



普通高等教育“十三五”电工电子基础课程规划教材
江苏高校品牌专业建设工程资助项目
国家自然科学基金资助项目

电子工艺基础与 实践训练

——面向卓越工程师培养

主编 朱昌平 张秀平



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十三五”电工电子基础课程规划教材
江苏高校品牌专业建设工程资助项目
国家自然科学基金资助项目

电子工艺基础与实践训练

——面向卓越工程师培养

主 编	朱昌平	张秀平				
副主编	单鸣雷	李 建	姚 澄	林善明	殷 明	
参 编	龚润航	刘逸韬	陈增熙	董紫薇	李博微	



机械工业出版社

“电子工艺基础训练”是电子信息类各专业的一门实践类技术基础课，它从基本元器件的认知和基本焊接技能入手，引导刚刚进入电子信息领域的学生开展实践学习。教材总结了河海大学声通 315 团队近年来在教学实践、学科竞赛实践和产学研实践中积累的经验，以常用典型实例引导，结合问题分析，加强基本技能训练；同时注意吸收专业领域内的先进技术，如仿真技术等内容。

本书内容分为三个部分。第 1 部分是电子工艺设计基础知识，共四章：对电阻器、电位器、电容器、电感器、变压器、二极管、晶体管、开关、蜂鸣器、模拟集成电路等常用基本元器件的识别和检测常识逐一介绍；从焊接工具、焊料焊剂认识入门，详细讲解手工焊接技术、要求和质量检测方法；以 51 单片机最小系统开发板的设计、制作为例，介绍电路板的设计和手工制作过程及热转印机的使用；结合普通高校实验室的情况，介绍电子设计常用仪器，包括直流稳压电源、示波器、数字万用表和信号发生器等，以及电子测量基本方法。第 2 部分是电子设计实例，共三章：基础型电子设计实例、仿真型电子设计实例和提高型电子设计实例，由浅及深循序渐进地讲述了电子技术设计实例。第 3 部分是团队模式下提高本科生实践创新能力的探索实践经验介绍，旨在为引导学生开展自主创新提供借鉴。

本书可作为高等学校电子信息类及相关专业的本科生教材，也可作为一般电子爱好者开展电子实践制作的辅助资料和参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

电子工艺基础与实践训练：面向卓越工程师培养/朱昌平，张秀平主编. —北京：机械工业出版社，2016.1

普通高等教育“十三五”电工电子基础课程规划教材

ISBN 978-7-111-54073-1

I. ①电… II. ①朱… ②张… III. ①电子技术 - 课程设计 - 高等学校 - 教材 IV. ①TN - 41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 140301 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：徐 凡 责任编辑：徐 凡

责任校对：张晓蓉 封面设计：张 静

责任印制：常天培

唐山三艺印务有限公司印刷

2016 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 13.5 印张 · 328 千字

标准书号：ISBN 978-7-111-54073-1

定价：28.00 元

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

服务咨询热线：010 - 88379833 机工官网：www. cmpbook. com

读者购书热线：010 - 88379649 机工官博：weibo. com/ cmp1952

教育服务网：www. cmpedu. com

封面防伪标均为盗版

金 书 网：www. golden - book. com

前 言

与发达国家相比,中国的高等教育在严守规范的契约精神、积极探索的实践创新意识、理性分析的批判性思维能力等方面的培养均需要更进一步加强,对此国家和学校采取了诸多办法,有的已收到了良好实效,受到了学生的欢迎和社会的好评。作者所在的河海大学声通 315 团队(以下简称 315 团队)从 2002 年建立以来,坚持以“学生成为最好的自己,在和谐进取的氛围中练就过硬的创新创业能力”为培养理念,已培养出 300 多名社会责任意识与专业技术水平都受到社会好评的本科毕业生。从 2013 年起,为了将团队的培养经验让全院学生分享,学院又让 315 团队的 10 多位教师共同承担了学院 400 多名学生的“电子工艺基础训练”课程,采用学生通过两周完整的时间进行该课程学习的方式,使全体学生在电子工艺规范、电子设计和电子工程创新三个方面得到一定的基础性培养,受到了学生广泛认可。

在这些实践教学中,有以下几点体会:

