

北黄海地球化学勘探及含油气远景预测

龚建明^{1,2)}, 卢振权^{3,4)}, 曹志敏¹⁾, 陈建文^{1,2)}, 杨艳秋²⁾, 李武⁵⁾, 张胜⁶⁾

1) 中国海洋大学, 青岛, 266003; 2) 青岛海洋地质研究所, 青岛, 266071

3) 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京, 100037

4) International Institution for Geo-information Science and Earth Observation,
7500AA Enschede, the Netherlands

5) 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院无锡石油地质研究所, 江苏无锡, 214151

6) 中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 石家庄, 050061

内容提要:根据海面低层大气中烃类异常和海底沉积物中微生物地球化学异常检测结果, 结合区域地质及钻井资料, 可以将北黄海盆地划分为东、中、西 3 个含油气远景区, 其中, 呈近南北向展布的中部区偏南部, 低层大气中甲烷含量为连续高值, 分布均匀且离散度较小, 海底微生物异常强度最大, 含油气远景最好; 东部区低层大气中甲烷含量为中-高值, 海底微生物异常强度次之, 含油气远景较好; 西部区低层大气中甲烷呈零星高值出现, 海底微生物异常强度较弱, 含油气远景较差。

关键词:低层大气烃类; 海底微生物; 地球化学勘探; 含油气远景预测; 北黄海

北黄海海域为北起鸭绿江口、西邻渤海、东至朝鲜西海岸、南到山东半岛成山角与朝鲜白翎岛连线以北的浅海大陆架海区, 面积约为 $8 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

北黄海属新华夏系第二隆褶带的一部分(李四光, 1979), 同山东半岛和辽东半岛有相似的地质发展史, 在北部的海洋岛隆起和南部的刘公岛隆起之间发育有中、新生代盆地; 以往在该区找油目的层主要是第三系, 对中生界工作不多, 由于前者分布面积小、厚度薄且无明显褶皱, 因此对全区油气远景评价不高, 亦未进行钻探。近年来, 朝鲜在该盆地东部已发现一个具有良好油气资源远景的含油气区, 其含油层位主要是中生界。朝鲜清川江口分布的侏罗系、白垩系中暗色泥岩发育, 并见油气显示(赖万忠, 1994)。与此相对应, 我国胶东半岛胶莱盆地中侏罗系莱阳群的暗色泥岩厚达千米, 因此可以推测北黄海中生界(可能包括部分古生界)具有较好的油气远景(Gong Jianming et al., 2000; 赖万忠, 2002; Massoud et al., 1993; 蔡峰, 1998; 戴春山等, 2002; 任拥军等, 2003; 李刚等, 2003)。

根据目前所掌握的资料, 北黄海盆地是一个受 NEE 向和 NW 向两组断层(尤其东部地区)控制而形成的沉积盆地, 面积约 56000 km^2 , 发育有东、中、西 3 个主要的中生代坳陷(图 1)。资料显示北黄海盆地具有良好的油气地质条件, 可以形成完整的油气成藏体系。

通过对海域表面的低层大气进行烃类检测和海底微生物异常分析来预测海域油气远景区目前还处于探索阶段, 尚需做大量工作(Gong Jianming et al., 2003), 该方法基于油气藏的微渗漏理论(程同锦等, 1999; 王福印, 1993; 朱振海等, 1990), 认为油气藏中的 CH_4 、 CO_2 等气体会不断渗入到上方的沉积物、底层水直至海水上层乃至溢出海面进入低层大气, 形成海底沉积物、底水及低层大气中 CH_4 、 CO_2 等气体异常和海底沉积物中的微生物含量异常。因此, 通过对海底浅表层沉积物中的微生物异常和海面低层大气中烃类气体进行检测分析, 希望能为该区的含油气远景评价提供地球化学依据, 为下一步油气勘探提供帮助。

