

基于瓦斯防治工程的隐伏构造勘查与瓦斯异常区域预测

何鑫, 崔洪庆, 关金锋, 王泽华

Exploration of hidden structure and prediction of gas anomaly area based on gas control projects

HE Xin, CUI Hongqing, GUAN Jinfeng, and WANG Zehua

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.202209007>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

水平分支孔定向钻探技术及其在煤矿水害防治中的应用——以东庞煤矿ZKxx3孔钻探施工为例

Application of directional drilling technology of horizontal branch hole in the drilling of ZKxx3 hole in Dongpang Coal Mine water disaster prevention and control

叶兰肃, 马卫东, 王雷浩, 南方 中国地质灾害与防治学报. 2020, 31(5): 105-111

青海省地质灾害防治资金投入与成效分析

Analysis of funding used for geological disaster prevention in Qinghai Province and its effects

魏赛拉加, 严慧, 张俊才, 魏正发, 吴靓 中国地质灾害与防治学报. 2020, 31(5): 112-116

季节性冻土区滑坡防治工程的冻融效应分析

Analysis on the effect of freeze-thaw on landslide prevention projects in seasonal frozen soil area

杨栋, 王全成, 姜昭群 中国地质灾害与防治学报. 2021, 32(6): 82-89

九寨沟地震区公路沿线地质灾害发育规律及防治对策

Developmental regularity and preventive countermeasures of geological disasters along the highway in Jiuzhaigou earthquake area

程强, 胡朝旭, 杨绪波 中国地质灾害与防治学报. 2018, 29(4): 114-120

基于“3S”技术的地质灾害监测预警系统在我国应用现状

Review on geological disaster monitoring and early warning system based on “3S” technology in China

张凯翔 中国地质灾害与防治学报. 2020, 31(6): 1-11

2004—2018年北京市突发地质灾害时空分布特点和监测预警状况

Temporal-spatial distribution and monitoring and early warning of sudden geological disasters in Beijing during the period of 2004 to 2018

程素珍, 路璐, 翟淑花, 张长敏, 郝春燕, 任凯珍 中国地质灾害与防治学报. 2020, 31(6): 38-46



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

DOI: 10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.202209007

何鑫, 崔洪庆, 关金锋, 等. 基于瓦斯防治工程的隐伏构造勘查与瓦斯异常区域预测[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2024, 35(2): 115-126.

HE Xin, CUI Hongqing, GUAN Jinfeng, et al. Exploration of hidden structure and prediction of gas anomaly area based on gas control projects[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2024, 35(2): 115-126.

基于瓦斯防治工程的隐伏构造勘查与 瓦斯异常区域预测

何鑫¹, 崔洪庆^{1,2,3}, 关金锋⁴, 王泽华¹

(1. 河南理工大学安全科学与工程学院, 河南 焦作 454000; 2. 河南省瓦斯地质与瓦斯治理重点实验室, 河南 焦作 454000; 3. 中原经济区煤层(页岩)气协同创新中心, 河南 焦作 454000;
4. 贵州工程应用技术学院矿业工程学院, 贵州 毕节 551700)

摘要: 隐伏构造勘查与瓦斯异常区域预测研究是瓦斯灾害防治工程的基础。根据中国煤矿生产法律法规, 开采具有瓦斯灾害危险的煤层前, 必须实施瓦斯抽放工程。通常, 地质异常区域即是瓦斯灾害危险区, 构造应力场和采动应力场的叠加会扰动煤体并加压瓦斯。为精准定位地质异常区, 评价其瓦斯致灾潜能, 提出了一种基于瓦斯抽采工程进行瓦斯异常区域勘测的研究方法。该方法利用抽采钻孔参数和施工记录, 采集钻孔数据并计算煤层顶底板控制点坐标, 进而利用二维投影图件及三维应力场模型对隐伏地质构造(如小的断层、褶曲、局部煤厚异常变化等)进行勘查和预测; 通过分析小型地质构造周围的附加应力场, 并对瓦斯致灾潜能进行动态预测。应用该方法, 可以对地质异常区进行精细调查, 揭示采煤工作面瓦斯地质演化的一般规律。其研究结果为高瓦斯或突出煤层瓦斯灾害防治措施优化设计及有效实施提供科学依据。

关键词: 瓦斯灾害防治; 瓦斯抽采钻孔; 瓦斯地质; 瓦斯异常; 地质异常

中图分类号: TD166

文献标志码: A

文章编号: 1003-8035(2024)02-0115-12

Exploration of hidden structure and prediction of gas anomaly area based on gas control projects

HE Xin¹, CUI Hongqing^{1,2,3}, GUAN Jinfeng⁴, WANG Zehua¹

(1. Henan Polytechnic University College of Safety Science and Engineering, Jiaozuo, Henan 454000, China;
2. Key Laboratory of Gas Geology and Gas Control in Henan Province, Jiaozuo, Henan 454000, China;
3. Co-innovation Center of Coal Seam (Shale) Gas in Central Plains Economic Zone, Jiaozuo, Henan 454000, China;
4. Guizhou University of Engineering Science College of Mining Engineering, Bijie, Guizhou 551700, China)

Abstract: The investigation of hidden structures and the prediction of gas abnormal area form the foundation of gas disaster prevention engineering. In accordance with the laws and regulations governing coal mining in our country, a gas pumping

收稿日期: 2022-09-06; 修订日期: 2022-11-11

投稿网址: <https://www.zgdzhyfzxb.com/>

基金项目: 国家自然科学基金项目(41372160)

第一作者: 何鑫(1991—), 男, 河南安阳人, 博士研究生, 主要从事瓦斯地质及瓦斯灾害防治等研究。

E-mail: patriot_xin@163.com

通讯作者: 崔洪庆(1958—), 男, 辽宁营口人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事瓦斯地质领域的教学和研究工作。

E-mail: hqcui@hpu.edu.cn

project must be implemented prior to mining coal seams with a gas hazard. Typically, geologic anomaly area represent gas hazard zones, where the combination of tectonic stress field and mining-induced stress field can disturb coal bodies and pressurize gas. To accurately locate geologic anomaly areas and evaluate their gas disaster potential, a gas geologic anomaly survey method has been proposed based on gas extraction projects. This method uses drilling parameters and records to calculate the coordinates of the control points of the coal seam roof and bottom, and then utilizes two-dimensional projection diagrams and three-dimensional stress field models to survey and forecast small, hidden geological structures (such as small faults, folds, and locally abnormal coal thicknesses). By analyzing the additional stress field surrounding small geological structures, gas disaster potential can be dynamically predicted. The application of this method enables the detailed investigation of geological anomalies and reveals the general pattern of gas geological evolution at coal mining worksites. The research results provide a scientific basis for the optimal design and effective implementation of disaster prevention and control measures for coal seams with high gas content or at risk of gas outbursts.

