



南海南部海陆过渡相烃源岩的两类分布模式

兰 蕾, 李友川, 王一博

Two distribution patterns of the marine-continental transitional source rocks in the southern South China Sea

LAN Lei, LI Youchuan, and WANG Yibo

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16562/j.cnki.0256-1492.2021011802>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

北康盆地基底卷入断层特征及其对南海南部构造演化的启示

Features of the basement-involved faults in the Beikang Basin and their implications for the tectonic evolution of the southern South China Sea

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(4): 116



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2021011802

南海南部海陆过渡相烃源岩的两类分布模式

兰蕾, 李友川, 王一博

中海油研究总院有限责任公司, 北京 100028

摘要: 位于南海南部的曾母盆地和文莱-沙巴盆地是南海中南部油气资源最为富集的两个盆地, 可采储量相当, 但含油气性和油气分布差异巨大。本文在油源对比的基础上, 结合古气候、古植被、沉积演化与沉积相带差异, 总结了曾母盆地和文莱-沙巴盆地海陆过渡相烃源岩的分布模式。研究认为, 曾母盆地近岸一侧原油和文莱-沙巴盆地原油为煤系烃源岩来源, 曾母盆地远岸一侧原油为陆源海相烃源岩来源。受古气候、古植被控制, 煤系烃源岩具有较强生油能力, 受沉积相带控制, 曾母盆地和文莱-沙巴盆地海陆过渡相烃源岩存在两种分布模式, 分别为“三角洲煤系-陆源海相”烃源岩分布模式和“三角洲-浊积含煤”分布模式。烃源岩分布模式进而控制了油气分布, 曾母盆地的原油集中分布于三角洲平原及近岸地区, 而文莱-沙巴盆地煤系烃源岩分布受浊积岩分布控制而广泛分布, 这可能是文莱-沙巴盆地满盆富油的重要原因。

关键词: 海陆过渡相; 烃源岩; 分布模式; 南海南部

中图分类号: P736

文献标识码: A

Two distribution patterns of the marine-continental transitional source rocks in the southern South China Sea

LAN Lei, LI Youchuan, WANG Yibo

CNOOC Research Institute Ltd., Beijing 100028, China

Abstract: As the largest oil and gas basins in the Southern South China Sea, the Zengmu and Baram-Sabah basins have roughly similar recoverable reserves but great differences in oil and gas ratio, and distribution patterns. Based on the data of oil source correlation, combined with the data of paleoclimate, paleovegetation, depositional evolution and facies differentiation, two distribution patterns for marine-continental transitional source rocks has been concluded by this paper. It suggests that the oil from shore side of the Zengmu Basin and the Baram-Sabah Basin are mainly generated from coaly source rocks, while the oil from offshore Zengmu Basin from terrestrially sourced marine deposits. Up to the paleoclimate and paleovegetation, the coaly source rock has rather strong ability of oil generation. Based on the depositional facies of source rocks, two distribution patterns for the marine-continental transitional source rocks have been recognized by the authors for the first time, which are the “deltaic coaly facies -terrestrially sourced marine facies source rocks” and the “deltaic- turbidite -coaly source rocks”. Under the control of the type of source rocks, the oil in the Zengmu Basin is enriched in the delta plain and inshore region, while the oil in the Baram-Sabah Basin has a wide coverage.

Key words: marine-continental transitional facies; source rock; distribution pattern; the southern South China Sea

南海是西太平洋最大的边缘海之一, 南海中南部是指北纬 17°05' 以南的海域, 可进一步细分为西部盆地群、中部盆地群和南部盆地群, 西部盆地群包括万安盆地和中建南盆地, 中部盆地群包括南薇西盆地、北康盆地、南沙海槽盆地、礼乐盆地和巴拉望盆地, 南部盆地群包括曾母盆地和文莱-沙巴盆地(图 1)^[1-2], 其中南部盆地群油气资源最为富集。IHS 数据库 2012 年数据表明, 曾母盆地和文莱-沙巴盆地 2P 油气可采储量相当, 分别为 29.1 亿 t 和 24.9 亿 t, 占南海中南部可采储量的 92%, 但盆地间

的含油气性差异巨大, 曾母盆地以产气为主, 气油比为 6 : 1, 文莱-沙巴盆地以产油为主, 气油比为 2 : 3。盆地内油气分布也极不均衡, 曾母盆地东巴林坚拗陷富集了盆地 70% 以上的可采原油, 而天然气则集中分布在南康台地和康西拗陷, 文莱-沙巴盆地油气则均匀分布在盆地内。Wan Hasiah Abdullah 团队对曾母盆地和文莱-沙巴盆地煤系烃源岩做了较为深入的研究, 主要从煤相、组分等方面分析了成煤环境、有机质母质来源和生油能力^[3-6], 还有很多国内外学者对曾母盆地和文莱-沙巴盆地的油气

资助项目: “十三五”国家科技重大专项“海洋深水油气勘探关键技术”(2016ZX05026-004-004)

