

CHUANBINGLIAN JIQIREN KAIFANG SHIYAN JIAOCHENG

串并联机器人 开放实验教程

谢小正 主编

 哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press

串并联机器人开放 实验教程

主 编 谢小正
副主编 刘永平 彭 斌 赵家黎
马其鹏 刘小刚

内 容 简 介

本书分别以串联机器人和并联机器人为工程对象,围绕两类机器人的概念、分类、组成、机械系统、控制系统、正运动学、逆运动学、示教及物品搬运编程等角度设计若干实验。本书可供普通高等教育大学本科阶段学生作为教材使用,也可作为各类工业机器人技术研究、开发的工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

串并联机器人开放实验教程/谢小正主编. —哈尔滨:
哈尔滨工程大学出版社,2018.9
ISBN 978-7-5661-2092-2

I. ①串… II. ①谢… III. ①机器人技术-高等学校-教材 IV. ①TP24

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第211632号

选题策划 龚 晨
责任编辑 张忠远
封面设计 李海波

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区南通大街145号
邮政编码 150001
发行电话 0451-82519328
传 真 0451-82519699
经 销 新华书店
印 刷 哈尔滨市石桥印务有限公司
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 5.5
字 数 162千字
版 次 2018年9月第1版
印 次 2018年9月第1次印刷
定 价 14.00元

<http://www.hrbeupress.com>

E-mail:heupress@hrbeu.edu.cn



机器人是当前科技领域发展的重要方向之一,是集机械工程学、计算机科学、电子技术、传感器技术、人工智能、仿生学等学科为一体的综合技术。目前,机器人技术已被规划为未来高科技发展的重要领域之一,国内外许多科研院所都在开展机器人相关机构学、计算机控制和应用技术领域的研究。可以预见,未来机器人逐渐由单纯实现机械动作的工业机器人向全面模拟感知、思维和行为的智能机器人方向发展,在理论、方法和应用上都将取得巨大发展。

我国自1976年开始研制工业机器人,数十家研究单位和院校分别开发了固定程序、组合式、液压伺服型通用机器人,并开始了机构学、计算机控制和应用技术的研究,机器人相关技术学科也得到了迅速发展。结合当前强劲的经济内在需求,基于机器人相关技术的各工程领域技术人员的需求量逐年增长。许多高等院校开设了机器人技术相关课程及专业,通过开设机器人方面的实验课程,使学生初步了解机器人的基础理论知识、机器人领域的最新成果及机器人工程领域发展方向,系统性地学习机器人技术所具有的先进性和创新性工程知识。

本书是以当前机器人领域的发展现状为背景而编制的。全书分为上篇和下篇,共包含十四个实验,分别介绍了串联和并联两类机器人的相关知识。上篇具体介绍串联机器人的知识,包括串联机器人的认识、串联机器人的机械系统、串联机器人的控制系统、串联机器人的示教编程与再现控制、串联机器人坐标系的建立、串联机器人正运动学分析、串联机器人逆运动学分析、串联机器人的搬运装配等八个实验;下篇具体介绍并联机器人的知识,包括并联机器人的认识、并联机器人的机械系统、并联机器人的控制系统、并联机器人运动学基础、插补与平面绘图、示教再现等六个实验。

本书由谢小正担任主编,刘永平、彭斌、赵家黎、马其鹏、刘小刚担任副主编。

感谢兰州理工大学国家级机械工程实验教学示范中心、实管处、教务处对本书出版给予的大力支持,感谢汇博机器人技术股份有限公司郭艳军经理给予的指导及帮助。

我们真诚希望广大读者对本书提出宝贵意见和建议,以便今后改进。谨在此表示衷心感谢。

编者

2018年5月



上篇 串联机器人综合实验

第 1 章 机器人综述	3
第 2 章 串联机器人的认识	6
第 3 章 串联机器人的机械系统	12
第 4 章 串联机器人的控制系统	20
第 5 章 串联机器人示教编程与再现控制	26
第 6 章 串联机器人坐标系的建立	29
第 7 章 串联机器人正运动学分析	36
第 8 章 串联机器人逆运动学分析	39
第 9 章 串联机器人的搬运装配	43

