

山东省建筑施工特种作业人员安全技术考核培训教材

施工现场 临时用电

Shigong Xianchang Linshi Yongdian

山东省建筑施工特种作业人员安全技术考核培训教材编审委员会 组织编写

主编 王泉波

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

山东省建筑施工特种作业人员安全技术考核培训教材

施工现场临时用电

山东省建筑施工特种作业人员安全技术考核培训教材编审委员会 组织编写

总 主 编:李 印 栾启亭

副总主编:张英明 祁忠华 刘 锦

总 主 审:王东升

主 编:王泉波

编审人员:(按姓氏笔画排序)

马 冰 王泉波 邢新华

刘 锦 许 军 祁忠华

孙学光 杜海滨 李 印

李绘新 宋回波 张英明

唐涵义 梁德东

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书依据《山东省建筑施工特种作业人员安全技术考核标准(试行)》的相关规定编写,介绍了建筑电工必须掌握的安全技术知识和操作技能。本书内容浅显易懂,突出了培训教材的实用性、实践性和可操作性。同时为了满足考核的需要,书后附了考试题库及答案。

本书共分十章,包括基础理论知识、常用低压电器与电动机、城市供电与接零接地保护系统、施工现场的配电、电动建筑机械和手持式电动工具、施工现场的照明、施工现场危险环境因素与雷电防护、施工现场常用电工工具和仪表、施工现场的用电管理、常见电气故障和事故隐患与事故案例。

本书既可作为建筑电工的考核培训教材,也可作为其常备参考书和自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

施工现场临时用电/王泉波主编. —徐州:中国矿业大学出版社, 2011.12
山东省建筑施工特种作业人员安全技术考核培训教材
ISBN 978 - 7 - 5646- 1215 -3
I. ①施… II. ①王… III. ①建筑工程—施工现场—用电管理—安全技术—技术培训—教材 IV. ①TU731.3
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 183449 号

书 名 施工现场临时用电
组织编写 山东省建筑施工特种作业人员安全技术考核培训教材编审委员会
主 编 王泉波
责任编辑 陈 慧
出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)
营销热线 (0516)83885307 83884995
出版服务 (0516)83885767 83884920
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com
印 刷 日照报业印刷有限公司
开 本 787×1092 1/16 印张 16 字数 399 千字
版次印次 2011 年 12 月第 1 版 2011 年 12 月第 1 次印刷
定 价 40.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

山东省建筑施工特种作业人员安全技术 考核培训教材编审委员会

主任:宋瑞乾
副主任:罗云岭 高建忠 王克易
委员:宋锡庆 李 印 张广奎 贾凤兴 刘玉涛 刘林江 王金玉
毕可敏 栾启亭 张业海 张英明 祁忠华 王东升 马全安
黄旭东 张 强 张 伟 牛效强 范国耀 王泉波 周建华
王 勇 张国波 王海洋 王连才 杨建平 李升江 崔永生
胡启勇 李 明 田华强 王传波 朱九州 孔 超 李增启
徐爱杰

总主编:李 印 栾启亭

副总主编:张英明 祁忠华 刘 锦

总主审:王东升

编审人员:(按姓氏笔画排序)

马 冰	马现来	王 乔	王曰浩	王东升	王钟玉	王泉波
王洪林	王海涛	王焕花	牛效强	邓丽华	申廷敏	邢新华
毕监航	朱九州	刘 锦	刘乐前	许 军	祁忠华	孙学光
杜海滨	李 印	李光晨	李建国	李绘新	吴秀丽	余大伟
邹积军	汪洪星	宋回波	张万令	张有国	张英明	张艳国
张健健	范国耀	明宪永	周克家	郝瑞民	胡其勇	姜玉东
贾述岗	殷 刚	栾启亭	郭丰伟	高新武	唐涵义	梁德东
薛玉晶						

主要编审单位:

山东省建筑施工安全监督站
山东省建筑安全与设备管理协会
济南市工程质量与安全生产监督站
青岛市建筑施工安全监督站
潍坊市建设工程质量建筑安全监督站
滨州市建筑施工安全监督站
山东建筑科学研究院
烟建集团有限公司
潍坊昌大建设集团有限公司
威海建设集团股份有限公司
山东天元建设集团有限公司
中建八局第一建设有限公司

