

电子工艺 基础与实践

DIANZI GONGYI JICHU YU SHIJIAN

杨启洪 杨日福 主编



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

电子工艺基础与实践

杨启洪 杨日福 主编



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

· 广州 ·

内 容 简 介

本书内容包括常用电子元器件、印制电路板的设计与制作、焊接技术、表面贴装技术、调试与检测、电子设备整机结构与设计、基本工程图、电子线路 CAD、实用电路制作等。书中的电路设计实例,都是具有一定代表性的经典设计,有利于学生进行课程设计和创新实践。

本书除了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

电子工艺基础与实践/杨启洪, 杨日福主编. —广州: 华南理工大学出版社, 2012. 11

ISBN 978-7-5623-3746-1

I. ①电… II. ①杨…②杨… III. ①电子技术-实习 IV. ①TN01-45

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 201660 号

电子工艺基础与实践

主编 杨启洪 杨日福

出 版 人: 韩中伟

出版发行: 华南理工大学出版社

(广州五山华南理工大学 17 号楼, 邮编 510640)

<http://www.scutpress.com.cn> E-mail: scutc13@scut.edu.cn

营销部电话: 020-87113487 87111048 (传真)

责任编辑: 欧建岸

印 刷 者: 湛江日报社印刷厂

开 本: 787mm×960mm 1/16 印张: 17.75 字数: 368 千

版 次: 2012 年 11 月第 1 版 2012 年 11 月第 1 次印刷

印 数: 1~2000 册

定 价: 32.00 元

版权所有 盗版必究 印装差错 负责调换

前 言

高等工科教育的人才培养正由知识型向能力型转化。在校学生既要系统学习和掌握科学的理论,也应具备工程技术方面的能力。我们编写的《电子工艺基础与实践》,将电子产品的制作工艺理论与实践操作指导相结合,使学生能了解电子产品的工艺制作过程,在系统地学习工艺理论的同时进行操作训练,以培养学生的动手能力、分析和解决实际问题的能力,为今后从事相关的技术工作奠定基础。

本书详细介绍了常用电子元器件的产品规格、应用选择与基本测试方法、电路板的设计与制作、电路的焊接技术、调试与检测、整机安装等工艺技术。本书内容既包含传统工艺,也引入了先进的工艺技术;既介绍手工操作的具体方法,也介绍自动化生产的过程。使学生得到扎实的技能训练的同时认识工厂实际生产过程,以拓宽知识视野。实用电路制作的内容,力求兼顾电路结构合理性、技术先进性、制作规范性等方面。工艺涵盖全面,训练内容丰富,可操作性强。本教材注重引导学生把所学的电子技术知识有效地运用,从而认识到对于技术先进、性能可靠的产品,技术设计固然重要,但还必须要有完善的工艺过程去实现,促使学生理论联系实际,开展技能训练和工程实践,在实践中建立起工程意识和严谨的工作作风,以培养学生的综合素质和创新能力。

本书由杨启洪、杨日福主编,不同章节主要由杨启洪、杨日福、廖继海、何璞、谢再晋、符玉荷、黄谭友、余光正、李丽秀、修建国、周俊生、刘友举等参与编写,最后由杨启洪、杨日福审稿和修改。在编写过程中得到华南理工大学电子工艺实习中心工作过的一些教师的大力支持,也得到华南理工大学出版社的大力支持,在此我们一并表示衷心的感谢!

编者主要针对现有的电子工艺技术根据以往教学经验总结进行编写,能力有限,而电子工艺技术也一直在不断更新和发展,因此书中难免存在诸多不足之处,敬请各位读者批评指正。

编 者
2012 年 11 月

目 录

第1章 常用电子元器件	1
1.1 电阻器	1
1.1.1 电阻器型号命名与图形符号	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	6
1.1.4 电位器	9
1.1.5 电阻器的检测与选用	11
1.2 电容器	12
1.2.1 电容器型号命名规定与图形符号	13
1.2.2 电容器的种类	14
1.2.3 电容器的主要参数和标示方法	16
1.2.4 电容器的检测方法	18
1.2.5 电容器的选用	19
1.3 电感器和变压器	20
1.3.1 电感器	20
1.3.2 变压器	22
1.4 电声器件	24
1.4.1 扬声器	25
1.4.2 耳机	26
1.4.3 传声器	26
1.4.4 电声器件的使用	26
1.5 石英晶振及陶瓷滤波器	26
1.5.1 晶振元件的种类	27
1.5.2 晶振元件的性能检查	27
1.6 开关与接插件	27
1.6.1 开关	28
1.6.2 继电器	30
1.6.3 接插件	32