注: 本文为国家地质大调查项目“北黄海油气地球化学勘探”(编号 GZH200200102)资助成果。

收稿日期: 2007-02-05; 改回日期: 2007-08-15; 责任编辑: 周健。

作者简介: 龚建明, 男。中国地质调查局青岛海洋地质研究所研究员, 从事海洋油气和天然气水合物研究。通讯地址: 266071, 青岛市福州南路 62 号; 电话: 13687656431; Email: gongjianm@yahoo.com.cn。

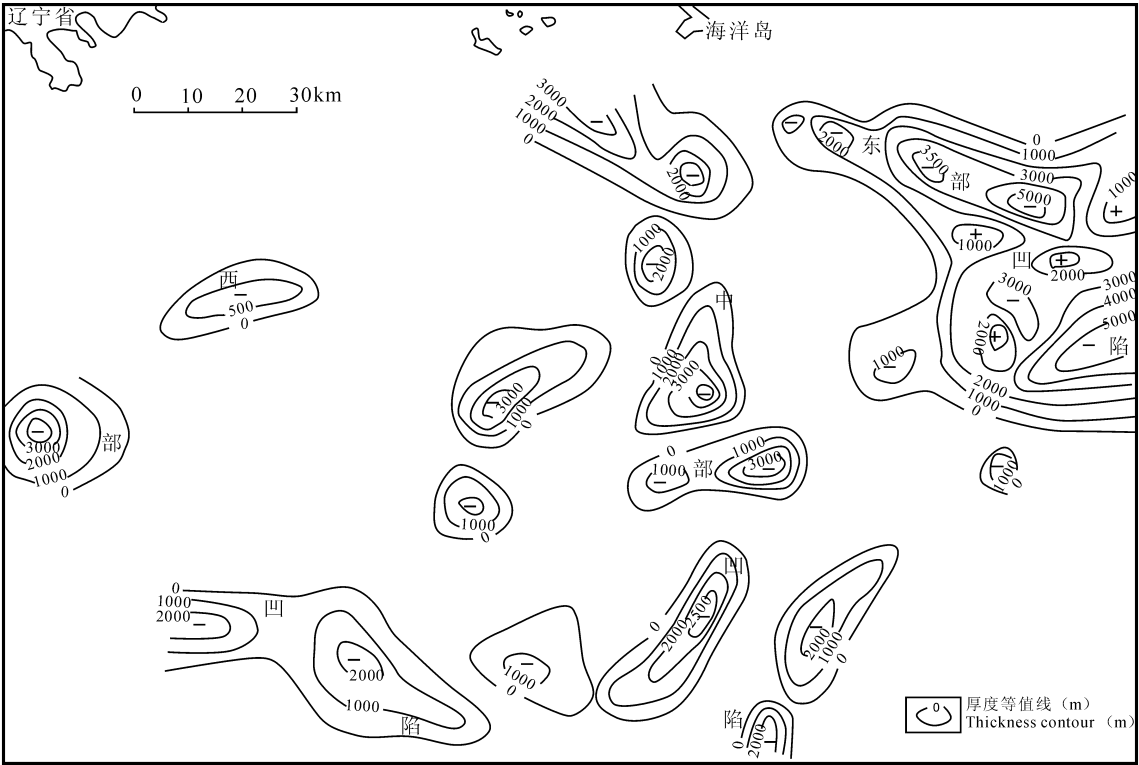


图 1 北黄海盆地中生代凹陷分布图(据中国石油地质志,1990)

Fig. 1 Mesozoic deprssions sketch in North Yellow Sea Basin (after Petroleum Geology History of China, 1990)

1 样品采集与测试

低层大气样品于 2002 年和 2003 年分两次采集,采样点均匀分布于整个研究区内。采样方法为排水取气法。选用 250 mL 带橡皮塞的干净玻璃瓶,在采样点现场加注蒸馏水,直至溢出少许为止,然后将玻璃瓶中的水倒掉,使采样点处的低层大气自然地置换进入玻璃瓶中,最后用橡皮塞密封瓶口,并倒置保存在船上临时实验室中。

