



普通高等教育“十二五”卓越工程能力培养规划教材
普通高等教育“十二五”规划教材

INDUSTRIAL ROBOT TECHNOLOGY AND APPLICATION

工业机器人技术及应用

兰 虎 主编



免费电子课件

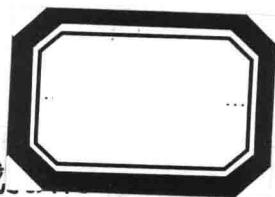
双色印刷



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十二五”卓越工程能力培养规划
普通高等教育“十二五”规划教材



工业机器人技术及应用

主 编 兰 虎
参 编 戴鸿滨 刘 俊 鲁德才
隋 鑫 陶祖伟
主 审 唐 塘



机械工业出版社

本书围绕从认识到熟练操作工业机器人,并根据实际应用进行基本作业示教这一主题,以工业机器人四巨头 ABB、KUKA、FANUC 和 YASKAWA 为主要对象,通过典型案例对工业机器人示教和操作的相关基础共性问题进行详细图解,尽量反映国内外近年来在机器人理论研究和生产应用方面的最新成果,内容涵盖机器人搬运、码垛、焊接、涂装和装配五大典型应用任务,使读者对机器人工作站及其作业示教的基本过程有一个比较全面而清晰的认识。

为了方便教学,本书配备了内容丰富的多媒体课件、思考与练习答案,凡选用本书作为教材的教师均可登录机械工业出版社教育服务网(<http://www.cmpedu.com/>)注册后下载。

全书通俗易懂,实用性强,既可作为普通高校和高职院校自动化专业的教材,又可作为工业机器人培训机构用书,同时可供从事工业机器人操作与示教的相关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工业机器人技术及应用/兰虎主编. —北京:机械工业出版社, 2014. 8
普通高等教育“十二五”卓越工程能力培养规划教材
ISBN 978-7-111-47374-9

I. ①工… II. ①兰… 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(2014)第 159258 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:余 焯 责任编辑:余 焯 丁昕祯

版式设计:赵颖喆 责任校对:张 薇

封面设计:张 静 责任印制:李 洋

北京市四季青双青印刷厂印刷

2014 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·12.75 印张·307 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-47374-9

定价:29.00 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

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

PREFACE

正如比尔·盖茨所说“机器人将对人类的工作、交流、学习和娱乐等方面产生重要而深远的影响，如同计算机在过去几十年中给世界所带来的改变一样。”工业机器人是机器人家族中的重要一员，也是目前技术发展最成熟、应用最多的一类机器人，可在保障稳定优质生产的同时大幅提高生产效率，降低次品率。作为先进制造业中不可替代的重要装备，工业机器人已经成为衡量一个国家制造水平和科技水平的重要标志。美、欧、日等主要经济体，皆将发展机器人产业作为保持和重获制造业、服务业竞争优势的重要手段，并将其上升为国家战略。工业机器人的应用也正从汽车工业向一般工业延伸，除了金属加工、食品饮料、塑料橡胶、3C、医药等行业，机器人在风能、太阳能、交通运输、建筑材料、物流甚至废品处理等行业都大有可为。

据国际机器人联合会（IFR）统计，2008~2012年，中国多用途工业机器人装机量增长了136%，截至2012年底，装机数量已达到101765台。目前，中国已成为世界上增长速度最快的工业机器人市场。受产业升级换代、劳动力成本上升、劳动力供给数量下降、高危作业环境保护员工安全和政府政策扶持等因素的影响和推动，中国的工业机器人市场将继续保持较快速度的增长，预计在“十二五”期间有望成为全球年装机数量最多的国家。

国内机器人产业所表现出来的爆发性发展态势，将带来对能安全和熟练使用工业机器人的作业人员的大量需求。工业机器人的操作、维护、保养等必须由经过培训的专业人员来实施，然而，国内院校及培训机构因场地、软硬件设施、课程体系设置及配套教材等原因无法有效开展培训，即使一些机器人厂商提供相关培训，多数也存在品牌针对性过强、推广力度不够、配套设施不足等短板，难以达成系统而实用的培训效果，加之厂家后期设备技术支持不及时、收费高等问题促使该领域人才供需失衡的矛盾日益凸显。依据当前社会对工业机器人示教、调试、操作人才的迫切需求形势，编写一本以操作为主、兼顾基本理论的工业机器人实用教材或参考书就显得尤为重要。

本书以世界著名的工业机器人四巨头ABB、KUKA、FANUC和YASKAWA机器人为主要对象，着重围绕工业机器人操作与应用的基本共性问题展开。在论述上深入浅出，偏重于基本概念和基本规律，既不停留在表面现象，也不追求繁琐的操作细节，说明问题即可；在内容选择上与时俱进，尽量反映国内外近年来在工业机器人理论研究和生产应用方面的最新成果；在结构编排上循序渐进，遵循读者认知规律，坚持趣味导学原则，通过典型实例解说，达到理论和实际的有机结合。

全书共分9章，前4章主要介绍工业机器人的机械结构、运动控制、手动操作、作业示教等基本操作理论知识，后5章主要针对工业机器人在通用工业领域中的应用，分别介绍其搬运、码垛、焊接、涂装、装配等典型作业应用系统和示教要领。这样的结构编排和内容设置可

