

微波数字通信技术在应急通信中的关键作用

朱一铭

锡林郭勒盟微波总站 内蒙古 锡林郭勒 026000

摘要：微波数字通信技术以其高带宽、低延迟、强抗干扰及灵活组网等特性，在应急通信中扮演关键角色。它能够快速部署，实现“小时级”甚至“分钟级”通信恢复，适应灾后复杂地形变化；具备出色抗灾性，绕过物理障碍，保障恶劣环境下通信连续性；支持大容量数据传输，满足高清视频调度、大数据分析需求；同时成本效益高，可扩展性强，是应急通信中不可或缺的技术手段。

关键词：微波数字通信技术；应急通信；关键作用

引言：在自然灾害、公共安全事件等紧急状况频发的当下，应急通信的及时性与可靠性成为救援行动成功与否的关键因素。传统通信方式在应对突发事件时，常因部署周期长、覆盖范围有限及抗灾能力弱而显得力不从心。微波数字通信技术，凭借其快速部署、灵活组网、强抗干扰及大容量数据传输等优势，为应急通信提供了高效、稳定的解决方案，成为现代应急通信体系中不可或缺的重要组成部分。

1 微波数字通信技术基础

1.1 技术原理与特点

(1) 微波频段特性：微波通信选用2.4GHz-40GHz频段，该频段频谱资源丰富，可支撑高带宽数据传输。其核心传输特性为视距传输，信号传播路径近似直线，受地形遮挡影响较大，需通过中继设备延伸传输距离，适配中短距离高速通信场景，广泛应用于各类应急与常规通信领域。(2) 数字通信技术核心：核心环节包括调制解调、编码纠错与多址接入。调制解调实现数字基带信号与微波载波的相互转换，保障信号有效传输；编码纠错通过冗余编码提升信号抗干扰能力，降低传输误码率；多址接入技术实现多用户共享信道资源，通过时分、频分等方式保障通信有序性，支撑多终端协同工作。(3) 关键优势：具备高带宽特性，可满足高清视频、大数据交互等海量数据传输需求；低延迟优势显著，传输时延达毫秒级，适配实时调度、远程控制等时延敏感场景；抗干扰能力突出，通过数字信号处理技术抵御电磁干扰与多径衰落；灵活组网能力强，可快速搭建临时链路，支持网络拓扑动态调整，适配复杂多变的应用场景^[1]。

1.2 技术分类与适用场景

(1) 点对点微波链路：采用点对点传输架构，核心用于固定基站互联，如城市核心网基站间骨干链路、偏

远地区基站与核心网的连接。该模式传输稳定、带宽可控，可作为光纤通信的补充与备份，在光纤铺设困难区域实现高效组网，保障通信连续性。(2) 移动式微波系统：以应急通信车、无人机中继为典型应用载体，具备灵活部署特性。应急通信车可在灾害、大型活动等场景快速搭建临时通信枢纽；无人机中继可突破地形限制，弥补地面通信覆盖盲区，适用于山区救援、海上通信等复杂场景的信号中继转发。(3) 混合组网模式：通过微波与卫星、5G技术协同构建通信网络。卫星通信实现广域覆盖，微波链路负责区域内高速数据交互；在5G网络中，微波可作为基站回传链路，提升部署灵活性，尤其适配城市密集区域与临时热点区域的网络覆盖优化，实现优势互补。

2 应急通信场景需求与挑战

2.1 典型应急场景分析

(1) 自然灾害：地震、洪水等重大自然灾害易造成光纤、基站、电力等基础通信设施大面积损毁，形成通信“盲区”。此类场景下，应急通信需快速突破地理与设施限制，优先保障救援指挥部与前线队伍的实时联络，以及灾情信息的及时上报，同时需支撑人员搜救、物资调配等关键环节的动态数据传输，对通信的快速部署性和抗损毁能力要求极高。(2) 公共安全事件：恐怖袭击、骚乱等突发公共安全事件具有突发性和不确定性，需快速搭建临时通信网络，保障公安、武警等多部门协同处置；大型活动安保场景则面临人员密集、终端接入量大的问题，需实现安保人员间的实时调度，以及重点区域的视频监控画面回传，对通信的稳定性和并发承载能力需求突出。(3) 偏远地区临时通信需求：偏远山区、无人区等区域无基础通信覆盖，野外救援、地质灾害监测等场景需临时搭建通信链路。此类场景地形复杂、交通不便，且供电条件有限，要求应急通信设备具