取样规定在前甲板迎风处,取样瓶置于身体外侧上风方向。样品在采集过程中注明编号、日期、采样位置、风向、气温等。另外,样品登记过程中还需注明可能的污染情况(包括可能的污染物类别、污染物离采样点距离等)。样品采集完后尽快送到实验室进行测试。

对采集的低层大气样品,其中的甲烷、乙烷、丙烷等成分采用气相色谱仪进行测试,二氧化碳成分采用红外光谱仪分析。 CO_2 气体分析精度达到 10^{-2} , CH_4 气体达到 10^{-6} 。

微生物样品在采集之前要通过化学或物理方法对容器进行灭菌。在重力箱式沉积物样中选取肉眼未见扰动的沉积物样品约 200~400 g,将其用事先

已经过灭菌处理的铝箔或塑料袋盛装,然后对其密封并保存在低温处($0\sim 2^\circ\text{C}$)。在样品到达室内后,对这些沉积物样品开展微生物培养与测试工作。本次选择 5 种微生物细菌(腐生菌属、甲烷细菌、硫酸盐还原菌、反硝化细菌、脱氮硫杆菌)开展室内工作,这些微生物细菌均与油气微渗漏有关。

2 低层大气烃类检测

2.1 甲烷丰度指标

低层大气中轻烃组分主要以甲烷为主,乙烷等其他烃类气体组分含量较低,甚至未被检测出。表 1 中列出了低层大气甲烷指标的丰度特征。

2.2 甲烷指标服从正态分布

概率分布统计结果表明,低层大气中轻烃甲烷指标在经过叠代和剔除部分高值点数据后,服从正态分布(图 2、3)。

初始叠代统计结果显示,低层大气轻烃甲烷指标的丰度基本服从正态分布,其甲烷指标的最大值为 3.84,最小值为 0.28,统计步长为 0.5086。

最终叠代统计结果显示,低层大气轻烃甲烷指标的丰度基本服从正态分布,其甲烷指标的统计数据最大值为 2.04,最小值为 0.28,统计步长为 0.2514。

表 1 低层大气甲烷指标丰度特征

Table 1 Methane contents at the lower atmosphere

指标	丰度特征					
	最大值	最小值	平均值	标准偏差	离散度	样品数
	点号	点号				
低层大气甲烷 ($\mu\text{L/L}$)	3.84	0.28	1.723	0.516	0.30	301
	D-286	D-226				

注:样品由中石化合肥石油化探研究所李武、朱怀平、胡斌等测试,2003。

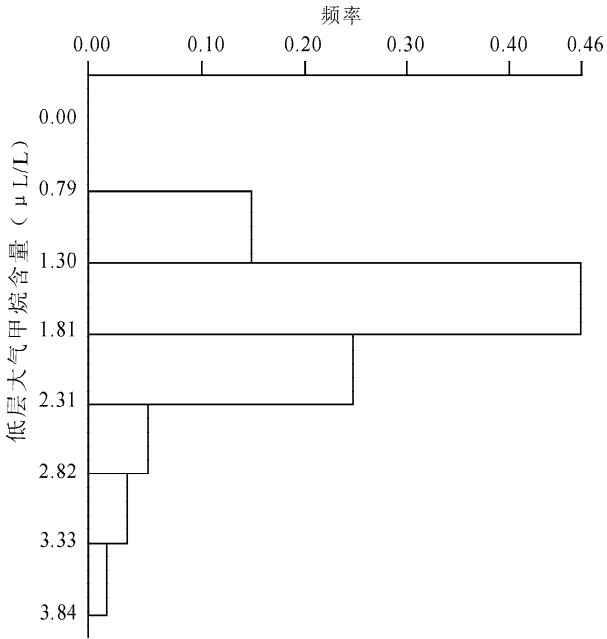


图 2 低层大气中甲烷指标初始叠代分布统计图

Fig. 2 Primary methane iteration map at the lower atmosphere

2.3 甲烷指标的地球化学场特征

根据北黄海海域低层大气中甲烷含量特征,可分别绘制出它们的平面等值线图、4 次趋势剩余值等值线图以及剔除高值数据点后的平面等值线图。

低层大气中甲烷含量在平面上的分布特征显示(图 4),研究区东北部和东南部各有一高值分布区,研究区中部为南北向连续分布的中高值分布区,整个西部区域除零星高值分布外主要为中低值分布区。整体上看,研究区中东部为低层大气中甲烷含量中高值分布区,西部为低值分布区。

