

# 工业机器人 技术基础

林燕文 陈南江 许文稼 | 主编

彭赛金 张伟 | 副主编



微课版

学习平台、微课资源、多媒体课件、题库及答案、教学工作页

The Foundation of Industrial  
Robot Technology



智能制造应用型人才培  
养系列教程

|工|业|机|器|人|技|术|

# 工业机器人 技术基础

林燕文 陈南江 许文稼 | 主编

彭赛金 张伟 | 副主编

微课版

人民邮电出版社

北京

## 图书在版编目 (C I P) 数据

工业机器人技术基础 / 林燕文, 陈南江, 许文稼主编. — 北京: 人民邮电出版社, 2019.2  
智能制造应用型人才培养系列教程. 工业机器人技术  
ISBN 978-7-115-50414-2

I. ①工… II. ①林… ②陈… ③许… III. ①工业机器人—高等学校—教材 IV. ①TP242.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第289967号

## 内 容 提 要

本书共分为4篇, 内容包括工业机器人的概述、分类和技术参数、编程技术、机械结构、传感技术、控制技术、运动学基础、运动学计算、典型应用等。

本书可作为应用型本科院校的机器人工程、自动化、机械设计制造及其自动化、智能制造工程等专业的教材, 也可作为高职高专院校的工业机器人技术、电气自动化技术、机电一体化技术等专业的教材, 还可作为工程技术人员的参考资料和培训用书。

- 
- ◆ 主 编 林燕文 陈南江 许文稼  
副 主 编 彭赛金 张 伟  
责任编辑 王丽美  
责任印制 马振武
- ◆ 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>  
北京鑫丰华彩印有限公司印刷
- ◆ 开本: 787×1092 1/16  
印张: 13.75 2019年2月第1版  
字数: 335千字 2019年2月北京第1次印刷
- 

定价: 52.00 元

读者服务热线: (010)81055256 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

广告经营许可证: 京东工商广登字 20170147 号

# 智能制造应用型人才培养系列教程

## 编委会

主任：北京航空航天大学

副主任：华中科技大学

北京邮电大学

北京华晟经世信息技术有限公司

北京华晟智造科技有限公司

人民邮电出版社

委员：北京航空航天大学

北京科技大学

武汉科技大学

陕西科技大学

重庆邮电大学

长春理工大学

西南石油大学

成都工业学院

攀枝花学院

苏州大学应用技术学院

北华大学

黑龙江科技大学

长春大学

大连民族大学

江汉大学

湖北工程学院

石家庄学院

厦门华厦学院

遵义职业技术学院

惠州学院

常州机电职业技术学院

青岛职业技术学院

江西制造职业技术学院

浙江机电职业技术学院

丁希仑

吴昌林

陈钢

郭炳宇

陈南江 彭赛金

王威

胡毕富 徐坤

李艳晴

吴谨 程磊

汤伟 马令坤

张毅 罗志勇

张心明 宋林森

湛海云 冯文荣

李刚俊

王兵 黄小兵

刘和剑 卢亚平

孙丽霞 耿德旭

刘元林 刘玉波

李庆华 贺春山

张汝波 张涛

章红

李刚炎

于京生 赵翠俭

陈明明 周海波

李清江 陈勇

魏晓慧

陈小艳 许文稼

李峰

靖娟

张伟

顾 问：上海发那科机器人有限公司  
上海 ABB 工程有限公司  
通用电气智能设备（上海）有限公司

秘书长：北京华晟智造科技有限公司  
人民邮电出版社

封佳诚  
叶 晖  
代申义  
林燕文  
刘盛平



# 序

制造业是一个国家经济发展的基石，也是增强国家竞争力的基础。新一代信息技术、人工智能、新能源、新材料、生物技术等重要领域和前沿方向的革命性突破和交叉融合，正在引发新一轮产业变革——第四次工业革命，而智能制造便是引领第四次工业革命浪潮的核心动力。智能制造是基于新一代信息通信技术与先进制造技术的深度融合，贯穿于设计、生产、管理、服务等制造活动的各个环节，具有自感知、自学习、自决策、自执行、自适应等功能新型生产方式。

