

# 矿山应急救援中无人机技术的应用与展望

王磊

陕煤集团神南产业发展公司神南救护大队，陕西 榆林 719300

**摘要：** 矿山应急救援面临诸多挑战，传统手段受限，为改善救援状况，引入无人机技术。无人机在矿山应急救援中应用于信息采集监测、救援辅助保障等多方面，且有相应技术支撑体系，有实际案例展示其效能。理论分析与案例研究结合。无人机可快速获取信息、辅助救援决策、提升救援效率等。为矿山应急救援提供有力支持，推动行业向智能化发展，对保障矿山安全意义重大。

**关键词：** 矿山应急救援；无人机技术；救援效率；安全保障

## Application and Prospect of Drone Technology in Mine Emergency Rescue

Wang Lei

Shennan Rescue Brigade, Shennan Industry Development Company, Shaanxi Coal and Chemical Industry Group, Yulin, Shaanxi 719300

**Abstract:** Mine emergency rescue faces many challenges, and traditional methods are limited. To improve the rescue situation, drone technology is introduced. Drones are applied in various aspects of mine emergency rescue, such as information collection and monitoring, rescue assistance and support, and are supported by corresponding technical support systems. Actual cases demonstrate their effectiveness. The theoretical analysis is combined with case studies. Drones can quickly obtain information, assist in rescue decision-making, and improve rescue efficiency. They provide strong support for mine emergency rescue, promote the intelligent development of the industry, and are of great significance for ensuring mine safety.

**Keywords:** mine emergency rescue; drone technology; rescue efficiency; safety assurance

### 引言

传统救援方式受地形、视野和效率等因素掣肘，难以满足当下需求。随着科技进步，无人机技术的崛起为矿山应急救援开启新路径。其凭借灵活机动、功能多样的特性，犹如空中卫士，可穿越重重障碍，实时监测灾情、精准搜救人员、预警次生灾害、运输救援物资并保障通信。深入探究无人机在矿山应急救援的应用，融合智能化、协同化等创新理念，不仅能重塑救援模式，更是迈向矿山安全新纪元的关键一步。

### 一、矿山应急救援现状与无人机技术的引入

在坍塌或火灾事故中，救援人员难以迅速全面地了解事故现场整体情况，如坍塌范围的精确界定、火势蔓延方向及强度等，导致决策制定缺乏精准依据。人员搜救效率低下，尤其是在大面积废墟或烟雾弥漫区域，救援人员徒步搜索难度大且耗时长，被困人员生命安全难以得到及时保障。在环境监测方面，传统手段难以快速、全面地掌握矿区空气质量、水质变化等信息，次生灾害预警滞后<sup>[1]</sup>。在灾情监测方面，无人机可按照预设航线飞行，利用高清摄像头和红外热成像仪对矿山进行全方位扫描，将图像和热成像数据实时传输回指挥中心，从而精准确定坍塌范围、火势大小等<sup>[2]</sup>。针对人员搜救，无人机搭载生命探测仪和红外热成像仪，在复杂地形和障碍物间穿梭，一旦探测到生命迹象，立即将位置信息反馈，引导救援人员前往。在环境监测上，无人机携带气象和化学传感器，在矿区上空按规划路径巡航，收集空气、水质等数据，以便及时察觉环境变化，提前预警次生灾害，为矿山应急救援构建起全方位、多层次的保障体系。

### 二、无人机在矿山应急救援中的功能应用

#### (一) 信息采集与监测功能

在视觉信息采集上，无人机搭载的高清摄像头拥有卓越的性能。其镜头采用高分辨率光学元件，能够捕捉到矿山现场极为细致的图像，无论是大面积的矿区地貌，还是微小的设备细节，都能清晰成像。在飞行过程中，摄像头的防抖系统确保图像稳定，不会因无人机的飞行震动而模糊。可调节的焦距与视角设置，使其能够根据不同的监测需求，灵活地对近景或远景进行拍摄<sup>[3]</sup>。在对矿山设备进行检查时，可拉近焦距，详细查看设备的外观完整性、连接部位的牢固性以及是否有部件损坏或异常磨损等情况；在对整个矿区进行宏观监测时，则调宽视角，拍摄矿区的整体布局、道路通行状况以及各作业区域的分布，为救援指挥人员提供全面的视觉信息。