使读者能够快速掌握工业机器人的基本操作知识和全面了解工业机器人实际应用水准，达到触类旁通的目的。

本书由哈尔滨理工大学兰虎担任主编，上海发那科机器人有限公司唐塘担任主审。参加编写的有哈尔滨理工大学兰虎（第1章至第3章）、鲁德才（第5章和第6章）、戴鸿滨（第7章）、陶祖伟（第8章），唐山开元机器人系统有限公司隋鑫（第4章）和上海电机学院刘俊（第9章）。

在编写过程中，作者参阅了相关同类教材、书籍和网络资料，并得到了 ABB（中国）有限公司上海分公司、库卡工业机器人（上海）有限公司、上海发那科机器人有限公司、安川首钢机器人有限公司和唐山松下产业机器有限公司等单位的大力支持，在此深表谢意。许多兄弟院校的同行及专家对编写大纲和书稿提出了很多宝贵意见，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不当之处，恳请读者批评指正，可将意见和建议反馈至 E-mail: lanhucx@163.com。

编者

目 录

CONTENTS

前言

第1章 绪论	1	3.1 机器人运动轴与坐标系	36
1.1 什么是工业机器人	3	3.1.1 机器人运动轴的名称	36
1.2 为何发展工业机器人	3	3.1.2 机器人坐标系的种类	37
1.3 工业机器人发展概况	5	3.2 认识和使用示教器	42
1.3.1 工业机器人的诞生	5	3.3 机器人安全操作规程	43
1.3.2 工业机器人的发展现状和趋势	5	3.3.1 示教和手动机器人时	43
1.4 工业机器人的分类及应用	8	3.3.2 再现和生产运行时	44
1.4.1 工业机器人的分类	8	3.4 手动移动机器人	44
1.4.2 工业机器人的应用	12	3.4.1 移动方式	44
本章小结	14	3.4.2 典型坐标系下的手动操作	44
思考练习	15	扩展与提高	47
第2章 工业机器人的机械结构和运动控制	16	本章小结	50
2.1 工业机器人的系统组成	17	思考练习	50
2.1.1 操作机	18	第4章 初识工业机器人的作业示教	52
2.1.2 控制器	22	4.1 工业机器人示教的主要内容	54
2.1.3 示教器	24	4.1.1 运动轨迹	54
2.2 工业机器人的技术指标	25	4.1.2 作业条件	56
2.3 工业机器人的运动控制	28	4.1.3 作业顺序	57
2.3.1 机器人运动学问题	28	4.2 工业机器人的简单示教与再现	57
2.3.2 机器人的点位运动和连续路径运动	29	4.2.1 在线示教及其特点	58
2.3.3 机器人的位置控制	30	4.2.2 在线示教的基本步骤	59
扩展与提高	31	4.3 工业机器人的离线编程技术	62
本章小结	32	4.3.1 离线编程及其特点	63
思考练习	33	4.3.2 离线编程系统的软件架构	64
第3章 手动操纵工业机器人	34	4.3.3 离线编程的基本步骤	65

扩展与提高	69	7.3.1 点焊作业	128
本章小结	70	7.3.2 熔焊作业	131
思考练习	71	7.4 焊接机器人的周边设备与	
第5章 搬运机器人及其操作应用	73	布局	140
5.1 搬运机器人的分类及特点	74	7.4.1 周边设备	140
5.2 搬运机器人的系统组成	77	7.4.2 工位布局	145
5.3 搬运机器人的作业示教	81	扩展与提高	148
5.3.1 冷加工搬运作业	81	本章小结	153
5.3.2 热加工搬运作业	85	思考练习	154
5.4 搬运机器人的周边设备与工位		第8章 涂装机器人及其操作应用	157
布局	87	8.1 涂装机器人的分类及特点	159
5.4.1 周边设备	87	8.2 涂装机器人的系统组成	161
5.4.2 工位布局	88	8.3 涂装机器人的作业示教	164
扩展与提高	89	8.4 涂装机器人的周边设备与	
本章小结	93	布局	168
思考练习	93	8.4.1 周边设备	168
第6章 码垛机器人及其操作应用	96	8.4.2 工位布局	170
6.1 码垛机器人的分类及特点	97	扩展与提高	172
6.2 码垛机器人的系统组成	98	本章小结	174
6.3 码垛机器人的作业示教	101	思考练习	175
6.4 码垛机器人的周边设备与工位		第9章 装配机器人及其操作应用	178
布局	105	9.1 装配机器人的分类及特点	179
6.4.1 周边设备	106	9.2 装配机器人的系统组成	181
6.4.2 工位布局	107	9.3 装配机器人的作业示教	185
扩展与提高	109	9.3.1 螺栓紧固作业	185
本章小结	110	9.3.2 鼠标装配作业	188
思考练习	111	9.4 装配机器人的周边设备与工位	
第7章 焊接机器人及其操作应用	113	布局	190
7.1 焊接机器人的分类及特点	115	9.4.1 周边设备	191
7.2 焊接机器人的系统组成	120	9.4.2 工位布局	191
7.2.1 点焊机器人	120	扩展与提高	192
7.2.2 弧焊机器人	124	本章小结	195
7.2.3 激光焊接机器人	126	思考练习	195
7.3 焊接机器人的作业示教	128	参考文献	197

