

极近距离极薄煤层软顶控制技术优化

胡光军, 廖洪波*, 兰利平, 吴寻云

(四川达竹煤电(集团)有限责任公司 小河嘴煤矿, 四川 达州 635000)

摘要:针对小河嘴煤矿-1212(21)工作面原支护条件下存在顶板漏矸、支架接顶效果差等问题,考虑到围岩-支架作用机理,发现直接顶的完整程度是决定“煤壁-支架-采空区已冒落矸石”组合支承体系的关键,提出破碎顶板应采取良好的护顶措施。因此,在原支护基础上提出极近距离极薄煤层爬底式综采工作面铺钢丝网技术。通过分析铺钢丝网前后的支承压力,发现在加铺钢丝网后,工作面支架阻力得到了提升,煤壁支撑压力减小。采用 FLAC^{3D} 数值模拟做进一步分析,结果表明:随着工作面的推进,煤壁顶板应力逐渐向铺钢丝网工作面顶板转移。最后,成功将铺钢丝网技术进行了现场应用,支架接顶效果明显好转,煤壁片帮现象得到改善,顶板漏矸得到了有效控制。

关键词:围岩-支架作用机理;极近距离极薄煤层;铺钢丝网技术;支承压力

中图分类号:TD323 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-9102(2020)04-0006-07

On Optimization of Soft Roof Control Technology for Extremely Short and Thin Coal Seams

Hu Guangjun, Liao Hongbo, Lan Liping, Wu Xunyun

(Xiaoheszui Coal Mine, Sichuan Dazhu Coal and Electricity Group Co., Ltd., Dazhou 635000, China)

Abstract: Aiming at the problems of roof leakage and poor support roofing effect under the original support conditions of Xiaoheszui Coal Mine-1212 (21) working face, and taking the surrounding rock-support mechanism into consideration, it is found that the integrity of the direct roof is the key of the “wall-support-goaf area’s fallen gangue” to the combined support system. It is proposed that good roof protection measures should be taken for the broken roof. Therefore, on the basis of the original support, the technology of laying steel wire mesh at the extremely close and extremely thin seam bottom-climbing fully mechanized mining face is proposed. By analyzing the support pressure before and after laying the steel mesh, it is found that after the steel mesh is added, the support resistance of the working face support has been increased, and the support pressure of the coal wall is reduced. Using FLAC^{3D} numerical simulation for further analysis, results show that as the working face advances, the stress of the coal wall roof gradually shifts to the roof of the steel mesh working face. Finally, the steel mesh laying technology is successfully applied in the field, and the effect of supporting the roof is significantly improved, the phenomenon of coal wall slabs is improved, and the roof leakage is effectively controlled.

Keywords: surrounding rock-support mechanism; extreme close and thin coal seam; wire mesh laying technology; abutment pressure

随着煤炭资源的日益枯竭,薄煤层开采逐渐得到重视^[1-3]。我国薄煤层储量丰富,且分布广泛,主要分布于我国南方地区^[4,5]。薄煤层地质条件复杂、围岩变形大^[6,7]、开采困难、采出率低,鉴于此,薄煤层开采

收稿日期:2020-07-13

基金项目:国家自然科学基金面上资助项目(51774130;51804114);南方煤矿瓦斯与顶板灾害预防控制安全生产重点实验室科研启动资助项目(969-E51770)

