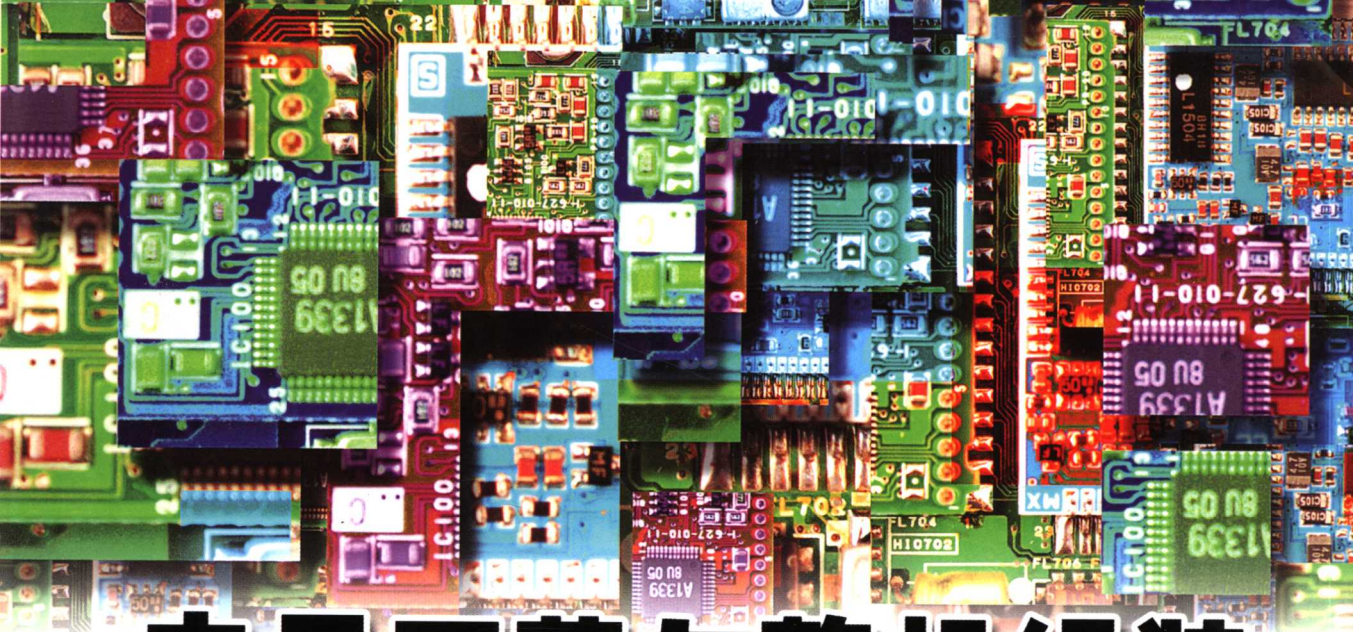




电子工艺与整机组装

*D*IANZI GONGYI YU ZHENGJI ZUZHUANG

SHIJIAN JIAOCHENG

实 践 教 程

主编 于 波 张 勇 韩 建
主审 吕秀丽

东北林业大学出版社

电子工艺与整机组装实践教程

主 编 于 波 张 勇 韩 建

主 审 吕秀丽

东北林业大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

电子工艺与整机组装实践教程/于波, 张勇, 韩建主编. —哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2006.6

ISBN 7-81076-908-1

I. 电… II. ①于… ②张… ③韩… 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 (2006) 第 075718 号

责任编辑: 卢 伟

封面设计: 彭 宇



NEFUP

电子工艺与整机组装实践教程

Dianzi Gongyi Yu Zhengji Zuzhuang Shijian Jiaocheng

主 编 于 波 张 勇 韩 建

主 审 吕秀丽

东北林业大学出版社出版发行

(哈尔滨市和兴路 26 号)

黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂印装

开本 787 × 1092 1/16 印张 13.25 字数 299 千字

2006 年 6 月 第 1 版 2006 年 6 月 第 1 次印刷

印数 1—1 200 册

ISBN 7-81076-908-1

TN·4 定价: 18.00 元

前言

随着科技的不断进步,电子技术得到了迅猛发展,新器件、新工艺的不断涌现为电子技术的发展注入了新的活力。电子器件的集成度已由半导体分立器件发展到集成电路,再到大规模集成电路、超大规模集成电路;片式元件已成为电子元器件发展的主流,电子元器件安装工艺由第一代的以 TO 封装和双列直插封装(DIP)为代表的通孔插装发展到第二代的以小外形封装(SOP)和扁平封装(QFP)为代表的表面贴装时代,现在已发展到球栅阵列封装(BGA)和芯片尺寸封装(CSP)时代,未来几年即将进入以系统级封装(SIP)为代表的 3D 叠层封装时代。

