

大采高工作面局部煤壁片帮特征及其稳定性控制

Characteristics and Stability Control of Coal Rib Spalling in Large Mining Height Working Face

董 硕^{1,2}

(1. 中煤科工集团沈阳研究院有限公司, 辽宁 抚顺 113122; 2. 煤矿安全技术国家重点实验室, 辽宁 抚顺 113122)

摘要:为探究大采高工作面局部煤壁片帮特征并提出有效的煤壁稳定性控制措施,通过对工作面煤壁片帮形态的统计,结合3DEC数值模拟研究了大采高工作面推进过程中煤壁片帮特征,并提出大采高工作面煤壁稳定性控制措施。结果表明:大采高工作面煤壁片帮形态主要为煤剪切滑移诱发煤壁破坏、剪切滑移破坏、拉裂破坏、压裂破坏以及板裂破坏,且各片帮形态出现的频率依次较小。采动影响下煤壁较大水平位移分布和片帮范围以工作面中上部为主,大约占据采高的3/4,由上部不断蔓延至中下部,最终贯穿整个煤壁,且不断向煤壁深处延伸,最终大采高煤壁片帮呈现程度大、范围广、深度大的特点。总结并分析了大采高工作面煤壁片帮的12个主要影响因素,并分别从直接可控因素和间接可控因素角度提出大采高工作面煤壁稳定性控制措施。

关键词:大采高工作面;煤壁片帮;3DEC数值模拟;煤壁稳定性控制

中图分类号:TD352 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-609X(2023)04-0050-05

Abstract:In order to explore the characteristics of local coal rib spalling in large mining height working face and put forward effective measures to control the stability of coal wall, the characteristics of coal rib spalling in the advancing process of large mining height working face were studied through the statistics of the shape of coal rib spalling in working face and 3DEC numerical simulation, and the measures to control the stability of coal wall in large mining height working face were put forward. The results show that the main forms of coal wall spalling in large mining height face are the overall failure of coal wall induced by coal shear slip, shear slip failure, tensile fracture failure, fracturing failure and plate crack failure, and the frequency of each spalling form is smaller in turn. Under the influence of mining, the larger horizontal displacement distribution and spalling range of coal wall are mainly in the middle and upper part of the working face, accounting for about 3/4 of the mining height, spreading from the upper part to the middle and lower part, and finally running through the whole coal wall and extending to the depth of the coal wall. Finally, the spalling of coal wall with large mining height presents the characteristics of large degree, wide range and large depth. In addition, 12 main influencing factors of coal rib spalling in large mining height face are summarized and analyzed, and the control measures of coal wall stability in large mining height face are put forward from the perspective of direct controllable factors and indirect controllable factors respectively.

Key words:large mining height working face; coal rib spalling; 3DEC numerical simulation; coal wall stability control

1 前言

随着我国煤矿生产设备及机械化水平的提高,针对特厚煤层开采目前已实现8.8 m采高的大采高工作面^[1],然而随着工作面采高越大,其矿压显现越为严重,煤壁易于片帮。针对大采高煤壁片帮问题一直以来都是研究的热点,学者们也作出了大量的研究工作,王家臣教授等提出的煤壁剪切、拉裂破

坏机理与“棕绳-注浆”柔性加固技术^[2-3];尹希文、宁宇教授等运用压杆理论对较完整的中硬煤的挠度进行了研究^[4-5];刘长友教授等^[6-7]对煤层采动裂隙的发展演化进行了数值模拟,并运用滑移线理论对煤壁破坏进行了力学分析,得到了煤壁破坏的危险范围;袁永教授等针对“三软”大采高综采面建立采场煤壁“楔形”滑移失稳力学模型,明确了该类煤壁“楔形体”滑落破坏形式^[8];韩宇峰等研究了大采高工作面支架刚度对煤壁稳定性的影响效应,通过提高支架高度会有效地对煤壁稳定性进行控制^[9];熊钰等基于云理论对大倾角煤壁稳定性进行了系统的评价,并对煤壁失稳影响因素进行了全面

[作者简介] 董 硕(1996—),男,研究实习员,从事煤矿地下开采、矿山压力、瓦斯防治技术等研究工作。

[引用格式] 董硕. 大采高工作面局部煤壁片帮特征及其稳定性控制[J]. 中国矿山工程, 2023, 52(4): 50-54.

