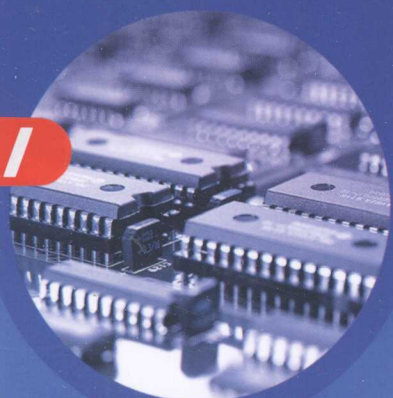


DIANZICHANPINSHENGCHANGONGYI
JIANMINGJIAOCHENG

电子产品生产工艺 简明教程

主编 王成安



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

014054715

TN05
54

主要内容

本书为《电子产品生产工艺》课程教材，主要讲述电子产品生产工艺的基本知识、基本理论和基本技能。全书共分五章，第一章介绍电子产品生产工艺的基本概念、基本术语和基本知识；第二章介绍电子产品生产工艺的基本理论；第三章介绍电子产品生产工艺的基本技能；第四章介绍电子产品生产工艺的基本操作；第五章介绍电子产品生产工艺的基本管理。本书可作为高等院校电子信息类专业及相关专业的教材，也可供从事电子产品生产工艺工作的工程技术人员参考。

DIANZICHANPINSHENGCHANGONGYI
JIANMINGJIAOCHENG

电子产品生产工艺 简明教程



主 编 王成安
副主编 尤长安 李庆海
参 编 王 春 王 超 荆 珂



北航

C1744535



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

TN05
54

014024712

内 容 提 要

本书按照电子整机产品现代化生产的工艺顺序,采取项目式教学方法,将每项生产工艺作为一个实际项目,并结合具体的电子整机产品进行讲述。尤其是在电子元器件的检测和识别项目中,将最新的电子元器件的检测和识别方法介绍给读者,使新器件、新产品、新技术、新资料能尽快地出现在教材中。全书共分11个项目,结合每个项目内容,给出了作者总结的项目要求、项目学习方法、项目实施器材、项目考核方法和项目相关知识。在具体知识的学习过程中,安排了结合知识内容的实际操作,将理论学习与实际操作密切结合起来。另外结合每个项目的具体内容,还介绍了作者总结的技能与技巧,对于初学者有积极的指导作用,对于学习者的电子技能水平一定会有所提高。在每个项目的结尾,都安排了项目小结和项目课后练习,便于教师指导学生练习。

本书在选材上具有先进性,是现代化电子整机产品实际生产工艺的仿真,训练操作内容按照国家职业技能鉴定规范执行,可作为高职院校电子信息工程和应用电子技术专业的教材,对于从事电子整机产品生产的技术人员也具有参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

电子产品生产工艺简明教程/王成安主编. —北京:中国电力出版社,2014.7

ISBN 978-7-5123-5896-6

I. ①电… II. ①王… III. ①电子产品-生产工艺-教材
IV. ①TN05

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第108359号

中国电力出版社出版发行

北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑:杨淑玲 责任印制:郭华清 责任校对:王小鹏

航远印刷有限公司印刷·各地新华书店经售

2014年7月·第1版·第1次印刷

787mm×1092mm 1/16·13.5印张·327千字

定价:32.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

本书是秉承新加坡南洋理工学院创建的教学工厂理念,采取项目式教学方法来编写的,其训练内容按照国家职业技能鉴定规范执行,它是高职教育在专业教材建设方面的尝试,符合现代化的高职教育理念,是提高高职教育水平的积极创新。

作为一门专业课的教科书,必须及时反映出电子产品生产工艺技术的最新进展,与时俱进,才能胜任现代电子技术对高职教育的要求。当今,电子整机产品的生产已经由传统的手工装配、半自动化装配向全自动化装配的方向迈进,SMT技术在大批量电子产品的装配上已经普及。电子产品生产工艺课程的教学内容必须要按照社会生产的实际情况来制订,再也不能只教一些学而无用的知识和已经落后的工艺了。

本书力图反映电子产品生产的新工艺和新技术,并按照项目式教学方法的要求来编写,以求更好地为高职教育服务。

(1) 电子产品生产工艺是一门专业技能性质的课程,既要有技能的基础性,又要有技能的先进性,所以在内容的安排上,除了包含电子整机产品生产工艺的基础知识,还必须把先进的电子产品生产工艺,如 SMT 技术和计算机辅助制作印制电路板等工艺作为教学内容,使电子产品生产工艺教材的内容跟上时代的发展步伐。

