引用格式：孙以德，刘常妮，李浩男，等.基于密井网和井间示踪剂资料的浅水三角洲单砂体沉积构型研究——以东营凹陷胜坨油田二区沙二段1-2砂组为例[J].油气地质与采收率，2024，31（2）：39-47.
SUN Yide，LIU Changni，LI Haonan，et al.Study on sedimentary architecture of single sand body in shallow water deltas based on dense well pattern and interwell tracer data：A case study of $Es_2 1$ and $Es_2 2$ in Shenger District of Shengtuo Oilfield，Dongying Sag [J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency，2024，31（2）：39-47.

基于密井网和井间示踪剂资料的浅水三角洲单砂体沉积构型研究
——以东营凹陷胜坨油田二区沙二段1-2砂组为例

孙以德[1]，刘常妮[2]，李浩男[2]，许允杰[2]，吴胜和[2]
（1.中国石化胜利油田分公司，山东 东营 257001；2.中国石油大学（北京）地球科学学院，北京 102249）

摘要：浅水三角洲分流河道和河口坝砂体平面上常呈连片状，难以准确划分其单砂体，限制了剩余油分布的精准预测，制约了油田采收率的进一步提高。基于岩心和测井等资料，借助密井网和井间示踪剂数据，系统表征东营凹陷胜坨油田二区沙二段1-2砂组浅水三角洲单砂体沉积构型特征。研究结果表明：胜坨油田二区沙二段1-2砂组发育浅水三角洲沉积，包括浅水三角洲平原亚相和浅水三角洲前缘亚相，发育分流河道、溢岸、河口坝、滩坝等微相。浅水三角洲砂体划分为4个构型级次（5～8级），本次研究的单砂体属于8级构型单元。综合利用密井网和井间示踪剂数据，识别了单砂体的6种侧向接触样式：河道-溢岸-河道拼接式、河道-河道切叠式、滩坝-滩坝拼接式、河口坝-河口坝拼接式、坝上河道切割河口坝式和泥岩分隔式。井间示踪剂资料显示，坝上河道切割河口坝式侧向接触样式砂体连通性最好，其次为河道-河道切叠式、河口坝-河口坝拼接式和滩坝-滩坝拼接式，最差为河道-溢岸-河道拼接式。建立了研究区浅水三角洲单砂体沉积构型模式，其中浅水三角洲平原微相类型主要为分流河道和溢岸，单一分流河道砂体间接触样式主要有侧向切叠、侧向与溢岸砂体相连、垂向叠加和斜列叠加4类；浅水三角洲前缘微相类型主要为分流河道、河口坝和滩坝，单一河口坝砂体间接触样式有垂向叠加、侧向拼接、斜列叠加和泥岩分隔4类，单一滩坝砂体间有侧向拼接和垂向叠加2类样式。

关键词：浅水三角洲；砂体构型；密井网；示踪剂；东营凹陷
文章编号：1009-9603（2024）02-0039-09　　DOI：10.13673/j.pgre.202305010
中图分类号：TE122.2　　**文献标识码**：A

Study on sedimentary architecture of single sand body in shallow water deltas based on dense well pattern and interwell tracer data：A case study of $Es_2 1$ and $Es_2 2$ in Shenger District of Shengtuo Oilfield，Dongying Sag

SUN Yide[1]，LIU Changni[2]，LI Haonan[2]，XU Yunjie[2]，WU Shenghe[2]
（1.*Shengli Oilfield Company*，*SINOPEC*，*Dongying City*，*Shandong Province*，257001，*China*；
2.*College of Geosciences*，*China University of Petroleum*（*Beijing*），*Beijing City*，102249，*China*）

Abstract：Sand bodies in distributary channels and mouth bars of shallow water deltas are often distributed in continuous sheets，mak-

收稿日期：2023-05-10。
作者简介：孙以德（1979—），男，黑龙江尚志人，高级工程师，从事油田开发地质及提高采收率研究与管理工作。E-mail：sunyide935.slyt@sinopec.com。
基金项目：国家自然科学基金项目"湖盆扇三角洲前缘河口坝构型及形成机理研究"（42272110）。

ing it difficult to accurately classify the single sand body, limiting the accurate prediction of remaining oil distribution and restricting the further enhanced oil recovery (EOR). Based on core, well logging, and other data, the characteristics of the sedimentary architectures of single sand bodies in shallow water deltas in the 1st Submember of the 2nd Member of the Eocene Shahejie Formation ($Es_2 1$) and the 2nd Submember of 2nd Member of the Eocene Shahejie Formation ($Es_2 2$) in Shenger District of Shengtuo Oilfield, Dongying Sag were systematically analyzed by using dense well pattern and interwell tracer data. The results show that shallow water delta deposits are developed in $Es_2 1$ and $Es_2 2$ in Shenger District of Shengtuo Oilfield, Dongying Sag, including plain subfacies and front subfacies of shallow water deltas. In addition, microfacies such as distributary channels, overbanks, mouth bars, and beach bars are developed. The sand bodies of shallow water deltas were divided into four architecture units (Levels 5-8), and the single sand bodies in this study belong to the level-8 architecture unit. Six types of lateral contact patterns between single sand bodies were identified by comprehensively using dense well pattern and interwell tracer data: channel-overbank-channel splicing type, channel-channel cutting and stacking type, beach bar-beach bar splicing type, mouth bar-mouth bar splicing type, channel on dam cutting mouth bar type, and mudstone separating type. Interwell tracer data show that the sand body has the best connectivity in the channel on dam cutting mouth bar type, followed by channel-channel cutting and stacking type, mouth bar-mouth bar splicing type, and beach bar-beach bar splicing type. The worst connectivity is from the channel-overbank-channel splicing type. Finally, the sedimentary architecture models of single sand bodies in shallow water deltas in the study area were established. The microfacies type of the shallow water delta plain is mainly a distributary channel. The contact patterns between sand bodies in a single distributary channel mainly include lateral incising and overlapping, lateral contact with sand bodies on an overbank, vertical superposition, and oblique superposition. The microfacies types of sand bodies in the shallow water delta front are distributary channels, mouth bars, and beach bars. The contact patterns between sand bodies in a single mouth bar include vertical superposition, lateral splicing, oblique superposition, and mudstone separation. Two types of lateral splicing and vertical superposition exist between sand bodies in a single beach bar.

