

预测采区瓦斯涌出量的新方法——分源比例法

许光伟¹, 武丹宁², 王志强²

¹中检集团公信安全科技有限公司, 山东 枣庄

²安徽理工大学安全科学与工程学院, 安徽 淮南

收稿日期: 2024年7月9日; 录用日期: 2024年8月15日; 发布日期: 2024年10月9日

摘 要

针对某煤矿的瓦斯涌出量快速预测问题, 提出了采掘瓦斯平衡系数, 采用分源比例法, 在布置回采巷道阶段可以预测采区瓦斯涌出量。通过分源比例法预测出的采区瓦斯涌出量回采时为7.36 m³/min, 检修时为5.80 m³/min, 实测值回采时为7.81 m³/min, 检修时为6.18 m³/min, 误差控制在15%以内。本研究为煤矿瓦斯涌出量快速预测提供了理论依据和实践基础。

关键词

瓦斯涌出量, 快速预测, 采掘瓦斯平衡系数, 分源比例法

A New Method to Predict Gas Emission of Mining Area—Separate Source-Ratio Method

Guangwei Xu¹, Danning Wu², Zhiqiang Wang²

¹Shandong Gongxin Safety Technology Co., Ltd., Zaozhuang Shandong

²School of Safety Science and Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan Anhui

Received: Jul. 9th, 2024; accepted: Aug. 15th, 2024; published: Oct. 9th, 2024

Abstract

Aiming at the problem of rapid prediction of gas emission in a coal mine, the gas balance coefficient of mining and excavation is proposed. The gas emission in the mining area can be predicted by using the sub-source ratio method in the stage of arranging the mining roadway. The gas emission in the mining area predicted by the source ratio method is 7.36 m³/min during mining, 5.80 m³/min during maintenance, the measured value is 7.81 m³/min during mining and 6.18 m³/min during maintenance. The error is controlled within 15%. This study provides a theoretical basis and practical basis for the rapid prediction of coal mine gas emission.

Keywords

Gas Emission, Rapid Prediction, Mining-Tunneling Gas Balance Coefficient, Separate Source-Ratio Method

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. 绪论

预测采区瓦斯涌出量的方法研究是煤矿安全生产中的一个重要课题。随着技术的发展,不同的方法和模型不断被提出和改进,目前主要有以下几种方法。

数值模拟方法是通过建立煤层瓦斯运移的数学模型,利用计算机进行模拟计算来预测瓦斯涌出量。这种方法可以考虑多种因素(如煤层结构、压力等)对瓦斯涌出的影响,具有较高的精度和灵活性。目前,CFD(计算流体动力学)和DEM(离散元方法)在瓦斯涌出量预测中的应用较为广泛[1][2]。

统计分析方法是通过对历史瓦斯涌出数据进行统计分析,建立瓦斯涌出量预测模型。这种方法简单易行,能够快速预测瓦斯涌出量,但其精度受历史数据质量的影响较大[3][4]。

经验公式是根据大量实测数据和经验总结出来的公式,用于预测瓦斯涌出量。经验公式简单实用,但其适用性有限,需根据具体矿区进行调整[5][6]。

机理模型是基于瓦斯在煤层中运移和解吸的机理,建立瓦斯涌出量预测模型。这种方法能够深入理解瓦斯涌出的物理过程,预测精度较高,但模型建立和参数确定较为复杂[7][8]。

随着人工智能技术的发展,机器学习方法在瓦斯涌出量预测中得到了广泛应用。通过对大量历史数据进行训练,机器学习模型能够自动提取数据特征,进行高精度的瓦斯涌出量预测。常用的方法有神经网络、支持向量机等[9][10]。

总的来说,各种方法各有优缺点,具体应用中需要根据实际情况选择合适的方法或多种方法结合使用,以提高预测精度和可靠性。

2. 工程背景

目前某煤矿是单一采区进行回采。该项目的试验地点主要是2609,2611回采工作面。工作面为炮采工作面,开采煤层为2煤,煤层平均厚度在1.5m左右。工作面标高为-410.9~-453.8m,走向长为850m,倾斜长为150m,煤层倾角平均为9°,工作面地质条件简单,局部地区有小断层。没有较大的含水层,局部地点有顶板淋水现象。由于推进速度快,瓦斯涌出量也相应增大,给瓦斯治理带来了较大的难度。分析工作面瓦斯来源及构成,快速预测瓦斯涌出量,可以给煤矿瓦斯治理提供依据,使煤矿的瓦斯防治措施更加有的放矢。

