

文章编号:1009-2722(2012)07-0036-08

西北沙巴盆地油气地质特征及 油气成藏控制因素

马良涛¹,王春修²,牛嘉玉¹,郑求根³,雷宝华⁴

(1 中石油勘探开发研究院,北京 100083;2 中海油研究总院海外评价中心,北京 100027;

3 中国地质大学(北京)海洋学院,北京 100083;4 青岛海洋地质研究所,青岛 266071)

摘 要:以油气地质理论为指导,在构造、沉积地层特征研究的基础上,重点分析了西北沙巴盆地不同构造区烃源岩、储集层、圈闭等油气地质特征,并分析了构造对盆地油气成藏的控制作用。认为该盆地的主要烃源岩是 Stage IV 泥/页岩;有利储集层为由 Stage IV C、Stage IV D 砂岩组成的上砂岩单元、Stage IV A 砂岩组成的下砂岩单元以及 Stage IV C、Stage IV D 滑塌形成的深水浊积扇;总结出下、上及深水 3 套储盖组合。盆地各烃源岩、储集层受构造—地貌控制分布于不同的构造区;受不同时期变形作用的影响,盆地各构造区内发育不同类型的圈闭,进而控制了盆地油气藏的形成和分布。

关键词:西北沙巴盆地;油气地质特征;储盖组合;成藏控制因素

中图分类号:P618.13

文献标识码:A

西北沙巴盆地位于波罗洲北部,为渐新世—早中新世南沙地块向加里曼丹岛俯冲碰撞而形成的前陆盆地^[1]。盆地总面积 $47.3 \times 10^3 \text{ km}^2$,其中,陆上部分 $10.6 \times 10^3 \text{ km}^2$,海域 $36.7 \times 10^3 \text{ km}^2$ 。在大量收集资料的基础上,对西北沙巴盆地的石油地质条件进行了较全面的分析,并探讨了构造在盆地油气聚集中的作用。

1 地质背景

该盆地以克鲁克褶皱逆冲带为陆上边界,该褶皱带为拉让—克鲁克褶皱逆冲带向东的延伸;西巴兰断层是盆地西南部边界,该边界为 NW 向 Tinjar 走滑断层向海域的延伸;盆地东、西边界为 Strait Balabac 断层和 Morris 断层(MF),后者将西北沙巴盆地与东巴兰三角洲分开(图 1)。

西北沙巴盆地的形成演化经历了古新世—早中新世裂谷、中中新世挤压反转及晚中新世以后的拗陷 3 个阶段。根据盆地内不同的构造样式和沉积特征将其划分为 7 个构造区,即克鲁克褶皱逆冲带(CFTB)、“内带”构造区、“外带”构造区、东巴兰三角洲、逆冲席、西北沙巴海槽及西北沙巴地台^[2]。其中,Morris 断层(MF)为东巴兰三角洲与“内带”构造区、“外带”构造区和逆冲席的分界线;“内带”与“外带”构造区之间以 Kinarut—Mangalum 断层(KMF)和 Emerald 断层(EFZ)为界,而 KMF 和 Kinabalu 高地又将“内带”构造区进一步分为南、北 2 个次级构造区,即“内带”构造区北部和南部^[2]。

西北沙巴盆地以新生界沉积为主,基底为中生界白垩系以及强烈褶皱并部分变质的古近系古新统和始新统,沉积盖层由渐新统和新近系致密砂岩及泥岩构成。依据区域构造活动向 WN 方向推进的阶段性特征,将盆地整个古近系和新近系划分为 Stage I、Stage II、Stage III、Stage IV 4 套地层单元(图 2)。其中,Stage I 为褶皱变质基底;

收稿日期:2012-02-08

基金项目:国家重大专项 30-1 课题(2008ZX05030-001-04)

作者简介:马良涛(1984—),男,在读博士,主要从事沉积与储层研究。E-mail:maliangtao123@163.com



图 1 西北沙巴盆地构造要素(据文献[2])

Fig. 1 Structural elements map of the Northwest Sabah Basin (from reference [2])

