

# 第三沉降带应力场研究

闫治涛<sup>1</sup>, 刘建中<sup>2</sup>, 邱金平<sup>3</sup>, 金丽华<sup>4</sup>

(1. 胜利油田东胜精攻石油开发集团股份有限公司, 山东东营 257000; 2. 中国石油科学研究院采油工程研究所, 北京 100083; 3. 大庆油田海拉尔石油勘探指挥部, 黑龙江海拉尔 071008; 4. 辽河油田钻采工艺研究院, 辽宁盘锦 124010)

**[摘要]** 介绍了第三沉降带的分布, 监测得出的大量人工裂缝方向数据及由人工裂缝方向数据统计得出的最大水平主应力方向。结果表明, 第三沉降带由北向南绵延1 500 km, 最大水平主应力方向大体稳定, 分布在55°~75°NE范围, 多为65°NE。由监测结果可以判断, 第三沉降带的构造应力方向是南亚板块及菲律宾板块共同作用的结果。

**[关键词]** 微地震法人工裂缝监测; 第三沉降带; 最大水平主应力方向; 压裂施工

**[中图分类号]** TE35 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2009)02-0033-03

第三沉降带分布在大兴安岭西侧, 与第二沉降带有共同的地质成因。第二沉降带分布着我国主要的生油盆地, 第三沉降带也应有显著的生油前景。生油、储油、石油开采均与应力场特征密切相关, 第三沉降带的应力场研究也表现出其特有的重要意义。

## 1 第三沉降带的地理位置及地质特征

第三沉降带由呼伦贝尔—巴音合硕盆地和陕甘宁盆地组成, 东侧是大兴安岭隆起褶皱带, 西侧是狼山—贺兰山隆起褶皱带<sup>[1]</sup>, 东西两侧均以断裂与隆起区交界。呼伦贝尔—巴音合硕盆地形成于晚侏罗、早白垩世, 呈NNE向延伸。呼伦贝尔—巴音合硕盆地的北段、南段在中国境内, 中段在蒙古国境内, 称为塔木察格盆地和赛音山达盆地。呼伦贝尔盆地北半部展布在呼伦湖以东, 海拉尔河以南地区; 南半部延入蒙古, 堆积了2 000 m以上的上侏罗统火山岩, 1 000 m以上的上侏罗一下白垩统含煤、油建造, 300 m左右的白垩系沉积。巴音合硕盆地包括二连盆地以东, 东乌旗—查干诺尔以西, 阴山以北的广大草原地区, 北半部延入蒙古; 堆积了上千米的上侏罗一下白垩统含煤、油建造。

陕甘宁盆地为一长边沿南北向的平行四边形盆地, 分布在中国境内。于晚侏罗、早白垩世开始发

育, 沉积了数百米至1 500 m以上的上侏罗统一下白垩统杂色碎屑岩建造。

据已完成的勘探工作, 呼伦贝尔—巴音合硕盆地, 陕甘宁盆地均有丰富的油、气显示。这些油田在勘探、开发过程需要了解人工裂缝方向, 以指导布井。微地震方法监测油田压裂过程是获得人工压裂裂缝方向的最好方法。笔者在第三沉降带多个油田进行了微地震法油田压裂施工监测。

## 2 第三沉降带人工裂缝方向监测结果

使用微地震方法监测油田的压裂施工过程, 可以获得人工压裂裂缝方向, 人工压裂裂缝优势方向是监测区的最大水平主应力方向<sup>[2]</sup>。图1是外蒙古查14-21井微地震监测结果的俯视图。

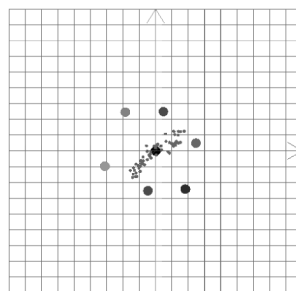


图1 14-21井监测结果平面图

Fig.1 Top view of monitoring results of Well Cha14-21

**[收稿日期]** 2008-09-18

**[作者简介]** 闫治涛(1970-), 河北阜城县人, 胜利油田东胜精攻石油开发集团股份有限公司高级工程师, 研究方向低渗透油田压裂工艺技术及其配套测量技术; E-mail: jianzhong-liu@263.net

如图 1 所示,大圆点是监测台站位置,小圆点是监测到的微地震位置,微地震点的排列方向是人工裂缝方向。图中,每个格的尺寸为 100 m;水平轴东西向,向东为正;竖直轴沿南北向,向北为正。

