

河南省劳动保护宣传教育中心/组织编写



电工作业安全技术

DIANGONG ZUOYE ANQUAN JISHU

(培训教材)

气象出版社

特种作业人员培训教材

电工作业安全技术

河南省劳动保护宣传教育中心组织编写

主编：陈惠群

编写：陈惠群 岳朝有 张永志

尚学智 司久正 陈敏华

狄俊福 张 民

审定：徐晓航 曹丽霞

气象出版社

图书在版编目(CIP)数据

电工作业安全技术/河南省安全生产局编. —北京:
气象出版社, 2003. 9

ISBN 7-5029-3645-9

I. 电... II. 河... III. 电工-安全技术
IV. TM08

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 086571 号

电工作业安全技术 (培训教材)

DIAN GONG ZUO YE AN QUAN JI SHU

PEI XUN JIAO CAI

责任编辑:张斌 终审:周诗健

出版发行: **气象出版社**

出版社地址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

邮政编码:100081

出版社电话:68407112

传真号码:62176428

出版社网址:出版社网址:<http://cmp.cma.gov.cn/>

电子信箱:qxcbs@263.NET

印 刷:郑州海天印务有限公司

开 本:850×1168 1/32 版 次:2003 年 9 月第 1 版

印 张:12.5 印 次:2003 年 9 月第 1 次印刷

字 数:312 千 印 数:1—5000 册

定 价:22.00 元(共两册) ISBN 7-5029-3645-9/TM·0008

前 言

根据《中华人民共和国安全生产法》和国家经贸委颁布的《特种作业人员安全技术培训考核管理办法》(国家经贸委令第13号),特种作业人员必须经过专门的安全技术培训,考核合格后取得全国统一的《中华人民共和国特种作业操作证》,方可上岗作业。电工作业作为危险性较大的特种作业,依法对其人员进行安全技术培训,提高他们的安全技术素质,是我们搞好安全生产,保障人民群众生命健康的一项重要基础工作。

为满足对电工作业人员进行安全技术和考核的要求,我们编写了《电工作业安全技术》一书。

这本书根据国家安全生产监督管理局颁布的《电工作业人员安全技术培训大纲》及《电工作业人员安全技术考核标准》的要求编写,全书共分三部分:第一编是通用部分,是所有电工作业人员都应接受培训的内容,主要介绍了电工作业人员必须掌握的安全技术知识;第二编为低压运行维修作业人员选学的知识技能;第三编为高压运行维修作业人员选学的知识技能。本书可用于电工作业人员上岗前为取得《中华人民共和国特种作业操作证》进行安全技术培训,也可供各级安全生产部门和生产技术人员参考。

本书由陈惠群、岳朝有、张永志、尚学智、司久正、陈敏华、狄俊福、张民编写,陈惠群主编。徐晓航、曹丽霞审稿。

由于时间短,水平有限,书中难免有错误之处,敬请各位读者批评指正。

编者

2003年6月

目 录

第一编 通用部分

第一章 电工与电子基础	(1)
§ 1-1 电的基本概念	(1)
§ 1-2 直流电路	(6)
§ 1-3 电磁感应	(19)
§ 1-4 单相交流电路	(29)
§ 1-5 三相交流电路	(47)
§ 1-6 晶体管与晶闸管	(55)
第二章 电工测量	(67)
§ 2-1 电工测量的基本知识	(67)
§ 2-2 电流与电压的测量	(76)
§ 2-3 钳形电流表	(78)
§ 2-4 万用表	(80)
§ 2-5 兆欧表	(83)
§ 2-6 电能的测量	(85)
§ 2-7 直流电桥	(88)
第三章 触电危害与急救	(93)
§ 3-1 电流对人体的伤害	(93)
§ 3-2 人体触电的方式	(96)
§ 3-3 触电急救	(99)
第四章 防触电技术	(111)
§ 4-1 绝缘防护	(111)
§ 4-2 屏护	(113)

