

生物医学工程基础实验指导

■ 朱勇 编著



大连理工大学出版社

生物医学工程基础实验指导

SHENGWU YIXUE GONGCHENG JICHU SHIYAN ZHIDAO

■ 朱 勇 编 著



大连理工大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

生物医学工程基础实验指导 / 朱勇编著. — 大连 :
大连理工大学出版社, 2018. 10
ISBN 978-7-5685-1555-9

I. ①生… II. ①朱… III. ①生物工程—医学工程—
实验—高等学校—教学参考资料 IV. ①R318-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 138883 号

大连理工大学出版社出版

地址:大连市软件园路 80 号 邮政编码:116023

发行:0411-84708842 邮购:0411-84708943 传真:0411-84701466

E-mail: dutp@dutp. cn URL: <http://dutp. dlut. edu. cn>

大连力佳印务有限公司印刷

大连理工大学出版社发行

幅面尺寸:185mm×260mm
2018 年 10 月第 1 版

印张:7.75 字数:178 千字
2018 年 10 月第 1 次印刷

责任编辑:王晓历

责任校对:王 艳

封面设计:张 莹

ISBN 978-7-5685-1555-9

定 价:22.00 元

本书如有印装质量问题,请与我社发行部联系更换。

医学是人类最古老的学科之一,一直伴随着人类的进步而发展。面对某些疾病,医生有时深感能力有限,需要其他学科专业人士的帮助来解决一些医用药品、医用材料和医疗器械等方面的医学问题。如此往复,便形成了一门新兴的学科——生物医学工程。

生物医学工程是一门理、工、医相结合的交叉学科,是多种工程学科向生物医学渗透的产物。生物医学工程主要运用工程技术手段,研究和解决生物学、医学中的有关问题,涉及生物材料、人工器官、生物医学信号处理方法、医学成像和图像处理等方法,在疾病的预防、诊断、治疗等方面发挥着巨大的作用。其目的是解决医学中的有关问题,保障人类健康,为人类疾病的预防、诊断、治疗服务。随着社会的进步和发展,健康在日常生活中越来越重要,生物医学工程日趋得到重视和发展。

本教材针对初学者,以基本生理信号的采集等内容开始,指导零基础读者逐步掌握生物医学工程专业的基本实验原理和方法,并以此为基础,为初学者逐步成为专业人士开展高等级、大规模实验工作奠定坚实的基础。

本教材共分为4章:第1章为实验常用工具使用方法和仪器基本原理,主要针对实验所使用的一些常用工具以及基本仪器,讲解其结构、使用范围、使用方法和使用注意事项等。第2章为人体基本生理信息简介,介绍临床人体基本生理信息和其产生机理、发展简史、表现形式、信息特点、常见表示方式和检测方法等内容。通过本章节学习,读者能够快速了解和粗略掌握临床人体的基本生理信息,为检测这些信息的实验做初步准备。第3章为人体基本生理信息的检测方法,主要讲授人体基本生理信息的检测方法的实验环节,并做出相应的实验要求。第4章为实验报告,涵盖人体基本生理信息检测的21项实验报告和3份备



用实验报告。实验报告是实验教学环节中重要的组成部分,也是培养学生良好实验素养的基本要求。

本教材由大连理工大学朱勇编著,大连理工大学王洪凯、张宾参与编写。

在撰写本教材的过程中,编著者得到了大连理工大学教务处领导以及大连理工大学生物医学工程系的各位同仁的关心和帮助,借此书稿付梓之际,一致谢忱。

在编写本教材的过程中,我们参考、借鉴了许多专家、学者的相关著作,对于引用的段落、文字尽可能一一列出,谨向各位专家、学者一并表示感谢。

限于水平,书中仍有疏漏和不妥之处,敬请专家和读者批评指正,以使教材日臻完善。

编 者

2018年10月

所有意见和建议请发往:dutpbk@163.com

欢迎访问教材服务网站:<http://www.dutpbook.com>

联系电话:0411-84708462 84708445

目 录

第 1 章 实验常用工具使用方法和仪器基本原理	1
1.1 斜口钳	1
1.2 尖嘴钳	2
1.3 电烙铁	3
1.4 电路板(PCB)	6
1.5 万用表	8
1.6 示波器	12
1.7 直流电源	17
1.8 信号发生器	19
第 2 章 人体基本生理信息简介	21
2.1 心电图	21
2.2 体 温	29
2.3 呼吸监测	31
2.4 脉搏信息	32
2.5 血 压	32
2.6 血氧饱和度	34
2.7 脑电简介	36
第 3 章 人体基本生理信息的检测方法	42
3.1 脉搏检测	42
3.2 体温检测	45
3.3 阻抗式呼吸检测	47
3.4 呼吸机的使用与参数测量	49
3.5 心电检测	51
3.6 肌力检测	54
3.7 血压测量	55
3.8 显微镜实验	56
3.9 单导心电图机的使用	59
3.10 监护仪的使用	60
3.11 呼吸机的使用	60
3.12 综合实验	61
第 4 章 实验报告	64
参考文献	117

