



国家级实验教学示范中心

“电气工程基础实验中心”系列实验教材
西南交通大学323实验室工程系列教材

电子综合性实习教程

DIANZI ZONGHEXING
SHIXI JIAOCHENG

主编 王英 副主编 何圣仲 谢美俊

主审 西南交通大学实验室及设备管理处



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

国家级实验教学示范中心

“电气工程基础实验中心”系列实验教材

西南交通大学“323 实验室工程”系列教材

电子综合性实习教程

主 编 王 英

副主编 何圣仲 谢美俊

参 编 曾欣荣 曹保江 陈燕灵 张艳丽

宋小青 洪 川 甘 萍 何朝晖

主 审 西南交通大学实验室及设备管理处

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内 容 简 介

全书共分 8 章: 安全用电知识、电子元器件、读电子电路图的一般方法、电子电路仿真软件简介、印刷电路板的设计与制造、焊接技术、电子工艺实习项目、常用电子仪器设备的使用。

本教材适用面广, 可作为高等工科院校各专业本科生电子综合性实习教材, 也可作为职业大学、成人教育大学、电视大学和网络教育等院校相关专业的电子工艺实习教材或辅助教材, 还可作为相关专业工程技术人员的学习和参考资料。

图书在版编目 (C I P) 数据

电子综合性实习教程 / 王英主编. —成都: 西南交通大学出版社, 2008.11((2009.6 重印)

(“电气工程基础实验中心”系列实验教材. 西南交通大学“323 实验室工程”系列教材)

ISBN 978-7-81104-680-9

I. 电… II. 王… III. 电子技术—高等学校—教材
IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 113752 号

国家级实验教学示范中心

“电气工程基础实验中心”系列实验教材

西南交通大学“323 实验室工程”系列教材

电子综合性实习教程

主编 王 英

*

责任编辑 万 方

特邀编辑 李芳芳

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

四川森林印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm×260 mm 印张: 12.375
字数: 308 千字 印数: 501—3 000 册

2008 年 11 月第 1 版 2009 年 6 月第 2 次印刷

ISBN 978-7-81104-680-9

定价: 18.50 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

电子技术是高等工科院校的一门重要的技术基础课，具有很强的实践性。本实验中心于2000年建设为四川省实验教学示范中心，2003年首批成为西南交通大学“323实验室工程”建设单位，于2007年被评为国家级实验教学示范中心。培养创新人才是本实验中心教学改革的方针，不断建设和更新教学理念，不断改革实验教学方法和实验装置，目的是以学生为本，加大对学生的能力培养。学生通过电子技术实验，通过电子综合性实习，通过理论与实践的不断磨合与探索，可使理论在实践中得到完善，实践能力在理论分析中得到提高。本实验中心力求在理论转化为生产力之间架起一座桥梁，培养一批勇于实践、勇于创新、勇于挑战自我的新一代科学研究者。

编者根据多年的电子实习教学经验，在编写中注重学生的能力和综合素质的培养。对基本电子元件特性参数、读电子电路图的方法、焊接技术、印刷电路板的设计与制造、电子电路的调试方法与测量、电子电路仿真软件、部分综合性电子技术实习项目等作了深入浅出的阐述。学生可根据理论课所学习的内容，在电子实习与工程设计、实施等过程中，进行系统性的学习、实践、提高，迅速了解电子工程实践中常用的调试方法、测量技术、基本技能和故障处理，为后续课程设计奠定基础。

本书由西南交通大学王英主编，主要负责确定教材的体系和编写的内容、统编和修订整部教材；何圣仲、谢美俊为副主编；何圣仲负责第1章、第2章、第3章、第4章、第6章、第7章部分内容的编写工作，谢美俊负责第5章、第7章部分内容、第8章的编写工作；曾欣荣参编第2章、第3章，陈燕灵参编第4章，甘萍、何朝晖、洪川参编第5章、第6章，宋小青、曹保江参编第7章、第8章。

本书可作为高等工科院校大学本科各专业的实习课程教材，也可作为职业大学、成人教育大学、电视大学和网络教育等院校相关专业的电子实习教材，还可作为工程技术人员的学习和参考资料。

