

# 下刚果盆地晚渐新世—中新世挤压带盐构造地貌特征及其对重力流沉积的控制作用

郭荣涛<sup>1</sup>, 林东升<sup>1</sup>, 张忠民<sup>1</sup>, 官越<sup>1</sup>, 杨誉<sup>2</sup>,  
汪锴<sup>1</sup>, 刘静静<sup>1</sup>, 王兴华<sup>1</sup>

(1. 中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 中国地质大学(北京)海洋学院, 北京 100083)

**摘要:**下刚果盆地挤压带盐构造样式复杂, 制约深水有利储集砂体的发育分布。根据高精度三维地震、二维格架剖面和钻井、岩心等资料, 分析下刚果盆地晚渐新世—中新世被动陆缘层序格架、盐构造地貌特征及其对重力流沉积物分散体系的控制作用。结果表明: 下刚果盆地上渐新统一上新统可划分 5 个三级层序(SS5-1—SS5-5), 各三级层序进一步划分为低位体系域—水进体系域和高位体系域; 盐底辟构造分为点状供源和线状供源, 点状供源的盐底辟构造包括盐株、盐席和盐席篷, 平面上呈不规则的圆形或椭圆形, 线状供源的盐底辟构造包括盐滚、盐背斜、盐墙和盐墙篷, 平面上呈条带状; 盐构造发育 4 期演化阶段, 即初始流动期、变形期、强烈变形期和稳定变形期; 不同区带盐构造样式形成的地貌及其演化对沉积物分散和充填具有控制作用, 盐构造导致的“坝—池”地貌控制区域性的沉积物通道分布和扇体系发育; 渐新世—中新世各层序沉积期, 下刚果盆地地貌总体呈东高西低的特点, 各级坡折和盐构造主要呈北西—南东向展布, 形成切割大陆斜坡的“纵沟”与北北西向的盐构造限制的“横槽”地貌, 制约重力流体系沉积物分散和微盆地沉积充填。该结果对下刚果盆地挤压带浊积砂岩油气勘探具有指导意义。

**关键词:**盐构造地貌; 重力流沉积; 沉积物分散; 控制作用; 挤压带; 下刚果盆地

**中图分类号:** TE121.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-4107(2025)01-0018-15

## 0 引言

南大西洋两岸被动陆缘盆地深水浊积砂岩油气资源丰富, 是全球油气发现的主要地区<sup>[1-4]</sup>, 有关沉积演化、储层特征、分布规律及主控因素研究是勘探突破的关键<sup>[5-9]</sup>。南大西洋下刚果盆地发育巨型深水浊积砂岩油气藏, 是中国海外重要的原油生产基地之一, 随深水油气发现量下滑, 盆地增储上产能力有限。下刚果盆地盐上深水碎屑体系主要发育渐新统一中新统水道、天然堤、扇朵体、废弃水道、决口扇、滑塌、块体搬运和深海泥质等沉积<sup>[10-13]</sup>, 关于深水水道的类型、沉积结构和发育演化研究取得进展<sup>[14-17]</sup>。下刚果盆地渐新世发育小规模深水水道, 中新世发育较大规模水道和扇朵体, 由早中新世至晚中新世水道类型逐渐由不受限型过渡为弱受限和受限型水道<sup>[12, 18-19]</sup>。

下刚果盆地渐新世以来的沉积充填大多受复杂盐构造的影响。随下刚果盆地盐构造及断裂分布的刻画与分析, 在拉张带和过渡带的盐构造类型和特征及其对深水水道砂体发育分布的控制作用方面取得认识。陈华等<sup>[19]</sup>、ANKA Z 等<sup>[20]</sup>、OLUBOYO A P 等<sup>[21]</sup>、LIANG C 等<sup>[22]</sup>分析盐构造对深水水道的限制、改道、迁移、封堵、侵蚀、隆升和截断等交互作用特征, 认为盐构造形成的坡折带及大型断裂形成的垒堑构造控制浊积砂体局部集中分布。受地震资料分辨率和地震数据范围的影响, 盆地挤压带复杂盐构造的类型、特征和分布系统性研究较少, 盐构造地貌对深水重力流沉积分散充填的控制作用认识不清。

以下刚果盆地挤压带为研究对象, 根据三维地震、二维格架剖面、钻井和岩心资料, 分析盐构造地貌的构成、展布特征和发育演化, 揭示盐构造地貌对深水重力流沉积物分散充填的多级控制作用, 对被动陆缘盆地超深水盐构造复杂区油气勘探具有借鉴意义。

收稿日期: 2024-03-2; 编辑: 陆雅玲

基金项目: 国家科技重大专项(2016ZX05033); 中国石化科技部项目(P21043-4)

作者简介: 郭荣涛(1983—), 男, 博士, 副研究员, 主要从事石油地质方面的研究。

## 1 区域地质背景

下刚果盆地(下刚果—刚果扇盆地)是南大西洋东岸典型的含盐被动陆缘盆地,东起前寒武系基底,西至非洲大陆坡角,南邻宽扎盆地,北接加蓬盆地,面积约为  $1.7 \times 10^5 \text{ km}^2$ ,蕴含丰富的油气资源<sup>[11,23-24]</sup>。下刚果盆地具有典型的平面分区构造特征,由东至西依次划分为拉张带、过渡带和挤压带,研究区位于盆地西南部,范围涉及拉张带、过渡带及挤压带,其中挤压带为重点研究区(见图 1(a))。

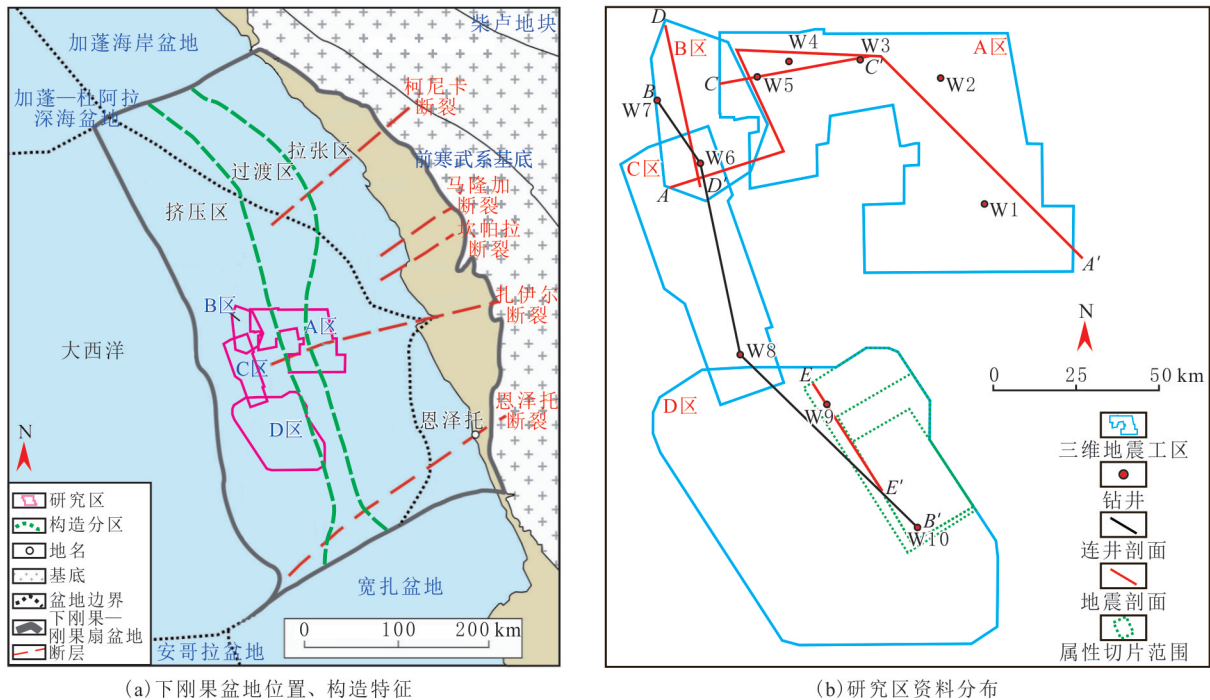


图 1 下刚果盆地位置、构造特征和研究区资料分布

Fig. 1 The location and tectonic characteristics of the Lower Congo Basin, and the seismic data distribution used in the study

下刚果盆地基底为前寒武系火山岩、变质岩,自下而上发育侏罗系、白垩系、古近系及新近系等;以下白垩统阿普特阶(Aptian)盐岩为界,总体可划分盐下、盐岩和盐上 3 个层系(见图 2)。盐下地层包括上侏罗统和下白垩统尼欧康姆阶(Neocomian)、巴雷姆阶(Barremian)及阿普特阶,不整合上覆于前寒武系基底,发育河流、湖泊和湖湾—海湾沉积,以湖相沉积为主;盐岩地层包括下白垩统阿普特阶,形成于相对闭塞的拗陷环境,主要由白云岩、硬石膏和盐岩组成,分布范围广,厚度一般可达 1 000 m,从南向北、从海向陆厚度逐渐减薄;盐上地层包括下白垩统阿尔布阶(Albian)、上白垩统、古近系、新近系和第四系,阿尔布阶发育海相碳酸盐岩台地和局限海沉积,向上过渡为上白垩统滨岸河流和浅海—半深海碎屑沉积,古近系、新近系和第四系主要发育滨岸—河流及半深海—深海碎屑体系,其中上渐新统和中新统以深水重力流沉积为典型特征,构成下刚果盆地盐上层序最重要的储层和产层<sup>[14,25]</sup>。

