

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2018.04.007

# 渤海海域中西部新构造运动特征

陈江欣<sup>1,2</sup>, 侯方辉<sup>1,2</sup>, 李日辉<sup>1,2</sup>, 温珍河<sup>1,2</sup>

1. 自然资源部天然气水合物重点实验室, 青岛海洋地质研究所, 青岛 266071

2. 青岛海洋科学与技术国家实验室海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室, 青岛 266071

**摘要:**依据最新的高分辨率单道地震测网, 结合前人研究成果, 编制了渤海中西部海域中更新统、上更新统、全新统和中更新统以来的地层厚度图, 揭示受到喜马拉雅造山运动的影响, 区域应力场从岩石圈热沉降中的裂后弱伸展环境转变为北东东—东西向水平挤压应力场, 第四纪以前以渤中凹陷和歧口凹陷中北部为沉降中心差异沉积, 早更新世和中更新世, 张家口-蓬莱断裂带与秦皇岛-旅顺断裂带沿 NW 向左旋走滑, 发生显著差异沉降, 沉降中心北移, 并被秦皇岛-旅顺断裂所控制, 等厚度线整体呈 NW 向。共轭 NE 向新生庙西北-黄河口断裂带发育活动并发生右旋剪切平移, 郑庐断裂南段由于其北北东走向受到区域应力场的抑制至少在中更新世以前便失去整体活动性。晚更新世和全新世, 区域受喜马拉雅造山运动影响显著减弱, 以区域整体沉降和均衡沉降为主, 断裂活动减弱, 数量也大大减少。

**关键词:**新构造; 构造沉降; 活断层; 渤海; 第四纪

**中图分类号:** P736.1      **文献标识码:** A

## Neotectonics in the western and central Bohai Sea

CHEN Jiangxin<sup>1,2</sup>, HOU Fanghui<sup>1,2</sup>, LI Rihui<sup>1,2</sup>, WEN Zhenhe<sup>1,2</sup>

1. The Key Laboratory of Gas Hydrate, Ministry of Natural Resources, Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266071, China

2. Laboratory for Marine Mineral Resources, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071, China

**Abstract:** From the high resolution single-channel seismic reflection data recently acquired, the sediment thickness of the middle Pleistocene, upper Pleistocene, Holocene and the sediment thickness since middle Pleistocene to Holocene are produced. Results reveal that affected by the Himalayan orogeny, the stress field of the region has changed from a weak stretching environment of post-rift thermal subsidence to a NEE-WE horizontal compressive stress field. Sedimentation was then differentiated in two subsiding centers of the Bozhong depression and north-central Qikou depression before Quaternary. During the early and middle Pleistocene Epoch, the Zhangjiakou-Penglai fault zone and the Qinhuangdao-Lvshun fault zone were left-lateral strike-slip fault zones along the NW direction. Under the control of the Qinhuangdao-Lvshun fault, significant differentiation of subsidence occurred and the subsidence center moved to the north. Isopach map displays a preferential NW orientation. Conjugated and newly generated NE Yellow River estuary-northwest Miao fault zone was activated as a dextral strike-slip shear zone. The southern part of the Tanlu fault zone was inactive at least before middle Pleistocene, due to its NNE trending prohibited by a regional stress field. This region suffered regional isostatic subsidence during the period from late Pleistocene to Holocene, while the activity of the fault zone became weak, and the number of faults decreased significantly.

**Key words:** neotectonics; tectonic subsidence; active fault; Bohai Sea; Quaternary

渤海海域的新构造运动特征尤其受到重视, 主要因为渤海新构造运动控制了渤海湾盆地的晚期油气成藏, 具有重要的资源效应, 主要表现为中新统末、上新统与第四系之间及层系内部的不整合、中新

世和第四纪沉降、沉积中心的迁移、深大断裂继承性活动、非常发育的晚期断裂活动和背斜圈闭形成、玄武岩喷发、活跃的天然地震等, 以及所导致的油气晚期快速成藏<sup>[1-5]</sup>。虽然已有相关文献对该区域晚期

**资助项目:** 中国地质调查“1:100 万天津幅海洋区域地质调查项目”(1212011220113); 国家自然科学基金“冷泉流体活动地貌产生机制及其活动性——以中建南盆地为例”(41606077)

**作者简介:** 陈江欣(1987—), 男, 博士, 助理研究员, 主要从事海洋地质与地球物理研究, E-mail: jiangxin\_chen@sina.com

**收稿日期:** 2017-01-27; **改回日期:** 2017-07-27. 周立君编辑

构造活动特征进行了研究<sup>[6-8]</sup>,但受到地震资料分辨率的限制,常规多道地震难以对浅部尤其是第四系进行清晰成像,对主要断裂如郯庐断裂带、张家口-蓬莱断裂、庙西北-黄河口断裂和秦皇岛-旅顺断裂带的晚期活动性认识不足,对各期次沉积沉降中心迁移、断裂活动与区域构造演化的相互关系的理解仍然不足。

本文试图依据最新的高分辨率单道地震测网,编制中更新统、晚更新统和全新统厚度图,结合以往的相关研究,利用沉积厚度图和断裂特征,初步探讨渤海中西部海域(120°E以西)新构造运动各时期沉积沉降、断裂活动与区域构造演化之间对应关系,期

望本文成果能够进一步对渤海地区油气有利聚集区勘探、断裂活动可能造成的钻井平台安全性、地震灾害评估和渤海区域的自然灾害防治等方面研究提供参考。在此,本文沿用龚再生<sup>[9]</sup>和徐杰等<sup>[10]</sup>的观点,强调新构造运动影响油气成藏的主要时间段,为中新世晚期至今的构造运动。

