



工业机器人技术专业“十三五”规划教材
工业机器人应用人才培养指定用书

工业机器人技术 基础及应用

张明文 主编 ◆



<http://www.irobot-edu.com>

教学视频 电子教案 技术交流论坛

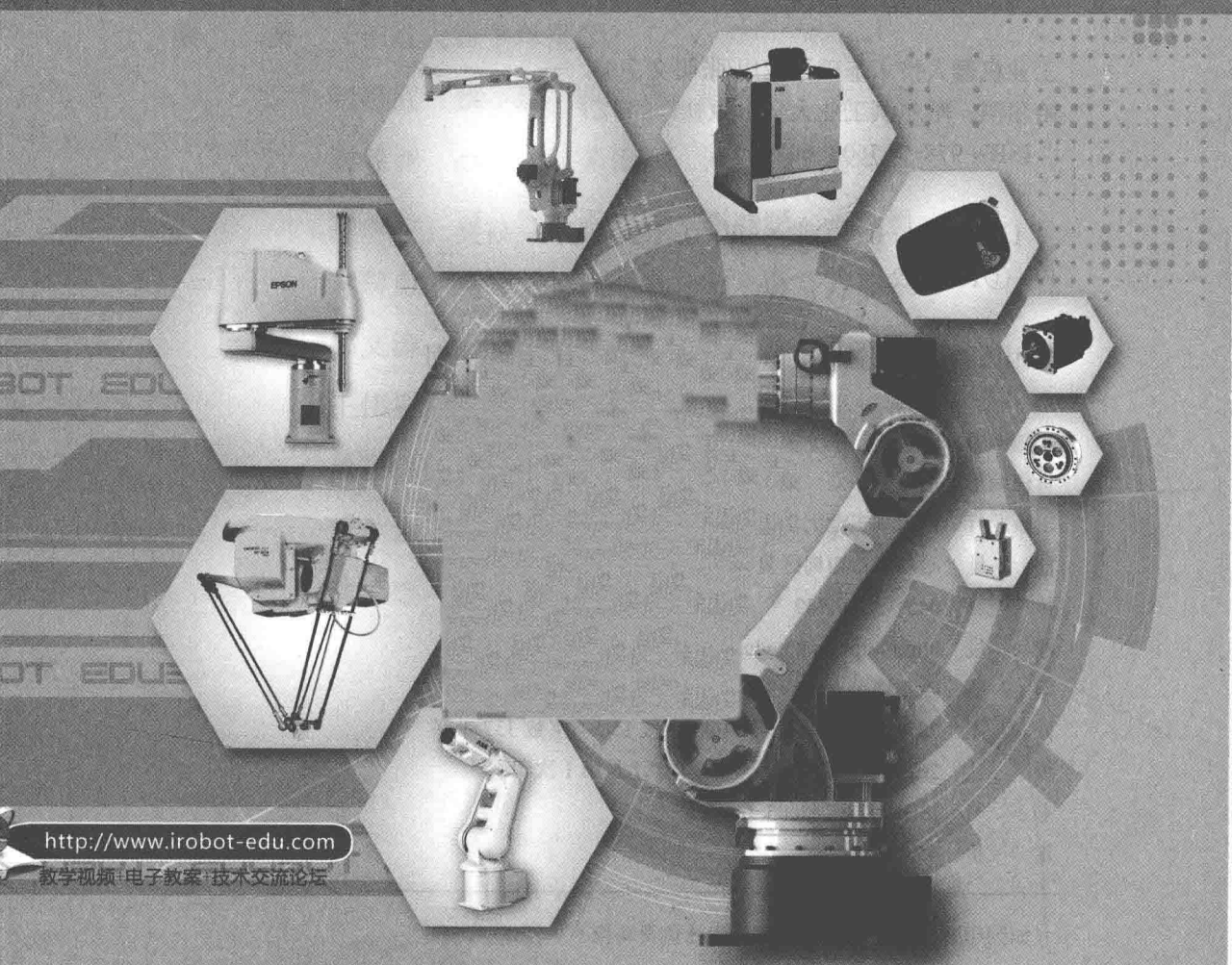


哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

专业“十三五”规划教材
应用人才培养指定用书

工业机器人技术 基础及应用

张明文 主编 ◆



<http://www.irobot-edu.com>

教学视频 | 电子教案 | 技术交流论坛



哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书以国际工业机器人四大家族 ABB、KUKA、YASKAWA 和 FANUC 机器人为主要对象,配合工业应用中的主流机型,系统地介绍了工业机器人技术与操作应用的基本共性知识。以工业机器人技术基础知识为出发点,运用丰富的实物图片,概述了工业机器人的定义、特点、分类、应用以及发展情况,全面分析了工业机器人的技术参数、基本组成和运动原理,通过典型实例对工业机器人基本示教操作和实际应用进行系统讲解,并介绍了工业机器人近年来呈现的新技术、新趋势。通过对本书学习,能够使读者对工业机器人技术和实操应用过程有一个全面清晰的认识。

