

文章编号: 1000-0747(2004)03-0014-04

辽河拗陷古近纪两期构造演化的构造物理模拟实验

单家增¹, 张占文², 肖乾华²

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所; 2. 中国石油辽河油田勘探开发研究院)

摘要: 按辽河拗陷古近纪经历过早期大陆裂谷拉张变形和后期右行走滑变形的地质模型, 对其东部凹陷 34.8 测线断裂体系形成和演化进行构造物理模拟实验, 结果表明, 早期地幔上涌派生的拉张应力作用导致正断层断裂体系的形成和演化, 后期的右行张扭剪应力作用诱发了正花状和负花状断裂体系的形成和演化, 两期构造运动决定了现今复杂含油气构造体系的展布, 能够解释辽河拗陷复杂断裂体系形成和演化的动力学成因机制。图 6 表 1 参 13

关键词: 辽河拗陷; 古近纪; 拉张; 走滑; 构造演化; 构造物理模拟实验

中图分类号: P54

文献标识码: A

1 问题的提出

辽河拗陷在地幔上涌派生的拉张应力场作用下形成, 大陆裂谷型断陷演化时期主要为古近纪, 这一结论已被广泛接受^[1-4]。但是, 单一的地幔上涌派生拉张应力驱动作用不能充分解释实际的地质、地球物理和钻孔岩心资料。

1.1 复杂断裂体系

辽河拗陷东部凹陷断裂体系分布具有明显的非线性特征(见图 1), 是多期构造应力作用的结果^[5]。



图 1 辽河拗陷东部凹陷断裂体系分布图

由图 2 和图 3 可见: ①正断层与逆断层伴生, 构成既有正断层又有逆断层的多重构造特征的断裂体系; ②整个断裂体系的沉积厚度分布是非均匀的, 特别是

在靠近油燕沟潜山沉积层厚度明显变薄, 证明在这一地质时期(古近纪沙一段沉积末期至东营组沉积期)发生了同沉积构造运动^[5]; ③在油燕沟潜山左翼的田庄台断层(见图 2)和三界泡潜山两翼(见图 3)分别有典型的正“花”状断层组合, 它们与早期断裂体系共同组成不同断层性质、不同期次的复杂断裂体系。

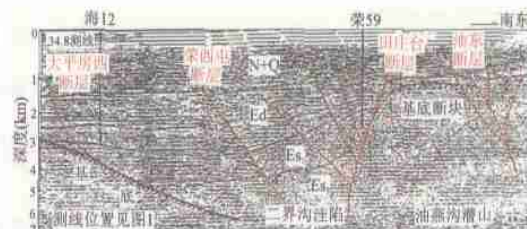


图 2 油燕沟潜山左翼典型的正“花”状断层组合特征

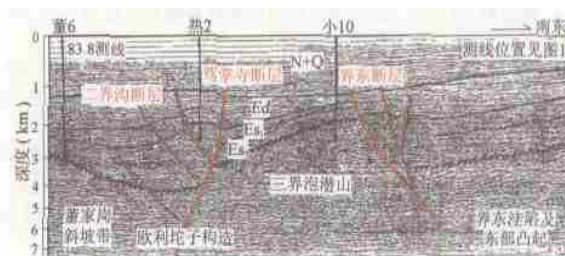


图 3 三界泡潜山两翼典型的正“花”状断层组合特征

1.2 火山活动期次和分布

地质体中物质的分布和变形体的应变特征记录了所经历的构造运动。具有塑性材料特性的地幔物质上涌不仅会导致其上覆的沉积层处于派生的拉张应力作用下, 而且地幔物质可以沿切割到上地幔的岩石圈断裂通道侵入到上覆沉积层中。辽河拗陷东部凹陷古近纪火山岩与该区所经历的构造运动密切相关, 具有多期次活动和分布不一等特征(见图 4), 火山活动按时间序列可分为古近纪房山组沉积期、沙三段沉积期、

