

文章编号:0253-9985(2006)05-0652-08

不同开发时期砂岩油藏储层非均质三维模型特征

杨少春¹,王瑞丽²

(1. 中国石油大学 油藏地质山东省重点实验室,山东 东营 257061)

(2. 中国海洋石油有限公司 湛江分公司 技术部,广东 湛江 524057)

摘要:以济阳坳陷东营凹陷胜坨油田二区为例,简述非均质综合指数的计算、作用和意义。按储层随机建模的思路和方法建立非均质综合指数三维模型,主要包括储层数据准备、构造模型、非均质综合指数分析、非均质建模和显示5个环节,直观表征储层的空间非均质性特征。分析了东营组三段开发初期、中期和后期的非均质综合指数变差函数和三维模型特征,得出了不同开发时期储层非均质性的变化规律。结果表明,随注水开发的进行,变程(a)减小,基台值($c_0 + c$)增大,块金效应值(c_0)为0。开发初期储层以中等非均质性为主,中期以较强-中等为主,后期以较强为主。纵向上,上部的非均质综合指数差异较大,下部的差异相对较小。纵向上的层间和层内非均质性要强于平面非均质性。注水开发加剧了储层的非均质程度。

关键词:非均质综合指数;储层非均质性;三维模型;开发时期;胜坨油田;东营凹陷

中图分类号:TE112.2

文献标识码:A

Characteristics of heterogeneous 3-D model of sandstone reservoirs in different development stages

Yang Shaochun¹, Wang Ruili²

(1. Shandong Key Laboratory of Reservoir Geology, China University of Petroleum, Dongying, Shandong 257061;

2. Technology Department, Zhanjiang Division Company, CNOOC, Zhanjiang, Guangdong 524057)

Abstract: The calculation of heterogeneous aggregative index, together with its function and significance, is briefed based on the data acquired from the Block II of Shengtuo oilfield. The 3-D modeling of heterogeneous aggregative index by employing the reservoir stochastic method includes the following five stages: preparation of reservoir data, construction of model, analysis of heterogeneous aggregative index, construction of heterogeneous model, and display of modeling results. The spatial heterogeneity of reservoir is vividly characterized by the model. An analyze of the variation function and 3-D model characteristics of heterogeneous aggregative index of sandstone in the Third Member of Dongying Formation in its earlier, middle, and later stages of development reveals the changing pattern of reservoir heterogeneity at different development phases. According to the results, the range of influence (a) decreases with waterflooding, while the sill value ($c_0 + c$) increases and nugget value (c_0) remains zero. The initial, middle and late development stages are characterized by moderate, moderate to relatively strong, and strong reservoir heterogeneities, respectively. Vertically, the heterogeneous aggregative index varies greatly in the upper part of the reservoir and is more constant in the lower part. Vertical interformational and intra-formational heterogeneities are stronger than lateral heterogeneity. Water injection intensifies the heterogeneity of reservoirs.

收稿日期:2005-11-28

第一作者简介:杨少春(1962—),男,教授、博士生导师,油气地质、油藏描述及剩余油分布研究

基金项目:国家留学基金委出国留学资助项目(200233)

Key words: heterogeneous aggregative index; reservoir heterogeneity; 3-D model; development stage; Shengtuo oilfield; Dongying sag

储层非均质性是指储层在形成过程中,受沉积环境、成岩作用和构造作用影响,其空间分布及内部各种属性上存在的不均衡变化。这种变化影响地下水及油气的运移和聚集,同时也影响油田注水开发的效果。因此,研究储层非均质性对于油田的勘探和开发具有重要的意义。长期以来,地质工作者从不同的角度、通过各种方法来研究储层的非均质性,并且取得了较好的效果^[1~16]。事实证明,非均质综合指数是用于定量表征储层非均质性的有效参数^[9,10,15]。但国内外很少有文献涉及利用储层非均质综合指数建模的内容,针对不同开发时期的研究则极少见报道。本文以已开发近40 a的东营凹陷胜坨油田二区为例,论述东营组三段(简称东三段)不同开发时期砂岩油藏储层非均质三维模型的特征,为研究区的剩余油挖潜提供科学依据。

