



高等教育“十二五”规划教材
国家级机械工程实验教学示范中心系列实验教材

机械电子工程专业实验

Jixie Dianzi
Gongcheng Zhuanye Shiyān

◎主 编 于正林 高 艺

◎副主编 邓春霞 于 昊



013061198

TH-39
233

高等教育“十二五”规划教材
国家级机械工程实验教学示范中心系列实验教材

机械电子工程专业实验

主 编 于正林 高 艺
副主编 邓春霞 于 昊



 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



北航

C1667366

TH-39

233

881130310

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

机械电子工程专业实验/于正林, 高艺主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2013. 7

ISBN 978-7-5640-6579-9

I. ①机… II. ①于… ②高… III. ①机电一体化-实验-高等学校-教材 IV. ①TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 186532 号

于正林 高艺 主 编
吴千 贾春平 副 主 编



出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

82562903 (教材售后服务热线)

68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市天利华印刷装订有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 12.5

字 数 / 290 千字

版 次 / 2013 年 7 月第 1 版 2013 年 7 月第 1 次印刷

定 价 / 29.00 元

责任编辑 / 王玲玲

文案编辑 / 陈莉华

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 吴皓云

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

“机械电子工程专业实验”课程结合机电专业特点,适应理工科大学生知识面拓展与不断深化的要求,着重培养学生的基本实验技能和创新设计能力。为了提高学生的学习兴趣和学习效果,紧密结合机电专业课程的特点、机械类学生的知识背景和课程的教学内容;本着“机电结合、相互配合”的原则,设计了设计型、综合型、创新型实验等多层次的实验体系和实验平台,并撰写了这本配套的实验教材,以满足实验教学的需要。

“机械电子工程专业实验”是本科教学改革的产物,也是为了满足现代社会对机械电子工程技术人才的需求所采取的一项教学内容。本书在明确机械电子工程专业实验意义的基础上,结合具体的实验设备构建了机械电子工程专业的实验课程体系,并与机械电子工程专业的主干课程衔接。它以培养学生创新能力和综合设计能力为目标,在实验项目的开发和配置方面,改革原有的验证性实验项目,开发先进的设计性、综合性、研究性实验项目,实现实验内容由单一型、局部型向综合型、整体型的转变;在实验方法方面,实现由演示型、验证型向参与型、开发型和研究型转变;以培养学生创新能力和综合设计能力为目标,以机械电子工程实验自身教学规律为主线,力求构建科学、合理的实验教学体系。

在编写体系上,本书共介绍了五门机械电子工程专业课程的实验。包括:机电一体化系统设计基础实验、微机功率接口技术实验、电力拖动自动控制系统实验、光电检测技术实验、误差理论与数据处理实验。每门课程的实验作为一篇,在每一篇中,每个实验作为一章。在编写内容上,对于每个实验介绍了实验原理、实验内容、实验步骤等。

本书实验项目所用到的实验设备主要有哈尔滨工业大学博实精密测控有限责任公司研制的四自由度机械臂,浙江天煌科技实业有限公司研制的光机电一体化实训台、电力拖动实验装置,浙江求是科教设备有限公司研制的微机功率接口技术试验台,浙江高联科技开发有限公司研制的光电传感器实验仪等。在此对上述实验设备的研制单位及研制人员表示衷心的感谢。

本书由于正林、高艺主编,参加编写工作的人员有邓春霞、于昊等。其中第2、第4篇由于正林编写,第3篇由高艺编写,第1篇由邓春霞编写,第5篇由于昊编写。

限于编者水平,书中疏漏与不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

Contents 目录

第1篇 机电一体化系统设计基础实验

第1章 机械臂控制实验	(3)
一、实验目的	(3)
二、实验设备	(3)
三、实验原理	(3)
四、实验内容	(5)
五、实验步骤	(8)
六、注意事项	(9)
七、思考题	(9)
第2章 光机电一体化实训台认识及控制实验	(10)
一、实验目的	(10)
二、实验设备	(10)
三、实验原理	(10)
四、实验内容	(11)
五、实验步骤	(15)
六、注意事项	(17)
七、思考题	(18)
第3章 三相异步电机变频控制实验	(19)
一、实验目的	(19)
二、实验设备	(19)
三、实验原理	(19)
四、实验内容	(21)
五、实验步骤	(23)
六、注意事项	(24)
七、思考题	(25)
第4章 步进电机定位控制实验	(26)
一、实验目的	(26)
二、实验设备	(26)