(2) 在教学内容上,以“必须”和“够用”为原则。对基本知识的讲解不作过于繁杂的理论讲解,重点放在现代生产工艺的介绍和训练上;对先进的电子产品装配内容,重在对设备的认识和操作上,因为先进的电子产品装配已经基本上实现了自动化操作。

(3) 在实训内容的安排上,以项目为中心,以实际电子产品为载体,以单项技能训练为主,以便更好地配合教学的进度。同时,每个项目都安排了课后练习,更有特色的是,作者结合各个项目内容,精心安排了“技能与技巧”内容,为学生提供了有实用价值的技能技巧训练,相信会对提高学生的电子技术技能和开拓学生的视野有所帮助。

本书由浙江工贸职业技术学院王成安教授任主编,尤长安和李庆海任副主编,东北地质工程职业学院王春、安徽淮南职业学院王超和营口理工学院荆珂为参编。无锡商业职业技术学院童建华教授从高职教育的角度出发,仔细审阅了全书,对全书提出了许多宝贵的意见和建议。对书后所列参考书籍的各位作者,在此表示深深的感谢!

电子产品生产工艺课程的总学时可安排 60 学时,每个项目建议安排课时数见下表:

序号	项目名称	建议课时	备 注
1	线性电子元器件的检测工艺	4	在实训室讲练结合,操作学习一体化
2	非线性电子元器件的检测工艺	4	在实训室讲练结合,操作学习一体化
3	电子材料的选用工艺	4	结合几种实际电子整机产品学习
4	电子整机产品装配前的准备工艺	4	观察几种实际电子整机产品的元器件形状、导线连接、边讲边操作
5	电子元器件的焊接工艺	6	结合电子制作进行实际焊接训练

续表

序号	项目名称	建议课时	备 注
6	印制电路板的制作工艺	4	观察几种实际电子整机产品的电路板，重在了解，单独开设计算机绘图训练课
7	电子整机产品的装配工艺	8	结合几种实际电子整机产品进行装配训练
8	电子整机产品的调试工艺	8	结合几种实际电子整机产品进行调试训练
9	电子整机产品的检验与包装工艺	2	
10	电子整机产品生产工艺文件的识读	4	结合一个实际电子整机产品的工艺文件练习
11	实用电子整机产品装配与调试	12	可选做其中的几个电子整机产品
合计		60	

由于作者水平有限，书中不妥之处在所难免，敬请兄弟院校的师生给予批评和指正。请您把对本书的建议告诉我们，以便修订时改进。意见和建议请寄往：

E-mail: wang-ca420@sohu.com.

作 者

机 号	实 验 项 目	时 间 分 配	备 注
1	印制电路板的制作工艺	4	观察几种实际电子整机产品的电路板
2	电子整机产品的装配工艺	8	结合几种实际电子整机产品进行装配训练
3	电子整机产品的调试工艺	8	结合几种实际电子整机产品进行调试训练
4	电子整机产品的检验与包装工艺	2	
5	电子整机产品生产工艺文件的识读	4	结合一个实际电子整机产品的工艺文件练习
6	实用电子整机产品装配与调试	12	可选做其中的几个电子整机产品

目 录

前言	
绪论	1
项目 1 线性电子元件的检测工艺	3
1.1 电阻器	4
1.1.1 电阻器的作用和类型	4
1.1.2 固定电阻器的主要参数	5
1.1.3 电位器的类型和主要参数	8
1.1.4 特殊电阻元件	9
1.1.5 电阻器和电位器的检测方法	10
1.2 电容器	13
1.2.1 电容器的作用与类型	13
1.2.2 电容器的主要参数和标志方法	15
1.2.3 各种电容器的特点和选用原则	16
1.2.4 电容器的检测方法	18
1.3 电感器和变压器	22
1.3.1 电感器的作用与主要参数	22
1.3.2 变压器的类型及主要参数	23
1.3.3 电感器和变压器的检测方法	25
课后练习	28
项目 2 非线性电子元件的检测工艺	29
2.1 半导体二极管	31
2.1.1 半导体二极管的类型与用途	31
2.1.2 半导体二极管的检测方法	32
2.2 半导体三极管	36
2.2.1 半导体三极管的类型	36
2.2.2 半导体三极管的检测方法	36
2.3 场效应晶体管	39
2.3.1 场效应晶体管的类型和特点	39
2.3.2 场效应晶体管的测试方法	40
2.4 集成电路	41
2.4.1 集成电路的种类	41
2.4.2 常用音乐集成电路	44
课后练习	45

