

水电站主变压器过电压保护与防雷措施探讨

韩 敏

陕西省引汉济渭工程建设有限公司 陕西 西安 710024

摘 要：过电压与雷击是水电站主变压器面临的两大主要威胁。本文详细探讨了水电站主变压器的过电压保护机制及防雷策略，通过深入分析过电压的成因、影响以及防雷的重要性，提出了一系列具体且实用的保护措施和防雷方案。这些建议和策略旨在最大限度地减少过电压和雷击对水电站主变压器的潜在危害，从而确保水电站的安全、高效运行。

关键词：水电站；主变压器；过电压保护；防雷策略

引言

水电站作为清洁、可再生的能源供应方式，在全球能源结构中占据重要地位。主变压器作为水电站电能转换与传输的核心设备，其稳定运行对保障电力供应的连续性和稳定性至关重要。然而，过电压和雷击等外部因素常常对主变压器的正常运行构成威胁。因此，本文将对水电站主变压器的过电压保护和防雷措施进行深入探讨，以期为提升水电站运行的安全性和可靠性提供有益的参考。

1 水电站主变压器过电压的成因及影响

1.1 水电站主变压器过电压的成因

1.1.1 内部过电压

内部过电压主要包括操作过电压和谐振过电压。操作过电压是在开关设备操作过程中产生的，特别是在断路器合闸或分闸的瞬间。这种过电压的形成与电力系统的暂态过程紧密相关，当断路器动作时，系统中的电流和电压会发生突变，导致过电压的产生。这种过电压虽然持续时间较短，但峰值可能很高，对主变压器的绝缘系统构成威胁。另一方面，谐振过电压则是由于电气系统中的电感、电容等元件在特定频率下发生谐振而产生的。当系统中的感抗和容抗相等时，就会发生谐振，导致电压和电流的异常放大。这种过电压可能持续较长时间，且具有较高的幅值，对主变压器的安全运行同样构成严重威胁。

1.1.2 外部过电压

外部过电压主要由雷电引发，这是一种不可忽视的自然现象对水电站设备安全运行的威胁。当雷电击中水电站设施或其周边区域时，会瞬间产生极为强烈的电磁场和巨大的电流冲击。这种冲击能量极高，远远超出主变压器等电气设备的正常承受范围。因此，雷电击中会直接导致主变压器产生过电压，这种过电压的幅值和持

续时间都可能对设备造成严重的损害。

1.2 过电压的影响

过电压对水电站主变压器的影响不容忽视。这种电压异常升高会严重损害主变压器的绝缘系统，导致绝缘材料加速老化，绝缘性能下降，从而增加了设备故障的风险。更为严重的是，过高的电压可能直接引发绝缘击穿，造成设备短路或停电等严重后果。除了对绝缘系统的破坏，过电压还可能导致主变压器内部元件的损坏。例如，绕组在高电压的作用下可能发生变形，这不仅影响变压器的正常运行，还可能引发更严重的故障。同时，铁芯也可能因过电压而饱和，导致变压器性能下降，效率降低^[1]。因此，过电压对主变压器的影响是多方面的，不仅可能损坏设备的关键部件，还可能对整个水电站的安全稳定运行构成威胁。为了防范这些潜在风险，必须采取有效的过电压保护措施，确保主变压器在安全的电压范围内运行。

2 水电站主变压器的过电压保护措施

2.1 装设过电压保护设备

2.1.1 避雷器

为了确保水电站主变压器免受过电压的损害，装设过电压保护设备是至关重要的。其中，避雷器是过电压保护中的关键组件，其主要功能在于限制雷电过电压和操作过电压对主变压器的影响。在主变压器的高压侧和低压侧分别安装避雷器，可以为主变压器提供全面的过电压保护。当雷电击中水电站或附近区域时，避雷器能够迅速将过高的电压引导至大地，从而防止雷电过电压对主变压器造成损害。同时，在操作过电压发生时，避雷器也能起到限制电压升高的作用。在选择避雷器时，必须根据主变压器的额定电压、额定电流以及雷电冲击耐受电压等关键参数进行精确匹配。这是因为不同类型的避雷器具有不同的保护特性和电压承受能力。通过精

确选择,可以确保避雷器在过电压事件发生时能够有效动作,为主变压器提供最大程度的保护。此外,避雷器的安装位置也至关重要,应确保其能够有效覆盖主变压器的各个关键部位,以实现全面的过电压保护。