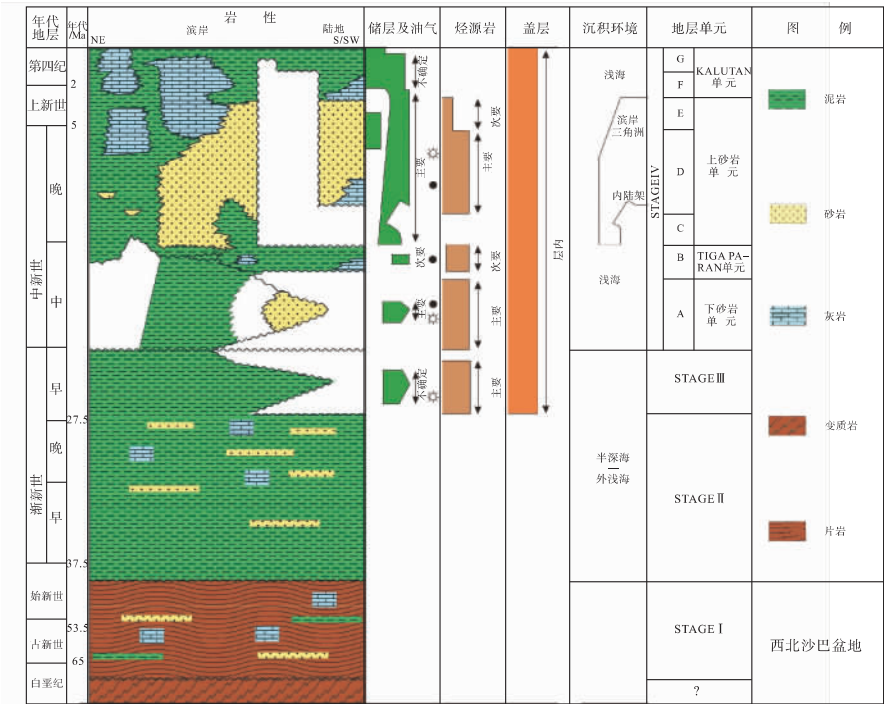


图 2 西北沙巴盆地综合地层(据文献[3]修改)

Fig. 2 Stratigraphic chart for Northwest Sabah Basin (modified from reference [3])

Stage II、Stage III 为上始新统一下中新统深海相; Stage IV 为中中新统至今的沉积,是油气勘探的主要目的层段。以局部不整合为界,根据浮游有孔虫、孢粉及超微化石生物特征进一步将 Stage IV 划分为 7 个次级单元,自下而上依次为 Stage IV A—Stage IV G^[3]。