*通信作者, E-mail:1078214076@qq.com

仍是整个行业亟需解决的难题.对于薄煤层的开采工艺,众多学者总结了大量的研究成果.曹善华等^[8]针对破碎顶板薄煤层开采,研制了“三机”综采设备,并成功运用于生产实践中.周开平^[9]通过组合定位技术,解决了薄煤层采煤机定位导航的问题.郭志飏等^[10]针对薄煤层切顶卸压技术,通过理论推导得到了切顶关键参数的计算公式.罗文等^[11]根据传统薄煤层采煤机的优缺点,引进了等高式采煤机,有效解决了采煤机检修难的问题.余伟健等^[12]根据半煤岩巷的力学特征,认为软弱薄煤层支护关键在于控制煤岩滑移和找准锚固点.巨峰等^[13]针对薄煤层顶底双软特征,通过调整巷旁支护,改进了薄煤层沿空留巷效果.赵丽娟等^[14]从薄煤层采煤机参数的角度进行研究,采用仿真模拟得到了薄煤层采煤机的最优设计参数.还有其他学者从开采顺序、自动化开采等^[15,16]方面对薄煤层开采工艺进行了研究.

由于工程地质条件复杂,在进行近距离薄煤层的开采过程中,总是存在诸多问题.因此,本文以四川小河嘴煤矿-1212(21)工作面为工程背景,采用理论分析、数值模拟、现场应用相结合的方法,研究了极近距离极薄煤层软顶条件下围岩与支架的作用机理,并在原有支护设计上进一步提出返修支护设计,为极近距离极薄煤层的安全高效开采提供理论支撑和技术保障.

1 工程概况及问题

1.1 地质条件

小河嘴煤矿-1212(21)工作面走向长度为801.0~860.0 m,埋深650 m;煤层倾角 $26^{\circ}\sim 34^{\circ}$,平均 30° ;煤层厚度0.75~1.09 m,平均0.89 m,为极薄煤层. K_{21} 工作面空间关系如图1.煤层直接顶板岩性为灰色粉砂质泥岩夹数层煤线,硬度系数2~3,属极不稳定直接顶,局部地段存在伪顶,其岩性为灰色泥岩. K_{21} 煤层与 K_{22} 煤层间距为1.04~1.60 m,一般为1.33 m. K_{22} 煤层已开采,且割去 K_{21} 煤层顶板0.8 m.-1212(21)工作面部分煤岩综合柱状图见图2.

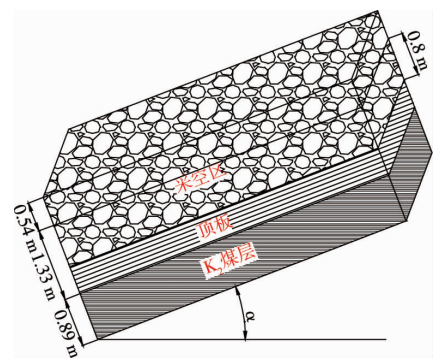


图1 K_{21} 工作面空间关系

层厚/m	柱状	岩石名称	岩石描述
2.73~3.52 3.21		粉砂质泥岩	上部为深灰色泥质粉砂岩,下部为灰色砂质泥岩,含苏铁杉化石,显水平波状层理
0.18~0.29 0.22		23-1煤层	黑色
1.52~1.96 1.75		粉砂质泥岩	深灰色,含拖延侧羽叶,带羊齿植物化石
0.20~0.34 0.29		23煤层	黑色
1.13~2.67 2.11		粉砂质泥岩	灰色,含苏铁杉化石,节理发育
0.40~0.60 0.54		22煤层	黑色
1.04~1.60 1.33		粉砂质泥岩	灰色,夹数层煤线,节理发育
0.75~1.09 0.89		21煤层	黑色
4.56~6.96 5.76		细粒砂岩	灰色,节理发育

图2 -1212(21)工作面部分煤岩综合柱状图

1.2 存在问题

针对极近距离极薄煤层软顶条件下的开采,-1212(21)工作面采用爬底板综合机械化采煤工艺.采用MG200/245-TPD型单滚筒爬底板交流电牵引采煤机落煤、装煤,采用SGB520/55边双链刮板输送机运煤,采用ZQY2600/07/16型液压支架支护顶板.