1.7 半导体分立器件	34
1.7.1 半导体分立器件的命名	35
1.7.2 二极管	37
1.7.3 三极管	42
1.7.4 场效应管	48
1.7.5 可控硅	50
1.8 光电器件	55
1.8.1 光电开关	55
1.8.2 光电耦合器	56
1.9 集成电路	56
1.9.1 集成电路的基本类别	56
1.9.2 数字集成电路	57
1.9.3 模拟集成电路	58
1.9.4 集成电路命名	59
1.9.5 集成电路封装及外形	60
1.9.6 集成电路的质量判别及代用	62
1.9.7 集成电路使用的注意事项	63
1.9.8 典型集成电路简介	64
第2章 印制电路板的设计与制作	72
2.1 印制电路板概述	72
2.1.1 印制电路板的定义	72
2.1.2 印制电路板的作用	73
2.1.3 印制电路板的分类	73
2.2 印制电路板设计的准备工作	74
2.2.1 电路方案试验	74
2.2.2 板材、形状、尺寸和厚度的确定	74
2.3 印制电路板图的设计	76
2.3.1 排版布局的原则	77
2.3.2 排版布线的技巧	81
2.3.3 板图设计中易犯的错误	82
2.4 实验室印制电路板的制作方法	83
2.4.1 贴胶法制板工艺流程	83
2.4.2 热转印法制板工艺流程	84
2.4.3 丝网漏印制板法	85

2.4.4 手工描绘法制板	85
2.4.5 制作印制电路板的常见问题	86
2.5 现代工厂制造印制电路板的工艺流程简介	86
2.5.1 工厂制板工艺流程	86
2.5.2 底图胶片的制作	87
2.5.3 图形转移	88
2.5.4 印制电路板的刻蚀	89
2.5.5 印制电路板的机械加工	89
第3章 焊接技术	90
3.1 焊接技术与锡焊机理	90
3.1.1 锡焊及其特点	90
3.1.2 锡焊机理	91
3.1.3 锡焊的条件	92
3.2 焊接工具	93
3.2.1 电烙铁	93
3.2.2 其他常用工具	95
3.3 焊料与焊剂	97
3.3.1 焊料	97
3.3.2 助焊剂	101
3.3.3 无铅焊料	103
3.4 手工烙铁焊接技术与操作技巧	106
3.4.1 焊接操作姿势与卫生	106
3.4.2 焊接操作的基本步骤	107
3.4.3 焊接温度与加热时间	108
3.4.4 焊接操作技巧	109
3.5 拆焊	112
3.6 焊点要求及焊接质量检查	113
3.6.1 焊点要点	113
3.6.2 焊接质量检查	114
3.7 电子工业生产中的焊接简介	118
3.7.1 浸焊与波峰焊	118
3.7.2 再流焊	119
3.7.3 其他焊接方法	119
3.8 导线焊接技术	120

第4章 表面贴装技术	122
4.1 SMT的特点及组成	122
4.1.1 SMT的特点	122
4.1.2 SMT的组成	122
4.2 贴片元器件(SMD/SMC)	123
4.2.1 贴片元器件的性能特点	123
4.2.2 贴片元器件的种类	123
4.2.3 常用贴片元器件的分类介绍	125
4.3 表面贴装印制电路板(SMB)	140
4.3.1 表面贴装印制电路板的特点	140
4.3.2 SMB焊盘设计及连线、过孔考虑	141
4.3.3 SMB基板选择和元器件布局设计	143
4.4 表面贴装技术(SMT)工艺流程	144
4.4.1 波峰焊工艺流程	144
4.4.2 再流焊工艺流程	145
4.4.3 SMT装配结构与选用工艺流程	145
4.4.4 表面贴装材料	146
4.5 SMT设备	148
4.5.1 印刷机	148
4.5.2 滴胶机	149
4.5.3 贴片机	150
4.5.4 焊接机	152
4.5.5 SMT设备的发展	154
第5章 调试与检测	156
5.1 目的与原则	156
5.2 调试步骤	157
5.2.1 调试前的准备	157
5.2.2 通电前的直观检查	157
5.2.3 通电调试	158
5.2.4 整机调试检测	161
5.2.5 自动测量调试简介	162
5.3 调试仪器的选择与配置	164
5.3.1 调试仪器的选择	164
5.3.2 调试与检测仪器的配置使用	166
5.4 调试的经验方法、实例	168
5.4.1 调试仪器的布置与连接	168

