

劳动保护专业培训教材

电气安全技术



吉林省劳动保护教育中心

编 写 说 明

吉林省劳动保护教育中心，认真总结了近年来在教学实践中的经验教训，深入地调查研究并综合分析全国各地劳动保护方面的培训教材，在原编教材的基础上，本着去粗存精、兼收并蓄、简明适用的原则，重新编写了这套《劳动保护专业培训教材》。新编教材共为十分册，约60万字。

新编教材，在内容和程度上，按照劳动保护高级中专水平进行编写，既照顾教材篇幅不要过大，也考虑便于在实际工作中查找资料。尽力做到理论联系实际，侧重在实际工作中解决安全生产问题。

《劳动保护专业培训教材》适用于培训各级劳动部门安全监察干部和厂、矿企业主管安全工作的厂、矿长、安技科长及其他从事安全工作的干部。

教材编写过程中，始终采用集体讨论纲目、个人分工执笔、集体审阅定稿的办法，切实保证教材编写质量。力求教材内容切合实际，知识的深度和广度适合工作需要。

承担本教材编写执笔任务的是葛景亮副主任（工厂噪声与控制技术）；徐世荣工程师（安全人机工程和机械制造安全技术）；李宝祥工程师（安全系统工程）；刘颖工程师（工业通风）；宗德魁工程师（起重搬运安全技术）；徐照庚工程师（工厂防火防爆）；董文良工程师（建筑安装工程施工安全技术）房长春工程师（电气安全技术）；张元忠主治医师（劳动卫生与职业病）。全套教材由

教育科、教学研究室集体修改和审定。

教材编写过程中，还得到省劳动人事厅，省劳动保护科研所、省建筑工程总公司和白求恩医科大学环境医学系劳动卫生教研室张玉梅副教授等有关单位和同志的热情指导和帮助，在此谨表谢意。

由于我们专业水平有限，教材的疏漏和谬误之处恐难避免，诚望从事劳动保护宣传教育工作的同行，安全监察干部和安全生产管理干部在使用过程中，提出宝贵意见，不胜感激。

编 者

一九八七年五月

封面设计：王识未

绪 论

“电气安全技术”是研究防止各种电气事故，使电更好地为人类服务的学科。

电本来是造福于人类的，在生产上和生活中都广泛用电。把电能作为动力，可以开动机器；把电能转换成热能，可以冶炼、焊接、切割、干燥、热处理等；把电能转换成化学能，可以电镀、电解、电化学加工等。另外，电能还用于医疗、通讯、测量、计算等领域。然而，如果应用不当，就会发生电气事故，造成生命和财产的重大损失。所以说，在用电的同时必须考虑电气安全问题。

电气事故包括触电、雷击、静电危害、电磁场危害、电气火灾和爆炸，以及危及人身安全的线路故障和设备故障。

在工伤事故中，电气事故占有不小的比例。据国外资料统计，触电死亡人数占全部事故死亡人数的 5% 左右，有些国家则达到 20—40% 高于任何其他原因引起的死亡事故。在我国，电气事故死亡人数与发电量及用电量的比值比某些国家大很多，这说明我国电气安全水平还比较低。

由于电的应用极为广泛，我国电力事业和现代化建设发展的速度又很快，而我国电气安全又处于比较落后的状态，所以，可以说电气安全工作是劳动保护工作中的一项重要工作。这就要求我们劳动保护干部和安全技术人员以及企业生产的领导者加强这方面的理论学习和训练，结合当前改革的新形势和“七五”计划的新要求，做好电气安全工作。

不论是流电还是静电，交流电还是直流电，高压电还是低压电，强电还是弱电；也不论是工业用电还是农村用电，大企业用电还是小企业用电，生产用电还是生活用电，都存在着电气安全问题。一些不用电的场合也有电气安全问题，即考虑用电气作为手段解决其他的安全问题。因此说，电气的对象不是单一的，电气安全技术有其庞杂性和综合性。那么，这门学科的实用范围之广，它所包含的学术领域之多也就不言而喻了。