电子类专业大学生要适应电子器件和工艺的新发展,做到以不变应万变,必须要求具有牢固的理论基础,更要具备扎实的电子实践能力。实践能力锻炼已成为培养高素质电子技术人才重要的必备手段。

本书就是根据电子类专业对电子工艺实习的基本要求,考虑到电子技术飞速发展,新工艺、新器件不断更新的实际情况,结合编者多年来在这方面的教学实践,并参考有关资料,针对学生实践能力和创新能力的培养而编写的。

本书主要内容涉及常用电子元器件认识实习、安全用电常识、焊接训练、常用电子仪器的使用、晶体管收音机的装配和电视机的装配等具体实践性环节。在知识阐述上,力求加强基础,图文并茂,突出重点。在内容选取上,为适应电子技术发展,增加了对电子工艺新技术、集成电路的新封装、印制电路的新设计软件等方面内容的介绍。

本书可作为电子类专业电子工艺实践教学的本科或大专教材,也可作为有关技术人员的参考书。

本书由于波、张勇和韩建编写,于波负责统稿,吕秀丽主审。

本书在编写过程中,得到了大庆石油学院教务处和电子科学学院各级领导的关心和支持。电子科学学院院长王明吉教授对本书提出了非常宝贵的建议。在出版过程中,得到东北林业大学出版社的大力支持。在此一并表示衷心的感谢。

本书由于编写时间仓促,难免有不足和错误之处,恳请广大读者提出批评和改进意见。

编者

2006 年 1 月

目 录

1 常用电子元器件	1
1.1 电阻器	1
1.1.1 电阻器的型号标注方法	1
1.1.2 电阻器的主要技术参数	2
1.1.3 常见电阻器的主要特点	4
1.1.4 电位器	5
1.1.5 特殊电阻器	6
1.1.6 电阻器的性能检测	8
1.2 电容器	8
1.2.1 电容器的型号标注方法	8
1.2.2 电容器的主要技术参数	9
1.2.3 几种常见电容的特点	11
1.2.4 电容器的合理选用及质量判别	12
1.3 电感器和变压器	14
1.3.1 电感器	14
1.3.2 变压器	15
1.4 开关、继电器	16
1.4.1 开关	16
1.4.2 继电器	19
1.5 半导体分立器件	22
1.5.1 半导体器件的命名	22
1.5.2 二极管	25
1.5.3 晶体三极管	28
1.5.4 场效应管	32
1.5.5 晶闸管	33
1.6 光电器件	35
1.6.1 光电器件的种类	35
1.6.2 发光二极管	36
1.6.3 光敏器件	38
1.7 集成电路	41
1.7.1 集成电路的基本类别	41
1.7.2 型号及命名	42
1.7.3 集成电路的封装	44

1.7.4 使用与注意事项	45
1.8 表面安装元器件简介	46
1.8.1 概述	46
1.8.2 表面安装元件	46
1.8.3 表面安装半导体器件	49
2 安全用电常识	53
2.1 人身与设备安全	53
2.1.1 电气事故的种类和危害	53
2.1.2 电流对人体的伤害	53
2.2 触电种类、原因及急救方法	55
2.2.1 触电的种类	55
2.2.2 触电的原因及其预防	55
2.2.3 急救方法	57
2.3 安全用电与安全技术规范	59
2.3.1 保证安全的组织措施	59
2.3.2 保证安全的技术措施	60
2.4 三相电	60
2.5 安全常识	63
3 焊接技术	65
3.1 焊接工具与材料	65
3.1.1 焊接工具	65
3.1.2 焊料	68
3.1.3 焊剂	70
3.2 手工焊接工艺	72
3.2.1 焊接准备	72
3.2.2 手工焊接的要点	73
3.2.3 典型手工焊接方法及工艺	75
3.2.4 拆焊技术	77
3.2.5 焊点质量检查及缺陷分析	79
3.3 浸焊与波峰焊	80
3.3.1 浸焊	81
3.3.2 波峰焊	81
3.4 再流焊	83
3.4.1 再流焊工艺流程	84
3.4.2 常用再流焊方法简介	84
3.4.3 再流焊的工艺要点	85
3.5 表面安装技术	86
3.5.1 表面安装技术优点	86

