

变电站二次系统等电位接地网敷设方式研究综述

周思宇¹ 陈洛风² 杜洪波² 张利丹²

(1. 西南交通大学电气工程学院, 四川 成都 610031;

2. 四川电力设计咨询有限责任公司, 四川 成都 610041)

摘要:近年来,随着智能化变电站的兴建,大量使用了基于数字电路原理工作的设备,这对二次系统抗干扰的能力提出了更高的要求,合理的二次系统等电位接地方式显得尤为重要。首先,对二次系统等电位接地网的敷设方式研究现状进行了归纳总结,涵盖了等电位接地网总体敷设原则、室内外接地铜排敷设常见问题、等电位接地网和主接地网连接方式3个部分核心内容。最后分析了目前研究存在的问题和未来的研究方向。

关键词:二次设备;等电位接地网;接地铜排;主接地网

Abstract: In recent years, with the construction of smart substations, the equipment based on digital circuits is extensively used, which proposes higher requirements for the anti-interference ability of secondary system. A reasonable equipotential grounding mode of secondary system is particularly important. The research status of laying methods for equipotential ground screen of secondary system is summarized, covering the overall laying principle of equipotential ground screen, the common problems of laying indoor and outdoor equipotential ground screen, and the connection between equipotential ground screen and main grounding grid. Finally, the existing problems and future research directions are analyzed.

Key words: secondary device; equipotential ground screen; ground copper bar; main grounding grid

中图分类号: TM862 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2017)06-0024-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2017.06.006

0 引言

随着电力系统的不断发展,电压等级和系统容量都在不断提高,二次系统的监控、保护、测量、控制水平也在不断提升,微处理器数字设备在二次系统中得到广泛的应用。相较于老式的电磁设备,电子元件拥有更高的灵敏度,但抗干扰能力明显减弱,对高频信号、暂态干扰具有敏感性。在二次系统中,几乎所有的电气量都通过二次电缆引入设备,因此,系统故障时的各种暂态环境,诸如雷电过电压、故障过电压、电磁辐射等均易对二次电缆产生干扰,影响二次设备的运行。因此,研究二次系统接地方式,优化等电位接地网的敷设方法,对削弱电磁干扰,提高二次设备运行的完全性、可靠性有重大意义^[1-2]。

国外对二次设备抗干扰的研究,主要集中在变电站电磁环境及其相关算法上,未有文献涉及二次系统等电位接地网敷设研究。国内,国家电网公司颁布了《十八项电网重大事故措施(修订版)及编制说明》(以下简称《反措》),其中明确指出二次系统

应敷设与主接地网紧密连接的等电位接地网^[3]。但《反措》对一些细节问题并没能做出确切的规定,导致各变电站等电位接地网的敷设方式无法统一。

下面通过对现有文献资料的研究,从总体敷设原则、室内外接地铜排敷设常见问题、与主接地网连接方式3个方面总结了等电位接地网的敷设方式,分析了现有研究的不足并对未来研究方向做了展望。

1 等电位接地网总体敷设原则

1.1 等电位接地网适用电压等级

对于等电位接地网适用的电压等级范围,《反措》中并未明确说明。文献[4]通过分析认为,敷设等电位接地网的目的是为了防止在发生接地故障时故障电流侵入二次电缆屏蔽层继而对二次设备产生影响,因此,当变电站为不接地系统时,例如35 kV或10 kV变电站,可无需设置等电位接地网。对于110 kV及以上电压等级的变电站,因能产生较大的地电位差,则需设置等电位接地网。文献[5]则认为220 kV及以上电压等级的变电站,需敷设独

立的等电位接地网,110 kV 变电站至少应敷设室内的等电位接地网。文献[6]指出,应以220 kV 电压等级为界限,220 kV 及以上电压等级需敷设全站等电位接地网。

