

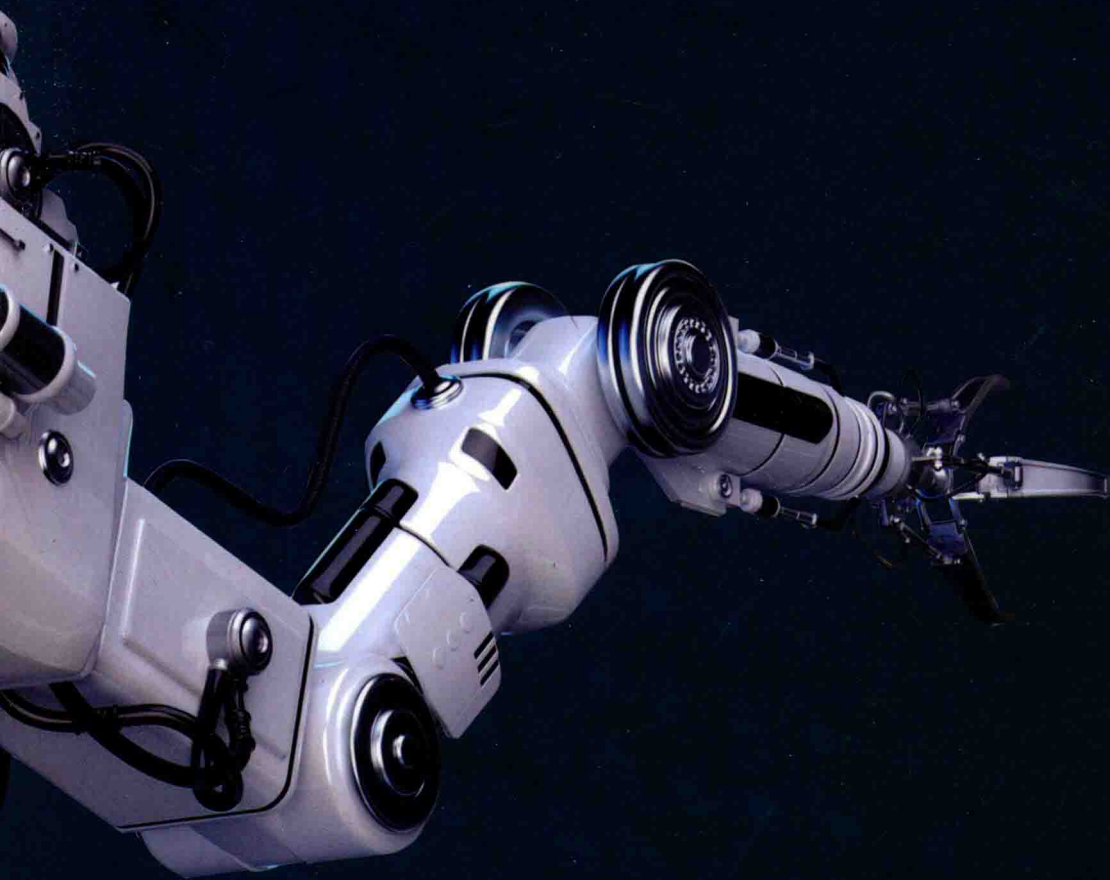


助力两化深度融合

INDUSTRIAL ROBOT

工业机器人 完全应用手册

龚仲华 龚晓雯◎编著



中国工信出版集团

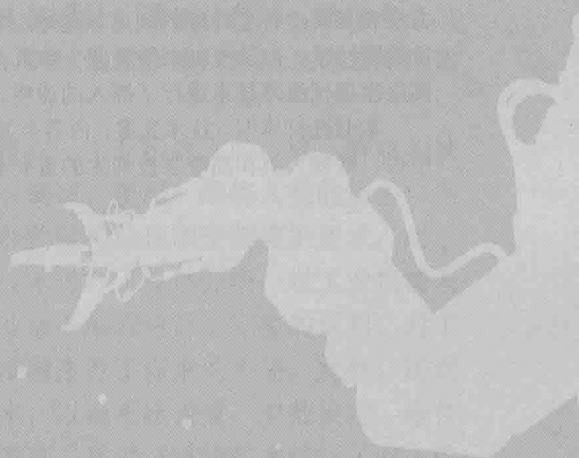


人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

INDUSTRIAL ROBOT

工业机器人 完全应用手册

龚仲华 龚晓雯◎编著



人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (C I P) 数据

工业机器人完全应用手册 / 龚仲华, 龚晓雯编著

— 北京: 人民邮电出版社, 2017.1

(助力两化深度融合)

