

# Features of Gravity Field and its Petroleum Geology Significance in Bohai Sea

Chunguan Zhang

School of Petroleum Resources, Xi'an Shiyou University, Xi'an, China

Chunguan-zhang@163.com

**Abstract:** In this paper, on the base of analyzing the features of gravity anomaly, and combining with the research results of the former in the regional geology, then the structural features of Bohai sea were determined, and the tectonic units were divided. After the contact was studied between the feature of local gravity anomalies and the distribution of oil/gas fields, the oil/gas distribution rules were discussed. The results showed that Tanlu fault controlled the regional tectonic evolution and the boundary of the tectonic units in Bohai sea of Bohai bay basin; there were a lot of local structures and faults, then formed many favorable traps and systems of migration and reservoir for oil and gas in Bohai sea of Bohai bay basin; there is the stronger relativity between the distribution of oil/gas fields and the local gravity highs; the relief areas (i.e. local gravity highs) surrounded by these petroleum generation depressions are the most favorable potential targets for the oil and gas exploration; the fault zones (i.e. the areas between the local gravity highs and the local gravity lows) between the depressions and the relieves are also the significant areas in the study area.

**Keywords:** Bohai sea; tectonic unit; gravity high; gravity low; oil and gas distribution

## 渤海海域重力场特征及其石油地质意义

张春灌

西安石油大学油气资源学院, 西安, 中国, 710065

Chunguan-zhang@163.com

**摘要:** 本文在对渤海湾盆地渤海海域地区重力异常特征分析的基础上, 结合前人在区域地质方面的研究成果, 确定了研究区的构造格架, 划分了渤海海域地区的构造单元, 并对已发现的油气田分布与局部重力异常特征间的联系进行了研究, 进而讨论了油气分布规律。研究表明, 郑庐断裂控制了渤海湾盆地渤海海域地区的区域构造演化, 也控制了构造单元的边界; 渤海湾盆地渤海海域地区内局部构造及断裂十分发育, 形成了众多有利圈闭, 有良好的油气输导及储集系统; 已发现的油气田分布和局部重力高之间存在很好的相关性; 被生油凹陷包围的凸起区(既局部重力高带)是寻找油气最有利的靶区, 凹陷和凸起过渡部位的断阶带(既局部重力高和局部重力低之间的过渡部位)也是寻找油气时候不可忽视的领域。

**关键词:** 渤海海域; 构造单元; 重力高; 重力低; 油气分布

## 1 引言

渤海海域处于渤海湾盆地的东部, 与渤海湾盆地陆上周缘的辽河、大港、胜利及冀东油田相连, 是渤海湾盆地的重要组成部分, 海域面积约  $7.3 \times 104 \text{ km}^2$ <sup>[1]</sup>。渤海海域地区的油气勘探工作开展 40 余年来, 随着勘探程度的提高, 对渤海区域地质特征和石油地质特征有了更深刻地认识<sup>[2-4]</sup>, 连续发现了 SZ36-1、QHD32-6、NB35-2、CFD11-1、CFD12-1、BZ25-1、

PL9-1 和 PL19-3 等亿吨级大油气田<sup>[5-9]</sup>。这些勘探成果的取得, 是对渤海海域地区石油地质特征认识有了突破性的结果, 及时总结这些研究成果, 不仅对于渤海海域地区的油气勘探, 也会对相邻区域的勘探起到一定的借鉴作用。

笔者研究了渤海海域地区的重力场特征, 分析了本区局部重力异常与已发现的油气田分布间的关系, 确定了研究区的构造格架, 划分了该区的构造单元, 讨论了渤海湾盆地渤海海域地区的油气分布规律。

## 2 区域地质概况

渤海湾盆地位于中国东部渤海湾及其沿岸地区，横跨辽宁、河北、北京、天津、山东和河南6省市及渤海海域，西侧以太行山隆起带为界，北与燕山褶皱带接壤，东以胶辽隆起为界，东南为鲁西隆起，是在太古宙结晶基底基础上发育起来的叠合盆地<sup>[10]</sup>。盆地具有很厚的沉积层，一般为10~14 km，显示了基底的快速沉降和盆地的快速充填<sup>[11]</sup>。

