

# 接地技术 与 接地装置

(第二版)

陈蕾 陈家斌 编



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



# 接地技术 与 接地装置

(第二版)

陈蕾 陈家斌 编



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

本书主要叙述电气接地的概念、作用以及在电力系统、工业电气、通信设备、家用电器等方面的接地要求,同时也介绍了有关电气接地的设计、安装、工艺标准、检验、运行维护与测量等方面的内容,辅以矿井生产场所、水厂、工厂生产车间、火灾和爆炸危险场所、潮湿环境、腐蚀环境等特殊场所的接地实例,内容丰富,语言平实,通俗易懂。

本书可供电气专业设计、安装、运行维修专业的电工、技术人员或电气专业的师生阅读。

### 图书在版编目(CIP)数据

接地技术与接地装置/陈蕾,陈家斌编. —2版. —北京:中国电力出版社,2014.11

ISBN 978-7-5123-5873-7

I. ①接… II. ①陈…②陈… III. ①接地保护装置  
IV. ①TM774

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 101938 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京雁林吉兆印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2013 年 2 月第一版

2014 年 11 月第二版 2014 年 11 月北京第七次印刷

850 毫米×1168 毫米 32 开本 16.5 印张 437 千字

印数 16021—18000 册 定价 50.00 元

### 敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪  
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

## 前 言

《接地技术与接地装置》第一版于2003年2月出版,自出版以来得到广大读者的热情支持和肯定,这对作者是一个很大的鼓励,为满足广大读者的需要,进行了多次重印。近年来,随着科技迅速发展,各种新技术规程的发布,为了适应广大读者的岗位工作需要,本书从以下方面进行了修订。

一是作者根据近年来国家颁布的新规程、规范,对第一版相关内容作了修改和补充,使本书内容与最新规程、标准保持一致。二是更新了已经过时的知识,增加了目前已广泛应用的高新技术、新设备等内容,使本书内容除保持文字叙述通俗,紧密结合实际工作的特点外,力求内容更集中、紧凑、紧扣新技术的发展。三是对本书“电气设备及其他设施的接地”等章节作了具体修订充实,依职工现场岗位实用技术为主,同时增加了一些新的技术等内容。四是本书新增加了“电气接地装置安装施工工艺标准”一章,依据职工现场岗位实用技术为主,同时增加了一些新的技术等内容。此外,还更正了

原书中出现的错误，并删除了部分陈旧的内容。

本书修订后，内容更符合读者的工作实际需要，更能满足读者所需的知识、技能和能力的要求，能够有效地满足广大读者提高岗位技能的要求。

由于作者水平及实际经验有限，书中可能有疏漏及错误的地方，请读者批评指正。

**作 者**

2014年8月

## 第一版前言

电气接地是电气安全技术工作之一。接地是否合理,不仅影响电力系统的正常运行,而且关系到国家财产和人身的安全。因此,正确地选择接地方式及安装方法,也是电气工作的任务。本书对电力系统、工厂、通信、交通、医疗设备及建筑物等电气接地的设计、施工安装、运行维护等方面,进行了全面、系统的叙述,并列举了一些接地故障排除实例,供读者参考。

随着科学技术的飞速发展,微电子技术普及应用于各个专业,在接地电阻测试仪方面也得到了应用,提高了测量的精度和工作效率,因此本书也介绍了一些先进的接地电阻测量仪供选用。

本书在编写过程中,电业部门的专家和同行给予大力支持与协助,并提供了大量的资料供参考,特此感谢。

由于水平有限,很多工业设施的接地问题没有进一步的调查研究,书中疏漏在所难免,希望专家、同行们给予指正。

编者

2002年4月

# 目 录

前言

第一版前言

<b>第一章 电气设备的漏电保护及接地概念</b> ·····	1
第一节 触电的原因及防护措施·····	1
第二节 接地电阻、电压、电流状态·····	11
第三节 电气接地的作用、分类及范围·····	16
第四节 各种接地的应用·····	27
<b>第二章 电气设备及其他设施的接地</b> ·····	65
第一节 低压电力系统的接地·····	65
第二节 高压电力系统的接地·····	72
第三节 不同电压等级电气设备的接地·····	85
第四节 不同固定方式的电气设备接地·····	88
第五节 发配电设备的接地·····	95
第六节 电力线路的接地·····	101
第七节 用电设备的接地·····	108
第八节 直流设备的接地·····	116
第九节 电气照明的接地·····	118
<b>第三章 电气接地的选用与计算</b> ·····	123
第一节 电气接地设计的要求和步骤·····	123
第二节 电气接地的要求·····	127
第三节 电气接地电阻的要求·····	152
第四节 电气接地电阻的计算·····	166

