

# Research on Composite Sandbody Structure Characteristics of Fluvial Reservoirs

Chao Xie, Fei Chen, Zhenkun Liu, Yuqing Zhang, Pangen Wang

CNOOC Research Institute, Beijing  
Email: xiechao8@cnooc.com.cn

Received: Jun. 6<sup>th</sup>, 2018; accepted: Jun. 20<sup>th</sup>, 2018; published: Jun. 27<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

Fluvial sandbody is a kind of important reservoir type. According to outcrop, modern sedimentation, logging and seismic data, sand structural unit of different-stage meandering rivers are divided into four types which are multilateral bifurcation type, multilateral combined type, single type and lateral digestion type based on combination types of planar morphology and structural characteristics of abandoned channel. Sand structure of fluvial sandbodies is influenced by hyperplasia style within the channel and value of A/S. The research shows that hyperplasia style of channel includes three types which are lateral migration, downstream migration and traceability migration. With the increase of the value of A/S, type of meandering river sandbodies changes from flaky texture to dotted texture.

## Keywords

Fluvial Facies, Planar Type, Structural Characteristics, Hyperplasia Style, Value of A/S

---

# 河流相复合砂体结构特征探讨

解超, 陈飞, 刘振坤, 张雨晴, 王盘根

中海油研究总院, 北京  
Email: xiechao8@cnooc.com.cn

收稿日期: 2018年6月6日; 录用日期: 2018年6月20日; 发布日期: 2018年6月27日

---

## 摘要

河流相储层砂体是一种重要的储集类型。综合应用野外露头、现代沉积、测井、地震等资料, 以河流相平面形态组合类型和废弃河道结构特征研究为基础, 将多期次河流相砂体结构划分为四种类型: 多边分

叉式、多边合并式、单边式及侧向切叠式。河流相砂体结构受河道内部增生样式和A/S比值的影响。研究表明,河道内部增生样式主要包括侧向迁移、顺流迁移、溯源迁移三种类型。随着A/S比值增大,曲流河点坝砂体由鳞片状逐步向点状发展。

## 关键词

河流相, 平面形态, 结构特征, 增生样式, A/S比值

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

河流相砂体结构研究是地下储层构型研究的重要内容。随着国内东部油田进入开发中后期,地下储层构型研究很快引起国内学者的重视,地下构型表征逐渐成为提高油田采收率的关键,现已成为油藏开发的重要地质基础。

地下构型主要利用三维地震信息和井信息表征,主要是依据地震反射终止关系、内部结构和外部形态进行地震相分析和识别,然后进行储层沉积相和构型研究[1]。近年来,一些学者发展了地震三维切片技术,进行地下沉积体的结构和界面分析,称之为地震地貌学和地震沉积学[2] [3] [4]。

针对地下储层研究创造了大量理论和实践成果,尤其在2000年以后,国内专家文献数量呈爆发式增长。1995年赵翰卿等在储层沉积相研究经验和当代河流沉积学知识基础上,应用密井网分析方法,解剖砂体分布特征,识别了砂体空间分布,实现了地下储层的分析[5]。2005年何文祥等对孤岛油田孤52井组馆陶组点坝砂体进行了详细研究,对单一河道的顶底界面(4级界面)和点坝内部侧积体分界面(3级界面)进行了识别,并根据储层地质学原理,建立了点坝侧积体的栅状模型图[6]。2006年隋新光基于水平井资料,通过建模和数模等多个角度,在理论和生产时间等多个方面,详细研究了密井网区油田地下点坝砂体的内部构型[7]。2008年马世忠在野外地质露头及现代沉积模式的指导下,详细分析了大庆长垣葡I组的不同类型(曲流型、顺直型、水下分流)河道砂体内部构型,并结合油田生产实际,总结得到一套切实可行的单砂体内部构型剖析方法[8]。

## 2. 区域地质背景

渤海地区Q油田是在潜山披覆构造背景上形成,并被断裂复杂化、受岩性和构造双重因素控制的大型油田[9],井距较大(最小井距为300 m,平均井距为400~500 m)、三维地震资料品质较高(目的层段主频约60 Hz),储层具有高孔高渗、非均质性较强的特点[10]。

Q油田主要含油层系发育于新近系明化镇组(Nm)下段,并进一步细分为Nm0、NmI、NmII、NmIII、NmIV和NmV共6个油组,29个小层。已钻井和3D地震资料揭示河道砂体侧向加积,纵向叠置,砂体间相互切割交错,砂体内部结构特征复杂,复合砂体表现出典型的多期曲流河砂体叠置的沉积特征。

## 3. 河流相砂体结构特征

河道是曲流河中最主要的储集体,可分为点坝、废弃河道、决口扇、天然堤和泛滥平原5种微相[11] [12],其中点坝是曲流河的骨架砂体(图1)。由于不同期次和不同微相河道砂体水动力条件不尽相同,砂体的复合类型表现为侧向拼接及垂向加积[13] [14]。