1.2 等电位接地网基本敷设原则

《反措》中对等电位接地网的敷设原则已做了详细的要求,文献[7]在此基础上指出,室内等电位接地铜排应首尾相连,形成“目”字形环状网络,具体连接方式如图1所示。

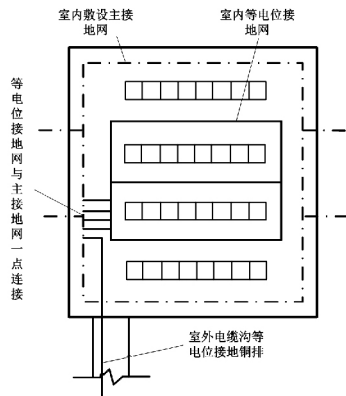


图1 室内等电位接地网敷设方案

1.3 智能变电站等电位接地网敷设方式

随着智能变电站的大量兴建,对于光纤和电缆的使用有了一些变化。文献[4]认为,虽然光纤对于故障干扰不敏感,但雷击仍可以通过金属成分进入,因此光缆的金属铠甲应接地,智能变电站仍需敷设等电位接地网。文献[8]通过理论分析认为,智能变电站应利用高导电率导体将地面所有不带电的金属体如进线门型架、母线构架、设备支架、电缆托盘、金属管道及设备外壳等连接起来,构建三维接地网,再与主接地网在合适位置连接,有效地降低了传导干扰。文献[9]提出了一种室内组合式二次设备一体化接地方案运用于智能变电站。

2 室内外接地铜排敷设常见问题分析

《反措》中虽然规定了等电位接地网的基本敷设原则,但对室内屏柜内部、室外电缆沟等接地铜排的设置方式,并未提出明确规定,导致目前在施工中没有统一的执行标准,容易引发事故。

2.1 室内屏柜内部接地铜排设置

目前屏柜内部接地铜排的设置,一般有3种方式:设置1根接地铜排并与柜体连接;设置1根接地铜排与柜体绝缘;设置2根接地铜排,1根与柜体连

接,1根与柜体绝缘。

文献[7]提出室内保护屏柜下部应安装截面积不小于100 mm²的接地铜排,并通过小绝缘子与柜体相连。屏柜内的保护设备、电缆屏蔽线及电压、电流互感器接地线均连至接地铜排。文献[10]同样认为所有保护屏柜内的接地铜排应与柜体绝缘,所有二次接地全部接至接地铜排。具体接线方式如图2所示。

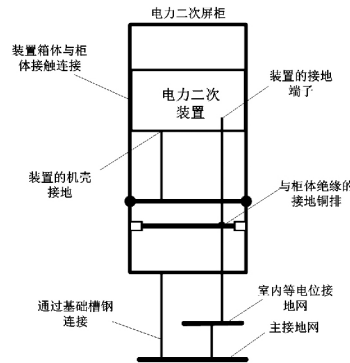


图2 屏柜内接地铜排应用方案1

文献[11]提出,室内保护控制柜内部设置的接地铜排不应与柜体绝缘。文献[12]认为,屏柜内部的接地铜排若使用绝缘子与柜体相连,当发生雷击时,柜体接地铜排和柜体内的设备间将形成高电位差,造成反击,因此,屏柜内接地铜排与柜体间不应使用绝缘子,应使用短线技术,将柜体内接地铜排和室内等电位接地网就近相连,使得柜体及内部二次设备始终保持等电位。文献[13]同样认为柜体与屏柜内接地铜排绝缘连接会导致屏柜内产生高电位差,损坏微机设备。具体接线方式如图3。

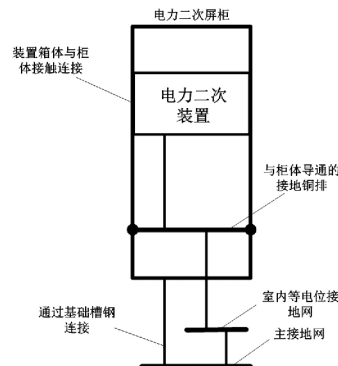


图3 屏柜内接地铜排应用方案2

文献[14]指出,二次屏柜内部需设置2根接地铜排。1根为主接地网铜排,与柜体焊接,柜内装置机箱外壳接地线与屏柜门接地线连接至此铜排。1根为等电位接地网专用铜排,电缆屏蔽层和电流、电压互感器二次回路N线接至此铜排。文献[15]认

