

# 胶莱盆地莱阳凹陷莱西断层断裂性质及成因机制

张波<sup>1,2</sup>, 吴智平<sup>1</sup>, 刘华<sup>2</sup>, 李众<sup>3</sup>

(1. 中国石油大学 地球科学与技术学院, 山东 青岛 266580; 2. 中国石化 胜利油田分公司 勘探开发研究院, 山东 东营 257015; 3. 中国石油大学(北京) 地球科学学院, 北京 102249)

**摘要:** 为了明确胶莱盆地莱阳凹陷莱西断层的断裂性质及成因机制, 利用莱阳凹陷重力资料及新采集处理二维地震资料, 对莱西断层进行识别与描述, 并对其几何学特征和形成机理进行分析。莱西断层发育带状展布、花状构造、海豚效应等构造样式, 并且断层两侧地质体沿断层走向左行错开约 4.4 km, 是一条典型的左行走滑断层。晚白垩世末期—古新世时期, 研究区构造应力场为 NEE-SWW 向挤压, 牟平—即墨断裂带由晚白垩世早期的伸展作用转换成右行走滑, 而莱西断层剪切方向与其相反, 是牟平—即墨断裂带的共轭左行走滑断层。莱西断层并不控制白垩纪地层的沉积, 因此不是莱阳凹陷的西部控凹断层, 而是凹陷内部的一条分带断层, 在其切割作用下莱阳凹陷被分成东西 2 部分。

**关键词:** 共轭断层; 走滑断层; 牟平—即墨断裂带; 莱西断层; 莱阳凹陷; 胶莱盆地

中图分类号: TE121.1

文献标识码: A

## Fracture properties and formation mechanism of Laixi fault in Laiyang Sag, Jiaolai Basin

Zhang Bo<sup>1,2</sup>, Wu Zhiping<sup>1</sup>, Liu Hua<sup>2</sup>, Li Zhong<sup>3</sup>

(1. School of Geosciences, China University of Petroleum, Qingdao, Shandong 266580, China;

2. Exploration & Development Research Institute, SINOPEC Shengli Oilfield Company, Dongying, Shandong 257015, China;

3. College of Geosciences, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China)

**Abstract:** The Laixi fault was identified and described, and its geometric features and formation mechanism were also analyzed based on the gravity data and new 2D seismic data of the Laiyang Sag in order to clarify the fracture properties and formation mechanism of the Laixi fault. Several structural styles were found in the Laixi fault, such as zonal distribution, flower structure and dolphin effect. The geologic bodies on both sides of the fault showed a sinistral offset of 4.4 km, indicating a typical sinistral strike-slip fault. From the Late Cretaceous to Paleocene, the tectonic stress field in the study area was NEE-SWW compression. The activity of the Muping-Jimo fault zone converted from extension to dextral strike-slip, while the Laixi fault had an opposite direction, which was a conjugate strike slip fault of the Muping-Jimo fault zone. The Laixi fault did not control the sediment of the Cretaceous; therefore, it was not a concave boundary fault in the west of the Laiyang Sag, but an internal split fault, which cut the Laiyang Sag into two parts.

**Key words:** conjugate fault; strike-slip fault; Muping-Jimo fault zone; Laixi fault; Laiyang Sag; Jiaolai Basin

莱西断层位于胶莱盆地莱阳凹陷中西部, NNW 走向, 地理位置上位于山东省莱阳市与莱西市之间。目前对于莱西断层断裂性质的认识主要存在 3 种观点: 一种观点认为莱西断层是莱阳凹陷的控凹正断层, 与五龙村断层一起控制了整个白垩纪地层的沉积<sup>[1-4]</sup>; 第二种观点也认为莱西断层是莱阳凹陷的控凹正断层, 但是主要控制着上白垩统王氏组的发育<sup>[5-6]</sup>; 第三种观点认为莱西断层是莱阳凹陷的西界断层, 性质上属于传递断层, 主要作用

是调节晚白垩世王氏期差异伸展量<sup>[7]</sup>, 此观点是 1995 年提出的, 由于当时研究区各类资料相对较少, 并未对断层的特征进行详细分析与描述。形成上述认识差异的主要原因是在莱阳凹陷形成以后, 经历了多期构造挤压作用, 构造变形、岩浆活动和剥蚀作用都很强烈, 地表起伏不平, 地震资料稀缺且品质较差<sup>[8-12]</sup>, 进而制约了对研究区构造特征的认识。近期, 莱阳凹陷新采集部分二维地震资料, 同时也对老资料进行了重新处理, 测网密度基本

收稿日期: 2016-07-12; 修订日期: 2017-01-06。

作者简介: 张波(1972—), 男, 在读博士研究生, 高级工程师, 从事油气勘探及石油地质综合研究。E-mail: zhangbo667.slyt@sinopec.com。

基金项目: 中国石油化工股份有限公司油气勘探专项(P13134)资助。

达到 1.2 km×1.2 km,并且剖面质量得到了显著改善,波组特征明显,断层显示清晰,这为研究区构造特征研究提供了方便。笔者利用重力及新出站二维地震资料,在莱西断层识别与描述的基础上,对其断裂性质及成因机制进行了探讨,以期对研究区下步构造特征研究及油气勘探有所指导。

### 1 地质背景

莱阳凹陷位于胶莱盆地东北部,主轴向为东西走向,南部以五龙村断层和大野头凸起相接,西、北临胶北隆起,东界为牟平—即墨断裂带(图 1)。该凹陷具有较好的烃源岩及生储盖组合<sup>[8]</sup>,目前已钻探浅井 6 口,其中 4 口井见显示,另外还有多处油气露头显示,是胶莱盆地油气显示最为丰富和最有潜力的勘探区<sup>[8-9,13]</sup>。

#### 1.1 区域构造背景

胶莱盆地的形成主要受控于沂沭断裂带和牟平—即墨断裂带的走滑活动,是一个中生代走滑拉分盆地<sup>[7,14-16]</sup>。而莱阳凹陷临近牟平—即墨断裂带,在形成过程中主要受牟平—即墨断裂带控制。该断裂带纵贯胶东半岛中部,将胶莱盆地分割成

东西 2 部分,总体走向北东 40°~50°,陆上长度大于 330 km,宽度 40~50 km,由大致平行的、等间距的一系列断层组成,倾角较陡,这些断层均具有明显的走滑平移性质,平移距在十数千米以上<sup>[1,14]</sup>。它们在平移过程中,破坏并改造了莱阳凹陷的原有形态,同时发生断块翘倾活动和差异升降,造成断裂带现今复杂的面貌。