的分析^[10]。而以往的研究多是集中在中厚煤层、“三软”、“大倾角”等特定条件开采煤壁片帮问题上,且以片帮机理研究较多。而针对大采高特厚煤层开采煤壁片帮特征及影响因素的研究也尤为重要,因此本文以大采高煤壁片帮特征为研究重点,并分析大采高煤壁失稳的众多影响因素,从而针对性地提出大采高工作面煤壁稳定性控制措施,进一步指导生产实践。

2 工程概况

3⁻¹煤为主采煤层,煤层埋深 196.3 ~ 223.8 m。31101 工作面为本采区首采工作面,附近无其他工作面回采扰动,该工作面平均埋深约为 210 m,煤层倾角为 0° ~ 4°,平均倾角为 1°,煤层厚度 5.8 ~ 6.5 m,厚度变化较小,平均采高为 6 m。工作面沿走向推进(长度 1 089 m)、沿倾向布置(长度 250 m)。煤层顶底板多为泥岩、粉砂岩,上覆基岩属于中硬岩类,主要为中-细粒砂岩,具体如图 1 所示。

	岩性	序号	平均厚度/m
	石灰岩	1	10.60
	粉砂岩	2	16.62
	中砾砂岩	3	5.60
	泥岩	4	1.30
	细粒砂岩	5	10.70
	粉砂岩	6	4.76
	泥岩	7	2.20
	3-1煤层	8	6.00
	泥岩	9	2.66
	粉砂岩	10	4.24

图 1 31101 工作面煤层柱状图

3 大采高工作面局部煤壁片帮形式

由于工作面煤层开采扰动,煤体内原生裂隙、次生裂隙的相互贯通,最终将表现出宏观的煤壁片帮。根据煤体内原生裂隙以及次生裂隙的扩展方向、角度、尺寸等不同,最终煤壁片帮的形态也各不相同^[11]。通过对 31101 大采高工作面推进过程中煤壁片帮特征的实测,其主要的片帮形态如图 2 所示。

工作面推进过程中,煤壁以上述 5 种片帮形式为主。其中图 2(a)为煤壁剪切滑移破坏,该片帮形式出现次数较多,约占片帮统计的 25%,尤其在煤壁原生节理、裂隙发育位置处,煤体强度较低处较为严重;图 2(b)为煤壁拉裂破坏,该片帮形式出现次数略少,约占片帮统计的 8%,常出现在煤壁原生节理、裂隙欠发育位置处,煤体强度较高、中硬位置处,煤壁脆性

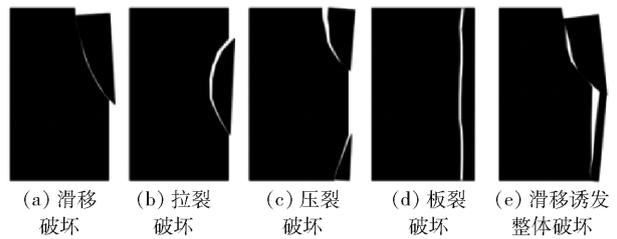


图 2 煤壁片帮形态统计

较高;图 2(c)为煤壁压裂破坏,该片帮形式出现次数较少,约占片帮统计的 5%,当工作面来压期间,煤壁承受较大顶板压力时,呈现该片帮形式,多表现为煤壁中上部片帮,也会伴随煤壁下部局部区域片帮;图 2(d)为煤壁板裂破坏,类似为“洋葱剥皮”,该片帮形式出现次数更少,约占片帮统计的 2%,呈现层状剥离的张拉破坏,尤其在煤壁节理发育程度较好、垂直贯穿整个煤壁且层理欠发育、煤壁中硬位置处,煤壁以该形式整体片帮;图 2(e)为煤壁煤剪切滑移诱发整体破坏,该片帮形式出现次数最多,约占片帮统计的 60%,主要为煤壁中上部发生剪切滑移破坏后诱发下部破裂,煤壁整体片帮严重。

4 大采高工作面局部煤壁破坏数值模拟

4.1 数值模型建立

建立如图 3 所示的大采高工作面开采数值模型,模型长(X)×宽(Y)×高(Z)为 180 m×20 m×65 m,由于计算机计算能力的限制,模型宽度设为 20 m,工作面沿走向(X 方向)推进 100 m,两端各留设 40 m 的煤柱消除边界效应,从而研究工作面局部煤壁破坏特征。模型四周及底部固定边界约束,限制位移及速度均为 0,模型顶部施加 5.25 MPa 的等效载荷以模拟上覆岩层的重量。