项目3 电子材料的选用工艺	46
3.1 安装导线与绝缘材料	47
3.1.1 导线的种类和技术参数	47
3.1.2 绝缘材料的种类和技术参数	48
3.2 印制电路板与焊接材料	50
3.2.1 印制电路板	51
3.2.2 焊接材料	52
3.3 磁性材料与粘接材料	56
3.3.1 磁性材料的种类与特点	56
3.3.2 磁性材料的应用范围	57
3.3.3 粘接材料	58
课后练习	60
项目4 电子整机产品装配前的准备工艺	61
4.1 导线装配前的加工	62
4.1.1 绝缘导线装配前的加工	62
4.1.2 屏蔽导线装配前的加工	63
4.2 线扎的制作	64
4.2.1 制作线扎的步骤	64
4.2.2 连续结的捆扎方法	65
4.2.3 “T”形结、“Y”形结与“十”字结的扎法	66
4.3 电子元器件装配前的加工	67
4.3.1 对电子元器件引线的成形要求	67
4.3.2 元器件引线成形的方法	68
4.3.3 元器件引线的浸锡	69
课后练习	70
项目5 电子元器件的焊接工艺	71
5.1 手工锡焊	72
5.1.1 手工锡焊工具	72
5.1.2 手工锡焊方法	73
5.1.3 手工锡焊的操作技巧	74
5.1.4 具体焊件的锡焊技巧	75
5.2 手工拆焊	78
5.2.1 手工拆焊的原则与工具	78
5.2.2 具体元器件的拆焊操作技巧	78
5.3 工厂锡焊	79
5.3.1 工厂锡焊设备	80
5.3.2 工厂锡焊工艺	80
课后练习	83

项目 6 印制电路板的制作工艺	84
6.1 印制电路板的种类与设计	85
6.1.1 印制电路板的种类	85
6.1.2 印制电路板的设计	86
6.1.3 印制电路板的具体设计过程及方法	92
6.2 印制电路板的制造与检验	94
6.2.1 印制电路板的制造方法	94
6.2.2 印制电路板的质量检验	96
6.2.3 印制电路板的手工制作方法	96
6.3 印制电路板的计算机辅助设计	97
6.3.1 计算机辅助设计印制电路板软件介绍	97
6.3.2 CAD 与 EDA	100
6.4 最新印制电路板制作工艺	101
6.4.1 多层印制电路板	101
6.4.2 特殊印制电路板	101
课后练习	104
项目 7 电子整机产品的装配工艺	105
7.1 安装工具	106
7.1.1 紧固工具及紧固方法	106
7.1.2 紧固件的种类与选用原则	106
7.2 安装方法	107
7.2.1 一般电子元件的安装方法	107
7.2.2 导线的安装方法	109
7.2.3 压接和绕接	111
7.2.4 整机安装方法	112
7.3 电子整机产品的表面安装工艺	113
7.3.1 表面安装元件	113
7.3.2 表面安装的其他材料	119
7.3.3 表面安装设备与工艺	120
7.3.4 表面安装工艺的手工操作	122
课后练习	123
项目 8 电子整机产品的调试工艺	124
8.1 电子整机产品的调试设备与调试内容	124
8.1.1 电子整机产品的调试设备配置	124
8.1.2 电子整机产品的调试内容	125
8.2 电子整机产品的调试类型	126
8.2.1 电子整机产品样机的调试	127
8.2.2 电子整机产品批量生产的调试	128

8.3 电子整机产品的测试方法	129
8.3.1 观察法	129
8.3.2 电阻法	130
8.3.3 电压法	131
8.3.4 替代法	131
8.4 电子整机产品的调整内容与实例	131
8.4.1 电路静态工作点的调整	131
8.4.2 电路动态特性的调整	132
课后练习	134
项目 9 电子整机产品的检验与包装工艺	135
9.1 电子整机产品的检验	135
9.2 电子整机产品的包装	137
9.3 彩色电视机整机包装实例	138
课后练习	139
项目 10 电子整机产品生产工艺文件的识读	140
10.1 电子整机产品生产工艺文件的种类和内容	140
10.2 实际电子整机产品工艺文件的编写与识读	150
课后练习	157
项目 11 实用电子整机产品装配与调试	158
11.1 超外差式收音机的装配与调试	158
11.2 数字万用表的装配与调试	168
11.3 充电器和稳压电源两用电路的装配与调试	171
11.4 集成电路扩音机的装配与调试	178
11.5 集成时基电路 555 的应用设计	182
11.6 智能多路竞赛抢答器的装配与调试	184
11.7 交通信号控制系统的装配与调试	188
11.8 数字电子钟的装配与调试	194
11.9 正弦波信号发生器的装配与调试	197
11.10 MF-47 型指针式万用表的装配与调试	201
11.11 声光两控延时电路的组装与调试	204
参考文献	208