沙一段沉积期和东营组沉积期。

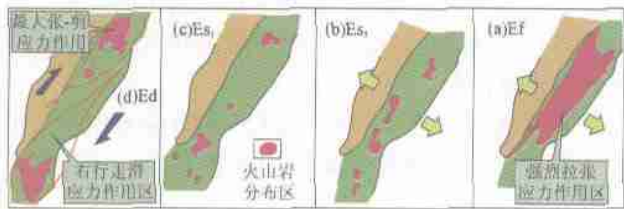


图 4 辽河拗陷东部凹陷火山岩分布示意图

房身泡组沉积期(Ef)火山岩代表了大陆裂谷型断陷演化初期深部岩浆沿岩石圈断裂通道喷发到地表,具有喷发强度高、溢流面积大等重要特征(见图 4a),这一阶段地幔物质上涌导致上覆沉积层处于拉张应力作用下,深部岩石圈断裂和上覆张性断裂的形成是岩浆喷发到当时的地表的必备条件。沙三段沉积期(Es3)是大陆裂谷型断陷演化的主要阶段,有 2~3 个喷发中心(见图 4b),火山岩的分布可能与深部地幔隆起高点对应。辽河拗陷在沙二段沉积期抬升,大部分区域缺失沙二段。沙一段沉积期(Es1)火山岩分布明显有南北两个中心,喷发强度和分布面积都相对大幅度减弱,反映地幔上涌派生拉张应力能量的减弱(见图 4c)。东营组(Ed)沉积期火山岩的分布具有雁行式排列的特征,反映作为岩浆上涌通道的岩石圈断裂的活动明显受右行走滑构造运动的驱动(图 4d)。

2 构造物理模拟实验

为了充分解释辽河拗陷东部凹陷复杂断裂体系的成因机制,本文以 34.8 测线地震剖面断裂体系为研究对象,开展了比例的构造物理模拟实验,实验在中国科学院地质与地球物理研究所构造力学实验室进行。

2.1 实验装置与实验材料

辽河拗陷是在地幔上涌派生拉张应力作用下形成的大陆裂谷型拗陷,进行构造物理模拟实验,关键是设计出与实际构造应力作用相似的构造模拟实验装置。本实验的实验装置(见图 5)可提供类似于地幔上涌产生的派生拉张应力和右行走滑构造运动诱发的驱动力。

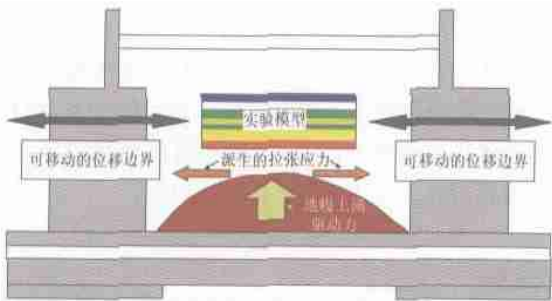


图 5 构造物理模拟实验装置示意剖面图

本实验使用了 9 种不同颜色、不同材料特性的实验材料,分别作为不同地层的替代物(见表 1)。

表 1 构造物理模拟实验中使用的实验材料等相关参数

实验材料	材料名称	替代的地层	代表的岩性	实际地层厚度(m)
	白色石膏	Q	粉质泥砂岩	400
	70%泥+30%砂混合物	Ng	泥质粉砂岩	350
	60%泥+40%砂混合物	Ed	粉砂岩	2000
	50%泥+50%砂混合物	Es ₁	砂泥岩	1000
	70%泥+30%砂混合物	Es ₂	炭质砂岩	1300
	粉末金刚砂	Es ₃	泥质砂岩	1300
	100%泥	Ef	泥岩	1500
	70%凡士林+30%石蜡混合物	前新生界	砂砾岩	
	凡士林塑性物	地幔上涌体	塑性地幔上涌体	

2.2 实验结果

构造物理模拟实验作为一独特的实验方法,可以在实验室条件下,再现含油气构造体系形成和演化过程,追踪它们形成的动力学成因机制,是油气勘探研究由定性描述跨入半定量分析乃至定量分析的有效途径,近十余年来被广泛应用于石油勘探研究领域^[6-13]。在构造物理模拟实验和材料物质特性相似的物系中实施同一性质的变形过程,其中表达现象特性的同类量互为常数比例时,这些物系之间构成的相互相似现象有明确的相似参数指标,包括几何比例相似、材料性质相似、时间相似、边界条件相似和驱动力作用方式相似等等。用实验相似理论指导构造物理模拟实验,是提高实验精度的有效保证。

