

doi: 10.6053/j.issn.1001-1412.2019.01.012

微地震技术评价中牟区块体积压裂的效果

刘家橙^{1,2}, 刘家橘^{1,2}, 王晓燕³, 刘冲^{1,2}

(1. 河南省地质调查院, 郑州 450001;

2. 地下清洁能源勘查开发产业技术创新战略联盟, 郑州 450001;

3. 河南省地质矿产勘查开发局第二地质矿产调查院, 郑州 450001)

摘要: 微地震监测技术是页岩气开采过程中对页岩气储层压裂效果评价和指导压裂过程的重要手段, 可通过观察、分析压裂过程中诱发微地震事件, 获取压裂裂缝参数、导流能力、裂缝展布发育方向等信息。中牟区块牟页1井具有低孔、低渗储层特征, 对含气层段的三层储层, 采用大排量水力压裂施工, 进行地面微地震监测、井中微破裂成像技术压裂监测及微地震监测; 牟页1井监测压裂结果显示为缝长251~496 m, 缝宽120~252 m, 改造体积约为 $237.5 \times 10^4 \sim 387.7 \times 10^4 \text{ m}^3$, 方位角 $64^\circ \sim 80^\circ$ 。压裂实施使储层裂缝开启含气层段得到改造, 指导了实时压裂和压裂效果评价。

关键词: 中牟区块; 牟页1井; 体积压裂; 微地震监测技术; 河南省

中图分类号: P631.4 **文献标识码:** A

0 引言

随着油气资源需求的不断增长, 常规油气藏越来越少, 非常规油气藏, 特别是页岩油气的勘探越来越受到重视。微地震裂缝监测技术在焦页48-2HF井和焦页48-3HF涪陵页岩气田得到应用, 为下一步压裂和试气方案调整、气藏工程参数评价提供更加可靠地依据^[1]。

微地震监测是以地震学及声发射学基础上, 通过对监测、分析液体压裂过程中产生的微地震事件获得水力裂缝的准确走向、以及裂缝的空间形状、长宽等数据, 给出水力裂缝带中流体通道的状态的地球物理技术^[2]。微地震监测技术主要包括数据采集处理、微震事件定位和地震反射层成像反演等几个步骤。通过微地震监测技术识别人工压裂改造缝特点, 进行井中或地面监测实施, 能客观评价压裂的效

果, 降低了储层改造周期和费用^[3]。

2012年以来国土资源部举行的第二轮页岩气探矿权招标中, 河南省地质调查院等获得了河南中牟、河南温县两个页岩气勘查区块探矿权。中牟区块位于河南省中部郑州市以东, 开封市以西的区域, 主要针对石炭-二叠系海陆过渡相页岩气层系进行勘探, 牟页1井为组织实施的河南省内第一口页岩气探井(图1)^[4]; 工作中对该井太原组、山西组143 m厚的含气层段分三段进行分压合采地面微地震监测, 获得了较稳定的天然气气流—— $1\,256 \text{ m}^3/\text{d}$, 实现了我国北方海陆过渡相地区页岩气勘探的重大发现。

1 牟页1井压裂背景

根据二维地震、钻井等资料, 中牟区块太原组、山西组含气储层现今埋深多在2 000 m—9 000 m

收稿日期: 2017-10-26; 改回日期: 2018-05-25; 责任编辑: 王传泰

基金项目: 国土资源部第二轮页岩气探矿权项目“河南中牟页岩气勘查(编号:GT2012YQTKQCR0020)”、河南省重大科技专项项目“河南页岩气勘查开发及示范应用研究(编号:151100311000)”、河南省国土资源厅科技攻关项目“河南省平原区晚古生代页岩气层岩相古地理研究”(编号:2015-1992-20)联合资助。

作者简介: 刘家橙(1987—), 男, 大学本科毕业, 地质工程专业, 从事页岩气勘探研究及GIS工作。通信地址: 郑州市高新区科学大道与雪松路交叉口地质科技大厦81号, 河南省地质调查院; 邮政编码: 450001; E-mail: 1633908523@QQ.com

