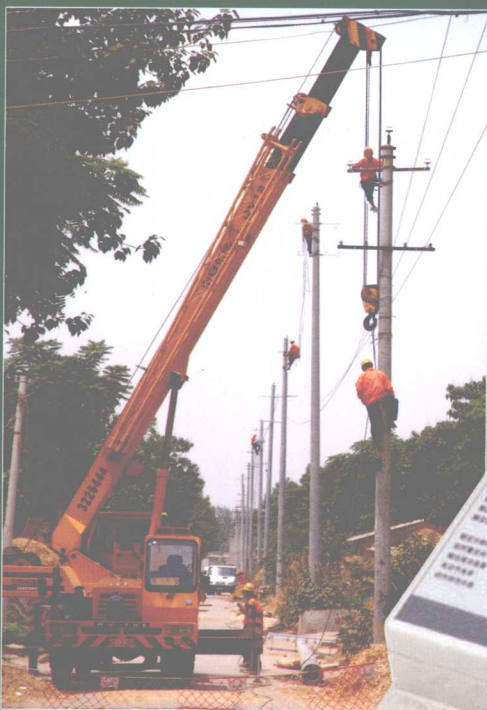


农村电网 剩余电流动作保护系统 安装运行与管理

方向晖 主编



NONGCUN DIANWANG
SHENGYU DIANLIU DONGZUO
BAOHU XITONG
ANZHUANG YUNXING
YU
GUANLI



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

农村电网 剩余电流动作保护系统 安装运行与管理

方向晖 主编



107988

广西工学院鹿山学院图书馆



d107988



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书共五章，主要内容包括：低压电网及触电防护基本知识，剩余电流动作保护装置的功能和应用，剩余电流动作保护装置的安装，剩余电流动作保护装置的运行与维护，剩余电流动作保护装置的常见故障分析和排除等。

本书是剩余电流动作保护装置专项技术培训的专用教材，也可作为农电员工相关技术培训的辅助教材，还可以作为广大电力员工工作、学习、考核的参考资料。

图书在版编目 (C I P) 数据

农村电网剩余电流动作保护系统安装运行与管理 /
方向晖主编. — 北京：中国水利水电出版社，2011.5
ISBN 978-7-5084-8631-4

I. ①农… II. ①方… III. ①农村配电—零区电流—
电流继电器—基本知识 IV. ①TM727.1②TM588.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第094887号

书 名	农村电网剩余电流动作保护系统安装运行与管理
作 者	方向晖 主编
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	184mm×260mm 16开本 8.75印张 207千字
版 次	2011年5月第1版 2011年5月第1次印刷
印 数	0001—5000册
定 价	25.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言

剩余电流动作保护装置作为一种有效降低农网触电伤亡事故的后备保护装置,已经使用和推广了20余年,在防止人身触电伤亡事故,消除大量触电事故隐患,促进低压电网管理方面,都起到了不可低估的作用。

目前,在新农村电气化建设中,国家电网公司提出了剩余电流动作保护装置的安装和投运率达到100%的要求,并作为考评的标准之一,对低压电网剩余电流动作保护装置的安装和运行的要求进一步提高。但是,剩余电流动作保护装置的运行、维护和管理也长期存在如下难题。

(1) 投运难——剩余电流动作保护装置在低压电网运行中甚至曾经被称为“捣蛋器”,投运率低、维护工作量大,使管理人员消极对待。

(2) 维护难——如何确保剩余电流动作保护装置正常投运是个繁琐、细致、持续的工作。当保护装置安装后不能投运或保护装置误动作时,管理人员通常借助漏电钳形表等传统仪器,凭着对线路的熟悉和工作经验到现场查找故障点。但众所周知,供电线路所处的环境差异和用电情况的不确定性很大,这使得剩余电流出现的随机性很大,即使同一线路在不同时段和不同气候下都不会相同,一般难以及时检测到。所以,传统的方法很难快速有效地查找、排除漏电故障,而且占用了管理人员大量的工作时间,效果却不佳。每月的保护装置试跳巡检,有些管理人员仅仅是在试跳记录上签字,根本没有进行试跳、检测,这给安全留下了隐患。

(3) 管理难——剩余电流动作保护装置作为一种有效降低农网触电伤亡事故的措施和安全用电技术措施的后备保护措施,在管理上由于安装数量多、分布广,甚至安装地点偏远,运行环境比较恶劣,因此无法及时获取线路的漏电信息和运行信息,无法科学地对线路进行即时有效管理。

(4) 考核难——目前各供电部门都将保护装置的投运率和负责管理人员的绩效考核进行挂钩,但考核时只能派检查人员到现场进行查看。由于人手和 time 有限,只能抽查,因此,缺乏全面真实的依据,考核指标也不能做到公平、可信、落实。

