

DQINGSONG ZHANGWO
DIANZI CHANPIN
SHENGCHAN
GONGYI

轻松掌握 电子产品 生产工艺

■ 张伯虎 主 编 ■ 周 新 张 亮 副主编



一看就懂 一学就会

助你全面掌握电子产品生产工艺



化学工业出版社

DQINGSONG ZHANGWO
DIANZI CHANPIN
SHENGCHAN
GONGYI

轻松掌握 电子产品 生产工艺

■ 张伯虎 主 编 ■ 周新 张亮 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书结合作者多年电子车间的实践和培训经验,对电子产品制造过程及典型工艺进行了全面介绍。重点介绍了通用电子元器件的认识与检测、电子材料的选用、电子产品装配前的准备、电子元器件的焊接、印制电路板的制作、电子产品的装配、电子产品的调试、电子产品的检验与包装以及电路图识读基础等内容。同时,书中反映了电子产品生产的新工艺和新技术,附录还提供了多种电子产品的原理图和电路装配图,帮助读者了解电子产品的生产、装配特点,并能够轻松掌握实际的生产方法和工艺技能技巧。

本书适合从事电工电子行业生产、调试、维修的技术人员和业余爱好者阅读,也可作为相关专业师生的教材。

图书在版编目(CIP)数据

轻松掌握电子产品生产工艺/张伯虎主编. —北京:
化学工业出版社, 2014. 8

ISBN 978-7-122-21068-5

I. ①轻… II. ①张… III. ①电子产品-生产工艺
IV. ①TN05

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 141170 号

责任编辑: 刘丽宏

责任校对: 边 涛

文字编辑: 吴开亮

装帧设计: 刘丽华

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 化学工业出版社印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张 13 字数 344 千字 2015 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 49.00 元

版权所有 违者必究

前言

电子技术发展迅猛，各类电子器件和生产技术之间相互渗透，生产日趋规模化、自动化；集成电路的发展，器件、电路和系统之间的密切结合，电子工业生产中的新技术、新工艺不断涌现，促进了电子信息产业的大发展。为适应现代电子产品工艺的发展和技术人员学习知识和提高技能的需要，我们编写了本书。

本书结合电子车间的工艺环节和实际情况，对电子产品制造过程及典型工艺进行了全面介绍。笔者在多年的教学及生产工作中发现，电子电路方面的学习资料多为单一的零散电路组装，组装过程需要较多的辅助资料，由于电子车间的工人一般不熟悉电路，电路入门时间较长，为此本书打破了单一的零散电路组装的内容编排模式，注重理论与实践的结合，突出实用性，主要介绍了电子技术知识和实际组装工艺，着重培养读者在电子领域中识图及设备的调试、故障分析、排除与维护等工程实用技能，为读者更好地胜任电子、电器类行业的工作打下坚实的基础。

全书主要介绍了通用电子元器件的认识与检测、电子材料的选用、电子产品装配前的准备、电子元器件的焊接、印制电路板的制作、电子产品的装配、电子产品的调试、电子产品的检验与包装以及电路图识读基础等内容。同时，书中反映了电子产品生产的新工艺和新技术，附录还提供了多种电子产品的原理图和电路装配图，帮助读者了解电子产品的生产、装配特点，并能够轻松掌握实际的生产方法和工艺技能技巧。本书适合从事电工电子行业生产、调试、维修的技术人员和业余爱好者阅读，也可作为相关专业师生的教材。

本书由张伯虎主编，周新、张亮副主编，参加编写的还有周洪江、刘建辉、文继军、周新、卢亮、王光、刘小凯、张亚昆、张海潮等。本书的编写得到了固安信通信号技术有限公司董事长及电子车间的大力支持和帮助，并在电子车间验证了所有操作过程，在此对相关人士表示衷心的感谢！

