

智慧矿山状态感知及监测系统设计

岳 光¹, 庞博雅¹, 时国秦¹, 岳诗雨², 任 琳¹, 刘 沐³, 武煜轩¹

(1. 太原工业学院; 2. 张家口学院; 3. 北京理工大学电子信息学院)

摘要:为预防矿山采矿过程中突发事件的出现,如坍塌、滑坡等,提出基于 ZigBee 和 MCGS 的矿山安全监测系统。通过采集矿山湿度和压力的实时数据,监测并判断是否会有异常情况发生,达到提前预警的目的,保障作业人员的安全。通过 ZigBee 网络将各类传感器的数据从终端节点采集并传输至协调器,随后协调器通过串口将数据传输至电脑,利用上位机软件 MCGS 进行数据的可视化和分析处理。若实时数据显示异常,则由后台监测人员通过上位机联动 PLC 打开报警器和应急灯,及时提醒并协助矿山作业人员安全撤离,极大提高了矿山作业的安全性。

关键词:智慧矿山;传感器群;监测系统;MCGS;矿山安全;湿度;压力

中图分类号:TD235

文献标志码:A

文章编号:1001-1277(2025)07-0042-04

doi:10.11792/hj20250706

引 言

作为采矿工业生产的基础平台,矿山承担着矿石开采、运输、采空区充填及作业环境保护等重要职能^[1-2],一旦其发生事故,不仅会威胁工作人员的人身安全,而且还会造成巨大的经济损失。目前,国内大多数矿山仍然采用传统的人工定期巡检检测方式^[1-2],无法实时监测矿山的安全参数,且在突发异常状况时,无法立即采取相应的措施。随着社会经济发展水平的不断提高^[3-8],以及生态环境保护的重视,构建智能化安全监测与风险预警体系已成为矿山工程领域亟待解决的关键科学问题。

矿山行业面临众多潜在的安全风险。目前,矿山监测系统已经获得了一定的技术突破和创新。尤其是近几年,随着各种先进监测仪器的出现及新技术的运用,国内矿山企业可以较好地完成安全生产任务^[9-10]。例如:锚杆测力技术、五彩机器人及安全监控等设备为矿山安全生产提供了有效保障。尽管在矿山监测系统技术方面已经取得了一定的进展,但与发达国家相比,仍存在差距,还需加大研究和推广的力度。例如:美国矿用监控系统的发展走在世界前列,该系统以其高精度、高效率 and 高度自动化著称,为矿业生产提供了强有力的技术支持;欧洲进入现代矿业开采的精密时代,手持式光谱仪以其高效、便捷的特性,成为了矿石勘探与评估领域不可或缺的工具,为矿区作业带来了革命性的变革。鉴于此,本文提出了

一种智慧矿山采矿状态感知及监测系统设计,通过无线传感器群和无线传输节点,实现了对矿山的全面覆盖,从而确保在复杂的矿山环境下能够实时动态监测矿井安全数据,如压力、湿度等参数,及时预警并启动相应措施,以保障矿山人员和生产资料的安全,这对于实现矿山安全生产具有重要的现实意义。

1 安全监测系统设计方案

1.1 无线传感系统工作原理

通常情况下,无线传感系统的构成要素包括传感器节点、汇聚节点及后台监测端。随着科学技术的不断发展和进步,对无线传感器网络的要求也越来越高^[11-12]。无线传感器网络结构如图 1 所示,多个无线传感器节点采集的实时数据传输至汇聚节点,经汇聚节点加工处理后,最终通过以太网传输至后台监测端,监测软件会对数据进行实时存储、分析,实现采集数据的可视化。

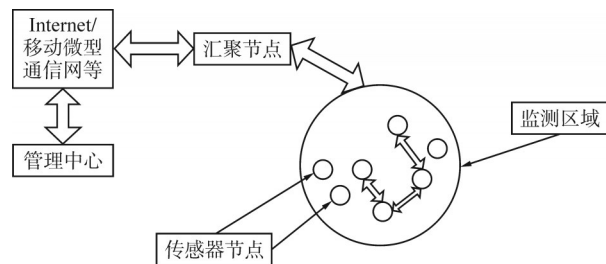


图 1 无线传感器网络结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of wireless sensor network architecture

