

轩岗矿区2号煤层工作面顶抽巷层位优化研究

尹鹏飞¹, 李杰², 刘思迪²

(1. 晋能控股煤业集团轩岗煤电有限责任公司刘家梁煤矿, 忻州 034000;

2. 中煤科工集团沈阳研究院有限公司, 抚顺 113122)

摘要: 基于轩岗矿区相邻矿井工作面瓦斯治理效果迥异的现状,以轩岗矿区2号煤层不同层位顶抽巷为研究对象,提出了利用SF₆示踪技术对顶抽巷与工作面风流导通性、抽采源进行定性辨识,利用UDEC软件模拟得出采空区上覆岩层变形的相关参数并依据“O”形圈理论,编写相应的围岩冒落控制程序,采用fluent仿真软件对顶抽巷布置层位不同的两个采空区模型进行瓦斯抽采模拟验证。结果表明低层位顶抽巷存在抽采新鲜风流现象,高层位顶抽巷存在抽采影响范围偏小未能覆盖切顶线后部的现象。研究结果得出:SF₆示踪技术能够准确、直观地对顶抽巷抽采气体来源进行辨识,数值仿真技术能够便捷佐证测定结果的可靠性,为示踪技术在抽采源辨识中的应用提供技术支持。顶抽巷沿距离2号煤层顶板10m布置时,垮落带与工作面直接导通而抽采新鲜风流,顶抽巷层位沿距离顶板20m布置时,处于两带交界处,瓦斯抽采效果明显优于层位10m处。

关键词: 瓦斯抽采; 示踪技术; 数值仿真; 抽采源辨识; 布置层位

中图分类号: TD712 **文献标识码:** A

RESEARCH ON OPTIMIZING THE LAYER OF TOP EXTRACTION ROADWAY IN XUANGANG MINING AREA NO. 2 COAL WORKING FACE

YIN Peng-fei¹, LI Jie², LIU Si-di²

(1. Jinneng Holdings Coal Industry Group Xuangang Coal Power Co., Ltd. Liujiiliang Coal Mine, Xinzhou 034000, China;

2. China Coal Technology and Engineering Group Shenyang Research Institute, Fushun 113122, China)

Abstract: Based on the current situation of different gas treatment effects of adjacent mine faces in Xuangang Mining area, this paper takes the top pumping roadway of different strata No. 2 coal seam in Xuangang Mining area as the research object, and proposes to use SF₆ tracer technology to conduct qualitative tests on the air conductivity of the top pumping roadway and the working face and the pumping range. The relevant parameters of overlying strata deformation in goaf were simulated using UDEC software, and the corresponding surrounding rock caving control program was written according to the “O” ring theory. The fluent simulation software was used to simulate and verify the gas extraction of two goaf models with different layout levels in the top pumping roadway. The results show that there is a phenomenon of fresh air pumping in the lower level top pumping roadway. There is a phenomenon that the suction influence range is too small to cover the back of the cutting top line. The conclusion show that SF₆ tracer technology can accurately and intuitively determine

the source of gas extracted from the top pumping lane, and numerical simulation technology can easily prove the reliability of the measurement results, providing technical support for the application of tracer technology in the identification of pumping source, when the top pumping roadway is arranged 10m away from the roof of No. 2 coal seam, the caving zone and the working face are directly connected and fresh air is extracted. When the top pumping roadway is arranged 20m away from the roof, the gas extraction effect is obviously better than that of the top pumping 10 m.

Key words: gas extraction; tracer technology; numerical simulation; extraction source identification ; layout horizon

