

项目



Project 1

KUKA工业机器人认知与手动操作



学习目标

1. 了解工业机器人的定义、发展历程及典型应用。
2. 掌握工业机器人的组成和技术参数。
3. 掌握工业机器人安全操作的注意事项。
4. 能正确手动操作工业机器人进行单轴运动、线性运动及旋转运动。



项目描述

了解工业机器人的发展现状与典型应用；了解工业机器人的组成及其技术参数；掌握使用工业机器人的安全注意事项；正确使用示教器实现 KUKA 工业机器人单轴运动、线性运动、旋转运动等手动操作。

任务 1.1 KUKA 工业机器人的认知

1.1.1 工业机器人的认知

机器人 (Robot) 一词来源于捷克斯洛伐克作家卡雷尔·萨佩克于 1921 创作的剧本《罗萨姆万能机器人》(Rossums Universal Robots)。在剧本中“Robot”意为“不知疲倦的劳动”，萨佩克把机器人定义为服务于人类的机器，机器人的名字由此诞生。后来，机器人一词频繁出现在科幻小说和电影中。

1954 年，美国的乔治·德沃尔提出了一个与工业机器人有关的技术方案，设计并研制了世界上第一台可编程的工业机器人样机，将之命名为 Universal Automation 并申请了专利。

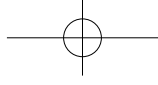
1959 年，乔治·德沃尔和约瑟·英格柏格发明了世界上第一台工业机器人，命名为 Unimate，它的功能和人的手臂功能相似，重达两吨，采用液压驱动。

1961 年，Unimate 在美国通用汽车公司安装运行，用于生产汽车的门、车窗摇柄、换挡按钮及灯具固定架等。

1972 年，IBM 公司开发出内部使用的直角坐标系机器人，并最终开发出 IBM 7656 型商业直角坐标系机器人。



工业机器人的认知



1973年，德国 KUKA 公司生产出世界上第一台机电驱动的 6 轴机器人。

1974年，瑞士的 ABB 公司研发了世界上第一台全电控式工业机器人，主要用于工件的取放和物料的搬运。

1977年，日本安川公司研制出第一台全自动工业机器人。

1978年，美国 Unimation 公司推出通用工业机器人 PUMA，这标志着工业机器人技术已经成熟。

1979年，Mccallino 等人设计出基于小型计算机控制，在精密装配过程中完成校准任务的并联机器人，从而真正拉开了并联机器人研究的序幕。

1994年，中国科学院沈阳自动化研究所研制出我国第一台无缆水下机器人。它的研制成功，标志着我国水下机器人技术走向成熟。

1995年，上海交通大学研制出我国第一台高性能精密装配智能型机器人，标志着我国已具有开发第二代工业机器人的技术水平。

进入 21 世纪以来，我国大力推进工业机器人技术和产业的发展。我国科学家已经掌握了工业机器人的结构设计和制造技术、控制系统硬件和软件技术等，能够对工业机器人的一些关键器件进行规模化的生产。2017 年 1 月，我国的美的集团顺利收购德国机器人公司 KUKA 94.55% 的股权。

目前，世界各国对工业机器人还没有统一明确的定义。通常，工业机器人是指面向工业领域的多关节机器人或多自由度的机器装置。

我国科学家对工业机器人的定义是：机器人是一种自动化的机器，所不同的是这种机器具有一些与人或生物相似的能力，是一种具有高度灵活性的自动化机器。

美国机器人协会将机器人定义为：一种用于移动各种材料、零件、工具或专用装置的，通过程序来执行各种任务的，并具有编程能力的多功能操作机。

日本机器人协会指出：工业机器人是一种带有存储器件和末端操作器的通用机械，它能够通过自动化的动作代替人类劳动。

国际标准化组织对机器人的定义为：工业机器人是一种仿生的、具有自动控制能力的、可重复编程的、多功能、多自由度的操作机器。

目前，工业机器人主要用于汽车、3C 产品、医疗、食品、通用机械制造以及金属加工、船舶制造等领域，用以完成搬运、码垛、焊接、涂装、装配等复杂作业。

码垛机器人广泛应用于化工、饮料、食品、啤酒、塑料等生产企业，对纸箱、袋装、罐装、啤酒箱、瓶装等各种形式的包装成品都适用。机器人码垛作业能够提高企业的生产效率和产量，并节省大量的人力资源成本。