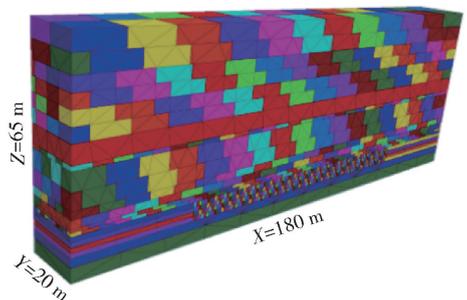


图 3 数值模型

4.2 工作面推进过程中煤壁位移分布特征

随着工作面向前推进,在采动影响下煤壁破坏程度逐渐加剧,煤壁位移分布特征明显。如图 4

所示,当工作面推进 10 m 时,煤壁水平位移较小,最大位移位于煤壁上部,最大值约为 0.11 m;当工作面推进 20 m 时,煤壁水平位移最大值增大至 0.31 m,同时最大位移分布位置也扩展至煤壁中上部;当工作面推进 30 m 时,煤壁水平位移最大值增大至 0.47 m,此时的最大位移分布位置在煤壁中上部不断扩展,大约占据采高的 3/4,同时煤壁位移值大于 0.1 m 的分布深度约为 1.5 m;当工作

面推进 40 m 时,煤壁水平位移最大值增大至 0.54 m,此时煤壁最大位移分布位置基本上占据整个煤壁,且煤壁位移值大于 0.1 m 的分布深度约延伸至 2.2 m;当工作面推进 50 m、60 m 时,煤壁水平位移最大值分别增大至 0.73 m 和 0.89 m,此时煤壁位移分布较大,煤壁位移值大于 0.1 m 的分布深度明显向煤壁深处延伸,最大位移分布深度仍以工作面中上部为主。

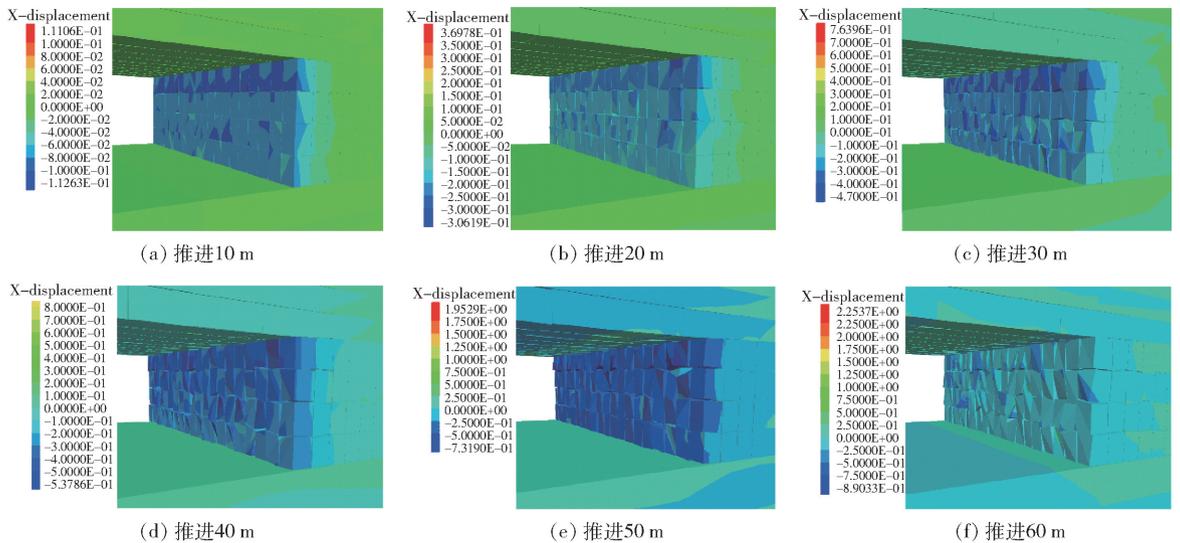


图 4 工作面推进过程中煤壁水平位移分布云图

根据煤壁水平位移分布云图可以得知,随着工作面向前推进,采动影响下煤壁水平位移值不断增大,较大水平位移分布范围不断向煤壁深处延伸。工作面受采动影响,煤壁较大水平位移分布位置由上部不断向中部、下部延伸,最终呈现出最大水平位移的贯穿式分布,另外煤壁较大水平位移分布位置以工作面中上部为主,约占据采高的 3/4。

