输电线路覆冰在线监测系统安装位置优化策略与工程应用研究

雷云春　王永博　许朝平　李　黎　张瑜琪

中国南方电网有限责任公司超高压输电公司昆明局　云南　昆明　650200

摘　要：本文聚焦输电线路覆冰在线监测系统安装位置优化问题。首先指出当前系统在覆冰条件下存在摄像头镜头覆冰影响观测、安装位置不统一导致运维检修困难以及无法有效监测地线覆冰等问题。接着提出针对性措施，涵盖摄像头防覆冰、安装位置优化及地线监测强化等方面，并详细说明具体实施步骤。最后通过详细的工程应用案例验证优化策略的有效性，结果表明优化后的系统能显著提升监测质量与运维效率，保障输电线路安全稳定运行。

关键词：输电线路；覆冰在线监测系统；安装位置优化；摄像头防覆冰；工程应用

1 引言

输电线路作为电力系统的“大动脉”，其安全稳定运行对于保障电力供应、维持社会正常运转至关重要。在寒冷地区或冬季，输电线路覆冰是一种常见且危害严重的自然灾害现象。覆冰会使线路的荷载大幅增加，导致杆塔受力失衡、导线舞动加剧，进而可能引发线路断线、杆塔倒塌等重大事故，给电力系统带来巨大的经济损失，同时也会严重影响社会的生产生活秩序。为了实时、准确地掌握输电线路的覆冰情况，及时采取有效的防冰、融冰措施，输电线路覆冰在线监测系统应运而生[1]。该系统通过安装在输电线路上的各类传感器，如覆冰厚度传感器、温度传感器、湿度传感器、风速传感器等，能够实时采集线路的关键参数，并将这些数据通过无线通信网络传输至监控中心。监控中心对接收到的数据进行分析和处理，为运维人员提供决策依据，以便他们能够及时采取措施保障线路的安全运行。然而，目前输电线路覆冰在线监测系统在安装位置方面存在一些问题，这些问题影响了系统的性能和运维效率，降低了系统对线路覆冰情况的监测准确性。因此，开展输电线路覆冰在线监测系统安装位置优化策略与工程应用研究具有重要的现实意义，对于提高电力系统的可靠性和稳定性具有至关重要的作用。

2 当前存在的问题

2.1 摄像头镜头覆冰影响性能

在覆冰条件下，输电线路覆冰在线监测系统的摄像头时常面临镜头覆冰的问题。当摄像头罩外层结冰后，会严重影响其性能，导致无法清晰观测现场设备运行情况。由于无法准确获取设备的实时图像信息，现场设备的运行状态和覆冰状况难以得到准确判断，这使得运维人员不能及时掌握线路的实际情况，无法制定科学合理的运维策略，增加了线路运行的风险。

2.2 安装位置不统一增加运维难度

目前，覆冰在线监测装置的安装位置缺乏统一标准，部分装置安装在杆塔地线横担处。这种安装方式在后期运维检修时给人员站位带来极大困难，作业空间受限，增加了作业难度和安全风险。运维人员需要在复杂的环境中进行操作，不仅工作效率低下，而且容易发生意外事故，影响运维工作的正常开展。

2.3 摄像头安装位置无法监测地线覆冰

现有的覆冰在线监测装置摄像头大多安装在导线横担位置，然而覆冰一般在地线上比较严重。由于安装位置的局限性，目前的摄像头无法看到地线覆冰情况，不能全面准确地掌握线路的覆冰信息。地线作为输电线路的重要组成部分，其覆冰情况对于线路的安全运行至关重要。无法监测地线覆冰会导致对线路整体覆冰状况的判断不准确，可能延误除冰时机，给线路带来安全隐患。

3 优化措施

3.1 摄像头防覆冰技术

3.1.1 使用防凝露涂料

选用具有良好憎水性和防潮性的有机硅防凝露涂料。这种涂料能够在摄像头罩外层形成一层致密的憎水膜，有效阻止水汽在罩面凝结。其憎水角可达110°以上，能显著降低水汽与罩面的附着力。在涂刷涂料前，使用干净的软布和酒精对摄像头罩外层进行彻底清洁，去除灰尘、油污等杂质，确保罩面干燥、平整。按照涂料说明书的要求，将涂料与稀释剂按适当比例进行调配，搅拌均匀，以保证涂料的粘度和流动性适中[2]。采用喷枪或毛刷进行涂刷，涂刷要均匀、薄厚一致，避免出现漏刷或堆积现象。一般涂刷2-3层，每层涂刷间隔时间为30-60分钟，确保每层涂料充分干燥。涂刷完成后，仔细检查摄像头罩外层，确保涂料表面光滑、无气泡、无裂纹等缺陷。

