

# 含油气盆地三维构造应力场数值模拟方法

谭成轩 王连捷 孙宝珊  
(中国地质科学院地质力学研究所)

徐守礼  
(中国石油天然气总公司勘探局)

胡道功  
(中国地质大学,北京)

**摘要** 含油气盆地数值模拟系统是近 10 年发展起来的新技术,也是实现石油地质研究定量化的途径之一。该系统包括盆地地史、热史、生烃史、排烃史和油气运移聚集史数值模拟,而含油气盆地三维构造应力场数值模拟是排烃史和油气运移聚集史研究中的一部分重要内容,并且刚刚起步。本文运用 Super SAP 有限元程序,通过辽河油田张强凹陷现今三维构造应力场数值模拟,对含油气盆地三维构造应力场数值模拟方法进行了探索。该项研究对排烃史和油气运移聚集史量化研究,油田合理注采开发,避免或解决油井套损,寻找残余油等均具有重要意义。

**关键词** 含油气盆地 三维构造应力场数值模拟 张强凹陷

## 1 研究目的和意义

含油气盆地数值模拟系统是近 10 年来才兴起的新技术,是实现石油地质量化研究的途径之一。完整的含油气盆地数值模拟系统是对整个盆地的演化历史进行模拟,是当今世界石油地质科学领域内的新兴课题,包括地史、热史、生烃史、排烃史和油气运移聚集史的数值模拟,而含油气盆地构造应力场数值模拟是排烃史(又称油气初次运移史)和油气运移聚集史(又称油气二次运移史)研究中的一部分重要内容,日益受到国内外石油地质学者的重视。但是,构造应力场数值模拟起步较晚,研究方法尚不够成熟,尤其是含油气盆地真实三维构造应力场数值模拟才刚刚起步,大多仍处于二维状态或“准”三维状态(随深度按不同平面考虑),未能按实际盆地形态建立三维地质和数学模型进行模拟计算,自然会影响排烃史和油气运移聚集史量化评价的可靠性。目前,含油气盆地数值模拟系统研究方法中,生烃史研究相当成功,地史和热史次之,排烃史研究再次之,最薄弱的环节是运移聚集史<sup>[2,5,8,9,10,14-23]</sup>;此外,现有油气初次运移和二次运移的研究理论和方法也存在一些问题<sup>[12]</sup>,若从应力场角度去分析,这些问题均能得到较为合理的解释或解决,并能在一定程度上完善其研究理论和方法。所以,进行含油气盆地真实三维构造应力场数值模拟,对提高排烃史和油气运移聚集史量化评价的准确性和研究方法的完善,对油田合理注采开发、避免或解决油井套损、寻找残余油等都有重要的意义。

## 2 研究思路与方法

含油气盆地数值模拟强调对盆地整个演化历史进行模拟,所以含油气盆地三维构造应力场数值模拟应在地质模型分析的基础上,注重演化和层次分析,即构造应力场数值模拟应从成藏期开始,逐次对成藏期及其以后各构造变动期以及注采开发后的扰动应力场进行演化序列模拟,后(晚)期次模型的结构构造应以前(早)期次模型的结构构造为基础;模拟研究范围应从小比例尺大范围逐渐过渡到大比例尺重点区,注重背景分析,以提高模拟研究精度。基于张强凹陷勘探程度较低,以及含油气盆地三维构造应力场数值模拟方法乃是初次探索,故本文仅对张强凹陷现今三维构造应力场数值模拟作一讨论

目前,三维应力场数值模拟已运用于机械结构、工程地质、水电建设等有关应力应变分析计算方面,采用的原始模型和数学模型大体分两种情况:一是模型比较规则,象机械结构等模型的三维应力应变分析,模型较易处理;二是对模型内部结构作某种近似处理,使内部结构呈现一定规律。比如地质研究中对某一地区地壳中的某一现象进行数值模拟,可以把地壳中一定规模的断裂、褶皱、地层产状等作近似处理,使地壳内部结构呈现一定规律,便于建立数学模型。三维应力场数值模拟之所以要对模型作一定的处理,是因为这种数学模型的建立远远复杂于二维分析,原始模型如没有一定的规律,建立数学模型通过人工方法有时无法实现,所以,运用计算机技术(CAD)进行建模已是主要发展趋势。含油气盆地三维构造应力场数值模拟应尽可能以真实盆地结构构造形态建立三维地质和数学模型,因为油气的运移聚集在很大程度上取决于盆地内部的结构形态,只有这样方能较准确地进行盆地数值模拟和油气运移分析。

