

DOI:10.3724/SP.J.1140.2010.05091

# 北黄海盆地烃类地球化学场与综合异常分区

李双林<sup>1,2</sup>, 董贺平<sup>1,2</sup>, 赵青芳<sup>1,2</sup>, 肖菲<sup>1,2</sup>

(1 国土资源部海洋油气资源和环境地质重点实验室, 青岛 266071; 2 青岛海洋地质研究所, 青岛 266071)

**摘要:** 北黄海盆地包括东部坳陷、中部坳陷和西部坳陷3个主要构造单元。海底沉积物中烃类气体、芳烃和稠环芳烃含量的均值和变异系数显示, 3个主要坳陷的地球化学场的均匀程度明显不同。东部坳陷所有指标的地球化学场均显示严重非均匀地球化学场的特征, 中部坳陷的地球化学场包括有均匀地球化学场、非均匀地球化学场和严重非均匀地球化学场, 西部坳陷地球化学场显示弱不均匀到均匀地球化学场的特征。各种烃类指标的地球化学异常显著, 并且主要沿坳陷及其内部次级凹陷的边界断裂分布。这表明地球化学场的均匀程度和地球化学异常分布明显受断裂, 特别是坳陷边界断裂的控制。综合分析烃类地球化学指标的异常分布, 划分了8个综合地球化学异常区。通过烃类综合异常分布, 以及构造、地层、烃源岩、储集层和盖层地质要素的综合评价, 得出一级地球化学区1个(I区), 二级地球化学区3个(II区、III区和IV区), 三级地球化学区4个(V区、VI区、VII区和VIII区), 其中含油气性最好的是位于东部坳陷的I区。

**关键词:** 烃类地球化学场; 地球化学区; 油气资源评价; 北黄海盆地

中图分类号:P736.4

文献标识码:A

文章编号:0256-1492(2010)05-0091-09

海洋油气地球化学探测是海域油气勘探的重要手段之一。这一探测技术的理论基础是海底烃类渗漏<sup>[1]</sup>, 即深部油气向海底表面的渗漏。这些深部向上渗漏的烃类在海底表层沉积物中形成烃类指纹, 不仅能够指示深部油气渗漏的存在, 而且能够提供成熟烃源和渗漏路径的信息<sup>[1-7]</sup>。

据 Sigalove 报道, 近年来, 各国对近海地区 100 多万平方千米进行了油气地球化学探测, 圈定了 123 个油气远景区, 并在大量数据的基础上研制出了预测油气资源的地球化学模式, 这种模式预测的资源量有 85% 的可靠性<sup>[8]</sup>。J Gervitz L 等根据挪威大陆架的地球化学调查, 指出地球化学调查对于区域评价是极有价值的方法, 特别是当与地质、地球物理方法综合应用时更为重要, 在大的油气盆地应该使用地球化学方法填图<sup>[9]</sup>。进入 20 世纪 90 年代, 海域油气地球化学勘查又进入高潮期, 采用了海水直接测量和沉积物测量等多种烃类测量方法, 沉积物采样的方法技术和封装保存条件有了一定的规范, 数据处理和异常提取的方法技术进一步完善, 不但注意到异常本身, 而且注意到了异常的空间变化<sup>[10]</sup>。

我国海域的油气地球化学探测工作始于 20 世纪 80 年代, 先后在东海的台北坳陷、瓯江坳陷和西

湖凹陷、台湾海峡西部、南海的珠江口盆地和南黄海等海域开展了油气地球化学勘查工作, 取得了一定的效果<sup>[11-15]</sup>。

北黄海盆地是一个长轴呈 NEE 向延伸的椭圆形盆地, 向东与朝鲜陆地的安州盆地相连, 总面积达  $5.6 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。目前认为北黄海盆地是在华北地块基底上发展起来的晚中生代残留盆地<sup>[16]</sup>。盆地内部包括有东部坳陷、中部坳陷和西部坳陷 3 个主要坳陷构造单元<sup>[17]</sup>。

2002—2005 年, 青岛海洋地质研究所相继对北黄海盆地东部坳陷、中部坳陷和西部坳陷进行了油气地球化学探测工作。本文以海底表层沉积物中烃类气体、芳烃和稠环芳烃为主要指标, 分析了北黄海盆地烃类地球化学场与异常分布特征, 探讨综合地球化学异常分区, 同时结合相关地质、地球物理结果, 对各地球化学区的含油气性进行综合评价。

## 1 样品及分析

### 1.1 样品采集

北黄海盆地油气地球化学探测主要采集海底沉积物柱状样。取样区域主要围绕盆地内东部、中部和西部 3 个主要坳陷。盆地内部的隆起和南部凹陷群不是本次调查的重点, 只有少数样品涉及。取样工作分别由“科学一号”、“勘 407”和“业治铮”调查船完成, 除一部分泥质区样品采用 DDC4-2 型重力

基金项目: 北黄海盆地油气地球化学探测项目(GZH200200102)

作者简介: 李双林(1962—), 男, 博士, 研究员, 从事海洋油气地球化学研究, E-mail: lishuanglin5335@hotmail.com

收稿日期: 2010-05-06; 改回日期: 2010-08-12. 周立君编辑

取样器采集外,大部分样品采用 DDC-Z-1 型振动活塞取样器采集。海上取样定位采用 DSM212H 型 GPS 定位仪,仪器定位精度小于 10 m。柱状样经室内样品分选后分别进行了酸解烃、热释烃、荧光光谱和紫外吸收光谱等分析测试。

