

文章编号: 1000-0550(2013)04-0653-10

# 基于过程的分流平原高弯河道砂体储层 内部建筑结构分析<sup>①</sup> ——以大庆油田萨北地区为例

张昌民<sup>1</sup> 尹太举<sup>1</sup> 喻辰<sup>1</sup> 叶继根<sup>2</sup> 杜庆龙<sup>3</sup>

(1. 长江大学地球科学学院 武汉 430100; 2. 中国石油勘探开发研究院 北京 100083;  
3. 大庆油田勘探开发研究院 黑龙江大庆 163712)

**摘要** 河道砂体内部结构已成为影响剩余油分布的决定因素。本研究旨在弄清三角洲平原高弯河道砂体内部结构,指导开发调整。解剖分为复合河道、单一河道、基本结构要素及要素内部结构等四个层次。基于三角洲平原上高弯河道的形成过程,依据河泛沉积分布及河道沉积体内部沉积特征识别单一河道。依据砂体厚度分布及砂体测井响应所体现的砂体所处的河道位置识别最终废弃河道,依据测井响应特征识别中间废弃河道,通过中间废弃河道及最终废弃河道位置关系,分析河道摆动特征,追踪河道迁移演化。按照河道演化过程识别点坝及其平面展布。在点坝内部通过岩芯、对子井分析确定侧积体的垂向厚度、倾向、倾角,进而获取侧积体平面发育频率,建立点坝内部的结构模型。研究基于河流演化过程,将河流过程与沉积结果统一起来,从过程角度解释了砂体形成,使解剖结果更合理更准确,可很好地指导剩余油预测分析。

**关键词** 储层结构 高弯曲河流 沉积过程 大庆油田

**第一作者简介** 张昌民 男 1963年出生 博士 教授 沉积学 E-mail: zcm@yangtzeu.edu.cn  
**中图分类号** P512.2 **文献标识码** A

## 0 前言

大庆油田主力层段发育有广布的曲流河和曲流三角洲储层<sup>[1]</sup>,其内部结构特征已成为目前控制剩余油分布的主要因素。早在20世纪80年代,老一辈的地质学家就认识到不同的储层结构特征对开发的影响的差异,讨论了同类型储层的开发特点<sup>[2]</sup>,特别是河流相储层内部的隔夹层对开发的影响问题<sup>[3]</sup>,形成了河流相研究的基本方法和思路<sup>[4]</sup>。90年代进一步对河流的特征及细分和精细沉积相<sup>[5]</sup>研究更为深入,不仅涉及到主力的小层的非均质性特征<sup>[6]</sup>和开发水淹特征<sup>[7,8]</sup>,也讨论到了非主力甚至表外储层的表征技术<sup>[9,10]</sup>。进入21世纪以来,储层建筑结构分析法<sup>[11]</sup>成为河流相储层非均质性表征的主流技术,基于此,利用密井网<sup>[12,13]</sup>、水平井<sup>[14]</sup>及建模技术和数模技术<sup>[15,16]</sup>,对储层的结构和开发响应特征进行了更为深入的表征,并总结了大型河流三角洲精细表征方法<sup>[17]</sup>,为进一步开发调整打下了技术基础。

然而在储层内部结构表征中往往着重于砂体平面分布,更多地考虑单个砂体特征,很少能将砂体组

合关系从沉积演化过程进行分析,使得解剖结果与真实演化不能很好匹配,将砂体的形成过程给出一个合理的解释,这可能预示着解剖结果代表了一个不可能发生的过程,这就使得我们有理由怀疑分析结论的可靠性,进一步也影响了表征结果在开发调整中的作用。能否从过程上对其形成过程有一个较好解释,进而增强其预测的精度和可靠性成为储层内部结构解剖面临的一个重要问题。

本次研究的S II<sub>1+2b</sub>和S II<sub>12</sub>小层位于萨尔图油层中部,形成于晚白垩世姚家组晚期到嫩江组早期,处于盆地拗陷期。其时整个盆地沉降速度减慢,气候湿润,北部蚀源区抬升,物源丰富,坡降比较缓,湖岸线靠近萨中地区,发育大型三角洲沉积体系,研究区位于三角洲平原相带。分流河道发育,砂体分布广、油层厚度大,砂体内部以多段韵律为主,河道有分叉汇合特征,砂体呈明显条带状,河曲较大,为典型高弯曲流河。

## 1 研究方法

三角洲平原河流与一般河流沉积既有相似之处,

<sup>①</sup>国家自然科学基金项目(批准号:41072087、41172106),国家科技重大专项(编号:2011ZX05010-002-005)资助  
收稿日期:2012-06-27;收修改稿日期:2012-10-26

又有不同的地方。三角洲平原河道砂体一般源自前缘沉积砂体的后期改造,即随着河道的推进,后期平原上分流河道将前缘部位的砂体进行再分配,形成目前的砂体分布格局。当然由于河道的摆动的不同,还有大量前缘期沉积的砂体并未受到后期平原分流河道的改造,保存了前缘沉积的特征。此外三角洲平原河道一般形成时可容空间相对较大,沉积物沉积速率和保存程度较一般河流快,因而多能够较好地保存其原始地貌形态,河道发育一般出现的相互切割程度较泛滥平原河道轻。基于这一特点,本次研究认为在三角洲平原区,完全有可能通过恢复河道摆动过程,再现河道砂体的形成历史,从而更好地表征河道砂体的内部结构特征,而这与传统的基于井点结构要素的识别和平面组合,获取砂体内部结构的方法具有不可替代的优势。因此通过研究可以给出一个最合理的河道砂体形成过程的解释,完全从过程的角度再现砂体的形成过程。

基于高弯曲流河的形成特点,从开发角度,可将其内部构成划分为复合河道、单一河道、点坝复合体、点坝增生体等几个层次,而处于不同演化阶段河流特征也有明显的差异。对于演化较成熟的高弯曲流河,由于多期截弯取直,使得河流体系中点坝和废弃河道分布极为复杂,基本上难于恢复其形成过程,只能通过已有井点解释结构进行组合,得到储层和渗流缓冲带的分布,大体预测其复杂的内部结构,其形成过程已不可恢复。而对于较年轻的改造不是很严重的高弯曲流河,其演化过程可以恢复,可以通过对井点沉积类型的判识,查明河流摆动过程,由河道带的摆动过程动态分析砂体之间关系,重塑储层内部结构。