1 研究背景

轩岗煤电有限责任公司下属的矿井中焦家寨、刘家梁矿为高瓦斯矿井,刘家梁 221 区工作面、焦家寨 22116 工作面回采 2 号煤层,平均煤厚分别为 5.6 m 和 5.54 m,两矿矿界相邻,井田地质条件和工作面采煤工艺基本相同,两矿无大型地质构造阻隔,属同一地质单元。两矿 2 号煤层工作面瓦斯主要来源于采空区瓦斯涌出,为有效治理工作面瓦斯,轩岗煤电公司采用上隅角埋管、斜交高位钻孔等瓦斯治理方法,但因抽采量小,抽采浓度低存在抽采效果不均衡^[1-3],钻孔压茬期间,上隅角瓦斯浓度偏高等现象,为此轩岗煤电集团试验采用顶抽巷治理工作面瓦斯问题。刘家梁 221 区工作面顶抽巷布置在距离煤层顶板 20 m 处,距工作面回风巷 20 m 左右,净断面 9.00 m²;焦家寨 22116 工作面顶抽巷布置在距离煤层顶板 10 m 处,其余参数与 221 区工作面基本相同。矿井生产期间 221 区工作面瓦斯涌出量为 11.42 m³/min,上隅角平均浓度 0.44%;22116 工作面瓦斯涌出量为 10.86 m³/min,上隅角平均浓度 0.68%。两矿采用相同瓦斯治理手段上隅角浓度差别较大,为了分析两个不同布置层位顶抽巷抽采效果,统计 221 区工作面顶抽巷瓦斯抽采纯量平均为 8.06 m³/min,抽采总量平均为 251.87 m³/min,抽采浓度平均值 3.2%;22116 工作面瓦斯抽采纯量平均为 4.41 m³/min,抽采总量平均为 259.4 m³/min,抽采浓度平均值 1.7%。单纯从抽采数据看,顶抽巷 20 m 的布置层位抽采效果优于 10 m 的布置层位,但造成该现象具体原因需要进一步探究。

2 研究现状

采空区瓦斯抽采首先要对采空区瓦斯运移规律进行研究。钱鸣高^[4]院士基于关键层理论阐述了由采动形成的导水导气带“O”形圈的分布特征;袁亮^[5]院士应用岩石力学、岩层移动、“O”形圈、瓦斯

流动等理论探索出卸压开采抽采瓦斯理论,建立了卸压开采抽采瓦斯理论,建立了卸压开采抽采瓦斯、煤与瓦斯共采技术体系。在前人研究基础上,我国广大学者、技术人员^[6-12]不断创新,针对采空区瓦斯治理逐渐形成了以各类钻孔为代表的高浓度、小流量高压抽采和以巷道为代表的低浓度、大流量低负压抽采两大类瓦斯治理方法。但是两类瓦斯治理方法的理论基础均以回采工作面上覆岩层的“三带”分布规律中裂隙带作瓦斯流动主要通道,即采空区瓦斯流动层位可以用裂隙带高度来描述^[13-14]。虽然“三带”分布规律可以通过理论计算和数值模拟的方法进行推算,但是现场应用仍需一种更加准确、直观的验证方法。目前,SF₆ 气体是行业内普遍认可的示踪气体,具有无毒性、可探测性、稳定性,测试结果直观、可靠,SF₆ 气体示踪技术广泛应用于煤矿井下漏风通道测试、风量测定、抽采半径测试^[15-17]等工作,但是利用 SF₆ 示踪技术测试不同层位顶抽巷抽采效果和抽采源辨识的相关研究较少。

3 示踪技术实践

分别选择刘家梁 221 区工作面、焦家寨 22116 工作面顶抽巷附近 10 架支架作为研究对象,每个工作面设计释放示踪气体位置为 18 个,分别位于顶抽巷上、下风侧 20 m 范围内,如图 1 所示。示踪气体释放后,用 SF₆ 气体检测仪,检测顶抽巷抽采管路内气体,若检测到示踪气体信号,则表示顶抽巷抽采到对应释放区域气体,若能够检测到工作面支架内

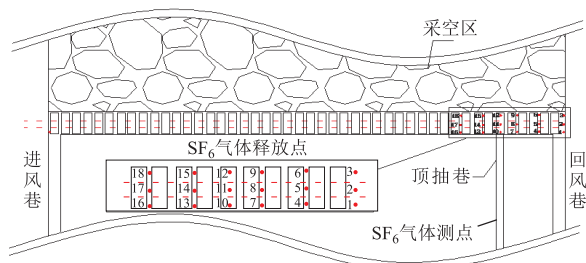


图 1 SF₆ 气体释放位置示意图

释放的示踪气体，则表示顶抽巷滞后垮落悬顶距离短，存在抽采工作面新鲜风流，降低抽采效果的现象。

每次气体释放间隔不小于 30 min，确保上次示踪气体完全稀释后方可进行下一次释放。按照设计方案，分别对刘家梁 221 区工作面、焦家寨 22116 工作面的 18 个气体释放点进行 5 次示踪气体检测。示踪气体释放一段时间后，开始对顶抽巷抽采管路内气体进行持续检测。表 1 为工作面各释放点气体释放持续日期、持续时间、气体检测结果。

