



普通高等教育实验实训规划教材

电力技术类

电子工艺实训教程

梁湖辉 郑秀华 编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>



普通高等教育实验实训规划教材

电力技术类

电子工艺实训教程

梁湖辉 郑秀华 编
王 锦 主审



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育实验实训规划教材（电力技术类）。

全书共分7章，主要包括电子工艺基础知识及常用元器件、印刷电路板（PCB）的设计与制作、表面贴装元器件（SMT）及其贴装技术、电路焊接技术与工艺、电子设备装配工艺、电子产品调试工艺、电子产品装调实例等。

本书可作为高等职业院校电力技术类、电子信息类及相关专业的实习与技能训练教材，也可作为中等职业技术学院、电大、夜大学生电子工艺的实习与技能训练教材，还可供从事电子及相关行业工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

电子工艺实训教程/梁湖辉，郑秀华编. —北京：中国电力出版社，2009

普通高等教育实验实训规划教材. 电力技术类

ISBN 978-7-5083-9143-4

I. 电… II. ①梁…②郑… 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（2009）第 120378 号

中国电力出版社出版、发行

（北京三里河路6号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>）

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2009年6月第一版 2009年6月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 16印张 383千字

定价 25.60 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
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

电子工艺对于电子信息生产行业以及自动控制、仪器仪表生产行业的从业人员来说,是必须熟练掌握的一种基本技能,而实训教程作为工艺实训时的参考书,是从事或有意从事电子信息及其相关专业的人员学习并掌握的一门基础课程。随着科学技术的发展,新材料、新元器件层出不穷,使得电子工艺也处在不断地日新月异地发展过程中,从而给实训教程的编写带来了一定的难度。因此,作者在编写该教材时,立足于从基本工艺入手,结合职业教育的特点和多年从事电子制作、电子工艺教学和实训指导的经验,结合新型电子新产品和新型电子工艺进行编写,旨在使学习者能容易扎实地掌握电子工艺的基础知识和基本技能,并熟悉新型电子工艺的现状和发展情况,为进一步学习和应用打下基础,为从事电子信息及其相关专业做好技能上的储备。

“电子工艺实训教程”是一门实践性和实用性课程,因此,该教材所采用的元器件、工模具以及机器设备图形基本上以实物图形为主,以使读者对它们有直观上的认识。同时,为了加强实践能力的训练,在各章中均设置了一些基本技能的实训内容,同时也设置了整机装配的综合实训内容,以便使学习者较快地掌握一些实用的工艺技能和工程实践能力,为走上工作岗位积累技能经验。

本教材包括传统的电子产品生产制作的工艺实训内容,也包括现代电子产品生产制作的工艺实训内容,同时也介绍了电子产品生产工艺的发展前景。本教材内容丰富但却通俗易懂,图文并茂且语言流畅,既可作为专业人员的专业用书,也可作为工程技术人员的参考用书和业余爱好者的自学用书。

本书由福建电力职业技术学院梁湖辉、郑秀华老师合编,其中,梁湖辉编写第一、三、四章,郑秀华编写第二、五、六、七章和实训部分并负责全书的统稿。本书在编写过程中,得到了福建电力职业技术学院的领导和其他兄弟院校教师的大力支持和帮助。西安电力高等专科学校王锦老师对编写大纲和终稿进行了认真的审阅,并提出许多宝贵意见。另外,教材的编写还参考了一些相关著作和资料。在此,一并表示衷心的感谢。

由于电子技术和电子工艺的发展日新月异,加上编写人员的见识和水平有限,故书中难免有不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

2009年7月

目 录

前言

第1章 电子工艺基础知识及常用元器件	1
1.1 电子工艺的发展概况	1
1.2 电子工艺的基本常识	2
1.3 电子工艺的重要性和地位	4
1.4 常用电子元器件	4
1.4.1 电阻器和电位器.....	5
实训 1.1 电阻器和电位器的识别与判别	21
1.4.2 电容器	23
实训 1.2 电容器的识别与判别	30
1.4.3 电感器和变压器	32
实训 1.3 电感器、变压器的识别与判别	36
1.4.4 半导体器件	37
实训 1.4 常用半导体器件的识别与判别	55
1.4.5 其他电子元器件简介	59
实训 1.5 常用电声器件的识别与判别	63
1.5 常用导线和绝缘材料.....	64
1.5.1 常用导线	64
1.5.2 常用导线加工工艺	67
1.5.3 常用绝缘材料	71
1.6 习题一.....	73
第2章 印制电路板的设计与制作	74
2.1 PCB设计基础	74
2.1.1 印制电路板概述	74
2.1.2 PCB的基本概念	78
2.1.3 PCB设计规则	79
2.1.4 PCB干扰的产生和抑制方法	82
2.2 PCB设计实例	84
2.2.1 设计电路原理图	85
2.2.2 产生网络表	86
2.2.3 设计印制电路板	87
实训 2.1 PCB的设计	89
2.3 PCB制作的基本过程	90
2.3.1 胶片制版	90