Super SAP有限元专用CAD系统 ViziCad系 Algor Company之综合性开发软件<sup>[4]</sup>,目前主要用于机械结构等较规则实体的有限元计算,有较好的前后处理功能,可用于二维和三维线性、非线性等计算。该软件并非直接用于含油气盆地构造应力场数值模拟分析,故本文拟采取的研究方法和技术路线概括为以下四个方面:

(1)改进 ViziCad前后处理功能和计算分析功能;

(2)把 ViziCad引入含油气盆地构造应力场数值模拟分析中,拟定含油气盆地地质模型和数学模型建模的方法步骤和研究方法;

(3)以辽河油田张强凹陷为例进行实例分析,主要分三步:①模型前处理。主要包括地质模型和数学模型的建立;②计算分析。基于初次试验阶段,拟按线弹性进行模拟计算;③模型后处理。在典型地段剖面进行最大主应力、最小主应力、最大剪应力等分析研究;对目标层——沙海组、九佛堂组、义县组之顶、底界面上最大主应力、最小主应力、最大剪应力等分析研究;在三维空间与实测结果进行各种参数对比分析,以检验模拟结果的准确性。

(4)总结归纳 Super SAP有限元专用CAD系统 ViziCad在含油气盆地构造应力场数值模拟分析中的研究方法,以及在地质和数学模型建模中的方法步骤。

## 3 实例分析

三维构造应力场数值模拟可避免二维分析中构造模型过于简化的不足,能够施加更符合实际情况的边界条件,更好地考虑不同层位之间的相互影响,各层厚度变化、岩层产状变化、断裂产状变化等结构构造。计算结果不仅给出各层顶、底界面在平面上的应力分布,也可给出沿

垂向上任意剖面的应力变化。这样的空间构造应力场为研究油田构造裂缝的空间分布和油气运移聚集分析以及油田合理注采开发、避免或解决油井套损等提供了依据<sup>[1,3,13]</sup>。

### 3.1 地质模型的建立

作者以张强凹陷为例,在区域地质资料分析的基础上,依据张强凹陷沙海组上段地层结构构造特点,并参考其他层位顶底界面地层结构构造特点,确定模型南北长 20km,东西宽 18km,模拟深度 7km(图 1)。由于张强凹陷为一近 SN 向的断陷盆地,故模型自南往北依次选取了 8 个控制剖面,各剖面地层层位划分依据该凹陷区地层划分结果,选取第四系和泉头组、阜新组、沙海组、九佛堂组、义县组以及下古生界共六个层位,各剖面之结构构造依据张强凹陷各层位顶底界面勘探成果确定。断裂给予一定宽度,按断裂带分别划分单元,并给予适当的物性参数。地质模型格架如图版 I -1 所示。

### 3.2 数学模型

有限元模拟数学模型的建立主要包括四个方面:一是按照有限元数值分析所要求的数学力学规则进行单元划分。三维构造应力场数值分析的单元划分较为复杂,任一单元必须考虑上下、前后、左右之匹配关系;二是依据区域地质分析,确定位移边界条件,给予模型合理的边界约束;三是依据研究区在区域背景上的应力边界条件,以及研究区实测点应力状态,确定模型合理的加力条件;四是岩石力学参数的确定<sup>[6,7]</sup>。

#### 3.2.1 模型单元划分

由于目前还没有划分复杂的三维不规则有限元网格的经验可循,作者经过长时间的反复比较试验,对于 Super SAP 可得出以下单元划分方法步骤:

(1)坐标原点选在整个模型的西北底角, Y 轴向上, X 轴向东, Z 轴向南。这样的坐标选择对施加静水压力载荷较为方便

(2)在两两剖面之间分别进行地层和断裂带单元划分。单元以近似立方体为主,在必要处也可用五面体,分别给地层单元、断裂带单元以不同的颜色和组号。

(3)不同层位的地层单元给不同的颜色和组号。

(4)整个模型中所有断裂带单元用相同的颜色和组号。

(5)按层分别进行单元合并,共六层

(6)将各地层单元分别与其毗邻的断裂带单元合并,若地层单元之颜色和组号高于其毗邻的断裂带单元之颜色和组号,则应先合并地层单元,然后再合并断裂带单元;反之,就先合并断裂带单元,再合并地层单元。该实例共合并为六个完整的层位(含断裂带)。

(7)在施加应力边界条件和位移边界条件后,按层分别译码,各层均给予地层和断裂带两种物性参数

(8)各层译码正确后,用 Combsst 即可得到完整的数学模型(图版 I -2),并可切制任意典型剖面(图版 I -3),也可显示凹陷某一地层合并后凹陷的结构构造形态(图版 I -4)。

按上述步骤,将张强凹陷三维数学模型划分 5933 个三维等参元, 6944 个节点。该数学模型较好地反映了张强凹陷的结构构造特点,地质模型和数学模型抓住了张强凹陷的主要结构构造,同时也简化了一些局部结构构造。这种简化是必要的,它对计算结果影响不大,又可使计算工作量大大减少。

#### 3.2.2 位移边界条件的确定

依据张强凹陷三维结构构造形态,及其在区域地质构造背景中所处的状态,模型顶面采用自由边界,模型底面采用 Y 方向约束,并在某些点上施加 X、Z 方向约束,以保证模型没有整体

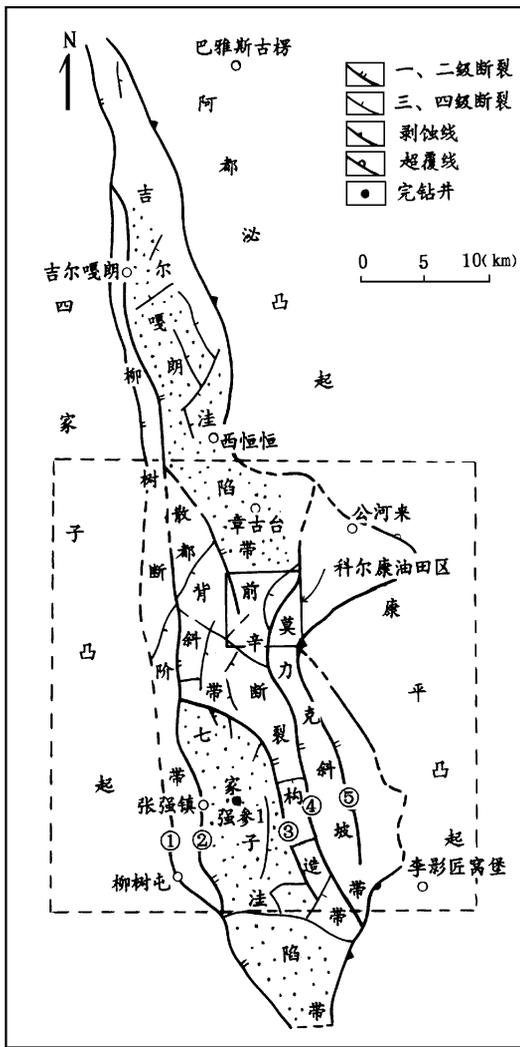


图 1 张强凹陷现今三维构造应力场数值模拟范围平面示意图

Fig. 1 Sketch showing the range for a numerical simulation of the present 3-D tectonic stress field of the Zhangqiang Depression

- ① 柳树屯断裂; ② 官宝断裂; ③ 三家子断裂带; ④ 嘎力得断裂带;
- ⑤ 莫力克断裂带 (虚线方框内为模拟范围)

