

Multi-Stage Segmentation Characteristics of Differential Evolution in Liaozhong 1 Fracture Zones

Qiang Liang^{1,2}, Dalin Song^{1,2}, Shenyan He^{1,2}, Xiaofei Wang^{1,2}, Dongdong Liu³

¹State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan

²Energy Institute, Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan

³Henan Engineering Hydrogeological Survey Institute Co. LTD., Zhengzhou Henan
Email: 979318133@qq.com

Received: Jun 26th, 2018; accepted: Jul. 9th, 2018; published: Jul. 16th, 2018

Abstract

Based on the information of regional geology, earthquake and drilling data, started from the structural interpretation of seismic data and combined with the results of previous research, structural and evolutional features of the trunk fracture zones in Liaozhong Depression are studied. The main activity periods of the trunk fracture zones in Liaozhong 1 fracture zones are: 1) The strong extension period in sedimentation period from Kongdian formation to member 3 of Shahejie formation; 2) The right strike-slip activity period: in sedimentation period from member 3 of Dongying formation to the member 2; 3) The inverse activity period: in the end of Dongying sedimentation; 4) Weakly strike-slip activity or extension period: in sedimentation period from Guantao formation to Pingyuan formation. Multiple types tectonic styles, resulted in extension motioning and strike-slip motioning of the trunk fracture zones in Liaozhong 1 fracture zones, form a variety of traps. The deep traps are related to extension activities of faults, and the shallow traps are related to strike-slip activities of faults. The trunk fracture zones in Liaozhong depression, connecting source rocks with traps, can be used as vertical migration channels of oil and gas.

Keywords

Liaozhong Depression, Liaozhong 1 Fracture Zones, Fault Styles, Fault Evolution

辽东湾辽中1号断裂分段演化特征

梁 强^{1,2}, 宋达林^{1,2}, 何身焱^{1,2}, 王晓飞^{1,2}, 刘冬冬³

¹成都理工大学, “油气藏地质及开发工程”国家重点实验室, 四川 成都

²成都理工大学能源学院, 四川 成都

³河南省工程水文地质勘察院有限公司, 河南 郑州
Email: 979318133@qq.com

收稿日期: 2018年6月26日; 录用日期: 2018年7月9日; 发布日期: 2018年7月16日

摘要

本文以区域地质、地震和钻井资料为基础, 从地震资料构造解释入手, 结合前人研究成果, 对辽中凹陷内部的辽中1号主干断裂带的结构特征和演化特征进行了深入研究。辽中1号断裂带主要经历四个活动期次: 1) 孔店组到沙河街组三段的强烈伸展活动期; 2) 东营组三段到东营组二段的右旋走滑活动期; 3) 东营组一段的反转活动期; 4) 馆陶组 - 明化镇组弱走滑 - 伸展活动期。辽中1号主干断裂带伸展和走滑活动形成了多种类型的构造样式, 从而导致了圈闭的多样性, 其中深层圈闭的形成与断裂的伸展活动相关, 浅层圈闭的形成与断裂的走滑活动相关。主干断裂带沟通了下部的烃源岩和上部的圈闭, 可以作为油气垂向的运移通道。

关键词

辽中凹陷, 辽中1号断裂, 断裂特征, 断裂演化

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

辽东湾拗陷是隶属于渤海湾盆地的一个次级拗陷[1], 它与下辽河拗陷在构造上具有一定的相似性, 相当于下辽河拗陷在海域的延伸部分。辽东湾是渤海海域最主要的油气产区之一, 具有多层含油层系, 而且储量大[2]。辽中凹陷位于辽东湾拗陷中部, 是辽东湾拗陷的一个面积最大的次级构造单元。据前人研究渤海的油气田和含油气构造大部分位于辽中凹陷主干断裂带(辽中凹陷主干断裂带其实是郯庐断裂带(辽东湾段)的分支断裂带)两侧[3], 而实际上油气是聚集在与主干断裂带相关的圈闭中, 而构造样式对该区构造圈闭甚至是隐蔽圈闭的形成具有重要的意义[4]。因此研究辽中1号断裂的演化过程对油气勘探开发具有十分重要的作用。

辽中1号断裂在地震剖面上的特征则主要是表现为走滑断裂性质, 其在地震剖面上常为近于直立的或高角度主断层面及向上分支扩散并且相对的分枝断层系, 形成了不同形式的“花状构造”[5]。根据辽中1号整体的变形及内部隆起特征的差异性将其分为: 南部的压扭段和北部的凸起段, 其中辽中1号北部的凸起段还进一步根据凸起发育特征(主要是辽东凸起)细分为单一凸起段和复合凸起段以及隐伏凸起段[6][7][8][9][10]。辽中1号的断裂古近纪的断层的活动速率高, 变化幅度也较大, 新近纪的断层活动速率低, 整个的变化幅度较小[11]。前人对该断裂的分段演化做的工作较少, 因此本文通过对辽中1号断裂的分段演化差异性进行研究, 对该地区油气藏的预测有一定的引导作用。