3. 瓦斯来源及构成

3.1. 回采工作面瓦斯来源及构成

根据炮采工作面采煤工艺和煤矿煤层赋存状况,工作面瓦斯涌出划分成三大瓦斯涌出源:放炮落煤瓦斯涌出、煤壁瓦斯涌出和采空区瓦斯涌出(包括丢煤、围岩、和邻近层瓦斯涌出)。各来源的瓦斯涌出采用如下方法测定:

- 1) 在 2609 工作面刚开始开采阶段(老顶第一次垮落前), 选择检修班测定工作面进、回风顺槽风量和瓦斯浓度, 确定工作面进、回风瓦斯涌出量, 两者之差即为工作面暴露煤壁瓦斯涌出量 $Q_{\text{煤壁}}$;
- 2) 在工作面老顶未垮落前, 选择正常采煤班, 测定采煤过程中进、回风顺槽瓦斯涌出量, 两者之差即为工作面采煤瓦斯涌出量与循环暴露煤壁瓦斯涌出量之和, 将该值减去 1)中测得的循环暴露煤壁瓦斯涌出量即得落煤瓦斯涌出量 $Q_{\text{落煤}}$;
- 3) 选择工作面推进至距开切眼 100 m 左右位置的正常采煤班, 测定采煤过程中工作面瓦斯涌出量 Q (测点布置与前类似), 将此值减去 1)、2)中获得的循环暴露煤壁和采煤瓦斯涌出量, 即得采空区瓦斯涌出量 $Q_{\text{采空区}}$;
- 4) 在各源瓦斯涌出量已知时 2609 工作面瓦斯涌出来源构成可按下列公式计算:

$$C_{\text{煤壁}} = Q_{\text{煤壁}}/Q \times 100\% \quad (1)$$

$$C_{\text{落煤}} = Q_{\text{落煤}}/Q \times 100\% \quad (2)$$

$$C_{\text{采空区}} = Q_{\text{采空区}}/Q \times 100\% \quad (3)$$

式(1)~(3)中 $C_{\text{煤壁}}$ 、 $C_{\text{落煤}}$ 、 $C_{\text{采空区}}$ ——分别是煤壁、落煤和采空区瓦斯涌出比例, %;

$Q_{\text{煤壁}}$ 、 $Q_{\text{落煤}}$ 、 $Q_{\text{采空区}}$ ——分别是煤壁、落煤和采空区瓦斯涌出量 m^3/min ;

Q ——采煤工作面瓦斯涌出量, m^3/min 。

通过对 2609 工作面老顶来压前的检修班(无采掘作业)瓦斯涌出量的多次跟踪实测的数据进行统计, 选取其中一条较典型的瓦斯涌出量变化曲线如图 1。

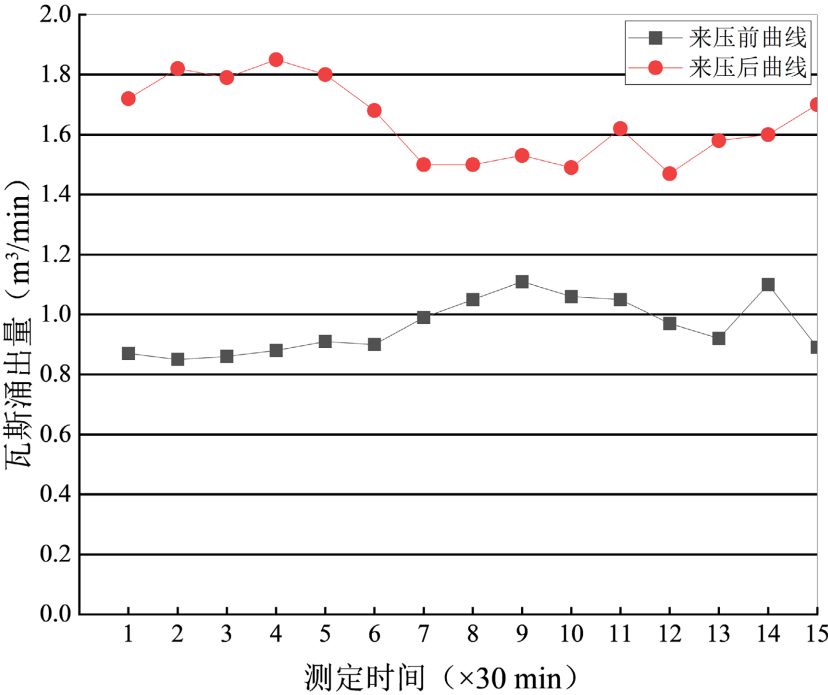


Figure 1. Gas emission curve of maintenance class before main roof weighting
图 1. 老顶来压前检修班瓦斯涌出曲线