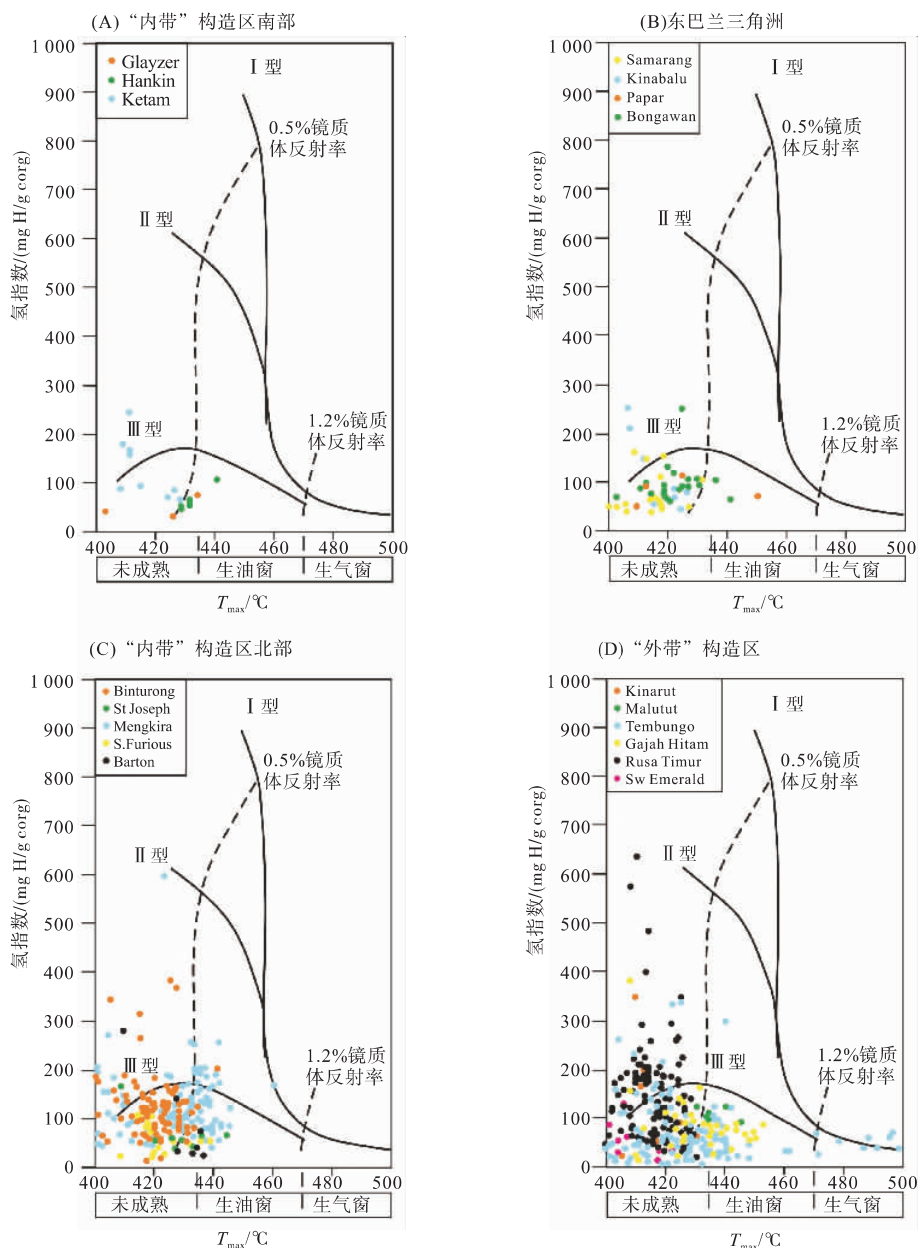


图3 氢指数与岩石热裂解峰温 (T_{max}) 交会图(据文献[3])

Fig. 3 Hydrogen index vs pyrolysis T_{max} cross-plots (from reference [3])

2 油气地质特征

2.1 烃源岩

盆地发育多套烃源岩,主要为滨岸/下滨岸平原、河—海及陆架深海等沉积环境。Stage IV 泥/页岩为主要烃源岩; Stage III 泥岩为次要烃源岩。最好的烃源岩为 Stage IV A 和 Stage IV D 下滨岸

平原的煤质页岩和碳质页岩^[3]。本文主要讨论西北沙巴盆地海域范围内烃源岩的特征。

烃源岩氢指数与最大热解峰温交会图表明(图3),除“外带”构造区为Ⅲ型、Ⅱ/Ⅲ混合型干酪根外,其他构造区烃源岩均以Ⅲ型干酪根为主,其中,“内带”构造区烃源岩由页岩、碳质页岩、碳质粉砂岩和煤组成,其有机质的显微组分由镜质体和少量无定形组成^[3]。

各区域内所产油气的气体色谱图(图4)、特征

碎片质谱图 $m/z191$ (质荷比)与 $m/z217$ (图 5)具有以下特征:①较高的 Pr/Ph(姥植比)值(4.5~6.5,平均值为 5.8);②较高的三萜烷/甾烷值;③奥利烷和 W、T、R 型树脂体等陆生成因混合物出现;④ C29 甾烷对 C27 和 C28 甾烷的相对优势。这说明盆地烃源岩有机质主要来自陆生高等植物。

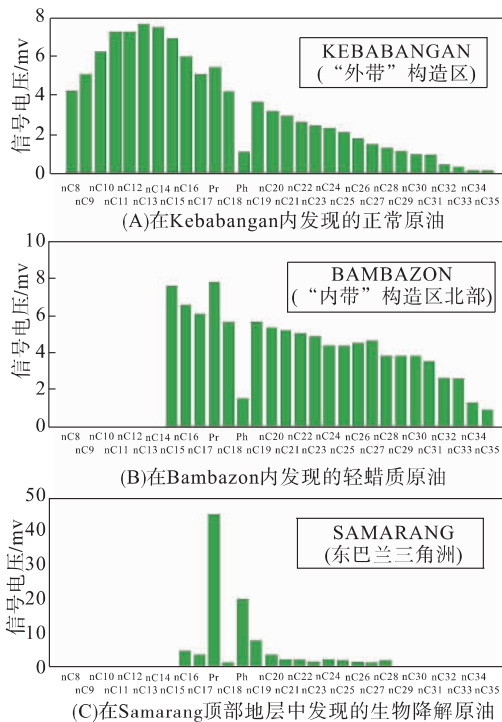


图 4 西北沙巴盆地内典型油气色谱图(据文献[3])
Fig. 4 Typical gas chromatographic envelopes of oils in the Northwest Sabah Basin (from reference [3])

