

普通高等教育机电类专业教材

# 机器人概论

第 2 版



李云江 主编

- ★ 机器人来了，机器换人的时代来了，学习机器人知识，掌握机器人应用，迫在眉睫！
- ★ 本书为您提供了必备易学的机器人基础知识，开阔您视野的若干机器人应用实例。
- ★ 还为激发您研究机器人兴趣、参加机器人大赛提供了可借鉴的思路！



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育机电类专业教材

# 机器人概论

第2版

主编 李云江  
参编 贾瑞昌 司文慧 何 芹 吕志杰 王忠雷  
主审 樊炳辉

机械工业出版社

本书自出版以来,深受广大师生好评,共印刷5次,发行了一万多册。本书详细叙述了机器人的起源、发展、分类、应用、组成、功能及应用前景,较系统地阐述了机器人技术的基础知识,并在相关章节中列举了若干机器人应用实例,如特种机器人、生物生产机器人、足球机器人、仿生机器人等,最后结合大学生的特点,介绍了机器人大赛的有关知识,比较全面地反映了国内外机器人研究和应用的新进展。本书内容新颖、逻辑性强,既有普及性,又有一定深度,图文并茂,可读性强。

本书适合高等院校机械电子工程,自动化专业的本科生作为教材使用,也可供从事机电行业的工程技术人员使用或参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

机器人概论/李云江主编. —2版. —北京:机械工业出版社,  
2016.7

普通高等教育机电类专业教材

ISBN 978-7-111-54138-7

I. ①机… II. ①李… III. ①机器人技术—高等学校—教材  
IV. ①TP24

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第149264号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:何月秋 责任编辑:何月秋 王彦青

责任校对:张薇 张晓蓉 封面设计:马精明

责任印制:李洋

北京华正印刷有限公司印刷

2016年7月第2版第1次印刷

184mm×260mm·18.75印张·454千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-54138-7

定价:45.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

## 第2版前言

《机器人概论》自出版以来,深受广大师生好评,共印刷5次,发行了一万多册。近几年我国机器人产业的发展突飞猛进,随着东莞市《关于大力发展机器人智能装备产业打造有全球影响力的先进制造基地的意见》文件及各项扶持政策的出台,“机器换人”在珠三角的制造业重镇——东莞轰轰烈烈地开展,尤其是国家出台了有关大力发展机器人的政策,全国迅速掀起了一场“机器换人”的浪潮。近几年,国际上出现了很多新型机器人产品,并快速推向市场。

为适应机器人的发展,满足高等学校机电类专业教学的需要,我们组织对《机器人概论》进行了修订。本次修订力求反映国内外机器人技术的新进展和应用状况,紧密联系实际的,选材新颖。

本书第1版出版后,曾有不少专家、学者与作者联系,提出了不少宝贵的意见和建议。在此基础上,我们对本书第1版进行了适当的删改和补充,修正了原书的错误和陈旧之处,增加了近几年国内外机器人的新成果和产品,如ABB双臂机器人,同时也增加了主要工业大国的机器人国家战略和我国工业机器人产业发展模式等内容。

本书由山东建筑大学李云江任主编,并负责全书的统稿及修改。山东科技大学樊炳辉教授任主审。山东建筑大学何芹、吕志杰和王忠雷,华南农业大学贾瑞昌,山东交通学院司文慧参加了编写与修改工作。其中李云江编写了第1章、第2章的第2.1节和2.2节、第6章,贾瑞昌编写了第3章、第7章,司文慧编写了第4章,吕志杰编写了第5章,何芹编写了第2章的第2.3节、第8章,王忠雷编写了第9章。

本书在编写和修订过程中,参考并引用了大量有关机器人方面的论著、资料,有些插图来自于互联网,限于篇幅,不能在文中一一列举,在此一并对其作者致以衷心的感谢。

本书适合高等院校机械电子工程、自动化专业的本科生作教材使用,也可供从事机电行业的工程技术人员使用或参考。

由于编者水平有限,书中难免存在不足和错误之处,恳请各位专家和广大读者批评指正。

编者

# 第1版前言

机器人技术是20世纪人类最伟大的发明之一。自从20世纪60年代初人类创造了第一台工业机器人以后，机器人就显示出它强大的生命力，机器人技术得到了迅速的发展，工业机器人已在工业发达国家的生产中得到了广泛的应用。目前，工业机器人已广泛应用于汽车及汽车零部件制造业、机械加工行业、电子电气行业、橡胶及塑料工业、食品工业、木材与家具制造业等领域中。在工业生产中，弧焊机器人、点焊机器人、装配机器人、喷漆机器人及搬运机器人等工业机器人都已被大量使用。

虽然以工业机器人起步，但随着近年来微电子技术、信息技术、计算机技术、材料技术等迅速发展，现代机器人技术已突破了传统工业机器人的范畴，逐渐向娱乐、海空探索、军事、医疗、建筑、服务业及家庭应用等领域扩展。随着人们生活水平的提高及文化生活的日益丰富多彩，未来各种专业服务机器人和家庭用消费机器人将不断贴近人们的生活，其市场将繁荣兴旺。

目前，有关工业机器人的书很多，但有关机器人概论的书还很少。本书生动叙述了机器人技术的诞生、历史、分类、应用、组成、功能及发展前景，描述了遍布于实验室、作业现场以及人们生活周围的各种各样的机器人，从多方面详尽阐述了机器人的应用成果。全书以普及机器人知识为主，充分吸收国内外最新、最先进的前沿机器人技术，紧密联系实际、选材新颖、突出应用、图文并茂，使读者(尤其是大学生)初步掌握机器人技术，开阔视野，拓宽思路，并激发他们研究机器人的兴趣。

