



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 入门实用教程

(YASKAWA机器人)

张明文 主编 ◆



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

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



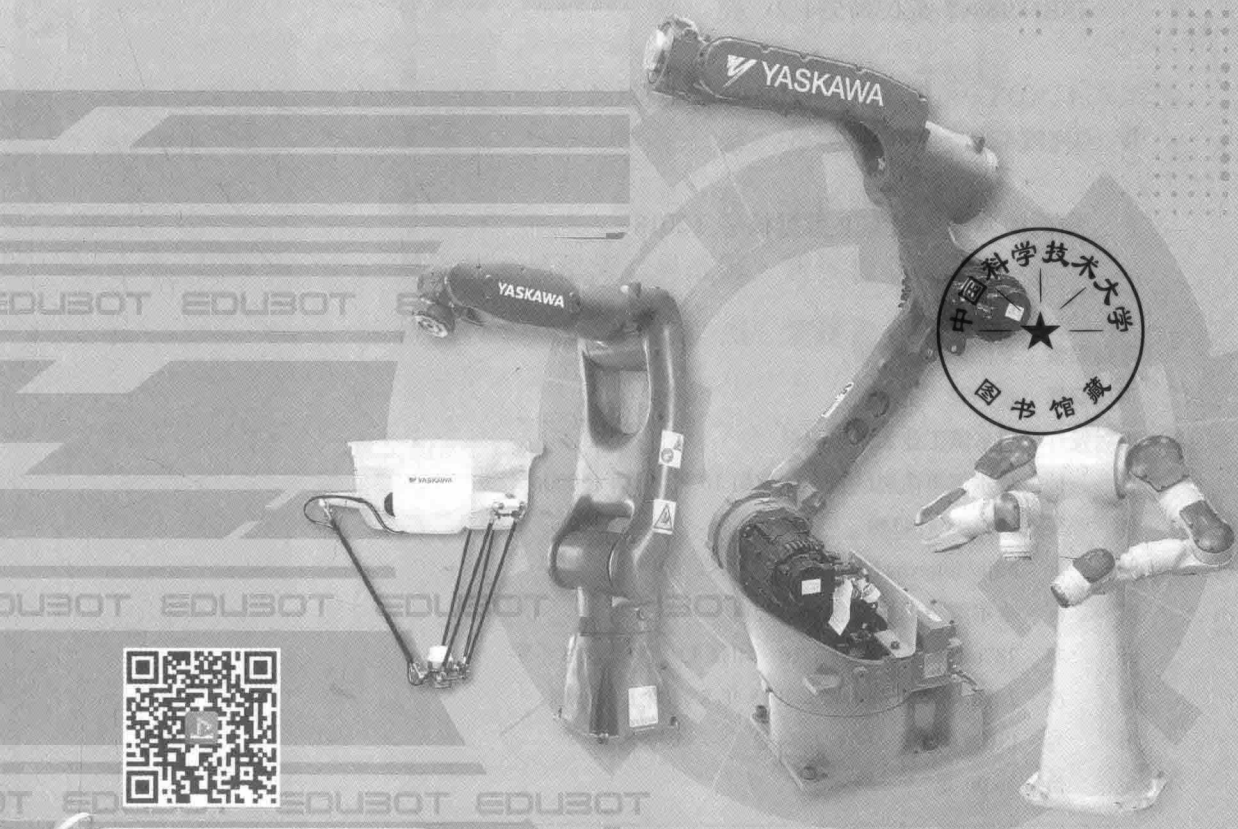
工业机器人技术专业“十三五”规划教材

工业机器人应用人才培养指定用书

# 工业机器人 入门实用教程

(YASKAWA机器人)

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

本书基于 YASKAWA 工业机器人,从机器人应用过程中需掌握的技能出发,由浅入深、循序渐进地介绍了 YASKAWA 机器人实用入门知识;从安全操作注意事项切入,配合丰富的实物图片,系统介绍了 YASKAWA 工业机器人首次拆箱安装、示教器和机器人示教、手动操纵机器人、工具及用户坐标系的定义及建立、I/O 及配置、指令与编程、原点校准等实用内容;基于具体案例,详细讲解了机器人系统的编程、调试、自动生产的过程。通过学习本书,读者可对 YASKAWA 工业机器人的实际使用过程有一个全面清晰的认识。本书图文并茂,通俗易懂,具有很强的实用性和可操作性,既可作为高等院校和中高职院校工业机器人相关专业的教材,又可作为工业机器人培训机构用书,同时可供相关行业的技术人员参考。

