

变电站继电保护二次系统接地技术分析

咸菁菁

(国网江苏省电力有限公司超高压分公司, 江苏 南京 211102)

摘要: 现代变电站项目对站内环境提出严格要求, 加之站内为数众多的高电压等级的一次设备同样会对变电站的二次系统产生一定的干扰。分析在变电站项目投运使用期间, 二次系统干扰问题的干扰信号种类和干扰源影响机理, 以此论证变电站二次系统接地改造的必要性。并从多方面阐述变电站继电保护二次系统接地改造技术方案的内容, 提出二次系统接地技术的具体策略。旨在完善二次系统接地技术体系, 实现接地技术规范、标准化应用目标, 为二次系统接地改造方案制定提供技术指导。

关键词: 变电站; 继电保护; 二次系统; 接地技术

中图分类号: TM645.2

Analysis of Grounding Technology for Secondary System of Substation Relay Protection

XIAN Jingjing

(Ultra-High Voltage Branch of State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd., Jiangsu Nanjing 211102, China)

Abstract: Modern substations have strict requirements for the internal environment of the station. The numerous high voltage level primary equipment in the station can cause certain interference to the secondary system of the substation. Analyze the types of interference signals and the impact mechanisms of interference sources in the secondary system during the operation and use of the substation project, in order to demonstrate the necessity of grounding renovation of the secondary system in the substation. And elaborate on the content of the grounding renovation technology plan for the secondary system of substation relay protection from multiple aspects, and propose specific strategies for the grounding technology of the secondary system. Intended to improve the secondary system grounding technology system and achieve the goal of standardization and application of grounding technology. Provide technical guidance for the development of secondary system grounding renovation plans.

Keywords: substation; relay protection; secondary system; grounding technology

现阶段, 我国电力事业得到蓬勃发展, 在各地新建大量自动化变电站, 站内配备多台继电保护装置, 推行变电站无人值守模式, 这对降低变电站运维成本、改善变电站运行工况有着重要现实意义。与此同时, 变电站继电保护二次系统受到高电压等级一次设备、现场电磁环境、雷电流等因素影响, 常发生继电保护装置误动、拒动等故障, 威胁到变电站安全运行。开展对二次系统接地技术的应用研究, 保障变电站安全平稳运行。

例如, 把以干扰作用为分类依据, 干扰信号分为共模干扰、差模干扰 2 种类型, 共模干扰由地电位升高形成, 分布在导线与大地间 (如图 1 所示)。差模干扰分布在信号回路内部, 差模干扰信号和正常信号保持叠加状态 (如图 2 所示)。

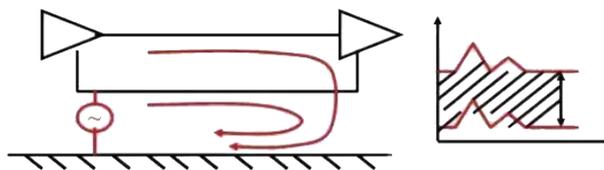


图 1 共模干扰

1 变电站二次系统干扰概述

1.1 干扰信号种类

在变电站运行期间, 存在多种类干扰信号, 各类干扰信号对继电保护二次系统运行工况造成的实际影响并不一致。工作人员必须提前收集项目资料 and 同类项目案例, 全面掌握干扰信号种类型号^[1]。

收稿日期: 2023-07-28

1.2 干扰源影响机理

在变电站继电保护二次系统同时受到外部雷电流、站内设备操作过程、线路运行工况、电气设备结构特征等因素影响, 形成诸多干扰源, 各类干扰源对继电保护二次系统的影响机理存在明显差异, 具体如下。

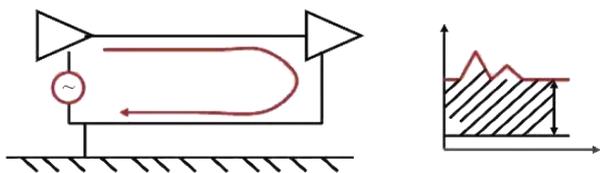


图2 差模干扰

电磁耦合干扰。站内一次设备和电路相互连接，二次设备和一次设备则采取耦合连接方式，设备通电运行期间出现电场/磁场效应现象，形成干扰源。如一次设备所携带高压电场经由电容耦合影响到二次设备工况条件，或是通过大电流来影响二次设备。

