



“十三五”职业教育国家规划教材

电工基础

主 编 伍湘彬

执行主编 程 双

编写人员 李渊洋 韦钊卓

胡颖勤



广东高等教育出版社
Guangdong Higher Education Press

· 广州 ·

内容提要

本书依据教育部颁布的《中等职业学校电工技术基础与技能教学大纲》，参照低压电工作业人员国家职业技能标准和职业技能鉴定规范，结合中等职业技术教育电工专业技能课程考试要求编写。内容包括电的基本认识，电路的基本组成，基本直流电路的分析，复杂直流电路的分析，单相交流电路的基本组成， R 、 L 、 C 交流电路的分析，三相正弦交流电路简介七大部分。本书可作为中等职业学校电子信息类专业教材，也可作为高等职业院校招收中等职业学校毕业生资格考试的理论复习用书。

图书在版编目（CIP）数据

电工基础 / 伍湘彬主编. —广州：广东高等教育出版社，2019.5（2022.1 重印）
ISBN 978 - 7 - 5361 - 6212 - 9

I. ①电… II. ①伍… III. ①电工学 - 中等专业学校 - 教材 IV. ①TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2018）第 149690 号

出版发行	广东高等教育出版社 社址：广州市天河区林和西横路 邮编：510500 营销电话：(020) 87019163 http://www.gdgjs.com.cn
印 刷	广州市穗彩印务有限公司
开 本	787 毫米 × 1 092 毫米 1/16
印 张	14.25
字 数	356 千
版 次	2019 年 5 月第 1 版
印 次	2022 年 1 月第 4 次印刷
定 价	36.00 元

（版权所有，翻印必究）



前 言

本书依据教育部颁布的《中等职业学校电工技术基础与技能教学大纲》，参照低压电工作业人员国家职业技能标准和职业技能鉴定规范编写。本书可作为中等职业学校电子信息类专业教材，也可作为高等职业院校招收中等职业学校毕业生资格考试的理论复习用书。

本书的编写遵循中等职业学校学生的学习规律和认知特点，把理论知识与生活常识、电工技能有机融合，让学生在生活感受知识，在技能中强化理论，突出体现以下特点：

1. 关注学生起点，联系生活实际

本书注重引导学生观察生活，使学生在感知中认识到电工知识的实用性，切实培养学习兴趣；充分考虑学生的研读能力，文字表述尽量避免大量的公式推导或术语引用，对重要概念、定理以类比、图文、多媒体等方式帮助学生理解；加强实践环节，让学生学有所用，在实训中提高电工技能。

2. 关注学生发展，力求好教好学

本书的编写参考了国内外中高职的相关教材，将学生难以理解的公式推导和电场、磁场理论进行适当删减，保证了教学的连贯性，让教师好教；同时又根据学生的实际能力，引导学生用计算器辅助计算，以通俗易懂的方式补充了充放电、谐波、谐振等知识，通过“小知识”“小提示”等栏目介绍相关学科技术，拓展学生的知识面，为后续课程的学习奠定基础，让学生好学。

3. 关注学生未来，强调学以致用

电工基础是学生进入中等职业学校学习的专业入门课，养成多思、求实的学习习惯，可以更好地提升基本职业素养，为未来的职业发展打下坚实基础。因此，本书内容的编排力求“学做合一”，让学生时不时地“想一想”学到的新知识与之前知识的关联，让学生“练一练”及时巩固知识，让学生“做一做”解决生活中的实际问题，培养学生在具体情境下运用所学知识、技能分析问题和解决问题的能力。

本书共有七章，课程脉络清晰简洁：第一章让学生对电形成基本认知，重点在预防触电和电气意外的紧急处理，旨在防患于未然；第二章至第四章介绍直流电路的组成与分析；第五、第六章介绍单相交流电路的组成与分析；第七章介绍三相交流电路的基本知识，为后续相关课程做准备。根据教学大纲，本书的教学内容分必修和选学两大部分，选学内容在书中以*号注明。本书的教学参考学时如下表所示，供教师参考。

章 节	教学参考学时数	
	必修	选学
第一章 电的基本认识	4	0
第二章 电路的基本组成	8	0
第三章 基本直流电路的分析	12	0
第四章 复杂直流电路的分析	8	4
第五章 单相交流电路的基本组成	12	0
第六章 R 、 L 、 C 交流电路的分析	6	2
第七章 三相正弦交流电路简介	4	4

本书由广东省对外贸易职业技术学校伍湘彬任主编，负责全书的策划、构思和审稿，广州市电子信息学校程双任执行主编并统稿，参与编写工作的有：广州市电子信息学校程双、胡颖勤，广东省电子职业技术学校李渊洋，东莞市电子科技学院韦钊卓。其中，第一、第七章由程双、胡颖勤编写，第二、第三章由韦钊卓编写，第四章由程双编写，第五、第六章由李渊洋编写。广州市多所中等职业学校的专业教师为本书的样稿提出了中肯的意见和建议，在此表示感谢。

由于时间仓促，作者水平所限，书中的错误和不妥之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者
2020 年 4 月



目 录

第一章 电的基本认识	1
第1节 认识电	1
第2节 预防触电	6
第3节 常用电工工具的使用	13
实训 1.1 漏电保护装置的测试	19
第4节 电气意外的紧急处理	23
实训 1.2 触电事故的紧急处理	28
实训 1.3 电气火灾的紧急处理	29
本章小结	30
课后测试	31
第二章 电路的基本组成	34
第1节 电源	35
实训 2.1 直流电源端电压的测量	41
第2节 负载	44
实训 2.2 电阻值的测量	49
第3节 导线与开关	52
实训 2.3 导线的连接	57
本章小结	60
课后测试	60
第三章 基本直流电路的分析	62
第1节 闭合回路欧姆定律	63
第2节 部分电路欧姆定律	68
实训 3.1 回路电流与电阻电压的测量	73
第3节 电位	75
实训 3.2 电位的测量	79
实训 3.3 基本直流电路的故障检测	81
第4节 电功、电功率与效率	83
本章小结	89
课后测试	90
第四章 复杂直流电路的分析	93
第1节 串并联直流电路	93
实训 4.1 串并联直流电路电压、电流关系的探究	106

第2节 基尔霍夫定律	108
实训 4.2 基尔霍夫定律的探究	115
* 第3节 戴维南定理	117
* 实训 4.3 戴维南定理等效参数的测定	124
本章小结	126
课后测试	128
第五章 单相交流电路的基本组成	131
第1节 正弦交流电	131
实训 5.1 示波器的使用	145
实训 5.2 插头、插座的安装	147
第2节 纯电阻正弦交流电路	149
实训 5.3 白炽灯线路的安装	153
第3节 纯电容正弦交流电路	154
第4节 纯电感正弦交流电路	162
本章小结	170
课后测试	172
第六章 R、L、C 交流电路的分析	176
第1节 RL 串联交流电路	176
实训 6.1 日光灯线路的连接	182
第2节 RC 串联交流电路	183
第3节 RLC 串联交流电路	187
第4节 RL 并联 C 交流电路	192
本章小结	195
课后测试	196
第七章 三相正弦交流电路简介	198
第1节 三相交流电源	198
第2节 三相负载的连接	203
* 实训 7.1 钳表的使用	210
* 实训 7.2 兆欧表的使用	212
本章小结	215
课后测试	215
附录	217
1. 常用单位数量级	217
2. 常用电路元件符号	218
3. 矢量的加减运算	219



第一章

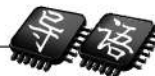
电的基本认识

本章中，你将对电形成初步的认识。相信通过学习，你将：

(1) 知道电路和电路的状态，认识常见的导体和绝缘体，理解电压、电流和功率的物理意义。

(2) 懂得常用电工工具的使用方法，知道电的危险性，懂得如何预防触电，知道发生触电事故时如何帮助触电者脱离电源，熟练掌握触电急救的方法。

(3) 知道可能引起电气火灾的原因，懂得发生电气火灾时的紧急应对方法，熟练掌握灭火器的使用方法。



第1节 认识电

电是生活中常用的能量。电作用在灯泡上使其发光，作用在电炉上使其生热，作用在风扇上令其运转……它是怎样使电器工作的呢？



做一做

找一只正常工作的电子钟，观察背后电池盒里与电池两极接触的小片，它们是什么材料做成的？在电池与小片之间插入一块塑料片，电子钟还能正常工作吗？

一、电路与材料

电器工作时，电所经过的整个路径就是**电路**。

如同火车只能在铁轨上运行，电路也必须使用特定的材料。电池通过金属片作用在电子钟上可使其正常工作，但通过塑料片就不行，这说明不同物体对电的阻碍能力不同，我们把这种阻碍能力叫作**电阻**。

物体的电阻与其组成材料和温度有关，不同材料有不同的**电阻率**。电阻率是体现材

料在常温（20℃）下对电的阻碍能力的参数，单位是 $\Omega \cdot \text{m}$ 。该数值越小，说明材料的导电性能越好，或者说对电的阻碍能力越小。一般将电阻率小于 $10^{-3} \Omega \cdot \text{m}$ 的材料称为导体，金属是最常见的导体。表 1-1 是常见金属材料的电阻率。

表 1-1 常见金属材料的电阻率

序号	材料	电阻率/ $\Omega \cdot \text{m}$
1	银	1.6×10^{-8}
2	铜	1.7×10^{-8}
3	金	2.4×10^{-8}
4	铝	2.8×10^{-8}
5	钨	5.5×10^{-8}
6	铁	9.8×10^{-8}
7	铂	1.0×10^{-7}
8	锰铜	4.4×10^{-7}
9	康铜	5.0×10^{-7}
10	镍铬铁合金（不锈钢）	1.1×10^{-6}

小知识

从表 1-1 中可以看出，银是常温下导电性能最好的金属材料，但价格较贵，一般用于制作继电器的触点，如图 1-1（a）所示。铜的导电性能也很好，而且熔点较低，方便熔化冶炼，广泛用于制造各种线缆、电动机和变压器的线圈以及印刷电路板，如图 1-1（b）所示。金的导电性能也不错，而且有极强的耐腐蚀性，但价格昂贵，常用于制造仪器仪表的零件和触头，如图 1-1（c）所示。铝的导电性能虽然略逊于银、铜、金，但它在地球中含量丰富，加上其表面极易产生氧化层，能起到一定的保护作用，常用于制造高压电缆，如图 1-1（d）所示。

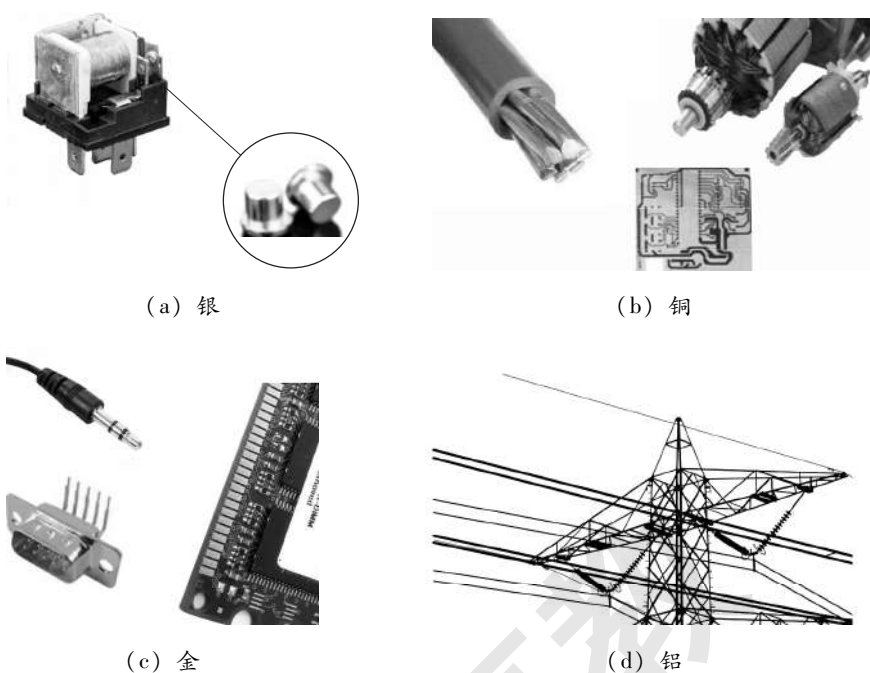


图 1-1 常用导体的用途

大多数非金属材料不易导电。电阻率大于 $10^9 \Omega \cdot \text{m}$ 的材料通常称为绝缘体，比如玻璃、陶瓷、云母、天然橡胶等都属于绝缘体。

小知识

绝缘体在电路中主要用于预防触电、防止短路等。图 1-2 (a) 为电房里铺设的橡胶制成的绝缘垫，图 1-2 (b) 为电炉里用于隔热和绝缘的陶瓷板，图 1-2 (c) 为高压线路中的玻璃或陶瓷绝缘子。

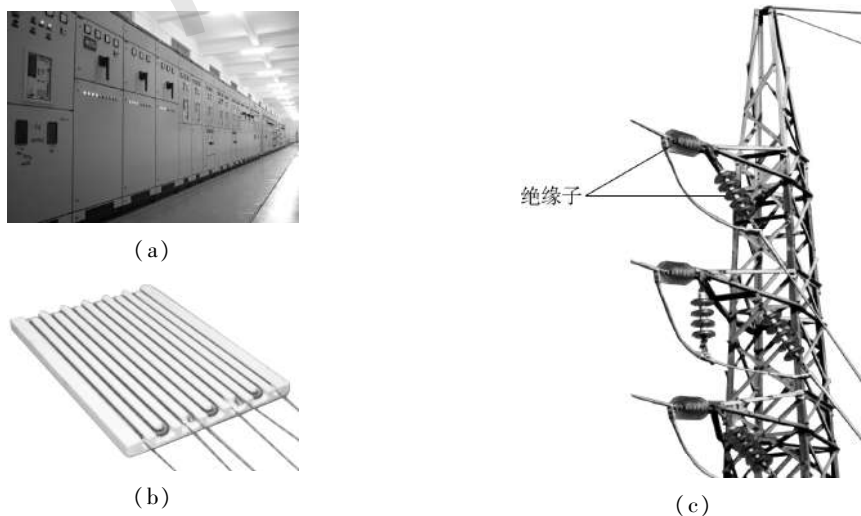


图 1-2 常见绝缘体的用途

非金属材料中也有极个别的导体，比如石墨，由于其优良的导电性能常被制成电动机上的电刷（见图 1-3）等。而与它同属碳类家族的金刚石则是绝缘体。另外，纯净的水，比如蒸馏水是不导电的，但由于生活中的水往往含有一些矿物质的离子，水变得可以导电，而且离子越多，导电性越强。

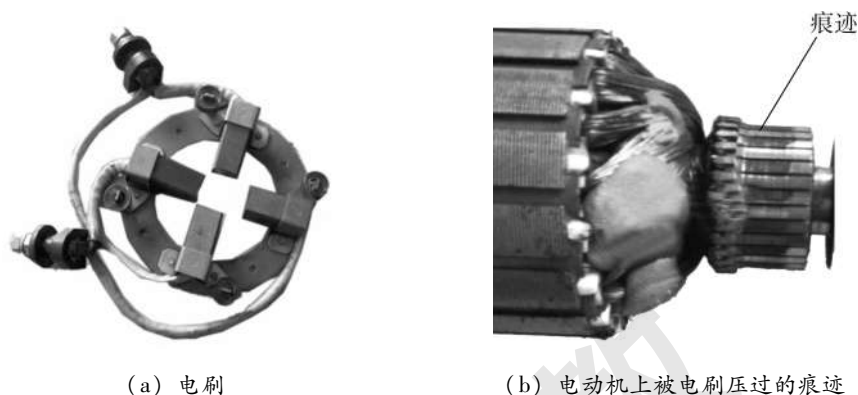


图 1-3 石墨在电动机上的应用

还有一类材料，它们的电阻率介于导体与绝缘体之间，称为**半导体**。典型的半导体材料是硅和锗。半导体材料的特性比较特别，在以后的课程中将详细介绍。



练一练

以下材料分别属于导体、半导体和绝缘体中的哪一种？

金 银 铜 铁 锗 玻璃 天然橡胶 矿泉水 硅 石墨



做一做

观察印刷电路板（PCB 板），其中哪些点对于电来说是相通的？为什么？

区分导体和绝缘体，可以方便地规划电流流动的路径。比如 PCB 板中有铜覆盖的部分就是规划好的电路。由于铜对电的阻碍较小，电在正常情况下将沿着这一规划好的路径通过。用绝缘材料隔开的部分彼此不通，如用塑料等制成电气设备的外壳，用干燥的空气将带电部分与外壳隔开等，这样可以有效地保证当人体接触到设备外壳时不至于触电。当然，绝缘与导电是相对的，有时外壳的塑料层太薄、有破损或是空气中含有较多的水分时，电就有可能不按人们预先规定的路线走，而漏到了外面，也就是发生了俗称的“碰壳”或是“漏电”现象，给人身安全造成触电隐患。



想一想

导线为什么要制成中间是铜芯、外面是塑料或橡胶的结构？



二、描述电路状态的物理量

初中物理知识告诉我们，电荷的定向运动产生电流。**电流**是反映电荷在电路中运动快慢的物理量，可以在一定程度上反映电路的畅通情况。电流的定义为单位时间（1 s）内通过电路某一横截面的定向运动电荷电量的多少，规定正电荷的运动方向为电流的方向，电流符号为 I ，国际标准单位：安培，简写为安（A）。实际中还常用毫安（mA）、微安（ μA ）等作为电流的单位。电流越大，说明电荷在电路中运动得越快，也说明电路越畅顺。常用电流单位间的换算关系为：

$$1\text{ A} = 1 \times 10^3\text{ mA} = 1 \times 10^6\text{ }\mu\text{A}。$$

电荷在电路中运动需要动力。**电压**反映了驱动电荷在电路中运动动力的大小，驱动的方向就是电压的方向，电压符号为 U ，国际标准单位：伏特，简写为伏（V）。实际中还常用千伏（kV）、毫伏（mV）等作为电压的单位。电压越大，说明动力越足，在同样的电路情况下电荷运动得越快。常用电压单位间的换算关系为：

$$1\text{ kV} = 1 \times 10^3\text{ V} = 1 \times 10^6\text{ mV}。$$

电荷在电路中运动存在能量转换。**功率**反映了电路中电能与其他形式的能量进行转换的快慢情况，功率符号为 P ，国际标准单位：瓦特，简写为瓦（W）。实际中还常用千瓦（kW）等作为功率的单位。功率越大，说明单位时间内能量转换得越多，转换得越快，常用功率单位间的换算关系为：

$$1\text{ kW} = 1 \times 10^3\text{ W}。$$

三、电路的状态

电路的状态有三种：断路、通路和短路。运用电压、电流和功率的概念可以更精确地描述它们。

如果电路完全不通，即使有动力（电压），电荷也难以运动，我们称作电路**断路**或**开路**，此时，电路中电流 $I=0$ ，电器无法工作，不存在电能转换。反之，如果电路畅通，电器发光、发热，说明电器获得一定的电压，正在进行能量转换，此时电路中有电流流过，电路处于**通路**状态。畅通的极限状态是某段路径中没有任何阻力，我们称为**短路**。典型的情况是电源短路，这通常是电源的两端碰到一起或是连接电源两端的线路阻力小到可以忽略不计。电源短路时，电流自动选择这段没有阻力的路径而绕过了有阻力的电器，致使很小的电源电压驱动都将产生很大的电流，容易造成电气火灾等事故，非常危险，要注意避免！



