



DOI: 10.11885/j.issn.1674-5086.2025.02.28.02

文章编号: 1674-5086(2025)03-0065-11

中图分类号: TE122

文献标志码: A

# 西非下刚果盆地中新统深海水道构型样式及沉积过程

曹树春<sup>1</sup>, 刘飞<sup>2</sup>, 卜范青<sup>1\*</sup>, 齐明明<sup>1</sup>, 管红<sup>1</sup>

1. 中国海油石油国际有限公司, 北京 朝阳 100028; 2. 西南石油大学地球科学与技术学院, 四川 成都 610500

**摘要:** 下刚果盆地发育大规模深海水道沉积, 是主要的油气储层类型。针对其内部水道单元叠置样式及迁移模式尚不明晰问题, 开展了深水水道构型模式研究。研究利用三维地震资料及RGB分频属性融合技术, 在沉积构型模式驱动下, 厘清了不同水道构型级次沉积特征, 还原了研究区浊积水道沉积过程。研究取得以下认识: 研究区发育下切式限制性水道体系, 内部发育3期摆动切叠的复合水道, 底部复合水道平面顺直, 内部单一水道垂向切叠, 中部复合水道平面为低弯曲条带, 内部单一水道侧向切叠, 顶部复合水道平面高弯曲摆动, 内部单一水道侧向接触或孤立。3期复合水道对应侵蚀底形、主体沉积以及晚期废弃3个阶段, 储层形成于水道主体沉积阶段。研究明确了不同水道构型单元的沉积特征及叠置样式, 建立了研究区深海水道沉积过程, 对于同类型油藏的开发策略及高效生产有着重要的地质理论意义。

**关键词:** 下刚果盆地; 深海水道; 构型模式; 沉积过程; RGB分频融合

## Architectural Styles and Depositional Processes of Cenozoic Deep-water Channels in the Lower Congo Basin, West Africa

CAO Shuchun<sup>1</sup>, LIU Fei<sup>2</sup>, BU Fanqing<sup>1\*</sup>, QI Mingming<sup>1</sup>, GUAN Hong<sup>1</sup>

1. CNOOC International Limited, Chaoyang, Beijing 100028, China

2. School of Geoscience and Technology, Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610500, China

**Abstract:** The Lower Congo Basin has developed large-scale deep-water channel deposits, which are the primary type of hydrocarbon reservoirs. To address the unclear understanding of the internal channel unit stacking patterns and migration modes, a study on deep-water channel deposition models was conducted. This research utilized three-dimensional seismic data and RGB spectral decomposition attribute fusion techniques to investigate the sedimentary characteristics of different channel architectural levels and reconstructed the depositional process of turbidite channels in the study area. The key findings are as follows: the study area is characterized by a down-stepping confined channel system, comprising three phases of aggradational and progradational complex channels. The lower complex channels exhibit planar straight geometries with vertically stacked individual channels, while the middle complex channels form low-sinuosity belts with laterally stacked individual channels. The upper complex channels show high-sinuosity and meandering planar geometries, with individual channels laterally connected or isolated. These three phases of compound channels correspond to three stages: erosional base, main deposition, and late abandonment. Reservoir formation occurred during the main depositional stage of the channel system. This study clarifies the sedimentary characteristics and stacking patterns of different channel architectural units, and establishes a depositional model for deep-water channels in the study area. The findings hold significant geological implications for the development strategies and efficient production of similar hydrocarbon reservoirs.

**Keywords:** Lower Congo Basin; deep-sea channel; constitutive patterns; sedimentary processes; RGB spectral decomposition fusion

网络出版地址: <http://link.cnki.net/urlid/51.1718.TE.20250506.1619.002>

曹树春, 刘飞, 卜范青, 等. 西非下刚果盆地中新统深海水道构型样式及沉积过程[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2025, 47(3): 65-75.  
CAO Shuchun, LIU Fei, BU Fanqing, et al. Architectural Styles and Depositional Processes of Cenozoic Deep-water Channels in the Lower Congo Basin, West Africa[J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2025, 47(3): 65-75.

\* 收稿日期: 2025-02-28 网络出版时间: 2025-05-07

通信作者: 卜范青, E-mail: bufq@cnooc.com.cn

基金项目: 中海油“十四五”重大科技项目(KJGG2022-0904)

# 引言

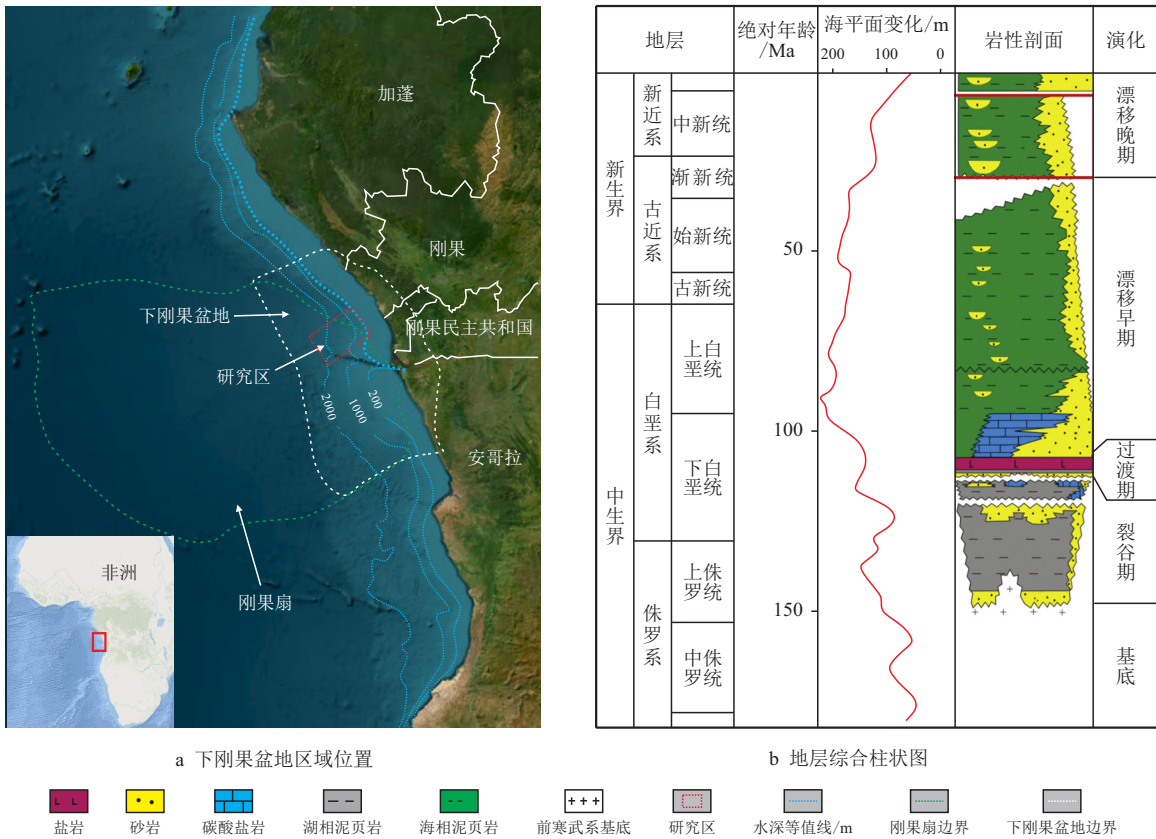
水道是深海环境下重要的碎屑物运输通道及沉积场所,也是深海油气勘探重要储层类型之一<sup>[1-3]</sup>。随着油气勘探开发由陆上向深海逐渐延伸,西非、东非、英国北海、墨西哥湾及南美等区域深水油田开发接连取得了一系列突破<sup>[4]</sup>,深海水道型浊积储层逐渐成为人们关注焦点。近年来,国内外学者在深海水道沉积过程、成因模式、主控因素及形态样式等方面研究取得了诸多进展<sup>[5-9]</sup>,Flint 等<sup>[10]</sup>利用露头资料,研究了层序控制的陆架边缘到深水盆地的水道-朵叶沉积模式及结构变化特征; Bentley 等<sup>[11]</sup>研究表明,区域构造引导了碎屑物质向深海平原运移,而海平面升降及持续性洪水推动了深海水道源-汇体系的发展; Clark 等<sup>[12]</sup>通过对东地中海黎凡特盆地地震地貌学研究,提出了约束、改道、偏转和阻塞这 4 种深海水道与局部构造交互作用类型,进而形成不同形态结构深海水道; Zhao 等<sup>[13]</sup>综合分析了尼日尔三角洲深水盆地水道决口现象,建立了决口水道的成因及沉积演化模式。但对于水道