## 1.2 分析测试

样品的分析测试由合肥石油化探研究所和无锡石油地质研究所中心实验室完成。

顶空气的分析测试流程是将海上采集的样品运到实验室后,先加温到 40 °C,使赋存在沉积物及其水体中的气体尽可能逸出到顶空中,待其平衡后,抽取 100 mL 的顶空气体,放入气相色谱仪进行 C<sub>1</sub>—C<sub>7</sub> 轻烃类组分含量测试,测定范围(以甲烷计)≥0.1 μL/L。

热释烃的分析流程是将试样在真空、一定的温度区间下加热,释放出来的气体经碱溶液吸收除去 CO<sub>2</sub>,其余气体经碱液驱赶至量气管,计算脱出的气体体积,然后用气相色谱仪分析其中的烃类气体含量。测量条件为:预抽真空<6 托,高纯氮(99.99%)载气 3 mL/min,测量温度从 50 °C 到 500 °C,升温速率 10 °C/min。该方法测定指标主要包括 C<sub>1</sub>—C<sub>5</sub> 轻烃类组分,测定范围(以甲烷计)≥0.5 μL/kg。

酸解烃的分析流程是样品运到实验室后,先将其自然晾干、捣碎,然后称取约 10 g 的样品,放在酸解装置中进行酸解处理。具体制样过程中,先将真空系统抽至-0.099 MPa(15 分钟后其压力降低量不超过 0.001 MPa 即能满足制样所需的真空度),将样品置于烧瓶,并用 40 °C 的水浴加热,缓慢加入稀盐酸使样品酸解,直至不再产生气泡为止。系统利用碱液来吸收 CO<sub>2</sub>,待酸解完成后,用微量注射器抽取一定量的气体,放入气相色谱仪采用外标法进行烃类气体含量测试,测定指标主要包括 C<sub>1</sub>—C<sub>5</sub> 轻烃类组分,测定范围(以甲烷计)≥0.05 μL/kg。样品中甲烷碳同位素值是将酸解后的烃类气体,放入到质谱仪中来测试。

荧光光谱和紫外吸收光谱采用统一的样品处理流程。取 80 目样品 20 g,用纯化过的 60~90 °C 石油醚 30 mL 浸泡,振荡,24 h 后取清液,荧光光谱采用荧光分光光度计进行荧光分析。荧光分析的检出限为荧光强度 1。紫外吸收光谱采用紫外分光光度计进行紫外分析。紫外分析的检出限为紫外吸光度 0.001。

通过以上各类指标分析测试结果的检出限、报出率、精密度和分析质量检查和质量监控等方面的

检验,所有指标的分析测试结果均符合合同要求,分析数据可靠,共获取分析测试数据 501 组。

## 2 地球化学场特征

区域地球化学场系指具有一定的地球化学效应的区域或空间,它是由多种组分组成的物质场,地球化学场特征以代表组分(或指标)丰度的均值(X)和代表其均匀程度的变异系数(Cv)两个参数来表征<sup>[18-20]</sup>。

均值(X):某指标所有样品分析数据的算术平均值,即数据的平均水平,它近似地代表了区域地球化学场背景水平。以酸解烃为例<sup>[18-20]</sup>,酸解烃甲烷均值大于 300 μL/kg,重烃均值大于 30 μL/kg 代表了高背景场;酸解烃甲烷均值在 90~300 μL/kg 之间,重烃均值在 6~30 μL/kg 之间代表了中等背景场;酸解烃甲烷均值小于 90 μL/kg,重烃均值小于 6 μL/kg 代表了低背景场。

变异系数(Cv):表征数据的相对变化大小(Cv = S/X),其中 S 为标准偏差。表示数据波动大小,近似地代表了地球化学场的不均匀程度和矿化作用的复杂性。地球化学场的均匀程度是一个相对的概念,对地球化学场稳定性采用的定性描述判定标准为:变异系数小于 1 为均匀场,大于 1 且小于 2 为非均匀场,大于 2 为严重非均匀场<sup>[18-20]</sup>。

北黄海盆地主要坳陷烃类指标的地球化学场特征见表 1、图 1 和图 2。首先从均值来看,各指标在不同坳陷内的表现存在着明显差异。酸解烃类指标以西部坳陷最高,中部坳陷次之,东部坳陷最低,中部坳陷和西部坳陷的酸解烃类属于中等背景场,东部坳陷的酸解烃类为低背景场。

表 1 北黄海盆地地球化学指标数值特征

Table 1 Geochemical indices in the North Yellow Sea Basin

	东部坳陷		中部坳陷		西部坳陷	
	均值	变异系数	均值	变异系数	均值	变异系数
AC <sub>1</sub>	21.61	2.07	98.41	0.6	271.06	0.32
AC <sub>2+</sub>	1.6	2.78	9.32	0.87	29.86	0.45
RC <sub>1</sub>	9.78	1.44	18.92	0.69	5.49	0.5
RC <sub>2+</sub>	1.60	1.2	3.15	0.93	0.51	0.9
WC <sub>1</sub>	50.32	2.03	63.29	1.1	15.59	0.76
WC <sub>2+</sub>	9.46	3.12	2.61	0.65	0.44	1.47
芳烃 260 nm	140	3.36	111.42	5.82	270.44	1.21
稠环芳烃 360 nm	15.23	1.63	10.73	0.54	43.25	0.97

注:酸解烃(AC)和热释烃(RC)单位为 μL/kg,顶空气(WC)单位为 μL/L,芳烃和稠环芳烃单位为 ω(B)/10<sup>-6</sup>。

热释烃类指标以中部坳陷最高, 东部坳陷次之, 西部坳陷最低, 3 个坳陷的热释烃类均为低背景场。顶空气甲烷与重烃的表现不同, 其中, 顶空气甲烷在中部坳陷最高, 东部坳陷次之, 西部坳陷最低, 而重烃则东部坳陷最高, 中部坳陷次之, 西部坳陷最低。3 个坳陷顶空气甲烷与重烃均为低背景场。