为 电缆屏蔽层和装置接地端子都应接至等电位接地铜排,如图4所示。文献[4]却认为,各装置的抗干扰接地和交流电源接地应接至主接地网铜排上,如图5所示。

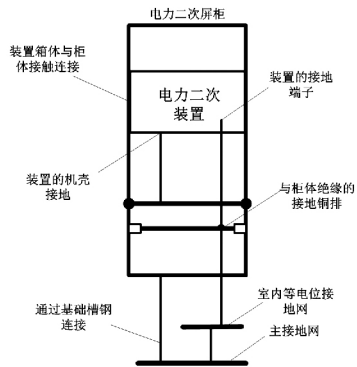


图4 屏柜内接地铜排应用方案3

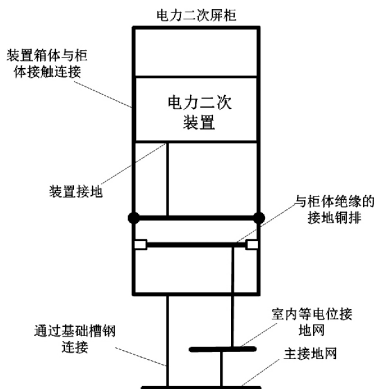


图5 屏柜内接地铜排应用方案4

文献[16]通过对屏柜内部接地铜排不同设置方式进行研究,指出在图2的连接方式中二次装置连接到接地铜排,但装置箱体与柜体接触连接,形成“主接地网—接地槽钢—柜体—二次设备—接地铜排—等电位接地网”的通路,这种连接方式将干扰引入到了二次设备,并形成了多点接地。而图3的连接方式,则形成了“主接地网—接地槽钢—柜体—接地铜排—等电位接地网”的通路,虽然也形成了多点接地,但防止了干扰进入二次设备中。因此,在只设置1根接地铜排时,宜采用图3的接线方式,即接地铜排与柜体不绝缘。当柜内设置2根接地铜排时,图4的连接方式同样造成了多点连接,且将干扰引入装置。因此,宜采用图5的连接方式,装置均接至主接地网铜排,电缆屏蔽层接至等电位接地网专用铜排。

文献[17]还提出另一种观点,屏柜底部槽钢不与主接地网连接,而与等电位接地网连接,从而保证屏柜内部无电位差,具体接线方式如图6所示。

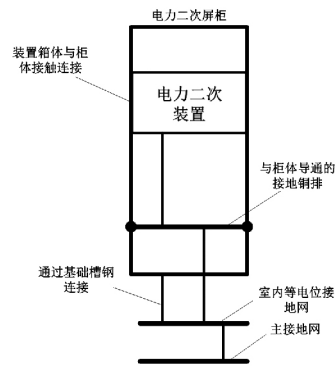


图6 屏柜内接地铜排应用方案5

2.2 室外电缆沟接地铜排设置

对于电缆沟内等电位接地铜排的铺设,普遍认为应使用100 mm²的裸铜排通过小绝缘子固定在电缆支架上,如图7所示^[14]。

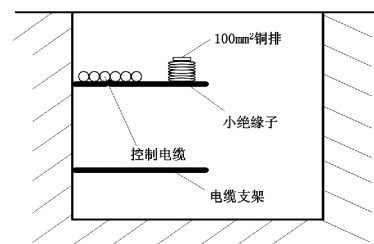


图7 电缆沟内铜排布置图

但是,对于室外电缆沟内铜排的整体布局,以及铜排与主接地网在电缆沟内是否应该连接,仍存在争议。

文献[18]提出,电缆沟内的接地铜排应首尾相连,形成一个覆盖所有二次端子箱的环网。文献[11]也认为电缆沟的接地铜排应搭接成闭合环网。但文献[5]指出,室外二次接地系统不宜首尾相连,否则当发生接地故障时,容易形成环流,对二次设备影响较大。文献[10]也认为电缆沟内的接地铜排应布置成“M”字形的开放式结构,不宜布置成环网结构,防止形成环流。

对于电缆沟内接地铜排和主接地网的连接,文献[4]提出,室外等电位接地网在电缆的首末两端不与主接地网直接连接,而在电缆的中间部位与主接地网紧密连接,连接方式见图8。文献[19-20]认为在电缆沟远端处及沟内每隔约15~20 m并靠近就地端子箱的位置上,等电位接地铜排与主接地网相接一次。而文献[10,15]却认为在电缆沟内,等电位接地铜排不应与主接地网相连接,否则在发生接地故障时,相当于在接地铜排上T接了一个电源,进而对电缆屏蔽层的抗干扰效果产生影

响。文献[17]分析提出,当户外端子箱内的接地铜排和箱体绝缘时,端子箱附近发生接地故障将使箱体和接地铜排间形成高电位差,因此应在端子箱附近选择合适位置将等电位接地网和主接地网可靠连接,而在其余地方,两者应绝缘。文献[21]指出,在此基础上端子箱内接地铜排应同时与等电位接地网和主接地网连接。还有一种观点认为,在室外电缆沟的末梢处,等电位接地网均应与主接地网一点连接。