前 言

《建设工程安全生产管理条例》规定：“垂直运输机械作业人员、安装拆卸工、爆破作业人员、起重信号工、登高架设作业人员等特种作业人员，必须按照国家有关规定经过专门的安全作业培训，并取得特种作业操作资格证书后，方可上岗作业”。《安全生产许可证条例》规定：“企业取得安全生产许可证，应当具备下列安全生产条件：……特种作业人员经有关业务主管部门考核合格，取得特种作业操作资格证书”。在建筑生产安全事故中，大多数与特种作业有关。因此，对加强特种作业人员的管理，是建筑安全生产工作的重要课题。为了切实落实特种作业人员管理制度，规范安全技术考核培训工作，我们组织编写了《山东省建筑施工特种作业人员安全技术考核培训教材》系列丛书。

本套系列教材丛书主要依据山东省建筑工程管理局印发的《山东省建筑施工特种作业人员管理暂行办法》(鲁建管发〔2008〕12号)和《山东省建筑施工特种作业人员安全技术考核标准(试行)》(鲁建管发〔2009〕4号)等编写，全套包括《特种作业安全生产知识》《施工现场临时用电》《普通脚手架》《起重司索与信号指挥》《塔式起重机》《施工升降机》《高处作业吊篮》和《建筑焊接与切割》等共8册，其中《特种作业安全生产知识》为通用本，其他分别适用于建筑电工、架子工、起重司索信号工、起重机械司机、起重机械安装拆卸工、高处作业吊篮安装拆卸工和建筑焊接切割工等不同建筑施工特种作业人员的安全技术考核培训。

本套系列教材丛书由山东省建筑施工特种作业人员安全技术考核培训教材编审委员会组织编写，山东省建筑施工安全监督站、山东省建筑安全与设备管理协会负责具体组织，编写过程中得到住房和城乡建设部质量安全司、上海市建设安全协会，以及山东省各市建筑工程管理部门、安全监督管理机构及相关建筑施工企业等单位的大力支持和热情帮助，在此表示感谢。

本册为《施工现场临时用电》，适用于建筑电工的安全技术考核培训，由潍坊市建设工程质量建筑安全监督站承担了主要编写任务。

由于时间紧张、水平有限，难免存在错误和不足之处，真诚希望给予指正。

山东省建筑工程管理局
山东省建筑施工特种作业人员安全技术考核培训教材编审委员会
二〇一一年六月

目 录

1 基础理论知识	1
1.1 力学基本知识	1
1.2 机械基本知识	3
1.3 电工学基本知识	6
1.4 电气识图基础知识	15
2 常用低压电器与电动机	26
2.1 常用低压电器	26
2.2 三相交流电动机	46
3 城市供电与接零接地保护系统	51
3.1 城市供电	51
3.2 接零接地保护的基本概念	56
3.3 TT 和 TN 保护系统	58
3.4 TN—S 接零保护系统	63
4 施工现场的配电	71
4.1 施工现场的配电室	71
4.2 施工现场自备电源	72
4.3 施工现场的配电线路	74
4.4 施工现场的配电装置	108
5 电动建筑机械和手持式电动工具	121
5.1 电动建筑机械	121
5.2 手持式电动工具	124
6 施工现场的照明	126
6.1 施工现场常用的照明装置和选择	126
6.2 施工现场照明的设置	129
7 施工现场危险环境因素与雷电防护	132
7.1 危险环境因素的防护	132

7.2 防雷	137
8 施工现场常用电工工具和仪表	142
8.1 常用电工工具	142
8.2 常用电工仪表	147
9 施工现场的用电管理	169
9.1 施工现场临时用电施工组织设计	169
9.2 施工现场用电安全技术档案	171
9.3 施工现场的安全用电	175
9.4 电工个人防护用品和用具	178
9.5 触电现象	180
9.6 触电急救	182
10 常见电气故障、事故隐患与事故案例	191
10.1 建筑施工电气故障的检查与维修	191
10.2 施工用电常见电气事故隐患	194
10.3 建筑施工用电事故案例	195
施工现场临时用电理论考试题库	202
附录	237
附录 A 山东省建筑电工安全技术考核标准(试行)	237
附录 B 全国主要城镇年平均雷暴日数	241
参考文献	245