本书可作为高校机电一体化、电气自动化及机器人技术等相关专业的教材,也可作为工业机器人培训机构培训教材,并可供从事相关行业的技术人员作为技术参考。

本书配有丰富的教学资源,凡使用本书作为教材的教师可咨询相关机器人实训装备,也可通过书末“教学资源获取单”索取相关数字教学资源。咨询邮箱: edubot_zhang@126.com。

图书在版编目(CIP)数据

工业机器人技术基础及应用/张明文主编.

哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2017.7

ISBN 978-7-5603-6626-5

I. ①工… II. ①张… III. ①工业机器人—研究
IV. ①TP242.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 090686 号

策划编辑 王桂芝 张 荣

责任编辑 范业婷 刘 威

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 哈尔滨市石桥印务有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 15.5 字数 337 千字

版 次 2017 年 7 月第 1 版 2017 年 7 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-6626-5

定 价 45.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

工业机器人技术专业“十三五”规划教材
工业机器人应用人才培养指定用书

编 审 委 员 会

名誉主任 蔡鹤皋

主 任 韩杰才 李瑞峰 付宜利

副 主 任 于振中 张明文 孙 钰

委 员 （按姓氏首字母排序）

包春红 蔡 琼 陈逢军 陈 适 陈 霞

封佳诚 高文婷 龚艳丽 顾三鸿 赫英强

黎福海 李 丹 李德新 李晓聪 李智勇

刘财勇 刘馨芳 卢 昊 宁 金 齐建家

邵文涛 谭立新 滕 武 王璐欢 王 伟

王伟夏 王 欣 王耀南 吴 边 吴长德

吴冠伟 吴海波 吴洪涛 吴颜吉 吴战国

霰学会 肖永强 杨润贤 殷 铨 尹 政

喻 杰 袁静云 袁小芳 张广才 庄咸霜



序 一

现阶段，我国制造业面临资源短缺、劳动成本上升、人口红利减少等压力，而工业机器人的应用与推广，将极大地提高生产效率和产品质量，降低生产成本和资源消耗，有效提高我国工业制造竞争力。我国《机器人产业发展规划（2016—2020）》强调，机器人是先进制造业的关键支撑装备和未来生活方式的重要切入点。广泛采用工业机器人，对促进我国先进制造业的崛起，有着十分重要的意义。“机器换人，人用机器”的新型制造方式有效推进了工业升级和转型。

工业机器人作为集众多先进技术于一体的现代制造业装备，自诞生至今已经取得了长足进步。当前，新科技革命和产业变革正在兴起，全球工业竞争格局面临重塑，世界各国紧抓历史机遇，纷纷出台了一系列国家战略：美国的“再工业化”战略、德国的“工业 4.0”计划、欧盟的“2020 增长战略”，以及我国推出的“中国制造 2025”战略。这些国家都以先进制造业为重点战略，并将机器人作为智能制造的核心发展方向。伴随机器人技术的快速发展，工业机器人已成为柔性制造系统（FMS）、自动化工厂（FA）、计算机集成制造系统（CIMS）等先进制造业的关键支撑装备。

随着工业化和信息化的快速推进，我国工业机器人市场已进入高速发展时期。IFR 统计显示，截至 2016 年，中国已成为全球最大的工业机器人市场。未来几年，中国工业机器人市场仍将保持高速的增长态势。然而，现阶段我国机器人技术人才匮乏，与巨大的市场需求严重不协调。《中国制造 2025》强调要健全、完善中国制造业人才培养体系，为推动中国制造业从大国向强国转变提供人才保障。从国家战略层面而言，推进智能制造的产业化发展，工业机器人技术人才的培养首当其冲。