NNE向的郯庐断裂对本区的区域构造演化起着重要的控制作用<sup>[12]</sup>。二叠纪末期，郯庐断裂带雏形的产生起到了调节大别造山带及其以东碰撞作用差异性的转换作用。早一中侏罗世，受库拉—太平洋板块向欧亚板块俯冲的影响，华北地区出现了EW向构造，渤海湾地区强烈抬升，仅形成小型的相互独立的盆地<sup>[13]</sup>。中侏罗末期，构造运动强烈，郯庐断裂左旋挤压加剧<sup>[14]</sup>，产生了NW—SE向的挤压应力，在渤海湾盆地内产生大型凹陷和隆起的雏形<sup>[15]</sup>。晚侏罗世，随着太平洋板块向NW向俯冲的加剧，俯冲带后的华北地区地壳进一步活化，断陷盆地由原先仅在盆地边缘或沿断裂附近分布逐渐向盆地纵深发展，盆地数量增多，面积明显扩大，上侏罗统普遍不整合于不同时代的基底地层之上<sup>[15]</sup>。晚白垩世，华北地区整体抬升，郯庐断裂活动较弱，大面积处于剥蚀状态，仅盆地东部存在零星沉积<sup>[10]</sup>。

新生代是渤海湾盆地的成盆期，在区域构造背景下，周边各板块间综合协调运动的结果使渤海湾盆地在东部走滑构造带和西部走滑构造带的右行走滑作用下形成拉分盆地，并形成了盆地内部强烈的拉张断陷<sup>[10]</sup>。渤海沉积、沉降中心由陆地向海域中心的渤中凹陷迁移，因此，渤中凹陷是新近系和第四系沉积厚度最大的单元(最大厚度达4800 m)<sup>[16]</sup>。

## 3 重力场特征

### 3.1 布格重力异常

渤海海域布格重力异常宏观走向呈NE向<sup>[17-18]</sup>，反映出研究区的主体构造为NE向(图1)。从西北往东南，该区布格重力场值的特征反映出两高一低(两边高，中间低)：依次为西偏北的秦皇岛重力高、SZ36-1—LD27-2—BZ22-2—BZ25-1重力低以及辽东—胶东重力高。

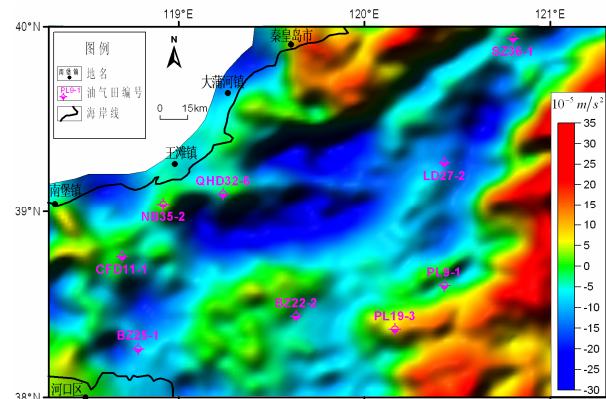


Figure 1. The map of Bouguer gravity anomaly in Bohai sea  
图 1. 渤海海域布格重力异常图

其中，NE走向的SZ36-1—LD27-2—BZ22-2—BZ25-1重力低即为渤海湾盆地在渤海海域的部分，其布格异常形态不完整，向西、南以及东北有延伸的趋势。异常中部梯度变化比较平缓，存在大量的局部重力高，发育有大量的局部凸起；异常边部梯度变化比较大，发育有多条深大断裂。

渤海海域地区整体上为一个大范围的重力低，反映出坳陷特征；周缘的燕山褶皱带、胶辽隆起则为重力高，反映出隆起特征。

### 3.2 局部重力异常

局部重力异常能突出反映局部地质体引起的重力场效应。压制区域背景异常，提高对局部异常的分辨能力，能较准确地将相邻局部地质体分开。本文采用正则化滤波法计算局部重力异常(图2)，滤波波长为25km。