1 基础理论知识

1.1 力学基本知识

1.1.1 力的概念

力是一个物体对另一个物体的作用,它包括了两个物体,一个叫受力物体,另一个叫施力物体,两个物体间的力又称为作用力和反作用力。

力的作用效果是使物体的运动状态或形状发生变化。力使物体运动状态发生变化的效应称为力的外效应,力使物体产生变形的效应称为力的内效应。

力是物体间的相互机械作用,力不能脱离物体而独立存在。作用力和反作用力总是大小相等、方向相反、沿同一直线,并分别作用在这两个物体上,同时存在,同时消失。

在国际计量单位制中,力的单位用牛顿或千牛顿,简写为牛(N)或千牛(kN)。工程上习惯采用公斤力、千克力(kgf)和吨力(tf)来表示。它们之间的换算关系为:

$$1 \text{ 牛顿(N)} = 0.102 \text{ 千克力(kgf)}$$

$$1 \text{ 吨力(tf)} = 1\,000 \text{ 千克力(kgf)}$$

$$1 \text{ 千克力(kgf)} = 9.807 \text{ 牛(N)} \approx 10 \text{ 牛(N)}$$

1.1.2 力的三要素

在力学中,把力的大小、方向和作用点称为力的三个要素。力的大小表明物体间作用力的强弱程度;力的方向表明在该力的作用下,静止的物体开始运动的方向,作用力的方向不同,物体运动的方向也不同;力的作用点是物体上直接受力的点。

如图 1-1 所示,用手拉伸弹簧,用的力越大,弹簧拉得越长,这表明力产生的效果跟力的大小有关系;用同样大小的力拉弹簧和压弹簧,拉的时候弹簧伸长,压的时候弹簧缩短,说明力的作用效果跟力的作用方向有关系。如图 1-2 所示,用扳手拧螺母,手握在扳手手柄的 A 点比 B 点省力,所以力的作用效果与力的方向和力的作用点有关。三要素中任何一个要素的改变,都会使力的作用效果改变。

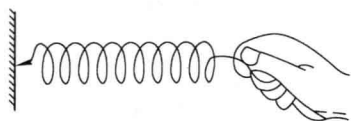


图 1-1 手拉弹簧

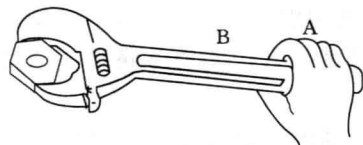


图 1-2 用扳手拧螺母

1.1.3 力的合成与分解

力是矢量,力的合成与分解都遵从平行四边形法则,如图 1-3 所示。

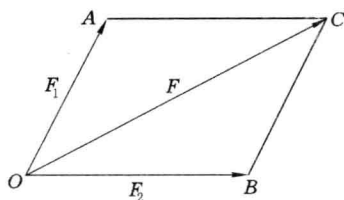


图 1-3 平行四边形法则

平行四边形法则实质上是一种等效替换的方法。一个矢量(合矢量)的作用效果和另外几个矢量(分矢量)共同作用的效果相同,就可以用这一个矢量代替那几个矢量,也可以用那几个矢量代替这一个矢量,而不改变原来的作用效果。

在分析同一个问题时,合矢量和分矢量不能同时使用。也就是说,在分析问题,考虑了合矢量就不能再考虑分矢量;考虑了分矢量就不能再考虑合矢量。

作用在物体上几个力的合力为零,这种情形叫做力的平衡。

1.1.4 力矩

试观察用扳手拧螺母的情形,如图 1-4 所示,力 F 使扳手连同螺母绕螺母中心 O 转动。在力学中用乘积 Fd 作为度量力 F 使物体绕 O 点转动效应的物理量,并将该物理量称为力 F 对 O 点之矩,简称力矩。 O 点称为矩心,矩心 O 到力 F 作用线的垂直距离 d 称为力臂。

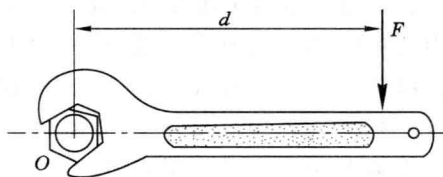


图 1-4 扳手拧螺母的力矩示意

当力的大小等于 0 或力的作用线通过矩心(力臂 $d=0$)时,力矩为 0;力对某一点之矩不因力沿其作用线任意移动而改变。

在国际计量单位制中,力矩的单位用牛顿·米($\text{N} \cdot \text{m}$)。

1.1.5 力偶

在实践中,我们有时可见到两个大小相等、方向相反、作用线平行而不重合的力作用于物体的情形。例如,钳工用丝锥攻螺纹就是这样加力的。力学中,将这种大小相等、方向相反、作用线平行而不重合的两个力组成的力系,称为力偶。如图 1-5 所示,力偶中两力(F 、 F')作用线间的垂直距离 d 称为力偶臂,力偶所在的平面称为力偶作用面。