第 1 章

Chapter

绪 论

自工业革命以来，人力劳动已逐渐被机械所取代，而这种变革为人类社会创造出了巨大的财富，极大地推动了人类社会的进步。在人力成本、原料成本不断上涨的今天，作为第三次工业革命^①的继续，自动化已成为一种趋势。工业机器人作为第三次工业革命的一大推手，彻底改变了工业生产的模式，让工业发展上升了一个档次。



【学习目标】

认知目标

1. 掌握工业机器人的定义。
2. 了解工业机器人的发展事由和历程。
3. 熟悉工业机器人的常见分类及其行业应用。

情感目标

1. 增长见识、激发兴趣。
2. 关注行业、乐于合作。

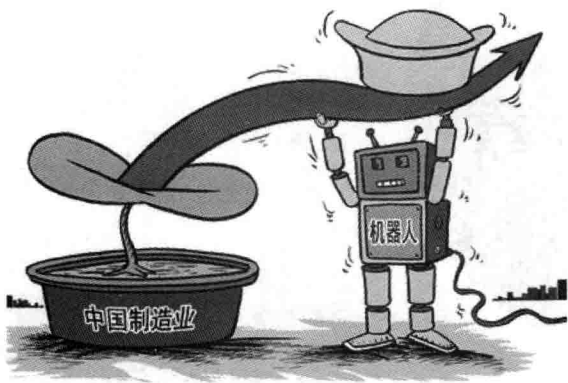


【导入案例】

富士康“百万机器人”上岗折射中国制造业升级

提起富士康大家会想到什么？苹果公司代工、人力组装、大量招工……，而现在，这个被认为现今最大的泰勒主义企业，这个把工人生产动作拆解、研究到尽头的“代工帝国”，

^① 英国经济学家保罗·麦基里认为，以互联网、新材料和新能源为基础，“数字化智能制造”为核心的第三次工业革命即将到来，而“数字化智能制造”的重要载体就是工业机器人。



这个盘根于制造业最繁盛土地的制造业巨无霸，要推进一场以机器代替人的巨大变革，用机器人取代人工完成那些简单、机械式劳动。

2011年，富士康CEO郭台铭表示，希望到2012年底装配30万台机器人，到2014年装配100万台，要在5~10年内首批完全自动化的工厂运行，并在数年内通过自动化消除简单重复性的工序。郭台铭的“百万机器人”计划能否如期实现，目前尚不得而知，但这家著名的劳动密集型企业大量使用机器人已成为事实。在深圳富士康iPhone5生产线上，“FOX-BOT[⊖]”运作在成行结队的数控机床之间。在昆山富士康的一个成形车间，搬运、剪料、钻铣等工序全部被“FOXBOT”替代。在郑州，曾经被质疑工作环境恶劣的富士康金属加工厂，“FOXBOT”正被加紧推进到生产线上。在越南北江，富士康工厂也在内部宣布，即将引入“FOXBOT”。

如今，机器人代工已成为了一种潮流。中国科学院沈阳自动化研究所研究员、机器人技术国家工程研究中心副主任曲道奎预测，中国工业机器人几年内或将迎来井喷式发展，而非简单的线性增长。这种井喷式增长，与我国人口和经济现状密切相关。过去我们曾依靠低廉而充沛的人力资源，将中国发展为世界最大的制造业大国。但随着用工成本的增长，“人才红利”取代“人口红利”，成为“中国制造”向“中国智造”转变的关键。在这样一个转折点上，工业机器人的井喷式增长，既反映出这样的趋势，也将为“中国制造”提“智”奠定坚实的基础。

机器人的投产使用，可将目前的人力资源转移到具备更高附加值的岗位上，这也符合将我国“人口红利”转为“人才红利”的大目标。机器人将取代许多简单繁重甚至危险的低端劳动岗位，同时又将创造许多更需创新精神的高端技术的职位。年轻人将从生产线上大量解放出来，学习操控机器人软件、应用和维修，变为机器人的应用工程师和软件工程师。

这一工业机器人的井喷潮涌，何时会蔓延到“中国制造”的每一个工厂、每一条生产线、每一个工序、每一个工位上，将为“中国制造”的转型提“智”做出何等贡献？我们对此充满期待。

——资料来源：中国经济网-经济日报，<http://www.ce.cn>

⊖ “FOXBOT”是“Fox”是“Robot”的合体，前者是富士康Foxconn的英文前缀。此款机器人由富士康公司研制，因此在业界也称“富士康牌”机器人。

1.1 什么是工业机器人

对于机器人，大家可能都很熟悉，在科幻电影中，它们往往有着超人的智能和体魄，即使在现实中，我们也能见到在汽车、摩托车等生产流水线上“孜孜不倦”工作的机器人。在科技界，科学家会给每一个科技术语一个明确的定义，但机器人问世已有几十年，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。原因之一是机器人还在发展，新的机型、新的功能不断涌现。根本原因主要是因为机器人涉及人的概念，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，才给人们充分的想象和创造空间。以下为各国科学家从不同角度出发给出的一些具有代表性的工业机器人定义：