#### 1.2 地层特征

根据岩石组合类型、构造变形特征、变质程度,可将莱阳凹陷地层划分为基底和盖层两大岩系。莱阳凹陷的变质基底层由太古界胶东群、下元古界荆山群、粉子山群及上元古界蓬莱群组成,其上发育由莱阳组、青山组、王氏组组成的白垩系陆相碎屑沉积及火山岩<sup>[9]</sup>。其中莱阳组地层保存最为完整,自下而上分为道仙庄段、止风庄段、马耳山段、水南段、曲格庄段和龙旺庄段。莱阳组地层在东部的牟平—即墨断裂带广泛出露。青山组地层主要由火山熔岩和火山碎屑岩组成,主要出露于凹陷的北部及牟平—即墨断裂带西部一带,牟平—即墨断裂带上该组地层剥蚀殆尽。王氏组地层为河湖相红色碎屑岩,大面积出露于凹陷的西部、南部

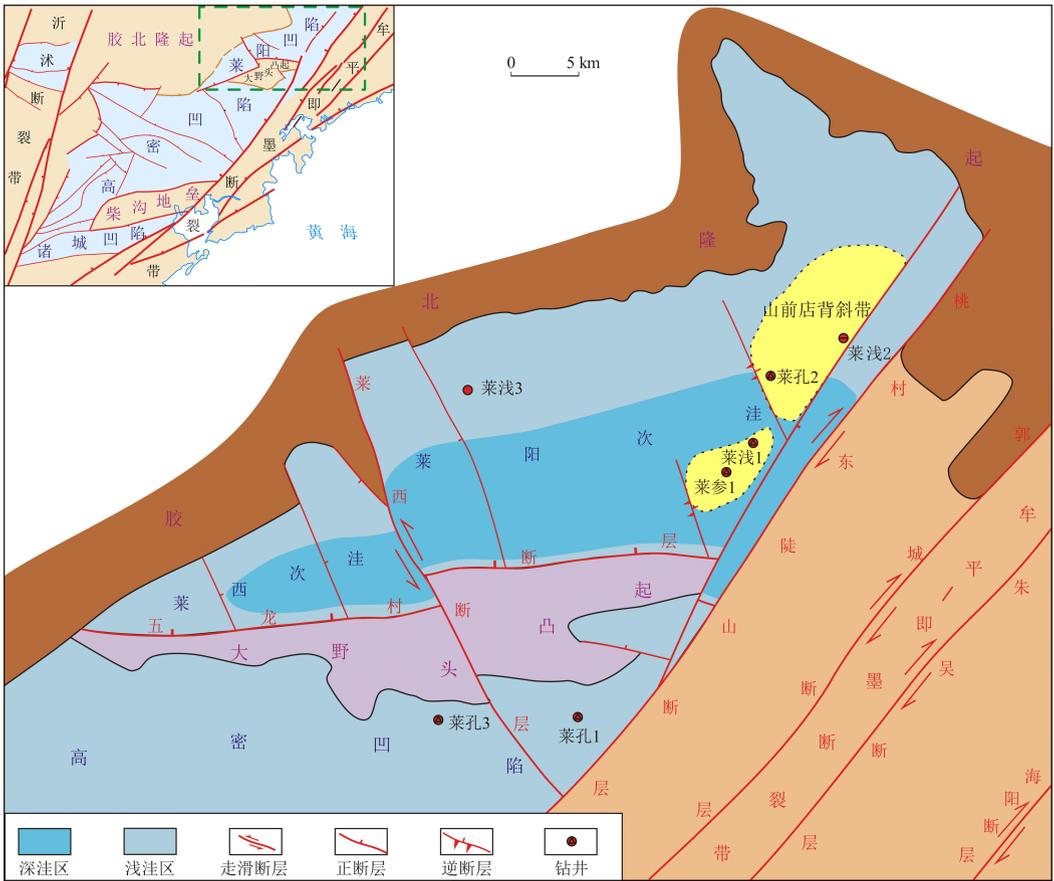


图 1 胶莱盆地莱阳凹陷构造纲要

Fig.1 Structural outline of Laiyang Sag, Jiaolai Basin

和中部,北部和东部遭受剥蚀。

## 2 莱西断层识别与描述

### 2.1 断层识别

#### 2.1.1 断层重力特征

图 2 是莱阳地区布格重力异常的垂向二阶导数图,图中北部边界重力正异常区为莱阳凹陷北界胶北隆起,中部近 E-W 走向条带状重力正异常区为莱阳凹陷南界大野头凸起,二者之间重力负异常区为莱阳凹陷。从图中可以清晰地分辨出 3 条大断层:其中 1 号断层为 NE 走向的桃村—东陡山断层,该断层是牟平—即墨断裂带的西支,也是莱阳凹陷的东边界;2 号断层为近 E-W 走向的五龙村断层,是莱阳凹陷的控凹断层;3 号断层为莱西断层,NNW 走向,向北延伸至胶北隆起,向东南延伸交于桃村—东陡山断层,该断层横切大野头凸起和五龙村断层中段,将莱阳凹陷分为东西 2 个次洼。图中莱西断层两侧的地质体在不同地段的重力特征存在明显差异,以中部洼陷带重力负异常区为界,南段西侧为重力负异常区,东侧为重力正异常区;而北段则相反,西侧为重力正异常区,东侧为重力负异常区,反映出断层南北两段的断裂性质截然相反。通过对重力特征的初步分析认为,莱西断层两侧地质体具有明显的错动现象,具有走滑断层的特点<sup>[15]</sup>。

#### 2.1.2 断层剖面特征

研究区地震资料经过重新处理,剖面质量得

到显著改善,波组特征明显,断点清晰,更有利于断层识别。结合重力资料,在剖面上对莱西断层进行了识别。

图 3 是 2 条过莱西断层的交叉地震剖面,其中图 3a 为 S-N 向 798.9 地震剖面,该剖面南至大野头凸起,北至胶北隆起,与莱西断层呈小角度锐角斜交(图 2)。地震剖面上莱西断层表现为正断层特征,断层北倾,坡度较缓,视倾角约为 5°~15°。莱西断层上盘的莱阳组与青山组地层厚度变化不大,基本不受莱西断层控制。而王氏组由于在盆地演化后期抬升,北部剥蚀量较大,从而呈现出南厚北薄的特征,但是从地震剖面上其内部各同相轴之间基本平行,表明地层厚度变化不大,莱西断层也不控制王氏组地层的沉积。

图 3b 为 E-W 向 275.0 地震剖面,该剖面西至莱西断层,东至牟平—即墨断裂带西支断层桃村—东陡山断层,与莱西断层呈大角度锐角斜交(图 2)。地震剖面上莱西断层东倾,视倾角约为 40°~50°,向东断层下部交于桃村—东陡山断层。由于五龙村断层与该剖面平行,因此其在剖面上表现为平行于沉积地层分布。莱西断层下盘胶东群出露地表,上盘各地层组保留较为完整,莱西断层展现为陡—缓—陡的正断层形态,但是五龙村断层断面反射在剖面上表现为上盘上升、下盘下降,莱西断层又展现出逆断层特征。莱西断层上盘莱阳组与青山组地层厚度均具有东厚西薄的特点,表明莱西断层不控制地层的沉积。由于盆地演化后期