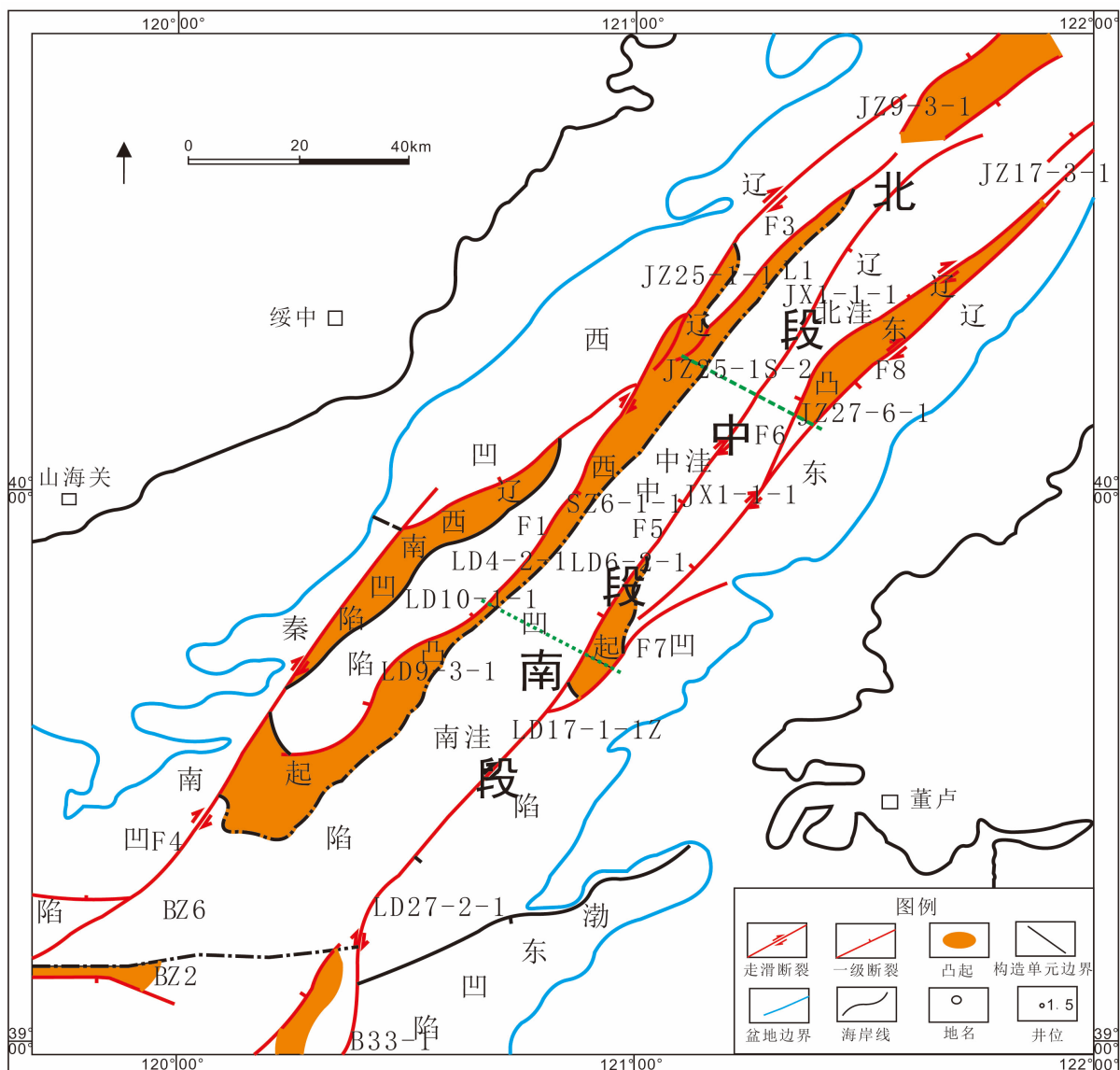
2. 地质概况

辽东湾拗陷处于渤海湾盆地的东北部, 从构造上划分为三个负向构造单元和两个正向构造单元, 自

东向西分别为辽东凹陷、辽东凸起、辽中凹陷、辽西低凸起和辽西凹陷[12]。辽中凹陷位于辽东湾坳陷的中部，为一东断西超的箕状断陷，呈北东-南西向的狭长条带状。辽中凹陷可分为北、中、南三个次级洼陷，这三个洼陷西邻辽西凸起[13]。北洼和中洼北部东邻辽东凸起，并以辽中2号断裂带为界。中洼中部和南洼东邻辽东凹陷。中洼南部东邻辽东凸起，并以辽中1号断裂带为界。从整体上看，辽中1号断裂带横贯辽中凹陷，辽中2号断裂带主要为辽中凹陷的边界断裂(图1)。

3. 辽中1号断裂特征

辽中1号断裂是郯庐断裂(辽东湾段)西分支，是一条纵贯辽中凹陷SE的走滑断裂，全长220 km以上，走向NNE-NE，从剖面上看断裂面比较直立，可以看见花状构造发育，辽中1号断裂北部、中部、



F1: 辽西1号; F2: 辽西2号; F3: 辽西3号; F4: 秦南1号; F5: 辽中1号;
F6: 辽中2号; F7: 辽东1号; F8: 辽东2号; F9: 渤东2号

Figure 1. Liaodong bay structural outline
图1. 辽东湾构造纲要图

南部倾向有较大的差异,其中南部倾向 SEE、中部倾向 NWW、北部倾向 SEE。依据断裂结构特征,可将辽中 1 号及邻区分为 3 个构造带北段,中段和南段(图 1)。为了细致的研究辽中凹陷主干断裂带的几何学特征,沿着断裂走向方向从南到北切了一系列的垂直断裂走向方向的剖面(图 2)。

