

应用型人才培养

高等学校“十三五”规划教材

电子工艺装配技术基础

焦 库 刘建都◎主编

西北工业大学出版社

高等学校“十三五”规划教材

DIANZI GONGYI ZHUANGPEI JISHU JICHU

电子工艺装配技术基础

主 编 焦 库 刘建都

副主编 何小琴 王庭良

西北工业大学出版社

【内容简介】 本书根据教学实践的要求,注重学生动手能力的培养,主要讲授电子工艺和电子设计的基本知识,培养学生从事电子技术实践的基本技能,使学生了解并掌握电子产品设计、安装和调试的全过程。本书内容包括安全用电、常用电子元器件、焊接技术、常用电子仪器仪表、表面安装技术、印制电路板的设计和制作、实习电子产品等。

本书内容充实、详略得当、实用性强,可作为各类理工科学生电子实践课的教材,亦可作为科技创新实践、课程设计、毕业实践、电子竞赛的实用指导书,同时也可作为职业教育、技术培训及相关专业技术人员和电子爱好者的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电子工艺装配技术基础 / 焦库, 刘建都主编. — 西安:西北工业大学出版社,2016.3
ISBN 978-7-5612-4770-9

I. ①电… II. ①焦… ②刘… III. ①电子设备—装配(机械)—工艺学 IV. ①TN805

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 040931 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072

电 话:(029)88493844 88491757

网 址:www.nwpup.com

印 刷 者:兴平市博闻印务有限公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:11.875

字 数:287 千字

版 次:2016 年 3 月第 1 版 2016 年 3 月第 1 次印刷

定 价:25.00 元

前 言

本书是为电子工艺装配教学而编写的实践性教材。本书以培养学生的实际动手能力和创新能力为目标,主要讲授电子工艺和电子设计的基本知识,培养学生从事电子技术实践的基本操作技能,使学生了解并掌握电子产品设计、安装和调试的全过程。

本书内容包括安全用电、常用电子元器件、焊接技术、常用电子仪器仪表、表面安装技术、印制电路板的设计和制作、实习电子产品等。

本书具有以下特点:

(1)实用性。以突出动手能力的培养为基础,以工程实践内容为重点,提供了几种电子产品可供选用,以加深对理论知识的理解和对实践操作技能的运用,使学生得到实践工程训练,从而锻炼和提高学生的动手能力和创新意识。

(2)先进性。注重新器件、新工艺、新技术的介绍和应用,让学生了解到本专业、本领域的最新动态。

(3)注重能力的培养。电子工艺装配实践教学是培养学生电子技能最直接的教学环节。本书通过焊接技术、常用元器件的识别和测试、印制板的设计与制作、电子产品的调试与维修、电子电路的设计等内容,从各种途径提高学生的实践能力。

本书由西北工业大学明德学院焦库、刘建都任主编,何小琴、王庭良任副主编。在编写的过程中得到了西北工业大学明德学院教学部、电子信息工程系及王维斌、杨斌等老师的关心和大力支持。在编写和修订的过程中,西北工业大学电子信息学院张会生教授给予了指导和帮助,在此表示衷心感谢!编写本书曾参阅了相关文献资料,在此,谨向其作者深表谢忱。

由于水平有限和经验不足,书中难免存在错漏或不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2015年5月

目 录

第 1 章 安全用电	1
1.1 触电	1
1.2 安全防护	4
1.3 触电急救方法	7
第 2 章 常用电子元器件	9
2.1 电阻器	9
2.2 电容器	17
2.3 电感器	23
2.4 二极管	25
2.5 三极管	29
2.6 集成电路	35
第 3 章 焊接技术	41
3.1 焊接的基本知识	41
3.2 焊接材料与工具	43
3.3 手工焊接技术	51
3.4 手工拆焊	57
3.5 实用焊接工艺	59
3.6 工业生产中的焊接技术	64
第 4 章 常用电子仪器仪表	67
4.1 指针式万用表的使用与原理	67
4.2 数字型万用表	72
4.3 双踪示波器	74
4.4 晶体管特性图示仪	82
4.5 函数信号发生器	87
第 5 章 表面安装技术	94
5.1 SMT 技术的发展过程	94
5.2 表面装配元器件	96
5.3 表面安装材料	101
5.4 SMT 安装工艺	104