由于作者水平有限，书中难免存在不足之处，请读者批评指正，提出宝贵意见。

编 者

2008年10月

目 录

第一章 安全用电知识	1
第一节 触电方式及对人体的危害	1
第二节 安全用电常识	3
第三节 电子焊接与调试中的安全知识	5
习 题	5
第二章 电子元器件	6
第一节 电阻器与电位器	6
第二节 电容器	16
第三节 电 感 器	24
第四节 开关及接插件	28
第五节 半导体器件	35
第六节 集成电路	44
习 题	53
第三章 读电子电路图的一般方法	54
第一节 模拟电路图	54
第二节 数字电路图	60
第三节 综合性电子电路图	66
习 题	69
第四章 电子电路仿真软件简介	70
第一节 EDA 软件概述	70
第二节 PSPICE 仿真软件	70
第三节 EWB 仿真软件	72
习 题	73
第五章 印刷电路板的设计与制造	74
第一节 概 述	74
第二节 印刷电路板的设计	77
第三节 印刷电路板的制造工艺	86
习 题	90
第六章 焊接技术	91
第一节 焊接的基本知识	91

第二节	焊接工具及其正确使用	93
第三节	常用的焊接材料	96
第四节	手工锡焊技术	98
第五节	焊接缺陷及质量检查	105
习 题		110
第七章	电子工艺实习项目	111
第一节	电路调试中的故障检测方法	111
第二节	电子工艺实习项目	112
第三节	综合性电子技术实习项目	148
习 题		153
第八章	常用电子仪器设备的使用	154
第一节	MF47 型万用表	154
第二节	DT9806 型数字万用表	159
第三节	DF2173B 型晶体管毫伏表	164
第四节	DF1647 型函数信号发生器/数字频率计	166
第五节	DF4320 型双踪示波器	172
习 题		178
附录 1		179
附录 2		182
附录 3		185
附录 4		190
参考文献		191

第一章 安全用电知识

安全用电知识是关于如何预防用电事故以及保障人身安全、设备安全的专业知识。在电子工艺实习过程中，要使用各种工具和电子仪器进行安装调试，同时还需接触对人体有危险的高电压，如果不具备必要的安全用电知识，在安装调试过程中缺乏足够的警惕，就可能导致人身、电子设备事故。因此，必须了解操作过程中存在哪些不安全的因素以及必要的防范措施。本章将对安全用电知识进行全面的介绍。

第一节 触电方式及对人体的危害

人体接触带电体时，如有电流通过人体，称为人体触电。人体触电一般分为直接接触和间接触电两种主要方式。此外还有静电感应、高压电场、高频电磁、雷击等对人体造成触电。

一、触电方式

1. 直接接触

直接接触指人体直接接触及或过分靠近电器设备正常带电部分导致的触电，是正常情况下的触电。如单相触电、两相触电和跨步电压触电等。直接接触示意图如图 1.1 所示。

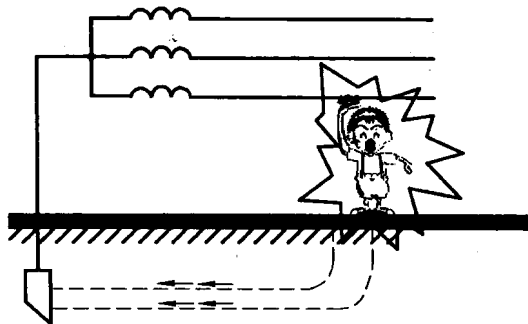


图 1.1 直接接触

1) 单相触电

当人体直接碰触带电设备其中的一相时，电流通过人体流入大地，这种触电现象称为单相触电。对于高压带电体，人体虽未直接接触该带电体，但由于超过了安全距离，高电压对

人体放电,造成单相接地而引起的触电,也属于单相触电。在 380 V/220 V 低压供电系统中,人体在无绝缘的情况下,直接接触及三相火线中任何一相时,在中心点接地系统中,人体将承受 220 V 电压,引起单相触电。