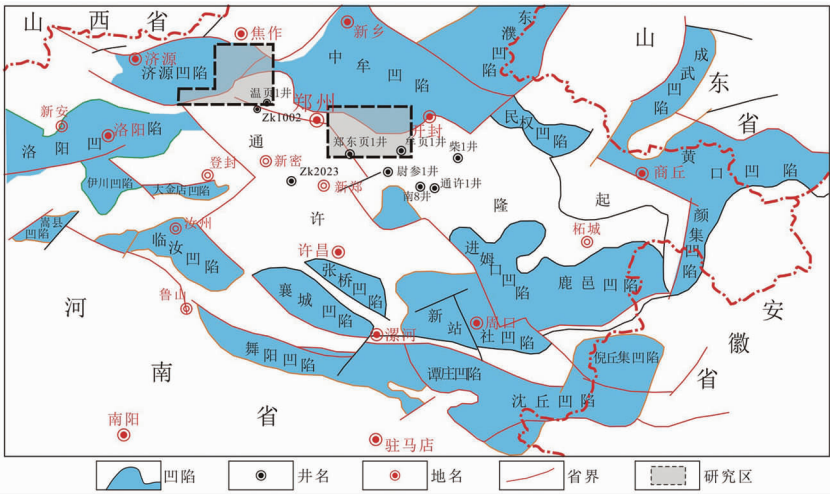


图 1 河南中牟页岩气区块构造背景及地理位置^[4]

Fig. 1 Tectonic background and location map of Zhongmu shale gas block in Henan province

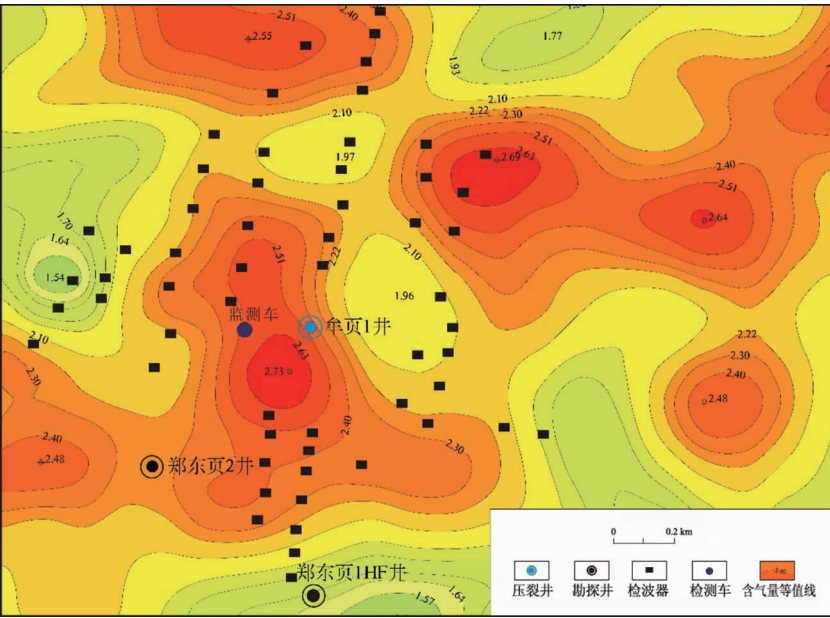


图 2 中牟区块太原组含气量等值线及井位位置图

Fig. 2 Gas volume contours and well location map in Taiyuan Formation of Zhongmou block

之间。山西组石英含量平均近 30%，太原组石英含量平均 37%；山西组黏土矿物以伊利石、高岭石为主，太原组黏土矿物以伊利石、高岭石和伊蒙混层为主^[5-7]。

录井资料显示，在中牟 1 井中的山西组上部（2 802.0~2 832.20 m）平均含气量为 1.29 m³/t，山西组下部（2 832.20~2 895.50 m）平均含气量为 2.01 m³/t，太原组中部（2 913.08~2 960.00m）平均含气量为 2.38 m³/t（图 2）；储层中的含气量由顶