1 研究区地质概况

胜坨油田位于东营凹陷的北部,坨庄-胜利村-永安镇二级构造带的中段。它东临民丰洼陷,西及西南临利津洼陷,南接东营断裂带,北面为胜北弧形大断层,是一个被断层复杂化的逆牵引背斜构造油藏(图1)。背斜构造长轴走向近东西,

长15.0 km,东部宽5.5 km,西部宽3.7 km,构造面积为62.65 km²。胜坨油田共分为3个区块:一区、二区含油面积大;三区小断层发育,断块较破碎(图1)。二区位于胜利村背斜的西南翼,北部和东部分别被7号和9号断层切割,形成一个区内构造相对简单的扇形单斜断块油藏(图1)。在古近系及新近系地层中,二区共有7套含油层系已被证实有工业油流;在已开发的含油层系中,东三段为较好的含油层系。二区东三段共有5套砂层组,27个含油小层及韵律层,单元含油面积5.40 km²。胜坨油田的勘探始于1963年,二区东三段先后经历了无水采油期、低含水期(开发初期)、中含水期(开发中期)和高含水期(开发后期)等开发阶段,现已进入特高含水开采阶段,目前钻井数已达到500余口。

东营组沉积时期是构造隆断强烈时期。其中,东三段地层主要为砂泥岩沉积,自下而上经历了水下(湖泊)—水上(辫状河道沉积)—衰退(支流河道沉积)的沉积过程。东三段3—5砂组为扇三角洲前缘沉积,发育河口砂坝、席状砂、水下分流河道、水下分流河道间等微相;1—2砂组为辫状河沉积,发育分流河道、心滩、河道侧缘、河漫滩等微相。

2 非均质综合指数表征参数

2.1 非均质参数的选取

目前常用的非均质参数主要有以下几种:①以渗透率参数变化为主线的非均质参数;②表征砂体厚度及分布的非均质参数;③表征储层中油层分布变化的非均质参数。此外还有连通系数、分布系数、孔隙度和孔喉半径等储层参数也常用于表征储层非均质性。这些参数可用于求取储层的非均质综合指数,以全面、定量地表征储层的非均质程度。针对二区东三段的地质和开发特点,主要选用了12种影响本区储层非均质性的主要参数。这些参数均通过近500口测井的多井处理和解释获取,具有精度高、数据量大、平面延拓性强的特点。此外,还引入沉积微

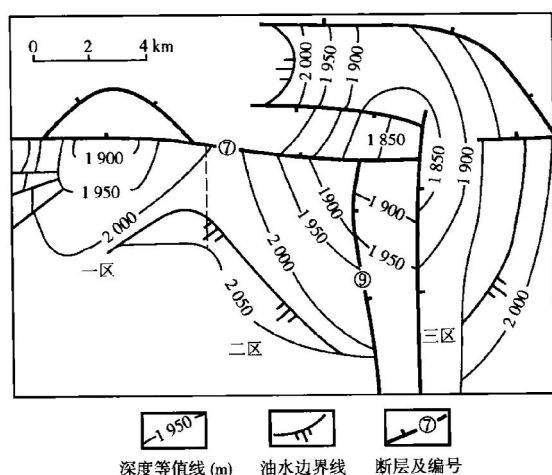


图1 胜坨油田构造简图

Fig. 1 Sketch map showing the structure of Shengtuo oilfield

相控制指数,将沉积微相对储层非均质性的影响进行量化。

2.2 非均质综合指数的计算

本文的研究采用了熵权法计算非均质综合指数。熵的概念源于热力学^[17,18],熵值实际是系统不确定性的一种量度。熵具有极值性,当系统处于各种状态概率为等概率时,其熵值最大。因此,熵权法可用于不确定性参数的评价。根据熵权法的算法特点可知,指标的水平值越接近,其熵值越大,其权值越小,这个指标对整个系统的贡献就相应地较小;反之,指标的水平值差异越显著,其熵值越小,其权值越大,这个指标对整个系统的贡献就相应地较大。

