

文章编号:1000-0550(2011)03-0512-08

曲流河砂体内部构型及不同开发阶段剩余油分布研究^①

王凤兰¹ 白振强² 朱伟²

(1. 大庆油田有限责任公司开发部 黑龙江大庆 163712; 2. 大庆油田勘探开发研究院 黑龙江大庆 163712)

摘 要 针对高含水后期密井网条件下曲流河砂体,应用萨尔图油田萨中开发区岩芯、测井和动态生产资料,采用“模式预测、分级控制”的砂体内部构型研究方法,分层次精细研究曲流河砂体内部构型。根据现代沉积和野外露头资料总结出砂体宽厚比与侧积夹层倾角的关系,确定了描述侧积夹层产状的基本参数,并利用自动模式拟合和嵌入相模型的方法建立了侧积面三维构型模型。在此基础上实现了水驱、聚驱和后续水驱三个阶段的层内数值模拟,总结出曲流河砂体内部构型控制下不同开发阶段的剩余油分布模式,并针对不同剩余油模式提出不同的层内挖潜措施。研究表明,侧积夹层倾角与河流宽深比之间存在良好数学关系,自动模式拟合的内部构型建模方法大大提高了建模的效率,不同开发阶段剩余油分布特点各异,应采用不同的开发措施挖潜。

关键词 曲流河砂体 内部构型 地质建模 数值模拟 剩余油分布 挖潜措施

第一作者简介 王凤兰 女 1964 年出生 硕士 高级工程师 E-mail: fenglanwang@petrochina.com.cn

中图分类号 TE32+1 **文献标识码** A

1985 年著名河流学专家 Miall 提出储层构型的概念及研究方法以来^[1-2],国内外很多学者对各种类型河流—三角洲砂体内部构型开展了研究^[3-7],尤其是在曲流河砂体方面取得了大量的研究成果。但是目前曲流河砂体储层内部构型研究主要侧重于利用野外露头及现代沉积资料研究砂体内部构型分布特点的预测性研究,而储层内部基于井点的砂体内部构型识别、井间预测、三维地质模型建立及层内数值模拟的系统研究较少,难以满足应用储层实际构型三维地质模型进行油藏数值模拟、分析受内部构型控制的单元内剩余油分布预测的需要。为此,笔者以大庆萨尔图油田萨中开发区葡 I 2 单元曲流河砂体为例,建立了曲流河砂体内部构型三维地质模型,应用大尺度模型劈分单层动态参数和优化工作制度、合理设定模拟运行参数的方法实现了水驱、聚驱和后续水驱三个阶段的层内数值模拟,进而总结出曲流河砂体内部构型控制下不同开发阶段的剩余油分布模式,为油田开发后期层内剩余油精细挖潜奠定了基础。

1 油藏地质概况

萨尔图油田萨中开发区位于松辽盆地中央凹陷区,是长垣背斜二级构造单元,地处黑龙江省大庆市中心。北与萨北开发区相连,以北一区一排井排作为萨北开发区与萨中开发区的分界线;南与萨南开发区

相连,以南一区三排井排作为萨中开发区与萨南开发区的分界线。萨中开发区位于萨尔图背斜构造中部,是大庆长垣北部的一个三级构造,呈西陡、东缓、中部比较平坦的形态,西翼 3°~6°,东翼 2°~5°,构造最高点海拔 -638.0 m^[8]。萨中开发区萨、葡、高油层是在青山口组中晚期——姚家组—嫩江组早期松辽盆地由水退转为水进时期形成的大型浅水湖盆河流—三角洲相沉积,油层埋藏深度 600~1 200 m 左右。研究层位葡萄花油层葡 I 2 单元为曲流河沉积。

研究区自 1960 年投入开发以来,针对油田不同开发阶段所暴露出的主要矛盾和油田开发的需求,先后进行了多次大的井网和注采层系调整。1960 年基础井网采用 3.2 km 切割距的行列井网投入开发,第一排间为 1 100 m 排距,第二排间 500 m,井距为 500 m;1973 年进行了局部调整,选择中间井排采油井进行点状注水,葡 I 组主力油层进行了层系互补。1996 年开始对高含水、高产液的葡一组进行了聚合物驱,采用 250 m 注采井距的五点法面积井网。整个聚驱过程历时 7 年时间,采用分子量 1 200 万聚合物,平均注入浓度 1 000 mg/L,粘度 35 MPa·s,注入速度为 0.16 PV/a,聚合物用量 771.2 mg/L·PV。2003 年后葡一组进入后续水驱阶段。经过近 50 年的开发,研究区综合含水已达 91% 以上,剩余油呈整体高度分散、局部相对集中、与低效无效循环共存分布特

^① 国家科技重大专项高含水油田提高采收率新技术(编号:2008ZX05010-001)资助。
收稿日期:2010-04-10;收修改稿日期:2010-06-07

