

刘子玉, 谢晓军, 高玉飞, 等. 基于三维等时地层切片技术的渤海垦利 6-A 油田新近系明下段 V 油组沉积演化及主控因素研究[J]. 海洋地质前沿, 2025, 41(7): 66-75.

LIU Ziyu, XIE Xiaojun, GAO Yufei, et al. Sedimentary evolution and controlling factors of V Oil Group in the lower Minghuazhen Formation of Neogene in Kenli 6-A Oilfield, Bohai Sea, based on 3D isochronous stratigraphic slicing[J]. Marine Geology Frontiers, 2025, 41(7): 66-75.

基于三维等时地层切片技术的渤海垦利 6-A 油田 新近系明下段 V 油组沉积演化及主控因素研究

刘子玉, 谢晓军, 高玉飞, 陈莹, 仝中飞, 熊连桥, 白海强, 唐武, 李鑫

(中海油研究总院有限责任公司, 北京 100028)

摘要:新近系明化镇组下段 V 油组是目前渤海浅层勘探开发重点层系之一, 该时期广泛发育浅水三角洲沉积, 但对其沉积演化规律及控制因素缺乏系统研究, 导致对砂体空间展布认识不清, 制约了砂体连通性分析及开发井位部署。以渤海垦利 6-A 油田为研究区, 基于地震、钻井、测井等界面特征的识别, 首先将明化镇组下段 V 油组细分为 5 个亚油组, 相当于 4 个四级层序, 建立了等时层序地层格架; 再以此为约束基于高度等时的三维地层切片技术揭示了 V 油组沉积演化规律: 早期 V-5 亚油组发育大型分流河道, 河道宽度 > 1 km, 最宽达 2 km; V-4 亚油组最大湖侵期发育小型分支水系, 宽度约 80~300 m; V-2、V-3 亚油组发育中型河道(河道复合体), 宽度 100~2 600 m; 晚期 V-1 亚油组大型河道与小型河道共生, 大型河道宽度 > 1 km, 小型分流河道宽度为 90~280 m。V 油组沉积演化及砂体空间展布主要受古地貌和层序共同控制, 有序分布: 平面上不同地貌单元控制河道规模, 其中, 大型河道主要分布于 V-1、V-5 沉积期的洼槽区, 中型河道分布于 V-2、V-3 沉积期的断阶根部, 小型分支水系主要分布于较高部位; 垂向上层序控制了河道演化, 其中, 大型河道主要发育于二级或三级层序底部, 中型河道主要发育于四级层序底部和顶部, 小型分支水系则发育于四级层序湖侵面附近。预测研究区 V-1 期大型河道发育潜在有利砂体, 这将有效指导后续开发部署和井位优化调整, 并丰富对渤海新近系浅水三角洲沉积模式的认识。

关键词: 地层切片; 渤海海域; 新近系; V 油组; 浅水三角洲; 沉积演化

中图分类号: P744.4; P736

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2024.108

0 引言

渤海海域新近纪构造稳定、沉降缓慢, 湖泊水域范围大、内部无分割、地形平缓、坡度较小, 区域上广泛发育浅水三角洲沉积^[1-2]。近年来, 新近系浅

层取得一系列油气勘探重大突破, 尤其在明化镇组下段(以下简称明下段)发现了一批浅水三角洲岩性油气藏或构造-岩性复合油气藏。浅层作为渤海海域主力勘探层系, 在目前已探明地质储量中占比约为 78%^[3-5], 具有较大油气勘探潜力^[6], 值得开展深入系统研究。

前人主要针对渤海海域明下段浅水三角洲的形成环境、沉积类型及河型变化等宏观地质方面开展大量研究^[2-10]。结果表明, 浅水三角洲砂岩储层受河流作用控制, 砂体分布具有明显的方向性, 呈典型的朵叶状, 连通性较好; 分流河道及水下分流河道是浅水三角洲主要的沉积类型; 垦利 6-A 油田

收稿日期: 2024-05-11

资助项目: 中海油研究总院有限责任公司科技项目“垦利 6-1 油田及周边油田浅水三角洲典型沉积模式及其对储量动用影响研究”(2022-YXKJ-012)

第一作者: 刘子玉(1982—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事中国近海沉积储层方面的研究工作。E-mail: liuzy3@cnooc.com.cn

明下段发育低位浅水三角洲前缘砂体, 砂体连通性好, 并建立了大型“藤蔓”状叠合连片砂体沉积模式。垦利 6-A 油田开发结果表明存在多个油水系统, 砂体连通性极为复杂。垦利 6-A 油田构造上由多个断块组成, 断块间等时地层对比存在一定差异, 尚缺乏对于整个油田及周缘 V 油组沉积演化系统分析, 导致区域沉积演化规律不明, 砂体发育期次及连通性不清。随着勘探开发走向精细化, 宏观地质认识已无法满足实际需要, 亟待开展研究区的沉积演化规律及主控因素分析。本次将基于三维等时地层切片技术针对明下段 V 油组开展精细沉积演化分析, 摸清沉积演化规律及砂体分布主控因素, 为后续勘探开发及井位优化调整提供支撑, 以期丰富渤海新近系浅水三角洲沉积模式。

1 地质概况

垦利 6-A 油田位于渤海南部海域, 油田范围平均水深约 20 m。构造上垦利 6-A 油田位于莱北低凸起北部断阶带和凸起区(图 1), 黄河口凹陷南部, 整体表现为受伸展断层控制的复杂断块特征。垦利 6-A 油田整体为低幅构造(30~40 m), 断层极为发育, 平面可分为多个断块。研究区自下而上发育古近系沙河街组、东营组, 新近系馆陶组、明化镇组及第四系平原组, 其中, 明下段自上而下划分为 5

