



工业机器人

操作与编程 (KUKA)

主 编◎李正祥 宋祥弟



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

工业机器人 操作与编程 (KUKA)

主 编 李正祥 宋祥弟
副主编 李 庆 姜无疾 李启丙
罗清鹏 黄 辉



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

全书以项目任务式,围绕 KUKA 机器人,使读者对 KUKA 机器人由认识到详细了解,从而能够独立完成机器人的基本操作,以及根据实际应用进行基本编程。学习者可根据项目完成任务。其中:KUKA 机器人基础知识及手动操作、KUKA 机器人的输入/输出介绍与配置、KUKA 机器人的程序数据设定、KUKA 机器人程序编写这四个项目主讲 KUKA 机器人的硬件与程序编程的基本应用与练习,使读者熟悉与熟练每个单元的操作步骤及功能特点;KUKA 机器人 TCP 练习与写字绘图、KUKA 机器人搬运码垛、KUKA 机器人智能分拣三个项目是以生产实践为基础的大型工程应用,可投入到生产线作为作业的教学练习。

本书内容系统,层次清晰,实用性强,可作为工业机器人技术等相关专业的教学用书,也可供工业机器人设计、使用、维修人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

工业机器人操作与编程(KUKA)/李正祥,宋祥弟主编. —北京:北京理工大学出版社,2017.7

ISBN 978-7-5682-4424-4

I. ①工… II. ①李… ②宋… III. ①工业机器人-操作-教材 ②工业机器人-程序设计-教材 IV. ①TP242.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 182751 号

出版发行/北京理工大学出版社有限责任公司

社 址/北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编/100081

电 话/(010)68914775(总编室)

(010)82562903(教材售后服务热线)

(010)68948351(其他图书服务热线)

网 址/<http://www.bitpress.com.cn>

经 销/全国各地新华书店

印 刷/三河市天利华印刷装订有限公司

开 本/787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张/11.25

字 数/264 千字

版 次/2017 年 7 月第 1 版 2017 年 7 月第 1 次印刷

定 价/45.00 元

责任编辑/封 雪

文案编辑/封 雪

责任校对/周瑞红

责任印制/李志强

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

前言

Preface

工业机器人技术是先进制造技术的代表。近年来,智能机器人越来越多地介入到人类的生产和生活中,人工智能技术不仅在西方国家发展势头强劲,在中国的发展前景也同样引人注目,中国已然是全球机器人行业增长最快的市场。工业机器人是一种功能完整、可独立运行的自动化设备,它有自身的控制系统,能依靠自身的控制能力来完成规定的作业任务,因此,其编程和操作是工业机器人操作、调试、维修人员必须掌握的基本技能。

本书围绕认识、熟悉 KUKA 机器人操作、能够独立完成机器人的基本操作,以及根据实际应用进行基本编程这一主题,通过详细的图解实例对 KUKA 机器人的操作、编程相关的方法与功能进行讲述,让读者了解与操作编程作业相关的每一项具体操作方法,从而使读者从软、硬件方面对 KUKA 机器人都有一个全面的认识。

本书适合从事 KUKA 机器人应用的操作与编程人员,特别是刚接触 KUKA 机器人的工程技术人员,以及普通高校自动化专业的学生阅读。

全书以项目任务式呈现,学习者根据项目完成任务,一边操作一边学习,这样可事半功倍地吸收知识。

项目一至项目四:

- KUKA 机器人基础知识及手动操作
- KUKA 机器人的输入/输出介绍与配置
- KUKA 机器人的程序数据设定
- KUKA 机器人程序编写

这四个项目主讲 KUKA 机器人的硬件与程序编程的基本应用与练习,使读者熟悉与熟练掌握每个单元的操作步骤及功能特点。

项目五至项目七:

- KUKA 机器人 TCP 练习与写字绘图
- KUKA 机器人搬运码垛
- KUKA 机器人智能分拣

这三个项目主要是以生产实践为基础的大型工程应用,可投入到生产线作为教学练习。

书中内容简明扼要、图文并茂、通俗易懂,并配有湖南科瑞迪教育发展公司提供的 MOOC 平台在线教学视频 (www.moocdo.com),适合工业机器人操作者阅读参考,同时也适合作为各普通高校的主导教材。