到底呈现出逐渐升高的趋势。山西组含气页岩层段的孔隙度分布范围在 0.3%~8.8%，平均为 2.3%；渗透率分布在 23×10⁻⁶~0.92 mD，平均为 0.045 mD。太原组含气页岩层段的孔隙度分布范围在 0.4%~4.5%，平均为 2.1%；渗透率分布在 1.21×10⁻⁶~0.11 mD，平均为 7.48×10⁻³ mD。山西组、太原组主要含气层段岩石杨氏模量 20~45 GPa 之间^[6-8]。

综上，山西组、太原组属岩石组成矿物复杂、埋

藏深、低孔低渗、非均质性强等特点的储层。

2 压裂及微地震监测评价

2.1 牟页 1 井第 1 段压裂情况

通过对牟页 1 井含气性、储层物性及岩石组成矿物等特征的综合分析研究,该井进行储层改造采用分段加砂压裂,以便为储层内有效沟通缝长,提高高压开程度。2014 年 12 月 30 日 14:25 时进行第一段压裂。由于滑溜水携砂是在高排量下旋进地层而非靠粘度携进地层,当排量 $9.15 \text{ m}^3/\text{min}$ 时其压力达到 63.5 MPa ,井口限压 70.0 MPa ,排量提高受限;当浓度为 50.0 kg/m^3 以上、压力上升到 68.0 MPa 时,停止压裂作业。

地面监测的裂缝开启及压裂过程情况如图 3 所述。从图 3 中不难看出,射孔顶底板均为高应力区域,裂缝高度、宽度扩展较为困难;由于储层联通性差,压力扩散较慢,造成压裂施工压力较高,加砂困难。根据地面监测显示,裂缝呈现出井口南北两支裂缝,且走向均为 EW 向,压裂改造所致裂缝并未沟通地层西部断层,即北部裂缝长 310.0 m 、 70° 方位南部裂缝长 225.0 m ,间距 155.0 m 。分析表明,压裂改造时有多条裂缝形成,造成压裂液大量滤失,排量低,所注入的液体量小于滤失量,造缝效果降低,加砂过程中易脱砂造成压力高、形成砂堵。根据

微地震监测显示,对牟页 1 井原压裂施工泵注程序进行优化,调整压裂液体系,提高携砂性能,补射射孔等手段降低施工难度,增加施工成功率。

2.2 牟页 1 井调整后压裂状况

结合第一段压裂施工情况,在第二次压裂施工前对压裂泵注程序进行调整,2015 年 1 月进行压裂施工;观测了不同时间施工参数的变化和微地震发生能量响应关系,图 4 为监测能量响应平均值曲线(红色)与压裂曲线(黑色)对比关系图。图 4 中阶段①,压裂泵注首先是前处理酸,处理井筒与地层的沟通性,能量响应波动起伏不大;阶段②,随着排量加大、支撑剂顶入地层后压力略有降低,随后压力稳定起伏;阶段③,砂浓度稳定起伏注入地层,压力有所上升且说明裂缝人工或天然裂缝在改造过程中有延伸,并随着排量、压力稳定起伏,监测能量响应起伏变化明显表明断层开始激活,以及伴有多个微地质事件发生;阶段④,砂浓度连续增加,能量响应起伏较大说明造缝过程极有可能与天然缝沟通。通过连续观察,能量起伏连续起伏较大,压力平稳,说明裂缝在改造过程中有延伸,而砂浓度连续增加说明可能与天然裂缝进行沟通^[9-12]。施工的压裂曲线观测结果、能量响应明显地表明其中包含了多个微地震事件,断层附近的微裂缝开始反应、激活和沟通状态;前期裂缝正常延伸,其缝长、逢高同时增长,而后期缝高、缝长增长缓慢,缝宽逐渐增加。施工压力比较平稳,整个施工无异常,顺利完成压裂改造。