从图2中可以看出，渤海湾盆地海域地区局部重力高和重力低相间排布，局部重力异常按走向大致可以分为三个区：东部SZ36-1—LD27-2—PL9-1一线NE走向的局部重力异常区，中部QHD32-6—BZ22-2一线近EW走向的局部重力异常区，西部南堡镇—河口区一线NW走向的局部重力异常区。研究区中存在许多幅值较高、范围较大的局部重力高，反映出坳陷中的局部隆起特征；也存在大量幅值较低、范围较小局部重力高，反映出凹陷中局部隆起的特征。

重力垂向二阶导数异常对旁侧叠加异常或垂向叠加异常的反应更加敏感，所以也常用来划分局部异常。本文采用罗森巴赫II式计算垂向二阶导数异常(图3)，计算半径为8km。从图3中可以看出，渤海湾盆地渤

海地区布格重力异常的垂向二阶导数特征和局部重力异常非常一致，局部异常真实地反映了研究区的局部构造。

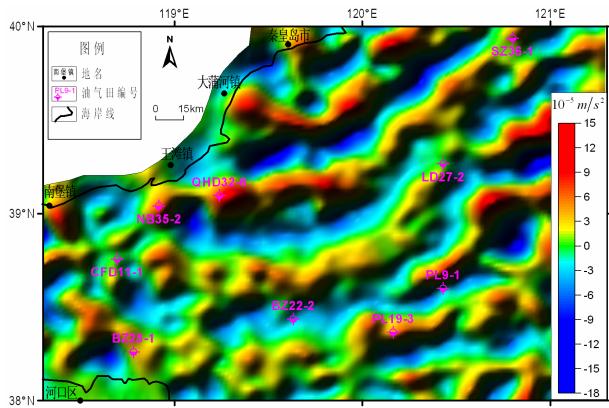
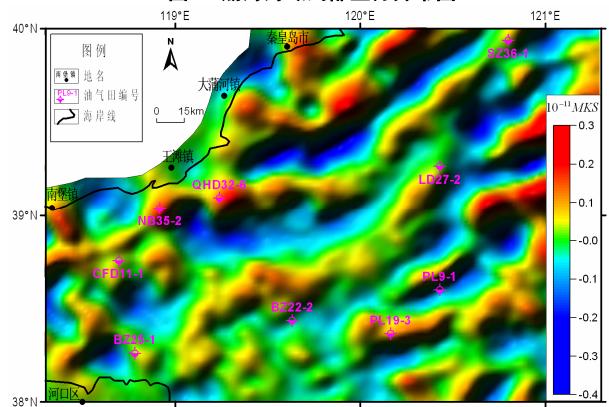


Figure 2. The map of local gravity anomaly in Bohai sea  
 图 2. 渤海海域局部重力异常图



**Figure 3.** The map of vertical second derivative anomaly in Bohai sea

图 3. 渤海海域布格重力异常图

4 构造特征

根据重力异常基本特征，并结合前人的研究成果<sup>[18-21]</sup>，将研究区划分为七个构造单元：依次为黄骅坳陷、埕宁隆起、渤中坳陷、济阳坳陷、辽河坳陷、燕山褶皱带以及胶辽隆起（图4）。

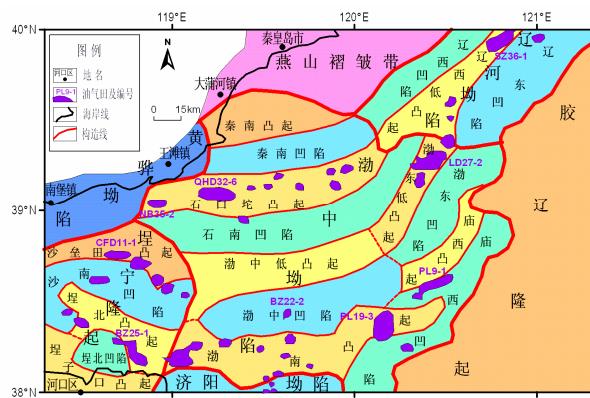
## 4.1 黄骅坳陷

黄骅坳陷是在华北地台的基础上发展起来的中、新生代裂谷盆地，属于渤海湾盆地内部一个次级坳陷<sup>[22]</sup>。位于研究区西部，仅涉及黄骅坳陷次一级负向构造单元—南堡凹陷的一部分。布格重力异常及局部重力异常显示为一未封闭的重力低，其南侧为重力梯级