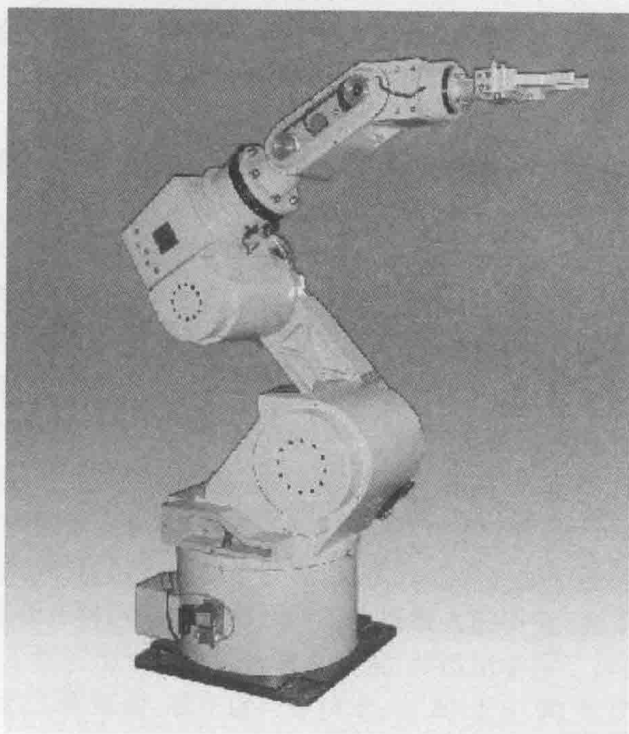
下篇 并联机器人综合实验

第 10 章 并联机器人的理论知识	49
第 11 章 并联机器人的认识	53
第 12 章 并联机器人的机械系统	59
第 13 章 并联机器人的控制系统	65
第 14 章 并联机器人运动学基础	68
第 15 章 插补与平面绘图	75
第 16 章 示教再现	80

第1章 机器人概述

上 篇

串联机器人综合实验



第1章 机器人综述

机器人(Robot)是自动或者半自动执行动作任务的机器装置。它的工作指令来源于人类指挥、预先编排的程序,以及根据人工智能技术制定的原则纲领。机器人的用途是协助或代替人类的部分工作,例如,汽车工业、空间探索、建筑行业,或是其他危险的工作行业。

世界上第一台机器人于1959年问世。由于它具有协助人类完成单调、频繁和重复长时间工作的能力,或具有代替人类从事危险、恶劣环境下作业的能力,因此其发展较迅速。随着对机器人技术及其相关领域的研究,已逐步形成了机器人学(Robotics)这一新兴的综合性学科,有学者将机器人与数控、可编程序控制器(PLC)并称为工业自动化的三大支持技术。

机器人技术的成熟,带来了现实生活中机器人的普遍使用,其基本功能通常是按照预定的程序重复一些简单的动作,动作功能的完成情况是设计人员所关心的。随着机器人技术及其相关领域的发展,各国都在致力于研制具有完全自主能力、拟人化的智能机器人。目前研制的最先进的仿人机器人是日本本田公司研制的ASIMO双足步行机器人,它的活动能力和智能与人类相差还很远。我国正由制造业大国向制造业强国转变,机器人的产业化发展也在不断深入,工业及其他类型机器人在制造业自动化生产线中的地位举足轻重,市场发展空间巨大。

随着社会进步、科学技术发展和机器人智能化技术研究的深入,各式各样具有感知、决策、行动和交互能力,可适应不同领域特殊要求的智能机器人相继被研发,机器人已经在某些领域逐步取代人类,并可以独立从事相关作业。

根据机器人技术水平的发展,通常将机器人分为三代:第一代机器人一般指可进行编程,并能通过示教操作再现动作的机器人;第二代机器人装备有一定数量的传感器,能够获取作业环境、操作对象等简单信息,并通过计算机的分析与处理,做出简单的推理,并适当调整自身的动作和行为;第三代机器人具有相当程度的智能,称为智能机器人。目前,第三代机器人多用于家庭、个人服务及军事、航天等领域。相对于美国、日本和欧洲,我国对机器人的研发仍处于少数国家实验论证阶段。