焊接机器人最早被应用在汽车装配生产线上，开拓了一种柔性自动化生产方式，实现了在一条焊接机器人生产线上同时自动生产若干种焊件。目前焊接机器人应用广泛，可以分为点焊机器人和弧焊机器人两类。

涂装机器人被广泛应用于汽车、汽车零配件、铁路、家电、建材、机械等行业。

装配机器人被广泛应用于各种电器制造行业及流水线产品的组装作业，具有高效、精确、不间断工作的特点。装配机器人要求具有较高的位姿精度，手腕具有较大的柔性。

工业机器人按照机械结构可以分为串联机器人、并联机器人、混联机器人等。串联机器人又可以分为直角坐标系机器人、柱坐标系机器人、球坐标系机器人、关节坐标系机器

人等。本书主要以 KR 3 R540 为例介绍关节坐标系机器人的操作与编程。

1.1.2 KUKA 工业机器人的组成

KUKA 工业机器人主要由机器人本体、控制器、示教器等部分组成。图 1.1 所示为 KR 3 R540 工业机器人的组成。



KUKA 工业机器人
的组成

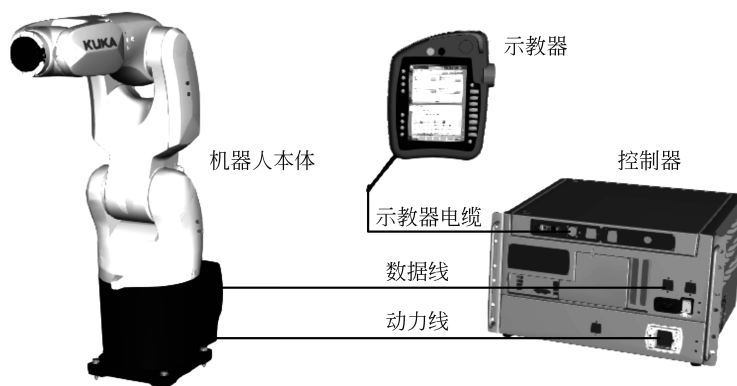


图 1.1 KR 3 R540 工业机器人组成

工业机器人的本体是用来完成规定任务的执行机构。6 轴工业机器人 KR 3 R540 的本体主要包括基座、腰部、大臂、小臂和手腕，如图 1.2 所示。六个轴的运动范围分别为：A1 轴 -170° 至 $+170^{\circ}$ ；A2 轴 -170° 至 $+50^{\circ}$ ；A3 轴 -110° 至 $+155^{\circ}$ ；A4 轴 -175° 至 $+175^{\circ}$ ；A5 轴 -120° 至 $+120^{\circ}$ ；A6 轴 -350° 至 $+350^{\circ}$ 。机器人本体 A6 轴的机械接口通常为一个连接法兰，可直接或通过快换装置安装夹爪、吸盘、焊枪等工具。

工业机器人的控制器对机器人本体和示教器传输的数据进行运算处理，控制机器人工作站完成规定的任务。KR 3 R540 工业机器人控制器 KR C4 compact 的面板如图 1.3 所示，面板上各接口的作用如表 1.1 所示。

