文编程语言，所包含的指令可以实现移动机器人、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功能。图 2－1 就是采用 RAPID 语言编写的 ABB 工业机器人的程序。

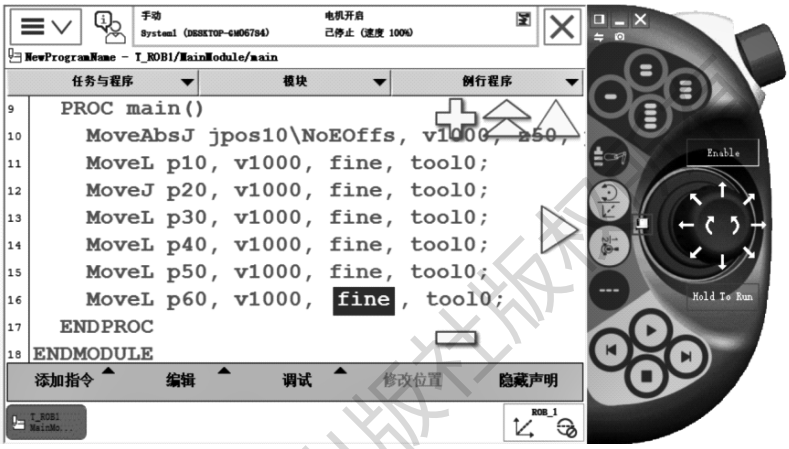


图 2－1 ABB 工业机器人 RAPID 语言

2.1.2 RAPID 程序的基本框架

ABB 工业机器人一切从任务和程序开始，通过新建立任务和程序，然后建立程序模块和例行程序，形成 ABB 工业机器人的程序框架，RAPID 程序结构建立的顺序见图2－2。

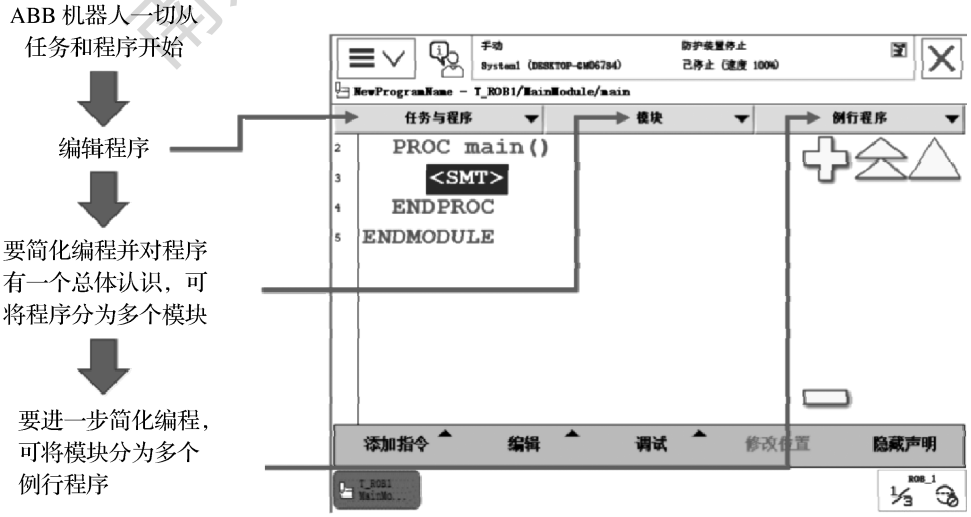


图 2－2 RAPID 程序建立的顺序

组成 RAPID 程序的是程序模块和系统模块，其中每个程序模块包含程序数据、例行程序等，RAPID 程序结构框架见表 2－1。

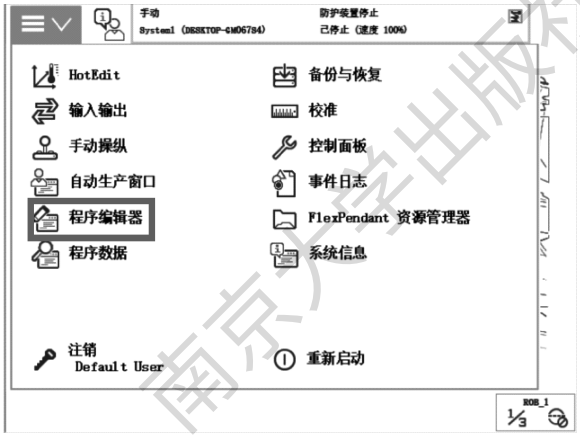
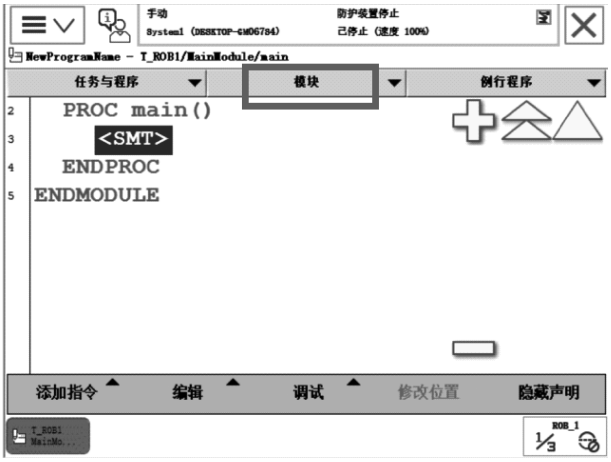
表 2－1　RAPID 程序结构框架

RAPID 程序结构框架			
程序模块 1	程序模块 2	程序模块 3	程序模块 4
程序数据 主程序 main 例行程序 中断程序 功能	程序数据 例行程序 中断程序 功能	……	程序数据 例行程序 中断程序 功能

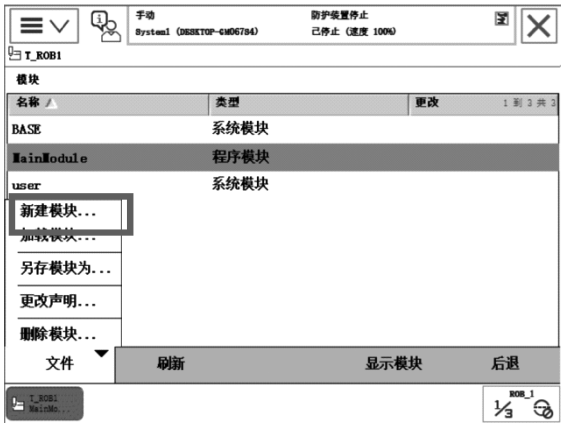
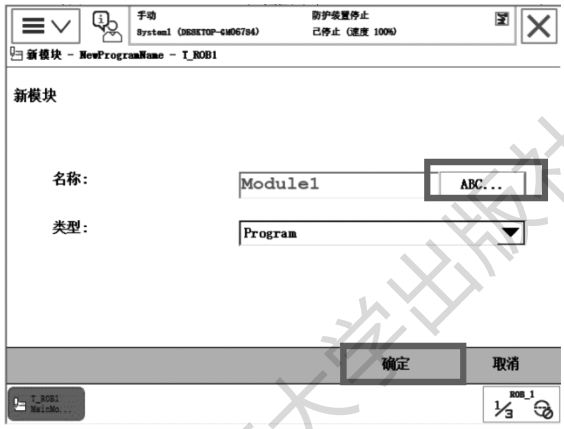
2.1.3　RAPID 程序的建立

1. 程序模块的建立，见表 2－2。

表 2－2　程序模块建立步骤

图示	说明
	第一步　单击“程序编辑器”
	第二步　单击“模块”

续 表

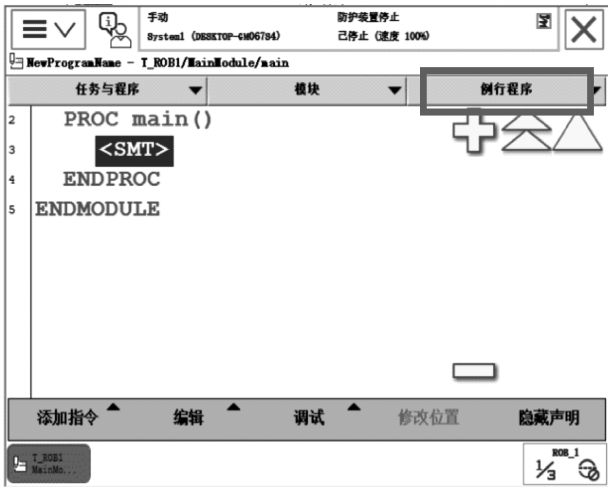
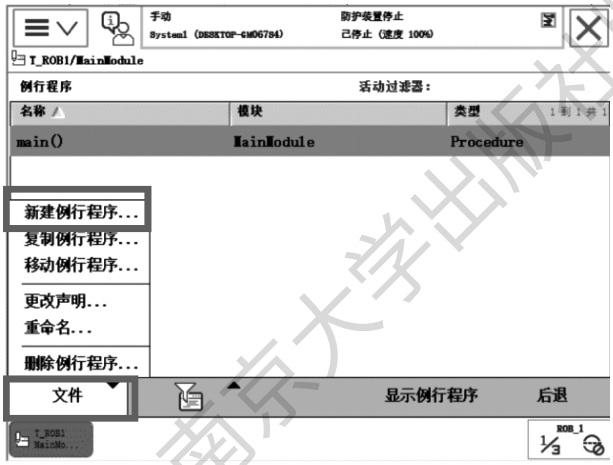
图示	说明
	第三步 单击“新建模块”
	第四步 单击“ABC”，可以对新模块进行命名，在类型中选“Program”，单击“确定”，完成模块建立

2. 建立主程序及例行程序，见表 2－3。

表 2－3 例行程序建立步骤

图示	说明
	第一步 在程序模块中，单击“MainModule”，单击“显示模块”

续　表

图示	说明
	第二步　单击“例行程序”
	第三步　单击“文件”→“新建例行程序”，再次利用菜单栏对例行程序进行复制、移动及重命名等操作
	第四步　单击“ABC”，可以对新建的例行程序重新命名，在“类型”中选择“程序”，单击“确定”，即可完成例行程序的建立。如果是主程序，只需要将例行程序的名字改为“main”即可，如果例行程序中已经建立了“main”，则不能再建立了

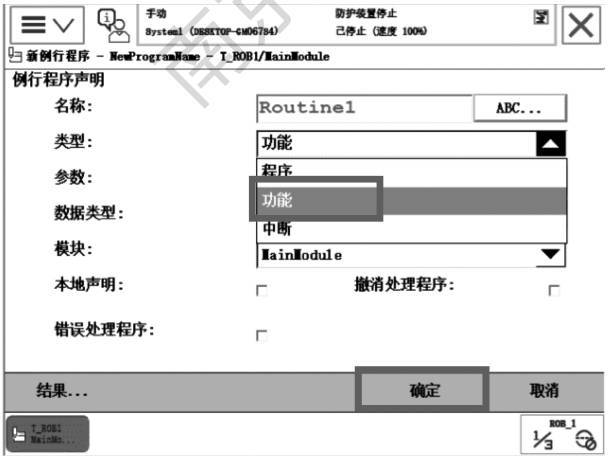
3. 建立中断程序，见表 2－4。

表 2－4　中断程序建立步骤

图示	说明
	前三步和例行程序建立步骤相同 第四步　单击“ABC”进行命名，在“类型”中选择“中断”，在“模块”中选择“MainModule”模块，单击“确定”

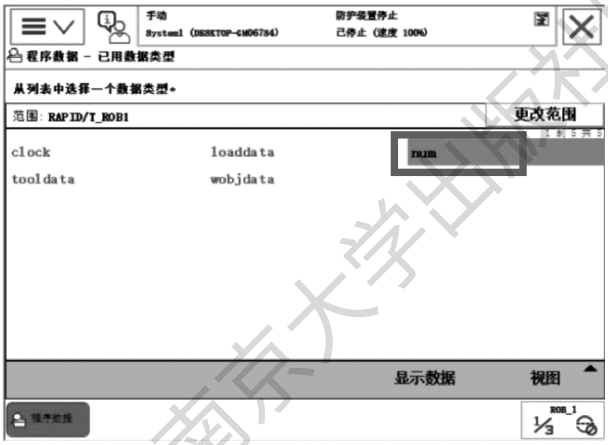
4. 建立功能，见表 2－5。

表 2－5　建立功能

图示	说明
	前三步和例行程序建立步骤相同 第四步　单击“ABC”进行命名，在“类型”中选择“功能”，在“模块”中选择“MainModule”模块，在数据类型中选择“num”，单击“确定”

5. 建立程序数据 num，见表 2－6。

表 2－6　建立程序数据 num

图示	说明
	第一步　单击“程序数据”
	第二步　在已有数据类型中选择“num”
	第三步　单击“新建”，然后在弹出界面单击名称文本框后面“…”，可以对新建的 num 进行重新命名，后面选项可以采用默认的形式，单击“确定”，完成 reg6 的建立

2.1.4 RAPID 程序使用注意事项

(1) RAPID 程序是由程序模块与系统模块组成的。一般只通过新建程序模块来构建工业机器人的程序,而系统模块多用于系统方面的控制。

(2) 可以根据不同的用途创建多个程序模块,如专门用于主控制的程序模块,用于位置计算的程序模块,用于存放数据的程序模块,这样便于分类管理不同用途的例行程序与数据。

(3) 每一个程序模块包含了程序数据、例行程序、中断程序和功能四种对象,但在一个模块中不一定包含这四种对象,程序模块之间的数据、例行程序、中断程序和功能是可以互相调用的。

(4) 在 RAPID 程序中,只有一个主程序 main,存在于任意一个程序模块中,并且是作为整个 RAPID 程序执行的起点。

任务 2.2 程序加载和运行

任务导入:在工业自动化领域,ABB 工业机器人以其高效、精准的性能,成为生产线上不可或缺的"智能助手"。然而,如何让机器人按照预设的任务精准运行,是每一位技术人员必须掌握的关键技能。今天,我们将通过三个核心任务,深入探索 ABB 工业机器人的程序加载、运行与调试,开启工业机器人编程与操作的实践之旅。

首先,我们将学习如何在手动模式下加载工业机器人的运行程序。这一步骤是确保机器人能够执行任务的基础,需要我们熟练掌握示教器的操作方法,将精心编写的程序准确无误地加载到机器人的控制系统中。接着,我们将进入手动运行和调试环节,这是验证程序正确性、优化机器人运动轨迹的关键步骤。通过手动运行程序,我们可以细致观察机器人的每一个动作,及时发现并修正潜在问题,确保程序的完美执行。最后,我们将学习如何修改程序指令的位置参数,以适应生产过程中可能出现的变化,如工件位置的微调或任务需求的变更,这将赋予机器人更强的灵活性和适应性。

知识链接

2.2.1 程序指针

在 ABB 工业机器人的程序编辑器界面,程序指针(PP)以箭头形式显示在程序行序号位置。光标在程序编辑器中的程序代码处以蓝色突出显示,可显示一行完整的指令或一个变元,如图 2-3 所示。

无论使用哪种方式启动,程序都将从"程序指针(PP)"位置开始执行。因此,启动程序前,需要将程序指针指向需要启动的程序行。

程序启动并非每次都从首行开始,根据实际情况可能从中间开始,因此,ABB 工业机器

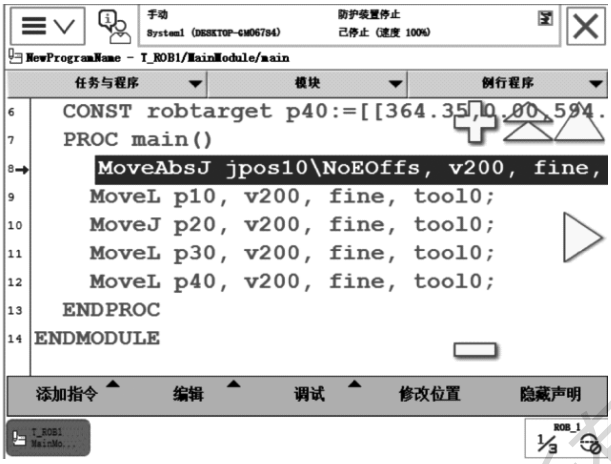


图 2－3　程序指针及光标

人系统提供了三种方式设置程序指针，分别是 PP 移至 Main、PP 移至光标和 PP 移至例行程序，如图 2－4 所示。

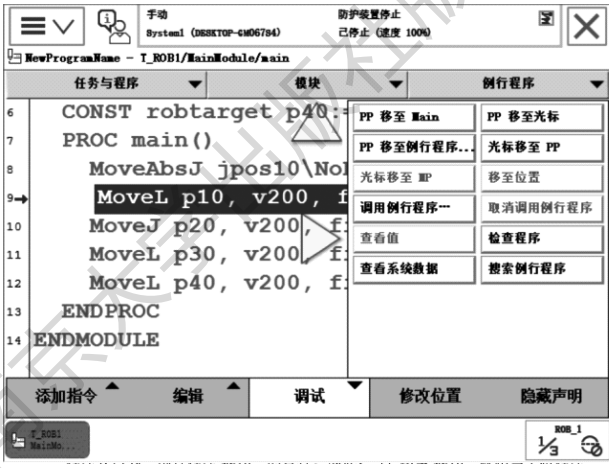


图 2－4　调试菜单

1. PP 移至 Main

工业机器人程序与计算机程序类似，都有一个程序开始入口。在系统中，这个程序入口为“例行程序 Main”的首行。因此，“PP 移至 Main”就相当于将程序指针位置设为首行。只是这个“首行”是逻辑上的，对应程序行的序号不是“1”。

2. PP 移至光标

先选中需要设置程序指针使其高亮显示，然后单击“PP 移至光标”使程序指针移动到光标所在程序行。

3. PP 移至例行程序

如果需要从其他例行程序启动，单击“PP 移至例行程序”进入例行程序选择指定启动的

程序，然后再使用“PP 移至光标”功能指定程序指针位置。

2.2.2 运行模式

工业机器人的运行模式有手动运行、自动运行和外部自动运行三种方式。根据需要选择工业机器人的运行方式。

1. 手动运行

在操作工业机器人到达任务所需要的位置时，需使用手动运行操作工业机器人。在执行程序自动运行前，也需要使用手动运行，进行程序的调试。手动运行主要包括以下两部分：

(1) 示教/编程；

(2) 在手动运行模式下测试、调试程序。

2. 自动运行

自动运行用于不带上级控制系统(PLC)的工业机器人，程序执行时的速度等于编程设定的速度，并且手动无法运行工业机器人。通常情况按下系统启动按钮后，工业机器人开始连续执行程序，直至程序运行完成。

