

长距离超宽带雷达生命信息探测系统

肖明国 郑学召 张彪 康玉国 黄渊

国家矿山应急救援大地特勘队

一、研发创意

近年来，随着浅部煤炭资源的枯竭，部分矿井的开采深度已超过 800 米，当发生爆炸、透水和冒顶片帮等事故时，易造成巷道严重堵塞，极大地增加了巷道疏通难度。传统巷道疏通救援方法难以满足实际救援需求，而垂直钻孔救援技术作为一种快速构建生命通道的新型救援技术，得到了广泛应用。

钻孔施工过程若造成局部坍塌或钻孔位置偏移，未精准贯穿至探测巷道空间内，则会使被困人员处于障碍物后方。目前钻孔救援中运用的红外、气体和音视频探测等都无法实现对障碍物后方被困人员的非接触式生命探测。

国内外矿山钻孔垂直救援多采用音频、视频生命信息探测技术进行井下被困人员的搜寻，该技术存在一定的局限性，若钻孔位置偏移未精确贯穿至探测区域或探测区域发生坍塌，形成不可视的遮蔽环境，音视频生命信息探测技术无法发挥应有的作用。长距离超宽带雷达生命信息探测系统通过雷达天线发射超宽带电磁波，超宽带电磁波频谱宽、穿透性强，能够穿透非磁性介质（如砖墙、煤岩体等），从而实现对人体生命信号的探测。UWB 雷达生命信息探测技术可突破传统钻孔音视频探测技术装备的技术瓶颈，穿透煤、岩等非磁性矿井遮蔽物，可实现遮蔽环境下的人员探测。为满足矿山（隧道）救援需求，团队对长距离超宽带雷达生命信息探测系统形状、尺寸进行了创新设计，圆柱形状可更好地应用于钻孔垂直救援环境；对系统硬件和软件进行技术攻关开发，相继攻克有限空间信息长距离实时可靠传输技术、井下生命信息穿透探测、量化识别定位技术和本质安全型电源设计及电路控制技术，系统反应灵敏度高、探测误差小，图像显示直观，持续工作时间长，集成度高，最大探测井深可达 1500m，能够应用于实战救灾当中，适应现场救援复杂条件。

二、成果简介

长距离超宽带雷达生命信息探测系统由超宽带雷达探测器、实时通信布线轮、监控电脑三部分构成，探测器与布线轮之间有线连接，布线轮和监控电脑之间无线连接。装备通过提取和分析人体生命特征（如体动、呼吸、心跳）引起的雷达回波信号的周期变化，实现对遮蔽物（如煤岩体）后非可视条件下人员生命信息的探测与定位。

超宽带雷达探测器与监控电脑由两种连接方式，依据现场实际距离情况采用 RJ45 网口连接（ $\leq 10\text{m}$ ）和内置长距离传输模块的实时通信布线轮（ $\leq 500\text{m}$ ）连接；布线轮和监控电脑之间无线连接 $\leq 200\text{m}$ 。监控电脑配备终端控制信息软件，该软件基于 Windows 开

发，全中文可视化界面，分析处理雷达探测回波。

三、技术特点

超宽带（Ultra-wide Band, UWB）雷达具有穿透能力强、抗干扰性好、近距离分辨率高、多径分辨能力强、传输速度快和传输距离远等特点，可穿透煤岩体、混凝土等非金属障碍物进行生命信息的非接触式探测。团队研发的长距离超宽带雷达生命信息探测系统，能穿透障碍物，实现被困人员的探测定位，缩短救援时间，让救援具有更强的针对性和科学性，大大提升救援成功率，减少人力、物力，具有很好的社会效益。

长距离超宽带雷达生命信息探测系统简介：

1. 超宽带雷达探测器：救援时通过双绞线连接，放入目标探测区域，实现生命信息探测及定位。超宽带雷达探测器包含主控模块、数据采集单元、数据传播模块、天线和电源管理模块。主控模块：负责操作的控制和指令的报送发布；数据采集单元：进行 UWB 电磁波回波数据采集；数据传播模块：将采集的 UWB 电磁波数据发送至数据处理中心；天线：负责信号发射与接收；电源管理模块：满足系统安全供电，保证电源合理分配。
2. 实时通信布线轮：承担前端探测系统与终端控制之间的数据信息传播任务。
3. 监控电脑：为装有定制软件的工业计算机，承担雷达的控制工作与工作模式，并对前端探测系统所采集的电磁波回波数据进行人体体征信号识别与显示。