本书由李正祥、宋祥弟任主编,李庆、姜无疾、李启丙、罗清鹏、黄辉任副主编,

蔡琼、李刚成、杨凤超、黄雪冬担任参编。谭立新教授作为整套工业机器人系列丛书的总主编，对整套图书的大纲进行了多次审定、修改，使其在符合实际工作需要的同时，便于教师授课使用。

在丛书的策划、编写过程中，湖南省电子学会提供了宝贵的意见和建议，在此表示诚挚的感谢。同时感谢为本书中实践操作及视频录制提供大力支持的湖南科瑞特科技股份有限公司。

尽管编者主观上想努力使读者满意，但在书中不可避免尚有不足之处，欢迎读者提出宝贵建议。

编者

目 录

Contents

► 项目一 KUKA 机器人基础知识及手动操作	1
1.1 项目描述	1
1.2 教学目的	1
1.3 知识准备	2
1.3.1 了解 KUKA 机器人机械系统与控制系统	2
1.3.2 KUKA 机器人示教器 KUKA smartPAD 的介绍	3
1.3.3 KUKA 机器人示教器 KUKA smartPAD 的正确使用方法	9
1.3.4 KUKA 机器人用户组介绍	9
1.3.5 KUKA 机器人的运行方式	10
1.3.6 KUKA 机器人坐标系的介绍	11
1.3.7 了解 KUKA 机器人的手动操纵	11
1.4 任务实现	13
1.4.1 更换机器人用户组	13
1.4.2 KUKA smartPAD 操作界面语言的设定	13
1.4.3 设置 KUKA 机器人的运行方式	15
1.4.4 KUKA 机器人的单轴运动	15
1.4.5 KUKA 机器人在世界坐标系运动	17
1.4.6 KUKA 机器人在工具坐标系运动	19
1.4.7 KUKA 机器人在基坐标系运动	20
1.4.8 增量式运行机器人	22
1.4.9 查看 KUKA 机器人状态信息	24
1.4.10 KUKA 机器人的零点标定	24
1.5 考核评价	29
任务一 熟悉示教器 KUKA smartPAD 的使用	29
任务二 熟练地掌握在手动运行模式下移动机器人	29
任务三 熟悉机器人各个轴的原点位置, 学会零点标定的方法	29
1.6 扩展提高	30
任务 调整机器人的姿态, 准确地移动到目标点	30
► 项目二 KUKA 机器人的输入/输出介绍与配置	31
2.1 项目描述	31

2.2 教学目的	31
2.3 知识准备	32
2.3.1 WorkVisual 软件介绍	32
2.3.2 KUKA 机器人输入/输出接口的介绍	36
2.3.3 数字量输入/输出介绍	38
2.3.4 模拟量输入/输出介绍	40
2.3.5 系统信号与输入/输出的关联	41
2.4 任务实现	43
2.4.1 WorkVisual 软件安装	43
2.4.2 使用 WorkVisual 配置数字输入/输出	45
2.4.3 输入/输出信号的监控与操作	50
2.4.4 配置外部自动运行接口的输入/输出端	52
2.5 考核评价	54
任务一 熟练使用 WorkVisual 配置输入/输出	54
任务二 熟练使用 KUKA smartPAD 对输入/输出的信号进行监控或仿真	54
2.6 扩展提高	54
任务 配置一个具有安全门停止策略的系统 I/O 响应事件任务	54
► 项目三 KUKA 机器人的程序数据设定	55
3.1 项目描述	55
3.2 教学目的	55
3.3 知识准备	55
3.3.1 什么是程序数据	55
3.3.2 了解数据的存储类型	56
3.3.3 常用的数据类型及说明	56
3.3.4 变量的声明	57
3.3.5 KRL 中变量的运算类型	59
3.3.6 三个重要程序数据	61
3.4 任务实现	66
3.4.1 在程序中声明一个 INT 型变量	66
3.4.2 程序数据在程序中的运用	66
3.4.3 使用机器人示教器设定工具	67
3.4.4 使用机器人示教器设定基坐标	71
3.4.5 使用机器人示教器设定负载数据	73
3.5 考核评价	73
任务一 熟悉常用的数据类型, 学会在程序中声明变量	73
任务二 用 XYZ 4 点法设定尖点工具	74
任务三 用 3 点法设定工作台的基坐标	74

