

文章编号:1009-2722(2016)12-0016-10

南海西北部莺歌海盆地古近系 烃源条件及石油地质意义

李晓唐^{1,2}, 于书友³, 何家雄^{1,2*}, 据宜文², 张伟^{1,2}

(1 中国科学院广州地球化学研究所边缘海地质重点实验室, 广州 510640;

2 中国科学院大学, 北京 100049; 3 中海油能源发展股份有限公司工程技术湛江分公司, 广东湛江 524057)

摘要: 迄今为止, 莺歌海盆地古近—新近系烃源岩研究及烃源条件分析均主要局限于中新统海相, 而对于古近系尚未涉及。根据莺歌海盆地地质背景及构造沉积演化特征, 首次系统地研究了古近系陆相沉积分布特征及其湖相及煤系烃源岩特点与烃源条件。通过对上覆新近系及第四系海相坳陷沉积较薄、古近系埋藏较浅的盆地西北部临高凸起和盆地周缘斜坡带的地震分析解释和探井钻探结果, 采用地质地球物理与地球化学分析相结合的研究方法, 综合判识和确定了古近系陆相地层及其湖相及煤系烃源岩的存在, 在此基础上深入剖析了古近系烃源条件及其重要的石油地质意义。强调指出, 盆地不同区域古近系陆相烃源岩有机质丰度、生源母质类型及成熟演化程度等, 均存在明显差异。鉴此, 根据古近系陆相烃源岩分布特征及烃源条件的控制影响因素, 初步评价预测了古近系油气藏和古潜山油气藏勘探的有利区域。

关键词: 古近系烃源条件; 古近系油气藏; 古潜山油气藏; 有利油气勘探区; 莺歌海盆地

中图分类号: TE 122 文献标识码: A DOI: 10.16028/j.1009-2722.2016.12003

1 油气勘探及研究概况

莺歌海盆地位于南海北部西北边缘, 盆地总体以菱形带状沿 NNW 向展布, 是南海西北部大陆边缘中非常独特的新生代走滑伸展盆地, 其北部及西北部邻近越南北部大陆, 东北及东南部分别与北部湾盆地及海南岛和琼东南盆地相邻, 西

南部及南部与越南南部大陆架及中建南盆地相隔。盆地主要由莺东斜坡带和中央坳陷带及莺西斜坡带 3 个一级构造单元所构成。其中, 中央坳陷带可进一步划分为河内凹陷、临高凸起及莺歌海凹陷 3 个次一级构造单元。中央泥底辟构造带即处在莺歌海凹陷之中(图 1), 目前勘探发现, 浅层及中深层气藏均主要富集于中央泥底辟带, 油气苗则主要集中在莺东斜坡带中南部, 盆地西北部及西南部越南一侧亦勘探发现了一些油气藏和油气显示^[1,2]。莺歌海盆地油气勘探始于 20 世纪 60 年代初, 迄今为止在中央泥底辟带已勘探发现大量浅层气藏及多个含油气构造, 尤其是近年来在中深层高温高压领域获得了天然气勘探的重大突破, 发现了 DF13-1 及 DF13-2 两个中深层高温超压大气田, 探明天然气储量超过千亿立方米, 展示出盆地中深层高温超压领域巨大的资源潜力和

收稿日期: 2016-08-24

基金项目: 国家自然科学基金(41176052); 中国科学院科技先导项目(XDA03030301)

作者简介: 李晓唐(1989—), 女, 在读硕士, 主要从事海洋地质、有机地球化学与油气勘探综合研究工作。E-mail: lixiaotang@gig.ac.cn

通讯作者: 何家雄(1956—), 男, 博士, 研究员, 主要从事油气勘探与地质综合研究工作。E-mail: hejx@gig.ac.cn

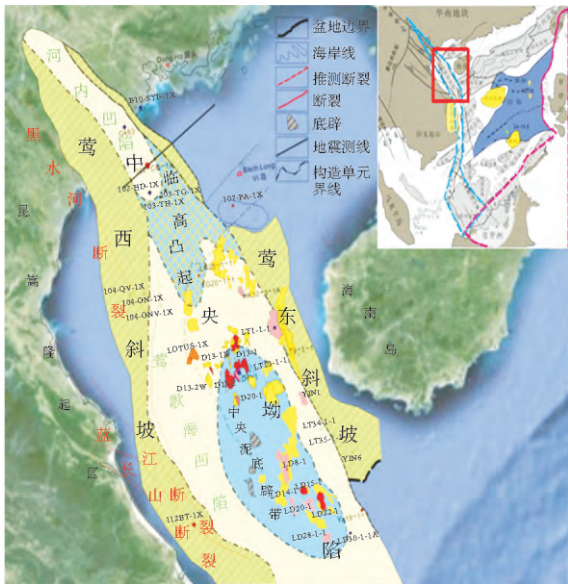


图 1 莺歌海盆地构造地理位置及基本构造单元组成
Fig. 1 Distribution of basic tectonic units in Yinggehai Basin

非常好的勘探前景^[3,4]。然而,必须强调指出,虽然该区近十多年来油气勘探取得了长足的进展和里程碑式的重大突破,但对于其油气藏形成的关键要素——烃源供给条件的分析研究,尚不深入亦不全面系统。由于莺歌海盆地新近系及第四系沉积厚逾万米,钻井揭示深度非常有限(均不超过 6 000 m),往往多只能钻达新近系下中新统三亚组,在盆地主体的中央泥底辟带古近系地层基本未揭示。因此,莺歌海盆地新近、古近系烃源条件分析及烃源岩研究,迄今为止均主要局限于中新统海相烃源岩^[5],而对于下伏于新近系及第四系巨厚海相沉积之下埋藏较深的古近系地层系统及其烃源条件研究甚少,知之甚少。

总之,莺歌海盆地油气勘探多年来虽然获得了长足的进展和里程碑式的重大突破,但对于其油气藏形成的物质基础和关键要素即含油气系统的研究核心——烃源条件尤其是古近系烃源条件的分析研究基本上属于空白,鉴此,将以区域地质背景及构造沉积演化特征的分析研究为基础,结合地震资料解释和少量钻井揭示成果,尤其是盆地西北部及东南部越南方面探井揭示的古近系烃源岩地球化学特征,重点开展古近系烃源条件的综合分析研究,阐明古近系烃源岩地球化学特征及其生烃潜力,深入分析探讨古近系烃源条件及其油气地质意

义,以期对该区进一步油气勘探部署及有利油气富集区带评价优选与勘探目标评价等有所裨益!

