

智能煤矿井下人员定位监控系统研究

黄友胜

中煤科工集团重庆研究院有限公司 重庆 400039

摘要: 智能煤矿建设背景下, 井下人员安全管控的智能化水平亟待提升, 传统定位监控模式已难以适配井下复杂工况下的精准管控需求。本文立足井下作业实际, 搭建适配复杂环境的定位监控系统架构, 明确各环节技术要点, 设计针对性功能模块与运行逻辑, 完善性能优化及长效运行保障体系。该系统可实现井下人员动态的精准管控与全流程追溯, 有效弥补传统系统短板, 强化井下作业安全防护能力, 助力智能煤矿安全高效发展。

关键词: 智能煤矿; 井下人员定位; 监控系统

引言: 煤矿安全生产对井下人员动态管控提出严格要求, 传统定位方式存在精度不足、抗干扰能力弱等问题。聚焦智能煤矿场景, 通过优化定位设备性能、提升通信抗干扰能力、完善数据全流程管控策略, 构建高精度、高稳定性的井下人员定位监控体系。该体系可实时掌握井下人员分布、移动轨迹及异常状态, 为井下作业安全提供坚实技术保障。

1 智能煤矿井下人员定位监控系统的核心架构与技术基础

1.1 井下人员定位监控系统的整体架构设计

井下人员定位监控的高效运行, 离不开科学合理的整体架构支撑。架构设计需充分适配井下复杂环境, 兼顾定位精度与系统稳定性, 同时满足井下人员实时监控、位置追溯的核心需求, 结合井下作业区域分布和设备部署实际, 兼顾实用性和经济性。架构整体分为三层, 各层独立运行且紧密衔接, 确保数据传输与处理的顺畅高效。底层为感知层, 主要部署各类定位终端, 用于采集井下人员的实时位置信息, 终端设备需具备抗干扰、防水防潮、耐高压的特性, 适配井下昏暗、潮湿、多粉尘的特殊工况。中间层为传输层, 承担着感知层数据的传输任务, 通过井下专用传输链路, 将人员位置数据实时传输至上层处理单元, 杜绝数据丢失或延迟现象。顶层为监控层, 负责对传输过来的位置数据进行解析、处理和展示, 可实时呈现井下人员的分布情况、移动轨迹, 便于及时掌握人员动态。整个架构无需复杂冗余设计, 聚焦定位监控核心功能, 各层协同工作, 为井下人员安全管控提供可靠的技术支撑。

1.2 井下人员定位监控的核心技术原理

井下定位监控的精准性, 关键依赖核心技术的合理应用。结合井下多粉尘、信号干扰强、空间封闭的工况特点, 核心技术围绕位置采集、数据传输和解析处理

三大环节展开, 既保证技术专业性, 又适配井下实际运行需求。位置采集技术优先选用抗干扰能力强的定位方式, 结合井下信号传播特点和作业区域分布, 通过部署在井下关键区域的定位设备, 捕捉人员携带终端发出的信号, 精准获取人员实时位置信息, 避免信号丢失导致定位偏差。数据传输技术需适配井下复杂环境, 采用专用传输链路, 搭配抗干扰信号处理组件, 将采集到的位置数据稳定传输, 杜绝延迟或中断问题, 确保数据传递的及时性。解析处理技术则对传输过来的原始数据进行梳理, 提取有效位置信息, 转化为可直观查看的轨迹和分布情况, 为井下人员监控提供清晰依据^[1]。整个技术体系相互衔接、协同作用, 聚焦定位精准和运行稳定的核心需求, 贴合井下实际应用场景, 提升定位监控的实用性和可靠性。

2 智能煤矿井下人员定位监控系统的功能模块与运行逻辑

2.1 井下人员实时定位与状态感知功能实现

精准掌握井下人员动态, 是人员安全管控的关键前提。实时定位与状态感知功能的落地, 需结合井下实际工况, 整合定位技术与感知设备, 兼顾不同作业区域的定位需求和人员作业特点, 兼顾便捷性与精准性, 既保证专业可靠, 又能贴合现场作业需求。实时定位功能的实现, 依赖井下部署的定位终端与接收装置的协同工作, 人员携带的终端会持续发出信号, 接收装置捕捉信号后, 经过快速解析, 精准锁定人员所在的具体区域, 有效规避井下信号干扰带来的定位偏差。状态感知功能则通过终端内置的传感组件, 实时捕捉人员的移动轨迹、在岗状态, 同时感知周边环境对人员作业的影响, 及时识别人员异常情况。定位与状态感知功能紧密衔接, 定位数据为状态分析提供精准依据, 状态信息则让定位结果更具实用价值, 二者协同发力, 让监控人员能

