

500kV 架空输电线路金具在沿海环境下锈蚀情况分析

徐可凡 秦鑫波 申 信 李 凯 潘荣国

中国南方电网超高压输电公司广州局海口分局 海南海口 570100

摘要: 在本研究中,我们深入探讨了沿海环境对 500kV 架空输电线路金具锈蚀的影响及其管理策略。沿海地区独有的高盐分、湿度和化学气体等环境因素导致金具腐蚀加速,威胁输电安全。针对此,提出了系统的防腐措施,包括材料选用优化、表面保护层应用、寿命预测及维护计划制定。此外,强调了运维监控的重要性和采用新技术以提高金具耐腐蚀性,保障电网稳定运行的必要性。

关键词: 沿海环境;金具腐蚀;氧化机理;防腐措施;输电线路安全

在电力系统的关键组成部分中,500kV 架空输电线路及其金具扮演着至关重要的角色。特别是在沿海环境下,这些金具面临着更为严峻的挑战。沿海地区独有的气候特征,如高盐分、湿度和风蚀条件,对输电线路金具的耐久性构成了显著威胁。这些环境因素导致的金具锈蚀问题,不仅影响了电力传输的可靠性,而且可能导致更严重的安全事故,如断线或金具断裂。本文旨在深入分析 500kV 架空输电线路金具在沿海环境下锈蚀的原因、机理及其对电网安全稳定运行的潜在影响。通过对沿海地区电力金具的腐蚀情况进行系统的调研和实验研究,本研究不仅揭示了金具锈蚀的具体机制,还探讨了不同环境因素对锈蚀过程的影响。此外,本文还将探讨针对这一问题的有效防控措施,以保障输电线路的持久稳定运行。

1. 沿海环境下 500kV 架空输电线路金具的锈蚀原因分析

1.1 500kV 架空输电线路高盐分环境对金具腐蚀的影响

沿海地区的高盐分环境对 500kV 架空输电线路金具的腐蚀影响深远且复杂。海水中的盐分,尤其是氯化物的浓度,是导致这种腐蚀加速的关键因素。这些盐分,通过海风的作用,不仅广泛地分布于金具的表面,还渗透到最微小的缝隙中,从而极大地促进了金属的腐蚀过程。盐分的存在显著降低了金属表面的保护性氧化层的稳定性,使得金具的表面更加容易受到环境因素的侵蚀。盐分在金具表面形成的导电盐膜是腐蚀过程加剧的另一重要因素。这种盐膜不仅加速了腐蚀反应的速度,而且还可能导致腐蚀过程的不均匀性,使得一些区域比其他区域更容易受到损害。在沿海环境中,盐雾氯离子的侵蚀尤为严重,这不仅对金具表面造成持续的化学

攻击,而且还能深入到金具内部的微细结构中,造成内部腐蚀。即使是经过热浸镀锌防腐处理的 0235 钢或 Q345 钢制成的金具,也难以抵御这种剧烈的腐蚀环境,导致它们的实际使用寿命远远低于设计预期的 20 年。高盐分环境下的金具腐蚀不仅局限于表面层,它还能影响金具的整体结构完整性。长期的盐分侵蚀会导致金具出现腐蚀孔洞、裂缝及脆化,这些损伤会削弱金具的机械强度,进而影响整个输电线路的稳定性和安全性。因此,在设计和制造用于沿海环境的输电线路金具时,必须充分考虑这种极端腐蚀环境的影响,采用更为先进和有效的材料及防腐技术,以确保输电线路在恶劣环境下的可靠运行。

1.2 500kV 架空输电线路潮湿气候及其对金属腐蚀的作用

沿海地区的潮湿气候对于 500kV 架空输电线路金具的腐蚀作用不容忽视。高湿度环境中,水蒸气的普遍存在大大加剧了金具的腐蚀过程。在这种环境下,空气中的水分与盐分结合在金具表面,形成一层具有强腐蚀性的电解质溶液。这种溶液不仅在金具表面形成,而且会渗透进金具的微小裂缝和缝隙中,导致内部腐蚀和材料退化。湿润气候条件下,金具表面的腐蚀产物,如铁锈,不仅影响其外观,更重要的是,这些产物会进一步加速腐蚀进程。铁锈和其他腐蚀产物的形成,导致金具表面保护层的进一步破坏,使得金具更易受到环境因素的侵蚀。此外,这些腐蚀产物还可能阻塞金具的重要功能部位,导致其机械性能下降,影响输电线路的整体可靠性和安全性。潮湿气候下的腐蚀过程通常比干燥环境中更为剧烈。海风和海雾中含有的盐分和水分,在金具表面形成的腐蚀性环境更为恶劣。长期暴露在这种环境中的金

具，其腐蚀速度和程度远远超过干燥环境。由于金具通常承担着重要的结构和电气负荷，其腐蚀不仅威胁到电网的稳定运行，还可能导致严重的安全问题，如线路断开或绝缘子掉落，从而引起停电或更严重的事故。

