

高分辨率层序地层学在油藏数值模拟中的应用

许广明 徐怀大* 孔祥言

(中国科学技术大学, 安徽合肥 230027 中国地质大学, 北京 100083)

首先通过识别测井曲线和岩芯资料的相序来进行基准面旋回的识别;然后根据合成记录进行时深转换,将测井层序划分标定在地震剖面上,按照地震反射同相轴和内部反射特征进行追踪对比,形成油藏储层的高分辨率层序格架。在此基础上,将划分的中期旋回作为油藏储层物理模型的分层;在每个分层中,依据中期旋回沉积微相的平面分布来划分非均质分区,储层在每个分区内都可近似认为是均质的。这样建立起来的油藏储层物理模型更符合实际地质情况,从而使油藏数值模拟的生产史匹配变得比较容易,使油藏数值模型更符合客观实际。

关键词 高分辨率 层序地层 基准面 油藏数值模拟 沉积微相

第一作者简介 许广明 男 39岁 讲师 渗流力学

近几年来,层序地层学作为一种地学理论已在地质学界得到广泛承认;层序地层学作为一种新的勘探方法已被世界各大石油公司采用^[1]。正确开发油气藏所需要的地质细节,远远超过了为寻找油气藏时所要求的地质细节,这一事实促使开发地质学家寻找建立油藏精细地质模型的有力工具。传统的做法一般都是通过平滑内插由分散井中获得的岩石物性参数来建立油藏模型^[2]。一般来说,井的资料都是精确的,但井的分布不均匀,而且很稀。因此,对于非均质地层来说,这种内插模型可能与实际情况相差甚远,从而给油田开发带来很大浪费。与井的资料相反,地震测量资料相对来说较不准确,然而它提供的是信息的空间密度,有助于预测井控制以外的储层性质。层序地层学就是把二者结合起来,并综合伴生的沉积环境和岩相特征,对储层、隔层的空间分布进行评价及预测。本文就是利用层序地层学(特别是高分辨率层序地层学)的基本原理,对某油藏进行了精细的层序划分和小层对比,并把研究结果作为建立油藏数值模拟物理模型的基础,起到了很好的效果。

1 高分辨率层序地层学的基本原理

高分辨率层序地层学就是利用高分辨率地震

剖面、测井、岩芯和露头资料,通过对地层基准面变化的分析,运用精细的层序划分和对比技术,建立油藏的高分辨率层序地层格架,由于时间分辨率的增加,地层预测的准确性也将大大提高,并能为油藏数值模拟提供可靠的岩石物理模型。

高分辨率层序地层划分与对比,是根据基准面旋回、可容纳空间变化在地层记录中留下的能够反映地层所经历地质时间的“痕迹”而进行的。这些“痕迹”大体包括地层不整合界面、地层堆积样式的改变、相序的变化等。地层记录中不同级次的地层旋回,记录了相应级次的基准面旋回。因此,如何根据地震剖面、测井、岩芯、露头所表现出来的“痕迹”,来识别基准面旋回是高分辨率层序地层划分与对比的基础。

高分辨率地层对比是同时代地层与界面的对比,不是旋回幅度和岩石类型的对比。在成因层序的对比中,基准面旋回的转换点,即基准面由下降到上升或由上升到下降的转换位置,可作为时间地层对比的优选位置^[3,4]。但有时由于侵蚀和沉积间断,使某些地理位置的地层记录中仅留下半旋回,甚至仅剩下一个间断面,这就要求根据具体地质背景确定什么时候岩石与岩石对比,岩石与界面(间断面)对比或界面与界面对比。

2 油藏储层的高分辨率层序划分

由于受到研究区取芯资料和地震剖面分辨率的限制,这次仅按照高分辨率层序地层学原理,以

* 作者单位为中国地质大学(北京)

收稿日期: 1998 12 23

测井曲线为主, 结合岩芯和综合录井资料进行基准面旋回的识别。然后根据合成地震记录进行时深转换, 将测井层序划分标定在地震剖面上, 按照地震反射同相轴和内部反射特征进行追踪对比, 形成油藏储层的高分辨率层序格架。

2 1 基准面旋回的确定

本文所研究的油藏储层是河流相地层。在河流相地层中进行高分辨率层序划分, 可首先根据岩芯和测井资料来识别相序, 因为相序的变化, 在某种意义上代表了可容纳空间的变化。在研究范围内可见到的相序在岩芯和测井曲线上识别的标志如下。

