

DIANZI CHANPIN
GONGYI YU ZHUANGPE
JINENG SHIXUN

电子产品 工艺与装配 技能实训

王雅芳 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



电子产品工艺与装配技能实训

王雅芳 编著



机械工业出版社

《电子产品工艺与装配技能实训》的主要内容包括常用电子元器件、常用工具设备与材料、电子元器件装配前的准备、电子元器件的焊接工艺、印制电路板的设计与制作、电子产品的安装工艺、电子产品的调试工艺、电子产品的检验工艺、技能综合实训等生产装配工艺中的知识与技巧,可以对初学者及行业人员有较好的启发作用。

本书在编写过程中,遵循“精选内容、加强实践、培养能力、突出应用”的原则。本书可作为工科院校电子信息类专业学生实用教材,以及课程实践、毕业设计和各类企业培训的辅导教材,也可作为从事电子产品装配的工程技术人员及广大电子爱好者学习时的参考书籍。

图书在版编目(CIP)数据

电子产品工艺与装配技能实训/王雅芳编著. —北京:机械工业出版社, 2012. 2

ISBN 978-7-111-37408-4

I. ①电… II. ①王… III. ①电子产品—生产工艺②电子产品—装配(机械) IV. ①TN05

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 021581 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:张俊红 责任编辑:林 楨

版式设计:刘 岚 责任校对:潘 蕊

封面设计:马精明 责任印制:乔 宇

三河市国英印务有限公司印刷

2012 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·13.5 印张·331 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-37408-4

定价:34.80



凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

随着电子技术和电子产业的迅速发展，电子产品已渗透到了各个领域，现代电子产品的制造业需要很多生产、加工、安装、调试等方面的操作技能人才。产品的性能和质量有赖于生产第一线技术人员、操作人员的技术素质，各种电子工厂都需要技能型人才。

本书采纳了当前电子产品工艺等技术，并结合电子制造业、电路设计与制板、现代电子设备的管理与维修等就业岗位群的实际需要，编写时力求突出内容的实用性和新颖性，实例丰富、结构合理、内容翔实，根据职业教育的特点，充分考虑技能工作的重要性，以图文并茂的形式，形象、直观地介绍了电子产品装配的基本工艺和操作技能。

本书由福建水利电力职业技术学院的王雅芳老师编写完成，在资料收集和技术交流方面，得到了许多学校与企业专家们的大力支持，在此表示诚挚感谢。

本书可作为工科院校信息类电子专业学生的实用教材，以及课程实践、毕业设计和各类企业培训的辅导教材，也可作为从事电路设计与制板的工程技术人员及广大电子爱好者学习的参考书籍。

由于编者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 常用电子元器件	1
1.1 电阻器	1
1.1.1 认识固定电阻器	2
1.1.2 常用固定电阻器	6
1.2 电容器	14
1.3 电感器和变压器	21
1.4 半导体器件	27
1.5 集成电路	34
1.6 开关件和接插件	42
1.7 电声器件	46
1.8 表面安装元器件	49
第2章 常用工具、设备与材料	52
2.1 常用工具	52
2.2 常用的专用设备	55
2.3 材料选用	58
第3章 电子元器件装配前的准备	64
3.1 识图	64
3.1.1 电路原理图	64
3.1.2 逻辑电路图	66
3.1.3 电路框图	67
3.1.4 电路接线图	68
3.1.5 整机装配图	69
3.1.6 机壳底板图和设备面板图	70
3.2 导线的加工	71
3.2.1 剪裁	71
3.2.2 剥头	71
3.2.3 捻头	72
3.2.4 搪锡(又称上锡)	72
3.2.5 清洗	72
3.2.6 印标记	72
3.2.7 屏蔽导线或同轴电缆的加工	73
3.2.8 线束的加工	74
3.3 元器件引线的成形加工	76
3.3.1 元器件引线的加工	76
3.3.2 元器件引线成形的方法	78
3.3.3 连续结的捆扎	79

第4章 电子元器件的焊接工艺	81
4.1 焊接的基本知识	81
4.2 手工焊接工具	81
4.3 焊接材料	85
4.3.1 锡铅合金焊料	85
4.3.2 助焊剂	86
4.3.3 阻焊剂	87
4.4 手工焊接技术及工艺要求	88
4.4.1 手工电烙铁焊接	88
4.4.2 印制电路板的焊接	91
4.4.3 焊点的质量分析	94
4.5 拆焊	97
4.6 表面安装技术	98
4.6.1 表面安装技术的一般过程	99
4.6.2 自动焊接技术	99
第5章 印制电路板的设计与制作	104
5.1 覆铜板种类和特点	104
5.1.1 印制电路板的类型	104
5.1.2 印制电路板的特点	105
5.2 印制电路板的设计	105
5.2.1 印制电路板设计的主要内容	106
5.2.2 印制电路板的设计步骤与方法	106
5.2.3 印制电路板的布局	109
5.2.4 印制电路板图的计算机辅助设计	112
5.3 印制电路板的制作及检验	113
5.3.1 印制电路板的制作	113
5.3.2 手工制板	114
5.3.3 工业制板	115
5.3.4 印制电路板质量检测	120
第6章 电子产品的安装工艺	121
6.1 电子产品安装工具的使用	121
6.1.1 紧固安装	121
6.1.2 电子产品的其他安装方法	122
6.1.3 电子产品的整机安装	123
6.2 电子产品的整机结构形式与设计	124
6.2.1 结构形式	124
6.2.2 结构设计要求	124

