


◎ 安全生产新技术丛书

电气安全

(第二版)

赵莲清 刘向军 编著

 中国劳动社会保障出版社

ANQUAN

SHENGCHAN XINJISHU CONGSHU

安全生产新技术丛书

电 气 安 全

(第二版)

赵莲清 刘向军 编著

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

电气安全/赵莲清, 刘向军编著. —2 版. —北京: 中国劳动
社会保障出版社, 2007

安全生产新技术丛书

ISBN 978 - 7 - 5045 - 6110 - 7

I. 电… II. ①赵…②刘… III. 电气设备 - 安全技术
IV. TM08

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 088778 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码: 100029)

出版人: 张梦欣

*

北京北苑印刷有限责任公司印刷装订 新华书店经销

850 毫米×1168 毫米 32 开本 14.625 印张 360 千字

2007 年 6 月第 2 版 2007 年 6 月第 1 次印刷

定价: 29.00 元

读者服务部电话: 010 - 64929211

发行部电话: 010 - 64927085

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010 - 64954652

编 委 会

| | | | | | |
|--------|--------|-----|-----|-----|-----|
| 主 委 | 任 员 | 闪淳昌 | 施卫祖 | 吕海燕 | 牛开健 |
| | | 杨国顺 | 柯振泉 | 冯维君 | 吴旭正 |
| | | 高继轩 | 杨有启 | 孙桂林 | 王海军 |
| | | 杨泗霖 | 王琛亮 | 时文燕 | 邢磊 |
| | | 马恩远 | 冯国庆 | 吴洪亮 | 钮英健 |
| | | 甘晓东 | 刘普明 | | 许兴文 |
| | | 张建荣 | 徐洪军 | | |
| | | 李家兰 | 刘向军 | | |
| 主 撰 | 编 稿 | 赵莲清 | 刘郑伟 | 程世恒 | 秦建飞 |
| | | 赵莲清 | 郑龙辉 | 王亚美 | 黄智 |
| | | 夏炳森 | 靳龙辉 | 陈晓梅 | 刘向军 |
| | | 王晓强 | 王建刚 | | |

内 容 提 要

本书以最新颁布的国家标准和规范为依据，系统全面地介绍了电气安全技术知识和操作技能。主要内容有：电气安全基础、触电防护技术、电气安全技术措施和电气安全装置，工矿企业电气设备安全运行技术、电气防火防爆技术、雷电防护技术、静电防护技术、电磁波防护技术、电气安全测量技术和电气安全管理知识。

本书可作为企业安全管理干部、安全员和电气安装维护和操作人员的培训教材，也可供相关技术人员和管理人员学习参考。

前 言

进入 21 世纪，人类跨进一个崭新的时代。人们在欢庆新世纪，享受经济高速发展带来的成果的同时，也面临着生产中种种危险隐患的威胁。因此，在坚持科学发展观，实施可持续发展战略，全面建设小康社会的过程中，安全生产工作便显得尤其重要。

当前，我国正处于经济发展的转型期，工业安全生产基础薄弱，安全生产管理水平不高。受生产力发展水平、从业人员整体素质等因素的影响，安全生产形势相当严峻，重大特大事故频繁发生，造成了巨大的人员伤亡和财产损失。这种局面如果得不到有效控制，将直接影响我国改革开放、经济发展、构建社会主义和谐社会宏伟目标的实现。

随着科学技术的进步和发展，新设备、新产品、新工艺、新材料不断涌现，生产过程中的潜在危险和有害因素不断增加，企业的安全生产和事故的预防和控制工作面临新的挑战。如何有效地预防和控制企业中各种安全生产风险，从被动防范事故向主动控制危险源头，往本质安全化方面转变；如何以人为本，珍爱生命，保护劳动大众的安全与健康；如何加强安全培训，使广大职工和生产管理人员了解和掌握安全生产新技术、新知识，增强劳动者自我保护的意识和能力，成为安全生产工作的艰巨任务。为此，我们组织有关专家、学者和专业技术人员编写了这套“安全生产新技术丛书”。

