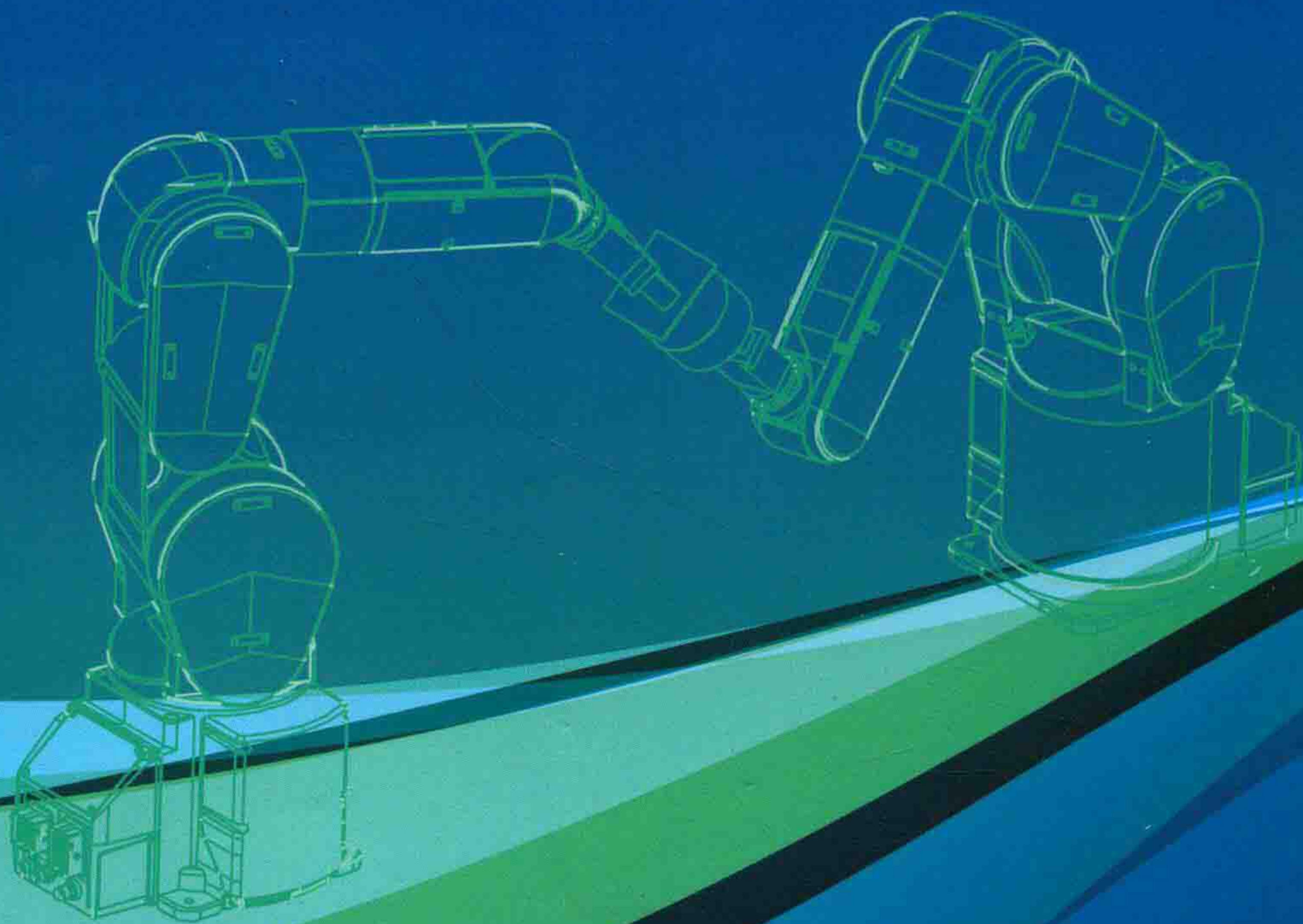


现代机电一体化技术丛书

机电产品 创新应用开发技术

胡福文 等编著

JIDIAN CHANPIN
CHUANGXIN YINGYONG
KAIFAJISHU



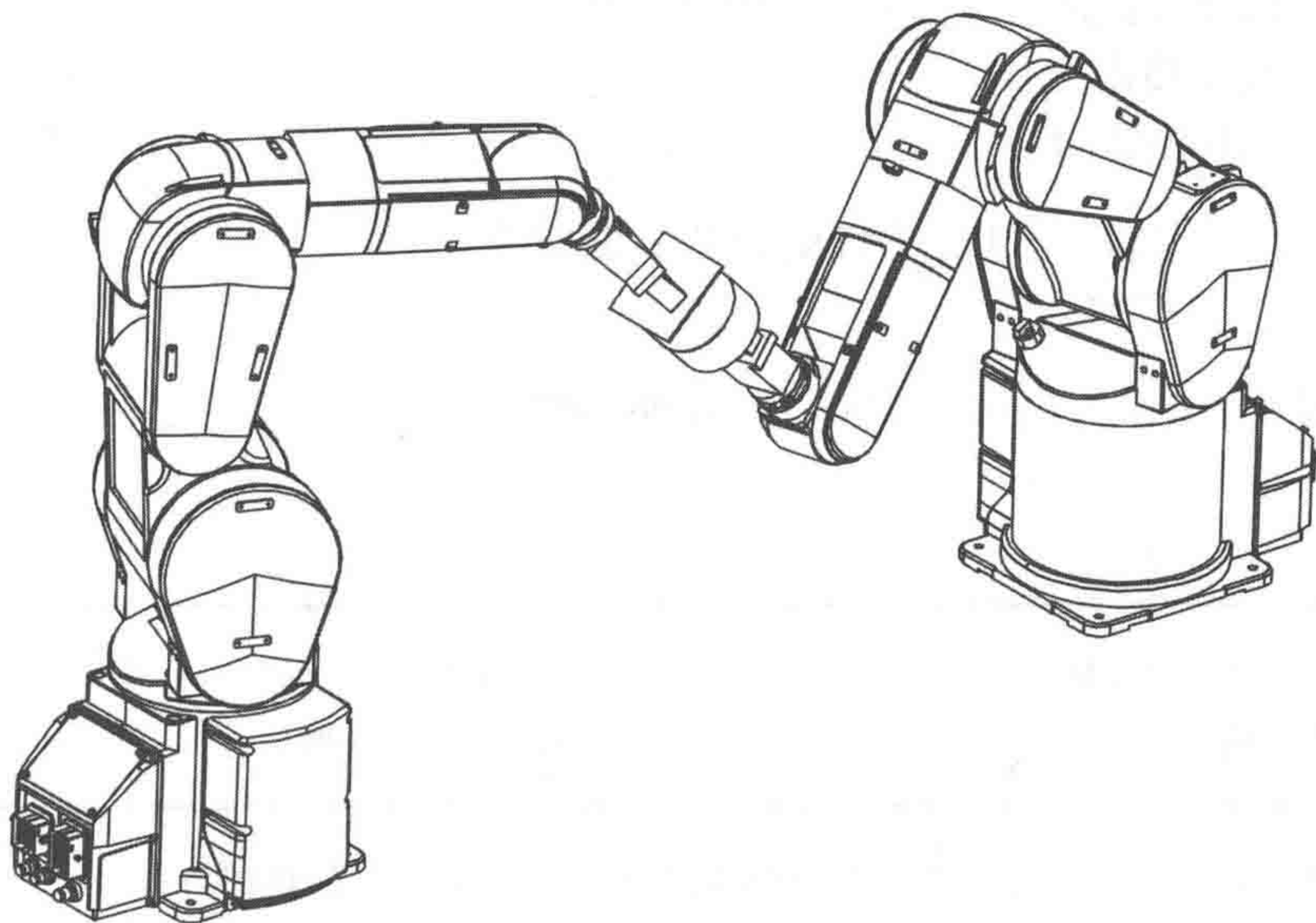
化学工业出版社

现代机电一体化技术丛书

机电产品 创新应用开发技术

胡福文 等编著

JIDIAN CHANPIN
CHUANGXIN YINGYONG
KAIFAJISHU



化学工业出版社

· 北京 ·

本书介绍了机电产品创新应用开发所必需的接口技术和工程应用实例。全书共分 10 章,分别介绍了工业机器人、机器视觉、机器人操作系统(ROS)、Arduino 开发系统、三菱 Q PLC、人机界面、变频控制系统、虚拟现实系统、CAD 系统二次开发及有限元分析系统的开发接口技术的基础知识和应用。本书列举了大量案例,详细说明接口技术的应用方法,对机电产品创新应用开发具有很强的指导性。