内部构型界面划分及叠置样式研究相对较少,而水道内部构型模式建立对于深海水道型油藏的生产开发有着重要的地质意义<sup>[14-15]</sup>。尤其是部分海上油藏正处于开发中后期阶段,清晰的沉积构型理论认知是剩余油挖潜及开发策略调整的重要支撑。

综合下刚果中新统高频三维地震、测井资料,利用属性提取及 RGB 分频属性融合方法,开展研究区深水水道构型表征,明确了不同构型单元外部形态及内部结构,并建立了研究区沉积演化模式,对同类型油藏的高效开发具有一定指导和借鉴意义。

## 1 研究区概况

下刚果盆地位于非洲西部,陆上与刚果(布)及安哥拉相连(图 1a),油气资源丰富,是全球最重要的深水含油气盆地之一<sup>[16-18]</sup>。盆地北部的马永巴高原为界、南部的安布里什高原为界、东部的前寒武系基底相邻以及西部的大陆边缘围合形成了类矩形的盆地边界,总面积近 68 000 km<sup>2</sup>。盆地基底为前寒武系结晶,沉积地层主要为上侏罗统、白垩系、古近系和新近系(图 1b)。



a 下刚果盆地位置

b 地层综合柱状图



图 1 下刚果盆地区域位置及地层综合柱状图<sup>[20]</sup>

Fig. 1 Regional location of the Lower Congo Basin and lithological composite column

盆地的成因与板块构造运动关系密切,晚侏罗世南美洲板块与非洲板块分离形成裂谷,充填形成河流及湖泊沉积体系;白垩纪和古近纪,随着南大西洋逐渐形成扩张,大量海水涌入裂谷,蒸发形成大规模分布盐岩;渐新世早期—第四纪,海平面快速波动、地壳隆升及地层沉降作用驱使大量碎屑物由刚果河进入深水盆地,形成规模巨大的刚果扇。研究区为中新世沉积,边缘构造拉张、气候潮湿及局部底部盐岩隆起导致了扎伊尔(刚果)河沉积物量的增加,大量碎屑通过东西走向的刚果河被运往深水盆地,最终形成了厚度达6 000 m的深水扇复合体,现水深500~1 200 m,研究目的层位埋藏深度在1 500~3 500 m,储层岩性主要为浊积水道砂岩,整体上地层具有“泥包砂”的特征<sup>[19-21]</sup>。

研究区由北向南发育3期规模大小不一的水道(图2),均沿东西方向呈条带状展布,本次研究选取靠北的水道1作为研究对象,对其内部水道构型叠置样式展开进一步分析。

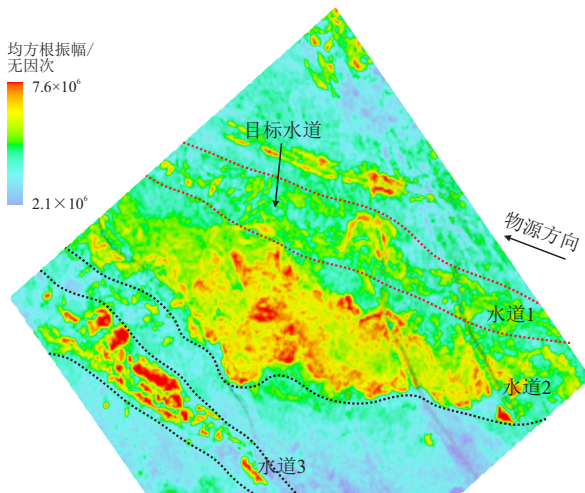


图2 研究区深海水道发育特征

Fig. 2 Development characteristics of deep-water channels in the study area

## 2 深水水道构型样式

### 2.1 沉积构型模式选取

自 Mutti 等<sup>[22]</sup> 最早提出水道构型分级模式以来,诸多学者根据地震、测井及露头提出了不同的深海水道构型分级方案<sup>[23-26]</sup>,赵晓明等<sup>[27]</sup> 结合不同构型分级方案规模、成因及非均质性特征等,建立了较为完善的十一级水道构型分级方案,详细划分为宏观勘探开发及微观分析两大类构型分级标准。根据研究区实际规模及沉积特征,结合其他深