本套丛书从企业安全生产的各项具体工程技术入手，有针对

性地提出了解决安全问题的方法和措施。理论联系实际，既注重科学性、规范性，又突出实用性和可操作性。丛书本着“少而精”“实用、管用”的原则，对安全生产技术特别是新技术、新成果进行了系统的介绍。本套丛书可作为全国各工矿企业管理干部和技术人员的工作用书，也可供各单位用作职工安全技术岗位培训教材。

本套丛书所涉及的内容十分广泛，由于编者经验不足、水平有限，书中内容若有不妥和错误之处，热切希望读者不吝赐教。

编 委 会

目 录

| | |
|-------------------------------|---------|
| 第一章 电气安全基础 | (1) |
| 第一节 电学知识..... | (1) |
| 第二节 电气事故..... | (18) |
| 第三节 电气伤害机理及影响因素..... | (26) |
| 第四节 触电急救..... | (42) |
| 第二章 触电事故防护技术 | (48) |
| 第一节 TN 系统及保护接零..... | (48) |
| 第二节 IT 系统及保护接地..... | (76) |
| 第三节 通用防触电措施..... | (94) |
| 第四节 接地装置..... | (109) |
| 第三章 电气安全结构和装置 | (132) |
| 第一节 加强绝缘..... | (132) |
| 第二节 安全电压..... | (135) |
| 第三节 电气隔离..... | (139) |
| 第四节 漏电保护..... | (142) |
| 第五节 电气安全联锁机构..... | (158) |
| 第六节 电工安全用具..... | (167) |
| 第四章 工矿企业电气设备安全运行 | (174) |
| 第一节 供、配电系统概述..... | (174) |
| 第二节 变配电设备安全运行..... | (182) |
| 第三节 通用用电设备安全运行..... | (211) |
| 第五章 电气防火防爆技术 | (281) |

| | | |
|------------|----------------------|--------------|
| 第一节 | 电气引燃、引爆源····· | (281) |
| 第二节 | 燃爆危险环境····· | (299) |
| 第三节 | 电气防火防爆措施····· | (307) |
| 第四节 | 防爆电气设备和线路····· | (314) |
| 第六章 | 防雷技术····· | (333) |
| 第一节 | 雷电概述····· | (333) |
| 第二节 | 防雷装置····· | (339) |
| 第三节 | 防雷技术····· | (354) |
| 第七章 | 静电安全技术····· | (363) |
| 第一节 | 静电概述····· | (363) |
| 第二节 | 静电的危害····· | (375) |
| 第三节 | 防静电措施····· | (379) |
| 第八章 | 电磁波防护技术····· | (392) |
| 第一节 | 电磁污染环境分析····· | (392) |
| 第二节 | 电磁波安全标准····· | (401) |
| 第三节 | 电磁屏蔽····· | (404) |
| 第九章 | 电气安全测量技术····· | (410) |
| 第一节 | 基本电气参数测量····· | (410) |
| 第二节 | 接地电阻测量····· | (423) |
| 第三节 | 绝缘参数测量····· | (431) |
| 第十章 | 电气安全管理····· | (439) |
| 第一节 | 电气安全组织管理····· | (439) |
| 第二节 | 电气检修安全管理····· | (442) |
| 第三节 | 电气安全分析与评价····· | (452) |

第一章 电气安全基础

第一节 电学知识

一、电荷和电场

失去电子或得到电子的微粒称为正电荷或负电荷。带有电荷的物体称为带电体。电荷的多少用电量表示。其单位为 C (库或库仑)。库是很大的单位,常用的电量单位是 μC (微库或微库仑), $1\text{ C} = 10^6 \mu\text{C}$ 。在电荷的周围存在着电场。引进电场中的电荷将受到电场力的作用。

电场强度和电位是表征静电场中各点性质的两个基本物理量。电场中某点的电场强度即单位正电荷在该点所受到的作用力;电场强度的单位是 V/m 。点电荷周围的电场强度表示为

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon r^2} \quad (1-1)$$

式中 E ——电场强度, V/m ;

q ——点电荷的电量, C ;

