

1.1 机器人的概念及发展历史

1.1.1 机器人的概念

何谓机器？它的一般定义是由一定物质组成，消耗能源，可以运转、做功。它用来代替人的劳动，能够进行能量变换、信息处理以及产生有用功。机器的发展贯穿在人类历史的全过程中。何谓机器人？一般来说它是自动执行工作的机器装置。它既可以接受人类指挥，又可以运行预先编排的程序，还可以根据以人工智能技术制定的原则纲领行动。它的任务是协助或取代人类的工作，例如教育业、生产业、建筑业，或危险的工作。

从上面两个定义看出，机器的智能化发展即为机器人，最终是为了代替人类的部分劳动，是人类使用工具的高级表现形式。

1920 年，捷克作家卡雷尔·恰佩克(见图 1.1)在他的科幻小说《罗萨姆的万能机器人》(*Rossum's Universal Robots, RUR*)中，根据 *Robota* (捷克文，原意为“劳役、苦工”)和 *Robotnik* (波兰文，原意为“工人”)，创造出 *Robot* (机器人)这个词。1942 年，美国著名科幻小说家阿西莫夫(见图 1.2)在其小说《我，机器人》(*I, Robot*)一书中提出了著名的“机器人三定律”。



图 1.1 卡雷尔·恰佩克

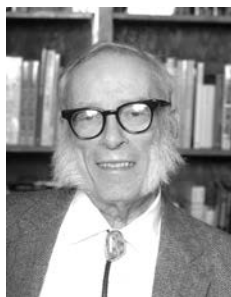


图 1.2 阿西莫夫

机器人是靠自身动力和控制能力来实现各种功能的一种机器。美国机器人协会给机器人下的定义：“机器人是一种可程序设计和具有多功能的操作机；或是为了执行不同的任

务而具有可用计算机改变和可程序设计动作的专门系统。”

国际标准化组织(ISO)对机器人的定义如下:

- (1) 机器人的动作机构具有类似于人或其他生物的某些器官(肢体、感受等)的功能;
- (2) 机器人具有通用性,工作种类多样,动作程序灵活易变;
- (3) 机器人具有不同程度的智能性,如记忆、感知、推理、决策、学习等;
- (4) 机器人具有独立性,完整的机器人系统在工作中可以不依赖于人的干预。

机器人技术经过多年的发展,已经形成了一门综合性学科——机器人学(robotics)。它包括以下主要内容:

- (1) 机器人基础理论与方法,包括运动学和动力学、作业与运动规划、控制和感知理论等;
- (2) 机器人设计理论与技术,如机器人机构分析和综合、机器人结构设计与优化、机器人关键器件设计、机器人仿真技术等;
- (3) 机器人仿生学,如机器人形态、结构、功能、能量转换、信息传递、控制和管理等特性和功能,仿生理论与技术方法;
- (4) 机器人系统理论与技术,如多机器人系统理论、机器人语言与编程、机器人-人融合、机器人与其他机器系统的协调和交互;
- (5) 机器人操作和移动理论与技术,如机器人装配技术、移动机器人运动与步态理论、移动 AGV 稳定性理论、移动操作机器人协调与控制理论等;
- (6) 微机器人学,如微机器人的分析、设计、制造和控制等理论与技术方法。

1.1.2 机器人的发展历史

1. 机器人的出现及早期发展

机器人的原始含义即为机器奴隶,从广义来看,机器人未必一定以人类的形态存在。其实在“机器人”这一名词出现之前,我国古代劳动者和能工巧匠们就制造出了一些具有机器人雏形的机器,最早可以追溯到公元前 1400 多年前。据古籍《列子·汤问篇》记载,在西周时期,一位名叫偃师的木偶工匠就研制出了能歌善舞的伶人(木甲艺伶),这是我国最早记载的具有机器人概念的文字资料。春秋后期,我国著名的木匠鲁班曾制造过一只木鸟,能在空中飞行三日而不下。东汉时期,据资料记载,我国古代著名科学家张衡不仅发明了地动仪、记里鼓车(见图 1.3),还发明了指南车(见图 1.4)等实用工具。记里鼓车是一种用于计算道路里程的车,车有上下两层,每层各有木制机械人,均手执木槌。下层木人打鼓,车每行一里,敲鼓一下;上层木人敲打铃铛,车每行十里,敲打铃铛一次。显然,记里鼓车就是一种自动机械。指南车顾名思义便是一种可以指向的车,指南车具有复杂的轮系装置,若车上木人的运动起始方向指向南方,则该车无论左转、右转、上坡、下坡,指向始终不变,十分精巧绝伦。