实践教学目标需要紧密切合企业对人才培养的需求。因此,在接受教学任务后,团队 10 多位教师和 40 多名学生先后多次到企业和兄弟院校进行了调研。在对企业的调研中,了解到企业对学生最为关注的是“严守规范的契约精神”,而且企业当下对新入职员工在规范培养上花的精力很大。为此,我们感到,应在每一教学过程中都对相应的规范加以强调,如电烙铁的使用规范、每个电子仪器的使用规范、安全用电的规范、进出实验室的规范等,而且均应特别提出,并作为评定成绩关注点和要点之一。同时,在规范的培养过程中,应由学生参与管理,事前师生一起学习相关规范,并拟定共同遵守的细则,据此引入学生互评机制,教师进行过程调控,在实践过程中培养学生严守规范的契约精神。

实践教学模式需要紧密结合学生的认知需求。包括两个方面:教师适时适度地辅助指导和以学生作为实践主体的中心地位。

课程教学团队在探索中发现,当每个老师指导人数不大于 8 人时,实践教学效果最优,而本科教学中,一般给每个自然班(约 30 人)配备一名主讲教师,因此并不能保证实践教学效果最好。解决的办法是,借鉴团队运作成熟的“梯队人才培养模式”,在每个自然班发展并建立 4~5 人的小辅导老师队伍,协助主讲教师完成实践教学指导,以保证最多 8 个学生获得一个人的指导。其中,小辅导老师的来源是授课班级中的 315 团队成员。期望成为团队成员的学生在大学一年级即可自主申请进入 315 团队,至电子工艺实践开课时,由于每个成员在团队已接受了一个学期以上时间的培训和考核,因此每一位成员不仅懂得



实践应知应会规范，而且更具备了制作简单电子电路的基本技能。为了使这些期望的成员达到小辅导老师的要求，团队老师可利用暑期对全体小辅导老师进行针对性的培训。培训内容包括：基本元器件的识别、Protel 软件的安装和使用训练、制板工具的使用、电路板的焊接与调试训练等。在培训过程中，团队老师协同小辅导老师对每一个模块内容整理了一套简单的操作流程，对于手工制板录制了相应的视频教程，方便在实践教学过程中学生预习。在每个培训结点，展开讨论，并对每个人遇到的问题及解决方法进行汇总、共享，便于实施过程中遇到相同的问题时，小辅导老师能够快速准确地进行解答。培训结束后，要结合电子工艺实践教学的具体实施项目，进行集体备课，针对当次实践要求的基础题目和提高题目，每个人亲手做一遍，对于过程中遇到的问题进行交流总结和分享，提高辅导的效果。通过集中培训和集体备课成长起来的小辅导老师，可以比较有效地解决1师8生问题，确保对每一位学生指导到位。

学生是电子工艺实践教学的主体，对于刚升入大二的学生而言，他们多数只具备简单电路的基本理论知识，没有接触过画电路图、制作单元电路的过程。为了确保每一位学生在两周教学时间内能听懂、学透、独立完成实践项目，团队教师以学生为中心，将课堂下移，延伸课堂外学习。同时，对教学过程进行了优化，把教学过程分为四个阶段：第一个阶段学习基础知识。这一阶段重视课前预习，以提高基础入门信息量。在课前下发关于基本元器件的认识和制作项目原理讲解的电子讲稿，方便学生预习。好的开头是成功的一半，有了预习做基础，就可以在课堂上给学生介绍很多优秀的学生电子设计作品，重在激发学生的兴趣与对电子设计的感知认识。第二个阶段学习 Protel 画原理图和印制电路板（PCB）图。软件的安装包以及安装方法提前一天下发，安装到学生自备的计算机上，对于安装不成功的学生由辅导老师辅助，保证软件在课前安装到位，不影响学习进程。课堂进度跟着学生走，教师讲解，学生同步操作，每一位小辅导老师负责解答附近8位学生的问题，主讲教师每讲解20分钟左右，就会暂停一段时间，给同学们解决自己遇到的问题，并练习刚刚讲过的内容。尽量让每一位同学不仅能够入门，还要明明白白地掌握，以提高整体学习效率和水平。第三个阶段练习焊接。课前下发录制好的视频，供学生提前自学，课堂上着重讲解焊接规范中的注意事项和常见问题。学生进行焊接练习时，1师8生现场指导。焊接过关后，进入第四个阶段——学习实践制作，内容包括手工制板、焊接和调试。通过讲解和演示手工制板的完整过程，即打印电路图、热转印、腐蚀电路板、钻孔、电路板测试、元器件测试、电路焊接和电路调试等，加上预习视频的辅助，学生可以较快地上手，独立实践制作的过程。其间，1师8生指导不间断，随时解答学生遇到的问题。这样以学生为中心，课堂下移的教学过程，可以较好地提升学习效果。