想一想

在本节刚开始的“做一做”里，正在工作的电子钟电路处于什么状态？插入塑料片后处于什么状态？

第 2 节 预防触电

什么情况会发生触电事故呢？



想一想

图 1-4 中哪种情况存在触电的危险？



(a) 安装遥控器电池



(b) 没有将插头完全插入插座中

图 1-4 有无触电危险

一、触电的危害与原因

电对人体造成伤害称为电击伤，俗称触电。触电的后果（电对人体伤害的程度）可轻可重。有的人可能只是感觉麻了一下，身体上没有留下任何印记；有的人会在接触部位发生电灼伤，或是留下电烙印，或是皮肤金属化等，产生电伤；还有的人会伤及内脏，出现休克，甚至死亡，这种情况称为电击。科学研究表明，电对人体伤害的程度与通过人体电流的大小、持续时间、通过途径、电流的种类以及人体的状况有关。一般地，低于 0.7 mA 的交流电流流过人体时不会有明显感觉， $10\sim 16\text{ mA}$ 时人可以自行摆脱带电体，超过 50 mA 就会在较短时间内引起心室颤动。

通过人体电流的大小取决于所触电压值和人体电阻。生活中，人们在安装普通家用电池时一般不会有触电问题，这是因为电池的电压通常较低，作用到人体上的电流很小。但家庭照明用电通常是 220 V ，工厂用电一般是 380 V ，高压输电线上的电压更高，这样的电压作用到人体上时，电流就会很大，一旦触电会有生命危险。所以在某些特定的场合，如潮湿密闭的环境，规定只能使用较低的工作电压。当然，在大多数无法降压或降压成本过高的情况下，只能采取其他预防措施。

大多数的触电事故是因人体直接接触带电体所致，图 1-4 (b) 中没有将插头完全插入插座，人就可能接触到插头金属部分而触电，因此是非常危险的，应该避免！图 1-5 (a) 中，人体直接接触到一根火线（又称相线），电流通过人体流入大地，称为单

相触电；图 1-5 (b) 中，人体同时接触两根不同的火线，电流从一根火线通过人体流入另一根火线，称为**两相触电**。两相触电的危险性比单相触电大。如图 1-5 (c) 所示为**跨步电压触电**。当输电线路断线跌落地面或是电气设备发生接地故障时，电流将向大地流散，跌落点或接地点附近有电。当人在这一区域行走时，虽然人体没有直接接触带电体，但其两脚之间的电压（称为跨步电压）会使人体内产生电流，从而发生跨步电压触电。

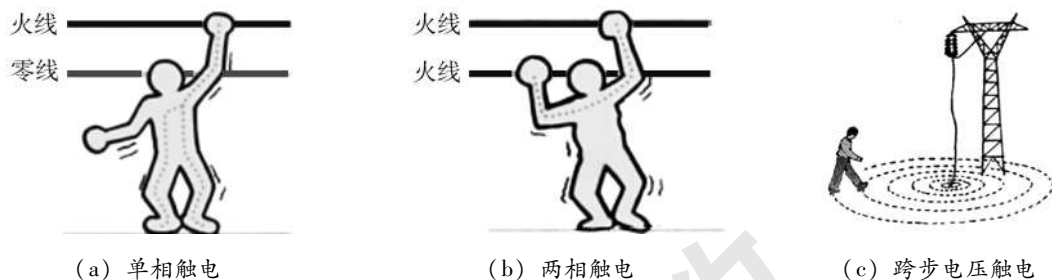


图 1-5 触电种类



图 1-4 (b) 的情况属于哪种类型的触电？

总结以上三类触电的原因，无非两种情况：一是人员失误，触碰到正常工作中的设备的带电部分；二是设备异常，意外带电伤及不知情的人员。所以，要预防触电事故的发生，一方面要加强人员的专业意识，规范操作步骤，避免不应有的失误；另一方面要做足预防措施，比如预先做好人员的绝缘防护，选用安全的工具等，对电气设备、工作环境也采取接地、隔离、警示等措施，从源头上减少发生触电的可能性。

二、触电防护

1. 人员防护

(1) 从业要求。

从事与电相关工作的人员必须具备必要的安全用电知识。国家规定，对电气设备进行运行、维护、安装、检修、改造、施工、调试等作业的专业人员（俗称电工），属于特种作业人员，必须持证上岗。



图 1-6 为特种作业操作证，俗称操作证、上岗证，由国家安全生产监督管理局颁发，全国通用，有效期 6 年，每 3 年审核一次。



图 1-6 特种作业操作证

(2) 着装要求。

带电作业时必须穿工作服，戴绝缘手套，穿绝缘靴（鞋）。高空作业时要戴安全帽，扎好安全带。

绝缘手套、绝缘靴（鞋）（见图 1-7）属于绝缘安全用具，是用特种橡胶制成的，不同于日常使用的清洁手套或胶鞋、雨靴。由于电对人体的伤害主要来自电流，绝缘手套和绝缘靴（鞋）可以有效地阻隔电流，起到预防触电伤害、保护人身安全的作用。

小知识

绝缘手套、绝缘靴（鞋）在使用前必须认真检查，查看规格是否相符，绝缘层是否完好，是否在有效期内，有任何破损（包括鞋底花纹磨光、露出内部颜色）、裂纹或受潮都不能使用。穿着时，衣袖和裤管应套入手套和靴筒内。布面绝缘鞋应保持布面干燥。使用后应清洗干净，存放在干燥通风的木架或柜子内，避免过热、过冷、阳光暴晒，避免放在有酸、碱、油的地方，以防橡胶老化，注意不要与坚硬、锋利带刺或脏污物放在一起或压以重物。



(a) 绝缘手套



(b) 绝缘鞋与绝缘靴

图 1-7 绝缘安全用具



练一练

试试绝缘用具的检查和穿戴，看看是否规范。

安全帽和安全带属于登高安全用具，如图 1-8 所示。一般离地高度 2 米以上作业称为高空作业。登高安全用具没有绝缘防护功能，只是在高空作业时起防止砸伤、意外坠

落等安全防护作用。

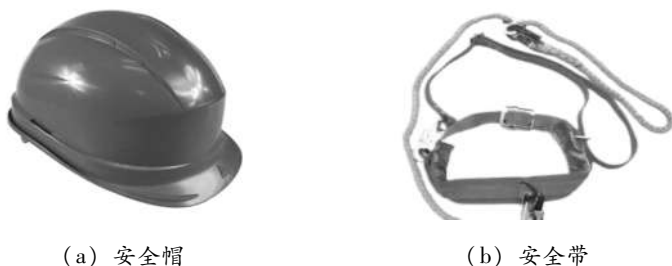


图 1-8 登高安全用具



图 1-9 中电工作业人员进行了哪些着装防护？每件用具具有什么防护作用？



图 1-9 工作中的电工

2. 设备防护

(1) 干燥处理。

普通水是导电的。潮湿环境下，设备的绝缘性能下降，设备内部含水分的积尘可能将原来不通的电路连通，使设备出现无法预计的漏电、短路等异常情况。为此，设备需要保持干燥。预防潮湿的方法一般有：用塑料布将暂时不用的设备包起来，防止潮湿空气进入；每隔一段时间打开设备工作一会儿，利用设备的正常发热使电路保持干燥；估计设备已经受潮严重，担心贸然开机有危险时，可以用吹风机先吹干电路，也可以根据设备使用说明，采用专业的工业烘箱进行烘干处理。



天气潮湿时，家里的电视机可能会突然开不了，或是打开时有吱吱的声音。遇到这种情况，试着用吹风机的冷风挡吹一吹电视机后面的电路板，然后重新开机，电视机就可以正常工作了。

(2) 绝缘防护。

绝缘防护就是将设备中可能带电的部分用绝缘材料封护或隔离起来，如导线外包绝缘层、将变压器浸泡在绝缘油内等。封护和隔离必须按工作环境和使用条件正确选用材料。劣质的外壳绝缘性能往往不能达到规定的要求，难以将设备中带电部分隔离，很容易发生漏电现象。此外，还要规范地安装和使用设备。绝缘材料是有耐压、耐热等级等技术参数指标的，让设备长期超负荷地工作，会导致绝缘材料加速老化。不规范地搬运、安装设备，也可能使设备原有绝缘防护被破坏，留下安全隐患。因此，一旦发现设备的绝缘防护损坏，应立即停止使用。



购买劣质充电器为什么会有安全隐患？像图 1-10 这样使用一个电插板为多个大功率电器供电好不好？为什么？

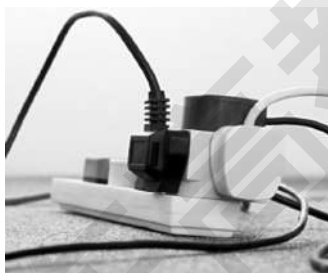


图 1-10



①观察电动机的接线盒，找出盒中类似图 1-11 (a) 中虚线圈中标有“⊥”标志的接线端；②观察家中电器的电源插头是几只脚的，找出插头上类似图 1-11 (b) 中标有“⊥”标志的插脚；③观察路边监控摄像机的立杆，看看有没有安装类似图 1-11 (c) 中虚线圈所指装置，猜一猜它们的作用。



(a)



(b)



(c)

图 1-11 观察接地装置

(3) 接地。

所谓**接地**就是将电气线路或设备的某一点与大地进行可靠的连接。接地有很多种，常用的有保护接地、工作接地、防雷接地、屏蔽接地、防静电接地等。屏蔽接地解决的是电磁干扰的问题，而防静电接地主要用于预防静电火灾，这两种接地将在后续相关内容中介绍。

①**保护接地**。电气设备正常工作时金属外壳是不带电的，但当绝缘防护受损时可能会带电，人若不注意触碰到就会触电。针对这种情况，事先将可能带电的金属外壳用导线与大地直接连接起来，将可能流经人体的电流通过导线引入大地，就可以有效地减少带电设备对人身安全的威胁。这种保护方式称为保护接地。

小知识

保护接地中的带电设备如何接到大地呢？对于低压电气设备，接到大地通常有接地和接零两种方式。将设备外壳[图1-11(a)中的接地端]用导线(图1-12中的黄绿色线)与打入地下的接地装置连接叫接地。另一种方式称为接零，它是指将设备外壳通过图1-11(b)中的接地插脚与电网中线相连，然后通过电网中线接到大地。很明显，接零只能用于电网中线已经接地的情况，对于没有直接接地的电网只能用接地的方式。接地与接零不能混用。手电钻、电动机、变压器等电工工具或设备的金属外壳都应接零。在采用接零保护的系统中，如果电网中线在某处断开无法接到大地，那么设备即使接了零也难以起到预防触电的作用。为了避免这种危险，电网中线每一段重要分支都要可靠地接地，这种做法称为重复接地。



图 1-12 接地装置

想一想

家用电器中哪些是用两脚插头的，哪些是用三脚插头的？设想将电器原有的三脚电源插头换成两脚的，可能存在什么潜在危险。

②**工作接地**。前面提到，接零保护的前提是电网中线已经接地。一般三相四线制供电系统变压器的低压侧中点是接地的，它可以保证电网无论是正常工作还是发生事故，都能安全可靠地工作。为了设备正常运行而接地称为工作接地。

③**防雷接地**。雷电天气时，云团上积聚了大量的电荷形成极高的电压，容易击穿潮湿的空气，对距离相对较近的突出物体放电。为了避免高凸的建筑物或设备受到雷电伤害，通常会在建筑物或设备的顶端安装避雷针。避雷针其实就是一个金属棒，如图1-11(c)中虚线圈部分，通过避雷线与埋在地下的金属板连接。当发生雷击时，电流通过避雷针和避雷线引入大地，从而保护建筑物及内部人员安全。这种以免遭雷击为主要目的的接地，称为防雷接地。

小知识

接地的目的是将威胁人身安全的电流引入大地，所以接地电路的电阻越小越好。一般要求：避雷针和避雷线单独使用时接地电阻小于 $10\ \Omega$ ；配电变压器低压侧中点接地电阻应在 $0.5 \sim 10\ \Omega$ 之间，保护接地的接地电阻应不超过 $4\ \Omega$ 。几个设备共用一套接地装置时，接地电阻以要求最高的为准。通常采用接地电阻测量仪测量接地电阻。

想一想

有的公园在大树上挂着“雷雨天气请勿在树下逗留”的警示牌（见图 1-13）。结合所学知识，解释不能在树下逗留的原因。



图 1-13 防雷电警示牌

(4) 安装漏电保护装置。

漏电保护装置外观如图 1-14 所示。当人体意外接触单相电时，根据图 1-5 (a)，会有电流经人体流入大地，由于三相四线制供电系统是工作接地的，该电流又会从大地流入供电系统的接地端。将漏电保护装置接入线路中则可以检测出此异常电流信号，立即切断电源。图 1-14 (b) 所示的漏电保护装置还有短路、过载保护功能，称为漏电断路器。

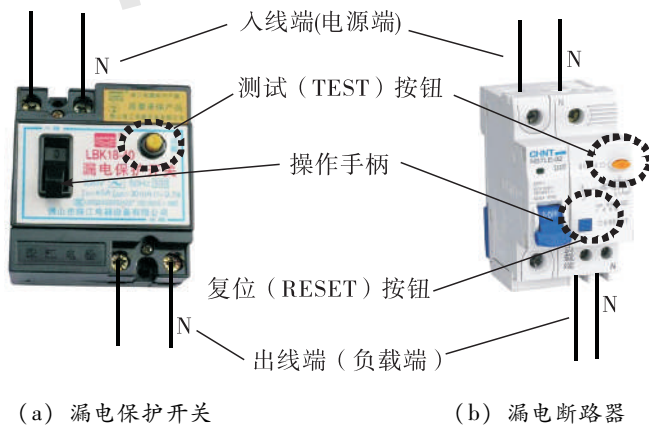


图 1-14 漏电保护装置



漏电保护装置一般要求每月测试一次切断功能是否正常。测试方法是：正常通电情况下按下漏电保护装置上标有“T”（TEST）的按钮（见图 1-14），装置应能迅速跳闸切断电路。若要恢复供电，可按下复位（RESET）按钮（对没有此按钮的漏电保护装置可跳过此步），再将操作手柄向上闭合。

(5) 设置屏护、安全间距与安全标志。

设置屏护、安全间距与安全标志的目的都是防止作业人员意外触碰或过于接近带电体而发生触电。屏护是用遮栏、栅栏、围墙、保护网等防护装置将带电部位、场所或范围隔离开，如图 1-15 所示。安全标志常设置在有触电危险或容易产生误判断、误操作的地方，以及存在不安全因素的现场。如表 1-2 所示为我国安全标志中色标的含义。



图 1-15 屏护与安全标志

表 1-2 我国安全标志中色标的含义

色标	含义	示例
红色	禁止、停止、消防	
黄色	注意、警告	
绿色	安全、通过、允许、工作	
黑色	警告	
蓝色	强制执行	



做一做

找找身边的安全标志，对比它的含义与颜色是否相符。

第 3 节 常用电工工具的使用

一、工具的选择

电工工具主要包括手工工具和电动工具两大类，应根据应用场合合理选择，尤其是电动工具必须满足电压等级和安全防护的要求。

1. 电压等级

为了保障安全，根据中华人民共和国国家标准《特低电压（ELV）限值》（GB/T 3805—

2008), 在特定的场合设立安全电压, 我国交流安全电压的额定值为 42 V、36 V、24 V、12 V 和 6 V。在这些特定场合工作时, 所用的工具电压等级也必须与之相符。

✂ 小知识

安全电压是根据使用环境、人员和使用方式等决定的。在人体需要长期触及的医疗器械上一般用 6 V 或 12 V 的安全电压, 在工作面积狭窄、操作者容易大面积接触带电体的锅炉、金属容器内使用 24 V 的安全电压, 在有触电危险的场所使用的手持式电动工具一般选用 42 V 安全电压, 但在矿井、多导电粉尘及类似场所使用行灯等选用 36 V 安全电压。

2. 安全措施

常见电工工具的外壳都有基本绝缘 (如电工钳的手柄上有塑料绝缘层等), 但仅仅依靠基本绝缘还不够, 通常需附加安全措施。不同的应用环境, 附加措施不同, 选择的工具也不同。

✂ 小知识

手持电动工具按触电保护方式分为三类: I 类工具为普通型, 一般是全金属外壳。I 类工具用 500 V 兆欧表测量带电部分与可触及导体之间的绝缘电阻值应不小于 $2\text{ M}\Omega$ 。II 类工具为双重绝缘结构, 外壳有金属和非金属两种, 但手持部分为非金属, 且在非金属处有“回”字形标志 (见图 1-16)。III 类工具采用安全电压供电, 外壳均为全塑料。



图 1-16 铭牌上的“回”字形标志

在一般场所, 应选用 II 类工具, 如果使用 I 类工具代替, 在使用时除了依靠基本绝缘、金属外壳接地或接零外, 还必须附加一些安全预防措施, 如安装漏电保护装置、安全隔离变压器、操作者戴绝缘手套、穿绝缘鞋等。在潮湿、金属构架等导电良好的场所, 应该使用 II 类或 III 类工具。如果使用 I 类工具, 必须安装额定动作电流不大于 30 mA、动作时间不大于 0.1 s 的漏电保护装置。在锅炉、金属容器、管道等狭窄且导电良好的场所, 应选用 III 类工具, 如果使用 II 类工具, 必须安装额定动作电流不大于 15 mA、动作时间不大于 0.1 s 的漏电保护装置。II 类工具的漏电保护装置、III 类工具的安全隔离变压