作者简介: 兰蕾(1987—), 女, 高级工程师, 主要从事烃源岩及油气地球化学研究工作, E-mail: lanlei@cnooc.com.cn

收稿日期: 2021-01-18; 改回日期: 2021-05-11. 周立君编辑

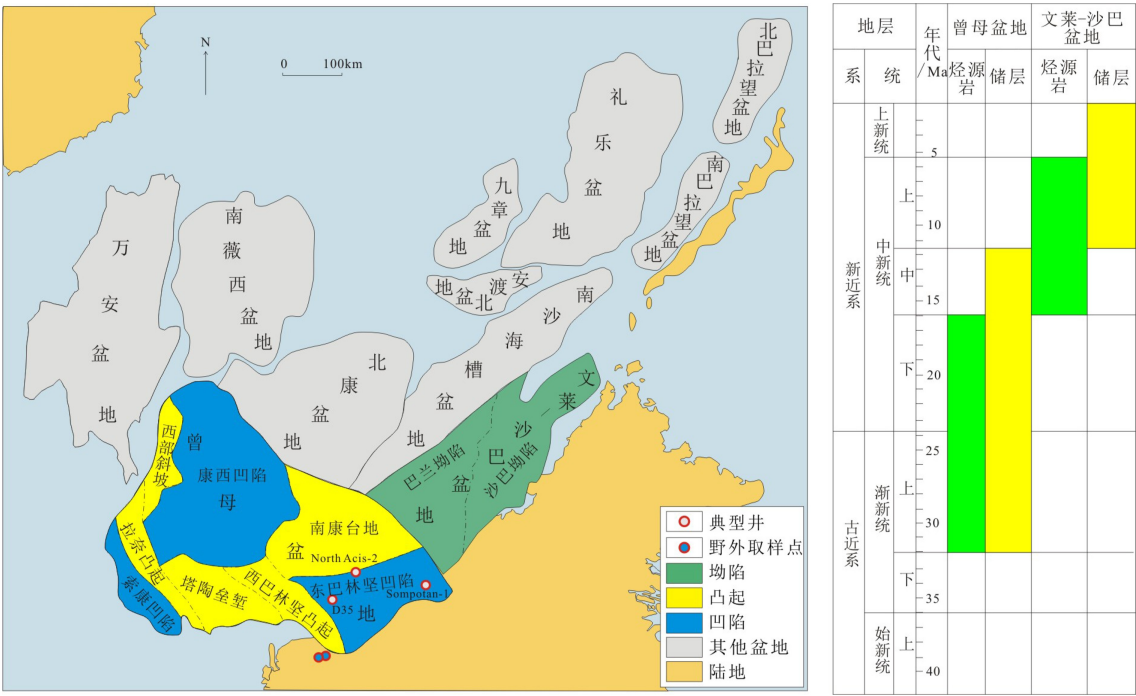


图 1 研究区位置及地层对比图

Fig.1 The location map and stratigraphic chart of the research area

开展地球化学分析^[7-10],但鲜有针对两个盆地油气性差异巨大和油气分布不均的解释报道。本文在前人研究成果的基础上,从古气候、古植被、沉积演化与沉积相带差异等因素综合考虑,总结了两个盆地海陆过渡相烃源岩的发育及分布模式,揭示了其对盆地油气分布的影响,以期对南海中南部油气勘探起到一定指导作用。

1 研究背景

曾母盆地和文莱-沙巴盆地同位于南海南部加里曼丹岛陆架之上。渐新世以来,曾母盆地和文莱-沙巴盆地近岸持续发育大型三角洲,构造活动弱,发育自生自储的成藏组合,远岸构造活动强,主要发育下生上储式碳酸盐岩成藏组合。对于曾母盆地,渐新世至早中新世发育的潮上三角洲平原和潮间红树林提供了烃源岩发育的有机质来源,从而在三角洲发育煤系烃源岩,并为近海提供了充足的陆源有机质,形成了陆源海相烃源岩。文莱-沙巴盆地与曾母盆地烃源岩具有相似性,但由于南沙地块与加里曼丹岛的碰撞,文莱-沙巴盆地渐新统发生褶皱变质,渐新统烃源岩基本丧失生烃能力,因此中新统是文莱-沙巴盆地主要烃源岩发育层系。与曾母盆地类似,文莱-沙巴盆地中新统烃源岩也包括煤系烃源岩和陆源海相烃源岩。虽然在相同沉积背景下,发育相同类型的烃源岩,但曾母盆地与文莱-沙

巴盆地却有着截然不同的油气分布特征,究其根本,烃源岩分布模式是重要的控制因素。

2 南海南部盆地烃源岩差异

曾母盆地钻井揭示的数据表明,煤系烃源岩热解烃含量(S_2)最高可达 291 mg/g,具有较大生烃潜力,而海相烃源岩有机碳含量(TOC)为 0.3%~5.5%,其中近一半的样品 TOC 低于 1.0%, S_2 普遍小于 10 mg/g,绝大多数小于 2 mg/g,生烃潜力明显弱于煤系,属于中等—好烃源岩。文莱-沙巴盆地钻井的数据也证实其煤系烃源岩具有较大生烃潜力,据 IHS(2011)数据,中新统煤、炭质泥岩和泥岩的有机碳含量平均为 70.02%、17.89%、1.74%;生烃潜量(S_1+S_2)平均为 289.41、26.92 和 2.23 mg/g,煤的生烃能力最强,炭质泥岩次之,泥岩生烃能力较差。值得说明的是,受到资料的不完整性制约,这里的泥岩包括了煤系烃源岩中的泥岩和海相泥岩,但仍能反映出文莱-沙巴盆地煤系烃源岩生烃潜力明显优于海相烃源岩。

虽然两个盆地钻遇的煤系烃源岩质量相似,但钻井揭示的煤层分布存在显著差别。在曾母盆地,钻井揭示的煤层厚度从盆地边缘向盆地中心减薄,D35 井和 C2 井揭示了渐新世三角洲平原的大量连续煤层,且单层厚度均可达 1 m 以上,自西向东,在三角洲前缘亚相的 North Acis-2 井和 Yu-1 井钻遇的