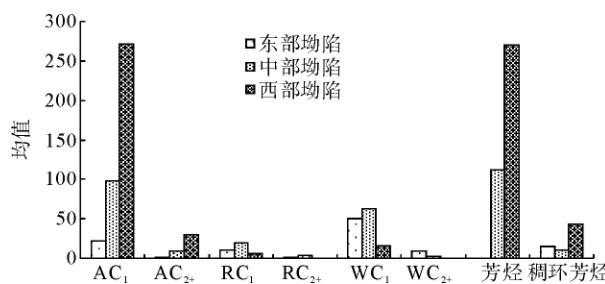


图 1 北黄海盆地地球化学指标均值(单位同表 1)

Fig. 1 The diagram showing mean geochemical indices in the North Yellow Sea Basin

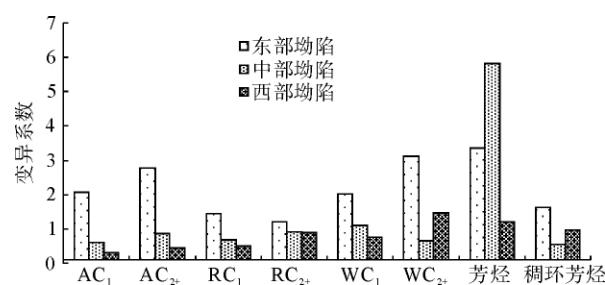


图 2 北黄海盆地地球化学指标变异系数对比

Fig. 2 The diagram showing variation coefficients of geochemical indices in the North Yellow Sea Basin

芳烃和稠环芳烃指标均表现为西部坳陷最高, 东部坳陷次之, 中部坳陷最低, 并且均显示低背景场的特征。

以上特征表明, 北黄海盆地除酸解烃类在中部坳陷和西部坳陷属于中等背景场外, 其他各指标在盆地内所有坳陷均显示低背景场特征。根据各指标的变异系数, 3 个坳陷地球化学场的稳定性不同, 其中, 东部坳陷酸解烃、顶空气和芳烃指标的变异系数均大于 2, 显示严重非均匀场的特征, 热释烃和稠环芳烃的变异系数为 1~2, 属于非均匀场, 总体表现非均匀地球化学场特征。

中部坳陷酸解烃、热释烃、顶空气重烃和稠环芳烃的变异系数均小于 1, 属于均匀地球化学场, 顶空气甲烷和芳烃的变异系数大于 1, 其中顶空气甲烷属于非均匀场, 而芳烃属于严重非均匀场, 各指标地球化学场的均匀程度不同。

西部坳陷除顶空气重烃的变异系数大于 1, 属于

非均匀场外, 其余各指标的变异系数均小于 1, 属于均匀地球化学场, 总体显示均匀地球化学场的特征。

以上特征显示, 北黄海盆地 3 个主要坳陷的地球化学场的均匀程度明显不同, 表现为东部坳陷地球化学场的均匀程度最差, 总体显示非均匀地球化学场的特征, 中部坳陷各指标的均匀程度不同, 包括有均匀地球化学场、非均匀地球化学场和严重非均匀地球化学场, 西部坳陷地球化学场的均匀程度最好, 总体显示均匀地球化学场的特征。总体来看, 北黄海盆地地球化学场的均匀程度具有由西向东逐渐减弱的趋势, 与盆地内部的构造分布和活动性有关, 表明构造分区是地球化学场分解的一个重要原因。

### 3 地球化学异常

#### 3.1 烃类气体

烃类气体( $C_1-C_5$ )指标包括有酸解烃、热释烃和顶空气等, 其中酸解烃是表层沉积物中颗粒内部的束缚烃类气体; 热释烃是存在于硅酸盐矿物颗粒之间的游离烃类气体; 顶空气主要是存在于黏土质和碳酸盐矿物颗粒之间的游离烃类气体。

##### (1) 酸解烃

在酸解烃甲烷地球化学异常分布图上(图 3), 东部坳陷酸解烃甲烷异常主要围绕坳陷边缘分布, 在总共 14 个异常中, 大部分异常与盆地边界断裂或内部次级断裂有关, 其中 4 个规模较大的异常分别位于坳陷东北部、东南部、西北部和西南部。坳陷内部的酸解烃甲烷异常规模较小。以上特征表明, 东部坳陷酸解烃类地球化学异常分布呈现明显的不均匀特点, 总体上表现为边部异常强, 内部异常弱或无异常的特点, 与东部坳陷的边界断裂构造和内部次级构造关系密切。

中部坳陷酸解烃甲烷地球化学异常主要分布在坳陷的东部边界和西部边界, 异常围绕着中部坳陷分布, 另外在坳陷内部和外部隆起上的局部凹陷和断裂构造处也见有多处异常存在。与东部坳陷的特征相似, 中部坳陷酸解烃类地球化学异常也明显受构造控制, 东部和西部边界异常明显受坳陷边界断裂构造的控制, 周边隆起区的异常也多与小规模凹陷和断裂构造有关。

西部坳陷酸解烃甲烷总共有大小 14 处异常。这些异常在空间上分为两个层次, 一些位于坳陷外部, 与坳陷边界断裂有关, 还有几处异常位于坳陷内部的次级凹陷外部, 与凹陷构造有关。这表明西部坳

陷酸解烃类地球化学异常的分布同样受构造的控制。

### (2) 热释烃

在热释烃乙烷地球化学异常图上(图 4),东部坳陷热释烃乙烷有 3 个较大规模的地球化学异常,其中 3 个位于东部坳陷的边部,且明显与盆地边界断裂构造位置符合,另一个异常位于东部坳陷内部,与坳陷内部的凹陷位置一致。这表明,热释烃乙烷的地球化学异常与坳陷构造关系密切,边界异常受坳陷边界断裂构造的控制,而内部异常受坳陷内部的凹陷控制。