本书可供从事机电一体化、机电产品设计的工程技术人员和研究人员阅读,也适合机械、电气、自动化相关专业的师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

机电产品创新应用开发技术/胡福文等编著. —北京:
化学工业出版社, 2017.5

(现代机电一体化技术丛书)

ISBN 978-7-122-29424-1

I. ①机… II. ①胡… III. ①机电设备—创新管
理—研究 IV. ①TM92

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 068867 号

责任编辑:曾越 张兴辉

文字编辑:陈喆

责任校对:边涛

装帧设计:王晓宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印装:三河市延风印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 20½ 字数 517 千字 2017 年 8 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 89.00 元

版权所有 违者必究

丛书序

“现代机电一体化技术丛书” 编委会

主任 林 宋

副主任 王生泽 王侃 方建军

委员 (排名不分先后)

胡于进 王生泽 何 勇 谢少荣 罗 均 莫锦秋 王石刚

张 朴 徐盛林 林 宋 殷际英 方建军 尚国清 郭瑜茹

杨野平 戴 荣 周洪江 刘杰生 黎 放 刘 勇 王 晶

王 侃 白传栋 袁俊杰 胡福文 董信昌 马 梅



丛书序

机电一体化是指在机构的主功能、动力功能、信息处理功能和控制功能上引进电子技术，将机械装置与电子化设计及软件结合起来所构成的系统的总称。机电一体化是微电子技术、计算机技术、信息技术与机械技术的相互交叉与融合，是诸多高新技术产业和高技术装备的基础。机电一体化产品是集机械、微电子、自动控制和通信技术于一体的高科技产品，具有很高的功能和附加值。

目前，国际上产业结构的调整使得各个行业不断融合和协调发展。作为机械与电子相结合的复合产业，机电一体化以其特有的技术带动性、融合性和普适性，受到了国内外科技界、企业界和政府部门的特别关注，它将在提升传统产业的过程中，带来高度的创新性、渗透性和增值性，成为未来制造业的支柱。我国已经将发展机电一体化技术列为重点高新科技发展项目，机电一体化技术的广阔发展前景也将越来越光明。

随着机电一体化技术的不断发展，各个行业的技术人员对其兴趣和需求也与日俱增。但到目前为止，国内还鲜有将光机电一体化技术作为一个整体技术门类来介绍和论述的书籍，这与其方兴未艾的发展势头形成了巨大反差。有鉴于此，由北方工业大学、东华大学、上海交通大学和北京联合大学联合编写“现代机电一体化技术丛书”，旨在适时推出一套机电一体化技术基本知识和应用实例的科技丛书，满足科研设计单位、企业及高等院校的科研和教学需求，为有关技术人员在开发机电一体化产品时，提供从产品造型、功能、结构、材料、传感测量到控制等诸方面有价值的参考资料。

本丛书共十二种，包括《机电一体化系统分析、设计与应用》、《机电一体化系统软件设计与应用》、《机电产品创新应用开发技术》、《机电一体化系统设计及典型案例分析》、《光电子技术及其应用》、《现代传感器及工程应用》、《微机电系统及工程应用》、《光机电一体化技术产品典型实例：工业》、《光机电一体化技术产品典型实例：民用》、《现代数控机床及控制》、《楼宇设备控制及应用实例》、《服务机器人》。

丛书的基本特点，一是内容新颖，力求及时地反映机电一体化技术在国内外的最新进展和作者的有关研究成果；二是系统全面，分门别类地归纳总结机电一体化技术的基本理论和在国民经济各个领域的应用实例，重点介绍了机电一体化技术的工程应用和实现方法，许多内容，如楼宇自动门的专门论述，尚属国内首次；三是深入浅出，重点突出，理论联系实际，既有一定的深度，又注重实用性，力求满足不同层次读者的需求，适合工程技术人员阅读和高校机械类专业教学的需要。

由于本丛书涉及内容广泛，相关技术发展迅速，加之作者水平有限，时间紧促，书中不妥之处在所难免，恳请专家、学者和读者不吝指教为盼！

“现代机电一体化技术丛书”编委会



前言

人类社会的发展历经原始社会、农业社会、工业社会，一直到今天的信息社会，前进的脚步仍在加速，智能生产和智慧生活是未来的发展方向。新一轮技术革命的大幕已经拉开，它的特点是技术更加密集、系统更加智能、接口更加开放、普及更加迅速。跨界融合创新的特征日益凸显，专业技术之间的壁垒日渐消融。这对机电工程产品开发研制、机电工程创新人才培养、高等工程实践教学、企业市场竞争开拓等方面均产生了深刻和重大的影响。工业化大生产时代形成的市场细分、专业化生产模式，以及与之并行的高度专业化的工程技术人才培养模式面临着重大挑战。

多年来编者在科研开发、人才培养和实验室建设过程中，特别注重机械、电气、自动化、电子、软件等多领域技术的集成应用，在 3D 打印机、智能机器人、工厂自动化系统、有限元仿真系统、虚拟现实系统等领域开发了一批产品，有深厚的技术积累优势。任何机电产品的开发都是机、电、信、控、算等多领域技术实现“精确拼图”的成果，理解和掌握它们之间的接口技术，对于提升机电产品的创新级别，对于提升大学生、研究生和研发工程师的工程实践创新能力非常重要。

本书共分 10 章，第 1 章重点介绍了工业机器人示教编程、离线编程和集成应用方面的接口技术。第 2 章首先讲述了工业智能相机集成创新应用的知识，然后介绍了基于 OpenCV 开发图像处理系统和基于树莓派进行视觉系统开发的基本原理。第 3 章介绍了机器人操作系统（ROS）开发的基础知识。第 4 章介绍了 Arduino 开源平台的基本 I/O 接口、通信接口和软件接口开发知识。第 5 章以三菱 QPLC 为例，介绍了 PLC 控制系统开发的基本接口技术。第 6 章以三菱 GOT1000 为例，介绍了工业控制人机界面设计和开发的基本方法。第 7 章首先介绍了变频控制的接口技术，并介绍了 CC-Link 总线控制接口实例。第 8 章介绍了 Virtools 开发平台的基本运行机制，重点结合实例讲解了图形脚本、VSL、Lua 和 SDK 四类开发接口的基本流程、基本方法和基础概念。第 9 章重点介绍了基于 CAA 对 CATIA 软件二次开发的基本原理，并给出了若干典型开发实例。第 10 章以若干有限元分析实例为基础，介绍了 ANSYS 和 Abaqus 有限元软件定制开发的基本原理。本书坚持创新和应用并举，实例和理论交融，不过于追求烦琐细节，重点突出开发接口，初学者读之可以快速入门，有一定基础者可以扩展自身的技术领域。

