

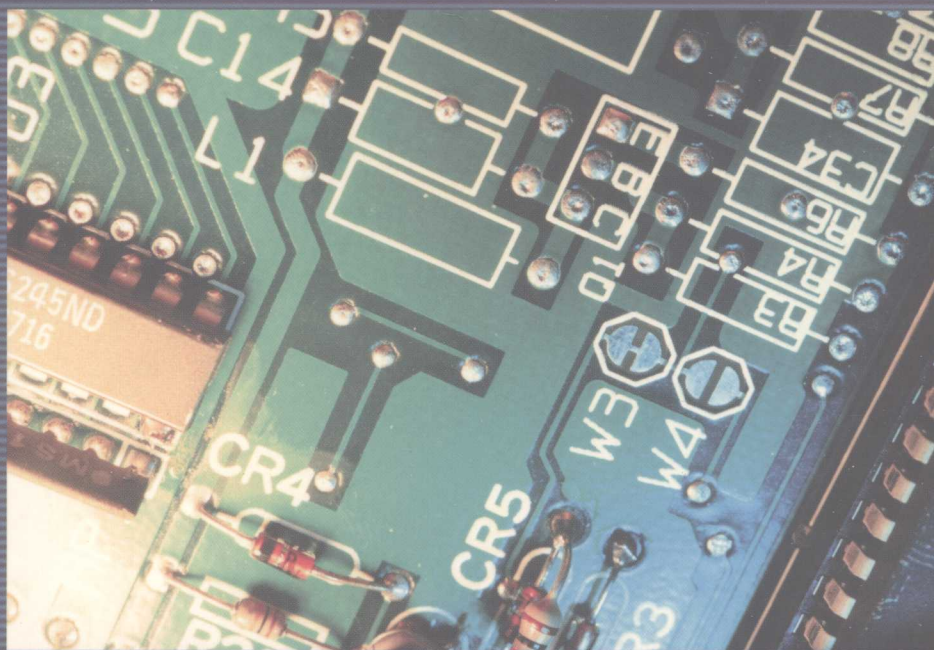
机械工程



国防
科技
工委
十五
规划
教材

电子与电气工程训练

●主编 任正义



哈尔滨工程大学出版社

北京理工大学出版社

西北工业大学出版社

哈尔滨工业大学出版社

北京航空航天大学出版社



国防科工委“十五”规划教材 机械工程

·制造工程训练系列教材·

电子与电气工程训练

主 编 任正义

副主编 王松武 王光伟

主 审 李庆芬

哈尔滨工程大学出版社

北京理工大学出版社 西北工业大学出版社

哈尔滨工业大学出版社 北京航空航天大学出版社

TM
R2

内容简介

本书以近代电子产品的开发、生产为主线展开论述,使读者了解电子产品整机制造从备料开始,直到成品完成的诸道工序以及每道工序的工艺流程、操作方法和制造技术。同时还介绍了控制用低压电器、工厂供电、质量管理、环境保护等内容。在选材上,尽量反映当代的新器件、新技术、新工艺。针对电子整机制造的操作方法,既介绍了手工操作,又介绍了半自动和自动操作,这些都是工程技术人员的基本功。全书共分八章和一个附录,每章内容具有相对独立性,便于读者选择。

本书的信息量大,内容充实,取材新颖,易读易懂,具有知识性、实用性。本书可作为大专院校电子电气实习的教材;亦可作为职业教育、技能培训的教材;还可作为工程技术人员和电子爱好者的学习参考书。本书除作为训练教材和参考书外,也可作为一种科普读物。

图书在版编目(CIP)数据

电子与电气工程训练/任正义主编. —哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2002

ISBN 7-81073-348-6

I. 电… II. 任… III. 电子与电气工程训练
IV. TM.16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 013422 号

电子与电气工程训练

任正义 主编

责任编辑 付江志

责任校对 付江志

哈尔滨工程大学出版社出版发行

哈尔滨市南通大街 145 号 哈工程大学 11 号楼

发行部电话:(0451)82519328 邮编:150001

新华书店经销

黑龙江省教育厅印刷厂印刷

开本:787×960 1/16

印张:15.25 字数:313 千字

2004 年 4 月第 1 版 2004 年 4 月第 1 次印刷

印数:1—3 000 册

ISBN 7-81073-348-6/TM·16 定价:20.00 元

国防科工委“十五”规划教材编委会

(按姓氏笔画排序)