煤层明显减薄、不连续,在 Sompotan-1 和 Serunai 井则没有揭示煤层^[1](图 2)。而在文莱-沙巴盆地,即使在半深海环境的远岸带都揭示有煤层(图 3),反映了曾母盆地和文莱-沙巴盆地海陆过渡相煤系烃源岩的发育及分布模式存在显著差异。

这种显著差异从曾母盆地和文莱-沙巴盆地已

发现原油的地化特征上也能体现。在东南亚地区,渐新统至中新统时期,充沛的陆源高等植物是烃源岩有机质的重要来源,双杜松烷指示高等植物中的达玛树脂化合物,而树脂体抗降解能力最差,只能在原地埋藏或者微距离搬运埋藏的煤系地层中富集,因此双杜松烷一直是东南亚煤成油的典型鉴别

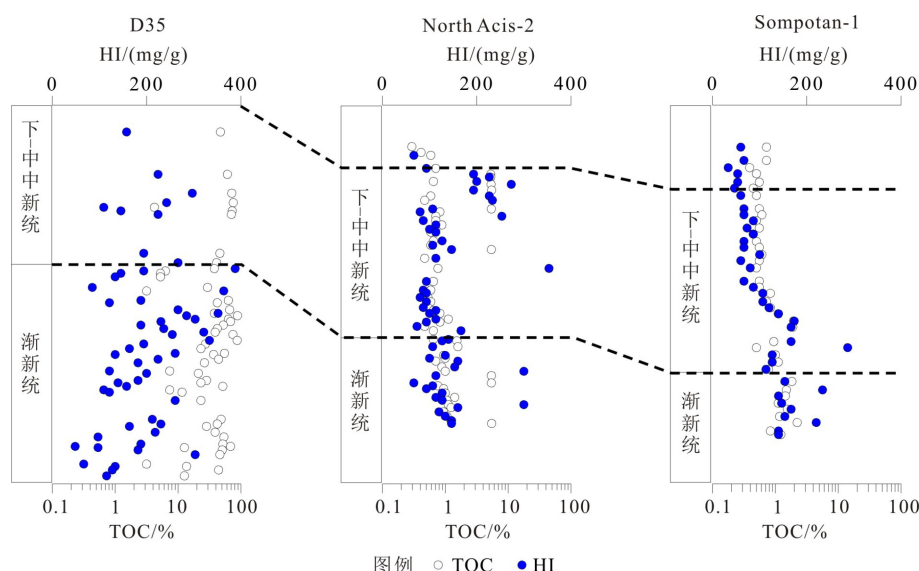


图 2 曾母盆地不同沉积相带烃源岩地球化学剖面

Fig.2 Geochemical profiles of source rocks in different sedimentary facies in Zengmu Basin

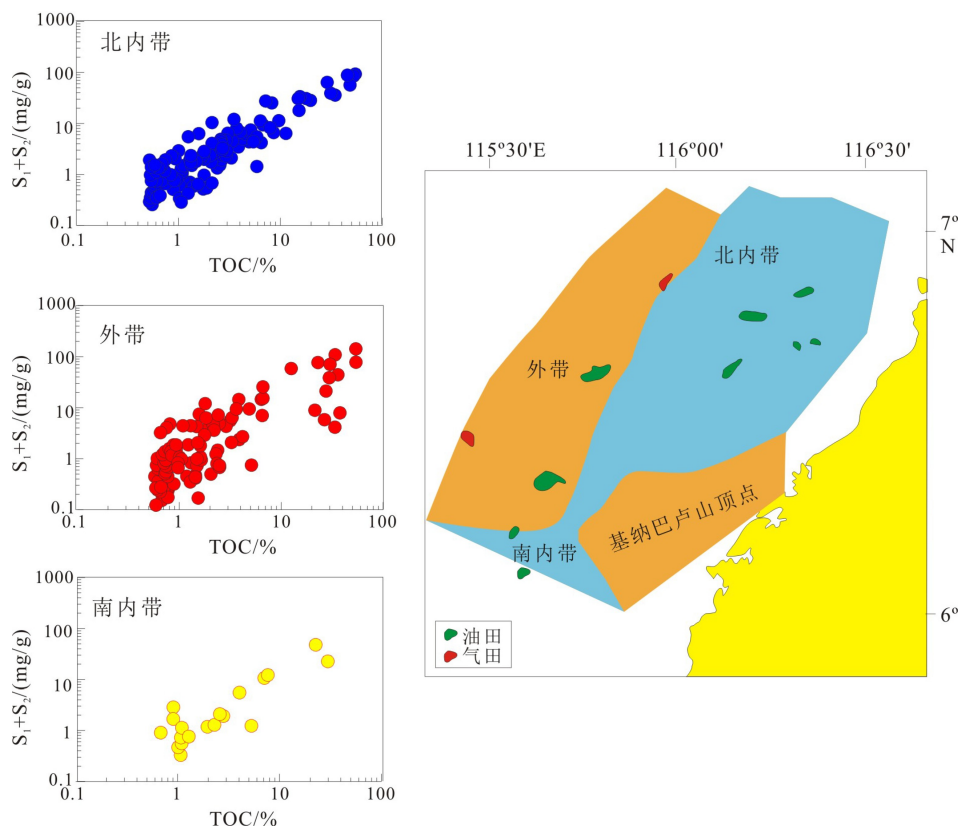


图 3 沙巴地区不同区带揭示的烃源岩生烃潜量

Fig.3 Hydrocarbon generation potential of source rocks for different belts of Sabah area