绪 论

世纪交替,风云际会。世界正在受到新科技革命浪潮的冲击,科学技术正处在历史上最伟大的变革时期。在 20 世纪为人类生产和生活条件的改善作出巨大贡献的电子技术,仍然充当着新世纪高新技术的领头羊。电子技术的发展历史很短,迄今不过百年,却从根本上改变了世界的面貌。纵观电子技术的发展历程,炎黄子孙将感到振兴中华的责任重大而迫切,中国要强大,就必须有先进的科学技术,中国的强盛正面临着国情的挑战,面临着世界的挑战,面临着 21 世纪的挑战。

电子技术的发展大致可分为三个阶段。20 世纪 20 年代到 40 年代为第一阶段,以电子管的诞生为标志,由此开启了电子工业的篇章,发展了无线电广播和通信产业。1946 年诞生的世界上第一台电子计算机(美国制造,名为 ENIAC)可以认为是这个阶段的典型代表和终极产品。虽然它的运算速度只有 5000 次/s,却是一个重为 28t、体积为 85m³ 的庞然大物。它由 18 000 个电子管组成,耗电 150kW,其内部的连线总长可以绕地球 20 圈。

1948 年,第一只半导体三极管问世,标志着电子技术第二阶段的开始,掀起了电子产品向小型化、大众化和高可靠性、低成本进军的革命风暴,半导体进入电子领域,促进了无线广播电视和移动通信的高度发展,使得计算机的小型化变为现实,使人造地球卫星遨游太空。电子产品逐渐由科研和军用领域向民用领域普及,极大地改善了人们的生活质量。

到 20 世纪 70 年代,集成电路的使用已经不再新奇,电子技术步入了第三个发展阶段。正是在这个阶段,电子技术飞速发展,各种电子产品如雨后春笋般涌现,世界进入了空前繁荣的电子时代。电子计算机朝着大型化和微型化方向发展,其使用领域由科研转向工业甚至各个行业,自动控制、智能控制得以真正实现,航天工业得到前所未有的发展。随着制造工艺的提高,在一块 36mm² 的硅片上排列 100 万个三极管已经不是梦想。1999 年美国英特尔公司宣布,其生产的奔腾 4CPU,在一块芯片上集成了 2975 万个三极管,使微型机的运算速度远远超过以往的大型计算机。掌上电脑已经问世,移动通讯已发展到全球通,数字式 CDMA 通信技术已非常成熟,手机已不再是奢侈品。笔记本电脑把人们的工作地点从办公室解放出来。家用电器基本普及,使人们的生活质量大幅提高,中国古代传说中的“千里眼”和“顺风耳”都在电子技术的发展过程中变成现实。人们可以“上九天揽月”,能够“下五洋捉鳖”。2003 年,人类将高度智能化的火星探测器送上火星,研制成功了可用于修补大脑的集成电路芯片,量子计算机的基本电路也研制成功。这一切都有赖于电子技术的巨大成就。可以预料,在 21 世纪里,电子技术仍将高速发展,其所能达到的水平和发展速度无论你怎么想象都不过分。

我国的电子工业在新中国成立前基本上是空白。新中国成立后,在一批归国科学家的引领下,于 1956 年自主生产出第一只半导体三极管,1965 年生产出第一块集成电路,1983 年研制出银河 I 型亿次机,标志着中国的计算机业迈入了巨型机的行列。1992 年我国又研制出十亿次银河计算机,1995 年研制成功的曙光 1000 型并行处理计算机,其运行速度可达 25 亿次/s。2004 年,曙光超级服务器研制成功,峰值速度达到 12 万亿次/s。我国自己研制的

神舟五号、神舟六号和神舟七号载人飞船已经成功地进行了航天飞行，并成功实现了太空行走，环月飞行的嫦娥计划已经顺利实施，中国人自己制造的嫦娥登月车已经登陆月球。我国的电子工业从无到有，从小到大，虽然起步晚，但起点高，现在我国家用电器的产量已位居世界第一，产品的质量也提高很快。这些成就的取得，电子技术功不可没。但是我们还要清醒地认识到，我国在电子核心元器件的生产和高级电子产品等方面，与发达国家相比还有较大差距。努力缩小差距，赶超世界先进水平，这正是历史赋予我们这一代人的光荣使命。