目前，结合《中国制造 2025》的全面实施和国家职业教育改革，许多应用型本科、职业院校和技工院校纷纷开设工业机器人相关专业，但作为一门专业知识面很广的实用型学科，普遍存在师资力量缺乏、配套教材资源不完善、工业机器人实训装备不系统、技能考核体系不完善等问题，导致无法培养出企业需要的专业机器人技术人才，严重制约了我国机器人技术的推广和智能制造业的发展。江苏哈工海渡工业机器人有限公司依托哈尔滨工业大学在机器人方向的研究实力，顺应形势需要，产、学、研、用相结合，组织企业专家和一线科研人员开展了一系列企业调研，面向企业需求，联合高校教师共同编写了“工业机器人技术专业‘十三五’规划教材”系列图书。

该系列图书具有以下特点：

(1) 循序渐进，系统性强。该系列图书从工业机器人的入门实用、技术基础、实训指导，到工业机器人的编程与高级应用，由浅入深，有助于系统学习工业机器人技术。

(2) 配套资源，丰富多样。该系列图书配有相应的电子课件、视频等教学资源，以及配套的工业机器人教学装备，构建了立体化的工业机器人教学体系。

(3) 通俗易懂，实用性强。该系列图书言简意赅，图文并茂，既可用于应用型本科、职业院校和技工院校的工业机器人应用型人才培养，也可供从事工业机器人操作、编程、运行、维护与管理等工作的技术人员参考学习。

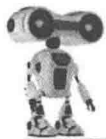
(4) 覆盖面广，应用广泛。该系列图书介绍了国内外主流品牌机器人的编程、应用等相关内容，顺应国内机器人产业人才发展需要，符合制造业人才发展规划。

“工业机器人技术专业‘十三五’规划教材”系列图书结合实际应用，教、学、用有机结合，有助于读者系统学习工业机器人技术和强化提高实践能力。本系列图书的出版发行，必将提高我国工业机器人专业的教学效果，全面促进“中国制造 2025”国家战略下我国工业机器人技术人才的培养和发展，大力推进我国智能制造产业变革。

中国工程院院士

蔡鹤皋

2017年6月于哈尔滨工业大学



序 二

自出现至今短短几十年中，机器人技术的发展取得长足进步，伴随产业变革的兴起和全球工业竞争格局的全面重塑，机器人产业发展越来越受到世界各国的高度关注，主要经济体纷纷将发展机器人产业上升为国家战略，提出“以先进制造业为重点战略，以‘机器人’为核心发展方向”，并将此作为保持和重获制造业竞争优势的重要手段。

作为人类在利用机械进行社会生产史上的一个重要里程碑，工业机器人是目前技术发展最成熟且应用最广泛的一类机器人。工业机器人现已广泛应用于汽车及零部件制造，电子、机械加工，模具生产等行业以实现自动化生产线，并参与焊接、装配、搬运、打磨、抛光、注塑等生产制造过程。工业机器人的应用，既保证了产品质量，提高了生产效率，又避免了大量工伤事故，有效推动了企业和社会生产力发展。作为先进制造业的关键支撑装备，工业机器人影响着人类生活和经济发展的方方面面，已成为衡量一个国家科技创新和高端制造业水平的重要标志。

伴随着工业大国相继提出机器人产业政策，如德国的“工业 4.0”、美国的先进制造伙伴计划、中国的“‘十三五’规划”与“中国制造 2025”等国家政策，工业机器人产业迎来了快速发展态势。当前，随着劳动力成本上涨，人口红利逐渐消失，生产方式向柔性、智能、精细转变，中国制造业转型升级迫在眉睫。全球新一轮科技革命和产业变革与中国制造业转型升级形成历史性交汇，中国已经成为全球最大的机器人市场。大力发展工业机器人产业，对于打造我国制造业新优势、推动工业转型升级、加快制造强国建设、改善人民生活水平具有深远意义。

我国工业机器人产业迎来爆发性的发展机遇，然而，现阶段我国工业机器人领域人才储备数量严重不足，对企业而言，从工业机器人的基础操作维护人员到高端技术人才普遍存在巨大缺口，缺乏经过系统培训、能熟练安全应用工业机器人的专业人才。现代工业是立国的基础，需要有与时俱进的职业教育和人才培养配套资源。

“工业机器人技术专业‘十三五’规划教材”系列图书由江苏哈工海渡工业机器人有限公司联合众多高校和企业共同编写完成。该系列图书依托于哈尔滨工业大学的先进机器人研究技术，综合企业实际用人需求，充分贯彻了现代应用型人才培养“淡化理论，技能培养，重在运用”的指导思想。该系列图书既可作为工业机器人技术或机器人工程专业的教材，也可作为机电一体化、自动化专业开设工业机器人相关课程的教学用书；系列图书

