

琼东南盆地南部深水区中新统水道沉积特征及演化

李丽, 杨志力, 杨涛涛, 王彬, 鲁银涛, 吴敬武

中国石油杭州地质研究院

摘要 近年来随着琼东南盆地深水区中央峡谷气田群的发现,水道砂体作为南海北部油气勘探的一种重要储层类型得到了更多的重视。基于琼东南盆地南部深水区三维地震数据以及地层切片、属性提取等地震技术,发现中新世水道频繁发育。根据水道延展方向、平面分布及下切形态等特点,中新统水道演化大致可分为3个阶段:早中新世早—中期,NE—SW向限制性水道集中发育,地震剖面上表现为中—强振幅,多呈“V”形下切;早中新世晚期—中中新世,SE—NW向顺直水道广泛发育,呈短轴状及“V”、“U”形下切;晚中新世局部发育较大规模的SE—NW向水道,呈“U”形下切。中新统水道的发育,受到古地貌和相对海平面变化的控制:早中新世,水道在海底负地形单元内集中发育;中中新世相对海平面大规模下降,水道广泛发育于台地前缘斜坡;晚中新世相对海平面快速上升,仅发育少量但规模较大的水道。

关键词 水道; 沉积特征; 地震属性; 中新统; 琼东南盆地; 南海北部

中图分类号:TE122.2 **文献标识码**:A

0 前言

近年来南海北部琼东南盆地深水区油气勘探获得一系列突破,发现了陵水17-2等多个以中央峡谷水道砂体为储层的气田,其储层主要发育在中新统黄流组和新统莺歌海组。众多学者利用野外露头、三维地震和钻井资料,对琼东南盆地深水区峡谷水道沉积充填特征、成因演化、储层发育模式和油气成藏模式等进行了分析和总结^[1-4]。关于琼东南盆地南部深水区水道的报道比较少,袁圣强等^[5]、李丽等^[6]对深水更新统水道进行了地震刻画和地质分析;田洁等^[7]对西沙海域碳酸盐台地周缘水道体系进行了分析和总结。从文献报道看,琼东南盆地水道沉积主要集中在中新世、上新世和更新世以来的地层内,其中中新世水道发育数量较多,晚中新世—上新世水道规模较大。

笔者在前人研究的基础上,基于琼东南盆地南部深水新采集的三维地震数据,采用地层切片、地震属性提取、三维雕刻等地震技术开展精细解

释,描述中新统水道的地震沉积特征,探讨水道的发育及物源体系,以期对该地区深水沉积储层的预测提供借鉴和指导。

1 区域地质背景

研究区位于南海北部陆坡深水,水深大于1 000 m,构造上处于琼东南盆地南部,东接西沙隆起,南部为广乐隆起(图1a)。受欧亚板块、太平洋板块和印—澳板块的联合作用,南海海域的构造演化经历了始新世—渐新世中晚期的断陷期、渐新世晚期—早中新世的断拗转换期及中中新世之后的拗陷期^[8]。琼东南盆地的断陷期以地堑、半地堑充填为特征,发育始新统湖相、渐新统崖城组和陵水组海陆过渡相沉积;断拗转换期发育下中新统三亚组滨浅海相沉积;拗陷期发育中中新统梅山组、上中新统黄流组、上新统莺歌海组和更新统乐东组(图1b),主要为滨浅海—半深海相,其中黄流组—莺歌海组为近年来发现的中央峡谷气田群的主要储集层系。

收稿日期:2019-05-22; 改回日期:2020-03-02; 网络出版日期:2020-11-16

本文受国家科技重大专项下课题“南海中建海域深水油气地质条件及目标评价”(编号:2017ZX05026-006)资助

第一作者:李丽,物探高级工程师,主要从事地球物理解释、储层反演及烃类检测等工作。通信地址:310023 浙江省杭州市西湖区西溪路920号; E-mail: lil_hz@petrochina.com.cn