由于历史原因, K_{22} 煤层已开采, 开采 K_{22} 煤层时底板应力对 K_{21} 煤层直接顶造成了一次破坏. 在这种条件下采用爬底式综合机械化开采, 经常出现煤壁直接顶割煤后垮落, 支架上的破碎顶板从机道和架间空隙漏出(如图3所示), 造成工作面部分支架不接顶, 严重时工作面支架不接顶连续长度超 20 m, 影响工作面整体的开采进度、安全和煤质. 另外, 由于回采过程中工作面矿压显现剧烈, 工作面端头顶板维护困难, 且经多次动压影响回采巷道的维护也十分困难, 严重制约矿山安全高效生产.



图3 -1212(21)工作面顶板情况

为应对以上问题, 采取了擦顶带压拉架控制顶板, 拉架时支设调架支柱, 采用木支柱在煤壁支设临时支柱等措施, 虽对机道顶板垮落有一定控制, 但对架间漏矸处理效果不好, 支架的接顶效果没得到根本性改变.

2 围岩-支架作用机理

2.1 围岩与支架的相互作用

工作面在架设支架后, 工作面支架形成的构筑物必须与开采后形成的上覆岩层大结构相适应. 采空区侧顶板矸石充分冒落压实后, 对上覆岩层形成了“煤壁-支架-采空区已冒落矸石”组成的组合支承体系(如图4所示). 此时, 直接顶的好坏将决定组合支承体系对上覆岩层的支承作用. 完整的直接顶(见图4a)能保证顶板应力的传递, 充分发挥支架对顶板的支承作用. 当直接顶松散破碎且无护顶措施时, 顶板将出现漏矸问题, 甚至出现直接顶冒空(见图4b). 直接顶冒空将使支架顶梁与顶板的接顶情况恶化, 导致无法利用支架的工作阻力通过直接顶防止老顶岩块的失稳和滑落. 煤壁侧和采空区将承受更大的上覆岩层压力, 导致工作面两帮的变形破坏. 为了充分发挥支架的作用, 在破碎顶板条件下, 应采用良好的护顶措施, 以保证顶板在传递力的关系上与支架的支撑力分布相适应.

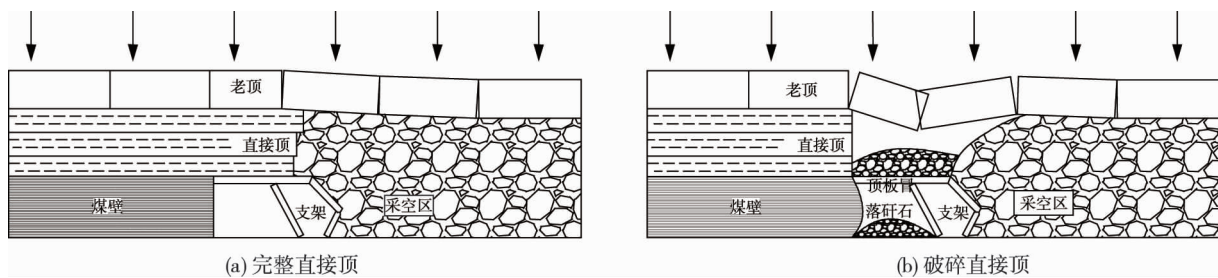


图4 “煤壁-支架-采空区已冒落矸石”组合支承体系

2.2 支承压力分析

为了加强对-1212(21)工作面的顶板控制, 增加顶板的整体结构, 提升支架的工作阻力, 改变工作面顶板的应力分布, 在原有支护的基础上, 提出极近距离极薄煤层爬底式综采工作面铺钢丝网技术. 通过分析铺钢丝网前后工作面的支承压力分布, 比较铺钢丝网前后工作面支承压力的变化, 发现采用铺钢丝网技术可以有效控制顶板稳定性.

