

文章编号:1001-6112(2006)05-0311-05

# 北黄海盆地含油气系统与勘探前景

金仁植<sup>1,2</sup>, 费琪<sup>1</sup>, 杨香华<sup>1</sup>, 蔡峰<sup>3</sup>

(1. 中国地质大学, 武汉 430074; 2. 朝鲜金策工业综合大学, 平壤;  
3. 国土资源部 青岛海洋地质研究所, 山东 青岛 266071)

**摘要:**北黄海盆地(盆地东部朝鲜海域称西朝鲜湾盆地)为浅海大陆架区,属于中朝地台,在其边缘有安洲盆地、渤海湾盆地、莱阳盆地和南黄海盆地,均为古生代、中生代与新生代的叠合盆地,含油气前景较大。盆地周边发育郯庐断裂带、清川江断裂带与临津江断裂带等大断裂带,盆地中油气的生成、运移、储集与保存都和这些大断裂带有密切关系。通过储集条件、油气生成模拟与圈闭条件类比,探讨北黄海盆地的含油气系统特征,并进一步明确其油气勘探前景。

**关键词:**生烃模拟;含油气系统;油气勘探前景;北黄海盆地  
**中图分类号:**TE121.2 **文献标识码:**A

## 1 研究区概况

研究区包括北黄海盆地(东部朝鲜海域称朝鲜西海)以及东部海域的浅海大陆架区,盆地构造十分复杂<sup>[1~3]</sup>。研究区面积约 $5 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,均属中朝地台。

安州盆地、西朝鲜盆地、北黄海盆地与莱阳盆地都是以中生代为主的盆地。渤海湾盆地是中国

含油气性较丰富的盆地之一。渤海盆地与南黄海盆地以新生代为主,分布面积比较大(图1)。

一般来说,位于大陆架上的中—新生代沉积盆地具有有利的油气生成与储聚条件<sup>[4]</sup>。如渤海盆地与西海南部等东亚的含油气盆地。同样,北黄海盆地也具有良好的油气生成、运移与保存条件<sup>[5]</sup>。

研究区具有油气生成能力与排驱能力充分的沉积容量与大小。前人认为该区沉积层厚度只有 $2\ 000 \sim 3\ 000 \text{ m}$ <sup>[6]</sup>。但最新重力、磁力、地震以及钻井资料显示,研究区中—新生代地层的总厚度可达 $8\ 000 \text{ m}$ 以上,中生代地层比新生代地层更厚(图2),其分布范围较大。

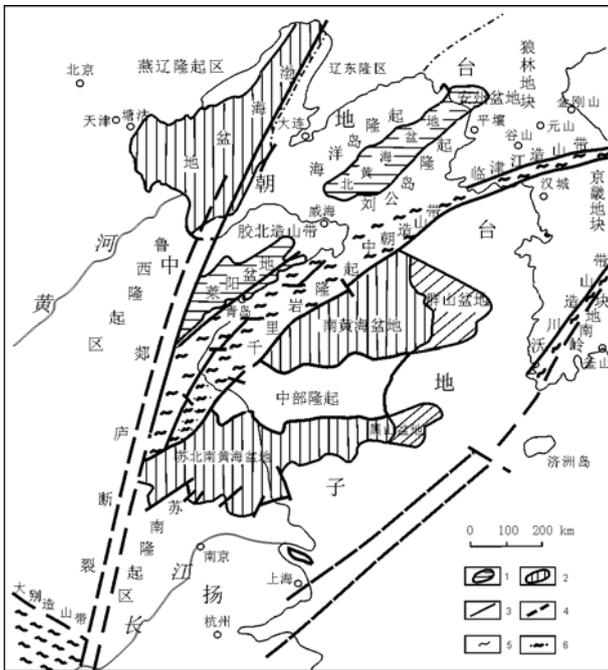


图1 北黄海与其周边地区盆地分布<sup>[1]</sup>

- 1. 中生代为主的盆地; 2. 中生代盆地; 3. 主要断裂;
- 4. 推测的主断层; 5. 造山带; 6. 蓝片岩高压变质带

Fig. 1 Distribution of sedimentary basin in North Yellow Sea and its adjacent areas

