

# 电工作业 安全技术 基础

主编：赵煦阳 邹承康 舒明煌

电工作业人员安全技术复审培训教材



湖南科学技术出版社

## 电工作业安全技术基础

赵恩阳 邹承康 舒明焯主编

责任编辑：肖和国

湖南科学技术出版社出版发行

(长沙岳麓区馆陶路8号)

湖南省新华印刷二厂印刷

1981年4月第1版第1次印刷

开本：787×1092毫米 1/32 印张：13.023 字数：211,000

印数：1—25,100

ISBN 7-5357-0917-6

Tm·8 定价：5.10元

## 前 言

国家标准GB5306—85《特种作业人员安全技术考核管理规则》规定，电工作业人员经考核取得《特种作业操作证》后，每两年需进行一次安全技术复审，经复审合格者，方准继续从事电工作业。本书是为了适应我省各级劳动部门开展对电工作业人员进行安全技术复审培训而编写的。

近几年来，我省各地劳动部门严格按照国家电工作业人员安全技术考核标准，认真开展了对电工作业人员的安全技术培训和考核、发证工作，普遍提高了电工作业人员的安全技术素质和安全操作技能，使每年因电工作业不当而引起的人身伤亡事故和设备损害事故逐年下降。因此，坚定不移地按照国家标准的规定，认真抓好电工作业人员的安全技术培训、考核、发证和复审工作，是非常重要的。

在拟定本书编写大纲时，我们听取了各地对电工作业人员安全技术培训的意见，并收集了开展这一工作的经验。

参加本书编写的有徐福祥、卢楚良、尹铿、陈范勋、方武元、晏贤民、赵照阳、吴官保、张信芝、舒明焜等同志。由于时间仓促，编者经验不足，水平有限，书中难免出现错误，希读者及时指正。

编 者

1990. 12.

# 目 录

<b>第一章 电工作业伤害事故概述</b> .....	( 1 )
§ 1.1 基本概念.....	( 1 )
§ 1.2 人身触电事故.....	( 8 )
§ 1.3 电气设备事故.....	( 20 )
§ 1.4 电气火灾、爆炸事故.....	( 21 )
<b>第二章 电击保护措施</b> .....	( 23 )
§ 2.1 直接接触保护.....	( 23 )
§ 2.2 间接接触保护.....	( 45 )
§ 2.3 漏电保护器.....	( 81 )
<b>第三章 电工作业安全技术</b> .....	(103)
§ 3.1 配电装置.....	(103)
§ 3.2 电气线路.....	(110)
§ 3.3 用电设备.....	(127)
§ 3.4 变压器.....	(135)
<b>第四章 特殊环境作业场所电工作业安全技术</b> .....	(157)
§ 4.1 火灾危险场所.....	(157)
§ 4.2 爆炸危险场所.....	(162)
§ 4.3 严重腐蚀、污染、高温、潮湿场所.....	(183)
§ 4.4 施工现场及临时用电场所.....	(185)
§ 4.5 静电及其防护.....	(189)
<b>第五章 电气设备绝缘试验</b> .....	(203)
§ 5.1 测定绝缘的基本方法.....	(203)

§ 5.2	变压器试验	(220)
§ 5.3	高压设备试验	(227)
§ 5.4	交流电动机的试验	(236)
<b>第六章</b>	<b>继电保护装置</b>	<b>(240)</b>
§ 6.1	概述	(240)
§ 6.2	线路保护	(242)
§ 6.3	变压器保护	(256)
§ 6.4	电动机保护	(264)
§ 6.5	发电机保护	(272)
§ 6.6	自动重合装置	(282)
§ 6.7	二次回路	(293)
<b>第七章</b>	<b>过电压保护</b>	<b>(301)</b>
§ 7.1	雷电及其危害	(301)
§ 7.2	防雷装置	(307)
§ 7.3	防雷措施	(323)
§ 7.4	操作过电压	(335)
§ 7.5	谐振过电压	(348)
<b>第八章</b>	<b>电工作业安全操作要求</b>	<b>(359)</b>
§ 8.1	电工用具安全要求	(359)
§ 8.2	停电作业	(370)
§ 8.3	带电作业	(372)
§ 8.4	登高作业	(374)
§ 8.5	二次回路作业	(375)
§ 8.6	线路架设	(377)
§ 8.7	倒闸操作	(380)
§ 8.8	工作制度	(385)
§ 8.9	值班与巡视	(394)