考核不仅仅是一种评价方式,更是促使学生对知识和技能精确熟练掌握的有效手段。为此,除第一个学习阶段外,在其后每一个阶段的同步讲解学习和练习之后,采取随机抽题的方式,加入考核环节。重点考察学生应用所学知识解决具体问题的能力和不足,给出改进建议,做出评定。考核标准由主讲教师给出,涵盖了 PCB 整体布局、焊点质量、作品运行情况等。小辅导老师交叉对学生的软件和硬件作品打分,避免人为因素对评定的影响。

以每一位学生为中心的电子工艺实践类课程,旨在引导学生熟悉应知应会的规范,在电子设计和制作中能够做到游刃有余;通过实践,学生体验自己的智慧和双手设计制作出自己想要的东西,感受那种跃变的过程;通过实践,激发学生深入学习专业知识的热情,享受电子设计的乐趣。

在两周集中实践结束后,教师给学生布置基本要求和提高要求两方面的课后作业。其中,基本要求是每位学生必须完成的。基本要求的内容是,撰写课程报告,报告中除对收获与体会进行总结外,特别要求对本次课程教学内容、教学方法、教学手段、教学形式等提出意见与建议。提高要求的内容是,依据个人兴趣与特长,对本次课程的实践项目进行拓展、创新、优化。学生用四周时间完成课后作业,并在全班进行作业交流答辩,课后作业及答辩环节,给学生独立思考、总结提高提出了要求,旨在对学生批判性的学习能力进行培养。

本书内容是 315 团队师生 10 多年实践能力培养与近年来通过课程教学由点带面的总结。由于水平有限,书中还存在不少错误和不妥之处,作者热忱希望使用本书的师生和其他读者给予指正,帮助改进。在完成书稿的过程中学习和参考了许多同行的教学学术成果,在此深表谢意。

本书为江苏高校品牌专业建设工程资助项目 (PPZY2015B141) 和国家自然科学基金资助项目 (11274092)。

编 者

目 录

前 言

第 1 部分 电子工艺设计基础知识

第 1 章 基本电子元器件	1
1.1 电阻器和电位器	1
1.1.1 电阻器和电位器的型号	1
1.1.2 电阻器的主要技术指标	2
1.1.3 电阻器的标识方法	3
1.1.4 常用电阻器	5
1.2 电容器	6
1.2.1 电容器的分类和型号	6
1.2.2 电容器的主要技术指标	8
1.2.3 电容器的标识方法	9
1.2.4 常用电容器	9
1.2.5 电容器的应用及注意事项	12
1.3 电感器和变压器	13
1.3.1 电感器的结构特点及分类	13
1.3.2 电感器的型号及常用类型	14
1.3.3 电感器的主要技术指标	15
1.3.4 电感器的标识方法	16
1.3.5 变压器	16
1.4 半导体分立器件——二极管和双极型晶体管	16
1.4.1 二极管	16
1.4.2 双极型晶体管	20
1.5 集成电路	27
第 2 章 焊接技术	29
2.1 焊接的基本工具	29
2.1.1 电烙铁	29
2.1.2 焊料	30
2.1.3 焊剂	31
2.2 手工焊接技术	31
2.3 焊接的要求及质量检验	36
2.3.1 焊接的要求	36
2.3.2 焊接的质量检验	36



第3章 印制电路板的设计与制作	38
3.1 元器件库的创建与绘制	38
3.1.1 原理图库的创建	38
3.1.2 封装库的创建	44
3.1.3 集成库的创建	48
3.2 原理图的创建与绘制	50
3.2.1 画图前的准备	50
3.2.2 元器件布局	53
3.2.3 布线	55
3.2.4 检查与完成	57
3.3 PCB图的创建与绘制	58
3.3.1 PCB图的生成	58
3.3.2 元器件封装布局	60
3.3.3 PCB的布线	60
3.3.4 检查与完成	64
3.4 电路板制作介绍	65
3.4.1 打印PCB图	65
3.4.2 覆铜板的预处理	67
3.4.3 转印电路图	68
3.4.4 蚀刻电路板	69
3.4.5 焊接元器件	70
3.5 电路板设计的常见问题及解决方法	70
第4章 仪器仪表与电子测量技术	73
4.1 电子测量仪器	73
4.1.1 分类	73
4.1.2 主要性能指标	74
4.1.3 抗干扰措施	75
4.2 常用仪器介绍	80
4.2.1 直流稳压电源	80
4.2.2 示波器	80
4.2.3 数字万用表	85
4.2.4 信号发生器	88
4.3 测量误差和数据处理	89
4.3.1 测量误差的来源、分类	89
4.3.2 测量误差的表示方法	90
4.3.3 测量数据的处理——有效数字及其舍入原则	91
4.3.4 测量数据的表示方法	92



