

# 复杂构造环境下京 253 井人工裂缝监测

赵新红, 车航, 罗炯

(华北油田公司井筒设计中心, 河北任丘 062552)

[摘要] 京 253 井位于华北油田京 11 断块上, 人工裂缝方位、形态同时受到应力、构造、介质间断面影响, 又进行了喷砂射孔, 影响因素复杂。初始人工裂缝方位为北北东向, 偏离区域最大水平主应力方向, 区域最大水平主应力方向约为北东  $60^\circ$ , 随后发生转向, 趋于最大水平主应力方向及等高线法向方向。近井沿喷砂射孔方向也存在明显的微地震排列痕迹, 研究京 253 井人工裂缝方位、形态具有典型意义。

[关键词] 微地震监测; 水力喷砂; 断层

[中图分类号] TE3; P315 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2012)04-0012-04

## 1 前言

2012 年 2 月 14 日, 在华北油田对京 253 井的水力压裂过程进行了微地震裂缝监测。京 253 井位于华北油田京 11 断块上。如图 1 所示, 压裂井段南邻

一个北东东走向的倾滑断层, 监测井附近等高线急剧变化。压裂一层, 监测层位于沙河街组沙四段, 井段 1 278.0 ~ 1 299.8 m, 垂深 1 288.9 m。京 253 井位置、环境特殊, 邻近断层, 位于断层上盘; 等高线两侧应该是不同时代的地层, 是介质力学性质连续

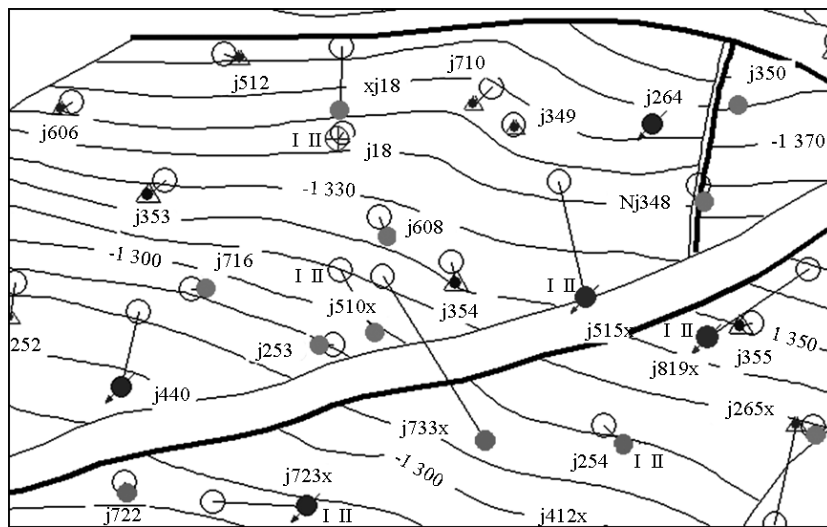


图 1 京 253 井所处的构造位置

Fig. 1 Geological structure map of Well J-253

[收稿日期] 2012-03-14

[作者简介] 赵新红(1960—), 男, 云南丽江市人, 高级工程师, 主要从事油田气开发、压裂酸化技术研究工作;

E-mail: eyy\_zhaoxh@petrochina.com.cn

变化的位置,这影响了人工裂缝方位、形态。压裂前所进行的喷砂射孔,也会影响人工裂缝方位、形态。

## 2 人工裂缝监测结果

京 253 井微地震监测结果俯视图如图 2 所示,近井裂缝北北东走向,远井出现右旋。井口附近存在北西向、北东向、北北东向裂缝。图 2 向上是正北方向,向右是正东方向,格值 100 m,实心圆点为监测到的微地震,用微地震排列、分布表示人工裂缝方位、长度、形态。