我国于 2015 年 5 月发布了《中国制造 2025》，部署全面推进制造强国战略，我国智能制造产业自此进入了一个飞速发展时期，社会对智能制造相关专业人才的需求也不断加大。目前，国内各本科院校、高职高专院校都在争相设立或准备设立与智能制造相关的专业，以适应地方产业发展对战略性新兴产业的人才需求。

在本科教育领域，与智能制造专业群相关的机器人工程专业在 2016 年才在东南大学开设，智能制造工程专业更是到 2018 年才在同济大学、汕头大学等几所高校中开设。在高等职业教育领域，2014 年以前只有少数几个学校开设工业机器人技术专业，但到目前为止已有超过 500 所高职高专院校开设这一专业。人才的培养离不开教材，但目前针对工业机器人技术、机器人工程等专业的成体系教材还不多，已有教材也存在企业案例缺失等亟须解决的问题。由北京华晟智造科技有限公司和人民邮电出版社策划，校企联合编写的这套图书，犹如大旱中的甘露，可以有效解决工业机器人技术、机器人工程等与智能制造相关专业教材紧缺的问题。

理实一体化教学是在一定的理论指导下，引导学习者通过实践活动巩固理论知识、形成技能、提高综合素质的教学过程。目前，高校教学体系过多地偏向理论教学，课程设置与企业实际应用契合度不高，学生无法把理论知识转化为实践应用技能。本套图书的第一大特点就是注重学生的实践能力培养，以企业真实需求为导向，学生学习技能紧紧围绕企业实际应用需求，将学生需掌握的理论知识，通过企业案例的形式进行衔接，达到知行合一、以用促学的目的。

智能制造专业群应以工业机器人为核心，按照智能制造工程领域闭环的流程进行教学，才能够使学生从宏观上理解工业机器人技术在行业中的具体应用场景及应用方法。高校现有的智能制造课程集中在如何进行结构设计、工艺分析，使得装备的设计更为合理。但是，完整的机器人应用工程却是一个容易被忽视的部分。本套图书的第二大特点就是聚焦了感知、控制、决策、执行等核心关键环节，依托重点领域智能工厂、数字化车间的建设以及传统制造业智能转型，突破高档数控机床与工业机器人、增材制造装备、智能传感与控制装备、智能检测与装配装备、智能物流与仓储装备五类关键技术装备，覆盖完整工程流程，涵盖企业智能制造领域工程中的各个环节，符合企业智能工厂真实场景。

我很高兴看到这套书的出版，也希望这套书能给更多的高校师生带来教学上的便利，帮助读者尽快掌握智能制造大背景下的工业机器人相关技术，成为智能制造领域中紧缺的应用型、复合型和创新型人才！

上海发那科机器人有限公司

SHANGHAI-FANUC Robotics CO.,LTD.