器、控制箱和电源连接器等必须放在工作场所的外面，同时设专人监护，必要时可随时切断电源。

做一做

观察家里吹风机的手柄，看看有没有“回”字形标志，说明它是几类工具。

观察家里的常用工具，尝试说出工具的名称、作用及使用方法。

二、工具的使用

1. 手工工具

(1) 旋具。旋具，俗称螺丝刀、螺丝批、起子或改锥等，主要用来旋动头部带“一”字槽或“十”字槽的螺钉、木螺钉等，通常有“一”字形和“十”字形两种，如图 1-17 (a) 所示。电工作业时应使用塑料柄旋具，为了避免金属杆触及皮肤或触及邻近带电体，宜在金属杆上套上绝缘套。大旋具一般用于紧固大螺钉，使用时应如图 1-17 (b) 所示，手掌顶住握柄，大拇指、食指和中指夹住握柄旋动，这样可以防止旋具转动时滑脱。小旋具一般用于紧固电气装置接线桩上的小螺钉，使用时如图 1-17 (c) 所示，用食指顶住握柄的末端，大拇指和中指夹住握柄旋动。



图 1-17 旋具的外观及用法

小提示

旋具顺时针方向旋转，旋紧螺钉；逆时针方向旋转，扭松螺钉。

(2) 钳具。钳具包括钢丝钳、尖嘴钳、剥线钳、斜口钳等几种。电工应使用带塑料绝缘柄的电工钳。因为电工钳的绝缘钳柄一般都有耐压为 500 V 的绝缘套，必要时可在低压设备或线路上带电操作，但带电操作时要做好安全防护措施，严格遵守带电操作规程。

钢丝钳由钳口、齿口、刀口和铡口四部分组成。钳口用来弯绞或钳夹导线，齿口用来固紧或扭松螺母，刀口用来剪切导线或剖切软导线绝缘层，铡口用来铡切导线线芯和钢丝、铅丝等软硬金属，如图 1-18 所示。钢丝钳使用前必须检查绝缘柄的绝缘是否损

坏。若发现钳柄绝缘套损坏，严禁使用其进行带电操作。剪切带电导线时，不得同时剪切两根不同相的导线或一根相线一根零线。钳头不可代替锤子做敲打工具使用。



(a) 钢丝钳外观



(b) 弯折导线



(c) 铡切钢丝

图 1-18 钢丝钳的外观及用法

尖嘴钳适用于较狭小的工作空间。目前多数尖嘴钳是带刃口的，既可以夹持零件，又可以剪切细金属丝，还能将导线端头弯曲成所需的各种形状，如图 1-19 (b) 所示。



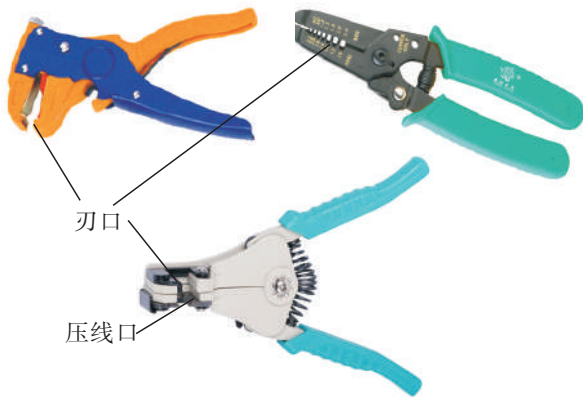
(a) 尖嘴钳外观



(b) 弯折导线

图 1-19 尖嘴钳的外观及用法

剥线钳用于剥离导线头部的表面绝缘层。使用时把导线放入相应的刃口中（比导线线芯直径稍大），确定要剥离的绝缘长度，用力将钳柄一握，导线的绝缘层就会被割破并自动弹出，如图 1-20 所示。



(a) 剥线钳外观



(b) 剥离导线

图 1-20 剥线钳的外观及用法

斜口钳（见图 1-21）又称剪线钳，是剪切金属薄片及细金属丝的专用工具。

（3）电工刀。电工刀，如图 1-22 所示，在电工操作中主要用于剖削导线绝缘层、棉麻绳索、木桩及软性金属等。剖削导线绝缘层时，应将刀口朝外，使刀面与导线呈较小的锐角，以免割伤导线。电工刀使用完毕要及时将刀身折进刀柄，不得传递未折进刀柄的电工刀。电工刀刀柄无绝缘保护，不能用于带电作业。

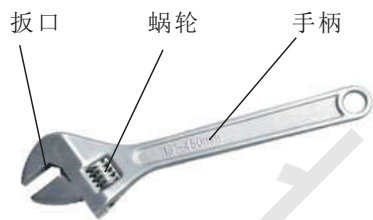


图 1-21 斜口钳

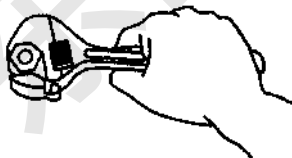


图 1-22 电工刀

（4）活络扳手。活络扳手又称活扳手，如图 1-23（a）所示，是拆装、维修时旋转六角或方头螺栓、螺钉、螺母的一种常用工具。使用时用扳口卡住六角头，用手指旋动蜗轮收紧扳口从而将六角头卡紧，再扳动手柄使之旋动，如图 1-23（b）所示。旋动小螺母时，为防止扳口处松动可以用拇指压住蜗轮，如图 1-23（c）所示。活络扳手由金属制成，不得带电作业，也不能将扳手当作撬棒或手锤使用。



（a）活络扳手外观



（b）旋动大螺母



（c）旋动小螺母

图 1-23 活络扳手的外观及用法

2. 手电钻

手电钻（见图 1-24）属于手持式电动工具，主要用于对金属、塑料或其他类似材料、工件进行钻孔。手电钻有 36 V 电压和 220 V 电压两种，使用 220 V 电压的手电钻必须有防触电措施。接通电源前，手电钻开关应先处在“关”的位置上，并检查电源线、插头、开关是否完好，机械转动是否灵活等，以免使用时发生事故。拿手电钻时不能只提电源线部分。手电钻不用时，应放在干燥、清洁、通风和无腐蚀性气体的地方。长期不用的手电钻，在使用前应用 500 V 兆欧表测量其绝缘电阻。



图 1-24 手电钻

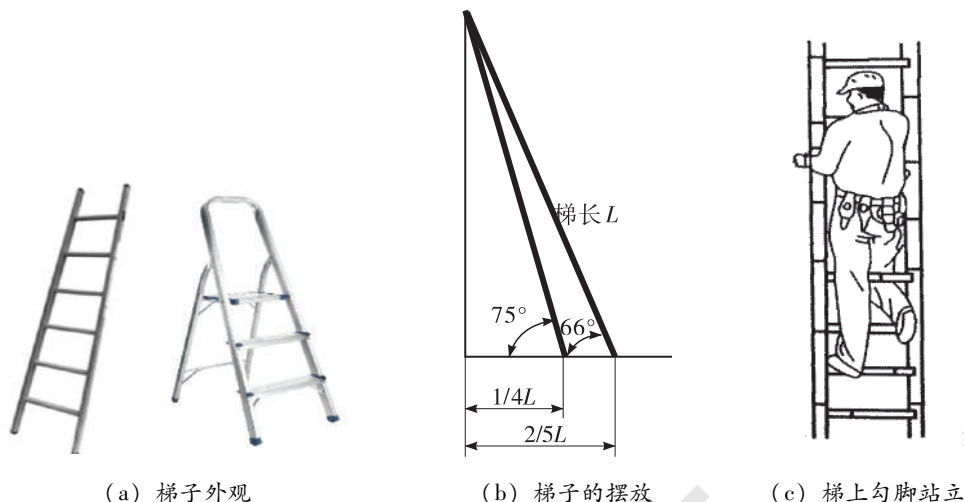


图 1-25 梯子的外观及用法

3. 梯子

梯子（见图 1-25）主要用于登高。梯子在使用前应进行安全检查，要求牢固可靠、能承受负重，检查项目包括以下方面：

（1）检查梯子是否有虫蛀及折裂现象，能否承重，有无缺挡，梯脚要绑扎胶皮之类的防滑材料，人字梯中间应绑有防止滑开的绳子。

（2）带电作业或在带电设备附近工作，不准使用金属梯，所用梯子必须干燥。

（3）梯子不可以驳接，不准垫高使用。

（4）一字梯摆放时顶端两个点需与建筑物靠牢，下端两个点也应牢固支撑地面。人字梯摆放时最上层的平台应水平，四脚都着地。无论是一字梯还是人字梯，梯子与地面角度均以 $66^\circ \sim 75^\circ$ 为宜，在一字梯上作业时必须勾脚站立，如图 1-25（c）所示，避免在梯子最高处工作。



练一练

试试上梯前的检查和上梯动作，看看是否规范。

4. 试电笔

试电笔又称电笔，是检测线路或设备是否带电的常用检测工具，一般有笔形、螺丝刀形和数显式几种。

图 1-26（a）为笔形试电笔，由氖管、电阻、绝缘套管、弹簧、笔尖、笔身、笔尾等组成。当试电笔接触被测带电体时，电流经带电体、试电笔、人体流入大地，只要带电体与大地之间的电压超过 60 V，试电笔中的氖管就会发光，但由于电阻的分压作用，人体并没有触电危险。电压越高，流过氖管的电流越大，氖管发出的光就越强。因此，可以根据氖管发光的强弱粗略判断电压的高低，也可以结合正常工作时相（火）线里有

电流流过，而零线里电流很小甚至为零的情况，判断相（火）线和零线，具体操作方法见实训 1.1。

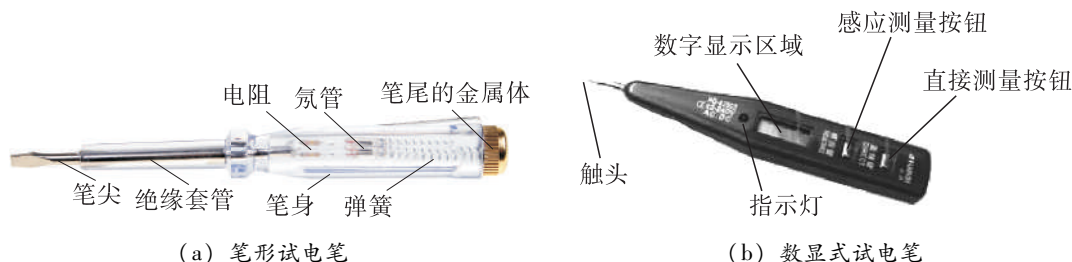


图 1-26 试电笔

如图 1-26 (b) 所示为数显式试电笔，适用于直接检测 12 ~ 250 V 的交直流电，间接检测交流电的零线、相线和断点。直接检测时，按住直接测量按钮（有的试电笔也标注为“A”键或“DIRECT”键），用笔的触头直接接触被测点（如果测量直流电，应用手触碰另一极以构成回路），则在数字显示区域分 12 V、36 V、55 V、110 V、220 V 等 5 挡显示所测电压值，如果所测值未到高段显示值的 70% 时，则显示低段值。间接检测时，按住感应测量按钮（有的试电笔也标注为“B”键或“INDUCTANCE”键），将笔的触头靠近被测点，如果被测点带电，数字显示区域将显示高压符号“⚡”。断点检测时，将笔的触头靠近被测点，沿电线纵向移动时，显示窗内无显示处即为断点处。

实训 1.1 漏电保护装置的测试

一、实训目的

- (1) 掌握漏电保护装置的测试与常用电工工具的使用方法。
- (2) 增强防触电意识。

二、实训器材

带指示灯的电插板、漏电断路器、笔形试电笔、带空气开关的 220 V 供电线路、斜口钳、剥线钳或电工刀、尖嘴钳、螺丝刀。

三、实训过程

实训任务一：试电笔的试测

(1) 将带指示灯的电插板接入 220 V 供电线路，打开插板开关，检查插板指示灯是否发亮。

(2) 在插板指示灯亮的情况下，按图 1-27 (a) 所示的正确握法握住试电笔，注意：手要触及笔尾的金属体，使氖管的小窗背光向着自己，但手不能接触笔尖的金属体。如图 1-27 (b) 所示逐渐靠近电插板的插孔，直至确保试电笔的笔尖与电插板的金属片

可靠接触，观察氖管是否发光，将结果填入表 1-3。

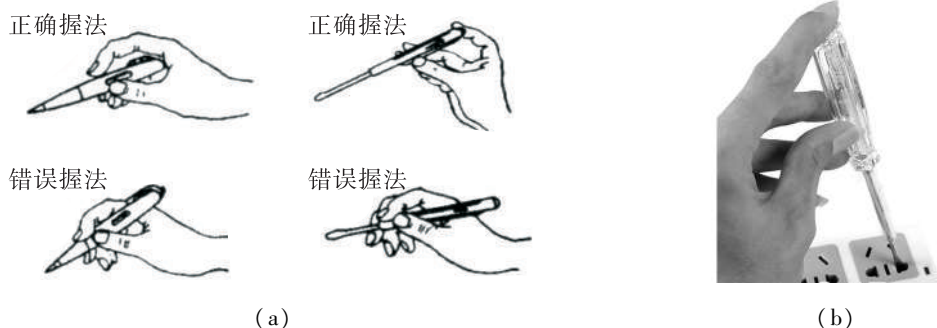


图 1-27 试电笔的用法

注意：在明亮的光线下测试要注意避光。如果氖管发光，说明试电笔正常。如果不发光，可以换到同一插板上其他的插孔再试测。如果接触所有插孔均不发光，说明试电笔可能已损坏，不能用于测试。

表 1-3 试电笔测试结果

试 测	插孔一	插孔二	插孔三
现象（氖管“是”或“否”发光）			
结果（试电笔“是”或“否”正常）			

实训任务二：漏电断路器的连接

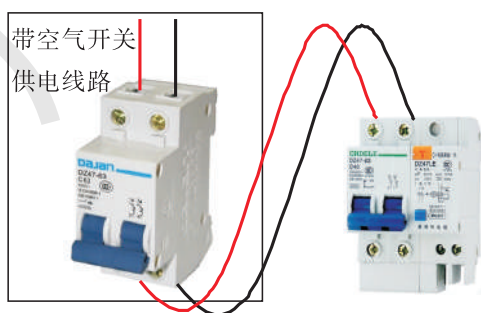


图 1-28 漏电断路器的接法

(1) 用斜口钳裁出适当长度的红、蓝色导线，用电工刀或剥线钳剥去导线两端的绝缘层。电工刀多用于剖削硬导线绝缘层，方法是：在需剖削的位置，用电工刀以 45° 角倾斜切入塑料绝缘层，注意刀口不能损伤线芯；扳翻塑料层并在根部切去，如图 1-29 所示。多层绝缘导线需要分层剥切，每层的剖削方法与单层绝缘导线相同。对绝缘层比较厚的导线，采用斜剥法，即像削铅笔一样进行剖削。如果导线外部包有塑料护套，需要将外部的塑料护套去除，才能按刚才的步骤进行，如图 1-30 所示。剥线钳则软硬导线

均适用,如图1-20所示将导线放入剥线钳中比导线线芯直径稍大的刃口中,确定要去除的绝缘长度,用力一握钳柄,导线的绝缘层就自动剥离。

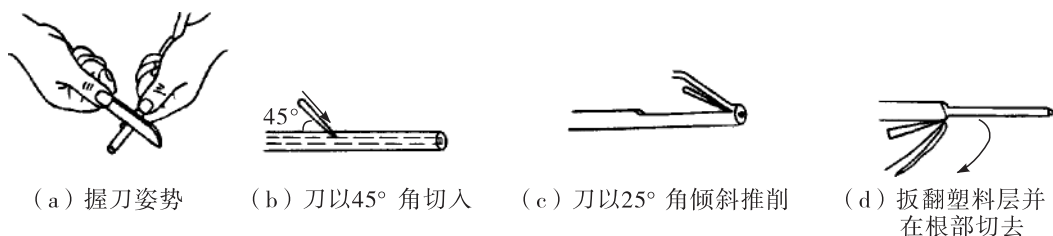


图1-29 用电工刀剖削硬导线

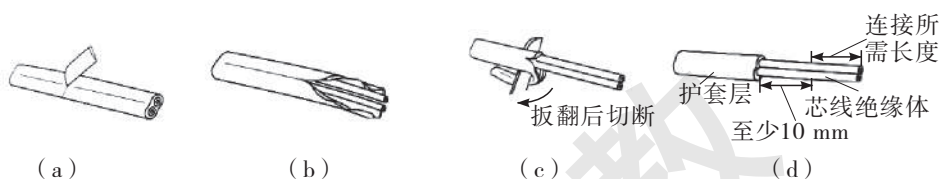


图1-30 用电工刀去除塑料护套

(2) 断开空气开关,将漏电断路器置于断开状态,用如图1-28所示的方法接入供电线路中。空气开关的接线端子一般为升降式[如图1-31(a)所示],连接时先逆时针旋松上方的螺钉,将导线插入下方刚刚降下来的插孔内,然后顺时针拧紧螺钉,使插孔向上收紧即可[如图1-31(b)所示]。如果线芯过细,可适当多去掉一些绝缘,将导线线头弯折后再插入[如图1-31(c)所示]。如果导线为多股线,应将线芯绞紧后再插入[如图1-31(d)所示]。如果接线端子为平压螺钉式[如图1-32(a)所示],连接时先逆时针旋松上方的螺钉,将导线按螺钉拧紧的方向弯成小圈,套在螺钉上,再旋紧螺钉[如图1-32(b)所示]。如果导线为多股线,应将线芯绞紧后按螺钉拧紧的方向缠绕[如图1-32(c)所示]。不管是哪种接线端子,都不能压绝缘层或露铜超过2 mm,否则可以适当去掉一些绝缘或金属线头。

