

济阳拗陷古近纪的古气候区分析

王冠民, 林国松

中国石油大学(华东) 地球科学与技术学院, 山东 青岛 266555

摘要:古气候分区是古湖泊学研究的一个重要方面,对古湖泊生产力和有机质的保存有重要影响。本文尝试利用孢粉、沉积地球化学、沉积学等手段,根据不同气候带冷热干湿组合和碳酸盐矿物 $\delta^{18}\text{O}$ 与古气候干湿对应关系,结合古风向,来恢复济阳拗陷古近纪的古气候分区。分析结果表明济阳拗陷在沙河街组沉积时孢粉组合表现出温暖与湿润、寒冷与干燥同步,碳酸盐矿物 $\delta^{18}\text{O}$ 增高与古气候干旱同步的规律,东营组孢粉组合则表现为寒冷与湿润同步,碳酸盐矿物 $\delta^{18}\text{O}$ 增高与古气候湿润同步的规律。这些特征揭示出,在沙河街组沉积时期,济阳拗陷主要处于东亚季风气候区;在东营组沉积期,济阳拗陷则更多地处于西风带的控制下。此外,古近系碳酸盐礁滩、碎屑浅滩的沉积规律也表明,济阳拗陷在沙四上-沙一段沉积时期盛行东亚季风。湖相优质烃源岩主要发育于季风气候带中由于冷向暖湿过渡的时期。

关键词:济阳拗陷;古近系;古气候区

中图分类号:P512.2;P534.53 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-2802(2012)05-0505-05

Eogene Paleoclimate Zone Study in the Jiyang Depression

WANG Guan-min, LIN Guo-song

College of Earth Science and Technology, China University of Petroleum, Qingdao, Shandong Province, 266555, China

Abstract: Paleoclimate zoning is an important aspect of the palaeo-lake study; it influences paleoproductivity and preservation of organic metamorphism in palaeo-lakes. Based on the data of historical weather, palaeowind directions, and correspondence between carbonate mineral $\delta^{18}\text{O}$ values and paleoclimate, we attempt to restore the Eogene paleoclimate zone in the Jiyang depression by means of spore powder, sedimentary geochemistry and sedimentology. The sporo-pollen assemblage in the Shahejie Formation shows the synchronization characteristics of warm while humid, of cold while dry, and of carbonate mineral $\delta^{18}\text{O}$ values increasing when dry palaeoclimate. But the sporo-pollen assemblage in the Dongying Formation shows synchronization characteristics of cold while wet and of carbonate mineral $\delta^{18}\text{O}$ values increasing when humid palaeoclimate. These results reveal the Jiyang depression was in the East Asian Monsoon climate zone during the Shahejie Formation depositional stage, and was typically controlled by the westerlies during the Dongying Formation depositional stage. Furthermore, the sedimentary rule of carbonate reef flat and clastic shoal in the Shahejie Formation show that the East Asia Monsoon was prevalent during the sedimentary period from the upper fourth member to the first member of the Shahejie Formation. Lacustrine high-quality source rocks mainly deposited in the stage of when the paleoclimate was changed from dry and cold to wet and warm in the East Asian Monsoon climate zone.

Key words: Jiyang depression; Paleogene; Paleoclimate zone

古气候分区是古湖泊研究的一个重要方面,主要用来反应宏观的气候背景,在第四纪盆地的古气候研究中已广泛开展^[1~6]。由于不同气候特点对古湖泊的沉积尤其是有机质的富集有重要影响^[7,8],所以确定盆地的古气候分区对于含油气盆地的勘探

远景具有一定的理论和现实意义。

第四纪古气候学表明,东亚主要的气候区可以分为季风气候区和西风带气候区^[4]。现在我国大部分地区都在亚洲季风区的影响范围内,只有新疆属于西风带气候。但在地质历史中古气候分区却并非

收稿日期:2011-09-16 收到,10-11 改回

基金项目:中央高校基本科研业务费专项(09CX04010A)

第一作者简介:王冠民(1969—),男,教授,研究方向:沉积学。E-mail: wguanmin@sina.com.