第五节	电气接地体的计算	183
第六节	电气接地线的选用	196
第七节	防雷接地的计算	201
第八节	电气接地装置的布置	206
第九节	高土壤电阻率地区的接地装置选择	215
第十节	接触电压和跨步电压的限制措施	222
<b>第四章</b>	<b>电气接地装置及设备接地的安装</b>	<b>231</b>
第一节	自然导体的利用	231
第二节	电气接地装置的安装	240
第三节	电气设备接地的安装	261
第四节	防雷接地安装	270
第五节	电气接地系统的安装	277
第六节	降低土壤电阻系数的方法	283
<b>第五章</b>	<b>电气接地装置安装施工工艺标准</b>	<b>296</b>
第一节	电气接地装置安装施工流程	296
第二节	主接地网安装施工工艺标准	301
第三节	避雷针安装工艺标准	302
第四节	设备构架接地安装工艺标准	307
第五节	电气设备接地工艺标准	314
第六节	通信系统防雷、接地施工工艺标准	323
第七节	变电站设备区照明接地施工工艺标准	325
第八节	建筑物屋面避雷带施工工艺标准	326
第九节	线路铁塔接地工程施工工艺标准	328
第十节	电缆接地施工工艺标准	331
<b>第六章</b>	<b>电气接地装置的运行维护</b>	<b>334</b>
第一节	电气接地装置的运行管理	334
第二节	电气接地装置的防腐措施	341



第三节	电气接地电阻的测量·····	349
第四节	土壤电阻系数的测量·····	371
第五节	接触电压和跨步电压的测量·····	375
第六节	电气接地装置的故障排除实例·····	380
<b>第七章</b>	<b>接地实例·····</b>	<b>400</b>
第一节	矿井生产场所的接地·····	400
第二节	水厂的接地·····	402
第三节	工厂生产车间的接地·····	404
第四节	火灾和爆炸危险场所的接地·····	411
第五节	潮湿环境的接地·····	417
第六节	腐蚀环境的接地·····	422
第七节	实验室设备的接地·····	429
第八节	医院电气接地·····	430
第九节	电子计算机房及计算机接地·····	437
第十节	交通运输设备的接地·····	444
第十一节	施工工地的接地·····	448
第十二节	电磁危害场所的接地·····	450
第十三节	防静电接地·····	455
第十四节	家用电器的接地·····	465
第十五节	建筑物的防雷接地·····	472
第十六节	特殊建(构)筑物的防雷接地·····	481
第十七节	民用设施的接地·····	486
第十八节	生活、办公用高层建筑物的接地·····	488
第十九节	通信设备的接地·····	495
第二十节	电子设备的接地·····	501
第二十一节	电声、电视系统的接地·····	511

# 第一章

## 电气设备的漏电保护及接地概念

### 第一节 触电的原因及防护措施

#### 一、触电的主要原因及防护措施

##### (一) 触电的主要原因

触电发生的原因通常有以下几种情况：

(1) 未遵守电力安全相关规程，直接接触及或过分靠近电气设备的带电部分。

(2) 人体接触到电气设备中因绝缘损坏而带电的金属外壳或与之相连的金属构架等。

(3) 靠近电气设备的绝缘损坏处或电气设备带电部分的接地短路处。

##### (二) 防触电保护措施

防触电保护技术是针对构成人身触电伤亡事故时所产生的三个电路特征来展开的，这三个特征如下：

(1) 如图 1-1 所示，人体成为闭合电路的一个组成部分，人体的一部分相当于电路中的负载阻抗。

(2) 在人体的某两个部位之间施加了一个足以危及人身安全的接触电压。

(3) 在一定的持续时间内，有一个足以危及人身安全的危险

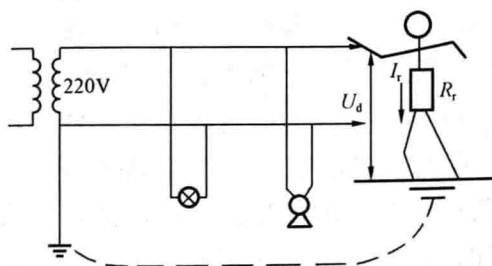


图 1-1 人身触电的三个电路特征

电流通过人体。这里强调的是，持续了一个时间间隔和人体通过了危险的电流，这两个因素是不可分割的。

各种触电保护手段都是基于这三个特征，来避免危险发生的。例如电气设备的绝缘、操作人员穿绝缘鞋、戴绝缘手套、垫绝缘垫，使用有绝缘的工具以及采用小容量不接地系统，就是为了避免人员触及带电体时构成闭合回路；对用电设备外壳采用接地接零，或者用 24V 低电压电源，就是为了降低接触电压，避免发生触电事故时构成伤害；迅速切断故障电路，就是为了限制触电电流或者触电的持续时间，在尚未危及人身安全时使人体与电路脱离。