总经理

General Manager



# 前言

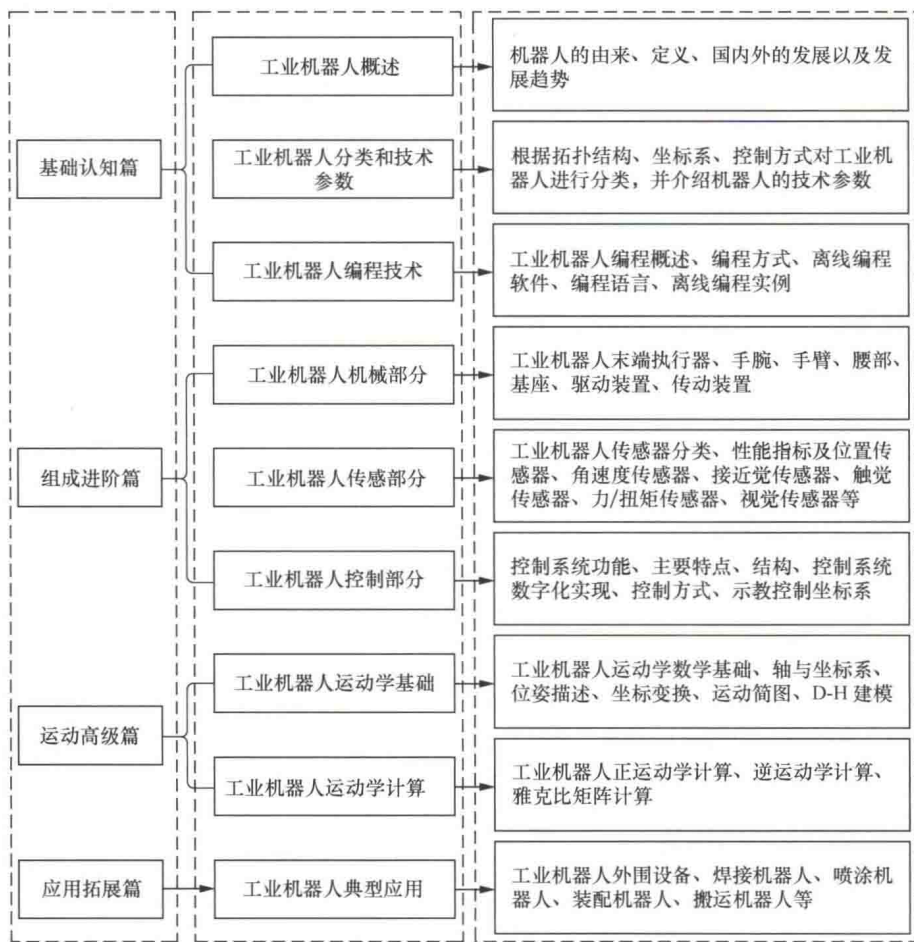
## 一、编写缘起

工业机器人是机电一体化生产装置，靠电力驱动，是由计算机控制伺服系统来实现如运动、定位、逻辑判断等功能的一种机器，并可以自动执行工作。随着工业机器人技术的发展及其应用的不断扩大，我国已经成为全球第二大应用市场。工业机器人的应用对于助推我国制造业转型升级，提高产业核心竞争力功不可没。但与之形成鲜明对比的是，工业机器人相关专业的人才培养却落后于市场的发展。我国教育界在意识到这种情况后，已开始大力加强相关专业的建设。

本书在全面调研的基础上，系统介绍了工业机器人技术方面的基础知识，并在内容选取上力争覆盖工业机器人技术及应用方面的大部分知识点，使读者更好地掌握相关知识。

## 二、本书结构

本书根据当前院校教学需要精心安排。全书共分为4篇，9个项目，结构如下所示。



随着产教融合建设的推进，智能制造应用型人才培养系列教材按照“一体化设计、结构

化课程、颗粒化资源”的逻辑建设理念进行编写。编者系统地规划了本书的结构体系，主要包括“项目引入”“知识图谱”“任务”“项目总结（技能图谱）”“项目习题”。

### 三、内容特点

1. 本书充分考虑了相关技术的先进性，书中介绍的机器人载体都是国内外知名品牌的产  
品，使学生真正学到当前先进的工业机器人相关技术及应用。
2. 本书在内容的组织上，充分考虑学生的认知规律，由简到难，循序渐进。
3. 书中设有“思考与练习”和“项目习题”，方便学生回顾每个任务及整个项目所学知识。

### 四、配套的数字化教学资源

得益于现代信息技术的飞速发展，本书在使用双色印刷的同时，配备了大量的教学微课、高清图片等一体化学习资源，并配套提供指导学习的课件、工作页等资源，以及用于对学生  
进行测验的单元测评、题库和习题详解等资料。

读者可在学习过程中登录本书配套的数字化课程网站（北京华晟智造科技有限公司“智  
造课堂”）获取数字化学习资源，对于微课等学习资源，可以通过手机扫描书中二维码链接观看。

### 五、教学建议

教师可以通过本书和课程网站上丰富的资源完善自己的教学过程，学生也能通过本书及  
其配套资源进行自主学习和测验。一般情况下，教师可用 56 学时进行本书的讲解，具体学时  
分配建议见下表。