5.5 SMT 生产线主要设备	106
第 6 章 印制电路板的设计和制作	108
6.1 印制电路板基础知识	108
6.2 印制电路板的设计	111
6.3 印制电路板的制作	122
6.4 手工印制电路板	125
6.5 印制电路板的发展	127
6.6 印制电路板的计算机辅助设计	128
第 7 章 实习电子产品	144
7.1 迷你音响	144
7.2 晶体管外差式收音机	149
7.3 调频调幅收音机	154
7.4 MF47 型万用表	161
7.5 DT830D 数字万用表	168
7.6 电视机装配	176
参考文献	184

第1章 安全用电

电能作为一种方便的能源,它的广泛应用有力地推动了人类社会的发展,给人类创造了巨大的财富,改善了人类的生活,使人们的生活得到了前所未有的便利。电的发现和应用极大地节约了人类的体力劳动和脑力劳动,使人类的力量长上了翅膀,使人类的信息触角不断延伸。电的发现可以说是人类历史的革命,由它产生的动能现在每天都在源源不断地释放,人对电的需求甚至不亚于氧气,如果没有电,人类的文明现在还会在黑暗中探索。

随着电能应用的不断拓展,以电能为介质的各种电气设备广泛进入企业、社会和家庭生活中,与此同时,使用电器所带来的事故也不断发生。为了实现电气安全,对电网本身的安全进行保护的同时,更要重视用电的安全问题。因此,学习安全用电基本知识,掌握常规触电防护技术,是保证用电安全的有效途径。

安全用电知识是关于如何预防用电事故及保障人身、设备安全的知识。在电子装配调试中,要使用各种工具、电子仪器等设备,同时还要接触危险的高电压,如果不掌握必要的安全知识,操作中缺乏足够的警惕,就可能发生人身、设备事故。为此,必须在熟悉触电对人体的危害和了解触电原因的基础上,具备一些安全用电知识,做到防患于未然。

1.1 触 电

1.1.1 电流对人体的伤害

电流对人体的伤害有3种:电击、电伤和电磁场伤害。

(1)电击是指电流通过人体,破坏人体心脏、肺及神经系统的正常功能,造成神经紊乱、心脏停止甚至死亡。

(2)电伤是指电流的热效应、化学效用和机械效应对人体的伤害,主要是指电弧烧伤、熔化金属溅出烫伤等。

(3)电磁场伤害是指在高频磁场的作用下,人会出现头晕、乏力、记忆力减退、失眠、多梦等神经系统的症状。

一般认为,电流通过人体的心脏、肺部和中枢神经系统的危险性比较大,特别是电流通过心脏时,危险性最大,所以从手到脚的电流途径最为危险。

触电还容易因剧烈痉挛而摔倒,导致电流通过全身并造成摔伤、坠落等二次事故。

1.1.2 影响触电危险程度的因素

触电的危险程度与很多因素有关。

1. 通过人体电流的大小

(1)通过人体的电流对电击伤害的程度有决定性的作用。

通过人体的电流越大,人体的生理反应越明显,引起心室颤动所需的时间越短,致命的危险就越大。对于交流用电,按照通过人体的电流大小程度不同,人体所呈现的不同状态将电流划分为以下三级。

1)感知电流:引起人感觉的最小电流称为感知电流。人对最小电流的感觉表现为轻微发麻和刺痛。

2)摆脱电流:电流大于感知电流时,发热、刺痛的感觉增强。电流大到一定程度,触电者将因肌肉收缩发生痉挛而紧抓带电体,不能自行摆脱电源。人触电后能自主摆脱电源的最大电流称为摆脱电流。

3)致命电流:在较短时间内危及生命的电流称为致命电流。电击致死的主要原因,大都是电流引起心室颤动造成的。心室颤动的电流与通电时间的长短有关。当时间由数秒到数分钟,通过电流达 $30\sim 50\text{mA}$ 时即可引起心室颤动。

