

水力压裂技术在区域瓦斯抽采中的应用效果

刘志飞, 谢雄刚*

(贵州大学 矿业学院, 贵州 贵阳 550025)

摘要: 为了提高区域煤层瓦斯的抽采效果, 降低煤层瓦斯含量, 保证煤矿安全生产, 以贵州某矿 9 煤层为研究对象, 研究水力压裂技术在区域煤层瓦斯抽采中的应用效果。测试 9 煤层水力压裂前后压裂钻孔、考察钻孔、常规钻孔的出水量以及瓦斯浓度、煤层含水率等数据, 对比分析试验数据, 结果表明: 压裂钻孔水力压裂影响半径达 25 m 以上; 9 煤层通过水力压裂后, 单孔瓦斯浓度最高提高了 45%~50%。水力压裂技术能够显著改善煤层瓦斯流动条件, 有效提高区域瓦斯抽采效果, 降低煤层瓦斯含量, 对区域瓦斯治理工作具有指导作用。

关键词: 水力压裂; 瓦斯抽采; 影响半径; 含水率

中图分类号: TD713 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-9102(2022)03-0045-06

The Application and Experimental Effect of Hydraulic Fracturing Technology in Regional Gas Extraction

LIU Zhifei, XIE Xionggang

(Mining College, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: In order to improve the gas drainage effect of regional coal seam, reduce the gas content of coal seam and ensure the safety of coal mine production, the application effect of hydraulic fracturing technology in regional coal seam gas drainage is studied by taking No.9 coal seam of a mine in Guizhou Province as the research object. No. 9 data of water yield, gas concentration and water content of coal seam before and after hydraulic fracturing of coal seam, including fractured boreholes, inspection boreholes and conventional boreholes, are compared and analyzed. Results show that the influence radius of hydraulic fracturing of fractured boreholes is more than 25 m. After hydraulic fracturing, the gas concentration in single hole of No. 9 coal seam is increased by 45%~50%. Hydraulic fracturing technology can significantly improve the gas flow conditions of coal seam, effectively improve the regional gas extraction effect, and reduce the gas content of coal seam, which has a guiding significance in regional gas control work.

Keywords: hydraulic fracturing; gas drainage; influence radius; moisture content

解决区域煤层瓦斯的抽采效率问题, 一直是煤矿生产中的重要工作内容。我国多数煤层具有高吸附、低渗透、不饱和、构造煤发育等特点^[1], 煤层的这些特点导致煤层瓦斯治理和抽采难度增加。因而, 研究区域煤层瓦斯抽采技术对于提高区域瓦斯抽采效率具有重要的意义。

为了解决煤层瓦斯治理和抽采中的技术问题, 国内外学者对此开展了广泛的研究, 通过各种技术手段增强煤层的透气性, 典型的增透技术有水力割缝、深孔爆破、水力冲孔、水力压裂^[2-3]及 CO₂ 变相压裂等^[4]。这些煤层增透技术都能在相当程度上改善煤层的瓦斯流动条件, 提高煤层瓦斯治理效果, 其中, 水力压裂

技术是目前工程领域应用最为广泛的一种增透技术^[5].徐瑞^[6]将水力压裂技术应用于透气性较差、地层倾角变化幅度大、瓦斯治理难度大的突出煤层后,认为水力压裂技术有利于煤层增透,能解决倾斜松软煤层的消突问题,可有效提高抽采效率;吴建星^[7]将水力压裂技术应用于双U工作面留巷围岩中进行巷道卸压测试,取得了良好的应用效果;董驰峰等^[8]分析了水力压裂技术在煤矿瓦斯治理中的应用效果,认为该技术在煤层瓦斯治理中能够有效改变煤层的各项参数,在瓦斯治理中发挥着积极的作用.目前对于水力压裂效果的考察指标中,多以瓦斯含量和压力变化作为压裂效果考察指标,但这些效果考察指标都存在一些不足之处,如瓦斯含量作为考察指标时,需要长时间对钻孔进行瓦斯含量监测,当发生串孔时,瓦斯含量则会发生异常变化,导致瓦斯含量数据不可靠.因此,本文在传统水力压裂效果考察指标的基础上,增加煤层含水率指标,对水力压裂的影响区域进行更加精确的定位,同时通过监测数据,对水力压裂煤层后的瓦斯抽采效果进行综合分析.