第2部分 电子设计实例

第5章 基础型电子设计实例	93
5.1 实例一 直流线性稳压电源的设计与制作	93
5.1.1 原理	93
5.1.2 电路制作	95
5.1.3 电路调试	96
5.2 实例二 信号合成器的设计与制作	97
5.2.1 方波产生电路的设计与制作	97
5.2.2 三角波产生电路的设计与制作	99
5.3 实例三 51单片机最小系统的设计与制作	100
5.3.1 原理	101
5.3.2 电路制作	101
5.3.3 电路调试	102
5.4 实例四 多路抢答器的设计与制作	102
5.4.1 原理	103
5.4.2 电路制作	104
5.4.3 电路调试	105
5.5 实例五 声光双控灯的设计与制作	106
5.5.1 原理	106
5.5.2 电路制作	106
5.5.3 电路调试	107
第6章 仿真型电子设计实例	109
6.1 实例一 EWB 实践操作——基于555定时器的方波信号发生器	109
6.1.1 EWB 5.0的基本界面	109
6.1.2 EWB 5.0的基本操作方法	110
6.1.3 EWB 实践操作——基于555定时器的任意占空比方波信号发生器	112
6.2 实例二 Multisim 实践操作——RC桥式振荡电路	115
6.2.1 Multisim 10的基本界面	115
6.2.2 Multisim 10的基本操作方法	117
6.2.3 Multisim 10实践操作——RC桥式振荡电路	119
6.3 实例三 Proteus 实践操作——单片机流水灯电路	121
6.3.1 Proteus的基本界面	121
6.3.2 Proteus 实践操作——单片机流水灯电路的模拟调试	121
第7章 提高型电子设计实例	133
7.1 实例一 宽带信号发生器	133
7.1.1 设计任务要求	133
7.1.2 系统方案设计	133
7.1.3 理论分析和参数计算	134



7.1.4 电路与程序设计	135
7.2 实例二 $\Sigma-\Delta$ 型 A/D 转换电路	138
7.2.1 设计任务要求	138
7.2.2 系统方案设计	139
7.2.3 理论分析和参数计算	141
7.2.4 电路与程序设计	143
7.3 实例三 电能无线传输装置	144
7.3.1 设计任务要求	144
7.3.2 系统方案设计	145
7.3.3 理论分析与计算	146
7.3.4 电路设计	147
7.4 实例四 简易频率特性测试仪	149
7.4.1 设计任务要求	149
7.4.2 系统方案设计	150
7.4.3 理论分析与计算	151
7.4.4 电路与程序设计	153
7.5 实例五 微弱信号检测装置	155
7.5.1 设计任务要求	155
7.5.2 系统方案设计	156
7.5.3 理论分析与计算	157
7.5.4 电路与程序设计	158

第3部分 团队模式下提高本科生实践创新能力的探索实践

第8章 提高“电子工艺基础训练”课堂教学实效的探索与实践	161
8.1 团队模式下提高“电子工艺基础训练”课程教学质量的探索与实践	161
8.1.1 在实践课程建设中引入团队先进理念	161
8.1.2 建立“三位一体”双循环教学模式	161
8.1.3 重视过程管理,保证教学相长双循环	162
8.1.4 探索与实践小结	164
8.2 团队模式下培养“电子工艺基础训练”课程骨干同学的探索与实践	165
8.2.1 学习先进经验,基于实情建团队	165
8.2.2 通过“学生团队建设”提高学生实践创新能力的探索	167
8.2.3 探索与实践小结	169
第9章 “电子工艺基础训练”课后以点带面的探索与实践	171
9.1 借鉴“雁阵效应”提高大学生实践创新能力的探索与实践	171
9.1.1 “雁阵效应”的成因分析	171
9.1.2 仿效“雁阵效应”提高大学生实践创新能力的实践探索	173
9.1.3 探索与实践小结	176