2. 电流通过人体的持续时间

通电时间愈长,愈容易引起心室颤动,电击伤害程度就愈大,这是因为通电时间愈长,能量积累增加,就更易引起心室颤动。

在心脏搏动周期中,有约 0.1s 的特定相位对电流最敏感。因此,通电时间愈长,与该特定相位重合的可能性就愈大,引起心室颤动的可能性也便越大。

通电时间愈长,人体电阻会因皮肤角质层破坏等原因降低,从而导致通过人体的电流进一步增大,受电击的伤害程度亦随着增大。其中,以电流的大小和触电时间的长短为主要因素。

3. 电流通过人体的不同途径

电流流经心脏会引起心室颤动而致死。较大的电流还会使心脏即刻停止跳动,在通电途径中,以从手经胸到脚的通路最危险,从一只脚到另一只脚危险性较小。电流纵向通过人体比横向通过人体时,更易发生心室颤动,因此危险性更大一些。电流通过中枢神经系统时,会引起中枢神经系统失调而造成呼吸抑制,导致死亡。电流通过头部,会使人昏迷,严重时会造成死亡。电流通过脊髓时会使人截瘫。

4. 电流的种类与频率的高低

相对于 220V 交流电来说,常用的 $50\sim 60\text{Hz}$ 工频交流电对人体的伤害最为严重,频率偏离工频越远,交流电对人体的伤害越轻。在直流和高频情况下,人体可以耐受更大的电流值,但高压高频电流对人体依然是十分危险的。

5. 人体电阻的高低

人体触电时,流过人体的电流(当接触电压一定时)由人体的电阻值决定,人体电阻越小,流过人体的电流越大,也就越危险。

人体电阻因人而异,呈现不同的阻值。人体阻值随皮肤的干燥程度和年龄而变化。通常干燥的皮肤阻值可以呈现 $100\text{k}\Omega$ 以上,而在潮湿的情况下可以降到 $1\text{k}\Omega$ 以下,并且随着年龄的增长而变大。人体电阻随电压的升高,电阻值变小,呈非线性阻值。

1.1.3 触电方式

1. 触电的原因

(1)一般触电事故都是人直接或间接与导体接触而造成的。

(2)人体靠近高压电器设备造成的高压触电。

2. 触电形式

触电形式分为：直接接触触电和间接接触触电。此外还有高压电场、高频电磁场、静电感应、雷击等对人体造成的伤害。

3. 直接接触

(1) 单相触电。单相触电是指人体的某一部分触及带电设备或线路中的某一相导体时，当一相电流通过人体经大地回到中性点时，人体承受的相电压，如图 1-1 所示，绝大多数触电事故都属于这种形式。

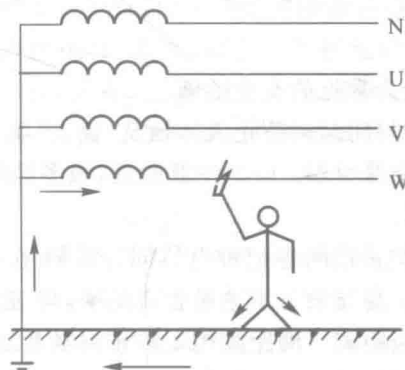


图 1-1 单相触电示意图

(2) 两相触电。两相触电是指人体两处同时触及两相带电体而发生的触电事故。如图 1-2 所示，这种形式的触电，加在人体的电压是电源的线电压(380V)，电流将从一相经人体流入另一相导线，如图 1-2 所示。双相触电的危险性比单相触电高。