4.3 工作面推进过程中煤壁破坏特征

为进一步探究工作面推进过程中煤壁沿倾向(Y方向)、走向(X方向)不同位置处煤壁局部破坏特征,沿走向在 Y = 10 m 的位置处对开采过程进行切片,具体如图 5 所示。另外,根据图 4 煤壁水平位移,若煤壁位移大于 0.3 m,除变形较大外,并定会发生片帮,因此沿倾向分别在 X = 49.7 m、X = 59.7 m、X = 69.7 m、X = 79.7 m、X = 89.7 m 和 X =

99.7 m 处进行切片,获得工作面片帮煤体。

图 6 所示为煤壁片帮情况,当工作面推进 10 m 时,受初始采动影响较小煤壁完整性较好,几乎未发生破坏;当工作面推进 20 m 时,煤壁中上部开始发生一定程度的变形,并在煤壁中产生了众多裂隙,此时煤壁未发生破坏或者片帮;当工作面推进 30 m 时,煤壁从上部发生片帮,其片帮形态类似图 2(a)的剪切滑移破坏;当工作面推进 40 m 时,采动影响下煤壁片帮程度加剧,其片帮贯穿整个煤壁,且严重片帮范围大约占据采高的 3/4,形态类似图 2(e)的剪切滑移诱发整体破坏和图 2(c)的压裂破坏;当工作面推进 50 m 时,煤壁破坏以中上部为主,同时下部也伴随着一定程度的破坏,其破坏形态类似图 2(e);当工作面推进 60 m 时,煤壁破坏以中上部为主,破坏程度大、范围广,且在中部破坏深度较大,

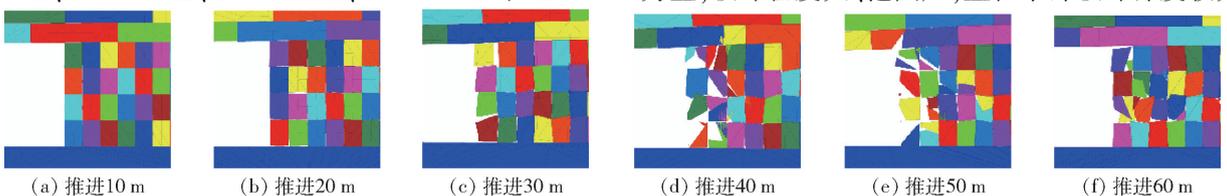


图 5 煤壁沿走向破坏特征

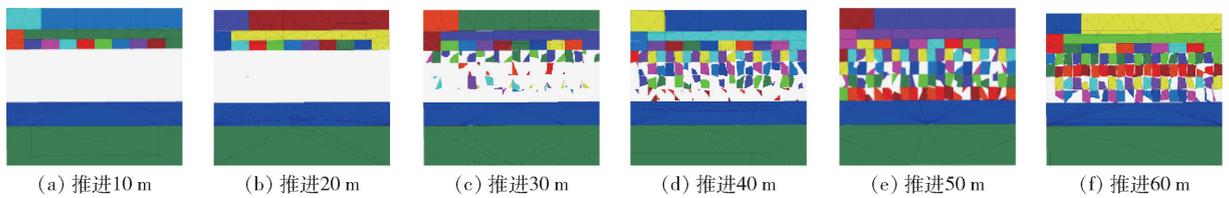


图6 煤壁片帮情况

其破坏形态类似图2(b)拉裂破坏。

5 大采高煤壁片帮影响因素及其控制

5.1 大采高工作面煤壁片帮影响因素

基于对31101工作面煤壁片帮的统计,总结出该工作面煤壁片帮的影响因素可分为外因作用力、工作面布置参数以及工作面煤层状况三个方面,其中煤壁外因作用力包括煤壁顶板压力、支架支护强度、护帮板作用力、煤壁加固支护力等4个因素;工作面布置参数主要包括工作面长度、工作面推进速度、工作面采高等3个因素;工作面煤层状况主要包括煤体力学参数(煤体内聚力、内摩擦角等)、煤体节理裂隙、煤层夹矸、煤层埋深等4个因素^[12]。

1) 煤壁外因作用力

(1)煤壁顶板压力:煤层开采后,往往会在工作面前方煤壁处形成较大的支承压力,形成应力增高区,且支承压力峰值正位于实煤体上。该支承压力正是由于煤层开采后,煤壁一侧几乎支撑着整个回采空间上方的悬露岩层大部分重量,当煤壁处顶板压力达到煤体强度极限时,煤壁将开始发生破坏,最终发生片帮。