征。目前主力油层剩余油主要分布在受储层内部构型控制单元内部,其中曲流河砂体地质储量占总储量近 50%,迫切需要开展主力油层曲流河砂体内部构型三维地质建模、油藏数值模拟及受砂体构型控制的单元内剩余油分布模式研究。

2 三维构型划分与建模

2.1 基本思路

储层内部构型地质建模即在表征不同级次储层的各项地质特征的三维空间分布,包括构成单元的形态、规模、方向、叠置关系^[9]及其储层结构和岩石物理特征等,是油田开发中后期进行油田开发分析及剩余油分布预测的重要基础。曲流河点坝砂体内部构型三维地质模型的建立首先应用测井、岩芯、地震、动态等资料确定地层发育模式,在研究区范围内进行精细地层对比,建立三维地层构造模型。根据野外露头 and 现代沉积基本知识,总结曲流河砂体复合河道、单一河道、点坝砂体及其内部构型分布模式,分层次逐级解剖,识别各级界面,建立层内构型和储层参数三维模型^[10]。

2.2 单一河道划分

曲流河砂体是平面上多条单一河道互相切割、叠置而成,单一河道是一条曲流河经多次改道形成的点坝复合体。单一河道划分需要在储层精细对比的基础上进行储层沉积微相的划分,主要识别复合河道、溢岸及泛滥平原的分布,相当于 5 级界面所限定的构型单元。复合河道内部一般分布两条以上的单一河道砂体。在野外露头和现代沉积的模式指导下,应用经验公式预测单一河道砂体规模,确定单一河道平面分布模式。依据 4 种单一河道边界(河间沉积、砂体

层位高程差异、砂体厚度差异和废弃河道分布)识别标志,结合测井曲线、物性分布的平面差异性,在复合砂体内部识别出单一河道。

单一河道砂体在平面划分后,可以根据相邻两条单一河道的接触关系判定二者之间的连通性(表 1)。两条单一河道的接触可以由凹岸和凸岸相接、凹岸和凹岸相接以及凸岸和凸岸相接三种组合方式。根据两种单一河道空间组合模式以及河道两岸的组合关系可以组合出十四种河道接触关系模式。

单一河道的接触主要可以表现为三种连通方式:连通好、连通一般和连通差。两条河道砂体互相切叠且二者之间没有物性较差的废弃河道发育时,河道之间的连通性好。当两条河道间发育废弃河道且二者之间有物性较好的砂体接触时连通一般。当两条河道之间没有接触或者仅有废弃河道顶部细粒沉积物接触时连通性差,二者基本不连通。通过单一河道间砂体连通模式可以明显看出,十四种河道接触关系中仅有四种模式连通好,三种连通一般,而连通性差的有七种模式。由此可见,在复合河道内部单一河道之间的连通性总体较差,连通关系复杂。

2.3 点坝砂体识别

在单一河道划分的基础上进一步识别出点坝砂体。单一河道为一个点坝复合体,其内部大多数点坝体保存不完整,识别方法主要识别的是保存较完整的点坝砂体。

单井识别标志主要依据垂向沉积层序、顶部夹层发育、垂向水淹特征和平面分布四方面基本特征(图 1)。垂向沉积层序:点坝砂体垂向上具有粒度向上变细、沉积规模向上变小的典型正韵律或多段正韵律的特征。夹层分布位置:点坝砂体内部侧积夹层以层

表 1 单一河道间砂体连通模式及连通性判断

Table 1 Judgment of the connecting modes and connectivity of single sand bodies

凹岸和凸岸相连				凹岸和凹岸相连				凸岸和凸岸相连			
剖面叠加形态	接触	连通性	剖面叠加形态	接触	连通性	剖面叠加形态	接触	连通性	剖面叠加形态	接触	连通性
	泥	差		泥砂	好		泥	差		泥	差
	泥	差		泥砂	差		泥	差		砂	好
	泥砂	一般		泥砂	一般		泥砂	一般		砂泥砂	好
				砂	好		泥砂	差			

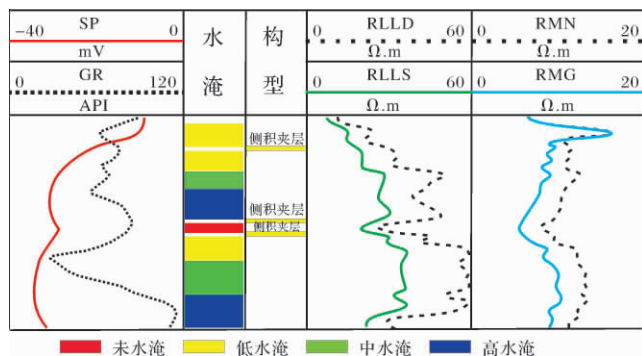


图1 点坝砂体单井识别标志

Fig. 1 Identifying features of point bar in well profile

内夹层分布为主,一般发育在砂体2/3以上部位。垂向水淹特征:点坝砂体由于其内部特殊的韵律性,水淹特征一般以多段水淹为主,每段下部水淹级别较高,而上部水淹级别较低。平面识别标志主要依据废弃河道分布和砂体厚度分布两方面特征。废弃河道出现标志着点坝砂体的最后一次洪水沉积的位置,是确定点坝体平面分布的主要标志。点坝砂体部位一般砂体厚度比较大,砂体厚度等值图上具有坳状分布特点。