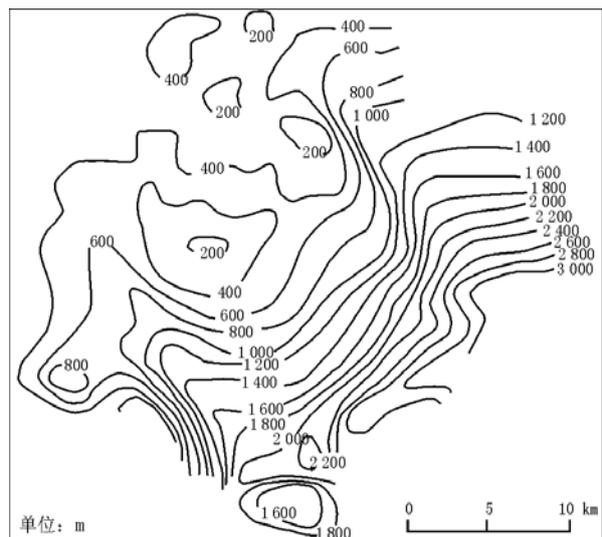


图2 北黄海盆地东部新生代地层等厚线

Fig. 2 Contour map of the Mesozoic stratum thickness in the east of North Yellow Sea Basin

收稿日期:2006-04-11; 修订日期:2006-09-04。

作者简介:金仁植(196物—),男(朝鲜族),朝鲜平壤人,博士生、教授,主要从事石油地质方法的教学与研究。

表 1 北黄海盆地东部源岩有机质地球化学分析数据<sup>[2]</sup>

Table 1 Geochemical parameters of source rocks in the east of North Yellow Sea Basin

生油岩时代	有机碳			有机质成熟度			有机质类型
	有机碳, %	氯仿沥青“A”, %	生油潜能/ ( $\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$ )	$R_o$ , %	热变指数	最高热降解温度/ $^{\circ}\text{C}$	
渐新世	0.5 或 0.87	$n \times 10^{-3} \sim n \times 10^{-2}$	>0.20	>0.6	1 ~ 2	>430	II—III 型
下白垩统	0.5 ~ 1.6	$2.03 \times 10^{-1} \sim n \times 10^{-3}$	>0.10 或 <3.0	0.73 ~ 0.80	2 ~ 3	430 ~ 440	II 型
上侏罗统	1 ~ 2.16	$1.02 \times 10^{-1} \sim 4.53n \times 10^{-3}$	0.3 ~ 2.3	0.50 ~ 1.66	2 ~ 4	430 ~ 470	II 型或 III 型

在盆地的中生界与下第三系沉积层内,发育了比较好的几套生油泥岩层,其厚度达 1 500 m 以上。主要生油层是上侏罗统黑色泥岩与下白垩系及下第三系泥岩地层。上侏罗统黑色泥岩的有机质含量比较高,根据地球化学分析资料,这些泥岩埋藏深,已达到成熟阶段,是北黄海盆地东部最重要的生油岩(表 1)。

由于盆地水域部分的地壳厚度薄且地幔隆起,地温梯度比其周边要高,平均地温梯度值为  $25 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}^{[7]}$ ,中生代地层为  $35 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ,下第三系地层为  $(30 \sim 32) \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 。因此,研究区具备了有机质转化的热条件。

研究区内具有 3 种类型的圈闭。第一种类型是下第三系碎屑岩地层中的孔隙型储集岩,物性好,孔隙度为  $18\% \sim 35\%$ ,渗透率  $(800 \sim 4\ 200) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,地层中砂岩的比率很大,可达  $50\%$ ;第二种类型是中生界碎屑岩中的裂缝—孔隙型储集层,上侏罗统一下白垩统砂岩储层物性不好,但断层附近的碎屑岩裂缝发育,渗透率与孔隙度的物性较好,具裂缝—孔隙型储集层的下白垩统地层,在钻井过程中见到了油流;第三种类型是下古生界与上元古代碳酸盐储集层,流体的储集性能与排量较大的储集层在碳酸盐地层内发育,干酪根类型属混合型(III 型),成熟度也比较好。