本书由北方工业大学胡福文、山东科技大学贺云花编著。李立、刘宴诚、张帅、王均、牛晓杰、梁真、闫东东、李俊朋等分别参与了有关章节内容的编写。

由于本书涉及的技术领域非常广泛，但因篇幅有限，没有展开更加翔实的介绍。此外，由于水平有限，书中难免有细节疏漏和描述偏差，敬请广大读者批评指正。

编著者



目录

第 1 章 工业机器人系统应用接口技术 / 001

1.1 工业机器人概述 / 001

1.1.1 工业机器人基本构成 / 002

1.1.2 工业机器人的分类 / 003

1.2 机器人硬件接口 / 004

1.2.1 机器人本体接口 / 004

1.2.2 机器人控制器接口 / 004

1.3 工业机器人示教编程接口 / 005

1.3.1 示教器简介 / 005

1.3.2 JOG 动作操作 / 006

1.3.3 手爪操作 / 006

1.3.4 菜单功能 / 008

1.4 工业机器人编程软件 RT ToolBox / 010

1.4.1 安装教程 / 010

1.4.2 工作区与工程 / 011

1.4.3 离线/在线/模拟 / 013

1.4.4 机器人参数设置 / 014

1.4.5 监视界面 / 016

1.4.6 机器人编程语言 / 019

1.4.7 程序实例 / 020

1.5 仿真离线编程软件 / 023

1.5.1 离线编程简介 / 023

1.5.2 SOLIDWORKS 模型创建 / 023

1.5.3 MELFA-Works / 024

1.5.4 机器人设置 / 024

1.5.5 布局 / 025

1.5.6 机器人操作 / 026

1.5.7 校准 / 026

1.5.8 任务 / 026

1.5.9 虚拟控制器 / 027

1.5.10 程序实例 / 028

第 2 章 机器视觉系统开发接口技术 / 034

2.1 机器视觉概述 / 034

- 2.1.1 机器视觉 / 034
- 2.1.2 机器视觉系统 / 035

2.2 智能相机 / 038

- 2.2.1 智能相机的硬件接口 / 039
- 2.2.2 智能相机编程软件 / 040

2.3 OpenCV 系统开发 / 057

- 2.3.1 OpenCV 开发包安装 / 057
- 2.3.2 OpenCV 开发实例：载入图像 / 061
- 2.3.3 OpenCV 开发实例：图像叠加 / 063
- 2.3.4 OpenCV 开发实例：边缘识别 / 064

2.4 树莓派视觉开发技术 / 066

- 2.4.1 树莓派简介 / 066
- 2.4.2 树莓派编程语言——Python / 066
- 2.4.3 树莓派摄像头 / 067
- 2.4.4 树莓派上配置摄像头 / 067
- 2.4.5 树莓派摄像头的 Python 环境配置 / 068
- 2.4.6 树莓派视觉系统开发实例 / 069

第 3 章 机器人操作系统 (ROS) 开发接口技术 / 075

3.1 ROS 概述 / 075

- 3.1.1 ROS 简介 / 075
- 3.1.2 ROS 运行机制 / 077

3.2 安装并配置 ROS 环境 / 079

- 3.2.1 安装 Ubuntu / 079
- 3.2.2 安装并配置 ROS 环境 / 080

3.3 ROS 文件系统 / 084

- 3.3.1 预备工作 / 084
- 3.3.2 文件系统概念 / 084
- 3.3.3 文件系统工具 / 084

3.4 ROS 消息发布器和订阅器 / 086

- 3.4.1 编写发布器节点 / 086
- 3.4.2 编写订阅器节点 / 089
- 3.4.3 编译节点 / 090

3.5 ROS Service 和 Client / 091

- 3.5.1 编写 Service 节点 / 091
- 3.5.2 编写 Client 节点 / 092

3.5.3 编译节点 / 093

3.6 ROS 开发实例——乌龟机器人 / 094

3.6.1 乌龟机器人——先决条件 / 094

3.6.2 乌龟机器人——分步解析 / 097

第 4 章 Arduino 开发接口技术 / 105

4.1 Arduino 开发接口 / 105

4.1.1 Arduino 简介 / 105

4.1.2 Arduino 硬件接口 / 105

4.1.3 Arduino IDE / 107

4.2 Arduino 基本 I/O / 110

4.2.1 数字 I/O / 110

4.2.2 模拟 I/O / 111

4.2.3 I/O 接口实例：超声波测距 / 113

4.2.4 I/O 接口实例：舵机控制 / 115

4.2.5 I/O 接口实例：直流电机驱动 / 117

4.2.6 Arduino 中断 / 121

4.3 Arduino 通信接口 / 123

4.3.1 串口通信 / 123

4.3.2 IIC 通信 / 125

4.3.3 SPI 通信 / 128

4.3.4 蓝牙通信 / 129

4.4 Arduino 库开发 / 131

第 5 章 三菱 Q PLC 开发接口 / 136

5.1 PLC 系统开发概述 / 136

5.1.1 Q 系列 PLC 简介 / 136

5.1.2 Q 系列 PLC 性能比较 / 137

5.2 PLC 系统的工作原理 / 137

5.2.1 扫描 / 138

5.2.2 程序执行过程 / 138

5.3 三菱 Q PLC 的硬件接口 / 139

5.3.1 硬件系统 / 139

5.3.2 硬件接口 / 143

5.4 GX Works2 软件入门实例 / 147

5.4.1 GX Works2 的功能简介 / 147

5.4.2 GX Works2 使用简介 / 147

5.5 PLC 编程基础 / 153

5.5.1 梯形图 / 154

5.5.2 语句表 / 155

5.5.3 顺序功能图 / 156

5.5.4 控制系统流程图 / 156

5.6 PLC 系统开发实例 / 156

5.6.1 程序练习 / 156

5.6.2 程序应用 / 157

第 6 章 人机界面开发接口技术 / 161

6.1 GOT1000 触摸屏接口介绍 / 161

6.2 GT Designer3 的基本知识 / 162

6.2.1 GT Designer3 简介 / 162

6.2.2 启动 GT Designer3 / 162

6.2.3 创建新工程 / 164

6.2.4 对 GOT 进行读取和写入 / 167

6.3 GT Designer3 元件工具栏详解 / 170

6.3.1 开关 / 170

6.3.2 指示灯 / 172

6.3.3 数值显示/输入 / 173

6.3.4 字符串显示 / 173

6.3.5 日期时间显示 / 173

6.3.6 注释显示 / 174

6.4 GT Designer3 简单工程实例详解 / 174

6.4.1 四种位开关进行的灯光控制 / 174

6.4.2 数值显示/输入综合 / 179

第 7 章 变频控制系统开发接口技术 / 189

7.1 变频器的作用 / 189

7.2 变频器应用示例 / 191

7.3 变频器的结构 / 193

7.4 变频器的优点 / 193

7.5 变频器基础 / 194

7.5.1 操作面板各部分的名称与功能 / 194

7.5.2 变频器端子接线 / 194

7.5.3 主回路端子规格 / 195

7.5.4 控制回路端子 / 196

7.6 操作面板的基本操作 / 198

- 7.6.1 操作锁定 / 199
- 7.6.2 设置输出频率的上限与下限 / 201
- 7.6.3 变更加速时间与减速时间 / 202
- 7.6.4 最高频率设定 / 203

7.7 变频器运行 / 204

- 7.7.1 在 PU 运行模式下运行 / 204
- 7.7.2 频率变更 / 204
- 7.7.3 在外部运行模式下运行 / 204
- 7.7.4 保护功能动作时的复位方法 / 205
- 7.7.5 电机不动作时的处理方法 / 205

7.8 CC-Link 通信接口技术 / 206

- 7.8.1 CC-Link 概述 / 206
- 7.8.2 CC-Link 的系统 / 207
- 7.8.3 CC-Link 与变频器通信控制实例 / 207
- 7.8.4 CC-Link 控制变频器程序编写 / 210

第 8 章 虚拟现实系统开发接口技术 / 211

8.1 虚拟现实概述 / 211

8.2 Virtools 开发平台 / 213

- 8.2.1 Virtools 概述 / 213
- 8.2.2 Virtools 创作流程 / 214
- 8.2.3 Virtools 系统机制 / 215
- 8.2.4 Virtools 开发接口 / 217

