

修订本

电工安全读本

杨有启 主编

中国劳动出版社

内 容 提 要

本书是根据 GB5306—85《特种作业人员安全技术管理规则》和 LD28—92《电工作业人员安全技术考核标准》等最新标准和规范编写的。作为安全培训，课内可按 100~120 学时安排。全书计十八章。第一章是电工安全基础，第二~七章是电工安全的共同问题和通用电工安全措施，第八~十六章介绍各种电气装置的安全问题，第十七、十八章介绍电气防火防爆、防雷、防静电三个问题。本书主要用作专业电工的安全培训教材和培训教师的教学参考书，并可供从事安全工作的技术管理人员和从事电气工作的工程技术人员阅读和学习之用。

本书编写人员：杨有启主编；吴寿生，马国宝，池德星，李金水，赵莲清参加编写。

前 言

为了适应特种作业人员学习的需要，加强对特种作业人员的安全技术培训、考核和管理工作的，由劳动部职业安全卫生监察局组织若干省、自治区、直辖市劳动部门和有关专家、工程技术人员编写了这套全国统一的特种作业人员培训考核教材。

这套教材是根据国家标准 GB5306—85《特种作业人员安全技术管理规则》和各种特种作业考核标准，在总结各地培训经验的基础上编写而成的。在编写中力求理论联系实际，简明扼要，注意到内容的科学性、系统性和实用性，并尽可能吸收新经验。

这套教材主要供厂矿企业安全生产管理人员、特种作业人员学习及其他工程技术人员和职工参考。

《电工安全读本》是这套教材中的一本。本书第一版发行于1988年，在我国电工安全培训中发挥了良好的作用。但原书很多资料已经过时，不能完全适应当前的需要。因此，我们吸收读者的意见，组织富有教学和实践经验的作者，结合我国当前情况，引进国内外的先进技术，重新编写了这本新的《电工安全读本》。新版本是按照 LD28—92《电工作业人员安全技术考核标准》的精神编写的。新版本在内容取舍和安排上，保留了原书的特点。为突出安全主线，将原电气安全技术一章分解为三章；为节省篇幅，将原防雷、静电两章

合并为一章；在理论和实践的广度和深度方面，考虑了不同层次读者的需要，以便较高层次的读者和较低层次的读者都能阅读和使用。为便于阅读和使用，每章都选列了复习题。

应当看到，电工安全的形势仍然是十分严重的。仅就用电量而言，我国大约每用电 $(1\sim 2)\times 10^8\text{ kW}\cdot\text{h}$ 即死亡1人，而美国、日本等国每用电 $(30\sim 40)\times 10^8\text{ kW}\cdot\text{h}$ 才死亡1人。我国电气火灾约已超过火灾总数的20%，且呈上升趋势。用电安全状态与专业电工的安全技术水平和安全意识有着十分密切的关系。专业电工是特殊工种，又是危险工种，其作业过程和工作质量不但关联着本身的安全，而且关联着他人和周围设施的安全。随着用电量的增加，专业电工人数也在增加，而且他们经常分散在企业的各基层单位工作，工作地点、工作任务也不固定，不便于安全管理。因此，必须加强对专业电工的安全技术培训，最大限度地提高他们的安全技术水平、安全操作技能和安全意识。

电工安全培训的组织和教师必须充分认识电工安全培训与电工技术培训的不同。电工安全培训虽然也属于技术培训的范畴，但必须坚持以安全为中心。以安全为中心的思想必须贯穿到教学计划、教学大纲、教材、课堂讲授、实际操作训练以及考核和评定中去。由于科学技术发展很快，专业电工的文化素质也逐渐提高，要求培训教师尽快更新自己的知识、努力提高自己的电工基础理论水平和安全技术水平。

近几年来，各地、各部门印刷了不下数十种电工安全培训教材。这些教材在电工安全培训中发挥了不同程度的作用。但是，在这些教材中，相当一部分没有完全解决好以下两个问题：一是内容偏于陈旧，没有引进80年代后期和90年代的新标准、新规范和新技术内容，先进性不足；二是没有把