- 美国机器人协会（RIA）将工业机器人定义为：“一种用于移动各种材料、零件、工具或专用装置的，通过程序动作来执行各种任务的，并具有编程能力的多功能操作机”。

- 日本机器人协会（JIRA）提出：“工业机器人是一种带有存储器件和末端操作器的通用机械，它能够通过自动化的动作替代人类劳动”。

- 我国将工业机器人定义为：“一种自动化的机器，所不同的是这种机器具备一些与人或者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”。

- 国际标准化组织（ISO）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，能搬运材料、工件或操持工具来完成各种作业”。目前国际大都遵循 ISO 所下的定义。

由以上定义不难发现，工业机器人具有四个显著特点：①具有特定的机械机构，其动作具有类似于人或生物的其他器官（肢体、感受等）的功能；②具有通用性，可从事多种工作，可灵活改变动作程序；③具有不同程度的智能，如记忆、感知、推理、决策、学习等；④具有独立性，完整的机器人系统中可以不依赖于人的干预。

1.2 为何发展工业机器人

大家常常会问为什么要发展机器人？机器人的出现与高速发展是社会、经济发展的必然，是为提高社会的生产水平和人类的生活质量，让机器人替人们干那些人们不愿干、干不了、干不好的工作。在现实生活中有些工作会对人体造成伤害，比如涂装、重物搬运等；有些工作要求质量很高，人类难以长时间胜任，比如汽车焊接、精密装配等；有些工作人类无法身临其境，比如火山探险、深海探密、空间探索等；有些工作不适合人类去干，比如一些恶劣的环境、一些枯燥单调的重复性劳作等，这些都是机器人大显身手的地方。



发展工业机器人的主要目的是在不违背“机器人三原则^①”的前提下，用机器人协助或替代人类从事一些不适合人类甚至超越人类的工作，把人类从大量的、烦琐的、重复的、危险的岗位中解放出来，实现生产自动化、柔性化，避免工伤事故、提高生产效率。2011年5月20日，某抛光车间发生爆炸事故，2人当场死亡，10余人被炸伤；2012年2月21日，辽宁某重型机械有限责任公司铸造车间发生重大喷爆事故，13人死亡，17人受伤。接连不断的安全事故以及不断上升的人力成本和“用工荒”，使得制造企业把目光投向机器人。

对于制造企业而言，他们最关心的问题莫过于：投资机器人有哪些好处？多长时间可以收回投资成本？对此，ABB（工业机器人行业四大巨头之一）给出了十大投资机器人的理由。这十大理由包括：第一，降低运营成本；第二，提升产品质量与一致性；第三，改善员工的工作环境；第四，扩大产能；第五，增强生产柔性；第六，减少原料浪费，提高成品率；第七，满足安全法规，改善生产安全条件；第八，减少人员流动，缓解招聘技术工人的压力；第九，降低投资成本，提高生产效率；最后一点，节约宝贵的生产空间。

在普遍增购工业机器人的背后，各国有着不尽相同的原因。最为典型的就缺少劳动力的日本。而我国也有很多理由欢迎工业机器人：机器人可以提高能效，执行连训练有素的工人都不能胜任的复杂操作和高危任务；机器人固有的精确性和可重复性，可确保生产的每件产品均具备较高的品质和一致性，平均故障间隔期达60000h以上。而最重要的原因在于人口和经济基本条件的转变：中国劳动适龄人口正在减少，造成劳动力成本螺旋式上升（图1-1）。据总部位于法兰克福的国际机器人联合会（IFR）预测，到2014年，中国可能成为世界上使用工业机器人最多的国家。可以预计，不久的将来，现在“以人为主导”的生产模式，将变成“以机器人为主导”的制造模式。

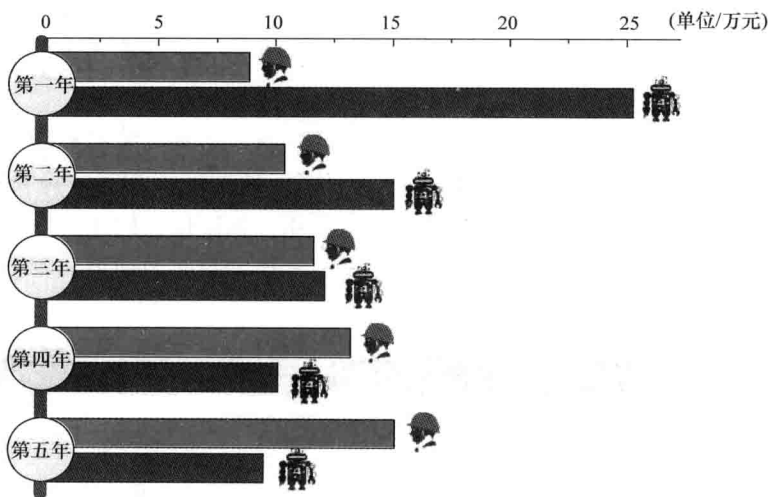


图 1-1 使用机器人与普工的年均成本比较

① 由科幻小说家艾萨克·阿西莫夫于1940年提出：①机器人不得伤害人类，也不得见人类受到伤害而袖手旁观；②机器人应服从人类的一切命令，但不得违反第一原则；③机器人应保护自身的安全，但不得违反第一、第二原则。