8.3 Virtools 开发接口图形脚本 / 219

- 8.3.1 图形脚本开发入门实例 / 219
- 8.3.2 Virtools 进程循环 / 222
- 8.3.3 BB 模块 / 223

8.4 Virtools 开发接口 VSL 脚本 / 225

- 8.4.1 VSL 脚本开发入门实例 / 225
- 8.4.2 VSL 脚本开发高级实例 / 227

8.5 Virtools 开发接口 Lua 脚本 / 228

8.6 Virtools 开发接口 SDK 脚本 / 230

- 8.6.1 开发包配置 / 230
- 8.6.2 SDK 开发实例 / 230
- 8.6.3 SDK 模板解析 / 236

第 9 章 CAD 系统二次开发接口技术 / 242

- 9.1 CATIA CAA 开发基础 / 242
- 9.2 面向组件的编程技术 / 246
- 9.3 CATIA CAA 应用的基本框架 / 249
- 9.4 Addin 的添加 / 251
- 9.5 Dialog 及 Command 的添加 / 260
- 9.6 参数化设计例子 / 265
- 9.7 常用功能 / 276

第 10 章 有限元分析系统开发接口技术 / 280

- 10.1 有限元分析概述 / 280
- 10.2 ANSYS 参数化程序设计语言 (APDL) / 283
 - 10.2.1 ANSYS 命令流基础 / 283
 - 10.2.2 APDL 实例详解: 齿轮模态分析 / 284
 - 10.2.3 APDL 实例详解: 接触问题分析 / 288
 - 10.2.4 APDL 实例详解: 复合材料装配应力分析 / 289
 - 10.2.5 APDL 实例详解: 曲柄连杆结构瞬态分析 / 292
 - 10.2.6 APDL 宏程序实例 / 294
- 10.3 ANSYS 用户界面设计语言 (UIDL) / 297
 - 10.3.1 UIDL 控制文件的结构 / 297
 - 10.3.2 ANSYS 调用 UIDL 的过程 / 299
- 10.4 Abaqus 软件二次开发 / 300
 - 10.4.1 Abaqus 的体系结构 / 300
 - 10.4.2 Abaqus 的脚本接口 / 300
 - 10.4.3 Abaqus 二次开发入门实例 / 301
- 10.5 Abaqus 软件二次开发 Plug-in 插件 / 304
 - 10.5.1 Plug-in 简介 / 304
 - 10.5.2 Plug-in 添加注册 / 304
 - 10.5.3 Plug-in 添加实例 / 305
- 10.6 Abaqus 软件二次开发综合实例 / 305
 - 10.6.1 Abaqus 内核编程和 GUI 编程原理 / 305
 - 10.6.2 Abaqus 二次开发综合实例 / 307

参考文献 / 311

第 1 章

工业机器人系统应用接口 技术

工业机器人技术包含核心部件的生产研制、机器人本体的生产集成和机器人应用集成等三个层面。其中控制器、伺服电机、减速机三大核心部件占机器人成本的六成。机器人本体技术主要是保证机器人在一定范围内和负载下实现精确可靠的运动。机器人系统应用则是根据具体的生产工艺需求，将机器人“裸机”转化成功能强大的应用机器人。学习和掌握工业机器人的操作调试、编程控制、离线仿真和系统集成技术，是开展工业机器人创新应用的基础，是实现工厂自动化、智能制造和“工业 4.0”的关键使能技术之一。

1.1 工业机器人概述

自从 20 世纪 60 年代初世界上第一台工业机器人在美国问世以后，机器人展示出了其极强的生命力。特别是近年来，随着我国经济结构的调整和升级，我国已经成为全球第一大工业机器人市场，“机器换人”至少会持续 10 年。在工业生产中，焊接机器人、磨抛加工机器人、激光加工机器人、喷涂机器人、搬运机器人、真空机器人等工业机器人都已被大量采用，如图 1-1~图 1-4 所示。