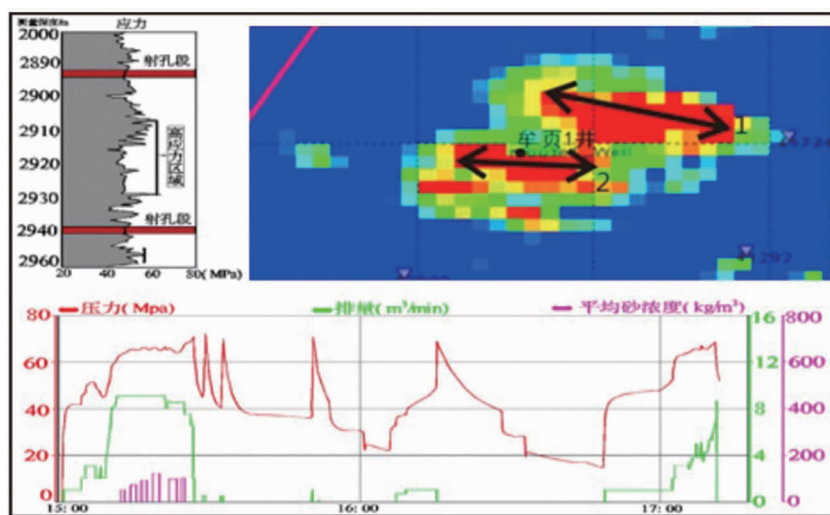


图 3 牟页 1 井压裂第一段第一次施工曲线与微地震监测图

Fig. 3 The first operation curve of the first pressure fracturing stage and the micro-seismic monitoring map in Mouye No. 1 well

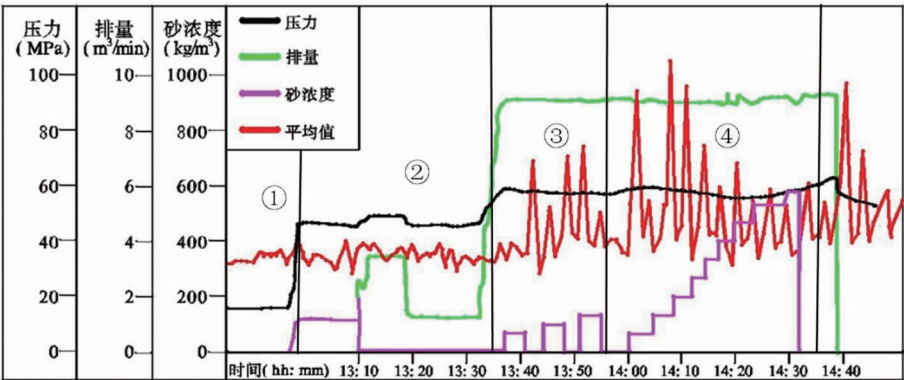


图 4 监测能量响应平均值曲线(红色)与压裂曲线(黑色)对比
Fig. 4 The monitored energy response mean curve (red line) versus the fracturing curve (black line)

地面微地震检测系统数据处理结果表明,牟页 1 井第 1 段第 2 次压裂改造裂缝与井筒的连通性较好,走向为 74° 方位,微地震检测解释裂缝东北部裂缝半长 248 m,裂缝宽 252.0 m, $SRV=313.3 \times 10^4 \text{ m}^3$ (图 5)。

2.3 监测压裂改造效果

牟页 1 井压裂过程实施地面微地震监测效果 (表 1),根据压裂监测显示主裂缝延伸方向为 64° — 80° ,与测井分析最大水平主应力方向 60° 基本一致,压裂均有主裂缝显示,并见到明显的裂缝网格,表名

