



卓越工程技术人才培养特色教材

SHIYONG
DIANZI XIANLU JICHU

实用电子线路基础

樊 斌 范君柳 王 帆 编



卓越工程技术人才培养特色教材

实用电子线路基础

樊 斌 范君柳 王 帆 编



江苏大学出版社
JIANGSU UNIVERSITY PRESS

镇 江

图书在版编目(CIP)数据

实用电子线路基础 / 樊斌, 范君柳, 王帆编. — 镇江: 江苏大学出版社, 2016. 1
ISBN 978-7-5684-0145-6

I. ①实… II. ①樊… ②范… ③王… III. ①电子线路—基本知识 IV. ①TN7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 016388 号

实用电子线路基础

主 编/樊 斌 范君柳 王 帆

责任编辑/李经晶 吕亚楠

出版发行/江苏大学出版社

地 址/江苏省镇江市梦溪园巷 30 号(邮编:212003)

电 话/0511-84446464(传真)

排 版/镇江文苑制版印刷有限责任公司

印 刷/虎彩印艺股份有限公司

经 销/江苏省新华书店

开 本/787 mm×1 092 mm 1/16

印 张/11

字 数/259 千字

版 次/2016 年 1 月第 1 版 2016 年 1 月第 1 次印刷

书 号/ISBN 978-7-5684-0145-6

定 价/24.00 元

如有印装质量问题请与本社营销部联系(电话:0511-84440882)

江苏省卓越工程技术人才培养特色教材建设

指导委员会

主任委员：丁晓昌（江苏省教育厅副厅长）

副主任委员：史国栋（常州大学党委书记）

孙玉坤（南京工程学院院长）

田立新（南京师范大学副校长）

梅强（江苏大学副校长）

徐子敏（江苏省教育厅高教处处长）

王恬（南京农业大学教务处处长）

委员会：（按姓氏笔画为序）

丁晓昌 马铸 王兵 王恬

方海林 田立新 史国栋 冯年华

朱开永 朱林生 孙玉坤 孙红军

孙秀华 芮月英 李江蛟 吴建华

吴晓琳 沐仁旺 张仲谋 张国昌

张明燕 陆雄华 陈小兵 陈仁平

邵进 施盛威 耿焕同 徐子敏

徐百友 徐薇薇 梅强 董梅芳

傅菊芬 舒小平 路正南

序

深化高等工程教育改革、提高工程技术人才培养质量,是增强自主创新能力、促进经济转型升级、全面提升地区竞争力的迫切要求。近年来,江苏高等工程教育飞速发展,全省 46 所普通本科院校中开设工学专业的学校有 45 所,工学专业在校生约占全省普通本科院校在校生总数的 40%,为“十一五”末江苏成功跻身全国第一工业大省做出了积极贡献。

“十二五”时期是江苏加快经济转型升级、发展创新型经济、全面建设更高水平小康社会的关键阶段。教育部“卓越工程师教育培养计划”启动实施以来,江苏认真贯彻教育部文件精神,结合地方高等教育实际,着力优化高等工程教育体系,深化高等工程教学改革,努力培养造就一大批创新能力强、适应江苏社会经济发展需要的卓越工程技术后备人才。

教材建设是人才培养的基础工作和重要抓手。培养高素质的工程技术人才,需要遵循工程技术教育规律,建设一套理念先进、针对性强、富有特色的优秀教材。随着知识社会和信息时代的到来,知识综合、学科交叉趋势增强,教学的开放性与多样性更加突出,加之图书出版行业体制机制也发生了深刻变化,迫切需要教育行政部门、高等学校、行业企业、出版部门和社会各界通力合作,协同作战,在新一轮高等工程教育改革发展中抢占制高点。

2010 年以来,江苏大学出版社积极开展市场分析和行业调研,先后多次组织全省相关高校专家、企业代表就应用型本科人才培养和教材建设工作进行深入研讨。经各方充分协商,拟定了“江苏省卓越工程技术人才培养特色教材”开发建设的实施意见,明确了教材开发总体思路,确立了编写原则:

一是注重定位准确,科学区分。教材应符合相应高等工程教育的办学定位和人才培养目标,恰当把握与研究型工程人才、设计型工程人才及技能型工程人才的区分度,增强教材的针对性。

二是注重理念先进,贴近业界。吸收先进的学术研究与技术成果,适应经

济转型升级需求,适应社会用人单位管理、技术革新的需要,具有较强的领先性。

三是注重三位一体,能力为重。紧扣人才培养的知识、能力、素质要求,着力培养学生的工程职业道德和人文科学素养、创新意识和工程实践能力、国际视野和沟通协作能力。

四是注重应用为本,强化实践。充分体现用人单位对教学内容、教学实践设计、工艺流程的要求以及对人才综合素质的要求,着力解决以往教材中应用性缺失、实践环节薄弱、与用人单位要求脱节等问题,将学生创新教育、创业实践与社会需求充分衔接起来。

五是注重紧扣主线,整体优化。把培养学生工程技术能力作为主线,系统考虑、整体构建教材体系和特色,包括合理设置课件、习题库、实践课题以及在教学、实践环节中合理设置基础、拓展、复合应用之间的比例结构等。

该套教材组建了阵容强大的编写专家及审稿专家队伍,汇集了国家教学指导委员会委员、学科带头人、教学一线名师、人力资源专家、大型企业高级工程师等。编写和审稿队伍主要由长期从事教育教学改革实践工作的资深教师、对工程技术人才培养研究颇有建树的教育管理专家组成。在编写、审定教材时,他们紧扣指导思想和编写原则,深入探讨、科学创新、严谨细致、字斟句酌,倾注了大量的心血,为教材质量提供了重要保障。

该套教材在课程设置上基本涵盖了卓越工程技术人才培养所涉及的有关专业的公共基础课、专业公共课、专业课、专业特色课等;在编写出版上采取突出重点、以点带面、有序推进的策略,成熟一本出版一本。希望大家在教材的编写和使用过程中,积极提出意见和建议,集思广益,不断改进,以期经过不懈努力,形成一套参与度与认可度高、覆盖面广、特色鲜明、有强大生命力的优秀教材。

江苏省教育厅副厅长 丁晓昌

2012年8月

◎ 前 言 ◎

对于理工科非电子类专业的本科生而言,模拟电子学和数字电子学通常是必修课程。通过这两门课程的学习,学生可以了解电子学的诸多基本概念及电子元器件的名称,如 PN 结、各式晶体管、运算放大器、滤波器等。然而,毕竟不同于电子类专业的学生,由于没有后续相关课程的跟进,理工科非电子类专业的学生对电子世界的认识大多仅限于此,一旦需要利用所学电子学知识设计一些简单电子电路并做出实物,学生在此方面能力的不足就暴露无遗;更有甚者,有些学生大学四年没有听说过面包板,更不知道如何判别电解电容的正负极。针对此问题,结合物理学、应用物理学专业学生在大四上学期开设的“电子线路课程设计”编写本教材。

本书在内容设置方面有如下特点:

1. 语言平实,阐述时结合实例,力求以简单易懂的方式让学生理解复杂的原理。书中对电子学中已详细阐述过的一些复杂的内在过程,如二极管、晶体管 PN 结内部电子漂移、扩散运动等不做详细介绍。

2. 内容选取有代表性。本书从电阻、电容和电感等基本的电子元器件开始,到半导体器件,如二极管、三极管、场效应管、晶闸管,再到集成运算放大器、滤波器、传感器等,力求由简单到复杂介绍电子学中最常用的电子元器件,从而让学生具有初步的分析电路和设计电路的能力。

3. 内容介绍紧跟电子技术进展。本书中对法拉电容、固态继电器、可编程运放等最近几年才兴起,或者平时不常见到的电子元器件也做了介绍;该部分内容尽管篇幅不多,但可以起到抛砖引玉的作用。