如何解决以上问题?笔者认为,一是要提高县级供电企业相关技术、管理人员对安装剩余电流动作保护装置的目的和作用的认识;二是要加强生产

一线供电所员工的专业技能培训，提高他们对剩余电流动作保护装置安装、运行、维护、管理、检修的技能水平；三是要利用高科技手段，通过自动监测和“四遥”方式，提高剩余电流动作保护装置投运率，实现远程保护装置自检、闭合闸和查找故障等方面的自动化。

为了配合剩余电流动作保护装置安装、运行、维护和管理的技术培训，编写了本培训教材。

本教材由浙江省电力公司培训中心方向晖主编，浙江省电力公司培训中心邓益民、义乌供电局陈洪涛参编。临安供电局安晓军负责主审，义乌供电局王鹏飞、永康供电局杨文青参审。

由于作者水平有限，加上低压电网剩余电流动作保护装置运行维护的复杂性，书中难免有错误和不足之处，敬请读者在使用中不吝赐教。

方向晖

2011年1月于新安江

目 录

前言

第一章 低压电网及触电防护基本知识

第一节 低压电网基本知识

第二节 低压电网电击防护的基本原理与措施

第三节 低压电网剩余电流的基本规律

第四节 低压电网三相负荷的平衡管理

【思考与练习】

第二章 剩余电流动作保护装置的功能和应用

第一节 剩余电流动作保护装置的工作原理与功能

第二节 剩余电流动作保护装置的类别

第三节 剩余电流动作保护装置的主要结构元件

第四节 剩余电流动作保护装置的特性及额定参数

第五节 剩余电流动作保护装置的主要应用

第六节 剩余电流动作保护装置的选用与参数选择

【思考与练习】

第三章 剩余电流动作保护装置的安装

第一节 剩余电流动作保护装置安装的技术要求

第二节 剩余电流动作保护装置安装前的检查

第三节 剩余电流动作保护装置的安装施工

【思考与练习】

第四章 剩余电流动作保护装置的运行与维护

第一节 剩余电流动作保护装置运行维护的基础性工作

第二节 剩余电流动作保护装置投运前的检查

第三节 剩余电流动作保护装置的日常运行维护

第四节 剩余电流动作保护装置的性能测试

第五节 剩余电流统计监测仪系统的应用

【思考与练习】

第五章 剩余电流动作保护装置的常见故障分析和排除

第一节 剩余电流动作保护装置误动作的原因和排除

第二节	剩余电流动作保护装置的常见错误接线方式	70
第三节	剩余电流动作保护装置的拒动故障和排除	76
第四节	剩余电流动作保护装置的常见故障检查步骤	79
第五节	配电变压器总保护装置跳闸事故的处理案例	83
第六节	剩余电流动作保护装置故障排查的标准作业指导书	87
【思考与练习】		91

附录一	GB 13955—2005《剩余电流动作保护装置安装和运行》	93
附录二	DL/T 736—2000《剩余电流动作保护器—农村安装运行规程》	103
附录三	GB/Z 6829—2008《剩余电流动作保护电器的一般要求》	109
附录四	DL/T 499—2001《农村低压电力技术规程》第五部分	130

参考文献	134
------------	-----

11	.....	134
21	.....	134
31	.....	134
41	.....	134
51	.....	134
61	.....	134
71	.....	134
81	.....	134
91	.....	134
101	.....	134
111	.....	134
121	.....	134
131	.....	134
141	.....	134
151	.....	134
161	.....	134
171	.....	134
181	.....	134
191	.....	134
201	.....	134
211	.....	134
221	.....	134
231	.....	134
241	.....	134
251	.....	134
261	.....	134
271	.....	134
281	.....	134
291	.....	134
301	.....	134
311	.....	134
321	.....	134
331	.....	134
341	.....	134
351	.....	134
361	.....	134
371	.....	134
381	.....	134
391	.....	134
401	.....	134
411	.....	134
421	.....	134
431	.....	134
441	.....	134
451	.....	134
461	.....	134
471	.....	134
481	.....	134
491	.....	134
501	.....	134
511	.....	134
521	.....	134
531	.....	134
541	.....	134
551	.....	134
561	.....	134
571	.....	134
581	.....	134
591	.....	134
601	.....	134
611	.....	134
621	.....	134
631	.....	134
641	.....	134
651	.....	134
661	.....	134
671	.....	134
681	.....	134
691	.....	134
701	.....	134
711	.....	134
721	.....	134
731	.....	134
741	.....	134
751	.....	134
761	.....	134
771	.....	134
781	.....	134
791	.....	134
801	.....	134
811	.....	134
821	.....	134
831	.....	134
841	.....	134
851	.....	134
861	.....	134
871	.....	134
881	.....	134
891	.....	134
901	.....	134
911	.....	134
921	.....	134
931	.....	134
941	.....	134
951	.....	134
961	.....	134
971	.....	134
981	.....	134
991	.....	134

第一章 低压电网及触电防护基本知识

第一节 低压电网基本知识

一、低压电网的定义与组成

自配电变压器低压配电室（箱）或直配发电机母线，经由监测、控制、保护、计量等电器至各用户受电设备的 380V 及以下供用电系统组成低压电力网，它由配电变电站和低压电力线路所组成，是电力网的一个组成部分，任务是将电能从配电变压器分配到各低压电力用户。