标志^[12]。南海南部渐新统一中新统海陆过渡相煤系烃源岩与陆源海相烃源岩在双杜松烷含量上存在明显差别,海陆过渡相煤系烃源岩的 $T/C_{30}H$ 较高,为 0.6~2.0,而陆源海相烃源岩的 $T/C_{30}H$ 均小于 0.6(图 4)。

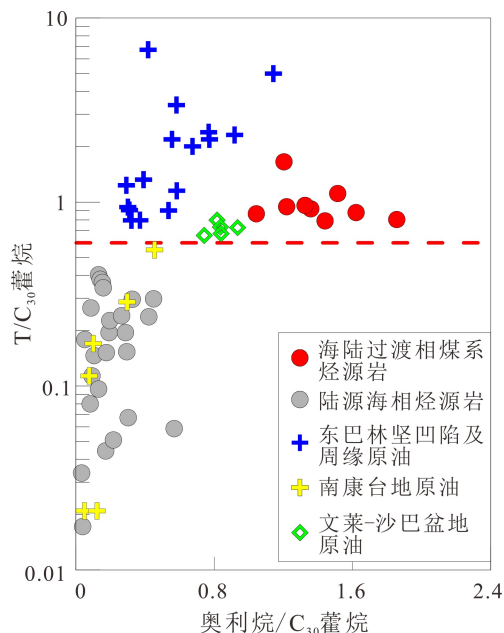


图 4 曾母盆地和文莱-沙巴盆地油岩对比

Fig.4 Correlation of oil source rocks between Zengmu and Baram-Sabah Basins

根据这项指标,曾母盆地已发现原油可分为两种类型,东巴林坚凹陷及周缘原油具有明显较高的 $T/C_{30}H$ 指标,为 0.6~8,与海陆过渡相烃源岩的特征一致,为海陆过渡相烃源岩来源原油,南康台地(尤其是靠近岸一侧)原油的 $T/C_{30}H$ 均小于 0.6,最低仅为 0.02,为陆源海相烃源岩来源原油,平面上由陆向海,陆源海相烃源岩贡献增加。这两类原油的分布也佐证了盆地西南部主要发育海陆过渡相煤系烃源岩,而盆地东南部地区主要发育海相烃源岩。文莱-沙巴盆地已发现原油在生物标志化合物组成上则具有较强相似性,原油的 $T/C_{30}H$ 均大于 0.6,反映为海陆过渡相煤系烃源岩来源,这与远岸带也揭示到煤层的结果十分吻合。

3 烃源岩发育的主控因素

3.1 古气候与古植被

南海南部渐新世—中新世海相泥岩野外露头样品的孢粉中检测出了大量诸如海桑科之弗氏粉(*Florschuetzia*)、水龙骨科之水龙骨单缝孢(*Polypodia-*

ceasporites)、棕榈科之双沟粉(*Dicolpopollis*)、椴树科之椴粉(*Tiliaepollenites*)等指示热带、亚热带地区的孢粉化石,揭示了当时的炎热、湿润气候。其中重要分子弗氏粉的含量最高,其母体植物海桑属为热带红树林植物(图 5),指示渐新世—中新世南海南部滨海的热带红树林植物繁盛。

红树林植物喜盐,生长在陆地与海洋交界的滩涂地带,根系异常发达。刘焕杰等对现代红树林植物成炭的不同位置的泥炭剖面进行显微组分研究^[13],认为泥炭坪成煤(原地煤)具有以下显微组分特征:以镜质组为主,但壳质组相对丰富,平均可达 32%;镜质组以基质镜质体和团块为主;壳质组以角质体、根皮体、藻类体、沥青质体为主。以上显微组分特征表明,红树林来源的泥炭较一般高等植物来源泥炭具有明显高的生烃潜力,尤其是生油潜力。

曾母盆地东巴林坚坳陷渐新统煤样和文莱-沙巴盆地中新统煤样呈现相似的组分特征:以镜质组含量为主,其中主要为基质镜质体和均质镜质体,壳质组平均分别可达 31% 和 30%^[2,14]。前人更是在曾母盆地煤样中观察到树皮鞣质体,是红树林成煤的直接证据^[15]。此次在沙捞越地区采集到的渐新统一中新统野外露头样品中检出的海桑科之弗氏粉也证实了南海南部红树林是重要的成煤母质。因此南海南部渐新统一中新统煤系烃源岩因其有机质以红树林来源为主而表现出具有较强的生油能力,是该地区重要的生油岩。

3.2 沉积相带

沉积环境分析表明,曾母盆地和文莱-沙巴盆地渐新统和中新统三角洲发育的期次多,规模巨大^[16-17]。曾母盆地上渐新统沉积时期,其南部发育两个巨型三角洲,三角洲面积分别为 25 700 和 22 300 km²;下中新统沉积期,其南部发育的两个巨型三角洲面积分别为 34 500 和 29 000 km²;中中新统沉积期,其南部发育的两个巨型三角洲面积分别为 33 200 和 38 800 km²。文莱-沙巴盆地则发育三期巨型三角洲,早期为冠军三角洲,中期为梅丽干三角洲,晚期为巴兰三角洲,单期三角洲的规模均达到 20 000 km² 以上(图 6)。三角洲平原的沼泽微相由于排水不良,处于停滞的还原环境,植物碎片原地沉积会发生泥炭化,从而形成高有机质丰度的煤层,因此这些巨型三角洲的发育提供了很好的成煤环境,是煤系烃源岩重要的分布区。同时,三角洲作用下,陆源高等植物碎片和陆源有机质还会被带到滨海、浅海,甚至半深海^[18-19],为海相烃源岩的形成奠定了很

