

Application of Permeability Improved Technology in Low Permeability and Outburst Coal Seam in Baijiao Coal Mine

Zi Rao

Junlian Sichuancoal Furong Xinwei Coal Industry Limited Company, Yibin Sichuan
Email: raozi_2010@163.com

Received: Apr. 6th, 2018; accepted: Apr. 20th, 2018; published: Apr. 27th, 2018

Abstract

According to the 2382 working face of Baijiao coal mine, the layout of hydraulic fracturing drilling hole is designed, and the fracture zone and the non fractured area are compared and analyzed to investigate the influence radius and fracturing effect of the fracturing. The results show that the average single hole extraction purity of the non fractured zone is 15.2 m³/min, and the average single hole pure quantity in the fractured region is 41.74 m³/min, that is, the average single hole extraction purity in the fractured zone is 2.75 times that of the non fractured zone. According to the analysis of fractured hole effluent and water condition, all the boreholes are in the range of fracturing, and the distance between fracturing holes is above 80 m.

Keywords

Hydraulic Fracturing, Gas Extraction, Effect Analysis

白皎煤矿低渗强突煤层增透技术应用

饶 孜

筠连川煤芙蓉新维煤业有限公司, 四川 宜宾
Email: raozi_2010@163.com

收稿日期: 2018年4月6日; 录用日期: 2018年4月20日; 发布日期: 2018年4月27日

摘 要

针对白皎煤矿2382工作面, 设计水力压裂钻孔布置, 并将压裂区域与未压裂区域进行对比分析, 考察压裂影响半径及压裂效果, 结果表明: 非压裂区域内抽采钻孔的平均单孔抽采纯量是15.2 m³/min, 压裂区域

内的平均单孔纯量是 $41.74 \text{ m}^3/\text{min}$ ，即压裂区域内抽采钻孔的平均单孔抽采纯量是非压裂区域的2.75倍。根据压裂孔出水及见水情况分析，所有抽采钻孔均处于压裂影响范围内，压裂孔影响距离在80 m以上。

关键词

水力压裂，瓦斯抽采，效果分析

Copyright © 2018 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着煤矿开采深度的不断加深，地应力、瓦斯压力等不断升高，导致煤与瓦斯突出灾害剧增，严重制约煤矿的安全高效开采[1] [2]。预抽煤层瓦斯是区域防治煤与瓦斯突出灾害的有效措施之一，但由于我国大部分矿井煤层的透气性低，瓦斯抽采困难，抽放效率低，因此，必须采取有效技术措施增强煤层的透气性。而水力压裂技术是针对低渗煤层，实现增透卸压、煤层气高效开采的一种有效技术手段[3] [4]，并已在国内外众多煤矿中实施。陈铭等[5]建立支撑剂嵌入岩体的本构方程，提出考虑弹塑性变形的支撑剂嵌入深度计算方法。李胜等[6]研究了不同钻孔间距时压裂和抽采过程中煤层弹模、损伤值、渗透率、瓦斯压力、抽采量和压裂贯通时间的变化规律。朱亚东洋等[7]认为通过监测油层裂缝延展过程中产生的微地震事件，能够有效地判断裂缝走向。许江等[8]为了掌握煤体水力压裂过程中压裂孔附近应力场、水压力场的时空演化规律，利用多场耦合煤层气开采物理模拟试验系统进行试验研究。万小乐等[9]开展了单轴试验条件下不同层理角度的页岩水力压裂试验，研究了射孔附近水力压裂过程中页岩各向异性特征对破裂压力及裂缝扩展的影响规律。周东平等[10]提出在压裂过程中实施微地震监测技术，解决了煤矿井下水力压裂裂缝扩展规律及增透范围不明确的问题。

虽然水力压裂措施已应用在多所矿山，且对煤层瓦斯治理取得了较好效果，但是对其应用研究还不充分。因此，本文针对白皎煤矿 2382 工作面，设计水力压裂钻孔布置，并将压裂区域与未压裂区域进行对比分析，考察压裂影响半径及压裂效果。