压裂过程中通过主裂缝尽可能沟通储层微裂缝,对储层得到改造,并达到了一定的裂缝规模。

3 结语

(1)本次压裂施工首先在时间域内准确确定了压裂裂缝启裂与延伸,实时解释并描述出压裂裂缝位置、方位、长度等空间三维几何形状,给出压裂裂缝缝长及范围,计算出压裂裂缝有效体积。

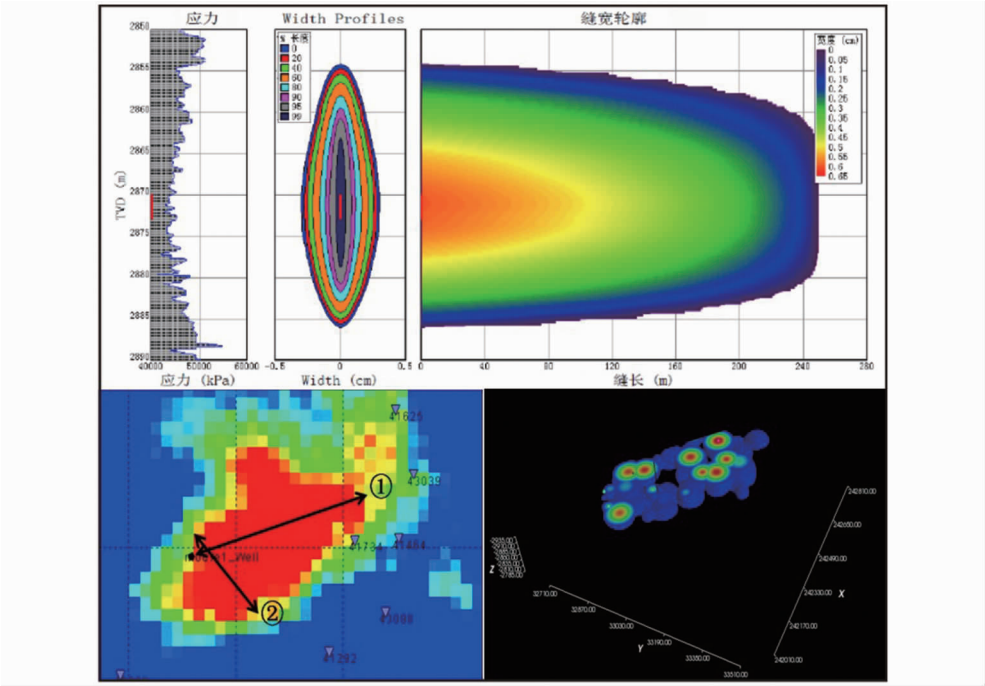


图 5 微地震监测第 1 段第二次裂缝形态及压裂改造体积图
Fig. 5 Map showing the micro-seismic monitored morphology and reworked volume of scond fracturing stage

表 1 微地震监测各段改造数据统计

Table 1 Microseismic monitored rework data statistics of various sections

段数	裂缝方位/(°)	主裂缝缝长/m	裂缝宽度/m	裂缝体积/m ³
第 1 段第 1 次	290	310	/	313.30×10 ⁴
第 1 段第 2 次	286	496	252	
第 2 段改造	280	251	120	237.50×10 ⁴
第 3 段改造	296	378	210	387.70×10 ⁴

(2) 牟页 1 井三层储层压裂监测结果, 人工造缝延伸方向 60° 缝总长度 1.43 km、宽 582 m、改造体积 $938.5 \times 10^4 \text{ m}^3$, 达到设计要求。对太原组、山西组压裂试气, 取得了日产 1 256 立方米的页岩气重大发现, 也客观反应了对压裂改造监测结果是有效的。

(3) 在中牟区块页岩气水力压裂监测中, 在无法满足井中或邻井监测条件时, 地面监测是可行的, 成像结果显示客观的满足裂缝监测的要求。如果采用地面大阵列分布或者井中的监测方法, 效果或者更可靠, 信号更直接, 能够进一步提高监测效果。

致谢: 感谢河南省地质调查院邱庆伦主任提出的建设性修改意见; 另外袁青松、安西峰、张驰、王鹏等参加了野外工作。

参考文献:

- [1] 王振兴. 井中微地震监测技术在涪陵页岩气田首次应用[J]. 汉江石油科技, 2015(1): 25-26.
- [2] 钟尉, 朱思宇. 地面微地震监测技术在川南页岩气井压力中的应用[J]. 油气藏评价与开发, 2014, 12(26): 72-74.