中部坳陷热释烃乙烷有 12 处地球化学异常,其

中有 5 处异常分布在中部坳陷边部,在空间上呈环状围绕中部坳陷分布,其余地球化学异常几乎都与中部坳陷一些小型凹陷及其边界断裂构造有关,异常受构造特别是坳陷边界断裂构造的控制明显。

西部坳陷热释烃乙烷有 10 处异常,主要分布在西部坳陷东部边缘和坳陷内部的一些断裂构造附近,明显受构造控制。

### (3) 顶空气

在顶空气甲烷地球化学异常图上(图 5),东部坳陷顶空气甲烷主要有 3 处大规模的异常,分别位于坳陷东北部、西北部和东南部,另有几处小规模异

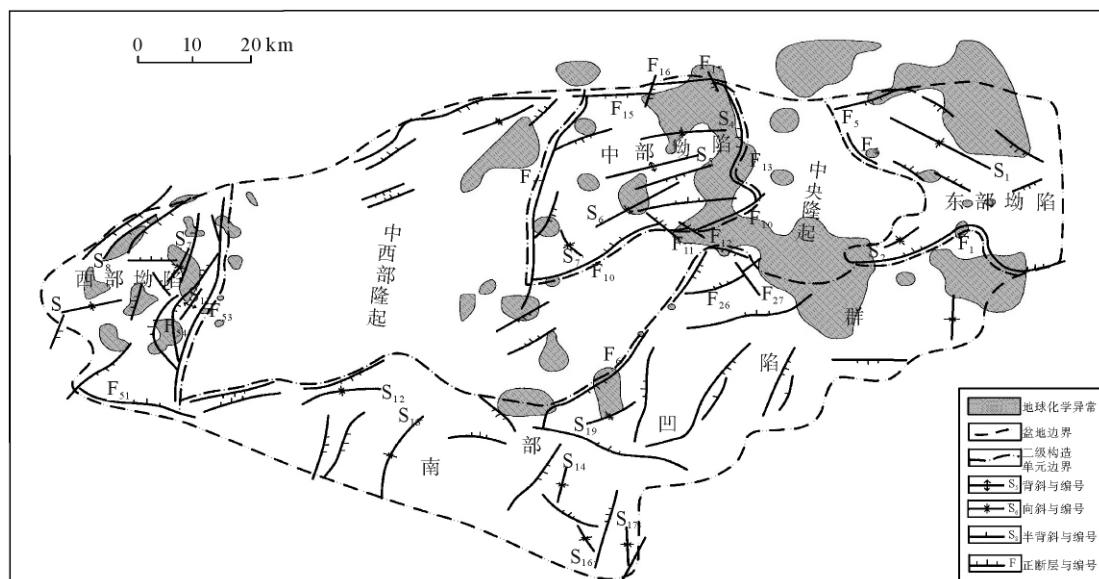


图 3 北黄海盆地酸解烃甲烷地球化学异常分布

Fig. 3 Distribution of acid methane anomalies in the North Yellow Sea Basin

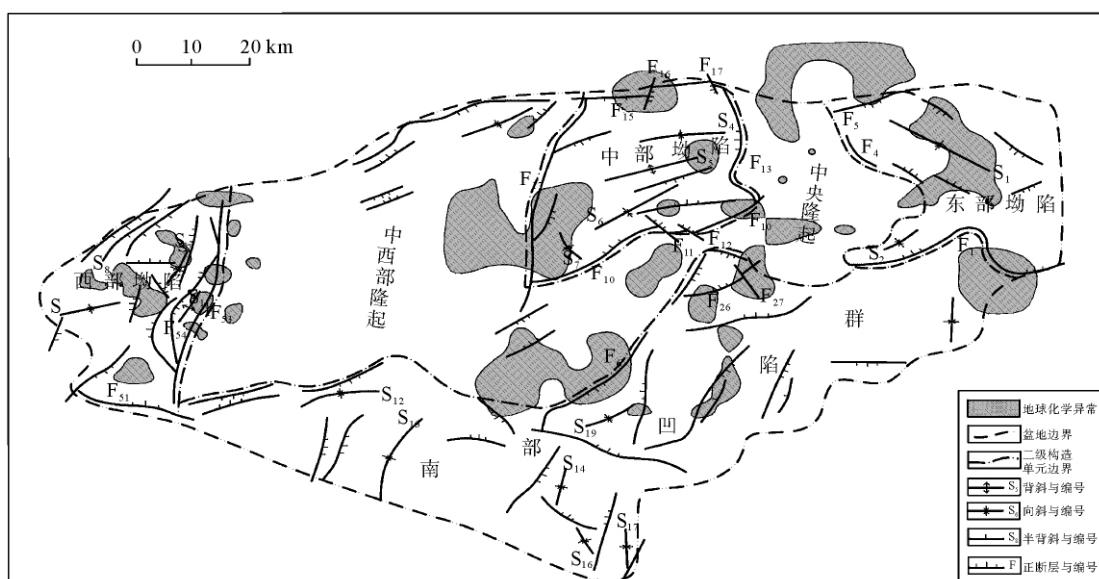


图 4 北黄海盆地热释烃乙烷地球化学异常分布

Fig. 4 Distribution of effluent ethane anomalies in the North Yellow Sea Basin

常零星分布在坳陷边部和内部。3处大规模异常在空间分布上明显与东部坳陷的边界断裂位置符合。这表明东部坳陷顶空气甲烷地球化学异常明显受坳陷边界断裂构造控制。

中部坳陷顶空气甲烷有3处大规模地球化学异常,有2处异常分布在中部坳陷边部,明显受坳陷边界断裂构造控制,另一处异常位于坳陷南部隆起内部的凹陷内,也明显受构造的控制。