因编者水平所限，书中不足之处难免，恳请广大读者及同行批评指正，以便改进。

编者

目录

第一章 认识电子元器件	1
第一节 电阻器	1
一、电阻器标识的认识	1
二、可变电阻	3
三、电阻器的质量检查与测量	5
四、其他电阻的测量	7
第二节 电容器	8
一、电容器标识的认识	8
二、电容器的质量检查与测量	11
第三节 电感器	13
一、电感器标识的认识	13
二、电感器符号	13
三、电感器的主要参数及标注方法	14
四、电感器的质量检查与测量	14
五、变压器的质量检查与测量	15
第四节 半导体器件	17
一、二极管的认识	17
二、普通二极管基本结构及符号	17
三、晶体二极管的特性及参数	18
四、其他二极管符号及特性	19
五、注意事项	23
第五节 晶体三极管	23
一、晶体三极管的结构、种类	23
二、晶体三极管特性	25
三、晶体三极管的主要参数	26
四、晶体三极管的测量	27
第六节 晶闸管(可控硅)	28
一、晶闸管的定义	28
二、晶闸管的结构	29
三、晶闸管的工作原理	29
四、晶闸管的制作工艺	30
五、晶闸管的特性	30

六、晶闸管的分类	30
七、晶闸管工作条件	30
八、晶闸管的使用及注意事项	31
九、晶闸管的检测	32
十、晶闸管损坏分析	32
第七节 场效应管	33
一、场效应管的特性	34
二、场效应管的分类和应用	34
三、场效应管的电路符号	35
四、场效应管与晶体管的区别	35
五、场效应管好坏与极性判别	35
第八节 光电耦合器件	35
一、光耦工作原理	35
二、光耦的种类	36
三、光电耦合的特点	37
四、光电耦合器的应用简述	37
五、光电耦合器的常用参数	37
第九节 开关、继电器与接插件	38
一、常用开关件的认识与检测	38
二、常用继电器的认识与检测	40
三、接插件	42
四、印制电路板插座	43
第十节 显示器件	44
一、显示器件的分类	44
二、数码管	44
三、液晶显示器件	46
第十一节 集成电路	48
一、集成电路的封装	48
二、几种常用集成电路的封装	49
三、使用注意事项	50
四、集成电路与厚膜电路的检测方法	50
第十二节 SMT 表贴元件	52
一、表面安装元器件的特点	52
二、表面安装元器件的分类	52
三、贴片元件认识检测与焊接	54
四、SMT 元器件的包装	55
五、SMT 元器件的印制板焊盘要求	55
六、SMT 元器件的贴焊	55

第二章 插件及贴装工艺 57

第一节 手工插件工艺	57
一、元器件引线的整形及插件	57
二、注意事项	59

第二节 插件机	60
一、插件机的组成	60
二、插件机的条件要求	61
三、插件机的操作要求	61
四、插件机的保养	61
第三节 贴片机	62
一、贴片机贴片前后工作	62
二、贴片机生产工艺流程	63
三、贴片机构成及具体操作工艺	64
四、生产时的各项错误处理	77
五、操作注意事项	87
六、贴片机保养	88
七、贴片元件常见缺陷及对策	89
八、故障追溯	95
第三章 焊接工具及焊接材料	97
第一节 焊接工具	97
一、印制电路板的可焊性检查及处理	97
二、焊接工具	97
三、焊接材料及术语	103
第二节 手工焊接技术练习	109
一、手工焊接方法	109
二、电烙铁焊接操作步骤	110
三、不合格焊点的产生原因	111
四、焊接质量检查	111
五、常用的拆焊方法	114
六、拆焊的注意事项	115
七、插件焊接防静电措施	115
八、主要隔电产品的用法和注意事项	116
九、焊接完毕后清洗	118
十、印制电路板日常保管注意事项	118
第四章 常用设备使用及操作工艺	119
第一节 浸焊	119
一、浸焊前准备	119
二、浸焊过程	120
第二节 再流焊	121
一、再流焊加热类型	121
二、再流焊工艺流程	121
三、焊接用工具及准备工作	122
第三节 波峰焊	123
一、波峰焊工艺过程	124
二、几种典型工艺流程	124

三、波峰焊机基本操作规程	125
四、缺陷避免	132
第四节 AOI 光学检测仪	132
一、PCB 检测	132
二、焊膏印刷检测	133

第五章 常用仪器仪表的使用 136

第一节 万用表	136
一、机械式万用表	136
二、DT-890B 数字万用表	137
三、FLUKE-177 数字万用表	139
第二节 示波器	140
第三节 移频表	143