在矿山应急救援中，红外热成像仪于无人机上发挥关键效用。其依热辐射原理运作，精准探测物体表面温度差异。火灾时，浓烟无法阻碍其视线，能穿透烟雾锁定火源，分析热成像图

可明辨火势蔓延走向，高温区热辐射强，在图像中特征显著，救援人员据此预判火势，制定灭火良策。人员搜救时，因人体与环境有温差，即便被困废墟下，热成像仪也可敏锐察觉，有力提升搜救成功率。无人机的气象传感器与化学传感器协同进行环境监测。气象传感器实时测量风速、风向、气温、气压等参数，火灾救援时，救援人员依此调控灭火方向，防范火势因风势变化而失控。化学传感器专注检测瓦斯、一氧化碳等有害气体浓度，事故发生后若有害气体泄漏，能及时监测浓度变化，超安全阈值便警报，促救援人员防护，保障其生命安全，且这些环境数据还可为事故原因剖析与环境影响评估筑牢基础。

### （二）救援辅助与保障功能

在人员搜救方面，无人机搭载的生命探测仪能够发射特定频率的电磁波，穿透废墟、岩石等障碍物，探测到被困人员的生命迹象。当无人机飞行时，生命探测仪不断扫描下方区域，一旦发现生命迹象的反馈信号，无人机会立即锁定该位置，并将坐标信息通过数据传输系统回传至救援指挥中心。救援指挥中心根据这些信息，能够快速规划出最佳的救援路线，组织救援人员和设备迅速前往被困人员所在地点，大大缩短了搜救时间，提高了被困人员的生存几率。尤其是当交通道路因坍塌、滑坡等原因受阻，地面救援力量难以快速到达被困区域时，无人机能够发挥其独特的优势。它可以携带食物、水、急救药品、救援工具等必要物资，从救援基地起飞，按照设定的航线准确无误地飞抵被困人员所在位置上空，然后通过空投或绳索吊运等方式将物资投送到被困人员手中。

在一些山区灾害事故中，无人机能够轻松穿越山谷、树林等复杂地形，将急需的药品和食品及时送达被困人员身边，为他们提供基本的生存保障，维持他们的生命体征，等待地面救援力量的到来<sup>[4]</sup>。无人机在应急救援过程中还能充当临时通信中继站，当矿山事故导致矿区内通信设施损坏，地面通信中断时，无人机可携带通信设备升空，在一定高度上建立起临时的通信链路。它能够接收来自被困区域的求救信号，并将这些信号转发至救援指挥中心，同时也能将指挥中心的指令传递给被困人员。这样一来，救援指挥中心与被困人员之间就能够保持有效的信息沟通，救援指挥中心可以及时了解被困人员的身体状况、周边环境等信息，被困人员也能够第一时间得到救援进展情况和相关指示，从而稳定被困人员的情绪，提高救援工作的协同性和有效性。

## 三、无人机技术应用于矿山应急救援的技术支撑体系

### （一）硬件设备与适配技术

无人机的机身结构需要具备高强度与轻量化的特点。矿山环境复杂，无人机可能面临强风、沙尘等恶劣天气条件，以及在飞行过程中可能与巷道、设备、冒落物等障碍物发生碰撞风险。其机身多采用碳纤维等高强度复合材料制造，在保证足够强度以抵御外力冲击的同时，减轻自身重量，延长续航时间并提升飞行灵活性。

在动力系统方面，根据不同的矿山救援任务需求，无人机配备合适的动力装置。对于需要长距离巡航监测的任务，燃油动力无人

机可提供较大的动力输出和较长的续航里程；而在一些对环境要求较高、需要快速响应且作业范围相对较小的场景，如在井下或封闭空间内进行初步侦查时，电动无人机则以其低噪音、零排放、启动迅速等优势成为首选<sup>[5]</sup>。螺旋桨的设计也至关重要，采用高效、低噪音且具有一定抗风能力的螺旋桨，确保无人机在复杂矿山环境下稳定飞行。高清摄像头，其应具备高分辨率、宽动态范围以及良好的低光拍摄能力，能够清晰捕捉矿山现场的细节信息。在安装时，要通过稳定的云台系统来保证摄像头在飞行过程中始终保持水平稳定拍摄状态，避免因无人机姿态变化而导致画面抖动模糊。红外热成像仪则需具备高灵敏度和精确的温度探测精度，其与无人机的数据传输接口要稳定高效，确保热成像数据能够实时、准确地传输回地面控制中心。生命探测仪需根据不同的探测原理（如雷达波生命探测、音频生命探测等）进行针对性的优化设计，使其能够在矿山复杂的地质结构和电磁环境下有效工作，并与无人机的飞行控制系统协同作业，一旦发现生命迹象能够及时发出警报并准确定位。