在力学中用力的大小 F 与力偶臂 d 的乘积 Fd 作为度量力偶对物体转动效应的物理量,并将该物理量称为力偶矩,用符号 $m(F, F')$ 或 m 表示。

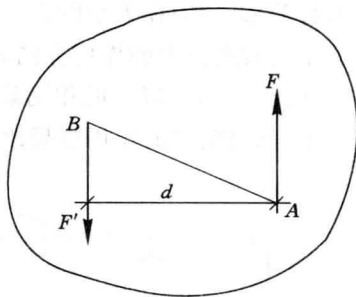


图 1-5 力偶

在国际计量单位制中,力偶的单位也是牛顿·米($\text{N} \cdot \text{m}$)。

1.2 机械基本知识

1.2.1 机械传动

机械是机器与机构的泛称,是利用力学原理组成的,用于转换或利用机械能的装置,通常由原动机、传动机构与工作机构三个部分组成。

如图 1-6 所示的电动可逆式卷扬机,它是电动机通过弹性柱销联轴器经减速器变速后带动卷筒旋转,卷入或放出钢丝绳来工作的。它的原动机是电动机,工作机构是卷筒,传动机构由联轴器、制动器和减速器组成。

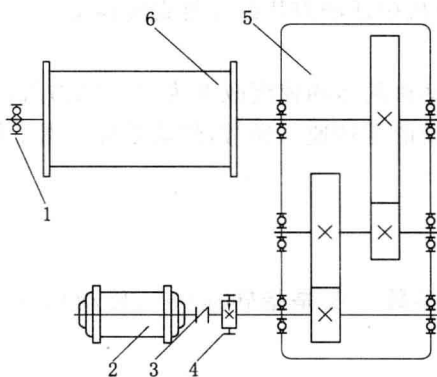


图 1-6 电动可逆式卷扬机示意图

1——机架;2——电动机;3——联轴器;4——制动器;5——减速器;6——卷筒

如图 1-7 所示的钢筋切断机,它由电动机通过传动带及齿轮变速带带动曲柄转动,曲柄通过连杆带动滑块做往复运动,装在滑块上的活动刀片则周期性地靠近或离开,装在机架上的固定刀片将钢筋切断。它的原动机是电动机,工作机构是活动刀片和固定刀片,传动机构则由带传动机构、齿轮传动机构、曲柄连杆机构、滑块等组成。

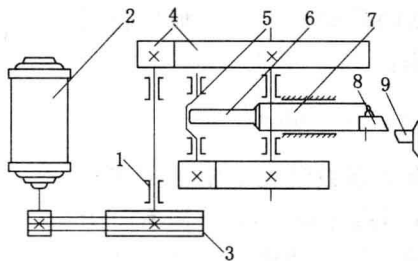


图 1-7 钢筋切断机示意图

1——承座;2——电动机;3——带传动机构;4——齿轮传动机构;5——曲轴;
6——曲柄连杆机构;7——滑块;8——活动刀片;9——固定刀片

通过上面两个例子可以看出:机械的原动机一般是电动机,它是机械工作的动力来源,工作机构(执行机构)是机械直接从事工作的部分,电动机和工作机构之间的传动装置是传动机构(传动系统)。

机械传动是传动方式的一种,是利用传动系统来传递运动和动力的。常用的机械传动有带传动、齿轮传动、蜗轮与蜗杆传动等。机械传动的作用是:

(1) 传递运动和动力

原动机的运动和动力通过传动系统分别传至各工作机构,如图 1-6 中传动系统将运动和动力传给卷筒,将钢丝绳卷入或放出;图 1-7 中传动系统将运动和动力传给活动刀片,使之切断钢筋。

(2) 改变运动形式

一般原动机的运动形式是旋转运动,通过传动系统可将旋转运动改变为工作机构所需要的运动形式,例如钢筋切断机中活动刀片的往复直线运动。

(3) 调节运动速度

通过传动系统可以将原动机的运动速度改变为工作机构所需要的运动速度。如图 1-6 中将原动机的高转速变成卷筒的低转速。通常,传动系统根据工作机构的需要可有增速、减速、变速、反向、离合等作用。

1.2.2 传动参数

机械传动中的主要传动参数一般是指转速(n)、传动比(i)、功率(P)、效率(η)和转矩(T)。

(1) 转速和传动比

主动轮与从动轮转速之比称为传动比,用符号 i 表示。主动轮转速表示为 n_1 ,从动轮转速表示为 n_2 ,则传动比为:

$$i = \frac{n_1}{n_2} \quad (1-1)$$

如图 1-8 所示的电动卷扬机,选用的电动机额定功率 $P=4 \text{ kW}$,满载时的转速 $n=960 \text{ r/min}$ 。由于小带轮(主动带轮)直接装在电动机轴上,所以主动带轮的转速 $n_1=960 \text{ r/min}$ 。如果带传动的传动比 $i_1=3$,根据公式(1-1)则从动带轮的转速 n_2 为:

$$n_2 = \frac{n_1}{i_1} = \frac{960}{3} = 320 (\text{r/min})$$

一般的机械传动机构,在大多数情况下常采用多级传动,以获得大的传动比。在多级传动中,每一级有一个传动比,这样就产生总传动比。总传动比等于各传动比的连乘积,表示如下:

$$i = i_1 i_2 i_3 \cdots i_n \quad (1-2)$$

如图 1-8 所示的卷扬机中,如果三角带传动的传动比 $i_1=3$,蜗轮蜗杆传动的传动比 $i_2=32$,根据公式(1-2)则该卷扬机传动机构的总传动比为:

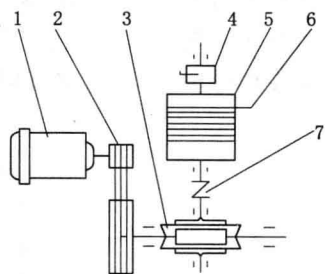


图 1-8 卷扬机示意图

- 1——电动机;2——三角带传动;
3——蜗轮蜗杆传动;4——制动器;
5——卷筒;6——钢丝绳;7——联轴器

$$i = i_1 i_2 = 3 \times 32 = 96$$

卷筒的转速为:

$$n_3 = \frac{n_1}{i} = \frac{960}{96} = 10 (\text{r/min})$$

(2) 功率和效率

传动机的输出功率与输入功率之比称为该机构的效率。主动轮输入功率表示为 P_1 , 从动轮输出功率表示为 P_2 , 则效率 η 为:

$$\eta = P_2 / P_1 \quad \text{或} \quad P_2 = \eta P_1 \quad (1-3)$$

图 1-8 中, 已知带传动的输入功率 $P_1 = 4 \text{ kW}$, 如果带传动的效率 $\eta_1 = 0.96$, 根据公式 (1-3) 则从动轮 (大带轮) 的输出功率为:

$$P_2 = \eta_1 P_1 = 0.96 \times 4 = 3.84 (\text{kW})$$

效率是一个小于 1 的数值, 比值愈小, 表示功率的损耗愈严重。传动机构的总效率等于各级传动效率的乘积, 用公式表示为:

$$\eta = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \cdots \eta_n \quad (1-4)$$

图 1-8 中, 若蜗轮蜗杆传动的效率为 $\eta_2 = 0.72$, 根据公式 (1-4) 则该传动机构的总效率为:

$$\eta = \eta_1 \eta_2 = 0.96 \times 0.72 = 0.69$$

根据公式 (1-3), 则卷扬机传动机构的输出功率 (即蜗轮轴输出功率) 为:

$$P_3 = P_1 \eta = 4 \times 0.69 = 2.76 (\text{kW})$$

(3) 转矩

转矩是确定轴的材料及结构尺寸的一个重要依据, 它与功率成正比, 与转速成反比, 用公式表示为:

$$\left. \begin{aligned} T_1 &= 9\,550 \frac{P_1}{n_1} \\ T_2 &= 9\,550 \frac{P_2}{n_2} \end{aligned} \right\} \quad (1-5)$$

式中 T_1 ——主动轮转矩, $\text{N} \cdot \text{m}$;

T_2 ——从动轮转矩, $\text{N} \cdot \text{m}$;

P_1 ——主动轮功率, kW ;

P_2 ——从动轮功率, kW ;

n_1 ——主动轮转速, r/min ;

n_2 ——从动轮转速, r/min 。

图 1-8 中, 根据公式 (1-5) 则主动带轮上的转矩 T_1 :

$$T_1 = 9\,550 \frac{P_1}{n_1} = 9\,550 \times \frac{4}{960} = 39.8 (\text{N} \cdot \text{m})$$

从动带轮上的转矩 T_2 :

$$T_2 = 9\,550 \frac{P_2}{n_2} = 9\,550 \times \frac{3.84}{320} = 114.6 (\text{N} \cdot \text{m})$$

同样可求出蜗轮轴上的转矩 T_3 :

$$T_3 = T_1 i \eta = 39.8 \times 96 \times 0.69 = 2\,636.4 (\text{N} \cdot \text{m})$$