本区曲流河属于三角洲平原上的分流河道,其演化远没泛滥平原曲流河成熟,在结构解剖时,完全可通过过程重塑解剖砂体内部构成,弄清储层结构非均质性。而现代沉积调查资料也在一定程度上证实,三角洲平原分流河道原始的砂体成因并非是平原期沉积的砂体,而是前缘沉积砂体的残余,平原期仅仅对砂体的形态和分布位置进行了改造,而很少有新增的砂体。基于此,本研究采用河流摆动思路解释砂体的形成过程,而对于难于纳入到河流体系中的厚层砂体,则认为是残余的前缘砂体。

基于以上认识,在本区高弯曲流河内部结构解剖时采用如下思路:首先在沉积微相研究基础上,确定复合河道的边界,在复合河道内识别和划分单一河道;其次在单一河道划分基础上,确定最终废弃河道

的流线,明确废弃河道的期次,分析废弃河道摆动特征,依据河流演化规律,给定河道最初位置,结合河道废弃期次和最终废弃位置,分析河道的迁移规律和摆动特征,并给定河道不同时期的主流线,依据河道演化的规律,结合河道各个时期的流线,界定点坝的边界;然后在识别点坝或点坝复合体的基础上,分析确定点坝的迁移,沿河道迁移的方向确定点坝的增长模式,由侧积轴线的变化,将复合点坝分解为单一点坝,在点坝内部识别侧积泥岩,从而完成对高弯曲河流储层的精细解剖。

## 2 单一河道识别

复合河道通过河流充分的侧向侵蚀和侧向加积使砂体的宽度逐步增加,当河流弯曲度增加到一定程度时,河流发生截弯取直而废弃,当某一期次的洪水使河道发生决口时,形成新的河道,河流在新的河道中侧向侵蚀和加积,这样河流不断的发生废弃演化,在三角洲泛滥平原形成了广阔的复合河道带砂体。

由于河道的废弃演化,形成了宽度可达数千米的河道砂体,在测井曲线上,自然电位变化较大,表现为钟形、箱形、圆头状,当有多期河道叠加时,可以表现为复合钟形、复合箱形、复合钟—箱形。复合曲流带砂体在平面上多为宽大带状、不规则席状,其大面积砂体往往是由多条单河道砂体拼合而成,在河道带内部有分布废弃河道,以及尖灭区和非河道沉积物,造成了河道内部很强的非均质性,因此,有必要在复合河道带内进行单一河道的划分。

单一河道是在平原上一条新的单一的河道的形成,经过发展、侧蚀沉积、废弃,直到在新的区域产生新的河道开始另外一期河道的演化,而老的河道废弃。一般河道砂体是由一条或者多条单一河道组合而成,对于复合河道内部的单河道,可以是同期,也可以是非同期。同期次是指2条或者多条单一河道在同一时期内在不同的区域同时发育的河道,不同期是指同一层内的河道砂体由不同时期发育的河道在纵向叠置和平面拼合而成。

不同成因砂体在岩性、电性平面和剖面几何形态上都有所差异,因此利用密井网条件下丰富的井资料结合高弯曲度曲流河河流演化的特点、各井点的曲线形态以及空间上的组合特点,综合识别出单一河道。

单河道边界的识别是识别单河道的关键,在识别河道带的基础上确定4种单一河道边界的识别标志(图1):