2.3.2	图形转移	91
2.3.3	化学蚀刻	91
2.3.4	过孔与铜铺处理	91
2.3.5	助焊与阻焊处理	92
2.4	PCB 的手工制作	92
2.4.1	漆图法制作 PCB	92
2.4.2	热转印法制作 PCB	93
2.4.3	贴图法制作 PCB	93
2.4.4	刀刻法制作	93
2.4.5	感光法制作 PCB	93
	实训 2.2 PCB 的手工制作	94
2.5	习题二	96
第 3 章	表面贴装元器件 (SMT) 及其贴装技术	98
3.1	SMT 概述	98
3.1.1	电子组装技术的发展概况	98
3.1.2	表面组装技术的发展概况	99
3.1.3	表面组装技术的特点	99
3.2	表面贴装元器件	102
3.2.1	表面贴装元器件概述	102
3.2.2	无源元件 (SMC)	102
3.2.3	有源器件 (SMD)	112
3.2.4	表面贴装元器件的包装方式、使用注意事项和基本要求	118
3.2.5	表面贴装元器件的选择	119
	实训 3.1 表面贴装元器件的识别与判别	120
3.3	表面贴装元器件的贴装工艺及设备介绍	121
3.3.1	表面贴装元器件的贴装方法	121
3.3.2	表面贴装元器件自动贴装类型	121
3.3.3	表面贴装元器件的自动贴装工艺和设备	122
3.3.4	表面贴装元器件的手工贴装	133
3.3.5	表面贴装元器件生产线的设备组合方式	134
3.4	习题三	134
第 4 章	电路焊接技术与工艺	136
4.1	焊接的基础知识	136
4.1.1	焊接的种类	136
4.1.2	常用焊接方法	136
4.2	焊接工具与材料	137
4.2.1	常用焊接工具	137
4.2.2	常用焊接材料	138
4.3	焊接的条件与过程	141

4.4 手工焊接技术与工艺	141
4.4.1 手工焊接的基本要求	142
4.4.2 焊点质量检查	144
4.4.3 手工拆焊技术	145
4.4.4 焊接后的清洗	146
4.5 导线焊接技术与工艺	147
4.5.1 导线焊接种类	147
4.5.2 导线的拆焊	148
实训 4.1 导线的手工焊接	148
4.6 THT 元器件 PCB 板手工焊接技术与工艺	150
实训 4.2 THT 元器件 PCB 板的手工焊接和拆焊	154
4.7 浸焊、波峰焊、再流焊技术与工艺	157
4.7.1 浸焊	157
4.7.2 波峰焊	159
4.7.3 回流焊	167
实训 4.3 手工浸焊	176
4.8 无锡焊接技术	177
4.9 新型焊接技术及焊接技术的发展	178
实训 4.4 表面贴装元器件(SMT)的手工焊接和手工拆焊	184
4.10 清洗工艺和清洗设备	188
4.11 SMT 电路板焊接质量检测设备	189
4.12 SMT 电路板的返修与维修	191
4.13 习题四	192
第 5 章 电子设备装配工艺	193
5.1 组装基础	193
5.1.1 电子设备组装内容与级别	193
5.1.2 组装特点与方法	193
5.1.3 组装技术的发展	194
5.2 电路板插装	196
5.2.1 元器件引线的成形	196
5.2.2 元器件插装	197
5.2.3 电路板组装方式	200
实训 5.1 收音机电路板组装	201
5.3 整机组装	202
5.3.1 整机组装过程	203
5.3.2 整机连接	203
5.3.3 整机总装	210
实训 5.2 收音机整机组装	211
5.4 整机质检	212

5.5 习题五	213
第6章 电子产品调试工艺	214
6.1 电子工艺文件	214
6.1.1 工艺文件基础	214
6.1.2 编制工艺文件	215
6.1.3 工艺文件格式	216
6.2 调试过程	221
6.2.1 研制阶段调试	222
6.2.2 调试方案设计	222
6.2.3 生产阶段调试	223
6.3 静态调试	223
6.3.1 静态测试内容	223
6.3.2 电路调整方法	224
6.4 动态调试	225
6.4.1 测试动态电压	225
6.4.2 测试电路波形	225
6.4.3 测试频率特性	226
6.5 习题六	226
第7章 电子产品装调实例	228
7.1 二路智力竞赛抢答器	228
7.1.1 电路基本原理	228
7.1.2 电路装配过程	229
7.1.3 电路调试过程	230
7.1.4 电路故障分析	230
7.2 实用报警器	230
7.2.1 电路基本原理	231
7.2.2 电路装配过程	232
7.2.3 电路调试过程	232
7.2.4 电路故障分析	233
7.3 HX108-2型调幅收音机	233
7.3.1 电路基本原理	233
7.3.2 收音机整机装配	236
7.3.3 收音机装配过程	237
7.3.4 收音机的调试	238
7.3.5 电路故障分析	239
实训 7.1 收音机整机调试	242
7.4 习题七	244
参考文献	245