2.1.2 电容器组

电容器组在水电站主变压器的过电压保护中扮演着重要角色。通过合理配置电容器组,可以有效抑制电气系统中可能产生的谐振过电压。谐振过电压是由于系统中的电感、电容等元件在某些频率下发生谐振而引发的,它可能对主变压器和其他电气设备造成损害。电容器组的选择必须根据电气系统的实际情况进行,这包括系统的电压等级、容量需求、谐波状况等多个方面。合适的电容器组不仅能够提供必要的无功补偿,还能有效调节系统的阻抗特性,从而降低谐振发生的可能性。此外,电容器组的投切策略也至关重要。不当的投切操作可能引发系统振荡,进而产生谐振过电压^[2]。因此,必须根据电气系统的实时运行数据和历史记录,制定出科学合理的投切计划,确保电容器组的平稳运行,并有效避免谐振过电压的产生。通过这种方式,电容器组能够在保障水电站主变压器安全运行中发挥重要作用。

2.2 优化电气系统设计

2.2.1 合理安排投切顺序

在水电站电气系统的设计中,合理安排设备投切顺序是优化系统、减小操作过电压幅值的关键环节。投切顺序的不合理可能引发电压突变,进而产生操作过电压,对主变压器等电气设备造成潜在威胁。以断路器分闸操作为例,这一过程中若处理不当,可能会产生较高的过电压。为了降低这种风险,应先断开电容器组等容性负载。这样做可以有效减小断路器断口间的恢复电压,进而降低操作过电压的幅值。恢复电压是指在断路器断开后,由于电路中电感、电容等元件的储能作用,断口间产生的电压。通过先断开容性负载,可以减小这部分储能,从而降低恢复电压和相应的操作过电压。此外,在电气系统的整体设计中,还应综合考虑各种设备的电气特性、运行方式以及相互之间的关联影响。通过科学合理的布局和规划,可以进一步优化电气系统,提高其对过电压的抵御能力,确保水电站的安全稳定运行。

2.2.2 采用合适的控制方式

在水电站电气系统的设计中,采用合适的控制方式对于减小系统在启动和停止过程中产生的过电压至关重要。传统的电气控制方式可能在设备启动或停止时引发电压突变,导致过电压的产生,这对电气设备和系统的稳定运行构成了潜在威胁。为了有效应对这一问题,

现代水电站越来越多地采用先进的控制方式,如软启动和软停止技术。软启动技术通过逐步增加设备的运行电压和电流,使得设备能够平稳地从静止状态过渡到正常运行状态,避免了启动时的电压冲击。同样,软停止技术则通过逐步降低设备的运行参数,实现设备的平稳停机,减少了停机过程中可能产生的过电压^[3]。这些先进控制方式的实现,通常依赖于微处理器控制和电力电子技术。通过精确控制设备的启动和停止过程,可以显著降低过电压的风险,同时也有助于延长设备的使用寿命,提高水电站的整体运行效率。

3 水电站的防雷措施

3.1 完善接地系统

接地系统在水电站防雷措施中占据着举足轻重的地位,其有效性直接关系到雷电电流能否被迅速且安全地导入大地,从而保护水电站内的电气设备免受雷电冲击。为了提升接地系统的性能,首要任务是降低接地电阻,这样可以确保雷电电流更加顺畅地泄入大地,减少对电气设备的潜在威胁。在实现这一目标的过程中,可以采用多种接地方式并用的策略。自然接地体,如水电站附近的水体、金属管道等,都是极佳的雷电电流传导路径。利用这些自然存在的导体,不仅能够有效地降低接地电阻,还能减少人工接地体的建设成本。然而,自然接地体往往受到地理位置和环境条件的限制,因此,人工接地体的建设同样不可或缺。人工接地体,如精心设计的接地网和接地极,能够提供更加稳定和可靠的雷电电流泄放通道。在设计人工接地体时,应充分考虑土壤电阻率、接地体的形状和尺寸、以及接地体与周围环境的相互作用等因素。通过科学合理的布局和选材,可以显著提高接地系统的导电性能,确保雷电电流能够迅速且均匀地分散到大地中。除了自然接地体和人工接地体的优化设计外,还可以考虑采用降阻剂、离子接地棒等新型材料和技术来进一步提升接地系统的性能。这些材料和技术的应用,能够有效地降低土壤电阻率,提高接地体的导电性能,从而增强整个接地系统的雷电泄放能力。