点坝的识别主要应用“废弃河道定边、砂体厚度定位”的方法,参考砂体垂向层序、测井曲线形态、层内夹层发育的位置等因素,进行点坝砂体剖面分析。在平面上应用砂体、废弃河道及渗透率属性分布,确定点坝砂体范围,进而在单一河道内部识别出点坝砂体分布形态。

2.4 内部构型解剖

为了合理认识地下曲流河砂体内部构型基本特征,必须以曲流河点坝砂体现代沉积及野外露头作为指导进一步研究侧积层倾向、倾角及侧积体间距、延伸范围^[11],即构建定量的点坝内部构型分布模式,达到对井间侧积层展布进行合理组合目的,从而建立点坝砂体侧积层的规模、产状等内部构型定量分布模式。

(1) 侧积层倾向:点坝内部侧积层的侧积方向指向废弃河道的凹岸,侧积层总是向废弃河道方向倾斜。

(2) 侧积层延伸长度:根据满岸深度应用经验公式可以求得河道满岸宽度。侧积层最大延伸宽度相当于河道满岸宽度的2/3。

(3) 侧积层水平间距:连接对子井的同一侧积层,沿着侧积方向延伸,会与点坝顶面相交,相邻侧积

层相交点之间的距离在平面上的投影距离即为侧积层的水平间距。

(4) 侧积层倾角

侧积层倾角的确定是曲流河砂体内部构型解剖的重点和难点。目前侧积层倾角确定的方法有四种:相邻井距小于50 m的对子井法;岩芯直接测量法;利用相邻两口井同时钻遇废弃河道的废弃面法;成像测井测量法。这四种方法普遍存在适合条件的资料稀少、相邻井组合难度大、计算得出的倾角为视倾角和获取成本较高等一系列问题。研究发现河流的宽深比与侧积层倾角有很好的相关性,二者呈指数关系,相关系数可以达到0.9(图3)^[12]。

$$\alpha = 32.966e^{-0.0966d} \quad (1)$$

式中 α 为侧积层倾角 $^{\circ}$; d 为河流宽深比。

经过密井网资料详细解剖,研究区葡I2沉积单元砂体宽深比在26~28之间,根据式(1)计算可知,侧积层倾角为2.5°~3.0°。

2.5 三维地质模型

储层内部构型是一种离散属性。目前用于离散变量的三维建模方法主要有示性点过程、序贯指示模拟、截断高斯模拟以及多点地质统计学等^[13,14],本次研究主要采用序贯指示模拟与自动模式拟合的方法。建模过程中,首先采用序贯指示模拟方法应用沉积微相和单一河道划分结果建立三维沉积微相模型,精细刻画并建立废弃河道三维模型;根据点坝砂体划分结果确定不同点坝砂体的分布范围;然后对于点坝砂体内部分布的井点根据岩芯构型分析的结果,应用岩芯刻度测井的方法在单井上进行单井构型要素解释。根据点坝砂体内部建筑解剖结果(倾向、倾角、延伸、间距)采用自动模式拟合方法建立侧积面三维样条曲面模型,在三维视窗内进行侧积面空间形态调整,使之符合地质认识结果;最后采用二次加密网格的方式,将侧积层模型嵌入三维微相模型中。为了保证模型精度和数值模拟软件的适用性,相模型网格大小设置为(10 m × 10 m × 0.2 m)。构型模型采用二次加密的方式(5 m × 5 m × 0.1 m)精确表达,保证模型的准确度。

图2为三维储层构型模型垂向不同位置切片。可以看出,三维构型地质模型不仅反映了沉积微相的三维空间分布,而且反映了河道内部构型要素(侧积夹层)的空间分布特征。研究区发育3个点坝,点坝规模基本相当,紧邻弯月状废弃河道分布。点坝内发育6~8个侧积层,均向废弃河道方向倾斜,每个侧积层向下延伸长度略有差异,单元下部侧积层数量减少。