1 水力压裂技术简介

提高瓦斯抽采效率是实现区域性瓦斯治理及煤与瓦斯共采的关键,但是由于我国的煤层大多具有透气性低、煤层可钻性较差等特点^[9],导致抽采钻孔对煤层内的瓦斯影响范围有限,瓦斯抽采效果不够理想,煤层的卸压程度不高,消除煤与瓦斯突出的时间长,严重影响矿井的生产工作.提高低煤层的渗透率和透气性,改善煤层瓦斯流动条件,已成为提高矿井瓦斯抽采的关键性技术问题.水力压裂增透技术已被证明是改造煤岩体结构、增加煤层透气性、提高煤层瓦斯抽采效果的有效技术,该项技术具有增透范围广、增透效果显著等优势^[10].水力压裂技术的原理是通过高压泵在较短时间内向钻孔内注入大量的水,水在压力的作用下被挤入到煤体裂隙中,由于压力的作用,会使煤层裂隙扩展,煤层就会产生新的裂隙,从而使煤层的透气性增加^[11].此外,高压水会改变钻孔周围煤体的物理力学性质、应力场、瓦斯渗流场,使之重新分布,同时钻孔附近的煤体在高压水的作用下驱排瓦斯,激活煤层中的原生裂隙,改善煤层瓦斯的流动条件,达到提高钻孔瓦斯抽采的效果^[12].通过水的驱替作用,煤层中部分吸附瓦斯会变成游离态,沿裂隙扩散至煤体外部,从而达到煤层泄压和降低煤层瓦斯含量的目的.

2 现场测试

2.1 测试煤矿概况

测试煤矿位于贵州金沙西南部,该煤矿设计生产能力为150万t/a,可采储量为10621万t,为煤与瓦斯突出矿井.主采的9煤层瓦斯含量高、压力高(实测标高+787m及以上,原始瓦斯含量 $23.42\text{ m}^3/\text{t}$,瓦斯压力 2.05 MPa).目前矿井主要采用底抽巷施工穿层钻孔、本煤层顺层钻孔、专用瓦斯治理巷等预抽煤层瓦斯措施,但由于煤层透气性差、钻孔瓦斯抽采效率低,导致区域煤层瓦斯抽采达标周期长、矿井采掘接续紧张、瓦斯治理成本高.

结合测试煤矿开拓布置和采掘接替情况,拟在二采区20915瓦斯治理专用巷施工9煤层顺层钻孔,进行水力压裂煤层增透与强化抽采测试,对测试煤矿9煤层开展区域瓦斯高效抽采技术研究工作.测试区间为20195瓦斯治理巷242~422m处,该区间煤层埋深约482m,煤层平均厚度约3.3m,煤层倾角 $8^\circ\sim 12^\circ$,煤体坚固性系数 f 为1.5~2.7,根据煤层埋深推算煤层原始瓦斯含量为 $18.89\text{ m}^3/\text{t}$.

2.2 现场测试设备

水力压裂采用中煤科工集团西安研究院的BYW65/400型压裂泵组,如图1所示.水力压裂成套设备由水箱、压裂泵、远程操作系统、高压管汇组成,具有压力高、流量稳定、可远程操作、设备运行稳定、运行时间长等特点,可保证施工过程中工作人员的安全.泵组(含平板车)整体外形尺寸长×宽×高为 $8\,700\text{ mm}\times$



图1 测试设备

1 450 mm×1 770 mm,总质量 13 t.最大件外形尺寸长×宽×高为2 900 mm×1 450 mm×1 550 mm.

2.3 测试参数设计

1) 压裂方式:9 煤层顺层钻孔水力压裂方式设计为整体压裂.

2) 压裂液:为避免压裂液污染煤层,水力压裂施工压裂液选用清水.

3) 煤层破裂压力估算:煤岩层破裂压力常采用地面钻孔注入/压降试井测试方法进行直接测定,试验井田内尚未进行地面钻孔注入/压降试井,测得 9 煤层平均破裂压力梯度约为 1.13~2.99 MPa/hm.计算得 9 煤层破裂压力为 5.45~14.41 MPa.

4) 压裂用水量计算:通过 9 煤层压裂影响范围、煤层厚度、含水率等参数,计算压裂钻孔 YL1 和 YL2 的压裂用水量为 475 m³,YL3 的压裂用水量为 605 m³.

5) 钻孔参数设计:测试钻孔类型及钻孔布置参数如表 1 所示.