ϵ ——点电荷周围介质的介电强度, F/m ;

r ——所考虑点至点电荷的距离, m 。

电场中某点的电位是指将单位正电荷从该点移至电位参考点时电场力所做的功。电位的常用单位是 V 或 mV , $1\text{ V} = 1000\text{ mV}$ 。电场中某两点之间的电位差称为这两点之间的电压或电压降。电压的单位与电位的单位相同。

在由两个电极构成的均匀电场中,电场强度与电压的关系为

$$E = \frac{U}{d} \quad (1-2)$$

式中 E ——电极间的电场强度, V/m;

U ——电极间的电压, V;

d ——电极间的距离, m。

显然, 电压越高, 可能产生的电场强度也越高。

不论何种介质, 其上电场强度达到某一限度时, 其介电性能都将遭到破坏。这一电场强度称作该介质的击穿电场强度, 或简称击穿强度。

二、电路基本概念

1. 电流和电路

在电源的作用下, 带电微粒会发生定向移动, 正电荷向电源负极移动, 负电荷向电源正极移动。带电微粒的定向移动就是电流。一般以正电荷移动的方向为电流的正方向。电流的方向不随时间变化的电流称为直流电; 电流的大小和方向随时间作周期性变化的电流称为交流电。

电流的大小称为电流强度。电流强度通常简称为电流。电流的常用单位是 A (安或安培) 或 mA (毫安)。1 A = 1 000 mA。

电流所流经的路径即电路。各种电气装置的工作都是通过电路来实现的。电路由电源、连接导线、控制电器、负载及辅助设备组成。电源是提供电能的设备。电源的功能是把非电能转换为电能, 如电池把化学能转换为电能、发电机把机械能转换为电能等。负载是电路中消耗电能的设备。负载的功能是把电能转变为其他形式的能量, 如电炉把电能转变为热能、电动机把电能转变为机械能等。拖动电动机、照明器具、家用电器等是最常见的负载。控制电器是负载的控制设备, 如刀开关、断路器、电磁开关、减压启动器等都属于控制电器。辅助设备包括各种继电器、熔断器以及测量仪表等。辅助设备用于实现对电路的控制、保护及测量。连接导线把电源、负载和其他设备连接成一个闭合回

路，连接导线的作用是传输电能或传送电讯号。

为便于分析实际电路，通常用符号表示组成电路的实际元件、器件及其连接导线，即画出电路图。图 1—1a 所示为最简单电路的实物接线图，图 1—1b 是与其相应的电路图。

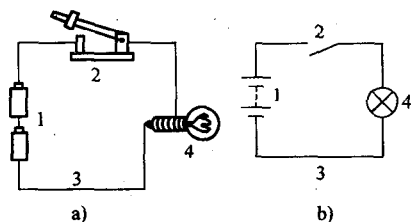


图 1—1 简单电路

a) 实物接线图、b) 电路图

1—电源 2—开关 3—连接导线 4—负载

2. 电路中的负载元件

电路中有各种各样的负载。按照加在负载上的电压与通过负载的电流的关系，可将负载分为电阻、电感、电容三种基本负载元件。实际负载可视为这三种元件的组合。对于直流电路的稳态过程，无须考虑电感和电容的作用。

(1) 电阻

电阻是电荷流动过程中遇到的阻力。电阻的常用单位是 Ω (欧或欧姆)、 $k\Omega$ 和 $M\Omega$ 。其间关系是 $1 M\Omega = 1\ 000 k\Omega$ 、 $1 k\Omega = 1\ 000 \Omega$ 。一只额定电压 220 V、功率 15 W 的白炽灯的灯丝电阻约为 $3\ 330 \Omega$ 。人体电阻约为 $1\ 000 \sim 3\ 000 \Omega$ 。长 30 m、截面积 1.5 mm^2 铜线的电阻约为 0.344Ω 。一般情况下，线路的电阻比负载电阻小得多，在电路计算和分析时可以忽略不计；而当线路很长，或负载电阻很小，特别是负载被短路时，则必须考虑导线的电阻。绝缘电阻通常以 $M\Omega$ 为单位。

