

# 辫状河三角洲前缘储层构型分析

——以彩南油田彩9井区三工河组为例

徐丽强<sup>1</sup>, 李胜利<sup>1\*</sup>, 于兴河<sup>1</sup>, 章彤<sup>2</sup>, 罗兴旺<sup>2</sup>, 姜国平<sup>1</sup>

(1. 中国地质大学(北京) 能源学院, 北京 100083; 2. 中国石油新疆油田分公司 彩南作业区, 新疆 阜康 831511)

**摘要:**彩南油田彩9井区三工河组由于多年注水开采,油水关系十分复杂,如何提高油田开发效果已成为急需解决的问题。研究区目前开发阶段井网调整的关键是明确储层的叠置关系,即目的层三工河组二段2和3小层辫状河三角洲前缘储层构型单元分布特征。为此,首先分析彩9井区目的层沉积微相的岩电特征,建立沉积微相的单井识别标志,为进一步的井间精细对比奠定基础;然后基于单井沉积微相识别结果,根据岩心、录井及测井资料对沉积微相内部精细解剖,明确不同级别储层构型单元的识别标志;以河流相沉积模式为指导,建立井间储层构型单元的静态分布模型,实现对不同级别储层构型单元的定量表征;最后由注采动态资料的响应关系验证储层构型单元静态分布模型的合理性和准确性。研究表明,建立的彩南油田彩9井区三工河组储层构型单元静态分布模型与研究区实际生产情况吻合较好,对于油藏后期的开发具有指导作用。

**关键词:**辫状河三角洲前缘 储层构型 静态分布模型 动态验证 彩9井区

中图分类号:TE112.2

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2016)05-0050-08

## Analysis of reservoir architecture in the braided river delta front: A case study of the Sangonghe Formation in Block Cai9 of Cainan oilfield

Xu Liqiang<sup>1</sup>, Li Shengli<sup>1</sup>, Yu Xinghe<sup>1</sup>, Zhang Tong<sup>2</sup>, Luo Xingwang<sup>2</sup>, Jiang Guoping<sup>1</sup>

(1. School of Energy Resources, China University Geosciences (Beijing), Beijing City, 100083, China; 2. Cainan Production District, Xinjiang Oilfield Company, PetroChina, Fukang, Xinjiang, 831511, China)

**Abstract:** Due to years of water-injection recovery, the distribution of oil and water is quite complex in the Sangonghe Formation in Block Cai9 of Cainan oilfield. To improve the development efficiency of oil field is very urgent. The key to the adjustment of well pattern in the current development stage of the study area is to make clear the overlapping relation of reservoir, which refers to the distribution characteristics of reservoir architecture of the second and the third layers of the second member in the Sangonghe Formation in the braided river delta front. Therefore, first of all it is required to analyze the rock electrical characteristics of sedimentary microfacies in order to establish the identification marks of sedimentary microfacies for the single well and lay a solid foundation for further fine contrast between the wells. Then, based on the identification results of sedimentary microfacies of the single well, these sedimentary microfacies were anatomized in order to make clear the identification marks of different levels of reservoir architecture unit, according to the core, mud logging and well logging data. Being guided by the fluvial facies sedimentary patterns, the static distribution model of cross-well reservoir architecture unit was established to realize the quantitative characterization of different levels of reservoir architecture unit. Finally, the rationality and reliability of the static distribution model of reservoir architecture unit was verified by the dynamic data. The result shows that the established static distribution model of reservoir architecture unit is reasonable and

收稿日期:2016-05-11。

作者简介:徐丽强(1990—),男,江西丰城人,在读硕士研究生,从事储层表征与建模以及沉积等方面的研究。联系电话:18811799918, E-mail:282724530@qq.com。

\*通讯作者:李胜利(1971—),男,四川达县人,副教授,博士。联系电话:(010)82321551, E-mail:slli@cugb.edu.cn。

基金项目:国家自然科学基金项目“基于单砂体构型与动态先期响应的三角洲储层流动单元表征方法研究”(41272132)和“河流辫曲转换与废弃特征及沉积构型响应”(41572080)。

reliable in the Sangonghe Formation in Block Cai9 of Cainan oilfield, and it is also in good agreement with the actual production situation of the research region, which has guiding function for the development of reservoir in the later stage.

**Key words:** braided river delta front; reservoir architecture; static distribution model; dynamic verification; Block Cai9

彩南油田三工河组油藏于1992年以反九点面积井网进行开发,截至2015年彩南油田彩9井区共有采油井112口,注水井26口,综合含水率为92.2%,采出程度为49.1%,已进入高采出程度、高含水阶段<sup>[1]</sup>。目前开发阶段油藏的非均质性较强,剩余油分布呈现平面高度分散、局部集中的特征。如何改善剩余油开发效果已成为研究区迫切需要解决的问题,急需对彩南油田三工河组辫状河三角洲前缘储层构型进行深入研究。

Miall通过河流相储层构型研究总结出河流相储层构型要素分析法<sup>[2]</sup>,随后诸多中外学者在储层构型研究方面也取得了丰硕的成果,极大地丰富了河流相沉积成因理论<sup>[3-9]</sup>。其中最为成熟的是曲流河储层构型研究<sup>[10-13]</sup>,但是对于辫状河三角洲前缘储层构型的研究却很少。辫状河三角洲前缘储层构型研究主要针对水下分流河道和分流河口坝。采用曲流河储层构型研究方法,以岩心和测井资料为基础,通过井间精细对比刻画彩南油田彩9井区三工河组辫状河三角洲前缘水下分流河道的储层构型<sup>[14-15]</sup>,据此建立研究区水下分流河道储层构型的静态分布模型。以辫状河心滩储层构型分布模式为指导<sup>[16-18]</sup>,基于岩心和测井资料,通过井间精细对比确定研究区辫状河三角洲前缘分流河口坝储层构型的静态分布模型。综合研究区动态资料对建立的辫状河三角洲前缘储层构型的静态分布模型进行验证,与实际生产情况吻合较好,可应用于指导油藏后期的开发。

