

Microseismic Monitoring Technology and Application to Hydraulic Fracturing in Shihao Coal Mine

Dongping Zhou^{1,2}, Yongdong Jiang³, Kunyong Guo³, Shangbin Zhang², Hui Liu³

¹College of Civil Engineering, Army Logistics University of PLA, Chongqing

²Chongqing Energy, Chongqing

³State Key Laboratory of Coal Mine Disaster Dynamics and Control, Chongqing University, Chongqing
Email: jiangyd1015@163.com

Received: Mar. 5th, 2018; accepted: Mar. 19th, 2018; published: Mar. 26th, 2018

Abstract

This paper is based on hydraulic fracturing engineering for CBM in Chongqing Shihao coal mine, 7 holes were drilled for hydraulic fracturing on site, the stable pressure in 1# hole is 19.5 Mpa with 489 m³ injected water volume and 670 min fracturing time span; meanwhile the stable pressure in 2# hole is 21.8 Mpa with 251 m³ injected water volume and 430 min fracturing time span. The microseismic signals are monitored in 1#&2# holes on sites during hydraulic fracturing using microseismic monitoring technology. 3-D damage locations of failure points in coal bed are obtained through data analysis, the failure points are mostly happens in M₆₋₃ coal bed, and there is no failure in both coal seam roof and floor; also the orientation of failure in coal seam is not obvious. The practice shows that anatonosis radii in 1# &2# hole is 90 m and 110 m, respectively; the mean influence radius is 100 m. This experiment results can provide a practical experience and technical support for drilling layout optimization and anatonosis in hydraulic fracturing for CBM exploitation.

Keywords

CBM, Hydraulic Fracturing, Microseismic Monitoring Technology

石壕煤矿煤层气水力压裂微地震监测技术及应用

周东平^{1,2}, 姜永东³, 郭坤勇³, 张尚斌², 刘辉³

¹中国人民解放军陆军勤务学院土木工程系, 重庆

²重庆能源投资集团科技公司, 重庆

³重庆大学煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室, 重庆

Email: jiangyd1015@163.com

收稿日期: 2018年3月5日; 录用日期: 2018年3月19日; 发布日期: 2018年3月26日

摘要

论文以重庆市石壕煤矿煤层气水力压裂为依托, 现场压裂7个孔, 其中1#孔的稳定压力19.5 MPa, 压入水量489 m³, 压裂时间670 min, 2#孔的稳定压力为21.8 MPa, 压裂时间430 min, 压入水量251 m³。基于微地震技术, 现场监测了1#、2#孔水力压裂的微地震信号, 通过分析, 得到了水力压裂煤层破裂点的三维损伤定位, 其损伤点主要集中在M₆₋₃煤层, 煤层顶板、底板未发生破裂, 煤层破裂的方向性不明显, 水力压裂1#增渗半径约90 m、2#增渗半径约110 m, 平均影响半径约为100 m, 此次试验结果, 为石壕煤矿煤层气开采水力压裂钻孔优化布置、增渗效果提供参考。

关键词

煤层气, 水力压裂, 微地震监测技术

Copyright © 2018 by authors 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

重庆石壕煤矿地质条件复杂, 瓦斯含量高、压力大、吸附态高, 煤层渗透率极低, 因此开发煤层气需进行储层改造。水力压裂是煤层增渗的有效方法之一, 在国内外得到了广泛的应用[1] [2] [3]。水力压裂使煤体内形成大量的微裂隙和贯通裂隙, 使煤层气快速运移出来, 其压裂效果与煤体原生裂隙、受力状况、强度等因素相关, 学者们普遍认为水力压裂对硬煤的效果较好, 对软煤的作用效果还没有定论。目前, 煤层水力压裂的发展方向以清水、加砂压裂为主, 以重复压裂、多层、薄层控制缝高、端部脱砂、低渗储层深穿透、连续油管压裂、高强低密度支撑剂和低伤害压裂液等技术为前导, 形式上以同步、重复、多级、体积、通道压裂等新概念出现, 通过直井、水平井、羽状井来实现[4]。

