

极端天气下电力安全生产保障体系的韧性提升策略

樊 庚 王晓敏

内蒙古电力(集团)有限责任公司薛家湾供电分公司 内蒙古 鄂尔多斯 010300

摘要: 极端天气对电力安全生产影响复杂多样,涵盖台风、暴雨、极端温等多种类型,影响路径广泛。电力系统存在脆弱性,面临自然灾害直接影响、多能源协调冲突及应急响应恢复能力不足等挑战。本文提出提升电力安全生产保障体系韧性的策略,包括加强设备防护、优化电网结构、应用智能技术、完善应急机制及强化资源调配等,并通过实际案例验证策略有效性。

关键词: 极端天气; 电力安全生产; 韧性提升

1 极端天气对电力安全生产的影响机制与特征

1.1 主要极端天气类型及影响路径

极端天气涵盖多种类型,对电力安全生产有着复杂且多样的影响路径。台风是极具破坏力的极端天气之一,其强风会直接冲击输电线路,导致线路舞动、断线,甚至杆塔倒塌。狂风裹挟着杂物,如广告牌、树枝等,撞击电力设备,造成设备损坏。同时,台风带来的暴雨可能引发山体滑坡、泥石流等地质灾害,冲毁输电线路和变电站,破坏电力基础设施。暴雨天气下,大量降水可能导致城市内涝,变电站等电力设施被淹没,引发设备短路、损坏。在山区,暴雨还可能使土壤含水量饱和,降低杆塔基础的稳定性,增加杆塔倒塌风险。此外,暴雨可能伴随雷电,雷电击中输电线路或电力设备,产生过电压,损坏绝缘子、变压器等设备,引发停电事故。极端高温天气对电力安全生产的影响主要体现在设备过热和用电负荷激增^[1]。高温环境下,电力设备的散热性能下降,变压器、断路器等设备内部温度升高,加速绝缘材料老化,降低设备绝缘性能,增加设备故障概率。同时,高温天气导致居民和企业用电需求大幅上升,空调等制冷设备的大量使用使电网负荷急剧增加,可能超出电网的承载能力,引发电网崩溃。极端低温天气则会使电力设备的机械性能下降,导线收缩变脆,容易发生断线事故。低温还可能导致设备内的润滑油凝固,影响设备的正常运行。低温天气下,取暖设备的使用增加,电网负荷加重,给电力供应带来压力。

1.2 电力系统脆弱性特征

电力系统具有复杂的网络结构,其脆弱性特征在极端天气下尤为明显。从网络拓扑结构来看,电力系统中的关键节点和线路一旦受损,可能引发连锁故障,导致大面积停电。例如,枢纽变电站的故障可能使多个区域的电力供应中断,因为这些变电站承担着电能分配和

传输的重要任务。电力系统的设备老化问题也增加了其脆弱性,部分老旧设备在长期运行过程中,性能逐渐下降,对极端天气的抵御能力减弱。在极端高温或低温环境下,老旧设备的故障率明显高于新设备,容易引发停电事故。电力系统的运行依赖于精确的控制和保护系统,但这些系统在极端天气下也可能出现故障。例如,强电磁干扰可能影响保护装置的正常动作,导致误动或拒动,使故障范围扩大。此外,电力系统的通信网络在极端天气下也可能受到破坏,影响调度中心对电网的实时监控和指挥,降低电力系统的应急响应能力。

2 极端天气下电力安全生产面临的挑战

2.1 自然灾害对电网的直接影响

自然灾害对电网的直接影响是极端天气下电力安全生产面临的首要挑战。台风、暴雨、地震等自然灾害具有突发性和强破坏性,能够在短时间内对电网造成严重损坏。台风过境时,强风和暴雨可能导致输电线路大面积断线、杆塔倒塌,变电站被淹没或受损。地震则可能使地下电缆断裂、杆塔基础破坏,造成电网瘫痪。自然灾害还可能引发次生灾害,进一步加剧对电网的破坏。例如,暴雨引发的山体滑坡和泥石流可能冲毁输电线路和变电站,而火灾、爆炸等次生灾害也可能对电力设备造成严重损坏。自然灾害发生后,现场环境恶劣,抢修工作面临诸多困难,如道路中断、通信不畅等,延长了电网恢复供电的时间。

2.2 多能源电力系统协调冲突

随着能源转型的推进,多能源电力系统逐渐成为主流。多能源电力系统集成了传统化石能源发电、可再生能源发电(如太阳能、风能)以及储能系统等,具有清洁、高效、可持续等优点。然而,在极端天气下,多能源电力系统面临着协调冲突的挑战。可再生能源发电具有间歇性和波动性的特点,其出力受天气条件影响较