1.3 工业机器人发展概况

1.3.1 工业机器人的诞生

“机器人”（Robot）这一术语是1921年捷克著名剧作家、科幻文学家、童话寓言家卡雷尔·恰佩克首创的，它成了“机器人”的起源，此后一直沿用至今。不过，人类对于机器人的梦想却已延续数千年之久。如古希腊古罗马神话中冶炼之神用黄金打造的机械仆人、希腊神话《阿鲁哥探险船》中的青铜巨人泰洛斯、犹太传说中的泥土巨人、我国西周时代能歌善舞的木偶“倡者”和三国时期诸葛亮的“木牛流马”传说等。而到了现代，人类对于机器人的向往，从机器人频繁出现在科幻小说和电影中已不难看出。

科技的进步让机器人不仅停留在科幻故事里，它正一步步“潜入”人类生活的方方面面。1959年，美国发明家英格伯格与德沃尔制造出世界上第一台工业机器人 Unimate，这个外形类似坦克炮塔的机器人可实现回转、伸缩、俯仰等动作，如图1-2所示，它被称为现代机器人的开端。之后，不同功能的工业机器人也相继出现并且活跃在不同领域。

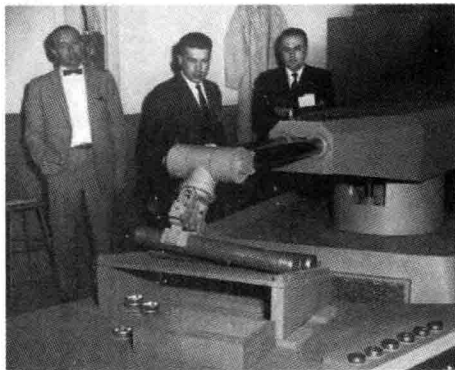


图1-2 世界上第一台工业机器人 Unimate

1.3.2 工业机器人的发展现状和趋势

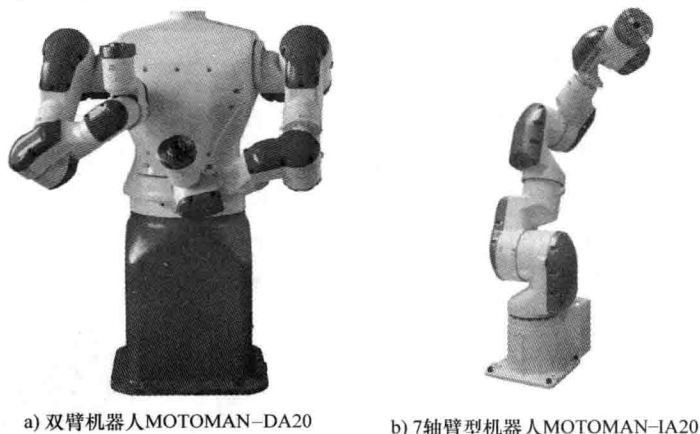
机器人技术作为20世纪人类最伟大的发明之一，自20世纪60年代初问世以来，从简单机器人到智能机器人，机器人技术的发展已取得长足进步。从近几年推出的产品来看，工业机器人技术正向智能化、模块化和系统化方向发展，其发展趋势主要为：结构的模块化和可重构化；控制技术的开放化、PC化和网络化；伺服驱动技术的数字化和分散化；多传感器融合技术的实用化；工作环境设计的优化和作业的柔性化等。

2005年，日本YASKAWA推出能够从事此前由人类完成组装及搬运作业的产业机器人MOTOMAN-DA20和MOTOMAN-IA20，如图1-3所示。DA20是一款在仿造人类上半身的构造物上配备2个6轴驱动臂型“双臂”机器人。上半身构造物本身也具有绕垂直轴旋转的关节，尺寸与“成年男性大体相同”，可直接配置在此前人类进行作业的场所。因为可实现接近人类两臂的动作及构造，因此可以稳定地搬运工件，还可从事紧固螺母以及部件的组装和插入等作业。另外，与协调控制2个臂型机器人相比，设置面积更小。单臂负重能力为20kg，双臂可最大搬运40kg的工件。

IA20是一款通过7轴驱动再现人类肘部动作的臂型机器人。在产业机器人中，也是全球首次实现7轴驱动，因此更加接近人类动作。一般来说，人类手臂具有7~8轴的关节。



此前的6轴机器人,可再现手臂具有的3个关节,以及手腕具有的3个关节。而IA20则进一步增加了肘部具有的1个关节。这样一来,就可实现通过肘部折叠或伸出手臂的动作。6轴机器人由于动作上的制约,胸部成为“死区”,而7轴机器人可将胸部作为动作区域来使用,另外还可实施绕开靠近机身障碍物的动作。



a) 双臂机器人MOTOMAN-DA20

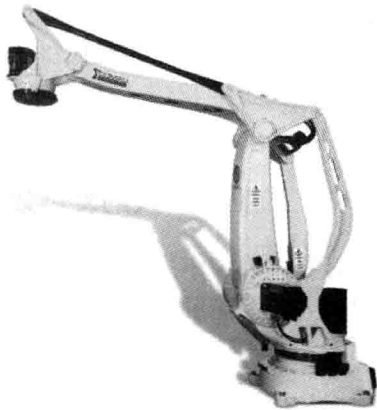
b) 7轴臂型机器人MOTOMAN-IA20

图 1-3 YASKAWA 机器人

2010年意大利柯马(COMAU)宣布SMART5 PAL(图1-4)研制成功,该机器人专为码垛作业设计,采用新的控制单元C5G和无线示教,有效载荷范围为180~260kg,作业半径3.1m,同时共享机器人家族的中空腕技术和机械配置选项;该机器人符合人体工程学,采用一流的碳纤维杆,整体轻量化设计,线速度高,能有效减少和优化时间节拍。该机器人能满足一般工业部门客户的高质量要求,主要应用在装载/卸载、多个产品拾取、堆垛和高速操作等场合。