2.2.1 工作面铺钢丝网前支承压力分布情况

工作面铺钢丝网前的支承压力分布情况如图5所示. 从图5(α :煤层倾角; $k\gamma H$:地应力, 其中: k 为侧压系数, γH 为上覆岩层重量)可以判断以下情况:(1)没挂网时, 由于顶板破碎, 煤壁及支架上的顶板基本上漏完, 支架控顶范围内属卸压区;(2)支承顶板的高应力区在工作面煤壁, 当割煤机割煤后, 较软的直接顶上部要承受老顶的高应力, 其底部要承受煤壁的剪切力, 从而导致直接顶从煤壁断裂;(3)工作面煤壁垮落后, 支架上的碎矸从机道和架间漏矸后, 支架基本上无初撑力和工作阻力;(4)如果不采取措施, 工作面顶板控制将形成恶性循环.

2.2.2 工作面铺钢丝网后支承压力的分布情况

工作面铺钢丝网后支承压力的分布情况如图6所示.从图6可以看出:(1)工作面支架的工作阻力支护区是老顶应力最大区;(2)煤壁避开了应力峰值区,受老顶的影响,应力降低较多,趋于应力稳定区;(3)铺钢丝网后架前架间漏矸得到了控制,支架的工作阻力、稳定性得到较好提升.

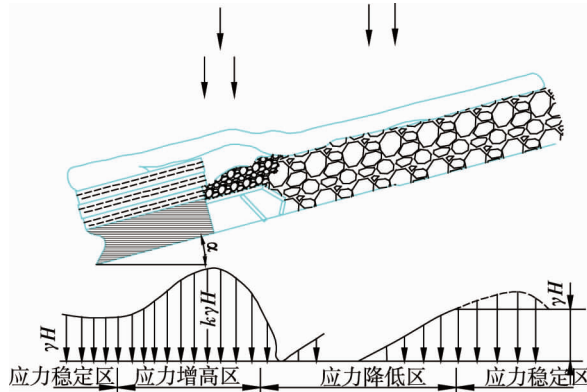


图5 未铺钢丝网的工作面支承压力的分布

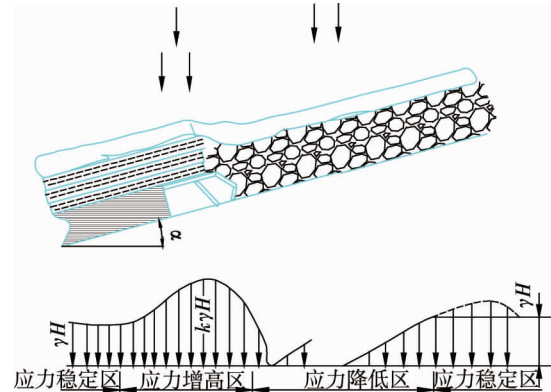


图6 加铺钢丝网的工作面支承压力的分布

3 数值分析

3.1 数值模型

本文采用FLAC^{3D}数值模拟软件研究极近距离极薄煤层爬底式综采工作面铺钢丝网技术的矿压显现规律.故建立150 m×60 m×90 m的数值计算模型,如图7所示.模型底部和四周均采用固定位移边界,模型上部原岩应力简化为均布面力施加到模型上表面.采用Mohr-Coulomb模型,-1212(12)工作面围岩力学参数见表1.

表1 -1212(12)工作面围岩力学参数

岩石类型	体积模量/GPa	剪切模量/GPa	内摩擦角/(°)	内聚力/MPa	抗拉强度/MPa	密度/(kg/m ³)
细-中粒砂岩	11.02	5.82	42	2.60	1.60	2 620
煤	3.30	1.10	25	1.00	0.15	1 450
粉砂质泥岩	7.48	4.34	40	2.40	0.23	2 600
泥质粉砂岩	8.80	7.40	31	1.21	1.13	2 530
细粒砂岩	11.00	12.00	42	6.12	6.12	2 680