<b>附录 电工作业伤害事故案例</b> .....	(398)
一、高压变、配电装置和线路.....	(398)
二、低压配电装置和线路.....	(405)
三、特殊用电设备.....	(412)
四、接地与防雷.....	(419)
五、登高工具与安全护具.....	(421)
六、其他.....	(424)

# 第一章 电工作业伤害事故概述

生产、生活和科学技术的现代化离不开电。电可以给人类带来幸福，但如果使用不当，也可能造成某些灾难。一个合格的电工必须要掌握电的规律及熟练的电工技术和安全技术，本章对电的基本规律和引起的各类事故作一概述。

## § 1.1 基本概念

### 一、电工作业伤害事故的概念

电气事故主要包括由电流、电磁场、静电和电路故障等直接或间接造成人身伤亡、电气设备、建筑设施毁坏事故。

### 二、电工作业伤害事故的分类

①**电流伤害事故**。电流伤害事故即触电事故，是电流通过人体而引起的病理、生理效应一类事故。在高压触电事故中，主要是人体靠近带电体至一定程度时，因击穿放电而造成伤害。

②**电磁场伤害事故**。人体在电磁场作用下，由于吸收辐射能量而受到的不同程度的伤害。

③**雷电事故**。雷击是一种自然灾害，雷击除毁坏建筑设施和伤及人畜外，还可能引起火灾和爆炸等灾害。

④静电事故。静电是由不同物质的接触、分离或互相摩擦而产生的。静电的电位一般是较高的，例如人在穿、脱衣服时，有时可产生一万多伏的电压。静电的危害大体分为使人体受电击、影响产品质量和引起着火爆炸三个方面，其中以引起着火爆炸最为严重，可以导致人员伤亡和财产损失。因此，在有汽油、苯、氢气等易燃物质的场所，要特别注意防止静电危害。

⑤电路故障。电路故障本身虽属于设备事故，但有些设备事故与人身事故往往又联系在一起。如电线短路或过载可能引起火灾；油开关爆炸可能伴随重大的人身事故。因此，某些电路故障应当属于电气安全范围的研究对象。

### 三、安全电流与安全电压

关于安全电流的数值，许多国家的规定不一致。对工频交流电流取值一般在摆脱电流与引起心室颤动电流之间（20~50毫安）。如法国规定为25毫安；英国规定为50毫安；苏联规定为30毫安。我国一般认为是30毫安。安全电流随工作环境条件而变化，如在高空作业或水面上工作，安全电流虽不能电击致命，但可导致二次事故的发生，危及生命，这时安全电流值应降至5毫安。

安全电压是防止触电事故的安全技术参数之一。它是根据人体电阻、安全电流、环境条件而制定的。

关于人体电阻，从人体的组织结构来看，体内电阻基本上不受外界条件影响，是个定值，在500欧姆以上，是个导体。人体以皮肤的电阻为最大，皮肤的电阻起主要作用的是角质膜，皮肤的电阻随生活、工作条件的不同在很大范围内变化。人体电阻等于体内电阻与皮肤电阻之和。正常状态下人体电阻在10K $\Omega$ ~100K $\Omega$ 之间。如果由于人体大量出汗，雨天皮肤表面有水



分、受伤出血、与人体接触面积大、压力增加等原因，角质膜被破坏，人体电阻会显著下降到 $800\sim 1000$ 欧姆。为了考虑安全系数，在电气安全工程计算时，人体电阻取值为 $800\sim 1000$ 欧姆。

安全电压的上限值，在任何情况下，两导体间或任一导体与地之间均不得超过交流（ $50\sim 500\text{Hz}$ ）有效值50伏。

根据我国国家标准GB3805—83“安全电压”的规定，安全电压的额定值分别为42伏、36伏、24伏、12伏、6伏。42伏用于有触电危险的场所使用的手持式电动工具等；36伏用于在矿井、多导电粉尘等场所使用的行灯等；24伏、12伏、6伏则可供某些具有人体可能偶然触及的带电体的设备选用。

#### 四、对地电压、接触电压和跨步电压

电气设备发生接地故障时，其接地部分（设备外壳、接地体、接地线）与大地零电位点之间的电位差，称为接地装置对地电压。

大地零电位点的含义是：电气设备在运行中，如果发生接地短路故障，则短路电流将通过接地体并以半球面形状向地中流散，如图1—1所示。由于靠近接地体的地方半球面越小，流散电流密度越大，接地短路电流流经此处的电压降就越大，所以此处的电位就越高。