大。在极端天气下,如暴雨、台风等,太阳能光伏发电和风力发电的出力可能大幅下降甚至为零,导致电力供应不足^[2]。而传统化石能源发电在应对极端天气时也存在一定困难,如煤炭运输受阻可能影响火电厂的燃料供应,天然气供应中断可能影响燃气电厂的正常运行。多能源电力系统中的储能系统在极端天气下也面临挑战。储能设备的性能受温度、湿度等环境因素影响较大,极端高温或低温可能导致储能设备效率下降、寿命缩短。另外,多能源电力系统中的不同能源发电设备和储能设备之间的协调控制难度较大,在极端天气下,如何实现多能源的优化调度和稳定运行,是保障电力安全生产的关键问题。

2.3 应急响应和恢复能力的不足

极端天气下的电力安全生产对应急响应和恢复能力提出了极高要求。然而,目前电力系统的应急响应和恢复能力仍存在不足。在应急响应方面,部分电力企业在极端天气预警信息接收和处理方面存在滞后现象,未能及时启动应急预案,导致应急响应不及时。应急物资储备不足也是一个突出问题,在灾害发生后,抢修所需的设备、材料等物资供应不及时,影响了抢修进度。在恢复能力方面,电网恢复供电需要综合考虑多个因素,如设备损坏程度、抢修难度、负荷需求等。目前,电网恢复策略的制定和执行还不够科学合理,缺乏有效的评估和优化机制。此外,电力企业在与政府、社会救援力量等的协同配合方面还存在一些问题,信息沟通不畅、职责分工不明确等,影响了电力恢复工作的效率。

3 极端天气下电力安全生产保障体系韧性提升策略

3.1 加强设备防护与加固

加强设备防护与加固是提升电力安全生产保障体系韧性的基石。输电线路作为电力传输的关键通道,极易受极端天气影响。采用加强型导线可增强其抗拉伸和抗磨损能力,耐张杆塔能提升线路整体的机械强度与抗风性能。在杆塔基础建设上,深基础和灌注桩技术可深入地下,使杆塔根基更为稳固,有效抵御强风、暴雨等外力冲击。同时,为输电线路安装防舞动装置,可减少线路在强风中的舞动幅度,避免因舞动导致的断线、短路等事故;防雷装置则能将雷电引入大地,降低雷击对线路和设备的破坏。变电站设备同样需要重点防护,设置排水系统可防止雨水倒灌,避免设备因进水而短路损坏;加装保温层能确保设备在低温环境下正常运行,减少因温度过低导致的设备故障。另外,定期检修和维护设备,能及时发现并处理潜在隐患,保障设备始终处于良好运行状态,为电力安全生产提供坚实保障。

3.2 优化电网结构与布局

优化电网结构与布局是提高电力系统抗灾能力的关键举措。构建坚强的主干电网,如同搭建起电力传输的“高速公路”,能确保电力高效、稳定地输送。加强区域电网之间的互联互通,可增加电网的冗余度,当某一区域电网出现故障时,其他区域电网能及时提供电力支援,提高电网的灵活性^[3]。合理规划输电线路走廊至关重要,通过避开地震带、洪涝区等自然灾害高发区域,可降低自然灾害对电网的直接破坏。在城市电网规划中,采用环网结构可实现电力的多路径供应,当某一条线路发生故障时,能迅速切换到其他线路,保障城市用电不受影响。分布式电源的引入,可在局部区域提供电力支持,减少对主电网的依赖,尤其在极端天气导致主电网受损时,分布式电源能发挥重要作用,提高城市电网的抗灾能力,确保城市生产生活的正常运转。

3.3 智能技术应用与数字化转型

智能技术的应用和数字化转型是提升电力安全生产保障体系韧性的核心驱动力。借助大数据、人工智能、物联网等前沿技术,可实现对电力设备的全方位实时监测和精准故障预警。在电力设备上安装传感器,能实时收集设备的运行数据,如温度、电压、电流等。利用大数据分析技术,可对这些海量数据进行深度挖掘和分析,结合人工智能算法,对设备的健康状况进行准确评估,提前发现设备潜在故障。一旦发现隐患,可及时安排维修和更换,避免故障扩大化。建立智能电网调度控制系统,可根据电网的实时运行状态、负荷需求和能源供应情况,自动调整发电计划和输电方案,实现电网的实时优化调度,提高电网的运行效率和稳定性。同时利用物联网技术实现对电力设施的远程监控和管理,工作人员可实时掌握设施运行情况,在出现故障时能迅速响应,提高抢修效率,为电力安全生产提供智能化、数字化的保障。