固定不变,西风带和季风气候区是不断变化、彼此互相进退的^[7],比如:我国北方红粘土-黄土层中就明显表现了中新世以来的古气候干湿变化周期^[1]。

济阳坳陷位于山东省的东北部,包括了惠民凹陷、东营凹陷、沾化凹陷和车镇凹陷等次级构造单元

(图1),是我国重要的含油气盆地之一。从纬度上看,济阳坳陷处于现今西风带边缘(北纬35°~65°)。本文尝试利用盆地古近系的孢粉、碳酸盐稳定同位素、沉积特征等判断济阳坳陷古近系所处的古气候区。

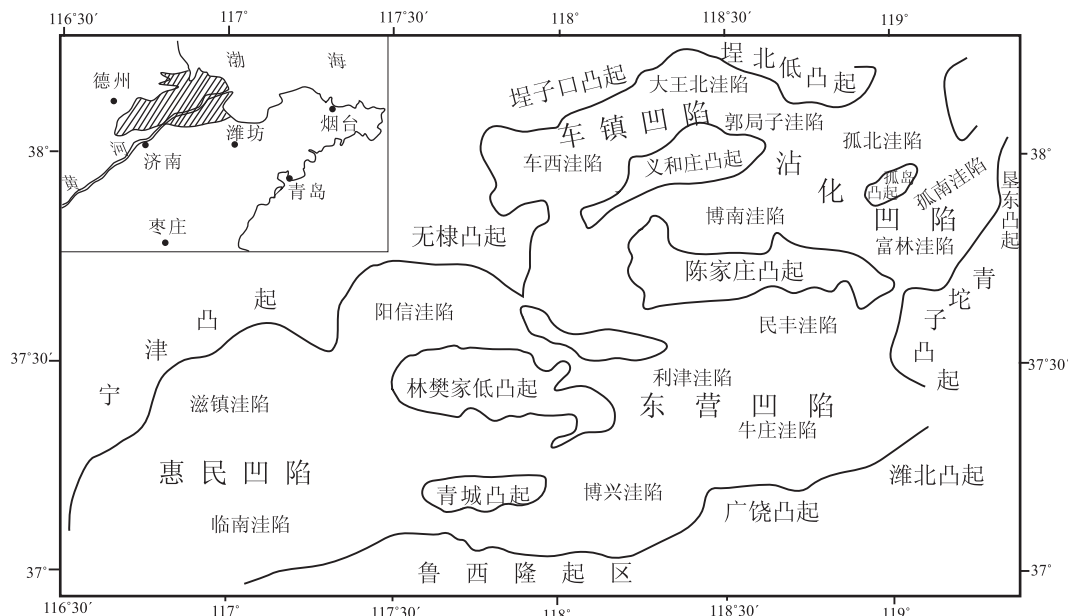


图1 济阳坳陷各构造单元分布图

Fig. 1 Distribution of tectonic units in the Jiyang depression basin

1 孢粉确定古气候区

我国的季风气候区具有季节性的季风来源,夏季风来源于海洋,温暖湿润;冬季风来源于内陆,寒冷干燥。西风带气候则刚好相反,气候的变化是在冷湿与干热之间变化^[9]。

济阳坳陷古近系泥页岩中的孢粉比较发育。李守军等^[10]根据孢粉母体植物对气温的适应性,分为喜热组、喜温组和广温组;根据孢粉母体植物对湿度的适应性,分为湿生组、早生组和中生组,分别计算了沙河街组和东营组的温度比值和湿度的比值。笔者对其计算后的结果^[10]重新分析,通过地层的冷热干湿变化周期,进一步确定其古气候分区。

由图2知沙四段至东营组沉积时期,济阳坳陷经历四个古气候变化周期。第一个周期是沙四段的中下部,湿度:偏干旱→干旱;温度:温冷→温凉。第二个周期是沙四上至沙二段,湿度上:干旱→湿润→干旱;温度上:温凉→温热→温凉;第三个周期是渐新世沙一段时期,湿度上:干旱→湿润→干旱,温度上:温凉→温热→温凉。第四个周期是渐新统东营组。

