



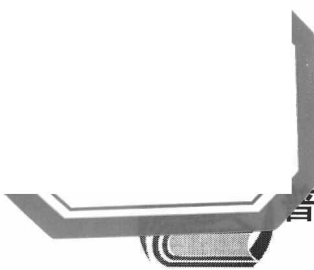
普通高校“十二五”规划教材

肖瑾 编

本科电子系统设计 综合创新实践教程



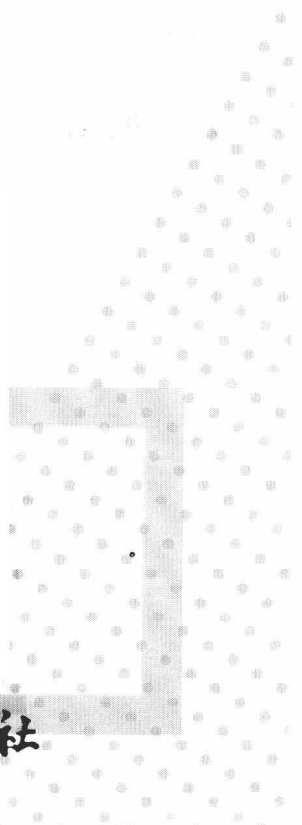
北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



普通高校“十二五”规划教材

本科电子系统设计综合 创新实践教程

肖 瑾 编



北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

基于多年来负责北京航空航天大学本科电工电子创新基地各项工作的经验,探索出本科全阶段“赛课合一”的实践教学模式。全书分上、下两篇:上篇包括电子系统设计基础知识,多种业内流行软件的 EDA 设计教程,单片机开发教程;下篇包括全国大学生电子设计竞赛常用模块电路设计,竞赛典型赛题分析和优秀作品鉴赏,同时编入了极具代表性的设计课题。

本书适用于高等院校的电类及非电类专业本科生,用做入门级电子系统实践教程,以及模拟电子技术、数字电子技术、电工学等课程的后续实践教材;也可作为工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

本科电子系统设计综合创新实践教程 / 肖瑾编. --

北京:北京航空航天大学出版社, 2015.5

ISBN 978-7-5124-1751-9

I. ①本… II. ①肖… III. ①电子系统—系统设计—
高等学校—教材 IV. ①TN02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 068598 号

版权所有,侵权必究。

本科电子系统设计综合创新实践教程

肖 瑾 编

责任编辑 史 东

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱: bhpess@263.net 邮购电话:(010)82316936

中印集团数字印务有限公司印装 各地书店经销

*

开本:710×1 000 1/16 印张:19 字数:405 千字

2015 年 6 月第 1 版 2015 年 6 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5124-1751-9 定价:39.00 元

电工电子创新基地新型教学模式的探索与研究

随着国家对创新型人才的需求,北京航空航天大学(以下简称“北航”)越来越强调对本科生创新能力的培养。北航本科生参加各类科技创新活动日益增多,自动化学院本科生对电工电子类学科竞赛的积极性也日益高涨。应此需求,北航本科电工电子创新基地教师团队构建了本科生电工电子科技创新平台,对本科生创新人才的培养模式进行了深入改革,经过七年多的实践,取得了丰硕的成果。

一、贯穿于本科全阶段创新平台的构建

(1) 针对大一、大二低年级本科生所在校区,构建了本科基础创新实践平台,支撑机器人大赛、北京市电子设计竞赛集训、北航冯如杯竞赛(简称“冯如杯”)、大学生科研训练计划 SRTP(Student Research Training Programme)等本科开放创新实践活动。具体内容包括:

基础实验: 仪表选用、参数测量、设计简易电源等基础实验项目。

综合实验: 综合多个单元设计型实验,引导学生了解理论与实验之间的联系与差别,如功率放大器实验等。

开放创新实验: 单片机平台的应用和开发。以简单的 51 单片机平台应用为主,包括绘制 51 单片机最小系统原理图和电路板,电路板焊接,51 单片机软件编程,软硬件调试。