2) 两相触电

人体同时接触带电设备或线路中的两相导体,或在高压系统中,人体同时接近不同相的两相带电导体,而发生电弧放电,电流从一相导体通过人体流入另一相导体,构成一个闭合回路,这种触电方式称为两相触电。在 380 V/220 V 低压供电系统中,人体直接接触到两根裸露的火线时,人体将承受 380V 电压,引起两相触电。发生两相触电时,作用于人体上的电压等于线电压,这种触电是最危险的。

3) 跨步电压触电

当带电设备发生某相接地时,接地电流流入大地。在距接地点不同的地表面产生不同的电位,距离接地点越近,电位越高。当人的两脚同时踩在带有不同电位的地面两点时,就会产生跨步电压。跨步电压超过人体允许的安全电压时就会造成触电。由于地面电位分布很复杂,而且跨步电压受很多因素的影响,所以不同人在同一故障接地点附近遭到跨步电压触电时,可能会出现截然不同的后果。

2. 间接触电

间接触电指人体触及正常情况下不带电而故障情况下变为带电的设备外露导体(如触及漏电设备的外壳)引起的触电,是故障状态下的触电。在大多数情况下,间接触电容易被忽视,因此需要特别注意。间接触电示意图如图 1.2 所示。

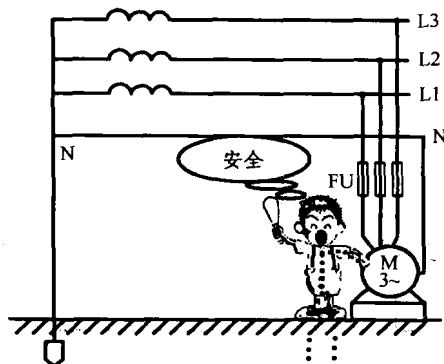


图 1.2 间接触电

3. 其他原因引起的触电

除了直接接触电和间接触电外还有一些其他的触电方式,如雷击触电、大电容放电触电,等等。

二、触电对人体的危害

触电对人体的危害主要分为电击和电伤两类。

1. 电 击

电击主要是指电流通过人体内部,影响人体呼吸系统、心脏和神经系统,造成人体内部组织破坏,甚至导致死亡的触电事故。由于人体触及带电体、雷击以及大电容放电等都可能导致电击,所以大部分触电事故都是由电击造成的,通常说的触电事故都是指电击。

2. 电 伤

电伤主要是指电流的热效应、化学效应、机械效应等对人体表面或外部造成的局部伤害。电伤包含电烧伤、电光眼等。大多数触电死亡事故是电击造成的,但其中大约 70%的含有电伤成分。

第二节 安全用电常识

一、电气设备的保护措施

接地和接零是常见的两种安全保护措施。

1. 接地保护

在电源的中性点不接地的三相三线制供电系统中,将用电设备的金属外壳通过接地装置与大地作良好的导电连接,这种保护措施称为接地保护。在设备外壳不接地时,如果设备发生故障使设备中的火线碰及机壳,人体接触机壳就会与地构成回路,形成间接触电。由于绝缘破坏或其他原因而可能呈现危险电压的金属部分,都应采取接地保护措施。如电机、变压器、开关设备、照明器具及其他电气设备的金属外壳都应予以接地。一般低压系统中,保护接地的电阻值应小于 $4\ \Omega$ 。

2. 接零保护

在电源的中性点接地的三相四线制供电系统中,将用电设备的金属外壳与供电网络中的零线可靠连接,这种保护措施称为接零保护。当设备带电部分与金属外壳发生漏电时,通过设备的外壳形成对零线的短路,短路电流会使线路上的保护装置迅速动作,从而起到保护的作用。需要注意的是零线回路中不允许装设熔断器和开关。