2. 现场概况及钻孔设计

2.1. 238 底板道概况

水力压裂位置选择在矿井 238 底板道内实施，压裂 B_4 煤层 2382 机巷条带。该巷走向长约 392 m， B_4 煤层瓦斯含量平均为 $18.26 \text{ m}^3/\text{t}$ ； B_3 煤层本区域缺失， B_2 煤层瓦斯含量平均为 $18.86 \text{ m}^3/\text{t}$ ，煤层透气性系数 $0\sim 0.29 \text{ m}^3/(\text{MPa}^2\cdot\text{d})$ 。煤层坚固性系数 f 为 2~4，煤层走向 275° ，煤层倾向 185° ，倾角 $13^\circ\sim 23^\circ$ ，平均倾角 16° 。2382 机巷埋深 400 m，二号(B_4)煤层厚度为 0.5~5.4 煤层，平均厚度 1.2 m；三号(B_3)局部薄化、缺失；四号(B_2)厚度为 0.6~4.5 m，平均厚度 3.2 m。煤层较稳定，全区可采，顶板为炭质泥岩、泥质灰岩、细砂岩；底板为粘土岩。

2.2. 水力压裂钻孔设计

2.2.1. 水力压裂钻孔设计

根据 2382 工作面地质资料，在 238 底板道设计三个水力压裂孔，钻孔穿透两层煤体，终孔于 B_4 顶

板 0.5 m，钻孔孔径为 94 mm，倾角 20°。由于 238 底板道距 B₄ 煤层岩柱 30 m 左右，为确保水力压裂过程中不破坏 238 底板巷，因此将压裂钻孔间距初步设计为 60 m，即按 30 m 半径布置。通过前述煤层钻孔水力压裂裂缝扩展规律，针对白皎煤矿 238 底板道，压裂孔设计如图 1 所示。

2.2.2. 水力压裂封孔设计

本次水力压裂工程设计压裂目标煤层为 B₄ 煤层，因此所有钻孔均要求封孔至 B₄ 煤层底板处。压裂钻孔封堵采用水力砂浆机械钻孔封孔方式，在施工水力压裂钻孔时，详细记录 B₄ 煤层段位置，孔口到 B₄ 煤层底板采用 φ50 mm 无缝钢管进行封孔，B₄ 煤层段采用筛管进行封孔。封孔时通过注浆管送浆至 B₄ 煤层底板再通过返浆管返浆时结束注浆。

2.2.3. 水力压裂参数计算

根据 238 底板道的埋深、岩体抗拉强度、目标方向角及预压裂钻孔的有效半径 30 m 等参数综合模拟计算结果，确定各压裂孔压裂压力计算参数见表 1，压裂泵选择 CBYL400 型压裂泵组。

2.3. 抽采钻孔设计

2.3.1. 压裂区域考察抽采钻孔设计

为考察压裂区域内抽采效果，下步补充措施提供条件，设计压裂区域内考察抽采钻孔按 16 × 16 m 进行布置，共设计钻孔 31 个，钻孔孔径 94 mm，钻孔封孔深度 8 m，封孔方式为水泥砂浆机械封孔。

2.3.2. 非压裂区域对比抽采钻孔设计

同时，在 238 底板道压裂区域以外，反向设计了 33 个常规对比抽采钻孔，以分析抽采效果。钻孔按 10 × 10 m 网格布置，钻孔孔径 94 mm，钻孔封孔深度 8 m，封孔方式为水泥砂浆机械封孔。