3.5.2	SMT 装配方案及工艺	87
4	印制电路技术	91
4.1	印制电路板概述	91
4.1.1	印制电路板定义	91
4.1.2	印制电路板分类	91
4.1.3	印制电路板优点	92
4.2	印制电路板制作工艺简介	92
4.2.1	基板材料	92
4.2.2	国内印制工艺	94
4.3	印制板设计	96
4.3.1	一般考虑因素	96
4.3.2	基板材料选择	97
4.3.3	机械结构	97
4.3.4	印制电路的电气特性	99
4.3.5	版面基本知识及要求	99
4.3.6	布局	103
4.3.7	布线	104
4.3.8	焊盘的使用	105
4.3.9	印制电路板抗干扰措施	106
4.3.10	印制板的检验	107
4.4	电子设计自动化 (EDA) 软件	108
4.4.1	常用 EDA 软件简介	108
4.4.2	Protel 软件设计过程	111
5	常用电气仪表与电子仪器	117
5.1	数字万用表	117
5.1.1	概述	117
5.1.2	数字万用表的结构原理	117
5.1.3	数字万用表使用方法	118
5.2	YB1719 型三路直流电源	121
5.2.1	概述	121
5.2.2	结构	121
5.2.3	使用方法	121
5.3	2265 型示波器	122
5.3.1	概述	122
5.3.2	结构	122
5.3.3	使用方法	124
5.4	AS2294 型双通道交流电压表	129
5.4.1	概述	129

5.4.2	结构	129
5.4.3	使用方法	129
5.5	HFJ-8D 型超高频毫伏表	131
5.5.1	概述	131
5.5.2	结构	131
5.5.3	使用方法	131
5.5.4	操作注意事项	132
5.6	XD1B 型低频信号发生器	132
5.6.1	概述	132
5.6.2	结构	133
5.6.3	使用方法	133
5.7	YM8178 型调频调幅信号发生器	134
5.7.1	概述	134
5.7.2	结构	135
5.7.3	使用方法	136
6	晶体管收音机原理、装配及调试	138
6.1	超外差式收音机概述	138
6.1.1	直接放大式收音机基本原理	138
6.1.2	超外差收音机基本原理	139
6.1.3	超外差式收音机的特点	139
6.2	超外差式收音机电路分析	140
6.2.1	输入电路	140
6.2.2	变频电路	142
6.2.3	中频放大电路	145
6.2.4	检波及自动增益控制电路	146
6.2.5	低频放大电路	150
6.2.6	超外差式收音机整机实例	152
6.3	超外差收音机的装配与调整	153
6.3.1	装配的步骤和注意事项	153
6.3.2	静态工作点的调整	156
6.3.3	中频变压器的调整	157
6.3.4	频率范围的调整	158
6.3.5	收音机的统调	159
6.4	超外差收音机常见故障的检查与排除	160
6.4.1	几种常用的故障检查方法	160
6.4.2	常见故障的排除	162
7	电视机原理、装配及调试	166
7.1	广播电视的基本知识	166

7.1.1	我国广播电视扫描参数	166
7.1.2	无线电波段的划分与图像载频的选择	168
7.2	黑白电视机的原理	169
7.2.1	超外差内载波电视机特点	169
7.2.2	电视机方框图	171
7.3	电视机结构组成	173
7.3.1	显像管的结构	173
7.3.2	电源部分	174
7.3.3	天线、馈线及高频调谐器	175
7.3.4	混频器	177
7.3.5	中频放大	178
7.3.6	视频检波器及视频放大器	180
7.3.7	伴音电路	182
7.3.8	自动增益控制电路	183
7.3.9	同步分离电路	184
7.3.10	场扫描电路	185
7.3.11	行扫描电路	186
7.4	整机调试技术	187
7.4.1	电源电路的组装与调试	187
7.4.2	通道部分的安装与调试	187
7.4.3	扫描电路的安装与调试	188
7.4.4	控制部分的安装与调试	188
7.5	故障分析与修理	188
7.6	黑白小电视机组装	189
7.6.1	技术指标	189
7.6.2	电视机组装工序及技术说明	191
7.6.3	接线	195
7.6.4	调试	196
7.6.5	装壳	196
参考文献		200