(2) 针对大三、大四高年级本科生所在校区,构建了本科创新自助实践平台,支撑全国电子设计竞赛集训及参赛、北京市电子设计竞赛集训、“冯如杯”、SRTP 等本科开放创新实践活动。具体内容包括:

剖析研究型实验: 以工程背景为主的剖析研究型实验,培养学生的综合开发能力。

自主实验: 以 FPGA 等复杂嵌入式系统新技术应用为主的自主实验,培养学生的创新意识。

开放创新实验: 以最新产品、技术及课题研究为背景的创新实验,培养学生的综合创新能力。

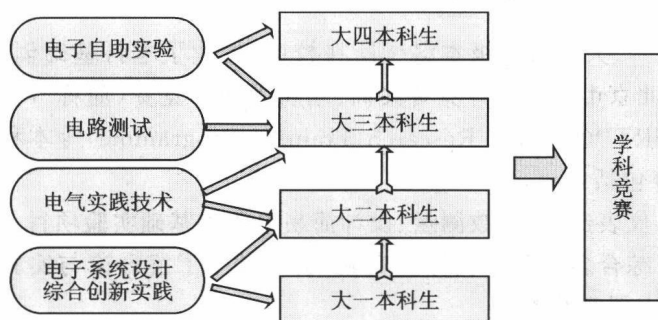
本平台所在的本科创新自助实验室实现了远程监控、电子考勤等现代化开放实验室管理模式,配备了美国安捷伦 DSOX2012A 示波器、中国台湾固纬 GPC-3030DN 稳压电源、优利德 UT804 台式万用表等系列仪器。有效的现代化管理模式及先进的仪器设备全力支持了各项科技创新活动更好地开展。



二、本科全阶段创新实践教学模式的实现

笔者及团队教师均为硕士及以上学历,理论知识扎实,动手能力强,教学实践经验丰富,主讲多门本科生必修实验课程,包括“电气实践技术”、“电路测试”等。基础实验课的教学工作大大丰富了教师本科实践教学工作的经验。通过参与课程建设,定期进行集体备课和问题讨论等多种形式,本团队教师已经具备了雄厚的本科创新实践教学能力。

为实现本科全阶段创新实践教学,笔者创立了校级公选课“电子系统设计综合创新实践”,引导大一、大二低年级本科生开展科技创新活动;校级公选课“电子自助实验”,帮助大三、大四高年级本科生完成高层次科技创新作品。本科全阶段实践教学体系框图如下:



三、颇具特色的“赛课合一”课程

现代电子技术发展迅猛、信息量大和学生思维开阔等新特点,迫使实践教学与时俱进,不断发展。与传统的实践课程不同,“电子系统设计综合创新实践”课程引入了新的教学理念,将课程内容与学科竞赛有效结合,形成了新型教学模式和管理体系。课程形式多样,包括教师授课、学生讲座和开放实验。由于课时有限,将课外开放环境与课内有效结合,比如除教室外,学生可在宿舍、自习室等处进行软件设计、仿真练习等,通过网络与教师进行交流互动,课内、课外一条线,教学形式更为灵活、高效。

1. 渐进式的实践课程教学内容安排

渐进式的实践课程教学内容主要包括以下几大方面:

(1) 全面介绍本科生学科竞赛情况。

(2) 系统的电子设计基础课程。主要内容为电子系统电路原理图及印制电路板设计。结合目前行业最新发展状况,开课内容由基于 Protel99SE 软件平台设计电路原理图及印制电路板调整为用 OrCAD 设计电路原理图以及 PADS 设计印制电路板。通过实验操作,边学边用,初学者上手很快,对开展科技项目产生了浓厚的兴趣。