3.4 完善应急响应机制与预案

完善应急响应机制与预案是应对极端天气下电力安全生产突发事件的重要保障。建立健全极端天气预警机制,加强与气象部门的合作,及时获取准确的极端天气预警信息。根据预警信息,提前启动应急预案,做好应急物资储备、抢修队伍调配等准备工作。制定科学合理的应急预案,明确各部门和人员在应急响应中的职责和分工。应急预案应包括灾害评估、应急响应流程、抢修方案、恢复供电策略等内容,并定期进行演练和修订,确保应急预案的有效性和可操作性。在应急响应过程中,加强与政府、社会救援力量等的协同配合,建立信

息共享和联动机制，提高应急响应效率。

3.5 强化资源调配与协同治理

强化资源调配与协同治理是提升电力安全生产保障体系韧性的重要环节。建立电力应急资源储备库，储备足够的抢修设备、材料、备品备件等应急物资，并定期进行更新和维护。在灾害发生后，能够迅速调配应急物资到受灾地区，保障抢修工作的顺利进行。加强电力企业与政府、社会各界的协同治理。政府应发挥主导作用，制定相关政策和法规，引导和支持电力企业加强电力安全生产保障体系建设。电力企业应加强与社区、企业等的沟通与合作，共同开展电力安全宣传和应急演练活动，提高社会公众的电力安全意识和应急处置能力。同时，建立跨区域的电力应急协同机制，实现资源共享、优势互补，提高应对大规模自然灾害的能力。

4 案例应用与效果评估

4.1 案例一：台风高发区输电线路韧性提升工程

某台风高发区针对输电线路在台风天气下容易受损的问题，实施了输电线路韧性提升工程。该工程采取多项措施，包括采用加强型导线和耐张杆塔，提高线路的机械强度和抗风能力；在杆塔基础方面，采用深基础和灌注桩技术，增强杆塔的稳定性；为输电线路安装防舞动装置和防雷装置，减少线路舞动和雷击事故的发生。工程实施后，经过多次台风的考验，输电线路的故障率明显降低。在最近一次强台风过境时，该地区输电线路仅出现少量杆塔倾斜和导线轻微损伤的情况，未发生大面积断线和杆塔倒塌事故，保障电力供应的稳定性。同时，由于故障减少，抢修工作量大幅降低，抢修时间缩短，提高电力生产的效率和可靠性。

4.2 案例二：城市电网极端高温应对体系优化

某城市在夏季经常遭受极端高温天气的影响，电网负荷居高不下，为了应对这一问题，该城市对电网极端高温应对体系进行了优化。优化措施包括加强变电站

设备的防水、防潮、防寒等防护措施，为设备加装保温层，提高设备在高温环境下的运行可靠性；采用环网结构和分布式电源，提高城市电网的供电可靠性；建立智能电网调度控制系统，实现对电网的实时优化调度，根据负荷需求和能源供应情况，自动调整发电计划和输电方案。通过优化，该城市电网在极端高温天气下的运行稳定性得到显著提高^[4]。在最近一次极端高温天气期间，电网负荷达到了历史新高，但未出现大面积停电事故。智能电网调度控制系统的应用，使电网的运行效率提高，减少能源浪费。同时分布式电源的接入，为局部区域提供了电力支持，缓解了主电网的供电压力，提高城市电网的抗灾能力。

结束语

极端天气下电力安全生产保障体系韧性提升至关重要。本文深入剖析极端天气对电力安全生产的影响机制、电力系统脆弱性特征及面临的挑战，针对性地提出多方面提升策略。通过台风高发区输电线路韧性提升工程和城市电网极端高温应对体系优化等案例，验证策略的可行性和有效性，为保障极端天气下电力安全生产提供有益参考。

参考文献

- [1]刘文霞,刘佳怡,万海洋,等.面向多类型极端天气的新型电力系统规划方案全场景风险评估[J].电力系统自动化,2025,49(04):65-78.
- [2]侯祖锋,王超,徐春华,等.考虑负荷重要程度的配电网韧性提升策略及评估方法[J].电力科学与技术学报,2024,39(03):78-85.
- [3]王秀丽,刘敦楠,谢国辉,等.电力系统韧性评估与提升研究综述[J].电力系统自动化,2021,45(11):176-189.
- [4]周孝信,鲁宗相,刘梅,等.极端自然灾害下我国城市电力系统韧性提升框架与发展策略研究[J].中国工程科学,2024,26(4):71-79.