(2) 电感

当变化的电流通过线圈时，线圈中会产生感应电动势来阻止

电流的变化，这种性质称为线圈的电感。电感的常用单位是 H (亨或亨利)、mH 和 μH 。其间关系是 $1\text{ H} = 1\,000\text{ mH}$ 、 $1\text{ mH} = 1\,000\ \mu\text{H}$ 。一般收音机用的天线线圈的电感为数十至数百 μH ；长 1 km、截面为 16 mm^2 的穿管铝线的电感约为 6.33 mH。由于有电感的作用，当交流电流流经线圈时还会遇到另一种阻力，这种阻力称为感抗。

(3) 电容

被介质隔离的两个导体在一定电压的作用下所能容纳电荷的能力称为电容。电容的常用单位是 F (法或法拉)、 μF 和 pF。其间关系是 $1\text{ F} = 10^6\ \mu\text{F}$ 、 $1\ \mu\text{F} = 10^6\text{ pF}$ 。电网线路的对地电容一般小于 $1\ \mu\text{F}$ ；人体的对地电容一般为数十至数百 pF。由于有电容的作用，当交流电流流经电容器时也会遇到另一种阻力，这种阻力称为容抗。

3. 欧姆定律

在电路中，电压可理解为产生电流的能力。欧姆定律是表示电路中电压、电流和电阻这三个基本物理量之间关系的定律。该定律指出，在一段电路中，流过电阻 R 的电流 I 与加在电阻上的电压 U 成正比，而与这段电路的电阻成反比，即

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-3)$$

式中 U —— 电路上的电压，V；

I —— 流经电路的电流，A；

R —— 电路的电阻， Ω 。

从欧姆定律可知，在电路中如果电压保持不变，电阻越小则电流越大；而电阻越大则电流越小。当电阻趋近于零时，电流很大，这种电路状态称为短路；当电阻趋近于无穷大时，电流几乎为零，这种电路状态称为开路。

在一个包含电源在内的闭合回路中，电压、电流和电阻之间的关系符合全电路欧姆定律。即

$$I = \frac{E}{R + r} \quad (1-4)$$

式中 E —— 电源的电动势, V;

I —— 电流, A;

R —— 负载电阻, Ω ;

r —— 电源内阻, Ω 。

全电路欧姆定律表明, 在闭合电路中, 电流与电源电动势成正比, 与电路中电源内阻和负载电阻之和成反比。

4. 基尔霍夫定律

对于比较复杂的电路, 可运用基尔霍夫定律求解。

(1) 基尔霍夫电流定律

基尔霍夫电流定律也叫基尔霍夫第一定律, 是确定电路中任一节点所连接各支路电流之间关系的定律。该定律指出, 对于电路中任一节点, 流入节点的电流之和恒等于流出节点的电流之和。在图

1-2 所示电路中, I_1 、 I_2 是流入节点 A 的电流, I_3 是流出节点 A 的

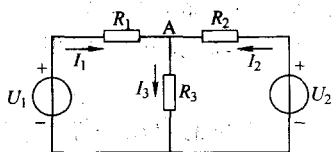


图 1-2 基尔霍夫电流定律

电流。根据基尔霍夫电流定律, I_1 、 I_2 和 I_3 之间保持以下关系:

$$I_1 + I_2 = I_3$$

将 I_3 移到等式左边, 可以得到:

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

后一式子表明, 流入 (或流出) 电路中任一节点的各电流的代数和为零, 即

$$\sum I = 0 \quad (1-5)$$

这是基尔霍夫电流定律的一般表达式。式中, Σ 表示取代数和, 说明各电流有正有负。如令流入节点的电流为正, 则流出节点的电流为负; 反之, 如令流入节点的电流为负, 则流出节点的电流为正。