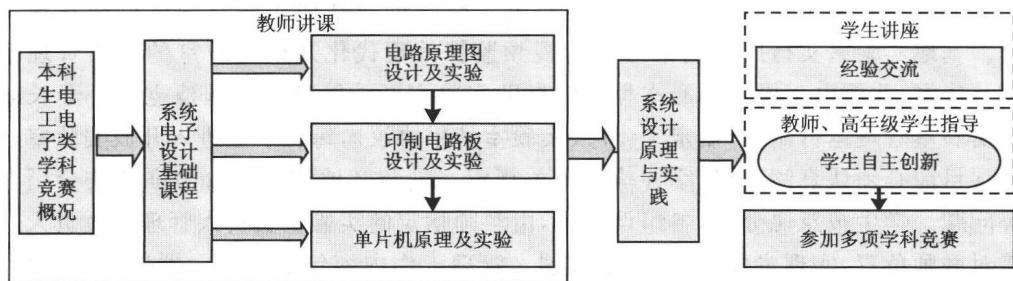
(3) 单片机原理与应用。依托电工电子中心本科生创新基地设备——计算机、



示波器、信号发生器、稳压电源以及开发系统——凌阳 SPCE061A 语音型单片机系统板等,对高年级学生,以凌阳 16 位单片机 SPCE061A 为例,讲授 16 位微控制器的基本硬件结构、C 语言程序设计、I/O 扩展及应用等各方面内容。之后安排单片机实验,进一步熟悉凌阳 SPCE061A 语音型单片机系统。对低年级学生,内容调整为 51 单片机原理与应用。渐进式的教学模式,适用于高、低年级不同层次的本科生,让更多学生通过选课感受到项目开发的全过程。

(4) 根据学生实际情况及意愿,为学有余力、愿参加竞赛的学生提供单片机系统板等,指导各组进行科技制作,参加相关竞赛。在这个过程中,指导本科生学会应用理论课知识、计算机编程技术、单片机和嵌入式技术等多项专业前沿技术。由于提前参加科研项目,使学生及早为参与学科竞赛打下了坚实的基础,这样做往往“一举多得”——一方面所做作品可参加电子设计竞赛、校级“冯如杯”等多项学科竞赛,从而使学生积极性大增,另一方面争取的多方经费支持也使得作品能够精益求精。

“电子系统设计综合创新实践”课程结构框图如下:



2. 学生讲座教学形式的引入

现代学生有其年龄段特点,年轻人之间往往更容易交流和沟通,因此积极引入了学生讲座的教学形式。具体方式是围绕学科竞赛,通过互联网等手段广泛搜集资料,并邀请本校及外校优秀参赛学生做讲座,介绍自己的亲身经历及体会,并做个别指导。同龄人之间的沟通容易,气氛活跃,很多学生反映收获大,效果特别好。经过七年多的积累,笔者已为学院培养了一批出色的本科生,在各类学科竞赛中崭露头角,取得了优异成绩。他们作为新的指导队伍中的成员,非常乐意帮带低年级学生,承担讲座和指导工作。各项成果和资料也一年年积累和传承,课程体系得到不断发展和完善。

3. 灵活的课程考核激励

按照灵活和公平的原则,对学生的参赛作品进行评估,并对学生学科竞赛参与时间和获奖情况进行统计,计入学生的课程期末成绩,进一步提高学生实践的积极性。

“电子系统设计综合创新实践”和“电子自助实验”课程设计了适用于不同层次本科生的教学内容,实行了灵活的考核机制,建立了长效、有序的实验室管理运行模式,为参加各类相关学科竞赛的学生进行基础培训,以全面培养学生的专业技能、竞技能



力、团队合作及管理能力等综合素质。

四、注重工作细节

现代社会复杂多变,网络发达,本科生接触的新事物形形色色,课程压力、生涯规划等一系列问题也时常困扰着他们,远离父母的他们迫切需要教师在思想上与他们进行交流和引导。笔者在指导学生的过程中,不仅关心项目的进展,探讨专业问题,还从过来人的角度开导他们,进行心理疏导。