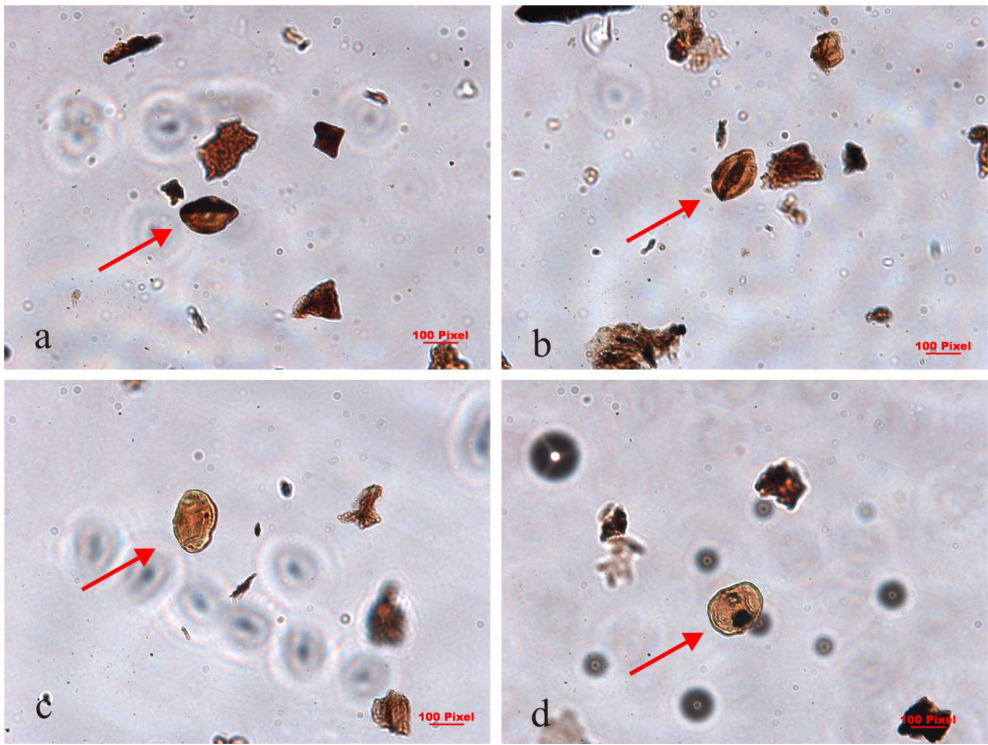


图 5 沙撈越地区渐新统一中新统野外露头样品检出的弗氏孢粉
a 和 b 为半瓣弗氏粉, c 和 d 为光极弗氏粉。

Fig.5 The florschuetzia detected on the Oligocene-Miocene outcrops in Sarawak
Florschuetzia semilobata is shown in a and b, *Florschuetzia levipoli* is shown in c and d.