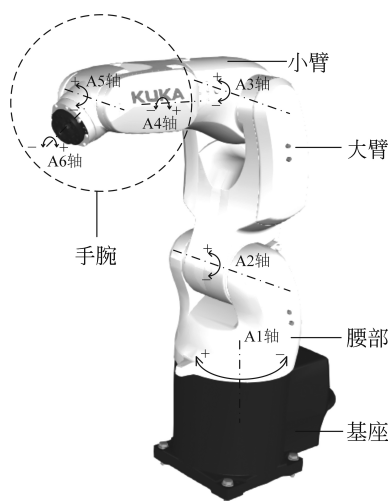


图 1.2 KR 3 R540 工业机器人本体

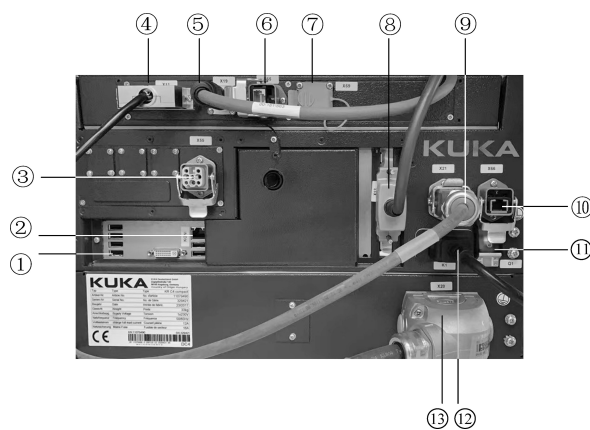


图 1.3 KR C4 compact 控制器面板

示教器是工业机器人的人机交互接口。编程调试操作人员对工业机器人的手动操作、编写、测试、运行程序及查阅工业机器人状态信息等操作都是通过示教器完成的。

表 1.1 KR C4 compact 控制器面板接口

序 号	说 明
①	USB端口
②	KUKA选项网络接口
③	IO模块DC 24V电源输入端
④	安全接口
⑤	示教器电缆接口
⑥	以太网扩展接口
⑦	备用以太网接口
⑧	现场总线接口
⑨	机器人本体编码器数据线接口
⑩	以太网安全接口
⑪	控制器电源开关，上电时绿灯亮，断电时绿灯灭
⑫	控制器电源AC 220V输入端
⑬	机器人本体电动机动力线接口

1.1.3 KUKA 工业机器人的技术参数

工业机器人的技术参数反映了工业机器人的工作性能，是进行工业机器人选型的重要依据。工业机器人的主要技术参数有自由度、额定负载、工作空间、工作精度、工作速度、控制方式、驱动方式、安装方式、动力源容量、本体重量、环境参数等。

自由度是指工业机器人相对于坐标系能够进行独立运动的数目，不包括末端执行器的动作。自由度越大，工业机器人的通用性越好，但结构越复杂。

额定负载也称有效载荷，是指正常作业条件下，工业机器人在规定性能范围内，手腕末端所能承受的最大载荷。

工作空间也称工作范围、工作行程，是指工业机器人作业时，手腕参考中心所能到达的空间区域。

工业机器人的工作精度包括定位精度和重复定位精度。定位精度也称为绝对精度，是指工业机器人的末端执行器实际到达位置与目标位置之间的差距。重复定位精度也称为重复精度，是指在相同的运动命令下，工业机器人重复定位其末端执行器于同一目标位置的能力，以实际位置的分散程度来表示。



KUKA 工业机器人的技术参数

KR 3 R540 工业机器人的主要技术参数如下。

- (1) 自由度数: 6。
- (2) 额定负载: 3kg。
- (3) 工作空间: 最大 541mm。
- (4) 重复定位精度: $\pm 0.02\text{mm}$ 。
- (5) 最大承重负载: 6kg。
- (6) 机器人质量: 26.5kg。
- (7) 安装方式: 地面、墙壁、天花板。
- (8) 占地面积: 179mm \times 179mm。
- (9) 防护等级: IP 40。
- (10) 运行环境温度: 278K \sim 318K ($+5^{\circ}\text{C} \sim +45^{\circ}\text{C}$)。

1.1.4 工业机器人的安全操作

工业机器人在空间中运动时,其动作范围内的空间属于危险场所,如果操作不当或者操作不规范,很容易发生安全事故,导致人员伤害或财产损失。因此,工业机器人系统必须始终装备相应的安全设备,如隔离防护装置、紧急停止按钮和轴范围限制装置等。设备管理者以及操作人员在安装、操作、维修保养机器人时必须保证安全第一,在确保自身以及相关人员的安全后再进行操作。工作人员在对工业机器人进行操作与编程时需要注意以下几点。