### （二）软件系统与数据处理技术

无人机的飞行控制系统是其在空中稳定飞行与执行任务的关键软件支撑。该系统通过内置的惯性测量单元（IMU）、全球定位系统（GPS）、气压计等多种传感器获取无人机的实时姿态、位置、高度等信息，并利用先进的算法对这些数据进行融合处理，实现无人机的自主导航、定点悬停、航线规划与自动返航等功能。在矿山救援现场，救援人员可以根据事故区域的地图信息在地面控制站软件上快速规划无人机的飞行航线，无人机能按照预设航线精准飞行，对指定区域进行详细侦查。

在矿山复杂环境中，确保无人机与地面控制中心之间的数据稳定、高速传输至关重要。采用先进的无线通信技术，如4G/5G网络、微波通信等，并结合数据加密与纠错技术，保证高清图像、视频、传感器数据等大容量信息能够实时、无误地传输。为应对信号遮挡或干扰等情况，还可采用中继传输或多链路冗余备份技术，确保数据传输的可靠性<sup>[6]</sup>。在数据处理方面，地面控制中心配备专业的数据处理软件。当无人机采集回大量的图像、视频、传感器数据后，数据处理软件能够对这些数据进行快速分析处理。对高清图像和视频进行图像识别与目标检测，自动识别出矿山事故现场的坍塌区域、设备损坏情况、人员位置等关键信息；对环境监测传感器数据进行实时分析，判断空气质量、水质是否超标，是否存在次生灾害风险等，并通过可视化界面将分析结果直观地展示给救援指挥人员，为其决策提供科学依据。

## 四、基于无人机技术的矿山应急救援案例分析

以某矿山企业为例（如图所示），其在矿山安全监管智能化建设中对无人机技术的应用展现出多维度的实践成果与应用价值。在日常的安全监管流程中，智能无人机全自动飞行系统发挥着核心作用。该系统预先设定了详细且全面的飞行任务规划，无人机按照既定航线对整个矿区展开常规巡检。在执行采空区裂缝巡查任务时，无人机依据高精度的定位系统，精准地靠近采空区上空，利用搭载的高清摄像头，以特定的拍摄角度和分辨率对地面进行拍摄<sup>[7]</sup>。拍

摄过程中,摄像头的参数如焦距、光圈等会根据光线条件和拍摄目标的距离自动调整,确保获取清晰、准确的图像数据。



当无人机完成一次巡查任务后,数据被完整地存储在管理平台的数据库中,并与之前的巡查数据进行整合对比。借助三维模型及数字孪生应用技术,无人机采集到的数据被转化为直观的三维图像,管理人员能够在三维数字化平台上清晰地看到采空区的全貌以及每一条裂缝的详细信息,包括其位置、走向、宽度变化等。通过定期的数据更新与对比分析,能够精准地监测到裂缝的发展趋势。如果某条裂缝在多次巡查中宽度逐渐增大,系统会自动发出预警信号,提醒管理人员及时采取相应的加固或防范措施,有效降低了因采空区坍塌引发事故的风险。在应急事件处理方面,该企业的无人机展现出卓越的响应能力与信息采集能力。一旦矿区内发生如坍塌、火灾等应急事故,无人机自动飞行系统迅速启动<sup>[8]</sup>。在2分钟内,无人机完成各项起飞前的自检与准备工作,包括电池电量检测、传感器校准、飞行控制系统初始化等。在5分钟内快速升空并抵达事故现场。到达现场后,无人机立即展开多角度的信息采集工作。它通过环绕飞行、定点悬停等多种飞行姿态,利用高清摄像头和红外热成像仪对事故现场进行全面拍摄与探测。在火灾事故中,高清摄像头能够拍摄到火势的大小、火焰的颜色与高度等直观信息,红外热成像仪则可以穿透烟雾,探测到火源的位置以及周围高温区域的分布,确定是否有人被困在高温危险区域。