第 1 章

实验常用工具使用方法和仪器基本原理

1.1

斜口钳

1.1.1 斜口钳简介

斜口钳(如图 1-1 所示)主要用于剪切导线、元器件多余的引线、引脚,还常用来代替一般剪刀剪切具有一定硬度的绝缘套管、尼龙扎带等。如果没有特殊标注,其钳柄上套有额定电压高于 500 V 的绝缘套管。

市面上又将斜口钳称为“斜嘴钳”。斜口钳可以分成很多类别,以工具产品目录的斜口钳为例,可分为:专业电子斜口钳、德式省力斜口钳、不锈钢电子斜口钳、VDE 耐高压大头斜口钳、镍铁合金欧式斜口钳、精抛美式斜口钳及省力斜口钳等。

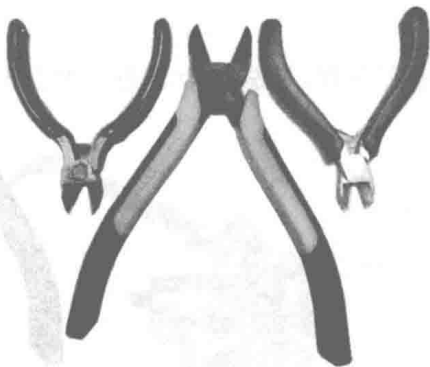


图 1-1 斜口钳

1.1.2 斜口钳的作用

斜口钳的刀口可用来剖、切软导线的橡皮或塑料绝缘层,也可用来剪切导线、铁丝。剪较粗的镀锌铁丝时,应用刀刃绕表面来回切割几下,然后只需轻轻一剪,铁丝即断。电工常用的斜口钳有 150、175、200 及 250 mm 等多种规格。可根据内线或外线工种需要选购。斜口钳的刀口也可用来紧固或拧松螺母。

1.1.3 斜口钳的使用方法

使用工具的人员,必须熟知工具的性能、特点及其使用、保管、维修及保养方法。使用

斜口钳通常是用右手操作。将钳口朝内侧,便于控制剪切部位,将小拇指放在两钳柄中间来抵住钳柄,张开钳头,这样分开钳柄更灵活。

刚性物体在被剪切时,如果体积过小不容易被抓紧。因此在使用斜口钳剪切刚性物体时,应注意将钳口方向选在朝内侧的下方,这样被剪切的小断头部分不容易飞出去伤人,或不容易通过散热槽口飞到桌面电子仪器的机箱内部而引起设备故障。

1.2

尖嘴钳

1.2.1 尖嘴钳简介

尖嘴钳又名修口钳、尖头钳、尖咀钳,如图 1-2 所示。它是由尖头、刀口和钳柄组成,电工所用的尖嘴钳的钳柄上套有额定电压高于 500 V 的绝缘套管。

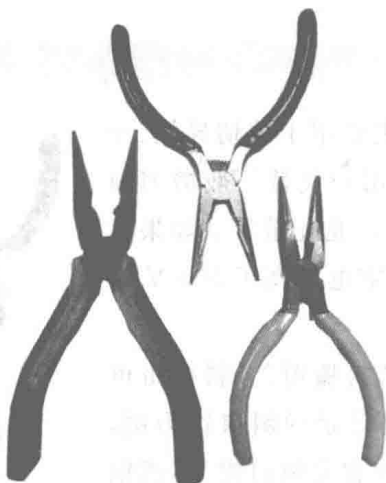


图 1-2 尖嘴钳

1.2.2 尖嘴钳的用途

尖嘴钳主要用来剪切线径较细的单股或多股导线,以及给单股导线接头弯圈、剥塑料绝缘层、折弯金属丝、紧固螺丝部件或在焊接加工中夹紧零部件等。它能在较狭小的工作空间操作,不带刃口的尖嘴钳只具有夹捏功能,带刃口的尖嘴钳能剪切细小零件。它是电工(尤其是内线电工)、仪表及电讯器材等装配及修理工作常用的工具之一。尖嘴钳是运用杠杆原理的典型工具之一。

