DOI 10.3969/j.issn.2095-4107.2026.05.004

珠江口盆地东北部 X 气田重力流朵叶沉积特征及连通性

杨　娇[1,2]，代云娇[1,2]，赵红娟[1]，杨　鹏[1]，朱　璠[1]
（1. 海洋油气高效开发全国重点实验室，北京　100028；2. 中海石油（中国）有限公司 深圳分公司，广东 深圳　518000）

摘　要：珠江口盆地白云凹陷中新统发育重力流沉积，是重要的油气产层之一，重力流水道和近端朵叶砂体分布特征及连通性复杂。根据岩心、测井、地震、动态及分析测试等资料，研究 X 气田珠江组 ZJ470 小层朵叶特征、构型和连通性。结果表明：研究区重力流朵叶极为发育，以近端朵叶为主。近端朵叶可分为水道化及非水道化朵叶两类；北部发育水道化朵叶，南部以非水道化朵叶为主。研究区近端朵叶平面连片分布，以补偿叠置为主；垂向为砂岩叠置及厚砂夹薄层泥，整体连通性好；中部发育一条“Y”形侵蚀水道，水道北部为泥质充填，中部以砂岩沉积为主，南部为粉砂质沉积，导致水道两侧朵叶在北部不连通，在中部连通，在南部弱连通。该结果为珠江口盆地重力流沉积认识及重力流水道—朵叶沉积开发提供借鉴。

关　键　词：朵叶；重力流；沉积特征；连通性；珠江组；白云凹陷；珠江口盆地
中图分类号：TE122.2　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：2095－4107(2026)05－0058－13

0　引言

深水重力流在顺斜坡向下运动过程中可形成大规模的重力流沉积。西非尼日尔三角洲盆地、下刚果盆地、巴西坎潘斯盆地、墨西哥湾、澳大利亚西北陆坡、墨西哥湾及圭亚那盆地等深水油气勘探表明，深水重力流沉积发育优质油气储层[1-3]。深水重力流沉积是“源—汇”系统的最终沉积场所，包含丰富的地质信息，是沉积学及油气勘探的热点之一[4-5]。

人们围绕重力流沉积体系的沉积模式、储层分布及形成机理等方面开展研究，建立碎屑流和浊流等不同类型重力流沉积模式，阐明坡折带、古地貌、物源供给及湖（海）平面变化等因素对重力流沉积发育的控制作用[6-10]。基于野外露头及地球物理资料，研究重力流水道、朵叶的内部沉积过程及构型，水道体系多期演化与叠置是控制水道砂体构型与非均质性的关键，完善朵叶体的级次划分方案，揭示补偿叠置是朵叶沉积的重要内容[11-15]。重力流水道及朵叶充填、堆积样式复杂，且沉积厚度多变。海上研究受少井条件约束，地震分辨率较低，导致水道充填、演化规律、朵叶叠置样式及连通性研究难度大，水道及朵叶的形成机制、油气储层质量及连通性认识有待研究[16-20]。南海珠江口盆地发现与重力流沉积体系相关的大中型气田（荔湾 3-1 和流花 29-1 气田）。岩心、测井及地震等资料显示，珠江口盆地白云凹陷 L 气田重力流沉积在宽缓陆架背景下，珠江物源供给充分、构造运动活跃及相对海平面升降等共同控制重力流沉积的发育及分布[21-24]。

X 气田新近系珠江组重力流朵叶极为发育，是气藏开发的主要研究对象。根据钻井、地震及生产动态等资料，以 X 气田重力流朵叶为研究对象，研究朵叶的分布、形成、叠置关系及连通性，阐明朵叶的宏观展布及叠置样式，分析侵蚀水道的充填特征，为气田下一步开采及潜力区挖掘提供借鉴。

1　区域地质概况

珠江口盆地为中新生代大陆边缘裂陷型盆地，由北向南可划分为北部隆起带、北部坳陷带（珠三和珠一坳陷）、中央隆起带、南部隆起带和南部坳陷带 5 个构造单元，各构造带又可分为若干个凹陷和低隆起

收稿日期：2026－02－08；**编辑**：朱秀杰
基金项目：国家科技重大专项（2025ZD1407400）；国家科技重大专项（2025ZD1407404）
作者简介：杨　娇（1983—），女，硕士，高级工程师，主要从事海洋油气开发技术和管理方面的研究。

(见图 1(a-b))[25]。受南海洋壳俯冲形成的南向牵引,以及印中板块沿北西走向的红河断裂挤出和扭转拉张共同作用,珠二坳陷地壳厚度减薄。自古近纪以来,珠二坳陷经历两个主要的构造演化阶段,即始新世—早中新世的张裂阶段和早中新世—现代的被动大陆边缘热沉降阶段。张裂阶段发育以断裂控制为主的一系列半地堑,至阶段末期,陆架边缘位于南部隆起带以南,白云凹陷处于浅水陆架区。约 23.8 Ma 时,随南海扩张脊的向南跃迁,陆架边缘向北迁移;随后,白云凹陷进入早中新世—现代的被动大陆边缘热沉降阶段,为构造活动相对平静的深水沉积环境[26]。

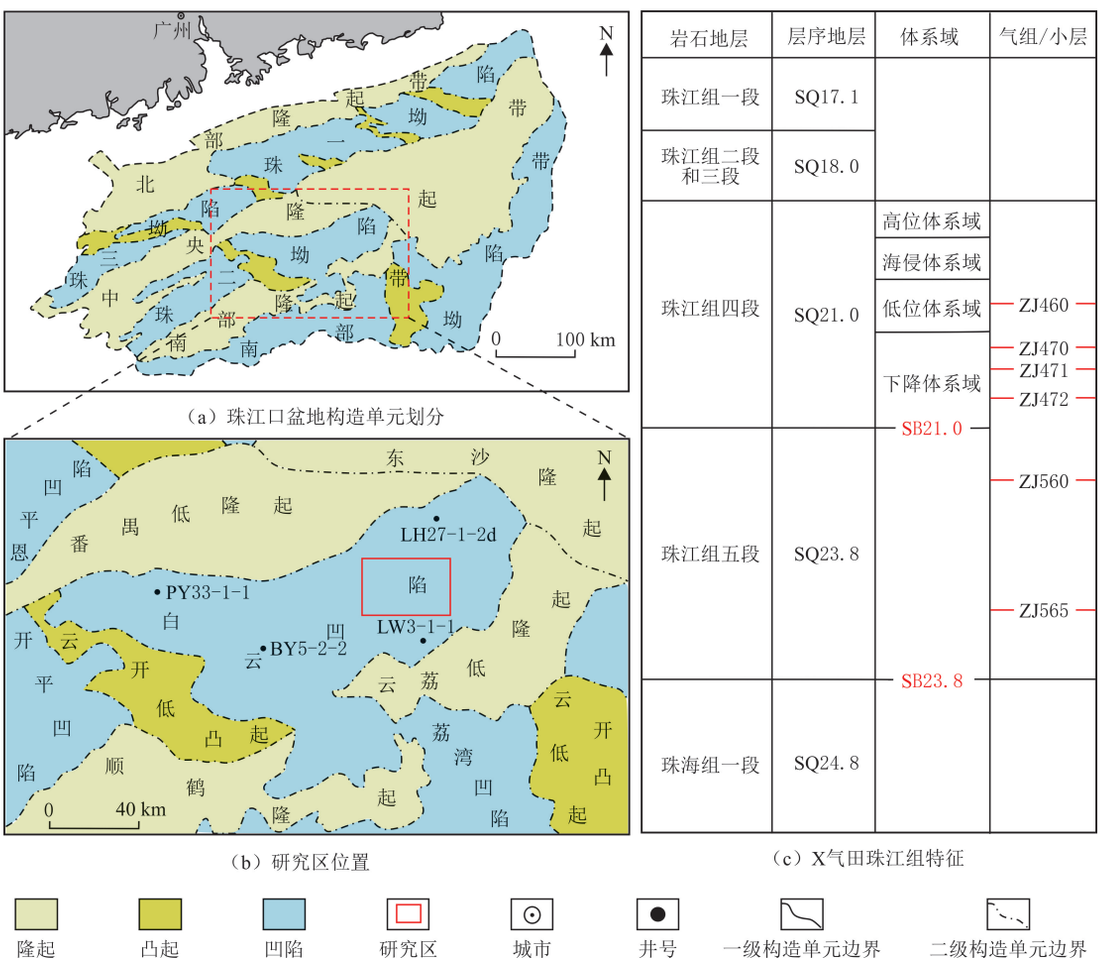


图 1　珠江口盆地构造单元划分、研究区位置及 X 气田珠江组特征(据文献[25]修改)

Fig. 1 Strucutre unite division of the Pearl River Mouth Basin, location of the study area, and stratigraphic characteristics of the Zhujiang Formation in the X Gas Field(modified by reference[25])

研究区位于白云凹陷东北部,地层较为完整,从下至上依次发育渐新统珠海组,新近系珠江组、韩江组、粤海组、万山组及第四系[21]。珠江组平均厚度约为 466 m,可分为珠江组一段(珠一段)、二段(珠二段)、三段(珠三段)、四段(珠四段)及五段(珠五段)。下部以长石砂岩和长石岩屑砂岩为主,含少量薄泥岩和粉砂岩夹层,其中 ZJ470 小层位于珠四段,发育细—中粒岩屑长石砂岩和长石岩屑砂岩,孔隙发育以原生粒间孔为主,是研究区主要产气层。上部岩性主要为泥岩、粉砂岩及少量薄层、厚层深水砂岩,泥岩多呈浅色、浅灰色,偶见灰绿色、杂暗色,部分含钙质,见绿泥石。