电气安全技术是随着科学和生产的发展而发展的。一些传统的安全措施，直至现在仍然是有效的；而随着现代技术的发展又出现更先进的电气安全技术措施，随着自动化元件和电子元件广泛应用出现的安全保护装置，又为防止电气事故和其他事故提供了新的途径。另一方面，随着新技术的应用也出现了一些新的电气安全问题。例如，电磁场安全问题、静电安全问题都是随着某些新技术的广泛应用而提到日程上来的。正因为电气安全技术是一门处在发展之中的学科，所以，有些内容至今还不成熟，还有待我们今后共同实践、研究和总结。

目 录

绪 论	(1)
第一章 电的基础知识	(1)
第一节 电流、电压及电阻	(1)
第二节 欧姆定律	(3)
第三节 对地电压、接触电压和跨步电压	(4)
第四节 电功率与电能	(6)
第五节 交流电	(8)
第六节 安全电压	(14)
思考题	(15)
第二章 触电事故及触电的急救	(16)
第一节 触电事故的种类、规律和基本原因	(16)
第二节 电流对人体的作用	(19)
第三节 对触电者的急救	(22)
第四节 防止触电事故的基本要素	(27)
思考题	(29)
第三章 供用电设备及其安全要求	(30)
第一节 电动机	(30)
第二节 电力变压器	(32)
第三节 互感器	(33)
第四节 高压开关	(35)
第五节 熔断器	(37)

第六节 电力电容器.....	(38)
第七节 交流电焊机.....	(40)
第八节 携带式电动工具.....	(41)
思考题.....	(42)
第四章 保护接地与接零.....	(43)
第一节 保护接地.....	(43)
第二节 接 零.....	(45)
第三节 保护接地与接零的区别.....	(51)
第四节 接地装置与接零装置的安全技术要求.....	(52)
思考题.....	(54)
第五章 绝缘、屏护和间距.....	(55)
第一节 电气绝缘.....	(55)
第二节 安全屏护.....	(58)
第三节 安全间距.....	(59)
思考题.....	(64)
第六章 电气防火与防爆.....	(65)
第一节 燃烧与爆炸的一般常识.....	(65)
第二节 电气火灾与爆炸的原因.....	(70)
第三节 电气防火防爆措施.....	(73)
第四节 电气灭火知识.....	(79)
思考题.....	(82)
第七章 静电安全技术.....	(83)
第一节 静电的产生.....	(83)
第二节 静电的消失.....	(88)
第三节 静电的特点.....	(91)

第四节 静电的危害.....	(95)
第五节 静电安全防护.....	(99)
思 考 题.....	(110)