参加本书编写工作的有山东建筑大学李云江、何芹、吕志杰和王忠雷，华南农业大学的贾瑞昌，山东交通学院的司文慧。其中，李云江编写第1章、第2章的2.1节和2.2节、第6章，贾瑞昌编写第3章、第7章，司文慧编写第4章，吕志杰编写第5章，何芹编写第2章的2.3节、第8章，王忠雷编写第9章。全书由李云江任主编，并负责全书的统稿及修改。本书由机器人专家樊炳辉教授(山东科技大学)任主审。

在编写过程中，我们参考并引用了大量有关机器人方面的论著、资料，有些插图来自于互联网，限于篇幅，不能在文中一一列举，在此一并对其作者致以衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在不足和错误之处，恳请各位专家和广大读者批评指正。

编者

# 目 录

## 第2版前言

## 第1版前言

## 第1章 机器人概述 ..... 1

### 1.1 机器人的概念和分类 ..... 1

#### 1.1.1 机器人的概念 ..... 1

#### 1.1.2 机器人的分类 ..... 2

### 1.2 机器人发展史 ..... 3

#### 1.2.1 古代机器人 ..... 3

#### 1.2.2 现代机器人 ..... 4

#### 1.2.3 中国机器人的发展 ..... 5

### 1.3 机器人的基本结构 ..... 7

### 1.4 机器人与人 ..... 12

### 1.5 机器人的研究内容 ..... 13

## 第2章 机器人博览 ..... 15

### 2.1 工业机器人 ..... 15

#### 2.1.1 概述 ..... 15

#### 2.1.2 工业机器人在工业生产中的应用 ..... 15

#### 2.1.3 工业大国的机器人国家战略 ..... 22

#### 2.1.4 工业机器人产业发展模式 ..... 24

#### 2.1.5 全球著名工业机器人新产品 ..... 24

#### 2.1.6 工业机器人的发展趋势 ..... 26

### 2.2 特种机器人 ..... 27

#### 2.2.1 护士助手 ..... 27

#### 2.2.2 口腔修复机器人 ..... 28

#### 2.2.3 进入血管的机器人 ..... 28

#### 2.2.4 高楼擦窗和壁面清洗机器人 ..... 30

#### 2.2.5 清洗巨人 ..... 31

#### 2.2.6 汽车加油机器人 ..... 32

#### 2.2.7 康复机器人 ..... 32

#### 2.2.8 微创外科手术机器人 ..... 33

### 2.3 军用机器人 ..... 34

#### 2.3.1 机器警察 ..... 34

#### 2.3.2 机器工兵 ..... 36

#### 2.3.3 机器保安 ..... 37

#### 2.3.4 水下机器人 ..... 38

#### 2.3.5 未来奇兵 ..... 39

#### 2.3.6 太空机器人 ..... 40

## 第3章 机器人机械结构 ..... 44

### 3.1 机器人末端执行器 ..... 44

#### 3.1.1 夹钳式取料手 ..... 45

#### 3.1.2 吸附式取料手 ..... 48

#### 3.1.3 专用末端操作器及换接器 ..... 51

#### 3.1.4 仿生多指灵巧手 ..... 52

### 3.2 机器人手腕 ..... 54

#### 3.2.1 概述 ..... 54

#### 3.2.2 手腕的分类 ..... 54

### 3.3 机器人手臂 ..... 57

#### 3.3.1 手臂直线运动机构 ..... 57

#### 3.3.2 手臂回转运动机构 ..... 58

#### 3.3.3 手臂俯仰运动机构 ..... 59

#### 3.3.4 手臂复合运动机构 ..... 59

#### 3.3.5 新型的蛇形机械手臂 ..... 60

### 3.4 机器人机座 ..... 61

#### 3.4.1 固定式机器人 ..... 61

#### 3.4.2 行走式机器人 ..... 61

### 3.5 机器人的传动 ..... 65

#### 3.5.1 移动关节导轨及转动关节轴承 ..... 66

#### 3.5.2 传动件的定位及消隙 ..... 68

#### 3.5.3 谐波传动 ..... 71

#### 3.5.4 丝杠螺母副及滚珠丝杠传动 ..... 72

#### 3.5.5 其他传动 ..... 72

<b>第4章 机器人控制技术</b> .....	74	6.1.2 生物生产机器人的作业对象	160
4.1 机器人控制基础 .....	74	6.2 生物生产机器人的基本组成	163
4.1.1 机器人控制系统的特点 .....	74	6.3 生物生产机器人的应用实例	166
4.1.2 机器人的控制方式 .....	74	6.3.1 番茄收获机器人 .....	166
4.1.3 机器人控制系统结构和工作原理 .....	76	6.3.2 黄瓜收获机器人 .....	173
4.1.4 机器人单关节位置伺服控制 .....	78	6.3.3 草莓收获和拣选机器人 .....	180
4.1.5 机器人的力控制 .....	84	6.3.4 多功能机器人 .....	186
4.1.6 机器人智能控制 .....	87	6.3.5 植物保护机器人 .....	190
4.2 机器人传感器 .....	91	6.3.6 肉品加工机器人 .....	194
4.2.1 机器人传感器概述 .....	91	<b>第7章 仿生机械学</b> .....	196
4.2.2 内部传感器 .....	92	7.1 仿生机械学定义 .....	196
4.2.3 外部传感器 .....	98	7.2 仿生机械简史 .....	196
4.2.4 多传感器融合 .....	109	7.3 仿生机械学的研究领域 .....	197
4.3 机器人编程 .....	111	7.4 仿生设计 .....	198