我国目前低压电网的供电方式主要有单相二线制、三相三线制和三相四线制三种。单相二线制主要供给照明用电和家用电器负荷用电；三相三线制主要供纯动力负荷用电；三相四线制主要供动力和照明混合负荷用电及负荷电流大于 30A 的纯照明负荷用电。

我国低压电力网的中性点普遍采用直接接地方式，如图 1-1 所示，但也有采用不接地或经高阻抗接地的运行方式，如图 1-2 所示。

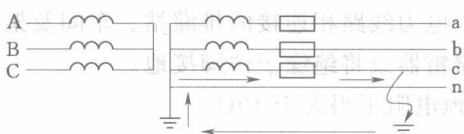


图 1-1 电源中性点直接接地电网

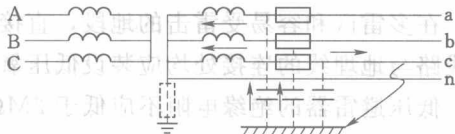


图 1-2 电源中性点不接地或经高阻抗接地电网

在中性点直接接地的低压电网中，正常情况，中性点的电位等于零；当电网三相负荷不平衡时，中性点电位偏移不大，电网仍能正常运行；当电网发生单相接地故障时，非故障相对地电压仍然是相电压 220V，中性点仍然保持零电位，但却构成了单相接地回路，使开关跳闸，供电中断。当采用熔断器保护时，接地相熔体熔断后，其他非故障相虽然可继续运行，但却造成三相电动机缺相运行，长时间运行，会烧坏电动机。

在中性点不接地或经高阻抗接地低压电网中，当发生单相接地故障时，接地电流很小，不会使开关跳闸或熔断器熔体熔断，电网仍能继续运行，供电可靠性比中性点直接接地电网高，但此时非故障相的对地电压却升高到线电压 380V，中性线对地电压也升高到相电压 220V。人体如果触及故障相线或中性线，其危险性要高于中性点直接接地电网。此外，若长时间的单相接地运行，还可能损坏非故障相的绝缘，造成相间短路故障。同时，中性点不接地或经高阻抗接地的电网中，当三相负荷不平衡时，中性点的电位比中性点直接接地电网高。中性点不接地或经高阻抗接地的电网适用于工作环境恶劣，供电可靠

性要求较高的场合。

二、低压电网的基本保护

1. 过电流保护

过电流保护分为过负荷保护和短路保护两种。

线路和电气设备在运行中，由于用电负荷的增加，将造成过负荷运行。长时间的过负荷运行，可能导致设备绝缘损坏，甚至烧坏设备或烧断导线，所以在配电变压器低压侧、电力线路和用电设备的电源侧安装过电流保护装置。

电网运行期间由于绝缘老化、损坏或其他原因，将会造成短路故障。发生故障时所产生的短路电流远大于正常的工作电流，这样就会使载流导体温度急剧上升，并产生很大的电动力，造成设备损坏或烧坏。所以必须装设短路保护装置。

过电流保护装置主要有自动空气开关和熔断器。

2. 防雷保护

防雷保护主要是防止大气中的直接雷和感应雷造成的过电压对电力线路和电气设备的破坏。防雷设备主要有避雷针、避雷线和避雷器、放电间隙，低压电网的防雷保护设备主要采用避雷器。

配电变压器低压侧中性点直接接地的低压电网应在低压侧的每相上装设低压氧化锌避雷器，以保护配电变压器的高压线圈。配电变压器低压侧中性点不接地或经高阻抗接地的低压电网应在变压器低压中性点处装设击穿保险器，只要中性点上出现不允许的电位，立即对地击穿导通，迅速将雷电电流导入大地，消除异常的过电压。

在多雷区和容易受雷击的地段，直接与架空电力线路相连接的排灌站、车间及架空电力线路与地埋线的连接处均应装设低压氧化锌避雷器或将绝缘子铁脚接地。

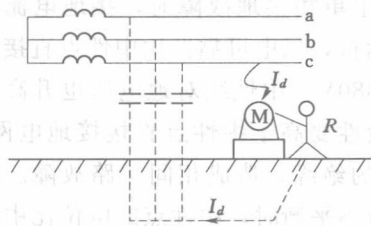
低压避雷器的绝缘电阻不应低于 $2\text{M}\Omega$ ，接地电阻不得大于 10Ω 。

3. 安全保护

在低压电网中，由于电气设备的绝缘老化、磨损或被过电压击穿等原因，都会使原来不带电的部分带电，或者使原来带低电压的部分带上高电压。这些意外会引起设备损坏或人员伤亡事故，为了防止此类事故发生，必须采取安全接地措施，主要形式有保护接地、保护接零。

