



普通高校“十二五”规划教材

职业化电子工程师初步

大学生课外科技制作教程

肖伟 代永红 普顿◎编著



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



普通高校“十二五”规划教材

职业化电子工程师初步

——大学生课外科技制作教程

肖伟 代永红 普顿 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本教材系统介绍了职业化电子工程师所必须的相关内容,包括常用的电子元器件、常用的电路、常用仪器仪表的使用、软件代码的规范、软件流程框图的规范画法、详细技术文档的撰写等一系列内容,旨在把 IT 企业在实施项目的规范移植到课堂的教学中来。同时,本书还配有实际的项目,生动地为读者展示实际项目的实施过程。考虑到中国大学生的实际特点,本书针对喜欢实践的大学生,为他们指明了学习和努力的方向,使他们能够在课外科技创新中体会到创新带来的激情和乐趣,同时也完成职业化电子工程师素质的初步培养。

本教材可以作为高等学校自动化、仪器仪表以及电子技术专业的教材,也可作为大学生课外科技创新课程的培训教材或电子工程师培训的初级教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

职业化电子工程师初步:大学生课外科技制作教程
/ 肖伟,代永红,普顿编著. -- 北京:北京航空航天大学出版社,2013.6

ISBN 978-7-5124-1132-6

I. ①职… II. ①肖… ②代… ③普… III. ①电子技术—高等学校—教材 IV. ①TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 090138 号

版权所有,侵权必究。

职业化电子工程师初步——大学生课外科技制作教程

肖 伟 代永红 普 顿 编 著

责任编辑 金友泉

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱: bhpess@263.net 邮购电话:(010)82316936

北京时代华都印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:710×1 000 1/16 印张:12.5 字数:281 千字

2013 年 6 月第 1 版 2013 年 6 月第 1 次印刷 印数:4 000 册

ISBN 978-7-5124-1132-6 定价:25.00 元

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题,请与本社发行部联系调换。联系电话:(010)82317024

前 言

工程技术改变了当今世界,但在今天,我们却不得不面对这样的事实:在全球范围内,工程师处于严重短缺之中!世界各国都在研究怎样培养工程人才,中国更为急切。在未来的20年,中国继续保持宏大的工程规模,需要更多的工程化科技人才来支撑中国的可持续发展。

在拥有世界上最大规模的高等工程教育的中国,如何培养真正的卓越工程师,这是中国高等教育面临的重大难题。

一直以来,工程人才的培养,就是先学习自然科学知识,然后应用到工程技术上。理论的学习在培养方案中占据了大部分的时间。然而,当代的工程并不等于自然科学。爱迪生没有学习过电路分析,没有学习过模拟电路,但是他能够发明电灯;第一代蒸汽机出现的时候,没有热力学,也没有空气动力学。从这个层面,我们可以这样说:创新往往需要对存在的自然科学理论进行突破,而工程创新则要求知识和方法的综合性。

工程师的知识不仅基于自然科学,还基于社会科学和实践经验,因此,工程教育要非常强调工程设计。同时,工程师的思维方法也不一样,工程师碰到一个问题不是问对和错,而是提出各种各样的方案去解决它。这条路走不通,换另一条路走,这就是工程师解决问题的办法。所以,考试中的选择题不是培养工程创新的思维模式,创新型工程师的知识特征应该是宽、专、交相结合。

中国工程科技人才培养的模式一直以来有两个:一是专业技术型,为特定专业培养人才;第二种沿着理论加新技术前沿的培养模式,但这样培养出来的人才,更多的转向理论研究。这样的人才基本技能(如计算机、数学模型等)会掌握得很好,但动手能力和解决实际问题的能力相应下降了。很多工程专业的学生能写文章,却没能有能力搞设计。中国需要的是既懂理论,又有实践能力,而且是有多种专业知识的交叉型技术人才,他们应该是创新的主流力量。