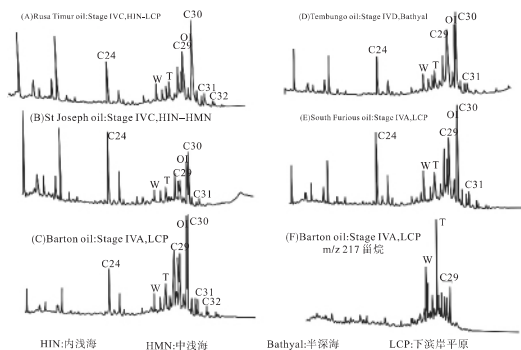


图 5 西北沙巴盆地油气的三萜烷($m/z191$)和甾烷($m/z217$)质谱图(据文献[4])

Fig. 5 Triterpane $m/z191$ and sterane $m/z217$ traces of selected Northwest Sabah Basin oils (from reference [4])

此外,由各油田的油气特征质谱图可知(图 5),油气样品的生物标志物具有相似曲线形态,这表明西北沙巴盆地的油气来自相同烃源岩或具有相似化学成分的不同烃源岩。

以上分析表明,西北沙巴盆地“内带”构造区以陆相烃源岩为主,而“外带”构造区内 stage IV B、stage IV E 烃源岩中三萜烷的出现表明其为海—陆混合型烃源岩;“内带”构造区南部烃源岩为未成熟到成熟早期,北部烃源岩已进入生油高峰,而“外带”构造区除 Tembungo 和 Gajah Hitam 油田的烃源岩为过成熟和成熟外,其他区域烃源岩均为未成熟到成熟早期;东巴兰三角洲烃源岩处于未成熟阶段(图 3)。

就烃源岩生烃潜力而言,“内带”构造区北部和“外带”构造区的烃源岩总有机碳与生烃潜力指数变化范围相似,为 0.15%~90%和 0.1~60 mgHC/g Rock,生烃潜力为差到很好;“内带”构造区南部烃源岩总有机碳在 0.6%~60%之间,生烃潜力指数为 1.5~40 mgHC/g Rock,生烃潜力较北部差;东巴兰三角洲烃源岩总有机碳为 0.2%~30%,生烃潜力指数为 0.15~10 mgHC/g Rock,生烃潜力一般(图 6)。

2.2 储集层

中中新世以后,盆地沉积环境呈现海相—海/陆混合相—海相的变化趋势,发育河流、三角洲、浅海和滨岸沉积相,各沉积相内发育的砂体是盆地主要储集层。Stage IV A、Stage IV C、Stage IV D 内的滨岸、河流/三角洲、浅海相砂岩地层为盆地重要储集层,构成由 Stage IV C、Stage IV D 砂岩组成的上砂岩单元、Stage IV A 砂岩组成的下砂岩单元以及 Stage IV C、Stage IV D 滑塌形成的深水浊积扇 3 套储集层,且下砂岩单元储集层的储集性能最好(表 1)。然而,在西北波州北部发育的储集性能较好的碳酸盐岩地层在该盆地内还没有油气发现[2]。

2.3 盖层

西北沙巴盆地缺乏区域性盖层,大多数储集层以层内页岩、泥岩、钙质粉砂岩为盖层。另外,页岩充填的滑塌崖和泥岩底辟也可作为局部盖层。其中,层内页岩、泥岩、钙质粉砂岩常作为储