个油组, 底部 V 油组是垦利 6-A 油田主力含油层系, 占已探明储量高达 90%。

根据区域沉积背景并结合岩芯、测井、地震以及分析化验等资料综合分析认为, 垦利 6-A 油田明化镇组下段底部主要发育浅水三角洲沉积。浅水三角洲沉积可划分为浅水三角洲平原和浅水三角洲前缘亚相。浅水三角洲沉积的水动力以牵引流为主, 湖水的波浪作用比较弱, 因而沉积微相主要为分流河道、分流河道间湾, 水下分流河道和水下分流河道间湾, 河口坝和远砂坝沉积相对不发育^[1-2]。

2 建立等时层序地层格架

针对海上勘探开发“井少震多”的特点, 本研究将“以震为主, 以井为辅”, 充分利用新处理的高品质三维地震数据, 从井-震出发, 从局部到整体, 进而统一研究区及周缘目的层地层划分, 建立等时层序地层格架, 为创建三维等时地层切片开展沉积演化分析奠定可靠的基础。

2.1 地震资料预处理

高品质三维地震资料是建立等时层序地层格架的前提。通过对原始地震数据频率扫描分析, 其主频约为 35 Hz, 目的层速度为 2 600 m/s, 分辨能力 $\lambda/4$ 约为 18.6 m, 分辨率相对较低, 地震剖面上表

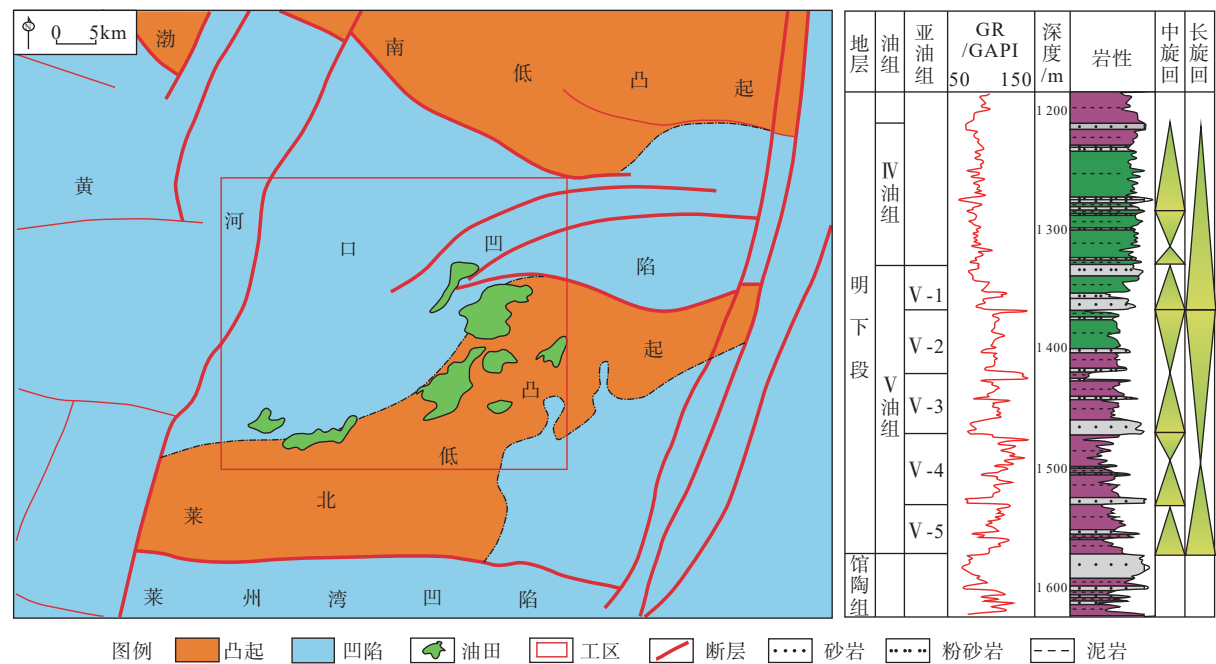


图 1 研究区构造位置及地层序列

Fig.1 Tectonic background and stratigraphic sequence in the study area

现为一根同向轴包含了多套砂体。对于 5~10 Hz 频段有效信号能量较弱, 10~20 Hz 频段有效信号变强, 20~40 Hz 频段有效信号最强, 体现了原始地震资料主频信息, 40~80 Hz 频段有效信号又开始变弱。5 Hz 以下和 80 Hz 以上信号不可见, 其拓频空间不大, 因此针对 5~80 Hz 频段有效信号进行拓

频处理是可行的。在相同振幅显示下, 基于 Gabor 拓频处理结果, 拓频后地震数据显著提升了 5~10 Hz、40~80 Hz 频段信号的能量, 有效频带拓宽, 使主频达到 45 Hz, 分辨能力 $\lambda/4$ 约 14.4 m, 地震分辨率明显提高, 井上钻遇砂体与地震反射轴对应关系更加吻合(图 2)。

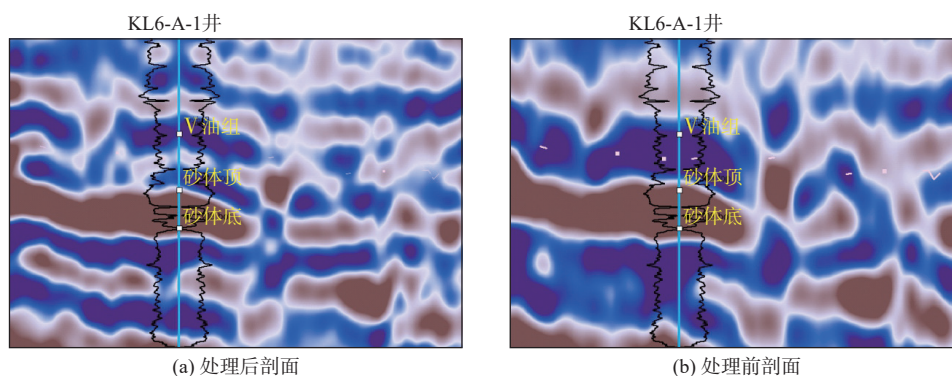


图2 地震资料处理后的剖面效果

Fig.2 Effect of seismic data processing

2.2 等时层序地层格架建立

根据研究区钻井揭示, 明下段 V 油组地层厚度为 153.4~197.5 m, 发育稳定分布的高自然伽马 (GR) 段地层, 岩性组合为砂泥岩互层, 地震反射特征表现为低频强振幅反射; 高自然伽马段之上 IV 油组发育 1 套相对稳定分布的泥岩层, 可作为区域对比标志层。

