

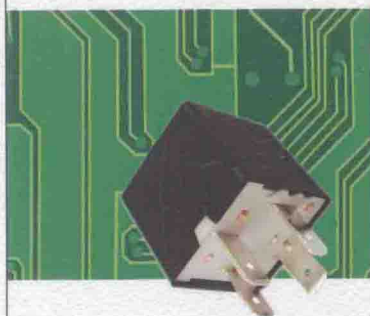


中国地质大学(武汉)实验教学系列教材
中国地质大学(武汉)实验技术研究项目资助

电子工艺基础和电路板 的设计与制作

DIANZI GONGYI JICHU HE DIANLUBAN DE SHEJI YU ZHIZUO

王 宏 韩艳玲
吴有才 罗元胜 © 编 著
陈 磊 彭建坤



中国地质大学出版社
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

中国地质大学(武汉)实验教学系列教材
中国地质大学(武汉)实验技术研究项目资助

电子工艺基础和电路板 的设计与制作

王 宏 韩艳玲 吴有才 编著
罗元胜 陈 磊 彭建坤



中国地质大学出版社
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

内容简介

本书以电子基础工艺和有关的设计要求为基础,结合现代电子工艺技术,对电子产品工艺设计制造过程作了详细的介绍。内容包括电子元器件、印制电路板的设计与制作、高速电路板的设计、焊接技术、表面贴装技术、测试与检测、基本工程图等。

本书可作为高等院校和职业技术教育的电子工艺实习和相关课程设计教材,也可供从事电子技术的专业人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子工艺基础和电路板的设计与制作/王宏,韩艳玲,吴有才,罗元胜,陈磊,彭建坤编著. — 武汉:中国地质大学出版社,2013.12

ISBN 978-7-5625-3321-4

I. ①电…

II. ①王…②韩…③吴…④罗…⑤陈…⑥彭…

III. ①电子技术-印刷电路-计算机辅助设计

IV. ①TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 307372 号

电子工艺基础和电路板的设计与制作

王 宏 韩艳玲 吴有才 编 著
罗元胜 陈 磊 彭建坤

责任编辑:马新兵

责任校对:张咏梅

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路 388 号)

邮编:430074

电 话:(027)67883511

传 真:(027)67883580

E-mail:cbb@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店

Http://www.cugp.cug.edu.cn

开本:787 毫米×1 092 毫米 1/16

字数:269 千字 印张:10.5

版次:2013 年 12 月第 1 版

印次:2013 年 12 月第 1 次印刷

印刷:三新大洋数字出版技术有限公司

印数:1—1 000 册

ISBN 978-7-5625-3321-4

定价:28.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

前 言

本教材是根据高等学校应用电子技术专业的培养目标编写的,共分六章,第一章介绍了常用电子元器件的种类、命名法、主要参数、结构特点以及性能参数;第二章介绍了印制电路板的制作工艺和过程,详细探讨了其中的关键技术;第三章探讨了高速电路板的设计原理和几个原则;第四章介绍了手工焊接技术;第五章介绍了表面贴装技术以及相关设备的原理和功能;第六章介绍了电路板的调试和检测。

电子技术是一门理论与实际相结合、技术性和实验性极强的课程。书中既注意将电子产品的制作工艺与实践操作指导相结合,使学生在系统地学习工艺理论的同时,能掌握电子产品的工艺制作过程,又注意引用电子产品的一些新成果来展示现代电子工艺的最新发展,突出电子工艺技术迅速发展的趋势,同时注重基本技能和基本理论的紧密联系,希望能使读者正确的理解和掌握实验操作方法。在阐述方式上注意深入浅出、循序渐进、讲解与图解相结合,便于读者自学。

本书可作为高等院校和职业技术学院电子技术专业课程教材,也可供从事电子技术相关工作的专业人员参考。

本书由王宏、韩艳玲主编。不同章节主要由韩艳玲、罗元胜、吴有才、陈磊、彭建坤等编写,最后由王宏统稿和修改。本书得到中国地质大学教务处项目(编号:2009B16)的资助,在编写过程中得到中国地质大学出版社的大力支持,在此一并表示感谢。

