

关于城市建筑电力电网防雷电安全技术的探索

杜学治

河北建工集团有限责任公司, 河北 石家庄 050000

[摘要] 随着电力系统的不断发展和城市化进程的加速, 电力电网作为现代社会的基础设施之一, 承担着供电稳定、能源传输的关键任务。然而, 在电力系统运行中, 雷电活动带来的问题一直是供电网系统安全稳定性的威胁。为了应对雷电对电力系统的潜在威胁, 电力电网防雷电安全技术成为当前研究的焦点之一。

[关键词] 电网; 防雷安全技术; 雷击

DOI: 10.33142/ec.v7i2.11088

中图分类号: TM862

文献标识码: A

Exploration on Lightning Protection and Electrical Safety Technology for Urban Building Power Grid

DU Xuezhi

Hebei Construction Engineering Group Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: With the continuous development of the power system and the acceleration of urbanization, the power grid, as one of the infrastructure of modern society, undertakes the key tasks of stable power supply and energy transmission. However, in the operation of the power system, the problems caused by lightning activities have always been a threat to the safety and stability of the power grid system. In order to address the potential threat of lightning to the power system, lightning protection and electrical safety technology in the power grid has become one of the current research focuses.

Keywords: power grid; lightning protection safety technology; lightning strike

引言

雷电是大气中的一种自然放电现象, 其产生的强大电场和电流波动给电力设备和输电线路带来严重的损害风险。雷电活动会导致输电线路的过电压, 进而引发设备损坏、供电中断等问题。特别是在极端天气频繁发生的地区, 雷电对电力系统的威胁更为显著。为了提高电力系统的抗雷能力, 需研究电力电网防雷电安全技术, 制定科学合理的防护策略, 以确保电力系统的持续、安全运行。

1 电力电网运行过程中的雷害

在电力电网的运行过程中, 雷击在输电线路和配电线路的运行中都可能带来潜在的危害。对于输电线路而言, 其绝缘强度一般较高, 因此雷电引起的感应雷过电压较小, 通常不超过 400kV。虽然这种过电压相对较低, 一般不会不会对输电线路的正常运行产生明显的影响。但是如果直接雷击变电站, 就会引发巨大的冲击电流, 会导致电器和电子设备受损。另外, 雷电也可能击中变电站周围的架空线路或金属导体, 导致雷电流沿着金属导体传入室内, 从而对屋内人员或设备造成伤害。对配电线路而言, 由于配电线路通常覆盖范围较大, 其架设所需时间和人力较多, 为了降低成本, 配电线路一般不会通过避雷线架设进行防护, 导致线路的电气强度相对较低。在雷击现象发生时, 电压击穿发生率高。雷击配电线路所导致的过压现象可分为两种: 一是直接雷击线路产生的雷电, 导致导线绝缘子的闪络或击穿等现象, 这种情况较为罕见, 占比不超过总体事

故的十分之一, 因此在直接雷击的防护方法和一般预防措施中并未受到过多关注。相反, 由于感应雷电的极值电压远大于电气设备的耐雷电水平, 可能达到 400kV 左右, 将引起绝缘的闪络或击穿, 此种情况出现概率极高, 因此引起跳闸的可能概率也高。

2 雷电过电压的种类

在输电线路的运行中, 雷电常反击雷和绕击雷两类出现。反击雷的工作原理是雷电作用在杆塔顶端或避雷线上, 产生的雷电流在地面和线路之间流动。通过线路绝缘子的作用, 形成高电位, 产生电位差导致线路跳闸。而绕击雷是雷电作用在大地上, 受到雷电电磁场的直接影响, 导致线路产生过电压, 从而影响线路的正常运行。在输电线路中, 一旦变电站接收到电压和电流, 受到内外介质波阻抗差异的直接影响, 将导致电压和电流波出现明显的折反射现象, 专业领域通常称之为雷电侵入波。雷击后的供电线路平面图如图 1 所示。如果雷电与配电线路存在直接关系, 大多数情况下可能引发绝缘子的沿面放电, 导致跳闸事件^[1]。因此, 在对配电线路的过电压进行计算时, 要对直接雷击过电压进行简单计算。