(2)支架支护强度:根据工作面“煤壁-顶板-支架”力学体系^[13]可以得知,工作面上方砌体梁结构以及上覆岩层的载荷将会由煤壁、支架以及垮落矸石一起承担。然而开采后的上覆岩层形成的“大结构”由“煤壁-已冒落矸石”承担,只有下位岩层的“小结构”将由“煤壁-支架-采空区冒落矸石”承担。因此,当支架支护强度降低或失效时,煤壁承担的载荷将会有所增大,易诱发煤壁片帮。

(3)护帮板作用力:支架护帮板作用力对煤壁的支护作用相对而言较弱,它是对煤壁产生水平方向上的作用力。当煤壁发生剪切滑移破坏或煤壁整体(包括中下部)发生片帮时,支架护帮板作用效果将很有限。然而,当煤壁发生破坏后,片帮冒落时,支架护帮板对冒落体的滑移、凸出具有一定的控制作用,避免瞬间冒落。

(4)煤壁加固支护力:针对煤层开采过程中诱

发煤壁片帮、端面冒顶,致使工作面灾变。通过木锚杆、玻璃钢锚杆、柔性加固等技术对煤壁失稳进行控制。

2) 工作面布置参数

(1)工作面长度:一般情况下煤壁稳定性与工作面长度呈正相关,工作面较长时,煤壁破坏几率会越大,且破坏程度越严重^[14]。另外,较长的工作面针对支架的维护、稳定性也有了较高的要求,以及通过影响工作面推进速度来影响煤壁稳定性。

(2)工作面推进速度:顶板下沉量、煤壁变形量均与时间相关,当工作面推进速度较慢时,煤壁长时间处于较大压力下,极易出现端面冒顶、煤壁片帮等不良矿山压力现象,而当加快工作面推进速度,煤壁变形及片帮状况会有所好转。

(3)工作面采高:当采高较大时,直接顶垮落很难完全充填采空区,且在同样位置处的基本顶很难形成稳定的砌体梁结构,岩梁取得平衡的可能性较小,因而在较大的支承压力作用下煤壁稳定性较差,易发生片帮;其次,较大的采高,煤壁会存在较大的自由面且处于较大的自由空间,同时支架护帮板作用效果将会受限,易发生煤壁片帮。

3) 工作面煤层状况

(1)煤体力学参数:煤体力学参数包括煤体内聚力、内摩擦角、抗压强度、抗拉强度等时煤壁失稳片帮的最大内因,当煤体力学参数保持较大水平时,煤壁承载能力越强,煤壁稳定性越好。

(2)煤体节理裂隙:煤层原生节理裂隙或采动裂隙较为发育时,极大地降低了煤体强度,破坏了煤体完整性,尤其煤壁中存在的垂直裂隙或节理,在一定的顶板压力下将极易导致煤壁片帮。

(3)煤层夹矸:煤层夹矸对煤壁稳定性也有一定的影响,首先夹矸的存在破坏了煤层的完整性,尤其煤层中存在软弱夹矸,煤壁极易从软弱夹矸处首先发生破坏,发生煤壁片帮。但是当煤层中夹矸强度较大,为坚硬夹矸时,将会在一定程度上增强煤壁整体稳定性^[15]。

(4)煤层埋深:煤层埋深将直接影响到原岩应

力的大小,同时也影响着煤层开采过程中煤壁前方支承压力的值。随着煤层埋深的增大,煤壁处支承压力的必然增大,从而导致煤壁片帮的几率也会增加。

5.2 大采高工作面煤壁稳定性控制

针对大采高工作面煤壁片帮的主要影响因素的分析,可以将众多影响因素划分为直接可控因素、间接可控因素以及不可控因素^[16],其中不可控因素包括煤体节理裂隙、煤层夹矸、煤层埋深。因此,可以从直接可控因素和间接可控因素出发,对煤壁稳定性进行控制。

1) 直接可控因素

直接可控因素主要包括:支架支护强度、护帮板作用力、煤壁加固支护力、工作面长度、工作面推进速度和工作面采高。针对31101大采高工作面煤壁片帮主要发生在工作面中上部3/4位置处,因此通过提高支架工作阻力,可以有效降低作用在煤壁上的顶板压力,分担煤壁所受载荷;通过提高支架护帮板作用力、加大护帮板长度,可以在一定程度上对煤壁产生水平支撑力,降低煤壁片帮程度;通过木锚杆、玻璃钢锚杆、柔性加固等技术对煤壁中上部3/4处进行加固,使其产生有效的支护力,增加煤壁整体稳定性;加快工作面推进速度,另外在保障生产效率和产量的前提下,适当地控制工作面长度和采高,将会降低煤壁片帮的范围和概率。

