

电力灾害应急通信卫星系统的架构与运维分析

张 垠

国网山西省电力公司信息通信分公司, 山西 太原 030000

[摘要]近年来, 台风、洪水、地震等自然灾害频发, 严重威胁着电网的安全稳定运行。尽管现有应急通信系统已包括指挥中心、移动通信车、卫星终端等关键设施, 但带宽受限、系统融合度不足以及智能化水平较低等问题仍然存在, 这些问题在一定程度上影响了抢修工作的效率。为了提升电网的应急保障能力, 迫切需要加强卫星通信与地面网络的融合, 并优化系统架构与运维管理。

[关键词]电力灾害; 应急通信; 卫星系统; 系统架构; 运维

DOI: 10.33142/hst.v8i3.15830

中图分类号: TM734

文献标识码: A

Architecture and Operation Analysis of Emergency Communication Satellite System for Power Disaster

ZHANG Yin

Information and Communication Branch of State Grid Shanxi Electric Power Company, Taiyuan, Shanxi, 030000, China

Abstract: In recent years, natural disasters such as typhoons, floods, and earthquakes have occurred frequently, seriously threatening the safe and stable operation of the power grid. Although the existing emergency communication system includes key facilities such as command centers, mobile communication vehicles, and satellite terminals, problems such as limited bandwidth, insufficient system integration, and low level of intelligence still exist, which to some extent affect the efficiency of emergency repair work. In order to enhance the emergency support capability of the power grid, it is urgent to strengthen the integration of satellite communication and ground networks, and optimize the system architecture and operation and maintenance management.

Keywords: electricity disasters; emergency communication; satellite system; system architecture; operation and maintenance

引言

电网的稳定运行对国家经济和民生至关重要, 但极端天气和突发事故常导致通信中断, 影响应急调度效率。传统通信手段在灾害环境中容易受损, 难以满足电力抢修需求。为此, 卫星通信凭借其广泛覆盖、高可靠性和强抗灾能力, 成为电力应急通信的关键技术。分析卫星通信系统的架构、运维管理和安全防护, 并探讨了如何通过结合卫星通信、5G 和人工智能, 进一步提升电网应急通信能力。

1 电力灾害应急通信卫星系统现状分析

极端天气、地震、洪水等自然灾害频发, 严重威胁电力系统的安全与稳定运行。电力设施遭受破坏时, 通信网络通常是首个受影响的环节, 导致调度指挥瘫痪、抢修效率降低, 甚至可能引发大范围停电。为提升应急处置能力, 国家电网公司加快了应急通信体系建设, 建设了应急指挥中心并投入使用移动通信车, 初步形成了地面应急通信系统。传统通信方式仍面临覆盖范围不足、受地形干扰及容量限制等问题, 难以满足特大灾害中的需求。卫星通信系统因其广覆盖、超远距离、不依赖地面基础设施的优势, 逐渐成为电力灾害应急通信的重要方案。与传统通信方式相比, 卫星通信在灾害环境中能够迅速恢复电力调度与抢修现场的联系。为提高通信可靠性与响应速度, 国家电网已实施卫星通信试点, 结合静止轨道卫星 (GEO) 与低轨

道卫星 (LEO) 技术, 实现与地面应急网络的融合, 增强了通信系统的抗毁能力。尽管取得初步进展, 仍面临技术与运维挑战。卫星带宽资源有限, 如何优化频谱利用与提升数据传输效率是关键问题。卫星终端的便携性、低功耗设计及快速部署能力仍需提高。此外, 现有通信系统的多网融合不足, 卫星通信、5G 专网、短波电台等手段之间的协同调度需进一步加强, 以确保在各类灾害环境下提供稳定、高效的通信保障。未来, 应推动卫星应急通信技术的研究与应用, 完善电力灾害应急通信体系, 提升电网应对突发事件时的响应能力与抢修效率。