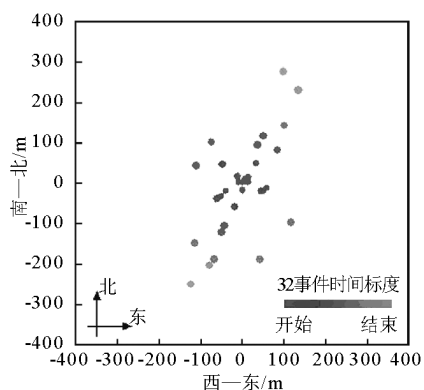


图 2 京 253 井微地震监测结果俯视图

Fig. 2 Plan view of microseismic monitoring result for Well J-253

图 3 是京 253 井监测结果侧视图,横轴沿人工裂缝的优势方向,纵轴是深度,单位是 m。自监测井向北东方向:人工裂缝上缘水平,下缘向东升起,整体近于水平延伸;人工裂缝近井厚,前缘薄,呈楔形。自监测井向西南方向:人工裂缝略向上翘起,前缘微

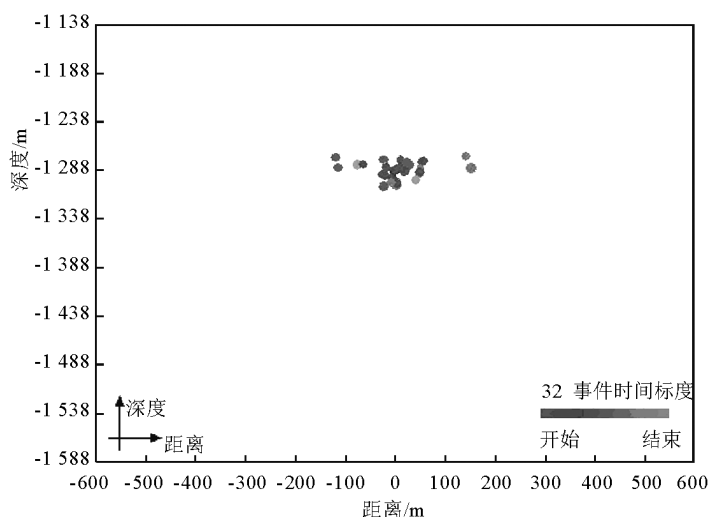


图 3 京 253 井监测结果侧视图

Fig. 3 Side view of microseismic monitoring result for Well J-253

地震分布离散,裂缝不发育。图 3 中,实心圆点为监测到的微地震,用微地震排列、分布表示人工裂缝高度、形态。

## 3 南侧断层的影响

京 253 井位于华北油田京 11 断块上,南邻一个北东东走向的倾滑断层。比较断层两侧的等高线,可以看出,Es4 顶面断距高差 20 m。由于其法向大体平行于区域最小水平主应力方向,现今也存在上盘向下的滑动趋势,其横截面示意图如图 4 所示,滑动面与垂直方向的夹角约 30°。由于下滑趋势,存在一个倾滑膨胀效应,在断层上盘邻近断层位置附加了一个垂直断层走向的压应力。京 253 井邻近断层(见图 1),且处于断层上盘,人工裂缝方向受到倾滑膨胀效应的影响,人工裂缝偏离区域最大水平主应力方向左旋,转向趋于垂直断层走向方向<sup>[1]</sup>(见图 2)。在监测井南侧,受到断层带影响,微地震分布不连续,沿断层带走向存在离散的微地震分布。

由图 4 可以看到,由于上盘下滑, $L_2$  长于  $L_1$ ,地层出现沿断层法向方向的生长,出现膨胀;邻近断层的位置出现附加应力,致使局部最大水平主应力方向偏转。一般来说,增长的尺度可以表示为

$$L_2 - L_1 = \sqrt{3} \times D/2 \quad (1)$$

式中, $D$  是沿垂直方向的断距,如前所述,为 20 m;增长的尺度约 17.3 m。邻近断层,附加的压应力足以改变人工裂缝方向。因压应力增加改变裂缝方向不利于油井产能增加。

