

新
版

21世纪

高职高专系列教材

电子工艺 实训教程

◎夏西泉 编著

◎任德齐 审



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



21 世纪高职高专系列教材

电子工艺实训教程

夏西泉 编著
任德齐 审



机械工业出版社

本书是 21 世纪高职高专电子信息类规划教材,也是电子信息类专业的公共基础课程。本书的编写原则是:以理论够用为度,注重培养学生的基本实践技能。

本书主要内容包括:常用元器件的结构、主要参数、识别与判别;PCB 设计基础、工艺流程、手工制作的方法与步骤;PCB 焊接基础、手工焊接、浸焊操作要领与步骤;导线的加工工艺流程、焊接种类、形式和方法;常用表贴元器件的类型、主要参数、识别与判别,以及表贴元器件的贴焊工艺与表贴设备;电路板组装中元器件的加工与安装方法、整机组装中的连接种类及工艺过程;静、动态调试与 I²C 总线的调试内容、方法和步骤;整机装配工艺文件格式、整机调试内容与方法。

本书可供高职高专电子信息类专业的学生使用,也可供实践指导教师和有关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电子工艺实训教程/夏西泉编著. —北京:机械工业出版社, 2005.2

21 世纪高职高专系列教材

ISBN 7-111-16137-8

I. 电… II. 夏… III. 电子技术-高等学校:技术学校-教材 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 010638 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:郭燕春 版式设计:张世琴 责任校对:程俊巧

责任印制:洪汉军

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2005 年 3 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16·12.5 印张·306 千字

0 001—5 000 册

定价:19.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68326294

封面无防伪标均为盗版

21 世纪高职高专电子技术专业系列 教材编委会成员名单

主 任 曹建林

副 主 任 张中洲 张福强 祖炬 董维佳

俞 宁 蒋蒙安 吕何新 伍湘彬

任德齐 华永平 吴元凯

委 员 (按姓氏笔画排序)

马 彪 邓 红 王树忠 王新新 尹立贤

白直灿 包中婷 冯满顺 华天京 吉雪峰

刘美玲 刘 涛 孙吉云 孙津平 朱晓红

李菊芳 邢树忠 陈子聪 杨元挺 张立群

张锡平 苟爱梅 姚建永 曹 毅 崔金辉

黄永定 章大钧 彭文敏 曾日波 谭克清

秘 书 长 胡毓坚

副秘书长 戴红霞

出版说明

根据《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》中提出的高等职业院校必须把培养学生动手能力、实践能力和可持续发展能力放在突出的地位,促进学生技能的培养,以及教材内容要紧密结合生产实际,并注意及时跟踪先进技术的发展等指导精神,机械工业出版社组织全国40余所院校的骨干教师对在2001年出版的“面向21世纪高职高专系列教材”进行了修订。

在几年的教学实践中,本系列教材获得了较高的评价。因此,在修订过程中,各编委会保持了第1版教材“定位准确、注重能力、内容创新、结构合理和叙述通俗”的编写特色。同时,针对教育部提出的高等职业教育的学制将由三年逐步过渡为两年,以及强调以能力培养为主的精神,制定出了本次教材修订的原则:跟上我国信息产业飞速发展的节拍,适应信息行业相关岗位群对第一线技术应用型操作人员能力的要求,针对两年制兼顾三年制,理论以“必须、够用”为原则,增加实训的比重,并且制作了内容丰富而且实用的电子教案,实现了教材的立体比。

针对课程的不同性质,修订过程中采取了不同的处理办法。核心基础课的教材在保持扎实的理论基础的同时,增加实训和习题;实践性较强的课程强调理论与实训紧密结合;涉及实用技术的课程则在教材中引入了最新的知识、技术、工艺和方法。此外,在修订过程中,还进行了将几门课程整合在一起的尝试。所有这些都充分地体现了修订版教材求真务实、循序渐进和勇于创新的精神。在修订现有教材的同时,为了顺应高职高专教学改革的不深入,以及新技术新工艺的不断涌现和发展,机械工业出版社及教材编委会在对高职高专院校的专业设置和课程设置进行了深入的研究后,还准备出版一批适应社会发展的急需教材。

信息技术以前所未有的速度飞快地向前发展,信息技术已经成为经济发展的关键手段,作为与之相关的教材要抓住发展的机遇,找准自身的定位,形成鲜明的特色,夯实人才培养的基础。为此,担任本系列教材修订任务的教师,努力把最新的教学实践经验融于教材的编写之中,并以可贵的探索精神推进本系列教材的更新。由于高职高专教育正在不断的发展中,加之我们的水平和经验有限,在教材的编审中难免出现问题和错误,恳请使用这套教材的师生提出宝贵的意见和建议,以利我们今后不断改进,为我国的高职高专教育事业作出积极的贡献。