ISBN 978-7-115-43942-0

I. ①工… II. ①龚… ②龚… III. ①工业机器人—
技术手册 IV. ①TP242.2-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第262220号

内 容 提 要

本书介绍了机器人的产生、发展和分类概况, 工业机器人的组成、特点和技术性能等基础知识; 全面系统地描述了工业机器人的机械结构、机械核心部件的结构原理和安装维护要求; 对工业机器人的电气控制系统组成、控制部件的安装连接技术进行了具体介绍; 对工业机器人的基本命令, 以及点焊、弧焊、搬运、通用机器人的作业命令的编程进行了完整的说明; 对工业机器人的手动操作、示教编程、再现运行的方法和步骤进行了详细的阐述。此外, 本书还对工业机器人的变量编程、平移编程、作业文件编制等高层次编程技术, 以及控制系统设置、参数设定、硬件配置、运行监控、数据备份与恢复、故障诊断与维修等高层次调试维修技术进行了深入的说明。

本书选材典型, 技术先进, 内容全面, 案例丰富, 理论联系实际, 面向工程应用, 是工业机器人设计、使用、维修人员和高等学校师生的重要参考书。

◆ 编 著 龚仲华 龚晓雯

责任编辑 杨 凌

执行编辑 马梦丽

责任印制 彭志环

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号

邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

三河市中晟雅豪印务有限公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 38

2017 年 1 月第 1 版

字数: 910 千字

2017 年 1 月河北第 1 次印刷

定价: 128.00 元

读者服务热线: (010)81055488 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

前言

工业机器人是集机械、电子、控制、计算机、传感器、人工智能等多学科先进技术于一体的机电一体化设备，被称为工业自动化的三大支撑技术之一。随着社会的进步和劳动力成本的增加，工业机器人在我国的应用已越来越广。

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。工业机器人的设计、调试、使用、维修人员，需要熟悉机器人的结构，掌握其安装维护、操作编程、调试维修技术，才能充分发挥机器人的功能，确保其正常可靠运行。

本书不仅介绍了工业机器人的产生、发展和分类概况，工业机器人的组成、特点和技术性能等基础知识，而且重点针对工业机器人的设计、调试、使用、维修人员的需求，全面系统地描述了工业机器人的机械结构、机械核心部件的结构原理和安装维护要求；对工业机器人的电气控制系统组成、控制部件的安装连接技术进行了具体介绍；对工业机器人的基本命令以及点焊、弧焊、搬运、通用机器人的作业命令编程进行了完整的说明；对工业机器人的手动操作、示教编程、再现运行的方法和步骤进行了详细的阐述。此外，还对变量编程、平移编程、作业文件编制等高层次编程技术，以及系统设置、参数设定、硬件配置、运行监控、数据备份与恢复、故障诊断与维修等高层次调试维修技术进行了深入的说明。本书可为企业工业机器人设计、使用、维修人员及高校师生的学习提高提供参考。

第1~2章介绍了机器人的产生、发展、分类及产品与应用情况；对工业机器人的组成、特点和技术性能进行了具体说明。

第3章详细描述了工业机器人的结构形态及各部分的机械传动系统，并以典型产品为例，完整介绍了机器人机械部件的安装和维修方法。

第4章对工业机器人的机械核心部件——交叉滚子轴承、同步带、滚珠丝杠、直线导轨、谐波减速器、RV减速器等结构原理、安装维护要求进行了深入具体的说明。

第5章介绍了工业机器人电气控制系统的结构与组成，并以典型产品为例，全面介绍了电气控制系统各组成部件的功能和安装、连接要求。

第6章详细阐述了工业机器人基本命令的编程格式、编程要点、应用技巧，对变量编程、平移编程等高层次编程技术进行了全面说明，并提供了丰富的程序实例。

第7章对点焊机器人作业命令的编程格式、编程要点，作业文件的编制方法进行了详细阐述，对多点连续焊接、电极修磨与检测、工件搬运等高层次编程技术进行了系统说明，

并提供了完整的程序实例。

第8章对弧焊机器人作业命令的编程格式、编程要点，作业文件的编制方法进行了详细阐述，对渐变焊接、摆焊焊接等高层次编程技术进行了系统说明，并提供了完整的程序实例。

第9章对搬运、通用机器人作业命令的编程格式、编程要点，作业文件的编制方法进行了详细阐述；对输入/输出信号功能与要求、作业命令与控制信号间的关系等高层次编程需要涉及的内容进行了深入说明；提供了完整的程序实例。