序号	内容	分配建议/学时
1	项目一 工业机器人概述	4
2	项目二 工业机器人分类和技术参数	8
3	项目三 工业机器人编程技术	6
4	项目四 工业机器人机械部分	8
5	项目五 工业机器人传感部分	8
6	项目六 工业机器人控制部分	6
7	项目七 工业机器人运动学基础	6
8	项目八 工业机器人运动学计算	4
9	项目九 工业机器人典型应用	6
	合计	56

### 六、致谢

本书由北京华晟智造科技有限公司林燕文、陈南江和常州机电职业技术学院许文稼任主编，北  
京华晟智造科技有限公司彭赛金和浙江机电职业技术学院张伟任副主编。在本书的编写过程中，北京  
华晟智造科技有限公司提供了许多宝贵的意见和建议，并对编写工作给予大力支持，在此郑重致谢。

由于编者水平有限，书中难免存在不足之处，恳请广大读者批评指正。

编者

2018年9月



# 目 录

## 基础认知篇

<b>项目一 工业机器人概述</b> ..... 2	三、混合结构机器人.....20
项目引入..... 2	【思考与练习】 .....21
知识图谱..... 3	任务二 根据坐标系分类.....21
任务一 机器人的由来..... 3	【任务描述】 .....21
【任务描述】 ..... 3	【任务学习】 .....21
【任务学习】 ..... 3	一、直角坐标机器人.....21
【思考与练习】 ..... 5	二、圆柱坐标机器人.....22
任务二 机器人的定义..... 5	三、球坐标机器人.....23
【任务描述】 ..... 5	四、关节机器人.....23
【任务学习】 ..... 5	【思考与练习】 .....25
一、国际上机器人的几种	任务三 根据控制方式分类.....25
定义..... 5	【任务描述】 .....25
二、工业机器人的定义..... 6	【任务学习】 .....25
【思考与练习】 ..... 6	一、非伺服控制机器人.....25
任务三 工业机器人发展史和发展	二、伺服控制机器人.....26
趋势..... 7	【思考与练习】 .....26
【任务描述】 ..... 7	任务四 工业机器人技术参数.....26
【任务学习】 ..... 7	【任务描述】 .....26
一、工业机器人发展史..... 7	【任务学习】 .....26
二、工业机器人发展趋势...14	一、自由度.....27
【思考与练习】 .....15	二、定位精度.....28
项目总结.....15	三、重复性或重复定位
项目习题.....16	精度.....28
<b>项目二 工业机器人分类和技术参数</b> ... 17	四、工作空间.....29
项目引入.....17	五、最大速度.....29
知识图谱.....18	六、承载能力.....29
任务一 根据拓扑结构分类.....18	【思考与练习】 .....30
【任务描述】 .....18	项目总结.....30
【任务学习】 .....18	项目习题.....30
一、串联结构机器人.....18	<b>项目三 工业机器人编程技术</b> ..... 33
二、并联结构机器人.....19	项目引入.....33