海水道油藏构型划分标准及表征结果,选取其中水道体系-复合水道-单一水道3个构型级次作为本次研究区构型划分标准(图3)。

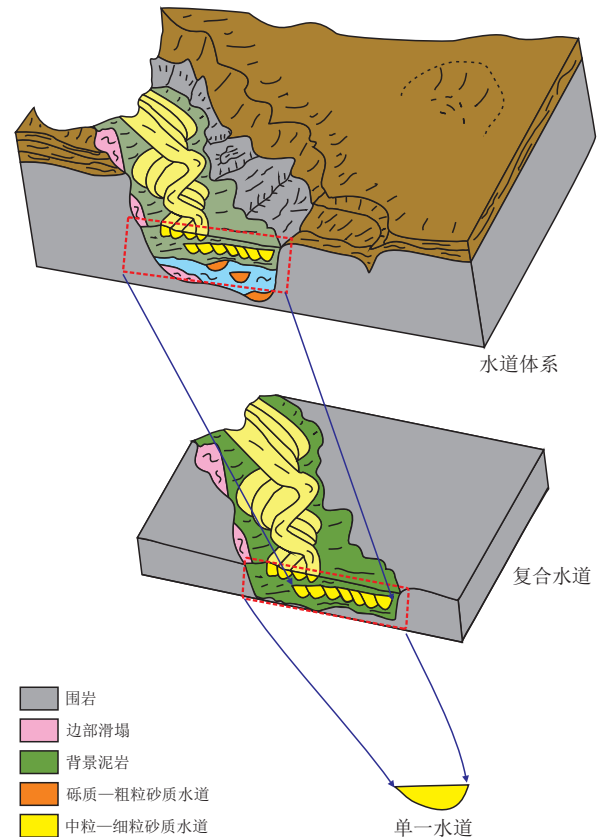


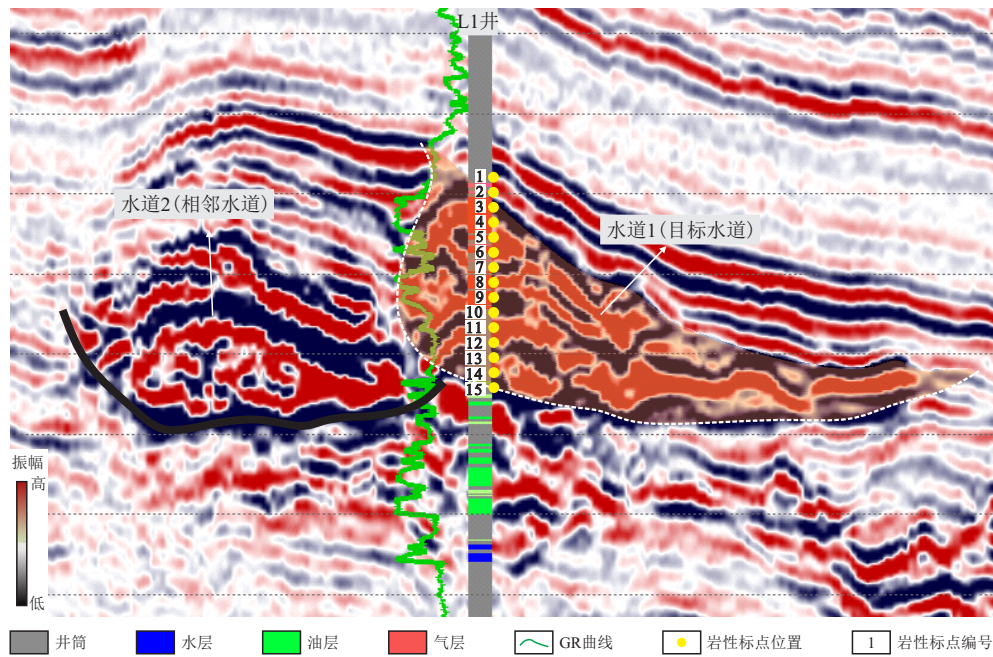
图3 研究区水道体系构型级次划分方案示意图

Fig. 3 Schematic diagram of hierarchy division of channel system architecture in the study area

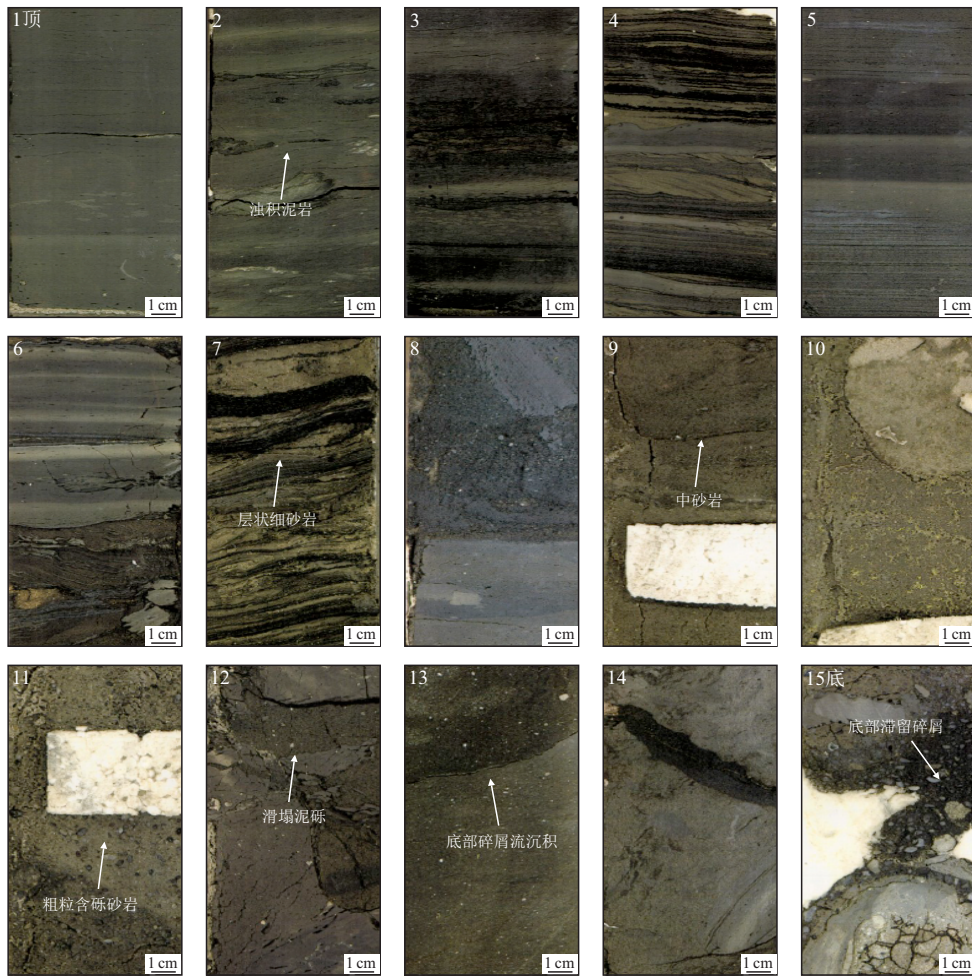
### 2.2 水道体系沉积特征

水道体系为异旋回事件成因产物,沉积时间在0.1~1.0 Ma,沉积厚度可达数十米甚至上百米,宽度在数千米到数千米<sup>[28]</sup>,是勘探阶段主要研究的水道沉积构型级次,在生产实践中常对应单个油藏范围。基于水道体系在地震剖面上表现出的外部特征,可分为限制性、半限制性及非限制性3类,每种类型又可划分为包络式及下切式两种<sup>[29]</sup>。

地震剖面上,在层位界面约束下,利用水道内部杂乱反射及泥岩整体反射偏弱特征,可刻画识别水道体系边界(图4)。研究区水道体系剖面呈U形或V形,底部及侧向侵蚀冲刷面较为明显,表现为振幅差异接触带,测井曲线呈钟型或箱型,内部岩性从底到顶依次为滑塌泥砾、底部滞留碎屑、中粗粒砂岩、细粒粉砂岩和泥岩。水道体系内部复合水道相互切叠摆动,基本不发育天然堤,为限制性下切式水道体系。



a 水道体系地震-测井反射特征



b 岩性标点处岩性照片

图 4 研究区水道体系地震-测井-岩性响应特征

Fig. 4 Seismic-logging-lithology response characteristics of channel systems in the study area

在平面上,通过均方根振幅属性图可以看出,水道体系呈条带状展布,在沿流向的10 km内,根据曲率大小将其分为顺直段、高弯曲段及低弯曲段3个区域(图5)。上游水道顺直段(曲率1.01),水道体系多呈较对称的U形,水道侧翼较陡峭;中游高弯

曲段(曲率1.23),水道形态转变为不对称V形,靠近水道外岸水道侧翼更加平缓;下游低弯曲段(曲率1.04),水道形态最初为宽U形甚至碟形,随后逐渐转变为U形。高弯曲段振幅明显强于其他区段,尤其是曲率最大处,其砂体富集可能性更高。