### 1 地质概况

渤海湾盆地位于我国华北板块东缘(图 1a),是在中生界基底之上发育起来的以新生代沉积为主的大型裂陷盆地,包括陆地和海域两部分,可以分为东

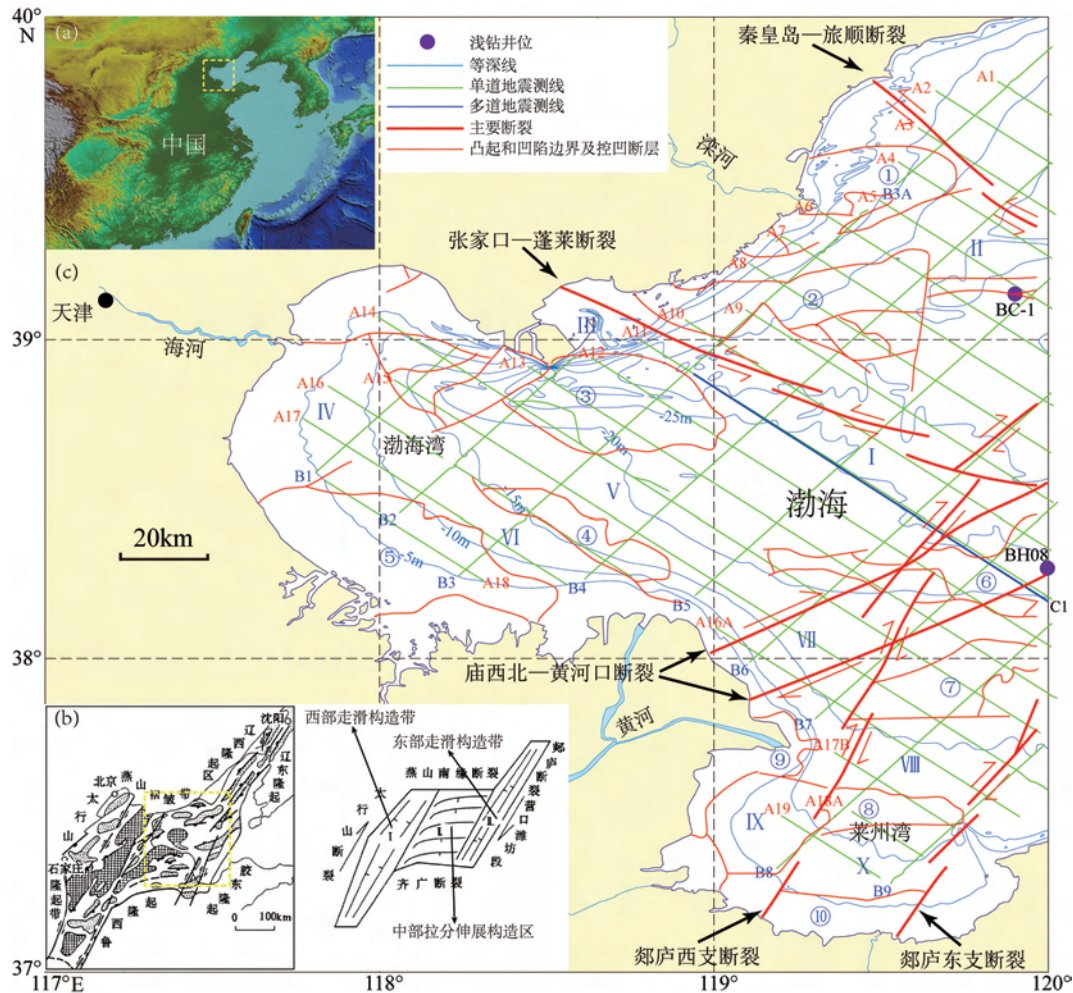


图 1 研究区位置(a)、构造概况<sup>[11]</sup>(b)及单道地震测网(c)

A1—A19, B1—B9 为单道地震测线编号, C1 为多道地震测线位置。研究区主要凸起和凹陷分别是:①秦南凸起, ②石臼坨凸起, ③沙垒田凸起, ④埕北低凸起, ⑤埕宁隆起, ⑥渤南低凸起, ⑦莱北低凸起, ⑧⑩潍北凸起, ⑨垦东凸起; I 渤中凹陷, II 秦南凹陷, III 南堡凹陷, IV 歧口凹陷, V 沙南凹陷, VI 埕北凹陷, VII 黄河口凹陷, VIII 莱州湾凹陷, IX 青东凹陷, X 青东东凹陷<sup>[12]</sup>

Fig. 1 (a) The study area, (b) tectonic sketch<sup>[11]</sup> and (c) the high resolution single-channel seismic reflection lines

A1-A19, B1-B9 indicate single-channel seismic lines, and C1 represents a multi-channel seismic reflection line. The main depression-uplift structures include: ① Qinnan uplift, ② Shijutuo uplift, ③ Shaleitian uplift, ④ Chengbeidi uplift, ⑤ Chengning uplift, ⑥ Bonandi uplift, ⑦ Laibeidi uplift, ⑧⑩ Weibei uplift, ⑨ Kendong uplift; I Bozhong depression, II Qinnan depression, III Nanbao depression, IV Qikou depression, V Shanan depression, VI Chengbei depression, VII Huanghekou depression, VIII Laizhou bay depression, IX Qingdong depression, X Qingdongdong depression<sup>[12]</sup>

西两个走滑构造带和一个中部拉分构造区(图 1b)。根据地质构造和沉积地层的差异,渤海海域可分为辽东湾拗陷、渤中拗陷、济阳拗陷、黄骅拗陷和埕宁拗陷 5 个一级构造单元,进一步可划分为 35 个二级构造单元,其中凸起 13 个,低凸起 4 个和凹陷 18 个<sup>[11,13-15]</sup>。

盆地经历了古新世、始新世至渐新世中期裂陷阶段,渐新世晚期断拗阶段,中新世以来的裂后热沉降阶段,其中包括中新世晚期以来的新构造再活动期(表 1)。在整个新生代构造沉积演化过程中,沙四—孔店沉积期是盆地形成的初始裂陷期,此时多为彼此分割的、孤立的规模较小的箕状断陷,发育干旱性扇体和盐湖沉积;沙三时期裂陷强烈,湖水变深,沿边界大断层发育粗碎屑扇体;沙一—沙二时期水体变浅,发育滩坝和粗粒三角洲。东营组东三段沉积时期裂陷活动再次加强,全区以泥质细粒沉积为主,东二沉积期浅水三角洲发育,主要沿凹陷轴向分布,到东一段时期三角洲平原广布。新近纪馆陶组 and 明化镇组沉积时期沉积中心逐渐东移,从北、西、南三个方向向渤中拗陷,发育特殊的浅水三角洲沉积,第四纪平原组沉积了一套海相地层<sup>[6,16]</sup>(表 1)。

