

# 储层物性受控于剥蚀面的地质建模

## ——以江汉盆地钟市油田为例

李君<sup>1</sup>, 李少华<sup>2</sup>, 程琛<sup>3</sup>, 郑勇<sup>4</sup>

(1 长江大学地球环境与水资源学院“油气资源与勘探技术”教育部重点实验室; 2 长江大学地球科学学院)

(3 中国石化河南油田分公司第二采油厂; 4 中国石化河南油田分公司勘探开发研究院)

**摘要** 江汉盆地钟市油田西北边大型的剥蚀面对储层物性的影响较大。通过计算和分析, 认识到油田的储层物性沿东南方向, 越靠近剥蚀面, 物性越差, 分析得到的结果与实际地质情况相吻合。基于这种情况, 在建模过程中将这种地质认识及分析结果融入到了实际模型的建立中, 结果比较好地体现了储层物性随剥蚀面的变化特点, 同时对模拟结果的可靠性进行了检验。

**关键词** 储层物性; 地层剥蚀面; 储层描述; 储层地质建模; 模型检验

中图分类号: TE112.23

文献标识码: A

常规储层地质建模在国内经过二十多年的发展<sup>[1-2]</sup>, 如今已经趋于成熟。但随着开发的深入, 许多油田都进入了高含水阶段, 需要对其进行更加深入细致的研究, 包括对物性及油藏变化规律等<sup>[3-6]</sup>。储层地质建模作为一个不可缺少的中间环节, 它在为油藏数值模拟提供准确有效的数据体和剩余油的挖掘过程中, 有着不可替代的作用, 但同时人们也越来越认识到常规的建模方法不能完全体现地下储层的复杂情况。一方面建模方法的更新较慢, 无法满足油田的需求; 另一方面, 由于井网的加密, 对地下复杂的地质情况越来越清楚, 如何将这些地质认识整合到地质模型的建立中来, 已成为当下研究的重点。如今, 地震资料的普及使得在其约束下建立地质模型的方法日趋成熟<sup>[7-8]</sup>, 多数油田地质知识库的建立也为地质建模提供了较多的约束数据及参考<sup>[9-11]</sup>, 但如何将地质人员的思维及非基础地质数据(如储层孔隙度顺着物源方向的变化趋势等)融入到地质模型的建立中来, 这是建立精细、准确的地质模型的一个发展方向。据此, 基于对江汉盆地钟市油田剥蚀面控制物性分布趋势的地质认识, 笔者将这种认识融入

到了地质模型的建立中, 并有效地表征了储层物性随着与剥蚀面距离变化而发生变化的特征。

### 1 研究区概况

潜江凹陷是江汉盆地最重要的富烃凹陷。钟市油田位于潜江凹陷西部, 紧邻潜北断层, 它是一个岩性复杂、超覆在下第三系荆沙组(E<sub>2j</sub>)断阶剥蚀面上的多层砂岩呈叠瓦状分布的油藏(图1)。

受喜马拉雅早期运动的影响, 潜江凹陷在荆沙期发生构造转变——由早期断拗转向后期断陷。这一构造转变, 致使荆沙组遭受剥蚀而形成不整合面(荆沙剥蚀面)。该剥蚀面走向北东, 延伸距离较大, 靠近剥蚀面的物源方向均为北西向, 基本垂直于剥蚀面走向。该剥蚀面对油气的运移及成藏有较大影响, 并同时影响储层的物性特征。由于受潜北断层下降盘荆沙组断阶剥蚀面、岩性、构造等的控制, 主要形成的是构造、地层、岩性等的复合型油藏, 而且是被断层和岩性复杂化的超覆在荆沙剥蚀面上的叠瓦状多层砂岩油藏, 含油层位为下第三系潜江组(E<sub>2q</sub>), 油藏埋深1 300~2 500 m。