珠江口盆地白云凹陷珠江组发育大规模的重力流水道—朵叶体系[7, 21, 27],北部以重力流水道—堤岸体系为主,向南逐渐过渡为朵叶体系,东部及西部发育大型的侵蚀水道。X 气田珠江组 ZJ470 小层以朵叶为主(见图 2)。朵叶砂体极为发育,物性较好,开发潜力较大。

研究区 ZJ470 小层界面特征较明显,主要表现为砂岩与泥岩之间的突变面,测井相整体呈箱形、指形及低幅齿化等多种组合特征(见图 3(a)),地层厚度整体变化较小,具有较好的横向稳定性。由北向南,地

层厚度呈逐渐增大的趋势，其中北部 X-3-1 井厚度为 23.0 m，南部 X-2-1 井厚度为 31.5 m，X-2-2 井厚度为 16.6 m，X-2-1 井西部的 X-6-1 井厚度为 31.5 m。X 气田 ZJ470 小层展布较为平缓，厚度变化幅度较小，地震反射特征表现为平行—亚平行强反射，反映较好的地层连续性。平面展布上，北部地层相对较薄，向南逐渐增厚，厚层主要集中于 X-2-1 井区（见图 3(b)）。

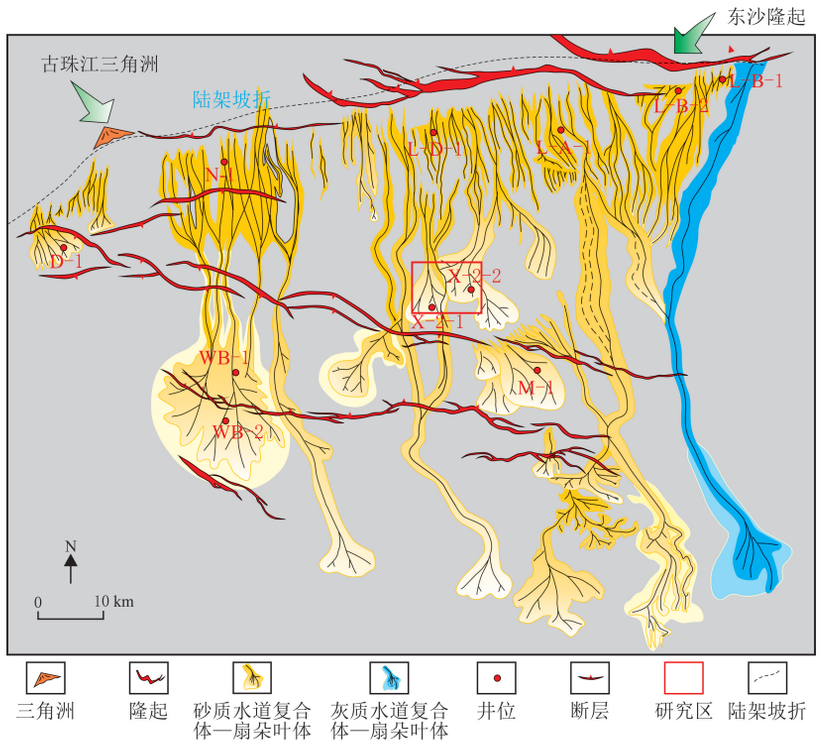


图 2　研究区沉积体系分布（据文献[21]修改）

Fig. 2 Distribution of sedimentary systems in the study area(modified by reference[21])

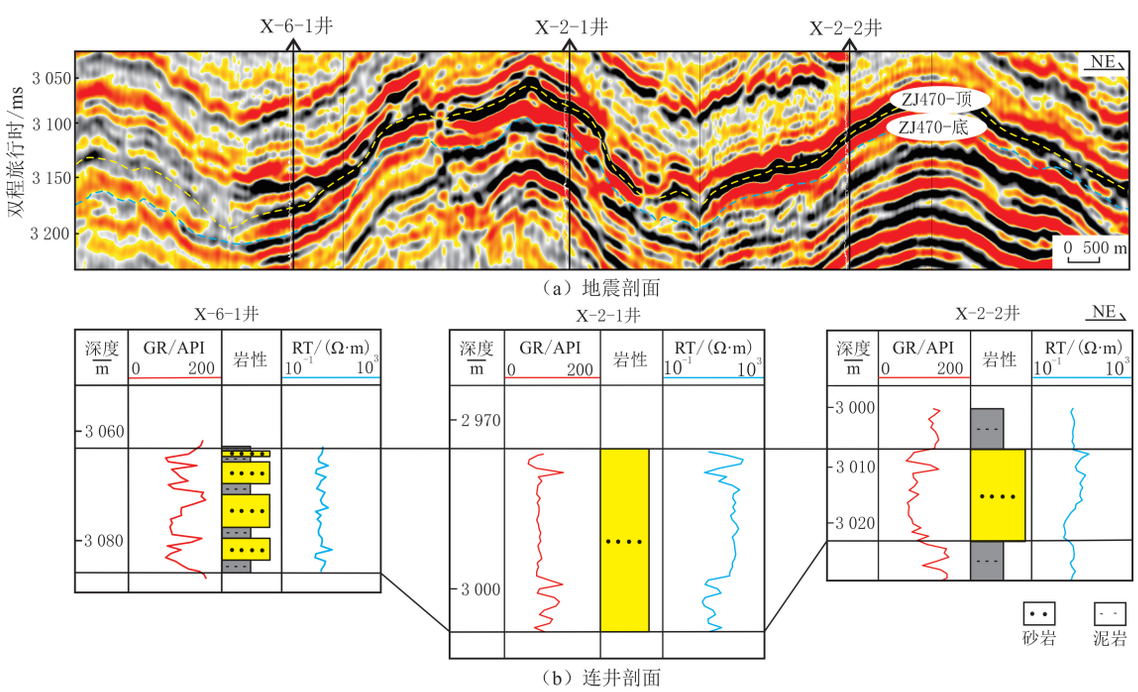


图 3　研究区珠江组 ZJ470 小层特征

Fig. 3 Characteristics of the ZJ470 sub-layer in the Zhujiang Formation in the study area

2　资料与方法

2.1　资料

(1)岩心资料。取心井有 2 口(X-2-1 和 X-2-2 井),取心段为珠江组,累计取心长度分别为 17.1 和 15.4 m。(2)钻、测井资料。钻、测井有 4 口(X-2-1、X-2-2、X-3-1 和 X-6-1 井),测井曲线类型主要为自然伽马(GR)和电阻率(RT)。(3)地震资料。三维地震资料全覆盖面积约为 200 km^2,处理面元为 12.5 m×25.0 m,主频为 22 Hz,频带带宽为 10～65 Hz,目的层位在 3 000～3 600 ms 处,地震波平均速度为 3 000～3 500 m/s,垂向分辨率为 30～35 m。岩石物理分析表明,研究区纵横波速度比 1.85 为区分砂岩及泥岩的阀值,高于 1.85 的为砂岩,低于 1.85 的为泥岩。(4)测试资料主要有物性分析和粒度分析(X-2-1、X-2-2和 X-6-1 井),对 X-2-1 和 X-2-2 井为岩心测试,对 X-6-1 井为井壁取心。

2.2　方法

利用多属性融合、RGB 混相分频融合、纵横波速度反演及地层厚度等结果,开展沉积微相展布特征研究。多属性融合基于 ICA(盲源分离)算法,将优选的三种属性切片(最大振幅、最小振幅和均方根振幅)进行分析处理,最大迭代次数为 30,输出得到最终的属性切片。RGB 混相分频融合首先对原始地震体目的层段进行频谱分析,再使用 Morlet 小波分频方法得到低、中、高三个单频体(14.6、20.8 和 29.1 Hz),最后将不同单频体的属性切片进行融合。由于在各类属性切片上不能较好地反映近端朵叶中的次级水道,为区分水道化及非水道化朵叶,采用平面和剖面结合的方法精细刻画水道分布。在朵叶展布特征研究基础上,结合沉积分析、地球物理反演、生产动态数据及野外露头剖面对比,分析后期水道侵蚀改造对朵叶连通性的影响。

3　朵叶类型及特征

3.1　沉积类型

研究区重力流朵叶最为发育(见图 2),根据富砂程度,将朵叶划分为近端及远端朵叶。远端朵叶(相当于海底扇外扇)多为细粒的富泥沉积,储层发育相对较差。近端朵叶相对更为富砂,为油气主要储层发育类型,是研究的重点对象。根据近端朵叶水道发育程度,可进一步分为水道化及非水道化朵叶,主要沉积特征见表 1。

表 1　研究区朵叶及深海泥沉积特征

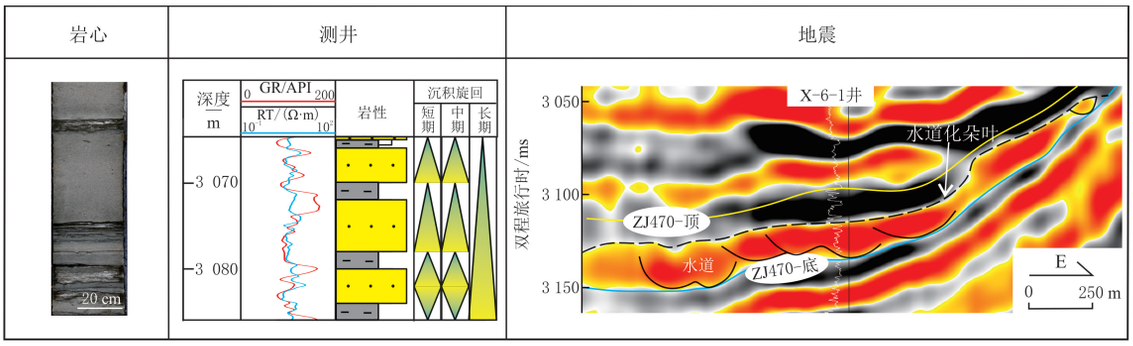
Tabel 1 Characteristics of lobe and deep-sea mud in the study area