第 1 章 电子工艺基础知识及常用元器件

电子工艺是 20 世纪初伴随着电子技术的发展而发展起来的,它贯穿于电子元器件以及电子产品的整个设计、生产、服务的全过程,电子工艺质量的好坏直接影响着电子产品质量的优劣,如参数、性能情况以及产品的成品率等。在电子生产企业中,电子工艺的质量情况,除决定着产品的成品率外,还直接决定着员工的工作效率和企业的经济效率。对于从事电子行业的人员来说,掌握电子工艺的基本知识就显得极其重要。

从总体上看,电子工艺的内容极其广泛,应是包括所有电子产品(材料、元器件、配件和整机系统)的工艺过程。而本书主要讨论的是电子材料和元器件的使用、配件和整机系统的生产制造工艺,对于电子材料和电子元器件的生产制造过程工艺则未涉及到。因此,以后在本书中,所提到的“电子工艺”,主要是指电子整机(包括配件)产品的生产制造过程工艺。

1.1 电子工艺的发展概况

应该说,工艺是伴随着人类的劳动而产生的,在原始的人类劳动中,原始的生产制造工艺也相对来得简单和粗糙。而随着人类社会文明的发展,生产工艺水平也在不断地改进和发展过程中。

由于电子行业的发展相对于其他行业来说相对较晚,所以电子工艺的产生和发展也相对较晚,电子行业与其他行业一样,也经历着由手工制作到今天的现代化大规模生产的过程,电子工艺也就由手工制作工艺发展到今天的现代化制作工艺。然而,由于有其他行业和工艺的发展作基础,以及行业自身的发展特点,也就使得电子行业及其工艺与其他行业和工艺的发展相比,发展和更新速度也就显得更快些。

电子行业及其工艺,是在 1904 年英国的弗莱明发明了第一只电子二极管后才逐渐发展起来的。然而,此时的电子技术应用极其有限,电子工艺的发展也较为缓慢。1906 年,美国的科学家德弗雷斯特发明了世界上的第一只电子三极管后,直到 1947 年 12 月,电子技术才进入到电子管时代,电子工艺也进入了电子管制造和应用时代,电子技术也开始应用到其他行业,并逐渐影响到其他行业的发展,其工艺水平随之也有一定的发展,但总体来说,电子行业和工艺水平尚处于比较缓慢和比较粗糙的发展阶段。

1947 年 12 月,对于电子行业和电子工艺来说,是一个划时代的开始,美国电话电报公司贝尔实验室的三位科学家肖克莱、巴丁和布赖顿合作发明了人类有史以来的第一只半导体三极管,从此,电子技术进入了半导体时代,电子技术和电子工艺进入了飞速发展的时代,再加上 1959 年,美国科学家基尔比发明了一项新兴的制作技术,即集成电路制造技术;1961 年 4 月 25 日罗伯特·诺伊斯(Robert Noyce)成功制造了第一个集成电路。这些发展,促进了电子技术和电子工艺突飞猛进的发展,并且使电子技术迅速广泛地应用到各行各业,并促进其他行业的快速发展,同时与其他行业形成了良性循环,使得电子技术和工艺与其他

行业和工艺一起快速发展。

由于电子技术的起步和发展主要起源于国外，且我国大陆地区的电子行业的起步也较晚，因此，我国大陆地区的电子技术和电子工艺的发展较发达国家来说也相对较慢。然而，自从 20 世纪 80 年代我国改革开放以来，我国的电子工业和电子工艺水平也开始了突飞猛进的发展时至今日，我国的电子工业和电子工艺水平也较大地缩短了与发达国家的距离。毋庸讳言，目前我国电子行业及其工艺水平与当今发达国家和地区的水平相比，仍存在较大的差距，而电子工艺水平相差显得更为明显。所以，对于我国电子行业的从事人员和有志于从事电子行业的人员，任重而道远，希望大家共同努力，为我国电子行业赶超世界先进水平而积极奋斗。

随着电子技术的飞速发展，电子工艺也在飞速发展，对电子工艺也提出了越来越高的要求。人们在生产实践中不断探索着新的工艺方法，不断寻找新的工艺材料、设备和新的工艺管理方法，使电子工艺的内涵和外延迅速扩展，从而也使得电子工艺成为一门新兴的生机勃勃的学科。

1.2 电子工艺的基本常识

劳动促进了人类社会的不断进步，而人类在劳动生产过程中为了生产出高质量的劳动产品而不断积累经验和不断探索生产程序、方法、手段和技术，并进行总结，从而形成了操作规范和技术要求，就形成了工艺。工艺是指生产者利用生产设备和生产工具，对各种原材料、半成品进行加工或处理，使之成为符合要求的产品的过程，它是劳动生产的艺术，是对生产过程的各种规范和要求。

随着人类社会的不断进步，对于现代化的生产过程来说，工艺不仅仅只是针对原材料的加工或生产的操作过程，而是包括产品从设计到销售的每一个环节。而对于企业及其所制造的产品来说，工艺工作的主要出发点则是为了提高劳动生产率、生产优质产品和增加利润。它建立在对生产时间、速度、方法、程序、手段、能源、环境、劳动管理、质量控制和组织机构等因素的科学研究之上。工艺理论及其应用，指导着企业从原材料的采购开始，到加工、制造、检验等每一个环节，直至成品的包装、入库、运输乃至销售的全过程，为企业组织有节奏的高效生产提供科学的依据，它是企业科学生产的法律和法规。