收稿日期: 2012-11-27; 改回日期: 2013-08-12

基金项目: 本文受国家科技重大专项“精细油藏描述技术及剩余油赋存方式研究”(编号: 2011ZX05011-001)和国家自然科学基金项目“点坝砂体内部非均质性的层次建模法”(编号: 41272136)资助

李君: 1984年生, 博士研究生。2006年毕业于长江大学, 现在长江大学矿产普查与勘探专业攻读博士, 主要从事储层地质建模及算法方面的研究工作。通讯地址: 430100 湖北省武汉市蔡甸区大学路特1号

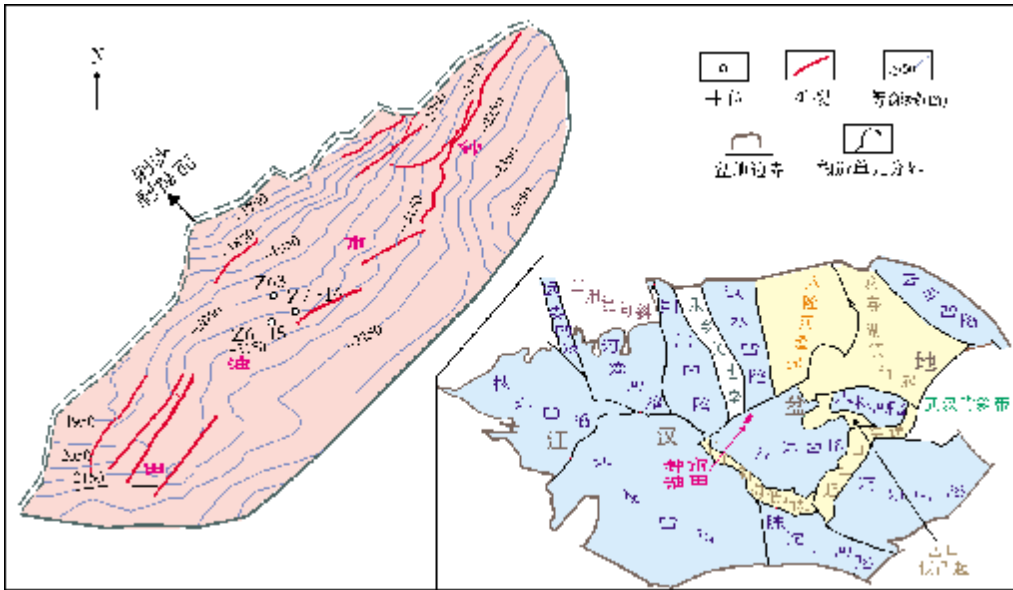


图1 江汉盆地钟市油田荆沙剥蚀面构造

钟市油田面积约为9.11 km<sup>2</sup>, 目前探明含油面积7.4 km<sup>2</sup>, 探明石油地质储量979×10<sup>4</sup> t。受荆沙剥蚀面的控制, 靠近剥蚀面, 断层发育, 呈羽状排列(图1), 断层走向主要为北东向, 倾向南东, 剥蚀面与断层走向一致, 在建模时, 可以把该剥蚀面当作断层来处理, 储层的发育主要受剥蚀面及断层的影响。

从事钟市油田勘探开发的相关专家们通过实际的勘探及动态分析得到这样的认识: 剥蚀面对储层物性的影响较大, 越靠近剥蚀面, 储层物性相对越差。本次在建模软件中对该认识进行了具体的数据分析, 并将分析结果应用于物性建模, 精细地刻画出了储层物性随剥蚀面而变化的情况。

钟市油田测井系列俱全的有214口井, 但研究区没有据测井逐点解释的孔隙度等物性数据, 只有少量由取心井得到的物性实验资料及由测井曲线回归得到的相关关系, 包含孔隙度与声波时差、渗透率与孔隙度, 以及含水饱和度与孔隙度、渗透率等的关系。根据这些取心井的资料, 油层孔隙度分布在12%~26%, 平均孔隙度为22%, 渗透率在(13~2537)×10<sup>-3</sup> μm<sup>2</sup>, 以中、高孔渗性储层为主。