本书可作为高校理工科非电子类专业的参考教材,也可作为大学生开展课外科技活动、电子赛事自学或培训的教材,还适合作为工程技术人员、技术工人、电子爱好者的自学参考书。

本书的实践性较强,部分实例由于实验条件不同,可能会得出与书中不同的结果。同时由于时间所限,书中不免有疏漏之处,恳请读者批评和指正。

编者

2015 年 12 月

◎ 目 录 ◎

第一篇 基本电子元件

第1章 电阻	(000)
1.1 电阻简介	(002)
1.2 电阻的阻值	(002)
1.3 电阻的分类	(004)
1.4 电阻的额定功率	(006)
1.5 电阻的温度系数	(006)
1.6 电阻的频率特性	(007)
1.7 电位器	(007)
第2章 电容	(009)
2.1 电容简介	(009)
2.2 电容的主要技术参数	(009)
2.3 国产电容的型号和标志识别	(011)
2.4 电容的特性	(014)
2.5 无极性电容和极性电容	(016)
2.6 聚丙烯电容(CBB 电容)	(017)
2.7 法拉电容	(019)
第3章 电感	(022)
3.1 电感简介	(022)
3.2 电感系数	(022)
3.3 感抗	(023)
3.4 电感的制作	(023)
3.5 电感的品质因数	(024)
3.6 电感的芯	(024)
3.7 电感的种类	(025)
3.8 LC 滤波电路	(026)
3.9 变压器	(027)
3.10 继电器	(029)

3.10.1 继电器的参数	(030)
3.10.2 继电器的种类	(031)
3.10.3 继电器的晶体管驱动	(033)

第二篇 半导体元器件

第4章 二极管	(036)
4.1 二极管简介	(036)
4.2 二极管的主要参数	(037)
4.3 二极管的分类	(038)
4.3.1 开关二极管	(039)
4.3.2 整流二极管	(039)
4.3.3 肖特基二极管	(041)
4.3.4 稳压二极管	(042)
4.4 实例——直流电源的制作	(045)
第5章 三极管	(049)
5.1 三极管简介	(049)
5.2 三极管的特性曲线	(050)
5.2.1 三极管的输入特性	(051)
5.2.2 三极管的输出特性	(051)
5.3 三极管的工作状态	(052)
5.4 三极管开关	(053)
5.5 三极管放大器	(056)
5.5.1 静态工作点	(056)
5.5.2 分压器偏置	(056)
5.5.3 输入电阻和输出电阻	(057)
5.5.4 3种单级放大电路	(058)
5.5.5 3种基本放大器的总结与比较	(061)
5.6 三极管的主要参数	(062)
5.7 三极管的分类及识别	(063)
5.7.1 三极管的分类	(063)
5.7.2 三极管的命名规则及管脚识别	(066)
5.8 三极管电路的设计	(066)
5.8.1 共射极放大电路设计	(066)
5.8.2 射极跟随器电路设计	(070)

第6章 场效应管	(073)
6.1 场效应管简介	(073)
6.2 结型场效应晶体管(JFET)	(073)
6.2.1 JFET 介绍	(073)
6.2.2 JFET 特性曲线及参数	(075)
6.2.3 JFET 的基本应用	(076)
6.3 金属氧化物半导体场效应晶体管(MOSFET)	(077)
6.3.1 MOSFET 介绍	(077)
6.3.2 MOSFET 特性曲线及参数	(079)
6.3.3 MOSFET 的基本应用	(080)
6.4 场效应管总结	(081)
第7章 半导体晶闸管	(083)
7.1 晶闸管简介	(083)
7.2 单向晶闸管	(084)
7.2.1 单向晶闸管的结构和工作原理	(084)
7.2.2 单向晶闸管的 $U-I$ 特性	(085)
7.2.3 单向晶闸管的主要参数	(086)
7.2.4 单向晶闸管的极性判别	(087)
7.2.5 单向晶闸管使用的注意事项	(087)
7.2.6 单向晶闸管的过流保护	(088)
7.2.7 单向晶闸管的过电压保护	(089)
7.3 双向晶闸管	(089)
7.4 单、双向晶闸管实例	(090)

第三篇 集成元器件及电路

第8章 运算放大器	(094)
8.1 运算放大器简介	(094)
8.2 运算放大器基础	(095)
8.2.1 运算放大器的基本概念	(095)
8.2.2 运算放大器基本应用	(098)
8.3 运算放大器的主要参数	(101)
8.4 运算放大器的类型	(103)
8.5 比较器	(105)
8.5.1 非过零比较器与过零比较器	(106)
8.5.2 迟滞比较器	(107)
8.5.3 窗口比较器	(107)
8.5.4 实例——电容充放电	(108)