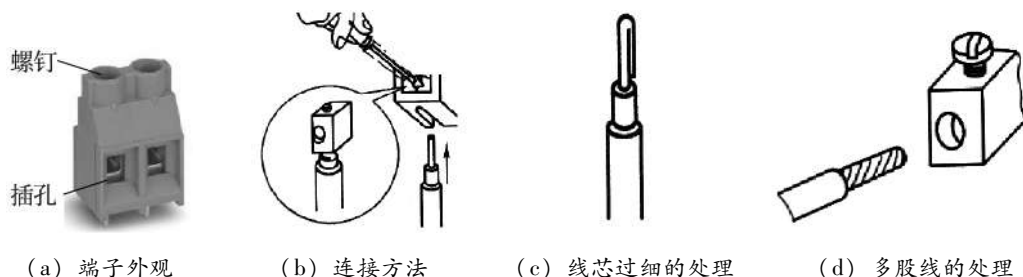


图1-31 升降式接线端子的连接

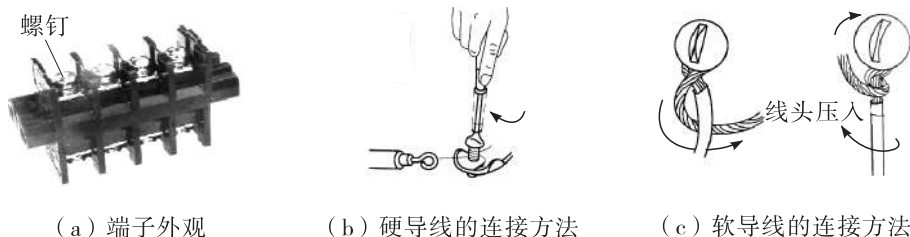


图 1-32 平压螺钉式接线端子的连接

实训任务三：漏电断路器的测试

(1) 继续保持漏电断路器为断开状态，合上空气开关接通电源，用试电笔检测漏电断路器的出线端，观察氖管是否发光，判断是否有电，将结果记录于表 1-4 内的①处。

(2) 合上漏电断路器，同样用试电笔检测漏电断路器的出线端是否有电，将结果记录入表 1-4 内的②处。

(3) 按下漏电断路器的测试按钮（见图 1-14），同样用试电笔检测漏电断路器的出线端是否有电，将结果记录入表 1-4 内的③处。

(4) 按下漏电断路器的复位按钮（见图 1-14），合上漏电断路器的操作手柄，再同样用试电笔检测漏电断路器的出线端是否有电，将结果记录入表 1-4 内的④处。

(5) 完成测试后关闭电源，所有器材归位，分析实训现象，填写判断结果。

表 1-4 漏电断路器的测试

步骤	操作		测试结果 （“发光”或“不发光”）	判断结果 （“有电”或“没电”）
	空气开关	漏电断路器		
1	闭合	断开	①	
2	闭合	闭合	②	
3	闭合	按下测试按钮	③	
4	闭合	按下复位按钮 后闭合	④	

四、分析与总结

(1) 试电笔的使用。

试测：在已知_____（“有电”或“没电”）处测试，氖管_____（“发光”或“不发光”），说明试电笔正常。

判断有无电：令试电笔的笔尖与插孔内金属片可靠接触，如果氖管发光，说明该插孔_____（“有”或“无”）电。



(2) 漏电断路器的使用。

测试：按下_____按钮，电路断开，说明漏电断路器正常。

复位：按下_____按钮，_____开关，电路恢复。

五、注意事项

(1) 试电笔测试时应采用正确的握笔方式，按下漏电断路器的测试按钮时必须带电操作，全程在教师的监护下完成，单手操作，防止触电！

(2) 螺丝刀形的试电笔与螺丝刀形状相同，但只能承受较小的扭矩，故不宜像螺丝刀一样大力使用，否则容易损坏。

第 4 节 电气意外的紧急处理

电气意外主要包括触电事故和电气火灾。



想一想

观看相关教学录像或视频，想一想如果发现触电事故应该怎么做。

一、触电事故的紧急处理

一旦发现有人触电，应根据现场具体条件，首先迅速使触电者脱离电源，之后进行现场急救，同时派人拨打“120”急救电话请求救治。

1. 脱离电源

根据现场情形用“拉、挑、拽、垫、切”等方法使触电者脱离电源。

拉：如果电源开关、电源插头距离触电地点很近，就近拉断电源开关、拔下电源插头以切断电源。

挑：如果电源开关距离触电地点很远，而周围有干燥的木棒、木板、竹竿等绝缘物体，可手握绝缘物体迅速将电线拨开（能拨开就不要挑开，以免电线甩到别人或滑到自己身上）。千万不能使用任何金属或湿的东西去挑电线，以免施救者自己触电。

拽：如果现场附近无任何适用的绝缘物，而触电者身上的衣服干燥且没有紧缠在身上，施救者可用干衣服、干毛巾等把自己一只手做严格绝缘包裹后，单手拉触电者的衣服将其拉离带电体。注意：必须单手操作，不要触及触电者的裸露皮肤，且此法只适用于低压触电。若施救者未穿鞋或鞋已潮湿，则不能用此方法。

垫：如果触电者由于痉挛手指紧握导线，或导线缠绕在身上，可用干燥的木板等绝缘物垫入触电者的身下，以隔断通过大地的回路，再采取其他办法切断电源。

切：以上方法均不适用时，用带绝缘胶柄的钳或带绝缘木柄的刀斧等工具将电源线切断。切断时应防止带电导线断落触及其他人。多芯绞合线应分相切断，以防短路伤人。

2. 现场急救

脱离电源后应遵循“迅速、就地、准确、坚持”的基本原则根据现场诊断结果采取相应的办法进行现场急救。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的表现，擅自判定触电者死亡而放弃抢救。

(1) 现场诊断。

检查神志是否清醒：轻拍触电者的双肩，或在其耳旁呼叫，如图 1-33 (a) 所示，如无反应则是神志不清。

检查是否自主呼吸：如触电者神志不清，则将其移至通风干燥处仰卧，用“看”“听”“试”的方法判断触电者的呼吸状况。“看”：拉开触电者衣服，看胸、腹部有无起伏动作；“听”：如图 1-33 (b) 所示，贴近触电者的口鼻及心脏处，听有无呼吸及心跳声；“试”：用手指试其口鼻处有无呼吸的气流。

检查是否有心跳：如图 1-33 (c) 所示，用手指检查颈动脉处是否搏动以确定是否有心跳。



图 1-33 现场诊断

(2) 抢救办法。

若触电者心跳及呼吸均有，只是晕倒，可用嗅氨水、按“人中”穴的方法对其进行抢救；若触电者心跳停止，则要对其进行胸外心脏按压抢救；若触电者呼吸停止，须对其进行口对口人工呼吸抢救；若触电者心跳及呼吸均无，应同时做人工呼吸和胸外按压，即实施心肺复苏法。

①胸外心脏按压法。施救者跪在触电者右侧，两手相叠，贴于胸骨下半部，如图 1-34 所示，具体位置的确定详见图 1-39；两臂伸直，垂直均匀用力向下压陷 4~5 cm，随即放松让胸部自行弹起，如此反复，每分钟 100 次，直到触电者恢复自主心跳或医生到场抢救为止。

②口对口人工呼吸法。先让触电者头部偏向一侧，张开嘴巴，清除口腔内异物、假牙或血块；然后将其头向后仰，如图 1-35 (a) 所示，以鼻孔朝天为准，使呼吸道畅通；施救者深吸一口气，用手捏紧触电者两鼻孔，口对口向触电者大口吹气，吹气完毕后立即离开触电者嘴巴，同时放松捏鼻子的手，让气体从触电者肺部排出（一般为吹 2 秒、放 3 秒），吹气频率约 12 次/分，如此反复吹气，不可间断，直到触电者恢复自主呼吸或医生到场抢救为止。

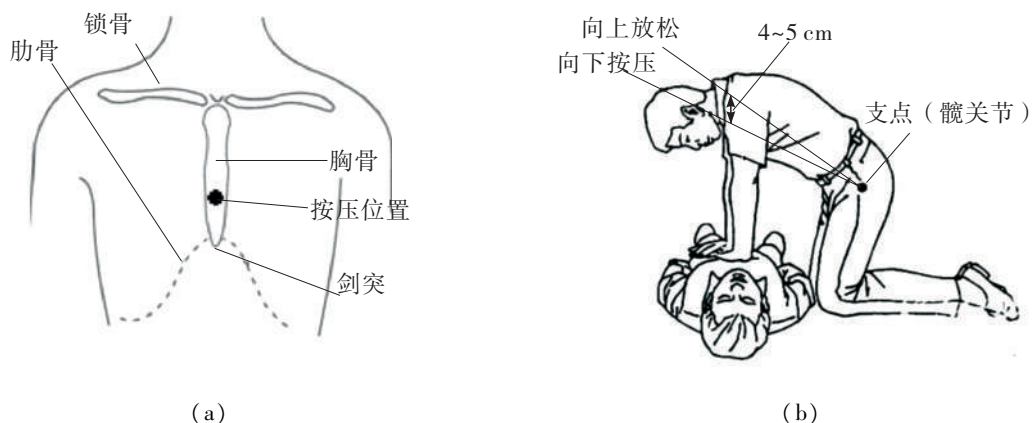


图 1-34 胸外心脏按压法



图 1-35 口对口人工呼吸法

③心肺复苏法。心肺复苏法其实就是同时采用口对口人工呼吸法和胸外心脏按压法进行抢救，一般要求每个循环按压 30 次，吹气 2 次；每做 5 个循环，检查一次是否恢复自主心跳、呼吸。如果恢复呼吸，则停止吹气；如果恢复心跳，则停止按压心脏。如果心跳、呼吸虽未恢复，但皮肤转红润，瞳孔由大变小，说明抢救已有效果，应继续抢救，直至触电者苏醒或医生到场抢救为止。

想一想

观看相关教学录像或学生模拟操作，说说急救动作是否规范、准确。

二、电气火灾的紧急处理

1. 电气火灾的原因与预防

想一想

观看相关教学录像或视频，想一想你所知道的电气火灾的原因。

造成电气火灾的原因很多,但总的来看,除设备缺陷、安装不当等设计和施工方面的原因外,在运行中,电流的热量和电流的火花或电弧是引发火灾甚至爆炸的直接原因。

电气设备运行时总要发热,正确设计、正确施工、正确运行的电气设备稳定运行时,其最高温度和高出周围环境温度的数值不会超出允许范围,但当电气设备因为绝缘老化、遭到雷击、严重受潮等引起短路事故,或是如图 1-10 所示地乱拉乱接线路,使设备长时间超负荷工作(即过载),或是接触部位松动导致接触不良、电动机卡住致使铁芯发热,或是设备散热不良时,发热量就会增加,温度升高,在一定条件下就可能引起火灾。

火花在日常生活中很常见,比如断开热水器的开关时有时会见到火光一闪,冬天脱毛衣时也容易见到静电火花,这些火花如果出现在充满油雾和可燃性气体的空间里也可能引发火灾甚至爆炸。

要预防电气火灾,从根本上说就是要控制燃烧和爆炸的三个基本条件不能同时满足,即可燃物、助燃物和火源不能同时出现,因此,防火、防爆必须采取综合性措施。除了选用合格的电气设备外,还应在设备上装设合理的保护装置,运行时保证通风良好,保持必要的防火间距,保证电气设备正常运行,周围环境采用耐火材料并配置适当的灭火器材等。

小知识

所谓静电,可以简单地理解为处于静止状态的电荷。当带静电的物体接触其他物体时可能会发生电荷转移而产生火花放电。产生静电最常见的原因就是摩擦。比如初中物理学提到的橡胶棒与毛皮的摩擦等。静电不像直流电、交流电那样容易控制,而它放电产生的火花却可能使可燃物起火甚至爆炸。解决静电火花最简单又最可靠的办法是用金属把静电从大地“导”走,这就是防静电接地。如图 1-36 所示为防静电地板,将地板下面的金属支架接地,可以起到“导”走静电的效果。



图 1-36 防静电地板



做一做

上网搜索相关资料,试着理解在加油站不能打电话的原因。

2. 电气火灾的紧急处理

一旦发生电气火灾,应立即切断电源,同时派人拨打“119”报警电话,疏散现场人员,在自身安全情况下设法扑救。无法及时切断电源时,应选用不导电的灭火器扑救。

小知识

拨打“119”报警电话时,应准确地向消防队说出发生火灾的时间、地点、燃烧物性质、火势状况、报警人姓名、联系电话,并安排人站到交叉路口处,指引消防车辆迅速赶到火灾现场救灾灭火。

发生火灾时的自救方法:(1)争取时间,尽快脱离现场,但不能乘坐电梯;(2)现场有浓烟时,寻找湿毛巾蒙住口鼻,尽量放低身体或是爬行离开浓烟区;(3)遭遇明火时,应将头发和衣服浇湿以免着火;(4)万一衣服被烧,可就地翻滚或用厚重衣物压灭火焰。

常用的灭火器有干粉灭火器、二氧化碳灭火器、泡沫灭火器等,其外形如图 1-37 所示。干粉灭火器可用于 50 kV 以下的带电灭火,一般家庭用灭火器都属于这一类。二氧化碳灭火器可用于 600 V 以下的带电灭火。泡沫灭火器灭火时喷出的泡沫里含有大量水分,不宜用于带电灭火,但可以在切断电源后使用。

常用灭火器的使用方法如图 1-38 所示:除掉铅封,拔出保险销,站在距离火源 2~3 m 的上风处,压下压把开关,喷嘴对准火焰根部由远及近、快速地向前平推扫射。使用干粉灭火器时,应先将瓶体颠倒几次,使筒内干粉松动。使用二氧化碳灭火器时,不能直接用手抓住金属连接管,防止手被冻伤;在室内狭小空间内使用后应迅速离开,以防窒息。



图 1-37 常用的灭火器



图 1-38 常用灭火器的使用方法



想一想

观看相关教学录像或学生模拟操作，找出其中的火灾隐患，思考预防措施。

实训 1.2 触电事故的紧急处理

一、实训目的

- (1) 熟悉使触电者脱离电源的方法。
- (2) 熟练掌握触电急救技能。

二、实训器材

电源开关、干燥的木棒、潮湿的木板、金属杆等。

三、实训过程

1. 场景设置

两名学生为一组，其中一人模拟触电者，另一人模拟施救者，利用实训器材和自备道具模拟触电场景。

2. 脱离电源模拟训练

- (1) 施救者根据现场环境，用“拉、挑、拽、垫、切”等适当的方法帮助触电者脱离电源。
- (2) 叫人拨打“120”急救电话。

3. 现场诊断模拟训练

- (1) 轻拍触电者的双肩，或在其耳旁呼叫，判断触电者神志是否清醒。
- (2) 把触电者移到平坦、干燥、通风的地方，疏散人群，清除口腔异物，通畅气道，松开触电者衣物，做急救准备。
- (3) 拉开触电者衣服，看胸、腹部有无起伏动作，或贴近触电者的口鼻及心脏处，听有无呼吸及心跳声，或用手指试其口鼻处有无呼吸的气流，判断触电者能否自主呼吸。
- (4) 用手指检查颈动脉处是否搏动，判断触电者是否有心跳。
- (5) 教师给出模拟检查结果，学生确定抢救办法。

4. 按触电者“无呼吸、无心跳”，实施心肺复苏抢救模拟训练

- (1) 施救者跪在触电者右侧，右手食指、中指并齐沿触电者的右侧肋弓下缘向上，确定肋骨和胸骨结合处剑突位置，如图 1-39 (a) 所示。中指放在剑突根部，食指平放在胸骨下部，如图 1-39 (b) 所示，另一只手的掌根紧挨食指上缘置于胸骨上，掌根处

即为正确的按压位置，如图 1-39 (c) 所示。

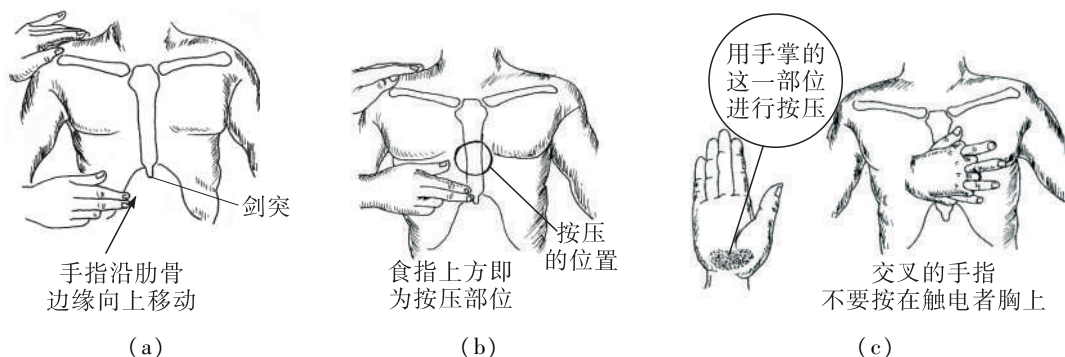


图 1-39 心脏按压位置的确定

(2) 施救者两肩位于触电者胸骨正上方，两臂伸直，肘关节固定不屈，两手掌上下相叠，手指翘起，不接触触电者胸壁。

(3) 施救者以髋关节为支点，利用上身重力，垂直将触电者的胸骨压陷 4 ~ 5 cm。压到位后，立即全部放松，但掌根不得离开触电者的胸壁。连续按压 30 下。

(4) 用一只手捏住触电者鼻翼，另一只手的食指和中指托住其下巴，施救者深吸气后，与触电者口对口紧合，在不漏气的情况下向触电者的口内吹气，吹 2 秒后应将触电者的口鼻放松 3 秒，让其借自己胸部的弹性自动呼气，吹气和放松时要观察触电者胸部有无起伏的呼吸动作。连续吹气 2 次。

(5) 重复步骤 (3)、(4)，每胸外按压 30 下后，人工吹气 2 次。连续做 5 个循环（胸外按压 30 次、人工吹气 2 次为一个循环），按现场诊断中的步骤 (3)、(4) 检查触电者是否恢复自主心跳、呼吸。教师给出模拟检查结果，学生确定继续抢救的办法，直到触电者恢复自主呼吸和心跳或医护人员到场。

四、注意事项

- (1) 胸外按压时应确定正确的按压位置，采用正确的按压姿势、力度和频率。
- (2) 人工呼吸时，吹气和放松要配合好。

实训 1.3 电气火灾的紧急处理

一、实训目的

- (1) 熟悉电气火灾的紧急处理办法。
- (2) 熟练掌握常用灭火器的使用。

二、实训器材

电源开关、干粉灭火器、模拟火源等。

三、实训过程

1. 场景设置

学生利用实训器材和自备道具模拟火灾场景。

2. 火灾报警模拟训练

(1) 教师发出模拟火灾信息，学生寻找电源开关，切断电源。

(2) 一位学生模拟拨打“119”火警电话，说出发生火灾的时间、地点、燃烧物性质、火势状况、报警人姓名、联系电话，由其他学生记录入表 1-5。

表 1-5 火灾报警记录

报警人		联系电话	
火警情况			
时间		地点	
燃烧物		火势	
救援安排	(略)		