第六章 调试整机组装工艺 147

第一节 调试工作的主要内容	147
一、仪器使用	147
二、整机调试	147
三、喷漆（三防处理）	148
第二节 电子整机总装的工艺原则	149
一、整机总装的工艺原则	149
二、整机总装的基本要求	149
三、产品生产流程方框图	149
四、电子整机总装	149

第七章 电子产品装配的防静电技术 160

第一节 静电基本知识	160
一、静电相关术语	160
二、静电放电敏感元器件分类	161
三、静电接地	162
第二节 ESD 防护技术	162
一、人体 ESD 防护用品	162
二、防静电操作系统	164
三、防静电操作系统组成件	167
四、静电放电敏感器件的装配	167
第三节 防静电的技术要求	167
一、防静电操作系统及组成件的电气要求	167
二、对电子元器件静电保护的基本要求	168
三、防静电的一般操作要求	168
四、静电放电警告标识和识别	170

第八章 基本门电路基础 171

第一节 门电路基础 171

一、门电路的概念 171

二、与门 171

三、或门 171

四、非门 172

五、与非门 172

六、或非门 172

七、同或门 173

八、异或门 173

九、与或非门 173

第二节 RS 触发器 173

一、电路结构 173

二、工作原理 174

三、特征方程 175

第三节 逻辑门电路 175

一、TTL 逻辑门电路 175

二、CMOS 逻辑门电路 176

三、CMOS 管主要参数 176

第四节 单元电路知识 177

一、CMOS 反相器 177

二、CMOS 逻辑门电路 179

三、异或门电路 180

四、BiCMOS 门电路 180

五、CMOS 传输门 182

第九章 电路基础知识 183

第一节 三极管基本放大电路 183

一、共发射极放大器 183

二、共发射极放大器的特性 187

第二节 共集电极放大器 189

第三节 共基极放大器 189

一、共基极放大器的主要特性 190

二、共基极放大器电路分析 190

第四节 晶体三极管三种放大电路分析 190

一、单级放大器的类型判断 190

二、判断放大器类型的依据 190

三、判断共发射极放大器的方法 191

四、判断共集电极放大器的方法 191

五、判断共基极放大器的方法 191

六、三种类型放大器应用电路说明 192

第五节 功率放大电路 192

一、电路分析	192
二、电路工作过程	193
第六节 串联型调整管式稳压电源	193
一、稳压过程	194
二、手动调压过程	194

参考文献	195
-------------------	------------

认识电子元器件

第一节 电阻器

电阻器是电子设备中应用最多的元件之一，是利用自身消耗电能的特性，在电路中起降压、阻流等作用。

一、电阻器标识的认识

1. 固定电阻器标识的认识

固定电阻器是一种最基本的电子元件。电阻的文字符号为“R”，符号及外形如图 1-1 所示。

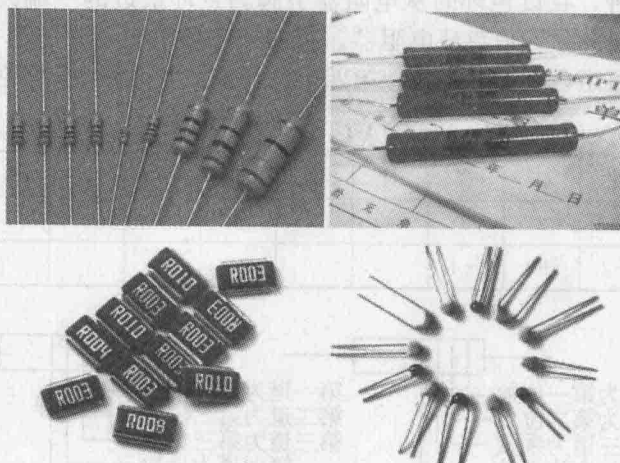


图 1-1 各种电阻器的电路符号和外形

2. 电阻器的种类

电阻器的分类方法有多种，习惯上按主要性能和使用特征来划分，有以下几种类型。

(1) 普通电阻器。这是应用十分之泛的一种电阻器，它的性能参数已能满足一般用电器的使用要求。

(2) 精密电阻器。这类电阻器在家电设备中应用不多，它的特点是电阻值的精度高，而且工作稳定性很好，多用于仪器仪表等精密电路。

(3) 固定电阻器根据制造材料和结构的不同，又可分为碳膜电阻 (RT 型)、金属膜电阻 (RJ 型)、有机实心电阻 (RS 型)、线绕电阻 (RX 型) 等。其中，碳膜电阻和金属膜电阻在电路中应用最多。

