

文章编号:1009-9603(2022)02-0023-11

DOI:10.13673/j.cnki.cn37-1359/te.2022.02.003

环江油田L158区块长 8_1^2 段水下分流河道单砂体空间组合样式及其对剩余油分布的影响

刘庆海¹,王博涛²,阮金凤²,阎娜²,朱玉双¹

(1.西北大学大陆动力学国家重点实验室,陕西西安710069;

2.中国石油长庆油田分公司第五采油厂,陕西西安710018)

摘要:以野外剖面及岩心观察为基础,结合测井及生产动态资料,建立水下分流河道砂体垂向隔夹层识别标准与侧向单砂体边界划分准则,对鄂尔多斯盆地环江油田L158区块长 8_1^2 段水下分流河道单砂体进行划分,剖析单砂体空间叠置关系及占比,分析单砂体叠置与连通性的关系,明确剩余油分布。结果表明:环江油田L158区块长 8_1^2 段水下分流河道宽度为230~450 m,单砂体厚度为4~10 m。单砂体叠置类型分为垂向上的分离式、垂接式和垂切式及侧向上的间湾接触、堤岸接触、对接接触和侧切接触;空间组合样式共10种且以分离侧切式和垂接侧切式为主。双向弱连通式砂体的上方砂体侧翼与下方砂体顶部剩余油富集;侧向弱连通式砂体的上方砂体侧翼剩余油富集而下方砂体剩余油不富集;强连通性砂体剩余油不富集。

关键词:水下分流河道;单砂体划分;砂体叠置;剩余油;环江油田

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

Spatial combination modes of single sandbodies in underwater distributary channels and its influence on distribution characteristics of remaining oil of Chang 8_1^2 in L158 Block, Huanjiang Oilfield

LIU Qinghai¹, WANG Botao², RUAN Jinfeng², YAN Na², ZHU Yushuang¹

(1.State Key Laboratory of Continental Dynamics, Northwest University, Xi'an City, Shaanxi Province, 710069, China;

2.Fifth Oil Production Plant of PetroChina Changqing Oilfield Company, Xi'an City, Shaanxi Province, 710018, China)

Abstract: On the basis of the field sections' data and results of core observation, we established the identification standards of interlayers in the vertical direction for underwater distributary channel sandbodies and the division standards of the single sandbodies in the lateral direction with logging and performance data in the study area. Further, we identified the single sandbodies in underwater distributary channels in Chang 8_1^2 of L158 Block, Huanjiang Oilfield, Ordos Basin, analyzed the spatial superposition types of the single sandbodies and calculated their proportions. At last, we studied the influence of these superposition relationship modes on the connectivity among the sandbodies and expounded the distribution characteristics of the remaining oil. The results show that the widths of single river channels of Chang 8_1^2 in L158 Block, Huanjiang Oilfield are 230-450 m, and the thicknesses of the single sandbodies are 4-10 m. Seven superposition types are found from the single sandbodies, i.e., three in the vertical direction (separated type, vertical contact type, and vertical cut-

收稿日期:2021-05-19。

作者简介:刘庆海(1998—),男,河北邢台人,在读硕士研究生,从事油气田开发地质研究。E-mail:1085301639@qq.com。

通信作者:朱玉双(1968—),女,黑龙江大庆人,教授,博士。E-mail:yshzhu@nwu.edu.cn。

基金项目:国家科技重大专项“碎屑岩输导层结构模型中成岩演化过程与流体流动特征”(2017ZX05008-004-004-001),国家自然科学基金项目“高热与超压背景的成岩响应及流体活动对储层成岩-孔隙演化的影响”(41972129)。

ting type) and four in the lateral direction (interdistributary contact type, embankment contact type, butt contact type, and side cutting contact type). There are 10 spatial combination modes, dominated by separated-side cutting and vertical contact-side cutting combinations. The remaining oil is enriched in the flanks of the upper single sandbodies and the tops of the lower single sandbodies of the two-way weakly connected sandbodies, and the flanks of the upper single sandbodies of the weakly connected sandbodies in the lateral direction, but it is not enriched in the lower single sandbodies of the weakly connected sandbodies in the lateral direction and the strongly connected sandbodies.

Key words: underwater distributary channel; identification of single sandbody; sandbody superposition; remaining oil; Huanjiang Oilfield

随着构型理论的发展,中国学者应用构型研究方法在碎屑岩砂体精细刻画领域取得了显著成就^[1-8]。近年来,三角洲前缘单砂体精细刻画成为研究热点^[9-13],浅水三角洲作为一种成藏条件优异且广泛分布于中国各大沉积盆地的特殊三角洲越来越受到重视。许多学者针对浅水三角洲沉积模式^[14-17]、砂体发育特征^[18-20]及单砂体刻画^[21-24]等方面开展了大量工作。然而,浅水三角洲单砂体刻画主要集中于单砂体定性划分及横纵向叠置关系研究,对单砂体定量划分和空间组合样式以及剩余油分布特征的研究较为薄弱。

2015年以来鄂尔多斯盆地环江油田储量稳步上升,但近年出现见效特征不明显及产液量下降速度快等开发问题,笔者推测与该区未建立有效的驱替系统有关,而前人对该区的研究主要集中于沉积相及致密储层成因方向^[25-28]。为此,基于环江油田L158区块,利用井网测井资料及生产数据,对浅水三角洲水下分流河道单砂体进行半定量划分;以此为基础,分析水下分流河道单砂体空间叠置关系,探讨不同叠置关系下的剩余油分布特征,完善浅水三角洲单砂体构型及剩余油分布研究,以期对相关研究提供参考。

1 区域地质概况

环江油田L158区块长8油层组砂体在沉积时受西南方向主物源控制,以南部及西北方向物源为辅^[29-31],沉积水体较浅,主要发育浅水三角洲沉积^[32-34]。长8₁段砂岩以灰色、深灰色细-粉砂岩为主,分选性及磨圆度均较好,发育块状层理、平行层理及砂纹交错层理,可见泥砾;泥岩以灰黑色与黑色为主,含植物碎屑且以茎干化石为主。该段主要发育辫状河三角洲前缘亚相沉积,以水下分流河道、水下分流间湾及水下天然堤为主要沉积微相。水下分流河道单砂体在不同沉积时期频繁摆动,形成大规模连片状及条带状的复合砂体(图1)。

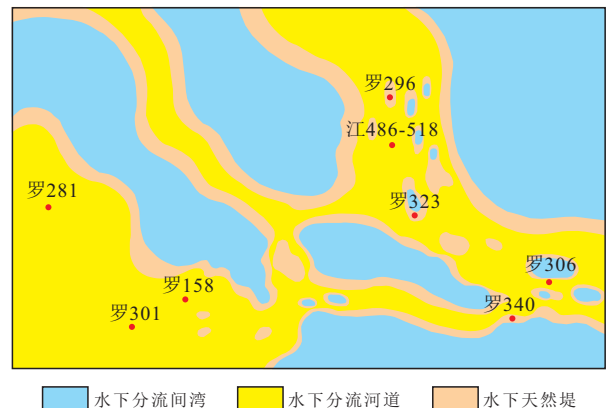


图1 环江油田L158区块长8₁段沉积微相平面展布

Fig.1 Planar distribution of sedimentary microfacies of Chang8₁ in L158 Block, Huanjiang Oilfield