## 1 地质概况

彩南油田位于准噶尔盆地中央隆起带白家海凸起东部斜坡带,东部与克拉美丽山相邻,南部与阜康凹陷为邻,东南部以准东油田为界<sup>[19]</sup>(图1)。彩南油田为一被断裂切割而复杂化的低幅度背斜构造,发育的三工河组( $J_{1s}$ )自上而下可以分为3段,分别为 $J_{1s1}$ 、 $J_{1s2}$ 和 $J_{1s3}$ ;其中 $J_{1s2}$ 发育辫状河三角洲前缘沉积,其储层岩性以中粗砂岩、细砂岩和砂砾岩为主<sup>[20]</sup>。彩9井区三工河组油藏位于彩南油田西部,是受东道海子断裂、彩005井断裂和彩007井断裂所切割形成的断鼻。为了针对研究区进行精细的储层构型研究,将 $J_{1s2}$ 进一步划分为3个小层,自

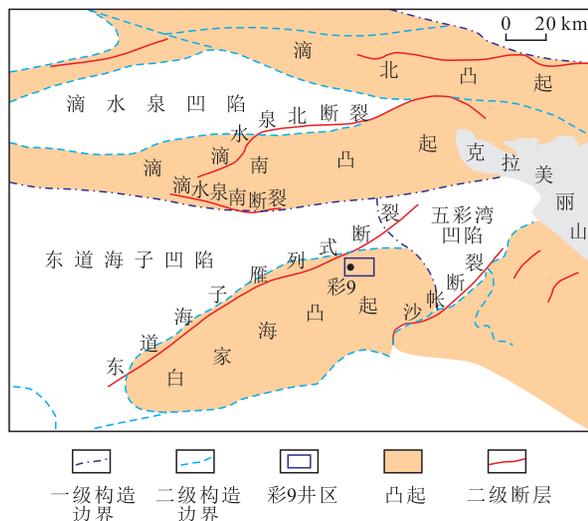


图1 彩南油田彩9井区构造位置

Fig.1 Location and structural settings of Block Cai9 in Cainan oilfield

上而下依次为 $J_{1s2}^1$ 、 $J_{1s2}^2$ 和 $J_{1s2}^3$ ;其中 $J_{1s2}^2$ 和 $J_{1s2}^3$ 为主要含油气层段,油层平均渗透率为 $165 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,平均孔隙度为20%,属于中孔中渗透油藏。

## 2 沉积微相特征

彩南油田彩9井区 $J_{1s2}$ 为辫状河三角洲前缘沉积,发育槽状、板状交错层理,可见碳屑、植物茎秆及冲刷面,以正韵律沉积为主。其测井曲线主要表现为钟形、箱形、漏斗形、指形和线形5种,主要发育水下分流河道、分流河口坝、席状砂和分流间湾4种沉积微相(图2)。

### 2.1 水下分流河道

水下分流河道是辫状河三角洲前缘沉积中常见的微相类型。岩性主要为砾岩—中细砂岩的正韵律组合,底部砂砾岩的砾石分选较好,磨圆度中等;河道底部主要发育大型槽状交错层理,可见砾石沿层理界面定向排列,中部可发育小型低角度板状交错层理,岩性为中—粗砂岩;顶部为灰绿色中—细砂岩,发育沙纹层理和水平纹层。通常水下分流河道砂体的物性较好,属于中孔高渗透储层,底部常见钙质夹层。大部分水下分流河道的测井曲线形态表现为中幅锯齿状钟形,底部为突变接触,顶部为渐变接触,反映水动力逐渐减弱和物源供给减少的沉积特征;也可见中高幅微齿状箱形,顶、底均为突变接触,反映沉积过程中水动力稳定、

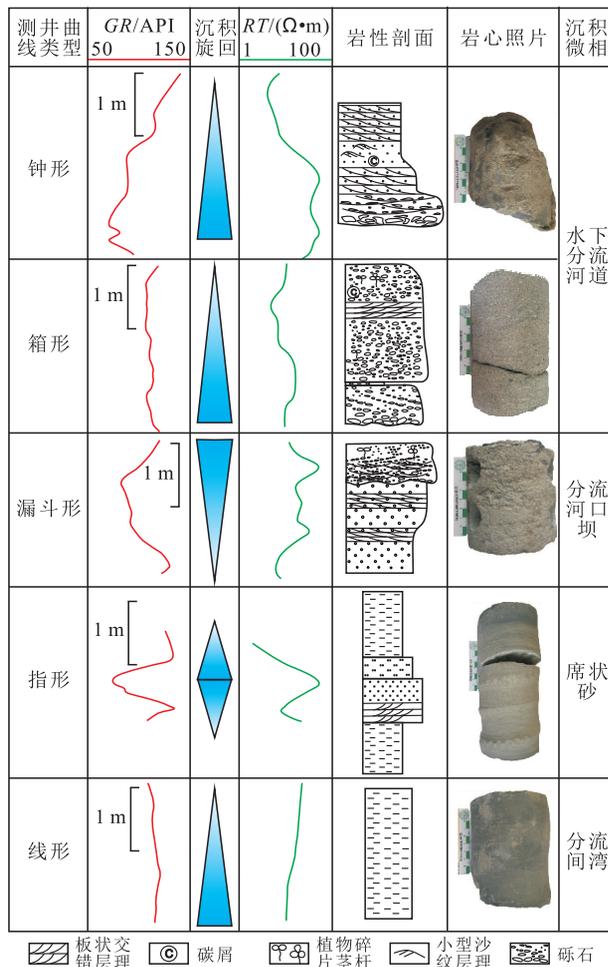


图2 彩南油田彩9井区J<sub>1s2</sub>沉积微相特征

Fig.2 Features of microfacies of the J<sub>1s2</sub> deposits in Block Cai9 in Cainan oilfield