带，表明其与沙垄田凸起呈断层接触关系。

## 4.2 埤宁隆起

埕宁隆起位于研究区西南角，属于渤海湾盆地内部一个次级隆起。布格重力异常梯度较平缓，表明埕宁隆起与周边构造单元虽然呈断层接触关系，但是断层规模不大。局部重力异常显示为 NW 向重力高与重力低相间排布，与埕宁隆起次一级构造单元沙垒田凸起、沙南凹陷、埕北凸起、埕北凹陷以及埕子口凸起相对应。由于受周围断裂的影响，次级断裂发育，油气的运移和储集条件较好，加之油源丰富，对油气藏的形成十分有利。



**Figure 4. The classification map of tectonic units with the distribution of oil/gas fields in Bohai sea**

图 4. 渤海海域构造单元及油气田分布图

### 4.3 渤中坳陷

渤中坳陷东邻郯庐断裂带，是渤海海域惟一独立的一级负向构造单元，位于陆上 3 大坳陷(辽河坳陷、黄骅坳陷、济阳坳陷)向海域自然延伸的汇合处<sup>[23]</sup>，属于渤海湾盆地内部一个次级坳陷。布格重力异常显示为一个面积较大的重力低，其北、东的重力梯级带比较陡，表明渤中坳陷与燕山褶皱带及胶辽隆起为断层接触关系，且为深大断裂，控制着研究区的区域构造格局。局部重力异常显示为 NEE 向及 NE 向的重力高与重力低相间排布，表明渤中坳陷内部呈现凹凸相间的构造格局，由 5 个凹陷(秦南凹陷、石南凹陷、渤中凹陷、渤东凹陷及庙西凹陷)和 6 个凸起(秦南凸起、石臼坨凸起、渤中低凸起、渤南凸起、渤东低凸起及庙西凸起)组成。由于受周围断裂的影响，渤中坳陷次级断裂十分发育，断裂的形成及演化对油气的

生成、运移和聚集具有很好的控制作用。

#### 4.4 济阳坳陷

济阳坳陷东邻郯庐断裂带，是叠置在华北克拉通古生界盖层之上的中、新生代断陷盆地<sup>[24]</sup>，属于渤海湾盆地内部一个次级坳陷。位于研究区南部，仅涉及济阳坳陷次一级负向构造单元—黄河口凹陷的一部分。布格重力异常显示为向南未封闭的重力低，其北侧与渤南凸起呈断层接触关系。

#### 4.5 辽河坳陷

辽河坳陷东邻郯庐断裂带，是渤海湾盆地油气资源丰度很高的一个断陷盆地<sup>[25]</sup>。位于研究区东北部，布格重力异常显示为向北东未封闭的重力低，其东、西的重力梯级带比较陡，表明辽河坳陷与燕山褶皱带及胶辽隆起为断层接触关系，山前断裂和郯庐断裂控制着辽河坳陷的构造格局。局部重力异常显示为NE向重力高与重力低相间排布，与辽河坳陷次一级构造单元辽西凹陷、辽西低凸起以及辽东凹陷相对应。由于受周围断裂的影响，辽河坳陷次级断裂十分发育，油气的运移和储集条件较好，加之油源丰富，对油气藏的形成十分有利。

#### 4.6 燕山褶皱带

燕山褶皱带位于研究区北部，是覆于华北克拉通北缘之上中生代褶皱冲断带<sup>[26]</sup>。布格重力异常显示为向北未封闭的重力高，其南、东的的重力梯级带比较陡，与渤中坳陷及辽河坳陷呈断层接触关系。