2. 1. 1 岩芯剖面

在河流相地层中, 河道和漫滩相地层沉积环境之间有着明显的差别, 不同的相序沉积其岩性特征也有很大的不同。

2. 1. 1. 1 曲流河点砂坝

河道内沉积物主要以砂质为特征, 由于河道的侧向游移而形成向上变细的层序, 河流在凹岸发生侵蚀, 而在凸岸沉积了点砂坝。点砂坝在研究区的表现特征为一正旋回沉积系列, 岩性颗粒表现出向下变细的特点, 底部一般与棕红色的泥岩突变接触, 顶部与砂泥岩薄互层接触。

2. 1. 1. 2 天然堤

天然堤一般由砂、粉砂和泥质以不同比例组成, 研究区天然堤是由粉砂岩或泥质粉砂岩与粉砂质泥岩或泥岩组成的薄互层, 一般与下伏岩层呈突变接触, 与上覆岩层为渐变接触。

2. 1. 1. 3 决口扇

在洪水期时, 河水上涨, 河岸会周期性地被破坏, 而原先沉积的天然堤也可被冲蚀决口, 河水冲出河道, 流速突然减小而沉积, 形成决口扇。决口扇常常以向远源方向变薄的扇形或舌形砂岩体穿插在漫滩沉积物中。研究区决口扇的岩性一般呈现大套紫红色、棕红色泥岩中所夹的一层紫红色或灰白色粉砂岩或泥质粉砂岩, 有时呈下细上粗的反韵律特征。

2. 1. 1. 4 洪泛平原

在洪水期, 随着河水水位继续上涨, 河水将越过天然堤, 发生以泥质为主的漫滩相沉积, 形成广阔的洪泛平原。研究区洪泛平原的岩性特征为紫红、棕红泥岩、粉砂质泥岩, 有时有泥质粉砂岩夹层。

2. 1. 2 测井曲线

在测井曲线上识别相序, 主要根据自然电位 (SP)、自然伽马 (GR) 和电阻率 (R) 曲线来进行。

2. 1. 2. 1 曲流河点砂坝

曲流河点砂坝电测曲线呈钟形、齿化钟形。钟形底部突变, 显示点砂坝底部受到强烈冲刷。曲线呈齿化钟形, 表明点砂坝中泥质成分不断增多。如果钟形曲线相互叠置, 表明有多期河道的侧向加积。

2. 1. 2. 2 天然堤

天然堤的电测曲线形态呈齿化指状, 表明水流强弱变化频繁, 内部结构不均匀, 分选较差等特点。

2. 1. 2. 3 决口扇

决口扇电测曲线形态呈指状, 小漏斗形, 多突出于泥岩基线之中, 表明水流能量突然增强又突然减弱的强水流条件下形成的沉积。

2. 1. 2. 4 洪泛平原

洪泛平原沉积微相的电测曲线呈低平状态或低幅齿状, 偶见尖锥形, 反映了水流稳定环境的沉积特征。

根据上述相序特征确定出的基准面旋回是较短周期的旋回。根据短期旋回的叠加样式和曲线总体特征, 并结合岩芯和录井资料来确定较长周期的旋回, 即中期旋回。

图 1 是根据测井曲线识别的短期基准面旋回

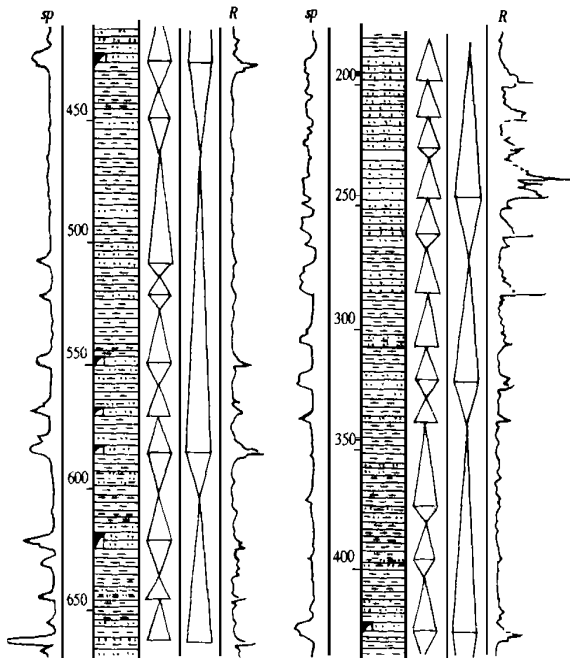


图 1 J12 井短期旋回和中期旋回的划分
Fig. 1 Classification of short and mediar term cycles of J12 well