物源供给充足的沉积特征。

### 2.2 分流河口坝

分流河口坝是辫状河三角洲前缘沉积最主要的微相类型。岩性主要是以粗砂岩和粉砂岩为主的反粒序沉积。其中板状交错层理砂岩相为其岩相组合中的主要岩相类型,底部岩性以含砾粗砂岩为主,发育槽状交错层理;中部以粗砂岩及中细砂岩为主,发育下截型板状交错层理;顶部以粉细砂岩及粉砂岩为主,通常发育钙质夹层,发育平行层理。分流河口坝的物性也较好,属于中孔高渗透储层。其测井曲线形态表现为中幅漏斗形,顶部突变、底部渐变,反映沉积过程中水动力逐渐增强和物源供给较为充足的沉积特征。

### 2.3 席状砂

席状砂主要是由分流河口坝经海水的冲刷作用以及波浪作用改造形成的,分布于辫状河三角洲前缘,厚度薄且大面积分布。岩性以粉、细砂岩为主,发育板状交错层理。其测井曲线形态表现为中幅指形,顶、底均为突变,反映沉积过程中水动力变

化和间接性物源供给的沉积特征。

### 2.4 分流间湾

分流间湾是辫状河三角洲向前推进时,在水下分流河道间形成的一系列楔形泥质沉积。岩性主要以灰绿色粉砂岩和泥岩为主,其中砂质沉积主要是由洪水漫越河床而形成,通常是以粘土夹层或薄透镜体形状分布,主要发育水平层理和透镜状层理。其测井曲线形态表现为低幅微齿状线形,反映沉积过程中水动力弱且稳定的静水沉积特征。

## 3 储层构型分析

辫状河三角洲前缘主要的储集砂体为水下分流河道和分流河口坝,是彩9井区J<sub>1s2</sub><sup>2</sup>和J<sub>1s2</sub><sup>3</sup>发育的主要沉积微相类型。由于J<sub>1s2</sub><sup>1</sup>处于辫状河三角洲的消亡阶段,其水下分流河道和分流河口坝发育较差,主要发育水下分流间湾及席状砂,因此主要针对研究区J<sub>1s2</sub><sup>2</sup>和J<sub>1s2</sub><sup>3</sup>进行储层构型分析。

### 3.1 储层构型单元划分

结合彩9井区J<sub>1s2</sub><sup>2</sup>和J<sub>1s2</sub><sup>3</sup>油藏实际情况,采用Miall提出的河流相储层构型界面分类方案<sup>[21]</sup>,根据岩心、录井及测井资料,在研究区目的层辫状河三角洲前缘储层中识别出5级储层构型界面,分别为交错层系界面、层系组界面、水下分流河道侧积体及分流河口坝增生体构型界面、单一水下分流河道或分流河口坝构型界面、复合砂体构型界面,划分出交错层系、层系组、水下分流河道侧积体及分流河口坝增生体、单一水下分流河道或分流河口坝、复合砂体共5级储层构型单元(图3)。由于1级和2级储层构型界面在单井上不易识别,而3—5级储层构型界面在单井上较易识别且可以在油田或井区范围内追踪对比,因此主要对研究区辫状河三角洲前缘的3—5级储层构型界面进行研究。

#### 3.1.1 水下分流河道侧积体及分流河口坝增生体

研究区辫状河三角洲前缘3级储层构型界面为水下分流河道侧积体及分流河口坝增生体的顶、底界面。根据研究区的岩心观察及测井资料分析结果,可以将J<sub>1s2</sub><sup>2</sup>和J<sub>1s2</sub><sup>3</sup>发育的3级储层构型界面划分为钙质夹层、泥质夹层以及物性夹层3种类型。其中,钙质夹层的岩性主要为灰白色钙质胶结的中细砂岩,测井曲线主要表现为较低的自然伽马,电阻率曲线呈尖峰状,较低的声波速度,较大的密度且其曲线呈尖峰状;泥质夹层的岩性主要为灰色泥岩及粉砂质泥岩,测井曲线表现为自然伽马相对其上、下砂体明显增大,电阻率降低且幅度差很小;物

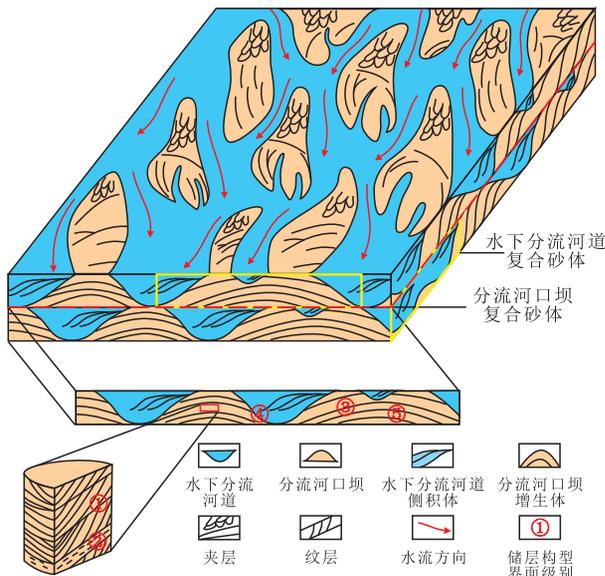


图3 彩南油田彩9井区  $J_{1s_2}^2$  和  $J_{1s_2}^3$  辫状河三角洲前缘储层构型单元划分

Fig.3 Reservoir architecture unit division in the braided river delta front of the  $J_{1s_2}^2$  and the  $J_{1s_2}^3$  in Block Cai9 in Cainan oilfield