涵盖了 ABB、KUKA、YASKAWA、FANUC 等国际主流品牌和国内主要品牌机器人的入门实用、实训指导、技术基础、高级编程等系列教材，注重循序渐进与系统学习，强化学生的工业机器人专业技术能力和实践操作能力。

该系列教材“立足工业，面向教育”，填补了我国在工业机器人基础应用及高级应用系列教材中的空白，有助于推进我国工业机器人技术人才的培养和发展，助力中国智造。

中国科学院院士 

2017年6月



前 言

机器人是先进制造业的重要支撑装备，也是未来智能制造业的关键切入点，工业机器人作为机器人家族中的重要一员，是目前技术最成熟、应用最广泛的一类机器人。作为衡量科技创新和高端制造发展水平的重要标志，工业机器人的研发和产业化应用被很多发达国家作为抢占未来制造业市场、提升竞争力的重要途径。在汽车工业、电子电器行业、工程机械等众多行业大量使用工业机器人自动化生产线，在保证产品质量的同时，改善了工作环境，提高了社会生产效率，有力推动了企业和社会生产力的发展。

当前，随着我国劳动力成本上涨，人口红利逐渐消失，生产方式向柔性、智能、精细转变，构建新型智能制造体系迫在眉睫，对工业机器人的需求呈现大幅增长。大力发展工业机器人产业，对于打造我国制造业新优势，推动工业转型升级，加快制造强国建设，改善人民生活水平具有深远意义。《中国制造2025》将机器人作为重点发展领域的总体部署，机器人产业已经上升到国家战略层面。

在全球范围内的制造产业战略转型期，我国工业机器人产业迎来了爆发性的发展机遇，然而，现阶段我国工业机器人领域人才供需失衡，缺乏经系统培训的、能熟练安全使用和维护工业机器人的专业人才。《制造业人才发展规划指南》提出：要把人才作为实施制造业发展战略的重要支撑，加大人力资本投资，改革创新教育与培训体系。大力培养技术技能紧缺人才；支持基础制造技术领域人才培养；提升工业机器人应用人才等先进制造业人才关键能力和素质。针对现有国情，为了更好地推广工业机器人技术运用和加速推进人才培养，亟需编写一本系统全面的工业机器人技术基础教材。

本书主要介绍工业机器人技术的基本共性知识，结合国际工业机器人四大家族ABB、KUKA、YASKAWA和FANUC机器人，介绍了工业生产中的常用主流机型，并结合新型机器人，介绍了工业机器人近年来呈现的新技术、新趋势。本书依据学习者的认知规律，侧重工业机器人的技术要点，通过相关典型实例讲解，使读者快速掌握工业机器人的基本操作和行业应用，实现理论和实践的有机结合。本书可作为高校机电一体化、电气自动化及机器人技术等相关专业的教材，也可作为工业机器人培训机构的培训教材，并可供从事相关行业的技术人员参考使用。

机器人技术专业具有知识面广，实操性强等显著特点。为了提高教学效果，在教学方法上，建议采用启发式教学，开放性学习，重视实操演练、小组讨论；在学习过程中，建议结合本书配套的教学辅助资源，如：工业机器人仿真软件、机器人实训台、教

学课件及视频素材、教学参考与拓展资料等。以上资源可通过书末所附“教学资源获取单”咨询获取。

本书由哈工海渡机器人学院张明文任主编，王伟和宁金任副主编，参加编写的还有王璐欢和顾三鸿等，由霁学会和于振中主审。全书由王伟和宁金统稿，具体编写分工如下：王伟编写第1章、10章，宁金编写第2章、7章，王璐欢编写第8章、9章，顾三鸿编写第3~6章。本书编写过程中，得到了哈工大机器人集团、上海ABB工程有限公司、库卡机器人（上海）有限公司、安川首钢机器人有限公司上海分公司、上海发那科机器人有限公司和川崎机器人（天津）有限公司等单位的有关领导、工程技术人员以及哈尔滨工业大学相关教师的鼎力支持与帮助，在此表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，书中难免存在不足，敬请读者批评指正。任何意见和建议可反馈至E-mail:edubot_zhang@126.com。