- ① 碳膜电阻器。
- ② 金属膜电阻器。
- ③ 合成膜电阻器。
- ④ 线绕电阻器。
- ⑤ 熔断电阻器。
- ⑥ 热敏电阻器。
- ⑦ 光敏电阻器。
- ⑧ 贴片电阻器。

3. 电阻器的阻值表示

电阻的基本单位为“欧姆”，简称“欧”，用希腊字母“ Ω ”来表示。除欧姆外，电阻的单位还有千欧 ($k\Omega$) 和兆欧 ($M\Omega$) 等。

【例】 $1M\Omega = 1000k\Omega = 1000000\Omega$ ； $1k\Omega = 1000\Omega$ 。

4. 电阻器的参数

(1) 标称阻值 简称阻值，基本单位是欧姆 (Ω)。常用的单位还有千欧 ($k\Omega$) 和兆欧 ($M\Omega$)，为千进制。

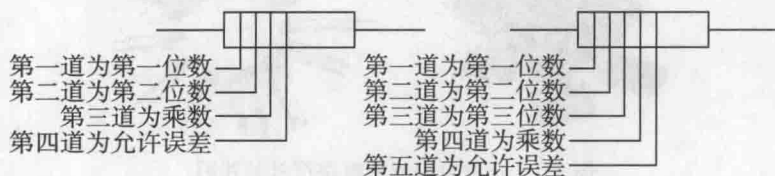
(2) 电阻器的阻值标注 标称值的表示方法：直标法、色标法、数字法、数字和字母法。

直标法：在一些体积较大的电阻器上，直接用数字标注出标称阻值，有的还直接标出允许偏差。由于电阻器体积大，标注方便，对使用者来讲也方便，一看便能知道阻值大小。

色标法：色标法是用色环或色点（大多用色环）来表示电阻器的标称阻值、误差。色环有四道环和五道环两种，在读色环时从电阻器引脚离色环最近的一端读起，依次为第一道、第二道……目前，常见的是四道色环电阻器。在四道色环电阻器中，第一、二道色环表示标称阻值的有效值；第三道色环表示乘数；第四道色环表示允许偏差。各色环的含义见表 1-1。

表 1-1 色环含义

颜色	黑	棕	红	橙	黄	绿	蓝	紫	灰	白	金	银	无色
表示数值	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10^{-3}	10^{-2}	
表示偏差/%	+1	+2	+3	+4							+5	+10	+20



若色环颜色顺序为红、黑、橙、银，则该电阻器标称阻值为 $20 \times 10^3 \Omega$ ($1 \pm 10\%$)，即 $20k\Omega$ ($1 \pm 10\%$)。

若色环颜色顺序为绿、蓝、红、银，则该电阻器标称阻值为 $56 \times 10^2 \Omega$ ($1 \pm 10\%$)，即

5. $6k\Omega$ ($1\pm 10\%$)。

在五道色环的电阻器中,前三道表示有效值,第四道为乘数,第五道为允许偏差。这是精密电阻器表示方式,有效数字为三位。

快速记忆法:对于四道色环电阻,以第三道色环为主。如第三环为银色,则为 $0.1\sim 0.99\Omega$;金色为 $1\sim 9.9\Omega$;黑色为 $10\sim 99\Omega$;棕色为 $100\sim 990\Omega$;红色为 $1\sim 9.9k\Omega$;橙色为 $10\sim 99k\Omega$;黄色为 $100\sim 990k\Omega$;绿色为 $1\sim 9.9M\Omega$ 。对于五环电阻,则以第四环为主,规律同四道色环电阻。但应注意,由于五环电阻为精密电阻,体积太小时,无法识别哪端是第一环,所以对色环电阻阻值的识别必须用万用表测出。

文字符号法:把电阻的标称阻值和允许误差用数字和文字符号按一定规律标在电阻上。单位词头字母符号的含义见表 1-2。

表 1-2 单位词头字母符号含义

文字符号代表的单位			文字符号代表误差	
			文字符号	误差
文字符号	单位		G	1%
R	欧姆	Ω	J	2%
K	千欧	$k\Omega$	K	10%
M	兆欧	$M\Omega$	M	20%