西部坳陷顶空气甲烷有8处地球化学异常,其中一处最大异常分布在坳陷中东部,异常的几个高点均与坳陷边界断裂和内部断裂构造有一定关系,另外7处异常,除一个位于内部凸起,与断裂构造关

系不明显外,其他异常有的位于内部断裂,有的位于坳陷边界,同样受构造的控制。

### 3.2 芳烃类

芳烃类指标包括两类:一类是稠环芳烃,通过荧光光谱分析可以检测到不同荧光光谱波长的稠环芳烃组分;另一类是芳烃及其衍生物,通过紫外光谱分析可以检测到不同紫外光谱波长的芳烃及其衍生物组分。在这里以稠环芳烃360 nm为代表,重点讨论稠环芳烃的地球化学异常特征。

在稠环芳烃360 nm地球化学异常图上(图6),东部坳陷稠环芳烃360 nm的地球化学异常有10

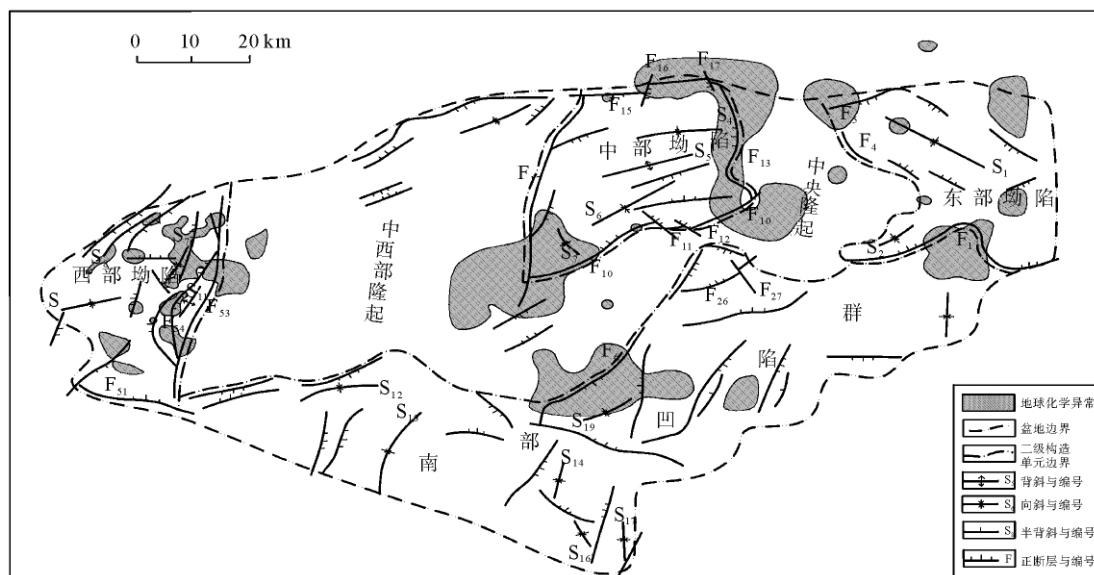


图5 北黄海盆地顶空气甲烷地球化学异常分布

Fig. 5 Distribution of headspace methane anomalies in the North Yellow Sea Basin

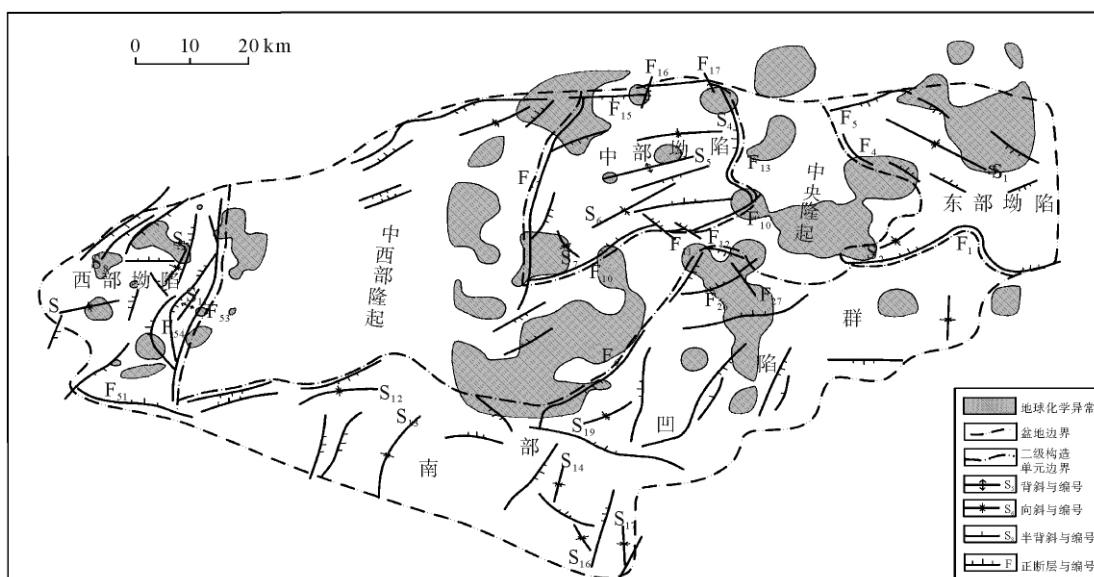


图6 北黄海盆地稠环芳烃地球化学异常分布

Fig. 6 Distribution of the anomalies of aromatic hydrocarbons with condensed rings in the North Yellow Sea Basin