Key words: shallow water delta; sand body architecture; dense well pattern; tracer; Dongying Sag

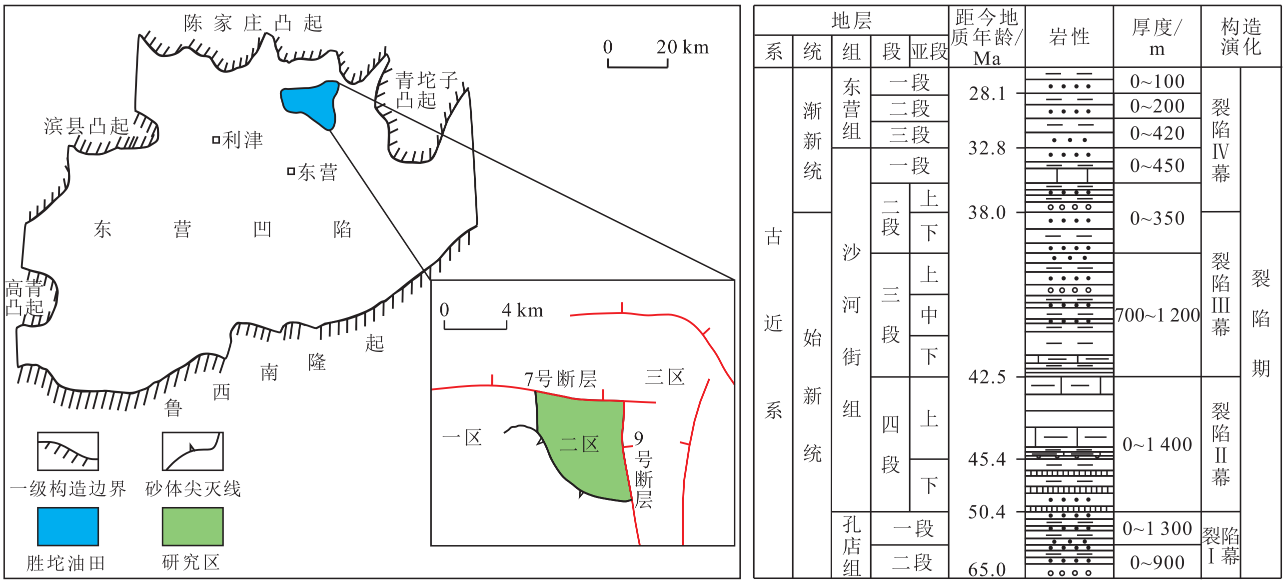
中国东部油田经过几十年开采已全面进入高含水、高采出阶段[1]，面临着剩余油局部富集、下步挖潜难度大等问题，难以进一步提高油田采收率。储层单砂体的三维空间展布及相互间连通关系控制着地下油水的运动规律[2]，且储层沉积构型表征的精细程度直接决定了油田最终采收率，因而应用密井网开展单砂体沉积构型研究显得尤为重要。

浅水三角洲砂体是一种重要的油气储层，在世界各沉积盆地中广泛发育[3-7]。按骨架砂体类型，浅水三角洲可分为分流砂坝型和指状砂坝型[8-10]。分流砂坝型浅水三角洲平面上整体呈扇状，为多级发散的分流河道及其间的河口坝组合，两者相间分布，呈现“河在坝间”的分布样式。与分流砂坝型浅水三角洲不同的是，指状砂坝型浅水三角洲进入水体后形成一个或数个条带状砂体，即由河口坝-河道-天然堤组成的指状砂坝。目前，分流砂坝型浅水三角洲研究相对完善，形成条件和沉积特征也被广泛认知[11-14]，但其分流河道和河口坝砂体平面上常呈连片状，难以准确划分单砂体。而利用静态约束与动态响应相结合的单砂体划分方法缺乏系统研究，严重限制了剩余油分布的精准预测，制约了油田采收率的进一步提高。

胜坨油田为济阳坳陷东营凹陷的大型整装油田，已开采近60 a，目前已进入特高含水阶段。胜坨油田二区沙二段1-2砂组为该油田的重要开发单元，特高含水期注采矛盾严重、产能递减快，大量剩余油在地下小规模零散分布，亟需对其储层进行精细表征，以明确沉积构型特征。而前人研究主要集中在沉积相与储层分析[14-16]，缺乏对浅水三角洲单砂体沉积构型样式的精细刻画。为此，笔者以等时地层格架为基础，利用密井网和井间示踪剂资料在单层内划分单砂体，系统表征浅水三角洲单砂体的空间叠置样式、形态及定量规模，建立浅水三角洲单砂体沉积构型模式，为剩余油分布预测与挖潜奠定地质基础，并为同类型老油田精细油藏表征提供借鉴和指导意义。

1 区域地质概况

胜坨油田位于济阳坳陷东营凹陷北部，属于逆牵引背斜构造整装油藏[15-18]。胜坨油田二区位于胜坨油田东部高点西南翼，北、东部以二级断层为界，西、南部紧邻胜坨油田一区（图1a），是构造相对单一并呈扇形分布的单斜油藏，内部断层不发育。地层自NE向SW方向倾斜，地层倾角为1°～6°，含油面积约为22.6 km^2，地质储量达3 977×10^4 t，油藏埋深为1 820～2 060 m，西南部为边水，原始油水界面为2 060 m。胜坨油田二区古近系自下而上依次为



a—构造位置　　　　b—地层综合柱状图

图1　胜坨油田二区构造位置及地层综合柱状图

Fig.1　Location map and stratigraphic column of Shenger District of Shengtuo Oilfield

孔店组、沙河街组和东营组(图1b)。根据不同岩性及电性在垂向上的差异性变化,沙河街组自下而上进一步划分为沙四段、沙三段、沙二段和沙一段4个岩性段[19-20],其中沙二段分为上、下2个亚段,细分为15个砂组。综合胜坨油田二区生产实践和地层发育特征,将沙二段1砂组和2砂组分别划分为6个小层[15],将其中的1^2,1^3,2^2小层分别划分为2个单层。研究区主力油层沙二段岩性以细砂岩及粉砂岩为主,原生粒间孔隙较发育,平均孔隙度为31%,平均渗透率为1 386 mD,为典型的特高孔特高渗透层[18]。近年来,为了加强油田深度开发,将胜坨油田二区作为开发调整试验区,针对1-2砂组进行了井网加密和井间示踪剂立体监测,为研究区精细沉积构型解剖提供了依据。