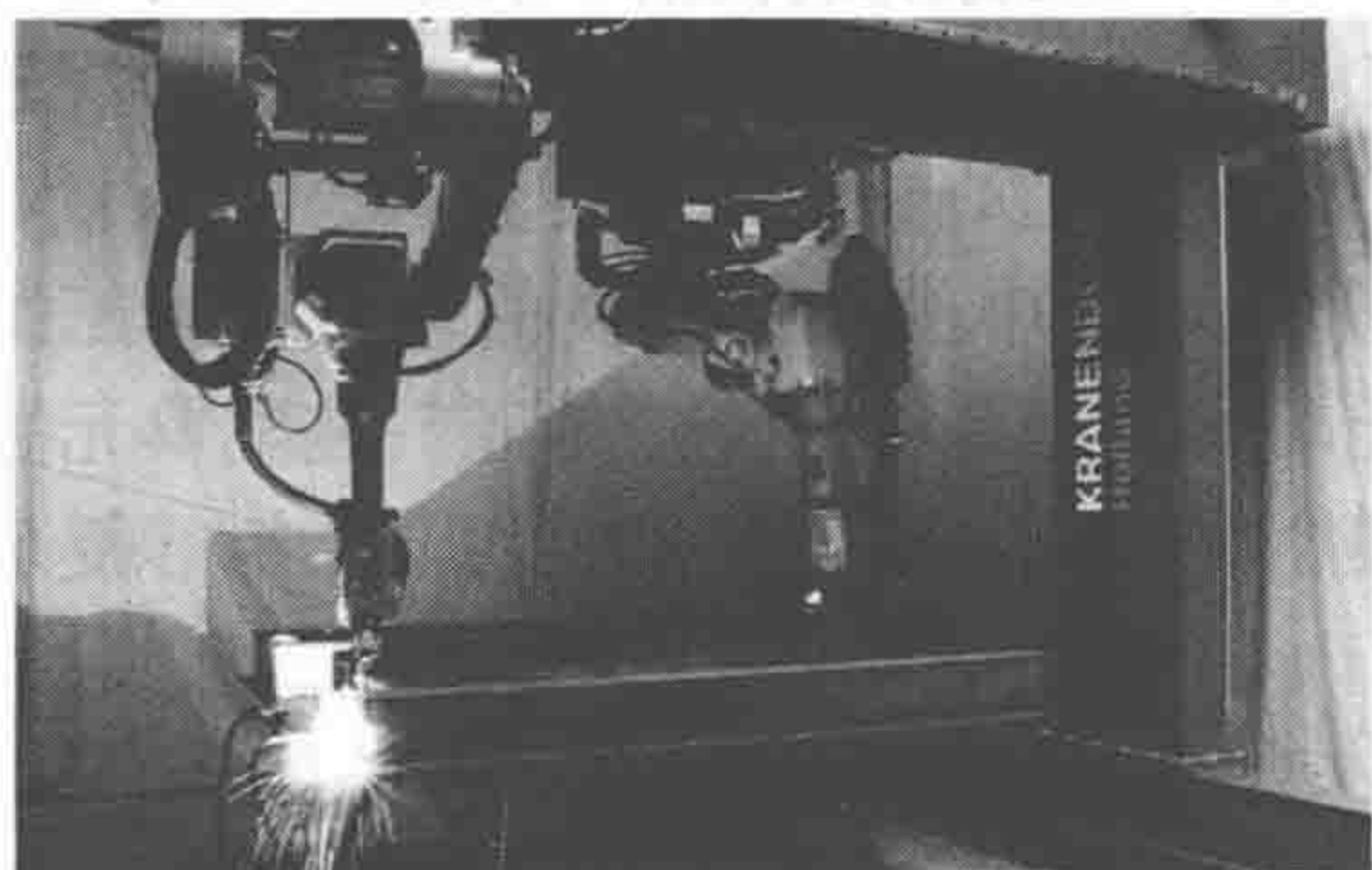


图 1-1 机器人用于船体构件焊接



图 1-2 机器人用于汽车装配

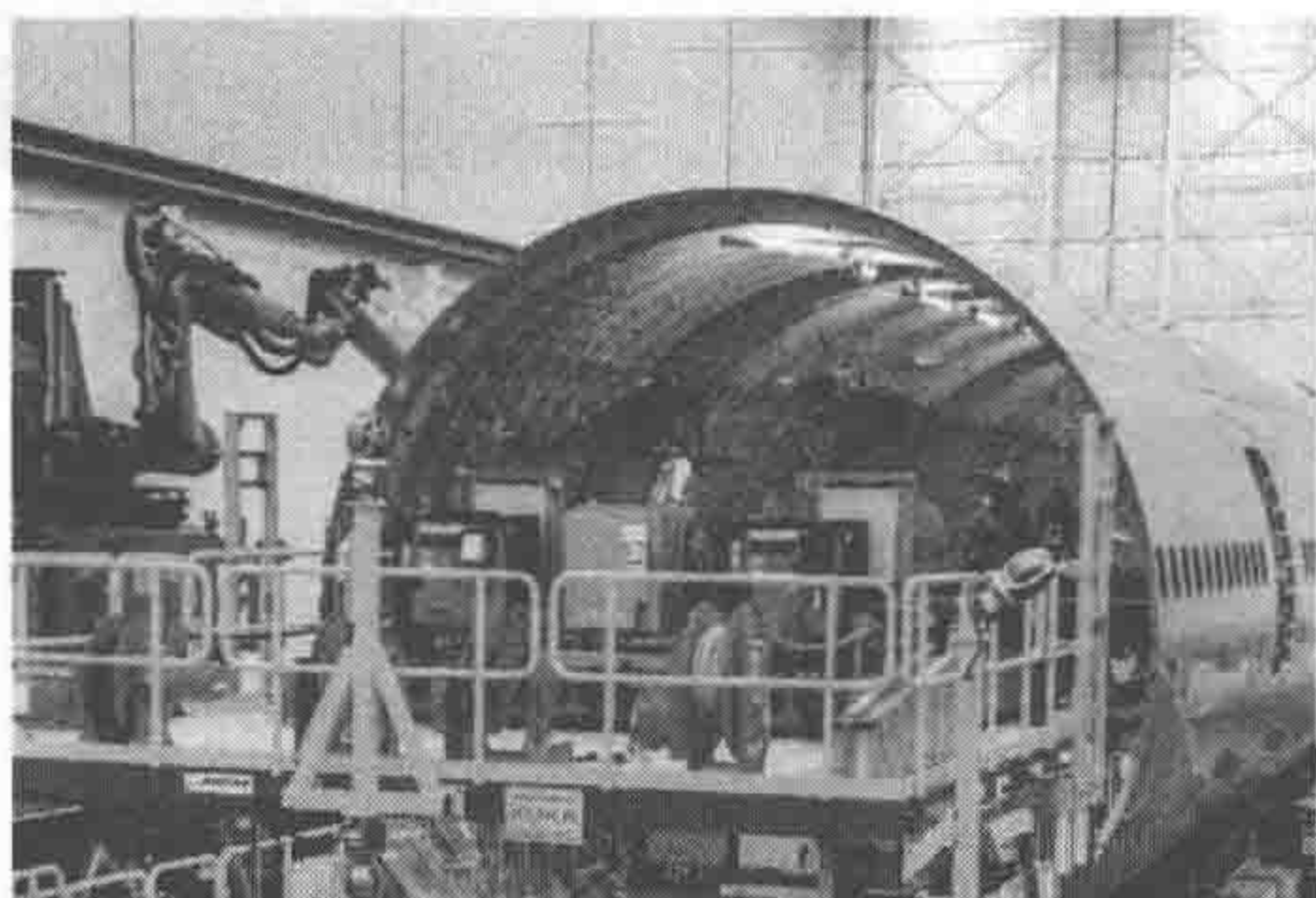


图 1-3 机器人用于飞机机身壁板的制孔和铆接



图 1-4 机器人用于车体喷漆

1.1.1 工业机器人基本构成

工业机器人由 3 大部分 6 个子系统组成。3 大部分是机械部分、传感部分和控制部分。

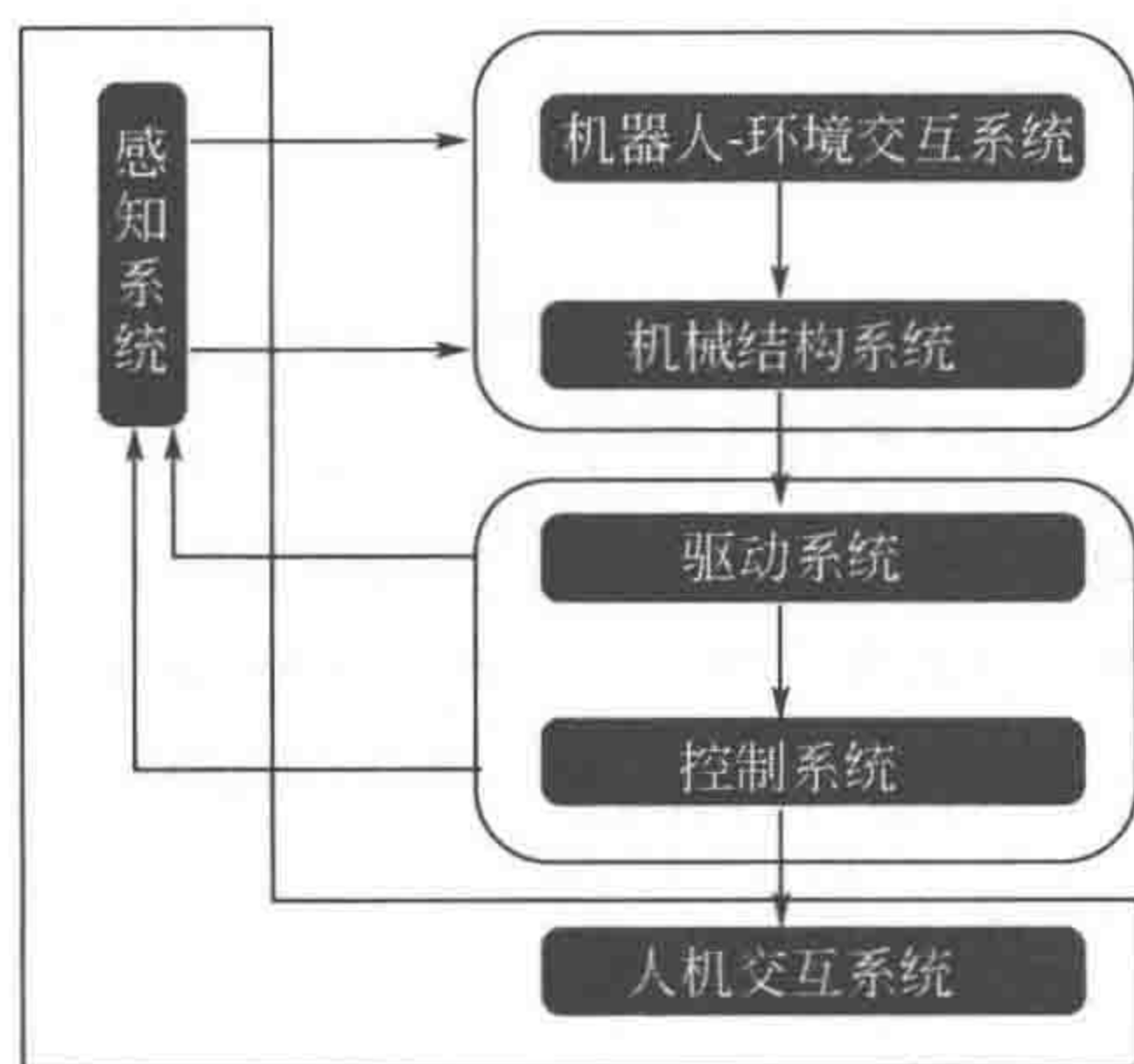


图 1-5 机器人系统组成

6 个子系统为机械结构系统、驱动系统、感知系统、机器人环境交互系统、人机交互系统和控制系统，见图 1-5。

(1) 机械结构系统

工业机器人的机械结构系统由机座、手臂、末端执行器三大部分组成，每一个机械组件都有若干个自由度的机械系统。若基座具备行走机构，则构成行走机器人；若基座不具备行走及弯腰机构，则构成固定机械臂。手臂一般由腰、臂和手腕组成。末端操作器是直接装在手腕上的一个重要部件，它可以是二手指或多手指的手爪，也可以是喷漆枪、焊具等作业工具。