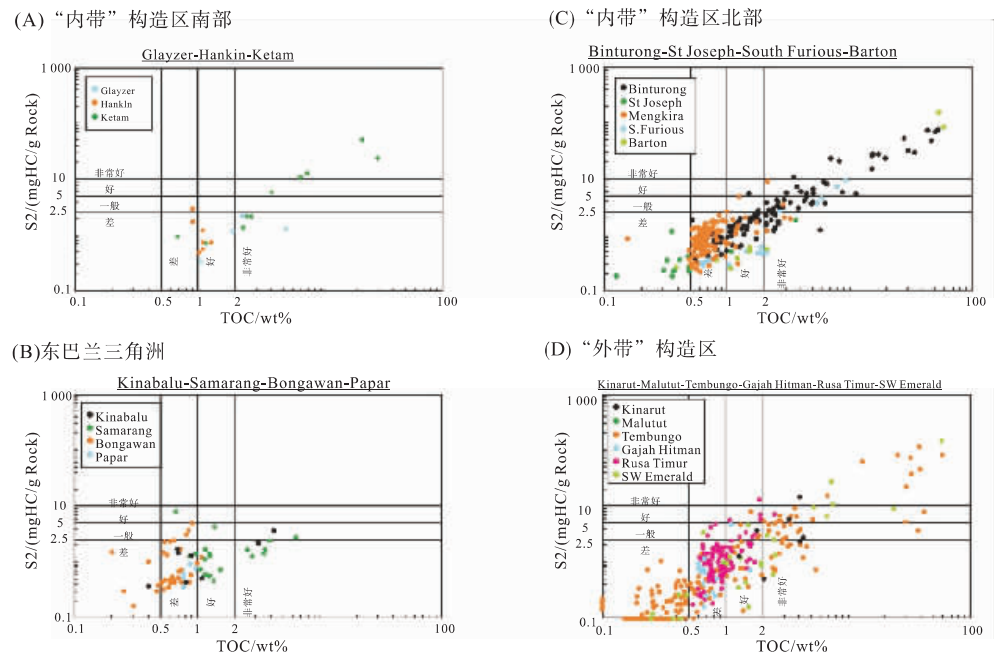


图 6 构造区烃源岩生烃潜力综合图(S2 与 TOC 交会图)(据文献[3])

Fig. 6 Integrated source-rock potential diagrams (S2 vs TOC) (from reference [3])

表 1 西北沙巴盆地主要储集层

Table 1 Major reservoirs in the NW Saba Basin

层位	沉积相	分布	孔渗性
StageⅣ A	河流、滨岸平原、三角洲	“内带”构造区	孔隙度为 18%~30%；渗透率为 $(40\sim500)\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ ，平均为 $200\times10^{-3}\mu\text{m}^2$
StageⅣ C	浅海、三角洲	“内带”构造区 “外带”构造区	孔隙度为 10%~28%；渗透率为 $(10\sim600)\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。油田内孔洞发育层状砂岩，其孔隙度和渗透率可高达 23%~28%和 $0.1\sim10\mu\text{m}^2$
StageⅣ D	河流、滨岸平原、三角洲	“外带”构造区	孔隙度为 14%~26%；渗透率为 $(13\sim640)\times10^{-3}\mu\text{m}^2$
StageⅣ C/Ⅳ A	浊流沉积	“外带”构造区	

集层的顶部和翼部盖层；页岩充填的滑塌崖为 StageⅣ D/Ⅳ C 浊流储集层的盖层。此外，砂岩储集层向远处常过渡为富含泥质的沉积地层，砂岩地层向远处发生尖灭，从而构成储集层侧向上的封堵。

2.4 生储盖组合

分析研究表明，StageⅣ 为主要烃源岩，StageⅢ 为次要烃源岩，且 StageⅣ A 和 StageⅣ D 下滨岸平原的煤质页岩和碳质页岩为最好的烃源岩。主要储集层为 StageⅣ A 构成的下砂岩单元，StageⅣ C、StageⅣ D、StageⅣ E 构成的上砂岩单元以及 StageⅣ C/Ⅳ D 浊流沉积。盖层为层内页

岩或泥岩。

由此构成盆地 3 套储盖组合：①下储盖组合以下砂岩单元为储集层，层间页岩或泥岩为盖层；②上储盖组合 以上砂岩单元为主要储集层，盖层封盖机理为断层封闭或岩性尖灭；③深水储盖组合 以深水浊流沉积为储集层，盖层为底辟泥岩或页岩充填的滑塌崖。