本书配套丰富的教学资源,凡使用本书作为教材的教师可通过咨询了解相关机器人实训装备,也可通过书末附页介绍的方法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

工业机器人入门实用教程:YASKAWA 机器人/张明文  
主编. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2018.8  
ISBN 978-7-5603-7534-2

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 166610 号

策划编辑 王桂芝 张 荣

责任编辑 张 荣 王桂芝

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 13 字数 320 千字

版 次 2018 年 8 月第 1 版 2018 年 8 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-7534-2

定 价 36.00 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

委 员 （按姓氏首字母排序）

包春红 陈健健 陈 霞 封佳诚 高春能

高文婷 何定阳 顾三鸿 赫英强 李晓聪

刘馨芳 卢 昊 宁 金 齐建家 邵文涛

滕 武 王璐欢 王 伟 王伟夏 王 欣

吴冠伟 吴洪涛 吴战国 霰学会 杨润贤

姚立波 尹 政 喻 杰 袁静云 张广才



# 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，有效地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转型升级。

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。国际机器人联合会（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

秦鹤皋

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”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。

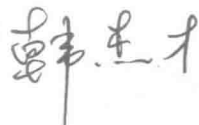
“工业机器人技术专业‘十三五’规划教材”系列图书由江苏哈工海渡工业机器人有限公司联合众多高校和企业共同编写完成。该系列图书依托于哈尔滨工业大学的先进机器人研究技术，综合企业实际用人需求，充分贯彻了现代应用型人才培养“淡化理论，技能培养，重在运用”的指导思想。该系列图书既可作为应用型本科、中高职院校工业机器人技术或机器人工程专业的教材，也可作为机电一体化、自动化专业开设工业机器人相关课程的教学用书；系列图书涵盖了国际主流品牌和国内主要品牌机器人的入门实用、实训指



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。工业机器人的研发和产业化应用是衡量科技创新和高端制造发展水平的重要标志，发达国家已经把工业机器人产业发展作为抢占未来制造业市场、提升竞争力的重要途径。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，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、能熟练安全使用和维护工业机器人的专业人才。国务院《关于推行终身职业技能培训制度的意见》指出：职业教育要适应产业转型升级需要，着力加强高技能人才培养；全面提升职业技能培训基础能力，加强职业技能培训教学资源建设和基础平台建设。针对这一现状，为了更好地推广工业机器人技术的应用，我们编写了这本系统全面的工业机器人入门实用教材。

本书以 YASKAWA 机器人为主，结合工业机器人仿真系统和合肥哈工海渡工业机器人有限公司的工业机器人技能考核实训台，遵循“由简入繁、软硬结合、循序渐进”的编写原则，依据初学者的学习需要科学设置知识点，结合实训台典型实例讲解，倡导实用性教学，有助于激发学习兴趣，提高教学效率，便于初学者在短时间内全面、系统地了解工业机器人的操作常识。

本书图文并茂，通俗易懂，实用性强，既可作为普通高校及中高职院校机电一体化、电气自动化及机器人等相关专业的教学和实训教材，以及工业机器人培训机构的培训教材，也可作为 YASKAWA 机器人入门培训的初级教程，供从事相关行业的技术人员参考。

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,如机器人仿真软件、六轴机器人实训台、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的张明文主编,顾三鸿和霁学会任副主编,参加编写的还有王璐欢、滕武和何定阳等,由于振中和王伟主审。全书由顾三鸿和霁学会统稿,具体编写分工如下:霁学会编写第1、2章;顾三鸿编写第3、4章;何定阳编写第5、9章;滕武编写第6~8章;王璐欢编写第10章。本书编写过程中,得到了哈工大机器人集团和安川首钢机器人有限公司上海分公司的有关领导、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!