沙二段沉积时期,东营凹陷以冲积平原和浅水湖泊沉积为主[21],河流-三角洲沉积发育,而胜坨油田主要发育三角洲平原亚相以及小范围三角洲前缘亚相[22]。其中胜坨油田二区主要发育浅水三角洲沉积,包括浅水三角洲平原和浅水三角洲前缘亚相,主要微相类型有分流河道(包括水上分流河道和水下分流河道)、河口坝、溢岸、河道间以及三角洲前端经湖浪改造而成的滩坝等。

2　浅水三角洲砂体构型分级

构型级次划分是开展储层构型表征的基础,以吴胜和等提出的碎屑沉积体倒序构型分级方案[23]为依据,将研究区浅水三角洲砂体划分为4个构型级次(5～8级)。通常将一个单一微相成因的砂体称为单一成因砂体,简称单砂体。考虑浅水三角洲沉积特点,建立了研究区浅水三角洲单砂体级别(8级)的构型划分方案。

浅水三角洲垂向叠置沉积体为5级构型单元,相应的构型界面为洪泛面及其对应面;单期浅水三角洲沉积复合体为6级构型单元,构型界面为湖泛面及其对应面。浅水三角洲平原7级构型单元为辫状分流河道复合砂体,构型界面为河道砂体底界面;8级构型单元为单一分流河道,构型界面为单期河道冲刷面。浅水三角洲前缘7级构型单元为单一河口坝上分流河道及其下部河口坝复合体和滩坝复合体,构型界面分别为河口坝底界面和滩坝间浅湖泥岩,8级构型单元为单一坝上分流河道、单一河口坝和单一滩坝,构型界面分别为单期河道冲刷面和坝内泥岩。

3　浅水三角洲单砂体识别标志

研究区总面积为5 km^2,共489口井(包括79口斜井),平均井距为70 m,最小井距仅为16 m。该区于2020和2021年分别监测了1-2砂组重点单层($1^{2(1)}$,$1^{2(2)}$,$1^{3(1)}$,$1^{3(2)}$,$2^{2(1)}$,$2^{2(2)}$)的两期井间示踪剂数据,共13个注采井组、63个井对,得到了丰富的井间信息。其中井间示踪剂峰值质量浓度和见剂速度可以共同表征单砂体间的连通性[24-28],井间示踪剂

峰值质量浓度表征单砂体间是否连通，见剂速度表征单砂体间连通性强弱。井间示踪剂峰值质量浓度高且见剂速度快表明单砂体间强连通。利用密井网资料逐级解剖浅水三角洲砂体至单砂体级别，得到5种单砂体识别标志（图2）。

“厚-薄-厚”特征　分流河道砂体或河口坝砂体，在切水流方向上表现为中部厚度大、两侧厚度薄。“厚-薄-厚”特征的出现表明两个单砂体边部侧向接触，也说明该砂体分属于两个不同的单砂体（图2a）。两个单砂体边缘接触，井间示踪剂峰值质量浓度为45.436～248.2 mg/L，见剂速度为21.29～27.24 m/d，平均见剂速度为25.5 m/d。此类单砂体间弱连通。

泥岩分隔　识别单砂体边界最重要的标志即为砂体间泥岩的出现，包括河道间泥岩、河口坝间泥岩及滩坝间浅湖泥岩。泥岩的出现代表单一期次分流河道砂体或河口坝砂体沉积的结束（图2b）。示踪剂井对之间不见剂，单砂体间不连通。

同相不同期　辫状分流河道复合砂体平面上常连片分布，剖面上单砂体顶面等高程相似厚度的单一分流河道之间有时也会存在沉积构型界面（图2c），这是由于辫状分流河道侧向迁移迅速，后期河道快速切割前期河道中部，导致两个单一分流河道砂体侧向厚度相似，高程相近，难以识别沉积构型界面。将顺物源方向井对和切物源方向井对见剂速度对比发现，顺物源方向单砂体间连通性强于切物源方向。井间示踪剂峰值质量浓度为18.359～365.962 mg/L，见剂速度为21.29～117.33 m/d，平均见剂速度为104 m/d。同相不同期的单砂体间强连通。