对于 V 油组地层划分遵循 3 个原则: 首先要具有区域可对比性, 选择并确定具有等时意义的区域性标志层 (组); 其次是具有高度等时性, 由于浅水三角洲相沉积坡度较缓, 地层厚度变化不大, 因此将与之相邻的标志层 (组) 作为参照面是可行的; 最后是具有局部相似性, 需要依据沉积旋回、井震特征等做出局部调整。基于以上原则, 可将 V 油组之上 IV 油组内部 3 个区域界面 IV-1、IV-2、IV-3 作为 1 套区域标志层 (组), 其在地震剖面上主要表现为稳定连续的地震波组, 代表浅水三角洲湖侵期相对稳定的 1 套富泥质沉积充填, 是一个区域可对比的相对等时地层界面。

基于旋回分析、井震特征分析等, 参考上覆 IV 油组的标志层 (组), 本次将 V 油组进一步细分为 V-1—V-5 共 5 个亚油组, 相当于 4 个四级层序 (图 1)。其中, V-5 发育上升半旋回, V-4 为一个完整旋回, V-2—V-3 构成一个完整旋回, V-1 发育上升半旋回。其界面特征如下:

① V 油组顶面 Nm5: 基于统一的井震标定结果, 参考上覆 IV 油组标志层 (组) 趋势面进行区域追踪, 钻井上多数为高 GR 泥岩基线顶界, 地震上为中等连续中弱振幅稳定零相位, 是一个等时地层界面。

② V 油组底面 T0: T0 为一个二级 (三级) 层序界面, 也是馆陶组和明化镇组的分界, 界面之下为馆陶组河流相厚粗砂与泥岩互层, 向上转换为明下段浅水三角洲相厚泥岩夹薄层细砂、粉砂岩, 指示湖盆水体的突然加深。其界面上下测井曲线突变, 地震振幅、频率等亦发生明显变化, 可基于井震在剖面进行区域追踪对比。

③ V 油组内部地层界面: 基于旋回分析、井-震对比、测井曲线特征等, 在 V 油组内部增加 4 个界面进行追踪, 其中, Nm5-1、Nm5-3 界面为局部的高自然伽马砂岩底界面, Nm5-2、Nm5-4 界面为局部连续的湖侵面。内部等时界面通过井震标定, 由井及震开展全区追踪。

根据 V 油组层序地层划分结果, 建立了研究区等时层序地层格架 (图 3), 为创建三维等时地层切片开展垂向沉积演化奠定了可靠的基础。

2.3 三维等时地层切片体

随着地震勘探技术的不断发展, 切片分析技术在沉积演化分析中发挥着重要作用, 地震切片中包含着丰富的地震沉积学信息^[11]。尤其是地震沉积学的提出, 地层切片作为其核心技术, 优势是利用

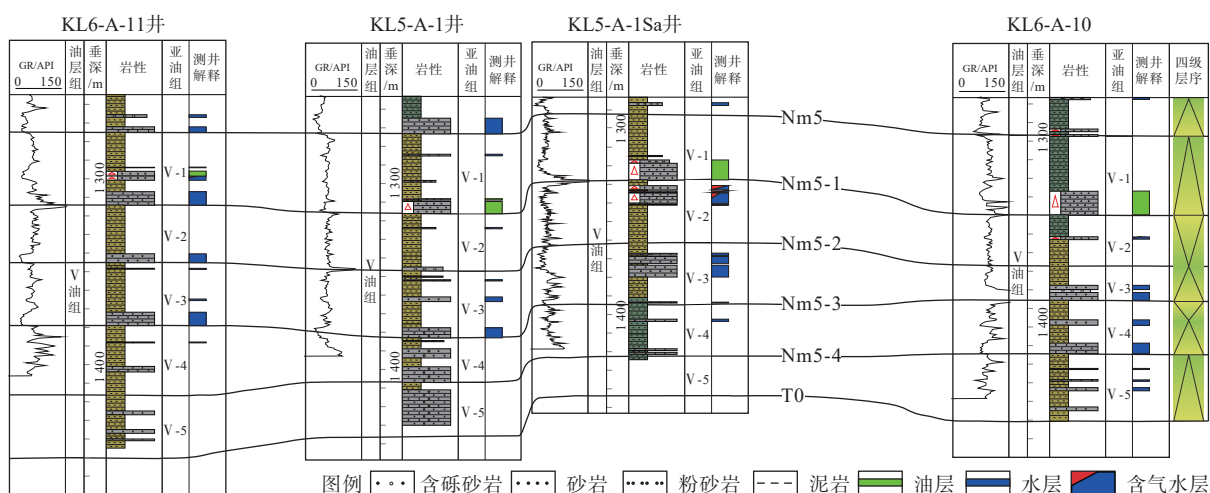


图3 研究区等时层序地层格架

Fig.3 High-precision sequence stratigraphic framework in the study area

地震资料可以从平面上识别出垂向难以识别的薄层沉积体,非常适用于浅水三角洲沉积体识别^[12-13]。地层(体)切片由于更等时,更加符合层序地层的概念和认识,与最初的水平切片、沿层切片有着本质的区别^[14]。因此,地层(体)切片更具有实际的地质意义和地球物理意义。本次基于处理后的三维地震数据,采用 PaleoScan 全局智能化三维地震解释技术,以 V 油组人工解释等时层序地层格架为

约束,建立高度等时的地层切片体(图4)。传统的地震解释技术一次只能考虑少量剖面的单一极性,而 PaleoScan 全局智能化三维地震自动追踪解释技术基于地震数据相似性及地质一致性的价值函数,用最优分析的思想对地震数据体进行空间解构,直接从整个地震数据体中计算得到地质模型体,通过人工干预迭代优化最后得到三维等时地层切片体^[15]。