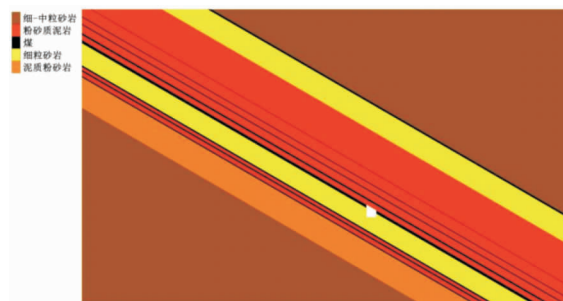


图7 数值计算模型

3.2 结果分析

随着滞后工作面推进,对工作面顶板进行钢丝网铺设,得到应力分布结果见图8.从图8可以看出,虽然工作面煤壁仍处于支承顶板的高应力区,但高应力区逐渐向铺设钢丝网的工作面顶板转移,工作面支架的工作阻力支护区成为老顶应力最大区.随着工作面的不断推进,工作面支架的工作阻力支护区的最大应力可达32 MPa左右,而煤壁处的最大应力降低到26 MPa左右.

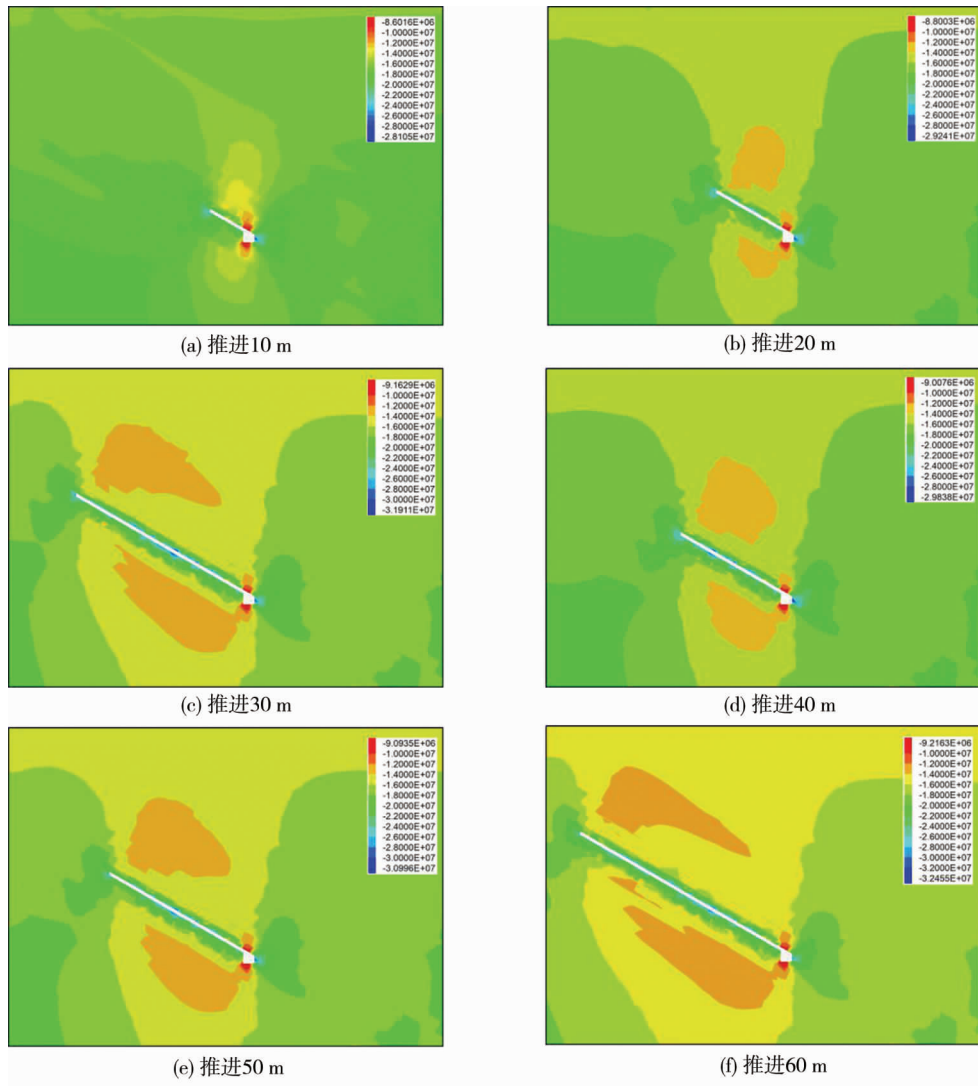


图8 不同推进距离垂直应力分布

4 现场应用

4.1 回采工艺

4.1.1 材料准备

施工前,准备钢丝网(长×宽=20.0 m×0.6 m),木挑方(长×宽×高=0.80 m×0.03 m×0.03 m),木支柱(直径0.12 m,长1.05 m),金属钳、单头、撬棍等材料器具.铺设所用的钢丝网如图9所示.

4.1.2 工艺流程

1)工作面割煤期间,每割出一个号位后,必须停止割煤机及工作面溜子运行,号位人员进入本号位处理安全,设置好分段挡矸设施,并在煤壁对新揭露的顶板打好临时支护.

2)号位人员通过语言号联系工作面上出口辅助人员,由上出口人员将号位所需的钢丝网、木挑方等通过工作面溜子运至工作面内使用位置.

3)号位人员拿到钢丝网后,先将钢丝网在机道内由上向下铺开,再使用夹钳、铁丝将铺开的钢丝网与工作面原来铺设的网进行连接.



图9 -1212(21)工作面铺设所用钢丝网

4) 为保证钢丝网连接效果及可靠性,钢丝网连接间距不得大于 0.5 m.顶板破碎时,连接间距不得大于 0.3 m.