为了保证电力系统安全正常运行,除了在电源中性点进行工作接地外,还要在零线的一定间隔距离及终端进行多次接地,称为重复接地。

3. 其他用电保护

漏电开关是漏电电流保护装置的简称,主要用于低压供电系统,防止直接和间接接触的单人触电事故,同时还能起到防止由漏电引起的火灾以及监测或切除各种单相接地故障的作用。有的漏电开关还兼有超载、过压或欠压、缺相等保护功能。另外,加强设备绝缘性能也是有效的保护方法。

二、安全知识

1. 人身安全

如果通过人体的电流在 0.05 A 以上时,就有生命危险。一般来说,接触 36 V 以下的电压,通过人体的电流不会超过 0.05 A,所以把 36 V 的电压作为安全电压。安全电压的大小与用电环境有关,如在潮湿的场所,安全电压规定得低一些,通常是 24 V 或 12 V。

2. 设备安全

在电子工艺实习过程中,需要使用大量的仪器仪表,有些仪器仪表比较昂贵,因此在注意人身安全的同时,还需要注意设备安全。

1) 设备用前检查

在使用设备时,必须注意设备的使用电源,不同的设备其使用的电源也有所不同。我国的工频电源是 AC220 V/50 Hz,但在其他国家和地区还有不同的电源标准,电压有 AC110 V, AC240 V 等,频率有 50 Hz, 60 Hz 两种。

有的设备使用交流电源,有的使用直流电源;有的使用单相交流电压,有的使用三相交流电压等。所以在使用设备前一定要做好以下检查:

① 检查设备铭牌数据。按照国家标准,任何设备均应在醒目的地方标注设备电源电压、频率等重要参数,有些小型设备会在说明书中给出。

② 检查环境电压。检查电压、容量等是否符合设备要求。

③ 检查设备本身。用万用表检查电源线是否正常,外壳是否漏电等。

2) 设备异常处理

(1) 设备在使用过程中可能会出现以下异常情况:

① 开机或使用中保险丝烧断。

② 声音异常。

③ 设备外壳漏电或手持部位有触电感觉。

④ 出现异味,如绝缘层被烧焦等。

⑤ 设备内出现电火花。

⑥ 仪表指示异常。

(2) 对设备异常情况处理如下:

① 断开电源,对设备进行检修。

② 对保险丝烧断情况一定要查明原因,将故障排除后再换上相同容量的保险丝。

③ 对漏电情况,一定要彻底检修,避免引起更大的安全隐患。

④ 对故障进行记录,以备维修和对使用提供警示。

3. 触电急救

发生触电事故后,千万不要惊慌失措,一般情况下可以按照下面的步骤进行触电急救处理。

(1) 脱离电源。救护者应立即拉下电源开关或拔掉电源插头,若无法及时找到或断开电源时,可用干燥的竹竿、木棒等绝缘物挑开电线,要使触电者迅速脱离电源。必须注意:触

电者在未脱离电源时，触电者的身体就是带电体，不能直接接触，否则救护者也会发生触电事故。

(2) 通风干燥。将脱离电源的触电者迅速移至通风干燥处仰卧。

(3) 送医院抢救。立即检查伤员全身情况，施行人工急救，及时拨打急救电话，尽快送医院抢救。

第三节 电子焊接与调试中的安全知识

1. 电子焊接过程中的安全问题

- ① 避免触电。电烙铁在没有确定已断开电源时，不要用手触摸。
- ② 焊锡伤人。不要乱甩烙铁头上的焊锡，避免焊锡伤人。
- ③ 小心火灾。电烙铁要远离易燃物品。
- ④ 正确拆焊。拆焊弹性元件时不要离焊点太近，避免焊锡被弹出。
- ⑤ 插头断电。插拔电烙铁时，要用手直接拿住插头，不能拉扯电源线。
- ⑥ 规范操作。焊接过程中，不用电烙铁时，一定要将其妥善放在烙铁架上。

2. 电子调试过程中的注意事项

- ① 电源。调试前，一定要注意电源是否带电。
- ② 安全断电。不要认为断开电源开关就没有触电危险，只有拔下插头，并且将高电压大容量的电容器进行放电处理后，才是安全的。
- ③ 正确连接电源线。不要随意改动电源线。
- ④ 带电检测。需要带电检查与调试时，要先用试电笔检查外壳和金属件以及裸露线是否带电，用万用表测电压时，注意一定要测对地电压。
- ⑤ 小心触电。洗手后或手出汗时，不要带电作业。
- ⑥ 带电操作。带电操作时，尽量使用单手操作。