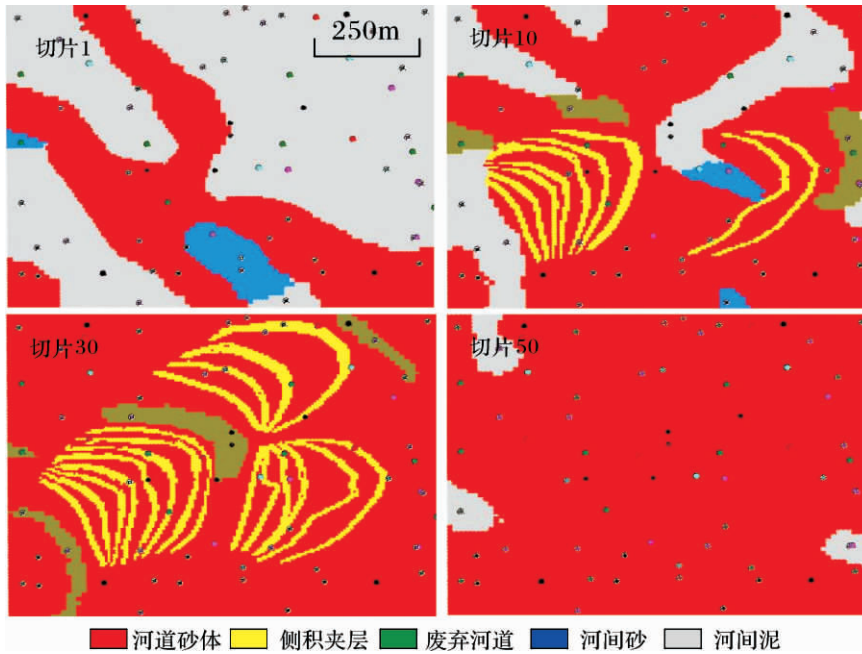


图2 曲流河砂体层内侧积夹层分布

Fig. 2 Lateral accretion interlayer of meandering reservoir

3 油藏数值模拟

3.1 目标层段产注量劈分方法

曲流河砂体构型模型油藏数值模拟实际为一个单层的开发动态模拟过程。萨北油田葡I组油藏各套井网均是葡I组合注合采进行开发,对每口井进行小层吸水和产油量的劈分是在注水油田开发后期研究砂体构型控制剩余油分布的重要环节。小层吸水和产油量的计算,目前主要有以下4种方法:①注水剖面法;②KH法(K 为小层有效渗透率, H 为小层有效厚度);③有效厚度法;④动态劈分方程法。解剖区建模面积 2.25 km^2 ,没有注入采出剖面资料,且其它各种方法均存在精度较差的问题。为此笔者采用先进行油层组规模的整体数值模拟,确定每口井每一个单层的注入和采出量,再进行小层层内构型数值模拟,保证了小层吸水和产油量劈分的准确性,同时也减少了历史拟合的次数,大大缩短了数值模拟的时间。

3.2 模拟运行参数设定

工作制度的设置及运行参数的选择会对模拟运行效率产生一定的影响。在动态数据流组建过程中重点考虑两个方面:一是对于没有重大措施的阶段在可允许的范围内尽量延长时间步长,维持单井产注量的平稳。网格单元越小其对单位迭代步的稳定性

越敏感,对于层内精细模型来说,单一网格单元的孔隙体积相对都比较小,单位迭代步内相邻网格间流量的变化过大容易造成收敛困难,因此在该区域层内精细模拟研究中考虑了时间步、迭代步与流量变化间的关系,对于平稳生产阶段时间步适当延长,流量变化较大的阶段采用较小的时间步,同时缩小最大迭代步上限。根据生产历史状况及模拟试运行情况迭代步设置为 $2\sim 5\text{ d}$,整体上运行比较稳定。二是收敛误差的精度也会对模型运行的稳定性产生影响。过于宽松的迭代误差限制可能对后期的模拟运行产生不利的影响,局部网格低精度的解会在后期造成累计误差量的增加,甚至产生不确定的计算结果,因此在该区域层内模拟中设置了严格的误差限制。

研究区域内模型总网格数据达到了80万以上,在生产历史上也经历了水驱、聚驱和后续水驱阶段,整体上模型比较复杂,模拟运算的难度比较大,由于前期对静态模型的认真刻画和动态产注量的合理劈分,保证了模拟模型的质量,取得了较好的模拟运行效果,通过较少次数的历史拟合就使区域及单井生产指标得到了较好拟合效果(图3)。