2 单砂体构造界面划分

2.1 垂向划分

2.1.1 隔夹层层次划分

依据Miall储层构型分级方案^[35-36],将研究区水下分流河道单砂体构型界面划分为3个层次(表1)。5级界面所对应的侵蚀面是划分复合河道砂体的依据,复合河道砂体内部分级划分即4级界面则是识别水下分流河道单砂体的依据。4级界面分为2种:第1种是水下单河道顶底面,其界定了单一河道砂体与其上、下单一河道砂体间的垂向关系,以泥质隔夹层为主且发育较稳定;第2种是废弃单河道侧

表1 环江油田L158区块长8₁段单砂体构型界面分级
Table1 Architecture interface classification of single sandbodies of Chang8₁ in L158 Block, Huanjiang Oilfield

构型界面	沉积界面	隔夹层类型	隔夹层层次	构型单元
5级	侵蚀面	隔层	复合砂体间	复合河道砂体
4级	水下单河道顶底面	隔层	单砂体间	单一河道砂体
4级	废弃单河道侧面	夹层	单砂体间	泛滥平原细粒沉积单元
3级	水下单河道内部沉积增生体顶底面	夹层	单砂体内	单一河道内部增生体

面,其界定了同期次不同单一砂体间泛滥平原细粒沉积单元,以钙质及物性夹层为主,沉积界面分布不稳定。3级界面识别了单一河道内部增生体,以泥质、物性和钙质夹层为主,因沉积时期和沉积厚度等差异,夹层电性上存在明显区别。单砂体垂向划分主要建立在4级隔夹层界面识别的基础上。

2.1.2 4级隔夹层界面识别

通过选取特征明显的取心井,绘制研究区4级隔夹层岩性-电性特征交会图(图2),对该区4级隔夹层界面进行定量识别,建立隔夹层测井识别标准,为全区单砂体标定确立基准。

泥质隔夹层 岩性以泥岩和粉砂质泥岩为主。由两期水下分流河道之间的间湾沉积形成,位于水下单河道沉积顶底面且分布较稳定。电阻率为6.4~20.5 Ω·m(表2),是区分泥质隔夹层与其他隔夹层

的最主要标志。此外结合高声波时差和高自然伽马的特征(图2),可以更精准地划分泥质隔夹层。

钙质隔夹层 岩性主要为钙质团块及钙质胶结的致密砂岩,形成于湖平面上升导致的浅水蒸发环境中,分布具有随机性。钙质隔夹层以高电阻率(45.2~76.2 Ω·m)及低声波时差(198.6~230 μs/m)的特征与其他隔夹层有效区分。此外自然伽马较低也是钙质隔夹层的重要表现。

物性隔夹层 物性隔夹层形成于上、下两期单砂体沉积之间,因两者岩性与物性具有明显差异而产生的沉积间歇面,分布极不稳定且难识别。低密度(2.21~2.4 g/cm³)特征是其重要的测井识别标志,也是区分物性隔夹层与其他隔夹层的关键。

2.2 平面划分

单砂体平面划分建立在沉积微相研究的基础

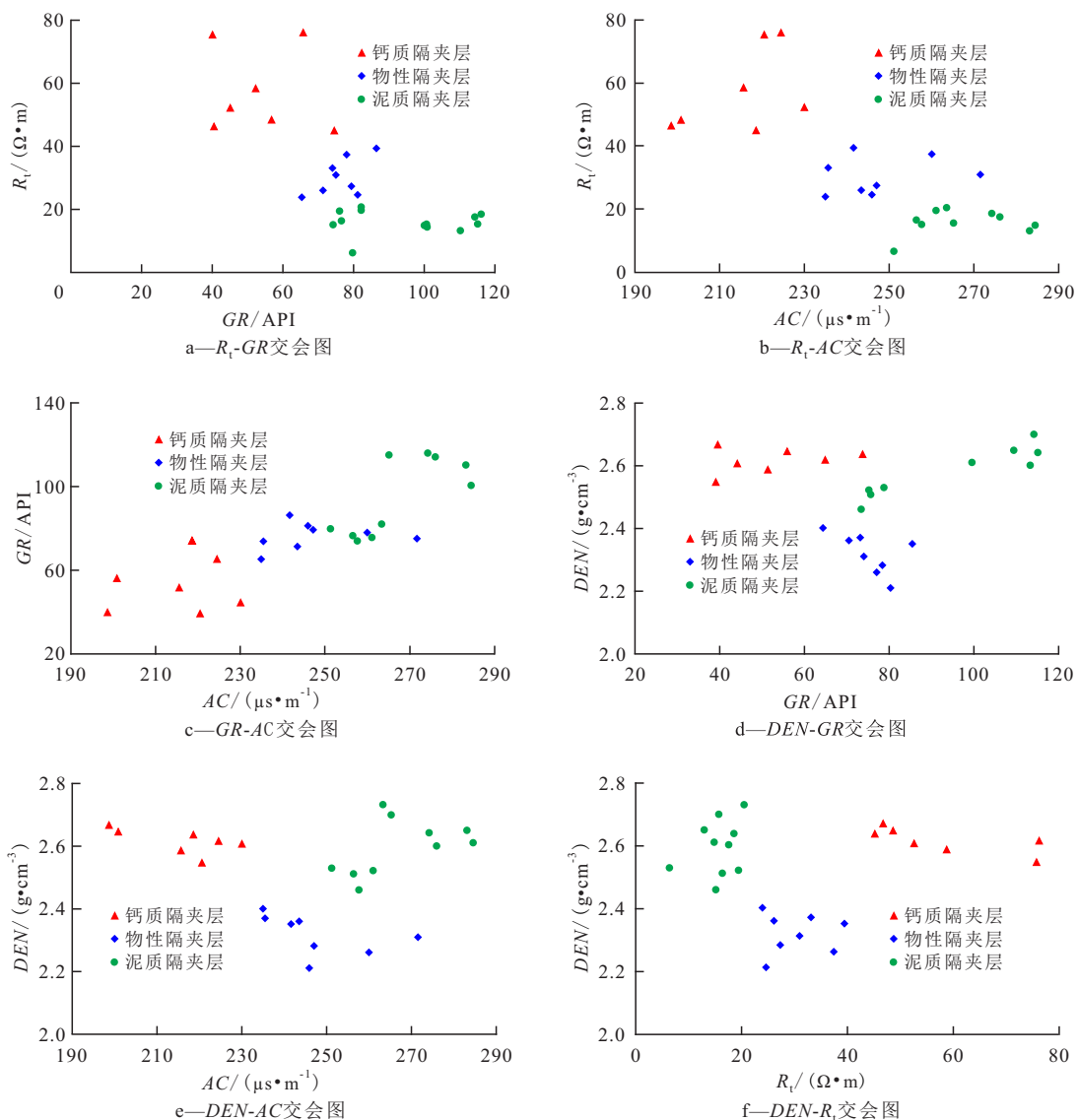


图2 环江油田L158区块长8₁²段4级隔夹层岩性-电性特征交会图

Fig.2 Lithology-electrical property crossplots of fourth level interlayers of Chang8₁² in L158 Block, Huanjiang Oilfield

表2 环江油田L158区块长8₁²段4级隔夹层测井响应识别参数

Table2 Logging response identification parameters of fourth level interlayers of Chang8₁² in L158 Block, Huanjiang Oilfield

类型	SP/mV	GR/API	AC/ ($\mu\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$)	R/ ($\Omega\cdot\text{m}$)	DEN/ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)
泥质隔	32.4~86.4	74.3~116	251.3~284.5	6.4~20.5	2.46~2.73
夹层	(58.9)	(94.5)	(267.3)	(15.7)	(2.6)
钙质隔	20.6~64.8	40~74.6	198.6~230	45.2~76.2	2.55~2.67
夹层	(48.7)	(53.6)	(215.5)	(57.7)	(2.62)
物性隔	29.4~83.1	65.4~86.4	235~271.6	24~39.4	2.21~2.4
夹层	(48.2)	(76.4)	(247.5)	(30.4)	(2.32)