表 1 钻孔类型及钻孔布置参数

| 钻孔类型 | 钻孔编号 | 开孔位置 | 钻孔结构 | 孔径/mm | 孔深/m |
|----------|-------|--------------------------|------|------------|------|
| 压裂 钻孔 | YL1 | 20915 瓦斯治理专用巷 K0+267 m 处 | 二开 | T153,二开 94 | 200 |
| | YL2 | 20915 瓦斯治理专用巷 K0+322 m 处 | 二开 | T153,二开 94 | 200 |
| | YL3 | 20915 瓦斯治理专用巷 K0+382 m 处 | 二开 | T153,二开 94 | 200 |
| 考察 钻孔 | KC1 | 20915 瓦斯治理专用巷 K0+242 m 处 | 一开 | 94 | 90 |
| | KC2 | 20915 瓦斯治理专用巷 K0+297 m 处 | 一开 | 94 | 90 |
| | KC3 | 20915 瓦斯治理专用巷 K0+352 m 处 | 一开 | 94 | 90 |
| | KC4 | 20915 瓦斯治理专用巷 K0+422 m 处 | 一开 | 94 | 90 |
| 抽采 钻孔 | 第 1 组 | 间距 3 m | 一开 | 94 | 163 |
| | 第 2 组 | 间距 5 m | 一开 | 94 | 175 |
| | 第 3 组 | 视前 2 组效果综合决定 | 一开 | 94 | 180 |

2.4 测试钻孔布置

2.4.1 钻孔布置原则

为了保证水力压裂施工的顺利进行,保障水力压裂效果,压裂钻孔 50 m 内不能有钻孔或巷道.由于巷道掘进过程中,巷帮两侧 15 m 内已经施工了钻孔进行瓦斯抽采,因此,压裂钻孔距离巷道安全距离设置为 70 m,距已经施工的钻孔 50 m.

2.4.2 压裂钻孔布置

测试共设计 3 个压裂钻孔,沿巷道掘进方向钻孔编号依次为 YL1,YL2,YL3,分别位于 20915 瓦斯治理专用巷 K0+267 m,K0+322 m,K0+382 m 处上帮,向 20913 方向施工.钻孔布置如图 2 所示.

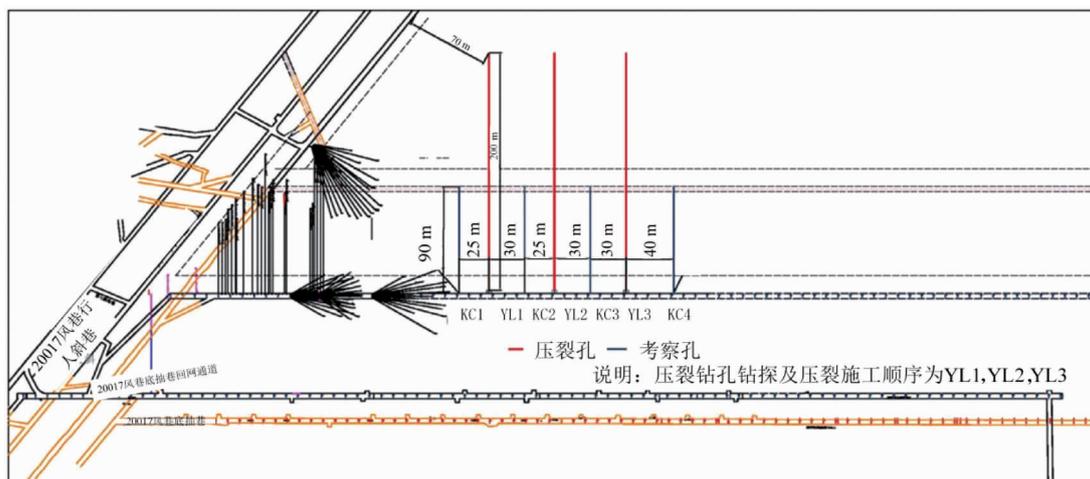


图 2 压裂钻孔布置

压裂钻孔采用二开结构(图3),其中一开为开孔段,孔深72 m,孔径153 mm,施工完成后向孔内布置 $\Phi 127$ mm套管,采用“两堵一注”水泥砂浆带压封孔.封孔完成后凝固72 h,随后扫孔进行打压测试,压力不低于6 MPa、稳压时间不小于30 min为封孔合格.二开孔径94 mm,孔深128 m.