类型	岩相	测井相	地震相
水道化朵叶	砂岩、粉砂岩,块状层理、平行层理	钟—箱形复合形、漏斗形	丘状,水道化特征明显,见“U”和“V”形水道;中等—弱连续,中等—强反射
非水道化朵叶	细砂岩,局部夹粉砂岩;粒序层理、平行层理和交错层理	齿化箱形、钟形、漏斗形及指状	丘状、席状;好—中等连续,强反射低幅齿化
深海泥	泥岩、泥质粉砂岩;水平层理、小型交错层理,见生物潜穴	低幅齿化、平滑状	平行—亚平行席状;连续性好—较差,弱振幅反射

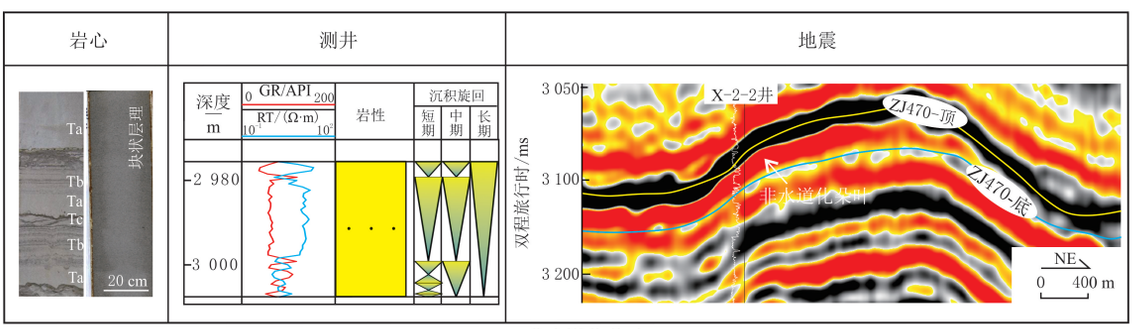
3.1.1　近端朵叶

水道化朵叶主要发育于重力流水道末端,重力流能量相对较高,以粗粒的砂、泥沉积为主,发育粒序层理、块状层理、平行层理和交错层理等;测井相为钟—箱形复合形和漏斗形;为丘状强反射地震特征,内部可见一系列的次级水道(见表 1、图 4(a))。

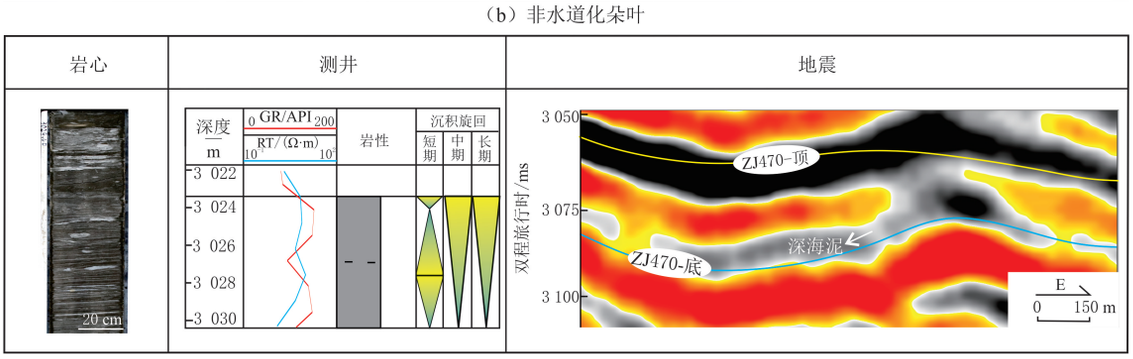
非水道化朵叶一般发育于水道化朵叶前端,次级水道相对不发育。重力流能量相对较高,沉积作用占主导,整体为丘状或席状,岩性多为细砂岩,局部夹粉砂岩;交错层理、粒序层理和平行层理较为常见;测井曲线呈齿化箱形、钟形、漏斗形及指状;为平行—亚平行板状强反射地震特征(见表 1、图 4(b))。



（a）水道化朵叶



（b）非水道化朵叶



（c）深海泥

砂岩　泥岩

图 4　研究区朵叶和深海泥岩性、测井及地震特征

Fig. 4 Lithology, drilling and seismic reflection of lobe and deep-sea mudstone in the study area

3.1.2　深海泥

朵叶中的泥质沉积有两种成因：一种是重力流末期，重力流能量相对较弱，以泥质为主，多为泥质重力流沉积；另一种是重力流间歇期，重力流不活跃，由深海—半深海泥质悬浮沉降而形成。岩性整体较细，以泥岩和泥质粉砂岩最为常见，发育水平层理和小型交错层理；测井相为低幅齿化或平滑状；为平行—亚平行席状弱反射地震特征（见表 1、图 4(c)）。

3.2　平面展布特征

3.2.1　剖面相

研究区南部朵叶较为发育。由于地层较薄，ZJ470 小层在有效地震分辨率基础上发育一套朵叶沉积，局部可见次级水道。东部 X-2-2 井区表现为连续性好的强反射地震特征，但同相轴频率有所变化，为略显扁豆状或海鸥翼状的小型沉积水道—堤岸体系。西部 X-6-1 井区表现为连续性较好的中等反射地震特征，“U”形、透镜状次级水道较为发育。研究区南部以近端朵叶为主，东侧发育非水道化朵叶，西侧水道化朵叶较为常见（见图 5(a)）。由南部过 X-6-1、X-2-1 及 X-2-2 井剖面可知，以朵叶为主，多期朵叶垂向叠加。X-2-1 及 X-2-2 井位于近端朵叶主体区，砂体厚度大，未见泥质沉积夹层。西部 X-6-1 井见泥质沉积，砂体厚度较小，距离近端朵叶沉积中心较远（见图 5(b)）。

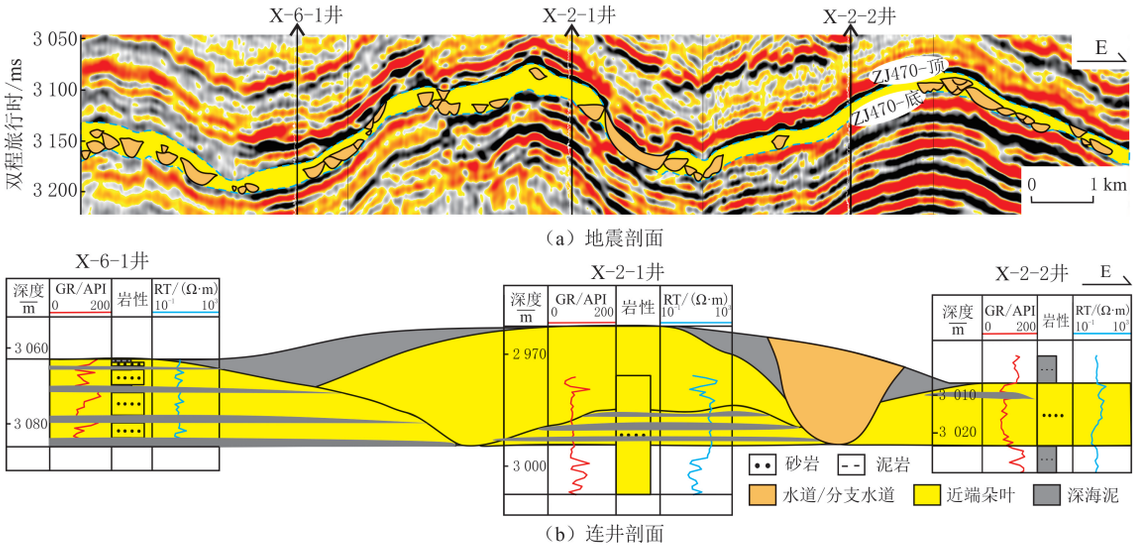


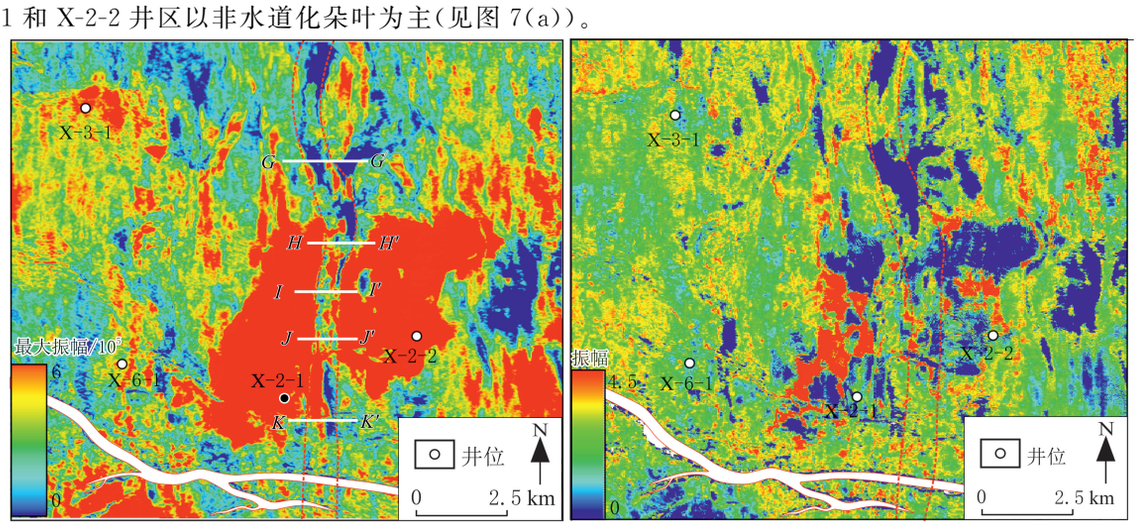
图 5　研究区珠江组 ZJ470 小层朵叶剖面特征

Fig. 5 Characteristics of lobe profile of the ZJ470 sub-layer in the Zhujiang Formation in the study area