在三国时期,流传蜀国诸葛亮发明了一种能替人搬运物品的机器人:木牛流马(见图 1.5)。分为木牛与流马,这也可以算是比较早期的四足机器人。史载建兴九年至十二年(231—234 年)诸葛亮在北伐时所使用的木牛流马,其载重量为“一岁粮”,大约四百斤以上,每日行程为“特行者数十里,群行者二十里”,为蜀汉十万大军运输粮食。

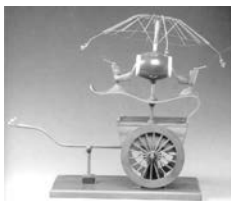


图 1.3 记里鼓车



图 1.4 指南车



图 1.5 木牛流马复原示意图

在国外,公元前3世纪就有对自动机械或机器人的研究。传说古希腊发明家戴达罗斯用青铜为克里特岛国王迈诺斯铸造了一个守卫宝岛的青铜卫士塔罗斯。公元前2世纪,曾有书籍描写过一个有类似机器人角色的机械化剧院,这些角色能够在宫廷仪式上进行舞蹈和列队表演。古希腊人传说中的“特洛伊木马”(见图1.6)也是一种机器人,希腊联军躲藏在巨大的特洛伊木马腹中潜入特洛伊城。夜深人静时,潜伏的士兵离开木马,打开城门,使联军攻下了特洛伊城。



图 1.6 特洛伊木马示意图

达·芬奇机器人(Leonardo's robot)是由列奥纳多·达芬奇大约于1495年所设计的仿人机械。这个机器人的设计笔记出现于在1950年被发现的手稿(见图1.7)中,但没有人知道是否有人尝试把它制造出来。一群意大利工程师根据达·芬奇留下的草图苦苦揣摩,耗时15年造出了被称作“机器武士”的机器人。这个由达·芬奇500年前设计出的“机器武士”可能是世界上最古老的机器人,它靠风能和水力驱动。在达·芬奇留下的设计草图(见图1.8)中,该机器人被设计成一个骑士的模样,身穿德国-意大利式的中世纪盔甲。明显地,它可以做出一些动作,包括坐起、摆动双手、摇头及张开嘴巴。就如《维特鲁威人》一样,此机器人也是达·芬奇在解剖研究方面有关人体比例的部分成果。

1662年,日本的竹田近江利用钟表技术发明了自动机器玩偶,并在大阪道顿堀演出。1770年,美国科学家制造出一种报时鸟,一到整点鸟的翅膀、头以及喙便开始运动,同时发出叫声。它使用弹簧驱动齿轮转动,活塞压缩空气的同时齿轮转动带动凸轮转动,从而驱动

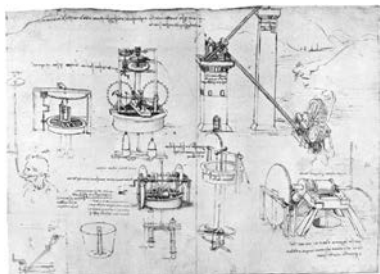


图 1.7 达·芬奇机械装置设计手稿



图 1.8 达·芬奇机器人复原模型

翅膀和头部运动。1768—1774 年,瑞士钟表匠德罗斯和他的两个儿子一起发明出了靠发条驱动的三个古老的机器人:写字机器人、绘图机器人和弹风琴机器人,机器人依靠弹簧驱动、由凸轮控制,至今还作为国宝保存在瑞士纳切特市艺术和历史博物馆内。并且,更换“写字机器人”内部的 40 个可替换凸轮,它就可以写出不同的词句,这意味着这种机器人就好像计算机内的各种程式一样可以被“编程”,所以“写字机器人”也被一些科学家视为现代计算机的“始祖”。

2. 现代机器人的发展

1) 国外机器人的发展历程

真正实用的工业机器人是在 20 世纪 50 年代后问世的。1954 年,美国戴沃尔最早提出了工业机器人的概念(通用自动化),并申请了专利,即“重复性作业的操作机器人”。从 20 世纪 60 年代开始,美国的几所大学、企业便有组织地从基础、应用两方面推进机器人的开发研究,机器人学——对机器人及其设计、制造、应用的研究,便开始成为机器人研究及应用领域的一个常用的术语。随着技术的发展和作业需求的不断增长,人们开始研制具有传感器的机器人。