收稿日期:2025-03-20; 修回日期:2025-04-30

基金项目:国家自然科学基金项目(51766011);山西省高等学校科技创新项目(2023L342);大学生创新创业训练项目(S202414101030);太原工业学院青年(后备)学科带头人资助项目(21020909)

作者简介:岳 光(1983—),男,副教授,博士,研究方向为武器系统设计、智能控制、自动化等;E-mail:yueqidong99@126.com

1.2 无线传感系统组成

传感器网络设计,通常由数据采集、节点、数据处理、数据传输及电源等构成^[6-7]。传感器种类取决于被监测物理信号的形态。无线传感器核心为由微处理器或微控制器构成的计算系统,其传感器网络通信由无线通信来实现,通信由无线收发装置、传感器的激励装置构成。本文设计的传感器网络由多种传感器、能量供应转换器、节点等组成,节点由数据采集模块、数据处理模块、通信模块、电源等组成,如图2所示。

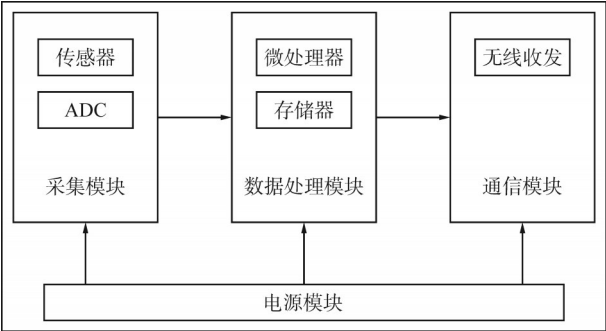


图2 传感器网络节点的基本构成
Fig. 2 Basic structure of a sensor network node

1.3 矿山安全监控系统

本文进行基于 ZigBee 和 MCGS 的矿山安全监控系统研究,以期对矿山的湿度、压力等数据进行有效监测,提前预测突发事故,提醒作业人员躲避危险,为矿山安全作业提供有力的技术保障,提高矿山生产的经济效益^[13-16]。

系统通过终端设备实时采集矿山数据和无线传输数据传输至路由器节点,路由器节点负责接收并汇总各终端设备采集的数据^[17],然后转发给协调器节点,扩大监控范围^[18],协调器汇聚整个网络数据,并通过 RS232/RS485 总线与上位机相连,将数据上传至上位机进行管理。同时,PLC 与上位机连接,若采集数据高于设定值,则表明可能有突发事故;上位机控制 PLC 自动打开预警广播和应急灯提醒作业人员及时撤离,提高了整个矿山作业的安全性。该系统结构如图3所示。

根据实际,设计了传感器节点及 PLC 控制的应急灯及预警广播的位置布局,如图4所示。以某矿山为例,设计区域占地 1 km²,结合 ZigBee 的传输距离及成本,将其划分为 16 个区域,每个区域放置湿度传感器

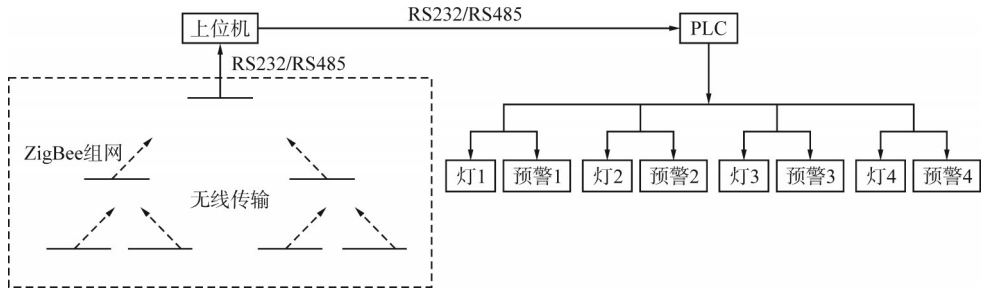


图3 矿山监控系统结构示意图
Fig. 3 Schematic diagram of mine monitoring system architecture

和压力传感器,进行整个矿山的数据采集,同时每4个区域中心安置一个预警广播及应急灯。若监测后台根据采集的实时数据判断有突发事故时,会提醒并协助作业人员及时安全撤退。