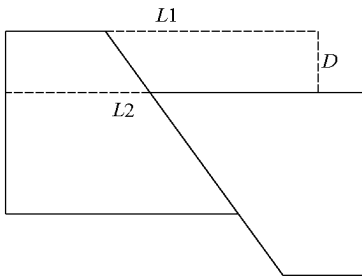


图4 倾滑断层横截面示意图  
Fig. 4 Cross section view of the dip fault

#### 4 介质力学性质连续变化的影响

京 253 井含油层位是一个向北东方向倾覆的斜坡,坡度较大,水平距离 50 m,深度下降 10 m。东北翼人工裂缝长度 129.1 m,大体沿等深线梯度方向,前缘位置地层深度下降 26 m。由表 1 可以看出,大体水平延伸的人工裂缝连续的从底部地层进入上覆地层,前缘进入下第三系的泥岩层,邻近上第三系水层。这使该井产能低,含水偏高。

表 1 地层深度、性质对照表

Table 1 Contrast between depth and properties

年代	深度/m	性质	
上第三系	1 136.8 ~ 1 153.0	水层	
下第三系	1 153.0 ~ 1 277.8	泥岩隔层	
下第三系沙河街组三段	1 277.8 ~ 1 278.6	差油层	压裂段
下第三系沙河街组四段	1 284.2 ~ 1 290.4	油层	压裂段
下第三系沙河街组四段	1 292.2 ~ 1 299.8	油层	压裂段
下第三系沙河街组四段	1 301.6 ~ 1 304.8	油层	压裂段

底部地层是下第三系沙河街组四段的含油砂岩,上覆地层是下第三系沙河街组三段的差油层,上面的大段泥岩,以及上第三系水层、老地层的介质模量大于新地层的介质模量,这会影响人工裂缝方向(见图 5)。

图 5 中,左侧是底部地层,模量偏大;右边是上覆地层,模量偏小。在沉积承压过程中,地层受到压缩,模量偏大的地层压缩变形小,模量偏小的地层压缩变形大。假定两者的连接面是焊接面,不发生相对滑动,我们把这样的面称为介质间断面。间断面沿面的变形应该比底部地层没有受到上覆地层影响时大、间断面尺度趋短,间断面附近地层受到沿间断面的压缩。间断面沿面的变形应该较上覆地层没有受到底部地层影响时小、间断面尺度趋长,间断面附近地层受到沿间断面的拉伸。人工裂缝从底部地层穿过间断面进入上覆地层应该转向平行间断面法方向,平面投影方向垂直于等高线走向,侧面投影存在

一个向上的仰角<sup>[2]</sup>。京 253 井东北侧人工裂缝存在明显的转向,走向趋于与等高线走向垂直,其侧视图下缘翘起,上缘受到泥岩隔层限制水平延伸,使东北翼裂缝近井高度大,前缘高度小,侧面表现为楔形,在离井 70 m 时出现尖灭,介质间断面影响了裂缝方向。

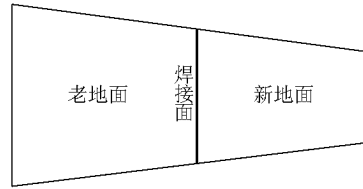


图 5 介质间断面示意图  
Fig. 5 Cross section view of the fault

#### 5 喷砂射孔的影响

压裂前,在开发段进行了喷砂射孔,射孔方位是北东 9°、18.8°、50.8°、318.6°;射孔长度分别为 40 m、30 m、40 m、60 m。由于射孔长度足够大,影响了人工裂缝方位与形态,影响了压裂效果<sup>[3]</sup>。图 6 与图 2 相比,北东 318.6°、北东 50.8° 方向均有微地震点分布、存在裂缝延伸,这些微地震点分布、裂缝延伸与整体裂缝延伸趋势不同,可能反映了喷砂射孔的影响。在北东 9°、18.8° 方向,近井也有明显的微地震分布,分布尺度小于射孔长度,离井后转向北东 30° 方向。判断沿北东 9°、18.8° 方向的裂缝延伸同时受到射孔及局部应力场的影响。沿喷砂射孔出现微地震分布,与地下原有裂缝没有直接联系,通常不影响压裂井产能。