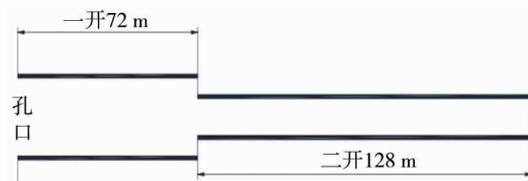


图3 压裂钻孔孔身结构

2.4.3 压裂半径考察钻孔布置

在压裂钻孔两侧各布置1个考察钻孔,第1组和第2组考察钻孔与压裂钻孔左右间距分别为25 m和30 m,第3组考察钻孔与压裂钻孔左右间距分别为30 m和40 m,如图4所示.其中KC2考察钻孔和KC3考察钻孔可同时对相邻两组压裂钻孔进行考察.水力压裂施工结束后,考察钻孔才能进行瓦斯抽采.考察(抽采)钻孔设计深度90 m,孔径94 mm.考察(抽采)钻孔采用一开结构,钻孔施工完成后向孔内布置4分管,管的深度为70 m,水泥砂浆封孔,耐压不小于6 MPa.

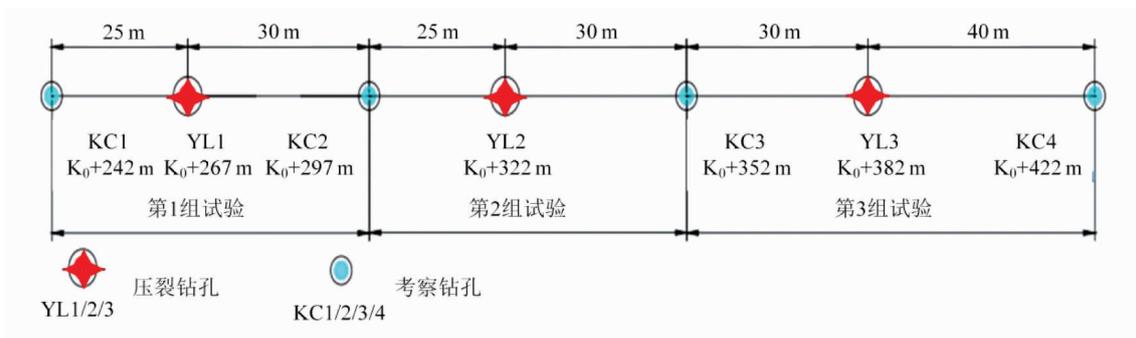


图4 钻孔布置剖面

2.4.4 抽采钻孔布置

采取水力压裂增透煤层后,需在压裂钻孔和考察钻孔之间施工瓦斯抽采钻孔,提高瓦斯抽采效率.抽采钻孔设计2种布置方式:一种是矿方现有瓦斯抽采钻孔布置方式,考察钻探工程量不变的前提下所节省的抽采时间;另一种是加大钻孔间距,考察不改变抽采达标时间前提下所减少的钻探工程量.设计第1组测试抽采钻孔间距为3 m,孔深163 m,初步设计第2组测试抽采钻孔间距为5 m(根据第1组钻孔实际抽采效果确定),第3组测试抽采钻孔间距根据第1组和第2组钻孔瓦斯抽采效果综合确定.考察不同钻孔间距下的瓦斯抽采情况,确定抽采钻孔的合理布置方式.

3 测试效果分析

水力压裂技术的实际应用效果,需要通过对YL1, YL2和YL3这3个压裂钻孔的相关测试数据进行统计分析,确定水力压裂影响半径以及钻孔瓦斯抽采效果.钻孔施工情况如图5所示.

3.1 压裂影响半径

向压裂钻孔YL1注入压裂液,当压裂用水量达 125 m^3 时,考察钻孔KC1明显出水,至压裂结束时,考察钻孔KC2(距压裂钻孔30 m)出水量也有增加.此外,在距YL1

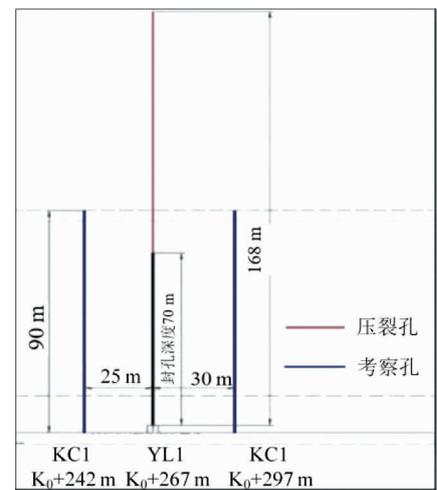


图5 钻孔施工情况

压裂钻孔 25 m 以外的区域施工抽采钻孔的时候,压裂钻孔和考察钻孔均有不同程度的出水.当压裂钻孔 YL2 和 YL3 注水结束后,对考察钻孔 KC3 和 KC4 的出水量进行考察,明显观察到,考察钻孔的出水量增加.综上所述,3 个压裂钻孔的压裂影响半径分别为 25,30,30 m.