另外,注重学科交叉,吸收非本专业但对电子系统设计有强烈兴趣的学生参加竞赛。通过竞赛,极大地培养了学生的实践能力,同时也利于院系之间的交流合作。

全国电子设计竞赛期间,教师轮流值班,熬夜陪守。对学生是一种精神上的莫大鼓励,也在很大程度上对竞赛成绩起到了积极的作用。

五、现代化管理

笔者独立承担了电工电子中心本科电工电子创新基地实验室的运行和管理工作。基地实验室实行门禁刷卡考勤和视频监控等现代化开放实验室的有效管理手段。依据《北航电工电子中心本科创新自助实验室开放管理制度》,建立了一套长效的实验室管理运行制度,制定了《开放实验室使用协议》,每位学生进入开放实验室开展项目前必须认真阅读、签字并执行相关规定。创新基地实验室着力强调安全用电等问题。学生按意愿分组,各组设组长,由教师指定的实验室负责人管理。负责人直接对教师负责,实现责任到人、分层管理。管理工作内容包括相关元器件购置分配、设备管理和考勤等。

实验室应学生需求,长期开放。尤其在电子设计竞赛期间,“冯如杯”、SRTP项目等答辩前夕更是满足了学生的开放需求。

六、积极开展校企合作

校企合作是对实验室建设的有效补充。通过积极沟通,创新基地获得了多家公司的赞助,有力支撑了学生的各项实践活动。

(1) 获得北京立功致远科技有限公司赞助的开发板 15 套,电脑鼠套件 4 套、迷宫平台 1 套。

(2) 与达盛精仪科技有限公司合作创建本科生创新联合实验室,获得赞助的开发板 10 套。

以上硬件平台有力支撑了学生参加“毕昇杯”全国电子创新设计竞赛等活动。应学生需求,企业的工程师抽时间到学校进行讲座和培训,亲自指导学生设计,极大开阔了学生们的视野。

作为北航自动化科学与电气工程学院电工电子中心的青年骨干教师,笔者长期工作在教学一线,坚持各项教学改革研究与管理工



资源优势,将电子竞技与课程紧密结合——“赛课合一”,建立了新型的教学模式和运行体制,力争培养出具备综合素质的优秀本科生。

笔者担任学院本科电工电子创新基地负责人,创建了本科创新自助实验室,经过七年多的摸索与实践,使该基地在全国大学生电子设计竞赛、北京市大学生电子设计竞赛、全国/北京市电子专业人才设计与技能大赛、教育部 SRTP、校级 SRTP、校级“冯如杯”、全国/北京市“电脑鼠走迷宫竞赛”、“毕昇杯”全国电子创新设计竞赛等学科竞赛中取得了可喜的成绩,并且成绩逐年提高。一批批优秀的本科生脱颖而出,经统计,由创新基地培养的本科生,90%以上经免试推荐或通过考试进入硕士/博士研究生阶段,学生们感言,是创新基地的经历全面提升了他们的综合素质,大大提高了他们在同龄人中的核心竞争力。笔者也连续三年被评为北航“学科竞赛优秀指导教师”,荣获北京市教委颁发的2013年全国大学生电子设计竞赛北京赛区“优秀辅导教师”称号,并获校级教学成果二等奖两项、三等奖三项。

笔者深感一线教学工作的重要性。通过历年扎扎实实的工作实践,与同行交流请教,积累了丰富的经验,逐渐形成了一套可行性强的实践教学模式。积极地传承一直是所有师生密切遵循的宗旨,为了系统整理这些年的成果,更好地分享和交流,服务于师生,笔者查阅了大量的文献资料编写了本书。

本书内容包括本科实践教学的方法研究、电子系统设计基础知识、多种业内流行软件的EDA设计教程、单片机开发教程、全国大学生电子设计竞赛常用模块电路设计、竞赛典型赛题分析和优秀作品鉴赏,同时编入了极具代表性的设计题目。它的最大特色在于,基于实践教学一线的丰富经验,研究并探索覆盖本科高低年级的新型实践教学方法,力求让本科生尤其是低年级本科生通过本教程的学习,迅速上手,开展电子系统的设计和制作。它适合于高等院校的电类及非电类专业本科生,用作入门级电子系统实践教程,以及模拟电子技术、数字电子技术、电工学等课程的后续实践教材;也可作为工程技术人员的参考用书。