北黄海盆地是复合式沉积盆地,含油组合可以划分 3 种类型。第一种是“自生自储型”,第二种是“新生古储型”,第三种是在老地层中生成的原油进入较新地层的“古生新储型”。有希望的圈闭类型是构造圈闭与地层圈闭。灾领运动与安州运动结果导致盆地内广泛发育断层—半背斜构造,这些构造圈闭具有捕集油气的充分空间。

## 2 含油气系统分析

### 2.1 生油条件

在研究区钻探揭示的中新生代地层中,可能存

在 4 套烃源岩,分别发育于上侏罗统、下白垩统、始新统和渐新统。下白垩统的泥质沉积岩贫有机质,有机碳平均含量为  $0.9\%$ ,主要含 III 型富镜质组干酪根,生烃潜力较低 ( $21 \sim 62 \text{ mg/g}$ ),因此认为是非生油岩,但具有一定的生气潜力。始新统含富有机质的湖相泥岩,有机碳可达  $7\%$ ,含有偏向生油的 I 型富无定形干酪根和偏向生气的 III 型干酪根的混合物,生烃潜力中等 ( $220 \text{ mg/g}$ ),是良好的生油岩,但由于目前在海上的钻井中尚未发现该层系地层,其分布范围可能较局限,在研究区东部近海地区的深埋藏区,有可能存在达到生油窗的该套层系。渐新统褐煤包含有偏向生油的富触酶的类型脂组,在一定条件下也能生油。上侏罗统为盆地内最具潜力的生油层系,各类无定形有机质均为偏油型,主要组成为湖成 I 型干酪根,有机碳值的变化范围在  $0.41\% \sim 6.87\%$ ,平均为  $1.6\%$ , $S_1 + S_2$  所代表的生油潜量平均达  $3.32 \text{ kg/t}$ ,为中等丰度,根据目前掌握的地震资料,上侏罗统地层在盆地内分布面积较大,且有一定的厚度,应为盆地内的主要生油层系<sup>[8]</sup>。

热史、生烃史过程的模拟结果显示研究区具有良好的生油条件。

热史、生烃史模拟反映了盆地演化过程中不同深度与不同时间构造—地层的特征关系。在热力学条件控制下,模拟得到了晚侏罗世地层与早白垩世地层中的生油岩随时间变化的成熟演化过程结果揭示,中央凹陷中晚侏罗世地层的生油岩分别在  $89 \text{ Ma}$  进入生油门限, $R_o$  值达到  $0.6\%$  以上,现在  $0.75\% \sim 1.35\%$  (图 3)。这时期在盆地最深处的断陷沉降中心,晚侏罗系地层埋深达到  $2\ 500 \sim 3\ 300 \text{ m}$ ,地温为  $104.5 \sim 133 \text{ }^{\circ}\text{C}$  (图 4),晚侏罗系地层孔隙度模拟达到  $7\% \sim 21\%$ ,模拟  $R_o$  值达到  $0.75\%$  以上,进入生烃期。