第一章 电的基础知识

第一节 电流、电压及电阻

一、电 流

电子沿着导体作定向移动，称为电流。

电流的代表符号是“ I ”，基本度量单位是“安培”（A）。对于较大的电流用“千安”（KA）表示，对于较小的电流用“毫安”（mA）或“微安”（ μA ）来表示。

其进率为： $1\text{ KA} = 1000\text{ A}$

$$1\text{ A} = 1000\text{ mA}$$

$$1\text{ mA} = 1000\text{ }\mu\text{A}$$

电流的实际方向是电子流动的方向，即从负极到正极，但在习惯上仍沿用以前的假定，即电流的方向是从正极流向负极。

形成持续电流需要具备两个条件：一是要有电源，二是电路必须闭合。

大小和方向不随时间变化的电流叫做直流电。

大小和方向随时间作周期性变化的电流称为交流电。我国目前工农业生产和民用电大都是每秒钟按正弦规律变化 50 次的交流电。

二、电 压

迫使电子移动，形成电流的能力称为电压。

电压又叫电位差。当导体两端的电子具有不同位能时就出现了电位差。电位差愈大，电流也愈大。所以，电压也可以理解为推动

电子流动的压力。

电压的代表符号是“U”，基本度量单位是“伏特”(V)，较大的电压用“千伏”(KV)表示，较小的电压用“毫伏”(mV)表示。

其进率为：

$$1 \text{ KV} = 1000 \text{ V}$$

$$1 \text{ V} = 1000 \text{ mV}$$

一般认为对地电压为 250V 以上的为高压电，250V 及 250V 以下的为低压电。

在电源内部所产生的推动电流的能力叫做电动势，简称电势。代表符号是“E”，度量单位与电压相同。

三、电 阻

导体中阻止电流通过的阻力称为电阻。

代表符号是“R”，基本度量单位是“欧姆”(Ω)，较大的电阻用“千欧”(KΩ)或“兆欧”(MΩ)来表示。

其进率为： $1 \text{ M}\Omega = 1000 \text{ K}\Omega$

$$1 \text{ K}\Omega = 1000 \Omega$$

电阻的大小与导体的长度和横截面积有关，即导线的电阻与导线的长度成正比，与导线的横截面积成反比。另外，导线电阻还与导线所采用材料的导电性能及温度有关。导体材料的导电性能用电阻系数“ ρ ”来衡量。 ρ 愈小材料的导电性能愈好。 ρ 愈大材料的绝缘性能愈好。一般地说导体温度越高，其电阻愈大。

计算导体电阻的公式是：

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

式中： R ——导体电阻 (Ω)

L ——导体长度 (m)

S ——导体截面积 (mm^2)

ρ ——导体材料电阻系数 ($\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$)

ρ 值很大，绝缘性能好的物体称为绝缘体，如干燥的空气、玻璃、云母、橡胶、石棉、塑料、陶瓷、干燥的木材等等。但应当指出，世界上没有绝对绝缘的物体，而且绝缘体的绝缘性能也不是固定不变的。在一定的条件下绝缘体也有可能成为导体。例如绝缘击穿或绝缘老化。为了保证电气设备的良好绝缘和安全运行，电气设备应保持干燥和清洁，应定期检修，安全用具在使用前必须进行绝缘检查和测试。

第二节 欧 姆 定 律

一、电 路

一个简单电路是由电源、负载、导线、开关四个部分组成。电源是提供电能的；负载是消耗电能的；开关是控制电能的；导线是传送电能的。(见图1—1)

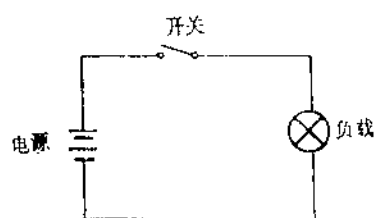


图1—1 简单电路

在直流电路里，电流从电源的正极出发，经过导线和负载，再回到电源的负极，构成回路，这种电路叫做全电路。也称有源电路。而负载和导线构成电路的一部分，叫做一段电路 (图1—2)。

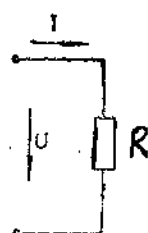


图1—2 一段电路的欧姆定律

二、一段电路的欧姆定律

在一段电路中，通过电阻的电流与加在电阻两端的电压成正比，而与电阻的阻值成反比。

即：
$$I = \frac{U}{R}$$

式中：I——电流 (A)

U——电压 (V)

R——电阻 (Ω)

三、全电路的欧姆定律

在全电路中，电流的大小与电源的电动势成正比，而与电路中的总电阻成反比。

即：
$$I = \frac{E}{R + r_0}$$

式中：I——电路中的电流 (A)

E——电源电动势 (V)

R——外电路的负载电阻 (Ω)

r_0 ——电源内阻 (Ω)

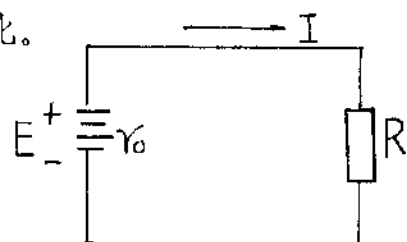


图 1—3 全电路的欧姆定律

四、短 路

电源和负载是通过导线连接而构成回路的。若电源两端未经负载而直接连在一起形成通路，叫做短路。发生短路事故时，由于电阻值大大低于正常值，甚至趋近于零，由欧姆定律可知短路电流将大大超过正常值或趋于无穷大。如果没有短路保护装置就会烧毁电气设备，甚至造成人身事故或火灾。