监测水力压裂煤层裂缝的长度、宽度、高度、方位角等参数, 是压裂效果评价、压裂工艺和压裂参数优化的关键, 其微地震监测技术是一种常规的、可靠的方法之一[5], 通过监测压裂过程中裂缝扩展产生的微震信号和三维定位, 掌握煤层破裂扩展的方向和空间展布[6] [7], 评价水力压裂的效果。本次利用KJ551微震监测系统对石壕煤矿N1640南瓦斯巷上方的M₆₋₃煤层水力压裂进行了微地震监测, 得到了水力压裂的影响区域, 为该矿煤层气抽采水力压裂布孔优化设计提供了科学依据。

2. 工程概况

石壕煤矿煤层平均煤厚0.67~3.12 m, M₆₋₃煤层、M₇₋₂煤层部分可采, M₈煤层、M₁₂煤层全区可采。煤系地层属缓倾斜地层, 煤岩层平均产状257°~281°∠9°。N1640南瓦斯巷位于矿井北四区+380 m下山水平, 东接N1640皮带转载巷, 巷道以西为石壕煤矿矿界, 南、北面无井巷工程形成, 巷道全长1118.97 m,

底板标高-36.2~+103.8 m, 埋深 567.5~771 m。

本次水力压裂目标煤层为 M_{6-3} 煤层(保护层), 钻孔终孔孔径 $\phi 108$ mm, 设计水力压裂钻孔共 7 个, 孔间距 100 m, 钻孔要求穿过 M_{6-3} 煤层并进入顶板 0.5 m 以上, 压裂钻孔封孔至 M_{6-3} 煤层底板处。其中对 1#、2#水力压裂孔进行了微地震监测。

3. 水力压裂方案

本次水力压裂试验采用重庆水泵厂有限公司与重庆市能源投资集团科技有限责任公司联合研制的 BYW78/400 型压裂泵组与两台南京六合煤矿机械有限公司生产的 BZW200/56 型注水泵进行并联压裂。BYW78/400 型泵的最大压力可达 78 MPa, 最大流量为 $70.5 \text{ m}^3/\text{h}$, 在 33 MPa 压力工况下流量可达 $35 \text{ m}^3/\text{h}$ 。BZW200/56 型注水泵最大输出压力为 56 MPa, 流量为 $12 \text{ m}^3/\text{h}$ 。1#、2#孔水力压裂如下: 1) 1#孔水力压裂最大压力为 20.7 MPa, 最小压力为 17.5 MPa, 稳定压力 19.5 MPa, 压裂时间 670 min, 压入水量 489 m^3 , 压裂过程中无异常现象, 图 1 所示。2) 2#孔水力压裂最大压力 25.1 MPa, 稳定压力 21.8 MPa, 压入水量 251 m^3 , 压裂时间 430 min, 图 2 所示。