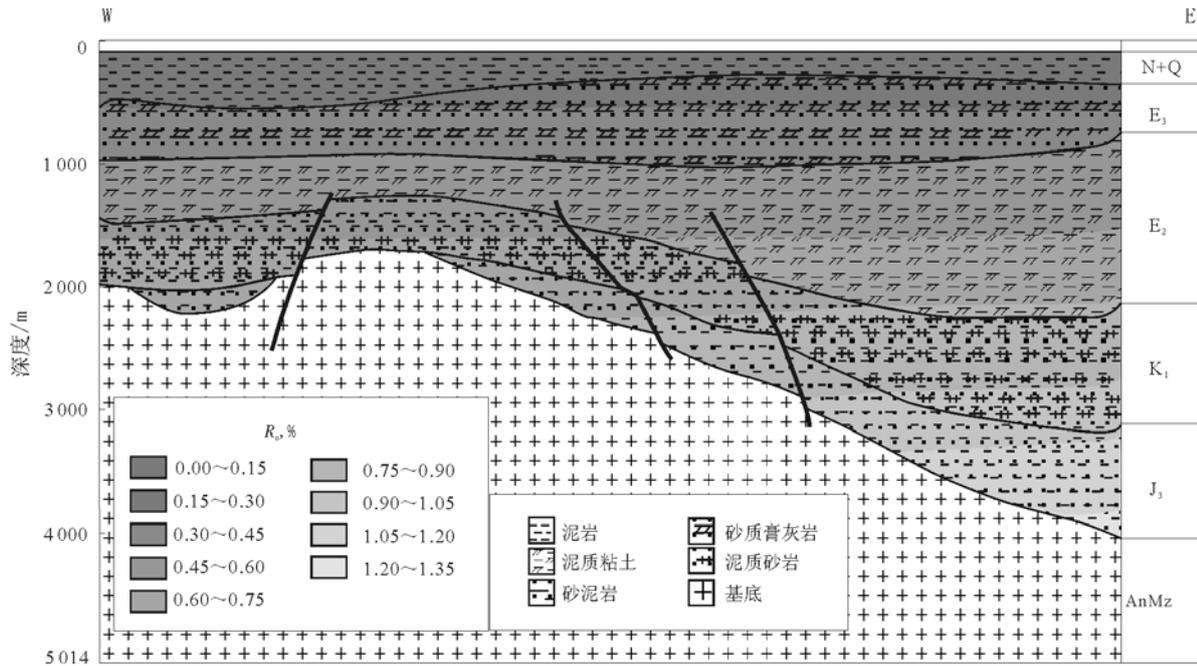


图3 北黄海盆地东部生油岩成熟度模拟

Fig. 3 Maturity simulation of source rocks in the east of North Yellow Sea Basin

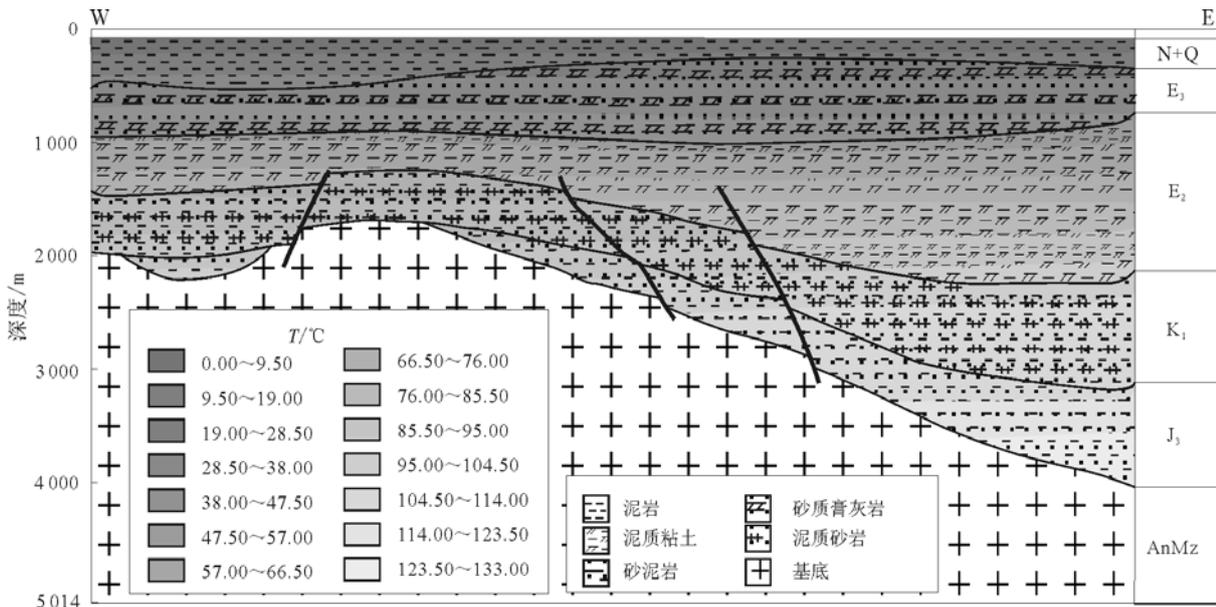


图4 北黄海盆地东部地层温度模拟

Fig. 4 Palaeothermal simulation of source rocks in the east of North Yellow Sea Basin

