

构造应力场数值模拟在哈密凹陷 四道沟地区 T_2^k 储层裂缝预测中的应用

秦启荣, 黄润秋

(地质灾害防治与地质环境保护国家专业试验室, 四川 成都 610059)

摘 要: 哈密凹陷位于新疆东部三大板块的结合部位, 内部构造复杂。本文利用数值分析方法, 模拟了凹陷内四道沟构造 T_2^k 层的构造应力场。结果表明: 该层古构造应力分布不均匀, 可划分出 2 个应力集中区、1 个应力异常区, 其余为正常应力区; 根据岩石破裂试验以及构造应力模拟计算结果, 制定了该区裂缝的定量评价标准; 依据该标准, 预测评价出该区的裂缝发育的 II 级区 1 个、III 级区 2 个, 其余为裂缝不发育区。

主题词: 数值模拟; 构造应力场; 裂缝; 预测; 哈密凹陷

中图分类号: O242, P553

文献标识码: A

哈密凹陷位于新疆吐哈盆地的东部, 属准葛尔—吐鲁番板块的一部分, 是新疆东部三大板块的结合部位, 从石炭纪末三大板块关闭后, 经历了海西、印支、燕山和喜山等多次构造运动的叠加, 哈密凹陷最终定型为五堡凹陷和黄田凸起; 四道沟构造位于黄田凸起内, 其 T_2^k 层构造迹线变化较大, 每一构造都有其自身的方向, 且相互交织在一起, 较复杂; 利用数值分析方法, 模拟该构造总的变形形迹, 进而分析计算其构造应力场, 以此为依据预测该构造 k_2 层的裂缝分布。

1 方法原理

迄今为止, 人们通过长期实践, 总结出了多种预测油气藏裂缝的方法, 但这些方法基本上传统地质方法的定性判断和生产实践的经验总结, 而没有从裂缝的成因机制入手研究, 因而仍存在不少问题。岩层中的裂缝绝大多数都是由构造应力作用而形成的, 因此构造应力是导致岩体中裂缝(构造缝)形成的最主要的原因, 要准确地评价裂缝的发育分布规律, 寻找裂缝发育带, 首先应研究并求解裂缝形成时期的构造应力场, 然后根据构造应力场的特征, 结合岩石破裂准则、岩石破裂试验结果、岩石力学性质、以及构造特征来预测评价裂缝的发育程度和分布规律。因此, 构造应力场的数值模拟是裂缝预测的一个重要手段。

2 构造应力场的数值模拟

2.1 地质模型的建立

四道沟地区虽然构造形迹比较复杂, 没有一个明显的优势构造方位, 但构造变形的幅度比较小。为

收稿日期: 1999-08-10

作者简介: 秦启荣(1965-), 男(汉族), 四川广安人, 1985 年 7 月毕业于成都地质学院地质学专业, 现为西南石油学院勘探系副教授, 西南石油学院优秀中青年骨干教师, 主要从事构造地质学和岩石破裂方面的教学和研究工作, 曾获得部级科技进步一等奖等 10 余项奖, 发表论著近 20 篇(部), 1996 年开始在成都理工大学环工学院攻读博士学位, 师从黄润秋教授

此, 我们采用带厚度的板模型模拟四道沟构造 T_2^k 储层的构造应力场。具体作法是以岩层褶皱变形过程中产生的位移作为边界条件(图 1), 用有限元进行反演模拟计算; 位移边界条件则用作剖面恢复地层的形变量求得。

2.2 模拟分析方法与步骤

分析计算的具体方法步骤如下:

在垂直和平行于主构造方向上设置剖面线共 14 条; 通过作剖面恢复各剖面线上岩层的原始长度, 计算出岩层因褶皱变形而产生的位移缩减量(图 2); 以各剖面上岩层的原始恢复长度为依据, 恢复模拟岩层的原始边界范围(图 3); 离散地质体: 将原始岩层作为介质体, 将其分割成一定的实体单元, 以形成数值分析的结构模型; 将离散地质体数值化: 将离散地质体的节点、单元等进行数值处理后填写成数据文件卡, 建立数据文件; 确定边界条件: 将各剖面上求得的位移矢量转化成西部和南部边界的位移边界条件; 对北部和东部边界进行垂直于边界方向的单向支撑束(图 1)。