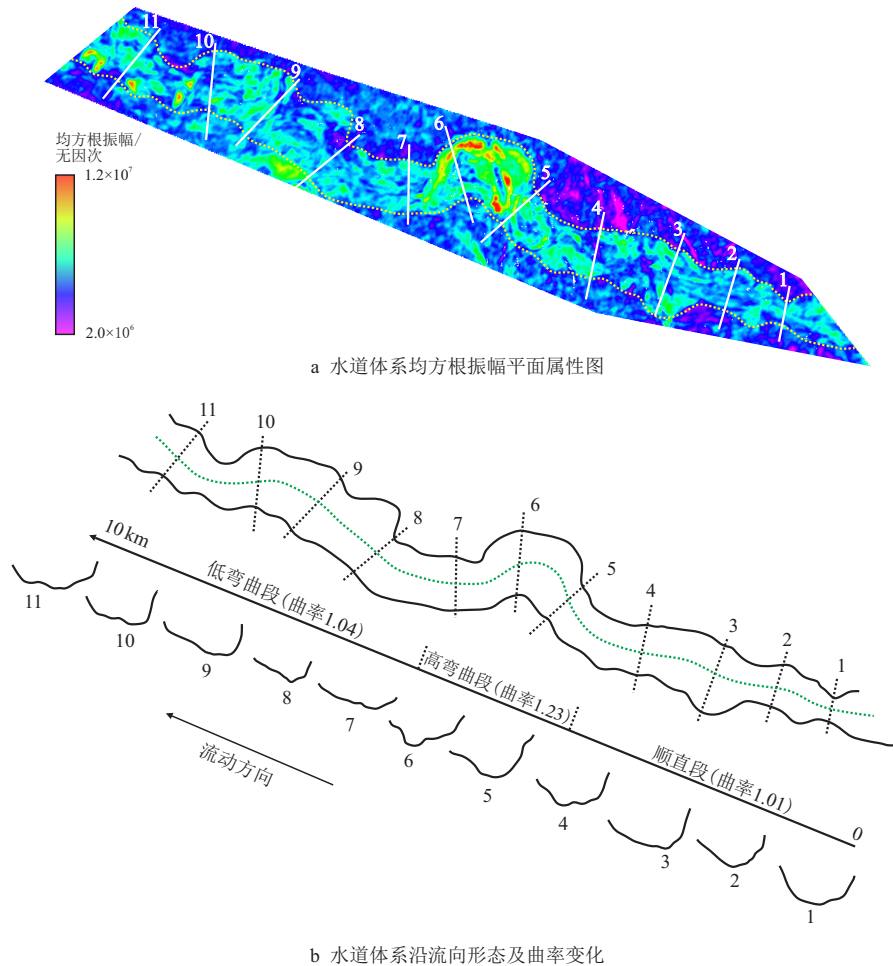


图5 研究区水道体系沿流向外部形态变化特征

Fig. 5 Characteristics of external morphological changes along the flow direction of the channel system in the study area

### 2.3 复合水道沉积特征

复合水道是水道体系控制的下次级沉积单元,其形成的时间跨度为数万年至数十万年,为自旋回事件成因产物<sup>[25]</sup>,沉积厚度在40~100 m,宽度在100~500 m。在层序地层单元中常对应单个体系域沉积,在深水油藏开发中常对应一个单层,是现阶段多数深水油藏勘探涉及尺度较小的构型单元,也是复合水道沉积理论研究与生产开发关注的重点沉积单元。

综合研究区地震同相轴反射特征,在垂向上划分出3个较为明显的包络面作为复合水道底面,并结合分频RGB属性融合方法进一步表征复合水道

构型样式。

CC1 复合水道位于水道体系最底部,其平面形态呈顺直条带状,宽300~400 m,剖面形态呈宽V形(图6a),侧向可见明显的侵蚀边界,表现为连续地层的突然截断,但并不与水道内部的砂体直接相连,两者之间常存在混杂岩性充填的侵蚀冲刷带。结合研究区水道侵蚀界面取芯资料,可以发现侵蚀面附近存在较多的撕裂泥岩碎屑(图4),表明早期的侵蚀作用会破坏并卷起下覆泥岩重新沉积,表现为地震上侵蚀边界的弱振幅条带。

CC2 复合水道位于水道中部,相较于顺直的CC1 复合水道,其沉积规模及平面弯曲度都有所增

加,宽度约为 1 000 m,部分区域宽度可达 1 300 m,平面呈部分高弯曲部分低弯曲形态,剖面呈横向展布的碟形,水道两侧侵蚀边界明显(图 6b)。在整体继承 CC1 路径基础上,CC2 复合水道开始形成弯曲段并向两侧侵蚀扩张,迁移侵蚀方向多指向水道弯曲方向。受侧向侵蚀能力及迁移速率影响,部分区域存在类似阶地的地貌特征,背离弯曲方向复合水道与较为平坦的沉积体相连,其成因可能为溢岸的低密度浊流或深海半远洋沉积。

CC3 复合水道位于水道顶部,其沉积规模相对于 CC2 有所减小,宽度约 300 m,部分区域宽度可达 650 m,弯曲度相对 CC1 及 CC2 水道明显增大(图 6c)。平面形态呈高弯曲度连续摆动的条带状,剖面上呈 V 形。水道沉积完成后部分区域被后期沉积作用改造破坏,其中,平面上靠近下方水道体系的部分弯曲段被侵蚀,以及垂向上顶部存在后期沉积的小规模泥质水道,对 CC3 复合水道切割侵蚀。