三、实验原理	(26)
四、实验内容	(29)
五、实验步骤	(29)
六、思考题	(30)
第5章 步进电机多段速控制实验	(31)
一、实验目的	(31)
二、实验设备	(31)
三、实验原理	(31)
四、实验内容	(33)
五、实验步骤	(33)
六、思考题	(33)
第6章 机电一体化系统综合实验	(34)
一、实验目的	(34)
二、实验设备	(34)
三、实验原理	(34)
四、实验内容	(35)
五、实验步骤	(35)
六、思考题	(36)
 第2篇 微机功率接口技术实验 	
第1章 直流电机调速之斩波电路性能研究	(39)
一、实验目的	(39)
二、实验设备	(39)
三、实验内容及方法	(39)
第2章 步进电机的控制实验	(42)
一、实验目的	(42)
二、实验设备	(42)
三、实验内容及方法	(42)
四、实验报告	(44)
第3章 直流伺服电机控制系统	(46)
一、实验目的	(46)
二、实验设备	(46)
三、实验内容及方法	(46)
四、驱动器运行前的检查工作	(60)
第4章 交流伺服电机控制系统	(62)
一、实验目的	(62)

二、实验设备	(62)
三、实验内容及方法	(62)
第5章 基于 DSP 的方波无刷直流电机 (BLDCM) 调速系统	(76)
一、实验目的	(76)
二、实验设备	(76)
三、实验内容	(76)
四、实验系统的组成及工作原理	(77)
五、实验步骤	(79)
六、实验报告	(81)
第6章 基于 DSP 的矢量变换控制与直接转矩控制变频调速系统	(83)
一、实验目的	(83)
二、实验设备	(83)
三、实验内容	(84)
四、实验系统的组成及工作原理	(84)
五、实验步骤	(86)
六、实验报告	(88)
第7章 直线电机实验	(89)
一、实验目的	(89)
二、实验设备	(89)
三、实验内容	(89)
四、实验报告	(91)

第3篇 电力拖动自动控制系统实验

第1章 晶闸管直流调速系统参数和环节特性的测定实验	(97)
一、实验目的	(97)
二、实验所需挂件及附件	(97)
三、实验线路及原理	(98)
四、实验内容	(98)
五、预习要求	(98)
六、实验方法	(99)
七、实验报告	(102)
八、注意事项	(102)
第2章 晶闸管直流调速系统主要单元的调试	(103)
一、实验目的	(103)
二、实验所需挂件及附件	(103)
三、实验内容	(103)

四、实验方法	(104)
五、实验报告	(106)
第3章 单闭环不可逆直流调速系统实验	(107)
一、实验目的	(107)
二、实验所需挂件及附件	(107)
三、实验线路及原理	(108)
四、实验内容	(108)
五、预习要求	(109)
六、实验方法	(109)
七、实验报告	(114)
八、思考题	(114)
九、注意事项	(114)
第4章 双闭环不可逆直流调速系统实验	(116)
一、实验目的	(116)
二、实验所需挂件及附件	(116)
三、实验线路及原理	(117)
四、实验内容	(117)
五、预习要求	(117)
六、实验方法	(118)
七、实验报告	(121)
八、思考题	(122)
九、注意事项	(122)
第5章 双闭环控制可逆直流脉宽调速系统 (H 桥)	(123)
一、实验目的	(123)
二、实验所需挂件及附件	(123)
三、实验线路及原理	(124)
四、实验内容	(124)
五、实验方法	(124)
六、实验报告	(128)
七、思考题	(128)
八、注意事项	(128)
第6章 双闭环三相异步电机调压调速系统实验	(129)
一、实验目的	(129)
二、实验所需挂件及附件	(129)
三、实验线路及原理	(130)
四、实验内容	(131)
五、预习要求	(131)
六、实验方法	(131)

七、实验报告	(134)
八、思考题	(135)
九、注意事项	(135)