个,其中 3 个大规模异常位于东部坳陷东北部、西南部和西北部,其他异常零星分布,大都在坳陷外部的隆起区,在坳陷内部没有见到明显的异常存在。地球化学异常的上述分布特征表明,几处大规模异常均受坳陷边界断裂构造的控制,其他小规模异常则与隆起有关。中部坳陷稠环芳烃 360 nm 有大小 13 处地球化学异常,这些异常一些位于区域北部,与中部坳陷的主体相对应,即存在有受坳陷构造控制的环状异常,一些位于坳陷南部的隆起区,呈现面状异常、线状异常和单点异常。仔细分析这些异常的分布,几乎所有异常都受构造控制,一些异常受中部坳陷边界断裂构造控制,一些异常则受隆起区内小型凹陷和断裂构造控制,但其中的面状异常受构造的控制程度相对较弱。

西部坳陷稠环芳烃 360 nm 有大小 11 处地球化学异常,其中几处规模较大的异常主要分布在坳陷边界断裂附近或边界与内部相连的断裂带上。在空间上,地球化学异常基本上围绕坳陷或内部次级凹陷分布,其中北部的几处异常围绕坳陷内的北部凹陷分布,而南部的几处异常则与南部凹陷关系密切。整体上看,异常不仅受坳陷控制,还受次级凹陷的控制。

### 3.3 综合地球化学异常分区

综合地球化学异常分析采用的地球化学指标主要是有机地球化学指标,包括烃类气体和芳烃类指标。根据各指标异常的综合分析,划分了 8 个综合地球化学异常区,分别用编号 I、II、III、IV、V、VI、VII 和 VIII 表示(图 7)。

I 区为一环状异常区,位于东部坳陷的中东部,近南北向展布,由 12 个异常构成,包括有热释烃和顶空气两种类型异常 7 个,芳烃类异常 5 个,无酸解烃类异常。

II 区为一环状异常区,位于东部坳陷的北部,呈近东西向展布,由 14 个异常构成,包括有酸解烃、热释烃、顶空气和芳烃类异常。

III 区为一环状异常区,位于东部坳陷的西南部及其与中央隆起和南部凹陷群的接触带附近,呈北西向展布,由 10 个异常构成,4 个是顶空气异常,异常规模大,且连续性好,6 个是芳烃类异常,酸解烃类和热释烃类异常不明显。

IV 区为一环状异常区,位于中部坳陷北部,呈北东向展布,展布方向与中部坳陷的展布方向基本一致,由 13 个异常构成,包括有酸解烃、热释烃、顶空气和芳烃类异常。

V 区为一条带状异常,位于中部坳陷和南部凹陷群内,由 5 个异常构成,包括酸解烃、热释烃、顶空气和芳烃类异常。

VI 区为一面状异常区,位于中部坳陷的西南部,西部与中西部隆起相接,南部与南部凹陷群相连,近南北向展布,主要由芳烃类的紫外吸收光谱 228 nm 异常构成。

VII 区为一环状异常区,位于西部坳陷的北部,由 15 个异常构成,包括有酸解烃、热释烃、顶空气和芳烃类异常。

VIII 区为一个环状异常区,位于西部坳陷的南部,由 10 个异常站位构成,包括有酸解烃、热释烃、顶空气和芳烃类异常。

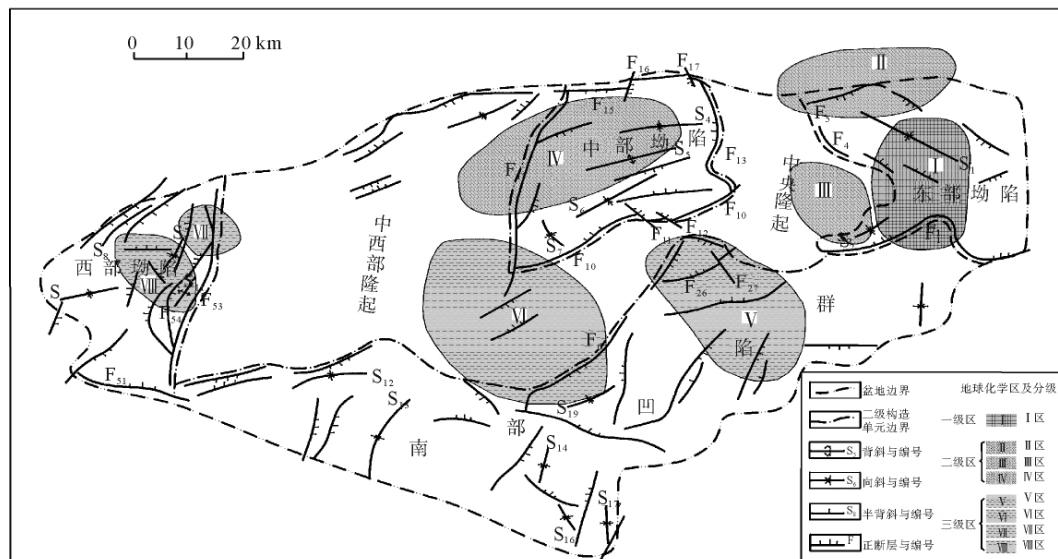


图 7 北黄海盆地地球化学异常分区和综合评价

Fig. 7 Geochemical anomalies districts and integrated assessment in the North Yellow Sea Basin

## 4 含油气性综合评价

本次含油气性综合评价,以各指标地球化学异常分布和综合地球化学异常分区为基础,同时,考虑了构造、地层、烃源岩、储层、盖层及局部构造等地质要素。评价的具体依据如下:

首先选取对于油气具有直接指示意义的有机地球化学指标,在此基础上对有机地球化学指标的异常特征进行综合分析,圈定综合地球化学异常区。有机地球化学指标选取了两类:一类是包括酸解烃、热释烃和顶空气在内的烃类气体指标,另一类是包括芳烃及其衍生物和稠环芳烃类在内的芳烃类指标。