数码表示法:用三位数字表示电阻值(常见于电位器、微调电位器及贴片电阻)。识别时由左至右,第一位与第二位为有效数字,第三位是有效值的乘数(或 0 的个数),单位 Ω 。

快速记忆法同色环电阻,即第三位数为 1 则为几百几十欧;为 2 则为几点几千欧;为 3 则为几十几千欧;为 4 则为几百几十千欧;为 5 则为几点几兆欧等。

5. 额定功率

额定功率是指在特定环境温度范围内电阻所允许承受的最大功率。在该功率限度以内,电阻器可以正常工作而不会改变其性能,也不会损坏。电阻额定功率的标注方法如图 1-2 所示。



图 1-2 电阻额定功率标注方法

6. 电阻温度系数

当工作温度发生变化时,电阻器的阻值也将随之相应变化,这对一般电阻器来说是不希望有的。电阻温度系数用来表征电阻器工作温度每变化 1°C 时其阻值的相对变化量。显然,该系数愈小愈好。电阻温度系数根据制造电阻的材料不同,有正系数和负系数两种。前者随温度升高阻值增大,后者温度升高阻值减小。热敏电阻器就是利用其阻值随温度变化而变化这一性能制成的一种电阻器。

二、可变电阻

可变电阻器有微调电阻器和电位器,它是一种阻值可连续变化的电阻器,它的优点是在电路中可方便地调整阻值,以获得最佳的电路特性。由于阻值可变化,省去了更换不同阻值电阻器的麻烦。

1. 电阻器的符号、外形及种类

常用可变电阻器的结构符号及外形如图 1-3 所示。

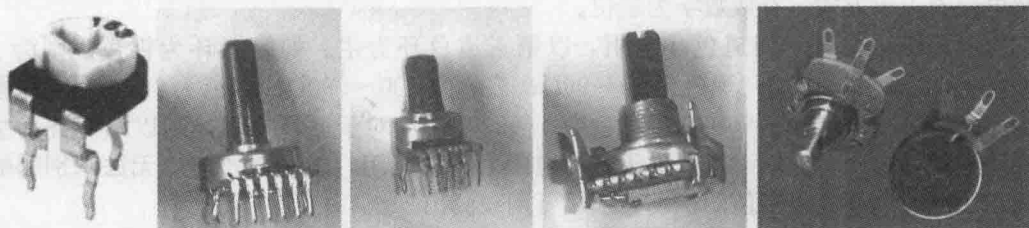


图 1-3 可变电阻器结构符号及外形

可变电阻器的结构：可变电阻器的结构和电阻值变化的原理可用如图 1-3 所示的结构图来说明。

从图中可以看出，它的两根固定引脚接在碳膜体两端，碳膜体是一个电阻体，在两根引脚之间有一个固定的电阻值。动片引脚上的触点可以在碳膜上滑动，这样动片引脚与两固定引脚之间的阻值将发生大小改变。当动片触点顺时针方向滑动时，动片引脚与引脚①之间阻值增大，与引脚②之间阻值减小。反之，动片触点逆时针方向滑动，引脚间阻值反方向变化。在动片滑动时，引脚①、②之间的阻值是不变化的，但是如若动片引脚与引脚②或引脚①相连通后，动片滑动时引脚①、②之间的阻值便发生了改变。可变电阻器的阻值是指两个固定引脚之间的电阻值，也就是可变电阻器可以达到的最大电阻值，可变电阻器的最小阻值为零（通过调节动片引脚的旋钮）。可变电阻器的阻值直接标在电阻器身上。

电位器的分类方法很多，种类也相当多，是多种电器控制中的调整元件。图 1-3 所示的带开关的电位器是组合电位器，其中三个引脚装设在一处，两个引脚为固定引脚，一个为动片引脚，开关引脚装设在另一处，通常是装在电位器的背面。这种带开关的电位器，在转柄旋到最小位置后再旋转一下，便将开关断开。在开关接通之后，调节电位器过程中对开关没有影响，一直处于接通状态。图 1-3 中双连旋转式电位器又有同心同轴（调整时两个电位器阻值同时变化）和同心异轴（单独调整）之分。直滑式电位器的特点是操纵柄往返做直线式滑动，滑动时可调节阻值。