(3) 模拟安排另一位同学站到交叉路口处指引消防车辆，其他同学疏散现场人员。

3. 火灾扑救模拟训练

学生找到灭火器，先将瓶体颠倒几次，再拔出保险销，站在距离火源 2~3 m 的上风处，压下压把开关，喷嘴对准火焰根部由远及近、快速地向前平推扫射。

四、注意事项

(1) 灭火器的使用可以模拟进行。

(2) 如果有条件，可以增加火灾自救模拟训练。

本章小结

1. 根据对电的阻碍能力的不同，常见材料可分为导体、绝缘体和半导体三大类。
2. 断路、通路和短路是电路的三种状态。电源短路是一种非常危险的情况，要注意避免。
3. 电流反映了电荷在电路中运动的快慢，符号 I ，国际标准单位为安培，简写为安 (A)。

电压反映了驱动电荷在电路中运动的动力的大小，符号 U ，国际标准单位为伏特，简写为伏 (V)。

功率反映了电路中电能与其他形式的能量进行转换的快慢情况，符号 P ，国际标准单位为瓦特，简写为瓦 (W)。



4. 触电分单相触电、两相触电、跨步电压触电等。

电对人体伤害的程度与通过人体电流的大小、持续时间、通过途径、电流的种类以及人体的状况有关。预防触电事故的发生，应加强人员的专业意识，规范操作步骤，预先做好绝缘防护，选用安全的工具，对电气设备、工作环境采取一定的技术措施。

5. 触电事故的紧急处理办法：根据现场具体条件，首先迅速使触电者脱离电源，之后进行现场急救，同时派人拨打“120”急救电话请求救治。

6. 电气火灾的紧急处理办法：立即切断电源，同时派人拨打“119”报警电话，疏散现场人员，在自身安全情况下设法扑救。无法及时切断电源时，选择不导电的灭火器扑救。

课后测试

一、填空题

1. 从事电气安装与维修等特殊工种的操作人员，必须取得该工种的_____。
2. 电对人体伤害的程度与通过人体_____的大小和持续时间有关。
3. 一般离地高度_____米以上作业称为高空作业。
4. 梯子与地面的角度以_____为宜。
5. 胸外心脏按压法以均匀速度进行，每分钟_____次左右。

二、判断题

1. 电路有短路、断路和开路三种状态。()
2. 电动机的金属外壳必须可靠接地。()
3. 保护接地的接地电阻越小越好。()
4. 电气设备（用具）长期不用时，最好将电源插头从电源插座上拔下。()
5. 电工钳的钳柄都有绝缘套，可在任意设备或线路上带电操作。()
6. 在潮湿狭窄的场所带电工作，为方便操作可穿着背心、拖鞋进入现场施工。()
7. 在拉拽触电者脱离电源的过程中，救护人员应双手操作，保证受力均匀。()
8. 在医务人员赶来前，触电者经同伴用心肺复苏法抢救超过1小时后仍无呼吸无心跳，可认定触电者已死亡。()
9. 如果维护不及时造成导电粉尘进入电气设备时，有可能导致短路事故。()
10. 发生火灾时，应马上乘电梯逃走。()
11. 一旦发生电气火灾，应立即用水扑救。()
12. 用灭火器灭火时，人应站在下风处手持灭火器对准火焰根部喷洒。()

三、单项选择题

1. 以下各项中属于绝缘材料的是 ()。
- A. 铜丝 B. 玻璃 C. 不锈钢 D. 硅钢

2. 防止建筑物遭受雷击的有效措施是 ()。
- A. 装避雷针 B. 装天线 C. 定期检查 D. 少用钢材

3. 以下绝缘用具中, 外观检查符合要求的是 ()。

- A. 鞋底扎了铁钉的绝缘鞋
B. 外表已有裂纹的绝缘手套
C. 放置在绝缘用具柜中的干燥完好的绝缘靴
D. 过了有效期但外观尚好的绝缘鞋

禁止合闸
有人工作

图 1-40 标识牌

4. 根据我国《安全色》标准, 如图 1-40 所示标识牌应为 (), 表示禁止。

- A. 红色 B. 绿色 C. 黑色 D. 蓝色

5. 图 1-41 为带漏电保护功能的空气断路器, 图中用圆圈圈出的标着“T”的按钮具有 () 功能。

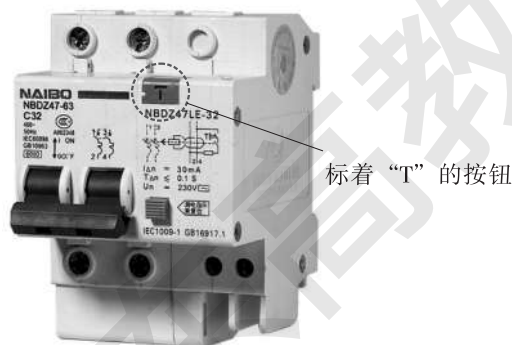


图 1-41 空气断路器

- A. 接通或切断电路 B. 漏电保护测试
C. 测试后复位 D. 公司标识

四、多项选择题

1. 以下试电笔的握法中, 正确的是 ()。



2. 有效的用电安全措施包括 ()。
- A. 安装漏电保护装置 B. 设备的金属外壳接地
C. 站在绝缘垫上工作 D. 干燥处理



3. 通常造成电气火灾的原因是（ ）。
A. 电路短路、过载
B. 设备绝缘老化
C. 电路产生火花或电弧
D. 电路中有部位接触不良
4. 低压触电意外中，可采用（ ）方式迅速将触电者脱离带电物体。
A. 就近拉断电源，再拉开触电者
B. 用手抓住触电者潮湿的衣服，将其拖离带电物体
C. 用干燥的铁钳将触电者身上的电线挑开
D. 用干燥的木棍将触电者推离带电物体
5. 室内发生火灾时，当发现有人员身上着火应（ ）。
A. 用扇子扇灭着火人员身上的火
B. 将棉被打湿盖在着火人员身上
C. 让着火人员就地打滚压灭火焰
D. 立即打开窗户让着火人员跳窗逃生

五、分析题

请根据所学的知识评价以下做法是否有潜在用电危险，如果有，请简单说明原因。

- (1) 将多个电暖炉的电源插头长期插在同一个移动电插板上通电。
- (2) 在潮湿的洗手间使用电吹风机。
- (3) 手机不慎掉进水里后应先使手机处于关机状态，然后尽快找专业维修人员打开后盖，用吹风机吹干手机内的水汽。
- (4) 电热水器采用带漏电保护功能的电源插头。
- (5) 将电饭锅原有的三脚电源插头换成只有两脚的。
- (6) 拆掉楼顶难看的避雷针。
- (7) 使用正规厂家生产的合格电器产品。
- (8) 使用绝缘层已经老化甚至脱落的电源线。

第二章

电路的基本组成

在本章中，你将深入认识电路的组成要素：电源、负载、导线与开关。相信通过学习，你将：

- (1) 了解电路的组成及各组成部分的作用和分类。
- (2) 理解电动势的概念、大小和方向，知道理想电源端电压与电动势的关系。
- (3) 理解额定的含义，掌握电阻和电阻率的概念，能运用电阻定律计算导体电阻。
- (4) 掌握常用电路元件的图形和文字符号。
- (5) 掌握直流稳压电源、惠斯通电桥、万用表的使用方法。



做一做

观察手电筒，了解灯泡、开关、电池（或充电口）的位置，如图 2-1 所示，试着拆开看看，想一想手电筒点亮需要哪些条件？



图 2-1 观察手电筒

要点亮手电筒有很多条件，包括电池有电、电池与电池盒内金属压簧可靠接触、灯泡正常、开关按下等，但基本上都离不开电池、灯泡、开关、金属压簧等部件，这些部

件各司其职，在电路中分别担当着供电、发光、控制、连通等作用，成为电路的基本组成。用电工术语表示，电路一般由电源、负载、开关与导线四个部分组成。

第1节 电 源

一、认识电源

电源是整个电路的核心，其作用是为电路提供电能。根据能量守恒定律，电源的电能不会凭空产生，只能从其他形式的能量转换而来，所以电源是将其他形式的能转换成电能的设备或装置。

常见电源形式如图 2-2 所示。根据电源对电路供电形式的不同，电源分为交流电源和直流电源。**交流电源**（一般简写成 AC，以图形符号“~”表示）是指设备提供给电路的电压或电流方向会随时间做周期性变化，如交流发电机。目前大多数的国家为家用电器或工业设备提供的电源以交流为主。例如我国家庭生活所用的电源一般是 220 V 交流电，家用电器的电源插头插入墙上的插座即可接入电源。**直流电源**（一般简写成 DC，以图形符号“—”表示）能给电路提供恒定方向的电压或电流，如干电池、蓄电池、直流发电机等。便携式电子产品多数采用直流电源供电。

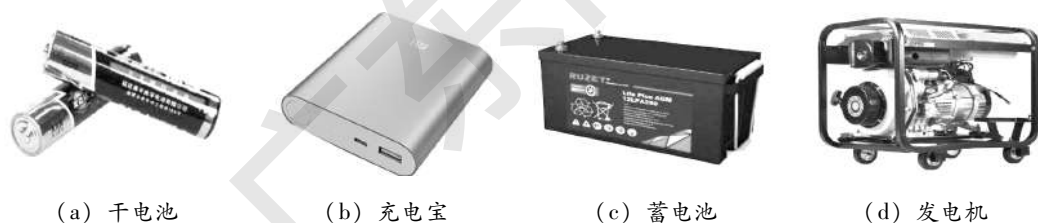


图 2-2 常见电源

直流电源又分为恒压源和恒流源。如果电源提供的电压大小恒定不变，称为**恒压源**。电源提供的电流大小恒定不变，称为**恒流源**。恒压源和恒流源是电源的两种理想状态。实际中的电源很难保持在任何情况下电压、电流绝对不变，只要变化在允许的范围之内，就可以认为是恒压源或恒流源。

二、电源的参数与符号



做一做

找几只不同类型的干电池，观察其铭牌，确定正负极位置。

电源最值得关注的参数是电动势。**电动势**是体现电源借助外力将其他形式的能量转换成电能的能力大小的物理量。电动势符号 E ，国际标准单位为伏特，简写为伏（V）。平时我们所说的某个电池 1.5 V，指的就是它的电动势 E 为 1.5 V。

练一练

观察如图 2-3 所示电池铭牌，说出它们的电动势分别是多少。



图 2-3 电池铭牌

小知识

生活中的电池种类繁多，按制作材料可分为锂电池（如手机电池）、镍氢/镍镉电池（如遥控器电池）、铅酸电池（如汽车、摩托车蓄电池）等；按工作方式可分为一次电池（又称原电池或干电池，使用后不能再充电）和二次电池（又称可充电电池或蓄电池，能反复充放电循环使用）；按规格可分为 1 号、2 号、5 号、7 号等几种。

电动势是有方向的。电池外壳上标注着“+”“-”号，分别表示电源的正、负极。电路工作时，在电源外部，电荷从电源正极向负极运动，形成电流；但在电源内部，电源需从电池负极向正极聚集电荷，所以电动势的方向是在电源内部由负极指向正极，如图 2-4（a）所示。

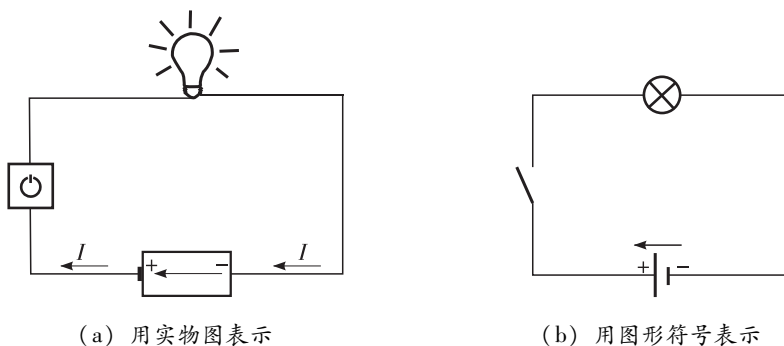


图 2-4 电动势的方向

由图 2-4（a）发现，要表示一个电路的组成时，先将电路的元器件等外形画出来再用导线连接的表示方式虽然形象直观，但往往画起来复杂，不便于分析和研究。为了

更好地对电路进行描述, 我们把这些元器件抽象简化成一系列的图形, 用统一规定的图形符号绘制的电路, 就成为**电路图**。如图 2-4 (a) 所示电路就可以简化成图 2-4 (b) 的电路图。

图 2-4 (b) 中 “ $\text{---}| \text{---}^E$ ” 表示电池。恒压源、恒流源和交流电源的表示符号如图 2-5 (b) (c) (d) 所示。常用电路元件符号见附录的附表 2。

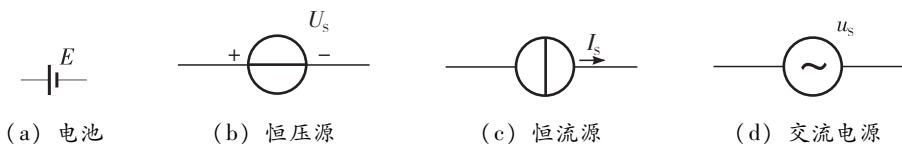


图 2-5 电源符号



想一想

图 2-6 中各种电源的图形符号是否正确? 为什么?



图 2-6 辨别电源符号

如果铭牌上字迹不清, 可以通过电工仪表测量电源两端的电压大致知道电源电动势的大小。电源两端的电压称为**电源端电压**。当电源为理想电源时, 电源端电压 U 就等于电源电动势 E 的大小, 如图 2-7 所示。由于电压也是一个有方向的物理量, 如果 U 与 E 的正负极一致, 如图 2-7 (a) 所示, 则:

$$U = E. \quad (2-1)$$

否则, 如图 2-7 (b) 所示, 则:

$$U = -E. \quad (2-2)$$

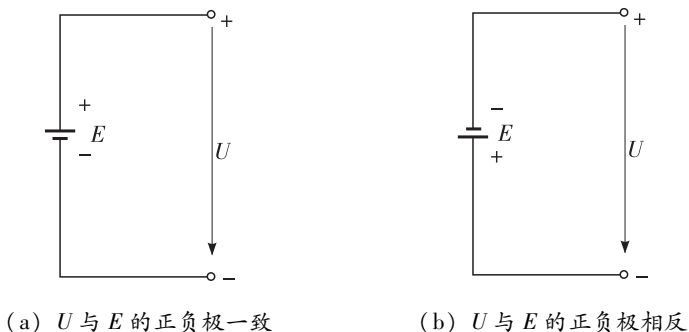


图 2-7 理想电源电动势与端电压的关系

小提示

虽然电动势与电压的单位相同，但是两个不同的物理量，有着不同的物理意义。电动势 E 反映的是电源提供电能的能力，而电压 U 反映的是电路消耗电能的过程。

三、使用万用表测量电源端电压

如图 2-8 所示为电工常用的万用表，有指针式和数字式两种。指针式万用表通过表头指针反映被测量的大小，测量速度快，但读数的直观性和准确度不如数字式万用表高。数字式万用表通过显示屏上显示的数字来反映被测量的大小，具有测量方便、准确度高等特点。

使用数字式万用表测量电源端电压的步骤见实训 2.1。

以下是使用指针式万用表的测量步骤：

(1) 将万用表水平放置，检查仪表的指针是否停在刻度盘左端的零位。如有偏差，可用小螺丝刀轻轻转动机械调零旋钮，使指针指零。

(2) 将红、黑表笔分别插入标有“+”“-”的插孔内。

(3) 根据已知电源电动势的大致值将转换开关转至“V”（表示直流电压）中的合适量程（电压档的数值为量程，表示最大可测量值），要求所选量程尽可能使指针处于刻度盘的 $1/3$ 至 $2/3$ 处。如果预先不知道被测值的范围，可以先选择数值大一些的量程，不合适时再调整。图 2-9 中万用表选择了“V”中的 50 V 挡。

(4) 将红表笔与被测电源的“+”极可靠接触，黑表笔与被测电源的“-”极可靠接触，读出指针在刻度盘上的数值。读数时注意，尽可能选择满刻度值与转换开关挡位值相同的刻度线读数。如图 2-9 中万用表在转换开关里选择了 50 V 挡，读数时就选择满刻度值是 50 的刻度线来读数（如图 2-10 所示中的①线），很容易读出 15 的数值。如果没有所选挡位的刻度线，可选择所选挡位整数倍的刻度线进行读数，但必须根据刻度线的最大值进行放大或缩小。比如同一次测量，选择了图 2-10 中的②线（刻度线的最大值是 250）读数，读出的 75 要再乘以 $\frac{50}{250} = 0.2$ 倍，即 $75 \times 0.2 = 15$ V。



(a) 指针式万用表



(b) 数字式万用表

图 2-8 万用表的外观



图 2-9 指针式万用表的面板说明与挡位选择

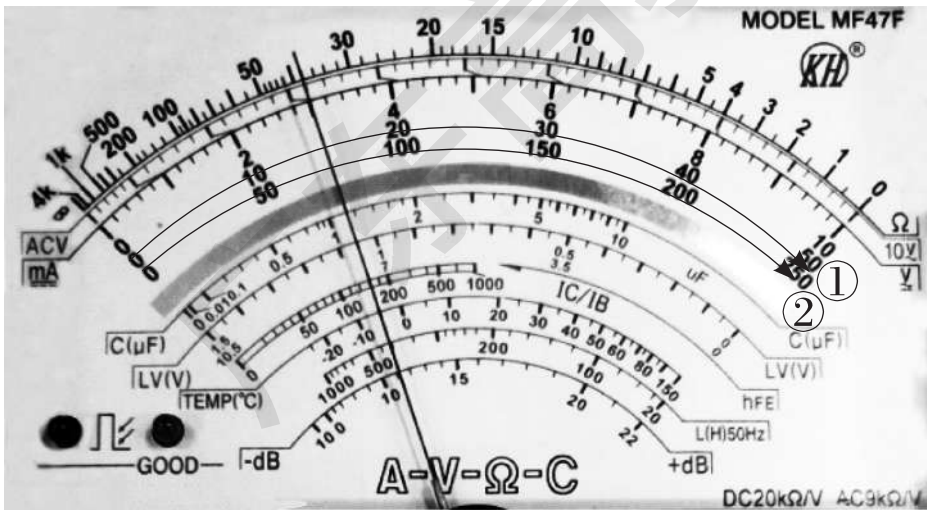


图 2-10 指针式万用表的读数

(5) 测量完毕，收好表笔，将转换开关旋至 OFF 或交流电压最大挡，防止下次开始测量时不慎烧坏万用表。

小提示

电压量程的选择需要把握三点：①所选类别必须与被测电压相同，即如果被测电压是直流电，就应该选择直流挡“V”里的量程；②所选量程应大于被测电压值。例如，被测电压为 9 V 时，由于直流电压挡里有 0.5 V、2.5 V、10 V、50 V、250 V 几个量程，