9.2 有效利用从众心理开展大学生实践创新能力培养的探索与实践	176
9.2.1 从众心理的成因及其负面影响	176
9.2.2 克服从众心理负面影响的实践研究	177
9.2.3 探索与实践小结	178
9.3 团队模式下培养本科生科技创新能力的探索与实践	179
9.3.1 持之以恒,建设培养体系,构建交流互动机制	179
9.3.2 倾情投入,引导学生科研,培养创新能力	180
9.3.3 学以致用,实施校企合作,提升工程实践素养	181
9.3.4 精心组织,指导学科竞赛,增强学生综合素质	181
9.3.5 坚持不懈,潜心教学研究,共享教书育人成果	183
9.3.6 探索与实践小结	184
附录	185
附录 A 安全常识	185
A.1 安全用电	185
A.2 触电及防护	185
A.3 电子制作过程中的安全防护	189
附录 B 二极管的主要参数	190
B.1 常用二极管的主要参数	190
B.2 常用整流桥的主要参数	191
B.3 常用稳压二极管的主要参数	192
附录 C 晶体管和场效应晶体管的主要参数	192
C.1 3AX51 (3AX31) 型 PNP 型锗低频小功率晶体管的主要参数	192
C.2 3AX81 型 PNP 型锗低频小功率晶体管的主要参数	193
C.3 3BX31 型 NPN 型锗低频小功率晶体管的主要参数	194
C.4 3DG100 (3DG6) 型 NPN 型硅高频小功率晶体管的主要参数	194
C.5 3DG130 (3DG12) 型 NPN 型硅高频小功率晶体管的主要参数	195
C.6 9011 ~ 9018 型塑封硅晶体管的主要参数	196
C.7 常用场效应晶体管的主要参数	196
附录 D IC 型号命名方法	197
参考文献	206

第 1 部分 电子工艺设计基础知识

第 1 章 基本电子元器件

电子电路中常用的元器件包括：电阻器、电容器、二极管、晶体管、场效应晶体管、晶闸管、电感器、变压器、开关、传感器、集成电路芯片、熔断器、光耦合器、滤波器、接插件、电动机、天线等。本章介绍最常用的几类元器件。

1.1 电阻器和电位器

电阻器（Resistance，通常用 R 表示）是电路中最常用的器件，简称电阻。单位欧姆（ohm），符号 Ω ，其图形符号如图 1.1.1 所示。

电阻器可以分为固定电阻器和可调电阻器。可调电阻器的阻值可以调节，常见的可调电阻器是滑动变阻器，如图 1.1.2 所示。例如，收音机音量调节的装置是个圆形的滑动变阻器。可调电阻器中主要应用于电压分配的，称为电位器，其图形符号如图 1.1.3 所示。



图 1.1.1 固定电阻器



图 1.1.2 可变（调）电阻器

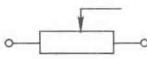


图 1.1.3 滑动触点电位器

1.1.1 电阻器和电位器的型号

电阻型号命名方法见表 1.1.1。

表 1.1.1 电阻器型号命名方法

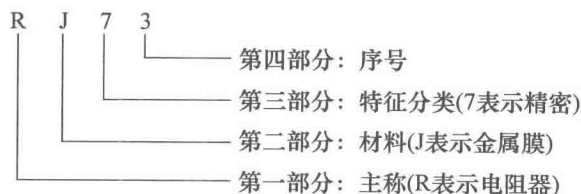
第一部分：主称		第二部分：材料		第三部分：特征分类			第四部分：序号
符号	意义	符号	意义	符号	意义		
					电阻器	电位器	
R	电阻器	T	碳膜	1	普通	普通	对主称、材料相同， 仅性能指标、尺寸大小有差别，但基本不影响 互换使用的产品，给予 同一序号；若性能指 标、尺寸大小明显影响 互换时，则在序号后 面用大写字母作为区 别代号
		H	合成膜	2	普通	普通	
		S	有机实心	3	超高频	—	
		N	无机实心	4	高阻	—	
		J	金属膜	5	高温	—	
		Y	氧化膜	6	—	—	



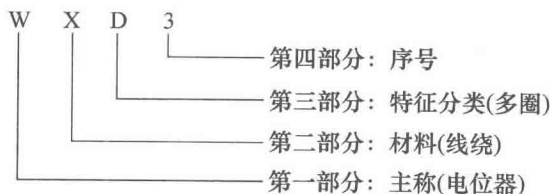
(续)

第一部分：主称		第二部分：材料		第三部分：特征分类			第四部分：序号
符号	意义	符号	意义	符号	意义		
					电阻器	电位器	
R	电阻器	C	沉积膜	7	精密	精密	对主称、材料相同， 仅性能指标、尺寸大小 有差别，但基本不影响 互换使用的产品，给予 同一序号；若性能指 标、尺寸大小明显影响 互换时，则在序号后面 用大写字母作为区别 代号
		I	玻璃釉膜	8	高压	特殊函数	
		P	硼碳膜	9	特殊	特殊	
W	电位器	U	硅碳膜	G	高功率	—	
		X	线绕	T	可调	—	
		M	压敏	W	—	微调	
		G	光敏	D	—	多圈	
		R	热敏	B	温度补偿用	—	
			C	温度测量用	—		
			P	旁热式	—		
			W	稳压式	—		
			Z	正温度系数	—		