全书由肖瑾主持编写统稿。在本书的编写过程中,得到了北航自动化科学与电气工程学院研究生们的帮助和支持,他们是:博士研究生李元(参与编写第1、2章),硕士研究生伍勃(参与编写第3章),博士研究生赵正(参与编写第4章),硕士研究生裴水强(参与编写第5章)。在本科阶段,他们在创新基地亲历竞赛,取得了优异成绩,积累了具有借鉴意义的经验,对创新基地有着特殊的感情,一直关注着创新基地的发展。对于他们挤出自己宝贵的休息时间所做出的辛勤工作,在此表示最衷心的感谢。

由于水平有限,难免有错漏之处,欢迎广大读者批评指正。

编 者

2014年11月

上 篇

第 1 章 电子工艺	3
1.1 常用电子元器件	3
1.1.1 电阻、电容、电感	3
1.1.2 半导体分立器件	10
1.1.3 半导体集成电路	13
1.1.4 表面贴装元件	14
1.2 常用仪器	17
1.2.1 信号发生器	18
1.2.2 示波器	19
1.2.3 直流稳压电源	21
1.3 电子设计中的常用开发系统	22
1.3.1 51 单片机	22
1.3.2 AVR 单片机	23
1.3.3 MSP430 单片机	24
1.3.4 FPGA	24
1.3.5 ARM	25
1.3.6 其他类 MCU	26
第 2 章 EDA 设计	27
2.1 Altium Designer 10 原理图及 PCB 设计	27
2.1.1 创建 PCB 工程	27
2.1.2 设计原理图	28
2.1.3 设计 PCB	36
2.1.4 其他常用操作	43
2.2 OrCAD 原理图设计	44
2.2.1 OrCAD Capture 简介	44
2.2.2 用 OrCAD 绘制简单原理图	44
2.3 PADS PCB 设计	48



2.4 PCB 焊接	52
第 3 章 单片机学习与实践	59
3.1 基本概念	59
3.1.1 什么是单片机	59
3.1.2 单片机结构	61
3.1.3 I/O 口	64
3.1.4 中 断	67
3.2 开发环境	68
3.2.1 Keil	68
3.2.2 ISP 烧写程序	73
3.2.3 软件应用	74
3.3 程序编写	78
3.3.1 代码规范	78
3.3.2 函数、变量命名	81
3.3.3 Keil C51 的基本数据类型	84
3.3.4 指定变量存储位置	85
3.3.5 C 语言变量修饰符	89
3.4 程序调试	90
3.4.1 软件仿真	91
3.4.2 串口调试	96
第 4 章 模块电路训练	99
4.1 直流稳压电源的设计	99
4.1.1 直流稳压源的基本原理	99
4.1.2 线性电源与开关电源	100
4.1.3 常用 DC—DC 电源电路设计方案分析	104
4.2 单片机最小系统设计	108
4.2.1 单片机最小系统组成	108
4.2.2 单元电路详解	109
4.3 单片机接口电路与程序设计	112
4.3.1 显示模块设计	113
4.3.2 输入设备接口	118
4.3.3 通信模块设计	121
4.3.4 A/D 与 D/A 转换电路设计	128
4.3.5 传感器的使用	134



4.4 信号发生及调理电路	140
4.4.1 方波发生器	140
4.4.2 三角波发生器	141
4.4.3 正弦波发生器	141
4.4.4 运算放大器与运算电路	142
4.5 模块电路综合应用	145
4.5.1 电子设计比赛中常规电路模块	145
4.5.2 综合设计实例	145

下 篇

第5章 赛题分析 & 作品精选	151
5.1 2013年全国大学生电子设计竞赛	151
5.1.1 基本仪器和主要元器件清单	151
5.1.2 2013年控制类题目-1	152
简单旋转倒立摆及控制装置(C题)【本科组】	152
5.1.3 2013年控制类题目-2	186
四旋翼自主飞行器(B题)【本科组】	186
5.1.4 2013年电源类题目	196
单相 AC—DC 变换电路(A题)【本科组】	196
5.2 2011年全国大学生电子设计竞赛	206
5.2.1 基本仪器和主要元器件清单	206
5.2.2 2011年控制类题目-1	207
基于自由摆的平板控制系统(B题)【本科组】	207
5.2.3 2011年控制类题目-2	222
智能小车(C题)【本科组】	222
5.2.4 2011年电源类题目	234
开关电源模块并联供电系统(A题)【本科组】	234
5.3 2009年全国大学生电子设计竞赛	245
5.3.1 基本仪器和主要元器件清单	245
5.3.2 2009年控制类题目	246
声音导引系统(B题)【本科组】	246
5.3.3 2009年电源类题目	259
光伏并网发电模拟装置(A题)【本科组】	259