下刚果盆地形成于冈瓦纳大陆裂解导致的南美板块与非洲板块的分离,以及大西洋的开裂和持续扩张,演化可分为前裂谷期、裂陷期、拗陷期和陆缘期 4 个阶段<sup>[19]</sup>。裂陷期始于晚侏罗世,南美洲和非洲大陆开始分离,发生陆内裂谷作用,受北北西和北北东向基底断裂的控制,形成一系列北西向的裂谷盆地;随裂谷作用的减弱,形成区域性的不整合面,即裂后不整合面,将下伏河流—湖泊沉积与上覆拗陷早期海湾、浅海沉积和厚层蒸发盐岩分隔;晚白垩世至今,随洋壳的持续拉开,形成被动大陆边缘盆地,南美洲和非洲板块完全分离,南北大西洋连通,发生热衰减沉降和非洲大陆的抬升掀斜,盐构造活动活跃<sup>[25,30-34]</sup>。

## 2 层序划分方案及界面特征

层序是由不整合及其对应的整合面限定的一套成因上有联系的地层<sup>[35]</sup>。研究区上渐新统一上新统

顶、底界面由区域不整合分隔,大体可作为一个二级层序或复合层序,层序划分存在多种方案<sup>[16-17,28]</sup>,宫越等<sup>[16]</sup>将始新统一上新统划分为 5 个三级层序,分别对应始新统一渐新统、下中新统、中中新统、上中新统和上新统,进一步划分为 9 个四级层序;吴高奎等<sup>[17]</sup>将中新统划分为 4 个三级层序,分别对应下中新统、中中新统下段、中中新统上段和上中新统;LI Q 等<sup>[28]</sup>将中新统划分为 7 个三级层序和 14 个四级层序。根据下刚果盆地高精度三维地震资料,结合单井、连井剖面综合识别和追踪对比不整合面、下切冲刷不整合、沉积相突变面和海泛面等,划分 5 个三级层序(SS5-1—SS5-5),大体对应于上渐新统、下中新统、中中新统、上中新统和上新统(见图 1),各层序内部可进一步划分为低位体系域—水进体系域和高位体系域。其中,层序 SS5-1—SS5-4(上渐新统一中新统)为重点研究对象。

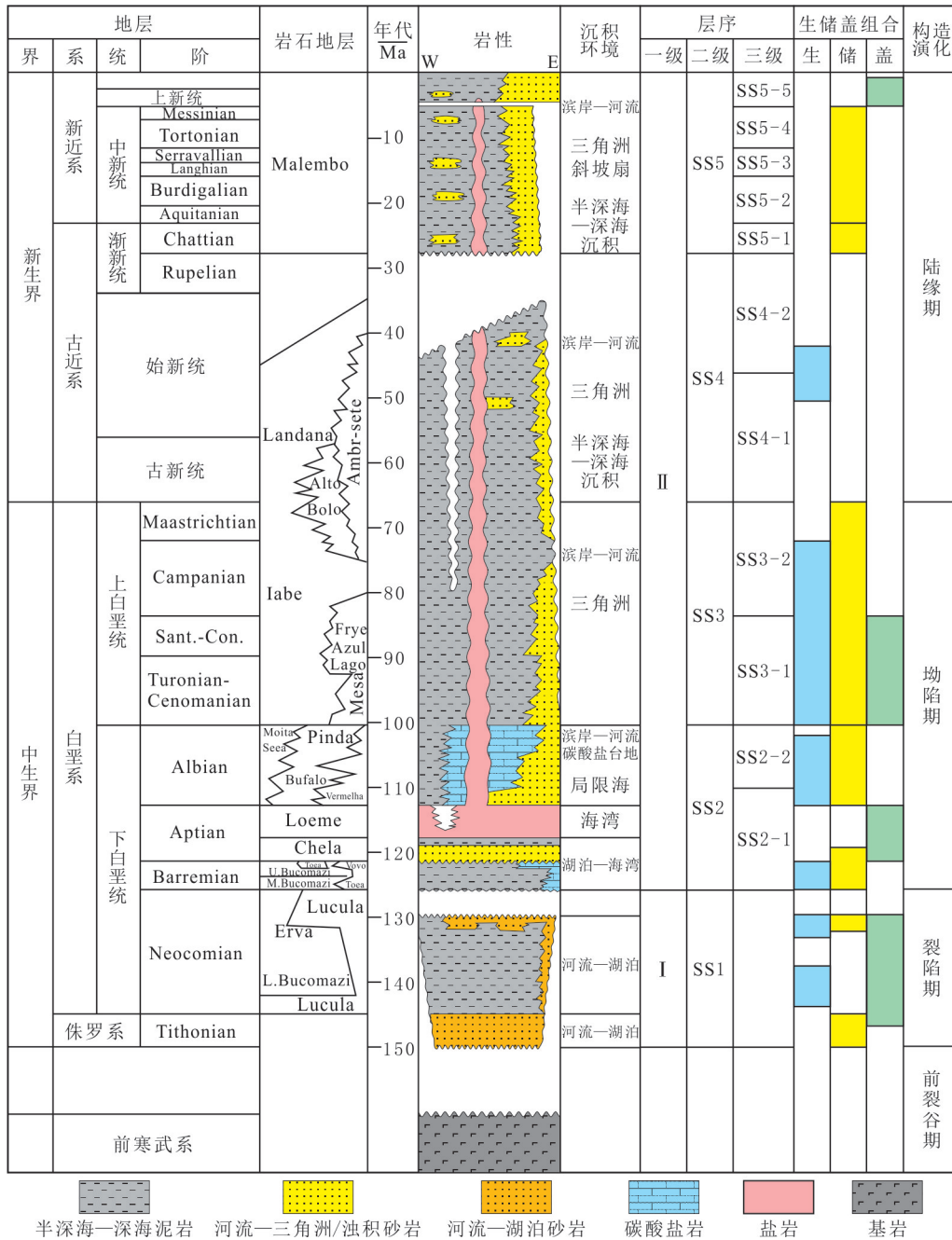


图 2 下刚果盆地层序划分和沉积演化综合柱状图(据文献[17,19,25-29]修改)  
Fig. 2 Composite histogram of sequence classification and depositional evolution in the Lower Congo Basin(modified by references[17,19,25-29])

在地震剖面上,各层序界面主要以角度不整合、削截不整合、下切面和上超接触关系等为标志(见图 3),在测井曲线上,主要以 GR 测井曲线突变的底界面为标志(见图 4)。层序 SS5-1(上渐新统)底界面是区域性的不整合面,广泛发育下切水道,界面之下可见明显的削截,界面上下地震相有明显差异;界面之下的 GR 较高,测井曲线呈微齿状,在界面处数值明显下降,界面之上呈齿化箱形。层序 SS5-1 顶界面为削截不整合面,可见水道下切和上超接触关系,界面上下岩性发生突变,界面之下主要为灰色泥岩,界面之上为砂岩夹含砾砂岩和粉砂质泥岩;GR 测井曲线在界面之上表现为箱形或指状,界面之下为微齿状。层序 SS5-2(下中新统)顶界面之上局部可见上超接触,界面之下可见明显的削截;在界面处 GR 测井曲线形态发生突变,界面之上为钟形或指状,界面为高值微齿状。层序 SS5-3(中中新统)顶界面为局部下切侵蚀不整合面,界面之下可见顶超或削截接触,主要为厚层泥岩,界面之上发育泥质粉砂岩夹泥岩;界面之上的 GR 测井曲线呈指状、钟形或齿化箱形,GR 较低,界面之下呈微齿状,GR 较高。层序 SS5-4(上中新统)顶界面为区域性角度不整合面,局部可见上超、削截和顶超接触。

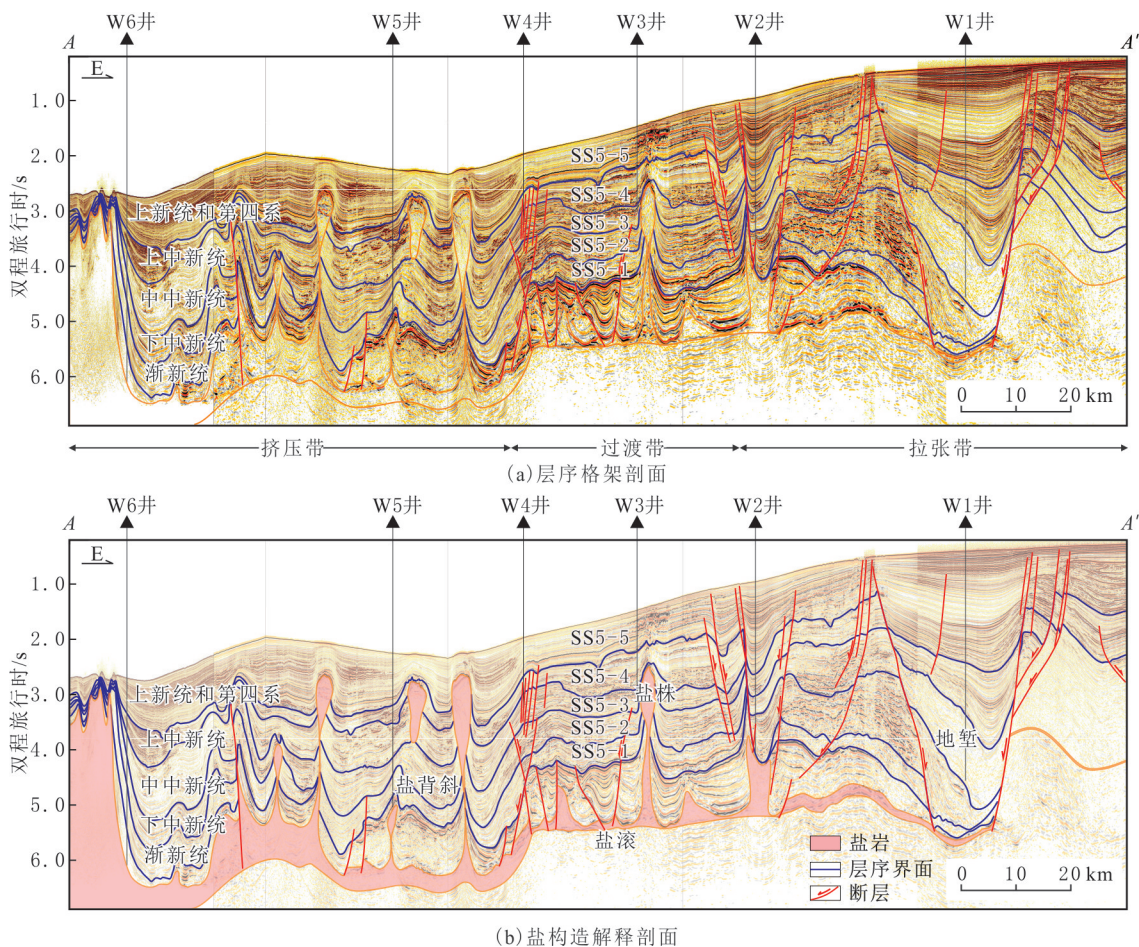


图 3 下刚果盆地拉张—挤压带层序格架和盐构造解释剖面(剖面位置见图 1(b))