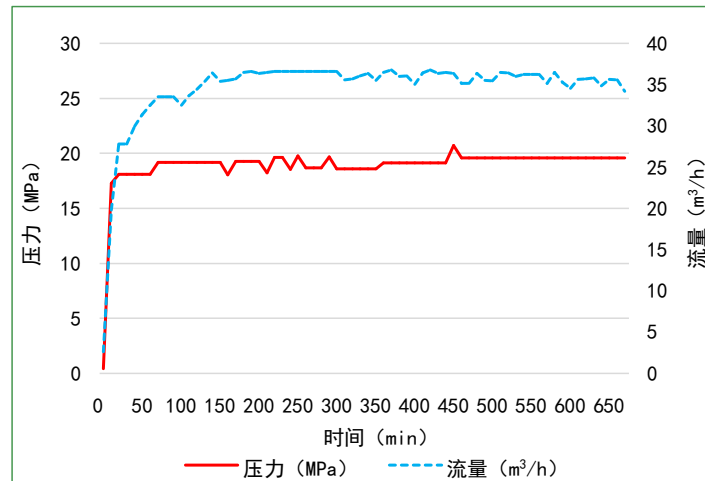


Figure 1. 1# hole hydraulic fracturing curve

图 1. 1#孔水力压裂曲线

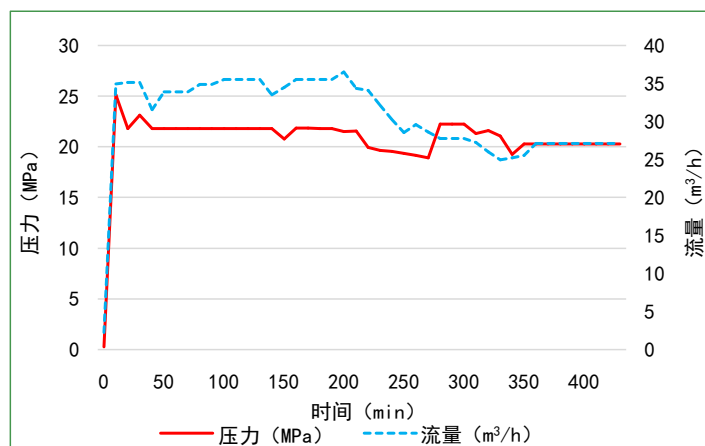


Figure 2. 2# hole hydraulic fracturing curve

图 2. 2#孔水力压裂曲线

4. 微地震监测方案

4.1. 监测设备

此次水力压裂采用 KJ551 煤矿微地震监测系统, 该系统由微地震监测主机、GPS 授时机、监测主站(子)站、UPS 电源、检波器等硬件组成。检波器通过 12 芯铜芯电缆与监测分站连接, 监测分站通过矿井工业环网与地面监测主机连接。

KJ551 系统监测震动能量大于 100 J, 采样率在 10~10,000 Hz, 光传输速度 10 M/100 Mb/s 自适应频率 10 Hz、60 Hz, 灵敏度 28~220 V/m/s \pm 10%, 动态响应范围 0~110 dB。此次监测采样率为 1000 Hz, 门槛值为 32 dB, 布置 6 个监测点, 三分量检波器 4 个, 单分量检波器 2 个。

4.2. 测点布置

在 N1640 南瓦斯巷 1[#]、2[#]压裂孔进行监测, 以压裂孔孔口处为坐标原点(0, 0, 0), 每个水力压裂孔周边布置 6 个检波器, 检波器按照围绕压裂孔成一个圈布置, 同时避免两个检波器三维坐标值相同, 6 个测点形成了一个三维立体的监测空间, 监测点及检波器布置如图 3 所示。检波器安装有锚杆露头处, 锚杆为 $\Phi 22$ mm \times 2000 mm 全长水泥砂浆锚杆, 检波器与锚杆露头连接螺纹 M20 mm \times 1.5 mm。

4.3. 岩体波速测定

为了提高定位精度, 获取岩层的地震波传播速度, 采用 JL-IUCA6(A)非金属超声波检测仪对巷道围岩进行纵波速度检测。波速测试钻孔孔径 42 mm, 孔间距 3 m, 孔深 5 m, 三孔在一个平面上, 钻孔水平略微向下倾斜, 通过测试, 岩体纵波波速平均值为 4630 m/s。

5. 监测结果分析

5.1. 微震信号

水力压裂采集到的微震信号图 4 所示, 从图中可以看出: 水力压裂煤层破裂释放出的能量信号明显, 能量越大振幅越大, 持续时间越长; 同一信号, 由于测点的位置不同, 接收到的时间各不同, 距离煤层破裂点越远, 信号衰减振幅减小。

5.2. 定位结果及分析

对采集到的破裂信号进行处理, 首先针对不同检波器采集到的信号对其进行到时确定, 然后对其进行到时排序, 根据采集到的信号时间差与各检波器的位置建立方程组, 应用软件求解, 可确定煤层破裂点的三维坐标。