注:32.4~86.4(58.9)表示最小值~最大值(平均值)。

上,不同单砂体受物源供给、水动力条件、水下分流河道摆动及古气候等因素的影响,其沉积位置(同期)及沉积形态、厚度(不等时)存在差异。根据研究区单砂体的沉积差异总结出2种单砂体平面识别标准。

砂顶高差 处于同一沉积期次的不同水下分流河道,砂体沉积时受河道底界、物源供给及沉积时间等因素影响,其沉积砂体顶部距分层顶面距离存在差异。依据砂顶高差(图3a)对相邻单砂体进行有效划分。

砂厚差异 水下分流河道单砂体的形态为顶平底凸,依据垂直物源方向开发井砂厚差异(图3b),明确沉积砂体侧向延展范围并确定河道边界。

对于相邻井位砂体厚度及测井曲线没有明显差异的单砂体,运用上述方法难以划分,可应用宽厚比进行单砂体平面识别与划分。前人研究认为水下分流河道单砂体侧向展布宽度与沉积厚度具有一定关联,称之为宽厚比,浅水三角洲宽厚比集中在65~82^[8,10,13,15]。通过分析研究区的井间生产数据,再依据单砂体平面识别标准划分水下分流河道单砂体并计算出其宽厚比平均为67.9。

2.3 单砂体划分结果

依据单砂体平面识别标准,将研究区长8₁²段划分为三期共25个单砂体。单砂体宽度为230~450 m,厚度为4~10 m,整体呈北东—南西向条带状展布。各单砂体侧向相互接触且平面上表现为连片分布的复合砂体。

3 单砂体叠置关系及识别标准

浅水三角洲沉积过程中,因水下分流河道的摆动、湖面升降与物源供给变化(A/S),不同水下分流河道单砂体之间存在垂向及侧向上的叠置^[37]。基于研究区开发井网顺物源及垂利物源连井剖面,总结了单砂体3种垂向叠置关系和4种侧向接触关系并建立了识别标准。

3.1 垂向叠置关系及识别标准

依据垂向上两期水下分流河道单砂体之间的接触形态,将研究区水下分流河道单砂体垂向叠置关系划分为分离式、垂接式及垂切式3种类型,并依据单砂体叠置形态及隔夹层类型差异,明确各垂向叠置关系识别标准。

分离式 水下分流河道单砂体垂向上孤立存在,上、下砂体不连通,砂体中间发育细粒沉积,为水动力减弱时期的产物(图4a)。研究区分离式单砂体中间发育泥质隔夹层或钙质隔夹层。发育泥质隔夹层的井段电阻率曲线上表现为2个分离的箱型或钟型,曲线中部为明显的低电阻率回返,依照4级泥质隔夹层划分标准可有效识别(表2);发育钙质隔夹层的井段测井曲线表现为中等偏低声波时差曲线与中等偏高电阻率曲线呈镜像分布,曲线中部出现低声波时差和高电阻率的异常特征,表现为向两侧突出的尖刺,可通过4级钙质隔夹层划分标准有效识别(表2)。分离式叠置关系是研究区最

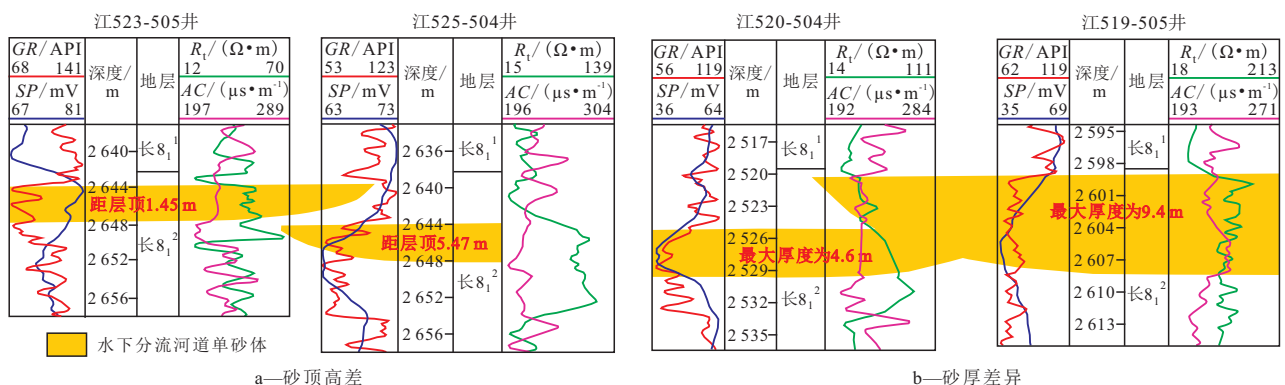


图3 环江油田L158区块长8₁²段单砂体平面识别标志

Fig.3 Plane identification marks of single sandbodies of Chang8₁² in L158 Block, Huanjiang Oilfield

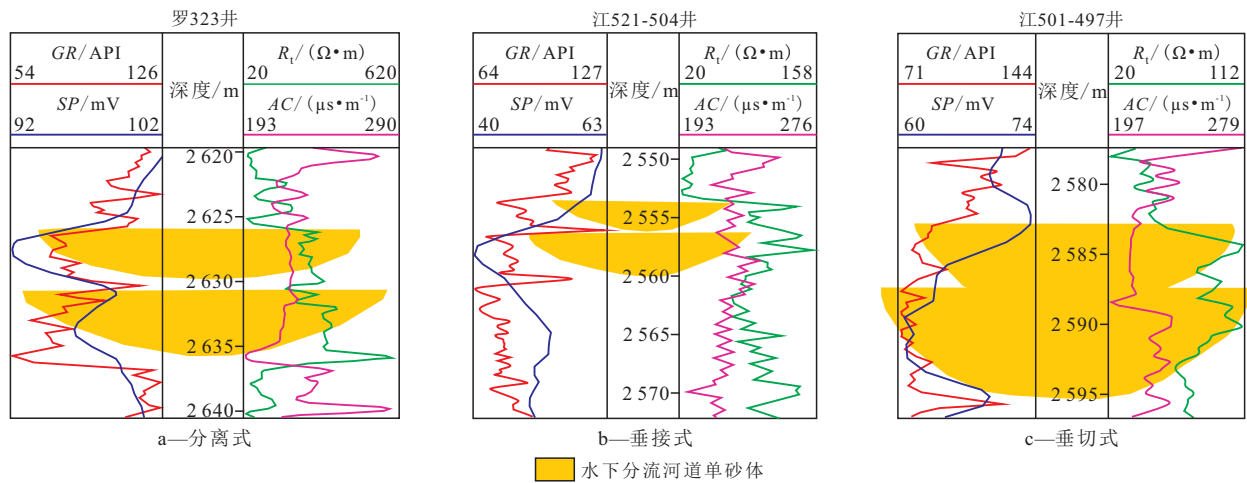


图4 环江油田L158区块长8₁²段单砂体垂向叠置关系

Fig.4 Vertical superposition types of single sandbodies of Chang8₁² in L158 Block, Huanjiang Oilfield