第10章系统介绍了工业机器人的示教器使用，安全操作、手动操作、示教编程、命令编辑等基本操作的方法和步骤，对示教条件设定等高层次操作技术进行了详细说明。

第11章系统介绍了工业机器人的程序编辑操作，速度修改、程序点检查及试运行、再现运行等基本操作的方法和步骤，对变量编辑、程序的平移和镜像转换、程序点调整等高层次操作技术进行了详细说明。

第12章对工业机器人的原点设定、工具文件设定、高级安装设定、用户坐标系设定、运动保护设定等高层次调试操作技术进行了详细说明。

第13章对工业机器人的示教器设置、系统参数设定与硬件配置、系统数据保存恢复和初始化、运行监控、系统报警与故障处理等高层次维修操作技术进行了详细说明。

由于编著者水平有限，书中难免存在疏漏、缺点和错误，望广大读者批评、指正，以便进一步提高本书的质量。

本书编写参阅了安川公司、Harmonic Drive System、Nabtesco Corporation 及其他相关公司的技术资料，并得到了安川技术人员的大力支持与帮助，在此表示衷心的感谢！

编著者

2016年8月于常州

目 录

第 1 章 工业机器人概述	1
1.1 机器人的产生与发展	1
1.1.1 机器人的产生及定义	1
1.1.2 机器人的发展	4
1.2 机器人的分类与概况	8
1.2.1 机器人的分类	8
1.2.2 工业机器人概况	10
1.2.3 服务机器人简介	12
1.3 工业机器人的应用与产品	15
1.3.1 技术发展与典型应用	15
1.3.2 主要生产企业及产品	17
第 2 章 工业机器人的组成与性能	22
2.1 工业机器人的组成与特点	22
2.1.1 工业机器人的组成	22
2.1.2 工业机器人的特点	26
2.2 工业机器人的结构形态	29
2.2.1 垂直串联机器人	29
2.2.2 水平串联机器人	32
2.2.3 并联机器人	33
2.3 工业机器人的技术性能	36
2.3.1 主要技术参数	36
2.3.2 工作范围与承载能力	38
2.3.3 自由度、运动速度及定位精度	40
第 3 章 工业机器人的机械结构	44
3.1 垂直串联机器人	44

3.1.1	本体基本结构	44
3.1.2	机身结构与传动系统	47
3.1.3	手腕的基本形式	49
3.1.4	前驱 RBR 手腕结构	50
3.1.5	后驱 RBR 手腕结构	52
3.1.6	后驱 RR/3R 手腕结构	58
3.2	SCARA 及 Delta 机器人	61
3.2.1	前驱 SCARA 结构	61
3.2.2	后驱 SCARA 结构	63
3.2.3	Delta 结构简介	66
3.3	工业机器人结构实例	67
3.3.1	MH6 机器人简介	67
3.3.2	基座和腰部结构	70
3.3.3	上、下臂结构	72
3.3.4	手腕结构	74
第 4 章	机械核心部件及安装维护	80
4.1	CRB 轴承及同步带	80
4.1.1	机械核心部件概述	80
4.1.2	CRB 轴承及安装维护	81
4.1.3	同步带及安装维护	85
4.2	滚珠丝杠	87
4.2.1	原理与结构	87
4.2.2	安装与维护	90
4.3	滚动导轨	93
4.3.1	原理与结构	93
4.3.2	安装与维护	95
4.4	谐波减速器原理与产品	97
4.4.1	基本结构与变速原理	97
4.4.2	哈默纳科产品与性能	102
4.4.3	谐波减速回转执行器	107
4.5	部件型谐波减速器	108
4.5.1	水杯形产品及安装维护	108
4.5.2	超薄形产品及安装维护	110
4.5.3	礼帽形产品及安装维护	111
4.5.4	薄饼形产品及安装维护	114
4.6	单元型谐波减速器	116
4.6.1	结构特点与产品系列	116