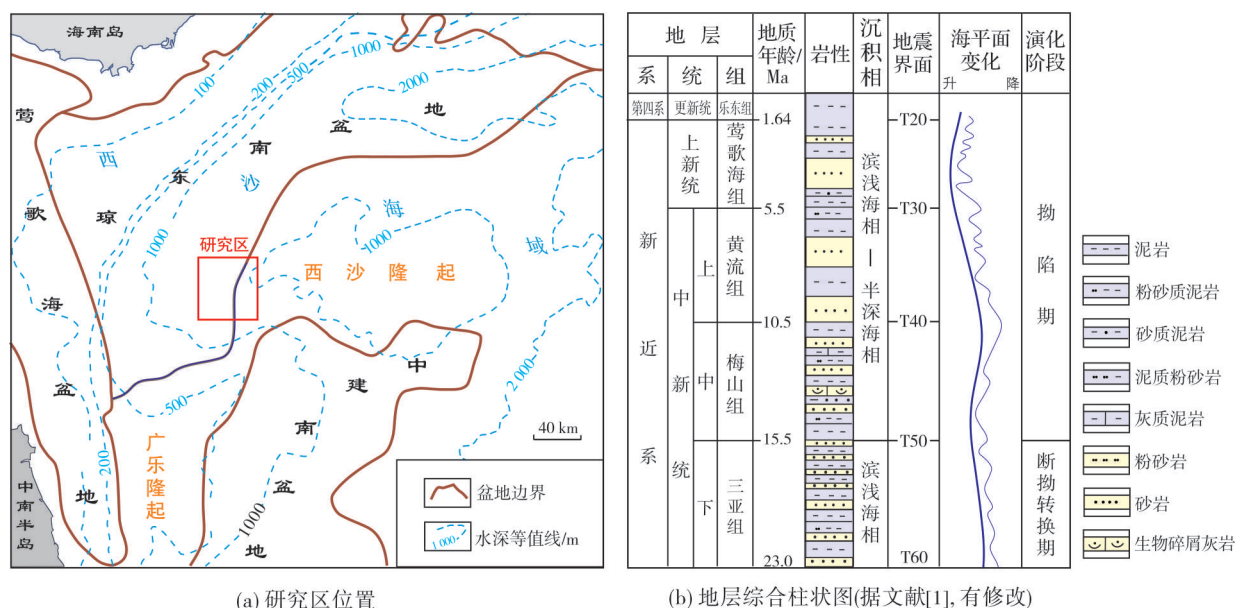


图1 研究区区域位置及新近系地层综合柱状图

Fig. 1 Tectonic location and the Neogene stratigraphic column of the study area

中新世西沙隆起、广乐隆起区发育碳酸盐台地^[9-10]；晚中新世以来西沙隆起周缘深水区基本处于半深海—深海沉积环境^[11]。

2 中新统水道发育特征

研究区目前尚无钻井,笔者通过引入区域二维资料的井-震标定成果开展三维地震地质解释。在常规地震剖面上,水道横剖面形态多具有典型的“V”形或“U”形特点,一般具有中—强振幅特征^[6-7]。

在下中新统、中中新统、上中新统顶底界面解释的基础上,沿水道相对集中发育的位置追踪等时界面,提取不同时期典型地层切片的均方根振幅属性,精细刻画水道沉积的空间特征。这套水道沉积大致相当于西沙碳酸盐台地前缘斜坡发育的沟槽相关沉积体^[12-13]。

区内水道沉积自早中新世早期开始发育,大致分为3个演化阶段,各阶段水道复合体的下切谷形态以及展布方向、分布范围有所不同(表1)。

表1 琼东南盆地南部深水区中新统水道特征及演化

Table 1 Sedimentary features of Miocene channels in the south of Qiongdongnan Basin

发育阶段		主控因素	剖面形态			平面分布		
			下切谷	深度/m	宽度/km	展布方向	长度/km	分布范围
①	早中新世早期	地形、海平面变化	“V”形	15~30	0.3~1.6	北东—南西	12~18	局部集中
	早中新世中期	海平面变化	“V”形	15~50	0.2~0.5	北东—南西 南东—北西	2~12	分布较广
②	早中新世晚期	海平面变化	“一”字形和“V”形	10~30	0.2~1.3,南部 连片区3~10	南东—北西	10~23 南部>28	分布广
	中中新世	海平面变化	以“V”形为主,部分 “U”形	20~40	0.2~0.8	南东—北西	10~22	分布广
③	晚中新世	构造沉降、海平面变化	“U”形	130	3	南东—北西	>14	局部集中