#### 4.7 胶辽隆起

胶辽隆起位于研究区东部，布格重力异常总体反映为一向东未封闭的NNE向重力高。其西侧重力梯度较陡，正是郯庐断裂带的反映，对本区的区域构造演化起着重要的控制作用。

### 5 油气分布规律

根据已有的油气田相关资料<sup>[7-11]</sup>，获得了渤海海域主要油气田分布特征（图4）。从图4可以发现，CFD11-1和CFD12-1油气藏位于沙垒田凸起，NB35-2、QHD32-6及QHD30-1油气藏位于石白坨凸起，SZ36-1油气藏位于辽西低凸起，LD27-2油气藏位于渤东低凸起，BZ25-1和PL19-3油气藏位于渤南凸起，BZ22-2、PL9-1及PL25-6油气藏位于凹陷和凸

起过渡部位的断阶带上。除了上述大油气田外，其他的油气田绝大部分分布于沙垒田凸起、埕北凸起、石白坨凸起、渤南凸起、辽西低凸起以及渤东低凸起，很少部分分布于凹陷和凸起过渡部位的断阶带上。

由于受周围断裂的影响，渤海湾盆地渤海海域地区各坳陷及隆起的次级凸起、低凸起、鼻状构造以及断裂十分发育，油气的运移和储集条件较好，加之油源非常丰富，对油气藏的形成十分有利。而渤海湾盆地渤海海域地区的凸起及低凸起与局部重力异常中的重力高相对应，说明本区已发现的油气田分布和局部重力高之间存在很好的相关性。

### 6 结论

(1) 本区断裂的宏观展布方向与研究区区域构造方向一致。NNE向的郯庐断裂控制了渤海湾盆地渤海海域地区的区域构造演化，也控制了构造单元的边界。

(2) 由于受周围断裂的影响，渤海湾盆地渤海海域地区各坳陷及隆起的次级凸起、低凸起、鼻状构造及断裂十分发育，形成了众多有利圈闭，有良好的油气输导及储集系统。

(3) 渤海湾盆地渤海海域地区已发现的油气田分布和局部重力高之间存在很好的相关性。

(4) 渤海湾盆地渤海海域地区中被生油凹陷包围的凸起区(既局部重力高带)是寻找油气最有利的靶区，凹陷和凸起过渡部位的断阶带(既局部重力高和局部重力低之间的过渡部位)也是寻找油气时候不可忽视的领域。

### 致 谢

在本文的写作过程中，得到了西安石油大学袁炳强教授指导和帮助，在此表示衷心地感谢！

### References (参考文献)

- [1] Zhu Weilin, Wang Guochun, Zhou Yi. Potential of Petroleum Resources in the Offshore Bohai Bay Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2000, 21(3), P1-7(Ch). 朱伟林,王国纯,周毅,渤海油气资源浅析[J],石油学报,2000, 21(3),P1-7.
- [2] Li Desheng, Xue Shubao. The Eastern China Mesozoic-cenozoic Basins Hydrocarbon Occurrence[J]. *Acta Geologica Sinica*, 1983,3, P224-233(Ch). 李德生,薛叔浩,中国东部中、新生代盆地与油气分布[J], 地质学报,1983,3,P224-233.
- [3] Li Desheng, Du Yonglin, Geological Features of Cenozoic Oil & Gas Basins on the Coastal Continental Shelf in China[J], *Acta Oceanologica Sinica*, 1983,5(6), P766-775(Ch). 李德生,杜永林,中国沿海大陆架新生代含油气盆地的地质特