由于编者水平及时间有限,书中难免存在疏漏及不妥之处,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

2018年5月



# 目 录

<b>第 1 章 工业机器人概述</b> .....	1
1.1 工业机器人行业概况 .....	1
1.2 工业机器人定义和特点 .....	3
1.3 工业机器人构型 .....	3
1.4 工业机器人主要技术参数 .....	6
1.5 工业机器人应用 .....	11
思考题 .....	13
<b>第 2 章 YASKAWA 机器人认知</b> .....	14
2.1 安全操作注意事项 .....	14
2.2 YASKAWA 机器人简介 .....	14
2.3 机器人项目实施流程图 .....	18
2.4 机器人系统的组成 .....	18
2.4.1 机器人本体 .....	19
2.4.2 控制器 .....	20
2.4.3 示教器 .....	21
2.5 机器人组装 .....	23
2.5.1 电缆线连接 .....	23
2.5.2 首次组装机器人 .....	25
思考题 .....	28
<b>第 3 章 示教器认知</b> .....	29
3.1 示教器硬件介绍 .....	29
3.2 示教器画面介绍 .....	36
3.2.1 主菜单 .....	36
3.2.2 简单菜单 .....	37

3.2.3 状态栏 .....	38
3.3 示教器常用操作 .....	41
3.3.1 切换用户权限 .....	41
3.3.2 切换坐标系 .....	42
3.3.3 速度控制 .....	42
3.3.4 快捷操作 .....	43
思考题 .....	43
<b>第 4 章 机器人基本操作 .....</b>	<b>44</b>
4.1 坐标系种类 .....	44
4.2 机器人手动操纵 .....	46
4.2.1 关节运动 .....	46
4.2.2 线性运动 .....	48
思考题 .....	49
<b>第 5 章 机器人坐标系建立 .....</b>	<b>50</b>
5.1 工具坐标系建立 .....	50
5.1.1 工具坐标系建立原理 .....	50
5.1.2 工具坐标系建立步骤 .....	51
5.1.3 验证工具坐标系 .....	57
5.1.4 清除工具坐标数据 .....	58
5.2 用户坐标系建立 .....	60
5.2.1 用户坐标系建立原理 .....	60
5.2.2 用户坐标系建立步骤 .....	61
5.2.3 验证用户坐标系 .....	65
5.2.4 清除用户坐标数据 .....	66
思考题 .....	68
<b>第 6 章 I/O 通信 .....</b>	<b>69</b>
6.1 I/O 单元 .....	69
6.2 机械安全单元 .....	70
6.2.1 安全信号 .....	72
6.2.2 控制信号 .....	73

6.3 供给电源	74
6.4 通用输入输出配置	75
6.4.1 通用输入信号配置	75
6.4.2 通用输出信号配置	76
6.5 专用输入输出配置	77
思考题	79
<b>第7章 机器人基本指令</b>	<b>80</b>
7.1 用户变量	80
7.2 移动指令	81
7.2.1 插补方法	81
7.2.2 再现速度	85
7.2.3 位置等级	86
7.3 输入输出指令	86
7.4 控制指令	88
7.5 其他指令	90
思考题	92
<b>第8章 机器人编程基础</b>	<b>93</b>
8.1 程序构成	93
8.1.1 程序一览界面	93
8.1.2 程序编辑界面	94
8.2 程序编辑	94
8.2.1 程序创建	95
8.2.2 程序修改	97
8.2.3 指令编辑	101
8.3 程序执行	117
8.3.1 急停操作及恢复	117
8.3.2 程序执行	118
8.4 自动运行	121
8.4.1 再现模式运行	121
8.4.2 远程模式运行	122
8.5 程序备份与加载	126
8.5.1 程序备份	126

8.5.2 程序加载 .....	129
思考题 .....	130
<b>第 9 章 编程实例 .....</b>	<b>131</b>
9.1 直线运动实例 .....	132
9.2 圆弧运动实例 .....	139
9.3 曲线运动实例 .....	148
9.4 物料搬运实例 .....	157
9.5 异步输送带物料检测实例 .....	167
思考题 .....	176
<b>第 10 章 异常事件 .....</b>	<b>177</b>
10.1 常见异常事件 .....	177
10.1.1 异常事件解决方法 .....	177
10.1.2 报警发生画面 .....	177
10.2 信号诊断 .....	178
10.2.1 通用输出监控 .....	178
10.2.2 通用输入监控 .....	180
10.2.3 输出状态变更 .....	181
10.3 原点校准 .....	182
10.3.1 认识原点位置 .....	182
10.3.2 原点位置校准方法 .....	183
思考题 .....	186
<b>附录 机器人通用 I/O 基板 .....</b>	<b>187</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>192</b>