4.3.1 机器人编程系统及方式 .....	112	7.4.1 生物形态与工程结构 .....	198
4.3.2 对机器人的编程要求 .....	113	7.4.2 生物形态与运动 .....	199
4.3.3 机器人编程语言的类型 .....	114	7.5 仿生机械与机器人技术、康复工程 .....	200
4.3.4 动作级语言 .....	117	7.5.1 仿生机械与机器人技术 .....	200
4.3.5 对象级语言 .....	123	7.5.2 仿生机器人的研究 .....	201
<b>第5章 特种机器人应用</b> .....	126	7.5.3 康复工程与假肢技术 .....	204
5.1 特种机器人应用的意义 .....	126	7.6 仿生机械实例 .....	210
5.2 特种机器人系统 .....	127	7.6.1 仿生机器蟹 .....	210
5.2.1 特种机器人的共性技术 .....	127	7.6.2 水母机器人 .....	212
5.2.2 基于行为的特种机器人体系结构 .....	128	7.6.3 仿生机器鱼 .....	212
5.2.3 特种机器人重点研究的科学问题 .....	128	7.6.4 机器龙虾 .....	214
5.3 特种机器人应用实例 .....	129	7.6.5 仿生企鹅 .....	215
5.3.1 水下机器人 .....	129	7.6.6 机器苍蝇 .....	215
5.3.2 地面移动机器人 .....	138	7.6.7 机器雨燕 .....	216
5.3.3 空中机器人(无人机) .....	147	7.6.8 仿生蚱蜢跳跃机器人 .....	216
5.3.4 空间机器人 .....	153	7.6.9 仿生机器人壁虎 .....	217
<b>第6章 生物生产机器人</b> .....	159	7.6.10 仿生快速穿越沙地机器人 .....	217
6.1 生物生产机器人概述 .....	159	7.6.11 仿生机器蛇 .....	218
6.1.1 生物生产机器人的独特性 .....	160	7.6.12 水面行走机器人 .....	219
		7.6.13 大狗机器人 .....	220
		7.6.14 猎豹机器人 .....	220
		7.6.15 袋鼠机器人 .....	221

<b>第 8 章 机器人大赛</b> .....	222	8.6.3 微处理单元.....	247
8.1 梦想从机器人开始 .....	222	8.7 智能中型足球机器人系统的 软件结构 .....	249
8.2 智能足球机器人系统概述 .....	223	8.7.1 视觉子系统.....	249
8.2.1 智能足球机器人系统 .....	223	8.7.2 通信子系统.....	253
8.2.2 智能足球机器人系统的产生 .....	224	8.7.3 决策子系统.....	254
8.2.3 智能足球机器人在 中国的发展.....	225	8.7.4 控制子系统.....	256
8.3 智能足球机器人系统的组成 及其应用 .....	227	<b>第 9 章 前沿机器人</b> .....	257
8.3.1 智能足球机器人系统的组成 .....	227	9.1 仿人机器人 .....	257
8.3.2 智能足球机器人系统的应用 .....	228	9.1.1 仿人机器人的发展历史和 研究现状 .....	257
8.4 智能小型足球机器人的 本体结构 .....	229	9.1.2 立体视觉系统 .....	261
8.4.1 机械子系统.....	229	9.1.3 五指灵巧手.....	267
8.4.2 控制子系统.....	233	9.1.4 二足步行机构 .....	270
8.4.3 板载软件 .....	234	9.1.5 人机交互技术 .....	273
8.5 智能小型足球机器人系统的 通信系统与电源子系统 .....	235	9.1.6 仿人机器人的触觉系统 .....	276
8.5.1 无线通信系统的组成 .....	235	9.1.7 仿人机器人的发展方向 .....	278
8.5.2 电源子系统.....	237	9.2 微型机器人与微操作 .....	280
8.6 智能中型足球机器人的 硬件结构 .....	240	9.2.1 微型机器人的概念及其 发展现状 .....	280
8.6.1 硬件结构组成 .....	240	9.2.2 微型机器人.....	282
8.6.2 机械结构 .....	241	9.2.3 微操作机器人 .....	289
		<b>参考文献</b> .....	291



# 第 1 章 机器人概述

## 1.1 机器人的概念和分类

### 1.1.1 机器人的概念

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，经历了 50 多年的发展，已取得了显著成果。走向成熟的工业机器人以及各种用途的特种机器人的实用化，昭示着机器人技术灿烂的明天。

在科技界，科学家会给每一个科技术语一个明确的定义，但机器人的定义仍然仁者见仁，智者见智，没有一个统一的意见。其原因之一是机器人还在发展，新的机型、新的功能不断涌现，领域不断扩展。但根本原因主要是因为机器人涉及了人的概念，成为一个难以回答的哲学问题。就像机器人一词最早诞生于科幻小说之中一样，人们对机器人充满了幻想。也许正是由于机器人定义的模糊，才给了人们充分的想象和创造空间。

其实并不是人们不想给机器人一个完整的定义，自机器人诞生之日起，人们就不断地尝试着说明到底什么是机器人。但随着机器人技术的飞速发展和信息时代的到来，机器人所涵盖的内容越来越丰富，机器人的定义也不断被充实和创新。

1886 年，法国作家利尔亚当在他的小说《未来夏娃》中，将外表像人的机器起名为“安德罗丁”(android)，它由四部分组成：

- 1) 生命系统(平衡、步行、发声、身体摆动、感觉、表情、调节运动等)。
- 2) 造型材料(关节能自由运动的金属覆盖体,称为盔甲)。
- 3) 人造肌肉(在上述盔甲上有肉体、静脉、性别等身体的各种形态)。
- 4) 人造皮肤(含有肤色、肌理、轮廓、头发、视觉、牙齿、手爪等)。