电子工艺，是电子从业人员在进行电子产品的生产实践过程中总结出来的操作经验和技术要求，因为电子产品的种类繁多，且电子技术的应用范围极其广泛，所以电子工艺的内容也极其广泛。而就本书所指的电子工艺而言，是指电子整机（包括配件）产品的生产制造过程工艺。它主要包括两个方面：一方面是指制造工艺的技术手段和操作技能；另一方面则是指产品在生产过程中的质量控制和工艺管理。对于电子行业而言，要生产出优质、高效的产品，这两方面同样重要，缺一不可。

对电子工艺的研究，应包括人员、材料、设备、方法和管理等几个方面。

一、人员

任何的产品最终均是由人创造出来的，从产品的设计开始到产品的生产，均离不开高素质的人员。对现代化的企业来说，其需要的不再是简单的体力劳动者，而应是懂得现代工艺的高级管理人员、高级工程技术人员和高等级的技术工人。企业要高效率地生产出高质量的

产品，具有强大的竞争力和生命力，则离不开高素质的从业人员，甚至可以说，现代企业最重要的竞争就是高素质的人力资源的竞争，高素质人员可以说就是企业的生命线，它推动着电子行业高水平快速地发展。

二、材料

电子整机产品的质量和技术水平，除了决定于工艺水平外，还决定于元器件制造业和材料科学的发展水平。在电子产品的设计和制造过程中，能否及时合理地使用最新的电子元件和最新的材料，在很大程度上决定着电子产品的先进性和科技含量。

电子整机产品制造所用的材料，一般包括电子元器件、导线、金属、非金属材料以及用这些材料制作的零部件和结构件。

应该说，目前我国大陆地区（台湾地区半导体制造业目前处于较高的水平）电子行业与世界发达国家相比，差距最大的是电子元器件及其所用的原材料（特别是集成电路芯片）的研制、开发和制造工艺上。物美价廉材料的正确使用，直接影响着电子产品质量、经济效率和科技含量。所以说，电子行业必须注重新材料的研制、开发和利用，才能使电子技术不断地创新发展。

三、设备

电子产品工艺水平的提高，产品质量和生产效率的提高，在很大程度上依赖于生产设备的技术水平。

电子产品在生产制造过程中必然要使用各种工具、仪表和设备，而随着电子应用技术、计算机控制技术、机械精密制造技术和机电一体化技术的应用，使得生产工具、仪表和设备更加智能化、人性化，并且速度更快、精度更高。现代化高精度设备的使用，在电子行业中占着极其重要的地位，而我国电子技术及其工艺与先进国家和地区的差别，一定程度上可以说是由于现代化高精度设备上应用技术上的差别，所以，在电子行业中，先进设备也起着至关重要的决定性作用。

现代化设备的应用快速推动着各行各业的发展，同时，各行各业的发展反过来也推动着设备的技术进步，它们互相影响、互相促进，不断推动着人类社会文明的进步。

四、方法

所谓方法，就是为了达到目的而采用的手段、步骤和途径的总和，在电子产品的生产过程中，包括材料的应用、工具和设备的使用、制造过程的安排、现场管理等，方法的科学应用是至关重要的。从电路原理的设计到工艺设计，从材料的采购到仓储物流，从生产过程控制到质量检验，方法的应用自始至终贯穿其中。好的方法的使用，除了可以生产出高质量的产品外，还可以提高劳动生产率和经济效率，生产方法的不断改进和创新，推动着工业文明的不断进步。

五、管理

现代化的企业需要现代化的管理，企业对人力资源、生产材料、仪器设备、制造方法的控制和实施，都需要通过完善的管理体系和管理制度来实现，管理是企业的软实力，管理同样影响着产品质量和生产效率，影响着工艺的实施情况。

统计学和运筹学是现代管理科学的理论基础，电脑化、网络化的过程控制则构成了电子产品制造企业的管理体系，统一的、标准化的、完备的经济管理、技术管理和文件管理是现代化企业的运作模式。

近年来,建立在信息技术基础上,以系统化的管理思想,为企业决策层及员工提供决策运行手段的管理平台,ERP(Enterprise Resource Planning)企业资源计划管理系统,已开始在我国电子行业中推广使用。ERP系统集中信息技术与先进的管理思想于一身,成为现代企业的运行模式,反映时代对企业合理调配资源,最大化地创造社会财富的要求,成为企业在信息时代生存、发展的基石。

1.3 电子工艺的重要地位和地位

电子工艺从电子产品的设计、生产直至销售,都起着决定性的作用。众所周知,同样的设计思想、原材料、生产设备,不同的生产制造工艺,则生产出来的产品质量、成品率也不尽相同,甚至有天壤之别。若没有先进的电子工艺,就不能制造出高水平、高性能的电子产品。从本质上说,我国(台湾地区除外)电子技术与世界发达国家存在的差别,主要是生产制造工艺技术和工艺管理水平上的差别。工艺是一种软实力,它从本质影响着产品的质量、成品率、劳动生产率和企业的经济效益。因此,对我国电子行业来说,制定合理、完善的电子工艺,并在生产过程中严格执行工艺要求,同时不断总结经验教训,不断探索、研究新的生产制造工艺,显得极其重要。