- [4] 征[J], 海洋学报,1983,5(6),P766-775.  
 Gong Zaisheng. Cenozoic China Offshore Basins Keeping Active Hydrocarbon Accumulation to Present[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2005,26(6), P1-6(Ch).  
 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),P1-6.
- [5] Zhang Gongcheng, Zhu Weilin, Shao Lei. Pull-apart Tectonic and Hydrocarbon Prospecting in Bohai Bay and Its Nearby Area[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2001,22(2), P14-18(Ch).  
 张功成,朱伟林,邵磊,渤海海域及邻区拉分构造与油气勘探领域[J], 石油学报,2001,22(2),P14-18.
- [6] Lai Wanzhong. Shallow Hydrocarbon Exploration and Its Major Targets in Bohai Bay Basin[J]. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 2001,15(1), P44-49(Ch).  
 赖万忠,渤海湾盆地浅层油气勘探与主要勘探方向[J], 中国海上油气(地质),2001,15(1),P44-49.
- [7] Gong Zaisheng, Wang Guochun. Thoughts Upon Petroleum Resources Potential in Offshore China[J]. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 1997,11(1), P1-12(Ch).  
 龚再升,王国纯,中国近海油气资源潜力新认识[J], 中国海上油气(地质),1997,11(1),P1-12.
- [8] Zhu Weilin, Ge Jiandang. Gas Exploration Potential in Offshore Bohai Bay Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2001, 22(2), P8-13(Ch).  
 朱伟林,葛建党,渤海海域天然气勘探前景分析[J], 石油学报,2001,22(2),P8-13.
- [9] Chi Yingliu. Basin Characteristics and Hydrocarbon Distribution in Cenozoic Petroleum Systems in Bohai Sea[J]. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 2001, 15(1), P3-10(Ch).  
 池英柳,渤海新生代含油气系统基本特征与油气分布规律[J], 中国海上油气(地质),2001, 15(1),P3-10.
- [10] Xu Shouyu, Yan Ke. Structural System and Hydrocarbon Distribution in the Bohai Gulf Basin[J]. *Journal of Geomechanics*, 2005,11(3), P259-264(Ch).  
 徐守余,严科,渤海湾盆地构造体系与油气分布[J], 地质力学学报,2005,11(3),P259-264.
- [11] Yin Xulan, Zhang Qingjiu. Evolution of the Structural Stress and Its Function During Oil/Gas Accumulation in Bohai Sea[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2007, 27(5), P45-50(Ch).  
 殷秀兰,张清久,渤海海域构造应力场演化及其在油气聚集中作用[J], 海洋地质与第四纪地质,2007, 27(5),P45-50.
- [12] Zhang Gongcheng. Tectonic Framework and Prolific Hydrocarbon Depressions in Bohai Bay[J]. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 2000,14(2), P93-98(Ch).  
 张功成,渤海海域构造格局与富生烃凹陷分布[J], 中国海上油气(地质),2000,14(2),P93-98.
- [13] Wang Tonghe, Wang Xishuang, Han Yuchun, Li Xinning. Tectonic evolution and hydrocarbon accumulation in North China Craton[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999. 1-50.  
 王同和,王喜双,韩宇春等, 华北克拉通构造演化与油气聚集 [M], 北京:石油工业出版社, 1999. 1-50.
- [14] Wu Yongping, Fu Lixin, Yang Chiyin, Jin Jiuqiang. Effect of Mesozoic Tectonic Evolution on Hydrocarbon Accumulation in Buried Hills in Huanghua Depression[J], *Acta Petrolei Sinica*, 2002, 23 (2),P16-20(Ch).  
 吴永平,付立新,杨池银等, 黄骅坳陷中生代构造演化对潜山油气成藏的影响[J], 石油学报, 2002, 23 (2),P16-20.
- [15] Chen Jiashu, Features of Jiyang Movement and Its Effect on Jiyang Depression[J], *Petroleum Geology & Experiment*, 1993, 15 (1), P86-99(Ch).  
 陈嘉树,济阳运动的特点及其对济阳坳陷的影响[J], 石油实验地质, 1993, 15 (1),P86-99.