所以可选的只有 10 V、50 V 和 250 V 挡；③在可选的量程挡中选择较小的，因为此时指针更容易处于刻度盘的 1/3 至 2/3 处，故测量 9 V 电压应选择 10 V 挡。

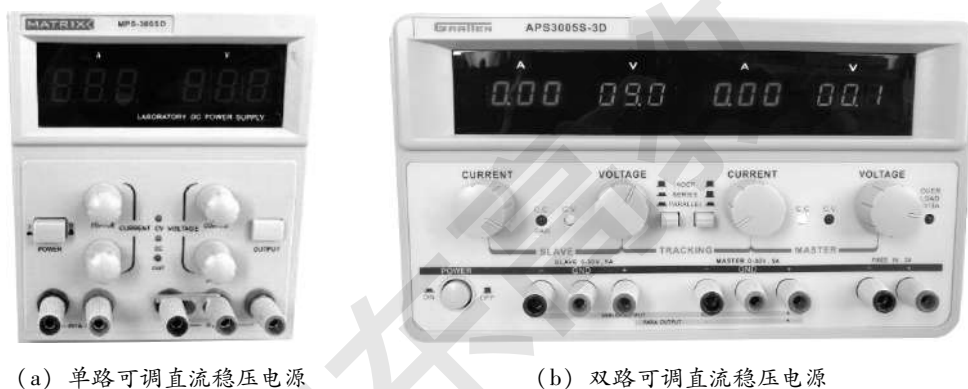


如果使用如图 2-9 所示的万用表测量下列各电源端电压，选择哪个量程比较合适？

- (1) 1.5 V (2) 3.7 V (3) 6 V (4) 25 V

四、直流稳压电源的使用

直流稳压电源是将电网中的交流电源处理成生产、实验所需稳定直流电压的设备，有单路和多路之分，外观如图 2-11 所示。



(a) 单路可调直流稳压电源

(b) 双路可调直流稳压电源

图 2-11 直流稳压电源

如图 2-12 所示为 APS3003S/APS3005S 型直流稳压电源的面板说明。由图可见，该稳压电源有 I、II、III 三路输出，其中 I、II 两路输出电压、电流可调，III 路为固定的 5 V、3 A 输出。对于 I 路而言，电源由⑫⑬⑭端输出，输出电压大小由旋钮⑦调节，调节过程中随时可在位置③观察到输出电压的大小，输出电流大小由旋钮⑥调节，调节过程中随时可在位置②观察到输出电流的大小。II 路输出与此类似，涉及的位置为④⑤⑨⑩⑮⑯⑰。



- | | | | |
|----------------|-----------------|-----------------|---------------|
| ①产品型号 | ② I 路电流显示 | ③ I 路电压显示 | ④ II 路电流显示 |
| ⑤ II 路电压显示 | ⑥ I 路电流调整旋钮 | ⑦ I 路电压调整旋钮 | ⑧跟踪模式选择旋钮 |
| ⑨ II 路电流调整旋钮 | ⑩ II 路电压调整旋钮 | ⑪电源开关 | ⑫ I 路正极 (+) |
| ⑬接地 (GND) | ⑭ I 路负极 (-) | ⑮ II 路正极 (+) | ⑯接地 (GND) |
| ⑰ II 路负极 (-) | ⑱ III 路正极 (+) | ⑲ III 路负极 (-) | |

图 2 - 12 APS3003S/APS3005S 型直流稳压电源的面板说明

实训 2.1 直流电源端电压的测量

一、实训目的

- (1) 学会使用直流稳压电源。
- (2) 掌握使用万用表测量直流电源端电压的方法。
- (3) 理解电源端电压与电动势之间的关系。

二、实训器材

数字式万用表、直流稳压电源（APS3003S/APS3005S 型）、电池、导线。

三、实训过程

实训任务一：使用万用表测量直流稳压电源端电压

- (1) 为直流稳压电源（APS3005S）上电，按下启动按钮（POWER）。
- (2) 调节 I 路输出电压的“VOLTAGE”旋钮，使输出指示屏幕上 I 路输出电压“V”的位置显示“09.0”，表示此时的输出电压为 9 V，如图 2 - 13 所示。
- (3) 红表笔插入数字式万用表标有“VΩ”的插孔，黑表笔插入标有“COM”的插孔。鉴于直流稳压电源的电压输出为 9 V 左右，将万用表挡位转换开关旋至直流电压挡位“20 V”，如图 2 - 14 所示。



图 2-13 调节直流稳压电源的输出

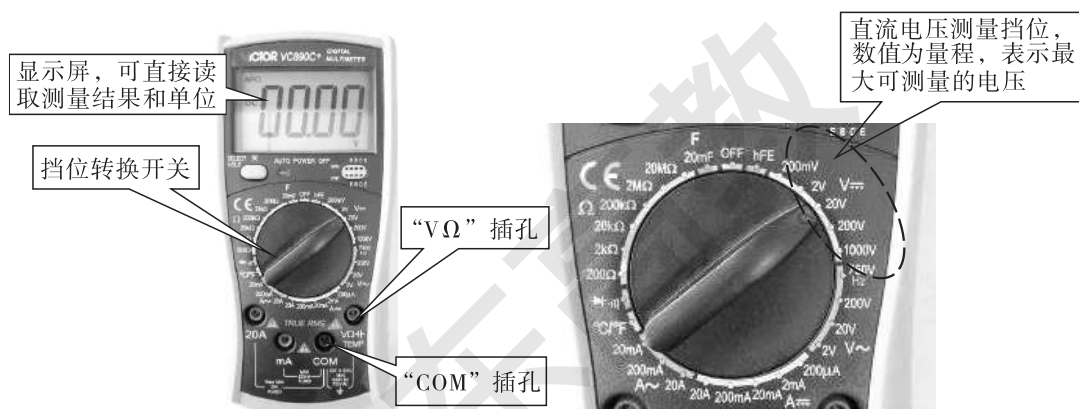


图 2-14 调整万用表的挡位

(4) 如图 2-15 所示，将万用表红表笔接直流稳压电源正极、黑表笔接电源负极，测量稳压电源的端电压，在万用表的显示屏上直接读数。图 2-15 中万用表测得读数为“9.04 V”。

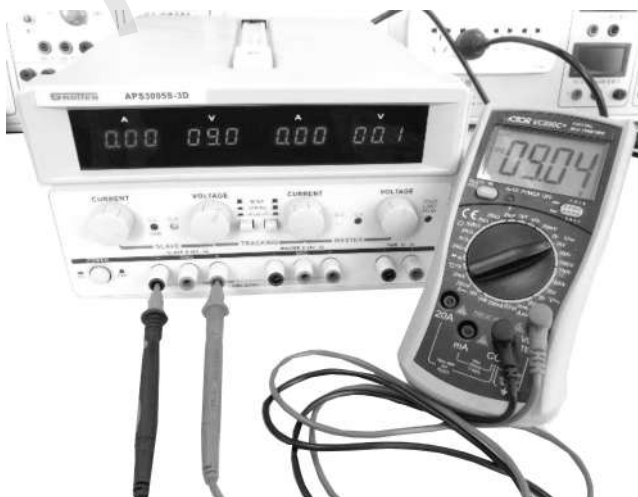


图 2-15 用万用表测量直流稳压电源的端电压

(5) 重复步骤 (2)、(3)、(4)，分别测量表 2-1 中不同的电源端电压，并把数据记录在表中，了解电源输出电压与端电压的关系。

表 2-1 用万用表测量直流稳压电源

序号	电源输出电压（稳压电源显示）/V	电源端电压（万用表读数）/V
1	3 V	
2	5 V	
3	12 V	
4	15 V	

实训任务二：使用万用表测量干电池端电压

- (1) 观察干电池的铭牌，读出电池电动势。
- (2) 根据电池电动势，将万用表挡位转换开关旋至合适挡位。
- (3) 将万用表红表笔接电池正极、黑表笔接电池负极，在万用表的显示屏上读出电池端电压，并记录在表 2-2 中。
- (4) 选取使用程度不同的电池，按照上述步骤进行测量并记录数据，了解电池有电与没电时端电压与电动势之间的差值。

表 2-2 用万用表测量干电池

序号	电池的使用程度	电池电动势（铭牌读数）/V	电源端电压（万用表读数）/V
1	全新		
2	使用了较短时间		
3	使用了较长时间		
4	已经“没电”		

四、分析与总结

- (1) 使用万用表测量电源端电压时，应根据_____确定转换开关的合适挡位。如果预先不知道该值，可以先选择_____挡位，不合适时再调整。
- (2) 使用万用表测量直流电源端电压时，万用表红表笔应接电源_____极、黑表笔接电源_____极。

五、注意事项

测量完毕，及时关闭直流稳压电源，收好万用表表笔，将转换开关旋至 OFF 或交流电压最大挡。

第 2 节 负 载



做一做

观察电热水壶底部的铭牌，有条件的话试着将其底部拆开，如图 2-16 所示，观察其内部结构。



(a)

电热水壶
产品型号: BW-15
额定电压: 220 V
额定功率: 2200 W
额定频率: 50 Hz
容量: 2 L

(b)



(c)

图 2-16 观察电热水壶

一、负载

负载是利用电能工作的装置，又称用电器，它把电能转换为其他形式的能量，为科学研究、生产生活服务。例如，电动机把电能转换成机械能，电热水壶把电能转换为热能，扬声器把电能转换成声能，等等。电动机、电热水壶、扬声器等都是电路的负载。

负载最值得关注的是它的额定参数。**额定**是指负载能正常工作的状态，用“N”作标记。图 2-16 (b) 中可以看到电热水壶的额定电压是 220 V、额定功率为 2 200 W，就是说图 2-16 的电热水壶在 220 V（频率为 50 Hz）的电源供电时可在一秒时间内将 2 200 J 电能转换成热能（ $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$ ），从而使壶中的水升温，记作 $U_N = 220 \text{ V}$ ， $P_N = 2\,200 \text{ W}$ 。如果提供给负载的电压达不到额定值，有的负载虽然仍可以工作，但转换的电能远不能达到额定时的数值；有的负载比如电动机，则可能无法工作。如果提供给负载的电压超过额定值，有的负载会瞬间烧毁，有的即使短时间内没有烧毁，也会使性能变差，应该避免。



练一练

观察如图 2-17 所示铭牌，说出它们的额定电压和额定功率。

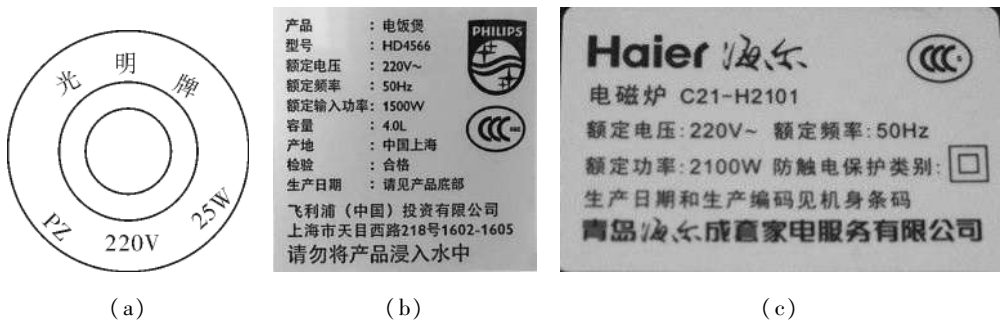


图 2-17 观察用电器的铭牌

二、电阻值与电阻器

实际中的负载形式千差万别，在不同的应用场合，要考虑的重点也各不相同。比如一根导线，有时我们把它视作短路，有时又要考虑它的电阻率。为了方便分析，我们要根据实际负载的电气特性进行近似处理。图 2-16 中电热水壶底部的电热板工作时有发热现象，家里的白炽灯泡在点亮时也会发光发热，体现出阻碍电流、消耗电能的电阻器的特性，为此，在电路分析时常用**电阻器**来代表，用如图 2-18 所示的图形符号表示。



图 2-18 电阻器符号



用图 2-19 中的图形符号表示电阻器是否正确？为什么？



图 2-19 辨别电阻器符号

电阻值，有时也称为电阻、阻值，是电阻器的重要参数，体现了器件阻碍电流的能力大小，电阻值符号为 R ，国际标准单位为欧姆，简写为欧 (Ω)。也可以用千欧 ($\text{k}\Omega$)、兆欧 ($\text{M}\Omega$) 来表示。其换算关系为：

$$1 \text{ M}\Omega = 1 \times 10^3 \text{ k}\Omega = 1 \times 10^6 \Omega.$$



电阻器简称电阻，是电路中应用数量最多的元件，也是最便宜的电子元件之一。不同用途的电阻器，结构、外观、性能也各不相同。电阻器可分为普通的电阻器和具有特殊功能的电阻器。普通电阻器通常又细分为固定电阻器和可变电阻器。固定电阻器的电

阻值固定不变,也称为定值电阻,如图2-20(a)所示。电阻值可以调节的称为可调电阻器,如图2-20(b)所示。具有特殊功能的电阻器,有的如热敏电阻器[见图2-20(c)]的阻值会随温度高低而变,有的如光敏电阻器[见图2-20(d)]的阻值会随光照的强弱而变。在大电流、大电压的工作环境中,经常使用的电阻器有生铁电阻器、线绕电阻器、板式电阻器等,如图2-21所示。



图2-20 常见小电流电阻器

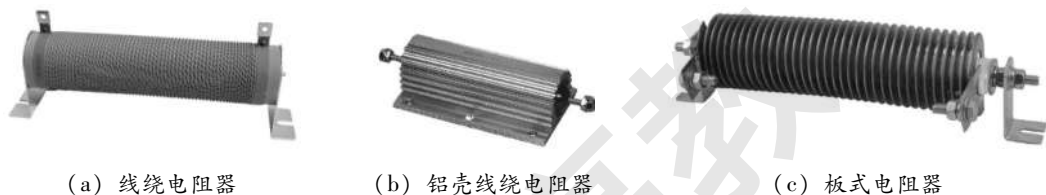


图2-21 常见大电流电阻器

电阻器的主要指标包括标称值、允许偏差、额定功率等,在元件表面或外包装上往往含有这些信息。如图2-22所示为某色环电阻器包装铭牌,上面写明了该电阻器的电阻标称值为 $5.1\text{ k}\Omega$,允许偏差为 $\pm 5\%$,额定功率为 $\frac{1}{4}\text{ W}$ 。

碳膜电阻(CP)	
型号	1/4W $\pm 5\%$
数量	1000 PCS
阻值	5K1

图2-22 色环电阻器包装铭牌

三、使用万用表测量电阻值

负载的铭牌上很少会像电阻器那样标出具体的电阻值,但可以像电阻器那样用万用表测量出来。使用数字式万用表测量的方法详见实训2.2,以下是使用指针式万用表测量电阻的步骤:

- (1) 万用表水平放置,检查指针机械零位。如不在零位,进行机械调零。
- (2) 将红、黑表笔分别插入标有“+”“-”的插孔内。
- (3) 根据已知电阻器的大致数值将万用表的挡位转换开关转至“ Ω ”(表示电阻)

中的合适倍率(电阻挡的数值为倍率),要求所选倍率尽可能使指针处于刻度线的 $\frac{1}{3}$ 至

$\frac{2}{3}$ 处。如图 2-23 所示中万用表选择了“ Ω ”中的“ $\times 100$ ”挡。

(4) 将万用表红、黑两表笔短接的同时, 调节欧姆调零旋钮, 使指针指到刻度盘最上方刻度线的“0”处(最右侧), 这叫欧姆调零。

(5) 松开短接的表笔, 断开被测电阻所在电路, 将两表笔分别可靠接触到被测电阻的两端, 读出指针所指的最上方刻度线上的值。如图 2-23 所示中万用表指针指在最上方刻度线上的数值为 18。

(6) 电阻的实际电阻值等于刻度线上的读数乘以转换开关所选的倍率。如图 2-23 所示中万用表转换开关选择了“ $\times 100$ ”挡, 故电阻的实际电阻值为 $18 \times 100 = 1\,800\Omega$ 。

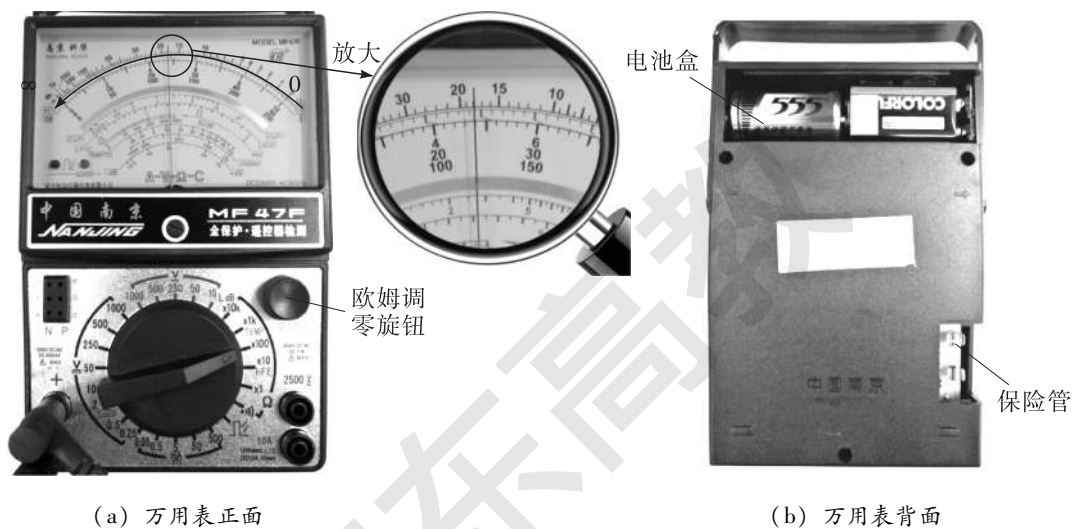


图 2-23 指针式万用表电阻挡位选择与读数

测量时, 如果预先不知道被测电阻的阻值范围, 可以先将转换开关旋至数值较大的倍率, 再根据指针的指示位置调整。转换开关每调整一次挡位均需重新进行欧姆调零! 另外, 为了保证测量准确, 测量时测量者的手不能同时触碰到电阻器的两端。如果被测电阻器接在电路中, 必须先断开其两端与电路的连接方可测量, 否则容易造成误差。