1920 年，捷克作家卡雷尔·卡佩克发表了科幻剧本《罗萨姆的万能机器人》。在剧本中，卡佩克把捷克语“Robota”写成了“Robot”，“Robota”是奴隶的意思。该剧预告了机器人的发展对人类社会的悲剧性影响，引起了大家的广泛关注，被当成了机器人一词的起源。在该剧中，机器人按照其主人的命令默默地工作，没有感觉和感情，以呆板的方式从事繁重的劳动。后来，罗萨姆公司取得了成功，使机器人具有了感情，导致机器人的应用部门迅速增加。在工厂和家务劳动中，机器人成了必不可少的成员。机器人发觉人类十分自私和不公正，终于造反了，机器人的体能和智能都非常优异，因此消灭了人类。但是机器人不知道如何制造它们自己，认为它们自己很快就会灭绝，所以它们开始寻找人类的幸存者，但没有结果。最后，一对感知能力优于其他机器人的男女机器人相爱了。这时机器人进化为人类，世界又起死回生了。

卡佩克提出的是机器人的安全、感知和自我繁殖问题。科学技术的进步很可能引发人类不希望出现的问题。虽然科幻世界只是一种想象，但人类社会将可能面临这种现实。

为了防止机器人伤害人类，科幻作家阿西莫夫于 1940 年提出了“机器人三原则”：

- 1) 机器人不应伤害人类。
- 2) 机器人应遵守人类的命令，与第一条违背的命令除外。
- 3) 机器人应能保护自己，与第一条相抵触者除外。

这是给机器人赋予的伦理性纲领。机器人学术界一直将这三原则作为机器人开发的准则。

1967年，日本召开了第一届机器人学术会议，提出了两个有代表性的定义：一是森政弘与合田周平提出的“机器人是一种具有移动性、个体性、智能性、通用性、半机械半人性、自动性、奴隶性七个特征的柔性机器”。从这一定义出发，森政弘又提出了用自动性、智能性、个体性、半机械半人性、作业性、通用性、信息性、柔性、有限性、移动性等十个特性来表示机器人的形象。另一个是加藤一郎提出的具有以下三个条件的机器称为机器人：

- 1) 具有脑、手、脚等三要素的个体。
- 2) 具有非接触传感器(用眼、耳接受远方信息)和接触传感器。
- 3) 具有平衡觉和固有觉的传感器。

该定义强调了机器人应当仿人的含义，即它靠手进行作业，靠脚实现移动，由脑来完成统一指挥的作用。非接触传感器和接触传感器相当于人的五官，使机器人能够识别外界环境，而平衡觉和固有觉则是机器人感知本身状态所不可缺少的传感器。这里描述的不是工业机器人，而是自主机器人。

机器人的定义是多种多样的，其原因是它具有一定的模糊性。动物一般具有上述这些要素，所以在把机器人理解为仿人机器人的同时，也可以广义地把机器人理解为仿动物的机器。

1988年，法国的埃斯皮奥将机器人定义为：“机器人学是指设计能根据传感器信息实现预先规划好的作业系统，并将此系统的使用方法作为研究对象。”

1987年，国际标准化组织对工业机器人进行了定义：“工业机器人是一种具有自动控制的操作和移动功能的，能完成各种作业的可编程操作机。”

我国科学家对机器人的定义是：“机器人是一种自动化的机器，所不同的是这种机器具备一些与人或生物相似的智能能力，如感知能力、规划能力、动作能力和协同能力，是一种具有高度灵活性的自动化机器。”在研究和开发未知及不确定环境下作业的机器人的过程中，人们逐步认识到，机器人技术的本质是感知、决策、行动和交互技术的结合。随着人们对机器人技术智能化本质认识的加深，机器人技术开始源源不断地向人类活动的各个领域渗透。结合这些领域的应用特点，人们发展了各式各样的具有感知、决策、行动和交互能力的特种机器人和各种智能机器人，如移动机器人、微型机器人、水下机器人、医疗机器人、军用机器人、空中机器人、娱乐机器人等。这些机器人从外观上已远远脱离了最初仿人型机器人和工业机器人所具有的形状，更加符合各种不同应用领域的特殊要求，其功能和智能程度也大大增强，从而为机器人技术开辟出更加广阔的发展空间。

原中国工程院院长宋健指出：“机器人学的进步和应用是20世纪自动控制最有说服力的成就，是当代最高意义上的自动化。”机器人技术综合了多学科的发展成果，代表了高技术的发展前沿，它在人类生活应用领域的不断扩大正引起国际上重新认识机器人技术的作用和影响。

### 1.1.2 机器人的分类

关于机器人如何分类，国际上没有制定统一的标准，有的按负载重量分、有的按控制方式分、有的按自由度分、有的按结构分、有的按应用领域分。一般的分类方式见表1-1。

表 1-1 机器人分类

分类名称	简要解释
操作型机器人	能自动控制,可重复编程,多功能,有几个自由度,可固定或运动,用于相关自动化系统中
程序控制型机器人	按预先要求的顺序及条件,依次控制机器人的机械动作
示教再现型机器人	通过引导或其他方式,教会机器人动作,输入工作程序,机器人则自动重复进行作业
数控型机器人	不必使机器人动作,通过数值、语言等对机器人进行示教,机器人根据示教后的信息进行作业
感觉控制型机器人	利用传感器获取的信息控制机器人的动作
适应控制型机器人	机器人能适应环境的变化,控制其自身的行动
学习控制型机器人	机器人能“体会”工作的经验,具有一定的学习功能,并将所“学”的经验用于工作中
智能机器人	以人工智能决定其行动的机器人

我国的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。所谓工业机器人就是面向工业领域的多关节机械手或多自由度机器人;而特种机器人则是除工业机器人之外的、用于非制造业并服务于人类的各种先进机器人,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、机器人化机器等。在特种机器人中,有些分支发展很快,有独立成体系的趋势,如服务机器人、水下机器人、军用机器人、微操作机器人等。目前,国际上有些机器人学者从应用环境出发,将机器人分为两类:制造环境下的工业机器人和非制造环境下的服务与仿人型机器人。这和我国的分类基本是一致的。