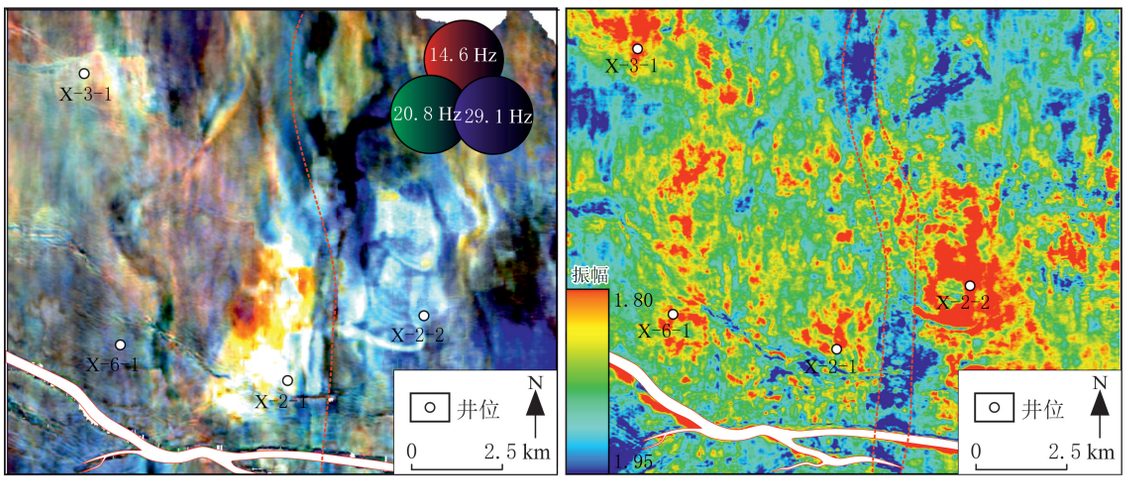
3.2.2　平面相

多属性融合分析表明,研究区振幅整体较高,呈朵状或片状展布,指示朵叶体大规模发育并具有多期叠置特征。中部 X-2-1 及 X-2-2 井区振幅最强,连续性最好,西北及东北部的次之,X-6-1 井区振幅较弱,中部发育一条近南北向展布的水道,对 X-2-1 及 X-2-2 井区朵叶进行切割,内部可识别弯曲度较高的次级水道(见图 6(a-b))。在 X-2-2 井区朵叶上发育高弯曲度迁移型水道(见图 6(c))。西北及东部的近南北向线性特征在 RGB 混相分频融合结果上更为明显,既可能为水道,也可能代表朵叶叠置边界(见图 6(c))。纵横波速度比反演属性切片显示,在重力流沿斜坡向下运动过程中,随流体能量逐渐减弱,沉积作用增强并占主导,水道发生分汊,进而形成具有水道化特征的朵叶沉积体。纵横波速度比异常体大面积连片分布,反映研究区为富砂沉积,东部的最优,中部的次之(见图 6(d))。由地震剖面解释结果可知,朵叶内部普遍发育“U”形及海鸥翼状次级水道,与平面特征对应良好。

研究区发育富砂近端朵叶沉积。朵叶总体呈南北向展布,可划分为 5 个朵叶体(见图 7 的①②③④⑤)。次级水道呈近南北向条带状展布,北部规模较小但数量较多,南部规模较大但数量较少。北部以水道化朵叶为主,次级水道极为发育,南部水道相对不发育,非水道化朵叶占主导。中部发育一条“Y”形后期水道,水道内部和 X-2-2 井西侧发育一系列的弯曲小水道。X-3-1 及 X-6-1 井区为水道化朵叶发育区,X-2-1 和 X-2-2 井区以非水道化朵叶为主(见图 7(a))。



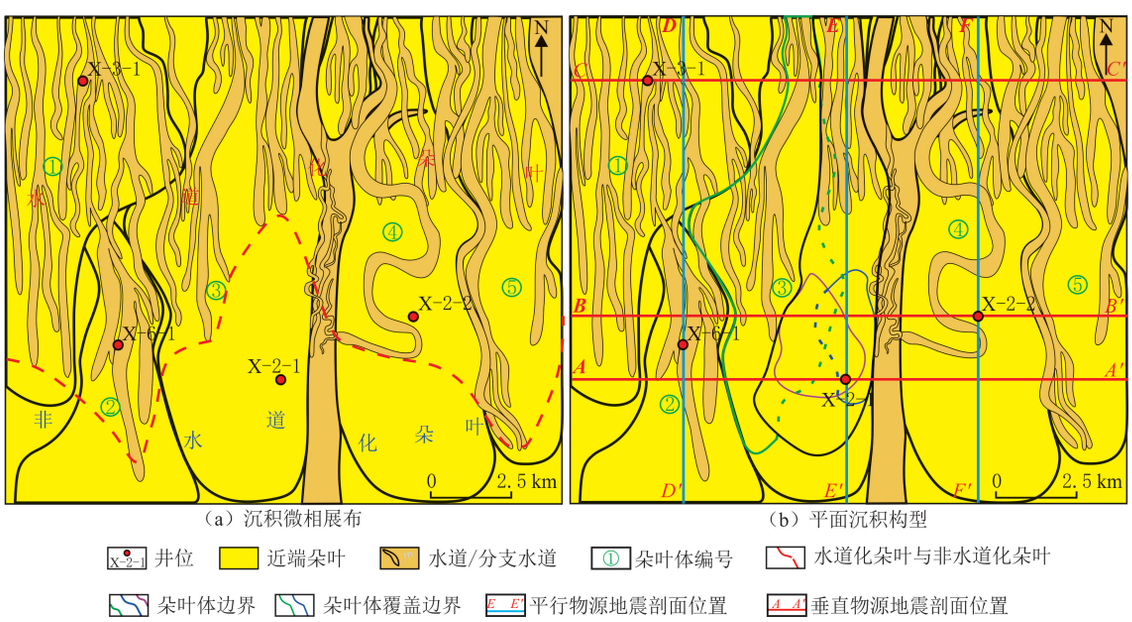
(a) 最大振幅属性　　(b) 均方根—最小振幅—最大振幅属性融合切片



（c）RGB分频　　（d）密度反演切片

图 6　研究区朵叶地震反射特征

Fig. 6 Seismic characteristics of lobe in the study area



（a）沉积微相展布　　（b）平面沉积构型

图 7　研究区珠江组 ZJ470 小层朵叶沉积特征

Fig. 7 Sedimentary characteristics of lobe in the ZJ470 sub-layer of the Zhujiang Formation in the study area

3.3　叠置样式

因无法清晰界定研究区 5 个朵叶体的边界，可能为多期朵叶侧向迁移叠置所致。受地震分辨率限制，难以识别朵叶期次，从 X-6-1 井上识别 3 期朵叶（见图 5(b)）。地震剖面分析表明，局部可有效识别朵叶期次。

南部 X-2-1 井区地震同相轴呈弱分叉特征，可较清晰识别多期叠置结构。在地震分辨率条件下，刻画 3 期非水道化朵叶（见图 7(b)、8(a)），展布表现为东西向摆动并呈补偿叠置。过 X-2-2 井剖面可识别 2 期朵叶（见图 8(b)）。受地震分辨率限制，X-3-1 井区难以识别朵叶期次，全区朵叶叠置样式与 X-2-1 井区的类似，以补偿叠置型为主（见图 8(c)）。

顺物源方向，研究区北部以水道化朵叶为主，长条形透镜状水道较为发育，南部逐渐过渡为非水道化朵叶，水道与朵叶转化特征较为明显，小层内部表现为由北向南的进积特征（见图 9）。