反之在远离接地体之处，由于半球面大，电流密度小，其电位就低。试验证明，在离开单根

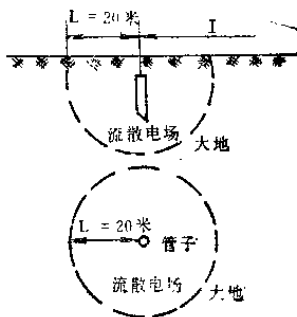


图1—1 电气上的“地”示意图

接地体或接地极20米以外的地方，球面已经相当大，其电流等于零。于是该处电位也就为零。我们把电位等于零的地方，称作电气上的“地”。

当接地电流流过接地装置时，大地表面形成分布电位，在地面上离设备水平距离为0.8米处与沿设备外壳、构架或墙壁离地面的垂直距离为1.8米处的两点被人触及，则人体将承受一个电压，这个电压称为接触电压。

地面上水平距离为0.8米的两点有电位差，人体两脚接触该两点时，则人体所承受的电压，称为跨步电压。最大跨步电压出现在接地体外地面水平距离0.8米处与接地体之间。

对地电压、接触电压、跨步电压的示意图见图1—2所示。

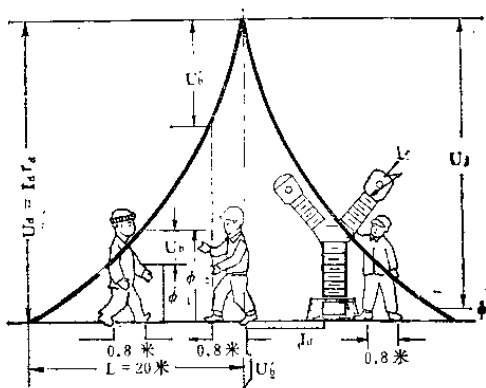


图1—2 对地电压、接触电压和跨步电压示意图

图中 接触电压  $U_j = U_d - \phi$  ;  
 跨步电压  $U_b = \phi_2 - \phi_1$  ;  
 对地电压  $U_d = I_d r_d$  。

式中  $r_d$ ——接地电阻；

$\phi$ 、 $\phi_1$ 、 $\phi_2$ ——人脚在不同站立处的大地电位；

$I_d$ ——接地电流。

人或牛马等在走向接地故障点附近时，由于跨步电压的作用都会引起触电，脚与脚之间的距离愈大，跨步电压愈高。牛马等畜类的两脚跨距一般为1米以上（约1.4米），而人的跨距约为0.8米。由于牛马等畜类的跨距比人的跨距大得多，其跨步电压亦高得多，所以其触电危险性更大。

## 五、大接地短路系统与小接地短路电流系统

运行中的电气设备和电力线路，如果由于绝缘损坏而使带电部分碰触接地的金属构体或直接与大地发生电气连接时，称为接地短路。当发生接地短路时，通过接地点流入地中的短路电流，叫接地短路电流。

在高压电力系统中，单相接地电流或同点两相接地时入地电流大于500安的，称为大接地短路电流系统，500安及以下的称为小接地短路电流系统。一般来说，中性点直接接地的高压系统，其单相接地电流均大于500安，属于大接地短路电流系统；中性点非直接接地的中低压系统，其单相接地电流均小于500安，基本上属于小接地短路电流系统。

## 六、工作接地、重复接地、保护接地和接零

在电力系统中，将电气设备和用电装置的接地点、中性点、外壳或支架与接地装置用导体作良好的电气连接叫做接地。为了保证电气设备的安全运行，在电力系统中某些点进行的接地叫工作接地。如变压器和互感器的中性点接地、两线一地系统的一相接地等都属于工作接地。如图1—3所示。