(1) 保护接地。

1) 保护接地的作用。保护接地是将电气设备正常情况下不带电的外露可导电部分与接地装置连接起来，以防止该部分因故障突然带电而造成对人体的伤害。



电源中性点不直接接地的低压电网中，如果电气设备的金属外壳不接地，当设备带电部分绝缘损坏碰壳时，外壳就带电，其电位与设备带电部分电位相同，由于电力线路与大地之间存在电容，或电力线路某部分绝缘不好，当人体触及外壳时，接地电流全部流经人体，如图 1-3 所示，这显然很危险。

图 1-3 不接地的危险

采取保护接地(图 1-4)后，接地电流将同时沿

着接地体和人体两条途径注入大地，由于人体与接地体相并联，其等值电路如图 1-5 所示。所以流过每条途径的电流与它们的电阻值成反比，即：

$$\frac{I_R}{I_{rd}} = \frac{r_d}{R}$$

式中 r_d ——保护接地电阻， Ω ；

R ——人体电阻， Ω ；

I_R ——流经人体的电流，A；

I_{rd} ——流经接地体的电流，A。

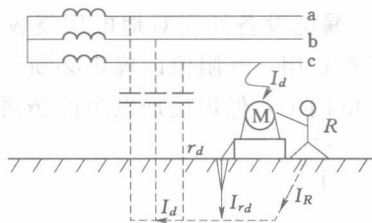


图 1-4 保护接地

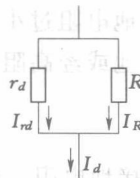


图 1-5 等值电路

由于人体电阻一般为 1000Ω ，远大于保护接地的电阻，所以流过人体的电流就很小，绝大部分电流通过保护接地线流入大地，从而可以避免或减轻触电伤害。从电压角度来分析，采取保护接地后，故障情况下带电金属外壳的电压等于接地电流与接地电阻的乘积，其数值比相电压要小得多。接地电阻越小，外壳接地电压就越低。当人体触及带电外壳时，人体承受的电压一般小于外壳的电压。

2) 保护接地的局限性。由以上分析可知，保护接地是通过限制带电外壳对地电压（控制接地电阻的大小）或减小通过人体的电流来达到保障人身安全的目的。

但在中性点直接接地的低压电网中，保护接地有一定的局限性。因为在该低压电网中，当设备发生碰壳带电故障，便形成了单相接地短路，短路电流经过相线、保护接地、电源中性点接地形成回路。如果接地短路电流不能使熔丝可靠熔断或自动开关可靠跳闸，漏电设备金属外壳将长期带电，也是很危险的。

假设电源中性点接地和保护接地的接地电阻均为 4Ω ，相电压为 $220V$ ，则接地电流为 $27.5A$ ，此时漏电设备外壳对地电压为 $110V$ 。为保证能使熔体可靠熔断或自动开关可靠跳闸，一般要求故障电流大于熔体电流的 3 倍或自动开关过流线圈额定电流的 1.25 倍。因此， $27.5A$ 的故障电流只能保证熔断额定电流不超过 $9.2A$ 的熔体或跳开整定电流不超过 $22A$ 的自动开关。当设备容量较大时，则不能保证熔体熔断或自动开关可靠跳闸了。这时漏电设备的外壳对地电压仍有 $110V$ ，虽比相电压减小了一半，但对人体来说，仍然是十分危险的。在现实生活中，要通过降低电源中性点接地电阻和保护接地电阻的方法来增大短路电流，以使熔体可靠熔断或自动开关可靠跳闸，这也是难以实现的。

3) 保护接地的应用范围。保护接地适用于电源中性点不接地或经高阻抗接地的低压电网。对电源中性点直接接地的农村低压电网由于不便于统一和严格管理，为避免保护接地和保护接零混用而引起事故，所以也采用保护接地方式，并通过加装剩余电流动作保护装置来进一步加强安全防护。在采用保护接地的低压电网中，凡是正常情况下不带电，当

由于绝缘损坏或其他原因可能带电的外露可导电部分，除另有规定外，均应可靠接地。

4) 应进行保护接地的电力设备。电力设备的下列金属部位应进行保护接地：

①电机、变压器、电器、照明器具、携带式及移动式用电器具的底座和外壳；②电力设备的传动装置；③配电盘的框架；④室内外配电装置的构架、靠近带电部分的金属围栏和金属门；⑤互感器的二次绕组；⑥装有避雷线的电力线路的杆塔；⑦电缆接线盒、终端盒的外壳、电力电缆外皮、穿线的钢管；⑧控制电缆的外皮；⑨在非沥青地面居民区的架空电力线路的金属杆塔和钢筋混凝土电杆；⑩装在配电线路电杆上的开关设备、电容器等电力设备的外壳。

5) 保护接地电阻。保护接地电阻过大，漏电设备外壳对地电压就较高，触电危险性相应增加。保护接地电阻过小，又要增加工程费用，其阻值的确定必须全面考虑。

在中性点不接地或经高阻抗接地的低压电网中，保护接地电阻值必须满足下列条件。

$$r_d \leq \frac{U_L}{I_d}$$

式中 r_d ——保护接地电阻， Ω ；

U_L ——电压极限，正常情况下取 50V；

I_d ——电气设备发生碰壳时的接地电流，A。

在该低压电网中，由于 I_d 很小，所以保护接地电阻不宜超过 4Ω 。当配电变压器容量不超过 100kVA 时，由于电网供电半径较短，单相接地电阻值可放宽到 10Ω ，高土壤电阻率的地区可允许不大于 30Ω 。