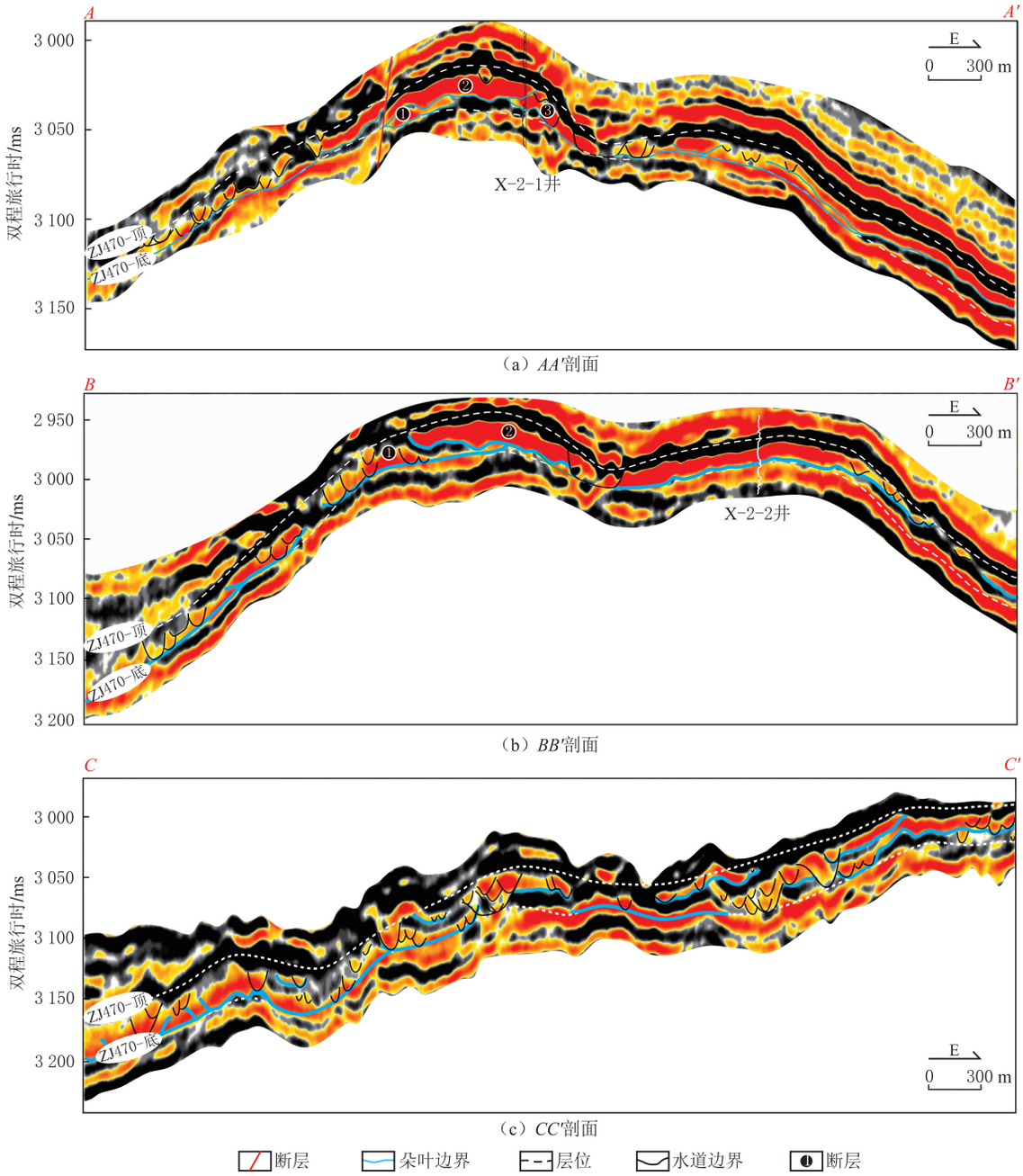


图 8　研究区东西向朵叶构型特征(剖面位置见图 7(b)AA'、BB'、CC')

Fig. 8 Architecture characteristics of lobe in east to west profile of the study area(section positions are shown in Fig. 7(b)AA', BB', CC')

4　朵叶连通性及水道特征

4.1　朵叶连通性

研究区近端朵叶以细—中粒岩屑长石砂岩和长石岩屑砂岩为主,分选中等—好,颗粒呈次棱角—次圆状。X-2-1 和 X-2-2 井储层孔隙以原生粒间孔为主,其次为铸模孔。面孔率介于 2.4%～21.1%,平均为 15.0%,整体孔隙较发育且连通性较好。储层孔喉分选较好,排驱压力较低(0.043 1～0.140 7 MPa),中值压力较低(0.066 5～0.581 5 MPa),中值孔喉半径为 1.25～11.20 μm,其中大于 2.50 μm 的粗孔喉占比超过 75%,孔喉分布较为均匀,整体储集性能良好。

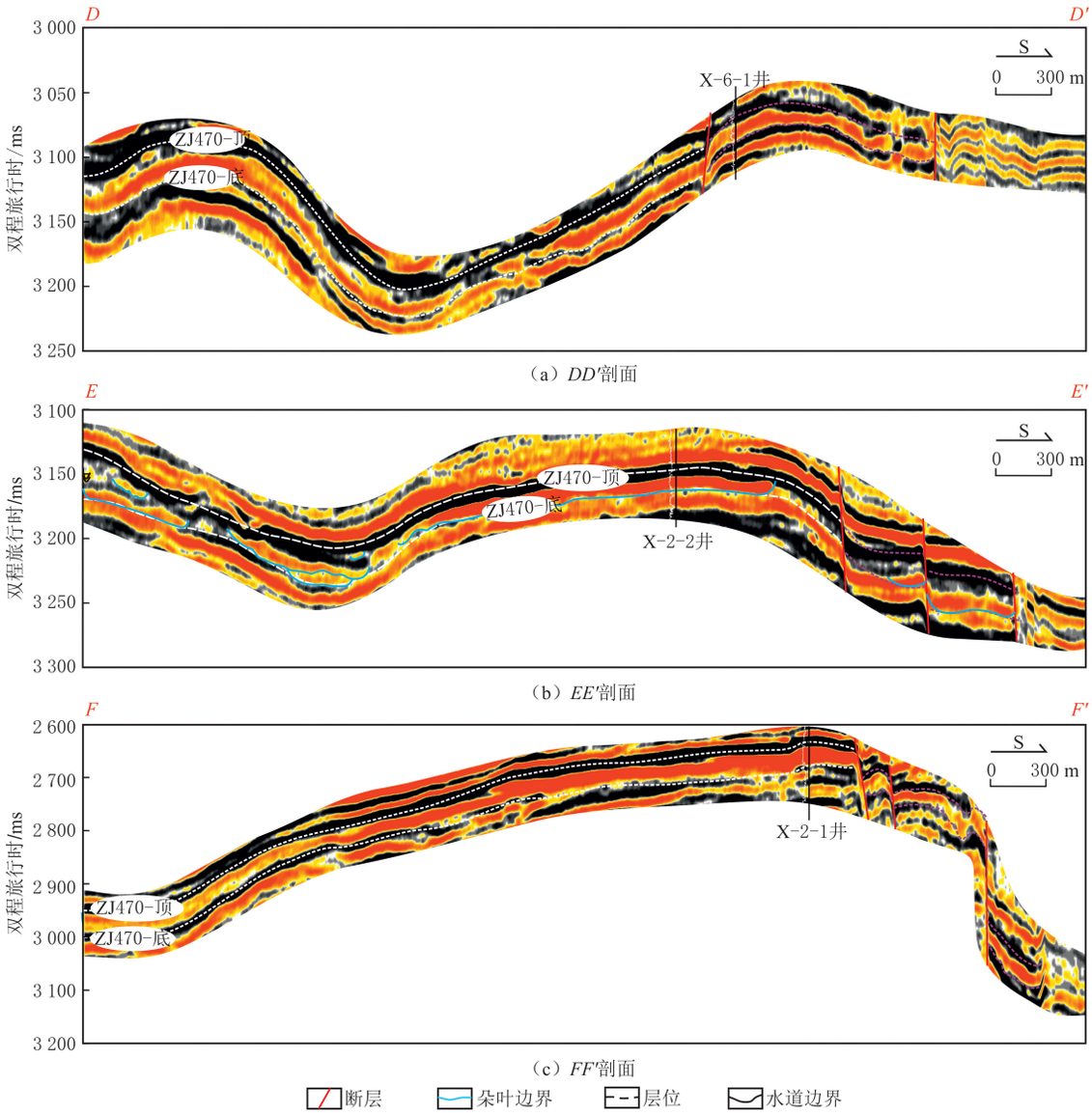


图 9　研究区南北向朵叶构型特征(剖面位置见图 7(b)DD'、EE'、FF')

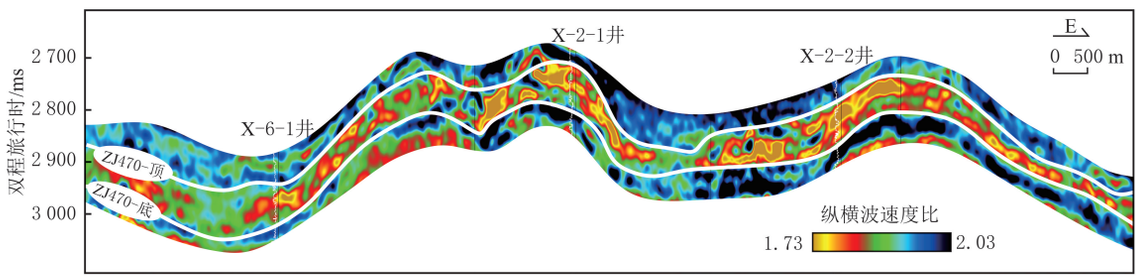
Fig. 9 Architecture characteristics of lobe in north to south profile of the study area(section positions are shown in Fig. 7(b)DD', EE', FF')

地震反演结果表明,研究区水道化及非水道化朵叶沉积整体表现为低伽马和低纵横波速度比。剖面上,近端朵叶横向连续中等—好,砂体连通性强,局部发育小型次级水道,水道砂与席状砂之间连续性良好,反映朵叶内部连通性较强(见图 10)。平面上,X-2-1 与 X-2-2 井区砂体大面积连片分布;西部 X-3-1 和 X-6-1 井区砂体连片,但面积较小(见图 6(d))。近端朵叶由相对高能的重力流沉积形成,岩性以粗粒的砂岩、含砾砂岩为主,局部可见砾岩,呈层状产出,横向延伸稳定。鄂尔多斯盆地西缘中—晚奥陶世拉什仲组近端朵叶单层砂体厚度多在 0.5～1.8 m 之间,厚度分布极为稳定,研究区朵叶与野外露头资料较为类似[28]。

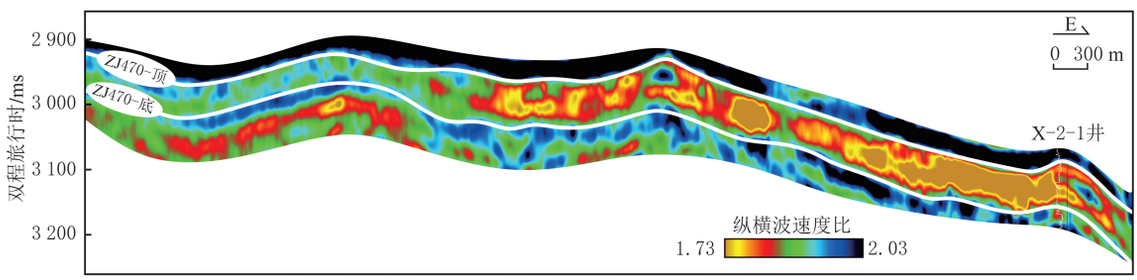
X-2-1 井地层压力从 2014 年 12 月的 30.04 MPa 下降至 2020 年 12 月的 22.39 MPa,2025 年 6 月下降至 19.23 MPa,压力因数由 2021 年的 1.010 降至 2024 年的 0.685;西南部生产井——X-6-2 井的压力因数由 0.900 同步下降,表明 X-2-1 井区中 X-2-1、X-6-2 及 X-6-1 等井钻遇的朵叶砂体相互连通。