电子工艺同时也影响着电子企业的生产安全。在电子产品的开发研制和生产过程中,特别是在进行装配、焊接、调试和修理过程中,不仅要使用各种原材料和元器件,也要使用各种工具和设备,因此,在制定工艺内容时,应包含有保证原材料、元器件、工具、设备和人员安全的内容,同时,在生产过程和管理过程中,应严格要求执行,以保证安全,避免造成不必要的损失。

电子工艺内容除涉及诸如应用物理学、化学工程技术、光刻工艺学、电气电子工程学、机械工程学、金属学、焊接学、工程热力学、材料学、微电子学、计算机科学、工业设计学、人机工程学等众多的科学技术领域外,还涉及与企业管理有关的学科,如数理统计学、运筹学、系统工程学和会计学等,它是一门综合性极强的技术科学。也因此,电子工艺技术人才是一种复合型人才,他的培养和成长需经过一个较长的过程,除需要理论知识的培养外,还需在企业的生产实践中不断学习、积累、总结和研究探索。目前,我国高级的电子工艺技术应用人才还不多,需要我们大力培养,以便缩短与发达国家的人才差异。

1.4 常用电子元器件

电子元器件的种类繁多,而实现各种各样特定功能的电子电路均由它们组成。换句话说,电子元器件是组成具有特定功能的电子电路的最小单元。目前,电子技术的应用已无所不在,电子技术的发展也直接影响着各行各业的发展水平。因此,对于电子行业的从业人员和其他行业的工程技术人员,熟悉电子元器件的种类、结构、性能参数及其应用,显得极为重要。

电子元器件一般分为电子元件和电子器件。电子元件一般指诸如电阻器、电容器、电感器、接插件和开关等无源元件;电子器件一般则是指晶体管、集成电路等有源元器件。然而,需要特别指出的是,在实际工作中,这两者并没有严格的区分,一般统称为电子元

器件。

1.4.1 电阻器和电位器

电阻器和电位器属于耗能元件，是电子电路中使用最多的一种元件，在电路中最基本的功能是降压、限流，一般用“ R ”表示，单位为 Ω （欧姆）。电阻器通常指固定阻值的电阻（包括特种电阻），电位器通常指阻值可调的电阻。

一、电阻器

（一）电阻器的分类

电阻器的种类繁多，分类也各不相同，而且，随着电子元器件制造工艺的不断提高和新型材料的不断出现，一些特殊场合使用的新型电阻器也不断地被研发出来，这里，只介绍较常用的两种分类方法。

（1）按制造工艺或材料可分为薄膜电阻器、合成型电阻器、合金电阻器和敏感电阻器四种。

1）薄膜型电阻器。它是指用蒸发的方法将一定电阻率材料蒸镀（或叫沉积）于绝缘材料（一般用玻璃或陶瓷）的基体表面而制成的电阻器。膜的厚度一般在几微米以下，薄膜材料一般有碳膜、金属膜、化学沉积膜和金属氧化膜等。在生产过程中，通过控制薄膜的厚度或刻槽使其有效体积发生变化从而达到控制其电阻值大小的目的。

2）合成型电阻器。它是指将导电材料与非导电材料按一定比例混合成不同电阻率的材料后和化学黏合剂混合而制成的电阻器。合成类电阻器的种类较多，按黏合剂的种类不同分有机型（如酚醛树脂）和无机型（如玻璃、陶瓷等），按用途分有通用型、高阻型、高压型等。常用的有合成膜电阻器和实心电阻，这种电阻器的主要特点是可靠性高，但电性能较差。

3）合金型电阻器。它是指用块状电阻合金（如镍铬、锰铜、康铜合金）拉制成合金丝线或碾压成合金箔而制成的电阻器。常用的有线绕电阻器和精密合金箔电阻器等。

4）敏感电阻器。它是指使用特殊材料和特殊工艺制造而成的对光通量、温度、湿度、压力、磁通量、外力、气体浓度和气味等非电物理量反应特别敏感且电阻值会随它们发生变化的电阻器，称为敏感电阻器。利用这些敏感电阻器可以制成相应物理量的传感器或无触点开关，它们在现代自动控制技术中被广泛应用。

（2）按使用范围和用途可分为普通型电阻器、精密型电阻器、高频型电阻器等。

1）普通型电阻器。它是指适应于一般的场合使用的电阻器。其额定功率范围一般为 $0.05\sim 2\text{W}$ ，阻值范围一般为 $1\Omega\sim 22\text{M}\Omega$ ，误差范围一般为 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 。

2）精密型电阻器。它具有较高的精密度和稳定性，一般用于技术要求较高的场合（如军工），功率一般不高于 2W 。其阻值范围一般为 $0.01\Omega\sim 20\text{M}\Omega$ ，误差范围一般为 $\pm 0.001\%\sim \pm 2\%$ 。

3）高频型电阻器。通常也称为无感电阻器，其自身电感量极小。它一般用于高频场合，阻值一般小于 $1\text{k}\Omega$ ，功率范围较大，最大可达 100W 。