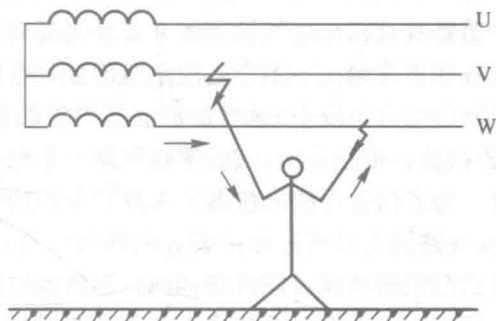


图 1-2 两相触电示意图

4. 跨步电压引起的触电

在故障设备附近(例如电线断落在地上)，或雷击电流经设备入地时，在接地点周围存在电场，人走进这一区域，两脚之间形成跨步电压就会引起的触电事故。

5. 静电触电

静电触电主要是高压大电容放电引起的有危险的触电现象，并且也是检测和维修人员容易忽视的问题，所以在检测和维修设备时，应该事先对此类元件放电后再进行检修。

1.2 安全防护

1.2.1 防止触电的措施

1. 组织措施

在电气设备的设计、制造、安全、运行、使用及维护方面,应该严格遵守国家规定的标准制度和法规。

2. 技术措施

(1)绝缘、屏护和间距是最为常见的安全措施。

绝缘是用绝缘物把带电体封闭起来防止人体触及,瓷、玻璃、云母、橡胶、木材、胶木、塑料、布、纸和矿物油等都是常用的绝缘材料。应当注意的是,很多绝缘材料受潮后会丧失绝缘性能或在强电场作用下会遭到破坏。

屏护,即采用遮拦、护罩、护盖箱闸等把带电体同外界隔绝开来。电器开关的可动部分一般不能使用绝缘,而需要屏护。高压设备不论是否有绝缘,均应采取屏护。

间距,就是保证必要的安全距离。间距除用于防止被触及或过分接近带电体外,还能起到防止火灾、防止混线、方便操作的作用。在低压工作中,最小检修距离不应小于 0.1m。

(2)接地和接零。接地指与大地的直接连接,电气装置或电气线路带电部分的某点与大地连接、电气装置或其他装置正常时不带电部分某点与大地的人为连接都叫接地。

保护接地,是为了防止电气设备外露的不带电导体意外带电造成危险,将该电气设备经保护接地线与深埋在地下的接地体紧密连接起来的做法。

由于绝缘破坏或其他原因而可能呈现危险电压的金属部分,都应采取保护接地措施。如电机、变压器、开关设备、照明器具及其他电气设备的金属外壳都应予以接地。

保护接零,即把电气设备在正常情况下不带电的金属部分与电网的零线紧密地连接起来。应当注意的是,在三相四线制的电力系统中,通常是把电气设备的金属外壳同时接地和接零,这就是所谓的重复接地保护措施。但还应该注意,零线回路中不允许装设熔断器和开关。

(3)装设漏电保护装置。为了保证在故障情况下人身和设备的安全,应尽量装设漏电流动作保护器。它可以在设备及线路漏电时通过保护装置的检测机构转换取得异常信号,经中间机构转换和传递,然后促使执行机构动作,自动切断电源,起到保护作用。

(4)采用安全电压。这是用于小型电气设备或小容量电气线路的安全措施。根据欧姆定律,电压越大,电流也就越大。因此,可以把可能加在人身上的电压限制在某一范围内,使得在这种电压下,通过人体的电流不超过允许范围,这一电压就叫作安全电压。安全电压的工频有效值不超过 50V,直流不超过 120V。我国规定工频有效值的等级为 42V, 36V, 24V, 12V 和 6V。

凡手提照明灯、高度不足 2.5m 的一般照明灯,如果没有特殊安全结构或安全措施,应采用 42V 或 36V 安全电压。

3. 安全防护应注意事项

(1)不得随便乱动或私自修理实验室内的电气设备。

(2)经常接触和使用的配电箱、配电板、闸刀开关、按钮开头、插座、插销以及导线等,必须

保持完好,不得有破损或将带电部分裸露。

(3)不得用铜丝等代替保险丝,并保持闸刀开关、磁力开关等盖面完整,以防短路时发生电弧或保险丝熔断飞溅伤人。

(4)经常检查电气设备的保护接地、接零装置,保证连接牢固。

(5)在移动电风扇、照明灯、电焊机等电气设备时,必须先切断电源,并保护好导线,以免磨损或拉断。

(6)在使用手持电动工具时,必须安装漏电保护器。工具外壳要进行防护性接地或接零,并要防止移动工具时导线被拉断,操作时应戴好绝缘手套并站在绝缘板上。

(7)在雷雨天,不要走进高压电杆、铁塔、避雷针的接地导线周围 20m 内。当遇到高压线断落时,周围 10m 之内,禁止人员进入。若已经在 10m 范围之内,应单足或并足跳出危险区。