同年,德国KUKA公司的机器人产品——气体保护焊接专家KR 5 arc HW(Hollow Wrist),如图1-5所示,赢得了全球著名的红点奖,并且获得了“Red Dot: 优中之优”杰出设计奖。其机械臂和机械手上有一个50mm宽的通孔,可以保护机械臂上的整套气体软管的敷设。由此不仅可以避免气体软管组件受到机械性损伤,而且可以防止其在机器人改变方向时随意甩动。既可敷设抗扭转软管组件,也可用于可无限转动的气体软管组件。对用户来说,这不仅意味着提高了构件的可接近性,保证了对整套软管的最佳保护,而且使离线编程也得到了简化。

日本FANUC公司也推出过Robot M-3iA装配机器人。M-3iA可采用四轴或六轴模式,具有独特的平行连接结构,并且还具备轻巧便携的特点,承重极限为6kg,如图1-6所示。此外,M-3iA在同等级机器人(1350mm×500mm)中的工作行程最大。六轴模式下的M-3iA具备一个三轴手腕用于处理复杂的生产线任务,该项技术已申请专利。三轴手腕灵活度极高,能够自如地从各个角度拾取和插入部件,还能按要求旋拧零件,几乎可与手工媲美。

图 1-4 COMAU 码垛机器人
SMART5 PAL

四轴模式下的 M-3iA 具备一个单轴手腕，可用于简单快速的拾取操作，工作速度可达 $4000^{\circ}/s$ 。另外，手腕的中空设计使电缆可在内部缠绕，大大降低了电缆的损耗。



图 1-5 KUKA 焊接机器人 KR 5 arc HW

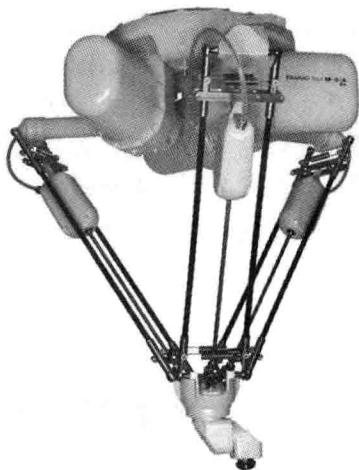


图 1-6 FANUC 装配机器人 Robot M-3iA

国际工业机器人技术日趋成熟，基本沿着两个路径发展：一是模仿人的手臂，实现多维运动，在应用上比较典型的是点焊、弧焊机器人；二是模仿人的下肢运动，实现物料输送、传递等搬运功能，例如搬运机器人。机器人研发水平最高的是日本、美国与欧洲国家。日本在工业机器人领域研发实力非常强，全球曾一度有 60% 的工业机器人都来自日本；美国则在特种机器人研发方面全球领先。他们在发展工业机器人方面各有千秋：

◇ **日本模式** 各司其职，分层面完成交钥匙工程。即机器人制造厂商以开发新型机器人和批量生产优质产品为主要目标，并由其子公司或社会上的工程公司来设计制造各行业所需要的机器人成套系统。

◇ **欧洲模式** 一揽子交钥匙工程。即机器人的生产和用户所需要的系统设计制造，全部由机器人制造商自己完成。

◇ **美国模式** 采购与成套设计相结合。本国国内基本上不生产普通的工业机器人，企业需要机器人通常由工程公司进口，再自行设计、制造配套的外围设备。

然而，机器人行业的发展与 30 年前的电脑行业极为相似。机器人制造公司没有统一的操作系统软件，流行的应用程序很难在五花八门的装置上运行。机器人硬件的标准化工作也尚未开始，在一台机器人上使用的编程代码，几乎不可能在另一台机器上发挥作用。如果想开发新的机器人，通常得从零开始。

我国在机器人领域的发展尚处于起步阶段，应以“美国模式”着手，在条件成熟后逐步向“日本模式”靠近。整体而言，与国外进口机器人相比，国产工业机器人在精度、速度等方面不如进口同类产品，特别是在关键核心技术上还没有取得应用突破。具体现状如下：

1) 低端技术水平有待改善。机器人制造包括整机制造、控制系统、伺服电动机与驱动器、减速器等方面，其中控制系统和减速器的核心技术仍由国外企业掌握，国内企业只能发挥“组装”优势，即将已接近成品的各部分模块组合到一起。然而，许多零部件的缺失使



得国内企业在拓展产业链条方面颇受掣肘，而高昂的进口费用也极易威胁企业的生存状况。

2) 产业链条亟待充实与规范。与其他高端装备制造领域的情况不同，机器人制造主要集中在民营企业，产能规模自然不能比拟航空航天等产业，研发成果也无法在有利平台得到展现。可想而知，国资不足是国产制造的最大劣势，而缺乏国企的规模管理导致产业链条过于松散，从而无法实现集群式发展。而主流的工业机器人领域，配套产业及设备的集群效应才是机器人制造的关键。只有具备完善的产业链条，盈利空间才能得到提升。

