

变电站二次回路电缆屏蔽层接地方式探讨

杨广智

嘉泽新能源股份有限公司 宁夏 银川 750001

【摘要】：变电站二次回路电缆屏蔽层的合理接地是保障电力系统稳定运行的关键环节，其接地方式直接影响二次回路抗干扰能力与设备运行安全性。明确不同接地方式的适用场景与技术要点，优化接地方案选择，可有效降低电磁干扰对二次设备的影响，规避故障隐患。从接地原理出发，分析不同接地方式的技术特性，探究影响接地效果的关键因素，提出适配不同运行工况的接地优化策略，为变电站二次回路电缆屏蔽层接地系统的科学构建提供技术支撑。

【关键词】：变电站；二次回路；电缆屏蔽层；接地方式；抗干扰

DOI:10.12417/2705-0998.25.24.059

1 变电站二次回路电缆屏蔽层接地的核心作用与技术要求

1.1 电缆屏蔽层接地的核心防护作用解析

电缆屏蔽层接地的核心价值在于有效抑制电磁干扰，保障二次回路信号传输稳定准确。变电站内高压设备与大电流导体运行时产生强电磁辐射，形成复杂电磁环境，若电缆缺乏有效屏蔽防护，电磁信号易侵入导致二次信号失真、叠加干扰，影响继电保护等设备正常工作。合理接地可使屏蔽层形成闭合等电位体，将外部电磁感应产生的感应电流导入大地，避免形成内部干扰场，同时降低电缆自身电容与电感不平衡性，减少信号传输衰减畸变，为二次回路运行构建可靠电磁防护屏障。

1.2 不同运行工况下的接地技术标准

不同运行工况对二次回路电缆屏蔽层接地提出差异化技术标准，核心围绕接地电阻、连接方式及屏蔽层完整性等指标。常规稳态工况下，需控制接地电阻在合理范围，确保感应电流顺畅导入，避免屏蔽层电位升高产生二次干扰。靠近高压母线等强干扰源的回路，需采用更严格的多点协同接地标准强化高频干扰抑制^[1]。潮湿、高温等恶劣环境下，接地系统需具备防腐防潮耐高温性能，端子与连接部位需特殊防护。承载重要保护信号的关键回路，还需满足冗余设计标准，保障单点接地故障时防护功能不中断。

1.3 接地系统与二次回路的协同适配要求

接地系统与二次回路的协同适配是保障防护效果的关键，需在结构设计、参数匹配、运行特性上形成良好协同。结构设计层面，接地敷设路径需避开信号传输路径，端子设置与二次设备接线端口合理匹配，减少引线长度与弯曲次数以降低电感影响。参数匹配层面，接地系统等效电容、电感需与回路阻抗特性适配，确保对不同频率电磁干扰均能有效抑制。运行特性层面，接地系统需具备与回路一致的动态响应能力，遭遇雷击等暂态干扰时快速导走电流，避免暂态电压损坏二次设备。

2 变电站二次回路电缆屏蔽层常见接地方式及特性分析

2.1 单端接地方式的结构特点与适用场景

单端接地是将电缆屏蔽层一端与接地系统可靠连接、另一端悬空的接地形式，核心特点是形成单一电流泄放路径，避免两端电位差产生环流。其优势在于可有效规避两端接地时，因屏蔽层与大地电位差形成的感应环流——该环流既消耗能量，还会产生附加磁场干扰二次回路信号。此方式适用场景明确，主要用于电缆较短、电磁环境简单的二次回路，兼具施工简便、成本低的特点，如变电站同设备室间二次回路及对信号精度要求不高的辅助监测回路均适用。