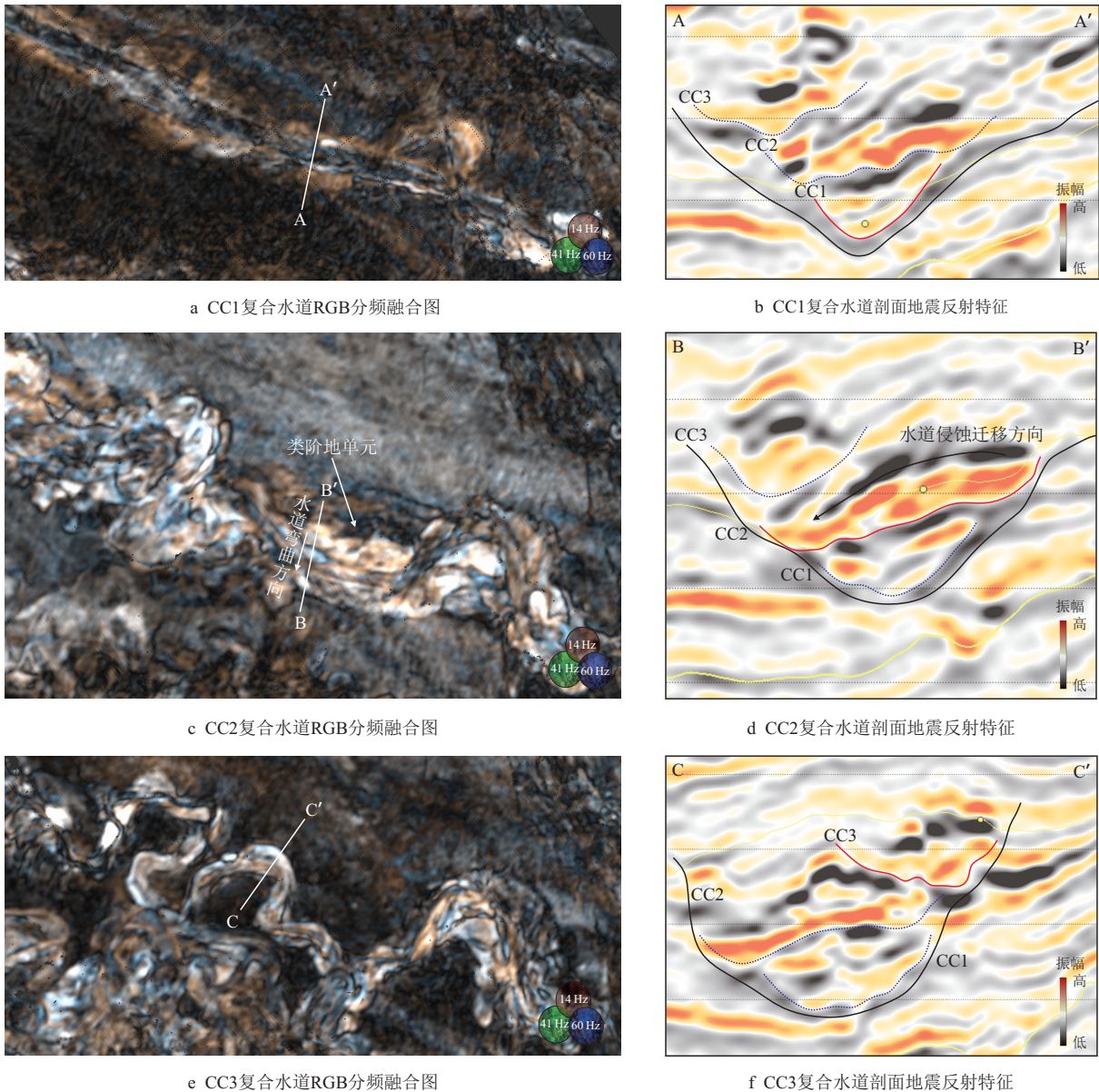


图 6 研究区复合水道平面形态及剖面结构

Fig. 6 Planar morphology and sectional structure of complex channels in the study area

水道体系界面约束下,3 期复合水道在空间上的位置组合关系多样,结合复合水道沉积构型模式,可将研究区复合水道间的叠置关系分为嵌入型、接

触型以及孤立型 3 类,纵观整个研究区,其复合水道间构型样式多以嵌入型为主,部分区域为接触型或孤立型。

在油藏储层解释工作中, 无论是海上还是陆上油藏, 都习惯性根据测井及地震相应特征划分不同层位(油组、油层组、小层及单层等), 并在层位约束下展开沉积特征分析。但就深海水道型油藏而言, 当复合水道间构型样式以孤立型及部分接触型为主时, 这类方法依然适用, 当复合水道间以嵌入型为主时, 水道内部难以保留完整的不相交界面分隔不同沉积单元, 强行划分小层界面往往影响后续沉积解释准确性, 因此, 在科学的沉积理论模式指导下, 厘清储层砂体的构型界面及叠置样式, 对于油藏的生产开发有着重要意义。

### 2.4 单一水道沉积特征

单一水道为复合水道内部的次一级成因单元, 为单次重力流事件成因产物, 时间跨度为数千年到数万年, 沉积厚度一般为数十米, 宽度为数百米。单一水道是深水水道型储层油藏勘探中所能识别的最小沉积单元, 是油藏储层连通性研究的重要对象, 也是水道成因演化研究的基本沉积单元。

单一水道构型研究包括了其外部形态、内部结构以及平面迁移模式。其中, 外部形态可通过地震剖面反射特征表现, 单个单一水道在剖面上多表现

为强振幅团块, 对应完整或二分之一地震反射轴; 对于单一水道间, 水道边缘部分的砂质含量相对于水道主体部分的砂质含量更低<sup>[30-31]</sup>, 粒度更细, 振幅相对于水道主体部分的振幅要弱, 利用振幅强弱变换位置识别单一水道边界。内部结构上根据单一水道间的相互叠置关系分为垂向、侧向、摆动、嵌入、接触和孤立组合等 6 类<sup>[29]</sup>。

根据研究区剖面解释结果, 垂向上不同复合水道内单一水道的叠置样式存在差异(图 7): CC1 基本为垂向、摆动嵌入型, 低宽度、低曲率及较强的侵蚀能力, 控制了水道难以向侧向进行迁移, 最终形成以切叠型为主的构型样式; CC2 基本为侧向嵌入型, 后期水道在侧向上侵蚀切割前期水道迁移, 迁移方向一般指向水道弯曲方向, 侧向上迁移距离的增加, 复合水道横向展布范围变大, 在平面上表现为 CC2 宽度的大幅度增加; CC3 基本为摆动接触或孤立式, 在 CC2 侧向迁移为主的基础上, 其侧向及垂向迁移能力都开始增加, 剖面上不同期次单一水道间相互搭接或被弱振幅条带分隔, 较大的摆动迁移能力使得其在不同弯曲段形成更大的来回摆动距离, 进而形成高弯曲摆动的平面形态。

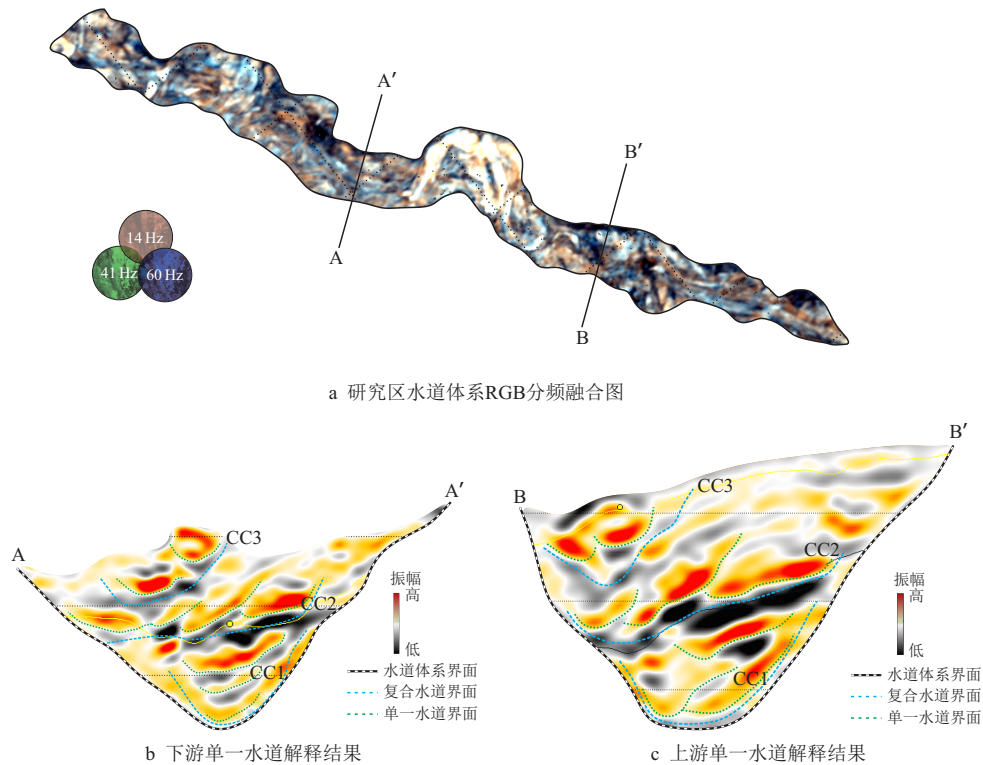


图 7 研究区单一水道构型特征剖面解释结果

Fig. 7 Sectional interpretation results of architectural characteristics of single channel in the study area