2 系统硬件设计

2.1 处理器模块

在节点硬件选型中,芯片的选择至关重要^[19-20]。设计选用由 TI 公司研发的 CC2530 芯片,其整合了高性能 RF 收发器及 8051 微控制器内核,具备可编程的闪存功能,并搭载了 8 kB RAM。通过将该芯片与现有的无线通信系统相结合,设计了一种适用于井下移动通信的低成本、低功耗射频前端方案。CC2530 芯片可实现 250 kB/s 的无线传输速率和 200 m 左右的理论数据传输距离。由于采用低功耗设计技术,该系统在功耗方面表现优秀。CC2530 模块若作为终端

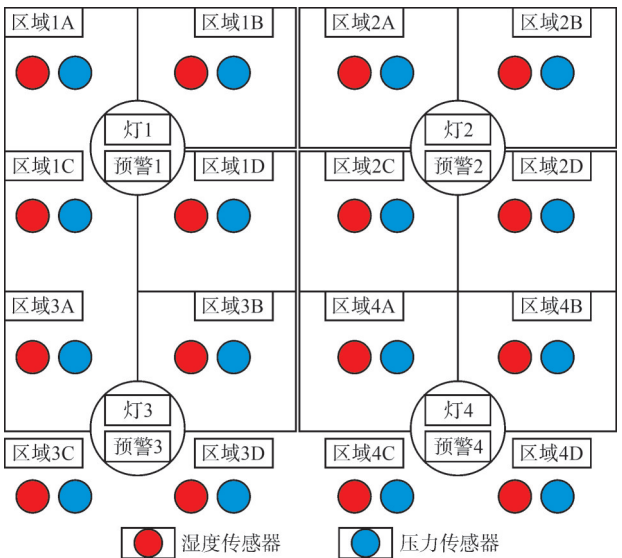


图4 应急灯及预警广播的位置布局示意图

Fig. 4 Layout diagram of emergency lights and warning broadcasts
节点,大部分时间可进入休眠模式,从而能满足矿山

低能耗需求。

ZigBee 终端节点在矿山安全作业中扮演着至关重要的角色,其由传感器、CC2530 模块和电源模块 3 部分构成,为矿山的安全运行提供了可靠保障。每台设备均安装一个由路由器控制的协调器对设备进行集中管理。作为整个系统的感知层,终端节点承担着数据采集、数据处理、数据传输等多项重要任务,通过无线传输实现与监控中心的通信。各个传感器和周边电路均负责数据采集任务,确保数据的准确性和可靠性;数据处理则是根据接收到的数据计算出当前位置信息,并把结果传输给路由器节点进行转发。

2.2 电源模块

采用 ZigBee 协议传输数据速率不大,且正常运行时 CC2530 芯片功耗低,如果采用 2 节 5 号 AA 电池,理论上 CC2530 芯片能够保持 6 个月以上。鉴于矿山所处的特殊环境,可选用大容量、可靠性好、易更换等高性能电池。本设计终端设备都选用 2 节 5 号 AA 电池作为电源。

2.3 YL-69 湿度传感器

YL-69 湿度传感器为简易土壤湿度传感器,属电容式传感器,以湿敏电容为主。YL-69 湿度传感器采用 CMOS 工艺,可在保证低功耗的前提下具有较高可靠性与稳定性。传感器内装有电容性聚合体湿度敏感元件,温度传感器由能隙材料制成,并在同一块芯片中实现了 A/D 转换器和串行接口电路的连接。

2.4 压力传感器

设计采用由中诺传力传感器有限责任公司制造的轮辐测力传感器和金诺 BSQ-3 变送器。轮辐测力传感器需要连接变送器将传感器信号变送成如 4~20 mA、0~10 V 的标准信号。金诺 BSQ-3 变送器接 RS485 或 RS232 串口,为使该传感器能正常使用,还需再接 RS485 转 TTL 串口通信模块。