(8)对设备进行维修时,一定要切断电源,并在明显处放置“禁止合闸,有人工作”的警示牌。

4. 电器火灾的防止

电器、照明设备、手持电动工具以及采用单相电源供电的小型电器,有时会引起火灾,其原因通常是电气设备选用不当或由于线路年久失修,绝缘老化造成短路;或由于用电量增加、线路超负荷运行,维修不善导致接头松动;电器积尘、受潮、热源接近电器、电器接近易燃物和通风散热失效等。

其防护措施主要是合理选用电气装置。例如,在干燥少尘的环境中,可采用开启式和封闭式;在潮湿和多尘的环境中,应采用封闭式;在易燃易爆的危险环境中,必须采用防爆式。

防止电气火灾,还要注意线路电器负荷不能过高,注意电器设备安装位置距易燃可燃物不能太近,注意电气设备运行是否异常,注意防潮等。

5. 静电、雷电、电磁危害的防护措施

(1)静电的防护。生产工艺过程中的静电可以造成多种危害。在挤压、切割、搅拌、喷溅、流体流动、感应、摩擦等作业时都会产生危险的静电,由于静电电压很高,又易发生静电火花,因此特别容易在易燃易爆场所中引起火灾和爆炸。

静电防护一般采用静电接地;增加空气的湿度;在物料内加入抗静电剂,使用静电中和器和工艺上采用导电性能较好的材料;降低摩擦、流速、惰性气体保护等方法来消除或减少静电产生。

(2)雷电的防护。雷电危害的防护一般采用避雷针、避雷器、避雷网、避雷线等装置将雷电直接导入大地。

避雷针主要用来保护露天变配电设备、建筑物和构筑物;避雷线主要用来保护电力线路;避雷网和避雷带主要用来保护建筑物;避雷器主要用来保护电力设备。

(3)电磁危害的防护。电磁危害的防护一般采用电磁屏蔽装置。高频电磁屏蔽装置可由铜、铝或钢制成。金属或金属网可有效地消除电磁场的能量,因此可以用屏蔽室、屏蔽服等方式来防护。屏蔽装置应有良好的接地装置,以提高屏蔽效果。

6. 电气作业管理措施

从事电气工作的人员为特种作业人员,必须经过专门的安全技术培训和考核,经考试合格取得安全生产综合管理部门核发的“特种作业操作证”后,才能独立作业。

电工作业人员要遵守电工作业安全操作规程,坚持维护检修制度,特别是高压检修工作的

安全,必须坚持工作票、工作监护等工作制度。

1.2.2 装焊操作安全规则

在焊接生产线上无论是电器维修、电子产品研制、电子工艺实习还是各种电子产品制作等,都应该严格遵守安全制度和操作规程。具体注意以下几点:

- (1)不要惊吓正在操作的人员,不要在实验室争吵打闹。
- (2)烙铁头在没有脱离电源时,不能用手接触。
- (3)电烙铁使用完后,将其放在烙铁架子上。电烙铁放置应远离易燃品。
- (4)拆焊有弹性的元件时,不要离焊点太近,并使可能弹出焊锡的方向向外。
- (5)插拔电烙铁等电器的电源插头时,要手拿插头,不要抓电源线。
- (6)用螺丝刀拧紧螺钉时,另一只手不要握在螺丝刀刀口方向上。
- (7)用剪线钳剪断短小导线时,要让导线飞出方向朝着工作台或空地,决不可朝向人或设备。
- (8)烙铁头上的多余焊锡尽量用湿抹布擦掉,不要乱甩,以免烫伤他人。
- (9)各种工具、设备要摆放合理、整齐,不要乱摆、乱放,以免发生事故。
- (10)要注意文明实验,文明操作,不能乱动仪器设备。

1.2.3 电子工艺中的静电防护

1. 静电现象

各种物质的原子核对电子的束缚能力不同,因而物质得失电子的本领也不同,这就造成了摩擦起电等各种带电现象。金属的外层电子容易丢失,这些从原子内跑出来的电子叫作“自由电子”,所以金属容易导电。绝缘体内的电子受到原子核的束缚,不容易成为自由电子,所以它不容易导电。但是利用强电力作用、高温等方法可以使一部分电子摆脱原子核的束缚,成为自由电子,于是原子外电子或得或失产生了带有正负电荷的原子,从而产生静电。