我国已经在工业机器人领域失掉“数城”，今后对领先水平的追赶必是漫长的过程。资金投入、联盟高校、培养人才，缺一不可。相关部门对机器人产业的引导应从产业特点进行考虑，尽早形成企业集群，或以产业园的方式将优秀企业聚拢起来，为进军高端技术奠定基础。

1.4 工业机器人的分类及应用

1.4.1 工业机器人的分类

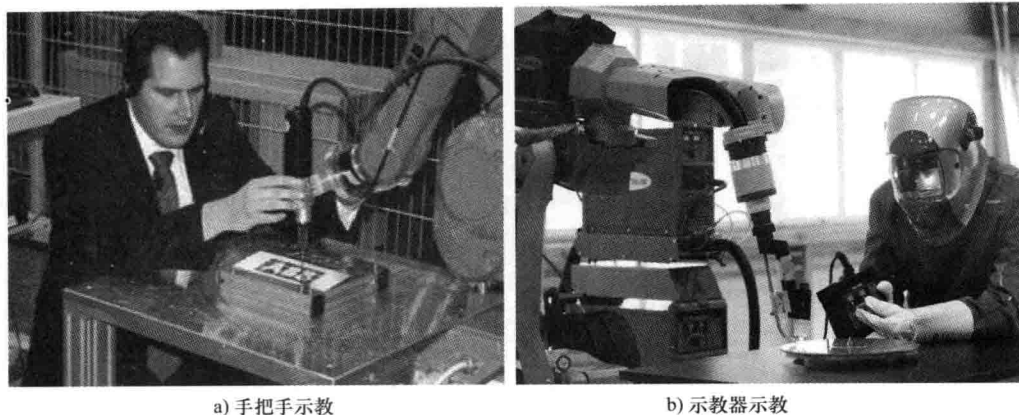
关于工业机器人的分类，国际上没有制定统一的标准，有的按负载重量分，有的按控制方式分，有的按自由度分，有的按结构分，有的按应用领域分。例如机器人首先在制造业大规模应用，所以机器人曾被简单地分为两类，即用于汽车、IT、机床等制造业的机器人称为工业机器人，其他的机器人称为特种机器人。随着机器人应用的日益广泛，这种分类显得过于粗糙。现在除工业领域之外，机器人技术已经广泛地应用于农业、建筑、医疗、服务、娱乐，以及空间和水下探索等多种领域。依据具体应用领域的不同，工业机器人又可分为物流、码垛、服务等搬运型机器人和焊接、车铣、修磨、注塑等加工型机器人等。可见，机器人的分类方法和标准很多。本书主要介绍以下两种工业机器人分类法。

1. 按机器人的技术等级划分

按照机器人的技术发展水平可以将工业机器人分为三代。

(1) 示教再现机器人 第一代工业机器人是示教再现型。这类机器人能够按照人类预先示教的轨迹、行为、顺序和速度重复作业。示教可以由操作员手把手地进行(图1-7a)，比如操作人员握住机器人上的喷枪，沿喷漆路线示范一遍，机器人动作中记住这一连串运动，工作时，自动重复这些运动，从而完成给定位置的涂装工作。这种方式即所谓的“直接示教”。但是，比较普遍的方式是通过示教器示教(图1-7b)。操作人员利用示教器上的开关或按键来控制机器人一步一步地运动，机器人自动记录，然后重复。目前在工业现场应用的机器人大多属于第一代。

(2) 感知机器人 第二代工业机器人具有环境感知装置，能在一定程度上适应环境的变化，目前已进入应用阶段，如图1-8所示。以焊接机器人为例，机器人焊接的过程一般是通过示教方式给出机器人的运动曲线，机器人携带焊枪沿着该曲线进行焊接。这就要求工件的一致性要好，即工件被焊接位置必须十分准确。否则，机器人携带焊枪沿所走的曲线和工件的实际焊缝位置会有偏差。为解决这个问题，第二代工业机器人(应用于焊接作业时)



a) 手把手示教

b) 示教器示教

图 1-7 示教再现型工业机器人

采用焊缝跟踪技术,通过传感器感知焊缝的位置,再通过反馈控制,机器人就能够自动跟踪焊缝,从而对示教的位置进行修正,即使实际焊缝相对于原始设定的位置有变化,机器人仍然可以很好地完成焊接工作。类似的技术正越来越多地应用于工业机器人。

(3) **智能机器人** 第三代工业机器人称为智能机器人,具有发现问题,并且能自主地解决问题的能力,尚处于实验研究阶段。作为发展目标,这类机器人具有多种传感器,不仅可以感知自身的状态,比如所处的位置、自身的故障情况等,而且能够感知外部环境的状态,比如自动发现路况、测出协作机器的相对位置、相互作用的力等。更为重要的是,能够根据获得的信息,进行逻辑推理、判断决策,在变化的内部状态与变化的外部环境中,自主决定自身的行为。这类机器人具有高度的适应性和自治能力。尽管经过多年来的不懈研究,人们研制了很多各具特点的试验装置,提出大量新思想、新方法,但现有工业机器人的自适应技术还是十分有限的。

