

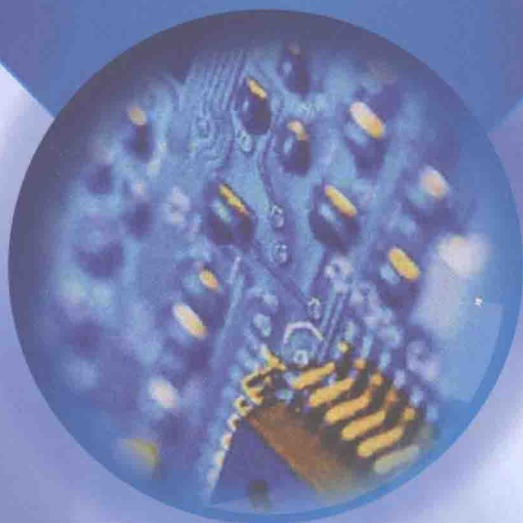


高职高专“十一五”规划教材

DIANZI ZONGHE SHIXUN ZHIDAO JIAOCHEGN

电子综合实训指导教程

方庆山 主编



化学工业出版社

高职高专“十一五”规划教材

电子综合实训指导教程

方庆山	主 编
宋静杰 杜江淮 胡继胜	编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书是高等职业院校电子信息类专业电子技术实践与技能训练教材。本教材共分为四个实训部分，主要包括：手工烙铁焊工艺、元件认识与测试及 SMT 表面贴装工艺；实用电子整机产品装配、调试和故障检修；与低频电子线路、数字电路和高频电子线路的课程设计相关的简易电路制作；与电路基础、低频电子线路、数字电路和高频电子线路相配套的单元电路仿真实验测试等。

本书既可作为高等职业院校及中等职业学校电子信息类专业相关课程实践教学用书，也可作为职业培训机构对电子信息类工种的培训用书，还可作为电子技术爱好者的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

电子综合实训指导教程/方庆山主编. —北京: 化学工业出版社, 2009. 1
高职高专“十一五”规划教材
ISBN 978-7-122-04255-2

I. 电… II. 方… III. 电子技术-高等学校: 技术学院-教材 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 187766 号

责任编辑: 王听讲

文字编辑: 高 震

责任校对: 宋 玮

装帧设计: 韩 飞

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 刷: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 8 $\frac{3}{4}$ 字数 211 千字 2009 年 3 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: 16.00 元

版权所有 违者必究

前 言

本书根据《高技能人才培养体系建设“十一五”规划纲要》，依据电子信息类专业高技能人才培养的要求进行编写，突破了传统的学科教育对学生技术应用能力培养的局限，以模块构架实训教学体系，以项目驱动技能训练，着重培养学生的实际动手能力与综合应用能力。

本书分为四个模块：电子综合实训基本技能；电子产品整机装配与调试；简易电子产品设计与制作；常用单元电路 EWB 仿真测试。在实训项目上，主要涵盖电工电子技术中元器件的识别、测量、选用及常见故障的识别与排除；常用电子产品的装配工艺与调试方法；电子产品的设计与制作、常用单元电路仿真测试等内容。

本书特点：编排新颖，全书按模块、分项目编写；选材难易兼顾，电路新颖实用，便于综合应用；注重基本技能的训练和电子电路的设计与制作的内容，强调学生的创新能力和综合应用能力的培养。

本书在内容安排上主要是考虑高职院校技能型、应用型人才的培养目标，主要适用于电子信息类及相关专业的实践教学环节。第一部分为电子综合实训基本技能，可用于焊接、元器件识别判断等方面的实践教学；第二部分为电子产品整机装配与调试，可用于相关专业的实训环节的实践教学，每个项目的教学时数安排约为 30 学时，根据课程内容可选择其中一个项目或全部项目作为学生实训项目，从而培养学生对电子整机的装配与调试技能；第三部分为简易电子产品设计与制作，主要为相关课程的课程设计提供一个参考，同时也可作为学生课余时间进行电子产品设计的参考；第四部分为常用单元电路 EWB 仿真测试，既可用于教学计划中的仿真实验环节的教学参考，也可用于学生课余时间利用微型计算机进行单元电路仿真实验，加深对教材理论知识的理解。在最后的附录部分安排了电子线路图读图方法及常用电子元器件的国标符号，供读者在研读电子类图书时参考。

安徽电子信息职业技术学院方庆山主编，负责全书的统稿工作，并编写第二部分以及附录 A 和附录 B。宋静杰编写第一部分。安徽职业技术学院杜江淮编写了第三部分。胡继胜编写了第四部分。在本书的编写过程中得到了安徽电子信息职业技术学院领导与老师的关心与帮助，在此表示感谢。

本书可作为高等职业院校电子信息技术、电气自动化技术、应用电子技术及机电一体化等相关专业的实训教材，还可供广大电子爱好者及电子电路设计人员参考。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中难免有疏漏之处，恳请广大读者批评指正。如有意见或建议，请联系 E-mail: fqs008@163.com。