第9章 滤波器	(110)
9.1 滤波器简介	(110)
9.2 滤波器的基本概念	(110)
9.3 无源滤波器的设计	(113)
9.3.1 无源低通滤波器的设计	(113)
9.3.2 无源高通滤波器的设计	(116)
9.3.3 无源带通滤波器的设计	(118)
9.3.4 无源带阻滤波器的设计	(120)
9.4 有源滤波器的设计	(122)
9.4.1 有源低通滤波器的设计	(122)
9.4.2 有源高通滤波器的设计	(124)
9.4.3 有源带通滤波器的设计	(125)
9.4.4 有源带阻滤波器的设计	(127)
9.5 滤波器实例	(128)
9.5.1 实例1——带通式低音炮	(128)
9.5.2 实例2——由 OPA 构成的具有低通滤波的差动放大电路	(130)
9.6 集成滤波器	(130)
第10章 传感器	(132)
10.1 光电传感器	(132)
10.1.1 光电二极管	(132)
10.1.2 光电三极管	(133)
10.1.3 光敏电阻	(134)
10.1.4 实例——光控开关电路	(135)
10.2 温度传感器	(135)
10.2.1 热敏电阻	(136)
10.2.2 热电偶	(137)
10.2.3 集成温度传感器	(137)
10.2.4 基于集成温度传感器 AD 590 的测温电路设计	(138)
10.3 压力传感器	(139)
10.3.1 MPX 2050 型压力传感器简介	(139)
10.3.2 汽车压力传感器	(141)
10.4 霍尔传感器	(142)
10.4.1 UGN353 型霍尔传感器简介	(142)
10.4.2 霍尔传感器计数系统的设计	(143)
10.5 红外热释传感器	(144)
10.5.1 LHI-968 型红外热释传感器简介	(145)
10.5.2 实例——用 LM324 制作的人体热释电红外报警开关	(146)

第 11 章 振荡器和定时器	(149)
11.1 正弦波产生电路	(149)
11.1.1 正弦波振荡电路条件	(149)
11.1.2 RC 正弦波振荡电路	(150)
11.1.3 LC 正弦波振荡电路	(152)
11.1.4 石英晶体振荡电路	(153)
11.2 非正弦波产生电路	(155)
11.2.1 方波产生电路	(155)
11.2.2 锯齿波产生电路	(156)
11.3 555 定时器	(158)
11.3.1 555 定时器的电路结构与功能	(158)
11.3.2 555 定时器的典型应用	(159)
参考文献	(162)

第一篇

基本电子元件

第 1 章

电 阻

1.1 电阻简介

电阻器简称电阻,是电子电路中最基础的元器件。电阻的阻值大小表征了电阻阻止电流能力的大小,阻值越大,表明电阻阻止电流的能力越强。欧姆是电阻阻值的单位,通常用希腊字母“ Ω ”表示。图 1-1 是电路板中的不同电阻。

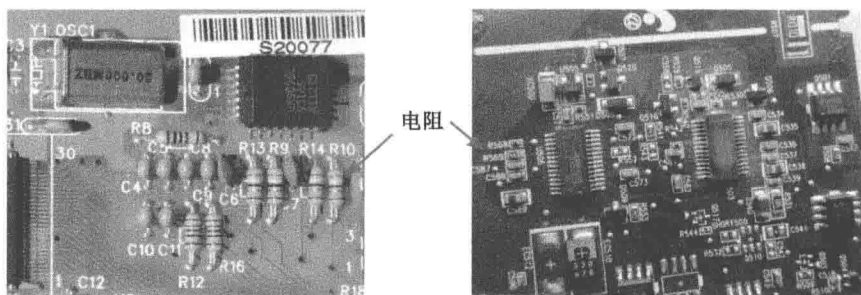


图 1-1 电路板中的不同电阻

1.2 电阻的阻值

任意一块电路板,都会在其表面看到电阻。大部分电子产品的电路板使用的是贴片式电阻(SMD Resistor),其阻值印在表面。如图 1-2(a)所示,某贴片电阻表面印有“103”字样,其中前 2 位数字“10”为有效数字,第三位“3”为倍数,即在“10”后加“3”个“0”,单位为 Ω ,表明该电阻的阻值为 $10\,000\,\Omega$ 。同理“472”表明电阻为 $4\,700\,\Omega = 4.7\,\text{k}\Omega$ 。“R”