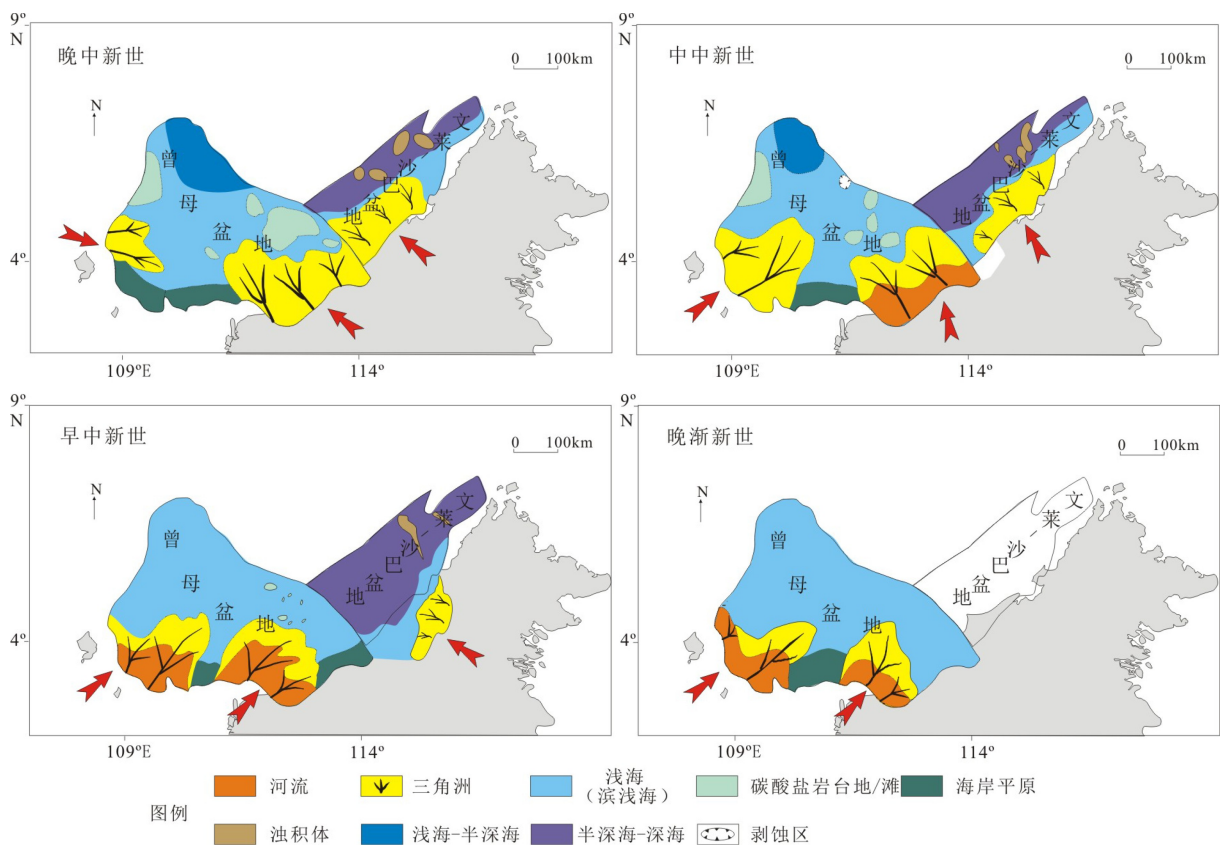


图 6 曾母和文莱-沙巴盆地渐新世—中新世沉积环境演化
Fig.6 Sedimentary facies of the Zengmu and Baram-Sabah Basins in Miocene-Oligocene periods

好的物质基础。

但曾母盆地和文莱-沙巴盆地由于古地理差异,其海陆过渡相煤系烃源岩的分布也存在差异。曾母盆地由于陆架宽、坡度缓,浊积岩不发育,三角洲形成的煤系烃源岩主要分布于盆地南部边缘,而文莱-沙巴盆地陆架较窄,三角洲沉积物不稳定,极易在盆地内形成浊积沉积,这些浊积岩将三角洲形成的含煤沉积输送到陆坡或深水沉积下来,导致了不但盆地边缘的三角洲富含煤系烃源岩,而且盆地内部的浊积岩中也发育煤系烃源岩的这种“满盆含煤”的现象。

4 海陆过渡相烃源岩分布模式差异

曾母盆地和文莱-沙巴盆地在成煤母质上相同,因此,两个盆地发育的海陆过渡相煤系烃源岩均具有较强生油能力,但受地质背景和沉积环境差异控制,其煤系烃源岩存在不同的分布模式。

4.1 “三角洲煤系-陆源海相”烃源岩分布模式

曾母盆地烃源岩属于“三角洲煤系-陆源海相”烃源岩分布模式(图7),海陆过渡相煤系烃源岩发育和分布均受控于三角洲,主要分布在三角洲平原亚相,滨浅海—半深海地区则发育陆源海相烃源岩。这种烃源岩分布模式具有分带性,三角洲体系发育的煤系烃源岩,其有机质丰度高,生烃潜量高,因为更加富氢,具有很强的生油能力,前三三角洲—滨浅海发育陆源海相泥质烃源岩,有机质丰度明显较煤系烃源岩低,且由于藻类不发育,有机质以高等植物来源为主,相对贫氢,以生气为主。受海

陆过渡相煤系烃源岩分布的控制,曾母盆地原油大多集中在东巴林坳陷及其周缘。

4.2 “三角洲-浊积含煤”烃源岩分布模式

文莱-沙巴盆地烃源岩属于“三角洲-浊积含煤”烃源岩分布模式(图8),海陆过渡相煤系烃源岩发育受控于三角洲,而分布受控于浊积岩。文莱-沙巴盆地不仅近岸三角洲沉积区发育煤系烃源岩,而且由于中新世沉积时期物源十分充足,三角洲规模巨大,陆架坡折带较窄,导致深水浊积沉积十分发育^[20]。大量高等植物叶片及植物碎屑通过崩塌或者浊流的形式搬运至深水区,并伴随浊积岩埋藏而保存下来,形成富有机质的浊积岩,早期形成的富氢煤层也会通过浊流的形式搬运至深水区再次伴随浊积岩埋藏,形成夹杂在浊积岩中的含煤浊积岩。在沙巴 Labuan 地区野外露头观察到的夹杂在大套砂岩中、缺乏根土岩的透镜状煤层就是煤层被搬运的直接证明^[21]。在这种模式控制下,文莱-沙巴盆地富氢煤系广泛分布,在三角洲体系下发育的煤系烃源岩,有机质丰度高、富氢,具有很强生油能力;在陆坡—半深海地区,浊积岩中的煤层与三角洲体系的煤层一样,也具有很强的生油能力。全盆地的烃源岩地球化学特征一致,均表现出很强的生油能力,且在盆地内广泛分布,这是文莱-沙巴盆地富油的重要原因。