辽中 1 号三段虽然每个剖面在构造样式上有一些变化,在三段内部,断层的成因以及他们受力方向,各个时期的活动性强弱都具有差异性。

1) 南段,辽中 1 号主干断裂倾向为 SE,往下断至盆地基底,往上延伸至明化镇组和平原组,整体表现为上陡下缓的铲式正断层,在古近系中断距较大,在新近系中断距较小。主干断裂两侧分支断裂主要发育在新近系的地层中,它们在剖面上的断距较小。主干断裂及其两侧浅层的分支断裂一起构成了

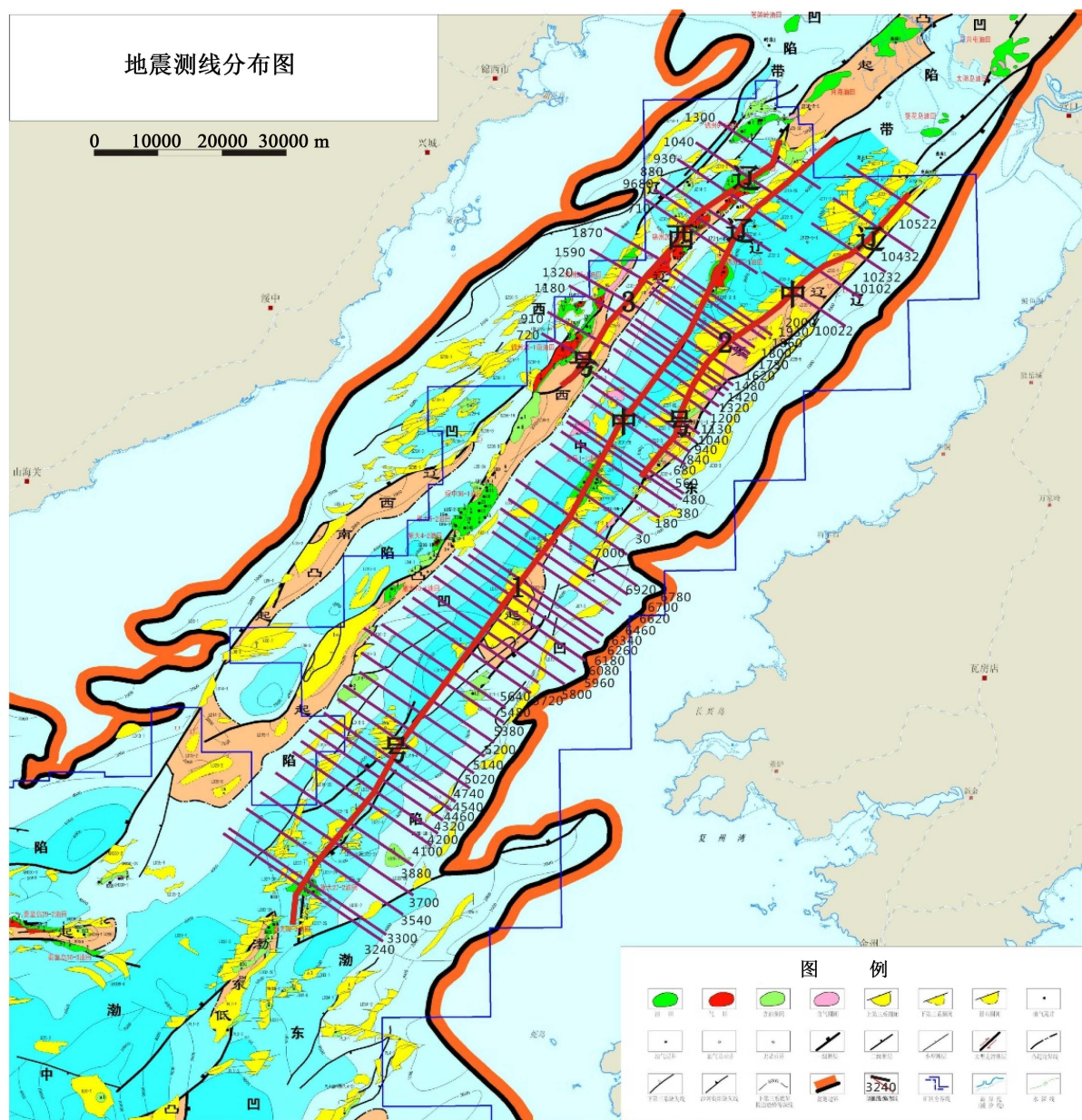


Figure 2. Distribution of No. 1 Liaozhong line

图 2. 辽中 1 号测线分布图

“似花状构造”，也有的呈“花状构造”。另外在南段的一些地方由于，岩浆的底辟作用断裂的倾向近于直立，且在第四系和新近纪的地层中，分支断裂特别多，形成的“花状构造”(图3)。

2) 中段，断裂带倾向 NWW 或近于直立的断裂。辽中 1 号断裂上部有“入”字型和“X”型正断层组发育，在中段北部，当辽中 1 号断面整体上越过辽东凸起后，构造样式呈“y”字型。在交点之下，辽中 1 号表现为一条倾向为北西西向的压扭断层，倾角为 70°~90°，上陡下缓，呈现一种铲式正断层的特征；而在交点之上，辽中 1 号表现为东西两条走滑断层：东走滑断层断面较缓，倾向为 NWW 向，倾角为 60°左右，向上终止于古近系东营组三段顶部；西走滑断层断面较陡，倾向为 SEE，倾角为 80°~90°，向上延伸至新近系，并且与其东侧的调节断层一起构成了花状构造(半花)。这样就在东西两条走滑断层的叠置区形成构造转换带(图4)。