2 数据分析

由于研究区没有单井解释的储层物性数据, 孔隙度主要通过与声波时差测井曲线的回归关系计算得到:

$$\phi = 0.114 \Delta t - 9.8309 \quad (\Delta t \geq 300 \mu s/m) \quad (1)$$

$$\phi = 0.1653 \Delta t - 24.8117 \quad (\Delta t < 300 \mu s/m) \quad (2)$$

式中  $\phi$ ——孔隙度, %;  
 $\Delta t$ ——声波时差, μs/m。

利用上述公式(1)和(2), 通过计算及质量控制后得到的钟市油田储层孔隙度数值分布如图2所示。

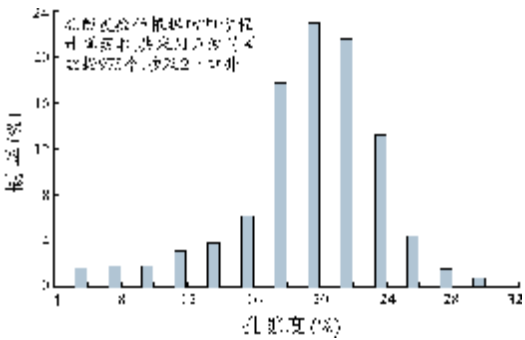


图2 江汉盆地钟市油田储层孔隙度数据分布特征

图2中采用了975个声波时差数据, 涉及钻井214口, 孔隙度最高值为30%左右, 大部分分布在16%~26%, 这与根据少量岩心分析得到的孔隙度范围12%~26%基本对应。

以计算得到的孔隙度数据为基础, 对储层的孔隙度进行一维趋势分析。由于物源来自西北方向, 将方位角设置为-46°(正北方向为0°, 顺时针为正, 逆时针为负), 得到孔隙度的一维趋势如图3所示。

由图3可以看出,与剥蚀面的距离越远( $x$ 的值越大),孔隙度也越大,最大值达到了26%左右;越靠近剥蚀面,孔隙度值越小,最小值为15%左右。这两者总体上成线性相关,相关系数约0.59。

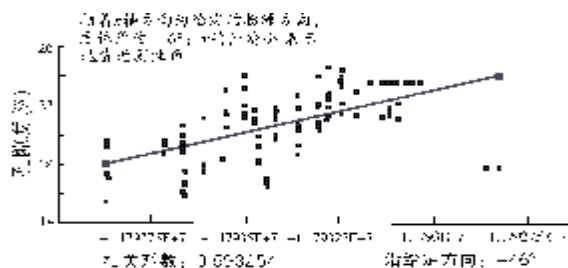


图3 江汉盆地钟市油田孔隙度一维趋势

因此,钟市油田储层物性受控于剥蚀面的情况在孔隙度分布一维趋势中得到了较好的体现。

### 3 建模流程

要对孔隙度等物性进行更深入的分析,必须先建立相应的储层地质模型,地质模型分为构造模型、沉积相模型和物性模型。储层物性模型包含孔隙度、渗透率及含油饱和度等模型,有了储层物性模型即可以对物性与剥蚀面距离的关系进行具体的分析与研究。本次研究主要是利用常用的建模软件Petrel109。建模流程如图4所示,主要包括以下五个步骤。

第1步 首先通过手动调整好断层与剥蚀面的接触关系,建立研究区的断层模型(图4中①);然后采用地质人员勾绘的构造图作为约束,建立研究区的构造层面模型(图4中②)。这两项完成后对构造模型进行适当的质量控制,例如,与实际构造图进行对比、井位与断层位置关系的调整等等。构造模型是建立后续岩相模型以及孔隙度等物性模型的关键,必须得到一定的质量保证。

