

基于界面约束法的曲流河点坝内部构型建模

刘 卫^{1,2}, 丁亚军³, 彭光艳³, 孟立新³

(1.中国石化胜利油田分公司 博士后科研工作站, 山东 东营 257002; 2.中国石化胜利油田分公司 东辛采油厂, 山东 东营 257061; 3.中国石油大港油田公司 勘探开发研究院, 天津 300280)

摘要: 基于Petrel软件和界面约束法, 提出了曲流河点坝内部构型建模方法, 该方法以点坝内部构型模式和构型解剖研究成果为基础, 生成以曲面分布的侧积层顶、底界面, 再通过多级界面联合约束方法在点坝内部建立起储层结构模型, 实现点坝内部构型的精细表征。为便于后期的数值模拟, 建立了模型网格非均匀粗化的方法, 解决了模型网格数与侧积层精度之间的矛盾。通过大港油区某曲流河点坝对建模方法的有效性进行了验证。结果表明, 该方法建立的模型可以很好地体现河道、点坝及侧积层等不同级别构型单元的空间分布, 同时模型网格数大幅降低, 由粗化前1 776 500个网格数减少至672 896个, 减少了62.1%。模型计算储量与实际储量误差为1.84%, 计算累积产油量、累积产水量与实际值的误差分别为0.3%和0.03%, 能反映油藏实际情况。

关键词: 储层构型 点坝 构型建模 精细表征 非均匀网格粗化

中图分类号: TE111.2

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2014)03-0033-03

自Miall提出储层构型概念以来, 中外学者对储层构型的研究不断深入, 其中以曲流河砂体构型研究最为成熟^[1-7]。为了指导高效开发和剩余油挖潜, 点坝内部侧积层对流体渗流、剩余油的遮挡作用已引起重视, 这就需要建立构型模型, 并进行数值模拟等相关研究^[8-11]。在曲流河储层构型建模的3个级次中, 河道和点坝级次的构型建模方法相对成熟, 而对点坝内部侧积层的建模仍处于探索阶段^[12-17]。因此, 笔者基于目前地质建模中广泛使用的Petrel软件, 探索出一种基于界面联合约束的曲流河点坝内部构型建模方法, 在构型精细研究的基础上, 实现储层建筑结构及属性的精细表征, 并在大港油区某曲流河储层进行现场应用。

1 点坝内部构型建模的关键技术

侧积层作为点坝内部低一级的构型单元, 纵向上为侧积层顶、底界面及点坝顶、底界面共同约束的空间体, 平面形态的分布则受废弃河道的内边界面控制。其分布模式概括起来主要有3种: 水平斜列式、阶梯斜列式及波浪式。由于波浪式侧积层的分布特征无规律可循, 因此目前构型表征只是针对水平斜列式和阶梯斜列式, 这2类侧积层的构型特

征均表现为一系列倾斜的微微上凸的新月形曲面, 正是侧积层这种独特的空间分布特征给构型建模造成了难度。此外, 由于侧积层与点坝、河道砂体规模相差较大, 为了刻画侧积层, 所采用的细化网格模式必然造成网格节点数的膨胀, 形成了精细表征与网格节点数之间不可调和的矛盾。针对上述2方面的难点, 研究建立了界面约束法和非均匀网格设置这2项关键技术, 实现了点坝内部侧积层的构型建模。

1.1 界面约束法构型建模技术

界面约束法构型建模技术是通过生成一系列界面, 包括侧积层顶、底界面, 点坝顶、底界面、点坝内部厚度2/3处虚拟层面、废弃河道边界面来共同约束, 建立侧积层的空间分布模型。

1.1.1 界面的生成

在借助建模软件生成侧积层顶界面之前, 首先在平面生成1条侧积层投影(圆弧线A)(图1), 赋值为点坝顶界面深度值。将圆弧线A复制生成圆弧线B, 2条线之间的平面距离和高程差满足的关系式为

$$\tan \theta = \frac{y}{x} \quad (1)$$

式中: θ 为侧积层倾角, ($^{\circ}$); y 为弧线A到弧线B高程差, m; x 为弧线A到弧线B的平面距离, m。

收稿日期: 2014-03-12。

作者简介: 刘卫, 女, 工程师, 博士, 从事开发地质和油藏描述研究。联系电话: 18865971218, E-mail: sd_liuwei2000@163.com。