对于机器人的研究和开发,我国起步较晚,且投入较少。在引进国外技术的基础上,我国从1972年开始在高校和科研单位全面开展工业机器人的研究;到20世纪90年代中期,开始以焊接机器人的工程应用为重点进行研究开发,并迅速掌握了焊接机器人应用工程成套开发、关键设备制造、工程配套、现在运行等技术;在20世纪90年代后期,已为工业机器人产业化奠定了基础。自2005年,我国服务机器人开始发展。虽然我国机器人学科研究起步较晚,但是发展很快,已经在工业机器人、特种机器人和智能机器人等方面有了一定的成绩,为我国机器人学的发展打下了坚实的基础,如图1-1所示,为我国国产新时达SR18工业机器人。

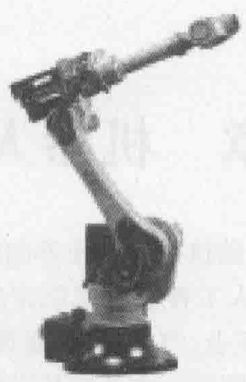


图 1-1 国产新时达 SR18 工业机器人

据统计,2017 年我国以 33.23 万台的保有量位居全球工业机器人第一位。我国工业机器人主要用于汽车、摩托车、工程机械制造业。这些广泛使用的机器人绝大多数采用串联结构,这也使六自由度串联工业机器人成为典型的机电一体化产品,其动作灵活性高,工作空间范围大,能够灵活地绕过障碍物,并且结构紧凑,占地面积也比较小,关节部位部件容易密封防尘,广泛应用在机床上下料、取件、弧焊、喷漆等行业,但对其实物进行研究和开发存在成本高、周期长等缺点。而针对教学和研究的需要,对六自由度工业机器人结构、运动和控制系统的认知、理解和研究,要求机器人能完成相关六个自由度的运动,且要结构简单,操纵安全,成本低,一般不会造成事故。为此开发六自由度机器人来满足这些研究和教学的要求是很有必要的。

目前,在我国抢占市场的机器人,尤其是工业焊接机器人,主要是日系和欧系的产品,市场份额较大的四款六自由度焊接机器人,分别是日本 FANUC、安川,德国 KUKA,瑞典 ABB。如图 1-2(a)、图 1-2(b)所示在焊接机器人方面,各种焊接机器人的结构和性能相差不多,采用平行四边形结构的 ABB 是目前重复定位精度最高的焊接机器人。安川机器人的运动速度相对较快,运动范围相对较宽,这得益于安川的交流伺服电机具有国际领先水平。

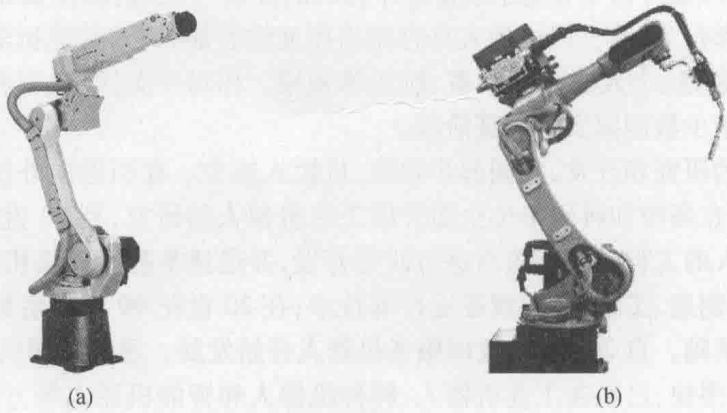


图 1-2 焊接机器人
(a)FANUC 焊接机器人;(b)ABB 焊接机器人

机器人学是一门实践性很强的学科,在学习机器人技术的同时,必须与实践相结合,才能从感性认识上升到理性认识。学习的过程中,应该多学科相结合,以机器人学为中心,穿

插自动化专业相关理论知识结构,保证系统学习机器人技术。同时,尽可能多地参加科研工作和科技制作,提高学习者的动手实践操作能力,并直观地掌握机器人结构,保证学习者能够运用所学知识提高分析问题、解决问题的能力及创新能力。相信通过本书的实验,可以对此提供相应帮助。