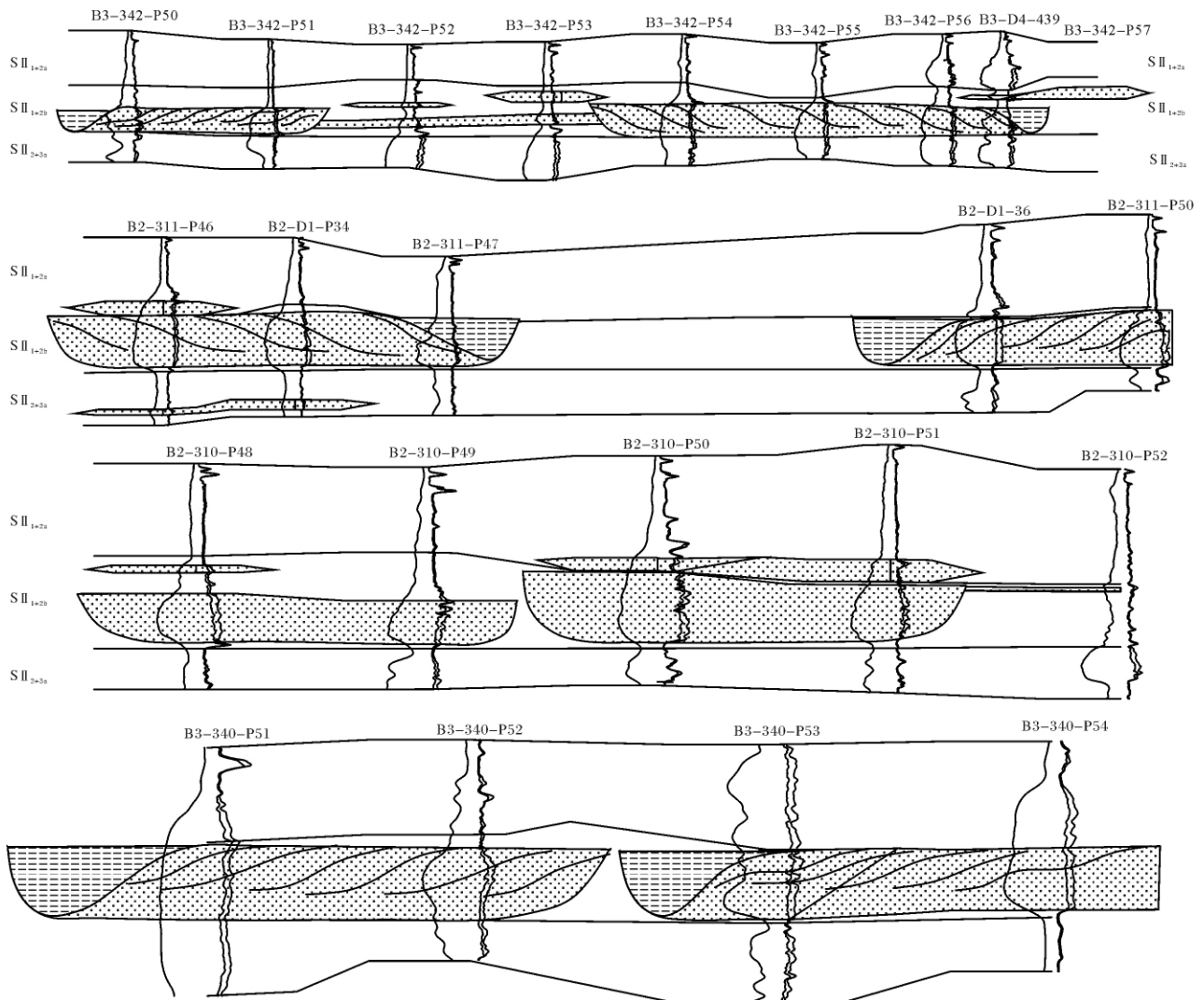


图 1 单河道划分标志

Fig. 1 Characteristics for single channel

2.1 不连续河间砂

平原上一定范围分布的大面积砂体是由多条河道侧向拼合而成,但两条河道之间总要出现分叉,留下河间沉积物的踪迹,沿着河道分布的不连续河间砂是划分不同河道的标志。

2.2 废弃河道

在曲流带内部,废弃河道代表一个点坝发育的结束,而最后一期次废弃河道代表一期河流沉积作用的改道。因此废弃河道沉积物是单一河道砂体边界的重要标志。

2.3 河道砂体厚度差异

由于不同的河道的分流能力受到多种因素的影响,不同的河道砂体的厚度必然会出现差异,由此造成沉积物在厚度上必然出现不同,如果这种边界在一

定范围内可以追踪,则也可以作为单河道划分的标志。

2.4 曲线形态差异

不同河道由于受到沉积古底形的影响,具有不同的沉积物携带能力,造成不同河道的测井曲线响应特征必然有一定的差别,不同的曲线形态可以作为单河道划分的标志。

在剖面图上依据单河道划分的标准,对砂体综合分析,并结合平面上砂体分布特征,在平面上进行组合,对目的层进行单一河道的划分。将 S II\_{1+2b} 划分为 2 条不同单一河道,流向由北向南,2 条单河道中间有明显的一条可追踪的河间沉积带。将 S II\_{12} 层划分为在工区北区由 2 条不同单一河道,在 B3—360 井排处汇合成一条河道。

### 3 河道演化和点坝识别

#### 3.1 单一河道内部构成单元

在单河道划分基础上,可进一步分不同内部结构单元,依据高弯曲河道砂体沉积规律,将目的层内单一河道砂体划分为废弃河道、末期河道、点坝。

##### 3.1.1 废弃河道

河道在演变过程中,曲率逐渐增大,河床上下游逐渐接近,当某次洪水较大时,被冲开,河道的某一段失去了作为地表水通行路径的功能时,这段河道废弃。废弃河道可分为突废和渐弃,在单井上表现为废弃河道底部与河道砂体底部一致,为砂质充填,上部有2种充填方式,突废型废弃河道上部表现为自然电位近基线,渐弃型河道为齿状,废弃河道间的泥质充填容易形成平面上的遮挡,降低驱油效果,形成剩余油;废弃河道的分布是识别点坝的重要标志,河道的废弃代表点坝发育的结束,在平面上废弃河道一般总是与点坝相邻分布。

##### 3.1.2 末期河道

末期河道是河道在形成、发展中逐渐弯曲,当上游河道决口改道后,使原来河道的下流整体废弃。严格来说这还属于废弃河道,不是真正的末期河道,只不过在研究区内表现为完全废弃而标志着该次河道事件的阶段性终结。末期河道比废弃河道在废弃时

间上稍晚。

##### 3.1.3 点坝

点坝是河道砂体内部主要的成因单元,由一些周期性侧向增长的若干侧积体叠加组合而成,在侧积体之间由泥质侧积层分割;点坝具有明显的河流二元结构,底部有冲刷面,向上有底部滞留沉积—大型槽状、板状交错层理—小型槽状、板状交错层理—小型交错层理波纹层理—块状泥岩相,粒序为正韵律,测井曲线上,自然电位表现为钟型、箱型。

#### 3.2 单一河道演化分析

在单河道划分的基础上主要是依靠测井曲线的识别,以多条剖面图结合砂体等厚图,确定单一河道内末期河道、废弃河道,通过分析河流演化过程来界定点坝的边界,具体的识别过程如下:

##### (1) 末期河道的确定

由于当新的河道形成后,水流发生改道,原来的老河道逐渐失去了作为水流通行路径的作用,形成静水环境,河道水动力较弱,细粒悬浮物质逐渐沉积,以形成泥质为主,在曲线上形态与废弃河道相似,当整条河道被充填后,在平面上的单一河道内其砂体厚度应该为一条相对连续的可追踪的砂体减薄的区域,可以综合砂体等厚图,剖面图来确定末期河道。

图2为S II<sub>1+2b</sub>砂体等厚图,B3-351井排B3-351-P51到B3-351-P53井,在砂体等厚图上表现为2个厚

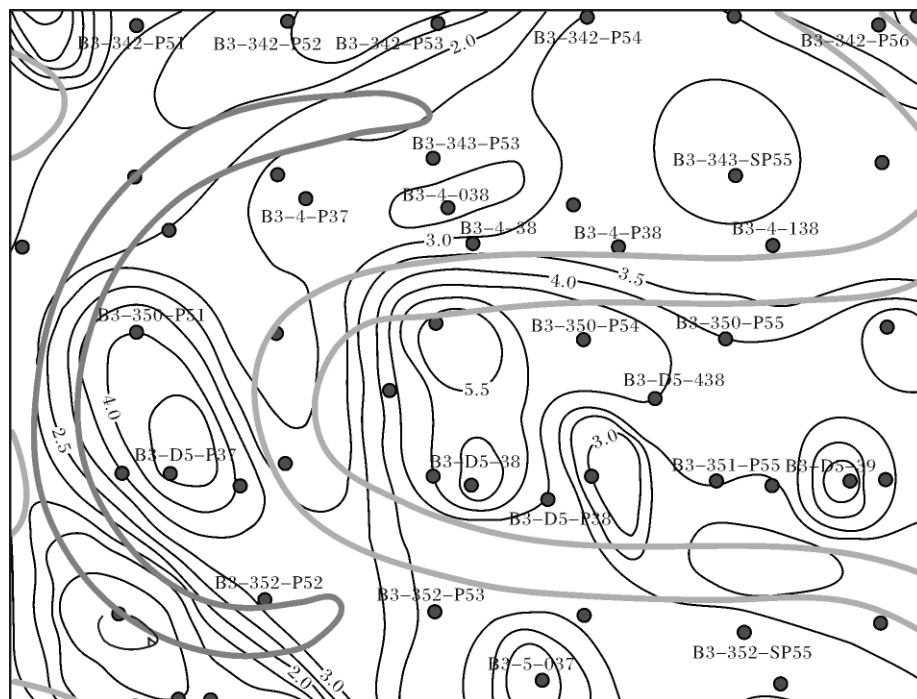


图2 由S II<sub>1+2b</sub>砂体等厚图判定废弃河道和末期河道

Fig. 2 The abandoned channel recognition based on the isopach map of sandstone

度中心,在中间 B3-351-P52 井为相对较薄的区域,河流在演化过程中逐渐向左弯曲,因此判断 B3-351-P52 为末期河道通过,在 B3-351-P51 边部为废弃河道。