本教材的主线是以实践作为重点,强调实践动手的重要性,实践就是对工程的回归。在本教材中,以IT企业的要求来规范学生做设计、实施项目的行为。这对顺利成长为工程师,成为社会所需的工程师具有重要的意义。

本教材共四篇。第一篇主要讲述的是电子技术基础知识,包含基本的电子元器件、常用工具和仪器的使用、部分常用电路介绍、电子制作实践;第二篇主要讲述项目的规范,包括项目规范概述、项目定制开发说明模板、项目详细设计文档模板、流程图排版规范、软件代码书写规范;第三篇为项目的实训部分,旨在通过实际的实训项目,对学生做有针对性的训练,以提高学生的工程能力;第四篇为创新项目部分,许多项目为笔者指导学生完成的参赛作品,其设计文档和资料十分完备,对学生进一步设计创新项目具有一定的启发。

本教材共有13章,肖伟负责第4章、第5章、第6章、第7章、第8章、第11章的编写工作;代永红负责第2章、第3章、第10章的编写工作;普顿负责第1章、第9章、第

12 章、第 13 章的编写工作。

本书在成稿的过程中得到了凌阳爱普科技有限公司的罗亚非、刘宏韬、叶新华的积极帮助和鼓励；武汉大学电子信息学院的代永红老师对书稿进行了大量的修改和校对工作，并对书稿的许多部分提出了宝贵的意见。西藏大学武强，陈延利，卓嘎，边巴旺堆，李勇峰，兰萍，董志诚等老师在试用本教材的过程中，提出了许多中肯的修改意见；本教材得到了西藏大学教务处，西藏大学信息技术国家级实验教学示范中心的大力支持；武汉大学电子信息学院领导对本教材出版给予了亲切的关怀和支持；学生李书荣，罗布多吉，范培锋，崔静静，王超，刘严亮，蒋林，柴韬等同学完成了教材配套资料的准备工作。值此，在本书付印之际，编者对他们给予的关心，支持和帮助表示最诚挚的谢意。

由于时间仓促和水平有限，书中难免有不当之处，敬请广大读者批评指正。

作 者

西藏大学 武汉大学

2013 年 3 月

目 录

第一篇 电子技术基础知识

第 1 章 基本元器件	2
1.1 电 阻	2
1.1.1 概 述	2
1.1.2 分 类	2
1.1.3 电阻的电气参数	3
1.1.4 可调电阻	5
1.1.5 特殊功能电阻	6
1.2 开 关	8
1.3 变压器	10
1.3.1 概 述	10
1.3.2 变压器的骨架	11
1.4 电 感	12
1.4.1 概 述	12
1.4.2 分 类	14
1.5 电容器	15
1.5.1 概 述	15
1.5.2 分 类	16
1.6 二极管	18
1.6.1 概 述	18
1.6.2 分 类	19
1.6.3 二极管的判别与选用	21
1.7 三极管	24
1.7.1 概 述	24
1.7.2 三极管的参数与分类	30
1.7.3 三极管的判别与选用	33
1.8 运算放大器	35
1.8.1 概 述	35
1.8.2 分类与选用	36
1.9 晶体谐振器与晶体振荡器	38
1.9.1 概 述	38
1.9.2 石英晶体振荡器	41

第2章 常用工具和仪器的使用	44
2.1 常用工具	44
2.1.1 电烙铁	44
2.1.2 斜口剪	45
2.1.3 镊子与尖嘴钳	45
2.1.4 螺丝刀	46
2.2 常用仪器	47
2.2.1 万用表	47
2.2.2 直流稳压电源	49
2.2.3 交流毫伏表	50
2.2.4 示波器	51
第3章 部分常用电路介绍	61
3.1 直流电源电路	61
3.1.1 整流电路	62
3.1.2 滤波电路滤波	63
3.1.3 稳压电路	65
3.2 基本放大器电路	71
3.2.1 三极管共射极放大电路	72
3.2.2 运算放大器组成的放大电路	73
3.3 运算电路	76
3.3.1 积分运算电路	76
3.3.2 微分运算电路	77
3.4 电压比较器	79
3.4.1 单限电压比较器	80
3.4.2 滞回电压比较器	80
3.4.3 窗口电压比较器	81
3.5 有源滤波器电路	82
3.5.1 有源滤波电路的基本概念	82
3.5.2 一阶有源滤波电路	83
3.5.3 二阶有源滤波电路	85
3.6 功率放大电路	89
3.6.1 乙类推挽输出功率放大器	90
3.6.2 准互补甲乙类推挽输出功率放大器	92
3.7 特殊功能转换电路	95
3.7.1 电压频率转换电路	95
3.7.2 电压电流转换电路	96
3.7.3 阻抗转换电路	97

