

基于物联网的矿井下地质灾害监测系统设计

贺纪国 张成 闫纪朝

中国冶金地质总局山东局, 山东 济南 250101

[摘要] 矿山作为重要的自然资源开采场所, 其安全生产一直是工业安全领域的重点关注对象。井下地质灾害, 如岩爆、瓦斯爆炸和水害等, 常常导致重大的人员伤亡和财产损失, 给矿山安全生产带来严峻挑战。传统的地质灾害监测方法多依赖于有线网络和人工检查, 这不仅耗时耗力, 而且在某些复杂的矿井环境中难以实施。随着物联网技术的发展, 其在灾害监测领域的应用显得尤为重要和迫切。本研究旨在设计一种新型的物联网地质灾害监测系统, 专门针对矿井下复杂且多变的工作环境。该系统的目标是克服传统监测方法的局限, 提高灾害预警的时效性和准确性, 从而有效保障矿工的安全和矿山的稳定运行。本研究采用物联网技术构建矿井下地质灾害监测系统。系统主要包括传感器网络、无线数据传输和智能数据分析三大部分。传感器网络负责收集井下环境参数和地质动态信息; 无线数据传输模块确保信息的实时传递; 智能数据分析工具则用于分析数据, 及时预测和警报潜在的地质灾害风险。通过实地测试和模拟实验, 本系统展示了在矿井下复杂环境中高效、准确监测地质灾害的能力。它不仅能实时监控矿井环境变化, 还能预测潜在的灾害风险, 为及时采取应对措施提供依据。此外, 该系统的应用有望显著提高矿山安全生产的效率和系数, 为矿山安全管理提供科学的技术支持, 具有重要的社会和经济意义。
[关键词] 物联网; 矿井下; 地质灾害监测系统

DOI: 10.33142/sca.v7i1.10917

中图分类号: TD67

文献标识码: A

Design of Underground Geological Hazard Monitoring System Based on the Internet of Things

HE Jiguo, ZHANG Cheng, YAN Jichao

Shandong Bureau of China Metallurgical Geology Bureau, Ji'nan, Shandong, 250101, China

Abstract: As an important natural resource extraction site, the safety production of mines has always been a key focus of attention in the field of industrial safety. Underground geological disasters, such as rock bursts, gas explosions, and water damage, often lead to significant casualties and property losses, posing serious challenges to the safety production of mines. Traditional geological hazard monitoring methods often rely on wired networks and manual inspections, which are not only time-consuming and labor-intensive, but also difficult to implement in some complex mining environments. With the development of Internet of Things technology, its application in disaster monitoring has become particularly important and urgent. This study aims to design a new type of Internet of Things geological hazard monitoring system, specifically designed for the complex and ever-changing working environment in mines. The goal of this system is to overcome the limitations of traditional monitoring methods, improve the timeliness and accuracy of disaster warning, and effectively ensure the safety of miners and the stable operation of mines. This study uses Internet of Things technology to construct a monitoring system for underground geological hazards in mines. The system mainly includes three parts: sensor network, wireless data transmission, and intelligent data analysis. The sensor network is responsible for collecting underground environmental parameters and geological dynamic information; The wireless data transmission module ensures real-time transmission of information; Intelligent data analysis tools are used to analyze data, timely predict and alert potential geological disaster risks. Through on-site testing and simulation experiments, this system has demonstrated its ability to efficiently and accurately monitor geological hazards in complex underground environments. It can not only monitor changes in the mine environment in real-time, but also predict potential disaster risks, providing a basis for timely response measures. In addition, the application of this system is expected to significantly improve the efficiency and safety factor of mine safety production, provide scientific technical support for mine safety management, and have important social and economic significance.