Keywords: prevention and control of gas disasters; gas extraction drilling; gas geology; gas anomaly; geological anomalies

0 引言

瓦斯事故给煤矿生产带来了严重危害,为预防煤体破坏与瓦斯突出等瓦斯灾害,切实有效地开展瓦斯防治工作的前提是必须探明瓦斯赋存及地质构造条件。研究表明,瓦斯赋存受控于地质条件。构造带附近往往应力集中^[1]、构造煤发育、高压瓦斯积聚,瓦斯事故多发生在断层、褶曲等构造带^[2-5]。因此须对地质异常区开展精细勘查和瓦斯赋存条件分析。

在确定采煤工作面前,煤层已经过多次勘探,大中型地质构造基本探明。但是对瓦斯抽采工程和回采生产而言,精细程度还不足,无法准确、高效的预测煤层破坏与瓦斯突出危险区,瓦斯防治工作针对性不强^[6-8]。小型地质构造(落差 ≤ 5 m 或落差 $<$ 煤层厚度的断层;波长 ≤ 100 m 的褶曲)在前期地质勘探中难以查明,甚至在巷道掘进时都无法探测到^[9-10]。这些小型的隐伏构造可能会导致局部瓦斯积聚,构造应力作用下还会使煤体揉碎破坏,构造煤发育。应力集中、煤体破坏、瓦斯积聚,使得这些未能勘探到小型地质构造的区域具有很强的瓦斯致灾潜力。煤矿前期勘探往往需要施工大量瓦斯抽采钻孔及瓦斯参数监测钻孔等,这些专用工程钻孔的施工记录中包含着大量地质信息^[11]及瓦斯动力信息^[12-13]。在这些资料基础上,对小型地质构造进行预测^[14-15],揭示瓦斯赋存条件随着采掘推进的变化规律^[16],并对隐伏构造影响区域的瓦斯异常动态演化规律进行深入研究。

本文提出以采煤工作面为研究对象,利用瓦斯抽采钻孔记录,结合前期钻探、巷探、物探等勘查成果,形成预测小型隐伏构造与瓦斯异常区,研究方法和工作流程见图 1^[17]。在此基础上,动态分析采煤工作面推进过程

中地应力场与瓦斯赋存的演化规律^[18],为矿井瓦斯防治工作和煤与瓦斯突出风险预测提供科学依据。

1 瓦斯抽采钻孔数据采集

瓦斯抽采钻孔的布置分顺层钻孔和穿层钻孔。

顺层钻孔主要是在进风巷及回风巷中沿煤层施工,对落差大于煤厚的隐伏断层,具有较强的揭露能力。其地质勘查作用十分显著。

穿层钻孔是将抽采巷道设置于煤层底板/顶板岩巷内,然后对煤层进行穿层施工。由于回采前会施工大量穿层钻孔,依据钻场位置,钻孔方向以及钻进长度等资料,计算得到钻孔经过煤层底板/顶板穿层点的三维坐标,并可通过绘制勘测图^[19]与趋势分析等方法对回采工作面隐伏构造进行勘查和判断。

1.1 建立相对坐标系

建立精准可靠的相对坐标系是研究的基础。通过对井下煤层开采中常用到的各种坐标系进行分析和比较,建立基于抽采巷道布置水平的相对坐标系。其中, OX 轴和 OZ 轴表示抽采巷道中线和重力反方向, OY 轴和 OXZ 这两个轴构成的平面保持垂直,其基本结构见图 2。

1.2 钻孔参数采集

钻孔数据精度与预测结果密切相关。为保证基础数据的真实性和有效性,在进行数据采集时需要有专人对钻孔参数及控制点坐标进行测量,并详细记录钻进过程中的动力现象等^[20]。

钻孔施工记录表应包括以下内容:

- ① 钻孔编号;
- ② 钻机型号、参数;
- ③ 钻头、钻杆参数;

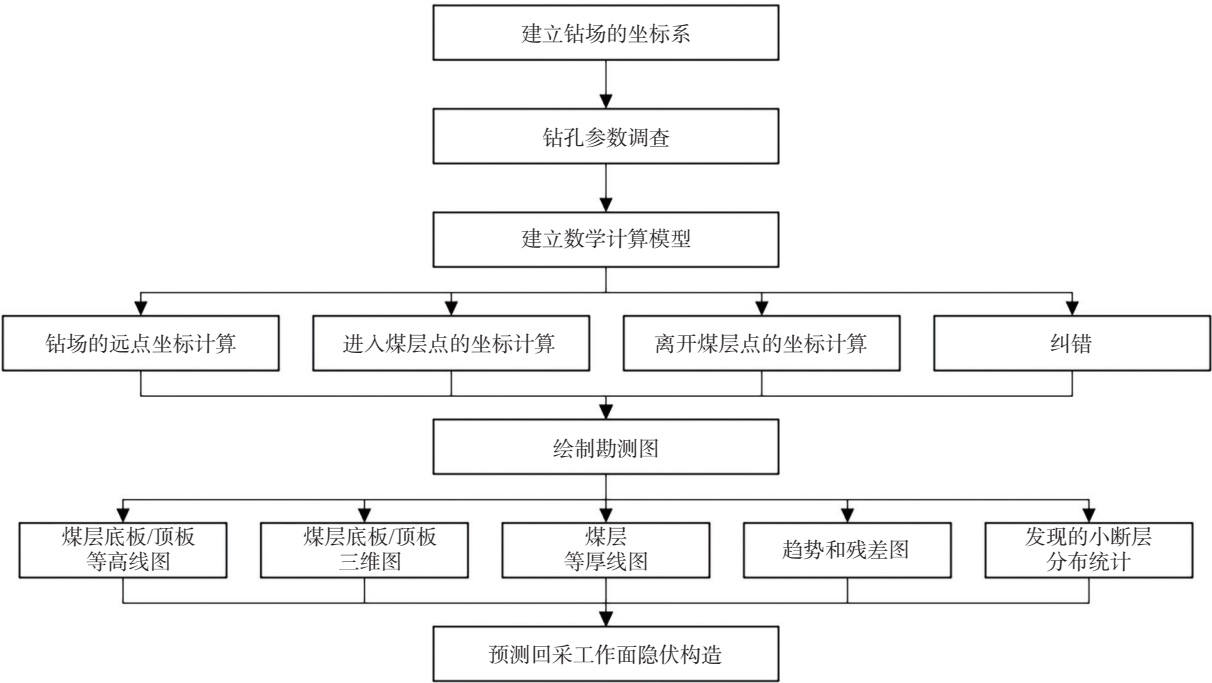


图 1 隐伏构造勘查和瓦斯异常区域预测技术工作流程

Fig. 1 Workflow of hidden structure exploration and gas anomaly area prediction technology

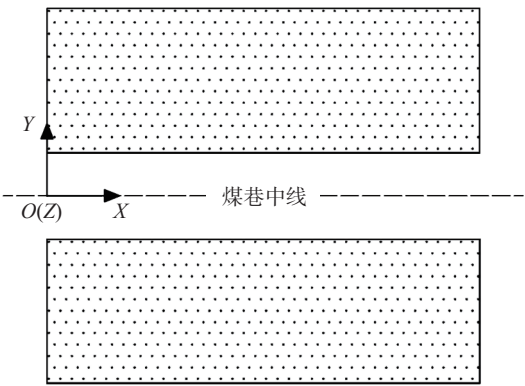


图 2 相对坐标系平面示意图

Fig. 2 Schematic diagram of relative coordinate system

- ④ 开孔时间;
- ⑤ 开孔点坐标;
- ⑥ 钻孔方位角、倾角;
- ⑦ 见煤点深度;
- ⑧ 穿煤长度;
- ⑨ 穿煤见岩点深度;
- ⑩ 孔深;
- ⑪ 钻机钻进压力曲线;
- ⑫ 动力现象记录。