依据 B3-352-P56 和 B3-353-SP57 测井曲线的形态,则预测该井点为末期河道通过的地方,通过结合上游 B3-351 井排所预测的末期河道区域,则在平面上组合出相邻 2 个弯道的末期河道,认为这 2 个井点为末期河道通过区域(图 3)。

因此通过剖面分析,结合平面砂体等厚图特征,在平面上组合后可预测末期河道(图 4)。

(2) 废弃河道确定

对于废弃河道的判断分为 2 种情况,首先对于有井点控制的废弃河道,可以直接通过测井曲线形态来判断;废弃河道几何形态为 C 形或者 O 形为主,规模

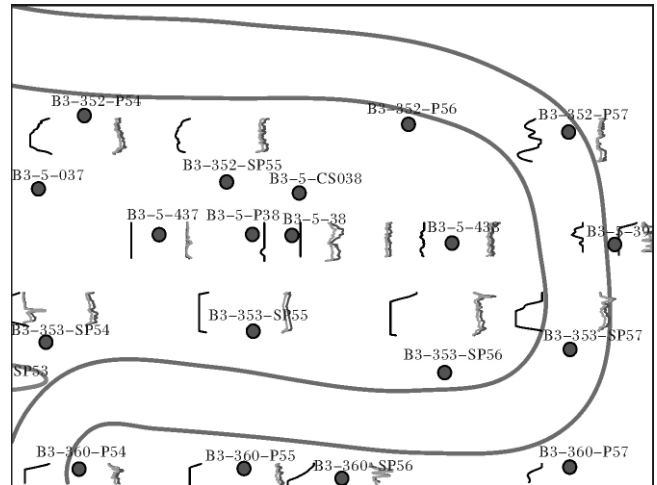


图 3 SII<sub>1+2b</sub>小层平面上末期河道的识别

Fig.3 Last phase abandoned channel recognition of layer SII<sub>1+2</sub>

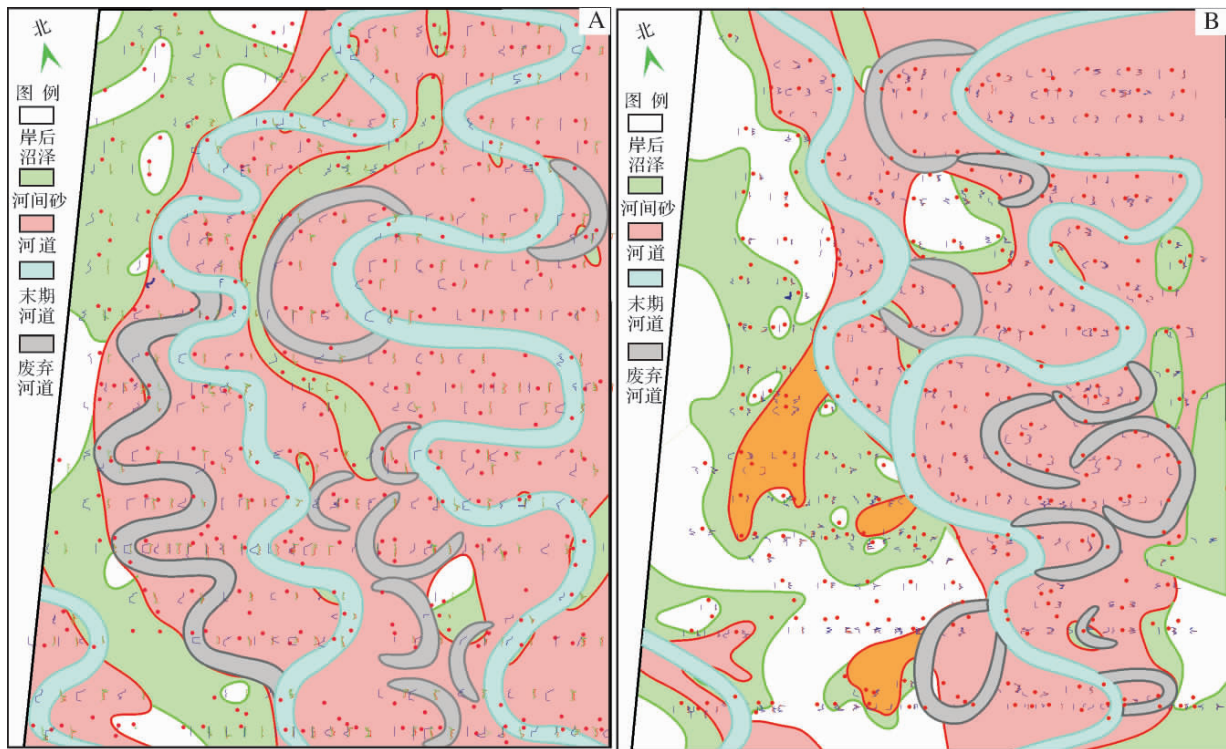


图 4 末期河道展布(A 为 SII<sub>1+2b</sub>单元, B 为 SII<sub>12</sub>单元)

Fig.4 Distribution of last phase abandoned channel ( A unit SII<sub>1+2b</sub>, B unit SII<sub>12</sub>)