将零线上的一点或多点，与大地进行再一次的连接叫重复接地。如图1—3所示。

为防止因绝缘损坏而造成触电危险，将电气设备的金属外壳和接地装置之间作电气连接叫保护接地。如电动机、变压器外壳和配电装置金属构架的接地，如图1—3所示。

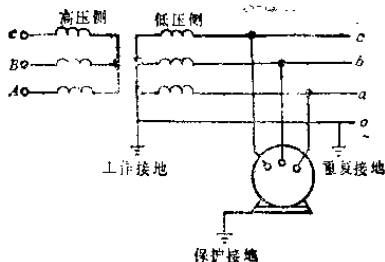


图1—3 工作接地、保护接地和重复接地示意图

中性点直接接地的低压电力系统中，将电气设备和用电装置的金属外壳与系统零线相接叫做接零。

简单地说，接地和接零的目的，一是为了电气设备的正常工作，例如工作接地；二是为了人身和设备安全，如保护接地和接零。虽然就接地的性质来说，还有重复接地、过电压保护接地和静电屏蔽接地等，但其作用都不外乎上述两种。

## 七、接地装置与接地电阻

埋入地中并与土壤直接接触的金属导体称为接地体。连接于接地体与电气设备之间的金属导线称为接地线。接地线和接地体合称为接地装置。

在接地网的设计中，除应满足接地电阻的要求以外，在接

地网的布置上，还应使接地区域内的电位分布尽量均匀，以减少接触电压和跨步电压。如将接地装置布置成环形，则应在环形接地装置内部加设相互平行的均压带；在电气设备周围加装分支的接地回路；在被保护地区的人员入口处加装一些均压带；或在设备周围、隔离开关操作地点及常有行人的处所，在地表面覆盖一些电阻率较高的卵石或水泥层。另外，在配电装置附近加垫砾石、沥青、混凝土等，以供增大电阻率，也可以提高接触电压和跨步电压的允许值。

在电力系统的各种接地装置中，由于接地性质和方式不同，所要求的接地电阻值也不相同。保护接地的基本原理是限制漏电设备外壳对地电压在安全范围以内，各种保护接地的接地电阻就是根据这个原则来确定的。

### 1. 低压电气设备的接地电阻

① 低压电气设备接地装置的接地电阻，不宜超过 4 欧。配电线路零线每一重复接地装置的接地电阻不应超过 10 欧。

② 使用同一接地装置的并列运行的发电机、变压器等电气设备，当其总容量不超过 100 千伏安时，接地电阻允许不超过 10 欧。配电线路零线每一重复接地装置的接地电阻不应超过 30 欧，且不应少于三处。

③ 为防止触电危险，在低压电力系统中，严禁利用大地作零线。

④ 在三相 380 伏不接地低压系统中，单相接地电流很小，为限制设备漏电时外壳对地电压不超过安全范围，一般要求接地装置的接地电阻不超过 4 欧。且应装有能迅速而可靠地自动切除接地故障的装置。

### 2. 高压电气设备的接地电阻

① 小接地短路电流系统。当高压与低压电气设备共用接地

装置时，要求发生接地短路时，接地装置的电位不超过120伏，其接地电阻为：

$$R_d \leq \frac{120}{I_d} \text{ 欧}$$

当高压设备单独装设接地装置时，要求发生接地短路时，接地装置的电位不超过250伏，其接地电阻为：

$$R_d \leq \frac{250}{I_d} \text{ 欧}$$

小接地短路电流系统高压设备接地装置的接地电阻应满足以上二式要求外，还不宜超过10欧。式中： $R_d$ —考虑到季节变化的最大接地电阻（欧）； $I_d$ —计算用的接地故障电流（安）。

②大接地短路电流系统。在大接地短路电流系统中，由于接地短路电流很大，很难限制发生接地短路时接地装置的电位不超过某一范围，而是靠线路上的继电保护装置切除接地故障。其接地装置的接地电阻宜符合下式的要求：

$$R_d \leq \frac{2000}{I_d} \text{ 欧}$$

当接地短路电流 $I_d > 4000$ 安时，可采用

$$R_d \leq 0.5 \text{ 欧}$$

## § 1.2 人身触电事故

### 一、触电

触电伤害的主要形式可分为“电击”与“电伤”两大类。电流通过人体，对人体内部器官的创伤叫做电击。由电流的热效应、化学效应、机械效应对人体外部器官的创伤叫电伤。

## 1. 电击

当电流通过人体内部时，破坏人的心脏、肺部、神经系统等重要器官的正常工作，引起严重的病理变化，能危及人的生命。绝大部分的电流伤害死亡是由电击造成的。

电击可分为直接电击和间接电击两种。人体与带电体直接接触形成的触电伤害叫直接电击。如线—线触电和线—地触电属于这一类型。人体触及正常不带电而由故障原因造成的意外带电体而发生的电击叫间接电击。如接触电压、跨步电压的触电就属于间接电击。