雷电干扰。变电站主要修建在空旷区域，投运使用期间常遭受雷电流打击（如图3所示）。雷电流携带雷电感生磁场进入变电站内部，持续释放低频电磁波和高频电磁波辐射，在辐射作用下降低信号线通信质量，以及在雷电流通过防雷装置时因电位分布不均出现干扰问题^[2]。



图3 220 kV 变电站

操作干扰。变电站内安装大量的现场控制装置，如隔离开关等，装置执行控制动作、切换运行状态时会对电路造成一定程度影响，进而干扰到继电保护二次系统运行工况。以隔离开关为例，如果缺乏配套灭弧装置，开关在开启、闭合期间会在刀口部位形成电弧，电弧多次重燃后才能熄灭，重燃熄灭期间会出现电磁能量震荡现象，所形成感应磁场与辐射电磁波即为干扰源。

短路干扰。受到线路老化、绝缘失效等因素影响，偶尔产生短路故障问题，释放短路电流，短路电流虽然可以随时间推移而持续衰减到稳态值，但在衰减期间会形成感应磁场来影响二次系统，且部分短路电流在接地短路情况下还会造成升高地电位、形成主接地网电位差的后果。

设备内部电磁干扰。新建变电站有着较高自动

化程度，站内配备多台精密结构的电子设备，由于设备台数众多、电子电路密集分布，运行期间持续产生杂音干扰，通过改变电磁环境条件进而影响到微机继电保护装置。

局部放电干扰。在绝缘子夹具、高压输电线路部位会形成局部电场，电场强度超过安全阈值后产生放电情况。同时，如果高压电气设备接触不良，或是因维护保养不当而在设备表面附着污秽物，还有可能出现火花放电与污闪现象，对继电保护二次系统造成电磁波辐射干扰。

2 变电站继电保护二次系统接地技术的实践应用策略

2.1 等电位接地网

等电位接地网技术适用于继电装置密集部署的站内房间，包括配电室等房间，使用截面积不小于 100 mm^2 的接地铜排作为接地线，通过绝缘子装置，把二次系统接地网和变电站主接地网进行绝缘处理，并通过分散布置接地铜排来保护通信室、集控室等其他区域。二次系统等电位接地网具体由室内接地网、室外接地网2部分组成，工作人员必须掌握各部分等电位接地网的正确做法。

室内等电位接地网。工作人员在控制室、保护室屏柜和电缆室等区域内布置接地网，以接地铜排作为接地体，铜排两端进行连接处理来组成闭环回路。遵循接地网相对独立原则，在主接地网和室内接地网间布置多根等电位铜排进行连接，在电缆竖井部位使用螺栓进行压接处理，根据项目情况来确定连接点位数量，点位数量过多会把主接地网电位不平衡问题影响范围扩大至等电位接地网。同时，在控制室内和保护室内设置专用支架来固定接地网，根据室内环境情况选择恰当固定方式。例如，室内下方分布电缆夹层时，在首层桥架和结构梁间隔部位设置桥架立柱，以梁下 0.1 m 处作为安装位置。而在室内下方分布活动地板时，须在土建基础结构中设置预埋件，通过预埋件来固定安装支架，把支架底面标高、基础面标高的高差值控制在 150 mm 左右^[3]。

室外等电位接地网。无须额外挖设沟槽管渠，直接在现有电缆沟内共同敷设电缆和铜排即可，后续把铜排引入保护室内和控制室内，电缆竖井部位使用铜缆和螺栓对主接地网进行压接处理，室内外接地网的接地点布置在相同区域，要求所使用铜缆、

铜排的截面积不小于 100 mm^2 。如果并行敷设高频同轴电缆，必须将其固定安装在电缆支架上方。同时，要求室外接地网的接地点远离并联电容器、电容式穿管等容易被高电压击穿的设备装置，接地点和主接地网电流入地点间距值须控制在 15 m 以上，必要时可以额外装设二次电缆接地铜排，这有利于控制电缆屏蔽层两端电位差，以减轻二次设备干扰。