在综合各类地球化学异常的基础上,结合盆地构造特征和烃源岩特征,同时考虑了异常样式,对上述各地球化学区分别进行了综合评价,具体步骤如下:

(1)选取 5 个评价要素,其中包括异常样式、与构造符合程度、烃源岩性质和烃类气体及芳烃类 2 组综合地球化学指标(表 2)。

(2)确定各要素的分级和得分,其中按照异常与构造的符合程度分为 3 级,得分分别是 2、1 和 0,按照烃源岩性质分为 3 级,得分分别为 2、1 和 0,按照异常样式分为 3 级,其中环状异常为 3 分,面状或部分环状异常为 2 分,条带状异常为 1 分,按照各综合地球化学指标的齐全程度分为 3 级,齐全为 2 分,部分齐全为 1 分,无异常为 0 分。

表 2 地球化学异常综合评价得分

Table 2 Evaluation of geochemical anomalies

与构造符 合程度	烃源岩	异常样式	烃类气体		荧光紫外		异常
			指标	异常	齐全	2	
符合	2	好	2	环状	3	齐全	2
部分	1	一般	1	部分环状 或面状	2	部分	1
不符合	0	差	0	条带状	1	无	0

(3)计算各综合地球化学区的累积得分,确定地球化学区的分级(表 3)。按照 5 项参数的累积得分高低进行地球化学区的含油气性评价。

本次在北黄海盆地油气资源地球化学综合评价中,将地球化学区分为 3 级:一级地球化学区,累积得分为 10~12;二级地球化学区,累积得分为 7~9;三级地球化学区,累积得分为 5~6。应该指出的是

随着勘探程度和认识的提高,对上述地球化学异常区的认识可能会有变化。

根据以上评价原则,对 8 个地球化学区的评价结果得出一级地球化学区 1 个(I 区),二级地球化学区 3 个(II 区、III 区和 IV 区),三级地球化学区 4 个(V 区、VI 区、VII 区和 VIII 区)(表 3),其中含油气性最好的是位于东部坳陷的 I 区。

表 3 北黄海盆地油气资源评价

Table 3 Oil and gas resources assessment of the North Yellow Sea Basin

地球 化学区	异常 样式	局部 构造	烃源岩	异常指标			累积 得分	评价 等级
				烃类气体	芳烃类	得分		
I 区	3	3	1	2	2	11	一级异常区	
II 区	3	2	2	2	2	9	二级异常区	
III 区	3	1	0	2	2	8	二级异常区	
IV 区	3	1	1	1	2	8	二级异常区	
V 区	2	0	0	2	2	6	三级异常区	
VI 区	1	1	1	1	1	5	三级异常区	
VII 区	3	0	1	2	1	6	三级异常区	
VIII 区	2	0	1	2	1	5	三级异常区	

## 5 结论

(1) 北黄海盆地总体显示非均匀地球化学场特征,其中东部坳陷地球化学场的均匀程度最差,中部坳陷次之,西部坳陷相对最好,地球化学场的均匀程度具有由西向东逐渐减弱的趋势,与盆地内部的构造分布和活动性有关。

(2) 北黄海盆地主要坳陷内各种烃类地球化学指标异常明显,地球化学异常主要沿坳陷边部和内部次级凹陷的边界分布,表明地球化学异常分布明显受盆地边界和内部构造的控制。

(3) 烃类地球化学指标的综合异常分析结果表明,综合地球化学异常具有明显的分区特征,可分为 8 个综合地球化学区,与东部坳陷关系密切的地球化学区有 3 个,与中部坳陷及南部凹陷群有关的地球化学区 3 个,与西部坳陷有关的地球化学区 2 个。

(4) 油气资源地球化学综合评价结果得出一级地球化学区 1 个(I 区),二级地球化学区 3 个(II 区、III 区和 IV 区),三级地球化学区 4 个(V 区、VI 区、VII 区和 VIII 区),其中含油气性最好的是位于东部坳陷的 I 区。