1.3 电工学基本知识

1.3.1 电的基本概念

(1) 电荷

自然界中存在两种性质不同的电荷,即正电荷和负电荷。电荷之间存在相互作用力,同性电荷之间表现为排斥力,异性电荷之间表现为吸引力,即所谓同性相斥,异性相吸。

近代科学实验证实,任何物质都是由分子组成的,分子是由原子组成的,原子是由带正电荷的原子核和带负电荷的电子组成的。而且在正常情况下,原子核所带的正电荷数和原子核外电子所带的负电荷数相等。整个原子对外界不显电性,称为中性。当原子失去电子时,就显示带正电,变为带正电的粒子,称为正离子;反之,当原子获得额外电子时,就显示带负电,变为带负电的粒子,称为负离子。

在现代电工技术领域里,使物体内部原子中的正、负电荷分离,甚至转移到另一物体上而成为带电体的方式、方法是多种多样的。除原始的摩擦起电外,主要有静电感应、电磁感应(发电机)、化电效应(化学电池,如干电池、蓄电池等)、热电效应(热电偶)、光电效应(光电元件)等。

表征物体所带电荷多少的物理量叫做电量,用符号 Q (或者 q)表示。在国际单位制中,电量的单位是库仑(C)。电量不随时间变化的电荷称为静电荷;反之,称为动电荷。

(2) 电场

电荷周围空间存在着一种特殊物质,它不能被人的感官所直接感知,但是它却可以通过引入其周围电荷受到作用力的现象而被间接发现。我们把带电体周围具有一定引力或斥力的空间叫做电场。电场中的每一点都具有一定的电位。正电荷在电场的作用下,从高电位向低电位移动所做的功,就是电场中两点电位之差。通常,我们把地球的电位当做零,作为电位的参数位置,其他各点与此参考点之间电位差定义为该点的电位值。

(3) 电流

电荷向一定方向的移动就形成电流。人们规定电流的方向是从高电位到低电位,也就是把正电荷移动的方向规定为电流的方向。电流不但有方向,而且有大小。在电路中大小和方向都不随时间变化的电流,称为直流电,用字母“DC”或“—”表示;大小和方向随时间变化的电流,称为交流电,用字母“AC”或“~”表示。

在电场的作用下单位时间内通过某一导体截面的电量,称为电流。同时规定,如果在 1 s 内有 1 C 的电量通过导体的横截面,电路里的电流就是 1 A。电流用符号 I 表示,基本单位是安培,用字母 A 表示,常用单位还有 kA、mA、 μ A 等,其换算关系是:

$$1 \text{ kA} = 1\,000 \text{ A}; 1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}; 1 \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}$$

(4) 电压

电路中两点间的电位差叫电压,其数值等于单位正电荷在电场力的作用下,从一点移到另一点所做的功,例如电灯泡电压是 220 V,也就是说电源加在灯丝两端的电压是 220 V。电压用符号 U 表示,基本单位是伏特,用字母 V 表示,常用单位还有 kV、mV、 μ V 等,其换算关系是:

$$1 \text{ kV} = 1\,000 \text{ V}; 1 \text{ mV} = 10^{-3} \text{ V}; 1 \mu\text{V} = 10^{-6} \text{ V}$$

(5) 电阻

在电工学中,通常将具有良好导电性能的物体称为导体,将导电性能差的物体称为绝缘体,导体对电流的阻碍作用叫做电阻。电阻用符号 R 表示,基本单位是欧姆,用字母 Ω 表示,常用单位还有 $\text{k}\Omega$ 、 $\text{M}\Omega$ 等,其换算关系是:

$$1 \text{ k}\Omega = 1\,000 \Omega; 1 \text{ M}\Omega = 10^6 \Omega$$

不同的材料对电流的阻碍作用大小不同,通常把截面 1 mm^2 、长度 1 m 的某种导体的电阻值叫该导体的电阻率。材料的电阻率越小,对电流的阻碍作用就越小。导体的电阻除了跟导体的材料有关以外,还跟导体横截面积的大小和导体长度有关,横截面积越大,电阻越小;导体越长,电阻越大。导体电阻的计算公式为:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-6)$$

式中 R ——导体的电阻, Ω ;

l ——导体的长度, m ;

S ——导体的截面积, mm^2 ;

ρ ——导体材料的电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$ 。

在国际单位制中,当电路两端的电压为 1 V ,通过的电流为 1 A 时,则该段电路的电阻为 1Ω 。

不同材质的导体,其电阻率不同,同一种材料的导体,其电阻率还与温度有关。在一般温度下,电阻率随温度的变化满足下述关系:

$$\rho_2 = \rho_1 [1 + \alpha(t_2 - t_1)] \quad (1-7)$$

式中 ρ_2 ——导体温度为 t_2 时的电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$;

ρ_1 ——导体温度为 t_1 时的电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$;