3.1.2 研究加热镜片技术镜片加热原理

在镜片内部增加电阻模块，当检测到气温低于零摄氏度、湿度大于80%时，加热镜片会自动启动加热功能。电阻模块通电后产生热量，将摄像头镜片的覆冰进行加热融化，从而保证镜片的清晰度。这种智能加热方式能够根据环境条件自动调节，既能在需要时及时除冰，又

能避免不必要的能源消耗。

3.1.3 供电方式设计

为了确保加热镜片能够稳定运行，可采用一组独立电池为覆冰在线监测装置供电。该电池具有高能量密度、低自放电率等优点，能够满足监测装置长时间运行的需求。同时，还采用了太阳能电池板+小型风力发电的供电方式作为补充。太阳能电池板在白天能够吸收太阳能并转化为电能，小型风力发电机在有风的情况下也能发电，进一步提高了供电的可靠性和稳定性。这种多种供电方式相结合的设计，可以有效应对不同环境条件下的供电需求，保障监测系统的持续运行。

3.1.4 加热镜片材料选择与设计

加热镜片的设计至关重要，选用高透光率、耐高温的材料制作加热镜片，能够保证在加热过程中不影响摄像头的拍摄效果。同时，在其表面覆盖一层导热性能良好的绝缘材料，确保热量能够迅速传导至镜片内部并均匀分布，避免了因过热而导致的镜头损坏或性能下降。这种设计既保证了加热效果，又保护了镜头的安全，提高了系统的可靠性和稳定性。

3.2 优化安装位置方便运维检修

3.2.1 安装位置选择原则

综合考虑杆塔的结构特点、人员操作空间和安全因素，选择在方便运维人员检修维护的位置安装覆冰在线监测装置。优先选择杆塔的主材、横担与主材连接处等空间较大、便于人员站位和操作的位置。

3.2.2 具体安装位置确定

对于直线杆塔：将监测装置安装在杆塔主材距离地面约8-10米的位置，该位置便于运维人员使用升降车或攀爬工具进行检修维护，同时能够避免受到地面杂物和车辆的影响。

对于耐张杆塔：安装在横担与主材连接处的外侧，这样既不会影响杆塔的正常受力，又能为运维人员提供足够的操作空间。同时，要确保安装位置便于运维人员进行设备的调试和校准。

3.2.3 安装方式改进

设计制作标准化的安装支架，根据不同类型杆塔的结构尺寸进行定制。安装支架应具有足够的强度和稳定性，能够承受监测装置的重量和恶劣天气条件下的风力、振动等影响[3]。在安装支架和监测装置之间采用快速连接结构，如卡扣式或螺栓式快速连接件，方便运维人员进行设备的安装和拆卸，减少高空作业时间，提高运维效率。

3.3 增加地线支架位置摄像头

3.3.1 摄像头选型

选用具有防覆冰功能的高清网络摄像头，该摄像头应具备以下特点：一是高分辨率：分辨率不低于1080P，能够清晰拍摄地线的细节和覆冰情况。二是宽动态范围：适应不同的光照条件，在强光或逆光环境下也能保证图像质量。三是低照度性能：在夜间或光线较暗的情况下，仍能提供清晰的图像。四是防覆冰设计：采用与上述相同的防凝露涂料和加热镜片技术，确保在覆冰条件下正常工作。

3.3.2 安装位置确定

在地线支架的正上方或侧方选择合适的位置安装摄像头，确保能够清晰拍摄到地线的全貌和关键部位，如地线线夹、耐张线夹等[4]。安装位置应避免与地线和其他设备发生干涉，同时要考虑摄像头的视野范围和拍摄角度。

3.3.3 安装方式

采用专用的摄像头安装支架将摄像头固定在地线支架上。安装支架应具有足够的强度和稳定性，能够承受摄像头的重量和风力等外力作用。在安装过程中，要确保摄像头的安装角度正确，图像清晰无遮挡。

4 工程应用案例

4.1 工程概况

某地区的一条220kV输电线路，全长120km，共有杆塔300基。该地区冬季气候寒冷，平均气温在零下10℃左右，且湿度较大，输电线路覆冰情况较为严重。为了实时掌握线路的覆冰情况，提高线路的安全运行水平，决定对该线路安装覆冰在线监测系统。在安装初期，系统存在摄像头镜头覆冰、安装位置不合理等问题。部分摄像头安装在导线横担位置，无法监测到地线的覆冰情况；部分装置安装在地线横担处，给运维人员的检修维护带来了很大困难。这些问题严重影响了监测效果和运维效率，亟待进行优化改进。