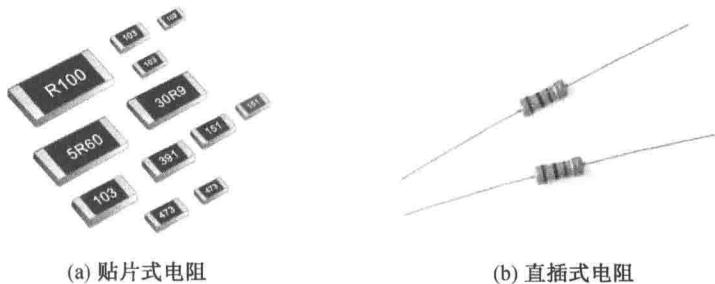
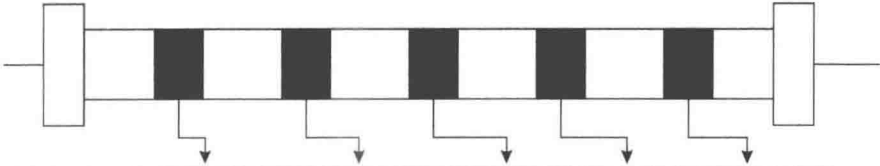


图 1-2 电阻的主要类型

表示小数点,例如:“5R60”表示“5.6 Ω ”;“R100”表示“0.1 Ω ”。

另一种常用的电阻是直插式电阻,如图 1-2(b) 所示。与贴片式电阻相比,二者虽然功能相同,但是封装不同。通常直插式电阻的表面由各种颜色的色环组成,这并非为了美观,而是为了标识电阻的阻值大小。取五色环电阻为例,其阻值大小读取如图 1-3 所示。



颜色	第一有效数	第二有效数	第三有效数	倍率	允许偏差
黑	0	0	0	10^0	
棕	1	1	1	10^1	$\pm 10\%$
红	2	2	2	10^2	$\pm 20\%$
橙	3	3	3	10^3	
黄	4	4	4	10^4	
绿	5	5	5	10^5	$\pm 0.50\%$
蓝	6	6	6	10^6	$\pm 0.250\%$
紫	7	7	7	10^7	$\pm 0.10\%$
灰	8	8	8	10^8	
白	9	9	9	10^9	
金				10^{-1}	
银				10^{-2}	

图 1-3 五色环电阻的色环含义

如电阻的色环分别为 A-蓝色,B-灰色,C-黑色,D-橙色,E-紫色,根据图 1-3 可知该电阻标称值及精度分别为 $680 \times 10^3 = 680 \text{ k}\Omega$ 和 $\pm 0.1\%$ 。

当然,如果记不住各种色环对应的数值,也可以直接利用万用表的电阻测量挡进行测量,测量时 2 个表笔不区分正、负极。

电阻的阻值不是任意选定的,美国电子工业联盟(EIA)规定了若干系列的电阻阻值取值标准,具体可分为 E6(允许误差为 $\pm 20\%$)、E12(允许误差为 $\pm 10\%$)、E24(允许误差为 $\pm 5\%$)、E48(允许误差为 $\pm 2\%$)、E96(允许误差为 $\pm 1\%$)、E192(允许误差为 $\pm 0.50\%$ 、 $\pm 0.25\%$ 、 $\pm 0.10\%$ 或更高)6 大系列,只要将这些取值乘以 10^n 就可得到全系列电阻的阻值。而在以上基准中,以 E12 基准和 E24 基准最为常用。