α ——导体材料的电阻温度系数, $1/^\circ\text{C}$ 。

常用金属材料在 20°C 时的电阻率和电阻温度系数见表 1-1。

表 1-1 常用金属材料的电阻率和电阻温度系数

材料名称	电阻率(20°C)/($\Omega \cdot \text{m}$)	电阻温度系数(20°C)/($1/^\circ\text{C}$)
银	0.0165×10^{-6}	0.0038
铜	0.0175×10^{-6}	0.0040
铝	0.0283×10^{-6}	0.0042
钨	0.0551×10^{-6}	0.0045
低碳钢	0.12×10^{-6}	0.0042
铸铁	0.5×10^{-6}	0.001
镍锌铜	0.34×10^{-6}	0.00031
锰铜	0.42×10^{-6}	0.000015
康铜	0.49×10^{-6}	0.000005
镍铬合金	1.08×10^{-6}	0.00013
铁铬铝	1.35×10^{-6}	0.00005

【例 1-1】 试计算直径 1 mm, 长度 100 m 的铜导线的电阻(设温度为 20 ℃)。

解: 给定铜导线的长度 $l=100\text{ m}$ 。

铜导线的截面积:

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = 3.14 \times \frac{1^2}{4} = 0.79 (\text{mm}^2)$$

查表 1-1 得知 20 ℃ 时铜的电阻率 $\rho = 0.0175 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$ 。

根据公式(1-6), 给定铜导线的电阻

$$R = \rho \frac{l}{S} = 0.0175 \times \frac{100}{0.79} = 2.2 (\Omega)$$

在电工技术里, 常常根据需要采用导体材料制作具有确定电阻的器件, 称为电阻器。电阻器有固定式、可变式两种。电阻器在电路中主要用于降压、分压、限流等。电阻的图形符号如图 1-9 所示。



图 1-9 电阻的图形符号

(a) 固定式; (b) 可变式

(6) 电功和电功率

① 电流所做的功就叫电功, 电功用符号 W 表示, 基本单位是焦耳, 用字母 J 表示, 计算电功的公式为:

$$W = UI t \quad (1-8)$$

式中 W ——电功, J ;

U ——电压, V ;

I ——电流, A ;

t ——时间, s 。

② 电功率是电流在单位时间内所做的功, 电功率用符号 P 表示, 基本单位是瓦特, 用字母 W 表示, 常用单位还有千瓦(kW)。计算电功率的公式为:

$$P = \frac{W}{t} = UI \quad (1-9)$$

式中 P ——电功率, W ;

W ——电功, J ;

t ——时间, s ;

U ——电压, V ;

I ——电流, A 。

在实际工作中, 常用“度”来表示电功, 即 $1 kW$ 用电设备工作 $1 h$ 电流所做的功(或者说消耗的电能)就是 1 度电($1 kW \cdot h$)。

(7) 电容

电容器(简称电容), 一般是由两块金属片中间隔以绝缘介质组成。电容器具有储存电荷的性能, 其储存电荷的能力, 用电容来表示。如果把电容器的两个极板分别接到直流电源的正负极上, 如图 1-10 所示, 在电源的作用下两极板分别带数量相等而符号相反的电荷, 其中任一极板上的电量 Q 与两极板间的电压 U 成正比, 且 Q/U 是一个常数。我们把 Q/U 称为电容器的电容量, 简称电容, 用符号 C 表示, 基本单位是法拉, 用字母 F 表示, 常用单位还有微法(μF)、皮法(pF), 其换算关系是:

$$1 F = 10^6 \mu F; 1 \mu F = 10^6 pF$$

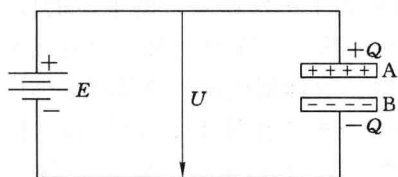


图 1-10 接于电源上的电容器

计算电容的公式为：

$$C = \frac{Q}{U} \quad (1-10)$$

式中 Q ——任一极板上的电荷量, C;

U ——两极板间的电压, V;