在城市中, 雷电通常会击中高度较高的建筑物。雷电击中地表时, 形成强大的电磁场, 使架空线路形成 200~400kV 的感应过电压。如果过电压幅值超过绝缘子的耐雷水平, 将引发绝缘子放电、击穿甚至跳闸等问题。图 2 展示了配电线路的雷击平面图。

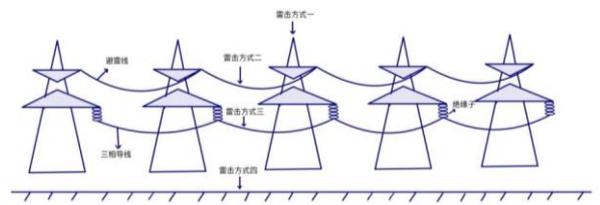


图1 输电线路雷击平面图

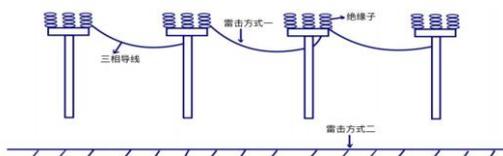


图2 配电线路雷击平面图

3 电力设备的雷电防护技术

3.1 雷电防护基本原理

在雷电防护中，主要依据电磁学原理和电气工程学原理，通过引导雷电流或阻挡雷电流的传播，减缓或阻止雷电对电力系统的影响。为避免设备受到雷击，可采用避雷针等装置将雷电引导至安全区域，减小雷电直接影响的范围。其次，为了减缓雷电过电压的传播，通常采用避雷器等设备，通过迅速导通雷电过电压，将其引至地面，避免过电压对电力设备产生进一步的破坏。在整个雷电防护过程中，通过科学设计和优化地网，可以将雷电过电压有效引导至地下，降低设备绝缘子的电位，从而减缓雷电对设备的冲击。地网的导电性能和布置方式是影响雷电防护效果的关键因素之一。

3.2 高压输电线路的雷电防护技术

3.2.1 避雷针的应用

避雷针作为雷电防护的重要装置，其基本原理是将避雷针安装在高架建筑物、电力塔或其他电力设施的顶部，使其成为雷电的首要目标。一般而言，避雷针的形状通常呈尖锐的尖端，以提高其积聚电荷的性能，促使雷电更容易被引导。此外，合理的避雷针高度能够最大程度地扩大其影响范围，使其成为雷电的首要“吸引点”，从而降低其他设备遭受雷击的可能性。在电力系统中，避雷针通常被安装在高耸的电力塔或建筑物的顶部，确保在雷电活动中，雷电首先击中避雷针，而非其他敏感设备。避雷针的应用可有效地减轻雷电对电力设备造成的直接损害，是电力系统中不可或缺的防护手段之一。

3.2.2 避雷器的选择和安装

在电力系统中，避雷器是一项关键的雷电防护技术，在选择避雷器时，需要考虑多个因素。避雷器的工作电压，应根据设备所需的额定电压以及电力系统的特性来确定；避雷器的放电电流和耐雷电水平，需要根据避雷器在雷电击中时是否能迅速导通，以及导通后是否能稳定工作为准。此外，避雷器的响应时间也是一个关键参数，其选择应保证在雷电来临时，能够迅速响应，将过电压引至地。一般情况下，避雷器应安装在设备的进口位置，以有效防止过电压进入设备内部^[2]。为了提高避雷器的效果，可以考虑

在电力系统中合理配置多个避雷器，以形成全面的雷电防护网络。在实际操作中，避雷器的选择和安装需要根据具体的电力系统要求和设备特性来进行精准的计算和规划。

3.3 变电站的雷电防护技术

3.3.1 金属氧化物避雷器在变电站的应用

金属氧化物避雷器利用金属氧化物的非线性电阻特性，在电压过高时实现迅速导通，将雷电过电压引至地，有效保护变电站设备免受雷电的侵害。在选择金属氧化物避雷器时，首要考虑的是其工作电压范围，以适应变电站设备的额定电压。此外，避雷器的放电电流和耐雷电水平也是重要的选择因素，应根据具体的电力系统要求和设备特性进行合理的匹配。金属氧化物避雷器在工作时能够迅速响应雷电击中，通过引导雷电流将过电压释放至地，起到了可靠的防护作用。在变电站中，金属氧化物避雷器通常安装在电气设备的进口位置，以最大程度地阻止过电压进入设备内部。除了正确选择和配置金属氧化物避雷器外，定期检查避雷器的状态、清除可能的污秽和防护件，可以确保其性能正常，随时准备迎接雷电的挑战。