## 2 地震资料与地震层序

研究区单道地震资料主测线为 NW 向(320°)、联络测线为 NE 向(40°),测网为 13km×26km,共有 28 条测线,44 处理段(图 1)。单道地震数据有效的地层反射深度不超过 0.6s,主要揭示第四纪沉积地层。以 BC-1(39°9'N,119°54'E)<sup>[18]</sup>和 BH08(38.28°N,119.99°E)<sup>[17]</sup>孔为基准(图 1),进行层位对比和追踪,自海底向下可依次划分出反射界面 SB、S<sub>4</sub>、S<sub>3</sub>和 S<sub>2</sub>,部分浅海地区剖面可见 S<sub>1</sub>反射界面(表 1)。SB 代表海底,为地震记录上的一组平行、连续强反射同相轴,随水深变化而略有起伏,全区分布。S<sub>4</sub>表示第四系全新统与上更新统之间的反射地震界面(Q<sub>4</sub>底界;~10ka),走时深度大约位于海底以下 10ms,为全区不整合接触界面。S<sub>3</sub>表示第四系上更新统与中更新统之间的反射地震界面(Q<sub>3</sub>底界;~126ka),为一全区分布角度不整合界面。S<sub>2</sub>表示第四系中更新统与下更新统之间的反射地震界面(Q<sub>2</sub>底界;~0.781Ma),上下地层呈不整合/假整合接触,S<sub>1</sub>表示第四系底界,亦为下更新统底界(Q或Q<sub>1</sub>底界;~2.6Ma),上下地层呈不整

表 1 渤海中西部海域新生代地层序列与构造演化简表<sup>[6,16,17]</sup>

Table 1 Simplified stratigraphic sequence and structural evolution stages of the western and central Bohai Sea <sup>[6,16,17]</sup>

地层系统					地震反射界面	界面年龄/Ma	构造阶段	
系	统	组	段	代号			断拗阶段	裂陷阶段
第四系	全新统	平原组		Q <sub>4</sub>	- S <sub>4</sub> -	0.010		
	上更新统		Q <sub>3</sub>	- S <sub>3</sub> -	0.126			
	中更新统		Q <sub>2</sub>	- S <sub>2</sub> -	0.781			
	下更新统		Q <sub>1</sub>	- S <sub>1</sub> -	2.6			
新近系	上新统	明化镇组	上段	N <sub>2</sub> m <sup>1</sup>	- T <sub>0</sub> <sup>1</sup> -	5.1	热沉降期	
			下段	N <sub>2</sub> m <sup>1</sup>	- T <sub>0</sub> <sup>2</sup> -	12.0		
	中新统	馆陶组		N <sub>2</sub> g	- T <sub>1</sub> -	24.6		
古近系	渐新统	东营组	东一段	E <sub>1</sub> d <sup>1</sup>	- T <sub>2</sub> -	32.8	断拗阶段	整体性裂陷+拗陷幕
			东二段	E <sub>1</sub> d <sup>2</sup>				
			东三段	E <sub>1</sub> d <sup>3</sup>				
		沙河街组	沙一段	E <sub>2</sub> s <sup>1</sup>	- T <sub>3</sub> -	38.0	裂陷阶段	裂陷 III 幕
			沙二段	E <sub>2</sub> s <sup>2</sup>				
			沙三段	E <sub>2</sub> s <sup>3</sup>				
	始新统		沙四段	E <sub>2</sub> s <sup>4</sup>	- T <sub>3</sub> -	42.0	裂陷阶段	裂陷 II 幕
			孔一段	E <sub>3</sub> k <sup>1</sup>				
			孔二段	E <sub>3</sub> k <sup>2</sup>				
古新统	孔店组	孔三段	E <sub>3</sub> k <sup>3</sup>	T <sub>3</sub>	65.0	裂陷阶段	裂陷 I 幕	

合接触。新生代地层序列与构造演化如表 1 所示。根据以上层位时深转换之后各反射界面的深度进行计算得到全新统、上更新统和中更新统厚度图(图 2—5)。

### 3 沉积中心迁移与新构造活动特点

#### 3.1 沉降沉积中心迁移特征

始新世—渐新世早期,沉降沉积中心主要分布在盆地西部和中南部,渐新世中期普遍接受沉积,晚期则主要发育于渤海海域及其周围地区。新近纪晚期以来渤中拗陷既是渤海海域新近纪晚期和第四纪的沉降沉积中心,又是整个渤海湾盆地的沉降沉积中心<sup>[4]</sup>。

馆陶组—明化镇组下段有渤中拗陷和歧口凹陷中北部两个沉降沉积中心,最大厚度分别达 2200m 和 1500m,是继承于渤海渐新统东营组沉积期的走

滑拉分沉降沉积中心;至明化镇组上段沉积期,它们的地位发生转换,歧口凹陷中北部偏厚,达 600~700m,而渤中拗陷变薄,只有 500~600m。上新世晚期,渤海海域的沉降格局已不完全受后裂谷期的热控型拗陷沉降控制,渤西地区此时期沉积厚度最大,渤中拗陷的沉降中心没有中新世及上新世早期那么明显<sup>[6,19]</sup>。

第四系一般厚 300~600m,最厚达 800 多米,等厚线总体呈 NW 向带状分布,而渤海东部等厚线主要呈 NE 向带状分布<sup>[7]</sup>;通常在凸起和断阶带上第四系较薄,而在凹陷内增厚,反映了其沉积期间构造活动的某种继承性。中更新统等厚度线(图 2)具有 NW 向特征,但是以张家口—蓬莱断裂为界,南部区域厚度较薄,而北部区域较厚。把中更新统以来的等厚度图(图 3)与第四系等厚度图<sup>[7]</sup>对比相减可以看出,下更新统在张家口—蓬莱断裂以北厚度普遍在 150~300m 之间,而以南普遍在 250~550m 之间。