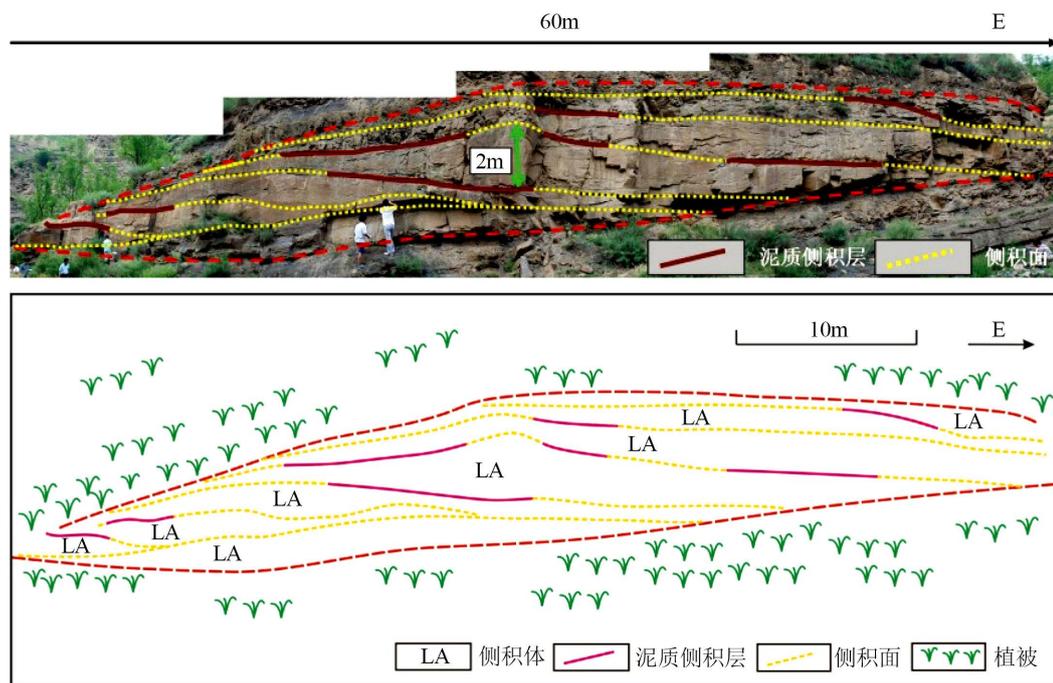


Figure 1. Section and sketch of point bar outcrop in Liulin, Lvliang City, Shanxi Province

图 1. 山西省吕梁市柳林县点坝露头剖面及素描图

### 3.1. 河流相砂体平面结构特征

根据废弃河道形态与点坝的对应关系, 将河流相砂体平面组合类型划分为三类: 1) 蛇曲状的废弃河道的点坝, 发育较为复杂的点坝, 平面上为点坝的复合体; 2) 弯月状废弃河道的点坝, 受侧积影响呈弯月状(图 2); 3) 马蹄状废弃河道的点坝, 受到侧向加积及顺流加积的影响, 导致河道废弃呈马蹄状。

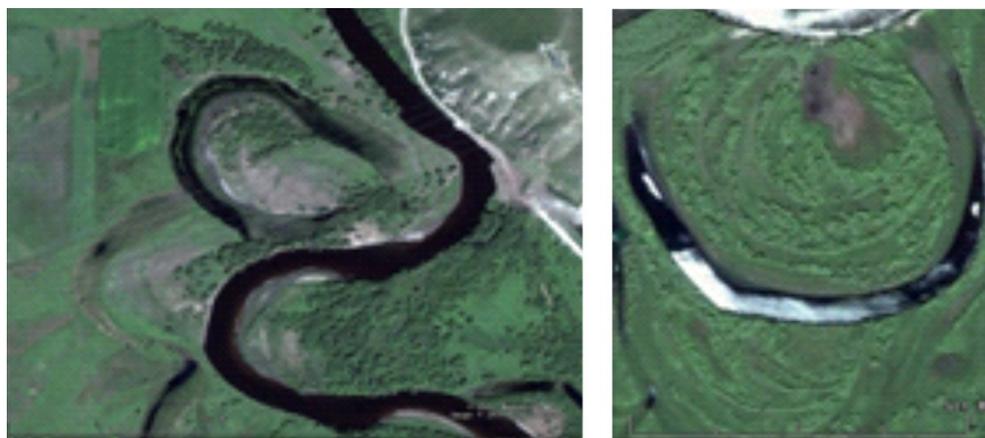
河流相砂体与废弃河道的样式具有一定的内在成因联系。通过对 Q 油田的分析表明, 单一废弃河道曲率较大部位偏向凹岸, 废弃河道下侵能力较强、满岸深度较大。剖面上, 废弃河道曲率较大部位表现为凹岸陡、凸岸缓的非对称形态, 导致河道充填方式为非对称式; 平面上, 单一废弃河道曲率与河道满岸宽度成正比关系。单一废弃河道曲率较大部位通常为凹岸的最大侵蚀端, 此处侵蚀作用最强。单一废弃河道曲率较小部位通常以沉积过路为主, 侧向侵蚀沉积能力相对较弱, 因而剖面形态较为对称, 砂体厚度相对较薄(图 3)。