5) 连接好的钢丝网使用木挑方托起,使钢丝网能够贴紧顶板.木挑方一端插入液压支架前探梁内,并上升支架,若因顶板不平,造成部分支架前探梁无法接顶时,必须将木挑方另一端使用木支柱撑紧,以保证铺设的钢丝网接顶.

6) 为保证护顶效果,铺设的钢丝网必须接顶且铺设平整.

7) 钢丝网铺设好后开始拉架.拉架时,为尽量不破坏工作面顶板,造成已铺设的钢丝网形成网兜,支架要尽量少降快移,支架移到位后,及时上升支架支护顶板.

8) 工作面支架拉到位后,支架前端钢丝网必须留出 5~10 cm 距离,便于工作面下一循环再次连接.

4.2 应用效果

在-1212(21)工作面推行铺设钢丝网护顶技术后,工作面拉架期间,顶板得到了较好的保护及控制(如图 10 所示),取得了以下效果:

1) 工作面顶板铺设钢丝网后,割煤后煤壁顶板的完整性得到了提升,较以往垮落的次数和频率减少,煤壁顶板基本得到了控制.

2) 工作面顶板铺设钢丝网后,支架接顶效果明显好转,支架的初撑力及工作阻力得到了提升.

3) 工作面拉架期间,因顶板松散造成的架间漏矸现象得到较好控制,大幅减少了职工二次收矸工作量,降低了职工劳动强度.

4) 工作面顶板铺设钢丝网后,杜绝了因拉架造成的顶板掉矸伤人及掉下的矸石下窜伤人事故,保证了职工作业安全.

5) 工作面顶板铺设钢丝网后,减少了工作面拉架期间架间漏矸量,提升了煤质,煤质平均灰分减少超过 5 个百分点.

6) 工作面顶板铺设钢丝网后,由于拉架期间顶板漏矸得到控制,杜绝了因顶板漏空造成的支架无法接顶、失稳现象,有效解决了支架下滑及支架架态差的问题.