第2步 构造模型建立完毕后,利用单井解释的岩相数据建立研究区的砂泥岩相模型(图4中③),用以约束后续物性模拟。

第3步 在砂泥岩相模型的约束下建立储层物性模型(图4中④),它包括孔隙度模型、渗透率模型以及含油饱和度模型,为后期油藏数值模拟提供必要的静态数据体。

第4步 为保证模型的准确性,还需要进行模型检验(图4中⑤),以保证模拟结果能够较好地描述地下储层物性的展布特征。

第5步 最后对地质模型进行储量计算及拟合(图4中⑥)。

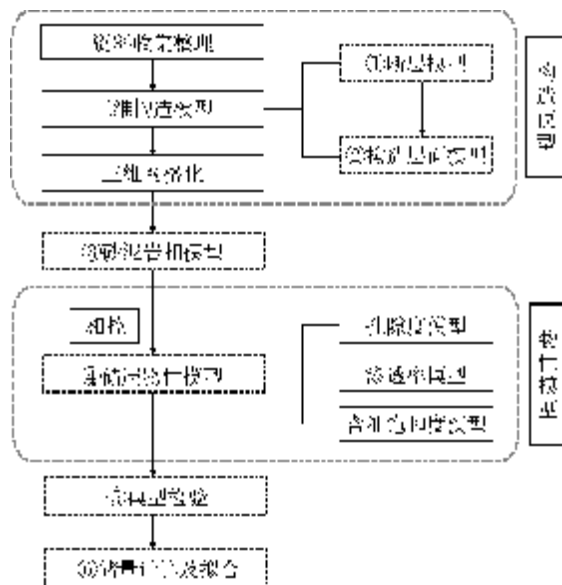


图4 储层地质建模流程图

### 4 模型建立

按照上述流程首先建立断层模型。由于剥蚀面控制储层的物性分布,故直接将剥蚀面作为断层加入到断层模型中,然后将其作为边界,建立研究区的断层模型,这样能够较好地体现出剥蚀面与储层的关系。对研究区断层简化后,保留了对储层分布有控制作用的小断层,将剥蚀面处理成断层,作为研究区的北侧边界。

断层模型建立完成后,通过分层数据建立层面模型,并对构造模型进行相应的质量检测,完成构造模型。在准确构造模型的控制下,利用研究区的单井解释砂泥岩相数据,建立岩相模型,用以约束后期储层物性模拟。

建立储层物性模型时,首先要进行数据分析,其中最主要的部分为变差函数分析及各种数据转换。由于建立孔隙度模型的方法一般为序贯高斯模拟,在模拟时需要孔隙度属性进行高斯转换,同时可以通过一维趋势的分析,得到不同层位的孔隙度数值分布规律,如图2所示,然后分析得到孔隙度不同层位、不同岩相类型、不同方向的变差函数,最后将数据分析的结果用于孔隙度的模拟,得到的结果如图5a所示。其中,储层孔隙度最小值



12%, 最大值30%, 平均值为21%左右, 孔隙度高值区并没有靠近剥蚀面, 而是处于研究区中部位置。

利用孔隙度原始数据分析得到的一维分布趋势(图3)作为约束, 得到孔隙度模拟结果(图5a)的一维趋势图(图5b), 它保持了图3所示的原始数据的一维分布趋势, 实现了储层物性受控于剥蚀面的认识: 顺物源方向为 $-46^\circ$ , 靠近剥蚀面, 孔隙度越来越差。该模拟结果中, 孔隙度受剥蚀面的控制程度也呈现线性相关, 但相关性更强, 相关系数达到了0.79, 较原始数据的相关系数0.59有显著增加。

