

风电场集电线路雷击防护措施的有效性分析

汪留磊

沙能（上海）技术服务有限公司 上海

【摘要】风电场集电线路作为风力发电的重要组成部分，在雷电天气中容易遭受雷击，从而影响风电场的稳定运行。本文通过对风电场集电线路雷击防护措施的分析，探讨了雷击防护系统在实际应用中的有效性。首先分析了风电场集电线路雷击事故的常见原因，接着对目前主流的防护措施进行评价，并提出针对性的改进建议。通过对不同雷击防护方案的比较和试验数据的分析，本文总结了提高雷击防护效果的关键因素。结合现有技术与工程实际，提出了进一步优化雷击防护措施的方向，为风电场的安全稳定运行提供理论支持。

【关键词】风电场；集电线路；雷击防护；有效性；改进措施

【收稿日期】2025 年 3 月 10 日 **【出刊日期】**2025 年 4 月 11 日 **【DOI】**10.12208/j.jeea.20250122

Effectiveness analysis of lightning protection measures for collector lines in wind farms

Liulei Wang

Shaneng (Shanghai) Technology Service Co., Ltd., Shanghai

【Abstract】 As an important component of wind power generation, the collector lines of wind farms are prone to lightning strikes during thunderstorms, which affect the stable operation of wind farms. This paper explores the effectiveness of lightning protection systems in practical applications by analyzing the lightning protection measures for collector lines in wind farms. First, the common causes of lightning strike accidents in wind farm collector lines are analyzed. Then, the current mainstream protection measures are evaluated, and targeted improvement suggestions are proposed. Through the comparison of different lightning protection schemes and the analysis of test data, this paper summarizes the key factors for improving the effectiveness of lightning protection. Combining existing technologies with engineering practices, the direction for further optimizing lightning protection measures is proposed, providing theoretical support for the safe and stable operation of wind farms.

【Keywords】 Wind farm; Collector line; Lightning protection; Effectiveness; Improvement measures

引言

风能作为清洁、可持续的能源，在全球范围内得到广泛关注，并成为我国能源结构的重要组成部分。集电线路作为风电场的核心部分，其安全性直接影响风电场的稳定性。然而，雷电天气是风电场集电线路面临的主要自然灾害之一，雷击不仅会对风电设备造成严重损害，还可能导致长时间停运和巨大的经济损失。如何有效预防雷击并降低其风险，成为风电场设计与运营中的关键问题。当前，风电场集电线路的雷击防护措施在不同地区得到了不同程度的应用，但其防护效果存在差异。本文将分析现有的雷击防护措施，评估其有效性，并提出改进

建议，为风电行业提供参考，确保风电场的安全与稳定运行。

1 风电场集电线路雷击风险分析

风电场集电线路是将风力发电机组所产生的电能汇集并传输至集电系统的关键部分，通常由导线、支架、连接器等组成。由于风电场多处于空旷、地势较高的区域，这些区域的雷电活动频繁，给集电线路带来了巨大的雷击风险。雷击的发生可能导致电气设备损坏，甚至发生火灾，进而影响风电场的正常运作。雷电放电过程产生的强大电流会通过集电线路传输至风电机组或变电设备，进而影响整个电力系统的稳定性。风电场集电线路的雷击风险是评

估风电场安全性的重要因素。

雷电活动强度、频率与风电场所处的地理环境密切相关。在某些地区,雷电天气的发生频繁且雷击强度较大,这使得集电线路的雷击风险更为严重。位于高海拔或平原地区的风电场,由于地理环境的特殊性,容易受到雷击的影响。气象条件的变化,如气温变化和气流对流,常常是雷电发生的诱因。集电线路的导电性和安装方式也决定了雷电灾害的影响程度^[1]。若线路设计不合理,或者防雷设施不完善,雷电事故发生的概率将显著增加。雷击风险不仅是自然因素的反映,也与风电场的设计和建设质量密切相关。