为发育的垂向叠置类型,占比为44.5%。

垂接式 两期水下分流河道单砂体垂向上接触,上、下砂体弱连通,砂体中间普遍发育较薄的泥质沉积,晚期河道对早期单砂体无冲刷或弱冲刷。垂接式单砂体中部发育泥质隔夹层或物性隔夹层。发育泥质隔夹层的井段自然电位及自然伽马曲线表现为2个相接的箱型或钟型,曲线中部为窄而陡的高自然伽马和高自然电位回返;发育物性隔夹层的井段自然电位及自然伽马曲线表现为2个阶梯状相连的箱型(图4b)。垂接式叠置关系在研究区较为发育,占比为30.5%。

垂切式 两期水下分流河道单砂体垂向上切割,上、下砂体连通性强,砂体直接接触,晚期河道对早期河道砂体具有明显的冲刷作用。垂切式单砂体中部发育物性隔夹层,该井段自然电位及自然伽马曲线表现为2个阶梯状相连的箱型,与发育物性隔夹层的垂接式接触砂体井段测井曲线响应类似,可通过连井剖面及动态响应特征进行区分(图4c)。垂切式叠置关系在研究区占比相对最低,为25%。

3.2 侧向接触关系及识别标准

单砂体侧向接触关系是某一沉积时期单砂体的相对位置在平面上的表现,是一个同期不等时的概念。不同水下分流河道单砂体受物源供给、水动力条件、水下分流河道摆动及古气候等因素影响,其沉积位置(同期)及沉积形态、厚度(不等时)存在差异,根据差异类型将研究区水下分流河道单砂体侧向接触关系划分为间湾接触、堤岸接触、对接接触及侧切接触4种。

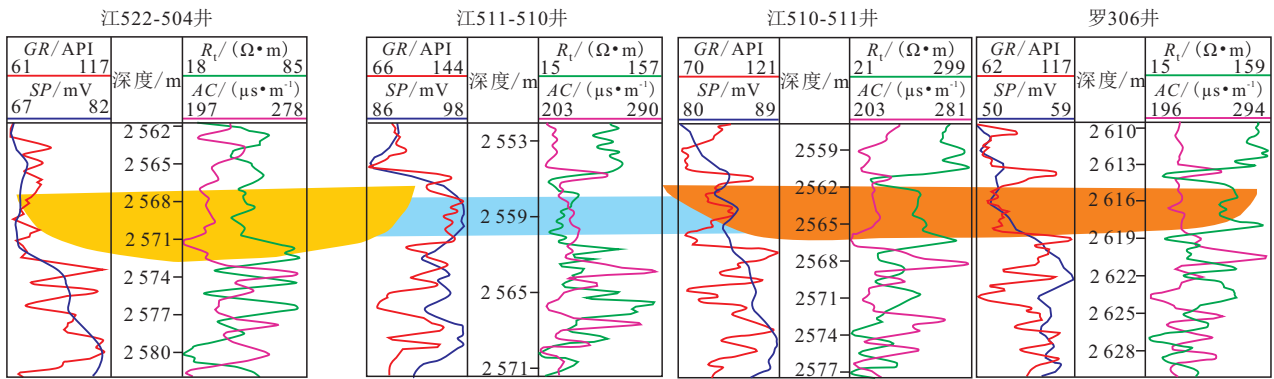
间湾接触 两条单河道沉积的砂体彼此独立

存在,砂体中间为水下分流间湾泥质沉积阻隔。间湾接触关系易识别,开发井连井剖面上显示为具砂顶高差或厚度差异的2个单砂体之间发育泥质沉积,电阻率曲线表现为高阻箱型-低阻直线-高阻箱型(图5a)。研究区此类接触关系占比低,为8.2%,与物源供给充足、河流改道频繁及浅水三角洲平缓的沉积环境有关。

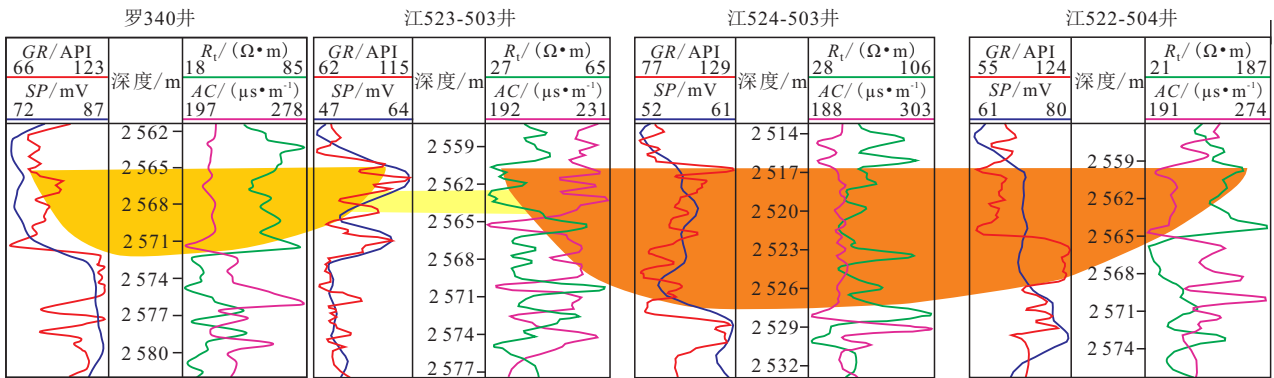
堤岸接触 两条单河道沉积的砂体不直接接触,由水下天然堤砂体连接。堤岸接触关系易识别,开发井连井剖面上显示为2个单砂体之间发育粉砂岩沉积,电阻率曲线表现为高阻箱型-低阻齿化型-高阻箱型(图5b)。研究区沉积环境不利于此类接触关系的形成,堤岸接触占比仅为3.6%。

对接接触 两条单河道沉积的砂体相互接触,但其切叠作用不明显。对接接触没有明显易识别的测井曲线特征,但由于单砂体顶平底凸的沉积样式及不同单砂体存在明显沉积高度和厚度差异,依据开发井连井剖面砂体的砂顶高差及厚-薄-厚的砂体形态,结合砂体侧向延展程度对该类型接触关系进行识别(图5c)。研究区对接接触较发育,占比为31.7%。

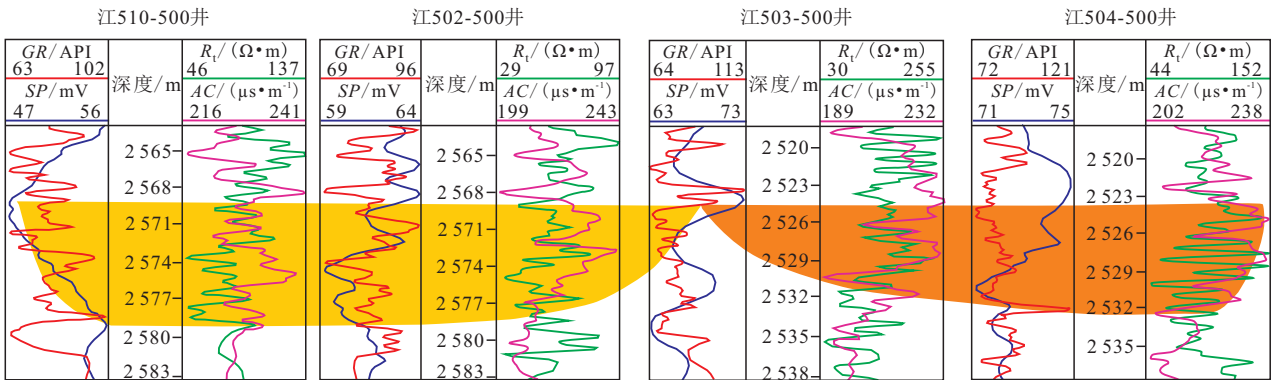
侧切接触 两条单河道沉积的砂体直接接触,后期沉积对前期河道砂体切割改造作用强烈。侧切接触在开发井连井剖面上显示为2个不同单砂体侧切叠合的长段砂体,电阻率曲线表现为箱型-叠合箱型-箱型,其中2个箱型曲线代表了2个不同单砂体,叠合箱型为2个单砂体相切部位在电阻率曲线上的体现。不同单砂体沉积时间及厚度存在差异,其箱型电阻率曲线的厚度可能不同(图5d)。受益于研究区河道侧向展布较宽和河道改道频繁等