2.2 双端接地方式的技术优势与应用限制

双端接地通过将电缆屏蔽层两端均可靠接入接地系统，形成双向电流泄放通道，核心优势是电磁干扰抑制效果显著，适配强干扰环境与长距离电缆传输场景。长距离传输中，其可通过闭合回路快速导走电缆全长感应电流，克服单端接地远端抑制力不足的问题；强干扰环境下可降低屏蔽层电位波动，避免单点接地失效导致防护中断。但该方式存在应用限制，两端接地系统存在电位差时会产生环流干扰二次信号，故仅适用于两端接地电位基本一致的场景，且对施工工艺要求较高，需保障两端连接的可靠性与一致性。

2.3 交叉互联接地方式的核心原理与实施条件

交叉互联接地方式是针对长距离、多段电缆连接的二次回路设计的接地形式，其核心原理是通过将多段电缆的屏蔽层进行交叉连接，并在特定节点设置接地，使屏蔽层形成分段式的等电位体，既避免了长距离双端接地产生的环流问题，又保障了整体的抗干扰效果。具体而言，将长距离电缆分为若干段，每段电缆的屏蔽层两端分别与相邻电缆的屏蔽层交叉连接，然后在整个电缆线路的首端、末端或中间节点设置一个或多个接地端。这种结构可使各段电缆屏蔽层上的感应电流相互抵消，大幅降低环流产生的可能性，同时通过接地端将剩余感应电流导入大地。交叉互联接地方式的实施条件较为严格，需确保电

缆分段合理,每段电缆的长度与阻抗特性基本一致,以保证感应电流的均衡抵消^[2]。交叉连接部位需采用专用的连接器件,确保连接的可靠性与屏蔽层的完整性,避免因连接不良导致屏蔽失效;该接地方式仅适用于长距离、多段敷设的二次回路电缆,例如变电站与远端测控终端之间的长距离通信电缆,普通短距离回路采用该方式则会增加施工复杂度与成本。

3 变电站二次回路电缆屏蔽层接地现存问题及成因探究

3.1 接地方式选型与工况不匹配问题剖析

接地方式选型与实际运行工况不匹配是当前变电站二次回路电缆屏蔽层接地中较为突出的问题,该问题直接导致接地防护效果下降,甚至引发二次设备故障。部分变电站在进行接地设计时,未充分考量二次回路的电缆长度、传输信号类型、周边电磁环境等关键工况因素,盲目采用单一的接地方式。在长距离、强电磁干扰的二次回路中,错误采用单端接地方式,导致电磁干扰抑制不足,二次信号失真严重,影响继电保护装置的正常动作^[3]。反之,在短距离、弱电磁环境的回路中,采用复杂的双端接地或交叉互联接地方式,不仅增加了施工成本与维护难度,还可能因两端电位差产生环流,引入新的干扰。造成这一问题的核心成因在于接地设计环节缺乏对工况的系统性分析,设计依据过于单一,未结合具体回路的运行特性制定针对性的接地方案。部分运维人员对不同接地方式的适用条件认知不足,在后期改造或维护中未能根据工况变化及时调整接地方式。

3.2 接地连接部位接触不良的成因与影响

接地连接部位接触不良是导致接地系统失效的常见诱因,其成因涉及施工工艺、材料质量、环境影响等多个方面。在施工过程中,若接地端子的紧固力矩不足、屏蔽层与端子的连接面处理不当,会导致连接部位的接触电阻增大,影响电流的顺畅泄放。部分施工中使用的接地端子、连接螺栓等材料质量不达标,材质的导电性能与耐腐蚀性能较差,长期运行后易出现氧化、锈蚀现象,进一步加剧接触不良问题。变电站内部的潮湿、多尘、高温等恶劣环境,会加速接地连接部位的老化与损坏,尤其在户外或半户外区域,雨水侵蚀、温差变化会导致连接部件出现松动、密封失效等问题。接地连接部位接触不良会直接影响接地系统的稳定性,当遭遇电磁干扰或暂态过电压时,接触不良的部位会产生较大的电压降,导致屏蔽层电位升高,无法有效将干扰电流导入大地。这不仅会降低二次回路的抗干扰能力,还可能使二次设备承受过高的暂态电压,引发设备损坏或误动作。