备便携性、低功耗特性，同时需满足远距离数据传输需求，保障监测数据实时回传和救援指令精准传达。

2.2 传统应急通信的痛点

(1) 部署周期长、覆盖范围有限、抗灾能力弱：传统应急通信多依赖有线扩容或大型固定中继设备，部署前需进行复杂的场地勘测和线路铺设，周期通常达数天，难以满足应急场景“分钟级”响应需求；受设备性能和地形限制，覆盖范围较窄，难以覆盖大范围灾害区域；且设备对环境适应性差，在强震动、洪水浸泡等极端条件下易失效，抗灾能力薄弱^[2]。(2) 成本与效率的矛盾：传统应急通信中，卫星通信虽能实现广域覆盖，但卫星终端设备购置成本高昂，通信资费昂贵，且卫星信道资源稀缺，难以满足多用户、大容量的并发通信需求；而其他传统方式如短波通信，虽成本较低，但传输速率慢、抗干扰能力弱，效率低下。这种成本高与效率低的矛盾，导致传统应急通信难以平衡保障质量与经济成本，制约了应急处置效能的提升。

3 微波数字通信技术在应急通信中的关键作用

3.1 快速部署与灵活组网能力

(1) 便携式设备实现“小时级”通信恢复：微波数字通信设备具备小型化、轻量化的便携优势，无需复杂的前期施工和基础设施支撑，救援人员可携带设备快速抵达灾害现场，通过简易调试完成通信链路搭建，实现“小时级”甚至“分钟级”的应急通信恢复。典型案例为汶川地震救援中，地面光纤、基站等通信设施大面积损毁，救援队伍携带便携式微波中继设备赶赴现场，仅用2-3小时就搭建起临时微波通信链路，保障了救援指挥部与前线救援队伍的实时联络，为人员搜救、物资调配提供了关键通信支撑，有效弥补了传统通信方式部署滞后的短板。(2) 动态调整网络拓扑以适应灾后地形变化：灾后场景地形地貌复杂多变，如道路坍塌、地形沉降等会导致原有通信链路受阻。微波数字通信系统支持灵活的网络拓扑调整，可通过软件配置快速变更节点连接关系，新增或删减中继节点，形成树形、网状等多样化组网结构。例如在洪水灾害中，随着水位上涨，部分部署的通信节点被淹没，救援人员可通过调整微波设备的部署位置和链路走向，重新构建适配水位变化的通信网络，确保通信链路持续畅通，满足动态变化的应急救援需求^[3]。

3.2 抗灾性与可靠性保障

(1) 微波传输绕过物理障碍：微波信号采用视距传输模式，相较于依赖有线线路的通信方式，可有效绕过灾后倒塌的建筑、被洪水淹没的区域等物理障碍。在

地震灾后的废墟区域，有线通信线路被完全损毁，而微波设备可通过架设在地、救援车辆顶部等位置，实现跨废墟区域的信号传输；在洪水肆虐的区域，微波链路可跨越洪水覆盖范围，连接两岸救援力量，避免了有线设备被浸泡损毁的风险，保障了恶劣环境下通信的连续性。(2) 数字信号抗干扰能力：微波数字通信采用数字信号传输，相较于传统模拟微波通信，具备更强的抗干扰能力。数字信号可通过编码纠错、信号加密等技术手段，对传输过程中受到的电磁干扰、噪声影响进行修正和过滤，有效降低信号失真概率；而模拟信号在传输过程中易受干扰导致信号衰减、失真，且干扰信号难以分离。在应急救援现场，各类救援设备、电力抢修设备密集作业，电磁环境复杂，数字微波通信可在复杂干扰环境下保持稳定的信号质量，确保救援指令、灾情信息等关键数据的准确传递。

3.3 大容量数据传输支持

(1) 应急指挥中的高清视频调度、大数据分析需求：应急救援过程中，指挥中心需要实时获取前线的高清视频画面，进行远程调度决策；同时，灾情监测、人员定位等数据的汇总分析也需要大容量数据传输支撑。微波数字通信具备高带宽特性，可实现GB级别的数据传输速率，能够流畅传输多路高清视频信号，保障指挥中心与前线之间的高清视频会议、现场画面实时回传；同时，可快速汇总整合各类灾情数据，为救援方案制定、资源优化配置等大数据分析工作提供高效的数据传输保障，提升应急指挥的精准性和科学性^[4]。(2) 微波与5G/Wi-Fi6融合提升带宽效率：微波数字通信可与5G、Wi-Fi6等新一代通信技术深度融合，形成优势互补的通信体系。通过微波链路作为5G基站的回传通道，可快速搭建临时5G网络，利用5G的广连接、低时延特性，支撑海量终端设备接入；结合Wi-Fi6技术，可在救援现场构建局部高速无线局域网，满足救援人员手持终端、监测设备等近距离高速数据交互需求。这种融合组网模式大幅提升了带宽利用效率，可同时承载视频调度、数据传输、终端接入等多种业务需求，全面覆盖应急救援的多元化通信场景。