笔者在第三沉降带的多个地区监测了压裂施工过程,可以描述第三沉降带的应力场特征。第二、第三沉降带微地震监测点及油田分布(如图 2 所示)可以看出,第二、第三沉降带成带明显,彼此间剥离清楚。第三沉降带上分布着呼伦贝尔、新巴尔虎左旗、塔木察格、赛因山达、二连浩特、鄂尔多斯地台、延长、庆阳等油田。图 1 中深色、浅色圆点分别代表已进行、未进行过人工裂缝监测的油田。标有箭头的监测区属于第三沉降带,箭头中线方向是监测区的最大水平主压应力方向。

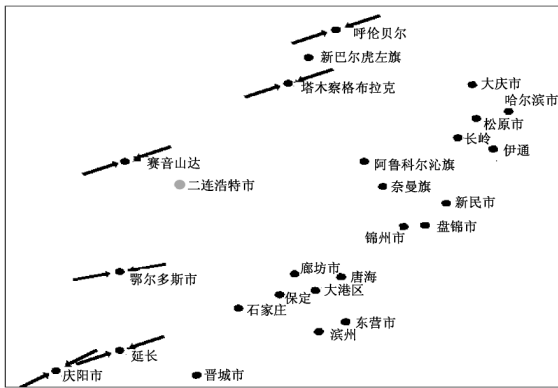


图 2 微地震人工裂缝监测点及油田分布  
Fig. 2 Monitoring locations of fractures micro-seismics of and field distribution

在第三沉降带,有 6 个区进行了微地震人工裂缝方向监测,可以大致得出该带的最大水平主应力方向及应力方向变化趋势。

由于人工裂缝方向不仅受到应力场的影响与控制,而且受到构造、原生裂缝、介质间断面的影响与控制,单个的人工裂缝方向不一定反映最大水平主应力方向。最大水平主应力方向应该由大量的人工裂缝监测数据的统计结果给出,统计结果的优势方向应该是最大水平主应力方向<sup>[3]</sup>。

蒙古赛音山达盆地(见图 3)和中国鄂尔多斯地台(见图 4)的人工裂缝监测结果直方图,代表了不同的测试结果类型。其他测点也显示出类似于图 2 的监测结果,从而得出各测点的最大水平主应力方向(见表 1)。

从图 3 可以看出,蒙古赛音山达盆地人工裂缝方位分布在 40°~90°NE 范围,是典型的单峰结构,优势方向为 65°NE。表明区域应力作用控制强烈,

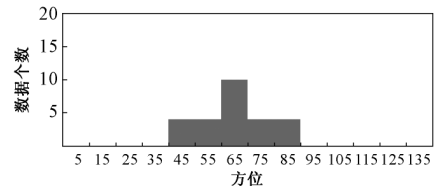


图 3 蒙古国赛音山达盆地人工裂缝方位分布直方图  
Fig. 3 Histogram of hydraulic fracture distribution in basin Saiyin, Mongolia

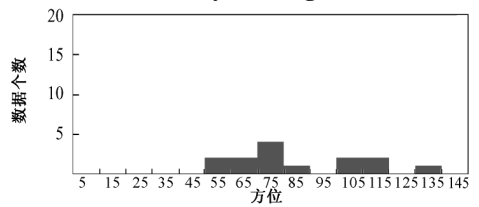


图 4 中国鄂尔多斯地台人工裂缝方位分布直方图  
Fig. 4 Histogram of hydraulic fracture distribution in Eerduos, China

人工裂缝方位集中。

从图 4 可以看出,中国鄂尔多斯地台人工裂缝方位分布在 50°~140°NE 范围,是典型的多峰结构,优势方向为 75°NE。表明区域非应力作用影响强烈,人工裂缝方位相对分散。这与以往对鄂尔多斯地台的研究结果一致:鄂尔多斯地台构造复杂,沿其边缘曾出现过旋转,这使局部应力作用、构造影响、原生裂缝影响强烈,致使人工裂缝方向出现多峰。

把各个测点的监测结果归纳为表 1,可以得出:第三沉降带的最大水平主应力方向分布在 55°~75°NE 范围。从北向南,地点变化了 1 500 km,最大水平主应力方向却大体稳定在 65°NE,仅在鄂尔多斯和庆阳稍有变化。

表 1 第三沉降带人工裂缝方位、最大水平主应力方向  
Table 1 Orientations of hydraulic fractures and directions of maximum horizontal stress in subsidence belt 3

测点	人工裂缝方位分布范围/(°)	最大水平主应力方向/(°)	人工裂缝方位分布特点	数据个数
海拉尔	30~130NE	65NE	单峰	154
塔木察格	40~140NE	65NE	单峰	143
赛音山达	40~90NE	65NE	单峰	26
鄂尔多斯	50~140NE	75NE	多峰	14
延安	40~70NE	65NE	单峰	5
庆阳	40~100NE	55NE	单峰	16