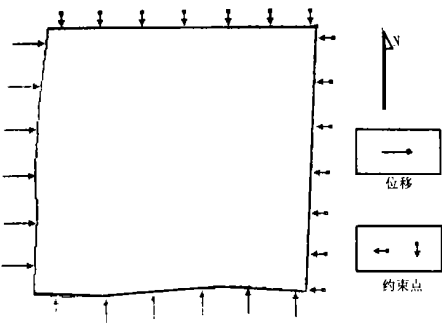


图 1 四道沟构造模拟模型

Fig. 1 Structural simulation model at Sidaogou

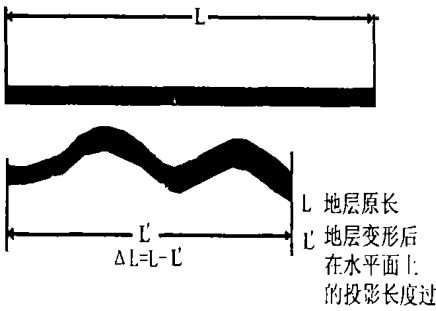


图 2 确定褶皱变形位移量示意图

Fig. 2 Schematic diagram of confirmation of fold displacement

2.3 岩石力学参数的选取:

通过对 7 组岩样进行岩石力学破裂试验, 选取模拟区域所涉及的岩石类型力学参数如表 1 所示。

表 1 岩石力学参数表

Table 1 Mechanical parameters of rocks					
岩石类型	弹性模量($\times 104\text{MPa}$)	泊松比	抗拉强度(MPa)	抗剪强度(MPa)	抗压强度(MPa)
砾岩	1.40	0.143	9.05	27.73	60.25
砂岩	1.83	0.143	12.06	43.64	136.04
砂砾岩	1.23	0.158	7.40	29.38	79.64

3 裂缝发育程度的评价标准

3.1 应力场的类型

根据数值分析所得到的研究区构造应力的大小、方向和性质的等特征, 我们将其划分为以下几种应力分布类型:

应力集中区: 应力值相对较大或较集中的地区, 在一般情况下, 应力集中区内的应力值大于邻区和正常应力区, 有时是正常应力区的 2 倍以上; 另外, 应力集中区内应力的方向比较一致, 有一个优势的应力方位。根据应力性质的不同, 应力集中区可分为张应力集中区和压应力集中区。

应力扰动区: 是特殊的应力集中区, 其表现除了应力值较集中外, 应力的性质、方向和大小的变化没

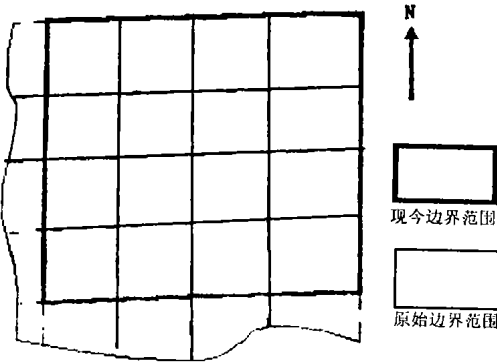


图 3 研究区恢复的原始范围

Fig. 3 Restored Primitive scope of research area

拉应力扰动区 I 级
拉应力集中区 III级
应力异常区 V 级

有规律性。

应力异常区: 应力绝对值并不特别大, 但与周围相邻的正常应力区相比有异常变化的应力分布区。主要表现为: 与邻近的正常应力区相比, 应力的方向、方向和性质都有一定的变化, 但没有应力扰动区的变化那样大。

正常应力区: 应力的大小、方向和性质在整个研究区都处于一般正常范围的应力分布区。

3.2 应力特征与裂缝发育关系的评价标准

根据岩石破裂试验结果, 结合研究区的应力分布特征、构造及岩性特征, 制定本研究区裂缝发育程度的评价标准如下:

3.2.1 根据应力分布类型划分

应力扰动区 II 级
应力集中区 IV级

3.2.2 根据应力值大小划分: 根据研究区的模拟计算结果和岩石破裂试验测试结果, 制定本区构造应力(包括以下的剪应力)与裂缝发育程度的评价标准如下:

> 125 MPa I 级 100 MPa~125 MPa II 级
75 MPa~100 MPa III级 50 MPa~75 MPa IV级
< 50 MPa V 级