### 3.2. 河流相砂体剖面组合结构特征

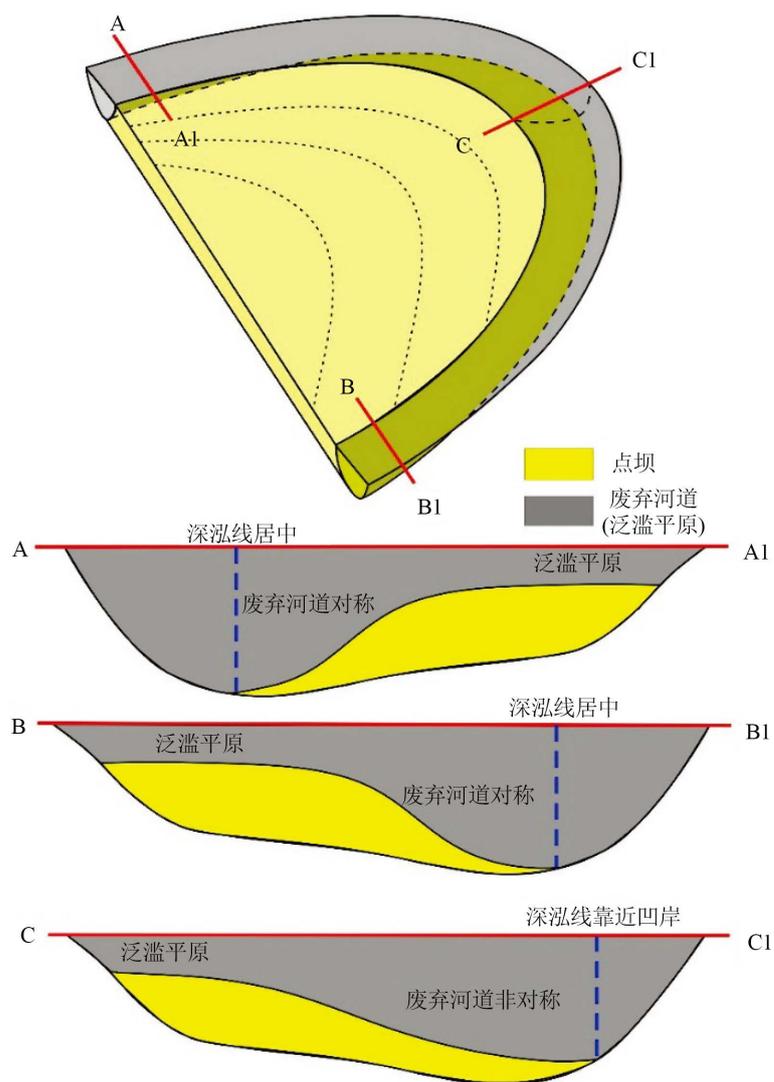
在砂体平面形态组合类型和废弃河道结构特征研究的基础上, 通过对 Q 油田典型砂体对比剖面进行解剖, 将多期河流相砂体剖面结构细分为以下四种类型[15]:

#### 1) 多边分叉式

随着 A/S 比值的增大, 河道不断发生侧向迁移, 形成多边分叉式。通过 Q 油田 E1-E2-E3 剖面解剖表明(图 4), E3 井和 E4 井明化镇组早期发育一套河道砂体, 伴随沉积演化不断进行, 两口井间砂体对比关系逐渐变差, 河道逐步向 E4 井方向迁移, 至 NmI-2 沉积末期, 砂体仅在 E5 井附近发育, 整体上, 形成多边分叉式结构。这种砂体结构有两种成因: a. 单条河道分叉后不断向两侧迁移, 呈较对称的多边分叉式形态(图 5(a)); b. 两条河道侧向上相互叠置, 然后分别以单边式向两侧迁移, 河道砂体也呈多边分叉式分布(图 5(b))。



**Figure 2.** Crescent abandoned channel and hemispheric point bar  
**图 2.** 弯月状废弃河道与半球状点坝



**Figure 3.** Three-dimensional distribution pattern of abandoned channel  
**图 3.** 废弃河道三维分布模式

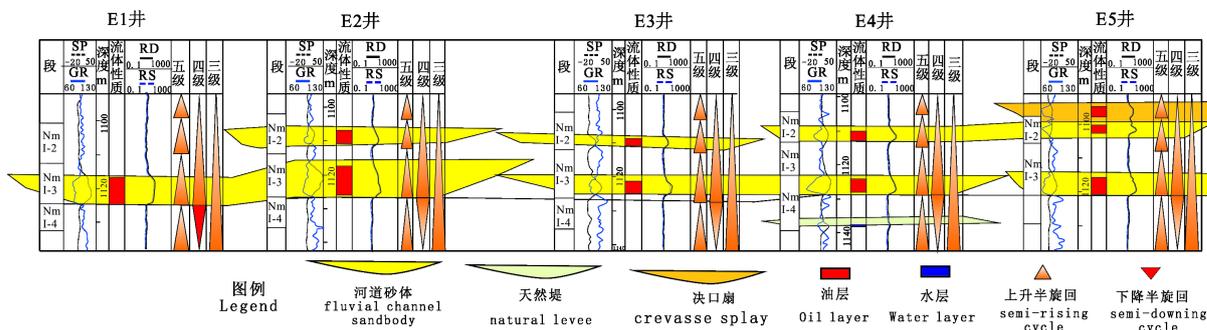


Figure 4. Sandbody correlation diagram of well E1-E2-E3-E4-E5 in Q oilfield  
图 4. Q 油田 E1-E2-E3-E4-E5 砂体剖面对比图

