

# 德顺矿坚硬顶板定向水力压裂技术应用研究

杜长荣 (山西吕梁西山德威矿业管理有限公司, 山西 吕梁 033000)

**摘要:** 德顺矿为解决 11103 工作面顶板坚硬难垮难落的问题, 根据现场围岩地质力学特征, 决定采用定向水力压裂来控制坚硬难垮顶板的井下试验。并采用 abaqus 数值模拟软件对不同应力差下的岩石起裂偏转角、裂缝起裂宽度、裂缝内部液体流速的变化规律进行模拟研究, 研究发现随着应力差逐渐增强, 液体流速及裂缝宽度均呈现下降的趋势, 裂缝偏转角也随之不断增加, 实践达到良好的效果, 顶板依次分层垮落。

**关键词:** 坚硬顶板; 定向水力压裂; 数值模拟; 裂缝宽度

随着矿井开采深度的增大, 煤层的开采重点逐步向埋藏较大的煤层转移, 地质赋存条件较复杂的煤层转移。地质条件复杂的煤层较多是顶板坚硬, 难垮落的坚硬岩层, 对综采工作面的采掘造成严重影响。德顺煤业针对 11103 综采工作面坚硬顶板难垮落问题, 伴随着开采深度的增大, 巷道形成悬顶, 当悬顶无法承载自身重力后会出现垮落现象, 此时会造成冲击力较大的冲击地压, 所以为了降低冲击灾害, 在巷道中布置煤柱, 用于支撑巷道变形, 但留煤柱会造成矿井资源浪费严重, 所以为了降低矿井资源浪费率, 所以加强对坚硬顶板的治理非常关键。

## 1 矿井概况

德顺矿位于山西吕梁市孝义市驿马乡, 井田面积 4.36km<sup>2</sup>, 设计生产能力 60 万 t/a。11103 综采工作面现在主要开采 10<sup>#</sup>、11<sup>#</sup> 煤层, 采用的是综采放顶煤采煤工艺。10<sup>#</sup> 煤层的工作面进行开切眼布置时, 由于顶板岩性为砂岩等坚硬岩性, 导致工作面覆岩出现大面积的悬顶, 为解决坚硬顶板难垮难落的问题, 决定采用定向水力压裂来控制坚硬难垮顶板的井下试验。

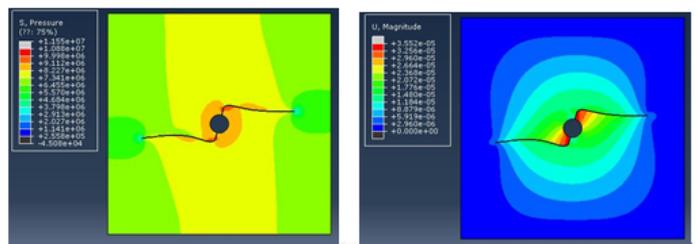
并采用 abaqus 数值模拟软件对试验进行模拟研究, 首先进行数值模拟件建立, 在进行设置模拟建立, 模型的尺寸初步设定为 300mm\*300mm, 同时在模型的中心留设 25mm 的圆, 完成模型的初步设计后对模型的网格进行划分, 在模型进行划分时选定四边形网格划分, 同时为了保证模拟的精度符合计算要求, 所以在模型中心部位细化分, 划分完网格后对模型的物理参数进行设置具体设定情况如下所述, 模型的弹性模量设定为 1.5E+10, 模型的泊松比为 0.25, 对模型进行注液, 注液速度设定为 40mL/min, 为了研究不同应力差下的模型变形, 设定最大主应力: 7MPa 最小主应力 3MPa, 流体泄露顶底系数均设定为 -1E-012, 损伤粘性系数设定为 0.0001, 间隙流粘性 0.001, 渗透性 K 设定为 1E-006, 0.1。完成物理参数设定后对模型的边界进行约束, 在模型四周施加固定约束, 防止模型移动。

## 2 工程实践及数值模拟研究

以德顺煤业 10<sup>#</sup> 煤层的 11103 综采工作面为试验工作面, 煤层平均厚度 2.53m, 平均倾角 4°。首先对应力差下, 砂岩的应力云图进行分析, 选定应力差环境分别为选定 2MPa、3MPa、4MPa 和 5MPa, 2MPa 的模拟结果如图 1 所示。