通过对整个压裂监测数据的自动拾取、人机交互检查, 1[#]水力压裂孔获得微地震事件 13 个, 2[#]水力压裂孔获得微地震事件 18 个, 通过对获取的微地震事件定位分析, 得到微地震定位结果如图 5、图 6 所示, 分别为微震定位结果在 XY 平面和三维空间上的投影图。

图 6 中红色点位为检波器布置点, 蓝色点位为 M_{6-3} 煤层破裂点, 从图 5、图 6 中可以看出, 微震事件的分布范围在以压裂孔为中心, 微震定位点分布较分散, 破裂点主要集中在煤层位置。1[#]水力压裂煤层破裂半径约 90 m、2[#]水力压裂煤层破裂半径约 110 m, 其水力压裂影响半径约 100 m。水力压裂煤层发生了破裂, 但破裂的主方向不明显。

6. 结论

- 1) 水力压裂微地震监测表明, 煤层破裂点主要集中在 M_{6-3} 煤层, 1[#]水力压裂煤层破裂点距压裂孔最

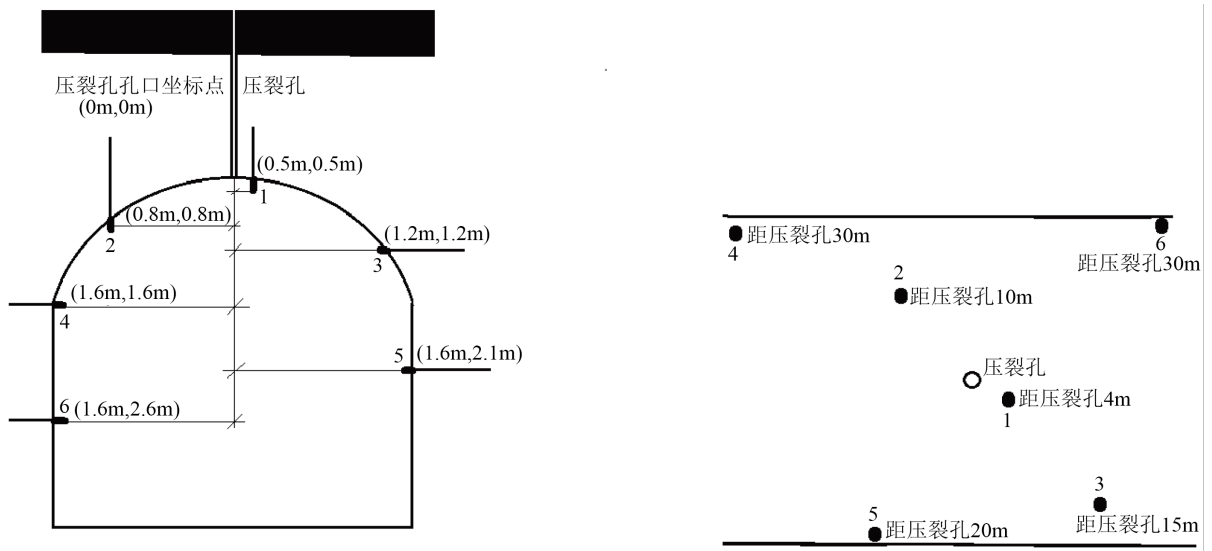


Figure 3. Layout map of hydraulic fracturing microseismic wave collector
图 3. 水力压裂微地震检波器测点布置图