5.4.2 调试仪器的使用	169
5.4.3 调试实例	171
5.5 故障的查找与排除	173
5.5.1 故障产生的原因	173
5.5.2 故障查找与排除的一般步骤	173
5.5.3 故障检测的常用方法	174
第6章 电子设备的整机结构及其设计	180
6.1 电子产品的整机结构	180
6.1.1 整机结构形式	180
6.1.2 电子设备结构设计的基本要求	181
6.1.3 结构设计的一般步骤	182
6.2 布局设计	183
6.2.1 底座设计	183
6.2.2 面板设计	183
6.2.3 内部结构设计	184
6.2.4 环境防护设计	186
6.2.5 外观设计	187
第7章 基本的电子工程图	188
7.1 电子工程图分类	188
7.2 原理图	189
7.2.1 概略图	189
7.2.2 电路图	190
7.2.3 逻辑图	194
7.2.4 各种原理图的灵活运用	196
7.3 工艺图	196
7.3.1 印制电路板图	196
7.3.2 安装接线图	197
7.3.3 机壳图、底板图	199
7.3.4 面板图	200
第8章 电子线路 CAD	202
8.1 Protel 99SE 的基本特点及概念	202
8.2 Protel 99SE 的基本设计过程与技巧	206
8.2.1 设计管理器界面	207
8.2.2 设计文件库的建立	207

8.2.3	原理图文件的建立	208
8.2.4	原理图设计环境参数的设置	209
8.2.5	原理图文件中添加元器件库、放置元器件及连线	210
8.2.6	电器规则检查以及网络表文件的生成	213
8.2.7	PCB 文件的建立	217
8.2.8	设置 PCB 文件环境参数	217
8.2.9	添加元器件封装库并绘制 PCB 板的电气边界	221
8.2.10	网络表文件及布局布线	222
8.2.11	网络检查	226
8.2.12	文件打印	227
第 9 章	实用电路制作	229
9.1	具有过流保护的直流可调稳压电源	229
9.2	脉冲可调恒流充电器	235
9.2.1	脉冲可调恒流充电器 (A 型)	235
9.2.2	脉冲可调恒流充电器 (B 型)	237
9.3	灯光控制电路	240
9.3.1	声—光控制照明开关	240
9.3.2	灯光控制器	242
9.3.3	集声、光、触摸于一体的延时节电开关	248
9.4	单片机控制 LED 流动显示电路	248
9.5	简易防盗报警器	252
9.6	保护器	254
9.6.1	通用家电保护器 (A 型)	254
9.6.2	通用家电保护器 (B 型)	257
9.6.3	过压、过流保护器	258
9.7	循环定时器	259
9.8	三位半数字电压表	261
9.9	数字式温度计	262
9.10	模拟电子开关电路	264
9.11	其他实用电路	266
附录	实习报告的参考思路	269
	参考文献	274

第 1 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。电子元器件的种类繁多，随着电子产业的迅速发展，新型电子元器件的品种不断涌现。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，通常简称电阻。

电阻器按阻值是否可变分为固定电阻器（含敏感电阻器）、可变电阻器（含电位器）两大类。

1.1.1 电阻器型号命名与图形符号

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/T 2470 - 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。

表 1 - 1 电阻器、电位器、敏感电阻的材料

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		

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 1-2 电阻器、电位器、敏感电阻器的特性、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。