机械工业出版社

前 言

随着科学技术的迅速发展，一方面，现代电子企业为了提高产品的质量和可靠性，迫切需要大量熟练掌握电子工艺技能的人才；另一方面，传统的电烙铁加螺钉旋具的电子工艺实训与现代时尚数码产品的制造工艺相比已显得落伍。为此，作者结合新世纪职业教育的特点和多年从事电子工艺教学的经验，编写了这本教材，旨在使读者在较短的时间内掌握电子工艺基本技能，为进一步学习和应用奠定基础。

本教材在编写中具有如下特点：

- 反映新知识、新技术、新工艺、新方法

本教材不但有传统元器件的识别与判别、PCB 手工焊接、PCB 手工制作、电路静态调试方法等内容，也有表贴元器件的识别与判别、表面贴焊技术、CAD 软件设计 PCB、快速制作 PCB 的方法、步骤和 I²C 总线调试等内容。

- 体现实训的可操作性、机型的典型性

本教材紧密联系实际，共有 18 个实训项目，均具可操作性，这对加强学生基本实践技能的培养有着极其重要的作用，最后选了一个通用而又典型的收音机作为实训项目，可以加强学生综合技能的培养。

- 实训项目的多样性与趣味性相结合

本教材的实训项目中不但要用到热风焊枪、BGA 植锡等新型焊接设备与工具，也要用到数字电桥、DDC 数字信号发生器等新型调测设备，还要用到计算机、激光打印机以及快速制作 PCB 的制板机等设备，大大地增加了本教程的趣味性。尤其是 PCB 的制作成功、收音机的装调成功，更能体现学生的成就感。

- 内容丰富全面、通俗易懂、各章相对独立

本教材既有传统电子工艺方面的知识，也有现代电子产品中大量使用的表面贴装技术方面的内容。本书内容丰富全面，通俗易懂，各章相对独立，广大师生可根据自身的条件与设备灵活地选择内容。

本教材建议安排学时数为 60 学时，其中理论与实训学时数的分配比例如表所示：

章 节	理论	实训	章 节	理论	实训
第 1 章 常用电子元器件	4	9	第 5 章 表面贴装技术 (SMT)	4	4
第 2 章 PCB 的设计与制作	4	6	第 6 章 电子产品装配工艺	2	4
第 3 章 PCB 的焊接技术	2	6	第 7 章 电子产品调试工艺	2	2
第 4 章 导线加工与焊接	2	3	第 8 章 HX108-2 型调幅收音机装调实例	4	2

本教材由夏西泉编写，重庆电子科技职业学院的任德齐副教授审阅了全书，并给予了大量的指导和许多宝贵的建议；另外，在图形图片的处理方面也得到了刘晓东老师大力支持，在此表示诚挚的谢意。

由于作者水平有限，书中错误在所难免，恳请读者批评与指正。

作者

随着科学技术的飞速发展，电子产品已广泛应用于国民经济各个领域，电子产品已成为国民经济的重要组成部分。电子产品的发展，对电子技术人才的需求越来越大。本书是根据教育部《中等职业学校电子产品生产与检测》专业教学大纲的要求，结合中等职业学校电子产品生产与检测专业的实际情况，参照国外先进教材编写而成的。本书可作为中等职业学校电子产品生产与检测专业及相关专业的教材，也可供从事电子产品生产与检测工作的工程技术人员参考。

本书共分五章，主要内容包括：电子产品生产与检测基础知识、电子产品生产与检测工艺、电子产品生产与检测设备、电子产品生产与检测材料、电子产品生产与检测安全。本书力求做到概念清晰、重点突出、由浅入深、循序渐进，力求做到理论与实践相结合，力求做到知识、能力、素质三位一体。本书可作为中等职业学校电子产品生产与检测专业及相关专业的教材，也可供从事电子产品生产与检测工作的工程技术人员参考。

本书在编写过程中，参考了国内外许多优秀的教材和有关文献，在此表示衷心的感谢。由于编者水平有限，书中难免存在不足之处，恳请广大读者批评指正。本书在编写过程中，得到了重庆电子科技职业学院领导的大力支持，在此表示衷心的感谢。本书在编写过程中，得到了重庆电子科技职业学院领导的大力支持，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，得到了重庆电子科技职业学院领导的大力支持，在此表示衷心的感谢。本书在编写过程中，得到了重庆电子科技职业学院领导的大力支持，在此表示衷心的感谢。本书在编写过程中，得到了重庆电子科技职业学院领导的大力支持，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，得到了重庆电子科技职业学院领导的大力支持，在此表示衷心的感谢。本书在编写过程中，得到了重庆电子科技职业学院领导的大力支持，在此表示衷心的感谢。本书在编写过程中，得到了重庆电子科技职业学院领导的大力支持，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，得到了重庆电子科技职业学院领导的大力支持，在此表示衷心的感谢。本书在编写过程中，得到了重庆电子科技职业学院领导的大力支持，在此表示衷心的感谢。本书在编写过程中，得到了重庆电子科技职业学院领导的大力支持，在此表示衷心的感谢。