使用熵权法^[10,17,18]计算东三段储层非均质综合指数的基本算法主要包括:①确定对象的集合,在二区中确定要计算的各井的集合。②确定指标的集合,即对象的各个属性的集合。这里属性集合是指井内储层的各种非均质参数,如渗透率的变异系数、突进系数、级差、砂岩密度、有效砂层系数等参数的集合。③确定指标矩阵。矩阵元素为非均质参数。④归一化指标值。⑤利用熵权法确定各参数的权重。⑥计算非均质综合指数(I)。 I 值在0~1之间分布。 I 值越大,非均质性越弱; I 值越小,非均质性越强。实践已证明,非均质综合指数是定量表征储层非均质性的有效参数^[9,10,15]。

3 非均质综合指数三维模型

这里提到的储层非均质模型是按照储层随机建模的思路和方法建立起来的、以非均质综合指数为表现形式、能按不同开发时期(开发初期、中期和后期)来表征储层非均质性强弱的二维和三维模型。通过建立储层非均质模型,可将非均质综合指数的定量刻画性与随机建模的不确定性及预测性结合起来,依靠计算机二维和三维可视化,实现储层非均质性的井间预测。以胜坨油田二区东三段储层27个小层及韵律层为建模对象,以地质建模软件GOCAD(geological object computer aid design)为建模工具,以熵权法计算的储层非均质综合指数为建模参数,以序贯高斯模拟方法为建模方法,建立了三维可视化非均质综合指数模型。

建立非均质模型的环节主要有储层数据准备、储层构造模型、非均质综合指数分析、非均质模型建立和模型显示5个环节。鉴于论文篇幅,这里不再详细叙述。

4 不同开发时期储层非均质三维模型特征

这里主要讨论胜坨油田二区东三段砂岩油藏在开发初期、中期和后期(以下分别简称为初期、中期和后期)储层的非均质综合指数三维模型特征。

4.1 非均质综合指数变差函数特征

变差函数是三维建模算法的基础,也是表征储层非均质性的有效参数。其中,块金效应(c_0)、变程(a)和基台值($c_0 + c$)的大小反映非均质性的强弱。分析东三段储层各个方向开发初期、中期和后期的非均质综合指数变差函数图(图2)可以看出,从初期—中期—后期,块金效应值均为0,基台值变大(从接近1.00到1.05再到1.07),变程变小(从200 m到170 m再到130 m)。块金效应值为0说明非均质综合指数具有极好的连续性,是连续的区域化变量。基台值变大说明非均质综合指数的波动程度大,也即变化幅度大;而基台值接近于1.00,这反过来印证了非均质综合指数为正态分布的事实。因为从理论上讲,如果模拟的属性参数符合正态分布,则基台值为1.00或接近1.00。这说明确实对东三段变差函数的拟合是可靠的。变程变小说明综合指数变化速度加快,非均质性变强。这表明随着注水开发的进行,变程不断变小,基台值不断变大,非均质性呈逐渐增大的趋势。这种变化趋势在未来特高含水开发阶段仍将继续。

4.2 非均质综合指数三维模型特征

非均质综合指数三维模型能够体现储层的空间非均质性特征。由于所建模型均是用颜色表达数值的大小,因此对颜色的层次及其所反映的非均质性作出规定。红色和黄色区域反映储层非均质强,非均质综合指数小于0.4;淡蓝色和绿色区域反映储层非均质性较强,非均质综合指数在