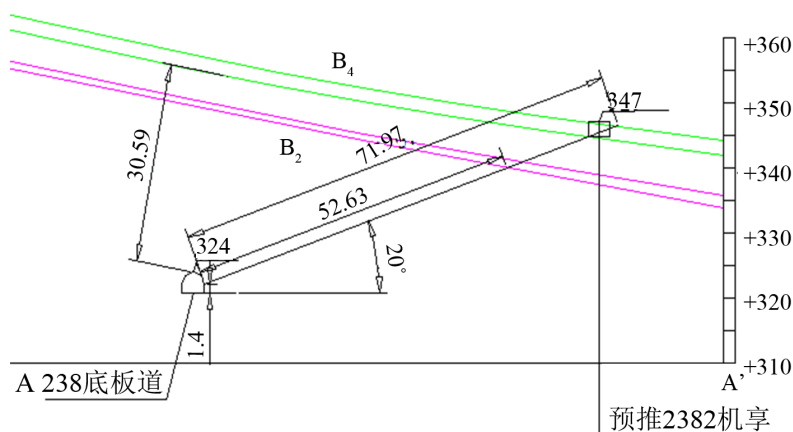


Figure 1. The layout of the 238 plate fractured borehole
图 1. 238 底板道压裂钻孔布置剖面图

Table 1. Calculation parameter table for fracturing pressure of each hole
表 1. 各孔压裂压力计算参数表

压裂孔编号	压裂压力/MPa	压入水量/m ³
1#压裂孔	20.6	75.4
2#压裂孔	23.8	68.5
3#压裂孔	24.2	67.6

3. 结果分析

3.1. 压裂过程

对 1~3#压裂钻孔进行了水力压裂，具体压裂情况及压裂曲线如图 2 所示。

由图 2 可知，1#钻孔压入水量 81.6 m³、最大压力 20.6 Mpa，压裂时距 1#钻孔以外 80 m 处有多个钻孔大量出水；压裂曲线如图 3 所示。2#钻孔压入水量 58 m³、最大压力 24.6 Mpa，进入观察发现 3#压裂钻孔有水流出。3#钻孔压入水量 71.8 m³、最大压力 23.6 Mpa，进入观察时发现 2#钻孔有水渗出。压裂完