限于编者水平,书中会有一些缺点和错误,恳请读者不吝指正。

编 者

2013 年 8 月于南望山

目 录

第一章 常用电子元器件	(1)
1.1 电阻器	(1)
1.1.1 电阻器的命名和符号	(1)
1.1.2 固定电阻器的结构特点及性能用途	(2)
1.1.3 电阻器的主要参数和标示方法	(5)
1.1.4 电位器	(8)
1.1.5 电阻器的检测与选用	(9)
1.2 电容器	(11)
1.2.1 电容器型号命名规定与图形符号	(11)
1.2.2 电容器的种类	(12)
1.2.3 电容器的主要参数和标示方法	(14)
1.2.4 电容器的检测方法	(15)
1.2.5 电容器的选用	(16)
1.3 电感器和变压器	(16)
1.3.1 电感器	(16)
1.3.2 变压器	(18)
1.4 电声器件	(20)
1.4.1 扬声器	(20)
1.4.2 耳机	(21)
1.4.3 传声器	(21)
1.5 石英晶振元件	(21)
1.5.1 晶振元件的种类	(21)
1.5.2 晶振元件的性能检查	(22)
1.6 开关与接插件	(22)
1.6.1 开关	(22)
1.6.2 继电器	(24)
1.6.3 接插件	(26)
1.7 半导体分立器件	(28)
1.7.1 半导体分立器件的命名	(28)
1.7.2 二极管	(30)
1.7.3 三极管	(34)
1.7.4 场效应管	(38)

1.7.5	可控硅	(40)
1.8	光电器件	(45)
1.8.1	光电开关	(45)
1.8.2	光电耦合器	(46)
1.9	集成电路	(46)
1.9.1	集成电路的基本类别	(46)
1.9.2	数字集成电路	(46)
1.9.3	模拟集成电路	(47)
1.9.4	集成电路命名	(48)
1.9.5	集成电路封装及外形	(49)
1.9.6	集成电路的质量判别及代用	(51)
1.9.7	集成电路使用的注意事项	(51)
第二章	印制电路板的制作	(53)
2.1	电路板基本发展过程 and 方向	(53)
2.1.1	印制电路板的作用	(53)
2.1.2	印制电路板的分类	(54)
2.2	印制电路板图形的设计与绘制	(57)
2.2.1	电路板设计的发展和基本过程	(57)
2.2.2	Protel 99SE 设计电路的基本步骤	(57)
2.3	印制电路板的制作工艺和过程	(61)
2.3.1	印制电路板制作流程	(61)
2.3.2	板材、形状、尺寸和厚度的确定	(63)
2.3.3	裁板、打孔、抛光	(65)
2.3.4	沉铜、镀铜、蚀刻	(66)
2.3.5	底片制作、曝光、显影	(67)
2.3.6	线路板丝印机	(69)
2.4	电路板制作的镀铜技术	(69)
2.4.1	电路板镀铜工艺技术	(70)
2.4.1	酸性硫酸铜电镀中常见问题的处理	(73)
第三章	高速电路板的设计	(77)
3.1	高速电路板概述	(77)
3.1.1	电磁干扰(EMI)	(77)
3.1.2	元件的分组和布局	(78)
3.1.3	布线	(79)
3.2	高速电路板的布线设计	(79)
3.3	高速电路板中的电源布线	(82)
3.3.1	电源模型分析	(82)
3.3.2	电源线的合理布局	(83)

3.4	滤波电容的选取与放置	(85)
3.5	高速电路板的过孔技术	(85)
3.5.1	过孔技术简介	(85)
3.5.2	非穿导孔技术	(87)
3.5.3	高速电路板中的过孔设计	(88)
第四章	焊接技术	(89)
4.1	锡焊特点和机理	(89)
4.1.1	锡焊及其特点	(89)
4.1.2	锡焊机理	(89)
4.2	焊接工具	(90)
4.2.1	电烙铁	(90)
4.2.2	其他常用工具	(93)
4.3	焊料与焊剂	(94)
4.3.1	焊料	(94)
4.3.2	助焊剂	(97)
4.3.3	无铅焊料	(99)
4.4	手工焊接技术与操作技巧	(100)
4.4.1	焊接操作姿势与卫生	(100)
4.4.2	焊接操作的基本步骤	(101)
4.4.3	焊接温度与加热时间	(101)
4.4.4	焊接操作技巧	(102)
4.5	拆焊	(104)
4.6	焊点质量及检查	(105)
4.6.1	焊点质量	(105)
4.6.2	焊接质量检查	(106)
4.7	工业生产中的焊接简介	(109)
第五章	表面贴装技术	(111)
5.1	表面贴装技术概述	(111)
5.2	贴装元器件(SMD/SMC)	(111)
5.3	贴片元器件的介绍	(114)
5.3.1	贴片电阻器	(114)
5.3.2	贴片电容器	(116)
5.3.3	贴片电感器	(119)
5.3.4	贴片二极管	(120)
5.3.5	贴片三极管	(121)
5.3.6	IC 零件及类型	(123)
5.4	表面贴装印制电路板(SMB)	(126)
5.4.1	表面贴装印制电路板的特点	(126)