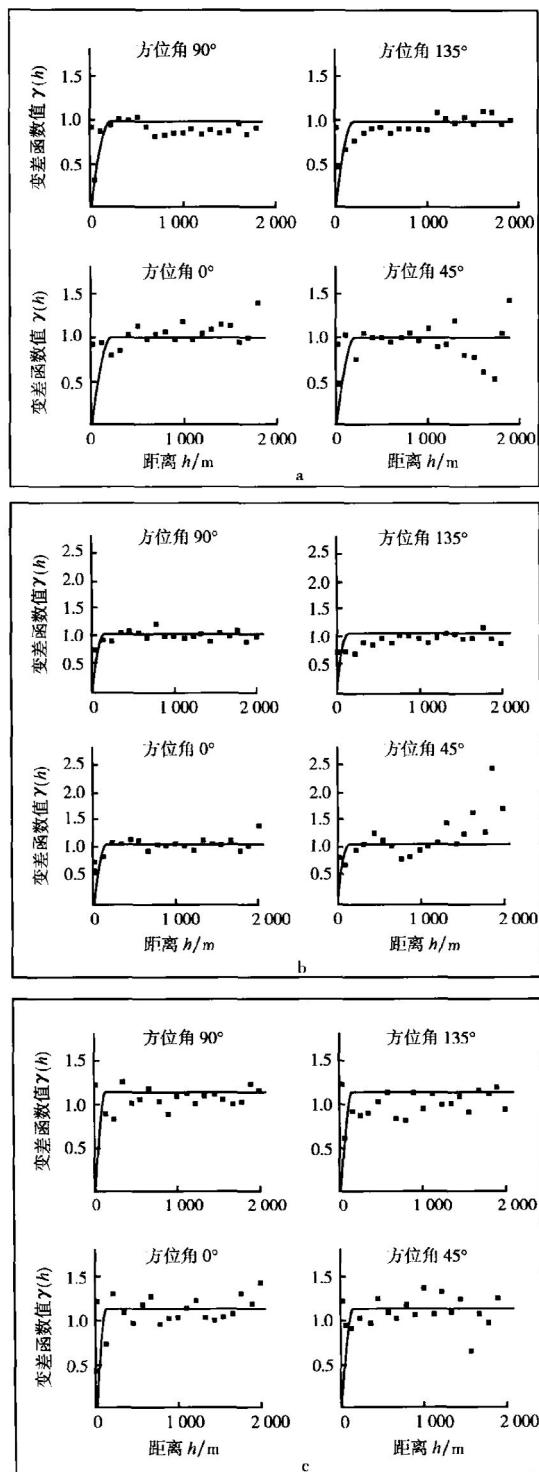


图2 不同开发时期非均质综合指数变差函数
Fig. 2 Variation function of heterogeneous aggregative index in different development stages
a. 开发初期; b. 开发中期; c. 开发后期

0.4~0.5之间;深蓝色区域反映非均质性中等,非均质综合指数为0.5~0.6;紫红色和白色区域反映非均质性较弱,非均质综合指数大于0.6。

根据这一判别标准分析二区东三段各个开发时期的非均质综合指数三维模型图发现,开发初期到中期再到后期,紫红色和蓝色区域减少,淡蓝色和绿色区域增多,储层的空间非均质性一直在增强。

从非均质综合指数三维模型图和切片图(图3,图4,图5)上可以看出,初期颜色成片性较好,主要以深蓝色和紫红色累加范围较大,其次是绿色范围。可见,初期以中等非均质性为主,其次为较强非均质性;其中,东北和西北地带非均质性较强,中部和西南部非均质性相对较弱。中期颜色成片性相对变差,绿色范围相对增大,以中等-较强非均质性为主;与初期的不同表现在非均质性强弱的范围发生变化,西南地带非均质性变强,东北地带非均质相对减弱。后期颜色成片性较好,但以绿色为主,出现相对较多的红色范围;颜色类型多,差异较大,主要以较强非均质性为主。与初期和中期相比,后期颜色的范围变化快,平面非均质性显然增强。

从纵向放大后的非均质综合指数模型(图6,图7,图8)上可以看出,初期和中期颜色成层性相对较好,但连片性较差。初期以蓝色分布为主,中期则以蓝色和绿色对等分布,说明初期层内和层间非均质性以较强为主,中期以较强-中等为主。这与平面上的非均质性特征基本相近。后期的颜色分布比较复杂,但以绿色分布占主要,紫红色和蓝色仅零星分布,累积范围也相对较少;绿色连片性较好,但成层性较差。可见,后期的层内和层间非均质性以较强非均质性为主。无论是初期、中期还是后期,纵向上上部的非均质综合指数差异较大,下部的差异相对较小。也就是说,上部的非均质性变化相对强烈。

总结3个不同开发时期的非均质综合指数模型分析,可以得出以下认识。

胜坨油田二区东三段储层的空间非均质性差异很大。开发初期,储层非均质性主要受沉积微相带的影响,注水开发使非均质性变得复杂。从剖面图和纵向放大的非均质综合指数模型中可以看出,储层的平面非均质性要弱于层间和层内的非均质性。层间和层内的储层非均质性变化更为