## 1.2 机器人发展史

### 1.2.1 古代机器人

机器人一词的出现和世界上第一台工业机器人的问世都是近几十年的事,然而人们对机器人的幻想与追求却已有三千多年的历史。人类希望制造一种像人一样的机器,以便代替人类完成各种工作。

西周时期,我国的能工巧匠偃师就研制出了能歌善舞的伶人,这是我国最早记载的机器人。

春秋后期,我国著名的木匠鲁班在机械方面也是一位发明家。据《墨经》记载,他曾制造过一只木鸟,能在空中飞行“三日不下”,体现了我国劳动人民的聪明智慧。

公元前2世纪,亚历山大时代的古希腊人发明了最原始的机器人——自动机。它是用水、空气和蒸汽压力为动力的会动的雕像,可以自己开门,还可以借助蒸汽唱歌。

1800年前的汉代,大科学家张衡不仅发明了地动仪,而且发明了计里鼓车。计里鼓车每行一里,车上木人击鼓一下,每行十里击钟一下。

后汉三国时期,蜀国丞相诸葛亮成功地创造出了“木牛流马”,并用其运送军粮,支援前方战争。

1662年,日本的竹田近江利用钟表技术发明了自动机器玩偶,并在大阪的道顿堀演出。

1738年,法国天才技师杰克·戴·瓦克逊发明了一只机器鸭,它会嘎嘎叫,会游泳和

喝水,还会进食和排泄。瓦克逊的本意是想把生物的功能加以机械化而进行医学上的分析。

在当时的自动玩偶中,最杰出的要数瑞士的钟表匠杰克·道罗斯和他的儿子利·路易·道罗斯创造的玩偶。他们创造的自动玩偶是利用齿轮和发条原理而制成的。1773年,他们连续推出了自动书写玩偶、自动演奏玩偶等。它们有的拿着画笔和颜色绘画,有的拿着鹅毛蘸墨水写字,结构巧妙,服装华丽,在欧洲风靡一时。由于当时技术条件的限制,这些玩偶其实是身高一米的巨型玩具。现在保留下来的最早的机器人是瑞士努萨蒂尔历史博物馆里的少女玩偶,它制作于二百年前,两只手的十个手指可以按动风琴的琴键而弹奏音乐,并且现在还定期演奏供参观者欣赏,展示了古代人的智慧。

19世纪中叶,自动玩偶分为两个流派,即科学幻想派和机械制作派,并各自在文学艺术和近代技术中找到了自己的位置。1831年,歌德发表了《浮士德》,塑造了人造人“荷蒙克鲁斯”;1870年,霍夫曼出版了以自动玩偶为主角的作品《葛蓓莉娅》;1883年,科洛迪的《木偶奇遇记》问世;1886年,《未来夏娃》问世。在机械实物制造方面,摩尔于1893年制造了“蒸汽人”,“蒸汽人”靠蒸汽驱动双腿沿圆周走动。

进入20世纪后期,机器人的研究与开发得到了更多人的关心与支持,一些适用化的机器人相继问世。1927年,美国西屋公司工程师温兹利制造了第一个机器人“电报箱”,并在纽约举行的世界博览会上展出,它是一个电动机器人,装有无线电发报机,可以回答一些问题,但该机器人不能走动。1959年,第一台工业机器人(采用可编程序控制器、圆柱坐标机械手)在美国诞生,开创了机器人发展的新纪元。

### 1.2.2 现代机器人

现代机器人的研究始于20世纪中期,其技术背景是计算机和自动化的发展,以及原子能的开发利用。自1946年第一台数字电子计算机问世以来,计算机取得了惊人的进步,并向高速度、大容量、低价格的方向发展。一方面,大批量生产的迫切需求推动了自动化技术的进展,其结果之一便是1952年数控机床的诞生。与数控机床相关的控制、机械零件的研究又为机器人的开发奠定了基础。另一方面,原子能实验室的恶劣环境要求某些操作机械代替人处理放射性物质。在这一需求背景下,美国原子能委员会的阿尔贡研究所于1947年开发了遥控机械手,1948年又开发了机械式的主从机械手。

1954年,美国戴沃尔最早提出了工业机器人的概念,并申请了专利。该专利的要点是借助伺服技术控制机器人的关节,利用人手对机器人进行动作示教,机器人能实现动作的记录和再现。这就是所谓的示教再现机器人,现有的机器人差不多都采用这种控制方式。

机器人产品最早的实用机型(示教再现)是1962年美国AMF公司推出的“VERSTRAN”和UNIMATION公司推出的“UNIMATE”。这些工业机器人的控制方式与数控机床大致相似,但外形特征迥异,主要由类似人的手和臂组成。

1965年,麻省理工学院的Robots演示了第一个具有视觉传感器的、能识别与定位简单积木的机器人系统。

1967年,日本成立了人工手研究会(现改名为仿生机构研究会),同年召开了日本首届机器人学术会。

1970年,在美国召开了第一届国际工业机器人学术会议。1970年以后,机器人的研究得到迅速广泛的普及。

1973年,辛辛那提·米拉克隆公司的理查德·豪恩制造了第一台由小型计算机控制的工业机器人,它是由液压驱动,能提升的有效负载达45kg。

到了1980年,工业机器人人才真正在日本普及,故称该年为“机器人元年”。随后,工业机器人在日本得到了巨大发展,日本也因此而赢得了“机器人王国”的美称。

随着计算机技术和人工智能技术的飞速发展,使机器人在功能和技术层次上有了很大的提高,移动机器人及机器人的视觉和触觉等技术就是典型的代表。由于这些技术的发展,推动了机器人概念的延伸。20世纪80年代,将具有感觉、思考、决策和动作能力的系统称为智能机器人,这是一个概括的、含义广泛的概念。这一概念不但指导了机器人技术的研究和应用,而且赋予了机器人技术向深广发展的巨大空间。水下机器人、空间机器人、空中机器人、地面机器人、微小型机器人等各种用途的机器人相继问世,许多梦想变成了现实。机器人的技术(如传感技术、智能技术、控制技术)扩散和渗透到各个领域,形成了各式各样的新机器——机器人化机器。当前,与信息技术的交互和融合产生了“软件机器人”“网络机器人”的名称,这也说明了机器人所具有的创新活力。