3. 外部自动运行

外部自动运行用于带上级控制系统(PLC)的工业机器人，程序执行时的速度等于编程设定的速度，并且手动无法运行工业机器人。通常情况按下系统外部启动按钮后，工业机器人开始连续执行程序，直至程序运行完成。

自动运行模式和外部自动运行模式均必须配备安全防护装置，而且它们的功能必须正常，所有人员应位于由防护装置隔离的区域之外方能运行程序。

2.2.3 程序指令修改点位

程序编辑器是 ABB 工业机器人编辑程序的主要窗口。在示教盒触摸屏左上角单击 ABB“菜单键”，然后选中“程序编辑器”进入程序编辑器界面，如图 2－5 所示。

图 2－5 进入程序编辑器

程序编辑器界面有多个功能子菜单，分别用于程序管理、指令管理、程序编辑调试等功能，如图 2－6 所示，其中加深显示的是一条工业机器人运行程序。

图 2－6　程序编辑器界面

在工业机器人运行程序“MoveL p10，v200，fine，tool0”中，“p10”是工业机器人运行的目标点，目标点位置数据包含机器人六个关节的电机轴角度，如需修改目标点位置，可在程序编辑器界面，选中需要修改位置的指令，将工业机器人手动移动到新的目标点，然后单击“修改位置”按钮即可修改目标点位置。本任务程序中各运动指令对应图形位置如图 2－7 所示。

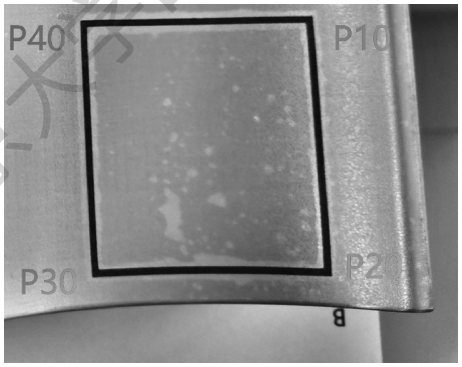


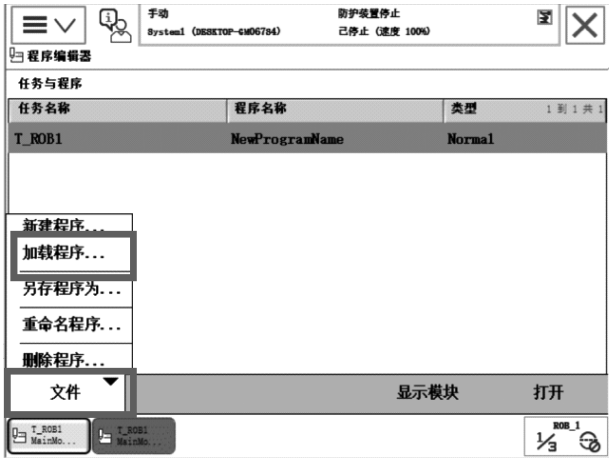
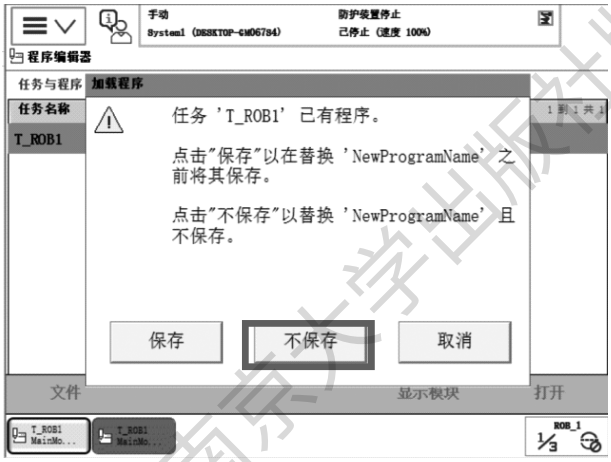
图 2－7　程序运动

2.2.4　加载程序

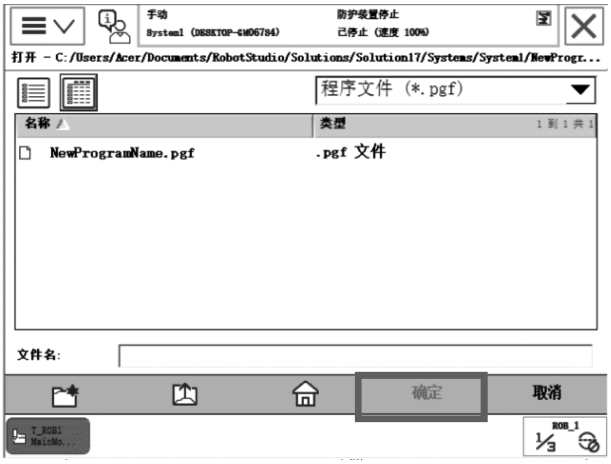
ABB 工业机器人系统中，手动或自动运行程序前都需要先加载程序。加载程序的操作步骤如表 2－7。

2.2.4　加载程序视频

表 2－7　加载程序步骤

图示	说明
	打开程序编辑器，单击“任务与程序”栏，单击界面左下角的“文件”按钮，在弹出的列表中选择“加载程序”
	系统弹出提示窗口，是否保存程序，此处单击“不保存”按钮
	进入程序选择界面，单击“主页”图标

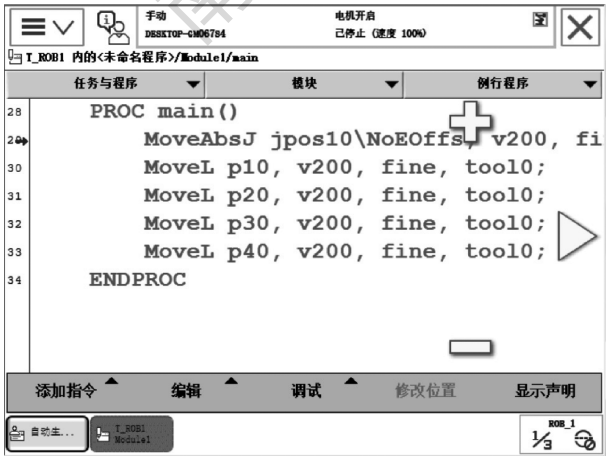
续　表

图示	说明
	选中需要加载的程序文件名“NewProgramName. pgf”，单击“确定”按钮

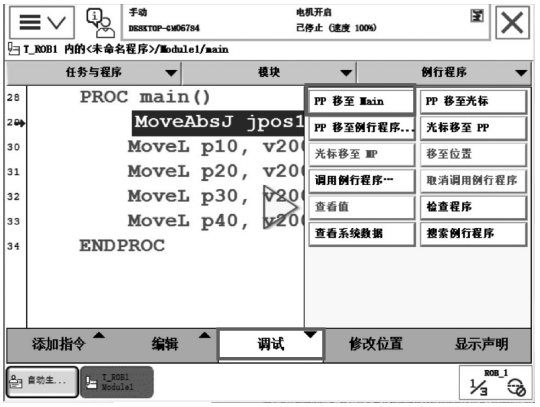
2.2.5　手动运行

将“PP 移至 Main”，通过示教盒上的“程序启动”“单步向前”“单步后退”“程序停止”按键，手动运行程序的操作步骤如表 2－8。

表 2－8　手动运行步骤

图示	说明
	确认工业机器人处于“手动”模式。通过使能按键使能工业机器人，确认状态栏显示“电机开启”

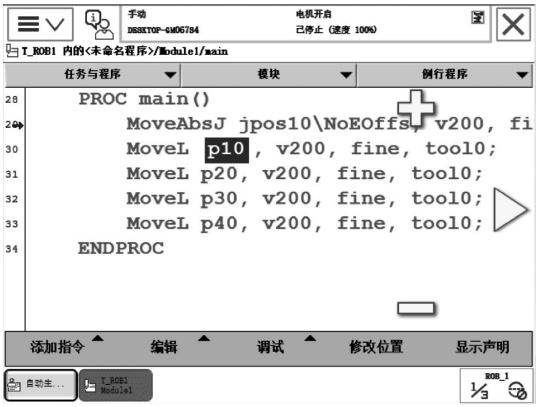
续 表

图示	说明
	单击“调试”按钮，在弹出的菜单中选择“PP 移至 Main”，使程序指针移至首行
	按下示教盒上 按键，程序正向单步运行；按下示教盒上 按键，程序逆向单步运行；按下示教盒上 按键，连续启动程序，如果需要停止程序运行，按下 按键

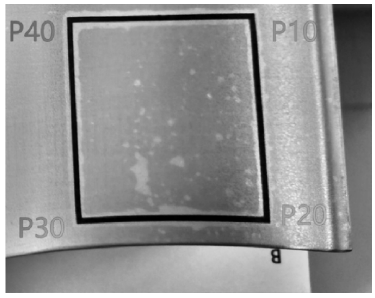
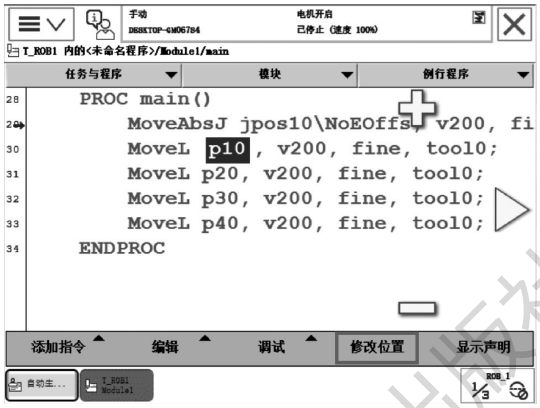
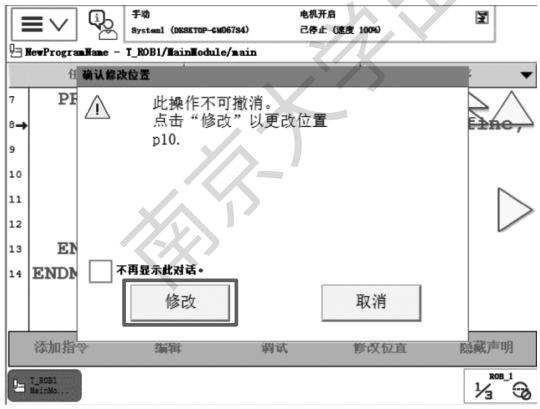
2.2.6 位置修正

要修正程序指令中的工业机器人运动目标点的位置，可以通过手动操作使工业机器人末端工具达到新的位置，然后在示教盒程序编辑器程序中修改位置，具体操作步骤如表 2－9。

表 2－9 位置修正步骤

图示	说明
	选中指令要修改的目标点“p10”

续　表

图示	说明
	手动操作工业机器人至新的目标点位置
	单击“修改位置”按钮
	在弹出的窗口中，单击“修改”按钮，完成 p10 位置的修正

对照图上方法，使用同样的方法修改 p20—p40 点的位置，再次运行程序，观察工业机器人的运动。

任务 2.3　工业机器人运动指令

任务导入：在工业自动化生产中，工业机器人的运动精度和灵活性直接决定了生产效率

和产品质量。ABB 工业机器人提供了多种运动指令，以满足不同场景下的任务需求。今天，我们将深入学习这四种常用的运动指令：关节运动(MoveJ)、线性运动(MoveL)、圆弧运动(MoveC)和绝对位置运动(MoveAbsJ)，掌握它们的特性和应用场景，为实现高效、精准的自动化生产打下坚实基础。

通过本任务的学习，我们将深入了解这四种运动指令的语法、特点和适用场景，并通过实际操作练习，掌握如何根据具体任务需求选择合适的运动指令，编写高效的机器人程序。让我们一起探索工业机器人运动指令的奥秘，让机器人在空间中灵活运动，精准完成各项任务，为智能制造贡献力量。

知识链接

工业机器人在空间中常用的运动指令主要有关节运动(MoveJ)、线性运动(MoveL)、圆弧运动(MoveC)和绝对位置运动(MoveAbsJ)四种方式。

2.3.1 绝对位置运动指令

2.3.1 绝对位置运动指令视频

绝对位置运动指令用 MoveAbsJ 表示，MoveAbsJ 用于将机械臂和外轴移动至轴位置中指定的绝对位置。

例 1：MoveAbsJ p50，v1000，z50，tool2；

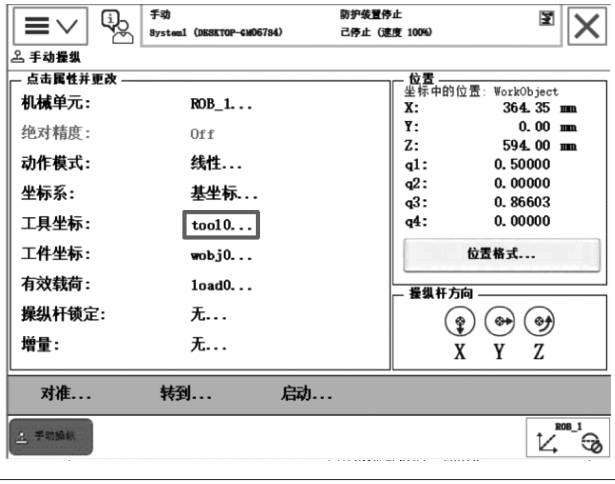
通过速度数据 v1000 和区域数据 z50，机械臂以及工具 tool2 得以沿非线性路径运动至绝对轴位置 p50。

例 2：MoveAbsJ ＊，v1000\T:＝5，fine，grip3；

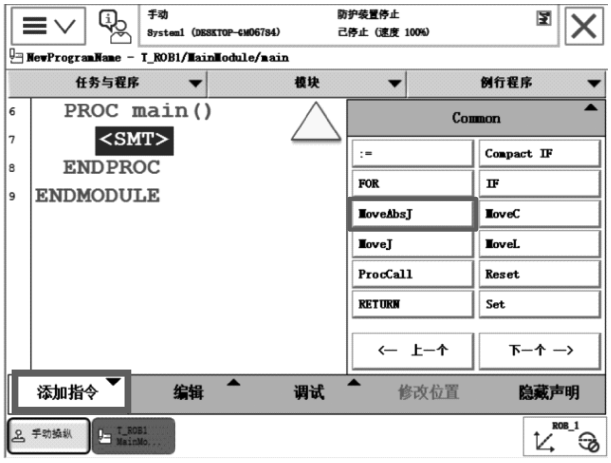
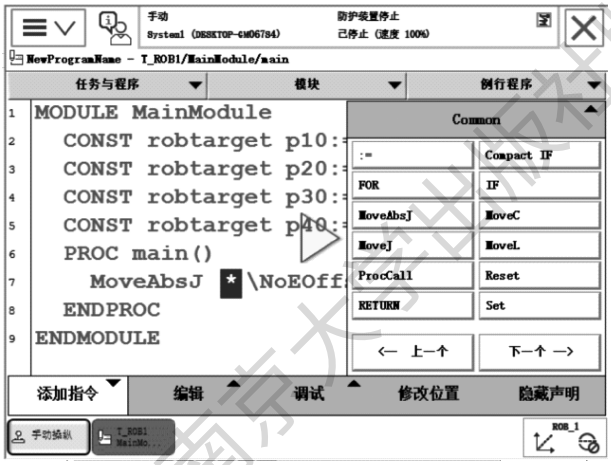
机械臂以及工具 grip3 沿非线性路径运动至停止点，该停止点存储为指令(标有＊)中的绝对轴位置。整个运动耗时 5 s。

例 3：工业机器人回零操作，步骤见表 2－10。

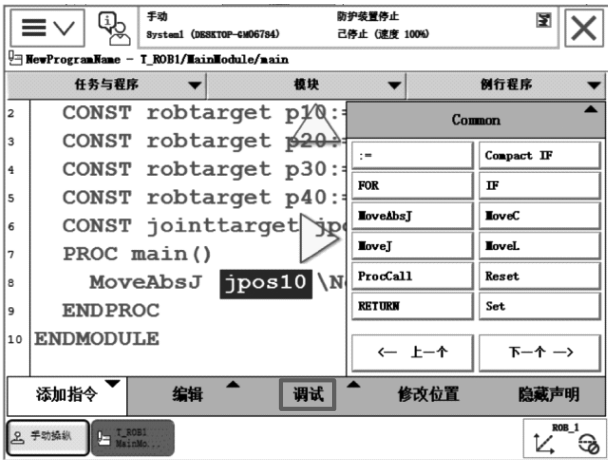
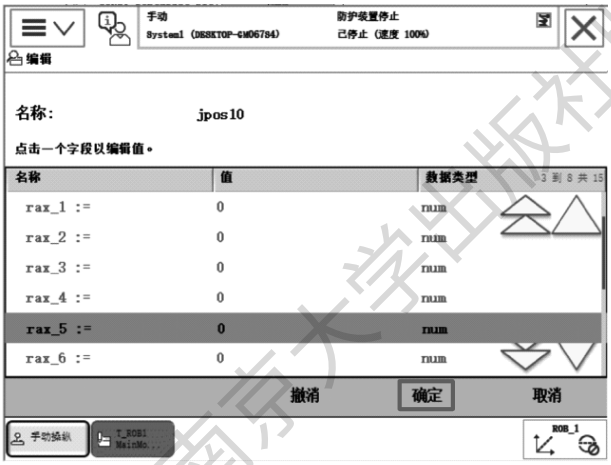
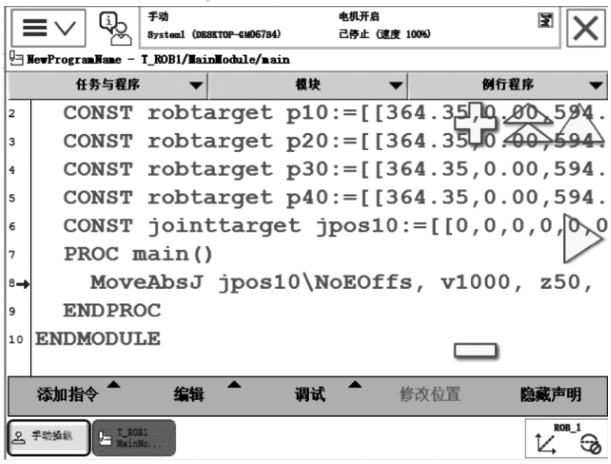
表 2－10 工业机器人回零操作步骤