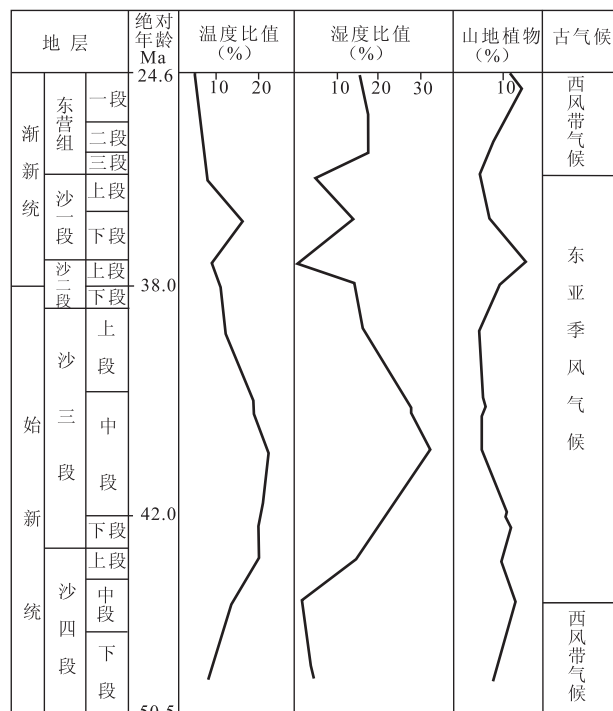


图2 济阳坳陷沙河街组~东营组沉积时期古气候指标变化图(据文献^[10]修改)

Fig. 2 Palaeoclimate index variation during the Shahejie-Dongying Formation depositional stage in the Jiyang depression (modified from ref. [10])

第一个周期的古气候是从相对偏湿冷向偏暖干过渡,第二、三周期从开始到结束,大气温度和湿度都经过低—高一低的变化过程。其中,第二周期开始阶段,即沙四下亚段沉积时,古气温最低,可能位于亚热带北缘至北亚热带;而后逐渐升高,至沙三中亚段沉积时古气温最高,可能相当于中亚热带中部;自沙三上亚段沉积开始,古气温缓慢下降,至下一个周期开始之前,湖泊可能又回到中亚热带北缘。第三周期古气温升高开始于沙二上亚段顶部沉积时期,沙一下亚段沉积时古气温较高,沙一上亚段沉积时古气温再度降低。古湿度的变化与古气温相伴产生,古气温高时古湿度增加,古气温低时古湿度减小。

到第四个周期东营组沉积时,气候可能再度退至中亚热带北缘或北亚热带。古温度整体是温凉,但古湿度却是湿润(图2)。与此类似的还有沙四中亚段沉积时,古湿度比下亚段的更低,与古气温的变化不一致。后者由下亚段至中亚段逐渐升高。

所以从孢粉所反映的古温度和古湿度的匹配上可以明显看出:在沙河街组中下部,古气候属于偏暖干的西风带气候;从沙河街组四段上部开始,气候属于暖湿与干冷交替的东亚季风气候;到东营组则又成为冷湿的西风带气候。据朱宗浩的孢粉分析资料^[11],东营组的西风带气候一直持续到中新统的馆陶组才重新改变为东亚季风气候。

2 自生碳酸盐氧同位素确定古气候区

雨水同位素组成的季节分布规律是寒冷冬季贫重同位素,炎热夏季富集重同位素,这就是“温度效应”^[9]。但在亚洲季风气候区却相反,不同季节的降水有不同的水汽来源。通常冬季风来自高纬度亚洲内陆,寒冷干燥,富含重同位素;夏季风则来自印度洋和太平洋,带来充沛的雨水,贫重同位素。由于夏季风雨水具有很低的 $\delta^{18}\text{O}$,而夏季风盛行必然伴随气温的上升,这一和温度效应完全相反的雨水同位素组成的季节特征,可以作为识别古季风进退的标志^[9]。