第4章 电子制作实践	101
4.1 电子制作流程	101
4.2 电子制作的具体步骤	101
4.2.1 分析和熟悉原理电路	101
4.2.2 材料准备	106
4.2.3 规划线路板元件的分布	107
4.2.4 元件与导线的焊接	108
4.2.5 调 试	108
4.2.6 包 装	109
4.2.7 测 试	109

第二篇 项目的规范

第5章 项目规范概述	111
5.1 如何成为一名优秀的产品研发工程师	111
5.1.1 产品研发工程师的职责	114
5.1.2 成为一名优秀的研发应用工程师所具备的基本素质	114
5.2 产品研发应用工程师的工作	115
5.2.1 原理图实现	115
5.2.2 PCB Layout 实现	116
5.2.3 电路板的调试	117
第6章 项目定制开发说明模板	119
6.1 项目定制模板	119
6.1.1 项目定制说明书封面	119
6.1.2 项目定制说明书修订记录	119
6.1.3 项目定制目录结构	120
6.1.4 项目定制目的	120
6.1.5 项目定制使用范围	120
6.1.6 项目定制的相关定义与术语	121
6.1.7 项目定制整体说明	123
6.1.8 项目定制需求分析	124
6.1.9 项目定制规格定义	124
6.1.10 项目定制的详细设计	124
6.1.11 项目定制的测试报告	125
6.1.12 项目定制的参考资料清单	125
6.2 项目开发模板	125
6.2.1 项目开发说明书封面	125

6.2.2	项目开发修订说明	126
6.2.3	项目开发总体设计	126
6.2.4	项目开发硬件部分设计	127
6.2.5	项目开发软件部分设计	128
6.2.6	项目开发 PCB 设计与说明	128
6.2.7	项目开发测试部分与说明	128
第 7 章	流程图排版规范	129
7.1	环境建立	129
7.2	绘制流程图的相关规范	130
7.2.1	图案选择	130
7.2.2	文字、框图格式设置	130
7.2.3	线条、箭头的设置	131
7.2.4	其他注意细节	131
第 8 章	软件代码书写规范	134
8.1	概 述	134
8.2	书写程序代码规范	134
8.2.1	编程的基本要求	134
8.2.2	文档完整性要求	134
8.2.3	代码可读性要求	135
8.2.4	代码结构化要求	135
8.2.5	代码的正确性与容错性要求	136
8.2.6	代码的可重用性要求	136
8.2.7	代码的版本修订	136
8.2.8	代码的可测试性要求	137
8.2.9	代码中标识符的命名规则	137
8.2.10	代码中常量、宏定义的规则	139
8.2.11	代码中的结构体命名	140
8.2.12	代码中的函数命名	142
8.3	注 释	145
8.3.1	代码注释的注意事项	145
8.3.2	文件的注释	146
8.3.3	模块函数头的注释	146
8.3.4	类、结构体的注释	146
8.3.5	变量的注释	146
8.3.6	代码的行注释	146
8.3.7	其他方面的注意事项	147
8.4	相关示例以及说明	148