性夹层的岩性主要为泥质粉砂岩,多数以含砂的泥质条带分布,测井曲线主要表现为自然伽马具有增大趋势,但低于泥质夹层,电阻率降低但仍有一定的幅度差。

### 3.1.2 单一水下分流河道或分流河口坝

研究区辫状河三角洲前缘4级储层构型界面为单一水下分流河道底部或分流河口坝顶部。通过岩心和测井资料分析发现,单一水下分流河道构型界面底部是一套高基质含量的滞留砾岩,测井曲线表现为较高的自然伽马和较低的电阻率;而单一分流河口坝构型界面顶部披覆一套稳定的泥岩或粉砂质泥岩,相对于复合砂体,其测井曲线表现为自然伽马稍有降低,密度降低,电阻率有升高趋势。

### 3.1.3 复合砂体

在河流的演化过程中,经常会出现多期河道相互叠置,或者同一地质时期由于分支河道发生汇聚形成相互叠置,构成1个水下分流河道复合体,即复合砂体(图3)。此外,由于水下分流河道频繁的迁移和改道,相应的分流河口坝同样会随着水下分流河道的迁移而发生迁移,表现为在垂向上相互叠置接触、横向上切割接触,形成1个分流河口坝复合体,即复合砂体(图3)。

复合砂体构型界面为水下分流河道顶部泛滥泥岩或底部冲刷面,在研究区通常普遍发育,可以在全区追踪、对比。通过岩心和测井资料分析发现,研究区  $J_{1s_2}^2$  和  $J_{1s_2}^3$  发育的5级储层构型界面顶部

以一套稳定且较厚的泥岩为主,测井曲线上表现为高自然伽马、低电阻率、高密度;其底部为水下分流河道的冲刷面,为一套较为致密的滞留砾岩,基质含量非常高,虽然砾岩的自然伽马应较低、电阻率较高,但由于含有大量的基质,导致自然伽马升高、电阻率降低。

## 3.2 储层构型单元定量表征

根据不同级别储层构型单元的划分结果,基于岩心观察及测井资料分析,可以确定研究区  $J_{1s_2}^2$  和  $J_{1s_2}^3$  不同级别储层构型单元的单井识别标志,进而进行多井对比,最终确定研究区  $J_{1s_2}^2$  和  $J_{1s_2}^3$  辫状河三角洲前缘不同级别储层构型单元的分布特征<sup>[22]</sup>。由于研究区缺乏三维地震资料且尚未建立复合砂体定量表征的经验公式,因此,对于研究区  $J_{1s_2}^2$  和  $J_{1s_2}^3$  辫状河三角洲前缘储层构型单元的定量表征主要针对3级和4级储层构型单元,即水下分流河道侧积体及分流河口坝增生体和单一水下分流河道或分流河口坝。

### 3.2.1 水下分流河道侧积体及分流河口坝增生体

首先,采用井间精细对比,对研究区  $J_{1s_2}^2$  和  $J_{1s_2}^3$  辫状河三角洲前缘水下分流河道和分流河口坝内部夹层进行分析,发现分流河口坝内部夹层整体呈连续或部分连续分布,沿物源方向的连续性要好于垂直物源方向;而水下分流河道内部夹层在沿物源方向和垂直物源方向均整体呈连续或部分连续分布。然后,采用密井网区的主要注水井组及小井距,如C2013注水井组来分析不同水下分流河道和分流河口坝内部夹层的分布特征;基于辫状河三角洲前缘储层构型单元划分结果<sup>[23]</sup>(图3),通过井间精细对比,对研究区  $J_{1s_2}^2$  和  $J_{1s_2}^3$  辫状河三角洲前缘水下分流河道和分流河口坝内部夹层分布特征进行定量表征。最后,分别对水下分流河道内部夹层所分隔的侧积体和分流河口坝内部夹层所分隔的增生体进行测量与统计,以实现水下分流河道侧积体及分流河口坝增生体构型单元的定量表征。

水下分流河道侧积体 对水下分流河道内部夹层的定量表征,主要以曲流河沉积模式为指导,基于岩心及测井资料,采用密井网区单个井组及小井距来分析不同水下分流河道内部夹层的分布特征。水下分流河道内部夹层倾角的计算主要是基于水下分流河道内部夹层的分布特征,测量同一水下分流河道内部夹层的顶部距最近沉积旋回顶面的距离及其宽度,计算两者之比的反正切函数值,即为水下分流河道内部夹层的倾角<sup>[16]</sup>。研究区  $J_{1s_2}^2$

和 $J_{1s_2^3}$ 水下分流河道内部夹层的统计结果表明,其宽度为143~695 m,平均为419 m;倾角为 $0.2^\circ \sim 1.6^\circ$ ,平均为 $0.9^\circ$ 。根据水下分流河道内部夹层的分布特征,对其所分隔出的不同期次的水下分流河道侧积体的倾角、厚度及宽度分别进行测量与统计。结果表明,研究区 $J_{1s_2^2}$ 和 $J_{1s_2^3}$ 水下分流河道侧积体的倾角为 $0.1^\circ \sim 1.5^\circ$ ,平均为 $0.8^\circ$ ;厚度为1.6~7.8 m,平均为4.7 m;宽度为143~695 m,平均为439 m。