编者
2008 年 10 月

目 录

第一部分 电子综合实训基本技能	1
项目一 常用工具的认识与使用	1
(一) 电烙铁	1
(二) 其他常用工具	3
项目二 电子元器件的识别和判断	6
(一) 电阻	6
(二) 电容器	9
(三) 电感	11
(四) 二极管	12
(五) 三极管	14
(六) 集成电路	15
项目三 手工电烙铁焊接工艺技能训练	16
(一) 焊接的基本知识	16
(二) 元器件的整形及插装	18
(三) 手工焊接技术	20
项目四 SMT 表面安装工艺实训	26
(一) SMT (表面安装技术) 简介	26
(二) SMT 元器件及设备	28
(三) SMT 焊接质量与缺陷	32
第二部分 电子产品整机装配与调试	34
项目一 MF-47 型万用表装配与调试	34
(一) 万用表的基本组成及原理	34
(二) 万用表的装配工艺	38
(三) 万用表的调试工艺	42
(四) 万用表的故障检修	43
项目二 HX108-2 型收音机装配与调试	44
(一) HX108-2 型收音机的基本原理	44
(二) 收音机的装配工艺	46
(三) 收音机的调试工艺	49
(四) 收音机的故障检修	51
项目三 微型调频收音机的装配与调试	53
(一) 微型调频收音机的基本原理	53
(二) 微型调频收音机的安装工艺	54

(三) 微型调频收音机的调试工艺·····	57
(四) 总装与质量检查·····	57
项目四 5.5 英寸黑白电视机装配与调试·····	58
(一) 单片集成电路黑白电视机的基本原理·····	58
(二) 分步安装与调试·····	62
(三) 常见故障检修·····	65
第三部分 简易电子产品设计与制作 ·····	68
项目一 有源音箱的设计与制作·····	68
(一) 设计基本功能要求·····	68
(二) 电路结构与原理·····	68
(三) 元器件的选择·····	69
(四) 电路组装与调试·····	71
项目二 数字钟的设计与制作·····	72
(一) 电路设计基本功能要求·····	72
(二) 电路结构与原理·····	72
(三) 元器件的选择·····	75
(四) 电路组装及调试·····	75
项目三 简易函数信号发生器的设计与制作·····	76
(一) 电路设计基本功能要求·····	76
(二) 电路结构与原理·····	76
(三) 元器件的选择·····	79
(四) 电路组装与调试·····	79
项目四 交通灯控制电路的设计和制作·····	80
(一) 电路设计基本功能要求·····	80
(二) 电路结构与原理·····	80
(三) 元器件的选择·····	84
(四) 电路组装与调试·····	84
项目五 简易调幅发射机的设计和制作·····	84
(一) 电路设计基本功能要求·····	84
(二) 电路结构与原理·····	85
(三) 元器件的选择·····	87
(四) 系统测试·····	87
第四部分 常用单元电路 EWB 仿真实验 ·····	89
项目一 EWB 仿真环境认识·····	89
(一) EWB 软件操作界面·····	89
(二) EWB 基本操作方法·····	92
项目二 电路基础单元电路·····	92
(一) 基尔霍夫定律的验证·····	92
(二) 戴维南定理的验证·····	93
(三) 并联谐振电路的测试·····	94

(四) RC 电路充放电测试	95
项目三 低频电子线路单元电路	96
(一) 单管共射放大电路测试	96
(二) 负反馈放大电路测试	98
(三) 差动放大电路测试	100
(四) 串联稳压电源电路测试	102
项目四 数字电子线路单元电路	105
(一) 组合逻辑电路的测试与分析	105
(二) 译码器逻辑功能的测试	106
(三) 同步四位二进制加法计数器	107
(四) 异步 8421BCD 计数器	109
(五) 集成计数器构成 N 进制计数器	110
(六) 555 定时器的应用	111
(七) 模数 A/D 转换-数模 D/A 转换	113
项目五 高频电子线路单元电路	114
(一) 高频小信号谐振放大器的测试	114
(二) 谐振功率放大器的测试	115
(三) 正弦波振荡器的测试	116
(四) 调幅与检波电路的测试	117
(五) 斜率鉴频器的测试	121
附录	123
附录 A 电子线路图读图方法	123
A.1 电路图的种类	123
A.2 电子线路图读图方法	124
附录 B 电气图形符号国家标准	127
参考文献	132

第一部分 电子综合实训基本技能

项目一 常用工具的认识与使用

项目训练目标：

- 掌握电烙铁的使用与检测方法；
- 认识常用的电子装配工具；
- 掌握常用电子装配工具的使用方法。

在电子综合实训过程中，必须使用一些设备和工具，包括常用的焊接工具和五金工具等。目前，在电子产品的生产装配中，大多采用自动化程度很高的专业流水线。剥线机、捻头机、成型机、切脚机、压接机、插件机、浸焊机、波峰机、贴片机等专用设备已成为目前整机生产流水线上的主体。随着电子工具的发展，新型多功能、智能化机器人的出现，使绝大部分手工操作被专业设备代替。但是手工工具，如电烙铁、尖嘴钳、斜口钳、剥线钳、镊子等，仍然是装配工人不可缺少的工具。作为整机生产技术人员，必须对这些常用工具有所了解，并熟练掌握其使用方法。