封面图片和图 6 是辽河拗陷东部凹陷 34.8 测线含油气构造体系成因机制的构造物理模拟实验结果照片,实验中应用了类似于同沉积构造运动的实验技术。照片中红黄间隔的标尺的长度为 5cm,实验结果解释和相关参数如下:

- ①古新世房身泡组沉积期(距今 53.0~63.0Ma),主要驱动力作用方式为地幔上涌派生的拉张应力。房身泡组沉积期模拟区域进入大陆裂谷演化阶段,在地幔上涌派生的拉张应力作用下,地幔上涌的穹窿顶部上覆沉积层产生张性断裂,形成不同挠曲度的弯曲变形(见图 6a)。
- ②始新世沙三段沉积早期(距今 43.0~52.9Ma),主要驱动力作用方式为地幔上涌派生的拉张应力。随上覆沉积层厚度的增加,弯曲的上覆沉积层产生重力非均衡效应,在弯曲地层“V”型最大张应力区域的肩

部形成断裂(见图 6b)。被张性断裂拉断的部位充填了上覆地层的沉积物,地层的厚度分布是非均匀的。

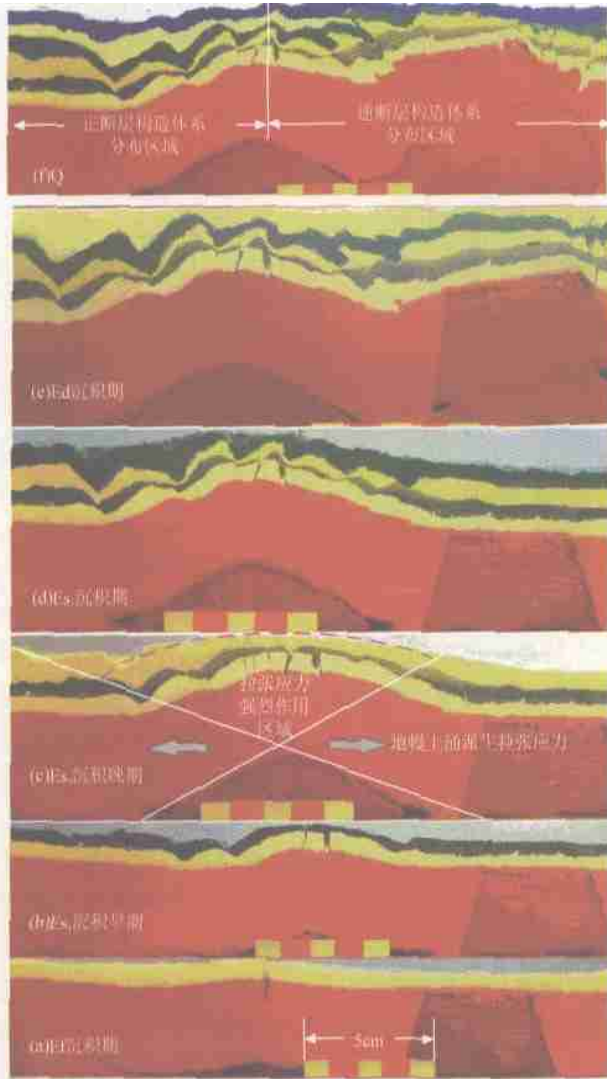


图 6 构造物理模拟实验结果照片

③始新世沙三段沉积晚期(距今 40.0~42.9Ma), 主要驱动力作用方式为地幔上涌派生的拉张应力。沉积了新的沉积层,地幔强烈上涌派生的拉张应力驱动作用和上覆沉积层的重力非均衡效应导致断裂体系进一步演化,断裂体系集中发育在地幔上涌派生拉张应力的强烈作用区域内(见图 6c)。可清楚观察到深部地幔上涌穹隆区与上覆沉积层变形的叠置关系。

