

矿山水文地质监测预报系统设计与实现

刘利辉 142328198910080559

摘要

矿山水文地质灾害是影响矿山开采安全的核心风险因素之一，地下水突涌、水位异常波动等问题极易引发重大安全事故，造成人员伤亡与财产损失。传统人工监测模式存在数据采集滞后、预警响应不及时、数据分析精度不足等缺陷，难以满足现代化矿山安全生产的需求。本文围绕矿山水文地质监测预报的实际需求，设计并实现了集数据自动采集、实时传输、智能分析、风险预警于一体的信息化系统，阐述了系统的总体架构设计、功能模块划分与关键技术实现路径，测试结果表明该系统能够实现水文地质参数的全天候动态监测与风险预判，有效提升矿山水文地质灾害防控的智能化水平，为矿山安全生产提供技术支撑。

关键词：矿山；水文地质监测；预报系统；系统设计

一、引言

我国是矿产资源生产与消费大国，矿山开采深度不断增加，水文地质条件愈发复杂，地下水突水、涌水等灾害发生概率逐年提升。根据国家矿山安全监察局发布的数据，近十年我国矿山生产安全事故中，水文地质类事故占比超过 15%，已经成为继顶板事故之后第二类矿山安全事故类型。传统矿山水文地质监测主要依靠人工现场布点、定期取样检测的方式，不仅监测效率低，而且难以捕捉水文地质参数的动态变化规律，预警预报的准确性和及时性都存在明显短板。

随着物联网、大数据与传感器技术的发展，信息化监测系统已经成为矿山安全管理的重要发展方向。本文结合矿山井下复杂的作业环境，针对性设计矿山水文地质监测预报系统，实现水文参数的自动采集、实时传输与智能预警，解决传统监测模式存在的痛点问题，对提升矿山安全生产管理水平具有重要的现实意义。

二、系统需求分析

2.1 功能需求

矿山水文地质监测预报系统需要满足四个层面的核心功能需求：第一是数据自动采集需求，能够对地下水水位、水温、水化学成分、涌水量等核心水文地质参数进行全天候连续采集，替代传统人工采集模式，降低现场作业的安全风险；

第二是数据传输与存储需求，矿山井下环境存在信号遮挡问题，系统需要具备稳定的有线+无线混合传输能力，同时能够对采集到的原始数据与分析结果进行结构化存储，支持历史数据查询与追溯；第三是数据分析与预报需求，能够基于监测数据构建水文地质风险预测模型，对异常数据进行识别，预判突水等灾害的发生概率；第四是预警发布需求，当监测参数超过预设阈值时，能够通过系统弹窗、短信、APP 推送等多种方式向管理人员发布预警信息，为应急处置争取时间。

2.2 性能需求

考虑到矿山作业环境的特殊性，系统需要满足以下性能要求：一是数据采集精度误差不超过 5%，满足水文地质分析的精度要求；二是数据传输延迟不超过 10 秒，保证预警信息的及时性；三是系统具备 7×24 小时连续运行能力，平均无故障时间不低于 10000 小时；四是具备良好的扩展性，能够支持后续新增监测节点与功能模块的接入。

三、系统总体设计

3.1 系统架构设计

本系统采用分层式 B/S 架构设计，整体分为四个层级，分别是感知层、传输层、数据层与应用层：第一，感知层由分布在矿山井下重点监测区域的各类传感器组成，包括水位传感器、温度传感器、流量传感器、水化学传感器等，负责完成各类水文地质参数的现场采集与模数转换，是整个系统的数据来源；第二，传输层采用工业以太网+LoRa 无线传输的混合传输模式，对于巷道网络覆盖完善的区域采用有线传输保证稳定性，对于偏远监测点采用 LoRa 无线传输降低布线成本，数据通过网关汇总后传输到地面监控中心的服务器；第三，数据层负责数据的存储与管理，采用关系型数据库 MySQL 存储结构化的监测数据与系统业务数据，采用文件系统存储原始采集数据，同时构建数据缓存层提升数据访问效率；第四，应用层面向不同用户提供功能服务，分为矿山安全管理人员、监测技术人员、系统管理员三类用户角色，不同角色拥有不同的功能权限。