第4篇 光电检测技术实验

第1章 CSY-998G 光电传感器实验仪说明	(139)
一、主机	(139)
二、传感器与器件	(140)
三、实验仪器尺寸	(140)
第2章 光源和光的波长实验	(141)
一、实验目的	(141)
二、实验器件与单元	(141)
三、基本原理	(141)
四、实验步骤	(141)
五、思考题	(142)
第3章 光敏电阻实验	(143)
一、实验目的	(143)
二、实验器件与单元	(143)
三、基本原理	(143)
四、实验步骤	(143)
五、思考题	(146)
第4章 光敏二极管的特性实验	(147)
一、实验目的	(147)
二、实验器件与单元	(147)
三、基本原理	(147)
四、实验步骤	(147)
第5章 光敏三极管特性实验	(149)
一、实验目的	(149)
二、实验器件与单元	(149)
三、基本原理	(149)
四、实验步骤	(150)
五、思考题	(152)
第6章 光电池实验	(153)
一、实验目的	(153)
二、实验器件与单元	(153)
三、基本原理	(153)

四、实验步骤	(153)
第7章 光开关实验 (透射式)	(155)
一、实验目的	(155)
二、实验器件与单元	(155)
三、基本原理	(155)
四、实验步骤	(155)
第8章 红外线反射式光电开关 (光耦)	(156)
一、实验目的	(156)
二、实验器件与单元	(156)
三、基本原理	(156)
四、实验步骤	(156)
五、思考题	(157)
第9章 热释电红外传感器实验	(158)
一、实验目的	(158)
二、实验器件与单元	(158)
三、基本原理	(158)
四、实验步骤	(159)
第10章 光源及光调制解调实验	(160)
一、实验目的	(160)
二、实验器件与单元	(160)
三、基本原理	(160)
四、实验步骤	(160)
第11章 PSD 激光定位实验	(162)
一、实验目的	(162)
二、实验器件与单元	(162)
三、基本原理	(162)
四、实验步骤	(163)
五、思考题	(164)
第12章 光纤位移传感器实验	(165)
一、实验目的	(165)
二、实验器件与单元	(165)
三、基本原理	(165)
四、实验步骤	(165)
五、思考题	(166)

第5篇 误差理论与数据处理实验

第1章 误差的基本概念	(169)
一、实验目的	(169)
二、实验原理	(169)
三、实验内容	(171)
四、实验总结	(171)
第2章 随机误差的分析处理	(172)
一、实验目的	(172)
二、实验原理	(172)
三、实验内容	(174)
四、实验总结	(175)
第3章 误差的合成与分配	(176)
一、实验目的	(176)
二、实验原理	(176)
三、实验内容	(179)
四、实验总结	(179)
第4章 测量不确定度	(180)
一、实验目的	(180)
二、实验原理	(180)
三、实验内容	(181)
四、实验总结	(182)
第5章 线性参数的最小二乘法处理	(183)
一、实验目的	(183)
二、实验原理	(183)
三、实验内容	(184)
四、实验总结	(184)
参考文献	(185)

第1篇

机电一体化系统设计基础实验

第 1 章

机械臂控制实验



一、实验目的

- (1) 了解机械臂的组成及性能指标。
- (2) 了解机械臂的机械系统和控制系统的组成及工作原理。
- (3) 了解机械臂完成搬运装配作业的过程，掌握机械臂示教作业的方法。

二、实验设备

四自由度机械臂及控制柜，计算机，气泵，装配轴、套。

三、实验原理

机械臂是一种能模仿人的手、臂的部分动作，并按照预定程序、轨迹及其他要求，实现抓取、搬运物件或操作工具的自动化装置，是典型的机电一体化产品。它可代替人的繁重劳动以实现生产的机械化和自动化，能在有害环境下操作以保护人身安全，因而广泛应用于机械制造、冶金、电子、轻工和原子能等领域。

本实验使用的四自由度示教再现式机械臂采用串联平面式开链结构，即机械臂各连杆由旋转关节串联连接，各关节轴线相互平行或垂直，如图 1-1-1 所示。连杆的一端装在固定的基座上，另一端处于自由状态，可安装各种工具以实现机械臂作业。