1.3 钻孔数据误差分析及校正

对钻孔数据进行误差分析非常重要。必须对误差产生的原因进行详细的分析和校正,消除因人为误差造

成的无效数据,修正因施工工艺等造成的系统误差。

(1)开孔位置误差

可通过建立严谨的钻孔施工规范来提高施工质量;确保钻机施工时的稳固性,可有效避免开孔位置移动。

(2)煤层控制点误差

在见煤点和穿煤点判断时,利用钻屑颜色,钻机声音和钻进压力 3 个客观指标与操作人员的施工经验进行综合判断,能有效提高控制点精度。

(3)孔斜误差

钻孔偏斜在钻探中是一个典型的系统误差问题,它主要与地质条件和施工工艺有关。地质条件方面,软硬互层、构造变化、地应力场等都会造成孔斜现象;施工工艺方面,钻机参数设置不合理以及技术操作不佳等因素也会引起孔斜现象。因此,应根据具体工况选择最优钻具;其次,应选择有针对性的钻井工艺,期间须综合考虑特定地质条件并对施工工艺进行合理设定;钻井过程中须保证钻口及主轴呈水平状态,且空间方位角与设计钻孔方位角及仰角一致。

在工程实践中即使严格按以上方法实施也有可能发生孔斜问题,需采用以下方法修正钻孔数据误差。

(1)地质规律分析

地质构造是由构造应力场所控制。在同一瓦斯地质单元内,构造发育存在着一定的规律性,如断层走向、倾向、倾角及褶曲轴向等都存在着规律性。若依据

钻孔数据分析得到的煤层产状异常,最终判定识别出的小构造不符合该地区构造发育规律,那么极有可能为孔斜误差所致。

(2) 实际测量

采用专用测斜仪器在已建钻孔中抽样测斜并总结出该工作面孔斜的一般规律,可有效地纠正由于地质条件及施工工艺不足而引起的系统误差。

(3) 施工记录验证

地质异常可能伴有动力现象,因开工位置等施工质量较差导致的异常点,往往不会产生动力现象;但由于钻杆自重或煤层产状导致的孔斜常常在施工中伴有异常现象。因此,可根据施工记录中动力现象记录及钻机钻进压力曲线来判断钻孔数据异常的成因并加以校正。

1.4 煤层顶板/底板控制点坐标计算

为了得到钻杆穿煤层顶板/底板控制点的三维坐标,需要根据相对坐标系和钻孔施工的实际参数进行计算。

瓦斯抽采钻孔示意图如图 3,假设钻孔无偏斜,开孔点 A、见煤点 B、穿煤见岩点 C,3 点间为直线。钻孔轨迹水平投影线与观测线的夹角表示钻孔方位角(α),其轨迹与水平投影线之间的夹角为倾角(β)。

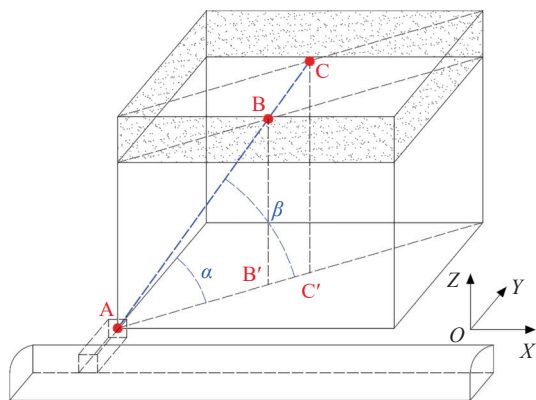


图 3 钻孔信息示意图

Fig. 3 Schematic diagram of borehole

依据之前建立的相对坐标系、钻场设计图和实际施工记录,易求得钻孔开孔点 A 的坐标(x_A, y_A, z_A)。同理,煤层顶板/底板控制点坐标可结合施工记录中的钻孔参数进行计算。

(1) 钻孔见煤控制点 B(x_B, y_B, z_B)计算:

$$\begin{cases} x_B = x_A + l_1 \cdot \cos\beta \cdot \sin\alpha \\ y_B = y_A + l_1 \cdot \cos\beta \cdot \cos\alpha \\ z_B = z_A + l_1 \cdot \sin\beta \end{cases} \quad (1)$$

(2) 钻孔穿煤见岩控制点 C(x_C, y_C, z_C)计算:

$$\begin{cases} x_C = x_A + (l_1 + l_2) \cdot \cos\beta \cdot \sin\alpha \\ y_C = y_A + (l_1 + l_2) \cdot \cos\beta \cdot \cos\alpha \\ z_C = z_A + (l_1 + l_2) \cdot \sin\beta \end{cases} \quad (2)$$

式中: α ——方位角/($^\circ$);

β ——倾角/($^\circ$);

l_1 ——钻孔在岩层中的长度(AB 段)/m;

l_2 ——钻孔在煤层中的长度(BC 段)/m。

(3) 控制点坐标校正

由于地质条件和施工工艺等原因,钻孔轨迹会随着钻进长度的增加而逐渐偏离设计的直线状态,并产生一定的弯曲(图 4)。

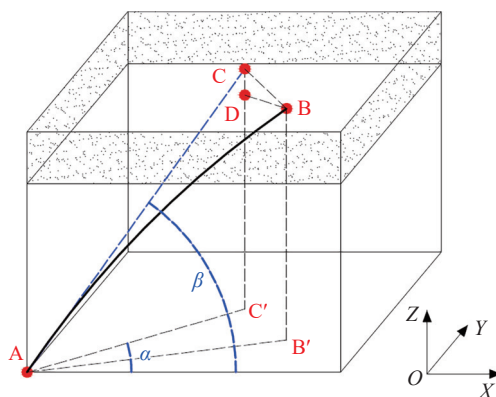


图 4 钻孔偏斜示意图

Fig. 4 Schematic diagram of borehole deflection

在理想情况下钻进轨迹是 AC 直线段,而在实际情况下是 AB 弧线段。可根据钻孔原始施工参数计算出理想钻孔控制点 C(x_C, y_C, z_C),通过钻孔测斜仪进行现场测量获得实际钻孔控制点 B(x_B, y_B, z_B)。

$$\begin{cases} \Delta x = x_C - x_B \\ \Delta y = y_C - y_B \\ \Delta z = z_C - z_B \end{cases} \quad (3)$$

由此可计算 B 点和 C 点之间的偏差($\Delta x, \Delta y, \Delta z$),得到控制点向空间不同方向的偏移量。根据公式(3)即可对煤层顶板/底板控制点坐标进行计算和校正。

实际工作中,若地层导致钻孔偏斜现象严重,则须按比例选择不同地段开展钻孔偏斜测试,计算不同走向的钻孔偏斜系数并总结钻孔偏斜规律,校正整体钻孔偏斜误差。若钻孔钻进距离短,地层造斜特征不显著,且钻孔偏斜导致误差较小,则可得钻孔偏斜误差不会对煤层中小构造识别精度有较大影响的结论,此种情况可直接选择钻孔现场施工数据。钻孔偏斜测试的工作应该根据现场钻孔施工技术和地质条件进行灵活的选择。

2 隐伏构造勘查和瓦斯异常区域预测

2.1 隐伏构造勘查和识别图件

根据计算所得煤层控制点^[21]的三维坐标可以绘制出隐伏构造勘探识别图^[22-24]。

(1)煤层顶板/底板等高线图

若煤层顶板/底板等值线光滑, 分布较为均匀, 说明煤层内无特殊构造; 若煤层顶板/底板等值线间距发生

突然改变, 包括变稀疏或变密集, 则说明此处可能有地质构造存在, 需要结合其他资料作进一步分析, 进而对地质构造作出较详细和准确的识别(图 5)。

(2)煤层顶板/底板三维曲面图

利用 MATLAB 绘制煤层顶板/底板的三维曲面图(图 6)。曲面分析可获得煤层产状和起伏变化的具体分布特征, 隐伏小断层、小褶曲等构造异常都会对煤层曲面产生显著的影响。