§4-3	安全距离	(115)
§4-4	安全电压	(118)
§4-5	电气隔离与等电位连接	(120)
§4-6	漏电保护	(122)
第五章	保护接地与保护接零	(130)
§5-1	接地与保护接地的概念	(130)
§5-2	保护接地	(132)
§5-3	保护接零	(136)
§5-4	接地装置	(146)
第六章	电气安全操作技术	(156)
§6-1	电气安全工作基本要求	(156)
§6-2	电气工作人员的职责及从业条件	(159)
§6-3	在电气设备(或线路)上作业的组织措施	(160)
§6-4	停电作业的安全技术措施	(166)
§6-5	电工安全用具及使用	(170)
第七章	电气防火及防雷电	(179)
§7-1	电气火灾与爆炸的原因	(179)
§7-2	危险物质和危险环境	(182)
§7-3	防爆电气设备和防爆电气线路	(184)
§7-4	电气防火防爆技术	(187)
§7-5	雷电的危害	(191)
§7-6	防雷装置	(192)
§7-7	防雷措施	(198)
第八章	电力电容器	(205)
§8-1	电力电容器补偿原理与计算	(205)
§8-2	电力电容器的安装与接线	(208)

§ 8-3 电容器安全运行	(210)
---------------------	-------

第二编 低压运行维修作业

第九章 低压配电装置	(214)
------------------	-------

§ 9-1 保护电器	(214)
------------------	-------

§ 9-2 开关电器	(219)
------------------	-------

§ 9-3 低压配电屏	(227)
-------------------	-------

§ 9-4 低压带电作业的要求	(232)
-----------------------	-------

第十章 电气线路	(234)
----------------	-------

§ 10-1 电气线路的种类	(234)
----------------------	-------

§ 10-2 电气线路常见故障	(238)
-----------------------	-------

§ 10-3 电气线路安全条件	(244)
-----------------------	-------

§ 10-4 线路巡视检查	(251)
---------------------	-------

第十一章 异步电动机	(254)
------------------	-------

§ 11-1 异步电动机的构造与工作原理	(254)
----------------------------	-------

§ 11-2 异步电动机的铭牌和主要技术参数	(259)
------------------------------	-------

§ 11-3 异步电动机的启动	(265)
-----------------------	-------

§ 11-4 异步电动机的运行与维护	(269)
--------------------------	-------

§ 11-5 异步电动机的常见故障与处理	(276)
----------------------------	-------

第十二章 电动工具和移动式电气设备	(282)
-------------------------	-------

§ 12-1 基本分类与结构	(282)
----------------------	-------

§ 12-2 安全性能要求	(285)
---------------------	-------

§ 12-3 安全技术措施	(287)
---------------------	-------

§ 12-4 工具管理	(292)
-------------------	-------

第十三章 照明电路	(295)
-----------------	-------

§ 13-1 照明方式与种类	(295)
----------------------	-------

§ 13-2 照明光源的选择与接线	(296)
-------------------------	-------

§ 13-3 照明设备的安装	(299)
----------------------	-------

§ 13-4 照明电路的故障及检修	(304)
-------------------------	-------

第三编 高压运行维修作业

第十四章 变配电系统及安全	(307)
---------------------	-------

§ 14-1 工厂供电	(307)
-------------------	-------

§ 14-2 变配电站的组成	(312)