机械臂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实现对机械臂的控制，使机械臂能够在运动范围内任意位置精确定位。机械臂的主要技术参数如表 1-1-1 所示。



图 1-1-1 机械臂结构

表 1-1-1 主要技术参数

机构形态		水平多关节型
自由度		4
可搬重量		2 kg
动作范围	关节 I 转动	$-150^{\circ} \sim +150^{\circ}$
	关节 II 转动	$-60^{\circ} \sim +60^{\circ}$
	关节 III 转动	$-90^{\circ} \sim +90^{\circ}$
	关节 IV 转动	$-100^{\circ} \sim +100^{\circ}$
最大速度	关节 I 转动	45 ($^{\circ}$) /s
	关节 II 转动	45 ($^{\circ}$) /s
	关节 III 转动	30 ($^{\circ}$) /s
	关节 IV 转动	60 ($^{\circ}$) /s
本体重量		60 kg
安装环境	温度	0 $^{\circ}\text{C}$ ~ 45 $^{\circ}\text{C}$
	湿度	20% ~ 80% 不结露
	振动	0.5g 以下
	其他	避免易燃、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		1 kV $\cdot$ A

机械臂的示教、再现是示教再现型机械臂实现机械臂作业的两个过程。在示教过程中, 操作者通过示教盒或计算机屏幕上的示教界面操作机械臂运动, 计算机系统内安装的示教软件将机械臂运动轨迹各段的起点和终点、运动类型、运动速度等信息自动地记录在计算机存储器中; 在再现过程中, 重放存储器中存储的各段轨迹的运动类型和运动速度, 并通过插补算法计算出各段轨迹的起点和终点中间的各个位置点, 作为电机伺服系统的指令, 从而再现示教过的作业程序。如需更改作业程序时, 则需重新完成示教和再现的操作。

机械臂按运动轨迹控制方式可分为点到点 (PTP) 运动控制和连续轨迹 (CP) 运动控制。点到点运动控制是指机械臂末端快速地从一点移动到另一点, 而不考虑两点之间的运动轨迹的一种运动方式。这种方式虽然要求各关节轴的运动同时启动同时停止, 但并不要求通过插补运算求得机械臂末端轨迹。在机械臂的一些简单作业中经常用到, 如点焊、搬运等作业。在机械臂完成一些复杂的作业时, 除了对机械臂的运动起点和末端点有位置要求外, 还要求机械臂在运动过程中对中间点的轨迹进行严格控制, 如使机械臂末端在平面或空间内按照直线和圆弧运动, 这类运动控制方式就是连续轨迹运动控制方式。机械臂进行切割、弧焊、涂胶等作业常采用这种轨迹模式。

四、实验内容

1. 认识机械臂的机械系统

机械臂的机械系统是完成抓取工件（或工具）实现所需运动的机械部件，通常包括手部、腕部、臂部、机身及行走机构等部分。手部，又称末端执行器，是机械臂直接与工件（或工具）接触用来完成抓持工件（或工具）的部件，根据被抓持物件的形状、尺寸、重量、材料和作业要求而有多种结构形式，如夹持型、托持型和吸附型等。腕部是连接手部与臂部的部分，主要用来确定手部的工作方位、姿态，并适当扩大臂部的动作范围。臂部是支承手部、腕部，实现较大范围运动的部件。机身是用来支承臂部、安装驱动装置及其他装置的部件。行走机构是扩大机械臂活动范围的机构，如轨道、滚轮机构、专门行走装置等。

确定机械臂手部在运动空间的位置和姿态的、独立的变化参数称为机械臂的自由度。自由度越多,机械臂的灵活性越大,适应性越强,但结构也越复杂。一般机械臂具有4~6个自由度即满足使用要求。本机械臂具有4个自由度,即腰关节(关节Ⅰ)、臂关节(关节Ⅱ)、肘关节(关节Ⅲ)和腕关节(关节Ⅳ)各自的回转运动。