在电源中性点直接接地的低压电网中，保护接地电阻值必须满足下列条件。

$$r_d \leq \frac{U_L}{I_a}$$

式中 I_a ——剩余电流动作保护装置的额定动作电流，A。

(2) 保护接零。

1) 保护接零的作用。保护接零就是将电气设备正常情况下不带电的外露可导电部分与电网的零线连接起来，如图 1-6 所示。

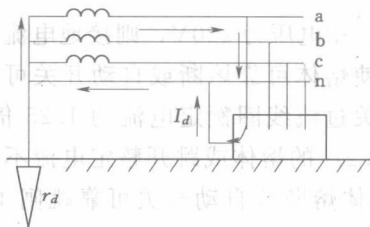


图 1-6 保护接零

由图可知，当设备的绝缘损坏碰壳时，形成了由相线到零线的金属性短路回路，电流不经过电源中性点接地装置，从而产生足够大的短路电流，使过流保护装置迅速动作切断电源，以保障人身及设备安全，其保护效果比保护接地好。

当设备发生漏电故障时，单相短路电流值为：

$$I_d = \frac{U_P}{Z_n} = \frac{U_P}{Z_0 + Z_x}$$

式中 I_d ——电气设备发生碰壳时的单相短路电流，A；

U_P ——相电压，220V；

Z_0 ——零线阻抗， Ω ；

Z_x ——相线阻抗， Ω ；

Z_n ——相零线回路阻抗， Ω 。

短路电流流过零线时产生的电压降就是设备外壳的对地电压。如果短路点离电源点较远,相零线回路阻抗 Z_n 就较大,短路电流就较小,则过流保护装置不能迅速动作,故障段的电源不能切除,就会使设备外壳长期带电。有时零线阻抗比相线阻抗大,零线的电压降就超过100V,即设备外壳对地电压有时 would 超过100V,这对人身来说是十分危险的。为解决这一问题,通常采用零线重复接地。采取重复接地后,重复接地和电源中性点工作接地构成了并联支路,从而使相零线回路的阻抗减小,短路电流增大,使过流保护装置迅速动作,同时使零线的电压降(设备外壳对地电压)减小,触电危险大大减小。

采取重复接地后,即使发生零线断线,断线点后面的设备发生绝缘损坏碰壳,也不会使这些设备外壳对地电压等于相电压220V,触电危险性大大降低。

2) 保护接零的接地电阻。在保护接零的低压电网,必须采取重复接地。重复接地的接地电阻不应大于 10Ω ,当配电变压器容量不大于100kVA时,重复接地不少于3处,其接地电阻可不大于 30Ω 。

3) 采用保护接零应注意的几个问题。

a. 严防零线断线。在保护接零的低压电网中,当零线断线时,接零设备外壳就会呈现危险的对地电压。采取重复接地后,设备外壳对地电压虽然有所下降,仍然是十分危险的。所以保证零线的施工质量,零线连接必须可靠,零线的截面必须符合要求。零线不得装设熔断器或独立开关。

b. 在由同一台变压器供电的低压电网中,不允许保护接地与保护接零混合使用。如图1-7所示,当b设备外壳带电时,如果接地电流不足使过流保护装置动作切断电源,则不仅该设备外壳长期呈现危险的对地电压,还会使设备及所有接零设备外壳上也会呈现危险的对地电压,这是不允许的。因此必须把该低压电网内所有电气设备的零线连接起来,才能保证安全。

c. 严防电源中性点接地线断开。若中性点接地线断开,当电网内任意一处发生接地或设备碰壳时,都会使所有接零设备外壳呈现危险的对地电压,这是十分危险的,如图1-8所示。

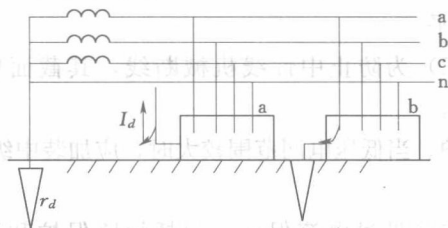


图 1-7 保护接零与保护接地混用

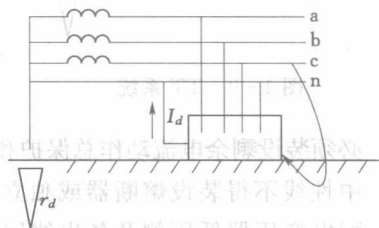


图 1-8 中性点接地线断开

d. 保护接零的低压电网必须装设重复接地。保护接零的低压电网必须装设重复接地,其目的是减少零线回路的阻抗,增加短路电流,使过流保护装置能准确动作,切除电源,提高安全性。