----------------------	-------

§ 14-3 变配电站安全	(316)
---------------------	-------

§ 14-4 倒闸操作	(319)
-------------------	-------

第十五章 电力变压器	(323)
------------------	-------

§ 15-1 变压器工作原理	(323)
----------------------	-------

§ 15-2 变压器结构	(324)
--------------------	-------

§ 15-3 变压器铭牌和技术参数	(332)
-------------------------	-------

§ 15-4 变压器安装和运行	(334)
-----------------------	-------

§ 15-5 变压器的检修及特殊条件下的巡视	(338)
------------------------------	-------

§ 15-6 变压器故障和事故处理	(340)
-------------------------	-------

第十六章 仪用互感器	(348)
------------------	-------

§ 16-1 电压互感器	(353)
--------------------	-------

§ 16-2 电流互感器	(358)
--------------------	-------

第十七章 高压配电装置	(358)
-------------------	-------

§ 17-1 高压熔断器	(358)
--------------------	-------

§ 17-2 高压隔离开关	(362)
---------------------	-------

§ 17-3 高压负荷开关	(364)
---------------------	-------

§ 17-4 高压断路器	(366)
--------------------	-------

§ 17-5 高压开关柜	(370)
--------------------	-------

附录 触电事故案例	(373)
-----------------	-------

第一编 通用部分

第一章 电工与电子基础

在学习电气作业及安全的知识之前,有必要了解有关电工与电子的基础知识。本章主要介绍电路的基本概念、直流电路、电磁感应、单相交流电路、三相交流电路以及晶体管与晶闸管等电工基础知识。

§ 1-1 电的基本概念

在人们的生产和日常生活中,每天都离不开电,尤其是作为电工,更是每天和“电”打交道。那么,“电”究竟是什么呢?这就要从物质的结构说起。

一、物质的结构

自然界的一切物质都是由分子组成的,分子是由原子组成的,而原子又是由原子核和围绕原子核作高速旋转的电子组成。其中,原

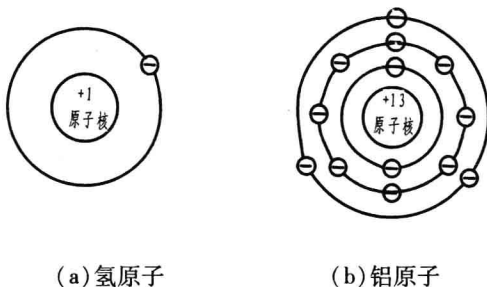


图 1-1 原子的结构

子核带正电荷,电子则带负电荷。不同物质的原子所具有的电子数目是不相同的,如氢原子只有一个电子,而铝原子却有 13 个电子,它们按一定规律,分布在不同圈层中绕原子核运动。但是每一种物质中,原子核所带的正电荷数目和核外电子所带的负电荷的数目相等,所以它们对外并不显示电性,即它们平时不带电。氢原子和铝原子的结构如图 1-1 所示。

那么,电子为什么会不停地围绕原子核运动,而不从原子中飞出去呢?这是因为原子核和电子之间存在着吸引力的作用。异性电荷相互吸引,同性电荷相互排斥,这是电荷的基本特性。

当物体由于某种原因使得核外电子的数目增多或减少时,物体内部的正负电荷的数量就不再相等,这时物体就会显示出带电性,叫做物体的带电。常见的摩擦起电就是使物体带电的最简单例子。当两种不同材料的物体互相摩擦时,会使一种物体失去电子而带上正电荷,另一种物体得到电子而带上负电荷。由此可见,物体的带电是由于失去或者得到电荷所造成的。

电荷既不能被创造,也不能被消灭,它们只能从一个物体转移到另一个物体,或者从物体的一部分转移到另一部分,这个定律叫做电荷守恒定律。

二、电流

电荷有规则的定向运动叫电流。在金属导体中,电流是自由电子在电场力作用下有规则地运动形成的。在某些液体或气体中,电流则是正负离子在电场力作用下有规则运动形成的。

电流的大小定义为单位时间内通过导体截面的电量,用电流强度来衡量。若在 t 秒内通过导体横截面的电量是 Q 库仑,则电流强度 I 就可按下式表示,即

$$I = \frac{Q}{T}$$

如果在 1 秒钟内通过导体横截面的电量是 1 库仑,则导体中的

电流强度就是1安培。简称安,用字母A表示。除了安培外,常用的电流强度单位还有千安(kA)、毫安(mA)和微安(μA),它们的换算关系如下:

$$1 \text{ 千安(kA)} = 10^3 \text{ 安(A)}$$

$$1 \text{ 毫安(mA)} = 10^{-3} \text{ 安(A)}$$

$$1 \text{ 微安}(\mu\text{A}) = 10^{-3} \text{ 毫安(mA)} = 10^{-6} \text{ 安(A)}$$

为了方便起见,人们常把电流强度简称为电流。

电流不但有大小,而且有方向。习惯上规定以正电荷运动的方向为电流的正方向。在金属导体中,虽然电流实际上是自由电子定向移动形成的,但其效果和等量的正电荷反向流动完全相同,因此电流方向与电子流方向相反。

产生电流的条件:内因是必须是导体;外因是导体两端必须有电压。

在生产和生活中,常把电流分为两类:直流电和交流电。凡是方向不随时间变化的电流都称为直流电,而大小和方向都不随时间变化的电流称为稳恒直流电流;凡是大小和方向都随时间变化的电流称为交流电。一般发电厂发出的电都是交流电。

三、电压

电压又称电位差,是衡量电场做功本领大小的物理量。我们知道,电流实际上是电荷在电场力作用下的定向运动所形成的,显然,在这个过程中,电场力对电荷作了功。

我们定义:电场力将单位正电荷从A点移动到B点所作的功叫做AB间的电压,用 U_{AB} 表示。在电路中若电场力将电荷 Q 从A点移动到B点,所作的功为 W_{AB} ,则AB间的电压为

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q}$$

若电场力将1库仑的电荷从A点移到B点,所作的功是1焦耳,则AB间的电压就是1伏特,简称伏,用字母V表示。常用的电

压单位除了伏特以外,还有千伏(kV)、毫伏(mV)和微伏(μV)。它们之间的换算关系是

$$1 \text{ 千伏(kV)} = 10^3 \text{ 伏(V)}$$

$$1 \text{ 毫伏(mV)} = 10^{-3} \text{ (V)}$$

$$1 \text{ 微伏}(\mu\text{V}) = 10^{-3} \text{ 毫伏(mV)} = 10^{-6} \text{ 伏(V)}$$

电压不但有大小,还有方向,即有正负。对于负载来说,规定电流进端为电压的正端,电流流出端为电压的负端。电压的方向由正指向负,也就是说负载中电压的实际方向与电流方向一致。

显然,对于负载来讲,没有电流就没有电压,有电压就一定有电流。电阻两端的电压常叫作电压降。

四、电位

在电工技术中,经常遇到电位的概念。电位是一个相对量,如果在电路中任选一个参考点,令其电位为零,则电路中某一点的电位就等于该点到参考点之间的电压。可见,电位实际上也是电压,只不过是对参考点之间的电压。所以,电位的单位也是伏特。

通常选大地为参考点,即零电位点。

电路中任意两点间的电位之差就称为该两点的电位差,也就是电压,所以电压也叫做电位差。

如果电路中的两点电位相同,则这两点叫做等电位点,而这两点之间就没有电流通过,这是高压带电作业的理论基础。

电位和电压的异同点是:(1)电位是某点对参考点的电压,电位差是某两点间的电压。因此,电位相同的各点间的电位差为零,电流也为零;(2)电位是相对量,随参考点的改变而改变,而电位差的绝对值不随参考点的改变而改变,所以电压是绝对量。