1.3

电烙铁

1.3.1 电烙铁简介

目前电烙铁(如图 1-3 所示)通常分为内热式、外热式和恒温式三种。内热式电烙铁是指电热部件被烙铁头包裹;外热式电烙铁是指烙铁头在电热部件中心位置;恒温式电烙铁是指电烙铁本身带有恒温控制系统,可以较好地控制烙铁头温度的电烙铁。电烙铁作为电工常用的焊接工具,掌握电烙铁的使用方法将会为实验、维修和研究工作节省时间。

选用电烙铁的功率应由焊接点的大小决定,焊接点的面积大,焊接点的散热速度也快,所以选用的电烙铁功率也应该大。一般电烙铁的功率有 20 W、25 W、30 W、35 W、50 W 等。电工通常会使用 100 W 甚至更高瓦数的电烙铁。

目前新生产的电烙铁一般都会配备上了锡的烙铁头,但不一定全部都是这样的。所以新买来的电烙铁或更换新的烙铁头通常需要先上锡然后才能使用。所谓上锡,就是使用锉刀或砂纸去除烙铁头的氧化层,通电加热后等烙铁头部微热时蘸上松香,涂上焊锡。另外,电烙铁经过长时间使用后,烙铁头部会生成一层氧化物,这时它就不容易上锡(俗称吃锡),需要用锉刀或砂纸去掉氧化层后再上锡。

本节将通过准备工作、焊前处理、焊接流程对电烙铁的使用进行详细说明,另外还要讲述关键的焊接技巧。



图 1-3 电烙铁

1.3.2 焊锡和助焊剂

焊接时,还需要焊锡和助焊剂。

焊锡:焊接电子元器件,一般采用有松香芯的焊锡丝。这种焊锡丝熔点较低,而且内含松香助焊剂,使用极为方便。普通电子设备焊接、维修经常使用的焊锡丝直径为 1 mm、0.8 mm、0.5 mm 和 0.3 mm。如图 1-4 所示。

助焊剂:常用的助焊剂是松香或松香水(将松香溶于酒精中)。使用助焊剂,可以有效

清除金属表面的氧化物,利于焊接,又可保护烙铁头。焊接较大元件或导线时,也可采用焊锡膏。但焊锡膏有一定的腐蚀性,尽量不使用。如果必须要使用,也应在焊接后及时清洗残留物。如图 1-5 所示。

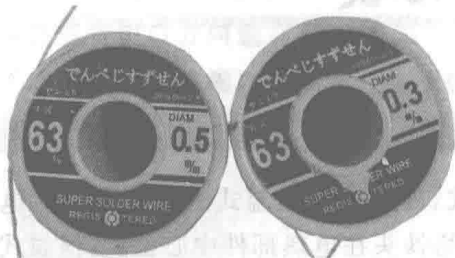


图 1-4 常用的焊锡丝



图 1-5 常见的松香焊剂

1.3.3 焊接

1. 准备工作

电烙铁使用前,应用细砂纸将烙铁头打磨光亮,通电烧热,蘸上松香后用烙铁头刃面接触焊锡丝,使烙铁头上均匀地镀上一层锡。这样做,可便于焊接和防止烙铁头表面被氧化。旧的烙铁头如严重氧化而发黑,可用钢锉锉去表层氧化物,使其露出金属光泽后,重新镀锡,才能使用。

电烙铁要使用 220 V 交流电源,使用时要特别注意安全。应认真做到以下几点:

电烙铁插头最好使用三极插头,要使外壳妥善接地。使用前,应检查电源插头、电源线有无损坏,并检查烙铁头是否松动。

电烙铁使用中,烙铁头的温度较高($200\sim 330\text{ }^{\circ}\text{C}$),故不能用力敲击,要防止其跌落。烙铁头上焊锡过多时,可将其擦掉,不可乱甩,以防烫伤他人。