④早渐新世沙一段沉积期(距今 37.0~38.5Ma), 地幔上涌派生拉张应力由强变弱,构造变形处于应力势能作用调整阶段,主体构造体系基本形成(见图 6d)。沙一段沉积末期构造应力由拉张应力向右行走滑构造运动引起的张-剪应力作用过渡。

⑤晚渐新世东营组沉积期(距今 24.5~36.9Ma), 右行走滑构造运动引起剪应力作用,可清楚观察到基底潜山发生运动,导致上覆沉积层处于压-扭应力作用

条件下,早期形成的正断层被改造,并形成新的断裂(见图 6e)。早期拉张应力作用下形成的正断层构造与后期右行走滑构造运动产生的逆断层共同组成独特的含油气构造体系。

⑥第四纪(距今 2.0Ma 以来),构造应力作用处于静止期,无明显的构造变形产生(见图 6f)。

3 主要结论

依据上述构造物理模拟实验结果,笔者认为地幔上涌派生的拉张应力是辽河拗陷东部凹陷 34.8 测线含油气断裂体系形成和演化的主要驱动力之一。沙三段沉积期该断裂体系的主体断裂格局基本奠定,由于地幔上涌活动强烈,不仅派生了拉张应力场的强烈作用,还诱发了地球深部的地幔塑性物质通过岩石圈深大断裂上涌到当时的地表,导致分布不均的火山喷发,因此沙三段沉积期火山岩的分布具有与地幔上涌高点相对应分布的特征。裂谷期断裂体系的形成经历了:①早期的张裂阶段,②中期的非均衡的应力势能作用和调整阶段,③后期的断层上盘被向下牵引、滑移和沉陷阶段,大部分断层具有掀斜和犁式特征。在房身泡组—沙一段沉积的近 34Ma 期间,形成了辽河拗陷主体断裂体系。进入沙一段沉积期,由于构造应力的减弱,裂谷型凹陷断裂体系的演化表现为均衡调整,形成共轭断裂。在沙一段沉积末期,构造应力场由拉张向右行走滑转化。郑庐岩石圈深大断裂在东营组沉积期的右行走滑构造运动是辽河拗陷东部凹陷发生右行走滑构造运动的直接诱因,东营组沉积期右行走滑构造运动进入高峰期,张-剪应力的作用导致沿主位移带(PDZ)出现张性位移空间,为基底断块提供了向上运动的位移空间,诱发的基底断块向上运动导致形成其上覆沉积层局部压应力场,将早期的正断层改造为逆断层,并形成新的断裂。笔者在实验中详细地观察了压应力场作用使早期正断层演变为逆断层的过程。

依据辽河拗陷东部凹陷 34.8 测线含油气断裂体系形成和演化动力学成因机制的构造物理模拟实验结果,辽河拗陷在古近纪经历了两期构造运动,早期的大陆裂谷演化阶段地幔上涌派生的拉张应力场导致正断层断裂体系的形成和演化,后期的右行走滑构造运动阶段的右行走滑构造运动诱发了正“花”状和负“花”状断裂体系的形成和演化,二期构造运动决定了现今所勘探到的复杂含油气构造体系的展布。

参考文献:

[1] 张文佑. 断块构造导论[M]. 北京: 石油工业出版社, 1984. 87-122.

- [2] 张文佑. 中国及邻区海陆大地构造图[M]. 北京: 科学出版社, 1986. 58-266.
- [3] 孙红军. 辽河盆地东部凹陷含油气系统研究及勘探目标评价[D]. 南京: 南京大学, 博士后报告, 1999.
- [4] 廖兴明, 等. 辽河盆地构造演化与油气[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996.
- [5] 单家增, 张占文, 孙红军, 等. 营口—佟二堡断裂带成因机制的构造物理模拟实验研究[J]. 石油勘探与开发, 2004 31(1): 15-17.
- [6] McClay K, Bonora M. Analog models of restraining stopovers in strike-slip fault systems[J]. AAPG, 2001, 85(2): 233-260.
- [7] McClay K, Dooley T. Analog models of pull-aparts[J]. Geology, 1995, 23(2): 711-714.
- [8] Giacomo Corti, et al. Magma-induced strain localization in centri-fuge models of transfer zones[J]. Tectonophysics, 2002, 348(2): 205-218.
- [9] Marques F O, Cobbold P R. Topography as a major factor in the development of arcuate thrust belts: insights from sandbox experiments[J]. Tectonophysics, 2002, 348(2): 247-268.
- [10] Dooley T, McClay K. Analog modeling of pull-apart Basins[J]. AAPG, 1997, 81(11): 1804-1826.
- [11] 单家增. 构造模拟实验在石油地质学中的应用[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996.
- [12] Donald H, Brian J E. The development of seismic reflection sandbox modeling[J]. AAPG, 2001, 85(9): 1645-1659.
- [13] Withjack M O, Callaway S. Active normal faulting beneath a salt layer: an experimental study of deformation patterns in the cover sequence[J]. AAPG, 2000, 84(5): 627-651.