除剖面叠置样式外, 不同期次单一水道在平面上可形成多种路径迁移模式, 整体分为有序迁移(沿

流向迁移型、扩张型、收缩型、原地侵蚀型及单向迁移型)和无序迁移两类<sup>[32]</sup>,其中,有序迁移中的沿流向迁移及扩张型迁移是深水水道中最为常见两种模式。通过沿流向不同剖面单一水道构型刻画与表征,明确其平面边界范围,进而分析不同复合水道内单一水道数量及迁移模式(图8)。

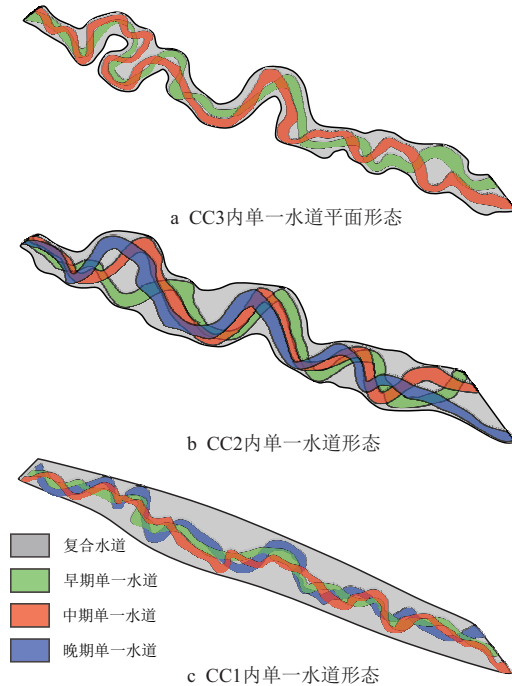


图8 研究区单一水道平面形态表征结果

Fig. 8 Planar morphological characterization results of single channel in the study area

CC1 复合水道内发育3期单一水道,虽然复合水道形态顺直,但其内部可以形成弯曲-顺直交替的单一水道,靠近起点和终点区域,水道在平面上低弯曲规律性摆动,迁移样式多为沿流向迁移型;中间区域则先形成高弯曲段后转变为顺直形态,水道间没有明显的迁移规律。CC2 复合水道发育3条单一水道,除起点和终点附近区域,单一水道平面均呈高弯度规律性摆动,平面迁移样式为沿流向迁移型;CC3 复合水道发育两条单一水道,水道间迁移样式多呈沿流向迁移型,但在终点部分极高弯曲段,水道间迁移样式转变为扩张型。

### 3 沉积演化模式

结合不同水道构型单元的沉积特征,可将研究区的水道沉积分为侵蚀底形、主体沉积及晚期废弃3个沉积阶段(图9)。

侵蚀底形阶段:对应 CC1 复合水道,侵蚀形成

水道底形。这一阶段,海平面整体处于快速下降阶段,按深水层序划分属于强制海退体系域晚期,物源供给增多,大量碎屑物质沿陆架下坡向深海平原运移,侵蚀破坏下覆地层形成水道底形。此阶段水道内部可容空间较小,水道处于形成初始阶段,形成水道沉积体的重力流事件开始发育,流态类型多由团块运移的高能碎屑流组成<sup>[33]</sup>,下覆深海泥岩或其他沉积单元被侵蚀卷起,就地或在不远处重新参与沉积。形成的沉积物多见于水道体系底部或靠近底部侧翼,如泥砾、粉砂及砾石等混杂的底部滞留成因岩相(图4),当重力流事件由区域性块体搬运沉积作用形成时,还可见变形构造发育的大块泥岩体等滑塌成因岩相<sup>[31]</sup>。碎屑流较强的下切侵蚀作用形成了水道底形,在剖面上多呈V形,平面上呈顺直形态,此时水道内充填物多以过路沉积为主,规模一般较小,内部的单一水道在较小空间限制下相互切叠。

主体沉积阶段:对应 CC2 复合水道,是水道内砂体沉积的主要阶段。海平面上升早期,即低位体系域和海侵体系域早期阶段,水道内沉积物供给开始缓慢减少,整体沉积环境趋于稳定,大量中-粗砾砂质沉积物开始沉积。随着重力流事件的进行,前期密度大、能量高的碎屑流最先沉积,此时水道内的流体类型以高密度浊流为主,岩相类型主要为块状的中粗粒砂岩。相较于高能碎屑流,此时流体下切侵蚀能力相对减弱,侧向侵蚀能力增强,且垂向上可容纳空间的增加也为水道侧向侵蚀迁移提供了有利条件。这一阶段内,水道横向规模变大,部分弯曲段开始发育,内部的单一水道构型样式向侧向嵌入型转变。

晚期废弃阶段:对应 CC3 复合水道,是水道体系的晚期一废弃阶段。海平面上升晚期,即海侵体系域晚期和高位体系域阶段,同一区域内沉积物沉积供给持续减少,沉积物泥质含量逐渐增加。伴随水道主要砂体沉积完成,单期的重力流事件开始进入晚期,垂向上流体类型向低密度浊流过渡,此时水道内主要充填的岩相类型为细、粉砂岩以及泥质浊流沉积物,其侵蚀下切能力进一步减弱,侧向摆动能力相对增加。同时随着可容纳空间的进一步增大,原有水道弯曲路径基础上继续向水道弯曲方向迁移摆动,形成高曲率摆动的平面形态,单一水道间也逐渐远离形成孤立型叠置样式。