4 剩余油分布模式

曲流河砂体内部侧积夹层一般分布在点坝砂体上部 $2/3$ 以上部位,砂体下部夹层发育较少且渗透率

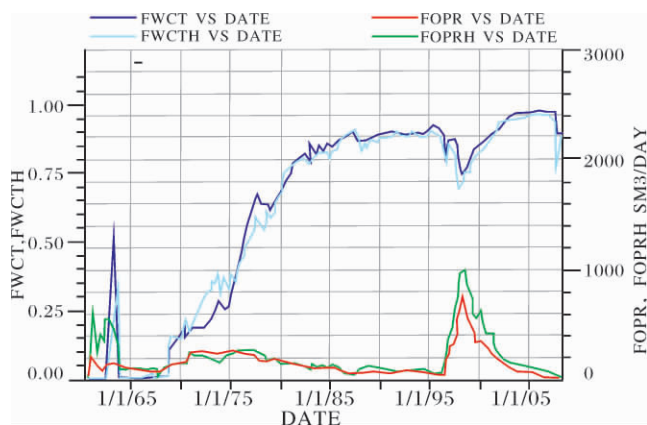


图3 研究区数值模拟历史拟合曲线

Fig. 3 Historical matching curve of the study area

高,因此储层下部不容易形成剩余油,剩余油主要集中在储层中上部^[15]。不同开发阶段平面上的剩余油总体上受到侧积夹层、层内物性变差部位及井网关系的影响,下面三种类型剩余油分布模式均针对储层中上部而言。

4.1 水驱阶段剩余油分布模式

在水驱开发阶段由于主要采用行列注水开发,水驱过程具有比较明显的方向性,剩余油分布主要受到侧积夹层和物性变差部位的控制,含油饱和度分布相对高的区域集中在储层顶部、点坝体内部、物性变差部位及水驱边缘,主要存在两种剩余油分布(图4):

(1) 顶部连片型剩余油

曲流河砂体是明显的正韵律储层,储层顶部物性较差,又存在各个方向侧积夹层的遮挡,在行列式大排距(注水井排与第一排油井间距100 m)注水开发的条件下储层顶部不易被注入水波及到,水驱采出程度小于20%,形成顶部连片型剩余油。

(2) 中上部宽条带型剩余油

曲流河砂体中上部储层物性明显变好,孔隙度与渗透率接近储层中下部主体部位。在行列式大排距注水开发条件下由于点坝砂体内部侧积夹层的发育,注入水无法绕开富含夹层的单个点坝体,水驱采出程度整体小于35%,形成点坝砂体间宽条带型剩余油分布。这部分剩余油的含油饱和度较高,剩余储量较大,因此水驱开发后期厚油层内部仍存在大量的剩余油,是后期挖潜的主要对象。

4.2 聚驱阶段剩余油分布模式

聚驱阶段采用250 m注采井距的五点法面积井网进行开采,井距缩小、井网关系进一步完善及聚合物三者综合作用,使得开发效果得到明显改善,聚驱

有效的对厚油层上部剩余油进行了挖潜。聚驱后剩余油主要存在于储层上部的分流线上,从饱和度分布情况看,主要存在三种剩余油分布(图5):

(1) 点坝砂体间三角状剩余油

曲流河砂体在平面上由各种规模的点坝砂体组成,点坝砂体内部侧积夹层发育丰富,因此点坝砂体对注入剂形成明显的遮挡作用,易形成三角状剩余油,这类剩余油与点坝砂体的平面分布特征和注采井网关系密切。

(2) 废弃河道遮挡宽条带状剩余油

点坝砂体凸岸外侧通常发育废弃河道沉积,废弃河道顶部物性较差。从数值模拟结果来看,由于废弃河道遮挡作用致使废弃河道凸岸外侧剩余油相对富集,剩余油呈相对宽条带状分布。这类剩余油是聚驱后层内挖潜的一个重要方面,其形成与废弃河道平面分布形态、废弃河道类型、注采井网有直接关系。

(3) 侧积夹层遮挡窄条带状剩余油

当点坝砂体内部可以形成较为完善的注采关系时,注采井间主流线方向与侧积夹层平面分布的方向往往形成一个夹角,不同侧积层顶部的水驱油状况存在较大差异。从整个点坝体上来看,这类剩余油由于侧积体间的侧积夹层遮挡形成窄条带状剩余油。

4.3 后续水驱阶段剩余油分布模式

从饱和度分布情况看(图6),后续水驱阶段对平面上剩余油的分布没有明显的改善作用,剩余油分布特点与聚驱一致。与聚驱末期相比采出程度上提高幅度不大,六年的后续水驱使得储层的采出程度仅提高0.67%,储层上下各部分的改善效果比较均衡,反映出聚驱改善储层波及体积、封堵储层下部大孔道,使得储层上下部开发效果更为一致的特点。

5 挖潜措施

根据曲流河砂体不同开发阶段形成的三种剩余油分布模式,按照井组为单元,层内为重点、夹层是关键的原则,根据不同的剩余油类型,采取不同的挖潜对策^[16],可以有针对性地提出3条挖潜措施挖潜曲流河砂体平面及点坝内部剩余油。

(1) 平面加密调整 挖潜水驱阶段连片分布剩余油。在水驱开发阶段行列井网无法完善曲流河平面非均质性较强的砂体注采关系,形成平面连片分布型剩余油。因此可以采用平面井网加密的方式,缩短注采井之间井距,完善注采关系,实现利用注水井对储层的充分控制,改善油田开发效果。聚驱井网大大提

