

山区电网输电线路抗冰防灾关键技术应用研究

卢维宽, 熊志勇

贵州电网有限责任公司铜仁供电局, 贵州 铜仁 554300

DOI:10.61369/EPTSM.2026040021

摘 要 : 山区地势崎岖、气候恶劣, 冬季雨雪冰冻天气频繁发生, 容易造成输电线路覆冰, 引起导线断股、杆塔倒塌、绝缘子闪络等问题, 对山区电网的安全稳定运行以及人民群众的生活生产用电带来严重影响。本文以山区电网输电线路的实际运行为基础, 针对抗冰防灾的应用需求进行论述, 探讨山区输电线路覆冰的特点及其危害, 重点研究抗冰防灾的关键技术应用要点, 如覆冰预防、覆冰清除、应急处理以及后期维护等核心内容, 并根据山区的具体情况提出切实可行的技术改进意见, 避免泛泛而谈, 注重实用性和接地气的操作指导, 为山区电网输电线路的抗冰防灾工作提供有益的经验借鉴, 确保山区电网的安全可靠供电。

关 键 词 : 山区电网; 输电线路; 抗冰防灾; 关键技术; 实际应用

Research on the Application of Key Technologies for Ice Resistance and Disaster Prevention in Transmission Lines of Mountainous Power Grids

Lu Weikuan, Xiong Zhiyong

Tongren Power Supply Bureau of Guizhou Power Grid Co., LTD., Tongren, Guizhou 554300

Abstract : Mountainous areas have rugged terrain and harsh climate. Frequent rain, snow and freezing weather in winter can easily cause ice accumulation on transmission lines, leading to problems such as broken strands of conductors, collapse of poles and towers, and flashover of insulators. This has a significant impact on the safe and stable operation of mountainous power grids and the electricity supply for People's Daily life and production. Based on the actual operation of transmission lines in mountainous power grids, this article discusses the application requirements of ice resistance and disaster prevention, explores the characteristics and hazards of ice accumulation on transmission lines in mountainous areas, and focuses on the key application points of key technologies for ice resistance and disaster prevention, such as ice accumulation prevention, ice accumulation removal, emergency handling, and later maintenance. Based on the specific conditions of mountainous areas, practical and feasible technical improvement suggestions should be put forward, avoiding general discussions. Emphasis should be placed on practical and down-to-earth operation guidance to provide useful experience references for the anti-ice and disaster prevention work of transmission lines in mountainous power grids, ensuring the safe and reliable power supply of mountainous power grids.

Keywords : power grid in mountainous areas; transmission lines; anti-ice and disaster prevention; key technologies; practical application

引言

山区是我国电网输电线路主要经过区域, 大部分输电线路经过高山大岭、峡谷沟壑等地形复杂地区, 在冬季气温较低以及昼夜温差较大情况下, 加之空气湿度较高, 容易造成线路结冰。而结冰对输电设施会造成损害甚至会导致长时间停电问题发生, 严重影响到山区居民日常生活、农业生产以及基础设施建设等。本文以山区输电线路运维工作为基础, 围绕抗冰防灾核心技术展开论述, 结合具体情况进行分析介绍相关技术和优化措施等内容力求贴近实际、便于实施。

作者简介:

卢维宽 (1989.02-), 男, 汉族, 贵州省铜仁市人, 本科, 助理工程师, 研究方向: 电力。

熊志勇 (1998.01-), 男, 土家族, 贵州省铜仁市人, 本科, 助理工程师, 研究方向: 电力。

一、山区电网输电线路覆冰特点及核心危害

（一）覆冰形成特点

山区输电线路覆冰的产生，受山区特有的地理环境及气象条件的影响较大，在平原地区较为少见，更符合山区实际情况。一是覆冰种类繁多，由于山地昼夜温差大，空气湿度较高，在近地面温度低于0℃而高空温度高于0℃的情况下，云中冰晶降落过程中变为过冷水滴，接触到导线表面立即冻结，从而形成雾凇、雨凇或混合凇等多种形式的覆冰，其中以雨凇覆冰最为常见，其密度大、附着力强，对线路威胁最大^[1]。二是覆冰分布不均，山地地势高低起伏明显，沟谷、背风面、山梁等地带风力强劲、水汽充沛，因此这些地方覆冰较重，同时一条线路不同区段之间以及同一基杆塔上不同位置处的覆冰也存在较大差异，给抗冰除冰工作带来一定困难。三是覆冰发展迅速，山地寒潮来临突然且时间较长，一旦遭遇冻雨或者降雪天气，导线上很快就会积聚大量覆冰并且很难自行消融，极易造成严重后果。四是预报难度大，山区微地形和微气候特点突出，局部地区的温度、风速、湿度等变化难以准确掌握，使得覆冰发生的时间和程度无法及时预测，增加了抗冰救灾工作的难度^[2]。