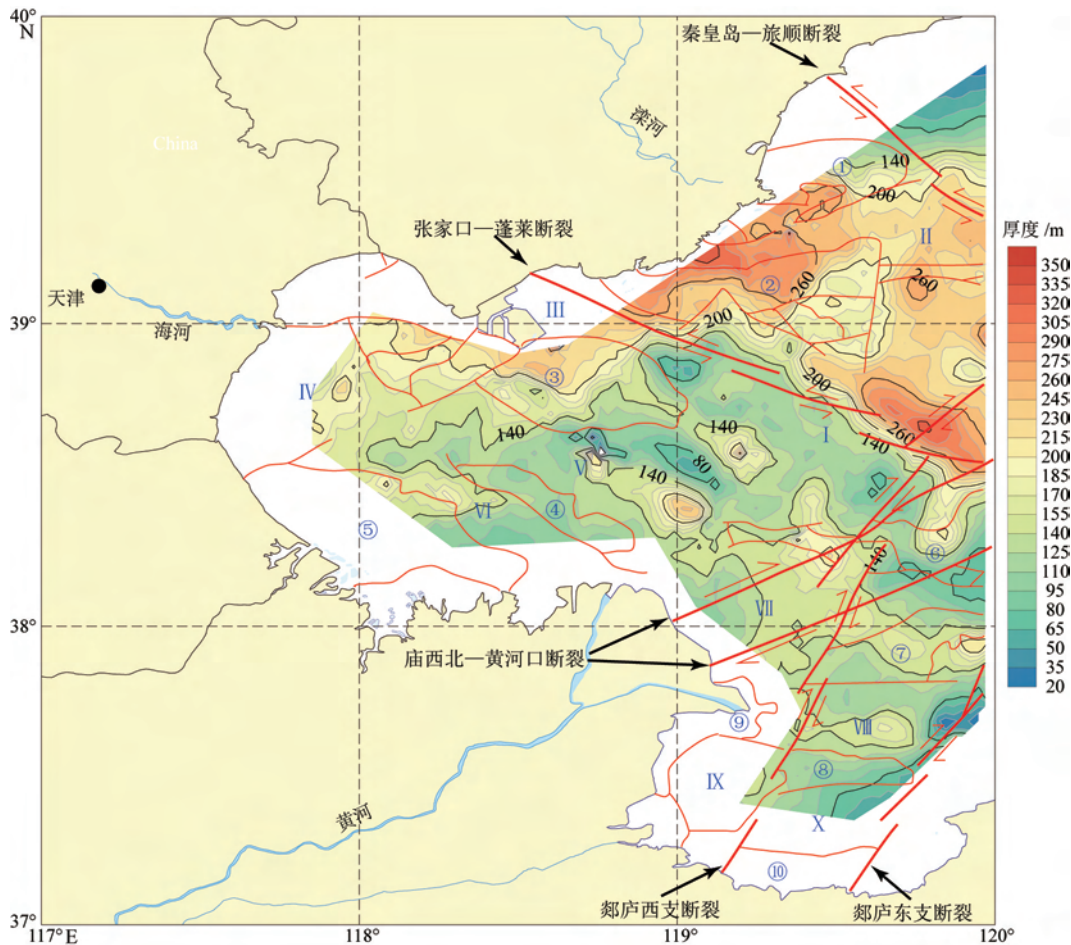


图 2 渤海中西部海域中更新统(Q<sub>2</sub>)厚度图(主要凸起和凹陷名称见图 1)

Fig.2 The middle Pleistocene (Q<sub>2</sub>) isopach map  
(See Fig. 1 for main depression-uplift structures)

沉降活动在早更新世和中更新世转变为渤中坳陷以张家口-蓬莱断裂为界的区域性差异沉降为主,早更新世沉降沉积中心在张家口-蓬莱断裂以南,中更新世沉降沉积中心则在以北,沉降沉积中心北移,并被秦皇岛-旅顺断裂所控制。张家口-蓬莱断裂和秦皇岛-旅顺断裂对沉降沉积中心的控制明显,但郯庐断裂带的控制作用不太明显,这表明至少在中更新世以前郯庐断裂带南段已经失去整体活动性。中更新统地层在歧口凹陷中北部仍存在沉降沉积中心,表明自上新世晚期以来,歧口凹陷中北部沉降沉积中心的继承性。而东南位置出现了沿黄河口凹陷呈 NW 走向的沉降带。总体来看,中更新统(图 2)和中更新统以来地层(图 3)的差异沉降与构造凸起和凹陷的对应性比较复杂。

与中更新统地层厚度相比,上更新统地层的厚度(图 4)分布变化较大,表明中更新世末期构造活动发生一定转变。整体厚度主要分布在 10~50m

之间,等厚度线整体呈 NE 向,以渤中凹陷和黄河口凹陷为沉降沉积中心,周围变薄,歧口凹陷中北部沉降中心不明显,整体沉降中心沿着郯庐西支断裂与庙西北-黄河口断裂分布,这表明至晚更新世,差异沉降活动变为区域整体沉降沉积为主。该时期沉降沉积活动与中更新统地层相比继承性较差,构造凸起和凹陷对其控制也不明显。

全新统地层厚度(图 5)整体主要分布在 10~20m 之间。其中,等厚度线整体呈 NW 向,在张家口-蓬莱断裂和歧口凹陷中南部附近存在薄厚度带,厚度 10m 左右。主要沉积中心在 3 处河流入海口附近,滦河入海口区域,海河入海口区域和黄河入海口广大区域,这说明全新统厚度分布受沉积作用控制明显,除张家口-蓬莱断裂带,其余主要断裂带对其控制并不明显。与水深图(图 1)相对比,全新统地层厚的区域水一般较浅,而薄的区域水一般较深,这一定程度上说明了全新世时期的区域均衡沉降特征。