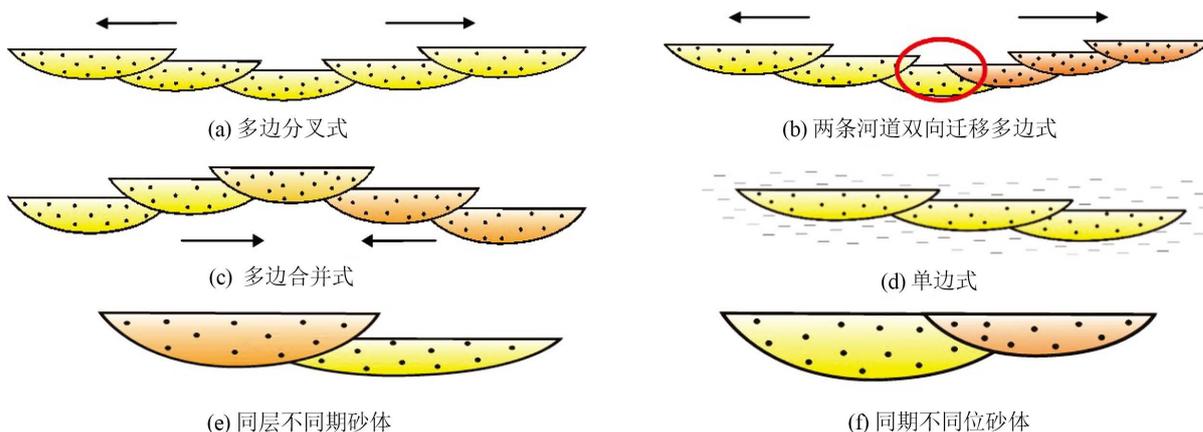


Figure 5. Overlay mode profile of fluvial sandbody of different stages  
图 5. 不同期次河流相砂体剖面叠置模式图

2) 多边合并式

通过解剖 Q 油田 D1-D2-D3 砂体对比剖面可以看出(图 6), NmI-5 沉积时期, D1 和 D2 井发育相对独立的河道下切砂体, 在 NmI-4 时期, 河道横向展布规模变大, 形成统一的一套河道砂体, 侧向连通性更好。由于河道的侧向迁移作用, 导致两条河道不断向中间迁移, 形成多边合并式砂体(图 5(c))。

3) 单边式

单边式指单一河道不断单向迁移所形成的砂体组合结构(图 5(d))。在 Q 油田 C1-C2-C3 砂体对比剖面中(图 7), 由 C2 向 C3 井方向, 河道以侧向迁移为主, 侧向具有一定连续性。各期河道砂体纵向厚度差异不大, 形成单边式结构。通过野外露头观察表明, 单边式河道以侧向迁移为主, 侧向连续性较好, 河道砂体依次相互切割, 砂体规模相似(图 8)。

4) 侧向切叠式

侧向切叠式是指在同一时间段或不同时间段内多个单河道的侧向叠加, 包括同层不同期和同期不同位两种空间叠置关系。

以 Q 油田 H1-H2-H3-H4-H5 剖面为例(图 9), H2 和 H3 井在 NmII-4 时期均发育一套水进半旋回, 但 H2 井水进半旋回规模较大, 因此从对比关系来看, H3 井 NmII-4 砂体属于早期河道砂体, 而 H2 井发育晚期河道砂体, 二者厚度差异明显, 形成同层不同期的砂体结构。而通过对 Q 油田 D1-D2-D3 剖面的解剖表明(图 6), NmI-5 沉积时期, D2 和 D3 井发育两条河道, 河道砂体厚度相似, 高程也基本一致, 呈现同期不同位的侧向切叠式结构。