2. 主要参数

电位器的具体参数很多，下面仅介绍几项十分重要的参数。

（1）电阻值 电位器的电阻值也是指电位器两固定引脚之间的电阻值，这跟碳膜体阻值有关。电阻值参数采用直标法标在电位器的外壳上。

（2）噪声 电位器的噪声主要包括热噪声、电流噪声和动噪声。前两者是指电位器动片触点不动时的电位器噪声，这种噪声与其他元器件中的噪声一样，是碳膜体（电阻体）固有噪声，又称之为静噪声，静噪声相对动噪声而言，其有害影响不大。

动噪声是指电位器动片触点滑动过程产生的噪声，这一噪声是电位器的主要噪声。动噪声的来源也有六七种，但主要原因是动片触点接触电阻大（接触不良）、碳膜体结构不均匀、碳膜体磨损、动片触点与碳膜体的机械摩擦噪声等。

（3）额定功率 电位器的额定功率同电阻器的额定功率一样，在使用中若运用不当也会烧坏电位器。

3. 其他电阻器

（1）热敏电阻 热敏电阻器是一种用半导体材料制成的测温器件，它的热敏材料是用锰、镍、钴等多种金属氧化物粉末按一定比例混合烧结而成，目前广泛应用的是正温度系数热敏电阻和负温度系数热敏电阻。电路符号如图 1-4（a）所示。

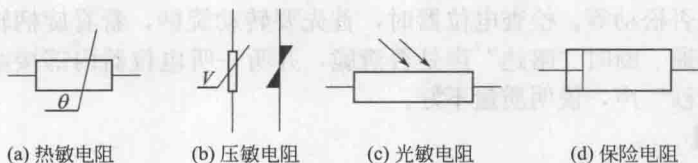


图 1-4 几种特殊电阻的电路符号

① 正温度系数热敏电阻。正温度系数热敏电阻，又称 PTC，它的阻值随温度升高而增大，可应用到各种电路中，与负载串联。

电阻常见阻值规格（常温）有 12Ω 、 15Ω 、 18Ω 、 22Ω 、 27Ω 、 40Ω 等，不同电路所选用的电阻也不一样。

② 负温度系数热敏电阻。负温度系数热敏电阻（NTC）是采用电子陶瓷工艺制成的热敏半导体陶瓷组件，它的电阻值随温度升高而降低，具有灵敏度高、体积小、反应速度快、使用方便的特点。NTC 热敏电阻器具有多种封装形式，能够很方便地应用到各种电路中。与其他元件并联可用作保护电路等。

（2）压敏电阻 压敏电阻是利用半导体材料的非线性特性制成的一种特殊电阻器。当压敏电阻两端施加的电压达到某一临界值（压敏电压）时，压敏电阻的阻值就会急剧变小。压敏电阻的电路符号如图 1-4（b）所示。

压敏电阻的主要特性：当两端所加电压在标称额定值内时，它的电阻值几乎为无穷大，处于高阻状态，其漏电流 $\leq 50\mu\text{A}$ ，当它两端的电压稍微超过额定电压时，其电阻值急剧下降，立即处于导通状态，反应时间仅在毫（微）秒级，工作电流急剧增加，从而有效地保护电路。

（3）光敏电阻 有些半导体（如硫化镉等）在黑暗的环境中，其电阻值是很高的。当受到光照时，光子能量将激发出电子，导电性能增强，使阻值降低。且照射的光线愈强，阻值也变得愈低。这种由于光线照射强弱而导致半导体电阻值变化的现象称为光导效应。光敏电阻是利用半导体光导效应制成的一种特殊电阻器。它是一种能够将光信号转变为电信号的器件。用光敏电阻制成的器件又叫作“光导管”，是一种受光照射导电能力增加的光敏转换元件。光敏电阻的电路符号如图 1-4（c）所示。根据制作光敏层所用材料的不同，光敏电阻可以分为多晶光敏电阻器和单晶光敏电阻器。根据光敏电阻的光谱特性，又可分为紫外光光敏电阻器、可见光光敏电阻器以及红外光光敏电阻器。