- (1) 不要戴手套操作示教器和操作面板。
- (2) 手动操作工业机器人时要采用较低的速度倍率,以保证操作安全。
- (3) 按下启动键之前,要考虑到工业机器人的运动趋势。
- (4) 工业机器人没有移动时,永远不要认为工业机器人的程序已经完成,因为此时工业机器人可能正在等待让其继续运动的信号。
- (5) 工业机器人工作区域及周边区域必须保持清洁,无油、水及其他杂质。
- (6) 开机运行前必须明确工业机器人根据所编程序要完成的全部任务。
- (7) 必须明确所有会影响工业机器人动作的开关、传感器等设备的位置和状态。
- (8) 必须明确工业机器人控制器、示教器和外围控制设备上的紧急停止按钮的位置,以备在紧急情况下可以准确使用这些按钮。
- (9) 要预先考虑好工业机器人的所有运动轨迹,确保工业机器人在运动轨迹上不发生干涉。

任务 1.2 KUKA 工业机器人示教器的使用

1.2.1 KUKA 工业机器人示教器的结构

KUKA 工业机器人的示教器又称 smartPAD。smartPAD 正面结构各部分及功能如图 1.4 和表 1.2 所示,smartPAD 背面结构及各部分功能如图 1.5 和表 1.3 所示。



工业机器人的安全操作



KUKA 工业机器人示教器的结构



图 1.4 smartPAD 正面结构

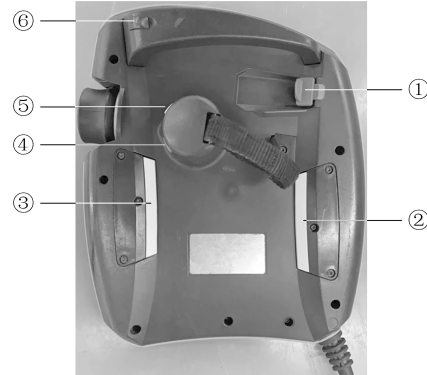


图 1.5 smartPAD 背面结构

表 1.2 smartPAD 正面结构各部分功能

序号	名称	功能说明
①	触摸屏/smartHMI	详见 1.2.2 小节
②	smartPAD 按钮	用于将示教器从控制器上取下
③	运行方式选择开关	用于调出连接管理器的钥匙开关。只有插入钥匙时，方可转动开关。利用连接管理器可以转换运行方式
④	紧急停止按钮	用于在危险情况下关停机器人。紧急停止装置在被按下时将自行闭锁
⑤	6D 鼠标	用于手动移动工业机器人
⑥	移动键	用于手动移动工业机器人
⑦	程序倍率键	用于设定程序倍率
⑧	手动倍率键	用于设定手动倍率
⑨	主菜单键	用来在触摸屏 smartHMI 上将菜单项显示出来
⑩	工艺键	主要用于设定工艺程序包中的参数，其确切的功能取决于所安装的工艺程序包
⑪	启动键	启动程序。与表 1.3 中④指向的启动键作用相同
⑫	逆向启动键	逆向启动程序，程序将逐步运行
⑬	停止键	用于暂停运行中的程序
⑭	键盘键	当触摸屏 smartHMI 需要键盘时，按下此键可显示键盘

表 1.3 smartPAD 背面结构各部分功能

序号	名称	功能说明
①	USB 接口	用于存档、还原等操作
②	确认开关	确认开关具有 3 个位置：未按下、中间位置、完全按下。 在 T1 手动慢速运行方式或 T2 手动快速运行方式下：确认开关处于中间位置时，可以手动操作工业机器人；确认开关未按下或完全按下时，不能手动操作工业机器人。在 AUT 自动运行方式或 AUTEEXT 外部自动运行方式下：确认开关不起作用。 确认开关②、③、⑤作用相同
③	确认开关	确认开关②、③、⑤作用相同

续表

序号	名称	功能说明
④	启动键	启动程序。与表 1.2 中①指向的启动键作用相同
⑤	确认开关	确认开关②、③、⑤作用相同
⑥	示教笔	用于操作示教器触摸屏 smartHMI

1.2.2 KUKA 工业机器人示教器触摸屏的操作界面

KUKA 工业机器人示教器 smartPAD 配备一个触摸屏 smartHMI。操作编程调试人员可用手指或示教笔在示教器触摸屏 smartHMI 的界面上进行操作。

KUKA 工业机器人示教器触摸屏 smartHMI 操作界面及各部分功能如图 1.6 和表 1.4 所示。触摸屏 smartHMI 操作界面中的状态栏及各部分功能如图 1.7 和表 1.5 所示。