由图 1 可知, 水力压裂分为起裂、偏转、扩展三个阶段。

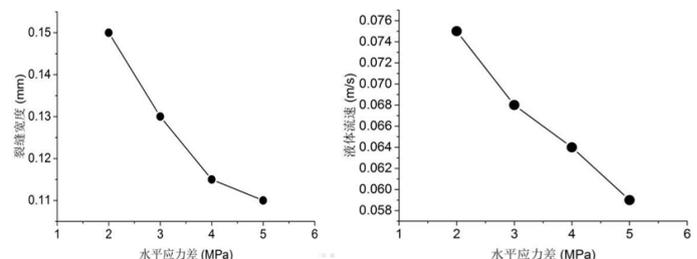
第一阶段起裂: 当注液压力大于岩石的起裂压裂时, 此时的岩石沿着预制裂缝方向起裂; 第二阶段偏转: 为岩石起裂后受到水平应力差的影响出现裂缝的偏转现象; 第三阶段扩展: 当偏转完成后裂缝沿着最大主应力方向发生扩展。这是随着不断向钻孔内部注入压裂液, 钻孔内部的能量不断增大, 当钻孔内部的能量大于钻孔起裂所需的能量时, 钻孔发生起裂, 起裂瞬间由于能量瞬间释放, 此时起裂裂缝会沿着预制尖端扩展一定的长度, 后随着水平应力差的作用, 裂缝出现偏转, 偏转至沿最大主应力方向, 随着压裂液的继续注入此时的裂缝沿着最大主应力方向持续发生扩展, 完成水力压裂的整个过程。



(a) 应力云图 (b) 应变云图

图 1 模型计算云图

从图中可知最大变量及起裂压力均出现在钻孔壁附近, 且应力及应变云图呈现出对称的趋势。对模型预制尖端起裂单元进行分析, 对其在不同水平应力差下的裂缝宽度、压裂液流速进行对比研究。不同应力差下压裂参数变化图如图 2 所示。



(a) 不同应力差下裂缝宽度变化图 (b) 液体流速变化图

图 2 不同应力差下压裂参数变化图

由图 2 可知, 当水平应力差为 2MPa 时, 此时尖端单元的裂缝宽度为 0.15mm, 当水平应力差增大至 3MPa 时, 此时的模型的预制尖端裂缝宽度为 0.13mm, 裂缝宽度降低了 15.41%, 随着水平应力差提升至 4MPa (下转第 124 页)

才能发挥出超声导波技术的作用效果<sup>[4]</sup>。

当导波模态作用于弯头、焊缝、法兰、支座、三通管段的特征和裂纹、腐蚀等缺陷的灵敏度表现不同,单一模态导波无法达到预期的检测效果。为此,Teletest Focus<sup>+</sup>系统结合L(0,2)与T(0,1)模态波进行管道的聚焦扫描检测,在提升天然气管道缺陷检出率的同时,还降低了伪缺陷误判率。

经对实际应用超声导波检测技术结果的分析,与已知管道特征相比,T模态波27kHz下的扫描数据对管道特征识别度较高,如图1所示。

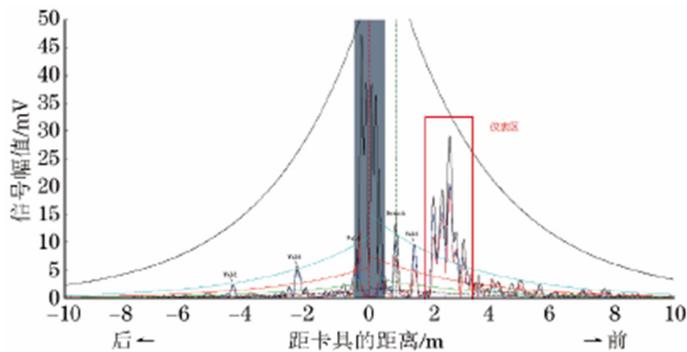


图1 超声波检测数据分析

图中所示检测管段未发现腐蚀缺陷问题,开挖检测也未发现缺陷。这表明,超声导波检测结果与开挖检测结果一致。验证了此检测技术能够在天然气埋地管道检测中发

挥出预期作用。

但在利用不同纵波传感器检测间距过程中,Teletest Focus<sup>+</sup>系统应 genuine 管道壁厚与管径,并以自动选择状态对频率进行扫查,以提高数据检测的准确性。此过程,应遵循导波输出量高院长,在降低模态数据分析难度的同时,还为减少分析误判提供了重要依据<sup>[5]</sup>。

