

■ 陈家斌 编

电气作业 安全操作

DIANQIZUOYE
ANQUANCAOZUO



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

中国电力出版社

电气作业 安全操作

中国电力出版社

电气作业 安全操作

DIANQIZUOYE
ANQUANCAOZUO

陈家斌 编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

为了贯彻“安全生产预防为主”的方针，更好地做好电气作业安全操作，以确保供电。特组织编写出版了《电气作业安全操作》一书。

本书是一本内容实用新颖的电气作业安全技术科技书，全书共分七章，分别介绍了电气事故类型及防护方法，防止电击技术，防止误触电子技术，在停电设备上作业时防止突然来电技术，电力工程施工安全操作技术，电气设备维修操作安全技术，电力生产作业中危险点及控制等内容。

全书紧密结合电气作业安全要求，实用性强，内容丰富，查找方便，适用于全国城乡从事电力生产工作的安装施工、运行维护、检修调试等工人、技术人员和管理干部学习参考，是电气现场作业必备工具书。



图书在版编目 (CIP) 数据

电气作业安全操作/陈家斌编. —北京：中国电力出版社，2006

ISBN 7-5083-4217-8

I. 电... II. 陈... III. 电气设备-安全技术
IV. TM08

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 031236 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2006 年 9 月第一版 2006 年 9 月北京第一次印刷

850 毫米×1168 毫米 32 开本 10.5 印张 275 千字

印数 0001 4000 册 定价 20.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换)

编委名单

主 编：陈家斌

副主编：高 建 景 胜 崔军朝 姜竣峰
马 雁 朱秀文 夏 萍 雷 明
季 宏

编 委：罗碧华 孟凡中 郭琳琳 张露江
殷俊河 吴 建 沈 磊 牛新平
段志勇 李强友 李文霞 李拥军
郭宝明 孟建峰 刘 辉 李 琦
王云浩 韩洪生 吴 璇 吴 起
吴 杰 李 楠 王 璞 姚志刚
李献中 张光明 杨大冬 张 利
雷 鸣 方 富 张建村 李明明
李 洁

前言

为了贯彻“安全第一”的方针，做到预防为主，更好地宣传普及电气作业安全操作技术，确保安全供、用电，我们特为电气作业者编写了本书。

电气作业属于特殊工种，对作业人员和周围的设施有一定的潜在危险因素，因此，电气作业必须遵守国家和电力部门的各项规定，确保人身和财产的安全。本书是为了满足电气作业安全操作的需要编写的。本书的主要特点：一是严格按照国家和电力行业现行标准编写；二是针对电气作业的安全要求，也就是电气作业时安全要点；三是内容精练、全面，便于电工在作业现场查找使用。

本书在编写过程中，参考了电气安全方面的有关书籍和资料，对于提供者表示感谢。

鉴于编者的技术水平和经验的限制，本书的缺点错误，恳请诸位专家给予指正。

编 者

2006 年 3 月

目 录

前言

第一章 电气事故类型及防护方法	1
第一节 电气事故形式	1
第二节 常见触电形式	4
第三节 触电接触方式及环境	7
第四节 触电事故分析及防护	12
第二章 防止电击技术	16
第一节 电气安全标志	16
第二节 电气设备外壳防护等级	21
第三节 限制接触电压	24
第四节 电气安全间距	28
第五节 电气绝缘	44
第六节 电气屏蔽及加强绝缘	55
第七节 电气保护接地与接零	58
第八节 电磁场与静电防护	68
第九节 雷电对人身伤害的防护	77
第十节 切断电源保护电器	83
第三章 电气作业防止误触电技术	95
第一节 在电气设备上工作安全规定	95
第二节 防止误进带电间隔技术	105
第三节 防止误登带电杆塔技术	111
第四节 防止接触电压和跨步电压触电技术	113

第五节	防止高电位引出、低电位引入触电技术·····	121
第六节	防止感应电压触电技术·····	124
第七节	手持式电动工具安全使用·····	130
第八节	电气安全用具的使用·····	144

第四章 在停电设备上作业防止触电技术 ····· 156

第一节	停电设备突然来电原因及防护·····	156
第二节	接地线的保护作用及装设·····	158
第三节	接地线外侧保护范围·····	163
第四节	携带型接地线的使用要求·····	165
第五节	变配电所接地网电位升高的防护·····	167
第六节	三相短路接地线应用范围·····	175
第七节	防止双电源用户倒送电技术·····	181

第五章 电气施工安全操作技术 ····· 195

第一节	变配电设备施工·····	195
第二节	架空线路施工·····	207
第三节	电缆施工·····	230
第四节	低压内线安装·····	232

第六章 电气设备运行维修安全操作技术 ····· 241

第一节	电气设备维修安全操作·····	241
第二节	电力线路维修安全操作·····	251
第三节	电气设备倒闸安全操作·····	258
第四节	带电作业安全操作·····	260
第五节	定相工作中的安全操作·····	265