机械臂各关节的机械运动可单独由“原动部件—传动部件—关节”组成的子系统来完成,各子系统由控制系统进行统一协调和控制,以完成预定的动作。在本机械臂中,原动部件包括步进电机和伺服电机两大类。其中关节Ⅰ、Ⅱ采用交流伺服电机驱动,关节Ⅲ、Ⅳ采用步进电机驱动。传动部件采用了同步齿型带传动、谐波减速传动、锥齿轮传动3种传动方式。机械臂的传动如图1-1-2所示。

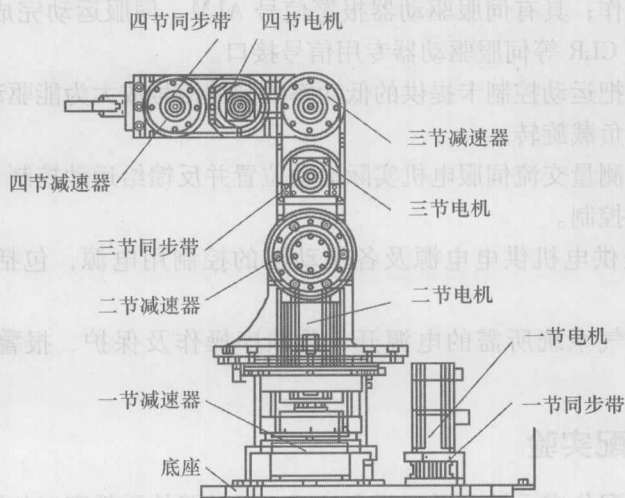


图 1-1-2 机械臂的传动简图

机械臂的夹持功能是通过安装在手腕前端的手爪来完成的。手爪主要有电动手爪和气动手爪两种形式。气动手爪较简单, 价格低, 主要应用在要求不高的场合。电动手爪造价高,

主要用在一些特殊场合。本机械臂采用气动手爪机构来完成抓取作业,手爪的标称负载为 2 kg。但实际上,手爪可承受负载的大小与所夹持工件表面粗糙度及手爪的控制气压有关。为了增大摩擦力,手爪上增加了一层弹性材料以增大接触面积和摩擦系数。由于负载会给前几关节带来很大的加速转矩,通常建议负载不超过 2 kg。另外,为了防止压力过大会对夹持物产生变形破坏,一般建议气泵工作压力设定为 0.4~0.5 MPa。机械臂的气动夹持装置由气泵、油水分离器、控制阀、手爪及气管 5 部分组成,其连接方法如图 1-1-3 所示。其中,粗线表示以气管相连接,细线表示以电线相连接。



图 1-1-3 气动夹持装置连接图

2. 认识机械臂的控制系统

本机械臂的电控系统主要由计算机系统、电机及电机驱动器、传感器、电源、操作电路、控制柜等部分组成。

计算机系统内安装有运动控制卡等硬件和人机交互、机械臂控制等软件。运动控制卡由高性能专用微处理器、大规模可编程器件及伺服电机接口器件等组成,用于实现伺服电机的位置、速度、加速度的控制及多个伺服电机的多轴协调控制。其主要功能为: S 形、梯形自动加减速速度曲线规划; 输出控制脉冲到电机驱动器以使电机运动; 具有编码器位置反馈信号接口, 以监控电机实际运行状态; 能利用零位开关、减速开关及编码器 Z 相信号实现高速高精度原点返回操作; 具有伺服驱动器报警信号 ALM、伺服运动完成信号 INP 及清伺服驱动器位置误差信号 CLR 等伺服驱动器专用信号接口。

电机驱动器用来把运动控制卡提供的低功率的脉冲信号放大为能驱动电机的大功率电信号, 以驱动电机带动负载旋转。

位置传感器用来测量交流伺服电机实际运动位置并反馈给运动控制卡, 以监控电机实际运行状态及实现闭环控制。

电源部分用来提供电机供电电源及各驱动器的控制用电源, 包括相关保护、滤波器件等。

操作电路提供电气系统所需的电源开、关顺序操作及保护、报警、状态指示等控制操作。

3. 机械臂搬运装配实验

机械臂的搬运装配分成示教、再现两个过程。机械臂的示教窗口如图 1-1-4 所示。它包含关节信息、末端坐标信息、示教盒、机器人状态信息、示教点信息列表、示教速度控制和示教控制等部分。