电子技术的知识范围很广，其分支也很多，有些分支已发展成为一门独立的学科，如计算机、单片机、晶闸管、可编程控制器等。但这些学科的知识基础仍然是电子技术。

从对信号的处理方式上来分，电子技术可分为模拟电子技术和数字电子技术。模拟电子技术是研究用硅、锗等半导体材料制成的电子器件组成的电子电路，对连续变化的电信号（如正弦波）进行控制、处理的应用科学技术。比如我们日常生活中使用的固定电话、收音机、电视机等都属于应用模拟电子技术的产品。数字电子技术是研究处理二值数值信号的应用科学技术。像 VCD 机、DVD 机、数码照相机、数码摄像机和计算机都是应用数字电子技术的典型产品，智能手机的应用与普及，更是数字电子技术的登峰造极。现代电子技术的发展，已经将模拟电子技术和数字电子技术融为一体，在一个电路甚至是一个芯片中，将模拟信号和数字信号同时进行处理，比如移动通信所使用的手机就是将语音这样的模拟信号进行数字化处理后再发射出去的。

从电子技术所包含的内容上来分，电子技术可以分为电子器元件生产和设计电子电路两部分。制造电子器元件这部分内容，主要研究各种电子器元件的结构、特点、主要参数和生产工艺，其设计和制造属于电子技术的一个重要领域，其使用、装配和检测是在电子整机产品生产工艺中要着重训练的课题；设计电子电路是把电子器元件按照对电信号处理的要求进行一定的连接，以实现预定的功能。这是模拟电子技术和数字电子技术理论教材要着重研究的内容。

高等职业院校电子信息工程技术专业和应用电子技术专业的学生都必须学习电子产品生产工艺，对电子产品生产工艺的过程和目标进行了解，对电子新电路和电子新器件进行掌握，以符合就业岗位对高职学生的要求。通过实际技能的学习和训练，树立起现代电子产品生产工艺的新思想和新方法，掌握现代电子技术的新工艺和新技术，掌握新型电子器元件的使用和检测，为直接上岗打下良好的基础。

电子产品生产工艺是一门技术性很强的课程，其技术性充分体现在每个工艺项目之中。我们要通过参加电子产品生产工艺实训，达到会认识和检测常用电子器元件、会焊接和安装小型电子电器产品、会调试和维护小型电子系统，会操作现代电子产品生产工艺设备的目的。通过实践你会发现，电子技术就在你的身边，电子技术会激起你极大的兴趣，会给你带来无穷的欢乐。让我们共同遨游在电子世界的海洋里，为社会的发展和进步，为人类生活的更加美好，做一名合格的建设者，当然你也会获得社会进步带给你的幸福。

项目1 线性电子元件的检测工艺

【项目要求】

通过对一个功率放大器的实际解剖,要求学生识别线性电子元件的种类,熟悉线性电子元件的名称,了解线性电子元件的作用,掌握线性电子元件的检测方法。

1. 知识要求

(1) 掌握电阻(位)器的种类、作用与标识方法。

(2) 掌握电容器的种类、作用与标识方法。

(3) 掌握电感器的种类、作用与标识方法。

2. 能力要求

(1) 能用目视法判断识别常见线性电子元件的种类,能正确叫出线性电子元件的名称。

(2) 对线性电子元件上标识的主要参数能正确识读,知晓该电子元件的作用和用途。

(3) 会使用万用表对常见线性电子元件进行正确测量,并对其质量作出评价。

【项目学习方法】

该项目通过对一个功率放大器进行现场拆卸,对电路板上的各种线性电子元件进行认识,进而学习各种线性电子元件指标的标注方法。然后使用万用表对各种线性电子元件进行在线测量和离线测量,达到能判别元件质量好坏的目的。再准备一些已经确认损坏的线性电子元件,对这些损坏元件进行外观识别和指标测量。

【项目实施器材】

(1) 电子产品:功率放大器(或VCD机、电视机、收音机)若干台,两人配备一台机器。

(2) 各种类型、不同规格的新线性电子元件若干。

(3) 各种类型、不同规格的已经损坏的线性电子元件若干(可到电子产品维修部寻找)。

(4) 每两个人配备指针式万用表和数字式万用表各一只。

【项目考核方法】

采取单人逐项考核方法,教师(或是教师已经考核优秀的学生)对每个同学都要进行三次考核,分别如下:

(1) 功率放大器(或其他电子整机)主板上各种线性电子元件的名称。

(2) 不同类型的电阻、电容、电感主要指标的识读,电解电容极性的识别。

(3) 将新的线性元件和已经损坏的线性元件混合在一起,先进行外观识别,再用万用表进行检测,找出已经损坏的元件。

【项目相关知识】

线性电子元件是指电子元件中的电阻器、电容器和电感器。电阻器、电容器和电感器是电子产品中用量最大的元件,打开任何一台电子仪器设备,都会看到其内部的电路板上排满了各种电子元件,其中有各种类型的电阻器、电容器和电感器。