表1 济阳拗陷部分湖相泥岩中 $\delta^{18}\text{O}$ 值与其它气候指标对比表

Table 1 The $\delta^{18}\text{O}$ and other climate index in some lacustrine shale samples in the Jiyang depression

井号	层位	岩性	深度/m	$\delta^{18}\text{O}$	K/Na	100*Na/(Al+Si)	Ca%	10 * Mg /Ca	Rb/Sr
车23井	沙三中 亚段	灰色生屑云岩	1547.9	-2.8	0.357	13.15	23.36	4.43	0.004
		灰绿色泥岩	1551	-4.83	2.556	2.49	14.79	1.02	0.078
		浅灰绿色泥岩	1554.8	-7.62	3.844	1.76	11.82	1.31	0.111
		灰绿色泥岩	1555.1	-8.12	2.819	2.34	6.07	2.21	0.164
		浅灰绿色钙质泥岩	1555.5	-7.11	3.071	2.05	22.51	0.33	0.064
		灰绿色钙质泥岩	1556.5	-6.9	3.548	1.79	13.88	0.88	0.143
		灰绿色泥岩	1557.3	-6.29	2.688	2.41	10.26	1.11	0.168
		灰绿色水平层理泥岩	1558.2	-6.95	2.938	2.10	6.86	1.68	0.260
		红褐色普通页岩	1559.2	-7.52	3.391	1.99	5.15	2.50	0.285
		黄绿色含钙泥岩	1560.2	-7.47	2.754	2.27	8.36	1.45	0.156
临27-1	沙一段	土黄色钙质泥岩	2434.7	-5.12	1.643	2.25	21.58	3.66	0.007
		灰褐色页岩	2435.8	-6.86	3.327	2.03	5.52	2.75	0.123
		灰褐色油页岩	2436.2	-8.53	2.731	2.52	8.98	1.04	0.100
		灰黄色纹层状云岩	2437.8	-7.23	1.455	2.80	20.98	2.38	0.005
		灰黄色钙质页岩	2438.1	-6.78	2.871	2.10	17.3	2.02	0.023
		灰褐色钙质泥岩	2438.5	-6.07	2.391	2.54	10.73	0.93	0.057
		鲕粒泥灰岩	2438.6	-4.28	1.900	3.18	22.55	3.26	0.010
夏19井	东一段	灰黄色生物碎屑泥岩	1450	-6.12	3.189	2.16	19.44	0.61	0.066
		浅灰色生屑泥岩	1452.1	-7.02	2.769	2.40	14.98	0.78	0.104
		灰绿色含介形虫泥岩	1452.2	-6.25	4.353	1.92	10.09	1.92	0.249
		灰绿色介形虫泥岩	1452.7	-5.99	3.922	2.05	5.00	3.22	0.326
郭1井	东三段	浅灰色泥灰岩	2627.7	-8.55	3.583	1.04	25.29	0.55	0.025
		灰色泥灰岩	2629.2	-8.71	4.188	0.99	21.28	0.49	0.046
		浅灰色泥灰岩	2630.9	-8.67	4.091	0.78	23.3	0.60	0.033
		浅灰色钙质页岩	2631.2	-7.65	3.875	1.05	21.06	0.76	0.045
		褐灰色钙质泥岩	2631.7	-6.22	4.533	1.16	9.48	1.22	0.075
		灰色钙质页岩	2632.1	-6.55	6.238	0.86	11.94	0.70	0.042

钻取济阳拗陷沙河街组和东营组的部分湖相岩芯,选取岩芯连续完整、旋回清楚的湖相泥页岩层段,间隔采样。经显微镜下检验,选泥页岩中无重结晶碳酸盐矿物的样品,分别在国家地质实验测试中心利用原子发射光谱仪完成元素含量分析测试和在南京大学利用稳定同位素质谱仪完成碳酸盐矿物稳定同位素的分析测试。