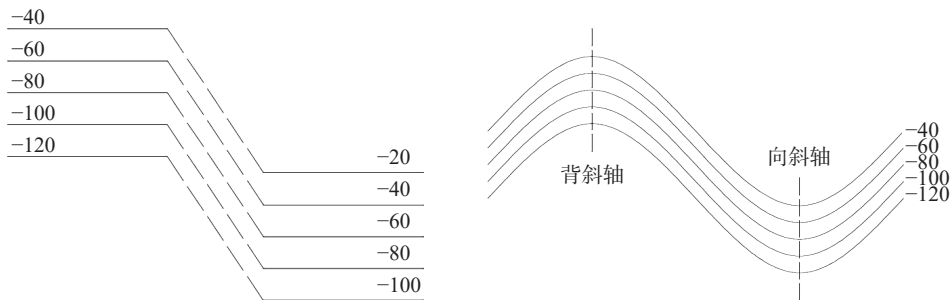


图 5 断层、褶曲等高线示意图
Fig. 5 Contour illustration diagram of faults and folds

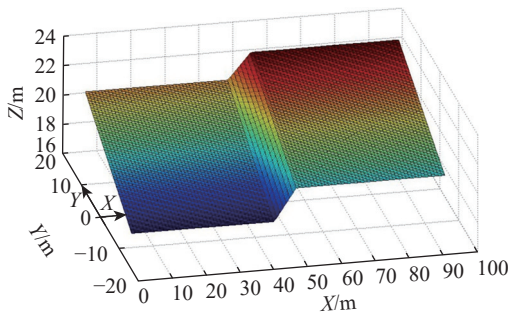


图 6 煤层顶板/底板三维曲面示意图
Fig. 6 Three-dimensional surface illustration diagram of coal seam roof (or floor)

(3)瓦斯异常、动力现象分布图

结合钻孔施工记录中对瓦斯异常、动力现象及钻进压力异常点的监测, 将其标注在工程平面图中。

记录主要包括喷孔、瓦斯涌出异常、夹钻、顶钻和钻进压力突变等, 通过绘图软件标记出异常点并获得相应瓦斯动力现象的分布特征图, 可辅助煤层隐伏构造勘探^[25-27]。

2.2 隐伏构造勘查分析方法

通过勘查图件可以识别煤层隐伏构造, 为了更加准确地判断出构造具体类型并提高勘查结果精度, 必须对基础数据做更加深入地分析, 所采用的分析方法包括趋势面分析法、曲面磨光法^[28]。

(1)趋势面分析法

趋势面分析法是以趋势面图和残差图为基础, 运用

多元函数回归原理分析煤层顶板/底板等值线变化趋势、突出局部异常变化, 以区分构造类型和产状参数。

不同地质构造类型对煤层影响差异明显^[29], 使得煤层顶板/底板等值线图和趋势面残差图各有其显著特征。隐伏构造类型可据表 1 进行识别。

(2)曲面磨光分析法

曲面磨光分析法是指利用磨光值与实测值之间的偏差 ΔZ 绘制相应的偏差图(图 7), 若研究区域为平面, 磨光曲面与样条函数曲面保持一致, 其偏差为零(即 $\Delta Z = 0$); 若研究区域为曲面, 则对应的偏差不等于零。由此可识别煤层中的隐伏构造。

① 若曲面磨光图中粗实线不闭合且两侧正负区域对称性较好, 无论粗实线局部弯折程度均表示断层结构(图 8)。若曲面磨光图中粗实线总体闭合, 但其中有一段具有正负圈对称性特征而延伸方向无固定规律, 也可判定为断层。

② 若曲面磨光图中粗实线全部闭合且规则性良好, 即可确定为背斜构造或向斜构造(图 9)。

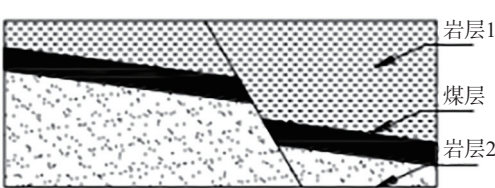
这 2 种小型隐伏构造识别方法各有优劣, 若数据量较大, 趋势面分析方法精度较高; 而曲面磨光法在参数不够完善的区域预测效果较好。在实践中, 应全面考虑, 相辅相成。

2.3 构造带周边应力场的数值模拟

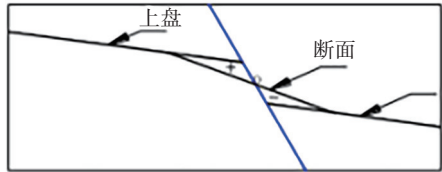
受采掘活动的影响, 隐伏的地质构造可能发生新

表 1 不同构造类型趋势面分析表
Table 1 Analysis table of trending surfaces for different tectonic types

构造类型	构造模型	煤层顶板/底板等值线示意图	趋势面残差示意图
走向断层			
断层			
褶曲			



(I)

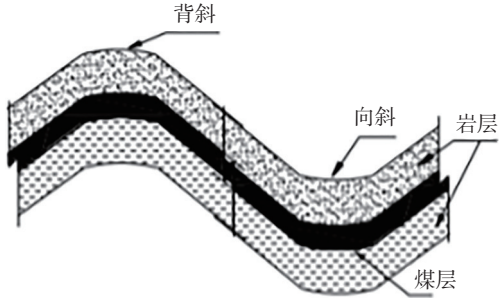


(II)

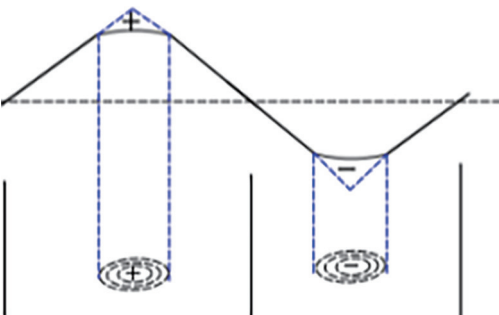


(III)

(a) 断层曲面磨光偏差图



(I)



(II)

(b) 褶曲曲面磨光偏差图

图 7 断层、褶曲曲面磨光偏差示意图

Fig. 7 Surface grinding deviation diagram of faults and folds

的活动并造成力学性质的转化^[30], 采动应力场和小型地质构造所附加的构造应力场在工作面前方相互叠加^[31-32], 其周围的瓦斯渗流场也会发生动态变化。

在精细地质勘查和对区域构造应力场^[33]的研究基础上, 对小型地质构造周围附加应力场进行数值模拟, 动态分析采掘工作面推进过程中隐伏构造带周边的瓦

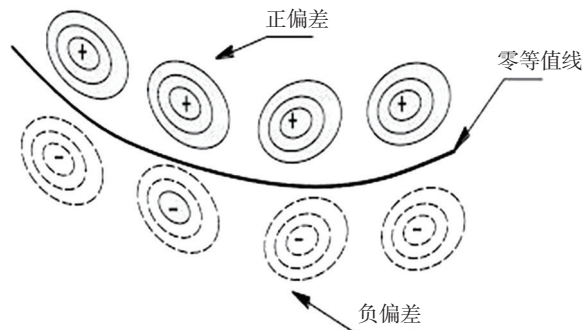


图 8 断层构造曲面磨光示意图(不闭合)
Fig. 8 Surface grinding illustration diagram of faults

斯致灾潜力^[34]。
用 FLAC^{3D} 软件建立地质构造模型,煤层叠加应力场受采动的影响而发生显著变化^[35],不同构造类型其应力场表现具有明显特征(表 2)。通过井下瓦斯浓度实时监测与构造带应力场的数值模拟,开展回采工作面瓦斯涌出量分源计算,综合分析瓦斯浓度动态变化特征及其影响因素。基于对隐伏构造的精细化勘查以及钻孔