图示	说明
	第一步 进入“手动操纵”界面，确认已选定“基坐标系”，工具坐标采用系统默认的“tool0”

续　表

图示	说明
	第二步　在主程序 main 中，单击“添加指令”，选择“MoveAbsJ”指令
	第三步　单击“*”，然后单击“新建”，建立关节数据
	第四步　单击名称文本框后面的“…”，可以重新进行命名，其余参数保存默认设置，单击“确定”

续 表

图示	说明
	第五步　单击名称“jpos10”，当选择区域变为蓝色时，单击“调试”，在“调试”菜单下，单击“查看值”
	第六步　将 rax_1 - rax_6 中的值全部改为“0”，单击“确定”
	第七步　将 PP 指针移到 main 的第一行，开启电动机，可以单段运行程序，也可以连续运行

续　表

图示	说明
	第八步　在 ABB 主菜单下，选择“动作模式”，选择“轴 1—3”，关节位置 1—6 的坐标值全为“0”

2.3.2　关节运动指令

关节运动指令用 MoveJ 表示，用于将机械臂迅速从一点移动至另一点；机械臂和外轴沿非线性路径运动至目标位置；所有轴均同时到达目标位置。

例 1：MoveJ p1，vmax，z30，tool2；

将 tool2 的 TCP（工具中心点）沿非线性路径移动至位置 p1，其速度数据为 vmax，且区域数据为 z30。

例 2：MoveJ ＊，vmax \T：= 5，fine，grip3；

将 grip3 的 TCP 沿非线性路径移动至存储于指令中的停止点（标记有＊），整个运动耗时 5 s。

注意：关节运动指令用在对路径精度要求不高的情况下，工业机器人的 TCP 从一个位置移动到另一个位置，两个位置之间的路径不一定是直线。关节运动路径见图 2－8。

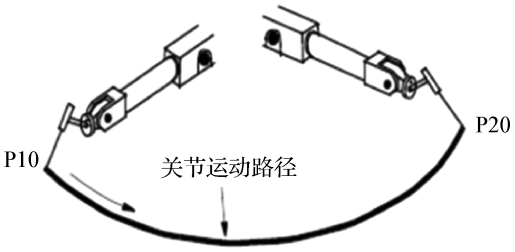


图 2－8　关节运动路径

2.3.3　线性运动指令

线性运动指令用 MoveL 表示，用于将 TCP 沿直线移动至目标位置。当 TCP 保持固定时，则该指令亦可用于调整工具方位。

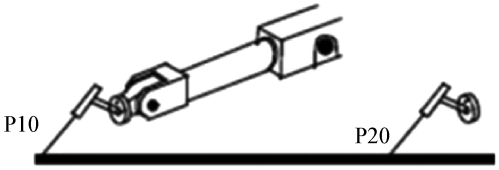
例 1:MoveL pl,v1000,z30,tool2;

将 tool2 的 TCP 沿直线运动至位置 p1,其速度数据为 v1000,且区域数据为 z30。

例 2:MoveL ＊,v1000\T:=5,fine,grip3;

将 grip3 的 TCP 沿直线移动至存储于指令中的停止点(标记有＊),完整的运动耗时 5 s。

注意:线性运动是指工业机器人的 TCP 从起点到终点的路径始终保持为直线。一般在如焊接、涂胶等对路径要求高的场合使用此指令。线性运动路径见图 2－9。



· 线性运动路径

图 2－9　线性运动路径

2.3.4　圆弧运动指令

圆弧运动指令用 MoveC 表示,用于将 TCP 沿圆弧移动至目标位置。移动期间,该周期的方位通常相对保持不变。

例 1:MoveC pl,p2,v500,z30,tool2;

将 tool2 的 TCP 沿圆弧移动至位置 p2,其速度数据为 v500 且区域数据为 z30。根据起始位置、圆周点 p1 和目的点 p2,确定该圆弧。

例 2:MoveL p1,v500,fine,tooll;

MoveC p2,p3,v500,z20,tooll;

MoveC p4,pl,v500,fine,tooll;

图 2－10 显示了如何通过 MoveC 指令,实施一个完整的圆。

注意:圆弧路径由起点、中间点、终点三个位置点构成,当前位置圆弧的起点不能和第二点位置重合,即 p10 不能和 p30 重合,见图 2－11。

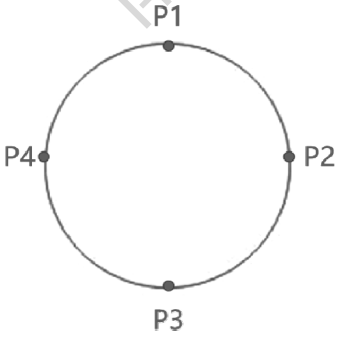


图 2－10　MoveC 指令应用

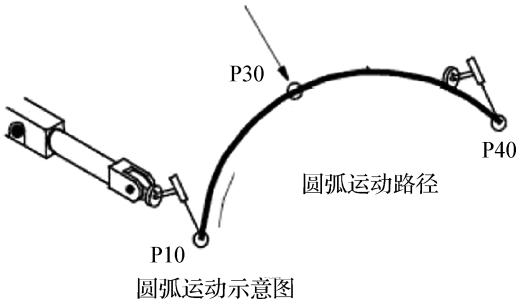


图 2－11　圆弧路径

2.3.5　运动指令应用

编制圆弧与直线轨迹程序,绘制图形如图 2－12 所示。

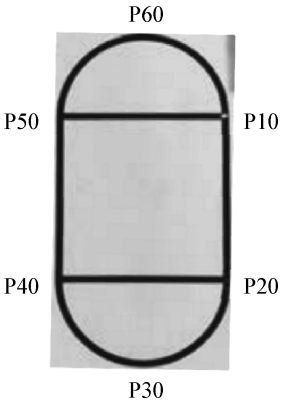


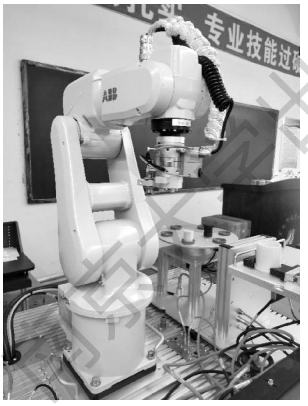
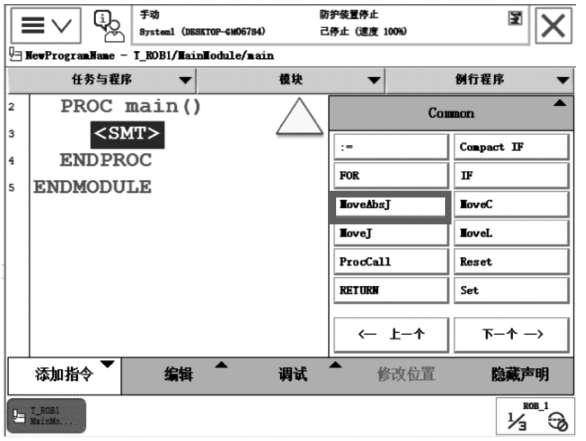
图 2－12　绘制图形

2.3.5　圆弧与直线轨迹视频

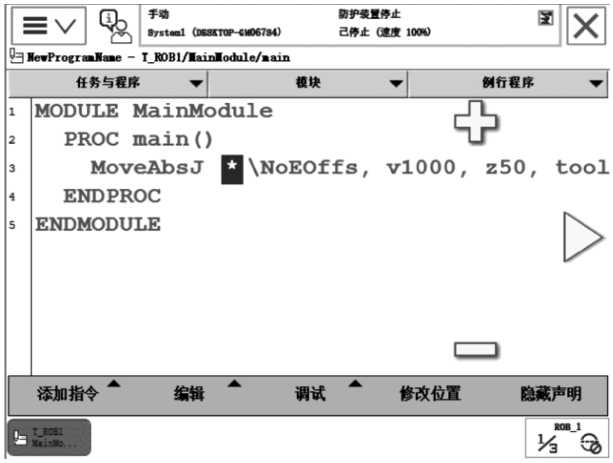
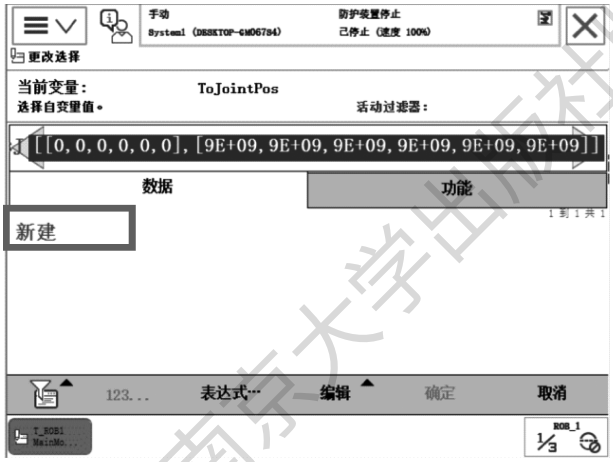
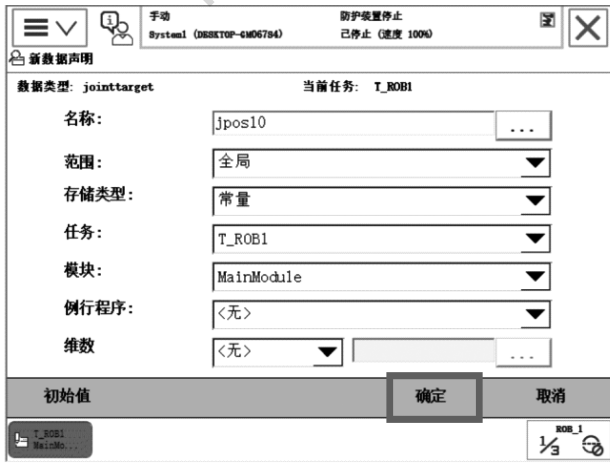
1. 使用 MoveAbsJ 记录起始点

将工业机器人移动至任务的起始位置，通过使用 MoveAbsJ 指令记录任务的起始点，操作步骤如表 2－11。

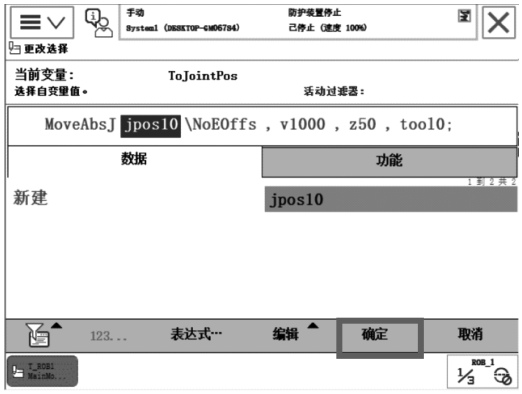
表 2－11　使用 MoveAbsJ 记录起始点步骤

图示	说明
	将工业机器人移动到任务起始点位置
	在程序编辑器中，单击“添加指令”按钮，在右侧“Common”栏，选中“MoveAbsJ”指令

续 表

图示	说明
	在添加完成的 MoveAbsJ 指令中，选中并单击“*”
	在弹出的“数据”界面单击“新建”按钮，进入“新数据声明”界面，创建位置变量
	在“新数据声明”界面修改位置变量名称为“jpos10”，单击“确定”按钮

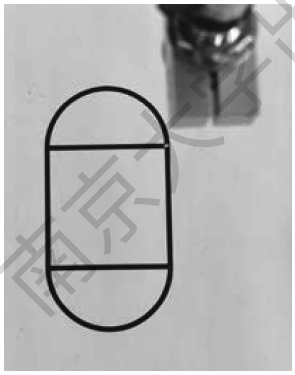
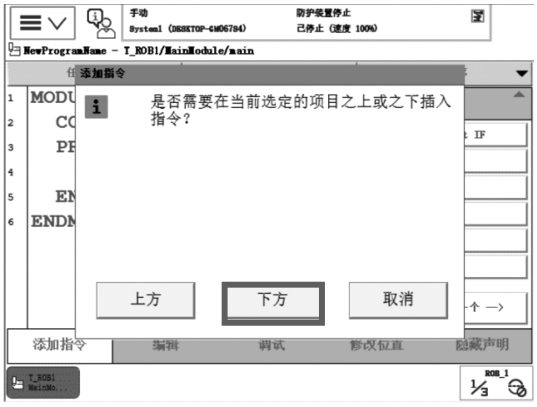
续　表

图示	说明
	再次单击“确定”按钮，保存并返回程序编辑器，完成起始位置的记录

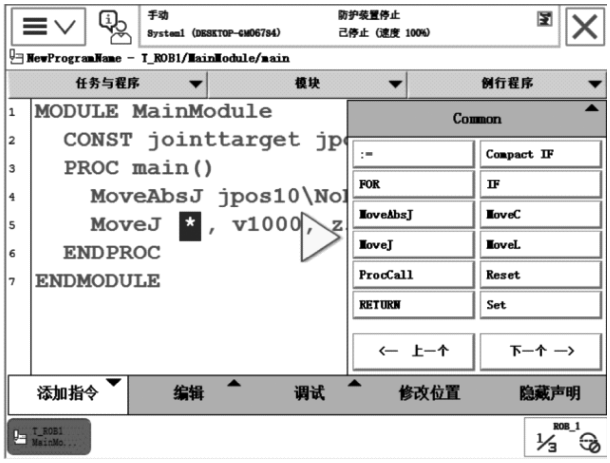
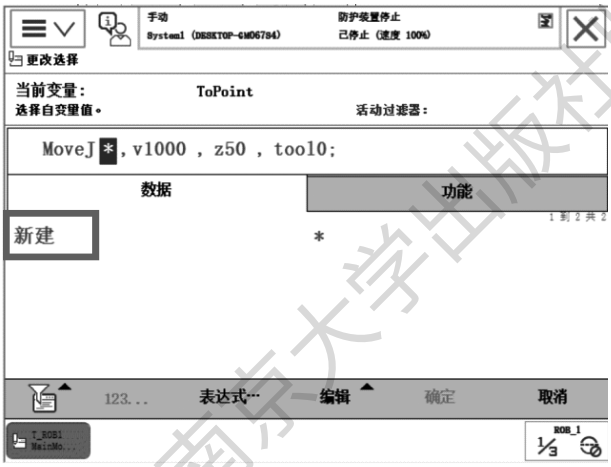
2. 使用 MoveJ 指令记录切割开始点

通过移动工业机器人至轨迹的开始点，使用 MoveJ 指令实现工业机器人运动，具体操作步骤如表 2－12。

表 2－12　MoveJ 指令记录切割开始点步骤

图示	说明
	将工业机器人移动到开始点上方约 50 mm 位置
	添加 MoveJ 指令，在弹出的窗口中单击“下方”按钮，即为在当前指令的下方添加指令

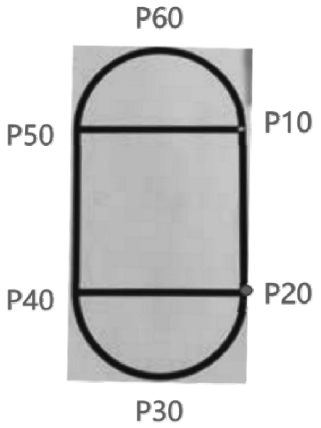
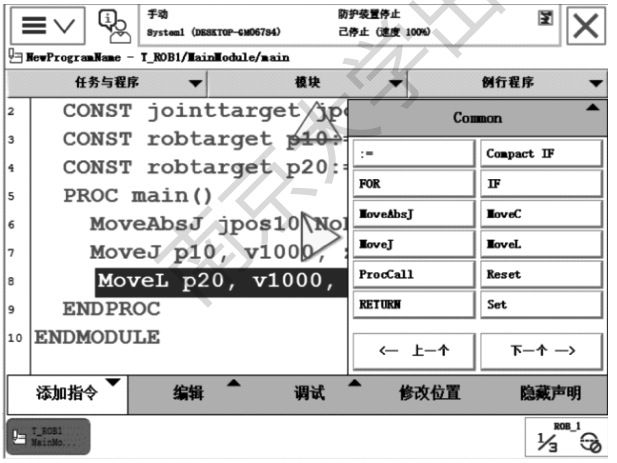
续 表

图示	说明
	选中并单击“*”
	单击“新建”创建位置变量
	修改位置变量为“p10”，单击“确定”按钮，保存并返回程序编辑器，完成开始点的记录

3. 使用 MoveL 指令记录第一段直线

通过移动工业机器人至直线段的末端点，使用 MoveL 指令实现工业机器人的直线运动，具体操作步骤如表 2－13。

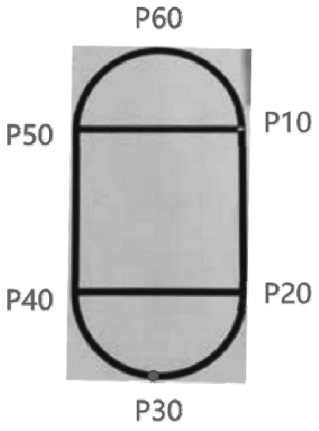
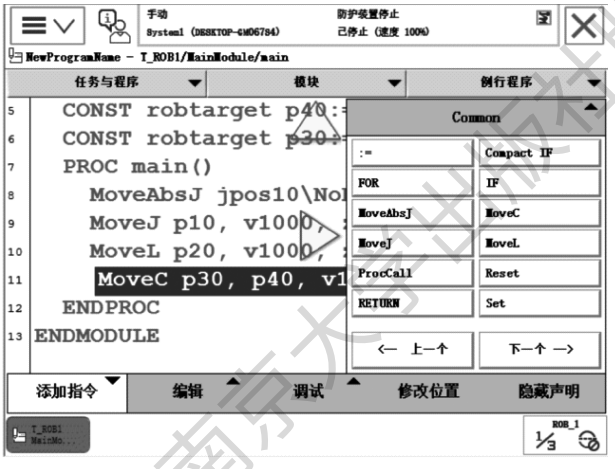
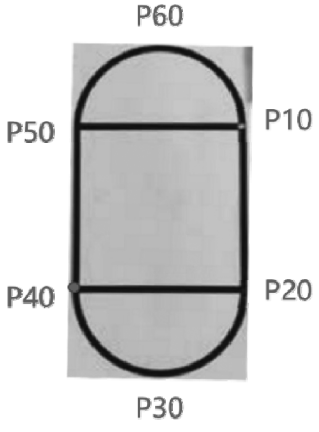
表 2－13　MoveL 指令记录第一段直线步骤