应力场模拟计算结果可从应力大小和方向进行对比分析,而 Super SAP 后处理程序仅能对应力大小进行分析,而应力方向尚需用编程进行讨论分析。

的刚体平动和转动,模型四周采用应力边界。这种位移边界条件基本符合模型三维实体在地壳中所处的状态

### 3.2.3 应力边界条件的确定

根据张强凹陷构造应力场演化分析,现今构造应力场最大主压应力方向为近 EW 向,故模型东西边界施加最大主压应力,南北边界施加最小主压应力,并假定应力方向不随深度变化。应力大小按研究区所测最大、最小主压应力随深度之回归方程分别施加:  $\epsilon_{max} = 8.359 + 0.0142h$ ,  $\epsilon_{min} = 5.801 + 0.0437h$  ( $\epsilon$ : MPa;  $h$ : m)。回归方程等式右边第一项按均布力方式施加,第二项按静水压力方式施加,重力以体力形式施加。这种加力方式基本与模型三维实体在地壳中的受力边界条件吻合。

### 3.2.4 岩石力学参数的确定

依据张强凹陷岩石实验所得的岩石力学参数,参照《力学词典》和安欧教授所总结出的岩石力学参数,本文三维模型岩石力学参数如表 1

### 3.3 计算结果分析

数学模型建立后,运用 Super SAP 的 SSAP0H 执行程序进行计算。由于三维构造应力场计算十分复杂,需经过反复对边界条件等进行调整试算,才能最终得出与实际地质资料较吻合的应力分析结果(本文主要从应力大小数量级和方向上对比分析)。这里需说明两点:一是各应力图之坐标轴的选取是 Y 轴向上, X 轴向东, Z 轴向南;二是 Super SAP 计算输出应力分量符号是按弹性力学的张量符号定义的,即拉应力为正,压应力为负,剪应力逆时针方向为正,等等(应力单位: MPa)。下面应力大小的讨论将按地质上的规定进行分析。应力

表 1 张强凹陷三维模型岩石力学参数

Table 1 Rock mechanical parameters for 3-D model of the Zhangqiang depression

编号	地层	弹性模量 ( $E$ ) ( $10^4$ M Pa)	泊松比 ( $\mu$ )	容量 ( $\gamma$ ) ( $g/cm^3$ )
1	第四系、泉头组	2.33	0.35	2.6
2	阜新组	2.80	0.11	
3	沙海组	9.6	0.23	
4	九佛堂组	2.7	0.17	
5	义县组	7.2	0.33	
6	下古生界	9.14	0.25	
7	断裂带	0.40	0.38	

### 3.3.1 应力大小分析

对于八节点三维实体等参元,可用最大主压应力(最小主应力) $\sigma_{\max}$ ,最小主压应力(最大主应力) $\sigma_{\min}$ , $\sigma_x$ , $\sigma_y$ , $\sigma_z$ , $\tau_{xy}$ 等应力参数,讨论任意典型剖面目标层顶、底界面上之应力大小变化规律,并对局部重点区域之应力图象可进行放大观察

图版II -1 图版II -2为 113.5°地震测线典型剖面上最大、最小主压应力等值线图。从图版II -1上可以看出,最大主压应力分布形态受控于凹陷的结构构造,在凹陷中心底部最大主压应力值较两侧高,应力分布整体也呈一凹陷形态,并在断裂局部出现应力异常增大现象;最小主压应力在凹陷中心底部为最小值区,呈拉应力状态,并在断裂带附近出现应力异常增大现象,如图版II -2中-4.985- -1.488应力值的分布。同理可得该剖面上 $\epsilon_x$ , $\epsilon_y$ , $\epsilon_z$ , $f_{xy}$ 等应力参数以及其他任意剖面上上述有关应力参数的变化规律。