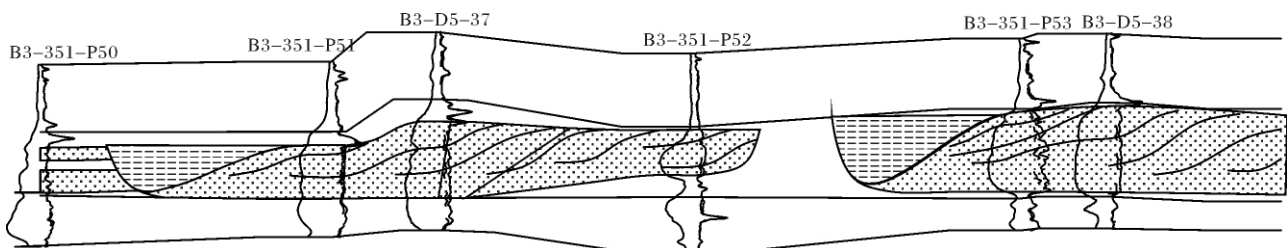


图 5 SII<sub>1+2b</sub>单元 B3-351 剖面图

Fig.5 Profile showing the architecture near Well B3-351-P52



也比较小,即使在密井网条件下,也不可能完全由井点控制,地下储层中只有少部分废弃河道才能被井点控制,对于没有井点控制的废弃河道则需要综合来判断,在确定单一河道和末期河道的基础上,依据剖面图和砂体等厚图,在曲流河凹岸处如果存在一定厚度的砂体,由剖面图(图5) B3-351-P52井两旁测井曲线呈现不同的特征,且在砂体等厚图上表现为有不同的砂体厚度中心则认为存在废弃河道。

在井点上识别废弃河道的时候,废弃河道的曲线形态往往与溢岸砂有时候难以区分,因此在识别废弃河道时,要综合一维井点曲线特征、相邻井排剖面,二维平面来综合判断。

### (3) 河道初始位置

河道在新形成时总是相对较顺直,由于河流的螺旋水流,使凹岸侵蚀,凸岸沉积,河流曲率逐渐增大,因此,河道的初始位置为一条相对较直的河流,图6中黑色流线即为预测的河道初始位置。

### (4) 河道摆动分析

对于  $SII_{1+2b}$ ,河道在开始为2条相对较顺直的单河道,然后曲率逐渐增大,当增大一定程度时,在由于洪水作用,A河道在 B3-D5 到 B3-351井排处决口,形成决口河道,河流改道,老的河道逐渐废弃,新的河

道为水体通过的主要路径,B河道在 B3-360井排改道,河道主流线向东移动,原来老河道废弃,在新的河道继续演化,最终在某个时期整条河道废弃,形成末期河道。对  $SII_{12}$ 层,在初始阶段也分为2条单河道(图7中黑线),河道逐渐弯曲,东面河道逐渐向西演化,最后2条河流在 B3-360—P51两条河道汇合,向下汇合成一条河道。

### (5) 河道流线

在分析河道演化的基础上,依据河道的演化过程,给定河道演化不同时期的河道主流向。 $SII_{1+2b}$ 小层A河道由黑色流线逐渐弯曲,到红色流线,最后演化到蓝色,整条河道废弃,为末期河道;B河道由黑色—灰色—红色—天蓝色—绿色—蓝色,河道最后到蓝色废弃,形成末期河道。

### 3.3 点坝边界确定

点坝是曲流河储层中的骨架砂岩,是主要的储油单元,因此点坝的识别极其重要。点坝的识别主要是通过曲线形态、砂体特征及废弃河道来进行识别。河流在演化过程中,当废弃河道形成时,表示一个点坝发育结束,因此废弃河道的存在就表示有点坝发育,点坝在测井曲线上,自然电位主要为钟型或箱型,在砂体等厚图上为厚度较大的区域。

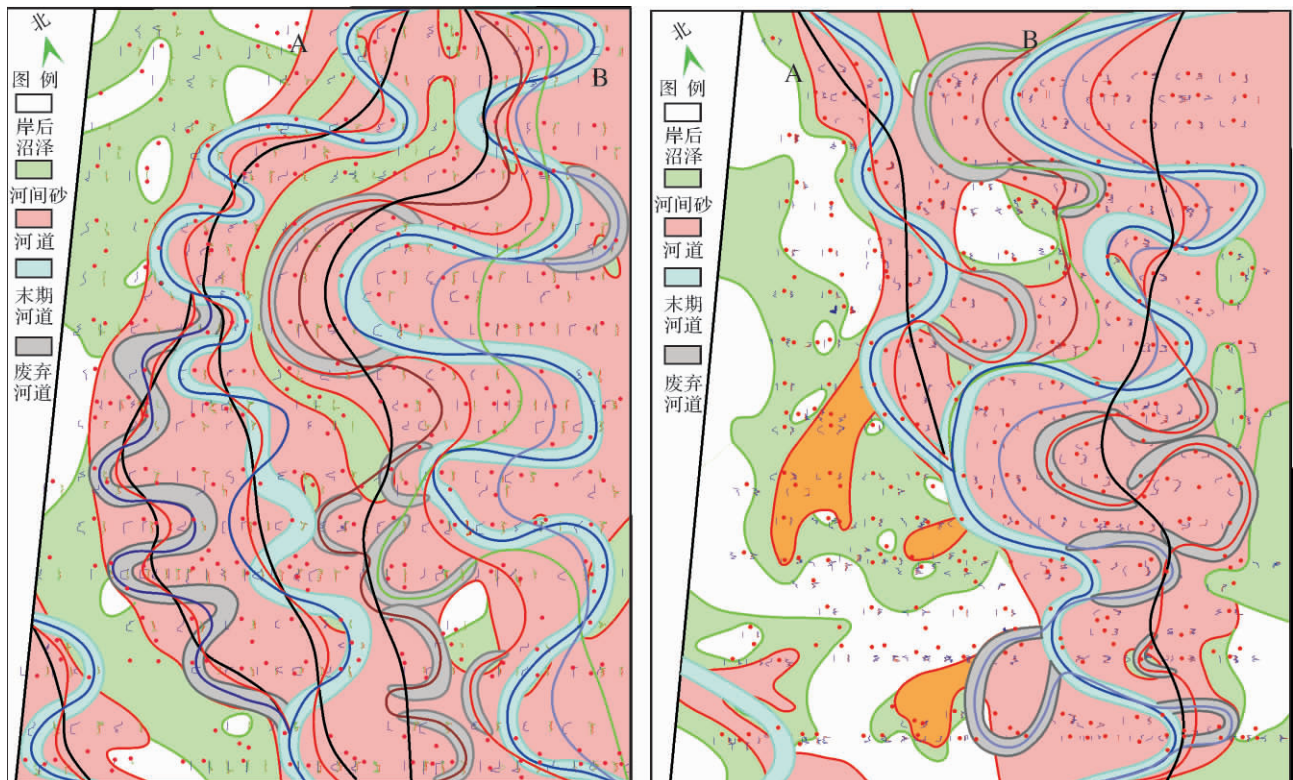


图6  $SII_{1+2b}$ 和  $SII_{12}$ 单元河流流线变化图

Fig. 6 Streamline swing in unit  $SII_{1+2b}$  and  $SII_{12}$

根据各种点坝的识别标志,综合判断点坝,依靠河道各个时期的流向来划定点坝边界。边界界定后,在S II<sub>1+2b</sub>和S II<sub>12</sub>单元分别识别出38个和23个点坝。这些点坝基本上可归为两种类型,一种是以早期废弃河道为边界形成的,由于受后期的河道改造,规模相对较小,一种是末期河道相联系的,规模相对较大。