表 1 SF₆ 气体释放结果表

测试地点	测试次数	释放时间/min	不同释放点顶抽巷内 SF ₆ 气体监测浓度/ppm			
			9	12	15	18
刘家梁 221 区工作面	1	15	0	0	0	0
	2	15	0	0	0	0
	3	15	0	0	0	0
	4	15	0	0	0	0
	5	15	0	0	0	0
焦家寨 22116 工作面	1	5	768	1 010	1 005	1 000
	2	5	783	1 025	1 010	998
	3	5	761	990	995	990
	4	5	685	1 020	1 015	1 005
	5	5	700	1 070	1 025	1 010

备注：其表中未列出释放点 SF₆ 气体检测均为 0

结果表明：刘家梁矿 221 区工作面 5 次 SF₆ 气体检测结果均为 0，即 1~18 号释放点持续释放 15 min SF₆ 气体时在顶抽巷抽采管路内均未检测到 SF₆ 气体，说明 221 区工作面顶抽巷层位 20 m 布置时，不会出现顶抽巷直接和工作面相互联通抽采新鲜风流而造成顶抽巷抽采瓦斯浓度较低影响抽采效果的现象；而焦家寨矿 22116 工作面 18 个气体释放点进行的 5 次气体释放及检测结果显示：在 9 号、12 号、15 号、18 号释放点释放 SF₆ 气体时顶抽巷内检测到了 SF₆ 气体，说明 22116 工作面顶抽巷沿煤层顶板布置（层位 10 m）时，会出现顶抽巷与工作面相互联通，抽采后溜新鲜风流，从而导致顶抽巷内抽采瓦斯浓度较低的现象。但由于两矿井在 3 号点均未检测到示踪气体信号，也说明当前条件下，两矿顶抽巷抽采直接影响范围未覆盖到上隅角切顶线区域。由于当时受测试条件限制，未对上隅角范围采空区深部布置测点，因此无法直接判定顶抽巷间接影响范围是否覆盖上隅角区域，需要借助数值仿真技术进行判定。

4 采动覆岩应力分布规律

如上文所述，示踪技术虽然能够直观、便捷地辨

识顶抽巷抽采源，但是对于采空区深部、抽采巷内气体浓度分布规律无法揭示。因此考虑使用 fluent 软件对相同尺寸、边界条件，不同顶抽巷层位的模型进行瓦斯抽采效果仿真，fluent 仿真模型的尺寸及计算设置中的围岩冒落控制程序与顶板冒落情况相关，因此需要先对“竖三带”的范围进行确定。“竖三带”理论在我国煤矿开采系统中已累计大量的实践经验和资料，一般确定“竖三带”依据经验公式来计算。但煤矿实际生产过程中地质条件复杂，由经验公式计算所得到的“三带”高度范围与实际存在一定的差异，因此采用 UDEC 计算机数值模拟软件，对冒落带和裂隙带范围进行仿真。

利用 UDEC 计算机数值模拟软件分别对轩岗矿区 2 号煤层工作面推进 30 m、70 m、100 m、300 m、600 m 时的采空区上覆岩层破坏后所形成的冒落“三带”高度范围进行模拟。模型岩层共设置 21 层，总厚度 270 m，设计尺寸为 X×Y=800 m×270 m。模拟得到的围岩变形结果如图 2、图 3 所示，限于篇幅只给出工作面推进 30 m 和 300 m 时的结果图。