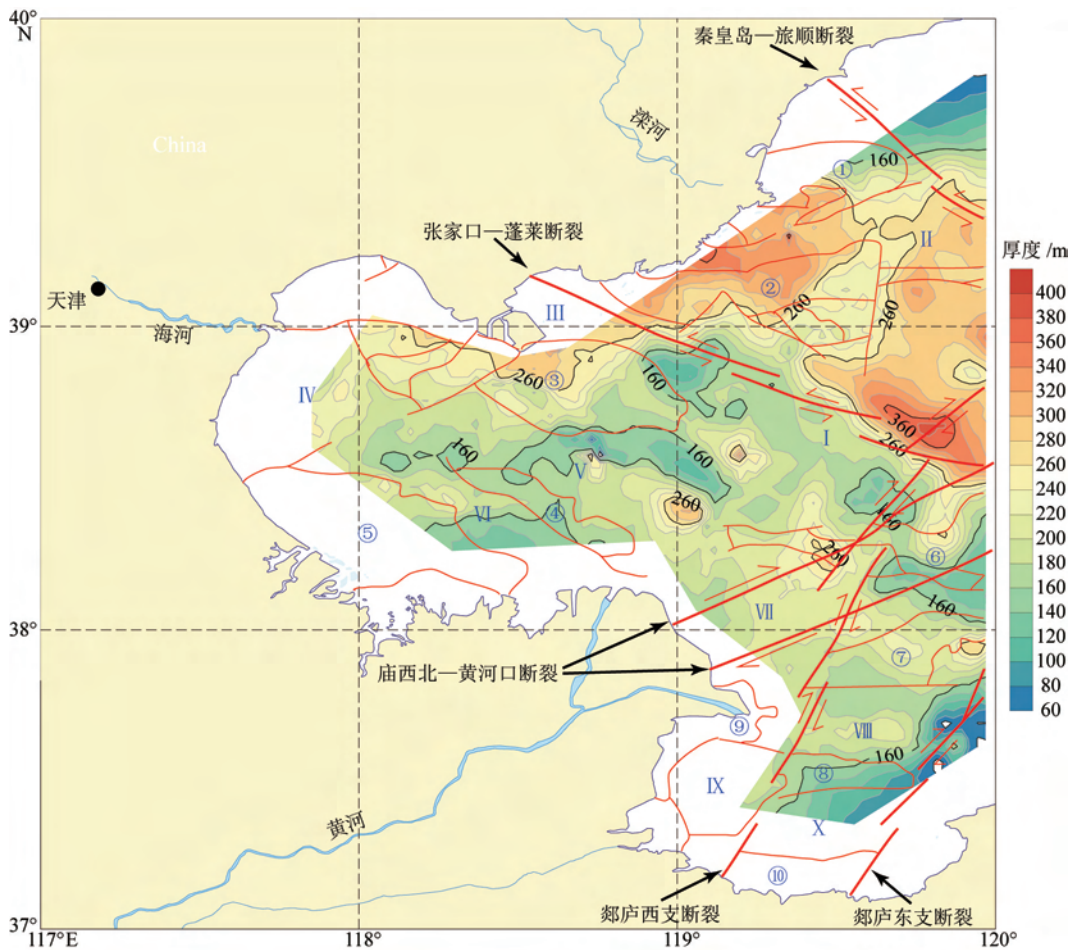


图 3 渤海中西部海域中更新统至全新统(Q<sub>2</sub>、Q<sub>3</sub>、Q<sub>4</sub>)厚度图(主要凸起和凹陷名称见图 1)

Fig.3 The middle Pleistocene to Holocene (Q<sub>2</sub>, Q<sub>3</sub>, Q<sub>4</sub>) isopach map

(See Fig. 1 for main depression-uplift structures)

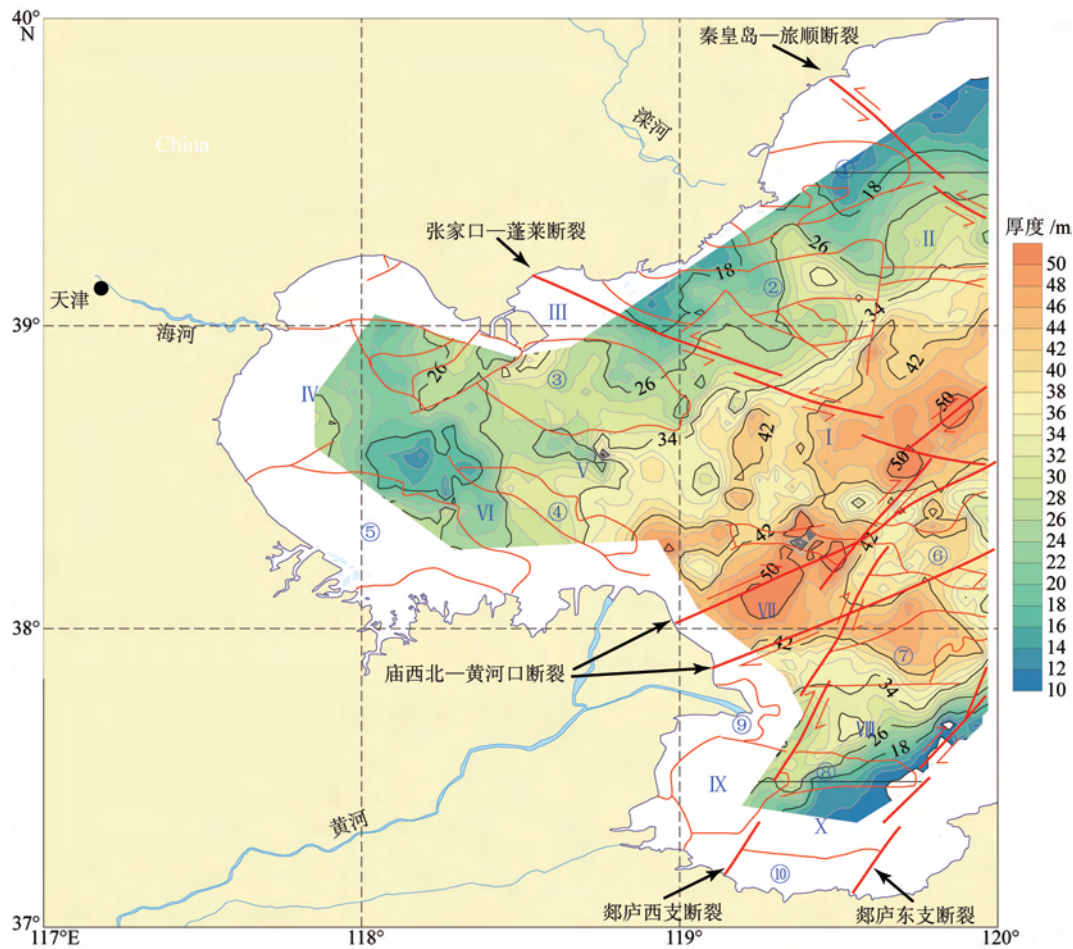


图4 渤海中西部海域上更新统(Q<sub>3</sub>)厚度图(主要凸起和凹陷名称见图1)

Fig.4 The upper Pleistocene (Q<sub>3</sub>) isopach map  
(See Fig. 1 for main depression-uplift structures)

### 3.2 断裂活动特征

依据最新采集的2D多道地震剖面(图1, C1)和近乎重合的单道地震剖面(图1, A11)可以看出,在渤中凹陷沉积基底发育多处构造凸起(图6a, 黑色箭头所示),在馆陶组之下断裂并不密集,有些断层在此之后便停止活动,表明中新世晚期构造活动进入相对平静期,而有些断层尤其位于构造凸起正上方的断层往往切穿基底并直达浅部第四系(图6b)。馆陶组之上,断层发育密集呈正花状或负花状并形成褶皱,与基底凸起(隆起)相对应,表现出深部对浅部构造活动的控制作用。周围往往发育一些新生断层,从倾向来看,这些断层是明显受到主要断裂活动影响而形成的次生新生断层,同样发育在馆陶组或明化镇组地层以上,这在图6a黑框区域尤其明显。