2.2 户外端子箱等电位接地

户外端子箱等电位接地结构由端子排、TA 二次接地线、接地铜排、专用接地热镀锌扁钢、接地线螺帽等部分组成。要求工作人员在户外就地端子箱与本体端子箱内部额外放置接地铜排，铜排截面积保持在 100 mm^2 以上，沿水平方向或是垂直方向设置螺栓，通过螺栓来固定接地铜排两端位置。保持铜排、屏蔽线和各类接地线相互连接状态，铜排表面顺序布置多个接线柱，接线柱使用垫圈、垫片等材料制作形成，起到降低连线作业难度、改善连线效果的作用。工作人员把电缆沟道内部敷设的接地网铜缆和端子箱内接地铜排相互连接，铜缆截面积不得小于 100 mm^2 ，把铜缆一端使用铜鼻子进行压接处理，再使用螺栓来固定连接铜缆和接地铜排，铜缆另一端在箱体下端电缆沟道内部和室外接地网进行就近连接。

2.3 室内保护屏柜等电位接地

变电站室内保护屏柜等电位接地结构由 TA/屏蔽层二次接地线、屏内接地铜排、连接铜导线、电缆竖井入地点、连接螺栓等部分组成。在接地处理期间，工作人员须提前在继电保护屏柜和安全自动装置屏柜内部设置接地铜排，屏柜内部沿水平方向拧入多根螺栓，使得接地铜排两端固定在屏柜下部，以及在接地铜排上钻设若干数量连接孔，保持各处连接孔的孔径、间距一致状态，各处孔内均布置垫圈、垫片与螺帽。在保护屏门柜间隔部位敷设多股专用接地软铜线，拧入螺栓保持软铜线和柜体连接状态，要求软铜线截面积在 4 mm^2 及以上，使用直径 6 mm 螺栓对柜内接地铜排和接地软铜线进行压接处理，再通过软铜线来连接端子与铜排^[4]。待铜排连接完毕，使用软铜线，一端采取压接方式，另一端则在电缆室内和等电位接地网进行连接，具体可采取螺栓压接、铜焊连接 2 种方式。

2.4 二次设备等电位接地

变电站二次设备种类繁多，各类二次设备的接

地要求、正确接地操作方法存在明显差异。因此，工作人员必须遵循实际出发原则，提前了解项目情况，根据二次设备配置情况选择恰当的接地方式，具体分为逻辑接地、交流接地、保护接地、计算机接地 4 种方式。

逻辑接地。此方式适用于二次设备内部存在电位差的情况，部分设备地电位处在虚空状态，无法直接和外部电力系统进行连接。工作人员把设备连接位置与接地引线进行连接，以设备金属外壳等导电体作为接地连接口，电位直接和设备外壳连接，这也是当前最为常用的二次设备接地方式。

交流接地。其适用于采取交流电源的变电站，工作人员提前对全部二次设备开展工作接零操作，无须连接设备机柜外壳与电缆系统中性线芯，完成前期准备工作后，即可对二次设备进行交流接地连接。

保护接地。其适用于站内存在电磁干扰源的情况，采取多点连接方式，把二次系统接地网和变电站主接地网的连接点数量控制在 4 个及以上，保持现场设备参考电位、室内设备电位、继电控制室电位一致状态。

计算机接地。其适用于二次系统信号地和逻辑地等接地部分数量较多的情况，依托绝缘电缆来连接接地铜排与各处接地点，无须额外搭建独立计算机接地系统。

2.5 交流二次回路等电位接地

工作人员以互感器作为起始点，二次回路内设置单个接地点，根据回路情况选择点位位置，并在图纸上标明接地点位置，具体采取软铜线和接地铜排压接方式。例如，电流回路有多组互感器组合形成、存在电气联系时，以保护屏柜内部接地铜排作为接地点位置，使用电缆连通中心线和控制室内零相小母线，小母线采取一点接地方式，无须在设备区域内对其他互感器二次回路中性点进行接地处理。如果缺乏公用零相小母线，可以选择额外设置端子排，内部引入各条回路，再进行一点接地处理。而在电流互感器保持独立状态、不与其他互感器存在电气连接时，则把户外端子箱内接地铜排作为接地点位置。此外，如果交流二次回路内部配置高压电容器组等设备，则在等电位接地网铜排上设置接地点。