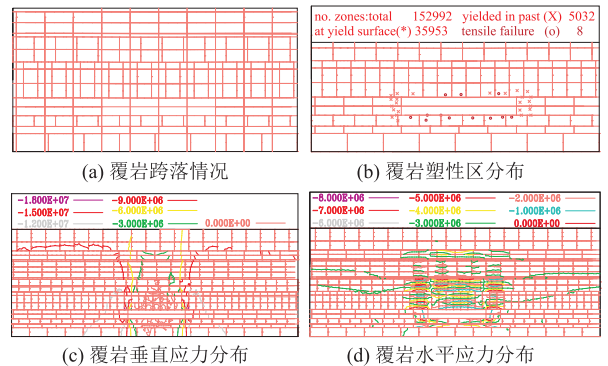


图 2 工作面推进 30 m 时围岩变形情况

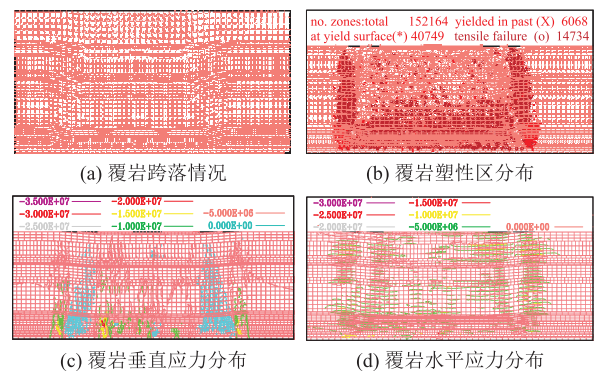


图 3 工作面推进 300 m 时围岩变形情况

从图 2、图 3 的覆岩变形情况可以看出随着工作面的推进，围岩变形破坏的范围也就越大。从定

量的角度分析,根据上面的模拟结果绘制了如图 4 所示的 2 号煤层工作面不同进尺下冒落带及裂隙带发育高度情况曲线图。

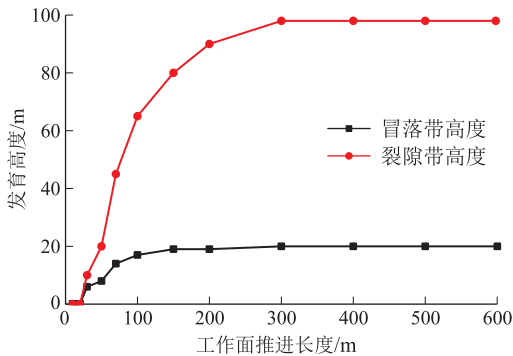


图 4 “两带”发育高度随工作面推进距离变化曲线

图 4 中当 $X > 300$ 后两条曲线都近似平行于 X 轴对应的值分别约为 20 m 和 95 m,说明随着工作面的推进冒落带和裂隙带高度分别稳定在 20 m 和 95 m 左右。对 2 号煤层工作面不同进尺下冒落带

及裂隙带的 UDEC 仿真结果,一方面说明了层位 10 m 布置时顶抽巷的抽采口恰好处于与工作面连通性较好的冒落带,以至于其抽采效果较差;另一方面也为 fluent 仿真模型尺寸、围岩冒落的控制程序 (UDF) 提供参数。

5 瓦斯抽采效果仿真

采用 fluent 软件对仅抽采巷层位不同的两个模型进行仿真,而仿真的目的也仅偏向于对采空区深部、顶抽巷内气体分布规律宏观描述,因此对相关的边界条件进行了简化处理。根据矿井巷道实际参数结合图 4 中曲线确定了仿真模型尺寸 $X \times Y \times Z = 300 \text{ m} \times 146 \text{ m} \times 30 \text{ m}$,进回风巷道高 4 m、宽 3 m,抽采巷高和宽均为 3 m,3 条巷道长度均为 50 m。由图 4 数据结合“O”形圈冒落多孔介质分布公式,编写了该模型的围岩冒落控制程序 (UDF);仿真时软件内所有设置均保证一致,得到瓦斯抽采结果云图如图 5 所示。