(2) 驱动系统

要使机器人运作起来，需要在各个关节即每个运动自由度上安置驱动装置，这就是驱动系统。驱动系统可以是液压传动、气压传动、电动传动，或者把它们结合起来的混合驱动系统，可以是直接驱动或者通过同步带、链条、轮系、谐波齿轮减速器、RV 减速器等机械传动机构进行间接传动。

(3) 感知系统

感知系统由内部传感器模块和外部传感器模块组成，用以获得内部和外部环境状态中有意义的信息。智能传感器的使用提高了机器人的机动性、适应性和智能化的程度。人类的感知系统对感知外部世界信息是极其灵巧的，然而，对于一些特殊的信息，传感器比人类的感知系统更有效。

(4) 机器人—环境交互系统

机器人—环境交互系统是现代工业机器人与外部环境中的设备互换信息和协调工作的系统。工业机器人与外部设备集成为一个功能单元，如加工单元、焊接单元、装配单元等。当然，也可以是多台机器人、多台机床或设备、多个零件存储装置等集成为一个执行复杂任务的功能单元。

(5) 人机交互系统

人机交互系统是操作人员与机器人控制并与机器人联系的装置，例如，计算机的标准终端、指令控制台、信息显示板、危险信号报警器等。该系统归纳起来分为两大类：指令给定

装置和信息显示装置。

(6) 控制系统

机器人控制系统是机器人的大脑，是决定机器人功能和性能的主要因素。它的主要任务就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。模块化、层次化的控制器软件系统、机器人的故障诊断与安全维护技术、网络化机器人控制器技术等关键技术直接影响到工业机器人的速度、控制精度与可靠性。目前，机器人控制系统将向着基于 PC 机的开放型控制器方向发展，便于标准化、网络化，伺服驱动技术的数字化和分散化，多传感器融合技术的实用化，以及工作环境设计的优化和作业的柔性化。

控制系统的任务是根据机器人的作业指令程序以及传感器反馈回来的信号支配机器人的执行机构去完成规定的运动和功能。假如工业机器人不具备信息反馈特征，则为开环控制系统；若具备信息反馈特征，则为闭环控制系统。根据控制原理，控制系统可分为程序控制系统、适应性控制系统和人工智能控制系统。根据控制运行的形式，控制系统可分为点位控制和轨迹控制。点位型只控制执行机构由一点到另一点的准确定位，适用于机床上下料、点焊和一般搬运、装卸等作业；连续轨迹型可控制执行机构按给定轨迹运动，适用于连续焊接和涂装等作业。

1.1.2 工业机器人的分类

工业机器人按操作机坐标形式分以下 5 类，见图 1-6。

(1) 直角坐标型工业机器人

直角坐标型工业机器人的运动部分由三个相互垂直的直线移动副（即 PPP）组成，其工作空间图形为长方形。它在各个轴向的移动距离，可在各个坐标轴上直接读出，直观性强，易于位置和姿态的编程计算，定位精度高，控制无耦合，结构简单，但机体所占空间体积大，动作范围小，灵活性差，难与其他工业机器人协调工作。

(2) 圆柱坐标型工业机器人

圆柱坐标型工业机器人的运动形式是通过一个转动副和两个移动副组成的运动系统来实现的，

其工作空间图形为圆柱。与直角坐标型工业机器人相比，在相同的工作空间条件下，机体所占体积小，而运动范围大，其位置精度仅次于直角坐标型机器人，难与其他工业机器人协调工作。

(3) 球坐标型工业机器人

球坐标型工业机器人又称极坐标型工业机器人，其手臂的运动由两个转动副和一个直线移动副（即 RRP，一个回转、一个俯仰和一个伸缩运动）所组成，其工作空间为一球体，它可以做上下俯仰动作，并能抓取地面上或较低位置的协调工件，其位置精度高，位置误差与臂长成正比。

(4) 多关节型工业机器人

多关节型工业机器人又称回转坐标型工业机器人，这种工业机器人的手臂与人体上肢类似，其前三个关节是回转副（即 RRR）。该工业机器人一般由立柱和大小臂组成，立柱与大臂间形成肩关节，大臂和小臂间形成肘关节，可使大臂做回转运动和俯仰摆动，小臂做仰俯摆动。其结构最紧凑，灵活性大，占地面积最小，能与其他工业机器人协调工作，但位置精度较低，有平衡性，控制耦合等问题，这种工业机器人应用越来越广泛。