序号	章节	主要内容	序号	章节	主要内容
1	第1章	电子产品生产与检测基础知识	4	第4章	电子产品生产与检测材料
2	第2章	电子产品生产与检测工艺	5	第5章	电子产品生产与检测安全
3	第3章	电子产品生产与检测设备			
4	第4章	电子产品生产与检测材料			

目 录

出版说明

前言

第 1 章 常用电子元器件..... 1

1.1 电阻器 1

1.1.1 固定电阻器 1

1.1.2 可变电阻器 5

1.1.3 实训 1——电阻器的识别与 判别 8

1.2 电容器..... 10

1.2.1 固定电容器..... 10

1.2.2 可变电容器..... 14

1.2.3 实训 2——电容器的识别与 判别..... 15

1.3 电感器..... 17

1.3.1 线圈类电感器..... 17

1.3.2 变压器..... 19

1.3.3 实训 3——电感器的识别与 判别..... 21

1.4 半导体器件 24

1.4.1 半导体器件的命名方法..... 24

1.4.2 二极管..... 25

1.4.3 三极管..... 27

1.4.4 场效应晶体管..... 30

1.4.5 晶闸管..... 31

1.4.6 实训 4——半导体器件的识别与 判别..... 32

1.5 电声器件 36

1.5.1 传声器..... 36

1.5.2 扬声器..... 37

1.5.3 实训 5——电声器件的识别与 判别..... 39

1.6 习题 40

第 2 章 PCB 的设计与制作 42

2.1 PCB 设计基础 42

2.1.1 覆铜板概述..... 42

2.1.2 PCB 常用术语介绍 43

2.1.3 PCB 设计规则 44

2.1.4 PCB 高级设计..... 47

2.2 PCB 设计实例 49

2.2.1 电路原理图的设计及流程..... 49

2.2.2 网络表的产生..... 50

2.2.3 印制电路板的设计及流程..... 50

2.2.4 实训 6——PCB 的设计 51

2.3 PCB 制作的基本过程 58

2.3.1 胶片制版..... 58

2.3.2 图形转移..... 59

2.3.3 化学蚀刻..... 59

2.3.4 过孔与铜箔处理..... 59

2.3.5 助焊与阻焊处理..... 60

2.4 PCB 的生产工艺 60

2.4.1 单面 PCB 生产流程 60

2.4.2 双面 PCB 生产流程 60

2.4.3 多层 PCB 生产流程 61

2.5 PCB 的手工制作 62

2.5.1 漆图法制作 PCB 62

2.5.2 贴图法制作 PCB 63

2.5.3 刀刻法制作 PCB 63

2.5.4 感光法制作 PCB 63

2.5.5 热转印法制作 PCB 63

2.5.6 实训 7——PCB 的手工制作 64

2.6 习题 69

第 3 章 PCB 的焊接技术 70

3.1 常用焊接材料与工具..... 70

3.1.1 常用焊接材料..... 70

3.1.2 常用焊接工具..... 72

3.1.3 实训 8——常用焊接工具 74

3.2 焊接的条件与过程 75

3.2.1 焊接的基本条件..... 75

3.2.2 焊接的工艺过程..... 76

3.3 PCB 手工焊接 77

3.3.1 手工焊接姿势	77	5.3 SMC/SMD 的贴焊工艺	118
3.3.2 手工焊接步骤	77	5.3.1 SMC/SMD 的贴装方法	118
3.3.3 手工焊接要领	78	5.3.2 SMC/SMD 的贴装类型	118
3.3.4 焊点基本要求	79	5.3.3 SMC/SMD 的焊接方式	120
3.3.5 焊接缺陷分析	79	5.3.4 SMC/SMD 的焊接特点	120
3.3.6 手工拆焊技术	80	5.3.5 实训 14——SMC/SMD 的手工焊接	120
3.3.7 实训 9——PCB 手工焊接	81	5.4 表面安装设备介绍	125
3.4 浸焊与波峰焊	83	5.4.1 贴片机	125