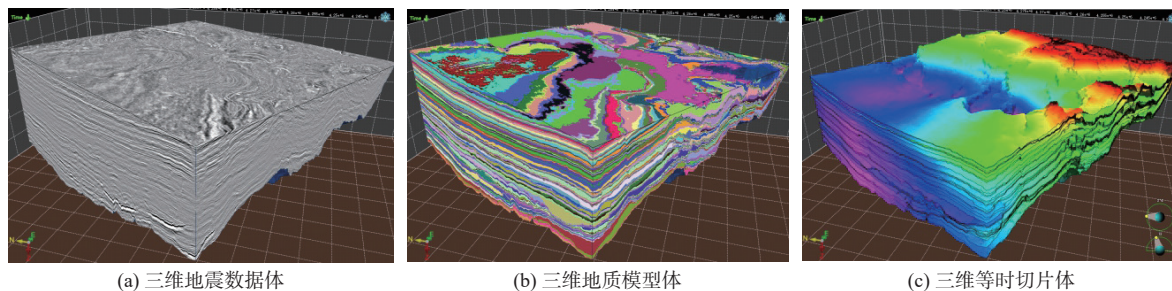


图4 研究区三维等时地层切片体

Fig.4 Three-dimensional isochronous stratigraphic slicing of the study area

3 研究区明下段 V 油组沉积演化

明下段 V 油组时期分流河道进积和侧向迁移的砂质沉积充填作用活跃,侧向迁移频繁,从而造成多期砂体相互叠置。底部主要发育浅水三角洲平原沉积,泥岩颜色表现为频繁暴露地表所形成的红褐色和黄褐色,岩性组合表现为大套泥岩夹细砂岩、粉砂岩,自然伽马曲线表现为指状和钟形。伴

随着湖进,中上部主要发育浅水三角洲前缘沉积,泥岩颜色主要为灰绿色,偶见红褐色。

地震属性蕴含丰富的地质信息,地震沉积学已成为开展沉积演化分析的重要手段^[16-17]。通过研究区 40 余口已钻井与地震属性联合标定,地震均方根振幅属性(RMS)可以较好地地区分已钻井砂泥岩,尤其 RMS 值>10 000 与河道砂岩十分吻合,选取能够反映沉积体展布的均方根振幅属性 RMS,通过三维等时地层切片揭示整个 V 油组沉积演化(图 5)。

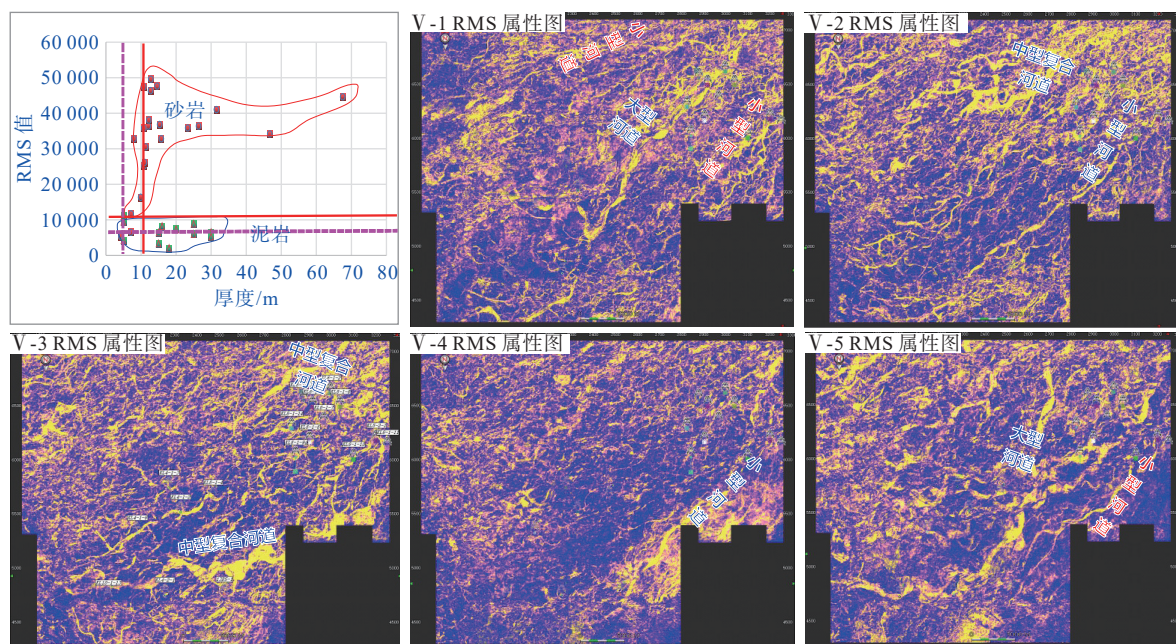


图 5 研究区 V 油组沉积体系展布

Fig.5 The distribution of sedimentary system of the V Oil Group in the study area

总体上 V 油组沉积演化具有早期发育大型河道、晚期与小型分流河道共生的显著特点。V-5 亚油组沉积期物源充足,区内主要发育大型分流河道沉积,局部发育一些决口扇沉积,一般河道宽度>1 km,最宽能达 2 km,厚度约为 30 m,河道主要沿 NE 向分布,上游河道较平直弯曲度低,下游河道弯曲度增加,河道侧积现象非常显著,钻井上见自然伽马箱型和钟型砂岩;伴随着湖侵,湖平面上升,V-4 亚油组沉积期主要发育一些小型分支水系,河道规模较小,宽度约 80~300 m,厚度约为 20 m,钻井上以大套泥岩段夹薄砂层为主;V-3 和 V-2 亚油组沉积期主要发育中型河道复合体及小型分流河道,宽度为 100~2 600 m;晚期 V-1 期大型河道与小型分流河道共生,中部发育 1 条贯穿南北的大型河道,宽度>1 km,厚度约为 30 m,其两侧发育小型分流河道,河道宽度为 90~280 m,厚度为