主 任:张华祝

副主任:王泽山 陈懋章 屠森林

编 委:王 祁 王文生 王泽山 田 蔚 史仪凯

乔少杰 仲顺安 张华祝 张近乐 张耀春

杨志宏 肖锦清 苏秀华 辛玖林 陈光福

陈国平 陈懋章 庞思勤 武博祯 金鸿章

贺安之 夏人伟 徐德民 聂 宏 贾宝山

郭黎利 屠森林 崔锐捷 黄文良 葛小春



总 序

国防科技工业是国家战略性产业,是国防现代化的重要工业和技术基础,也是国民经济发展和科学技术现代化的重要推动力量。半个多世纪以来,在党中央、国务院的正确领导和亲切关怀下,国防科技工业广大干部职工在知识的传承、科技的攀登与时代的洗礼中,取得了举世瞩目的辉煌成就。研制、生产了大量武器装备,满足了我军由单一陆军,发展成为包括空军、海军、第二炮兵和其他技术兵种在内的合成军队的需要,特别是在尖端技术方面,成功地掌握了原子弹、氢弹、洲际导弹、人造卫星和核潜艇技术,使我军拥有了一批克敌制胜的高技术武器装备,使我国成为世界上少数几个独立掌握核技术和外层空间技术的国家之一。国防科技工业沿着独立自主、自力更生的发展道路,建立了专业门类基本齐全,科研、试验、生产手段基本配套的国防科技工业体系,奠定了进行国防现代化建设最重要的物质基础;掌握了大量新技术、新工艺,研制了许多新设备、新材料,以“两弹一星”、“神舟”号载人航天为代表的国防尖端技术,大大提高了国家的科技水平和竞争力,使中国在世界高科技领域占有了一席之地。十一届三中全会以来,伴随着改革开放的伟大实践,国防科技工业适时地实行战略转移,大量军工技术转向民用,为发展国民经济作出了重要贡献。

国防科技工业是知识密集型产业,国防科技工业发展中的一切问题归根到底都是人才问题。50多年来,国防科技工业培养和造就了一支以“两弹一星”元勋为代表的优秀的科技人才队伍,他们具有强烈的爱国主义思想和艰苦奋斗、无私奉献的精神,勇挑重担,敢于攻关,为攀登国防科技高峰进行了创造性劳动,成为推动我国科技进步的重要力量。面向新世纪的机遇与挑战,高等院校在培养国防科技人才,生产和传播国防科技新知识、新思想,攻克国防基础科研和高技术研究难题当中,具有不可替代的作用。国防科工委高度重视,积极探索,锐意改革,大力推进国防科技教育特别是高等教育事业的发展。

高等院校国防特色专业教材及专著是国防科技人才培养当中重要的知识载体和教学工具,但受种种客观因素的影响,现有的教材与专著整体上已落后于当今国防科技的发展水平,不适应国防现代化的形势要求,对国防科



技高层次人才的培养造成了相当不利的影响。为尽快改变这种状况,建立起质量上乘、品种齐全、特点突出、适应当代国防科技发展的国防特色专业教材体系,国防科工委全额资助编写、出版 200 种国防特色专业重点教材和专著。为保证教材及专著的质量,在广泛动员全国相关专业领域的专家学者竞投编著工作的基础上,以陈懋章、王泽山、陈一坚院士为代表的 100 多位专家、学者,对经各单位精选的近 550 种教材和专著进行了严格的评审,评选出近 200 种教材和学术专著,覆盖航空宇航科学与技术、控制科学与工程、仪器科学与工程、信息与通信技术、电子科学与技术、力学、材料科学与工程、机械工程、电气工程、兵器科学与技术、船舶与海洋工程、动力机械及工程热物理、光学工程、化学工程与技术、核科学与技术等学科领域。一批长期从事国防特色学科教学和科研工作的两院院士、资深专家和一线教师成为编著者,他们分别来自清华大学、北京航空航天大学、北京理工大学、华北工学院、沈阳航空工业学院、哈尔滨工业大学、哈尔滨工程大学、上海交通大学、南京航空航天大学、南京理工大学、苏州大学、华东船舶工业学院、东华理工学院、电子科技大学、西南交通大学、西北工业大学、西安交通大学等,具有较为广泛的代表性。在全面振兴国防科技工业的伟大事业中,国防特色专业重点教材和专著的出版,将为国防科技创新人才的培养起到积极的促进作用。