3 仿真试验

采用 MCGS 设计的仿真界面能够直观地反映整个矿山监测系统,且监测人员操作便捷。系统开始运行时,画面显示当前的工作状况,相应的传感器会不断更新实时数据。将 1 km² 试验区分分为 4 个区域,每个区域中间放置预警广播和应急灯,再将每个区域划分为 4 个小区,每个小区放置终端节点,分别利用传感器监测其压力、湿度,监测数据采用 MCGS 进行内部变量模拟。MCGS 内部通道变量最多为 16 个,因此将区域 1 和区域 2 作为监测对象,如图 5 所示。当测量值大于设定上限值时,该区域报

警灯亮,表明该区域出现异常情况,后台工作人员则通过 MCGS 启动该区域内的预警广播和应急灯,并可以从界面看到实时情况,包括各个监测点监测数据的变化,提醒后台监测人员及时采取措施,保障作业人员的安全。

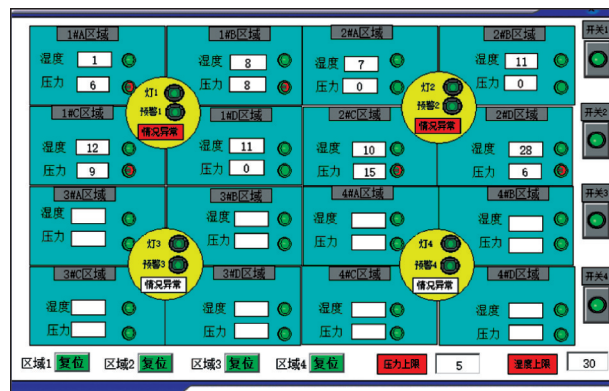


图 5 监测界面

Fig. 5 Monitoring interface

MCGS 提供不同的警报形式,包括滚动条报警和实时报警等多种形式。该系统不仅提供了方便的报警设置功能,同时还实现了实时数据显示和现场事故、故障信息的记录,为用户提供了全面的安全保障。报警界面如图 6 所示,实时报警界面如图 7 所示。

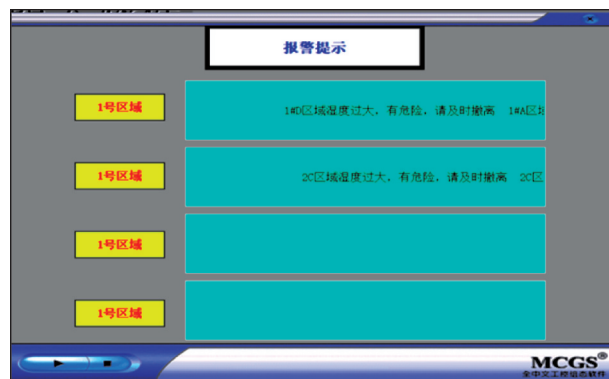


图 6 报警界面

Fig. 6 Alarm interface

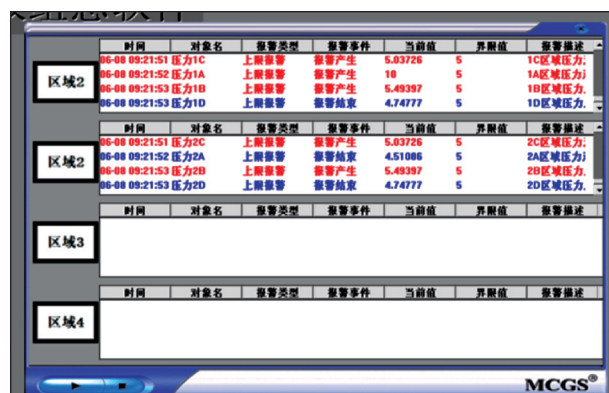


图 7 实时报警界面

Fig. 7 Real-time alarm interface

从图6、图7可以看出:当1D和2C区域湿度数据超过设定上限值时,立刻弹出报警滚动条,同时报警的信息也被记录下来,后台人员可以看到异常情况。1C区域压力采集数据为5.037 26,大于压力设定上限值时,则会被记入实时报警框。同时,后台显示报警区域、报警时间、报警值等数据,便于后续查看及处理采集数据。