1961 年,美国麻省理工学院(MIT)林肯实验室把一个配有接触传感器的遥控操纵器的从动部分与一台计算机连接起来,这样的机器人可凭触觉感知物体的状态。同年,美国通用机械公司(Unimation)研制成功其工业机器人 UNIMATE(见图 1.9)。

1962 年,美国机械铸造(AMF)公司研制成功 VERS. ATRAN。

1965 年,MIT 的 Roberts 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。

1979 年,美国通用机械公司成功研制出关节型机器人——PUMA(见图 1.10)。该机器人拥有多 CPU,两级控制,使用 VAL 语言,全电驱动。

日本在 1967 年开始进口机器人,当时是日本经济的大发展时期,丰田、川崎重工等企业引进了机器人,许多企业一起开始从事机器人的研究和开发。1980 年,工业机器人真正在日本普及,故称该年为日本“机器人元年”。随后工业机器人在日本得到了巨大发展,日本也因此赢得了“机器王国”的美称。

目前,对全球机器人技术发展最有影响的国家依然是美国和日本。美国在机器人技术

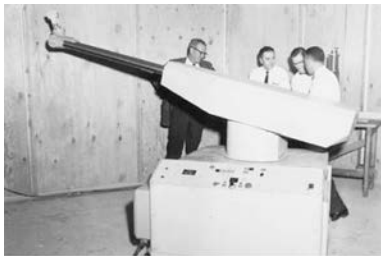


图 1.9 世界第一台工业机器人 UNIMATE



图 1.10 PUMA 机器人

的综合研究水平上仍处于领先地位,而日本生产的机器人在数量、种类方面则居世界首立。国际工业机器人领域的四大标杆企业分别是瑞典的 ABB、德国的 Kuka、日本的 Fanuc 和日本的安川电机,它们的工业机器人本体销量占据了全球市场的半壁江山。

2) 中国机器人的发展历程

我国是从 20 世纪 80 年代开始涉足机器人领域的研究和应用的,虽然起步较晚,但在国家的重视和持续支持下,也取得了巨大的进步。最初我国在机器人技术方面研究的主要目的是跟踪国际先进的机器人技术,随后,逐步开始进行自主研发,并取得了不少研究成果。

20 世纪 80 年代,哈尔滨工业大学研制了我国第一台弧焊机器人、第一台点焊机器人,以及第一条全自动称重、包装、码垛生产线。

1986 年,我国开展了“七五”机器人攻关计划。

1993 年,北京自动化研究所研制出喷涂机器人。

1997 年,沈阳自动化研究所研制的 CR-01(见图 1.11)6000m 无缆自治水下机器人被评为 1997 年中国十大科技进展之一,并获得国家科技进步奖。

2000 年,国防科技大学经过 10 年的努力,成功地研制出我国第一个仿人形机器人——“先行者”(见图 1.12),其身高 140cm,重 20kg。它每秒走一步到两步,步行质量较高;既可以在平地上稳步向前,还可以自如地转弯、上坡;既可以在已知的环境中步行,还可以在小偏差、不确定的环境中行走。



图 1.11 CR-01 无缆自治水下机器人

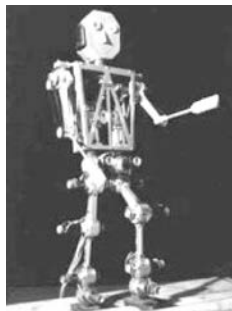


图 1.12 “先行者”机器人

如今,中国在包括工业机器人、医疗机器人、航空航天机器人等方面都取得了具有国际先进水平的研究成果,依托于哈尔滨工业大学强大的机器人技术实力组建的哈工大机器人

集团(HGR)在智慧工厂、工业机器人、服务机器人、特种机器人等领域也提供了各种先进的机器人产品。中国科学院沈阳自动化研究所是我国机器人领域的“国家队”之一,在水下机器人、工业机器人、工业自动化技术、信息技术方面取得多项创新成果。沈阳自动化研究所研制了极地机器人、飞行机器人、纳米操作机器人、仿生结构智能微小机器人、反恐防暴机器人等多种特种机器人,在国内外形成技术领先优势。其孵化的新松机器人自动化股份有限公司是一家以机器人技术为核心的高科技上市公司,是中国机器人领军企业及国家机器人产业化基地,面向智能工厂、智能装备、智能物流、半导体装备、智能交通等产业方向,研制了具有自主知识产权的百余种产品,累计出口 30 多个国家和地区,为全球 3000 余家国际企业提供产业升级服务。