4) 应采取保护接零的电力设备。电力设备的下列金属部位应进行保护零:

a. 电机、变压器、电器、照明器具、携带式及移动式用电器具的底座和外壳;

- b. 电力设备的传动装置；
- c. 电流互感器的二次绕组；
- d. 配电盘的金属框架及安装在自制木配电盘的设备和仪表金属外壳；
- e. 靠近带电部分的金属围栏及金属门；
- f. 电力配线的钢管。

4. 剩余电流动作保护

低压电网的电击防护的安全技术，除保护接地和保护接零外，为进一步提高安全性，还应根据电网的不同结构，装设剩余电流动作保护装置作为防止电击和人身触电伤亡事故的后备保护。此相关内容将在后面的章节中详细介绍。

三、低压电网的安全接地系统

目前，我国三相四线制低压电网的保护接地形式主要有保护接地和保护接零两种，根据它们与电源中性点即配电变压器低压侧中性点工作接地的配合方式不同，就产生了通常所说低压 TT 系统、TN—C 系统和 IT 系统。根据 DL/T 499—2001《农村低压电力技术规程》规定，农村低压电力网宜采用 TT 系统，城镇、电力用户宜采用 TN—C 系统，对安全有特殊要求的可采用 IT 系统。

1. TT 系统安全保护方式

TT 系统是指配电变压器低压侧中性点直接接地（工作接地），低压电网内所有电气设备的外露可导电部分用保护接地线（PE 线）接到独立的接地体上，工作接地与保护接地在电气上没直接的联系，如图 1-9 所示。

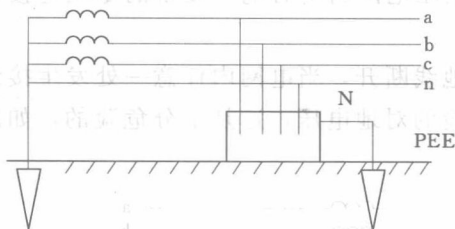


图 1-9 TT 系统

根据 DL/T 499—2001《农村低压电力技术规程》规定，TT 系统的基本接线要求有以下几点。

- 1) 除配电变压器低压侧中性点直接接地外，中性线不得再行接地，且应保持与相线同等的绝缘水平。
- 2) 为防止中性线机械断线，其截面应符合要求。
- 3) 必须装设剩余电流动作总保护和末级保护。当低压电网范围较大时，应加装中级保护。
- 4) 中性线不得装设熔断器或独立开关。
- 5) 配电变压器低压侧及各出线回路，均应装设过电流保护，包括短路保护和过负荷保护。

值得注意的是，此处中性线不得再行接地的目的是为了保证剩余电流动作总保护、中级保护能正常投运和动作。

2. TN—C 系统安全保护方式

TN—C 系统是指配电变压器低压侧中性点直接接地（工作接地），整个电网的中性线（N）与保护线（PE）是合一的，低压电网内所有受电设备的外露可导电部分用保护线

(PE) 与保护中性线 (PEN) 相连接, 即所有受电设备的外露可导电部分采用保护接零方式, 如图 1-10 所示。

根据 DL/T 499—2001《农村低压电力技术规程》规定, TN—C 系统的基本接线要求有以下几点。

- 1) 为了保证在故障时保护中性线的电位尽可能保持接近地电位, 保护中性线应均匀分配重复接地, 如条件许可, 宜在每一接户线、引接线处接地。
- 2) 用户端应装设剩余电流末级保护。其动作电流应满足规程要求。
- 3) 保护中性线的截面必须满足要求。
- 4) 保护中性线不得装熔断器或独立开关。
- 5) 配电变压器低压侧及各出线回路, 均应装设过电流保护, 包括短路保护和过负荷保护。

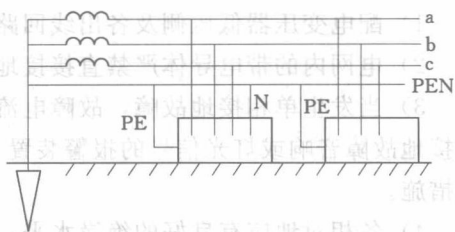


图 1-10 TN—C 系统

3. TN—S 系统

TN—S 系统是整个低压电网内的中性线 N 和保护线全部分开的, 保护线从配电变压器低压侧中性点单独引出, 是专用保护接地线。而该低压电网内所有电气设备的外露可导电的部分均接在独立的保护线上。这样可避免由于中性线断线造成的危害。该低压系统中, 只有当保护线断开且有一台设备发生相线碰壳时才会有危险, 如图 1-11 所示。

4. TN—C—S 系统

TN—C—S 系统是整个低压电网内的中性线 N 和保护线部分是合用、部分是分开的, 是 TN—C 和 TN—S 系统的组合。前端 TN—C 系统主要供三相平衡负荷使用, 后端 TN—S 系统是给少量单相不平衡负荷或对安全要求较高的设备使用, 如图 1-12 所示。