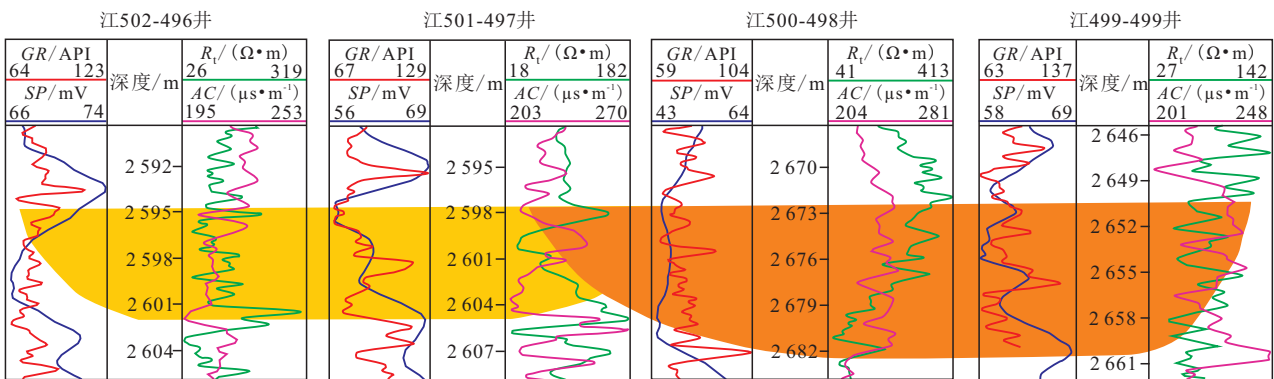
a—间湾接触



b—堤岸接触



c—对接接触



d—侧切接触

水下分流河道单砂体1
 水下分流河道单砂体2
 水下天然堤砂体
 水下分流间湾泥质

图5 环江油田L158区块长 8_1^2 段单砂体侧向接触关系

Fig.5 Lateral contact types of single sandbodies of Chang 8_1^2 in L158 Block, Huanjiang Oilfield

因素,侧切接触发育,占比为56.5%。

4 单砂体空间组合样式及成因分析

研究区单砂体之间存在3种垂向叠置关系及4种侧向接触关系,理论上可存在12种空间组合样式(图6)。研究区不发育I类(垂切间湾式)及J类(垂切堤岸式)空间组合样式,其余空间组合样式依据占比由高到低分别为:D类(分离侧切式)占比为24.1%,H类(垂接侧切式)占比为17.4%,L类(垂切侧切式)占比为15%,C类(分离对接式)占比为13%,K类(垂切对接式)占比为10%,G类(垂接对接式)占比为8.7%,A类(分离间湾式)占比为4.9%,E类(垂接间湾式)占比为3.3%,B类(分离堤岸式)占比为2.5%,F类(垂接堤岸式)占比为1.1%。

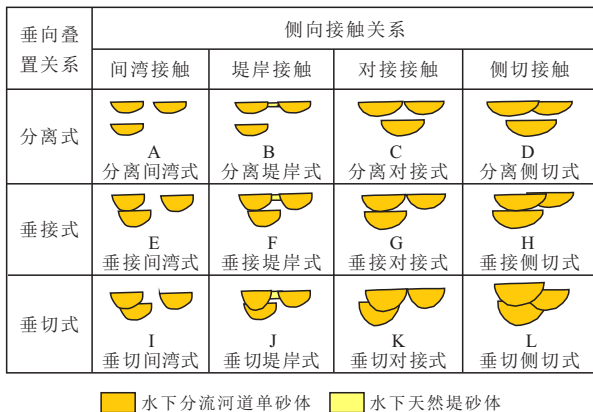


图6 浅水三角洲水下分流河道单砂体空间组合样式

Fig.6 Spatial combination modes of single sandbodies in underwater distributary channel of shallow water delta

前人研究表明,浅水三角洲前缘砂体的叠置关系一般受砂体可容纳空间(A)与沉积物补给通量(S)之间变化的控制^[6,38],与研究区古地貌、物源供给及水下分流河道改道密切相关。当可容纳空间大而物源供给较弱时,水下分流河道单砂体沉积厚度薄,砂体垂向间彼此不接触,多发育A类和B类组合样式;当可容纳空间与物源供给相近时,水下分流河道对早期沉积的砂体具有一定的冲刷作用,但受限于冲刷能量不足且砂体垂向切割作用弱,以F类和G类组合样式较为常见;当物源供给远大于可容纳空间时,沉积能量充足,砂体下切作用明显且侧切作用强烈,此时多发育K类和L类组合样式。

由于受多种复杂因素影响,研究区形成“垂向切割作用不强、侧向切割作用明显”的沉积状态,其中浅水三角洲沉积的特殊性和平缓的沉积地貌是影响单砂体空间组合样式的重要因素。浅水三角

洲沉积的特殊性表现在沉积水体浅,以水下分流河道为沉积主体,河道的分叉性及迁移性强,砂体沉积的侧向切割作用明显;另一方面较浅的沉积环境及较弱的水动力条件导致了单河道单期沉积的砂体厚度较薄,垂向上切割作用不强,分离式叠置关系占优。研究区构造改造作用弱,长8油层组沉积时期地层平缓,较充足的物源供给为水下分流河道“填凹”后“侧移”提供了物质基础,易形成大面积片状展布的沉积砂体,与浅水三角洲沉积的特殊性共同作用,最终形成了分离侧切式占优,垂接侧切式、垂切侧切式及分离对接式发育的单砂体空间组合样式。

5 单砂体叠置关系对储层开发的影响

5.1 单砂体叠置关系与砂体连通性

单砂体叠置关系体现了单河道的摆动与砂体沉积的复杂性,关系到不同沉积砂体之间的连通性^[39-41],具体表现为不同砂体能否形成流动单元,直接影响到注水开发效率及剩余油的分布^[42-44]。

单砂体垂向叠置关系主要影响早晚两期单砂体之间的纵向连通性。分离式砂体因层段中间泥质隔夹层或钙质隔夹层的发育,其纵向不连通,合理注采开发后,底部砂岩见效快,剩余油易富集于上方砂体顶部。垂接式砂体后期河道冲刷作用弱,早晚两期单砂体保存完整,隔夹层较发育,难以形成有效的流动单元,其纵向连通性弱,为弱连通或不连通。垂接式砂体注水开发时受上、下单砂体高差影响,其水驱路径沿上部砂体至下部砂体,较差的纵向连通性使得上部砂体侧翼形成剩余油富集区,富集区范围受砂体厚度及注水强度影响。垂切式砂体后期河道改造作用强,前期河道上部的泥质或钙质沉积被冲刷殆尽,其纵向连通性强,为优秀的流动单元。垂切式砂体注采开发时,水驱路径与垂接式砂体相似,但较强的纵向连通能力使得水驱覆盖范围更广,剩余油富集区较同等砂体厚度的垂接式砂体更小。