焊接过程中,电烙铁不能到处乱放。不进行焊接时,应放在烙铁架上。注意电源线不可搭在烙铁头上,以防烫坏绝缘层而发生事故。

使用结束后,应及时切断电源,拔下电源插头。冷却至室温后,再将电烙铁收回工具箱。

2. 焊前处理

焊接前,应对元件引脚或电路板的焊接部位进行焊前处理。

(1) 清除焊接部位的氧化层

可用扁锉、小刀或断锯条制成小刀,刮去金属引线表面的氧化层,使引脚露出金属光泽。目前的印刷电路板在需要焊接的焊盘上敷有助焊剂,如果自制的或没有敷有助焊剂的焊盘,可用细砂纸将铜箔打光后,涂上一层松香酒精溶液。

(2) 元件镀锡

导线焊接前,应依据使用情况剥去一定长度的绝缘外皮,可用扁锉、小刀或断锯条制成小刀,刮去金属引线表面的氧化层,将引线蘸一下松香酒精溶液后,将带有焊锡的烙铁头压在引线上,并转动引线,即可使引线均匀地镀上一层很薄的锡,此过程称为镀锡。经过这样处理后才能正式焊接。若是多股金属丝的导线,打光后应先拧在一起,然后再镀锡。

3. 焊接流程

做好焊前处理之后,即可正式进行焊接。焊接流程如下:

(1)右手持电烙铁,左手用尖嘴钳或镊子夹持元件或导线。焊接前,电烙铁要充分预热。烙铁头尖端处要上锡,即带上一定量焊锡。

(2)将烙铁头尖端处紧贴在焊点处。电烙铁与水平面大约成 60° ,以便于熔化的焊锡从烙铁头上流到焊点上。烙铁头在焊点处停留的时间控制在2~3秒钟。

(3)抬起烙铁头,左手仍持元件不动,待焊点处的锡冷却凝固后,才可松开左手。

(4)用镊子转动引线,确认不松动,然后可用斜口钳剪去多余的引线。

1.3.4 焊接质量

焊接时,要保证每个焊点焊接牢固、接触良好,要保证焊接质量。

良好的焊点应是锡点光亮,形状呈圆锥状,外表圆滑而无毛刺,锡量适中。锡和被焊物融合牢固,不应有虚焊和假焊。

虚焊是焊点处只有少量锡焊住,造成接触不良,时通时断。假焊是指表面上焊锡堆砌,看似好像焊住了,但实际上并没有焊住,如果拨动,引线就可能从焊点中拔出。这两种情况将给电子产品的调试和检修带来极大的困难。只有经过大量的、认真的焊接实践训练,才能避免这两种情况。

焊接电路板时,一定要控制好时间。焊接时间太长,电路板将被烧焦,或造成电路板的铜箔脱落;焊接时间过短,容易虚焊或假焊。当需要从电路板上拆卸元件时,可将烙铁头贴在焊点上,待焊点上的锡全部熔化后,再将元件拔出。

松香和焊锡膏(助焊剂)有助于很好地完成焊接,而且可以让焊点表面光洁无瑕。焊锡膏具有较强的腐蚀作用,因此在高频、精密和元件密度较大的焊接操作时尽量不要使用焊锡膏。或者,在焊接后使用专用清洗剂将残存的焊锡膏清洗干净。

1.3.5 吸锡器

如果在焊接时发现了错误,需要将焊接好的元件取下,或在维修工作时需要将焊接好的元件取下,这时就需要一款工具——吸锡器,如图1-6所示。吸锡器是利用抽气时产生负压的原理,利用负压将焊锡从焊盘带走,以此达到清除焊盘上焊锡的目的。

学会使用吸锡器对于新手来说十分实用,初次使用电烙铁总是容易将焊锡弄得到处都是,吸锡器则可以帮助新手把电路板上多余的焊锡处理掉。另外,吸锡器在拆除多脚集成电路器件时十分有用,它可将焊点的焊锡全部吸掉。在调试或维修时,吸锡器的作用也十分有效。

吸锡器在被使用几次之后,应将吸锡器打开去除腔体中残存的焊锡以方便再次使用。

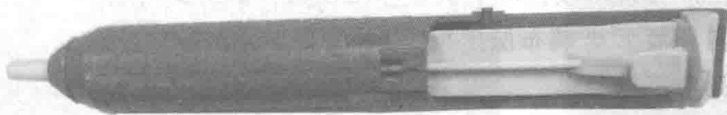


图1-6 吸锡器

1.4

电路板(PCB)