（一）电烙铁

电烙铁是电子综合实训中常用工具之一，主要用于各类电子产品的手工焊接、补焊、维修及更换元器件等。电烙铁的工作原理是：电烙铁芯内的电阻丝通电后，将电能转换为热能，经烙铁头把热量传给被焊工件，对被焊点部位进行加热，熔化焊锡，起到焊接作用。

1. 电烙铁的分类

电烙铁一般分为外热式电烙铁、内热式电烙铁和其他电烙铁等。

（1）外热式电烙铁

外热式电烙铁一般由烙铁头、烙铁芯、外壳、手柄、电源引线及插头等部分组成，如图 1-1 所示。烙铁头安装在烙铁芯内，用热传导性能好的铜合金材料制成。烙铁头的长短可以调整（烙铁头越短，烙铁头的温度就越高），并且有凿式、尖锥形、圆面形、圆锥形和半圆沟形等不同的形状，以适应不同焊接面的需要。

（2）内热式电烙铁

由连接杆、手柄、弹簧夹、烙铁芯、烙铁头五个部分组成，如图 1-2 所示。烙铁芯安装在烙铁头的里面（发热快，热效率高达 85% 以上）。烙铁芯采用镍铬电阻丝绕在瓷管上制成，一般 20W 电烙铁其电阻为

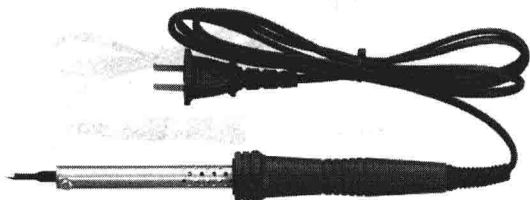


图 1-1 外热式电烙铁



图 1-2 内热式电烙铁

2.4k Ω 左右, 35W 电烙铁其电阻为 1.6k Ω 左右。一般来说电烙铁的功率越大, 热量越大, 烙铁头的温度越高。焊接集成电路、印制电路板、CMOS 电路一般选用 20W 内热式电烙铁。使用的烙铁功率过大, 容易烫坏元器件或使印制导线从基板上脱落。使用的烙铁功率太小, 焊锡不能充分熔化, 焊剂不能挥发出来, 焊点不光滑、不牢固, 易产生虚焊。焊接时间过长, 也会烧坏器件, 一般每个焊点在 1.5~4s 内完成。

(3) 其他电烙铁

① 恒温电烙铁 恒温电烙铁的烙铁头内, 装有磁铁式的温度控制器, 来控制通电时间, 实现恒温的目的。在焊接温度不宜过高、焊接时间不宜过长的元器件时, 应选用恒温电烙铁。

② 吸锡电烙铁 吸锡电烙铁是将活塞式吸锡器与电烙铁融于一体的拆焊工具, 它具有使用方便、灵活、适用范围宽等特点。不足之处是每次只能对一个焊点进行拆焊。

电烙铁的种类还有很多, 但在一般的电子产品维修和装配中很少使用, 这里不再介绍, 有兴趣的读者请参考其他相关资料。

2. 电烙铁的使用

电烙铁使用时要注意手的握法, 电烙铁的握法分为三种: 反握法、正握法和握笔法。反握法是用五指把电烙铁的柄握在掌内。此法适用于大功率电烙铁, 焊接散热量大的被焊件。正握法适用于功率较大的电烙铁, 弯形烙铁头的一般也用此法。握笔法适用于小功率电烙铁, 焊接散热量小的被焊件, 如焊接收音机、电视机的印制电路板及其维修等。

电烙铁在首次使用前要先给烙铁头上锡。首先用锉刀把烙铁头按需要挫成一定的形状, 然后接上电源, 当烙铁头温度升高时, 将烙铁头在松香上蘸涂一下, 等松香冒烟后再蘸涂一层焊锡, 如此反复进行二至三次, 使烙铁头的刃面全部挂上一层锡便可使用了。电烙铁不宜长时间通电而不使用, 这样容易使烙铁芯加速氧化而烧断, 缩短其寿命, 同时也会使烙铁头因长时间加热而氧化。旧的电烙铁在使用前如烙铁头严重氧化而发黑, 可用锉刀锉去表面氧化物, 使其露出金属光泽后, 重新上锡方可使用。

3. 电烙铁检测

为了安全, 电烙铁使用前, 要用万用表检查一下绝缘情况和电热丝是否正常, 其测量方法如图 1-3 所示。用万用表 $\times 1k$ 挡测量, 一般情况下绝缘测试时阻值为无穷大; 测量电热丝时, 25W 的电热丝电阻值约为 2.4k Ω 左右。

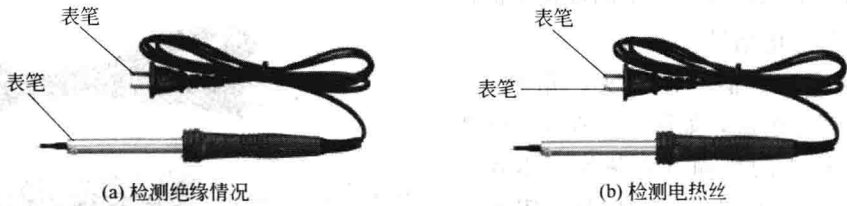


图 1-3 万用表检查电烙铁的方法

（二）其他常用工具

在电烙铁焊接的过程中，经常要和其他工具配合使用，才能更好地完成焊接装配任务，下面介绍常见的几种。

1. 锉刀

锉刀表面上有许多细密刀齿与条形，用于锉光工件的手工工具。用于对金属、木料、皮革等表层做微量加工。锉刀按形状可分为很多种类：扁锉（平锉）、方锉、半圆锉、圆锉、三角锉、菱形锉和刀形锉等。