5.4.2	SMB 焊盘设计及连线、过孔考虑	(127)
5.4.3	SMB 基板选择和元器件布局设计	(129)
5.5	表面贴装技术(SMT)工艺流程	(130)
5.5.1	波峰焊工艺流程	(130)
5.5.2	再流焊工艺流程	(131)
5.5.3	SMT 装配结构与选用工艺流程	(131)
5.5.4	表面贴装材料	(132)
5.6	SMT 设备	(133)
5.6.1	印刷机	(133)
5.6.2	滴胶机	(134)
5.6.3	贴片机	(135)
5.6.4	焊接机	(137)
5.6.5	SMT 设备的发展	(139)
第六章	电路板的调试与检测	(141)
6.1	概述	(141)
6.2	调试步骤	(141)
6.2.1	调试前的准备	(141)
6.2.2	通电前的直观检查	(141)
6.2.3	通电调试	(142)
6.2.4	整机调试检测	(145)
6.2.5	自动调试	(145)
6.3	调试仪器	(147)
6.3.1	调试仪器的种类	(147)
6.3.2	调试仪器的配置	(148)
6.4	调试的经验方法、实例	(150)
6.4.1	调试仪器的方法	(150)
6.4.2	调试实例	(152)
6.5	故障的查找与排除	(154)
6.5.1	故障产生的原因	(154)
6.5.2	故障查找与排除的一般步骤	(155)
6.5.3	故障检测的常用方法	(155)

第一章 常用电子元器件

电子元器件是组成电子电路的基本单元,任何一个电子装置、设备或系统,都是由少则几个到几十、多则成千上万个作用各不相同的电子元器件组成的。掌握常用电子元器件的特性、规格、用途以及基本测量方法对电子产品的设计及工艺制造是非常重要的。

1.1 电阻器

在电路中起阻碍电流作用的元器件称为电阻器,简称电阻。
电阻器按阻值可分为固定电阻器(含敏感电阻器)、可变电阻器(含电位器)两大类。

1.1.1 电阻器的命名和符号

电阻器的主要参数有标称阻值、阻值误差、额定功率、最高工作电压、最高工作温度、静噪声电动势、温度特性、高频特性等,选用电阻器时一般只考虑标称电阻、额定功率、阻值误差,其他几项参数只是有特殊需要时才考虑。标称阻值的表示方法有直标法、文字符号法和色标法。

根据国家标准《电子设备用固定电阻器、固定电容器型号命名方法》(GB/T2470—1995),电阻器的型号由以下几个部分组成。

- 第一部分,用字母表示产品主称,如 R—电阻器、W—电位器、M—敏感电阻器。
- 第二部分,用数字或字母表示产品材料,如表 1-1 所示。
- 第三部分,用数字或字母表示特性、用途、类别,如表 1-2 所示。

表 1-1 电阻器、电位器、敏感电阻的命名和材料

电阻器(R)、电位器(W)				敏感电阻(M)			
字母	材料	字母	材料	字母	材料	字母	材料
T	碳膜	Y	氧化膜	Z	正温度系数 热敏材料	S	湿敏材料
H	合成膜	C	沉积膜			Q	气敏材料
S	有机实芯	I	玻璃釉膜	F	负温度系数 热敏材料	G	光敏材料
N	无机实芯	X	线绕			C	磁敏材料
J	金属膜			Y	压敏材料		