3) 北段，走向继续沿 NNW 运动，整体断裂在穿过辽中凹陷中部后，北段北部断裂已经临近辽西凸起构造带，已然成为了辽西凸起的边界断裂。辽中 1 号断裂在北段南部倾向为 SE 向，主要受走滑作用的影响，往下断至盆地基底，往上延伸至新近系(第四系)，主干断裂整体表现为上陡下缓的铲式正断层，在浅层发育的一条次级断裂与主干断裂一起组成了反 y 字型正断层(图5)。

辽中 1 号断裂性质主要表现为伸展性、走滑性和伸展走滑叠加复合性质，从南向北交互出现，从而

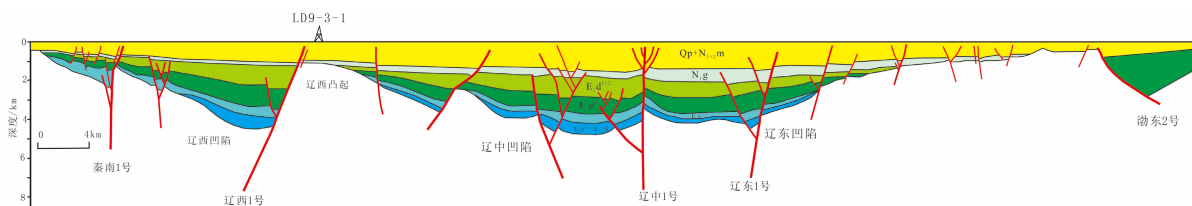


Figure 3. Southern section seismic profile (line LZ199)

图 3. 南段地震剖面(测线 LZ199)

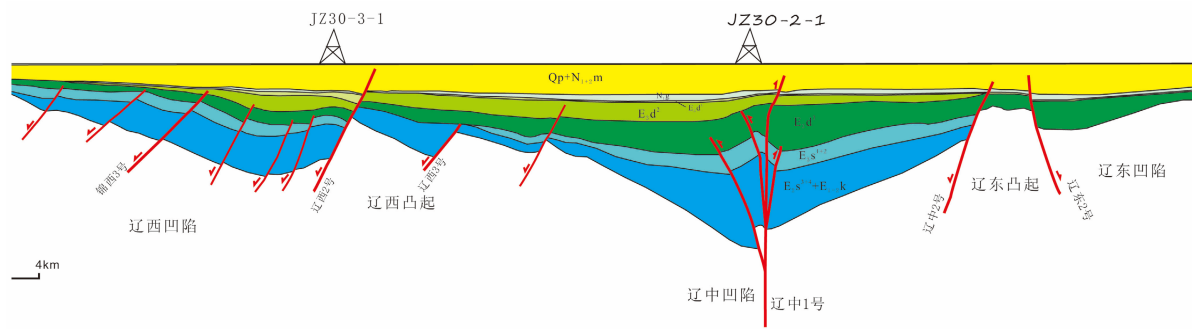


Figure 4. Southern section seismic profile (line LZ146)

图 4. 中段剖面结构(测线 LZ146)

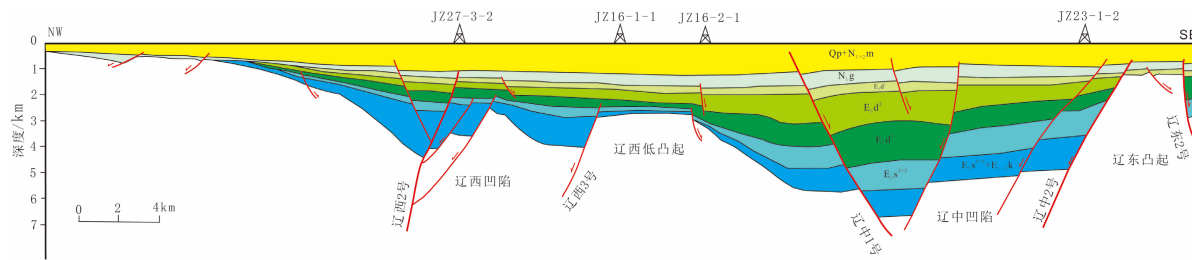


Figure 5. North section view (line LZ273)

图 5. 北段剖面图(测线 LZ273)

导致了其断裂样式的差异。辽中 1 号断裂走向为 NE-NNE 向, 倾向和倾角在不同的地段表现不一。从南到北依次变现几何学特征差异: 南段: 伸展性的铲式 - 坡坪式正断层, 主干断裂倾向为 SE; 其次发育花状构造, 主干断裂倾角约 $60^{\circ}\sim 80^{\circ}$; 张扭性的断层, 倾向为近于直立。中段: 上部发育 JX1-1 走滑构造转换带[14], 下部断裂为铲式正断层, 再往北发育花状构造, 半花状构造, 主干断裂直立到近直立。北段: 整个北段的断裂的走向 NW, 伸展性的铲式正断层, 倾向为 SE, 倾角 $60^{\circ}\sim 80^{\circ}$; 半花状构造, 倾向 SE, 倾角近于直立; 坡坪式正断层, 倾向 SE。

4. 演化特征

辽中 1 号主干断裂带具有明显的分带、分段差异变形特征, 而且在垂向上对不同时代地层变形特征的影响也不一致[15], 本文分北、中、南三段阐述辽中 1 号主干断裂带演化特征。