3.3.2 地网设计和优化

地网设计和优化将设备连接到地下导体，将雷电过电压迅速引导至地，降低设备的电位，从而防止雷电对设备造成损害。在地网的设计中，合理设计的地网应能覆盖整个变电站区域，并保证导体的均匀分布，以提高雷电引导的效果。地网的导体材质也需要谨慎选择，一般采用导电性能较好的材料，如铜或镀铜层，以确保地网的导电效果最大化。低电阻的地网可以更有效地引导雷电流，减小设备的电位升高。通过科学计算和模拟，可以确定合适的地网电阻目标，并采取相应的措施，如增加导体数量或改善导体材料，以优化地网的导电性能。较深的地网能够更好地将雷电引导至地下，降低地网电阻，提高雷电引导的效果。因此，地网的深度设计需要综合考虑地质条件和工程成本等因素，以找到最佳平衡点。定期检查地网的状态和维护地网的清洁度，确保地网的导电性能，从而保障地网在雷电活动中的稳定工作。

4 电力电网防雷安全技术优化策略

4.1 防雷设备的性能评估与改进

防雷设备性能评估不仅要评估设备的基本技术指标，还需考虑其在实际运行中的可靠性、响应速度、适应性等方面。防雷设备的性能评估应从技术指标入手，如避雷针、避雷器、工作电压、放电电流、响应时间等，可以初步判断防雷设备是否符合实际需求。在电力系统中，对于防雷设备而言，可靠性主要体现在其长时间的运行中是否能稳定工作，是否能承受各类环境因素的考验，通过实际运行数据的收集和分析，可以评估设备的寿命和可靠性，为设备的改进提供参考。在雷电活动中，设备的迅速响应是防止过电压传播的关键。通过模拟实验和现场测试，可以评估防雷设备对雷电的响应速度，并根据评估结果调整设备的设计和工作参数，以提高其对雷电的敏感度和响应速度。由于电力系统的运行环境复杂，如气候、湿度、温度等，

防雷设备必须能够适应复杂多变的条件。可以通过在不同环境条件下的实际测试,评估防雷设备的适应性,并在必要时进行改进,以确保设备在各种工作环境中都能有效地发挥作用。防雷设备性能评估的结果需要反馈到设计和制造过程中,进行系统性的改进,包括优化材料的选用、调整设备的结构设计、提高生产工艺等方面。

4.2 雷电监测系统的升级与优化

在不断发展的科技背景下,对雷电监测系统进行升级与优化,以适应日益复杂的电力网络和提高对雷电活动的感知能力,已成为电力系统安全稳定运行的迫切需求。现代雷电监测系统应该配备先进的雷电探测设备,如高灵敏度的雷电探测天线、高速高精度的雷电探测仪器等。引入云计算、物联网等先进技术,构建分布式的监测网络,通过优化通信协议和数据传输方式,提高系统的稳定性和抗干扰能力,确保监测数据的及时传递和处理。引入人工智能和机器学习技术,通过实时更新的数据模型,监测系统能够更准确地识别雷电的特征,并及时发出预警信号,为电力系统提供更加可靠的保护。建立完善的系统维护体系,定期检查设备状态,确保硬件设施的正常运行。同时,设计系统架构时考虑到未来的扩展需求,使系统能够方便地进行功能升级和扩展,以适应电力系统的发展和变化。在实施升级与优化过程中,需要密切关注系统的实际运行情况,通过与电力系统运维人员的深度合作,不断改进系统的性能和用户体验,确保升级后的雷电监测系统能够更好地为电力系统的安全运行提供支持。