研究区近端朵叶以砂岩为主,粒间孔发育,孔渗条件较好,孔喉结构均匀,储层质量较高。砂体横向分布较为稳定,平面连片,整体连通性好。研究区中部发育一条“Y”形侵蚀水道,将 X-2-1 及 X-2-2 井区朵叶

切割为两部分,水道的充填影响两个井区连通性及后期挖潜。



（a）过X-6-1井、X-2-1井和X-2-2井垂直物源纵横波速度比反演剖面



（b）过X-2-1井顺物源纵横波速度比反演剖面

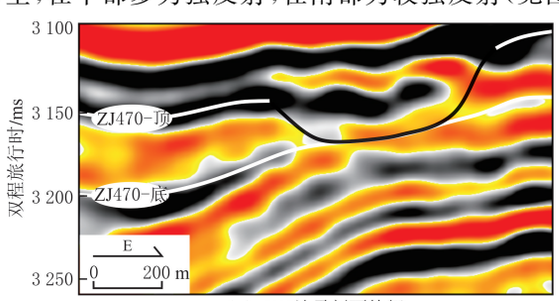
图 10　研究区朵叶砂体分布特征

Fig. 10 Sandstone distribution of lobe in the study area

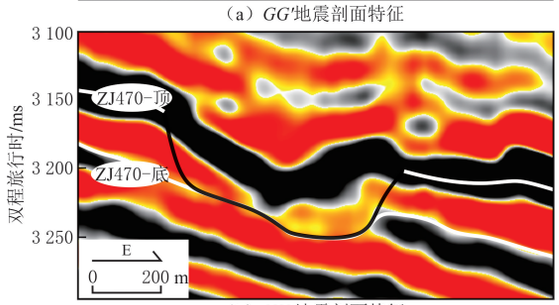
4.2　水道特征

在水道从北向南顺斜坡运动过程中,随重力流能量逐渐减弱,水道逐渐由侵蚀、侵蚀—沉积过渡为沉积。北部水道侵蚀区早期侵蚀、过路不沉积,以后期泥质充填为主;中部侵蚀—沉积区砂质沉积物堆积;南部沉积区沉积物粒度减小,逐渐由细砂过渡为粉砂(见图 11),大型水道内部晚期砂质充填单元不仅是优质储集体,也是重要的油气运移通道[29-31]。

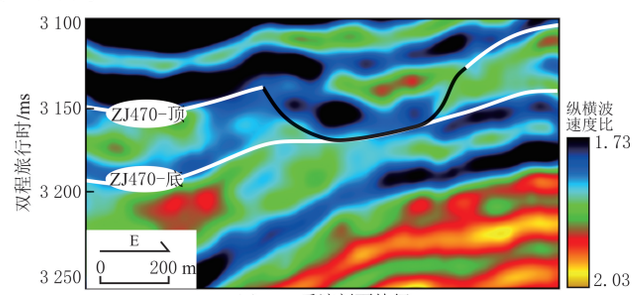
水道形态在北部以“U”形为主,在中部及南部呈“U”“W”形。宽度向南逐渐增大,深水减小,宽深比明显增加(见图 11(a-e)、表 2)。纵横波速度比反演及地震属性切片具有明显的分段性。纵横波速度比在水道北部为高值,以泥质等细粒泥质充填为主;纵横波速度比在中部为低值,水道以砂质沉积占主导;纵横波速度比在南部较低,对应较细的细砂及粉砂沉积(见图 11(f-j))。地震属性切片显示,在北部以弱反射为主,在中部多为强反射,在南部为较强反射(见图 6(a))。



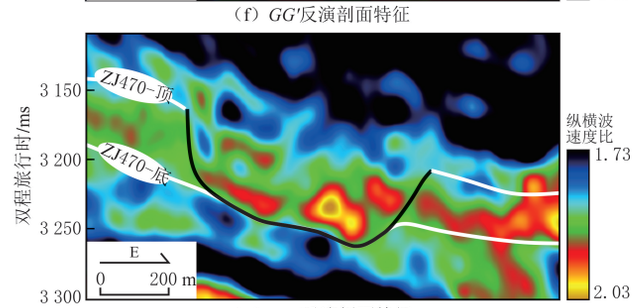
（a）*GG'*地震剖面特征



（b）*HH'*地震剖面特征



（f）*GG'*反演剖面特征



（g）*HH'*反演剖面特征

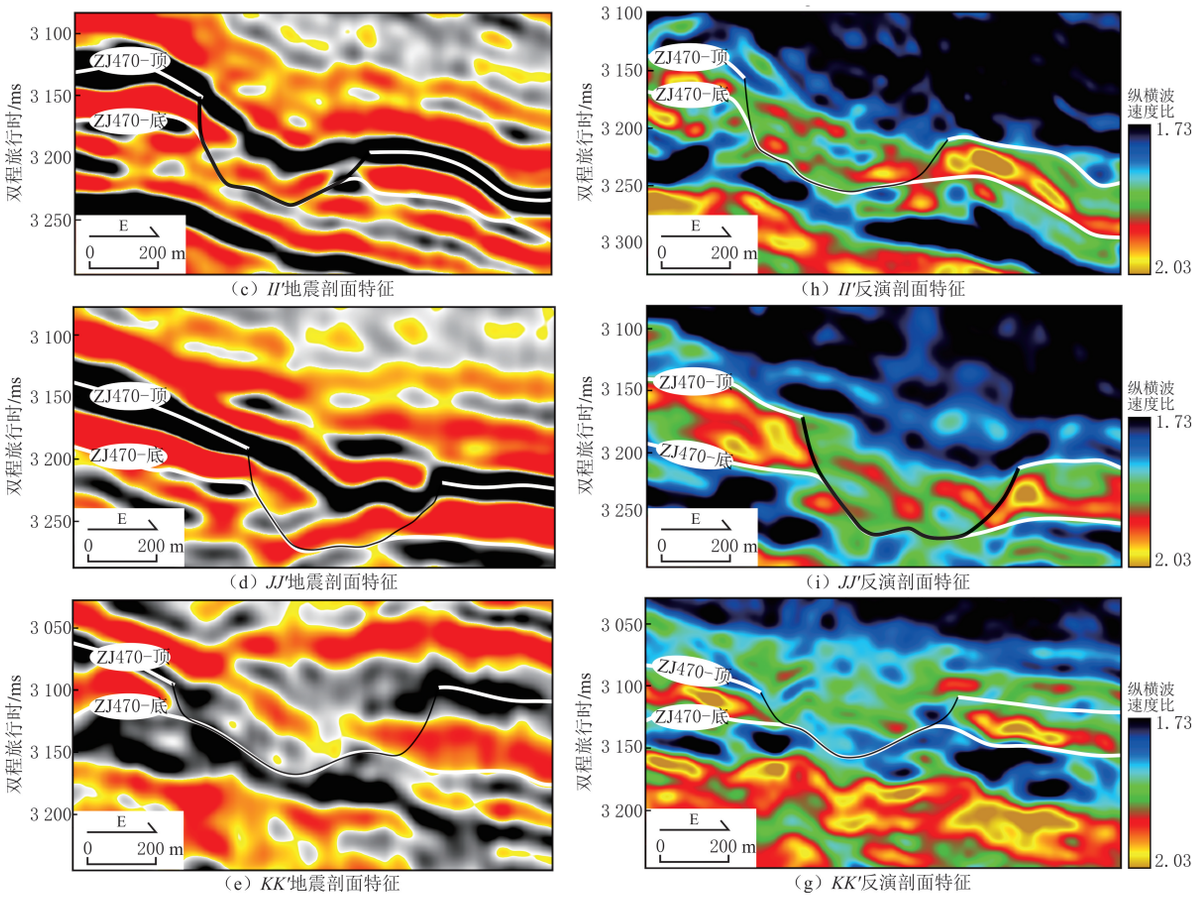


图 11　研究区中部水道特征(剖面位置见图 6(a))

Fig. 11 Characteristics of channel in the middle of study area(section positions are shown in Fig. 6(a))