## 4 点坝内部结构解剖

在点坝识别的基础上进行内部结构的分析,以点坝内部侧积体和侧积泥岩分布为主。

### 4.1 点坝内部结构模式

曲流河点坝是由于河流侧向加积作用形成的,当洪水期时,河流侧向迁移,由于凹岸侵蚀,凸岸沉积,在主洪峰跌落时搬运大量泥沙急剧堆积,形成侧积体,一个侧积体是点坝砂体中等时单元;当洪峰退去,水体相对安静,在侧积体上沉积薄的泥质层,形成侧积层,这些侧积体在平面上呈新月型,空间上为叠瓦状排列<sup>[18]</sup>;当后期洪水来临时,在局部部位可能遭致冲刷,有些泥质侧积层被侵蚀得不到保存,有些在高部位侧积层因河流侵蚀冲刷不及时,被保存下来,因此侧积层一般分布于垂向沉积的中上部,相当于旋回厚度靠上三分之一,侧积泥岩为点坝内部一种非渗透遮挡夹层,形成了曲流河点坝储砂体特殊的半连通体结构,这些薄夹层对砂体内部剩余油分布起到控制作用,在注水开发的过程中,侧积泥岩起到遮挡的作用,造成侧积砂坝有一定的剩余油的存在,因此识别点坝内部非渗透遮挡层对剩余油挖潜至关重要。

### 4.2 点坝增长及复合点坝的分解

曲流河点坝是由于凹岸侵蚀,凸岸沉积形成,每一期次洪水形成一个侧积体,当河道废弃,形成废弃河道后点坝发育结束。在河道曲率达到较高时,高弯曲河流点坝的增长方向可以发生改变,曲流侧积方向发生变化。

### 4.3 点坝内部侧积体、侧积层规模及倾角判断

#### (1) 侧积层倾向的判断

侧积夹层在平面上一般呈新月形,依据点坝砂体的侧积过程,侧积层的总是向废弃河道方向倾斜,从现代沉积模式可以看出,侧积层的侧积方向是指向废弃河道的凹岸。

#### (2) 侧积体、侧积层倾角及规模的判断

现代沉积和露头的研究表明侧积体的倾角一般

为 $5^{\circ} \sim 10^{\circ}$ <sup>[18]</sup>。在点坝侧积层倾角判断时,可以借助岩芯资料来判断。在通过砂体上部有一定厚度的水平泥岩进行校正后,判断B2-322-JP43岩芯泥质层倾角分别为 $6^{\circ}$ 和 $10^{\circ}$ 。

曲流河点坝内部侧积层与地层斜交,在先判断出夹层倾向的基础上可以通过对子井判断夹层的倾角,在对子井中确定为同一夹层的情况下依据井距和夹层的垂向高差来判断倾角。S II<sub>1+2b</sub>小层B3-361-P48和B-D6-435井,井距为32.8,侧积方向为由西向东,砂体厚度分别为4.1 m和3.6 m的点坝砂体,在垂向上确定同一侧积层,垂向高差为2.5 m。因此判断其倾角为 $\arctan(2.5/32.8) = 4.4^{\circ}$ ,在明确侧积体厚度和夹角的基础上,依据直角关系,算出侧积层的水平间距为16~20 m,侧积层的延伸长度为35.6 m。

综合对子井和岩芯资料,估算侧积泥岩的倾角在 $4^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 为主。

#### (3) 侧积体及泥质夹层分布特征

根据理论地质模型,在对侧积层单井识别和井间预测基础上,为了描述点坝砂体侧积夹层的平面形态、侧积方向、密度等分布特征,对S II<sub>1+2b</sub>和S II<sub>12</sub>层分别建立20条剖面来进行描述,预测了夹层在平面上的大致形态。

图7表明S II<sub>1+2b</sub>侧积体剖面和平面特征。河道自北而南,在演化过程中上游点坝由B3-352井排曲线的曲线形态,结合全区的河道演化特征,将此点坝分为2个单一的点坝,分别包含6、10个侧积体,靠近下游点坝分为11个侧积体。

## 5 结论

(1) 从开发角度,分流平原上的高弯曲流河可分复合河道、单一河道、结构要素及要素内部结构等四个层次进行储层结构解剖,以建立曲流河体系内部的砂体结构格架。

(2) 对于单一河道和点坝结构分析,可采用基于过程的方法进行分析,即先确定最终废弃河道的位置,给出初始河道的位置,按照中间废弃河道的分布及砂体特征,推测河道摆动过程,进而查明各个点坝的发育过程及组合关系。

(3) 对于点坝内部的结构特征分析,着重于侧积泥岩的分析,其重点在于侧积泥岩识别、产状确定及概率统计,可通过对子井及岩芯来获得夹层的分布特征,进而获得泥质披覆体的展布。