6.2.3 抗干扰措施	125	8.2.6 晶体管的检测	163
6.3 电子产品的装配工艺流程	126	8.2.7 场效应晶体管的检测	164
6.3.1 总装的内容	126	8.2.8 晶闸管的检测	166
6.3.2 总装的顺序和要求	126	8.3 整机检验	167
6.3.3 装配的分级	126	8.3.1 检验的概念与依据	167
6.3.4 装配的工艺流程	127	8.3.2 检验的分类	168
6.3.5 生产流水线	127	第9章 技能综合实训	169
6.4 总装的质量检查	128	9.1 基础训练	169
6.4.1 外观检查	128	9.1.1 RLC 的识别与检测	169
6.4.2 安全性检查	128	9.1.2 晶体管的识别与检测	169
第7章 电子产品的调试工艺	129	9.1.3 集成电路、桥堆、晶闸管等 的识别与检测	170
7.1 调试的目的、内容和步骤	129	9.1.4 开关、接插件、电声 器件等元件的检测	171
7.1.1 调试概述	129	9.1.5 电线电缆的端头处理与加工	171
7.1.2 调试的准备工作和流程	130	9.1.6 电路图的识读	172
7.2 电子产品的调试方法	132	9.1.7 手工自制简易印制电路板	173
7.2.1 观察法	132	9.1.8 手工焊接训练	173
7.2.2 测量电阻法	132	9.1.9 电烙铁拆焊训练	175
7.2.3 测量电压法	132	9.1.10 表面安装元器件的焊接和 拆焊综合训练	176
7.2.4 替代法	133	9.2 课题实训	177
7.2.5 波形观察法	133	9.2.1 晶体管电源的设计制作	177
7.2.6 信号注入法	133	9.2.2 集成稳压电源的设计制作	178
7.2.7 TTL 集成电路使用应 注意的问题	134	9.2.3 简易直流充电电源设计制作	179
7.3 调试的安全措施	135	9.2.4 充电器和稳压电源两用 电路的装调实训	180
7.3.1 调试的安全	135	9.2.5 定时开关电路的设计制作	184
7.3.2 测试仪表和方法	138	9.2.6 红外线光电开关电路 的设计制作	184
7.4 整机调试过程中的故障查找及处理	141	9.2.7 触摸式台灯电路的设计制作	185
7.4.1 故障现象	141	9.2.8 气体烟雾报警器的设计制作	186
7.4.2 故障处理	141	9.2.9 水位自动控制电路设计制作	187
7.4.3 常用的故障查找方法	142	9.2.10 数字显示频率计电路的制作	188
7.5 实际电子产品的调试	143	9.2.11 模拟万用表的安装调试	189
7.5.1 基板调试	143	9.2.12 数字万用表的装调实训	191
7.5.2 整体调试	146	9.2.13 收音机的安装与调试	193
第8章 电子产品的检验工艺	148	9.2.14 集成电路扩音机的装调实训	201
8.1 仪器、仪表的使用方法	148	9.2.15 集成时基电路 555 的 设计应用实训	203
8.1.1 万用表	148	9.2.16 交通信号控制系统 的装调实训	204
8.1.2 双踪示波器	153	9.2.17 数字电子钟的装调实训	206
8.1.3 电子毫伏表	156	参考文献	209
8.2 电子元器件的测量方法	156		
8.2.1 电阻器的检测方法	156		
8.2.2 电容器的检测	159		
8.2.3 电感器的检测	160		
8.2.4 变压器检测方法	161		
8.2.5 二极管的简易测试方法	162		

第 1 章 常用电子元器件

电子元器件是组成电子产品的基础。所有的电子产品都是由各种各样的电子元器件组成的，正确选择、使用电子元器件是保证产品质量和可靠性的关键。了解电子元器件的分类和用途，以及规格型号、性能参数，对所有从事电子行业的人员都是十分重要的。

电子整机是由一系列电子元器件组成的各种电路的装配组合。正确掌握常用元器件的识别、选用常识、质量判别方法，对提高电子产品的装配质量和可靠性将起到重要的保证作用。

电子元器件的种类繁多，传统的元器件引脚较长，必须穿过印制电路板上的通孔来安装（THT）。随着电子产品朝微型化和集成化方向发展，元器件的引脚变得很短或者没有引脚，这就是表面安装元件（SMC）和表面安装器件（SMD）。