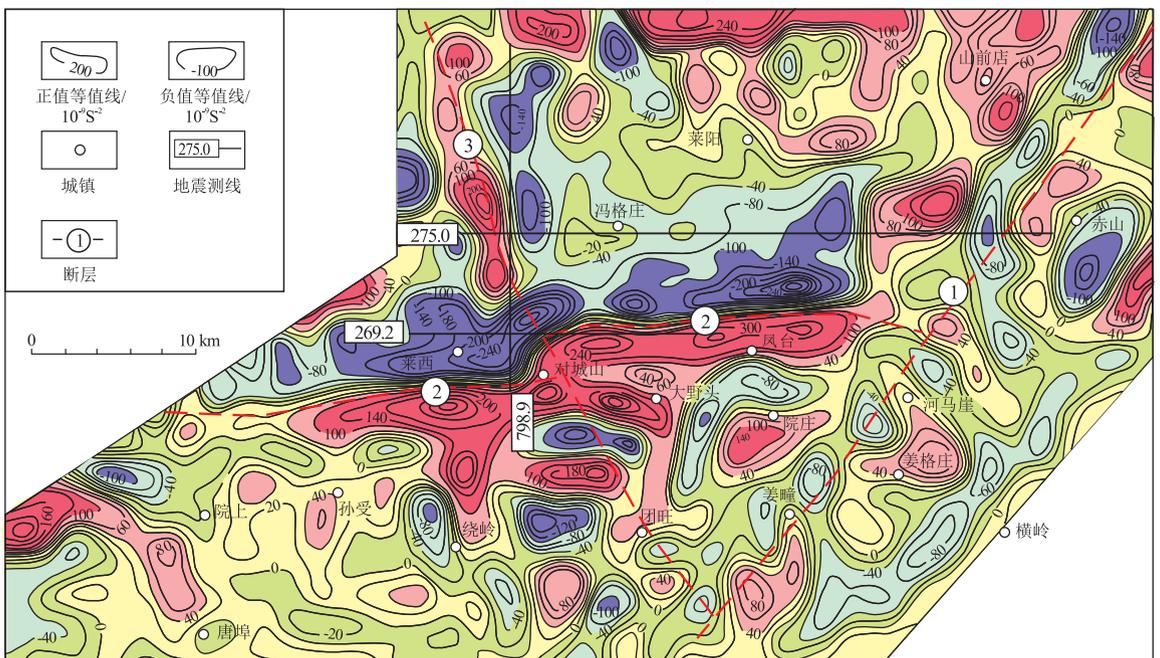


图 2 胶莱盆地莱阳凹陷布格重力异常垂向二阶导数图

Fig.2 Vertical second derivative map of gravity anomaly in Laiyang area, Jiaolai Basin

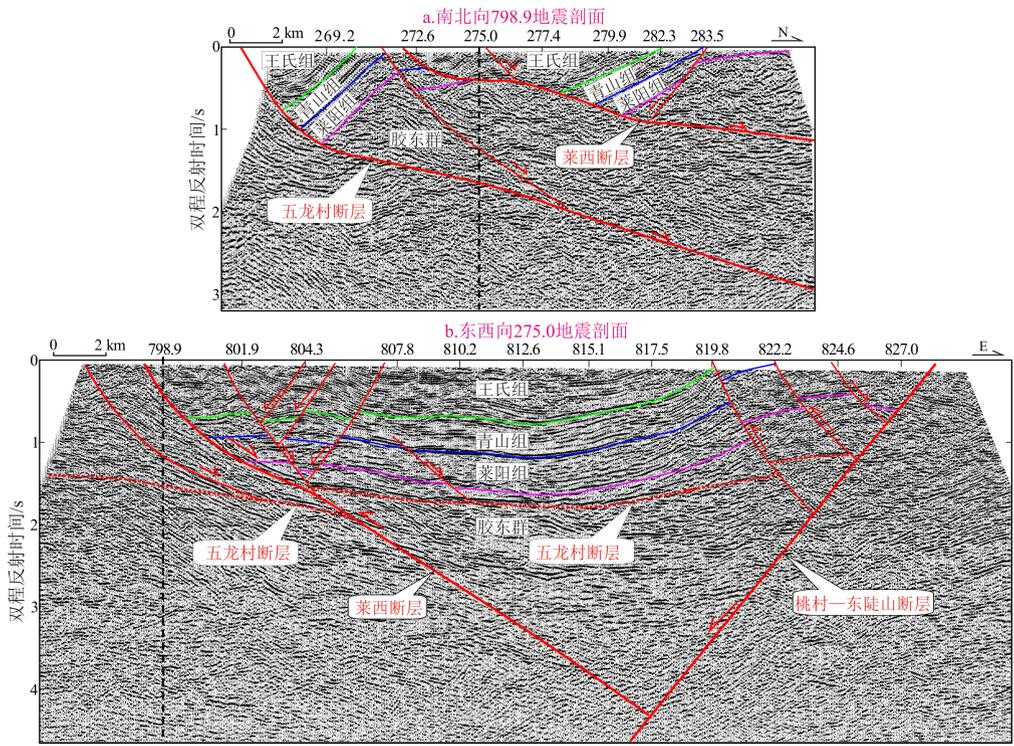


图 3 胶莱盆地莱阳凹陷过莱西断层的交叉地震剖面

Fig.3 Cross seismic profiles across Laixi fault in Laiyang Sag, Jiaolai Basin

东部抬升剧烈,王氏组在东部剥蚀量较大,呈现出西厚东薄的特征,但是其内部地层厚度也具有向西减薄的特点,说明莱西断层不控制王氏组地层的沉积。剖面上莱西断层整体上表现为上正下逆形态,且不控制地层沉积,依此推断莱西断层活动时期为白垩纪之后。

### 2.2 断层描述

在断层识别的基础上,结合重力资料,利用新处理地震剖面,对莱西断层进行了全区闭合追踪与描述,由于研究区钻井少且深度浅,因而无法进行准确的时深转换。为解决这一问题,结合区域速度分析资料<sup>[17]</sup>,利用研究区叠加速度和地层速度之间的关系,拟合出研究区时深关系  $d = 0.335 \times 2t^{1.2857}$ 。利用该时深关系对莱西断面  $t_0$  图进行时深转换,得到莱西断面埋深图(图 4)。从莱西断层埋深图上分析,莱西断层断面走向约 155°,倾向约 65°,其产状与时间剖面对比有所差异,呈现出上缓下陡的形态,上部最大倾角 50°~55°,向下逐步变陡,断层底部过渡到 65°左右。断层顶部出露地表,向东交于桃村一东陡山断层之上。

