



珠江口盆地边缘洼陷油气勘探潜力

何金海, 彭光荣, 吴 静, 李振升, 蔡国富, 汪晓萌, 杜晓东, 赵 超, 石 创, 朱定伟

Exploration potential of marginal sags in the Pearl River Mouth Basin: An example from the Xijiang 36 Sag

HE Jinhai, PENG Guangrong, WU Jing, LI Zhensheng, CAI Guofu, WANG Xiaomeng, DU Xiaodong, ZHAO Chao, SHI Chuang, and ZHU Dingwei

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16562/j.cnki.0256-1492.2022041401>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

珠江口盆地阳江东凹始新统的源汇过程：碎屑锆石定年及物源示踪

Tracing source-to-sink process of the Eocene in the Eastern Yangjiang Sag, Pearl River Mouth Basin: Evidence from detrital zircon spectrum

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(6): 124

中国海域基岩油气藏特征及未来勘探方向

Characteristics of the recently bedrock hydrocarbon reservoir in China Seas and future exploration directions

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(6): 151

南海南部海陆过渡相烃源岩的两类分布模式

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

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(5): 173

珠江口内伶仃洋晚第四纪黏土矿物组成特征及对源区气候变化的指示

Late Quaternary clay minerals in the inner Lingdingyang of the Pearl River Estuary, southern China: Implications for paleoclimate changes at the provenance

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(5): 202

南黄海崂山隆起二叠系砂岩储层特征及其油气勘探前景

Characteristics and hydrocarbon prospects of the Permian sandstone reservoirs of the Laoshan Uplift, South Yellow Sea

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(5): 181

西湖凹陷Y构造花港组气藏特征及成藏主控因素

Characteristics of gas reservoir and controlling factors for gas accumulation in the Huagang Formation in Y Structure, Xihu Sag

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(6): 174



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

何金海, 彭光荣, 吴静, 等. 珠江口盆地边缘洼陷油气勘探潜力——以西江 36 洼为例 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2022, 42(4): 146-158.
HE Jinhai, PENG Guangrong, WU Jing, et al. Exploration potential of marginal sags in the Pearl River Mouth Basin: An example from the Xijiang 36 Sag[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2022, 42(4): 146-158.

珠江口盆地边缘洼陷油气勘探潜力 ——以西江 36 洼为例

何金海, 彭光荣, 吴静, 李振升, 蔡国富, 汪晓萌, 杜晓东, 赵超, 石创, 朱定伟

中海石油(中国)有限公司深圳分公司, 深圳 518054

摘要: 近几年的研究与勘探实践表明, 部分边缘洼陷同样具备较好的油气成藏条件与勘探潜力。南海北部珠江口盆地发育大量低勘探程度的边缘洼陷, 系统梳理这些洼陷的结构、构造演化和成藏条件具有重要实践意义。本文以珠江口盆地边缘洼陷西江 36 洼为例, 基于重处理三维地震、测井和地球化学等资料, 开展洼陷结构演化研究、原型盆地恢复、地震相对比和油气运移分析, 系统梳理了西江 36 洼的洼陷结构、烃源潜力和成藏特征。研究表明: ① 西江 36 洼受 NE 向断层控制, 为“南断北超”的箕状断陷湖盆; ② 西江 36 洼发育一定规模的中深湖相烃源岩且已经成熟, 具备较好烃源条件; ③ 受区域泥岩盖层和油源断层断距的影响, 西江 36 洼具有深层古近系近源成藏的特征, 宜围绕古近系构造、地层和岩性圈闭勘探。该研究认识有助于推动西江 36 洼的勘探进程, 并为其他边缘洼陷的油气勘探提供借鉴。

关键词: 边缘洼陷; 洼陷结构; 原型盆地恢复; 地震相; 烃源岩; 勘探潜力

中图分类号: P736

文献标识码: A

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2022041401

Exploration potential of marginal sags in the Pearl River Mouth Basin: An example from the Xijiang 36 Sag

HE Jinhai, PENG Guangrong, WU Jing, LI Zhensheng, CAI Guofu, WANG Xiaomeng, DU Xiaodong, ZHAO Chao, SHI Chuang, ZHU Dingwei

Shenzhen Branch of CNOOC Ltd., Shenzhen 518054, China

Abstract: Research and exploration in recent years show that some marginal sags also hold good hydrocarbon accumulation conditions and exploration potential. The Pearl River Mouth Basin, northern South China Sea, have many marginal sags in low exploration degree, and it is of great significance to systematically sort out the structure, tectonic evolution, and accumulation conditions of these marginal sags. Taking the Xijiang 36 Sag as an example, we analyzed the tectonic evolution, prototype basin restoration, seismic facies comparison, and oil and gas migration using 3D seismic, well logging, and geochemistry data, based on which the structure, hydrocarbon source potential, and accumulation characteristics of the Xijiang 36 Sag were systematically researched. Results show that (1) Xijiang 36 Sag was a half-graben rift lake basin controlled by an NE-striking fault in the south and structural overlapping in the north; (2) Xijiang 36 Sag holds a certain scale of medium-deep lacustrine facies source rock, and is mature with good hydrocarbon accumulation conditions; (3) affected by the regional mudstone caprock and the fault throw of the source fault, Xijiang 36 Sag was characterized by deep Paleogene near-source accumulation. Therefore, we suggest the Paleogene structure, stratigraphy, and lithologic trap are the main target for further exploration. This research helps to promote the exploration process of the Xijiang 36 Sag and provides a reference for oil and gas exploration in other marginal sags in the Pearl River Mouth Basin.

Key words: marginal sag; sag structure; tectonic prototype; seismic facies; source rock; exploration potential

边缘洼陷是位于大型沉积盆地或坳陷带边缘的小规模洼陷, 通常位于斜坡或隆起区, 远离中央坳陷带。由于边缘洼陷面积相对较小, 受后期抬升剥蚀或岩浆活动改造强烈, 相对于中央坳陷带而言, 其油气勘探程度低, 勘探潜力饱受质疑^[1-2]。近

年来, 随着勘探深入, 多数盆地内部中央坳陷带的勘探进入中后期, 而部分边缘洼陷展现出较好的油气成藏条件与勘探效益。例如, 渤海湾盆地的秦南凹陷、庙西凹陷、黄河口凹陷东洼等边缘洼陷周缘相继发现多个亿吨级油田^[3-5]。珠江口盆地相继在

资助项目: 中海油重大生产科研项目“珠江口盆地(东部)浅水区古近系油气成藏条件及勘探突破方向”(SCKY-2020-SZ-21)

作者简介: 何金海(1984—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事石油地质综合研究, E-mail: hejh15@cnooc.com.cn

收稿日期: 2022-04-14; 改回日期: 2022-06-28. 周立君编辑

位于珠三坳陷边缘的阳江东凹发现恩平 20-4 和恩平 20-5 油田^[6-8]。因此, 开展对边缘洼陷的结构、烃源潜力和成藏条件的研究, 将为进一步拓展勘探区带具有重要意义^[6-7,9-10]。

珠江口盆地是位于南海北部大陆边缘的新生代裂陷盆地, 受中生代 NE 和 EW 向两组先存断层的影响, 形成了“三隆夹两坳”的构造格局。新生代以来, 受珠琼一幕、惠州运动和珠琼二幕构造运动的影响, 在珠一坳陷和珠二坳陷发育一系列边缘洼陷^[11-13]。系统研究这些边缘洼陷的裂陷结构、构造演化和油气地质条件, 具有重要油气勘探意义。作为珠江口盆地珠一坳陷内部具有代表意义的边缘洼陷, 西江 36 洼受强烈抬升剥蚀和岩浆活动改造, 地质条件复杂, 其洼陷结构、烃源潜力和成藏条件的认识难度较大, 长期以来其勘探潜力饱受质疑, 制约了该地区的勘探进程^[11,14-17]。本文基于重处理的连片三维地震资料, 系统分析西江 36 洼的洼陷结构、烃源潜力和成藏特征, 并探讨其勘探潜力, 对推动珠江口盆地类似成洼背景的边缘洼陷的油气勘探具有重要指导作用。

1 地质背景

南海位于欧亚大陆东南部, 地处太平洋板块、欧亚板块和印-澳板块结合部, 是西太平洋地区众多边缘海之一, 油气资源非常丰富^[18-23]。珠江口盆地位于南海北部陆缘, 东以台西南盆地为界、西以琼东南盆地为界、北侧为华南大陆、南临双峰盆地, 呈 NE 向展布, 是中生代褶皱基底上形成的新生代含油气盆地^[24-26]。中生代受太平洋板块向欧亚板块俯冲方向和角度的变化, 在南海北部陆缘形成了一系列 NE 向和 EW 向断裂。新生代在右旋伸展应力背景下, NE 向和 EW 向先存断裂分期活化, 形成了珠江口盆地“三隆夹两坳”的构造格局。珠江口盆地由北往南分别由北部隆起带、北部坳陷带、中央隆起带、南部坳陷带和南部隆起带等次级构造单元组成^[25,27]。珠一坳陷隶属于珠江口盆地北部坳陷带, 整体呈 NE 向展布, 由一系列 NE 向展布的半地堑和复式半地堑构成, 从东往西依次为韩江凹陷、陆丰凹陷、惠州凹陷、西江凹陷和恩平凹陷^[12,28-29]。

西江 36 洼位于西江凹陷东南部, 北邻惠西低凸起、南邻东沙隆起、西邻西江中低凸起, 西北与西江主洼相连, 西南与番禺 4 洼相连(图 1)。新生代以来, 珠一坳陷先后经历了裂陷期、拗陷期和断块活动 3 个构造演化阶段, 包括珠琼运动一幕、惠州

运动、珠琼运动二幕、南海运动和白云运动等一系列构造运动, 发育前古近系(基底)、文昌组、恩平组、珠海组、珠江组、韩江组、粤海组、万山组和第四系^[11-13,30]。古近系文昌组发育 6 个三级层序, 不同洼陷三级层序发育完整程度不同, 其中西江 36 洼早断早衰, 缺少文一段地层。珠一坳陷勘探实践表明, 纵向上文四段和文三段为珠一坳陷最有利生烃层段, 文昌组、恩平组和珠江组等多套储盖组合, 其中珠江组 T50 界面(上下珠江组的分界面)附近发育一套大规模的区域海泛泥岩, 为研究区最有利的区域盖层(图 2)。

2 洼陷结构特征与构造演化

2.1 洼陷结构特征

西江 36 洼呈 NE 向展布, 分为东、西两个次洼(图 1b), 其中东次洼面积约 267 km², 西次洼面积约 232 km²。在西江 36 洼的陡坡带以及西江 36 洼和番禺 4 洼的过渡部位发育一系列 EW 向断层, 并伴随火山活动, 使得洼陷结构复杂化(图 1b、图 3)。从现今的基底地貌图(图 1b)可以看出, 西江 36 洼和番禺 4 洼为分割的两个洼陷, 番禺 4 洼为 NE 向展布, 而西江 36 洼为近 EW 向展布。因此, 前人认为西江 36 洼主体受 EW 向断层控制, 为晚文昌—恩平期发育, 断陷规模和文昌组厚度相对较小^[31]。

本次利用重处理的连片三维地震资料, 在 T80(古近系文昌组顶面)沿层相干切片上可以清晰见到西江 36 洼和番禺 4 洼是由一条统一的 NE 向控洼断层控制(图 4)。从垂直控洼断层的地震剖面上可以看出, 西江 36 洼为南断北超的箕状断陷特征, 陡坡带受 EW 向断层和火山活动影响而复杂化(图 5c、d)。而番禺 4 洼呈现出双断的特征, 但整体为南断北超的结构特征, 北侧为调节断层, 南侧是主控断层(图 5a、b)。

2.2 构造演化过程

在钻井标定、层位解释和地层接触关系分析的基础上, 对西江 36 洼和番禺 4 洼的地震剖面进行构造恢复。可以发现, 在珠琼一幕运动时期, 西江 36 洼优先张裂接受沉积, 发育文六段沉积。文五—文四段沉积期, 西江 36 洼和番禺 4 洼连通为统一的湖盆接受沉积。下文昌组沉积末期, 受惠州运动的影响, 部分地区抬升遭受剥蚀。上文昌组沉积时期, 西江 36 洼和番禺 4 洼为统一湖盆, 文昌组沉积

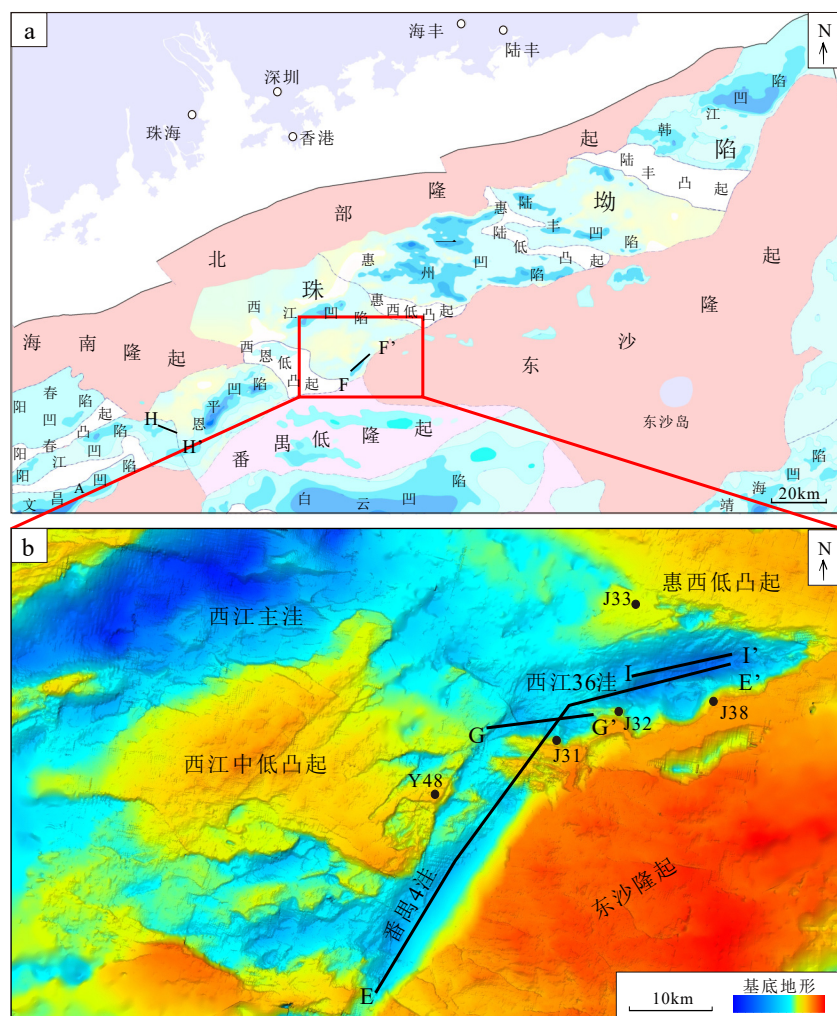


图1 西江36洼位置图(a)和基底地形图(b) [14]

Fig.1 Tectonic sitting (a) of the Xijiang 36 Sag and the submarine geomorphology of the sediment basement (b)

末期,受到珠琼运动二幕的影响,大范围遭受抬升剥蚀。进入恩平期以后,整体沉降接受统一的沉积(图6)。

在此基础上对西江36洼的洼陷演化特征做了分析。早文昌期,在NW-SE向伸展应力背景下,珠江口盆地NE向先存断层优先活化,控制了西江36洼NE向控洼断层的发育。由于断陷期湖盆在隆起区一侧没有接受沉积,分析断陷期控洼断层活动性一般运用断层断距-距离曲线图[32-33]。从控洼断层F1断层断距-距离曲线图上可以看出,古近系文六段沉积期,控洼断层F1的13-17号样点断距大于零,断层开始活动;且13-17号样点对应了西江36东次洼位置,即说明西江36洼东次洼优先张裂。古近系文五段沉积期,2-19号样点断距都大于零,说明控洼断层F1整体活动,但19号样点一侧断距最大,往1号样点方向断距减少,说明F1断层活动性东强西弱,即西江36西次洼继东次洼后裂开,

逐渐向番禺4洼过渡。在文昌组晚期,西江36洼逐渐停止活动,在文一段沉积时期不活动,而番禺4洼继承性发育,逐渐萎缩(图4b,图7a、b)。

文昌组沉积期,西江36洼为典型的箕状断陷结构,呈现南断北超的特点。在晚文昌—恩平期,随着区域应力背景的右旋,珠江口盆地表现为近SN向伸展应力背景,在珠琼二幕构造运动的影响下,西江36洼陡坡带发育一系列的EW向断层(图4b,图7c、d),同时伴随强烈岩浆活动。由于EW向断层断距达1139 m,而文昌组现今最大地层厚度为2057 m,陡坡带由于岩浆上拱,位于NE向控洼断层和EW向调节断层之间的地层遭受大幅度隆升剥蚀[34],造成现今西江36洼文昌组深度图上展现出:文昌组地层最厚的位置为EW向断层附近,EW向断层为控洼断层的假象。而实际上,西江36洼原始沉积期地层最厚的位置位于NE向控洼断层附近。

因此,西江36洼和番禺4洼原始沉积时期为

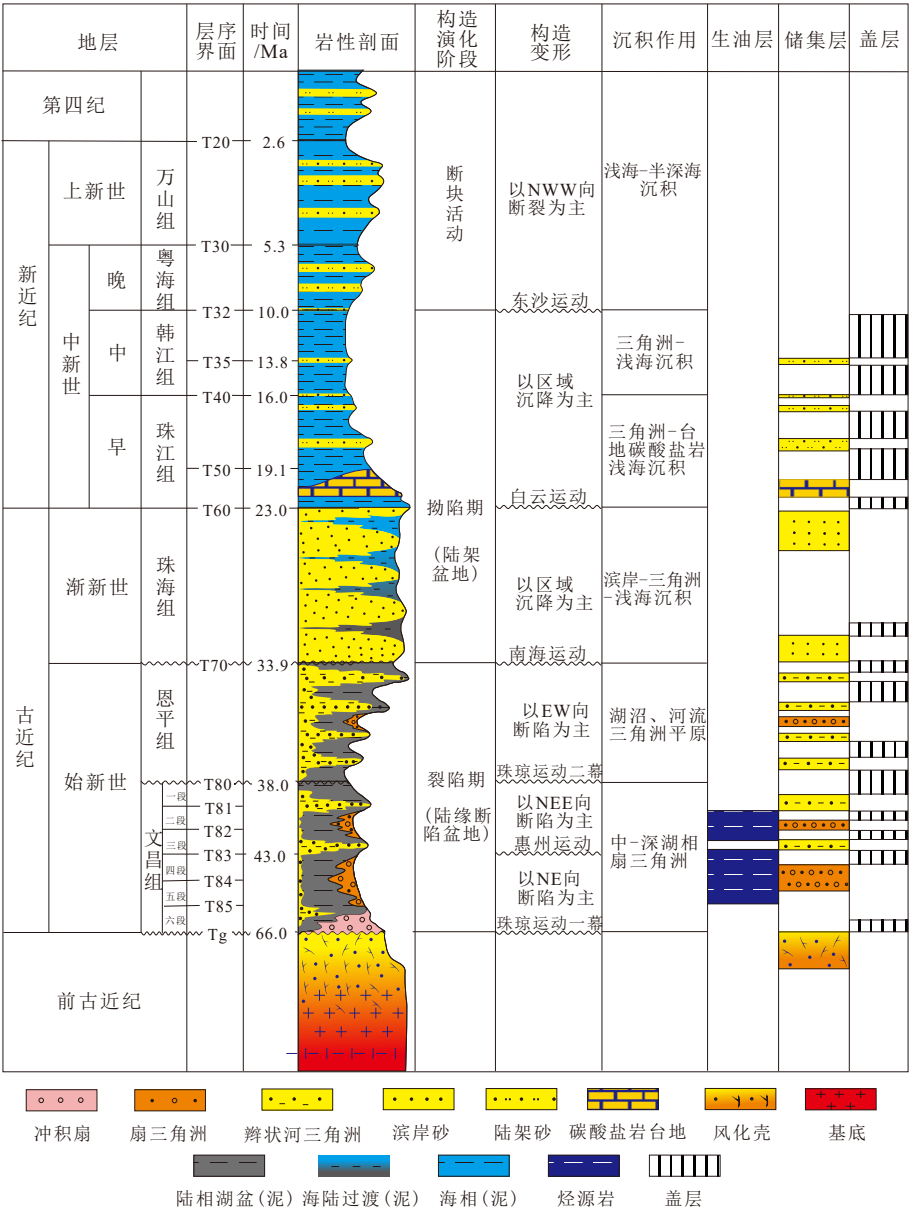


图 2 珠一坳陷综合柱状图^[12]
Fig.2 Comprehensive geological column of the Zhu I Depression

NE 向断层控制的统一湖盆。古近系文昌组西江 36 东次洼优先张裂沉积了文六段, 而西江 36 西次洼和番禺 4 洼随后张裂接受沉积。晚文昌期, 番禺 4 洼为继承性发育, 而西江 36 洼先萎缩, 不发育文一段地层。

2.3 原型盆地恢复

原型盆地恢复的方法有很多, 常用的方法有泥岩声波时差校正法、古地温法、镜质体反射率法、沉积速率法以及残余地层厚度趋势延伸法等^[35-40]。本次研究为了分析西江 36 洼和番禺 4 洼的洼陷结构关系和演化过程, 服务于西江 36 洼烃源岩评价, 对西江 36 洼和番禺 4 洼进行了原型盆地恢复。由

于西江 36 洼缺少钻遇古近系文昌组厚层泥岩钻井, 本次研究采用残余地层厚度趋势法来研究西江 36 洼的演化过程, 以及西江 36 洼和番禺 4 洼文昌期的沉积充填关系。

地层趋势厚度法是运用从洼陷中心往湖盆边缘沉积地层厚度逐渐减薄的原理, 利用沉积地层厚度变化趋势来恢复地层剥蚀厚度的方法。在地震剖面上首先识别残余地层厚度, 然后选取地层接触关系明显的地震剖面, 识别地层剥蚀起点作为“起剥点”, 利用地层厚度变化趋势, 从“起剥点”往隆起区逐步恢复地层沉积时的原始产状, 在此基础上计算地层原始沉积厚度。地层原始沉积厚度和残余地层厚度的差值即为地层的剥蚀厚度。最终, 在区

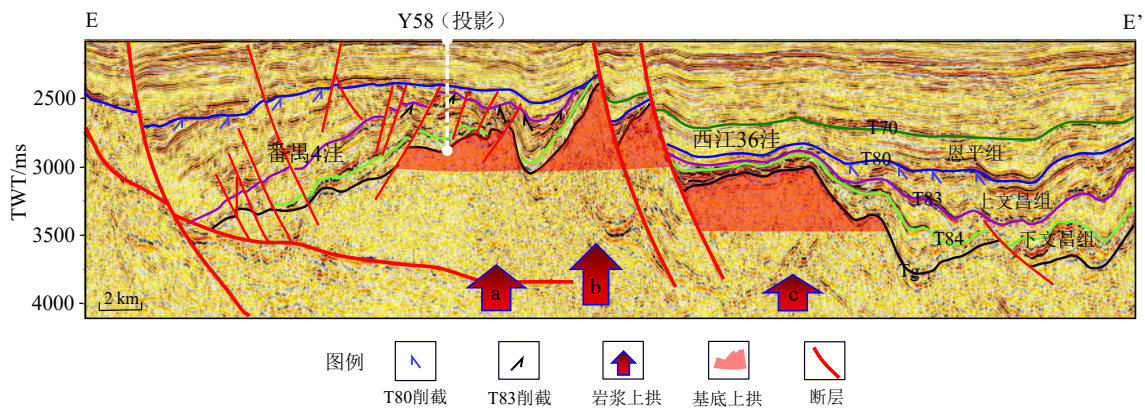


图 3 过番禺 4 注-西江 36 洼地震剖面
剖面位置见图 1。

Fig.3 An arbitrary seismic line along the Panyu 4-Xijiang 36 Sag

See Figure 1 for the cross-sectional location.

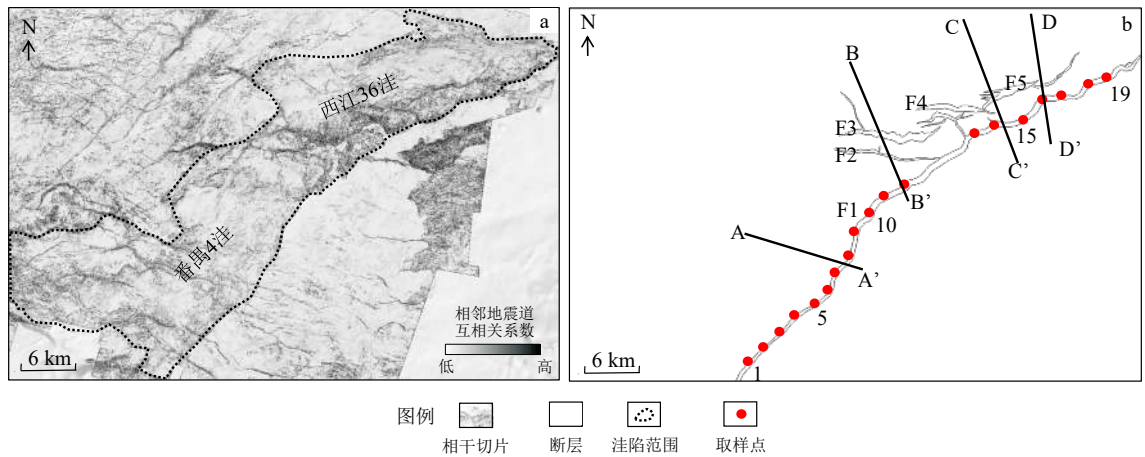


图 4 番禺 4-西江 36 洼 T80 (文昌组顶面) 沿层相干切片 (a) 与断层平面展布对比图 (b)

Fig.4 Coherent slice along the T80 (top of Wenchang Formation) horizon (a) and the plane distribution of faults (b)

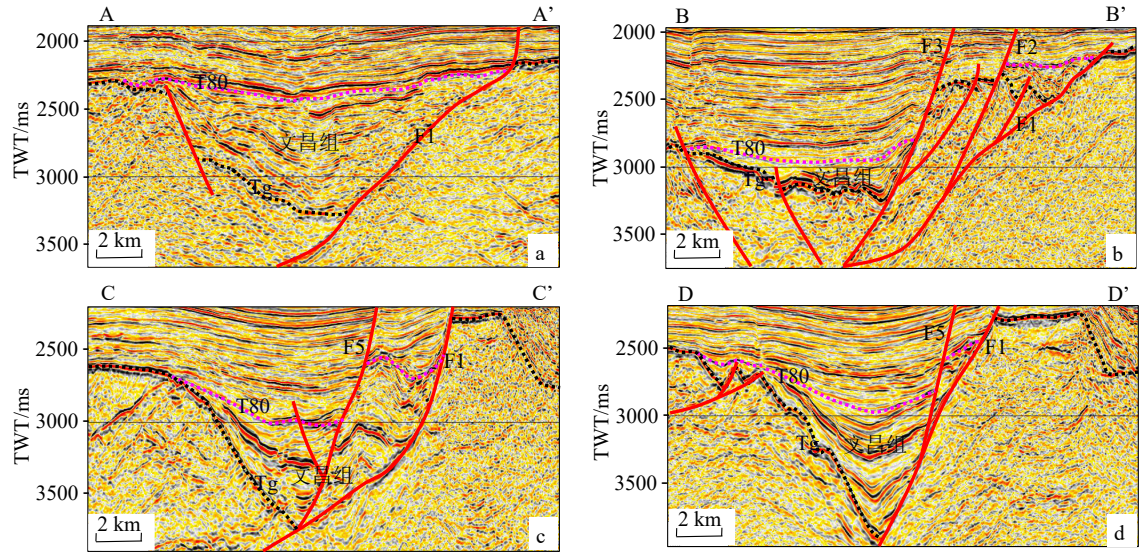


图 5 过番禺 4 和西江 36 洼地震剖面
剖面位置见图 4b。

Fig.5 Seismic sections across the Panyu 4 and Xijiang 36 Sag

See Figure 4b for the cross-sectional location.

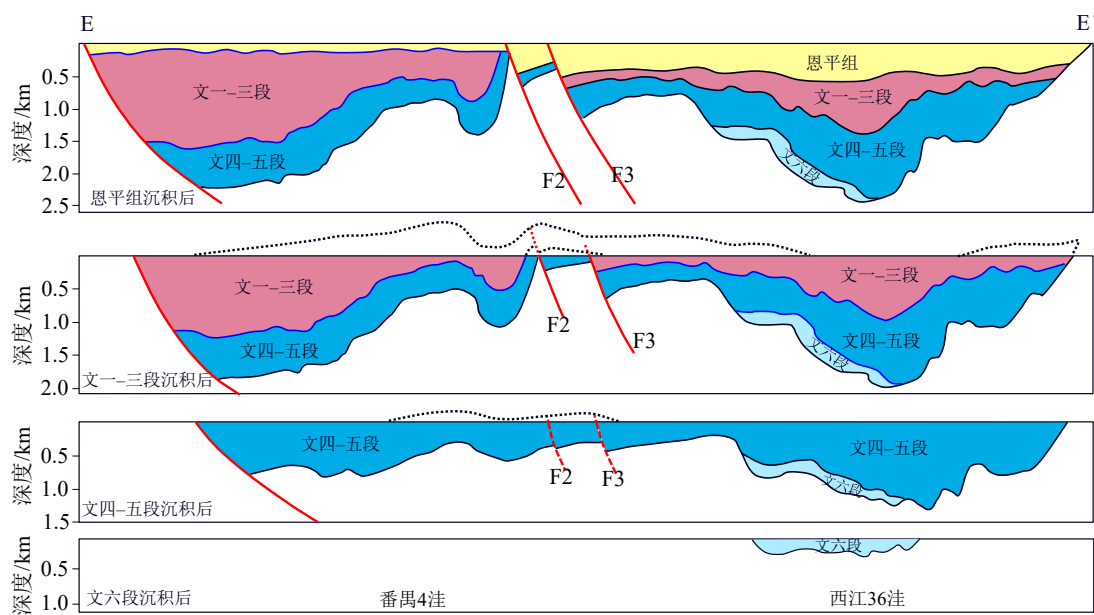


图 6 番禺 4 洼-西江 36 洼古近系构造恢复剖面
剖面位置见图 1b。

Fig.6 The Paleogene structure restoration of the Panyu 4-Xijiang 36 Sag
See Figure 1b for the cross-sectional location.

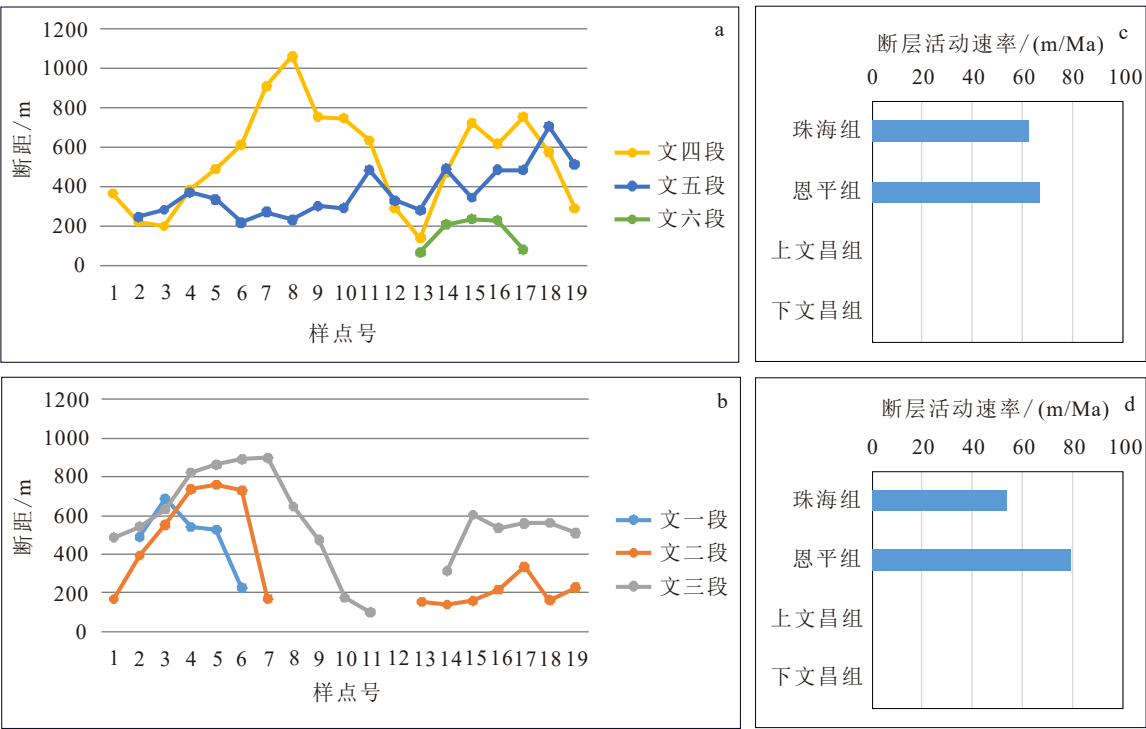


图 7 番禺 4 洼-西江 36 洼古近纪断层活动特征

取样点位置见图 4b。a. F1 断层下文昌组 (Tg-T83) 沉积期断距-距离曲线图, b. F1 断层上文昌组 (T83-T80) 沉积期断距-距离曲线图, c. F4 断层古近纪活动速率, d. F5 断层古近纪活动速率。

Fig.7 Characteristics of the Paleogene fault activity in the Panyu 4-Xijiang 36 Sag

See Figure 4b for the location of the sampling point. a. the fault distance curve of the Wenchang Formation (Tg-T83) of the F1 fault during the depositional period, b. the fault distance-distance curve of the F1 fault Wenchang Formation (T83-T80) during the depositional period, c. the Paleogene activity rate of the F4 fault, d. the Paleogene activity rate of the F5 fault.

域地质背景和研究区构造演化剖面的约束下即可恢复沉积期原型盆地^[10]。

通过研究连接西江36洼和番禺4洼的地震剖面特征,可以识别出西江36洼和番禺4洼发育3处基底隆起,分别位于番禺4洼北次洼(图3中a位置)、西江36洼与番禺4洼的交界处(图3中b位置)和西江36洼西次洼(图3中c位置)。在隆起区附近,两个大的不整合分别代表惠州运动的T83界面和珠琼运动二幕T80界面。界面之下可以见到明显的削截特征,是两次基底抬升地层遭到剥蚀的响应特征。

通过原型盆地恢复发现,下文昌组沉积时期,西江36洼和番禺4洼为连通的统一湖盆,最大沉积厚度为1200 m,下文昌组沉积末期的惠州运动时期,番禺4洼北次洼、西江36洼和番禺4洼过渡带,西江36洼西侧陡坡带遭受抬升剥蚀,最大剥蚀厚度为650 m。上文昌组沉积时期,西江36洼和番禺4洼仍为连通的统一湖盆,最大沉积厚度1900 m,上文昌组沉积末期(珠琼运动二幕运动时期),番禺4南北次洼、西江36洼和番禺4洼过渡带,西江36洼西次洼和东洼陡坡带遭受抬升剥蚀,最大剥蚀厚度为700 m。因此,原型盆地恢复结果也支持西江36洼和番禺4洼在文昌组沉积时期为统一的连通湖盆(图8)。

综上所述,受NE向先存断层活化次序的影响,西江36洼与番禺4洼的演化过程是:西江36西次洼优先发生张裂,逐渐往西江36东次洼和番禺4洼过渡。在古近系文昌组沉积期两个洼陷为NE向断层控制发育的统一沉积湖盆,水体连通。在晚文昌—恩平期,在EW向先存断层活化和岩浆活动的影响下,两个洼陷逐渐分隔开来,呈现出现今相对独立的特征。

3 油气成藏条件与勘探潜力

3.1 烃源发育特征

西江36洼没有直接钻遇烃源岩的钻井,但J31井珠江组和珠海组砂岩抽提烃中见到丰富的C₃₀ 4-甲基甾烷(图9a),推测是来源于中深湖相烃源岩。通过平面的地球化学运移聚集模拟和剖面的油气运移路径分析发现,可以向J31井运移油气的只能是西江36洼和番禺4北次洼文昌组烃源岩,而番禺4北次洼文昌组中深湖相烃源岩生成的油气如果向J31井运移,中间必须跨过两个沟槽,即穿断运移两次,且从洼陷的隆起区向洼陷带运移成藏,不符合常规成藏动力学的运移原理,很难成藏。因此,推测J31井的油气来源于西江36洼文昌

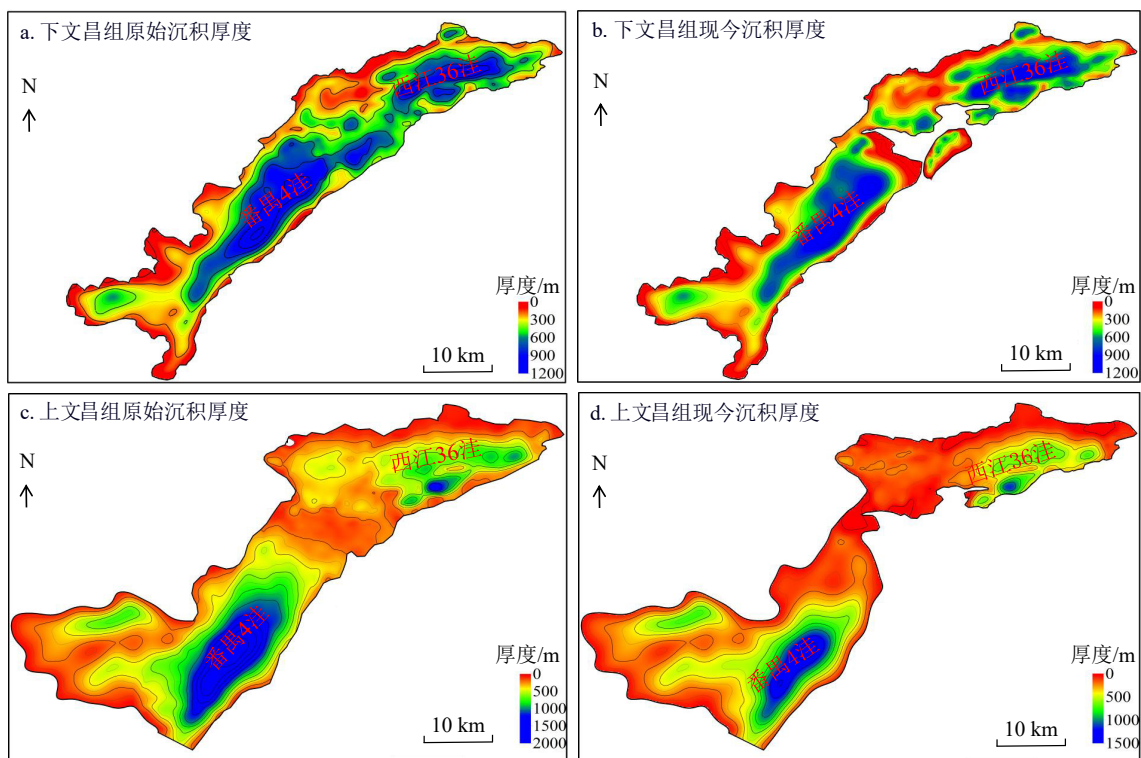


图8 番禺4洼-西江36洼文昌组沉积厚度

Fig.8 Sedimentary thickness of the Panyu 4-Xijiang 36 Sag

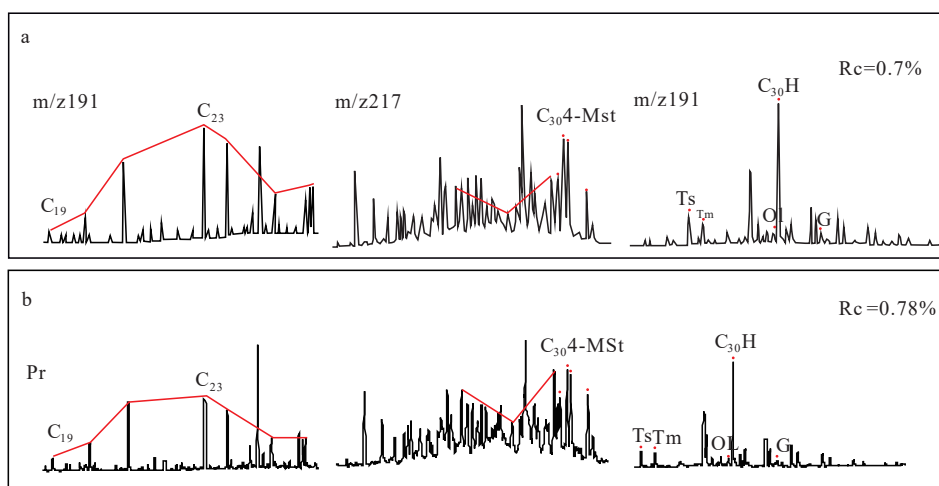


图 9 地球化学指标对比

a. J31 井地球化学指标, b. P48 井地球化学指标。

Fig.9 Comparison of geochemical indices

a. geochemical indices of Well J31, b. geochemical indices of Well P48.

组中深湖相烃源岩(图 10)。此外,将 J31 井珠江组和珠海组砂岩抽提烃的地球化学生物标志物和 Y48 井珠海组原油(来源于番禺 4 北次洼文昌组中深部)的地球化学生物标志物、碳同位素对比发现,两者相似度很高(图 9),这一结果也佐证了西江 36 洼和番禺 4 洼在文昌组沉积期为连通的统一湖盆。

西江 36 洼具备发育文昌组中深湖相烃源岩的沉积背景。文昌组沉积时期,西江 36 洼在周边惠西低凸起、西江中低凸起和东沙隆起三大物源的供给下,发育了 4 大沉积体系:北部缓坡,东、西长轴

方向以及南部陡坡沉积体系(图 1)。北部缓坡和东部长轴方向沉积体系来自惠西低凸起物源,南部陡坡沉积体系来自东沙隆起物源,西部长轴方向沉积体系则来自西江中低凸起物源。北部来自惠西低凸起物源的缓坡带沉积体系,由于受断裂坡折和挠曲坡折的控制,辫状河三角洲发育范围相对有限。南部来自东沙隆起的陡坡带沉积体系,由于受到东沙隆起上残洼的阻隔,扇三角洲发育范围仅限于陡坡第二级断阶位置。东部来自惠西低凸起的长轴沉积体系,由于受到两级断阶控制,辫状河三

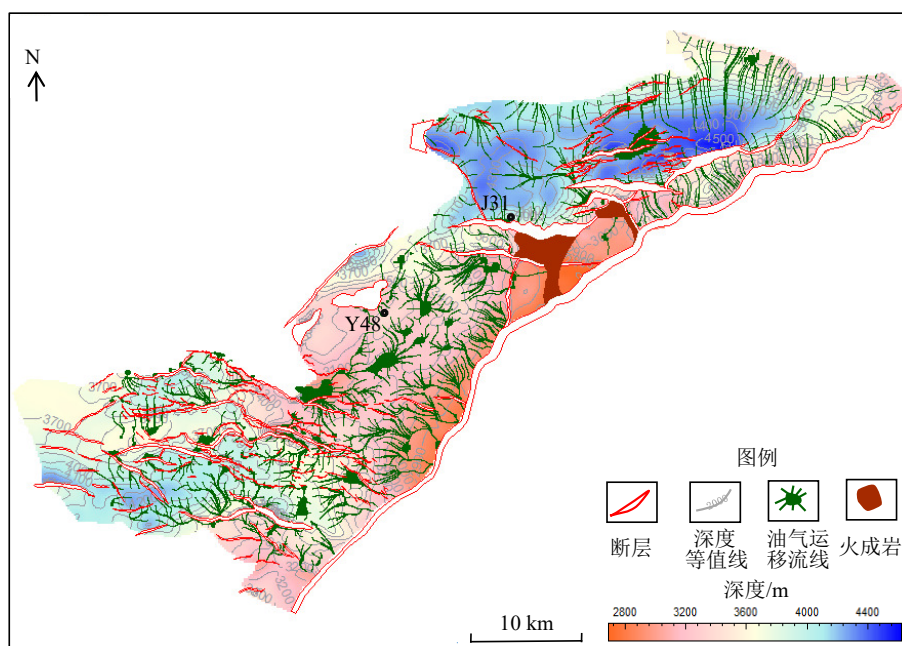


图 10 番禺 4 洼-西江 36 洼 T80 (文昌组顶面) 构造叠合油气运移流线图

Fig.10 Migration streamline and T80 (Top of Wenchang Formation) structure of the Panyu 4-Xijiang 36 Sag

角洲分布范围相对局限。西部来自西江中低凸起的长轴沉积体系,由于西江中低凸起输砂量小,同时受长距离搬运的限制,辫状河三角洲的分布范围非常局限。因此古近系文昌组沉积期,西江36洼不是完全被砂体充填,而是具备发育中深湖相烃源岩条件的沉积湖盆^[19]。

通过类比珠江口盆地钻遇文昌组烃源岩的地震相特征发现,西江36洼发育两种类型的烃源岩地震相。一种是番禺4洼Y58井钻遇的具有一定陆源输入的、大套厚层泥岩及薄层砂岩的低频连续强反射的烃源岩地震相(图11a),这种类型的烃源岩地震相主要分布在西江36西次洼下文昌组的文四段和文五段。另一种是阳江东凹恩平21洼P213、P214井钻遇的缺少陆源输入、纯净的大套厚层泥岩的中频中连续弱振幅反射的烃源岩地震相^[10,41-42](图11b)。这种类型的烃源岩地震相主要分布在西江36东次洼文五—文三段,以及西次洼的文三段。因此,西江36洼发育两种类型的烃源岩地震相,主力烃源岩发育层段为文昌组文五段—文三段(图11c、d)。

在地震相分析的基础上,圈定了西江36洼文昌组中深湖相烃源岩的分布范围(图12)。西江36洼文三段中深湖相面积约92 km²,中深湖相体积约25 km³;西江36洼文四段中深湖相面积约184 km²,中深湖相体积约46 km³;西江36洼文五段中深湖相

面积近100 km²,中深湖相体积为31 km³;西江36洼文昌组中深湖相总面积近204 km²,总体积为102 km³;番禺4洼中深湖相面积为391 km²,体积为251 km³,且番禺4洼已发现一系列油田。对比西江36洼和番禺4洼中深湖相烃源岩的规模,推测西江36洼也具备规模生烃的条件。

烃源岩的规模只是衡量烃源条件的一个方面,更重要的是烃源岩成熟度。通过对西江36洼文昌组烃源岩热演化史模拟分析发现,西江36洼文昌组烃源岩在珠江组下段沉积期(约19.1 Ma)达到成熟门限,开始进入生油阶段;在韩江组沉积末期(约10 Ma),文昌组烃源岩整体处于成熟阶段(图13);现今文昌组烃源岩大部分地区处于成熟阶段,洼陷中心烃源岩达到高成熟阶段。因此,无论是从烃源规模还是成熟度来看,西江36洼都具备规模生油的潜力。

3.2 成藏特征

通过以上分析得出,西江36洼具备发育规模烃源岩和规模生油的能力,但目前围绕西江36洼钻探的4口井(陡坡带3口井、缓坡带1口井),仅仅陡坡带J31井下珠江-珠海组砂岩抽提烃中见到丰富的C₃₀ 4-甲基甾烷。这一勘探结果似乎与西江36的烃源潜力相矛盾。

通过对西江36洼已钻4口井的详细分析发现,

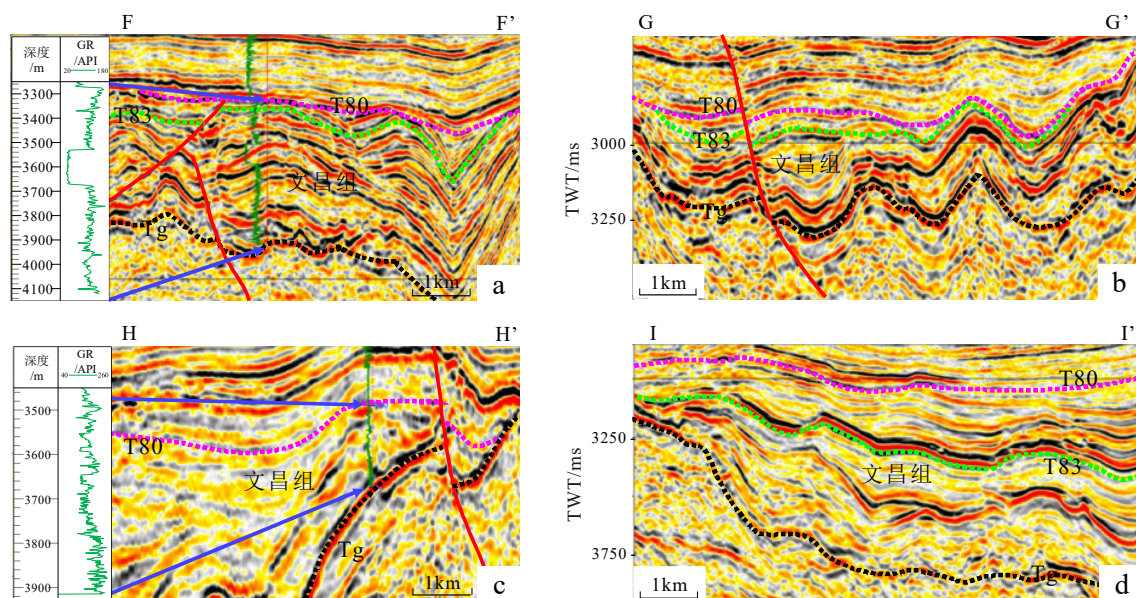


图11 烃源岩地震相对比

剖面位置见图1。

Fig.11 Comparison in seismic facies of source rocks

See Figure 1 for the cross-sectional location.

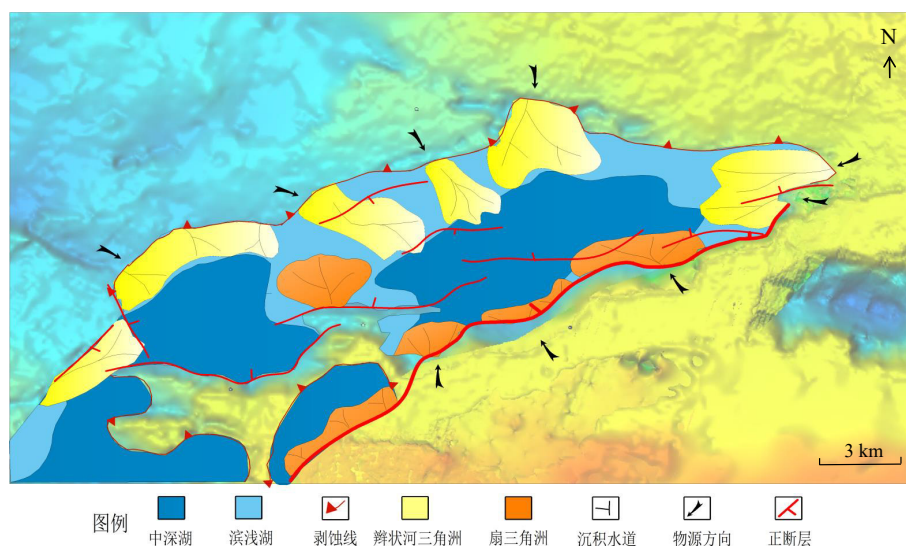


图 12 西江 36 洼文四段沉积相

Fig.12 Sedimentary facies in the Wen 4 Member of the Xijiang 36 Sag

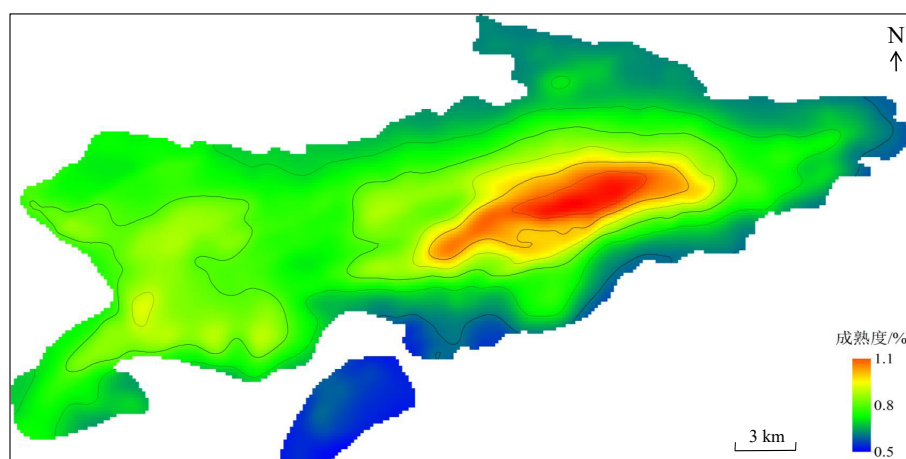


图 13 西江 36 洼烃源岩成熟度 (约 10 Ma)

Fig.13 The maturity of source rocks of the Xijiang 36 Sag (about 10 Ma)

这 4 口井钻前主要目的层在韩江组—珠江组, 主要完钻层系在珠海组。4 口已钻井揭示珠江组 T50 界面附近发育大套厚层的区域海泛泥岩盖层, 区域泥岩盖层的厚度为 180~320 m, 而油源断层在 T50 界面附近的最大断距小于 200 m, 无法突破区域泥岩盖层的限制向浅层运移。已钻 4 口井油气显示和油层发育层段都在珠江组 T50 界面之下的下珠江组和珠海组, 研究也证实了这一观点。因此, 受区域泥岩盖层和油源断层断距的影响, 推测西江 36 洼的油气可能主要在深部古近系聚集成藏。

3.3 有利勘探方向

综上, 受区域泥岩盖层和油源断层断距的影响, 深层古近系勘探应是西江 36 洼的下阶段的勘探突破口。首先, 围绕洼中隆的构造圈闭勘探为首

选, 既可探索西江 36 洼的烃源岩, 又可获得一定规模的储量发现。其次, 位于陡坡带和缓坡带深层的构造及地层圈闭, 也具备近源成藏的条件, 同时油气运移不受油源断层的限制, 也可以作为下一步重点勘探的目标。

4 结论

(1) 新生代以来先存断层的分期活化和岩浆活动, 使得西江 36 洼的洼陷结构复杂化, NE 向先存断层的活化控制了西江 36 洼和番禺 4 洼的裂陷过程和洼陷结构特征。

(2) 沉积体系分析、地震相分析、已钻井的地化对比分析和烃源岩成熟度分析说明西江 36 洼发育一定规模烃源岩, 具备较好油气成藏条件。

(3)通过对已钻井的油气成藏特征分析发现,受区域泥岩盖层和油源断层断距的影响,西江36洼以深层古近系近源成藏为特征,下一步宜聚焦古近系构造、地层和岩性圈闭开展勘探。

(4)珠江口盆地内部大量的边缘洼陷同样具有不可忽视的油气勘探潜力。后期构造运动和岩浆活动改造强烈的边缘洼陷,应该通过洼陷结构演化、原型盆地恢复和沉积体系分析,系统研究其洼陷结构、烃源潜力和成藏特征,推动此类洼陷的勘探进程。

参考文献 (References)

- [1] 张树林, 费琪, 叶加仁. 断陷盆地边缘凹陷类型及其成因[J]. 石油实验地质, 2007, 29(1): 47-51, 56. [ZHANG Shulin, FEI Qi, YE Jiaren. Types and structural characteristics of brink sags in faulted basin [J]. *Petroleum Geology and Experiment*, 2007, 29(1): 47-51, 56.]
- [2] 王航, 杨海风, 黄振, 等. 走滑强控型盆缘洼陷控洼机制及主烃灶预测: 以渤海盆地庙西南洼为例[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2021, 48(1): 53-62. [WANG Hang, YANG Haifeng, HUANG Zhen et al. The depression-controlled mechanism and prediction of hydrocarbon kitchen in the strike slip fault-controlled marginal sag: A case study of the Miaoqi sag, Bohai Basin, China [J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 2021, 48(1): 53-62.]
- [3] 张宏国, 官大勇, 宿雯, 等. 庙西凹陷中南洼烃源岩评价及其勘探启示[J]. 海洋石油, 2015, 35(1): 52-57. [ZHANG Hongguo, GUAN Dayong, SU Wen et al. Evaluation on source rocks in Miaoqi middle-southern sag and its aspiration to exploration [J]. *Offshore Oil*, 2015, 35(1): 52-57.]
- [4] 薛永安. 渤海海域油气运移“汇聚脊”模式及其对新近系油气成藏的控制[J]. 石油学报, 2018, 39(9): 963-970, 1005. [XUE Yong'an. The “catchment ridge” model of hydrocarbon migration in Bohai Sea and its control on Neogene hydrocarbon accumulation [J]. *Acta Petrole Sinica*, 2018, 39(9): 963-970, 1005.]
- [5] 薛永安, 杨海风, 徐长贵. 渤海海域黄河口凹陷斜坡带差异控藏作用及油气富集规律[J]. 中国石油勘探, 2016, 21(4): 65-74. [XUE Yong'an, YANG Haifeng, XU Changgui. Differential reservoir-controlling effect and hydrocarbon enrichment of slope zone in Huanghekou sag, Bohai Bay Basin [J]. *China Petroleum Exploration*, 2016, 21(4): 65-74.]
- [6] 吴静, 朱定伟, 赵鹏, 等. 断裂复合汇聚脊对新近系油气远距离富集的控制作用: 以珠江口盆地阳江东凹与恩平凹陷为例[J]. 大地构造与成矿学, 2021, 45(1): 131-139. [WU Jing, ZHU Dingwei, ZHAO Peng et al. Controls of faulted composite accumulation ridge on the long distance migration and accumulation of Neogene hydrocarbon: a case study of the eastern Yangjiang sag and the Enping sag in the Pearl River Mouth basin [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2021, 45(1): 131-139.]
- [7] 彭光荣, 张向涛, 许新明, 等. 南海北部珠江口盆地阳江凹陷油气勘探重要发现与认识[J]. 中国石油勘探, 2019, 24(3): 267-279. [PENG Guangrong, ZHANG Xiangtao, XU Xinming et al. Important discoveries and understandings of oil and gas exploration in Yangjiang sag of the Pearl River Mouth Basin, northern South China Sea [J]. *China Petroleum Exploration*, 2019, 24(3): 267-279.]
- [8] 彭光荣, 朱定伟, 吴静, 等. 珠江口盆地阳江凹陷油气重大发现与成藏启示[J]. 大地构造与成矿学, 2021, 45(1): 179-187. [PENG Guangrong, ZHU Dingwei, WU Jing et al. Discoveries of hydrocarbon accumulation in the Yangjiang Sag of the Pearl River mouth basin and implications [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2021, 45(1): 179-187.]
- [9] 梁卫, 彭光荣, 朱定伟, 等. 珠江口盆地阳江东凹古近系构造特征与勘探潜力[J]. 大地构造与成矿学, 2021, 45(1): 168-178. [LIANG Wei, PENG Guangrong, ZHU Dingwei et al. Paleogene structures and exploration potential in the eastern Yangjiang Sag, Pearl River Mouth basin [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2021, 45(1): 168-178.]
- [10] 汪晓萌, 彭光荣, 吴静, 等. 珠江口盆地恩平21洼文昌组沉积期原型盆地及其对优质烃源岩的控制[J]. 大地构造与成矿学, 2021, 45(1): 158-167. [WANG Xiaomeng, PENG Guangrong, WU Jing et al. Prototype basin and its control on high-quality source rocks during the depositional period of Wenchang formation in Enping 21 Sub-sag, Pearl River Mouth basin [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2021, 45(1): 158-167.]
- [11] 林鹤鸣, 刘培, 汪旭东, 等. 珠一坳陷始新世文昌组沉积期构造转换对源-汇体系的控制[J]. 大地构造与成矿学, 2021, 45(1): 188-200. [LIN Heming, LIU Pei, WANG Xudong et al. Influences of structural transformation on source-to-sink system during the depositional period of Wenchang formation of Eocene in the Zhu I depression [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2021, 45(1): 188-200.]
- [12] 施和生, 舒誉, 杜家元, 等. 珠江口盆地古近系石油地质[M]. 北京: 地质出版社, 2017. [SHI Hesheng, SHU Yu, DU Jiayuan et al. *Paleogene Petroleum Geology of the Pearl River Mouth Basin* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2017.]
- [13] 施和生, 杜家元, 梅廉夫, 等. 珠江口盆地惠州运动及其意义[J]. 石油勘探与开发, 2020, 47(3): 447-461. [SHI Hesheng, DU Jiayuan, MEI Lianfu et al. Huizhou movement and its significance in Pearl River Mouth basin, China [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2020, 47(3): 447-461.]
- [14] 吴宇翔, 柳保军, 丁琳, 等. 珠江口盆地西江凹陷南部文昌组序地层及沉积体系研究[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2022, 42(1): 146-158. [WU Yuxiang, LIU Baojun, DING Lin et al. Study on sequence stratigraphy and sedimentary systems of the Wenchang Formation in the southern Xijiang depression of the Pearl River Mouth Basin [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2022, 42(1): 146-158.]
- [15] 栗杰. 西江凹陷文昌组—恩平组烃源岩生烃潜力定量分析[D]. 中国地质大学(北京)硕士学位论文, 2020. [LI Jie. The characteristics of Cenozoic fault system in the eastern Bonan and its control on sedimentation [D]. Master Dissertation of China University of Geosciences (Beijing), 2020.]
- [16] 程园. 陆相湖盆“源—汇”系统敏感参数半定量预测模型研究[D]. 中国地质大学硕士学位论文, 2018. [CHENG Yuan. Study on semi-quantitative prediction model on sensitive parameters of Source to

- “Sink” system in continental basin [D]. Master Dissertation of China University of Geosciences, 2018.]
- [17] 郭刚, 吴景富, 吴克强, 等. 珠江口盆地隆起区残留洼陷地质特征与石油勘探新领域[J]. *石油学报*, 2013, 34(S2): 39-47. [GUO Gang, WU Jingfu, WU Keqiang et al. Geological characteristics of residual sags and a new field of petroleum exploration in the uplift area of Pearl River Mouth Basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2013, 34(S2): 39-47.]
- [18] 邓棚. 南海北部陆缘古近纪多幕裂陷作用属性及转换: 以珠江口盆地珠一坳陷为例[D]. 中国地质大学博士学位论文, 2018. [DENG Peng. The nature and tectonic transition of the multiphase rifting in the northern margin of the South China Sea: based on the study of the Zhu I Depression in Pearl River mouth basin [D]. Doctor Dissertation of China University of Geosciences, 2018.]
- [19] 曾智伟. 南海北部珠江口盆地古近纪源-汇系统耦合研究[D]. 中国地质大学博士学位论文, 2020. [ZENG Zhiwei. Source-to-sink (S2S) system Analysis of the Paleogene in the Pearl River Mouth Basin, Northern South China Sea [D]. Doctor Dissertation of China University of Geosciences, 2020.]
- [20] 漆家福, 吴景富, 马兵山, 等. 南海北部珠江口盆地中段伸展构造模型及其动力学[J]. *地质前缘*, 2019, 26(2): 203-221. [QI Jiafu, WU Jingfu, MA Bingshan et al. The structural model and dynamics concerning middle section, Pearl River Mouth Basin in north margin of South China Sea [J]. *Earth Science Frontiers*, 2019, 26(2): 203-221.]
- [21] 赵中贤, 周蒂, 廖杰. 珠江口盆地第三纪古地理及沉积演化[J]. *热带海洋学报*, 2009, 28(6): 52-60. [ZHAO Zhongxian, ZHOU Di, LIAO Jie. Tertiary paleogeography and depositional evolution in the Pearl River Mouth Basin of the northern South China Sea [J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2009, 28(6): 52-60.]
- [22] Ye Q, Mei L F, Shi H S et al. A low-angle normal fault and basement structures within the Enping Sag, Pearl River Mouth Basin: Insights into late Mesozoic to early Cenozoic tectonic evolution of the South China Sea area [J]. *Tectonophysics*, 2018, 731-732: 1-16.
- [23] Ye Q, Mei L F, Shi H S et al. The late cretaceous tectonic evolution of the South China Sea area: An overview, and new perspectives from 3D seismic reflection data [J]. *Earth-Science Reviews*, 2018, 187: 186-204.
- [24] 任建业, 庞雄, 雷超, 等. 被动陆缘洋陆转换带和岩石圈伸展破裂过程分析及其对南海陆缘深水盆地研究的启示[J]. *地质前缘*, 2015, 22(1): 102-114. [REN Jianye, PANG Xiong, LEI Chao et al. Ocean and continent transition in passive continental margins and analysis of lithospheric extension and breakup process: Implication for research of the deepwater basins in the continental margins of South China Sea [J]. *Earth Science Frontiers*, 2015, 22(1): 102-114.]
- [25] 郭伟, 徐国强, 陈兆明, 等. 珠江口盆地白云主洼古近系文昌组沉积充填特征及演化[J]. *古地理学报*, 2022, 24(1): 112-128. [GUO Wei, XU Guoqiang, CHEN Zhaoming et al. Sedimentary filling characteristics and evolution of the Paleogene Wenchang Formation in Baiyun Main Sag, Pearl River Mouth Basin [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2022, 24(1): 112-128.]
- [26] 郭小文, 何生, 石万忠. 珠江口盆地番禺低隆起轻质原油芳烃地球化学特征[J]. *石油学报*, 2008, 29(1): 52-57. [GUO Xiaowen, HE Sheng, SHI Wanzhong. Aromatic geochemistry characteristics of light oils from Panyu Lower uplift in Pearl River Mouth Basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2008, 29(1): 52-57.]
- [27] 庞雄, 陈长民, 彭大钧, 等. 南海珠江深水扇系统及油气[M]. 北京: 科学出版社, 2007. [PANG Xiong, CHEN Changmin, PENG Dajun et al. The Pearl River Deep-Water Fan System & Petroleum in South China Sea [M]. Beijing: Science Press, 2007.]
- [28] 施和生, 于水明, 梅廉夫, 等. 珠江口盆地惠州凹陷古近纪多幕裂陷特征[J]. *天然气工业*, 2009, 29(1): 35-37, 40. [SHI Hesheng, YU Shuiming, MEI Lianfu et al. Features of paleogene episodic rifting in Huizhou fault depression in the Pearl River Mouth basin [J]. *Natural Gas Industry*, 2009, 29(1): 35-37, 40.]
- [29] 王维, 叶加仁, 杨香华, 等. 珠江口盆地惠州凹陷古近纪多幕裂陷旋回的沉积物源响应[J]. *地球科学—中国地质大学学报*, 2015, 40(6): 1061-1071. [WANG Wei, YE Jiaren, ZHANG Xianghua et al. Advances of the source-to-sink units and coupling model research in continental basin [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2015, 40(6): 1061-1071.]
- [30] 朱红涛, 徐长贵, 朱筱敏, 等. 陆相盆地源—汇系统要素耦合研究进展[J]. *地球科学*, 2017, 42(11): 1851-1870. [ZHU Hongtao, XU Changgui, ZHU Xiaomin et al. Research progress on coupling of source-sink system elements in continental basins [J]. *Earth Science*, 2017, 42(11): 1851-1870.]
- [31] 叶青. 南海北部陆缘晚中生代构造体系: 动力学以及对珠江口盆地新生代构造的制约[D]. 中国地质大学博士学位论文, 2019 [YE Qing. The Late Mesozoic structure systems in the northern South China Sea margin Geodynamics and their influence on the Cenozoic structures in the Pearl River Mouth Basin [D]. Doctor Dissertation of China University of Geosciences, 2019.]
- [32] Tvedt A B M, Rotevatn A, Jackson C A L et al. Growth of normal faults in multilayer sequences: A 3D seismic case study from the Egersund Basin, Norwegian North Sea [J]. *Journal of Structural Geology*, 2013, 55: 1-20.
- [33] 付晓飞, 孙兵, 王海学, 等. 断层分段生长定量表征及在油气成藏研究中的应用[J]. *中国矿业大学学报*, 2015, 44(2): 271-281. [FU Xiaofei, SUN Bing, WANG Haixue et al. Fault segmentation growth quantitative characterization and its application on sag hydrocarbon accumulation research [J]. *Journal of China University of Mining & Technology*, 2015, 44(2): 271-281.]
- [34] 庞雄, 郑金云, 梅廉夫, 等. 先存俯冲陆缘背景下南海北部陆缘断陷特征及成因[J]. *石油勘探与开发*, 2021, 48(5): 1069-1080. [PANG Xiong, ZHENG Jinyun, MEI Lianfu et al. Characteristics and origin of continental marginal fault depressions under the background of preexisting subduction continental margin, northern South China Sea, China [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2021, 48(5): 1069-1080.]
- [35] 李坤, 赵锡奎, 沈忠民, 等. “趋势厚度法”在塔里木盆地阿克库勒凸起地层剥蚀量恢复中的应用[J]. *物探化探计算技术*, 2007, 29(5): 415-419, 369. [LI Kun, ZHAO Xikui, SHEN Zhongmin et al. Application of trend thickness method in denudation recovery in the Akekule lobe of Tarim Basin [J]. *Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration*, 2007, 29(5): 415-419, 369.]
- [36] 王毅, 金之钧. 沉积盆地中恢复地层剥蚀量的新方法[J]. *地球科学*

- 进展, 1999, 14(5): 482-486. [WANG Yi, JIN Zhijun. Progress of the methods on the recovery of the thickness of eroded strata in basin [J]. *Advance in Earth Sciences*, 1999, 14(5): 482-486.]
- [37] 梁全胜, 刘震, 何小胡, 等. 根据地震资料恢复勘探新区地层剥蚀量[J]. 新疆石油地质, 2009, 30(1): 103-105. [LIANG Quansheng, LIU Zhen, HE Xiaohu et al. Study of stratigraphic denudation recovery by seismic data in new exploration area [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2009, 30(1): 103-105.]
- [38] 赵俊兴, 陈洪德, 时志强. 古地貌恢复技术方法及其研究意义: 以鄂尔多斯盆地侏罗纪沉积前古地貌研究为例[J]. 成都理工学院学报, 2001, 28(3): 260-266. [ZHAO Junxing, CHEN Hongde, SHI Zhiqiang. The way and implications of rebuilding palaeogeomorphology: Taking the research of palaeogeomorphology of the Ordos Basin before Jurassic deposition as example [J]. *Journal of Chengdu University of Technology*, 2001, 28(3): 260-266.]
- [39] 李丽贤, 李延, 李国辉, 等. 塔里木盆地孔雀河地区地层剥蚀量恢复方法及应用探讨[J]. 石油地质与工程, 2011, 25(3): 43-45, 51. [LI Lixian, LI Yan, LI Guohui et al. Restoration method and application discussion of strata denudation quantity in Qongque river area of Tarim basin [J]. *Petroleum Geology and Engineering*, 2011, 25(3): 43-45, 51.]
- [40] 王明健, 张训华, 张运波. 临清坳陷东部早—中侏罗世地层剥蚀量恢复与原型盆地[J]. 特种油气藏, 2012, 19(6): 17-21. [WANG Mingjian, ZHANG Xunhua, ZHANG Yunbo. Restoration of denuded formation thickness and prototype basin of early to middle jurassic in eastern Linqing depression [J]. *Special Oil and Gas Reservoirs*, 2012, 19(6): 17-21.]
- [41] 吴宇翔, 舒誉, 丁琳, 等. 珠江口盆地番禺4洼文昌组基于层序地层格架约束下的优质烃源岩预测[J]. 海洋地质前沿, 2021, 37(3): 41-49. [WU Yuxiang, SHU Yu, DING Lin et al. Prediction of high quality source rocks based on sequence stratigraphic framework of Wenchang formation, Panyu 4 depression, the Pearl River Mouth Basin [J]. *Marine Geology Frontiers*, 2021, 37(3): 41-49.]
- [42] 高阳东, 张向涛, 彭光荣, 等. 珠江口盆地成盆-成烃-成藏: 代序[J]. 大地构造与成矿学, 2021, 45(1): 1-5. [GAO Yangdong, ZHANG Xiangtao, PENG Guangrong et al. Basin formation, hydrocarbon maturation and oil accumulation of the Pearl River Mouth basin: preface [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2021, 45(1): 1-5.]