1 常用电子元器件

电子元器件是在电路中具有独立电气功能的基本单元，元器件在各类电子产品中占有重要的地位，学习和掌握各类电子元器件的性能、用途和质量判别方法，对设计和安装调试各种电路是非常必要的。

1.1 电阻器

电阻器是电子设备中应用最广泛的元件之一，在电路中实现限流、分压、负载、耦合等作用。电阻器一般分为固定电阻器、可变电阻器（电位器）和敏感电阻器。固定电阻器通常也简称为电阻器。电阻器的基本单位是欧姆（ Ω ），常用单位还有千欧（ $k\Omega$ ）和兆欧（ $M\Omega$ ），三者的换算关系为： $1M\Omega = 10^3k\Omega = 10^6\Omega$ 。

1.1.1 电阻器的型号标注方法

电阻器的电路符号及几种常用电阻器外形如图 1.1 所示。固定电阻器用字母 R 表示，电位器用 R_p 或 R_w 表示，敏感电阻器则根据敏感性能在 R 下方加英文字母来表示，如热敏电阻器用 R_t 来表示。

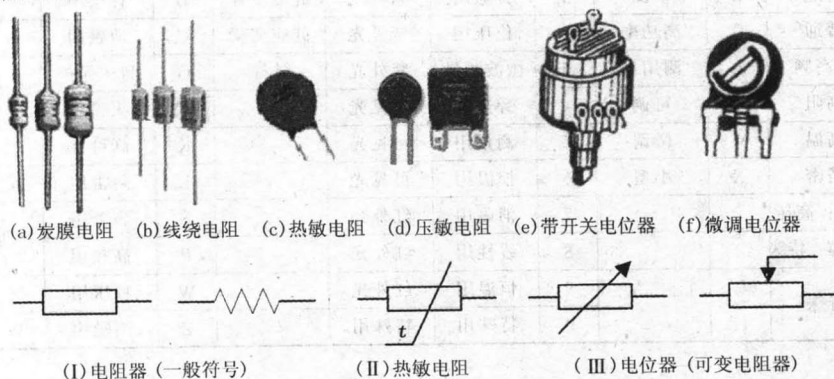


图 1.1 电阻器外形及电路符号

电阻器的型号通常由如图 1.2 所示的四部分构成。表 1-1 列出了第二部分字母代表的材料，表 1-2 列出了第三部分数字或字母表示的特性或用途。

应用示例：RJ7 R—电阻器；J—金属膜；7—精密

WSW1 W—电位器；S—有机实芯；W—微调；1—序号

MF61 M—敏感电阻；F—负温度系数热敏材料；6—控温用；1—序号

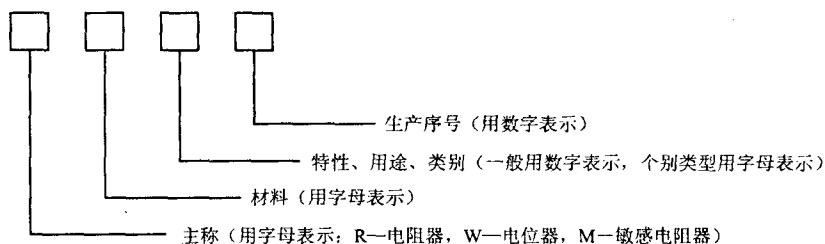


图 1.2 电阻器的标称型号示意图

表 1-1 固定电阻器、电位器、敏感电阻的材料 (第二部分)

电阻器、电位器				敏感电阻			
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	C	磁敏材料
H	合成膜	C	沉积膜		F	G	光敏材料
S	有机实芯	I	玻璃釉膜	Y	负温度系数 热敏材料	S	湿敏材料
N	无机实芯	X	线绕		Y	Q	气敏材料
J	金属膜						

表 1-2 电阻器、电位器、敏感电阻的特性、用途、分类 (第三部分)

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

1.1.2 电阻器的主要技术参数

电阻器主要参数有标称阻值、允许误差值、额定功率等。

1) 标称阻值和允许偏差

一般电阻器标称值系列如表 1-3 所示, 表中所有数值都可以乘以 10^n , 单位为 Ω , n 为整数。

E24 和 E12 系列为比较常用的标称值系列, 也适用于电位器和电容器。另外还有 E48 ($\pm 2\%$), E96 ($\pm 1\%$), E192 ($\pm 0.5\%$) 等其他标称系列, 这些偏差较小的标称系列的电阻器常称为精密电阻器。