Fig. 3 Interpreted seismic framework profiles show the sequence stratigraphy and salt structures from the extension to the contraction belts in the Lower Congo Basin(section position as shown in fig. 1(b))

### 3 盐构造分布及演化

#### 3.1 盐构造分布

盐底辟是盐构造常见的构造样式,几何形态及其地层变形多样<sup>[36-38]</sup>。通常区域性盐底辟构造的发育与初始拉张环境有关<sup>[39-40]</sup>。人们对下刚果盆地的盐构造类型及特征进行研究<sup>[41-45]</sup>。基于网格状高分辨率三维地震剖面对盐构造的解释、追踪,分析拉张—挤压带的盐构造特征及分布。盐底辟构造可分为点状供源、线状供源两种类型,点状供源的盐底辟构造主要包括盐株、盐席和盐席篷,平面上通常呈不规则的圆

形或椭圆形,长轴与短轴的长度比小于2;线状供源的盐底辟构造主要包括盐滚、盐背斜、盐墙和盐墙篷等,平面上多呈条带状,长轴与短轴的长度比大于2(见表1)。

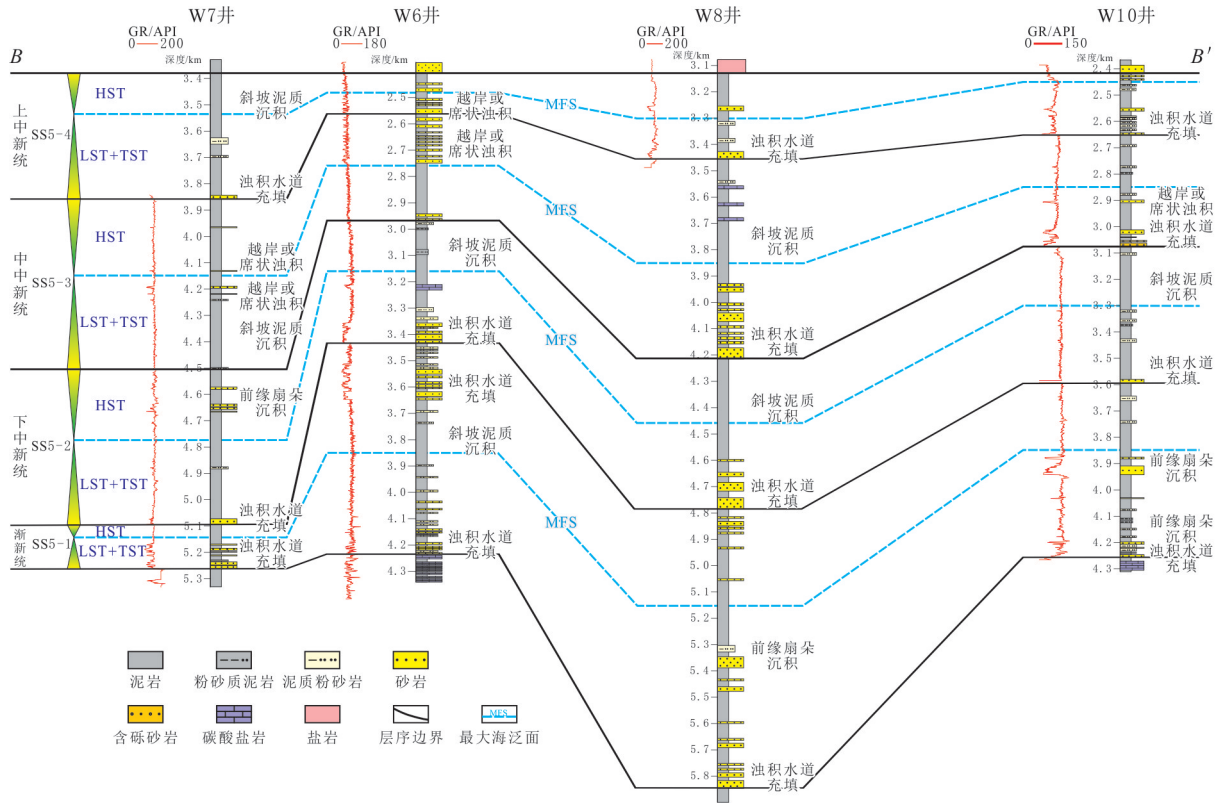


图4 下刚果盆地挤压带连井层序结构和沉积相解释剖面(剖面位置见图1(b))

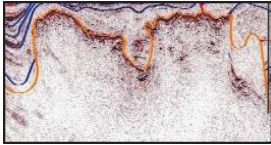
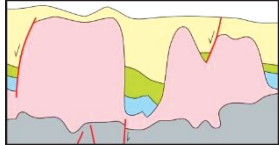
Fig. 4 Well-log correlation of the contraction belt shows the sequence architecture and depositional facies interpretation in the Lower Congo Basin(section position as shown in fig. 1(b))

表1 下刚果盆地主要盐构造类型及特征

Table 1 Main types and characteristics of salt structures in the Lower Congo Basin

盐构造样式	盐构造特征	典型剖面	盐构造模式
点状供源	盐株	俯视图近圆形,往往刺穿上部地层	
	盐席/盐席篷	由盐株发展形成,侧向流动,宽度可达最大厚度的数倍;多个盐席的整体或部分合并形成盐席篷	
线状供源	盐滚	幅度较低,两翼不对称,一翼陡倾,与上覆地层呈正断层接触	
	盐背斜	较盐滚幅度更高,形态狭长,俯视图长轴/短轴大于2,与上覆地层呈整合接触	

续表 1

盐构造样式	盐构造特征	典型剖面	盐构造模式图
盐墙/ 盐墙篷	挤入不整合盐脊,俯视图长轴/短轴大于 2,多呈蜿蜒、成排分布;多个盐墙的整体或部分合并形成盐墙篷		

对于点状供源的盐底辟构造,盐株主要发育于研究区中北部过渡带、挤压带,平面上多呈近圆形(见图 5),剖面上整体呈柱状(见图 3 和图 6)。盐株进一步侧向流动变形可形成盐席,主要分布于研究区西北部挤压带,剖面上顶部的宽度可达最大厚度的数倍。盐席往往相互连接在一起而形成盐席篷,是下刚果盆地挤压带中部(B、C 区)最广泛发育的盐构造类型,平面上呈北西—南东向条带状分布(见图 5)。这些盐席和盐席篷的分布导致地震数据质量降低,大量盐下砂体展布难以刻画。

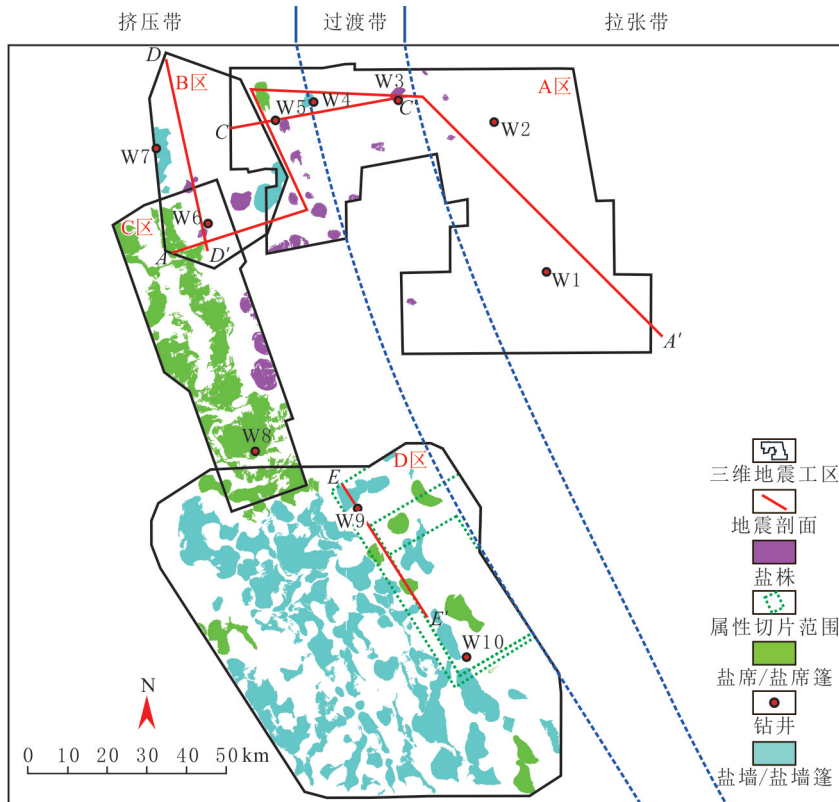


图 5 研究区刺穿型盐构造顶面分布

Fig. 5 The distribution of the top surface of punctured salt structures in the study area

对于线状供源的盐底辟构造,盐滚是成熟度最低、幅度最小的,广泛发育于研究区拉张—过渡带,常常与盐筏构造伴生;盐背斜的幅度较盐滚的更高,平面呈狭长形,主要发育于研究区东部过渡带(见图 5)。在短轴剖面上,盐墙的特征与盐株的类似,在长轴剖面上,盐墙整体宽度为盐株的 2~3 倍,平面上呈条带状分布,在研究区挤压带南部(D 区)广泛发育,且多合并形成连片的盐墙篷构造,平面上大致呈 4 个北西—南东向展布的条带(见图 7)。挤压带广泛发育的盐席篷和盐墙篷构造使地层破碎,限制微盆地总体呈槽状分布,为微盆—微槽区,是深水沉积物的重要分散通道。