### 1.2.3 中国机器人的发展

有人认为,应用机器人只是为了节省劳动力,而我国劳动力资源丰富,发展机器人不一定符合我国国情。其实这是一种误解。在我国,社会主义制度的优越性决定了机器人能够充分发挥其长处,它不仅能为我国的经济建设带来高度的生产力和巨大的经济效益,而且将为我国的宇宙开发、海洋开发、核能利用等新兴领域的发展作出卓越的贡献。

我国机器人学研究起步较晚,但进步较快,已经在工业机器人、特种机器人和智能机器人等各个方面有了明显的成就,为我国机器人学的发展打下了坚实的基础。

我国工业机器人起步于20世纪70年代初,经过三十多年的发展,大致可分为三个阶段:70年代的萌芽期,80年代的开发期,90年代的实用化期。我国于1972年开始研制工业机器人,上海、天津、吉林、哈尔滨、广州和昆明等地方的十几个研究单位和院校分别开发了固定程序、结合式、液压伺服型机器人,并开始了机构学(包括步行机构)、计算机控制和应用技术的研究,这些机器人大约有1/3用于生产。在该技术的推动下,随着改革开放方针的实施,我国机器人技术的发展得到政府的重视和支持,在20世纪80年代中期,国家组织了对工业机器人需求的行业调研,结果表明,对第二代工业机器人的需求主要集中于汽车行业(占总需要的60%~70%)。在众多专家的建议和规划下,于“七五”期间,由当时的机电部主持,中央各部委、中科院及地方十几所科研院所和大学参加,国家投入相当的资金,进行了工业机器人基础技术、基础元器件、几类工业机器人整机及应用工程的开发研究,完成了示教再现式工业机器人成套技术(包括机械手、控制系统、驱动传动单元、测试系统的设计、制造、应用和小批量生产的工艺技术等)的开发,研制出喷涂、弧焊、点焊和搬运等作业机器人整机,几类专用和通用控制系统及几类关键元部件如交流、直流伺服电动机驱动单元机器人专用薄壁轴承、谐波传动系统、焊接电源和变压器等,并在生产中经过实用考核,其主要性能指标达到20世纪80年代初国际同类产品的水平,且形成小批量生产能力。

在应用方面,在第二汽车厂建立了我国第一条采用国产机器人的生产线——东风系列驾驶室多品种混流机器人喷涂生产线。该线由七台国产PJ系列喷涂机器人和PM系列喷涂机器人和周边设备构成,已运行十几年,很好地完成喷涂东风系列驾驶室的生产任务,成为国

产机器人应用的一个窗口；此外，还建立了几个弧焊和点焊机器人工作站。与此同时，还研制了几种 SCARA 型装配机器人样机，并进行了试应用。

在基础技术研究方面，解剖了国外十余种先进的机型，并进行了机构学、控制编程、驱动传动方式、检测等基础理论与技术的系统研究，开发出具有国际先进水平的测量系统，编制了我国工业机器人标准体系和 12 项国标、行标。为了跟踪国外高级技术，20 世纪 80 年代在国家高级技术计划中，安排了智能机器人的研究开发，包括水下无缆机器人，高性能装配机器人和各类特种机器人。

1986 年底，中共中央 24 号文件把智能机器人列为国家 863 计划自动化领域两大主题之一，代号为 512，其主要目标是“跟踪世界先进水平，研发水下机器人等极限环境下作业的特种机器人”。在国家 863 计划精心组织下，1994 年，“探索者”号研制成功，它工作深度达到 1000m，甩掉了与母船间联系的电缆，实现了从有缆向无缆的飞跃。从 1992 年 6 月起，又与俄罗斯科学院海洋技术研究所合作，以我方为主，先后研制开发出了“CR-01、CR-02”6000m 无缆自治水下机器人，为我国深海资源的调查开发提供了先进装备。2008 年，水下机器人首次用于我国第三次北极科考冰下试验，获取了海冰厚度、冰底形态等大量第一手科研资料。

在 20 世纪 90 年代中期，国家已选择以焊接机器人的工程应用为重点进行开发研究，从而迅速掌握焊接机器人应用工程成套开发技术、关键设备制造、工程配套、现场运行等技术。

20 世纪 90 年代后期是实现国产机器人的商品化、为产业化奠定基础的时期。国内一些机器人专家认为：应继续开发和完善喷涂、点焊、弧焊、搬运等机器人系统应用成套技术，完成交钥匙工程；在掌握机器人开发技术和应用技术的基础上，进一步开拓市场，扩大应用领域，从汽车制造业逐渐扩展到其他制造业并渗透到非制造业领域，开发第二代工业机器人及各类适合我国国情的经济型机器人，以满足不同行业多层次的需求；开展机器人柔性装配系统的研究，充分发挥工业机器人在 CIMS(计算机集成制造系统)中的核心技术作用。在此过程中，嫁接国外技术，促进国际合作，促使我国工业机器人得到进一步发展，为 21 世纪机器人产业奠定了更坚实的基础。