3.6 扩展提高	74
任务 熟练掌握工具设定的方法, 根据不同的工具, 合理地选择设定方法	74
► 项目四 KUKA 机器人程序编写	75
4.1 项目描述	75
4.2 教学目的	75
4.3 知识准备	76
4.3.1 程序文件	76
4.3.2 初始化运行——BCO 运行介绍	77
4.3.3 程序的运行方式和状态	78
4.3.4 了解 KUKA 机器人运动指令	79
4.3.5 了解 I/O 控制指令	81
4.3.6 了解等待功能指令	83
4.3.7 了解机器人程序的循环与分支	84
4.3.8 了解机器人的子程序	87
4.3.9 了解中断程序	88
4.3.10 了解机器人程序外部自动运行	90
4.4 任务实现	94
4.4.1 新建一个程序模块	94
4.4.2 编写一个机器人运动轨迹的程序	97
4.4.3 通过 KUKA smartPAD 对程序进行调试	101
4.4.4 编写两个不同运动轨迹的子程序, 在主程序中调用	103
4.4.5 搬运程序	105
4.4.6 建立 PLC 外部启动程序	106
4.5 考核评价	107
任务一 使用 KUKA smartPAD 新建程序模块与编辑程序	107
任务二 熟悉常用的运动指令, 编写一个程序, 并调试	107
任务三 熟悉机器人程序结构, 学会结构化编程	107
4.6 扩展提高	107
任务一 连接 PLC, 建立外部自动运行程序	107
任务二 编写一段外部中断程序对 num 进行加 1 操作	107
► 项目五 KUKA 机器人 TCP 练习与写字绘图	108
5.1 项目描述	108
5.2 教学目的	108
5.3 知识准备	109
5.3.1 KUKA 机器人常用的运动指令	109

5.4 任务实现	111
5.4.1 工具坐标系及载荷的建立	111
5.4.2 基坐标系的建立	113
5.4.3 走曲线程序的点位示教	115
5.4.4 走曲线程序的编写	116
5.4.5 写字绘图程序的点位示教	117
5.4.6 写字绘图程序的程序编写	117
5.5 考核评价	120
任务一 使用机器人示教器设定绘画笔的工具坐标及工作台的基坐标	120
任务二 编写书写“KUKA”程序	120
5.6 扩展提高	121
任务 独自编写搬运程序	121
► 项目六 KUKA 机器人搬运码垛	122
6.1 项目描述	122
6.2 教学目的	122
6.3 知识准备	123
6.3.1 KUKA 搬运码垛机器人工作站主要组成单元介绍	123
6.3.2 KUKA 搬运码垛机器人 I/O 配置方法	123
6.3.3 KUKA 搬运码垛机器人变量的声明介绍	126
6.3.4 KUKA 搬运码垛机器人程序数据赋值	127
6.3.5 KUKA 搬运码垛机器人外部自动运行介绍	130
6.3.6 KUKA 搬运码垛机器人安全门设定	132
6.3.7 KUKA 搬运码垛机器人中断程序应用	134
6.3.8 KUKA 搬运码垛机器人 Ethernet 通信介绍	136
6.4 任务实现	141
6.4.1 搬运码垛项目创建工具和载荷数据	141
6.4.2 搬运码垛项目创建工件坐标系数据	144
6.4.3 搬运码垛项目程序	146
6.5 考核评价	150
任务一 配置一个外部紧急停止开关	150
任务二 使用机器人示教器设定一个完整的工具坐标	150
任务三 使用机器人示教器设定一个完整的基坐标	151
6.6 扩展提高	151
任务 独自编写搬运程序	151
► 项目七 KUKA 机器人智能分拣	152
7.1 项目描述	152