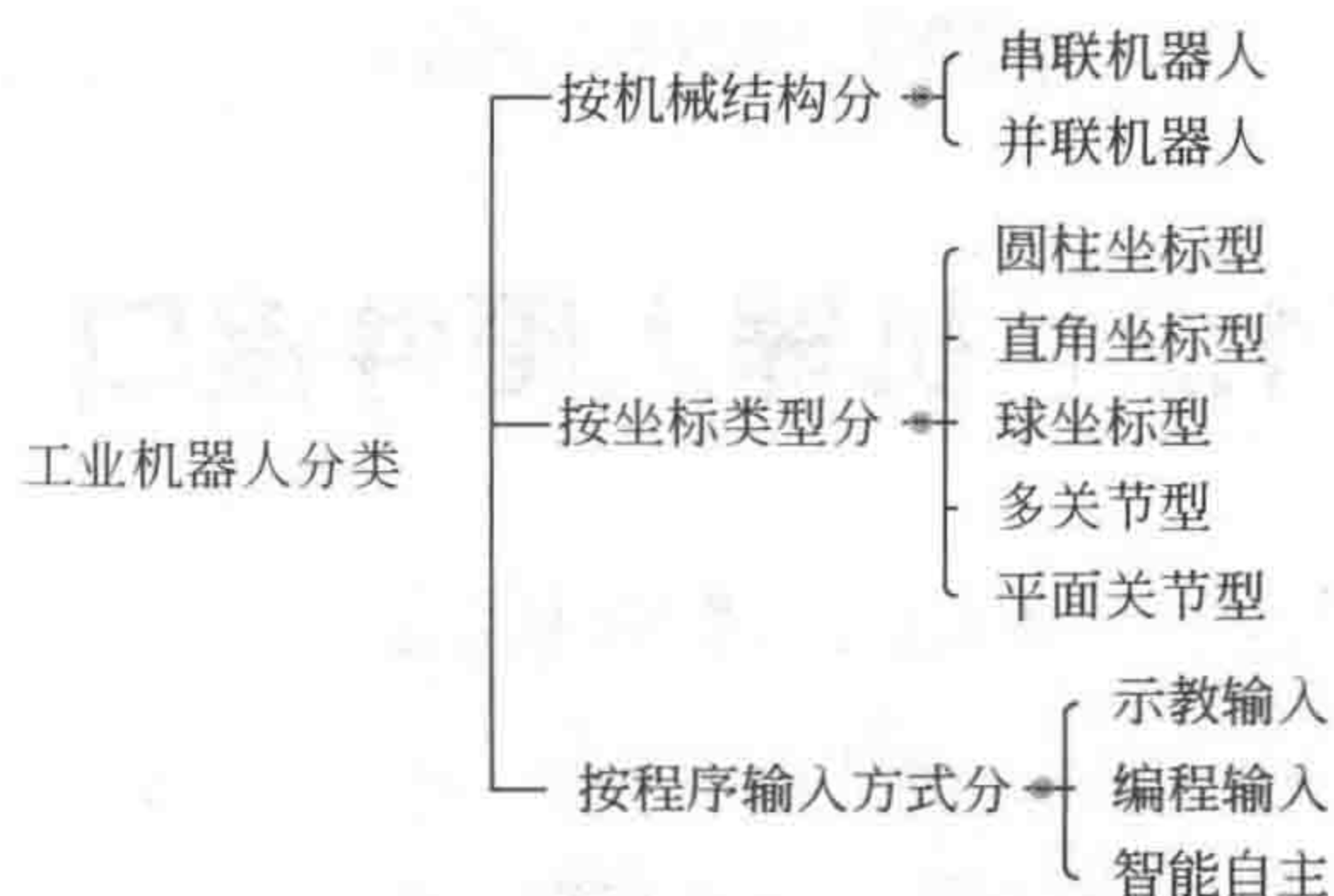


图 1-6 工业机器人的分类

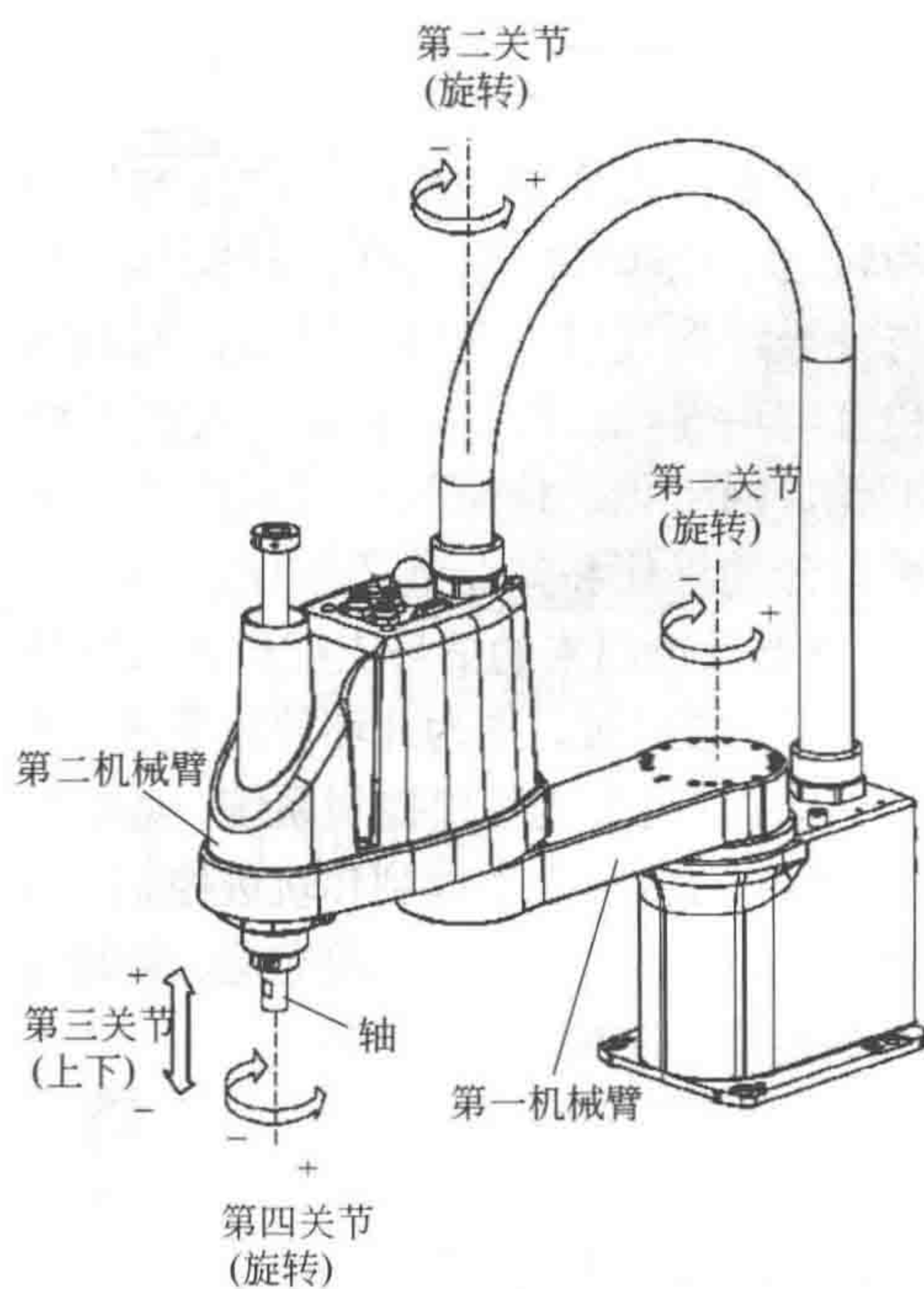


图 1-7 SCARA 机器人

(5) 平面关节型工业机器人

它采用一个移动关节和两个回转关节（即 PRR）。移动关节实现上下运动，而两个回转关节则控制前后、左右运动。这种形式的工业机器人又称（SCARA, Seletive Compliance Assembly Robot Arm）装配机器人。在水平方向具有柔顺性，而在垂直方向则有较大的刚性。它结构简单，动作灵活，多用于装配作业中，特别适合小规格零件的插接装配，如在电子工业的插接、装配中应用广泛，见图 1-7。

工业机器人按机械结构可分为串联机器人和并联机器人。

① 串联机器人 其特点是：一个轴的运动改变另一个轴的坐标原点，在位置求解上，串联机器人的正解容易，但反解十分困难。

② 并联机器人 采用并联机构，其一个轴的运动不会改变另一个轴的坐标原点。并联机器人具有刚度大、结构稳定、承载能力大、微动精度高、运动负荷小的优点。其正解困难，反解却非常容易。

1.2 机器人硬件接口

1.2.1 机器人本体接口

机器人本体接口主要在机器人基座背面，包括电源接口、电机信号接口、气源接口等。电池盒中的电池需要定期更换，在电量低时，机器人会发出报警信号，见图 1-8。当机器人与机器人控制器电池电量低时，机器人会产生报警编号，分别为 $133n$ (n 为轴编号) 与 7510。机器人本体的电池位于基座背面，如图 1-8 所示。机器人控制器的电池位于过滤板后侧。在更换电池时，机器人原点位置与编码器位置丢失。在示教器中，输入原点位置。原点数据位于基座电池盒盖板上。使用 JOG 模式，将机器人每个关节移动到初始位置，即每个关节处的箭头位置对齐。在原点设置菜单下，进入 ABS 选型，在每个轴处设置 1，实现编码器原点位置校准。