20~30 m。

4 沉积演化主要控制因素

研究表明,明下段 V 油组沉积演化主要受控于古地貌和层序。其中,古地貌主要控制了沉积体系及砂体分布的横向变化,而层序则控制了沉积体系及砂体分布的垂向变化,沉积体系有序分布。

4.1 古地貌控制沉积体系的横向变化

古地貌对沉积的控制主要是体现在沉积类型和沉积展布特征等方面,古地貌背景控制沉积体系类型,而古地貌单元控制着沉积砂体的展布特征^[18-19]。在未针对 V 油组精细划分亚油组之前,整个 V 油组表现为东南高西北低的斜坡,通过开展研究区 V 油组精细划分,采用残余厚度法经过去压实

校正等恢复了 5 个亚油组的古地貌,沉积体系及砂体展布与各期古地貌具有很好的吻合关系。其中,早期 V-1 亚油组沉积期古地貌呈现北西和南东两侧高而中部低洼的格局, V-4 至 V-2 亚油组沉积期古地貌显示低洼区主要位于北西侧,到了晚期 V-5

亚油组沉积期低洼区又回调至中部。河道规模受控于不同地貌单元,如大型分流河道主要沿 V-1 和 V-5 亚油组洼槽区展布,中型水道复合体主要沿 V-2 和 V-3 亚油组断阶根部分布,而小型分流河道主要沿较高部位分布(图 6)。

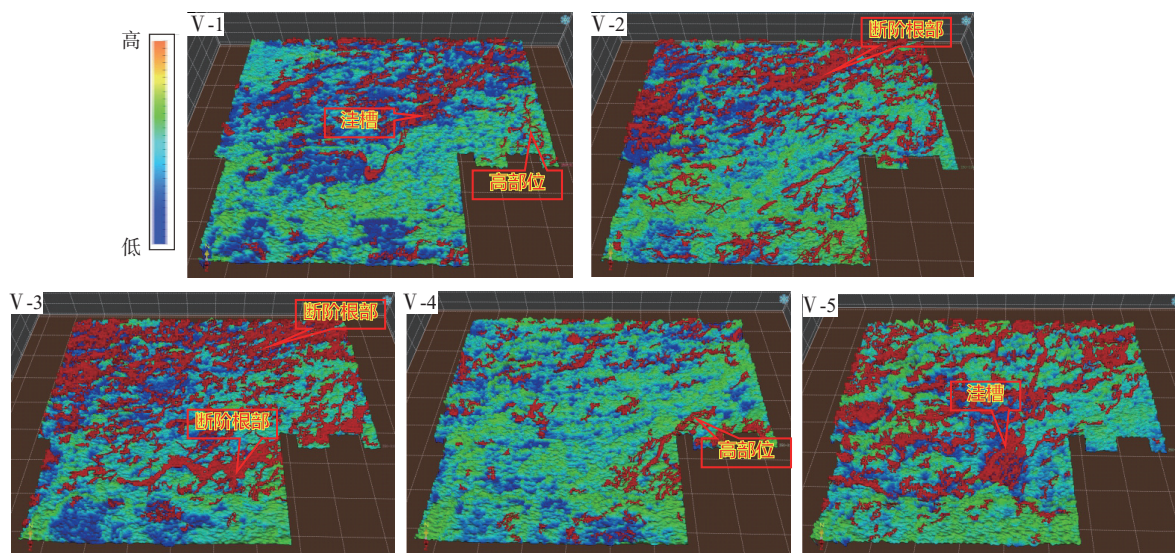


图 6 研究区 V 油组砂体与古地貌叠合图

Fig.6 Superposition of sand body and paleomorphology of the V Oil Group in the study area

4.2 层序控制沉积体系的垂向变化

经历了馆陶组沉积,区域沉积格局显著变化。研究表明,中期基准面旋回内沉积物供给和可容纳空间的变化对储集砂体的发育具有明显的控制作用,在基准面上升半旋回早期和下降半旋回中、晚期为砂体发育的有利部位^[20]。研究区明下段 V-5 亚油组处于基准面上升半旋回,湖平面整体较低,加之物源供应充足,因而大型河道极为发育;而伴随着湖平面上升,物源供应有所减弱, V-4 亚油组主要发育退积型和加积型为主的小型水下分流河道沉积,规模明显降低,主要以泥质背景为主; V-2 和 V-3 亚油组构成一个完整的四级层序,基准面上升期河道发育,基准面下降期由于湖平面快速下降,物源供应充足,发育进积型分流河道砂体。 V-1 亚油组发育于四级层序的基准面上升期,呈现大型河道与小型分流河道共生共存的格局,由于基准面上升,可容纳空间进一步变大,表现为“大河水满小河流”。最后建立了研究区分期次垂向沉积演化模式(图 7),与叠合连片砂体沉积模式不同,该模式分期次揭示了沉积体系有序展布,显示出每 1 期砂体独立展布的显著特点,很好地解释了研究区存在多套

油水系统以及砂体连通性难题。

5 勘探开发意义

根据垦利 6-A 油田及周边已钻井统计分析, V 油组主力含油层主要富集于 V-1 亚油组。通过以上沉积演化分析可见, V-1 亚油组发育于四级层序的基准面上升期,主河道沉积于研究区中部低洼地带,其两侧阶地发育小规模网状水系。 V-1 亚油组所发育的主河道亦是经过本次精细地层划分后首次发现(图 8),该河道沿 NE—SW 向穿过研究区,垦利 6-A 油田主产区位于主河道中段,砂体厚、规模大、连通性好,因而可以考虑向北东和向南拓展,进一步确定有利潜在砂体发育区,有效指导下一步勘探开发实践。

6 结论

(1)通过基础资料处理,基于地震、钻井、测井等界面识别,将明下段 V 油组细分为 5 个亚油组,相当于 4 个四级层序,建立了垦利 6-A 油田等时层序地层格架。通过三维等时地层切片属性分析技