1.4.1 概述

电路板是实现电路原理图的物理部件,由绝缘材质的基础板材和覆盖黏结在板材表面的铜箔组成。电路板原材料板结构可以分为单面板,即仅在板材的一个面覆盖黏结铜箔;双面板,即在板材的两个面均覆盖黏结铜箔;多层板,即多层基础板材和覆盖黏结铜箔的板材,目前常见的有4、6、8层或更多层。

电路板的主要功能是承载电子元器件的质量,提供对电子元器件的物理支撑。其敷铜层负责电子元器件之间的电气连接。

依据基础板材的材质,常用的电路板有以下几种:

1. 纸基电路板

常见型号有:

(1)94HB:普通纸板,不防火,低档材料,模冲孔,不能用作电源板,如图1-7所示。

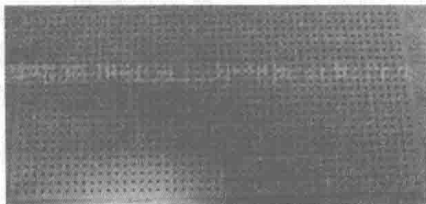


图 1-7 94HB 纸基电路板

(2)94V0:阻燃纸板,模冲孔。

(3)22F:单面半玻纤板,模冲孔。

(4)FR-1:不阻燃覆铜箔酚醛纸层压板。目前使用较少。

(5)FR-4:目前常用的电路板基础材料板,常用电子设备基本由这种材质的电路板制作而成。FR-4有以下几类供设计选用:

①阻燃覆铜箔环氧E玻纤布层压板及其黏结片材料。

②阻燃覆铜箔改性或未改性环氧E玻纤布层压板及其黏结片材料。

③阻燃覆铜箔环氧/PPO玻璃布层压板及其黏结片材料。

④阻燃覆铜箔改性或未改性环氧玻璃布层压板及其黏结片材料。

⑤阻燃覆铜箔环氧E玻璃布层压板(用于催化加成法)。

2. 氮化铝陶瓷电路板

是一种以氮化铝(AlN)为主的陶瓷材料,再在氮化铝陶瓷基片上面蚀刻金属电路,就是氮化铝陶瓷基板了。

3. 氧化铝陶瓷电路板

是一种以氧化铝(Al_2O_3)为主的材料,用于厚膜集成电路。氧化铝陶瓷有较好的传导性、机械强度和耐高温性。需要注意的是需用超声波进行洗涤。氧化铝陶瓷是一种用途广泛的陶瓷。因为其优越性能,在现代社会的应用已经越来越广泛,用于满足日用和特殊性能的需要。

氧化铝陶瓷电路板目前分为高纯型与普通型两种。高纯型氧化铝陶瓷是 Al_2O_3 含量在 99.9% 以上的陶瓷材料,由于其烧结温度高达 $1650\sim 1990\text{ }^\circ\text{C}$,透射波长为 $1\sim 6\text{ }\mu\text{m}$,一般制成熔融玻璃以取代铂坩埚。利用其透光性及可耐碱金属腐蚀性用作钠灯管;在电子工业中可用作集成电路基板与高频绝缘材料。普通型氧化铝陶瓷是按 Al_2O_3 含量不同分为 99 瓷、95 瓷、90 瓷、85 瓷等品种,有时 Al_2O_3 含量在 80% 或 75% 也划为普通型氧化铝陶瓷系列。

氧化铝陶瓷和氧化铝陶瓷电路板因其为铝基质,故其导热性较好,所以常用于大功率 LED、大功率 IGBT 以及需要散热性较高的仪器和设备。

如图 1-8 所示为氧化铝陶瓷电路板,用作 LED 灯的基板。目前广泛使用 LED 作为节能照明灯具,LED 具有发光效率高、易于安装和发热量小的特点。在工作时,LED 产生的热量虽低于白炽灯,但也不能忽略。如果 LED 产生的热量不能及时散发将会影响 LED 的继续稳定工作。而 LED 体积较小,独立安装散热装置既没有空间也不符合低成本的要求。在这种情况下,氧化铝陶瓷电路板正好满足 LED 节能灯的低成本且散热良好的性能要求。

4. 柔性电路板

又称“软板”如图 1-9 所示,是用柔性的绝缘基材制成的印刷电路板。柔性电路板提供优良的电性能,能满足更小型和更高密度安装的设计需要,也有助于减少组装工序和增强可靠性。柔性电路板是满足电子产品小型化和移动要求的唯一解决方法。柔性电路板可以自由弯曲、卷绕、折叠,可以承受数百万次的动态弯曲而不损坏导线,可依照空间布局要求任意放置,并在三维空间任意移动和伸缩,从而达到元件装配和导线连接的一体化。柔性电路板适用于电子产品向高密度、小型化、高可靠方向发展的需要。目前穿戴式的检测系统、微型仪表和设备基本选用柔性电路板来制作。