【任务描述】 .....34

【任务学习】 .....34

    一、编程类型 .....35

    二、编程语言类型 .....35

    三、编程方式 .....36

【思考与练习】 .....37

任务二 在线编程 .....37

    【任务描述】 .....37

    【任务学习】 .....37

        一、在线编程方式 .....37

        二、在线编程实例 .....38

    【思考与练习】 .....40

任务三 离线编程 .....40

    【任务描述】 .....40

    【任务学习】 .....40

        一、离线编程方式 .....40

        二、离线编程软件 .....41

        三、离线编程实例 .....43

    【思考与练习】 .....47

项目总结 .....47

项目习题 .....47

### 组成进阶篇

**项目四 工业机器人机械部分** ..... 50

    项目引入 .....50

    知识图谱 .....51

    任务一 工业机器人末端执行器 .....53

        【任务描述】 .....53

        【任务学习】 .....53

            一、末端执行器分类 .....53

            二、夹钳式末端执行器 .....54

            三、吸附式末端执行器 .....57

            四、专用末端执行器 .....59

            五、工具快换装置 .....60

            六、多工位换接装置 .....60

        【思考与练习】 .....61

    任务二 工业机器人手腕 .....61

        【任务描述】 .....61

        【任务学习】 .....62

        一、手腕运动形式 .....62

        二、手腕自由度 .....62

        三、柔顺手腕结构 .....64

    【思考与练习】 .....65

    任务三 工业机器人手臂 .....65

        【任务描述】 .....65

        【任务学习】 .....65

            一、手臂特点 .....65

            二、手臂分类 .....67

        【思考与练习】 .....68

    任务四 工业机器人腰部 .....68

        【任务描述】 .....68

        【任务学习】 .....68

        【思考与练习】 .....69

    任务五 工业机器人基座 .....69

        【任务描述】 .....69

        【任务学习】 .....69

            一、固定式基座 .....69

            二、移动式基座 .....70

        【思考与练习】 .....71

    任务六 工业机器人驱动装置 .....71

        【任务描述】 .....71

        【任务学习】 .....71

            一、电动驱动式 .....72

            二、液压驱动式 .....74

            三、气动驱动式 .....75

        【思考与练习】 .....76

    任务七 工业机器人传动装置 .....76

        【任务描述】 .....76

        【任务学习】 .....76

            一、轴承 .....77

            二、丝杠 .....78

            三、齿轮 .....80

            四、星形齿轮 .....83

            五、RV 减速器 .....84

            六、谐波齿轮 .....87

            七、同步带 .....88

            八、缆绳 .....89

        【思考与练习】 .....90

项目总结 .....90



项目习题.....	91	二、电感式传感器.....	104
<b>项目五 工业机器人传感部分.....</b>	<b>92</b>	三、光电式传感器.....	105
项目引入.....	92	四、超声波式传感器.....	107
知识图谱.....	93	五、距离传感器.....	109
任务一 工业机器人传感器概述.....	94	【思考与练习】.....	110
【任务描述】.....	94	任务六 触觉传感器.....	110
【任务学习】.....	94	【任务描述】.....	110
一、传感器定义.....	94	【任务学习】.....	110
二、工业机器人传感器		一、接触式传感器.....	111
分类.....	94	二、压觉传感器.....	112
【思考与练习】.....	95	三、滑觉传感器.....	113
任务二 传感器性能指标.....	96	【思考与练习】.....	115
【任务描述】.....	96	任务七 力/扭矩传感器.....	115
【任务学习】.....	96	【任务描述】.....	115
一、灵敏度.....	96	【任务学习】.....	115
二、线性度.....	96	【思考与练习】.....	117
三、测量范围.....	96	任务八 视觉传感器.....	117
四、精度.....	96	【任务描述】.....	117
五、重复性.....	97	【任务学习】.....	117
六、分辨率.....	97	【思考与练习】.....	121
七、响应时间.....	97	任务九 各类传感器组合使用.....	121
八、抗干扰能力.....	97	【任务描述】.....	121
【思考与练习】.....	97	【任务学习】.....	122
任务三 位置传感器.....	98	【思考与练习】.....	122
【任务描述】.....	98	项目总结.....	122
【任务学习】.....	98	项目习题.....	123
一、电位器式传感器.....	98	<b>项目六 工业机器人控制部分.....</b>	<b>124</b>
二、光电编码器.....	99	项目引入.....	124
三、旋转变压器.....	101	知识图谱.....	125
【思考与练习】.....	102	任务一 工业机器人控制系统	
任务四 角速度传感器.....	102	概述.....	126
【任务描述】.....	102	【任务描述】.....	126
【任务学习】.....	102	【任务学习】.....	126
一、相对式光电编码器... ..	102	一、工业机器人控制系统	
二、测速发电机.....	102	功能.....	126
【思考与练习】.....	103	二、工业机器人控制系统	
任务五 接近觉传感器.....	103	特点.....	127
【任务描述】.....	103	三、工业机器人控制系统	
【任务学习】.....	103	组成.....	127
一、电容式传感器.....	104	【思考与练习】.....	129

任务二 工业机器人控制方式.....	130
【任务描述】 .....	130
【任务学习】 .....	130
一、工业机器人运动	
控制 .....	130
二、工业机器人力控制 ...	133
【思考与练习】 .....	134
任务三 控制系统数字化实现.....	135
【任务描述】 .....	135
【任务学习】 .....	135
【思考与练习】 .....	136
任务四 示教控制坐标系.....	137
【任务描述】 .....	137
【任务学习】 .....	137
【思考与练习】 .....	142
项目总结.....	142
项目习题.....	142