Keywords: Internet of Things; under the mine; geological hazard monitoring system

引言

井下地质灾害, 如岩爆、瓦斯爆炸、水害和塌陷等, 是矿山安全生产中的主要威胁之一。这些灾害的发生往往伴随着极高的不确定性和极端的破坏性, 不仅可能导致重大的经济损失, 还可能危及矿工的生命安全。因此, 有效的监测和预警系统对于保障矿山安全运营非常重要。

矿井下的地质环境复杂多变, 传统的监测手段往往受到诸多限制。例如, 有线监测系统的部署和维护在复杂的地下环境中异常困难, 而人工检查则耗时耗力且风险较高。随着物联网技术的迅速发展, 其在矿山安全监控领域的应用逐渐成为可能。物联网技术通过部署大量的传感器, 能够实时收集和传输关于矿井环境的各种数据, 包括温度、

湿度、气体浓度、应力分布等关键参数。这些数据经过分析后，可以用于及时预测和警告可能发生的地质灾害，极大地提高了监测系统的时效性和准确性。

物联网技术在地质灾害监测中的主要优势包括其高度的灵活性和扩展性。通过无线传感器网络，可以在不同的地点和环境中部署大量传感器，以覆盖更广泛的监测区域。此外，物联网系统可以实时收集和处理数据，为矿山管理者提供即时的决策支持。这一点对于应对突发的地质灾害尤为重要。此外，物联网技术还能与其他先进技术（如大数据分析、人工智能）结合，进一步提升监测系统的智能化水平，实现对地质灾害的早期识别和预警。

1 物联网技术在井下监测中的应用

1.1 物联网技术的基本原理和组成

物联网（Internet of Things, IoT）技术，作为一种先进的信息技术，旨在通过网络实现物理世界中各种物体的互联互通。它的核心是“智能感知、可靠传输和智能处理”。物联网技术的主要组成部分包括传感器、通信网络和数据处理中心。传感器用于收集各种环境和状态信息，如温度、湿度、压力等；通信网络负责将收集到的数据传输到数据处理中心；数据处理中心则利用各种算法对数据进行分析处理，从而实现对监测对象的智能管理和控制。在矿井监测应用中，这些组成部分共同工作，为矿山安全提供重要的数据支持，参见图1。



图1 物联网数据采集环境监测

1.2 物联网在井下特殊环境中的适用性分析

井下环境的特殊性，如复杂的地质条件、有限的空间，以及极端的温湿度条件，给传统的监测方法带来了很大的挑战。物联网技术在这种环境下显示出独特的优势。首先，无线传感器网络可以在没有线缆约束的情况下部署，大大减少了安装和维护的难度。其次，这些传感器具有较强的自适应能力，能在极端环境下稳定运行。此外，物联网系统通常具备高度的可扩展性，能够根据监测需求灵活调整网络规模和功能。

在井下环境中，物联网技术不仅能够提供实时监测数据，还能通过先进的数据处理和分析技术，如机器学习和模式识别，预测潜在的安全风险。例如，通过分析矿井内温度和湿度的变化趋势，可以预测瓦斯爆炸或水害的可能性。此外，物联网技术还可以与其他安全设施（如通风系统、紧急避难所）相结合，提供更全面的安全保障。

2 矿井下地质灾害监测系统的设计

2.1 系统架构和组件

本研究提出的矿井下地质灾害监测系统基于物联网技术构建，其架构设计充分考虑了井下环境的特殊性和监测需求的复杂性。系统主要由三大组件构成：传感器网络、数据传输模块和数据处理系统。

2.1.1 传感器网络

传感器网络是整个监测系统的基础，它的作用非常重要。本系统中的传感器网络由多种类型的传感器组成，包括但不限于温度传感器、湿度传感器、气体浓度传感器和地压传感器等。每种传感器针对特定的监测需求而设计，能够精确收集相关环境参数和地质动态信息。

为了确保监测数据的全面性和准确性，这些传感器被策略性地部署在矿井的关键区域。例如，温度和湿度传感器部署在通风系统附近以监测气候变化，而气体浓度传感器则集中在可能发生瓦斯积聚的区域。这种精心的布局使得系统能够全面覆盖矿井的关键点，及时捕捉到任何可能预示着灾害的微小变化。

2.1.2 数据传输模块

数据传输模块在系统中扮演着非常重要的角色，它负责将传感器网络收集到的原始数据稳定且高效地传输到数据处理系统。考虑到井下环境的特殊性和信号覆盖的需求，该模块采用了先进的无线通讯技术，特别是 LoRa（Long Range）和 NB-IoT（Narrow Band Internet of Things）。这些技术能够在低功耗的条件下提供长距离的数据传输能力，非常适合于矿井这样的复杂环境。