通常所指的常用电子元器件即电阻器、电容器、电感器和半导体元器件等元器件。

1.1 电阻器

电阻器在电子产品中用得最多，约占元器件总数的 35% 以上，因此其工作性能和可靠性对产品的质量具有十分重要的影响。

在电路中具有电阻性能的实体元件称为电阻器，用 R 表示，单位为 Ω （欧姆）。

电阻器在电路中，用来稳定和调节电流、电压，组成分流器和分压器，在电路中起到限流、降压、去耦、偏置、负载、匹配、取样、能量转换等作用。

电阻器可分为固定电阻器、可变电阻器和敏感电阻器三大类。

常见电阻器的外形和图形符号如图 1-1 所示。

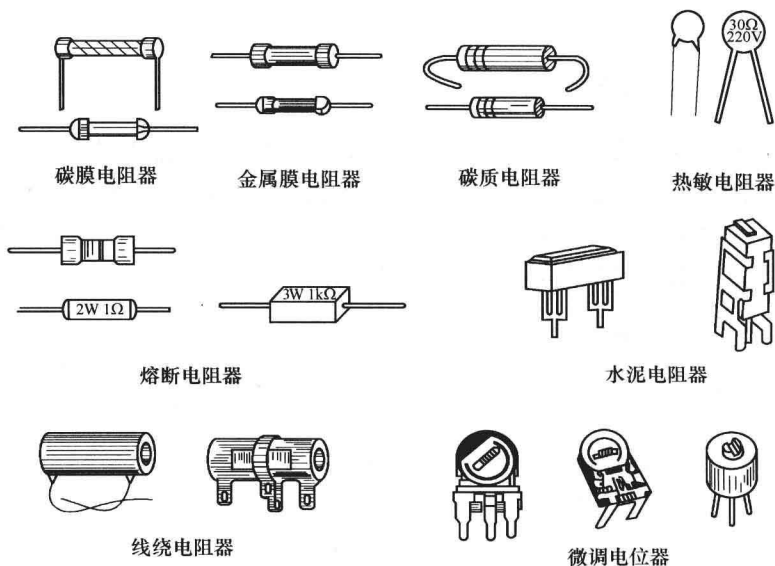


图 1-1 常见电阻器的外形和图形符号

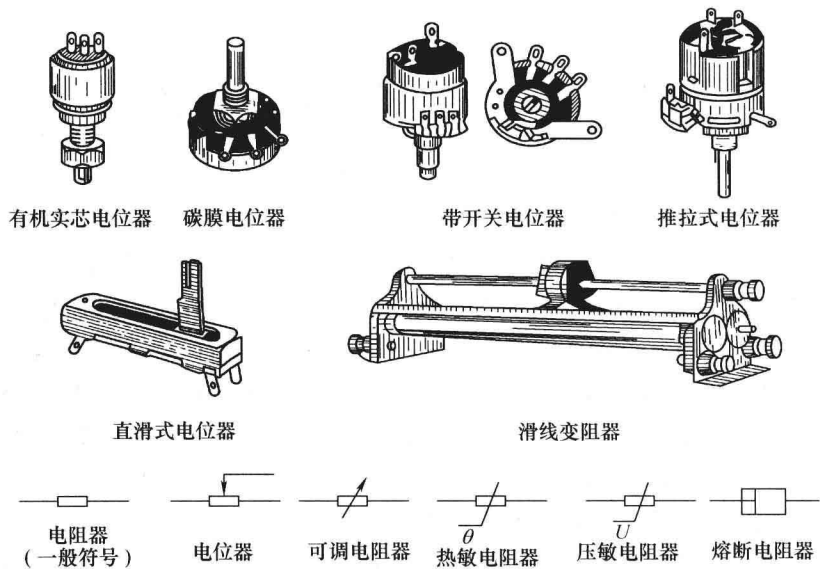


图 1-1 常见电阻器的外形和图形符号 (续)

1.1.1 认识固定电阻器

1. 固定电阻器的分类

(1) 按材料分

1) 线绕电阻器：如图 1-2 所示。

2) 薄膜电阻器：如图 1-3 所示。



图 1-2 线绕电阻器



图 1-3 薄膜电阻器

(2) 按功率分 常见的有 1/8W、1/4W、1/2W、1W 等的色环碳膜电阻器，它是电子产品和电子制作中用得最多的。其中部分不同功率色环碳膜电阻器如图 1-4a 所示。在一些微型产品中，还会用到 1/16W 的电阻器，它的体积小得多。常用的微型片状电阻器，如图 1-4b所示，微型片状电阻器也是贴片元器件家族的一员。

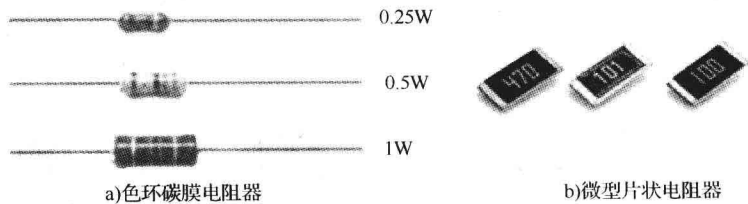


图 1-4 微型电阻器

2. 固定电阻器的型号命名方法

固定电阻器的型号命名方法的含义见表 1-1。

表 1-1 电阻型号的命名方法的含义

第一部分		第二部分		第三部分		
主 称		材 料		分类（用途、特点）		
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	H	合成膜	2	普通	普通
M	敏感电阻器	S	有机实心	3	超高频	—
		N	无机实心	4	高阻	—
		J	金属膜	5	高温	—
		Y	氧化膜	6	—	—
		C	沉积膜	7	精密	精密
		I	玻璃釉膜	8	高压	
		X	线绕	9		特殊函数
		R	热敏	G	高功率	—
		G	光敏	T	可调	—
		Y	压敏	X	—	小型
				W	—	微调
				D	—	多圈
				L		测量用