紫外光光敏电阻器对紫外光反应十分灵敏，可用于探测紫外光。比较常见的有硫化镉和硒化镉光敏电阻器。

可见光光敏电阻器有硒、硫化镉、碲化镉和碲化镉、砷化镉、硅、锗、硫化锌光敏电阻器等，可用于各种光电自动控制系统、照度计、电子照相机、光报警等装置中。

红外光光敏电阻有硫化铅、碲化铅、硒化铅、碲化铋、碲化锡、锗掺汞、锗掺金光敏电阻器等。它广泛地应用于导弹制导、卫星监测、天文探测、非接触测量、气体分析和无损探伤等领域。

（4）保险电阻 保险电阻有电阻和保险熔丝的双重作用，当过流使其表面温度达到 $500\sim 600^{\circ}\text{C}$ 时，电阻层便剥落而熔断，故保险电阻可用来保护电路中其他元件免遭损坏，以提高电路的安全性和经济性。

保险电阻一般以低阻值（几欧至几十欧）、小容量（ $1/8\sim 1\text{W}$ ）为多。它可用于电源电路中，电路符号如图 1-4（d）所示。

三、电阻器的质量检查与测量

1. 电阻器的质量检查

检测电阻器首先可以通过观察电阻器的外貌来检查其是否有明显的异常。如是否有断裂、

烧焦痕迹,引脚是否松动等。检查电位器时,首先要转动旋柄,看看旋柄转动是否平滑、灵活,带开关电位器通、断时“喀达”声是否清脆,并听一听电位器内部接触点和电阻体摩擦的声音,如有“沙沙”声,说明质量不好。

2. 电阻的测量

(1) 测量固定电阻值

① 将万用表的功能选择开关旋转到适当量程的电阻挡,将两表笔短路,调节“0 Ω ”电位器,使表头指针指向“0”,然后再进行测量。如图 1-5 所示。注意在测量中每次变换量程,如从 $R \times 1$ 挡换到 $R \times 10$ 挡或其他挡后,都必须重新调零后再测量。

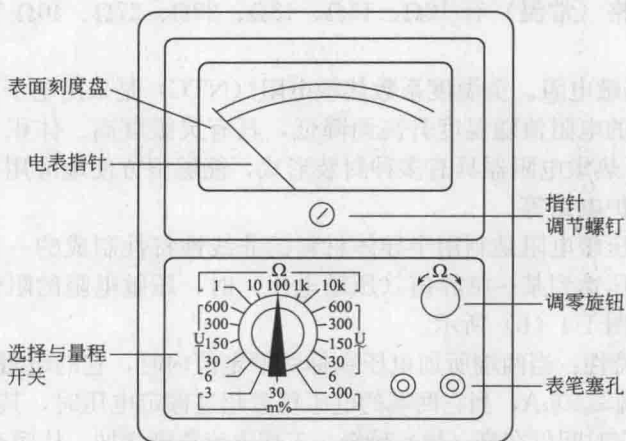


图 1-5 万用表调零

② 将两表笔(不分正负)分别与电阻的两端引脚相接即可测出实际阻值。为了提高测量精度,应根据被测电阻标称值的大小来选择量程。由于欧姆挡刻度的非线性关系,它的中段较为精细,因此应使指针指示值尽可能落到刻度的中段位置,即全刻度起始的 20%~80% 弧度范围内,以使测量更准确。根据电阻误差等级不同,读数与标称阻值之间分别允许有 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 或 $\pm 20\%$ 的误差。如不相符,超出误差范围,则说明该电阻变值了。如果测得的结果是 0,则说明该电阻已经短路。如果是无穷大,则表示电阻断路了,不能再继续使用。

测量时应注意的事项:测试大阻值电阻时,手不要触及表笔和电阻的导电部分,因为人体具有一定电阻,会对测试产生一定的影响,即使读数偏小。被检测的电阻必须从电路中焊下来,至少要焊开一个头,以免电路中的其他元件对测试产生影响,使测量误差增大。如图 1-6 所示。