第三节 对地电压、接触电压和跨步电压

一、对 地 电 压

一旦某电气设备漏电，当电流经接地体入地时，即向四周流

散，流散过程中所遇到电阻的总合叫做该接地体的流散电阻。（见图1—4）

根据欧姆定律，电流通过接地体的流散电阻会产生电压，这个电压叫做接地体的对地电压（ U_d ）。在电工学中把大地的电位定为零电位（这个大地是指接地电流影响区域之外的土壤，一般距接地体20米以外就处于零电位了）。从这个意义上讲，对地电压就是某点至零电位处的电压。

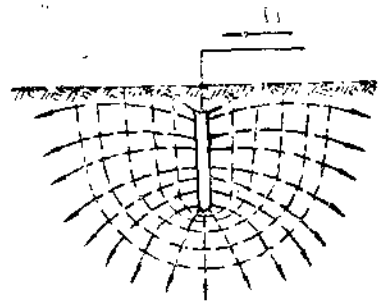


图1—4 入地电流流散图

接地点附近各点是带电的，离接地点愈远对地电压愈低。可用曲线表示接地体及其周围各点的对地电压，这个曲线叫做对地电压曲线。它具有双曲线的特徵（见图1—5），即远离接地体，曲线的陡度逐渐变小。通过

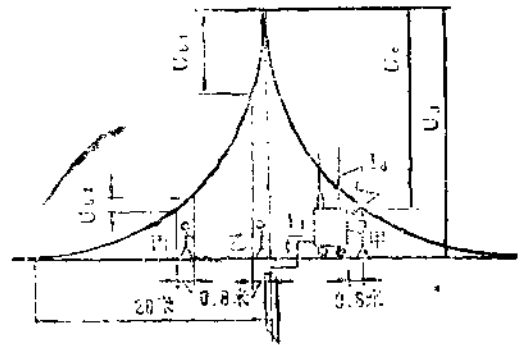


图1—5 对地电压曲线

这个对地电压曲线，可以比较方便地讨论接触电压和跨步电压。

二、接 触 电 压

如果人体同时接触具有不同电压的两处，人体构成电流回路的一部分，则人体内就有电流通过。这时加在人体两点之间的电压差即谓接触电压（ U_c ）。图1—5中，甲的手与脚之间的电压差就是所承受的接触电压。

三、跨 步 电 压

跨步电压是指人站在地上具有不同对地电压的两点，在两脚之间所承受的电压差（ U_b ）。

跨步电压的大小与跨步大小有关，跨步越大，跨步电压越大。成人的跨步距离一般在 0.8 米左右。跨步电压还与所处的位置距接地体的距离有关，离开接地体越远，跨步电压越小。对于一般接地体，离开 20 米以外，跨步电压接近于零。

第四节 电功率与电能

一、电 功 率

在单位时间内，即一秒钟内电流所作的功叫做电功率。简称功率。

表示符号为“P”，基本度量单位为“瓦特”(W)，较大的功率用“千瓦”(KW)表示。

电功率的大小与负载承受的电压及通过负载的电流成正比。

即： $P = U \cdot I$

式中：P——电功率 (W)

U——电压 (V)

I——电流 (A)

电功率用以表示电源的出力和负载的作功能力。

二、电 能

电流在一段时间内所作的功叫做电能。

表示符号为“W”，度量单位为“度”(KWh)，又称“千瓦·小时”。

负载所消耗的电能与其功率的大小和作功时间的长短成正比。

即： $W = P \cdot t$

式中：W——电能 (KWh)

P ——功率 (KW)

t ——时间 (h)

电能用以表示用户在某一段时间内的用电量,可用电表计量。

三、电流的热效应

电流通过导体时,克服导体电阻而作了功,促使分子的热运动加剧。电子在导体中不断发生碰撞,一部分电能就不断地转变成为热能,使导体温度升高。这种现象叫做电流的热效应。

电流通过导体所产生的热量与电流强度的平方成正比,又与导体的电阻以及通电的时间成正比。

即: $* Q = 0.24 I^2 R t$

式中: Q——电流产生的热量 (卡)

I ——电流强度 (A)

R ——导体电阻 (Ω)

t ——通电时间 (秒)

