

全国特种作业人员安全技术培训考核统编教材

QUANGUO TEZHONG ZUOYE RENYUAN ANQUAN JISHU PEIXUN KAOHE TONGBIAN JIAOCAI

电工作业

DIANGONG ZUOYE

国家经贸委

安全生产局 / 组织编写



气象出版社

全国特种作业人员安全技术培训考核统编教材

2

电 工 作 业

国家经贸委安全生产局组织编写

主 编： 曲世惠

编 写： 曲世惠 王怡范 姜志德等
刘衍胜 陈树奉

审 定： 杨有启 邹德远 孔 勇

1702

气象出版社 SB

图书在版编目(CIP)数据

电工作业/国家经贸委安全生产局组织编写. —北京:
气象出版社, 2001. 10

全国特种作业人员安全技术培训考核统编教材

ISBN 7-5029-3274-7

I. 电... II. 国... III. 电工-安全技术-技术培训-教材
IV. TM08

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 076095 号

96
气象出版社 出版

(北京市中关村南大街 46 号 邮编:100081 电话:62175925 69554459)

责任编辑:汪勤模 成秀虎 终审:黄润恒

封面设计:刘扬 责任技编:陈红 责任校对:宋春香

*

北京市白河印刷厂印刷

气象出版社发行 全国各地新华书店经销

*

开本:850×1168 1/32 印张:16.5 字数:428.7 千字

2001 年 10 月第一版 2001 年 10 月第一次印刷

印数:1—10000 定价:19.80 元

前 言

电工作业、金属焊接切割等一些特种作业容易发生伤亡事故，对操作者本人、他人及周围设施、设备的安全造成重大危害。从统计资料分析，大量的事故都发生在这些作业中，而且多数都是由于直接从事这些作业的操作人员缺乏安全知识，安全操作技能差或违章作业造成的。因此，依法加强直接从事这些作业的操作人员，即特种作业人员的安全技术培训、考核非常必要。

为保障人民生命财产的安全，促进安全生产，《劳动法》、《矿山安全法》、《消防法》等有关法律、法规作出了一系列的规定，要求特种作业人员必须经过专门的安全技术培训，经考核合格取得操作资格证书，方可上岗作业。原劳动部曾制定了相应的培训考核管理规定和培训考核大纲，并编写了特种作业人员培训考核统编教材，对推动此项工作发挥了重要作用。1998年国务院机构改革后，原劳动部承担的职业安全监察、矿山安全监察及安全综合管理职能划入国家经贸委。为适应社会主义市场经济的发展和劳动用工制度改革、劳动力流动频繁的新形势，防止各地特种作业人员实际操作水平的参差不齐，避免重复培训、考核和发证，减轻持证人员的负担和社会的总体运营成本，统一规范特种作业人员的培训、考核工作，国家经贸委发布了《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），在全国推广使用具有防伪功能的IC卡《中华人民共和国特种作业操作证》，实行统一的培训大纲、考核标准、培训教材及证件。

为此，在总结经验并广泛征求各方面意见的基础上，国家经贸委安全生产局组织有关单位的专家、技术人员编写了这套教材。本套教材包括：《电工作业》、《金属焊接与切割作业》、《厂内机动车辆驾驶员》、《起重机司机》、《起重司索指挥作业》、《制冷与空调作业

AAH22/17

(小型)》、《制冷与空调作业(工业)》、《电梯司机》、《信号工、拥罐工》、《矿井泵工》、《矿井通风工》、《主扇风机操作工》、《主提升机操作工》、《绞车操作工》、《带式输送机操作工》、《矿用机车司机》、《铲运机司机》、《矿用汽车驾驶员》、《尾矿工》、《安全检查工》等 20 余种教材,由罗音宇、王红汉、张静、徐晓航、曲世惠主编,闪淳昌、杨富、任树奎主审。

