

# 罗家地区水下冲积扇与垦西地区扇三角洲沉积特征及沉积模式对比

肖莉

(中国石化胜利油田分公司地质科学研究所, 山东 东营 257015)

**摘要:**通过分析岩心、测井和薄片等资料,对具有丰富稠油资源的罗家地区和垦西地区沙河街组砂砾岩体的沉积学特征进行研究,确定其砂砾岩体分别为水下冲积扇和扇三角洲沉积。罗家地区水下冲积扇沉积发育于坡度较大、湖水较深的古地貌背景,为重力流驱动,主要发育砾岩,以粗杂基支撑、混合支撑结构类型为主,粒度概率累积曲线主要为一段式,以发育向上变细的正旋回相序为特征。垦西地区扇三角洲沉积为受边界断层控制、发育于湖水较浅的缓坡型沉积背景,具有重力流和牵引流的双重水流机制,主要发育含砾砂岩,以颗粒支撑结构类型为主,粒度概率累积曲线以两段式和三段式为主,以发育向上变粗的反旋回相序为特征。罗家地区水下冲积扇与垦西地区扇三角洲沉积具有不同的沉积模式,导致其砂砾岩体的储集性能、含油性以及开采过程中流体的活动特征等存在较大差异。

**关键词:**砂砾岩体 水下冲积扇 扇三角洲 沉积特征 罗家地区 垦西地区

**中图分类号:** TE111.3

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1009-9603(2014)03-0036-05

罗家地区和垦西地区分别位于济阳坳陷陈家庄凸起北坡和孤岛凸起西坡。其中,罗家地区位于坡度相对较大的渤南洼陷南部缓坡带,发育多条同沉积断层;垦西地区位于东部缓坡带,以同沉积的孤西断层与孤岛凸起相连,其湖盆相对平整、坡度较小。在新生代,罗家和垦西地区的沉积地层与济阳坳陷一致,自下而上为孔店组、沙河街组、东营组、馆陶组、明化镇组和平原组,其中沙河街组均发育大规模的砂砾岩体,蕴藏着丰富的稠油资源;但在油气勘探过程中发现,罗家和垦西地区沙河街组不仅储集性和含油性存在较大差异,而且开采中流体的活动特征也不同,这些差异可能主要受沉积相类型的控制。目前对罗家地区砂砾岩体沉积相类型的归属存在较大争议,认为其可能为水下冲积扇、水下扇或扇三角洲沉积<sup>[1-6]</sup>,但综合分析认为其应属于较陡缓坡带的水下冲积扇沉积;而对垦西地区砂砾岩体沉积相类型的研究则较少,一般认为其缺乏水上扇三角洲平原亚相,应属于水下冲积扇沉积,但研究表明其砂砾岩体应为特殊的扇三角洲沉积。为此,对比罗家地区水下冲积扇与垦西地区扇三角洲的沉积学特征,总结其沉积模式,进一步研究沉积相类型,以期为研究区下步的油气勘探开发

提供指导和借鉴。

## 1 罗家地区水下冲积扇沉积特征

水下冲积扇指暂时性洪水携带大量陆源碎屑直泻入湖,在湖盆边缘,特别是湖盆陡岸或坡度较陡的缓坡带的较深水体中形成的水下扇形体<sup>[7-10]</sup>。罗家地区水下冲积扇沉积受湖浪改造作用极小或不受其改造,发育扇根、扇中和扇端3个亚相(图1),并可进一步细分为多种沉积微相。