和中期基准面旋回, 图中每一个短期旋回代表了一个小的或局部的可容纳空间由小到大再到小的旋回过程, 这种可容纳空间的变化过程在中期旋回中表现得更为明确, 中期基准面旋回的界面一般处在河道底部, 代表了基准面下降到最低, 可容纳空间为零(甚至为负), 地表遭受剥蚀或下切侵蚀, 也是基准面开始上升的起点。而中期基准面旋回由上升到下降的转换位置(基准面曲线的拐点), 多数处在洪泛平原紫红色泥岩处, 表示了一种地表低洼、地下水位埋藏浅, 缺乏沉积物供应, 而可容纳空间又大的时期, 相当于海相或湖相地层的最大水泛面。

2.2 井震层序对比及高分辨率地层格架的建立

本文研究的油藏处在以河流相沉积的地层中, 在地震剖面上表现为平行-亚平行的强弱振幅交互的反射特征, 很难在地震剖面上识别出反射终止类型, 给地震层序的划分带来一定的困难。这次工作充分利用“地震反射界面基本上是地质上的等时

面”这一基本概念。根据合成地震记录的时深转化, 将测井层序划分的中期旋回标定在地震剖面上(短期旋回多数超出地震分辨率的范围), 按照地震反射同相轴, 并兼顾反射特征进行追踪对比。实际上是将地震剖面作为桥梁来完成井间的层序对比, 从而建立起油藏范围的地层格架。在油藏所涉及的地层厚度内共划分了 6 个中期旋回(图 2)。若有高分辨率的地震剖面, 短期旋回也能在地震剖面上追踪对比的话, 建立起来的地层层序格架将更精细。

通过井震对比, 也能看出各种相序在地震剖面上的反射特征也不相同, 河道砂岩基本上为无反射或弱反射特征, 这可能是河道砂岩层厚而均质所致; 决口扇所在处的地震反射表现为具有前积特征的中强振幅反射, 这是河水周期性冲出河道而沉积的反射特征; 洪泛平原处的地震反射基本上是泥岩的弱反射特征。

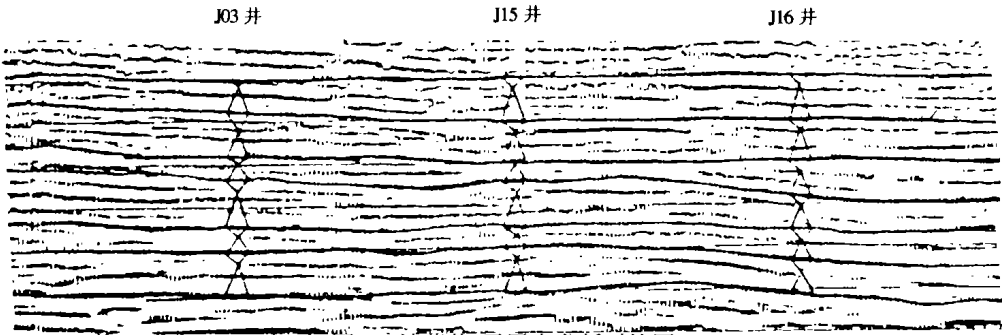


图 2 油藏井、震层序分析对比图

Fig. 2 Comparison of log sequences and seismic sequences in oil pool

3 在油藏数值模拟中的应用

河流相地层中的油藏储层具有多层结构, 这是由于河道不断摆动变迁所致。河道与河道间岩层的渗透性相差很大, 具有非常明显的非均质性, 所以河流相砂岩储层是一个具有多层结构的非均质渗流层。在这样的储层中建立一个能够真实反映储层连通性和非均质性的物理模型, 对油藏数值模拟起着至关重要的作用。

储层的多层结构若仅按井与井的岩性对比建立的话, 即使两井都是河道砂岩(或漫滩相泥岩), 但不能保证二者是同一地质时间沉积的, 那么二者也可能相互不连通; 若储层的地层参数按井间插值来进行的话, 即使两井都是河道砂岩, 而井间也有可能是漫滩相泥岩, 所以用井间插值求得的地层参数很

可能与地层的实际参数相差很远。这样建立起来的储层物理模型不能反映真实的客观实际。以这样的物理模型为基础进行油藏数值模拟, 在进行生产史匹配时将会很难, 即使通过地层参数和边界条件的调整能使曲线拟合满足要求, 但用来预测采收率 and 设计注水开发方案也将会产生严重的错误。