4.6.2	标准型产品及安装维护	118
4.6.3	中空轴/轴输入产品及安装维护	121
4.6.4	密封型产品及安装维护	124
4.6.5	超薄型产品及安装维护	125
4.7	简易单元型谐波减速器	131
4.7.1	结构特点与产品系列	131
4.7.2	产品的安装与维护	132
4.8	齿轮箱型谐波减速器	135
4.8.1	结构特点与产品系列	135
4.8.2	产品的安装与维护	137
4.9	微型谐波减速器	139
4.9.1	产品系列与主要特点	139
4.9.2	产品的内部结构	141
4.9.3	产品的安装维护	143
4.10	RV 减速器原理与产品	144
4.10.1	基本结构与变速原理	144
4.10.2	纳博特斯克产品与性能	149
4.11	部件型 RV 减速器	153
4.11.1	产品的安装连接与要求	153
4.11.2	基本型产品的安装维护	158
4.11.3	标准型产品的安装维护	161
4.11.4	紧凑型产品的安装维护	164
4.11.5	中空型产品的安装维护	166
4.12	齿轮箱型 RV 减速器	168
4.12.1	高速型产品的安装维护	168
4.12.2	标准型产品的安装维护	171
4.12.3	扁平型产品的安装维护	174
第 5 章	电气控制系统的安装连接	177
5.1	系统组成与连接总图	177
5.1.1	控制系统组成	177
5.1.2	电源连接总图	181
5.1.3	信号连接总图	183
5.2	控制部件及安装连接	185
5.2.1	ON/OFF 单元	185
5.2.2	安全单元	187
5.2.3	I/O 单元	191
5.2.4	电源单元及 IR 控制器	197

5.3	伺服驱动器安装连接	199
5.3.1	电源模块	199
5.3.2	伺服控制板	201
5.3.3	逆变模块	204
5.3.4	制动单元	206
5.4	机器人的电气连接	208
5.4.1	电气件安装和连接	208
5.4.2	动力电缆连接	212
5.4.3	信号电缆连接	215
5.4.4	其他部件连接	222
第 6 章	工业机器人基本命令编程	224
6.1	程序格式与控制命令	224
6.1.1	程序结构及实例	224
6.1.2	轴组与坐标系选择	227
6.1.3	命令分类与使用条件	232
6.2	移动命令编程与实例	236
6.2.1	命令格式与要求	236
6.2.2	编程要点与实例	241
6.3	输入/输出命令编程与实例	244
6.3.1	I/O 信号及功能	244
6.3.2	命令格式与要求	245
6.3.3	编程要点与实例	248
6.4	程序控制命令编程与实例	251
6.4.1	执行控制命令	251
6.4.2	程序转移命令	254
6.5	变量的编程与实例	256
6.5.1	变量分类与使用	256
6.5.2	变量读写命令	258
6.5.3	变量运算命令	262
6.5.4	变量转换命令	267
6.6	平移命令编程与实例	271
6.6.1	命令与功能	271
6.6.2	编程实例	273
第 7 章	点焊机器人作业程序编制	275
7.1	焊接机器人概述	275
7.1.1	焊接的基本方法	275

7.1.2	焊接机器人及应用	276
7.2	机器人点焊系统	280
7.2.1	电阻焊原理与工具	280
7.2.2	点焊系统组成与设备	281
7.3	点焊作业文件的编制	284
7.3.1	控制信号与作业命令	284
7.3.2	焊机特性文件编制和 I/O 设定	288
7.3.3	焊钳特性文件编制	292
7.3.4	焊钳开合和手动焊接条件设定	295
7.3.5	电极参数和 TCP 设定	298
7.4	点焊作业命令编程与实例	301
7.4.1	焊接启动命令	301
7.4.2	连续焊接命令	305
7.4.3	空打命令及应用	309
7.4.4	焊钳更换命令	315
第 8 章	弧焊机器人作业程序编制	317
8.1	机器人弧焊系统	317
8.1.1	弧焊原理与方法	317
8.1.2	弧焊系统组成与设备	319
8.2	弧焊作业文件的编制	322
8.2.1	弧焊控制与作业命令	322
8.2.2	焊机特性文件编制	328
8.2.3	辅助条件及管理文件编制	332
8.3	弧焊作业命令编程	337
8.3.1	焊接启动命令	337
8.3.2	焊接关闭命令	342
8.3.3	焊接设定命令	346
8.3.4	渐变焊接命令	348
8.3.5	弧焊监控命令	350
8.4	摆焊作业命令编程与实例	354
8.4.1	摆焊功能与参数	354
8.4.2	摆焊命令编程与实例	359
8.4.3	摆焊文件编制与摆焊禁止	361
第 9 章	其他机器人作业程序编制	365
9.1	搬运机器人概述	365
9.1.1	搬运机器人及应用	365