全面、实时掌握井下人员的具体情况。功能实现过程中，重点优化设备的抗干扰、防水防潮性能，适配井下多粉尘、潮湿的复杂环境，避免设备故障影响功能发挥，同时聚焦核心需求，简化冗余操作，让功能应用更贴合井下实际作业场景，为人员安全管控筑牢基础。

2.2 井下人员轨迹回溯与异常识别功能设计

轨迹回溯与异常识别功能的合理设计，能进一步提升井下人员监控的全面性。结合井下作业的特殊性，两项功能紧密结合、相互支撑，兼顾作业效率与安全管控需求，适配不同作业班次和人员岗位差异，既满足人员轨迹追溯需求，又能及时发现作业异常，为井下人员安全增添保障。轨迹回溯功能的实现，依托系统对人员定位数据的实时存储与有序梳理，将人员在井下的移动路径按时间顺序记录，可根据实际需求调取任意时段的轨迹信息，清晰呈现人员的行走路线、停留区域和移动时长，便于后续追溯核查。异常识别功能则通过预设合理的判定标准，对人员定位数据和状态信息进行实时分析，精准识别人员超出作业区域、长时间静止、移动轨迹异常等情况。当检测到异常信号时，系统会快速触发预警，同步反馈异常信息，便于监控人员及时排查处理^[2]。功能设计过程中，重点适配井下复杂环境，优化数据存储与分析效率，避免信号干扰导致的轨迹偏差和异常误判，同时简化操作流程，让轨迹调取和异常处置更便捷，切实发挥两项功能的实用价值，完善井下人员监控体系。

2.3 系统多模块协同与联动处置逻辑构建

多模块的高效运转，离不开合理的协同机制与联动处置逻辑作为支撑。系统各功能模块并非独立运行，而是通过逻辑关联形成有机整体，既发挥各自核心作用，又通过协同配合提升整体监控效能，适配井下人员安全管控的实际需求。协同逻辑的构建，以各模块的功能互补为核心，定位模块提供实时位置数据，状态感知模块补充人员作业状态信息，轨迹回溯与异常识别模块负责数据解析和异常判定，各模块数据实时互通、高效衔接，避免出现数据脱节或功能冲突。联动处置逻辑则围绕异常情况处置展开，当异常识别模块检测到人员异常信号后，快速联动定位模块锁定异常人员具体位置，同步调取轨迹回溯模块的相关数据，为异常处置提供精准依据；同时联动系统预警机制，及时发出预警提示，引导监控人员快速开展处置工作，确保异常情况得到及时管控^[3]。逻辑构建过程中，重点优化模块间的数据传输效率，简化联动流程，适配井下复杂工况，避免冗余逻辑导致的系统卡顿，让各模块协同更顺畅、联动处置更高

效，切实提升系统整体运行可靠性和实用性，完善井下人员监控的全流程管控。

3 智能煤矿井下人员定位监控系统的性能优化与运行保障

3.1 井下复杂环境下的定位精度优化路径

要解决井下定位精度不足的问题，需结合现场复杂工况，制定切实可行的优化路径，既保证专业适配，又贴合实际应用需求。优化工作围绕环境适配、设备提升和算法优化三大方向展开，具体要点如下：（1）优化定位设备适配：结合井下多粉尘、潮湿、信号干扰强的特点，升级设备的抗干扰、防水防潮性能，调整设备部署位置，避开信号遮挡区域，确保设备能稳定捕捉定位信号，减少设备故障对定位精度的影响。（2）优化信号传输质量：梳理井下传输链路，减少信号传输过程中的损耗和干扰，采用专用传输技术，保障定位数据传输的顺畅性，避免数据延迟或失真导致的定位偏差，确保数据传递及时准确。（3）优化定位算法：结合井下人员移动特点，调整算法参数，提升数据解析效率，精准过滤无效数据，增强定位结果的准确性，避免因算法偏差造成的定位误差。这些优化路径层层衔接、协同发力，聚焦定位精度提升核心，适配井下复杂工况，简化冗余设计，切实解决环境因素带来的定位问题，为井下人员定位监控提供精准可靠的数据支撑。