3. 固定电阻器的表示方法

（1）普通固定电阻器的表示法 阻值和允许偏差在电阻器上常用的标志方法有：直标法、文字符号法、数码表示法和色环标志法等四种。

1) 直标法：用阿拉伯数字和文字符号在电阻器上直接标出其主要参数的标注方法称为直标法。这种标注方法主要用于体积较大的元器件上，如图 1-5 所示。对小于 1000Ω 的阻值只标出数值，不标单位；对 kΩ、MΩ 只标注 k、M。精度等级标 I 或 II 级，Ⅲ级不标明。

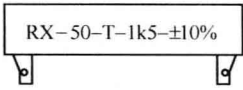


图 1-5 电阻器直标法

图 1-5 标注中“R”表示该器件是电阻器，“X”表示其种类为线绕，“50”表示额定功率为 50W，“T”为可调电阻器，“1k5”表示阻值为 1.5kΩ，允许偏差为 ±10%。

2) 文字符号法：将需要标志的主要参数与技术指标用文字和数字符号有规律的标志在产品表面上。在电阻器上标出主要参数的方法称为文字符号法，如图 1-6 所示。用文字符号法表示电阻器主要参数时，用文字符号表示电阻的单位，电阻值的整数部分写在阻值单位的前面，小数部分写在阻值单位的后面。

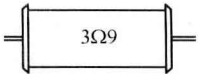


图 1-6 电阻器文字符号法

例：欧姆用 Ω 表示，千欧用 k 表示，兆欧 (10⁶Ω) 用 M 表示，吉欧 (10⁹Ω) 用 G 表示，

太欧 ($10^{12}\Omega$) 用 T 表示。

3) 数码表示法: 用三位数码表示电阻器阻值、用相应字母表示电阻器允许偏差的方法称为数码表示法。数码按从左到右的顺序, 第一、第二位为电阻的有效值, 第三位为乘数 (即零的个数), 电阻的单位是 Ω 。

例: 数码表示法表示的电阻器 103J, 其标称阻值为 $10 \times 10^3 = 10\text{k}\Omega$, J 表示该电阻的允许偏差为 $\pm 5\%$ 。



注: 0.47Ω 文字符号表示为 R47; 4.7Ω 文字符号表示为 4R7。

4) 色环标志法: 不同颜色的色环表示电阻器的标称阻值与允许偏差的标注方法称为色标法 (色环法)。该方法常用在小型电阻器上, 这类电阻器称为色环电阻器。通常用不同的背景颜色来区别电阻器的不同种类, 如浅色背景为碳膜电阻器, 红色背景为金属膜或金属氧化膜电阻器, 深绿色背景为线绕电阻器。色标法常用的有四色环色标法和五色环色标法两种。有时电阻器也用三色环色标法来标注, 其实三色环色标法与四色环色标法是一样的, 只是第四条色环为无色, 其允许偏差为 $\pm 20\%$ 。

电阻器的标称阻值是指电阻器上所标注的阻值, 见表 1-2。标称系列使用时可将表中数值乘以 $10^n\Omega$, 例 E_{48} 系列的 1.15 代表 1.15Ω 、 11.5Ω 、 115Ω 、 1150Ω 等系列阻值。

表 1-2 通用电阻器的标称阻值系列

标称系列名称	偏 差	电阻器的标称阻值
E_{48}	$\pm 1\%$	1.00, 1.05, 1.10, 1.15, 1.21, 1.27, 1.33, 1.40, 1.47, 1.54, 1.62,
		1.69, 1.78, 1.87, 1.96, 2.05, 2.15, 2.26, 2.37, 2.49, 2.61, 2.74,
		2.87, 3.01, 3.16, 3.32, 3.48, 3.65, 3.83, 4.02, 4.22, 4.42, 4.64,
		4.87, 5.11, 5.36, 5.62, 5.90, 6.19, 6.49, 6.81, 7.15, 7.50, 7.87,
		8.25, 8.66, 9.09, 9.53
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

随着对器件数值精密度要求相对越来越高, 相继有 E_{96} 、 E_{192} 系列标准, 使电阻的系列值增加, 阻值偏差也越来越小。

标称阻值与实际阻值之间允许的最大偏差范围称为电阻的允许偏差, 见表 1-3。

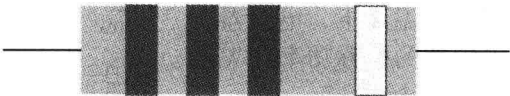
$$\text{电阻的允许偏差} = \frac{\text{标称阻值} - \text{实际阻值}}{\text{标称阻值}} \times 100\%$$

表 1-3 电阻器标注偏差

标注 符号	对 称 偏 差											不 对 称 偏 差		
	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	+10 ~100	+20 ~80	+20 ~50