分流河口坝增生体 辫状河三角洲前缘分流河口坝内部夹层的分布与物源方向有关。分流河口坝内部夹层在垂直物源方向主要呈加积形式沉积,其形态呈上拱状;沿物源方向呈顺流前积式沉积,其形态呈侧向叠置状。因此,对于分流河口坝内部夹层的规模应按照沿物源方向和垂直物源方向分别进行分析。结果表明,沿物源方向,分流河口坝内部夹层的宽度为301~543 m,平均为422 m;倾角为 $0.1^\circ \sim 1.5^\circ$ ,平均为 $0.8^\circ$ 。垂直物源方向,分流河口坝内部夹层的宽度为310~442 m,平均为376 m;倾角为 $0.3^\circ \sim 1.9^\circ$ ,平均为 $1.1^\circ$ 。由于辫状河三角洲前缘分流河口坝内部夹层的分布与物源方向密切相关,因此需结合物源方向对分流河口坝增生体的分布特征进行统计与分析。研究结果表明,沿物源方向研究区 $J_{1s_2^2}$ 和 $J_{1s_2^3}$ 分流河口坝增生体的倾角为 $0.1^\circ \sim 1.4^\circ$ ,平均为 $0.6^\circ$ ;厚度为1~8 m,平均为4.5 m;宽度为301~560 m,平均为456 m。垂直物源方向,分流河口坝增生体的倾角为 $0.2^\circ \sim 1.7^\circ$ ,平均为 $1.0^\circ$ ;厚度为1~10 m,平均为4.8 m;宽度为310~465 m,平均为386 m。

### 3.2.2 单一水下分流河道或分流河口坝

辫状河三角洲前缘储层主要为水下分流河道或分流河口坝2种沉积微相。基于单井沉积微相的识别与划分,依据储层构型单元的井间对比原则进行井间精细对比,分别测量单一水下分流河道和分流河口坝构型单元的宽度及厚度,共测量研究区71个4级储层构型单元,进而确定单一水下分流河道和分流河口坝构型单元的分布特征。

单一水下分流河道 研究区单一水下分流河道的宽度为215~1 043 m,整体呈正态分布;其中,宽度为482~905 m的单一水下分流河道占有统计河道的67.5%。单一水下分流河道的厚度为4~12 m,呈双峰态分布,峰值分别为6~7和9~10 m。单一水下分流河道的宽厚比为49.14~109.71,整体呈正态分布;其中,宽厚比为59.24~89.54的单一水下分流河道占有统计河道的65%。

单一分流河口坝 研究区单一分流河口坝的

宽度主要为451~815 m,呈近正态分布;其中,宽度为512~695 m的单一分流河口坝占有统计河口坝的67.8%。单一分流河口坝的厚度为6~14 m,整体呈双峰态分布,峰值分别为6~8和11~12 m。单一分流河口坝的宽厚比为47.75~93.67,整体亦呈双峰态分布,峰值为47.75~54.7和70.7~78.7。

单一水下分流河道或分流河口坝宽度与厚度的相关性 研究区单一水下分流河道或分流河口坝的宽度与厚度的相关性分析结果(图4)表明,单一水下分流河道的宽度与厚度是以幂函数的形式呈正相关关系,其相关系数为0.838(图4a),说明单一水下分流河道的宽度与厚度的相关性较好。而单一分流河口坝的宽度与厚度则是以对数函数的形式呈正相关关系,其相关系数为0.650(图4b),说明单一分流河口坝的宽度与厚度的相关性较差,这可能是水下分流河道频繁迁移和改道对分流河口坝造成侵蚀所导致的。

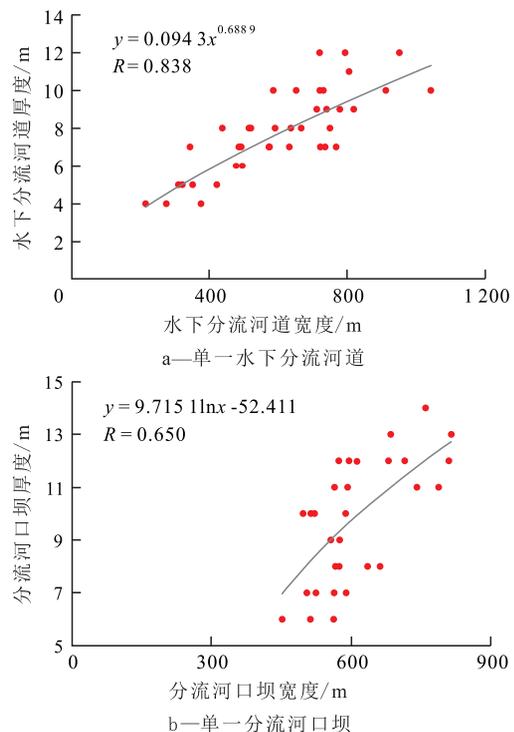


图4 彩南油田彩9井区单一水下分流河道和分流河口坝宽度与厚度的相关性

Fig.4 Correlation between width and thickness of single underwater distributary channel and distributary mouth bar in Block Cai9 in Cainan oilfield

## 4 动态资料验证

根据不同级别储层构型单元的划分结果及定量表征,确定彩9井区 $J_{1s_2^2}$ 和 $J_{1s_2^3}$ 不同级别储层构型单元的分布特征。基于单井岩心及测井资料,建立