9.1.2	搬运系统组成与设备	370
9.2	搬运作业命令编程与实例	374
9.2.1	控制信号与作业命令	374
9.2.2	作业命令编程与实例	377
9.3	通用机器人概述	380
9.3.1	通用机器人及应用	380
9.3.2	加工系统组成与设备	381
9.3.3	涂装系统组成与设备	383
9.4	通用作业命令编程	385
9.4.1	控制信号与作业命令	385
9.4.2	工具启/停命令编程与实例	388
第 10 章	机器人手动与示教操作	390
10.1	示教器及功能	390
10.1.1	结构与组成	390
10.1.2	操作面板	392
10.1.3	显示器	397
10.2	机器人的安全操作	401
10.2.1	开/关机与系统信息显示	401
10.2.2	安全模式及设定	404
10.3	机器人手动操作	406
10.3.1	轴组与坐标系选择	406
10.3.2	关节坐标系点动	409
10.3.3	其他坐标系点动	413
10.3.4	工具的点动定向	416
10.4	机器人的示教编程	418
10.4.1	示教条件及设定	418
10.4.2	程序创建和程序名输入	421
10.4.3	移动命令的示教	424
10.4.4	作业命令的输入	427
10.5	命令的编辑操作	431
10.5.1	编辑设置与程序搜索	431
10.5.2	移动命令的编辑	436
10.5.3	其他命令的编辑	440
10.5.4	程序暂停与点重合	443
第 11 章	程序的编辑和再现运行	445
11.1	程序的编辑	445

11.1.1	程序复制、删除和重命名	445
11.1.2	注释编辑和程序编辑禁止	449
11.1.3	程序块剪切、复制和粘贴	451
11.2	速度修改、程序点检查与试运行	455
11.2.1	移动速度的修改	455
11.2.2	程序点检查与试运行	457
11.3	变量的编辑操作	459
11.3.1	数值、文字变量编辑	459
11.3.2	位置变量编辑	461
11.4	再现方式与运行条件设定	465
11.4.1	主程序设置与调用	465
11.4.2	再现显示、速度及运行方式设定	467
11.4.3	操作条件及特殊运行设定	470
11.4.4	程序平移转换及设定	473
11.4.5	程序镜像转换及设定	477
11.4.6	程序点调整 (PAM 设定)	479
11.5	程序的再现运行	483
11.5.1	再现运行的操作	483
11.5.2	预约启动运行	485
第 12 章	控制系统的功能设定	491
12.1	机器人原点的设定	491
12.1.1	绝对原点的设定	491
12.1.2	第二原点的设定	496
12.1.3	作业原点的设定	497
12.2	工具文件的设定	499
12.2.1	工具文件的显示与编辑	499
12.2.2	TCP 及坐标系设定	502
12.2.3	TCP 的示教与确认	504
12.3	机器人高级安装与设定	507
12.3.1	工具重量、重心、惯量的设定	507
12.3.2	机器人安装与载荷设定	510
12.4	用户坐标系的设定	512
12.4.1	用户坐标系及设定	512
12.4.2	用户坐标系的示教	514
12.5	运动保护区的设定	516
12.5.1	软极限及硬件保护设定	516
12.5.2	干涉保护区的设定	520