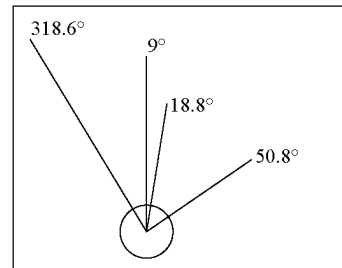


图 6 水平喷砂射孔方位、尺度示意图  
Fig. 6 Schematic diagram of the direction and geometry size of perforation shot by hydraulic sand blasting

#### 6 结语

京 253 井微地震监测准确的反映了多个影响因素的影响。近井人工裂缝方向北北东向,反映了邻近倾滑断层、喷砂射孔的作用与影响。

远井;东北侧人工裂缝方向右旋,反映了区域应力场、介质间断面的影响;向北东方向倾覆的斜坡,使人工裂缝进入上覆差油层、泥岩层、邻近水层,使该翼裂缝产能低,含水高;西南侧人工裂缝间断、离散,反映了断层带的影响;压应力增加改变裂缝方向,同时会使产能下降。北西、北东向近井微地震分布反映了喷砂射孔的影响,这些影响改变了京 253 井的人工裂缝方向,减小了人工裂缝规模,不利于京 253 井的产能形成。

综上所述,由监测结果反映出京 253 井压裂效果应有偏差。实际上,京 253 井压裂后没有产能。由表 2 可以看出,2012 年 2 月 14 日压裂,压后以产水为主,几乎没有产能。测试、分析结果与实际有很好的一致性。

表 2 京 253 井压裂效果

Table 2 Hydraulic effectiveness of Well J-253

生产日期	日产量			
	产液/t	产油/t	产水/t	产气/m <sup>3</sup>
2012-02-15	5.42	0.18	5.24	128
2012-02-16	11.4	0.75	10.65	225
2012-02-17	9.23	0.62	8.61	245
2012-02-18	0	0	0	0
2012-02-19	0	0	0	0
2012-02-20	0	0	0	0
2012-02-21	1.93	0.07	1.86	39

生产日期	日产量			
	产液/t	产油/t	产水/t	产气/m <sup>3</sup>
2012-02-22	7.18	0	7.18	99
2012-02-23	7.08	0	7.08	141
2012-02-24	0	0	0	0
2012-02-25	12	0	12	109
2012-02-26	6.8	0.34	6.46	103
2012-02-27	0	0	0	0
2012-02-28	13.9	0.83	12.97	199
2012-02-29	3.23	0.19	3.04	328

依据上述分析、测试过程,人工裂缝方向可以受到多种因素影响;最大水平主应力方向是一个最普遍的控制因素;构造、介质间断面均可以影响人工裂缝方向;水平侧钻孔也会影响裂缝方向、形态。依据压裂井环境,可以预测压裂裂缝方向,评估压裂效果,以减小施工损失。在地质层面坡度较大的地区,人工裂缝可能穿过不同地质时代的地层,影响压裂效果;应该考虑压裂裂缝形态、方向,控制裂缝不进入不利地层,以保证压裂效果。

## 参考文献

- [1] 刘建中,张金珠,张雪. 油田应力测量[M]. 北京:地震出版社,1993.
- [2] 刘建中,张传绪,赵艳波,等. 水平井压裂裂缝监测与分析[J]. 中国工程科学,2008,10(4):60-64.
- [3] 刘继民,刘建中,刘志鹏,等. 用微地震法监测压裂裂缝转向过程[J]. 石油勘探与开发,2005(2):75-77.

## Microseismic monitoring of Well J-253 in complicated construction

Zhao Xinhong, Che Hang, Luo Jiong

(Center of Shaft design, Huabei Oilfield Company, Renqiu, Hebei 062552, China)

[Abstract] Well J-253 is located in the J-11 fault block of North China oil field. The direction and geometry size of hydraulic fracture are affected by the stress, geological structure and faults, as well as hydraulic sand blasting. The direction of the initial artificial fracture is at NNE, deviating from the direction of the maximum horizontal principal stress. Then it turns to the direction of the maximum horizontal principal stress and normal direction of contour. Moreover, there are significant fissures lined around the well. It has typical significance to study the artificial fracture direction and geometry of Well J-253.

[Key words] microseismic monitoring; hydraulic sand blasting; fault