由表 1 可知,在湖泊古气候研究中作为古气候干湿变化的常用指标 K/Na 、 $Na/(Al + Si)^{[12]}$ 、 $Ca\%$ 、 $Mg/Ca^{[13]}$ 、 $Rb/Sr^{[14]}$,在每口井中都与 $\delta^{18}O$ 的值具有良好的相关性。但在不同的层位中,这种相关性具有一定的差异:在沙河街组中 $\delta^{18}O$ 值的大小与古气候的干湿变化正相关,表明 $\delta^{18}O$ 增高,古气候变得更加干旱;但在东营组中, $\delta^{18}O$ 值的大小则与古气候的干湿变化反相关,表明 $\delta^{18}O$ 增高,古气候变得更加潮湿。这表明,沙河街组沉积期,济阳拗陷处于东亚季风气候区,而东营组沉积期济阳拗陷则很可能更多地受到西风带影响。

3 碳酸盐礁滩分布确定古气候区

古气候带还可以从一些沉积体系的分布上反映出来。

沙四上亚段时期东营凹陷处于湖广而水浅的半咸水沉积环境,在东营凹陷南缓坡侧发育有宽阔的浅湖—滨岸碎屑类与碳酸盐类的滩坝相沉积。位于湖盆西侧的平方王地区具有巨厚的、面积达几十平方公里的生物藻复式礁体堆积,这都为古风场提供了重要信息。

该复式礁体呈向东突出的弧形展布,礁体平面结构具明显不对称性:北侧核部比南侧更为宽厚,而且在礁体东北侧发育有由风浪袭击产生的礁缘碎屑相沉积(图 3),显然说明当时这里的湖浪与湖流具有相当大的能量^[15]。从其不对称的结构可以判断此礁体是在盛行东北风的风场作用下形成,其风向大体与湖盆长轴方向一致。此外,东营凹陷以北的沾化凹陷内,也发育着类似的生物滩^[16],并显示与古东营湖基本一致的风场特征,说明也许存在着区域性的盛行风向。

不仅仅是沙四段,在沙一段尽管礁体不发育,但碳酸盐的滩坝却很发育,比如沾化凹陷在孤岛凸起的南西向倾没端两侧,分布有沿凸起边缘向西南深湖区尖灭的线状滩坝砂^[16]。在整个济阳拗陷的沙四段和沙一段中,类似的滩坝沉积还有很多,这些滩坝沉积主要分布于各次级凹陷湖盆的西侧,这表明

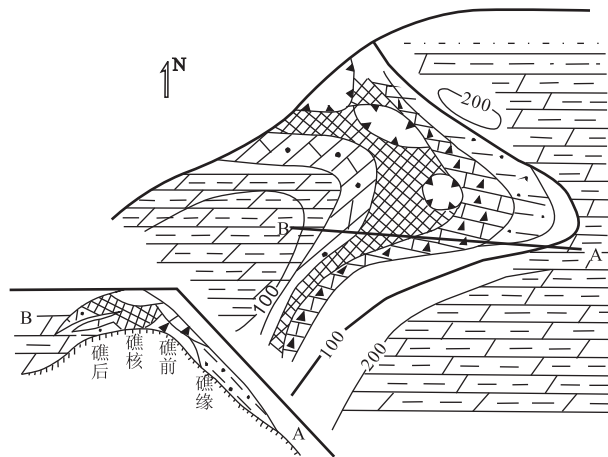


图 3 平方王礁体结构与风向的推断(据文献[15]修改)
Fig. 3 Conclusion of the Pingfangwang reef structure and the wind direction(modified from ref. [15])

古风向主体是东北风和东风,属于来源于东部海洋方向的季风,而非西风带的偏西风,这与上述孢粉分析和地球化学分析的结果一致。

4 研究意义

古气候分区是古湖泊研究的一个重要内容,不同的古气候区会对盆地的沉积过程和沉积物的展布有明显的控制作用。

由于沙四上~沙三下亚段和沙一段是济阳拗陷甚至整个渤海湾盆地的主要优质烃源岩发育层段。通过本文研究,这些优质烃源岩段在沉积时的古气候分区上都属于东亚季风气候带中从冷干向暖湿转变的过渡时期。按照优质烃源岩的发育理论^[8],冷干气候时期形成的偏咸水在气候转为暖湿时,非常有利于湖水的分层和有机质的保存,同时暖湿气候也很有利于湖泊藻类的繁盛,所以东亚季风气候带环境下的古气候波动是控制济阳拗陷优质烃源岩发育的重要背景条件。