3.2 功能模块设计

系统主要分为三个核心功能模块：

（1）实时监测模块：该模块能够可视化展示所有监测节点的位置与实时参数，支持单节点数据详情查看，自动生成参数变化趋势曲线，用户可以直观掌握矿山各区域水文地质的动态变化情况。

（2）数据管理模块：该模块支持监测数据的查询、导出、备份操作，用户可以按照监测时间、监测区域、参数类型等条件筛选历史数据，支持导出 Excel 格式的数据报表，满足水文地质分析的需求。

（3）预报预警模块：该模块内置两类预警规则，一类是阈值预警，用户可以针对不同监测点设置参数阈值，当监测数据超过阈值后自动触发预警；另一类是趋势预测预警，基于长短时记忆神经网络（LSTM）构建预测模型，基于历史监测数据预测未来 72 小时的参数变化，当预测结果显示存在风险时提前发布预警。

四、系统关键实现

4.1 感知节点的低功耗设计

矿山井下部分偏远监测点无法采用有线供电，需要采用电池供电，因此系统对感知节点进行了低功耗优化设计，采用休眠唤醒机制，在非采集时段节点进入低功耗休眠状态，仅在预设采集时间点唤醒完成数据采集与传输，有效延长了电池的使用寿命，实际测试结果显示，单节大容量锂电池可以支持节点连续工作超过 2 年，降低了现场维护成本。

4.2 水文地质风险预报模型实现

本系统采用 LSTM 神经网络构建水位变化预测模型，收集矿山历史水文地质监测数据作为训练样本，将过去 10 天的日平均水位数据作为输入，预测未来 3 天的水位变化，通过训练优化模型参数，测试结果显示该模型的预测误差控制在 8% 以内，能够有效反映水位的变化趋势，提前识别异常上升等风险信号，实现风险的提前预报。

五、系统测试与应用效果

本系统开发完成后，在华北地区某地下矿山进行了现场测试，该矿山开采深度超过 800 米，水文地质条件复杂，共布置了 26 个水文地质监测节点，连续运行 3 个月的测试结果显示：系统数据采集成功率达到 99.2%，传输延迟平均为 3.2 秒，满足设计要求；系统成功识别了 2 次水位异常上升情况，提前 6 小时发布了预警，经现场核实为含水层渗流量异常，及时采取了防控措施，避免了安全事故的发生。

六、结论

本文针对矿山水文地质监测预报的实际需求,设计并实现了基于物联网与人工智能的信息化监测预报系统,该系统整合了传感器技术、混合传输技术与智能预测模型,实现了水文地质参数的自动采集、实时监测与智能预警,解决了传统监测模式存在的效率低、滞后性强等问题。现场测试结果表明,系统运行稳定,功能满足矿山安全生产的需求,具有良好的推广应用价值。未来将进一步优化预测模型,结合矿山地质构造数据提升预报精度,拓展系统的适用范围。

参考文献

- [1] 武强, 李建民. 矿山水文地质监测技术研究现状与发展趋势[J]. 煤炭学报, 2018, 43(01): 12-21.
- [2] 靳德武, 刘基, 赵颖. 煤矿底板水害监测预警技术研究进展[J]. 煤炭科学技术, 2021, 49(01): 123-131.
- [3] 张北, 吴益平, 蒋正. 基于物联网的矿山地下水监测系统设计实现[J]. 水文地质工程地质, 2020, 47(03): 17-23.
- [4] 李全生. 智能化煤矿水文地质监测预警系统建设关键技术[J]. 煤炭工程, 2022, 54(05): 1-6.