第四系断层发育继承了馆陶组地层以上的花状断裂系,断层更加密集。中更新统地层在中更新世晚期遭受了一次强烈剥蚀,并与上覆晚更新统地层

呈角度不整合,多数断层活动在中更新世晚期停止,而少数断层在晚更新世仍然活动,全新世断层活动相对较少。综合来看,中新世晚期构造平静期之后是该区域新构造活动开始的重要时间窗口,这直接导致了之前部分断裂活动的停止,也使部分先期断裂形成新的更加密集的继承性断裂和新生断裂,而这些断裂活动主要在中更新世晚期停止活动,以往有些结果与我们这次相似<sup>[6,15,20]</sup>。

### 3.3 新构造运动差异活动、构造活动迁移与成因机制分析

新近纪时期,渤海湾盆地进入裂后拗陷阶段,处于岩石圈热沉降中的弱伸展环境,正断层活动显著。但是第四纪初期开始,受喜马拉雅强烈造山运动的影响,渤海湾区域同时受到西部块体往北东方向挤压和太平洋板块往北西西方向俯冲推挡的作用,结束了新近纪的弱伸展应力状态,出现了北东东—东西向水平挤压应力场<sup>[10]</sup>。沉积厚度图显示,在新近

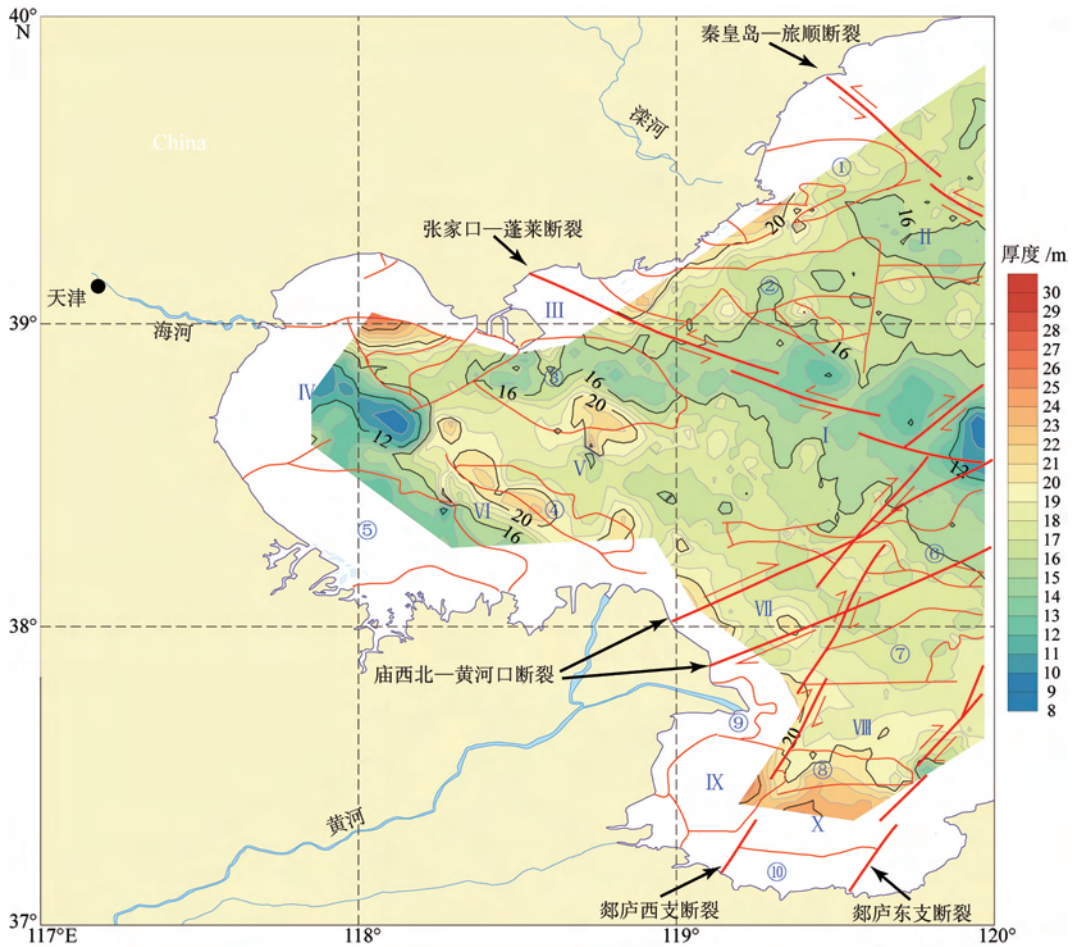


图 5 渤海中西部海域全新统(Q<sub>4</sub>)厚度图(主要凸起和凹陷名称见图 1)

Fig. 5 The Holocene isopach map

(See Fig. 1 for main depression-uplift structures)

纪主要以渤中坳陷为沉降中心的热沉降为主,此时还处于第二期喜马拉雅造山运动晚期,构造活动相对平静。上新世至中更新世为第三期喜马拉雅造山运动强烈活动期,在上述应力场作用下,NE向新生庙西北-黄河口断裂带发育活动并发生右旋剪切平移<sup>[21]</sup>,地震剖面揭示沿该断裂带差异沉降不明显(图 6b),与之共轭的地震剪切破裂带张家口-蓬莱断裂带与秦皇岛-旅顺断裂带沿 NW 向左旋走滑继承活动,并由于应力作用,以此断裂为界,地层发生显著差异沉降,即以早期继承新近纪以渤中坳陷为主的热沉降,逐渐转变为以断裂带控制的沉降沉积过程,但郑庐断裂南段由于其北北东走向受到区域应力场的抑制而失去整体活动性。在 NW 向断裂带持续活动影响下,沉积厚度等值线呈 NW 走向,并可能在造山运动最强烈时期,沉降中心以张家口-

蓬莱断裂为界北移,同时受到活动的 NW 向秦皇岛-旅顺断裂的控制。地震剖面显示(图 6c),郑庐西支断裂区域在晚中更新世以前沉积连续较薄,说明断裂带在此时期受到北东东-东西向水平挤压应力场持续相对缓慢隆升,但是中上更新统地层呈强烈角度不整合,且断裂带区域地层已显著沉降,表明喜马拉雅造山运动在渤海湾区域的影响在中更新世晚期已经大幅度减弱,挤压应力也显著减弱。因而到晚更新世,受喜马拉雅造山运动显著影响的张家口-蓬莱断裂继承性活动相对减弱,以此为界的差异沉降活动变为区域整体沉降沉积为主,上更新统断层数量也大大减少(图 6c)。全新世到现代,虽然张家口-蓬莱断裂仍具有显著地震活动,但构造活动仍进一步相对减弱,层内活动断层也进一步减少(图 6c),主要以区域均衡沉降为主。