2 电力灾害应急通信卫星系统架构

2.1 系统总体架构设计

电力灾害应急通信卫星系统由空间通信层、地面接入层及指挥调度层三个部分构成, 形成了天地一体化的应急通信网络, 确保在极端灾害环境下仍能保持高效的通信保障。在空间通信层, 系统依赖于静止轨道卫星 (GEO) 与低轨道卫星 (LEO) 协同工作。静止轨道卫星提供广泛的覆盖范围, 能够满足大规模的通信需求; 而低轨道卫星则以其低延迟和灵活性增强了局部区域的通信能力, 特别是在灾区的即时通信需求上, 发挥着至关重要的作用。地面接入层由应急通信车、便携式卫星终端和固定地面站组成, 应急通信车集成卫星、微波以及 5G 网络技术, 具备快速

部署的能力,能够在灾害发生后迅速投入使用;便携式卫星终端则为一线抢修人员提供远程通信支持,使其在偏远或受损地区顺利开展工作。在指挥调度层,国家电网调度中心及各级指挥中心通过融合卫星通信、光纤网络、5G 技术及短波电台,确保了实时的调度指挥与数据共享,此融合模式显著提高了应急响应效率,确保了信息的畅通与协调。整个系统架构强调多通道冗余、智能调度与快速部署,能够在正常运营状态下进行监测与预警,确保及时应对潜在的灾害威胁。一旦灾害发生,系统将迅速切换至高优先级模式,确保电网调度与抢修的通信不受影响。未来,随着人工智能与大数据分析技术的进一步结合,系统的智能化水平将得到提升,提供更强支持,进一步增强电力应急响应能力。

2.2 卫星通信网络结构

电力灾害应急通信的卫星网络结构由卫星段、地面段及用户终端三大部分构成,旨在确保在常规通信系统受损的情况下,依然能够维持稳定的远程指挥与抢修支持。卫星段结合了静止轨道卫星(GEO)与低轨道卫星(LEO),二者协同工作。GEO 卫星提供广域的稳定覆盖,保障了大范围的宽带通信;而 LEO 卫星凭借低时延与高传输速率的特点,在灾区能够迅速建立数据链路,增强了通信系统的弹性与灵活性。地面段包括卫星地面站、应急指挥中心及中继设备,卫星地面站与卫星保持长期连接,确保调度信息能够实时传输。应急指挥中心通过融合卫星、光纤、5G 专网等技术,实现了多通道的调度与指挥。中继设备,如便携式卫星终端与车载通信站,能够在灾区快速部署临时通信节点,从而扩展通信网络的覆盖范围,提升网络的灵活性与应变能力。用户终端主要包括抢修人员使用的便携式卫星设备及车载通信站,这些设备能够支持语音、视频及数据的实时回传,确保现场信息迅速传递至指挥中心,从而提高了应急响应的效率与准确性。该卫星通信网络采用了多层次的架构,通过卫星组网与地面网络的紧密融合,在灾害发生时可以快速接入,确保电网调度与抢修工作的连续性与可靠性。

2.3 地面通信设施与调度中心

地面通信设施与调度中心共同构成了电力灾害应急通信的核心支撑部分,主要负责信息的采集、传输、处理及决策调度,以确保在灾害发生时电网抢修工作能够高效协同。地面通信设施包括固定通信站、应急通信车以及便携式终端等。通过连接卫星与光纤骨干网,固定通信站保障了稳定的双向数据传输;应急通信车将卫星、微波及 5G 专网技术整合,能迅速部署至灾区现场并建立临时指挥通信链路;便携式终端为抢修人员提供了远程视频、语音及数据回传功能,显著提高了现场作业效率。调度中心由国家电网调度中心、省级应急指挥中心以及区域分中心构成,形成了层级化的调度体系,该体系通过卫星通信、