包括电源接口、电机信号接口、气源接口等。

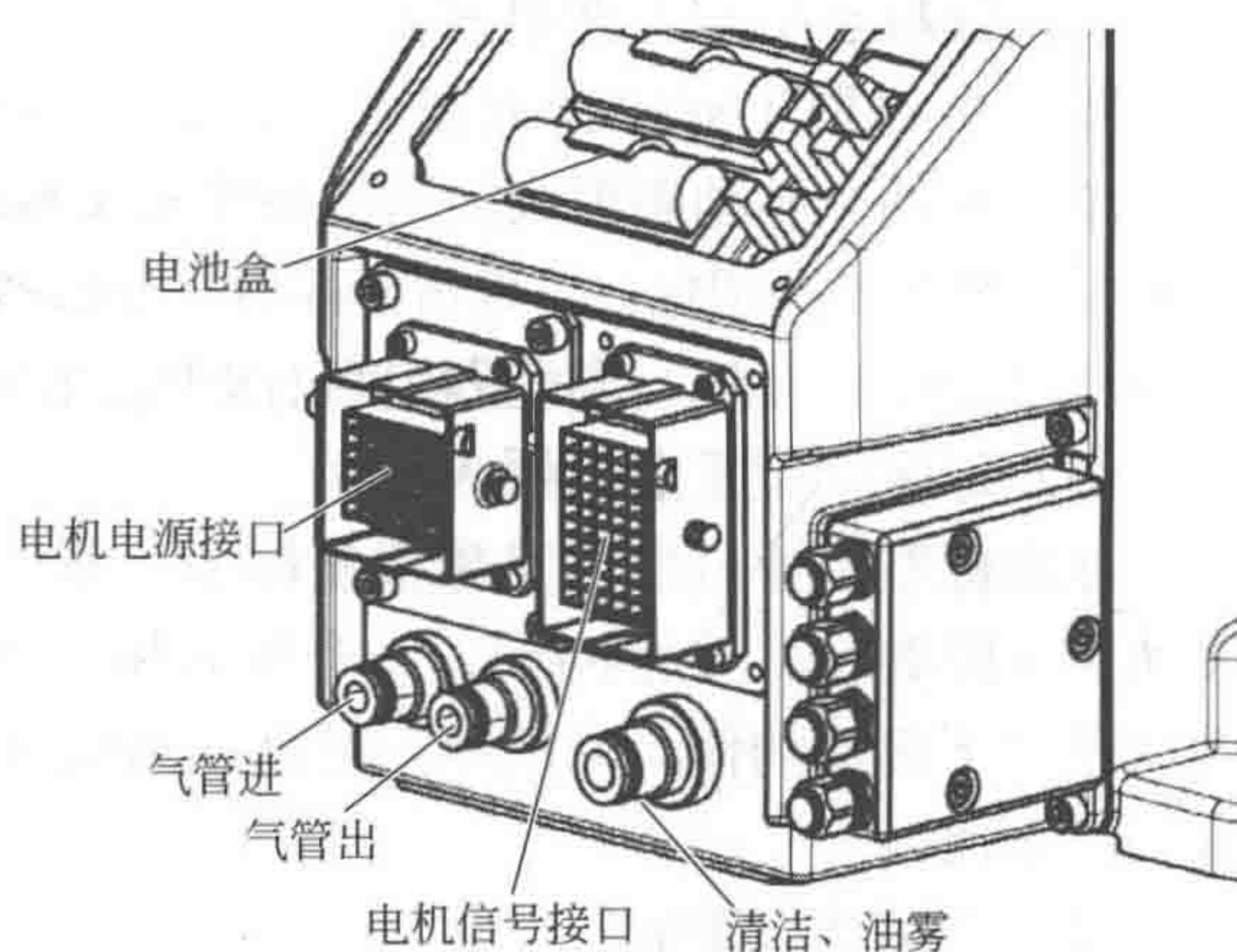


图 1-8 机器人本体

1.2.2 机器人控制器接口

机器人控制器接口主要包括与机器人本体相连接的电机电源接口、电机信号接口，与其

他设备相连接的用户配线接口（主要关于用户外接的开关信号，如急停、模式转换开关等）、TB 连接接口、USB 通信接口、以太网通信接口、PE 接地端子等。CR751-D 中电源使用的为交流 220V 单相。专用输入输出接口需要用户根据需要焊线。在使用时，示教接口必须插入示教器，否则会一直处于报警状态，见图 1-9。

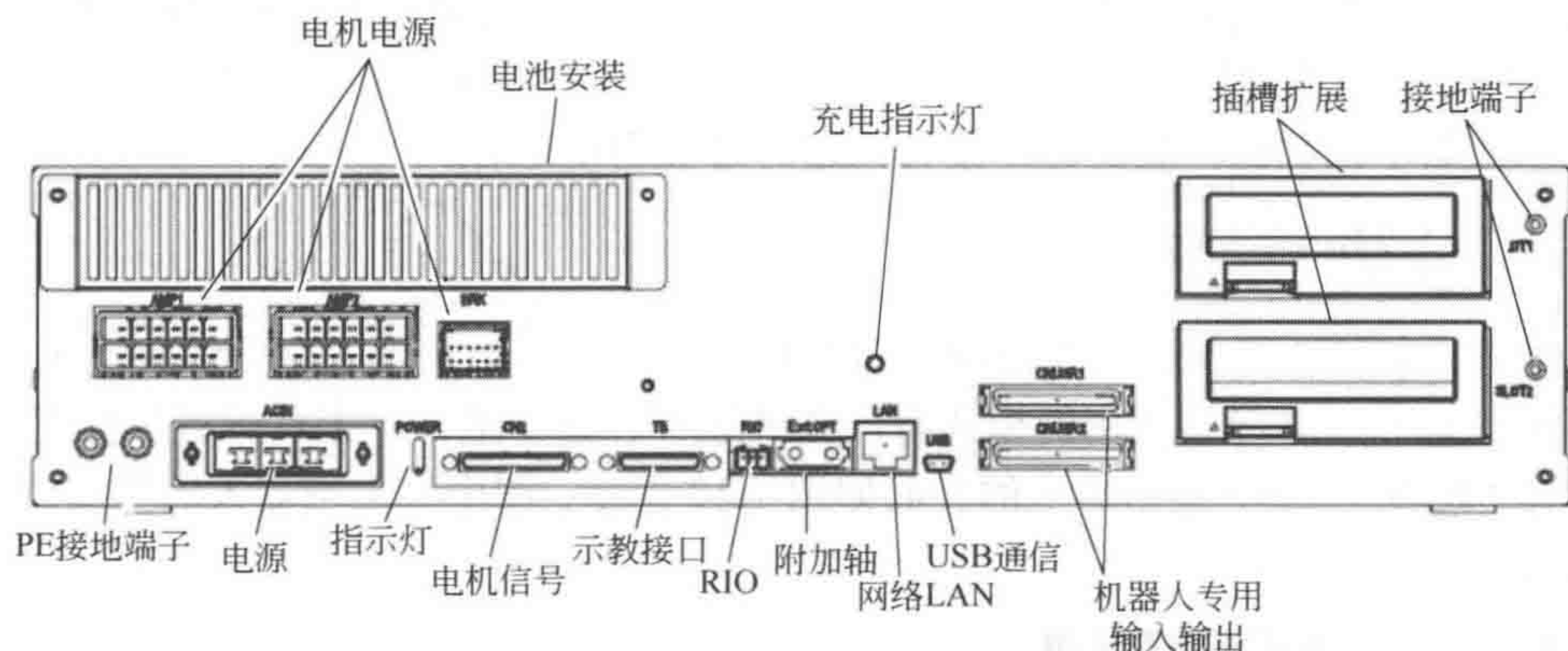


图 1-9 机器人控制器

1.3 工业机器人示教编程接口

1.3.1 示教器简介

示教模块是集机器人手动调试、机器人编程、参数设置、参数监视于一体的功能单元。示教器的主要操作功能如图 1-10 所示。

示教单元：示教单元有效/无效操作选择开关。

急停按钮：使机器人立即停止动作并切断伺服电源。

停止按钮：使机器人减速停止。可以按压启动按钮继续运行，不切断伺服电源。

显示盘：显示示教模块的相关操作数据。

状态指示灯：显示示教器以及机器人的相关状态（电源、有效/无效、伺服状态、错误报警）。

F1、F2、F3、F4 键：执行显示的对应功能。

功能键：各菜单中的功能切换，可执行的功能显示在显示盘的下方。

伺服 ON/OFF 键：在握住有效开关的状态下，执行伺服供电操作。

监视键：显示监视菜单，变为监视模式。



图 1-10 示教器

- 1—示教单元；2—急停按钮；3—停止按钮；4—显示盘；
5—状态指示灯；6—F1、F2、F3、F4 键；7—功能键；
8—伺服 ON/OFF 键；9—监视键；10—执行键（确认键）；11—复位键；12—有效开关