小提示

仔细观察万用表, 最上方的刻度线是不均匀的, 而且指针偏转到最右侧时指示为 0。当指针处于刻度线的 $\frac{1}{3}$ 至 $\frac{2}{3}$ 处时, 对应的数值在 5~50 之间, 此区域的刻度比较清晰, 容易读数。为了使测量时指针处于这一区域, 可以将被测电阻器的大致阻值分别除以 50 和 5, 根据运算后的结果范围选择合适的倍率。例如, 当被测电阻器的阻值为 $8.2\text{ k}\Omega$ 时, 将 $8.2\text{ k} = 8\,200$ 分别除以 50 和 5, 结果大致分别为 160 和 1 600。由于在 160~1 600 之间的倍率只有“ $\times 1\text{ k}$ ”($\times 1\,000$), 故选择“ $\times 1\text{ k}$ ”挡。如果计算出来的结果范围恰好有两个倍率, 建议使用较大的, 因为此时指针指示的数值更小, 刻度更清晰。例如, 被测电阻器的阻值为 $4.7\text{ k}\Omega$, 将 $4.7\text{ k} = 4\,700$ 分别除以 50 和 5, 结果大致为 100 和 1 000, 此

时如果选择“ $\times 100$ ”挡,指针将指在47处,而选择“ $\times 1\text{ k}$ ”($\times 1\,000$)挡,指针则指在4.7处,相对而言,4.7处的刻度比47处的更清晰,故选择“ $\times 1\text{ k}$ ”挡。

如果指针式万用表欧姆调零时,指针有偏转但始终无法调到零点,最常见的原因是万用表的电池没电。如图2-23(b)所示,打开万用表背部的电池盒盖,更换相应电池。例如MF-47型指针式万用表,“ $\times 1$ ”“ $\times 10$ ”“ $\times 100$ ”“ $\times 1\text{ k}$ ”无法调零是1.5 V的电池没电,“ $\times 10\text{ k}$ ”无法调零是9 V电池没电。如果调零时指针完全不动,常见的原因是万用表保险管熔断、万用表没有安装电池或是表笔内部断线,甚至表头损坏,应针对这几种可能性逐一排查。



练一练

如果使用如图2-23所示的万用表测量以下阻值的电阻器,选择哪个倍率比较合适?

- (1) $180\ \Omega$ (2) $2\ \text{M}\Omega$ (3) $30\ \text{k}\Omega$

四、使用惠斯通电桥测量电阻值

如图2-24所示为惠斯通电桥(又称单臂电桥)。其中 R_1 、 R_2 是已知标准电阻器, R_s 是可变标准电阻器, R_x 是被测电阻器, b 、 d 两点间接检流计 G 。研究发现,接通电源后,检流计一般指示不为零,但调节 R_s 至适当数值时,检流计 G 指示为零,一般称此时电桥达到平衡。当电桥平衡时,满足 $R_x = \frac{R_1}{R_2} R_s$ 。如果 $\frac{R_1}{R_2}$ 成适当比值,则通过读出 R_s 的阻值,就可以很方便地计算出被测电阻器 R_x 的阻值。这是实验室精确测量 $1\ \Omega$ 以上电阻器的方法。图2-25为测量用的箱式惠斯通电桥和电阻箱。

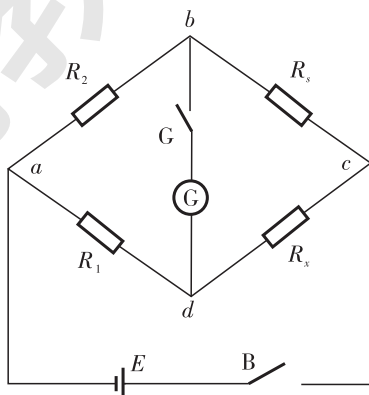


图2-24 惠斯通电桥电路图



(a) 箱式惠斯通电桥



(b) 电阻箱

图2-25 用惠斯通电桥测量电阻值的设备

小知识

惠斯通电桥并不是惠斯通发明的，而是由英国发明家克里斯蒂在1833年发明的，但由于惠斯通第一个用它来测量电阻，所以人们就把这种电桥称作惠斯通电桥。惠斯通电桥可以精确测量 $1\ \Omega$ 以上的电阻器， $1\ \Omega$ 以下电阻器的精确测量则一般使用凯尔文电桥（又称双臂电桥），如图2-26所示。

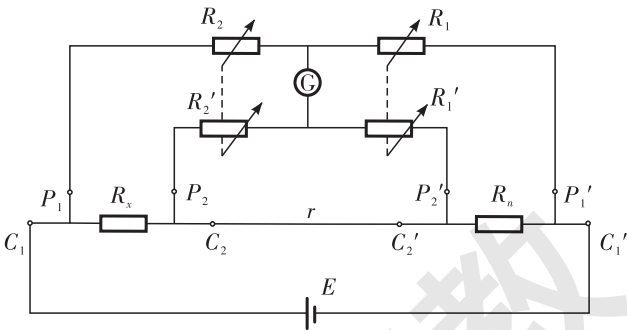


图 2-26 凯尔文电桥电路图

实训 2.2 电阻值的测量

一、实训目的

- (1) 学会使用万用表测量电阻器的电阻值。
- (2) 认识惠斯通电桥，理解电桥测量电阻值的原理与方法。

二、实训器材

数字式万用表、被测电阻器、箱式惠斯通电桥、导线、电阻箱。

三、实训过程

实训任务一：使用万用表测量电阻器的阻值

- (1) 将红、黑表笔分别插入标有“V Ω ”“COM”的插孔内。
- (2) 将万用表的挡位转换开关旋至电阻测量挡位，先选择其中任意一个挡位进行测量，如图2-27所示。如果显示屏上出现“OL”字样，如图2-28（a）所示，说明选择的量程太小，测量结果超出最大可测量值，应选择更大

电阻测量挡位，数值为量程，表示最大可测量的阻值



图 2-27 调节万用表的电阻测量挡位

量程；如果显示屏上显示的数值较小，如图 2-28 (b) 所示显示“0.004”，说明选择的量程太大，应选择更小量程。



(a) 选择的量程太小



(b) 选择的量程太大

图 2-28 判断量程是否合适

(3) 万用表的两支表笔分别可靠接触待测电阻器的两端，显示屏上显示的读数即为被测电阻器的阻值，如图 2-29 所示，电阻值为“4.96 kΩ”。



图 2-29 电阻器的测量

(4) 重复步骤 (2) ~ (3)，分别测量表 2-3 中每只电阻器的实际阻值，然后计算出误差值，并把数据记录在表中。误差是指电阻器的电阻实际值偏离标称值的程度，其计算公式为：

$$\text{误差值} = \frac{\text{实际值} - \text{标称值}}{\text{标称值}} \times 100\%$$

表 2-3 用万用表测量电阻器阻值

序号	标称值	实际值	误差值
1	100 Ω		
2	1 kΩ		
3	10 kΩ		
4	100 kΩ		
5	500 kΩ		
6	1 MΩ		

实训任务二：使用惠斯通电桥测量电阻器的阻值

(1) 箱式惠斯通电桥和电阻箱的面板如图 2-30 所示，按下电桥面板上的检流计工

作按钮 G，调节调零旋钮，使检流计 G 指针指向零位。调零完成后，再次按下按钮 G，使检流计处于断开状态。

(2) 将被测电阻器接入“ R_x ”两端，将电阻箱接入“ R_s ”两端，根据被测电阻器电阻值的大致范围选择适当的“ R_1/R_2 ”倍率，并预先设定电阻箱的电阻值。由于电阻箱的阻值范围是在 $0.1 \sim 99\,999.9\,\Omega$ 之间，选择倍率时要使电阻箱的六个旋钮尽可能多地利用上，目的是提高测量的精度。例如，对于标称值为 $5.1\,\text{k}\Omega$ 的电阻器，如果“ R_1/R_2 ”选择“ $\times 1\,000$ ”的倍率，则电阻箱 R_s 的调节结果应为 00 005.1，六个旋钮中只用到了“ $\times 1$ ”和“ $\times 0.1$ ”两个；如果“ R_1/R_2 ”倍率选为“ $\times 1$ ”，则 R_s 的调节结果便是 05 100.0，精度将提高很多。

(3) 测量时先按下惠斯通电桥的电池工作按钮 B，再按下检流计工作按钮 G，调节电阻箱 R_s 上的旋钮，使检流计表头指示为零（此时惠斯通电桥平衡），记录电桥上的“ R_1/R_2 ”倍率读数和电阻箱 R_s 上的旋钮读数，将 R_1/R_2 乘以 R_s 即为被测电阻器的电阻值。测量结束时先按下按钮 G，再按下按钮 B。

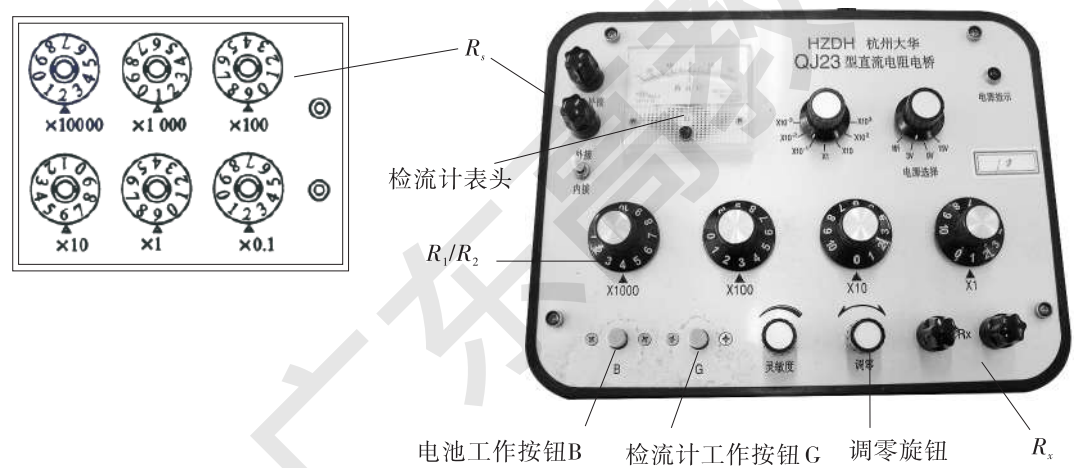


图 2-30 用惠斯通电桥测量电阻值的设备面板

(4) 重复步骤 (2) ~ (3)，分别测量表 2-4 中每个电阻器，将测量时的“ R_1/R_2 ”倍率和 R_s 记录在表中，再根据公式计算出 R_x 值。

表 2-4 用惠斯通电桥测量电阻器阻值

序号	标称值	“ R_1/R_2 ” 倍率	R_s	$R_x = (R_1/R_2) R_s$
1	100 Ω			
2	1 $\text{k}\Omega$			
3	10 $\text{k}\Omega$			
4	100 $\text{k}\Omega$			
5	500 $\text{k}\Omega$			
6	1 $\text{M}\Omega$			

四、分析与总结

(1) 使用万用表和电桥测量电阻时,都应事先知道被测电阻器的大致阻值,如果不知道,可以用_____ (“万用表”或“电桥”)先选择任意电阻挡位进行预测。

(2) 使用惠斯通电桥测量电阻时,关于按钮 B、G 的操作顺序是:测量时先按下按钮____再按下按钮____;结束时先按下按钮____再按下按钮____。

五、注意事项

测量完毕,应及时关闭电源,收好万用表表笔,将转换开关旋至 OFF 或交流电压最大挡。

第 3 节 导线与开关



做一做

观察导线上的标识(如图 2-31 所示),上互联网搜索并理解“BVR”“BVVB”“RVV”“300/500 V”“ 2×0.5 ”等标识的含义。



图 2-31 导线上的标识

一、导线的作用与分类

导线是电路中最基本的要素,其作用是使电路连通,形成电流。

导线的种类很多,一般可分为硬导线和软导线两大类,如图 2-32 所示。其中,硬导线又有单股与多股之分。软导线根据护套内芯线的数量不同分为单芯线和多芯线,有的多芯线内还有金属网或铝箔,这是屏蔽干扰信号用的(将导线的屏蔽层接地称为屏蔽接地)。导线的线芯一般为铝质或铜质材料。铝导线的导电性能、耐腐蚀能力比铜导线差,但其重量轻,价格便宜,故多用于架空线路、母线和汇流排。铜导线的导电性能、焊接特性、机械强度、耐腐蚀能力和使用寿命比铝线好,故较重要的线路如动力、控制和照明线路以及各种电动机、变压器的绕组等都采用铜线。

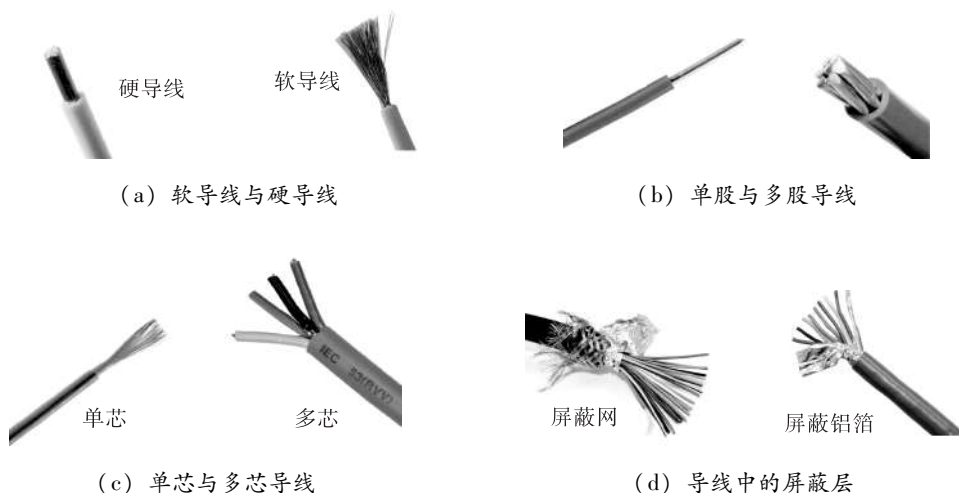


图 2-32 导线的种类

二、导线的参数与符号

导线上一般有电压值、绝缘材料、屏蔽状况及表示芯线数量和尺寸的标注，如“ 2×0.5 ”表示该导线护套内有 2 根芯线，每根芯线的横截面积为 0.5 mm^2 。导线的电压值表明该导线的工作电压等级，与导线的绝缘程度有关，一旦绝缘层遭破坏，导线就无法在正常电压下工作，必须进行恢复（详见实训 2.3）。导线的尺寸会影响导线的电阻，特殊情况下需要考虑这一阻值的影响。

1. 电阻定律

导线电阻的大小与其自身的尺寸及材料有关，也会受环境温度的影响而变化。研究发现，在温度不变时，一段均匀导体的电阻 R 与导体的长度 l 成正比，与导体的横截面积 S 成反比，这就是**电阻定律**。公式为：

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (2-3)$$

式中， ρ ——导体的**电阻率**，单位为欧姆·米 ($\Omega \cdot \text{m}$)；

l ——导体的长度，单位为米 (m)；

S ——导体的横截面积，单位为平方米 (m^2)；

R ——导体电阻值，单位为欧姆 (Ω)。

这里的 ρ 是导线的重要参数，它反映了材料导电能力的大小，可用于划分材料是导体、半导体还是绝缘体。



小知识

导体的电阻率一般会随温度变化而变化。如碳的电阻率随温度的升高而减小，称为负温度系数；铜等一些金属材料的电阻率随温度的升高而增加，称为正温度系数。当然也有些材料是零温度系数，即不随温度变化而变化，如锰铜。还有些材料，如汞，当温

度下降到某一值时会突然失去电阻特性,称为超导现象。1913年,荷兰莱顿大学的昂内斯因在1911年发现超导现象获得了诺贝尔奖。

【例2-1】一根铜导线长 $l=2\,500\text{ m}$ 、横截面积 $S=2.5\text{ mm}^2$,试求导线的电阻值是多少?若将它截成等长的两段,每段的电阻值是多少?若将它拉长为原来的2倍,电阻值又将是多少?(已知铜的电阻率 $\rho=1.75\times 10^{-8}\text{ }\Omega\cdot\text{m}$)。

解:横截面积换算: $S=2.5\text{ mm}^2=2.5\times 10^{-6}\text{ m}^2$,

$$\text{原导线电阻: } R=\rho\frac{l}{S}=1.75\times 10^{-8}\times\frac{2\,500}{2.5\times 10^{-6}}=17.5\text{ }\Omega。$$

假设未拉伸时导线长度为 l ,横截面积为 S ,若将它截成等长的两段,截断后每段的长度 $l'=\frac{1}{2}l$,横截面积不变。

$$\text{截断后电阻: } R'=\rho\frac{\frac{1}{2}l}{S}=\frac{1}{2}\times\rho\frac{l}{S}=\frac{1}{2}R=\frac{1}{2}\times 17.5=8.75\text{ }\Omega,$$

若将它拉长为原来的2倍,拉伸后长度变为 $l''=2l$,由于导线体积不变,横截面积相应变为原来的一半,即 $S''=\frac{1}{2}S$ 。

$$\text{拉长后电阻: } R''=\rho\frac{2l}{\frac{1}{2}S}=4\times\rho\frac{l}{S}=4R=4\times 17.5=70\text{ }\Omega。$$

练一练

1. 已知铜的电阻率 $\rho_{\text{铜}}=1.7\times 10^{-8}\text{ }\Omega\cdot\text{m}$,铝的电阻率 $\rho_{\text{铝}}=2.8\times 10^{-8}\text{ }\Omega\cdot\text{m}$,同样长度 $l=100\text{ m}$ 、横截面积 $S=4\text{ mm}^2$ 的铜导线和铝导线的电阻值分别为多少?哪种导线的导电性能好?

2. 某电炉阻值为 $100\text{ }\Omega$ 的电热丝断了,剪去 $\frac{1}{5}$ 后继续使用,此时电热丝的电阻值为多少?