# 第 1 章

## 工业机器人概述

### 1.1 工业机器人行业概况

当前,新科技革命和产业变革正在兴起,全球制造业正处于巨大的变革之中,《中国制造 2025》《机器人产业发展规划(2016—2020 年)》《智能制造发展规划(2016—2020 年)》等强国战略规划,引导着中国制造业向着智能制造的方向发展。

《中国制造 2025》提出了大力推进重点领域突破发展,而机器人作为十大重点领域之一,其产业已经上升到国家战略层面。工业机器人作为智能制造领域最具代表性的产品,“快速成长”和“进口替代”已成为现阶段我国工业机器人产业最重要的两个特征。我国正处于制造业升级的重要时间窗口,智能化改造需求空间巨大且增长迅速,工业机器人迎来了重要发展机遇。

据统计,2017 年 1~12 月中国工业机器人产量为 131 079 套,累计增长 68.1%。2017 年,我国工业机器人销量首次超过 11 万台,增长率为 22.94%,市场规模达 260 亿元,中国已连续五年成为全球工业机器人最大市场。截止到 2017 年 12 月底,全国机器人企业的总数为 6 472 家,年增长率为 35.8%。随着国内新增工业机器人产能的进一步释放,国内工业机器人产量增长仍将持续。图 1.1 为 2012~2017 年中国工业机器人产业销量及增长率情况。



\* 工业机器人行业概况

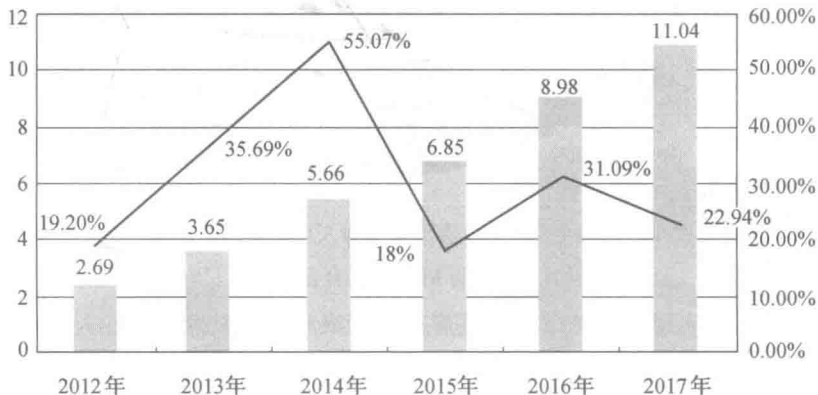


图 1.1 2012~2017 年中国工业机器人产业销量及增长率 (单位:万台)

(数据来源:中研普华数据库)



中国机器人的发展在全球也最具活力。由于机器人设备的大幅增加,特别是 2013 年至 2016 年间,我国机器人密度从 2013 年的 25 台/万人增加到 2016 年的 68 台/万人,位居世界第 23 名,如图 1.2 所示。

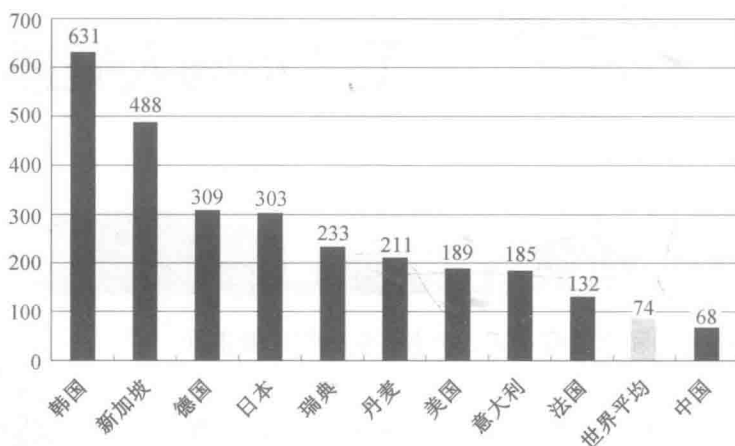


图 1.2 2016 年全球机器人密度 (单位: 台/万人)

(数据来源: 国际机器人联合会 IFR)