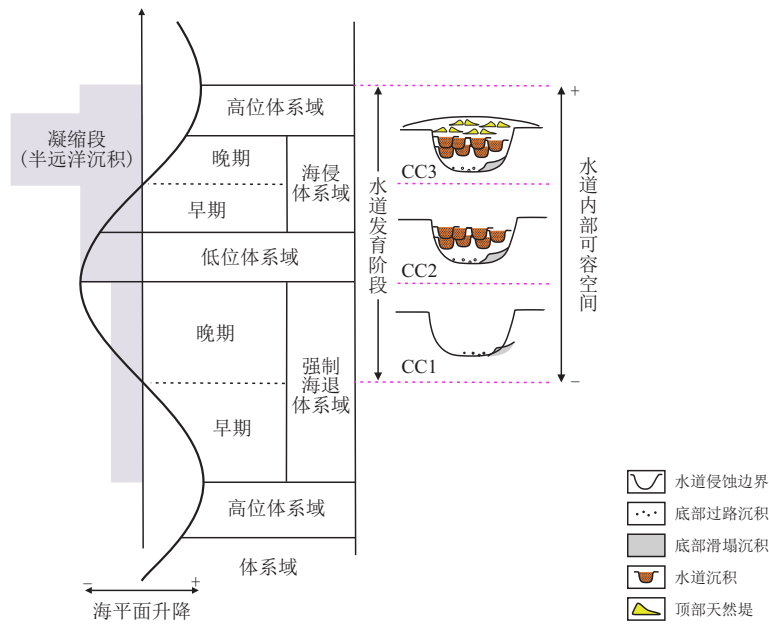


图 9 研究区水道沉积演化阶段划分

Fig. 9 Division of depositional evolution stages of channels in the study area

3 个演化阶段对应不同的海平面升降阶段及重力流沉积过程, 也反映了不同时期水道体系内的砂体分布特征。底形侵蚀阶段水道内充填的岩相为混杂沉积碎屑岩, 虽然沉积物供给充足, 但过路沉积主导的沉积作用决定了难以形成广泛分布的连续砂体; 晚期废弃阶段沉积物供给多偏向泥质, 且供给量较低, 连续的侧向摆动也难以形成连续砂体; 只有在水道主体沉积阶段, 水道内部以块状中粗粒砂质沉积为代表的高密度浊流岩相充填, 且在平面上大规模连续分布, 这种垂向上砂体分布特征的变化对于水道型油藏开发策略的制定有着较强的理论指导意义。

## 4 结 论

1) 通过研究, 在垂向上识别出 CC1、CC2 及 CC3 等 3 期复合水道, CC1 呈顺直形态分布在水道底部, 内部发育 3 条单一水道; CC2 呈低弯曲形态分布在水道中部, 内部发育 3 条单一水道; CC3 呈高弯曲形态分布在水道顶部, 内部发育两条单一水道。

2) 研究区复合水道间构型样式为摆动嵌入或接触型, 单一水道间平面迁移模式以沿流向迁移型为主, 剖面叠置样式垂向上整体由摆动嵌入型向侧向嵌入型再向摆动孤立型转变。

3) 研究区水道演化分为侵蚀底形、水道沉积以及晚期废弃 3 阶段, 侵蚀底形阶段以重力流侵蚀

为主, 多充填混杂泥砾; 水道沉积阶段以高密度浊流沉积为主, 多充填块状中粗粒砂岩; 晚期废弃阶段以低密度浊流沉积为主, 多充填细粒甚至泥质沉积物。

## 参考文献

- [1] WYNN R B, CRONIN B T, PEAKALL J. Sinuous deep-water channels: Genesis, geometry and architecture[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2007, 24(6-9): 341-387. doi: 10.1016/j.marpegeo.2007.06.001
- [2] ZHAO Xiaoming, QI Kun, PATACCI M, et al. Submarine channel network evolution above an extensive mass-transport complex: A 3D seismic case study from the Niger delta continental slope[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2019, 104: 231-248. doi: 10.1016/j.marpetgeo.2019.03.-029
- [3] 李华, 何幼斌. 深水重力流水道沉积研究进展[J]. *古地理学报*, 2020, 22(1): 161-174. doi: 10.7605/gdlxb.-2020.01.010  
LI Hua, HE Youbin. Research progress on deepwater gravity flow channel deposit[J]. *Jornal of Paleogeography*, 2020, 22(1): 161-174. doi: 10.7605/gdlxb.2020.01.010
- [4] PETTINGILL H S, WEIMER P. World-wide deep-water exploration and production: Past, present and future[C]. Houston: Offshore Technology Conference: Deep into the Future, 2002. doi: 10.4043/14024-MS
- [5] BABONNEAU N, SAVOYE B, CREMER M, et al. Morphology and architec ture of the present canyon and channel system of the Zaire deep-sea fan[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2002, 19(4): 445-467.

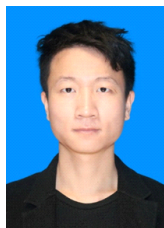
- [6] ABREU V, SULLIVAN M, PIRMEZ C, et al. Lateral accretion packages (LAPs): An important reservoir element in deep water sinuous channels[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2003, 20(6–8): 631–648. doi: 10.1016/j.marpetgeo.2003.08.003
- [7] PIRMEZ C, IMRAN J. Reconstruction of turbidity currents in Amazon Channel[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2003, 20(6–8): 823–849. doi: 10.1016/j.marpetgeo.-2003.03.005
- [8] RUIG M J D, HUBBARD S M. Seismic facies and reservoir characteristics of a deep-marine channel belt in the Molasse Foreland Basin, Puchkirchen Formation, Austria[J]. *AAPG Bulletin*, 2006, 90(5): 735–752. doi: 10.1306/10210505018
- [9] FILDANI A, NORMARK W R, KOSTIC S, et al. Channel formation by flow stripping: Large-scale scour features along the Monterey east channel and their relation to sediment waves[J]. *Sedimentology*, 2006, 53(6): 1265–1287.
- [10] FLINT S S, HODGSON D M, SPRAGUE A R, et al. Depositional architecture and sequence stratigraphy of the Karoo Basin floor to shelf edge succession, Laingsburg depocentre, South Africa[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2011, 28(3): 658–674. doi: 10.1016/j.marpetgeo.2010.06.-008
- [11] BENTLEY S, BLUM M, MALONEY J, et al. The Mississippi River source-to-sink system: Perspectives on tectonic, climatic, and anthropogenic influences, Miocene to Anthropocene[J]. *Earth-Science Reviews*, 2016, 153: 139–174. doi: 10.1016/j.earscirev.2015.11.001
- [12] CLARK I R, CARTWRIGHT J A. Interactions between submarine channel systems and deformation in deepwater fold belts: Examples from the Levant Basin, Eastern Mediterranean Sea[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2009, 26(8): 1465–1482. doi: 10.1016/j.marpetgeo.2009.-05.004
- [13] ZHAO Xiaoming, QI Kun, LIU Li, et al. Development of a partially-avulsed submarine channel on the Niger Delta continental slope: Architecture and controlling factors[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2018, 95: 30–49. doi: 10.-1016/j.marpetgeo.2018.04.015
- [14] 赵晓明, 吴胜和, 刘丽. 尼日尔三角洲盆地 Akpo 油田新近系深水浊积水道储层构型表征[J]. *石油学报*, 2012, 33(6): 1049–1058. doi: 10.7623/syxb201206018  
ZHAO Xiaoming, WU Shenghe, LIU Li. Characterization of reservoir architectures for Neogene deepwater turbidity channels of Akpo Oilfield, Niger Delta Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2012, 33(6): 1049–1058. doi: 10.7623/sy.-xb201206018
- [15] 李晨曦, 康博韬, 张旭, 等. 深水浊积水道型储层砂体连通性定量表征探索[J]. *西南石油大学学报(自然科学版)*, 2022, 44(6): 10–20. doi: 10.11885/j.issn.1674-5086.2020.08.19.02  
LI Chenxi, KANG Botao, ZHANG Xu, et al. Quantitative characterization of sand body connectivity in deepwater turbidite channel reservoir[J]. *Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition)*, 2022, 44(6): 10–20. doi: 10.11885/j.issn.1674-5086.2020.08.-19.02
- [16] LI Quan, WU Wei, LIANG Jianshe, et al. Deep-water channels in the Lower Congo Basin: Evolution of the geomorphology and depositional environment during the Miocene[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2020, 115: 104260. doi: 10.1016/j.marpetgeo.2020.104260
- [17] CUI Hanyun, WU Peikang, LIU Yongjie, et al. Gravity flow channel character and reservoir prediction of the Miocene Congo Fan Basin, West Africa[J]. *Journal of African Earth Sciences*, 2015, 108: 15–21. doi: 10.1016/-j.jafrearsci.2015.04.010
- [18] 吴高奎, 张忠民, 陈华, 等. 下刚果盆地中新统重力流沉积演化及控制因素[J]. *沉积学报*, 2023, 41(1): 73–84. doi: 10.14027/j.issn.1000-0550.2022.032  
WU Gaokui, ZHANG Zhongmin, CHEN Hua, et al. Sedimentary evolution and controlling factors of miocene gravity flow deposits in the Lower Congo Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2023, 41(1): 73–84. doi: 10.14027/-j.issn.1000-0550.2022.032
- [19] 于水. 西非下刚果盆地中新统深水重力流沉积特征与模式[J]. *中国海上油气*, 2018, 30(4): 13–19. doi:10.-11935/j.issn.1673-1506.2018.04.002  
YU Shui. Depositional characteristics and pattern of Miocene deep water gravity flow deposits in Lower Congo Basin, West Africa[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2018, 30(4): 13–19. doi: 10.11935/j.issn.1673-1506.2018.04.-002
- [20] 李全, 吴伟, 康洪全, 等. 西非下刚果盆地深水水道沉积特征及控制因素[J]. *石油与天然气地质*, 2019, 40(4): 917–929. doi: 10.11743/ogg20190419  
LI Quan, WU Wei, KANG Hongquan, et al. Characteristics and controlling factors of deep-water channel sedimentation in Lower Congo Basin, West Africa[J]. *Oil & Gas Geology*, 2019, 40(4): 917–929. doi: 10.11743/ogg-20190419
- [21] 林卫东, 陈文学, 熊利平, 等. 西非海岸盆地油气成藏主控因素及勘探潜力[J]. *石油实验地质*, 2008, 30(5): 450–455. doi: 10.11781/sydz200805450  
LING Weidong, CHEN Wenxue, XIONG Liping, et al. Pool forming constrains and the hydrocarbon exploration potential of the West Africa coast basins[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2008, 30(5): 450–455. doi: 10.-11781/sydz200805450
- [22] MUTTI E, NORMARK W R. Comparing examples of modern and ancient turbidite systems: Problems and concepts[M]. Dordrecht: Springer, 1987.
- [23] PICKERING K T, CLARK J D, SMITH R D A, et al. Architectural element analysis of turbidite systems, and selected topical problems for sand-prone deep-water sys-