3.3 复杂电磁环境下接地防护失效的诱因

在复杂电磁环境下,变电站二次回路电缆屏蔽层接地防护易出现失效问题,其诱因主要包括电磁干扰频率超出接地系统

抑制范围、接地系统结构设计未适配复杂电磁环境等。随着电力系统的不断发展,变电站内的电力电子设备数量大幅增加,这些设备运行时会产生大量高频电磁干扰,而传统的接地系统主要针对低频电磁干扰设计,对高频干扰的抑制能力有限。当高频电磁干扰作用于电缆屏蔽层时,接地系统的等效阻抗会显著增大,导致感应电流无法及时泄放,进而侵入二次回路造成干扰。复杂电磁环境下,多个干扰源产生的电磁信号会相互叠加,形成复杂的干扰场,若接地系统的敷设路径未避开干扰源的辐射方向,或接地端子的设置位置不合理,会导致接地系统自身成为干扰信号的传导路径,加剧二次回路的干扰问题。部分变电站的接地网设计不完善,接地电阻分布不均,在复杂电磁环境下会出现局部电位升高现象,破坏屏蔽层的等电位状态,导致接地防护失效。

4 变电站二次回路电缆屏蔽层接地优化方案与实施路径

4.1 基于工况适配的接地方式选型优化策略

基于工况适配的接地方式选型优化,需以二次回路的实际运行特性为核心依据,构建多维度的选型评估体系。针对电缆长度这一关键工况参数,明确不同接地方式的适用阈值,短距离回路优先采用单端接地方式,兼顾经济性与防护效果;长距离回路则根据电磁环境复杂度,选择双端接地或交叉互联接地方式。结合传输信号的类型进行选型,对于继电保护、精确测量等对信号精度要求高的回路,优先采用双端接地或交叉互联接地方式,强化抗干扰能力;对于辅助监测等对精度要求较低的回路,可采用单端接地方式降低成本。充分考量周边电磁环境,在强干扰区域采用双端接地并增设屏蔽加强层,在弱干扰区域简化接地结构。实施过程中,需先对二次回路的工况参数进行全面排查梳理,建立工况数据库,再根据选型体系逐一匹配最优接地方式,确保接地方式与工况的精准适配。

4.2 接地连接结构的强化与防护升级措施

接地连接结构的强化与防护升级,需从施工工艺、材料选择、防护设计三个维度开展。施工工艺方面,规范接地端子的连接流程,采用力矩扳手确保紧固力矩达标,对屏蔽层与端子的连接面进行打磨、镀锡处理,降低接触电阻。针对不同类型的电缆屏蔽层,采用对应的连接方式,金属屏蔽层采用压接或焊接,确保连接的可靠性与导电性^[4]。材料选择方面,选用导电性能优良、耐腐蚀、耐高温的接地端子、连接螺栓等材料,优先采用铜质或镀银材质的连接部件,避免使用劣质金属材料。防护设计方面,对户外及潮湿环境中的接地连接部位增设密封防水罩与防腐涂层,防止雨水侵蚀与氧化锈蚀;在高温区域采用耐高温的绝缘防护材料,避免防护层老化失效。建立定期检查维护机制,对连接部位的紧固状态、腐蚀情况进行常态化监测,及时处理松动、锈蚀等问题,确保接地连接结构长期

稳定可靠。

4.3 复杂环境下接地系统的抗干扰增强方案

针对复杂电磁环境下的接地防护需求,需构建多层次的抗干扰增强方案,提升接地系统对不同频率干扰的抑制能力。优化接地系统的结构设计,采用多分支接地网形式,缩短接地引线长度,减少引线电感,提升对高频干扰的泄放能力。在接地网的关键节点增设高频接地电容,形成低阻抗的高频泄放通道,增强对高频电磁干扰的抑制效果。在二次回路电缆的屏蔽层外侧增设辅助屏蔽层,采用双重屏蔽结构,辅助屏蔽层两端接地,主屏蔽层根据工况采用单端或双端接地,通过双重防护提升抗干扰能力。合理规划接地系统与干扰源的相对位置,将接地网敷设路径避开高压设备、大电流导体等强干扰源的辐射范围,减少干扰信号的耦合。引入接地阻抗优化技术,通过调整接地网的敷设深度、增加接地极数量等方式,降低接地系统的等效阻抗,确保在复杂电磁环境下,接地系统仍能稳定发挥防护作用。