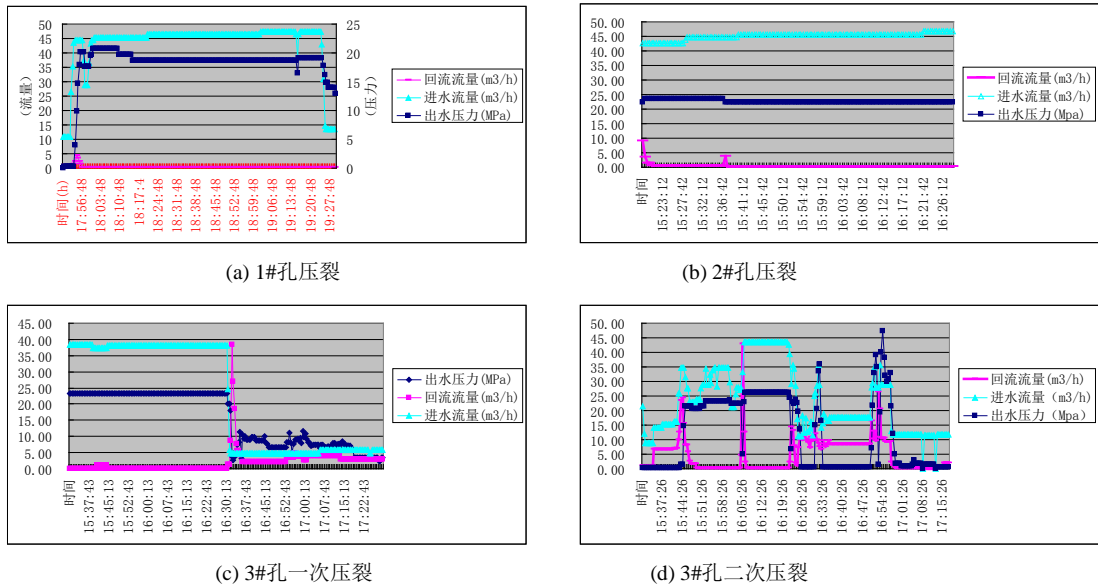


Figure 2. Borehole fracturing curve

图 2. 钻孔压裂曲线图

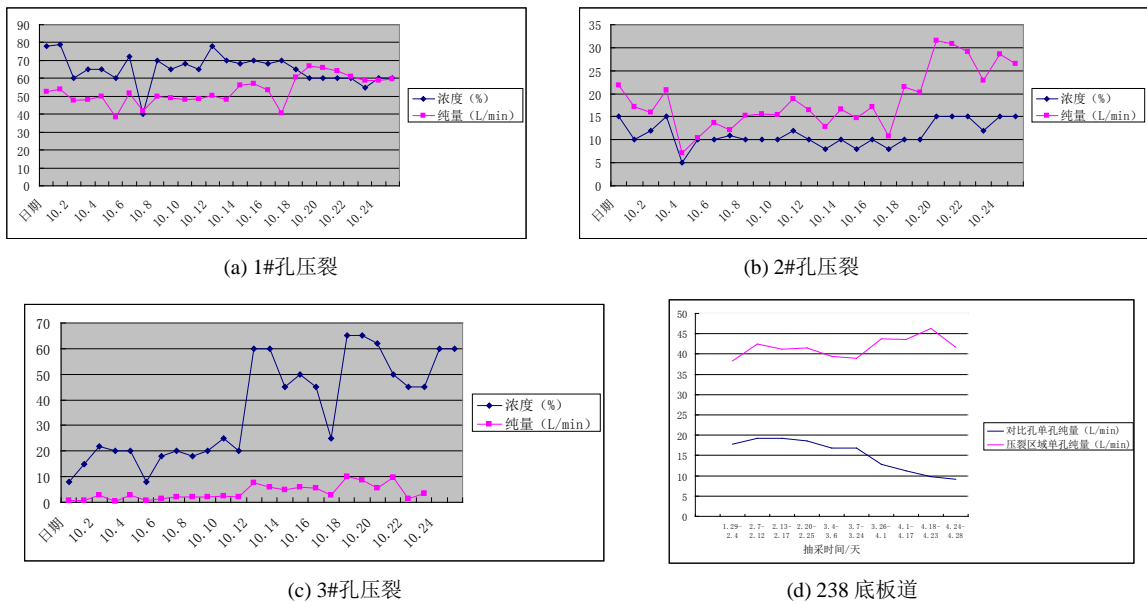


Figure 3. Concentration and flow curves of fracture hole and single-hole drilling scalar curve of 238 floor

图 3. 压裂孔浓度和流量曲线及 238 底板道平均单孔抽采纯量曲线

成并开始抽采后，查到该孔瓦斯流量及浓度偏小，9月3日对其重新进行了二次压裂，二次压裂时压入水量 42 m^3 、后最大压力升至 47.6 MPa 时无法继续压入，结束压裂。3#初次压裂 50 min 左右以后，压力由 23.6 MPa 急剧降到下降，表明3#孔已经贯通，发现2#压裂孔有出水，停止压裂。3#孔二次压裂 70 min 以后，压裂泵组的出水压力急剧上升，达到 47 MPa 以上，分析认为是由于二次压裂导致泥岩对压裂筛管堵塞，造成无法继续压裂。

各压裂钻孔压入水量情况见表2所示。

3.2. 抽采钻孔

3.2.1. 压裂钻孔

各钻孔水力压裂完成后，立即对其进行了排水工作，待孔内水量变小后接入抽采系统进行抽采。累计最大抽采天数65天，三个压裂孔累计抽采瓦斯 8582.14 m^3 。其中：1号孔累计抽采65天，瓦斯平均抽采浓度约为70%，瓦斯抽采总纯量为 6811.71 m^3 ，平均瓦斯抽采纯流量约为 72.77 L/min ；2号孔累计抽采62天，瓦斯平均抽采浓度约为9%，瓦斯抽采总纯量为 1379.18 m^3 ，平均瓦斯抽采纯流量约为 15.45 L/min ；3号孔累计抽采61天，瓦斯平均抽采浓度约为27%，瓦斯抽采总纯量为 391.25 m^3 ，平均瓦斯抽采纯流量约为 4.45 L/min ，压裂钻孔抽采曲线如图3(a)~(c)所示。