目前,工业机器人制造是各大装备制造厂商纷纷介入的一个领域,无论是传统的机械制造企业还是电气企业都希望能 在工业机器人市场分上一杯羹。可以预见,未来国内工业机器人制造商所面临的竞争不单单来自国外企业,如 ABB、FANUC、KUKA 和 YASKAWA 四大巨头,将更多来自国内跨行业的企业,竞争将会更加激烈。图 1.3 所示为 2016 年外资品牌工业机器人厂商市场份额。

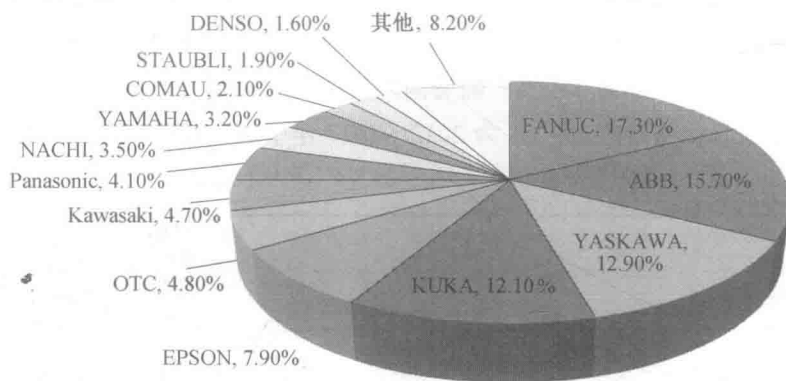


图 1.3 2016 年外资品牌工业机器人厂商市场份额

(数据来源: 国际机器人联合会 IFR)

国内机器人产业所表现出来的爆发性发展态势带来对工业机器人行业人才的大量需求,而行业人才严重的供需失衡又大大制约着国内机器人产业的发展,因此培养工业机器人行业人才迫在眉睫。而工业机器人行业的多品牌竞争局面,迫使学习者需要根据行业特点和市场需求,合理选择学习和使用某品牌的工业机器人,从而提高自身职业技能和个人竞争力。

## 1.2 工业机器人定义和特点

工业机器人虽是技术上最成熟、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。

国际标准化组织（ISO）的定义为：“工业机器人是一种能自动控制、可重复编程、多功能、多自由度的操作机，能够搬运材料、工件或者操持工具来完成各种作业。”

我国国家标准将工业机器人定义为：“自动控制的、可重复编程、多用途的操作机，并可对三个或三个以上的轴进行编程。它可以是固定式或移动式。在工业自动化中使用。”

工业机器人最显著的特点有：

- **拟人化** 在机械结构上类似于人的手臂或者其他组织结构。
- **通用性** 可执行不同的作业任务，动作程序可按需求改变。
- **独立性** 完整的机器人系统中可以不依赖于人的干预。
- **智能性** 具有不同程度的智能功能，如感知系统、记忆系统等，提高了工业机器人对周围环境的自适应能力。



\* 工业机器人定义和特点

## 1.3 工业机器人构型

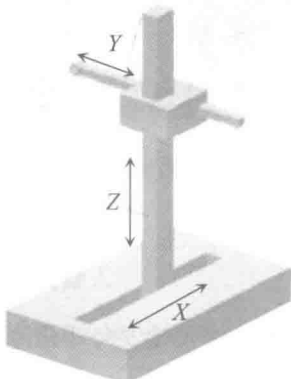
按照工业机器人结构运动形式的不同，其构型主要有 5 种：直角坐标机器人、柱面坐标机器人、球面坐标机器人、多关节型机器人和并联机器人。

### 1. 直角坐标机器人

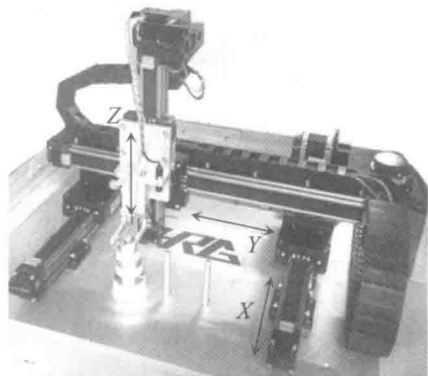
直角坐标机器人在空间上具有多个相互垂直的移动轴，常用的是 3 个轴，即 X、Y、Z 轴，如图 1.4 所示，其末端的空间位置是通过沿 X、Y、Z 轴来回移动形成的，为一个长方体。



\* 工业机器人构型



(a) 示意图



(b) 哈工海渡-直角坐标机器人

图 1.4 直角坐标机器人