图版II -3 II -4为张强凹陷目标层沙海组顶界 $\sigma_{\max}$ , $\sigma_{\min}$ 等值线图。 $\sigma_{\max}$ 的变化范围主要在-31.84- -2.927之间,最大主压应力值在章古台附近、七家子凹陷以及沿三家子断裂带、嘎力得断裂带和莫力克断裂附近相对较大,而柳树断阶带、散都背斜带、莫力克斜坡带以及凹陷的南端最大主压应力值相对较小; $\sigma_{\min}$ 的变化范围主要在-5.731- 5.2406之间,张应力区主要分布于柳树断阶带,莫力克斜坡带以及章古台附近,压应力区主要沿断裂带分布。同理可得该目标层顶界面上 $\epsilon_x$ , $\epsilon_y$ , $\epsilon_z$ , $f_{xy}$ 等应力参数,以及该目标层底界面和其他任意目标层顶、底界面上上述有关应力参数的变化规律。

### 3.3.2 应力方向分析

由于 Super SAP无应力方向后处理功能,需编程对应力计算结果进行后处理,计算出最大、中间、最小主压应力的方位角和倾角。计算过程如下<sup>[11]</sup>。

主压应力 $\sigma_i$  ( $i=1, 2, 3$ )的方向余弦 $L_i$ ,  $M_i$ ,  $N_i$ 由下述方程决定:

$$\left. \begin{aligned} (\sigma_i - \epsilon_x)L_i - f_{xy}M_i - f_{xz}N_i &= 0 \\ -f_{xy}L_i + (\sigma_i - \epsilon_y)M_i - f_{yz}N_i &= 0 \\ -f_{xz}L_i - f_{zy}M_i + (\sigma_i - \epsilon_z)N_i &= 0 \\ L_i^2 + M_i^2 + N_i^2 &= 1 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式(1)中前三个方程,可用齐次方程组的解法解之。假设九个子行列式中至少有一个不为零,设

$$\begin{vmatrix} \sigma_i - \epsilon_x & -f_{xy} \\ -f_{xy} & \sigma_i - \epsilon_y \end{vmatrix} \neq 0$$

则将 (1) 式中前两个方程移项得:

$$L_i = \frac{\begin{vmatrix} f_{xz} & -f_{xy} \\ f_{yz} & e_i - e_y \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} e_i - e_x & -f_{xy} \\ -f_{yx} & e_i - e_y \end{vmatrix}} N_i$$

$$M_i = \frac{\begin{vmatrix} e_i - e_x & f_{xz} \\ -f_{yz} & f_{yz} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} e_i - e_x & f_{xy} \\ -f_{yz} & e_i - e_y \end{vmatrix}} N_i$$

将  $L_i$ 、 $M_i$  代入 (1) 式的第四个关系式, 并将六个应力分量用  $b_i$  ( $b_1 = e_x, b_2 = e_y, b_3 = e_z, b_4 = f_{xy}, b_5 = f_{yz}, b_6 = f_{xz}$ ) 表示, 则有

$$\left. \begin{aligned} L_i &= \frac{D_{xi}}{G} \\ M_i &= \frac{D_{yi}}{G} \\ N_i &= \frac{D_{zi}}{G} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中,

$$\left. \begin{aligned} D_{xi} &= b_4 b_5 - b_2 b_6 + e_i b_6 \\ D_{yi} &= b_4 b_6 + e_i b_6 - b_1 b_5 \\ D_{zi} &= b_1 b_2 - b_1 e_i - b_2 e_i + e_i^2 - b_3^2 \\ G &= (D_{xi}^2 + D_{yi}^2 + D_{zi}^2)^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

而对于主压应力  $e_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) 的方位角  $W_i$ , 倾角  $T_i$ , 则有:

$$\left. \begin{aligned} \tan W_i &= \frac{L_i}{M_i} \\ \sin T_i &= N_i \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

运用 (4) 式即可计算出三维空间中最大、中间、最小主压应力的方位角和倾角, 本文主要讨论最大主压应力的方位角和倾角, 并且倾角用等值线表示。

图 2、3 分别为张强凹陷目标层沙海组中最大主压应力矢量和倾角等值线。最大主压应力方位以正北零度起算, 多集中在  $90^\circ$  附近即近 EW 向, 个别在断裂交汇和转折等部位, 方向变化较大; 倾角较小, 一般在  $4^\circ$  左右, 这与实际应力边界条件基本吻合。同理可得其他任意目标层中主应力方位和倾角的变化规律。