低层大气中甲烷含量的 4 次趋势剩余值等值线结果(图 5)与初始值平面等值线相比较可以看出,低层大气中甲烷含量在东部和中部地区特征变化不明显,而西部地区低层大气中甲烷含量在经过 4 次趋势剩余分析之后使得甲烷初始中低背景值得到加强,同时研究区中部地区仍然呈现出南北向中高值

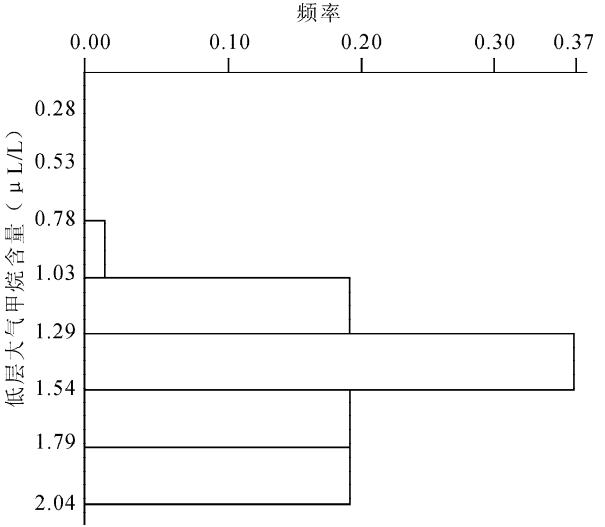


图 3 低层大气甲烷指标最终叠代分布统计图

Fig. 3 Final methane iteration map at the lower atmosphere

带状分布特征。

在叠代分析的基础上,将有关高值数据点剔除后,低层大气中甲烷含量的平面等值线分布特征显示,研究区整体背景相对均匀,但研究区中东部地区依然为高值分布区,西部地区则呈现出明显的中低值分布,相反,中部地区南北走向的中高值带已转化为高值分布区,东部地区则变为中高值分布区。

3 海底沉积物中微生物检测结果

本次以石油天然气地球化学勘查为目的,选择了腐生菌属、甲烷菌、硫酸盐还原菌、反硝化细菌和脱氮硫杆菌 5 种与油气地球化学勘查有关的微生物细菌进行了培养与测试。为了综合反映这 5 种细菌对油气地球化学勘查的指示意义,此次采用了空间多因子叠加分析方法。以每一种微生物细菌在空间上的数量分布作为独立图层单元,然后对所有微生物细菌的分布图层进行空间加权叠加开展微生物细菌的综合地球化学评价。即在地理信息系统平台(GIS)上对它们进行像素点与像素点之间的空间加权,得出一种综合指标来描述北黄海盆地油气微生物异常分布情况。

先将每种微生物细菌的分布数量从单一站位外延至整个研究区域。在对每一种微生物细菌数据进行外延过程中,采用克里格(Kriging)线性外延法。然后将每种微生物细菌外延结果作为独立图层单元进行栅格化处理。同时对北黄海海域的每种微生物数据进行数理统计分析——主成分分析(Principal



图 4 低层大气甲烷含量平面等值线图

Fig. 4 Contour map of methane contents at the lower atmosphere

1—606 出油井;2—低层大气甲烷含量($\mu\text{L/L}$)

1—606 oil well;2—methane contents at the lower atmosphere($\mu\text{L/L}$)