## 运动高级篇

<b>项目七 工业机器人运动学基础.....</b>	<b>144</b>
项目引入.....	144
知识图谱.....	145
任务一 工业机器人数学基础.....	145
【任务描述】 .....	145
【任务学习】 .....	146
一、空间点表示 .....	146
二、空间向量表示 .....	146
三、坐标系表示 .....	147
四、坐标系在固定参考坐	
标系中的表示 .....	147
五、刚体表示 .....	147
【思考与练习】 .....	148
任务二 工业机器人轴与坐标系... ..	148
【任务描述】 .....	148
【任务学习】 .....	149
一、工业机器人轴 .....	149
二、工业机器人坐标系 ...	150
【思考与练习】 .....	151
任务三 工业机器人位姿描述.....	151

【任务描述】 .....	151
【任务学习】 .....	151
一、刚体位姿描述 .....	151
二、位姿齐次坐标描述 ...	153
【思考与练习】 .....	154
任务四 工业机器人坐标变换.....	154
【任务描述】 .....	154
【任务学习】 .....	154
一、坐标变换 .....	154
二、齐次坐标变换 .....	157
【思考与练习】 .....	159
任务五 工业机器人 D-H 建模 ...	160
【任务描述】 .....	160
【任务学习】 .....	160
一、工业机器人运动	
简图 .....	160
二、标准 D-H 建模 ...	162
三、改进 D-H 建模 ...	164
【思考与练习】 .....	166
项目总结.....	166
项目习题.....	167
<b>项目八 工业机器人运动学计算.....</b>	<b>169</b>
项目引入.....	169
知识图谱.....	170
任务一 工业机器人正运动学	
计算.....	170
【任务描述】 .....	170
【任务学习】 .....	171
【思考与练习】 .....	171
任务二 工业机器人逆运动学	
计算.....	172
【任务描述】 .....	172
【任务学习】 .....	172
【思考与练习】 .....	173
任务三 工业机器人雅克比矩阵	
计算.....	173
【任务描述】 .....	173
【任务学习】 .....	173
【思考与练习】 .....	175
项目总结.....	175