我国机器人从 2000 年开始进入产业化阶段，国家积极支持机器人产业化基地的建设，已形成了以新松机器人自动化股份有限公司为代表的多个机器人产业化公司。

2013 年 4 月，由中国机械工业联合会牵头组建了“中国机器人产业联盟”。联盟包括国内机器人科技和产业的百余家成员单位，以产业链为依托，创新资源整合、优势互补、协同共进、互利共赢的合作模式，构建促进产业实现健康有序发展的服务平台。2013 年 12 月工业和信息化部发布了《关于推进工业机器人产业发展的指导意见》。

2012 年底，在浙江、江苏的传统制造企业中逐渐兴起了“机器换人”，众多企业纷纷引进现代化、自动化的装备进行技术的改造升级。2014 年，随着“东莞一号”《关于大力发展机器人智能装备产业打造有全球影响力的先进制造基地的意见》文件及各项扶持政策的出台，“机器换人”在珠三角的制造业重镇——东莞轰轰烈烈地开展，并在全国掀起了一场“机器换人”的浪潮。“机器换人”是以“现代化、自动化”的装备提升传统产业，利用机器人、自动化控制设备或流水线自动化对企业进行智能技术改造，实现“减员、增效、提质、保安全”的目的，并成为工业企业转型升级的必然选择。

2013 年国际机器人联盟发布的《工业机器人对就业的积极影响》专题报告中，通过对美国、德国、日本、韩国、巴西和我国的工业机器人应用现状进行分析，指出在未来 8 年

内，机器人技术将对全球制造业就业产生积极影响，一方面，机器人产业自身不断壮大，将新生大量的就业需求；另一方面机器人应用的不断深入，引发了制造业分工细化，促进服务业创新升级，产生新的就业机会。

“十三五”期间，我国制造业将进入转型升级的关键期，与之紧密相连的机器人产业将迎来黄金发展期。机器人产业作为《中国制造 2025》划定的十大重点发展领域，发展前景被外界普遍看好。

相对于已经成熟的工业机器人，我国服务机器人起步较晚，与国外存在较大的差距。我国服务机器人的研究始于 20 世纪 90 年代中后期。近年来，在国家 863 计划的支持下，我国“服务机器人军团”不断壮大。

仿人机器人走出实验室，我国成为继日本之后投入实际展示应用的第二个国家；烹饪机器人实现小规模量产，它能做出五十多种美味菜肴，烹饪水平不低于专业厨师；中医按摩机器人、机器人护理床、智能轮椅等各种助老助残服务机器人相继问世，并积极推进服务机器人的产业化进程；国内的大型玩具企业正在和科研院所合作，研发高端玩具机器人产品，企业的积极参与将推动以高端玩具为代表的教育娱乐机器人的产业化进程。

2005 年，我国服务机器人市场开始初具规模。同年，发展服务机器人被列为国家 863 计划先进制造与自动化技术领域重点项目。2006 年，发展智能服务机器人被列入《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020 年）》。2008 年，科技部将北京四季青模范敬老院和上海徐家汇福利院列为服务机器人应用示范区。2012 年 4 月，科学技术部以国科发计（2012）194 号印发《服务机器人科技发展“十二五”专项规划》。目前，我国的服务机器人主要有吸尘器机器人，教育、娱乐、保安机器人，智能轮椅机器人，智能穿戴机器人，智能玩具机器人，同时还有一批为服务机器人提供核心控制器、传感器和驱动器功能部件的企业。

### 1.3 机器人的基本结构

科学家研制机器人，实际上是仿照人类去塑造机器人，首先要使机器人具有人类的某些功能、某些行为，能够胜任人类希冀的某种任务，其最高标准应为类人型智能机器人。因此，研讨机器人的基本结构，可与人体的基本结构相对照来进行。

#### 1. 人的基本结构

在万物众生中，人类的形貌是最完美的：整个躯体比例匀称、结构巧妙；有一个生动的面孔、能思维的头脑和灵活的四肢；在胸腹腔内有五脏六腑，组织结构极为复杂、严密，这就是万物之灵的人类。

根据人体解剖学，整个人体共分为九个系统，即：

1) 由骨、骨连接和肌肉组成的运动系统。全身共有大小不同、形状各异的骨头 206 块，构成了骨骼，它是人体的支架；有 600 余块肌肉，约占人体重量的 40%，它是人体运动的动力器官。

2) 由消化道和消化腺组成的消化系统。其主要功能是对食物进行消化和吸收，以供给人们在生长、发育和活动中所需要的营养物质。简而言之，该系统是人体的能源供应部。

3) 由呼吸道和肺组成的呼吸系统。呼吸是生命活动的重要标志，人活着就要不停地从外界吸进氧气，同时呼出二氧化碳。

4) 由肾、输尿管、膀胱和尿道组成的泌尿系统,其主要功能是以尿的形式排出一些有害物质。

5) 由男、女生殖器官组成的生殖系统,其主要功能是繁衍下一代。

6) 由心脏、血管和淋巴系统组成的循环系统。心脏是人的动力器官,由它有节律地跳动,推动血液在血管中循环流动,以保证机体营养的需要,维持人体新陈代谢的正常运行。

7) 由脑、脊髓和周围神经组成的神经系统。它在人体内处于主导地位,由它控制和管理着人的各种生命活动。

8) 由皮肤、眼睛和耳朵(还有鼻、口)组成的感觉器官。其主要功能是接受外界刺激(信息)发生兴奋,然后由神经传导到相应的神经中枢,从而产生感觉。皮肤有温、痛、触觉的感受作用,眼睛是视觉器官,耳朵为听觉器官。另外,口腔及舌具有味觉功能,鼻子具有嗅觉功能。