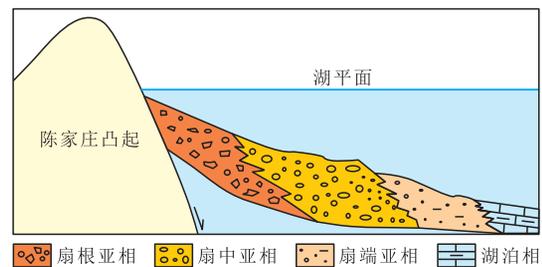


图1 罗家地区水下冲积扇沉积亚相划分

### 1.1 扇根亚相

扇根亚相位于水下冲积扇的根部,其沉积物主要由杂基支撑砂砾岩(包括砾岩和砂质砾岩)、砾质砂岩夹少量灰色或灰绿色泥岩组成。根据岩性组

收稿日期:2014-04-01。

作者简介:肖莉,女,工程师,从事油气开发研究。联系电话:13589448050, E-mail:lee197501@sina.com.cn。

基金项目:国家科技重大专项“渤海湾盆地精细勘探关键技术”课题三“济阳坳陷油气富集机制与增储领域”(2011ZX05006-003)。

合和结构特征,可进一步划分为主水道和主水道间2种沉积微相。

**主水道微相** 主水道微相由高密度洪水冲蚀形成,为扇根亚相中最具特色的沉积微相类型。罗9和罗10等井均钻遇典型的主水道微相。其岩性主要为浅灰色砂砾岩和砾质砂岩,砾石成分复杂、大小不等、杂乱分布,砾岩多为粗杂基支撑或混合杂基支撑结构。粒度概率累积曲线主要呈一段式。其砾岩中发育正递变层理以及冲刷面等沉积构造,表现为快速堆积条件下的重力流产物。主水道微相的自然电位曲线表现为正旋回特征,单个旋回为齿化或弱齿化的钟形或箱形,曲线组合形态为多个钟形或箱形的垂向叠加。由于砂砾岩的厚层叠置,自然电位曲线一般难以反映沉积旋回的变化,而自然伽马曲线则能反映其砾石支撑结构的变化;单个旋回的砂砾岩通常自下而上泥质含量逐渐减少,自然伽马曲线表现为漏斗形特征。

**主水道间微相** 主水道间微相由洪水溢出主水道之间(对单个水道而言为主水道侧缘)的沉积或主水道间未受洪水影响的湖泊沉积组成。罗家地区众多探井钻遇该类沉积微相,其岩性主要为深灰色、浅灰色泥岩夹粉砂岩和泥质粉砂岩。主水道间微相在垂向和平面上均夹于水下冲积扇扇根主水道微相之间,粒度概率累积曲线主要由悬浮总体及少量跳跃总体构成,测井曲线表现为较薄层的低幅平直或微齿化曲线特征。

## 1.2 扇中亚相

扇中亚相是水下冲积扇的主体部分,其岩性组合为砂砾岩、砾状砂岩、砂岩和泥岩的互层。根据沉积学和测井相特征,将扇中亚相划分为辫状水道、辫状水道间和扇中前缘3种沉积微相。

**辫状水道微相** 辫状水道微相是水下冲积扇沉积中最重要的沉积微相类型,也是重要的油气储集体。其自然电位曲线一般表现为正旋回特征,呈弱齿化箱形或钟形,自然伽马曲线与扇根主水道微相具有相似的特征。辫状水道微相主要由5种岩石相类型组成:①混合杂基支撑砂砾岩。其在辫状水道微相中最发育,呈厚层块状,与下伏灰色、浅灰色泥岩呈突变接触,或多层混合杂基支撑砂砾岩叠复冲刷接触;其砾石成分复杂、大小不一、杂乱排列,或略具定向排列。②颗粒支撑砂砾岩。一般较少见,通常是在波浪作用较强时淘洗辫状水道微相砂砾岩体,使其再分选而形成;其砾石的粒径较小,最大仅为1~2 cm,且磨圆性较好。③正递变层理砂砾岩或含砾砂岩。其主要特征为岩石具正递变层

理,即自下而上表现为砾石及砂粒的直径由粗变细,反映沉积时水动力条件逐渐减弱。④块状层理及平行层理砂砾岩。一般出现于辫状水道微相上部,其典型特征为组成岩石的碎屑颗粒自下而上无明显变化,呈块状层理,有时具平行层理。⑤波状交错层理砂岩。可出现于辫状水道微相前缘顶部,因沉积时水动力条件逐渐减弱而形成。

由这5种岩石相类型可以组成2种完整的垂向沉积序列。第1种为自下而上由块状混合杂基支撑砂砾岩、正递变层理砂砾岩、块状层理砂砾岩和波状交错层理砂岩组成的沉积序列,反映物源供给减弱,流体性质由重力流逐渐向牵引流转变以及水体不断加深的沉积条件。第2种为自下而上由颗粒支撑砂砾岩、块状层理砂砾岩或平行层理砂砾岩组成的沉积序列。其中第1种沉积序列最常见,但一般发育不完整。

**辫状水道间微相** 辫状水道间微相位于水下冲积扇扇中亚相辫状水道微相之间,由水流溢出辫状水道后沉积形成。其沉积物主要由浅灰色粉细砂岩、泥质粉砂岩和灰绿色泥岩组成。虽然物源供给充足,但由于辫状水道微相不断对其冲刷、侵蚀,因此辫状水道间微相的厚度非常薄。