单砂体侧向接触关系主要影响同期不等时的2条单河道沉积的砂体之间的横向连通性,间湾接触及堤岸接触的2个单砂体之间为水下分流间湾或水下天然堤的细粒沉积物,单砂体之间侧向不连通。对接接触的2个单砂体之间切割叠置部分较少,且接触部分一般为沉积体上部细粒沉积部位,难以形成有效的流动单元,侧向连通性弱。间湾接触、堤

岸接触及对接接触3种类型的砂体在进行注水开发时,因砂体侧向连通性差,2个单砂体的原油分别受控于注水井注水驱动及采油井地层压力开采,易于单砂体临近部位形成2个剩余油富集区。侧切接触砂体切割冲刷作用强烈,砂体之间的泥质及细粒沉积物被冲刷殆尽,整体表现为有效的流动单元,砂体侧向连通性强,一般不形成剩余油富集。

5.2 单砂体空间组合样式与剩余油分布

研究区单砂体叠置关系的多变性及连通关系的复杂性增加了剩余油研究难度,针对不同的单砂体空间组合样式进行砂体连通性及水驱路径分析,明确单砂体空间组合样式对剩余油分布的控制作用(图7)。

空间组合样式	水驱路径与剩余油分布	剩余油分布特征
A(分离间湾式)		上方砂体侧翼、下方砂体顶部剩余油富集
B(分离堤岸式)		上方砂体侧翼、下方砂体顶部剩余油富集
C(分离对接式)		上方砂体侧翼、下方砂体顶部剩余油富集
D(分离侧切式)		上方砂体顶部、下方砂体顶部剩余油富集
E(垂接间湾式)		上方砂体侧翼剩余油富集
F(垂接堤岸式)		上方砂体侧翼剩余油富集
G(垂接对接式)		上方砂体侧翼剩余油富集
H(垂接侧切式)		剩余油不富集
I(垂切间湾式)		上方砂体侧翼剩余油富集
J(垂切堤岸式)		上方砂体侧翼剩余油富集
K(垂切对接式)		上方砂体侧翼剩余油富集
H(垂切侧切式)		剩余油不富集

图7 单砂体空间组合样式对剩余油分布的控制作用

Fig.7 Effect of spatial combination modes of single sandbodies on remaining oil distribution

双向弱连通式砂体即分离间湾式、分离堤岸式和分离对接式砂体,其上方砂体侧翼与下方砂体顶部剩余油富集;侧向弱连通式砂体即垂接间湾式、垂接堤岸式、垂接对接式、垂切间湾式、垂切堤岸式和垂切对接式砂体,其上方砂体侧翼剩余油富集,下方砂体剩余油不富集;强连通性砂体即垂接侧切式和垂切侧切式砂体剩余油不富集。

6 结论

建立研究区纵向泥质隔夹层、物性夹层与钙质隔夹层划分标准,在平面砂顶高差及砂厚差异划分机制的基础上,将环江油田L158区块长8₁²段划分为三期共25个单砂体。单河道宽度为230~450 m,单砂体厚度为4~10 m,宽厚比平均为67.9。

水下分流河道单砂体垂向上划分为分离式、垂接式及垂切式3种叠置关系,侧向上发育间湾接触、堤岸接触、对接接触及侧切接触4种接触关系,形成12种空间组合样式。研究区存在10种单砂体空间组合样式,其中分离侧切式、垂接侧切式、垂切侧切式、分离对接式及垂切对接式较为发育。

浅水三角洲沉积的特殊性是影响单砂体空间组合样式的主要因素,平缓的沉积地貌是影响单砂体组合空间样式的重要因素。单砂体不同的空间组合样式控制了剩余油分布。

参考文献

[1] 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.

[2] 芦凤明,蔡明俊,张阳,等.碎屑岩储层构型分级方案与研究方法探讨[J].岩性油气藏,2020,32(6):1-11.
LU Fengming, CAI Mingjun, ZHANG Yang, et al. Discussion on architecture classification scheme and research methods of clastic reservoir[J]. Lithologic Reservoirs, 2020, 32(6): 1-11.

[3] 牛博,赵家宏,付平,等.曲流河废弃河道走向判定与单砂体构型表征——以渤海湾盆地埋隆起石白坨凸起西部新近系明化镇组下段为例[J].石油勘探与开发,2019,46(5):891-901.
NIU Bo, ZHAO Jiahong, FU Ping, et al. Trend judgment of abandoned channels and fine architecture characterization in meandering river reservoirs: A case study of Neogene Minhuazhen Formation Nm III 2 layer in Shijiutuo bulge, Chengning uplift, Bohai Bay Basin, East China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2019, 46(5): 891-901.

[4] 陈薪凯,刘景彦,陈程,等.主要构型要素细分下的曲流河单砂体识别[J].沉积学报,2020,38(1):205-217.