本文将高分辨率层序地层学的研究结果, 作为建立油藏数值模拟物理模型的基础, 首先以地层层序格架为基础, 把每个测井划分的沉积微相(属于同一个中期旋回的)结合地震剖面可在平面上做相应的沉积微相平面展布图, 图 3 是油藏主要开采层段所处的中期旋回沉积微相平面展布图, 根据这些平面展布图和地层层序格架就能很明显的表现出井与井之间各储层的联通程度(若有高分辨率地震剖面, 建立起高精度的地层层序格架, 情况将更加明显)。把每一个中期旋回作为储层的一层(若有

高分辨率地震剖面, 短期旋回能全区对比, 把短期旋回作为一层更好), 形成储层的多层结构; 然后在每一个中期旋回的沉积微相平面展布图上, 按照沉积微相来划分该层的非均质分区。在每一个分区内近似认为是均质的, 并把处在每一个分区的探井相应层位上的储层参数(如渗透率、孔隙度等)作为该分区的模拟参数, 无须按井间插值来求每个节点的参数, 这样建立起来的储层物理模型能够反映真实的客观实际。以这样的物理模型为基础建立起来的油藏数值模型是可靠的。

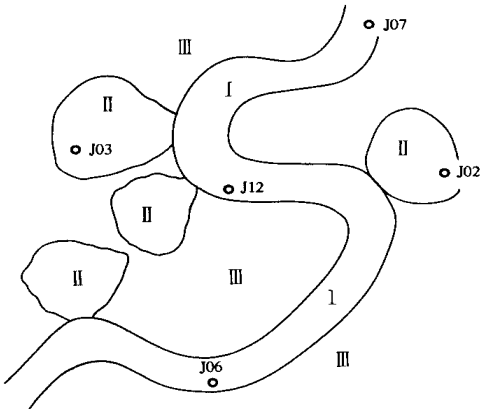


图 3 主要开采层段沉积微相展布图

Fig. 3 Distribution of sedimentary microfacies in major producing interval

I—河道砂坝沉积微相; II—决口扇沉积微相; III—洪泛平原沉积微相

由于研究的油藏没有分层开发, 开采动态资料仅反映了储层的平均性质。若按照分层结构建立分层模型, 没有资料能够验证模型的正确性。因此, 这次工作把储层概化为一层, 其渗透率采用等效渗透率 K_c , 即 $K_c = \sum K_i M_i / \sum M_i$, 其中 K_i 、 M_i 分别为第 i 层的渗透率和厚度。用 1993 年 6 月至 1996 年 6 月储层开发动态资料进行生产史匹配, 对模型进行调试和验证。由于依据层序地层学研究的结果建立起来的物理模型比较符合真实的地质情况, 使得开采动态的拟合非常容易(图 4)。图 5 是调试后模型主要开采层的参数分区图, 表 1 是各分区的地层参数, 把模型识别后的非均质分区图

表 1 储层非均质分区参数表

参 数	分 区 号							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
绝对渗透率/ μm^2	0.68	0.44	0.70	0.32	0.30	0.14	0.36	0.40
油相的压缩系数/ 10^{-5}MPa^{-1}	1.78	1.58	1.78	1.48	1.48	1.00	1.58	1.58
水相的压缩系数/ 10^{-6}MPa^{-1}	4.93	4.44	4.93	4.24	3.95	3.65	4.44	4.44

(图 5)与储层沉积微相展布图(图 3)相比较, 可以看出二者从形态上基本是一致的。这说明按照地层同一沉积旋回为单位所做的沉积微相展布图作为划分储层非均质分区的依据是可行的。