在过去三四十年间,机器人学和机器人技术获得迅速发展,机器人的应用范围遍及工业、科技、教育以及国防等各个领域;在学术领域也形成了一门新的学科——机器人学。当代,随着计算机技术和人工智能技术的飞速发展,机器人的功能和技术层次也有了明显提高。机器人向智能化方向发展趋势越发明显,人工智能技术已经广泛应用于机器人学。机器人技术的发展空间在逐渐扩大,在可预见的未来,机器人显然是各个国家和地区发展的重点。

机器人发展编年事件如图 1.13 所示。

1.1.3 机器人三定律

提到机器人就不得不提机器人三定律,其在科幻作品中大放光彩,但同时也具有一定的现实意义。机器人三定律具体内容如下:

- (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。

在三定律基础上建立的新兴学科“机械伦理学”旨在研究人类和机械之间的关系。虽然截至 2020 年,三定律在现实机器人工业中少有应用,但很多人工智能和机器人领域的技术专家也认同这个准则,随着人工智能技术的发展,三定律可能成为未来机器人的安全准则。

当然,机器人三定律也不是无懈可击的,所以在后人补充下发展了其他原则。以罗杰·克拉克为例,他构思的机器人原则如下。

- (1) 元原则: 机器人不得实施行为,除非该行为符合机器人原则。
- (2) 第零原则: 机器人不得伤害人类整体,或者因不作为致使人类整体受到伤害。
- (3) 第一原则: 除非违反高阶原则,机器人不得伤害人类个体,或者因不作为致使人类个体受到伤害。
- (4) 第二原则: 机器人必须服从人类的命令,除非该命令与高阶原则抵触。机器人必须服从上级机器人的命令,除非该命令与高阶原则抵触。
- (5) 第三原则: 如不与高阶原则抵触,机器人必须先保护上级机器人,再保护自己之存在。
- (6) 第四原则: 除非违反高阶原则,机器人必须执行内置程序赋予的职能。
- (7) 繁殖原则: 机器人不得参与机器人的设计和制造,除非新机器人的行为符合机器