## 二、电流对人身伤害及安全电流

### (一) 电流对人体的影响

#### 1. 电流通过人体时的现象

电流通过人体会造成伤害，一种是破坏性伤害，就是电流流经人体时产生热效应，化学效应和机械效应所引起的伤害。例如电灼伤，使人体组织碳化或者构成不能复原的组织坏死及永久性损伤。这种情况一般是在安培级以上的大电流作用下产生的，只有在雷击和高压触电事故时才会发生。另一种是电流流经人体以后，产生病理和生理方面的影响，从而破坏人体各部分组织的正常功能。例如触电后在触电部位有针刺般的痛觉，使肢体麻木、痉挛，有时会引起血压升高、昏迷等。当电流通过肺脏时会导致停止呼吸，通过心脏时还会引起心房颤动、心室颤动，心跳停止，这些都是因为电流破坏了人体神经系统的正常工作。一般在 10mA 时就可能引起这些病理和生理性反应。在 380V 及 220V 的低压电路中所发生的触电电流，一般都在数十至数百毫安范围之内，因此可引起病理和生理性的反应。

事实上，并不是所有的触电都会导致人的死亡，就大多数触电事例来看，触电后自己能主动摆脱电源者居多数，若触电后不能摆脱电源，一般就会造成死亡。触电后能否自己脱离电源，由触电时通过人体的电流大小决定。

电流通过人体后，人尚能忍受的最大电流值称为摆脱电流。流过人体的电流小于摆脱电流时，人能够自己甩开带电导体，脱离电源；而大于摆脱电流时，人即失去自主能力，不能摆脱电源。

国内有关试验证明人的摆脱电流为 6mA 左右；国外有关资料认为，男性摆脱电流为 9mA，女性摆脱电流为 6mA。触电电流为 15mA 时，仍然有 50% 的人能摆脱带电导体，所以 15mA 为平均摆脱电流。综合考虑各种条件，认为不致有电击危险的安全电流应以 5mA 为宜。

表 1-1 列出在摆脱电流范围内，触电后人的生理反应情况。

表 1-1 电流强度与生理反应的关系

电流强度 (mA)	生理现象
0~0.9	无感觉
0.9~3.5	感到麻木但非病态现象
3.5~4.5	有些不适的麻木痛楚，轻微痉挛，反射性的手指肌肉收缩
5.0~7.0	手感到有痛楚，且表面有痉挛
8.0~10.0	全手病态痉挛、收缩且麻痹
11.0~12.0	肌肉收缩痉挛传至肩部，强烈疼痛（接触带电体时间不超过 30s）
13.0~14.0	手全部自己抓紧，需用力才能放开带电体（接触带电体时间不超过 30s）
15.0	手全部自己抓紧，不能放开带电体

注 用 50Hz 交流电通入人体，受试手握带电体，电流经全身由双脚流出。

另外，试验说明，相同电压等级下直流电流对人的危险性要比交流电流小得多。有些研究者认为，相同电压等级下直流电流对人的危险程度仅为 50Hz 交流电流的 1/4 左右，并且指出危险小的原因是由于直流电流通过生物的有机组织时，只引起电解现象，因极化而削弱了电流的作用。

## 2. 心室颤动电流

造成低压触电死亡的生理原因,是由于触电者在大电流作用下发生了心室颤动,这是目前一致公认的结论。当有较大的触电电流流过人体时,通过时间超过某一界限值,心脏的正常活动将被破坏,不能进行强力收缩,从而失去循环供血的机能,这种现象就叫做心室颤动。开始发生心室颤动的电流值称为心室颤动电流。有关它的大小,许多研究者所得结论大体相似,都认为:

(1) 人的体重越重,发生心室颤动的电流值越大。

(2) 一般来说,电流作用于人体的时间越长,发生心室颤动的电流越小。

(3) 当通电时间超过心脏脉动周期(人体的心脏脉动周期为0.75s)时,心室颤动电流值急剧下降,也就是说,触电时间超过心脏脉动周期时,危险性急剧增加。

### (二) 安全电流

研究电流对人体的作用,归根到底是为了明确安全电流的阈值,但是根据摆脱电流和心室颤动电流确定的安全电流有不同的阈值,即使是心室颤动电流阈值,也还与其他多种因素有关。