4）高压型电阻器。它常用于高压装置中，额定工作电压可达 35kV 以上，阻值可达 $1\text{G}\Omega$ 。

5）高阻型电阻器。阻值通常在 $10\text{M}\Omega$ 以上，最大可达 $10^{14}\Omega$ 。

6）特殊型电阻器。它是利用特殊材料和特殊工艺制造而成，且用于特殊场合的一些电

阻器。常用的有熔断电阻器、集成电阻器、水泥电阻器和敏感电阻器等。

(二) 常用普通电阻器结构及性能特点

常用普通电阻器的电路符号如图 1-1 所示。

(1) 碳膜电阻器。碳膜电阻器是膜式电阻器的一种，它是通过真空高温热分解的结晶碳沉积在柱形的或管形的陶瓷骨架上制成的。

碳膜电阻器常用字符 RT 表示，其中，R 代表电阻器，T 代表材料是碳膜。常见碳膜电阻器的外形如图 1-2 所示。

碳膜电阻器的性能特点是稳定性良好，负温度系数小，高频特性好，受电压和频率影响较小，噪声电动势较小，脉冲负载稳定，阻值范围较宽，因其制作容易，生产成本低，应用极为广泛。

碳膜电阻器的阻值范围一般为 $1\Omega \sim 10M\Omega$ 。额定功率有 0.125、0.25、0.5、1、2、5、10W 等。精度等级有 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 。普通碳膜电阻的体积较大，为了适应小体积的电阻装置的需要，又生产出小型碳膜电阻器 RTX 型，功率仅为 0.125W，且大多制成色码电阻。

碳膜电阻器中一般有普通碳膜、测量型碳膜、高频碳膜、精密碳膜和硅碳膜电阻器等，它们各自的特点和区别请大家查阅有关资料。

(2) 金属膜电阻器。金属膜电阻器也是膜式电阻器的一种，它是以特种金属或合金作电阻材料，用真空蒸发或溅射的方法，在陶瓷或玻璃骨架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。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。

金属膜电阻器常用字符 RJ 表示，其中，J 代表材料是金属膜。常见金属膜电阻器的外形如图 1-3 所示。

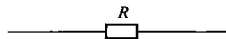


图 1-1 常用普通电阻器
电路符号



图 1-2 碳膜电阻器和
合成碳膜外形



图 1-3 金属膜电阻器外形

金属膜电阻器的性能特点是工作环境温度范围一般较宽，在 $-55 \sim +125^{\circ}\text{C}$ ，稳定性、耐热性、噪声电动势、温度系数、电压系数等电性能比碳膜电阻器更优良，工作频率范围宽、可用于高频电路中。在相同功率条件下，它比碳膜电阻的体积小得多，但其脉冲负载稳定性较差。这种电阻器在高精度、高稳定性和高可靠性的电子电路中被广泛应用。

金属膜电阻器的阻值范围一般为 $1\Omega \sim 200M\Omega$ ，额定功率有 0.125、0.25、0.5、1、2W 等，精度等级一般为 $\pm 5\%$ ，高精度的金属膜电阻器其精度可达 $\pm(0.5 \sim 0.01)\%$ 。金属膜电阻器中有普通金属膜、高精度金属膜、高压型金属膜、高阻型金属膜和超高频金属膜电阻

器等。

(3) 金属氧化膜电阻器。金属氧化膜电阻器也是膜式电阻器的一种,是由能水解的金属盐类溶液(如四氯化锡和三氯化锑)喷雾到约为 550°C 的加热炉内,在炽热的玻璃或陶瓷的骨架表面分解沉积而成。随着制造条件的不同,电阻器的性能也有很大差异。

金属氧化膜电阻器常用字符 RY 表示,其中,Y 代表材料是金属氧化膜。常见金属氧化膜电阻器的外形如图 1-4 所示。

金属氧化膜电阻器的主要特点是耐高温,工作温度范围为 $+140\sim+235^{\circ}\text{C}$,在短时间内可超负荷使用,电阻温度系数为 $\pm 3\times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ 。同时其化学稳定性好,膜层比碳膜电阻和金属膜电阻厚得多,且均匀、阻燃、与基体附着力强,因此,有极好的脉冲、高频和过负荷性能,机械性能好、坚硬、耐磨。但其缺点是电阻率较低,小功率电阻器的阻值不超过 $100\text{k}\Omega$,因此应用范围受到限制,但可用作补充金属膜电阻器的低阻部分。

金属氧化膜电阻器阻值范围一般为 $1\Omega\sim 200\text{k}\Omega$ 。额定功率有中小功率和大功率。中小功率为 $0.125\sim 10\text{W}$,大功率可达 $25\sim 50\text{W}$ 。

(4) 合成碳膜电阻器。合成碳膜电阻器是用有机黏合剂将碳墨、石墨和填充料配成悬浮液涂覆于绝缘基体上,经高温加热聚合而成。它的电性能和稳定性较差,一般不适于作通用电阻器。但由于它容易制成高阻值的膜,所以主要用作高阻高压电阻器。其用途同高压电阻器相同。