7.2 教学目的	152
7.3 知识准备	152
7.3.1 KUKA 智能分拣机器人工作站主要组成单元	152
7.3.2 KUKA 机器人常用的 I/O 控制指令	153
7.3.3 KUKA 机器人常用的逻辑控制指令	154
7.3.4 KUKA 机器人的子程序	157
7.4 任务实现	158
7.4.1 智能分拣项目基坐标建立	158
7.4.2 智能分拣项目目标点位示教	160
7.4.3 智能分拣项目程序编写	161
7.5 考核评价	165
任务一 熟练使用 WorkVisual 配置输入/输出	165
任务二 用 3 点法设定工作台的基坐标	165
7.6 扩展提高	165
任务 了解智能分拣项目的流程, 并编写好程序	165
► 附录 KUKA 机器人程序指令及说明	166

项目一

KUKA 机器人基础知识及手动操作

1.1 项目描述

本项目的主要学习内容包括：了解 KUKA 机器人的硬件系统结构；正确地使用示教器；了解 KUKA 机器人的坐标系和手动操纵方法；通过示教器正确地操作机器人，使机器人快速准确地到达目标点。

1.2 教学目的

通过本项目的学习让学生了解 KUKA 机器人的硬件系统结构，熟悉机器人各关节轴的原点位置，正确地使用示教器，掌握如何在示教器上设定显示语言与系统时间，熟练地掌握 KUKA 机器人的坐标系和手动操纵方法，通过示教器正确地操作机器人，并对机器人进行简单的示教，所以掌握本项目的内容显得尤为重要。本项目内容为 KUKA 机器人基础知识及手动操作，会出现大量的示教器使用和配置环节，学生可以按照本项目所讲的操作方法同步操作，为后续学习更加复杂的内容打下坚实的基础。

1.3 知识准备

1.3.1 了解 KUKA 机器人机械系统与控制系统

KUKA 工业机器人的硬件系统由机械系统、示教器、控制系统三个基本部分组成。机械系统即机座和执行机构，包括臂部、腕部、手部。大多数工业机器人有 4~6 个自由度，其中腕部通常有 1~3 个自由度；示教器是进行机器人的手动操纵、程序编写、参数配置以及监控用的手持装置；控制系统按照输入的程序对驱动系统和执行机构发出指令信号，并进行控制。

为了认识和操作 KUKA 机器人，我们以 KR 6 R700 sixx 型机器人为例来学习。

KR 6 R700 sixx 是 KUKA 的一款小型机器人（图 1-1），具有敏捷、紧凑、轻量、位置重复精度高的特点。广泛应用于物料搬运与装配应用。主要技术参数如下：

- 工作半径：最大 706.7 mm。
 - 机器人质量：50 kg。
 - 安装方式：地面、墙壁、倒装等多种方式。
 - 自由度数：6。
 - 额定负载：3 kg。
 - 最大承重负载：6 kg。
 - 控制系统：KR C4 compact。
 - 防护等级：IP 54。
 - 工作空间体积：1.36 m³。
 - 运行环境温度：278 K 至 318 K（+5℃至+45℃）。
 - 运行环境湿度：相对空气湿度≤90%。
- KR 6 R700 sixx 的轴参数如表 1-1 所示。

表 1-1 KR 6 R700 sixx 的轴参数

轴	运动范围，受软件限制	额定负载时的速度
1	±170°	360°/s
2	+45° 至 -190°	300°/s
3	+156° 至 -120°	360°/s
4	±185°	381°/s
5	±120°	388°/s
6	±350°	615°/s