光纤专网、短波电台及公网的融合,建立了冗余通信网络,确保指令在不同通信环境下得以顺畅传递。结合 AI 技术与大数据分析,调度中心可实时监测电网状态,精准优化抢修资源的调配,从而提升整体应急响应能力。系统整体采用了分布式架构与多网络融合策略,即便在大规模灾害导致部分通信基础设施受损时,依然能保障电力抢修指挥的连续性与稳定性。

2.4 终端设备与用户接入方式

终端设备作为电力灾害应急通信卫星系统的核心组成部分,其性能直接决定了抢修人员的通信能力与调度效率。该系统的终端设备包括便携式卫星终端、车载通信站及固定卫星地面站,旨在根据不同的应用需求提供灵活多样的通信支持。便携式卫星终端设计小巧便于携带,专为抢修人员在灾区现场单兵作业时而设,能够提供语音、视频及数据通信功能。通过卫星链路,该终端设备能够实时传输电网故障信息,从而确保前线与后方之间的高效协同。车载通信站主要配置在应急通信车内,结合卫星、微波及 4G/5G 等多种通信方式,能够在灾区迅速搭建临时指挥中心,该设备为抢修队伍提供稳定的宽带连接,支持远程调度指挥,确保指挥效率在现场条件不利的情况下依然保持畅通。固定卫星地面站一般设立于电网调度中心及关键变电站,负责与卫星保持长期稳定的连接,确保灾害发生时,指挥中心能够迅速接入卫星通信网络,并与前线抢修队伍保持持续稳定的联系。用户接入方式采用多网络融合模式,支持卫星通信、蜂窝网络、Wi-Fi 等多种接入方式。终端设备可根据信号质量自动切换,以保证数据传输的稳定性与可靠性。此外,系统还根据不同用户的需求,如指挥中心、抢修人员及后方专家,提供不同的接入权限,确保远程协作的安全性与高效性。

2.5 多系统融合与互联互通

电力灾害应急通信系统必须具备高度的系统融合性与互联互通能力,以确保不同通信网络、设备及平台之间的信息能够顺畅衔接,从而提升应急响应的协同效能。该系统采用了“卫星+地面专网+公网”融合模式,结合卫星通信、光纤专网、5G 专网、短波电台等多种通信手段,建立了冗余备份的多通道网络。在某一网络受损时,其他通信链路仍能保持畅通,从而确保信息能够持续传递。同时,系统能够与电网调度系统、地理信息系统(GIS)及应急指挥平台进行无缝对接,支持故障定位、抢修路径优化及远程指挥调度,进而提高调度决策的精准性。在互联互通方面,系统能够实现跨部门与跨区域的数据共享。通过统一的指挥调度平台,不同省级电网公司、国家电网调度中心及地方政府的应急管理机构能够实现信息共享,有效避免了“信息孤岛”现象。结合 AI 与大数据分析,系统能够智能地选择最优通信通道,优化带宽分配,确保关键任务的优先传输,从而提升应急调度的智能化水平。通

过深度融合多种通信技术并建立高效的互联互通机制,系统能够在复杂的灾害环境中提供稳定、灵活且高效的通信保障,强有力地支持电网抢修及应急指挥工作的顺利开展。

3 电力灾害应急通信卫星系统的运维管理

3.1 系统运行监测与状态评估

电力灾害应急通信卫星系统的运行监测与状态评估对确保其长期稳定与高效运行至关重要^[1]。为及时发现并预防潜在故障,系统设计了全方位的实时监控机制,涵盖卫星链路、地面站及终端设备等关键环节。通过网络监控平台,系统能够持续追踪卫星信号质量、链路稳定性、数据传输速率等重要指标。同时,结合远程遥测、故障日志分析与 AI 智能诊断,通信状态得以实时评估。若链路质量下降或设备出现异常,系统将立即发出预警信号,通知运维人员快速响应,从而确保应急通信的畅通无阻。为进一步提升系统可靠性,定期开展通信能力评估与压力测试,模拟极端灾害情况下的负载波动,进而验证系统在高并发及恶劣环境下的稳定性。基于测试结果,系统能够优化资源调度方案,提升应对突发情况的能力。借助智能化的监测机制与动态评估,系统能够始终保持在最佳工作状态,确保为电网抢修及应急指挥提供稳定、可靠的通信保障。