编者

2017年3月



目 录

第1章 工业机器人概述	1
1.1 机器人的认知.....	1
1.1.1 机器人术语的来历.....	1
1.1.2 机器人三原则.....	2
1.1.3 机器人的分类和应用.....	2
1.2 工业机器人的定义和特点.....	3
1.3 工业机器人发展概况.....	4
1.3.1 国外发展概况.....	4
1.3.2 国内发展概况.....	6
1.3.3 发展模式.....	7
1.3.4 发展趋势.....	7
1.4 工业机器人的分类及应用.....	8
1.4.1 工业机器人的分类.....	8
1.4.2 工业机器人的应用.....	13
1.5 工业机器人的人才培养.....	16
第2章 工业机器人的基础知识	19
2.1 基本组成.....	19
2.2 基本术语.....	20
2.3 主要技术参数.....	29
2.4 运动原理.....	33
2.4.1 工作空间分析.....	34
2.4.2 数理基础.....	37
2.4.3 运动学.....	42
2.4.4 动力学.....	45
第3章 操作机	47
3.1 机械臂.....	47

3.1.1 垂直多关节机器人.....	47
3.1.2 水平多关节机器人.....	51
3.1.3 直角坐标机器人.....	53
3.1.4 DELTA并联机器人.....	53
3.2 驱动装置.....	55
3.2.1 步进电动机.....	56
3.2.2 伺服电动机.....	58
3.2.3 制动器.....	62
3.3 传动装置.....	62
3.3.1 减速器.....	63
3.3.2 同步带传动.....	67
3.3.3 线性模组.....	69
3.4 传感器.....	70
3.4.1 内部传感器.....	71
3.4.2 外部传感器.....	74

第4章 控制器.....78

4.1 控制系统.....	78
4.1.1 基本结构.....	78
4.1.2 构成方案.....	78
4.2 控制器.....	80
4.2.1 组成.....	80
4.2.2 典型产品.....	83
4.2.3 基本功能.....	85
4.2.4 分类.....	86
4.3 工作过程.....	88

第5章 示教器.....90

5.1 示教器认知.....	90
5.1.1 组成.....	90
5.1.2 典型产品.....	92
5.2 工作过程.....	93
5.3 功能.....	94

5.3.1	基本功能.....	94
5.3.2	示教再现.....	95
第6章 辅助系统.....		98
6.1	基本组成.....	98
6.2	作业系统.....	99
6.2.1	末端执行器.....	99
6.2.2	配套的作业装置.....	107
6.3	视觉系统.....	108
6.3.1	基本组成.....	109
6.3.2	工作过程.....	110
6.3.3	行业应用.....	111
6.4	周边设备.....	113
第7章 基本操作与基础编程.....		115
7.1	安全操作规程.....	115
7.2	工业机器人项目实施的基本流程.....	116
7.3	首次组装工业机器人.....	117
7.4	手动操纵.....	118
7.4.1	移动方式.....	119
7.4.2	运动模式.....	119
7.4.3	操作流程.....	120
7.5	原点校准.....	121
7.6	在线示教.....	121
7.6.1	工具坐标系建立.....	122
7.6.2	工件坐标系建立.....	125
7.6.3	运动轨迹.....	126
7.6.4	作业条件.....	129
7.6.5	作业顺序.....	130
7.6.6	示教步骤.....	130
7.7	基础编程.....	134
7.7.1	基本运动指令.....	135
7.7.2	其他指令.....	139

7.8 离线编程.....	139
7.8.1 特点.....	139
7.8.2 基本步骤.....	140
第8章 工业机器人应用.....	144
8.1 搬运机器人.....	144
8.1.1 分类.....	145
8.1.2 系统组成.....	146
8.2 码垛机器人.....	147
8.2.1 分类.....	148
8.2.2 码垛方式.....	148
8.2.3 系统组成.....	149
8.3 装配机器人.....	151
8.3.1 分类.....	152
8.3.2 系统组成.....	152
8.4 打磨机器人.....	153
8.4.1 分类.....	153
8.4.2 系统组成.....	154
8.5 焊接机器人.....	157
8.5.1 分类.....	157
8.5.2 弧焊动作.....	161
8.5.3 系统组成.....	162
第9章 离线编程应用.....	171
9.1 ABB离线编程——RobotStudio.....	171
9.1.1 RobotStudio简介.....	171
9.1.2 RobotStudio下载.....	172
9.1.3 RobotStudio安装.....	172
9.1.4 工作站建立.....	172
9.1.5 机器人导入.....	173
9.1.6 控制器导入.....	175
9.1.7 虚拟示教器.....	177
9.1.8 离线仿真实例.....	181