## 3 莱西断层断裂性质

应用重力及地震资料对莱西断层进行了识别与描述,初步分析认为莱西断层具有走滑断层特

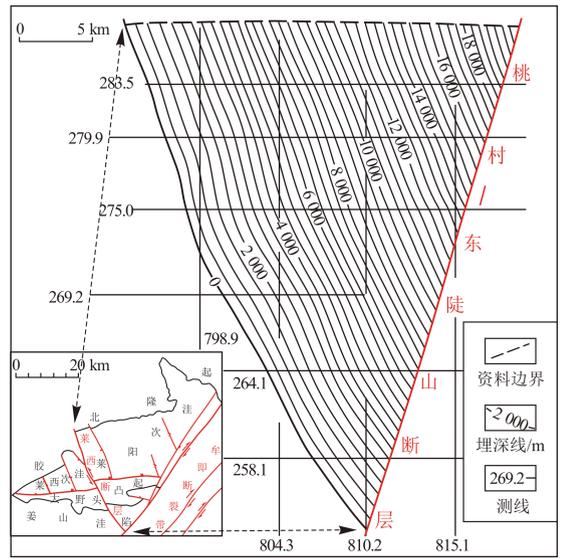


图 4 胶莱盆地莱阳凹陷莱西断层断面

Fig.4 Depth map of Laixi fault in Laiyang Sag, Jiaolai Basin

征。为了更明确莱西断层断裂性质,对其几何学特征进行了深入分析,结果显示莱西断层具有以下 4 个典型的走滑断层特征。

### 3.1 带状展布

带状展布是走滑构造带在平面上的重要特征<sup>[15]</sup>,通常是指主干走滑断层在横向分布较窄,纵向延伸较长且平直,并切穿其他构造的单一主干断层或断层带<sup>[18]</sup>,这反映了应力与断裂走向平行,应

力集中释放在主位移带附近<sup>[19]</sup>。从横切莱西断层的不同 E-W 向剖面(图 5)上可以看出,莱西主断层与分支断层所形成的断层带分布在莱西断层两侧 1~5 km 的范围内;而且在断层走向方向上延伸距离较远,地震资料范围内(图 4),NNW 向延伸约 40 km,在莱阳地区地质填图上莱西断层呈 NNW 向延伸,延伸距离近 50 km。同时在野外可以观察到莱西主断层带内分布有糜棱岩,并且在断层两侧可见到构造硅化带,具有走滑断层特征。

### 3.2 花状构造

花状构造是走滑断层在地震剖面上的典型特征<sup>[18-26]</sup>,根据组成地层构造形态的差异,可分为正花状构造和负花状构造 2 种类型,在横切莱西断层的地震剖面中 2 种类型的构造均可见到(图 5)。在图 5a 所示的地震剖面中,主干断层莱西断层与分支断层均呈现为正断层状态,断裂带中的白垩纪地层总体表现为向形特征,断层间为地堑断片,整体上呈出负花状构造形态。在图 5b 所示的地震剖面中,主干断层莱西断层与分支断层均呈现为逆断层状态,断裂带中的白垩纪地层总体表现为背形特征,断层间为地垒断片,整体上呈现出正花状构造形态。花状构造特征的存在表明莱西断层是一条走滑断层。

### 3.3 海豚效应

海豚效应是指在不同的横切同一断层的剖面上,断层的断裂性质表现为正、逆相反的特征<sup>[15,19,27-28]</sup>,即同一条断层在倾向不变的前提下沿走向方向断层性质的变化<sup>[18]</sup>,从剖面上看既是正断层又是逆断层,时正时逆<sup>[29]</sup>。图 5 是 2 条横切莱西断层的东西向地震剖面。图 5a 中莱西断层下盘胶东群出露地表,上盘各地层组保留较为完整,莱西断层在上部呈现为正断层形态,但其下部在切割五龙村断层断面反射处呈逆断层形态。图 5b 中莱西断层西侧白垩纪地层分布较齐全,东侧仅有上白垩统王氏组地层分布,莱西断层展现为逆断层特征,与图 5a 中的莱西断层性质相反。通过横切莱西断层的地震剖面对比分析可以看出,莱西断层在不同剖面上表现出正、逆相反的断裂性质,具有走滑断层所特有的海豚效应。

另外,将莱西断层两侧地层垂直投影到莱西断层上制作出莱西断层 Allan 图(图 6),可以更清楚地看出海豚效应。图中,大约以桩号 270.0 为界,在其北部莱西断层表现为正断层特征,下盘地层均老于上盘地层;在其南部莱西断层开始表现为逆断层特征,下盘莱阳组、青山组、王氏组地层由北向南依次与上盘胶东群对接。反映出莱西断层具

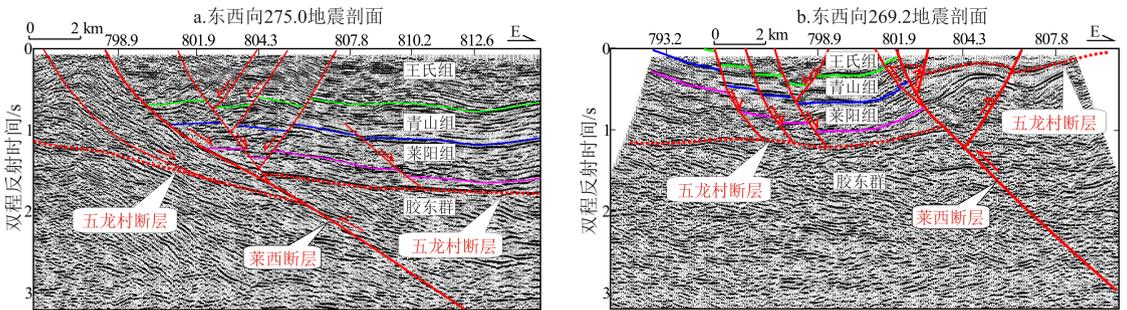


图 5 胶莱盆地莱阳凹陷横切莱西断层的 SW 向地震剖面

Fig.5 East-west seismic profiles across Laixi fault in Laiyang Sag, Jiaolai Basin