（二）覆冰核心危害

针对山区输电线路运行特点，覆冰对设备及供电安全造成的影响主要体现在设备损坏以及停电上，都会给山区居民生活带来不便。第一是机械损伤，覆冰会使导线、地线重量加大，使导线承受张力增大，在长期过载情况下易发生导线断股或断裂；同时，覆冰重量也会使杆塔承受更大的垂直负荷与横向风压，在山区杆塔大多位于山脊、山坡等地形复杂地带，其基础稳固程度受到很大限制，易出现杆塔歪斜、倒伏或者杆塔横担、支架受损等情况^[3]。第二是电气故障，覆冰会附着在绝缘子表面，减少泄漏距离并削弱绝缘强度，容易引起绝缘子闪络、跳闸现象，在融冰时，由于冰层表面存在一层水膜而溶解了绝缘子表面积聚的污垢物质，从而使得绝缘水平下降，加剧事故的发生概率；另外，非均匀性覆冰在微风条件下会引起导线舞动，导致金具破损、相间短路，进而引起线路跳闸。第三是检修困难，山区道路崎岖难行，在覆冰灾害发生之后，抢修人员和工器具难以及时到达现场进行抢修工作并且高空作业受恶劣天气条件制约较大，存在较大安全隐患且工作效率低下，延误抢修时间，进一步扩大停电范围所造成的影响。

二、山区电网输电线路抗冰防灾关键技术应用

（一）覆冰预防技术应用

防冰预警是山区输电线路抗冰防灾的第一道防线，在于利用各种措施尽可能地阻止或推迟覆冰的发生和发展，降低覆冰灾害出现的可能性，根据山区的具体情况选择合适的应用方式，防止不必要的技术投入。

一是线路优化设计技术，针对山区地势及气候特点，在输电线路规划与设计过程中尽可能绕开迎风坡、峡谷、山脊等地质条件恶劣易发生覆冰地段；对难以绕避地区合理选取导线型号以及杆塔形式，使用抗冰能力更强的导线，加大导线截面积，提升导线抗拉强度，同时改进杆塔结构设计使其具备更大承载力满足

山区覆冰荷载要求。另外适当缩短杆塔间隔距离并降低高度以减小导线悬挂张力从而防止由于覆冰造成过大的应力使导线断裂或者倒杆事故的发生，符合山区实际施工情况，避免繁琐作业^[4]。

二是防覆冰材料应用技术，在导线、绝缘子表面喷涂防覆冰涂料，减少冰雪对导线、绝缘子的粘附性，使冰雪难以积聚，即使形成薄冰也能够风力影响下自行脱落，该方法简便易行、造价低廉，适用于大面积山区线路使用；还可以在导线上分段安装涡流自热环，通过电流流经导线时产生的磁场让自热环发热从而达到导线带电情况下自动除冰融冰的效果而不需要另外接通电源，适合没有外部电源接入条件的山区环境并且便于安装不需要复杂的工具即可完成，非常适合山区实际作业情况。

三是覆冰监测预警技术，针对山区微气候特征，在易发覆冰区段布设监测装置对输电线路导线上的覆冰厚度、温度、风速以及湿度进行24小时不间断监控并利用无线通讯方式将信息回传至调度室以便及时掌握线路运行状态。同时参考该地区历年来的覆冰情况总结出了一套简便有效的预报方法，在发现覆冰厚度接近临界值的时候就会提前发送报警信号通知工作人员做好相应的防范措施以应对山区覆冰难以预测的问题从而为抢修人员赢得宝贵的时间。

（二）覆冰清除技术应用

当输电线路出现覆冰情况时，应及时进行合理有效的清除工作以防止覆冰不断堆积造成设备损坏，在山区施工困难的情况下应选择简单易行、快速便捷、适合山区地势的除冰方式而不用大型复杂的技术手段。