在实际运行中,风电场集电线路的雷击事故往往会造成一系列连锁反应。雷击对设备的直接损害通常表现为电气设备烧毁、线路短路、设备失效等,这些故障会导致风电机组停机,甚至影响到电网的正常运行。雷击引发的火灾也是风电场的一个严重安全隐患,极端情况下,火灾可能蔓延至风电场其他部分,造成无法挽回的损失。由于风电场通常是分布式的,多个机组停运不仅影响电力供应,还可能造成风电场的经济效益严重受损。评估风电场集电线路的雷击风险,采取相应的防护措施显得尤为重要。

2 当前雷击防护措施的评估与局限性

当前,风电场集电线路的雷击防护措施主要依赖于防雷装置的安装与技术手段的应用。常见的防雷设施包括避雷针、接地系统、浪涌保护器等,这些设施的设计和安装能够有效降低雷击对风电场集电线路的影响。避雷针通过将雷电引导至地面,从而减少集电线路直接遭遇雷击的概率。接地系统通过提供低电阻的路径,将雷电流迅速导入地下,减少雷电对风电设备的危害。而浪涌保护器则用来保护电气设备免受雷电引发的过电压。尽管这些措施在一定程度上能够减少雷电对集电线路的威胁,但它们的防护效果受多种因素的影响,仍存在一定的局限性。

防雷设施的设计往往是根据风电场所处的地理环境与气象条件来定制的,但不同区域的雷电活动强度差异大,使得防雷措施的效果存在显著差距。尤其是在雷击频发和强度较大的地区,现有的防雷系统可能无法承受极端天气条件下的雷电冲击^[2-6]。一些老旧的防雷装置可能因技术不先进或维护不当,导致防护效果不理想,无法有效抵御强雷击。现有防护设施对于频繁雷击的应对能力相对有限,无法

提供持续、有效的防护。在集电线路的长距离传输过程中,雷电可能通过电力系统的连接点传播,造成波及范围较广的损害,现有的防雷设施未必能够完全隔离这些传导效应,导致雷击对风电场造成更大范围的影响。

随着风电行业的发展,风电场的规模逐步扩大,集电线路的长度和复杂度也在增加,这使得防雷措施的实施难度增大。传统的防雷系统主要依赖于局部防护措施,难以做到整体性的雷电防护。风电场的集电线路跨越多个地形区域,部分区域的防雷措施可能较为薄弱,导致防护效果不均衡。部分风电场采用的防雷设施技术尚未达到最新的防护标准,设备更新和维护不足的问题也影响了防雷措施的有效性。要提高防雷效果,不仅需要优化现有的防护系统,还应结合现代化的技术手段,如智能防雷系统与自动监测技术,进一步提升风电场集电线路的雷击防护能力。

3 提高防护效果的技术方案与创新

随着雷击风险对风电场集电线路影响的日益严重,提升防护效果成为风电行业亟需解决的问题。为了提高雷击防护效果,必须从多个角度进行技术创新和方案优化。利用雷电监测系统的实时数据采集和分析,能够精确掌握雷电活动的强度、频率和位置,从而为防雷设施的合理布设提供依据。这类系统能够及时反馈雷电活动的变化,确保防雷装置能够根据实际情况进行调整。结合大数据技术和人工智能算法,风电场可实现更精准的雷电风险预警,提前启动防护措施,大大降低雷击发生的概率。

在防护设备的技术创新方面,超导材料的应用为提高雷击防护效果提供了重要的突破。与传统导电材料相比,超导材料在低温条件下能够实现零电阻,显著提升电流的传导能力,从而减少雷电电流的能量损耗,有效提高集电线路的抗雷击能力。这使得风电场集电线路在遭遇雷击时,能够更好地承受雷电冲击,降低设备损坏的风险。采用新型复合材料或纳米技术制造的避雷针和接地系统,具有优异的耐腐蚀性和抗雷击能力,这些材料能够在恶劣的气候环境下维持稳定性能,延长设备的使用寿命。利用这些先进材料的防雷设施,不仅可以提高防护效果,还能降低维护成本,确保风电场集电线路在长期运行中的稳定性和安全性。

为了应对集电线路长距离传输中雷电波及的风

险,近年来,智能防雷系统逐渐成为风电场防雷领域的创新方向。这类系统结合了自动化控制和智能传感技术,能够在雷击发生时自动检测并进行调整,防止雷电通过线路连接点传播^[7]。智能防雷系统不仅能实现集电线路的动态防护,还能远程监控风电场各个环节的运行状态,及时发现防护设施的故障或异常,从而提高整个防护系统的响应速度和可靠性。通过智能化手段,风电场的雷击防护能力能够得到进一步提升,减少因雷电损害造成的经济损失。