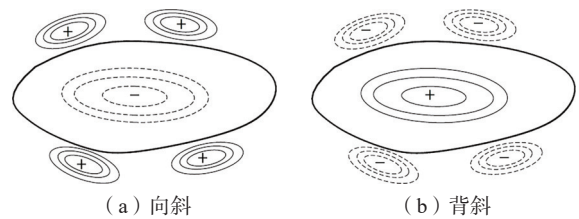


图 9 褶皱构造曲面磨光示意图(闭合)
Fig. 9 Surface finish deviation diagram of fold

瓦斯流量和涌出特征,可对隐伏构造区瓦斯赋存规律进行精确分析和预测。

3 隐伏构造勘查与瓦斯异常区域预测实例

根据上述采煤工作面隐伏构造勘查与瓦斯异常异常区域预测流程,以古汉山煤矿为实例,验证该预测方法的可行性。

3.1 研究区域简介

古汉山煤矿位于焦作煤田中部,生产能力为 1.2 Mt/a。矿井采用立井多水平上、下山开拓方式;采用主、副井

表 2 不同构造类型叠加应力场数值模拟

Table 2 Numerical simulation of superimposed stress fields of different tectonic types

构造类型	0°夹角断层	45°夹角断层	90°夹角断层
构造模型			
开采前			
20 m迎头			
6 m迎头			

进风,东翼风井、西翼风井回风的混合式通风方式,通风系统完善。

研究区为 14171 采煤工作面,工作面倾向长度 123 m、走向长度 592 m、标高 -336 ~ -391 m;煤层平均厚度 4.8 m、走向 $31^{\circ} \sim 44^{\circ}$ 、倾向 $121^{\circ} \sim 134^{\circ}$ 、倾角 16° ;

采用分层走向长壁采煤法、综采采煤工艺,平均采高 3.0 m;具有煤与瓦斯突出危险性。14171 采煤工作面布置如图 10 所示,其中红色线段表示已探明的构造带,黄色部分为此次构造预测区域,平面图中可以看出底抽巷的相对位置。

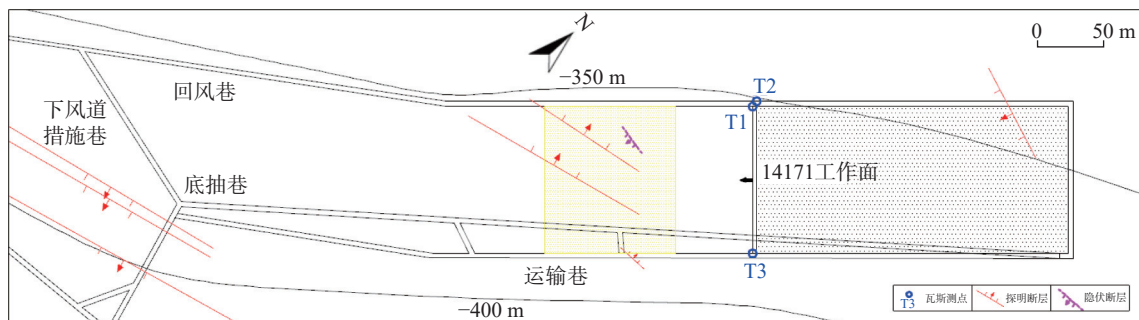


图 10 14171 采煤工作面布置示意图

Fig. 10 Layout diagram at 14171 coal mining working face

该主采煤层原始瓦斯含量为 $24.44 \text{ m}^3/\text{t}$,采用底抽巷穿层钻孔与顺煤层钻孔相结合的方法对本煤层瓦斯进行预抽,底抽巷的相对位置见图 10。穿层钻孔列间距 3 m、组间距 6 m、每组 14 个,共施工瓦斯抽采钻孔 5 025 个,钻孔总长度 273 581 m,为隐伏构造的勘测提供了大量的基础数据。

3.2 研究区瓦斯地质分析

提取图 10 黄色区段的穿层抽采钻孔记录,根据钻孔数据误差分析校正,排除了由于钻机和人为记录失误而产生的单个孤立控制点,并计算了煤层底板的控制点三维坐标,编制了地质异常勘测图。