12.5.3 碰撞检测功能的设定	527
第 13 章 控制系统的调试与维修	530
13.1 系统显示与操作设置	530
13.1.1 示教器的显示设置	530
13.1.2 日历、管理时间及再现速度设定	536
13.1.3 快捷操作键及定义	539
13.2 系统参数设定与硬件配置	544
13.2.1 系统参数的显示与设定	544
13.2.2 控制系统的 I/O 配置	547
13.2.3 控制系统的基座轴配置	550
13.2.4 控制系统的工装轴配置	555
13.3 系统数据保存、恢复和初始化	558
13.3.1 外部存储器的安装与使用	558
13.3.2 文件夹及设定	561
13.3.3 文件的保存与安装	563
13.3.4 系统数据的备份与恢复	566
13.3.5 系统的初始化操作	570
13.4 系统的状态监控	571
13.4.1 I/O 监控、命名与输出强制	571
13.4.2 伺服运行状态监控	575
13.5 系统报警与故障处理	577
13.5.1 报警的显示、分类及处理	577
13.5.2 操作错误的显示与处理	579
13.5.3 模块工作状态指示	581
附录 1 安全模式与菜单显示、编辑一览表	585
附录 2 DX100 系统参数一览表	590

| 第 1 章 |

工业机器人概述

1.1 机器人的产生与发展

1.1.1 机器人的产生及定义

1. 概念的出现

机器人 (Robot) 自 1959 年问世以来, 由于能够协助、代替人类完成那些重复、频繁、单调、长时间的工作, 或进行危险、恶劣环境下的作业, 因此发展较迅速。随着人们对机器人研究的不断深入, 已逐步形成了 Robotics (机器人学) 这一新兴的综合性学科, 有人将机器人技术与数控技术、PLC 技术并称为工业自动化的三大支持技术。

机器人 (Robot) 一词源自于捷克著名剧作家 Karel Čapek (卡雷尔·恰佩克) 1921 年创作的剧本《Rossumovi Univerzální Roboti》(罗萨姆的万能机器人, 简称 R.U.R), 由于 R.U.R 剧中的人造机器被取名为 Robota (捷克语, 即奴隶、苦力), 因此, 英文 Robot 一词开始代表机器人。

机器人概念一经出现, 首先引起了科幻小说家的广泛关注。自 20 世纪 20 年代起, 机器人成为了很多科幻小说、电影的主人公, 如星球大战中的 C3P 等。科幻小说家的想象力是无限的。为了预防机器人可能引发的人类灾难, 1942 年, 美国科幻小说家 Isaac Asimov (艾萨克·阿西莫夫) 在《I, Robot》的第 4 个短篇《Runaround》中, 首次提出了“机器人学三原则”, 它被称为“现代机器人学的基石”, 这也是“机器人学 (Robotics)”这个词在人类历史上的首度亮相。

机器人学三原则的主要内容如下。

原则 1: 机器人不能伤害人类, 或因其不作为而使人类受到伤害。

原则 2: 机器人必须执行人类的命令, 除非这些命令与原则 1 相抵触。

原则 3: 在不违背原则 1、原则 2 的前提下, 机器人应保护自身不受伤害。

到了 1985 年, Isaac Asimov 在机器人系列最后作品《Robots and Empire》中又补充了凌驾于“机器人学三原则”之上的“0 原则”。

原则 0: 机器人必须保护人类的整体利益不受伤害, 其他 3 条原则都必须在这一前提下才能成立。

继 Isaac Asimov 之后, 其他科幻作家还不断提出了对“机器人学三原则”的补充、修正意见, 但是, 这些大都是科幻小说家对想象中机器人所施加的限制; 实际上, “人类整体利益”等概念本身就是模糊的, 甚至连人类自己都搞不明白, 更不要说机器人了。因此, 目前人类的认识和科学技术, 实际上还远未达到制造科幻片中的机器人的水平, 制造出具有类似人类智慧、感情、思维的机器人, 仍属于科学家的梦想和追求。

2. 机器人的产生

现代机器人的研究起源于 20 世纪中叶的美国, 它从工业机器人的研究开始。

二战期间 (1938—1945 年), 由于军事、核工业的发展需要, 在原子能实验室的恶劣环境下, 需要有操作机械来代替人类进行放射性物质的处理。为此, 美国的 Argonne National Laboratory (阿尔贡国家实验室) 开发了一种遥控机械手 (Teleoperator)。接着, 在 1947 年, 又开发出了一种伺服控制的主—从机械手 (Master-Slave Manipulator), 这些都是工业机器人的雏形。

工业机器人的概念由美国发明家 George Devol (乔治·德沃尔) 最早提出, 他在 1954 年申请了专利, 并在 1961 年获得授权。1958 年, 美国著名的机器人专家 Joseph F. Engelberger (约瑟夫·恩盖尔伯格) 建立了 Unimation 公司, 并利用 George Devol 的专利, 于 1959 年研制出如图 1.1-1 所示的世界上第一台真正意义上的工业机器人 Unimate, 开创了机器人发展的新纪元。