基金项目: 山东省博士后创新项目“普通稠油油藏基于储层构型的优势渗流通道研究”(201303046)。

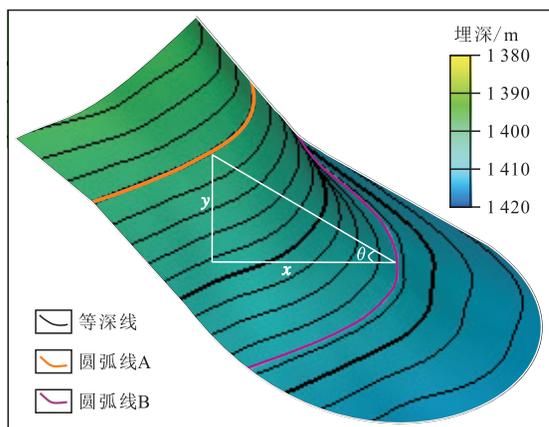


图1 点坝侧积层倾角示意

根据上述要求将圆弧线B移到指定位置后,利用软件中的“线操作”功能,将2条曲线合并,再利用“曲面生成”功能,将合并的圆弧线A和B生成曲面(图1)。

侧积层厚度在岩心及测井识别中指的是垂向厚度,即2个侧积层顶、底界面间纵向距离(d_h),而不是2个侧积层顶、底界面之间的真实厚度(h)。在生成侧积层另外1个曲面时,要保证2个侧积层间的垂向厚度(d_h)符合构型研究统计的侧积层厚度数据(图2)。

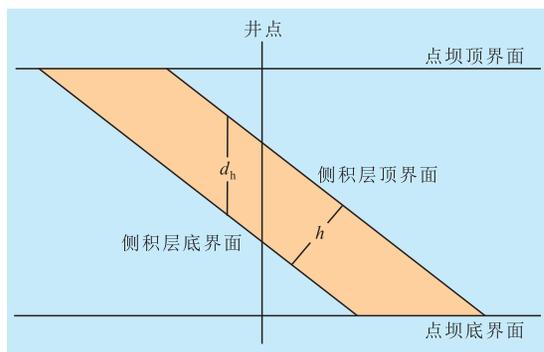


图2 点坝侧积层厚度示意

点坝顶、底界面和点坝内部厚度2/3处虚拟层面的生成相对简单,根据构型研究中的点坝顶、底界面数据直接生成即可。

1.1.2 多级界面联合约束的侧积层模型建立

多级界面联合约束指的是作为约束条件的界面,其所属的公共区间是侧积层模型的建模范围,侧积层的顶、底界面和点坝顶、底界面及废弃河道内界面共同约束就形成了侧积层模型。纵向约束分为2种:①全遮挡的侧积层,受点坝的顶、底界面约束;②半遮挡的侧积层,受点坝的顶界面及点坝内部厚度2/3处虚拟层面的约束。横向约束为废弃河道的内界面,通过软件沉积相建模中“线、面

共同约束”的建模功能,实现侧积层模型建立。

1.2 非均匀网格设置技术

为了保证侧积层的精度同时减少模型网格数,最优化的技术方案是在侧积层部位设置细网格,而其他部分为粗网格。在点坝的粗网格模型中,侧积层顶、底界面穿过的这部分网格是需要加密的网格。在细网格中,再根据侧积层顶、底界面及点坝边界面约束插入侧积层模型。

2 建模步骤及模型应用

以大港油区明化镇组曲流河储层为例,说明建模的具体实施步骤并对效果进行了分析。该区块明化镇组河道砂体呈条带状分布,单砂层厚度一般为8~12 m,主要发育高孔、高渗透细砂岩储层,平均孔隙度为32%,平均渗透率为 $1.051 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,井距为100~200 m。

2.1 建模基础

构型研究表明,目的层曲流河沉积平均河流满岸宽度为95 m,河流满岸深度为7.1 m,共发育12个点坝,其侧积层倾角平均为 6.4° ,单一侧积体水平宽度约为63 m,侧积层厚度为0.2~1.1 m。选择G205点坝进行构型建模研究。

2.2 点坝内部构型建模

点坝内部构型模型要准确反映各级沉积界面平面及纵向的分布特征,可采用确定性建模及人机结合的方法分2个步骤建立:①建立河道、点坝级次的构型模型;②建立点坝内部侧积层的构型模型。点坝内部构型建模的关键是在点坝模型中嵌入多个以曲面分布的侧积层模型。

2.2.1 侧积层界面模型

利用点坝内部构型研究成果,绘制点坝及侧积层在平面的投影轨迹,以此为基础,结合单一侧积体水平宽度、侧积层倾角、延伸方向、剖面分布等,利用建模软件生成以曲面分布的侧积层顶面。生成侧积层底面时,在无井点钻遇的侧积层,以钻遇井点统计的侧积层厚度平均值为参考厚度;在有井点钻遇的侧积层,则以钻遇侧积层的实际深度数据参与侧积层底界面的计算。将侧积层顶、底界面间的网格界定为侧积层,其平面界限受点坝边界分布范围限定,纵向延伸受点坝顶、底界面限定,或根据侧积层在砂岩内延伸位置,利用虚拟层面限定侧积层的底界面延伸范围(图3)。