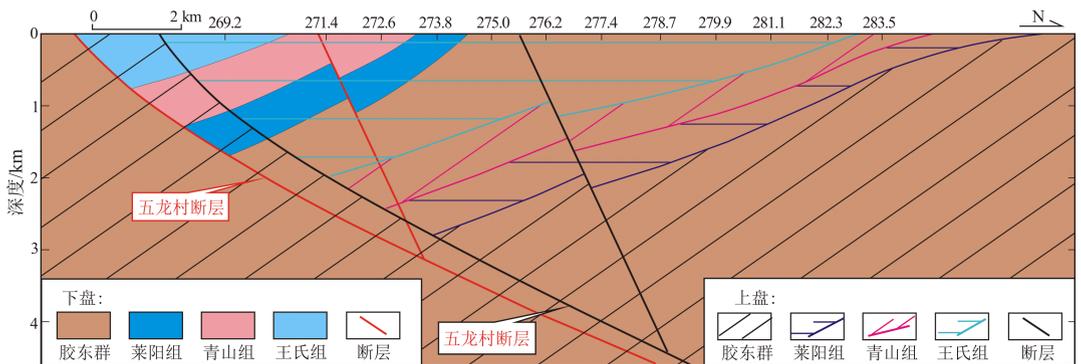


图 6 胶莱盆地莱阳凹陷莱西断层 Allan 图

Fig.6 Allan figure of Laixi fault in Laiyang Sag, Jiaolai Basin

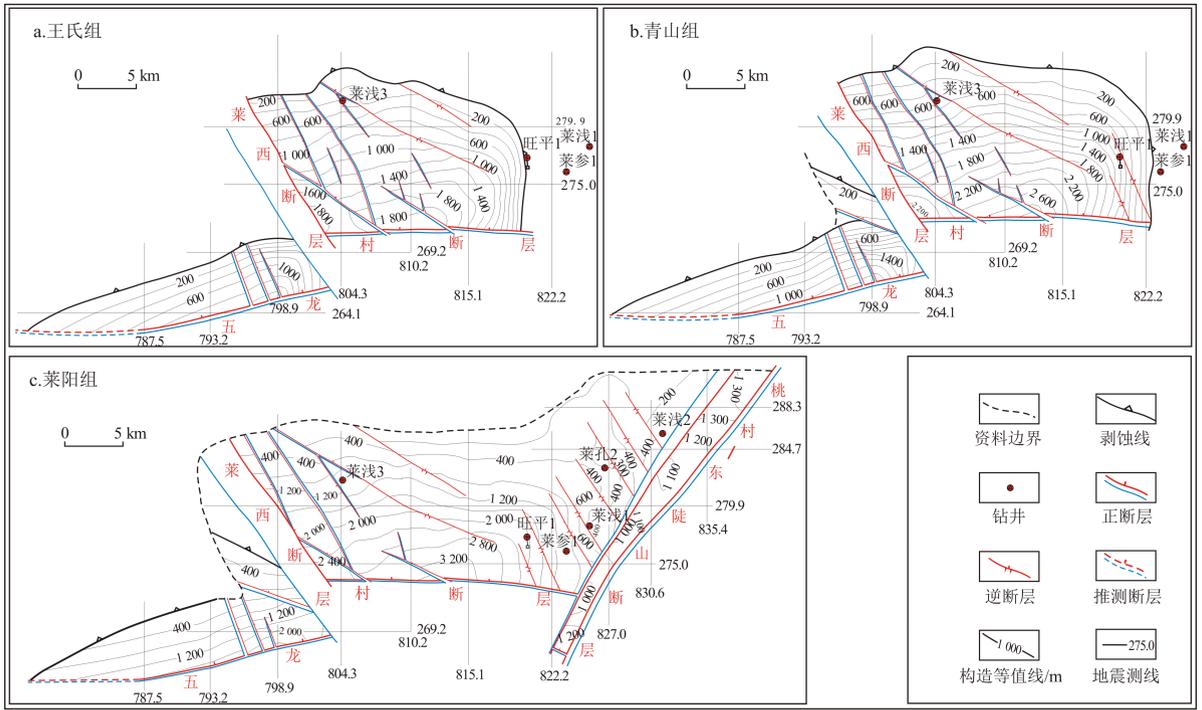


图 7 胶莱盆地莱阳凹陷各组段底面构造

Fig.7 Structure diagram of bottom surface of each group in Laiyang Sag, Jialai Basin

有走滑断层的特征。

### 3.4 断层两侧地质体水平错开

断层两侧的各种地质界线和地质体被错开是判断走滑断层的重要依据<sup>[15,30]</sup>。通过研究区重力特征的初步分析,莱西断层两侧地质体具有明显的错动现象,但不能准确确定断裂两侧地质体走滑距离。结合钻井资料,利用新处理地震资料,对莱阳凹陷王氏组、青山组和莱阳组底面进行了追踪解释和成图(图 7)。从图中各层段的底面构造图可以看出,莱西断层均呈现正断特征,并且莱西断层切割五龙村断层,两侧断点发生相对左行平移,平移距也基本相同。从图中量得莱西断层两侧五龙村断层的断点在莱阳组底面构造图上相对滑移距约 4.85 km,在青山组底面构造图上相对滑移距约 4.83 km,在王氏组底面构造图上相对滑移距约 4.84 km,考虑到作图误差,取平均滑移距为 4.84 km。根据莱西断层走向及倾向,可以计算出莱西断层两侧地质体在莱西断层走向上左行走滑距离约 4.39 km,断层上盘地质体沿倾向方向滑动距离约 2.04 km。

而从莱西断层 Allan 图(图 6)上量得莱西断层上下盘莱阳组底面走滑距离约 4.4 km,青山组底面走滑距离约 4.38 km,王氏组底面走滑距离约 4.39 km,与从莱阳组底面构造图上计算的左行走滑距离基本相同,考虑到作图误差,将莱西断层左行走滑距离定为 4.4 km。

在莱阳凹陷各层段底面构造图成图的基础上,计算了各层段的残余厚度(图 8)。从图中王氏组残余厚度图分析(图 8a),在莱西断裂带,莱西断层及其分支断层控制的各断块见地层厚度差异明显,但是这些断块间厚度的差异并不能说明莱西断层对地层沉积具有控制作用,这是因为莱阳凹陷在新生代没有接受沉积,而是整体遭受抬升剥蚀<sup>[2]</sup>,莱西断裂带各断块间地层厚度的差异,是由于“负花状”组合的“花心”处地层剥蚀程度弱于两侧而造成的。在上覆有王氏组地层的地区,青山组和莱阳组地层残余厚度图能更清楚地反映出莱西断层的性质(图 8b,c),在王氏组地层覆盖区,青山组和莱阳组地层因未遭受剥蚀而保持了原始沉积地层厚度特征,从图中可以看出在莱西断层及其分支断层作用范围内,青山组和莱阳组地层厚度平稳过渡,没有厚度突变现象,说明莱西断层及其分支断层不控制沉积,这些断层的作用只是使它们两侧的地层发生相对滑动。

综上所述,莱西断层在平面上表现为横向分布较窄、纵向延伸较长且平直的带状展布形态,在横切断层的剖面上见花状构造特征,并具有海豚效应,断层两侧地质体沿断层走向左行错开约 4.4 km、沿倾向滑动距离约 2.04 km,并根据断层两侧地质体相对错动的关系,认为莱西断层是一条左行走滑断层。它不是莱阳凹陷的西部边界控凹断层,而是莱