在手工烙铁焊中，经常使用的是扁锉，如图 1-4 所示。锉刀可用来除去电烙铁头上的氧化膜。当烙铁头严重氧化而发黑时，我们就可以用锉刀锉去烙铁头上的氧化膜，使烙铁头露出金属光泽后，重新上锡，此时烙铁才可以正常使用。

2. 剪刀

在电子产品的装配与维修中，还常常用到剪刀。一般外形小的剪刀，在实际操作中使用比较方便，如图 1-5 所示。剪刀主要用于剪去多余的元器件引脚，让整机的装配能够更加美观。在没有斜口钳时，剪刀能起到斜口钳的大部分作用。

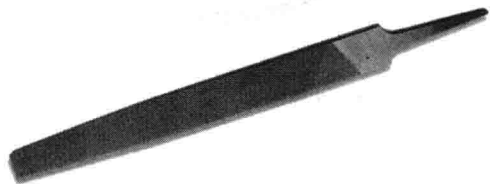


图 1-4 扁锉



图 1-5 剪刀

3. 镊子

镊子的主要用途是摄取微小器件，在焊接时夹持被焊件以防止其移动和帮助散热。有的元件引脚上套的塑料管在焊接时会遇热收缩，也可用镊子将套管向外推动，使之恢复到原来位置。它还可用来在装配件上绕制较细的线材，以及用来夹持蘸有汽油或酒精的小团棉纱以清洗焊点上的污物等。常用镊子的外形如图 1-6 所示。

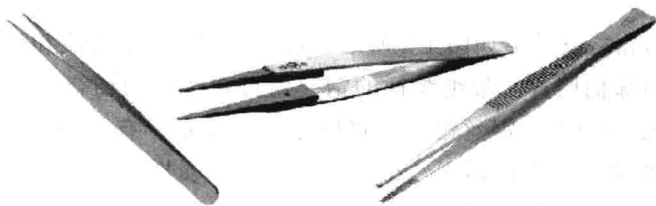


图 1-6 镊子

4. 斜口钳

斜口钳又叫偏口钳，其外形如图 1-7 所示。斜口钳主要用于剪切导线，尤其适用于剪掉焊接点上多余的线头及印制电路板安放插件时过长的引脚。还可用来代替一般剪刀剪切绝缘套管、尼龙扎线卡等。

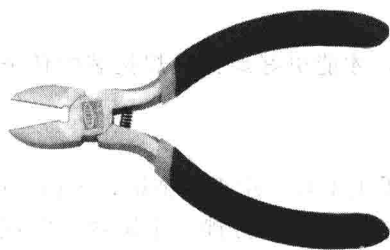


图 1-7 斜口钳

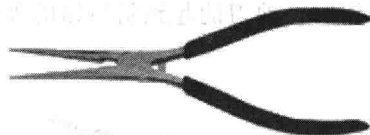
钳身长 160mm 带塑胶绝缘柄的斜口钳最为常用。斜口钳在操作时要特别注意防止剪下的线头飞出，伤人眼部。剪线时，双目不能直视被剪物，使钳口朝下。当被剪物不能弯动方向时，可用另一只手遮挡飞出的线头。不允许用斜口钳剪切螺钉及较粗的钢线等，以免损坏钳口。常保持钳口结合紧密和刀口锐利，才能使剪切轻快，并使切口整齐。钳口有轻微的损坏或变钝时，可用砂轮或油石修磨。

5. 尖嘴钳

尖嘴钳又叫尖头钳。通常使用的尖嘴钳有两种：普通尖嘴钳和长尖嘴钳，如图 1-8 所示。尖嘴钳的用途主要是使元器件的引脚成型。为了不损坏某些导线表面的绝缘层，可以把钳嘴上的刻纹磨掉。在装配密度较大的或在较深的底层布线时，宜选用长尖嘴钳。



(a) 普通尖嘴钳



(b) 长尖嘴钳

图 1-8 尖嘴钳

尖嘴钳分铁柄与绝缘柄、带刀口与不带刀口等几种类型，钳身长度有 130mm、160mm、180mm、200mm 等几种，其中以钳身长 160mm 塑胶绝缘柄的最常用。带刀口的尖嘴钳，其刀口一般不做剪切工具使用，但当没有专用的剪线工具时，也可用来剪切一些较细的导线。

不允许用尖嘴钳装拆螺母，也不允许把尖嘴钳当锤子使用，敲击他物。为防止钳嘴端尖断裂，不宜用尖嘴钳，尤其是长尖嘴钳夹取较粗、较硬的金属导线及其他物体。其次要防止尖嘴钳头长时间受热。这样容易使尖嘴钳头部退火，降低钳头部分强度，同时也容易使塑胶绝缘柄熔化或老化。为了确保使用者人身安全，严禁使用塑胶绝缘柄破损、开裂的尖嘴钳在非安全电压下操作。