### (1) 线—线触电

如果人体的不同部位同时分别触到电源的两极导线（包括同时接触两根相线或是一根相线一根中性线），如图1—4，则流

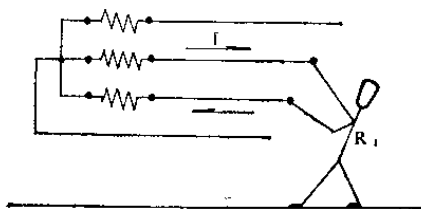


图1—4 线—线触电情况

过人体的电流 $I$ 从一根导线通过人体电阻 $R_1$ 流入另一根导线。由欧姆定律可得：

$$I = \frac{U}{R_1} \quad U \text{ 为加于人体两端的电压}$$

这种线—线触电最危险，其原因是：线电压回路中只有人体电阻，因而触电电流大；再者，触电者即使事先穿着绝缘鞋或站在干燥绝缘的木板上也无济于事。这类事故多发生在带电

检修架空线路工作中。

## (2) 线一地触电

当人站在地面上或身体触及与大地接通的金属导体，而另一部分接触到带电的相线上，则形成线一地触电。如图1—5和图1—6。这类触电情况与中性点是否接地有直接关系。

图1—5是中性点接地系统的触电情况。触电电流  $I$  通过人体电阻  $R_1$ 、人体与地面接触电阻  $R_2$  和零线接地电阻  $R_3$  流入中性点。根据欧姆定律可得：

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

$U$  为相电压，在三相四线380伏系统中为220伏，当人体电阻  $R_1$  为1000欧， $R_3$  为4欧时，则  $R_2$  决定了触电电流的大小，如果是导电地面， $R_2$  就小，触电电流就大；如果是良好的绝缘地面， $R_2$  就大，触电电流就很小，因而就较安全。而在高压系统中，这类触电，不论地面绝缘良好与否，均有生命危险。

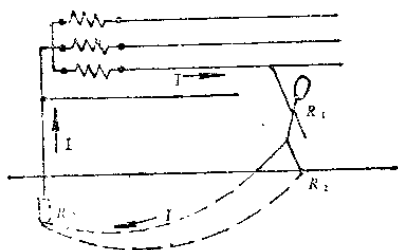


图1—5 中性点接地系统的触电情况

图1—6是中性点不接地系统的触电情况。

在电气设备绝缘良好的三相380伏不接地系统中，这类触电也存在着一一定的危险。而工矿10千伏高压配电装置虽属于经仪



用变压器接地的系统，电流从相线经人体电阻  $R_1$ ，人体与地面接触电阻  $R_2$  和其余两相对地绝缘电阻  $R$  和对地电容  $C$  形成回路。这个电流可达到 1 安以上，所以高压触电事故几乎都是致命的。在高压触电的同时，伴随着电弧灼伤。

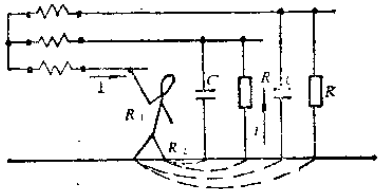


图1-6 中性点不接地系统的触电情况

### (3) 接触电压与跨步电压触电

当电气设备由于绝缘损坏而发生接地故障时，距接地体愈近，其对地电压就愈大。反之，距接地体愈远，其对地电压就愈小，已于前述。且在接地体外周围20米的范围内形成具有双曲线的电位分布。如果人体在电位分布区域内触及发生接地故障设备的外壳或与其连接的导体时，人体和足之间的电位不同，形成电位差，由此电位差所造成的触电称为接触电压触电。当发生接触电压触电时，应立即先逐条线路后逐台切断供用电设备的电源，查出故障点，而后恢复正常供电，排除接地故障。

当人站在电位分布区域内，两脚之间的距离(0.8米)所形成的电位差，而引起的触电称为跨步电压触电。当跨步间距离一定时，愈接近接地中心，跨步电压愈高，触电危险性愈大，同等环境下跨步间距离愈大，跨步电压愈高，触电危险性也愈大。

跨步电压在两足和人体之间形成电流通路，会使两腿抽筋，身体倒在地上，加剧触电事故的严重性。因此，当高压线