一是直流融冰技术，是山区输电线路除冰的主要手段之一，适用于大部分山区线路情况。即对输电线路施加直流电压，使线路发热而融化覆冰，分为固定式与移动式两种方式，在山区骨干输电线上可以安装固定的直流融冰设备进行及时有效的除冰；在偏远山区或者交通不便的地方可使用便携式的直流融冰设备便于携带和操作，不需要繁琐的现场布置就可以迅速到达除冰地点实施融冰工作，解决了由于山区道路难行造成的不能及时除冰的问题^[5]。同时可以在带电情况下进行融冰作业，不会造成停电现象的发生，保证了山区居民的基本生活用电需求。

二是机械除冰技术，适用于山区线路局部覆冰清除，操作简单、成本低，不需要复杂的工具就可以满足在山区进行现场作业的要求。常用的机械除冰方法主要有两种：人工敲击除冰和机械工具除冰，人工敲击除冰需要专业的运维人员佩戴好绝缘防护用品，在保证自身安全的基础上使用专用工具对导线及绝缘子表面的积冰进行轻柔地敲打以达到去除的目的，不能大力敲打以免造成设备损伤；而机械工具除冰可以采取除冰器或者刮冰刀之类的简单器械让工作人员沿着线路顺序将积冰去掉即可，对于积冰不是很厚并且面积不大地方比较适用。但是由于山地高空作业危险性大，在进行除冰工作时一定要注意做好相应的保护措施以防发生高空坠落或者触电等情况^[6]。

三是自然脱冰辅助技术，在山区有风的情况下，调节导线张力或借助风力使覆冰自然脱落。可以由运维人员在杆塔上进行人工干预，适当降低导线悬挂张力，让导线发生微小摆动从而导致覆冰脱落；也可以利用山区本身的自然风力，在风力较强的时候改变线路运行方式加大导线摆幅加快覆冰脱落速度，这种方法不需要增加设备投资适用于山地多风地区，操作简便易行。

（三）应急处置技术应用

山区输电线路覆冰灾害具有突发性、破坏性强的特点，一旦发生故障，要迅速进行抢修工作，尽可能地缩短停电时间，降低灾害造成的经济损失，在此基础上针对山区具体情况完善抢修方案，提高抢修速度。

在覆冰灾害发生之后，因为山区地势崎岖、线路分布广泛，传统的手工检查速度慢、危险大。可以使用无人机巡检方式，通过无人机安装高清摄像机对输电线路进行全面巡视，及时发现导线断裂、杆塔倒塌、绝缘子放电等问题点，不需要检修人员登杆，减少高空作业的风险，而且加快了巡检的速度，特别适用于山区道路难行、人迹罕至的地方^[7]。巡检的同时还可以把视频画面同步到监控室值班员分析判断故障性质以及严重程度并作出相应的处理措施。

在山区故障情况下，组织专门的应急抢修小组，携带便携式的抢修器材、工具等，保证一旦出现故障可以第一时间到达现场进行抢修。对于导线断股、断线故障，使用快速接线、接续工艺，加快抢修进度；对于杆塔倾斜、倒伏故障，采取临时支撑或更换杆塔措施，迅速使线路恢复正常供电；对绝缘子闪络故障，则立即清除绝缘子上的积冰以及灰尘杂质，并替换破损绝缘子，使线路绝缘强度得到恢复。此外还应多个部门协作配合，如调度、变电站、输电等部门联合行动，共同完成抢修任务，提高抢修速度。

（四）后期运维技术应用

覆冰灾害之后，做好后期维护工作，可以尽早发现线路存在的问题，提高线路抗冰防灾水平，防止覆冰灾害再次发生，在此基础上针对山区线路维护困难的问题，改进维护方法，保证维护工作的落实到位。

在发生覆冰灾害之后，对输电线路、杆塔、绝缘子、金具等进行一次全面检查维修，清除设备上的覆冰、积雪以及污垢等杂质，查看导线有无断股、磨损现象，杆塔是否有歪斜、开裂情况，绝缘子是否出现破损或者闪络痕迹，金具是否松动或损坏等问题，对于发现的问题立即处理解决，使设备恢复到良好工作状态。另外还需要对融冰装置、监测仪器等防冰设施做一次彻底的检修保养使其处于良好的工作状态以备以后防冰救灾之需^[8]。针对山区线路分布及交通状况特点，采用“分片管理、定期巡检、重点防范”的运维方式，在山区线路中划分多个运维片区，每个片区安排专职运维人员进行日常巡视检查，对易发生覆冰地段以及设备薄弱环节加强监控；运用信息化手段建立山区输电线路运维台账，保存线路设备参数、过往覆冰情况、维修记录等相关资料，方便运维人员及时了解掌握线路运行状况并采取相应措施加以维护，提高工作效率。在山区进行输电线路抗冰防灾工作具有