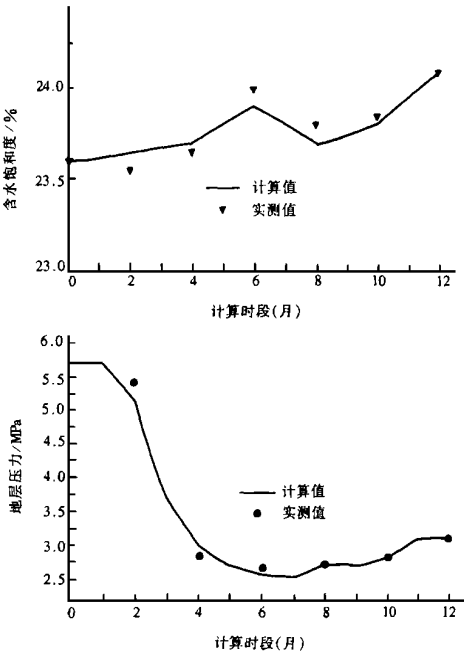


图 4 J4-4 井开采动态拟合图

Fig. 4 Producing dynamic fitting of J4-4 well

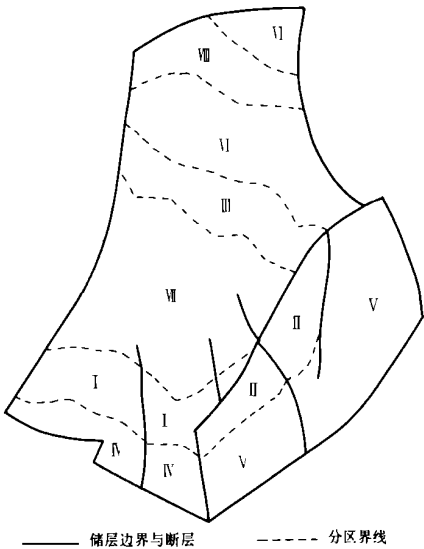


图 5 主要开采层的非均质分区图

Fig. 5 Nonhomogenous subregions of major producing horizon

通过层序地层学的研究, 特别是高分辨率层序地层学的研究, 建立一个符合实际地质情况的概念化模型, 对于油藏数值模拟能起到事半功倍的效果。由于没有分层开发动态, 不能验证分层开发的数值模型。可以相信, 如果有分层开发的动态, 能

够对分层开发的数值模型进行调试和验证的话,按照层序地层对储层的划分来建立分层开发的数值模型,层序地层学的研究将更能显示出它的巨大作用。

参 考 文 献

1 薛良清. 层序地层学研究现状、方法与前景. 石油勘探与开

发, 1995, 22(5): 8~ 13
2 罗伯逊 J D, 伯尔 M D, 霍尔斯特德 P H, 等著. 地震勘探在油气开发中的应用. 范伟粹, 韩一伟译. 北京: 石油工业出版社, 1992
3 邓宏文. 美国层序地层学研究中的新学派——高分辨率层序地层学. 石油与天然气地质, 1995, 16(2): 90~ 97
4 邓宏文, 王洪亮, 李熙喆. 层序地层地层基准面的识别、对比技术及应用. 石油与天然气地质, 1996, 17(3): 177~ 184

APPLICATION OF HIGH-RESOLUTION SEQUENCE STRATIGRAPHY
IN RESERVOIR NUMERICAL SIMULATION

Xu Cuangming
(China University of Science and Technology, Hefei)
Xu Huaida
(China University of Geosciences, Beijing)
Kong Xiangyan
(China University of Science and Technology, Hefei)

Abstract

According to recognized stratigraphic base level cycles and the results of time-depth transformation, log sequences were marked on seismic profiles and were contrasted with each other so as to obtain reservoir high-resolution sequence stratigraphic framework. Take intermediate-term cycle as the stratification of reservoir physical model, the distribution of the cycle's sedimentary microfacies could be used to divide nonhomogeneous subregions of the model. A reservoir physical model established by application of above mentioned methods must be more practical; the reservoir numerical simulation will be more easier to match with actual production history.

Key words: high resolution sequence stratigraphy base level reservoir numerical simulation sedimentary microfacies

(上接第 103 页)

I/S RATIO INCREASE WAYS AND ITS COMPOSITION CONTROL OF
ILLITE-SMECTITE MIXED-LAYER CLAY:
AN EXAMPLE OF TWO WELLS IN ZHUJIANGKOU BASIN

Wu Jinhua Yu Shuyu
(China University of Geosciences, Wuhan)
Xu Shice Liu Lihua
(Research Institute of Eastern South China Sea Oil Corporation, Guangzhou)

Abstract

Based on the sectioned quantitative study of XRD data of clay minerals in argillites from two wells in Zhujiangkou Basin, it is proved that the increase of the ratio of illite and smectite layer contents in illite-smectite mixed-layer clay (I/S) is related mainly to the dissolution of potassium feldspar. When deposited organic substances and potassium feldspar are abundant enough, the ratio increase would proceed by the net increase of illite layers at the temperature roughly corresponding to or slightly higher than that of the oil generation threshold; when the temperature is lower than that of threshold, smectite layers would be converted to illite according to dissolution-precipitation mechanism; if no supply of K^+ , the ratio would increase by net dissolution of smectite layers. In general, the increase ways are independent of the permeability because it could usually allow the ions to transport smoothly. Only when it as low as to filter merely the big organic complex aluminium ions, the illitization reaction would substitute for the net addition of illite layers. Permeability even lower than that or the system being closed would stop the trend of the increase in all ways.

Key words illite-smectite mixed-layer clay illitization net addition of illite net dissolution of smectite composition control