表 1-2 电阻器、电位器、敏感电阻的特性、用途、类别

电阻器(R)、电位器(W)				敏感电阻(M)							
数字	意义	数字	意义	数字	热敏电阻用途	光敏电阻用途	力敏电阻用途	字母	压敏电阻用途	字母	湿敏电阻用途
1	普通	G	高功率	1	普通用	紫外光	硅应变片	W	稳压用	C	测湿用
2	普通	T	可调	2	稳压用	紫外光	硅应变梁	G	高压保护	K	控湿用
3	超高频	X	小型	3	微波测量	紫外光	硅柱	P	高频用	字母	气敏电阻用途
4	高阻	L	测量用	4	旁热式	可见光		N	高能用		
5	高温	W	微调	5	测量用	可见光		K	高可靠	Y	烟敏
7	精密	D	多圈	6	控温用	可见光		L	防雷用	K	可燃性
8	电阻： 高压			7	消磁用	红外光		H	灭弧用	字母	磁敏电阻用途
				8	线性用	红外光		z	消噪用		
	电位器： 特殊			9	恒温用	红外光		B	补偿用	Z	电阻器
				0	特殊用	特殊用		C	消磁用	W	电位器
9	特殊										

第四部分,用数字表示生产序号。

第五部分,用字母表示同一序号,但性能又有一定差异的产品区别代号。

常用电阻器的图形符号如图 1-1 所示。

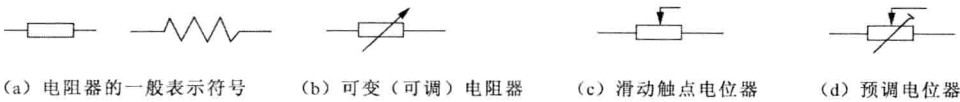


图 1-1 常用电阻器的图形符号

例如,RJ71 型电阻:R—电阻,J—金属膜,7—精密型,1—序号,即表示精密型金属膜电阻器。

1.1.2 固定电阻器的结构特点及性能用途

1.1.2.1 固定电阻器的结构特点

固定电阻器按其结构和材料不同,分为线绕电阻器、薄膜电阻器、实芯电阻器和敏感电阻器。

(1)线绕电阻器

线绕电阻器是用高阻值的合金线即电阻丝绕在绝缘骨架上制成的。绝缘骨架用陶瓷、塑料、涂覆绝缘层的金属等材料制成。电阻丝一般采用具有一定电阻率的镍铬、康铜、锰铜等合

金线制成。电阻丝表面通常会涂覆珐琅、玻璃釉或清漆等绝缘保护层。电阻丝在骨架上根据需要可以绕制一层,也可绕制多层或采用无感绕法等。

常见的线绕电阻器内部结构及外形如图 1-2 所示。

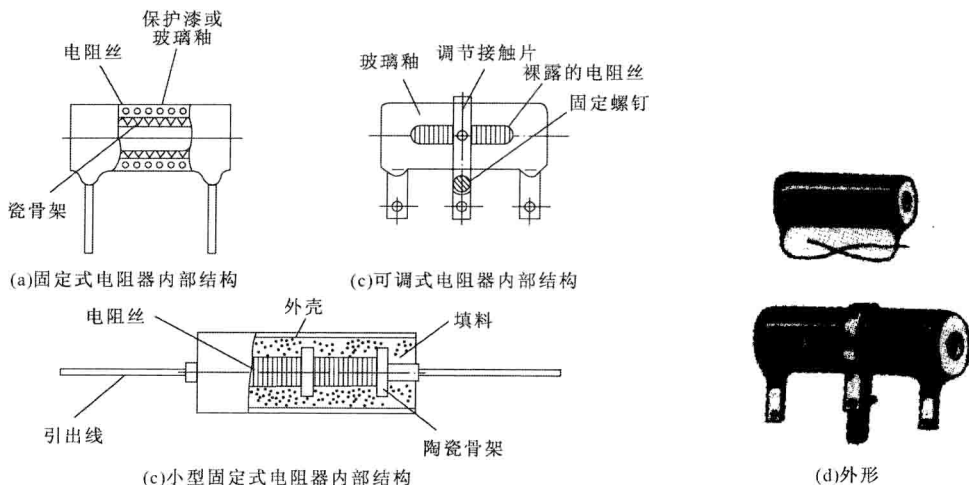


图 1-2 线绕电阻器的内部结构和外形

(2) 薄膜电阻器

薄膜电阻器是用导电薄膜附着在绝缘骨架上制成的。绝缘骨架通常选择玻璃、陶瓷棒或瓷管(大功率)等材料。导电膜选用附着能力强的薄膜物质(碳膜、金属膜、氧化膜等),通过调节导电膜的厚度和面积来控制电阻的阻值。薄膜电阻器可以分为碳膜电阻器、合成碳膜电阻器、金属膜电阻器、金属氧化膜电阻器、化学沉积膜电阻器、玻璃釉膜电阻器和金属氮化膜电阻器等。