早白垩世地层的模拟  $R_o$  值 0.65%, 地温为 85.5 ~ 105 °C。(实际勘探  $R_o$  值达 0.73% ~ 1.66%)。现在,早第三系地层的模拟  $R_o$  值达到 0.45% 以上,地温在 85.5 ~ 95 °C,埋深达到 2 300 m。

### 2.2 储盖层条件

研究区最主要的储集岩是硅质碎屑岩,特别是砂岩,目前在上侏罗统、下白垩统和第三系层序内均发现了较厚的河流和三角洲相砂岩段。含有大量高岭石胶结物的分选好的侏罗系细粒砂岩一般

渗透率较低,为  $(0.3 \sim 1.4) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,但孔隙度中等,平均可达 10.8%。含大量高岭石胶结物的下白垩统细—粗砂岩及砂质砾岩,平均渗透率较高,为  $7.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,但仅具中等孔隙度,平均 11%。孔隙空间内大量的高岭石看来是影响侏罗系和白垩系砂岩储集品质的主要因素,加之盆地中侏罗系和白垩系的砂岩通常与成岩作用无关,大大地降低了它们的储集性能。第三系硅质碎屑岩储集层位于渐新统一中新统剖面中,由伴有砾岩的

细一中粒砂岩组成,由于剖面中粘土含量低,所以砂岩是好的储层,物性优于上侏罗统和下白垩统储层,平均孔隙度 22.6%,渗透率为  $1.125 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。但是由于该层序内构造不多,圈闭评价前景较差。根据地震资料,沿第三纪半地堑的缓坡可能发育有储集性能良好的生物礁,所以第三系地层中也有更广泛的勘探领域。

此外,较好的储集层是二叠系和石炭系的碳酸盐岩,它们具有原生或次生的孔隙,但目前对其分布规模尚不清楚,而且迄今为止的钻探中还未有过油气显示的记录。目前仅有的碳酸盐岩中的油气显示来自上奥陶统高裂缝性原生灰岩,据认为下奥陶统和寒武系的粘土岩、粉砂岩和灰岩互层剖面中的碳酸盐岩也是可能的储集层,且普遍被错断,但目前仍未发现有油气显示。

目前已有的油气显示主要在渐新统、下白垩统、上侏罗统和上奥陶统。尽管缺少详尽细致的研究,目前一般认为研究区最有希望的发现是在侏罗系和白垩系地层中,但迄今为止已发现的砂岩储层的物性较差,成为该类远景区的主要问题。此外,第二个好的目标是大量破裂的碳酸盐岩储层,但目前发现的仅仅是少量的油气显示,表明可能发生了油气散失,而且目前对前中生界地层存在的规模和范围尚不清楚,也影响了对其勘探远景的评价<sup>[9]</sup>。

在中生界和第三系剖面中遍布的泥岩,对钻井所测试的砂岩段捕集的烃类可能起着盖层的作用。据研究区钻井资料分析,下白垩统上部的泥质岩段为盆地内良好的区域性盖层。

### 2.3 油气藏类型

根据研究区现有的勘探资料,采用既能反映圈闭成因和形态、又比较简便实用的方法,将预测的油气藏分为构造型油气藏与非构造型油气藏。构造型油气藏又分为挤压背斜油气藏、继承性背斜油气藏、滚动背斜油气藏、断鼻油气藏及断块油气藏;非构造型油气藏包括不整合油气藏、地层超覆油气藏、潜山油气藏和生物礁油气藏。

预测研究区内的油气藏类型仍以背斜型油气藏为主,其中第三纪盆地中多为挤压背斜油气藏,部分为断层型油气藏和地层超覆油气藏。有研究者认为第三纪半地堑的缓坡往往发育有生物礁,如果达到一定的规模,也可望形成生物礁油气藏。中生代盆地中挤压背斜油气藏可能仍占优势,但由于存在下第三系与白垩系和白垩系与侏罗系之间 2 个区域性不整合面,中生界盆地内不整合型油气藏可能占有重要的地位。此外断鼻油气藏和断块油

气藏也是重要的油气藏类型,而且在有古生界地层分布的局部地区,有可能形成继承性背斜油气藏。古生代盆地中最有希望的就是潜山油气藏。勘探也证实古生界潜山型油气藏具有一定的远景,但目前古生界分布的范围、规模尚不清楚,影响了对其的评价。