本套教材在编审过程中,得到了武汉安全环保研究院、天津市劳动保护教育中心、河南省劳动保护教育中心、北京市事故预防中心、青岛市安全生产监督管理局、武钢矿业公司、大冶有色金属公司、鲁中冶金矿业公司、淮南矿务局、大冶铁矿、铜录山铜矿、梅山铁矿、马钢南山铁矿、南芬铁矿、鸡冠咀金矿、湖北省经贸委安全生产处、湖南省经贸委安全生产处、山东省安委会办公室等单位的大力支持,在此,谨对上述单位表示谢意。

本套教材介绍了特种作业人员必须掌握的安全技术知识,包括基本理论知识和实际操作技能,融科学性、实用性、系统性于一体,是特种作业人员上岗前,为取得《中华人民共和国特种作业操作证》进行安全技术培训的指定教材,也是上岗后不断巩固、提高的工具书,同时也可供有关管理人员、工程技术人员及大专院校师生参考。

《电工作业》由曲世惠同志主编,参加编写的还有王怡范、刘衍胜、陈树奉、姜志德、王堪、邹德远、孔勇、郑蕾、唐翠萍、李传禄等同志,并由杨有启、邹德远、孔勇等同志审定。编写过程中得到首都经贸大学杨有启教授具体的指导并提供了内容。

国家经贸委安全生产局

2000 年 12 月

目 录

前言

第一章 电工基础知识	(1)
第一节 直流电路.....	(1)
第二节 单相交流电路	(13)
第三节 三相交流电路	(35)
第四节 电磁感应	(44)
第五节 晶体管与晶闸管	(56)
第二章 触电危害与救护	(71)
第一节 触电事故种类和方式	(71)
第二节 电流对人体的危害	(75)
第三节 触电事故规律	(88)
第四节 触电救护	(91)
第三章 电气安全工作要求与措施	(100)
第一节 电气安全工作基本要求.....	(100)
第二节 保证安全的组织措施.....	(103)
第三节 保证安全的技术措施.....	(108)
第四章 电气安全用具与安全标识	(113)
第一节 绝缘安全用具.....	(113)
第二节 一般防护用具.....	(121)
第三节 安全用具的检验与存放.....	(123)
第四节 安全标识.....	(125)
第五章 直接接触电击防护	(127)
第一节 绝缘.....	(127)
第二节 遮栏和阻挡物.....	(130)
第三节 电气间隙和安全距离.....	(131)
第四节 漏电保护装置.....	(135)

第五节	安全电压和电气隔离	(142)
第六章	间接接触电击防护	(149)
第一节	IT 系统	(149)
第二节	TT 系统	(154)
第三节	TN 系统	(157)
第四节	接地装置	(167)
第五节	保护导体	(182)
第七章	电气防火防爆	(186)
第一节	电气火灾与爆炸的原因	(186)
第二节	危险物质	(189)
第三节	危险环境	(192)
第四节	防爆电气设备和防爆电气线路	(195)
第五节	电气防爆技术	(202)
第八章	防雷与防静电	(206)
第一节	雷电的种类及危害	(206)
第二节	防雷装置	(208)
第三节	防雷措施	(227)
第四节	防静电	(232)
第九章	高压配电装置	(240)
第一节	高压熔断器	(240)
第二节	高压隔离开关	(245)
第三节	高压负荷开关	(247)
第四节	高压断路器	(249)
第五节	高压开关柜	(260)
第十章	电力变压器	(263)
第一节	变压器工作原理	(263)
第二节	变压器分类及技术参数	(265)
第三节	变压器结构	(269)
第四节	变压器安装和运行	(279)

第五节	变压器保护	(286)
第六节	变压器运行中的维护与检查	(295)
第七节	变压器故障与事故处理	(297)
第十一章	互感器	(306)
第一节	互感器的种类与工作原理	(306)
第二节	电流互感器	(307)
第三节	电压互感器	(312)
第十二章	变配电安全	(319)
第一节	工业企业供配电	(319)
第二节	变配电站组成	(324)
第三节	变配电站安全运行	(329)
第四节	倒闸操作	(333)
第五节	巡视检查	(338)
第十三章	电力电容器	(342)
第一节	电力电容器补偿原理与计算	(342)
第二节	电力电容器安装与接线	(346)
第三节	电容器安全运行	(348)
第十四章	低压配电装置	(352)
第一节	保护电器	(352)
第二节	开关电器	(360)
第三节	配电装置	(372)
第四节	低电带电工作的要求	(377)
第十五章	电气线路	(378)
第一节	电气线路种类及特点	(378)
第二节	电气线路常见故障	(383)
第三节	电气线路安全条件	(388)
第四节	线路巡视检查	(398)
第十六章	异步电动机	(401)
第一节	异步电动机的构造与工作原理	(401)