2.5 圈闭类型

西北沙巴盆地形成的与盆地浅部区域不整合 (SRU)和 HorizonⅡ、HorizonⅠ 不整合有关的圈闭分布在盆地不同的构造区内。其中，与晚中新世浅部区域不整合有关的隔挡式褶皱圈闭(开阔

平缓向斜与紧闭背斜的组合褶皱)主要集中在“内带”构造区的南部;与早上新世 Horizon II 不整合有关的泥底辟背斜圈闭和生长断层控制的滚动背斜圈闭主要发育在 Bunbury St Joseph 山脉西部和西北部以及靠近“外带”构造区边缘的地方;与晚上新世 Horizon I 不整合有关的反转构造圈闭主要发育在“外带”构造区内。

此外,Stage IV A、Stage IV C、Stage IV D 的砂岩地层常超覆在不整合之上形成地层不整合圈闭。这种类型的圈闭在盆地的“内带”构造区内广泛发育,主要表现为:①在“内带”构造区南部,储集层上超于深部区域不整合(DRU)之上;②在“内带”构造区中部和北部,Stage IV C 内的砂岩储集层超覆于浅部区域不整合(SRU)之上。

2.6 油气藏类型

分析研究表明,西北沙巴盆地主要发育以下油气藏^[4]:

(1) 构造油气藏

包括滚动背斜油气藏、底辟拱升背斜油气藏^[6-8],前者主要出现在东巴兰三角洲和“外带”构造区内,后者主要分布在“内带”构造区南部和“外带”构造区内(图 7)。深部烃源岩生成的油气沿不整合面和断层发生侧向和垂向运移进入圈闭中形成油气藏。

(2) 地层油气藏

以地层不整合遮挡和地层超覆 2 种油气藏为

主^[9-11]。该类型油气藏在盆地内较为常见,主要表现为与深部区域不整合(DRU)、浅部区域不整合(SRU)和 Horizon III、Horizon II、Horizon I 不整合有关的油气藏(图 7)。不整合即可作为油气的运移通道,也可构成油气藏的遮挡条件。

(3) 岩性油气藏

主要表现为“外带”构造区内沿 Morris 断层分布的多个浊积扇砂体的叠置,以及其他构造区内 Stage IV A、Stage IV C、Stage IV D、Stage IV E、Stage IV F 中的沉积砂体相互叠置构成的油气藏。成熟烃源岩生成的油气沿连通砂体、断层发生运移进入储集体聚集成藏^[12]。

3 构造对成藏的控制作用

受构造—地貌的控制,盆地各构造区发育不同时期的烃源岩和储集层;而盆地形成演化过程中不同时期的构造变形作用则形成了各种类型的圈闭,油气进入圈闭后进而形成不同的油气藏。

3.1 构造—地貌控制烃源岩、储集层分布

西北沙巴盆地主要烃源岩为 Stage IV 内发育的页岩、泥岩和煤,且 Stage IV A、Stage IV D 烃源岩的质量最好;主要储集层为 Stage IV A、Stage IV C、Stage IV D 内发育的滨岸、河流/三角洲、浅海相砂岩地层。