示例：1) 精密金属膜电阻器。



2) 多圈线绕电位器。



1.1.2 电阻器的主要技术指标

1. 额定功率

电阻器在正常大气压力及额定温度下，长时间连续正常工作，满足规定的性能要求时，所允许消耗的最大功率称为额定功率。电阻器的额定功率并不是电阻器在电路中工作时一定要消耗的功率，而是电阻器在电路工作中所允许消耗的最大功率。不同类型的电阻具有不同系列的额定功率，见表 1.1.2。



表 1.1.2 电阻器的功率等级

名称	额定功率/W
实心电阻器	0.25、0.5、1、2、5
线绕电阻器	0.5、1、2、6、10、15、25、35、50、75、100、150
薄膜电阻器	0.025、0.05、0.125、0.25、0.5、1、2、5、10、25、50、100

2. 标称阻值

阻值是电阻器上的名义阻值。不同类型的电阻，阻值范围不同，不同精度的电阻其阻值系列也不同。根据国家标准，常用的标称电阻值系列见表 1.1.3。E24、E12 和 E6 系列也适用于电位器和电容器。

表 1.1.3 标称电阻值系列

标称值系列	精度	电阻器、电位器标称值
E24	±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	±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	±20%	1.0、1.5、2.2、3.3、4.7、6.8

注：表中数值再乘以 10ⁿ，其中 n 为正整数或负整数。

3. 允许偏差等级

电阻器的实测阻值与标称阻值之间可能有偏差，允许的最大偏差范围称为允许偏差或精度。在精密仪器中，电阻器的精度常常是决定仪器精度的一个重要因素。一般而言，精度高的电阻器温度系数小，阻值稳定性高。电阻器精度等级见表 1.1.4。

表 1.1.4 电阻器精度等级

允许偏差（%）	±0.001	±0.002	±0.005	±0.01	±0.02	±0.05	±0.1
等级符号	E	X	Y	H	U	W	B
允许偏差（%）	±0.2	±0.5	±1	±2	±5	±10	±20
等级符号	C	D	F	G	J（I）	K（II）	M（III）

1.1.3 电阻器的标识方法

1. 文字符号法

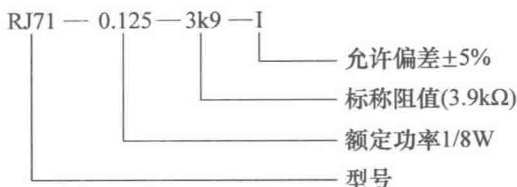
文字符号法用阿拉伯数字和文字符号有规律的组合来表示电阻器的标称阻值、额定功率、允许偏差等级等。

用 R、k、M、G、T 几个文字符号表示电阻的单位，见表 1.1.5。文字符号前面的数字表示整数阻值，后面的数字依次表示第一位小数阻值和第二位小数阻值。如 1R5 表示 1.5Ω，5k1 表示 5.1kΩ。

表 1.1.5 文字符号表示电阻的单位

文字符号	R	k	M	G	T
表示单位	欧姆（10 ⁰ Ω）	千欧姆（10 ³ Ω）	兆欧姆（10 ⁶ Ω）	吉欧姆（10 ⁹ Ω）	太欧姆（10 ¹² Ω）

示例：



由标号可知,本例是精密金属膜电阻器,额定功率为 $1/8\text{W}$,标称阻值为 $3.9\text{k}\Omega$,允许偏差为 $\pm 5\%$ 。

2. 直标法

直标法用阿拉伯数字和单位符号在电阻器表面直接标出标称阻值,其允许偏差直接用百分数表示,如图 1.1.4 所示。

另一种方法是数字法，完全采用数字标识，前几位是有效数字，最后一位是倍率，表示乘以 10 的多少次方，如图 1.1.5 所示。贴片电阻比较小，一般采用数字法标出其阻值。例如，472 表示 $47 \times 10^2 \Omega$ 即 $4.7\text{k}\Omega$ 的电阻。