LoRa 技术因其在远距离通信方面的优势而被选用，能够确保即使在地下深处也能有效传输数据。而 NB-IoT 技术则因其在窄带宽度上的高效率 and 可靠性被采纳，这对于数据密集型的应用场景尤为重要。

2.1.3 数据处理系统

数据处理系统是监测系统的核心，承担着数据存储、管理以及分析处理的重要任务。该系统不仅负责安全地存储收集到的大量数据，还要对这些数据进行深入的分析处理，以识别和预测潜在的地质灾害风险。

系统中的数据处理采用了先进的数据分析算法和机器学习技术。这些技术能够从大量复杂的数据中提取有意义的模式和趋势，从而及时识别出可能的地质灾害迹象，如异常的气体浓度变化或不寻常的地压波动。通过这种智能化分析，系统不仅能够对当前的安全状况作出准确评估，还能预测未来可能发生的风险，为矿山管理提供科学依据。

2.2 系统功能

本系统的设计重点在于提供高效、准确的监测功能，以及基于数据分析的预警能力。

2.2.1 实时监测

实时监测是系统中非常重要的功能，它确保矿井内的

每一个变化都不会被忽视。系统通过部署的传感器网络持续跟踪关键环境参数，如温度、湿度、气体浓度等，以及地质动态。这种持续的监控能力使得系统能够及时捕捉到任何微小的异常变化。例如，气体浓度的微小波动可能预示着瓦斯积聚的风险，而持续的温度升高可能是岩层不稳定的信号。通过这些数据的实时监测，系统不仅能够为矿山管理者提供即时的环境信息，还能够帮助他们制定更有效的安全管理策略和应急计划。

2.2.2 数据分析

数据分析模块是系统智能化的核心，它负责对收集到的海量数据进行深入的分析和解读。系统内置的高级分析工具采用复杂的算法和机器学习技术，能够从众多数据中识别出关键的模式和趋势。这不仅包括对当前数据状态的分析，还包括基于历史数据的预测建模。例如，系统可以通过分析过去的气体浓度数据来预测未来瓦斯积聚的可能性，或通过监测地压数据的长期变化来预警岩层移动或塌陷的风险。这种深度数据分析能力极大增强了监测系统的预测准确性和及时性，为防灾减灾提供了强有力的数据支撑。

2.2.3 预警功能

预警功能是系统的关键输出，它基于数据分析结果，及时向矿山管理者和工作人员发出警报。当系统检测到潜在的地质灾害迹象时，如异常的气体浓度增加或持续的地压变化，它会自动触发预警机制。这包括发送实时警报信息到相关人员的移动设备，激活矿井内的警报系统，甚至直接与矿井的自动化应急系统对接，如自动启动通风或水泵系统。这种及时的预警功能在实际操作中证明可以有效地预防灾害的发生或至少大幅减轻灾害的影响，为保障矿井安全提供了最后一道防线，参见图2。



图2 地质灾害防治网格化管理平台

3 案例分析和实际应用

3.1 描述具体的矿井应用案例

在本研究中，为了验证所设计的物联网地质灾害监测系统的有效性和实用性，我们选择了山东省的一座大型煤矿作为应用案例。这座煤矿的开采历史悠久，深度超过500米，由于其复杂的地质结构，历史上曾多次发生瓦斯

爆炸和岩层塌陷等严重地质灾害事件。这些事件不仅导致了重大的经济损失，还严重威胁到矿工的生命安全。

在这一应用案例中，我们重点关注了矿井的关键区域，并在这些区域内部署了全面的传感器网络。这些传感器包括温度、湿度、气体浓度和地压传感器，它们被策略性地放置在矿井中最为关键的位置，以实时监测可能指示灾害预警的关键参数。为了确保这些重要数据的稳定传输，我们采用了先进的LoRa技术，这种长距离无线通讯技术在矿井这种复杂环境中表现出色，保证了信息传输的稳定性和远程覆盖能力。

数据处理系统的核心是一套高性能服务器，配备了先进的数据分析软件。这些软件采用了最新的数据分析算法，能够从大量的监测数据中提取出关键信息，并及时发出预警信号。

在系统部署后的六个月的运行期间，我们观察到了系统的卓越性能。系统不仅能够持续监测矿井内的环境参数，而且还能够成功识别出数次瓦斯浓度异常升高的事件。每当这种情况发生时，系统都会及时发出预警，使矿山管理者能够迅速采取必要的安全措施，如加强通风和疏散人员。这些及时的预警在实际操作中证明了系统在预防可能发生的瓦斯爆炸方面的有效性，从而显著提高了矿井的安全水平。