6. 钢丝钳

钢丝钳又叫平口钳，其外形如图 1-9 所示。钢丝钳主要用于夹取和拧断金属薄板及金属丝等，也有铁柄和绝缘柄两种。带绝缘柄的钢丝钳可在带电的场合使用，工作电压一般在 500V，有的则可耐压 5000V。钢丝钳的规格以钳身长表示，有 150mm、175mm、200mm、225mm 等几种。在剪切时，先根据钢丝粗细合理选用不同规格的钢丝钳，然后将钢丝放在剪口根部，不要放斜或靠近边缘，以防崩口卷刃。

7. 剥线钳

剥线钳主要用来快速剥去导线外面塑料包线的工具，使用时要注意选好孔径，切勿使刀口剪伤内部的金属芯线。如图 1-10 所示。

8. 螺钉旋具

螺钉旋具也称为螺丝刀，俗称改锥或起子，用于紧固或拆卸螺钉。常用的螺钉旋具有一

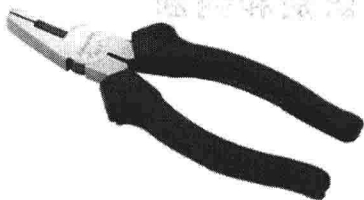


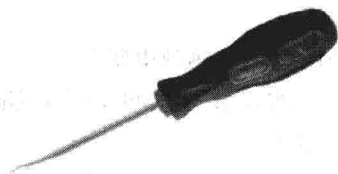
图 1-9 钢丝钳



图 1-10 剥线钳

字形、十字形两大类。

图 1-11(a) 所示为一字形螺钉旋具。这种旋具用于装拆(旋转)一字槽形的螺钉。一字形螺钉旋具由旋杆和手柄组成。旋杆一般由 45 号碳素钢制造, 端部经热处理后, 硬度为 HRC48~54, 手柄有木质与塑料两种。手柄上通常有较深的沟槽, 或表面为经粗糙处理的软橡胶, 以便旋转有力, 手握方便舒适。一字形螺钉旋具的头部在长时间的使用后会呈现凸形, 此时应及时用砂轮或锉刀磨平, 以防止损坏螺钉槽。



(a) 一字形螺钉旋具



(b) 十字形螺钉旋具

图 1-11 螺钉旋具

如图 1-11(b) 所示为十字形螺钉旋具。十字形螺钉旋具适用于装拆(旋转)十字槽形的螺钉。十字形螺钉旋具除旋杆端部与一字形螺钉旋具不同外, 其余完全一样。常用的十字螺钉旋具的端头分为四种槽形: 1 号槽形适用于 2~2.5mm 螺钉, 2 号槽形适用于 3~5mm 螺钉, 3 号槽形适用于 5.5~8mm 螺钉, 4 号槽形适用于 10~12mm 螺钉。

9. 吸锡器

吸锡器是一种修理电子产品时常用的工具, 在拆卸焊盘电子元件时, 用于吸收掉熔化的焊锡, 常用的手动吸锡器如图 1-12 所示。吸锡器使用时一般按以下步骤: ①先把吸锡器活塞向下压至卡住; ②用电烙铁加热焊点至焊料熔化; ③移开电烙铁的同时, 迅速把吸锡器嘴贴上焊点, 并按动吸锡器按钮; ④一次吸不干净, 可重复操作多次。

吸锡器在使用时要确保吸锡器活塞密封良好, 使用前, 用手指堵住吸锡器头的小孔, 按下按钮, 如活塞不易弹出到位, 说明密封是好的。吸锡器头的孔径有不同尺寸, 要选择合适的规格使用。接触焊点以前, 每次都蘸一点松香, 以改善焊锡的流动性。吸锡器头部接触焊点的时间稍长些, 当焊锡熔化后, 以焊点引脚为中心, 手向外按顺时针方向画一个圆圈之后, 再按动吸锡器按钮。