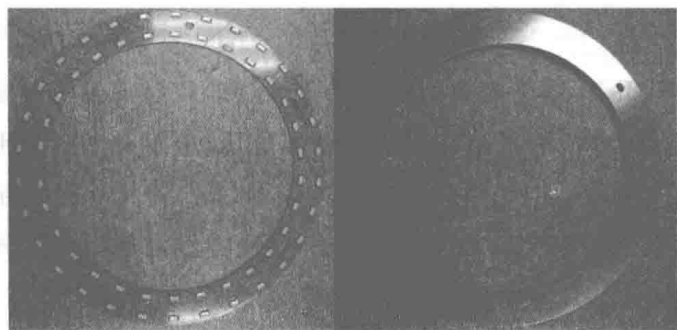


图 1-8 氧化铝陶瓷电路板(正面、背面)

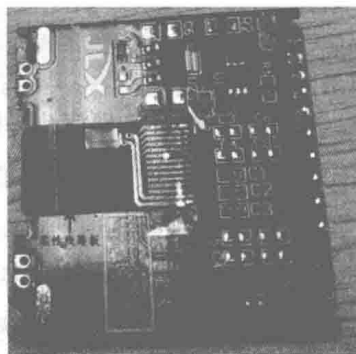


图 1-9 柔性电路板

1.4.2 电路板设计

由于仪器、设备的功能、原理不同,因而需要设计不同的电路板来满足各种需求。目前有许多辅助软件,如 Allegro、Altium Designer、Cadence、Dxp、Pads、Power Pcb 和 Protel 99 等,可以帮助设计者来设计所需要的电路板。