党的十六大提出,进入二十一世纪,我国进入了全面建设小康社会、加快推进社会主义现代化的新的发展阶段。全面建设小康社会的宏伟目标,对国防科技工业发展提出了新的更高的要求。推动经济与社会发展,提升国防实力,需要造就宏大的人才队伍,而教育是奠基的柱石。全面振兴国防科技工业必须始终把发展作为第一要务,落实科教兴国和人才强国战略,推动国防科技工业走新型工业化道路,加快国防科技工业科技创新步伐。国防科技工业为有志青年展示才华,实现志向,提供了缤纷的舞台,希望广大青年学子刻苦学习科学文化知识,树立正确的世界观、人生观、价值观,努力担当起振兴国防科技工业、振兴中华的历史重任,创造出无愧于祖国和人民的业绩。祖国的未来无限美好,国防科技工业的明天将再创辉煌。

张华祝



前言

在当今世界,科学技术的发展与更新越来越快,工程技术对经济与社会推动作用越来越重要。工程技术人才的培养直接决定工程技术的水平和发展速度,决定国家的工业竞争力。

工程教育既是“老生常谈”,也是颇具新意的一种教育观念。其核心观点集中体现在工程科学、工程技术、工程管理三个方面的教育。

美国和德国是已经完成工业化的经济强国,工程教育模式各具特色,并被证明在其工业化及成为工业强国的进程中发挥了巨大的作用。

美国工业化是以市场经济为主,渐进式地从轻纺工业到重工业、机器制造业,再发展到二战后的以电子、核能、化工、航天等组成的新兴工业,经历的时间较长,比较协调。工业化初期,政府通过制定法律的方式来引导工程教育的具体走向,对美国工程教育的大规模发展起到了至关重要的作用。美国工程教育的一个突出特点是落到实处,而且消化吸收的能力特别强,为其工业化的崛起提供了及时高效的技术支持。

德国的工程教育从诞生之日起就独立于传统大学之外,在工业化崛起阶段所发挥的作用更多体现在输送大批过硬的技术人材,在数量与质量上充分满足了工业界的需求。

从我国实际情况看,由于受高考制度的影响,我国的初、高中对学生实际能力的培养比较薄弱。在国外的发达国家,初中生就开始参与课外科技活动,对工程实践有了粗线条的认知。但我国的学生要应付中考、高考,应付“题海”,没有时间也没有条件接受工程教育。尽管现在对素质教育的呼声较高,但却使学生的发展方向过宽,学生无所适从。以电子类专业的学生为例,学生进了大学,连电烙铁也没摸过,对于各种电子器件,只认识符号,不认识实物,到大二才稍微接触点实际。从另一方面来讲,在电子、电气工程技术领域,数十年来形成“重线路、轻工艺”的倾向。搞线路的人不愿意搞工艺,而搞工艺的人又不熟悉线路。因此搞线路的人即使设计出很先进的电子产品,但却因工艺不合理或不过关而影响产品的性能。为适应我国电



工电子工程训练的需要,我们特此编写本教材。本书的特点:

(1)以电子整机制造为主线展开介绍,从备料开始直到成品出厂,介绍了生产电子整机的各道工序和每道工序不同的制造技术,使读者了解生产电子整机的基本过程。同时,还介绍了工程中所涉及的控制电器、工厂供电、质量管理、整机文件、环境保护等方面的内容。

(2)尽量贴近工程实际,对实际的生产事件和生产设备进行介绍,既包括手工操作也包括半自动和自动操作。无论何种工序的何种操作,都视为工程技术人员所必须掌握的基本功。

(3)尽量压缩传统的操作方法,尽量介绍近代较先进的新器件、新工艺、新技术,使读者对现代电子制造技术有一定的了解。

(4)本书叙述由浅入深、重点突出、通俗易懂。每章各具独立性,既可以通读,也可根据实际需要选读。采用本书讲授时,可根据学时选择相关内容,并穿插安排若干实践性环节。

本书具有知识性、实用性,可作为大专院校各类实习的训练教材,亦可作为中专、高等职业教育的教科书,还适于作为工程技术人员、技术工人、电子爱好者自学参考书。本书在编写过程中,由于知识面所限,难免有疏漏之处,恳请各位同仁指正。