5 南海南部烃源岩分布规律

基于对曾母盆地和文莱-沙巴盆地烃源岩和油气地球化学特征的系统剖析,认为渐新世—中新世

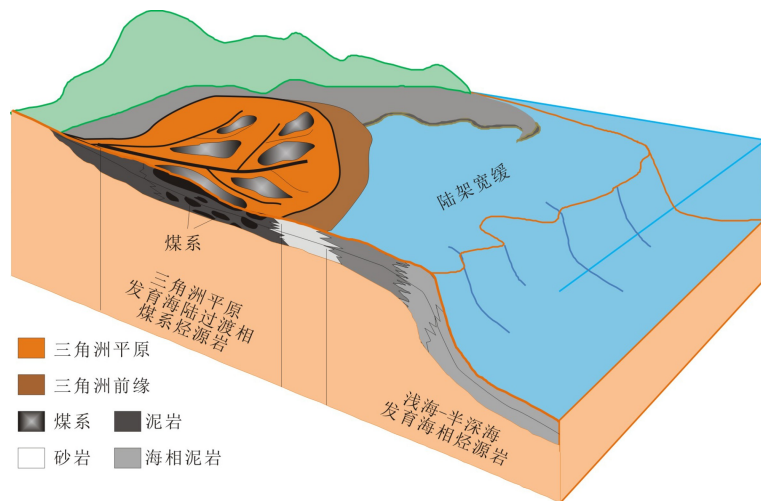


图7 曾母盆地“三角洲煤系-陆源海相”烃源岩分布模式

Fig.7 The “deltaic coaly facies -terrestrially sourced marine facies” source rocks model in Zengmu Basin

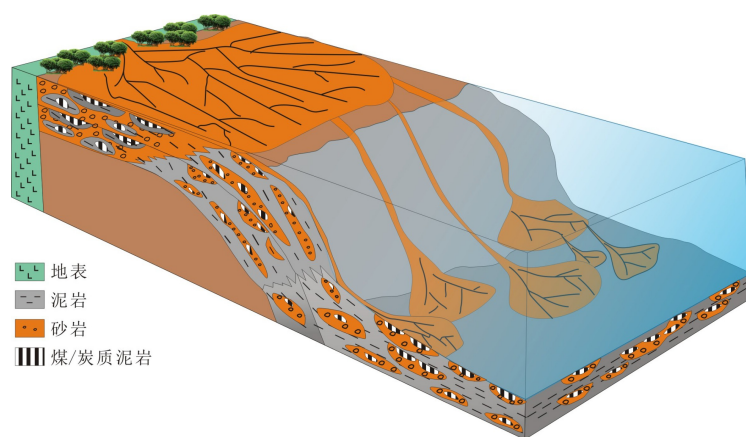


图 8 文莱-沙巴盆地“三角洲-浊积含煤”烃源岩分布模式

Fig.8 The “deltaic-turbidite-coaly source rocks” model in Baram-Sabah Basin

三角洲-浅海沉积体系下的海陆过渡相煤系烃源岩和陆源海相烃源岩的发育严格受控于沉积相带。在曾母盆地,受控于三角洲分布,海陆过渡相煤系烃源岩主要分布在盆地南缘,同时发育较好的陆源有机质贡献为主的海相烃源岩,而文莱-沙巴盆地不但在近岸三角洲发育煤系烃源岩,在浊积体中同样发育煤系烃源岩,由于浊积体广泛发育,相应的煤系烃源岩分布也十分广泛。由此,笔者推测在文莱-沙巴盆地北部的南沙海槽盆地可能具有比较好的烃源岩发育。

6 结论

(1)受到古气候、古植被控制,南海南部曾母盆地和文莱-沙巴盆地烃源岩有机质虽以高等植物来源为主,但相对富氢,具有较强生油能力。

(2)受沉积演化和沉积相带差异影响,曾母盆地和文莱-沙巴盆地海陆过渡相煤系烃源岩具有不同的发育与分布模式,曾母盆地为“三角洲煤系-陆源海相”烃源岩分布模式,从三角洲平原到半深海,烃源岩有机质丰度和类型依次变差,海陆过渡相煤系烃源岩局限分布在三角洲平原,文莱-沙巴盆地为“三角洲-浊积含煤”烃源岩分布模式,不但陆上的三角洲相含煤,受浊积影响,陆地煤和富氢陆源有机质夹杂在砂岩中被浊流带到半深海、甚至深海沉积,造成海陆过渡相煤系烃源岩“满盆分布”的现象。

(3)海陆过渡相烃源岩分布模式控制了油气平面分布。东巴林坳陷煤系烃源岩分布在三角洲,因此曾母盆地已发现原油集中分布在东巴林坳陷及其周缘,而文莱-沙巴盆地煤系烃源岩伴随浊积体“满盆分布”,因此文莱-沙巴盆地已发现原油亦

“满盆分布”。

参考文献 (References)

- [1] 赵志刚. 南海中南部主要盆地油气地质特征[J]. 中国海上油气, 2018, 30(4): 45-56. [ZHAO Zhigang. Hydrocarbon geology characteristics of the main basins in mid-southern South China Sea [J]. China Offshore Oil and Gas, 2018, 30(4): 45-56.]
- [2] 王龙, 谢晓军, 刘世翔, 等. 南海南部主要盆地油气分布规律及主控因素[J]. 天然气地球科学, 2017, 28(10): 1546-1554. [WANG Long, XIE Xiaojun, LIU Shixiang, et al. Analysis of hydrocarbon accumulation and diversity of the major basins in mid-southern part of the South China Sea [J]. Natural Gas Geoscience, 2017, 28(10): 1546-1554.]
- [3] Abdullah Wan Hasiah, Chai Peng Lee, Patrick Gou, et al. Coal-bearing strata of Labuan: Mode of occurrences, organic petrographic characteristics and stratigraphic associations [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2013, 76(20): 334-345.
- [4] Say-Gee Sia, Wan Hasiah Abdullah, Zainey Konjing, et al. The age, palaeoclimate, palaeovegetation, coal seam architecture/mire types, paleodepositional environments and thermal maturity of syn-collision paralic coal from Mukah, Sarawak, Malaysia [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2014, 81(25): 1-19.
- [5] Olayinka S Togunwa, Wan Hasiah Abdullah, Mohammed Hail Hakimi, et al. Organic geochemical and petrographic characteristics of Neogene organic-rich sediments from the onshore West Baram Delta Province, Sarawak Basin: Implications for source rocks and hydrocarbon generation potential [J]. Marine and Petroleum Geology, 2015.
- [6] Wan Hasiah Abdullah. Organic petrological characteristics of limnic and paralic coals of Sarawak [J]. Bulletin of the Geological Society of Malaysia, 2002(45): 65-69.
- [7] Curiale J, Morelos J, Lambiasi J, et al. Brunei Darussalam: Characteristics of selected petroleum and source rocks [J]. Organic Geochemistry, 2000, 31(12): 1475-1493.
- [8] 王登, 徐耀辉, 文志刚, 等. 曾母盆地东巴林坳陷烃源岩评价及油