普通电阻器大多用四个色环表示其阻值和允许偏差。第一、第二色环表示有效数字，第三色环表示乘数，与前三色环距离较大的第四色环表示允许偏差，见表 1-4。

例：红、红、红、银四色环表示的阻值为 $22 \times 10^2 = 2200\Omega$ ，允许偏差为 $\pm 10\%$ 。



精密电阻器采用五个色环标志，前三色环表示有效数字，第四色环表示倍率，与前四色环距离较大的第五色环表示允许偏差。

例：棕、紫、绿、银、棕五色环表示阻值为 $175 \times 10^{-2} = 1.75\Omega$ ，允许偏差为 $\pm 1\%$ 。



表 1-4 色环颜色的规定

颜色	第一色环 第一位数	第二色环 第二位数	第三色环 环倍数	第四色环 环偏差	颜色	第一有效数	第二有效数	第三有效数	倍数	允许偏差
黑	0	0	10^0		黑	0	0	0	10^0	
棕	1	1	10^1		棕	1	1	1	10^1	$\pm 1\%$
红	2	2	10^2		红	2	2	2	10^2	$\pm 2\%$
橙	3	3	10^3		橙	3	3	3	10^3	
黄	4	4	10^4		黄	4	4	4	10^4	
绿	5	5	10^5		绿	5	5	5	10^5	$\pm 0.5\%$
蓝	6	6	10^6		蓝	6	6	6	10^6	$\pm 0.25\%$
紫	7	7	10^7		紫	7	7	7	10^7	$\pm 0.1\%$
灰	8	8	10^8		灰	8	8	8	10^8	
白	9	9	10^9		白	9	9	9	10^9	
金			10^{-1}	$\pm 5\%$	金				10^{-1}	
银			10^{-2}	$\pm 10\%$	银				10^{-2}	
无色				$\pm 20\%$						

a) 普通型

b) 精密型

注：色环的顺序为电阻引脚一边的色环最靠近引脚的为第一环，离引脚远一些的色环为最后的色环（允许偏差环），一般允许偏差环与其他色环的间距大些，如果两端的色环离两端引脚等间距，可借助电阻的标称值系列以及色环符号的规定来判断电阻值。

（2）片式固定电阻器的标示 当片式电阻阻值精度为 $\pm 5\%$ 时，采用三个数字表示：跨接线记为 000；（专门作跨接线用的电阻器也叫片式跨接线电阻器或零阻值电阻器）。阻值小于 10Ω 的，在两个数字之间补加“R”；阻值在 10Ω 以上的，则最后一数值表示增加的零的个数。

例： 100Ω 记为 101； $1\text{M}\Omega$ 记为 105。

当片式电阻阻值精度为 $\pm 1\%$ 时，则采用四个数字表示：前面三个数字为有效数，第四

位表示增加的零的个数；阻值小于 10Ω 的，仍在第二位补加“R”；阻值为 100Ω ，则在第四位补0。

例： 4.7Ω 记为4R70； 100Ω 记为1000； $1M\Omega$ 记为1004； 10Ω 记为10R0。

(3) 额定功率 电阻器额定功率的符号表示，额定功率在规定的大气压和额定温度下，电阻器所允许承受的最大功率称为电阻器的标称功率（W）。一般按下面图 1-7 的表示方法进行标注。

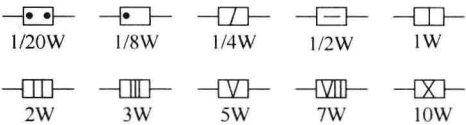


图 1-7 额定功率符号

普通电阻器的额定功率随电阻器尺寸的增大而增大，见表 1-5。额定功率越大，价格越高。额定功率为 0.05 ~ 2W 的一般不标出，而大功率电阻器的额定功率往往直接标在电阻器上。

如果实际使用过程中功率超过额定值，电阻器的阻值会发生改变，会造成电阻器过热而烧坏。

表 1-5 碳膜电阻器和金属膜电阻器的长度、直径与额定功率关系表

参 数	碳膜电阻器（RT）		金属膜电阻器（RJ）	
	长度/mm	直径/mm	长度/mm	直径/mm
1/8	11	3.9	6 ~ 7	2 ~ 2.5
1/4	18.5	5.5	7 ~ 8.3	2.5 ~ 2.9
1/2	28.5	5.5	10.8	4.2
1	30.5	7.2	13	6.6
2	48.5	9.5	18.5	8.6

(4) 电阻器的温度系数 电阻器的电阻值随温度的变化略有改变。温度每变化 1°C 所引起电阻值的相对变化称为电阻器的温度系数。温度系数可正可负，如果温度升高，电阻值增大，则该电阻器具有正的温度系数，如果温度升高，电阻值减小，则该电阻器具有负的温度系数，温度系数越小，电阻器的温度稳定度越高。

(5) 电阻器的噪声 电阻器的噪声包括热噪声和电流噪声。热噪声是由于电阻器中自由电子的不规则热运动而使电阻器内任意两点间产生了随机电压。电流噪声是当电阻器通过电流时，导电颗粒之间以及非导电颗粒之间不断发生碰撞，使颗粒之间的接触电阻不断变化，因而电阻器两端除直流电压降之外还有一个不规则的交变电压分量。