安全电流及其相关因素如下:

(1) 时间。如上所述,通电时间在0.2s以下和0.2s以上,电流对人体的危害程度有显著差别,而且通电时间超过5min的话,即使较小的电流,也可能导致心室颤动。

(2) 电流的性质。直流、交流、高频电流对人的危害程度并不一样,根据许多研究者作出的结论,频率在50~60Hz的电流对人体触电伤害的程度最为严重。低于或高于这个频率时,它的伤害程度都会减轻。

统计表明,在实际工作中经常使用的频率为3、10kHz或更高频率的高频设备,这是不会引起触电致死的,仅有时引起并不严重的灼伤。但是,在电压为6~10kV,频率为500kHz时的强力设备中,如烘干、淬火所用的高频设备,有使人触电致死的危险。

(3) 通电的途径。心室颤动是由于电流通过心脏所引起的，但是通电的途径不同时，流过心脏的电流密度也不一样，并且心脏对纵向电流和横向电流的反应也不同，这使得引起心室颤动的电流大小也不相同。

### 三、安全电压

在触电时，通过人体的电流是由接触的电压和人体触电电流进出端的阻抗来决定的。在接触电压一定时，由人体阻抗值决定。人体阻抗值越小，触电时流过人体的电流越大，也就越危险。

#### (一) 人体阻抗

人体细胞所蓄有的大量组织液基本上是含钾、钠、镁金属离子的有极性的胶体溶液。这些非中性物质在电场的作用下，既会运动也会极化，因此人体犹如众多小电阻和小电容串并联起来的一个复杂的阻容网络。然而，要逐一测出各种组织细胞的电阻和电容是不现实的，所以需要从整体的角度来研究人体的电气阻抗特性。

研究表明，当通过人体的电流路径确定后，触电危险主要取决于电流的大小和持续时间。为了求取通过人体的预期电流值，必须掌握人体阻抗值。

根据对尸体以及部分人体的测试，经过充分的分析验证得出：人体阻抗主要取决于电流通过人体的路径、接触电压、电流持续时间、频率、皮肤潮湿程度、接触面积、施加压力、温度等因素。

#### 1. 人体阻抗特性

人体阻抗的电路如图 1-2 所示。图中  $Z_r$  为人体内阻抗，它是两个电极所接触的人体两部分之间在去除电极后的阻抗。

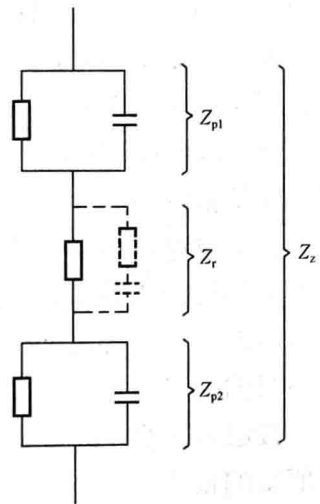


图 1-2 人体阻抗电路

人体内阻抗基本上可看作电阻。但也还存在少量电容分量，在图 1-2 中用虚线示出。阻抗值主要取决于电流通过的路径，表面接触面积的大小对其影响较小。但当接触面积过小，例如只有几平方毫米时，则内阻抗将会增大。

图 1-2 中  $Z_{p1}$  和  $Z_{p2}$  为人体皮肤阻抗，它是皮肤上的电极与皮肤下导电组织之间的阻抗。皮肤阻抗可看作电阻电容网络，它由半绝缘层和小的导电元件（毛孔）构成。

皮肤阻抗的数值取决于接触电压的大小、频率、电流持续时间、接触面积、接触压力、皮肤潮湿程度和温度等因素。

接触电压在 50V 以内时，皮肤阻抗的数值受接触面积大小、温度、呼吸作用等因素影响有显著变化；接触电压在 50~100V 时，皮肤阻抗大大降低，当皮肤击穿后其阻抗可忽略不计。

当皮肤阻抗随着电流增大而降低时，可以观察到电流伤疤。

电流频率的增高也将使皮肤阻抗降低。

## 2. 人体总阻抗 $Z_z$

人体总阻抗是人体内阻抗与皮肤阻抗的矢量和，由电阻和电容分量组成。

接触电压 50V 以下时，由于皮肤阻抗受多种因素影响而显著变化，因此人体总阻抗同样有很大的变化；当接触电压较高时，人体总阻抗与皮肤阻抗关系越来越小，当皮肤击穿后，总阻抗接近于人体内阻抗值  $Z_r$ 。由于皮肤阻抗特性的影响，总阻抗  $Z_z$  受频率影响，当为直流时，人体总阻抗值较高，而频率上升时总阻抗值降低。