- 源探讨[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2013, 32(5): 583-590.
- [WANG Deng, XU Yaohui, WEN Zhigang, et al. Evaluation of source rocks and oil-source correlation in east Balingian depression of Zengmu Basin [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2013, 32(5): 583-590.]
- [9] Awang Sapawi Awang Jamil, Mona Liza Anwar, Eric Seah Peng Kiang. Geochemistry of selected crude oils from Sabah and Sarawak [J]. Geol. Soc. Malaysia, 1991(28): 123-149.
- [10] 张功成, 李友川, 刘世翔, 等. “源热共控”中国海油气田“近岸油、远岸气”有序分布[J]. 中国石油勘探, 2014, 19(5): 1-22. [ZHANG Gongcheng, LI Youchuan, LIU Shixiang, et al. “Co-control of source rock and heat” in orderly distribution of “near-shore oil and far-shore gas” in China’s offshore and adjacent area [J]. China Petroleum Exploration, 2014, 19(5): 1-22.]
- [11] Leong K M. The Petroleum Geology and Resources of Malaysia[M]. Kuala Lumpur: PetroNas (Petroleum Nasional Berhad), 2000.
- [12] Aarssen B G K V, Cox H C, Hoogendoorn P, et al. A cadinene biopolymer in fossil and extant dammar resins as a source for cadinanes and bicadinanes in crude oils from South East Asia [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1990, 54(11): 3021-3031.
- [13] 刘焕杰, 桑树勋, 施健. 成煤环境的比较沉积学研究: 海南岛红树林潮坪与红树林泥炭[M]. 中国矿业大学出版社, 1997: 105-113. [LIU Huanjie, SANG Shuxun, SHI Jian. Comparative Sedimentology Research on Coal-Forming Environments: Mangrove Tidal Flats and Mangrove Peats in The Hainan Island of The South China Sea, China[M]. China University of Mining and Technology Press, 1997: 105-113.]
- [14] 兰蕾. 南海南部盆地烃源岩特征及其对含油气性的影响[J]. 地质科技情报, 2019, 38(4): 23-29. [LAN Lei. Controlling factors for different hydrocarbon distribution in Basins in Southern South China Sea [J]. Geological Science and Technology Information, 2019, 38(4): 23-29.]
- [15] Meor H Amir Hassan, Howard D Johnson, Peter A Allison, et al. Sedimentology and stratigraphic development of the Upper Nyalau Formation (Early Miocene), Sarawak, Malaysia: A mixed wave- and tide-influenced coastal system [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2013, 76(1): 301-311.
- [16] 郭佳, 谢晓军, 刘世翔, 等. 南海曾母盆地新生代沉积体系特征[J]. 中国石油勘探, 2016, 21(4): 99-107. [GUO Jia, XIE Xiaojun, LIU Shixiang, et al. Cenozoic sedimentary systems in Zengmu Basin, South China Sea [J]. China Petroleum Exploration, 2016, 21(4): 99-107.]
- [17] 刘世翔, 张功成, 赵志刚, 等. 南海构造旋回对曾母盆地油气成藏的控制作用[J]. 中国石油勘探, 2016, 21(2): 37-44. [LIU Shixiang, ZHANG Gongcheng, ZHAO Zhigang, et al. Control of tectonic cycle in South China Sea over hydrocarbon accumulation in the Zengmu Basin [J]. China Petroleum Exploration, 2016, 21(2): 37-44.]
- [18] 张泉兴, 张启明. 莺-琼盆地梅山组海相烃源岩的树脂化合物[J]. 中国海上油气, 1992, 6(3): 1-10. [ZHANG Quanxing, ZHANG Qiming. The marine hydrocarbon source rock’s resinite compounds of Meishan group of Yinggehai-Qiongdongnan Basin [J]. China’s Offshore Oil and Gas (Geology), 1992, 6(3): 1-10.]
- [19] Simoneit B R T. Diterpenoid compounds and other lipids in deep-sea sediments and their geochemical significance [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1977, 41(4): 463-476.
- [20] Andrew B Cullen. Transverse segmentation of the Baram-Balabac Basin, NW Borneo: Refining the model of Borneo’s tectonic evolution [J]. Petroleum Geoscience, 2010, 16(1): 3-29.
- [21] Mohammed Hail Hakimi, Wan Hasiah Abdullah, Say-Gee Sia, et al. Organic geochemical and petrographic characteristics of Tertiary coals in the north-west Sarawak, Malaysia: Implications for palaeoenvironmental conditions and hydrocarbon generation potential [J]. Marine & Petroleum Geology, 2013, 48: 31-46.