图示	说明
	将工业机器人移动到第一段直线末端点 p20
	添加 MoveL 指令，自动生成位置变量 p20，并将工业机器人当前位置记录在 p20

4. 使用 MoveC 指令记录第一条圆弧

移动工业机器人至圆弧中间点和末端点，使用 MoveC 指令实现工业机器人圆弧运动，具体操作步骤如表 2－14。

表 2－14　MoveC 指令记录第一条圆弧步骤

图示	说明
	将工业机器人移动到第一段圆弧中间点 p30
	添加 MoveC 指令，MoveC 指令中自动生成两个位置变量 p30 和 p40，并将工业机器人当前位置数据记录在 p30
	将工业机器人移动到第一段圆弧末端点 p40

续　表

图示	说明
	选中“p40”，单击“修改位置”点击“修改”以更改位置按钮，在弹出的窗口中单击“修改”按钮，确认更改位置，完成第一条圆弧指令的插入和位置记录

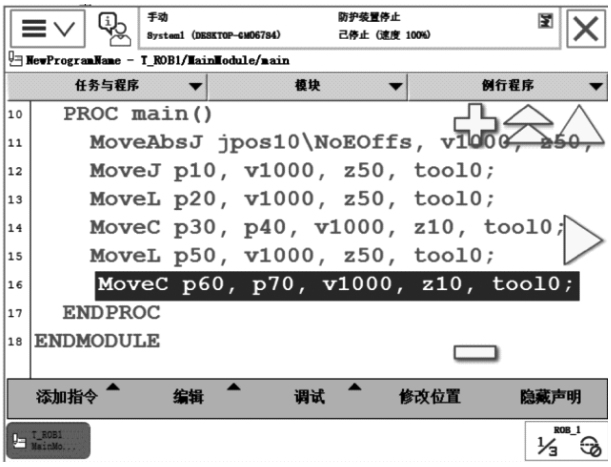
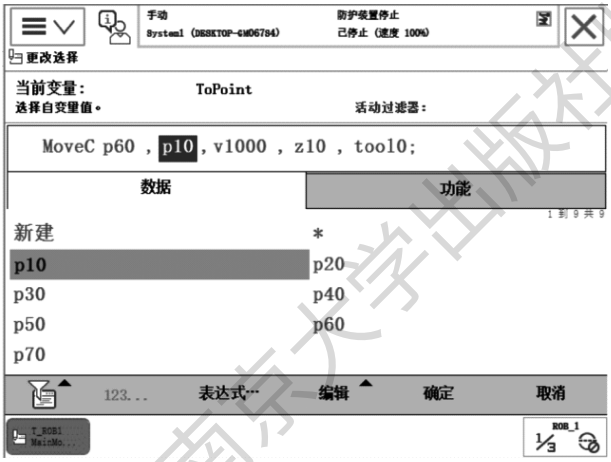
5. 编制封闭轨迹程序

根据任务的要求，通过使用 MoveL，MoveC 和 MoveAbsJ 指令记录另外半条曲线的轨迹点，以完成整条封闭的椭圆形轨迹，具体操作步骤如表 2－15。

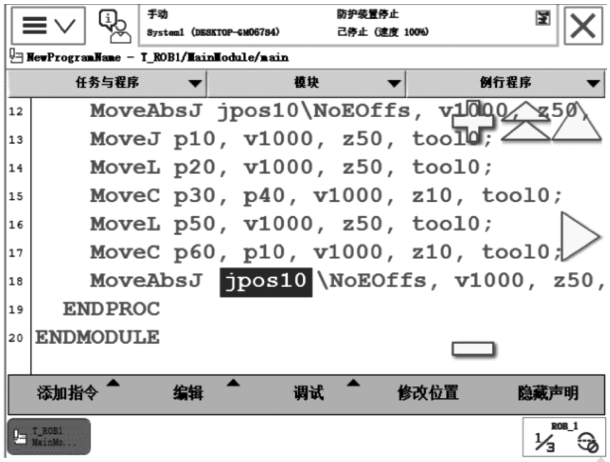
表 2－15　封闭轨迹程序步骤

图示	说明
	将工业机器人移动到第二段直线末端点，使用 MoveL 指令记录

续 表

图示	说明
	将工业机器人移动到第二段圆弧中间点，使用 MoveC 指令记录
	将末端点自动生成的位置变量“p70”更改为“p10”
	添加 MoveAbsJ 指令，将自动生成的位置变量“jpos20”更改为“jpos10”

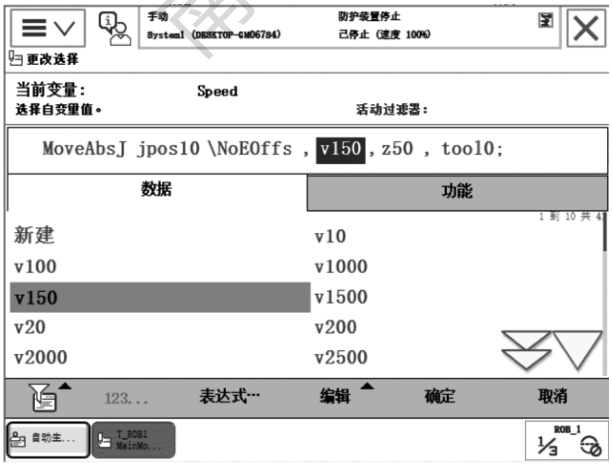
续　表

图示	说明
	激光切割完整程序如左图所示

6. 指令参数修改

在运动程序指令中修改工业机器人的运行速度和转弯半径，以达到实际工作需求，具体操作步骤如表 2－16。

表 2－16　指令参数修改步骤

图示	说明
	选中 MoveAbsJ 指令中的速度参数“v1000”并单击，进入“更改选择”窗口，将其更改为“v150”

续 表

图示	说明
	选中“Z50”,将其更改为“fine”,完成后单击“确定”按钮,保存并返回程序编辑器
	使用相同方法更改其他指令的对应参数

运行程序如表 2－17 所示。

表 2－17 运行程序

程序	程序说明
MoveAbsJ jpos10\NoEoffs,v150,fine,tool0;	工业机器人返回原点
MoveJ p10,v150,fine,tool0;	关节方式到达 p10 点
MoveL p20,v150,fine,tool0;	直线方式到达 p20 点
MoveC p30,p40,v150,fine,tool0;	圆弧方式到达 p20→p30→p40
MoveL p50,v150,fine,tool0;	直线方式到达 p50 点
MoveC p60,p10,v150,fine,tool0;	圆弧方式到达 p50→p60→p10
MoveAbsJ jpos10\NoEoffs,v150,fine,tool0;	工业机器人返回原点

任务 2.4　程序数据的应用及介绍

任务导入：在工业机器人编程的世界里，程序数据就如同机器人的“记忆”，它记录着任务所需的各种信息，从位置坐标到运动参数，从工具属性到系统状态，这些数据是确保机器人精准执行任务的关键。

想象一下，在一个繁忙的自动化生产线上，ABB 工业机器人需要在不同的工位之间移动，完成焊接、装配、搬运等多种任务。为了实现这些任务，机器人必须准确记住每个工位的位置、所需工具的参数以及运动过程中的速度和精度要求。这些信息就是通过程序数据来定义和存储的。程序数据不仅决定了机器人的运动轨迹，还影响着任务的执行效率和质量。

通过本任务的学习，我们将了解程序数据的定义方法，掌握不同类型数据的存储类型，并通过实际案例学习如何在程序中应用这些数据。我们还将深入探讨如何建立常用程序数据，确保机器人能够根据不同的任务需求灵活调整其行为。掌握这些技能后，你将能够编写出更加智能、高效的机器人程序，让机器人在复杂多变的生产环境中游刃有余，为智能制造注入强大动力。

知识链接

2.4.1　工业机器人程序数据的定义

程序数据是在程序模块或系统模块中设定的值和定义的一些环境数据。创建的程序数据可由同一个模块或其他模块中的指令进行引用。

例如：MoveJ pHome，v400，fine，tool0\Wobj：= Wobj0；

工业机器人常用的指令，所包含的程序数据有以下几类，见表 2－18。

表 2－18　程序数据说明

程序数据	数据类型	说明
pHome	robtarget	工业机器人运动目标位置数据
v400	speeddata	工业机器人运动速度数据
fine	zonedata	工业机器人运动区域数据
tool0	tooldata	工业机器人工具 TCP 数据
Wobj0	wobjdata	工业机器人工件坐标数据

在 ABB 工业机器人中，程序数据可以有多个，并且可以根据实际情况进行程序数据的创建，为工业机器人带来逻辑能力与算数的灵活性，部分 ABB 工业机器人程序数据见图 2－13。

图 2－13　部分 ABB 工业机器人程序数据

2.4.2　程序数据的存储类型

程序数据虽然很多，但其存储类型有三类。

1. 变量(VAR)

变量型数据在程序执行的过程中和程序停止时，都会保持当前值。但如果程序指针被移动到(main)主程序后，数值则会丢失(恢复到初始值)。

例 1：
```
VAR num part:=0;
VAR string name: ="John";
VAR bool finished:=FALSE;
PROC main()
part:=10 - 1;
name:="John";
finished:= TRUE;
ENDPROC
```

在定义数据时，可定义变量数据的初始值。part 的初始值为 0；name 的初始值为 John；finished 的初始值为 FALSE。在程序中执行变量型程序数据的赋值，在指针复位后将恢复初始值。

2. 可变量(PERS)

可变量最大的特点是无论程序指针如何，都会保持最后赋予的值。

例 2：
```
PERS num nCount:=1;
PERS string text:="Hello";
PROC main()
nCount:=8;
text:="hi";
ENDPROC
```

定义名称为 nCount 的数值型数据和名称为 text 的字符型数据，在工业机器人执行的 RAPID 程序中也可以对可变量存储类型数据进行赋值的操作。在程序执行以后，赋值的结果会一直保持，直到对其重新赋值。

3. 常量(CONST)

常量的特点是在定义时已经赋予了数值，并不能在程序中进行修改，除非进行手动修改。

例 3：MODULE：modle2

```
CONST num nCount:=9.18;
CONST string greating:="Hello";
ENDMODULE
```

nCount 为数值型的常量，值为 9.18；greating 为字符型的常量，字符为“Hello”。存储类型为常量的程序数据，不允许在程序中进行赋值操作。

ABB 工业机器人常用的程序数据见表 2－19，其中必须掌握的部分以粗黑体标志。

表 2－19　常用程序数据表

程序数据	说明	程序数据	说明
bool	布尔量	pos	位置数据(只有 X、Y 和 Z)
byte	整数数据 0—255	pose	坐标转换
clock	计时数据	robjoint	工业机器人轴角度数据
dionum	数字输入/输出信号	**robtarget**	机器人与外轴的位置数据
extjoint	外轴位置数据	**speeddata**	机器人与外轴的速度数据
intnum	中断标志符	**string**	字符串
jointtarget	关节位置数据	**tooldata**	工具数据
loaddata	负载数据	trapdata	中断数据
mecunit	机械装置数据	**wobjdata**	工件数据
num	数值数据	**zonedata**	TCP 区域半径数据

2.4.3　程序数据应用举例

我们通过一个实例来运行程序并调试后，观察不同的存储类型、程序执行结果的变化。

例：PROC main()

```
ncount2:=2;
ncount3:=3;
WaitTime 5;
Routine1;
ENDPROC
PROC Routine1()
ncount2:=ncount2+ncount1;
ncount3:=ncount3+ncount1;
WaitTime 5;
```

```
ENDPROC
ENDMODULE
```

示例中定义了 3 个变量，存储类型分别是变量、可变量和常量，程序执行的结果会根据指针的位置发生相应变化。

2.4.4 常用程序数据的建立

2.4.4 常用程序数据的建立视频

1. speeddata 速度数据的建立

速度数据用 speeddata 表示，用于规定机械臂和外轴均开始移动时的速率，单位为mm/s。对于 speeddata 速度数据的建立有两种情况：

（1）常用的 speeddata 程序数据系统已经建立，可以直接调用，见图 2－14。

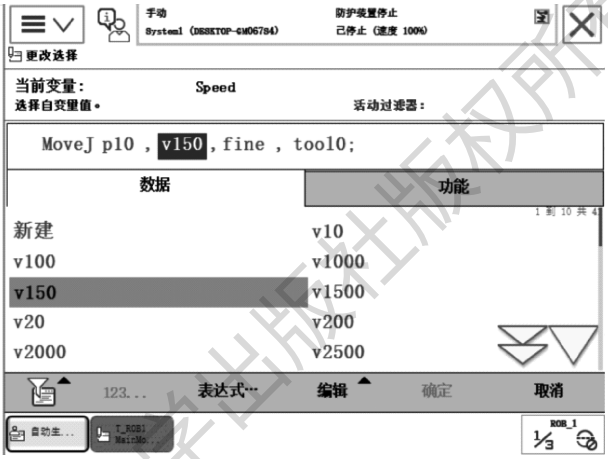


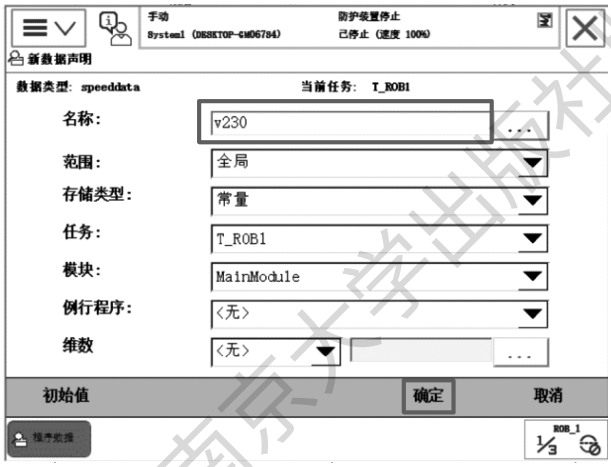
图 2－14 工业机器人速度数据选择

（2）系统中没有的 speeddata 程序数据，例如，在工艺中需要一个速度数据为 v230，这时就需要进行 speeddata 程序数据的新建，具体建立过程建立方法见表2－20。

表 2－20 速度数据的建立

图示	说明
	第一步 在 ABB 主菜单下，单击“程序数据”

续　表

图示	说明
	第二步　单击“全部数据类型”，从中选择“speeddata”
	第三步　单击“新建”，将速度数据命名为“v230”，其余参数采用默认的类型，单击“确定”
	第四步　单击“编辑”，选择“更改值”，将“v-tcp：=”的值改为 230，单击“确定”

续 表

图示	说明
	第五步 刷新即可在程序中进行调用,双击语句中的速度数据,选择刚才建立的“v230”

2. zonedata 区域数据的建立

zonedata 区域数据:用于规定如何结束一个位置,即在向下一个位置移动之前,轴必须如何接近编程位置,单位为 mm。工业机器人最终停留在位置 1 还是位置 2,由 zonedata 区域数据决定,见图 2－15。

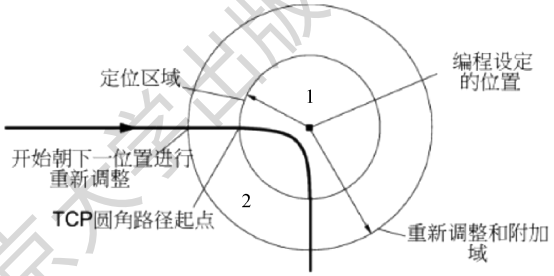


图 2－15 zonedata 数据应用

(1) 常用的 zonedata 区域数据系统已经建立,可以直接调用,见图 2－16。

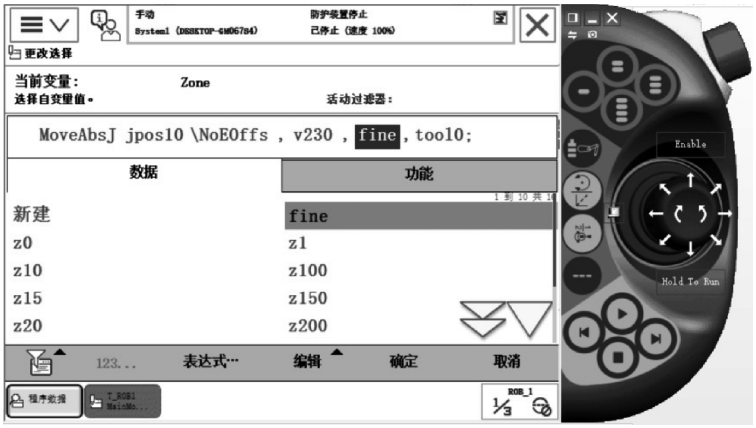
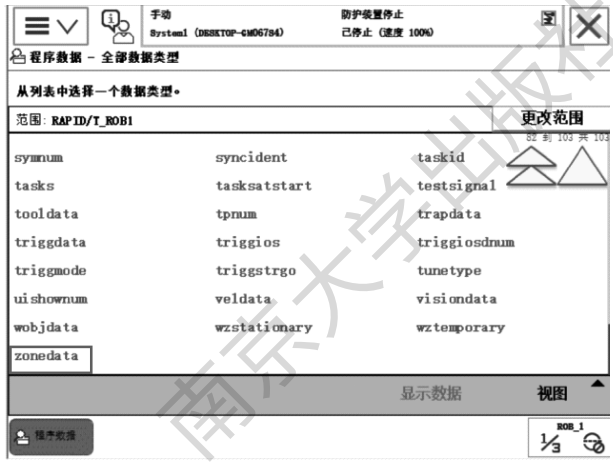
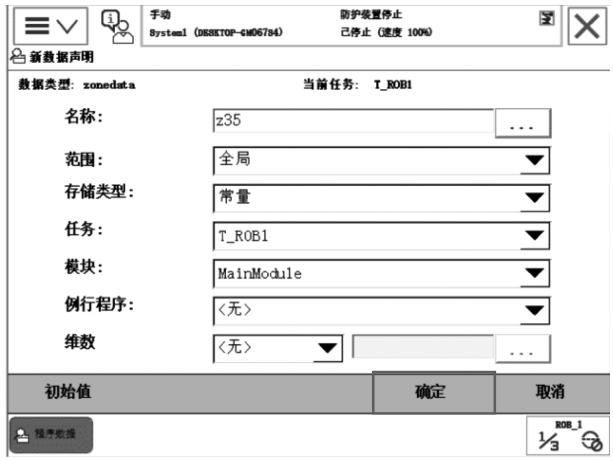