1. KUKA 机器人的机械系统

机械手是机器人机械系统的主体，它由众多活动的、相互连接在一起的关节（轴）组成，

我们也称之为运动链，如图 1-2 所示。

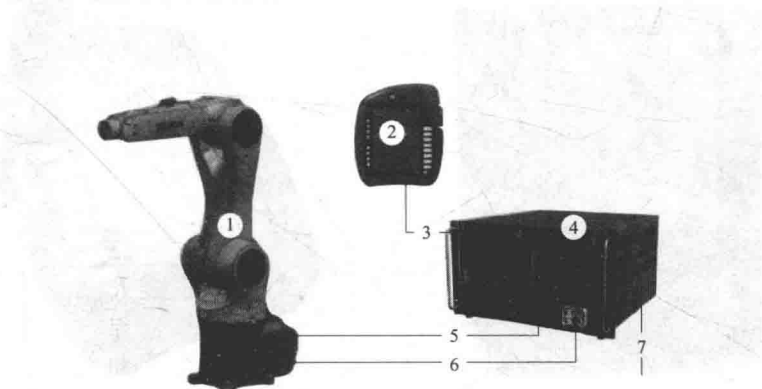


图 1-1 机器人硬件系统

1—机械手（机器人机械系统）；2—手持式编程器 smartPAD；3—连接线缆/smartPAD；4—机器人控制系统（KR C4 compact）；5—连接线缆/数据线；6—连接线缆/电机导线；7—连接电缆/电源线

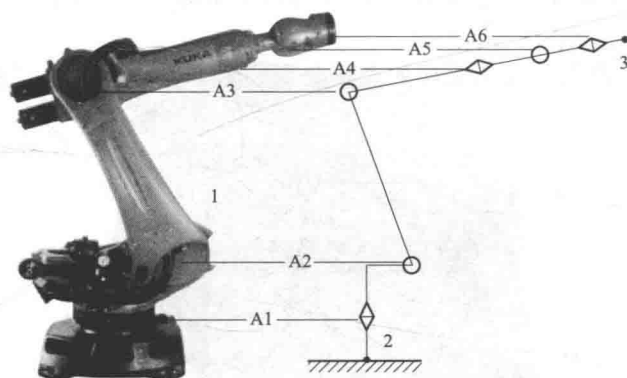


图 1-2 运动链

1—机械手（机器人机械系统）；2—运动链的起点：机器人足部（ROBROOT）；
3—运动链的开放端：法兰盘（FLANGE）
A1~A6：机器人轴 1~6

2. KUKA 机器人的控制系统

机器人机械系统由伺服电机控制运动，而该电机则由 KR C4 控制系统控制（图 1-3）。KR C4 对机械手以及示教器传输的数据进行运算处理，最终控制机械手的运动。

1.3.2 KUKA 机器人示教器 KUKA smartPAD 的介绍

示教器是机器人的人机交互接口，机器人的所有操作基本上都是通过示教器来完成的，如点动机器人，编写、调试和运行机器人程序，设定、查看机器人状态信息和位置等。KUKA 机器人的示教器 KUKA smartPAD，也叫 KCP，它的外观如图 1-4 所示。