1.3 金具自身特点对沿海环境下腐蚀的影响

在沿海环境中，500kV 架空输电线路金具的独特构造特点显著影响其腐蚀速度和程度。金具的结构复杂性以及其运行中的特定应力状态，在高盐分和潮湿的气候条件下，加剧了其腐蚀问题。首先，金具的复杂结构，包括其较大的比表面积、多边角和孔隙结构，使其更容易发生缝隙腐蚀和接触腐蚀。这些腐蚀形式通常起始于金具的边角和缝隙处，随着时间推移，逐渐向内部扩展。在沿海环境中，这种腐蚀过程由于高盐分和湿度的存在而加剧，使得金具更易受到腐蚀介质的侵袭。其次，金具在运行中通常承受相当大的拉应力，达到 104–105N 的量级。这种持续的拉应力不仅增加了金具的腐蚀风险，而且加大了镀锌层表面的破坏程度。在拉应力的作用下，表面产生的裂纹会扩展，从而使得腐蚀介质更容易渗透进镀锌层。此外，应力集中还导致了驻留滑移带的形成，使位错密度增加，原子活性提高，这进一步促进了阳极优先腐蚀的发生。电化学测试显示，应力增大时，输电线路的腐蚀电流密度可达无应力状态下的 7 倍。最后，金具在运行过程中的摩擦碰撞也是一个不可忽视的腐蚀因素。由于金具并非完全固定，在冰、风等附加载荷作用下，输电线路的风偏和振动会导致金具间的轻微摩擦和碰撞。在沿海腐蚀环境下，这种微动腐蚀现象尤为严重。雨水对基体的腐蚀效应和表面镀锌层的磨损，共同导致了金具腐蚀和磨损速度的加快。腐蚀和磨损之间存在相互协同作用，极大地增加了金具接触部位间的机械和化学损伤，从而加剧了腐蚀速度。

2. 500kV 架空输电线路金具在沿海环境下锈蚀应对策略

2.1 高盐分和潮湿气候的挑战

在沿海地区，500kV 架空输电线路金具面临的主要挑战是高盐分和潮湿气候带来的腐蚀问题。高盐分环境中的氯离子和其他腐蚀性物质能显著加速金具的腐蚀过程，特别是在雨水中氯离子含量较高的地区。此外，潮湿的气候条件，如年均相对湿度超过 80% 的天数，为腐蚀提供了理想的条件。这些因素共同作用，使得沿海地区的输电线路金具腐蚀速率远高于内陆地区。

2.2 材料选择和设计优化

针对沿海环境的特殊腐蚀条件，选择适当的材料和进行金具设计优化是至关重要的。在材料选择方面，应考虑使用耐腐蚀性更强的合金钢或有色金属，或者采用更为先进的防腐涂层技术，以提高金具的抗腐蚀能力。设计优化方面，可以考虑减少金具的缝隙和边角，以减少腐蚀发生的可能性。同时，通过对金具的结构进行改良，如增加镀锌层厚度或使用其他耐腐蚀材料，可以有效延长金具的使用寿命。在设计时还应考虑金具的易维护性，确保即使在恶劣的沿海环境中，也能进行有效的检查和维修。为了准确预测金具在沿海环境下的腐蚀寿命，可以采用电化学方法测定金具的腐蚀电流密度。通过收集当地气象部门提供的数据（如年均相对湿度和降雨天数）和在实验条件下的腐蚀测试数据，可以计算出金具的年均腐蚀深度速率。

2.3 表面保护层的应用

在沿海环境下，针对 500kV 架空输电线路金具的防腐策略中，表面保护层的应用占据了至关重要的位置。这一节将详细探讨在高盐分和潮湿条件下，如何通过表面保护层有效延长金具的使用寿命，以及如何选择和应用这些保护层。

(1) 保护层的选择和应用：在沿海环境中，金具的表面保护层需要能够有效抵御盐雾、湿气和其他腐蚀性因素。选择适当的保护层材料至关重要，它必须具备良好的防腐性能、高度的附着力以及足够的耐久性。目前，一些常见的选择包括特种油漆、环氧树脂、聚氨酯涂料和锌基涂层。例如，采用高性能环氧树脂和聚氨酯涂料，能够在金具表面形成稳固的保护层，有效隔离金具与腐蚀性环境的直接接触。

(2) 表面处理技术：在应用保护层之前，金具的表面处理是必不可少的步骤。这包括去除金具表面的锈迹、油污和其他杂质，以确保保护层能均匀且牢固地附着在金具表面。一些常用的表面处理技术包括喷砂、酸洗和磷化处理。这些处理不仅清洁金具表面，还能提高涂层的附着力。

(3) 长效性和维护：选择的保护层应具有长效性，能够在恶劣的沿海环境中提供长期的保护。然而，任何保护层都不可能永久有效，因此定期的检查和维护是必要的。例如，对于涂有环氧树脂和聚氨酯涂料的金具，需定期检查涂层的完整性，并在必要时进行局部修补或重新涂覆。

(4) 创新技术的应用：最新的研究和技术发展也为沿

海环境下金具的防腐提供了新的解决方案。例如，纳米技术在涂料中的应用，可以显著提高涂层的防腐性能和耐磨性。纳米涂层通过其超细的颗粒为金具提供更加密实和均匀的保护层，从而更有效地阻挡腐蚀因素。此外，智能涂层技术，能够在金具表面受到损伤时自我修复，延长涂层的寿命，并减少维护工作。