3.2 加强线路防雷保护

3.2.1 安装线路避雷器

为了有效防止雷电波对水电站主变压器造成损害,加强线路防雷保护是至关重要的。其中,安装线路避雷器是一项关键措施。线路避雷器的主要功能是限制雷电过电压的幅值,并将雷电电流引导至安全路径泄放,从而防止雷电波侵入主变压器,确保电气设备的稳定运行。在选择避雷器时,必须考虑线路的额定电压、传输

容量以及雷电活动的频繁程度等因素。同时,避雷器的响应时间、残压水平以及通流容量等关键参数也应符合线路保护的要求。安装位置的选择同样重要。一般来说,避雷器应安装在线路入口处,这样可以最大限度地减少雷电波对主变压器的影响^[4]。此外,根据线路的实际情况,如线路长度、走向以及周围环境等,还可以在线路的关键节点增设避雷器,以提供更加全面的防雷保护。

3.2.2 定期检查和维护线路

线路的定期检查和维护是水电站防雷措施中不可或缺的环节。通过对线路进行细致全面的检查,可以及时发现并处理存在的隐患和问题,确保线路始终处于良好的运行状态,从而降低雷电对线路及主变压器的影响。在检查过程中,应重点关注线路的绝缘状况、连接是否紧固、是否存在破损或老化现象等。对于发现的任何问题,如绝缘层破损、连接松动或锈蚀等,都必须立即进行处理和修复。修复工作应严格按照相关标准和规范进行,确保修复后的线路能够满足防雷和电气安全的要求。此外,定期维护同样重要。维护工作包括但不限于清理线路表面的污垢和杂物、紧固松动的连接、更换老化的部件等。这些工作旨在保持线路的最佳状态,提高其防雷能力和电气性能。

3.3 合理配置防雷设备

在水电站的防雷措施中,合理配置防雷设备并保障其良好工作状态是至关重要的。防雷设备,如避雷针、避雷带等,是防止雷电直接击中建筑物或设备的关键屏障,它们能够有效地引导雷电电流安全泄入大地,从而保护水电站内的电气设备和人身安全。在配置防雷设备时,必须充分考虑水电站的地理位置、气候条件、建筑物结构以及电气设备的布局等多个因素。例如,避雷针应安装在建筑物的最高点或易受雷电攻击的位置,以确保其能够在雷电活动时首先吸引雷电电流,并将其引入地下。同时,避雷带的设置也需根据建筑物的结构和电气设备的分布进行合理规划,以形成一个完整的防雷保护网。除了合理配置防雷设备外,定期的检测和维护同

样重要。由于雷电活动的不可预测性和防雷设备长期暴露在恶劣环境中的特点,防雷设备可能会出现老化、损坏或性能下降等问题。因此,水电站应制定详细的检测和维护计划,定期对防雷设备进行全面检查。这包括检查避雷针、避雷带的连接是否紧固、有无锈蚀或断裂现象,以及接地电阻是否符合标准等。在检测过程中,一旦发现防雷设备存在问题或隐患,必须立即进行处理和修复。对于损坏严重的设备,应及时更换,以确保防雷系统的完整性。同时,水电站还应建立完善的防雷设备档案,记录设备的安装时间、检测和维护情况等信息,以便随时掌握防雷设备的运行状态。

结语

水电站主变压器的过电压保护与防雷措施是确保水电站安全稳定运行的关键环节。本文通过深入研究过电压的成因、影响以及防雷的重要性,提出了一系列具体且实用的保护措施和防雷方案。这些建议和策略的实施将有助于提高水电站主变压器的抗干扰能力和防雷性能,为水电站的安全运行提供有力保障。展望未来,随着科技的不断进步和新能源技术的快速发展,水电站主变压器的过电压保护和防雷措施将面临新的挑战 and 机遇。因此,我们需要继续加强过电压保护和防雷技术的研究与创新,不断探索新的保护方法和防雷手段,以适应水电站发展的需求并确保电力系统的稳定运行。同时,加强与国际同行的交流与合作也是推动该领域发展的重要途径之一。

参考文献

- [1]王秋扬.水电站电气过电压保护技术分析[J].科技风,2020,(9):191-192.
- [2]邵治程,邓廷明,邵星浩.基于水电站电气过电压保护技术的应用分析[J].电力系统装备,2022,(2):45-47.
- [3]薛美娟.水电站过电压相关问题及保护探讨[J].光源与照明,2021,(12):126-128.
- [4]何奇锐.配电系统运行中防风及防雷维护策略的研究[D].广州:广东工业大学,2019.