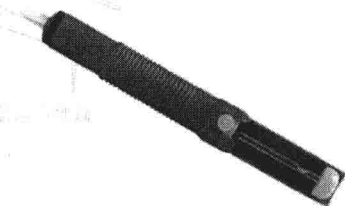


图 1-12 手动吸锡器

项目二 电子元器件的识别和判断

项目训练目标：

- 认识各种电子元器件；
- 掌握各种电子元器件的功能；
- 掌握各种电子元器件的参数测试及好坏判断。

（一）电阻

1. 电阻的作用

电阻是耗能元件，它吸收电能并把电能转化成其他形式的能量。在电路中，电阻主要有降压、分压、限流、分流、隔离、匹配、信号幅度调节、与电容配合滤波等作用。

2. 电阻的分类

按电阻的制作材料可分为：金属膜电阻、碳膜电阻、合成膜电阻等。

按电阻的数值能否变化可分为：固定电阻、可变电阻（电阻值变化范围小）、电位器（电阻值变化范围大）等。

按电阻的用途可分为：高频电阻、高温电阻、光敏电阻、热敏电阻等。

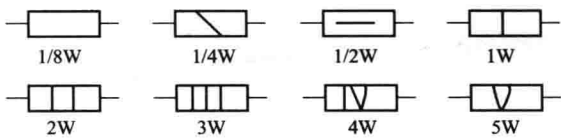


图 1-13 电阻的额定功率表示法

按安装方式可分为：插件电阻、贴片电阻。

按功率大小可分为：有 1/8W、1/4W、1/2W、1W、2W、3W、4W、5W 等额定功率的电阻。在电路中，电阻的额定功率表示方法如图 1-13 所示。

按电阻值的精确度可分为：有精确度为 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 等的普通电阻，还有精确度为 $\pm 0.1\%$ 、 $\pm 0.2\%$ 、 $\pm 0.5\%$ 、 $\pm 1\%$ 和 $\pm 2\%$ 等的精密电阻。

常用电阻外形图如图 1-14 所示。

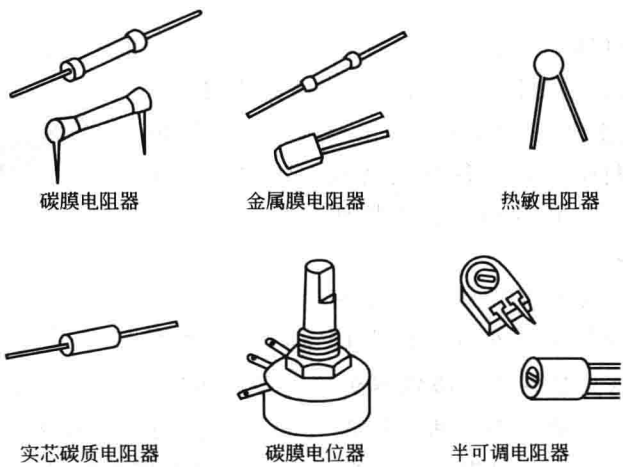


图 1-14 常用电阻外形图

3. 电阻阻值标示方法

电阻的阻值和允许误差的标注方法有：

① 直标法：用数字和单位符号在电阻器表面标出阻值，其允许误差直接用百分数表示，若电阻上未注误差，则均为 $\pm 20\%$ 。如：

3Ω3 I 表示电阻值为 3.3Ω ，允许误差为 $\pm 5\%$

1k8 表示电阻值为 $1.8k\Omega$ ，允许误差为 $\pm 20\%$

5M1 II 表示电阻值为 $5.1M\Omega$ ，允许误差为 $\pm 10\%$

② 文字符号法：用阿拉伯数字和文字符号两者有规律地组合来表示标称阻值，其允许误差也用文字符号表示。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。

表示允许误差的文字符号

文字符号	E	Z	Y	H	U	W	B
允许误差	$\pm 0.001\%$	$\pm 0.002\%$	$\pm 0.005\%$	$\pm 0.01\%$	$\pm 0.02\%$	$\pm 0.05\%$	$\pm 0.1\%$

文字符号	C	D	F	G	J	K	M	N
允许误差	$\pm 0.2\%$	$\pm 0.5\%$	$\pm 1\%$	$\pm 2\%$	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$	$\pm 30\%$

例如，3M3K 表示 $3.3M\Omega$ ，K 表示允许误差为 $\pm 10\%$ 。

③ 数码法：在电阻器上用三位数码表示标称阻值的标志方法。数码从左到右，第一、二位为有效值，第三位为指数，即零的个数，单位为欧姆。误差通常采用文字符号表示。

例如 471 为 470Ω ，105 为 $1M\Omega$ ，2R2 为 2.2Ω ，贴片电阻常用此方法标注。

④ 色标法：用不同颜色的环或点在电阻器表面标出标称阻值和允许误差。国外电阻大部分采用色标法。各种颜色对应的数值见表 1-1。

表 1-1 电阻器色标符号意义

颜 色	第一位有效数字	第二位有效数字	第三位有效数字	倍乘数	允许误差%
棕	1	1	1	10^1	± 1
红	2	2	2	10^2	± 2
橙	3	3	3	10^3	—
黄	4	4	4	10^4	—
绿	5	5	5	10^5	± 0.5
蓝	6	6	6	10^6	± 0.2
紫	7	7	7	10^7	± 0.1
灰	8	8	8	10^8	—
白	9	9	9	10^9	—
黑	0	0	0	10^0	—
金	—	—	—	10^{-1}	± 5
银	—	—	—	10^{-2}	± 10
无色	—	—	—	—	± 20

图 1-15(a)、(b) 所示是四环电阻和五环精密电阻的色标法的具体标注方法。

当电阻标注为四环时，前二位为有效数字，第三位为 10 的 n 次方，第四色为误差，其

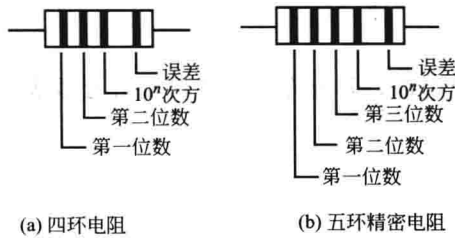


图 1-15 电阻色标法

色环只有金色、银色或无标注。

当电阻标注为五环时，前三位为有效数字，第四位为 10 的 n 次方，第五位为误差。

例如：红 红 棕 金 表示 $220\Omega \pm 5\%$
黄 紫 橙 银 表示 $47k\Omega \pm 10\%$
棕 紫 绿 金 棕 表示 $17.5\Omega \pm 1\%$