在接触电压为 50V 以下、接触面潮湿且带有正常的水分等条件下测得的人体总阻抗值，比上述干燥条件下的测得的值低 10%~25%；在接触面带有导电液时测得的人体总阻抗值为干燥状态时的一半。

接触电压高于 150V 时，湿度和接触面积对人体总阻抗的测量值影响很小。

3. 人体初始电阻  $R_r$

$R_r$  是在对人体加上接触电压的瞬间限制人体电流峰值的电阻。由于皮肤阻抗中电容分量的作用，皮肤上的接触电压在加压瞬间，皮肤阻抗可忽略不计，人体初始电阻值接近人体内阻抗  $Z_r$ 。人体初始电阻值主要取决于电流路径。接触表面积对其电阻值影响较小。当接触面积较大时，手到手或手到脚路径的 5% 分布的人体初始电阻值可视为  $500\Omega$ 。

4. 与人体阻抗相关的因素

为验证人体的阻抗，奥地利的彼格麦尔教授在短时对活人通电的条件下进行了测定，得出了表 1-2 的结果。

表 1-2 接触电压 200V、交流 50Hz 时人体阻抗试验结果

接触电压 $U_c$ (V)	测得值 (6 次测定的平均值)					
	75	100	125	150	175	200
人体电流 $I_a$ 均方根值 (mA)	30.7	44.4	57.7	69.8	89.0	103.7
人体电流峰值 $I_B$ (mA)	148.0	202.0	248.0	297.0	333.0	371.0
常规人体阻抗 $Z_r(\Omega)$	2445.6	2252.8	2167.5	2148.9	1966.6	1930.5
常规人体起始电阻 $R_r(\Omega)$	716.0	700.0	711.0	713.0	743.0	761.0
相角 $\varphi$	13°45'	12°	11°	10°25'	8°30'	8°
电击时间 (ms)	约 10	约 10	约 10	约 10	约 10	约 10
脉冲频率 (min)	96/88	90/83	88/84	85/78	88/90	90/76
生理作用						
手的反应	强烈痉挛	强烈痉挛	强烈痉挛	强烈痉挛	强烈痉挛	强烈痉挛
手臂肌肉反应	痉挛	痉挛 轻度 疼痛	较强 痉挛 轻度 疼痛	臂和肩部的 反射样 痉挛	臂和肩部的 强烈 痉挛	臂和肩部的 强烈 痉挛， 上半身 反射样 挺起



续表

接触电压 $U_c$ (V)	测得值 (6次测定的平均值)					
	75	100	125	150	175	200
肩部肌肉反应	无反应	无反应	无反应	疼痛	疼痛剧烈	疼痛剧烈
胸部反应	无反应	无反应	无反应	无反应	无反应	无反应
心脏颤动规则	无不规则	无不规则	无不规则	无不规则	无不规则	无不规则
电斑	无	无	无	无	无	无

因为在开始触电的瞬间,人体皮肤电容尚未充电,所以触电电流立即出现峰值,电流峰值的大小既决定于人体的起始电阻,也就是人体的内部电阻,同时也决定于接触电压的大小。人体的起始电阻在不同接触电压下是稳定不变的,但人体的总阻抗是随着接触电压的大小而变化的,而且进一步的试验还证明了人体的总阻抗与皮肤的干湿程度、接触面积的大小有关。与人体阻抗相关的因素有以下几方面:

(1) 人体阻抗与年龄的关系。成年人的身体阻抗要比儿童的大,这不仅仅是因为儿童的皮肤肌肉细嫩,含水量高,而成年人肌肉纤维粗壮等生理的原因,而且还因为成年人长期运动或劳动,手足皮肤角质层增厚的缘故。

随着人体的日渐成熟和衰老,表皮的角质化,汗腺的衰退,表皮、真皮、肌肉和组织的老化,以及细胞含水量的下降等,都使人体阻抗逐渐增大。也就是说,人体阻抗随着年龄的增长而增大。

(2) 人体阻抗与性别的关系。人体阻抗与性别有关,男性肌纤维粗壮,皮肤厚实;女性皮肤细嫩、肌纤维柔弱,含水量高。因此,静态时男性人体电阻一般要比女性的大。然而,动态中,即劳动或运动时,由于男性的汗腺比较发达,皮肤阻抗容易为汗水浸透而短路,这时男性、女性的人体电阻就应酌情而论了。

(3) 人体阻抗与人体健康状况的关系。人体阻抗和人体健康状况的关系是错综复杂的,它随疾病的轻重而变化。然而,人体