4.1. 北段演化特征

选取辽中 1 号北段的典型剖面(图 6), 通过平衡剖面技术对辽中 1 号断裂带进行演化分析, 并计算了辽中 1 号断裂在各时期的活动速率。

从辽中 1 号北段各时期断裂活动差异对比图中(图 6), 可以看出辽中 1 号断裂在孔店组 - 沙三段沉积时期, 主干断裂活动的强度中部较大, 南北部较弱; 沙一段 - 沙二段沉积时期, 辽中 1 号断裂只发生轻微活动; 东营组沉积时期, 辽中 1 号断裂中部活动较强烈, 南北部较弱; 馆陶沉积时期, 辽中 1 号断裂仅仅在南部有较弱的活动; 明化镇组 - 第四系沉积时期, 辽中 1 号断裂沿走向, 断裂活动强度表现为强弱交替出现。总体上, 辽中 1 号断裂北段在东营组沉积时期活动强度最大, 明化镇组 - 第四系沉积期和孔店组 - 沙三段沉积时期次之, 馆陶组和沙二段 - 沙一段沉积时期几乎不活动(图 7)。

辽中 1 号断裂表现为生长正断层, 在孔店组 - 沙四段沉积时期以伸展活动为主, 断层活动速率为 22 m/Ma; 东营组二段和东一段时期, 表现为强烈的伸展活动, 活动速率为 60 m/Ma, 并发育分支断裂; 在沙一段 - 沙二段沉积期以及馆陶组沉积时期, 整个辽中 1 号伸展性活动较弱。

4.2. 中段演化特征

从辽中 1 号中段主干断裂发育演化剖面图(图 8)可知, 中段在右旋走滑作用下, 发生走滑活动, 伴生花状构造; 在新近纪, 断裂的活动强度非常弱。如下图所示。

在整个古近纪, 辽中 1 号断裂中段主要发生强烈的走滑运动, 垂向断距不明显, 主要发育走滑构造, 通过对辽中 1 号的上下盘生长指数分析, 发现辽中 1 号断裂的生长指数趋近 1, 上下两盘沉积的厚度差距不大。

4.3. 南段演化特征

由南段剖面演化图(图 9), 可以发现辽中 1 号断裂南段开始发生伸展运动, 后期发生走滑运动。故整个南段的构造样式均表现为, 下部为伸展性质的断裂, 上部为走滑性质的断裂。

从辽中 1 号南段各时期断裂活动差异, 在孔店组 - 沙河街组三段沉积时期, 中部活动较强; 沙一段到沙二段沉积期, 辽中 1 号中部和北部活动较强; 在东营组三段沉积时期, 辽中 1 号断裂在南部表现为走滑性质, 往北活动逐渐增强, 垂向断距增大; 在东一段 - 东二段沉积期和明化镇组 - 第四系沉积时期, 辽中 1 号断裂向北断裂的垂直断距较小, 活动减弱。整体上, 辽中 1 号南段发生走滑运动, 辽中 1 号中段和北段断裂在孔店组 - 沙三段沉积时期和东营组沉积期, 断裂的活动强度较大(图 10)。

由南段剖面演化图可知, 辽中 1 号断裂在孔店组到沙河街组三段沉积时期断裂开始发育, 断层活动速率分别为 19 m/Ma 和 29 m/Ma; 在沙二段和沙一段到东营组沉积期, 主干断裂继承性发育, 并伴生

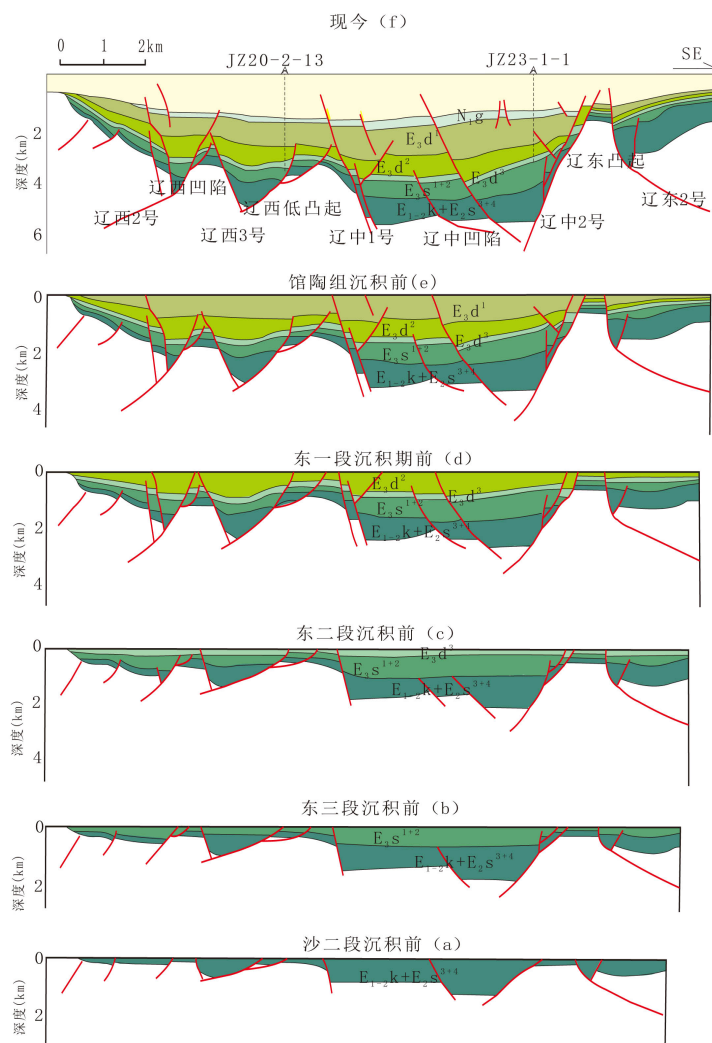


Figure 6. Development and evolution of the backbone of the northern section of Liaozhong No. 1 (LZ273)
图 6. 辽中 1 号北段主干断裂发育演化剖面图(LZ273)

