

非煤矿山应急通信保障技术现状与发展趋势

陈智明

临沂市应急救援指挥服务中心 山东 临沂 276000

摘 要：非煤矿山应急通信保障技术对矿山安全生产意义重大。本文先阐述技术体系构成，包括井上井下融合网络架构、核心设备分类及传输介质与信号制式。接着分析关键技术现状，如有线、无线、应急自组网及电源保障等技术。随后指出技术瓶颈，如复杂环境信号覆盖局限、多系统互联障碍等。最后探讨发展趋势，涵盖宽带化与多媒体融合、智能化调度、空天地一体化组网及低功耗长续航设备技术，为提升非煤矿山应急通信保障能力提供参考。

关键词：非煤矿山；应急通信保障；技术现状；发展趋势

引言：非煤矿山作业环境复杂，突发灾害频发，应急通信保障是矿山安全生产的关键环节。有效的应急通信能在灾害发生时，确保救援指令及时传达、现场信息准确反馈，为救援工作争取宝贵时间。然而，当前非煤矿山应急通信保障技术面临诸多挑战，如复杂环境下的信号覆盖难题、多系统互联互通障碍等。深入研究技术现状与发展趋势，有助于突破现有瓶颈，提升应急通信保障能力，保障矿山作业人员生命安全。

1 非煤矿山应急通信保障技术体系构成

1.1 井上井下融合通信网络架构

井上井下融合通信网络架构是应急通信保障技术体系的核心支撑，采用工业互联网架构理念规范统一整体系统架构，完善平台层、基础设施层及感知控制层，打破各子系统数据信息孤岛，实现数据信息流通融合^[1]。架构分为井上核心、井下骨干及接入层三级协同，井上核心层部署核心节点和接入控制器，负责全网数据调度；井下骨干层通过虚拟化切片技术构建物理隔离的网络通道，支撑不同应急业务无干扰运行；井下接入层支持终端有线接入并成环提升可靠性。架构融入SRv6路径优化、高精时钟同步及IFIT实时质量监测等关键技术，具备断链保护功能，可在链路中断后快速完成路径切换，确保应急通信业务连续性，实现井上地面通信网络与井下主干网络、接入网络的高效衔接。

1.2 应急通信核心设备分类

应急通信核心设备分类围绕非煤矿山应急通信全流程需求划分，覆盖信号收发、调度控制、终端接入等关键环节。调度类设备采用软交换多媒体调度系统，具备语音调度、视频调度、紧急广播等功能，可实现与各类监测监控系统的高效联动，支持一键式对讲、应急会议、紧急呼叫等应急场景需求，采用双机热备模式保障设备稳定运行。终端类设备分为井上终端与井下终端，井下

终端需适配井下复杂环境，具备防爆、抗干扰特性，可接入无线通信网络实现移动通信；井上终端侧重调度指挥功能，支持多终端协同调度与远程控制。辅助类设备涵盖信号中继、设备防护等类型，用于延伸信号覆盖范围，提升设备在复杂环境下的运行稳定性，支撑应急通信全流程顺利开展。

1.3 传输介质与信号制式

传输介质与信号制式的合理选择的是应急通信保障的基础，需适配非煤矿山井上井下不同环境特点。传输介质主要分为矿用光缆与矿用电缆两大类，矿用光缆以光信号为载体，具备传输速率高、抗干扰能力强的优势，适用于井上井下主干网络传输，可支撑高清视频、大量监测数据等业务的高效传输；矿用电缆以电信号为载体，布线灵活，适用于井下接入层及终端设备连接，可实现信号的快速传输与转换。信号制式需兼顾兼容性与实用性，无线通信采用5G、Wi-Fi6等主流制式，满足无线通信低时延、高带宽需求，同时支持TETRA、P25等多制式通信协议，实现与现有监控系统的兼容；有线通信采用以太网制式，构建万兆骨干、千兆到桌面的传输体系，通过信号转换技术将各类监测信号转换为IP网络信号，实现双向数据传输，为应急通信提供稳定可靠的信号支撑。

2 非煤矿山应急通信保障关键技术现状

2.1 有线通信保障技术

有线通信保障技术是非煤矿山应急通信的基础支撑，依托矿用专用有线传输技术构建稳定传输链路，适配矿山复杂作业环境^[2]。目前应用的有线通信技术以光纤通信与电缆通信为主，光纤通信凭借低损耗、高带宽的优势，承担井上井下主干信号传输任务，采用波分复用技术拓展传输容量，可同步承载语音、数据、视频等多类应急业务。电缆通信则聚焦井下接入层及短距离传输场景，选用矿用阻燃、抗拉伸专用电缆，优化布线方式减少环

境对传输的影响。有线通信技术通过环网拓扑结构提升可靠性,部署链路冗余设计,可在单条链路故障时快速切换至备用链路,保障应急通信链路不中断,适配矿山长期稳定运行的通信需求。