图 1-10 的左边是使用 Protel 99 设计的一款双面 PCB,图右边是 PCB 生产厂家按照 Protel 99 设计文件制作的成品 PCB。

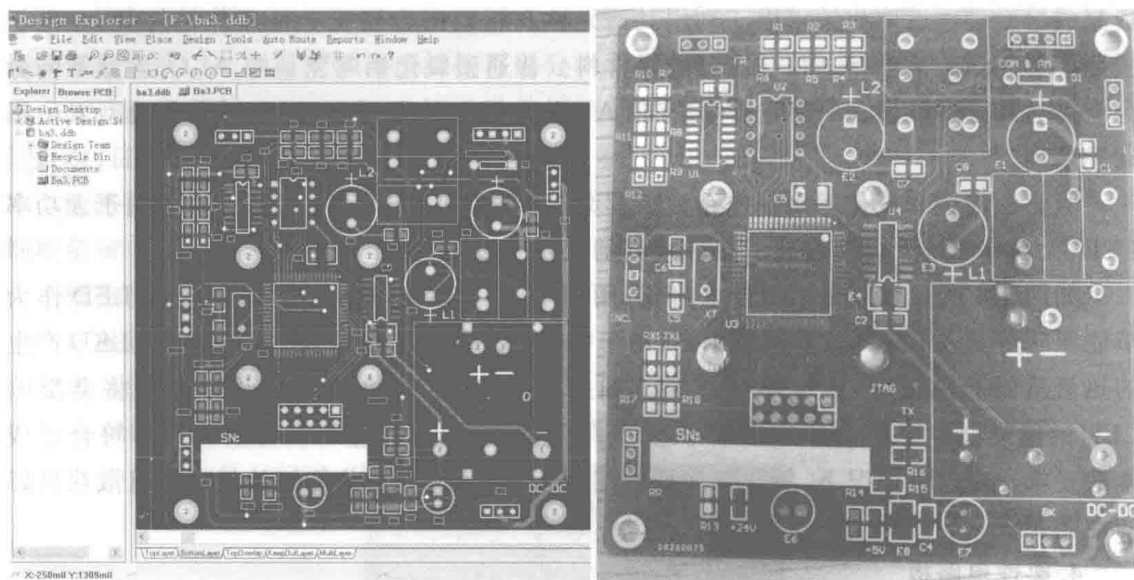


图 1-10 PCB 设计样例与实物

1.5

万用表

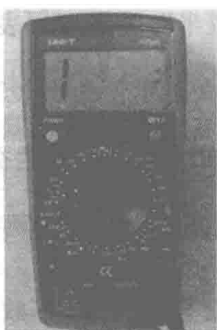
1.5.1 概述

万用表又称为复用表、多用表、三用表、繁用表等,是电力、电子和通信等部门不可缺少的测量仪表,一般用于测量直流电流、直流电压、交流电流、交流电压、电阻和音频电平,有的还可以测交流电流、电容量、电感量及半导体的一些参数(如 β)。万用表按显示方式可分为指针万用表和数字万用表。如图 1-11 所示为工作和实验中经常使用的不同款式万用表。如图 1-12 所示为一款 Agilent 高性能六位半数字万用表。

万用表是一种多功能、多量程的测量仪表。对于每一种电学量,一般都有多个量程。万用表种类很多,使用时应根据不同的要求进行选择。



(A) MF-47指针万用表



(B) 普通三位半数字万用表



(C) Agilent四位半数字万用表

图 1-11 万用表

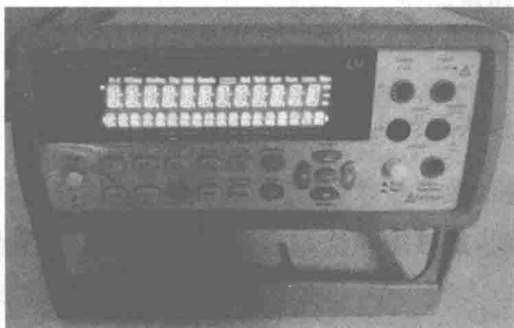


图 1-12 Agilent 高性能六位半数字万用表

数字万用表是指显示方式为数字形式。目前数字万用表已成为主流取代了模拟式万用表。

数字万用表是目前常用的一种数字仪表。其主要特点是准确度高、分辨率强、测试功能完善、测量速度快、显示直观、过滤能力强、耗电少、便于携带。

数字万用表亦称为数字多用表,其种类繁多,型号各异。每个电子工作者都希望有一块较理想的数字万用表。选择数字万用表的原则很多,也会因人而异。但对于手持式(袖珍式)数字万用表而言,应具备以下特点:显示清晰,准确度高,分辨率强,测试范围广,测试功能齐全,抗干扰能力强,保护电路比较完善,外形美观、大方,操作简便、灵活,可靠性好,功耗较低,便于携带,价格适中等。

数字万用表的显示位数通常为 $3\frac{1}{2}$ 位~ $8\frac{1}{2}$ 位。判定数字仪表的显示位数有两条原则:整数位,是指低位的每一位能显示从 0~9 中所有数字的位数总共有几位;分数位是最高位能表示所有数字的数目作为分母,分子是最高位能显示所有数字的数目。例如,某型号数字万用表满量程时显示数值为 ± 1999 ,这表明该仪表低三位有 3 个整数位,即低三位的每一位均可显示 0~9,而最高位只能显示 0~1 两个数字中的“1”,故称之为 $3\frac{1}{2}$ 位,读作“三位半”,其最高位为 0 或 1 两个数字,但只能显示 1(0 通常不显示),故为 $\frac{1}{2}$ 位; $3\frac{2}{3}$

位(读作“三又三分之二位”,简称“三位半”)数字万用表的最高位为 0、1 或 2 三个数字,但只能显示 1 或 2(0 通常不显示),故最大显示值为 ± 2999 。在同样情况下, $3\frac{2}{3}$ 位要比 $3\frac{1}{2}$ 位的数字万用表的量限高 30%,尤其在测量 380 V 的交流电压时很有价值。

同理, $4\frac{1}{2}$ 位,读作“四位半”,其最高位为 0 或 1 两个数字,但只能显示 1(0 通常不显示),故为 $\frac{1}{2}$ 位;低位有四位数字可以显示 0~9。故四位半万用表最大显示读数为: ± 19999 。在相同的量程下, $4\frac{1}{2}$ 位要比 $3\frac{1}{2}$ 位的测量高一个等级。

普及型数字万用表一般属于 $3\frac{1}{2}$ 位显示的手持式万用表, $4\frac{1}{2}$ 位、 $5\frac{1}{2}$ 位(6 位以下)数字万用表分为手持式、台式两种。 $6\frac{1}{2}$ 位以上大多属于台式数字万用表。

