

韧性基底黏度对断裂构造影响的数值模拟研究

孙倩倩, 张恒, 张璐, 唐明, 张坤坤

中海石油(中国)有限公司湛江分公司

摘要 断陷盆地油气资源丰富,在石油工业中具有重要地位。对盖层构造样式影响因素的研究,可为断陷盆地油气勘探和开发提供更多的理论依据。采用离散元数值模拟的方法,研究了在双向伸展条件下,韧性基底黏度对盖层构造样式的影响。结果表明:在不同基底黏度下,形成的盆地形态相似,均发生均匀伸展,盆地内部断层的断距相差不大;沉降中心始终位于中间位置,在伸展过程中不发生迁移;在充分伸展的条件下,韧性基底黏度越大,生成的断层数量越多。结合实验模拟结果和琼东南盆地长昌凹陷剖面特征,认为大地热流值较大时,基底黏度较小,所生成的断层数量较少;反之,大地热流值较小时,基底黏度较大,所生成的断层数量较多。

关键词 离散元; 韧性基底黏度; 构造样式; 凹陷; 断陷盆地

中图分类号: P542 **文献标识码**: A

引用: 孙倩倩,张恒,张璐,等. 韧性基底黏度对断裂构造影响的数值模拟研究[J]. 海相油气地质, 2025, 30(1): 82-88.

SUN Qianqian, ZHANG Heng, ZHANG Lu, et al. Numerical simulation study on the influence of ductile basement viscosity on fault structures[J]. Marine origin petroleum geology, 2025, 30(1): 82-88.

0 前言

我国断陷盆地内的油气资源十分丰富,在石油工业中的相对重要性首屈一指^[1]。应用物理模拟和数值模拟的方法对断陷盆地发育特征的影响因素进行研究,对于盆地构造演化和油区构造解析、提高勘探成功率具有重要意义。

为了更清楚地了解盖层构造样式的影响因素,国内外学者应用物理模拟和数值模拟的方法进行了大量的模拟实验,研究了边界几何条件、先存断层、基底属性、伸展速率、同沉积作用和盖层特征等因素的影响。基底属性在盆地发育和演化中也扮演着重要的角色。其中基岩非均质性对断裂发育的影响,主要体现在两个方面:一是岩性接触界面作为构造薄弱面,有利于断裂发育,进而控制盆地构造^[2];二是不同岩性的基底具有不同的力学性质^[3],在构造变形过程中对断裂发育的影响存在差异。在具有相同的断裂运动学特征的区域,基底岩性是影响断层发育密度及空间分布位置的主要因素之一^[4]。周建勋^[5]基于三维物理模拟认为:基底

的不均匀伸展可以引起盆地沉降中心的明显改变;共轭剪切变形带的形成可能是由不均匀伸展造成,但其具体成因机制尚有待于深入研究。刘泽等^[6]采用有限差分法模拟了东海陆架盆地南部中生代盆地的演化过程,认为东海陆架盆地中生代的成盆过程及属性,与中生代时期上地幔物质流动有着密切关系。刘海伦^[7]通过对珠江口盆地珠一坳陷的研究认为,基底的复杂岩性组成和不同的发育时代,形成了岩体边界,影响了下伏断裂的活动性,从而形成复杂的断裂体系和断陷结构。张佳星等^[8]以琼东南盆地为例,通过物理模拟实验研究,认为:韧性基底影响下的上部刚性地层演化形成复式地堑构造,地堑内部发育的断裂数量较多,单一断层断距小;在刚性基底影响下的上部地层,在拉伸过程中演化为由两个铲式半地堑和一个中央低凸起组成的构造样式,地堑内断裂数量较少,单一断层断距大。近年来,随着技术的进步和发展,以及构造物理模拟和数值模拟方法的改进,对于基底属性的研究取得了巨大进步,但韧性基底的黏度对盖层构造样式的影响,尚未有系统研究。

收稿日期: 2024-09-09; 改回日期: 2024-11-26

本文受中海石油(中国)有限公司重大专项“南海西部油田上产2000万方关键技术研究”(编号: CNOOC-KJ135 ZDXM 38 ZJ 01 ZJ)与中国海洋石油集团有限公司综合科研项目“中国海油测井解释软件系统研发与国产化替代(I期)”(编号: KJZH-2024-1903)联合资助

第一作者: 孙倩倩, 硕士, 工程师, 主要从事海洋油气勘探工作。通信地址: 524057 广东省湛江市坡头区南调路874号南海西部石油研究院; E-mail: sunqq6@cnooc.com.cn

离散元模拟是研究构造动力学的有效方法。自1971年以来的研究实践表明,其适用于非连续介质的破裂问题研究^[9-10],已广泛用于构造地质研究中的大变形问题,如岩块的节理破裂^[11-12]、断层及断层相关褶皱^[13-14]、变换构造发育机制^[15]和盐构造^[16-17]等诸多地质构造演化过程。

本文选择韧性基底黏度属性为切入点,采用数值模拟的方法,改变基底黏度、设置对比模型进行实验,通过对伸展过程中盖层的断层发育和几何特征分析,总结韧性基底黏度对盖层构造演化影响的

一般规律。研究结果为断陷盆地内构造特征发育提供更多可参考的理论依据,对断陷盆地的油气勘探和开发具有重要积极意义。

1 模型设置

采用离散元数值模拟程序PFC^{2D}建立数字砂箱模型,以圆形刚性颗粒集合体模拟主体地层,所有初始模型均设定为长120 m、高20 m。模型共5层岩层,每层岩层厚度为4 m,岩层之间设有薄层软弱层来模拟地层层理面(图1)。

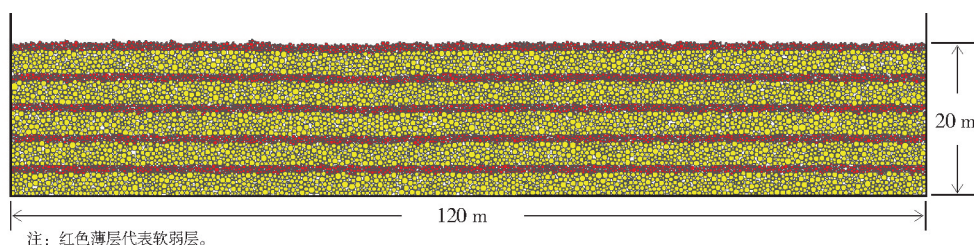


图1 初始模型图

Fig. 1 Initial particle flow model

模型两侧以及底部以墙体作为边界,且边界均以0.001 m/s的固定速度从中间向两侧运动,模拟断陷盆地的伸展过程。韧性基底的变形方式如图2所示,先存断裂位置由黄色断尖点表示,同时作为刚性基底与韧性基底分界点。初始状态时,两断尖点有一定距离(12 m或24 m),两侧和底部墙体以固定速度向两侧伸展,韧性基底同时向两侧均匀伸展。韧性基底部分的变形过程类似于物理砂箱实验中用于模拟韧性基底的橡皮的伸展。在伸展过程中,两侧同时伸展,墙体每伸展5 m,即模型伸展率每增加8.33%,做一次记录。每次记录后,铺设同沉积地层,同沉积地层的最大高度为20 m,之后继续下一次伸展模拟。

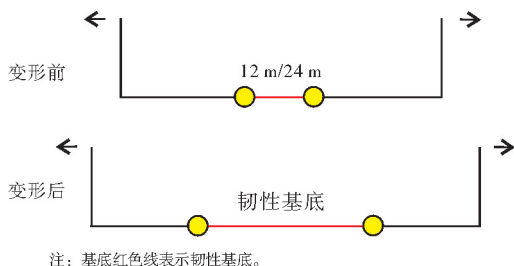


图2 韧性基底双向伸展模式图

Fig. 2 Extension pattern in models with ductile basements and two-direction extension

韧性基底部分,由在水平方向上的同一直线排列的多个半径均为0.1 m的颗粒组成,初始阶段相邻颗粒直径重叠率较大,在伸展过程中设置正中间的颗粒速度为0,通过赋予从中间到两侧颗粒等差数列的速度值,使相邻颗粒间重叠率逐渐变小并始终保持一致(图3),用以模拟高温高压下具有韧性变形能力的泥岩、膏岩等的韧性变形。

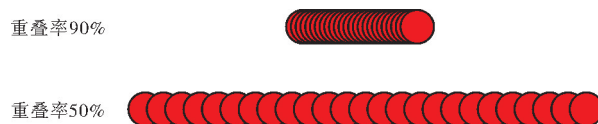


图3 韧性基底双向伸展模拟方法示意图

Fig. 3 Schematic diagram of a ductile basement with two-direction extension

依据牛顿平板实验^[18],设面积为 A 的两平行平板相距 h ,其间充满了流体,下板固定不动,上板受拉力 T 的作用,以匀速 U 向右运动(如图4),当 h 或 U 不是太大时,沿板的法线方向,两平板间流体的流速呈线性变化,即:

$$u(y) = \frac{U}{h} y \quad (1)$$

实验表明,大多数流体存在下列关系:

$$T \propto \frac{AU}{h} \quad (2)$$

则得到黏附于上板的流体的切应力 τ 为:

$$\tau = \frac{T}{A} = \mu \frac{U}{h} \quad (3)$$

式中: μ 为流体黏度, $\text{Pa}\cdot\text{s}$ 或 $\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ 。由此可知,流体黏度 μ 越大,则上板所受的切应力越大,即韧性基底黏度越大,上覆地层所受的切应力越大。

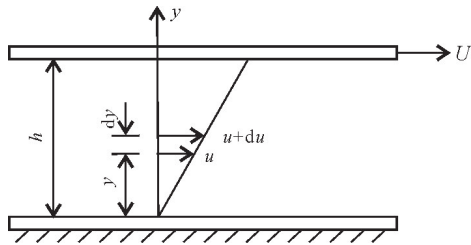


图4 牛顿平板实验 (据文献[18])

Fig. 4 Newtonian plate experiment (cited from reference [18])

表1 韧性基底双向伸展模型

Table 1 Mechanical properties in models with ductile basements and two-direction extension

模型编号	伸展方向	基底性质	断尖点距离/m	伸展速度/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	基底颗粒 摩擦系数	基底黏度	盖层摩擦系数
模型1	双向	韧性基底	12	0.001	1	低	0.57
模型2	双向	韧性基底	12	0.001	2	中等	0.57
模型3	双向	韧性基底	12	0.001	3	高	0.57
模型4	双向	韧性基底	24	0.001	1	低	0.57
模型5	双向	韧性基底	24	0.001	2	中等	0.57
模型6	双向	韧性基底	24	0.001	3	高	0.57

模型中地层的岩石力学参数设置如下(表2):所有岩层密度均为 $2\,630\text{ kg}/\text{m}^3$,所有层的颗粒均服从高斯分布。对于厚度为3 m的脆性岩层,颗粒粒径均匀分布于0.144 m至0.230 m,微观颗粒间摩擦系数为1/2/3(相当于岩层摩擦系数0.57/0.7/0.95,即内摩擦角 $30^\circ/35^\circ/42^\circ$),粘结强度为 $5\times 10^5\text{ N}$,切向刚度(k_s)为 $1\times 10^9\text{ N}/\text{m}$,法向刚度(k_n)为 $4\times 10^9\text{ N}/\text{m}$ (相当于岩层粘结强度为10 MPa,杨氏弹性模量为

30 GPa,泊松比为0.25,符合砂岩力学性质)。对于层间软弱层,颗粒粒径均匀分布于0.083 m至0.133 m,摩擦系数与粘结强度均为0,切向刚度为 $1\times 10^9\text{ N}/\text{m}$,法向刚度为 $4\times 10^9\text{ N}/\text{m}$;法向刚度与切向刚度比值(泊松比)为0.25。对于底部模拟韧性基底伸展的颗粒,颗粒粒径均为0.1 m,颗粒微观摩擦系数为1、2或3,粘结强度均为0,切向刚度(k_s)为 $1\times 10^9\text{ N}/\text{m}$,法向刚度(k_n)为 $4\times 10^9\text{ N}/\text{m}$ 。

表2 离散元模型微观力学参数表

Table 2 Micro-mechanical parameters of discrete element models

层名	密度/ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	厚度/m	颗粒粒径/m	颗粒摩擦系数	法向和切向粘结强度/N	颗粒法向(k_n)和切向(k_s)刚度/ ($\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$)
岩层	2 630	3	0.144 ~ 0.230	1/2/3	5×10^5	$k_s=1\times 10^9$ $k_n=4\times 10^9$
层间 薄弱层	2 630	1	0.083 ~ 0.133	0	0	$k_s=1\times 10^9$ $k_n=4\times 10^9$
韧性基底	2 630	0.2	0.1	1/2/3	0	$k_s=1\times 10^9$ $k_n=4\times 10^9$

2 模拟结果

当基底性质为韧性且宽度为 12 m 时, 改变韧性基底黏度(模型参数见表 1), 双向伸展, 模型 1、模型 2 和模型 3 的模拟结果相似(图 5)。

在伸展初期(伸展率为 8.33% 时), 模型 1 中生成断层 F1—F5, 模型 2 中生成断层 F1—F4, 模型 3 中生成断层 F1—F3, 其 F1 和 F2 为边界断层, 倾角均为 53° , 其余内部断层倾向均朝向中间部位(图 5 中的 a1、b1 和 c1)。随着伸展作用的进行, 直至伸展结束(伸展率为 41.67%), 边界断层 F1 和 F2 随伸展作用向两侧移动, 倾角始终未发生变化, 盆地内部均生成多个倾向朝向中间部位的正断层, 最终生成断层总数量分别为 12 条、13 条和 14 条, 盆地宽度分别为 104.8 m、106.1 m 和 105.6 m。断陷的沉降中心始终位于中间位置, 未随伸展作用的进行发生移动, 中间部位沉降量较大, 两侧较小, 同沉积

地层呈中间厚两侧薄, 横向展布上地层厚度差异不大(图 5 中的 a2—a5、b2—b5 和 c2—c5)。

对比模型 1、模型 2 和模型 3: 最终形成的盆地形态相似, 边界断层 F1 和 F2 的倾角相等且均为 53° ; 最终生成的断层数量分别为 12 条、13 条和 14 条, 盆地宽度分别为 104.8 m、106.1 m 和 105.6 m, 基底黏度越大, 最终形成的断层数量越多, 除模型 1 外, 基底黏度越大, 盆地宽度越小。

当基底性质为韧性且宽度为 24 m 时, 改变韧性基底黏度(模型参数见表 1), 双向伸展, 模型 4、模型 5 和模型 6 的模拟结果相似(图 6)。

在伸展初期(伸展率为 8.33% 时), 模型 4、模型 5 和模型 6 中均生成断层 F1—F5, 其中 F1 和 F2 为边界断层, 倾角均为 53° , 其余内部断层倾向均朝向中间部位(图 6 中的 a1、b1 和 c1)。随着伸展作用的进行, 直至伸展结束(伸展率为 41.67%), 边界断层 F1 和 F2 随伸展作用向两侧移动, 倾角始终未发生变

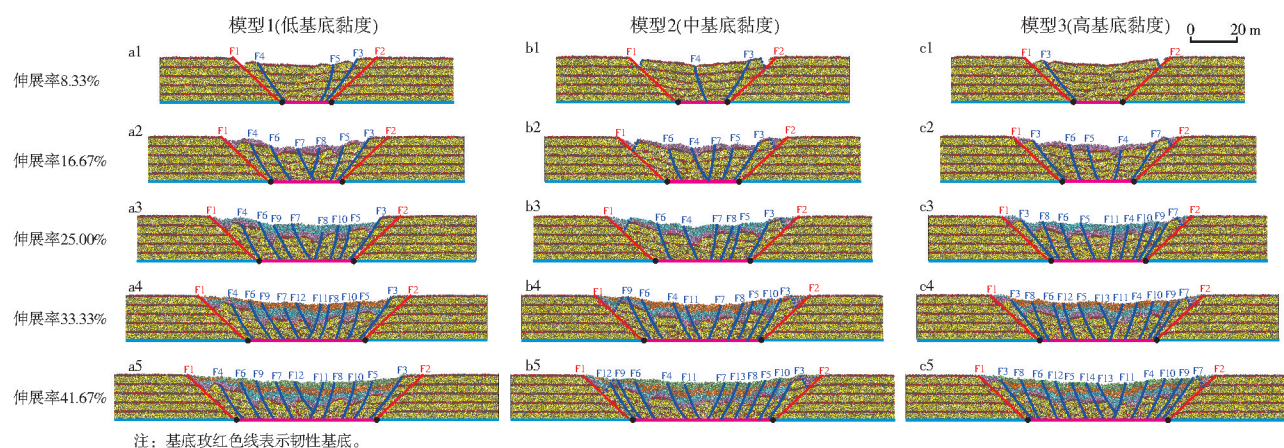


图 5 模型 1—3 的变形过程 (韧性基底宽度为 12 m)

Fig. 5 Deformation process in models 1—3 (The width of the ductile substrate is 12 m)

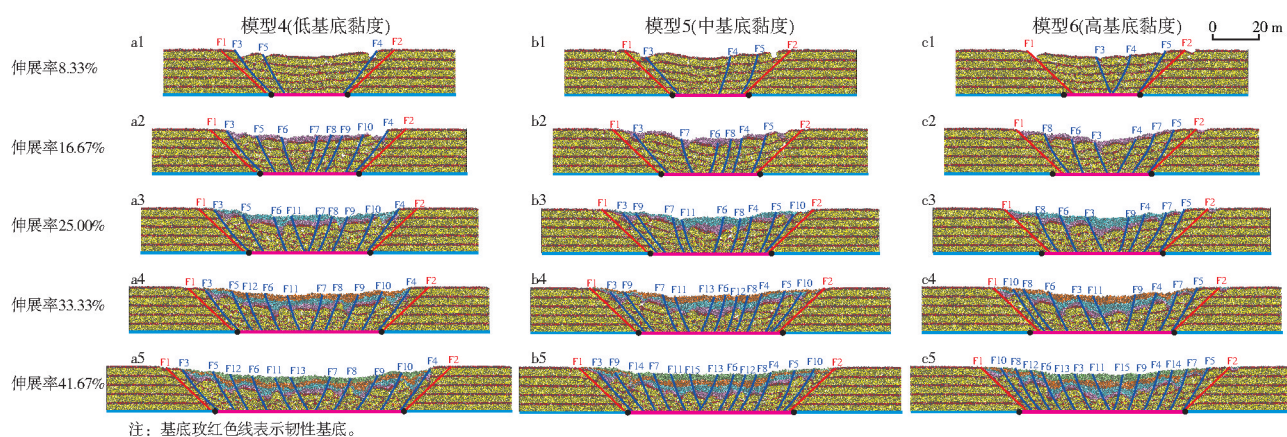


图 6 模型 4—6 的变形过程 (韧性基底宽度为 24 m)

Fig. 6 Deformation process in models 4—6 (The width of the ductile substrate is 24 m)

化,盆地内部均生成多个倾向朝向中间部位的正断层,最终生成断层总数量分别为13条、15条和15条,盆地宽度分别为126.7 m、113.9 m和110.7 m。断陷的沉降中心始终位于中间位置,未随伸展作用的进行发生移动,中间部位沉降量较大,两侧较小,同沉积地层呈中间厚两侧薄,横向展布上地层厚度差异不大(图6中的a2—b5、b2—b5和c2—c5)。

对比模型4、模型5和模型6:最终形成的盆地形态相似,边界断层F1和F2的倾角相等且均为 53° ;最终生成的断层数量分别为13条、15条和15条,盆地宽度分别为126.7 m、113.9 m和110.7 m,基底黏度越大,最终形成的断层数量越多,盆地宽度越小。

3 讨论

对比模型1、模型2和模型3,韧性基底宽度为12 m,改变基底黏度时,盆地形态相似,均发生均匀伸展,产生数量较多的正断层,两侧断层倾向均朝中间部位,后期发育少量反向断层,构成“Y”字形构造。边界断层F1和F2的倾角均相等,为 53° ,最终生成的断层数量分别为12条、13条和14条,基底黏度越大,生成断层数量越多。同样地,对比模型4、模型5和模型6,结果相同,韧性基底宽度为24 m,改变基底黏度时,最终生成的断层数量分别为13条、15条和15条,基底黏度越大,生成断层数量越多。

由库伦破裂准则可知,当岩石发生剪切破裂时,剪裂面与最大主应力轴 σ_1 的夹角,即剪裂角(θ)可表示为: $\theta = 45 - \varphi/2$,共轭剪裂角为: $2\theta = 90 - \varphi$,式中 φ 为岩石的内摩擦角, ($^\circ$)。

由公式3可知,韧性基底黏度越大,上覆地层所受的切应力越大,即 σ_3 越大,则图7中的莫尔圆半径越小,莫尔包络线范围越小,上部岩层越容易破裂,生成断层数量越多。

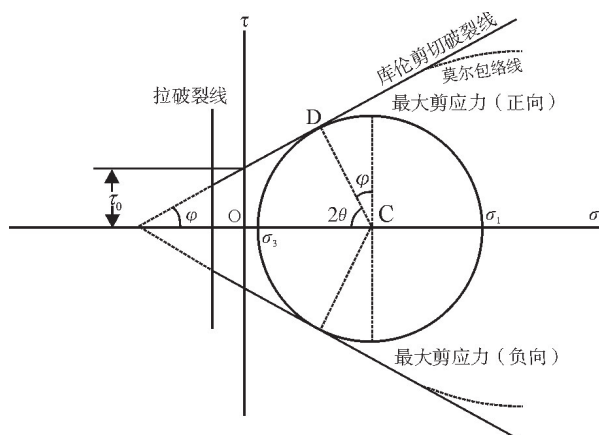


图7 剪切破裂时的莫尔圆图解(据文献[20])

Fig. 7 Mohr circle diagram of shear rupture (cited from reference [20])

琼东南盆地位于海南岛东南部、中国南海北部,大地热流值主体介于 $60 \sim 100 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ (图8)。琼

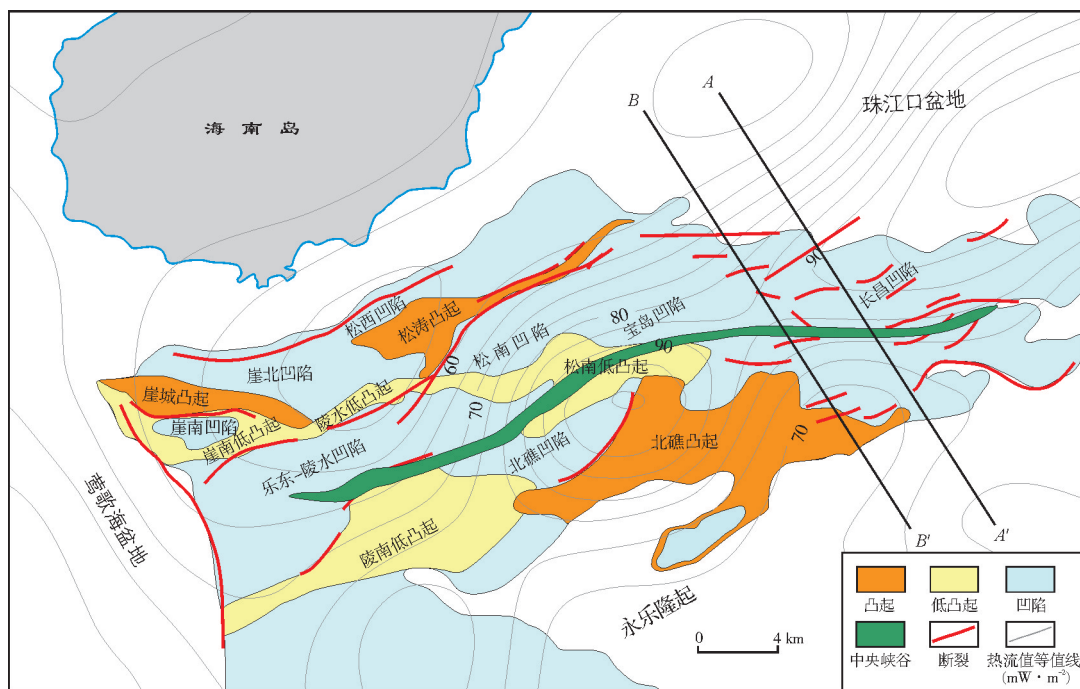


图8 琼东南盆地构造区域划分与热流值分布叠合图

Fig. 8 Overlay map of tectonic unit and heat flow distribution in the Qiongdongnan Basin

东南盆地主要经历了断陷期和拗陷期两个构造演化阶段,其中断陷期作为盆地的主要断裂发育期,对盆地的断陷发育和后期的构造演化都具有重要作用。盆地东部的长昌凹陷整体形态符合韧性基底的伸展特征(图 9a, 9b)。受大地热流值(单位为

$\text{mW} \cdot \text{m}^{-2}$)影响,剖面 A—A' 所处位置大地热流值较大(图 8),基底黏度较小,构造演化过程中所生成的断层数量较少;反之,剖面 B—B' 所处位置大地热流值较小(图 8),基底黏度较大,构造演化过程中所生成的断层数量较剖面 A—A' 多。

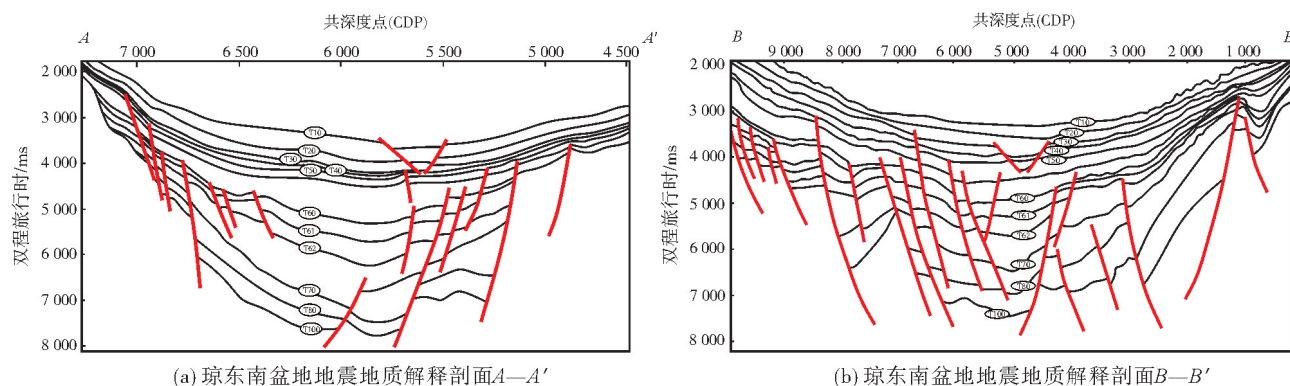


图 9 琼东南盆地地震地质解释剖面

Fig. 9 Seismic geological interpretation profiles in the Qiongdongnan Basin

4 结论

本文应用离散元颗粒流方法模拟断陷盆地伸展作用,通过改变韧性基底黏度来研究盖层构造样式的变化。双向伸展机制下的模拟结果显示,韧性基底黏度对断陷盆地内盖层构造样式具有一定影响。

(1)不同基底黏度下,盆地形态相似,均发生均匀伸展,盆地内部断层的断距相差不大。沉降中心始终位于中间位置,在伸展过程中不发生迁移。

(2)在充分伸展(模拟伸展率为 41.67%)的条件下,韧性基底黏度越大,生成断层数量越多。

(3)实验模拟结果和琼东南盆地长昌凹陷剖面特征表明:大地热流值较大时,基底黏度较小,所生成的断层数量较少;反之,大地热流值较小时,基底黏度较大,所生成的断层数量较多。

参考文献

- [1] 童亨茂, 范彩伟, 孟令箭, 等. 中国东-南部裂陷盆地断裂系统复杂性的表现形式及成因机制: 以南堡凹陷和涠西南凹陷为例[J]. 地质学报, 2018, 92(9): 1753-1765.
TONG Hengmao, FAN Caiwei, MENG Lingjian, et al. Manifestation and origin mechanism of the fault system complexity in rift basins in Eastern-Southern China: case study of the Nanbu and Weixinan sags[J]. Acta geologica sinica, 2018, 92(9): 1753-1765.
- [2] MORLEY C K, HARANYA C, PHOOSONGSEE W, et al. Activation of rift oblique and rift parallel pre-existing fabrics during extension and their effect on deformation style: examples from

- the rifts of Thailand[J]. Journal of structural geology, 2004, 26 (10): 1803-1829.
- [3] YOUASH Y. Tension tests on layered rocks[J]. GSA bulletin, 1969, 80(2): 303-306.
- [4] BEACOM L E, HOLDSWORTH R E, MCCAFFREY K J W, et al. A quantitative study of the influence of pre-existing compositional and fabric heterogeneities upon fracture-zone development during basement reactivation[M]// Geological Society, London, special publications, 2001, 186: 195-211.
- [5] 周建勋. 基底不均匀伸展对盆地构造形成特征影响的实验研究[J]. 煤田地质与勘探, 2000, 28(5): 12-14.
ZHOU Jianxun. Experimental study on influence of inhomogeneous extension in basement on structure formation in extensional basins[J]. Coal geology & exploration, 2000, 28(5): 12-14.
- [6] 刘泽, 戴黎明, 李三忠, 等. 东海陆架盆地南部中生代成盆过程的数值模拟[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2017, 37(4): 167-180.
LIU Ze, DAI Liming, LI Sanzhong, et al. Numerical simulation of Mesozoic tectonic processes in the southern part of East China Sea continental shelf basin[J]. Marine geology & Quaternary geology, 2017, 37(4): 167-180.
- [7] 刘海伦. 珠江口盆地珠一坳陷裂陷结构: 基底属性与区域应力联系制约[D]. 武汉: 中国地质大学, 2018.
LIU Hailun. Rift style controlled by basement attribute and regional stress in Zhu I Depression, Pearl River Mouth Basin[D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2018.
- [8] 张佳星, 尹宏伟, 朱继田, 等. 基底性质对断裂构造的影响: 以琼东南盆地为例[J]. 高校地质学报, 2018, 24(4): 563-572.
ZHANG Jiaxing, YIN Hongwei, ZHU Jitian, et al. Influence of basement property on the fracture structure: a case study of the Qiongdongnan Basin[J]. Geological journal of China universities, 2018, 24(4): 563-572.

- [9] CUNDALL P. A computer model for simulating progressive, large-scale movements in block rock systems[C]//Proceedings of Symposium of International Society of Rock Mechanics. Nancy: Mendeley, 1971: 8.
- [10] CUNDALL P A, STRACK O D L. A discrete numerical model for granular assemblies[J]. *Géotechnique*, 1979, 29(1): 47–65.
- [11] ZHAO Chongbin, HOBBS B E, ORD A, et al. Phenomenological modelling of crack generation in brittle crustal rocks using the particle simulation method[J]. *Journal of structural geology*, 2007, 29(6): 1034–1048.
- [12] REN Xuhua, WANG Haijun, ZHANG Jixun. Numerical study of AE and DRA methods in sandstone and granite in orthogonal loading directions[J]. *Water science and engineering*, 2012, 5(1): 93–104.
- [13] STRAYER L M, SUPPE J. Out-of-plane motion of a thrust sheet during along-strike propagation of a thrust ramp: a distinct-element approach[J]. *Journal of structural geology*, 2002, 24(4): 637–650.
- [14] 辛文, 陈汉林, 安凯旋, 等. 基于离散元数值模拟的西南天山山前冲断带构造变形控制因素研究[J]. *地质学报*, 2020, 94(6): 1704–1715.
- XIN Wen, CHEN Hanlin, AN Kaixuan, et al. Analyzing the influence of factors that control the structural deformation of fold-thrust belts in the southwestern Tianshan using discrete element simulations[J]. *Acta geologica sinica*, 2020, 94(6): 1704–1715.
- [15] IMBER J, TUCKWELL G W, CHILDS C, et al. Three-dimensional distinct element modelling of relay growth and breaching along normal faults[J]. *Journal of structural geology*, 2004, 26(10): 1897–1911.
- [16] YIN Hongwei, ZHANG Jie, MENG Lingsen, et al. Discrete element modeling of the faulting in the sedimentary cover above an active salt diapir[J]. *Journal of structural geology*, 2009, 31(9): 989–995.
- [17] 徐雯娟, 汪伟, 尹宏伟, 等. 库车坳陷东西段盐下构造变形差异演化数值模拟分析[J]. *地质学报*, 2020, 94(6): 1740–1751.
- XU Wenqiao, WANG Wei, YIN Hongwei, et al. Numerical simulation of different subsalt structural features and their evolution in the eastern and western segments of the Kuqa Depression[J]. *Acta geologica sinica*, 2020, 94(6): 1740–1751.
- [18] 何若全, 龙天渝, 童思陈, 等. 流体力学[M]. 第2版. 重庆: 重庆大学出版社, 2018.
- HE Ruquan, LONG Tianyu, TONG Sichen, et al. *Fluid mechanics*[M]. 2nd ed. Chongqing: Chongqing University Press, 2018.
- [19] LIU Zhina, KOYI H A. Kinematics and internal deformation of granular slopes: insights from discrete element modeling[J]. *Landslides*, 2013, 10(2): 139–160.
- [20] 漆家福, 陈书平. 构造地质学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999.
- QI Jiafu, CHEN Shuping. *Structural geology*[J]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999.

编辑:刘江丽

Numerical simulation study on the influence of ductile basement viscosity on fault structures

SUN Qianqian, ZHANG Heng, ZHANG Lu, TANG Ming, ZHANG Kunkun

Zhanjiang Branch, CNOOC China Limited

Abstract: Rifted basins are rich in oil and gas resources, and play an important role in petroleum industry. This thesis, which focuses on the influencing factors of structure styles of a sedimentary cover, can provide more theoretical basis for oil and gas exploration and development in rifted basins. Many researchers have been studying the influencing factors such as geometric conditions of the basin boundary, pre-existing faults in the basement, basement properties (ductile or rigid), extension rate, syndeposition and so on. However, fewer study have been carried out on the influence of viscosity of ductile basements on structure styles of a sedimentary cover. In this study, the effects of viscosity of ductile basements on the structure styles of a sedimentary cover are systematically investigated by using discrete element modeling. Model results show that in models with different viscosity of ductile basements, the morphology of basins is similar, all are homogeneously extended. The fault distance of different models is not much different. The center of settlement is always in the middle and does not migrate during extension. The greater the viscosity of the ductile substrate, the greater the number of faults generated. According to the experimental simulation results and the profile characteristics of Changchang Sag in Qiongdongnan Basin, when the terrestrial heat flow value is large, the basement viscosity is small and the number of faults generated is small; conversely, when the terrestrial heat flow value is small, the basement viscosity is large and the number of faults generated is large.

Key words: discrete element method; viscosity of ductile basement; structural style; sag; rifted basin

SUN Qianqian, First author: MSc, mainly engaged in offshore oil and gas exploration. Add: Nanhai West Petroleum Research Institute, No. 874 Nandiao Rd., Potou District, Zhanjiang, Guangdong 524057, China. E-mail: sunqq6@cnooc.com.cn