第七章 电气作业中危险点及预控 ····· 272

第一节	电气作业中危险点的特征及查找·····	272
第二节	变电设备检修作业中危险点及预控·····	277

第三节	电气运行工作中的危险点及预控·····	289
第四节	电气设备试验工作中的危险点及预控·····	295
第五节	配电设备维修作业中的危险点及预控·····	300
第六节	电力线路维护作业中的危险点及预控·····	306
第七节	计量仪表现场工作中的危险点及预控·····	316
第八节	机械加工作业中的危险点及预控·····	321

第一章

电气事故类型及防护方法

第一节 电气事故形式

一、触电事故类型

触电事故按其原因可分成两类：

(1) 直接接触。正常运行条件下的触电，是在电力系统运行完全正常的条件下人体触及危险的带电部分所致称为直接接触。这里的带电部分是在正常运行中通电的导体，包括中性导体。

(2) 间接触电。故障条件下的触电，是人触及了故障条件（如绝缘损伤、失效等）下带电的外露导电部分和外界可导电部分所致称为间接触电。外露可导电部分是电气设备和装置中能够触及的可导电部分，正常条件下不带电，故障条件下可能带电。外界可导电部分不是电气设备或装置的组成部分，故障条件下也可能带电。

二、电气事故分类

(一) 电流伤害事故

1. 电击

通常所说的触电事故基本上是指电击而言的。电击是电流通过人体内部，破坏人的心脏、肺部以及神经系统，直至危及人的生命。由于人体触及带电导线、漏电设备的外壳和其他带电体，以及雷击或电容器放电，都可能导致电击（通称触电）。对低压系统，在通电电流较小、通电时间不长的情况下，电流引起人的心室颤动是电击致死的主要原因；在触电时间较长、触电电流更小的情况下，窒息也会成为电击致死的原因。

2. 电伤

电伤是指由电流的热效应、化学效应或机械效应对人体造成

的伤害。电伤多见于肌体外部，而且往往在肌体上留下伤痕。常见的电伤有电弧烧伤、烫伤、电烙印等。

电弧烧伤是最常见也是最严重的电伤。在低压系统中，带负荷（特别是感性负荷）拉开裸露的隔离开关时，产生的电弧可能烧伤人的手部和面部；线路短路、跌落式熔断器的熔丝熔断时，炽热的金属微粒飞溅出来也可能造成灼伤；误操作引起短路也可能导致电弧烧伤人体等。在高压系统中，由于误操作会产生强烈电弧，把人严重烧伤；人体过分接近带电体，其间距小于放电距离时，会直接产生强烈电弧对人放电，若人当时被击离开，虽不一定因电击致死，但也可能被电弧烧伤而死亡。

电烙印也是电伤的一种，当通过电流的导体长期接触人体时，由于电流的化学效应或机械效应的作用，在接触部位人体的皮肤会变质，形成肿块，如同烙印一般，叫做电烙印。此外，金属微粒因某种化学原因渗入皮肤，可使皮肤变得粗糙而坚硬，导致皮肤金属化，形成所谓“皮肤金属”。电烙印和皮肤金属化都会对人体造成局部伤害。

此外，还有电弧的辐射线伤害眼睛等。

（二）电磁场伤害事故

空间电磁波可以通过人体皮肤及其他器官，汇集于大脑，干扰人们的植物神经和中枢神经，从而影响人们大脑接收外界信息，使人产生神情烦躁、恐慌、心律紊乱等不正常的生理现象，导致人体的多种疾病发生。

经常工作于高频设备附近的人员，会发生精神疲倦、手抖、手痛、失眠等现象，要在工作结束很长时间后上述症状才能消除，身体才能恢复，所以高频电磁场对人体有害。

（三）雷击事故

雷击是一种自然灾害，强大的雷电流通过被击物体时，产生大量的热量，使物体遭到破坏。当人体遭到雷击时，会立即引起心脏纤维性颤动，并导致死亡，或者人体组织受到严重破坏，所以雷击触电者下肢皮肤常有焦死或者树枝状的放电痕迹；雷击还

可以使心理上发生变化而引起中毒，有时会在雷击触电发生几小时后突然死亡。

(四) 静电事故

静电现象是一种常见的带电现象，如雷电或电容器残留电荷、摩擦带电等。在生产和生活中，一些不同的物质相互接触和分离或互相摩擦就会产生静电。例如在生产工艺中的挤压、切割、搅拌、喷溅、流动和过滤，以及生活中的行走、起立、穿脱衣服等都会产生静电。