模块化设计,由锥齿轮、同步齿型带和谐波减速器等多种传动结构组成。

串联机器人各关节采用伺服电机和步进电机混合驱动,并通过 Windows 环境下的软件编程和运动控制卡对机器人进行控制,确保机器人能够在工作空间内任意位置精确定位。

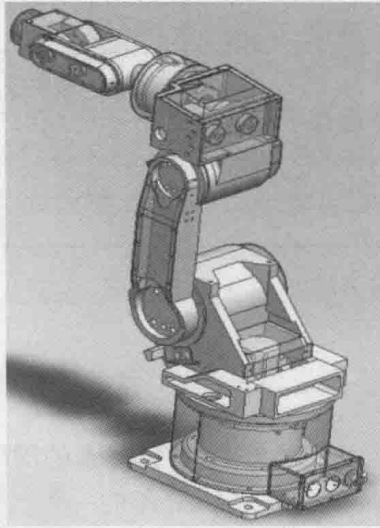


图 2-1 串联机器人结构

串联机器人技术参数见表 2-1。

表 2-1 串联机器人技术参数

机构形态		串联关节型
自由度		6
负载能力		10 kg
动作范围	关节 I 转动	$-150^{\circ} \sim +150^{\circ}$
	关节 II 转动	$-150^{\circ} \sim -30^{\circ}$
	关节 III 转动	$+50^{\circ} \sim -70^{\circ}$
	关节 IV 转动	$-150^{\circ} \sim +150^{\circ}$
	关节 V 转动	$-90^{\circ} \sim +90^{\circ}$
	关节 VI 转动	$-180^{\circ} \sim +180^{\circ}$
最大速度	关节 I 转动	$60^{\circ}/s$
	关节 II 转动	$60^{\circ}/s$
	关节 III 转动	$60^{\circ}/s$
	关节 IV 转动	$60^{\circ}/s$
	关节 V 转动	$60^{\circ}/s$
	关节 VI 转动	$60^{\circ}/s$
本体质量		$\leq 150 \text{ kg}$



表 2-1(续)

安装环境	温度	0 ~45 ℃
	湿度	20% ~80% 不结露
	振动	0.5 g 以下
	其他	避免接触易燃、腐蚀性气体、液体 勿溅水、油、粉尘等 勿接近电器噪声源
电源容量		三相 380 V 50 Hz 2 kVA

【预备知识】

1. 机器人的英文名缘由

机器人是一种具有某种仿人功能的自动机,机器人的国际名叫作“罗伯特”(ROBOT)。“ROBOT”一词源于捷克作家卡列尔查培于1920年的一部名为《罗萨姆的万能机器人公司》的幻想剧,罗伯特是该剧主人公的名字,他是既忠诚又勤劳的机器人。

2. 机器人的定义(我国科学家的定义)

机器人是一种自动化的机器,所不同的是这种机器具备一些与人或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。

3. 机器人的三原则

- (1) 机器人不能伤害人类;
- (2) 在不违反第一条的情况下,机器人必须遵守人类的命令;
- (3) 在不违反第一、二条的情况下,机器人应能保护自己。

4. 机器人发展史

(1) 古代机器人

- ① 中国机关人——世界最早的机器人;
- ② 《列子·汤问》中记载西周穆王时,有位名叫偃师的能工巧匠制造了一个能歌善舞的伶人机器人;
- ③ 春秋后期,木匠鲁班制造的木鸟,能在空中飞行“三日不下”;
- ④ 1800年前的汉代,大科学家张衡发明了计里鼓车,计里鼓车每行一里,车上木人击鼓一下,每行十里击钟一下;
- ⑤ 后汉三国时期,诸葛亮成功地创造出了“木牛流马”,并用其运送军粮,支援前方战争,这是最早的军事机器人;
- ⑥ 西方最早的机器人,是公元前2世纪古希腊人发明的最原始的机器人——自动机;
- ⑦ 1738年,法国天才技师杰克·戴·瓦克逊发明了一只机器鸭。