第二节	异步电动机的技术参数·····	(406)
第三节	异步电动机的起动·····	(414)
第四节	异步电动机的运行与维护·····	(418)
第五节	异步电动机的主要故障与处理·····	(425)
第十七章	手持式电动工具及移动式电气设备 ·····	(431)
第一节	基本分类与结构·····	(431)
第二节	安全性能要求·····	(435)
第三节	安全技术措施·····	(439)
第四节	工具管理·····	(444)
第十八章	照明 ·····	(447)
第一节	照明方式与种类·····	(447)
第二节	照明光源的选择与接线·····	(448)
第三节	导线截面选择·····	(451)
第四节	照明设备的安装·····	(452)
第五节	照明电路故障的检修·····	(458)
第十九章	电工测量 ·····	(460)
第一节	电工仪表基本知识·····	(460)
第二节	电流和电压的测量·····	(462)
第三节	功率的测量·····	(465)
第四节	电能的测量·····	(465)
第五节	万用电表·····	(469)
第六节	绝缘电阻表·····	(473)
第七节	钳形电流表·····	(476)
第八节	直流电桥·····	(478)
附录 1	电气图形符号新旧对照表 ·····	(483)
附录 2	字符表(引自 GB7159) ·····	(499)
附录 3	触电事故案例 ·····	(506)

第一章 电工基础知识

电气知识的内容十分丰富,本章主要介绍直流电路、单相交流电路、三相交流电路、电磁感应及晶体管与晶闸管等电工基础知识。

第一节 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接成了电流的通路,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 1-1 就是一个最简单的电路。

2. 电路图

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 1-2 就是图 1-1 的原理电路图。一般电路图中,常用电路元件的符号见“附录 1:电气图形符号新旧对照表”。

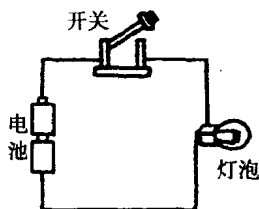


图 1-1 简单电路

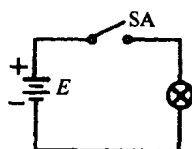


图 1-2 电路原理图

在电路中,只有两个端点与电路其它部分相连的无分支电路叫做支路。在图 1-3 中共有 3 条支路。通常将 3 条支路以上的连接点称为节点。如图 1-3 中的 A 点和 B 点即为节点。在电路中由支路组成的任一闭合路径叫做回路,图 1-3 中共有 3 个回路。

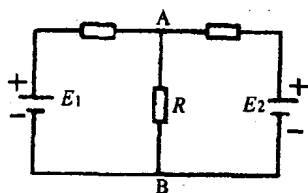


图 1-3 具有三个回路的电路

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关系的定律,电路见图 1-4,其表达式为

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

式中 I —电流(A)

U —电压(V)

R —电阻(Ω)

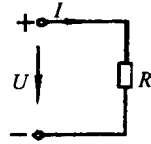


图 1-4 欧姆定律电路

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。

对于任一支路的电阻电路,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:一盏 200W、220V 的电灯,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位总是比始端的电位低。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,供给负载的电压将会明显下降,影响设备的正常工作。