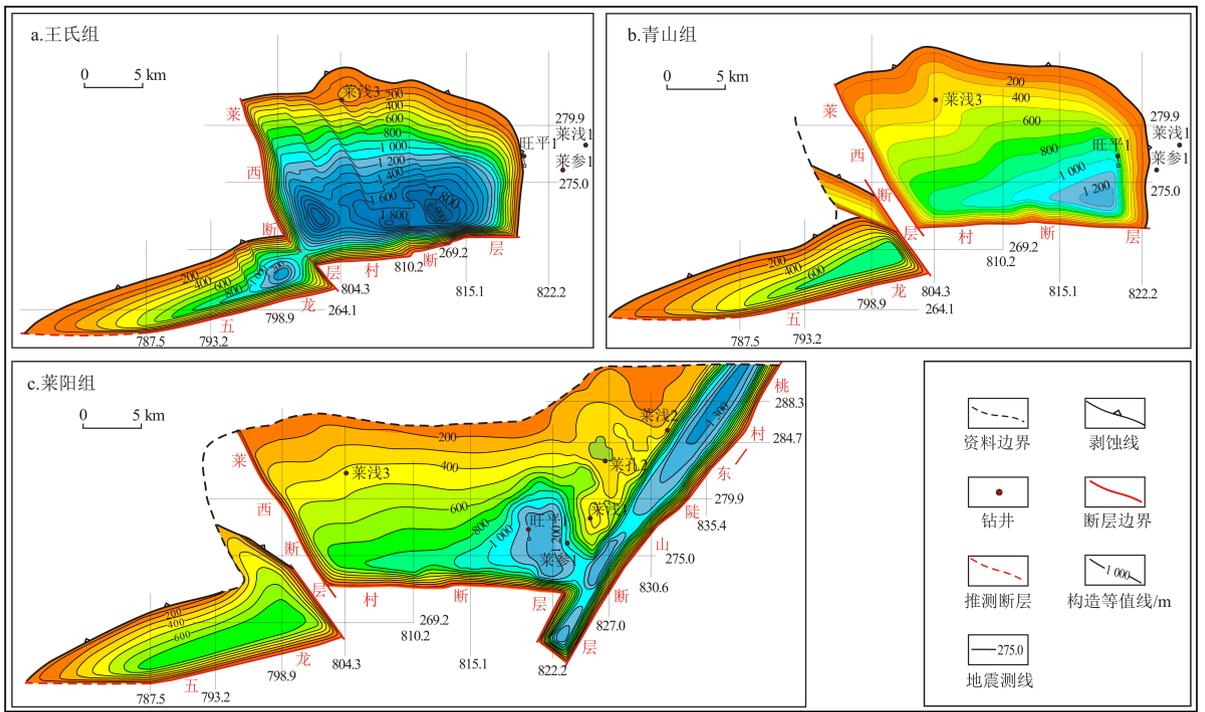


图 8 胶莱盆地莱阳凹陷各组段残余厚度

Fig.8 Residual thickness of each group in Laiyang Sag, Jiaolai Basin

阳凹陷内部的一条分带断层,将莱阳凹陷分割成莱阳次洼和莱西次洼。

### 4 莱西断层成因机制探讨

#### 4.1 断层形成时期

莱阳凹陷是一个中生代走滑拉分盆地,其形成主要受控于沂沭断裂带和牟平—即墨断裂带的走滑活动。沂沭断裂带是郯庐断裂带的山东段,呈 NNE 向延伸,而牟平—即墨断裂带是郯庐断裂带的一个主要分支。自中生代以来 2 条断裂带经历了 2 期走滑活动,第一期是早—中侏罗世的左行走滑活动,第二期是晚白垩世末期—古新世的右行平移走滑活动<sup>[31-34]</sup>。莱西断层是莱阳凹陷内部的一条走滑断层,它的形成必定受控于这 2 期走滑活动中的一期。前已述及,莱西断层并不控制断层上盘白垩纪地层的沉积,同时它切割了莱阳凹陷所有的白垩纪地层以及五龙村断层和大野头凸起,将莱阳凹陷分割成东西 2 个次洼——莱阳次洼和莱西次洼,并且由于莱西断层的作用,其两侧地质体发生了相对左行滑动,因此莱西断层的形成时间应为白垩纪以后。综上所述,莱西断层的形成受控于沂沭断裂带和牟平—即墨断裂带晚白垩世—古新世的右行平移走滑活动。

#### 4.2 断层成因机制

晚白垩世王氏晚期亚洲东部大陆边缘由安第

斯型转变为西太平洋型<sup>[2]</sup>,印度板块向欧亚板块俯冲<sup>[35]</sup>,沂沭断裂带及邻区构造应力场转变为 NEE-SWW 向挤压<sup>[14]</sup>,牟平—即墨断裂带由晚白垩世早期的伸展作用转换成右行走滑,盆地构造应力体制转为近 N-S 向引张<sup>[31]</sup>。利用里德尔剪切模式(图 9)<sup>[35-37]</sup>,可以说明莱西断层的成因机制。晚白垩世晚期,牟平—即墨断裂带是主走滑带(PDZ),其断裂性质为右行走滑,莱西断层与其交角约 80°,并且剪切位移方向与其相反,因此莱西断层是牟平—即墨断裂带的共轭里德尔(R')剪切破裂,其性质为左行走滑。在莱西断层左行剪切作

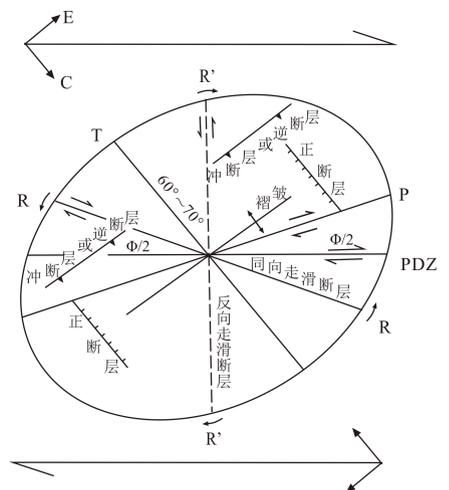


图 9 右行里德尔剪切模式

Fig.9 Right riedel shear pattern

用下,其两侧地质体发生相对左行滑移,同时由于盆地构造应力近 N-S 向引张,使右侧地质体沿莱西断层倾向方向发生滑动,莱阳凹陷被分割成莱阳次洼和莱西次洼。

## 5 结论

(1) 通过重力及新采集处理二维地震资料的精细解释,识别出莱西断层具有走滑断层特征,该断层在平面上呈现出带状展布特征,在横切断层的剖面上发育花状构造和海豚效应等走滑断层典型标志,断层两侧地质体被该断层左行错开约 4.4 km,因此莱西断层是一条左行走滑断层。

(2) 莱西断层形成于晚白垩世末期—古新世时期,受牟平—即墨断裂带右行平移走滑活动所控制,是牟平—即墨断裂带的共轭走滑断层。该断层并没有控制白垩纪地层的沉积,不是莱阳凹陷的西部控凹断层,而是莱阳凹陷内部的一条分带断层,在其左行走滑作用下,莱阳凹陷被分割成莱阳次洼和莱西次洼。