9.2 FANUC离线编程——ROBOGUIDE.....	189
9.2.1 ROBOGUIDE简介.....	189
9.2.2 用户界面.....	189
9.2.3 工作站建立.....	190
9.2.4 工具导入.....	191
9.2.5 实训模块导入.....	192
9.2.6 离线仿真实例.....	193
9.3 EPSON离线编程——RC+7.0.....	197
9.3.1 RC+7.0简介.....	197
9.3.2 下载和安装.....	197
9.3.3 用户界面.....	198
9.3.4 基本操作.....	199
9.3.5 离线仿真应用.....	205
9.4 数字化工厂仿真——Visual Component.....	209
9.4.1 软件介绍.....	209
9.4.2 用户界面.....	210
9.4.3 数字化工厂仿真应用.....	211
第10章 工业机器人新时代.....	216
10.1 工业机器人发展新趋势.....	216
10.2 新型工业机器人.....	218
10.2.1 ABB—YuMi.....	218
10.2.2 KUKA—LBR iiwa.....	221
10.2.3 Rethink Robotics—Sawyer.....	223
10.2.4 Kawasaki—duAro.....	226
参考文献.....	230

第1章 工业机器人概述

机器人是典型的机电一体化装置，它涉及机械、电气、控制、检测、通信和计算机等方面的知识。以互联网、新材料和新能源为基础，“数字化智能制造”为核心的新一轮工业革命即将到来，而工业机器人则是“数字化智能制造”的重要载体。

学习目标

1. 初步认识机器人。
2. 掌握工业机器人的定义。
3. 了解工业机器人的发展历程和模式。
4. 熟悉工业机器人的常见分类及其行业应用。
5. 了解工业机器人人才培养的紧迫性与重要性。



● 机器人的认知及工业机器人定义和特点

1.1 机器人的认知

大多数人对于“机器人”的初步认知来源于科幻电影，如图1.1所示。



(a) 变形金刚擎天柱



(b) 终结者T-800



(c) 钢铁侠

图1.1 科幻电影中的机器人

但在科学界中，“机器人”是广义概念，实际上大多数机器人都不具有基本的人类形态。

1.1.1 机器人术语的来历

“机器人（Robot）”这一术语来源于一个科幻形象，首次出现在1920年捷克剧作家、科幻文学家、童话寓言家卡雷尔·凯培克发表的科幻剧《罗萨姆的万能机器人》中，“Robot”就是从捷克文“Robota”衍生而来的。

1.1.2 机器人三原则

人类制造工业机器人主要是为了让它们代替人做一些有危险、难以胜任或不宜长期进行的工作。

为了发展机器人，避免人类受到伤害，美国科幻作家阿西摩夫在1940年发表的小说《我是机器人》中首次提出了“机器人三原则”。

➤ 第一原则

机器人必须不能伤害人类，也不允许见到人类将要受伤害而袖手旁观。

➤ 第二原则

机器人必须完全服从人类的命令，但不能违反第一原则。

➤ 第三原则

机器人应保护自身的安全，但不能违反第一和第二原则。

机器人学术界一直将这三原则作为机器人开发的准则。

1.1.3 机器人的分类和应用

目前，机器人的应用比较广泛，按照应用领域可分为工业机器人和特种机器人。

1. 工业机器人

工业机器人是在工业生产中使用的机器人的总称，主要用于完成工业生产中的某些作业。

工业机器人的种类较多，常用的有：搬运机器人、焊接机器人、喷涂机器人、装配机器人和码垛机器人等。

2. 特种机器人

特种机器人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机器人的总称。

特种机器人的种类繁多，如农业机器人（图1.2（a）、图1.2（b））、家务机器人（图1.2（c））、医用机器人、娱乐机器人、迎宾机器人（图1.2（d））、排爆机器人、侦察机器人、战场机器人、扫雷机器人、空间机器人、水下机器人、管道检测机器人（图1.2（e））、消防机器人（图1.2（f））和救援机器人等。

1.2 工业机器人的定义和特点

工业机器人虽然是技术上最成熟、应用最广泛的机器人，但对其具体的定义，科学界尚未统一，目前公认的是国际标准化组织（ISO）的定义。