3.2.2. 压裂区域考察抽采钻孔

1) 第一阶段抽采

压裂区域内抽采钻孔平均抽采浓度23%，抽采混量 $95\sim 110\text{ m}^3/\text{h}$ ，在抽孔数34个，计算得该区域钻孔平均单孔抽采纯量约为 $10.7\sim 12.4\text{ L/min}$ 。

2) 第二阶段抽采

实测汇总抽采总混合量为 $84\text{ m}^3/\text{h}$ ，抽采浓度60%，计算得抽采总纯量为 $50.4\text{ m}^3/\text{h}$ ；非压裂区域“V”锥实测抽采总混合量为 $30\text{ m}^3/\text{h}$ ，抽采浓度70%，计算得非压裂区域内抽采总纯量为 $21\text{ m}^3/\text{h}$ ，即压裂区域内钻孔抽采总纯量为 $29.4\text{ m}^3/\text{h}$ 。计算得压裂区域内平均单孔抽采纯量为 20.4 L/min 。

3) 第三阶段抽采

继续对压裂区域内所有在抽钻孔的抽采情况进行了统计，压裂区域内抽采钻孔平均单孔抽采纯量最高为 37.55 L/min ，平均抽采纯量为 34.49 L/min ，且呈平稳趋势，见表3所示。

3.2.3. 非压裂区域对比抽采钻孔

1) 第一阶段抽采

实测抽采总混合量为 $30\text{ m}^3/\text{h}$ ，抽采浓度70%，同样，该区域有5个钻孔因水大停止抽采，实际在抽孔数28个，计算平均单孔抽采纯量为 12.5 L/min 。

2) 第二阶段抽采

Table 2. Water pressure and pressure of hydraulic fracturing

表 2. 水力压裂压入水量及压力情况表

孔号	压裂时长/h	最大压力/MPa	稳定压力/MPa	压入水量/ m^3
1	2.5	20.6	18.5	81.6
2	1.5	24.6	23	58
3	2	23.6	23	71.8
	1	47.6	26	42

Table 3. 238 Floor drilling late stage drainage parameters table
表 3. 238 底板道钻孔后期抽采参数表

时间	总测		对比孔总测		总纯量 (m ³ /min)	对比孔 纯量 (m ³ /min)	压裂区域内 抽采总纯量 (m ³ /min)	对比孔 个数(个)	压裂区 域内钻 孔个数 (个)	对比孔单 孔纯量 (L/min)	压裂区域 单孔纯量 (L/min)
	浓度(%)	V 锥标况混 合量 (m ³ /min)	浓度(%)	V 锥标况混 合量 (m ³ /min)							
1.29~2.4	68.85	2.06	83.5	0.6	1.42	0.5	0.92	28	24	17.86	38.26
2.7~2.12	76.83	2.03	87	0.62	1.56	0.54	1.02	28	24	19.29	42.49
2.13~2.17	77.6	1.97	88.4	0.61	1.53	0.54	0.99	28	24	19.29	41.20
2.20~2.25	75	2.02	89	0.58	1.52	0.52	1.00	28	24	18.57	41.46
3.4~3.6	72.33	1.96	90	0.52	1.42	0.47	0.95	28	24	16.79	39.49
3.7~3.24	70.87	1.98	91.47	0.51	1.40	0.47	0.93	28	24	16.79	38.88
3.26~4.1	70.86	1.99	90.29	0.4	1.41	0.36	1.05	28	24	12.86	43.75
4.1~4.17	68.75	1.98	78.35	0.4	1.36	0.31	1.05	28	24	11.19	43.66
4.18~4.23	66.2	2.09	78.05	0.35	1.38	0.27	1.11	28	24	9.76	46.27
4.24~4.28	65.43	1.92	77.73	0.33	1.26	0.26	1.00	28	24	9.16	41.66
平均	71.272	2	85.379	0.492	1.43	0.42	1.00	28	24	15.15	41.71