2 古近系烃源条件分析

2.1 古近系及其烃源岩存在的证据

莺歌海盆地处在印支与华南地块交汇处,展布于红河断裂带东南端向海域延伸部分,在红河断裂带大规模走滑活动与岩石圈强烈伸展减薄的双重作用下所形成,故盆地具有以新近系及第四系巨厚海相坳陷沉积为主的断坳双层结构特征^[6]。其中,古近纪沉积时期盆地处于裂陷演化阶段,与南海北部大陆边缘其他盆地相同,沉积充填了一套湖相及煤系陆相断陷沉积,但其古近系陆相断陷沉积稍薄;新近纪及第四纪属于盆地裂后热沉降海相坳陷演化阶段,快速沉积充填厚逾万米的海相地层,明显不同于其他相邻盆地(图 2),且在盆地东南部莺歌海凹陷泥底辟异常发育,

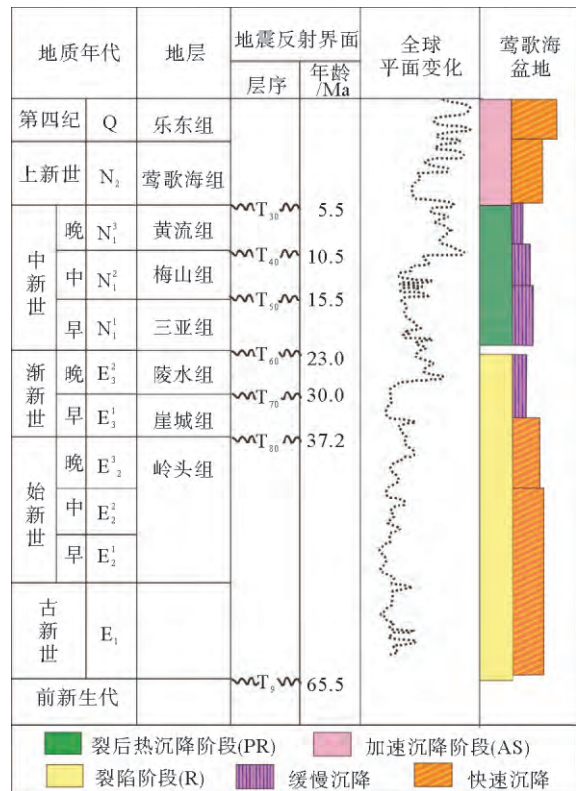


图 2 莺歌盆地地层系统与构造沉积充填特征
Fig. 2 Cenozoic stratigraphy and tectono-sedimentary features of Yinggehai Basin

进而构成了规模达 2 万 km² 的中央泥底辟构造带(图 1)。必须强调指出,沉积盆地古近纪裂陷期,沉积充填的古近系陆相断陷沉积,目前仅在盆地西北部(河内凹陷及临高凸起)及东南部边缘斜坡区(莺西斜坡带)和东北部边缘斜坡区(莺东斜坡带)等区域,通过地震探测及少量探井被揭示;而在盆地东南部莺歌海凹陷,尤其是该区泥底辟异常发育的中央泥底辟构造带,由于古近系地层被上覆厚逾万米的新近系及第四系海相拗陷沉积所覆盖,目前的地震及探井深度所限,均无法探测到古近系地层及其烃源岩,但可以肯定该区古近系陆相断陷之湖相及煤系烃源岩是存在的,且具有一定的生烃潜力。

根据莺歌海盆地西北部古近系断陷沉积埋藏较浅的河内凹陷及临高凸起地区的地震资料解释及探井揭示,盆地西北部古近纪由于受叠合断陷作用控制,北端强烈下陷,形成近南北向的地堑沉降中心,其最大沉降速度可达 1 000 m/Ma,沉积充填了一套较厚的湖相及煤系地层。虽然裂陷范围较小但高差很大,且物源供给丰富,整体为补偿式填充沉积^[7],形成了一套重要的古近系陆相烃源岩,目前在该区及其周缘已勘探发现并通过烃源对比证实了来自古近系烃源的油气藏及油气显

示。如据越南辖区(属莺歌海盆地东北部周缘) Dong Ho 露头、Bach Long Vi 岛所发现的古近系灰黑深棕色碳质泥岩和煤系夹层揭示^[8,9],其不仅存在古近系煤系地层且具有较大生烃潜力,油气地质及地球化学分析证实其为该区油气藏的主要烃源岩。此外,根据 2008 年越南报道,迄今在盆地西北部河内凹陷南部及临高凸起区北部 102~106 区块勘探发现 Ham Rong-1X 油田^[8],获得了商业性高产油流,原油日产可达 1 118 m³。这亦证实了该区古近系淡水湖相及煤系沼泽相沉积烃源岩具有较大生烃潜力,能够提供充足的烃源供给^[10,11]。Ham Rong-1X 油田所探明油气藏,其烃源岩及烃源供给系统主要由古近系始新统及渐新统陆相烃源岩及其断层裂陷所构成,为这种古潜山油气藏形成提供了丰富的烃源物质基础和重要的烃源供给及运聚输导条件^[9,12]。

此外,在盆地西北部中国辖区的临高凸起上临高 20-1 构造钻探的 2 口探井和通过临高凸起横切盆地西北部的地震剖面亦揭示,该区存在古近系始新统湖相及渐新统煤系地层(图 3),而且根据钻遇渐新统陵水组泥岩样品地球化学分析表明,渐新统煤系烃源岩处在成熟油气窗阶段,烃转化率较高(沥青 A/TOC 及总烃/TOC>3%),具

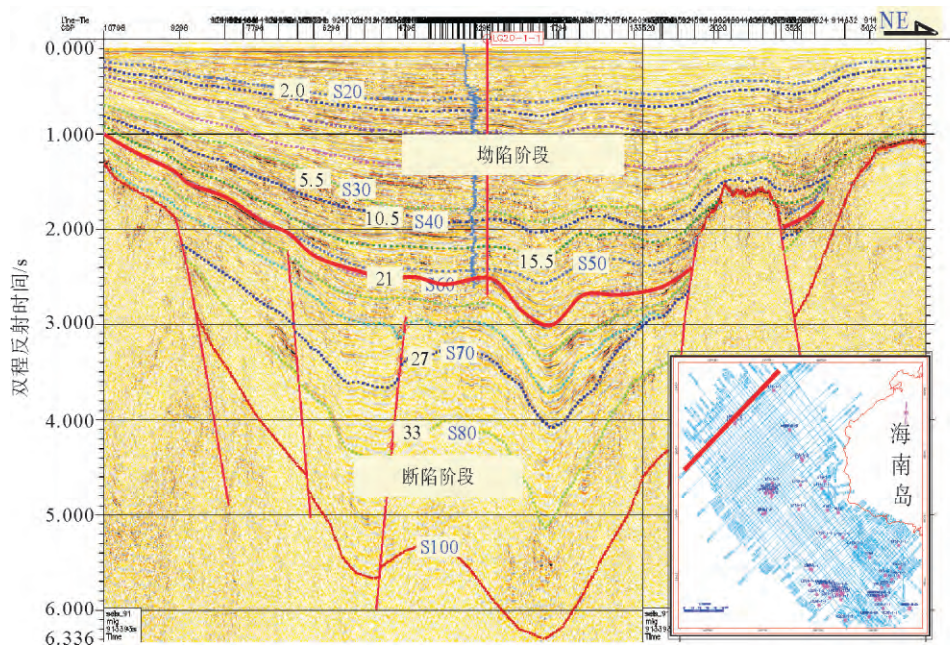


图 3 通过莺歌海盆地西北部临高凸起区典型地震地质剖面
Fig. 3 The typical seismic profiles of Lingao bulge in the northwest of Yinggehai

有一定的生烃潜力(图 4)。同时,由图 3 所示,通过 LG20-1-1 井地震剖面尚可看出,NE 方向的莺东斜坡下降盘靠近断层处古近系地层明显加厚,且多为楔形具有明显的陆相断陷沉积特点,该沉积充填特点及地震反射特征与北部湾盆地钻遇始新统湖相断陷沉积特征及地震反射特点颇为相似,推测其为始新统湖相沉积。另外,在盆地东北部靠近莺东斜坡断裂带的 Thuy Nguyen 地堑及 Kien An 地堑中亦发现了具有与北部湾盆地始新统湖相地层较典型的低频、连续、平行、强反射地震相特征,亦表明存在始新统中深湖相沉积^[13]。此外,在莺东斜坡中南部 LT9-1-1 井亦证实钻遇到始新统岭头组河湖相地层,地质年龄为 36.0 Ma,具有始新统陆相断陷沉积的微体古生物组合特征及其岩性特点,进而证实其沉积充填特征与北部湾盆地始新统湖相地层相一致,即属始新世陆相断陷湖盆的湖相沉积体系之沉积物^[14]。综上所述,基于地质地球物理资料的分析解释,至少

可以判识和确定盆地东北部莺东斜坡带、盆地西北部及中部临高凸起、盆地西北部及东南部边缘斜坡带等区域,存在古近系陆相断陷沉积及其湖相及煤系烃源岩^[16](与邻区北部湾盆地和琼东南盆地始新统湖相及渐新统煤系烃源岩相当);邻区陆相断陷盆地时期沉积充填的这套古近系烃源岩地球化学分析表明,其有机质丰度高,生源母质类型属偏腐泥混合型或偏腐殖型,处于成熟—高熟油气窗阶段,生烃潜力大,烃源对比证实属于该区主要烃源岩^[15]。总之,根据莺歌海盆地西北部及东南部和东北部上覆新近系及第四系海相坳陷沉积薄、古近系埋藏较浅的周缘区之地质地球物理资料分析,结合少量探井钻探成果及与邻区古近系陆相断陷沉积特征及其烃源岩的类比,可以判识确定本区存在古近系陆相断陷沉积及其烃源岩,能够为油气藏形成提供大量的烃源供给。

2.2 古近系烃源岩特征及生烃潜力

2.2.1 有机质丰度特点

古近系烃源岩有机质丰度,以莺歌海盆地西北部及其周边边缘斜坡带探井揭示结果进行分析阐述。盆地西北部越南辖区东北周缘 Dong Ho 露头始渐新统灰黑色湖相碳质泥岩揭示,其有机碳含量为 6.48%~16.89%,生烃潜量 $S_1 + S_2$ 值为 39.85~121.23 mg/g,多超过 70 mg/g,氢指数为 472~690 mg/g,多超过 500 mg/g,依据陈建平^[17]对碳质泥岩生烃潜力评价标准,属于好—很好烃源岩,具有较大生烃潜力^[18]。另一露头 Bach Long Vi 岛未熟暗色碳质泥岩有机质丰度亦较高,有机碳含量为 4%~20%,其氢指数一般均超过 450 mg/g,最高值可达到 700 mg/g,亦可评价为较好—最好生油岩^[18]。位于越南境内东南部靠近莺西断裂北部的 104-QMV-1X 井亦证实了盆地存在古近系地层及其烃源岩,该井钻遇到古近系暗色泥岩及大量煤系地层。有机地球化学分析表明,104-QMV-1X 井钻遇始新统泥岩有机碳平均含量为 0.62%,生烃潜量 $S_1 + S_2$ 值在 1.09~3.11 mg/g 之间,均值为 2.13 mg/g,总烃为 $(127\sim457)\times 10^{-6}$,平均值为 259×10^{-6} ,其有机质丰度虽然明显逊色于北部湾盆地始新统流沙港组湖相烃源岩,但整体上基本达到较好烃源岩有机质丰度标准。该区始新统煤系样品有机碳含

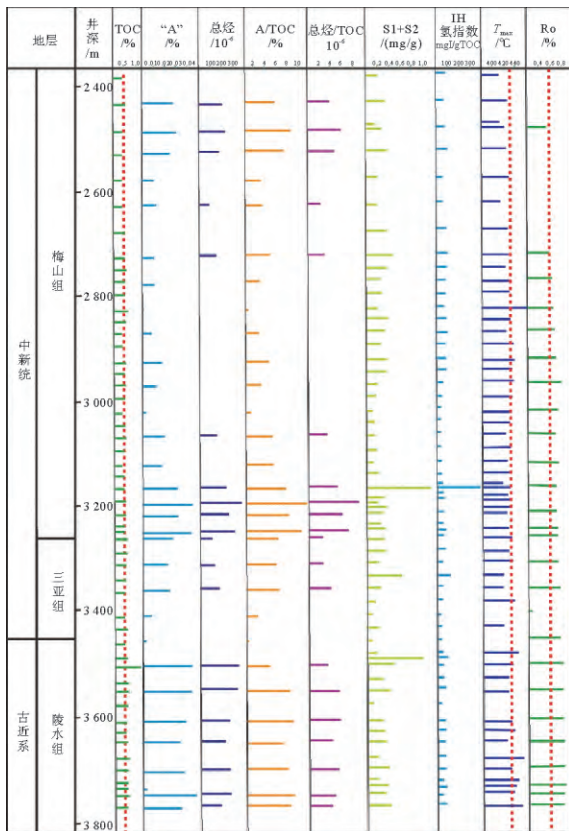


图 4 临高凸起 LG20-1-1 井有机地球化学综合剖面

Fig. 4 Integrated organic geochemical profile of well LG20-1-1 at Lingao bulge

量为 47.4%~83.4%，平均为 70.7%， $S_1 + S_2$ 值在 227~284.7 mg/g 之间，均值为 260.7 mg/g。该煤系有机质丰度基本上与珠江口盆地渐新统恩平组煤系相当，具有一定的生烃潜力。必须强调指出，始新统湖相泥岩有机质丰度较低，主要是由于 104-QMV-1X 井位于莺西斜坡带断裂带上盘，推测盆地西北部河内凹陷应该存在具有较高有机质丰度的湖相烃源岩。

104-QMV-1X 井钻遇的渐新统崖城组沉积与邻区琼东南盆地类似，主要为三角洲平原相沉积，周边发育海相三角洲。有机地球化学分析表明，下渐新统崖城组煤系有机碳平均值为 77.3%， $S_1 + S_2$ 值为 284.75 mg/g，总烃含量为 352×10^{-6} ，具有较好的生气潜力。该区上渐新统陵水组亦属三角洲平原相沉积，煤系地层发育，煤系泥岩有机质丰度较高，有机碳含量为 0.53%~4.32%，平均值为 1.5%， $S_1 + S_2$ 在 0.81~3.07 mg/g 之间，总体上达到了中等烃源岩标准；陵水组煤系有机质丰度更高，其总烃含量为 $(274 \sim 312) \times 10^{-6}$ ， $S_1 + S_2$ 值在 233.12~271.43 mg/g 之间，平均值高达 252.28 mg/g。亦表明其生烃物质较为丰富，生烃潜力较好。总之，该区渐新统海陆过渡相煤系及泥岩具有一定的生烃潜力，应属于一套很好烃源岩。

莺歌海盆地东南部越南辖区莺西斜坡南部 112-BT-1X 井的钻探结果，进一步确证了古近系渐新统湖相及煤系烃源岩有机质丰度较高的特点。该井钻探中在 4 144 m 钻遇到渐新统砂泥岩及泥盆系碳酸盐岩，均见到较好油气显示^[9]。其中渐新统煤系泥岩有机地球化学分析表明，其有机质丰度高，有机碳含量为 3.46%， $S_1 + S_2$ 值高达 13.56 mg/g，很显然其有机质丰度达到了很好烃源岩标准，具有雄厚的生烃物质基础。

2.2.2 生源母质类型特征

前已论及，莺歌海盆地古近系陆相断陷沉积主要为湖相及煤系地层，其湖相及煤系泥岩形成的烃源岩生源母质类型，多属偏腐殖型腐泥—腐殖混合型，少量偏腐泥型。通过莺西斜坡北部 104-QMV-1X 井揭示的始新统湖相烃源岩分析测定，其生源母质类型以偏腐殖混合型 (II_2) 为主。有机质透射光—荧光干酪根显微组成中，其显微组分以无荧光无定形组和镜质组居绝对优

势，含量高达 80%~90%，仅含部分发荧光无定形组和少量壳质组，具有典型偏腐殖混合型母质特点。依据氢指数与 T_{max} 参数之有机质类型关系图判识，其有机质热解氢指数在 229~319 mg/g 之间，主要分布在偏腐殖混合型区域，亦属于 II_2 型干酪根。这种偏腐殖型生源母质类型烃源岩的形成，主要是由于该井处在三角洲平原相区带，具有丰富的陆源高等植物输入和本身陆源高等植物发育所致。推断盆地西北部河内凹陷及临高区和东南方向的莺歌海凹陷，始新统湖相沉积可能与南海北部其他盆地一样，以中深湖相沉积为主，存在中深湖相偏腐泥型生源母质类型。

盆地西北部越南辖区东北周缘 Dong Ho 露头和 Bach Long Vi 岛的渐新统灰黑及深棕色泥岩有机质的生源母质类型，以偏腐泥型为主。在该湖相泥岩干酪根组成中，含有丰富的荧光无定形组，其含量可高达 82%，其次是来自陆源壳质组碎屑体为 27%。其荧光无定形组中发现了与淡水环境 *Botryococcus* 藻类相似的生态结构，故可确定其荧光无定形组主要来源此藻类体，它构成了偏腐泥型生源母质类型的主要成分 (表 1)，干酪根中少部分腐殖型成分来源于陆源高等植物的供给。因此总体上可将该区渐新统湖相泥岩有机质干酪根类型判识归类于 I 型^[9]。必须强调指出的是，区域上南海北部大陆边缘盆地渐新统有机相主要为海陆过渡相煤系或三角洲平原相煤系或河湖沼泽相煤系，故其烃源岩有机质类型多属偏腐殖型。如与盆地东南部相邻的琼东南盆地渐新统煤系烃源岩干酪根组成中，均以镜质组和惰质组居绝对优势，仅含有少量灰色无定形组。干酪根 H/C 原子比介于 0.5~1.2 之间，且大多数集中在 0.8~1.1 区域；O/C 原子比值变化范围不大，主要集中在 0.1~0.25 之间。均表征其干酪根类型属偏腐殖型母质，且主要以 II_2 —III 型为主^[5]。总之，莺歌海盆地西北部及临高凸起和西南部等区域，古近系烃源岩生源母质类型主要属偏腐殖的 II_2 —III 型，局部区域尚发育有偏腐泥型生源母质类型；无论始新统还是渐新统烃源岩生源母质类型，均主要取决于其所处的构造沉积充填背景及其沉积相带，局部地区沉积充填条件不同所形成的烃源岩，其生源母质类型可能与区域上烃源岩生源母质类型异常较大。

表 1 Dong Ho 露头与 Bach Long Vi 岛渐新统暗色泥岩及煤岩有机地球化学特征(据文献[8]修改)

Table 1 Geochemical parameters derived from the sample of the oligocene mudstones and coal in Dong Ho outcrop and Bach Long Vi Island (modified from reference [8])

样品	$T_{\max}/^{\circ}\text{C}$	Pr/Ph	CPI	干酪根体积分数		
				I	II	III
BLV I-2-97	430	0.6	1.57	12.4	0.2	1.8
BLV II-1-97	429	1.06	1.04	6	0.4	8.2
BLV II-2-97	427	1.69	1.37	16	0.2	14.8
BLV III-3-97	432	0.89	1.55	52.4	0	1.6
BLV IV-2/1-97	433	1.05	1.29	44.6	0	2.4
DH7	427	2.55	2.43	76.4	3.8	7.2
DH8(煤)	421	3.97	4.64	0	23.4	69

2.2.3 有机质热演化及生烃潜力

前人研究表明^[19],莺歌海盆地新近纪及第四纪海相坳陷阶段的快速热沉降,沉积充填了巨厚欠压实海相泥页岩。在快速埋藏泥页岩沉积物中的流体排出与压实不均衡的条件下,导致盆地深部产生了强超压作用,进而引起深部泥页岩塑性流动而发生强烈的泥底辟及热流体上侵活动。很显然,泥底辟及热流体上侵活动形成的高温超压背景,对盆地中央坳陷及周边斜坡带等区域烃源岩有机质成熟演化生烃均具有重要的控制影响作用。如处在盆地东南部的莺歌海凹陷中央泥底辟带,其烃源岩有机质热演化成熟度普遍比盆地边缘斜坡带等非泥底辟发育区高得多。同时,中央泥底辟带高温超压对其深部烃源岩有机质热演化,亦具有一定的抑制作用,减缓有机质生排烃作用,进而在纵向上拓展烃源岩有机质热演化生烃窗范围。鉴此,推测和判识盆地东南部莺歌海凹陷深部的古近系湖相及煤系烃源岩(上覆新近系巨厚海相坳陷沉积),有机质热演化处于高熟—过熟生气窗范围,根据我国页岩气热模拟生烃实验成果及勘探实践,其仍然具有较好的生气潜力,可作为重要的气源岩^[20]。处于盆地西北部及东南部和东北部的边缘斜坡及凸起区,如西北部临高凸起区及盆地东北部边缘莺东斜坡区,由于新近系及第四系海相沉积较薄,地温场普遍偏低,古近系烃源岩成熟热演化程度明显偏低,目前尚处于成熟到高熟阶段。据临高凸起上钻探的 LG20-1-1 井揭示其渐新统陵水组有机质热演化程度尚处在成熟演化阶段(图 4),这以充分证实了该区烃

源岩有机质热演化程度并不是非常高。另外,在盆地莺西斜坡带北部钻探的 104-QMV-1X 井^[21],亦证实了古近系始新统即渐新统崖城—陵水组有机质热演化程度仅处在成熟油窗阶段,有机质镜质体反射率 R_o 均 $< 1.2\%$ (图 5),表明其有机质热演化程度属于成熟演化阶段。从热解分析所获烃源岩有机质最高热解峰温 T_{\max} 看,大多数烃源岩样品的 T_{\max} 值为 $435\sim 448^{\circ}\text{C}$,亦证实了在莺西斜坡断裂系统附近,其古近系烃源岩埋藏浅,有机质成熟度不高,故有机质热演化尚处于大量生烃的成熟演化阶段。这从 104-QMV-1X 井钻遇的古近系烃源岩热解生烃潜量 $S_1 + S_2$ 值可以得到证实。该井古近系泥岩烃源岩 $S_1 + S_2$ 值为 $0.81\sim 3.11\text{ mg/g}$,煤系烃源岩 $S_1 + S_2$ 值平均值高达 252.28 mg/g ,均反映其具有很好的生油气潜力,且处在成熟生烃演化阶段。另据有关文献报道,盆地西北部河内凹陷 102-CQ-1X、103-TH-1X、102-HD-1X 等井古近系烃源岩热解分析和生烃热模拟表明^[2,9,18,22],该区始新统湖相烃源岩现今尚处于高一过成熟阶段,而渐新统煤系烃源岩现今正处在成熟—高成熟大量生油气阶段,这亦充分证实了该区古近系烃源岩尚处在生油气高峰期。

总之,莺歌海盆地西北部及东北部和西南部边缘斜坡区,古近系湖相及煤系烃源岩有机质热演化程度相对较低,目前尚处在成熟阶段,局部地区处于高熟阶段,具有较大生油气潜力;盆地东南部莺歌海凹陷中央泥底辟带,由于被巨厚海相坳陷沉积覆盖,埋藏深,古近系湖相及煤系烃源岩有

机质热演化受异常超压的抑制作用,拓宽了生烃窗,有机质热演化程度处在高熟—过熟裂解阶段,借鉴我国高熟—过熟页岩生烃潜力评价结果,其应该具有较好的生气潜力。

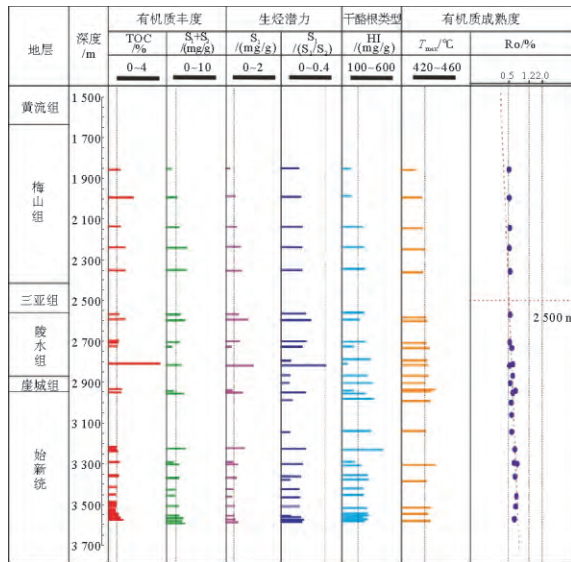


图5 104-QMV-1X井有机地球化学特征综合剖面(据文献[21]修改)

Fig. 5 Integrated organic geochemical profile of well 104-QMV-1X (modified from reference [21])

3 古近系烃源及其油气地质意义

3.1 古近系烃源是中深层油气藏的主要贡献者

以往的油气勘探研究表明^[5,23],莺歌海盆地浅层及中深层气藏和盆地边缘莺东斜坡带油气苗的烃源供给,均来自新近系海相坳陷沉积的巨厚中新统海相烃源岩。莺歌海盆地是否存在古近系湖相及煤系地层及其烃源岩,长期以来专家们一直存在疑义。随着油气勘探程度提高及研究工作的深入,尤其是近年来盆地周边越南辖区探井钻探揭示,临高凸起区和莺西斜坡带大量地震探测资料的分析解释,结合地质地球物理及地球化学的综合研究,笔者认为,盆地中古近系湖相及煤系地层及其烃源岩不仅存在,且具有较好生烃潜力,应是中深层油气藏(指古近系油气藏和中新统及上新统中深层油气藏)的重要烃源岩和主要

贡献者。由于盆地新近系及第四系巨厚海相坳陷沉积覆盖在古近系陆相断陷沉积之上,故古近系陆相烃源岩普遍比新近系中新统海相烃源岩埋藏深、有机质热演化程度高,但古近系陆相烃源岩有机质丰度普遍比中新统海相烃源岩高得多,这在整个南海北部大陆边缘盆地中具有普遍性。由莺歌海凹陷 LD15-1-2 井与 DF1-1-5 井所获得高成熟的凝析油揭示,其含有高丰度的 C₃₀₋₄ 甲基甾烷,与中新统海相烃源岩甾烷特征截然不同,推测其来源于深部始新统湖相烃源岩,进而佐证古近系烃源岩可作为中深部油气藏的供烃者。莺歌海凹陷带古近系陆相烃源岩有机质热演化成熟度偏高(成熟度模拟推测 Ro=1.2%~3.8%),对于其成油生烃有一定的影响,但对于其生气的影响不大,依据生气窗的划分其尚处在生气高峰阶段。根据近年来国内外页岩气勘探研究成果表明,气源岩有机质热演化程度在过熟裂解阶段(Ro<4.5%)仍然具有颇大生烃成气潜力^[24],如我国四川盆地南部涪陵页岩气高产区,其海相页岩有机质成熟度 Ro 已达 2.5%~4.5%^[25],即达到了高熟—过熟裂解阶段,其产气率仍然很高。而莺歌海盆地古近系陆相烃源岩有机质热演化程度最高达到高熟—过熟阶段,即处在高熟—裂解气窗范围,同样可以作为高熟—裂解气的气源岩。莺歌海盆地边缘斜坡区古近系陆相烃源岩有机质热演化程度相对较低,探井钻探结果均证实其古近系陆相烃源岩有机质热演化尚处在成熟—高熟演化阶段,即处于生烃高峰期的油气窗范围内,具有较大的生烃潜力。

古近系陆相烃源岩能够为中深层油气藏(即古近系油气藏和新近系中新统及上新统中深层油气藏)提供烃源供给。由于古近系油气藏和中新统及上新统中深层油气藏,主要分布于盆地深部古近系地层系统和中新统及上新统中深层地层系统之中,故对于古近系油气藏之烃源供给而言,具有近水楼台先得月的原地运聚富集的优越条件。而对于中深层的中新统油气藏而言,古近系烃源供给可能是中新统油气藏之烃源构成的重要补充和主要贡献者。如越南方面在莺歌海盆地西北部斜坡边缘勘探发现的中新统油气藏即是典型实例,中新统油气藏的烃源供给由古近系陆相烃源岩和中新统海相烃源岩两者所提供。总之,古近

系陆相烃源岩有机质丰度高、热演化程度高,具有较好的生烃潜力,可为古近系油气藏提供烃源供给,亦可作为中新统烃源的重要补充,为中新统油气藏供给烃源,形成中新统及上新统中深层油气藏。

3.2 古潜山油气藏之烃源来自古近系烃源岩

南海北部边缘盆地局部区域残留古生界特提斯沉积和其他多种类型的前古近系地质体^[26],主要以碳酸盐岩和火成岩及变质岩为主,由于遭受地质时期长期的风化剥蚀而后被新生界地层所覆盖隐埋,成为古潜山。其碳酸盐岩和火成岩及变质岩则由于早期的风化剥蚀作用而成为了储集空间非常发育、储集物性较好的储集层,当具备烃源供给输导条件即可形成古潜山油气藏。盆地西北部和东南部等区域以及与其东北部相邻的北部湾盆地,均勘探发现古潜山油气藏。如北部湾盆地涠西南凹陷涠 10-3 北及涠 6-1 古潜山油田即是其典型代表^[27,28]。另外,在盆地西北部越南辖区,2008 年在前古近系古潜山的灰岩储层获得油气发现,勘探研究证实其属于典型的新生古储的古潜山油气藏。前古近系古潜山碳酸盐岩储集层属于较纯的灰岩,裂缝及孔洞发育,储集空间较大,是古潜山油气藏的主要储层,其与上覆古近系湖相泥页岩构成了非常好的储盖组合,进而成为油气富集成藏的圈闭场所。古潜山油气藏的烃源供给及其运聚输导系统,主要由古新统、始新统及渐新统陆相烃源岩及其纵向断层裂隙所构成,古近系陆相烃源岩生成的油气通过纵向断层裂隙系统和古潜山不整合面源源不断地输送到古潜山灰岩储集层之中,形成新生古储的古潜山油气藏。总之,古近系陆相烃源岩展布于古潜山附近或直接覆盖在古潜山之上,其与古潜山近距离或零距离大面积接触,油气运聚输导畅通,充注效果好、充注效率大,能够形成富集高产的古潜山油气藏。

3.3 古近系油气藏有利勘探区带

根据莺歌海盆地西北部临高凸起及周缘斜坡带新近系及第四系海相坳陷沉积较薄、古近系埋藏较浅区域的探井钻探成果,结合地震解释和地质及地球化学综合研究,笔者证实该区古近系地层及其陆相烃源岩的存在。由于古近系陆相烃源

岩不同地区埋藏深浅不一,古近系烃源条件及其供给运聚系统,对不同区域古近系油气藏和中深层中新统油气藏的控制影响作用亦明显不同。根据目前勘探及地震解释与研究程度,以古近系湖相及煤系烃源岩为主要烃源供给的古近系油气藏及古潜山油气藏和中新统中深层油气藏的有利勘探方向及区带,应主要分布于盆地西北部临高凸起区、东北部莺东斜坡带和西南部莺西斜坡带等区域。盆地西北部临高凸起区,据构造沉积演化特征研究,在 15.5 Ma 左右发育较大规模的反转构造,地震反射界面上具有明显的“上削下超”的反射特征,且向南反转构造逐渐消失,而向西北河内凹陷则发生强烈的压扭型反转,形成一系列反转构造圈闭及较好储集层和储盖组合^[15]。加之古近系湖相及煤系生烃灶与其时空配置较好,能够为其提供古近系烃源供给,形成自生自储的原地近距离运聚富集成藏的古近系油气藏。另外,盆地西南部莺西斜坡带和东北部莺东斜坡带属于盆地斜拉分的产物,具有明显的对称性。莺西斜坡带探井已勘探发现古潜山油气藏及一些油气显示;莺东斜坡带少量探井古近系地层亦见油气显示和浅层海底见到油气苗等^[2,22],均充分表明这些区域存在古近系烃源岩及其烃源供给与运聚成藏,因此,可以判识和确定莺东斜坡带和莺西斜坡带是古潜山和古近系油气藏有利勘探区域,尤其是莺东斜坡带及靠近琼东南盆地一号断裂带下盘附近区域,应是勘探寻找古潜山和古近系油气藏的最有利的远景区。同时,剖面上,还应重点勘探评价和寻找古生新储,通过纵向上多次运聚的不同层位和深度的“次生”油气藏。盆地中南部中央泥底辟带新近系及第四系沉积巨厚,古近系烃源岩埋藏深,目前地震探测及钻井深度有限,但存在古近系陆相烃源岩及其油气藏,可作为油气勘探的远景区,应加强研究待勘探技术能够满足其地质要求时择机实施勘探,以期获得古近系油气藏勘探的重大突破。

4 结论与认识

(1)根据新近系及第四系海相坳陷沉积较薄的盆地西北部临高凸起区及周缘斜坡带探井钻探分析,结合盆地西北部临高凸起区和东北部及西

南部盆地边缘斜坡区的地震剖面分析解释,以及与东北部邻区北部湾盆地和东南部邻区琼东南盆地古近系陆相地层系统及沉积特征的对比,可以综合判识与确定莺歌海盆地存在古近系始新统及渐新统湖相及煤系地层,且湖相泥岩及煤系泥岩具有生烃潜力,其作为该区深部古近系烃源,能够为古近系油气藏、中深层油气藏及古潜山油气藏等提供烃源供给形成自生自储、新生古储、下生上储等不同成藏组合类型。

(2)根据盆地西北部临高凸起区及周缘斜坡带探井揭示,古近系始新统及渐新统湖相及煤系烃源岩有机质丰度较高,生源母质类型主要属偏腐殖混合型和腐殖型,局部区域尚发育腐泥型生源母质。古近系陆相烃源岩有机质成熟度不同区域差异较大,盆地西北部临高凸起区及周缘斜坡带,古近系烃源岩有机质热演化程度主要处于成熟油气窗阶段,个别区域可达到高熟湿气窗阶段;盆地东南部莺歌海凹陷中央泥底辟带所在区域,上覆新近系及第四系海相拗陷沉积巨厚,古近系陆相烃源岩埋藏深,且该区泥底辟及热流体上侵活动强烈,热流值及地温场偏高,故其古近系陆相烃源岩有机质热演化程度高,处于高熟—过成熟气窗阶段($R_o > 2.5\%$),可形成大量高熟—过熟裂解气,为古近系油气藏和古潜山油气藏提供充足的烃源供给。

(3)根据盆地古近系陆相烃源岩分布特征及其成烃成藏特点与控制影响因素,结合目前钻探深度与勘探技术以及地质地球物理资料综合分析,古近系油气藏及古潜山油气藏的有利勘探方向及重点勘探区带,应主要集中于盆地西北部临高凸起区反转构造带及临高一海口昌化区构造带;盆地西南部莺西斜坡带和东北部莺东斜坡带以及东南部与琼东南盆地相邻的一号断裂带下盘附近等区域,则是勘探寻找古潜山油气藏和古近系油气藏的重要勘探领域,加大勘探投入及研究力度相信一定能够获得新的突破。

参考文献:

- [1] 何家雄,刘海龄,姚永坚,等.南海北部边缘盆地油气地质及资源前景[M].北京:石油工业出版社,2007.
- [2] Petersen H I, Andersen C, Anh P H, et al. Petroleum potential of Oligocene lacustrine mudstones and coals at Dong Ho, Vietnam—an immature outcrop analogue to terrestrial source rocks in the greater Song Hong Basin[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2001, 19(1/2): 135-154.
- [3] 董传新,谢玉洪,黄志龙,等.莺歌海盆地高温高压天然气地球化学特征及底辟翼部高效成藏模式[J]. *天然气工业*, 2015, 35(2): 1-11.
- [4] 吴红烛,黄志龙,裴健翔,等.莺歌海盆地底辟带 DF 区天然气地球化学特征差异及其成因[J]. *石油实验地质*, 2015, 37(2): 211-219.
- [5] Huang B J, Xiao X M, Li X X. Geochemistry and origins of natural gases in the Yinggehai and Qiongdongnan basins, offshore South China Sea[J]. *Organic Geochemistry*, 2003, 34(7): 1009-1025.
- [6] 王万银,张瑾爱,刘莹,等.利用重磁资料研究莺-琼盆地构造分界及其两侧断裂特征[J]. *地球物理学进展*, 2013, 28(3): 1575-1583.
- [7] 孙家振,李兰斌,杨士恭.转换-伸展盆地——莺歌海盆地的演化[J]. *地球科学*, 1995, 20(3): 243-249.
- [8] Cuong T X, Trung P N, Cuong T D, et al. Hydrocarbon Systems in the North-Eastern Area of the Song Hong Basin [J]. *Journal of Earth Science and Engineering*, 2013(3): 807-814.
- [9] Petersen H I, Nytoft H P, Nielsen L H. Characterisation of oil and potential source rocks in the northeastern Song Hong Basin, Vietnam: indications of a lacustrine-coal sourced petroleum system [J]. *Organic Geochemistry*, 2004, 35(4): 493-515.
- [10] 郭令智,钟志洪,王良书,等.莺歌海盆地周边区域构造演化[J]. *高校地质学报*, 2001, 7(1): 1-12.
- [11] 孙珍,钟志洪,周蒂,等.红河断裂带的新生代变形机制及莺歌海盆地的实验证据[J]. *热带海洋学报*, 2003, 22(2): 1-9.
- [12] 刘光鼎,宋海斌,张福勤.国近海前新生代残留盆地初探[J]. *地球物理学进展*, 1999, 14(3): 1-8.
- [13] Rangin C, Klein M, Roques D, et al. The Red River fault system in the Tonkin Gulf, Vietnam[J]. *Tectonophysics*, 1995, 243(3/4): 209-222.
- [14] 马文宏,何家雄,姚永坚,等.南海北部边缘盆地第三系沉积及主要烃源岩发育特征[J]. *天然气地球科学*, 2008, 19(1): 41-48.
- [15] Lei C, Ren J Y, Sternai P, et al. Structure and sediment budget of Yinggehai-Song Hong basin, South China Sea Implications for Cenozoic tectonics and river basin reorganization in Southeast Asia[J]. *Tectonophysics*, 2015, 655: 177-190.
- [16] 郭飞飞,王韶华,孙建峰,等.北部湾盆地涠西南凹陷油气成藏条件分析[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2009, 29(3): 93-98.
- [17] 陈建平,赵长毅,何忠华.煤系有机质生烃潜力评价标准探讨[J]. *石油勘探与开发*, 1997, 24(1): 1-5, 91.
- [18] Andersen C, Mathiesen A, Nielsen L H, et al. Distribu-

- tion of Source Rocks and Maturity Modelling in the Northern Cenozoic Song Hong Basin (Gulf of Tonkin), Vietnam [J]. *Journal of Petroleum Geology*, 2005, 28(2): 167-184.
- [19] 何家雄,祝有海,翁荣南,等. 南海北部边缘盆地泥底辟及泥火山特征及其与油气运聚关系[J]. *地球科学:中国地质大学学报*, 2010, 35(1): 75-86.
- [20] 张义纲,熊寿生,宋国俊. 从全球大型气田生气高峰和分布规律分析我国天然气有利聚集保存区带[J]. *石油实验地质*, 1990, 12(3): 4-21.
- [21] 越南石油公司. 104-QMV-1X 井地化报告(Petroleum geochemistry study of unwashed ditch cuttings and sidewall cores samples)[R]. 2012.
- [22] Nielsen L H, Mathiesen A, Bidstrup T, et al. Modelling of hydrocarbon generation in the Cenozoic Song Hong Basin, Vietnam: A highly prospective basin [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 1999, 17(1/2): 269-294.
- [23] 黄保家,肖贤明,董伟良. 莺歌海盆地烃源岩特征及天然气生成演化模式[J]. *天然气工业*, 2002, 22(1): 9-10, 26-30.
- [24] 戴金星,宋岩,张厚福,等. 中国天然气的聚集区带[M]. 北京:科学出版社, 1997.
- [25] 胡润,陈义才,郑海桥,等. 涪陵-重庆地区龙马溪组页岩地化特征及页岩气资源潜力评价[J]. *石油地质与工程*, 2015, 29(5): 33-37.
- [26] 蔡东升,冯晓杰,高乐,等. 中国近海前第三纪残余盆地及其勘探潜力与方向[J]. *中国海上油气*, 2004, 16(1): 3-19.
- [27] 肖军,王华,马丽娟,等. 北部湾盆地涸西南凹陷 W61 潜山油气成藏条件分析[J]. *新疆石油学院学报*, 2003, 15(4): 30-33, 37-81.
- [28] 邢云. 北部湾涸 10-3N 碳酸盐岩潜山储层研究[J]. *石油勘探与开发*, 1993, 20(6): 100-108.

PALEOGENE HYDROCARBON SOURCES AND THEIR PETROLEUM GEOLOGICAL SIGNIFICANCE IN YINGGEHAI BASIN, NORTHWESTERN SOUTH CHINA SEA

LI Xiaotang^{1,2}, YU Shuyou³, HE Jiexiong^{1,2*}, JU Yiwen², ZHANG Wei^{1,2}

(1 CAS Key Laboratory of Marginal Sea Geology, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China;

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3 Zhanjiang Branch, CNOOC Energy Technology and Service-Drilling and Production Company, Zhanjiang 524057, Guangdong, China)

Abstract: Good source conditions are the material basis and basic prerequisite for hydrocarbon formation, according to the theories of petroleum system and the pool-forming dynamics. However, the research of Paleogene hydrocarbon sources is lack in the Yinggehai Basin. This paper has, for the first time, made a systematic analysis on the distribution of Paleogene continental deposits and the characteristics of the lacustrine and coal-bearing source rocks based on regional geology and tectono-sedimentary evolutionary histories in the Yinggehai Basin. Using comprehensive geophysical and geochemical methods and the results of seismic interpretation in the slope zones and on the Lingao bulge, where the overlying Neogene-Quaternary sediments are thin and Paleogene buried shallowly, the paper confirms the existence of Paleogene hydrocarbon Source. On the basis, Paleogene hydrocarbon source condition and its petroleum geological significance were analyzed in details. The results show that the abundance and maturity of the organic matter and the type of source materials differ from place to place. Moreover, in the light of the distribution and the controlling factors of the Paleogene source rock, the paper made a forecast of favorable exploration areas of Paleogene reservoirs and buried hill reservoirs preliminarily.

Key words: Paleogene source rock condition; Paleogene reservoirs; buried hill reservoirs; favorable exploration region; Yinggehai Basin