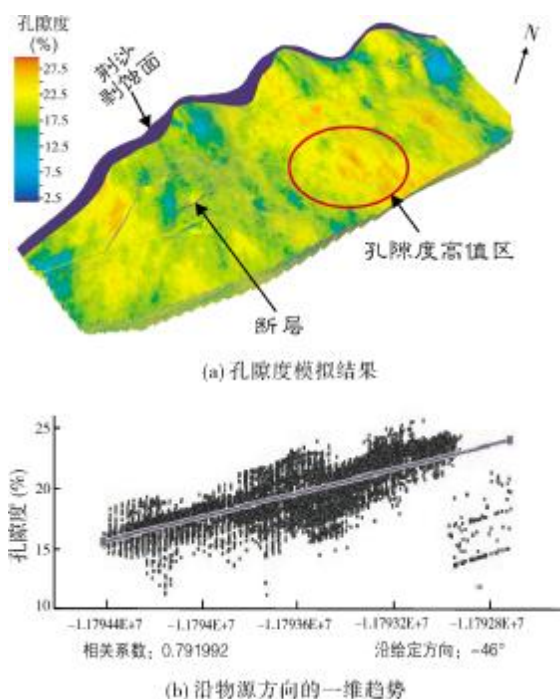


图5 江汉盆地钟市油田孔隙度模拟结果及趋势

## 5 模型检验

### 5.1 检验方法

为了保证模拟的准确性, 在应用上面所建立的储层地质模型之前还需先对它进行检验(图4中⑤), 本文采用目前比较常用的抽稀检验方法。

(1) 首先利用所有井的数据模拟研究区物性或者沉积相(第一次模拟已经完成)。

(2) 随机抽掉研究区部分井位, 然后进行第二次模拟, 被抽掉的这部分井位不参加模拟。在本次模拟过程中, 设置与第一次相同的模拟参数, 保证两次的

模拟结果不受参数的影响。在本次模拟中, 被抽掉的井位当成了未知井, 这部分井位将会有模拟结果。

(3) 通过对比第二次模拟中抽掉的井位的模拟结果与井上测井曲线数据及第一次模拟结果的符合程度, 来分析模拟结果的准确性。测井曲线数据与第一次模拟结果一般是能够对应的, 第二次模拟结果若与测井曲线数据相似度越高, 则代表模拟结果越好。

### 5.2 模型抽稀检验

针对第4节中建立的储层地质模型, 随机抽掉Z63、Z6-15、Z7-16三口井(井位见图1), 利用其它井对研究区进行第二次模拟, 然后对抽掉的三口井的模拟结果及原始结果进行对比检验。由于孔隙度、渗透率等具连续属性, 无法对其进行抽稀后的量化检验, 而岩相模型具离散属性, 能够进行具体的量化检验, 因此对研究区的岩相进行了抽稀检验。

图6中给出了研究区所提取的三口抽稀井的岩相模型抽稀检验结果, 并同时给出了测井解释结果和模拟结果。图中密集的横线表示垂向上的网格, 根据需要在建立地质模型时, 垂向上会将一个层位划分为多个网格。经过对比可以看到, 模拟结果和测井曲线对应较好, 基本吻合, 而抽稀检验结果与模拟结果符合率基本上也达到了90%以上。Z6-15及Z7-16井抽稀检验结果与模拟结果对应较好, 只是Z63井中的抽稀检验结果在井深为2022~2024 m处多模拟出一套砂岩, 其他位置基本能对应。

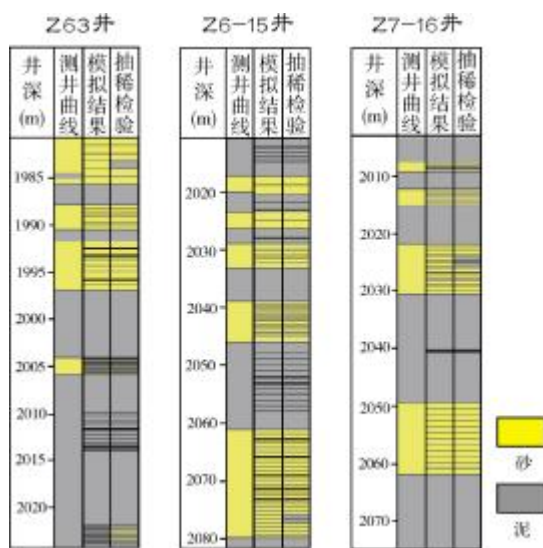


图6 江汉盆地钟市油田地质建模抽稀检验图

以上分析说明了本次对岩相的模拟在方法及参数的选择上都比较合理,能够比较真实地反映地下储层的砂体展布规律。这也说明,在符合实际地质情况的岩相模型的控制下,前面得到的孔隙度模拟结果(图5a)也具有较强的可靠性。