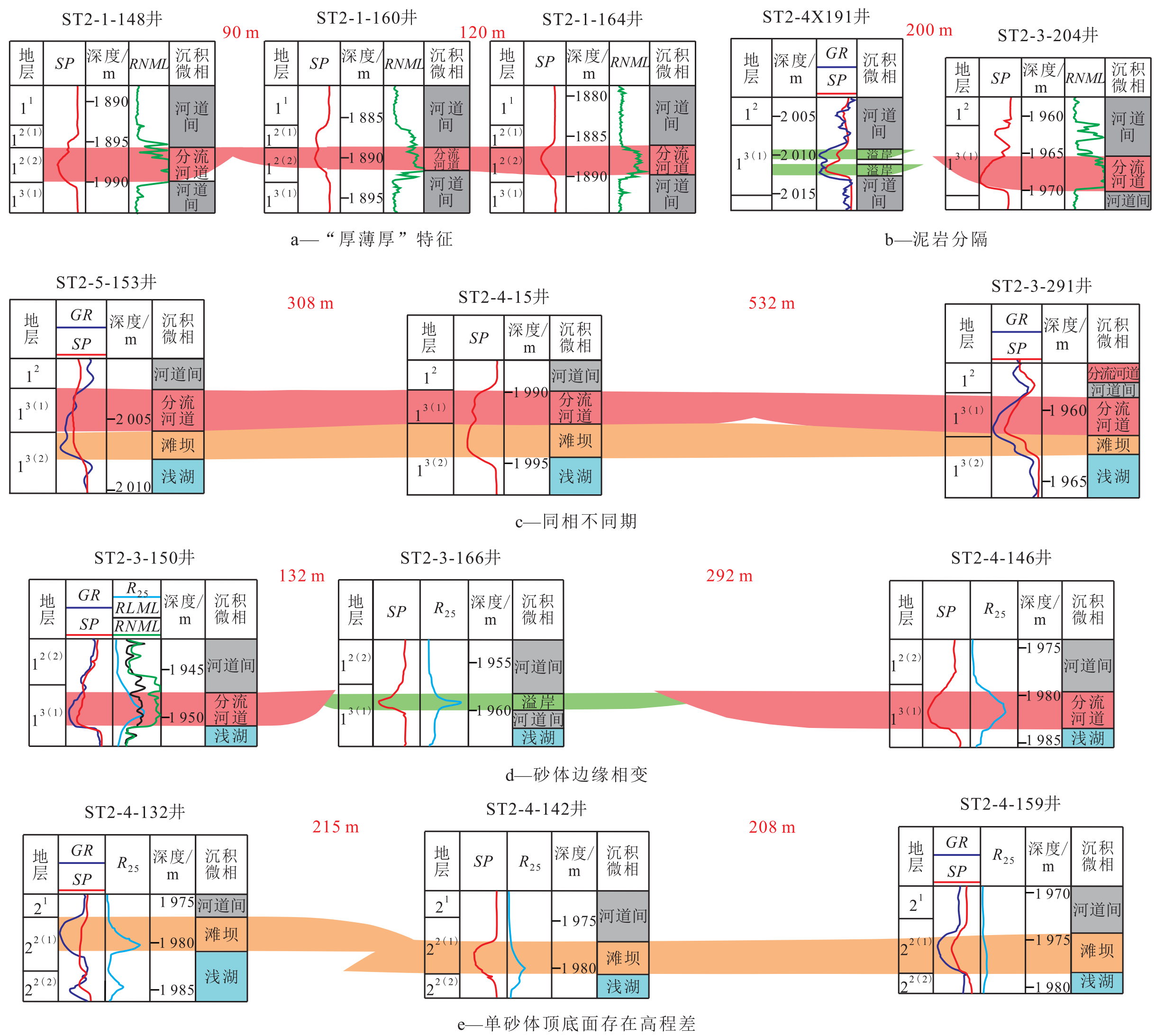


图2　研究区浅水三角洲沙二段1-2砂组单砂体识别标志

Fig.2　Identification mark of a single sand body in $Es_2$1 and $Es_2$2 of shallow water delta in study area

砂体边缘相变　当分流河道砂体发育至边缘出现相变，如连接单一分流河道的溢岸砂体，或滩坝主体边缘出现坝侧缘砂体，可作为划分单砂体的重要标志(图2d)。这种现象在研究区较常见，通过示踪剂井对分析，单砂体井间示踪剂峰值质量浓度为3.477～342.332 mg/L，见剂速度为78.15～113.86 m/d，平均见剂速度为80.61 m/d。单一分流河道和溢岸砂体接触，砂体之间弱连通；滩坝主体和坝侧缘砂体接触，砂体之间强连通，这是由于滩坝主体和坝侧缘砂体是依据水动力强弱划分的，两者之间有可能不存在物理界面或仅存在渗流差异界面。

单砂体顶底面高程差　两个砂体顶面之间存在高程差(如单一河道砂体)，或底面之间存在高程差(如河口坝或滩坝砂体)，表明其形成时期存在差异，可认定为这两个砂体属于不同的单砂体(图2e)。单砂体顶底面存在高程差时，两个单砂体相互切割或叠置。通过示踪剂井对分析，单砂体井间示踪剂峰值质量浓度为18.38～144.87 mg/L，见剂速度为19.14～98.33 m/d，平均见剂速度为50.6 m/d。此类单砂体间弱连通。

4　浅水三角洲单砂体沉积构型表征

选取研究区砂体发育且沉积微相类型丰富的1砂组2小层2单层($1^{2(2)}$)和3小层1单层($1^{3(1)}$)为浅水三角洲单砂体沉积构型分析对象，通过识别标志划分单砂体，明确单砂体的空间分布特征，进一步分析单砂体间的拼接关系以探讨单层内部连片砂体的成因。