三、电路的基尔霍夫定律

欧姆定律可以确定电阻元件上电压与电流的关系,但只能用于无分支的电阻电路。对于一个比较复杂的电路,(如图 1-5 所示),确定各支路电流和各部分电

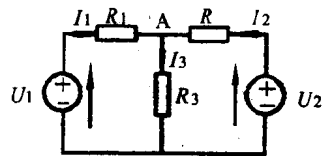


图 1-5

压的关系,只用欧姆定律一般是不能解决的,必须利用基尔霍夫定律才可表明支路电流之间的关系和回路电压间的关系。

1. 基尔霍夫电流定律

基尔霍夫电流定律也叫做基尔霍夫第一定律,它确定了电路中任一节点所连的各支路电流之间的关系。

基尔霍夫电流定律指出:对于电路中的任一节点,流入节点的电流之和必等于流出该节点的电流之和。

在图 1-5 电路中,对于节点 A, I_1 、 I_2 是流入节点的,而 I_3 是由节点流出的。由基尔霍夫电流定律可将三个电流之间的关系表示为

$$I_1 + I_2 = I_3$$

如果将上式 I_3 移到左边可得

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

即流入(或流出)电路任一节点的各电流的代数和等于零。

$$\Sigma I = 0$$

式中符号 Σ 是“代数和”的意思,说明各项电流可为正或负,如果规定流入节点的电流为正,那么流出节点的电流就是负的,反之也成立。在应用时应注意各支路电流的方向。

例:如图 1-6 所示,已知 I_1 为 1A, I_2 为 2A, I_3 为 1A,试求电源发出的总电流 I 。

解:根据基尔霍夫电流定律列出电流的方程式:

$$I - I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$= 1 + 2 + 1 = 4(\text{A})$$

即电源输出的电流为 4A。

2. 基尔霍夫电压定律

基尔霍夫电压定律也叫基尔霍夫第二定律,它确定了电路任一回路中各部分电压之间的相互关系。

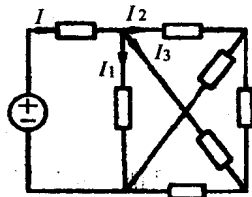


图 1-6

基尔霍夫电压定律指出：对任一回路，沿任一方向绕行一周，各电源电势的代数和等于各电阻电压降的代数和。

$$\text{即 } \Sigma E = \Sigma IR$$

$$\text{或 } \Sigma E = \Sigma U$$

如图 1-7 所示，如沿顺时针方向绕行，由基尔霍夫电压定律可列出该回路的电压方程：

$$E_1 - E_2 = IR_1 + IR_2$$

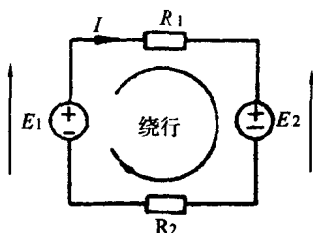


图 1-7 具有一个回路的电路

在应用基尔霍夫电压定律时应注意，先选定绕行方向，回路中凡是与绕行方向相同的电势或电流取正号，反之取负号，电势方向从负到正。

例：在图 1-8 所示电路中，已知电源电势 E_1 、 E_2 和各电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 ，试求回路中的电流 I 。

解：此电路为一无分支的回路，故利用基尔霍夫电压定律，按顺时针方向绕行列回路方程为：

$$\begin{aligned} E_1 - E_2 &= IR_1 + IR_2 + IR_3 + IR_4 \\ &= I(R_1 + R_2 + R_3 + R_4) \end{aligned}$$

则

$$I = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}$$

可见，利用基尔霍夫电压定律即可求解回路上的电压和电流。

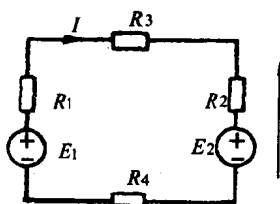


图 1-8

基尔霍夫定律是电路理论的基本定律,在应用基尔霍夫定律时必须注意电流、电压、电势的方向及所选定的绕行方向的关系。

四、电阻的串联电路

在电路中,电阻的连接方式是多种多样的,串联电路是最简单的一种。将两个以上的电阻,依次首尾相联,使各电阻通过同一电流,这种连接方式叫做电阻的串联。图 1-9 所示为三个电阻的串联电路。