(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，是确定电路的任一回路中各部分电压之间关系的定律。该定律指出，对于电路的任一回路，沿回路绕行一周，回路中各电源电动势的代数和等于各电阻上电压降的代数和。即

$$\sum E = \sum U = \sum IR \quad (1-6)$$

应当注意，凡与绕行方向一致的电动势或电压降都取正号；反之，则取负号。

5. 串联电路和并联电路

(1) 串联电路

串联电路是把几个电阻或电源串式连接起来，使电流只有一条通路的电路。凡是将电气设备首尾端顺次相连的连接方式就是串联。串联电路的总电阻等于各串联电阻之和。即

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots \quad (1-7)$$

串联电路的总电动势等于各串联电动势的代数和。串联电路的总电压降等于各个电阻上的电压降之和。

(2) 并联电路

并联电路是把几个电阻或电源并排地连接起来，使电流同时有几条通路的电路。也就是说，凡是把电气设备的首端和首端、尾端和尾端相互连接在一起的连接方式即为并联。在并联电路中，各电阻两端的电压都等于外加的电源电压。电路的总电流等于各支路电路电流之和。并联电路的总电阻的倒数等于各支路电阻的倒数之和。即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots \quad (1-8)$$

6. 电功率和电能

电气设备消耗电能，将电能转换为机械能、热能等其他能量。电功率表示电气设备做功的能力，即单位时间所做的功。电功率的单位是 W（瓦或瓦特）或 kW。电功率与电压和电流的乘

积成正比。在直流电路中，电功率可以表示为：

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1-9)$$

式中 P ——电功率，W；

U ——电压，V；

I ——电流，A；

R ——电阻， Ω 。

电能的单位是J（焦或焦耳）。电能表示电气设备在一段时间内所转换的能量；即

$$W = Pt \quad (1-10)$$

式中 W ——电能，J；

P ——功率，W；

t ——持续做功时间，s。

实用中常用kW·h作为电能的单位， $1 \text{ kW}\cdot\text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$ 。

三、单相交流电路

1. 正弦交流电

生产和生活中使用的交流电绝大部分都是正弦交流电，其特点是电流和电压的大小、方向随时间按正弦函数的规律变化。以电压为例，如图1—3所示的正弦交流电可以表示为：

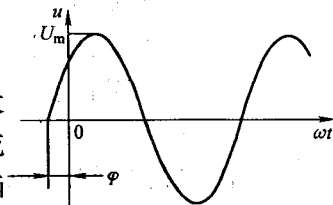


图 1—3 正弦交流电

$$u = U_m \sin (2\pi ft + \varphi) = U_m \sin (\omega t + \varphi) \quad (1-11)$$

式中 u ——时刻 t 的电压瞬时值，V；

U_m ——电压的最大值，V；

f ——频率，Hz；

t ——时间，s；

φ ——初相位，rad；

ω ——角频率， $\omega = 2\pi f$ ，rad/s。

交流电每变化一次所用的时间叫做交流电的周期。周期与频率互为倒数。

通常用交流电的有效值来表征交流电的大小，有效值是指与交流电的热效应相等的直流电数值。对于正弦交流电，最大值 U_m 和有效值 U 的关系为

$$U_m = \sqrt{2}U \quad (1-12)$$

最大值（或有效值）、角频率（或频率或周期）和初相位称为正弦交流电的三要素。这是因为这三个物理量可以完整地表示一个正弦交流电的特征。

2. 交流电路的阻抗

正弦交流电路中，感抗与电感的关系可以表示为

$$X_L = 2\pi fL = \omega L \quad (1-13)$$

式中 X_L ——感抗， Ω ；

f ——电源的频率，Hz；

L ——线圈的电感，H；

ω ——电源的角频率， $\omega = 2\pi f$ ，rad/s。

对于电路中的高频成分，电感的感抗极大，相当于开路元件。

正弦交流电路中，容抗和电容的关系可以表示为

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{\omega C} \quad (1-14)$$

式中 X_C ——电容器的容抗， Ω ；

C ——电容器的电容，F。

对于电路中的高频成分，电容的容抗极小，相当于短路元件。

交流电流通过具有电阻、电感、电容的电路时，电阻、感抗、容抗都有阻碍电流通过的作用。这种阻力称为阻抗。在电路图中，阻抗用符号 Z 表示。在交流电路中，阻抗包含电阻和电抗（感抗、容抗统称电抗）两部分。阻抗按下式计算