油气藏类型的分布与箕状断陷及其伸展有直接关联。断层型油气藏、地层超覆油气藏和不整合油气藏局部分布在箕状断裂的缓倾斜带(图 5)。

至今在研究区内发现的大部分断层型油气藏都分布在中部断块与北西及大同江断块区的缓倾斜带,具有一定的分布规律,即局部构造在纵向上互相叠置,在平面上与沉积同生断层对应分布(图 6)。

地层超覆油气藏与岩性圈闭油气藏也分布在断陷的倾斜带,其原因是从坳陷向倾斜带岩相变化、地层厚度减薄和超覆。由于基底断裂造成的基底断层圈闭构造或由于中生代地层断裂形成古潜山油气藏也分布在缓倾斜带。可以说,箕状断陷的缓倾斜带是盆地中局部构造集中分布的区域,地层岩性的圈闭分布在很深的凹陷,潜山油气藏与断块型油气藏多分布在箕状坳陷的主断层下盘陡倾斜带。此外,非构造型油气藏分布在基底碳酸盐岩地层与不整合面之下。

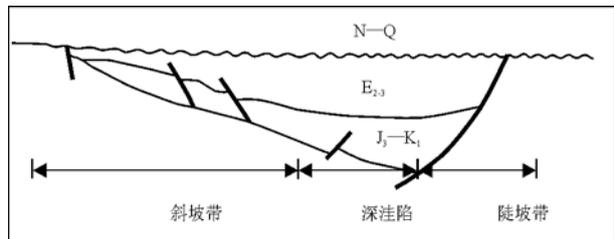


图 5 北黄海盆地东部箕状断陷构造划分  
Fig. 5 Tectonic unit classification of the half fault-depression in the east of North Yellow Sea Basin

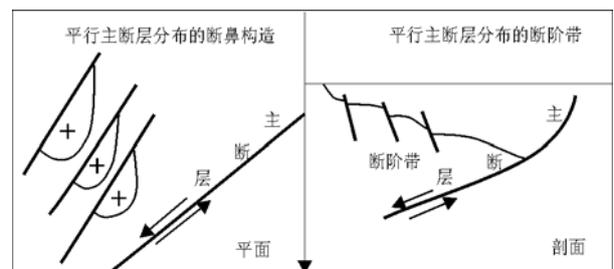


图 6 北黄海盆地东部与主断层  
平行分布的断鼻构造与断阶带  
Fig. 6 Fault-nose structures and fault-terrace belts parallel to the main boundary fault in the east of North Yellow Sea Basin

### 3 北黄海盆地东部油气勘探前景

通过盆地模拟来看,北黄海盆地东部具有油气生成能力与排驱能力充分的沉积容量与大小,含油性前景较大。如上所述,研究区沉积层厚度较大,生油条件较好,由于断裂构造广泛发育,运移、储集及圈闭条件较好,所以有进一步勘探的价值。

目前勘探证实的含油层系有4套,即下第三系渐新统、中生界下白垩统和上侏罗统、古生界上奥陶统。在盆地的中生界与第三系沉积层内,比较好的生油泥岩层发育,其厚度2 500 m以上。主要生油层是上侏罗统黑色泥岩、下白垩统与下第三系泥岩地层。上侏罗统黑色泥岩的有机质含量比较高<sup>[10]</sup>。

研究区内中生界烃源岩无论从地层的分布,还是烃源岩丰度和成熟度分析,均为良好的生烃层系。盆地模拟结果表明,中生界源岩目前均已进入生烃窗,各凹陷均有一定的生烃量,但主要集中在东部坳陷的中央凹陷,生烃远景可能更好。根据地球化学分析资料,这些中生界泥岩是生成油气的生油层,具有充分的物质基础。模拟结果也表明盆地具有对形成油气充分的热力学条件,成熟度与地温条件也比较好,在盆地的很深处,已达到成熟阶段。