Component Analysis),目的是用定量数值来表征不同微生物细菌对油气微渗漏的指示作用。经过主成分分析后可得出每种微生物细菌的主载荷因子,即每种微生物细菌对油气地球化学渗漏指示作用的贡献系数。最后对它们进行空间加权线性求和计算(即对研究区内的每一栅格单元按照微生物细菌数量乘以各自的主载荷因子,然后相加求和),得出研究区内微生物总体性分布特征(图 6)。

所有工作均在地理信息系统平台上完成,所用软件为荷兰国际地理信息科学与地球观测学院(International Institution for Geo-information Science and Earth Observation,简称 ITC)自主开发的 Ilwis 3.2 版本应用程序。

所得出的研究区内微生物细菌总体性分布(综合微生物指数)高值区主要位于研究区中部偏东部地区,呈椭圆形。其他高值区则呈圆形或三角形不连续或零星分布在研究区东北部、西部及西北部。与北黄海海域地质构造特征相比较,上述微生物综合指数高值区分别对应于北黄海盆地刘公岛断裂附近的东部凸起区与南部凹陷区的结合区域、围绕二号断层附近的东部凹陷区与北部凸起区、中部凹陷

区及附近的海洋岛断裂两侧区域、北东向的中部凸起区及其延伸的部分东部凸起区的不连续区域。

4 含油气远景预测

综合考虑低层大气中烃类检测结果(图 4、5)、海底沉积物中微生物异常(图 6)以及区域构造特征与中生代凹陷分布(图 1),认为北黄海盆地可划分出 I、II、III 3 个含油气远景区(图 7)。其中,II 区主要位于西朝鲜湾,根据低层大气中甲烷和微生物异常特征及钻井油气显示情况可进一步划分为 II₁ 区和 II₂ 区。

I 区:位于研究区中部,呈南北走向,对应于北黄海盆地构造区划中的中部凹陷和南部凹陷。中部凹陷和南部凹陷的白垩系和侏罗系最大厚度分别可达 3000 m 和 1000 m,均具有较好或好的成藏条件。区内低层大气中甲烷含量为中至高值异常,该异常分布面积大且连续。区内海底沉积物中微生物综合指数强度大,尤其在南部地区。I 区上述两项指标值较高,离散度较小,其地球化学场异常比已知含油气区所处的 II₁ 区明显,特别是 I 区南部微生物异常强度在整个研究区中为最大。因此推测其是北黄