3.2 故障诊断与快速恢复机制

电力灾害应急通信卫星系统的故障诊断与快速恢复机制,是确保应急通信可靠性与连续性的核心要素。通过智能监控、自动化诊断以及分层应急响应,该系统能够在发生故障时,及时识别问题并迅速恢复通信。内置的实时故障监控与告警模块,通过 AI 分析链路质量、信号衰减、设备状态等关键指标,一旦异常被发现,故障源便能立即被定位,并根据预设规则划分故障级别,明确影响范围与紧急程度^[2]。系统采取分级恢复策略,应对不同的故障情形。例如,在遇到轻微链路波动时,功率自动调节或切换至备用通道等措施,可迅速修复问题;面对硬件故障,如卫星终端损坏或通信设备失效时,附近的备用设备调动或远程软件修复能减少影响;在极端情况下,系统会迅速切换至低轨卫星或公网通信,确保关键数据传输不受中断。此外,系统还具备远程诊断与专家协作功能,运维人员能够通过云平台调取历史数据,分析故障发展趋势,并与指挥中心进行协作决策,从而提升恢复效率。借助智能化、分层次的响应机制,该系统能够最大限度地减少故障对通

信的干扰,确保电力抢修与调度工作的高效开展。

3.3 网络安全与数据保护

电力灾害应急通信卫星系统的网络安全与数据保护至关重要,直接影响着应急调度的稳定性及信息传输的安全性。为了有效应对网络攻击、数据泄露及非法入侵的风险,系统采取了多层防护机制,并结合加密认证与智能检测技术。在网络安全方面,系统通过专网隔离、动态访问控制以及多重身份验证来管理不同级别用户的权限,防止未经授权的访问^[3]。为了实时监控潜在威胁,防火墙、入侵检测系统(IDS)与安全信息事件管理(SIEM)等技术被部署,能够及时识别并阻止异常行为。在数据保护方面,端到端加密技术、分布式存储与异地备份被应用,以确保通信内容在传输、存储及访问过程中不被篡改或泄漏。对于关键数据,国密算法(SM2、SM3、SM4)被用来进行加密,从而提升抗攻击能力。同时,区块链技术也被引入,以确保数据的可溯源性,防止篡改与伪造。系统的一部分还包括定期的网络安全演练与漏洞扫描,通过模拟攻击来测试防御能力,并根据测试结果不断优化安全策略,以应对复杂多变的网络威胁。通过这些综合性的安全防护措施,电力应急通信系统能够在极端灾害情况下,依然提供可靠的安全保障,支持电网调度与抢修工作的顺利进行。

4 结语

电力灾害应急通信卫星系统对电网安全运行至关重要。本文分析了其架构、运维管理与安全防护,强调了多网络融合、智能监控与快速响应机制的重要性。随着高通量卫星、5G 技术和人工智能的不断进步,系统将变得更加智能高效,进一步提升应急通信能力,为电网稳定运行和社会可持续发展提供有力支持。

[参考文献]

- [1]陈曦,刘倩,杨斌,等. 电力应急通信系统建设探讨[J]. 电力安全技术,2022,24(1):11-13.
 - [2]杨光辉,王刚. 电力应急指挥系统设计及其关键技术研究[J]. 信息技术,2021(11):93-98.
 - [3]金翠,特古斯. 内蒙古电力应急通信指挥系统建设技术方案[J]. 电子技术与软件工程,2019(3):26-27.
- 作者简介:张垠(1995.11—),男,毕业院校:中国科学院大学,所学专业:电子与通信工程,当前工作单位:国网山西省电力公司信息通信分公司。