(6) 电阻器的频率特性 电阻器上实际都还存在着分布电感和分布电容。在直流和低频交流电路中，它们的影响可以忽略不计，但在频率比较高的交流电路中，这些分布参数的影响不能忽视，其交流等效电阻将随频率而变化。

1.1.2 常用固定电阻器

1. 普通固定电阻器

(1) 碳膜电阻器 采用高温真空镀膜技术将碳紧密附在瓷棒表面形成碳膜，然后加适当接头切割，并在其表面涂上环氧树脂密封保护而成的。其表面常涂以绿色保护漆。碳膜的厚度决定阻值的大小，通常用控制膜的厚度和刻槽来控制电阻值。

性能特点：有良好的稳定性，负温度系数小，高频特性好，受电压频率影响较小，噪声

电动势较小,脉冲负荷稳定,阻值范围宽,因其制作容易,生产成本低,价廉,应用非常广泛,如图1-8所示。

阻值范围: $1\Omega \sim 10M\Omega$;

额定功率有 $1/8W$ 、 $1/4W$ 、 $1/2W$ 、 $1W$ 、 $2W$ 、 $5W$ 、 $10W$ 等,少数做成 $25W$ 、 $50W$ 、 $100W$ 。

(2) 金属膜电阻器 金属膜电阻器以特种金属或合金作电阻材料,用真空蒸发或溅射的方法,在陶瓷或玻璃基体上形成电阻膜层的电阻器。这类电阻器一般采用真空蒸发工艺制得,即在真空中加热合金,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。它的耐热性、噪声电势、温度系数、电压系数等电性能比碳膜电阻器优良。金属膜电阻器的制造工艺比较灵活,不仅可以调整它的材料成分和膜层厚度,也可通过刻槽调整阻值,因而可以制成性能良好,阻值范围较宽的电阻器。

性能特点:金属膜电阻器的稳定性好,耐热性能好,温度系数小,电压系数比碳膜电阻器更好,如图1-9所示。它的工作频率范围大,噪声电动势很小,可在高频电路中使用。在相同功率条件下,它比碳膜电阻器体积小很多,但这种电阻器脉冲负荷稳定性较差。



图1-8 碳膜电阻器



图1-9 金属膜电阻器

阻值范围:一般为 $1\Omega \sim 200M\Omega$;

额定功率有 $1/8W$ 、 $1/4W$ 、 $1/2W$ 、 $1W$ 、 $2W$ 等,一般不超过 $2W$;

金属膜电阻器其外形结构与普通碳膜电阻器相同。

(3) 金属氧化膜电阻器 金属氧化膜电阻器在瓷管上镀上一层氧化锡而成,在绝缘棒上沉积一层金属氧化物。由于其本身即是氧化物,所以高温下稳定,耐热冲击,负载能力强。按用途分,有通用、精密、高频、高压、高阻、大功率和电阻网络等。

金属氧化膜电阻器的性能特点:它比金属膜电阻器抗氧化能力强,抗酸、抗盐的能力强,耐热性能好。缺点是由于材料特性和膜层厚的限制,阻值范围小,如图1-10所示。

阻值范围为 $1\Omega \sim 200k\Omega$;

额定功率为 $1/8W \sim 10W$, $25kW \sim 50kW$ 。

(4) 合成碳膜电阻器 在绝缘基体上涂敷一层合成碳膜,经加温聚合后形成碳膜片,再与其他零件组合而成。合成碳膜电阻器的生产工艺、设备简单,因此价格低廉;它的阻值范围大,可达 $10M\Omega \sim 106M\Omega$ 。缺点是抗湿性差,电压稳定性低,频率特性不好,噪声大。它不适用于通用电阻器,如图1-11所示。

阻值范围为 $10M\Omega \sim 106M\Omega$;

额定功率为 $1/4W \sim 5W$;

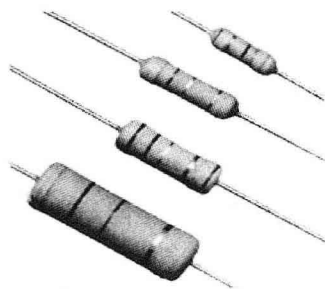


图1-10 金属氧化膜电阻器

最高工作电压为 35kV。

(5) 有机合成实心电阻器 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心电阻体。有机合成实心电阻器的机械强度高、可靠性好，具有较强的过负载能力，体积小、价格低廉。缺点是固有噪声大、分布参数大，电压和温度稳定性差。这种电阻器不适用于要求较高的电路，如图 1-12 所示。

阻值范围为 $4.7\Omega \sim 22M\Omega$ ；

工作电压为 250V ~ 500V；

额定功率为 1/4W ~ 2W。

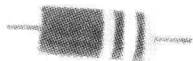


图 1-11 合成碳膜电阻器

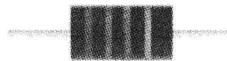
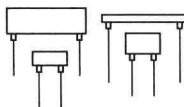