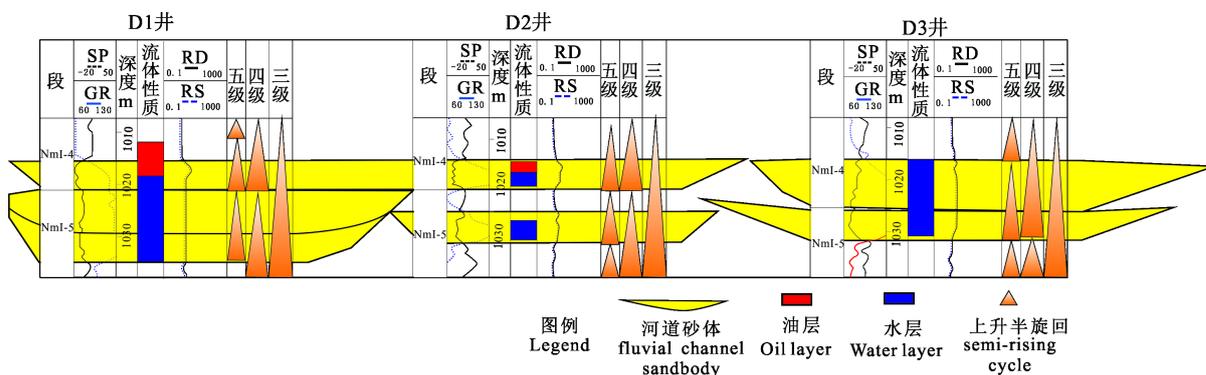


Figure 6. Sandbody correlation diagram of well D1-D2-D3 in Q oilfield

图 6. Q 油田 D1-D2-D3 砂体剖面对比图

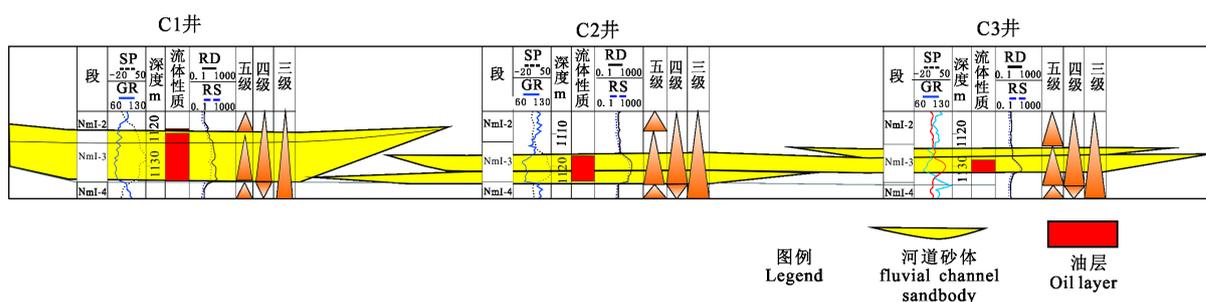


Figure 7. Sandbody correlation diagram of well C1-C2-C3 in Q oilfield

图 7. Q 油田 C1-C2-C3 砂体剖面对比图



Figure 8. Distributary channel outcrop of meandering river delta in Yanhe section, North Shaanxi Province

图 8. 陕北延河剖面曲流河三角洲分支河道野外露头

## 4. 河流相砂体规模特征

### 4.1. 单一曲流带规模

前人研究认为，一个高度弯曲的曲流带，在河流自由发育到近废弃的条件下，其宽度与活动河道宽度具有一定的关系[16] (式 1)。

$$W_m = 7.44w^{1.01} \quad (1)$$

式中  $W_m$ ——单一曲流带宽度，m；

$w$ ——活动河道满岸宽度，m。

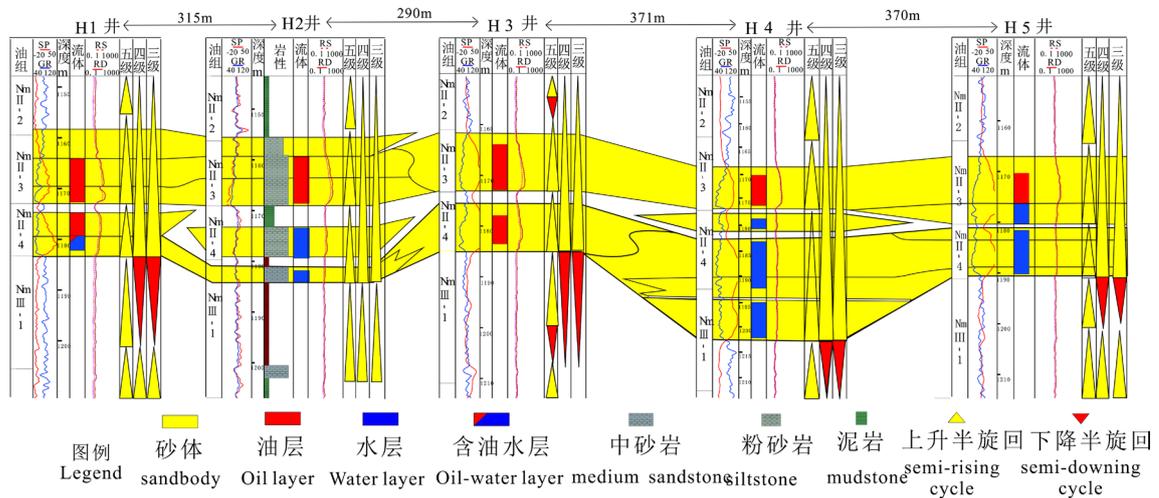


Figure 9. Sandbody correlation diagram of well H1-H2-H3-H4-H5 in Q oilfield

图 9. Q 油田 H1-H2-H3-H4-H5 砂体剖面对比图

应用上述方法对 Q 油田重点层位的单一曲流带进行解剖, 得到 NmI-3、NmII-3、NmII-4 小层单一曲流带划分结果(表 1)。

#### 4.2. 点坝规模

通过对大量现代高弯度曲流河点坝与河宽间的关系进行研究, 发现河道越宽, 单一点坝跨度越大, 并建立了河宽与点坝跨度的经验公式(式 2, 图 10)。

$$W_d = 3.6319w + 40.612 \quad (2)$$

式中  $W_d$  为点坝跨度, m;  $w$  为河流满岸宽度, m。

点坝在井上表现为复合的正韵律, 砂岩厚度图上以废弃河道为边界, 呈透镜状。废弃河道标志着河道侧向加积的结束, 所以废弃河道总是与单一点坝砂体相邻分布。Q 油田在 NmI-3 小层内部识别出 5 个保存完好的点坝或点坝复合体, 跨度为 500 m~900 m (图 11)。