以上仅从应力大小数量级和方向的展布特征作了概要的讨论, 并与实际情况基本吻合, 但缺乏与实测资料的具体对比分析, 主要是因为缺乏随深度系统的实测资料以及模型计算单位划分尚不够细小, 以致于研究区实测资料随深度无法与模拟计算单元一一对应等等, 还有待进一步研究。

通过上述张强凹陷现今三维构造应力场数值模拟, 探索了含油气盆地三维构造应力场数值模拟的技术方法, 同时也可以看出, Super SAP 具有较好的前后处理功能和计算功能, 运用后处理程序能迅速观察模型任何空间处的应力信息, 尤其是笔者探索出的显示任何目标层顶、底界面上的应力大小和方向变化规律, 对于分析油气横向 (水平) 运移、注采井网布设、避免或解决油井套损等极为方便。

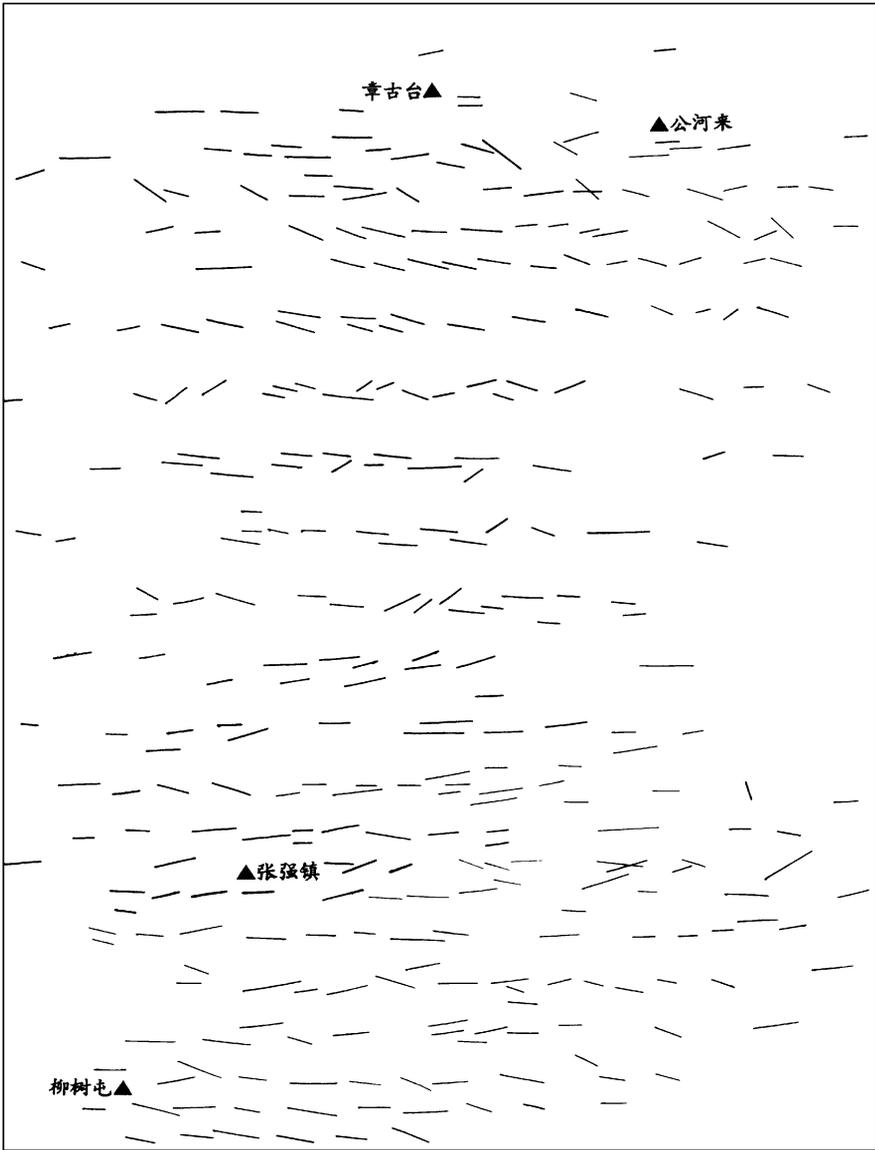


图 2 张强凹陷目标层沙海组中最大主压应力矢量图

Fig. 2 Vectograph of  $\sigma_{\max}$  in  $J_{sh}$  target stratum of the Zhangqiang depression