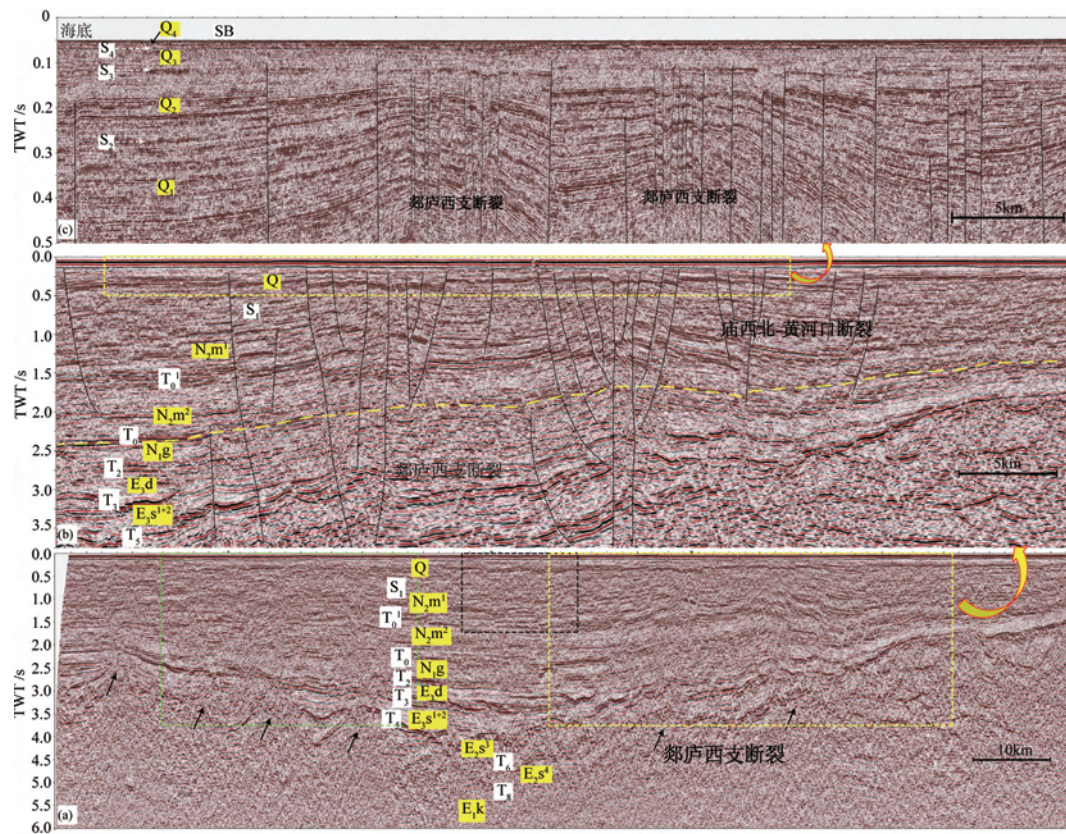


图6 多道地震剖面 C1(a),其黄色虚框的放大图(b)和图 b 中黄色虚框多道地震剖面对应的单道地震剖面 A11(c)  
(黄色虚线标示馆陶组与明化镇组的界限,揭示新构造运动期继承性和新生断裂的结构特征)

Fig.6 Multi-channel seismic reflection profile C1 (a), enlarged figure (b) of the yellow dotted rectangle and the adjacent single-channel seismic reflection line A11 (c)  
(Yellow dashed line represents the boundary of Guantao and Minghuazhen Formations, revealing the newly-generated and inherited faults by neotectonics)

## 4 结论

(1) 计算得到了  $Q_1-Q_4$  的厚度分布图,以张家口-蓬莱断裂为界,早更新世和中更新世转为以渤中拗陷的区域性差异沉降为主,早更新世南部断裂沉降较大,到中更新世北部断裂沉降较大,沉积中心北移,等厚度线整体呈 NW 向,北部被秦皇岛-旅顺断裂所控制。晚更新世以区域整体沉降沉积为主。全新统等厚线呈 NW 向,在张家口-蓬莱断裂和歧口凹陷中南部附近存在薄厚度带,主要沉积中心在滦河、海河和黄河入海口附近,以区域均衡沉降为主。

(2) 第四系断层发育继承了馆陶组地层以上的正花状或负花状并形成褶皱,断层更加密集,包括主要断裂的继承性断裂和新生断裂。中更新世末期构造活动发生一定转变,主要断裂带活动减弱,浅部断裂活动减弱。全新世除张家口-蓬莱断裂带,其余主要断裂带活动不明显,并且至少在中更新世以前郟庐断裂带南段已经失去整体活动性。

(3) 新构造运动期研究区显著受到喜马拉雅造山运动的影响,从岩石圈热沉降中的裂后弱伸展环境转变为北东东-东西向水平挤压应力场,张家口-蓬莱断裂带与秦皇岛-旅顺断裂带沿 NW 向左旋走滑继承活动,发生显著差异沉降,共轭 NE 向新生庙西北-黄河口断裂带发育活动并发生右旋剪切平移。郟庐断裂南段由于其北北东走向受到区域应力场的抑制而失去整体活动性。晚更新世和全新世,区域受喜马拉雅造山运动影响显著减弱,整体沉降为主,断层活动强度减弱,数量也大大减少。张家口-蓬莱断裂在新构造运动期是强烈断裂活动带,一直持续到现代。