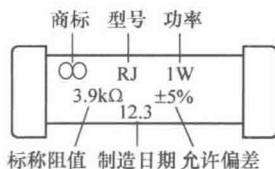


图 1.1.4 直标法



图 1.1.5 数字法

3. 色标法

色标法是用不同颜色的色环或色点在电阻器表面标称阻值和允许偏差。根据环数可分为三环、四环、五环三种标法。

三环：有一位有效数字，是允许偏差固定为 $\pm 20\%$ 的普通电阻器。例如，色环为棕黑红，表示 $10 \times 10^2 \Omega = 1.0 \times (1 \pm 20\%) \text{ k}\Omega$ 的电阻器。

四环：有二位有效数字，是普通电阻器。其中三条色带表示阻值，一条表示偏差。例如，色环为红紫黄银，表示 $27 \times 10^4 \Omega = 270 \times (1 \pm 10\%) \text{ k}\Omega$ 的电阻器。

五环：有三位有效数字，是精密电阻器，其中四条色带表示阻值，一条表示偏差。例如，色环为红绿蓝红棕，表示 $256 \times 10^2 \Omega = 25.6 \times (1 \pm 1\%) \text{ k}\Omega$ 的电阻器。

一般四色环和五色环电阻器表示允许偏差的色环的特点是该环离其他环的距离较远。较标准的表示应是表示允许偏差的色环的宽度是其他色环的 1.5 ~ 2 倍。

有些色环电阻器由于厂商生产不规范，无法用上面的特征判断，这时只能借助万用表判断。

图 1.1.6 给出了五环电阻的表示方法,表中给出了色环电阻各种颜色表示的数值。

读取色环电阻的参数，首先要判断读数的方向。一般来说，表示允许偏差的色环离开其他几个色环较远并且较宽一些。判断好方向后，就可以从左向右读数。

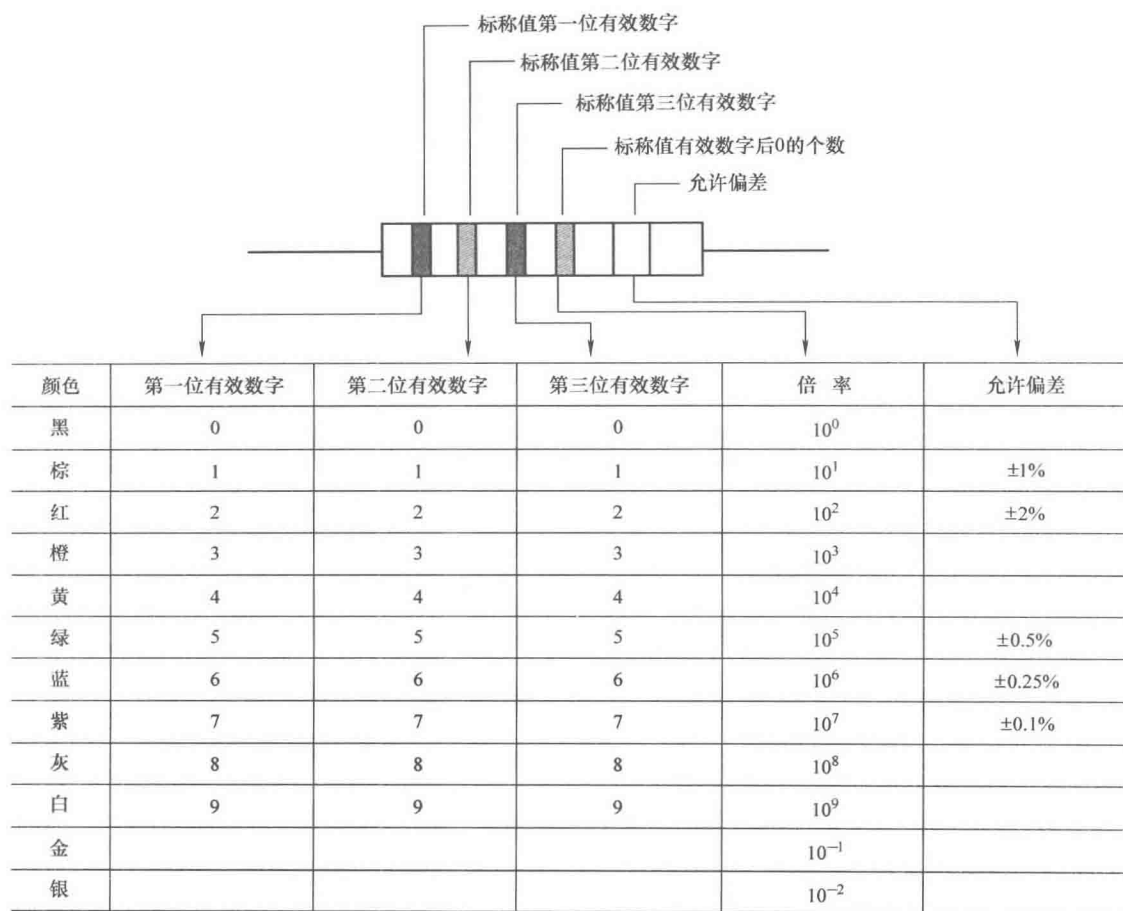


图 1.1.6 三位有效数字阻值的色环表示法

1.1.4 常用电阻器

1. 碳膜电阻器

如图 1.1.7 所示, 符号 RT。碳膜电阻器利用真空喷涂技术在瓷棒上面喷涂一层碳膜, 再将碳膜外层加工切割成螺旋纹状, 依照螺旋纹的多少来定其电阻值, 螺旋纹越多, 表示电阻值越大, 最后在外层涂上环氧树脂, 密封保护, 是我国目前生产量最大、用途最广的通用电阻器。