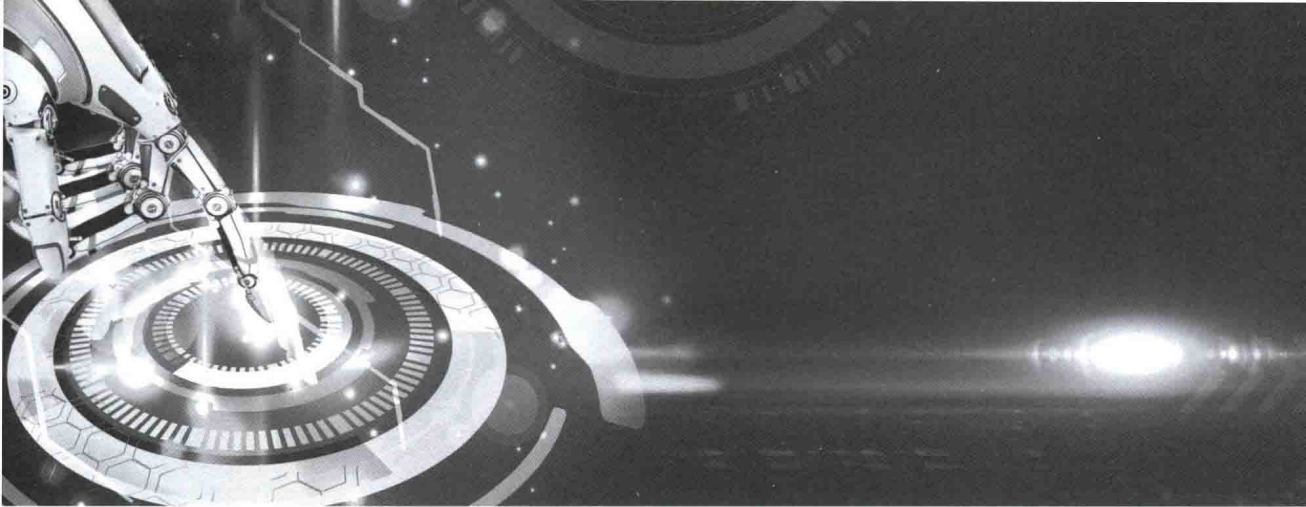


项目习题.....	175	【任务学习】 .....	189
		【思考与练习】 .....	192
		任务四 装配机器人.....	192
		【任务描述】 .....	192
		【任务学习】 .....	192
		【思考与练习】 .....	195
		任务五 搬运机器人.....	195
		【任务描述】 .....	195
		【任务学习】 .....	195
		【思考与练习】 .....	196
		任务六 轮式移动机器人与 AGV... ..	196
		【任务描述】 .....	196
		【任务学习】 .....	196
		【思考与练习】 .....	202
		任务七 其他类型机器人.....	202
		【任务描述】 .....	202
		【任务学习】 .....	202
		【思考与练习】 .....	204
		项目总结.....	204
		项目习题.....	205
		参考文献.....	206
项目习题.....	175		
<b>应用拓展篇</b>			
<b>项目九 工业机器人典型应用.....</b>	<b>178</b>		
项目引入.....	178		
知识图谱.....	179		
任务一 工业机器人外围设备.....	179		
【任务描述】 .....	179		
【任务学习】 .....	180		
【思考与练习】 .....	180		
任务二 焊接机器人.....	180		
【任务描述】 .....	180		
【任务学习】 .....	180		
一、焊接机器人系统			
组成.....	181		
二、点焊机器人.....	183		
三、弧焊机器人.....	185		
【思考与练习】 .....	188		
任务三 喷涂机器人.....	189		
【任务描述】 .....	189		



# 基础认知篇





# 项目一

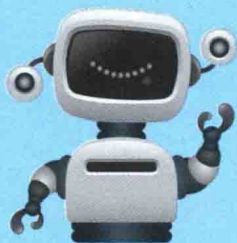
## 工业机器人概述

### 项目引入

早在几千年前的神话故事中，类似机器人的概念就已经出现。古人也制作了一些类似机器人的机械装置，但直到近代，机器人技术尤其是工业机器人技术才得到了飞速发展。美国、日本等国家的汽车制造领域大量使用了工业机器人，并且在这个领域中，工业机器人的应用最为成熟。

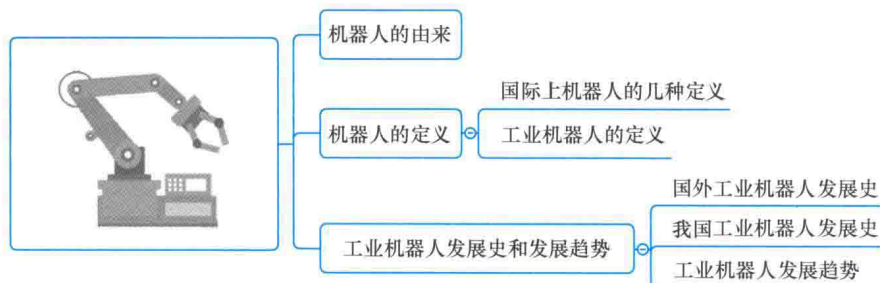
我国工业机器人技术虽起步较晚，关键技术以及核心零部件与发达国家相比还有一定差距，但也取得了一定的可喜的进步。最近几年，我国是工业机器人应用数量最多的国家，未来的发展潜力巨大。

本项目的学习内容是了解机器人的由来、机器人尤其是工业机器人的定义，以及工业机器人的发展史和发展趋势。





## 知识图谱



## 任务一 机器人的由来

### 【任务描述】

大家都或多或少地了解过机器人，但是否想过机器人是如何产生的？是如何有了机器人这个概念的？带着这两个问题，我们进入任务一的学习。

### 【任务学习】

机器人的概念早在几千年前的人类想象中就已诞生。最早出现的关于“人造人”的神话故事，当属公元前3世纪的古希腊神话“阿鲁哥探险船”。我国西周时期，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具有机器人概念的文字。据《墨经》的记载，春秋后期，我国著名的工匠鲁班曾制造过一只木鸟，能在空中飞行“三日不下”，如图1-1(a)所示。东汉时期的著名科学家张衡发明了地动仪、计里鼓车以及木指南车，如图1-1(b)、(c)所示，这些都是具有机器人构想的装置。后汉三国时期，诸葛亮发明了木牛流马，如图1-1(d)所示，《三国志·诸葛亮传》：“九年，亮复出祁山，以木牛运”“十二年春，亮悉大众由斜谷出，以流马运”。