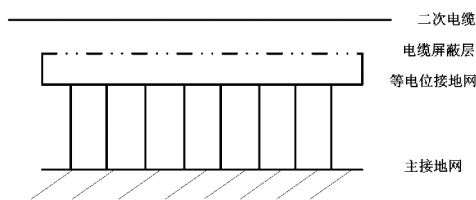


图8 电缆沟内铜排连接图

3 等电位接地网和主接地网连接方式

对于等电位接地网与主接地网的连接方式,《反措》中有如下规定:保护室内的等电位接地网与厂、站的主接地网只能存在唯一连接点,连接点位置宜选择在电缆竖井处。沿二次电缆沟道铺设截面不小于 100 mm^2 的铜缆(排),并在保护室(控制室)及开关场的就地端子箱处与主接地网紧密连接,保护室(控制室)的连接点宜设在室内等电位接地网与厂、站主接地网连接处。

现有文献中,有学者提出了不同的观点。文献[22-23]提出,为了防止将干扰引入二次系统,将不同部分的等电位接地网连接形成全厂的等电位接地网,并与主接地网一点连接,其余部分保持良好的绝缘,真正实现一点连接。文献[24]运用电磁暂态软件 ATP-Draw,对等电位接地网一点接地与多点接地进行了仿真分析,再搭建模型进行了实验验证。结果表明,等电位接地网一点接地不但不能消除电位差,反而会将干扰引入二次系统,多点接地才能确保雷击等造成的地电位差不对二次系统产生影响。文献[1,2]也同样通过仿真分析指出,等电位接地网与主接地网多点连接是更优方案。文献[8]通过理论分析指出,单点接地的方式,并不适合频率较高的场合,对于高频设备,应就近接地,构成环路状多点接地。

文献[25]运用能够考虑接地体上电位降的矩量法,建立了一个简化的等电位接地网计算模型。通过比较工频故障和雷击下室内等电位接地网一点接地、两点接地、四点接地3种不同方案得出:在一点接地时,在不显著提升屏蔽层内最大故障电流的情况下,可以大幅降低电缆上承受的电压,因此每个室内等电位接地网单点接地是最佳设计方案。同时还指出,全站等电位接地网整体一点接地的情况下,虽然等电位接地网内部电位差很小,但会导致连接点远端和主接地网产生很大的电位差,造成设备的绝缘击穿,所以,不建议全站等电位接地网和主接地网一点连接。

4 结 语

《反措》中给出了等电位接地网的敷设方法,但在一些关键问题上,并没有做出明确的阐述。针对等电位接地网的设置,现有的文献资料十分有限,研究存在诸多不足,现总结如下:

- 1) 现有研究大多以理论分析为主。仅通过理论,缺乏相应的仿真分析和实验验证,给出的观点难以令人信服。
- 2) 在相同的问题上,往往会出现几种不同的观点,甚至某些观点之间相互矛盾,无法达成统一,无法对实际施工做出有效的指导。
- 3) 现有仿真分析或实验验证中所建立的等电位接地网模型都过于简单,利用现有模型无法对全站等电位接地网进行有效的研究。并且,现有的仿真或实验因为解决问题的角度不同,也无法得出统一的结论。

对于未来等电位接地网的研究,应以现有研究成果为基础,结合智能变电站的发展,建立更为全面、更为精确的等电位接地网仿真模型,并搭建实验模型进行验证,得出更为合理的二次系统等电位接地网敷设方案。

参考文献

- [1] 宋萍. 变电站二次设备防雷接地技术研究[D]. 长沙:长沙理工大学,2009.
- [2] 田志岗. 变电站二次系统防雷接地及现场测试方法研究[D]. 成都:西华大学,2013.

(下转第75页)

[2] 李雨舒,李明珍. 无人值班变电站遥控常见故障的分析与处理[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(18): 145-146.

[3] 王旭东,梁栋,曹宝夷,等. 三遥配电自动化终端的优化配置[J]. 电力系统及其自动化学报, 2016, 28(2): 36-42.

[4] 张曦,黄飞,刘志宏,等. 配电自动化三遥功能闭环测试方法及其应用[J]. 2016, 33(6): 2-6.

[5] 周随江. 集中监控遥控遥调异常的分析[J]. 低碳世界, 2016(13): 26-27.