优点: 阻值范围宽且稳定, 受电压和频率的影响小, 脉冲负载稳定, 电阻温度系数不大且是负值, 价钱便宜。

缺点: 阻值偏差比金属膜电阻高。

2. 金属膜电阻器

如图 1.1.8 所示, 符号 RJ。金属膜电阻器利用真空喷涂技术在瓷棒上面喷涂金属膜 (如镍、铬), 然后在金属膜车上螺旋纹, 做出不同阻值, 最后对瓷棒两端镀上贵金属。

优点: 低噪声, 性能稳定, 受温度影响小, 精确度高, 耐高温, 体积小, 被广泛应用于



高级音响器材、计算机、仪表、国防及太空设备等方面。

缺点：脉冲负载能力差。

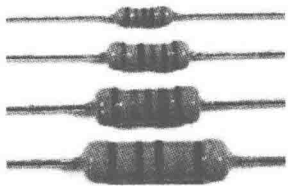


图 1.1.7 碳膜电阻器

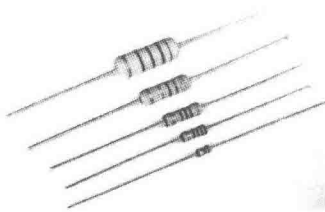


图 1.1.8 金属膜电阻器

3. 线绕电阻器

线绕电阻器用高阻合金线绕在绝缘骨架上制成，外面涂有耐热的釉绝缘层或绝缘漆，如图 1.1.9 和图 1.1.10 所示。

优点：在较宽的温度范围内具有较低的温度系数，阻值精度高，稳定性好，耐热、耐磨、耐腐蚀，抗氧化，强度较高，主要作为精密大功率电阻器使用。

缺点：高频性能差，时间常数大。

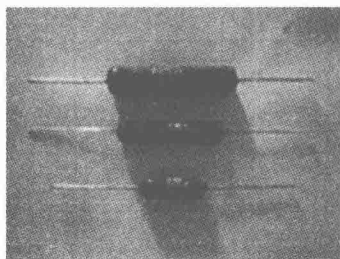


图 1.1.9 线绕电阻器

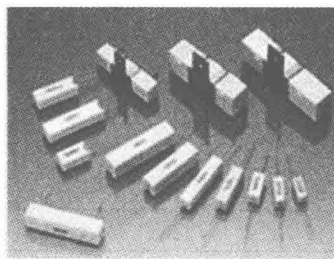


图 1.1.10 方形线绕电阻

4. 特种电阻器

特种电阻器是一些特殊功能的电阻器，如热敏电阻、光敏电阻、压敏电阻等，分别对热量、光辐射和电压等物理量敏感，可以用来测量外界的热、光等物理信号。

1.2 电容器

电容器是存储电荷的器件。两个彼此绝缘并相互靠近的金属导体就构成一个最简单的电容器。电容器容纳电荷的本领用电容量来衡量表征，电容器通常用 C 表示。在 $1V$ 电压作用下，若电容器存储的电量为 1 库仑，则此电容器的电容量为 1 法拉，简称法，符号 F 。电容量的单位有 F （法拉）、 μF （微法）、 nF （纳法）、 pF （皮法）。

1.2.1 电容器的分类和型号

电容器根据容量是否可调，可以分为固定电容器（包含电解电容器）、可变电容器、微调电容器，电路图形符号如图 1.2.1 所示。电容器型号命名法见表 1.2.1。