第二作者简介: 张占文(1963-), 男, 陕西蒲城人, 大学本科学历, 辽河油田勘探开发研究院教授级高级工程师, 从事与油气勘探有关的石油地质、构造地质和沉积学研究工作。地址: 辽宁省盘锦市, 辽河油田勘探

开发研究院, 邮政编码: 124010.

收稿日期: 2004-03-23

(编辑、绘图 王孝陵)

Modeling experiments of two-phase structural evolution in the Liaohe Depression, Paleogene

SHAN Jia-zeng¹, ZHANG Zhan-wen², XIAO Qian-hua² (1. Institute of Geology and Geophysics, CAS, Beijing 100029, China; 2. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Liaohe Oilfield Company, PetroChina, Liaoning 124010, China)

Abstract On the basis of geological model with older tensile deformation under continental rift and younger dextral strike-slip movement in the Liaohe Depression, Paleogene, modeling experiments with formation and evolution of fracture system on the seismic line 34.8 in the East sag are conducted. The results indicate that formation and evolution of normal faults are driven by older experimental stress from upwelling of the mantle and formation and evolution of reverse and normal "flower" are induced by younger structural stresses from dextral strike-slip. Two phases structural resulted in spread arrangement of complex oil gas bearing fracture system. The results might be used to explain dynamical mechanism of complex fracture system in the Liaohe Depression.

Key words: Liaohe Depression; Paleogene; tension; strike-slip; structural evolution; modeling experiment

《石油勘探与开发》创刊三十周年 暨第六届编辑委员会成立大会召开

《石油勘探与开发》创刊三十周年暨第六届编辑委员会成立大会于2004年6月10日在主办单位中国石油勘探开发研究院召开。出席会议的有《石油勘探与开发》第六届编辑委员、特邀嘉宾等76人, 中国科学院、中国工程院邱中建、孙枢等8位院士及领导、专家学者出席。

中国科学院院士、中国石油勘探开发研究院院长、第六届编辑委员会主任贾承造讲话, 他希望新一届编委会及编辑部的同志们继续努力, 从各个方面精益求精, 力求把《石油勘探与开发》办成中国石油勘探开发研究院的“镇院之宝”, 成为国内石油界的精品期刊, 与中国石油一同走向世界。中国石油集团公司科技发展部刘振武主任发表讲话, 对石油科技期刊的任务与前景做了重要指示。《新疆石油地质》副主编陈淦代表兄弟期刊编辑部发言。

会上宣读并展示了第六届编委会委员邱中建、孙枢等12

位中国科学院、中国工程院院士为《石油勘探与开发》创刊三十周年的祝贺题词。《天然气工业》等11个兄弟编辑部、外籍编委、加拿大西安大略大学地球科学系靳吉锁教授等发来了贺信。

《石油勘探与开发》常务副主编王孝陵代表编辑部向与会代表汇报了2000年以来的办刊工作。

贾承造院士向与会的部分第六届编委会委员颁发了聘书。

代表第六届编委会发言的有:《石油勘探与开发》新任主编戴金星院士; 外籍编委、英国纽卡斯尔大学理学院副院长、国际知名油气地球化学家S. R. 拉特(Later)教授; 老专家、中国石油勘探开发研究院原副总地质师李晋超教授; 中青年专家、南京大学地球科学系主任胡凯教授。邱中建院士也在会上做了热情洋溢的发言。

(王大锐 供稿)