

辽河盆地西部凹陷北部地区 新生代断裂特征与圈闭类型

于福生¹, 吉珍娃², 杨 雪³, 宇振全³, 马保军¹, 张良杰¹

(1. 中国石油大学 石油天然气成藏机理教育部重点实验室, 北京 102249; 2. 内蒙古自治区 115 地质队,

内蒙古 乌兰浩特 137400; 3. 辽河油田公司 勘探开发研究院, 辽宁 盘锦 124010)

摘要: 通过对辽河盆地西部凹陷北部地区构造特征研究, 将新生代盆地划分为初始裂陷、伸展断陷、挤压拗陷 3 个演化阶段。新生代构造以张性断裂为主, 兼具走滑和反转特征, 其中, 沙四、沙三期为伸展断裂系统, 沙一、沙二至东营期为走滑断裂系统, 馆陶期为挤压断裂系统。沙箱模拟实验证明, 挤压反转构造受断层下盘施力方式控制, 与基底走滑作用有关, 伸展断裂控制的断鼻状构造和挤压背斜构造是高升斜坡带和牛心坨隆起带上较为有利的目标优选类型。

关键词: 辽河盆地; 西部凹陷; 断裂系统; 沙箱模拟; 圈闭类型

中图分类号: P542.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2007)02-0149-05

Cenozoic Fault Feature and Trap Styles of Northern Area in West Depression of Liaohe Basin

YU Fu-sheng¹, JI Zhen-wa², YANG Xue³, YU Zhen-quan³, MA Bao-jun¹, ZHANG Liang-jie¹

(1. Key Laboratory for Hydrocarbon Accumulation Mechanism of Ministry of Education, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 2. No. 115 Geological Brigade of Inner Mongolia Autonomous Region, Ulanhot 137400, Inner Mongolia, China; 3. Research Institute of Exploration and Development, Liaohe Petroleum Exploration Bureau, Panjin 124010, Liaoning, China)

Abstract Cenozoic evolution of northern area in west depression of Liaohe Basin can be divided into initial rifting stage, extensional faulting stage and compressional depressing stage. Faults with extensional structure, wrench structure and inversion structure can be divided into extensional fault systems during the Shahejie phase of Early Eocene, wrench fault systems during the Dongying phase of Late Eocene and inversion fault systems during the Guantao phase of Early Neogene. Sand box simulation proved that inversion is controlled by the stress relating to strike-slip movement coming from the footwall. Faulted block structure controlled by extensional structure and compressional anticlines are favorable areas for oil and gas accumulation in Gaosheng slope belts and Niuxintuo upwarping.

Key words: Liaohe Basin; western depression; fault system; sand box simulation; trap styles

0 引言

辽河盆地位于渤海湾盆地的东北部, 包括大民屯凹陷、西部凹陷、东部凹陷、中央凸起、西部

凸起、东部凸起 6 个次级构造单元, 其中西部凹陷是辽河盆地乃至整个渤海湾盆地主要富油凹陷之一, 颇受众多研究者关注。前人构造研究成果多集中在高升以南地区断裂和裂缝的发育特征

收稿日期: 2006-07-31

基金项目: 辽河油田公司勘探开发研究院项目(2004)

作者简介: 于福生(1969-), 男, 黑龙江望奎人, 副教授, 博士, 从事构造地质教学与研究。E-mail: fushengyu@cup.edu.cn

上^[1-4]，而在高升以北地区缺乏系统的构造演化研究工作。笔者在 700 km² 三维地震资料详细解释的基础上，不仅新识别出走滑断裂系统、挤压反转断裂系统的存在，还总结了不同类型断裂系统的发育特征，并且对其成因进行了构造物理模拟和数值模拟，同时对断裂系统控制的圈闭类型及分布规律进行了划分和总结。

1 新生代构造演化阶段

从三维地震剖面上可以发现研究区新生代地层之间发育馆陶组底界、沙一、沙二段底界、沙四段底界 3 个区域性不整合界面(图 1)。在编制新生代各层底界构造图、构造演化史剖面图、残存地层等厚图的基础上，结合沉积建造、构造变形等特征，可以将高升以北地区新生代的构造演化历史划分为初始裂陷阶段(下部构造层，由中生界和房身炮组火山岩构成)、伸展断陷阶段(中部构造层，由沙河阶组、东营组砂泥岩组成)、挤压拗陷阶段(上构造层，由馆陶组以上地层构成)。盆地结构表现为西部抬升形成斜坡，东部沉降形成凹陷；北部隆起剥蚀，南部超覆沉积，具有东西分带、南北分块的构造格局。新生代时期断裂发育强度不均一，沙四、沙三期强烈，继承性明显；沙一、沙二期—东营期逐渐减弱；而且馆陶期基本没有新断裂发育，说明构造演化阶段性明显。

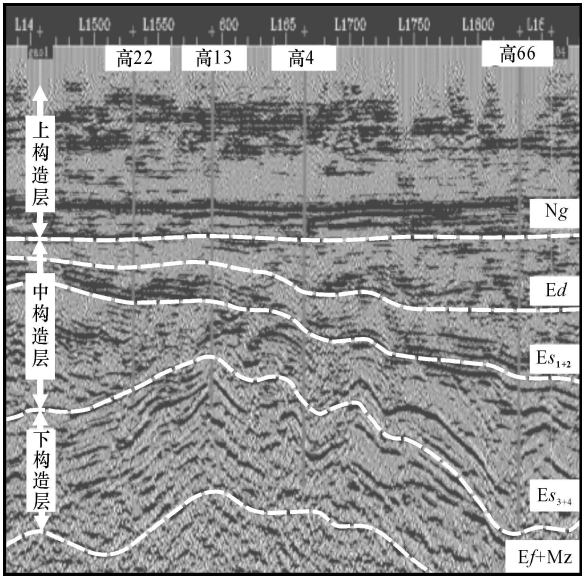


图 1 西部凹陷北部地区构造演化阶段划分

Fig. 1 Tectonic Evolution Division of Northern Area in West Depression

2 新生代断裂系统

断裂活动是西部凹陷北部地区新生代构造活动的主要特征，断层数量多，规模大，多期多组，以张性正断裂为主，兼具走滑和反转特征。从各组、段底界构造图和构造演化剖面图中可见，研究区主要发育北东—北东东向、北东东—东西向和北西向断裂，它们在空间上相互交接或分支复合，在时间上相互继承或发展。北东—北东东向主干断裂控制凹陷的基本格架和凹陷内次级构造单元的展布及沉积充填过程；北东东—北西向和北西向断裂属于派生的次一级断裂，控制二级构造单元内部断块及圈闭的形成和演化。研究区各期断裂性质有别，同期断裂南北特征相异，可划分出伸展断裂、走滑断裂、挤压反转断裂系统。

2.1 伸展断裂系统

伸展断裂系统是研究区沙四、沙三期断裂构造活动的主要特征，但发育程度具有明显差异。南部以北东走向主干断裂为主(图 2)，主要发育台安东(F₄)、台安中(F₅)、台安西(F₇)、芳 1 井西等断裂(F₆)，其派生的次级断裂也比较发育，走向北东—北东东，倾向南东。北部牛心坨地区主要发育牛心坨东断裂(F₁)、牛心坨西断裂(F₃)两边界主干断裂，但在沙三期以后发生了逆冲反转。派生的次级

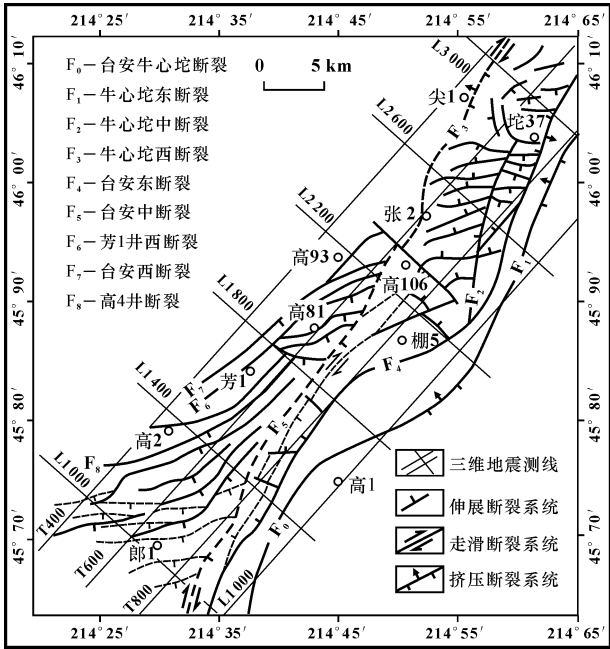


图 2 西部凹陷北部地区第三系断裂系统分布

Fig. 2 Distribution of Fault System of Northern Area in West Depression

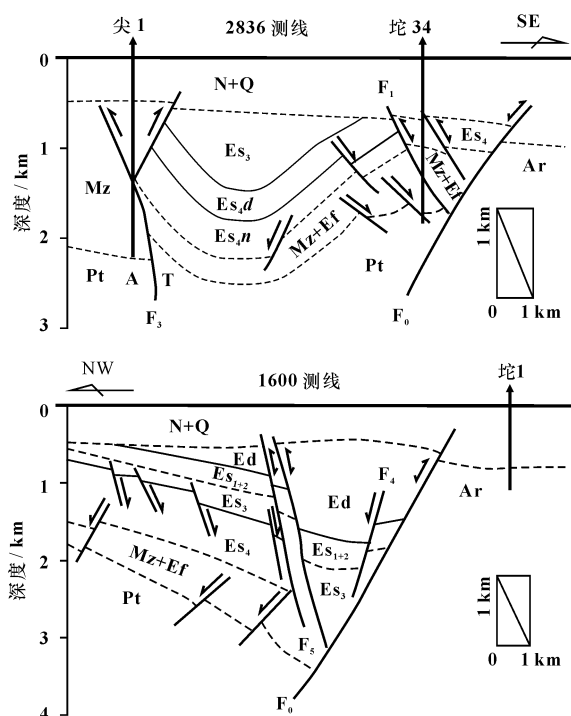
断层数量多,而且产状不一,大致以牛心坨中断裂(F_2)为界,其西侧发育走向北东东、倾向北北西次级正断层,东侧发育走向北东东—东西、倾向南南东次级正断层。由此可见,同一时期、不同部位伸展断裂系统具有明显的差异性,沙四、沙三期沉积、沉降中心逐渐向南迁移的事实证明,断裂活动强度由北向南逐渐增强。单条伸展断层的剖面形态主要表现为产状平直、倾角较陡的面状和上陡下缓的铲状类型;构造组合样式包括阶梯状构造组合、断鼻构造、地堑式组合、“入”字型断裂组合、“Y”字型组合、潜山披覆构造组合、滚动背斜等样式。

2.2 走滑断裂系统

从图2可看出,研究区北部牛心坨地区东、西部边界发育3条逆冲断层,分别为牛心坨西断裂(F_3)、牛心坨东断裂(F_1)和台安—牛心坨断裂(F_0)。它们在平面上呈北东走向平行展布,其中前两条断裂相向对冲,断层的上盘为中生界火山岩,下盘为沙四、沙三段沉积碎屑岩,组成一向斜构造,向斜构造的轴线方向与牛心坨西断裂相交锐角方向指示断层具有右旋走滑特点。牛心坨西断裂(F_3)在地震剖面上也表现出走滑特征,剖面上部为两条反向分支逆断层,剖面下部复合为一条倾向南东的主断层,且倾角变陡,构成半花状构造。位于两分支断层间的尖1井钻井资料揭示自334~2047 m之间存在1713 m厚的火山岩,其上部岩性为灰绿色、深灰色安山岩,局部夹薄层暗色泥岩;中部为灰绿色凝灰岩;底部为火山质构造角砾岩,其铷-锶同位素等时线年龄为 $(140 \pm 6) \text{Ma}^{[5]}$,与下白垩统义县组相当;其下部岩性依次为沙海组浅灰色细砂岩、粉砂岩与黑灰色泥岩,九佛堂组浅灰色中、细粒砂岩夹泥岩,中上元古界肉红色灰岩。这说明尖1井地层层序发生了倒转,证明有逆冲活动发生(图3)。通过地震剖面图和连井资料对比,根据地层厚度的变化和地层连续性判断,该火山岩无原地喷发的可能。

综合分析表明,牛心坨西断裂(F_3)为右旋走滑压扭性断裂,其发育时期始自沙三晚期。虽然牛心坨东两条断裂走滑活动形迹不明显,但是在发育时间和组成特征上与牛心坨西断裂具有相似性,其向下延伸可能复合成一条断层,组成大型的花状构造,其应从属于同一走滑断裂系统。该走滑断裂系统在台安凹陷表现为张扭性特点,由台安中断裂(F_5)及其伴生的平行断裂组成,控制沙一、沙二

段—东营组的沉积。同一断裂在不同区段所表现出的力学性质差异是由边界条件不同所致。 F_5 断裂和 F_3 断裂在高106井附近发生性质转变,北侧为压扭,南侧为张扭,沿高106井发育近东西向构造调节带。



F_0 —台安—牛心坨断裂; F_1 —牛心坨东断裂; F_3 —牛心坨西断裂; F_4 —台安东断裂; F_5 —台安中断裂

图3 走滑构造与反转构造剖面特征

Fig. 3 Section Feature of Strike-slip and Inversion Structure of Northern Area in West Depression

2.3 挤压反转断裂系统

馆陶组期断裂系统包括4条逆冲断裂(见图2、3),分别为台安—牛心坨断裂(F_0)、牛心坨西断裂(F_3)、牛心坨东断裂(F_1)和台安中断裂(F_5),后两条断裂走向上不连续,规模小。这4条断裂在平面上呈略向南东方向凸出的弧形展布,在剖面上形成对冲、背冲式断裂组合,切割最新地层为馆陶组下部地层,形成反冲断层和低幅度的冲起背斜,反转构造幅度一般100~150 m,远小于拉张期的构造幅度(平均小于350 m),发育时间应为馆陶期,是在早期伸展、走滑构造的基础上发育起来的。反转构造类型应属于伸展—压扭型正反转构造,与研究区西南部的冷家正反转构造具有相似特征^[9]。

上述断裂在同一期不同断裂生长指数具有明显差异,如沙一、沙二期 F_5 断裂活动强度明显高于其他断裂;同一断裂不同期生长指数也有差异,如

F₅ 断裂在沙一、沙二期—东营期的活动比沙三、沙四期断裂活动强烈,说明断裂活动在空间上具有不均一性,在时间上具有波动性。

3 断裂成因机制分析与模拟

分析结果表明,研究区构造应力场主要分 3 期:沙四、沙三期表现为张裂期;沙一、沙二—东营期为右旋走滑期;馆陶期为挤压反转期。在高 81 井 1 950 m 处砂岩样品声发射测试结果反映,3 期构造应力场的应力大小分别为 42.7、37.3、22.9 MPa。根据同生断裂的分布和古应力大小对沙四、沙三期伸展断裂、沙一、沙二—东营期张扭性断裂成因进行了数值模拟,结果表明,沙四、沙三期伸展断裂和沙一、沙二—东营期张扭性断裂受北东向主压应力控制,应力方向与同生断裂方向一致,在高 81 井等同生断裂发育的地区古应力较集中,而断裂不发育的地区应力差变化相对减小,这两期构造应力场可能与太平洋板块向欧亚板块俯冲产生的挤压应力作用有关。

为了更好地解释挤压反转断裂成因机制,利用沙箱实验装置进行了模拟。根据 InLine1600 测线地震剖面解释结果建立剖面地质模型(见图 3),根据地质模型设计的实验装置(图 4),基底薄板与模

块间的夹角为 40°(与实际断裂产状相近),模型总长 45 cm,沙层高 8 cm。实验材料为干沙,粒度为 0.2~0.3 mm;马达转速(左=右)为 800 r/min(约 0.38 cm/min)。实验分 2 组进行,每组分 2 期。第 1 组实验第 1 期左侧马达带动基底木板做伸展运动,伸展位移 6 cm;第 2 期为左侧马达推动模块做挤压运动,收缩位移 6 cm。第 2 组实验第 1 期左侧马达带动基底木板做伸展运动,伸展位移 6 cm;第 2 期为右侧马达推动模块做挤压运动,收缩位移 3 cm。

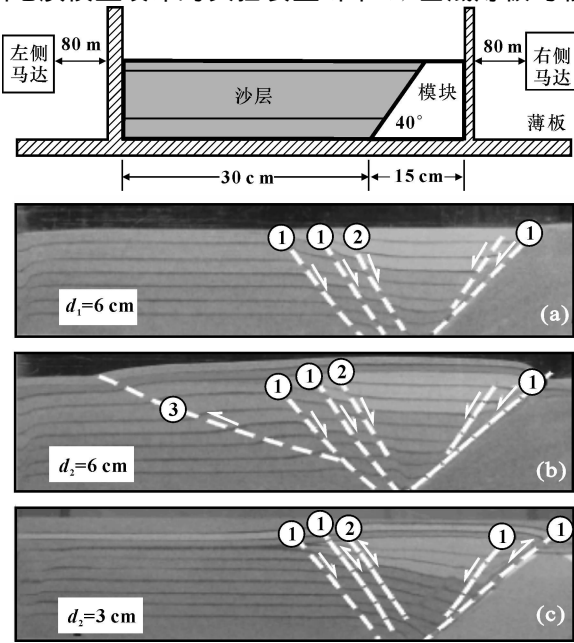
模拟结果表明:当伸展量达 1 cm 时,产生 3 条正断层,右侧 2 条正断层向下复合为 1 条边界断层,与左侧 1 条正断层组成地堑式结构(见图 4);当伸展量达 3 cm 时,平行左侧正断层方向新发育 1 条同向正断层;当伸展量达 6 cm 时,平行左侧正断层方向新发育 2 条同向正断层,与模型条件比较吻合。

当左侧挤压收缩量为 3 cm 时,右侧边界主断层发生轻微反转,左侧断层没有发生反转;当收缩量为 4 cm 时,靠近左侧早期正断层新发育 1 条逆断层,而左侧早期正断层本身没有发生反转,与剖面模型不十分符合。当右侧挤压收缩量为 3 cm 时,右侧边界主断层发生强烈反转,左侧正断层发生轻微反转,没有新生逆断层发育,实验结果与剖面模型比较符合。

上述模拟结果表明,施力方式不同可以产生不同的变形样式。在实验后期左侧驱动挤压时,受右侧边界的阻挡,应力是由基底和刚性边界共同施加,从而使得沙层整体变形,隆升较均匀,右侧软弱的上盘断块遭遇下盘刚性断块,从而沿原断面逆冲反转。而在上盘左侧由于岩石的力学性质作用不明显,所以这一侧断层只是倾角变陡,或产生新的低角度逆断层,而不能发生反转。当右侧驱动挤压时,刚性下盘施加于上盘断块的应力是由下到上面状传递的,应力可以分解为平行于断层面和垂直于断层面的两个分力,容易使先期正断层反转,反转的幅度主要与边界断层的产状有关(见图 4)。研究区的反转构造变形特征与右侧驱动挤压时的实验结果非常吻合,这种现象表明受压扭性应力场控制,区域上可能与邻庐断裂走滑作用相关。

4 断裂构造控制的圈闭类型

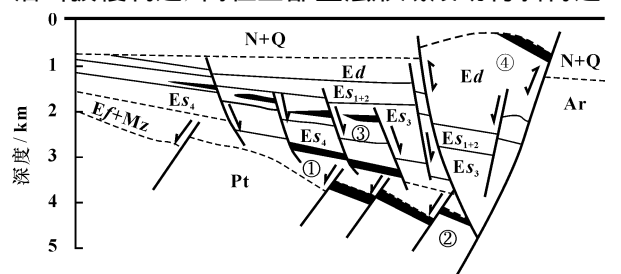
西部凹陷北部地区新生代以来经历了早期伸



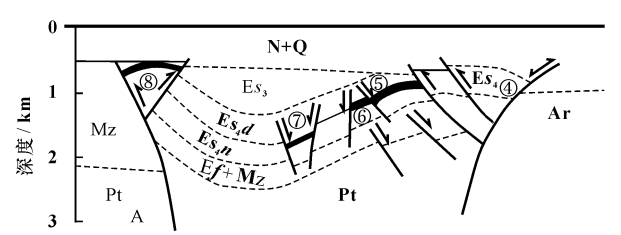
(a) 左侧伸展量达 6 cm 时模拟结果; (b) 左侧挤压量达 6 cm 时模拟结果; (c) 右侧挤压量达 3 cm 时模拟结果

图 4 挤压反转构造沙箱实验装置及模拟结果
Fig. 4 Sand Box Simulation Results of Inversion Structure of Northern Area in West Depression

展断陷、中期走滑扭动、晚期挤压反转等构造运动, 不同应力性质的构造运动控制不同类型圈闭的发育和分布。根据控制圈闭形成的构造应力场性质可分为伸展构造控制的圈闭, 主要包括断鼻状构造(如高 81 块)、披覆构造、翘倾断块构造、滚动背斜等; 挤压构造控制的圈闭, 包括挤压背斜构造(如坨 34 块)和挤压反转构造(如坨 5 块); 走滑构造控制的构造主要为花状构造(如坨 17 块)(图 5)。由于构造运动的不均衡性和边界条件的差异性, 圈闭在平面上具有东西分带、南北分块现象, 如高升斜坡地区以发育断鼻和断块圈闭为主; 台安凹陷东部以发育滚动背斜和冲起背斜为主; 北部牛心坨隆起区以发育挤压背斜、披覆潜山为主。剖面上不同圈闭相互叠置, 如坨 5 块, 在坨 5 井下部太古界内形成潜山披覆构造, 而在上部盖层形成滚动背斜构造。



(a) 高升斜坡带和台安凹陷圈闭模式



(b) 牛心坨隆起带圈闭模式

- ① 潜山披覆构造圈闭; ②“入”字型构造圈闭;
- ③ 断块圈闭; ④ 冲起背斜圈闭; ⑤ 挤压背斜圈闭;
- ⑥ 地垒式圈闭; ⑦ 地堑式圈闭; ⑧ 正花状构造圈闭

图 5 西部凹陷北部地区圈闭模式

Fig. 5 Trap Styles of Northern Area in West Depression

由于油气运移的时期主要发生在东营期以前, 所以馆陶期形成的圈闭对油气聚集成藏意义不大, 而东营期以前的圈闭应作为今后勘探的重点目标, 尤其是高升斜坡带上的断鼻状构造和牛心坨隆起带上的挤压背斜构造是较为有利的目标优选类型。

5 结语

对辽河西部凹陷北部地区新生代不同阶段不整合面的空间展布、断裂组合及成因机制进行了研究, 结合圈闭类型划分得出:

(1) 辽河西部凹陷新生代盆地经历了初始裂陷、伸展断陷、挤压拗陷 3 个演化阶段。

(2) 新生代构造以张性断裂为主, 兼具走滑和反转特征, 沙四、沙三期发育伸展断裂系统、沙一、沙二—东营期发育走滑断裂系统、馆陶期发育挤压断裂系统。

(3) 沙箱模拟实验证明, 挤压反转构造受断层下盘施力方式控制, 与基底走滑作用有关。

(4) 伸展作用控制的断鼻状构造和挤压作用控制的背斜构造是高升斜坡带和牛心坨隆起带上较为有利的圈闭优选类型。

参考文献:

[1] 黄 飞, 刘惠军, 张 燕. 辽河油田欢喜岭太古界潜山裂缝形预测研究[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2004, 31 (1): 73-76.

[2] 苏生瑞, 张靖宇, 毛彦龙. 辽河油田曙一区杜 84 块兴隆台油层构造应力场研究[J]. 西安工程学院学报, 2001, 23(1): 11-15.

[3] 罗 群. 辽河盆地冷家地区陈家逆断层特征与油气分布[J]. 新疆石油地质, 2000, 21(2): 110-113.

[4] 胡望水, 卫拥军, 张自其. 辽河盆地构造样式与圈闭发育特征[J]. 新疆石油地质, 2002, 23(3): 197-200.

[5] 朱庆杰, 陈 静, 岳文珍, 等. 同位素测定在辽河油田宋家凹陷构造演化分析中的应用[J]. 地质与资源, 2002, 11(4): 228-232.

[6] 胡望水, 卫拥军, 张自其. 辽河盆地反转期构造特征[J]. 西安石油学院学报: 自然科学版, 2002, 17(5): 5-13.