8.4.1 基础实例以及对应说明	148
8.4.2 书写代码的相关实例规范	149

第三篇 项目的实训

第9章 基于AD7705角度传感器的设计与实现	151
-------------------------------	-----

9.1 项目的需求与简介	151
9.2 AD7705角度传感器的硬件电路设计	151
9.2.1 系统整体实现框图	151
9.2.2 AD7705的功能特点	152
9.2.3 AD7705的外围电路设计	153
9.2.4 系统硬件的资源分配	153
9.3 AD7705角度传感器的软件设计	154
9.3.1 主程序流程框图	154
9.3.2 SPI核心代码	154
9.4 AD7705角度传感器的项目测试	156

第10章 等精度数字频率计的设计与实现	157
---------------------------	-----

10.1 项目的需求	157
10.2 等精度数字频率计的硬件电路设计	157
10.2.1 等精度的实现原理	157
10.2.2 等精度频率计系统整体实现框图	158
10.2.3 等精度频率计的硬件资源分配	159
10.3 等精度频率计的软件设计	159
10.3.1 等精度频率计FPGA部分的软件设计	159
10.3.2 等精度频率计中单片机部分的软件设计	161
10.4 等精度频率计的项目测试	162

第11章 声音引导系统的设计与实现	163
-------------------------	-----

11.1 项目的需求	163
11.2 声音引导系统的硬件电路设计	164
11.2.1 声音引导系统的整体实现框图	164
11.2.2 声音引导系统的硬件部分	165
11.3 声音引导系统的软件设计	169
11.3.1 软件算法关键点分析	169
11.3.2 软件主函数设计	169
11.4 声音引导系统的项目测试	171

第四篇 项目的创新

第 12 章 藏、汉、英语公交报站系统的设计与实现	173
12.1 项目的需求	173
12.2 藏、汉、英语公交报站系统的硬件电路设计	173
12.2.1 藏、汉、英语公交报站系统的整体实现框图	173
12.2.2 键盘设计硬件框图	174
12.2.3 显示电路的设计与实现	174
12.2.4 语音资源存储的实现	175
12.2.5 语音放大的实现	175
12.2.6 硬件资源的分配	177
12.3 藏、汉、英语公交报站系统的软件设计	177
12.3.1 主程序流程框图	177
12.3.2 用户交互界面	178
12.3.3 初始化子函数流程框图	178
12.3.4 按键处理子函数流程框图	179
12.3.5 语音播报部分函数流程框图	179
12.4 藏、汉、英语公交报站系统的项目测试	180
12.4.1 系统功耗测试	180
12.4.2 系统的功能测试	180
第 13 章 基于以太网藏文信息家电控制平台的设计与实现	181
13.1 项目的需求	181
13.2 以太网的藏文输入系统的硬件电路设计	181
13.2.1 以太网的藏文输入系统的整体实现框图	181
13.2.2 主控板的硬件框图	182
13.2.3 以太网模块电路结构	182
13.2.4 驱动电路设计	184
13.2.5 电源部分电路设计	184
13.3 以太网的藏文输入系统的软件设计	185
13.3.1 TCP 服务器软件流程框图	185
13.3.2 藏文网页的实现	186
13.4 以太网的藏文输入系统的项目测试	187
13.4.1 藏文网页的测试效果	187
13.4.2 电器使用控制测试	188
参考文献	189

第一篇 电子技术基础知识

第 1 章 基本元器件

第 2 章 常用工具和仪器的使用

第 3 章 部分常用电路介绍

第 4 章 电子制作实践

第 1 章 基本元器件

1.1 电 阻

1.1.1 概 述

电阻是电气、电子设备中用得最多的基本元件之一,也称为电阻器,英文名 Resistance,通常缩写为 R。其基本量纲是欧姆(常简称为欧),用希腊字母“ Ω ”表示,常用单位还有千欧($1\text{ k}\Omega=10^3\Omega$)、兆欧($1\text{ M}\Omega=10^6\Omega$)。电阻的基本特征是对流过它的电流具有阻碍作用,即在相同的外加电压作用下,电阻值越大,流过电阻的电流越小。电阻主要用于控制和调节电路中各个元件之间的电流和电压的分配关系,有时也可以代替负载,当作消耗电能的元件来使用。