4 风电场集电线路雷击防护的优化建议

风电场集电线路的雷击防护措施亟需进一步优化,以应对日益严峻的雷电灾害风险。针对现有防护体系的不足,优化建议应从多个方面进行系统性提升。防雷设施的设计与实施需要根据风电场所在地区的雷电活动特性进行精准调整。为了提升防雷能力,风电场可以结合气象数据与历史雷电活动记录,开展详细的风险评估,从而合理布设避雷装置和接地系统。对于雷电活动频繁且强度大的地区,应加强防雷设施的覆盖范围,并提高避雷针和接地网的容量,确保防护体系能够在极端雷电环境下依然有效。

在现有防雷设施基础上,风电场集电线路的防护能力还可以通过智能化管理得到提升。引入现代化的智能监控系统可以帮助实时监测雷电活动,并及时反馈集电线路的运行状态。通过部署雷电监测与预警系统,能够提前预测雷击事件,从而提前启动防护措施。这种智能化的防雷方案能够确保风电场在雷电高发季节中减少停机时间,提升防护反应速度。通过对防雷设备进行远程监控,及时发现系统故障或防护设施老化问题,能够大大降低因设备故障导致的损失。

风电场集电线路的防护优化还应注重材料与技术的创新。在防雷系统中,选择高性能的复合材料、纳米材料等新型材料,可以有效提升设备的抗雷击能力。这些新型材料具有更强的抗腐蚀性和导电性,能够在极端气候条件下保持稳定的性能,延长设备的使用寿命^[8]。通过使用更为先进的接地技术,例如高效接地电极和抗雷电流材料,可以进一步提高雷击防护效果。针对长距离集电线路的特殊需求,优化接地网布局,提高地面接地系统的覆盖范围和灵敏度,也是提高防护效果的重要举措。

风电场集电线路的雷击防护需要从设计、技术、材料等多维度进行优化。通过智能化、精细化的防

护方案,加强防雷设施的部署和监控,结合先进的材料与技术,可以显著提高风电场的雷击防护效果。优化后的防护措施将使风电场能够更有效应对雷电灾害,保障电力生产的稳定性和安全性。

5 结语

风电场集电线路的雷击防护是确保风电场安全稳定运行的关键环节。通过对现有防护措施的评价与优化,可以有效提升风电场抵御雷击的能力。智能化管理系统、新型材料和先进技术的应用,为防雷设施的提升提供了新的方向。针对不同地区雷电活动的特点,制定精准的防护方案,能够更好地应对极端气象条件。通过不断创新和优化防护措施,不仅可以降低雷击带来的风险,还能提高风电场的经济效益和长期可持续性。未来,随着技术的不断发展,风电场集电线路的雷击防护将更加完善,进一步保障风电行业的健康发展。

参考文献

- [1] 梁明星,周伟,邓伟伟,等.基于暂态突变量的风电场集电线路故障测距研究[J].自动化应用,2025,66(11):128-131.
- [2] 李俊男.风电场集电线路隐患放电识别特性研究[J].自动化应用,2025,66(09):134-137.
- [3] 王帆,孟锦国,姚新建,等.海上风电场集电线路修复案例分析[J].水电与新能源,2025,39(04):66-68+72.
- [4] 方占跃.混架风电场集电线路故障测距方法研究[J].电气技术与经济,2025,(04):40-43.
- [5] 王鹏程,季亮,任健铭,等.基于零序电压的海上风电场交流集电线路分层故障定位[J].智慧电力,2025,53(03):35-43.
- [6] 范钊祥.风电场集电线路故障预警系统的设计及应用[J].现代工业经济和信息化,2024,14(12):85-88.
- [7] 吴益航.基于时间级差分析的风电场集电线路保护方法[J].电工技术,2024,(24):119-121+129.
- [8] 方占跃.混架风电场集电线路故障测距方法研究[J].电气时代,2024,(12):49-52.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS