



DOI:10.12404/j.issn.1671-1815.2308716

引用格式: 乔雨朋, 邱隆伟, 宋璠, 等. 沾化凹陷孤东油田六区馆上段古河流沉积演化规律[J]. 科学技术与工程, 2025, 25(3): 1008-1017.

Qiao Yupeng, Qiu Longwei, Song Fan, et al. Sedimentary evolution of paleofluvial sandbodies of Upper Guantao Formation in Guandong Oilfield, Zhanhua Sag[J]. Science Technology and Engineering, 2025, 25(3): 1008-1017.

沾化凹陷孤东油田六区馆上段古河流 沉积演化规律

乔雨朋¹, 邱隆伟², 宋璠², 李存磊¹, 赵然磊¹, 岳庆友¹

(1. 辽宁石油化工大学石油天然气工程学院, 抚顺 113001;

2. 中国石油大学(华东)地球科学与技术学院, 青岛 266580)

摘要 为探明开发后期油田的砂体的规模与连通关系,亟需开展孤东油田馆上段发育河流相砂体特征与规模精细表征。基于岩心、测井、地震等相标志综合分析,在密井网的控制下,确定了辫状河、曲流河的沉积特征及其砂体的规模。结果表明,孤东油田馆上段经历了辫状河-曲流河的沉积演化过程,馆上段下部主要发育辫状河储层,发育心滩、辫状河道、溢岸砂微相,馆上段上部发育曲流河储层,发育点坝、废弃河道、决口扇、泛溢平原等微相类型。通过岩-电标定分析,确定了辫状河、曲流河的测井响应特征与砂体发育规律,辫状河河道砂体多期切割叠置,横向上连片分布多分叉,曲流河河道砂体孤立发育,横向上呈条带状发育。在密井网的控制下,定量确定了辫状河、曲流河的砂体发育规模,建立了不同河流类型的砂体厚度与横向宽度的关系,对判识砂体连通及三维地质建模具有重要的指导意义。

关键词 河流相; 砂体特征; 沉积演化; 馆上段; 孤东油田

中图法分类号 TE122.2;

文献标志码 A

Sedimentary Evolution of Paleofluvial Sandbodies of Upper Guantao Formation in Guandong Oilfield, Zhanhua Sag

QIAO Yu-peng¹, QIU Long-wei², SONG Fan², LI Cun-lei¹, ZHAO Ran-lei¹, YUE Qing-you¹

(1. College of Petroleum & Gas Engineering, Liaoning Petrochemical University, Fushun 113001, China;

2. School of Geoscience, China University of Petroleum, Qingdao 266580, China)

[Abstract] In order to comprehend the scale and connectivity of sandbodies in late oilfield development, it is imperative to conduct a detailed characterization of fluvial sandbodies in the upper Guantao Formation of Gudong oilfield. Through comprehensive analysis of core, well logging, and seismic data, the sedimentary characteristics of braided river and meandering river were determined under the control of dense well array. The results indicate that the upper Guantao Formation has undergone a sedimentary evolution process from braided river to meandering river. The lower Guantao Formation exhibits braided fluvial reservoir with braid bar, braid channel, and overbank sand microfacies, while the upper Guantao Formation features meandering fluvial reservoir with microfacies types such as point bar, abandoned channel, crevasse splay, and floodplain. By conducting core-log calibration analysis, the logging response characteristics and sandbody development laws of braided and meandering rivers were determined. The channel sandbody of a braided river is cut and overlapped in multiple stages while being distributed across multiple branches on a plane. On the other hand, the meandering fluvial channel sandbody develops in isolation but forms strips on a plane. Under the control of dense well array, we have quantitatively determined the scale of sandbody development for both braided and meandering rivers. Additionally, the relationship between sandbody thickness and width for different river types were established which holds significant guiding significance for identifying sandbody connectivity and 3D geological modeling.

[Keywords] fluvial facies; sandbody characteristic; sedimentary evolution; upper Guantao Formation; Gudong Oilfield

随着河流沉积学的不断发展,诸多河流相露头
与现代河流沉积考察的研究表明,河流的类型不是

孤立发育的,往往是多种类型河流互相转化发
育^[1-3]。随着河流类型的变化,地质学者开始探究

收稿日期: 2023-11-07 修订日期: 2024-06-24

基金项目: 辽宁省自然科学基金(博士科研启动项目)(2024-BS-224);辽宁省教育厅青年项目(LJKQZ20222320);辽宁省教育厅基本科研项目(JYTMS20231457);辽宁石油化工大学博士科研启动基金(2021XJLL-028)

第一作者: 乔雨朋(1990—),男,汉族,吉林榆树人,博士,讲师。研究方向:油藏描述,沉积学。E-mail:qiaoyupeng@126.com。

投稿网址:www.stae.com.cn

其砂体演化特征以及河型演化的控制因素。Arche等^[4]在研究西班牙东部 Iberian 盆地二叠三叠河流相地层构型时,提出了地形坡度对河流样式的控制作用,气候、沉积物供给等因素是辅助因素。谭程鹏等^[5]基于野外露头沉积特征分析,总结了辫状河-曲流河的成因与特征,并分析了4个控制因素对辫状河-曲流河的控制作用,并分析了4个控制因素对辫状河-曲流河的控制作用。马帅等^[6]综合野外露头、测录井资料,确定了渤海湾盆地中-晚二叠世河流相沉积演化特征。韩宗来等^[7]对阜康凹陷东缘头屯河组进行解剖,识别出辫状河、曲流河等相类型,分析了沉积演化控制因素,建立了沉积演化模式。本文中以孤东油田馆上段河流相储层为研究对象,综合岩心、测井、地震资料,分析馆上段古河流沉积特征,通过井震结合,指导砂体对比与砂体叠置关系,通过岩电标定,确定不同微相的测井响应特征,在密井网的控制下定量研究古河流砂体的沉积规模,明确古河流沉积演化规律及古河流构

型参数规模响应,以期开发后期油田砂体连通关系判识与地质建模提供依据。

沾化凹陷孤东油田是胜利油区4大主力整装油田之一,共划分出8个区块,孤东油田六区馆上段发育的河流相储层具有丰富的油气当量,是该油田重点研究的区块^[8-10]。自1987年投入开采之后,经过了30余年的开发,该油田目前已进入特高含水开发后期,面临较为严峻的开发问题^[8]。现综合岩心、测井、地震资料,在密井网的控制下,明确研究区经历的辫状河-曲流河的沉积演化过程,定量刻画砂体特征与发育规模,明确砂体沉积演化规律,为判识砂体连通关系及三维地质建模奠定坚实基础。

1 区域地质概况

孤东油田构造位置处于渤海湾盆地济阳拗陷沾化凹陷的东北部[图1(a)],是胜利油区4大主力整装油田之一,为中生界潜山背景上发育的近南北

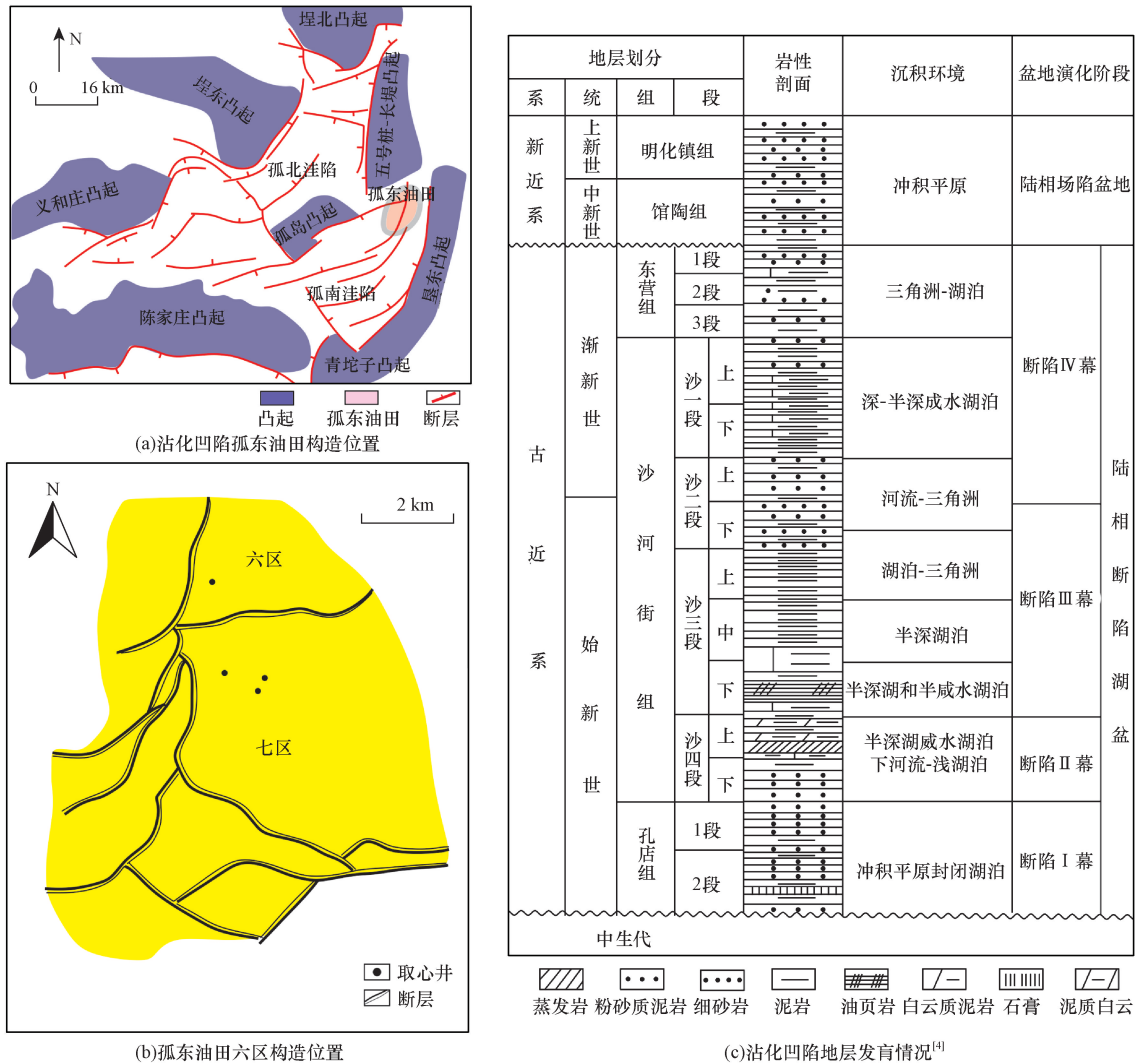


图1 孤东油田区域地质概括
Fig. 1 Regional geological generalization of Gudong oilfield

走向的大型披覆背斜构造整装油田^[10]。孤东油田六区位于孤东油田的东北部[图 1(b)], 该区块南部与七区相邻, 西部与二区相邻, 其东北部以人工海堤为边界, 中新统馆陶组是该构造上最好的油气储层, 是孤东油田的主要产油层系^[9-10]。进入新近系时期, 渤海湾盆地进入整体拗陷的热沉降阶段, 在中新统馆陶组上段, 沉积物披覆沉积于凹陷周缘的低凸起之上, 地形平缓, 广泛发育冲积平原沉积体系[图 1(c)]。

孤东油田六区全区面积约为 8.5 km², 整个区块现有钻井 561 口, 平均井距 95 m, 密井网区平均井距可达 65 m。研究区包括 1 口检查取心井(6-25-J474 井), 同时观察了孤东油田七区(位于孤东六区南部)三口检查取心井(7-26-J286 井、7-29-254 井、7-29-J246 井), 总共对取心井共计 160 m 的密闭岩心进行了详细的观察与描述, 并根据测井曲线进行了岩电标定。研究区具有较好的三维地震资料与丰富、完整的测井资料, 为开展沉积微相的精细研究、砂体沉积演化以及砂体规模的定量表征奠定了坚实的基础。

2 沉积特征分析

2.1 岩相分析

通过对孤东油田馆上段河流相储层密闭取心井的岩心观察共识别出 8 种典型的岩相类型(图 2), 包括 1 种砾岩相类型, 4 种砂岩相类型与 3 种泥岩相类型。

块状层理含砾中砂岩相(Gm): 常见次圆的砾砾、砾石发育冲刷面之上, 砾石直径 0.3 ~ 1.5 cm, 块状堆积, 具有一定的定向性, 解释为河床底部的

滞留沉积^[11-12]。

槽状交错层理中、细砂岩相(St): 常发育在河道底部滞留沉积之上, 槽状交错层理内部发育粉砂质纹层。槽状交错层理多发育在 高能沉积环境中, 解释为水流的下切、迁移、充填的产物^[12-13]。泥质纹层的发育表示研究区处于一个相对远源的位置, 包括辫状河相。

板状交错层理细砂岩相(Sp): 多发育在槽状交错层理之上。板状交错层理多解释为沙丘或砂坝的前积迁移形成的, 是沉积过程中上部水流相对较高的产物^[7, 14]。

平行层理砂岩相(Sh): 常发育在板状交错层理之上, 平行层理主要发育在细砂岩之中。平行层理砂岩相主要发育相对稳定的高能沉积环境之中^[14-15]。

波状层理细、粉砂岩相(Sr): 波状层理多与 Fd 岩相多交互发育, 主要发育在相对低能的沉积环境之中, 主要发育河漫、砂坝顶部、河道顶部的废弃充填沉积^[12, 15]。

变形层理粉砂质泥岩相(Fd): 泥岩中可见变形构造, 多发育在砂体的顶部或者厚层泥岩中的薄层砂体之中, 此种岩相类型多发育在天然堤微相或砂坝顶部^[14], 多指示为河水的冲击作用产生的变形。

水平层理粉砂质泥岩相(Fl): 水平层理, 多薄互发育在粉砂质泥岩、泥岩之中, 解释为泛滥平原沉积^[14-15]。

灰色、杂色、褐色块状层理泥岩相(Fm): 块状层理泥岩相, 主要是发育灰色、杂色、褐色 3 种颜色的岩相类型。灰色多发育在相对湿润的环境, 褐色与杂色则表示环境较为干旱^[14-15]。

代码	岩相	示意图	成因解释	岩相照片
Gm	块状层理砾岩相		河床底部粗碎屑带滞留沉积	
St	槽状交错层理砂岩相		河道高能水流作用下的充填沉积	
Sp	板状交错层理砂岩相		顺流加积或侧向加积的砂坝沉积	
Sh	平行层理砂岩相		高能稳定的顺流沉积	
Sr	波状交错层理砂岩相		单向水流强弱变化下形成	
Fd	变形层理粉砂质泥岩相		河水冲击引起的变形	
Fl	水平层理泥岩相		废弃河道泥质充填沉积或泛滥平原沉积	
Fm	块状层理泥岩相		泛滥平原沉积	

图 2 孤东油田馆上段河流相储层典型岩相类型

Fig. 2 Typical lithofacies of the upper Guantao Formation in the Gudong Oilfield

2.2 地球物理特征

岩心观察可以确定研究层段的岩相与岩相组合类型,通过取心井岩电标定,可以利用测井曲线推测岩性与微相。利用测井与地震结合,指导地层对比与砂体叠置关系。对于开发后期的老油田而言,井距相对较密,因此,充分利用响应良好的测井曲线,基于密井网约束,可以有效约束砂体分布规模。本次研究采用 90° 相位转换的方法,将地震响应的主波瓣与砂层中心对应,可以显著提高利用三维地震资料解释岩性的能力^[3]。

岩心与测井曲线的标定表明,研究区砂泥呈二元结构,共识别出 5 种典型的测井相类型(图 3)。巨厚箱形的测井相类型砂体厚度一般介于 10 ~ 15 m [图 3(a)],多发育在馆上段下部,主要发育槽状交错层理中、细砂岩相与板状交错层理细砂岩相。中厚钟形测井相类型[图 3(b)],砂体厚度多介于 8 ~ 10 m,底部发育 5 ~ 15 cm 的砾石与泥砾沉积,向上发育槽状交错层理砂岩相,顶部多发育一些波状交错砂岩相或变形层理粉砂质泥岩相。中厚箱形、钟形测井相类型[图 3(c)],砂体厚度多介于 5 ~ 10 m,主要发育槽状交错层理砂岩相与板状交错层理砂岩相,内部发育厚度 5 ~ 10 cm 左右的泥岩夹层,微电极测井 (microresistivity logging, ML) 曲线呈赤化的形态特点。顶部突变形测井相类型指的是测井曲线向上突变为泥岩或粉砂岩的

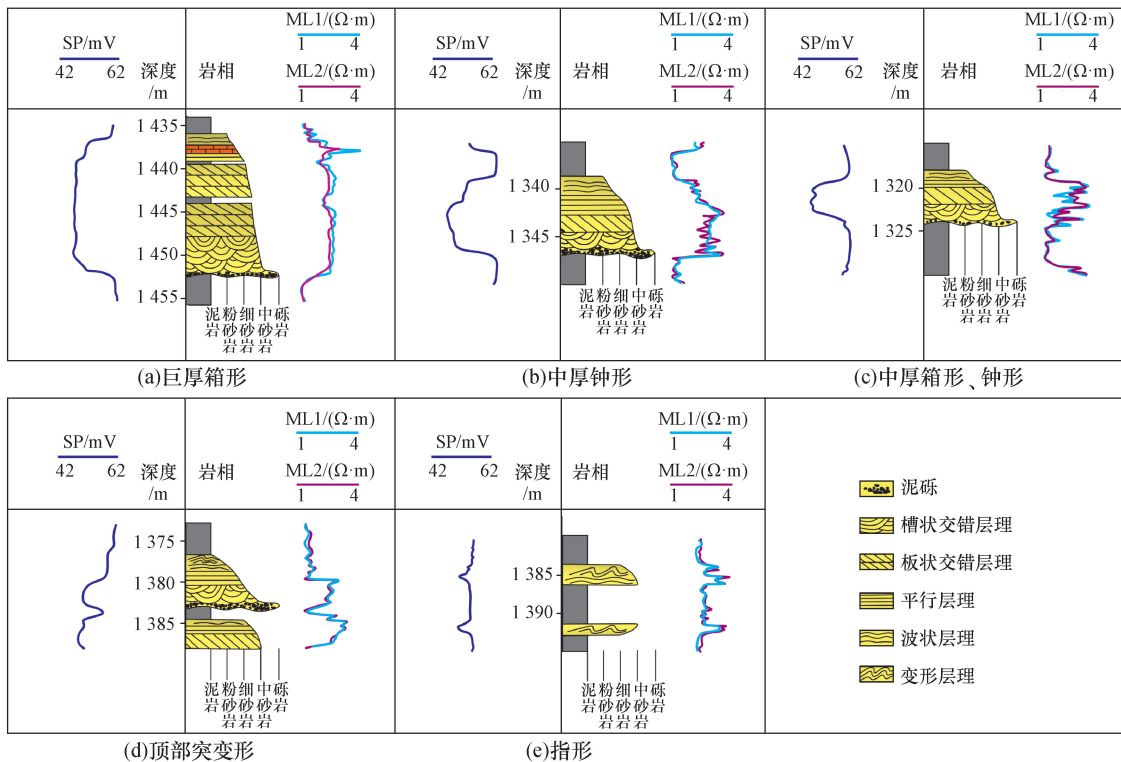
测井响应特征[图 3(d)],岩心上表现为河底滞留沉积之上发育细粒泥质沉积。指形测井曲线类型多为厚层泥岩中发育的薄层砂岩,测井曲线上表现为指形的特点[图 3(e)]。将地震数据体 90° 相位转换以后,利用井震结合进行了连井砂体剖面绘制(图 4),馆上段下部砂体横向连片分布,地震轴连续性较好;馆上段上部砂体横向连续性较差,地震轴呈透镜状或蝌蚪状的反射特点。综合岩心、测井与地震资料认为馆上段下部发育辫状河,馆上段上部发育曲流河。

2.3 沉积相与典型沉积微相特征

基于孤东六区馆上段河流相储层岩心、测井以及地震等相关标志的研究,结合砂体平面的展布规律,认为研究层段经历了辫状河到曲流河的沉积演化过程(图 4),主要发育辫状河与曲流河两种沉积相类型(图 5)。在小层精细划分的基础上,小层内砂体平面分布特征很大程度能够反映砂体的规模大小、几何形态^[16],同时结合平剖互动对比以及现代河流的地貌形态^[17],编制了辫状河与曲流河的沉积微相平面图(图 5)。

2.3.1 辫状河相

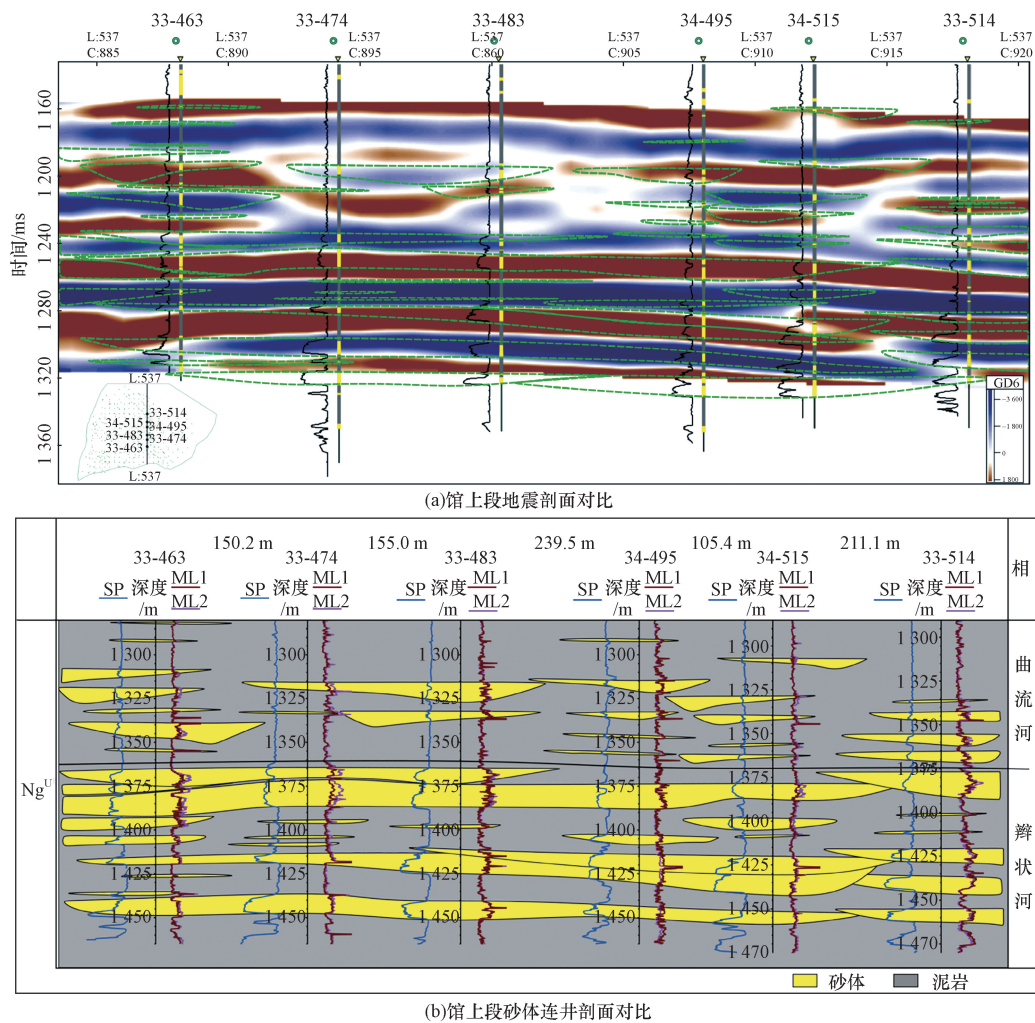
辫状河多发育在冲积扇下游,一般河道宽而浅,内部发育心滩是其典型的地貌特征,辫状河道将心滩分开使得多条辫状河道不断分叉、汇合。辫状河根据距离远近可进一步划分出近源辫状河与远源辫



SP 为自然电位; ML 为微电位电阻率

图 3 孤东油田馆上段河流相测井相类型

Fig. 3 Logging characteristics of the upper Guantao Formation in Block 6, Gudong Oilfield



SP 为自然电位; ML 为微电位电阻率
图 4 孤东油田六区馆上段井震结合连井剖面

Fig. 4 Well-seismic profile of upper Guantao Formation in Block 6, Gudong Oilfield

状河^[18-19],研究区辫状河岩性较细,最粗为中砂岩,多为细砂岩,认为研究区发育的辫状河为远源砂质辫状河。就全区砂体平面分布特征,在馆上段下部河道平面上分叉、连片分布,且砂体纵向上多期叠置发育,呈“砂包泥”的叠置特征,一些高能的沉积构造(槽状交错层理、板状交错层理)较为发育,整体呈正粒序的沉积特征(图6)。砂体的平面特征表明,砂体整体上南北向发育,平面呈连片分叉的地貌形态特征[图5(a)]。

心滩微相:岩心底部发育河底滞留沉积,向上主要发育槽状交错层理中砂岩相与板状交错层理细砂岩相(图6),体现了高能的沉积环境。砂体厚度较大,介于10~15 m,测井曲线呈厚箱形的响应特征,砂体内部夹有3~7 cm厚的夹层,夹层产状多为水平,GR与ML呈赤化箱形的特征。

辫状河道微相:岩心底部发育河底滞留沉积,向上发育槽状交错层理细砂岩相,过渡为平行层理细砂岩相与波状攀升层理粉砂岩相(图6),底部高能砂质

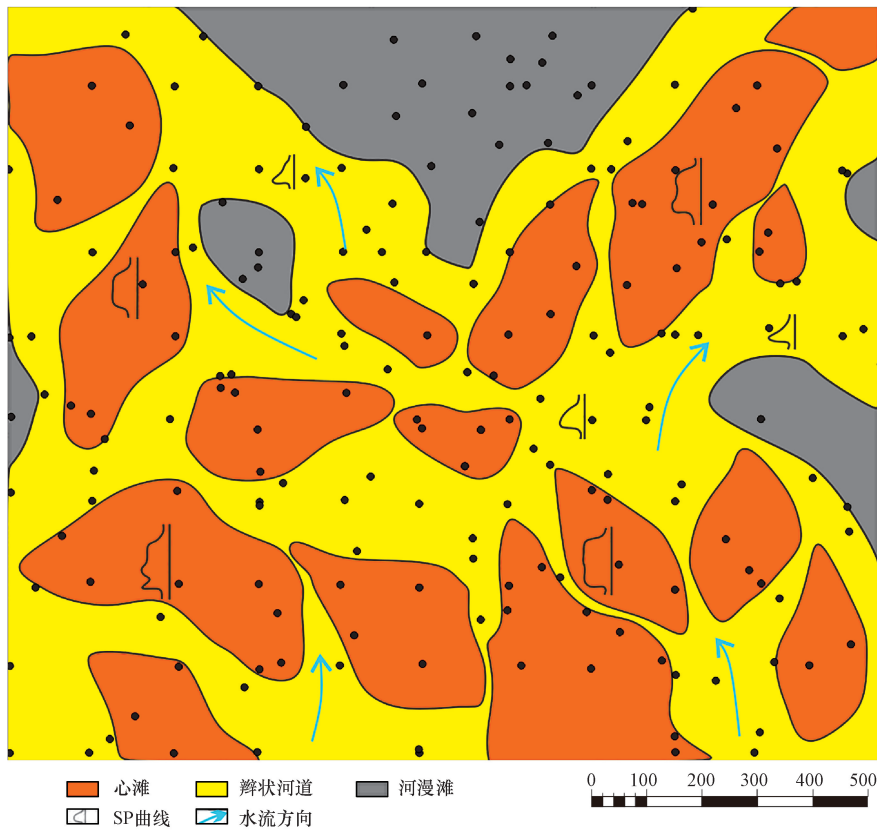
充填,顶部由于水流能量的减弱,逐渐过渡为低能的沉积环境,因此,测井曲线多呈钟形的响应特征。

溢岸砂微相:多发育波状层理细砂岩相、变形层理泥质粉砂岩相,该微相常与河漫滩泥交互沉积,整个相序单元厚度介于0.1~3 m(图6)。

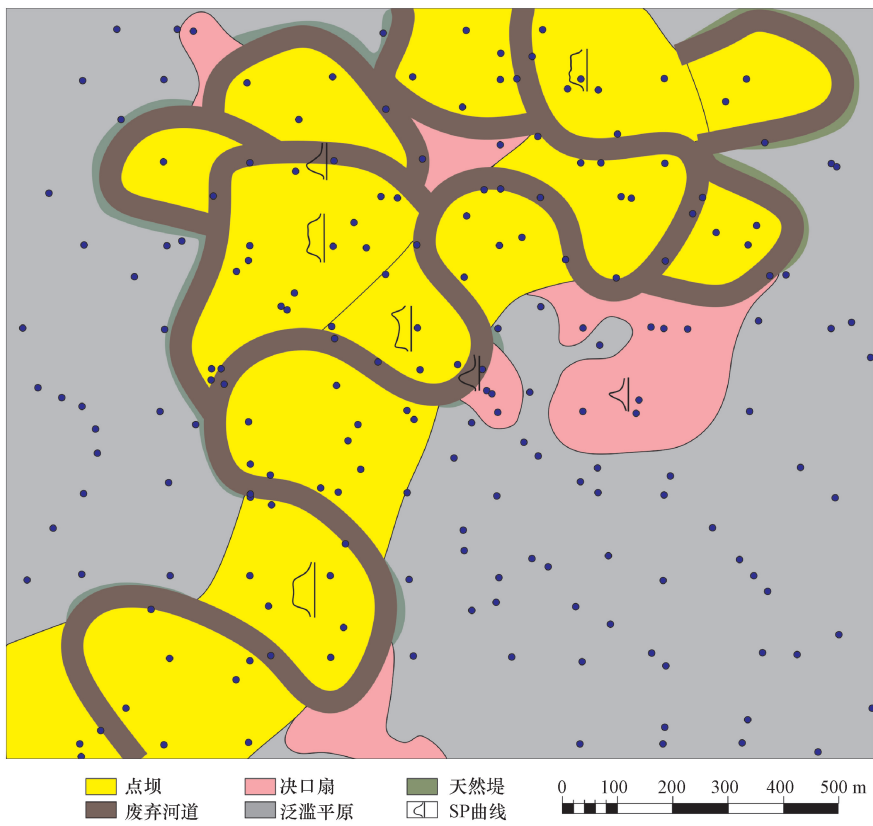
2.3.2 曲流河相

曲流河多发育在辫状河下游,由于受流量、地形等影响,有的曲流河呈窄条带状发育,有的则呈范围较宽的复杂曲流带状发育^[3]。窄条带状多发育中弯度曲流河,河道窄,平面上较为稳定,而复杂曲流带的发育表明河道横向上不断截弯取直,平面上多次改道,此类型河流砂体在纵向也会叠置发育,但其横向连续性较弱(图4)。研究区曲流河平面上砂体呈条带状[图5(b)],纵向上砂体多孤立发育,测井曲线多呈钟形形态,岩心中呈典型的二元结构(图7)。

点坝微相:岩心底部发育少量泥砾,向上主要发育槽状交错层理中砂岩相与板状交错层理细砂岩相,



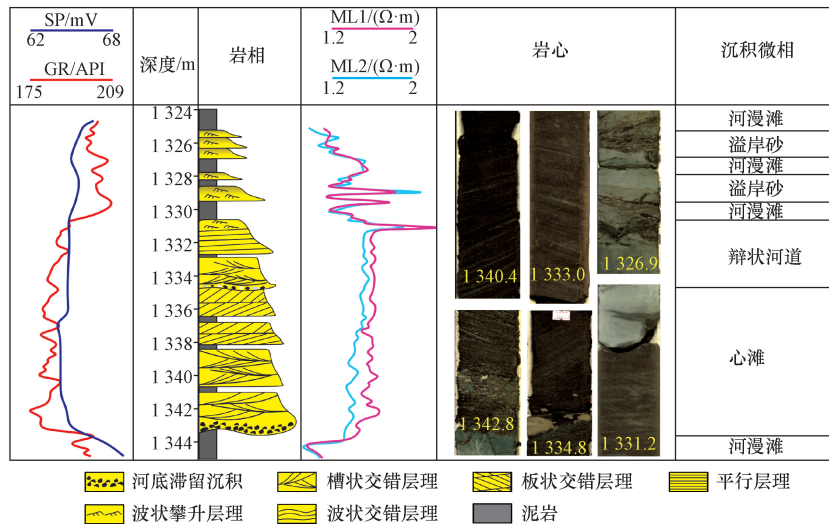
(a)辫状河沉积微相平面分布图



(b)曲流河沉积微相平面分布图

图5 孤东油田六区馆上段河流沉积微相平面分布图

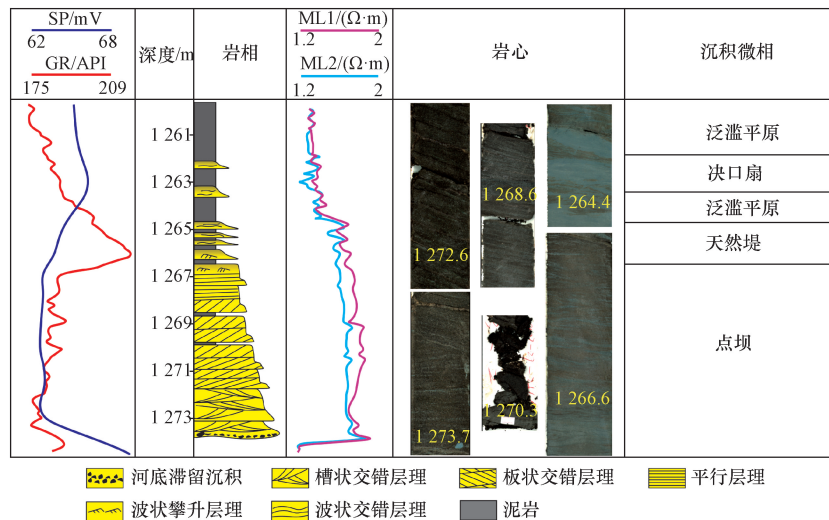
Fig.5 The distribution of fluvial microfacies in upper Guantao Formation of the block 6, Gudong Oilfield



SP 为自然电位;GR 为自然伽玛;ML 为微电位电阻率

图 6 孤东油田馆上段辫状河沉积微相岩电特征

Fig. 6 Lithoelectric characteristics of braided fluvial microfacies in upper Guantao Formation of Gudong Oilfield



SP 为自然电位;GR 为自然伽玛;ML 为微电位电阻率

图 7 孤东油田馆上段曲流河沉积微相岩电特征

Fig. 7 Lithoelectric characteristics of meandering fluvial microfacies in upper Guantao Formation of Gudong Oilfield

顶部发育平行层理细砂岩相与波状攀升层理粉砂岩相。砂体内部发育一定倾角的泥岩夹层,GR 与 ML 表现出赤化箱形或钟形的响应特征(图 7)。

废弃河道微相:岩心中表现砾石之上发育泥质沉积,多为废弃河道的突然废弃导致泥质沉积发育在砾石之上,测井曲线表现为顶部突变的响应特征。当然前人研究表明逐渐废弃的废弃河道^[20],测井曲线表现为赤化钟形的响应特征,两种测井响应特征可为沉积微相平面相的编制提供依据。

天然堤微相:由于受到水位变化的影响以及河道的不断侧向扩张,天然堤在岩心中多表现为砂泥交互沉积的特征,主要发育波状交错层理粉砂岩相与波状攀升层理粉砂岩相(图 7)。

决口扇微相:岩心中发育在厚层泥岩中的薄层砂体,多呈波状交错层理的特征,可能为决口扇的边缘(图 7)。

泛滥平原微相:多为块状层理的灰色泥岩、杂色泥岩、褐色泥岩,测井曲线表现为低幅的响应特征(图 7)。

3 古河流沉积演化规律与构型几何尺寸响应

通过井震结合指导地层对比,基于密井网约束,孤东油田六区馆上段发育的不同河流类型的河道宽、厚能够得以精确表征。对此,统计了孤东油田六区馆上段河流相砂体厚度与宽度的参数(表 1)

表1 孤东油田馆上段河流相砂体构型参数统计
Table 1 Architectural parameters statistics of fluvial facies sandbody in in upper Guantao Formation of the block 6, Gudong Oilfield

序号	曲流河				辫状河	
	高弯度曲流河		中弯度曲流河		辫流带宽/m	砂体厚度/m
	曲流带宽/m	砂体厚度/m	曲流带宽/m	砂体厚度/m		
1	558	8	622	10	728.3	11
2	768	9	336	6	817.6	12
3	545	11	540	10	645.2	11
4	642	9	648	6	616.9	10
5	609	8	675	11	651.2	10
6	650	13	365	5	1 073.9	12
7	960	15	345	7	857.9	8
8	640	11	323	8	1 020.1	11
9	755	11	252	4	762.7	7
10	617	8	202	4	596.6	9
11	590	10	440	6	403.3	5
12	463	10	367	5	531.1	6
13	605	8	430	7	846.2	11
14	703	10	313	5	763.5	9
15	580	7	190	4	687.3	8
16	573	10	250	8	530.6	8
17	706	9	442	7	727.9	8
18	—	—	296	10	529.1	9
19	—	—	153	6	825.8	9
20	—	—	212	12	592.3	8
21	—	—	348	12	971.5	13
22	—	—	175	10	572.1	10
23	—	—	140	7	572.6	8
24	—	—	302	10	627.2	7
25	—	—	430	8	657.1	8

并确立了其河道宽厚关系模型。砂体定量参数关系的建立可以为砂体规模的判定以及储层的连通关系提供重要依据^[21]。现代曲流河地貌研究表明^[22],曲流河在不同河段表现出不同的地貌样式,有的河段表现为中弯度曲流河的条带状发育,有的河道则表现为高弯度的复杂曲流带状发育,在统计过程中,将两种地貌类型的曲流河分开统计。河流相砂体参数表明,曲流河带宽度与厚度之间具有一定的正相关关系(图8),辫流带宽度与厚度正相关关系良好(图9)。

受基准面的升高以及气候的逐渐变暖的影响^[23],孤东油田馆上段经历了由辫状河到曲流河的沉积演化过程(图10)。随着河型的转变,地下储层的砂体的几何尺寸也随之改变,在馆上段下部,发育远源砂质辫状河,在全区连片分布且易分叉,辫状河道砂体厚度大、纵向上多期叠置,辫状河河道宽,砂体厚度大,河道多期叠置,河道宽度介于400~1 100 m,平均约700 m,河道厚度介于5~13 m,平均厚度约9 m。在馆上段上部进入曲流河沉积阶段,不同位置、不同层位河道地貌特征不同,有的河段为中弯度曲流河,有的河段则表现为高弯度曲流河(图10)。中弯度曲流河河道平面呈条带状发育,

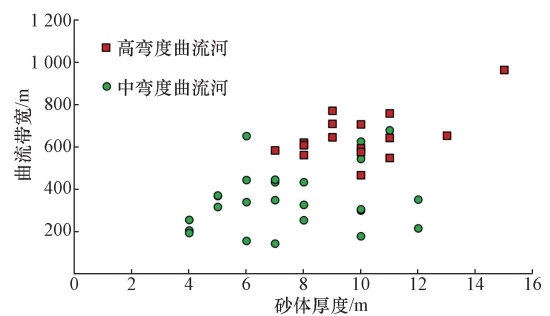


图8 曲流河河道砂体厚度与曲流带宽度的关系
Fig. 8 The relationship between thickness and width of meandering fluvial channel sandbody

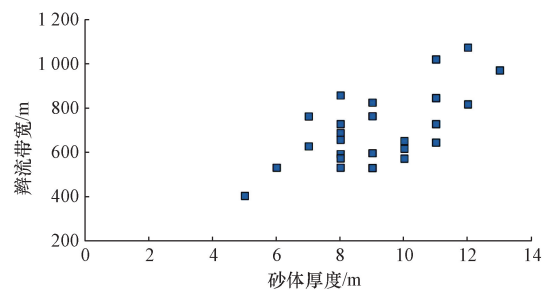


图9 辫状河河道砂体厚度与辫流带宽度的关系
Fig. 9 The relationship between thickness and width of braided fluvial channel sandbody

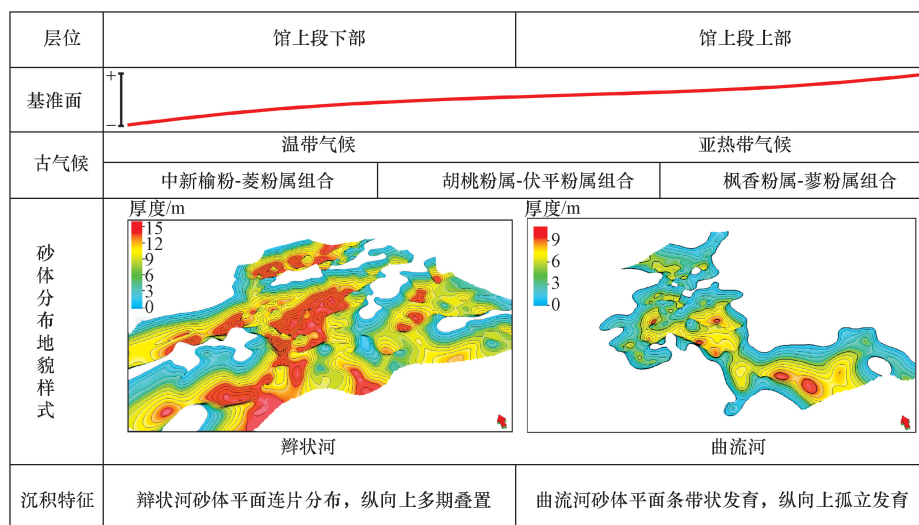


图 10 孤东油田馆上段古河流沉积特征与演化规律

Fig. 10 Sedimentary characteristics and evolution of fluvial facies sand bodies in the upper Member of Guan Formation in Gudong Oilfield

宽度介于 100 ~ 700 m, 平均约 350 m, 河道垂向多孤立发育, 厚度介于 4 ~ 12 m, 平均厚度约 7.5 m; 高弯度曲流河河道宽平面上呈复杂曲流带状发育, 点坝在平面呈鳞片状发育, 曲流带平面上宽度介于 450 ~ 950 m, 平均约 650 m, 河道叠置现象增多, 厚度介于 7 ~ 15 m, 平均厚度约 10 m。

4 结论

(1) 通过岩心、测井与地震资料的研究, 确定了孤东油田馆上段河流相的沉积特征。辫状河砂体厚度大, 横向连续性好, 地震轴呈连续性强反射; 曲流河砂体厚度小, 横向连续性较差, 地震轴呈透镜状或蝌蚪状的反射特点。

(2) 辫状河河道砂体呈多期切叠的特征, 横向上连片分布, 辫流带宽度介于 400 ~ 1 100 m, 平均约 700 m, 河道厚度介于 5 ~ 13 m, 平均厚度约 9 m。

(3) 曲流河沉积阶段, 中弯度曲流河河道平面呈条带状发育, 宽度介于 100 ~ 700 m, 平均约 350 m, 河道垂向多孤立发育, 厚度介于 4 ~ 12 m, 平均厚度约 7.5 m; 高弯度曲流河河道宽平面上呈复杂曲流带状发育, 曲流带平面上宽度介于 450 ~ 950 m, 平均约 650 m, 河道叠置现象增多, 厚度介于 7 ~ 15 m, 平均厚度约 10 m。

参 考 文 献

[1] 唐武, 王英民, 赵志刚, 等. 河型转化研究进展综述[J]. 地质论评, 2016, 62(1): 138-151.
Tang Wu, Wang Yingmin, Zhao Zhigang, et al. A review of fluvial pattern transformation[J]. Geological Review, 2016, 62(1): 138-151.

[2] 张昌民, 朱锐, 赵康, 等. 从端点走向连续: 河流沉积模式研究进展述评[J]. 沉积学报, 2017, 35(5): 926-944.
Zhang Changmin, Zhu Rui, Zhao Kang, et al. From end member to continuum: review of fluvial facies model research[J]. ACTA Sedimentology Sinica, 2017, 35(5): 926-944.

[3] 刘海, 林承焰, 张宪国, 等. 黄骅拗陷孔店地区馆陶组地震沉积特征及沉积演化模式[J]. 中国矿业大学学报, 2018, 47(3): 549-561.
Liu Hai, Lin Chengyan, Zhang Xianguo, et al. Seismic sedimentary characteristics and evolution model of the Guantao Formation, Kongdian area, Huanghua depression[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2018, 47(3): 549-561.

[4] Arche A, Gomez J L. Sudden changes in fluvial style across the Permian-Triassic boundary in the eastern Iberian Ranges, Spain: analysis of possible causes[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2005, 229: 104-126.

[5] 谭程鹏, 于兴河, 李胜利, 等. 辫状河-曲流河转换模式探讨——以准噶尔盆地南缘头屯河组露头为例[J]. 沉积学报, 2014, 32(3): 450-458.
Tan Chengpeng, Yu Xinghe, Li Shengli, et al. Discussion on the model of braided river transform to meandering river: as an example of Toutunhe formation in southern Junggar Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2014, 32(3): 450-458.

[6] 马帅, 王永诗, 蒲秀刚, 等. 渤海湾盆地中-晚二叠世河流相沉积演化特征及砂体展布规律[J]. 油气地质与采收率, 2021, 28(4): 1-11.
Ma Shuai, Wang Yongshi, Pu Xiugang, et al. Sedimentary evolution and sandstone distribution of middle-late Permian fluvial facies in Bohai Bay Basin[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2021, 28(4): 1-11.

[7] 韩宗来, 德勒恰提·加娜塔依, 姚宗全, 等. 辫状河转曲流河沉积特征分析——以阜康凹陷东缘头屯河组为例[J]. 断块油气田, 2023, 30(3): 434-440.
Han Zonglai, Dlanatayl Delegiati, Yao Zongquan, et al. Analysis of sedimentary characteristics of braided river to meandering river: tak-

- ing Toutunhe formation on the eastern margin of Fukang Sag as an example [J]. *Fault-Block Oil & Gas Field*, 2023, 30(3): 434-440.
- [8] 陈德坡, 刘焕成, 陈姝宁. 孤东油田七区西馆五段曲流河点坝内部构型[J]. *新疆石油地质*, 2019, 40(2): 188-193.
Chen Depo, Liu Huancheng, Chen Shuning. Internal configuration of meandering river point bar in the fifth member of Guantao Formation in the Western district 7, Gudong Oilfield[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2019, 40(2): 188-193.
- [9] Jiu K, Ding W L, Huang W H, et al. Fracture of lacustrine shale reservoirs, the Zhanhua Depression in the Bohai Bay Basin, eastern China[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2013(48): 113-123.
- [10] 方旭庆. 胜利油区新近系整装油田翼部的油气分布规律——以孤东油田为例[J]. *油气地质与采收率*, 2006, 13(4): 45-47.
Fang Xuqing. Distribution characteristics of oil and gas at the wings of Neogene integral oilfields in Shengli petroliferous Province; taking Gudong Oilfield as an example[J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2006, 13(4): 45-47.
- [11] Carson M A. Characteristics of high-energy "meandering" rivers: the Canterbury Plains, New Zealand[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1986, 97: 886-895.
- [12] Hornung J, Aigner T. Reservoir and aquifer characterization of fluvial architectural elements: Stubensandstein, Upper Triassic, Southwest Germany[J]. *Sedimentary Geology*, 1999, 129: 215-280.
- [13] Donselaar M, Overeem I. Connectivity of fluvial point-bar deposits: an example from the Miocene Huesca fluvial fan, Ebro Basin, Spain[J]. *AAPG*, 2008, 92(9): 1109-1129.
- [14] Ghazi S, Mountney N. Facies and architectural element analysis of a meandering fluvial succession: the permian warchha sandstone, salt range, Pakistan [J]. *Sedimentary Geology*, 2009, 221: 99-126.
- [15] Mahgoub M I, Padmanabhan E, Abdullatif O M. Sedimentological reservoir characteristics of the Paleocene fluvial/lacustrine Yabus Sandstone, Melut Basin, Sudan[J]. *Journal of African Earth Sciences*, 2016, 123: 75-88.
- [16] 于兴河. 油田开发中后期储层面临的问题与基于沉积成因的地质表征方法[J]. *地学前缘*, 2012, 19(2): 1-14.
Yu Xinghe. Existing problems and sedimentogenesis-based methods of reservoir characterization during the middle and later periods of oilfield development[J]. *Earth Science Frontiers*, 2012, 19(2): 1-14.
- [17] 单敬福, 张吉, 赵忠军, 等. 地下曲流河点坝砂体沉积演化过程分析——以吉林油田杨大城子油层第 23 小层为例[J]. *石油学报*, 2015, 36(7): 809-819.
Shan Jingfu, Zhang Ji, Zhao Zhongjun, et al. Analysis of sedimentary and evolution process for underground meandering river point bar: a case study from No. 23 thin layer of Yangdachengzi oil reservoir in Jilin oilfield[J]. *Acta Petrolei Sincia*, 2015, 36(7): 809-819.
- [18] 乔雨朋, 邵先杰, 接敬涛, 等. 远源砂质辫状河储层构型及控制因素——以秦皇岛 32-6 油田为例[J]. *油气地质与采收率*, 2016, 23(1): 46-52.
Qiao Yupeng, Shao Xianjie, Jie Jingtao, et al. Architecture analysis and controlling factor on far source sandy braided river reservoir: a case study of Qinhuangdao32-6 oilfield[J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2016, 23(1): 46-52.
- [19] 国景星, 李钧, 王泽, 等. 孤岛油田南区馆上段辫状河储层构型表征[J]. *科学技术与工程*, 2023, 23(19): 8148-8161.
Guo Jingxing, Li Jun, Wang Ze, et al. Characterization of braided river reservoir architecture in Upper Guantao Formation of the southern district of Gudao Oilfield[J]. *Science Technology and Engineering*, 2023, 23(19): 8148-8161.
- [20] 李胜利, 于兴河, 姜涛, 等. 河流辫-曲转换特点与废弃河道模式[J]. *沉积学报*, 2017, 35(1): 1-9.
Li Shengli, Yu Xinghe, Jiang Tao, et al. Meander-braided transition and abandoned channel patterns in fluvial environment[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2017, 35(1): 1-9.
- [21] 袁静, 周涛, 王学军, 等. 区分河型的河道砂体几何参数定量表征方法及其应用[J]. *中国石油大学学报(自然科学版)*, 2021, 45(3): 1-11.
Yuan Jing, Zhou Tao, Wang Xuejun, et al. Method of quantitative characterization with different river patterns of geometric parameters of channel sand bodies and its application[J]. *Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science)*, 2021, 45(3): 1-11.
- [22] 易志凤, 张尚锋, 王雅宁, 等. 差异曲率下的曲流河点坝砂体定量表征——以黄河源区白河现代沉积为例[J]. *岩性油气藏*, 2022, 34(1): 34-42.
Yi Zhifeng, Zhang Shangfeng, Wang Yaning, et al. Quantitative characterization of point bar sand bodies in meandering river under different curvatures: a case study of modern deposition of Baihe river in the source area of Yellow River[J]. *Lithologic Reservoirs*, 2022, 34(1): 34-42.
- [23] 李经荣, 向维达, 范乃敏. 山东垦利孤东地区上第三系馆陶组生物群[J]. *石油勘探与开发*, 1990(4): 30-39.
Li Jingrong, Xiang Weida, Fan Naimin. Neogene Biota of Guantao Formation in the Gudong District, Kenli, Shandong[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 1990(4): 30-39.