图中横坐标为测定时间, 纵坐标为瓦斯涌出量。经统计分析, 老顶来压前的检修班平均瓦斯涌出量为 $0.96 \text{ m}^3/\text{min}$, 由于检修班无任何采掘作业, 而且老顶来压以前工作面瓦斯涌出量较小。故认为老顶来压前的瓦斯涌出量就近似为煤壁瓦斯涌出量, 即 $Q_{\text{煤壁}} = 0.96 \text{ m}^3/\text{min}$ 。工作面推进 100 m (老顶周期来压

结束后)时检修班的平均瓦斯涌出量为 $1.64 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

工作面推进 100 m 时检修班的瓦斯涌出量只包含煤壁瓦斯涌出量和采空区瓦斯涌出量，煤壁瓦斯涌出量在老顶来压前后不变，故采空区瓦斯涌出量按下列公式计算为：

$$Q_{\text{采空区}} = Q_{\text{来压后检修班}} - Q_{\text{煤壁}} \quad (4)$$

将实测数据 $Q_{\text{来压后检修班}} = 1.64 \text{ m}^3/\text{min}$ 和 $Q_{\text{煤壁}} = 0.96 \text{ m}^3/\text{min}$ 代入式(4)得：

$$Q_{\text{采空区}} = 0.68 \text{ m}^3/\text{min}.$$

2609 工作面老顶来压前的采煤班瓦斯涌出量测定结果如图 2 所示。

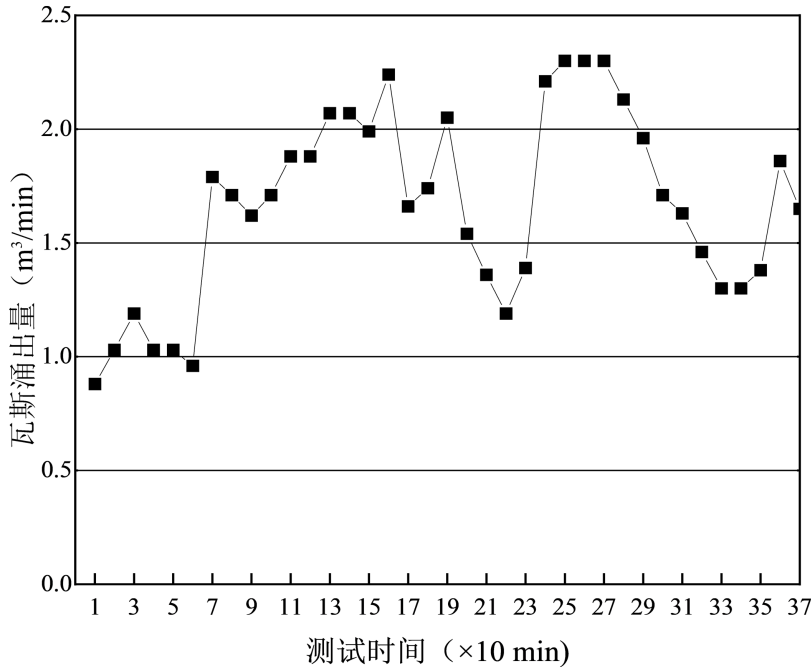


Figure 2. Gas emission curve of coal mining class
图 2. 采煤班瓦斯涌出曲线

经统计采煤期间工作面平均瓦斯涌出量为 $2.25 \text{ m}^3/\text{min}$ ，由于此前在检修班测得的煤壁瓦斯涌出量为 $0.96 \text{ m}^3/\text{min}$ ，故落煤瓦斯涌出量为 $1.29 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