下刚果盆地不同构造区带的构造样式见图 3 和图 5。拉张带主要分布于研究区东北部,主要发育地堑、半地堑和盐滚—前盐筏构造。过渡带呈条带状分布于拉张带向海一侧,构造类型以盐滚—盐筏构造、盐株等为主,多为直立状,盐岩的垂向发育与拉张应力和挤压应力的相互作用有关<sup>[38]</sup>。挤压带主要分布

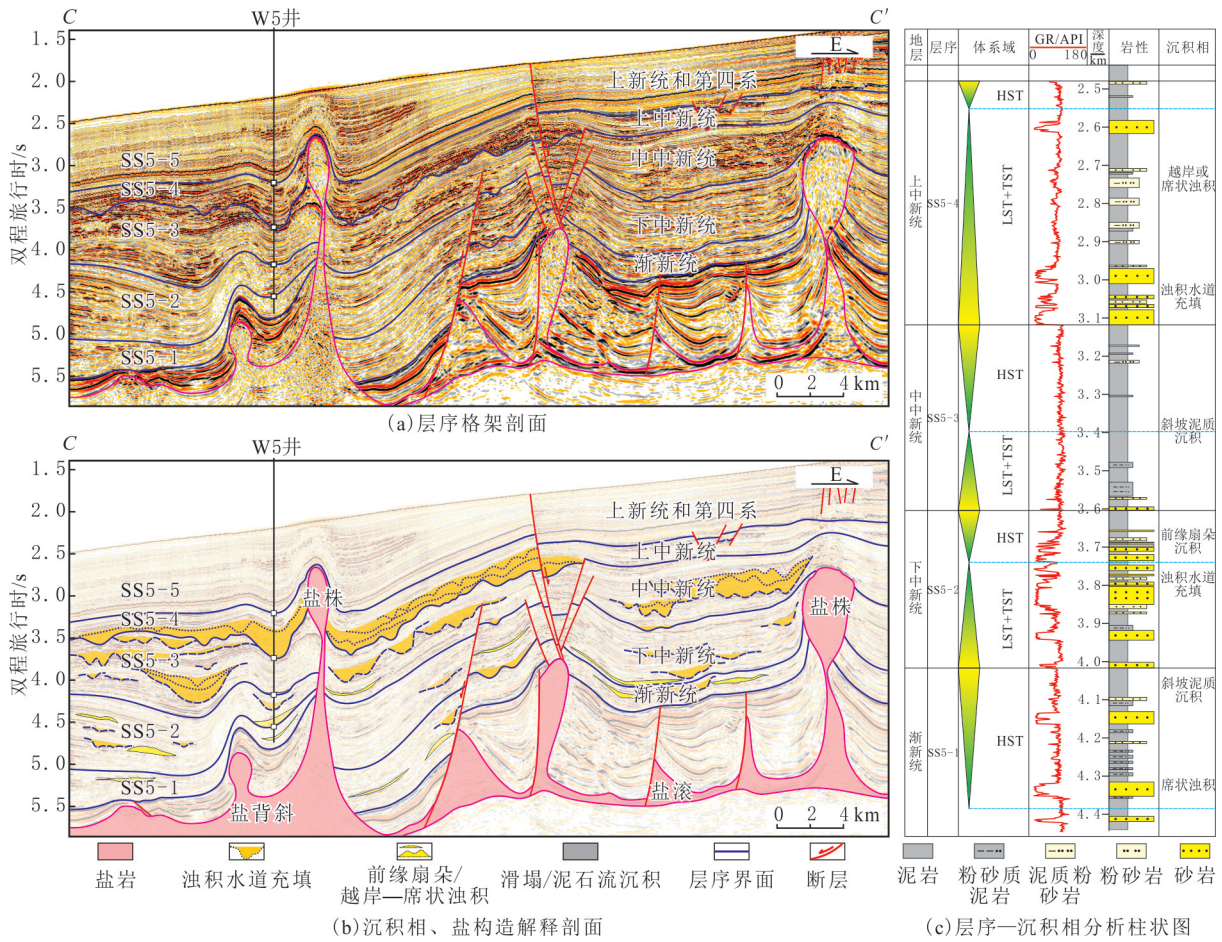


图 6 下刚果盆地过 W5 井的层序格架剖面, 沉积相、盐构造解释剖面及层序—沉积相分析柱状图(剖面位置见图 1(b))  
 Fig. 6 Sequence framework profile and depositional facies and salt structures interpreted profile across well W5 and the sequence-depositional facies column in the Lower Congo Basin(section position as shown in fig. 1(b))

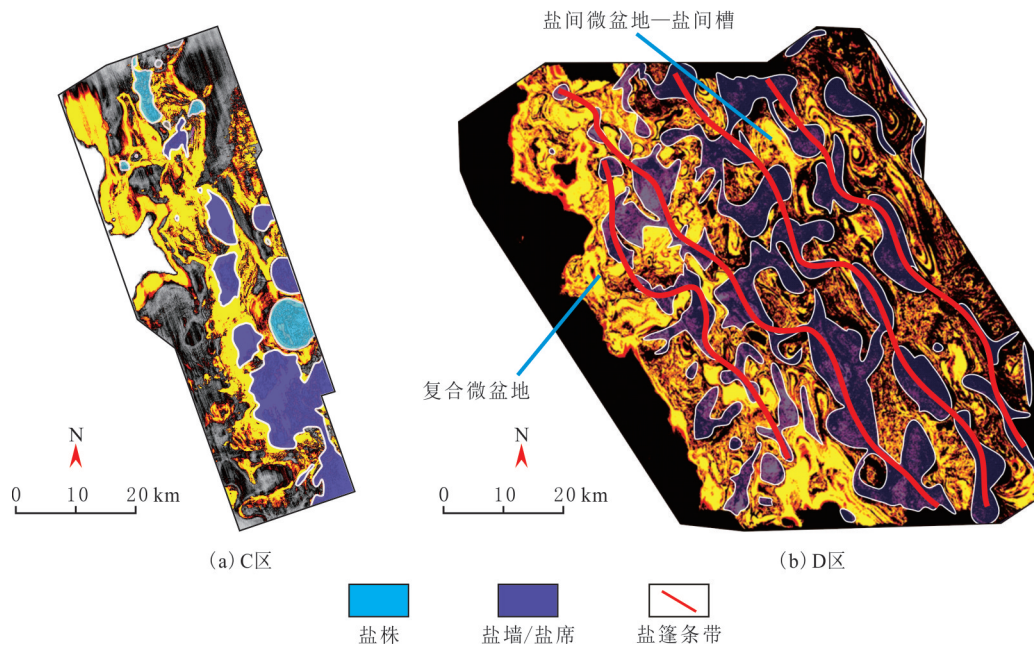


图 7 下刚果盆地挤压带 C、D 区盐构造、微盆地时间切片解释(双程旅行时为 3 s)  
 Fig. 7 Interpreted time slice of the areas C and D in the contraction belt show the distribution of salt structures and minibasins in the Lower Congo Basin(3 s for a round trip)

于研究区西南部,主要发育盐席、盐墙、盐席篷、盐墙篷、逆掩构造和微盆—微槽。挤压带与深海平原之间发育巨厚的盐坝构造,盐岩厚度为 2~3 km<sup>[20]</sup>。整体上,研究区南部盐岩厚度较北部的大,西部较东部的大。

### 3.2 盐构造演化特征

下刚果盆地晚白垩世处于拗陷晚期,古新世至今处于被动大陆边缘盆地的演化阶段(见图 2),伴随洋壳的持续拉开,总体为处于区域性拉张环境的欠饱和盆地。基于不同构造演化阶段水平伸展变形的半定量恢复,以及从拉张带到挤压带的格架剖面的构造演化回剥分析、微盆地地层结构解析,构建拉张—挤压带盐构造的 4 个构造活动阶段,即盐构造初始流动期、变形期、强烈变形期及稳定变形期(见图 8)。

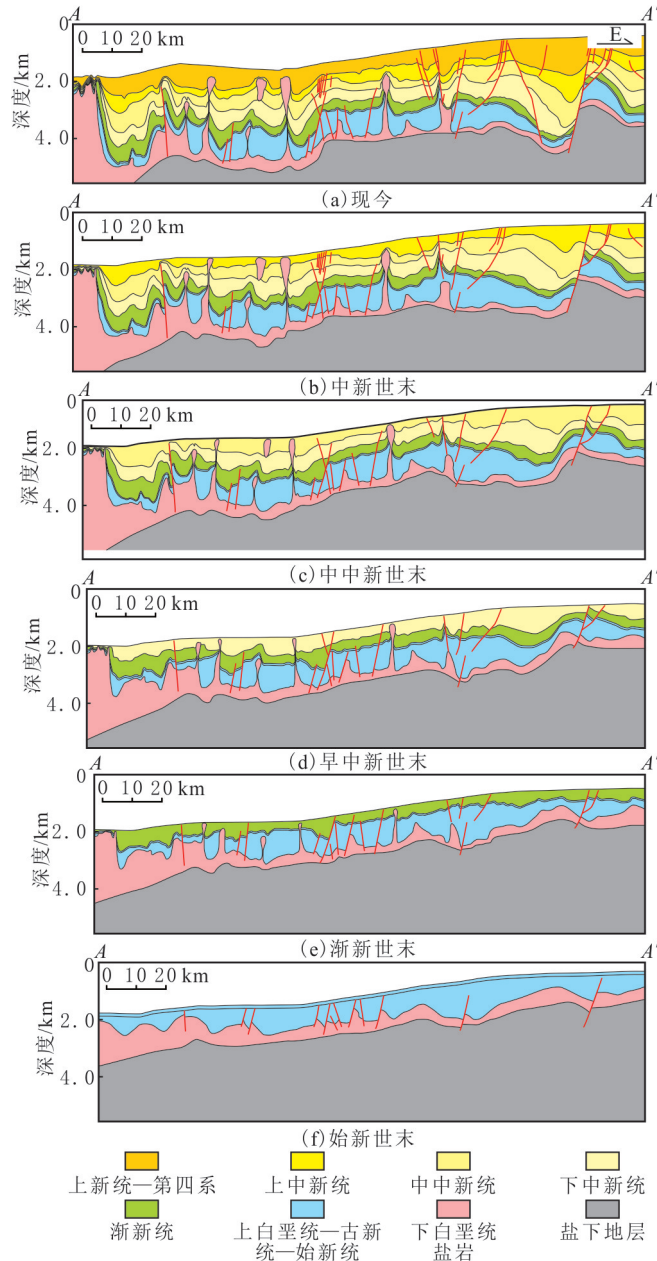


图 8 下刚果盆地盐构造演化平衡剖面解释(剖面位置见图 1(b))