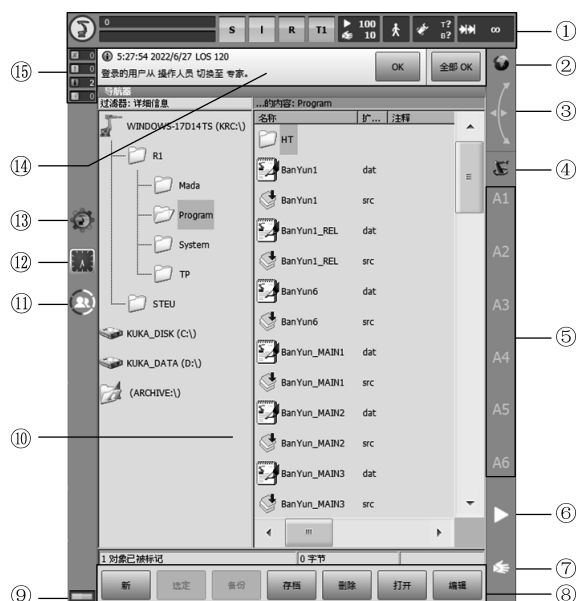


图 1.6 触摸屏 smartHMI 操作界面

表 1.4 触摸屏 smartHMI 操作界面各部分功能

序号	名称	功能说明
①	状态栏	设置及显示工业机器人的程序状态、运行方式、当前激活的坐标系、增量等
②	6D 鼠标参照的坐标系	显示当前利用 6D 鼠标操作工业机器人时参照的坐标系； 点击该图标可选择利用 6D 鼠标操作工业机器人时参照的坐标系
③	6D 鼠标定位	点击该图标可设置 6D 鼠标的定位
④	移动键参照的坐标系	显示当前利用移动键操作工业机器人时参照的坐标系； 点击该图标可选择利用移动键操作工业机器人时参照的坐标系
⑤	移动键标记	单轴运动时显示：A1、A2、A3、A4、A5、A6； 线性运动或旋转运动时显示：X、Y、Z、A、B、C
⑥	程序倍率键标记	指示程序倍率
⑦	手动倍率键标记	指示手动倍率

续表

序号	名称	功能说明
⑧	软按键栏	不同窗口被激活时显示不同的软按键
⑨	smartHMI 激活指示	若左侧和右侧小灯交替闪烁绿光，则表示 smartHMI 已经激活
⑩	主界面	显示导航器、菜单、编辑器等窗口
⑪	用户组图标	点击该图标可设置用户组
⑫	时钟图标	点击该图标可显示系统时间
⑬	WorkVisual 图标	点击该图标可打开“项目管理”窗口
⑭	信息窗口	默认设置下只显示最后一条提示信息。点击该窗口可显示所有待处理的提示信息。 可以被应答的信息用 OK 按钮应答；所有可以被应答的信息用“全部 OK”按钮一次性全部应答
⑮	信息计数器	显示现有的确认信息、状态信息、提示信息、等待信息的数量