**扇中前缘微相** 扇中前缘微相位于扇中辫状水道前缘,是水流流出辫状水道后携带的物质在出口处沉积形成。其沉积物主要由细砂岩、粉砂岩或含砾细砂岩组成,在相序上与扇中辫状水道微相的砂砾岩密切共生,构成向上变细的沉积序列。

## 1.3 扇端亚相

扇端亚相位于水下冲积扇的最前缘,并与湖泊沉积过渡。其沉积物主要为粉砂岩、细砂岩和泥岩,且泥岩多具水平层理,垂向上与浅湖相碳酸盐岩叠交。当水动力条件较强或坡度较陡时,扇端亚相则以细砂岩为主。

## 2 垦西地区扇三角洲沉积特征

扇三角洲是指冲积扇前端入浅湖或辫状河入浅湖形成的三角洲<sup>[8]</sup>,由于形成于浅湖环境,因此受湖浪的改造作用较强。扇三角洲与三角洲沉积的区别在于其具有重力流和牵引流的双重水流机制。一般将扇三角洲划分为扇三角洲平原、扇三角洲前缘和前扇三角洲3种亚相<sup>[8-14]</sup>,也有学者将扇三角洲划分为扇三角洲平原、扇三角洲前缘、前扇三角洲和扇间4种亚相<sup>[3]</sup>,其中扇间亚相是在同一物源的不同水道间或不同物源形成的扇三角洲朵叶

之间发育的砂泥岩互层的水道或间湾沉积。

在垦西地区受边界断层(孤西断层)控制,沿湖盆边缘较窄区域形成陡断坡,但湖盆内部坡度则较缓。由于沙四段上亚段沉积时期研究区气候变得潮湿,水体上升,来自孤岛凸起的物源顺陡断坡在断层根部形成水下冲积扇体;扇体中水动力携带的砂砾岩继续向前搬运,形成水下分流河道微相,并受湖浪改造作用形成河口坝等沉积;其流体具有重力流和牵引流的双重性质,形成扇三角洲沉积。因此,垦西地区扇三角洲沉积不发育扇三角洲平原亚相,但发育特殊的根部水下冲积扇亚相,共发育根部水下冲积扇、扇三角洲前缘和前扇三角洲3种亚相(图2)。

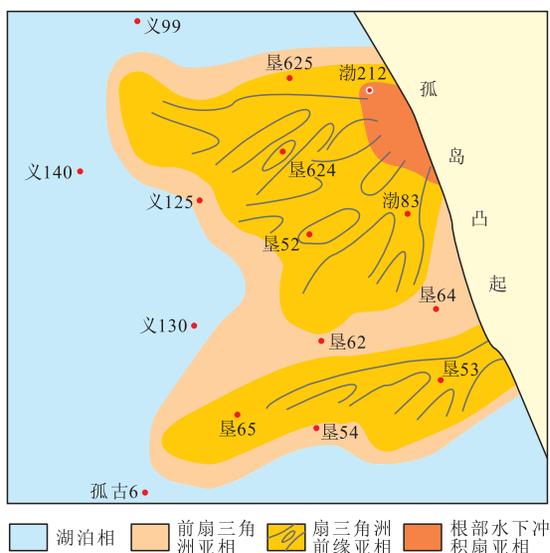


图2 垦西地区沙四段扇三角洲沉积平面展布

### 2.1 根部水下冲积扇亚相

该亚相的岩石类型主要为杂基支撑砂砾岩和混合支撑砂砾岩。其砾石的粒径较大,最大为3 cm,磨圆相对较差;杂基成分为砂、泥岩,其中泥岩占比例较大。粒度概率累积曲线呈一段式,反映为重力流沉积特征。该亚相与水下冲积扇的扇根亚相或靠近扇根的扇中亚相具有类似的沉积特征,因此仅根据沉积特征难以划分,须结合沉积环境、构造位置以及沉积相等特征进行综合的研究与划分。