2.1 下中新统水道

在下中新统内部(T50—T60)提取了15张地层切片,包括顶底共计17张地层切片,并对这些切片

提取均方根振幅属性,观察地震异常体的发育特点。根据剖面、平面上水道地震反射特征的典型性,自下而上选择Slice14、Slice8、Slice3代表早中新世水道演化不同阶段对应的地质界面,相应地划分

出a、b、c、d等4个层段。

在工区南部的NW—SE向地震剖面上(图2),a层段内从下到上发育3条水道,除中间一条水道为中振幅反射外,另外两条水道底部均为强振幅反射,“V”形下切特征明显,水道总体具有由北向南迁移的特征;b层段内自南向北发育5条水道,主要以中振幅反射为主,个别为强振幅反射,“V”形下切特

征明显,水道总体具有由南向北迁移的特征;c层段内水道逐渐由明显的下切转变为弱下切;d层段内水道表现为短轴状、强振幅反射。在工区南部的SW—NE向地震剖面上(图3),与下伏3个层段所见的相对独立的个别水道不同,d层段内水道集中发育,在西南部横向叠置成片,多数水道无明显下切,仅中部的个别水道下切明显,下切深度达50 m。

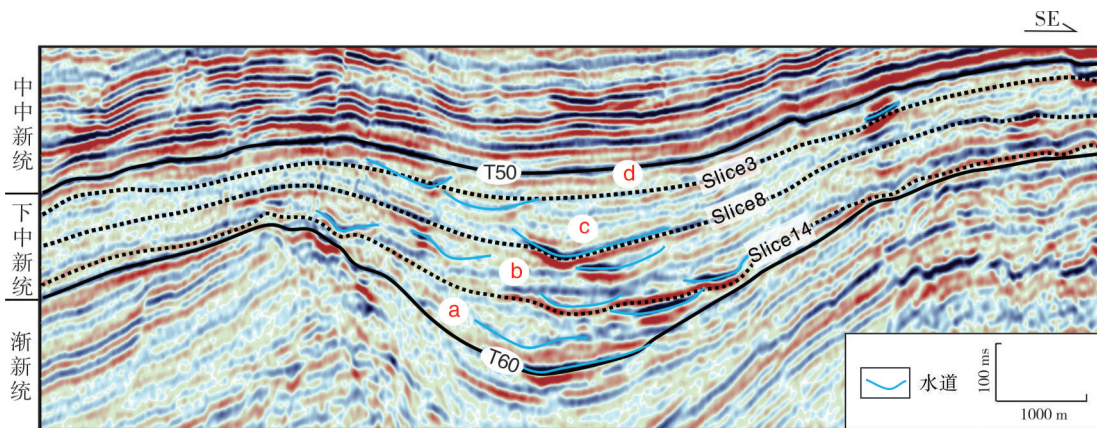


图2 研究区下中新统水道地震解释剖面(位置见图4)

Fig. 2 Seismic profile showing the Lower Miocene channels(the location is shown in Fig. 4)