4.2 优化措施实施

4.2.1 摄像头防覆冰处理

对所有摄像头罩外层涂刷有机硅防凝露涂料。按照上述施工步骤，组织专业人员对150个摄像头罩进行清洁、涂料调配和涂刷作业。涂刷完成后，进行质量检查，确保涂料表面质量符合要求。在部分覆冰较为严重的区域（如山区、风口地段）的50个摄像头上安装加热镜片装置。安装过程中，严格按照加热镜片的设计要求进行电阻丝布局、导热硅胶覆盖和绝缘保护层安装。同时，完成独立电池、太阳能电池板和小型风力发电机的安装和调试，确保供电系统正常运行。

4.2.2 安装位置优化调整

对覆冰在线监测装置的安装位置进行全面评估和优化调整。将原来安装在地线横担处的80个装置迁移至杆塔主材上，选择在主材上靠近检修平台且空间较大的位置进行安装。根据直线杆塔和耐张杆塔的不同结构特点，按照上述安装位置确定原则和安装方式改进要求，对所有监测装置的安装位置进行调整和固定。同时，安

装标准化安装支架和快速连接件，方便运维人员进行检修维护。

4.2.3 增加地线支架位置摄像头

在地线支架位置增加60个防覆冰高清网络摄像头，覆盖了整条线路的关键地段。根据地线支架的结构特点，选择合适的安装位置，并采用专用的摄像头安装支架进行固定。对新增加的摄像头进行调试和校准，确保其能够正常工作，图像清晰，拍摄角度正确。同时，将摄像头接入覆冰在线监测系统，实现数据的实时传输和监控。

4.3 应用效果分析

4.3.1 摄像头防覆冰效果

经过一个冬季的运行测试，涂刷防凝露涂料和安装加热镜片装置的摄像头在覆冰条件下能够正常工作，图像清晰，未出现因镜头覆冰而影响观测的情况。加热镜片装置能够根据环境温度和湿度自动启动加热功能，在短时间内将镜头表面的覆冰融化，保证了监测系统的连续运行。例如，在某次强覆冰天气过程中，安装了加热镜片装置的摄像头始终能够提供清晰的图像，为运维人员及时掌握线路覆冰情况提供了有力支持。

4.3.2 安装位置优化效果

优化安装位置后，运维人员在进行检修维护时更加方便，作业难度明显降低。以前需要花费数小时才能完成的检修任务，现在只需要不到一半的时间即可完成。同时，统一的安装位置也提高了运维管理的效率，减少了运维成本。运维人员可以根据统一的安装标准制定检修计划，提高了工作的规范性和系统性。

4.3.3 地线监测效果

在地线支架位置增加的防覆冰摄像头能够清晰地监测到地线的覆冰情况，及时发现地线线夹位移等问题。通过实时掌握地线的覆冰状况，运维人员能够及时采取有效的防冰、融冰措施，保障了地线的安全运行。例如，在一次监测中发现某基杆塔的地线覆冰厚度超过了设计允许值，运维人员立即采取了融冰措施，避免了地线断裂事故的发生。

结语

本文针对输电线路覆冰在线监测系统安装位置存在的问题，提出使用防凝露涂料、研究加热镜片技术解决摄像头覆冰问题，优化安装位置方便运维检修，以及在地线支架位置增加防覆冰摄像头等优化策略并详细说明实施步骤，经工程应用案例验证，这些策略能有效提升系统性能和运维效率，其中摄像头防覆冰技术解决图像模糊问题保证系统连续运行，优化安装位置降低运维难度、提高管理效率，增加地线支架摄像头实现对地线覆冰全面监测，为线路安全运行提供保障，总之优化后的系统能显著提升监测质量、保障输电线路安全稳定运行。

未来输电线路覆冰在线监测系统安装位置优化研究可进一步结合智能传感、物联网和大数据分析技术，实现系统智能化和自动化，如通过智能传感器感知杆塔状态和环境参数、利用物联网传输共享数据、运用大数据分析挖掘数据为运维决策提供科学依据，同时可开展覆冰在线监测系统与其他电力系统监测系统的集成研究，实现全面监测和协同运行，如将其与导线温度监测、杆塔倾斜监测等系统集成形成综合性监测平台提高电力系统运行可靠性和安全性，此外，随着新材料、新技术发展，还可探索更高效可靠的摄像头防覆冰技术和安装方式以进一步提升系统性能。

参考文献

[1]殷巧玲,赵婷,张健,等.架空输电线路覆冰监测技术研析[J].电力设备管理,2025,(06):44-46.

[2]孙志林,吕刚,罗宗源,等.高压输电区域性重覆冰线路受损监测系统设计[J].自动化与仪器仪表,2020,(03):128-131.

[3]周伟.低温极端天气对输电线路覆冰的影响及监测方法研究[J].电力设备管理,2025,(05):43-45.

[4]李斌,王鹏.带电安装500kV紧凑型输电线路覆冰在线监测装置专用工具的研究与应用[J].云南电力技术,2024,52(05):50-52+56.