### 2.2 扇三角洲前缘亚相

扇三角洲前缘亚相主要是受牵引流和波浪改造作用所形成的沉积,可进一步划分为水下分流河道、河道间、河口坝和席状砂等微相。

**水下分流河道和河道间微相** 由于砾岩的沉积作用和水体的析出,根部水下冲积扇亚相中的块状流体进一步沿辫状水道对碎屑物质进行搬运,湖盆中水体的阻力以及地形的变化使辫状水道易于

形成水下分流河道。水下分流河道微相的岩石类型为细砾岩、含砾砂岩以及平行层理和槽状交错层理砂岩。其中,细砾岩和含砾砂岩中的砾石较小,粒径多小于1 cm,且磨圆较好,为次圆状一次棱角状;砂级颗粒充填于砾石之间,分选较好,表明沉积时的水动力条件较强,因此含砾砂岩的物性通常较好。平行层理和槽状交错层理砂岩常发育于含砾砂岩上部,呈正韵律特征;平行层理砂岩的非均质性较弱,含油性一般较好,而槽状交错层理砂岩的非均质性相对较强,含油性稍差;一般每组纹层顶部的碎屑颗粒变细,泥质含量增加,其含油性则变差。河道间微相一般为较细的粉砂岩或泥岩沉积。

**河口坝微相** 河口坝微相最典型的沉积标志为发育反韵律沉积体。由于河流水体受湖泊水体阻碍,在河口中心部位易于形成河口坝微相。受波浪改造作用,其砂砾岩体的分选较好,且随着沉积加厚,水体变浅,水动力条件增强,沉积的碎屑物质变粗,形成向上变粗的反韵律沉积体。其岩石类型为含砾砂岩和砂岩,主要发育反粒序层理、楔状交错层理等沉积构造,自然伽马曲线表现为漏斗形特征。由于垦西地区河口坝微相形成时的水体较浅,水动力较强,在垦627等井区的局部层系中还发育区域上少见的含砾螺砂岩或螺砂岩,在垂向上表现为反粒序特征。

**席状砂微相** 随着水下分流河道进一步向湖盆搬运,湖水的阻力致使水流动力减弱,以及湖盆坡度进一步减小、逐渐平坦,使水体最终呈席状流动,形成席状砂沉积。席状砂微相的岩石类型主要为粉砂岩,具有水平层理或波状层理,与泥岩形成不等厚互层沉积。由于泥岩的塑性强,因此粉砂岩与泥岩混杂易于形成特殊的沉积构造,例如波状、透镜状、脉状层理及变形构造。

### 2.3 前扇三角洲亚相

前扇三角洲亚相主要为受扇三角洲影响形成的浅湖相泥岩和泥质粉砂岩沉积,在垦西地区向湖泊内逐渐过渡为浅湖相碳酸盐岩沉积。前扇三角洲亚相主要发育以粉细砂岩、泥质砂岩为主的水下分流河道微相和以砂质泥岩、浅湖泥岩为主的河道间微相,整体上储层不发育。

## 3 水下冲积扇与扇三角洲沉积模式对比

虽然有学者认为水下冲积扇与扇三角洲形成于同一沉积环境<sup>[3,7-8]</sup>,但罗家和垦西地区砂砾岩体

沉积特征的对比结果表明,其水下冲积扇与扇三角洲沉积是既有相似性又存在差异性的2种沉积相类型,二者无论从形成条件还是沉积特征均具有明显的差异。通过总结罗家地区水下冲积扇与垦西地区扇三角洲的沉积模式,可以对其沉积背景、沉积动力和沉积特征等进行更深入的对比和分析。

### 3.1 沉积背景

罗家地区水下冲积扇沉积发育于坡度较大、湖水较深的古地貌背景,位于盆地的低洼部位。垦西地区扇三角洲沉积为受断距较小的边界断层控制、发育于湖水较浅的缓坡型沉积背景,在断层根部受断层及凸起古地貌沟谷控制形成的水下冲积扇体,其沿缓坡可继续推进,致使碎屑物沉积于盆地的缓坡部位。

### 3.2 沉积动力

罗家地区水下冲积扇沉积为重力流驱动,受湖盆波浪作用的改造极小。垦西地区扇三角洲沉积的根部水下冲积扇亚相为重力流驱动,其纵向厚度较大,但平面规模较小;扇三角洲前缘亚相为牵引流驱动,具有双重流体性质,而河口坝微相则受到较强的波浪改造作用。

### 3.3 沉积特征

**岩石特征** 罗家地区水下冲积扇沉积以砾岩类为主,其中扇端亚相为砂岩沉积;垦西地区扇三角洲沉积以含砾砂岩类为主,仅在根部水下冲积扇亚相发育砾岩,且粒度较细。样品粒度分析结果表明,罗家地区水下冲积扇砂砾岩体的  $M$  值为  $0.01 \sim 0.25$  mm,  $C$  值为  $0.2 \sim 2.3$  mm;而垦西地区扇三角洲砂砾岩体的  $M$  值为  $0.03 \sim 0.43$  mm,  $C$  值为  $0.2 \sim 1.6$  mm。因此,罗家地区砂砾岩体的粒径较大,但分选差、杂基多;而垦西地区砂砾岩体的粒径较小,但分选好、杂基少。

**结构特征** 罗家地区水下冲积扇沉积以粗杂基支撑、混合支撑结构类型为主,碎屑颗粒为棱角状一次棱角状,结构成熟度低,粒度概率累积曲线主要为一段式。垦西地区扇三角洲沉积多以颗粒支撑结构类型为主,碎屑颗粒为次圆状一次棱角状,反映一定的水流磨洗作用;粒度概率累积曲线一段式、两段式、三段式均发育,但以两段式和三段式发育为主;其中,根部水下冲积扇亚相砾岩的粒度概率累积曲线呈一段式,扇三角洲前缘亚相的水下分流河道和河口坝等微相的含砾砂岩和砂岩的粒度概率累积曲线多呈两段式和三段式。

**沉积构造特征** 罗家地区水下冲积扇沉积发育的沉积构造较少,多为不明显的交错层理,也发

育递变层理、冲刷—充填构造、块状层理和平行层理等。垦西地区扇三角洲沉积构造比较发育,发育冲刷—充填构造、槽状交错层理、波状交错层理、楔状交错层理、反粒序层理及平行层理等多种沉积构造。

**相序特征** 罗家地区水下冲积扇沉积以发育向上变细的正旋回相序为特征,多表现为块状杂砾岩—递变层理砂砾岩—块状层理砂砾岩或平行层理砂砾岩—块状含砾砂岩、细砂岩。垦西地区扇三角洲沉积则以发育向上变粗的反旋回相序为主,多表现为泥岩—含砾砂岩—砾状砂岩—砾岩;局部发育向上变细的正旋回相序,多表现为底砾岩—砾状砂岩—平行层理砂岩—交错层理砂岩—波状层理砂岩。

**储层物性特征** 由于岩石、结构、沉积构造及相序等特征的差异,导致罗家和垦西地区砂砾岩体的储层物性也存在差异。罗家地区砂砾岩体的孔隙度主要为  $4\% \sim 10\%$ ,多分布于  $6\% \sim 8\%$ ,表现为偏正态分布特征;这主要是由于其结构类型以杂基或混合支撑为主,因此原生粒间孔隙较少,仅发育小的粒间溶孔和构造裂缝。垦西地区砂砾岩体的孔隙度主要为  $10\% \sim 22\%$ ,多分布于  $14\% \sim 20\%$ ,孔隙类型为原生粒间孔隙和溶蚀孔;此外,其根部水下冲积扇砂砾岩的孔隙度多为  $2\% \sim 6\%$ 。

## 4 结束语

罗家地区和垦西地区沙河街组的砂砾岩体属于2种不同的沉积相类型,其中罗家地区的砂砾岩体为水下冲积扇沉积,垦西地区的砂砾岩体为扇三角洲沉积。罗家地区水下冲积扇沉积受湖浪改造作用极小,主要发育扇根、扇中和扇端3种亚相,并可进一步细分为主水道、主水道间、辫状水道、辫状水道间和扇中前缘等微相。垦西地区扇三角洲沉积不发育常见的扇三角洲平原亚相,但发育特殊的根部水下冲积扇亚相,由根部水下冲积扇、扇三角洲前缘和前扇三角洲3种亚相组成,可进一步划分为水下分流河道、河道间、河口坝和席状砂等微相。沉积相类型是造成研究区沙河街组储集性能、含油性以及开采中流体的活动特征存在较大差异的主要因素。罗家地区水下冲积扇与垦西地区扇三角洲沉积具有不同的沉积模式,导致其在沉积背景、沉积动力以及沉积特征等方面均存在较大差异。通过对其沉积特征的研究与对比,为研究区稠油勘探过程中寻找有利沉积相带以及开采过程中