分析盆地的古气候分区,不仅为地史中古气候的演化规律研究提供依据,还可以阐明古气候对盆地的沉积控制作用,揭示优质烃源岩发育的有利层段和盆地的生烃潜力。

参考文献 (References):

- [1] 鹿化煜,胡挺,王先彦. 1100 万年以来中国北方风尘堆积与古气候变化的周期及驱动因素分析[J]. 高校地学学报, 2009, 15(2): 149-158.
Lu Huayu, Hu Ting, Wang Xianyan. Cycles and forcing mechanism of wet-dry variations in Noeth China during the past 11.0 million years revealed by wind-blown silt deposits [J]. Geological Journal of China Universities, 2009, 15(2):

- 149—158. (in Chinese with English abstract)
- [2] 罗超, 彭子成, 杨东, 刘卫国, 贺剑峰, 刘桂建, 张彭熹. 多元地球化学指标指示的 32.9 ka B. P. 罗布泊地区环境及其对全球变化的响应[J]. 地球化学, 2008, 37(2): 139—148.
Luo Chao, Peng Zicheng, Yang Dong, Liu Weiguang, He Jianfeng, Liu Guijian, Zhang Pengxi. Paleoclimate of Lop Nur and the response to global change by geochemical elements multi-analysis[J]. Geochimica., 2008, 37(2): 139—148. (in Chinese with English abstract)
- [3] 陈发虎, 黄小忠, 杨美临, 杨勋林, 范育新, 赵晖. 亚洲中部干旱区全新世气候变化的西风模式——以新疆博斯腾湖记录为例[J]. 第四纪研究, 2006, 26(6): 881—887.
Chen Fahu, Huang Xiaozhong, Yang Meilin, Yang Xunlin, Fan Yuxin, Zhao Hui. Westerly dominated holocene climate model in arid central Asia—case study on Bosten Lake, Xinjiang, China[J]. Quaternary Sciences, 2006, 26(6): 881—887. (in Chinese with English abstract)
- [4] 陈发虎, 陈建徽, 黄伟. 中纬度亚洲现代间冰期气候变化的“西风模式”讨论[J]. 地学前缘, 2009, 16(6): 23—32.
Chen Fahu, Chen Jianhui, Huang Wei. A discussion on the westerly-dominated climate model in mid-latitude Asia during the modern interglacial period[J]. Earth Science Frontiers, 2009, 16(6): 23—32. (in Chinese with English abstract)
- [5] 冯晓华, 阎顺, 倪健, 孔昭宸, 杨振京. 新疆北部平原湖泊记录的全新世湖面波动及环境变化[J]. 科学通报, 2006, 51(增刊 D): 49—55.
Feng Xiaohua, Yan Shun, Ni Jian, Kong Zhaochen, Yang Zhenjing. Environmental changes and lake level fluctuation recorded by lakes on the plain in northern Xinjiang during the late Holocene[J]. Chinese Science Bulletin, 2006, 51(suppl. D): 60—67. (in Chinese with English abstract)
- [6] 江新胜, 潘忠习, 徐金沙, 李晓勇, 谢国刚, 肖志坚. 江西信江盆地晚白垩世风成沙丘的发现及其古风向[J]. 地质通报, 2006, 25(7): 833—838.
Jiang Xinsheng, Pan Zhongxi, Xu Jinsha, Li Xiaoyong, Xie Guogang, Xiao Zhijian. Late Cretaceous eolian dunes and wind directions in Xinjiang basin, Jiangxi Province, China[J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25(7): 833—838. (in Chinese with English abstract)
- [7] 张林晔. 湖相烃源岩研究进展[J]. 石油实验地质, 2008, 30(6): 591—595.
Zhang Linye. The progress on the study of lacustrine source rocks[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2008, 30(6): 591—595. (in Chinese with English abstract)
- [8] 金强, 朱光有, 王娟. 咸化湖盆优质烃源岩的形成与分布[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2008, 32(4): 19—22.