#### 5. 河流相砂体结构控制因素分析

砂体空间结构的分布规律主要受河道内部砂体增生样式和 A/S 比值的影响。从微观角度而言, 曲流河点坝增生样式包括侧向迁移和顺流迁移。洪水期, 河流沿近似固定方向侧向摆动, 水流对凹岸的侵蚀方向基本不变, 造成多期侧积体最大凸出位置的连线垂直主水流方向, 最终形成平面上侧积层相互平行、侧积方向垂直主水流方向的侧向增生点坝。这一时期, 由于河流的碎屑物携带量较小, 水体动能下降, 凸岸最大沉积部位得不到充足的碎屑物沉积, 因此侧积体对水流的阻挡作用减弱, 导致凹岸最大侵蚀端向下游方向迁移, 点坝侧积体呈现顺流迁移的特征(图 12)。

从宏观角度而言, 这种砂体空间结构的变化受可容空间与沉积物供给速率的比值(A/S 比值)的控制 [17] [18] [19] [20]。A/S 比值小, 则河流有充足时间迁移改道, 形成复合曲流带砂体; A/S 比值大, 则河流迁移改道速率降低, 容易形成点状、窄带状点坝砂体。因此, 随着 A/S 比增大, 河流迁移和改道频率减弱, 点坝砂体由鳞片状向点状发展(图 13)。

#### 6. 结论

- 1) 根据废弃河道形态与点坝形态的对应关系, 将河流相砂体平面形态组合类型划分为三类。河流相

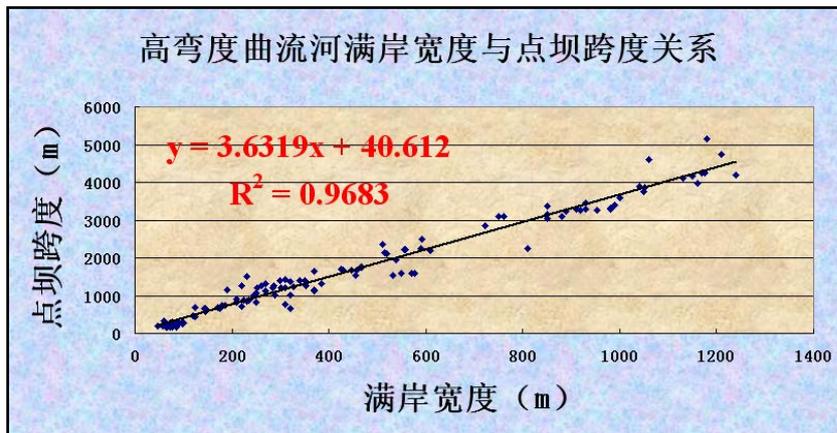


Figure 10. Relation graph of channel width and point bar span  
图 10. 河流宽度与点坝跨度关系图