- [16] Gong Zaisheng, Wang Guochun. Neotectonism and Late Hydrocarbon Accumulation in Bohai Sea[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2001,22(2), P1-7(Ch).  
 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),P1-7.
- [17] Liu Guangxia, Zhao Wenjun, Li Zhixiong, Zhang Xian, Geophysical Analysis on the Tertiary Rift Valley Expanding of Bohai Sea[J]. *Northwestern Seismological Journal*, 1996, 18(3), P18-24(Ch).  
 刘光夏,赵文俊,李志雄等, 渤海第三纪裂谷扩张的地球物理分析[J], 西北地震学报,1996, 18(3),P18-24.
- [18] Gao Xianglin. Physical Conditions and Deep Processes of Intensive Subsidence in the Middle Bohai Sea During Cenozoic Time[J]. *Progress in Geophysics*, 2005, 20(4), P889-896(Ch).  
 高祥林, 新生代渤海中部强烈沉降的物理条件和深部过程[J], 地球物理学进展,2005, 20(4),P889-896.
- [19] Li Juan, Tian Baofeng, Wang Weiming, Zhao Lianfeng, and Yao Zhenxing. Lateral Variation in the Sedimentary Structure of West Bohai Bay Basin Inferred from P-Multiple Receiver Functions. *Seismological Society of America*,2007, 97(4),P 1355-1363.
- [20] Hao Fang, Zhou Xinhui, Zhu Yangming, Bao Xiaohuan, and Yang Yuanyuan. Charging of the Neogene Penglai 19-3 field. *American Association of Petroleum Geologists*, 2009, 93(2), P155-179.
- [21] Wu Changzhi, Gu Lianxing, Zhang Zunzhong, Ren Zuowei, Z Chen hengyan, and Li Weiqiang. Formation mechanisms of hydrocarbon reservoirs associated with volcanic and subvolcanic intrusive rocks. *American Association of Petroleum Geologists*, 2006,90(1),P137-147.
- [22] Wang Zecheng, Liu Hefu, Duan Zhoufang, Wang Hongyan, Analysis of Meso-cenozoic Tectonic Inversion of Huanghua Depression[J], *Earth Science — Journal of China University of Geosciences*, 1998, 23(3), P 289-293(Ch).  
 旺泽成,刘和甫,段周芳等, 黄骅坳陷中新生代构造负反转分析[J], 地球科学—中国地质大学学报, 1998, 23(3),P289-293.
- [23] Mi Lijun, Duan Jili, Features of the Middle-shallow Reservoir and Its Accumulation rules in Bozhong Depression[J], *Acta Petrolei Sinica*, 2001,22(2), P32-37(Ch).  
 米立军,段吉利,渤中凹陷中浅层油气成藏特点及其聚集规律 [J], 石油学报,2001,22(2),P32-37.
- [24] Wang Yi, Lu Kezheng, Ren Anshen, Tectogenesis and Volcanism and the Basin Evolution of the Mesozoic Era in the Northeast of Jiyang Depression[J], *Journal of the University of Petroleum, China*, 1994, 18(2), P1-8(Ch).  
 王毅,陆克政,任安身, 济阳坳陷东北部中生代构造运动和火山活动及盆地演化[J], 石油大学学报(自然科学版), 1994, 18(2),P1-8.
- [25] Xue Shuhao, Luo Ping, Yang Yongtai, Depositional Systems and Oil/Gas Distribution in the Liaohe Depression[J], *Petroleum Exploration and Development*, 1997,24(4), P19-22(Ch).  
 薛叔浩,罗平,杨永泰, 辽河坳陷沉积体系与油气分布[J], 石油勘探与开发,1997,24(4),P19-22.
- [26] Gregory A. Davis, Zheng Yadong, Wang Cong, Brian J.Darby, Zhang Changzhou, George Gehrels, Mesozoic Tectonic Evolution of the Yanshan fold and Thrust Belt, With Emphasis on Hebei and Liaoning Provinces, Northern China[J], *Beijing Geology*, 2002,14(4), P1-40(Ch).  
 Gregory A. Davis,郑亚东,王琮等, 中生代燕山褶皱冲断带的构造演化—以河北省和辽宁省为重点的研究[J], 北京地质,2002,14(4),P1-40.