- tems[M]. Dordrecht: Springer, 1995.
- [24] GARDNER M H, BORER J M, MELICK J J, et al. Stratigraphic process-response model for submarine channels and related features from studies of Permian Brushy Canyon outcrops, West Texas[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2003, 20(6-8): 757-787. doi: 10.1016/j.marpetgeo.2003.07.004
- [25] NAVARRE J C, CLAUDE D, LIBERELLE E, et al. Deep-water turbidite system analysis, West Africa: Sedimentary model and implications for reservoir model construction[J]. *The Leading Edge*, 2002, 21(11): 1132-1139. doi: 10.1190/1.1523754
- [26] PICKERING K T, CANTALEJO B. Deep-marine environments of the Middle Eocene Upper Hecho Group, Spanish Pyrenees: Introduction[J]. *Earth-Science Reviews*, 2015, 144: 1-9. doi: 10.1016/j.earscirev.2015.02.001
- [27] 赵晓明, 刘飞, 葛家旺, 等. 深水水道沉积构型单元分级与结构样式[J]. *沉积学报*, 2023, 41(1): 37-51. doi: 10.14027/j.issn.1000-0550.2022.048
- ZHAO Xiaoming, LIU Fei, GE Jiawang, et al. Sedimentary architecture unit classification and structural style of deep-water channels[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2023, 41(1): 37-51. doi: 10.14027/j.issn.1000-0550.-2022.048
- [28] MAYALL M, JONES E D, CASEY M. Turbidite channel reservoirs: Key elements in facies prediction and effective development[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2006, 23(8): 821-841. doi: 10.1016/j.marpetgeo.2006.08.-001
- [29] 冯潇飞. 深海水道沉积构型模式及其内部砂体展布研究——以西非某研究区为例[D]. 成都: 西南石油大学, 2020.
- FENG Xiaofei. Sedimentary modeling of deep-sea channel and the spreading of internal sands: An example from a study area in West Africa[D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2020.
- [30] 赵晓明. 西非深水海底扇储层表征与建模[D]. 北京: 中国石油大学, 2011.
- ZHAO Xiaoming. Reservoir characterization and modeling of deep water submarine fan for West Africa[D]. Beijing: China University of Petroleum, 2011.
- [31] 刘飞, 赵晓明, 冯潇飞, 等. 基于重力流相的深水水道分类方案研究[J]. *古地理学报*, 2021, 23(5): 951-965. doi: 10.7605/gdxb.2021.05.058
- LIU Fei, ZHAO Xiaoming, FENG Xiaofei, et al. Research on classification of deep-water channels based on the gravity flow facies[J]. *Journal of Paleogeography*, 2021, 23(5): 951-965. doi: 10.7605/gdxb.2021.05.058
- [32] POSAMENTIER H W, KOLLA V, 刘化清. 深水浊流沉积综述[J]. *沉积学报*, 2019, 37(5): 877-903. doi: 10.14027/j.issn.1000-0550.2019.049
- POSAMENTIER H W, KOLLA V, LIU Huaqing. An overview of deep-water turbidite deposition[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2019, 37(5): 877-903. doi: 10.14027/j.issn.1000-0550.2019.049
- [33] 杨希濮, 陈筱, 冯潇飞, 等. 尼日尔盆地油藏水道沉积构型识别及演化规律[J]. *海洋地质前沿*, 2021, 37(10): 49-57. doi: 10.16028/j.1009-2722.2021.092
- YANG Xipu, CHEN Xiao, FENG Xiaofei, et al. The study of channel sediment architecture and evolution pattern of reservoir in Niger Basin[J]. *Marine Geology Frontiers*, 2021, 37(10): 49-57. doi: 10.16028/j.1009-2722.2021.092

## 作者简介



曹树春, 1975年生, 男, 汉族, 吉林松原人, 高级工程师, 硕士, 主要从事油气田开发地质与开发地震方面的研究工作。E-mail: cao-shch@cnooc.com.cn



刘飞, 1997年生, 男, 汉族, 四川巴中人, 博士研究生, 主要从事深水沉积及开发地质方面的研究工作。E-mail: liuf\_e@163.com



卜范青, 1981年生, 男, 汉族, 山东潍坊人, 高级工程师, 硕士, 主要从事开发地质方面的研究工作。E-mail: bufq@cnooc.com.cn



齐明明, 1986年生, 男, 汉族, 山东滨州人, 工程师, 硕士, 主要从事开发地质方面的研究工作。E-mail: qimm@cnooc.com.cn



管红, 1980年生, 女, 汉族, 山东东营人, 工程师, 博士, 主要从事石油地质和沉积储层方面的研究工作。E-mail: guanhong@cnooc.com.cn

编辑: 张云云

编辑部网址: <http://zk.swpuxb.com>