2. 静电的产生

(1)摩擦:在日常生活中,任何两个不同材质的物体接触后再分离,即可产生静电,而产生静电的最普通方法,就是摩擦生电。材料的绝缘性越好,越容易使摩擦生电。

(2)感应:针对导电材料而言,因电子能在它的表面自由流动,如将其置于电场中,由于同性相斥,异性相吸,正负电子就会转移。

(3)传导:针对导电材料而言,因电子能在它的表面自由流动,如与带电物体接触,将发生电荷转移。

3. 静电对电子元件的影响

(1)静电吸附灰尘,改变线路间的阻抗,影响产品的功能与寿命。

(2)因电场或电流破坏元件的绝缘性或导电性,使元件不能工作。

(3)因瞬间的电场或电流产生热量,元件损伤,仍能工作,但寿命受损。采用接地法直接将静电通过一条线的连接泄放到大地上。

4. 防止静电的具体方法措施

(1)人体通过手腕带接地。

(2)人体通过防静电鞋(或鞋带)和防静电地板接地。

- (3)工作台面接地。
- (4)测试仪器、工具夹、烙铁接地。
- (5)防静电地板、地垫接地。
- (6)防静电转运车、箱、架尽可能接地。
- (7)防静电椅接地。

5. 静电屏蔽

静电敏感元件在储存或运输过程中会暴露于有静电的区域中,用静电屏蔽的方法可削弱外界静电对电子元件的影响,最通常的方法是用静电屏蔽袋和防静电周转箱作为保护。另外防静电衣对人体具有一定的屏蔽作用。

1.3 触电急救方法

进行触电急救,应坚持迅速、就地、准确的原则。触电急救必须分秒必争,立即就地迅速用心肺复苏法进行抢救,并坚持不断地进行,同时及早与医疗部门联系,争取医务人员接替救治。在医务人员未接替救治前,不应放弃现场抢救,更不能只根据没有呼吸或脉搏擅自判定伤员死亡而放弃抢救。

(1)触电急救,首先要使触电者迅速脱离电源。因为电流作用的时间越长,伤害越严重。脱离电源就是要把触电者接触的那一部分带电设备的开关、刀闸或其他断路设备断开,或设法将触电者与带电设备脱离。在脱离电源中,救护人员既要救人,也要注意保护自己。

(2)触电者未脱离电源前,救护人员不可直接用手触及伤员,以免自己也发生触电危险。

(3)触电者触及低压带电设备,救护人员应设法迅速切断电源,如拉开电源开关或刀闸,拔除电源插头等;或使用绝缘工具、干燥的木棒、木板、绳索等不导电的东西解脱触电者;也可抓住触电者干燥而不贴身的衣服,将其拖开,切记避免碰到金属物体和触电者的裸露身躯;也可戴绝缘手套或将手用干燥衣物等包起绝缘后解脱触电者;救护人员也可站在绝缘垫上或干木板上,绝缘自己来进行救护。

为使触电者与导电体解脱,最好用一只手进行。如果电流通过触电者入地,并且触电者紧握电线,可设法用干木板塞到身下,与地隔离,也可用干木把斧子或有绝缘柄的钳子等将电线剪断。剪断电线要分相,一根一根地剪断,并尽可能站在绝缘物体或干木板上。

(4)触电者触及高压带电设备,救护人员应迅速切断电源,或用适合该电压等级的绝缘工具(戴绝缘手套、穿绝缘靴并用绝缘棒)解脱触电者。救护人员在抢救过程中应注意保持自身与周围带电部分必要的安全距离。

(5)如果触电者触及断落在地上的带电高压导线,且尚未确认线路有无带电,救护人员在未做好安全措施前,不能接近断线点 8~10m 范围内,以防跨步电压伤人。触电者脱离带电导线后亦应迅速在 8~10m 以外后开始触电急救。只有在确认线路已经无电时,才可在触电者离开触电导线后,立即就地进行抢救。