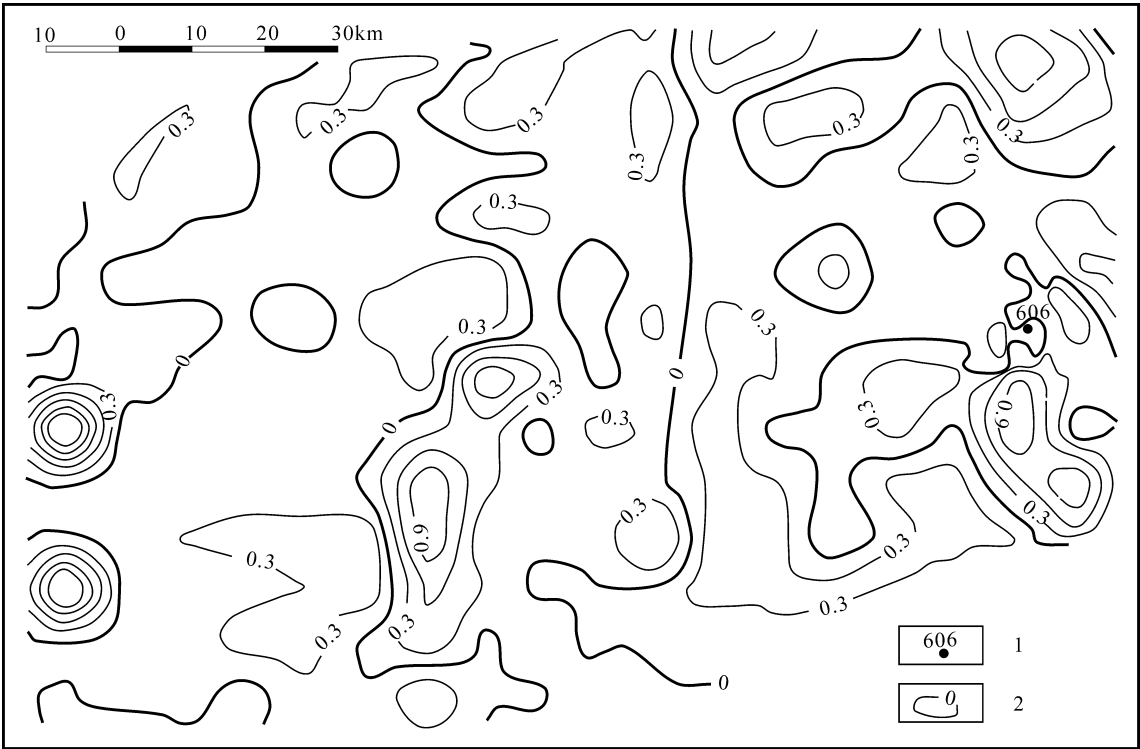


图 5 低层大气甲烷含量 4 次趋势剩余值等值线图

Fig. 5 Contour map of 4 times trend surplus of methane contents at the lower atmosphere

1—606 出油井;2—低层大气甲烷含量($\mu\text{L/L}$)

1—606 oil well; 2—methane contents at the lower atmosphere ($\mu\text{L/L}$)

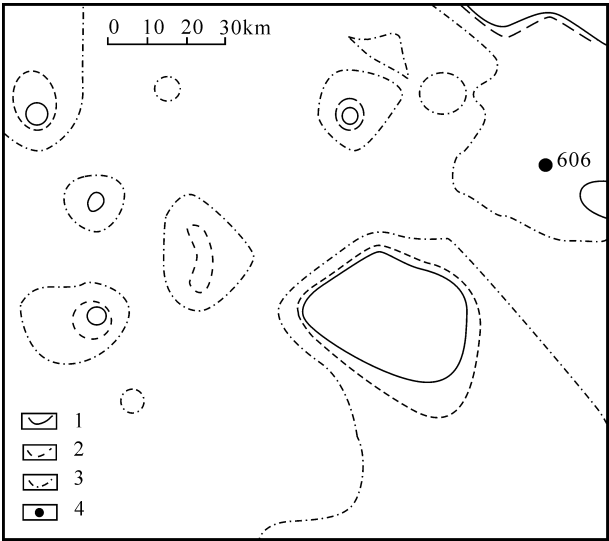


图 6 微生物综合异常分布图

Fig. 6 Integrated anomaly map of microorganism bacteria

1—强异常;2—中异常;3—弱异常;4—606 油井

1—Strong anomaly;2—medium anomaly;

3—weak anomaly;4—606 oil well

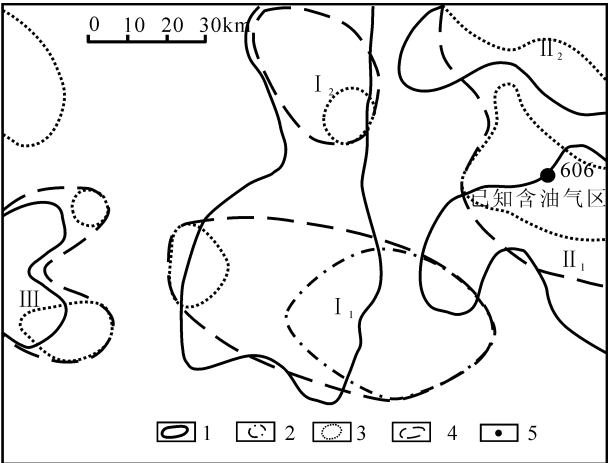


图 7 北黄海油气地球化学综合评价图

Fig. 7 The integrated assessment map of oil-gas geochemical exploration in the North Yellow Sea

