

矿山火灾预警系统中温度监测技术的应用改进

王 宏

西和县尖崖沟矿业发展有限公司 甘肃陇南

【摘要】 矿山火灾对人员生命与财产安全构成严重威胁，温度监测技术于矿山火灾预警系统至关重要。当下该技术存在不足，如传感器易损、数据传输不稳、分析能力欠缺。本文深入探讨改进方案，涵盖新型传感器研发、高效传输网络构建及智能算法植入，力求提升温度监测精度与时效，强化矿山火灾预警水平，为矿山安全生产保驾护航。

【关键词】 矿山火灾；温度监测；传感器；数据传输；智能算法

【收稿日期】 2025 年 2 月 24 日 **【出刊日期】** 2025 年 3 月 28 日 **【DOI】** 10.12208/j.jer.20250135

Application and improvement of temperature monitoring technology in mine fire early warning system

Hong Wang

Xihe County Jianyagou Mining Development Co., Ltd, Longnan, Gansu

【Abstract】 Mine fires pose a severe threat to human life and property safety, making temperature monitoring technology crucial for mine fire early warning systems. However, this technology currently has shortcomings, such as sensor wear, unstable data transmission, and insufficient analytical capabilities. This paper delves into improvement strategies, including the development of new sensors, the construction of efficient transmission networks, and the integration of intelligent algorithms. The aim is to enhance the accuracy and timeliness of temperature monitoring, strengthen the level of mine fire early warning, and safeguard safe production in mines.

【Keywords】 Mine fire; Temperature monitoring; Sensor; Data transmission; Intelligent algorithm

引言

矿山开采作业环境恶劣复杂，火灾隐患如影随形，一旦爆发，后果不堪设想。温度监测作为矿山火灾预警的“前哨”，其重要性不言而喻。然而，现行温度监测技术难以适应矿山的高温、高湿、多尘等严苛条件。传感器常因环境侵蚀而失灵，数据传输受阻延误预警时机，简单的数据记录无法洞察火灾风险。开展此项研究，旨在突破这些瓶颈，革新温度监测手段，为矿山防火安上“智慧眼”，切实保障矿山作业安全有序。

1 精准诊断现存问题

矿山作为一个高危且环境极为特殊的生产场所，其温度监测工作犹如在荆棘丛中摸索前行，面临着诸多棘手难题。在众多影响因素里，传感器作为温度监测的“前哨”，首当其冲地承受着恶劣环境的考验。在井下采煤作业面，机械高速运转持续破碎矿石，扬起的粉尘遮天蔽日，其浓度可达每立方米数百毫克。这些细微颗粒如同无孔不入的“幽灵”，一旦附着在传感器

探头上，便会在探头表面形成一层致密的隔热层，严重阻碍热量的传导，使得传感器感知到的温度与实际温度出现较大偏差，测温误差甚至可达 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 以上。矿井内湿度常年居高不下，相对湿度常常饱和，在某些通风不畅的区域，湿度甚至能接近 100%。如此高湿度环境下，水汽如同活跃的“渗透者”，轻而易举地侵入传感器内部，与电子元件亲密接触^[1]。电子元件长期被水汽侵蚀，金属引脚会逐渐生锈、腐蚀，电路焊点也会出现松动、短路等问题，这不仅大幅缩短了传感器的使用寿命，使其从原本的正常使用年限 2-3 年，锐减至半年甚至更短，还导致测量精度严重下降，无法准确反馈真实温度。在高温作业面附近，如井下岩浆活动频繁区域，温度常常飙升至 60°C 甚至更高，常规传感器由于采用普通材料制造，在高温环境下，材料内部的原子结构变得活跃，电阻值发生显著变化，进而引发数据漂移现象。

数据传输环节同样是矿山温度监测工作的一大

作者简介：王宏（1970-）男，汉，甘肃陇南，大专，研究方向为采矿工程。

“痛点”。传统的有线传输方式,看似稳定可靠,实则在矿山井下复杂环境中举步维艰。井下巷道蜿蜒曲折,如同迷宫一般,线缆要想顺利铺设,不仅要穿过狭窄的巷道间隙,还要巧妙避开开采设备的频繁移动范围。更为棘手的是,岩石垮落、矿车碰撞等意外情况时有发生,据不完全统计,每月因意外导致的线缆损坏次数可达 5 - 8 次^[2]。一旦线缆受损,维修工作极为复杂,不仅要耗费大量人力、物力,维修成本每次可达数万元,而且维修耗时较长,平均每次维修时间超过 24 小时,这期间关键的温度数据传输中断,严重影响预警及时性。无线传输方式虽为解决布线难题带来了一丝曙光,但其面临的信号干扰问题却如同“拦路虎”。矿山井下金属矿体广泛分布,这些金属矿体如同天然的电磁波“屏障”,对无线传输信号产生强烈的屏蔽作用,使信号强度大幅衰减。