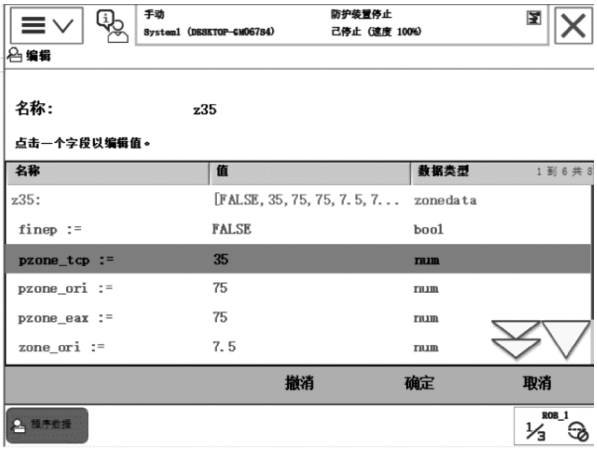
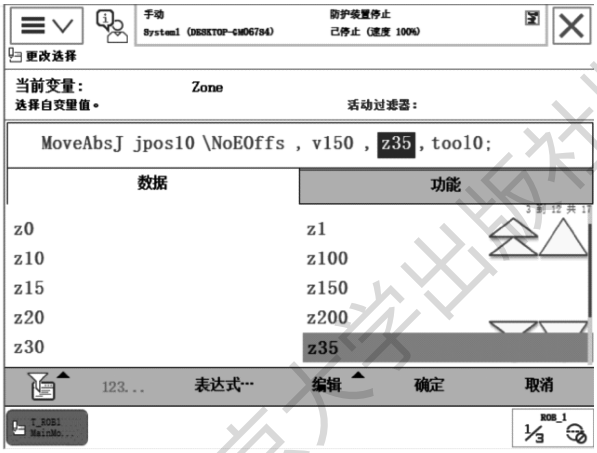
图 2－16 zonedata 数据选择

（2）系统中没有的 zonedata 程序数据，例如，需要一个转弯半径的数据为 Z35，这时就需要进行 zonedata 程序数据的新建，具体建立过程见表 2－21。

表 2－21　zonedata 数据的建立

图示	说明
	第一步　在 ABB 主菜单下，单击“程序数据”
	第二步　单击“全部数据类型”从中选择“zonedata”
	第三步　单击“新建”，将速度数据命名为“z35”，其余参数采用默认的类型，单击“确定”

续 表

图示	说明
	第四步　单击“编辑”，选择“更改值”，将“pzone-tcp:=”的值改为 35，单击“确定”
	第五步　刷新即可在程序中进行调用，双击语句中的 zonedata 程序数据，选择刚才建立的“Z35”

3. bool 逻辑值的建立

例 1：flagl:= TRUE；向标志分配值 TRUE

例 2：VAR bool highvalue；

VAR num regl；

…

highvalue:= regl>100；

如果 reg1 大于 100，则向 highvalue 分配值 TRUE；否则，分配 FALSE。

例 3：IF highvalue Set dol；

如果 highvalue 为 TRUE，则设置 do1 信号。

4. num 数值的建立

数值用 num 表示，多用于如计数器的场合。

num 数据类型的值可以为整数，例如－5；小数，例如 3.45；指数，例如 2E3（$=2\times10^3=2000$）等。

例 4：VAR num regl；

regl：=3；

将 regl 指定为值 3。

例 5：

a：=10 DIV 3；DIV 表示取整

b：=10 MOD 3；MOD 表示取余

整数除法，向 a 分配一个整数（=3），并向 b 分配余数（=1）。

任务 2.5　工业机器人重要程序数据的建立

任务导入：在工业机器人的编程与应用中，有一个至关重要的环节，那就是构建完善的编程环境。这就好比在建造一座高楼大厦之前，必须先打好坚实的基础。而在这个基础中，有三个关键的程序数据是不可或缺的，它们分别是工具数据（tooldata）、工件坐标（wobjdata）和负载数据（loaddata）。这些数据就像是机器人的“装备手册”、“工作地图”和“力量指南”，为机器人的精准操作提供了必要的参数支持。

想象一下，在汽车制造工厂中，工业机器人需要进行高精度的焊接作业。为了确保焊接质量，机器人必须准确知道焊接工具的形状、尺寸和重量，这就需要我们提前定义好工具数据（tooldata）。同时，机器人还需要清楚工件的位置和方向，以便能够精确地到达焊接点，这就需要设置工件坐标（wobjdata）。此外，当机器人搬运重物时，了解负载的重量和分布情况对于确保机器人的运动安全和稳定性至关重要，这就需要我们配置负载数据（loaddata）。

通过本任务的学习，我们将掌握如何建立这三个关键程序数据，为后续的编程工作做好充分准备。这不仅能够提高机器人的工作效率，还能确保其在复杂任务中的稳定性和安全性。让我们一起动手，为工业机器人的高效运行打下坚实的基础，让机器人在生产线上发挥出最大的价值。

知识链接

在进行正式的编程之前，必须构建必要的编程环境，其中有三个必需的关键程序数据（工具数据 tooldata、工件坐标 wobjdata、负载数据 loaddata）要在编程前进行定义。

2.5.1　工具数据建立

工具坐标

1. 工具数据 tooldata 的定义

工具数据 tooldata 用于描述安装在工业机器人第六轴上工具 TCP、质量、重心等参数数据。默认 TCP 位于工业机器人法兰盘中心，工业机器人原始的 TCP 点即 tool0 点见图 2－17。

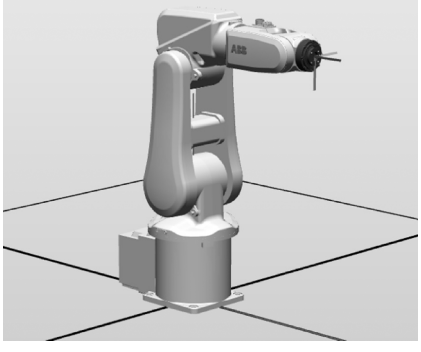


图 2－17　工业机器人原始的 TCP 点

一般不同的工业机器人应配置不同的工具，例如，弧焊机器人使用弧焊枪作为工具，而用于搬运板材的工业机器人就会使用吸盘式的夹具作为工具，焊接系统见图 2－18，码垛系统见图 2－19。

图 2－18　焊接系统

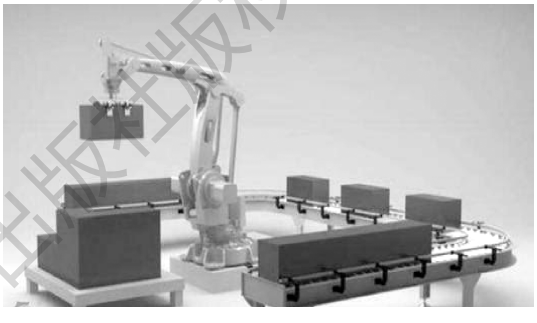


图 2－19　码垛系统

2. 工具数据 tooldata 的建立方法

工业机器人 TCP 数据的设定原理：

(1) 在工业机器人工作范围内找一个非常精确的固定点作为参考点。

(2) 在工业机器人已安装的工具上确定一个参考点(最好是工具的中心点)。

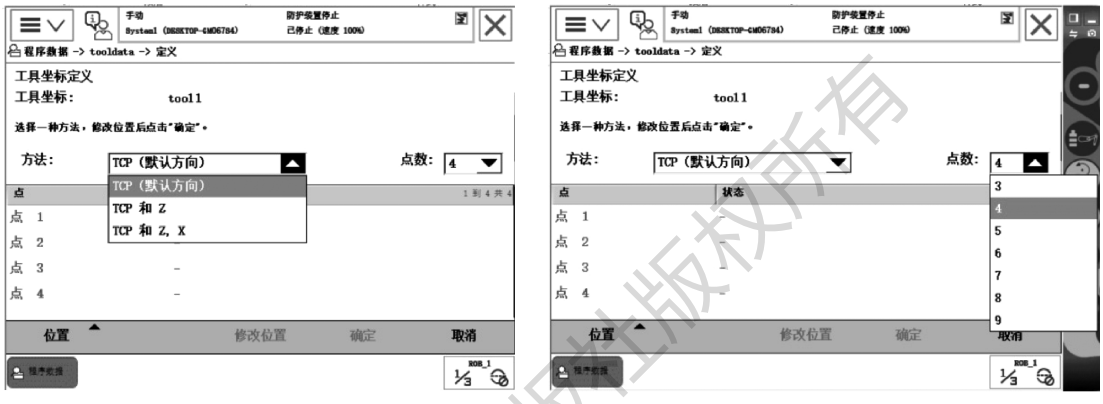
(3) 用之前介绍的手动操纵工业机器人的方法，去移动工具上的参考点，以四种以上不同的工业机器人姿态尽可能与固定点无限接近，但不能碰上。为了获得更准确的 TCP，在以下例子中使用六点法进行操作，第四点使工具的参考点垂直于固定点，第五点使工具参考点从固定点向将要设定为 TCP 的 X 方向移动，第六点使工具参考点从固定点向将要设定为 TCP 的 Z 方向移动。

(4) 工业机器人通过这四个位置点的位置数据计算求得 TCP 的数据，然后将 TCP 的数执据保存在 tooldata 程序数据中，供程序调用。

执行程序时，工业机器人将 TCP 移至编程位置。如果要更改工具以及工具坐标系，工业机器人的移动将随之更改，以便新的 TCP 到达目标。所有工业机器人在手腕处都有一个预定义工具坐标系，该坐标系被称为 tool0。这样就能将一个或多个新工具坐标系定义为 tool0 的偏移值。

工业机器人的 tooldata 可以通过三种方式建立，分别是四点法、五点法、六点法，如图 2－20(a)所示。

四点法，不改变 tool0 的坐标方向，使用“TCP(默认方向)”方法计算得到的工具数据不改变默认工具坐标系方向，仅计算工具的 Z 方向偏移数值，即工具长度。因此，该方法仅适用于工具末端点在 Z 方向延伸的情况。图 2－20(b)中的“点数”，是指标定工具坐标系需测定工具末端点示教的不同位姿数，可在 3 到 9 之间选择，默认为 4 点。理论上点数越多，利用不同的位姿数据计算得到的工具坐标系数据越精确，但在实际操作时，由于示教精度的影响，也并不是选择点数越多计算越精确。



(a) tool1 工具数据标定方法选择　　(b) tool1 工工具数据标定点数选择

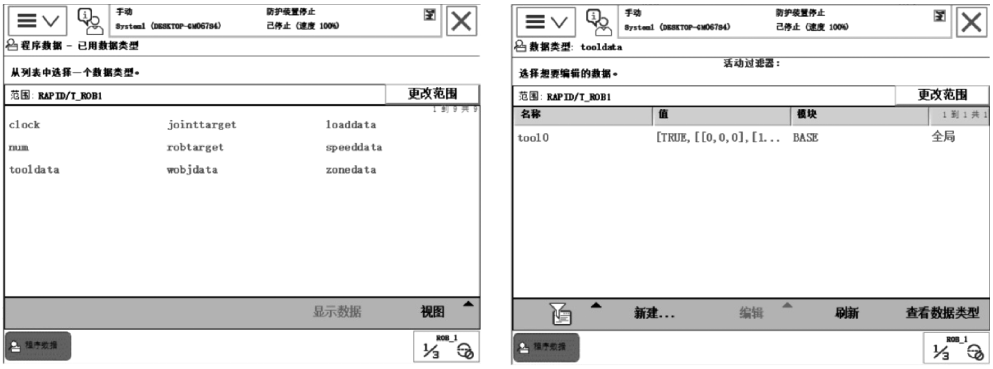
图 2－20　tool1 工具数据标定界面

五点法，改变 tool0 的 Z 方向，“TCP 和 Z”方法是增加了 Z 点的定义，以工具末端点与 Z 点的连线为工具坐标系的 Z 轴，对应 Z 方向改变的工具。“TCP 和 Z”方法可兼容“TCP(默认方向)”方法，即 Z 方向不变的工具，也可用此方法定义工具数据。

六点法，改变 tool0 的 x 和 Z 方向(在焊接应用中最为常见)。“TCP 和 Z,X”方法则增加了 Z 点和 X 点的定义，以工具末端点与 Z 点的连线为工具坐标系的 Z 轴，以工具末端点与 X 点的连线为工具坐标系的 X 轴，对应 Z、X 方向改变的工具。“TCP 和 Z,X”方法可兼容其他方法。在获取前三个点的姿态位置时，其姿态位置相差越大，最终获取的 TCP 精度越高。

2.5.2　工具数据

工具数据(tooldata)是工业机器人系统用于描述工具的 TCP、重量、重心等参数的数据，也用于描述新工具坐标系相对于默认工具坐标系的位姿变换。图 2－21 所示为选择数据类型界面，图 2－22 为 tooldata(以 tool1 为例)中包含的参数。工具数据中包含多个参数，其数据结构如下：



(a) 程序数据界面　　(b) 工具数据界面

图 2－21　工具数据

(a) tool1 工具数据参数界面1　　(b) tool1 工具数据参数界面2

(c) tool1 工具数据参数界面3　　(d) tool1 工具数据参数界面4

图 2－22　tooldata 中包含的参数

1. robhold

该参数为单一数据类型，其数据类型为 bool，用于描述工具是否由工业机器人夹持，即工具是否安装在工业机器人末端。

2. tframe

tool frame 的缩写，用于描述实际工具坐标系与默认工具坐标系的位姿变换关系，由 trans(位置)和 rot(姿态)两组参数构成。

3. trans

该组包含 x、y、z，共 3 个参数，分别用于描述实际工具末端点与默认工具末端点 x、y、z 方向的位置。

4. rot

该组包含 q1、q2、q3、q4，共 4 个参数，用 4 元数的形式表达实际工具坐标系与默认工具坐标系间的姿态变换。

5. tload

tool load 的缩写，用于描述实际工具的重心位姿、惯性矩等参数。

6. mass

工具负载的质量，单位为 kg。

7. cog

该组包含 x、y、z，共 3 个参数，分别用于描述工具负载的重心位置与默认工具末端点 x、y、z 方向的位置。

8. aom

该组包含 q1、q2、q3、q4 共 4 个参数，这 4 个参数的平方和为 1，用 4 元数的形式表达工具坐标系在基坐标系中的姿态变换。

9. ix、iy、iz

围绕力矩惯性轴的惯性矩，单位为 kg·m^2。

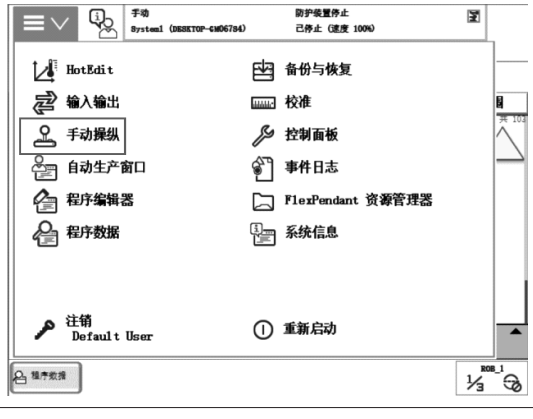
2.5.3 创建工具数据

2.5.3－1 创建工具数据视频

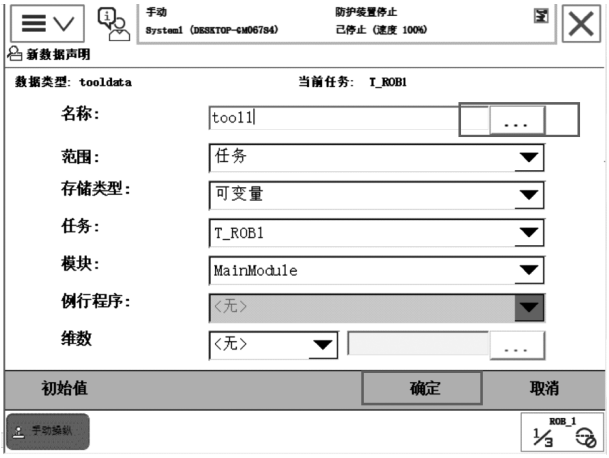
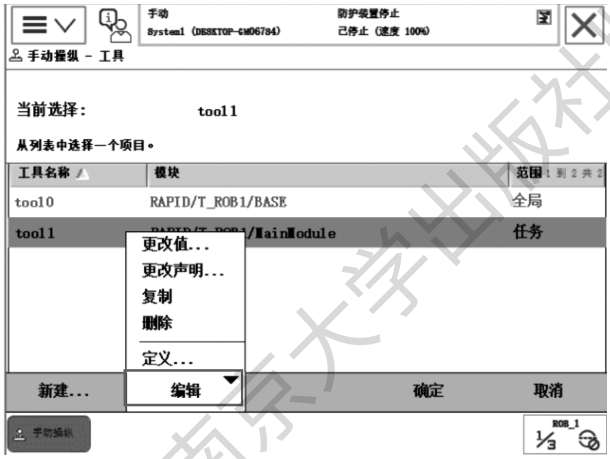
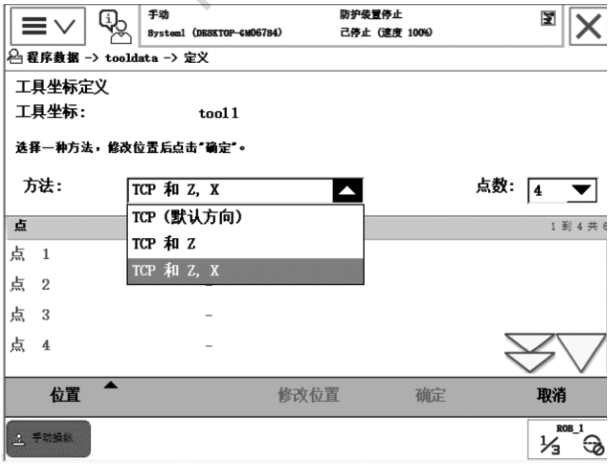
1. 工具数据 tooldata 的建立。