Fig. 8 Salt structure evolution interpreted by balanced cross sections in the Lower Congo Basin(section position as shown in fig. 1(b))

(1)初始流动期(早白垩世阿尔布阶期—始新世),下刚果盆地由拗陷期过渡为被动陆缘期,坡上盐岩在低缓斜坡背景下开始缓慢流动,构造变形较为单一,幅度较小,以半地堑—地堑构造和盐滚、盐筏构造为主,盐构造基本未刺穿上覆地层。

(2)变形期(渐新世—早中新世,层序 SS5-1—SS5-2),盐构造开始变形,初步形成平面的构造分带。受东部陆上区域隆升及局部高地抬升的影响,拉张带发育典型的盐滚—盐筏构造,其上发育一系列倾向相同的正断层,断层持续运动至中新世结束,过渡—挤压带发育盐株及少量盐墙构造,局部发育逆掩构造。

(3)强烈变形期(中—晚中新世,层序 SS5-3—SS5-4),盐岩快速、大幅度变形,形成大型盐墙、盐墙篷和盐株,发生高幅度褶皱变形。

(4)稳定变形期(上新世,层序 SS5-5),盐构造变形程度减弱,半地堑—地堑构造数增多,断层密集发育,坡上盐岩进一步流失;相较上一盐构造活动期,构造规模和构造特征未发生显著变化,构造变形相对稳定。

盐构造形成的动力学机制研究受到广泛关注<sup>[46-48]</sup>。不同的驱动机制形成的盐构造样式与分带存在明显差异。基于物理模拟和离散元数值模拟,王迎等揭示下刚果盆地盐构造变形的重力构造成因<sup>[49]</sup>,即斜坡重力作用驱动形成从拉张带、过渡带至挤压带的盐构造分带,被动陆缘的断块抬升扰动盐岩的流动而形成盐底辟等盐构造样式,通常区域性的盐底辟的发育与初始拉张环境有关,盐背斜多形成于初始挤压环境。先期拉张作用形成盐刺穿构造,经后期挤压可形成盐席、盐舌和盐泪滴等构造。盐筏构造主要形成于盐岩的流动导致的盐上沉积不断向盆地方向的滑动。前缘构造的阻挡和盐上地层的载荷,是导致下斜坡盐岩运动速率降低而聚集增厚形成巨厚盐墙的主要因素。

## 4 盐构造地貌对重力流及油气成藏的控制作用

### 4.1 对重力流的控制作用

#### 4.1.1 区域“坝—池”地貌

盆地地貌,特别是盐构造地貌是控制深水砂质沉积物分散和堆积的直接因素。下刚果盆地南部安哥拉盐陡崖的发育演化,制约区域性盐坝和向陆地一侧坝内低地貌的分布,为“坝—池”地貌,即一种类似水坝和水坝内侧水池的高—低地貌。这种地貌控制区域性沉积物通道和深水扇体系的发育分布。晚白垩世至渐新世早期,陆架的加深和长期的低沉积物供给速率导致下刚果盆地处于欠补偿状态<sup>[20]</sup>。渐新世—早中新世,受南部安哥拉盐坝大量沉积物堆积于坝内池地貌的影响,形成盆地东南部的的主要沉积中心;部分沉积物越过盐坝,向北西方向搬运,形成盆地西北部的次要沉积中心。至中—晚中新世,沉积物负载作用等导致盐岩不断向下斜坡流动挤压,盐坝进一步隆起而形成陡崖,阻挡封闭作用增强,沉积物分散通道发生区域性改道,主要的沉积中心由盆地东南部转向西北部。中新世末—上新世早期,受盆地南部巨大的安哥拉盐坝影响,沉积物主要堆积于盆地西北部;主要的沉积物分散通道为刚果峡谷,其形成发育与该时期盆地边缘的迅速抬升导致的剥蚀,以及盐底辟构造活动密切相关,陆架沉积物经峡谷直接进入深海平原,斜坡沉积以细粒半深海沉积为主。

#### 4.1.2 区带“纵沟—横槽”地貌

结合盐构造平面展布形态和多种地震切片综合分析,识别下刚果盆地盐坝内侧发育的3级斜坡坡折地貌、沟谷地貌、盐隆、盐墙斜坡及微盆—微槽等地貌(见图9)。各层序沉积期,盆地地貌总体具有东高西低的特点,地貌带主要呈北西—南东向展布。切割大陆斜坡多级坡折和盐构造高地貌的沉积物分散通道构成纵向的沟道(简称“纵沟”),而过渡—挤压带受盐席篷、盐墙篷等底辟构造限制的北西—南东向沉积物分散通道,构成横向的低地貌“横槽”,形成不同区带坡折和盐构造约束的“纵沟—横槽”地貌,控制重力流体系沉积物分散通道的分布和微盆—微槽内的沉积充填。

层序 SS5-1(晚渐新世)沉积期,研究区古地貌总体为东高西低,发育两级断裂坡折带,来自东部刚果河的沉积物通过切割多级坡折的“纵沟”由东向西搬运(见图9(a))。该时期盐构造活动较弱,过渡—挤压带未形成明显的盐构造地貌,沉积物主要经由北西向、南东向低地貌进一步分散、堆积。层序 SS5-2(早中

新世)沉积期,研究区继承层序 SS5-1 沉积期的总体古地貌格局,可识别三级断裂坡折地貌,与拉张带断裂进一步发育有关;拉张—过渡带沉积物主要通过“纵沟”和横向低地貌分散,而挤压带沉积物分散受盐构造地貌的制约(见图 9(b))。层序 SS5-3—SS5-4(中—晚中新世)沉积期,盆地边缘进一步抬升,盐构造强烈活动;过渡—挤压带形成明显的盐构造地貌制约的横向低地貌凹槽(简称“横槽”),呈北西—南东向展布,是深水沉积物分散和堆积的重要通道(见图 9(c-d))。沉积物经“纵沟”沿大陆斜坡向深海平原搬运,并通过“横槽”侧向分散、堆积。因此,“横槽”地貌是研究区重要的富砂沉积物充填空间。实际上,拉张带断裂坡折限制的低地貌也是一种“横槽”。

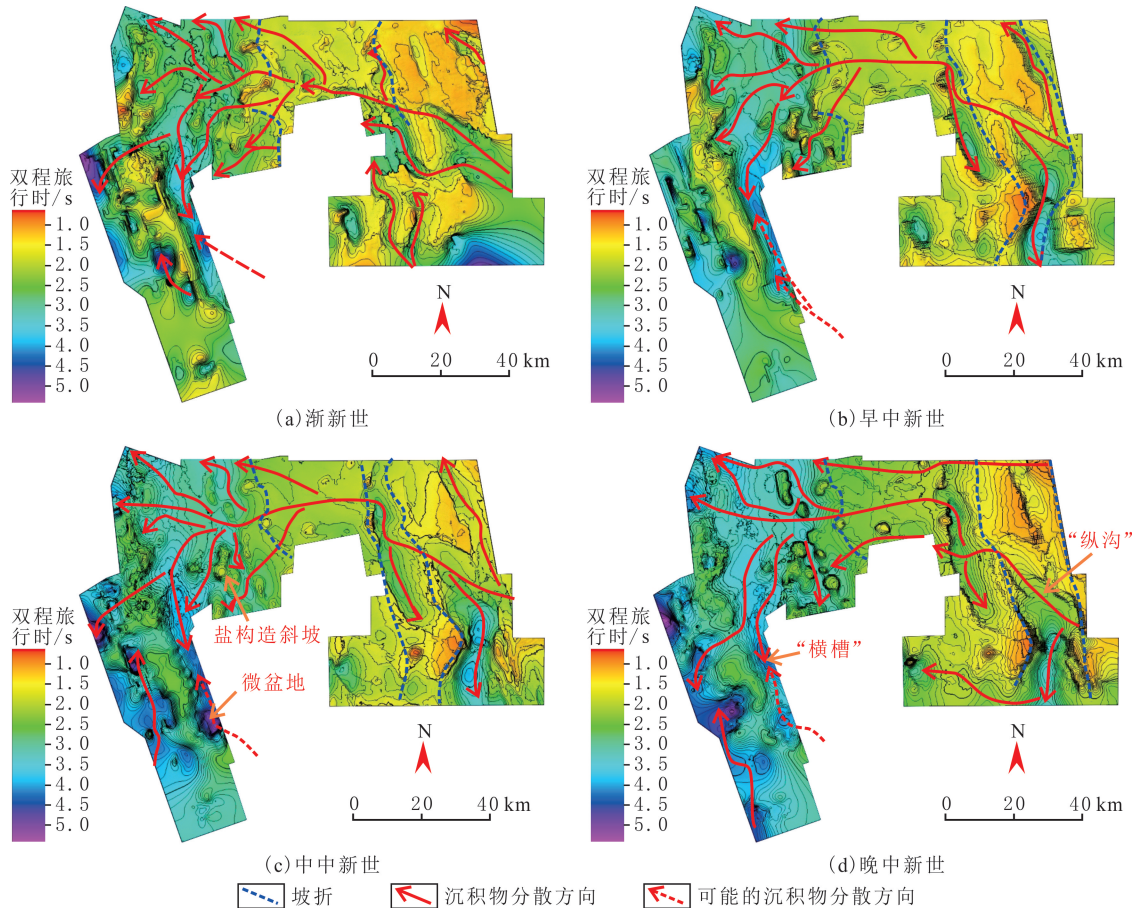


图 9 下刚果盆地拉张—挤压带古地貌及沉积物分散解释

Fig. 9 Paleogeomorphology and sediment dispersal from the extension-contraction belt in the Lower Congo Basin