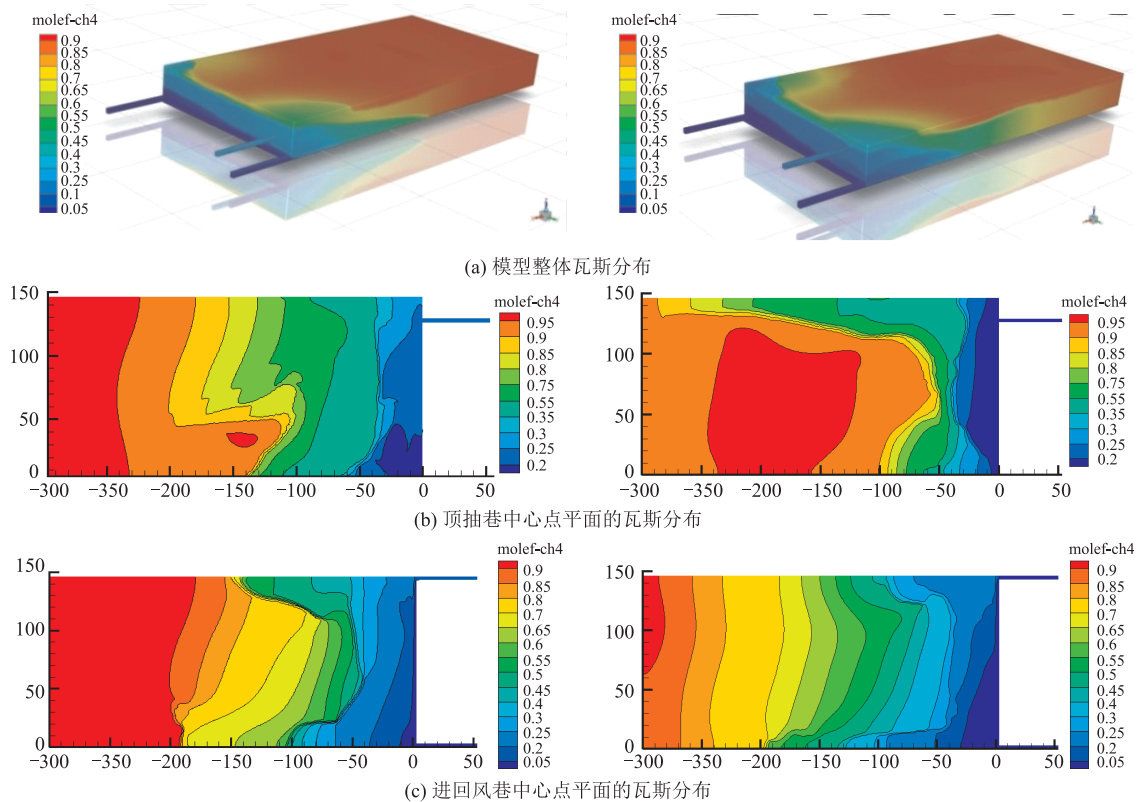


图 5 两个层位顶抽巷瓦斯抽采结果云图

从模型整体瓦斯分布图中(上、下云图分别为顶抽巷层位 10 m、20 m)可以看出,两工作面上隅角区域瓦斯浓度均小于工作面中部区域。根据工作面风流运移规律,上隅角区域应为有害气体聚集范围,瓦斯浓度应为最高,结合示踪技术测试结果,造成该现

象的原因为两工作面顶抽巷拦截了采空区涌向上隅角区域瓦斯气体,即两矿顶抽巷抽采影响范围能够覆盖上隅角区域;下部方云图中上隅角区域低体积分数的瓦斯分布范围明显大于上部,即层位 20 m 布置的顶抽巷抽采效果优于 10 m 的布置。为了更