电阻器的标称和偏差一般都以各种方法标记在电阻体上，其标记的方法主要有以下三种。

表 1-3 常用电阻器标称阻值系列

偏差	系列代号	电阻器标称系列值
±10%	E12	1.2 1.5 1.8 2.2 2.4 2.7 3.3 3.6 3.9 4.7 5.6 6.8 8.2
±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

(1) 直接标注法。

直接标注是指在电阻表面用数字、单位符号和百分数直接标出电阻的阻值和允许偏差。表示方法如图 1.3 所示。

(2) 文字符号标注法。

文字符号标注法是用数字、单位符号按一定的规律组合表示电阻器的阻值，如图 1.4 所示。

电阻器的允许偏差用字母表示，常用的允许偏差有 ±5%、±10%、±20%，分别用 J、K、M 表示（曾用 I、II、III 表示）。精密电阻允许偏差 ±0.5%、±1%、±2%，分别用 G、F、D 表示。

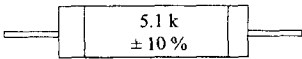


图 1.3 直接标注法示例

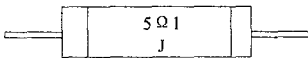


图 1.4 文字符号标注法示例

(3) 色标法。

色标法是现在广泛采用的标注法，是将电阻器的类别及主要技术参数的数值用颜色（色环或色点）标注在其表面上。

用背景颜色区别电阻种类：用浅色（淡绿色、淡蓝色、浅棕色）表示炭膜电阻，用红色表示金属膜电阻，深绿色表示线绕电阻。

用不同的色码（色环、色带或色点）表示数值及允许偏差，国际统一的色码识别规定如表 1-4 所示。

普通电阻采用四色环表示法，精密电阻采用五色环表示法。各色环的具体含义可参见图 1.5。在图 1.5 (a) 中的四色环电阻表示 $5.1\Omega \pm 5\%$ ，图 1.5 (b) 中的五色环电阻表示 $10.5\Omega \pm 2\%$ 。

色环电阻的识别方法：第一色环一般靠最左边，表示允许偏差的色环常稍远离前面几个色环，金、银色环不可能是第一色环。若色环完全是均匀分布且又没有金银色环时，只能通过用万用表测试来帮助判断。

表 1-4 色码标志含义

颜色	黑	棕	红	橙	黄	绿	蓝	紫	灰	白	金	银	无色
有效数字	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	—	—	—
倍率	10^0	10^1	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6	10^7	10^8	10^9	10^{-1}	10^{-2}	—
允许偏差/%	—	±1	±2	—	—	±0.5	±0.2	±0.1	—	+50 -20	±5	±10	±20

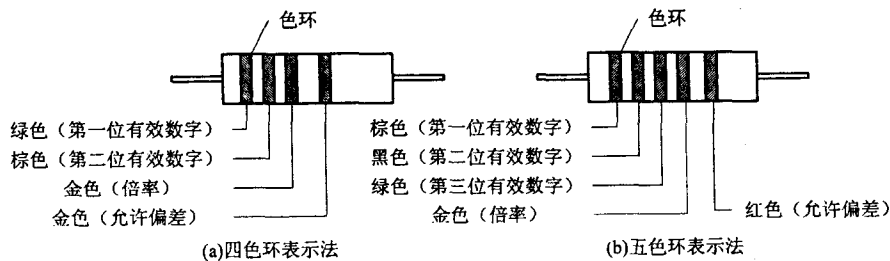


图 1.5 色环标注法示意图例

2) 电阻器的额定功率

电阻器额定功率是指在规定的气压和温度条件下，电阻器长期连续工作并满足规定的性能要求时所允许消耗的最大功率。一般额定功率越大，电阻的体积越大。在电路原理图中，通常对额定功率较大的电阻用瓦数标示或用相应的电路符号表示，如图 1.6 所示。若对额定功率没有特别要求，一般用 $1/8W$ 或 $1/4W$ 的电阻器。在电阻的使用中，应使电阻的额定功率大于电阻在电路中实际功率值的 $1.5 \sim 2$ 倍以上。