9) 由无管腺体组成的内分泌系统。内分泌腺没有导管,散布于人体各个部位,其主要功能是可分泌出“激素”这种极为重要的物质,对人的代谢、生长、发育和繁殖等起着重要的调节作用。

人的组织结构是一个非常严密、非常复杂的统一体,细胞是构成人体最基本的形态结构单位和机能单位。各系统之间互相关联、影响和依存,在神经系统统一支配下,各系统协调一致,共同完成人的生命活动和功能活动。

### 2. 机器人的结构

机器人的结构(见图 1-1 和图 1-2)通常由四大部分组成,即执行机构、驱动系统、控制系统和智能系统。

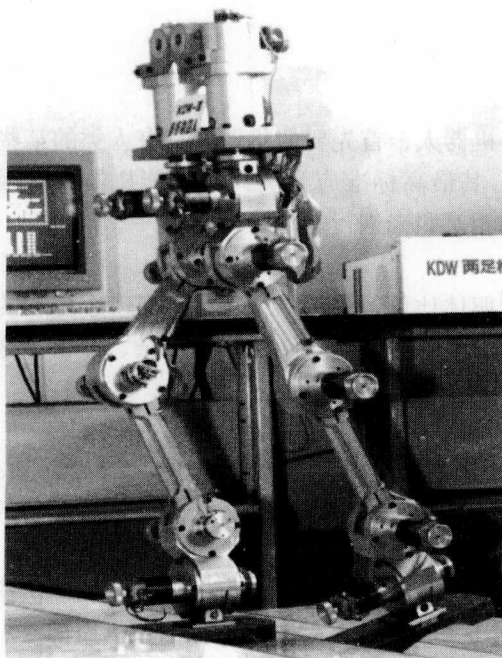


图 1-1 步行拟人机器人



图 1-2 工业机器人



(1) 机器人的执行机构 众所周知,人的功能活动(劳动)分为脑力劳动和体力劳动两种,两者往往又不能截然分开。从执行器官讲,就是在大脑支配下的嘴巴和四肢。单从体力劳动来讲,可以靠脚力、肩扛,但最主要的是人的手臂,而手的动作离不开胳膊、腰身的支持与配合。手部的动作和其他部位的动作是靠肌肉收缩和张弛,并由骨骼作为杠杆支持而完成的。

从图 1-1 和图 1-2 可知,机器人的执行机构包括手部、腕部、腰部和基座,它与人身结构基本上相对应,其中基座相对于人的下肢。机器人的构造材料,至今仍是使用无生命的金属和非金属材料,用这些材料加工成各种机械零件和构件,其中有仿人形的“可动关节”。机器人的关节(相当于机构中的“运动副”)有滑动关节、回转关节、圆柱关节和球关节等类型,在何部位采用何种关节,则由要求它做何种运动而决定。机器人的关节保证了机器人各部位的可动性。

1) 机器人的手部,又称末端执行机构,它是工业机器人和多数服务型机器人直接从事工作的部分。根据工作性质(机器人的类型),其手部可以设计成夹持型的夹爪,用以夹持东西;也可以是某种工具,如焊枪、喷嘴等;也可以是非夹持类的,如真空吸盘、电磁吸盘等。在仿人形机器人中,手部可能是仿人形多指手。

2) 机器人的腕部,相当于人的手腕,它上与臂部相连,下与手部相接,一般有 3 个自由度,以带动手部现实必要的姿态。

3) 机器人的臂部,相当于人的胳膊,下连手腕,上接腰身(人的胳膊上接肩膀),一般由小臂和大臂组成,通常是带动腕部做平面运动。

4) 机器人的腰部,相当于人的躯干,是连接臂部和基座的回转部件,由于它的回转运动和臂部的平面运动,就可以使腕部做空间运动。

5) 机器人的基座,是整个机器人的支撑部件,它相当于人的两条腿,要具备足够的稳定性和刚度,有固定式和移动式两种类型。在移动式的类型中,有轮式、履带式和仿人形机器人的步行式等。

(2) 机器人的驱动—传动系统 机器人的驱动—传动系统是将能源传送到执行机构的装置。其中,驱动器有电动机(直流伺服电动机、交流伺服电动机和步进电动机)、气动和液动装置(压力泵及相应控制阀、管路);而传动机构,最常用的有谐波减速器、滚珠丝杠、链、带及齿轮等传动系统。

机器人的能源按其工作介质,可分为气动、液动、电动和混合式四大类,在混合式中,有气—电混合式和液—电混合式。液压驱动就是利用液压泵对液体加压,使其具有高压势能,然后通过分流阀(伺服阀)推动执行机构进行动作,从而达到将液体的压力势能转换成做功的机械能。液压驱动的最大特点就是动力比较大、力和力矩惯性比大、反应快,比较容易实现直接驱动,特别适用于要求承载能力和惯性大的场合。其缺点是多了一套液压系统,对液压元件要求高,否则容易造成液体渗漏,噪声较大,对环境有一定的污染。

气压驱动的基本原理与液压驱动的相似。其优点是工质(空气)来源方便、动作迅速、结构简单、造价低廉、维修方便,其缺点是不易进行速度控制、气压不宜太高、负载能力较低等。

电动驱动是当前机器人使用最多的一种驱动方式,其优点是电源方便,响应快,信息传递、检测、处理都很方便,驱动能力较大;其缺点是因为电动机转速较高,必须采用减速机构将其转速降低,从而增加了结构的复杂性。目前,一种不需要减速机构可以直接用于驱动、具有大转矩的低速电动机已经出现。这种电动机可使机构简化,同时可提高控制精度。

机器人的驱动系统相当于人的消化系统和循环系统,是保证机器人运行的能量供应。