下面以六点法为例，介绍工具数据 tooldata 建立的步骤（工业机器人工作模式必须在手动模式下），见表 2－22。

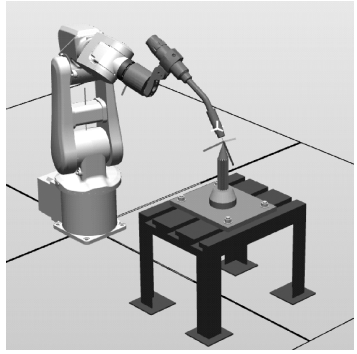
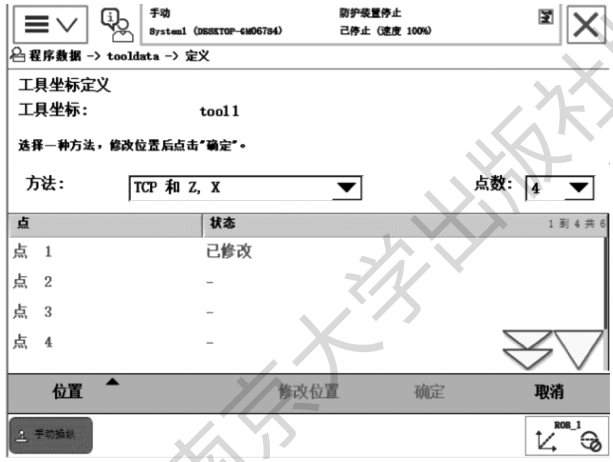
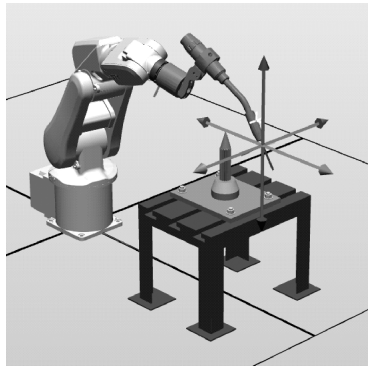
表 2－22　工具数据 tooldata 建立的步骤

图示	说明
	第一步　在 ABB 主菜单中，选择“手动操纵”

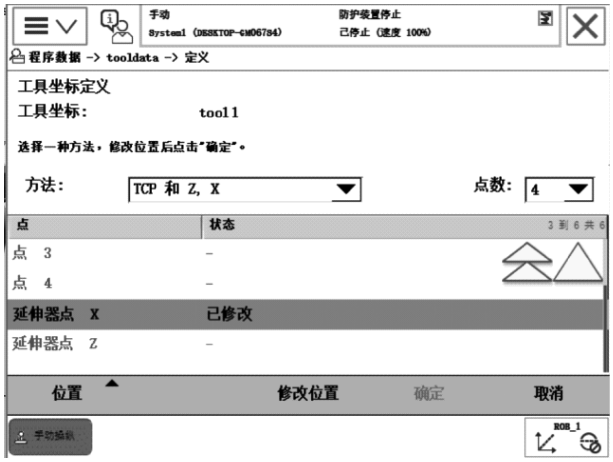
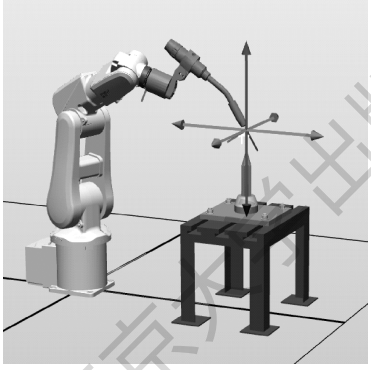
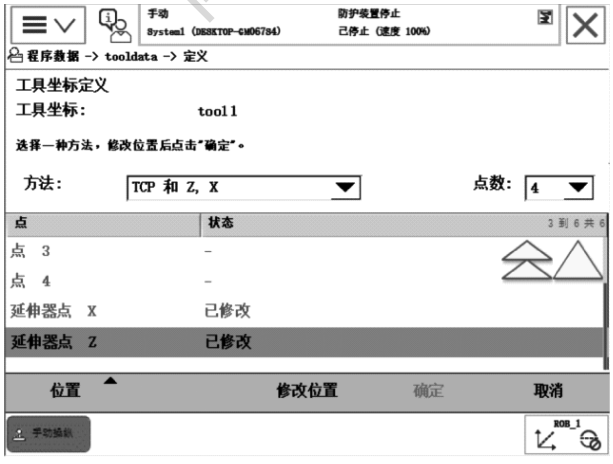
续 表

图示	说明
	第二步　在手动操纵界面内，选择“工具坐标”，单击“新建”，在弹出界面名称栏中单击“…”，对工具进行重新命名，其余采用默认的参数和类型，单击“确定”
	第三步　单击“编辑”，在弹出菜单中选择“定义”
	第四步　选择“TCP 和 Z，X”，采用六点法进行工具数据定义

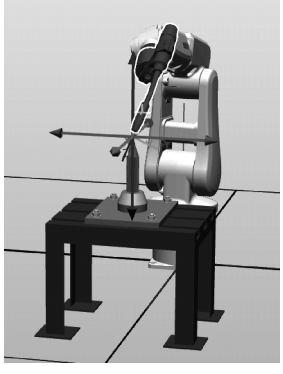
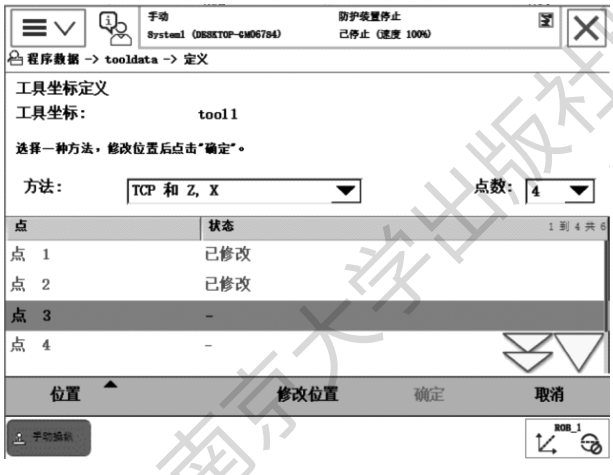
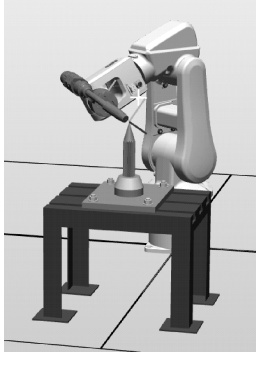
续　表

图示	说明
	第五步　选择合适的手动操纵模式。用操纵杆使工业机器人工具参考点靠近固定点，作为第一个点
	第六步　选择“点 1”，单击“修改位置”，将点 1 位置记录为当前点位置
	第七步　选择“线性运动”操纵模式。用操纵杆使工业机器人工具参考点向 X 正方向移动一段距离，作为延伸器点 X

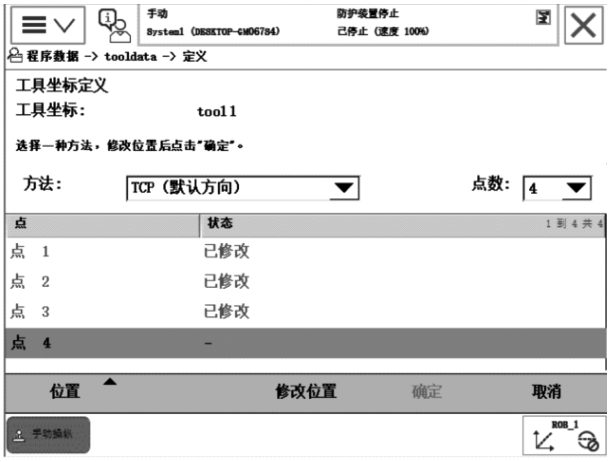
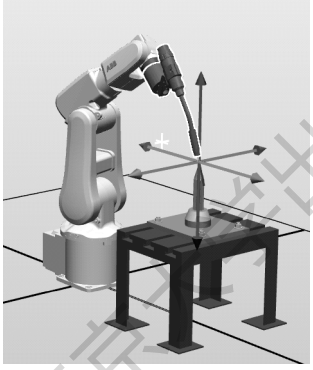
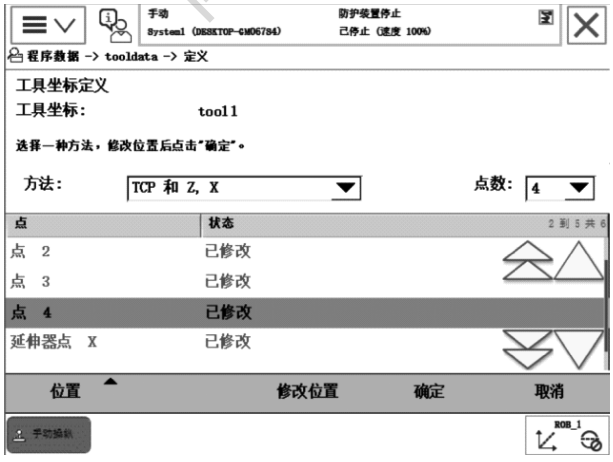
续 表

图示	说明
	第八步　选择“延伸器点 X”，单击“修改位置”，将该点进行记录
	第九步　将工具线性移回到第一点位置，选择“线性运动”操纵模式。用操纵杆使工业机器人工具参考点向 Z 正方向移动一段距离，作为延伸器点 Z
	第十步　选择“延伸器点 Z”，单击“修改位置”，将该点进行记录

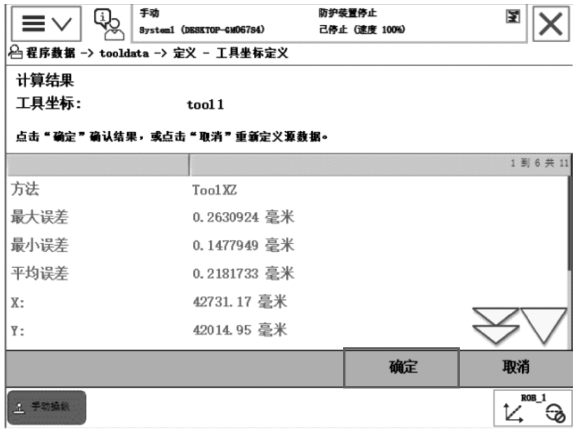
续　表

图示	说明
	第十一步　将工具线性移回到第一点位置，选择“关节运动”模式，将第四轴和第六轴转动适当的角度。用操纵杆使工业机器人工具参考点以线性方式运动到尖端点，作为第二个点
	第十二步　选择“点 2”，单击“修改位置”，将点 2 位置记录为当前点位置
	第十三步　将工具线性移回到第一点位置，选择“关节运动”模式，将第四轴和第六轴转动适当的角度。用操纵杆使工业机器人工具参考点以线性方式运动到尖端点，作为第三个点

续 表

图示	说明
	第十四步　选择"点 3"，单击"修改位置"，将点 3 位置记录为当前点位置
	第十五步　将工具线性移回到第一点位置，选择"关节运动"模式，将第五轴和第六轴转动适当的角度。用操纵杆使工业机器人工具参考点以线性方式运动到尖端点，作为第四个点
	第十六步　选择"点 4"，单击"修改位置"，将点 4 位置记录为当前点位置。单击"确定"，六点法建立焊枪工具数据 tooldata 完成

续　表

图示	说明
	第十七步　单击"确定"，系统自动计算工具建立的误差，一般要求平均误差小于 2 mm

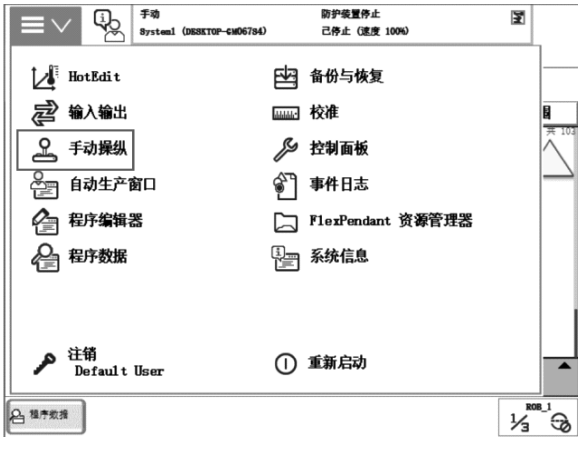
2. 吸盘(夹爪)tooldata 的建立

工业机器人除了用作焊接之外，还广泛地用于搬运和码垛领域。当工业机器人用于搬运时，一般选用的工具有真空吸盘、夹爪等。

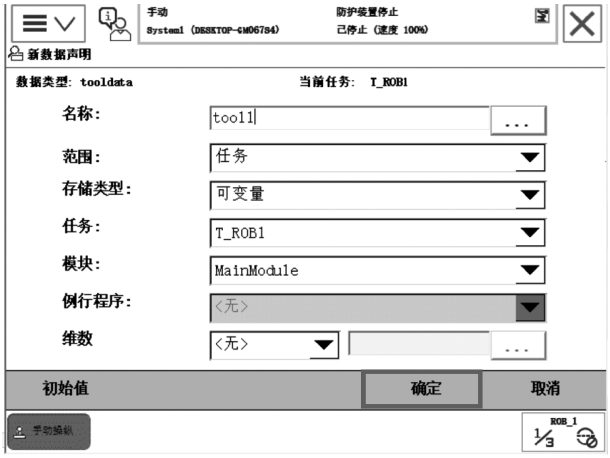
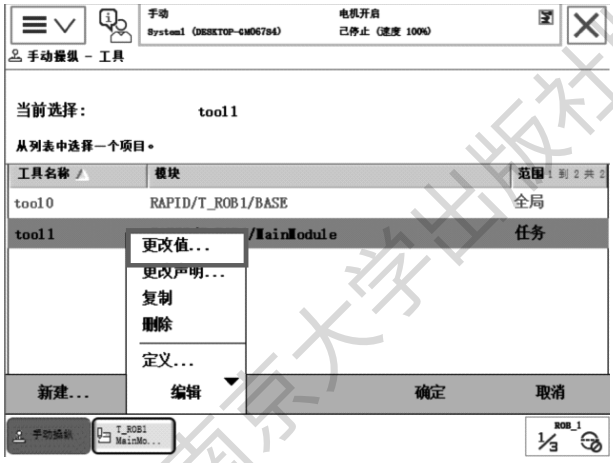
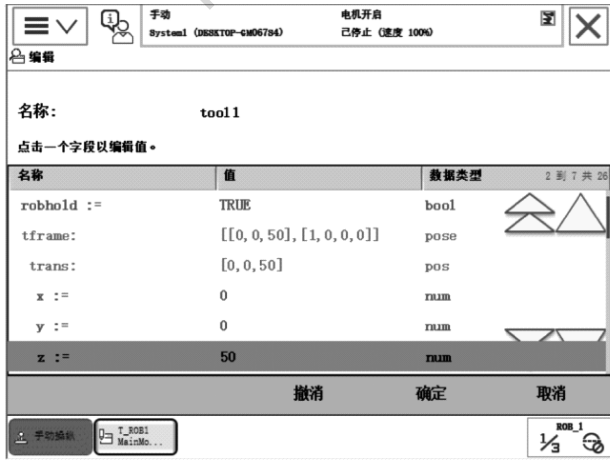
这些工具一般会直接安装在工业机器人法兰盘上。真空吸盘和夹爪的工具数据 tooldata 建立只需要设定三个参数：mass(工具质量)、trans(重心位置数据)、cog(TCP 位置数据)，这些值在工具设计时可以通过软件或数学计算求得。以真空吸盘为例，在设置前已知道吸盘相关的一些数据，如工具质量 20 kg、重心位于 tool0 点＋Z 方向 30 mm，TCP 位于 tool0 点＋Z 方向 50 mm，只要找到相应参数的位置，填入相应的值就可以完成吸盘工具数据的建立，建立过程见表 2－23。

2.5.3－2 tooldata 的设置视频

表 2－23　吸盘 tooldata 建立步骤

图示	说明
	第一步　在 ABB 主菜单中选择"手动操纵"

续 表

图示	说明
	第二步　在手动操纵界面内，选择“工具坐标”单击“新建”，在弹出界面的名称栏中可以对工具进行重新命名，其余采用默认的参数和类型，单击“确定”
	第三步　单击“更改值”
	第四步　单击“trans”中的参数 z:=，将其值改为“50”

续　表

图示	说明
	第五步　单击“mass”，将其参数值改为“2”
	第六步　单击“cog”，将其中的参数 z:＝的值改为“30”