采煤班瓦斯涌出量按公下列式计算：

$$Q = Q_{\text{落煤}} + Q_{\text{煤壁}} + Q_{\text{采空区}} \quad (5)$$

将 $Q_{\text{落煤}}$ 、 $Q_{\text{煤壁}}$ 、 $Q_{\text{采空区}}$ 得测得的数据代入上式，得：

$$Q = 2.93 \text{ m}^3/\text{min}$$

通过上面统计分析，2609 工作面瓦斯涌出量来源于煤壁、落煤和采空区的比例如下：

$$C_{\text{煤壁}} = Q_{\text{煤壁}}/Q \times 100\% = 33\%$$

$$C_{\text{落煤}} = Q_{\text{落煤}}/Q \times 100\% = 44\%$$

$$C_{\text{采空区}} = Q_{\text{采空区}}/Q \times 100\% = 23\%$$

3.2. 掘进工作面瓦斯来源及构成

掘进工作面瓦斯包括暴露煤壁瓦斯涌出和落煤瓦斯涌出两部分。这两个瓦斯涌出源的瓦斯涌出构成

不是固定不变的，它们随巷道长度的变化而变化。在某一巷道长度条件下这两个涌出源的涌出构成采用如下方法测定：

- 1) 选择正在掘进的工作面，测定装运煤工作结束且无其它施工作业时段的掘进工作面瓦斯涌出量(测风量和瓦斯浓度)，此值即为对应巷长下的掘进工作面煤壁瓦斯涌出量 $Q_{\text{煤壁}}$ ；
- 2) 在相同巷长条件下，选择正常掘进作业时段，测定掘进落煤期间，巷道的瓦斯涌出总量的平均值 Q (多次测值平均)将此值减去 1)中所测的 $Q_{\text{煤壁}}$ 即为掘进工作面落煤瓦斯涌出量 $Q_{\text{落煤}}$ ；
- 3) 掘进工作面瓦斯涌出来源构成按下列公式计算：

$$C_{\text{煤壁}} = Q_{\text{煤壁}}/Q \times 100\% \quad (6)$$

$$C_{\text{落煤}} = Q_{\text{落煤}}/Q \times 100\% \quad (7)$$

式(6)，(7)中 $C_{\text{煤壁}}$ 、 $C_{\text{落煤}}$ ——分别是掘进工作面煤壁、落煤瓦斯涌出比例，%；

$Q_{\text{煤壁}}$ 、 $Q_{\text{落煤}}$ ——分别是掘进工作面煤壁、落煤瓦斯涌出量， m^3/min 。

通过对 2609 掘进工作面进行跟踪测定，得到的测试数据曲线见图 3。

其平均涌出瓦斯量为：

$$Q_{\text{停机段}} = 1.27 \text{ m}^3/\text{min}; Q_{\text{开机段}} = 1.53 \text{ m}^3/\text{min}$$

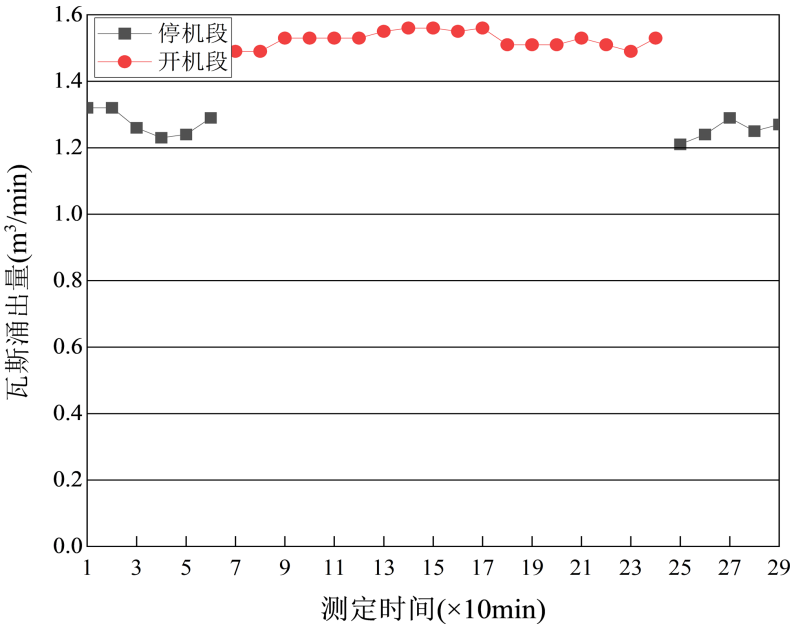


Figure 3. Gas emission curve of tunneling working face
图 3. 掘进工作面瓦斯涌出曲线

停机时段瓦斯涌出量实际上是煤壁(包括打锚杆孔)瓦斯涌出量，开机时段瓦斯涌出量包括落煤瓦斯涌出量和煤壁(包括打锚杆孔)瓦斯涌出量。所以煤壁和落煤瓦斯涌出量分别为： $Q_{\text{煤壁}} = 1.27 \text{ m}^3/\text{min}$ ， $Q_{\text{落煤}} = 0.26 \text{ m}^3/\text{min}$ ；由此计算得出煤壁、落煤瓦斯涌出比例分别为： $C_{\text{煤壁}} = 83\%$ ， $C_{\text{落煤}} = 17\%$ 。

4. 分源比例法预测瓦斯涌出量

4.1. 分源比例法的思想

相同的矿区由于相同的开采技术条件，具有相同的地质条件，所以瓦斯来源应相同，其比例也相同。

某煤矿在井下作业时发现，回采工作面煤壁瓦斯涌出量与掘进工作面煤壁瓦斯涌出量存在一个近似稳定的比例关系，即 $Q_{\text{回采壁}}/Q_{\text{掘进壁}} = 3/4$ ，命名为采掘瓦斯平衡系数 B 。故此，可以在布置回采巷道阶段就可以通过测量掘进煤壁瓦斯涌出量预测回采工作面煤壁瓦斯涌出量。继而通过回采掘进工作面各瓦斯来源的比例关系对回采工作面、掘进工作面瓦斯涌出量进行预测，进而达到预测采区和矿井瓦斯涌出量的目的。

4.2. 分源比例法的应用

(1) 比例法预测回采面煤壁瓦斯涌出量

2611 工作面具有与 2609 工作面相同的地质条件，开采技术条件，故采掘瓦斯平衡系数相等。在 2611 掘进期间测得掘进工作面瓦斯涌出量为 $1.58 \text{ m}^3/\text{min}$ ，比 2609 工作面掘进瓦斯涌出量高，这是因为邻近 2609 采空区所致，2611 掘进工作面与 2611 回采工作面同时受到 2609 采空区影响，瓦斯增长比例应相等。采掘瓦斯平衡系数 B 依然不变。已经测得在 2611 掘进期间测得掘进工作面瓦斯涌出量为 $1.58 \text{ m}^3/\text{min}$ ，则 $Q_{\text{回采壁}} = Q_{\text{掘进壁}} \times B = 1.19 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

(2) 分源法预测回采面掘进面瓦斯涌出量

通过上面统计分析，2609 回采工作面瓦斯涌出量来源于煤壁、落煤和采空区的比例如下：

$$C_{\text{煤壁}} = 33\%, C_{\text{落煤}} = 44\%, C_{\text{采空区}} = 23\%$$

计算得到 2611 回采工作面 $Q = Q_{\text{煤壁}}/C_{\text{煤壁}} = 3.56 \text{ m}^3/\text{min}$

$$Q_{\text{落煤}} = 1.56 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q_{\text{采空区}} = 0.82 \text{ m}^3/\text{min}$$

2609 掘进工作面瓦斯涌出量来源于煤壁、落煤的比例如下：

$$C_{\text{煤壁}} = 83\%, C_{\text{落煤}} = 17\%。$$

计算得到 2611 掘进工作面 $Q = Q_{\text{煤壁}}/C_{\text{煤壁}} = 1.90 \text{ m}^3/\text{min}$

$$Q_{\text{落煤}} = 0.32 \text{ m}^3/\text{min}$$

(3) 现场实测瓦斯含量

实测结果见下表 1。

由表可知，2611 回采工作面回采时瓦斯涌出量预测值为 $3.56 \text{ m}^3/\text{min}$ ，回采工作面检修时瓦斯涌出量预测值为 $1.99 \text{ m}^3/\text{min}$ ，实测结果分别为 $3.86 \text{ m}^3/\text{min}$ 和 $2.23 \text{ m}^3/\text{min}$ ，平均为 $3.05 \text{ m}^3/\text{min}$ ；2611 掘进面瓦斯涌出量预测值为 $1.90 \text{ m}^3/\text{min}$ 。实测结果分别为 $2.16 \text{ m}^3/\text{min}$ 和 $1.79 \text{ m}^3/\text{min}$ ，平均为 $1.98 \text{ m}^3/\text{min}$ 。通过数据可以看出，材料道数据偏大，溜子道数据偏小，这可能是材料道回风以及更靠近上一工作面所致。预测值和实测结果相差在 15% 以内，说明预测结果较为准确，分析比较数据发现运用该方法预测得到的数据偏小。