3.2 系统在实际应用中的表现和效果

在实际应用中，该监测系统展现了显著的性能优势。首先，系统的实时监测能力保证了对矿井环境变化的持续跟踪，为矿山安全管理提供了重要的实时数据支持。其次，通过数据分析和预测功能，系统能够及时识别潜在的灾害风险，并发出预警，这对于提前采取应对措施非常重要。此外，系统的稳定性和可靠性也得到了验证。在案例矿井的复杂环境中，传感器网络和数据传输模块均表现出良好的稳定性和抗干扰能力。数据处理系统的高效性和准确性也为矿山管理者的决策提供了有力支持。

4 系统评估和优化

4.1 系统性能评估

在实施物联网地质灾害监测系统后，对其性能进行全面评估非常重要，以确保其在实际应用中达到预期目标。性能评估主要集中在以下三个方面：

4.1.1 准确性

准确性是评估系统是否能正确监测和预测地质灾害的关键指标。通过分析系统在实际应用中的预测结果与实际发生的地质灾害事件，可以评估其准确性。在案例研究中，系统成功预测了多次瓦斯浓度异常事件，显示了良好的准确性。

4.1.2 可靠性

可靠性评估涉及系统的稳定性和持续运行能力。在复杂的矿井环境中，系统必须能够抵抗各种干扰，并持续稳

定运行。通过监测系统运行期间的故障率和维护需求,可以评估其可靠性。

4.1.3 效率

效率评估包括系统的响应时间和资源消耗。一个高效的系统应当能够迅速响应环境变化,并在资源消耗上保持经济。系统的数据处理速度和能耗也是评估其效率的重要指标。

4.2 提出可能的优化方向和改进措施

在对基于物联网的矿井下地质灾害监测系统进行全面评估后,本研究提出了一系列优化方向和改进措施,以进一步提升系统的性能和可靠性。首先,针对传感器网络的稳定性问题,建议增加冗余节点。这一措施旨在增强网络在恶劣环境下的稳定性和抗干扰能力,确保关键监测数据的准确传输。其次,为提高数据传输效率,我们建议优化无线通信协议。通过降低数据传输延迟,系统的整体响应速度将显著提升,从而使预警机制更加迅速有效。进一步地,为增强系统的数据处理能力,提出引入更先进的数据分析算法和机器学习技术。这些技术的应用将提高系统预测地质灾害的准确性和效率,使预警更加精确和及时。此外,考虑到用户体验的重要性,建议对系统的用户界面和交互进行优化。通过设计更直观、易用的界面,可以帮助矿山管理者快速理解和响应系统预警,从而有效提高决策和应急响应的效率。最后,强调了定期维护和升级的重

要性。建立一个定期维护和升级计划,不仅能保证系统长期稳定运行,还能使系统及时适应技术发展的最新趋势。通过这些综合性的改进措施,可以显著提升监测系统的性能,确保其在矿井安全监测领域发挥更大的作用。

5 结语

总之,本研究设计的物联网地质灾害监测系统在理论和实践上均取得了积极成果,对于提升矿井安全监测水平具有重要意义。未来,随着技术的不断进步和应用范围的扩大,该系统有望在更广泛的领域发挥更大的作用。

[参考文献]

- [1]张吉宁,薄勇,刘洋洲,等.基于物联网技术的地质灾害监测预警系统设计[J].粘接,2021(10):86-8997.
- [2]孙泽信,段举举,张安银.基于物联网的自动化监测系统在地质灾害监测中的应用[J].地质学刊,2022,46(1):60-66.
- [3]于洋,江慧.基于物联网及云计算的自动化监测在滑坡地质灾害监测中的应用——以中山市神湾镇“庙龙迳”滑坡为例[J].华北自然资源,2023(4):148-151.
- [4]蓝升传,陶干强,房智恒,等.基于LoRa和物联网技术的矿井环境监测系统设计[J].黄金科学技术,2023,31(1):144-152.

作者简介:贺纪国(1987.7—),男,工程师,学历:本科,所学专业:机械设计及其自动化专业。