### 参考文献:

- [1] 李桂群,范德江,任景民.胶莱盆地发育演化及其油气前景探讨[J].青岛海洋大学学报,1994,24(3):413-419.  
Li Guiqun,Fan Dejiang,Ren Jingmin.The evolution features of the Jiaolai Basin and study of its prospective oil and gas deposits[J].Journal of Ocean University of Qingdao,1994,24(3):413-419.
- [2] 翟慎德.胶莱盆地莱阳凹陷构造特征及演化[J].石油实验地质,2003,25(2):137-142.  
Zhai Shende.Structural characteristics and evolution in the Laiyang Depression of the Jiaolai Basin[J].Petroleum Geology & Experiment,2003,25(2):137-142.
- [3] 唐华风,程日辉,白云凤,等.胶莱盆地构造演化规律[J].世界地质,2003,22(3):246-251.  
Tang Huafeng,Cheng Rihui,Bai Yunfeng,et al.Tectonic evolution of the Jiaolai Basin[J].Global Geology,2003,22(3):246-251.
- [4] 任凤楼,张岳桥,邱连贵,等.胶莱盆地白垩纪构造应力场与转换机制[J].大地构造与成矿学,2007,31(2):157-167.  
Ren Fenglou,Zhang Yueqiao,Qiu Liangui,et al.Evolution of the structural stress field in Jiaolai Basin in Cretaceous[J].Geotectonica et Metallogenia,2007,31(2):157-167.
- [5] 陈清华,宋若微,戴俊生,等.胶莱盆地重磁资料解释与构造特征分析[J].地球物理学进展,1994,9(3):70-79.  
Chen Qinghua,Song Ruowei,Dai Junsheng,et al.Jiaolai Basin gravitic and magnetic data interpretation and structure analysis[J].Progress in Geophysics,1994,9(3):70-79.
- [6] 张岳桥,李金良,柳宗泉,等.胶莱盆地深部拆离系统及其区域构造意义[J].石油与天然气地质,2006,27(4):504-511.  
Zhang Yueqiao,Li Jinliang,Liu Zongquan,et al.Detachment systems in deep of Jiaolai Basin and their regional tectonic significance[J].Oil & Gas Geology,2006,27(4):504-511.
- [7] 戴俊生,陆克政,宋全友,等.胶莱盆地的运动学特征[J].石油大学学报(自然科学版),1995,19(2):1-6.  
Dai Junsheng,Lu Kezheng,Song Quanyou,et al.Kinematic characteristics of Jiaolai Basin[J].Journal of the University of Petroleum, China,1995,19(2):1-6.
- [8] 刘华,李凌,吴智平.胶莱盆地烃源岩分布及有机地球化学特征[J].石油实验地质,2006,28(6):574-580.  
Liu Hua,Li Ling,Wu Zhiping.Distribution and organic geochemical characteristics of hydrocarbon source rocks in the Jiaolai Basin[J].Petroleum Geology & Experiment,2006,28(6):574-580.
- [9] 吴智平,李凌,李伟,等.胶莱盆地莱阳期原型盆地的沉积格局及有利油气勘探区选择[J].大地构造与成矿学,2004,28(3):330-337.  
Wu Zhiping,Li Ling,Li Wei,et al.Sedimentary pattern of prototype basin in the deposition period of Laiyang Formation and the advantageous areas for oil and gas exploration of Jiaolai Basin[J].Geotectonica et Metallogenia,2004,28(3):330-337.
- [10] 李金良,张岳桥,柳宗泉,等.胶莱盆地改造作用与油气保存条件[J].中国石油大学学报(自然科学版),2008,32(6):28-32.  
Li Jinliang,Zhang Yueqiao,Liu Zongquan,et al.Reformation and hydrocarbon preservation conditions of Jiaolai Basin[J].Journal of China University of Petroleum,2008,32(6):28-32.
- [11] 刘洪营,熊敏,刘德汉,等.莱阳凹陷烃源岩中的石油包裹体及油气初次运移研究[J].沉积学报,2008,26(1):163-167.  
Liu Hongying,Xiong Min,Liu Dehan,et al.Investigation of petroleum inclusion and primary migration of petroleum of source rocks in the Laiyang Depression[J].Acta Sedimentologica Sinica,2008,26(1):163-167.
- [12] 刘进,吴冲龙.胶莱盆地岩浆活动特征及其油气地质意义[J].大庆石油地质与开发,2007,26(5):36-40.  
Liu Jin,Wu Chonglong.Characteristics and geologic meaning of the magmatic activities in Jiaolai Basin[J].Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing,2007,26(5):36-40.
- [13] 陈书平,戴俊生,宋全友,等.胶莱盆地构造应力场特征及数学模拟[J].石油大学学报(自然科学版),1998,22(3):19-25.  
Chen Shuping,Dai Junsheng,Song Quanyou,et al.Features of tectonic stress fields in Jiaolai Basin[J].Journal of the University of Petroleum,China,1998,22(3):19-25.
- [14] 王小凤,李中坚,陈柏林,等.郯庐断裂带[M].北京:地质出版社,2000:44-57,303-312.  
Wang Xiaofeng,Li Zhongjian,Chen Bolin,et al.The Tan-Lu fault zone[M].Beijing:Geological Press,2000:44-57,303-312.
- [15] 李晓清,汪泽成,程有义,等.拉分盆地分析与含油气性:以淮北盆地为例[M].东营:石油大学出版社,2003:29-59.  
Li Xiaoqing,Wang Zhecheng,Cheng Youyi,et al.Pull apart basin analysis and its oil & gas-bearing character:Take the Weibei Basin as an example[M].Dongying:University of Petroleum Press,2003:29-59.
- [16] 刘和甫,李晓清,刘立群,等.走滑构造体系盆山耦合与区带分析[J].现代地质,2004,18(2):139-150.  
Liu Hefu,Li Xiaoqing,Liu Liqun,et al.Petroleum play analysis and strike slip system Basin-Mountain Coupling[J].Geoscience,2004,18(2):139-150.
- [17] 潘素珍,王夫运,郑彦鹏,等.胶东半岛地壳速度结构及其构造意义[J].地球物理学报,2015,58(9):3251-3263.  
Pan Suzhen,Wang Fuyun,Zheng Yanpeng,et al.Crustal velocity structure beneath Jiaodong Peninsula and its tectonic implications