2) 间接可控因素

间接可控因素主要包括:煤壁顶板压力、煤体力学参数和煤层倾角。通过提高支架工作阻力,可以间接地降低煤壁顶板压力,提高煤壁稳定性;通过煤壁注水、注浆等手段改变煤体力学参数,从而提高煤壁整体稳定性。另外,针对大倾角大采高工作面,通过工作面伪斜布置,调整工作面布置倾角,降低工作面围岩失稳、煤壁片帮风险。

6 结论

(1)大采高工作面煤壁片帮形态主要为煤壁煤剪切滑移诱发整体破坏、煤壁剪切滑移破坏、煤壁拉裂破坏、煤壁压裂破坏以及煤壁板裂破坏,且各破坏形态在实际开采过程中出现的频率依次较小。

(2)采动影响下煤壁水平位移值不断增大,较大水平位移分布和片帮范围不断向煤壁深处延伸。同时煤壁较大水平位移分布和片帮位置以工作面中上部为主,大约占据煤壁整体的3/4,且由上部不断蔓延至中下部,最终贯穿整个煤壁。大采高煤壁片帮呈现程度大、范围广、深度大的特点。

(3)从外因作用力、工作面布置参数以及工作面煤层状况三个方面总结并分析了大采高工作面煤壁片帮的12个主要影响因素,将其划分为直接可控因素、间接可控因素以及不可控因素,并分别从直接可控因素和间接可控因素角度提出大采高工作面煤壁稳定性控制手段。

[参考文献]

- [1] 李志军,姬智. 8.8 m 超大采高工作面煤壁片帮原因及防护技术研究[J]. 煤炭工程,2021,53(S1):30-35.
- [2] 王家臣. 极软厚煤层煤壁片帮与防治机理[J]. 煤炭学报,2007(8):785-788.
- [3] 王家臣,王兆会,孔德中. 硬煤工作面煤壁破坏与防治机理[J]. 煤炭学报,2015,40(10):2243-2250.
- [4] 尹希文,闫少宏. 大采高综采面煤壁片帮特征分析与应用[J]. 采矿与安全工程学报,2008,25(2):222-225.
- [5] 宁宇. 大采高综采煤壁破坏冒顶机理与控制技术[J]. 煤炭学报,2009,34(1):50-52.
- [6] 杨培举,刘长友,吴锋锋. 厚煤层大采高采场煤壁的破坏规律与失稳机理[J]. 中国矿业大学学报,2012,41(3):372-377.
- [7] 刘长友,黄炳香,常兴民,等. 极软厚煤层大采高台阶式综采端面煤岩稳定性控制研究[J]. 中国矿业大学学报,2008,37(6):734-739.
- [8] 袁永,屠世浩,马小涛,等. “三软”大采高综采面煤壁稳定性及其控制研究[J]. 采矿与安全工程学报,2012,29(1):21-25.
- [9] 韩宇峰,王兆会,唐岳松. 大采高工作面支架刚度对煤壁稳定性的影响效应研究[J]. 煤炭科学技术,2023,51(3):1-9.
- [10] 熊钰,孔德中,杨胜利,等. 大倾角工作面煤壁稳定性的云模型综合辨识[J]. 中国安全科学学报,2022,32(3):144-151.
- [11] 张金虎,李明忠,杨正凯,等. 超大采高综采工作面煤壁片帮机理及多维防护措施研究[J]. 采矿与安全工程学报,2021,38(3):487-495.
- [12] 王家臣,王蕾,郭尧. 基于顶板与煤壁控制的支架阻力的确定[J]. 煤炭学报,2014,39(8):1619-1624.
- [13] 殷瑞斌,康天合,李超,等. 大采高综采工作面煤壁破坏影响因素数值模拟分析[J]. 煤矿安全,2020,51(4):218-222.
- [14] 伍永平,刘旺海,解盘石,等. 夹矸厚度对煤矸互层顶板工作面矿压显现影响研究[J]. 煤炭工程,2020,52(10):75-80.
- [15] 杨敬轩,刘长友,吴锋锋,等. 煤层硬夹矸对大采高工作面煤壁稳定性影响机理研究[J]. 采矿与安全工程学报,2013,30(6):856-862.
- [16] 熊钰. 大倾角煤层采动诱发煤壁裂隙演化与破坏失稳规律研究[D]. 贵阳:贵州大学,2022.