实时报表便于监控人员实时监控,一旦测量对象的湿度、压力高于设定上限值,即代表可能有危险发生,可及时预警,保障作业人员安全,且便于对易发事故进行调查分析。区域1和区域2内温度和压力实时采集数据报表如图8所示。



图8 实时采集数据报表

Fig. 8 Real-time data acquisition report

数据曲线为后台人员提供了一种分析和观察连续数据变化趋势的工具,通过对矿山长时间各节点的湿度、压力等数据参数进行分析,可以及时预测可能发生的状态,从而提前判断矿山湿度是否过高,降低遭遇事故的风险,可显著提高作业人员的安全性。

该矿山监测系统采用无线通信网络传输数据,有效避免了在复杂矿山环境下的大量布线。在该系统设计过程中,对传感器节点和协调器节点分别进行了软硬件设计,并将硬件电路与软件编程相结合,矿山环境数据可被后台实时监测和记录,有利于及时发现潜在事故隐患并采取预防措施,同时可提供图像资料以供事后分析,避免了突发事件带来的严重危害,对于实现矿山安全具有重要的现实意义。

4 结 语

设计了以MCGS为监测系统后台的无线传感器群及无线传输节点布局的矿山监测系统,利用MCGS采集实时动态环境数据,如压力、湿度。当监测值超过设定上限值时,MCGS作为上位机则会联动PLC提

醒后台工作人员及时采取应对措施,保护矿山作业人员的安全。本设计旨在预防矿山突发事故,保障矿山作业人员的生命安全和生产安全,为矿山数字化安全体系建设提供可扩展的技术框架。

[参 考 文 献]

- [1] 蒙绍旭,穆省斌,缪淳,等.探析5G技术在智慧矿山建设中的应用[J].数字通信世界,2025(3):91-93.
- [2] 张楠.智慧矿山建设加速推进数字化转型迎新机[N].中国工业报,2025-03-17(011).
- [3] 张文喜.智慧矿山视域下煤矿机电管理技术创新探析[J].内蒙古煤炭经济,2025(5):151-153.
- [4] 杨安琪.中国煤炭科学研究总院:强化科技支撑 赋能矿山安全[J].中国应急管理,2025(2):94-95.
- [5] 李科峰,孙晶.碳中和目标下绿色矿山智慧零碳建筑的经济性分析[J].煤炭工程,2025,57(2):33-37.
- [6] 刘晓松,李传习,李鹏,等.BIM+UE在智慧矿山运维管理中的应用研究[J].智能建筑与智慧城市,2025(2):70-72.
- [7] 王兴亚.焦家金矿深部巷道围岩稳定性控制优化研究[J].黄金,2025,46(4):25-29,47.
- [8] 陈生凯,明平田,申宁.青海某金矿安全监管视频AI智能系统建设[J].黄金,2025,46(1):20-23,36.
- [9] 李林峰,马源,肖自为,等.智能化管理技术在绿色矿山建设中的应用初探[J].有色矿冶,2025,41(1):63-66.
- [10] 赵慧广.智慧矿山设备维修与管理技术在玉龙铜矿中的应用[J].露天采矿技术,2025,40(1):101-104.
- [11] 胥维,迟洪鹏,战凯.基于3D视觉的炮孔智能识别方法研究[J].黄金,2025,46(1):6-10.
- [12] 岳光,任琳,郭靖宇,等.基于神经网络算法的水陆两栖无人艇控制系统研究[J].兵器装备工程学报,2024,45(5):231-238.
- [13] 李涛,孙琰,侯建硕,等.人工智能在矿山设备预测性维护中的应用研究[J].黄金,2025,46(1):1-5,19.
- [14] 张宏升.智慧矿山信息化标准化系统关键问题研究[J].现代工业经济和信息化,2025,15(1):68-70.
- [15] 郝维栋.基于人工智能识别技术的智慧矿山可视化系统应用[J].山东煤炭科技,2025,43(1):158-162.
- [16] 岳光,潘玉田,张华君.一种多神经元智能算法的GURV伺服控制系统研究[J].兵器装备工程学报,2019,40(2):125-130,173.
- [17] 冯卫国.建设智慧矿山关键技术研究[J].能源与节能,2025(5):46-48,52.
- [18] 姚珊珊,王静宇,郝斌,等.一种智慧矿山场景下的目标检测算法[J].兵工自动化,2025,44(4):18-25.
- [19] 刘湘黔,周文,邓惠,等.安全智能监控技术在智慧矿山中的应用研究[J].工程技术研究,2025,10(7):5-7.
- [20] 韦志东,刘梦杰,王孟来,等.广东清远砂岩矿马鞍山矿区智慧矿山建设现状与发展趋势[J].现代矿业,2025,41(4):11-17.