1.1.2 分 类

电阻(电阻器)有不同的分类方法。按电阻组成的材料来分,有碳膜电阻、水泥电阻、金属膜电阻和线绕电阻等不同类型。其类别可以通过外观的标记进行识别,常见的有 RT 型碳膜电阻、RJ 型金属膜电阻、RX 型线绕电阻。其型号命名很有规律,R 代表电阻型,T 为碳膜型,J 为金属型,X 为线绕型,是拼音的第一个字母。在老式的电子产品中,常可以看到外表涂覆绿漆的电阻,那就是 RT 型的。而红颜色的电阻,是 RJ 型的。一般老式电子产品中,以绿色的电阻居多。近年来开始广泛使用片状电阻,片状电阻是在高纯陶瓷(氧化铝)基板上采用丝网印刷金属化玻璃层的方法制成的;通过改变金属化玻璃的成分,可以得到不同的电阻阻值,为了保证可焊性,电阻的两端头采用了电镀镍锡层。采用了保护介质对电阻层进行保护,保证正反面都可装贴。它具有体积小,重量轻,电性能稳定,可靠性高,机械强度高,高频特性优越,适应流焊与回流焊,装配成本低和自动装贴设备匹配的特点。图 1-1 给出了按照材料进行识别的电阻(从左至右依次为线绕电阻、水泥电阻、金属膜电阻、色环电阻);按电阻能够承载的功率来分,有 $\frac{1}{16}\text{ W}$ 、 $\frac{1}{8}\text{ W}$ 、 $\frac{1}{4}\text{ W}$ 、 $\frac{1}{2}\text{ W}$ 、 1 W 、 2 W 、 3 W 、 5 W 、 10 W 、 20 W 、 50 W 和 100 W 等;按电阻值的精确度来分有普通电阻和精密电阻两大类,普通电阻的精确度一般有 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 等精度量级,精密电阻的精确度分为 $\pm 0.1\%$ 、 $\pm 0.2\%$ 、 $\pm 0.5\%$ 、 $\pm 1\%$ 和 $\pm 2\%$ 等精密量级。

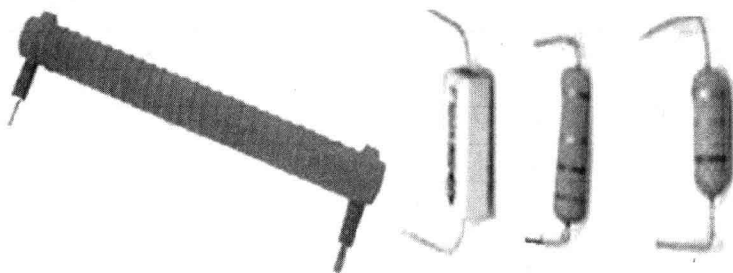


图 1-1 电阻的实物图

1.1.3 电阻的电气参数

1. 电阻的符号

在电路图中电阻的符号如图 1-2 所示。



图 1-2 电阻在电路中的标记符

2. 电阻值以及标注

电阻值的大小会导致电子流通量的变化,电阻值越小,电子流通量越大,反之亦然。电阻的阻值和允许偏差的标注方法有直标法、色标法和文字符号法,下面分别加以说明。

(1) 直标法

将电阻的阻值和误差直接用数字和字母印在电阻上(无误差标示为允许误差 $\pm 20\%$)。国外厂家采用习惯标记法,例如:

3 Ω 3 I 表示电阻值为 3.3 Ω ,允许误差为 $\pm 15\%$;
 1K8 表示电阻值为 1.8 k Ω ,允许误差为 $\pm 20\%$;
 5M1 II 表示电阻值为 5.1 M Ω ,允许误差为 $\pm 10\%$ 。