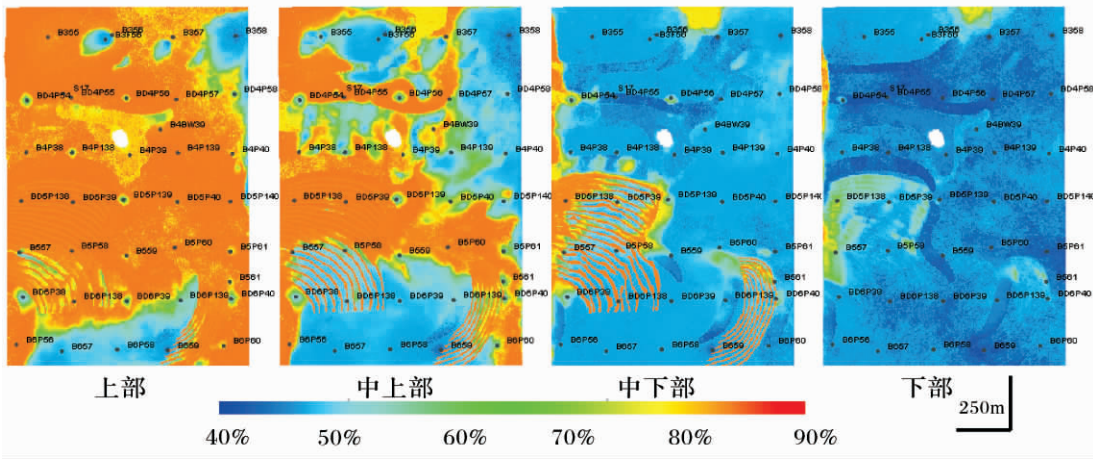


图 4 水驱阶段剩余油分布图(储层不同部位切片)

Fig. 4 Distribution of remaining oil on water flooding (Slice of different part)

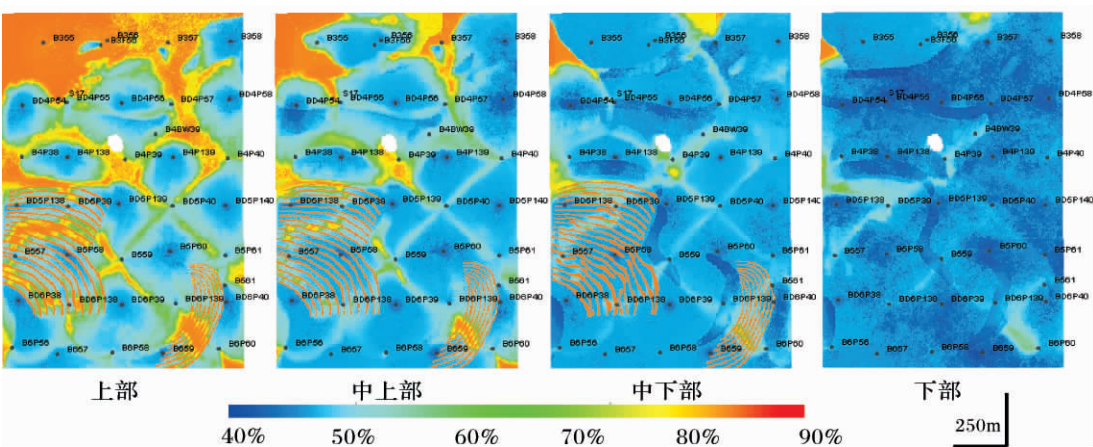


图 5 聚驱阶段剩余油分布图(储层不同部位切片)

Fig. 5 Distribution of remaining oil on polymer flooding (Slice of different part)

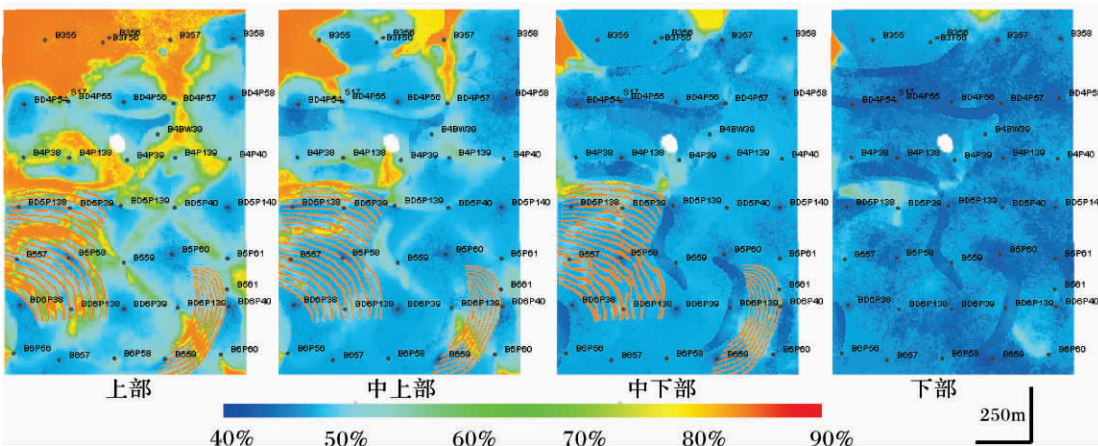


图 6 后续水驱阶段剩余油分布图(储层不同部位切片)