(下转第58页)

Study on the metallogenic mechanism of gold deposits in the Muniushan complex zone, northeastern Jiaolai Basin

Jiang Liping

(Shandong Geological Exploration Institute of China Chemical Geology and Mine Bureau)

Abstract: The magmatic rocks in the Muniushan complex zone intruded via a concentric “reverse zonation” accretion pattern. During the Late Yanshanian period, the Weideshan magmatic sequence intruded around the outer margins of the earlier Linglong sequence, introducing additional heat and ore-forming materials. This provided both an enhanced fluid-driving force and vertical migration pathways, thereby facilitating the transport and precipitation of ore-forming fluids. Based on detailed field observations of structural features in the Linshisi Mountain area and a comprehensive analysis of regional data and geological exploration results, it is inferred that during the Early Cretaceous, under a compressive stress regime caused by the high-angle oblique subduction of the West Pacific Plate beneath the North China Plate in a NNW direction, left-lateral strike-slip compression dominated the tectonic activity in the Muniushan complex zone. Multiple episodes of tectonic superposition led to the formation of high-angle shovel-shaped faults in the shallow subsurface and broad, gently dipping brittle-ductile transition zones along major deep structures. Atmospheric precipitation carrying abundant carbonate melts and gold-bearing fluids converged in these deep, gently dipping brittle-ductile transition zones. These zones, with ample space and significant carbonate melt involvement, facilitated the formation of thick pyrite-carbonate vein-type gold deposits (similar to the “Liaoshang-style” gold deposits). Portions of the gold-bearing fluids continued to migrate upward, and in shallow brittle faults, structural fractures, and interlayer slip zones with smaller ore-hosting space, smaller-scale structurally altered-rock type gold deposits (such as the Guocheng deposit) were formed. Thus, the gold deposits in the Muniushan complex zone are the result of ore-forming fluids from a common source and structural regime, forming mineral bodies of different scales and types under varied structural styles and metallogenic environments.

Keywords: metallogenic mechanism; metallogenic pattern; reverse zonation accretion of rock mass; tectonic stress regime; gold deposit; Muniushan complex zone; northeastern Jiaolai Basin

(上接第45页)

Design of the state sensing and monitoring system for intelligent mines

Yue Guang¹, Pang Boya¹, Shi Guoqin¹, Yue Shiyu³, Ren Lin¹, Liu Mu², Wu Yuxuan¹

(1. Taiyuan Institute of Technology; 2. Zhangjiakou University;

3. School of Information and Electronics, Beijing Institute of Technology)

Abstract: To prevent sudden accidents such as collapses and landslides during mining operations, a mine safety monitoring system based on ZigBee and MCGS was proposed. The system collects real-time data on humidity and pressure in the mine, enabling anomaly detection and early warning to ensure the safety of personnel. Through the ZigBee network, sensor data are collected at terminal nodes and transmitted to a coordinator, which then relays the data via serial communication to a computer. The upper computer software MCGS is used for data visualization and analysis. When abnormal readings are detected, monitoring personnel can activate alarms and emergency lighting via PLC linkage through the MCGS interface, thereby issuing timely warnings and assisting mine workers in evacuating safely. The system significantly enhances the safety level of mining operations.

Keywords: intelligent mine; sensor network; monitoring system; MCGS; mine safety; humidity; pressure