研究区下第三系渐新统广泛分布,但由于埋藏浅,故第三系源岩的生烃量较小。然而在局部构造发育的很深位置,具有充分的生油条件,故预测渐新统地层中的局部构造形成原生油气藏的概率较小,若有深达中生界地层的继承性断层,提供油气运移的良好通道,也完全具有成藏的可能性。此外,盆地具有良好的保存条件,在研究区内的含油气组合,由于晚新生代泥岩层较厚且泥质含量较高,可成为良好的盖层。

实际上,在研究区内的有些钻井的中—新生代地层,见有良好的油气显示与油气流。原油为典型的甲基族原油,物理性质及成分组成与邻区含油盆地的陆相原油相同。

另外,上奥陶统碳酸盐岩地层中的油气显示,为研究区的油气勘探提供了新的领域,但因目前对古生界地层的分布范围和规模尚不清楚,很难估计这种发现具有多大的商业价值。从其它地区的勘探经验来看,碳酸盐岩潜山在有充足油源保证的前提下,往往能形成高产油气藏,所以研究区钻遇的上奥陶统高裂缝性原生灰岩应引起注意,该套地层

可能是一个潜在的油气勘探远景领域。

### 4 结束语

1) 据最新物探资料与钻井资料证实,北黄海盆地东部具有8 000 m厚度的中—新生代地层,沉积容量较大,生油层与储集层都很发育,油气勘探远景较大。

2) 北黄海盆地是复合型沉积盆地,发育多种类型的含油组合。根据油气的生成、运移与储集条件,含油组合可以划分为3种类型。第一种类型是“自生自储型”,第二种类型是“新生古储型”,第三种类型是在老地层中生成的原油进入较新地层的“古生新储型”。

3) 北黄海盆地东部具有很好的油气保存条件,由于晚新生代泥岩层较厚且泥质含量较高,可成为良好的区域性盖层。

4) 本区主要的勘探对象是深部生油窗附近的断层一半背斜构造,其中中央断块倾斜带附近的断块型圈闭是有效的圈闭构造。第三系地层内的局部构造与上奥陶统碳酸盐岩地层也是有希望的勘探对象。

#### 参考文献

- 1 蔡乾忠. 横贯黄海的中朝造山带与北、南黄海成盆成烃关系[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(2): 185~196
- 2 余和中, 吕福亮, 郭庆新等. 华北板块南缘原型沉积盆地类型与构造演化[J]. 石油实验地质, 2005, 27(2): 111~117
- 3 吉让寿, 高长林. 秦岭—大别造山带两侧中生代构造变格与成盆作用[J]. 石油实验地质, 2005, 27(5): 449~454
- 4 Haughton P D W. Developments in Sedimentary Provenance Studies [M]. London: Oxford University Press, 1991. 1~370
- 5 Gong Jian Ming. Geologic characteristics and hydrocarbon generating potential of Mesozoic strata in the North Yellow Sea Basin[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2000, 20(2): 69~78
- 6 Massoud M S. Oil source rock potential of the Lacustrine Jurassic Sin Uy Ju formation, West Korea Bay Basin. Part 1: Nature of the organic matter and hydrocarbon generation history[J]. Journal of Petroleum Geology, 1993, 16(3): 265~284
- 7 费琪. 成由体系分析与模拟[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001. 425~446
- 8 蔡峰. 北黄海盆地基本石油地质条件分析[J]. 海洋地质动态, 1998, 4(185): 7~10
- 9 范小林, 陈浙春. 东秦岭—大别造山带两侧盆地深部过程及古生界油气前景[J]. 石油实验地质, 2005, 27(4): 338~345
- 10 蔡峰. 北黄海海域地质构造与盆地演化特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1995, 15(增刊): 116~123

## PETROLEUM SYSTEM AND THE EXPLORATION PROSPECT IN THE EAST OF NORTH YELLOW SEA BASIN

Kim in Sik<sup>1,2</sup>, Fei Qi<sup>1</sup>, Yang Xianghua<sup>1</sup>, Cai Feng<sup>3</sup>

(1. *China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074 China;*

2. *Kimcheek University of Technology, Pyongyang, DPR of Korea;*

3. *Qingdao Marine Geology Research Institute, Ministry of Land and Resources, Qingdao, Shandong 266071, China)*