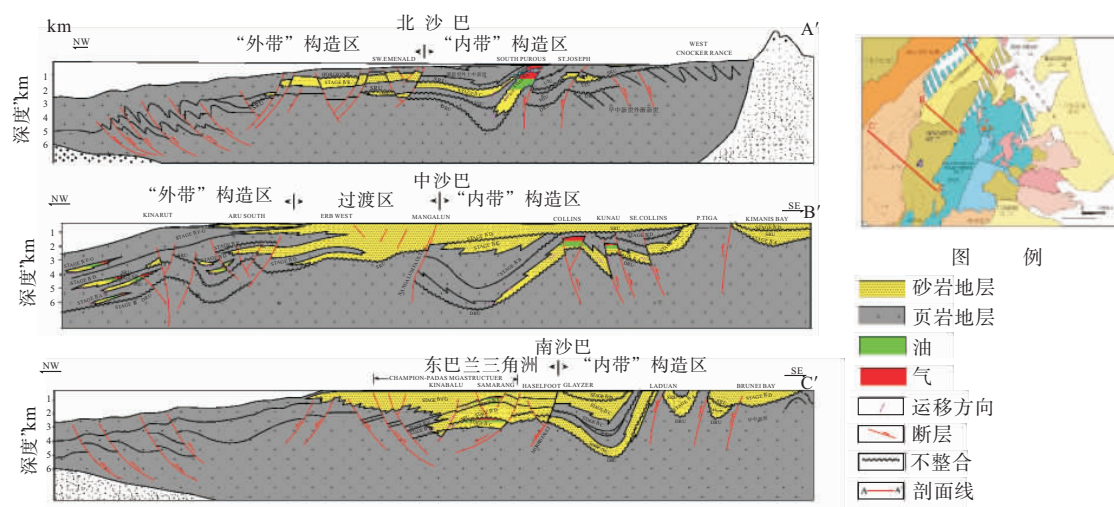


图 7 西北沙巴盆地油气藏类型(据文献[5]修改)

Fig. 7 Types of oil accumulation in Northwest Sabah Basin (modified from reference [5])

其中, StageⅣA 主要位于“内带”构造区南部和“外带”构造区靠近“内带”构造区南部的区域, 向东, 则由于构造抬升产生剥蚀作用而缺失。

“外带”构造区为 StageⅣD 及后期沉积地层的沉积中心, 浅海到深海环境的 StageⅣD、StageⅣE、StageⅣF、StageⅣG 沉积地层向西北方向直接超覆于 StageⅣC 及更老的深海相沉积物之上。因此, 构造运动和地貌控制了盆地内主要烃源岩和储集层的分布。

3.2 构造控制浊流储集层的分布

在中到晚中新世的 StageⅣD 和 StageⅣC 进积期间, 陆架边缘发生滑塌, 将大量沉积物带入深水环境而形成浊流沉积, 这些滑塌浊流沉积在西北沙巴南部沿 Morris 断层分布, 在北部沿 Bunbury—St Joseph 山脉分布。

3.3 构造作用对圈闭类型的控制

西北沙巴盆地内发育的油气圈闭与盆地内各个不整合时期的变形作用有关。

(1) 与晚中新世浅部区域不整合有关的变形

在与浅部区域不整合有关的转换挤压作用下发生厚皮变形, 形成了被宽缓向斜分隔的紧闭背斜—隔档式复合褶皱圈闭。

(2) 与早上新世 HorizonⅡ不整合有关的变形

受西北—东南向挤压作用的影响, 发生区域性的厚皮和薄皮构造变形, 形成以页岩底辟为核部的高闭合度背斜以及三角洲生长断层控制的滚动背斜圈闭。

(3) 与晚上新世 HorizonⅢ不整合有关的变形

受与此次不整合有关的构造运动的影响, 深部南北向的扭动断层再次活动, 使得早期的紧闭背斜被抬升而遭受剥蚀。同时, 也使早期生长断层发生反转, 从而形成与反转构造作用有关的构造圈闭。

4 结论与认识

(1) 西北沙巴盆地发育多套烃源岩和储集层: 烃源岩以 StageⅣA 和 StageⅣD 泥页岩质量最好, 且各构造区内烃源岩的成熟度不同; 储集层主

要为 StageⅣA、StageⅣC、StageⅣD 发育的碎屑岩地层, 尤以 StageⅣA 下砂岩单元构成的储集层最为重要; 盆地缺乏区域性盖层, 以层内泥页岩为主要盖层。

(2) 盆地发育 3 个储盖组合: 下储盖组合以下砂岩单元为储集层; 上储盖组合以上砂岩单元为主要储集层; 深水储盖组合以深水浊流沉积为储集层, 三者均以层内页岩或泥岩为主要盖层。

(3) 构造运动和沉积地貌控制了盆地内烃源岩、储集层的分布; 不同时期不同构造区域内的构造变形作用控制了不同圈闭、油气藏的形成与分布。

参考文献:

- [1] 张 翀, 吴世敏, 丘学林. 南海南部海区前陆盆地形成与演化[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2007, 27(1): 61-70.
- [2] Abbott W O, Alder K E, Boodoo W, et al. North Borneo regional study, offshore Sabah[R]. Unpublished Report by Occidental Malaysia, Inc., PETRONAS Exploration Dept. Report No. ER/OXY.2. 1990: 90-102.
- [3] Mazlan B H M, Leong K M, Azlina A. The Petroleum Geology and Resources of Malaysia [M]. Kuala Lumpur: Petronas, 1999: 499-542.
- [4] 张厚福, 方朝亮, 高先志, 等. 石油地质学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999: 228-271.
- [5] Tan D N K, Lamy J M. Tectonic evolution of the NW Sabah continental margin since the Late Eocene[J]. Bulletin of the Geological Society of Malaysia, 1990, 27: 241-260.
- [6] 张以明, 王余泉, 刘井旺, 等. 冀中坳陷复杂断块油藏成藏模式研究[J]. 中国石油勘探, 2006(2): 15-18.
- [7] 宋 岩, 戴金星, 戴春森, 等. 我国大中型气田主要成藏模式及其分布规律[J]. 中国科学 D 辑, 1996, 26(6): 499-503.
- [8] 解习农, 李思田, 胡祥云, 等. 莺歌海盆地底辟带热流体输导系统及其成因机制[J]. 中国科学 D 辑, 1999, 29(3): 247-256.
- [9] 何登发. 不整合面的结构与油气聚集[J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(2): 142-149.
- [10] 宋国奇, 卓勤功, 孙 莉. 济阳坳陷第三系不整合油气藏运聚成藏模式[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(6): 716-720.
- [11] 吴孔友, 查 明, 肖敦清, 等. 黄骅坳陷埕北断坡不整合特征与油气成藏[J]. 古地理学报, 2008, 10(5): 545-554.
- [12] 付 广, 付晓飞. 断裂输导系统及其组合对油气成藏的控制作用[J]. 世界地质, 2001, 20(4): 344-349.

HYDROCARBON GEOLOGY IN NW SABAH BASIN AND CONTROLLING FACTORS ON HYDROCARBON ACCUMULATION

MA Liangtao¹, WANG Chunxiu², NIU Jiayu¹, ZHENG Qiugen³, LEI Baohua⁴

(1 Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Beijing 100083, China;

2 Research Center, CNOOC, Beijing 100027, China; 3 College of Ocean Science, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 4 Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266071, China)

Abstract: The NW Sabah Basin is one of the major exploration targets in Southeast Asia. With hydrocarbon geological theory as the guide, the distribution and maturity of source rocks, reservoirs, cap rocks and traps in different tectonic zones are studied, and the main controlling factors on hydrocarbon accumulation also discussed in this paper, on the basis of structural and stratigraphic studies. It is proved that the mudstones and shale in the Stage IV are the main source rocks and the main clastic reservoirs are provided by the Lower Sandstone Unit of Stage IV A, the Upper Sandstone Unit of Stage IV C and IV D, and the turbidites of Stage IV C and IV D. Three reservoir-seal combinations, i. e. the lower, upper, and deep-water turbidite fan combinations, have been identified, and the lower one is best among the three. Source rocks and reservoirs are distributed in different tectonic areas under the control of tectonics and palaeogeography. Various traps are developed in different tectonic areas by the distinct deformation effect, which controls as well the formation and distribution of oil accumulation in the basin.

Key words: NW Sabah Basin; hydrocarbon properties; reservoir-seal combination; controlling factors

(上接第 29 页)

FEATURES OF MIGRATION SYSTEM IN XIHU SAG AND ITS CONTROL ON HYDROCARBON ACCUMULATION

XU Fa, ZHANG Jianpei, ZHANG Tian, ZHANG Shaoliang, YU Yifan, TANG Xianjun

(Shanghai Branch of CNOOC Ltd., Shanghai 200030, China)

Abstract: The migration system, as one of the key research targets in oil and gas exploration, has been studied in the Xihu Sag, the East China Sea Shelf Basin. Fault, sandstone and unconformity, the basic types of migration system in the Xihu Sag, always work together vertically and laterally to form the migration network for a hydrocarbon accumulation. According to the spatial and temporal relations of the basic elements of fault, sandstone and unconformity, 4 kinds of migration system are recognized in the Xihu Sag. They are the terrace-like migration system along a forward fault; dome-like migration system along a reversed fault, “Y”-type and “T”-type of migration systems along an adjustment fault. The migration system is a controlling factor on hydrocarbon accumulation. Firstly, it will decide the distribution patterns of hydrocarbon accumulation strata. Secondly, the geological factors of the migration system will control over the distribution pattern of hydrocarbon accumulations.

Key words: Xihu Sag; migration system; reservoir; East China Sea shelf