1.1 电 阻 器

1.1.1 电阻器的作用和类型

电阻器在电路中的作用可以简单记为串联分压、并联分流，即在串联电路中起着限流和分压的作用，在并联电路中起着分流的作用。

电阻器的文字符号用大写字母“R”表示，电位器的文字符号用大写字母“W”表示，单位是欧姆（ Ω ），常用的单位还有千欧姆（ $k\Omega$ ）、兆欧姆（ $M\Omega$ ）。它们之间的换算关系是

$$1M\Omega = 10^3 k\Omega = 10^6 \Omega$$

电阻器从结构上可分为固定电阻器和可变电阻器两大类。常见电阻器与电位器的外形和图形符号如图 1-1 所示。

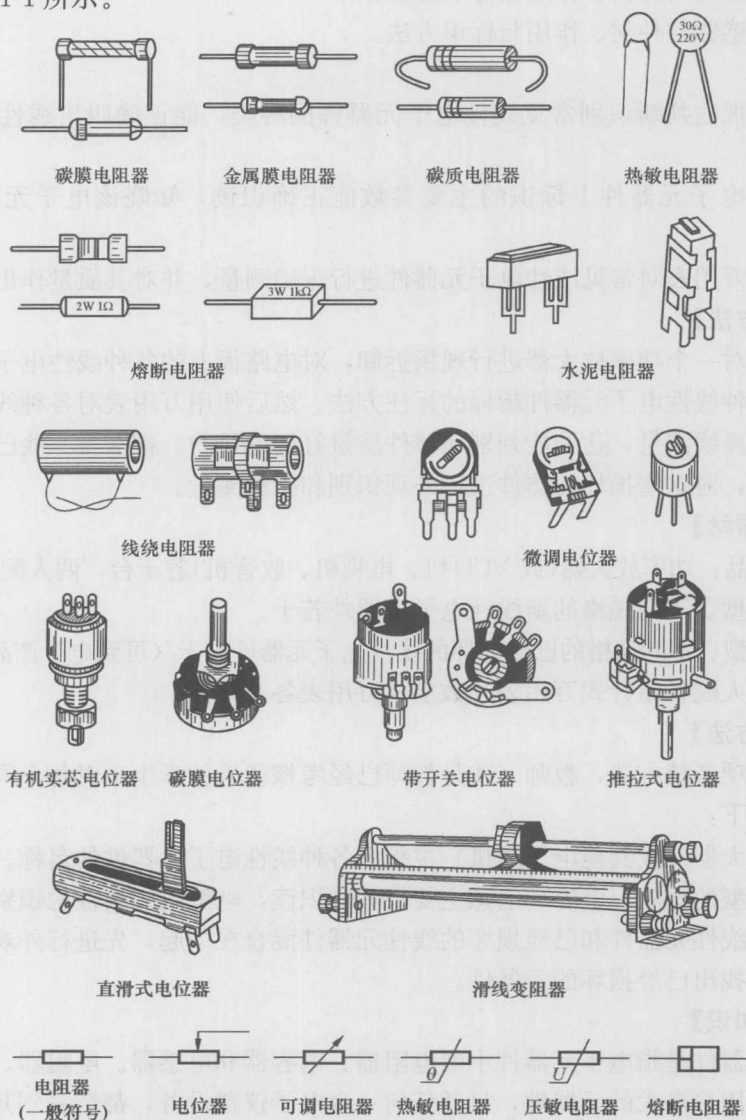


图 1-1 常见电阻器与电位器的外形和图形符号

固定电阻器的阻值是固定不变的,阻值的大小即为它的标称阻值。固定电阻器按其材料的不同可分为碳膜电阻、金属膜电阻、线绕电阻器等。

可变电阻器的阻值可以在一定的范围内调整,它的标称阻值是最大值,其滑动端到任意一个固定端的阻值在 0 和最大值之间连续可调。可变电阻器又有可调电阻器和电位器两种。可调电阻器有立式和卧式之分,分别用于不同的电路安装。