常见的薄膜电阻器内部结构及外形如图 1-3 所示。

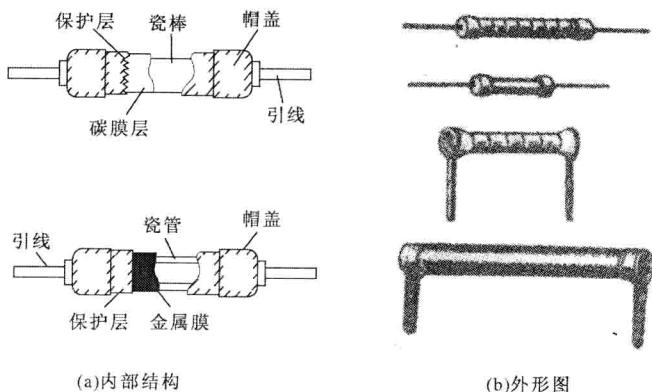


图 1-3 薄膜电阻器内部结构和外形

(3) 实芯电阻器

实芯电阻器是将碳黑、石墨等导电材料和以石粉、云母粉等填料及树脂等黏合剂压制而成。它不用骨架,整个电阻器全部是导电体。实芯电阻器可以分为无机合成实心碳质电阻器和有机合成实心碳质电阻器。

常见的实芯电阻器内部结构及外形如图 1-4 所示。

(4) 敏感电阻器

敏感电阻器是指对温度、电压、湿度、光照、气体、磁场、压力等作用敏感的电容器。

常见的敏感电阻器外形如图 1-5 所示。

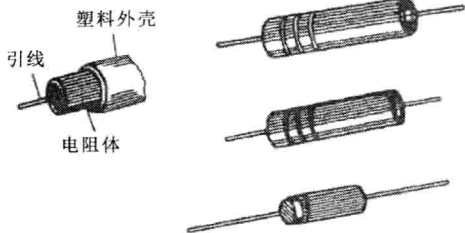


图 1-4 实芯电阻器内部结构和外形

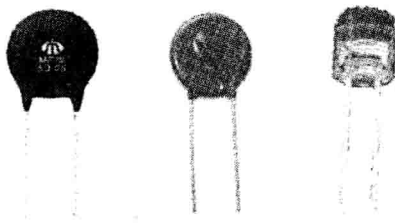


图 1-5 敏感电阻器外形

1.1.2.2 常用固定电阻器的特性与用途

常用固定电阻器的特性与应用如表 1-3 所示。

表 1-3 常见固定电阻器的特性与应用

电阻器类型		阻值 $R(\Omega)$ 功率 $P(W)$	电阻器的特性	应用场合
线绕电阻器	线绕 (RX)	$R:0.1\sim5M$ $P:0.125\sim500$	优点:稳定性好,精度很高,噪声低,温度系数小,耐高温,功率大 缺点:体积较大,自身电感和分布电容较大,高频性能差,阻值范围小,耐磨性差	适用于大功率、高稳定性、高温及精密密度较高的场合
薄膜电阻器	碳膜 (RT)	$R:0.1\sim10M$ $P:0.125\sim10$	优点:阻值范围宽,稳定性较好,高频特性好,受电压和频率影响小,工艺简单,价格低廉 缺点:温度系数较大,阻值稳定性、噪声较金属膜电阻差,单位面积负荷功率小,要求使用环境温度低	使用范围最广,主要用于民用中低档电子产品