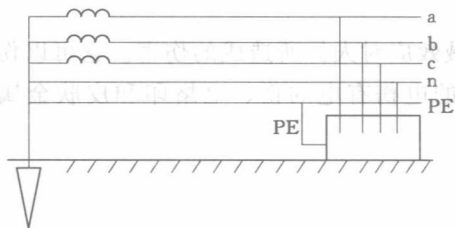


图 1-11 TN—S 系统

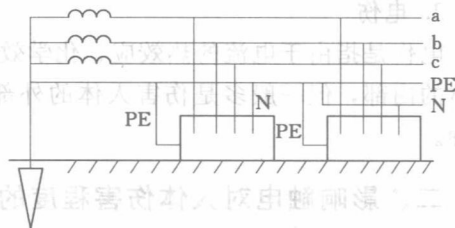


图 1-12 TN—C—S 系统

5. IT 系统安全保护方式

IT 系统是指配电变压器低压侧中性点不接地或经高阻抗接地, 系统内所有设备的外露可导电部分用保护接地线 (PEE) 单独接至接地体上, 如图 1-13 所示。

根据 DL/T 499—2001《农村低压电力技术规程》规定, IT 系统的基本接线要求有以下几点。

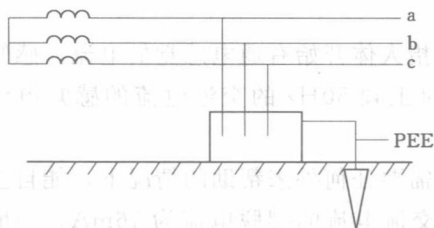


图 1-13 IT 系统

- 1) 配电变压器低压侧及各出线回路均应装设过电流保护。
- 2) 电网内的带电导体严禁直接接地。
- 3) 当发生单相接地故障,故障电流很小,切断供电不是绝对必要时,则应装设能发出接地故障音响或灯光信号的报警装置,而且必须具有两相在不同地点发生接地故障的保护措施。
- 4) 各相对地应有良好的绝缘水平,在正常运行情况下,从各相测得的泄剩余电流有效值应小于 30mA。
- 5) 不得从变压器低压侧中性点引出中性线作 220V 单相供电。
- 6) 变压器低压侧中性点和各出线回路终端的相线上均应装设高压击穿熔断器。

第二节 低压电网电击防护的基本原理与措施

根据事故统计,低压触电事故约占全部触电事故的 80%左右,所以要对低压触电防护进行研究,以提高低压电网的安全运行水平。

一、电流对人体的伤害形式

根据电流对人体伤害程度的不同,电流对人体的伤害主要分为电击和电伤两种。

1. 电击

电击是指电流流过人体内部对人体内部组织所造成的伤害。可分为直接电击和间接电击两种类型。直接电击是指人体直接接触正常运行中的带电体所造成的伤害。间接电击是指在系统故障情况下,人体触及意外带电部分所造成的伤害。电击后会破坏心脏、呼吸及神经系统的正常工作,危险性最大。绝大部分触电死亡都是由于电击造成的。

2. 电伤

电伤是指由于电流的热效应、化学效应或机械效应对人体所造成的伤害。它可以伤害人体的内部,但一般多是伤害人体的外部。常见的电伤有电灼伤、电烙印和皮肤金属化三种。

二、影响触电对人体伤害程度的因素

1. 流过人体的电流大小

流过人体的电流越大,人体的生理反应越明显,感觉越强烈,引起心室颤动所需的时间越短,危险性越大。

(1) 人体的感知电流。也称人体的感觉电流,是指人体开始有通电感觉的电流。感知电流流过人体时,不会对人体造成伤害。一般成人对工频 50Hz 的交流电流的感知电流为 1.1mA。

(2) 摆脱电流。摆脱电流是指人体触电后,在不需要任何外来帮助的情况下,能自主摆脱电源的最大电流。一般成年男性对工频 50Hz 的交流电流的摆脱电流为 16mA,一般成年女性对工频 50Hz 的交流电流的摆脱电流为 10.5mA。

(3) 心室颤动电流。心室颤动电流是指人体触电后,引起心室颤动概率大于5%的极限电流。一般,当触电时间持续大于5s时,以30mA作为心室颤动的极限电流。

(4) 人体允许的电流。人体允许的电流是指对人体没有伤害的最大电流。电流通过人体时,不同的人的反应是不同的。一般来说,只要流入人体的电流不大于摆脱电流值,由于触电者能自主摆脱电源,从而就可以避免触电的危险,因此,一般可以把摆脱电流看做是人体允许的电流。但为了安全起见,成年男性的允许工频电流为9mA,成年女性的允许工频电流为6mA。当供电网络中装有防止触电的速断保护装置时,人体的允许工频电流为30mA,对于直流电源,人体的允许电流为50mA。

2. 触电电压的高低

当人体的电阻一定时,触电电压越高,流过人体的电流就越大,危险性越大。虽然低压触电的电压较低,流过人体的电流一般在几百毫安以下,但这个范围的电流值正好是导致心室颤动的最敏感数值区,所以仍然很容易造成触电死亡。