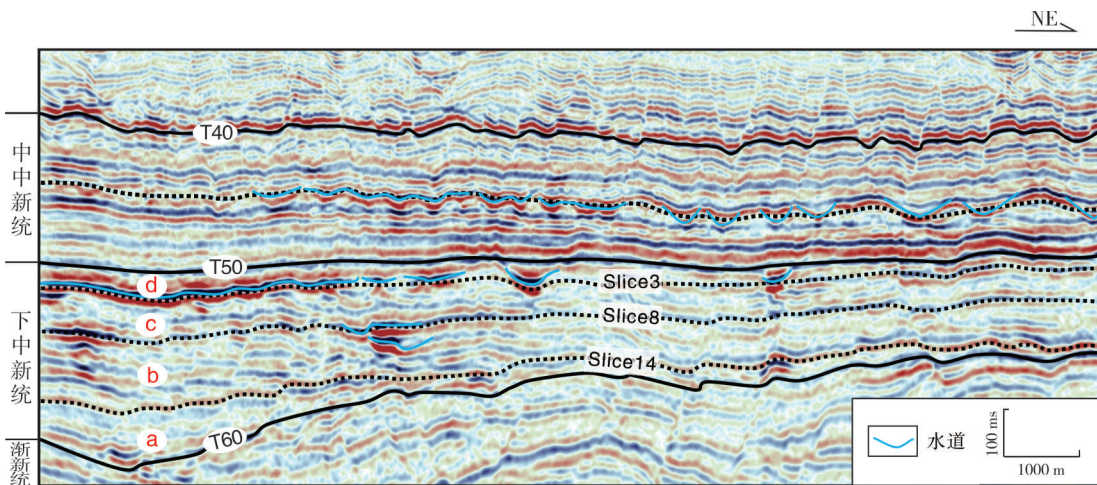


图3 研究区下中新统和中中新统水道地震解释剖面(位置见图4c、图5)

Fig. 3 Seismic profile showing the Lower Miocene and Middle Miocene channels(the location is shown in Fig. 4c and Fig. 5)

在均方根振幅地层切片上(图4),工区东部连片分布的强振幅区代表西沙碳酸盐台地,西部呈条带状展布的中—强振幅反射区代表台地前缘斜坡水道复合体。自下而上,水道复合体的优势延展方向有明显的变迁:在Slice14均方根振幅切片上(图4a),水道复合体表现为NE—SW向的线性强振幅条带,延伸长度约为12~18 km,宽300~1 600 m;在Slice8切片上(图4b),除了继承性发育NE—SW向

水道外,还发育SE—NW向水道,单条水道宽200~500 m,长度2~12 km,多数在10 km之内;在Slice3切片上(图4c),则仅集中发育SE—NW向水道,顺直水道宽度一般为200~1 300 m,西南部密集发育而联结成片,宽为3~10 km,长约28 km,东北部水道最宽可达3 000 m,水道长度为10~23 km。

从水道复合体的空间变迁来看,早中新世早期水道在台地前缘斜坡的相对负向单元内集中发育

(图2),见多期水道叠置,下切及上超充填特征明显,平面上呈NE—SW向延展(图4a),大致从东北流向西南;经过早期水道复合体的填平补齐,早中

新世中晚期在宽阔的斜坡背景上集中发育SE—NW向顺直水道(图4c),从东南流向西北,工区南部水道的下切转弱(图3),横向叠置连片。

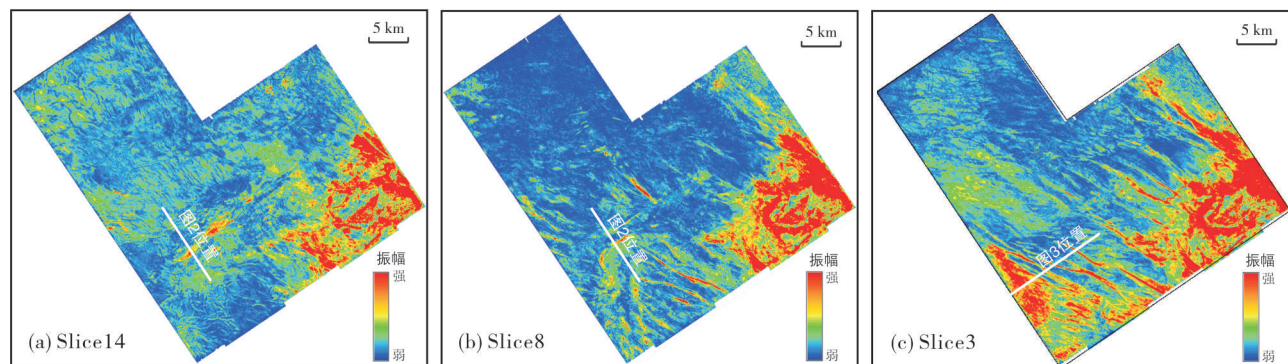


图4 研究区下中新统地层均方根振幅切片

Fig. 4 The root-mean-square (RMS) amplitude map of the strata slices in the Lower Miocene

2.2 中中新统水道

在中中新统内部(T40—T50)见有水道16条之多,多呈明显的“V”形下切(图3),下切深度为20~40 m,底部边界清晰,多为强反射,内部以弱反射为主。沿水道相对集中发育的位置追踪等时界面,提取沿层均方根振幅属性。从振幅属性平面图(图5)可见:区内SE—NW向条带状延伸的中强振幅所代表的水道非常发育,顺直水道近平行;工区南部的水道复合体往东南侧上游方向见有很多的小分支;除东北部的水道较宽(连片分布)外,其他单条水道宽度主要为200~800 m,长度为10~22 km。