Fig. 6 Distribution of remaining oil of sequent water-drive (Slice of different part)

高了储层的采出程度,在一定程度上依赖于井网加密的效果,也充分说明了基础井网水驱开发后平面井网

加密调整的重要性。

(2) 层内细分调整,提高油层动用程度。对于聚

驱后点坝砂体内部的注水井,根据注采井组层内动用状况分析结果,对点坝砂体内部无效循环部位实施封堵,使注入水更多的沿着侧积层方向流动,挖潜侧积夹层遮挡形成窄条带状剩余油,实现层内细分注水,改善层内的开发效果。

(3) 利用水平井挖潜点坝顶部富集型剩余油。对于发育规模大、上部侧积夹层发育、与上部单元隔层稳定的点坝砂体,可以利用水平井挖潜废弃河道遮挡形成宽条带状剩余油和点坝体内部注采不完善形成的片状剩余油,提高井点对点坝砂体内部各个侧积体的控制程度,完善点坝砂体内部的注采关系。大庆油田自2003年以来共投产8口水平井挖潜点坝砂体顶部各种剩余油投产初期平均日产油33.4 t,含水66.5%,投产一年后日产油12.4 t,含水86.1%。水平井产量约为周围直井单井产量的3~4倍,取得了较好的效果。

6 结论

(1) 实现了基于井点数据的曲流河砂体内部四级界面—侧积夹层三维空间模型,形成了以“复合河道、单一河道、点坝体、内部构型”为研究对象、逐级深入的内部构型三维描述方法。该方法同样可以实现辫状河砂体、水下分流河道砂体内部构型分析和内部各级界面三维空间表征,具有广泛的应用前景。

(2) 利用地质建模软件,结合内部建筑结构解剖取得对夹层空间形态的定量认识,形成了多个点坝体内部复杂三维储层建筑结构建模技术,建立了可以用于实际油藏数值模拟的三维地质模型,大大提高了三维储层建筑结构建模的效率,减少了建模网格数量,精细刻画了曲流河点坝砂体内部侧积夹层空间分布特征,该技术为曲流河砂体内部建筑结构建模规模应用提供了方法和条件,具有广泛的推广价值。

(3) 总结了3种曲流河砂体不同开发阶段平面和层内剩余油分布模式,并针对不同的剩余油分布模式提出不同的挖潜对策,据此设计的水平井取得了较好挖潜效果,为油田开发后期层内剩余油精细挖潜探索了新的途径。

参考文献(References)

- 1 Miall A D. Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits[J]. *Earth Science Reviews*, 1985, 22(2): 261-308
- 2 Miall A D. Reservoir heterogeneities in fluvial sandstone: Lessons from outcrop studies[J]. *AAPG Bulletin*, 1988, 72(6): 682-697

- 3 薛培华. 河流点坝相储层模式概论[M]. 北京: 石油工业出版社, 1991: 55-63 [Xue Peihua. The General Introduction of Reservoir Model of Point Bar Facies[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1991: 55-63]
- 4 马世忠, 杨清彦. 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): 15-17 [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): 15-17]
- 5 岳大力, 吴胜和, 刘建民. 曲流河点坝地下储层构型精细解剖方法[J]. *石油学报*, 2007, 28(4): 99-103 [Yue Dali, Wu Shenghe, Liu Jianmin. An accurate method for anatomizing architecture of subsurface reservoir in point bar of meandering river [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2007, 28(4): 99-103]
- 6 伊三泉. 饮马河大榆树林现代边滩流动单元的划分及沉积特征[J]. *大庆石油学院学报*, 2004, 28(2): 15-17 [Yi Sanquan. Moving unit division and deposit features of modern sidebeach in Dayushulin, Yinma River [J]. *Journal of Daqing Petroleum Institute*, 2004, 28(2): 15-17]
- 7 岳大力, 吴胜和, 谭河清, 等. 曲流河古河道储层构型精细解剖——以孤东油田七区西馆陶组为例[J]. *地学前缘*, 2008, 15(1): 101-108 [Yue Dali, Wu Shenghe, Tan Heqing, et al. An anatomy of paleochannel reservoir architecture of meandering river reservoir—a case study of Guantao Formation, the west 7th block of Gudong oilfield [J]. *Earth Science Frontiers*, 2008, 15(1): 101-108]
- 8 隋新光. 曲流河道砂体内部建筑结构研究[D]. 大庆: 大庆石油学院, 2006 [Sui Xinguang. A Study on Internal Architecture of Channel Sand in Meandering River [D]. Daqing: Daqing Petroleum University, 2006]
- 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): 21-31 [Yue Dali, Wu Shenghe, Cheng Huiming, et al. Numerical reservoir simulation and remaining oil distribution patterns based on 3D reservoir architecture model [J]. *Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science*, 2008, 32(2): 21-31]
- 10 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 geological 3D reservoir architecture modeling and digital simulation in meandering reservoir [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2009, 30(6): 898-902]
- 11 赵翰卿, 付志国, 吕晓光. 储层层次分析和模式预测描述法[J]. *大庆石油地质与开发*, 2004, 23(5): 74-77 [Zhao Hanqing, Fu Zhiguo, Lü Xiaoguang. Reservoir type analysis and model prediction description method [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2004, 23(5): 74-77]
- 12 周银邦, 吴胜和, 岳大力, 等. 点坝内部侧积层倾向控制因素分析及识别方法[J]. *中国石油大学学报: 自然科学版*, 2009, 33(2): 7-11 [Zhou Yinbang, Wu Shenghe, Yue Dali, et al. Controlling factor analysis and identification method of lateral accretion shale beddings angle in point bar [J]. *Journal of China University of Petro-*