**Abstract:** The North Yellow Sea Basin (called West Korean Bay Basin in the eastern Korean region) is one of the sedimentary basins distributing along the Qingchuanjiang Chon Gang fault zone and where there are thick Mesozoic-Cenozoic sedimentary rocks. There are a series of Mesozoic-Cenozoic sedimentary basins, such as Anzhou Basin, Bohai Bay Basin, Laiyang Basin and South Yellow Sea Basin in the vicinity of the North Yellow Sea Basin. The basins mentioned above belong to Mesozoic-Cenozoic superimposed basin which displays great petroleum prospects. Huge faults, such as Tanlu fault, Qingchuanjiang fault and Linjinjiang fault, have close relationship with petroleum migration and accumulation in the North Yellow Sea Basin. Based on the integrated researches on reservoir, oil generation and trap types, the petroleum prospects of North Yellow Sea Basin is determined.

**Key words:** oil generation simulation; petroleum system; petroleum prospect; North Yellow Sea Basin

## OIL SOURCE AND HYDROCARBON MIGRATION PROCESS IN QIANGTANG BASIN, QINGHAI-TIBET PLATEAU

Qin Jianzhong

(Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214151, China)

**Abstract:** The oil seepages from the formations of  $J_2b$  in West Longeni,  $J_3s$  in Angdaercuo,  $J_3s$  in West Changliang and  $J_3s$  in the area of No. 114 Anduo road maintenance squad as well as the  $J_2x$  hydrocarbon-rich shale in Biluocuo and the  $J_3s$  dark-gray limestone in the area of No. 114 road maintenance squad are characterized by high rearrangement sterane content, low pregnane, triclene and gammacerane contents, high ratio of Pr/Ph as well as heavy carbon-isotope. The oil seepages in the formations of  $J_2b$  in West Longeni and  $J_3s$  in Angdaercuo originate from the  $J_2x$  lagoon-phase hydrocarbon-rich source rock in their corresponding areas. The oil seepages in the formations of  $J_3s$  in the areas of No. 114 Anduo road maintenance squad and West Changliang originate from the  $J_3s$  platform facies dark-gray limestone and hydrocarbon-rich shale. There are "light active oil" and "solid bitumen" in the oil-bearing dolomite in center of the basin and in the  $J_3s$  lime-rubble rock in No.114 Anduo road maintenance squad area. The solid bitumen is product of the first hydrocarbon migration and accumulation. The fluorescent light active oil is product of the second or third hydrocarbon migration and accumulation causing by reburial or tectogenesis. They have undergone two or more hydrocarbon generation and migration processes.

**Key words:** oil seepage; correlation between oil and source; migration process; Qiangtang Basin

~~~~~  
(continued from page 449)

## THE PETROLEUM SYSTEM AND EXPLORATION PROSPECT IN THE EAST OF NORTH YELLOW SEA BASIN

Kim in Sik<sup>1,2</sup>, Fei Qi<sup>1</sup>, Yang Xianghua<sup>1</sup>, Cai Feng<sup>3</sup>

(1. China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China;

2. Kimcheck University of Technology, Pyongyang, DPR of Korea;

3. Qingdao Marine Geology Research Institute, Ministry of Land and Resources, Qingdao, Shandong 266071, China)

**Abstract:** The North Yellow Sea Basin (called West Korean Bay Basin in the eastern Korean region) is one of the sedimentary basins distributing along the Qingchuanjiang fault zone where there are thick Mesozoic-Cenozoic sedimentary rocks. There are a series of Mesozoic-Cenozoic sedimentary basins, such as Anzhou Basin, Bohai Bay Basin, Laiyang Basin and South Yellow Sea Basin in the vicinity of the North Yellow Sea Basin. The basins mentioned above belong to Mesozoic-Cenozoic superimposed basins which display great petroleum prospects. Huge faults, such as Tanlu Fault, Qingchuanjiang Fault and Linjinjiang Fault, have close relationship with petroleum migration and accumulation in the North Yellow Sea Basin. Based on the integrated researches on reservoir, oil generation and trap types, the petroleum prospects of North Yellow Sea Basin is determined.

**Key words:** oil generation simulation; petroleum system; petroleum prospect; the North Yellow Sea Basin