5 变电站二次回路电缆屏蔽层接地方式的实践验证与适配建议

5.1 不同接地方案的实践应用效果验证

不同接地方案的实践效果验证需结合模拟试验平台与现场试点应用开展。模拟试验平台需还原变电站多样运行工况与电磁环境,选取典型二次回路电缆,搭建单端、双端及交叉互联接地试验模型,通过注入不同频率和强度的电磁干扰信号,监测信号传输质量、屏蔽层感应电流与电位变化等关键指标,评估抗干扰效果与稳定性。现场试点选取不同工况二次回路,采用优化方案改造后持续监测运行状态,记录设备动作准确性、信号失真率等数据验证适配性。验证过程需建立统一评估标准,对比分析试验与现场数据,明确不同方案工况适配差异,为方案优化提供实践支撑。

参考文献:

- [1] 王宇澄.变电站继电保护二次回路干扰因素分析及接地技术应用研究[J].电力设备管理,2025,(17):10-12.
- [2] 杨明飞.变电站二次回路抗干扰措施分析与改进[J].电力设备管理,2025,(13):22-24.
- [3] 董志伟.变电站二次系统传导电磁骚扰模式分析与抑制方法研究[D].华北电力大学(北京),2024.
- [4] 黄秀娟,席钰佳,王连庆,等.变电站消防系统典型二次回路解析和改进措施探索[J].电工技术,2024,(05):127-130.
- [5] 李青,车薪,邓辉.变电站二次回路及继电保护调试技术探讨[J].低碳世界,2023,13(11):79-81.

5.2 基于系统特性的接地方式适配准则

基于系统特性的接地方式适配准则,需结合二次系统整体运行特性明确选型、实施与维护核心要求。选型层面需综合考虑电压等级、负荷特性、信号传输速率等参数,高压二次系统优先采用双端或交叉互联接地,低压辅助系统可选用单端接地,高速信号传输回路需强化屏蔽与接地设计保障信号完整^[5]。实施层面,接地系统敷设需与二次系统接线布局协调,避免接地引线与信号线缆平行敷设减少干扰耦合,接地电阻取值需契合系统绝缘与抗干扰需求。维护层面需建立与二次系统维护周期匹配的检查机制,检修升级时同步检测接地系统,及时处理适配问题。

5.3 接地系统长期稳定运行的维护要点

接地系统长期稳定运行的维护要点涵盖常态化监测、定期检修与故障处置。常态化监测需借助专业仪器,持续监测接地电阻、连接部位接触电阻及屏蔽层完整性等关键指标,建立数据档案并通过趋势分析预判潜在故障,户外、潮湿等特殊环境需增加监测频次,重点关注腐蚀、松动等问题。定期检修按既定周期开展,紧固接地端子与螺栓,更换老化锈蚀部件,修复更新防护涂层与密封装置,严格遵循施工规范保障性能。故障处置需建立快速响应机制,及时排查定位故障并采取针对性措施,同时强化人员培训保障维护专业性。

6 结语

本文围绕变电站二次回路电缆屏蔽层接地方式展开系统探讨,深入分析了单端、双端及交叉互联等接地方式的技术特性与适用场景,剖析了接地选型失配、连接不良等现存问题及成因,提出了工况适配的选型优化、连接结构强化、复杂环境抗干扰增强等针对性方案,并明确了实践验证路径与长期维护要点。研究成果为变电站二次回路接地系统的科学构建提供技术支持,可有效提升二次系统抗干扰能力与运行可靠性,对保障电力系统整体安全稳定运行具有重要现实意义。