如果本书能在“大工程观念下的工程师”培养方面发挥一定作用,编者将感到十分欣慰。

编者

2003年11月

目 录

1 常规电子元器件	1
1.1 概述	1
1.2 电阻器	1
1.3 电容器	6
1.4 电感器	12
1.5 电声器件	14
1.6 接插件、开关件、熔断器	16
1.7 继电器	20
1.8 电真空器件	21
1.9 半导体器件	24
1.10 集成电路	41
习 题	43
2 新型特种电子元器件	44
2.1 贴片式元器件概述	44
2.2 贴片式阻容件	45
2.3 固态器件	49
2.4 传感器与接近开关	53
2.5 可编程逻辑器件	56
习 题	62
3 焊接技术	63
3.1 概述	63
3.2 焊点	63
3.3 焊接前接点的连接	66
3.4 元器件的成型与安装	68
3.5 手工焊接	69
3.6 机器焊接与无锡焊接	73
习 题	76
4 印刷电路板的设计与制造技术	77
4.1 概述	77
4.2 覆铜箔层压板	77
4.3 印制板排版设计的考虑	80



4.4 印制板排版设计步骤	84
4.5 印制板的制作工艺	87
4.6 手工制作印制板	99
4.7 新型、特殊印制电路板及制造技术	100
习 题	102
5 整机工艺设计与装配	103
5.1 概述	103
5.2 电子器件的老化筛选	103
5.3 导线加工、成形与扎把	107
5.4 电子整机结构工艺设计	114
5.5 安装技术	118
5.6 表面安装技术	121
5.7 现代电子整机制造生产线及设备	133
习 题	137
6 控制电器、工厂供电及安全防护	139
6.1 常规控制电器	139
6.2 电子式控制电器	148
6.3 电气控制线路的绘制原则、图形及文字符号	151
6.4 电气控制线路设计的一般方法	154
6.5 可编程控制器	156
6.6 工厂供电	170
6.7 电气安全	176
6.8 接地技术	179
6.9 居民住宅供电系统中的保护性接地	182
6.10 雷电防护	185
习 题	188
7 电子产品的调试、维修和检验	189
7.1 电子产品的调试	189
7.2 电子产品的维修技术	190
7.3 维修中需要处理的几个关系	195
7.4 电子测量仪器的可靠性	198
7.5 电子整机的质量检验与检定	202
习 题	205
8 电子产品的质量管理及环境保护	206
8.1 电子产品的技术文件	206
8.2 标准及标准化	208
8.3 ISO9000 质量体系标准和 ISO14000 环境管理体系	210



8.4 电子产业环境保护与绿色电子产品	216
8.5 中国电子产业如何面对 WTO	221
习 题	228
参考文献	230
后记	231

1 常规电子元器件

1.1 概 述

任何电子整机或产品的技术指标,不仅取决于电路的设计水平,而且还取决于结构与工艺的设计水平。同时,还与正确选用原材料和电子元器件有关。电子元器件(简称元件或器件)是组成电子产品的“细胞”,在电子产品中有独立的用途。在电子产品设计时,首先要选用标准元器件产品,只有在标准元器件不能满足时,才能自制或选用其他元器件,以完成电路设计。因此,正确选用电子元器件是实现电路功能的基本条件;而电子元器件的质量,是电子产品可靠性、稳定性的基本保证。

当前电子元器件的发展趋向:

- 一些不易集成的元件进一步小型化,如电位器、扬声器、滤波器等。
- 一些易于集成的元器件逐渐被集成电路取代,而且集成电路的规模越来越大,功能和类型繁多,封装体积越来越小。
- 一些功能性器件被模块代替,如各种继电器、传感器被固体器件或集成电路所取代。
- 有源器件的供电电压、功耗越来越小。例如有的 CPU 供电仅为 1.8 V,有的集成块静态电流为纳安数量级。

在电子和信息技术飞速发展的今天,电子元器件种类繁多,更新换代快,新型特种电子元器件不断涌现,这对于从事电子、信息、通信等行业的工程技术人员来说,掌握和识别形形色色的电子元器件,正确地选用电子元器件,成为一个至关重要的问题,也是工程技术人员的一项基本功。本章仅从实用角度出发,介绍一些常用电子元器件的性能、系列、规格、型号命名法、外特性及检验等常识,以便在电子整机设计或产品开发中能正确地选用电子元器件。