C ——电容器的电容量, F。

(8) 电感

导体中电流的变化,会在导体周围产生磁场,产生磁场的大小与流过导体中的电流、导体的形状及周围的介质有关。我们把导体周围产生的磁场与导体中流过的电流之比叫电感,用符号 L 表示,其基本单位是亨利(H),简称亨,常用的单位还有毫亨(mH)和微亨(μH),其换算关系是:

$$1 \text{ mH} = 10^{-3} \text{ H}; 1 \mu\text{H} = 10^{-6} \text{ H}$$

(9) 电磁场

磁场是电流、运动电荷、磁体或变化电场周围空间存在的一种特殊形态的物质,磁场的基本特征是能对其中的运动电荷施加作用力。

电磁场是有内在联系、相互依存的电场和磁场的统一体和总称,变化着的电场伴随变化着的磁场,变化着的磁场也伴随变化着的电场。

闭合电路的一部分导体在磁场中做切割磁力线的运动时,导体中就会产生电流,这种现象叫电磁感应现象。

1.3.2 电路的基本定律

(1) 电路

电路就是电流流通的路径,如日常生活中的照明电路、电动机电路等。电路一般由电源、负载、导线和控制器件四个基本部分组成,如图 1-11 所示。

按照负载的连接方式,电路可分为串联电路、并联电路和混联电路;按照电流的性质,分为交流电路和直流电路。

(2) 欧姆定律

在同一电路中,导体中的电流跟导体两端的电压成正比,跟导体的电阻成反比,这就是欧姆定律。其表达式是:

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-11)$$

式中 I ——导体中的电流, A;

U ——导体两端的电压, V;

R ——导体的电阻, Ω 。

如图 1-12 所示,部分电路欧姆定律的内容是:流过导体的电流与这段导体两端的电压成正比,与这段导体的电阻成反比。

(3) 焦耳—楞次定律

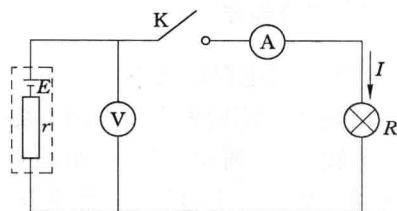


图 1-11 电路示意图

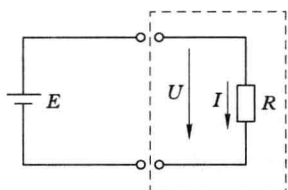


图 1-12 部分电路的欧姆定律

实验证明,电阻在电路中不仅起着限制电流的作用,而且要消耗电能并转化为热能。这种现象叫做电流的热效应。当电流经过导体时,导体所放出的热量跟导体的电阻 R 、电流强度 I 的平方及电流在导体中所经历的时间 t 成正比。这个定律叫做焦耳—楞次定律。其表达式是:

$$Q = 0.24 U I t = 0.24 I^2 R t = 0.24 \frac{U^2}{R} t \quad (1-12)$$

式中 Q ——导体所放出的热量,cal;

U ——导体两端的电压,V;

I ——导体中的电流,A;

R ——导体的电阻, Ω ;

t ——时间,s;

0.24——热功当量,cal/J。

电流的热效应在电工技术里获得了广泛的应用,如电烙铁、电阻炉、电灯泡以及热继电器、熔断器等都是依据电热效应的原理制作的。

(4) 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律包括电流定律和电压定律。

① 基尔霍夫电流定律:对电路中的任何一个结点,流入(或流出)该结点的电流的代数和等于0,即: $\sum I = 0$ 。

② 基尔霍夫电压定律:对于任何一个闭合回路,回路中各段电压的代数和为0,即 $\sum U = 0$ 。

1.3.3 直流电路

(1) 直流电路的概念

电压和电流的大小及方向不随时间变化的电路,叫直流电路。

如图 1-13 所示,是一个最简单的含源直流电路。该电路只含有一个电源、一个负载,电源电动势为 E ,内电阻为 R_0 ,负载的电阻为 R 。

当开关 K 闭合时,电路处于通路状态,电路的电流 $I = I' = \frac{E}{R + R_0}$,负载两端的电压 $U' = U = \frac{E}{R + R_0} R$,开关两端的电压 $U'' = 0$ 。

当开关 K 分断时,电路处于断路状态,电路的电流 $I = I' = 0$,负载 R 两端的电压 $U' = 0$,开关两端的电压 $U'' = U = E$ 。

如果该电路在通路状态下,负载 R 突然被短接,通过负载 R 的电流 $I' = 0$,负载两端的电压 $U' = 0$,电路的电流 $I = \frac{E}{R_0}$ 。此时,流过电源的电流 I 将远远大于电源正常的额定工作电流(因为 $R_0 \ll R$),容易使电源和连接导线烧毁。在通常情况下,短路是一种故障,在电路运行时应采取措施予以防止。

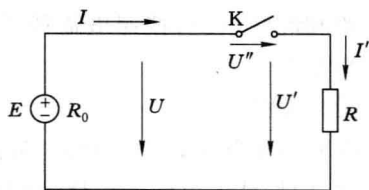


图 1-13 最简单的直流电路