4. 电阻的检测方法

电阻的好坏可以用仪表测试，电阻阻值的大小也可以用有关仪器、仪表测出。测试电阻值通常有两种方法，一是直接测试法，另一种是间接测试法。直接测试法就是直接用欧姆表、电桥等仪器仪表测出电阻器阻值的方法。通常测试小于 1Ω 的小电阻时可用单臂电桥，测试 1Ω 到 $1M\Omega$ 电阻时可用电桥或欧姆表（或万用表），而测试 $1M\Omega$ 以上大电阻时应使用兆欧表。间接测试法就是通过测试电阻器两端的电压及流过电阻中的电流，再利用欧姆定律计算电阻器的阻值，此方法常用于带电电路中电阻器阻值的测试。用万用表的欧姆挡来测量电阻的阻值示意图如图 1-16 所示，具体测量时要注意万用表欧姆挡位的选择。

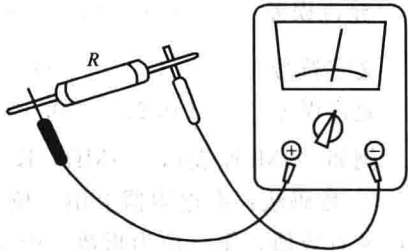


图 1-16 万用表测量电阻示意图

5. 电位器

电位器是可变电阻器的一种，电位器的电阻体有两个固定端，通过手动调节转轴或滑柄，改变动触点在电阻体上的位置，则改变了动触点与任一个固定端之间的电阻值，从而改变了电压与电流的大小。电位器的作用是调节电压（含直流电压与信号电压）和电流的大小。

电位器种类有很多种，按电阻体材料可分为线绕电位器、实芯碳质电位器、碳膜式电位器等。按功率大小可分为小功率电位器、大功率电位器等。按电阻值变化规律可分为直线式、指数式和对数式等。

随着电子技术的发展，数字电位器的应用也越来越广泛。数字电位器也称为数控电位器，是一种用数字信号控制其阻值改变的一种器件（集成电路）。与机械式电位器相比，采用数字电位器有很多优势。首先，数字电位器对灰尘、污垢和潮湿的环境不敏感，而这些因素对于机械式电位器来说则是致命的。数字电位器的另一优势是可以直接安装在电路板的信号通道上，而不需要复杂、昂贵的机械与电控的整合方案。数字电位器可提高电子噪声抑制能力，不存在机械电位器连线拾取的干扰信号。数字电位器具有可编程改变阻值、耐震动、噪声小、寿命长、抗环境污染等重要优点，因而，在自动检测与控制、智能仪器仪表、消费类电子产品等许多重要领域得到成功应用。但是，数字电位器额定阻值误差大、温度系数大、通频带较窄、滑动端允许电流小（一般 $1\sim 3mA$ ）等，这在很大程度上限制了它的应用。

电位器与可变电阻的故障发生率比普通电阻高得多，其主要故障表现为：接触不良，元件与电路时断时续，磨损严重时实际值远大于测量值，元件引脚断路等。对电位器与可变电阻的测量，可采用以下方法：（1）电位器与可变电阻两固定引脚之间的阻值应该等于标称阻值，若测量值远大于或远小于标称值，说明元件出现故障；（2）缓慢调节电位器或可变电阻，测量元件定片与动片之间的阻值，观察其电阻值的变化情况。正常时，电阻值应从零变

到标称值。若电阻值变化连续平稳,没有出现指针跳动的情况,说明元件是正常的,否则表明元件出现接触不良的故障。若定片与动片之间的阻值远大于标称值,或无穷大,说明元件内部有断路现象。测量电位器一般用万用表的欧姆挡来测量,其测量示意图如图 1-17 所示。

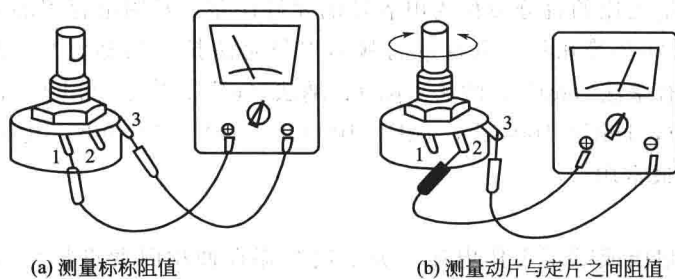


图 1-17 万用表测量电位器示意图

6. 特殊电阻简介

热敏电阻:分为 PTC (正温度系数) 和 NTC (负温度系数) 两种,其阻值随着温度的变化而变化;

压敏电阻:对两端电压敏感,当两端电压高于标称电压时将击穿,由高阻变为低阻;

光敏电阻:电阻值随外界光照强弱变化而变化,无光照时呈高阻,有光照时阻值迅速减小;

湿敏电阻:电阻值随着环境相对湿度的变化而变化;

磁敏电阻:也称磁控电阻,可将磁感应信号转变为电信号;