习 题

- 1.1 什么是触电？触电的方式有哪些？
- 1.2 安全电压是多少？是不是在任何情况下，安全电压均不会造成人体伤害？
- 1.3 安全用电应采取哪些安全措施？
- 1.4 断开电源的情况下，是否一定不会触电？
- 1.5 使用电子设备时，应怎样保证设备安全？
- 1.6 发生触电事故时，应采取怎样的急救措施？

第二章 电子元器件

电子元器件是在电路中具有独立电气功能的基本单元，是组成电子电路、电子产品的基础。正确选择、使用各类电子元器件是保证电子产品质量及可靠性的关键。因此，熟悉和掌握各类电子元器件的性能、特点及其用途，对设计和安装调试电子产品有着非常重要的作用。本章主要针对一些常用的元器件，对其性能、用途及判别方法进行介绍。在设计电子产品时，若需要详细地了解某种电子元器件的性能指标，必须查阅相应的资料手册。

第一节 电阻器与电位器

电阻器（简称电阻）和电位器的作用主要是分压（改变电压大小）或分流（控制电流的大小），在电路图中通常用英文缩写 R 来表示。

一、电阻器的分类、型号命名及图形符号

电阻器的种类有很多，通常分为两大类：固定电阻器和可变电阻器（即电位器）。根据国家标准 GB 2470 — 81 规定，电阻器和电位器的型号命名如图 2.1 所示。

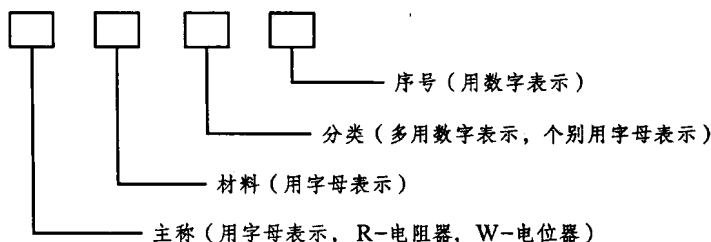


图 2.1 电阻器型号命名法

电阻器和电位器的主称、材料和分类代号及其意义如表 2.1 所示。

表 2.1 电阻器和电位器的主称、材料、分类代号及其意义

第一部分（主称）		第二部分（材料）		第三部分（分类代号）		
符号	意 义	符号	意 义	符号	意 义	
					电 阻 器	电 位 器
R	电阻器	T	碳 膜	1	普 通	普 通
W	电位器	J	金属膜	2	普 通	普 通
		Y	氧化膜	3	超高频	
		H	合成膜	4	高 阻	
		C	沉积膜	5	高 温	
		S	有机实心	6		
		N	无机实心	7	精 密	精 密
		X	线 绕	8	高 压	特殊函数
		I	玻璃釉膜	9	特 殊	特 殊
				G	高功率	
				T	可 调	
				W		微 调
				D		多 圈
				X		小 型