微课



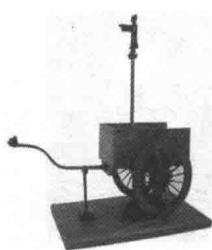
机器人的由来



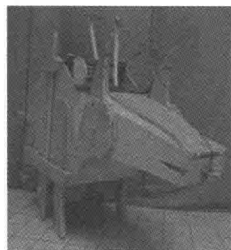
(a) 木鸟



(b) 计里鼓车



(c) 木指南车



(d) 木牛流马

图 1-1 中国古代发明

除中国外，许多其他国家的历史上也曾出现过有关机器人的发明。两千年以前希腊一个名叫海隆的人发明了各种机器，其中有自动门、自动销售机、自动风琴等，和现在使用的这类东西的结构类似。11世纪中东地区重要的发明家——阿勒·加扎利创造了古代最复杂、最令人称奇的计时器——时钟城堡。欧洲文艺复兴时期的天才——达·芬奇在手稿中绘制了西方文明世界的第一款人形机器人。此外在法国国王的庆典上，达·芬奇向国王献上了一只自动行走的人造狮子，如图 1-2 所示。

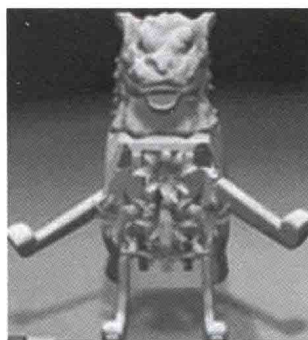


图 1-2 人造狮子

1662 年，日本的竹田近江利用钟表技术发明了自动端茶偶人，并在大阪道顿堀演出，如图 1-3(a) 所示。1738 年，法国天才技师杰克·戴·瓦克逊发明了一只机器鸭。1768—1774 年，瑞士钟表匠德罗斯父子三人合作制作了像真人一样大小的机器人：写字偶人、绘图偶人和弹风琴偶人，如图 1-3(b) 所示。1893 年，加拿大莫尔设计出能行走的机器人安德罗丁。



(a) 日本端茶偶人



(b) 欧洲的自动偶人

图 1-3 自动偶人

1920 年，捷克作家卡雷尔·卡佩克 [见图 1-4(a)] 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”。

1950 年，美国科幻小说家加斯卡·阿西莫夫 [Jassc Asimov, 如图 1-4(b) 所示] 在他的小说《我的机器人》中，提出了著名的“机器人三原则”，如图 1-5 所示。

- ① 机器人不能危害人类，不能眼看人类受害而袖手旁观。
- ② 机器人必须服从于人类，除非这种服从有害于人类。
- ③ 机器人应该能够保护自身不受伤害，除非为了保护人类或者人类命令它做出牺牲。



(a) 卡雷尔·卡佩克



(b) 加斯卡·阿西莫夫

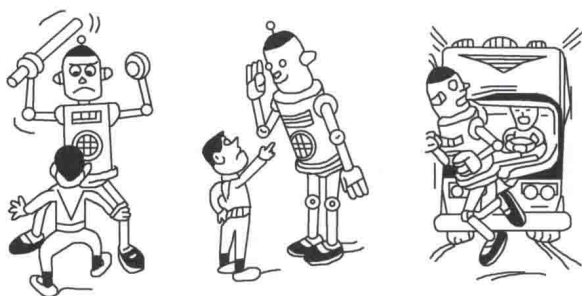


图 1-5 机器人三原则

图 1-4 卡雷尔·卡佩克与加斯卡·阿西莫夫