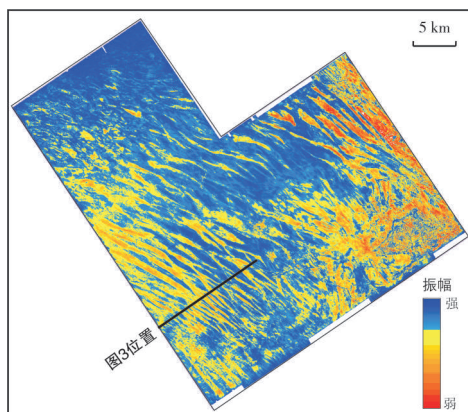


图5 研究区中中新统沿层均方根振幅属性平面图

Fig. 5 The root-mean-square amplitude map along the horizon of the Middle Miocene

2.3 上中新统水道

上中新统水道表现为宽缓的“U”形(图6a,e层

段内),为强振幅、连续—较连续反射,水道宽度约为3 km,下切幅度达100 ms,约合130 m;水道集中发育于工区的东北部(图6b),区内部分长度为14 km。该期水道是中中新世东北部水道的继承发育,由东南流向西北,位置略有迁移。

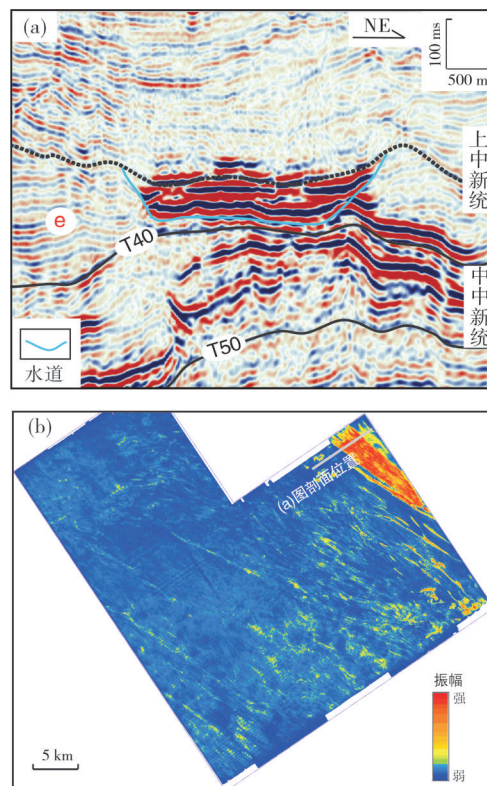


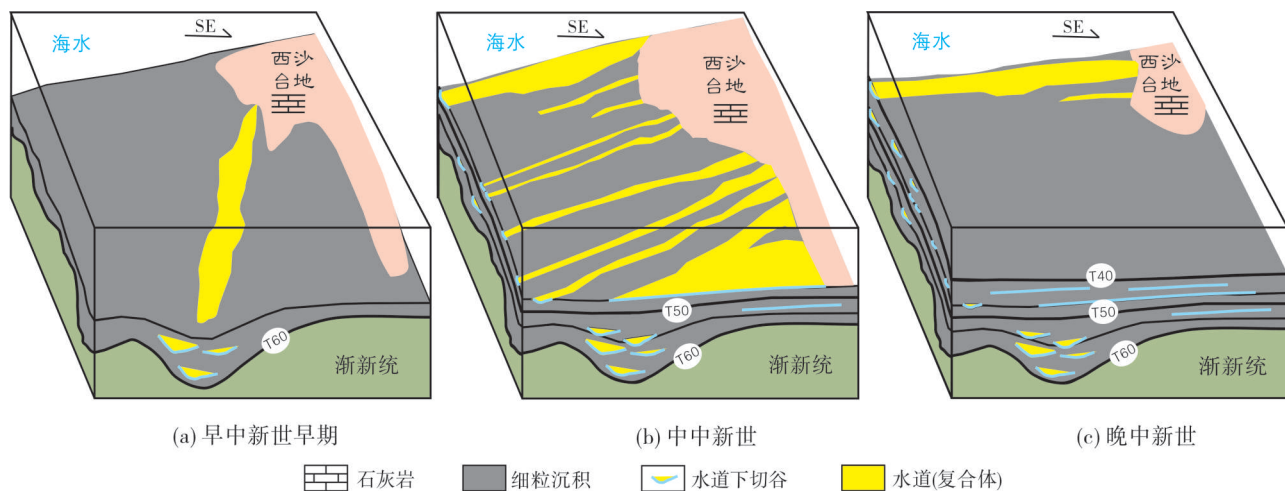
图6 研究区上中新统水道地震剖面(a)及e层段均方根振幅属性平面图(b)