电位器就是在可调电阻器上再加一个开关,做成同轴联动形式,如收音机中的音量旋钮和电源开关就是一个电位器。

从电阻的使用场合不同可分为精密电阻器、大功率电阻器、高频电阻器、高压电阻器、热敏电阻器、光敏电阻器、熔断电阻器等。

1.1.2 固定电阻器的主要参数

固定电阻器的主要参数有标称阻值、允许误差、额定功率等。

根据 GB 2470—1995 的规定,固定电阻器和电位器的型号由 4 个部分组成,见表 1-1。

表 1-1 电阻器和电位器的型号命名法

第一部分		第二部分		第三部分		第四部分
用字母表示主称		用字母表示材料		用数字或字母表示特征		用字母和数字表示意义
符号	意义	符号	意义	符号	意义	
R	电阻器	T	碳膜	1, 2	普通	包括: 额定功率 标称阻值 允许误差 精度等级 : :
W	电位器	H	合成膜	3	超高频	
		P	硼碳膜	4	高阻	
		U	硅碳膜	5	高温	
		C	沉积膜	7	精密	
		I	玻璃釉膜	8	电阻器—高压	
		J	金属膜	9	电位器—特殊函数	
		Y	氧化膜	G	高功率	
		S	有机实心	T	可调	
		N	无机实心	X	小型	
		X	线绕	L	测量用	
		R	热敏	W	微调	
		G	光敏	D	多圈	
		M	压敏			

1. 电阻的标称阻值和允许误差

电阻器上所标的阻值称为标称阻值。电阻器的实际阻值和标称值之差除以标称值所得到的百分数,为电阻器的允许误差。误差越小的电阻(位)器,其标称值规格越多。常用固定电阻器的标称阻值系列见表 1-2,允许误差等级见表 1-3。电阻器上的标称阻值是按国家规定的阻值系列标注的,因此在选用时必须按阻值系列去选用,使用时将表中的数值乘以 $10^n \Omega$ (n 为整数),就成为这一阻值系列。如 E24 系列中的 1.8 就代表有 1.8Ω 、 18Ω 、 180Ω 、 $1.8k\Omega$ 、 $180k\Omega$ 等系列电阻值。

随着电子技术的发展,对器件数值的精密度要求也越来越高,所以近年来,国家又相继公布了 E48、E96、E192 系列标准,使电阻的系列值得以增加,阻值误差也越来越小,

2. 电阻器阻值和允许误差的标志方法

电阻器阻值和允许误差常用的标志方法有下列 3 种。

(1) 直接标志法。将电阻器的阻值和误差等级直接用数字印在电阻器上。对小于 1000Ω 的阻值只标出数值，不标单位；对 $k\Omega$ 、 $M\Omega$ 只标注 k、M。精度等级标 I 或 II 级，III 级不标明。

(2) 文字符号法。将需要标识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。如：欧姆用 Ω 表示；千欧 ($10^3\Omega$) 用 k 表示；兆欧 ($10^6\Omega$) 用 M 表示；吉欧 ($10^9\Omega$) 用 G 表示；太欧 ($10^{12}\Omega$) 用 T 表示。

(3) 色环标志法。对体积很小的电阻和一些合成电阻器，其阻值和误差常用色环来标注，如图 1-2 所示。色环标志法有四环和五环两种。四环电阻的 4 道色环，第 1 道环和第 2 道环分别表示电阻的第一位和第二位有效数字，第 3 道环表示 10 的乘方数 (10^n ， n 为颜色所表示的数字)，第 4 道环表示允许误差 (若无第 4 道色环，则误差为 $\pm 20\%$)。色环电阻的单位一律为 Ω 。