3.2 系统通信抗干扰能力与运行稳定性提升方法

井下多粉尘、强干扰、空间封闭的工况，容易影响系统通信质量和运行稳定性，需通过科学方法针对性提升。结合系统运行实际，重点从设备、链路、频率、维护四个维度制定提升策略，具体要点如下：（1）升级抗干扰设备：选用抗电磁干扰、抗粉尘潮湿的专用通信设备，优化设备硬件配置，增强设备自身抗干扰能力，适配井下复杂作业环境，减少设备故障发生率。（2）优化通信链路：梳理井下通信线路，避开信号遮挡、干扰严重的区域，合理布局链路节点，减少信号传输损耗，保障通信链路的顺畅性，避免链路中断影响系统运行。（3）优化通信频率配置：根据井下干扰源特点，合理调整通信频率，避开干扰频段，减少外部干扰对通信信号的影响，提升通信信号的稳定性和清晰度。（4）加强设备日常维护：定期对通信设备和链路进行检查、调试，及时排查潜在故障，做好设备防尘、防潮、防损耗处理，保障设备长期稳定运行^[4]。这些方法相互衔接、重点突出，聚焦通信抗干扰和运行稳定核心需求，贴合井下实际工况，切实提升系统运行可靠性，为井下人员定位监控提供稳定支撑。

3.3 定位数据全流程完整性与一致性保障方案

定位数据的完整与一致,是井下人员监控系统有效运行的核心前提。保障方案需贯穿数据采集、传输、存储、解析全流程,贴合并下复杂工况,既保证专业可靠,又能切实规避数据缺失、失真、不一致等问题。数据采集环节要做好定位终端的校准,确保采集的原始位置数据真实有效,规避因设备偏差导致的数据缺失或错误,为后续数据处理奠定基础。数据传输过程中,采用专用校验技术,对传输的数据进行实时核验,及时发现并修正传输过程中出现的丢包、失真问题,确保数据从采集端到处理端完整传递。数据存储阶段,优化存储策略,做好数据备份与分类管理,避免因存储设备故障、环境影响导致的数据丢失,同时建立数据同步机制,确保不同存储节点的数据保持一致。数据解析环节,采用统一的解析标准,规范数据处理流程,避免因解析方式差异导致的数据不一致,确保解析后的定位数据能准确反映井下人员实际位置情况。整个保障方案聚焦数据全流程管控,适配井下实际作业环境,简化冗余操作,切实保障定位数据的完整性与一致性,为井下人员定位监控提供精准、可靠的数据支撑。

3.4 系统长期运行的可维护性与适配性优化策略

要让井下人员定位监控系统长期稳定发挥作用,可维护性与适配性的优化必不可少。优化策略需紧密贴合并下复杂的作业环境,聚焦日常维护的便捷性和系统对环境、设备的适配能力,既专业实用,又能降低长期运行的成本和难度。可维护性优化主要围绕设备设计和模块布局展开,采用模块化设计思路,把系统拆分成独立的可替换模块,这样排查故障时能快速定位问题所在,更换损坏部件也更方便,不用整体拆解系统,大大减少

维护时间和难度。同时优化设备的结构设计,选用易拆解、易检修的组件,降低日常维护的操作门槛,让维护工作能高效推进。适配性优化要重点应对井下环境变化和升级需求,优化系统接口设计,确保新增的定位设备能顺利接入,和现有系统无缝衔接,不用重新搭建系统。针对井下长期存在的粉尘、潮湿等问题,强化设备的耐损耗、防腐蚀性能,让系统能适应工况的长期变化^[5]。优化系统升级机制,简化升级流程,确保系统能根据实际运行需求灵活调整,避免因升级复杂导致运行中断,切实提升系统长期运行的可靠性,为井下人员定位监控提供持续稳定的保障。

结束语:未来,将深化定位算法优化与多源数据融合技术研究,推动系统向智能化、自适应方向发展。通过持续优化设备抗干扰性能、完善异常识别逻辑、强化系统可维护性,实现井下人员定位监控系统在复杂工况下的长效稳定运行。同时探索与其他安全监控系统的联动机制,构建更全面的井下安全防护网络,为煤矿安全生产提供更可靠的保障。

参考文献

- [1] 张晓晓.智能煤矿井下人员定位监控系统研究[J].中国科技期刊数据库工业A,2025(11):026-029.
- [2] 张明.煤矿井下安全监控及人员定位系统的应用研究[J].内蒙古煤炭经济,2023(18):100-102.
- [3] 李虹霞.智能煤矿井下人员定位监控系统设计与实现路径[J].凿岩机械气动工具,2025,51(9):186-188.
- [4] 李明锋,常建明.基于5G和UWB融合基站的煤矿井下人员定位系统研究[J].中国宽带,2025,21(5):121-123.
- [5] 陶德保.基于TOF技术的煤矿井下精确定位系统设计及应用[J].今日自动化,2026(1):46-48.