附 录.....	277
附录 A 历年参赛获奖情况	277
附录 B 部分教师相关成果	284
附录 C 学生作品精选	286
参考文献.....	289

上 篇

第 1 章 电子工艺

内容提要

介绍电子竞赛中常用的电子元器件——全系列电阻、电容和电感;对最为重要的三种仪器设备——示波器、信号发生器及直流稳压电源的使用方法进行详解,并且对近年来电子竞赛使用较多的开发系统作了全面概述。

1.1 常用电子元器件

1.1.1 电阻、电容、电感

1.1.1.1 电 阻

电阻器是电路元件中应用最广泛的一种,在电子设备中约占元件总数的三分之一,其质量的好坏对电路工作的稳定性有极大影响。它的主要用途是稳定和调节电路中的电流和电压,其次是作为分流器、分压器和负载使用。

1. 分 类

电阻的分类方法很多,通常按照其阻值特性可分为三大类:固定电阻、可调电阻和特种电阻。按照其材料可分为碳膜电阻、金属膜电阻、线绕电阻和水泥电阻等不同类型。碳膜电阻高频性能好,价格低廉;但精度不高,是目前应用最多的一种电阻。金属膜电阻耐高温,高频性能好,精度高;但工作频率也较宽,成本稍高,通常用于精密仪器仪表等电子产品中。线绕电阻耐热性能好、精度高、噪声小、功率大,但高频特性差。线绕电阻可以根据需要制作任意精度的电阻,一般用于低频的精密仪器仪表等电子产品中。水泥电阻制造成本相对较低,其额定功率相对于碳膜电阻、金属膜电阻要大得多,因此应用在具有一定功率要求的环境中。图 1-1 所示为碳膜电阻、线绕电阻和水泥电阻。

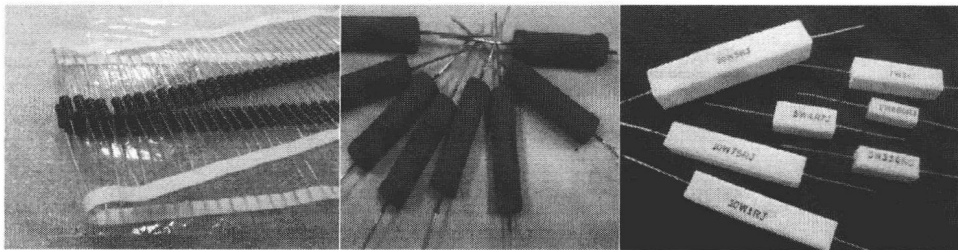


图 1-1 碳膜电阻、线绕电阻和水泥电阻



2. 性能参数与标注方法

1) 额定功率

额定功率是在规定的环境温度和湿度下,假定周围空气不流通,在长期连续负载而不损坏或基本不改变性能的情况下,电阻器上允许消耗的最大功率。为保证安全使用,一般选其额定功率比它在电路中消耗的功率高 1~2 倍。额定功率分 19 个等级,常用的有 0.05 W、0.125 W、0.25 W、0.5 W、1 W、2 W、3 W、5 W、7 W 和 10 W。

2) 标称阻值

标称阻值是电阻器上标识的阻值,其单位为 Ω ,常用的阻值数量级有 Ω 、 $k\Omega$ 、 $M\Omega$ 。标称阻值都应符合表 1-1 所列数值乘以 $10^N\Omega$,其中 N 为整数。