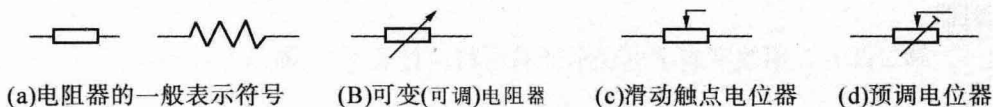


图 1-1 常用电阻器的图形符号

例 1 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。

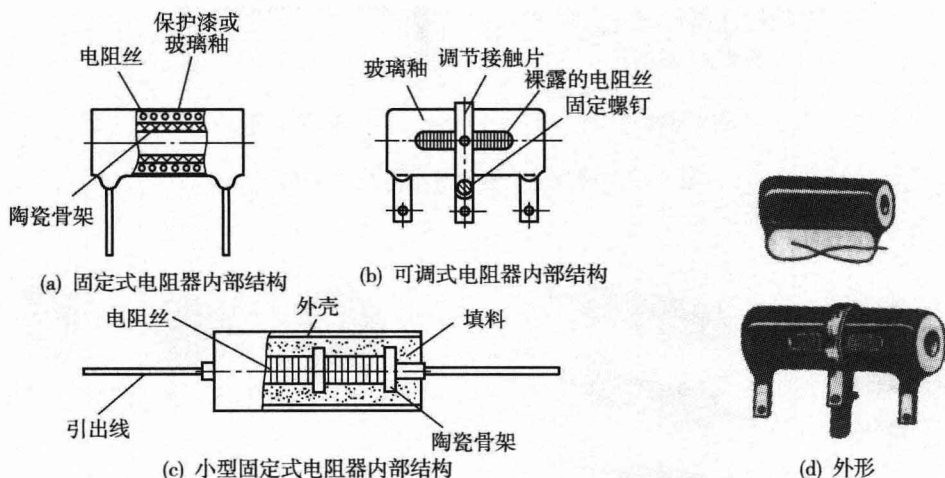


图 1-2 线绕电阻器内部结构及外形

(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。

(3) 实芯电阻器

实芯电阻器是将炭黑、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。

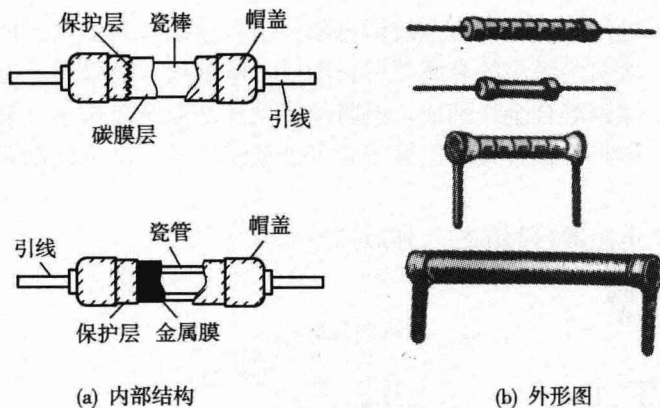


图 1-3 薄膜电阻器内部结构及外形图

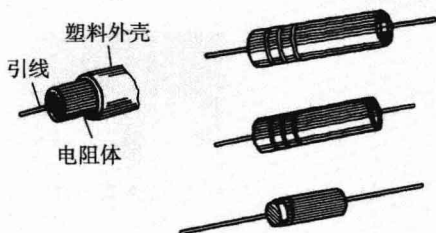


图 1-4 实芯电阻器内部结构及外形

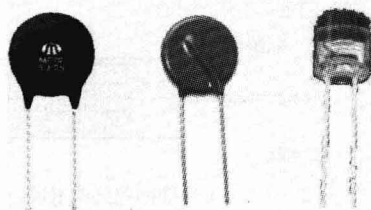


图 1-5 敏感电阻器外形

(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。

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 常用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)	$R: 0.1 \sim 5M$ $P: 0.125 \sim 500$	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、高温及精密度较高的场合
薄膜电阻器	碳膜 (RT)	$R: 1 \sim 10M$ $P: 0.125 \sim 10$	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
	金属膜 (RJ)	$R: 1 \sim 620M$ $P: 0.125 \sim 5$	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成多孔状态, 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)	$R: 10 \sim 106M$ $P: 0.25 \sim 5$	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)	$R: 1 \sim 200k$ $P: 25 \sim 50k$	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)	$R: 5.1 \sim 200M$ $P: 0.5 \sim 2$ 大功率: $5 \sim 500$	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

(续表)

电阻器类型		阻值 $R(\Omega)$ 功率 $P(W)$	电阻器的特性	应用场合
实芯电阻	有机实芯 (RS)	$R: 470 \sim 22M$	优点: 制造工艺简单, 机械强度高, 过载能力强, 价格低廉	主要用于电力、电子等高压大电流领域。
	无机实芯 (RN)	$P: 0.25 \sim 2$	缺点: 阻值很不稳定, 噪声很大	

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。现根据国家标准 GB2471—81《电阻标称阻值系列》的规定, 对电阻器的主要参数进行介绍。

(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)。

表 1-4 电阻器允许偏差的文字符号表示

标志 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	+100 -10	+50 -20	+80 -20

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 1.5Ω , 15Ω , 150Ω , ..., $1.5M\Omega$ 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 1-5 通用电阻的标称阻值系列

标称阻值系列	偏差	电阻的标称阻值
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。

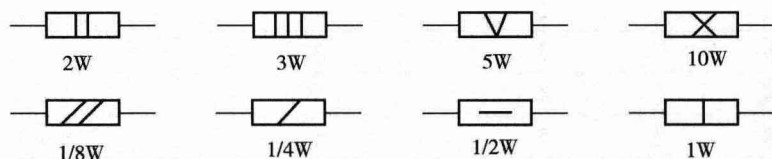


图 1-6 电路图中标注电阻器功率符号

1.1.3.2 电阻器主要参数的标示方法

为了更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示在电阻器上。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、III 表示。如 1.5Ω 标示为 1R5