(6)脱离电源紧急救护。伤员脱离电源后,应立即检查全身情况,特别是呼吸和心跳。发现呼吸、心跳停止时,应立即就地抢救,同时拨打 120 求救。

1)轻症患者,即神志清醒,呼吸心跳均存在者。让伤员就地平卧,暂时不要站立或走动,防止继发休克或心衰。同时给予严密观察。

2)呼吸心跳停止者,立即对其进行心肺复苏。有条件的尽早在现场使用 AED 进行心脏电除颤。

3)处理电击伤时,应注意有无其他损伤。如触电后弹离电源或自高空跌下,常并发颅脑外伤、血气胸、内脏破裂、四肢和骨盆骨折等。如有外伤、灼伤,均须同时处理。

4)现场抢救中,不要随意移动伤员。不要轻易放弃抢救。触电者呼吸心跳停止后恢复较慢,有的长达 4h 以上,因此抢救时要有耐心。

第2章 常用电子元器件

电子产品都是由少则几十多则几千甚至上万的不同或者相同的电子元器件组成的,因此对于任何电子产品来说其质量的好坏都取决于电子元器件的性能。对于从事电子设计制造的技术人员,必须掌握电子元器件的性能及参数,正确地选用电子元器件。随着电子集成化的迅速发展,电子元器件品种及规格繁多,本章只对常用电子元器件的基本知识、性能及参数进行介绍。

2.1 电 阻 器

电阻的主要物理特征是变电能为热能,也可说它是一个耗能元件,电流经过它就产生内能。电阻在电路中通常起分压、分流的作用。对信号来说,交流与直流信号都可以通过电阻。

2.1.1 电阻器的标识方法

在电路中,电阻通常用大写英文字母“R”表示,在国家标准电路图中,电阻的符号如图2-1所示。电阻的单位是欧姆,简称欧,符号是 Ω , $1\Omega=1\text{V/A}$ 。比较大的单位有千欧(k Ω)、兆欧(M Ω)(兆=百万,即100万),还有G Ω 和T Ω 。其换算关系: $1\text{T}\Omega=1\,000\text{G}\Omega$; $1\text{G}\Omega=1\,000\text{M}\Omega$; $1\text{M}\Omega=1\,000\text{k}\Omega$; $1\text{k}\Omega=1\,000\Omega$ (也就是1000为进率)。

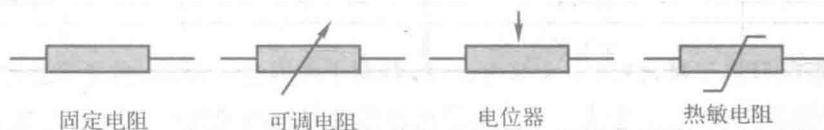


图2-1 常见电阻

由于各类电阻器的型号和参数各不相同,且为了电子工程人员的正确选用,因此电阻器的标称阻值、偏差以及参数通常都标在电阻器件上,以供方便选用。电阻器常用的标志方法主要有以下几种。

1. 直标法

直标法是将电阻器的标称阻值用数字和文字符号直接标在电阻体上,其允许偏差则用百分数表示,直标法主要适用体积比较大的电阻,如水泥电阻。未标偏差值的即为 $\pm 20\%$ 。例如图2-2(a)(b)的电阻标志方法即为直标法,其中图(a)该电阻标称值为 $5.1\text{k}\Omega$,偏差为 $\pm 5\%$ 。图(b)中该电阻标称值为 680Ω ,偏差为 $\pm 20\%$ 。

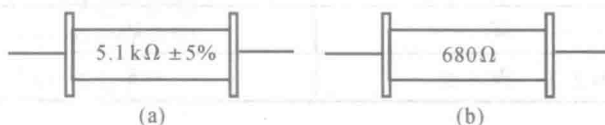


图2-2 直标法

2. 文字符号法

文字符号法是将电阻器的标称阻值和允许偏差用数字和文字符号按一定的规律组合标志在电阻体上。由于为了防止小数点在印刷不清时引起误解,因而阻值采用这种标示方法的电阻体上并没有小数点,而是将小于1的数值放在英文字母后面,用“R”表示“Ω”,用“K”表示“kΩ”,在阻值后面的英文字母表示误差。电阻器标称值的单位标示符号如图2-3所示,允许偏差见表2-1。如:4.7kΩ的电阻在文字符号法中可以表示为4K7,100Ω的电阻表示为100R。0.1Ω的电子表示为R10。3K6K的电阻在文字符号法中可表示为3.6kΩ,允许偏差为±10%。