Jin Qiang, Zhu Guangyou, Wang Juan. Deposition and distribution of high-potential source rocks in saline lacustrine environments[J]. Journal of China University of Petroleum, 2008, 32(4): 19—22. (in Chinese with English abstract)
- [9] 林瑞芬, 卫克勤. 新疆玛纳斯湖沉积物氧同位素记录的气候信息探讨——与海湖和色林错比较[J]. 第四纪研究, 1998, (4): 308—318.
Lin Ruifen, Wei Keqin. Palaeoclimate implications of oxygen isotope record from lacustrine sediments of Manas Lake, Xinjiang: a comparison with those from Qinghai Lake and Siling Lake[J]. Quaternary Sciences, 1998, (4): 308—318. (in Chinese with English abstract)
- [10] 李守军, 王明镇, 郑德顺, 赵秀丽. 山东济阳坳陷古近纪的气候恢复[J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2003, 22(3): 6—9.
Li Shoujun, Wang Mingzhen, Zheng Deshun, Zhao Xiuli. Recovery of climate of Palaeogene in Jiyang depression of Shandong[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2003, 22(3): 6—9. (in Chinese with English abstract)
- [11] 朱宗浩, 范乃敏, 罗华仪. 胜利油区第三纪气候[J]. 山东地质, 2000, 16(1): 22—28.
Zhu Zonghao, Fan Naimin, Luo Huayi. Climate of Shengli oil field in Tertiary[J]. Shandong Geology, 2000, 16(1): 22—28. (in Chinese with English abstract)
- [12] 齐文, 郑绵平. 西藏扎布耶湖 ZK91-2 钻孔沉积特征与气候环境演化[J]. 湖泊科学, 1995, 7(2): 133—139.
Qi Wen, Zheng Mianping. Sedimentary characteristics of ZK91-2 Core and climate-environment evolution of Zabayee Lake, Tibet Plateau[J]. Journal of Lake Sciences, 1995, 7(2): 133—139. (in Chinese with English abstract)
- [13] 杨惟理, 张青松. 北极巴罗苔原区湖泊沉积的地球化学特征及其气候意义[J]. 极地研究, 1998, 10(4): 252—259.
Yang Weili, Zhang Qingsong. Geochemical characteristics and its climatic significance in the borecore AB-32 from Ikroavik Lake in the tundra barrow, arctic Alaska[J]. Chinese Journal of Polar Research, 1998, 10(4): 252—259. (in Chinese with English abstract)
- [14] 刘传联. 东营凹陷沙河街组湖相碳酸盐岩碳氧同位素组成及其古湖泊学意义[J]. 沉积学报, 1998, 16(3): 109—114.
Liu Chuanlian. Carbon and oxygen isotopic compositions of lacustrine carbonates of the Shahejie formation in the Dongying depression and their paleolimnological significance[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1998, 16(3): 109—114. (in Chinese with English abstract)
- [15] 王秉海, 钱凯. 胜利油区地质研究与勘探实践[M]. 东营: 石油大学出版社, 1992: 10—13, 32—38.
Wang Binghai, Qian Kai. Geology study and exploration practice in Shengli Oil Field[M]. Dongying: University of Petroleum Press, 1992: 10—13, 32—38. (in Chinese)
- [16] 王冠民, 廖黔渝, 高亮. 孤北洼陷西部陡坡带沙一段混积螺滩沉积特征[J]. 石油天然气学报, 2009, 31(4): 28—30.
Wang Guanmin, Liao Qianyu, Gao Liang. Sedimentary characteristics of mixed snail-shell beach of Es1 Formation in the west of Gubei Sag[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2009, 31(4): 28—30. (in Chinese with English abstract)