3.4.1 浸焊	83	5.4.2 再流焊炉	127
3.4.2 波峰焊	85	5.5 习题	128
3.4.3 实训 10——手工浸焊操作	86	第 6 章 电子产品装配工艺	129
3.5 新型焊接	88	6.1 组装基础	129
3.5.1 激光焊接	88	6.1.1 组装内容与级别	129
3.5.2 电子束焊接	88	6.1.2 组装特点与方法	130
3.5.3 超声焊接	88	6.1.3 组装技术的发展	130
3.6 习题	89	6.2 电路板组装	131
第 4 章 导线加工与焊接	90	6.2.1 元器件加工	131
4.1 常用导线和绝缘材料	90	6.2.2 元器件安装	133
4.1.1 常用导线	90	6.2.3 电路板组装方式	135
4.1.2 常用绝缘材料	92	6.2.4 实训 15——收音机电路板组装	136
4.2 导线加工工艺	93	6.3 整机组装	139
4.2.1 绝缘导线的加工工艺	93	6.3.1 整机组装过程	139
4.2.2 线扎的成形加工工艺	94	6.3.2 整机连接	140
4.2.3 屏蔽导线的加工工艺	96	6.3.3 整机总装	144
4.2.4 实训 11——导线加工	97	6.3.4 实训 16——收音机整机组装	145
4.3 导线焊接工艺	100	6.4 整机质检	147
4.3.1 导线焊前处理	100	6.4.1 外观检查	148
4.3.2 导线焊接种类	101	6.4.2 电路检查	148
4.3.3 导线焊接形式	101	6.4.3 出厂试验	148
4.3.4 导线拆焊方法	102	6.4.4 型式试验	148
4.3.5 实训 12——导线焊接	102	6.5 习题	148
4.4 习题	106	第 7 章 电子产品调试工艺	149
第 5 章 表面贴装技术 (SMT)	107	7.1 调试过程与方案	149
5.1 SMT 概述	107	7.1.1 生产阶段调试	149
5.1.1 安装技术的发展概况	107	7.1.2 调试方案设计	150
5.1.2 SMT 技术的特点	108	7.1.3 调试工艺卡举例	151
5.1.3 SMT 技术的组成	108	7.2 静态调试	151
5.2 表面安装器件	108	7.2.1 静态测试内容	152
5.2.1 无源器件 (SMC)	109	7.2.2 电路调整方法	153
5.2.2 有源器件 (SMD)	112		
5.2.3 实训 13——SMC/SMD 的识别与判别	115		

7.3 动态调试	153	8.1.2 整机元器件作用	167
7.3.1 动态电压测试	153	8.2 装配工艺文件	168
7.3.2 波形测试	153	8.2.1 工艺文件基础	168
7.3.3 幅频特性测试	154	8.2.2 编制工艺文件	170
7.4 I ² C 总线调试	155	8.2.3 工艺文件格式	170
7.4.1 I ² C 总线的基本结构	155	8.3 收音机整机装配	176
7.4.2 I ² C 总线的特点	155	8.3.1 元器件的选用	176
7.4.3 I ² C 总线电视机的功能	156	8.3.2 元器件的检验	178
7.4.4 I ² C 总线电压测量	156	8.3.3 收音机装配过程	178
7.4.5 I ² C 总线的波形测量	157	8.4 收音机的调试	179
7.4.6 实训 17——长虹 G2966 彩电整机 调试	157	8.4.1 直流调试	179
7.5 习题	165	8.4.2 交流调试	179
第 8 章 HX108-2 型调幅收音机装调		8.4.3 电路故障原因	180
实例	166	8.4.4 实训 18——HX108-2 型收音机 整机调试	180
8.1 收音机电路原理	166	8.5 习题	188
8.1.1 电路基本原理	166	参考文献	189

第1章 常用电子元器件

- 学会电声器件的识别方法
- 掌握电阻器、电容器和电感器等器件的检测与质量判别技能
- 掌握二/三极管、场效应晶体管和晶闸管等器件的检测与质量判别技能
- 掌握电声器件的检测与质量判别技能