(2) 现代机器人(图2-2)

- ① 1954年,美国戴沃尔最早提出了工业机器人的概念,并申请了专利;
- ② 1959年,第一台工业机器人(可编程、圆坐标)在美国诞生,开创了机器人发展的新纪元;
- ③ 1967年,日本成立了人工手研究会(现改名为仿生机构研究会),同年召开了日本首

届机器人学术会；

④1970年,在美国召开了第一届国际工业机器人学术会议；

⑤1980年,被称为“机器人元年”；

5. 机器人的组成部分

(1) 机器人的手——操作系统,作用是抓住一个工作对象使其按工作或作战要求动作。

(2) 机器人的眼——感测系统,作用是观测工作对象及其周围环境的信息,通过收集信息将其反馈给控制中心,作为对机器人行为控制和协调的依据。

(3) 机器人神经系统——信息传输系统,作用是将传感器和观测器获得的各种信息下传上达,交给各执行及其附属设备。

(4) 机器人的心脏——动力系统,作用是负责向机器人提供动力,主要设备有各种发动机、发电机及其附属设备。

(5) 机器人的大脑——指挥控制系统,作用是加工处理各种信息,指挥、控制机器人的各种行动。

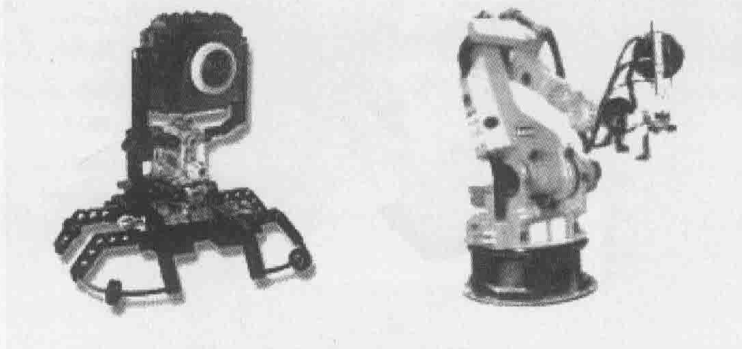


图 2-2 现代机器人

6. 机器人的种类

(1) 按控制类型分为固定程序控制机器人、数控机器人、遥控机器人和智能机器人。

(2) 按自动化程度分为自主机器人、半自主机器人和遥控机器人。

7. 机器人的用途

(1) 勤劳忠诚的员工——不计报酬；

(2) 未知世界的使者——不知“天高地厚”；

(3) 未来战争中的圣斗士——不晓得皮肉之苦；

(4) 保姆、白衣天使和明星——不用包装炒作。

8. 机器人的未来发展

人性化、智能化、普及化。

2.4 实验步骤

1. 连接好气路,启动气泵到预定压力；

2. 启动计算机,运行 RBT-6T/S03S 教学机器人软件,出现如图 2-3 所示的主界面,连接好控制柜电源,打开控制柜门,合上断路器,关闭控制柜门；

3. 开启“电源开关”,按下“启动按钮”；



4. 点击主界面“机器人复位”按钮,机器人进行回零运动,观察机器人的运动,六个关节全部运动完成后,系统会提示复位完成,机器人处于零点位置;

5. 点击“关节示教”按钮,出现如图 2-4 所示的界面,按下“打开”按钮,在机器人软件安装目录(默认目录 C:\Program Files\RBT6S 教学机器人控制系统)下选择示教文件 BANYUN.RBT6,示教数据会在示教列表中显示;