不同级别储层构型单元的静态分布模型(图5),并利用研究区的动态资料对建立的静态分布模型的

合理性和准确性进行验证,以彩9井区典型井组C2013井组为例。

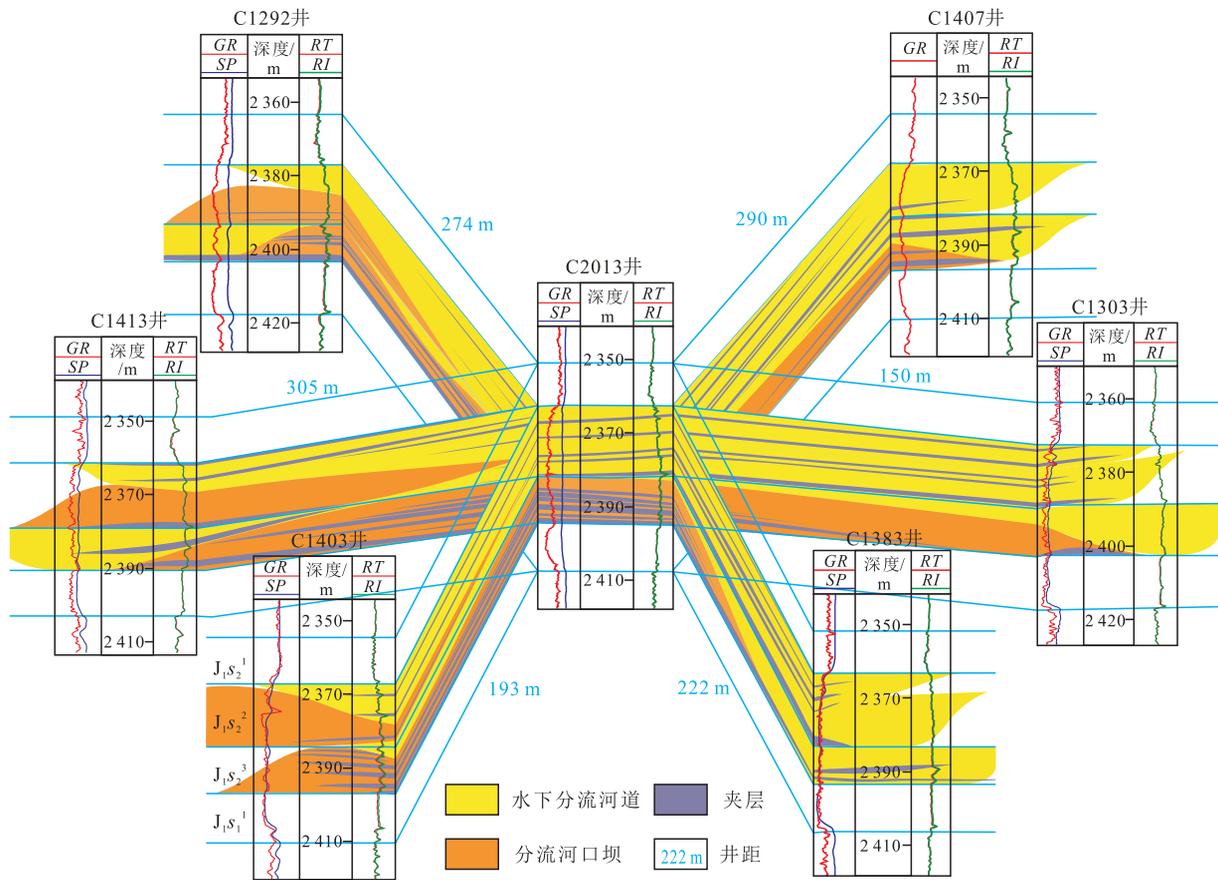


图5 彩9井区C2013井组不同级别储层构型单元的静态分布模型

Fig.5 Static distribution model of different levels of reservoir architecture unit of C2013 well group in Block Cai9

#### 4.1 注水量与产液量的动态响应关系

分析研究区 $J_1s_2^2$ 注水井的注水量与产油井的产液量的动态响应曲线(图6)发现,自2004年开始转注至2010年,C2013注水井的注水能力呈现平稳上升趋势,对应的C2013井组的C1292采油井的产液能力也基本呈现平稳上升趋势,而C1303采油井的产液能力却呈现平稳下降趋势。2010—2014年,C2013注水井的注水能力开始呈现平稳下降趋势,对应的C1292采油井的产液能力也开始呈现平稳下降趋势,而C1303采油井的产液能力却呈现缓慢上升趋势。此外,基于所建立的C2013井组的辫状河三角洲前缘储层构型静态分布模型(图5)可知,C2013注水井与C1292采油井的连通性较好,因此其对应的注采响应特征基本一致,与C2013注水井和C1292采油井的注采动态响应关系分析结果基本吻合。而C2013注水井与C1303采油井之间由于多套夹层发育产生的阻隔作用<sup>[24]</sup>导致2口井之间的连通性较差,其对应的注采动态响应特征的相关性较

差或呈负相关关系,与C2013注水井和C1303采油井的注采动态响应关系分析结果基本吻合。因此,研究区的生产动态数据与所建立的辫状河三角洲前缘储层构型的静态分布模型具有较好的相关性,也证实所建立的辫状河三角洲前缘储层构型静态分布模型是合理、准确的。

#### 4.2 吸水层与产液层的动态响应关系

研究区C2013注水井在 $J_1s_2^2$ 增加3个注水射孔段,其埋深分别为2366~2370,2371~2375和2376~2380m,对应的C2013井组的C1403采油井增加2个采油射孔段,其埋深分别为2367~2370和2371~2374m。在2011年分别对2口井进行测试,C2013注水井在2371~2375和2376~2380m射孔段注水,注水量分别为60.1和24.0 m<sup>3</sup>,C1403采油井2个射孔段的产液量分别为3.9和3.5 t/d;至2012年,再次对2口井进行测试,C2013注水井在2366~2370和2371~2375m射孔段注水,注水量分别为22.9和40.9 m<sup>3</sup>,C1403采油井2个射孔段的

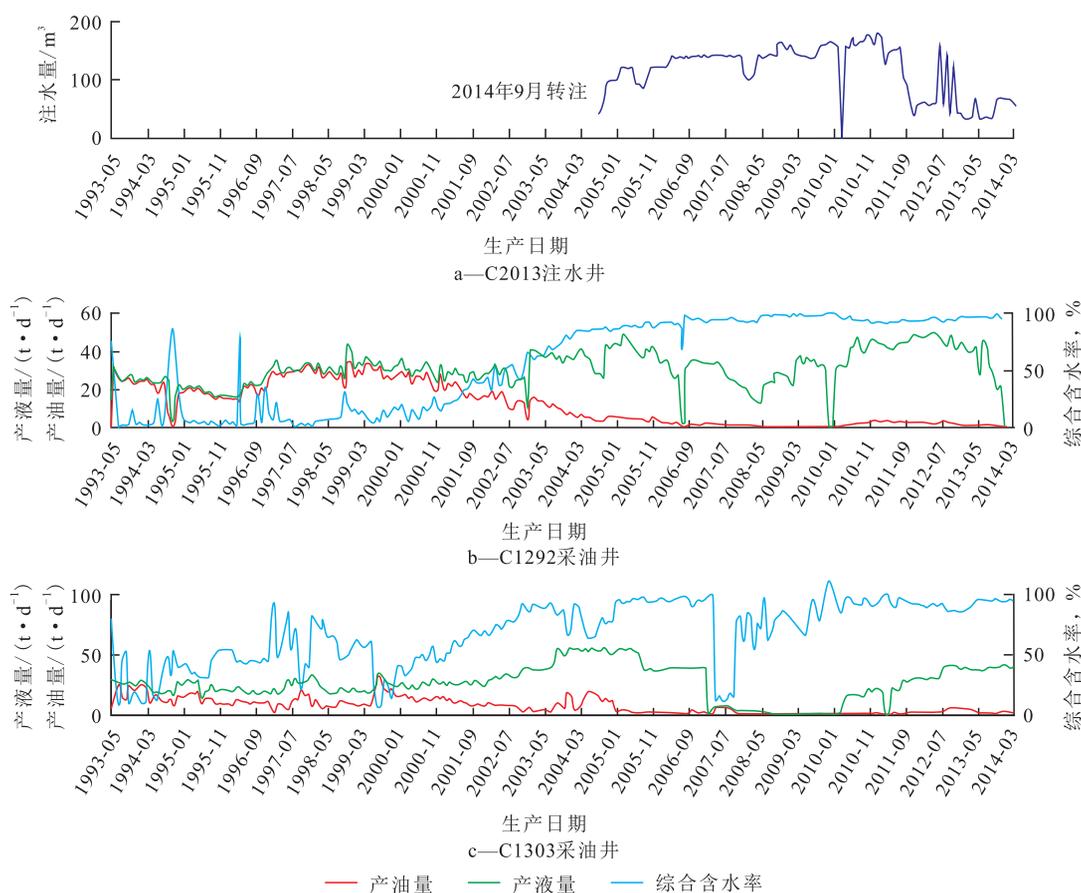


图6 彩9井区 $J_{1s_2}$ C2013注水井与C1292和C1303采油井的注采动态响应曲线

Fig.6 Injection-production dynamic response curves of C2013 water injection well and C1292, C1303 oil well of the  $J_{1s_2}$  in Block Cai9

产液量分别为2.0和3.5 t/d。对比2次测试结果发现,当C2013注水井的吸水量下降时,C1403采油井的产液量也下降。在所建立的C2013井组辫状河三角洲储层构型静态分布模型中,C2013注水井与C1403采油井之间虽然发育少量夹层,但由于厚度太薄且宽度较小,未延伸至C1403采油井,对流体的阻隔作用非常弱,因此2口井之间整体的连通性较好。C2013注水井的吸水量与C1403采油井的产液量之间的注采动态响应特征基本一致,与C2013注水井和C1403采油井的注采动态响应特征分析结果也基本吻合,亦证实所建立的辫状河三角洲前缘储层构型静态分布模型的合理性与准确性。

## 5 结论

基于辫状河三角洲前缘沉积微相的岩电特征分析,对彩南油田彩9井区三工河组辫状河三角洲前缘储层构型单元进行识别与划分。在彩9井区 $J_{1s_2}^2$ 和 $J_{1s_2}^3$ 辫状河三角洲前缘储层中识别出5级储层构型界面,分别为交错层系界面、层系组界面、水下分流河道侧积体及分流河口坝增生体构型界面、单

一水下分流河道或分流河口坝构型界面、复合砂体构型界面,划分出交错层系、层系组、水下分流河道侧积体及分流河口坝增生体、单一水下分流河道或分流河口坝、复合砂体共5级储层构型单元。由于1—2级储层构型界面在单井上不易识别,因此主要针对3—5级储层构型界面进行识别与划分。在河流相沉积成因理论的指导下,基于密井网区的主要注水井组及小井距,采用井间精细对比分别对水下分流河道和分流河口坝内部夹层的分布特征进行定量分析,建立辫状河三角洲前缘储层构型的静态分布模型。利用生产动态资料证实所建立的辫状河三角洲前缘储层构型的静态分布模型合理、准确,与实际油藏的生产情况吻合较好,亦表明辫状河三角洲前缘储层构型单元的定性与定量研究方法具有较好的实用性,可以指导油藏的后续开发,进一步提高开发效果。

### 参考文献:

- [1] 郑强,张武,杨新平,等.高含水高采出程度阶段砂岩油藏提液开采研究——以彩南油田彩9井区三工河组油藏为例[J].新疆石油天然气,2013,9(2):24-27.