1.1 电阻器

1.1.1 固定电阻器

1. 常见固定电阻器实物与电路符号

(1) 常见固定电阻器实物如图 1-1-1 所示

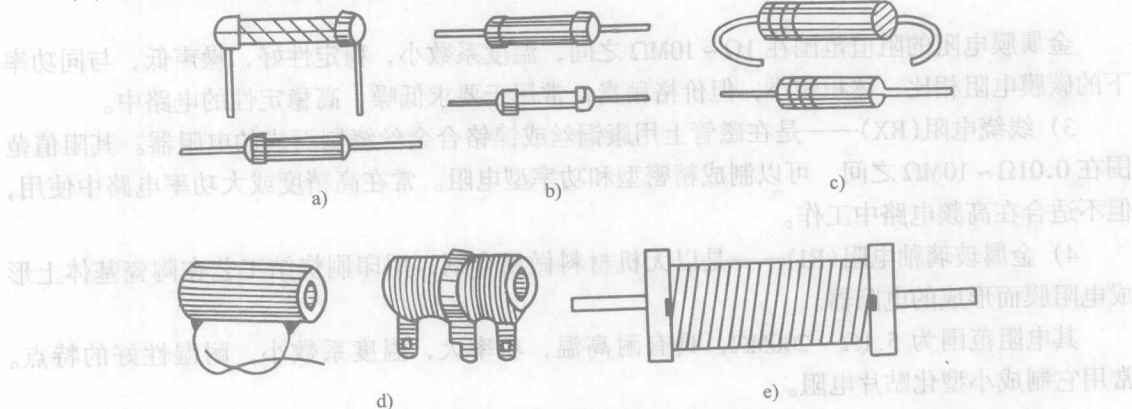


图 1-1-1 常见固定电阻器实物图

a) 碳膜电阻器 b) 金属膜电阻器 c) 碳质电阻器 d) 线绕电阻器
e) 精密线绕电阻器

(2) 电阻器的单位与电路符号

电阻器在使用中常用的单位有：欧〔姆〕(Ω)、千欧($k\Omega$)、兆欧($M\Omega$)和吉欧($G\Omega$)等，其换算关系为： $1G\Omega = 10^3M\Omega = 10^6k\Omega = 10^9\Omega$ 。固定电阻器在电子产品中的电路符号如图 1-1-2 所示。

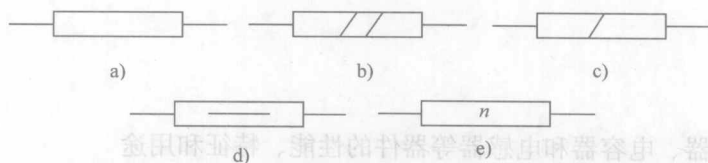


图 1-1-2 固定电阻器的电路符号

a) 一般符号 b) 1/8W 电阻器 c) 1/4W 电阻器 d) 1/2W 电阻器
e) n W 电阻器

2. 常见固定电阻器结构特点与命名方法

(1) 常见固定电阻器的结构特点

1) 碳膜电阻(RT)——是在陶瓷骨架表面上沉积成碳结晶导电膜而形成的电阻器。其结构如图 1-1-3 所示。

碳膜电阻的阻值范围在 $1\Omega \sim 10M\Omega$ 之间，价格低廉，广泛用于各种电子产品中。

2) 金属膜电阻(RJ)——是在陶瓷骨架表面，经真空高温或烧渗工艺蒸发沉积一层金属膜或合金膜而形成的电阻器。其结构如图 1-1-4 所示。

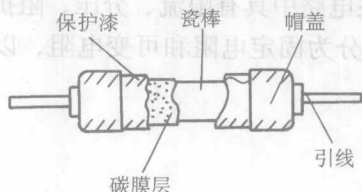


图 1-1-3 碳膜电阻器的结构

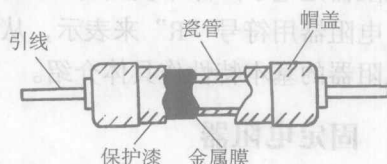


图 1-1-4 金属膜电阻器的结构

金属膜电阻的阻值范围在 $1\Omega \sim 10M\Omega$ 之间，温度系数小，稳定性好，噪声低，与同功率下的碳膜电阻相比，体积较小，但价格稍贵，常用于要求低噪、高稳定性的电路中。

3) 线绕电阻(RX)——是在磁管上用康铜丝或镍铬合金丝绕制而成的电阻器。其阻值范围在 $0.01\Omega \sim 10M\Omega$ 之间，可以制成精密型和功率型电阻。常在高精度或大功率电路中使用，但不适合在高频电路中工作。

4) 金属玻璃釉电阻(RI)——是以无机材料做粘合剂，用印刷烧结工艺在陶瓷基体上形成电阻膜而形成的电阻器。

其电阻范围为 $5.1\Omega \sim 200M\Omega$ ，具有耐高温，功率大，温度系数小，耐湿性好的特点。常用它制成小型化贴片电阻。

5) 实芯电阻(RS)——是用有机树脂和碳粉合成电阻率不同的材料后热压而成的电阻器。

其电阻范围为 $4.7\Omega \sim 22M\Omega$ ，具有过负荷能力强，不易损坏，可靠性高，价格低廉，但

其他性能参数都较差，常用在高可靠性的电路中。

6) 合成碳膜电阻(RH)——分高压型和高阻型两种。高压型电阻的阻值范围为 47 ~ 10³MΩ，耐压分成 10kV 和 35kV 两档；高阻型电阻的阻值范围更大，为 10 ~ 10⁶MΩ。