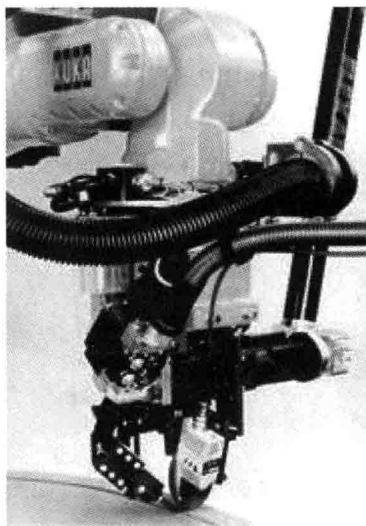


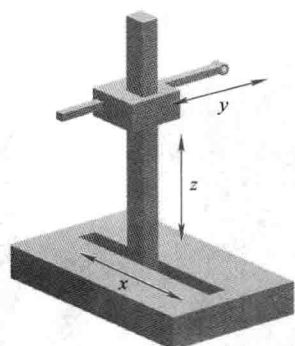
图 1-8 配备视觉系统的工业机器人

2. 按机器人的机构特征划分

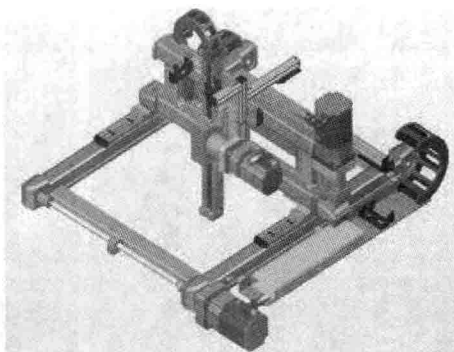
工业机器人的机械配置形式多种多样,典型机器人的机构运动特征是用其坐标特性来描述的。按基本动作机构,工业机器人通常可分为直角坐标机器人、柱面坐标机器人、球面坐标机器人和关节型机器人等类型。

(1) **直角坐标机器人** 直角坐标机器人具有空间上相互垂直的多个直线移动轴(通常3个,图1-9),通过直角坐标方向的3个独立自由度确定其手部的空间位置,其动作空间为一长方体。直角坐标机器人结构简单,定位精度高,空间轨迹易于求解;但其动作范围相对较小,设备的空间因数较低,实现相同的动作空间要求时,机体本身的体积较大。

(2) **柱面坐标机器人** 柱面坐标机器人的空间位置机构主要由旋转基座、垂直移动和水平移动轴构成(图1-10),具有一个回转和两个平移自由度,其动作空间呈圆柱体。这种



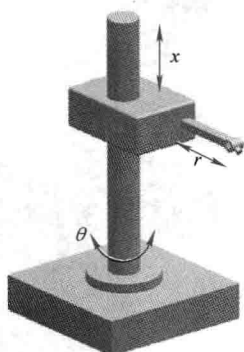
a) 示意图



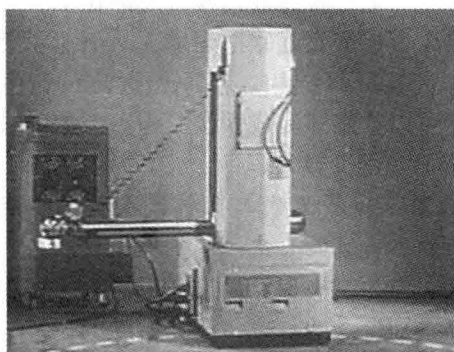
b) 实物图

图 1-9 直角坐标机器人

机器人结构简单、刚性好，但缺点是在机器人的动作范围内，必须有沿轴线前后方向的移动空间，空间利用率较低。著名的 Versatran 机器人就是典型的柱面坐标机器人。



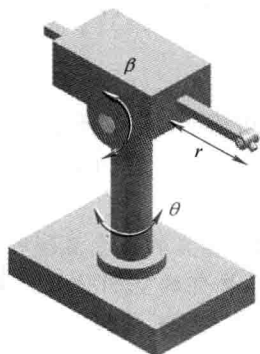
a) 示意图



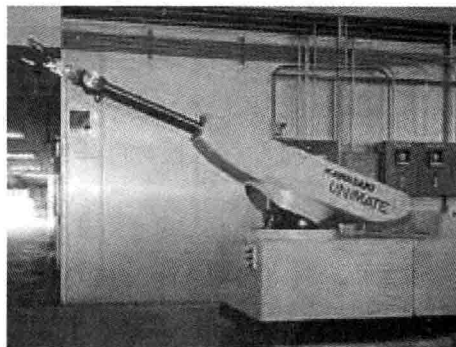
b) 实物图

图 1-10 柱面坐标机器人

(3) **球面坐标机器人** 如图 1-11 所示，其空间位置分别由旋转、摆动和平移 3 个自由度确定，动作空间形成球面的一部分。其机械手能够作前后伸缩移动、在垂直平面上摆动以及绕底座在水平面上转动。著名的 Unimate 机器人就是这种类型的机器人。其特点是结构紧凑，所占空间体积小于直角坐标和柱面坐标机器人，但仍大于多关节型机器人。



a) 示意图



b) 实物图

图 1-11 球面坐标机器人