加直观地对模拟结果进行定量分析,分别在仿真计算时对两个模型回风巷内的瓦斯体积分数、抽采巷内的瓦斯体积分数、抽采巷中心点沿程风速、部分采

空区到抽采口中心点的沿程压力进行监测,所得数据绘制出如图6所示的曲线图。

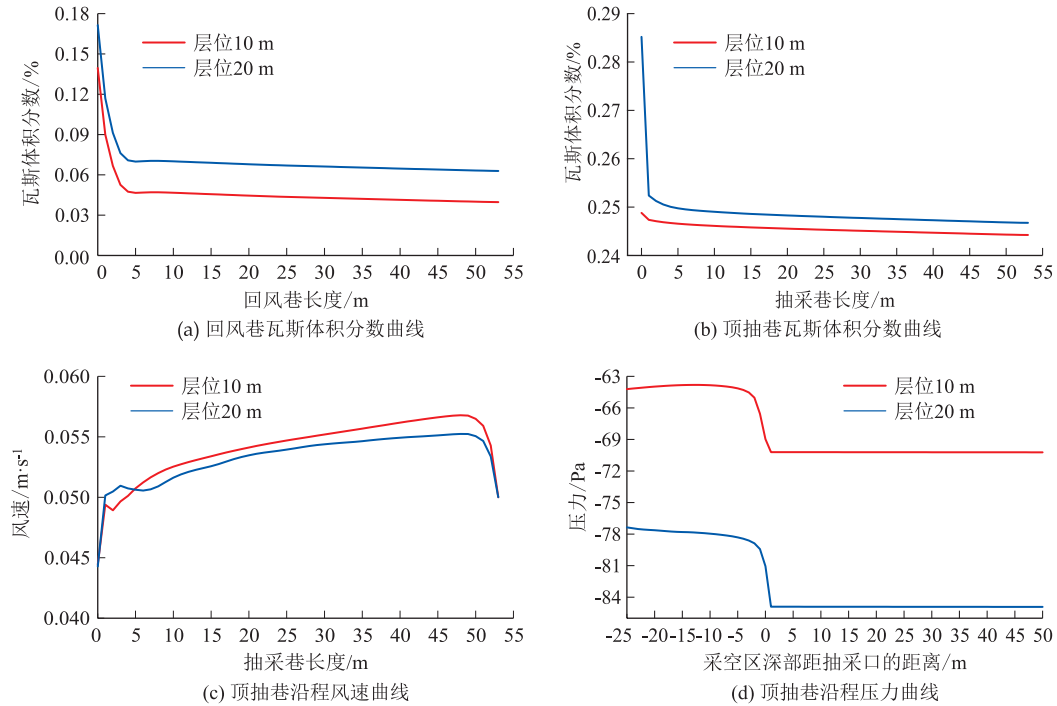


图6 不同层位顶抽巷仿真数据曲线

图6中(a)、(b)分别表示回风巷和顶抽巷中心点沿程的瓦斯体积分数的变化,层位10 m布置时回风巷内瓦斯体积分数高于20 m布置,而顶抽巷沿程瓦斯体积分数低于层位20 m的布置,说明层位20 m处顶抽巷抽采效果优于10 m处。(c)、(d)分别是顶抽巷的沿程风速和部分采空区到顶抽巷抽采口的压力变化,可以看出顶抽巷10 m布置时采空区到顶抽巷压力变化相较于层位20 m布置时要小,说明当顶抽巷布置在冒落带范围内时由于裂隙较大阻力较小,因而其内的风速相对较大,抽采浓度偏低。

6 结论

(1) SF₆示踪技术与数值仿真技术相结合能够直观、准确地辨识顶抽巷抽采气体来源,揭示顶抽巷抽采气体浓度分布规律,为矿井抽采源辨识与验证提供技术支持。

(2) 采用现场实测、示踪技术、数值仿真技术对两矿井不同布置层位的顶抽巷工作面瓦斯治理效果进行研究,得出20 m层位顶抽巷抽采浓度优于10 m处,巷道内沿程阻力高于10 m处,巷道内气体流速低于10 m处,对回采工作面整体抽采效果20 m优于10 m处。

(3) 受工作面采动影响,顶抽巷通过岩层裂隙与工作面导通,抽采部分工作面新鲜风流,是影响其抽采效果的主要原因。

参考文献

- [1] 郭超奇. 黄陵矿区综采工作面卸压瓦斯流动通道研究及工程应用[J]. 煤矿安全, 2023, 54(5): 182-189.
- [2] 张浩权. 坚硬覆岩工作面采空区近场瓦斯抽采技术研究[J]. 煤炭工程, 2022, 54(7): 74-78.
- [3] 赵鹏翔, 常泽晨, 李树刚, 等. 厚煤层采空区定向孔分域抽采研究及应用[J]. 中国安全科学学报, 2023, 33(1): 70-79.
- [4] 钱鸣高, 缪协兴, 徐家林, 等. 岩层控制的关键层理论[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003.
- [5] 袁亮. 卸压开采抽采瓦斯, 理论与煤与瓦斯共采技术体系[J]. 煤炭学报, 2009, 34(1): 1-8.
- [6] 王哲. 煤层群首采层采空区超大直径钻孔瓦斯抽采机制研究及应用[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2023.
- [7] 郭明杰, 郭文兵, 赵高博, 等. 长壁开采覆岩内水平定向长钻孔位置特征与卸压瓦斯抽采机理[J]. 煤炭学报, 2023, 48(10): 3750-3765.
- [8] 李丹, 苏现波. 地面L型井抽采采空区瓦斯适应性及其水平段位置优选[J]. 煤炭工程, 2022, 54(4): 79-85.
- [9] 李杰. 特厚煤层综放工作面地面钻孔抽采治理瓦斯技术[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(3): 150-155.
- [10] 杜达文. 高低位抽采巷合理布置及瓦斯治理技术试验[J]. 华北