7) 电阻排(集成电阻)——是运用掩膜、光刻、烧结等工艺技术，在一块基片上制成多个参数、性能一致的电阻器，目前广泛应用在微控制器等电子产品中。

(2) 电阻器的命名方法

根据国家标准 GB/T 2470—1995 的规定，电阻器的命名方法如图 1-1-5 所示，其中电阻器的材料、分类代号及意义如表 1-1-1 所示。

主称常用 R 表示一般电阻器，用 W 来表示电位器，用 M 表示敏感电阻器。

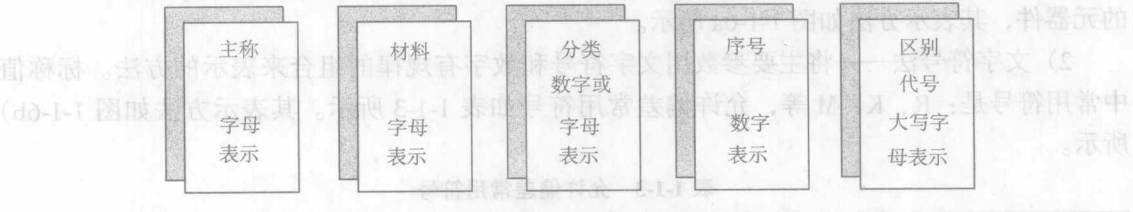


图 1-1-5 电阻器的命名方法

表 1-1-1 电阻器的材料、分类代号及意义

材 料		分 类					
字母代号	意 义	数字代号	意 义		字母代号	意 义	
			电阻器	电位器		电阻器	电位器
T	碳膜	1	普通	普通	G	高功率	
H	合成膜	2	普通	普通	T	可调	
S	有机实芯	3	超高频		W		微调
N	无机实芯	4	高阻		D		多圈
J	金属膜	5	高温		说明：		
Y	氧化膜	6					
C	沉积膜	7	精密	精密			
I	玻璃釉膜	8	高压	函数			
X	线绕	9	特殊	特殊			

例如，RJ71 型——精密金属膜电阻器，WSW1A 型——微调有机实芯电位器。

3. 电阻器的主要参数

(1) 标称值与允许偏差

标注在电阻体上的标准值称为电阻器的标称值。但是，电阻器的实际值往往与标称值不完全相符，即存在一定的误差，如果误差在允许的范围內，则认为该电阻器是合格元件。

按规定，电阻器的标称阻值应符合阻值系列中的数值。常用电阻器标称值系列如表 1-1-2 所示。

表 1-1-2 常用电阻器标称值系列

系 列	偏 差	标 称 值
E24	Ⅰ级±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
E12	Ⅱ级±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±20%	1.0、1.5、2.2、3.3、4.7、6.8

电阻器的标称值和偏差在电阻体上标注的方法有以下几种：

1) 直标法——将主要参数直接标注在元件表面上的方法，这种方法主要用于体积较大的元器件，其表示方法如图 1-1-6a 所示。

2) 文字符号法——将主要参数用文字符号和数字有规律的组合来表示的方法。标称值中常用符号是：R、K、M 等，允许偏差常用符号如表 1-1-3 所示。其表示方法如图 1-1-6b) 所示。

表 1-1-3 允许偏差常用符号

文字符号	W	B	C	D	F	G	J	K	M	N	R	S	Z
偏差(%)	±0.05	±0.1	±0.2	±0.5	±1	±2	±5	±10	±20	±30	+100 -10	+50 -20	+80 -20

例如，2R2 K→(2.2±0.22)Ω；

R33 J→(0.33±0.165)Ω。

3) 数码法——是用三位数码来表示电阻值的方法，其允许偏差通常用字母符号表示。识别方法是：从左到右第一、二位为有效数值，第三位为乘数（即零的个数），单位为 Ω，常用于贴片元件。其表示方法如图 1-1-6c) 所示。

例如，103 K→标称值为：10kΩ，允许偏差为：K。

222 J→标称值为：2.2kΩ，允许偏差为：J。

4) 色标法——是用不同的颜色点或环来表示电阻器的主要参数的方法。色标符号的规定如表 1-1-4 所示。

表 1-1-4 色标符号的规定

参 数	棕	红	橙	黄	绿	蓝	紫	灰	白	黑	金	银	无
有效数字	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	/	/	/
乘数	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷	10 ⁸	10 ⁹	10 ⁰	10 ⁻¹	10 ⁻²	/
偏差(%)	±1	±2	/	/	±0.5	±0.25	±0.1	/	+50 -20	/	±5	±10	±20
额定电压(V)	6.3	10	16	25	32	40	50	63	/	4	/	/	/

色标法的电阻器有四色环标注和五色环标注两种，前者用于普通电阻器，后者用于精密电阻器。

四色环电阻器的识别方法为：从左到右第一、二色环表示有效值，第三色环表示乘数（即零的个数），第四色环表示允许偏差，单位为 Ω 。其表示方法如图 1-1-6d 所示。

五色环电阻器的识别方法为：从左到右第一、二和三色环表示有效值，第四色环表示乘数（即零的个数），第五色环表示允许偏差，单位为 Ω 。其表示方法如图 1-1-6e 所示。