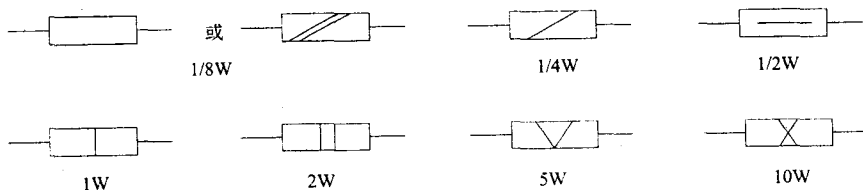


图 1.6 电阻额定功率的电路符号表示

3) 其他参数

电阻器的其他性能参数，如温度系数、噪声系数等，与其所用的材料有关，一般不在电阻器上标明。

1.1.3 常见电阻器的主要特点

常见的普通固定电阻器按材料可分为薄膜型电阻器、合成型电阻器和线绕型电阻器等。各类电阻的主要特点如下。

1) 薄膜型电阻器

薄膜型电阻器分为碳膜电阻器、金属膜电阻器和金属氧化膜电阻器等。

(1) 碳膜电阻 (RT)。阻值范围在 $1\Omega \sim 10M\Omega$ 之间，温度系数为负值。各项性能参数都一般，但价格低廉，广泛用于各种电子产品中。

(2) 金属膜电阻 (RJ)。阻值范围在 $1\Omega \sim 10M\Omega$ 之间，温度系数小，稳定性好，噪声低，同功率下与碳膜电阻相比，体积较小，但价格昂贵。常用于要求低噪声、高稳定性的电路中。

(3) 金属氧化膜 (RY)。电阻有极好的脉冲高频过负荷性能，机械性能好，化学性能稳定，但其阻值范围窄 ($1\Omega \sim 200k\Omega$)，温度系数比金属膜电阻大，常用于一些在恶劣环境中工作的电路上。

2) 合成型电阻器

合成型电阻器是将导电材料与非导电材料按一定的比例混合成而制成的电阻器。

(1) 金属玻璃釉电阻 (RI)。耐高温, 功率大, 阻值宽 ($5.1\Omega \sim 200M\Omega$), 温度系数小, 耐湿性好。常用它制成小型化贴片电阻。

(2) 实芯电阻 (RS)。过负荷能力强, 不易损坏, 可靠性高, 价格低廉, 但其他性能参数都较差, 阻值范围在 $4.7\Omega \sim 22M\Omega$, 常用在要求高可靠性的电路中 (如宇航工业)。

(3) 合成碳膜电阻 (RH)。阻值范围在 $10\Omega \sim 10^6 M\Omega$ 之间, 主要用来制造高压高阻电阻器。

(4) 电阻排 (B-YW)。又称集成电阻或电阻网络。在一块基片上制成多个参数性能一致的电阻, 常在计算机及数字电路中使用, 阻值范围在 $51 \sim 33k\Omega$ 之间。

3) 线绕电阻

线绕电阻的阻值范围在 $0.01\Omega \sim 10M\Omega$ 之间, 可以制成精密型和功率型电阻, 所以常在高精度或大功率电路中使用, 但因分布参数大, 不适宜在高频电路中使用。

另外, 在现代电子设备中, 还常用到水泥电阻。水泥电阻器是一种功率型电阻器。它是将电阻线绕在无碱性耐热陶瓷上或采用氧化膜电阻等构成电阻体, 把电阻体放入方形瓷器框用特殊不燃性耐热水泥充填密封而成。具有耐高功率、散热容易、稳定性高、绝缘性良好等特点。常用于电源和功率电路中分流和降压, 例如用于彩色电视机中的大功率电阻。

1.1.4 电位器

电位器是一种可调电阻器。电位器对外有三个引出端, 其中两个为固定端, 另一个是滑动端 (也称中心抽头)。滑动端可以在固定端之间的电阻体上做机械运动, 使其与固定端之间的电阻发生变化。

1) 电位器的主要技术指标

(1) 标称阻值。

电位器的标称阻值与电阻器的阻值系列相同。根据不同的精度等级, 实际值与标称值的允许偏差范围为 $\pm 20\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 5\%$ 、 $\pm 2\%$ 、 $\pm 1\%$, 精密电位器的精度可达到 $\pm 0.1\%$ 。

(2) 额定功率。

电位器的额定功率是指两个固定端之间允许耗散的功率。电位器的额定功率系列见表 1-5。应该注意滑动端与固定端之间所承受的功率要小于电位器的额定功率。

表 1-5 电位器额定功率系列

W

一般电位器电阻	0.063、0.125、0.25、0.5、0.75、1、2、3
线绕电位器	0.5、0.75、1、1.6、3、5、10、16、25、40、63、100