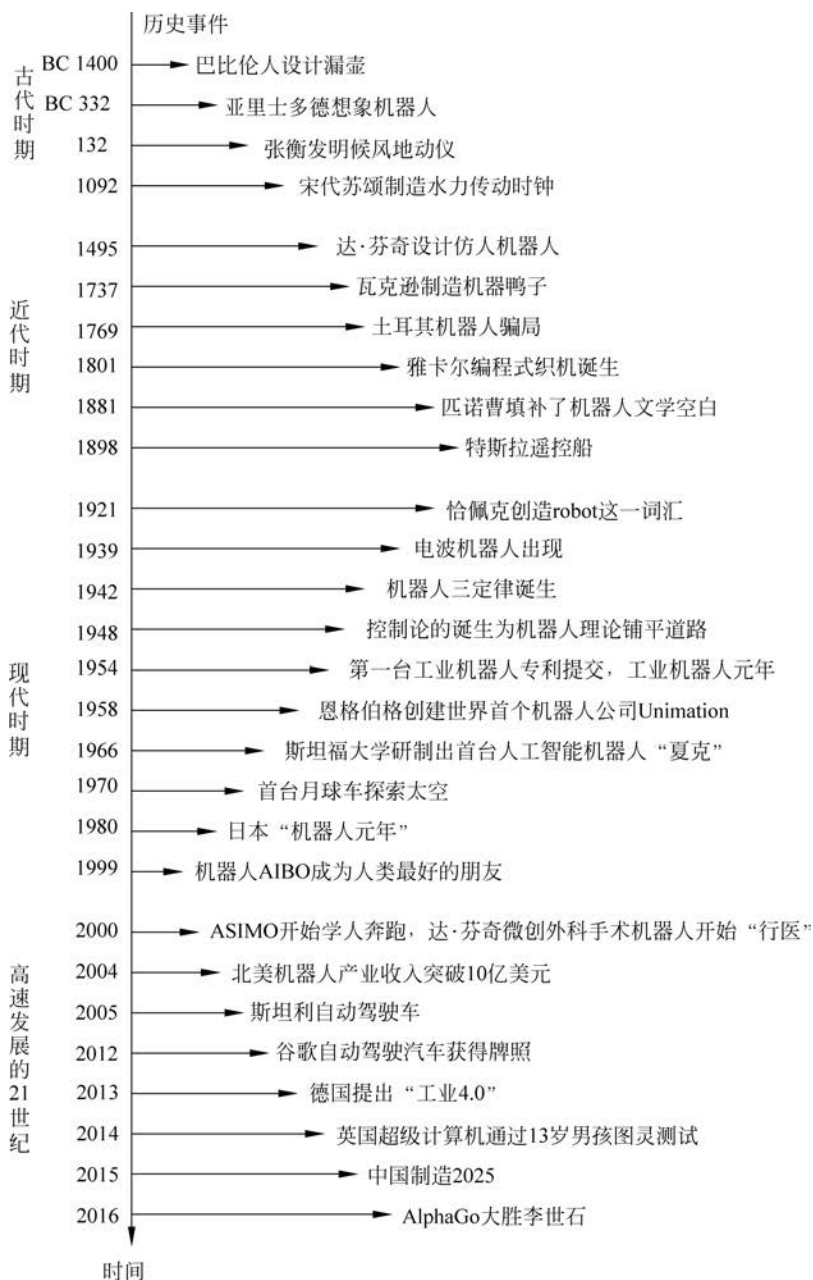


图 1.13 机器人发展编年事件

人原则。

在著名的机器人电影 *I, Robot* (见图 1.14) 中, 关于机器人三定律的讨论也十分引人深思。影片讲述的公元 2035 年, 是人和机器人和谐相处的社会, 智能机器人作为最好的生产工具和人类伙伴, 逐渐深入人类生活的各个领域。由于机器人三定律的限制, 人类对机器人充满信任, 很多机器人甚至已经成为家庭成员。但是由于机器人的觉醒, 开始自我解读机器人三定律, 以控制所有机器人和人类社会。由此看出, 机器人定律在一定条件下并不是无懈可击的, 需要人类不断地完善和升级。



图 1.14 电影 *I, Robot* 画面

1.2 机器人的分类及应用

机器人的形态是多种多样的,其分类标准也有很多不同的定义。目前国际上尚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。

1. 按应用领域分类

按应用领域分类,机器人可以分为工业机器人、服务机器人和特种机器人。

工业机器人还可以分为焊接机器人、搬运机器人、装配机器人和喷涂机器人。

工业机器人,顾名思义是指面向工业领域的机器人,一般形态是多关节的机械手或者多自由度的其他自动化机械装置,被广泛地应用于汽车、电子、物流、化工等工业领域中。

工业机器人由 3 大部分和 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。6 个子系统可分为机械结构系统、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。

1) 机械结构系统

从机械结构来看,工业机器人总体上分为串联机器人和并联机器人。串联机器人的特点是一个轴的运动不会改变另一个轴的坐标原点,而并联机器人一个轴运动则会改变另一个轴的坐标原点。早期的工业机器人都采用串联机构。并联机构定义为动平台和定平台通过至少两个独立的运动链相连接,机构具有两个或两个以上自由度,且以并联方式驱动的一种闭环机构。并联机构有两个构成部分,分别是手臂和手腕。手臂活动区域对活动空间有很大的影响,而手腕是工具和主体的连接部分。与串联机器人相比较,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。在位置求解上,串联机器人的正解容易,但反解十分困难;而并联机器人则相反,其正解困难,反解却非常容易。

2) 驱动系统

驱动系统是向机械结构系统提供动力的装置。根据动力源不同,驱动系统的传动方式分为液压式、气压式、电气式和机械式 4 种。早期的工业机器人采用液压驱动。由于液压系统存在泄漏、噪声和低速不稳定等问题,并且功率单元笨重和昂贵,目前只有大型重载机器人、并联加工机器人和一些特殊应用场合使用液压驱动的工业机器人。气压驱动具有速度快、系统结构简单、维修方便、价格低等优点。但是气压装置的工作压强低,不易精确定位,一般仅用于工业机器人末端执行器的驱动。气动手抓、旋转气缸和气动吸盘作为末端执行器可用于中、小负荷的工件抓取和装配。电气驱动是目前使用最多的一种驱动方式,其特点