### 3 第三沉降带的地质成因及应力场形成机制

从第三沉降带走向可以判断,菲律宾板块俯冲

是第二、第三沉降带的成因,板块俯冲可以出现二种作用<sup>[4]</sup>: a. 可在俯冲前缘的软流层出现衰减很大的波动,该波动的传播方向沿板块俯冲方向。波峰的上部地壳将会出现减薄、拉张,形成沉降带,越向西,波峰越小,沉降带的幅度、规模也越小。波谷位置的上部地壳成为分隔沉降带的隆起带。由于软流层黏度相对较小,波动传播较快,首先形成地壳减薄、拉张,其次出现沉降带,沉降带的走向与板块俯冲方向大体垂直。 b. 沿板块俯冲方向挤压浅部地壳。菲律宾板块俯冲的持续作用,会沿着俯冲方向挤压上部地壳。由于地壳黏度较大,沿地壳的挤压作用传播较慢,沉降带成形后期,才会出现盆地回返,沿俯冲方向的挤压现象。挤压作用形成的构造应力方向应该分布在 2,4 象限,自北向南左旋。这与监测给出的最大水平主应力方向不一致。

影响中国大陆的另一个重要作用是南亚板块俯冲及青藏高原隆起,形成以青藏高原为中心的辐射状挤压作用<sup>[5]</sup>。处在第三沉降带的位置,挤压作用形成的构造应力方向应该分布在 1,3 象限,自北向南右旋,挤压作用使第三沉降带北端的构造应力方向与正北方向的夹角不会大于 50°。这与监测给出的最大水平主应力方向也有明显偏差。

由单一构造运动不能解释在第三沉降带测出的应力方向,但把两个构造运动的作用叠加在一起,其矢量合成方向则应该比较稳定,大体分布在 60°~70°NE 范围,与监测结果第三沉降带北端、南端挤压作用矢量合成示意图基本相符(见图 5、图 6)。

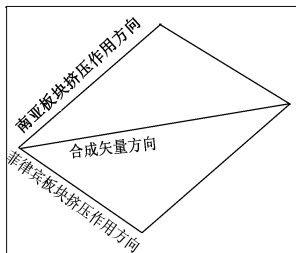


图 5 第三沉降带北端挤压作用合成矢量示意图  
Fig.5 Vector sum of compressive forces at north part of subsidence belt 3

由图 5、图 6 所示可知,在北端,南亚板块与菲律宾板块的挤压作用方向均与正北方向夹角较小;在南端,南亚板块与菲律宾板块的挤压作用方向均与正北方向夹角较大;但其合成矢量方向大体一致,

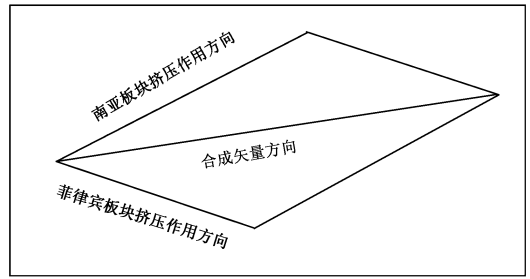


图 6 第三沉降带南端挤压作用合成矢量示意图  
Fig.6 Vector sum of compressive forces at south part of subsidence belt 3

这与笔者的监测结果一致。同时还可了解到:如果菲律宾板块作用强度变小,南亚板块作用强度变大,其合成矢量方向发生左旋,这与长庆油田的监测结果一致。长庆油田偏西,以青藏高原为中心的辐射状挤压作用增强,菲律宾板块挤压作用减弱,使测试出的最大水平主应力方向左旋,长庆油田测点的最大水平主应力方向为 55°NE

由以上分析,笔者可以认定第三沉降带的构造应力方向是南亚板块俯冲及青藏高原隆起和菲律宾板块俯冲共同作用的结果。

#### 4 结语

菲律宾板块俯冲是第三沉降带形成的重要原因,第三沉降带的应力场则是菲律宾板块和南亚板块共同作用的结果。菲律宾板块和南亚板块共同作用的结果,使第三沉降带的应力方向稳定,虽然从北至南绵延上千千米,但最大水平主应力方向相对稳定,分布在 55°~75°范围,多数地区为 65°NE。这一结果为油田开采、布井提供了方便。

#### 参考文献

- [1] 王 楫,谢贤俊.内蒙古自治区主要构造体系概述[A].地质矿产部地质力学研究所.中国分省构造体系研究文集[C].第一辑.北京:地质出版社,1985
- [2] 刘建中,张金珠,张 雪.油田应力测量[M].北京:地震出版社,1993
- [3] 刘建中,孙庆友,徐国明,等.油气田储层裂缝研究[M].北京:石油工业出版社,2008
- [4] 成尔林,张美芳.鄂尔多斯块体周边的地震活动及地震机制[J].地震研究,1986,9(2):27-42
- [5] 刘建中.缅甸弧的俯冲作用及川滇断块的地震地质特征[J].中国地震,1992,8(2):68-75

(下转 42 页)