

# 关于瓦斯突出预测和防范的进展及展望

许沐伟, 刘 星

安徽理工大学地球与环境学院, 安徽 淮南

收稿日期: 2023年12月5日; 录用日期: 2024年1月8日; 发布日期: 2024年1月15日

## 摘 要

瓦斯突出, 作为煤矿安全的重大威胁, 不仅危及矿工生命安全, 也对煤矿经济造成重大影响。本研究深入探讨了瓦斯突出的关键影响因素, 包括煤层特性、构造特征、地应力状态, 以及顶板和底板条件。针对这些因素, 本文分析了多种瓦斯突出预测和防范方法, 如传统经验法、数值模拟法、监测预警法和特征识别法, 并对它们的优势和局限性进行了比较。在实际矿井建设工程中, 强调了审查施工单位、配置专业安全技术人员以及综合应用多种防控技术的重要性。展望未来, 本文提出了提高预测准确性、增强预警机制、发展创新技术以及加强培训与宣传的必要性。通过这些措施, 我们将能更有效地保护矿工生命安全, 减少经济损失, 并促进社会稳定。

## 关键词

瓦斯突出, 预测方法, 防范措施, 矿井安全

# Progress and Prospects for Gas Outburst Prediction and Prevention

Muwei Xu, Xing Liu

School of Earth and Environment, Anhui University of Science and Technology, Huainan Anhui

Received: Dec. 5<sup>th</sup>, 2023; accepted: Jan. 8<sup>th</sup>, 2024; published: Jan. 15<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

Gas outburst, as a major threat to coal mine safety, not only endangers the lives of miners, but also has a significant impact on the coal mine economy. This study provides an in-depth exploration of the key influencing factors of gas outbursts, including coal seam characteristics, structural characteristics, *in-situ* stress states, and roof and floor conditions. In response to these factors, this article analyzes a variety of gas outburst prediction and prevention methods, such as traditional empirical methods, numerical simulation methods, monitoring and early warning methods, and

feature identification methods, and compares their advantages and limitations. In actual mine construction projects, the importance of reviewing construction units, deploying professional safety technicians, and comprehensively applying multiple prevention and control technologies is emphasized. Looking to the future, this article proposes the need to improve forecast accuracy, enhance early warning mechanisms, develop innovative technologies, and strengthen training and publicity. Through these measures, we will be able to more effectively protect the lives and safety of miners, reduce economic losses, and promote social stability.

## Keywords

Gas Outburst, Prediction Method, Preventive Measures, Mine Safety

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

## 1. 引言

瓦斯突出, 作为煤矿安全生产中的一大挑战, 对矿工的生命安全和煤矿的经济效益构成了严重威胁。本文全面综述了瓦斯突出的地质控制因素、预测方法和防范措施, 并结合最新的研究数据和案例分析, 突显了该领域的前沿进展。在中国, 瓦斯突出导致的煤矿事故每年平均夺走超过 100 人的生命, 给受害矿工及其家庭带来深重的悲痛。除了人员伤亡, 这些事故还引发煤矿停工、设备损坏和生产中断, 给企业造成严重的经济损失。据估计, 瓦斯突出事故每年造成的经济损失平均超过数亿元, 这不仅影响了煤矿企业的运营, 也对其长远发展产生了负面影响[1] [2] [3] [4] [5]。此外, 瓦斯突出事故还引起了公众对煤矿安全的高度关注和担忧。事故发生后, 紧急救援和善后工作对相关部门和社会资源构成了巨大压力, 并对煤矿行业的形象和信誉造成了损害。因此, 有效地预测和防范瓦斯突出的发生, 对于保护矿工安全、减少经济损失以及维护社会稳定具有至关重要的意义。

## 2. 瓦斯突出地质控制因素

### 2.1. 煤层特性

煤层厚度、含瓦斯量、孔隙结构和渗透性是煤层特性的重要参数, 它们对瓦斯突出的影响密切相关。较厚的煤层通常具有更大的瓦斯储量, 容易发生瓦斯突出。高含瓦斯量的煤层意味着更多的瓦斯储存, 瓦斯释放的潜在风险也相应增加。较高的孔隙率和渗透性意味着更多的孔隙空间和通道, 有利于瓦斯的吸附、储存和释放[6]。