小知识

生活中有“多大电流用多少方(平方毫米)线”的说法,这里的电流是指导线的安全载流量。导线的安全载流量是指在规定条件下导线能够连续承载而不致使其稳定温度超过规定值的最大电流,是根据线芯所允许的最高温度、冷却条件、敷设条件来确定的。由公式2-3可以看出,导线横截面积 S 越大,相同材料、相同长度的导线电阻值越小。在后面的章节学习中我们会知道,电阻值越小,同样的电流流过时发出的热量就越小。所以,导线横截面积 S 越大,安全载流量也越大。生活中常用的 2.5 mm^2 铜芯绝缘线安全载流量为 $16\sim 25\text{ A}$, 4 mm^2 的安全载流量为 $25\sim 32\text{ A}$, 6 mm^2 的安全载流量为 $32\sim 40\text{ A}$ 。

关于导线的颜色,相线采用黄、绿、红三色代表不同的三相,中线采用淡蓝色,接地线则黄绿相间。如果没有明确用途,导线颜色选用黑色。



2. 导线的符号

尽管在实际中导线的电阻值是客观存在的，但相比于电路负载的 $k\Omega$ 、 $M\Omega$ 级阻值而言，几千米才十几欧姆的导线阻值实在是太微不足道了，所以在一般的电路分析中，除非特别说明，导线电阻值被视作零，用一条直线作为其图形符号，如图 2-33 所示。

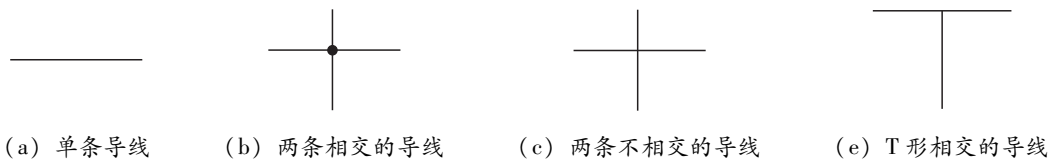


图 2-33 导线的符号

三、开关的作用、分类与符号

开关是控制电路通断的器件，其作用是使电路导通或断开。

开关按其结构特点可分为按钮开关、拨动开关、薄膜开关、水银开关、微动开关、行程开关等，如图 2-34 所示；按用途可分为电源开关、录放开关、波段开关、拨码开关、限位开关、脚踏开关、转换开关、控制开关等，如图 2-35 所示。在照明系统中开关还有按极数、位数的分类方法等，如图 2-36 所示。

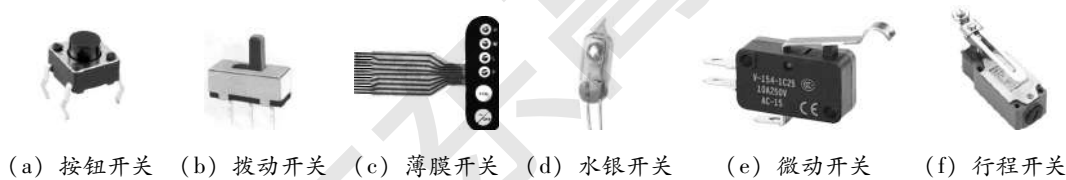


图 2-34 按照结构分类的开关



图 2-35 按照用途分类的开关



图 2-36 按照控制数量分类的开关

电路中用图 2-37 所示的图形符号表示开关。开关断开时类似断路，电阻无穷大；开关闭合时与导线类似，电阻为零。



图 2-37 开关的符号

开关的主要参数有额定电压、额定电流、接触电阻等。**额定电压**是指开关在正常工作时所允许的安全电压。加在开关两端的电压大于此值时，两个触点之间容易击穿。**额定电流**指开关接通时所允许通过的最大安全电流，当超过此值时，开关的触点会因电流过大而烧毁。**接触电阻**是指开关在接通状态下，每对触点之间的电阻值，一般要求在 $0.1\ \Omega$ 以下，此值越小越好。接触不良时，接触电阻较大，是造成电气火灾的隐患之一。

四、使用万用表检测导线通断与开关好坏

使用万用表检测导线通断和开关好坏的方法基本相同，以下是使用指针式万用表的检测方法。

- (1) 万用表水平放置，检查指针的机械零位。如不在零位，进行机械调零。
- (2) 将红、黑表笔分别插入标有“+”“-”的插孔内。
- (3) 选用万用表的蜂鸣挡，短接红、黑表笔确认蜂鸣挡能否正常鸣响。分开红、黑表笔，分别置于被测导线或开关的两端。如果检测的是导线的通断，蜂鸣声响起，说明导线导通，否则说明导线断开。如果检测的是开关的好坏，闭合开关时蜂鸣声响起，断开开关时停止鸣叫，说明开关正常；如果无论开关闭合还是断开，蜂鸣声均鸣响或不响，说明开关已损坏。

(4) 如果万用表没有蜂鸣挡，也可以用“ Ω ”挡中的“ $\times 1$ ”挡测试。先对万用表进行欧姆调零，将红、黑表笔置于被测导线或开关的两端。如果检测的是导线的通断，万用表测得阻值接近于 0，说明导线导通，否则说明导线断开。如果检测的是开关的好坏，闭合开关时万用表测得阻值接近于 0，断开开关时测得阻值接近 ∞ ，说明开关正常；如果无论开关闭合还是断开，万用表测得阻值均接近于 0 或接近 ∞ ，说明开关已损坏。

(5) 测量完毕，收好表笔，将转换开关旋至 OFF 或交流电压最大挡。

使用数字式万用表的检测、判断方法与指针式类似，只需将红、黑表笔分别插入标有“V Ω ”“COM”的插孔内，打开万用表，调节万用表转换开关至蜂鸣挡（见图 2-38）或电阻挡中的最小量程测试即可。



图 2-38 调节万用表至蜂鸣挡



实训 2.3 导线的连接

一、实训目的

- (1) 进一步熟悉常用电工工具的正确使用方法。
- (2) 了解导线连接特点和基本要求。
- (3) 掌握导线连接与绝缘恢复的技能。

二、实训器材

斜口钳、钢丝钳（或尖嘴钳）、电工刀（或剥线钳）、单股铜芯导线、多股铜芯导线、黄蜡带、绝缘胶布（黑胶布带）。

三、实训过程

实训准备：导线的剖削

参照实训 1.1 中导线的剖削方法，用斜口钳裁出需要的导线长度，用电工刀剖削塑料硬导线绝缘层。

实训任务一：导线的连接

(1) 单股铜导线的一字形连接。

两根单股铜导线对接时，先将两导线的芯线线头作 X 形交叉，再将它们相互缠绕 2~3 圈后扳直，然后将每个线头在另一芯线上紧贴密绕 4~6 圈后用钢丝钳剪去多余线头即可，如图 2-39 所示。

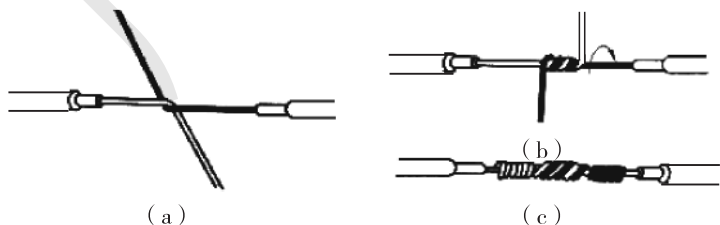


图 2-39 单股铜导线的一字形连接

(2) 单股铜导线的 T 字形连接。

将一根单股铜导线接入另一根单股铜导线中部时，将支路芯线的线头与干线芯线十字相交，在支路芯线根部留出 5 mm 左右的线头，然后顺时针方向紧缠支路芯线，缠绕 6~8 圈后，用钢丝钳切去多余的线头，并钳平芯线末端，如图 2-40 (a) (b) 所示。对于较小截面的导线，为了加固连接，还可以打结，如图 2-40 (c) 所示。

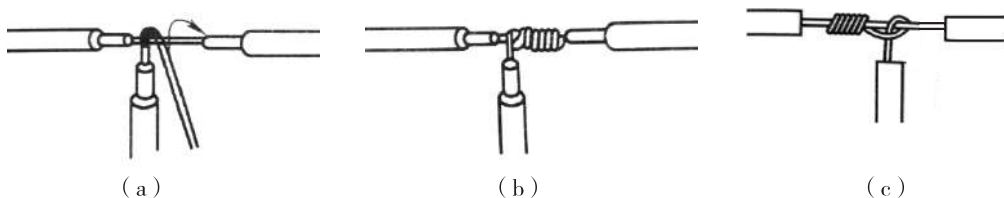


图 2-40 单股铜导线的 T 字形连接

(3) 七股铜导线的直线连接。

①如图 2-41 (a) 所示, 将剥去绝缘层的芯线散开并拉直, 再把靠近绝缘层的 $1/3$ 芯线绞紧, 余下的 $2/3$ 芯线按图示分散成伞骨状并拉直。同样处理对接的另一芯线端。

②把两伞骨状芯线端隔根对叉到底, 如图 2-41 (b) 所示。

③捏平两侧芯线并理直, 使每股芯线的间隔均匀, 同时用钢丝钳钳紧叉口处不留空隙, 如图 2-41 (c) 所示。

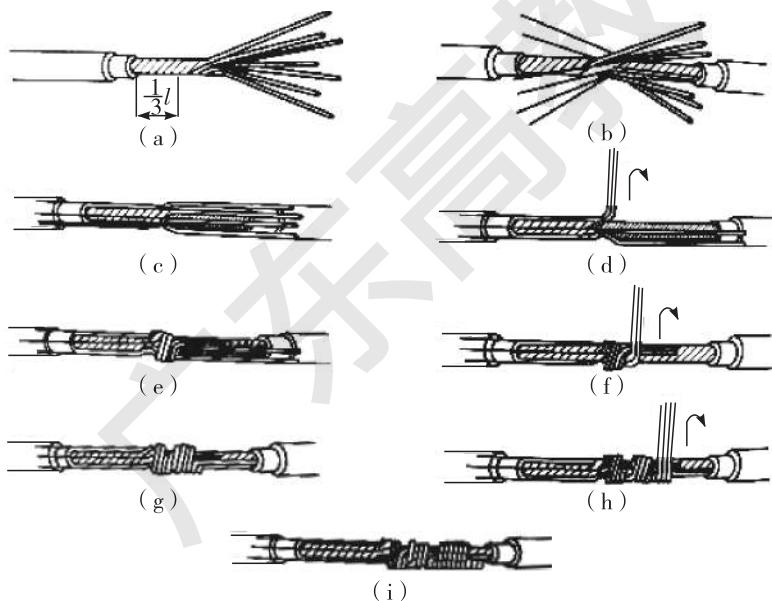


图 2-41 七股铜芯导线的直线连接

④在一端把邻近叉口的 2 根单股芯线扳直, 与芯线成 90° , 如图 2-41 (d) 所示。

⑤把这两根芯线按顺时针方向紧缠 2 圈后, 再折回 90° , 如图 2-41 (e) 所示, 紧贴折起前的轴线位置。

⑥再把处于紧贴位置前的 2 根芯线折成 90° , 并按步骤⑤的方法缠绕, 如图 2-41 (f) (g) 所示。

⑦把余下的 3 根芯线按步骤⑤方法缠绕至第 2 圈时, 把前 4 根芯线在根部切断、钳平, 如图 2-41 (h) 所示; 最后 3 根芯线缠足 3 圈后剪去末端, 钳平切口, 不留毛刺, 如图 2-41 (i) 所示。

⑧用同样的方法再缠绕另一边的芯线。

实训任务二：导线绝缘层的恢复

导线连接完成后，必须对所有连接部位进行绝缘处理，恢复后的绝缘强度应不低于导线原有的绝缘强度。

(1) 一字形连接接头的绝缘处理。

一字形连接的导线接头可按如图 2-42 所示方法进行绝缘处理。先包缠一层黄蜡带，再包缠一层黑胶布带。将黄蜡带从接头左边绝缘完好的绝缘层上开始包缠，包缠两圈后进入裸露芯线部分，如图 2-42 (a) 所示。包缠时黄蜡带应与导线成 55° 左右倾斜角，每圈压叠带宽的 $\frac{1}{2}$ ，如图 2-42 (b) 所示，直至包缠到接头右边两圈距离的完好绝缘层处。然后将黑胶布带接在黄蜡带的尾端，按另一斜叠方向从右向左包缠，如图 2-42 (c) (d) 所示，仍每圈压叠带宽的 $\frac{1}{2}$ ，直至将黄蜡带完全包缠住。

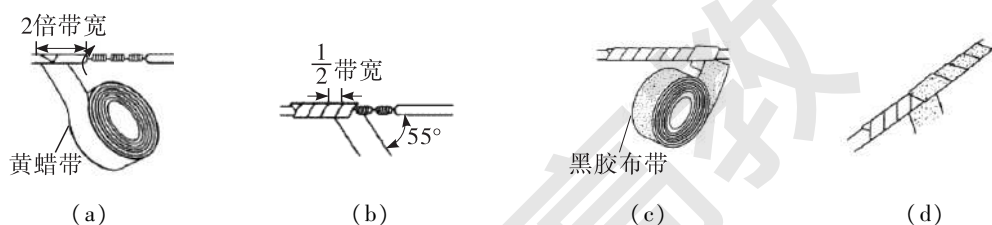


图 2-42 一字对接接头的绝缘处理

(2) T 字分支接头的绝缘处理。

T 字分支接头的绝缘处理方法基本同上，包缠方向走一个“下”字形的来回，使每根导线上都包缠两层绝缘胶带，每根导线都应包缠到完好绝缘层的两倍胶带宽度处，如图 2-43 所示。

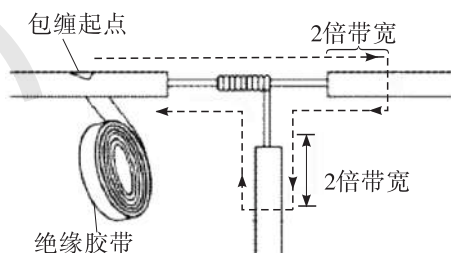


图 2-43 T 字分支接头的绝缘处理

本章小结

1. 电路一般由电源、负载、开关与导线四个部分组成。电源是将其他形式的能转换成电能的装置，作用是为电路提供电能。电源分为交流电源（AC）和直流电源（DC）。负载是利用电能工作的装置，作用是把电能转换为其他形式的能量。导线的作用是使电路连通，形成电流。开关的作用是使电路导通或断开。

2. 电动势是体现电源将其他形式的能转换成电能的能力大小的物理量，符号 E ，国际标准单位为伏特，简称为伏（V）。在电源内部，电动势的方向由电源负极指向电源正极。

3. 理想电源的端电压：如果 U 与 E 的正负极一致，则 $U=E$ ；否则， $U=-E$ 。

4. 电阻值是衡量器件对电流阻碍能力大小的物理量，符号 R ，国际标准单位为欧姆，简称为欧（ Ω ）。

5. 电阻率是反映材料导电能力大小的物理量，符号 ρ ，国际标准单位为欧姆·米，简称为欧·米（ $\Omega \cdot \text{m}$ ）。

6. 电阻定律：在温度不变时，一段均匀导体的电阻 R 与导体的长度 l 成正比，与导体的横截面积 S 成反比，即 $R = \rho \frac{l}{S}$ 。

课后测试

一、填空题

1. 电路一般由_____、_____、_____与_____四个部分组成。
2. 用开关控制电路工作的状态就是指控制电路的_____或_____。
3. 电源是将_____能转换成_____能的装置。根据电源对电路供电形式不同，电源可以分为_____电源和_____电源。
4. 某电器铭牌上标注额定电压为 220 V、额定功率为 1 500 W，说明该电器在_____ V 电压下可正常工作，此时在一秒时间内转换的能量为_____ J。
5. 电阻是衡量器件对电流_____能力大小的物理量。
6. 导线电阻的大小与自身的尺寸及材料有关，也受_____的影响而变化。在温度不变时，一段均匀导体的电阻与导体的长度成_____比，与导体的横截面积成_____比。
7. 在电源的内部，电动势的方向是由电源的_____极指向电源的_____极。
8. $2\,460\,\Omega =$ _____ $\text{k}\Omega$ ； $4.7\,\text{M}\Omega =$ _____ Ω 。

二、判断题

1. 导体的长度和横截面积都增大 1 倍，则其电阻值也增大 1 倍。 ()

2. 导体的电阻永远不变。 ()
3. 当电路开路时, 电源电动势的大小为零。 ()
4. 开关的接触电阻越小越好。 ()
5. 导线绝缘层损坏后, 如果不是特别严重, 可以不必恢复绝缘。 ()

三、选择题

1. 某个电池 1.5 V, 指的是它的 () = 1.5 V。
A. E B. I C. U D. R
2. 用万用表欧姆挡测电阻时, 下列说法正确的是 ()。
A. 电阻的测量无须考虑倍率, 任意倍率都可以精确读数
B. 应该用两只手分别将两表笔与待测电阻器两端紧紧捏在一起, 以使表笔与待测电阻器接触良好
C. 待测电阻器若是连接在电路中, 应把它与其他元件断开后再测量
D. 使用完毕应拔出表笔, 转换开关保持原位不变
3. 一根导体的电阻为 R , 若将其从中间对折合并成一根新导线, 其阻值为 ()。
A. $\frac{R}{2}$ B. R C. $\frac{R}{4}$ D. $\frac{R}{8}$
4. 接地线宜采用 () 的绝缘导线。
A. 白色 B. 黄色 C. 绿色 D. 黄绿双色
5. 用指针式万用表测量电阻, 下列说法正确的是 ()。
A. 表盘上的刻度线是均匀的
B. 指针偏转到最右端时, 电阻为无穷大
C. 指针偏转到最左端时, 电阻为无穷大
D. 指针偏转到中间时, 电阻为无穷大

四、问答题

1. 简述用万用表测量电阻值时的注意事项。
2. 某同学使用数字式万用表测量一只未知阻值的电阻器。按照正确的步骤操作后, 万用表显示“OL”, 请说明该字符的意思, 该同学接下来应该进行什么操作?

五、计算题

一根铜导线长 $l=5\text{ m}$, 横截面积 $S=4\times 10^{-4}\text{ m}^2$, 已知铜的电阻率 $\rho=1.75\times 10^{-8}\text{ }\Omega\cdot\text{m}$, 求该导线的电阻值为多少?