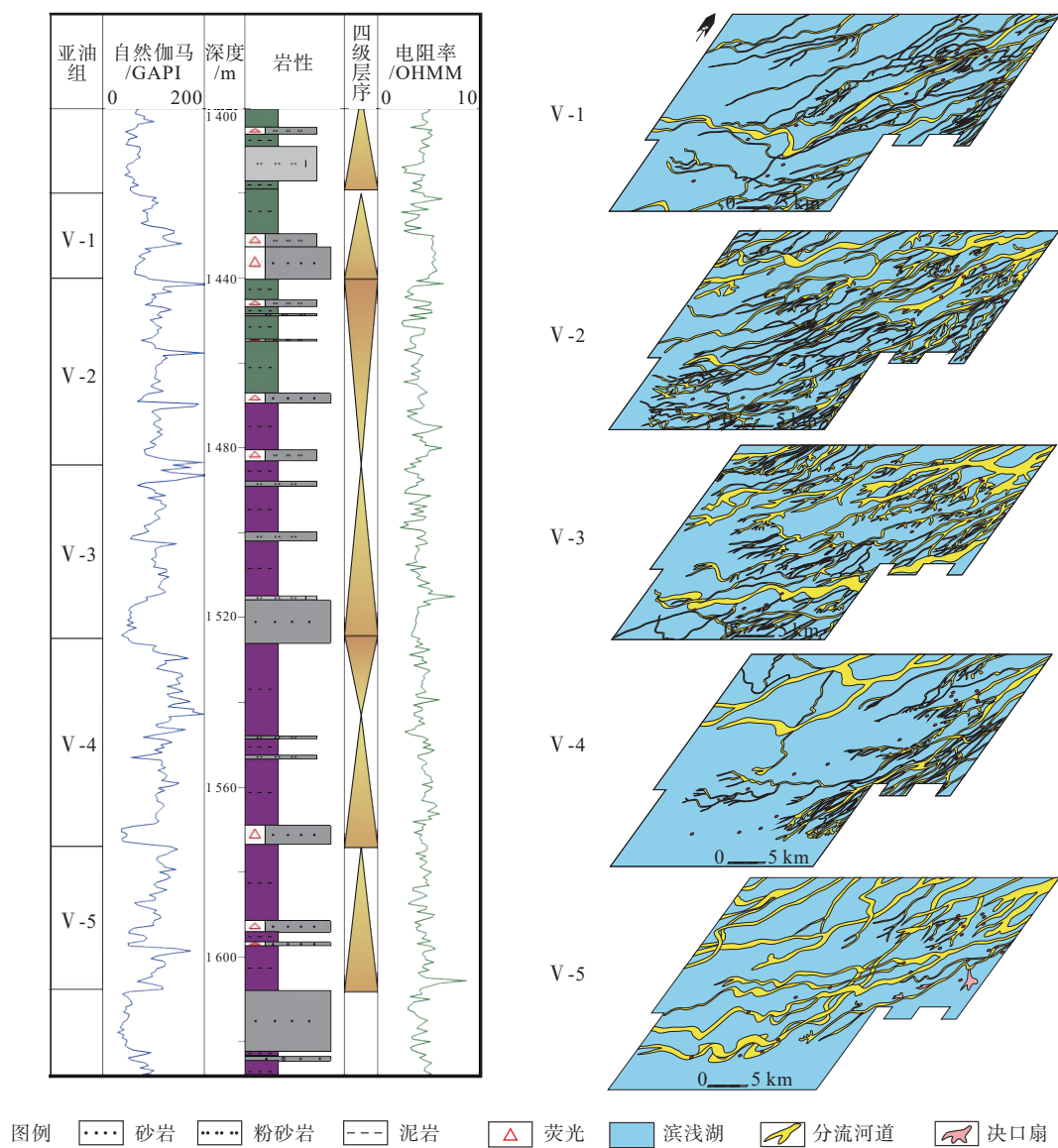


图 7 研究区 V 油组垂向沉积体系演化模式

Fig.7 The vertical sedimentary evolution model of the V Oil Group in the study area

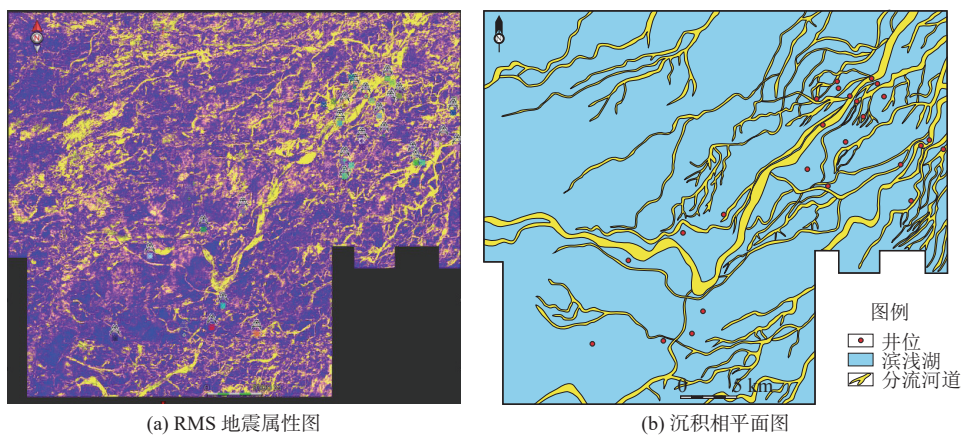


图 8 研究区 V 油组沉积晚期河道分布

Fig.8 Distribution of channels in the late period of the V Oil Group sedimentation in the study area

术揭示了V油组沉积演化规律,早期V-5亚油组发育大型分流河道,河道宽度>1 km,最宽达2 km;V-4亚油组最大湖侵期发育小型分支水系,宽度为80~300 m;V-2、V-3亚油组发育中型河道(河道复合体),宽度为100~2 600 m;晚期V-1亚油组发育大型河道与小型河道共生,大型河道宽度>1 km,小型分流河道宽度为90~280 m。

