

# 曲流河储层展布特征

## ——以渤海 P 油田为例

李廷礼, 韩建斌, 梁世豪, 孟云涛, 吴 瑞

(中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津 300450)

**摘 要:**针对研究区曲流河储层横向变化快, 井少难以控制横向展布的问题, 充分应用地震属性对曲流河河道的约束能力, 在沉积模式指导下, 应用井-震结合研究该区储层展布规律。通过井与平面地震属性结合研究河道的展布方向及规律, 利用连井剖面与地震属性剖面结合认识河道边界, 进而掌握了曲流河河道在平面展布和纵向上叠合规律, 明确了该区主力储层的发育特征, 有效解决了井少条件下难以控制储层横向变化的问题, 研究成果有效支撑了该区的开发井部署。

**关键词:**摆动型曲流河; 沉积模式; 井-震结合; 储层展布; 渤海湾盆地

**中图分类号:** P736; TE121

**文献标识码:** A

**DOI:** 10.16028/j.1009-2722.2018.12005

## 1 研究区概况

渤海中南部海域的 PL 油田群在构造上位于渤南凸起中段东北端, 是发育在郯庐断裂带上的大型断背斜构造, 已钻井证实油气资源丰富。其中 P 油田为该断背斜构造西侧翼部的断块油田(图 1), 地层西南倾向, 地势东高西低, 钻井揭示的含油层位为新近系明化镇组下段(以下简称明下段)和馆陶组, 本次研究的目层为明下段, 共划分为 4 个油组(L10、L20、L30、L40)(图 2), 主力油组为 L20—L40。

基于区域沉积成果认识<sup>[1]</sup>, 结合研究区钻井、取心等资料综合认为研究区明下段为曲流河沉积, 河道深度为 5.5~9.0 m, 河道规模为 150.0~300.0 m, 具有河道摆动频繁、储层横向变化快的

特征(图 2)。目前 P 油田处于开发早期阶段, 油田范围内共有评价井和开发井 10 口, 平均井距大于 1.0 km, 在目前井少、井距大的现状下, 很难控制该种类型曲流河储层发育规律, 因此限制了该油田进一步有效的开发。针对上述问题, 笔者充分利用地震属性对曲流河河道的约束能力, 在露头模式指导下, 应用井-震结合开展该区储层展布特征研究, 进而明确了主力储层的发育规律, 基于本次研究成果针对研究区采取部署多井型的开发模式, 进而有效地推动 P 油田的进一步认识与开发。

## 2 储层展布规律研究

### 2.1 曲流河沉积规模确定

基于现代沉积调研, 可以清楚地认识到河流的发育特征控制了河道砂的沉积规律与规模。因此在开发早期阶段井距较大的情况下, 曲流河河道沉积规模的预测是储层展布规律认识的一个关键因素。其实国内外地质学家基于现代沉积、露头研究针对河道规模预测做了大量工作, 形成了

收稿日期: 2018-06-14

基金项目: 国家科技重大专项“渤海油田加密调整剂提高采收率油藏工程技术示范”(2016ZX05058001)

作者简介: 李廷礼(1978—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事油气田开发综合研究工作。E-mail: litl@cnooc.com.cn

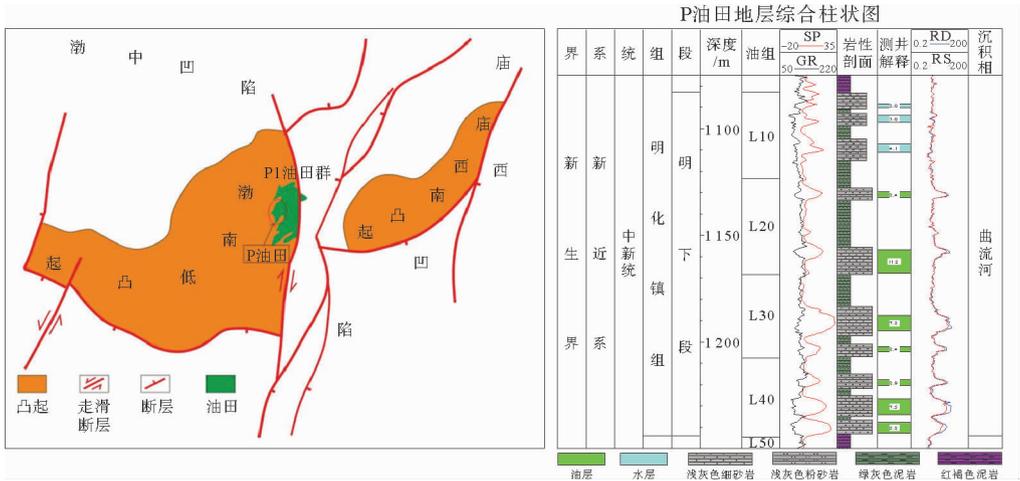


图1 P油田构造位置与地层综合柱状图

Fig.1 Tectonic background of P Oilfield and the integrated stratigraphic column

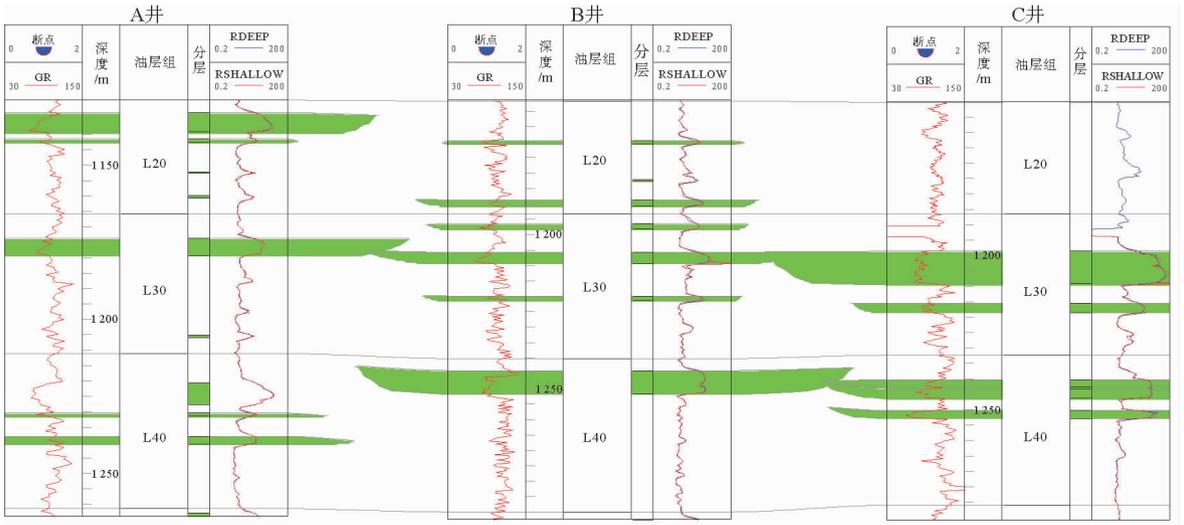


图2 A—C井连井剖面

Fig.2 Well correlation of A, B, C

很多研究成果<sup>[2-7]</sup>。本文充分借鉴前人研究成果,认为河道满岸深度控制了沙丘的厚度,沙丘的厚度又受限于层系组的厚度。同时基于现代沉积统计,又知河流的满岸深度与河道的宽度的存在统计关系。

基于以上认识,结合区域沉积认识及研究区目的层段取心资料开展研究区曲流河沉积规模的预测。首先,据测井相统计可知研究区井上河道砂体厚度在4.0~8.0 m,基于P6井目的层段取心资料(图3)测量15组层系组厚度值,分布在0.15~0.34 m(测量值较多,且基于标准偏差与

平均值分析认为数据具有代表性)范围内;其次将测得的层系组厚度S值带入式(1)<sup>[6]</sup>,求取沙丘高度H,将H带入式(2)<sup>[6]</sup>,求得河道满岸深度d,在5.5~9.0 m之间;最后基于满岸深度与宽度统计关系式(3)<sup>[7]</sup>,预测河流的满岸宽度W,其规模在150.0~300.0 m范围内。

$$\beta = S / 1.8H \tag{1}$$

$$d = 8.0 \times H \tag{2}$$

$$W = 8.88 \times H^{1.82} \tag{3}$$

式中: $\beta$ 为参数,值为5.3;

H为平均沙丘厚度,m;

$S$  为层系组厚度,  $m$ ;  
 $d$  为河道满岸深度,  $m$ ;  
 $W$  为河道满岸宽度,  $m$ 。

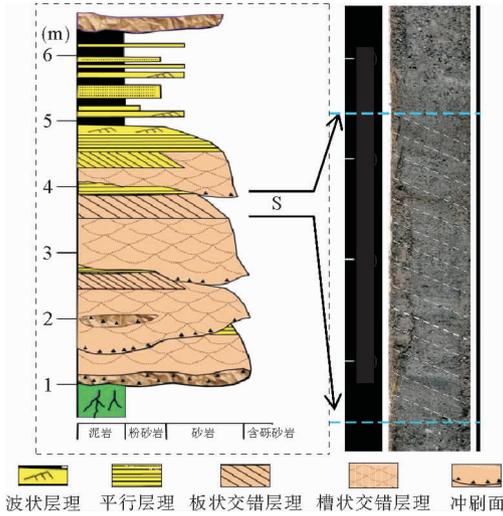


图 3 P6 井明下段岩心剖面

Fig. 3 Lithology of the Lower Minghuazhen Formation from Well P6

通过沉积露头规模对上述研究区曲流河规模的定量研究成果进行约束。首先对国内研究较为成熟的曲流河露头进行筛选,最终选取河道砂体规模相近的陕西省耀县柳林镇中三叠统二马营组顶部曲流河河道砂体露头作为参照<sup>[8]</sup>,该露头由 2 个河道单元复合而成(图 4)。河道单元 I 宽度 120.0 m,厚度 6.0 m,其内部由 6 期侧积体构成的中砂岩储层,侧积体内层系组厚度在 0.15~0.26 m,平均值为 0.21 m;河道单元 II 宽度 260.0 m,厚度 8.0 m,其内部由 7 期侧积体构成的中砂岩储层,侧积体内层厚度在 0.19~0.32 m,平均值为 0.26 m。

虽然 2 个河道单元相似,但是内部层理类型及规模存在变化,反映了河流能量变化的沉积特点<sup>[8]</sup>。通过上述河道复合体内部构成分析,不仅看出该河道复合体是由 2 个河道单元组成的,而且可以看出这 2 个河道单元形成的沉积条件存在差异。河道单元 I 河流作用强且稳定,河道宽度与深度稳定;而河道单元 II 河流作用强度相对较弱,但变化较大,河道侧向迁移直接影响了河道宽度,使河道宽度较河道单元 I 沉积时期变宽。

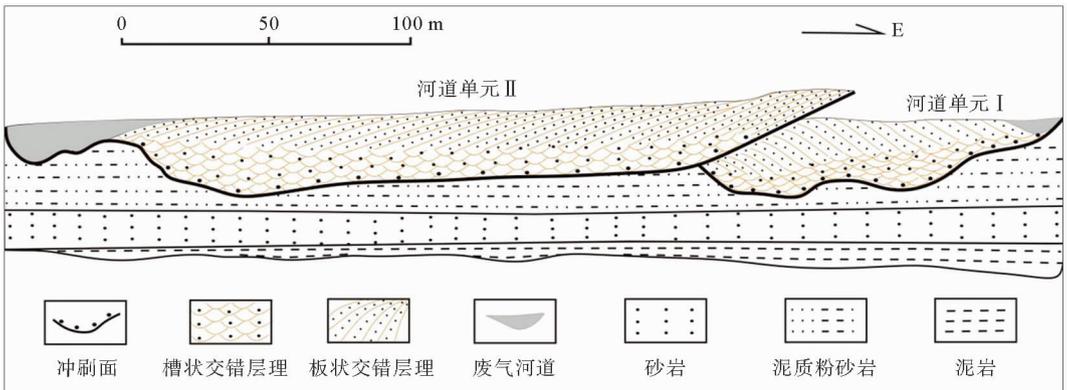


图 4 陕西省耀县柳林镇中三叠统二马营组曲流河露头写实图(据文献<sup>[8]</sup>)

Fig. 4 A sketch of meandering river deposits, Ermaying Formation, Middle Triassic from Liulin Town, Yao County, Shaanxi Province (from reference [8])

基于露头综合分析,得到 2 点认识:①基于理论公式对研究区河道规模的定量预测结果与露头实际测量规模相近,与区域研究成果认识吻合<sup>[9]</sup>,据此可知本次基于取心资料和统计规律的定量预测成果可靠;②对于厚度相近的砂体在河道规模上可能存在一定差异,对于河流作用强且稳定的沉积条件,河道宽度与深度较稳定;而对于河流作用强度相对较弱,河道侧向迁移频繁的沉积条件,

河道宽度会出现较大的变化范围。因此,露头综合研究成果对研究区河道沉积规模预测与展布具有一定指导意义。

### 2.2 井-震耦合控制下河道摆动规律

基于前面分析,明确了研究区曲流河河道沉积规模,接下来充分发挥井与地震属性的约束作用,在河道沉积模式的指导下开展曲流河河道展

布规律研究。

基于地震信息统计,研究区明下段地震资料频宽 6~70 Hz,主频为 45 Hz,层速度为 2 000 m/s,地震波长为 40 m(即  $\lambda=40\text{ m}$ )。基于调研

成果<sup>[10-12]</sup>及正演模型分析,认为厚度在八分之一波长到四分之一波长( $\lambda/8\sim\lambda/4$ )之间的储层(对应研究区厚度在 5.0~10.0 m 之间储层)在地震剖面上呈现强振幅特征,易于识别(图 5)。

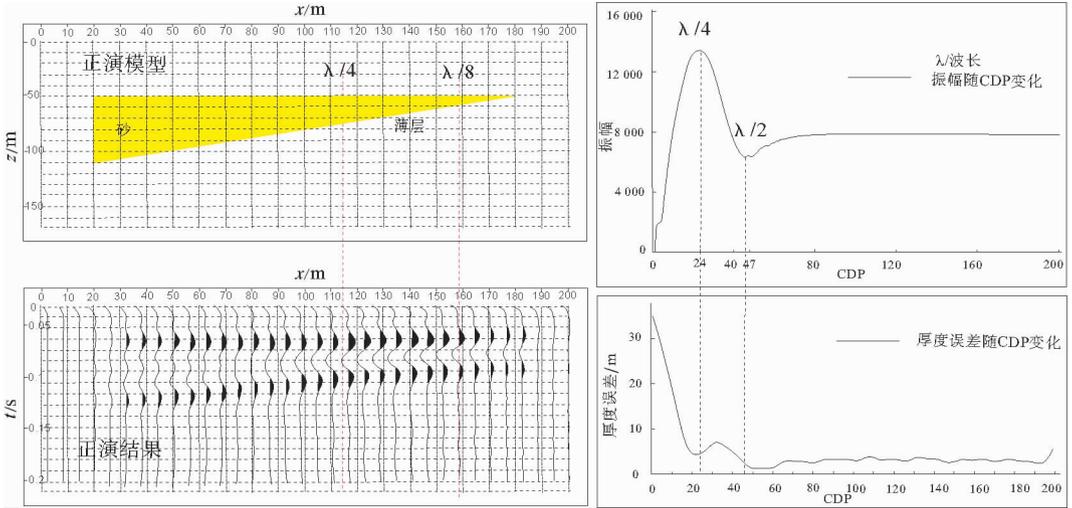


图 5 井-震关系研究(据文献[10])

Fig. 5 Correlation between wells and seismic data (from reference [10])

对井上主力油层厚度进行统计,可知井上主力油层厚度在 4.0~8.0 m,河道沉积微相主要是边滩。基于沉积微相认识成果,井震结合开展垂向上划期次、平面上寻边界研究<sup>[13,14]</sup>。纵向上将研究区 L20—L40 油组划分为 8 期河道

沉积(图 6)。基于前文描述井-震关系,地震属性对厚度 5.0~10.0 m 的储层有较好的响应关系,表现为“强振幅主砂,弱振幅偏泥”特征,因此可以依据平、剖面上振幅强弱响应约束河道储层展布规律。

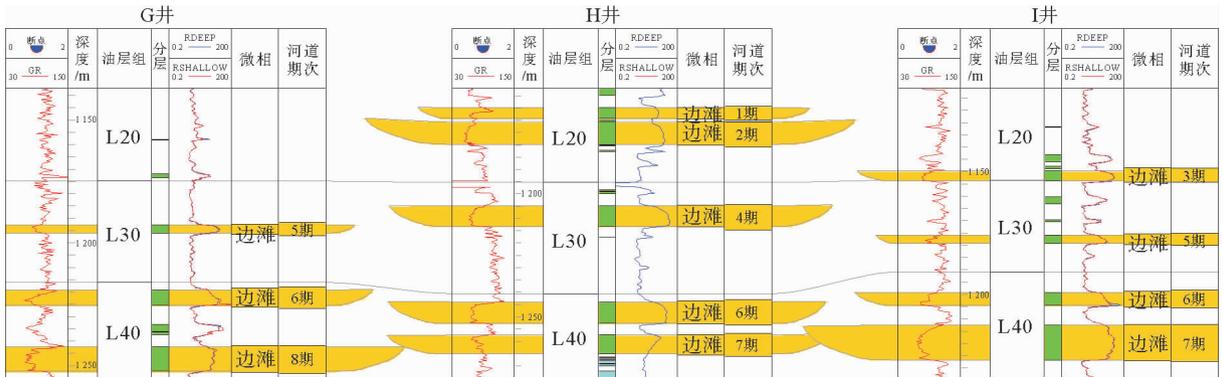


图 6 P 油田 L20—L40 油组河道期次与沉积微相划分

Fig. 6 Channel shifting stages and correlation with microfacies of the L20-L40 Oil Group in P Oilfield

通过井-震结合分析,优选出与河道沉积特征相关性好的最小振幅属性来约束河道沉积规律,因此针对 L20—L40 油组 8 期河道提取沿层平面最小振幅属性,基于沿层属性响应特征可知 L20—L40 油组河道沿 SW—NE 向呈现条带状展

布,其中强振幅条带(红黄色)对应井上河道沉积,弱振幅属性(青蓝色)对应河道边部或堤岸沉积,除外的为河漫泥沉积(图 7)。因此基于平面地震属性可知:曲流河道特征明显,L20-2 期、L20-3 期、L30-4 期、L30-5 期、L40-7 期、L40-8 期为主力

河道,井上钻遇储层较厚;L20-2 期、L30-4 期、L30-5 期、L40-6 期、L40-7 期、L40-8 期为河道沿

走滑断层发育,纵向上叠置关系较好,向西南方向远离走滑断层储层发育变差。

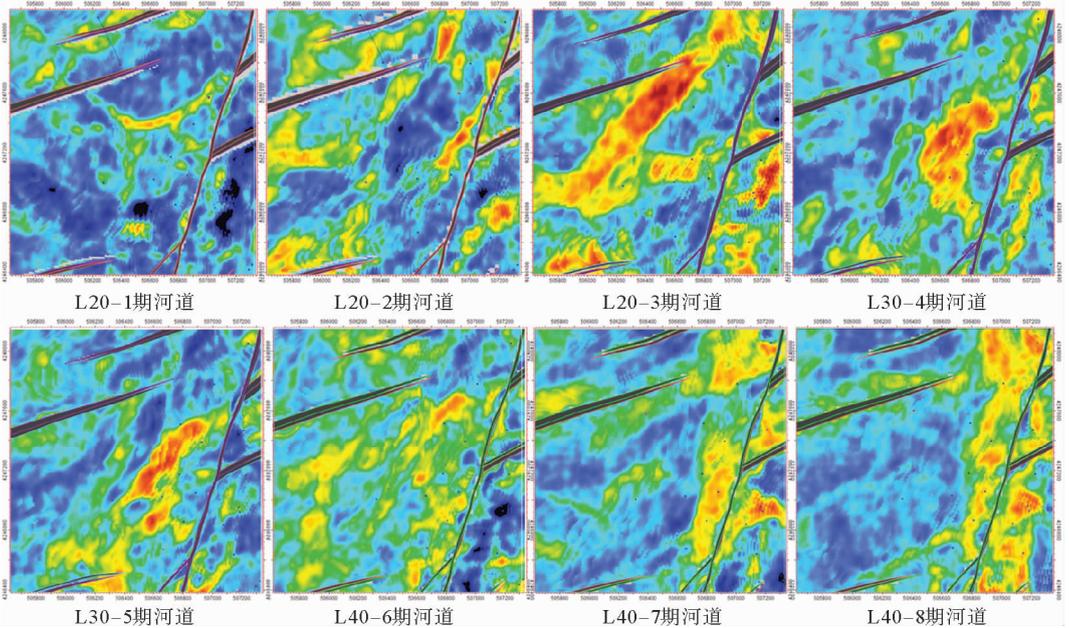


图 7 P 油田 L20—L40 油组 8 期河道平面最小振幅属性图

Fig. 7 Minimum amplitude attribute of the phase 8 river channel of the of oil group L20-L40, P Oilfield

通过井-震结合认识了平面最小振幅属性与曲流河沉积对应关系,明确了曲流河河道沉积特征及展布规律,以此为基础在前述河道沉积模式约束下,基于井与地震结合开展曲流河河道沉积边界确定。对于井钻遇河道边界的,通过连井剖面确定河道边界,如 D 井钻遇了河道边界,基于井可以刻画该位置河道(图 8)。

对于井未揭示河道边界区域,基于研究区河道规模预测、平面属性对河道与河道边部沉积的响应关系以及地震剖面反射特征综合确定河道边界,并与钻遇河道边界井的地震属性特征类比,保证边界确定的客观合理性,基于此确定了 8 期河道的发育规模。进而开展多期河道砂体平面展布、纵向叠规律研究,指导研究区有效开发。

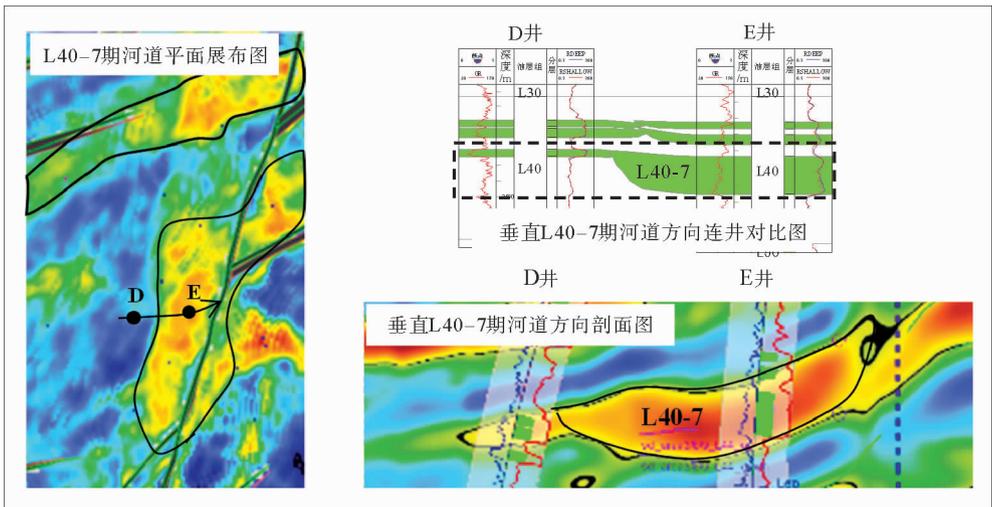


图 8 P 油田 L40-7 期河道边界确定流程

Fig. 8 Determination of channel boundary for Phase 7 channel of L40 Oil Group of P Oilfield

### 3 储层展布特征及应用

#### 3.1 储层展布特征

通过平面地震属性约束河道展布规律,综合河道规模预测、连井对图、平面属性以及纵向地震剖面多信息区确定河道边界,进而刻画了研究区

明下段 L20—L40 油组 8 期河道模式图(图 9),可以发现河道呈 SW—NE 向展布,呈条带状平行于走滑断层发育。将 8 期河道纵向叠加,叠加后发现平面上储层的叠合程度差异较大,基于 8 期河道砂厚度和叠合关系,将研究区分为 8 个叠合区域,具体见表 1。综合不同区域储层叠合关系及纵向上油层集中程度考虑部署定向井、大斜度井和水平井(图 10)。

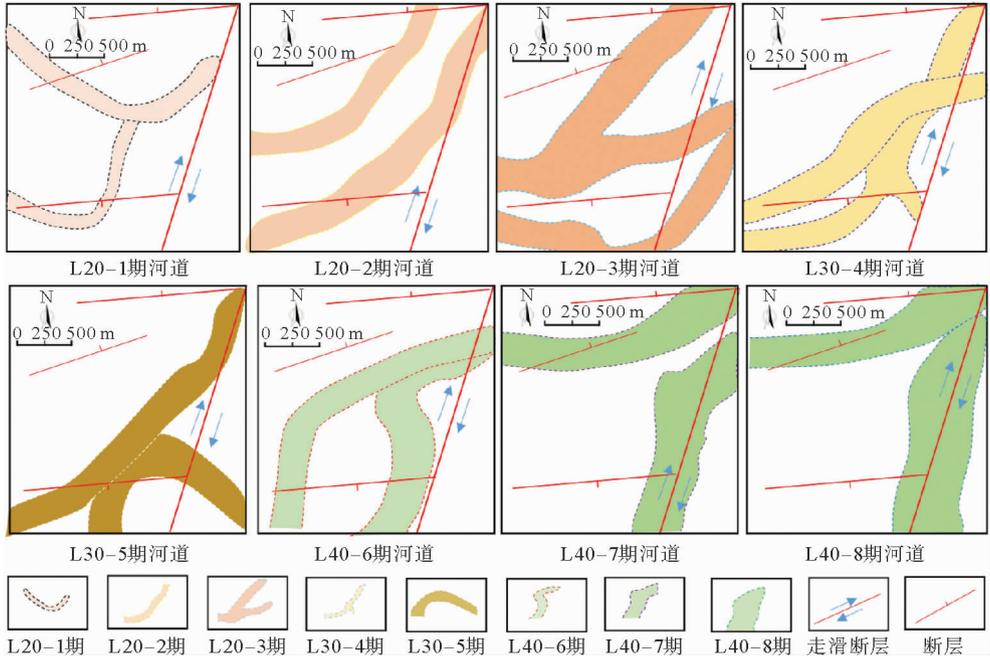


图 9 P 油田 L20—L40 油组 8 期河道平面分布图

Fig. 9 Channel distribution of L20-L40 Oil Group of P Oilfield

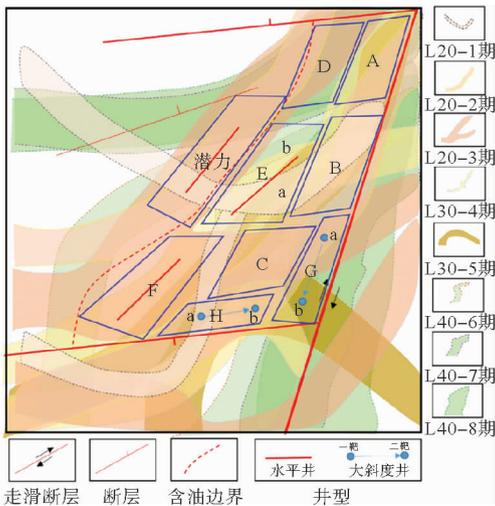


图 10 P 油田 L20—L40 油组 8 期河道纵向叠合图

Fig. 10 Vertical overlapping of the 8th Channel of L20-L40 Oil Group of P Oilfield

#### 3.2 布井方案

对于 A、B、C、D 区域以主力河道 L20-2 期、L30-4 期、L40-7 期、L40-8 期多期叠置为主(图 10,表 1),叠合程度较好,油层厚度 > 30.0 m,部署定向井,建立注采关系,基于河道沉积规模限制,注采井距采用 200 m。

对于 E、F 区域内以单期主力河道(L30-4 期)为主、局部叠置单期非主力河道叠类型(图 10,表 1),综合纵向上跨度大、叠合性差等因素,因此仅针对主力沿河道部署水平井开采,考虑预测的河道沉积规模,水平段应顺河道方向且长度保持 300 m。

对于 G、H 区域内为单期主力河道(L20-2 期或 L30-4 期或 L40-7 期或 L40-8 期)叠置多期非

主力河道叠置类型(图10,表1),油层厚度在20.6~24.4 m之间,纵向上油层相对集中,考虑部署大斜度井开采,考虑区域内平面上叠置期次具有明显差异,大斜度井一、二靶点选取时应尽量考虑控制不同期次主力,比如G区域,a点

叠合L20-2期、L20-3期、L30-4期河道边部,b点叠合L40-6期、L40-7期、L40-8期,因此大斜度井一靶位于a点叠置区,尽量控制该区叠合河道,二靶位于b点,控制住叠置较好的主力河道。

表1 P油田8期储层叠加发育分类表

Table 1 Reservoir superimposition types of the phase 8 reservoir of P Oilfield

期次	A	B	C	D	E	F	G	H	
L20-1期		4.3			4.3				
L20-2期	9.1	9.1	9.1	9.1				9.1	
L20-3期			4.1	4.1		4.1			
单期	L30-4期	8.3	8.3	8.3		8.3	8.3	8.3	
厚度/m	L30-5期	3.2	3.2	3.2				3.2	
	L40-6期			6.1		6.1	6.1		
	L40-7期	8.2	8.2		8.2		8.2		
	L40-8期	10.1	10.1		10.1		10.1		
叠合厚度/m		38.9	43.2	30.8	31.5	18.7	12.4	24.4	20.6

同时针对主力河道L20-2期油底外依然存在潜力(潜力区域),建议先期通过定向井过路评价,若证实含油气性,考虑该区域叠合程度低,部署水平井开发(图10)。

## 4 结论及建议

(1)明确了研究区摆动型曲流河沉积规模,河道满岸深度5.5~9.0 m,河道满岸宽度为150.0~300.0 m。

(2)井与平面地震属性结合约束流河道平面分布;井与剖面属性结合确定河道边部,明确河道展布规律,刻画了L20—L40油组8期河道平面展布规律及纵向叠合规律。

(3)基于河道展布规律认识,综合叠合区域优劣及油层集中程度差异,部署不同井型开采定向井,存在以下3类:对于叠合好,以多期主力河道为主,厚度大于30 m叠合区域部署定向井开发;对于叠合一般,以单期主力河道叠加多期非主力河道,纵向油层集中区域部署大斜度井开发;对于叠合差、以单期主力河道为主区域部署水平井开发。

(4)鉴于研究河道沉积规模限制,建议部署的

定向井井距在200 m,水平井水平段顺河道方向且长度保持300 m以内。

### 参考文献:

- [1] 徐中波,康凯,申春生,等.渤海海域L油田新近系明化镇组下段与馆陶组储层沉积微相研究[J].岩性油气藏,2015,27(5):162-165.
- [2] 兰朝利,何顺利,门成全.利用岩心或露头的交错层组厚度预测辫状河河道带宽度——以鄂尔多斯盆地苏里格气田为例[J].油气地质与采收率,2005,12(2):16-18.
- [3] Schumm S A. Fluvial paleochannels[C]//Rigby J K, Hamblin W K, eds. Recognition of Ancient Sedimentary Environments SEP, 1972, 16(special published): 98-107.
- [4] Leeder M R. Fluvial fining upwards cycles and the magnitude of paleochannels[J]. Geological Magazine, 1973, 110: 265-276.
- [5] Leopold L B, Wolman M G, Miller J P. Fluvial Processes in Geomorphology[M]. New York: Dover Publications, 1964: 522.
- [6] Bridge J S, Tye R S. Interpreting the dimensions of ancient fluvial channel bars, channels, and channel belts from wireline-logs and cores[J]. AAPG Bulletin, 2000, 84(8): 1205-1228.
- [7] Lorenz J C, Heinze D M, Clark J A, et al. Determination of width of meander belt sandstone reservoirs from vertical down hole data, Mesaverde Group, Piceance Creek Basin,

- Colorado[J]. AAPG Bulletin, 1985, 69 (2): 710-721.
- [8] 刘站立, 焦养泉. 曲流河成因相构成及其空间配置关系鄂尔多斯盆地中生代露头沉积学地质考察[J]. 大庆石油地质与开发, 1996, 15(3): 6-9.
- [9] 马平华, 霍梦颖, 何俊, 等. 渤海湾盆地秦皇岛 32-6 油田曲流河沉积体系综合解剖[J]. 新疆石油地质, 2017, 38(5): 567-573.
- [10] 宁松华, 汪勇. 基于振幅属性分析法的楔状砂体厚度预测研究[J]. 石油天然气学报: 江汉石油学院, 2010, 32(5): 90-93.
- [11] 师永民. 高分辨率砂泥岩薄互层储层综合预测技术[J]. 石油地球物理勘探, 2000, 35(5): 661-666.
- [12] 刘华, 倪长宽, 陈启林, 等. 地层切片的合理性及影响因素[J]. 天然气地球科学, 2014, 25(11): 1821-1828.
- [13] 陈清华, 曾明, 章凤奇, 等. 河流相储层单一河道的识别及其对油田开发的意义[J]. 油气地质采收率, 2004, 11(3): 13-15.
- [14] 张建宁, 韩文功, 阎昭岷, 等. 单一河道砂体边界地质模型及其地震正演响应特征[J]. 油气地球物理, 2006, 4(4): 32-34.

## DISTRIBUTION PATTERN OF THE MEANDERING RIVER RESERVOIR: A CASE FROM THE P OILFIELD IN BOHAI

LI Tingli, HAN Jianbin, LIANG Shihao, MENG Yuntao, WU Rui

(Institute of Exploration and Development, Tianjin Branch of CNOOC Ltd., Tianjin 300450, China)

**Abstract:** Meandering river deposits are changing strongly in lateral direction. It is difficult to define the lateral distribution pattern only with drilling data. Seismic attributes incorporated with drilling data are applied in this paper to delineate the spatial distribution of meandering rivers and the boundaries of the fluvial deposits under the guidance of the existing depositional model. Firstly, well data are used together with spatial seismic attributes to disclose the general extension of river channels. Inter-well cross sections and the seismic attribute profiles are then adopted to define the boundaries of channels. As the result, the distribution pattern of the meandering river channel deposits in a three dimensional framework is established. Practice proves that the result is effective to support the design of development wells in the area.

**Key words:** meandering river; depositional model; well-seismic combination; reservoir distribution; Bohai Bay Basin