续表 1-3

电阻器类型		阻值 $R(\Omega)$ 功率 $P(W)$	电阻器的特性	应用场合
薄膜电阻器	金属膜 (RJ)	$R:1\sim620M$ $P:0.125\sim5$	优点:稳定性好,精度高,电压系数小,噪声低,电感量小,体积小,工作温度范围大,温度系数低,高频特性好 缺点:膜层较薄,在脉冲负荷下稳定性不高;用化学积淀法制备的低阻金属膜层呈多孔状态,其防潮性较差;相比碳膜电阻价格较高	适用于要求较高的电子产品
	合成碳膜 (RH)	$R:10\sim106M$ $P:0.25\sim5$	优点:阻值范围宽,耐压可达 35kV 缺点:抗温性差,噪声大,稳定性差	用于高压场合
	金属氧化膜 (RY)	$R:1\sim200k$ $P:25\sim50k$	优点:耐高温,阻值范围宽,温度系数小,耐湿性好 缺点:温度系数比金属膜层电阻差	补充金属膜电阻大功率及低阻部分
	玻璃釉 (RI)	$R:5.1\sim200M$ $P:0.5\sim2$ 大功率:5~500	优点:耐热性和耐潮性较高,阻值范围宽,温度系数小,易于小型化 缺点:价格高	用于高阻、低温系数场合
实芯电阻	有机实芯 (RS)	$R:470\sim22M$ $P:0.25\sim2$	优点:制造工艺简单,机械强度高,过载能力强,价格低廉 缺点:阻值很不稳定,噪声很大	主要用于电力、电子等高压大电流领域
	无机实芯 (RN)			

1.1.3 电阻器的主要参数和标示方法

1.1.3.1 电阻器的主要参数

固定电阻器的主要参数包括标称阻值、允许误差和额定功率等。

(1)标称阻值和允许误差

电阻器上标示的阻值叫标称阻值。实际值与标称阻值之差除以标称阻值所得的百分数叫电阻的误差,它反映了电阻器的精度。不同的精度有一个相应的误差范围,表 1-4 列出了电阻器的允许误差等级(精度等级)。

电阻的标称阻值为表 1-5 所列数值的 10^n 倍。以 E_{12} 系列中的标称阻值 1.5 为例,它所对应的电阻标称阻值可为 $1.5\Omega,15\Omega,150\Omega,\cdots,1.5M\Omega$ 等。其他系列依此类推。

通用电阻的阻值偏差分为三级:Ⅰ级 $\pm 5\%$,Ⅱ级 $\pm 10\%$,Ⅲ级 $\pm 20\%$,如表 1-5 所示。用字母符号表示偏差时各符号的含义如表 1-4 所示。

表 1-4 电阻器的允许误差的符号表示

对称偏差												不对称偏差		
标志符号	H	U	W	B	C	D	F	G	J	K	M	R	S	Z
允许偏差 (%)	± 0.01	± 0.02	± 0.05	± 0.1	± 0.2	± 0.5	± 1	± 2	± 5	± 10	± 20	+100 -10	+50 -20	+80 -20

表 1-5 通用电阻的标称值系列

标称阻值系列	偏差	电阻的标称阻值(Ω)
E_{24}	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, 4.7, 5.1, 5.6, 6.2, 6.8, 7.5, 8.2, 9.1
E_{12}	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
E_6	III 级 $\pm 20\%$	1.0, 1.5, 2.2, 3.3, 4.7, 6.8

(2) 额定功率

电阻器的额定功率,是指在生产标准规定的大气压和温度下,电阻器所允许承受的最大功率,其单位为瓦(W)。在实际使用过程中,若电阻器的实际功率超过额定功率,会造成电阻器过热而烧坏。