工作原理：UWB 雷达面对目标区域发射电磁波，当电磁波穿透介质之后触碰到人体会产生反射，进而形成携带有人体生命特征（呼吸、胸腔起伏）的回波信号。通过对这些波形信号的分析 and 背景噪声的消除，使其明显区别于杂波，实现生命信息的识别。

UWB 雷达在生命探测主要是由其生命识别算法与自身硬件设备实现。在矿山救援时，将探测器下放到目标区域，当幸存人员受困于坍塌体后或者被困在坍塌体内部空腔结构中时，身体会发出周期性生命信号（如呼吸、心跳等），此时便可利用 UWB 雷达探测装置进行生命探测。

四、实践应用成效

团队携带设备在某矿的地面煤仓开展人员定位测试。实验煤仓长 200m，宽 50m，面积 10000m²，煤仓中无过多影响雷达探测的外在干扰条件，室温 26℃，煤岩体厚度从 30cm 增加至 200cm，煤岩体介质后方人员距离从 0m 增加至 20m，极限条件下测得 2m 厚瘦煤介质后 20m 的人员定位误差小于 1m。在测试过程中，长距离超宽带雷达生命信息探测系统始终保持开机运行状态。实验人员每 20 分钟进行一次探测，每次探测时间为 3 分钟，测试结果显示该系统的连续探测续航时间超过 6 小时。

随着智能化和信息化技术的发展，在如今“科学救援”的大背景下，矿山、隧道、山地等复杂环境下应急救援装备的智能化、信息化、高效化成为未来发展的趋势，提高应急救援能力和技术装备水平，在事故发生时根据灾后情况迅速开展有效的救援工作，尽可能减少灾害带来的人员伤亡和财产损失是应急救援工作的重中之重。团队研发的长距离超宽

带雷达生命信息探测系统能够穿透障碍物，实现对被困人员的探测和定位，从而缩短救援时间，使救援更具针对性和科学性，显著提高救援成功率，减少人力和物力的投入，具有显著的社会效益。

长距离实时通信布线轮在 2021 年山东栖霞笏山金矿“1·10”爆炸事故、新疆丰源煤矿“4·10”透水事故等矿山灾害事故救援过程中有效应用，现场实战最大有效传输距离 1500m，信息传输稳定可靠，为事故救援指挥部的决策提供了技术支持。

1. 为矿井救援、消防救援工作提供了先进的技术和设备，巩固了我国在该领域研究的领先地位。

2. 设备可探寻井下被困人员位置，避免了大范围疏通巷道带来的人力、物力、资源的浪费，对环境造成的损害较小。

3. 设备的大范围穿透式探测，使得救援更具备方向性，有效地避免了救援队员遇到的潜在危险，极大提高了救援队伍的技术装备水平。

4. 设备持续动态地对被困人员生命信息进行探测捕捉，为矿井救援提供了决策依据和技术支持。

5. 增强了矿井的防灾、抗灾能力，保证了矿工的生命安全，为本质安全型矿井建设奠定了坚实的技术装备基础。

团队所研设备响应习近平总书记强调的“人民至上、生命至上”理念，设备的应用能有效提升我国在矿山（隧道）救援领域的应急救援能力，切实保障人民生命财产安全，具有极大的社会效益。设备现处于样机试制阶段，成果若转化落地，实现批量生产，切实满足矿山（隧道）应急救援领域应用需求，市场前景广阔，经济效益显著。