## 参考文献(References)

- [1] 李双林. 海洋油气地球化学探测的理论基础—海底烃类渗漏[J]. 海洋地质动态, 2007, 23(11): 1-7. [Fundamental theory of offshore geochemical exploration for oil and gas—seabed hydrocarbon seepage[J]. Marine Geology Letters, 2007, 23(11): 1-7.]
- [2] Michael A Abrams. Geophysical and geochemical evidence for subsurface hydrocarbon leakage in the Bering Sea, Alaska[J]. Marine and Petroleum Geology, 1992, 9: 208-221.
- [3] Michael A Abrams. Significance of hydrocarbon seepage relative to petroleum generation and entrapment[J]. Marine and Petroleum Geology, 2005, 22: 457-477.
- [4] Michael A Abrams. Evaluating pterroleum systems in frontier exploration areas using seabed geochemistry[J]. World Oil, 2004, 225(6): 53-60.
- [5] Barthold M Schroot. Surface and subsurface expressions of gas seepage to the seabed-examples from the Southern North Sea[J]. Marine and Petroleum Geology, 2005, 22: 499-515.
- [6] Jean Whelan. Surface and subsurface manifestations of gas movement through a N-S transect of the Gulf of Mexico[J]. Marine and Petroleum Geology, 2005, 22: 479-497.
- [7] G W O'Brien. Yampi Shelf, Browse Basin, North-West Shelf, Australia: a test-bed for constraining hydrocarbon migration and seepage rates using combinations of 2D and 3D seismic data and multiple, independent remote sensing technologies[J]. Marine and Petroleum Geology, 2005, 22: 517-549.
- [8] Sigalove J J. Geochemical seep detection for offshore oil and gas exploration[C]//7th annual offshore technology conference, 1985.
- [9] Gervitz J L. Regional geochemical analysis of the Southern portion of the Norwegian Sector of the North Sea [C]//Petroleum Geochemistry in Exploration of the Norwegian Shelf, 1985: 247-262.
- [10] Hvoslef S. Test of a new surface geochemistry tool for resource predication in frontier areas[J]. Marine and Petroleum Geology, 1996, 13(1): 107-124.
- [11] 朱炳球, 孙忠军, 余慧. 浅海油气地球化学勘查前景[J]. 物探与化探, 1996, 22(3): 161-171. [ZHU Bingqiu, SUN Zhongjun, YU Hui. The prospects of shallow sea oil and gas geochemical exploration [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 1996, 22(3): 161-171.]
- [12] 周定成, 刘崇禧, 赵克斌. 台湾海峡西部海底表层沉积物烃类地化特征[J]. 台湾海峡, 1997, 16(4): 379-385. [ZHOU Dingcheng, LIU Chongxi, ZHAO Kebin. Geochemical charac-  
ters of submarine surface sedimentary hydrocarbonic category in west taiwan strait[J]. Journl of Oceanography in Taiwan Strait, 1997, 16(4): 379-385.]
- [13] 程军, 刘崇禧, 赵克斌, 等. 我国海域油气化探的基本特点[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2002, 22(1): 83-87. [CHEN Jun, LIU Chongxi, ZHAO Kebin, et al. Basic characteristics of oil and gas geochemical exploration in the sea area in China[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2002, 22(1): 83-87.]
- [14] 李双林, 何拥军, 肖菲, 等. 南黄海北部盆地地表层沉积物烃类地球化学探测[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2003, 23(4): 39-44. [LI Shuanglin, HE Yongjun, XIAO Fei, et al. Seabed geochemical exploration for hydrocarbon in the northern South Yellow Sea [J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2003, 23(4): 39-44.]
- [15] 李双林, 董贺平, 赵青芳. 我国海洋油气地球化学探测形势与展望[J]. 海洋地质动态, 2007, 23(11): 42-48. [LI Shuanglin, DONG Heping, ZHAO Qingfang. Development and prospect of offshore geochemical exploration for oil and gas in China [J]. Marine Geology Letters, 2007, 23(11): 42-48.]
- [16] 赖万忠. 黄海海域沉积盆地与油气[J]. 海洋地质动态, 2002, 18(11): 13-16. [LAI Wanzhong. Sedimentary basins and petroleum of the Yellow Sea. [J]. Marine Geology Letters, 2002, 18(11): 13-16.]
- [17] 李文勇, 李东旭, 王后金. 北黄海盆地构造几何学研究新进展[J]. 地质力学学报, 2006, 12(1): 12-22. [LI Wenying, LI Dongxu, WANG Houjin. New progress in the study of tectonic geometry of the North Yellow Sea Basin[J]. Journal of Geomechanics, 2006, 12(1): 12-22.]
- [18] 汤玉平, 丁相玉, 吴向华, 等. 中国主要含油气盆地区域地球化学场参数特征及其成因研究[J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(3): 1-4. [TANG Yuping, DING Xiangyu, WU Xianghua, et al. Features and genesis of regional geochemical fields of the main hydrocarbon-bearing basins in China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2001, 28(3): 1-4.]
- [19] 宋广达, 程军, 赵克斌, 等. 合肥盆地区域地球化学场特征[J]. 石油实验地质, 2002, 24(3): 267-272. [SONG Guangda, CHENG Jun, ZHAO Kebin, et al. Characteristics of the regional geochemical field in the Hefei basin[J]. Petroleum Geology and Experiment, 2002, 24(3): 267-272.]
- [20] 赵克斌, 孙长青. 中国主要含油气盆地地球化学场特征[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(4): 427-432. [ZHAO Kebin, SUN Changqing. Characteristics of geochemical field in China's major petroliferous basins[J]. Oil and Gas Geology, 2005, 26(4): 427-432.]

## HYDROCARBON GEOCHEMICAL FIELDS AND ANOMALIES REGIONS IN THE NORTH YELLOW SEA BASIN

LI Shuanglin<sup>1,2</sup>, DONG Heping<sup>1,2</sup>, ZHAO Qingfang<sup>1,2</sup>, XIAO Fei<sup>1,2</sup>

(1 The Key Laboratory of Marine Hydrocarbon Resources and Environmental Geology, Ministry of Land and Resources,  
Qingdao 266071, China; 2 Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266071, China)

**Abstract:** The North Yellow Sea Basin could be subdivided into three main depressions, i. e. the eastern depression, middle depression and western depression. According to the mean values and variation coefficients of the hydrocarbon gases, aromatic and condensed rings aromatic hydrocarbons of the seabed sediments, the geochemical fields of the three depressions are different. The geochemical field of the eastern depression is heavily heterogeneous for all indices, the field of the middle depression is the mixture of the homogeneous and heterogenous, and the western depression are characterised by slightly heterogeneous up to homogeneous anomalies. The geochemical anomalies of hydrocarbons are mainly distributed along the edge faults of the depressions and second sinks. It suggests that the geochemical fields and anomalies are controlled by faults, especially the edge faults of depressions. Integrating together all anomalies of hydrocarbons, eight geochemical regions (I, II, III, IV, V, VI, VII and VIII) can be identified in the North Yellow Sea Basin. Among the eight, three (I, II, and III) are in the eastern, three (IV, V and VI) in the middle, and two (VII and VIII) in the western depressions. Upon the integrated evaluation of geochemical anomalies, with reference to other geological factors, including structure, stratigraphy, source rock, reservoir, and cover, one first grade region (I), three second grade regions (II, III and IV), and four third grade regions (V, VI, VII and VIII) are identified in the North Yellow Sea.

**Key words:** hydrocarbon geochemical field; geochemical region; evaluation of oil and gas; North Yellow Sea Basin