注水措施的选择提供了重要依据。

#### 参考文献:

- [1] 曹辉兰,华仁民,纪友亮,等.扇三角洲砂砾岩储层沉积特征及与储层物性的关系——以罗家油田沙四段砂砾岩体为例[J].高校地质学报,2001,7(2):222-229.
- [2] 刘杰,操应长,樊大亮,等.东营凹陷永安镇三角洲层序地层及其控砂模式[J].油气地质与采收率,2013,20(6):23-28,34.
- [3] 李思田.含能源盆地沉积体系[M].武汉:中国地质大学出版社,1996.
- [4] 刘军镗,简晓玲,康波,等.东营凹陷东营三角洲沙三段中亚段古地貌特征及其对沉积的控制[J].油气地质与采收率,2014,21(1):20-23.
- [5] 陈小龙,庄博,张秀芝.罗家油田沙河街组储集层成岩相与储集特征[J].石油勘探与开发,1998,25(6):16-19.
- [6] 刘家铎,田景春,何建军,等.近岸水下扇沉积微相及储层的控制因素研究——以沾化凹陷罗家鼻状构造沙四段为例[J].成都理工大学学报,1999,26(4):365-369.
- [7] 孙永传,郑浚茂,王德发,等.湖盆水下冲积扇——一个找油的新领域[J].科学通报,1980,25(17):799-801.

- [8] 王良忱,张金亮.沉积环境和沉积相[M].北京:石油工业出版社,1996:176-195.
- [9] 吴崇筠,薛叔浩.中国含油气盆地沉积学[M].北京:石油工业出版社,1992.
- [10] 张春生,刘忠保,施冬,等.扇三角洲形成过程及演变规律[J].沉积学报,2000,18(4):521-526.
- [11] 尚鲁宁,吕大炜,李增学,等.琼东南盆地崖南凹陷崖城组辫状河三角洲沉积特征及油气地质意义[J].油气地质与采收率,2013,20(5):4-9.
- [12] 张继芬,田芳,吴宫.扇三角洲沉积模式及储层地质模型——以辽河断陷锦91块于楼油层为例[J].大庆石油学院学报,1998,22(1):11-13.
- [13] 李国栋,严科,宁士华.水下分流河道储层内部结构表征——以胜坨油田沙二段8'层为例[J].油气地质与采收率,2013,20(1):28-31.
- [14] 刘军钊,张尚锋,关键,等.准噶尔盆地西北缘车排子地区侏罗系扇三角洲沉积特征[J].特种油气藏,2008,15(5):27-30.

编辑 邹澍滢

#### (上接第35页)

- [4] 段冬平,侯加根,吴勇,等.低可容纳空间曲流河道砂体划分与识别——以羊二庄油田明化镇组Ⅲ-5小层为例[J].油气地质与采收率,2011,18(2):26-29.
- [5] 陈雨茂,邓文秀,滕彬彬.曲流河点坝内部构型精细解剖——油田垦71断块馆陶组为例[J].油气地质与采收率,2011,18(4):25-27.
- [6] 周银邦,吴胜和,计秉玉,等.曲流河储层构型表征研究进展[J].地球科学进展,2011,26(7):695-702.
- [7] 张本华.曲流河储层构型中废弃河道的识别及其分布模式——以孤岛油田馆上段为例[J].油气地质与采收率,2013,20(3):18-21,25.
- [8] 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.
- [9] 岳大力,吴胜和,程会明,等.基于三维储层构型模型的油藏数值模拟及剩余油分布模式[J].中国石油大学学报:自然科学版,2008,32(2):21-27.
- [10] 闫百泉,马世忠,王龙,等.曲流点坝内部剩余油形成与分布规律物理模拟[J].地学前缘,2008,15(1):65-69.

- [11] 王鸣川,朱维耀,董卫宏,等.曲流河点坝厚油层内部构型及其对剩余油分布的影响[J].油气地质与采收率,2013,20(3):14-17.
- [12] 吴胜和,金振奎,黄沧钿,等.储层建模[M].北京:石油工业出版社,1997.
- [13] 王家华,张团峰.油气储层随机建模[M].北京:石油工业出版社,2001:10-142.
- [14] 吴胜和,岳大力,刘建民,等.地下古河道储层构型的层次建模研究[J].中国科学:D辑 地球科学,2008,38(增刊1):111-121.
- [15] 范峥,吴胜和,岳大力,等.曲流河点坝内部构型的嵌入式建模方法研究[J].中国石油大学学报:自然科学版,2012,36(3):1-6.
- [16] 兰丽凤,白振强,于德水,等.曲流河砂体三维构型地质建模及应用[J].西南石油大学学报:自然科学版,2010,32(4):20-24.
- [17] 李宇鹏,吴胜和,耿慧丽,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.

编辑 刘北群