(1) 煤层底板等值线图

如图 11 所示,这段煤层底板等高线一般比较整齐,但是 FF' 连线区域由缓变密,并带有方向性。初步认为该区域可能存在地质构造。

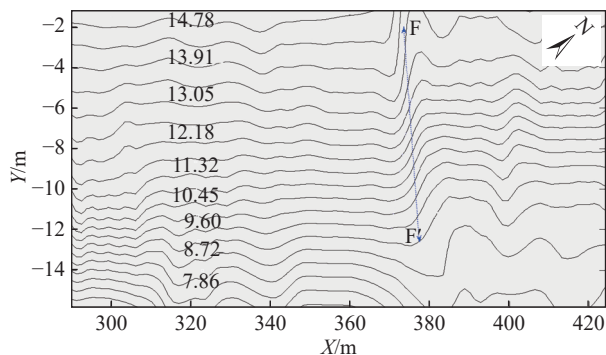


图 11 煤层底板等值线图

Fig. 11 Contour map of coal seam floor

(2) 煤层底板三维曲面图

如图 12 所示,煤层总体分布较光滑,但 ABDC 区标高变化显著,这对应着煤层底板等值线图上所圈定的异常部位。

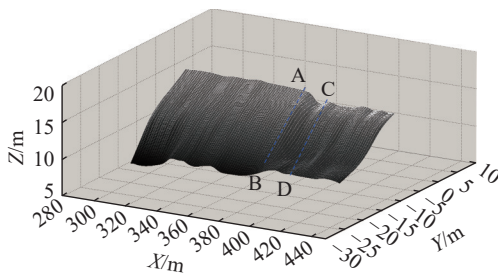


图 12 煤层底板三维曲面图

Fig. 12 Three-dimensional surface diagram of coal seam floor

(3) 煤层等厚线图

如图 13 所示,颜色深浅代表了煤层厚度。从图 14 中可以看出工作面煤层厚度为 5 ~ 6 m,煤厚比较均

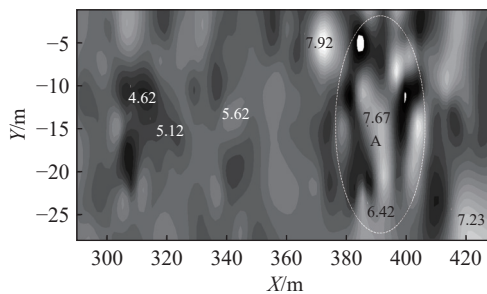


图 13 煤厚等值线填充图

Fig. 13 Contour filling map of coal thickness

匀,但是圈注处煤厚发生了突变,与识别出的构造位置大体一致。

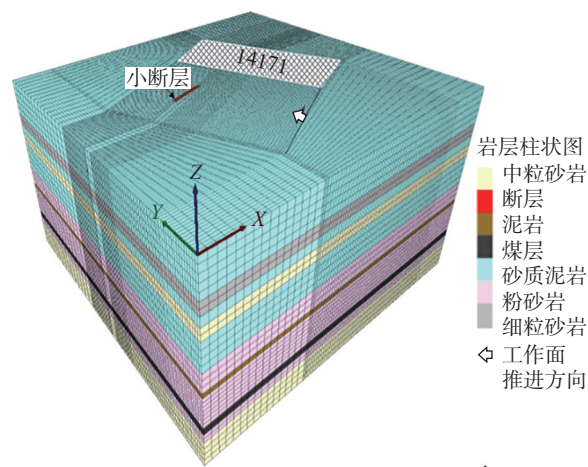


图 14 采煤工作面地质模型
Fig. 14 Geological model of coal mining working face

以上勘测图件共同证实了煤层在 FF'段有局部地质异常,为了进一步查明该处地质构造类型及产状特征,利用趋势面分析法做煤层底板的三次趋势图和三次趋势面残差图(图 15—16)。

煤层的走向、倾向和倾角等产状参数可根据趋势

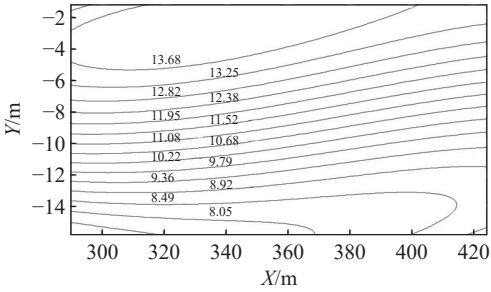


图 14 煤层底板等高线三次趋势图

Fig. 14 Three times trend map of coal seam floor contour lines

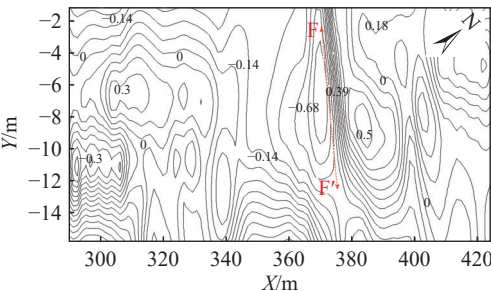


图 15 煤层底板等高线三次残差图

Fig. 15 Three times residual map of coal seam floor contour lines

图 16 计算得出。从残差图 17 来看, FF'段为地质异常,具有单一的 0 等值线,正负残差位于 0 等值线的两侧,依据

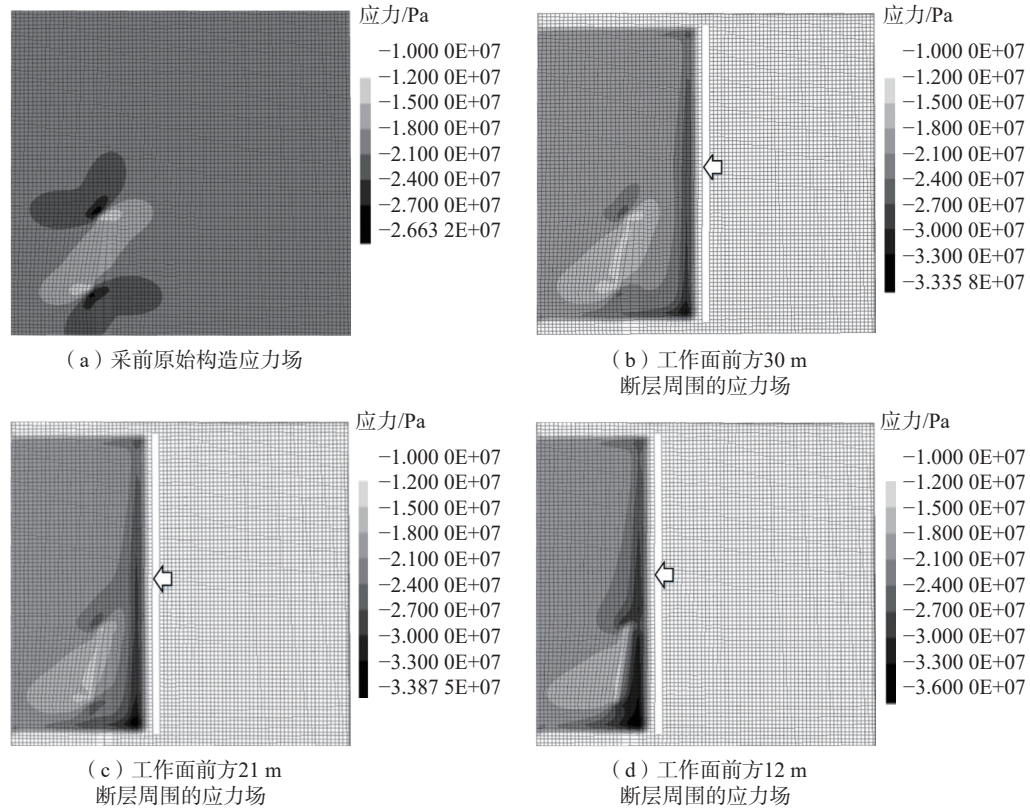


图 17 采动影响下工作面前方断层周围应力场的数值模拟

Fig. 17 Numerical simulation of stress field around fault ahead of working face under mining influence

表 1 可知该处地质异常符合小断层特征,由此可推断该断层走向为 $N45^{\circ}W$ 。断层落差可按断层两侧正负残差值的差值来测定,计算可得断层落差为 1.5 m、延伸 20 m、其位置为 $X(360\text{ m}, 390\text{ m})$ 和 $Y(0\text{ m}, -15\text{ m})$ 。

按此方法预测,14171 采煤工作面统尺 360 ~ 390 m、距运输巷 35 m 处发育一条走向 $NW45^{\circ}$ 、落差 1.5 m、延伸 20 m 的小断层。

3.3 隐伏断层周边应力场的数值模拟分析

上述预测方法在工作面发现一条小型断层,该隐伏构造可能造成煤体破碎和局部瓦斯异常。随着工作面的推进,在该区域可能出现额外的局部构造应力,扰动煤体、促进瓦斯逸散或加压瓦斯气体。

为探究采动影响下,工作面前方隐伏断层附近应力场的变化,利用 FLAC^{3D} 软件对回采工作面小断层影响区域建立走向长度为 130 m 工作面模型,模型设置为 $260\text{ m} \times 250\text{ m} \times 130\text{ m}$,由于煤层倾角较小,按水平地层处理建模、断层带以宽度为 2 m 的软弱带来模拟(图 16)。

模型底面及四周约束法向位移,顶部为应力边界。据实测资料, X 轴施加 10 MPa 载荷模拟最小水平主应力, Y 轴施加 20 MPa 载荷模拟最大水平主应力, Z 轴施加 8 MPa 竖直载荷模拟上覆岩层重力。之后开始对工作面推进模拟,工作面长度 110 m、采高 3 m,每次开挖距离 3 m。采空区垮落过程用弱力学性质充填体进行充填模拟。模拟结果见图 17。

由图 17 可知,小断层附加构造应力场在工作面前方 30 m 以外与采动应力场不相互作用。随着工作面的推进,构造应力场与采动应力场在断层前 21 m 处开始叠加,工作面进入断层影响范围,煤体破碎、瓦斯解吸量逐步提升,煤体有突出危险并随着工作面的推进危险程度逐步加剧。煤炭回采工作中,最危险的位置可能在靠近小断层的采煤工作面中部。