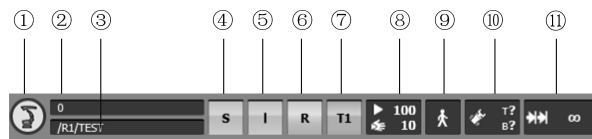


图 1.7 触摸屏 smartHMI 的状态栏

表 1.5 触摸屏 smartHMI 状态栏各部分功能

序号	功能说明
①	点击该图标可打开主菜单
②	显示机器人名称
③	显示当前选定的程序的路径及名称
④	显示提交解释器状态： “S”为黄色时表示选择了提交解释器，语句指针位于所选提交程序的首行； “S”为绿色时表示提交解释器正在运行； “S”为红色时表示提交解释器停止运行； “S”为灰色时表示提交解释器未被选择。 点击该图标可打开“所有 SUBMIT 解释器”窗口
⑤	显示驱动装置的状态： “I”为绿色时表示驱动装置已经接通； “I”为灰色时表示确认开关未按下或有防止工业机器人移动的提示信息存在； “O”为灰色时表示驱动装置已经关断。 点击该图标可打开“移动条件”窗口
⑥	显示机器人解释器的状态，详见 3.3.1 小节。 点击该图标可进行取消选择程序或程序复位操作
⑦	显示工业机器人当前的运行方式，详见 1.3.1 小节
⑧	显示程序倍率和手动调节量。点击该图标可设置程序倍率和手动调节量
⑨	显示程序的运行方式。点击该图标可设置程序的运行方式，详见 3.3.1 小节
⑩	显示激活的工具坐标系和基坐标系。 点击该图标可打开“激活的基坐标/工具”窗口，详见项目二
⑪	显示当前使用的增量。 点击该图标可设置增量。开启增量后，手动操作示教器上的移动键时，工业机器人按照设置的增量（100mm/10°、10mm/3°、1mm/1°或 0.1mm/0.005°）移动后自动停止

1.2.3 KUKA 工业机器人示教器的手持方法

KUKA 工业机器人的示教器可方便不同习惯的操作人员用不同方法手持。

如图 1.8 所示，可以两手握住示教器两侧，四指按在示教器背面的确认开关上。对于惯用右手操作人员来说，可以用左手的四指按下确认开关，用右手进行触摸屏和按钮的操作；对于惯用左手操作人员来说，可以用右手的四指按下确认开关，用左手进行触摸屏和按钮的操作。

如图 1.9 所示，也可用左手握住示教器背面的凸起部分。用左手按下确认开关，用右手进行触摸屏和按钮的操作。



KUKA 工业机器人
示教器的手持方法



图 1.8 手持示教器方法一



图 1.9 手持示教器方法二

1.2.4 KUKA 工业机器人用户组的设定

KUKA 工业机器人的用户组权限分别是：操作人员（标准）、用户、专家、安全维护人员、安全调试员、管理员。除了默认用户组操作人员（标准）外，其他所有用户组均有密码保护，默认密码为 kuka。各用户组权限如表 1.6 所示。




KUKA 工业机器人
用户组的设定

表 1.6 KUKA 工业机器人用户组权限

用户组	权限功能说明
操作人员（标准）	仅具有很有限的权限。操作人员不允许执行会永久更改系统的功能
用户	可对工业机器人示教器进行基础操作
专家	编程人员用户组
安全维护人员	该用户组可以激活和配置工业机器人的安全配置
安全调试员	只在使用安全选项（如 KUKA.SafeOperation）时，该用户组才相关
管理员	其功能与专家用户组一样。另外，可以将插件（Plug-Ins）集成到工业机器人控制系统中

如果编程调试操作人员在一段时间内未对示教器进行任何操作，则 KUKA 工业机器人控制系统会出于安全原因将用户组切换为默认用户组。默认设置下该时间段为 300s。

将 KUKA 工业机器人从操作人员用户组切换到专家用户组的操作步骤示例如下。

(1) 在 T1 手动慢速运行方式下，点击示教器触摸屏左上角或示教器右下角机器人图标，打开主菜单，点击“配置”→“用户组”，如图 1.10 所示；或点击示教器触摸屏左

侧的用户组图标, 打开“通过选择登录”窗口, 如图 1.11 所示。



图 1.10 用户组

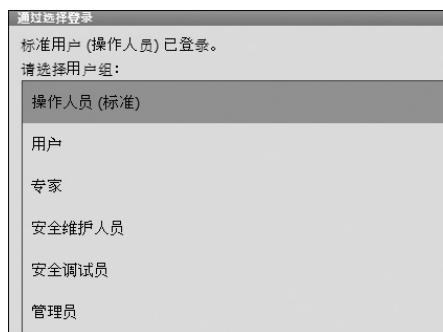


图 1.11 “通过选择登录”窗口


(2) 在“通过选择登录”窗口中点击“专家”, 利用键盘输入 kuka, 点击键盘上的回车键, 或点击示教器触摸屏右下角的“登录”按钮, 如图 1.12 所示, 切换到专家用户组, 示教器信息窗口提示“登录的用户从操作人员切换至专家”。



图 1.12 登录专家用户组

1.2.5 KUKA 工业机器人示教器操作界面语言的设定

将 KUKA 工业机器人示教器操作界面的语言由英文切换至中文的操作步骤示例如下。