握住电工安全培训的特点，没有牢牢抓住安全主线，而只是在旧的电工技术培训教材上修修补补，科学性不足。本书力求在这两方面有所贡献。

本书主要用作专业电工的安全培训教材和培训教师的教学参考书，并可供从事安全工作的技术管理人员和从事电气工作的工程技术人员阅读和学习之用。

王堪、任立文、侯平川、杨津德、杜锡平、肖雷、陈树奉、王怡范、李富等曾参加本书第一版的编写或审稿工作，为本书作出过不可磨灭的贡献。

尽管作者存尽善之愿，但因水平所限，书中不当乃至错误之处一定很多，敬请读者批评指正。

1997年1月

目 录

第一章 电工安全基础

第一节	电工安全职责	1
第二节	电工学原理	2
第三节	电气事故种类	30

第二章 触电事故的基本问题

第一节	触电事故类型	35
第二节	电流对人体的作用	39
第三节	触电事故规律	56
第四节	触电急救	59

第三章 电工安全工作制度

第一节	电气安全宏观管理	65
第二节	检修安全技术措施	69
第三节	检修安全组织措施	72

第四章 直接接触电击防护

第一节	绝缘	85
第二节	屏护和间距	97

第五章 间接接触电击防护

第一节	IT 系统	110
第二节	TT 系统	116
第三节	TN 系统	119
第四节	接地装置	133
第五节	保护导体	151

第六章 加强绝缘、安全电压和漏电保护

第一节	加强绝缘	157
第二节	安全电压	161
第三节	电气隔离	165
第四节	漏电保护	168

第七章 电工安全用具

第一节	电工安全用具种类和功能	187
第二节	安全用具的使用和试验	193

第八章 电工测量

第一节	电工仪表基本知识	197
第二节	电流和电压测量	200
第三节	万用电表	205
第四节	直流电桥	207
第五节	电度表	208

第九章 电气线路

第一节	电气线路种类及特点	215
-----	-----------------	-----

第二节	电气线路常见故障·····	221
第三节	电气线路安全条件·····	227
第四节	线路巡视检查·····	238

第十章 低压用电设备

第一节	用电设备的环境条件·····	242
第二节	电动机·····	246
第三节	手持电动工具和移动式电气设备·····	261
第四节	电气照明·····	265

第十一章 低压电器

第一节	低压控制电器·····	273
第二节	低压保护电器·····	293

第十二章 电力系统和企业供配电

第一节	电力系统·····	301
第二节	工业企业供配电·····	304
第三节	变、配电站组成和一般安全要求·····	310

第十三章 电力变压器

第一节	变压器原理和结构·····	317
第二节	变压器安装和运行·····	328
第三节	变压器保护·····	337
第四节	变压器故障和事故处理·····	346

第十四章 互感器

第一节	电流互感器·····	355
-----	------------	-----

第二节	电压互感器.....	361
-----	------------	-----

第十五章 高压电器

第一节	高压熔断器.....	369
第二节	高压隔离开关.....	374
第三节	高压负荷开关.....	377
第四节	高压断路器.....	379
第五节	高压开关的操动机构.....	391
第六节	高压开关柜及连锁装置.....	397

第十六章 电力电容器

第一节	电力电容器概要.....	401
第二节	电容器安全运行.....	405

第十七章 电气防火防爆

第一节	电气引燃源.....	411
第二节	危险物质.....	415
第三节	危险环境.....	417
第四节	防爆电气设备和防爆电气线路.....	421
第五节	电气防爆技术.....	429

第十八章 雷电与静电

第一节	防雷技术.....	434
第二节	静电防护技术.....	450

第一章 电工安全基础

本章介绍电工安全职责、电工学原理、电气事故种类等电工安全的基本问题。

第一节 电工安全职责

电工是特殊工种，又是危险工种。首先，其作业过程和工作质量不但关联着其本身的安全，而且关联着他人和周围设施的安全；同时，随着生产的发展，用电量迅速增加，专业电工也日益增多，而且分散在企业的各个部门；再则，电工工作点分散、工作性质不专一，不便于跟班检查和追踪检查。因此，专业电工必须掌握必要的电气安全技能，必须具备良好的电气安全意识。

专业电工应了解安全生产方针，把生产与安全看作是一个整体，充分理解“生产必须安全，安全促进生产”“管生产必须管安全”的基本原则，不断提高对安全与生产的辩证统一关系的认识。

专业电工应努力克服重生产轻安全的错误思想，克服侥幸心理；在作业前和作业过程中，应考虑事故发生的可能性；应遵守各项安全操作规程，不得违章作业；不得蛮干，不得在不熟悉的和自己不能控制的设备或线路上擅自作业；应认真作业，保证工作质量。

就岗位安全职责而言，专业电工应做到以下几点：

(1) 严格执行各项安全标准、法规、制度和规程。包括各级电气安全标准、电气产品标准、电气安装规范和验收规范、电气运行管理规程、电气安全操作规程及其他各种安全规程和劳动保护监察条例。