- leum: Natural Science Edition, 2009, 33(2): 7-11]
- 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 [Wang Jiahua, Zhang Tuanfeng. Reservoir Stochastic Modeling[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001: 10-142]
- 14 王仲林, 徐守余. 河流相储集层定量建模研究[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(1): 75-78 [Wang Zhonglin, Xu Shouyu. Quantitative modeling in fluvial facies reservoir[J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(1): 75-78]
- 15 周琦, 高宏印, 袁淑芬. 萨尔图油田河流相储集层高含水后期剩余油分布规律研究[J]. 石油勘探与开发, 1997, 24(4): 51-53 [Zhou Qi, Gao Hongyin, Yuan Shufen. Study of remaining oil distribution rules in the later period of strong water sensitivity of Saertu fluvial reservoir[J]. Petroleum Exploration and Development, 1997, 24(4): 51-53]
- 16 刘春发. 高含水后期厚油层剩余油富集区的确定和挖潜[C]//大庆油田油藏工程论文集. 北京: 石油工业出版社, 1995: 126-128 [Liu Chunfa. Determination of Residual Oil and Potential-tapping Measures of Rich Residual Oil Zone in Thick Reservoir[C]// Reservoir Engineering Essays of Daqing Oilfield. Beijing: Petroleum Engineering Press, 1995: 126-128]

Study on Geological 3D Reservoir Architecture Modeling and Distribution of Remaining Oil of Different Development Stage in Meandering Reservoir

WANG Feng-lan¹ BAI Zhen-qiang² ZHU Wei²

(1. Development Department of Daqing Oilfield Limited Company, Daqing Heilongjiang 163712;

2. Exploration and Development Institute of Daqing Oilfield, Daqing Heilongjiang 163712)

Abstract Considering the production situations of meandering sand bodies at late high water-cut stage under dense pattern condition in Daqing Sazhong development and based on the core analysis, well logging and production performance data, the method of hierarchy analysis combined with model matching was applied in subsurface architecture anatomy. The hierarchy analysis mentioned in this paper include the following: sedimentary unit dividing vertically, sedimentary facies dividing in the unit, single channel dividing, point bar or channel bar identifying in the channel sand and the study of the interlayer in the bar.

According to the results of reservoir modeling and numerical simulation, the different patterns of different development stage controlled by different hierarchy architecture elements were summarized at late high water-cut stage under dense pattern condition. the three remaining oil distribution patterns of the meandering river reservoir controlled by different hierarchy architecture elements were summarized at late high water-cut stage under dense pattern condition, which are triangle-shaped remaining oil between point bars, ribbon-shaped remaining oil created by abandon channel and flap-like remaining oil created by reservoir injection-production faultiness in point bar. Recovery measures for remaining oil controlled by lateral accretion shale bedding were proposed, which are subdivision and adjustment in interlayer, perfecting injection-production relation in single meandering belt and drilling horizontal wells on the top of the point bar.

The recovery measures for remaining oil controlled by lateral accretion shale bedding were proposed. The results show that the relationship of width/thickness ratio of sand body and lateral accretion interlayer's dip angel is well. The empirical formula could be used to predict dip angel of lateral accretion in meandering reservoir of Daqing placanticline. The efficiency of stochastic modeling is greatly improved with the automatic model matching method. The model can be numerical reservoir simulation. Simulation result show the distribution of interlayer remaining oil. This research finds that the different remaining oil should take different recovery measures.

Key words meandering reservoir; reservoir architecture; geological modeling; numerical reservoir simulation; remaining oil distribution; potential-tapping measures