(3) 电位器的其他参数。

①滑动噪声; ②极限电压; ③阻值变化规律; ④分辨力; ⑤起动力矩与转动力矩;

⑥电位器的轴长和轴端结构。

2) 电位器的分类

电位器的种类很多,可从不同角度进行分类,按调节方式、材料、结构特点、阻值变化规律、用途等分成多种电位器。如表 1-6 所示。

表 1-6 电位器的分类

分类方式		种 类
材料	合成型电位器	有机实芯型、无机实芯型、金属玻璃釉型、导电塑料型
	合金型电位器	线性电位器、块金属膜电位器
	薄膜型电位器	金属膜型、金属氧化膜型、碳膜型、复合模型
阻值变化规律		线性型、对数型、指数型
结构特点		带抽头型、带开关型(推拉式和旋转式)、单联、同步多联、异步多联
用 途		普通型、微调型、精密型、功率型、专用型
调节方式		直滑式、旋转式(有单圈和多圈)

3) 几种常见的电位器的特点

(1) 线绕电位器。

线绕电位器常用于精密电位器和大功率电位器。根据阻值变化规律可分为线性和非线性两种。线性电位器的精度易于控制、稳定性好、电阻的温度系数小、噪声小、耐压高,但阻值范围较窄,一般在几欧到几十千欧之间。

(2) 合成碳膜电位器。

合成膜电位器的阻值变化连续,分辨率高,阻值范围宽($100\Omega \sim 5M\Omega$);对温度和湿度的适应性差,使用寿命短。但由于成本低,因而广泛用于收音机、电视机等家用电器中。

(3) 多圈电位器。

多圈电位器属于精密电位器,调整阻值需要使转轴旋转多圈,因而精度高。当阻值需要在较大范围内进行微量调整时,可选用多圈电位器。其种类有线绕型、块金属膜型、有机实芯型等。

(4) 有机实芯电位器。

该类电位器由导电材料与有机填料、热固性树脂配制成电阻粉,经过热压,在基座上形成实芯阻体。具有结构简单、耐高温、体积小、寿命长等优点。但同时也存在耐压稍低、噪声较大、转动力矩大等缺点。有机实芯电位器多用于对可靠性要求较高的电子仪器中。

接触性电位器除了上述三种外,还有高耐磨、高性能的导电材料电位器,带驱动马达的电位器等。而非接触电位器包括光敏电位器、磁敏电位器等,其优点是克服了接触电阻不稳定、滑动噪声等缺陷。

1.1.5 特殊电阻器

除了我们常用的普通电阻器外,还有一些具有特殊性能的电阻器。如敏感电阻、熔断电阻等。其中敏感电阻包括热敏、光敏、压敏、磁敏、力敏、湿敏、气敏等多种敏感

类型电阻，主要介绍热敏、光敏和压敏电阻。

1) 热敏电阻

某些材料的电阻特性对温度表现出极强的依赖性，由这类材料可以制作阻值随温度变动而急剧变化的电阻器，即热敏电阻。通常分为热导体电阻器和冷导体电阻器。

(1) 热导体电阻器。

热导体电阻器在热状态下传导特别好，亦即其阻值随温度的升高而减小。它们具有非常大的负温度系数 (NTC)，因而也叫做 NTC 电阻器或负温度系数热敏电阻器。

用来制造 NTC 电阻器的材料属于半导体材料，包括由氧化铁、氧化镍、氧化钴和特殊掺和物组成的多晶系混合晶体。

热导体电阻器广泛用于半导体电路的温度稳定控制。它们同样适于用作温度传感器。

(2) 冷导体电阻器。

冷导体电阻器在冷态下的传导性特别好，亦即其阻值随温度的上升而增大。冷导体具有很大的正温度系数 (PTC)，因而也叫做 PTC 电阻器或正温度系数热敏电阻器。

PTC 电阻器由多晶系钛酸钡陶瓷制成。

PTC 电阻器可以工作在外部加热范围和自身加热范围。可用作温度传感器或温度控制电路中。例如，将它装入电动机绕组和发电机绕组中。当机器内部的温度显著升高而超过允许值时，则可以触发保护电路。