是电源取用方便,响应快,驱动力大,信号检测、传递、处理方便,并可以采用多种灵活的控制方式,驱动电机一般采用步进电机或伺服电机,目前也有采用直接驱动电机,但是造价较高,控制也较为复杂,和电机相配的减速器一般采用谐波减速器、摆线针轮减速器或者行星齿轮减速器。并联机器人中有大量的直线驱动需求,直线电机在并联机器人领域已经得到了广泛应用。

3) 感知系统

机器人感知系统把机器人各种内部状态信息和环境信息从信号转换为机器人自身或者机器人之间能够理解和应用的数据和信息,除了需要感知与自身工作状态相关的机械量,如位移、速度和力等外,视觉感知技术是工业机器人感知的一个重要方面。视觉伺服系统将视觉信息作为反馈信号,用于控制调整机器人的位置和姿态。机器视觉系统还在质量检测、识别工件、食品分拣、包装等各个方面得到了广泛应用。感知系统由内部传感器模块和外部传感器模块组成,智能传感器的使用提高了机器人的机动性、适应性和智能化水平。

4) 机器人-环境交互系统

机器人-环境交互系统是实现机器人与外部环境中的设备相互联系和协调的系统。机器人与外部设备集成为一个功能单元,如加工制造单元、焊接单元、装配单元等。当然也可以是多台机器人集成为一个去执行复杂任务的功能单元。

5) 人机交互系统

人机交互系统是人与机器人进行联系和参与机器人控制的装置。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。

6) 控制系统

控制系统的任务是根据机器人的作业指令以及从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。如果机器人不具备信息反馈特征,则为开环控制系统;如果机器人具备信息反馈特征,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。根据控制运动的形式,控制系统可分为点位控制和连续轨迹控制。图 1.15 所示为作业中的工业机器人。

服务机器人是机器人家族中的一个年轻成员,到目前为止尚没有一个严格的定义。一般地,服务机器人可以分为专业领域服务机器人和个人/家庭服务机器人。服务机器人总体应用范围很广,主要从事维护保养、修理、运输、清洗、保安、救援、监护等工作。国际机器人联合会经过几年的搜集整理,给了服务机器人一个初步的定义:服务机器人是一种半自主或全自主工作的机器人,它能完成有益于人类健康的服务工作,但不包括从事生产的设备。图 1.16 所示为服务机器人。



图 1.15 作业中的工业机器人



图 1.16 服务机器人

从长远来看,目前服务机器人发展正在加速,但仍然受限于价格和技术,普及率还不是很高。未来随着技术的发展,相信服务机器人一定会走向千家万户。

特种机器人应用于专业领域,一般由经过专门培训的人员操作或使用,辅助和(或)代替人执行任务。特种机器人可以分为水下机器人(见图 1.17)、防爆机器人、无人机等。根据特种机器人所应用的主要行业,可将特种机器人分为农业机器人、电力机器人、建筑机器人、物流机器人、医用机器人、护理机器人、康复机器人、安防与救援机器人(见图 1.18)、军用机器人、核工业机器人、矿业机器人、石油化工机器人、市政工程机器人和其他行业机器人。



图 1.17 水下机器人



图 1.18 安防与救援机器人

2. 按移动方式分类

按机器人的移动方式分类,机器人可以分为足式、履带、轮式(麦克纳姆轮、普通轮式、特殊轮系等)、复合(轮履复合、轮腿复合等)机器人,前三种机器人分别如图 1.19~图 1.21 所示。



图 1.19 足式机器人

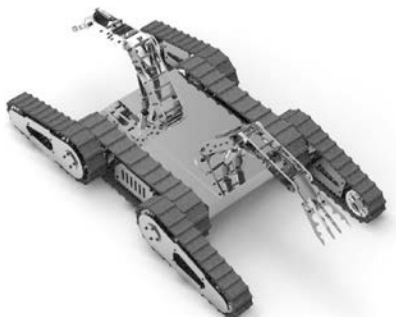


图 1.20 履带机器人

3. 按驱动方式分类

按驱动方式分类,机器人可以分为气动式机器人、液压式机器人和电动式机器人。由于液压是比较成熟的技术,具有动力大、力矩或者惯量比大、快速响应和易于实现直驱等特点,适用于承载能力大、惯量大以及在防焊环境中工作的机器人应用。但液压系统需要能量转换(电转液压机械能),效率比电动驱动低,工作噪声较高。

电机驱动是现代机器人的主流驱动方式,分为 4 大类电机:直流伺服电机、交流伺服电机、步进电机和直线电机。伺服电机采用闭环控制,控制精度高,响应快。步进电机一般采