#### 4 结束语

综上所述,超声导波在天然气管道检测工作中的合理运用,需从作用原理与模态分析入手,来使实际检测操作起到事半功倍的作用。

#### 参考文献:

- [1] 陈仕琳,杨庆喜,汪亮,宋云涛.小径管超声导波检测有效检测距离研究[J].真空科学与技术学报,2020,40(12):1191-1196.
- [2] 李志农,淦文建,龙盛蓉,黄永跃.磁致伸缩超声导波检测的研究进展[J].南昌航空大学学报(自然科学版),2020,34(03):18-24-33.
- [3] 张亚西,桂宗涛.基于超声导波技术在场站管道检测中的应用[J].信息记录材料,2020,21(02):112-113.
- [4] 费凡,王彦军,邱鑫,孙仕彬.输气站场工艺管道超声导波信号对比研究[J].浙江化工,2020,51(01):46-49.
- [5] 李强林,周丹,耿国军.输气场站埋地管道检测与维修分析[J].石油工程建设,2019,45(01):84-87.

(上接第122页)时,此时裂缝起裂的宽度为0.115,降低了13.04%,当水平应力差增大至5MPa时,此时的裂缝宽度最小为0.11mm,降低了4.54%。从以上分析可以得出,应力差增大,此时起裂的裂缝宽度呈现减小的趋势,这是由裂缝宽度与起裂压力有着直接关系,起裂压力越大,岩石内部压力能量的聚集越明显,起裂瞬间释放的能量越多,此时裂缝的宽度也就越大。

当水平应力差为2MPa时,此时裂缝内部液体的流速为0.075m/s,当水平应力差增大至3MPa时,裂缝内部液体的流速增大为0.068m/s,对比应力差2MPa时液体流速下降幅度为10.29%,应力差提升至4MPa时,液体流速为0.064m/s,较3MPa降低了6.25%,应力差增大至5MPa时,液体流速最小为0.059m/s。从以上分析可以得出,应力差越大,此时岩石内部流体的流动速度与裂缝宽度对的增加趋势类似,同样是由于应力差的增大,使得岩石的起裂压力减小,造成岩石内部的压力能量减小,此时岩石起裂瞬间,应力能释放的少,使得裂缝内部的流速呈现减小的趋势。

同样的对不同应力差下岩石偏转角进行分析,应力差为2MPa时此时的岩石偏转角最小仅为5.2°;应力差增大到3MPa时,偏转角增大到10.5°,应力差继续增大至4MPa,偏转角也增大至16.2°,应力差5MPa时,偏转角为四种应力差下的最大值22.8°。同样的可以得出偏转角

与应力差的变化有着直接关系,当应力差增大,岩石起裂瞬间最大主应力对岩石起裂的影响效果增大,岩石起裂会沿着容易发生起裂的方向,造成岩石偏转角增大。

随着设定的水平应力差增大,砂岩的起裂压力逐步减小,起裂瞬间释放的能量减小,此时岩石起裂的裂缝的宽度及岩石内部流体的流速降低。同时水平应力差越大,应力差对岩石的起裂促进作用越强,预制尖端对起裂的导向作用越低,岩石的起裂偏转角越大,当水平应力差增大到一定程度时,此时的预制裂缝对岩石起裂的指导作用消失,岩石沿着钻孔壁起裂,达到分层开裂的效果。

#### 3 结论

本文通过数值模拟软件对砂岩定向水力压裂进行研究,发现定向水力压裂过程可分为起裂、偏转、扩展三个阶段。abaqus数值模拟对不同应力差下岩石起裂参数进行研究发现,随着应力差的增大,岩石起裂的裂缝宽度及液体流速均呈现下降的趋势。模拟研究发现,随着水平应力差的增大,水平应力差对岩石起裂的约束作用增大,岩石的起裂偏转角逐步增大,实现岩层的分层开裂。

#### 参考文献:

- [1] 董尚根,贾飞飞,刘成威.定向水力压裂弱化坚硬顶板技术研究[J].煤炭技术,2015(04):7-9.
- [2] 冯亮亮.古书院煤矿坚硬顶板定向水力压裂技术应用研究[J].西部探矿工程,2020,v.32;No.286(02):121-124.