图 1-12 有机合成实心电阻器

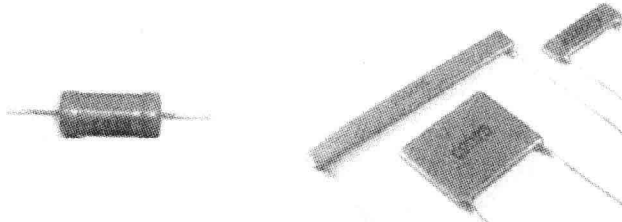
(6) 玻璃釉电阻器 玻璃釉电阻器的性能特点是耐高温、耐湿性好，稳定性好，噪声小，温度系数小，阻值范围大。该电阻器属于厚膜电阻器，如图 1-13 所示。



a) 圆柱形



b) 片状



c) 圆柱形和片状玻璃釉电阻器实物

图 1-13 玻璃釉电阻器

(7) 线绕电阻器 线绕电阻器是用电阻丝绕在绝缘骨架上再经过绝缘封装处理而成的一类电阻器，电阻丝一般采用一定电阻率的镍铬、锰铜等合金制成，绝缘骨架一般采用陶瓷、塑料、涂覆绝缘层的金属骨架。

性能特点：这种电阻器噪声小，甚至无电流噪声；温度系数小、精度较高、热稳定性好、耐高温，工作温度可达到 170°C ；功率大，能承受大功率负荷。缺点是结构上的原因，分布电容和电感系数都比较大，高频特性差。这类电阻器通常在大功率电路中作降压或负荷等用途，如图 1-14 所示。在线绕电阻器中，有一种用陶瓷做骨架，在电阻器的外层涂釉或其他耐热并且散热良好的绝缘材料的大功率线绕电阻器，这种线绕电阻器的特点是耗散功率大，可达数百瓦，主要用作大功率负载，能工作在 $150 \sim 300^{\circ}\text{C}$ 温度的环境中。

阻值范围为 $0.1\Omega \sim 5M\Omega$ ；

额定功率为 1/8W ~ 500W；

线绕电阻器分为固定式和可调式两种。在线绕电阻器中，还有一种可调线绕电阻器，它

是在线绕的外面装有可移动的卡环作为接触引出端，在釉（漆）层上面留有狭长的窗口，露出绕线接触道，卡环通过触点在接触道上移动就可以调节阻值，所以是一种可变电阻器。

(8) 熔断电阻器 熔断电阻器是一种具有电阻器和熔断器双重作用的特殊元件。它在电路中用字母“RF”或“R”表示。熔断电阻器在电路正常工作时，它具有普通电阻器的功能；当电路出现故障而超过其额定功率时，它会像熔断器一样熔断将连接电路断开，从而起到保护作用。熔断电阻器可以分绕线型、金属膜型、碳膜型、化学沉积膜型等，其阻值范围为 $0.33\Omega \sim 10k\Omega$ ，如图 1-15 所示。



图 1-14 线绕电阻器

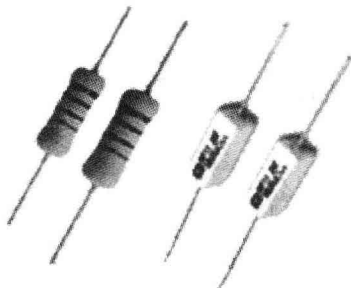


图 1-15 熔断电阻器

(9) 矩形片式电阻器 新一代无引线或短引线微型电子元件，其引出端的焊接面在同一平面上。矩形片状电阻器有两种类型，即厚膜片状电阻器和薄膜片状电阻器。目前常用的是厚膜片状电阻器。特性是体积小、重量轻、电性能稳定、可靠性高，机械强度高，高频特性比较优越。矩形片式电阻器如图 1-16 所示。

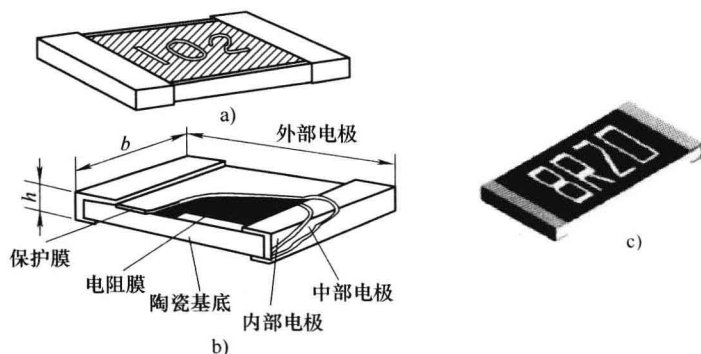


图 1-16 矩形片式电阻器

(10) 圆柱形片状电阻器 与矩形片式电阻器相比，圆柱形片状电阻器无方向性和正反面性，包装使用方便，装配密度高，固定到印制电路板上有一定的抗弯曲能力，特别是噪声电平和三次谐波失真都比较低，常用于高档音响电器产品中，如图 1-17 所示。



图 1-17 圆柱形片状电阻器

(11) 小型固定电阻网络 电阻网络是电阻器集成的复合元件,也叫阻排,具有体积小、重量轻,可以高密度安装,可靠性高、可焊性好等特点。薄膜电阻网络只在要求高频、精密的情况下使用,如图 1-18 所示。

2. 可变电阻器

(1) 可变电阻器定义 阻值可以调节的则称为可变电阻器(又称变阻器或电位器),其又分为可变(可调)和半可变电阻器。半可变(或微调)电阻器,主要用在阻值不经常变动的电路中,其转动结构较简单。