在大型事故中,矿区的通信设施可能遭到破坏,导致救援现场与指挥中心之间的通信中断。无人机凭借其空中优势,在事故区域上空建立起临时的通信链路,将救援现场的信息及时传递给指挥中心,同时将指挥中心的指令传达给救援人员,确保救援行动的高效协调进行。无人机还可以对救援现场进行实时监控,观察救援人员的行动进展以及事故现场的动态变化,如坍塌区域是否有二次坍塌的迹象等,及时为救援人员提供安全预警,保障救援行动的安全有序进行。通过这一系列的应用,该矿山企业的无人机技术在日常安全监管与应急救援中发挥了不可替代的作用,为矿山安全生产提供了强有力的技术支撑,也为其他矿山企业在无人机技术应用方面提供了极具价值的参考范例。

## 五、无人机技术在矿山应急救援中的发展趋势

### (一) 智能化与自主化水平提升

随着人工智能技术的迅猛发展,无人机在矿山应急救援中的

智能化与自主化程度将不断提高。未来,无人机将具备更强大的智能决策能力,能够依据复杂的矿山环境和救援任务要求,自主规划最优飞行路径与作业方案。在面对矿山火灾时,无人机可自行判断火势蔓延方向、火源核心区域,迅速规划出既能避开浓烟与危险气流,又能高效采集火情信息的飞行路线,并根据实时数据自动调整救援策略,如确定投放灭火物资的最佳时机与位置<sup>[9]</sup>。智能识别技术将进一步升级,无人机能够精准识别被困人员、危险障碍物以及各类矿山设备故障,甚至可以在复杂场景下自动区分不同类型的救援物资投放点,实现精准投递,极大地减少人为干预,提高救援效率与准确性。

### (二) 多机协同与集群作业拓展

在大型矿山事故场景下,多架无人机组成的集群能够实现任务分工与协同合作。一部分无人机专注于大面积的灾情监测,迅速绘制出整体事故态势图;另一部分则可针对重点区域,如人员被困集中区或危险隐患源,进行精细化侦查与救援作业。它们通过高速稳定的数据共享与交互网络,实现信息实时同步,确保整体救援行动协调有序<sup>[10]</sup>。在矿山坍塌事故中,多机协同可对不同方位的坍塌区域同时展开搜索,相互配合扩大搜索范围,快速定位被困人员位置,并通过集群作业中的通信中继无人机,保障救援现场通信畅通,将现场信息高效回传至指挥中心,为大规模、高效率的救援行动提供有力支撑。

## 六、结语

矿山应急救援领域,无人机技术已展现出不可替代的价值,通过多方面功能应用与技术体系支撑,在实际案例中成效显著。从快速感知灾情到助力救援行动高效开展,无人机克服诸多传统救援局限。展望未来,其智能化、协同化发展趋势将持续深化,进一步优化救援流程与效果,为矿山安全筑牢更坚实防线,有力推动整个矿山应急救援体系向更智能、更高效、更安全的方向大步迈进。

## 参考文献

- [1]冯三元. 石油化工火灾消防救援中无人机的技术应用与优化[J]. 化工管理, 2024,(27):121-125.
- [2]刘龙灿. 无人机技术在化工消防灭火救援中的应用[J]. 化工管理, 2024,(25):106-109.
- [3]戴银生. 远程无人机技术在校园火灾救援中的效果评估与数据分析[J]. 萍乡学院学报, 2024,41(03):93-97.
- [4]周景鸿. 无人机技术在灭火救援中的应用[J]. 今日消防, 2024,9(03):45-47.
- [5]刘英尧. 无人机技术在消防救援中的效能及应用研究[J]. 森林防火, 2023,41(04):139-143.
- [6]姜超. 无人机技术在消防灭火救援中的运用研究[J]. 今日消防, 2023,8(06):51-53.
- [7]叶飞. 危化品仓库火灾应急救援中5G与无人机技术的应用[J]. 化工管理, 2023,(18):75-77.
- [8]李懿珂. 工业无人机遥感技术在应急救援中的实际应用[J]. 中国减灾, 2021,(23):24.
- [9]王梓杨. WLAN技术及无人机在灾害应急救援中的应用[J]. 消防界(电子版), 2021,7(02):112-113.
- [10]李海, 谢文强, 周林. 无人机技术在通航事故应急救援中的应用研究[J]. 轻工科技, 2019,35(12):68-69+84.