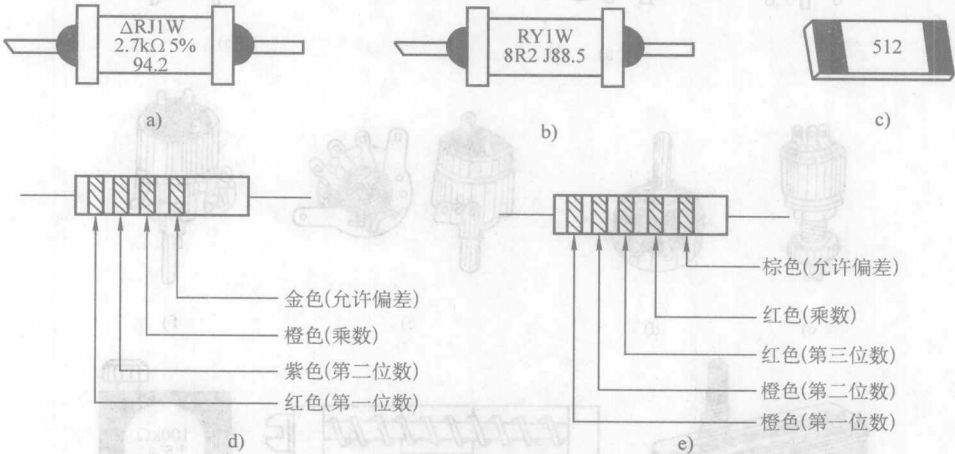


图 1-1-6 电阻器的标称值与偏差的表示方法

a) 直标法 b) 文字符号法 c) 数码法 d) 四色环色标法 e) 五色环色标法

色环电阻识读技巧：①金、银色只能出现在色环的第三、四位的位置上，而不能出现在色环的第一、二位上。②从色环间的距离看，距离最远的一环是最后一环即允许偏差环。③从色环距电阻引线的距离看，离引线较近的一环是第一环。④若均无以上特征，且能读出两个电阻值，可根据电阻的标称系列标准，若在其内者，则识读顺序是正确；若两者都在其中，则只能借助于万用表来加以识别。

(2) 额定功率

电阻器额定功率是指在正常条件下，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。电阻器额定功率系列如表 1-1-5 所示。

表 1-1-5 电阻器额定功率系列 (单位: W)

非线性电阻	0.05、0.125、0.25、0.5、1、2、5、10、25、50、100
线绕电阻	0.125、0.25、0.5、1、2、4、8、10、16、25、40、50、75、100、150、250、500

额定功率 2W 以下的电阻一般不在电阻器上标出，额定功率 2W 以上的电阻才在电阻器上用数字标出，在电路图上没有标记功率的电阻器，一般为 1/8 W，电阻器额定功率符号可如图 1-1-2 所示。