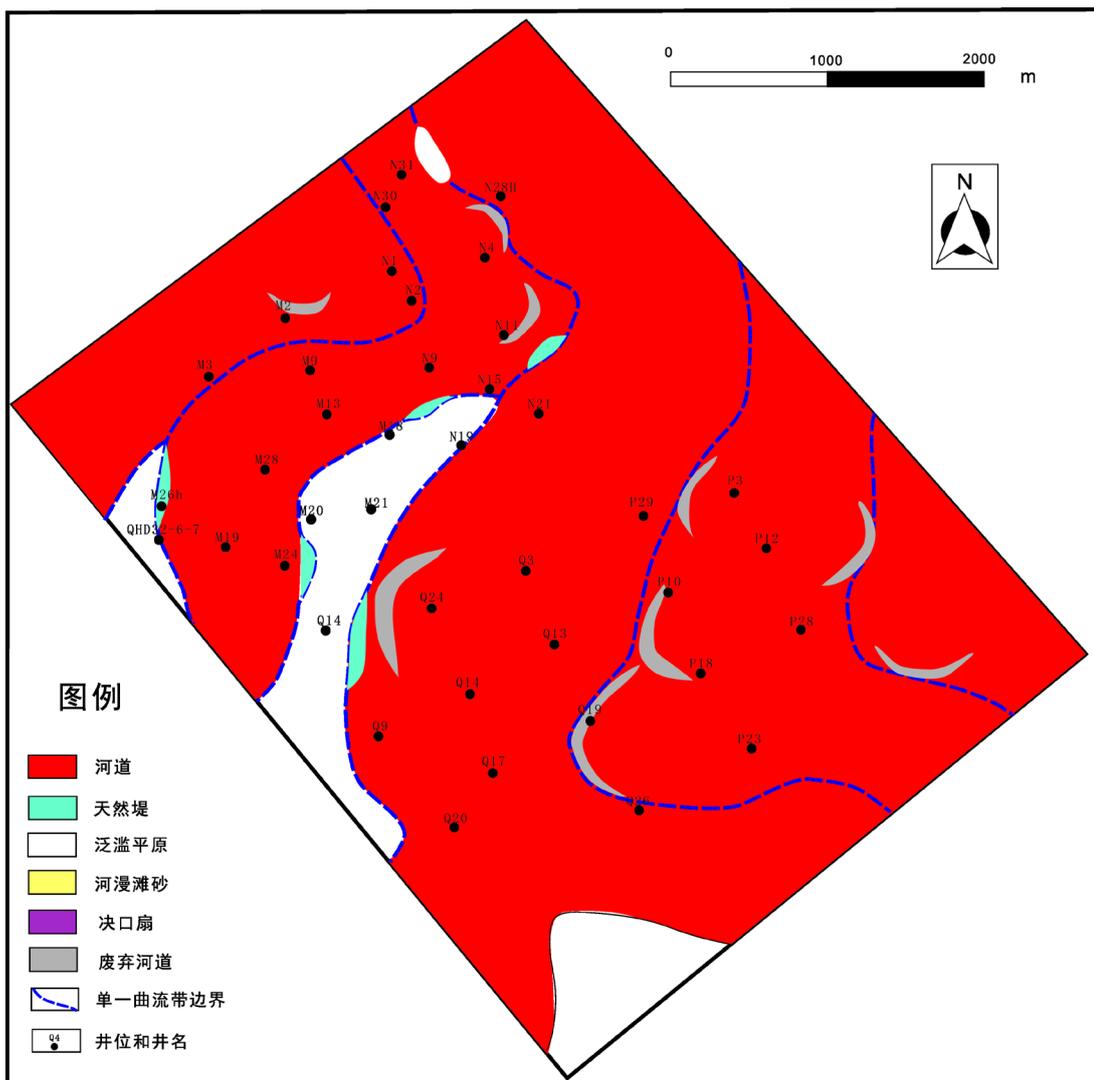
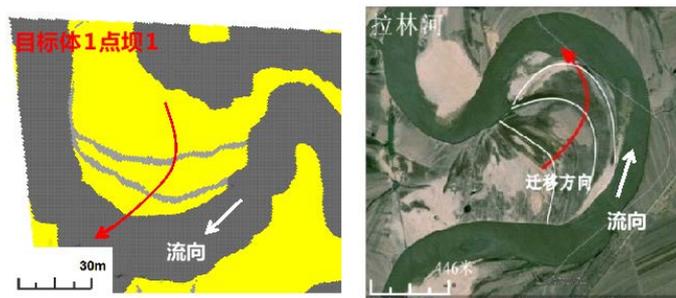


Figure 11. Result of Nml-3 point bar prediction  
图 11. Nml-3 小层点坝预测结果

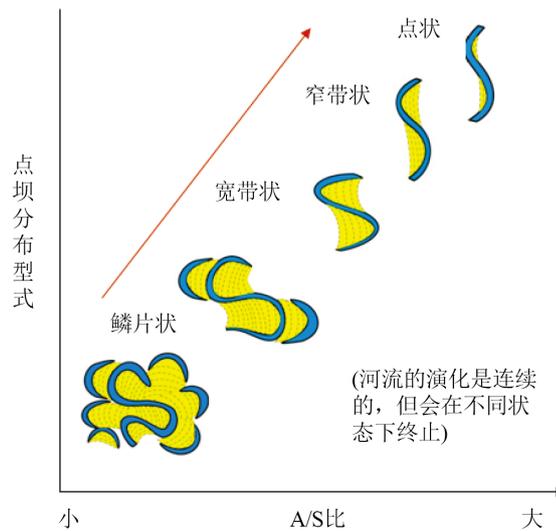
**Table 1.** Table of single meandering belt division result  
**表 1.** 单一曲流带划分结果统计表

小层	类别	单一曲流带编号	单一曲流带厚度 (主体范围/m)	单一曲流带宽度 (主体范围/m)
Nm I -3		①	6~10	>600
		②	4~15	600~1000
		③	10~18	1300~1800
		④	10~20	1000~2000
Nm II -3		①	8~12	>1000
		②	6~10	1000~1500
		③	8~14	>800
Nm II -4		①	8~12	1500~2000
		②	8~16	>1000



**Figure 12.** Example of downstream migration point bar in 3-D model and satellite image

**图 12.** 三维模型与卫星照片的顺流迁移点坝示例



**Figure 13.** Two-dimensional shape evolution of point bar sand body

**图 13.** 点坝砂体平面形态演化

砂体的平面特征与废弃河道的样式具有一定的内在联系。多期河流相砂体剖面结构包括多边分叉式、多边形合并式、单边式以及侧向切叠式共四种。

2) 曲流河河道越宽, 单一点坝跨度越大, 其流量也越大。通过对大量现代高弯度曲流河点坝与河宽关系进行研究, 建立了河宽与点坝跨度的经验公式。

3) 河流相砂体结构受河道内部增生样式和 A/S 比值的影响。曲流河点坝增生样式包括侧向迁移和顺流迁移。随着 A/S 比值增大, 曲流河点坝砂体由鳞片状向点状发展。