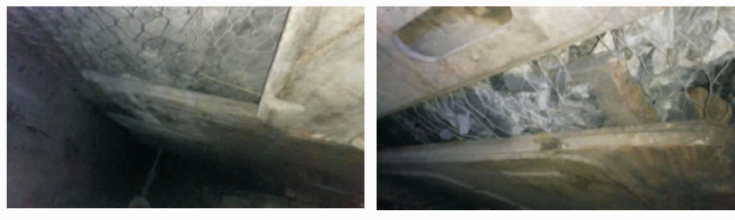


图 10 -1212(21)工作面铺设钢丝网效果

5 结论

1) 针对小河嘴煤矿-1212(21)工作面极近距离极薄煤层软顶条件,基于围岩-支架作用机理,发现直接顶的完整程度是决定“煤壁-支架-采空区已冒落矸石”组合支承体系的关键.

2) 基于“煤壁-支架-采空区已冒落矸石”组合支承体系,提出了极近距离极薄煤层爬底式综采工作面铺钢丝网技术.

3) 数值模拟对比分析钢丝网铺设前后煤壁的支承压压力,发现应力最大区向支架控顶范围转移,支架阻力得到了提升,煤壁片帮现象得到改善.

4) 成功将极近距离极薄煤层爬底式综采工作面铺钢丝网技术进行了现场应用,工作面顶板漏矸得到了有效控制,解决了支架接顶效果差等问题.

参考文献:

- [1] 康红普,徐刚,王彪谋,等.我国煤炭开采与岩层控制技术发展 40a 及展望[J].采矿与岩层控制工程学报,2019,1(2):7-39.
- [2] 温庆华.薄煤层开采现状及发展趋势[J].煤炭工程,2009(3):60-61.
- [3] 王刚,方新秋,谢小平,等.薄煤层无人工作面自动化开采技术应用[J].工矿自动化,2013,39(8):9-13.
- [4] 刘生龙,刘益文,蔡正委,等.提高南方煤矿极薄煤层瓦斯抽采效果关键技术研究[J].西安科技大学学报,2011,31(3):271-275.
- [5] 余伟健,冯涛,王卫军,等.南方复杂条件下的薄煤层开采巷道围岩支护问题及对策[J].煤炭学报,2015,40(10):2370-2379.
- [6] 任恒,朱永建,王平,等.白砂岩试件初始损伤后再加载力学特性试验分析[J].矿业工程研究,2019,34(1):23-29.
- [7] Ren H, Zhu Y J, Wang P, et al. Experimental study on mechanical characteristics of unloaded damaged white sandstone before peak[J]. Arabian Journal of Geosciences, 2020,13(17):395-406.
- [8] 曹善华,王建新,郭平.极近距离薄煤层破碎顶板下综采实践[J].煤炭科学技术,2013,41(10):42-45.
- [9] 周开平.薄煤层综采工作面采煤机组组合定位方法研究[J].工矿自动化,2019,45(6):52-57.
- [10] 郭志飏,王将,曹天培,等.薄煤层切顶卸压自动成巷关键参数研究[J].中国矿业大学学报,2016,45(5):879-885.
- [11] 罗文,杨俊彩.神东矿区薄煤层安全高效开采技术研究[J].煤炭科学技术,2020,48(3):68-74.
- [12] 余伟健,吴根水,刘海,等.薄煤层开采软弱煤岩体巷道变形特征与稳定控制[J].煤炭学报,2018,43(10):2668-2678.
- [13] 巨峰,孙强,黄鹏,等.顶底双软型薄煤层快速沿空留巷技术研究[J].采矿与安全工程学报,2014,31(6):914-919.
- [14] 赵丽娟,赵名扬.薄煤层采煤机装煤性能研究[J].煤炭学报,2017,42(7):1892-1898.
- [15] 严国超,胡耀青,宋选民,等.极近距离薄煤层群联合开采常规错距理论与物理模拟[J].岩石力学与工程学报,2009,28(3):591-597.
- [16] 田成金.薄煤层自动化工作面关键技术现状与展望[J].煤炭科学技术,2011,39(8):83-86.