对于同一类型的电阻器来说,体积越大,额定功率越大。

常用的电阻器额定功率有 1/16W, 1/8W, 1/4W, 1/2W, 1W, 2W, 3W, 5W, 10W, 20W 等。

在电路图中标注电阻器功率符号见图 1-6。一般小于 1W 的电阻器在电路图中常不标注额定功率符号;大于 1W 的电阻器用数字加单位表示,如 50W。

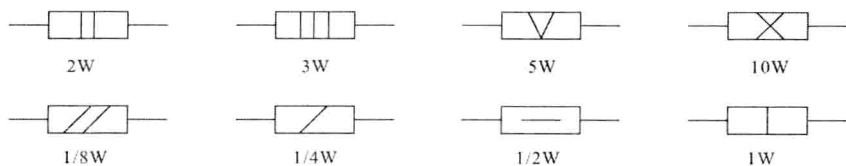


图 1-6 电阻器功率的标注符号

1.1.3.2 电阻器主要参数的标示方法

为了方便用户识别电阻器的主要参数,厂家通常会把电阻器的主要参数标注在电阻器上。常用的标示方法有直标法、文字符号法、色标法和数码法。

(1) 直标法

在电阻体上详细标出,一般用于体型较大的电阻器,如图 1-7。

(2) 文字符号法

用数字与文字符号组合表示标称阻值,其规则是阻值单位用文字符号,R 表示欧姆,k 表

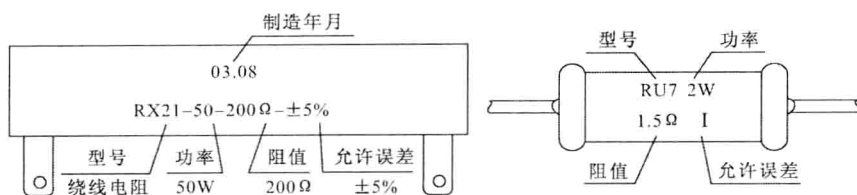


图 1-7 电阻器直标法

示千欧, M 表示兆欧, 阻值整数写在阻值单位符号前面, 阻值的小数部分写在单位符号后面, 允许误差用 I、II、IQ 表示。如 1.5Ω 标示为 1R5 (图 1-8), 0.22Ω 标示为 R22, $6.8k\Omega$ 标示为 6k8。

(3) 色标法

目前小型化的电阻器多采用色标法, 用标在电阻体上不同的颜色色环来表示电阻的标称阻值和允许误差。普通电阻一般用四色环, 精密电阻一般用五色环及六色环, 其表示意义见表 1-6 及图 1-9。

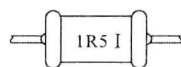


图 1-8 电阻器文字符号法

表 1-6 色标的意义

颜色	有效数字	倍率	允许误差(%)
黑	0	10^0	—
棕	1	10^1	± 1
红	2	10^2	± 2
橙	3	10^3	—
黄	4	10^4	—
绿	5	10^5	± 0.5
蓝	6	10^6	± 0.25
紫	7	10^7	± 0.1
灰	8	10^8	—
白	9	10^9	—
金	—	10^{-1}	± 5
银	—	10^{-2}	± 10
无色	—	—	± 20

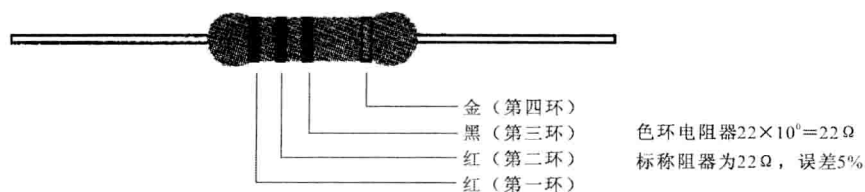


图 1-9 电阻色标法

(4) 数码法

用三位数字表示标称阻值，数字从左到右，前两位是有效数，第三位是倍率 (10^n , $n=0 \sim 8$)，但当 $n=9$ 时为特例，表示 10^{-1} 。阻值单位为 Ω 。允许误差用数码后的字母表示 (表 1-4)。

1.1.4 电位器

电位器是一种阻值连续可调的可变电阻器，其典型结构如图 1-10a 所示。它有三个引出端，其中两个为固定端，另一个为滑动端 (或称电刷)，滑动端接触刷在固定端之间的电阻体上滑动使其与固定端之间的电阻值发生变化。

电位器一般用作电位调节。如图 1-10b，电位 U 将随 2 点位移而改变。而按图 1-10c 连接则是组成一个阻值可调的二端电阻器。

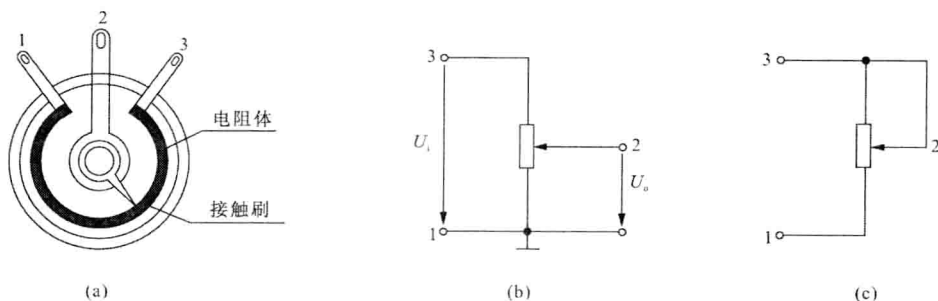


图 1-10 电位器结构和电路连接

电位器种类按接触方式和材料可分为接触式 (膜式、线绕、实芯) 和非接触式 (光电、磁敏)；按结构特点可分为单圈、多圈，单联、双联、多联，带开关、带锁紧等多种；按调节方式可分为旋转式和直线式，如图 1-11 所示。