## 6 结论与认识

通过对钟市油田储层物性受控于剥蚀面的分析,结合实际地质情况,在建模软件中进行了具体的实现,得到以下几点认识。

(1)将剥蚀面作为断层加入到建模中,利用分析所得到的趋势结果作为约束,能够很好地将这一地质约束融入到钟市油田地质建模中,得到的模拟结果较好地体现了地质人员的认识:顺物源方向,越靠近剥蚀面,储层物性越差。

(2)在建模过程中,较好地地对地质约束情况进行整合,得到的模拟结果与数据分析结果相对应,可靠性也得到了检验。这种方法可为其他地质建模工作人员提供一种思路,也可为其他具有类似情况的储层地质建模提供方法上的借鉴。

(3)如何将各种地质知识、地质人员的认识以及越来越多的地震资料有机地整合到地质模型中

来,并保证其准确性,将成为地质建模发展的方向之一。

### 参考文献

- [1] 裴悻楠,贾爱林.储层地质模型10年[J].石油学报,2000,21(4):101-104.
- [2] 贾爱林.储层地质模型20年[J].石油学报,2011,32(1):181-188.
- [3] 陆建林,李国强,樊中海,等.高含水期油田剩余油分布研究[J].石油学报,2001,22(5):48-52.
- [4] 甘利灯,戴晓峰,张昕,等.高含水油田地震油藏描述关键技术[J].石油勘探与开发,2012,39(3):365-377.
- [5] 张新征,张烈辉,熊钰,等.高含水油田开发效果评价方法及应用研究[J].大庆石油地质与开发,2005,24(3):48-50.
- [6] 刘天鹤,郭莉,左毅,等.高含水油田注水后油藏参数变化规律研究[J].特种油气藏,2005,12(2):42-44.
- [7] 刘文岭.地震约束储层地质建模技术[J].石油学报,2008,29(1):64-68.
- [8] 陈恭洋,胡勇,周艳丽,等.地震波阻抗约束下的储层地质建模方法与实践[J].地学前缘,2012,19(2):67-73.
- [9] 贾爱林,何东博,何文祥,等.应用露头知识库进行油田井间储层预测[J].石油学报,2003,24(6):51-53.
- [10] 李少华,张昌民,林克湘,等.储层建模中几种原型模型的建立[J].沉积与特提斯地质,2004,24(3):102-107.
- [11] 石书缘,胡素云,冯文杰,等.基于Google Earth软件建立曲流河地质知识库[J].沉积学报,2012,30(5):869-878.

编辑:吴厚松,金顺爱

## Geology Modeling of Reservoir Properties under Control of Denudation Plane: An Application in Zhongshi Oil Field, Jiangnan Basin

Li Jun, Li Shaohua, Cheng Chen, Zhen Yong

**Abstract:** Reservoir properties are influenced by the denudation plane distributed widely in the northwest of Zhongshi Oil Filed, Jiangnan Basin. The analysis shows that the reservoir properties are getting worse southeastwards with closing to the denudation plane. Through the geology cognition and analysis result are applied to the process of modeling, the changing of reservoir heterogeneity with denudation plane can be well incarnated. The reliability of modeling is inspected.

**Key words:** Reservoir property; Strata denudation plane; Reservoir description; Reservoir geology modeling; Zhongshi Oil Field; Jiangnan Basin

Li Jun; male. DSc degree in progress at College of Geosciences of Yangtze University, Te 1 Daxue Rd., Wuhan, Hubei, 434023, China