在工农业生产中,有些地方是利用电流的热效应来为生产服务的,如利用镍铬合金电热丝的电阻大,耐热性强的特点做电烙铁,电炉和电烘箱等;用电流在导线中产生的热量来干燥电动机和变压器等。但有些地方则要限制电流的热效应,以防止造成危害,如对电气设备规定允许电流(或额定电流),禁止过载运行等。由于导体所消耗的热量与电流的平方成正比,所以过载时设备温升很快,这就会加速绝缘老化,缩短设备使用寿命。长时间过载运行就会把设备烧毁,或使设备漏电,引起触电事故。

* 这个关系式在电工学中叫做焦耳——楞次定律。式中的 0.24 为热功当量,即一焦耳的功相当于 0.24 卡的热量。

第五节 交 流 电

一、交流电的基本概念

交流电是方向和大小都按照一定的规律作周期性变化的电流。每秒钟交变的次数叫做频率。频率的代表符号是“ f ”，度量单位是“赫芝”（Hz）， $1\text{ Hz} = 1\text{ 周/秒}$ 。

我国通常用的交流电是按正弦规律变化的，每秒钟交变50次，即50个周期，所以其频率为50赫芝，或是为50周/秒，这个频率也叫工频。每一个周期所用的时间为 $1/50$ 秒。正弦交流的电压波形和电流波形见图1—6和图1—7。

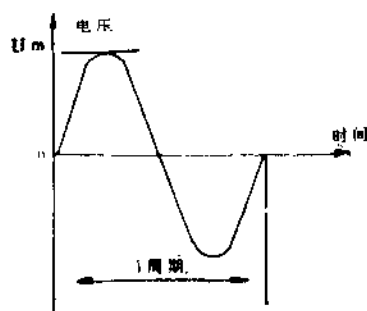


图1—6 电压正弦曲线

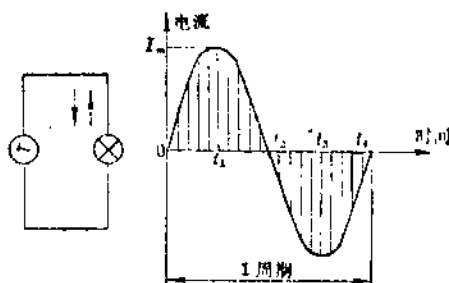


图1—7 电流正弦曲线

由图1—6和图1—7可以看出正弦交流电的电压波形和电流波形是一样的。这里通过图1—7仅就正弦交流电的电流随时间变化的规律加以说明。从电流通过某一零点开始，电流向上逐渐增大，至 t_1 时电流达到最大值（ I_m ），然后逐渐减小，至 t_2 时电流为零。以后电流向下逐渐增大，至 t_3 时达到最大值（此时最大值系绝对值，其电流方向与前半周相反）。然后逐渐减小，至 t_4 又为零值。至此，完成了一个周期的变化。

正弦交流电的电压和电流与时间的变化关系是正弦函数关系，其曲线的数学表达式分别为：

$$u = U_m \sin 2\pi ft$$

$$i = I_m \sin 2\pi ft$$

式中： u —交流电压的瞬时值

i —交流电流的瞬时值

U_m —交流电压的最大值

I_m —交流电流的最大值

f —交流电的频率

t —时间

我们平时所说的交流电压（如380V/220V）和电流，以及用普通交流电压表和电流表（包括万用表）所测得的电压值或电流值都是交流电的有效值（ U 或 I ）。有效值仅是最大值的 $1/\sqrt{2}$ 倍

即：
$$U = U_m / \sqrt{2} = 0.707 U_m$$

$$I = I_m / \sqrt{2} = 0.707 I_m$$

或：
$$U_m = \sqrt{2} U = 1.414 U$$

$$I_m = \sqrt{2} I = 1.414 I$$

在电路计算时，交流电路和直流电路的负载是有很大区别的。在直流电路中只考虑电阻，而在交流电路中，不但要考虑电阻，还要考虑电抗（ X ）。电抗是指电感的感抗和电容的容抗。感抗符号是“ X_L ”，单位是欧姆（ Ω ）。容抗符号是“ X_C ”，单位也是欧姆（ Ω ）。

电阻和电抗的复数矢量和称为阻抗。（图1—8）。

即：
$$\dot{Z} = \dot{R} + \dot{X}$$

阻抗的符号是“ Z ”单位也是欧姆（ Ω ）。