### 2.2. 煤层构造特征

煤层构造是指煤层的形状、倾角、褶皱和断裂等特征, 对瓦斯突出的风险评判具有重要影响。弯曲或倾斜的煤层会增加瓦斯积聚和释放的难度, 增加了瓦斯突出的风险。较大的倾角会导致煤层受力不稳定, 褶皱和断裂可以导致应力集中区域, 使得瓦斯更容易积聚和释放。同时, 断裂还可以形成瓦斯运移通道, 加剧了瓦斯突出的危险性[7]。

### 2.3. 地应力状态

地应力是指地下岩层中存在的应力分布情况, 它对瓦斯突出具有直接影响。地应力的大小会影响瓦

斯的积聚和释放难度, 较大的地应力增加了瓦斯突出的风险, 而较小的地应力则相对容易释放瓦斯。地应力的方向也很重要, 与煤层面垂直的地应力方向有利于瓦斯释放, 而与煤层面平行或倾斜的地应力方向则会阻碍瓦斯释放, 增加了瓦斯突出的风险。此外, 地应力的变化可能导致应力集中区域, 使瓦斯更容易积聚和释放, 增加了瓦斯突出的风险[8]。

## 2.4. 煤层顶板和底板条件

煤层顶板和底板条件是指煤层上下方岩层的特征, 对瓦斯突出具有重要影响。强固的顶板能提供稳定的支撑, 减少顶板塌陷和开裂, 降低瓦斯释放通道, 从而降低瓦斯突出风险。相反, 脆弱的顶板容易塌陷和开裂, 形成瓦斯积聚和运移通道, 增加瓦斯突出危险性。稳定、紧密的底板能阻止瓦斯从底板进入煤层, 减少瓦斯突出风险。然而, 松散、开裂或渗透性高的底板会形成瓦斯运移通道, 增加瓦斯突出危险性。良好的顶板-底板一体化能提供更好的支撑和密封效果, 降低瓦斯突出风险。不良的一体化会形成瓦斯积聚和运移通道, 增加瓦斯突出危险性[9]。

## 2.5. 水文地质条件

水文地质条件包括地下水位、地下水压力和地下水流动等因素。这些因素对瓦斯突出有直接影响。地下水位的高低会影响瓦斯在煤层中的积聚和释放, 高水位增加了瓦斯积聚的压力, 使释放困难增加, 从而增加了瓦斯突出的风险。相反, 低水位则有利于瓦斯的积聚和释放。地下水压力也对瓦斯突出产生影响。较高的地下水压力会增加瓦斯运移的难度, 增加了瓦斯突出的风险。而地下水流动会改变瓦斯在煤层中的分布和运移路径, 可能导致瓦斯在某些区域积聚, 增加了瓦斯突出的风险[10]。

## 3. 瓦斯突出预测的主要方法与对比

Table 1. Comparison of main methods for gas outburst prediction

表 1. 瓦斯突出预测的主要方法对比

预测方法	优点	缺点	使用条件
传统经验法	简单易操作, 经验积累丰富	对新矿井或复杂地质条件预测效果较差	适用于地质条件稳定、历史数据丰富的矿区。较适合煤层厚度、含瓦斯量等参数相对一致的矿井
数值模拟法	能考虑多种因素综合作用, 预测结果较准确	需要大量数据和专业软件支持	需要详细的地质、气象和工程数据。适用于地质条件复杂、瓦斯动态变化大的矿区, 尤其是新矿井或尚未开采区域
监测预警法	实时监测, 及时反映瓦斯情况提供快速预警	需要建立完善的监测系统和准确的预警标准	适用于各类矿井, 特别是那些具备完善监测设施和快速反应机制的矿区。需要持续监测和数据分析能力
特征识别法	可提前发现瓦斯突出迹象分析特征变化	特征提取和识别有一定挑战	需要对瓦斯涌出速度、浓度等参数有深入了解的矿区。适用于数据分析能力较强、能够实时监测和分析瓦斯动态的矿井

瓦斯突出预测是为了提前预警和防范瓦斯突出事故的发生, 主要方法包括以下几种:

### 1) 传统经验法

基于对矿井地质条件、瓦斯涌出规律和历史突出事件的经验总结, 通过观察和分析矿井的地质结构、瓦斯涌出情况等来预测瓦斯突出的可能性[11]。

## 2) 数值模拟法

利用数值模拟软件, 基于矿井的地质信息、瓦斯涌出规律和采煤工艺等数据, 建立瓦斯突出的数学模型, 模拟和预测瓦斯涌出的分布和变化趋势[12]。

## 3) 监测预警法

通过设置瓦斯浓度监测仪器和其他相关参数的监测设备, 实时监测矿井中的瓦斯浓度、温度、压力等指标, 根据预先设定的警戒值进行预警[13]。

## 4) 特征识别法

通过对瓦斯突出前的相关特征进行分析和识别, 如瓦斯涌出速度的变化、瓦斯浓度的异常增高等, 来判断瓦斯突出的可能性[14]。

根据表 1 可以清晰的对比瓦斯突出预测方法的主要特点。

## 4. 矿井建设工程中预防瓦斯突出的展望

### 4.1. 施工前的严格审查

在开展矿井建设工程前, 需要对施工单位进行严格的审查, 确保其具有相应的规范资质和专业能力。施工团队缺乏专业能力或专业能力不达标, 容易引发各种问题, 对工程的开展造成影响[15]。为避免由于施工人员专业素质不足而导致施工过程中发生安全事故, 需要审查施工单位是否具备防突机构。防突机构的设置旨在处理瓦斯突出问题, 保护施工现场安全, 并在发生瓦斯突出事故后采取应急处理措施。建设防突机构时, 需根据矿规模和施工规模调整规模和制度设置。在实际施工前, 需要检查施工队伍是否具备防突设计, 并确认是否配置了相应的防突设计和防护措施[16]。此外, 还需要由专业人员审查矿井周边的地质环境, 并进行地质勘查, 以确定地质环境与瓦斯突出事件的关联性, 避免盲目施工。在施工前, 施工单位应有效确认和分析防突危险, 并进行现场采样、检测和监管工作。一旦发现瓦斯突出行为, 应立即停止施工并等待处理完成后再行施工, 以避免危险事故的发生。以上措施有助于确保矿井建设工程的安全进行[17]。

### 4.2. 做好安全防护技术人员的配置

在矿井建设施工过程中, 能源采集是主要任务之一, 但安全防护工作同样重要。然而, 目前矿井建设工程中瓦斯突出防治专业人员的数量相对较少, 并且有些人员缺乏相应的理论知识和专业技能。这导致施工队伍的安全性受到影响, 特别是在发生安全事故时, 缺乏专业人员的综合能力可能导致事故无法及时有效处理。

此外, 即使在瓦斯突出发生之前, 可能会出现一些先兆事件, 但如果施工队伍缺乏专业人员的知识, 普通施工人员也无法识别这些先兆事件, 从而无法避免施工事故带来的危险。因此, 矿井建设队伍需要配置相应的瓦斯突出防治专业人员, 并定期开展培训讲座, 普及和培训施工人员瓦斯突出防治的安全知识, 提高他们在施工现场的应变能力和自救能力。

为了确保施工队伍的安全性, 建议加强对瓦斯突出防治专业人员的配置, 并提供相关培训, 以提高他们的专业知识和技能。同时, 通过定期的安全知识培训和普及, 将瓦斯突出防治的安全意识传达给所有施工人员, 使他们能够更好地应对潜在的安全风险[18]。

### 4.3. 交叉使用多种瓦斯突出防控技术

在瓦斯突出工作的防控中, 确实需要进行有效的审查, 并增加安全防护技术人员的参与。此外, 根据当地环境的差异, 需要对瓦斯防控措施进行相应的调整。不同矿井在开采过程中可能会遇到不同的情

况, 因此工作人员应根据矿井的特点选择相应的瓦斯突出防控措施。

目前, 预防瓦斯突出的主要技术之一是预先抽排技术, 即通过将矿井中的瓦斯抽出来, 以达到良好的控制效果。在过去, 人们认为只有当煤层中的瓦斯流量达到一定量时, 才有必要进行抽排。然而, 突出煤层的透气性通常较差, 无法满足规定的抽放瓦斯流量。因此, 在实际施工中, 需要持续地进行煤层内的瓦斯抽吸, 以改善空气循环效果, 减少空气中的瓦斯浓度[19]。

## 5. 总结

我们深入探讨了瓦斯突出预测和防范的关键领域, 包括地质控制因素、多元化预测方法以及实际应用中的防范措施。瓦斯突出, 作为煤矿安全生产中的重大挑战, 不仅严重威胁矿工的生命安全, 还给煤矿经济效益带来重大影响。通过本研究的深入分析和综述, 我们发现提高瓦斯突出预测的准确性、加强防范措施的有效性以及推动科技创新是提升煤矿安全管理的关键。