1—低层大气甲烷异常;2—微生物强异常;3—微生物弱异常;

4—综合异常区;5—606 油井

1—Methane anomaly at the lower atmosphere; 2—strong

anomaly of microorganism bacteria; 3—weak anomaly of

microorganism bacteria; 4—general anomaly areas; 5—606 oil

well

海盆地最好的含油气远景区。

Ⅱ₁区:位于研究区东南部,面积较小,对应于北黄海盆地构造区划中的东部凹陷南部。东部凹陷南部白垩系和侏罗系最大厚度可达 3000 m,具有很好的成藏条件。区内存在着低层大气中甲烷异常。在该异常的边缘分布着已知的 606 出油井。区内地球化学场异常较明显,如低层大气中甲烷以中、高值为主,微生物综合异常强度较大。因此推测其是北黄海盆地较好的含油气远景区。

Ⅱ₂区:位于研究区东北部,面积较小,对应于北黄海盆地构造区划中的东部凹陷北部。东部凹陷北部白垩系和侏罗系最大厚度达 2000 m 以上,具有较好的成藏条件。该区低层大气中甲烷主要以中高值为主,微生物综合异常强度较大,推测本区具有较好的含油气远景。

Ⅲ区:位于研究区西南部,面积较小,对应于北黄海盆地构造区划中的中部凸起西南部,成藏条件较差。该区低层大气甲烷以低值为主,微生物综合异常强度较小,推测其可能具有一定的含油气远景。

5 讨论与结论

北黄海海域油气勘探程度较低,本研究是一种新的尝试和探索。特别应该说明的是,本次油气地球化学调查属概查性质,加之化探指标少,因此本次对该区含油气远景的分析判断仅是初步结果。文中所得到的认识有待在实践中不断深化和提高。

从已发表的大量文章来看(陈玲等,2006;马文涛等,2006),人们普遍认为,朝鲜 606 井所在的东部拗陷区,即图 7 中所示的已知含油气区(对应于Ⅱ₁和Ⅱ₂),应是油气勘探前景较好的区域。原因是该区沉积厚度大、烃源岩条件好以及生储盖条件优越。然而,北黄海盆地整体研究程度低,中部(对应于Ⅰ₁和Ⅰ₂)和西部拗陷区(对应于Ⅲ)研究程度更低,但从马文涛等(2006)的研究来看,中部拗陷区位于两个 NW 向的隆起带之间,其间一条 NE 向的次级隆起带将中部拗陷分割成南大、北小两个次级拗陷,对应于Ⅰ₁和Ⅰ₂两个异常区。重力异常显示,中部拗陷南部,即图 7 中所示的Ⅰ₁异常区具有较厚的沉积层。

结合上述构造研究成果,基于低层大气中甲烷含量及沉积物中微生物含量的地球化学分析结果,可以得出如下初步结论:呈南北走向的研究区中部

偏南部地区很可能是北黄海盆地最有利的含油气远景区,其次是研究区东南部地区(已知含油气构造)。

致谢:在低层大气烃类气体测量和海底沉积物微生物测试中分别得到了中石化石油勘探开发研究院合肥石油化探研究所朱怀平、胡斌及中国地质科学院水文地质环境地质研究所张云、荆继红等人的帮助,在此表示感谢。使用 GIS 软件 Ilwis 3.2 程序得到了荷兰国际地理信息科学与地球观测学院的许可。