2.4 寿命预测和维护计划

在沿海环境下，对 500kV 架空输电线路金具的寿命预测和维护计划的制定，是确保输电系统可靠性的关键环节。以下内容和公式基于专业的腐蚀评估技术，为金具的寿命预测和维护提供了一套科学的方法论。

2.4.1 寿命预测模型的建立

依据环境监测和气象数据，结合金具的实际腐蚀情况，本文提出了一种计算金具中长期年均腐蚀深度速率 V 的模型，如下所示：

$$V = \frac{T}{365} \times 14.875i_c + \left(\frac{365 - T}{365} \right) \times 4.25$$

其中， i_c 为自腐蚀电流密度， T 为年均相对湿度 $RH > 80\%$ 的天数或年均降雨天数。

2.4.2 应用寿命预测模型进行维护规划

通过应用上述模型，我们可以精确计算出在特定沿海环境下，金具的年均腐蚀深度速率。这个速率是影响金具寿命的关键参数，可以帮助我们预测金具的剩余使用寿命，进而制定有效的维护和更换计划。

在实际操作中，通过收集金具所在地的气象数据，特别是氯离子含量和降雨、湿度情况，将这些数据作为输入参数，我们可以计算出环境因素对金具腐蚀速率的影响。同时，通过对已更换的金具或同型号未出现红锈的金具进行取样，并进行实验室的电化学测试，可以得到自腐蚀电流密度 i_c ，该值反映了金具在模拟的盐雾环境下的腐蚀活性。

将这些数据代入上述模型中，我们能得到金具在现实环境中的年均腐蚀深度速率。此外，我们还需要通过实地测量来获取金具表面镀锌层的实际厚度 d ，这样就可以使用如下公式来计算金具的剩余腐蚀寿命：

$$L = \frac{d}{V}$$

在此基础上，我们可以评估金具在沿海环境中的实际耐久性，并预测其腐蚀进度，以便在金具达到临界腐蚀程度

之前进行维护或更换。这种方法不仅提升了维护工作的前瞻性和针对性，而且通过科学计算最大程度地利用了金具的使用潜力，减少了不必要的资源浪费。

2.4.3 维护计划的实施

基于寿命预测模型的结果，维护计划可以细化为以下步骤：

- (1) 周期性检测：制定周期性检测计划，根据预测的剩余寿命来安排金具的检查频率和详细的检查项目。
- (2) 防腐策略的优化：根据金具的实际腐蚀情况，评估现有防腐措施的效果，如有机材料制成的防腐油脂、导电防腐涂料的应用效率以及是否需要采取更先进的防腐技术。
- (3) 预防性更换：对于接近腐蚀临界点的金具，提前规划更换工作，以避免由于金具腐蚀引起的输电线路故障。
- (4) 环境改善措施：在可能的情况下，通过改善金具周围的土壤条件或者调整线路布局来降低腐蚀速率。
- (5) 记录与反馈：建立详细的维护记录和反馈系统，对实施的防腐措施进行追踪和效果评估，确保所有维护活动都能够得到及时的反馈，并根据实际情况进行调整。

3. 结束语

在对 500kV 架空输电线路金具在沿海环境下的锈蚀情况进行深入分析后，我们得出了一系列的结论和建议。首先，必须认识到，由于沿海地区特有的高盐分和湿润气候条件，架空地线和金具无法避免地会受到感应电流的影响，并长期暴露于导致腐蚀的复杂电化学环境中。硫化物等化合物与金具表面的反应逐渐削弱了金具的结构完整性，增加了维护的难度和频率。有效地防止和管理这种腐蚀对于保证输电线路的安全、稳定运行至关重要。我们提倡对老旧线路的金具进行细致的管控，尤其是对那些处于腐蚀环境中的重要挂点金具。通过对这些金具进行分类处理，加强防腐涂层，使用高强度材料替代传统材料，并在直接接地挂点两侧安装引流线，我们能够显著提高金具的防腐性能。在未来的工作中，运维人员应充分利用现代监测技术，实现对输电线路金具腐蚀状况的实时监控，确保能够及时响应潜在的腐蚀问题。同时，应不断探索和应用新材料、新技术，以提高金具的耐腐蚀性和整体输电网络的可靠性。

参考文献

- [1] 默增禄, 程志云. 输电线路杆塔的腐蚀与防治对策 [J] 电力建设, 2004 25(1):22-23

- [2] 陈淑刚, 常忠池. 超高压输电线路运行与检修实用教程 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2014
- [3] 刘关. 电力输电线路的运行维护及故障排除 [J]. 工程技术, 2015, 7(27): 226
- [4] 胡俊华. 500 KV 输电线路架空地线不同接地方式的
- 分 [D]. 北京: 华北电力大学, 2014.
- [5] 陈军君, 胡加瑞, 谢亿, 等. 架空输电线路金具腐蚀分析及防护对策 [J]. 电力建设, 2013(8):5.DOI:10.3969/j.issn.1000-7229.2013.08.018.