#### 4.1.3 “盐底辟—微盆地”地貌

横向低地貌“横槽”重力流沉积物分散体系的充填结构,可划分为单侧半限制型和双侧限制型两类。单侧半限制型充填样式是指微盆地仅有一侧发育盐底辟构造,重力流体系在微盆地内分散时不断发生侧向迁移,形成侧向迁移叠置的充填结构;双侧限制型充填样式是指微盆地两侧发育盐底辟构造,重力流体系仅能在限制的有限空间内分散、堆积,形成不断向前推进、垂向叠置的扇形体充填结构(见图 10)。

过渡—挤压带“横槽”沉积物分散方向复杂,随盐底辟构造演化而发生动态演变。一般,盐底辟构造对沉积物分散有迁移、限制及封堵等影响<sup>[14]</sup>。迁移是当浊积水道经过先存的盐构造附近时,绕开盐构造而改道继续向深海流动的现象,通常浊积水道的侵蚀能力较弱,否则水道侵蚀盐构造而不发生迁移。当浊积水道与盐构造的展布方向大致平行或呈低角度斜交时,水道通常无法侧向迁移形成高弯度水道,以相对平直的几何形态为特征,与盐岩形成的正向构造的限制相关;盐构造对浊积水道的限制还体现在天然堤展布范围的局限。当浊积水道近垂直或大角度斜交经过规模较大的盐构造时,如果浊积水道的侵蚀能力弱,则

盐构造封堵水道的搬运路径, 沉积物卸载堆积。

挤压带南部(D区)较大的微盆地均方根振幅属性(RMS)切片的盐构造、沉积物分散体系解释表明, 地貌高低和形态对横槽沉积物分散方向和充填形态有明显的控制作用。受微盆地局部盐构造影响, 浊积体系不断发生迁移, 经由盐构造间的低地貌进一步分散(见图 11-12)。层序 SS5-1(渐新世)沉积期, 微盆地主要接受来自北东方向的物源, 沉积物进入微盆地后向北西、南东方向分散、堆积, 形成扇形体; 部分沉积物经西侧盐构造间的低地貌继续搬运(见图 11(a))。层序 SS5-2(早中新世)沉积期, 微盆地沉积物分散格局较早期具有继承性, 限制微盆地的盐构造规模减小(见图 11(b))。层序 SS5-3(中中新世)沉积期, 微盆地开始由北西和北东向物源双向供源; 北部浊积水道多受盐构造的限制和迁移, 中南部水道多由盐构造的封堵而卸载(见图 11(c))。层序 SS5-4(晚中新世)沉积期, 盐构造相对分散, 单个盐构造规模较小, 微盆地主要接受来自北西方向的物源; 浊积水道受限于盐构造不断迁移改造, 在微盆地南部卸载堆积形成扇形沉积(见图 11(d))。

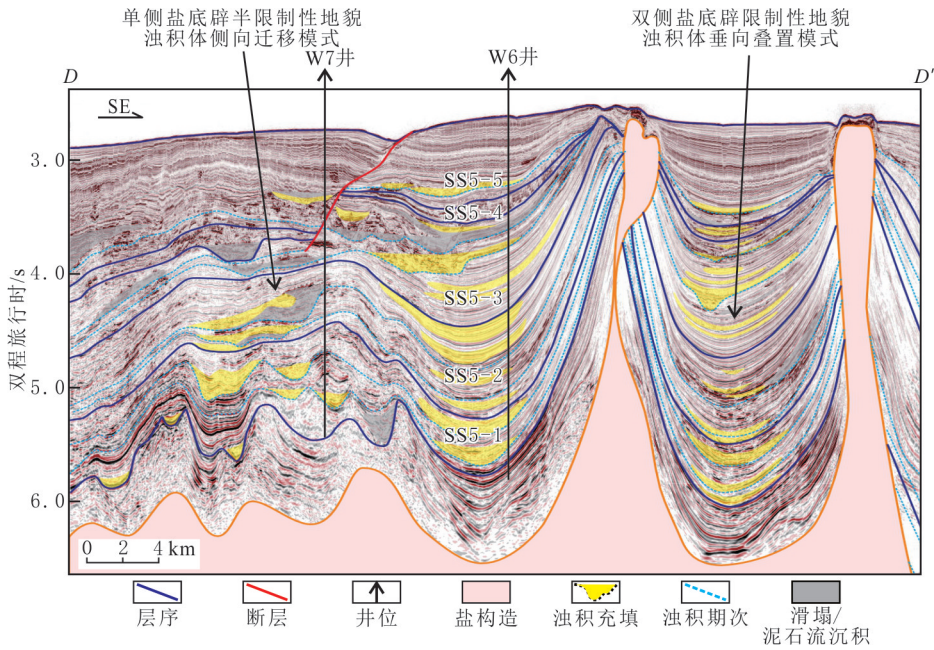
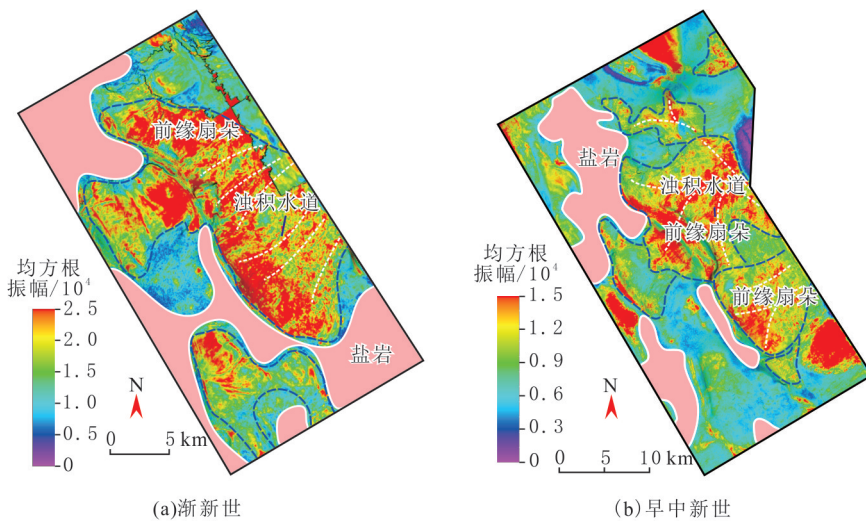


图 10 下刚果盆地单侧、双侧受限型盐间微盆地沉积充填结构地震剖面解释(剖面位置见图 1(b))

Fig. 10 Interpreted seismic profile shows depositional filling architectures of the partial and dual confined minibasins in the Lower Congo Basin(section position as shown in fig. 1(b))



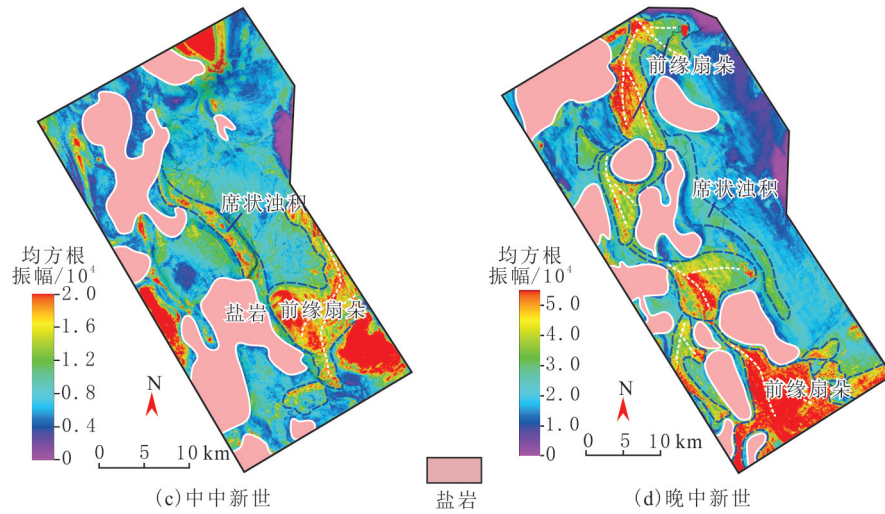


图 11 下刚果盆地挤压带 D 区东部沉积相和盐构造分布及沉积物分散解释  
 Fig. 11 The distribution of depositional facies and salt structures, and interpretation of the sediment dispersal in the eastern part of the D Area in the Lower Congo Basin