3. 工具数据 tooldata 的精度控制

工具数据建立的精度直接影响焊接过程中的焊枪的工作路径，在确定数据时，精度的检验可通过以下两种方式进行：

(1) 工具数据在建立的过程中，通过六点法自动计算 TCP 的位置，可通过查看平均偏差的大小来判断工具数据建立的精度，平均偏差越小，说明工具数据精度越高。

(2) 将工具放置在物体的尖端点上，通过采用工业机器人重定位方式，观察工业机器人在位置变化时 TCP 相对于尖点的位移。

为了提高工具数据建立的精度，我们可以采用以下两种方法。

① 工业机器人在采用六点法靠近尖端点时，各个轴变化的姿态相差越大，最终获取的 TCP 精度越高。

② 利用六点法靠近尖端点时，每次位置点偏差越小，精度越高，所以在靠近尖端点时，

尽可能采用增量运动方式靠近，但不能碰到尖端点。

2.5.4 工件数据建立

1. 工件数据的定义

工件数据也称工件坐标，用 wobjdata 表示，用来定义工件相对于大地坐标系或其他坐标系的位置。工业机器人可以拥有若干工件坐标系，或者表示不同工件，或者表示同一工件在不同位置的若干副本。工业机器人进行编程就是在工件坐标系中创建目标和路径，见图 2－23。

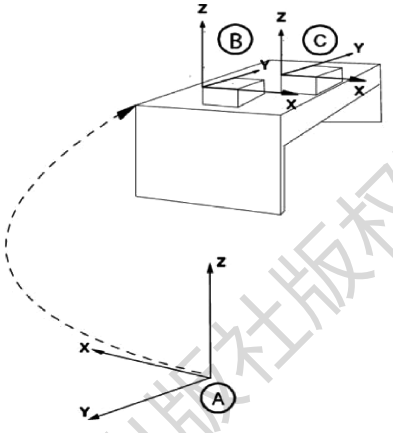


图 2－23 工件数据的位置

利用工件坐标系进行编程，重新定位工作站中的工件时，只需要更改工件坐标，所有路径将即刻随之更新；允许操作以外轴或传送导轨移动的工件，因为整个工件可连同其路径一起移动，见图 2－24。即在图 2－24(a)工件坐标 B 中对 A 对象进行了轨迹编程，当工件坐标变化成图 2－24(b)中工件坐标 D 后，只需在工业机器人系统中重新定义工件坐标 D，则工业机器人的轨迹就自动更新到 C 了，不需要再次轨迹编程。

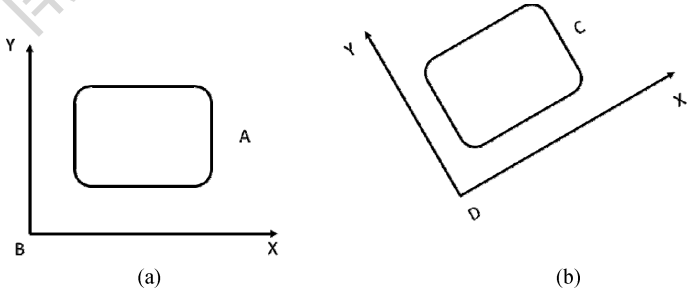


图 2－24 工件数据的应用

同理，对于示教板上面的图形如图 2－25，如果定义了工件数据 wobj1，在 wobj1 下，编制好图形的路径，当将工件移动一定位置或旋转一定角度时，我们只需重新定义 wobj1，不需要改变程序中示教板零件图形的指令，就可以完成图形的轨迹编程。

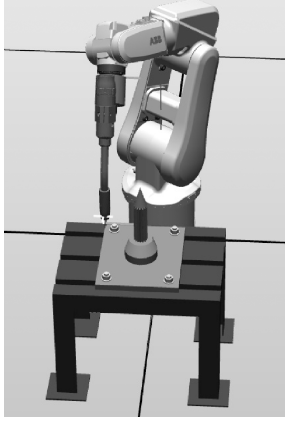


图 2－25　工件数据在示教板的应用

2. 工件数据的建立

在工件的平面上，只需要定义三个点 X1、X2、Y1，就可以建立一个工件坐标系，见图 2－26。其中，X1 确定原点位置，X1、X2 确定 X 轴，Y1 确定 Y 轴，通常我们采用右手笛卡儿坐标系进行 Z 轴的确定。即伸出右手，用拇指方向表示 X 轴，用食指方向表示 Y 轴，用中指方向表示 Z 轴；它们之间两两垂直，见图 2－27。

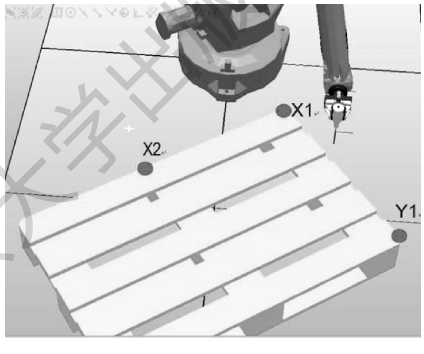


图 2－26　工件坐标系建立

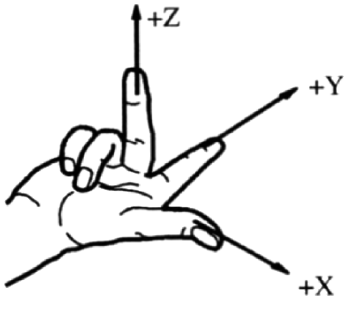
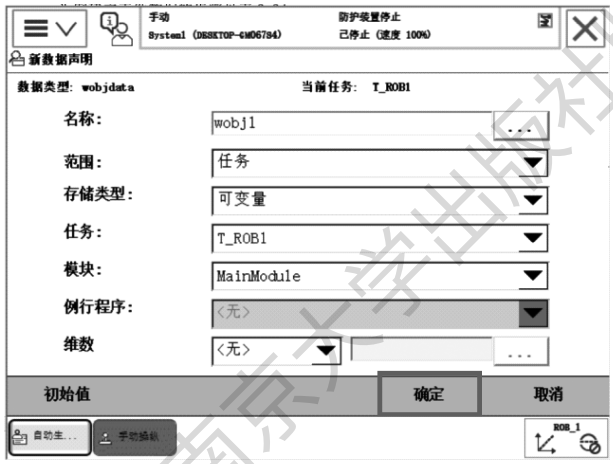
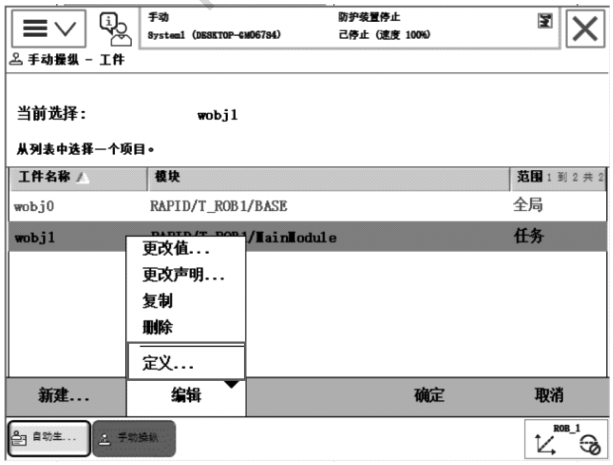


图 2－27　右手笛卡尔坐标系

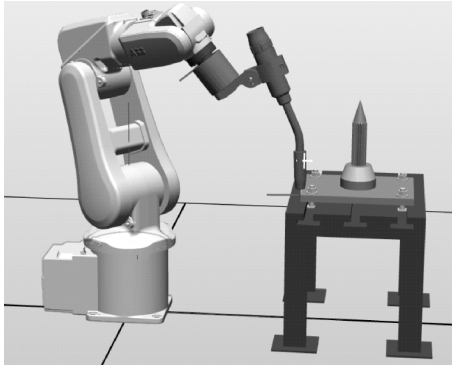
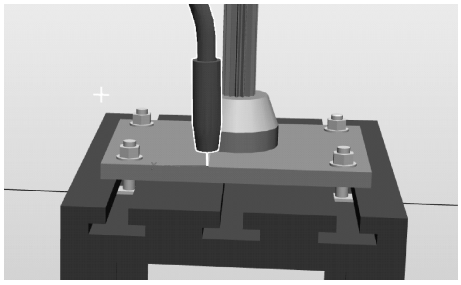
2.5.4　工件数据的建立视频

要注意三个点的拾取顺序和位置，否则工件坐标系建立会有误。以图 2－25 为例建立工件数据的步骤见表 2－24。

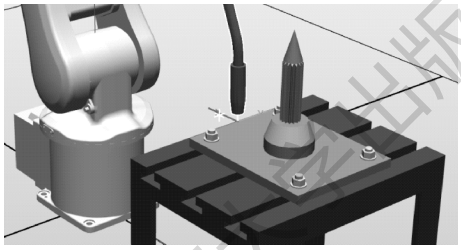
表 2－24　工件数据的建立步骤

图示	说明
	第一步　在手动操纵界面中，将“动作模式”选为“线性”模式，选择“坐标系”为基坐标系，选择新建的“工具坐标系”tool1
	第二步　单击“工件坐标系”，然后单击“新建”。在弹出界面的名称栏里输入工件坐标系名称，单击“…”，可对工件坐标系进行重新命名，其余选项和内容按照默认的格式，单击“确定”
	第三步　单击“编辑”，选择“定义”，在“用户方法”栏中选择“3 点”

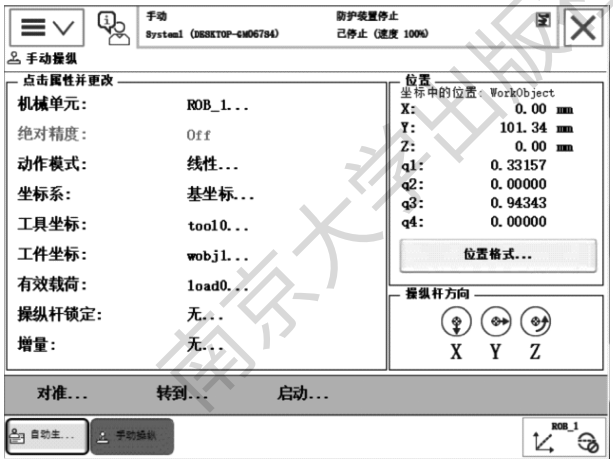
续　表

图示	说明
	第四步　将工业机器人焊枪工具以线性运动的方式，移动到工作台边缘位置
	第五步　在左图对话框中，选择“用户点 X1”，单击“修改位置”
	第六步　将工业机器人焊枪工具以线性运动的方式，移动到工作台边缘位置

续 表

图示	说明
	第七步　在左图对话框中，选择“用户点 X2”，单击“修改位置”
	第八步　将工业机器人焊枪工具以线性运动的方式，移动到工作台边缘位置
	第九步　在左图对话框中，选择“用户点 Y1”，单击“修改位置”

续　表

图示	说明
	第十步　单击"确定"，系统自动生成数据，工件坐标系 wobj1 建立完成
	第十一步　在"手动操纵"的"工件坐标"下就可以选择"wobj1"进行轨迹编程了

2.5.5　负载数据建立

1. 负载数据的定义

负载数据 loaddata，用于描述机械臂安装法兰的负载，即机械臂夹具所施加的载荷。对于搬运工作的工业机器人，见图 2－28，必须正确设定夹具的质量、重心数据 tooldata 以及搬运对象的质量和重心数据 loaddata，其重心数据 tooldata 是基于工业机器人法兰盘中心 tool0 来设定的。

图 2－28　工业机器人搬运码垛系统

2. 负载数据的建立方法

建立 loaddata 需要建立四个参数，即：mass，有效载荷的质量，单位为 kg；cog，有效载荷重心，单位为 mm，如果使用固定工具，则用机械臂所移动工件的坐标系来表示夹具所夹持有效载荷的重心；aom，力矩轴的姿态，始于 cog 的有效载荷惯性矩的主轴方向；ix、iy、iz：有效载荷的转动惯量，单位为 kg·m^2。这些值可以通过计算求得，也可以通过工业机器人自测得到，具体 loaddata 建立参数见表 2－25。

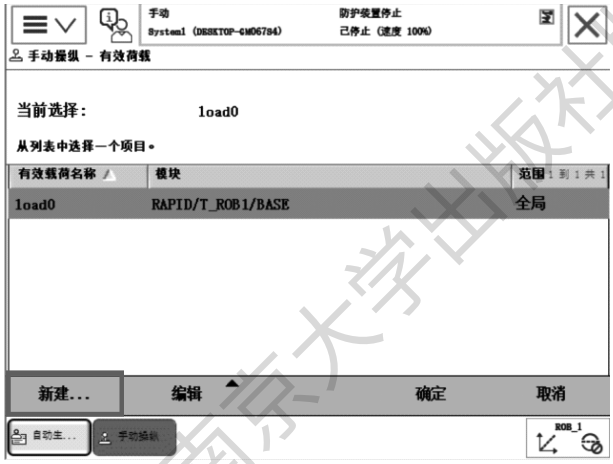
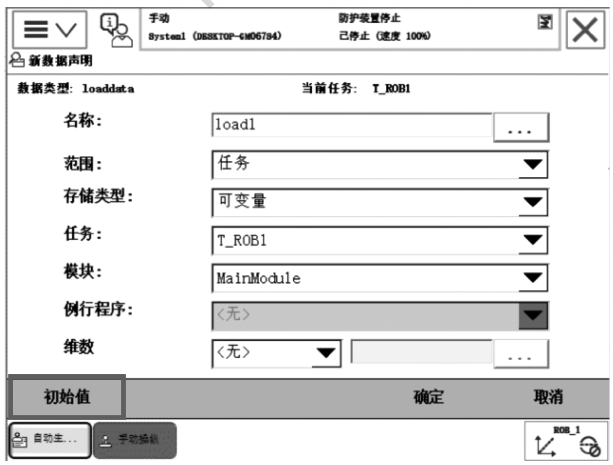
表 2－25　loaddata 有效载荷参数表

名称	参数	单位
有效载荷质量	load.mass	kg
有效载荷重心	load.cog.x load.cog.y load.cog.z	mm
力矩轴方向	load.aom.q1 load.aom.q2 load.aom.q3 load.aom.q4	
有效载荷的转动惯量	ix iy iz	kg·m^2

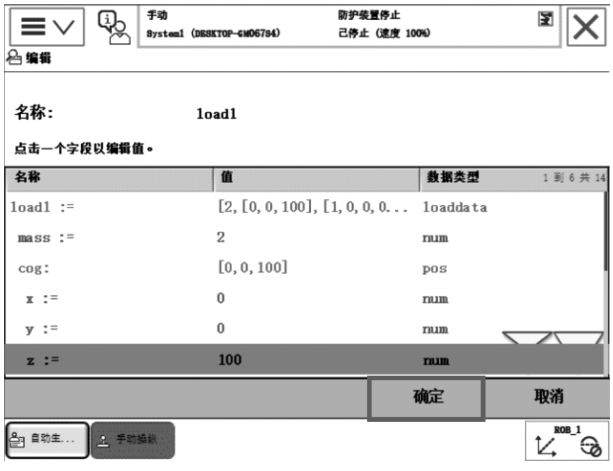
loaddata 参数如果是通过计算得到的，则只需要将相关的参数填入相应的位置即可，具体建立过程见表 2－26。

2.5.5　loaddata 参数建立视频

表 2－26　loaddata 参数建立

图示	说明
	第一步　在“手动操纵”界面，选择“有效载荷”
	第二步　单击左下角“新建…”按钮
	第三步　单击“初始值”对有效载荷数据属性进行设定

续 表

图示	说明
	第四步 对有效载荷的数据根据实际情况进行设定，单击“确定”按钮

也可以通过工具自动识别程序，对 tooldata 和 loaddata 进行识别。LoadIdentify 是 ABB 工业机器人开发的，可用于自动识别安装在六轴法兰盘上的工具（tooldata）和载荷（loaddata）的重量，以及重心（设置 tooldata 和 loaddata 是自己测量工具的质量和重心，然后填写参数进行设置，但是这样会有一定的不准确性）。

在手持工具的应用中，应使用 LoadIdentify 识别工具的质量和重心；在手持夹具的应用中，应使用 LoadIdentify 识别夹具和搬运对象的质量和重心。

注意：负载数据定义不正确可能会导致机械臂机械结构过载，常常会引起以下后果，建议在使用时要慎重。

（1）机械臂将不会运动，提出报警。

（2）路径准确性受损，包括过渡风险。

（3）机械结构过载风险。

任务 2.6 工业机器人常用指令介绍

任务导入：在工业机器人的编程与应用中，指令是指挥机器人完成各种任务的基本单元。就像人类通过语言交流一样，机器人通过指令来理解并执行我们的命令。ABB 工业机器人的 RAPID 编程语言提供了丰富的指令集，这些指令涵盖了从简单的运动控制到复杂的逻辑判断和数据处理。今天，我们将深入学习这些常用指令，为编写高效、灵活的机器人程序打下坚实基础。

通过本任务的学习，将系统地了解 ABB 工业机器人的常用指令，包括它们的语法、功能和应用场景。我们将通过实际编程示例，展示如何使用这些指令编写出能够完成具体任务的程序。

知识链接

2.6.1 逻辑循环指令

1. Compact IF 指令的结构及使用

Compact IF 指令含义：如果满足条件，那么执行后面的指令。

Compact IF 指令的使用：仅在满足给定条件的情况下执行单个指令时，使用 Compact IF。

例 1：Compact IF reg1>5

GOTO next；

如果 regl 大于 5，在 next 标签处继续执行程序。

例 2：Compact IF reg2>10

Set dol；

如果 reg2>10，则设置 do1 信号。

Compact IF 和 IF 指令的区别：前者用于一个条件满足后就执行一句指令；而后者则根据不同的条件来执行不同的指令，且条件判定的数量可以根据实际情况增加或减少。