2.2 无线通信保障技术

无线通信保障技术解决非煤矿山井下移动应急通信需求,结合矿山环境特点优化技术适配性。当前主流应用的无线通信技术涵盖超短波、短波及5G通信,超短波通信凭借传输距离适中、部署灵活的优势,广泛应用于井下局部区域应急联络,优化信号调制技术提升抗干扰能力。短波通信主要用于偏远矿山及地面大范围应急通信,通过天波传播突破地形限制,保障远距离应急指令传输。5G通信逐步应用于矿山应急场景,依托低时延、高可靠特性,支撑高清视频监控、远程应急指挥等业务,通过小型化基站部署适配井下狭窄空间,弥补传统无线通信带宽不足的短板,推动无线应急通信向高效化升级。

2.3 应急自组网通信技术

应急自组网通信技术针对矿山突发灾害场景设计,可在现有通信网络中断时快速构建临时通信链路。该技术采用分布式网络架构,无需固定基站支撑,终端设备可自动发现、组网,实现信号自中继、自修复。组网过程中通过动态路由协议优化链路选择,根据节点状态实时调整传输路径,确保应急信号稳定传输。技术适配矿山灾害现场的复杂地形,终端设备具备小型化特性,可快速部署于救援现场,支撑救援人员间的实时联络及现场数据传输,弥补传统通信网络依赖固定基础设施的局限,提升突发灾害场景下的应急通信保障能力。

2.4 电源保障与设备防护技术

电源保障与设备防护技术是应急通信持续运行的重要支撑,贴合矿山复杂恶劣的作业环境。电源保障采用双电源冗余设计,结合应急备用电源系统,正常工况下由工业电网供电,突发停电或电网中断时,备用电源快速启动,确保通信设备不间断运行。备用电源选用大容量、长续航的矿用专用电源,优化充电管理技术延长使用寿命。设备防护技术聚焦防水、防尘、防爆及抗冲击需求,通信设备采用密封式结构设计,选用耐磨损、耐腐蚀材料,适配井下高湿度、高粉尘、高气压的环境特点。同时通过防雷接地技术优化,降低矿山雷电天气对通信设备的损坏风险,保障应急通信设备在各类复杂环境下稳定运行。

3 非煤矿山应急通信保障技术瓶颈与薄弱环节

3.1 复杂环境下的信号覆盖局限

复杂环境下的信号覆盖局限是当前非煤矿山应急通

信的主要瓶颈之一,矿山井下地形复杂、巷道交错且多为密闭空间,地面区域则多存在山地、沟壑等地形阻隔,严重影响信号传输效果。有线通信链路布线受巷道走向、地质条件限制,部分偏远采掘区域及临时作业点难以实现有线覆盖,布线成本高且维护难度大。无线通信信号易受巷道岩壁、矿体的遮挡与吸收,信号衰减严重,导致井下局部区域出现通信盲区,尤其在深部采掘区域,信号覆盖效果大幅下降^[3]。现有覆盖技术难以适配矿山动态采掘场景,随着采掘工作面推进,原有信号覆盖网络无法及时跟进,进一步加剧覆盖局限,影响应急通信的全面性与及时性。

3.2 多系统互联互通障碍

多系统互联互通障碍制约应急通信保障效率,非煤矿山应急通信系统由多个子系统构成,不同子系统采用的通信协议、技术标准存在差异,缺乏统一的接口规范与数据交互标准。有线通信系统、无线通信系统、应急自组网系统各自独立运行,数据信息无法高效流通,形成信息孤岛。调度指挥系统难以实现对各子系统的集中管控,无法快速整合各类通信数据,导致应急指令传递、现场信息反馈出现延迟。不同厂家生产的通信设备兼容性较差,新增设备与原有系统对接困难,需进行复杂的技术改造,不仅增加投入成本,还会影响系统整体运行稳定性,无法形成协同保障合力。

3.3 极端灾害条件下的通信中断风险

极端灾害条件下的通信中断风险凸显,非煤矿山易发生坍塌、透水、火灾等突发灾害,此类灾害会对通信基础设施造成严重破坏。灾害发生时,井下巷道坍塌易损毁有线通信光缆、电缆,无线通信基站也可能因冲击、掩埋失去功能,导致现有通信链路快速中断。应急自组网虽能临时构建通信链路,但在强冲击、高粉尘、高湿度的极端灾害环境下,组网节点易损坏、信号传输易受干扰,难以维持长期稳定通信。灾害发生后,救援现场环境复杂,通信基础设施修复难度大、周期长,进一步扩大通信中断时长,影响应急救援指令传递与现场情况反馈,不利于救援工作高效开展。