较大困难及较高危险性，要对运维人员加强培训，使其具备相应技术水平以及应急处理能力。培训主要针对覆冰监测、融冰操作、机械除冰、应急抢修等内容进行实操技能培训，并结合山区实际工况开展一对一指导，使运维人员熟练掌握各种抗冰防灾方法以及及时有效地处置覆冰事故，还要做好安全教育工作，增强运维人员的安全观念，防止发生安全事故。

三、山区电网输电线路抗冰防灾技术应用优化建议

在总结山区电网输电线路运行特点以及抗冰防灾技术应用情况的基础上，对技术应用中遇到的问题进行分析并提出改进建议，使技术的应用更加符合山区实际情况，更具有实用性、可操作性。

结合山区特点选择合适的技术方案，在山区地势崎岖、道路狭窄的情况下，应尽量采用简单易行、经济实惠以及不需要大型器械的防冰措施，而不要盲目追求过于繁杂或者需要大型器械的措施来增加技术实施难度及成本开支。如对偏远山区线路可大力推广使用防覆冰涂层、涡流自热环、移动式融冰装置等技术手段，无需繁琐施工过程和大型器械即可完成现场操作与检修工作^[9]。强化技术集成应用，把覆冰监测预警技术和融冰技术、应急抢修技术结合起来，构建起“监测—预警—融冰—抢修—运维”一体化抗冰防灾模式，提高抗冰防灾工作整体性和有效性。比如，在覆冰监测仪报警之后立即进行融冰处理，在出现异常情况下迅速派出无人机查找故障位置并安排抢修人员抢修，灾后及时做好设备检查维护工作等形成闭环管理^[10]。

四、结论

山区电网输电线路抗冰防灾工作是为了保证山区电网的安全稳定运行以及人民群众的生产和生活的正常用电而采取的一项重要措施，在受到山区特殊的地理环境以及气象条件的影响下，抗冰防灾工作面临着一系列的问题。实践证明合理运用抗冰防灾的关键技术和改进其应用方法可以显著提高山区输电线路的抗冰防灾水平，降低由于覆冰造成的设备损害和停电事故的发生率。今后要根据山区电网的发展情况不断地完善和发展抗冰防灾的技术手段，促进不同技术之间的相互结合与融合并开展相应的技能培训以进一步增强山区电网输电线路的抗冰防灾能力，从而更好地服务于山区电网的安全稳定供电。

参考文献

[1] 龚芳馨, 李小云, 李雯乐. 输配电线路抗冰防灾技术经济效益分析与应用 [J]. 大众用电, 2024, 39(11): 60-62.
[2] 电力动态 [J]. 大众用电, 2024, 39(02): 80.
[3] 袁柏秋, 柏晓路, 覃华, 陈媛, 王艳君. 广西电网抗冰防灾设计提升研究 [J]. 自动化应用, 2024, 65(02): 56-58.
[4] 王怡, 刘泊静. 国家能源局: 我国电力安全风险管控和应急保障能力持续提升 [J]. 中国电业, 2021, (03): 10-11.
[5] 湖北电力公司提升输电线路抗冰防灾能力 [J]. 农村电气化, 2019, (12): 39.
[6] 宋平. 500kV 输电线路抗冰融冰技术应用实践探析 [J]. 中国新技术新产品, 2013, (20): 39-40.
[7] 王学啸. 输电线路运行故障的分析与防治 [J]. 科技传播, 2013, 5 (20): 174-175.
[8] 彭向阳, 周华敏. 电网冰冻灾害分析及防御对策 [J]. 电力科学与工程, 2009, 25 (07): 16-19.
[9] 本刊编辑部. 南方电网抗冰融冰专项研究取得重大突破 [J]. 南方电网技术, 2008, (03): 72.
[10] 卢志学. 赣州电网冰害情况及防冰措施的探讨与分析 [J]. 江西电力, 2008, (S1): 39-41.