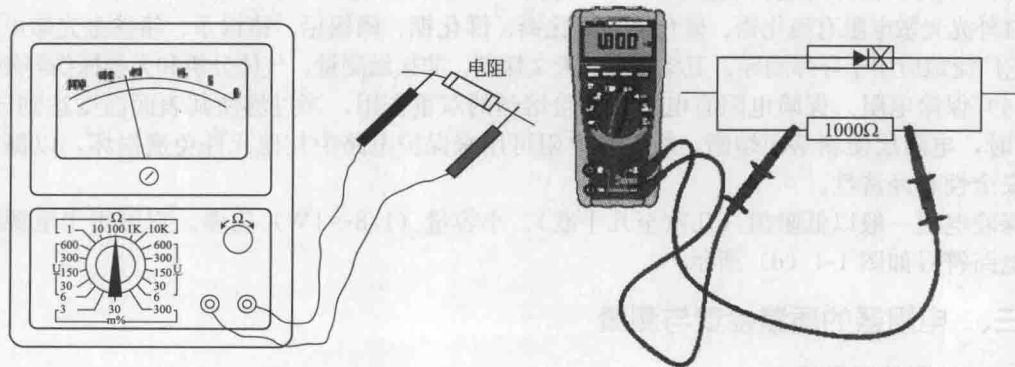


图 1-6 固定电阻测量

(2) 电位器测量 电位器测量如图 1-7 所示。



图 1-7 电位器测量

① 测量电位器的标称阻值：用万用表的欧姆挡测两边脚，其读数应为电位器的标称阻值。如万用表的指针不动或阻值相差很多，则表明该电位器已损坏。

② 检测活动臂与电阻片的接触是否良好：用万用表的欧姆挡测中间脚与两边脚阻值。将电位器的转轴按逆时针方向旋转，再顺时针慢慢旋转轴柄，电阻值应逐渐变化，表头中的指针应平稳移动。从一端移至另一端时，最大阻值应接近电位器的标称值，最小值应为零。如万用表的指针在电位器轴柄转动过程中有跳动现象，说明触点有接触不良的故障。

③ 对于带有开关的电位器，检查时可用万用表的电阻挡测开关两接点的通断情况是否正常。旋转电位器的轴，使开关“接通”、“断开”变化。若在“接通”的位置电阻值不为零，说明内部开关触点接触不良；若在“断开”的位置电阻值不为无穷大，说明内部开关失控。

四、其他电阻的测量

1. 热敏电阻器检测

检测热敏电阻器，用万用表欧姆挡在常温下测的阻值与标称阻值相差 $\pm 2\Omega$ 以内即为正常。再用一热源对电阻加热（例如用电烙铁烘烤或放在不同温度的水中，因水便于调温，也便于测温），用万用表观察其电阻值是否随温度变化而变化（正温度系数热敏电阻器阻值随温度升高而加大，负温度系数热敏电阻器阻值随温度升高而减小）。如此，则表明电阻正常，否则说明其性能已变坏不能使用了，如图 1-8 所示。

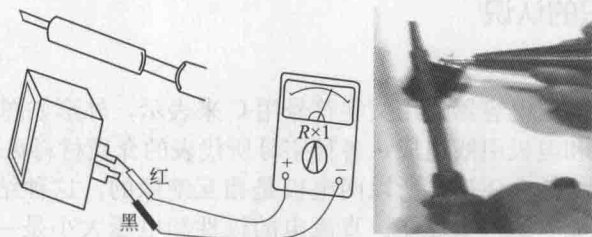


图 1-8 热敏电阻器检测

2. 压敏电阻器检测

检测压敏电阻器，应使用万用表电阻挡的最高挡位（ $R \times 10k$ 挡），常温下压敏电阻器的两引脚阻值应为无穷大，若阻值很小，就说明该压敏电阻器的击穿电压低于万用表内部电池的 9V（或 15V）电压（这种压敏电阻器很少见）或者已经击穿损坏。如果需要测量其额定电压（击穿电压），可将其接在一个可调电源上，并串入电流表，调整可调电源，开始电流表基本不变，当再调高 E_C 时，电流表表针摆动，此时用万用表测量压敏电阻两端电压，即为标称电压。如图 1-9 所示。

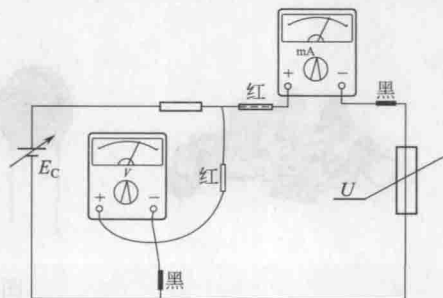


图 1-9 压敏电阻器检测