五、代表性图片

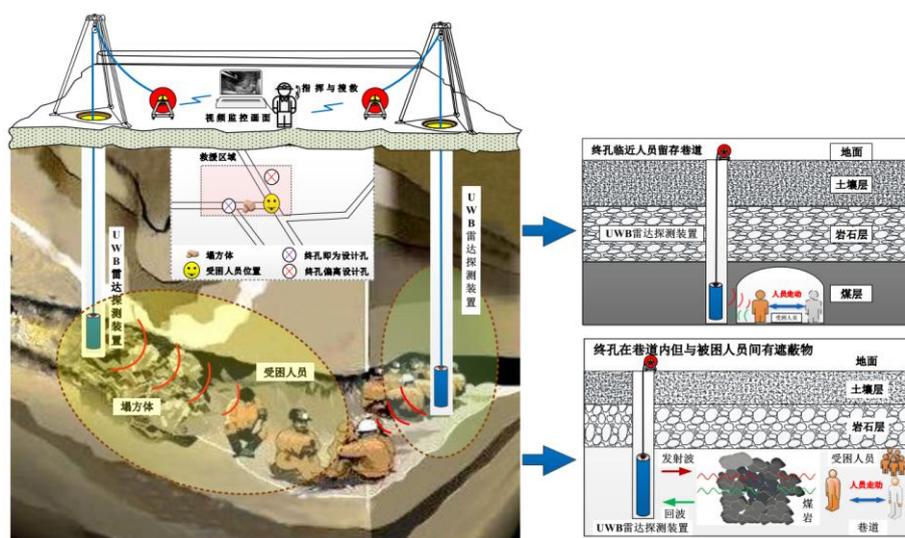


图 1 长距离超宽带雷达生命信息探测系统应用示意图

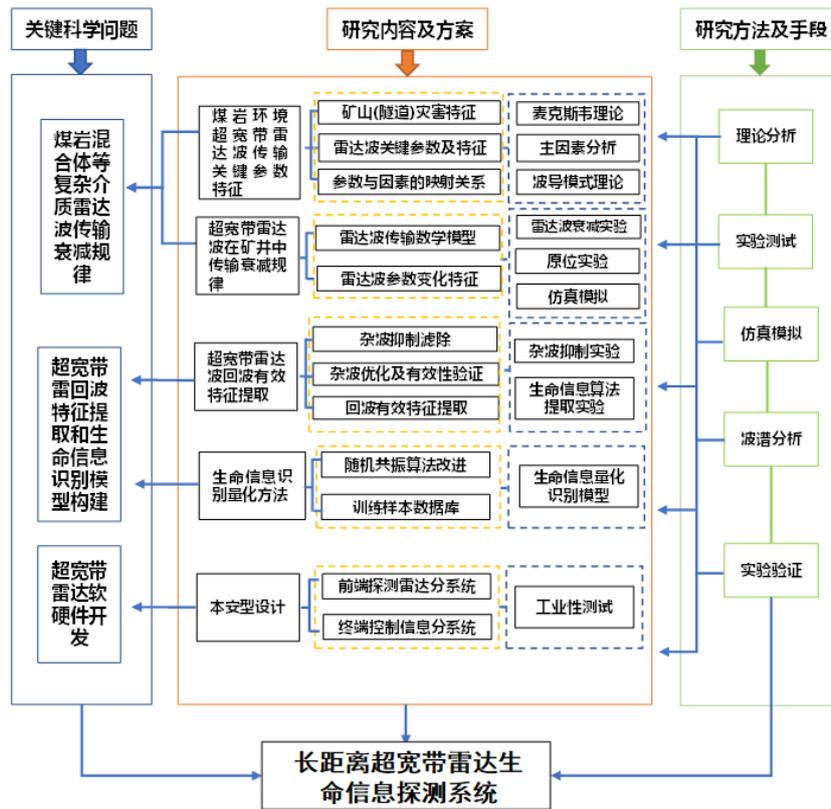


图 2 研究技术流程图

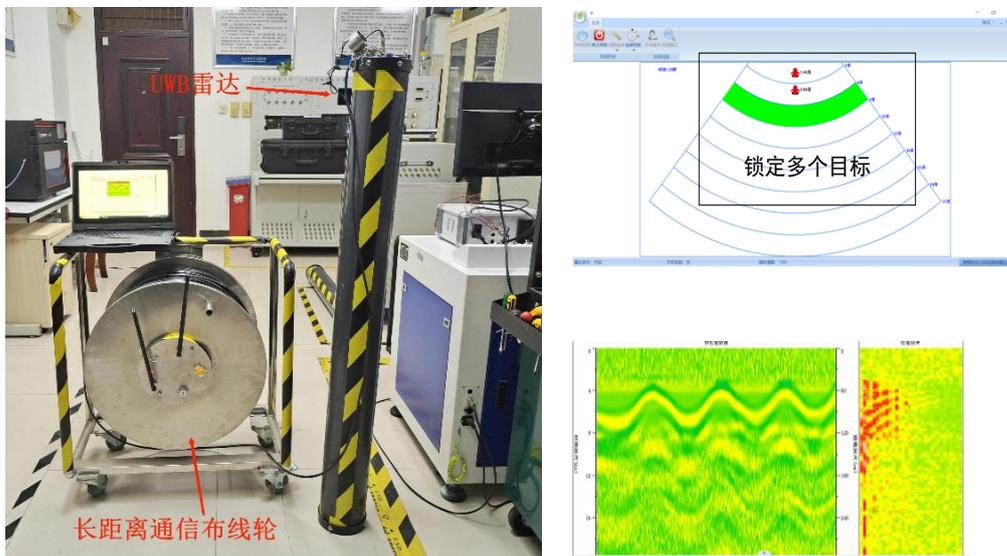


图 3 长距离超宽带雷达生命信息探测系统实物图及配套软件显示界面

六、成果联系人

姓名：康玉国

联系方式：15104637259

地址：北京市石景山区玉泉路 59 号中煤资源大厦