Table 1. Gas emission measurements results
表 1. 瓦斯涌出量实测结果

生产的工作面	涌出量预测值(m^3/min)	涌出量实测值(m^3/min)
2611 材料道	1.90	2.16
2611 溜子道	1.90	1.79
2611 回采工作面回采	3.56	3.86
2611 回采工作面检修	1.99	2.23

由于该煤矿是单一采区生产, 每个采区又是单面生产, 所以矿井瓦斯涌出量实质上就是采区瓦斯涌出量, 采区瓦斯涌出量实质上就是工作面瓦斯涌出量。该矿矿区工作制为两班采煤一班检修, 采煤时瓦斯涌出量为 2611 回采工作面瓦斯涌出量与 2611 掘进面瓦斯涌出量之和, 即预测值为 $1.90 + 1.90 + 3.56 = 7.36 \text{ m}^3/\text{min}$, 实测值为 $2.16 + 1.79 + 3.86 = 7.81 \text{ m}^3/\text{min}$ 。检修时瓦斯涌出量为 2611 回采工作面瓦斯涌出量与 2611 掘进面瓦斯涌出量之和减去回采时落煤产生的瓦斯涌出量, 即预测值为 $1.90 + 1.90 + 3.55 - 1.56 = 5.80 \text{ m}^3/\text{min}$, 实测值为 $2.16 + 1.79 + 2.23 = 6.18 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

5. 结论

(1) 通过比例分源预测法可以在布置回采巷道期间就预测出工作面的瓦斯涌出量, 进而预测出采区的瓦斯涌出量, 方法简单, 快速, 成本低。为煤矿瓦斯涌出量快速预测提供了理论依据和实践基础, 具有较好的推广应用前景。

(2) 采掘瓦斯平衡系数 B 在某个矿是常数, 但在每个矿都不一样, 每个矿可以测定该矿的 B 值, 进而预测出本采区的瓦斯涌出量。

(3) 通过在煤矿运用该方法, 预测值和实测结果相差在 15% 以内, 与实测相比偏小。

(4) 比例分源预测法只是在具有相同的开采技术条件和地质条件的矿区, 正在布置回采巷道时大致预测瓦斯含量, 如若精确预测瓦斯含量, 必须采用其他先进方法及精密设备预测。

参考文献

- [1] 尹鹏飞, 刘思迪. 综采放顶煤工作面瓦斯涌出构成及高位定向钻孔抽采效果研究[J]. 煤矿现代化, 2024, 33(3): 105-109.
- [2] 朱墨然. 煤矿瓦斯抽采钻孔三维模拟及控制效果评价[J]. 矿业安全与环保, 2024, 52(3): 50-55+64.
- [3] 张增辉, 马文伟. 基于随机森林回归算法的回采工作面瓦斯涌出量预测[J]. 工矿自动化, 2023, 49(12): 33-39.
- [4] 李晶, 武建明, 邢玉忠, 邓存宝. 基于无偏灰色马尔科夫模型的工作面瓦斯涌出量预测[J]. 矿业研究与开发, 2023, 43(8): 58-65.
- [5] 陈鲜展, 沈易成, 洪飞扬, 石绅. 煤矿掘进工作面瓦斯浓度预测[J]. 工矿自动化, 2024, 50(4): 128-132.
- [6] 张小坚. 煤矿瓦斯预测与防治研究[J]. 能源与节能, 2023(6): 77-79.
- [7] 仇婷婷, 李金龙. 矿井间断通风瓦斯积聚机理及防治技术研究[J]. 石化技术, 2024, 31(3): 293-294.
- [8] 武腾飞, 杨程涛, 熊俊杰. 长钻孔抽采条件下顶板瓦斯运移规律及减涌机理研究[J]. 煤炭技术, 2024, 43(2): 131-135.
- [9] 曹亮. 基于 Adam 算法 BP 神经网络的矿井环境瓦斯浓度预测模型[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2024, 39(1): 18-23.
- [10] 吕建立. 基于 RNN 算法的煤矿井下瓦斯浓度预测研究[J]. 能源与环保, 2023, 45(9): 84-87.