它们都具有三个引脚,其中两个引脚是固定端,另一个引脚是滑动端,如图 1-19 所示。



图 1-18 固定电阻网络



图 1-19 电位器的电路符号

微调电阻器的体积小,阻值的调节需要使用工具(螺钉旋具,习称螺丝刀)进行;可调电阻器的体积更大些,滑动端带有手柄,使用时可根据需要直接用手调节。

微调电阻器一般是用于电路参数的调整,一旦电子产品调整定形后,微调电阻器就无需再调整了;电位器主要用于电子产品使用的调节方面,是方便用户使用设置的。

(2) 可变电位器的种类

- 1) 按调节方式划分为旋转式(或转轴式)电位器和直滑式电位器。
- 2) 按联数划分为单联式电位器和双联式电位器。
- 3) 按有无开关分为开关电位器和无开关电位器。
- 4) 按输出函数特性划分为线性电位器(X型)、对数电位器(D型)和指数电位器(Z型)三种。

(3) 可变电位器的主要性能指标

- 1) 标称阻值。
- 2) 额定功率。
- 3) 滑动噪声。
- 4) 分辨力。
- 5) 阻值变化规律。
- 6) 起动转矩。

(4) 可变电位器的标示

电位器的参数标示方法主要为直标法,通常将标称阻值及允许偏差、额定功率和类型标注在电位器的外壳上,一些小型电位器只标示标称阻值。

例:某电位器外壳标注 W51K-0.5/X。

文字符号表示为:标称阻值 51k Ω ,额定功率 0.5W, X 型电位器。

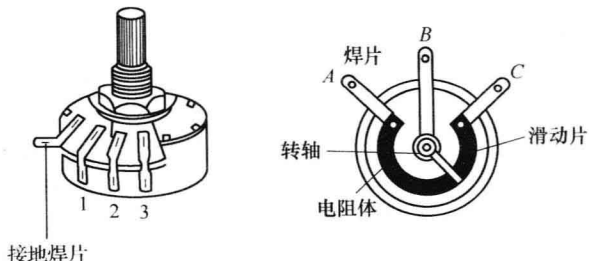


图 1-20 电位器结构

(5) 电位器的结构 如图 1-20 所示。

(6) 常用电位器

1) 线绕电位器：线绕电位器的电阻体是用合金电阻丝制成的。

性能特点：精度易于控制，稳定性好，电阻器的温度系数小，噪声小，耐高温，但阻值范围较窄，一般在几欧到几十千欧之间，有较大的功率。在同样的功率下，线绕电位器的体积最小，但它的分辨率低、价格高，而且绕组具有分布电感和分布电容，限制了它的高频使用。如图 1-21 所示。

2) 合成碳膜电位器：合成碳膜电位器旁边两端焊片间的电阻值是电位器的最大阻值，滑动臂与旁边两端焊片间的阻值随触点位置改变而变化，改变滑动臂在碳膜片上的位置，就可以达到调节电阻的目的。如图 1-22 所示。



图 1-21 线绕电位器

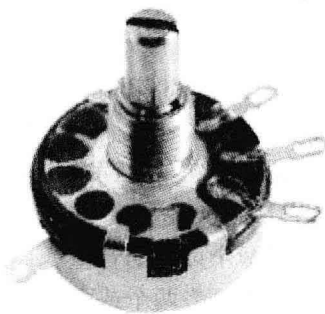


图 1-22 合成碳膜电位器

性能特点：其阻值变化连续，分辨率高，阻值变化范围宽（ $100\Omega \sim 5M\Omega$ ）；对温度和湿度适应性差，使用寿命短。额定功率有 0.125W、0.5W、1W、2W 等，精度一般为 $\pm 20\%$ 。它是目前电子技术中应用最广泛电位器品种。

3) 有机实心电位器：有机实心电位器是一种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，在基座上形成的实心电阻体。

有机实心电位器按照输出函数的区别分为：直线式、指数式和对数式三类。

性能特点：结构简单、耐高温、体积小、寿命长、可靠性高、耐压稍低、噪声大、转矩大，它多用于对可靠性要求较高的电路中。阻值范围在 $47\Omega \sim 4.7M\Omega$ ，功率在 0.25 ~ 2W 之间，精度有 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 几种。如图 1-23 所示。



图 1-23 有机实心电位器

4) 单圈式电位器：单圈式电位器是电位器的一种，它的滑动臂只能在不到 360° 的范围内旋转。

5) 多圈电位器：多圈式电位器的滑动臂从一个极端位置到另一个极端位置，它的轴要转动好几圈。多圈电位器是说，它的电阻体有很多周，通常来说有 10 周。即：它的机械行程为 3600° 。内部可以做成螺旋状的机械行程导轨，在导轨两头设置止挡。这种电位器的电阻丝紧紧地绕在外有绝缘层的粗金属线上，金属线圈绕成螺旋形，装在有内螺纹的壳体内。它的特点是电压分辨率和行程分辨率高，但成本高，这类电阻适用于需精密微调的电路。

6) 多圈微调电位器：多圈微调电位器是用蜗轮、蜗杆结构调节电阻，蜗轮上装有滑动