(2)研究区V油组沉积体系和砂体分布的横向及垂向变化分别受古地貌和层序控制,并有序分布,河道规模受控于不同地貌单元,大型河道分布于V-1、V-5沉积期洼槽区,中型河道分布于V-2、V-3沉积期断阶根部,小型分支水系主要分布于V-4沉积期较高部位;大型河道主要发育于二级或三级层序底部,中型河道主要发育于四级层序底部和顶部,而小型分支水系则发育于四级湖侵面附近。

(3)根据已钻井及油田开发实践,对V-1亚油组潜在有利砂体进行了预测,可以沿着V-1期主河道向北东和向南拓展,确定潜在有利砂体接替区,有效指导了下一步开发部署。

参考文献:

- [1] 代黎明,李建平,周心怀,等.渤海海域新近系浅水三角洲沉积体系分析[J]. *岩性油气藏*, 2007, 19(4): 75-81.
DAI L M, LI J P, ZHOU X H, et al. Depositional system of the Neogene shallow water delta in Bohai Sea area[J]. *Lithologic Reservoirs*, 2007, 19(4): 75-81.
- [2] 朱伟林,李建平,周心怀,等.渤海新近系浅水三角洲沉积体系与大型油气田勘探[J]. *沉积学报*, 2008, 26(4): 575-582.
ZHU W L, LI J P, ZHOU X H, et al. Neogene shallow water deltaic system and large hydrocarbon accumulations in Bohai Bay, China[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2008, 26(4): 575-582.
- [3] 周心怀,王德英,张新涛.渤海海域石臼坨凸起两个亿吨级隐蔽油气藏勘探实践与启示[J]. *中国石油勘探*, 2016, 21(4): 30-37.
ZHOU X H, WANG D Y, ZHANG X T. Two 100 million-ton class subtle reservoirs in Shijiutuo Uplift, Bohai Sea exploration practices and enlightenments[J]. *China Petroleum Exploration*, 2016, 21(4): 30-37.
- [4] 徐长贵,杨海风,王德英,等.渤海海域莱北低凸起新近系大面积高丰度岩性油藏形成条件[J]. *石油勘探与开发*, 2021, 48(1): 12-26.
XU C G, YANG H F, WANG D Y, et al. Formation conditions of Neogene large-scale high-abundance lithologic reservoir in the Laibei low uplift, Bohai Sea, East China[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2021, 48(1): 12-26.
- [5] 薛永安.渤海海域垦利6-1油田的发现与浅层勘探思路的重大转变[J]. *中国海上油气*, 2021, 33(2): 1-12.
XUE Y A. Discovery of KL6-1 Oilfield and great change of shallow strata exploration ideas in Bohai Sea[J]. *China offshore Oil and Gas*, 2021, 33(2): 1-12.
- [6] 周心怀,王德英,于海波,等.环渤中地区浅层大规模岩性油藏的成藏主控因素与成藏模式[J]. *石油勘探与开发*, 2022, 49(4): 660-669.
ZHOU X H, WANG D Y, YU H B, et al. Major controlling factors and hydrocarbon accumulation models of large-scale lithologic reservoirs in shallow strata around the Bozhong Sag, Bohai Bay Basin, China[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2022, 49(4): 660-669.
- [7] 徐长贵,杜晓峰,庞小军,等.渤海南部明化镇组下段源-汇体系及其对大面积岩性油气藏的控制作用[J]. *地质力学学报*, 2022, 28(5): 728-742.
XU C G, DU X F, PANG X G, et al. The source-sink system and its control on large-area lithologic reservoirs of the lower Minghuazhen Formation in the southern Bohai Sea[J]. *Journal of Geomechanics*, 2022, 28(5): 728-742.
- [8] 吴小红,吕修祥,周心怀,等.黄河口凹陷浅水三角洲沉积特征及其油气勘探意义[J]. *石油与天然气地质*, 2010, 31(2): 165-172.
WU X H, LYU X X, ZHOU X H, et al. Depositional characteristics and hydrocarbon exploration significance of shallow deltas in Yellow River Mouth Sag[J]. *Oil & Gas Geology*, 2010, 31(2): 165-172.
- [9] 侯东梅,周军良,赵军寿,等.渤南低凸起西端浅水三角洲沉积特征:以B地区新近系明化镇组下段为例[J]. *断块油气田*, 2021, 28(2): 205-211.
HOU D M, ZHOU J L, ZHAO J S, et al. Sedimentary characteristics of shallow water deltas of western part of Bonan low uplift: a case study of Neogene Lower Minghuazhen Formation in B area[J]. *Fault Block Oil & Field*, 2021, 28(2): 205-211.
- [10] 王利良,牛成民,杨海风,等.渤海湾盆地莱北低凸起明化镇组下段河道类型演化及其油气地质意义[J]. *石油学报*, 2022, 43(3): 364-375.
WANG L L, NIU C M, YANG H F, et al. Evolution of channel patterns and its geological significance for oil and gas exploration in the Lower Member of Minghuazhen Formation in Laibei low uplift, Bohai Bay Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2022, 43(3): 364-375.
- [11] 李国发,王亚静,熊金良,等.薄互层地震切片解释中的几个问题:以一个三维地质模型为例[J]. *石油地球物理勘探*, 2014, 49(2): 388-393.
LI G F, WANG Y J, XIONG J L, et al. Phenomena in inter-bed reservoir interpretation on seismic slices: an example of 3D geological model[J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2014, 49(2): 388-393.
- [12] 刘华清,卫平生,李相博,等.对地震沉积学理论创新的认识[J]. *岩性油气藏*, 2012, 24(1): 7-19.
LIU H Q, WEI P S, LI X B, et al. Discussion on theoretical innovation of seismic sedimentology[J]. *Lithologic Reservoirs*, 2012, 24(1): 7-19.