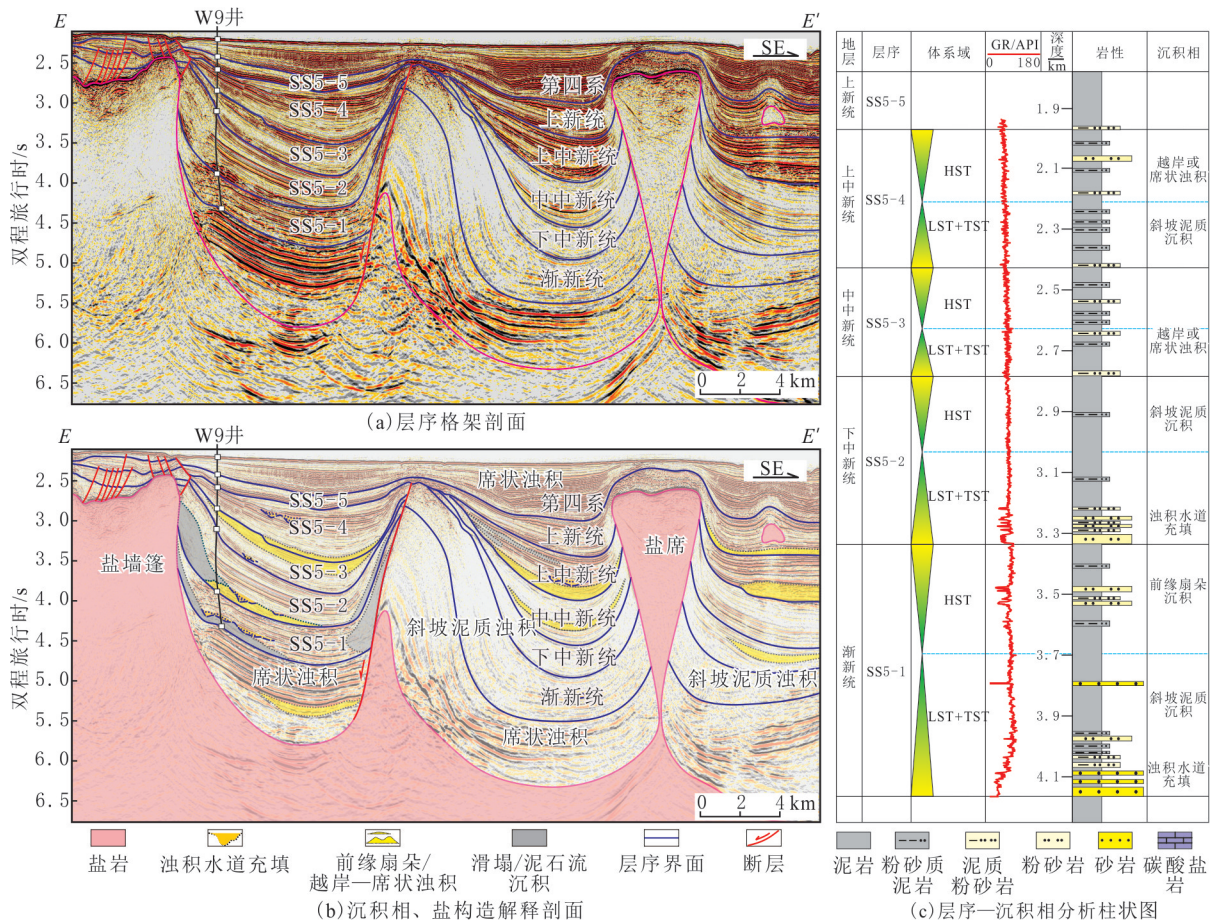


图 12 下刚果盆地过 W9 井的井—震沉积相、盐构造解释剖面(剖面位置见图 1(b))  
 Fig. 12 Sequence framework profile and depositional facies and salt structures interpreted profile across well W9 in the Lower Congo Basin(section position as shown in fig. 1(b))

#### 4.2 对油气成藏的控制作用

下刚果盆地盐构造地貌对烃源岩、储层、圈闭、运移和保存条件等成藏要素有重要的影响。下刚果盆

地主要发育三套烃源岩,分别为盐下早白垩世早期 Bucomazi 组的深湖相烃源岩、盐上晚白垩世 Iabe 组浅海—半深海泥岩烃源岩,以及古近纪早中期 Landana 组半深海—深海泥岩烃源岩。烃源岩的有机物演化和热成熟度通常与温度呈正相关关系,由于盐岩具有良好的导热率,盐岩层促使热向上传导,导致盐岩层上部及附近地层温度更高,而盐下地层温度比远处同一深度地层的更低,即盐岩层促进盐上烃源岩热演化并抑制盐下烃源岩热演化程度<sup>[32]</sup>。渐新统和中新统深水重力流沉积是下刚果盆地盐上重要的储层,盐构造形成的区域“坝—池”地貌、区带“纵沟—横槽”地貌,以及复杂的“盐底辟—微盆地”地貌直接限制深水富砂沉积物的分散过程和微盆—微槽内的沉积充填,盐构造对深水水道和扇形体等富砂沉积物分散、堆积的迁移、限制、封堵等,导致有利储层分布面积受限、扩大或突变。盐构造变形还可形成数量众多的盐构造相关的圈闭或对先期圈闭起破坏作用。下刚果盆地几乎所有的油气聚集在构造和构造—岩性圈闭中,其中盐上古近系和新近系发育背斜—岩性、断背斜—岩性、断层—岩性、岩性和简单背斜 5 种主要的圈闭类型<sup>[25]</sup>。此外,盐构造变形导致一系列断裂的产生,为油气垂向运移提供良好的通道,同时盐构造顶部复杂的地堑式断裂系统、盐构造侧翼与被刺穿地层间的破裂系,以及盐岩溶解在盐构造周围形成的垮塌破裂面等可构成良好的油气运移输导系统。

## 5 结论

(1)下刚果盆地上渐新统一上新统为一个复合层序,以区域性不整合及其对应的整合面为界。复合层序划分为 5 个三级层序(SS5-1—SS5-5),各层序内部可进一步划分为低位体系域—水进体系域和高位体系域。

(2)盐构造拉张带主要分布于研究区东北部,发育地堑、半地堑和盐滚—前盐筏构造;过渡带的盐构造类型以盐滚—盐筏构造、盐株等为主,多为直立状;挤压带主要分布于研究区西南部,以发育大量盐墙、盐舌—盐席、盐篷和盐间微盆地及逆掩构造为特征。盐构造发育初始流动期、变形期、强烈变形期和稳定变形期 4 期演化阶段。

(3)不同区带盐构造样式形成的地貌及其演化,特别是区域“坝—池”和区带“纵沟—横槽”地貌样式,对沉积期沉积物的分散和充填具有重要控制作用。“坝—池”地貌控制区域性沉积物通道和深水扇体系的总体分布;渐新世—中新世各层序沉积期,下刚果盆地地貌总体呈东高西低的特点,各级坡折和盐构造主要呈北西—南东向展布,形成切割大陆斜坡的“纵沟”与北北西向的盐构造限制的“横槽”地貌;“纵沟—横槽”地貌限制区带重力流体分散通道的展布和微盆—微槽内的沉积充填。

## 参考文献(References):

- [1] 冯国良,徐志诚,靳久强,等.西非海岸盆地群形成演化及深水油气田发育特征[J].海相油气地质,2012,17(1):23-28.  
FENG Guoliang, XU Zhicheng, JIN Jiuqiang, et al. Basin evolution and development characteristics of deepwater oil and gas fields in coastal basin, West Africa[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2012,17(1):23-28.
- [2] 邬长武.南大西洋含盐盆地油气富集规律及勘探潜力[J].新疆石油地质,2015,36(1):121-126.  
WU Changwu. Hydrocarbon enrichment characteristics and exploration potentials in salt basins of South Atlantic[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2015,36(1):121-126.
- [3] 李越哲,殷杰,赵红岩,等.西非塞内加尔盆地北部次盆早白垩世 Albian 期沉积相类型及展布特征[J].东北石油大学学报,2021,45(2):20-31.  
LI Yuezhe, YIN Jie, ZHAO Hongyan, et al. Sedimentary facies and distribution of Early Cretaceous Albian Period in the Northern Sub-basin of Senegal Basin, West Africa[J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2021,45(2):20-31.
- [4] 张懿,郑求根,胡琴,等.陈雯霖南大西洋两岸被动陆缘盆地地质特征及其对勘探的影响[J].特种油气藏,2023,30(5):1-10.  
ZHANG Yi, ZHENG Qiugen, HU Qin, et al. Geologic characteristics of continental margin basin on both sides of the South Atlantic Ocean and its impact on exploration[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2023,30(5):1-10.
- [5] 陈杨,张道军,张建新,等.莺歌海盆地莺东斜坡黄流组轴向重力流水道沉积特征及控制因素[J].东北石油大学学报,2020,44(2):91-101.  
CHEN Yang, ZHANG Daojun, ZHANG Jianxin, et al. Sedimentary characteristics and controlling factors of the axial gravity channel