E12 基准中,电阻阻值为基本数值 1.0 Ω ,1.2 Ω ,1.5 Ω ,1.8 Ω ,2.2 Ω ,2.7 Ω ,3.3 Ω ,3.9 Ω ,4.7 Ω ,5.6 Ω ,6.8 Ω ,8.2 Ω 乘以 $10^0, 10^1, 10^2, 10^3, \dots$ 所得到的数值。如 2.2 Ω , 22 Ω , 220 Ω , 2.2 k Ω , 22 k Ω , 220 k Ω , 2.2 M Ω , 22 M Ω 等都是 E12 为基准的电阻阻值。

1.3 电阻的分类

电阻可以按照图 1-4 以材料或用途进行分类。电阻按照制作的材料不同可以大致分为绕线型和非绕线型 2 种,如图 1-5 所示为各种常规电阻。非绕线型电阻又可分为合成型电阻和薄膜型电阻,其中薄膜型电阻较为常用,且阻值范围较大,从几欧到几十兆欧,但功率较小,一般为 $0.5 \sim 10 \text{ W}$;绕线型电阻正好与其相反,阻值一般在几欧到几千欧之间,但功率可达几十瓦甚至几百瓦。

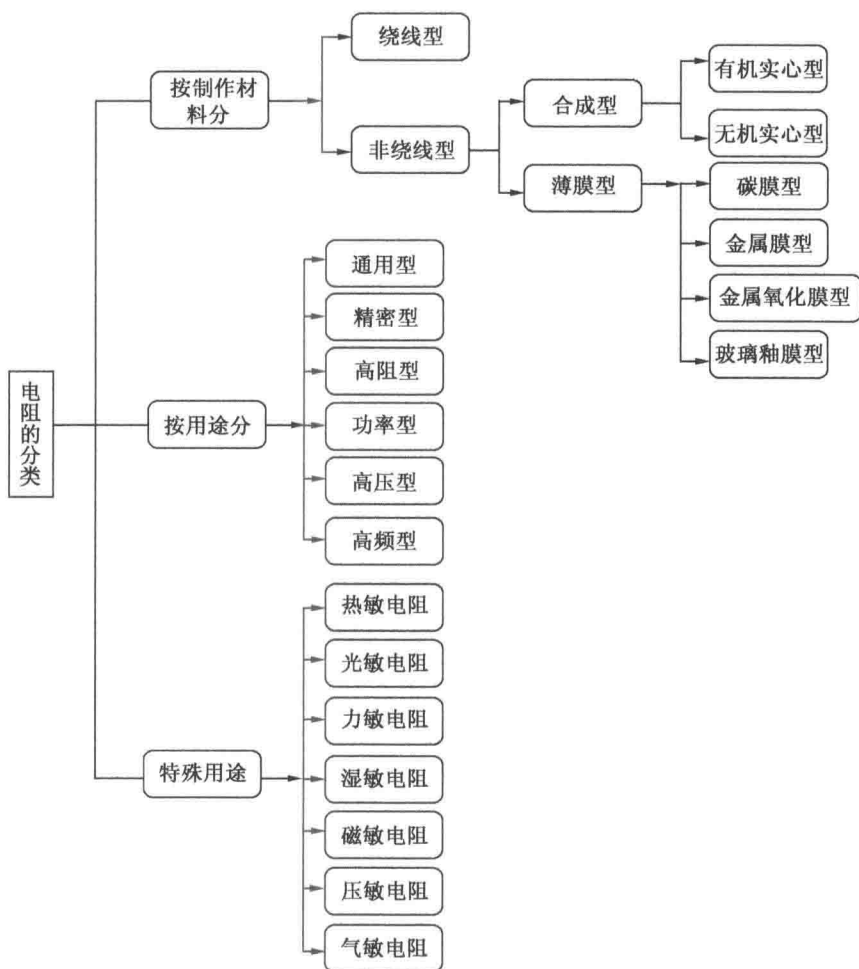


图 1-4 电阻的分类

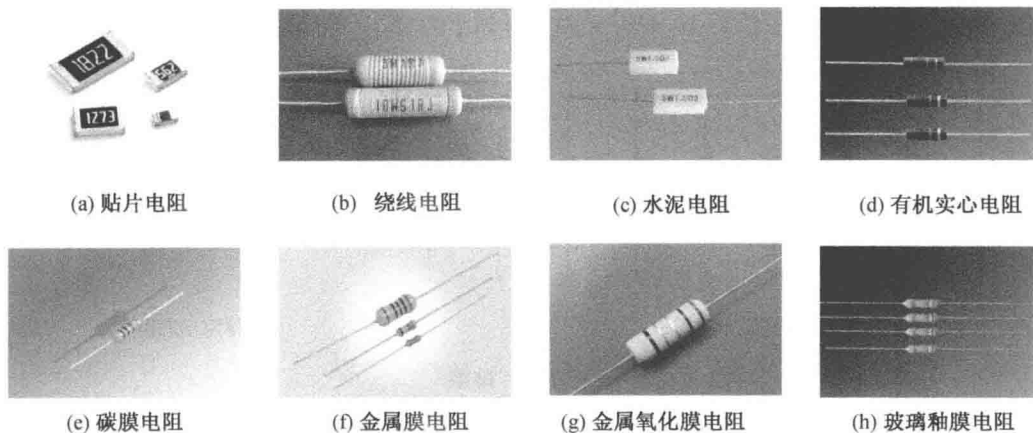


图 1-5 各种常规电阻