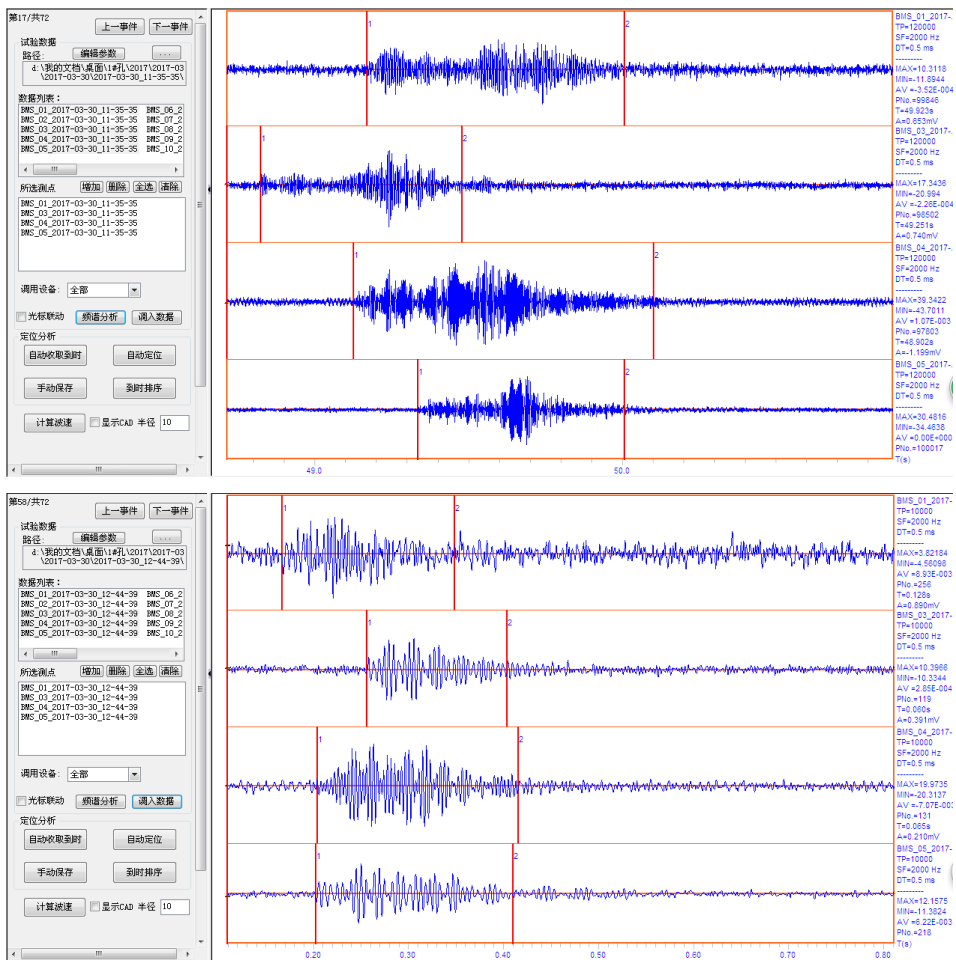


Figure 4. Microseismic signal of fracture of coal seam
图 4. 煤层破裂微地震信号

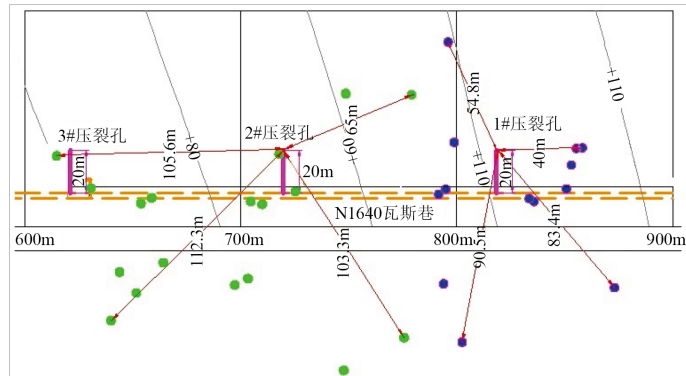
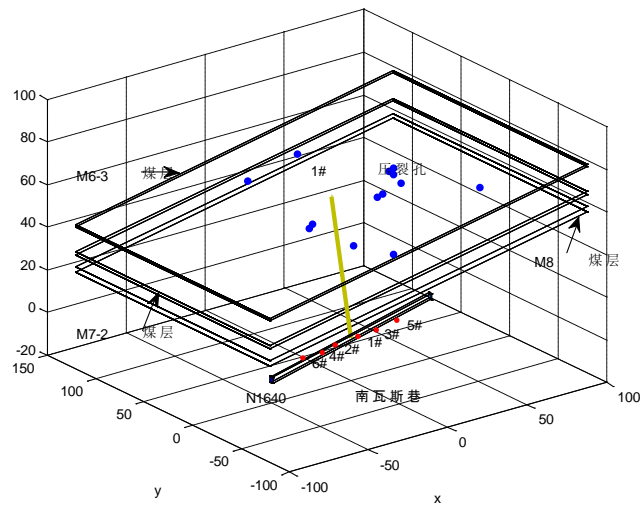