五、电动势

电动势是衡量电源将非电能转换成电能本领的物理量。电动势的定义是:在电源内部,外力将单位正电荷从电源的负极移到电源正

极所作的功,用字母 E 表示。若外力将电荷 Q 从负极移到正极所作的功是 W ,则电动势的数学表达式为

$$E = \frac{W}{Q}$$

电动势的单位和电压一样,也是伏特。

电动势的方向规定为:在电源内部,由负极指向正极,即由低电位指向高电位。

需要指出的是,对于一个电源来说,它既有电动势又有电压,但是电动势只存在与电源内部。

六、电阻

当电流通过导体时,由于自由电子在运动中不断与导体内的原子、分子发生碰撞,以及自由电子相互之间的碰撞,都会使其运动受到阻碍,这种导体对电流的阻碍作用就称为电阻,用字母 R 或者 r 表示。

电阻的单位是欧姆,用 Ω 表示。除了欧姆之外,常用的电阻单位还有千欧($k\Omega$)和兆欧($M\Omega$)

$$1 \text{ 千欧}(k\Omega) = 10^3 \text{ 欧}(\Omega)$$

$$1 \text{ 兆欧}(M\Omega) = 10^3 \text{ 千欧}(k\Omega) = 10^6 \text{ 欧}(\Omega)$$

值得注意的是,导体的电阻是客观存在的,它不随导体两端电压的大小变化。即使没有电压,导体仍然有电阻。实验证明,在温度一定时,导体的电阻与导体长度成正比,与导体横截面积成反比,还与导体的材料有关。导体的电阻可用下式表示

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

式中 R —导体电阻(Ω)

L —导体长度(m)

S —导体横截面积(m^2)

ρ —导体的电阻率($\Omega \cdot m$,欧·米)

表 1-1 几种常用材料的电阻率

材料	电阻率($\Omega \cdot \text{m}$)	材料	电阻率($\Omega \cdot \text{m}$)
银	1.6×10^{-8}	铁	1.0×10^{-7}
铜	1.7×10^{-8}	锰铜	4.4×10^{-7}
铝	2.9×10^{-8}	康铜	5.0×10^{-7}
钨	5.3×10^{-8}	橡胶	1.0×10^{16}

电阻率表示长度为 1m,横截面积为 1 m^2 的导体所具有的电阻值。

由表 1-1 看出,银的导电性最好,但是由于银的价格昂贵,用它作导线太不经济,因此目前多用铜和铝来做导线。又因为铝矿丰富,价格便宜,所以在很多场合常用铝代替铜作导线。

实验还表明,导体的电阻还与温度有关。通常情况下,金属的电阻都是随温度的升高而增大,如标有“220V40W”的白炽灯不通电时,其灯丝电阻约为 100Ω 。而正常发光时的灯丝电阻却高达 1210Ω 。对于半导体和电解液,其电阻通常是随着温度的升高而减小。

物体按照其导电性能好坏可分为导体、绝缘体和半导体三大类,各种材料的导电性能可以用电阻率表示。一般导体材料的电阻率在 $10^{-8} \sim 10^{-6}$ 欧·米范围内;绝缘体的电阻率一般在 $10^6 \sim 10^{16}$ 欧·米范围内;半导体的电阻率介于上述两者之间。

§ 1-2 直流电路

一、电路

在电的实际应用中,从最简单的手电筒的工作到复杂的电子计算机的运算,都是由电路来完成的。

1. 电路的组成及电路元件的作用

电路就是电流所流经的路径,它由电路元件组成。当合上电动机的刀闸开关时,电动机立即就转动起来,这是因为电动机通过导线经开关与电源构成了电流的通路,并将电能转换成为机械能。电动机、电源等叫做电路元件,电路元件大体可分为四类:

(1)电源:即发电设备,其作用是将其其它形式的能量转换为电能。如电池是将化学能转换为电能,而发电机是将机械能转换为电能。

(2)负载:即用电设备,它的作用是把电能转换为其它形式的能。如电炉是将电能转换为热能,电动机则是把电能转换为机械能。

(3)控制电器和保护电器:在电路中起控制和保护作用。如开关、熔断器、接触器等。

(4)导线:由导体材料制成,其作用就是把电源、负载和控制电器连接成一个电路,并将电源的电能传输给负载。

由此可见,电路的作用是产生、分配、传输和使用电能。图 1-2 就是一个最简单的电路。

在实际工作中,为便于分析、研究电路,通常将电路的实际元件用图形符号表示在电路图中,称为电路原理图,也叫电路图。图1-3 就是图 1-2 的原理电路图。

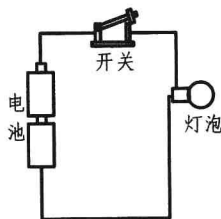


图 1-2 简单电路

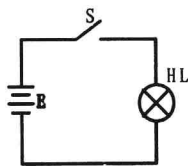


图 1-3 电路原理图

电路通常有三种状态:

通路 指处处连通的电路,通路也称闭合电路。此时电路有工

作电流流过。

开路 指电路中某处断开、不成通路的电路。开路也称断路,此时电路中无电流通过。

短路 指电路(或电路中的一部分)被短接。如负载或电源两端被导线连接在一起,就称为短路。短路时电源提供的电流将比通路时提供的电流大很多倍。一般情况下不允许短路。

2. 电路的分类

根据通过电路的电流不同,电路可分为直流电路和交流电路。通过直流电的电路叫直流电路,通过交流电的电路叫交流电路。直流电路又分为简单直流电路和复杂直流电路。凡能用电阻串、并联等效的电路叫简单直流电路;凡不能用电阻串、并联等效的电路叫复杂直流电路。

计算简单直流电路的依据是欧姆定律和电阻串并联的规律。

二、电路的欧姆定律

电流、电压和电阻是电路中的三个基本物理量,分析计算电路,就是研究以上各量之间的关系,确定它们的大小。欧姆定律就是反映电阻元件两端的电压与通过该元件的电流同电阻三者之间关系的定律,电路见图 1-4,其数学表达式为

$$I = \frac{U}{R}$$

式中 I —电流(A)

U —电压(V)

R —电阻(Ω)

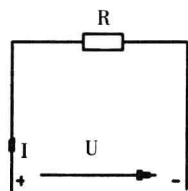


图 1-4 欧姆定律

由上式可知,通过电阻元件的电流与电阻两端的电压成正比,而与电阻成反比。

对于任一段的电阻电路,只要知道电路中的电压、电流和电阻这三个量中的任意两个量,就可由欧姆定律求得第三个量。

例:已知一盏灯泡的电阻是 484Ω ,当电源电压为 220V 时,求通

过灯泡的电流。

解:已知电灯的电压和电阻,通过灯泡的电流为

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220}{484} \approx 0.455(\text{A})$$

由欧姆定律可知,电阻有电流通过时,两端必有电压,这个电压习惯上叫做电压降。通常导线或大或小都是有电阻的,当用导线传输电流时,就产生电压降。因此输电线路末端的电压总是比始端的电压低。输电线路电压降低的数值叫做电压损失。如果线路较长,线路电流较大,其电压损失就较大,供给负载的电压就会明显下降,影响设备的正常工作。

三、电路的功率与电能

1. 电功率

电功率就是单位时间内电场力所做的功,图1-5电路中 R 为一个电阻,它两端的电压是 U ,通过的电流是 I ,单位时间内电场力在电阻上做的功应为电压与电流的乘积,即

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}$$

式中 P —电功率(W)

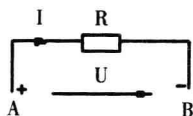


图1-5 电路中的一个电阻

电功率的换算关系为

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

$$1\text{MW} = 10^3\text{kW} = 10^6\text{W}$$

$$1\text{mW} = 10^{-3}\text{W}$$

例:一只220V、100W的灯泡,当接到电压为220V的电源上时,通过灯泡的电流为多大?灯泡的电阻是多少?

$$\text{解: } I = \frac{P}{U} = \frac{100}{220} = 0.455(\text{A})$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{220}{0.455} = 484(\Omega)$$

2. 电能