现有监测技术在分析处理能力方面存在明显短板。目前大多数监测系统仅仅停留在单纯记录温度数值的层面,缺乏对温度变化规律的深度挖掘与分析。当面对温度缓慢上升这一火灾初期常见现象时,由于缺乏对温度上升速率、持续时间等多维度参数的综合分析,难以有效识别其背后隐藏的火灾隐患。在区域性温差异方面,如某一采区温度较周边区域偏高 2 - 3℃,但由于监测系统无法对区域内温度分布进行全面、系统的对比分析,无法准确判断这种温差异是否为火灾初期迹象,极易导致误判、漏判情况发生。据相关统计,因分析处理能力不足导致的误判、漏判比例高达 30% 以上,这无疑让矿山安全生产面临巨大风险,错失早期防控的最佳时机,给矿山人员生命及财产安全带来严重隐患。

2 精细规划优化路径

为解决上述难题,一系列针对性的改进策略正在逐步实施。在传感器优化方面,科研人员积极研发特种传感器。通过采用纳米级防护涂层,利用其细密的分子结构有效阻挡粉尘和水汽的渗透,为传感器内部创造洁净环境^[3]。选用耐高温陶瓷、合金等新型材料制造探头核心部件,使传感器能够在高达 1000℃ 的高温环境下稳定工作,测量精度控制在 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 以内。例如,基于碳化硅陶瓷的温度传感器,凭借出色的热稳定性和抗腐蚀性,在多尘高温矿井的试用阶段表现优异,有效提高了温度监测的准确性和稳定性。

在数据传输改进环节,积极引入 5G 无线通信技术,使其深度融入矿山监测体系。5G 网络具备超高速率、超低时延的显著特性,能够以极快速度将温度数据

传输至监控中心,大幅缩短数据传输时长。为实现这一目标,矿山着手构建井下 5G 基站群,采用分布式天线布局,精心规划每个基站的位置与天线方向,确保信号在复杂的井下环境中实现全方位无死角覆盖,避免因信号盲区导致数据传输受阻^[4]。结合多频段冗余传输技术,系统预先设定多个传输频段,当部分频段因巷道内的电磁干扰、设备遮挡等因素受到干扰时,备用频段能够瞬间无缝衔接,自动切换传输路径,保证数据传输的连贯性与流畅性,避免数据丢失或延迟。

在智能算法植入方面,借助深度学习算法构建矿山温度智能分析模型。广泛收集大量历史温度数据以及过往火灾案例数据,将其作为模型的训练样本。这些数据涵盖不同季节、不同开采阶段、不同地质条件下的温度信息,让模型充分学习各种工况下的温度变化模式,掌握正常状态与异常状态下温度数据的特征差异。模型投入运行后,可实时综合多区域温度监测值、温度变化速率、温度梯度信息等多维度数据。通过复杂的算法运算,对这些数据进行深度分析,精准判断当前的火灾风险等级。一旦模型检测到潜在的火灾隐患,系统将立即触发分级预警机制。预警等级从轻微异常提示到紧急警报逐步提升,不同等级对应不同的应对策略,为矿山工作人员提供充足的时间采取相应措施,从而实现火灾预警从传统模式向智能化的重大突破。

3 精确验证改进成效

改进后的温度监测技术在矿山实地应用中取得了令人瞩目的显著成效。以某大型金属矿山开展的试点应用为例,新型传感器自安装并投入运行后的半年时间里,在复杂多变的矿山环境下,因环境因素诸如潮湿空气侵蚀、粉尘干扰等导致的故障次数,相较于以往传统传感器大幅减少了 80%。其数据准确性更是极为出色,始终稳定地保持在 99% 的高位水平。在这期间,该系统成功精准捕捉到多次因矿石自燃所引发的温度异常波动^[5]。在矿石堆放较为密集的区域,传感器敏锐察觉到温度的细微异常攀升,精准记录下每一度的变化。