- CHEN Xinkai, LIU Jingyan, CHEN Cheng, et al. Identifying single sand bodies in meandering river deposits based on subdivision of main architecture elements [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2020, 38(1): 205-217.
- [5] 张翔宇, 侯加根, 李春晓, 等. 王官屯油田官195断块扇三角洲储层构型表征[J]. *油气地质与采收率*, 2018, 25(3): 43-49.
ZHANG Xiangyu, HOU Jiagen, LI Chunxiao, et al. Reservoir architectural analysis of fan delta in the faulted block Guan195 of Wangguantun Oilfield [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2018, 25(3): 43-49.
- [6] 封从军, 鲍志东, 杨玲, 等. 三角洲前缘水下分流河道储集层构型及剩余油分布[J]. *石油勘探与开发*, 2014, 41(3): 323-329.
FENG Congjun, BAO Zhidong, YANG Ling, et al. Reservoir architecture and remaining oil distribution of deltaic front underwater distributary channel [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2014, 41(3): 323-329.
- [7] 尹艳树, 刘元. 近岸水下扇中厚砂体储层构型及对剩余油控制——以南襄盆地泌阳凹陷古近系核桃园组三段四砂组2小层为例[J]. *地质论评*, 2017, 63(3): 703-718.
YIN Yanshu, LIU Yuan. Analysis of the reservoir architecture of thick sandbody and its control on remaining oil in middle near-shore subaqueous fan—Taking the 4th layer, 3rd member, Hetaoyuan Formation, Eocene, in Zhaowa Oilfield, Miyang Sag, Nanxiang Basin as an example [J]. *Geological Review*, 2017, 63(3): 703-718.
- [8] 宋子怡, 陈德坡, 邱隆伟, 等. 孤东油田六区馆上段远源砂质辫状河心滩构型分析[J]. *油气地质与采收率*, 2019, 26(2): 68-75.
SONG Ziyi, CHEN Depo, QIU Longwei, et al. Architecture of braid bars of distal sandy river in the upper section of Guantao Formation, No.6 Block of Gudong Oilfield [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2019, 26(2): 68-75.
- [9] 封从军, 鲍志东, 代春明, 等. 三角洲前缘水下分流河道单砂体叠置机理及对剩余油的控制——以扶余油田J19区块泉头组四段为例[J]. *石油与天然气地质*, 2015, 36(1): 128-135.
FENG Congjun, BAO Zhidong, DAI Chunming, et al. Superimposition patterns of underwater distributary channel sands in deltaic front and its control on remaining oil distribution: a case study from K₁q⁴ in J19 block, Fuyu oilfield [J]. *Oil & Gas Geology*, 2015, 36(1): 128-135.
- [10] 秦刚, 成群, 熊金红, 等. 河道内单砂体成因分析与刻画——以扶余油田中38区扶余油组为例[J]. *断块油气田*, 2014, 21(3): 309-313.
QIN Gang, CHENG Qun, XIONG Jinhong, et al. Genetic analysis and depiction on single sand body in channel: Taking Fuyu oil group in Middle38 Area of Fuyu Oilfield as an example [J]. *Fault-Block Oil and Gas Field*, 2014, 21(3): 309-313.
- [11] 李志鹏, 林承焰, 董波, 等. 河控三角洲水下分流河道砂体内部建筑结构模式[J]. *石油学报*, 2012, 33(1): 101-105.
LI Zhipeng, LIN Chengyan, DONG Bo, et al. An internal structure model of subaqueous distributary channel sands of the fluvial-dominated delta [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2012, 33(1): 101-105.
- [12] 王玥, 何宇航, 郭彦如, 等. 浅水湖盆三角洲分流河道单砂体精细识别与应用[J]. *大庆石油地质与开发*, 2017, 36(5): 47-55.
WANG Yue, HE Yuhang, GUO Yanru, et al. Fine recognition and application of the distributary channel individual sandbody in the shallow lake-basin delta [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2017, 36(5): 47-55.
- [13] 任双坡, 姚光庆, 毛文静. 三角洲前缘水下分流河道薄层单砂体成因类型及其叠置模式——以古城油田泌浅10区核三段IV-VI油组为例[J]. *沉积学报*, 2016, 34(3): 582-593.
REN Shuangpo, YAO Guangqing, MAO Wenjing. Genetic types and superimposition patterns of subaqueous distributary channel thin sandbodies in delta front: A case study from the IV-VI reservoir groups of H3 in Biqian10 area of Gucheng oilfield [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2016, 34(3): 582-593.
- [14] 秦润森, 岳红林, 周凤军, 等. 河控浅水三角洲前缘席状砂沉积特征及沉积模式探讨——以黄河口凹陷渤中34地区明下段为例[J]. *沉积学报*, 2020, 38(2): 429-439.
QIN Runsen, YUE Honglin, ZHOU Fengjun, et al. Characteristics and sedimentary models of sheet sand in shallow lacustrine fluvial-dominated delta front: A case study from lower member of Minghuazhen Formation in BZ34 area, Huanghekou Sag [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2020, 38(2): 429-439.
- [15] 郑胜. 准中地区三工河组浅水三角洲沉积模式及油气勘探意义[J]. *特种油气藏*, 2019, 26(1): 87-93.
ZHENG Sheng. Sedimentary pattern of the shallow-water delta in the Sangonghe Formation of central Junggar Basin and its significance for hydrocarbon exploration [J]. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 2019, 26(1): 87-93.
- [16] 冯文杰, 吴胜和, 张可, 等. 曲流河浅水三角洲沉积过程与沉积模式探讨——沉积过程数值模拟与现代沉积分析的启示[J]. *地质学报*, 2017, 91(9): 2 047-2 064.
FENG Wenjie, WU Shenghe, ZHANG Ke, et al. Depositional process and sedimentary model of meandering-river shallow delta: insights from numerical simulation and modern deposition [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2017, 91(9): 2 047-2 064.
- [17] 陈佩佩, 胡望水, 黄鑫, 等. 川西坳陷SDG地区浅水三角洲沉积特征及沉积成因模式[J]. *油气地质与采收率*, 2018, 25(2): 20-28.
CHEN Peipei, HU Wangshui, HUANG Xin, et al. Sedimentary characteristics and sedimentary genetic models of shallow water delta in the SDG area, west Sichuan Depression [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2018, 25(2): 20-28.
- [18] 蔡全升, 胡明毅, 胡忠贵, 等. 退积型浅水三角洲沉积演化特征及砂体展布规律——以松辽盆地北部临江地区下白垩统泉头组四段为例[J]. *石油与天然气地质*, 2016, 37(6): 903-914.
CAI Quansheng, HU Mingyi, HU Zhonggui, et al. Sedimentary evolution and distribution of sand bodies of retrogradational shallow-water delta: A case study from 4th member of the Cretaceous Quantou Formation in the Lingjiang area, Songliao Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2016, 37(6): 903-914.
- [19] 赖洪飞, 秦智, 王洪君, 等. 高频基准面旋回控制下浅水三角洲及其砂体发育模式: 以松辽盆地扶余油田白垩系泉头组为例[J]. *古地理学报*, 2017, 19(4): 609-622.
LAI Hongfei, QIN Zhi, WANG Hongjun, et al. Development pat-