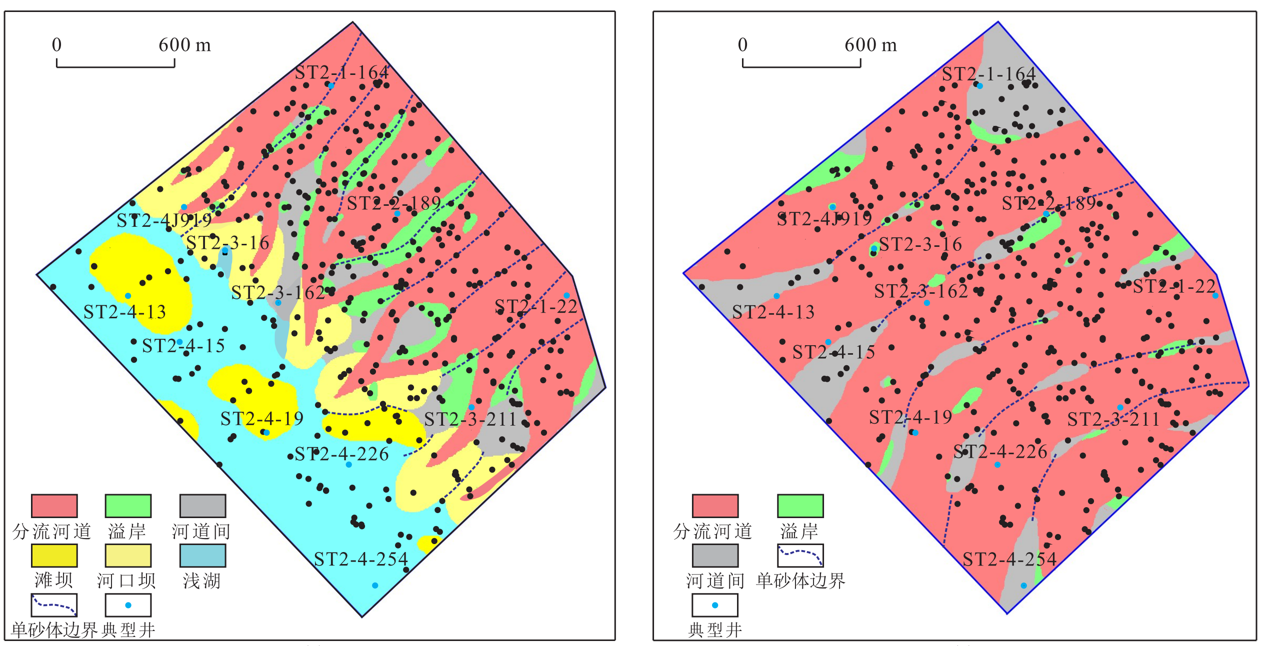
4.1　平面分布特征

研究区浅水三角洲前缘的单砂体为单一坝上分流河道、单一河口坝和单一滩坝。单一坝上分流河道砂体发育在河口坝上部，常深切并切穿河口坝，形成典型的“河在坝上走”的模式(图3a)。其呈窄条带状分布，宽度为100～250 m，在浅水三角洲前缘相带多发生分流及汇合，分叉角度小，多分支河道间距较近。单一河口坝砂体呈朵状、舌状分布。受湖浪改造的影响，滩坝砂体长轴方向平行于湖岸线，单独一个滩坝砂体即为一个单砂体，单一滩坝砂体多数呈透镜状镶嵌在浅湖泥岩中，少数发育在河口坝侧缘。在$1^{2(2)}$单层内识别出9个单一坝上分流河道、6个单一河口坝和4个单一滩坝砂体(图3a)。

研究区浅水三角洲平原的单砂体为单一分流河道，其平面上呈连片状、宽条带状(宽度为250～450 m)分布，被河道间泥岩和溢岸分隔(图3b)。单一分流河道砂体侧向上相互切叠，砂体接触面泥岩基本不发育，故单一分流河道砂体相互切叠连通，形成了“泛连通体”。$1^{3(1)}$单层内识别出6个单一分流河道砂体，部分单一分流河道砂体在近源方向汇合，至远源方向才分叉形成两条单一分流河道砂体(图3b)。

4.2　侧向接触样式及连通性

研究区浅水三角洲平原的单砂体为单一分流河道，侧向接触样式有3种：河道-溢岸-河道拼接式、



a—$1^{2(2)}$单层　　b—$1^{3(1)}$单层

图3　研究区沙二段1砂组单砂体平面展布

Fig.3　Planar distribution of single sand body in Es_21 in study area

河道-河道切叠式和泥岩分隔式(图4)。其中河道-溢岸-河道拼接式单砂体间连通性中等,平均见剂速度为80 m/d,其原因为河道-溢岸-河道拼接式单砂体侧向不仅存在相变,还存在砂体厚度差异,使得单砂体间的连通性变差。河道-河道切叠式单砂体间连通性最好,平均见剂速度为86 m/d。这是因为单一分流河道砂体自身为渗透能力强的砂体,而单一分流河道砂体之间相互切叠的界面由于冲刷泥质含量少,故不会形成渗流屏障,渗透能力较强,使得单砂体间连通性好。

研究区浅水三角洲前缘的单砂体为单一坝上分流河道、单一河口坝和单一滩坝,侧向接触样式有4种:河道-河口坝切割式、河口坝-河口坝拼接式、滩坝-滩坝拼接式和泥岩分隔式(图4)。其中河道-河口坝切割式单砂体间连通性最好,平均见剂速度为156 m/d;河口坝-河口坝拼接式与滩坝-滩坝拼接式单砂体间连通性均中等,平均见剂速度分别为93.22和96.89 m/d。

4.3 定量规模

应用小井距密井网(平均井距为70 m,最小井距为16 m)的优势,基于浅水三角洲单砂体沉积构型样式,统计了研究区1砂组4个单层($1^{2(1)}$,$1^{2(2)}$,$1^{3(1)}$,$1^{3(2)}$)和2砂组2个单层($2^{2(1)}$,$2^{2(2)}$)单砂体的定量规模参数。单一分流河道砂体发育规模较大,平均宽度为350 m,平均厚度为4 m,宽厚比约为88∶1;单一坝上分流河道砂体平均宽度为140 m,平均厚度为2.5 m,平均长度为450 m,相较于单一分流河道,单一坝上分流河道砂体规模变小,宽度与厚度均明显减小。单一河口坝砂体平均宽度为350 m,平均厚度为2.5 m。单一坝上分流河道砂体平均厚度与单一河口坝相差不大,表示单一坝上分流河道深切河口坝。单一滩坝砂体规模大小差异较大,平均宽度为250 m,平均厚度为4 m,平均长度为400 m。

5 浅水三角洲单砂体沉积构型模式

基于以上研究,提出了浅水三角洲单砂体的沉积构型模式(图5)。

浅水三角洲平原微相类型主要为分流河道和溢岸,分流河道之间相互切叠,形成了“泛连通体”;单一分流河道砂体近物源端呈连片状或宽条带状,顺源方向逐渐分叉至窄条带状,剖面上呈顶平底凸状(图5a)。依据单一分流河道砂体间的垂向高程差及侧向接触程度(河道迁移程度)的差异,单一分流河道砂体间的接触样式主要有侧向切叠、侧向与溢岸砂体相连、垂向叠加和斜列叠加4类(图5b)。

浅水三角洲前缘微相类型主要为分流河道、河口坝和滩坝。单一坝上分流河道砂体呈窄条带状切叠在河口坝上部,剖面上为顶平底凸状,砂体间侧向基本不接触,多为孤立向湖延伸,规模较浅水三角洲平原单一分流河道规模小,连通性较好。单一河口坝砂体以朵状或扇状分布于河道砂体末端,剖面上呈底平顶凸状(图5c)。河口坝本身不具有下切能力,但其顶部通常会受到后期河道下切的改造。依据单砂体间垂向高程差及侧向接触程度,单一河口坝砂体间接触样式包括垂向叠加、侧向拼接、斜列叠加和泥岩分隔4类(图5d)。单一滩坝砂体一般镶嵌于浅湖泥岩中,在远物源处以透镜状平行湖岸线分布,剖面上呈底平顶凸状。依据单砂体间垂向高程差和侧向接触程度,单一滩坝砂体间接触样式包括侧向拼接和垂向叠加2类,整体与单一河口坝砂体间的接触样式类似,区别在于单一滩坝砂体之间在侧向上是以滩坝边缘接触,单砂体间连通性较好。