**致谢:** 本文在写作过程中得到了冀再升教授级高级工程师的重要指导和帮助,姚政权副研究员对文章内容进行了细致审阅和修改,并提出了建设性意见,特此致谢。感谢天津幅海洋区域地质调查项目组为本研究提供了数据支撑。



## 参考文献 (References)

- [1] 龚再升, 王国纯. 渤海新构造运动控制晚期油气成藏[J]. 石油学报, 2001, 22(2):1-7. [GONG Zaisheng, WANG Guochun. Neotectonism and late hydrocarbon accumulation in Bohai Sea [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2001, 22(2):1-7.]
- [2] 龚再升. 中国近海含油气盆地新构造运动与油气成藏[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2004, 29(5):513-517. [GONG Zaisheng. Neotectonics and petroleum accumulation in offshore chinese basins[J]. *Earth Science — Journal of China University of Geosciences*, 2004, 29(5):513-517.]
- [3] Gong Z S, Zhang G C, Cai D S, et al. Late-stage hydrocarbon accumulation in the Bozhong depression of the Bohai Bay Basin as controlled by neotectonism [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2004, 78(3): 632-639.
- [4] 周斌, 邓志辉, 徐杰, 等. 渤海新构造运动及其对晚期油气成藏的影响[J]. 地球物理学进展, 2009, 24(6):2135-2144. [ZHOU Bin, DENG Zhihui, XU Jie, et al. Characteristics of neotectonism and their relationship with late hydrocarbon accumulation in the Bohai Sea [J]. *Progress in Geophysics*, 2009, 24(6):2135-2144.]
- [5] Gong Z S, Huang L F, Chen P H, et al. Neotectonic controls on petroleum accumulations, offshore China[J]. *Journal of Petroleum Geology*, 2011, 34(1): 5-27.
- [6] 米立军. 新构造运动与渤海海域上第三系大型油气田[J]. 中国海上油气:地质, 2001, 15(1):21-28. [MI Lijun. The neotectonism and major neogene oil and gas fields in Bohai Sea[J]. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 2001, 15(1):21-28.]
- [7] 徐杰, 冉勇康, 单新建, 等. 渤海海域第四系发育概况[J]. 地震地质, 2004, 26(1):24-32. [XU Jie, RAN Yongkang, SHAN Xinjian, et al. Development of the Quaternary system in the Bohai Sea area, China[J]. *Seismology and Geology*, 2004, 26(1):24-32.]
- [8] 李西双, 刘保华, 赵月霞, 等. 渤海海域晚更新世—全新世的活动构造[J]. 海洋学报, 2010, 32(5):52-59. [LI Xishuang, LIU Baohua, ZHAO Yuexia, et al. Late Pleistocene—Holocene submarine active structures in the Bohai Sea[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2010, 32(5):52-59.]
- [9] 龚再升. 中国近海新生代盆地至今仍然是油气成藏的活跃期[J]. 石油学报, 2005, 26(6):1-6. [GONG Zaisheng. Cenozoic China offshore basins keeping active hydrocarbon accumulation to present[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2005, 26(6):1-6.]
- [10] 徐杰, 周本刚, 计凤桔, 等. 渤海地区新构造格局[J]. 石油学报, 2011, 32(3):442-449. [XU Jie, ZHOU Bengang, JI Fengju, et al. A primary study on the neotectonic pattern of the Bohai area in China[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2011, 32(3):442-449.]
- [11] 侯贵廷. 渤海湾盆地形成机制研究[J]. 北京大学学报:自然科学版, 1998, 34(4):503-509. [HOU Guiting. The Origin of the Bohai Bay Basin[J]. *Universitatis Pekinensis (Acta Scientiarum Naturalium)*, 1998, 34(4):503-509.]
- [12] 詹润, 朱光, 杨贵丽, 等. 渤海海域新近纪断层成因与动力学状态[J]. 地学前缘, 2013, 20(4):151-165. [ZHAN Run, ZHU Guang, Yang Guili, et al. The genesis of the faults and the geodynamic environment during Neogene for offshore of the Bohai sea[J]. *Earth Science Frontiers*, 2013, 20(4):151-165.]
- [13] 汤良杰, 万桂梅, 周心怀, 等. 渤海盆地新生代构造演化特征[J]. 高校地质学报, 2008, 14(2):191-198. [TANG Liangjie, WAN Huimei, ZHOU Xinhui, et al. Cenozoic geotectonic evolution of the Bohai Basin[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2008, 14(2):191-198.]
- [14] 周心怀, 余一欣, 汤良杰, 等. 渤海海域新生代盆地结构与构造单元划分[J]. 中国海上油气, 2010, 22(5):285-289. [ZHOU Xinhui, YU Yixin, TANG Liangjie, et al. Cenozoic offshore basin architecture and division of structural elements in Bohai sea[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2010, 22(5):285-289.]
- [15] 余一欣, 周心怀, 徐长贵, 等. 渤海海域新生代断裂发育特征及形成机制[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(2):273-279. [YU Yixin, ZHOU Xinhui, XU Changgui, et al. Characteristics and formation mechanisms of the Cenozoic faults in the Bohai Sea waters[J]. *Oil & Gas Geology*, 2011, 32(2):273-279.]
- [16] 朱伟林. 渤海海域油气成藏与勘探[M]. 北京:科学出版社, 2009. [ZHU Weilin. Hydrocarbon accumulation and exploration in Bohai Sea[M]. Beijing: Science Press, 2009.]
- [17] Yao Z, Shi X, Liu Q, et al. Paleomagnetic and astronomical dating of sediment core BH08 from the Bohai Sea, China: Implications for glacial-interglacial sedimentation[J]. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 2014, 393(393):90-101.
- [18] 中国科学院海洋研究所海洋地质研究室. 渤海地质[M]. 北京:科学出版社, 1985. [Department of Marine Geology, Institute of Oceanology, CAS. *Geology of the Bohai Sea*[M]. Beijing: Science Press, 1985.]
- [19] 蔡东升, 罗毓晖, 武文来, 等. 渤海浅层构造变形特征, 成因机理与渤中拗陷及其周围油气富集的关系[J]. 中国海上油气(地质), 2001, 15(1):35-43. [CAI Dongsheng, LUO Yuhui, WU Wenlai, et al. Shallow tectonic deformation and its relationship to hydrocarbon enrichment in Bozhong Depression and adjacent areas, Bohai Bay Basin[J]. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 2001, 15(1):35-43.]
- [20] 贾承造, 何登发, 石昕, 等. 中国油气晚期成藏特征[J]. 中国科学: D 辑, 2006, 36(5):412-420. [JIA Chengzao, HE Dengfa, SHI Xin, et al. Characteristics of late hydrocarbon accumulation in China[J]. *Science China(series D)*, 2006, 36(5):412-420.]
- [21] 徐杰, 张进, 周本刚, 等. 渤海东南部 NE 向黄河口—庙西北新生断裂带的存在[J]. 地震地质, 2007, 29(4):845-854. [XU Jie, ZHANG Jin, ZHOU Bengang, et al. The newly-generated NE-trending yellow river estuary-northwest miao fault zone in southeastern Bohai Basin[J]. *Seismology and Geology*, 2007, 29(4):845-854.]