- [3] 王纳申, 张译丹, 黄家旋, 等. 用微地震技术评价姬塬油田体积压裂的效果[J]. 物探与化探, 2017, 41(1): 166-170.
- [4] 邱庆伦, 张古彬, 冯辉, 等. 河南中牟区块页岩气特征及勘探前景分析[J]. 地质找矿论丛, 2018, 33(1): 70-75.
- [5] 邱庆伦, 张木辰, 李中明, 等. 牟页 1 井海陆过渡相页岩气压裂试气效果分析[J]. 石油地质与工程, 2017, 31(2): 112-116.
- [6] 李中明, 张栋, 张古彬, 等. 豫西地区海陆过渡相含气页岩层系优选方法及有利区预测[J]. 地学前缘, 2016, 23(2): 1-9.
- [7] 张金川, 薛会, 张德明, 等. 页岩气及其成藏机理[J]. 现代地质, 2003, 17(4): 466.
- [8] 周庆华, 宋宁, 王成章, 等. 湖南花垣页岩气区块地质评价与勘探展望[J]. 天然气地球科学, 2014, 25(1): 130-140.
- [9] 林景禹, 李学义, 等. 河南中牟页岩气勘查牟页 1 井直井射孔压裂排采测试施工设计[R]. 郑州: 深圳市百勤石油技术有限公司, 2014: 16-27.
- [10] 丁建锁, 冯彩琴, 等. 河南中牟页岩气勘查牟页 1 井直井射孔压裂排采测试施成果报告[R]. 郑州: 深圳市百勤石油技术有限公司, 2014: 11-20.
- [11] 彭维军, 张生贵, 吴长江, 等. 牟页 1 井压裂地面微地震裂缝监测成果报告[R]. 郑州: 中石化石油工程地球物理有限公司, 2015: 2-4.
- [12] 容娇君, 李彦鹏, 徐刚, 等. 微地震裂缝检测技术应用实例[J]. 石油地球物理勘探, 2015, 50(5): 920-924.

Micro-seismic technique evaluation of the effect of volumetric fracturing in Zhongmou area

LIU Jiacheng^{1,2}, LIU Jiaju^{1,2}, WANG Xiaoyan³, LIU Chong^{1,2}

(1. Henan provincial institute of geological survey, Zhengzhou 450001, China;

2. Innovation Strategy Alliance of Underground Clean Energy Exploration and Development, Zhengzhou 450001, China;

3. The second geological and mineral survey institute of Henan bureau of Geological & Mineral Resources Exploration, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Microseismic monitoring technology is an important means to evaluate the fracturing effect of shale gas reservoirs and to guide the fracturing process. By observing and analyzing the microseismic events induced in the fracturing process, the fracturing parameters, conductivity, the development azimuth of the fractures and other information are obtained. The Mouye No. 1 well in the reservoir area of Zhongmou block has the following characteristics; low porosity and low permeability. The three layer reservoir of gas zone is conducted large volume hydraulic fracturing operation and the fracturing was monitored with micro-seismic technique at the ground surface and the micro-fracture imaging technique and micro-seismic technique in the well. The result is that the fracture is 251~496 m long and 120~252 m wide, the reworked volume is about 237.5~387.7 million m³, azimuth is 64°~80°. Implement of the hydraulic fracturing opens fractures in reservoir and reworks the gas zone so as to guide the real-time fracturing and evaluate fracturing effects.

Key Words: Zhongmou block; Mouye No. 1 well; volume fracturing; microseismic monitoring technology; Henan province