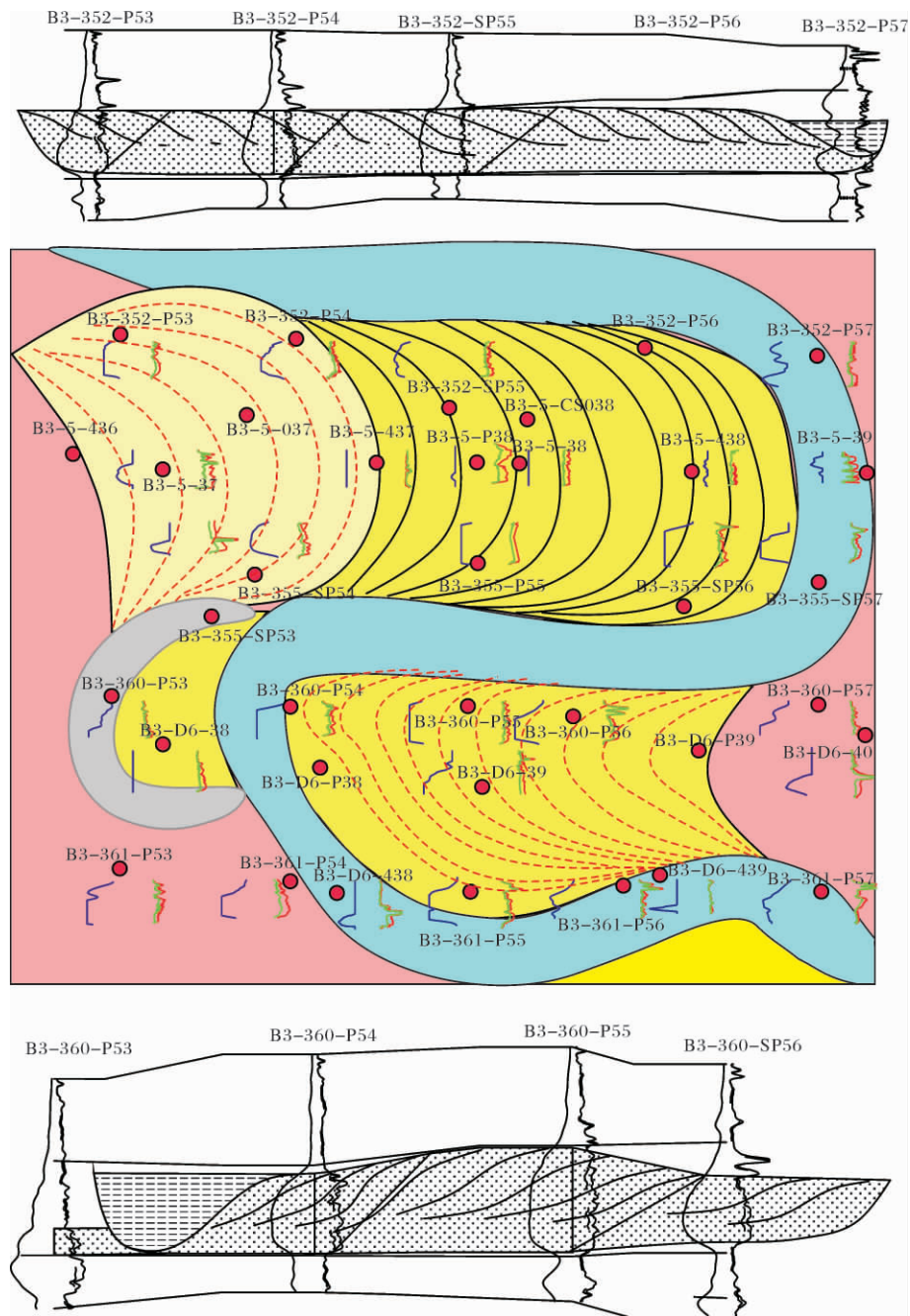


图7 侧积体平面及剖面内部结构

Fig. 7 Architecture of accretion unit in point bar in map and profiles

## 参考文献 (References)

- 1 裘亦楠, 肖敬修, 薛培华. 湖盆三角洲分类的探讨[J]. 石油勘探与开发, 1982, 9(1): 1-11 [Qiu Yanan, Xiao Jingxiu, Xue Peihua. Discussion on category of lake deltas [J]. Petroleum Exploration and Development, 1982, 9(1): 1-11]
- 2 许仕策, 赵翰卿. 注水开发油田中河流—三角洲砂岩体的研究[J]. 石油学报, 1980, 1(2): 11-19 [Xu Shice, Zhao Hanqing. A study of the river-deltaic sandstone bodies in oil fields developed by water flooding [J]. Acta Petrolei Sinica, 1980, 1(2): 11-19]
- 3 赵翰卿. 河道砂岩中夹层的稳定性[J]. 大庆石油地质与开发, 1985, 4(3): 1-12 [Zhao Hanqing. Continuity of intercalated beds in channel sandstones [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 1985, 4(3): 1-12]
- 4 裘亦楠. 储层沉积学研究工作流程[J]. 石油勘探与开发, 1990, 17(1): 85-90 [Qiu Yanan. A proposed flow-diagram for reservoir sedimentological study [J]. Petroleum Exploration and Development, 1990, 17(1): 85-90]