数字万用表采用先进的数显技术,显示清晰直观、读数准确。它既能保证读数的客观性,又符合人们的读数习惯,能够缩短读数或记录时间。这些优点是传统的模拟式(即指针式)万用表所不具备的。

数字万用表的准确度是测量结果中系统误差与随机误差的综合。它表示测量值与真值的一致程度,也反映测量误差的大小。一般来说,准确度愈高,测量误差就愈小,反之亦然。

1.5.2 万用表的技术指标

1. 精度

作为测量仪表,每一款型号的万用表都有不同的测量精度等级。普通指针万用表的精度等级有:0.5、1.0、2.0 和 2.5 等,如图 1-11 所示的 MF-47 指针万用表,直流测量精度等级为 2.5;交流测量精度等级为 2.5;电阻值测量精度等级为 2.5。精度等级显示在表头白色区域内的右下方,英文“MODEL”上的方表头内。精度等级对应满量程误差范围。例如,满量程 10 V 测量时,0.5 级的万用表测量误差约为: $10 \times 0.5\% = 0.05 \text{ V}$;2.5 级的万用表测量误差约为: $10 \times 2.5\% = 0.25 \text{ V}$ 。

数字万用表的准确度远优于模拟指针万用表。万用表的准确度是一个很重要的指标,它反映万用表的质量和工艺能力,准确度差的万用表很难表达出真实的值,容易引起测量上的误判。

2. 分辨率

数字万用表在最低电压量程上末位一个字所对应的电压值,称作分辨率,它反映出仪表灵敏度的高低。数字仪表的分辨力随显示位数的增加而提高。不同位数的数字万用表所能达到的最高分辨力指标不同。

数字万用表的分辨力指标亦可用分辨率来显示。分辨率是指仪表能显示的最小数字

(零除外)与最大数字的百分比。

需要指出,分辨率与准确度属于两个不同的概念。前者表征仪表的“灵敏性”,即对微小电压的“识别”能力;后者反映测量的“准确性”,即测量结果与真值的一致程度。二者无必然的联系,因此不能混为一谈,更不得将分辨率误以为是类似于准确度则取决于仪表内部 A/D 转换器、功能转换器的综合误差以及量化误差。从测量角度看,分辨率是“虚”指标(与测量误差无关),准确度才是“实”指标(它决定测量误差的大小)。因此,任意增加显示位数来提高仪表分辨率的方案是不可取的。

3. 测量量程

在多功能数字万用表中,不同功能均有其对应的可以测量的最大值和最小值,其范围称作量程。数字万用表按照量程转换方式来分类,可划分成三种类型:手动量程(MAN RANGE),自动量程(AUTO RANGE),自动/手动量程(AUTO/MAN RANGE)。

4. 测量速率

数字万用表每秒钟对被测电量的测量次数叫测量速率,其单位是“次/s”。它主要取决于 A/D 转换器的转换速率。有的手持式数字万用表用测量周期来表示测量的快慢。完成一次测量过程所需要的时间叫测量周期。

通常而言,测量速率与准确度指标存在着矛盾,通常是准确度愈高,测量速率愈低,二者难以兼顾。解决这一矛盾可在同一块万用表设置不同的显示位数或设置测量速度转换开关;增设快速测量挡,该挡位用于测量速率较快的 A/D 转换器;通过降低显示位数来大幅度提高测量速率,此法应用的比较普遍,可满足不同用户对测量速率的需要。

5. 输入阻抗

测量电压时,仪表应具有很高的输入阻抗,这样在测量过程中从被测电路中通过的电流极少,不会影响被测电路或信号源的工作状态,能够减少测量误差。

测量电流时,仪表应该具有很低的输入阻抗,这样接入被测电路后,可尽量减小仪表对被测电路的影响,但是在使用万用表电流挡时,由于输入阻抗较小,所以容易烧坏仪表,请使用者在使用时注意。

1.5.3 万用表的操作规程

(1)使用前应熟悉万用表各项功能,根据被测量的对象,正确选用挡位、量程及表笔插孔。

(2)在对被测数据大小不明时,应先将量程开关置于最大值,而后由大量程向小量程挡位处切换,使仪表指针指示在满刻度的 $1/2$ 以上处即可。切记每次转换量程开关前,表笔均应脱离被测电路。

(3)指针和数字万用表在测量电阻时,在选择了适当倍率挡位后,将两表笔相碰使指针指在零位,如指针偏离零位,应调节“调零”旋钮,使指针归零,以保证测量结果准确。如