表 2　研究区中部水道特征

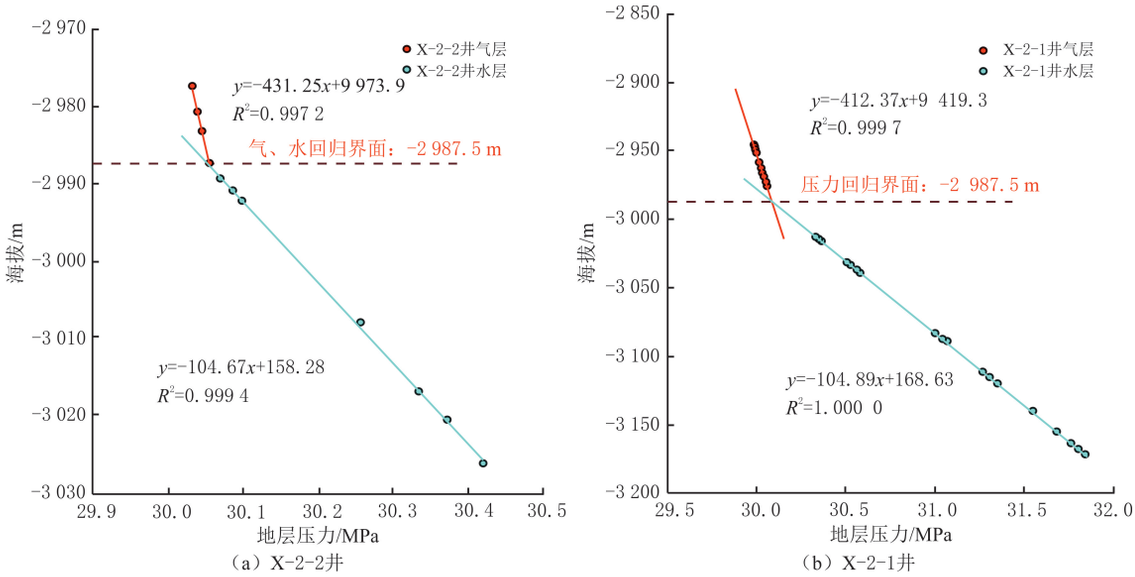
Tabel 2 Characteristics of channel in middle of study area

位置	形态	宽度/m	深度/m	宽深比	沉积作用	沉积物	次级水道	连通性
北部	“U”	463.80～654.30 587.48	9.10～24.10 15.79	22.87～71.90 40.03	侵蚀＞沉积	泥、砂	少	不连通
中部	“U”“W”	563.80～838.80 657.39	7.50～24.90 14.96	29.96～89.22 49.34	沉积＞侵蚀	砂、粉砂	发育	连通
南部	“U”“W”	645.90～884.30 752.18	10.10～22.00 14.59	35.50～71.31 54.45	沉积	粉砂	少	连通

注：最小～最大 / 平均。

水道中部发育弯曲次级水道(见图 6(c-d))，南部在地震剖面上显示水道发育小型次级水道。水道内部次级水道代表重力流能量的变化，弯曲度较大、规模较小的次级水道代表重力流能量较弱，沉积作用大于侵蚀作用。同时，地震反射特征(低纵横波速度比和强反射属性)表明，水道中部为富砂沉积，南部以细砂及粉砂为主。

研究区“Y”形水道北部以侵蚀作用为主，泥质沉积发育；中部砂质沉积较为发育；南部以细砂、粉砂沉积最为常见。水道切割朵叶，水道两侧朵叶在水道的北部、中部和南部连通性明显不同。北部泥质充填水道，导致两侧朵叶不连通；中部砂质水道可连通两侧朵叶；南部细砂及粉砂可能使得两侧朵叶弱连通。X-2-2井 ZJ470 小层钻遇气、水界面为－2 987.5 m，X-2-1 井虽未钻遇流体界面，但采用压力回归法可确定气、水界面为－2 987.5 m。两井气、水界面一致，表明中部水道两侧朵叶连通性较好(见图 12)。



（a）X-2-2井　　（b）X-2-1井

图 12　研究区朵叶气、水界面特征

Fig. 12 Characteristics of the gas-water interface of lobe in the study area

5　结论

(1)珠江口盆地东北部 X 气田主要发育重力流朵叶及深海泥沉积。朵叶可分为近端及远端朵叶,其中近端朵叶又可细分为水道化及非水道化朵叶。近端朵叶为主要富砂沉积类型,以细—中粒岩屑长石砂岩和长石岩屑砂岩为主,测井特征为箱形、箱—漏斗形复合形,地震相为平行—亚平行,呈丘状强反射。

(2)研究区近端朵叶极为发育,整体呈南北向展布。北部小型次级水道发育,向南逐渐较少。从北向南,由水道化朵叶过渡为非水道化朵叶。平面上,多个朵叶相互平行、叠加。研究区中部发育一条“Y”形水道,水道为南北向分布,将朵叶分为东、西两部分。

(3)研究区朵叶以补偿叠置样式为主,连通性好。“Y”形水道控制两侧水道连通性。水道北部以泥质充填为主,导致两侧朵叶不连通;中部常见砂质充填,水道和两侧朵叶连通性好;南部细砂及粉砂占主导,水道两侧朵叶连通性较弱。

参考文献(References):

[1] 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.
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.

[2] 高云峰,范廷恩,蔡文涛,等.尼日尔三角洲盆地中新统深水浊流沉积体系演化特征及主控因素[J].东北石油大学学报,2024,48(5):1-16.
Gao Yunfeng, Fan Tingen, Cai Wentao, et al. Evolution characteristics and main controlling factors of deepwater turbidite system in the Miocene of the Niger Delta Basin[J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2024,48(5):1-16.

[3] 张懿,郑求根,胡琴,等.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 passive 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.

[4] 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 Shunshe, 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.

[5] 刘钰星,陈宇航,范国章,等.底流与重力流交互作用下的朵体沉积特征:以东非鲁伍马盆地中新统为例[J].古地理学报,2024,26(4):1005-1016.

Liu Yuxing, Chen Yuhang, Fan Guozhang, et al. Sedimentary characteristics of lobes formed by interacting bottom currents and gravity flows: a case study from the Miocene in Rovuma Basin, East Africa[J]. Journal of Palaeogeography, 2024,26(4):1005-1016.

[6] 刘军,庞雄,颜承志,等.南海北部陆坡白云深水区浅层深水水道沉积[J].石油实验地质,2011,33(3):255-259.
Liu Jun, Pang Xiong, Yan Chengzhi, et al. Shallow deepwater channels in Baiyun deepwater region of northern continental slope, South China Sea[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011,33(3):255-259.

[7] 马肖琳,黄余金,王华,等.南海东部深水重力流沉积模式与砂体沉积相[J].海洋地质前沿,2026,42(4):54-62.
Ma Xiaolin, Huang Yujin, Wang Hua, et al. Specification of deep-water gravity flow sedimentation model and sandbody facies in the Eastern South China Sea[J]. Marine Geology Frontiers, 2026,42(4):54-62.

[8] Posamentier H W, Kolla V. Seismic geomorphology and stratigraphy of depositional elements in deep-water settings[J]. Journal of Sedimentary Research, 2003,73(3):367-388.

[9] Clark J D, Pickering K T. Architectural elements and growth patterns of submarine channels: application to hydrocarbon exploration[J]. AAPG Bulletin, 1996,80(2):194-220.

[10] 付林圃,王喜鑫,马生晖,等.重力流成因致密砂岩储层成岩相识别与分布:以鄂尔多斯盆地合水南地区长7段为例[J].东北石油大学学报,2025,49(3):68-82.
Fu Linpu, Wang Xixin, Ma Shenghui, et al. Diagenetic facies identification and distribution of gravity tight sandstone reservoirs: a case of Chang 7 reservoir in Heshuinan Area, Ordos Basin[J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2025,49(3):68-82.

[11] 张佳佳,吴胜和. 海底扇朵叶沉积构型研究进展[J].中国海上油气,2019,31(5):88-106.
Zhang Jiajia, Wu Shenghe. Research progress on the depositional architecture of submarine-fan lobes[J]. China Offshore Oil and Gas, 2019,31(5):88-106.

[12] Zhao X, Qi K, Liu L, 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.

[13] 张磊夫,李易隆.深水浊积朵叶体构型特征:以爱尔兰克莱尔盆地石炭系露头为例[J].石油勘探与开发,2020,47(5):925-934.
Zhang Leifu, Li Yilong. Architecture of deepwater turbidite lobes: a case study of Carboniferous turbidite outcrop in the Clare Basin, Ireland[J]. Petroleum Exploration and Development, 2020,47(5):925-934.

[14] Clark I R, Cartwright J A. Key controls on submarine channel development in structurally active settings[J]. Marine and Petroleum Geology, 2011,28(7):1333-1349.

[15] Zhao Xiaoming, Qi Kun, Liu Li, et al. Quantitative characterization and controlling factor analysis of the morphology of Bukuma-Minor channel on Southern Niger Delta slope[J]. Interpretation, 2018,6(2):57-69.

[16] 陈华,邓秉文,吴高奎,等.下刚果—刚果扇盆地A区块中新统盐构造活动背景下深水重力流沉积特征[J].中国石油大学学报(自然科学版),2025,49(3):63-72.
Chen Hua, Deng Bingwen, Wu Gaokui, et al. Characteristics of deep-water gravity-flow deposits under the background of salt tectonic activities of the Miocene in block A of the Lower Congo-Congo Fan Basin[J]. Journal of China University of Petroleum(Edition of Natural Science), 2025,49(3):63-72.

[17] 段瑞凯,张旭,郭富欣,等.深水复合朵体内部沉积结构及其叠置模式:以尼日尔三角洲盆地Akpo油田中新统D油组为例[J].岩性油气藏,2022,34(5):110-120.
Duan Ruikai, Zhang Xu, Guo Fuxin, et al. Internal sedimentary structure and stacking patterns of deep-water lobe complex: a case study of Miocene zone D in Akpo Oilfield, Niger Delta Basin[J]. Lithologic Reservoirs, 2022,34(5):110-120.

[18] 侯云超,樊太亮,李一凡,等.盐构造与深水重力流的相互作用及响应:以墨西哥湾Sureste盆地中新统为例[J]. 沉积学报,2022,40(1):22-33.
Hou Yunchao, Fan Tailiang, Li Yifan, et al. Interactions and responses between salt structures and deep-water gravity flow: a case study from the Miocene strata in the Sureste Basin, Gulf of Mexico[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2022,40(1):22-33.

[19] Howlett D M, Gawthorpe R L, Ge Z, et al. Turbidites, topography and tectonics: evolution of submarine channel-lobe systems in the salt-influenced Kwanza Basin, Offshore Angola[J]. Basin Research, 2021,33(2):1076-1110.