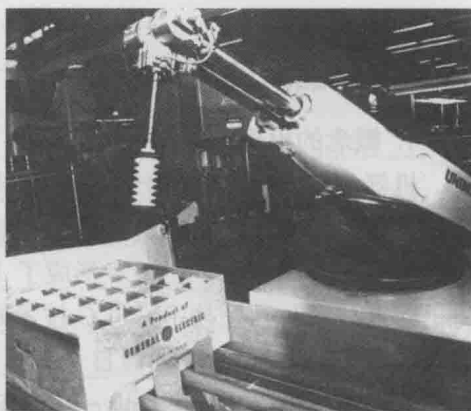


图 1.1-1 Unimate 工业机器人

Joseph F. Engelberger 对世界机器人工业的发展作出了杰出的贡献, 被人们称为“机器人之父”。1983 年, 就在工业机器人销售日渐增长的情况下, 他又毅然地将 Unimation 公司出让给了美国 Westinghouse Electric Corporation 公司 (西屋电气, 又译威斯汀豪斯), 并创建了 TRC 公司, 前瞻性地开始了服务机器人的研发工作。

从 1968 年起, Unimation 公司先后将机器人的制造技术转让给了日本 KAWASAKI (川崎) 和英国 GKN 公司, 机器人开始在日本和欧洲得到了快速发展。据有关方面的统计, 目前世界上至少有 48 个国家在发展机器人, 其中的 25 个国家已在进行智能机器人开发, 美国、日本、德国、法国等都是机器人的研发和制造大国, 无论在基础研究或是产品研发、制造方面都居世界领先水平。

3. 国际标准化组织

随着机器人技术的快速发展, 在发达国家, 机器人及其零部件的生产已逐步形成产业, 为了能够宣传、规范和引导机器人产业的发展, 世界各国相继成立了相应的行业协会。目前, 世界主要机器人生产与使用国的机器人行业协会如下。

(1) International Federation of Robotics (IFR, 国际机器人联合会): 该联合会成立于 1987 年, 目前已有 25 个成员国, 它是世界公认的机器人行业代表性组织, 已被联合国列为非政府正式组织。

(2) Japan Robot Association (JRA, 日本机器人协会): 该协会原名 Japan Industrial Robot Association (JIRA, 日本工业机器人协会), 也是全世界最早的机器人行业协会。JIRA 成立于 1971 年 3 月, 最初称“工业机器人恳谈会”; 1972 年 10 月更名为 JIRA; 1973 年 10 月成为正式法人团体; 1994 年更名为 Japan Robot Association (JRA)。

(3) Robotics Industries Association (RIA, 美国机器人协会): 该协会成立于 1974 年, 是美国机器人行业的专门协会。

(4) Verband Deutscher Maschinen Und Anlagebau (VDMA, 德国机械设备制造业联合会): VDMA 是拥有 3100 多家会员企业、400 余名专家的大型行业协会, 它下设 37 个专业协会和一系列跨专业的技术论坛、委员会及工作组, 是欧洲目前最大的工业联合会, 以及工业投资品领域中最大、最重要的组织机构。自 2000 年起, VDMA 设立了专业协会 Deutschen Gesellschaft Association für Robotik (DGR, 德国机器人协会), 专门进行机器人产业的规划和发展等相关工作。

(5) French Research Group in Robotics (FRGR, 法国机器人协会): 该协会原名 Association Française de Robotique Industrielle (AFR, 法国工业机器人协会), 后来随着服务机器人的发展, 在 2007 年更为现名。

(6) Korea Association of Robotics (KAR, 韩国机器人协会): 是亚洲较早的机器人协会之一, 成立于 1999 年。

4. 机器人的定义

由于机器人的应用领域众多、发展速度快, 加上它又涉及人类的有关概念, 因此, 对于机器人, 世界各国标准化机构, 甚至同一国家的不同标准化机构, 至今尚未形成一个统一、准确、世所公认的严格定义。