Fig. 6 Seismic profile showing the Upper Miocene channel(a) and the root-mean-square amplitude map of e-layer(b)

3 水道演化及控制因素

西沙隆起西缘中新统水道的发育和演化具有明显的阶段性,结合区域构造-沉积演化背景分析,水道的演化主要受到中新世古地貌及相对海平面升降的影响。渐新世末期南海运动之后,琼东南盆地进入断拗转换期,断裂活动减弱,海平面整体处于缓慢

上升过程。这一时期西沙碳酸盐台地西缘的海底地形起伏仍较大,存在狭长的负地形,随着海平面的短期下降,来自西沙碳酸盐台地的物质经搬运沉积在负地形范围内,形成NE—SW向限制性水道(图7a,图2),并且随着微地貌、水动力强度的变化发生迁移。这一时期区内由东北流向西南的水道集中发育,一般下切深度达数十米,宽度大者可达1.6 km。



注: T40、T50、T60分别对应上、中、下中新统底界。

图7 研究区中新统水道发育模式图

Fig. 7 Development model of Miocene channels in the study area

到早中新世晚期,原本起伏较大的海底地形经填平补齐成为东南高、西北低的斜坡,作为短期海平面较明显下降的响应,源于西沙台地的重力流在台地前缘斜坡形成由东南流向西北的顺直水道以及横向叠置连片的水道复合体(图3)。这一时期研究区内水道发育较多、分布较广,一般宽度达数百米,个别水道下切幅度略大,有数十米。

中中新世海平面大规模下降,气候条件适宜,西沙碳酸盐台地发育^[13-14],在台地前缘斜坡,SE—NW向水道(复合体)广泛发育(图7b),顺直水道的下切谷横剖面呈“V”形,宽度一般为数百米,下切深度为数十米,源于台地的碎屑物质通过冲沟向盆底搬运。

晚中新世,盆地进入拗陷期,相对海平面快速上升,西沙台地范围缩小(图7c),其西缘以半深海—深海沉积为主。这一时期,以较大规模的“U”形水道相对集中发育为特点^[15],在研究区东北部发育一条由东南流向西北的顺直水道(图7c,图6),宽度达3 km,下切深度达100余米。

4 结 论

在琼东南盆地南部深水区,中新世水道(复合体)广泛发育于西沙碳酸盐台地西侧。基于精细的地震地质解释,根据水道延展方向、平面分布及下切谷形态等特点,中新统水道演化大致可分为3个阶段:早中新世早—中期,NE—SW向限制性水道集中发育,多呈“V”形下切;早中新世晚期—中中新世,SE—NW向顺直水道广泛发育,见“V”、“U”形下切;晚中新世,局部发育较大规模的SE—NW向水道,呈“U”形下切。

中新统水道的发育,受到古地貌和相对海平面变化的控制:早中新世,水道在海底负地形单元内集中发育;中中新世相对海平面大规模下降,台地前缘斜坡水道广泛发育;晚中新世相对海平面快速上升,仅集中发育少量规模较大的水道。

参考文献

- [1] 张道军,王亚辉,赵鹏,等. 南海北部莺—琼盆地轴向水道沉积特征及成因演化[J]. 中国海上油气, 2015, 27(3): 46-53.