电子元件器可分为有源器件和无源器件两大类。有源器件必须施加工作电压,并能输出电能或信号,如晶体管、集成电路等;无源器件又分为储能元件和耗能元件,如电感、电容为储能元件;电阻、滤波器等为耗能元件。

1.2 电 阻 器

电阻器是耗能元件,它在电路中的作用是对低频交流电和直流电的“阻碍”效果相同。在电路中可以进行分压、分流、限流、负载、偏置等,它的基本单位是欧姆(Ω)。常用电阻器的阻



值在 $1\ \Omega \sim 10\ \text{M}\Omega$ 之间。在实用中,电阻器简称为电阻,是最基本、最常用的电路器件。

1.2.1 电阻器的型号命名法

常用的电阻器有固定电阻、可变电阻、敏感电阻。国产电阻器的型号由五部分组成(部颁标准):

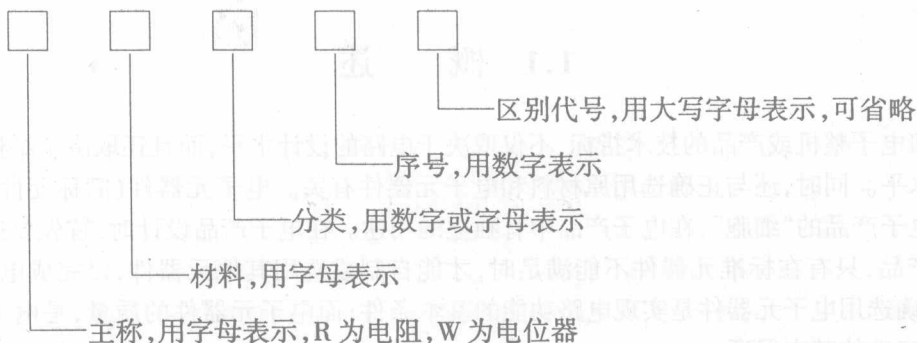
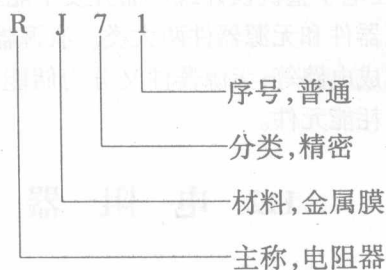


表 1-1 给出部分电阻器的材料、分类代号的意义。

表 1-1 部分电阻器材料、分类代号的意义

材 料		分 类 代 号			
字母代号	意义	数字代号	意义	字母代号	意义
T	碳膜	1 或 2	普通	G	高功率
H	合成膜	3	超高频	T	可调
S	有机实芯	4	高阻	D	多圈
J	金属膜	5	高温	R	耐热
X	绕线	7	精密	注:T、W、D 指电位器	
Y	氧化膜	8	高压		

示例一 金属膜精密电阻





示例二 微调有机实芯电位器



上述表示中有时可将第四、第五部分省略。

1.2.2 电阻器的标称系列值和偏差

电阻器的阻值用 Ω 、 $k\Omega$ 、 $M\Omega$ 来标注,其阻值标注在电阻体上,称为标称值。事实上标称值是电阻标注的“名义”阻值,实际阻值在允许的偏差之内。电阻的偏差亦称精度,普通电阻的精度等级分别为 $\pm 5\%$ (I)、 $\pm 10\%$ (II)、 $\pm 20\%$ (III) 三级;精密电阻的精度等级为 $\pm 0.5\%$ 、 $\pm 1\%$ 。一个标称值为 $20\ k\Omega$ 的电阻,其实际值不一定是 $20\ k\Omega$,如果是 I 级品,其值应在 $(19 \sim 21)\ k\Omega$ 的范围内。

为了批量生产电阻,国家规定必须按标准化阻值生产,并把这一系列标准阻值称为电阻器的标称系列值。目前生产厂家按 E6、E12、E24 系列生产,其中 E24 系列为 I 级精度,E12 系列为 II 级精度,E6 系列为 III 级精度。各系列电阻的精度等级和标称系列值见表 1-2。