KUKA smartPAD 可在恶劣的工业环境下持续运行，其触摸屏易于清洁，且防水、防油、防溅锡。

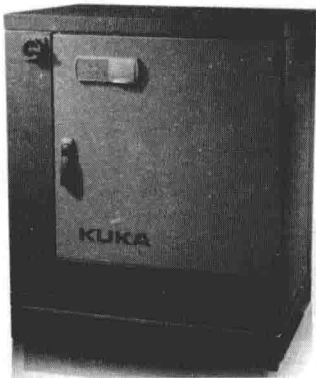


图 1-3 KRC4 控制柜



图 1-4 机器人示教器

1. KUKA smartPAD 概述

KUKA smartPAD 是用于工业机器人的手持编程器。KUKA smartPAD 具有工业机器人操作和编程所需的各种操作和显示功能。

KUKA smartPAD 配备一个触摸屏：KUKA smartHMI，可用手指或指示笔进行操作，无须外部鼠标和外部键盘。

KUKA smartPAD 前面板及后面板的介绍分别如图 1-5 和表 1-2、图 1-6 和表 1-3 所示。

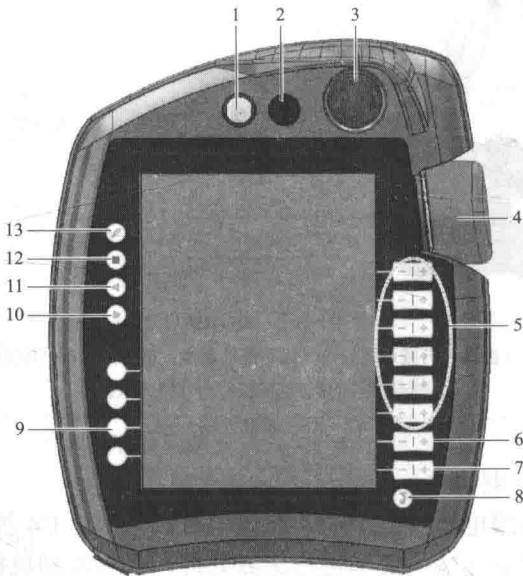


图 1-5 机器人示教器前面板

表 1-2 KUKA smartPAD 前面板按钮

序号	说 明
1	用于拔下 KUKA smartPAD 的按钮
2	用于调出连接管理器的钥匙开关。只有当钥匙插入时，方可转动开关。可以通过连接管理器切换运行模式
3	紧急停止键。用于在危险情况下关停机器人。紧急停止键在被按下时将自行闭锁

续表

序号	说 明
4	6D 鼠标。用于手动移动机器人
5	移动键。用于手动移动机器人
6	用于设定程序倍率的按键
7	用于设定手动倍率的按键
8	主菜单按键。用来在 KUKA smartHMI 上将菜单项显示出来
9	工艺键。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
10	启动键。通过启动键可启动一个程序
11	逆向启动键。用逆向启动键可逆向启动一个程序。程序将逐步运行
12	停止键。用停止键可暂停正在运行中的程序
13	键盘按键。用于显示键盘。通常不必特地将键盘显示出来，KUKA smartHMI 可识别需要通过键盘输入的情况并自动显示键盘

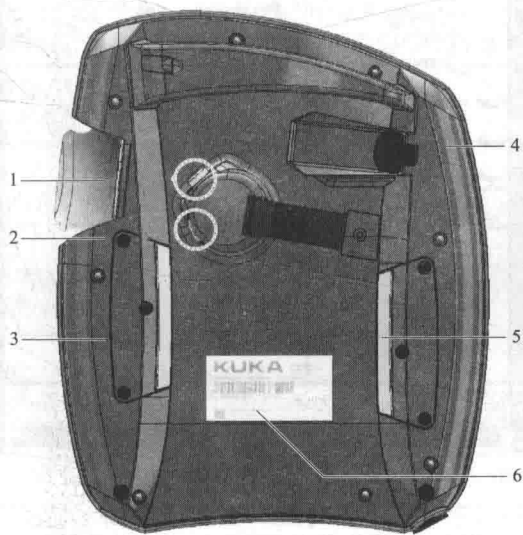


图 1-6 KUKA smartPAD 背面

表 1-3 KUKA smartPAD 后面板介绍

序号	说 明
1, 3, 5	确认开关。确认开关有 3 个位置： *未按下 *中间位置 *完全按下 在运动方式 T1 及 T2 下，确认开关必须保持中间位置，这样才能移动机器人。 在采用自动运行模式和外部自动运行模式时，确认开关不起作用