4.3 防护策略在不同电网环境中的适应性研究

在不同环境中,防雷策略需要根据实际情况进行灵活调整,以最大程度地提高系统的稳定性和可靠性。在山区、平原、沿海等地形复杂的区域,雷电活动的频率和强度可能存在差异。因此,防护策略需要根据地理环境的特点进行调整。例如,在山区,可以考虑增加避雷针的密度,以提高雷电引导的效果。在沿海地区,由于潮湿的气候可能增加雷电的频率,可采用更灵敏的雷电监测系统和更强大的避雷器^[3]。在高温多雨的气候中,设备可能更容易受到雷电侵害。因此,需要考虑使用更耐腐蚀、耐高温的材料,以延长设备的使用寿命。同时,适时的维护和清理工作也是确保设备长时间有效运行的关键。在负荷波动大的电力系统中,防护策略可能需要更加灵活,能够迅速适应系统负荷的变化。在低负荷时,设备可能更容易受到雷电影响,因此需要加强防护手段。而在高负荷时,系统的稳定性可能更为关键,防护策略需要更加注重对设备的保护,以防止因雷电而引起的设备损坏。随着电力系统的智能化、数字化的推进,新的防护技术和设备不断涌现,需要及时引入并适应到不同的电网环境中。例如,结合人工智能技术的雷电监测系统能够更准确地识别雷电活动,为防护策略的调整提供更多信息。总之,防护策略在不同电网环境中的适应性研究是电力系统安全稳定运行的基础,了解不同环境的特点,结合先进的技术手段,能够制定更为科学、合理的防护策略,确保电力系统在各种复杂条件下都能够可靠运行。

4.4 人员培训和应急响应计划的完善

在雷电活动频繁、极端天气增多的背景下,提高人员应对雷电事故的能力和紧急处理水平至关重要。①人员培训是确保电力系统安全运行的基石。培训涵盖的内容应包括对雷电防护设备的操作、维护和故障排除等方面的知识。操作人员需了解设备的工作原理和性能参数,能够熟练操作各类防雷设备,并在必要时进行紧急处理。同时,培训还需注重人员的安全意识和应急响应能力,使其能够在雷电事故发生时快速做出正确的决策和应对措施。②应急响应计划的完善是电力系统防雷工作的重要组成部分。应急响应计划应明确不同级别的雷电事故的处理流程和责任分工,包括设备运维人员、应急抢险队伍等各方面的参与和协作机制。计划应考虑到不同环境条件下的应对策略,确保在各种复杂情况下都能够迅速有效地进行应急处理。③在应急响应计划中,模拟演练是必不可少的环节。定期组织模拟演练,可以检验应急响应计划的实际可行性,发现并纠正潜在的问题,提高人员的应急响应能力。模拟演练应包括从雷电监测、预警、设备应对、事故处置到事后总结等多个环节,确保人员在实际工作中能够熟练掌握各项技能。④定期的知识培训和技术更新也是人员培训的重要内容。由于雷电防护技术和设备不断发展,人员需要保持对新技术的了解和掌握。定期的培训和学习活动可以确保人员始终保持在业界的领先水平,提高他们解决实际问题的能力。⑤在人员培训和应急响应计划的实施过程中,应建立有效的反馈机制,及时总结演练和实际应对经验,不断优化培训和计划,确保其与实际工作场景的贴合度。

5 结语

电力电网防雷电安全技术的深入研究为确保电力系统的安全稳定运行提供了关键支持。通过分析雷电对输电线路和配电线路的潜在威胁,我们不仅分类了雷电过电压的种类,还介绍了电力设备的多层次防护技术。从高压输电线路到变电站,我们讨论了避雷针、避雷器、金属氧化物避雷器以及地网设计等有效手段。同时,我们强调了防护技术的不断优化,包括设备性能的评估与改进、雷电监测系统的升级与优化,以及在不同电网环境中的适应性研究。在未来的发展中,我们将持续致力于电力电网防雷电安全技术的前沿研究,促进防护策略的创新,确保电力系统始终处于高效、安全的运行状态,共同努力,共创电力系统的安全未来。

[参考文献]

- [1]徐宇骏.实际电网 330kV 输电线路雷击跳闸率分析计算[J].价值工程,2019,38(36):273-274.
- [2]张远龙.农村电网线路与设备的防雷接地技术[J].集成电路应用,2021,38(7):100-101.
- [3]张舒涵.区域电网综合防雷技术研究[D].长春:长春工业大学,2023.

作者简介:杜学治(1990.1—),毕业院校:河北工业大学城市学院,所学专业:电气工程及其自动化,当前工作单位:河北建工集团有限责任公司,职务:职员,职称级别:工程师。