3.4 通信设备抗毁与防水防尘能力不足

通信设备抗毁与防水防尘能力不足,难以适配矿山复杂恶劣的作业环境。井下区域湿度高、粉尘浓度大,部分区域存在高压、冲击等工况,现有部分通信设备虽具备基础防护能力,但防护等级未完全适配矿山实际需求,长期使用易出现粉尘渗入、水汽侵蚀现象,导致设备故障、性能下降。设备抗毁能力不足,遭遇坍塌、冲击等突发情况时,易出现外壳破损、内部元器件损坏,

无法正常运行。部分便携式应急通信设备为追求轻便,简化防护设计,防水防尘与抗毁性能进一步降低,在应急救援现场易受环境影响失效,无法为救援工作提供持续稳定的通信支撑,制约应急通信保障能力的发挥。

4 非煤矿山应急通信保障技术发展趋势

4.1 宽带化与多媒体融合通信方向

宽带化与多媒体融合通信是非煤矿山应急通信的核心发展方向,依托通信技术迭代升级,突破传统窄带通信局限,提升应急通信传输带宽与业务承载能力^[4]。宽带化发展聚焦高速率、大容量传输需求,推广应用5G-A、光纤宽带等技术,优化传输协议提升数据传输效率,可高效承载高清视频、海量监测数据、语音指令等多类应急业务。多媒体融合通信打破单一业务传输模式,实现语音、视频、数据等业务的一体化传输,推动应急通信从单一语音联络向多维度信息交互转型,让应急指挥人员可实时获取现场视频画面、环境监测数据,提升应急决策的精准度与高效性,适配矿山应急救援多场景需求。

4.2 智能化应急通信调度技术方向

智能化应急通信调度技术朝着自主化、精准化方向发展,融合人工智能、大数据等技术,优化调度机制提升应急通信响应效率。通过构建智能调度平台,实现应急通信资源的自动分配、链路状态的实时感知与动态调整,无需人工干预即可完成应急链路的快速搭建与优化。智能调度技术可自动识别通信异常、链路故障,快速定位故障点并启动备用方案,缩短故障处置时间。同时,结合应急救援场景需求,实现调度指令的精准推送与分级传达,优化调度流程,减少指令传递环节,确保应急指令快速落地,提升应急通信调度的智能化水平与协同效能。

4.3 空天地一体化应急组网方向

空天地一体化应急组网方向旨在打破单一通信网络局限,构建天空、地面、地下协同联动的应急通信网络。整合低轨卫星通信、无人机中继通信、地面无线通信及井下有线通信技术,形成全方位、无死角的通信覆盖体系。低轨卫星通信可实现偏远矿山、灾害现场的广域覆盖,解决地面通信中断后的应急联络需求;无人机中继通信可快速部署于灾害现场,搭建临时中继链路,延伸

信号覆盖范围;地面与井下通信网络强化协同,实现井上指挥与井下救援现场的无缝对接,彻底解决复杂地形、极端环境下的通信覆盖难题,提升应急通信的可靠性与全面性。

4.4 低功耗与长续航通信设备技术方向

低功耗与长续航通信设备技术聚焦设备持续运行能力提升,适配矿山应急救援长期作战需求。通过优化设备电路设计、采用低功耗芯片与节能技术,降低应急通信设备的能耗,减少电源依赖^[5]。长续航技术依托新型储能材料与充电管理技术,提升备用电源容量与使用寿命,延长设备连续运行时间,可满足极端灾害场景下长时间应急通信需求。同时,在降低功耗、延长续航的基础上,兼顾设备小型化与防护性能,优化设备结构设计,提升防水、防尘、抗毁能力,让设备既能适配矿山复杂恶劣环境,又能实现便捷携带与快速部署,为应急救援提供持续稳定的通信支撑。

结束语

非煤矿山应急通信保障技术正处于不断发展和完善的进程中。面对复杂环境下的诸多挑战,通过宽带化与多媒体融合、智能化调度、空天地一体化组网以及低功耗长续航设备技术等发展方向,能够逐步解决现有问题,提升应急通信的可靠性、全面性和高效性。持续推动技术创新与应用,将进一步增强非煤矿山应对突发灾害的能力,为矿山安全生产提供坚实的通信支撑,保障矿山作业的稳定有序开展。

参考文献

- [1]何朋,路昊,周焕明,等.面向非煤地下矿山智能化建设的多网融合数据传输技术[J].工业安全与环保,2026,52(1):62-67.
- [2]李建,张宏,刘敏.非煤矿山应急自组网通信技术研究[J].金属矿山,2025,54(8):167-173.
- [3]刘畅,王峰,李娜.非煤矿山应急通信设备防护技术研究[J].中国矿业,2024,33(5):132-138.
- [4]陈明,李丽,周强.非煤矿山空天地一体化应急通信组网技术探讨[J].矿山机械,2023,51(11):98-104.
- [5]郑文广.基于ZigBee技术的煤矿应急通信系统研究[J].矿业装备,2022(6):274-276.