几种常见的电阻器的图形符号如图 2.2 所示。

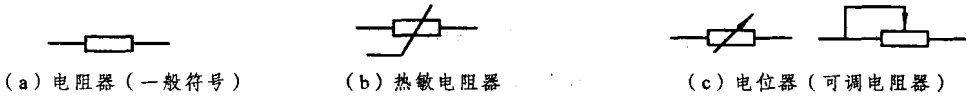


图 2.2 常见电阻器的图形符号

二、电阻器

电阻器简称电阻。其定义为：导体加上 1 V 电压时，产生 1 A 电流所对应的阻值。电阻上的电压与电流关系满足欧姆定律，即

$$U = R I$$

式中，电阻的基本单位是欧姆，用希腊字母“Ω”表示。电阻阻值的常用单位还有千欧（kΩ）、兆欧（MΩ）。

电阻在电路中用“R”加数字表示，如：R15 表示编号为 15 的电阻。电阻在电路中的主要作用为分流、限流、分压、偏置、滤波（与电容器等组合使用）和阻抗匹配等。

1. 电阻的主要技术指标及标志方法

电阻的主要技术指标有标称阻值、允许偏差（精度等级）、额定功率、温度系数、稳定性等，使用中通常只考虑标称阻值、允许偏差和额定功率等参数。

1) 标称阻值及允许偏差

为了便于批量生产，并且让使用者能够在一定范围内选用合适的电子元器件，规定一系列的数值作为产品的标准值，称为标称值。电阻器上所标注的阻值称为标称阻值。实际生产出来的电阻器阻值与标称阻值不可能完全一致，电阻标称值与实际值之间允许的最大偏差称为电阻器的允许偏差。

(1) 标称阻值。阻值是电阻器的主要参数之一。不同类型的电阻器，阻值范围不同；不同精度等级的电阻器，其阻值系列也不尽相同。普通电阻标称值系列见表 2.2。表 2.2 中的标称值可以乘以 10, 100, 1 000, 10 k, 100 k；例如，1.0 这个标称值，就有 $1.0\ \Omega$, $10.0\ \Omega$, $100.0\ \Omega$, $1.0\ \text{k}\Omega$, $10.0\ \text{k}\Omega$, $100.0\ \text{k}\Omega$, $1.0\ \text{M}\Omega$, $10.0\ \text{M}\Omega$ 。如果没有与设计阻值完全一致的电阻，只能根据精度要求选择相应系列接近的规格。例如，没有允许偏差 $\pm 5\%$ 的 $4\ \text{k}\Omega$ 的电阻，就只能选择 $3.9\ \text{k}\Omega$ 的电阻。在设计参数时，为了满足更高的精度必须考虑实际器件的标称值。

表 2.2 普通固定电阻器标称阻值系列

标称值系列	允许偏差	标 称 阻 值 系 列
E24	I 级 $\pm 5\%$	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, 5.1, 5.6, 6.2, 6.8, 7.5, 8.2, 9.1
E12	II 级 $\pm 10\%$	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 级 $\pm 20\%$	1.0, 1.5, 2.2, 3.3, 4.7, 6.8

(2) 允许偏差（精度等级）。不同的允许偏差也称为数值的精度等级（简称精度）。对于不同的系列，允许偏差值也不同。表 2.3 是常用电阻允许偏差的等级。不同的电路对电阻的误差有不同的要求。一般电子电路，采用 I 级或者 II 级即可。

表 2.3 常用电阻允许偏差的等级

允许偏差	$\pm 0.5\%$	$\pm 1\%$	$\pm 2\%$	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$
级 别	005	01	02	I	II	III

(3) 标志方法。由于电阻表面积有限，以及用户对参数的关心程度不同，对于 $1/8 \sim 1/2\ \text{W}$ 的小功率电阻，通常只将电阻标称值和允许偏差标注于电阻体上。电阻的参数标志方法有 3 种，即直标法、色标法、文字符号和数标法。

① 直标法。将电阻器的主要参数直接印制在电阻体表面上，如图 2.3 所示。如果未标出阻值单位，则阻值单位为 Ω 。如果未标出允许偏差，则允许偏差为 $\pm 20\%$ 。

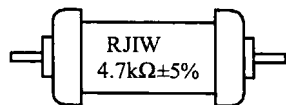


图 2.3 电阻值的直标法

② 文字符号法。用阿拉伯数字和文字符号的有规律的组合来表示电阻阻值和允许偏差的方法称为文字符号法，基本标注单位为 Ω 。随着电子工艺的发展，大批量生产的时候，电阻

器阻值的偏差很容易控制在 $\pm 5\%$ 以内，故允许偏差不再表示出来。

对于十个基本标注单位以下的电阻，用文字符号法来表示：第一位数字表示阻值的整数部分；第三位数字表示阻值的小数部分；第二位用字母表示阻值的单位，即“R 或 (Ω)”表示欧姆，“k”表示千欧，“M”表示兆欧。例如：4k7 表示其阻值为 $4.7\text{ k}\Omega$ ，5R1 表示其阻值为 $5.1\text{ }\Omega$ ， $\Omega 33$ 表示其阻值为 $0.33\text{ }\Omega$ 。