3.2.3 根据剪应力大小划分

> 55 MPa I 级 40 MPa~55 MPa II 级
25 MPa~40 MPa III级 < 25MPa IV级

4 研究区应力场特征及裂缝评价

将计算结果处理成应力矢量分布图、主应力等值线图 and 剪应力等值线图, 然后将它们叠加在一起(图 4)进行分析, 评价裂缝的发育程度。

计算结果表明: 工区 T_2^1 储集层的构造应力值较大, 但剪应力并不大, 一般都小于岩石的抗剪强度; 应力分布不均, 但主应力方位分布比较有规律, 按其分布特征可划分为 2 个应力集中区、1 个应力异常区, 其余的皆为正常应力区。

根据上述应力分布特征, 结合岩石破裂试验结果、岩性、以及储集层构造特征等多种因素综合分析, 我们预测四道沟地区 T_2^1 层裂缝发育程度较低, 但局部可形成小的裂缝系统; 按本区的标准评价它们分属于 II、III级裂缝区和裂缝不发育区。现分别描述如下:

4.1 哈 2 井东 II 级裂缝发育区

位于工区中部偏西北, 哈 2 井的东边, 面积 12 km², 构造位置位于四道沟背斜的东北陡翼地区。该区基本全为压应力, 方向以 WE 向为主, 两侧逐渐向南北两个方向发散; 区内主应力大小为 110 MPa~175 MPa, 一般 125 MPa 左右, 剪应力大于或等于 45 MPa, 为应力扰动区。根据应力场特征结合其它因素判断, 该区裂缝较发育, 可形成一些小规模的裂缝系统, 但主要以剪切缝为主, 裂缝方位以南北(NS)向为主, 东西(WE)向次之。如经有效的后期改造, 可形成有效的储集空间。属裂缝较发育区, 按标准判断应属 II 级裂缝发育区。

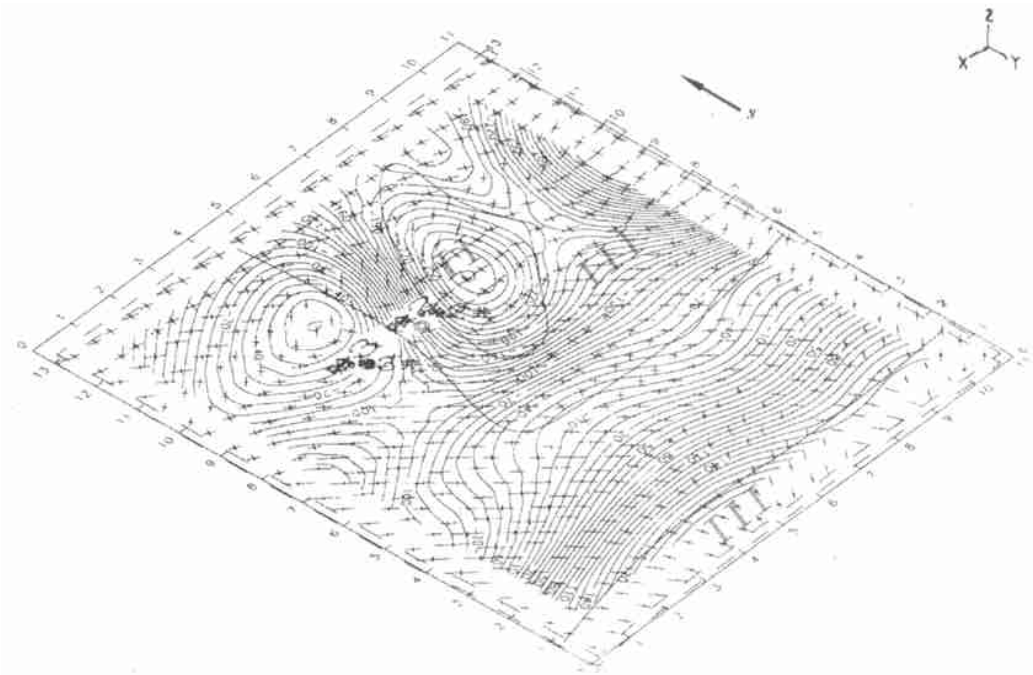


图 4 构造应力分析计算结果及裂缝预测成果图

Fig. 4 Diagram of structural stress analysis and crack forecasting

4.2 哈 2 井Ⅲ级裂缝发育区

位于研究区的中部至东北边缘地区,分布在哈 2 井东Ⅱ级裂缝发育区周围,哈 2 井也在其内,面积约 100 km²;构造上位于四道沟背斜的东部高点及东翼向斜的广大地区。区内全为压应力,方向有规律地变化,但以 SE 向为主;应力值较大,为 150 MPa~175 MPa,最大主应力达 175 MPa 左右,最小主应力也有 150 MPa;但剪应力值相对较小,约 25 MPa~40 MPa 为应力集中区。根据构造应力特征结合其它因素综合判断认为:该区有一定程度的裂缝发育,但仅限于小规模裂缝,裂缝性质主要是剪切缝,剪裂缝方向主要是南北(NS)向和东北~南西向(NE~SE);若没有强烈的后期改造,很难形成有效的储集空间。属裂缝欠发育区,按评价标准判断应属Ⅲ级裂缝发育区。

4.3 哈 2 井南Ⅲ级裂缝发育区

位于工区的南部边缘,面积约 10 km²,构造上位于四道沟背斜的南翼。区内构造应力以压应力为主,方向多为 NS 向,局部向北偏东(NNW)或北偏西(NNE)方向偏转,呈规律性变化。应力绝对值相对较小,最大主应力 120 MPa 左右,最小主应力 70 MPa 左右,剪应力值则仅为 25 MPa 左右,为应力异常区。根据应力场特征,结合岩性、岩石力学性质和构造等因素综合判断,该区仅有小规模裂缝发育,并且主要是剪切缝,裂缝方向主要是 WE 向,局部向南或向北方向偏转。若没有有效的后期改造,不会形成有效的储集空间;属裂缝欠发育区,按级别判断为Ⅲ级裂缝发育区。

4.4 其他裂缝不发育区

除上述三个应力特殊区外,其余地区的地应力大小均匀,最大主应力 110 MPa~150 MPa、最小主应力 50 MPa 左右;剪应力较小,一般<20 MPa;最大主应力为 NW—SE 向;该区全为压应力,无特殊或异常之处,为正常应力区。综合评判该区裂缝不发育,属裂缝不发育区。

5 结 论

1. 利用带厚度的板模型的实体有限元和构造反演方法可模拟哈密凹陷四道沟 T_2^k 油层这样构造复杂构造层的构造应力。
2. 哈密凹陷四道沟构造克拉玛依组的构造应力绝对值较大, 但应力差值却普遍小于岩石的抗剪强度。
3. 研究区古构造应力场较复杂, 可划分出 2 个应力集中区、1 个应力异常区, 其余皆为正常应力区。
4. 研究区裂缝发育程度总体较差, 仅有 1 个 II 级裂缝发育区, 2 个 III 级裂缝发育区, 其余都是裂缝不发育区。

致谢: 感谢许强博士、黄国民博士为本文提供了宝贵的意见和建议。

参考文献:

- [1] 黄润秋等. 工程地质研究中的数值分析方法[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1990
- [2] 秦启荣等. Quantitative Prediction of Fracturing in Volcanic Reservoirs in 7th—area Kramy oil field, 15th world petroleum congress[Z]. 1997. 10
- [3] 陈子光. 岩石力学性质和构造应力场[M]. 北京: 地质出版社, 1986
- [4] 万天丰. 古构造应力场[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1988
- [5] 安欧. 构造应力场[M]. 北京: 地震出版社, 1992
- [6] 中科院地质所. 岩体工程地质力学问题(7~10)[M]. 北京: 科学出版社.

APPLICATION OF NUMERICAL SIMULATION OF TECTONIC STRESS FIELD IN FRACTURE PREDICTION OF T_2^k OIL RESSERVIOR IN SHIDAOGOU -AREA, HAMI DEPRESSIO

Q IN Qi-rong, HUANG Run-qiu

(National Laboratory of Geological Hazard Prevention, Chengdu 610059)

Abstract: Hami Depression is located in the combining site of the three plates in the eastern part of Xinjiang autonomous area, and its internal structure is complex. In this paper, the tectonic stress field of the layer T_2^k in Sidaogou area within the Depression was simulated by using numerical analysis methods, and the results indicate that the tectonic stress in this layer is bad—distributed. It can be divided into two stress concentrating areas, one stress abnormal area and the rest is stress normal area. According to rock failure tests and the output of the tectonic stress simulation, a quantitative assessment criterion has been established for the fracture in this region. And basing on this criterion, we predicted and evaluated that one area is fracture well—developed in II grade, two area is fracture developed areas in III grade, and the rest is not fracture developed area.

Keywords: numerical simulation; tectonic stress field; fracture ; prediction; Hami depression