## 4 结论

本文首先综述三维构造应力场数值模拟在含油气盆地数值模拟系统中的作用和意义,又以张强凹陷为例,对含油气盆地三维构造应力场数值模拟的技术方法进行了探索。主要结论如下:

(1)初步厘定含油气盆地三维构造应力场数值模拟的研究思路和方法,强调应注重演化分析和层次(模拟范围应由大→中→重点区)分析;



图 3 张强凹陷目标层沙海组中最大主压应力倾角等值线

Fig. 3 Contours of dip angle of  $\sigma_{\max}$  in  $J_{3ht}$  target stratum of the Zhangqiang depression

(2)对三维构造应力场数值模拟程序 Super SAP之前后处理功能作了改进,探索出前处理中对不规则地质体和断裂带划分三维有限单元的方法以及后处理中显示任何目标层顶、底界面上应力参数的方法。

由于张强凹陷勘探程度低,以及含油气盆地三维构造应力场的研究工作是初步的,不少问题的分析和处理还缺乏经验,恳请各方面专家和同行指正。此外,运用该三维有限元软件和模拟方法尚可进行任何不规则三维结构体之温度场、流体场、电场等计算分析,愿与有关这方面的专家和同行共同探索。

## 参 考 文 献

- 1 王仁等,固体力学基础. 北京:地质出版社,1979
- 2 石广仁,油气盆地数值模拟方法. 北京:石油工业出版社,1994
- 3 龙驭球,有限单元法概论. 北京:人民教育出版社,1981
- 4 朱以文等,微机有限元前后处理系统 ViziCAD及其应用. 北京:科学技术文献出版社,1993
- 5 李泰明,国外盆地模拟技术概况. 大庆:大庆石油学院出版社,1987
- 6 安欧,构造应力场. 北京:地震出版社,1992
- 7 宋惠珍等,地应力场综合研究. 北京:石油工业出版社,1990
- 8 查明,张一伟,盆地数值模拟方法研究与发展. 石油大学学报(自然科学版),1992,16(2)
- 9 郝石生等,油气初次运移的模拟模型. 石油学报,1994,15(2)
- 10 袁益让,韩玉苕等,含油气盆地发育剖面的数值模拟. 石油学报,1991,12(4)
- 11 王连捷等,地应力测量及其在工程中的应用. 北京:地质出版社,1991,55-56
- 12 李明诚,石油与天然气运移. 北京:石油工业出版社,1994,32-126
- 13 A. R. Ingraffea, et al., Finite element models for rock fracture mechanics. Int. J. Num. Anal. Geomechanics, 1980, No. 4 25.
- 14 I. Lerche, Basin Analysis Quantitative Methods. San Diego, California, Academic Press, Inc., 1990, Vol. 1.
- 15 K. Nakayama, et al., Simulation Model for Petroleum Exploration. AAPG Bulletin, 1981, Vol. 65 1230-1255.
- 16 K. Nakayama, Two- Dimensional Simulation Model for Petroleum Basin Evaluation. Journal of the Japanese Association for Petroleum Technology, 1988, Vol. 53 41- 50.
- 17 K. Aziz, et al. Petroleum Reservoir Simulation. London: Applied Science Publisher LTD, 1979.
- 18 K. Nakayama, I. Lerche, Two- Dimensional Basin Analysis in Migration of Hydrocarbon in Sedimentary Basins. Paris B. Doligez(eds) Editions Technique, 1987.
- 19 K. Nakayama, I. Lerche, Basin Analysis By Model Simulation Effects of Geologic Parameters on 1- D and 2- D Fluid Flow Systems with Application to an oil Field. Gulf Coast Association of Geological Society Transaction, 1987, Vol. 37 175- 184.
- 20 K. Nakayama, Two- Dimensional Simulation Model for Petroleum Basin Evaluation. Journal of the Japanese Association for Petroleum Basin Evaluation& Journal of the Japanese Association for Petroleum Technology, 1988, Vol. 53 41- 50.
- 21 M. A. Yukler, et al., One- Dimensional Model to Simulate Geologic, Hydrodynamic and Thermodynamic Development of a Sedimentary Basin. Geol. Rundschau, 1978, Vol. 67 960- 979.
- 22 P. Ungerer, et al., A 2- D Model of Basin Scale Petroleum Migration by Two phase Fluid Flow: Application to Some Case Studies in Migration of Hydrocarbon in Sedimentary Basins. Paris B. Doligez(eds) Editions Technique, 1987.
- 23 P. Ungerer, et al., Basin Evaluation by integrated Two- Dimensional Modeling of Heat Transfer, Fluid Flow, Hydrocarbon Generation and Migration. AAPG Bulletin, 1990, Vol. 74 309- 335.