为进一步验证水力压裂的影响半径,对压裂区域的煤层取样,进行含水率测试.压裂前后煤层的含水率测试数据对比结果如图 6 所示.

从图 6 可知:距离压裂钻孔越近的煤层,其含水率越高,随着距离越远,煤层含水率相对减少,但是相较于压裂前,压裂后的煤层含水率仍然有较大的增加;在距离压裂孔 25~30 m 时,煤层压裂前后的含水率变化幅度减小.因此,综合分析可以得出,本次测试的压裂钻孔水力压裂影响半径至少达 25 m.

3.2 钻孔瓦斯抽采效果

水力压裂施工结束后,在压裂钻孔和考察钻孔之间施工抽采钻孔,抽采钻孔孔深 163 m,孔径 94 mm,封孔深度 8 m,钻孔间距 3 m.钻孔施工完成后进行封孔连抽,并监测第 1 组抽采钻孔瓦斯体积分数,累计监测 1 个月.压裂前后抽采钻孔瓦斯体积分数变化情况如图 7 所示.

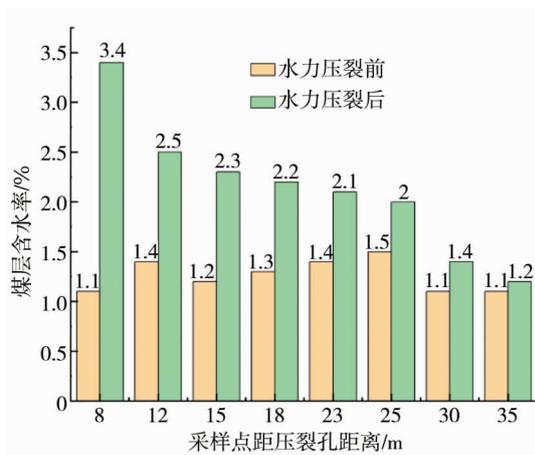


图6 煤层含水率变化

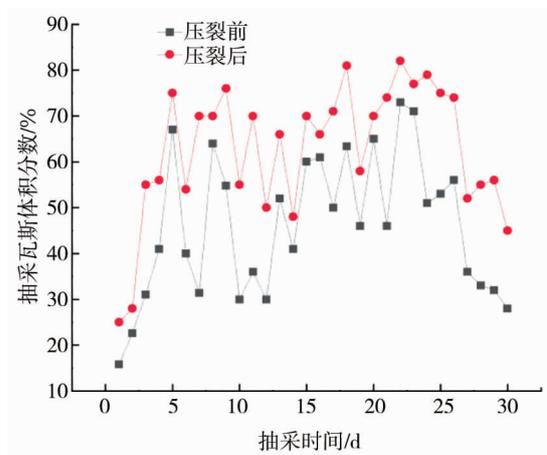


图7 压裂前后抽采钻孔瓦斯体积分数变化

由图 7 可以看出:煤层在经过水力压裂后,部分抽采钻孔的瓦斯体积分数变化达到 50% 左右.这是因为在高压水的作用下,煤层内部的裂隙得到扩展,煤层的变形影响范围逐渐扩大,裂隙之间相互贯通,有利于瓦斯通道的形成,使得煤层的透气性及孔隙率得到改善,促进瓦斯流动,大量瓦斯流向抽采钻孔,因此抽采钻孔内的瓦斯体积分数大幅度提高.

为进一步分析压裂钻孔 YL1, YL2 和 YL3 对煤层的压裂效果,对考察钻孔 KC1, KC2, KC3 和 KC4 进行 30 d 的平均瓦斯流量数据统计,并与常规抽采钻孔的平均瓦斯流量数据进行对比,如图 8 所示.