- tern of shallow-water delta and sandbodies under control of high-frequency base-level cycles: A case study of the Cretaceous Quantou Formation in Fuyu Oilfield, Songliao Basin[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2017, 19(4): 609-622.
- [20] 袁丙龙, 张辉, 张连枝, 等. 涪西南凹陷浅水三角洲前缘砂体类型及分布模式[J]. *中国海上油气*, 2020, 32(2): 78-87.
YUAN Binglong, ZHANG Hui, ZHANG Lianzhi, et al. Types and distribution patterns of shallow water delta front sand bodies in Weixinan sag[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2020, 32(2): 78-87.
- [21] 孙雨, 董毅明, 王继平, 等. 松辽盆地红岗北地区扶余油层储层单砂体分布模式[J]. *岩性油气藏*, 2016, 28(4): 9-15.
SUN Yu, DONG Yiming, WANG Jiping, et al. Distribution patterns of single sand body in Fuyu oil layer in the northern Honggang area, Songliao Basin[J]. *Lithologic Reservoirs*, 2016, 28(4): 9-15.
- [22] 刘建华, 汪利兵, 赵靖康, 等. PL油田浅水辫状河三角洲隔夹层精细表征方法[J]. *西南石油大学学报: 自然科学版*, 2019, 41(5): 10-20.
LIU Jianhua, WANG Libing, ZHAO Jingkang, et al. A fine characterization method of the interbed in shallow-water braided delta in the PL Oilfield[J]. *Journal of Southwest Petroleum University: Science & Technology Edition*, 2019, 41(5): 10-20.
- [23] 熊兆川, 李继红, 高军锋. 浅水三角洲前缘单砂体识别及划分方法——以吴旗三角洲为例[J]. *辽宁化工*, 2017, 46(10): 979-981.
XIONG Zhaochuan, LI Jihong, GAO Junfeng. Identification and classification methods of shallow water delta front sand body—Taking Wuqi Delta as an example[J]. *Liaoning Chemical Industry*, 2017, 46(10): 979-981.
- [24] 李敏, 陈博, 阮金凤, 等. 松辽盆地新民油田下白垩统泉四段浅水三角洲骨架单砂体空间发育特征[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2019, 39(4): 46-55.
LI Min, CHEN Bo, RUAN Jinfeng, et al. Spatial distribution patterns of single framework sand bodies of a shallow-water delta in the Cretaceous Quan-tou Formation of Xinmin Oilfield, Songliao Basin[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2019, 39(4): 46-55.
- [25] 李丙喜, 王秀娟, 马俊胜, 等. 成岩相在低渗透砂岩储层评价中的应用[J]. *特种油气藏*, 2013, 20(6): 30-34, 142.
LI Bingxi, WANG Xiujuan, MA Junsheng, et al. Application of diagenetic facies in assessment of low permeability sandstone reservoir[J]. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 2013, 20(6): 30-34, 142.
- [26] 徐文, 刘龙龙, 李小锋. 鄂尔多斯盆地环江油田虎二区块储层地质知识库的构建及应用[J]. *北京师范大学学报: 自然科学版*, 2018, 54(4): 510-516.
XU Wen, LIU Longlong, LI Xiaofeng. Construction and application of geological knowledge database for Hu2 Block of Huanjiang Oilfield, Ordos Basin[J]. *Journal of Beijing Normal University: Natural Science*, 2018, 54(4): 510-516.
- [27] 严锐涛, 徐怀民, 严锐锋, 等. 鄂尔多斯盆地环江油田延长组长8段致密储层特征及主控因素分析[J]. *中国海洋大学学报: 自然科学版*, 2016, 46(8): 96-103.
YAN Ruitao, XU Huaimin, YAN Ruifeng, et al. Characteristics of tight reservoir and its controlling factors of Chang8 Member in Yanchang Formation in Huanjiang Oilfield, Ordos Basin[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2016, 46(8): 96-103.
- [28] 马兵, 宋汉华, 牛鑫, 等. 环江油田抗高矿化度压裂液体系研究[J]. *石油化工应用*, 2011, 30(6): 14-18.
MA Bing, SONG Hanhua, NIU Xin, et al. High salinity resistance of fracturing fluid research in Huanjiang oilfield[J]. *Petrochemical Industry Application*, 2011, 30(6): 14-18.
- [29] 宋凯, 吕剑文, 杜金良, 等. 鄂尔多斯盆地中部上三叠统延长组物源方向分析与三角洲沉积体系[J]. *古地理学报*, 2002, 4(3): 59-66.
SONG Kai, LÜ Jianwen, DU Jinliang, et al. Source direction analysis and delta depositional systems of Yanchang Formation of the Upper Triassic in the central Ordos Basin[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2002, 4(3): 59-66.
- [30] 杨华, 刘自亮, 朱筱敏, 等. 鄂尔多斯盆地西南缘上三叠统延长组物源与沉积体系特征[J]. *地质学前沿*, 2013, 20(2): 10-18.
YANG Hua, LIU Ziliang, ZHU Xiaomin, et al. Provenance and depositional systems of the Upper Triassic Yanchang Formation in the southwestern Ordos Basin, China[J]. *Earth Science Frontiers*, 2013, 20(2): 10-18.
- [31] 杨斌虎, 白海强, 戴亚权, 等. 鄂尔多斯盆地庆阳地区晚三叠世延长期8沉积期物源与沉积体系研究[J]. *古地理学报*, 2008, 10(3): 251-259.
YANG Binghu, BAI Haiqiang, DAI Yaquan, et al. Provenance and depositional systems during the depositional period of interval 8 of Upper Triassic Yanchang Formation in Qingyang area, Ordos Basin[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2008, 10(3): 251-259.
- [32] 王成玉, 淡卫东, 方艳兵, 等. 鄂尔多斯盆地长8油层组浅水三角洲沉积特征及其地质意义[J]. *石油天然气学报*, 2013, 35(3): 12-15.
WANG Chengyu, DAN Weidong, FANG Yanbing, et al. The features and geological significance of shallow water delta of Chang8 Formation in Ordos Basin[J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2013, 35(3): 12-15.
- [33] 赵小强, 万友利, 易超, 等. 鄂尔多斯盆地姬塬油田长8段沉积相研究[J]. *岩性油气藏*, 2011, 23(4): 94-99.
ZHAO Xiaoqiang, WAN Youli, YI Chao, et al. Study on sedimentary facies of Chang8 member in Jiyuan Oilfield, Ordos Basin[J]. *Lithologic Reservoirs*, 2011, 23(4): 94-99.
- [34] 侯明才, 李旭, 邓敏. 鄂尔多斯盆地环县地区三叠系长8-长6油层组沉积相特征[J]. *成都理工大学学报: 自然科学版*, 2011, 38(3): 241-248.
HOU Mingcai, LI Xu, DENG Min. Study on the sedimentary environment of Chang8-6 oil-bearing formations of Yanchang Formation in Huanxian area, Ordos Basin[J]. *Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition*, 2011, 38(3): 241-248.
- [35] MIALL A D. Architectural-elements analysis: A new method of facies analysis applied to fluvial deposits[J]. *Earth-Science Reviews*, 1985, 22(4): 261-308.

- [36] MIALL A D. Architectural elements and bounding surfaces in fluvial deposits: Anatomy of the Kayenta Formation (Lower Jurassic), Southwest Colorado [J]. *Sedimentary Geology*, 1988, 55 (3/4): 233-262.
- [37] 徐波, 廖保方, 冯晗, 等. 南堡1-1区东一段浅水三角洲水下分流河道单砂体叠置关系[J]. *大庆石油地质与开发*, 2019, 38 (1): 51-59.
XU Bo, LIAO Baofang, FENG Han, et al. Superimposition relationships of the individual sandbody in the shallow-water-delta underwater distributary channel of Member Ed₁ in Block Nanpu1-1 [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2019, 38(1): 51-59.
- [38] 杨少春, 王燕, 钟思瑛, 等. 海安南地区泰一段储层构型对剩余油分布的影响[J]. *中南大学学报: 自然科学版*, 2013, 44(10): 4 161-4 166.
YANG Shaochun, WANG Yan, ZHONG Siying, et al. Reservoir architecture in Member1 of Taizhou Formation of southern Hai'an area effects on remaining oil distribution [J]. *Journal of Central South University: Science and Technology*, 2013, 44(10): 4 161-4 166.
- [39] 王美霞, 郭艳琴, 郭彬程, 等. 鄂尔多斯盆地靖安油田杨66区延101油层组砂体连通性评价[J]. *西安石油大学学报: 自然科学版*, 2021, 36(2): 1-8.
WANG Meixia, GUO Yanqin, GUO Bincheng, et al. Evaluation of sandbody connectivity of Yan101 reservoir group in Yang66 area of Jing'an Oilfield, Ordos Basin [J]. *Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition*, 2021, 36(2): 1-8.
- [40] 娄瑞, 刘宗堡, 张云峰, 等. 齐家地区高Ⅲ、高Ⅳ组砂岩输导层静态连通评价[J]. *断块油气田*, 2019, 26(3): 285-289.
LOU Rui, LIU Zongbao, ZHANG Yunfeng, et al. Static connectivity evaluation of sandstone carrier bed in GⅢ-GⅣ groups in Qijia area [J]. *Fault-Block Oil and Gas Field*, 2019, 26(3): 285-289.
- [41] 张毅, 孙东升, 薛丹. 曲流河道砂体三维构型建模[J]. *断块油气田*, 2019, 26(4): 470-474.
ZHANG Yi, SUN Dongsheng, XUE Dan. 3D architecture modeling of meandering river sand body [J]. *Fault-Block Oil and Gas Field*, 2019, 26(4): 470-474.
- [42] 齐荣, 李良, 秦雪霏. 鄂尔多斯盆地北缘近源砂砾质辫状河砂体构型与含气性[J]. *石油实验地质*, 2019, 41(5): 682-690.
QI Rong, LI Liang, QIN Xuefei. Sand body configuration and gas-bearing properties of near source sand-gravel braided river on the northern margin of Ordos Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2019, 41(5): 682-690.
- [43] 苏亚拉图, 李千, 张波, 等. 砂质辫状河砂体构型及剩余油分布模式[J]. *特种油气藏*, 2020, 27(4): 10-18.
SUYA Latu, LI Qian, ZHANG Bo, et al. Sandy braided river sandbody configuration and remaining oil distribution pattern [J]. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 2020, 27(4): 10-18.
- [44] 宋明水. 渤海海域埕岛东坡东营组砂体成因及油气富集特征[J]. *中国石油勘探*, 2020, 25(4): 31-42.
SONG Mingshui. Sand body genesis and hydrocarbon accumulation characteristics of Dongying Formation in the east slope of Chengdao area, Bohai Sea [J]. *China Petroleum Exploration*, 2020, 25(4): 31-42.

编辑 何青芳