# 图 版 说 明

## 图 版 I

1. 张强凹陷现今三维构造应力场数值模拟地质格架。
2. 张强凹陷现今三维构造应力场数值模拟有限元模型 (按物性参数显示): 桃红色 (自下而上第一层) 为古生界 ( $P_{z1}$ ); 咖啡色 (第二层) 为晚侏罗世义县组 ( $J_{3y}$ ); 浅蓝色 (第三层) 为晚侏罗世九佛堂组 ( $J_{3f}$ ); 黄色 (第四层) 为晚侏罗世沙海组 ( $J_{3sh}$ ); 蓝色 (第五层) 为晚侏罗世阜新组 ( $J_{3f}$ ); 绿色 (第六层) 为早白垩世泉头组和第四系 ( $Q+K_{1q}$ ); 红色为断裂带。
3. 张强凹陷 113.  $\Phi$  地震测线典型剖面单元划分 (按物性参数显示), 颜色表示同 2
4. 张强凹陷沙海组合并后之凹陷结构构造形态 (按物性参数显示), 颜色表示同 2

## 图 版 II

1. 张强凹陷 113.  $\Phi$  地震测线典型剖面上  $e_{max}$  等值线。
2. 张强凹陷 113.  $\Phi$  地震测线典型剖面上  $e_{min}$  等值线。
3. 张强凹陷目标层沙海组顶界  $e_{max}$  等值线。
3. 张强凹陷目标层沙海组顶界  $e_{min}$  等值线。

# AN APPROACH TO NUMERICAL SIMULATION OF 3-D TECTONIC STRESS FIELD OF THE OIL-GAS-BEARING BASIN

Tan Chengxuan Wang Lianjie Sun Baoshan  
(*Institute of Geomechanics, CAGS*)

Hu Daogong Xu Shouli  
(*China University of Geosciences, Beijing*) (*Exploration Bureau, China National Petroleum Corporation*)

**Abstract** In this paper, a numerical simulation of the present 3-D tectonic stress field of the Zhangqiang Depression is made using Super SAP finite element program, the technology and methodology here developed can be applied to other petroliferous basins. A knowledge of the existing stress state of an oil basin may prove useful to a quantitative study of the history of the expulsion and accumulation of hydrocarbons, avoidance of damage to wellcasings, and to reasonable recovering of oil as well.

**Key words** oil-gas-bearing basin, numerical simulation of 3-D tectonic stress field, Zhangqiang depression

## 第 一 作 者 简 介

谭成轩,男,1964年生,1996年毕业于中国地质科学院研究生部,获博士学位,主要从事三维构造应力场及其在地壳稳定性评价、地质灾害、油气勘探开发等方面的应用研究。通讯地址:北京市海淀区民族学院南路 11 号地质力学研究所。 邮政编码: 100081