2. IF 指令的结构及使用

IF 指令含义：如果满足条件，那么……；否则……

IF 指令的使用：根据是否满足条件，执行不同的指令时，使用 IF 指令，也就是根据不同的条件去执行不同的指令。

例 3：IF nCount = 1 THEN

bPalletFull := TRUE；

ELSEIF nCount = 2 THEN

bPalletFull := FALSE；

ELSE

Set dol；

ENDIF

3. FOR 指令的结构及使用

FOR 指令的含义：重复执行判断指令。

FOR 指令的使用：用于一个或多个指令需要重复执行数次的情况。

例 4：FOR i FROM 1 TO 6 DO

ncount = ncount + 1；

将 ncount 连续加 1，重复执行 6 次。

例 5：FOR i FROM 1 TO 6 DO

rPick；

例行程序 rPick，无返回值重复执行 6 次。

4. WHILE 指令的结构及使用

WHILE 指令的含义：只要……便重复运行程序。

WHILE 指令的使用：只要给定条件表达式评估为 TRUE 值便运行程序，当重复执行一些指令时使用 WHILE。WHILE 和 FOR 的区别是 FOR 可以知道重复次数。

例 6：WHILE regl < reg2 DO

……

regl:= regl + 1;

ENDWHILE

如果 regl=1，reg2=10，只要 regl<reg2，则重复 WHILE 块中的 reg1:=reg1+1 指令。注意语句：WHILE Condition DO...ENDWHILE 中 Condition 数据类型要为 bool。

2.6.2 赋值指令

赋值指令“:=”的含义：分配一个数值。

赋值指令“:=”的使用：用于向数据分配新值，该值可以是一个恒定值，亦可以是一个算术表达式，例如，reg1+5 * reg3。

例 1：regl:= 5;

将 reg1 指定为值 5。

例 2：regl:= reg2 - reg3;

将 reg1 的值指定为 reg2－reg3 的计算结果。

例 3：counter:= counter + 1;

将 counter 增加 1。

2.6.3 I/O 控制指令

1. Set 指令

Set 指令的含义：设置数字输出信号。

Set 指令的使用：用于将数字输出信号的值设置为 1。

例 1：Set do15;

将信号 do15 设置为 1。

例 2：Set weldon;

将信号 weldon 设置为 1。

注意：必须建立 do15、weldon 信号，否则无法进行置位。

2. Reset 指令

Reset 指令的含义：重置数字输出信号。

Reset 指令的使用：用于将数字输出信号的值重置为零。

例 3：Reset do15;

将信号 do15 设置为 0。

例 4：Reset weld;

将信号 weld 设置为 0。

注意：如果在 Set、Reset 指令前有运动指令 MoveJ、MoveL、MoveC、MoveAbsJ 的转弯区域数据，必须使用 fine 才可以准确地输出 I/O 信号的状态。

例 5：moveL p10 v200，fine，tool1；

Reset do15；

moveL p20 v200，fine，tool1；

3. PulseDO 指令

PulseDO 指令的含义：产生关于数字输出信号的脉冲。

PulseDO 指令的作用：用于产生关于数字输出信号的脉冲。

例 6：PulseDO/PLength = 0.2 do15；

输出信号 do15 产生的脉冲长度为 0.2 s。

2.6.4 等待指令

1. WaitTime 指令

WaitTime 指令的含义：等待给定的时间。

WaitTime 指令的使用：WaitTime 用于等待给定的时间。该指令可用于等待，直至机械臂和外轴静止，单位为 s。

例 1：WaitTime 0.5；

程序执行等待 0.5 s。

例 2：WaitTime 50；

程序执行等待 50 s。

2. WaitUntil 指令

WaitUntil 指令的含义：等待直至满足条件。

WaitUntil 指令的使用：等待直至满足逻辑条件。WaitUntil 指令可用于布尔量、数字量和 I/O 信号值的判断。如果条件到达指令中的设定值，程序继续往下执行；否则就一直等待，除非设定了最大等待时间。

例 3：WaitUntil di1 = 1；

WaitUntil do1 = 0；

WaitUntil bPalletFull = TRUE；

WaitUntil nCount = 8；

仅在已设置条件满足后，继续执行程序。

3. WaitDI 指令

WaitDI 指令的含义：等待直至已设置数字输入信号。

WaitDI 指令的使用：WaitDI 即 Wait Digital Input，用于等待，直至已设置数字信号输入。

例 4：WaitDI di4，1；

仅在已设置 di4 输入为 1 后，继续执行程序。

例 5：WaitDI grip_status，0；

仅在已设置 grip_status 输入为 0 后，继续执行程序。

4. WaitDO 指令

WaitDO 指令的含义：等待直至已设置数字信号输出。

WaiDO 指令的使用：WaitDO 即 Wait Digital Output，等待数字信号输出，直至已设置数字信号输出。

例 6：WaitDO do4，1；

仅在已设置 do4 输出为 1 后，继续执行程序。

例 7：WaitDO grip_status，0；

仅在已设置 grip_status 输出为 0 后，继续执行程序。

2.6.5 例行程序调用指令

ProcCall 指令

ProcCall 指令的含义：调用新无返回值程序。

ProcCall 指令的使用：用于将程序执行转移至另一个无返回值程序。当充分执行完无返回值程序后，程序执行将继续调用后面的指令。

例 1：PROC main()

```
……
pick1;
Set do1;
……
ENDPROC
PROC pick()
TPWrite "ERROR";
ENDPROC
```

调用 pick1 无返回值程序。当该无返回值程序执行完后，程序执行返回过程调用后的指令 Set dol。

例 2：对 Set、Reset、WaitDI 及 WaitTime 等指令进行综合应用，输入程序，运行并分析结果。

```
MODULE MainModule
PROC main()
Routine1;
ENDPROC
PROC Routine1()
WaitDI di1,1;
Set do1;
WaitTime 1;
Reset do1;
ENDPROC
```

ENDMODULE

2.6.6 功能指令

1. Abs 指令

Abs 指令的含义:获得绝对值。

Abs 指令的使用:用于获取绝对值,即数字数据的正值。

例 1:reg1:= Abs(reg2);

将 reg1 指定为 reg2 的绝对值。如果 reg2 为－2,则 reg1 为 2。

2. AND 指令

AND 指令的含义:评估一个逻辑值。

AND 指令的使用:用于评估两个条件表达式(真/假)。

例 2:VAR num a;

VAR num b;

VAR bool c;

c:= a>5 AND b = 3;

如果 a 大于 5,且 b 等于 3,则 c 的返回值为 TRUE;否则,返回值为 FALSE。

3. NOT 指令

NOT 指令的含义:转化一个逻辑值。

NOT 指令的使用:用于转化一个逻辑值(真/假)的条件表达式。

例 3:VAR bool mybool;

VAR bool youbool;

youbool:= NOT mybool;

如果 mybool 为 TRUE,则 youbool 为 FALSE;如果 mybool 为 FALSE,则 youbool 为 TRUE。

4. OR 指令

OR 指令的含义:评估一个逻辑值。

OR 指令的使用:用于评估一个逻辑值(真/假)的条件表达式。

例 5:VAR num a;

VAR num b;

VAR bool c;

……

c:= a>5 OR b = 3;

如果 a 大于 5,或 b 等于 3,则 c 的返回值为 TRUE;否则,返回值为 FALSE。

5. Offs 指令

Offs 指令的含义:替换机械臂位置。

Offs 指令的使用:用于在一个机械臂位置的工件坐标系中添加一个偏移量。

例 4:MoveL Offs(p2,0,0,10),v1000,z50,tool1;

将机械臂移动至 p2 点 Z 方向 10 mm，X、Y 方向不变的新位置。

例 5：p2:= Offs(p1,5,10,15)；

MoveL p2,v1000,z50,tool1；

机械臂位置 p1 沿 X 方向移动 5 mm，沿 Y 方向移动 10 mm，且沿 Z 方向移动 15 mm。

偏移的另外一种使用情形：多数类型的程序数据均是组合型数据，包含了多项数值或字符串，可以对其中任何一项参数进行赋值。

PERS robtarget

p1:=[[374,0,630],[0.707107,0,0.707107,0],[0,0,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]]；

目标点数据包含了四组数据，从前到后依次是 TCP 位置数据(trans)、姿态(rot)数据轴配置数据(mohconf)和外部轴数据(extax)，可以分别对该数据的某项进行数值操作。

课后练习

一、填空题

1. RAPID 程序的基本结构包括程序模块和_____。

2. 在 ABB 工业机器人中，运动指令用于控制机器人的运动方式，常见的运动指令有 MoveL、MoveJ、_____和 MoveC。

3. 在 RAPID 程序中，加载程序的指令是_____，运行程序的指令是 START。

4. 程序数据在 RAPID 程序中用于存储变量和参数，常见的程序数据类型包括 PERS(持久变量)、VAR(局部变量)和_____(常量)。

5. 在工业机器人编程中，_____指令用于定义工具的坐标系，以便机器人能够正确地操作工具。

6. 工业机器人常用指令中，WaitTime 指令用于在程序中插入一个_____，以控制程序的执行节奏。

二、选择题

1. 关于 RAPID 程序结构，以下说法正确的是(　　)。

A. RAPID 程序中只能有一个主程序

B. 子程序不能被主程序调用

C. 中断程序可以被主程序调用

D. RAPID 程序中可以有多个主程序

2. 程序加载到 ABB 工业机器人控制器中，以下哪种方式是不正确的(　　)。

A. 通过示教器手动加载

B. 利用网络传输加载

C. 直接通过 USB 接口插入程序文件

D. 使用外部存储设备加载

3. 工业机器人运动指令中，用于关节运动的指令是(　　)。

A. MoveJ　　B. MoveL

C. MoveC　　D. MoveAbsJ

4. 程序数据的应用中，以下哪种数据类型用于定义工具的属性(　　)。

A. tooldata　　B. wobjdata

C. loaddata　　D. num

5. 在简单图形轨迹编程中，绘制一个矩形轨迹，最少需要使用(　　)个运动指令。

A. 2　　B. 3

C. 4　　D. 5

三、判断题

1. RAPID 程序的主程序可以调用子程序，但子程序不能调用其他子程序。(　　)

2. 程序加载完成后，必须通过示教器手动启动程序才能运行。(　　)

3. 工业机器人运动指令中，线性运动指令 MoveL 可以保证机器人从起点到终点的运动轨迹是直线。(　　)

4. 程序数据中的工件坐标数据 wobjdata 用于定义机器人工作时的工件位置。(　　)

5. 在简单图形轨迹编程中，圆弧运动指令 MoveC 可以用于绘制完整的圆形轨迹。(　　)

四、问答题

1. 请简述 RAPID 程序的基本结构组成，并说明各部分的作用。

2. 写出变量和可变量在使用上的区别。

3. 工业机器人运动指令中，关节运动(MoveJ)、线性运动(MoveL)、圆弧运动(MoveC)和绝对位置运动(MoveAbsJ)各适用于什么场景？请分别举例说明。

4. 程序数据的应用中，工具数据(tooldata)和工件数据(wobjdata)的作用是什么？请分别说明。

5. 在简单图形轨迹编程中，如何确保机器人绘制的图形轨迹精确无误？请列举至少 3 个关键步骤。

五、实操题

1. 试着在虚拟示教器上用六点法建立一个焊枪工具的 TCP。

2. 试着在实训室的工作台上建立一个合适的工件坐标。

3. 编写一个 RAPID 程序，实现机器人在绝对位置模式下，从初始位置移动到目标位置，并返回初始位置。要求使用绝对位置运动指令(MoveAbsJ)。

4. 随便找出 p1、p2、p3、p4 四个点，利用 MoveC 指令能画出一个正圆吗？试着画一下。

5. 利用本任务所学的循环指令或条件指令设计一个工业机器人重复工作的小程序，并进行上机实践。

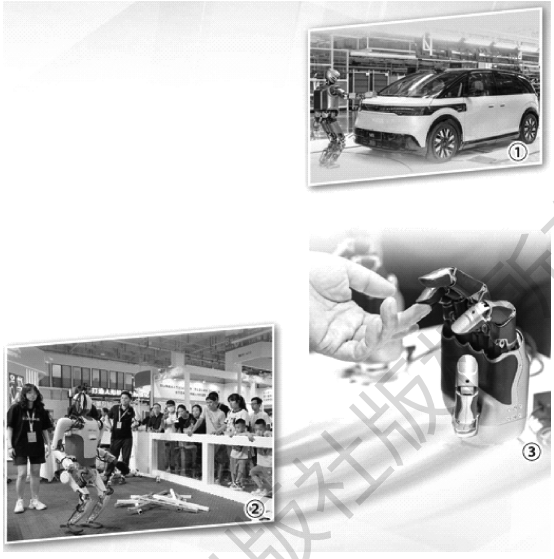
项目评价

表 2－27 项目评价

评价项目	评价指标	分值	评分标准	自评	小组评	教师评
程序结构、运动指令（10 分）	结构完整、层次清晰、易于理解、正确使用运动指令，路径准确	10	完全符合要求得 10 分，部分符合得 5—9 分，不符合得 0—4 分。			
数据应用（10 分）	数据定义准确、应用合理，工具数据、工件数据等关键数据建立准确	10	完全符合要求得 10 分，部分符合得 5—9 分，不符合得 0—4 分。			
基础程序（10 分）	程序逻辑清晰，运行无误	10	完全符合要求得 10 分，部分符合得 5—9 分，不符合得 0—4 分。			
技能操作（40 分）	实践操作表现	20	每个学习任务的实践操作表现，包括操作的规范性、熟练程度和准确性。			
	综合应用能力	20	能够综合运用所学知识和技能，完成复杂的操作任务，在实际操作中解决遇到的问题。			
团队协作（10 分）	小组讨论	5	在小组讨论中的参与度和贡献度，积极参与讨论，提出自己的见解和建议。			
	团队合作	5	在团队实践操作中的协作能力和团队精神，与团队成员有效沟通，共同完成任务。			
自主学习（10 分）	自主学习能力	5	能够主动查阅资料，学习相关知识，通过自主学习解决学习中的问题。			
	作业完成情况	5	每次作业的完成情况，包括作业的质量和按时提交情况，通过作业巩固所学知识。			
安全意识（10 分）	安全操作习惯	5	在实践操作中严格遵守安全操作规程，正确使用安全设备，确保自身和设备的安全。			
	安全意识	5	在操作过程中能够及时发现潜在的安全隐患并采取措施，在团队中宣传安全知识，提高团队的安全意识。			

拓展阅读

具身智能，让人形机器人更聪慧



图①：在极氪智慧工厂第40万台汽车下线现场，工业版人形机器人正进行车标精准质检。
图②：世界机器人大会上展示的机器人。
图③：第二十六届中国国际高新技术成果交易会上，观众体验一款灵巧手。

屈膝、下蹲、从托盘上稳稳夹起6公斤的物料箱平举至胸前，倒退、转身、小步走向左后侧的无人物流车拖车旁，精准对位，低头、屈膝、弯腰，将物料箱放在拖车上，然后转身回到托盘前，继续搬运……

走进比亚迪长沙星沙园区物流仓库，两台身高172厘米的优必选工业版人形机器人Walker S1正在交替进行模拟搬运作业。“从最初一台人形机器人跑通所有搬运场景，到实现与无人物流车协同作业，再到两台机器人协作搬运，自2024年10月下旬进厂实训以来，搬运效率提升了一倍。”优必选科技副总裁、研究院院长焦继超说。

这并不是优必选人形机器人第一次走进汽车工厂。此前，在极氪5G智慧工厂第40万台汽车下线现场，作为实训“质检员”的Walker S1成功完成了车标及车灯毫米级精准质检等工作。岁末年初，Walker S1还在另外3家制造业企业进行实训。

“2022年世界机器人大会上仅有3款人形机器人参展，2023年增至10款，2024年已达27款。截至去年11月18日，人形机器人领域共发生了49起融资，最大单笔近10亿元，总融资超80亿元。我国人形机器人整机公司从2024年初的31家增至80家，全球超过200家。”谈起人形机器人的行业热度，国家地方共建人形机器人创新中心首席科学家江磊如数家珍。

与人形机器人同样火热的还有具身智能。近期，不少从事自动驾驶研发的技术专家投

身具身智能领域，具身智能投资和创业热度再攀新高。那么，什么是具身智能？它与人工智能有什么关系？具身智能的终极形态就是人形机器人吗？

“具身智能的英文是 Embodied Intelligence，通俗地说，是指将人工智能融入机器人等物理实体，赋予它们像人一样感知、学习和与环境动态交互的能力。”焦继超说，这一最早在1950 年提出的概念，着重强调的是智能体通过身体与环境的互动产生智能行为。在国家人工智能发展战略中，具身智能是能够使人工智能脱离数字世界与物理世界发生交互的唯一方式，将对现实世界产生深远影响。

人形机器人是具身智能的物理形态之一。中国工程院院士孙凝晖表示，具身智能指有身体并支持与物理世界进行交互的智能体，如机器人、无人车等，通过多模态大模型处理多种传感数据输入，由大模型生成运动指令对智能体进行驱动，替代传统基于规则或者数学公式的运动驱动方式，实现虚拟和现实的深度融合。

江磊告诉记者，人形机器人发展有两条路径：一条是本田阿西莫路径，强调机器人只是一个硬件平台，更加侧重机器人的机械工程和运动能力，不过该路径已于 2018 年停止研发；另一种是特斯拉路径，主张将人形机器人的发展与具身智能相结合，强调智算中心、数据中心和云服务平台等 AI(人工智能)基础设施的支持，“新一代人形机器人应该是机器人＋具身智能＋AI 基础设施的联合体。”

按照特斯拉的计划，今年，人形机器人“擎天柱”将实现小批量生产，2026 年将实现大规模量产。而国内人形机器人头部企业，也将 2025 年视作人形机器人的“量产元年”。2024 年12 月 26 日，乐聚机器人首条产线正式启动，预计可年产 200 台人形机器人。优必选也计划加大 Walker 系列人形机器人的交付量。“哪家企业能先量产，先进入各个工业场景，就可能在竞争中胜出。”乐聚机器人董事长冷晓琨说，目前乐聚人形机器人“夸父”已经开始探索在工业场景的应用，最终目标是走向家庭服务。

（来源：新华网《人民日报》2025 年 01 月 08 日 18 版）