3.4 研究区瓦斯异常监测数据分析

工作面推进过程中,利用瓦斯气体检测仪所记录的进、回风流瓦斯浓度数据等。监测小断层附近采煤工作面瓦斯浓度随时间变化的异常数据(图 18)。

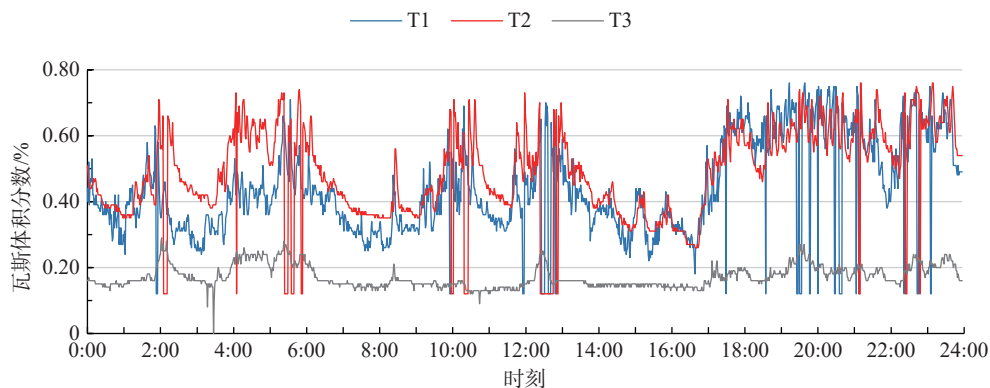


图 18 靠近小断层的采煤工作面瓦斯浓度监测图

Fig. 18 Gas concentration monitoring diagram for coal mining working face near small fault

古汉山矿采煤作业遵循“两采一准”的循环作业形式,指 2 个采煤班、1 个准备班;采煤班内进行“落、装、运、支、移”等工序,准备班主要是设备检修。24 h 为一个工作循环,是完整的设备维护、割煤、回采、支护流程。因此,在记录瓦斯涌出量时,以 24 h 为基本单元,记录每分钟瓦斯监测仪数值。测点位置见图 10,其中,T3 为进风流瓦斯气体检测仪,T1、T2 分别为回风流回采面近端、远端瓦斯气体检测仪(图 18)。

随着工作面的推进,统尺 350 ~ 370 m、近运输巷 30 m 处揭露一条小断层,该断层延伸 30 m、倾向 N、落差 1 m,与推断基本吻合。工作面回采前经超前顺层钻孔探测验证了预测结果,矿山及时采取强化瓦斯治理的

措施,使工作面安全平稳地穿过该隐伏构造带而未发生任何瓦斯灾害。

4 结论

(1) 瓦斯地质研究是防治瓦斯灾害的前提与基础。回采前未探明的小型地质构造往往导致局部瓦斯异常、地应力场和采动应力场叠加,高应力、高瓦斯和破碎的煤体可能引发煤与瓦斯突出或其他瓦斯灾害。充分利用前期勘探成果、结合瓦斯工程所反映的瓦斯地质信息,对工作面局部进行隐伏构造精细化勘探与瓦斯异常区域预测势在必行。

(2) 本文提出了基于瓦斯防治工程进行回采工作面

隐伏构造、局部瓦斯异常勘测的工作思路和操作方法。主要包括钻孔数据的采集和校正处理、隐伏构造对瓦斯异常影响的成像分析及勘查识别方法选择、区域地应力场分析和构造应力场数值建模、瓦斯浓度时空监测和动力现象标注。该方法可以精准的探查工作面前方煤厚变化、小型断层、瓦斯包等异常现象,有效的预测生产过程中瓦斯、地质因素的致灾潜能,为今后开展矿井瓦斯灾害预防与治理,优化瓦斯防治措施设计提供了科学依据。

参考文献(References):

- [1] 李忠华,梁影,包思远,等.断层冲击地压的影响因素分析[J].中国地质灾害与防治学报,2020,31(3):126-131. [LI Zhonghua, LIANG Ying, BAO Siyuan, et al. Analysis on influence factors of the fault rock burst [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2020, 31(3): 126-131. (in Chinese with English abstract)]
- [2] PETER HATHERLY. Overview on the application of geophysics in coal mining [J]. *International Journal of Coal Geology*, 2013, 114: 74-84.
- [3] 贾天让,王蔚,张子敏,等.现代构造应力场下断层走向对瓦斯突出的影响[J].采矿与安全工程学报,2013,30(6):930-934. [JIA Tianrang, WANG Wei, ZHANG Zhimin, et al. Influence of fault strike on gas outburst under modern tectonic stress field [J]. *Journal of Mining & Safety Engineering*, 2013, 30(6): 930-934. (in Chinese with English abstract)]
- [4] LI Shucan, LI Shuchen, ZHANG Qingsong, et al. Predicting geological hazards during tunnel construction [J]. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2010, 2(3): 232-242.
- [5] 魏国营,王保军,闫江伟,等.平顶山八矿突出煤层瓦斯地质控制特征[J].煤炭学报,2015,40(3):555-561. [WEI Guoying, WANG Baojun, YAN Jiangwei, et al. Gas geological control characteristics of outbursts coal seam in Pingdingshan No. 8 Mine [J]. *Journal of China Coal Society*, 2015, 40(3): 555-561. (in Chinese with English abstract)]
- [6] 崔洪庆,姚念岗.不渗透断层与瓦斯灾害防治[J].煤炭学报,2010,35(9):1486-1489. [CUI Hongqing, YAO Niangang. Impermeable faults and prevention of gas hazards [J]. *Journal of China Coal Society*, 2010, 35(9): 1486-1489. (in Chinese)]
- [7] ZHU Baolong. Quantitative evaluation of coal-mining geological condition [J]. *Procedia Engineering*, 2011, 26: 630-639.
- [8] 杨陆武,彭立世,曹运兴.应用瓦斯地质单元法预测煤与瓦斯突出[J].中国地质灾害与防治学报,1997,8(3):21-26. [YANG Luwu, PENG Lishi, CAO Yunxing. Application of gas geological division in controlling coal and gas outburst [J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 1997, 8(3): 21-26. (in Chinese with English abstract)]
- [9] 冉恒谦,张金昌,谢文卫,等.地质钻探技术与应用研究[J].地质学报,2011,85(11):1806-1822. [RAN Hengqian, ZHANG Jinchang, XIE Wenwei, et al. Applications study of geo-drilling technology [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2011, 85(11): 1806-1822. (in Chinese)]
- [10] YAO Ningping, ZHANG Jie, JIN Xing, et al. Status and development of directional drilling technology in coal mine [J]. *Procedia Engineering*, 2014, 73: 289-298.
- [11] LI Shucan, LIU Bin, XU Xianji, et al. An overview of ahead geological prospecting in tunneling [J]. *Tunnelling and Underground Space Technology Incorporating Trenchless Technology Research*, 2017, 63: 69-93.
- [12] 汪佩,吕同生,张金陵.基于地质构造分区的瓦斯地质单元区划方法[J].煤炭技术,2021,40(2):89-92. [WANG Pei, LYU Yansheng, ZHANG Jinling. Gas geological unit dividing method based on geological structure zoning [J]. *Coal Technology*, 2021, 40(2): 89-92. (in Chinese with English abstract)]
- [13] CAI Yidong, LIU Dameng, YAO Yanbin et al. Geological controls on prediction of coalbed methane of No. 3 coal seam in southern Qinshui Basin, North China [J]. *International Journal of Coal Geology*, 2011, 88(2/3): 101-112.
- [14] PAUL S, CHATTERJEE R. Determination of sub-surface stress direction from coal permeability and underground cleat orientation mapping for coal bed methane exploration, Jharia Coalfield, India [C] //International Conference on Unconventional Sources of Fossil Fuels and Carbon Management (ICUSFFCM 2011), 2011, 87(2): 87-96.
- [15] KANG H, ZHANG X, SI L, et al. In-situ stress measurements and stress distribution characteristics in underground coal mines in China [J]. *Engineering Geology*, 2010, 116(3-4): 333-345.
- [16] YANG Wei, LIN Baiquan, ZHAI Cheng. A new technology for coal and gas control based on the *in situ* stress distribution and the roadway layout [J]. *International Journal of Mining Science and Technology*, 2012, 22(2): 145-149.
- [17] 伍小刚,李天斌,张中,等.传统瞬变电磁法的改进及其在隧道超前地质预报中的应用[J].水文地质工程地质,2021,48(1):163-170. [WU Xiaogang, LI Tianbin, ZHANG Zhong, et al. Improvement of the traditional transient electromagnetic method and its application to advanced geological forecast of tunnel [J]. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 2021, 48(1): 163-170. (in Chinese with English abstract)]
- [18] SUN Xueyang, XIA Yucheng. Research on development character of middle and small size fault structure in DongPang