表 1-2 各系列电阻的精度及标称值

系列代号	精度等级	标 称 值
E24	I ($\pm 5\%$)	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
E12	II ($\pm 10\%$)	1.0, 1.2, 1.5, 1.8, 2.2, 2.7, 3.3, 3.9, 4.7, 5.6, 6.8, 8.2
E6	III ($\pm 20\%$)	1.0, 1.5, 2.2, 3.3, 4.7, 6.8

表中数值乘以 10^n , $n = 1, 2, 3, \dots$, 阻值范围 $1\ \Omega \sim 10\ M\Omega$

电阻器的标准值,即将系列表中的数字乘以 10^n 。如 7.5 标称值可有 $7.5\ \Omega$ 、 $75\ \Omega$ 、 $750\ \Omega$ 、 $7.5\ k\Omega$ 、 $75\ k\Omega$ 、 $750\ k\Omega$ 等值。

从标称系列可以看出,不同误差等级的电阻有不同数目的标称值。并且大部分标称值不是整数,这是因为保证在同一系列中相邻两个数字中较小数值的正偏差与较大数值的负偏差,彼此衔接,从而使生产的所有产品都包括在规定的标称系列中。在电路设计中,如所设计的电阻不是标称值,必须选用与设计值相近的标称电阻。



1.2.3 电阻器的额定功率

因为电阻是耗能元件,所以我们应关心其消耗的功率。电阻器的额定功率是指在一定环境温度下电阻器长期连续负荷而不改变性能所允许的功率值,基本单位为瓦特(W)。超过额定功率,电阻器就会被烧坏。电阻器的额定功率也有标称值,常用的有 $1/8\text{ W}$ 、 $1/4\text{ W}$ 、 $1/2\text{ W}$ 、 1 W 、 2 W 等。在电路中,一般小功率电阻不标注功率。选用电阻器时,要留有一定的功率余地,选标称功率比实际消耗功率大一些的电阻。

电路中不同功率的电阻用符号表示如图 1-1 所示。

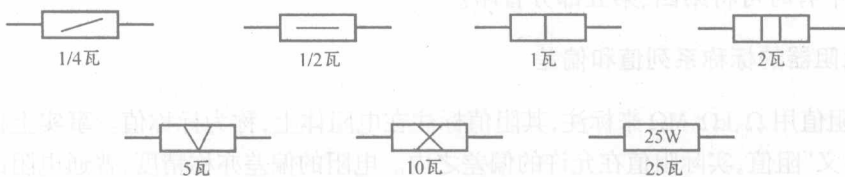


图 1-1 电阻额定功率的表示

在实际应用中,还要注意电阻的噪声特性和高频特性。电阻器的噪声来源有三种:一是热噪声,是电子运动产生的热电势而形成;二是电流噪声;三是接触电势噪声。当电阻器在高频中使用,应考虑引线电感和分布电容的影响。

1.2.4 电阻器的表示法

电阻器的主要参数都印在电阻体上,有两种表示法:

(1) 直标法

直接用数字标注在电阻体上表示电阻的参数称直标法,图 1-2 给出直标法的几个示例。

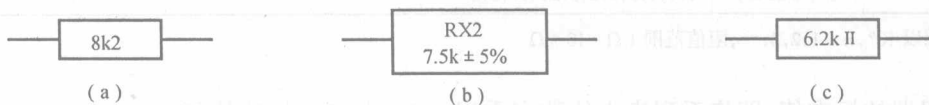


图 1-2 直标法

(a)表示阻值 $8.2\text{ k}\Omega$ 的电阻,这种方法规定阻值的整数部分写在阻值单位符号的前面,小数部分写在阻值单位的后面。例如 $0.51\text{ }\Omega$ 写成 $0\Omega 51$ 。

(b)表示电阻体积比较大,可写上电阻的型号及参数,这个电阻为阻值 $7.5\text{ k}\Omega$,I级精度的绕线电阻。



(c)表示阻值 $6.2 \text{ k}\Omega$, II 级精度的电阻。

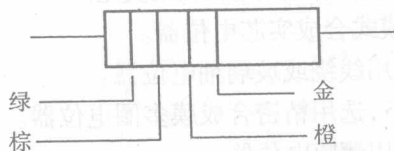
(2) 色环法

以电阻体上不同颜色的环表示阻值和误差。上世纪 60 年代前,曾有过色环电阻,但由于识别不便而不再使用。80 年代后,随着自动化装配的出现,色环电阻广为应用。目前普通电阻采用四环法标注。其中第一、二环表示有效数字,第三环表示倍乘,第四环表示误差。精密电阻用五环法,其中前三环表示有效数字,第四环表示倍乘,第五环表示误差。为避免混淆,第五环的色带宽度比其他环略宽。色环所表示的意义见表 1-3。