## 基金项目

“十二五”国家科技重大专项课题“海上开发地震关键技术及应用研究”(2011ZX05024-001)。

## 参考文献

- [1] Mitchum, R.M., Vail, P.R. and Sangree, J.B. (1977) Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level, Part 6: Stratigraphic Interpretation of Seismic Reflection Patterns in Depositional Sequences. In: Payton, C.E., Ed., *Seismic Stratigraphy: Applications to Hydrocarbon Exploration*, AAPG, Memoir 26, 117-133.
- [2] Posamentier, H.W. (2003) Depositional Elements Associated with a Basin Floor Channel-Levee System: Case Study from the Gulf of Mexico. *Marine and Petroleum Geology*, **20**, 677-690.  
<https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2003.01.002>
- [3] Zeng, H.L., Loucks, R.G. and Frank, L. (2007) Mapping Sediment-Dispersal Patterns and Associated Systems Tracts in Fourth- and Fifth Order Sequences Using Seismic Sedimentology: Example from Corpus Christi Bay, Texas. *AAPG Bulletin*, **91**, 981-1003. <https://doi.org/10.1306/02060706048>
- [4] Zeng, H.L. (2007) Seismic Imaging for Seismic Geomorphology Beyond the Seabed: Potentials and Challenges. In: Davis, R.J., Ed., *Seismic Geomorphology Applications to Hydrocarbon Exploration and Production*, London Geological Society, London, Special Publications No 277, 15-29.
- [5] 赵翰卿, 付志国. 应用密井网测井曲线精细研制河流相储层沉积模型[A]. 国际石油工程会议, 1995.
- [6] 何文祥, 吴胜和, 唐义疆, 等. 地下点坝砂体内部构型分析——以孤岛油田为例[J]. 矿物岩石, 2005, 25(2): 81-86.
- [7] 隋新光. 曲流河道砂体内部建筑结构研究[D]: [博士学位论文]. 大庆: 大庆石油学院, 2006.
- [8] 马世忠, 孙雨, 范广娟, 等. 地下曲流河道单砂体内部薄夹层建筑结构研究方法[J]. 沉积学报, 2008, 26(4): 632-638.
- [9] 赵春明, 胡景双, 霍春亮, 等. 曲流河与辫状河沉积砂体连通模式及开发特征——以渤海地区秦皇岛 32-6 油田为例[J]. 油气地质与采收率, 2009, 16(6): 88-91.
- [10] 梁宏伟, 吴胜和, 穆龙新, 等. 应用相控正演模拟方法精细描述河流相储层——秦皇岛 32-6 油田北区实例[J]. 石油地球物理勘探, 2013, 48(6): 978-1015.
- [11] 刘兰, 陈恭洋, 周新平. 秦皇岛 32-6 油田 4 井沉积微相研究[J]. 海洋地质动态, 2009, 25(10): 9-13.
- [12] 姜在兴. 沉积学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003.
- [13] 赵云翔, 陈景山, 王建峰, 等. 鄂尔多斯盆地延长组长 9 砂体的垂向结构及主控因素分析[J]. 沉积学报, 2013, 31(1): 77-88.
- [14] 王友净, 宋新民, 顾斐, 等. 高尚堡深层北区沙三段二、三亚段沉积特征与砂体结构[J]. 油气地质与采收率, 2010, 17(2): 14-16.
- [15] 秦润森, 廖新武, 冯鑫, 等. 秦皇岛 32-6 油田南区明下段 I 油组 3 小层河道砂体叠置类型及其动态响应特征[J]. 油气地质与采收率, 2014, 21(3): 15-19.
- [16] Lorenz, J.C., Heinze, D.M., Clark, J.A., et al. (1985) Determination of Width of Meander-Belt Sandstone Reservoirs from Vertical Downhole Data, Mesaverde Group, Piceance Greek Basin, Colorado. *AAPG Bulletin*, **69**, 710-721.
- [17] 陈飞, 罗平, 张兴阳, 等. 鄂尔多斯盆地东缘上三叠统延长组砂体结构与层序地层学研究[J]. 地学前缘, 2010, 17(1): 330-338.
- [18] 陈飞, 胡光义, 范廷恩, 等. 渤海海域 W 油田新近系明化镇组河流相砂体结构特征[J]. 地学前缘, 2015, 22(2): 207-213.
- [19] 李士祥, 楚美娟, 黄锦绣, 等. 鄂尔多斯盆地延长组长 8 油层组砂体结构特征及成因[J]. 石油学报, 2013, 34(3): 435-444.
- [20] 李伟才. 三角洲外前缘砂体结构及生产动态响应规律研究——以泌阳凹陷毕店地区为例[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国地质大学, 2012: 123-127.

**知网检索的两种方式：**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2163-3967，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[ag@hanspub.org](mailto:ag@hanspub.org)