静电有一个很大的特点就是静电电量不大而静电电压很高，有时可高达数万伏，甚至 10 万 V 以上。静电电量虽然不大，但其电压很高，很容易发生放电，出现静电火花。这样，在有可燃液体的作业场所（如油料装运等），可能因静电火花引起火灾；在有气体、蒸汽爆炸性混合物或有粉尘、纤维爆炸性混合物的场所，可能因静电火花引起爆炸。另外，当人体接近带静电物体的时候，或带静电电荷的人体接近接地体时，会产生电击伤害。

「3」

(五) 电路故障

电路故障包括电路中电气设备发生事故和电力线路发生事故，如短路、接地等。在电力线路故障时，可能会发生爆炸或电弧伤人及电击等严重情况。

三、电力系统中电气事故类型

在电力系统的发、供、用电的各个环节中可能发生的意外事故，其事故如表 1-1 所示。

表 1-1 电 气 事 故 类 型

事故类型	电气种类	说 明
人身触电事故、 着火或爆炸事故	1000V 及以上 高压设备	电击和电弧可使人员死亡（对电气工作人员机会较多）
	1000V 以下低 压设备	电击和电弧可使人员伤亡，它涉及工农业生产和城乡居民的用电安全
	雷电	雷击可使建筑物损坏和人员伤亡
		雷击能引起着火或使易燃品燃烧爆炸

续表

事故类型	电气种类	说 明
人身触电事故、 着火或爆炸事故	各种电气设备	在防爆场所的各种电气设备，应符合防爆要求，否则可能引起爆炸
	静 电	在易燃易爆场所，静电是一种火源，如引起汽油着火、氢气爆炸等
电击引起二次 人身事故	静电及各种电 气设备	人受电击可能跌倒或坠落，从而引起伤亡
影响产品质量	工业静电	静电的作用力或放电火花将影响印刷品、纺织品和胶片等产品的质量

第二节 常见触电形式

按照造成触电的电源形式不同，可把触电分为以下 6 种类型：

「4」电；

- (1) 电气设备的带电部分直接使人体造成触电，简称直接接触
- (2) 接触电压或跨步电压触电；
- (3) 感应电压触电；
- (4) 剩余电荷触电；
- (5) 静电触电；
- (6) 雷电触电。

下面分别对以上 6 种触电形式进行介绍。

一、直接接触

直接接触指直接接触及运行中的带电设备或接近带电设备产生放电所造成的触电。

直接接触是最为常见的一种触电伤害。发生直接接触的原因有两种情况：①误碰或误接近带电设备所造成的，称为误触电；②停电检修设备未装设接地线，当突然发生意外来电时而造成的触电。

直接接触也是伤害程度最为严重的一种触电形式。因为无论

是触及高压带电部分或是触及中性点接地的低压系统，其流过人体的电流一般总是远大于可能引起心室颤动的极限电流，因此后果是极其严重的。

二、接触电压、跨步电压触电

接触电压和跨步电压触电的特点是电击均发生在原来是零电位的接地回路上。带电部分发生碰壳接地或直接掉落在地面时，就有接地电流从接地回路和地中流过，并在该回路上产生一定的电压降落，当人体的不同部位位于具有异电位的两点时，将有可能造成电击，这就发生了所谓的接触电压或跨步电压触电。所不同的是后者只发生在带有不同电位的地面上，而前者则在其他接地回路和地面有电位差时发生。

在大电流接地系统中，由于其接地故障难以长时间存在，所以接触电压和跨步电压触电伤亡的事故很少。但在小电流接地系统中，由接触电压和跨步电压而引起的触电事故曾屡有发生，除发生过人身触电外，在接地装置附近还常发生死牲畜的情况。

「5」
低压中性点接地系统的电气设备发生碰壳短路是较危险的一种情况，此时的接触电压值完全可能导致人身伤亡。如果该设备外壳并未接地（如携带型电器），则当人体触及外壳时，加在人体上的电压近似等于电源对地电压，因此它是属于直接接触的范畴。

三、感应电压触电

由于带电设备的电磁感应和静电感应作用，将会在附近停电设备上感应出一定的电位，其数值大小，决定于带电设备的电压以及几何对称度、停电设备与带电设备的位置对称性以及两者的接近程度、平行距离等因素。

在电气工作中，感应电压触电事故屡有发生，甚至可能造成死亡。尤其是随着系统电压的不断提高，超高压双回路以及多回路同杆架设线路的不断出现，感应电压触电的问题将变得更为突出。

由于电力线路对通信等弱电线路的感应，还经常造成通信等

设备损坏甚至于工作人员触电伤亡，因此也必须同时对此引起注意。

四、剩余电荷触电

电气设备的相对相和对地间都存在着一一定的电容效应，当电源断开而停电时，由于电容器具有能储存电荷的特点，因此在刚断开电源的停电设备上将保留一定的电荷，即剩余电荷。如此时人体触及停电设备，就会可能遭到剩余电荷的电击。设备的电容量越大，遭受电击的程度也就越严重。