(2) 遵守劳动纪律，忠于职责，做好本职工作，认真执行电工岗位安全责任制。

(3) 正确使用各种工具和劳动保护用品，安全地完成各项生产任务。

(4) 努力学习安全规程、电气安全技术和电工技术；参加各项有关的安全活动；宣传电气安全；参加安全检查，并提出意见和建议等。

专业电工应树立良好的职业道德。除前面提到的忠于职责、遵守纪律、努力学习外，还应注意互相配合，共同完成生产任务。应特别注意杜绝以电谋私、制造电气故障等违法行为。

培训和考核是提高专业电工安全技术水平，使之获得独立操作能力的基本途径。专业电工应认真参加安全培训和考核，通过培训和考核，最大限度地提高自己的技术水平和安全意识。

第二节 电工学原理

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), $1\text{ C}=10^6\text{ }\mu\text{C}$ 。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

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon r^2}$$

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 (法/米);

r ——所考虑点至点电荷的距离, m 。

电场中某点的电位是指在电场中将单位正电荷从该点移至电位参考点时电场力所作的功。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

$$E = \frac{U}{d}$$

式中, E 为电极间的电场强度, 单位是 V/m ; U 为电极间的电压, 单位是 V ; d 为电极间的距离, 单位是 m 。显然, 电压越高, 可能产生的电场强度也越高。

不论任何介质, 其上电场强度达到某一限度时, 其介电性能将遭到破坏。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、直流电路

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、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 或 mA。 $1\text{ A}=1000\text{ mA}$ 。

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—1 (a) 是最简单电路的实物接线图，图 1—1 (b) 是与其相应的电路图。

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、电容等三种基本负载元件。实际负载可视为这三种元件的组合。对于

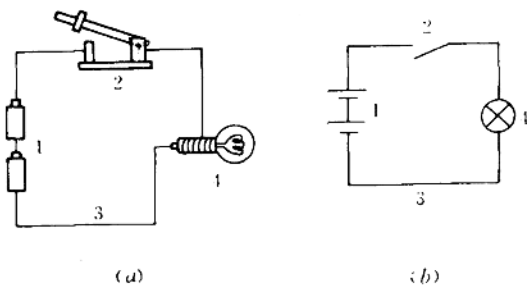


图 1—1 简单电路

(a) 实物接线图 (b) 电路图

1—电源；2—开关；3—连接导线；4—负载

直流电路的稳态过程，无须考虑电感和电容的作用。

(1) 电阻

电阻是电流流动过程中遇到的阻力。电阻的常用单位是 Ω 、 $k\Omega$ 和 $M\Omega$ 。其间关系是 $1 M\Omega = 1000 k\Omega$ 、 $1 k\Omega = 1000 \Omega$ 。一只额定电压 220V、功率 15 W 的白炽灯泡的灯丝电阻约为 3330Ω 。人体电阻约为 $1000 \sim 3000 \Omega$ 。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、mH 和 μH 。其间关系是 $1\text{ H}=1000\text{ mH}$ 、 $1\text{ mH}=1000\text{ }\mu\text{H}$ 。一般收音机用的天线线圈的电感为数十~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、 μF 和 pF。其间关系是 $1\text{ F}=10^6\text{ }\mu\text{F}$ 、 $1\text{ }\mu\text{F}=10^6\text{ pF}$ 。电网线路的对地电容一般小于 $1\text{ }\mu\text{F}$ ；人体的对地电容一般为数十~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

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

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

$$I = \frac{E}{R + r}$$

式中 E ——电源的电动势，V；

I ——电流，A；

R ——外部电阻， Ω ；

r ——内部内阻， 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。

例 1-1：已知某电池电动势 $E=1.5\text{ V}$ 、内阻 $r=0.2\ \Omega$ 、外部电阻 $R=100\ \Omega$ ，试计算线路上的电流和外部电阻上的电压。

解：线路上的电流为

$$I = \frac{E}{R + r} = \frac{1.5}{100 + 0.2} = 14.97\text{ mA}$$

外部电阻上的电压为

$$U = IR = 14.97 \times 10^{-3} \times 100 = 1.497\text{ V}$$

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

$$\Sigma I = 0$$

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。

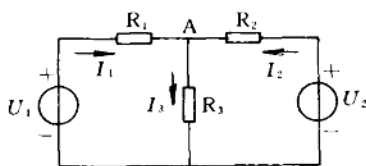


图 1-2 基尔霍夫电流定律

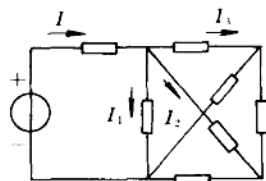


图 1-3 例 1-2 电路图

例 1-2：在图 1-3 所示电路中，已知电流 $I_1 = 1 \text{ A}$ 、 $I_2 = 2 \text{ A}$ 、 $I_3 = 1 \text{ A}$ ，求电源输出的总电流 I 。

解：先根据基尔霍夫电流定律写出电流方程式为

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

再求出电源输出的总电流为

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = 1 + 2 + 1 = 4 \text{ A}$$