2) 光敏电阻

光敏电阻是用利用对光敏感的硫化镉 (CdS) 或硒化镉 (CdSe) 材料制成，当其受光照后，其阻值会变小。光敏电阻的 CdS 或 CdSe 沉积膜面积越大，其受光照后的阻值变化也越大。光敏电阻工作时的响应速度较慢，如 CdSe 光敏电阻的响应时间约为 10ms，CdS 的响应时间约为 100ms。因此，光敏电阻通常都工作于直流或低频状态下。

光敏电阻主要用于照相机自动测光、光电控制、室内光线控制、光控开关等方面。

3) 压敏电阻

压敏电阻器的阻值会随外加电压而变。这类电阻器也称为 VDR 电阻器。

压敏电阻器是利用被烧结的碳化硅制成的。被烧结的碳化硅是一种多晶系半导体材料，该材料有许多不同导电率的微小半导体区。各微小半导体区的耗尽层在外加电压的作用下将形成电场。外加电压越高，电场强度越强，残存的耗尽层作用就越小，从而呈现的电阻值就越小。就是说，压敏电阻器的阻值随电压的增加而变小，且与电压的极性关系不大。

压敏电阻器的主要用途是用来实现过压保护，它们可作为保护电阻与元件并联来将过压分流。另外，作为一种非线性电阻器件，压敏电阻器还被用于脉冲技术、电视技术和调控技术等。

4) 熔断电阻器

熔断电阻器又称保险丝电阻器，兼有电阻器和熔断丝 (保险丝) 双重功能。平时具有电阻器的功能，当电阻通过异常过电流时，它会像保险丝一样熔断而使电路断开，起到保护电路中其他重要作用。一般阻值和功率都较小。常用的熔断电阻型号有：

RF10 型、RF11 型、RRD0910 型和 RRD0911 型等。熔断电阻器的外形和电路符号如图 1.7 所示。

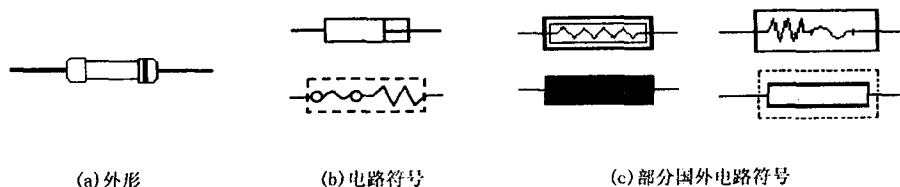


图 1.7 熔断电阻的外形及电路符号

1.1.6 电阻器的性能检测

1) 固定电阻器的性能检测

(1) 独立测量。使用万用表测量固定电阻器两端的阻值并与标称值进行比较。只要在偏差范围内，则为好电阻器。测量电阻器时要注意，手不能同时接触电阻器的两个引脚。用指针表时，应选择指针尽可能靠中的量程来测量，并对该量程调零。

(2) 在印制电路板上测量的方法。电阻器损坏时，只有潮湿或尘埃才可能引起阻值变小，否则电阻阻值一般都会变大甚至开路。在印制电路板上测量电阻器时，若正、反测量电阻发现有一次读数大于标称值且超出偏差范围，则该电阻肯定是坏电阻。若两次读数都小于标称值，则该电阻不一定是坏电阻。若还有怀疑，则必须拆出来单独测量。

2) 电位器的性能检测

首先要测量两个固定引脚端的阻值，在偏差范围内应与标称值相等，然后分别测量两个固定引脚与滑动引脚的阻值，转动电位器滑动臂时阻值应在零到标称值范围内变化。且指针必须平稳摆动，无跳变、抖动等现象。对于多联电位器必须逐联测量。带开关电位器还要测量开关的通断情况。

3) 敏感电阻的性能检测

通过测量敏感电阻两端阻值在加入相应敏感条件（如加温、加压、加光等）变化的前后来判断其好坏。若变化不大，则敏感电阻器是坏的。

例如，用于彩电消磁的热敏电阻 MZ72。在常温时测量其阻值只有 270，当用风筒加热 1min 左右时，阻值已增至数十兆欧，这说明该消磁电阻是好的。

1.2 电容器

电容器是电子电路中常用的电子元件之一，它具有隔直流、通交流、储能等特性，常被用来组成滤波、耦合、旁路和振荡等电子电路。电容容量的基本单位是法拉 (F)，常用单位是微法 (μF) 和皮法 (pF)，三者的换算关系为： $1\text{F} = 10^6 \mu\text{F} = 10^{12} \text{pF}$ 。

1.2.1 电容器的型号标注方法

常用电容器的外形及图形符号如图 1.8 所示。