6 结论

(1)浅水三角洲前缘单砂体为单一坝上分流河道、单一河口坝和单一滩坝,单一坝上分流河道下切河口坝顶部,可深切并切穿河口坝,形成典型的“河在坝上走”模式。单一滩坝砂体呈透镜状镶嵌在浅湖泥岩中,单独一个滩坝砂体为一个单砂体。浅水三角洲平原单砂体为单一分流河道,分流河道平面上呈连片状、宽条带状分布。单一分流河道砂体侧向上相互切叠连通,形成砂体“泛连通体”。

(2)浅水三角洲单砂体侧向接触样式有6种:河道-溢岸-河道拼接式、河道-河道切叠式、河道-河口坝切割式、河口坝-河口坝拼接式、滩坝-滩坝拼接式和泥岩分隔式。

(3)建立了研究区浅水三角洲单砂体级别的沉积构型模式。其中浅水三角洲平原微相类型主要为分流河道和溢岸,浅水三角洲前缘微相类型主要为分流河道、河口坝和滩坝,浅水三角洲平原单一分流河道规模较浅水三角洲前缘单一坝上分流河道规模大,单一滩坝砂体规模较单一河口坝砂体规模大。

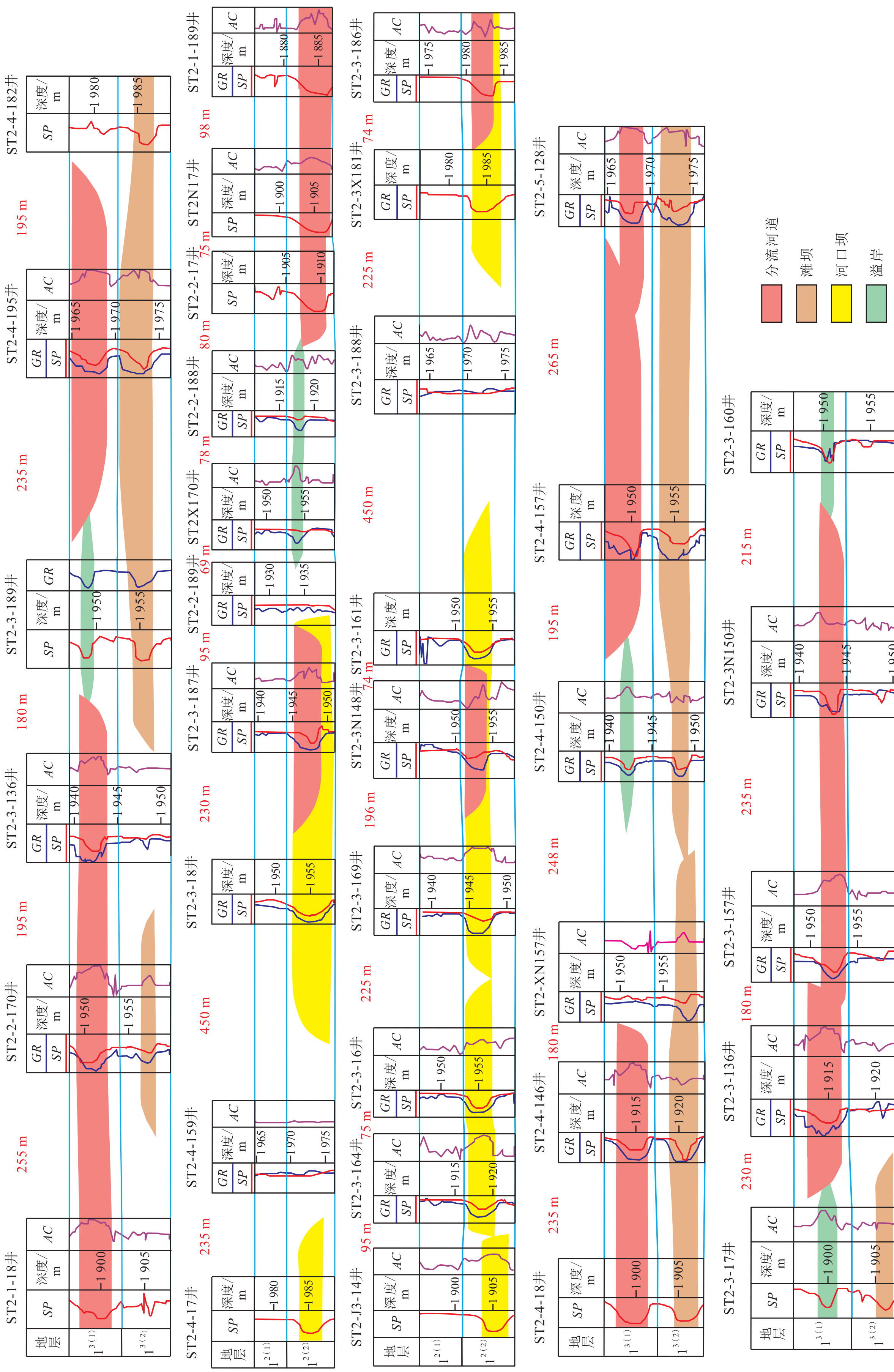


图 4　浅水三角洲沙二段 1 砂组单砂体侧向接触样式

Fig.4　Lateral contact pattern of single sand body in $Es_2$1 in shallow water delta