次级分支断裂；新近纪，断裂基本上停止活动。

4.4. 辽中 1 号不同段演化特征

$E_{1-2}k$ - $E_{2}S_3$ 沉积时期，辽中 1 号断裂三段均表现为伸展活动，南北两段的活动性强于中段； $E_{3}S_{1+2}$ 沉积时期，盆地处于热沉降阶段，辽中 1 号三段断裂活动强度较弱； $E_{3}d_3$ 时期在右旋走滑拉分作用下，三段都主要发育走滑构造样式和伸展走滑叠加复合构造样式； $E_{3}d_2$ 沉积时期，在较弱的右旋走滑作用下，辽中 1 号中段表现为走滑运动，北段和南段表现为强烈的裂陷运动； $E_{3}d_1$ 末期，辽中 1 号南段地区发育反转构造，北中段无明显特征； N_{1g} 时期，断裂活动不明显； $N_{1-2}m$ - Qp 沉积时期，中段和南段的部分地区走滑作用较强烈，并伴有较弱伸展活动，主要发育走滑构造样式和伸展走滑叠加复合构造样式，北段无明显特征。

5. 结论

1) 郯庐断裂带(辽东湾段)呈 NNE 向穿越辽中凹陷，其与沉积盆地构造单元的分布关系密切，其间

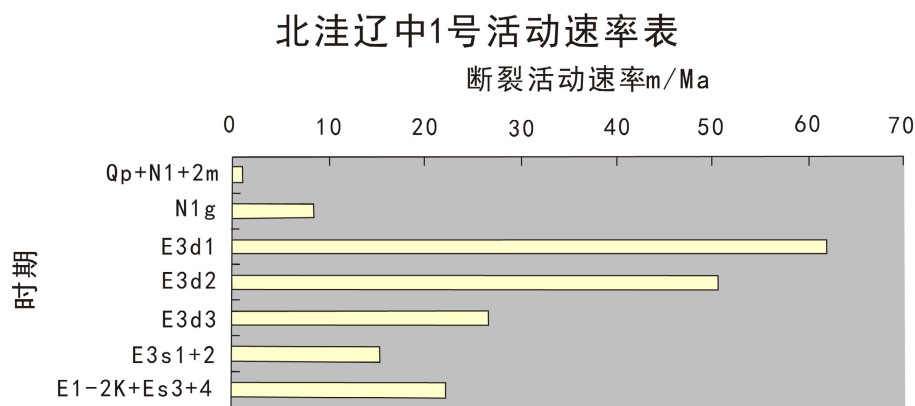


Figure 7. Activity rate table of Liaozhong No. 1 in the northern section
图 7. 北段辽中 1 号活动速率表