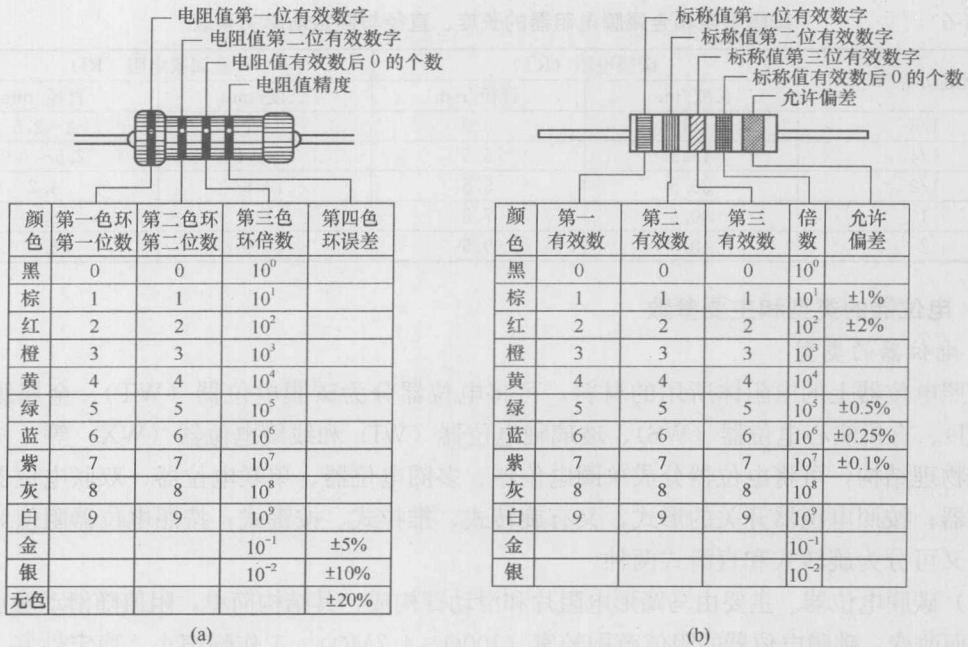


图 1-2 电阻的色环标志法

(a) 普通型；(b) 精密型

现在普遍使用的是精密电阻，精密电阻器一般用 5 道色环标注，它用前 3 道色环表示三位有效数字，第 4 道色环表示 10^n (n 为颜色所代表的数字)，第 5 道色环表示阻值的允许误差。

采用色环标志的电阻 (位) 器，颜色醒目，标志清晰，不易褪色，从不同的角度都能看清阻值和允许偏差，目前在国际上都广泛采用色环标志法。

3. 电阻的额定功率

电阻器在交直流电路中长期连续工作所允许消耗的最大功率，称为电阻器的额定功率。电阻的额定功率系列见表 1-5，共分为 19 个等级，常用的有 $1/20W$ 、 $1/8W$ 、 $1/4W$ 、

1/2W、1W、2W、5W、10W、20W 等。各种功率的电阻器在电路图中的符号如图 1-3 所示。

表 1-5 电阻器和电位器的额定功率系列

种 类	额定功率/W															
线绕电阻	0.05	0.125	0.25	0.5	1	2	3	4	8	10	16	25	40	50	75	100
非线绕电阻	0.05	0.125	0.25	0.5	1	2	5	10	25	50	100					

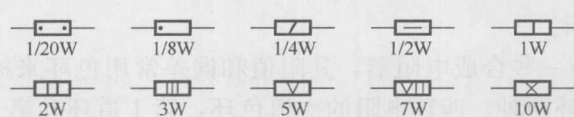


图 1-3 电阻器额定功率的符号表示

值得注意的是，有许多小型电阻器的额定功率一般在电阻体上并不标出，但根据电阻体的长度和直径的大小是可以确定其额定功率值大小的。表 1-6 给出了常用的不同长度和直径的碳膜电阻、

金属膜电阻所对应的额定功率值，供读者使用时参考。

表 1-6 碳膜电阻和金属膜电阻器的长度、直径与额定功率关系表

额定功率/W	碳膜电阻 (RT)		金属膜电阻 (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

1.1.3 电位器的类型和主要参数

1. 电位器的类型

按照电位器上的电阻体所用的材料，可将电位器分为碳膜电位器 (WT)、金属膜电位器 (WJ)、有机实心电位器 (WS)、玻璃釉电位器 (WI) 和线绕电位器 (WX) 等。按照电位器的物理结构，可将电位器分成单圈电位器、多圈电位器、单联电位器、双联电位器和多联电位器；按照电位器开关的形式，又有旋转式、推拉式、按键式；按照电位器阻值调节的方式，又可分为旋转式和直滑式两种。

(1) 碳膜电位器。主要由马蹄形电阻片和滑动臂构成，其结构简单，阻值随滑动触点位置的改变而改变。碳膜电位器的阻值范围较宽 (100Ω~4.7MΩ)，工作噪声小、稳定性好、品种多，因此广泛用于无线电电子设备和家用电器中。电位器外形符号及连接方法如图 1-4 所示。

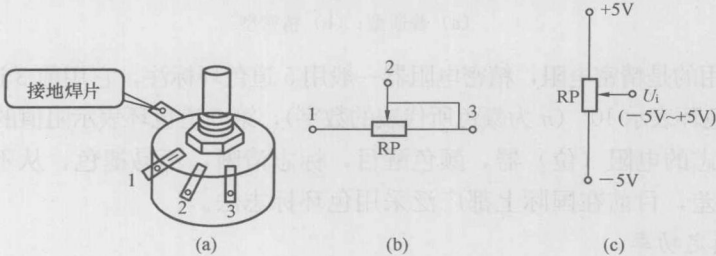


图 1-4 电位器外形符号及连接方法

(a) 外形；(b) 可调电阻器；(c) 分压器