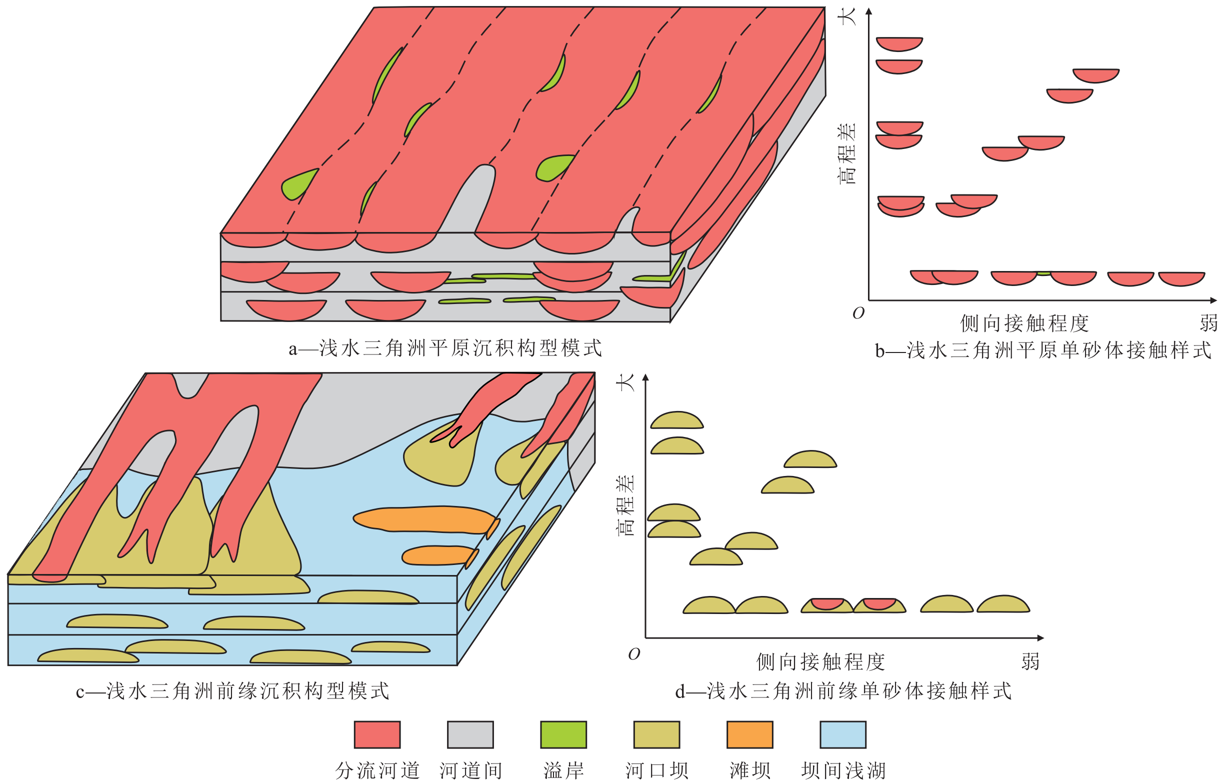


图5 浅水三角洲单砂体沉积构型模式

Fig.5 Sedimentary architecture model of single sand body in shallow water delta

参考文献

[1] 孙焕泉,杨勇,王海涛,等.特高含水油藏剩余油分布特征与提高采收率新技术[J].中国石油大学学报:自然科学版,2023,47(5):90-102.

SUN Huanquan, YANG Yong, WANG Haitao, et al. Distribution characteristics of remaining oil in extra-high water cut reservoirs and new technologies for enhancing oil recovery [J]. Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science, 2023, 47(5): 90-102.

[2] 吴胜和,岳大力,蒋裕强.油矿地质学[M].北京:石油工业出版社,2021.

WU Shenghe, YUE Dali, JIANG Yuqiang. Petroleum development geology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2021.

[3] 易定红,石亚军,刘俊丰,等.柴达木盆地南八仙地区渐新世浅水三角洲物源及沉积演化[J].地质学报,2024,98(2):494-510.

YI Dinghong, SHI Yajun, LIU Junfeng, et al. Provenance analysis and sedimentary evolution of Oligocene shallow water delta in the Nanbaxian area, northern Qaidam basin [J]. Acta Geologica Sinica, 2024, 98(2): 494-510.

[4] 杨昊,胡明毅,蔡敏,等.松辽盆地南部大情字井地区嫩三、四段进积型浅水三角洲沉积特征及发育模式[J].大庆石油地质与开发,2022,41(1):1-10.

YANG Hao, HU Mingyi, CAI Min, et al. Sedimentary characteristics and development patterns of progradational shallow-water delta in Member Nen 3 and Nen 4 of Daqingzijing area in south Songliao Basin [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2022, 41(1): 1-10.

[5] 秦国省,王友净,刘辉,等.伊拉克哈法亚油田古近系海相三角洲沉积特征及成藏主控因素[J].油气地质与采收率,2021,28(3):25-34.

QIN Guosheng, WANG Youjing, LIU Hui, et al. Sedimentary characteristics and main controlling factors of Paleogene marine delta reservoir in Halfaya Oilfield, Iraq [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2021, 28(3): 25-34.

[6] 何贤科,娄敏,蔡华,等.西湖凹陷C油田花港组浅水三角洲储集层构型[J].新疆石油地质,2023,44(5):517-527.

HE Xianke, LOU Min, CAI Hua, et al. Architecture of shallow-water delta reservoir of Huagang formation in C oilfield, Xihu sag [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2023, 44(5): 517-527.

[7] 任奕霖,赵俊峰,陈佳宇,等.鄂尔多斯盆地浅水三角洲前缘沉积特征与砂体构型——以宜川仕望河剖面长9油层组为例[J].新疆石油地质,2022,43(3):310-319.

REN Yilin, ZHAO Junfeng, CHEN Jiayu, et al. Sedimentary characteristics and sand body architecture of shallow delta front in Ordos Basin: a case study of Chang 9 member in Shiwanghe section in Yichuan [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2022, 43(3): 310-319.

[8] 吴胜和,徐振华,刘钊.河控浅水三角洲沉积构型[J].古地理学报,2019,21(2):202-215.

WU Shenghe, XU Zhenhua, LIU Zhao. Depositional architecture of fluvial-dominated shoal water delta [J]. Journal of Palaeogeography, 2019, 21(2): 202-215.

[9] 徐振华,吴胜和,刘钊,等.浅水三角洲前缘指状砂坝构型特征——以渤海湾盆地渤海BZ25油田新近系明化镇组下段为例[J].石油勘探与开发,2019,46(2):322-333.

XU Zhenhua, WU Shenghe, LIU Zhao, et al. Sandbody architecture of the bar finger within shoal water delta front: Insights from the Lower Member of Minghuazhen Formation, Neogene, Bohai BZ25 Oilfield, Bohai Bay Basin, East China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2019, 46(2): 322-333.

[10] 尹艳树,丁文刚,安小平,等.鄂尔多斯盆地安塞油田塞160井区三叠系长6_1^1储层构型表征[J].岩性油气藏,2023,35(4):37-49.
YIN Yanshu, DING Wengang, AN Xiaoping, et al. Configuration characterization of Triassic Chang 6_1^1 reservoir in Sai 160 well area of Ansai oilfield, Ordos Basin [J]. Lithologic Reservoirs, 2023, 35(4): 37-49.