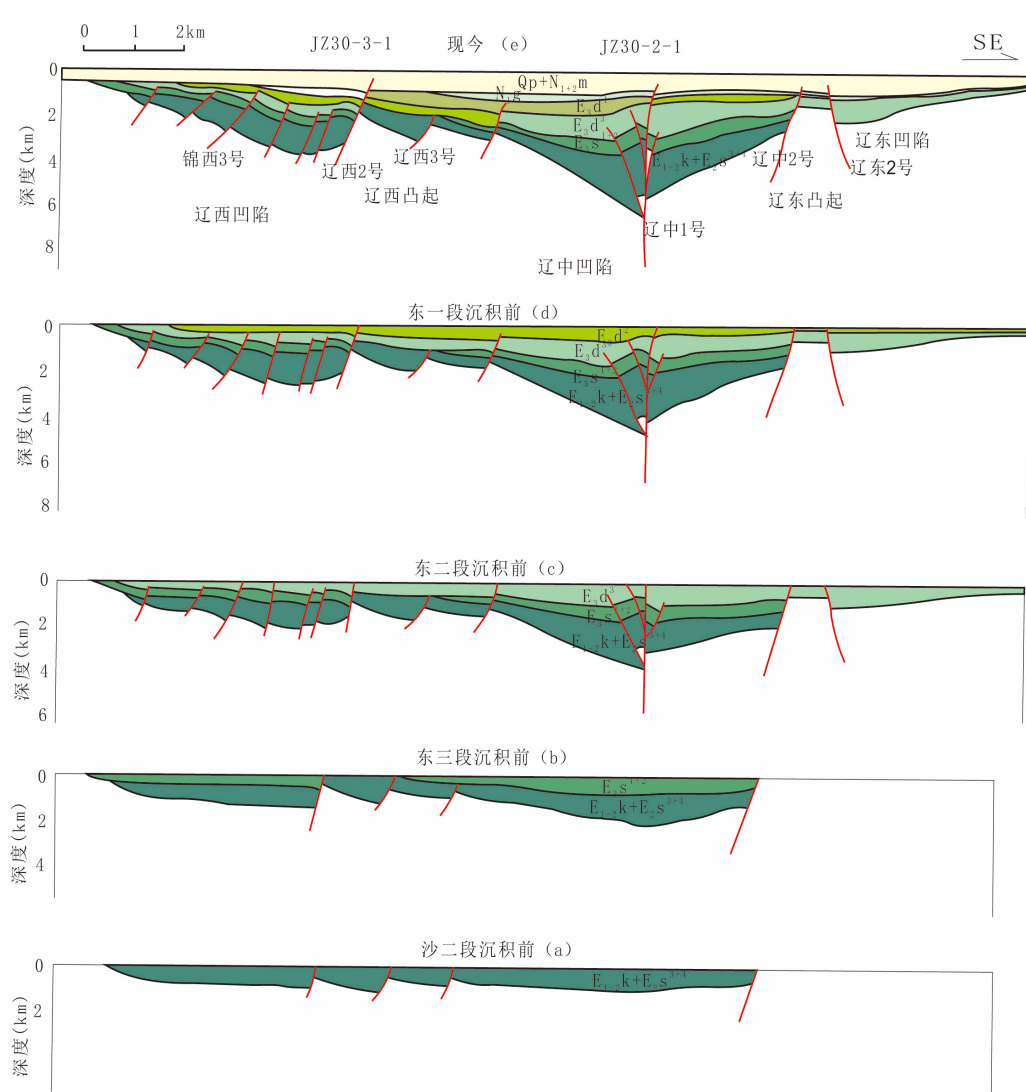


Figure 8. Development and evolution of the main fracture in the middle section of Liaozhong No. 1 (LZ229)
图 8. 辽中 1 号中段主干断裂发育演化剖面图(LZ229)

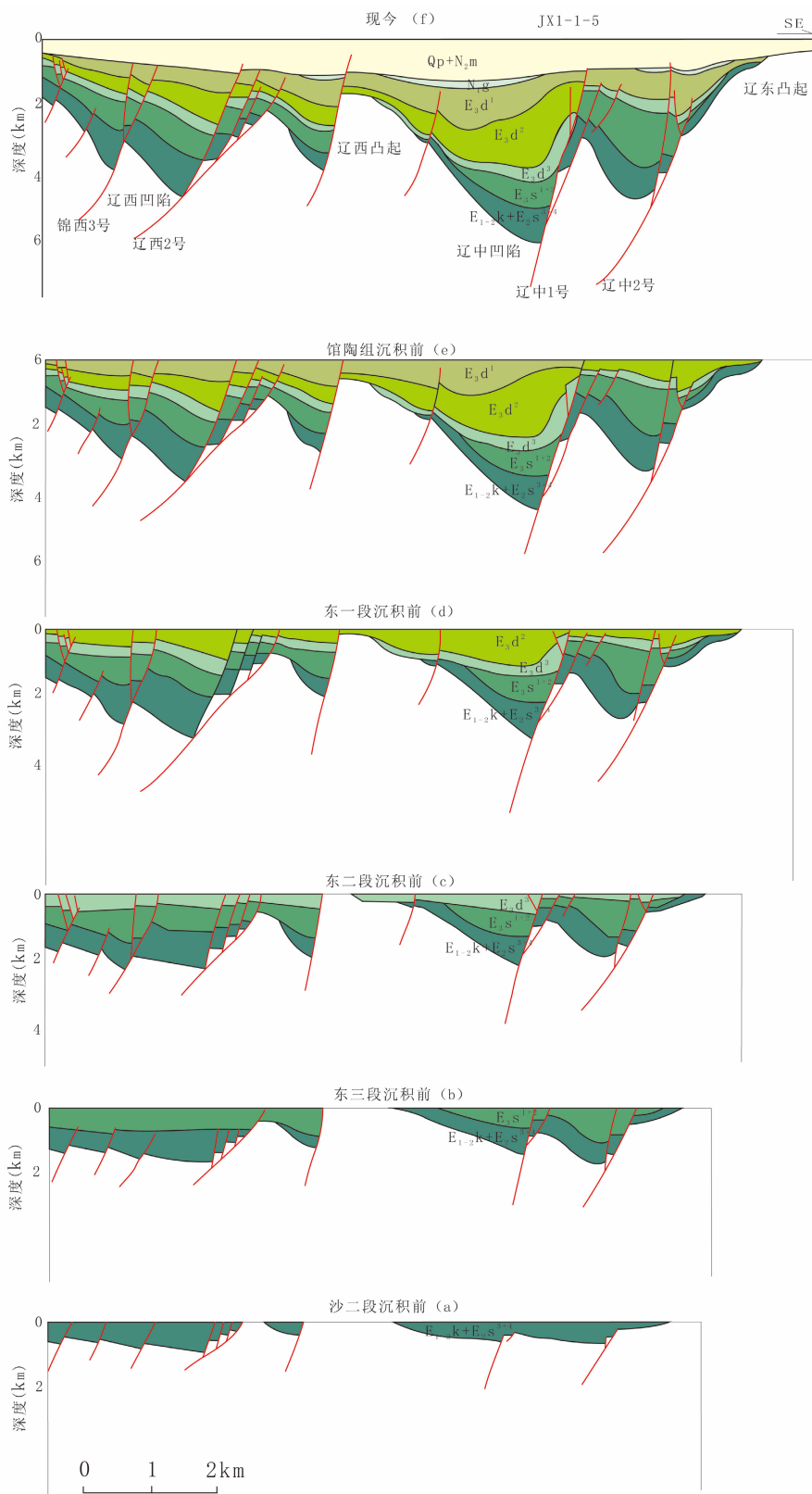


Figure 9. Development and evolution of the trunk fracture in the south section of Liaozhong No. 1 (LZ199)
图 9. 辽中 1 号南段主干断裂发育演化剖面图(LZ199)