③ 数标法。数标法是指用三位数字表示电阻器标称值的方法。

对于十个基本标注单位以上的电阻，用三位数的数标法表示，从左到右，前两位数字表示阻值的有效数字，第三位数字表示数值的倍率。

例如：472 表示 $47 \times 10^2\text{ }\Omega$ （即 $4.7\text{ k}\Omega$ ）；104 表示 $10 \times 10^4 = 100\text{ k}\Omega$ 。

采用直标法和文字符号法标注比较直观，适用于体积较大的电阻。

④ 色环标注法。用颜色表示电阻的阻值和允许偏差的方法称为色环标注法。不同的颜色代表不同的数值。表 2.4 列出了各种颜色代表的数值。

表 2.4 色环颜色代表的数值及意义

颜 色	有效数字	倍 率	允许偏差 (%)
银 色	/	10^{-2}	± 10
金 色	/	10^{-1}	± 5
黑 色	0	10^0	/
棕 色	1	10^1	± 1
红 色	2	10^2	± 2
橙 色	3	10^3	/
黄 色	4	10^4	/
绿 色	5	10^5	± 0.5
蓝 色	6	10^6	± 0.2
紫 色	7	10^7	± 0.1
灰 色	8	10^8	/
白 色	9	10^9	$+5 \sim -20$
无 色	/	/	± 20

直接标注的电阻，在新买来的时候，很容易识别规格。可是在装配电子产品的时候，必须考虑到为以后检修方便，应将标注面朝向易于看到的地方。所以在安装的时候要特别注意。电阻器元件越做越小，直接标注的标记难以看清。因此，国际上惯用“色环标注法”。事实上，“色环电阻”占据着电阻器元件的主流地位。“色环电阻”顾名思义，就是在电阻器上用不同颜色的环来表示电阻的规格。常用的色环电阻有 4 个色环表示的四色环电阻和 5 个色环表示的五色环电阻（精密电阻）。四色环电阻，一般是碳膜电阻，用前三个色环来表示阻值，用第四个色环表示允许偏差。五色环电阻一般是金属膜电阻，为更好地表示精度，用前四个色环表示阻值，第五个色环表示允许偏差。

“四色环”读数规则：第一、二环表示两位有效数字，第三环表示数字后面添加“0”的个数，第四环表示允许偏差。

“五色环”读数规则：第一、二、三环表示三位有效数字，第四环表示数字后面“0”的个数，第五环表示允许偏差。现在市场上以五色环为主。色环电阻表示法如图 2.4 所示。



图 2.4 色环电阻表示法

一般在四色环和五色环电阻器上，表示允许偏差的色环的特点是该环与其他环的距离较远。较标准的表示应是表示允许偏差的色环的宽度是其他色环的 1.5~2 倍。有些色环电阻由于厂家生产不规范，无法用上面的特征判断，这时只能借助万用表判断。

2) 额定功率

当电流通过电阻的时候，电阻由于消耗功率而发热。如果电阻发热的功率大于它能承受的功率，电阻就会被烧坏。电阻长时间工作时允许消耗的最大功率叫做额定功率。电阻消耗的功率为

$$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R}$$

电阻的额定功率也有标称值，常用的有 1/8 W, 1/4 W, 1/2 W, 1 W, 2 W, 3 W, 5 W, 10 W, 20 W 等。在电路图中，常用图 2.5 所示的符号来表示电阻的标称功率。选用电阻时，要留一定的余量，应选标称功率比实际消耗的功率大一些的电阻。如实际负荷 1/4 W 可以选用 1/2 W 的电阻；实际负荷 3 W，可以选用 5 W 的电阻。常见的是 1/8 W 的“色环碳膜电阻”，它是电子产品和电子制作中用得最多的。当然，在一些微型产品中，会用到 1/16 W 的电阻，它的体积小得多。再者就是微型片状电阻，它属于贴片元件，以前多见于进口微型产品中，现在国内电子市场也可以买到。由于贴片元件在实习中很少使用，故此处不作介绍，有兴趣者可查阅相关资料。