[11] XU Z, PLINK-BJRKLUND P, WU S, et al. Sinuous bar fingers of digitate shallow-water deltas: Insights into their formative processes and deposits from integrating morphological and sedimentological studies with mathematical modelling [J]. Sedimentology, 2022, 69(2): 724-749.

[12] 张昌民,尹太举,朱永进,等.浅水三角洲沉积模式[J].沉积学报,2010,28(5):92-103.
ZHANG Changmin, YIN Taiju, ZHU Yongjin, et al. Shallow-water deltas and models [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010, 28(5): 92-103.

[13] 尹太举,张昌民,朱永进,等.叠覆式三角洲——一种特殊的浅水三角洲[J].地质学报,2014,88(2):263-272.
YIN Taiju, ZHANG Changmin, ZHU Yongjin, et al. Overlapping delta: a new special type of delta formed by overlapped lobes [J]. Acta Geologica Sinica, 2014, 88(2): 263-272.

[14] 朱筱敏,刘媛,方庆,等.大型坳陷湖盆浅水三角洲形成条件和沉积模式:以松辽盆地三肇凹陷扶余油层为例[J].地学前缘,2012,19(1):89-99.
ZHU Xiaomin, LIU Yuan, FANG Qing, et al. Formation and sedimentary model of shallow delta in large-scale lake, example from Cretaceous Quantou Formation in Sanzhao Sag, Songliao Basin [J]. Earth Science Frontiers, 2012, 19(1): 89-99.

[15] 李浩男.胜坨油田胜二区沙二段1~2砂组三角洲-滩坝砂体构型研究[D].北京:中国石油大学(北京),2022.
LI Haonan. Architectural research of delta-beach bar system on Es_2 Formation in Shengtuo Oilfield [D]. Beijing: China University of Petroleum (Beijing), 2022.

[16] 孙永壮.东营凹陷胜坨地区沙河街组沉积体系及其油气源特征[J].中国石油大学学报:自然科学版,2006,30(6):24-30.
SUN Yongzhuang. Depositional system and its hydrocarbon characteristics of Shahejie group of Shengtuo region in Dongying depression [J]. Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science, 2006, 30(6): 24-30.

[17] 孙其琛,杨俊生.东营凹陷胜坨地区沙二上亚段古物源输送路径研究[J].地质与资源,2019,28(1):43-48.
SUN Qichen, YANG Junsheng. Study on the transport path of paleo-provenance in the second member of shahejie formation in shengtuo area, dongying depression [J]. Geology and Resources, 2019, 28(1): 43-48.

[18] 杨勇.胜利油田勘探开发大数据及人工智能技术应用进展[J].油气地质与采收率,2022,29(1):1-10.
YANG Yong. Application progress of big data & AI technologies in exploration and development of Shengli Oilfield [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2022, 29(1): 1-10.

[19] 刘卫红.胜坨油田沙二段测井层序地层学研究[D].青岛:中国石油大学(华东),2005.
LIU Weihong. Log sequence stratigraphy study on the second member of Shahejie formation, Shengtuo oilfield[D]. Qingdao: China University of Petroleum(East China), 2005.

[20] 王兴明.东营凹陷胜坨油田二区沙二段($Es_2 3^4$)河流储层精细研究[D].北京:中国石油大学(北京),2006.
WANG Xingming. Detailed study of fluvial reservoir for Member 2 of the Shahejie Formation ($Es_2 3^4$) in Shengtuo Oilfield, Dongying Depression [D]. Beijing: China University of Petroleum (Beijing), 2006.

[21] 王居峰.济阳坳陷东营凹陷古近系沙河街组沉积相[J].古地理学报,2005,7(1):45-58.
WANG Jufeng. Sedimentary facies of the Shahejie Formation of Paleogene in Dongying Sag, Jiyang Depression [J]. Journal of Palaeogeography, 2005, 7(1): 45-58.

[22] 杨家福.胜坨油田砂体沉积类型与储层特征[J].石油学报,1988,9(2):43-56.
YONG Jiafu. Depositional types of sand body and reservoir characteristics in Shengtuo oil field [J]. Acta Petroleum Sinica, 1988, 9(2): 43-56.

[23] 吴胜和,纪友亮,岳大力,等.碎屑沉积地质体构型分级方案探讨[J].高校地质学报,2013,19(1):12-22.
WU Shenghe, JI Youliang, YUE Dali, et al. Discussion on hierarchical scheme of architectural units in clastic deposits [J]. Geological Journal of China Universities, 2013, 19(1): 12-22.

[24] 赵国瑜.井间示踪剂技术在油田生产中的应用[J].石油勘探与开发,1999,26(4):92-95.
ZHAO Guoyu. The application of interwell tracer method in oilfield production [J]. Petroleum Exploration and Development, 1999, 26(4): 92-95.

[25] 温守国,谢诗章,张海波,等.示踪剂技术在致密砂岩气藏压裂中的应用[J].非常规油气,2023,10(2):94-100.
WEN Shouguo, XIE Shizhang, ZHANG Haibo, et al. Application of tracer technology in fracturing for tight sandstone gas reservoir [J]. Unconventional Oil & Gas, 2023, 10(2): 94-100.

[26] 王利美,张国萍,胡艳霞,等.井间示踪剂大孔道识别及剩余油饱和度分布技术[J].断块油气田,2003,10(4):72-73.
WANG Limei, ZHANG Guoping, HU Yanxia, et al. Tracer-oriented pore passage identification and remainder oil saturation distribution technologies [J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2003, 10(4): 72-73.

[27] 雷霆,倪天禄,季岭,等.基于生产动态数据的水驱砂岩油藏井间优势渗流通道识别[J].复杂油气藏,2020,13(2):38-42.
LEI Ting, NI Tianlu, JI Ling, et al. Identification of predominant seepage channels between wells in waterflooding sandstone reservoirs based on production performance data [J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2020, 13(2): 38-42.

[28] 赵文景,王敬,钱其豪,等.非均质油藏水驱优势渗流通道演化规律[J].断块油气田,2023,30(5):847-857.
ZHAO Wenjing, WANG Jing, QIAN Qihao, et al. Evolution law of dominant flow channels of water flooding in heterogeneous reservoir [J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2023, 30(5): 847-857.

编辑 何青芳