[20] 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 systems[M]// Atlas of deep water environments: architectural style in turbidite systems. Dordrecht: Springer Netherlands, 1995:1-10.

[21] 杨娇,戴建文,董硕,等.南海东部深水浊积砂岩气藏储层精细描述与连通性研究[J].中国海上油气,2024,36(2):98-109.
Yang Jiao, Dai Jianwen, Dong Shuo, et al. Elaborate analysis of reservoirs and study of connectivity in deepwater turbidite sandstone gas reservoir in the Eastern South China Sea[J]. China Offshore Oil and Gas, 2024,36(2):98-109.

[22] Pang Xiong, Yang Shaokun, Zhu Ming, et al. Deep-water fan systems and petroleum resources on the northern slope of the South China Sea[J]. Acta Geologica Sinica(English Edition), 2004,78(3):626-631.

（下转第84页）

409-415.

[34] 单祥,邹志文,孟祥超,等.准噶尔盆地环玛湖地区三叠系百口泉组物源分析[J].沉积学报,2016,34(5):930-939.
Shan Xiang, Zou Zhiwen, Meng Xiangchao, et al. Provenance analysis of Triassic Baikouquan Formation in the area around Mahu Depression, Junggar Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2016,34(5):930-939.

[35] 施振生,王秀芹,吴长江. 四川盆地上三叠统须家河组重矿物特征及物源区意义[J].天然气地球科学,2011,22(4):618-627.
Shi Zhensheng, Wang Xiuqin, Wu Changjiang. The heavy minerals and provenances of the Upper Triassic Xujiahe Formation in Sichuan Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2011,22(4):618-627.

[36] 李洪奇.沉积学研究中的地层倾角测井资料解释[J].沉积学报,1995,13(1):82-87.
Li Hongqi. Interpretation of dipmeters in sedimentological research[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1995,13(1):82-87.

[37] 汪孝敬,李维锋,董宏,等.砂砾岩岩相成因分类及扇三角洲沉积特征:以准噶尔盆地西北缘克拉玛依油田五八区上乌尔禾组为例[J].新疆石油地质,2017,38(5):537-543.
Wang Xiaojing, Li Weifeng, Dong Hong, et al. Genetic classification of sandy conglomerate facies and sedimentary characteristics of fan delta: a case study from Upper Wuerhe Formation in district Wuba in northwestern margin of Junggar Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2017,38(5):537-543.

(上接第70页)

[23] 庞雄,申俊,袁立忠,等.南海珠江深水扇系统及其油气勘探前景[J].石油学报,2006,27(3):11-15.
Pang Xiong, Shen Jun, Yuan Lizhong, et al. Petroleum prospect in deep-water fan system of the Pearl River in the South China Sea[J]. Acta Petrolei Sinica, 2006,27(3):11-15.

[24] 柳保军,庞雄,颜承志,等.珠江口盆地白云深水区渐新世—中新世陆架坡折带演化及油气勘探意义[J].石油学报,2011,32(2):234-242.
Liu Baojun, Pang Xiong, Yan Chengzhi, et al. Evolution of the Oligocene-Miocene shelf slope-break zone in the Baiyun deep-water area of the Pearl River Mouth Basin and its significance in oil-gas exploration[J]. Acta Petrolei Sinica, 2011,32(2):234-242.

[25] 高阳东,汪旭东,徐乐意,等.白云凹陷天然气勘探历程与大中型气田形成主控因素[J].中国海上油气,2025,37(3):1-15.
Gao Yangdong, Wang Xudong, Xu Leyi, et al. Natural gas exploration history and main controlling factors for formation of large and medium gas fields in Baiyun Sag[J]. China Offshore Oil and Gas, 2025,37(3):1-15.

[26] 孙珍,庞雄,钟志洪,等.珠江口盆地白云凹陷新生代构造演化动力学[J].地学前缘,2005,12(4):489-498.
Sun Zhen, Pang Xiong, Zhong Zhihong, et al. Dynamics of tertiary Tectonic evolution of the Baiyun Sag in the Pearl River Mouth Basin[J]. Earth Science Frontiers, 2005,12(4):489-498.

[27] 曾清波,吴景富,赵志刚,等.珠江口盆地白云—荔湾深水区珠江组大型水道体系的发现与勘探意义[J].石油学报,2013,34(增刊2):48-56.
Zeng Qingbo, Wu Jingfu, Zhao Zhigang, et al. Discovery and exploratory significance of a deep-water channel system in Zhujiang Formation, Baiyun-Liwan Sag, Pearl River Mouth Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2013,34(S2):48-56.

[28] 李华,何幼斌,谈梦婷,等.深水重力流水道—朵叶体系形成演化及储层分布:以鄂尔多斯盆地西缘奥陶系拉什仲组露头为例[J].石油与天然气地质,2022,43(4):917-928.
Li Hua, He Youbin, Tan Mengting, et al. Evolution of and reservoir distribution within deep-water gravity flow channel-lobe system: a case study of the Ordovician Lashenzhong Formation outcrop at western margin of Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2022,43(4): 917-928.

[29] Posamentier H W, Kolla V. Seismic geomorphology and stratigraphy of depositional elements in deep-water settings[J]. Journal of Sedimentary Research, 2003,73(3):367-388.

[30] Mayall M, Jones E, Casey M. Turbidite channel reservoirs: key elements in facies prediction and effective development[J]. Marine and Petroleum Geology, 2006,23(8):821-841.

[31] Li Q, Wu W, Liang J S, 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.

Depression.

Key words: Songliao Basin; Lishu Fault Depression; Shahezi Formation; Yingcheng Formation; sequence stratigraphic framework; source rocks; development characteristics

Characteristics and connectivity of gravity flow lobes in X Gas Field of north-eastern of Peral River Mouth Basin/2026,50(5):58-70

Yang Jiao[1,2], Dai Yunjiao[1,2], Zhao Hongjuan[1], Yang Peng[1], Zhu Fan[1]

(1. *National Key Laboratory for Efficient Development of Marine Oil and Gas, Beijing* 100028, *China*; 2. *Shenzhen Branch of CNOOC, Shenzhen, Guangdong* 518000, *China*)

Abstract: Gravity flow deposits are well developed in the Middle Miocene of the Baiyun Sag, Peral River Mouth Basin, which is one of the important hydrocarbon-producing areas. The distribution and connectivity of gravity flow channels and proximal lobe sand bodies are complex. Based on core, well-log, seismic, production, and laboratory analytical data, this study investigates the characteristics, architecture, connectivity, and formation mechanisms of lobes in the ZJ470 layer, Zhujiang Formation of the X Gas Field. The results show that gravity flow lobes are extensively developed in the study area and are dominated by proximal lobes. The proximal lobes can be divided into channeled and non-channeled lobes. Channeled lobes are mainly developed in the north, whereas non-channeled lobes predominate in the south. In plan view, the proximal lobes are laterally extensive and are characterized mainly by compensational stacking. Vertically, the reservoirs exhibit stacked sandstone bodies and thick sandstone interbedded with thin mudstone layers, resulting in generally well connectivity. A Y-shaped erosional channel occurs in the central part of the study area. The northern segment of the channel is filled mainly with mudstone, the middle segment is dominated by sandstone, and the southern segment consists predominantly of siltstone. Consequently, the lobes on both sides of the channel are disconnected in the north, well connected in the middle, and weakly connected in the south. This work can improve the understanding of gravity flow depositional systems and provide a geological basis for reservoir characterization and the efficient development of gravity flow channel-lobe systems.

Key words: lobe; gravity flow; sedimentary characteristics; connectivity; Zhujiang Formation; Baiyun Sag; Peral River Mouth Basin

Lithofacies types and sedimentary characteristics of glutenite in the first sand group of the second member of the Jiamuhe Formation, Zhongjia Area, Junggar Basin/2026,50(5):71-84

Diao Zhilong, Liu Hailei, Liu Hechong, Wang Zhizhong, Yan Wenqi

(*Research Institute of Exploration and Development, PetroChina Xinjiang Oilfield Company, Urumqi, Xinjiang* 830014, *China*)

Abstract: Based on core, mud logging, well logging, geophysical information and experimental analytical data from the first sand group of the second member of the Jiamuhe Formation in Zhongjia Area of the Junggar Basin, this study investigates the lithofacies characteristics and classification, provenance system identification, and sedimentary features of sandy conglomerates, and delineates the depositional distribution of different sandy conglomerate lithofacies. The results indicate that the study area can be divided into four lithofacies types: weakly cemented and strongly compacted and argillaceous coarse conglomerate facies, moderately-strongly cemented and moderately-strongly compacted and sandy medium conglomerate facies, moderately-strongly cemented and moderately-strongly compacted and sandy fine conglomerate facies, and strongly cemented and strongly compacted and sandstone facies, among which the sandy medium conglomerate and sandy fine conglomerate facies exhibit the best reservoir properties. The provenance of the Jiamuhe Formation in the study area is mainly derived from the Zhongguai and Hongche alluvial fans, which jointly control the planar distribution of the sandy conglomerates. The Jiamuhe Formation represents a typical proximal, rapidly accumulated fan-delta depositional system, developing six sedimentary microfacies including braided channels in the fan-delta plain, nearshore subaqueous distributary channels in the fan-delta front, and distal subaqueous distributary channels in the fan-delta front. Among these, the sandy medium conglomerate facies controlled by nearshore subaqueous distributary channels in the fan-delta front has the best physical properties and constitutes the most favorable reservoir facies belt, followed by the sandy fine conglomerate facies in distal subaqueous distributary channels. These findings provide a geological basis for future hydrocarbon exploration and development in the study area.

Key words: Junggar Basin; Zhongjia Area; Jiamuhe Formation; lithofacies type; provenance system; sedimentary characteristics; fan delta