- Mine field on fractal theory [C] //2010 International Conference on Computing, Control and Industrial Engineering. June 5-6, 2010, Wuhan, China. IEEE, 2010: 170-174.
- [19] NIU Yan, ZHAO Jun, LI Zhiyuan, et al. Optimization of geological and mineral exploration by integrating remote sensing technology and borehole database [J]. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2022: P717749.
- [20] DENG Zhaopeng, CAO Maoyong, GENG Yushui, et al. Generating a cylindrical panorama from a forward-looking borehole video for borehole condition analysis [J]. *Applied Sciences*, 2019, 9(16): 3437.
- [21] VAN DYKEM, KLEMETTI T, WICKLINE J. Geologic data collection and assessment techniques in coal mining for ground control [J]. *International Journal of Mining Science and Technology*, 2020, 30(1): 131-139.
- [22] ZHANG Lei, PAN Jienan, ZHANG Xiaomin. Fuzzy comprehensive evaluation of mining geological condition in the No. 9 coal seam, Linhuan coal mine, Huaibei Coalfield, China [J]. *Procedia Environmental Sciences*, 2012, 12: 9-16.
- [23] 武强, 陈红, 刘守强. 基于环套原理的ANN型矿井小构造预测方法与应用——以淄博岭子煤矿为例 [J]. *煤炭学报*, 2010, 35(3): 449-453. [WU Qiang, CHEN Hong, LIU Shouqiang. Methodology and application on size-limited structure predictions with ANN based on loop overlapping theory: A case study of Lingzi coal mine in Zibo [J]. *Journal of China Coal Society*, 2010, 35(3): 449-453. (in Chinese with English abstract)]
- [24] 孙米银. 基于钻孔成像的煤层地质趋势面分析技术 [J]. *煤矿安全*, 2021, 52(8): 113-117. [SUN Mi Yin. Coal seam geological trend surface analysis technology based on borehole imaging [J]. *Safety in Coal Mines*, 2021, 52(8): 113-117. (in Chinese with English abstract)]
- [25] 贾晓亮, 崔洪庆, 张子敏. 断层端部地应力影响因素数值分析 [J]. *煤田地质与勘探*, 2010, 38(4): 47-51. [JIA Xiaoliang, CUI Hongqing, ZHANG Zimin. Numerical simulation of geostatic stress influencing factor at the end of fault [J]. *Coal Geology & Exploration*, 2010, 38(4): 47-51. (in Chinese with English abstract)]
- [26] 刘少伟, 焦建康. 九里山井田断层构造区应力分析及区域划分 [J]. *中国安全生产科学技术*, 2014, 10(2): 44-50. [LIU Shaowei, JIAO Jiankang. Stress analysis and division of fault tectonic region in Jiulishan coal field [J]. *Journal of Safety Science and Technology*, 2014, 10(2): 44-50. (in Chinese with English abstract)]
- [27] 李胜, 罗明坤, 范超军, 等. 采煤工作面煤与瓦斯突出危险性智能辨识技术 [J]. *中国安全科学学报*, 2016, 26(10): 76-81. [LI Sheng, LUO Mingkun, FAN Chaojun, et al. Research on coal and gas outburst risk intelligent recognition in mining face [J]. *China Safety Science Journal*, 2016, 26(10): 76-81. (in Chinese with English abstract)]
- [28] 关金锋. 采煤工作面小构造探测及动态分析方法研究 [D]. 焦作: 河南理工大学, 2016. [GUAN Jinfeng. Study on detection and dynamic analysis method of small structure in coal mining face [D]. Jiaozuo: Henan Polytechnic University, 2016. (in Chinese with English abstract)]
- [29] HATHERLY P, LEUNG R, SCHEDING S, et al. Drill monitoring results reveal geological conditions in blasthole drilling [J]. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2015, 78: 144-154.
- [30] YANG Wei, LIN Baiquan, XU Jiangtao. Gas outburst affected by original rock stress direction [J]. *Natural Hazards*, 2014, 72(2): 1063-1074.
- [31] 刘杰, 王恩元, 赵恩来, 等. 深部工作面采动应力场分布变化规律实测研究 [J]. *采矿与安全工程学报*, 2014, 31(1): 60-65. [LIU Jie, WANG Enyuan, ZHAO Enlai, et al. Distribution and variation of mining-induced stress field in deep workplace [J]. *Journal of Mining and Safety Engineering*, 2014, 31(1): 60-65. (in Chinese with English abstract)]
- [32] 勾攀峰, 韦四江, 张盛. 不同水平应力对巷道稳定性的模拟研究 [J]. *采矿与安全工程学报*, 2010, 27(2): 143-148. [GOU Panfeng, WEI Sijiang, ZHANG Sheng. Numerical simulation of effect of horizontal stresses at different levels on stability of roadways [J]. *Journal of Mining & Safety Engineering*, 2010, 27(2): 143-148. (in Chinese with English abstract)]
- [33] BABAEI KHORZOUGH M, HALL R. Processing of measurement while drilling data for rock mass characterization [J]. *International Journal of Mining Science and Technology*, 2016, 26(6): 989-994.
- [34] 张纪星, 师修昌. 浅埋采空区大采高条件下覆岩破坏规律 [J]. *中国地质灾害与防治学报*, 2019, 30(5): 92-97. [ZHANG Jixing, SHI Xiuchang. Failure of overburden rock under large mining height in shallow buried goaf area [J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2019, 30(5): 92-97. (in Chinese with English abstract)]
- [35] 蒋金泉, 武泉林, 曲华. 硬厚覆岩正断层附近采动应力演化特征 [J]. *采矿与安全工程学报*, 2014, 31(6): 881-887. [JIANG Jinquan, WU Quanlin, QU Hua. Evolutionary characteristics of mining stress near the hard-thick overburden normal faults [J]. *Journal of Mining & Safety Engineering*, 2014, 31(6): 881-887. (in Chinese with English abstract)]