在实际工作中，对未装地线而且有较大容量的被试设备，应先行放电再做试验。在高压直流试验时，每告一段落或试验结束时，都应应将设备对地放电数次并进行短路接地。放电应采用逐相进行。对并联补偿的电力电容器，即使装有能自动进行放电的装置，在工作前也应逐相对地进行多次放电；对星形连接的电力电容器，还必须对中性线部分进行多次对地放电。另外，在停电工作前，将停电设备三相短路接地，也就达到了将剩余电荷泄放至大地的目的。

五、静电危害

静电主要是由于不同物质的互相摩擦产生，摩擦速度越高、距离越长、压力越大，摩擦产生的静电越多；另外产生静电的多少还和两种物质的性质有关。

静电的危害主要是静电放电引起火灾或爆炸，但当静电大量积累产生很高的电压时，也会对人体造成伤害。

六、雷电触电

雷电是自然界的一种放电现象。本质上与一般电容器的放电现象相同，所不同的是作为雷电放电的两个极板大多是两块雷云，同时，雷云之间的距离要比一般电容器极板间的距离大得多，通常可达数公里。除多数放电在雷云之间发生外，也有一小部分的放电会发生在雷云和大地之间，即所谓落地雷。就雷电对设备和人身的危害来说，主要危险是来自于落地雷。

落地雷具有很大的破坏性，其电压可高达数百万到数千万

伏，雷电流可高至几十千安，少数可高达数百千安。雷电的放电时间较短，大约只有 $50\sim 100\mu\text{s}$ 。雷电具有电流大、时间短、频率高、电压高的特点。

人体如直接遭受雷击，其后果不堪设想。但多数雷电伤害事故，是由于反击或雷电流引入大地后，在地面产生很高的冲击电流，使人体遭受冲击跨步电压或冲击接触电压而造成电击伤害的。

第三节 触电接触方式及环境

触电接触方式是指人们在受到电击时接触到电压的状态，以及电流流经人体的情况。

一、触电接触方式

按照实际情况考虑，把接触方式分为单极接触、双极接触和跨步电压接触三类。

(一) 单极接触

(1) 中性点直接接地的供电系统下的单极接触，如图 1-1 所示。

这种触电情况在使用家用电器时最为常见。一般城市低压电网均采用变压器中性点直接接地的供电系统，因此接在这种电网上的电器就处于这样的运行条件下。下述三种常见的触电情况都

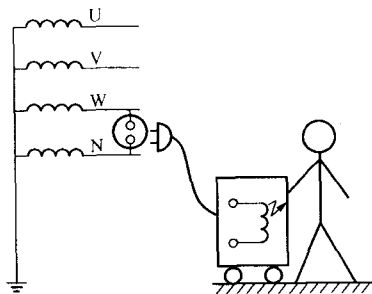


图 1-1 中性点直接接地电网
供电条件下的单极接触

属于这一类型的单极接触。

1) 用手插、拔插头时不慎碰到插头上外露的带电铜片。

2) 由于电线长期使用、弯折、磨损，使外包绝缘损坏，人的手接触到裸露的带电相线。

3) 由于电器的绝缘损坏造成相线带电部分接触金属外壳，而人体又接触到带电的金属外壳。

在单极接触的条件下，流过人体的电流在不计人体电阻的条件下可表示为

$$I_s = \frac{U_1}{R_0 + R_e + R_r} \quad (1-1)$$

式中 I_s ——单级接触时流过人体的电流，A；

U_1 ——供电电网的相电压，V；

R_0 ——供电变压器中性点的接地电阻， Ω ；

R_e ——鞋子的等值电阻， Ω ；

R_r ——人体电阻， Ω 。

「8」

式中， R_0 与 R_e 、 R_r 相比可忽略不计，因为按规定供电变压器中性点的接地电阻不得大于 4Ω 。在最不利的条件下，假定触电时鞋子的电阻为零，这种情况相当于光脚或穿着湿鞋站在地上。此外，若一手扶着墙，另一手因插、拔插头触电，也属于 $R_e=0$ 的情况。考虑到上述情况，式 (1-1) 可以简化为

$$I_s = \frac{U_1}{R_r} \quad (1-2)$$

在低压电网中，相电压 $U_1=220\text{V}$ ，人体的电阻一般可以取 1000Ω 。此时，由式 (1-1) 可得，流过人体的电流应为 220mA ，这样人在 1s 之内就有可能发生触电致死。因此，家用电器在使用时，若不采取相应安全措施是非常危险的。

(2) 中性点不接地供电系统下的单极接触，如图 1-2 所示。

由于变压器中性点没有接地，因此当人们接触到某一相的电压时，没有直接构成电气回路的途径。一般来说，这样是比较安全的，不至于造成生命危险，流过人体电流如下