续表

序号	说 明
2	启动键。通过启动键，可启动一个程序
4	USB 接口。USB 接口被用于存档/还原等方面工作，仅适于 FAT32 格式的 USB
6	铭牌

2. KUKA smartPAD 示教器的操作界面

操作界面 KUKA smartHMI 如图 1-7 所示，其详细介绍如表 1-4 所示。

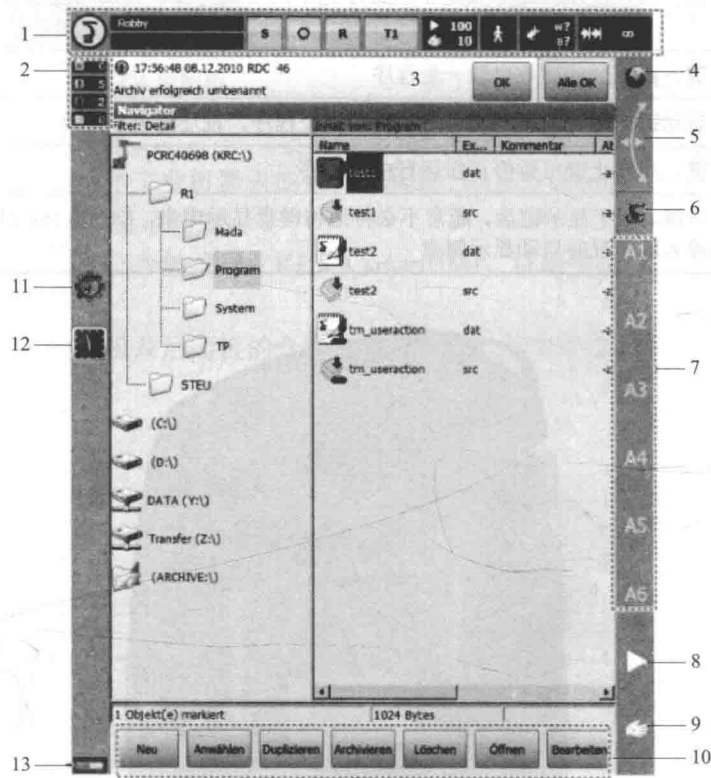


图 1-7 操作界面 KUKA smartHMI

表 1-4 操作界面 KUKA smartHMI 介绍

序号	说 明
1	状态栏
2	提示信息计数器： 提示信息计数器显示每种提示信息类型各有多少条提示信息。触摸提示信息计数器可放大显示
3	信息窗口： 根据默认设置将只显示最后一条提示信息。触摸提示信息窗口可放大该窗口并显示所有待处理的提示信息。 可以被确认的提示信息可用 OK 键确认。所有可以被确认的提示信息可用全部 OK 键一次性全部确认

续表

序号	说 明
4	6D 鼠标状态显示: 该显示会显示用 6D 鼠标手动移动的当前坐标系。触摸该显示就可以显示所有坐标系并可以选择另一个坐标系
5	显示 6D 鼠标定位: 触摸该显示会打开一个显示 6D 鼠标当前定位的窗口, 在窗口中可以修改定位
6	移动键的状态显示: 该显示可显示用移动键手动移动的当前坐标系。触摸该显示就可以显示所有坐标系并可以选择另一个坐标系
7	移动键标记: 如果选择了与轴相关的移动, 这里将显示轴号 (A1、A2 等)。如果选择了笛卡儿式移动, 这里将显示坐标系的方向 (X、Y、Z、A、B、C)。 触摸标记会显示选择了哪种运动系统组
8	程序倍率
9	手动倍率
10	按键栏: 这些按键自动进行动态变化, 并总是针对 KUKA smartHMI 上当前激活的窗口。 最右侧是按键编辑。用这个按键可以调用导航器的多个指令
11	WorkVisual 图标: 通过触摸图标可至窗口项目管理
12	时钟: 时钟显示系统时间。触摸时钟就会以数码形式显示系统时间以及当前日期
13	显示存在信号: 如果显示如下闪烁, 则表示 KUKA smartHMI 激活: 左侧和右侧小灯交替发绿光, 交替缓慢 (约 3 秒) 而均匀

3. KUKA smartPAD 键盘

KUKA smartPAD 配备一个触摸屏: KUKA smartHMI, 可用手指或指示笔进行操作。KUKA smartHMI 上有一个键盘可用于输入字母和数字。KUKA smartHMI 可识别到什么时候需要输入字母或数字并自动显示键盘。键盘只显示需要的字符。例如, 如果需要编辑一个只允许输入数字的栏, 则只会显示数字而不会显示字母, 如图 1-8 所示。



图 1-8 键盘示例