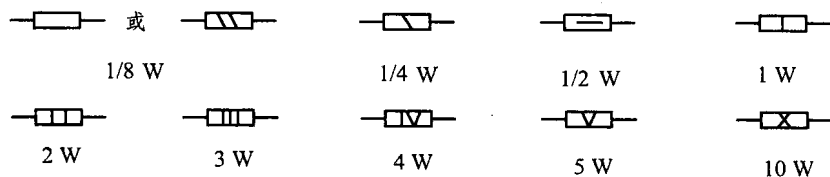


图 2.5 电阻的功率标志

2. 常用电阻器

电阻的种类有很多，通常分为两大类：固定电阻和特殊电阻。

1) 固定电阻

在电子产品中，以固定电阻应用得最多。而固定电阻按其制造材料不同又可分为很多类，但常用、常见的有碳质电阻、RT 型碳膜电阻、RJ 型金属膜电阻和 RX 型线绕电阻等，还有近年来开始广泛应用的片状电阻。表 2.5 给出了几种常用电阻的结构及特点。

表 2.5 常用电阻的结构及特点

电阻种类	结 构 和 特 点
碳质电阻	把碳黑、树脂、黏土等混合物压制后经过热处理制成。在电阻上用色环表示其阻值。这种电阻成本低，阻值范围宽，但性能较差，很少采用
碳膜电阻	气态碳氢化合物在高温和真空中分解，碳沉积在瓷棒或者瓷管上，形成一层结晶碳膜。改变碳膜厚度和用刻槽的方法变更碳膜的长度，可以得到不同的阻值。碳膜电阻成本较低，性能一般
金属膜电阻	在真空中加热合金，合金蒸发，使瓷棒表面形成一层导电金属膜。刻槽和改变金属膜厚度可以控制阻值。这种电阻和碳膜电阻相比，体积小、噪声低、稳定性好，但成本较高
线绕电阻	用康铜或者镍铬合金电阻丝，在陶瓷骨架上绕制而成。这种电阻分固定和可变两种。其特点是工作稳定，耐热性能好，误差范围小，适用于大功率的场合，额定功率一般在 1 W 以上

固定电阻的型号命名很有规律，其中，R—电阻，T—碳膜，J—金属，X—线绕，为拼音的第一个字母。固定电阻的类型标志如图 2.6 所示。



图 2.6 固定电阻的类型标志

金属膜电阻虽然精度高，温度特性好，但制造成本高，而碳膜电阻特别价廉，且能满足民用产品要求。不同类型的电阻，其技术特性也有所不同。表 2.6 给出了几种常用电阻的技术特性。

表 2.6 常用电阻的技术特性

电阻类别	额定功率(W)	标称阻值范围	温度系数 (1/°C)	噪声电势 (μV/V)	运用频率
RT 型 碳膜电阻	0.05 0.125 0.25 0.5 1.2	10 Ω~100 kΩ 5.1 Ω~510 kΩ 5.1 Ω~910 kΩ 5.1 Ω~2 MΩ 5.1 Ω~5.1 MΩ	$-(6\sim20)\times10^{-4}$	1~5	10 MHz 以下
RU 型 硅碳膜电阻	0.125, 0.25 0.5 1.2	5.1 Ω~510 kΩ 10 Ω~1 MΩ 10 Ω~10 MΩ	$\pm(7\sim12)\times10^{-4}$	1~5	10 MHz 以下
RJ 型 金属膜电阻	0.125 0.25 0.5 1.2	30 Ω~510 kΩ 30 Ω~1 MΩ 30 Ω~5.1 MΩ 30 Ω~10 MΩ	$\pm(6\sim10)\times10^{-4}$	1~4	10 MHz 以下
RXYC 型 线绕电阻	2.5~100	5.1 Ω~56 MΩ	—	—	低 频