- tions [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2015, 58 (9): 3251-3263.
- [18] 李思伟,王璞珺,丁秀春,等.辽河东部凹陷走滑构造及其与火山岩分布的关系[J].地质论评,2014,60(3):591-600.  
Li Siwei, Wang Pujun, Ding Xiuchun, et al. The relationship of strike-slip belts and volcanic rocks distribution in the eastern depression Liaohe Basin [J]. Geological Review, 2014, 60(3): 591-600.
- [19] 马庆佑,沙旭光,李玉兰,等.塔中顺托果勒区块走滑断裂特征及控油作用[J].石油实验地质,2012,34(2):120-124.  
Ma Qingyou, Sha Xuguang, Li Yulan, et al. Characteristics of strike-slip fault and its controlling on oil in Shuntuoguole region, middle Tarim Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2012, 34(2): 120-124.
- [20] 徐会永,蒋有录,张立强,等.查干凹陷构造样式及其构造演化[J].油气地质与采收率,2008,15(4):13-15.  
Xu Huiyong, Jiang Youlu, Zhang Liqiang, et al. Structural styles and evolution characteristics of Chagan Depression [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2008, 15(4): 13-15.
- [21] 田蜜,赵永强,罗宇,等.塔东北草湖地区差异构造变形特征与动力学过程探讨[J].石油实验地质,2016,38(6):765-771.  
Tian Mi, Zhao Yongqiang, Luo Yu, et al. Differential tectonic deformation and dynamic processes in Caohu area, northeastern Tarim Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2016, 38(6): 765-771.
- [22] 詹润,杨贵丽,张盛,等.青东凹陷复合型花状构造成因分析[J].大地构造与成矿学,2012,36(4):473-482.  
Zhan Run, Yang Guili, Zhang Sheng, et al. Analysis on the origin of the composite flower structures in the Qingdong Sag [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2012, 36(4): 473-482.
- [23] 杨玲,鲍志东,杜宜静,等.莫里青断陷西北缘走滑断裂带特征及油气地质意义[J].中南大学学报(自然科学版),2012,43(8):3133-3141.  
Yang Ling, Bao Zhidong, Du Yijing, et al. Strike slip fault zone characteristics of northwestern margin and geology meaning for oil-gas in Moliqing Fault Depression [J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2012, 43(8): 3133-3141.
- [24] 刘晓峰,董月霞,王华.渤海湾盆地南堡凹陷的背形负花状构造[J].地球科学(中国地质大学学报),2010,35(6):1029-1034.  
Liu Xiaofeng, Dong Yuexia, Wang Hua. Antiformal negative flower structure in Nanpu Sag, Bohai Bay Basin [J]. Earth Science (Journal of China University of Geosciences), 2010, 35(6): 1029-1034.
- [25] 刘恩涛,王华,林正良,等.北部湾盆地福山凹陷构造转换带及其油气富集规律[J].中南大学学报(自然科学版),2012,43(10):3946-3953.  
Liu Entao, Wang Hua, Lin Zhengliang, et al. Characteristics and hydrocarbon enrichment rules of transfer zone in Fushan Sag, Beibuwan Basin [J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2012, 43(10): 3946-3953.
- [26] Harding T P. Seismic Characteristics and identification of negative flower structures, positive flower structures, and positive structural inversion [J]. AAPG Bulletin, 1985, 69(4): 582-600.
- [27] 柳永军,徐长贵,吴奎,等.辽东湾拗陷走滑断裂差异性大中型油气藏的形成[J].石油实验地质,2015,37(5):555-560.  
Liu Yongjun, Xu Changui, Wu Kui, et al. Different characteristics of strike-slip faults and the formation of large and medium-scaled oil and gas fields in the Liaodong Bay Depression [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2015, 37(5): 555-560.
- [28] Gridley J, Partyka G. Processing and interpretational aspects of spectral decomposition [C] // SEG Technical Program Expanded Abstracts. Dallas, Texas: SEG, 1997: 1055-1058.
- [29] 夏义平,刘万辉,徐礼贵,等.走滑断层的识别标志及其石油地质意义[J].中国石油勘探,2007,12(1):17-23.  
Xia Yiping, Liu Wanhui, Xu Ligui, et al. Identification of strike-slip fault and its petroleum geology significance [J]. China Petroleum Exploration, 2007, 12(1): 17-23.
- [30] 付晓飞,沙威,于丹,等.松辽盆地徐家围子断陷火山岩内断层侧向封闭性及与天然气成藏[J].地质论评,2010,56(1):60-70.  
Fu Xiaofei, Sha Wei, Yu Dan, et al. Lateral sealing of faults and gas reservoir formation in volcanic rocks in Xujiaweizi Fault Depression [J]. Geological Review, 2010, 56(1): 60-70.
- [31] 舒良树,周新民.中国东南部晚中生代构造作用[J].地质论评,2002,48(3):249-260.  
Shu Liangshu, Zhou Xinmin. Late Mesozoic tectonism of south-east China [J]. Geological Review, 2002, 48(3): 249-260.
- [32] 廖远涛.胶莱盆地的盆地样式及构造演化[J].新疆石油地质,2002,23(4):345-347.  
Liao Yuantao. The pattern and tectonic evolution of Jiaolai Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2002, 23(4): 345-347.
- [33] 张岳桥,李金良,张田,等.胶东半岛牟平—即墨断裂带晚中生代运动学转换历史[J].地质论评,2007,53(3):289-300.  
Zhang Yueqiao, Li Jinliang, Zhang Tian, et al. Late Mesozoic kinematic history of the Muping-Jimo Fault Zone in Jiaodong Peninsula, Shandong Province, East China [J]. Geological Review, 2007, 53(3): 289-300.
- [34] 赵田,朱光,林少泽,等.郯庐断裂带南段张八岭群变质岩的原岩时代及其构造意义[J].地质论评,2014,60(6):1265-1283.  
Zhao Tian, Zhu Guang, Lin Shaoze, et al. Protolith ages of metamorphic rocks of the Zhangbaling Group along the southern segment of the Tan-Lu Fault Zone and their tectonic implications [J]. Geological Review, 2014, 60(6): 1265-1283.
- [35] 李伟,吴智平,张明华,等.埭岛地区中生代和新生代断层发育特征及其对沉积的控制作用[J].中国石油大学学报(自然科学版),2006,30(1):1-6.  
Li Wei, Wu Zhiping, Zhang Minghua, et al. Development characteristic of Mesozoic and Cenozoic faults and its control over deposition in Chengdao area [J]. Journal of China University of petroleum, 2006, 30(1): 1-6.
- [36] 白鹏,刘岩,杨晓文,等.吴堡断裂带构造特征与成因[J].特种油气藏,2012,19(4):14-17.  
Bai Peng, Liu Yan, Yang Xiaowen, et al. Tectonic style and genesis of Wubao fault zone [J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2012, 19(4): 14-17.
- [37] 刘岩,陈清华,马婷婷.吴堡断裂带低序级断层分级研究[J].西北大学学报(自然科学版),2011,41(2):268-272.  
Liu Yan, Chen Qinghua, Ma Tingting. Classification and understanding of low grade faults in Wubao fault zone [J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2011, 41(2): 268-272.