通过对瓦斯突出的地质控制因素进行细致分析, 并比较了不同预测方法的优势和局限性, 为选择最适合特定矿井条件的方法提供了参考。同时, 我们也探讨了在实际矿井建设工程中如何综合应用这些方法, 以及怎样通过审查施工单位、配置专业安全技术人员来强化瓦斯突出的防控。

展望未来, 本文强调了在瓦斯突出预测和防范方面继续深入研究的必要性。我们呼吁加强研究人员的培训和宣传工作, 提高公众对煤矿安全的意识, 同时推动行业内的技术创新和合作。这些措施不仅将有效保护矿工的生命安全, 减少经济损失, 还将促进煤矿行业的健康和可持续发展。

## 参考文献

- [1] Wang, H., Tu, S., Xu, J. and Li, X. (2020) Prediction of Coal and Gas Outburst Based on Improved Random Forest Algorithm. *International Journal of Mining Science and Technology*, **30**, 151-156.
- [2] Zhang, N., Bai, J., Zhao, Y. and Jiang, Y. (2019) Numerical Simulation of Gas Outburst in Coal Mines Based on a Coupled Gas-Solid Model. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, **71**, Article 102961.
- [3] Chen, M., Wang, Z., Zhou, F., Li, Y. and Liu, J. (2018) Gas Outburst Prediction Based on an Improved Extreme Learning Machine Algorithm. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, **59**, 1-11.
- [4] Zhang, Y., Li, X., Wang, X. and Li, W. (2017) Review of Prediction Models for Coal and Gas Outbursts in Chinese Coal Mines. *Safety Science*, **99**, 175-185.
- [5] Wang, Q. and Ju, Y. (2016) Study on the Prediction of Coal and Gas Outburst Based on Support Vector Machine. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, **44**, 131-137.
- [6] 张志勇, 张国庆, 沈昊, 等. 煤岩厚度对瓦斯突出危险性的影响研究[J]. *煤炭学报*, 2018, 43(11): 3016-3024.
- [7] 马祖飞, 杨明, 司向荣, 等. 浅析利用煤层特征及构造控煤因素进行煤层对比[J]. *内蒙古煤炭经济*, 2021(23): 171-173.
- [8] 吴基文, 张文永, 彭华, 等. 淮南煤田潘集煤矿外围勘查区水压致裂地应力测量研究[J]. *工程地质学报*, 2021, 29(4): 972-984.
- [9] 郭达, 蔡康旭, 王晓东. 煤层顶底板等效岩性的确定方法[J]. *辽宁工程技术大学学报(自然科学版)*, 2012, 31(5): 668-672.
- [10] 唐润池. 水文地质条件对瓦斯赋存控制的关键作用研究——以贵州织金县中寨煤矿为例[D]: [硕士学位论文]. 徐州: 中国矿业大学, 2018.
- [11] 张宝林, 陈云霞, 刘燕, 等. 基于矿井地质条件和瓦斯涌出规律的瓦斯突出预测方法[J]. *煤炭学报*, 2009, 34(2): 189-193.
- [12] 景婷婷. 矿井涌水量动态预测研究及对比分析[J]. *山西化工*, 2023, 43(3): 154-156.
- [13] 陈生昱, 姚有利, 周兆海, 等. 煤矿瓦斯监测预警的研究[J]. *山西化工*, 2021, 41(6): 113-116.
- [14] 彭小东, 王建国, 王海凤. 低瓦斯矿井瓦斯异常带地质特征识别[J]. *中国煤层气*, 2012, 9(2): 32-35.
- [15] 宋江平. 矿井瓦斯抽采达标与抽采管理技术研究[J]. *矿业装备*, 2022(2): 122-123.

- 
- [16] 张巨峰, 施式亮, 谢亚东, 等. 基于瓦斯地质单元划分的突出精准防控实践[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2022, 37(1): 10-16.
- [17] 吕平洋, 毛善君, 侯立, 等. 基于 GIS 的煤矿瓦斯大数据管理与分析系统[J]. 煤矿安全, 2022, 53(3): 125-131, 139.
- [18] 王恩元, 王亮, 徐剑坤, 等. 高瓦斯突出煤层石门安全揭煤虚拟仿真实验建设[J]. 实验室研究与探索, 2022, 41(2): 176-180.
- [19] 李杏龙, 文广超, 谢洪波. 矿井瓦斯地质图辅助编图方法研究[J]. 煤炭技术, 2022, 41(2): 117-120.