- Zheng Qiang, Zhang Wu, Yang Xinping, et al. Research on increase of fluid delivery in sandstone reservoirs with high watercut at high degree of reserve recovery—an example of Sangonghe reservoir in well block Cai-9 of Cainan Oilfield [J]. *Xinjiang Oil & Gas*, 2013, 9(2): 24-27.
- [2] 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.
- [3] 罗水亮, 曾琛, 韩学辉. 储层构型分析及聚合物驱后测井评价联合识别剩余油——以孤东油田七区西馆上段为例 [J]. *油气地质与采收率*, 2014, 21(1): 92-94.
- Luo Shuilang, Zheng Chen, Han Xuehui. Application of coupling reservoir architecture and logging evaluation after polymer flooding to identify remaining oil—case of upper Guantao member, west block 7 of Gudong oilfield [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2014, 21(1): 92-94.
- [4] 陈彬滔, 于兴河, 王天奇, 等. 砂质辫状河岩相与构型特征——以山西大同盆地中侏罗统云冈组露头为例 [J]. *石油与天然气地质*, 2015, 36(1): 111-117.
- Chen Bintao, Yu Xinghe, Wang Tianqi, et al. Lithofacies and architectural characteristics of sandy braided river deposits: a case from outcrops of the Middle Jurassic Yungang Formation in the Datong Basin, Shanxi province [J]. *Oil & Gas Geology*, 2015, 36(1): 111-117.
- [5] Gabriela I Keeton, Matthew J Pranter, Rex D, et al. Stratigraphic architecture of fluvial deposits from borehole images, spectral-gamma-ray response, and outcrop analogs, Piceance Basin, Colorado [J]. *AAPG Bulletin*, 2015, 99(10): 1 929-1 956.
- [6] 何文祥, 许雅, 刘军锋, 等. 马岭油田北三区河流相储层构型综合地质研究 [J]. *石油学报*, 2010, 31(2): 274-279.
- He Wenxiang, Xu Ya, Liu Junfeng, et al. Integrated geology study on fluvial reservoirs architecture in No.3 district of northern Maling Oilfield [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2010, 31(2): 274-279.
- [7] 王石, 万琼华, 陈玉琨, 等. 基于辫状河储层构型的流动单元划分及其分布规律 [J]. *油气地质与采收率*, 2015, 22(5): 47-51, 68.
- Wang Shi, Wan Qionghua, Chen Yukun, et al. Flow units division and their distribution law based on braided river reservoir architecture [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2015, 22(5): 47-51, 68.
- [8] 钟思瑛, 刘金华, 乔力, 等. 真武油田辫状河心滩微相储层构型研究 [J]. *特种油气藏*, 2014, 21(2): 32-36.
- Zhong Siying, Liu Jinhua, Qiao Li, et al. Study on the texture of braided bar microfacies reservoirs in the Zhenwu oilfield [J]. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 2014, 21(2): 32-36.
- [9] 刘卫, 路智勇, 牛栓文. 东辛油田营13断块辫状河储层构型模式 [J]. *油气地质与采收率*, 2015, 22(4): 33-37.
- Liu Wei, Lu Zhiyong, Niu Shuanwen. An architecture model of braided river reservoir in Ying-13 fault block of Dongxin oilfield [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2015, 22(4): 33-37.
- [10] 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 Sinica*, 2015, 36(7): 809-819.
- [11] 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): 898-902.
- 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): 898-902.
- [12] 李宇鹏, 吴胜和, 耿丽慧, 等. 基于空间矢量的点坝砂体储层构型建模 [J]. *石油学报*, 2013, 34(1): 133-139.
- Li Yupeng, Wu Shenghe, Geng Lihui, et al. Spatial-vector-based reservoir architecture modeling of point-bar sand [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2013, 34(1): 133-139.
- [13] 李军, 宋新民, 薛培华, 等. 扶余油田杨大城子组曲流河相油藏单砂体层次细分及成因 [J]. *石油与天然气地质*, 2010, 31(1): 119-125.
- Li Jun, Song Xinmin, Xue Peihua, et al. Hierarchical subdivision and origin of single sandbody in the reservoirs of meandering river facies in the Yangdachengzi Formation of Fuyu oilfield [J]. *Oil & Gas Geology*, 2010, 31(1): 119-125.
- [14] 刘卫, 丁亚军, 彭光艳, 等. 基于界面约束法的曲流河点坝内部构型建模 [J]. *油气地质与采收率*, 2014, 21(3): 33-35, 40.
- Liu Wei, Ding Yajun, Peng Guangyan, et al. Study on characterization of point bar architecture based on surface constrain [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2014, 21(3): 33-35, 40.
- [15] 陆智祚, 岳大力, 耿丽慧, 等. 随机模拟方法在河口坝储层构型建模中的应用 [J]. *大庆石油地质与开发*, 2016, 35(2): 29-35.
- Lu Zhiyi, Yue Dali, Geng Lihui, et al. Application of stochastic modeling method in the mouth-bar reservoir architecture modeling [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2016, 35(2): 29-35.
- [16] 印森林, 陈恭洋, 戴春明, 等. 河口坝内部储层构型及剩余油分布特征——以大港油田枣南断块长轴缓坡辫状河三角洲为例 [J]. *石油与天然气地质*, 2015, 36(4): 630-639.
- Yin Senlin, Chen Gongyang, Dai Chunming, et al. Reservoir architecture and remaining oil distribution in mouth bar—A case study on the braided delta of long-axis gentle slope in Zaonan fault block of Dagang Oilfield [J]. *Oil & Gas Geology*, 2015, 36(4): 630-639.
- [17] 何宇航, 宋保全, 张春生. 大庆长垣辫状河砂体物理模拟实验研究与认识 [J]. *地学前缘*, 2012, 19(2): 41-48.
- He Yuhang, Song Baoquan, Zhang Chunsheng. A study of braided river sand deposit in Changyuan, Daqing through physical simulation experiments [J]. *Earth Science Frontiers*, 2012, 19(2): 41-48.