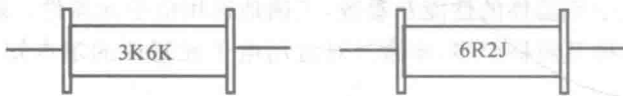


图 2-3 文字符号法

表 2-1 字母表示的允许偏差

文字符号	允许偏差/(%)	文字符号	允许偏差/(%)
Y	±0.001	D	±0.5
X	±0.002	F	±1
E	±0.005	G	±2
L	±0.01	J	±5
P	±0.02	K	±10
W	±0.05	M	±20
B	±0.1	N	±30
C	±0.25		

在有些精密电阻中,通常采用四位数字加两位字母的标示方法。前面的4位数字表示阻值:前3位数字分别表示阻值的百、十、个位数字,第四位数字表示前面3个数字后面加“0”的个数(10的倍数),单位为欧姆;数字后面的第一个英文字母代表误差,第二个字母代表温度系数(见表2-2)。例如:标示为“2151FC”电阻的阻值是 $215 \times 10 = 2.15\text{k}\Omega$,误差是±1%,温度系数为50ppm/℃。

表 2-2 字母表示的温度系数

字 母	温度系数/(ppm/℃)
C	50
D	20
Y	15
T	10
V	5

3. 色标法

色标法是指用不同颜色的环(色环),按照它们的颜色和排列顺序在电阻体上标志出主要参数的方法。表 2-3 给出了国际通用的色码识别标准。普通的电阻器用四色环表示,精密电阻用五色环表示。紧靠电阻体一端头的色环为第一环,露着电阻体本色较多的另一端头为末环。

表 2-3 色环颜色对照表

颜 色	有效数字	乘 数	允许偏差
黑	0	10^0	
棕	1	10^1	$\pm 1\%$
红	2	10^2	$\pm 2\%$
橙	3	10^3	
黄	4	10^4	
绿	5	10^5	$\pm 0.5\%$
蓝	6	10^6	$\pm 0.25\%$
紫	7	10^7	$\pm 0.1\%$
灰	8	10^8	
白	9	10^9	$+50\%, -20\%$
金		10^{-1}	$\pm 5\%$
银		10^{-2}	$\pm 10\%$
无色			$\pm 20\%$

若采用四色环标注,其第一色环为十位数,第二色环为个位数,第三色环为乘数,第四色环为允许误差(见图 2-4),各种颜色所代表的数值见表 2-3。例如:4 色环的电阻的颜色排列为红黑棕金,则这支电阻的电阻值为 200Ω ,允许偏差为 $\pm 5\%$ 。

若采用 5 色环标注,则其第一色环为百位数,第二色环为十位数,第三色环为个位数,第四色环为乘数,第五色环为允许偏差(见图 2-5)。例如:5 色环的电阻的颜色排列为黄橙黑黑棕,则其阻值为 $430 \times 1 = 430\Omega$,误差为 $\pm 1\%$ 。5 色环的电阻通常是误差为 $\pm 1\%$ 的金属膜电阻。

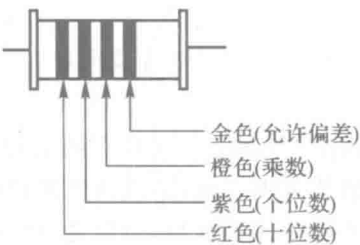


图 2-4 四色环表示法

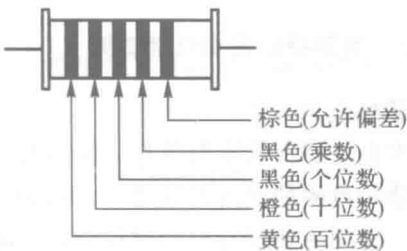


图 2-5 五色环表示法