- [2] 谢玉洪,李绪深,范彩伟,等.琼东南盆地上中新统黄流组轴向水道源汇体系与天然气成藏特征[J].石油勘探与开发,2016,43(4): 521-528.
- [3] 王振峰,孙志鹏,张迎朝,等.南海北部琼东南盆地深水中央峡谷大气田分布与成藏规律[J].中国石油勘探,2016,21(4): 54-64.
- [4] 李绪深,张迎朝,杨希冰,等.莺歌海-琼东南盆地天然气勘探新认识与新进展[J].中国海上油气,2017,29(6): 1-11.
- [5] YUAN Shengqiang, WU Shiguo, THOMAS L, et al. Fine-grained Pleistocene deepwater turbidite channel system on the slope of Qiongdongnan Basin, northern South China Sea [J]. Marine and petroleum geology, 2009, 26(8): 1441-1451.
- [6] 李丽,吕福亮,范国章,等.海洋深水水道地震综合解释技术研究:以南海北部陆坡区更新统深水水道为例[J].地球物理学进展,2012,27(3): 1020-1025.
- [7] 田洁,吴时国,王大伟,等.西沙海域碳酸盐台地周缘水道沉积体系[J].海洋科学,2016,40(6): 101-109.
- [8] 张强,贺晓苏,王彬,等.南海沉积盆地含油气系统分布特征及勘探潜力分析[J].中国海上油气,2018,30(1): 40-49.
- [9] 杨振,张光学,张莉,等.西沙海域中新世碳酸盐台地的时空分布及其油气成藏模式[J].地质学报,2017,91(6): 1360-1373.
- [10] 刘新宇,祝幼华,史德锋,等.南海西沙群岛西科1井中新世石珊瑚[J].古生物学报,2019,58(2): 249-255.
- [11] 鲁银涛,王彬,吕福亮,等.西沙周缘新生代构造演化与盆地充填响应特征[J].海洋科学,2013,37(3): 70-76.
- [12] 王国忠,戴昌凤,吕炳全,等.中国现代珊瑚礁[M]//冯增昭主编.中国沉积学(第二版).北京:石油工业出版社,2013: 1035-1045.
- [13] 鲁银涛,杨涛涛,李丽,等.西沙海区碳酸盐岩储层地震识别方法[C]//2010年国际石油地球物理技术交流会会议专刊.2010: 131-133.
- [14] 杨涛涛,吕福亮,王彬,等.西沙海域生物礁地球物理特征及油气勘探前景[J].地球物理学进展,2011,26(5): 1771-1778.
- [15] LU Yintao, LI Wei, WU Shiguo, et al. Morphology, architecture, and evolutionary processes of the Zhongjian Canyon between two carbonate platforms, South China Sea [J]. Interpretation, 2018, 6(4): S01-S016.

编辑:董庸

Sedimentary features and evolution of Miocene channels in the deep-water area of southern Qiongdongnan Basin

LI Li, YANG Zhili, YANG Taotao, WANG Bin, LU Yintao, WU Jingwu

Abstract: Deep-water channel is getting more attention as one of the important reservoirs for oil and gas exploration in the northern South China Sea with the discovery of Central Cannon gas field group. This paper describes the features of the Miocene channel system in the south of Qiongdongnan Basin and analyzes the channel evolution based on 3D seismic data and the technologies of strata slice and seismic attribute extraction. Based on extending direction, horizontal distribution and cutting shape of the channel, the evolution of Miocene channel system is divided into three stages: confined channel system with middle-high amplitude and V-shape cutting down developed in the early-middle period of the Early Miocene, extending in NE-SW direction; straight channel system with V-shape or U-shape developed widely in the late of the Early Miocene to Middle Miocene, extending in SE-NW direction; in the Late Miocene, great channel with U-shape cutting down developed locally in the northeast of the study area, extending in SE-NW direction. The development of Miocene channel system was affected by paleogeomorphology and sea level change. In the Early Miocene, confined channel system developed in narrow and low terrains around west part of Xisha carbonate platform. In the Middle Miocene, straight platform slope channels developed with relative sea level dropping. In the Late Miocene, only a few great channels developed with relative sea level fast-rising.

Key words: channel; sedimentary features; seismic attribute; Miocene; Qiongdongnan Basin; northern South China Sea

LI Li, First author: Senior Engineer, mainly engaged in geophysical reservoir evaluation. Add: PetroChina Hangzhou Research Institute of Geology, No. 920 Xixi Rd., Hangzhou, Zhejiang 310023, China