继续对非压裂区域内钻孔的抽采情况进行了统计，该区域内抽采钻孔平均单孔抽采纯量最高为 19.26L/min，平均抽采纯量为 15.2 L/min，且呈下降趋势，见表 3、图 3(d)所示。

4. 水力压裂试验实施效果分析

4.1. 水力压裂影响范围

1) 判定依据

各孔的压裂影响范围通过以下两方面来判定：一是压裂过程中附近钻孔及巷壁的出水情况；二是压裂区域内抽采钻孔施工过程中的见水情况。

2) 各钻孔压裂过程中的出水情况

1#钻孔压裂时，共 6 处出水，最远出水点在 1#钻孔以东 80 余米；而压裂过程中未与 2#钻孔沟通；2#钻孔压裂时，从 3#钻孔返水，但未与 1#钻孔沟通；3#钻孔压裂时，从 2#钻孔返水；4#钻孔压裂时，附近 15 m 巷壁多处出水，未与其它任何钻孔沟通。

3) 抽采钻孔见水情况

压裂区域内抽采钻孔施工过程中发现，所有抽采钻孔见煤层时均大量含水，并造成钻孔施工过程中风排粉穿煤极为困难。

4) 判定结果

①压裂孔评价：根据压裂情况可以判定，首先实施压裂的 3#孔压穿了 2#孔，其压裂效果未达到最大，2#孔在被 3#孔压穿时才压裂，4#孔因封堵或裂隙问题均应属于报废孔，1#孔经重新封孔后压裂成功，但其压裂时间仅 2.5 小时，根据煤层正常压裂情况可以判断也没有达到该地点压裂极限值，即其压裂影响范围未达最大。

②压裂影响范围

根据以上分析，本次压裂最具有代表性的孔为 1#压裂孔，应该以 1#压裂孔为基础进行综合分析，1#

压裂孔向东走向 80 m 钻孔出水, 1#孔以西, 由于 2#孔属报废孔, 其影响主要来自 3#孔压裂, 又因压裂区域内所有抽采钻孔均出水, 说明所有抽采钻孔均处于压裂影响范围内, 因此可以推断该处压裂孔影响距离在 80 m 以上。

4.2. 抽采效果分析

4.2.1. 压裂钻孔抽采效果分析

由压裂影响范围分析可知, 1#压裂孔相对最具有代表性, 而井下水力压裂的同时对煤层瓦斯同时起驱散作用, 1#压裂孔抽采数据说明该孔同时具备抽采功能, 因此就一局部区域而言, 其附近(压裂影响区域内, 此处应该理解为 80m 范围)施工的抽采钻孔只能按总量计算, 平均单孔流量不能作为衡量效果的主要指标之一。可以判定: 按报告预先设定的标准计算所得的结果为压裂取得的最低效果。

对该区域煤层进行水力压裂后, 压裂钻孔的抽采纯量相差较大, 3 个孔的抽采纯量分别为 72.77、15.45、4.45 L/min, 特别是 3#压裂孔在压裂过程中出现堵孔而造成该孔流量及瓦斯浓度极低, 且由于试验钻孔数量过少, 因地质情况、煤层厚度变化、压裂的压力、压入水量等多方面的差异而造成各钻孔之间的差异较大, 因而不能通过 3 个压裂钻孔完全说明压裂效果; 所以对整个压裂区域进行抽采效果分析。