- in Huangliu Formation of the Yingdong Slope Area in Yinggehai Basin[J]. *Journal of Northeast Petroleum University*, 2020,44(2): 91-101.
- [6] 刘德俊, 亓立鹏. 海底砂岩水合物生成机理及储量预测研究进展[J]. *石油化工高等学校学报*, 2021,34(2):76-84.  
LIU Dejun, QI Lipeng. Research progress on formation mechanism and reserve prediction of submarine sandstone hydrate[J]. *Journal of Petrochemical Universities*, 2021,34(2):76-84.
- [7] 杨志力, 李丽, 吴佳男, 等. 西沙海域晚中新世深水水道发育特征及主控因素[J]. *东北石油大学学报*, 2023,47(4):29-38.  
YANG Zhili, LI Li, WU Jianan, et al. Development characteristics and controlling factors of Late Miocene deep-water channels in Xisha Area[J]. *Journal of Northeast Petroleum University*, 2023,47(4):29-38.
- [8] 蒲宇新, 李伟, 罗顺社, 等. 鄂尔多斯盆地陇东地区长 7 油层组深水水道型重力流沉积特征及沉积模式[J]. *东北石油大学学报*, 2023, 47(4):70-81.  
PU Yuxin, LI Wei, LUO Shunshu, et al. Sedimentary characteristics and sedimentary model of deepwater channel induced gravity flow of Chang 7 oil layer group in Longdong Area of the Ordos Basin[J]. *Journal of Northeast Petroleum University*, 2023,47(4):70-81.
- [9] 沈向存, 范伟峰, 姜忠正, 等. 地震正演在深水沉积地层研究中的应用[J]. *特种油气藏*, 2024,31(4):36-43.  
SHEN Xiangcun, FAN Weifeng, JIANG Zhongzheng, et al. Application of seismic forward modeling in the study of deep-water sedimentary formation[J]. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 2024,31(4):36-43.
- [10] WALKER R G. Deep-water sandstone facies and ancient submarine fans: models for exploration for stratigraphic traps[J]. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 1978,62(6):932-966.
- [11] 王琳霖, 王振奇, 肖鹏. 下刚果盆地 A 区块中新统深水沉积体系特征[J]. *石油与天然气地质*, 2015,36(6):963-974.  
WANG Linlin, WANG Zhenqi, XIAO Peng. Characterization of deep water sedimentary system in the Miocene of block A in Lower Congo Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2015,36(6):963-974.
- [12] 程涛, 于水, 陶维祥, 等. 西非被动大陆边缘盆地深水沉积体系特征[J]. *地质科技情报*, 2017,36(5):92-101.  
CHENG Tao, YU Shui, TAO Weixiang, et al. Characteristics of deepwater depositional systems in passive continental-margin basin, West Africa[J]. *Geological Science and Technology Information*, 2017,36(5):92-101.
- [13] 刘新颖. 西非第三系深水扇沉积特征及发育演化规律[J]. *东北石油大学学报*, 2013,37(3):24-31.  
LIU Xinying. Depositional characteristics and evolution of the Tertiary deep-water fan in West Africa[J]. *Journal of Northeast Petroleum University*, 2013,37(3):24-31.
- [14] CHEN H, LIN C S, ZHANG Z M, et al. Evolution and controlling factors of the gravity flow deposits in the Miocene sequence stratigraphic framework, the Lower Congo-Congo Fan Basin, West Africa[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2021,48(1): 146-158.
- [15] ZHANG F Q, LI J, XIONG L P, et al. Turbidite facies identification and analysis using geophysical methods in the salt diapir domain of Lower Congo Basin[J]. *Marine & Petroleum Geology*, 2021,133:105264.
- [16] 宫越, 郭荣涛, 张忠民, 等. 刚果扇盆地深水沉积体系及控制因素: 以渐新统一中新统为例[J/OL]. *沉积学报*. <https://doi.org/10.14027/j.issn.1000-0550.2023.113>.  
GONG Yue, GUO Rongtao, ZHANG Zhongmin, et al. Study on the deep-water sedimentary system and controlling factors in the Congo Fan Basin: a case study from the Oligocene and Miocene[J/OL]. *Acta Sedimentologica Sinica*. <https://doi.org/10.14027/j.issn.1000-0550.2023.113>.
- [17] 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.  
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.
- [18] 刘新颖, 于水, 陶维祥, 等. 刚果扇盆地上中新世深水水道充填结构及演化特征[J]. *地球科学(中国地质大学学报)*, 2012,37(1): 105-112  
LIU Xinying, YU Shui, TAO Weixiang, et al. Filling architecture and evolution of Upper Miocene deep-water channel in Congo Fan Basin[J]. *Earth Science: Journal of China University of Geosciences*, 2012,37(1):105-112.
- [19] 陈华, 林畅松, 张忠民, 等. 西非下刚果—刚果扇盆地 A 区块中新统深水水道体系沉积特征及演化[J]. *石油实验地质*, 2021,43(3): 476-486.  
CHEN Hua, LIN Changsong, ZHANG Zhongmin, et al. Depositional characteristics and evolution of Miocene deep-water channel systems in block A of Lower Congo-Congo Fan Basin, West Africa[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2021,43(3):476-486.
- [20] ANKA Z, SERANNE M, LOPEZ M, et al. The long-term evolution of the Congo deep-sea fan: a basin-wide view of the interaction between a giant submarine fan and a mature passive margin(Zai Ango Project)[J]. *Tectonophysics*, 2009,470:42-56.
- [21] OLUBOYO A P, GAWTHORPE R L, BAKKE K, et al. Salt tectonic controls on deep-water turbidite depositional systems; Mio-

- cene, Southwestern Lower Congo Basin, offshore Angola[J]. *Basin Research*, 2014,26(4):597-620.
- [22] LIANG C, DING W L, LIU Y M, et al. The Late Cretaceous-Miocene supr-salt structures in block M, Lower Congo Basin(Congo, West Africa) and the controls on channel development[J]. *Geological Journal*, 2022,57(10):1-16.
- [23] 杨晓娟,李军,于炳松,下刚果盆地构造特征及油气勘探潜力[J]. *地球物理学进展*,2012,27(6):2585-2593.  
YANG Xiaojuan, LI Jun, YU Bingsong. Structural feature and exploratory potential of the Lower Congo Basin[J]. *Progress in Geophysics*, 2012,27(6):2585-2593.
- [24] 余焯,蔡灵慧,尹太举,等.下刚果盆地早白垩世 Pointe Indienne 组湖相浊积岩特征及石油地质意义[J]. *岩性油气藏*,2020,32(6):12-21.  
YU Ye, CAI Linghui, YIN Taiju, et al. Characteristics and hydrocarbon significance of lacustrine turbidite of Early Cretaceous Pointe Indienne Formation in Lower Congo Basin[J]. *Lithologic Reservoirs*, 2020,32(6):12-21.
- [25] 刘静静,郭长武,郭荣涛,等.盐构造活动对油气成藏的控制作用:以下刚果盆地为例[J]. *地质科学*,2024,59(2):365-374.  
LIU Jingjing, WU Changwu, GUO Rongtao, et al. Salt tectonic activity on hydrocarbon accumulation: a case of the Lower Congo Basin[J]. *Chinese Journal of Geology*, 2024,59(2):365-374.
- [26] ZHANG W B, DUAN T Z, LIU Z Q, et al. Architecture mode, sedimentary evolution and controlling factors of deepwater turbidity channels: a case study of the M Oilfield in West Africa[J]. *Petroleum Science*, 2017,14(3):493-506.
- [27] 刘亚雷,刘迎斌,李雷,等.西非下刚果盆地、加蓬盆地裂陷期构造特征对比研究[J]. *世界地质*,2019,38(2):389-396.  
LIU Yalei, LIU Yingbin, LI Lei, et al. Comparison of structural characters in rifting stage between Lower Congo Basin and Gabon Basin in West Africa[J]. *Global Geology*, 2019,38(2):389-396.
- [28] LI Q, WU W, LIANG J, et al. Deep-water channels in the Lower Congo Basin: evolution of the geomorphology and depositional environment during the Miocene(Article)[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2020,115:104260.
- [29] 洛怡,李江海,杨梦莲.南大西洋西非岸盆地群构造、沉积演化对比[J]. *中国地质*,2021,48(1):120-128.  
LUO Yi, LI Jianghai, YANG Menglian. Acomparative study of tectonic and sedimentary evolution of West African coastal basins in the South Atlantic Ocean region[J]. *Geology in China*, 2021,48(1):120-128.
- [30] GAY A, LOPEZ M, COCHONAT P, et al. Isolated seafloor pockmarks linked to BSRs, fluid chimneys, polygonal faults and stacked Oilocene-Miocene turbiditic palaeochannels in the Lower Congo Basin[J]. *Marine Geology*, 2006,226(1/2):25-40.
- [31] 袁圣强,吴时国,马玉波,等.南大西洋深水盆地的构造沉积演化及含油气系统[J]. *天然气地球科学*,2008,19(2):216-221.  
YUAN Shengqiang, WU Shiguo, MA Yubo, et. al. Tectono-sedimentary evolution and petroleum systems of the deepwater basin along South Atlantic Ocean Margin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2008,19(2):216-221.
- [32] 孙自明,何治亮.裂谷与被动陆缘叠合盆地的盐构造与油气成藏:以西非下刚果—刚果扇盆地和宽扎盆地为例[J]. *石油实验地质*, 2016,38(3):287-292.  
SUN Ziming, HE Zhiliang. Salt tectonics and its relationship to hydrocarbon accumulation in salt basins with a lower rifted section and an upper continental marginal section: a case study of the Lower Congo-Congo Fan basins and the Kwanza Basin in West Africa [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2016,38(3):287-292.
- [33] 康洪全,贾怀存,程涛,等.南大西洋两岸含盐盆地裂谷层序油气地质特征与油气分布特征对比[J]. *地质科技情报*,2018,37(4):113-119.  
KANG Hongquan, JIA Huaicun, CHENG Tao, et. al. Comparison of petroleum geology and hydrocarbon accumulation of rift sequence in the salt basins on both sides of South Atlantic Ocean[J]. *Geological Science and Technology Information*, 2018,37(4):113-119.
- [34] 杨晓兰.南大西洋中段两岸盆地盐下油气成藏特征对比[J]. *海洋石油*,2019,39(3):1-8.  
YANG Xiaolan. Comparison of subsalt hydrocarbon accumulation characteristics in basins on both sides of the Mid-South Atlantic [J]. *Offshore Oil*, 2019,39(3):1-8.
- [35] VAIL P R, MITCHUM R M J, TODD R G, et al. Seismic stratigraphy and global changes of sea level[M]//PAYTON C E. Seismic stratigraphy-applications to hydrocarbon exploration. [S. l]: American Association of Petroleum Geologists Memoir, 1977: 49-212.
- [36] JACKSON M P A, TALBOT C J A. Glossary of salt tectonics[J]. *Geological Circular-Bureau of Economic Geology*, University of Texas at Austin, 1992(91/92/93/94):44.
- [37] SCHULTZ-ELA D D. Origin of drag folds bordering salt diapirs[J]. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 2003, 87(5):757-780.
- [38] HUDEC M R, JACKSON M. Terra infirma: understanding salt tectonics[J]. *Earth Science Reviews*, 2007,82(1/2):1-28.
- [39] 刘瓔,郑绵平,张震,等.滇西南思茅盆地盐构造研究及找钾初探[J]. *地质论评*,2017,63(3):568-580.  
LIU Ying, ZHENG Mianping, ZHANG Zhen, et al. Salt tectonic and prospecting potassium research in Simao Basin[J]. *Geological Review*, 2017,63(3):568-580.

(下转第90页)