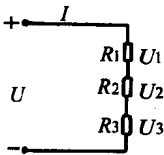


图 1-9 三个电阻串联电路

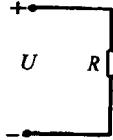


图 1-10 等效电路

串联电路的总电压等于各电阻上电压降之和。

由欧姆定律可知:

$$U_1 = IR_1; U_2 = IR_2; U_3 = IR_3$$

所以总电压为

$$U = IR_1 + IR_2 + IR_3 = I(R_1 + R_2 + R_3) = IR$$

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

由此可见, R 为串联电路的总电阻, R 通常叫做等效电阻。这样就可以将三个电阻的串联电路用图 1-10 所示的等效电路来表示。

由串联电路的特点可看出:如果在电路中串联一个电阻,那么电路的等效电阻就要增大。在电源电压不变的情况下,电路中的电流将要减小。所以串联电阻可起到限流作用。例如,大型电动机起动时,为了防止起动电流过大,常在起动回路中串入一个起动电阻,以减小起动电流。

串联电阻的另一个用途就是可以起到分压作用,因为电阻通

过电流要产生电压降,承担了电路的一部分电压。如电阻分压器和多量程电压表就是利用了这个原理。

例:如图 1-9 所示的三个电阻串联电路中, $R_1 = 10\Omega$ 、 $R_2 = 5\Omega$ 、 $R_3 = 20\Omega$, 电流为 5A, 试求串联电路的总电压。

解:电路的等效电阻为

$$R = R_1 + R_2 + R_3 = 10 + 5 + 20 = 35(\Omega)$$

电路的总电压为

$$U = IR = 5 \times 35 = 175(\text{V})$$

此题也可先将每个电阻上的电压降求出,然后根据基尔霍夫电压定律求总电压。

$$U_1 = IR_1 = 5 \times 10 = 50(\text{V})$$

$$U_2 = IR_2 = 5 \times 5 = 25(\text{V})$$

$$U_3 = IR_3 = 5 \times 20 = 100(\text{V})$$

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = 50 + 25 + 100 = 175(\text{V})$$

五、电阻的并联电路

几个电阻头尾分别连在一起,即电阻都接在两个节点之间,各电阻承受同一电压,这种连接方式叫做电阻的并联。图 1-11 即为三个电阻的并联电路。

并联电路的总电流为各电阻支路电流之和。由基尔霍夫电流定律可知,图 1-11 电路中的总电流为

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

并联电路等效电阻的倒数为各电阻的倒数之和。由欧姆定律可知,图 1-11 中各支路的电流为

$$I_1 = \frac{U}{R_1}; I_2 = \frac{U}{R_2}; I_3 = \frac{U}{R_3}$$

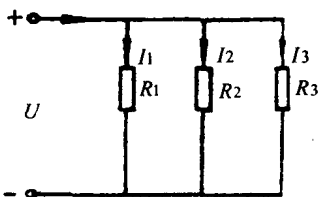
因为总电流

$$I = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}$$

$$= U \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) = \frac{U}{R}$$

所以

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$



电阻并联的实例很多,如电灯与电视机,电炉与电动机等都是并联连接。并联适应于恒定电压的供电方式。

由并联电路的特点还可看出,当电路增加一并联电阻后则该电阻中将通过一定的电流,使总电流增大。因此,并联电阻可以起分流作用。如电流表并联一电阻后可以扩大电流表的量程。

例:某户装有 40W 和 25W 的电灯各一盏,它们的电阻分别是 1210Ω 和 1936Ω;电源电压是 220V。求两盏电灯的总电流。

解:两种灯的等效电阻为

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1210 \times 1936}{1210 + 1936} \approx 745(\Omega)$$

由欧姆定律可求得总电流

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220}{745} = 0.295(\text{A})$$

也可由欧姆定律先求出各灯电流

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{220}{1210} = 0.182(\text{A})$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{220}{1936} = 0.113(\text{A})$$

再由基尔霍夫电流定律求得总电流

$$I = I_1 + I_2 = 0.182 + 0.113 = 0.295(\text{A})$$

由此可见,在并联电路中,并联电阻越多,其等效电阻越小,而且小于任一并联支路的电阻,所以在电路中并联一个电阻后,总电流将增大。由欧姆定律可知,并联电路中各支路的电流与其支路电阻成反比。