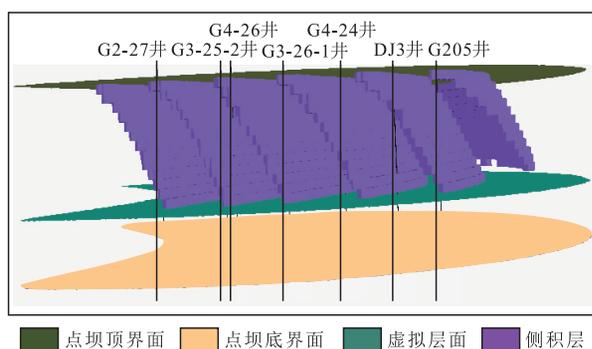


图3 点坝侧积层界面模型

2.2.2 侧积层模型

侧积层模型是在地层骨架模型及曲流河点坝模型内部,根据点坝顶、底界面和各侧积层顶、底界面及各侧积层分布范围等多级界面联合约束下建立起来的。根据前期研究认识,G205点坝侧积层在砂岩内部的延伸位置大致为砂岩厚度的2/3处。为此,在点坝内部厚度2/3处建立虚拟层面,在点坝顶面与虚拟层面之间及各侧积层顶、底面限定的网格即为侧积层(图3)。点坝内部的其他网格(砂岩层顶面以下、砂岩层底面以上、前一侧积层底面以下及后一侧积层顶面以上)为点坝侧积体(图4)。这样建立的构型模型中,体现了多级次的构型单元,包括点坝、末期河道、点坝内部的侧积层和侧积体,其中侧积层的分布形态完全符合曲流河构型模式,且与井点数据相吻合。

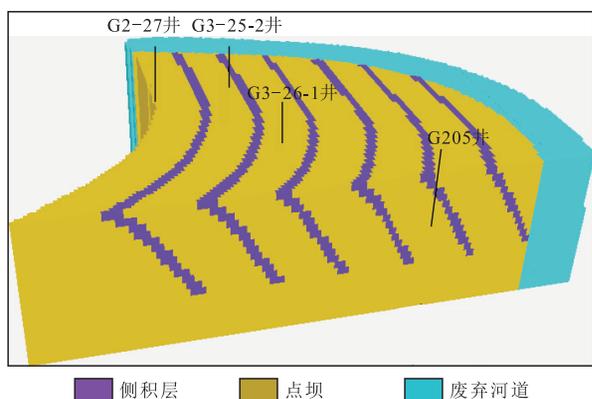


图4 点坝侧积层模型剖面

2.3 储层参数模型

储层参数建模是应用测井资料进行井间三维预测(模拟或插值),从而建立储层构型的三维属性模型。孔隙度参数建模时以各类型构型单元为约束条件,对各类构型单元分别进行变差函数的分析与变程的求取,并分别进行序贯高斯模拟,在构型单元内随机预测储层参数,求取多个实现,然后进行模型优选。渗透率参数建模时,在数据分析及得

到的变差函数的基础上,以建立的构型单元模型作为约束,以孔隙度数据作为协变量,采用序贯高斯协模拟方法,得到渗透率模型的实现。

2.4 模型的非均匀粗化

首先按照常规方法对模型进行粗化,再按侧积层顶、底界面穿过的网格重新进行加密,在细网格中再根据多级界面联合约束的方法重新插入侧积层。

G205点坝初始网格设置为 $5\text{ m}\times 5\text{ m}\times 0.25\text{ m}$,网格数为1 776 500个。模型粗化后网格设置为 $10\text{ m}\times 10\text{ m}\times 1\text{ m}$,网格数为88 400个;按侧积层顶、底界面穿过的网格进行加密,细网格设置为 $3.3\text{ m}\times 3.3\text{ m}\times 0.3\text{ m}$,网格数为584 496个;非均匀粗化后的总网格数为672 896个,比粗化前网格数减少1 103 604个,减少了62.1%。最后,将初始精细模型的属性粗化到局部加密后的模型中,即可得到模型的属性数据体,实现模型的非均匀粗化。将模型用于油藏数值模拟,模型计算储量为 $63.8\times 10^4\text{ t}$,实际储量为 $65.0\times 10^4\text{ t}$,误差为1.84%;计算累积产油量为 $23.07\times 10^4\text{ t}$,实际累积产油量为 $23.14\times 10^4\text{ t}$,误差为0.3%,计算累积产水量与实际值误差为0.03%,表明模拟结果与油藏实际吻合较好。

3 结束语

基于界面约束的点坝内部构型建模方法,是以构型模式和构型解剖研究成果为基础,通过多级界面联合约束建立起侧积层模型,从而实现不同类型构型单元的精确表征。该方法属于确定性建模方法,前期研究成果对模型建立的影响较大,需要在地质研究的基础上,加强动静态分析,通过生产动态及示踪剂资料等验证静态研究成果的可靠性。

模型网格非均匀粗化的方法解决了侧积层精度与模型网格数之间的矛盾,由于侧积层与侧积体采用了2种不同规模网格,在数值模拟中收敛性变差,因此,侧积层与侧积体网格规模不宜相差太大。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.

(下转第40页)