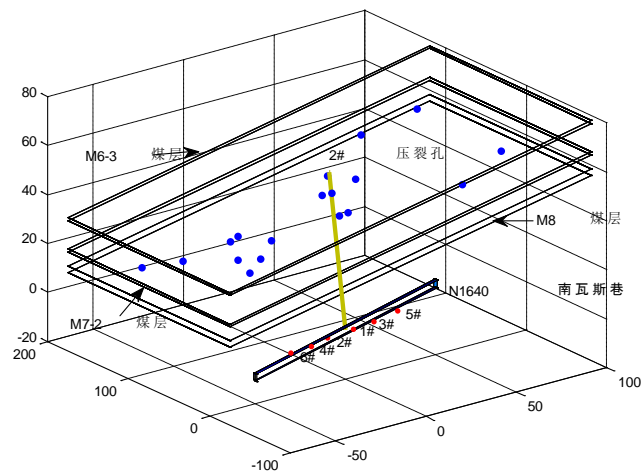
Figure 5. Plane location map of fracture point of 1# and 2# hydraulic fractured coal seam (XY plane)

图 5. 1#、2#水力压裂煤层破裂点平面定位图(XY 平面)



(a) fracture point and 3D location map of hydraulic fractured coal seam in 1# hole

(a) 1#孔水力压裂煤层破裂点及三维定位图



(b) fracture point and 3D location map of hydraulic fractured coal seam in 2# hole

(b) 2#孔水力压裂煤层破裂点及三维定位图

Figure 6. 3D location map of fracture point of hydraulic fracturing coal seam (unit: m)

图 6. 水力压裂煤层破裂点三维定位图(单位: 米)

大 90 m, 2[#]水力压裂煤层破裂点距压裂孔最大 110 m, 初步确定该矿的水力压裂影响半径约 100 m。

2) 水力压裂稳压过程中, 煤层破裂与扩展向压裂孔周边延伸, 由于水力压裂煤层破裂能量较小, 煤层破裂的主方向不明显, 监测结果可作为石壕煤矿水力压裂孔间距的设计提供参考。

基金项目

重庆市科委杰出青年基金(cstc2014jcyj90002), 国家自然科学基金面上项目(51574049), 中央高校项目(106112017CDJPT240001)。

参考文献

- [1] 潘绍允, 王联, 程云才, 等. 水力压裂技术在无保护层低渗透率单一煤层增透中的应用[J]. 煤矿现代化, 2016(6): 14-15.
- [2] 梁北援, 沈琛, 冷传波, 等. 微地震压裂监测技术研发进展[J]. 地球物理学进展, 2015(1): 6-10.
- [3] 刘建中, 唐春华, 左建军. 微地震监测技术发展方向及应用[J]. 中国工程科学, 2013(10): 22-27.
- [4] 孙明闯, 白新华. 煤储层水力压裂技术新进展[J]. 中国煤层气, 2013, 10(1): 31-34.
- [5] 秦鸿刚. 寺河矿地面水力压裂裂缝扩展井地联合微震监测技术[J]. 煤炭技术, 2016(8): 132-134.
- [6] 崔庆辉. 水力压裂微地震监测质量监控方法研究[J]. 天然气与石油, 2016, 34(5): 41-44, 49.
- [7] 段银鹿, 李倩, 姚韦萍. 水力压裂微地震裂缝监测技术及其应用[J]. 断块油气田, 2013, 20(5): 644-648.

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: 2164-5639, 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: apf@hanspub.org