- [13] 付鑫, 杜晓峰, 官大勇, 等. 地震沉积学在河流—浅水三角洲沉积相研究中的应用: 以渤海海域蓬莱 A 构造区馆陶组为例 [J]. 地质科技通报, 2021, 40(3): 96-108.
FU X, DU X F, GUAN D Y, et al. Application of seismic sedimentology in reservoir prediction in fluvial to shallow water delta facies: a case study in Guantao Formation from the Penglai A structure area in Bohai Bay[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2021, 40(3): 96-108.
- [14] 孙颖, 卢异, 余晓宇, 等. 地层 (体) 切片技术及其应用 [J]. 天然气地球科学, 2011, 22(5): 884-888.
SUN Y, LU Y, SHE X Y, et al. Stratal(body) slice technology and its application[J]. Natural Gas Geoscience, 2011, 22(5): 884-888.
- [15] 龚承林, 朱一杰, 邵大力, 等. 海底扇规模优质储集体的分布模式与成因分析: 以上新世—更新世孟加拉扇为例 [J]. 沉积学报, 2023, 41(1): 1-17.
GONG C L, ZHU Y J, SHAO D L, et al. Distribution patterns and genetic analyses of potentially productive good deep-water reservoirs: a case study from the Pliocene-Pleistocene Bengal Fan[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2023, 41(1): 1-17.
- [16] 李敏, 朱红涛, 杨香华, 等. 地震多属性在少井区和无井区沉积体系分析中的应用 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2012, 32(1): 151-157.
LI M, ZHU H T, YANG X H, et al. Sedimentary system analysis using seismic multi-attributes technique in areas[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2012, 32(1): 151-157.
- [17] 朱筱敏, 董艳蕾, 曾洪流, 等. 沉积地质学发展新航程: 地震沉积学 [J]. 古地理学报, 2019, 21(2): 189-201.
ZHU X M, DONG Y L, ZENG H L, et al. New development trend of sedimentary geology: seismic sedimentology[J]. Journal of Palaeogeography(Chinese Edition), 2019, 21(2): 189-201.
- [18] 厚刚福, 瞿建华, 朱峰, 等. 古地貌对沉积体系和沉积微相的控制作用分析: 以准噶尔盆地腹部白垩系清水河组为例 [J]. 中国矿业大学学报, 2018, 47(5): 1038-1045.
HOU G F, QU J H, ZHU F, et al. Analysis on the control of paleogeomorphology on sedimentary system and sedimentary microfacies: taking the Cretaceous Qingshuihe Formation in the hinterland of Junggar Basin as an example[J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2018, 47(5): 1038-1045.
- [19] 杨哲翰, 刘江艳, 吕奇奇, 等. 古地貌恢复及其对重力流沉积砂体的控制作用: 以鄂尔多斯盆地三叠系延长组长 7₃ 亚段为例 [J]. 地质科技通报, 2023, 42(2): 146-158.
YANG Z H, LIU J Y, LYU Q Q, et al. Paleogeomorphological restoration and its control on gravity flows and bodies: a case study of the Chang 7₃ submember of the Triassic Yanchang Formation in the Ordos Basin[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2023, 42(2): 146-158.
- [20] 张振杰, 宋洪亮, 王欣然, 等. 层序地层格架约束下的浅水三角洲沉积特征及其潜力研究 [J]. 复杂油气藏, 2018, 11(3): 35-40.
ZHANG Z J, SONG H L, WANG X R, et al. Sedimentary characteristics and potential of shallow water delta under the constraint of sequence stratigraphic framework[J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2018, 11(3): 35-40.

Sedimentary evolution and controlling factors of V Oil Group in the lower Minghuazhen Formation of Neogene in Kenli 6-A Oilfield, Bohai Sea, based on 3D isochronous stratigraphic slicing

LIU Ziyu, XIE Xiaojun, GAO Yufei, CHEN Ying, TONG Zhongfei,
XIONG Lianqiao, BAI Haiqiang, TANG Wu, LI Xin
(CNOOC Research Institute Co., Ltd., Beijing 100028, China)

Abstract: The V Oil Group of Kenli 6-A Oilfield in the lower Minghuazhen Formation (MF) of the Neogene is one of the key strata for shallow exploration and development in the Bohai Sea. The MF features shallow water delta deposits widely developed. However, systematic research on its evolution and controlling factors lacks, leading to poor understanding of the spatial distribution and connectivity of sand bodies. Based on the interface identification of seismic, drilling and logging, the V Oil Group could be divided into five subgroups corresponding to four fourth-order sequences, based on which a high-precision sequence stratigraphic framework was established. The sedimentary evolution of the V Oil Group were reproduced by high-precision isochronous three-dimensional stratigraphic slicing, showing characteristics of large distributary channels in the early V-5 subgroup, small distributary channels in the maximum invasion period in the V-4 subgroup, the medium-scale channels (channel complexes) in the V-2 and V-3 subgroups, and the co-existence of large channels and small channels in the late V-1 sub group. The sedimentary evolution and sand body distribution were mainly controlled by the paleogeomorphology and stratigraphic sequence and distributed in an orderly manner. Different paleogeomorphology units on the plane controlled the scale of the channel. The large channel distributed mainly in the depression area during the V-1 and V-5 periods, the medium channel distributed in the root of the fault terrace during the V-2 and V-3 periods, and the small distributary channel distributed in the higher part of the sequence. In the vertical direction, the sequence controlled the change of channel, in which large channels developed at the bottom of the second- or third-order sequence, the medium-scale channel developed at the bottom and top of the fourth-order sequence, and small distributary channel developed near the fourth-order transgressive surface. It is predicted that the potentially favorable sand bodies are large channel deposits in the study area, which will effectively guide the subsequent exploration deployment and well location optimization, and enrich the understanding of the sedimentary model of the Neogene shallow-water delta in the Bohai Sea.

Key words: stratigraphic slicing; Bohai Sea; Neogene; V Oil Group; shallow water delta; sedimentary evolution