表 1-1 电阻器的标称阻值系列

允许误差/%	系列代号	标称阻值/ Ω									
± 5	E24	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2.0	2.2	
		2.4	2.7	3.0	3.3	3.6	3.9	4.3	4.7	5.1	
		5.6	6.2	6.8	7.5	8.2	9.1				
± 10	E12	1.0	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7	3.3	3.9		
		4.7	5.6	6.8	8.2						
± 20	E6	1.0	1.5	2.2	3.3	4.7	6.8				

3) 允许误差

允许误差是指电阻器和电位器实际阻值对于标称阻值的最大允许偏差范围,它表示产品的精度。允许误差的等级如表 1-2 所列。

表 1-2 允许误差等级

级 别	005	01	02	I	II	III
允许误差/%	± 0.5	± 1	± 2	± 5	± 10	± 20

4) 标称电阻色标识别

电阻器的阻值和误差可以用不同的色环来表示。普通电阻一般用 4 环,精密电阻用 5 环。识别色环标注的电阻时,第一步应正确识别误差环或者第一道色环,间距最大的两环中靠近电阻端的为误差环,另一端色环即为第一道色环,如图 1-2 所示。

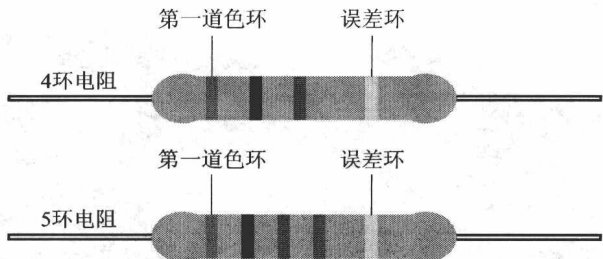


图 1-2 色环识别



4 环标注时,前两道色环表示两位有效数字,第三道色环表示应乘的数,即 10 的乘方数,第四道色环表示允许误差。需要注意的是,在 4 环标注中,表示误差的只有金色、银色、无色,而且前三道色环不使用金色、银色、无色,所以若色环标注金色或者银色一定是误差环。电阻表面只有三道色环,那误差环为无色,误差为 $\pm 20\%$ 。

5 环标注时,前三道色环表示三位有效数字,第四道色环表示应乘的数,即 10 的乘方数,第五道色环表示允许误差。

不同颜色色环代表的值如表 1-3 所列。

表 1-3 不同颜色色环代表的值

颜 色	第一道色环	第二道色环	五环中第三色环	五环中第四道色环 四环中第三道色环	误差环/%
黑	0	0	0	1	
棕	1	1	1	10	± 1
红	2	2	2	100	± 2
橙	3	3	3	1k	
黄	4	4	4	10k	
绿	5	5	5	100k	± 0.5
蓝	6	6	6	1M	± 0.25
紫	7	7	7	10M	± 0.10
灰	8	8	8		± 0.05
白	9	9	9		
金				0.1	± 5
银				0.01	± 10
无					± 20

5) 电路图中电阻器和电位器阻值的标注规则

依照惯例:

(1) 阻值在 $M\Omega$ 以上,标注“M”。比如 $1 M\Omega$ 电阻,标注“1M”; $2.7 M\Omega$ 电阻,标注“2.7M”。

(2) 阻值在 $1\sim 100 k\Omega$ 之间,标注“K”。比如 $5.1 k\Omega$ 电阻,标注“5.1K”; $68 k\Omega$ 电阻,标注“68K”。

(3) 阻值在 $100 k\Omega\sim 1 M\Omega$ 之间,可以标注“K”,也可以标注“M”。比如 $360 k\Omega$ 电阻,可以标注“360K”,也可以标注“0.36M”。

(4) 阻值在 $1 k\Omega$ 以下的电阻,可以标注 Ω ,也可以不标注。比如 5.1Ω 电阻,可以标注“5.1 Ω ”,或者“5.1”; 680Ω 电阻,可以标注“680 Ω ”或者“680”。

6) 最高工作电压

最高工作电压是指电阻器长期工作不发生过热或电击穿损坏时的电压。如果电压超过规定值,电阻器内部产生火花,引起噪声,甚至损坏。表 1-4 是碳膜电阻的最高工作电压。