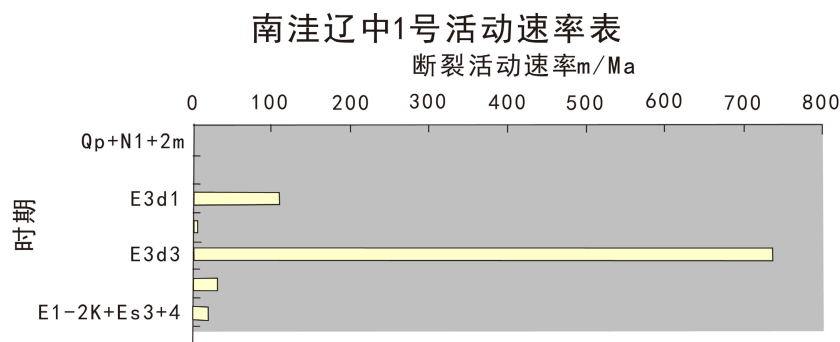


Figure 10. Activity rate of Liaozhong No. 1 in the southern segment
图 10. 南段辽中 1 号活动速率图

发育众多次级雁列式派生断层。郯庐断裂带(辽东湾段)可分为北、中、南三段,各段剖面结构及平面展布特征差异明显,但都表现出晚期典型右旋走滑的特点。

2) 辽中 1 号断裂带主要发育的构造样式有伸展-走滑叠加构造样式、走滑构造样式、伸展构造样式,和在局部地区在断裂的作用下伴生底辟构造样式和反转构造样式。主要发育为南段伸展-走滑叠加构造样式;而中段走滑构造样式,主要是花状构造样式;北段伸展构造样式。

3) 辽中 1 号断裂在沙河街组三段沉积末期的横向上连续性较好,主要表现为在伸展作用下形成的正断层;而在东营组沉积末期和馆陶组沉积末期在主干断裂附近发育了大量的次级断层,主要表现为在走滑作用下伴生的呈侧列或雁列式沿着主干断裂展布的小型断层。主干断裂早期以伸展活动为主,晚期以走滑活动为主,并且走滑活动对先存的伸展构造进行了利用和改造。南北两段的断裂活动强度大于中段。

参考文献

- [1] 肖锦泉. 辽中凹陷及其邻区构造样式特征及其与油气的关系[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2014.
- [2] 周心怀, 刘震, 李潍莲. 辽东湾断陷油气成藏机理[M]. 北京: 石油工业出版社, 2009.
- [3] 汤良杰, 陈续云, 周心怀, 等. 渤海海域郯庐断裂带构造解析[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2011, 33(1): 170-176.
- [4] 汤良杰, 漆家福. 渤海湾地区构造成因演化与潜山分布[R]. 天津: 中海油天津分公司, 2009.
- [5] 余一欣, 周心怀, 汤良杰, 等. 渤海湾地区 X 型正断层及油气意义[J]. 地质学报, 2009, 83(8): 1083-1088.
- [6] 漆家福, 邓荣敬, 周心怀, 等. 渤海海域新生代盆地中的郯庐断裂带构造[J]. 中国科学(D 辑), 2008, 38(增刊 I): 19-29.
- [7] 漆家福, 陈发景. 辽东湾-下辽河裂陷盆地的构造样式[J]. 石油与天然气地质, 1992, 13(3): 272-283.
- [8] 肖锦泉, 李坤, 胡贺伟, 等. 辽东湾坳陷辽中凹陷金县 1-1 油田构造特征与油气成藏[J]. 天然气地球科学, 2014, 25(3): 333-340.
- [9] 漆家福, 张一伟, 陆克政, 等. 渤海湾盆地新生代构造演化[J]. 石油大学学报(自然科学版), 1995, 19(增刊): 1-6.
- [10] 邱楠生, 冯石, 廖兴明, 等. 辽河盆地东部凹陷构造-热力史分析[J]. 石油学报, 1998, 19(2): 32-35.
- [11] 周心怀, 余一欣, 汤良杰, 等. 渤海地区底辟构造及其油气地质意义[J]. 石油学报, 2009, 30(4): 518-521.
- [12] 孙超亚, 李坤, 任东超, 等. 辽中凹陷北段断裂差异演化特征[J]. 断块油气田, 2016, 23(4): 442-446.
- [13] 漆家福, 杨桥, 陈发景, 等. 辽东湾-下辽河盆地新生代构造的运动学特征及其演化过程[J]. 现代地质, 1994, 8(1): 34-42.
- [14] 强昆生, 吕修祥, 周心怀, 等. 渤海海域北部 JX1-1 反转构造与油气成藏关系[J]. 天然气地球科学, 2013, 24(2): 329-334.
- [15] 万桂梅, 汤良杰, 金文正. 辽东湾 JZ27-33 区块伸展型右行走滑双重构造系统[J]. 中国地质, 2010, 37(6): 1584-1591.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2330-1724，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：ojs@hanspub.org