[6] 韩国政,徐丙垠,索南加乐,等. 基于 IEC 61850 的配

网自动化通信技术研究[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(2): 62-66.

[7] 许伟国. 110 kV 智能变电站自动化系统关键技术应用研究[J]. 供用电, 2011, 28(5): 40-45.

[8] 张大伟. 104 规约在成都电网调度自动化系统中的运用分析[J]. 四川电力技术, 2013, 36(3): 49-51.

作者简介:

李游(1986), 硕士研究生、工程师, 研究方向为智能变电站二次系统及自动化。

(收稿日期: 2017-09-12)



(上接第 27 页)

[3] 国家电网公司运维检修部. 国家电网公司十八项电网重大事故措施(修订版)及编制说明[S]. 北京: 中国电力出版社, 2012.

[4] 张兵海,李铁成,王献志,等. 继电保护等电位接地网常见问题分析[J]. 河北电力技术, 2017, 36(1): 1-2.

[5] 吴国森,王世祥. 电网继电保护二次系统接地设计研究及应用[J]. 贵州电力技术, 2013, 16(10): 48-51.

[6] 李冉冉,王泽忠,张卓赫,等. 浅议等电位网在发电厂的应用[J]. 科技情报开发与经济, 2011, 21(11): 193-195.

[7] 唐宝峰,范辉,贺春光,等. 二次系统等电位接地网的敷设[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(14): 112-115.

[8] 殷建刚,黄逊勋,黄旭银,等. 智能变电站二次系统接地方式研究:(一)理论探讨[J]. 湖北电力, 2016, 40(4): 1-4.

[9] 潘勇,袁涤非,梅玉成,等. 室内智能变电站组合式二次设备方案及关键技术研究[J]. 华电技术, 2014, 36(4): 30-33.

[10] 邓光武,汪洋,周翔胜,等. 穗东换流站二次设备接地方式的改进研究[J]. 南方电网技术, 2010, 4(2): 75-78.

[11] 董波. 变电站“等电位”地网敷设方式分析[J]. 低碳世界, 2016, 46(31): 76-77.

[12] 黄帅,禹荣勋,程凤鸣,等. 某抽水蓄能电站二次系统接地优化[J]. 电磁避雷器, 2016, 25(5): 130-134.

[13] 黄欣,李景禄,赵新德,等. 500 kV 变电站二次系统等电位连接铜缆的接地方式[J]. 电磁避雷器, 2008, 4(2): 43-46.

[14] 毛健. 发电厂和变电站二次设备等电位接地网的布

设[J]. 水电与新能源, 2016, 12(8): 40-43.

[15] 汤相彬. 二次系统等电位接地网的敷设[J]. 江西电力, 2012, 30(4): 57-59.

[16] 李兴华,何学东,杜江波. 电力二次屏柜接地铜排实施方案研究[C]. 中国电机工程学会继电保护专业委员会第十五届保护和控制学术研讨会, 2015: 453-457.

[17] 陈朝辉,刘志远,刘伟平. 变电站等电位接地网设计与施工要点分析[J]. 电气应用, 2014, 33(22): 137-140.

[18] 秦威,宋彦哲,郑穗生. 关于电力系统二次设备接地分析以及接地铜排敷设方法应用[J]. 电气应用, 2016, 16(18): 21.

[19] 张勇. 变电站继电保护二次系统接地技术方案研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2012.

[20] 张学连,曾义昌. 浅谈水电站二次系统等电位接地网[J]. 四川水力发电, 2013, 32(3): 88-89.

[21] 李宾皓. 电力系统二次设备的接地和接地铜排的敷设[J]. 华东电力, 2005, 33(9): 60-63.

[22] 陈鹏,孙锐. 水电站等电位接地网设计与应用[J]. 水电站设计, 2016, 32(4): 45-46.

[23] 张东,张峥,连春兴. 金哨水电站二次等电位接地网方案探讨[J]. 电气应用, 2016, 24(4): 63-64.

[24] 李飞,黄欣,周力行. 变电站内等电位连接铜缆方式研究[C]. 中国高等学校电力系统及其自动化专业第二十四届学术年会, 2008: 2259-2261.

[25] 肖磊石,张波,李谦,等. 分布式等电位接地网与变电站主接地网连接方式[J]. 高电压技术, 2015, 41(12): 4426-4432.

作者简介:

周思宇(1991) 硕士研究生 研究方向为变电站接地。

(收稿日期: 2017-10-14)