合成碳膜电阻器常用字符 RH 表示,其中,H 代表材料是合成碳膜。常见合成碳膜电阻器的外形也如图 1-2 所示。

合成碳膜电阻器特点是生产工艺简单、价格低廉、阻值范围宽,但噪声大、抗湿性差,频率特性和电压稳定性不好。

高压型合成碳膜电阻器的阻值范围一般为 $4.7\text{M}\Omega\sim 1\text{G}\Omega$,高阻型的阻值范围一般为 $10\text{M}\Omega\sim 1\text{T}\Omega$ 。精度等级为 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 。耐压有 10kV 和 35kV 两种。额定功率一般为 $0.25\sim 5\text{W}$ 。

(5) 线绕电阻器。线绕电阻器是用合金丝(如镍铬、锰铜、康铜合金线)缠绕在陶瓷骨架上制作而成的。为了防潮和避免线圈松动,其表面通常涂覆一层玻璃釉或有机漆加以保护。

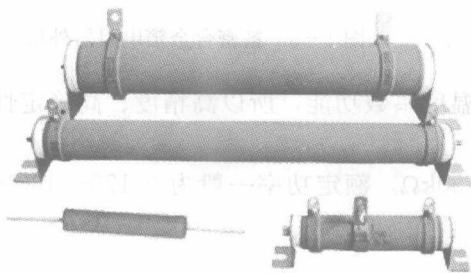


图 1-5 线绕电阻器外形

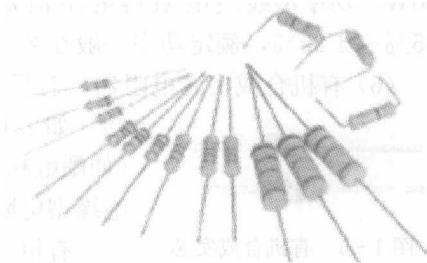


图 1-4 金属氧化膜电阻器外形

线绕电阻器常用字符 RX 表示,其中,X 代表材料是合金丝线。一般有精密型和功率型两类。常见四种外形,如图 1-5 所示。

线绕电阻器的特点是阻值范围较大、功率大、噪声小、温度系数小、耐高温(工作温度一般可达 315°C)、热稳定性好。但由于采用线绕工艺,分布电感和分布电容较大,因此高频特性差。

精密型线绕电阻器的阻值范围一般为 $0.01\Omega \sim 10M\Omega$ ，精度等级为 $\pm 0.01\%$ ，最高可达 $\pm 0.005\%$ 以上，温度系数小于 $1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ，长期工作稳定性高，额定功率一般为 $0.125 \sim 500\text{W}$ 。功率型线绕电阻器的阻值范围一般为 $0.1\Omega \sim 1M\Omega$ ，精度等级较一般，通常为 $\pm 5\% \sim \pm 20\%$ ，额定功率一般在 $2 \sim 500\text{W}$ 。

(6) 有机合成实芯电阻器。有机合成实芯电阻器是将导电颗粒（如碳粉、石墨）、填充物（如云母粉、石英粉、玻璃粉、二氧化钛等）和有机黏合剂（如酚醛树脂）等材料混合成粉料，然后经热压而成。它是一种绝缘型电阻器。



图 1-6 有机合成实芯电阻器外形

有机合成实芯电阻器常用 RS 表示，其中，S 代表有机实芯，常见外形如图 1-6 所示。

有机合成实芯电阻器的特点是机械强度高，可靠性好，耐脉冲性好，有较强的过负载能力，体积小，价格低廉，但噪声较大，分布电感和分布电容也较大，电压和温度稳定性较差。

有机合成实芯电阻器的阻值范围一般为 $2.2\Omega \sim 22M\Omega$ ，精度等级为 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ ，额定功率一般为 $0.25 \sim 2\text{W}$ ，使用温度范围一般为 $-55 \sim +125^{\circ}\text{C}$ 。

(7) 玻璃釉电阻器。玻璃釉电阻器是用金属氧化物（如银、铈、钨等）和玻璃釉黏合剂相混合，然后涂覆或印制在陶瓷骨架上，经高温烧结而制成的。

玻璃釉电阻器常用 RI 表示，其中 I 代表玻璃釉，常见五种外形如图 1-7 所示。

玻璃釉电阻器的特点是体积小、阻值高，属厚膜电阻器，具有高耐冲击性及高稳定性，耐高温，温度系数低，防潮、阻燃，可制成小型贴片电阻。

玻璃釉电阻器的阻值范围一般为 $4.7\Omega \sim 200M\Omega$ 。额定功率一般为 $0.125 \sim 2\text{W}$ ，大功率型可达 500W 。