力敏电阻:利用半导体材料的压力电阻效应,可将机械力转变为电信号;

保险电阻:也称熔断电阻,当电流超过其额定电流时熔断,从而起到保护作用;

排电阻器:简称排阻,按一定规律排列的电阻集成在一起。

(二) 电容器

电容器是一种储能元件,在电路中用于耦合、滤波、旁路、调谐和能量转换,也是电子线路中常用的电子元器件之一,电容用符号 C 表示。

1. 电容器的分类

电容器的种类很多,按其容量是否可调分为固定电容器、半可调电容器和可调电容器。按极性分为有极性电容和无极性电容。按介质材料可分为瓷片电容、铝电解电容、钽电容、涤纶电容、聚四氟乙烯电容、云母电容等。常见的电容器外形图如图 1-18 所示。

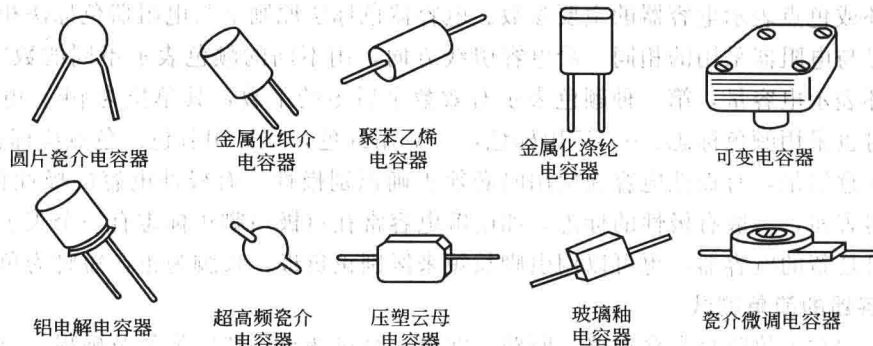


图 1-18 常见电容器外形图

2. 电容器的主要参数

(1) 标称容量及允许误差

电容器的外壳上一般标出的电容量值,称为电容器的标称容量,标称容量与实际容量之间的误差与标称容量之比的百分数称为电容器的允许误差。常用电容器的允许误差有 $\pm 2\%$ 、 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 等几种。电容量的基本单位是法拉(简称法),用字母“F”表示。比法拉小的单位还有毫法(mF)、微法(μF)、纳法(nF)、皮法(pF),它们之间的换算关系是:1F=1000mF,1mF=1000 μF ,1 μF =1000nF,1nF=1000pF。其中,微法(μF)和皮法(pF)两单位最常用。

(2) 工作电压

工作电压也称耐压或额定工作电压,表示电容器在使用时允许加在其两端的最大电压值。使用时,外加电压最大值一定要小于电容器的耐压,通常取额定工作电压的三分之二以下。

(3) 绝缘电阻

电容器的绝缘电阻,表示了电容器的漏电性能,在数值上等于加在电容器两端的电压除以漏电流。绝缘电阻越大,电容器质量越好。品质优良的电容器具有较高的绝缘电阻,一般都在兆欧数量级以上。电解电容器的绝缘电阻一般较低,漏电流较大。

3. 电容量的识别方法

(1) 直标法

用数字和单位符号直接标出。如1 μF 表示1微法,有些电容用“R”表示小数点,如R56表示0.56 μF 。

(2) 文字符号法

用数字和文字符号有规律地组合起来,以表示容量。如P10表示0.1pF,1P0表示1pF,6P8表示6.8pF,2 μ 2表示2.2 μF 。

(3) 数字法

在瓷片电容器上,常用三位数表示标称容量,此方法以pF为单位。数字一般为三位数,前两位为电容量的有效数字,第三位是倍乘数,但第三位倍乘数是9时,表示 $\times 10^{-1}$,如:

102 表示: $10 \times 10^2 \text{ pF} = 1000 \text{ pF}$ 223 表示: $22 \times 10^3 \text{ pF} = 0.022 \mu\text{F}$

474 表示: $47 \times 10^4 \text{ pF} = 0.47 \mu\text{F}$ 159 表示: $15 \times 10^{-1} \text{ pF} = 1.5 \text{ pF}$

(4) 色标法

用色环或色点表示电容器的主要参数。电容器色标法原则上与电阻器色标法相同,标志的颜色符号与电阻器采用的相同。沿电容引线方向,用不同的颜色表示不同的数字,第一、二种颜色环表示电容量,第三种颜色表示有效数字后零的个数,其单位为pF。电解电容器的耐压有时也采用颜色标志:6.3V用棕色,10V用红色,16V用灰色。色点应标在正极。

值得注意的是,有极性电容在使用时必须正确识别极性。有极性电容的极性识别方法:观察电容器表面,一般有极性的标志,如电解电容常在负极引脚边标志有一个表示负极性的竖线。如果是新的电容器,也可以用引脚长短来区别正负极,长脚为正,短脚为负。

4. 电容器的简单测试

电容器的常见故障是击穿短路、断路、漏电、容量变小、变质失效及破损。对电容器内部质量的好坏,可以用仪器检查。常用的仪器有万用表、数字电容表、电桥等。下面简单介