4.2.2. 压裂区域与非压裂区域抽采效果对比分析

1) 压裂区域内抽采钻孔抽采效果分析

通过分析压裂区域内抽采钻孔的抽采情况可知, 压裂区域内抽采钻孔的平均单孔抽采纯量在连续 4 个月内均呈现了一个平稳的趋势, 4 个月的平均单孔抽采纯量最低为 38.26 L/min, 最大平均单孔抽采纯量为 46.27 L/min, 平均单孔抽采纯量 41.74 L/min。

2) 非压裂区域钻孔抽采效果分析

通过表 3 可以看出, 非压裂区域内的平均单孔抽采纯量呈现了一个缓慢下降的趋势, 至 4 月 28 日止已降至 9.16 L/min, 平均抽采纯量约为 15.2 L/min; 而矿井普通抽采钻孔的抽采纯量一般仅为 4~5 L/min, 造成该现象的主要原因是对比孔均反向施工, 穿煤长度较正向施工长度长, 煤层暴露面积较大; 且有部分含水钻孔未纳入抽采计量。

由以上抽采情况分析可知, 非压裂区域内抽采钻孔的平均单孔抽采纯量是 15.2 m³/min, 压裂区域内的平均单孔纯量是 41.74 m³/min, 即压裂区域内抽采钻孔的平均单孔抽采纯量是非压裂区域的 2.75 倍。

5. 结论

1) 针对 2382 工作面地质资料, 设计水力压裂穿层钻孔, 对钻孔进行封孔, 确定各压裂孔压裂压力参数。记录各压裂孔压裂过程中的压力、压入水量等参数, 分析得出 3#压裂孔二次压裂导致泥岩对压裂筛管堵塞, 造成无法继续压裂。

2) 非压裂区域内抽采钻孔的平均单孔抽采纯量是 15.2 m³/min, 压裂区域内的平均单孔纯量是 41.74 m³/min, 即压裂区域内抽采钻孔的平均单孔抽采纯量是非压裂区域的 2.75 倍。

3) 根据压裂孔出水及见水情况分析, 所有抽采钻孔均处于压裂影响范围内, 压裂孔影响距离在 80 m 以上。

参考文献

- [1] 黄炳香, 程庆迎, 刘长友, 等. 煤岩体水力致裂理论及其工艺技术框架[J]. 采矿与安全工程学报, 2011, 28(2): 167-173.
- [2] 周红星, 程远平, 刘洪永, 等. 突出煤层穿层钻孔孔群增透技术及应用[J]. 煤炭学报, 2011(9): 1515-1518.

-
- [3] 吕润生, 倪小明, 刘高峰, 等. 煤层气井水力压裂有效消突边界物理模型[J]. 煤炭学报, 2016, 41(9): 2273-2280.
- [4] 林柏泉, 孟杰, 宁俊, 等. 含瓦斯煤体水力压裂动态变化特征研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2012, 29(1): 106-110.
- [5] 陈铭, 张士诚, 柳明, 等. 水力压裂支撑剂嵌入深度计算方法[J]. 石油勘探与开发, 2018(1): 149-156.
- [6] 李胜, 任延平, 范超军, 等. 钻孔间距对水力压裂促抽煤层瓦斯的影响[J]. 中国安全生产科学技术, 2018, 14(1): 71-76.
- [7] 朱亚东洋, 王金磊, 孙锋, 等. 水力压裂微地震井地联合监测系统及仪器[J]. 地球物理学报, 2017(11): 4282-4293.
- [8] 许江, 马天宇, 彭守建, 等. 煤岩体水力压裂动态演化物理模拟试验研究[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(6): 9-16.
- [9] 万小乐, 赫建明, 郑博. 单轴加载条件下页岩层理角度对水力压裂缝扩展规律影响研究[J]. 工程地质学报, 2017, 25(1): 88-94.
- [10] 周东平, 李栋. 煤矿井下水力压裂裂缝监测技术研究[J]. 煤炭技术, 2017, 36(11): 151-154.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2329-7301, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: me@hanspub.org