(2) 色标法

将不同颜色的色环涂在电阻器上来表示电阻的标称值及允许误差(见表 1-1)。色环电阻的标记有四环位和五环位,四环电阻的前两环代表有效位,第三环为倍率,第四环是指对应的精度;五环电阻的前三环是有效位,第四环为倍率,第五环是指对应的精度。一般精度色环与其他的色环的间距稍大点,可以凭借此点来确定色环的第一位和最后一位,有时候也可以通过表中不存在的状态来确定色环的顺序,例如:金色、银色不可能是第一位,只能是最后一位等。其中的颜色表示的物理意义如表 1-1 所列。

表 1-1 电阻上色环所代表的含义

颜色	对应的有效值	对应的倍率	对应的精度/%
银色	—	10^{-2}	± 10
金色	—	10^{-1}	± 5

续表 1-1

颜色	对应的有效值	对应的倍率	对应的精度/%
黑色	0	10^0	0
棕色	1	10^1	± 1
红色	2	10^2	± 2
橙色	3	10^3	—
黄色	4	10^4	—
绿色	5	10^5	± 0.5
蓝色	6	10^6	—
紫色	7	10^7	± 0.1
灰色	8	10^8	—
白色	9	10^9	—

四道色环电阻阻值的计算方法：

阻值 = 第一、二道色环颜色代表的数值 $\times 10^{\text{第三道色环颜色所代表的数值}}$

例：图 1-3 给出了一个四色环电阻，其颜色分别为橙色、橙色、黑色、金色，由此确定其电阻的大小和精度。

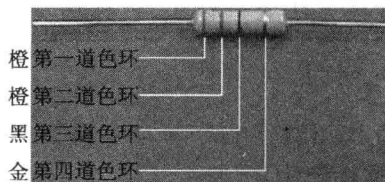


图 1-3 四色环的电阻

图 1-3 对应的电阻，其阻值按照四道色环电阻阻值的计算方法是：

阻值 = $33 \times 10^0 \Omega = 33 \Omega$ ，其电阻的精度为 $\pm 5\%$ 。

五道色环电阻阻值的计算方法是：

阻值 = 第一、二、三道色环颜色所代表的数值 $\times 10^{\text{第四道色环颜色所代表数值}}$

例：图 1-4 给出了一个五色环电阻，其颜色分别为黄色、紫色、黑色、银色、棕色，由此确定其电阻的大小和精度。

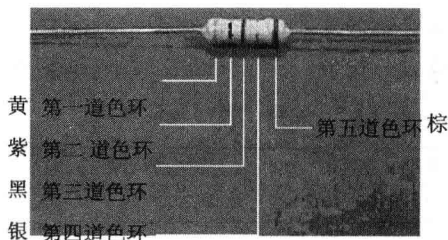


图 1-4 五色环的电阻

图 1-4 中所示电阻,其阻值按照四道色环电阻阻值的计算方法是:

阻值 = $470 \times 10^{-2} \Omega = 4.7 \Omega$,其电阻的精度为 1%。

(3) 文字符号法

采用文字符号直接描述电阻的阻抗与精度。

例如:3M3K,3M3 表示 $3.3 \text{ M}\Omega$,K 表示允许偏差为 $\pm 10\%$ 。

3. 电阻的额定功率

电阻的额定功率是指正常工作时可承受的功率,其值为电阻两端的额定电压乘以额定电流,若工作功率大于其额定功率,则有可能造成电阻的损坏。电阻的额定功率指电阻在直流或交流电路中,长期连续工作所允许消耗的最大功率。有两种标志方法:2 W 以上的电阻,直接用数字印在电阻体上;2 W 以下的电阻,以自身体积大小来表示功率。