薄膜型电阻可分为碳膜、金属膜、金属氧化膜、玻璃釉膜等类型。碳膜电阻具有稳定性好、噪声低、阻值范围宽、价格便宜等优点,是目前应用最广的一种电阻。金属膜电阻的外形和结构与碳膜电阻相似,但是精度更高,阻值范围更宽,噪声更低,特别是它的耐热性能较好,在同样的功率条件下,其体积约为碳膜电阻的 $1/2$,因此,金属膜电阻通常用在质量要求较高的电路中。除此之外,还有热敏电阻、光敏电阻、湿敏电阻、磁敏电阻和熔断电阻等特殊用途的电阻,如图 1-6 所示。

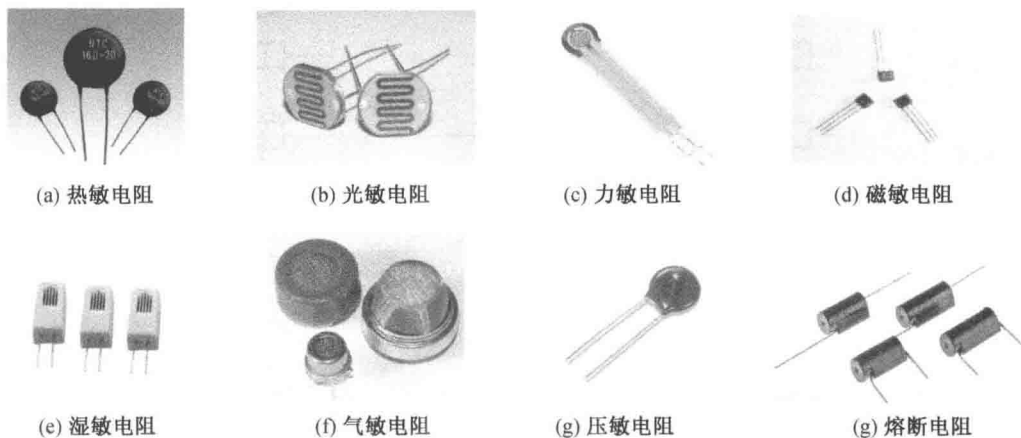


图 1-6 各种特殊用途的电阻

还有一种电阻经常用在数字电路中,作为某个并行口的上拉电阻或者下拉电阻,称为排阻。排阻是将若干个参数完全相同的电阻集中封装在一起,如图 1-7 所示,各个电阻的一个引脚连到一起,称为公共引脚,其余引脚正常引出。所以,一个排阻是由 n 个电阻构成的,并且有 $n+1$ 个引脚,一般最左边的那个引脚为公共引脚,它在排阻上一般用一个色点标出来。排阻具有装配方便、安装密度高等优点,使用排阻比用若干个固定电阻更加方便。排阻上通常标有 3 位数字,从左至右的第一、第二位为有效数字位,第三位表示前 2 位数字乘 10^n ,单位为 Ω 。如果阻值中有小数点,则用“R”表示,并占一位有效数