图 2-3 主界面

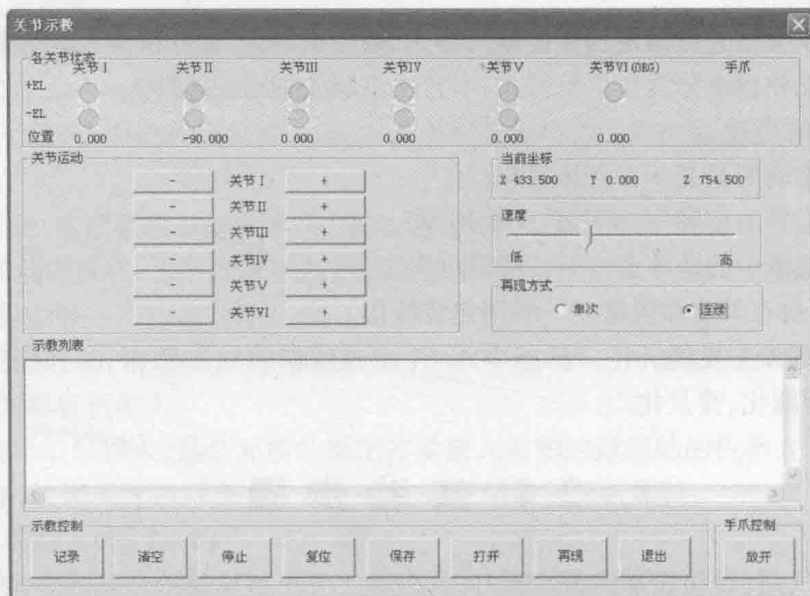


图 2-4 关节示教界面

6. 装配操作演示,在两个支架的相应位置上分别放置轴和轴套,然后按下“再现”按钮,

机器人实现装配动作；

7. 运动完毕后,按下“复位”按钮,机器人回到零点位置,关闭对话框;
8. 如果想再做一次装配动作,按下“再现”按钮即可;
9. 点击“机器人复位”按钮,使机器人回到零点位置;
10. 按下控制柜上的“停止按钮”,关闭“电源开关”;
11. 关闭控制柜内的断路器;
12. 关闭 RBT-6T/S03S 教学机器人软件,关闭计算机。

2.5 注意事项

1. 实验前确保机器人各电缆正确连接;
2. 在老师的指导下进行实验;
3. 机器人通电后,身体的任何部位不要进入机器人运动可达范围之内;
4. 机器人运动不正常时,及时按下控制柜的急停开关;
5. 系统启动顺序是先启动计算机和软件,然后机器人通电,断电时先断开机器人电源,再关闭软件和计算机,否则可能引起机器人误动作,造成人身伤害和设备损坏。



第3章 串联机器人的机械系统

3.1 实验目的

1. 了解机器人机械系统的组成;
2. 了解机器人机械系统各部分的原理及作用;
3. 掌握机器人单轴运动的方法。

3.2 实验设备

1. RBT-6T/S03S 教学机器人一台;
2. RBT-6T/S03S 教学机器人控制系统软件一套;
3. 装有运动控制卡的计算机一台。

3.3 实验原理

机器人机械系统主要由以下三部分组成:原动部件、传动部件、执行部件。其传动连接方式为原动部件→传动部件→执行部件。六自由度工业机器人的三维模型简图如图3-1所示,下面对RBT-6T/S03S六自由度教学机器人各传动部件的工作原理及特点做简要介绍。

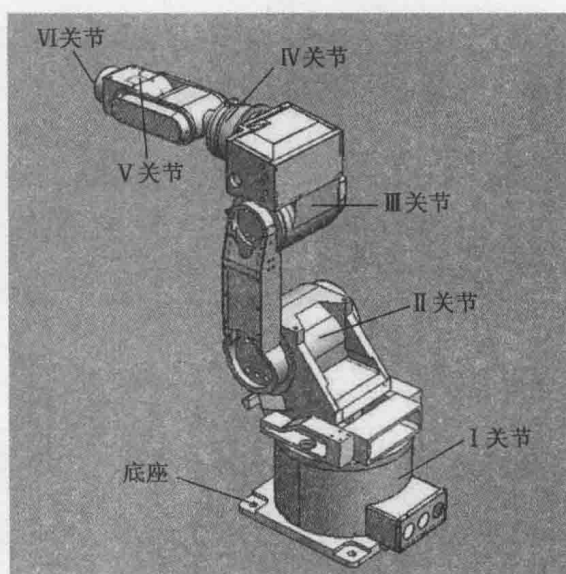


图3-1 六自由度工业机器人的三维模型简图