(8) 精密合金箔电阻器。精密合金箔电阻器是把合金箔黏结在玻璃骨架上，然后用光刻法刻出一定图形，再涂覆环氧树脂保护层，装上引线后封装而成。

精密合金箔电阻器常用 RJ 表示，其中，J 表示精密合金箔型，常见六种外形如图 1-8 所示。

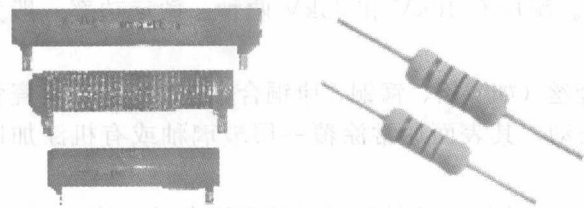


图 1-7 玻璃釉电阻器外形

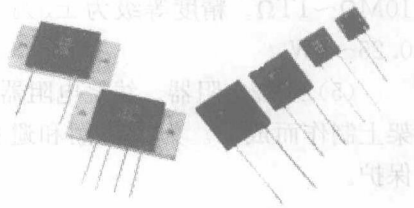


图 1-8 精密合金箔电阻器外形

精密合金箔电阻器的特点是具有自动补偿电阻温度系数功能，所以高精度、高稳定性、高频响应好，温度系数小。

精密合金箔电阻器的阻值范围一般为 $0.01\Omega \sim 50k\Omega$ 。额定功率一般为 $0.125 \sim 100\text{W}$ 。精度范围为 $\pm 0.001\% \sim \pm 1\%$ 。

(三) 特殊电阻器

随着现代电子工艺的发展和新材料的不断出现，各种特殊功能或特殊场合使用的电阻器

不断被研制出来。下面简单介绍六种特殊电阻器。

(1) 熔丝电阻器。熔丝电阻器也称熔断电阻器，它是一种既有电阻作用，又有熔丝作用的电阻器。在正常功率使用时，它只是一只普通的小阻值电阻器，当电路出现故障而使其超过负荷功率时，在规定的标准时间内阻值显著增大或开路，从而实现对电路其他元器件起到保护的作用。

熔丝电阻器常用 RF 表示，其中，F 表示熔丝，常见四种的外形如图 1-9 所示，常用电路符号如图 1-10 所示。

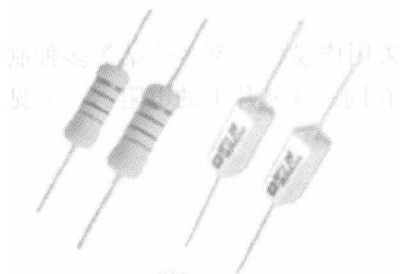


图 1-9 熔丝电阻器外形

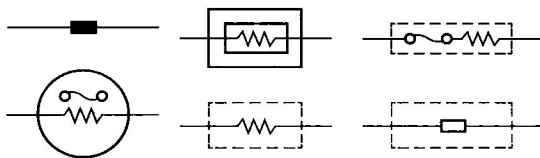


图 1-10 熔丝电阻器常用电路符号

与传统的熔丝和其他保护装置相比，熔丝电阻器具有结构简单、使用方便、熔断功率小、熔断时间短等特点。熔丝电阻器一般有线绕型、金属膜型和碳膜型等。熔丝电阻器的阻值一般为 $0.33\Omega \sim 10k\Omega$ ，额定功率一般为 $0.25 \sim 2W$ 。

(2) 水泥电阻器。水泥电阻器是将电阻丝线绕在无碱性耐热瓷件上，外面加上耐热、耐湿和耐腐蚀的材料保护固定，并把绕线电阻体放入陶瓷外壳内，用特殊不燃性耐热水泥填充固化密封而制成的电阻器。水泥电阻器内部的电阻丝和引脚之间采用压接工艺，因此，若有超负荷的电流流过，则压接点会迅速熔断，从而起到保护电路的作用。

常用五种水泥电阻器外形如图 1-11 所示。电路符号则同一般电阻器相同。

常用水泥电阻器的特点是体积小、抗震、耐湿和耐热性好、具有良好的散热性能，表面绝缘、精度高、电阻温度系数小、低杂音、阻值稳定性好、短时间超负载性能好、寿命长、价格低廉。

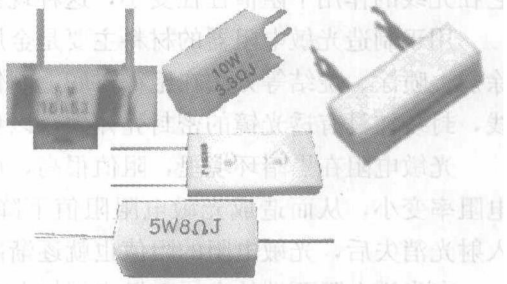


图 1-11 常见水泥电阻外形图

高电阻值水泥电阻器采用金属氧化皮膜体 (MO) 代替绕线方式制成。

水泥电阻通常用于功率大、电流大的场合，功率为 2、3、5、10W 等，甚至更大，其最大阻值高达 $100M\Omega$ 。

(3) 贴片电阻器。贴片电阻器也称片状电阻器或片式固定电阻器，是从 Chip Fixed Resistor 直接翻译过来的，是金属玻璃铀电阻器中的一种。它是将金属粉和玻璃铀粉混合，采用丝网印刷法印在基板上制成的电阻器。

贴片电阻器常用 RC 表示，其中，C 表示片状 (Chip)，常见外形如图 1-12 所示。

贴片电阻器的特点是电性能稳定、机械强度高、可靠性高、高频特性优好、耐潮