参 考 文 献

- 蔡峰. 1998. 北黄海盆地基本石油地质条件分析. 海洋地质动态, (4): 7~10.
- 陈玲, 白志琳, 李文勇. 2006. 北黄海盆地中新生代沉积拗陷特征及其油气勘探方向. 石油物探, 45(3): 319~323.
- 程同锦, 王者顺, 吴学明, 等. 1999. 烃类运移的近地表显示与地球化学勘探. 北京: 石油工业出版社, 198.
- 王福印. 1993. 油气微渗漏遥感影像异常形成的化学机理. 国土资源遥感, (1): 59~62.
- 戴春山, 李刚. 2002. 黄海海域前第三系及油气勘探. 海洋地质动态, 18(11): 21~22.
- 赖万忠. 2002. 黄海海域沉积盆地与油气. 海洋地质动态, 18(11): 13~16.
- 赖万忠译. 1994. 西湾盆地岩性及烃类分布. 国外海上油气, 9(3): 30~31.
- 李刚, 陈建文, 肖国林, 等. 2003. 黄海海域陆相中生界油气远景. 海洋地质动态, 19(8): 7~11.
- 李四光. 1979. 地质力学概论. 北京: 科学出版社, 39~444.
- 马文涛, 於文辉, 张世晖. 2006. 北黄海盆地地质构造特征及其演化. 海洋地质动态, 21(1): 21~27.
- 任拥军, 查明. 2003. 胶莱盆地东北部白垩系烃源岩有机地球化学特征. 石油大学学报(自然科学版), 27(5): 16~21.
- 朱振海, 王文彦, 彭希龄. 1990. 遥感技术直接探测烃类微渗漏的方法研究. 科学通报, 35(16): 1257~1260.
- Gong Jianming, Wen Zhenhe, Chen Jianwen, et al. 2000. Geologic characteristics and hydrocarbon-generating potential of Mesozoic strata in the North Yellow Sea Basin. 海洋地质与第四纪地质, 20(2): 69~78.
- Gong Jianming, Li Gang, Chen Jianwen, et al. 2003. Hydrocarbon test in lower-layer atmosphere to predict deep-sea petroleum or hydrate in the Okinawa Trough: an example. Acta Oceanologica Sinica, 22(4): 569~576.
- Massoud M S, Killops S D. 1993. Oil source rock potential of the Lacustrine Jurassic SIMUJU formation, West Korea Bay Basin. Part II: Nature of the organic matter and hydrocarbon-generation history. Journal of Petroleum Geology, 16(3): 265~284.

**Oil-Gas Geochemical Exploration and Its Perspective Prediction
in the North Yellow Sea Basin**

GONG Jianming^{1, 2)}, LU Zhenquan^{3, 4)}, CAO Zhimin¹⁾, CHEN Jianwen^{1, 2)},
YANG Yanqiu²⁾, LI Wu⁵⁾, ZHANG Sheng⁶⁾

1) *China University of Oceanography, Qingdao, 266003*

2) *Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao, 266071*

3) *Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing, 100037*

4) *International Institution for Geo-information Science and Earth Observation, 7500AA Enschede, the Netherlands*

5) *Institute of Petroleum Geology, CNPC, Wuxi, 214151*

6) *Institute of Hydrological Geology and Environmental Geology, CAGS, Shijiazhuang, 050061*

Abstract

Anomalous hydrocarbon gases at the lower atmosphere and microbial germs in the subsurface sediment are found in the North Yellow Sea basin. In combination with the regional geological data and the proven oil-gas discoveries, the anomalies are indicative of three oil-gas prospects in the North Yellow Sea, which are located in the east, the middle and the west of the study area respectively. The middle oil-gas prospect, which is in the south of the N-S striking heave, is an area with a great potential, where methane concentrations at the lower atmosphere are homogeneously and continuously high in the plane with little variance and microbial germs in the subsurface sediment are of the strongest anomalies. The east oil-gas prospect is a relatively good potential area, where methane concentrations at the lower atmosphere ranges from middle to high levels and microbial germs in the subsurface sediment is of strong anomalies. The west oil-gas prospect is of little expectation for oil-gas because methane concentrations at the lower atmosphere are occasionally high in the plane and microbial germs of subsurface sediment are of relatively weak anomalies.

Key words: hydrocarbon gases at the lower atmosphere; microbial germs in the subsurface sediment; geochemical exploration; oil & gas prospective prediction; the North Yellow Sea