借助先进的 5G 传输网络,监控室能够极为高效地实时获取井下各处的温度动态。数据传输时延被牢牢控制在 10 毫秒以内,与之前采用有线传输时动辄数分钟的延迟相比,响应速度实现了堪称质的飞跃。如今,监控人员坐在监控室内,能如同亲眼所见般迅速知晓井下温度变化,不会因传输延迟而错过任何关键信息。

智能算法在整个预警系统中更是发挥了无可替代

的关键作用。在试点期间,成功提前预警了 5 起初期火灾隐患。预警时间比以往依靠人工经验或旧有系统时,提前了 30 分钟至 1 小时不等。其中有一次,在矿石堆填区温度处于缓慢上升的初期阶段,智能模型充分发挥其强大的数据分析能力,根据细微的温度变化趋势,结合周边环境参数如通风量、湿度等进行综合分析判断。在模型计算出可能存在火灾风险后,及时发出了预警信号^[9]。收到预警后,工作人员迅速组织力量进行排查处理,第一时间赶赴现场,对温度异常区域周边进行仔细检查,成功将火灾隐患消除在萌芽状态。经此一役,矿山因此避免了潜在的重大损失,安全生产周期显著延长,为整个矿山行业在温度监测与火灾预警方面树立了极具价值的良好示范。

4 精要展望未来趋向

展望未来,矿山火灾预警温度监测技术的发展前景极为广阔,一系列创新将重塑矿山安全格局。在传感器领域,智能化与自校准功能将成为关键发展方向。矿山环境复杂多变,温度、湿度、气压等因素时刻处于动态变化之中,传统传感器难以在这样的环境中保持稳定且精准的测量性能^[7]。未来,智能化传感器将搭载先进的微处理器与智能算法,能够实时感知周围环境参数的变化,并自动调整测量参数,确保在极端条件下仍能输出精准的温度数据。在高温高湿的矿井深部,传感器能自动优化采样频率与信号处理方式,避免因水汽干扰导致的测量误差,从而极大地提升测量的准确性与适应性,为火灾预警提供可靠的数据支撑。

在数据传输方面,量子通信技术有望实现重大突破并广泛应用于矿山监测领域。随着矿山开采规模不断扩大以及开采深度持续增加,对数据传输的安全性与稳定性提出了更高要求。传统通信方式在面对长距离、复杂地质条件下的信号传输时,易出现信号衰减、干扰甚至信息泄露等问题。量子通信凭借其独特的量子加密原理,具备超强的保密性,几乎无法被破解,为矿山数据传输的安全提供了坚实保障^[8]。其超远距离稳定传输特性,可确保在数千米深的矿井中,温度监测数据能快速、准确地传输至地面控制中心,实现对矿山全

区域的实时监测,为大规模、超深部矿山的安全运营奠定基础。

5 结语

随着科技的持续迭代与创新,矿山火灾预警系统中的温度监测技术也必将与时俱进,不断革新。从传感器的精度提升,到数据传输与分析的智能化升级,一系列前沿技术的融入,将为矿山安全生产打造出更为严密、高效的防护网,为矿山安全生产提供更有有力保障,为矿业的蓬勃发展注入源源不断的动力,助力矿业在新时代背景下实现可持续的繁荣与进步。

参考文献

- [1] 李君诚.浅谈紫坪铺电厂 10kV 配电设备无源测温技术的应用[J].中国设备工程,2025,(06):261-263.
- [2] 黄炜明.变电站地下大体积混凝土温度裂缝控制方法研究[J].中国建筑金属结构,2025,24(05):4-6.
- [3] 李梦阳.电网工程中高压电缆接头温度在线监测技术研究[J].自动化应用,2025,66(03):225-228.
- [4] 王成,王砚柱.智能化监测系统在市政桥梁大体积混凝土温度及应力监测中的应用研究[J].新城建科技,2025,34(01): 129-131.
- [5] 王士奎,董传宝.矿井煤自燃智能监测预警系统研究与应用[J].中国煤炭,2025,51(01):189-194.
- [6] 邓军,李鑫,王凯,等.矿井火灾智能监测预警技术近 20 年研究进展及展望[J].煤炭科学技术,2024,52(01):154-177.
- [7] 张骁俊,张烈奇,张云松.矿井外因火灾 ZFM 智能消防预警系统应用[J].山东煤炭科技,2023,41(05):113-115+119.
- [8] 李东发,臧燕杰,师吉林.矿井火灾智能预警系统[J].工矿自动化,2022,48(S1):112-115+120.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