例如, 欧美国家一般认为, 机器人是一种“由计算机控制、可通过编程改变动作的多功能、自动化机械”。而日本作为机器人生产的大国, 则将机器人分为“能够执行人体上肢(手和臂)类似动作”的工业机器人和“具有感觉和识别能力、并能够控制自身行为”的智能机器人两大类。

客观地说, 欧美国家的机器人定义侧重其控制方式和功能, 其定义和现行的工业机器人较接近; 而日本的机器人定义, 关注的是机器人的结构和行为特性, 且已经考虑到了现代智能机器人的发展需要, 其定义更为准确。

作为参考, 目前在相关资料中使用较多的机器人定义主要有以下几种。

(1) International Organization for Standardization (ISO, 国际标准化组织) 定义: 机器人是一种“自动的、位置可控的、具有编程能力的多功能机械手, 这种机械手具有几个轴, 能够借助可编程序操作来处理各种材料、零件、工具和专用装置, 执行各种任务”。

(2) Japan Robot Association (JRA, 日本机器人协会) 将机器人分为工业机器人和智能机器人两大类, 工业机器人是一种“能够执行人体上肢(手和臂)类似动作的多功能机器”, 智能机器人是一种“具有感觉和识别能力, 并能够控制自身行为的机器”。

(3) NBS (美国国家标准局) 定义: 机器人是一种“能够进行编程, 并在自动控制下执行某些操作和移动作业任务的机械装置”。

(4) Robotics Industries Association (RIA, 美国机器人协会) 定义: 机器人是一种“用

于移动各种材料、零件、工具或专用装置的，通过可编程的动作来执行各种任务的，具有编程能力的多功能机械手”。

(5) 我国 GB/T 12643—2013 标准定义：工业机器人是一种“能够自动定位控制，可重复编程的，多功能的、多自由度的操作机，能搬运材料、零件或操持工具，用于完成各种作业”。

由于以上标准化机构及专门组织对机器人的定义都是在特定时间得出的结论，多偏重于工业机器人，但科学技术对未来是无限开放的，当代智能机器人无论在外观，还是功能、智能化程度等方面，都已超出了传统工业机器人的范畴。机器人正源源不断地向人类活动的各个领域渗透，它所涵盖的内容越来越丰富，其应用领域和发展空间正在不断延伸和扩大，这也是机器人与其他自动化设备的重要区别。

可以想象，未来的机器人不但可接受人类指挥、运行预先编制的程序；而且可根据人工智能技术所制定的原则纲领，选择自身的行动；甚至可能像科幻片所描述的那样，脱离人们的意志而自行其是。

1.1.2 机器人的发展

1. 技术发展水平

机器人最早用于工业领域，它主要用来协助人类完成重复、频繁、单调、长时间的工作，或进行高温、粉尘、有毒、辐射、易燃、易爆等恶劣、危险环境下的作业。但是，随着社会进步、科学技术发展和智能化技术研究的深入，各式各样具有感知、决策、行动和交互能力，可适应不同领域特殊要求的智能机器人相继被研发，机器人已开始进入人们生产、生活的各个领域，并在某些领域逐步取代人类独立从事相关作业。

根据机器人现有的技术水平，一般将机器人产品分为 3 代。

(1) 第一代机器人

第一代机器人一般是指能通过离线编程或示教操作生成程序，并再现动作的机器人。第一代机器人所使用的技术和数控机床十分相似，它既可通过离线编制的程序控制机器人的运动；也可通过手动示教操作（数控机床称为 Teach in 操作），记录运动过程并生成程序，并进行再现运行。

第一代机器人的全部行为完全由人控制，它没有分析和推理能力，不能改变程序动作，无智能性，其控制以示教、再现为主，故又称示教再现机器人。第一代机器人现已实用和普及，图 1.1-2 所示的大多数工业机器人都属于第一代机器人。

(2) 第二代机器人

第二代机器人装备有一定数量的传感器，它能获取作业环境、操作对象等的简单信息，并通过计算机的分析与处理，作出简单的推理，并适当调整自身的动作和行为。例如，在图 1.1-3 所示的探测机器人上，可通过所安装的摄像头及视觉传感系统，识别图像，判断和规划探测车的运动轨迹，它对外部环境具有了一定的适应能力。

第二代机器人已具备一定的感知和简单推理等能力，有一定程度上的智能，故又称感知机器人或低级智能机器人，当前使用的大多数服务机器人或多或少都已经具备第二代机器人的特征。