安全电压是指为了防止触电事故而采用的由特定电源供电的电压。该电压最大有效值在任何情况下,两导体间或任一导体与大地之间都不超过交流(50~500Hz)有效值50V。我国规定的安全电压等级为42V、36V、24V、12V、6V五种。当设备采用超过24V的安全电压时,必须采取防直接接触带电体的安全措施。

3. 电流的种类与频率的高低

在同一电压作用下,流过人体的电流的频率不同,对人体的伤害程度也不同。其中以50~60Hz工频电流的危害性最大。

直流电的触电危险性比交流电小。

4. 触电时间的长短

触电时间越长,能量积累越多,引起心室颤动的电流就要减小,触电时间越长,皮肤角质层就会破坏,人体电阻减小,流过人体的电流就增大,危险性就增加。

5. 电流流经人体的途径

电流流经人体的途径,对触电伤害程度的影响很大。电流从左手到胸部、从左手到右脚、从颅顶到双脚是最危险的电流途径。从右脚至胸部、从右手到脚、从手到手的电流途径也很危险。从脚到脚的危险性较小,但不等于没有危险。

6. 人体电阻的大小

当触电电压一定时,人体的电阻越小,触电电流就越大,危险性就越大。不同的人、不同性别的人、生理条件不同时,人体的电阻是不同的,一般来说,在计算流过人体的电流时,人体电阻值按1500~1800Ω,为安全起见,通常取800~1000Ω。

三、低压电网触电事故的种类

1. 直接接触触电

(1) 单相触电。单相触电是指人体直接接触正常运行中的一相带电体,这种触电事故最多。

在电源中性点直接接地的低压电网中,当发生单相触电时,电流经过人体、大地、电源中性点接地装置形成闭合电路,此时流经人体的电流值取决于系统相电压、人体电阻、人体与地面的接触电阻和电源中性点接地电阻,与系统绝缘好坏及低压线路长短无关。

在电源中性点不接地的低压电网中,当人体触及单相带电体时,流过人体的电流为系统的电容电流,其值大小与系统绝缘好坏和线路长短有关。如果系统绝缘水平较高、线路较短,绝缘电阻就大,流过人体的电流就小,触电的危险性就小。

(2) 二相触电。二相触电是指人体直接接触正常运行中的二相带电体,其触电电流只与人体电阻、系统线电压有关,与电源中性点接地方式及人体与大地的绝缘状况无关。

(3) 相零触电。相零触电是指人体同时触及一根相线和一根零线,电流由相线经人体流至零线,施加于人体的电压为相电压,这种触电方式也是很危险的。

2. 间接接触触电

(1) 接触电压触电。如图 1-14 所示,当电气设备带体绝缘损坏碰及金属外壳时,就有电流流经设备金属外壳、外壳接地装置而注入大地,这个电流就叫接地电流。故障电流应会形成如图所示的半径为 20m 的电场圆,它在大地表面的电位分布曲线如图中 A 至 B 的弧线。接地电流与接地电阻的乘积就是设备外壳的对地电压。当人体触及漏电设备金属外壳时,人体所承受的电压就叫接触电压,如图 1-14 所示,它等于设备外壳的对地电压与人脚站立处的

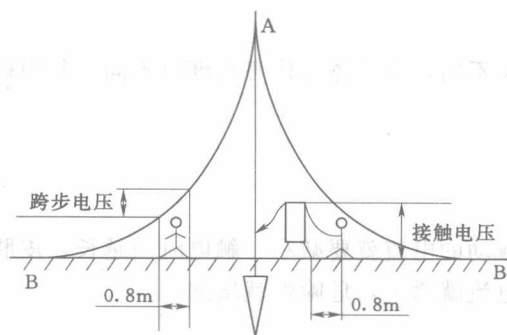


图 1-14 间接接触触电示意图

的电位之差。人距漏电设备金属外壳接地体越近,接触电压就越小,人体距漏电设备接地体越远,接触电压就越大。由于接触电压而导致人体触电就叫接触电压触电。

(2) 跨步电压触电。如图 1-14 所示,当人体在有漏电接地电流的电场圆内行走时,两脚间的电位就叫跨步电压。这种由于跨步电压引起的触电事故就叫跨步电压触电。

根据文献资料介绍,图中距农村低压电网 380/220V 故障电流入地点超过 5m, 10kV 系统超过故障电流入地点 8m 处,跨步电压接近为零。

四、防止触电的安全技术措施

1. 防止直接接触触电的安全技术措施

- 1) 防止与带电体接触,将带电体绝缘起来。
- 2) 在带电体外加装遮栏。
- 3) 防止无意触及带电体,设置临时阻挡物。
- 4) 保持一定距离,防止人体活动时接触带电体。
- 5) 采用安全电压等级供电。

2. 防止间接接触触电的安全技术措施

- 1) 低压电网采用“三类五种”接地方式,以限制接触电压。