1.1.2 可变电阻器

1. 常见可变电阻器实物与电路符号

(1) 常见可变电阻器实物如图 1-1-7 所示

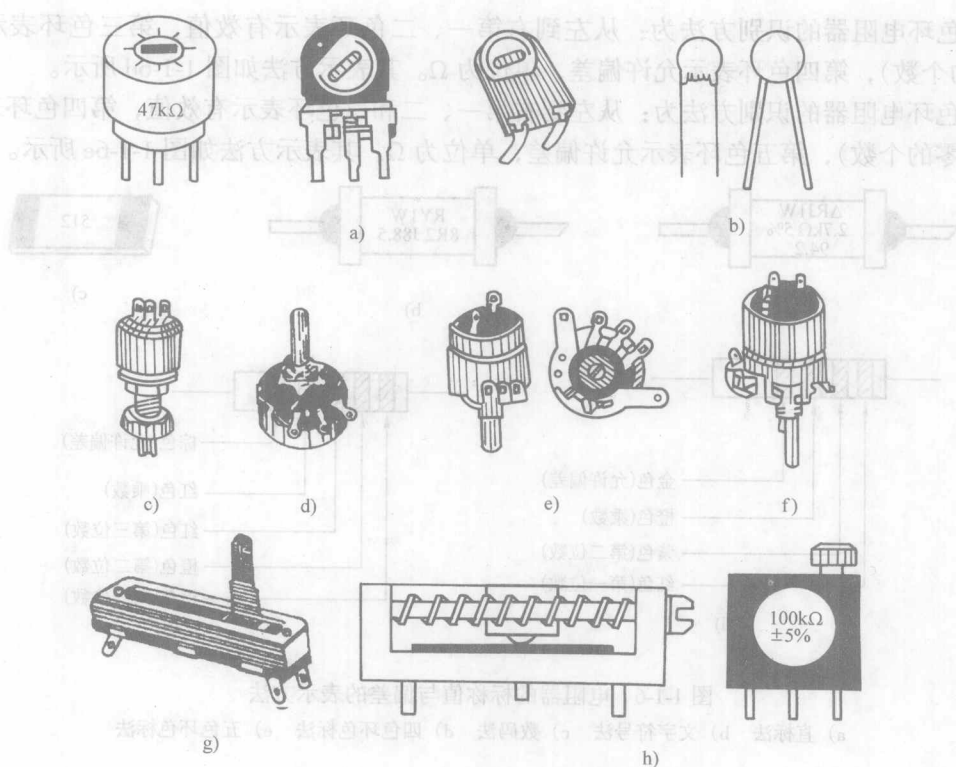


图 1-1-7 常见可变电阻器实物图

a) 可调电阻器 b) 热敏电阻器 c) 有机实芯电位器 d) 碳膜电位器
e) 带开关电位器 f) 推拉式电位器 g) 直滑式电位器 h) 多圈微调电位器

(2) 常用可变电阻器的电路符号如图 1-1-8 所示

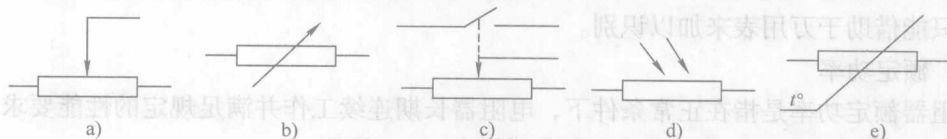


图 1-1-8 常用电位器的电路符号

a) 一般符号 b) 可调电阻器 c) 带开关的电位器 d) 光敏电阻器 e) 热敏电阻器

2. 常见可变电阻器的分类与结构特点

(1) 常见可变电阻器（电位器）的分类

电位器种类有很多，按材料、调节方式、结构特点、阻值变化规律、用途等可分成多种电位器，具体如表 1-1-6 所示。

表 1-1-6 电位器的种类

分类方式		种 类
材 料	合金型电位器	线性电位器、块金属膜电位器
	合成型电位器	有机和无机实芯型、金属玻璃釉型、导电塑料型
	薄膜型电位器	金属膜型、金属氧化膜型、碳膜型、复合膜型

分类方式	种类
按调节方式	直滑式、旋转式(有单圈和多圈两种)
按结构特点	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
阻值变化规律	线性型、对数型、指数型
用途	普通型、微调型、精密型、功率型、专用型

(2) 常见可变电阻器的结构特点

1) 敏感元器件(M)——使用不同材料及工艺制造的半导体电阻,具有对温度、光照度、湿度、压力、磁通量、气体浓度等非电物理量敏感的性质,这类电阻叫做敏感电阻。通常有热敏、压敏、光敏、湿敏、磁敏、气敏、力敏等不同类型的敏感电阻。

利用这些敏感电阻,可以制作用于检测相应物理量的传感器及无触点开关,广泛应用于检测和自动化控制领域。

2) 熔断电阻(水泥电阻)——常用陶瓷或白水泥封装,内有热熔性电阻丝,当工作功率超过其额定功率时,会在规定的时间内熔断,主要起保护其他电路的作用。

3) 线绕电位器(WX)——是用合金电阻线在绝缘骨架上绕制成电阻体,中心抽头的簧片在电阻丝上滑动而形成。

它具有相对额定功率大,耐高温性能稳定,精度易于控制,但具有阻值范围小($4.7\Omega \sim 100k\Omega$),分辨力低,高频特性差的特点。

4) 合成碳膜电位器(WTH)——是在绝缘基体上涂覆一层合成碳膜,经加温聚合后形成碳膜片,再与其他零件组合而成。

它的阻值范围宽($100\Omega \sim 4.7M\Omega$),分辨力高,但滑动噪声大,对温度、湿度适应性差。由于生产成本低,被广泛用于收音机、电视机、音响等家电产品中。

5) 有机实芯电位器(WS)——是由导电材料与有机填料、热固性树脂配制成电阻粉,在基座上经过热压处理而成。

它具有结构简单、耐高温、体积小、寿命长、可靠性高、阻值变化范围在 $100\Omega \sim 4.7M\Omega$ 之间等优点。多用于对可靠性要求较高的电子仪器中。

6) 多圈电位器——属于精密电位器,调整阻值需使转轴旋转多圈(可多达 40 圈),因而精度高。

当阻值需要在大量范围内进行微量调整时,可选用多圈电位器。

多圈电位器的种类也很多,有线绕型、块金属膜型、有机实芯型等;调节方式也可分成螺旋(指针)式、螺杆式等不同形式。

3. 电位器的内部结构与主要参数

(1) 碳膜电位器的内部结构如图 1-1-9 所示

(2) 电位器的主要参数

1) 标称阻值和允许偏差——标称阻值是指电位器两个固定端的阻值,其规定的标称值与电阻器规定中的标称值的 E6、E12 系列相同,具体标称值参见表 1-1-2。允许偏差有下列几种: $\pm 20\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 5\%$ 、 $\pm 2\%$ 、 $\pm 1\%$ 、 $\pm 0.1\%$ 等。

2) 电位器额定功率——在相同体积情况下,线绕电位器功率比一般电位器的功率大。