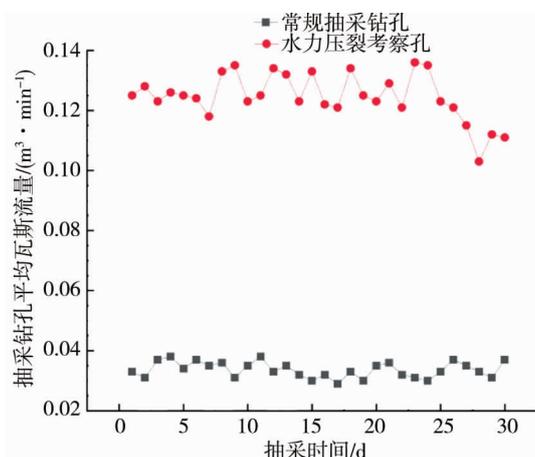


图8 抽采钻孔瓦斯流量

由图8可知:考察钻孔的瓦斯流量明显高于未压裂煤层常规钻孔的瓦斯流量.由此可知,水力压裂能够有效改善煤层的瓦斯流动条件,促进瓦斯流动,提高煤层瓦斯抽采量.

现场测试数据表明,压裂区域内抽采钻孔瓦斯纯量平均为 $0.120\text{ m}^3/\text{min}$.同时,收集测试煤层瓦斯治理专用巷压裂区域以外12个常规钻孔瓦斯流量数据,计算得出百米钻孔瓦斯纯量平均为 $0.038\text{ m}^3/\text{min}$.压裂区域内瓦斯纯量是未压裂区域的3倍左右.

通过现场测试数据计算得出:压裂区域内瓦斯累计抽放量为 $25\ 920\text{ m}^3$,而压裂区域外瓦斯累计抽放量为 $10\ 756\text{ m}^3$.对比数据可知,水力压裂后瓦斯抽放量较未压裂区域有大幅度的提高.因此,水力压裂技术能够有效提高区域煤层瓦斯治理效率及瓦斯抽放量,达到消突的目的.

4 结论

1) 经过水力压裂后的煤层,其含水率显著提高,煤层的裂隙结构得到改善,促进了瓦斯在煤层中的流动.

2) 煤层经过水力压裂后,抽采钻孔内的瓦斯体积分数、瓦斯流量等明显增加,瓦斯抽采效率提高,有效降低了煤层瓦斯含量,减少突出事故发生的可能性.

3) 煤层水力压裂技术,在改善低渗透煤层瓦斯流动条件方面具有良好的效果,能够有效提高低渗透煤层的瓦斯抽采效率.

参考文献:

- [1] 申宝宏,刘见中,雷毅.我国煤矿区煤层气开发利用技术现状及展望[J].煤炭科学技术,2015,43(2):1-4.
- [2] 高魁,刘泽功,刘健.复合构造带力学特征及其对瓦斯突出的作用机制[J].中国安全科学学报,2017,27(5):111-116.
- [3] 高原,张士岭.矿井瓦斯超限风险预测技术研究与应用[J].煤矿安全,2015,46(6):122-125.
- [4] 衡献伟,付金磊,李青松,等.液态 CO_2 相变致裂对抽采有效半径影响的试验研究[J].煤炭工程,2021,53(10):126-130.
- [5] 邓玉华.基于水力压裂的深部三维地应力测量及增透机理研究[D].重庆:重庆大学,2015.
- [6] 徐瑞.倾斜松软煤层梳状钻孔水力压裂治理条带瓦斯技术研究与应用[J].煤炭技术,2021,40(6):106-109.
- [7] 吴建星.水力压裂卸压技术在双U工作面留巷围岩控制中的应用[J].煤矿安全,2021,52(5):112-119.
- [8] 董驰峰,李西蒙.水力压裂技术在煤矿瓦斯治理中的应用分析[J].内蒙古煤炭经济,2021(2):26-27.
- [9] 刘徐三.煤矿井下大直径定向钻进技术在水力压裂中的应用[J].煤炭工程,2020,52(5):58-62.
- [10] 龙威成,赵乐凯,陈冬冬,等.顺煤层定向长钻孔水力压裂煤层增透技术及试验研究[J].河南理工大学学报(自然科学版),2019,38(3):10-15.
- [11] 王俊虎.水力压裂增透技术在低透气性煤层中的应用[J].山西能源学院学报,2021,34(4):7-9.
- [12] 牟全斌,闫志铭,张俭.煤矿井下定向长钻孔水力压裂瓦斯高效抽采技术[J].煤炭科学技术,2020,48(7):296-303.