- 科技学院学报,2020,17(6):16-21.
- [11] 马强,马钱钱,王坡煤矿工作面低位抽采巷瓦斯治理技术研究及应用[J].煤炭工程,2019,51(S1):73-77.
- [12] 陈建强,胡延伟,刘昆轮,等.急倾斜特厚煤层水平分段开采瓦斯预抽技术[J].科学技术与工程,2020,20(34):14034-14038.
- [13] 邹建宏,潘俊锋,高家明,等.黄陇侏罗纪煤田导水裂隙带高度预测研究[J].煤炭科学技术,2023,51(S1):231-241.
- [14] 侯文光,程久龙,李达,等.基于钻孔电阻率法动态监测的煤层覆岩瓦斯抽采层位确定——以李雅庄煤矿为例[J].科学技术与工程,2021,21(17):7046-7052.
- [15] 李杰.基于钻孔摄像及示踪技术的上部远距离采空区有害气体下泄验证方法[J].煤矿安全,2019,50(8):80-83.
- [16] 张曦,戴广龙,聂士斌,等.应用能位测定法和SF₆示踪技术检测孤岛工作面小煤柱漏风状态[J].矿业安全与环保,2016,43(5):41-44.
- [17] 胡金涛,吉丹妮.示踪气体法确定抽采半径在顾北煤矿的应用[J].华北科技学院学报,2015,12(5):23-26.

作者简介: 尹鹏飞(1990—),男,辽宁北票人,2013年毕业于辽宁工程技术大学采矿工程专业,本科,工程师,现从事煤矿技术管理工作。
E-mail:1192013091@qq.com

(上接第90页)

- [4] 曹周阳,关晓迪,马迪,等.基于双剪统一强度理论的挡土墙土压力计算[J].郑州航空工业管理学院学报,2023,41(1):83-89.
- [5] Kkrkanaki r a ,Ganjan N ,Askari F.采用上限分析方法对悬臂式挡土墙进行伪静力分析(英文)[J].Journal of Central South University,2019,26(1):241-255.
- [6] 欧明喜,刘新荣,陈颖辉.挡土墙主动土压力极限上限分析[J].华中科技大学学报(自然科学版),2016,44(4):106-110.
- [7] 彭孝南,杨广栋,王建磊.复杂条件下挡土墙塑性临界深度极限上限分析[J].公路,2022,67(12):54-59.
- [8] 李昭颖,肖世国.悬臂式挡土墙地震主动土压力计算方法[J].岩土工程学报,2023,45(1):196-205.
- [9] 田原.挡土墙稳定性影响因素敏感性分析[J].中国高科技,2021,(12):50-51.
- [10] 文芬,喻泽红,胡向锋.基于能量理论的挡土墙的被动土压力分析[J].水运工程,2008,(2):7-9,13.
- [11] 付宏渊,刘建华,张立,等.基于正交试验的岩质边坡动力稳定性分析[J].中南大学学报(自然科学版),2011,42(9):2853-2859.
- [12] 张健,胡瑞林,余文龙,等.考虑中主应力影响倾斜填土面朗肯土压力参数的敏感性分析[J].岩土工程学报,2010,32(10):1566-1572.

作者简介: 蒋方媛(1977—),女,硕士,高级工程师,主要从事水文地质、工程地质及环境地质相关工作。E-mail:54975007@qq.com

通讯作者: 王艳(1992—),女,硕士,工程师,主要从事水文地质、工程地质及环境地质相关工作。E-mail:1784874092@qq.com