表 1-3 色环所代表的意义

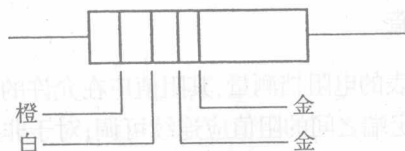
色别	黑	棕	红	橙	黄	绿	兰	紫	灰	白	金	银	无色
对应数值	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
误差		$\pm 1\%$	$\pm 2\%$			$\pm 0.5\%$	$\pm 0.25\%$	$\pm 0.1\%$		$+50\% \sim -20\%$	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$
倍乘	10^0	10^1	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6	10^7	10^8	10^9	10^{-1}	10^{-2}	

示例 1:



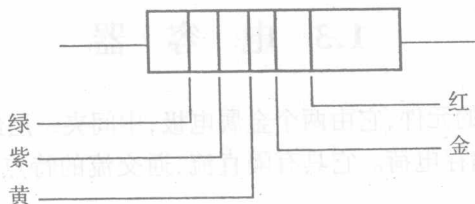
第一、二位表示有效数字 51, 第三位表示 10^3 , 第四环表示误差 $\pm 5\%$, 因此该电阻为 $51\ 000 \Omega = 51 \text{ k}\Omega$, 误差 $\pm 5\%$ 。

示例 2:



可直读该电阻为 $39 \times 10^{-1} = 3.9 \Omega$, 误差 $\pm 5\%$ 。

示例 3:





第一、二、三环为有效数字 574, 第四环倍乘 10^{-1} , 第五环误差 $\pm 2\%$, 因此该电阻为 57.4Ω , 误差 $\pm 2\%$ 。

1.2.5 非线性电阻

非线性电阻其阻值不是常数, 随外界条件变化, 因此又称敏感电阻, 用于探测某物理量的变化或进行补偿。常见的非线性电阻有热敏电阻、压敏电阻、气敏电阻、磁敏电阻等。因非线性电阻能把其他物理量转化为电阻的变化, 故非线性电阻也属于传感器的范畴, 有关这方面的常识请参阅传感器的相关内容。

1.2.6 电位器

电位器是一种连续可调的电阻器, 它对外有三个引出端, 其中两个为固定端, 一个为滑动端(也称中心抽头), 滑动端与固定端之间的阻值可以随意改变。电位器的种类很多, 如单联式、双联式; 旋转式、直键式; 指数式、对数式; 单圈式、多圈式等, 有的电位器还附带电源开关。目前, 市面上比较流行的各种各样电位器的外形见图 1-3。在产品设计中必须根据产品特点及电路要求, 选用合适的电位器, 以下所述是针对不同用途, 推荐选用电位器的类型。

- 普通电子整机, 选用碳膜式合成实芯电位器。
- 大功率、高温情况下, 选用线绕或玻璃釉电位器。
- 高精度、高分辨力情况下, 选用精密合成膜多圈电位器。
- 高频、高稳定情况下, 选用薄膜电位器。
- 机内调节或振动情况下, 选用锁紧式电位器。
- 精密、微量调节情况下, 选用带慢轴调节机构的电位器。
- 要求电位均匀变化, 选用直线式电位器; 音量控制宜选用指数式电位器。

1.2.7 电阻器的质量检查

对于一般电阻器可用万用表的电阻挡测量, 其阻值应在允许的误差范围内; 对于电位器可用万用表的电阻挡测其滑动端与固定端之间的阻值应连续可调; 对于非线性电阻应先测定其初始值, 然后再测其变化量。例如某热敏电阻, 先在常温下测得其阻值, 然后用手捏住电阻, 这时阻值应发生变化; 对于精密电阻或要求较高的场合, 应借助于数字式仪表或用电桥测量。

1.3 电 容 器

电容器是储存电场能的元件, 它由两个金属电极, 中间夹一层绝缘介质构成。在两个电极之间加电压时, 电极上就储存电荷。它具有隔直流、通交流的特点, 它对交流信号的阻力表现