电位器的主要参数除了和电阻器一样有标称阻值、额定功率、精度等级外，还有阻值变化规律、轴长与轴端结构，带开关的还有开关额定电流和电压等。

(1) 电位器的阻值变化规律

电位器的阻值变化规律是指电位器转轴的旋转角度与阻值变化关系的规律。为了满足各种不同的用途，电位器阻值变化规律也有所不同。常见的电位器阻值变化规律有三种类型：直线式 (X 型)、指数式 (Z 型) 和对数式 (D 型)，见图 1-12。直线式电位器适用于电路要求阻值

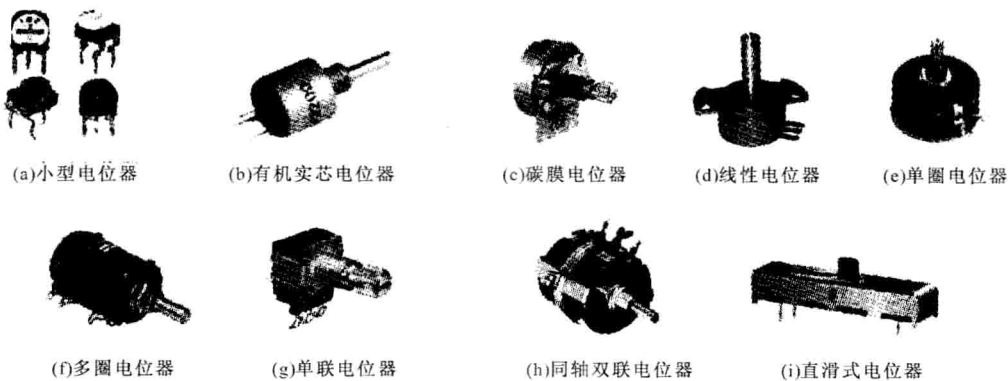


图 1-11 各种电位器外形图

均匀变化的场合,如稳压电源取样电路;对数式电位器适用于音量控制电路;指数式电位器适用于音调控制电路和对比度调节电路等。

(2) 电位器轴长和轴端结构

轴长是指安装基准面到轴端的长度,如图 1-13 所示。规格系列有(mm):轴长 6,10,12,16,25,30,40,50,63,80;轴的直径 2,3,4,6,8,10。轴端结构种类很多,常用的如图 1-13 所示。

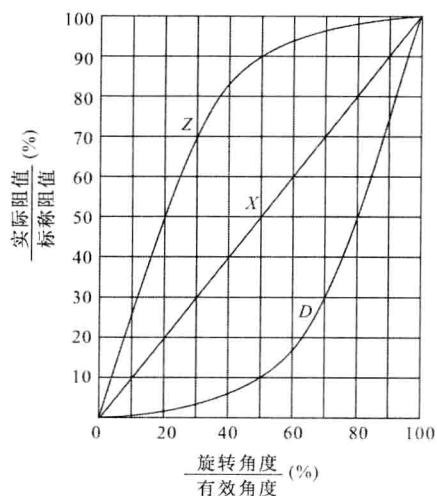


图 1-12 电位器阻值变化规律

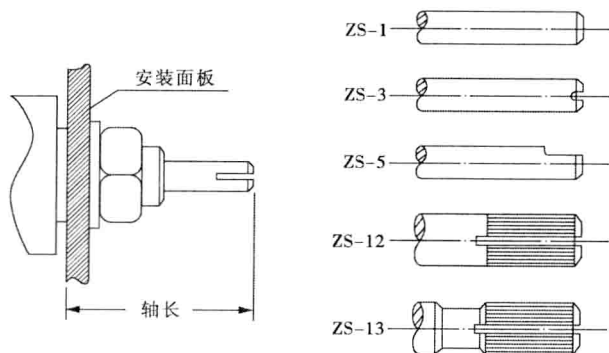


图 1-13 电位器轴长与轴端结构

1.1.5 电阻器的检测与选用

(1) 测量实际阻值

将万用表的功能选择开关旋转到适当量程的电阻档。如果使用的是指针式万用表,先调零点(将两根表笔短接,调节“0Ω”电位器使表头指针指向“0”),然后再进行测量,并且在测量