(下转第 84 页)

表2 电能计量装置（无电无负荷）接线正误判定时间统计表

编号	统计对象	万用表（通灯）判定时间/min	凭经验直观判定时间/min	新型仪器判定时间/min	统计日期
1	王师傅	25（知道但很少做）	10	<4	2014-01
2	杨师傅	25（知道但很少做）	12	<4	2014-01
3	刘师傅	30（知道但不会做）	15	<5	2014-01
4	哲师傅	35（不会做）	15	<4	2014-01
5	杜师傅	30（知道但不会做）	14	<5	2014-01
6	付师傅	35（不会做）	15	<5	2014-01

中级工及以上的人员均能进行正确操作。（2）用新型仪器实施后判定时间缩短为平均时间不足 5 min。

（上接第 26 页）

2.6 二次电缆屏蔽层接地

在二次电缆屏蔽层接地环节，当前主要采取单端接地、双端接地 2 种方式，接地效果略有不同。其中，单端接地是在被控设备位置保持一端电缆悬浮状态，在计算机控制器或是其他二次设备部位对另一端电缆进行接地处理，后续如果在地网内进入大电流，凭借接地网高阻抗特性，可以在短时间内衰减入地电流，把屏蔽电缆接地点部位的实际感应电压控制在可承受范围内，但也存在抗电磁干扰效果差的局限性，主要用于减轻高频雷电流对二次系统造成的影响。双端接地强调通过等电位连接手段来控制屏蔽层两端电位差，具备良好抗电磁干扰性能，但在雷电流侵入地网时会产生干扰电压^[5]。正常情况下，在变电站内部对全部控制电缆屏蔽层采取双端接地方式，以截面积超过 4 mm² 的多股软铜线作为接地线，一端和电缆屏蔽层进行焊接连接，另一端和保护屏内接地铜排进行压接处理。此外，为改善电缆屏蔽层接地效果，避免接地功效发挥受限，还应额外采取站内二次电缆辐射状分布、二次电缆和母线保持安全间距、降低接地网与设备接地引下线接地电阻值、电缆屏蔽层接地点远离避雷器接地点等多项防护措施。

3 结束语

针对目前计量接线检测手段和装置存在的不足，本文开展电能计量装置接线正误检测仪的研究，具备 3 大特点：（1）不依赖于无外电源即可实现接线正误的检测；（2）检测步骤得以固化，作业方法标准化，不过分依赖人员技能水平；（3）能快速找出错误并指导纠错，检测时间短。

参考文献

- [1] 程倩颖. 电力计量智能表检验检测存在的问题探讨[J]. 通信电源技术, 2018, 35(7): 243-244, 246.
- [2] 林啸威. 电力计量的准确性及提升方式研究[J]. 建材与装饰, 2019(23): 263.
- [3] 郭伟. 浅析电力计量装置的故障与检测技术[J]. 科技创新与应用, 2014(35): 156.

作者简介

王衍（1994—），男，本科，助理工程师，长期从事工程管理工作。

（责任编辑：刘艳玲）

3 结束语

综上所述，变电站运行受到多方面因素影响，其中二次系统干扰问题突出，须积极落实等电位接地网、户外端子箱等电位接地、二次设备等电位接地多项应用策略，根据项目情况制定科学合理的继电保护二次系统接地技术方案，切实满足现代变电站项目建设需要，最大限度强化继电保护二次系统的抗干扰性能和运行稳定性。

参考文献

- [1] 张勇. 变电站继电保护二次系统接地技术方案研究[D]. 华北电力大学, 2012.
- [2] 李国军. 变电站继电保护二次系统接地技术方案探究[J]. 中国高新技术企业, 2016, 387(36): 189-190.
- [3] 马骁. 变电站继电保护二次系统接地技术分析[J]. 大众用电, 2021, 36(8): 74-75.
- [4] 宁健. 智能变电站继电保护二次回路可视化技术[J]. 电工技术, 2022(9): 149-150+153.
- [5] 姜修阳. 智能变电站二次继电保护关键技术的应用[J]. 光源与照明, 2022(9): 108-110.

作者简介

戚菁菁（1991—），女，硕士研究生，工程师，研究方向为电机控制。

（责任编辑：刘艳玲）