3.4 成本效益与可扩展性

(1) 长期使用成本低于卫星通信：在应急通信保障中，卫星通信虽能实现广域覆盖，但设备购置成本高昂，通信资费昂贵，长期使用的经济压力较大。而微波数字通信设备性价比更高，一次性购置成本较低，且后续使用过程中无需支付高额信道占用费等费用。对于常态化的应急演练、偏远地区日常监测等场景，采用微

波数字通信可显著降低长期使用成本；在重大灾害应急保障中，可作为卫星通信的补充，在保障通信质量的同时，控制整体应急通信成本^[5]。（2）模块化设计支持按需扩容：微波数字通信设备采用模块化设计，具备良好的可扩展性。根据应急救援的规模和通信需求，可通过叠加临时基站、新增中继模块等方式快速扩容，提升通信网络的覆盖范围和带宽容量。例如在大型活动安保、大范围灾害救援等场景中，随着救援力量的增多和通信需求的提升，可在原有微波通信网络基础上，新增模块化微波设备，快速扩展网络容量，满足多部门、多队伍的协同通信需求；应急处置结束后，可拆除多余模块，实现设备的回收复用，提升资源利用效率。

4 微波数字通信在应急通信中的挑战与对策建议

4.1 现存挑战

（1）频谱资源竞争与干扰问题：微波通信依赖特定频段资源，当前2.4GHz、5GHz等常用频段同时被Wi-Fi、蓝牙等民用设备占用，应急场景下易出现频谱资源竞争冲突。同时，灾害现场各类救援设备、电力设施产生的电磁干扰复杂，叠加不同单位部署的微波设备频段重叠风险，易导致通信链路信噪比下降，出现信号中断、数据传输误码等问题，影响应急通信稳定性。（2）复杂环境下的视距传输限制：微波信号的视距传输特性使其在复杂地形中面临显著限制。山区地形起伏大、植被茂密，易形成信号遮挡；城市峡谷中高楼林立，会导致信号多径传播和遮挡，两者均会破坏微波视距传输条件，大幅缩短通信距离、降低信号质量。在这类场景下，传统微波设备难以实现大范围、高质量覆盖，制约应急通信效能发挥。（3）标准化与互操作性不足：当前微波应急通信设备市场缺乏统一标准，不同厂商设备在接口协议、通信频段、控制指令等方面存在差异，导致多部门、多区域协同救援时，不同来源的微波设备难以无缝对接组网。设备兼容性问题会造成通信链路割裂，无法形成统一的应急通信网络，影响跨区域、跨部门的信息共享和协同调度效率。

4.2 优化路径

（1）技术创新：推进智能波束成形技术研发与应用，通过自适应调整波束方向和增益，精准跟踪通信目

标，避开遮挡和干扰区域，提升复杂环境下的信号覆盖能力；加快毫米波频段开发，充分利用毫米波频谱资源丰富的优势，拓展微波通信带宽，同时降低与现有频段的干扰冲突，为应急通信提供更多频谱选择。（2）政策支持：建立频谱动态分配机制，依托智能频谱感知技术，实时监测频谱使用状态，在应急场景下优先保障微波通信的频谱资源供给，动态调配闲置频谱；划定应急通信专用频段，明确该频段的专属使用权和优先级，从政策层面规避频谱竞争干扰，为微波应急通信提供稳定的频谱保障。（3）产业协同：由行业主管部门牵头，推动微波应急通信设备标准化建设，统一设备接口、协议、频段等关键技术参数，提升多厂商设备的互操作性；建立跨区域应急通信联盟，整合政府部门、企业、科研机构等资源，搭建协同调度平台，实现不同区域、不同部门微波通信资源的统筹调配和高效联动，提升应急通信网络的整体效能。

结束语

综上所述，微波数字通信技术凭借其快速部署、灵活组网、强抗干扰及大容量数据传输等显著优势，在应急通信领域展现出了不可替代的关键作用。它不仅有效提升了应急响应的速度与效率，还为救援行动提供了稳定可靠的通信保障。随着技术的不断进步与应用场景的持续拓展，微波数字通信技术必将在未来应急通信体系中发挥更加重要的作用，为社会的安全稳定贡献更大的力量。

参考文献

- [1]师洪涛.卫星通信技术在应急通信中的应用研究[J].信息记录材料,2024(5):58-60.
- [2]李长城.卫星通信在应急通信中的应用[J].通信与信息技术,2022(S2):68-72.
- [3]李鹏飞.卫星通信技术在消防应急通信中的应用[J].集成电路应用,2024,41(05):214-215.
- [4]舒杰.数字微波通信与卫星数字通信技术在广播传输中的应用[J].中国新通信,2021,23(08):25-27.
- [5]李兴渊.中波广播发射技术在应急通信中的应用[J].电视技术,2024,48(02):147-149.