- 5 赵翰卿,付志国,刘波. 应用精细地质研究准确鉴别古代河流砂体[J]. 石油勘探与开发,1995,22(2): 68-70 [Zhao Hanqing, Fu Zhiguo, Liu Bo. Identification of the paleochannel sandbodies based on detailed geological study[J]. Petroleum Exploration and Development, 1995,22(2): 68-70]
- 6 吕晓光,田东辉,李伯虎. 厚油层平面宏观非均质性及挖潜方法的探讨[J]. 石油勘探与开发,1993,20(4): 58-73 [Lü Xiaoguang, Tian Donghui, Li Bohu. Areal macroscopic heterogeneity of thick pay and a discussing on the methods of oil potentials tapping in Daqing Oilfield[J]. Petroleum Exploration and Development, 1993,20(4): 58-73]
- 7 吕晓光,赵翰卿,付志国,等. 河流相储层平面连续性精细描述[J]. 石油学报,1997,18(2):66-71 [Lü Xiaoguang, Zhao Hanqing, Fu Zhiguo, et al. A detailed description of area continuity of fluvial reservoir [J]. Acta Petrolei Sinica, 1997,18(2):66-71]
- 8 吕晓光,赵淑荣,高宏燕. 三角洲平原相低弯度分流河道砂体微相及水淹变化特征[J]. 新疆石油地质,1999,20(2): 130-133 [Lü Xiaoguang, Zhao Shurong, Gao Hongyan. Microfacies and water flooded characteristics of low sinuosity distributary channel sandbody in delta distributary plain [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1999, 20(2): 130-133]
- 9 赵翰卿,刘波. 大型河流—三角洲体系中特低渗透储层与隔层的分布模式[J]. 大庆石油地质与开发,1991,10(1): 13-19 [Zhao Hanqing, Liu Bo. Distribution model of medium, super low permeability reservoirs & shale streak in large fluviodel complex [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 1991,10(1): 13-19]
- 10 张红薇,赵翰卿,麻成斗. 泛滥—分流平原相储层中河间砂体的精细描述[J]. 大庆石油地质与开发,1998,17(6): 22-24 [Zhang Hongwei, Zhao Hanqing, Ma Chengdou. Fine description of inter-channel sandbody in flood-distributary pain reservoir [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 1998,17(6): 22-24]
- 11 Miall A D. Architecture-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits[J]. Earth Science Reviews, 1985, 22: 261-308
- 12 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): 632-639 [Ma Shizhong, Sun Yu, Fan Guangjuan, et al. The method for studying thin interbed architecture of burial meandering channel sandbody [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2008,26(4): 632-639]
- 13 郑荣才,付志国,张永庆,等. 大庆萨北开发区下白垩统青山口组葡1-2油层曲流河边滩砂体内部建筑结构[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版,2008,35(5): 489-495 [Zheng Rongcai, Fu Zhiguo, Zhang Yongqing, et al. Distribution character of the interior interlayer in meander channel sandbodies of Pu 1-2 oil-bed in Sabei of Daqing Oilfield, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2008,35(5): 489-495]
- 14 张善严,刘波,陈国飞,等. 水平井岩芯侧测夹层初探[J]. 大庆石油地质与开发,2007,26(6): 56-60 [Zhang Shanyan, Liu Bo, Chen Guofei, et al. Primary research on lateral accretion with horizontal well core samples [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2007,26(6): 56-60]
- 15 张存才,付志国,黄述旺. 曲流河点坝砂体内部建筑结构三维地质建模[J]. 海洋石油,2007,27(4): 19-24 [Zhang Cuncai, Fu Zhiguo, Huang Shuwang. Inner geometry configuration three dimensional geological modeling of meandering river point bar sandbody [J]. Offshore Oil, 2007,27(4): 19-24]
- 16 白振强,王清华,杜庆龙,等. 曲流河砂体三维构型地质建模及数值模拟研究[J]. 石油学报,2009,30(6): 898-907 [Bai Zhenqiang, Wang Qinghua, Du Qinglong, et al. Study on 3D-architecture geology modeling and digital simulation in meandering reservoir [J]. Acta Petrolei Sinica, 2009,30(6): 898-907]
- 17 赵翰卿,付志国,吕晓光,等. 大型河流—三角洲沉积储层精细描述方法[J]. 石油学报,2000,21(4): 109-113 [Zhao Hanqing, Fu Zhiguo, Lü Xiaoguang. Methods for detailed description of large fluvial-delta depositional reservoir [J]. Acta Petrolei Sinica, 2000, 21(4): 109-113]
- 18 马世忠,杨清颜. 曲流点坝沉积模式、三维构形及其非均质模型[J]. 沉积学报,2000,18(2): 241-247 [Ma Shizhong, Yang Qingyan. The depositional model, 3-D architecture and heterogeneous model of point bar in meandering channels [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000,18(2): 241-247]

## Reservoir Architectural Analysis of Meandering Channel Sandstone in the Delta Plain Based on the Depositional Process

ZHANG Chang-min<sup>1</sup> YIN Tai-ju<sup>1</sup> YU Chen<sup>1</sup> YE Ji-gen<sup>2</sup> DU Qing-long<sup>3</sup>

(1. College of Geoscience, Yangtze University, Wuhan, Hubei, 430100;

2. Institute of E&P, PetroChina Beijing, 100083;

3. Institute of E&P, Daqing Oilfield, Daqing, Heilongjiang, 163000)

**Abstract:** Reservoir in Daqing Oilfield, the largest oil field in China, is mainly formed in the huge fluvial-delta system, with high heterogeneities. Distributary channel and channel sandstone are key sandbodies for hydrocarbon accumulation. After more than 40 years of high speed development, it is now in mature stage with a very high water cut. A good understanding of remaining oil and bypassed oil, which are governed by the baffles and barriers, will be a key

work for improving the recovery , while reservoir architectures will give a clue for the barriers and baffles prediction and the oil compartment identification.

Architecture analysis method , widely used for the outcrop analysis , is a good method to understanding the architecture of fluvial deposit. Although some attempts have been tried for the subsurface reservoir analysis and resulting some progress of this method , there are still many difficulties in the subsurface architecture description. Especially it is hard to give a good explanation for the deposition process of the reservoir for this method focusing on the reorganization and distribution of the elements and not enough attention were paid for the process , which made it a little difficult for geologist to understand the architecture result.

Here a new method for meandering channel sandstone architecture analysis was provided in the density well spacing area. It is hard to reconstruct the process of the highly cut super - complex sandstone , but it is possible to reconstruct the depositing process of moderately cut sandstone and a good explanation can be made for the relationship of the sandbodies in the channel framework. If the process is correct then the architecture will be more reliable.

There is four hierarchies of architecture were reconstructed in this method , including composite channel belts , single channel belt , point bar and lateral accretion. The composite channel belt was reconstructed based on the widely spread flooding plain deposit between channel belts in the vertical profile. The flooding deposit maybe eroded by the later channel. The main work is to separate the deposit in vertical dimension and to reconstruct a detailed framework. Single channel belt will be bounded based on the flooding plain deposit between channel belts on the areal dimension. Sometimes the distributary channel had to be separated by the sand distribution.

Point bar can be recognized on well logging , but it is difficult to make a correlation to get the 3 dimension of it. So it will be reconstructed based on the swing process of the channel. First the final abandoned position for the channel was inferred and abandoned channels during the swing process were recognized based on the sand thickness and the well logging shape of each well and their areal combination. Then the channel swing direction and part of the channel shape can be guessed. Finally the original place for the channel would be induced based on the swing direction and the sand thickness before the first abandoned channel. After all of these works , the channel belt could be separated to several stage and in each stage there were several point bars.

Lateral accretion architecture is reconstructed based on distribution of the areal density of accretion shale which can be quantified through its relation to its density and the dip in vertical profile. It is easy to get vertical accretion shale in core or well logging. The dip can be calculated based on the core or very densely spaced well which were drilled on the same well site.

Two typical layers formed in the delta plain in North S3 block were selected to reconstruct the process of the deposit and the detailed reservoir architecture. There are 38 and 23 point bars were recognized in the two layers each. And the dip of the accretion shale is between 4 ~ 10 degree and the areal space among shales is 16 ~ 20 meters. Combining these data and the shale distribution in the well , the architecture of the lateral accretion were constructed which gives a good understanding of the detailed architecture of the reservoir channel sandstone in the delta plain.

**Key words:** reservoir architecture; high sinuosity meandering river; depositional process; Daqing Oilfield