1.1.4 可调电阻

可调电阻也称为可变电阻,其英文为 Rheostat,是电阻中的一类,其电阻值的大小可以人为调节,以满足电路的需要。可调电阻按照电阻值的大小、调节的范围、调节形式、制作工艺、制作材料、体积大小等分为许多不同的型号和类型。可调电阻分为:瓷盘可调电阻,贴片可调电阻,线绕可调电阻等。从形状上分有圆柱形、长方体形等多种形状;从结构上分有直滑式、旋转式、带开关式、带紧锁装置式、多连式、多圈式、微调式和无接触式等多种形式;从材料上分有碳膜、合成膜、有机导电体、金属玻璃釉和合金电阻丝等多种电阻体材料,碳膜电位器是较常用的一种。图 1-5 列出了一些可变电阻的实物图。

1. 可调电阻的电路符号

图 1-6 给出了可调电阻在电路中的符号,一般使用时将中间的抽头与另一端连接,可以在一定范围内改变其电阻的大小。

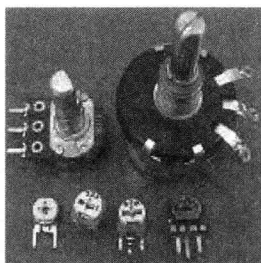


图 1-5 可变电阻实物图

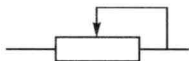


图 1-6 可变电阻的电路符号

2. 可调电阻的标称值

可调电阻的标称值是指可以从 0 欧姆调整到最大的电阻阻值,理论上,可调电阻的阻值可以调整到 0 与标称值以内的任意值,但因为实际结构与设计精度要求等原因,往

往不容易 100% 达到“任意”要求,只是“基本上”做到在允许的范围内调节,从而来改变阻值。可变电阻器采用直标法表示标称阻值,即直接将标称阻值标注在可变电阻器上。小型可变电阻器的标注阻值采用 3 位数表示方法,这与电阻器的标注方法一样,这里不再进行说明。

3. 可调电阻的额定功率

可调电阻的额定功率指正常工作时可承受的功率,其功率值为可变电阻两端的额定电压乘以额定电流,若工作功率大于其额定功率,则有可能会造成器件的损坏。小信号电路中应用的可变电阻器一般只关心它的标称阻值,对功率无要求。

电路中进行一般调节时,采用价格低廉的碳膜电位器;在进行精确调节时,宜采用多圈电位器或精密电位器。

1.1.5 特殊功能电阻

特殊功能电阻有光敏电阻和热敏电阻两种。

1. 光敏电阻

光敏电阻器是利用半导体的光电效应制成的一种电阻值随入射光的强弱而改变的电阻器:入射光强,电阻减小;入射光弱,电阻增大。常用的光敏电阻器为硫化镉光敏电阻器,它是由半导体材料制成的。光敏电阻器的阻值随入射光线的强弱变化而变化,在黑暗条件下,其阻值(暗阻)可达 $1\sim 10\text{ M}\Omega$,在强光条件下,其阻值有几百至数千欧姆。光敏电阻器对光的敏感性与入眼对可见光($0.4\sim 0.76\text{ }\mu\text{m}$)的响应很接近,只要人眼可感受的光,都会引起它的阻值变化。利用这一特性,可以制作各种光控的小电路。事实上街边的路灯大多是用光控开关自动控制的,其中一个重要的元器件就是光敏电阻(或者是光敏三极管,一种功能相似的带放大作用的半导体元件)。图 1-7 列出了一些光敏电阻的实物图。

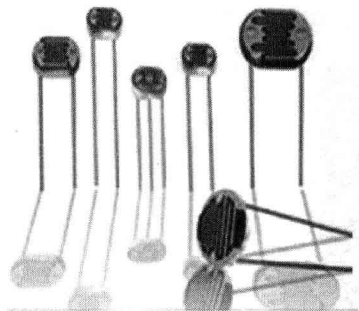


图 1-7 光敏电阻实物图

光敏电阻的主要参数有:

(1) 光电流、亮电阻

光敏电阻器在一定的外加电压下,当有光照射时,流过的电流称为光电流,外加电压与光电流之比称为亮电阻,常用“ 100 lx ”表示光的照度单位。而通常在强光条件下