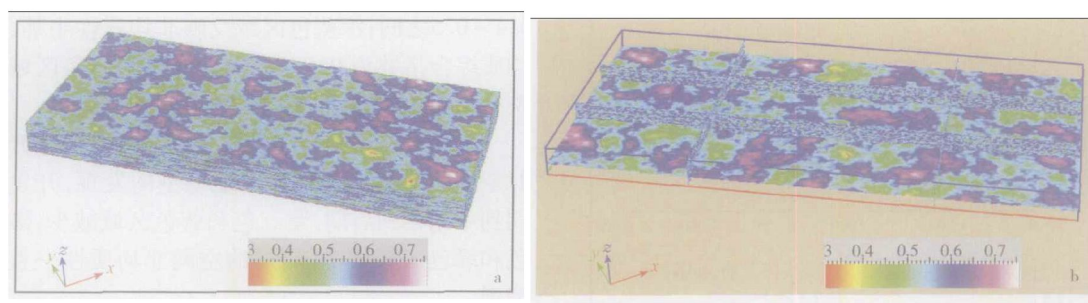


图3 开发初期非均质综合指数三维模型图 a) 和切片图 b)

(x 为东北方向, y 为西北方向)

Fig. 3 The 3D model (a) and section (b) of heterogeneous aggregative index in earlier development stage

x - northeastern direction; y - northwestern direction

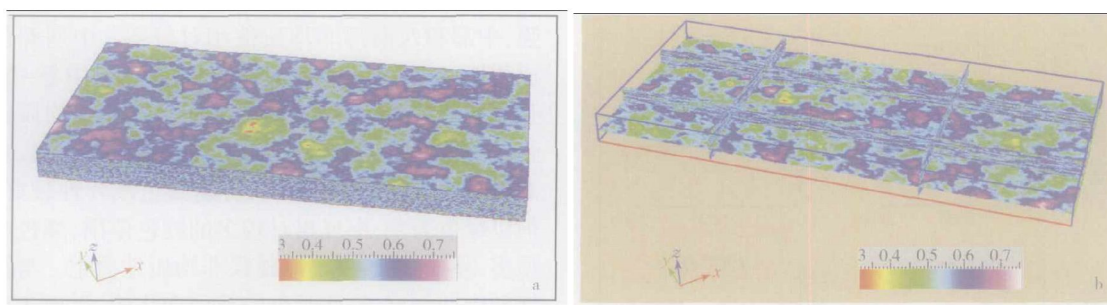


图4 开发中期非均质综合指数三维模型图 a) 和切片图 b)

(x 为东北方向, y 为西北方向)

Fig. 4 The 3D model (a) and section (b) of heterogeneous aggregative index in middle development stage

x - northeastern direction; y - northwestern direction

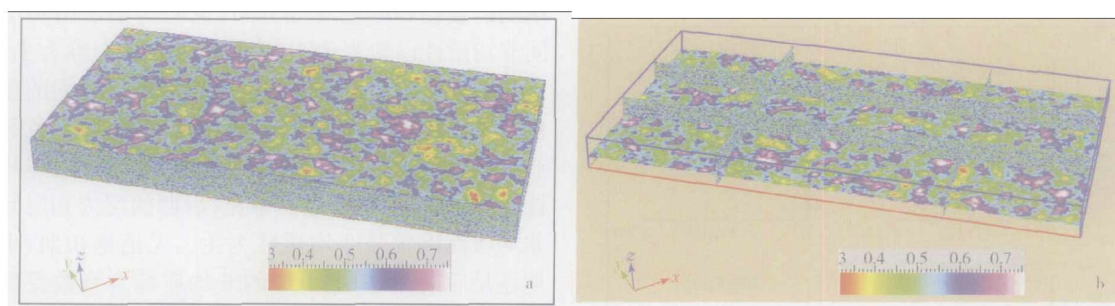


图5 开发后期非均质综合指数三维模型图 a) 和切片图 b)

(x 为东北方向, y 为西北方向)

Fig. 5 The 3D model (a) and section (b) of heterogeneous aggregative index in later development stage

x - northeastern direction; y - northwestern direction

频繁。随着开发的进行,纵向非均质变化程度更加剧烈。位于模型上部的东三段 1—2 砂组为辫状河沉积,辫状河以河道宽而浅、成因河道短、迁移迅速为特征;在一个河道断面上可以出现多个心滩坝,心滩的基本沉积方式是垂向加积;层内垂

向上粒序变化反映各次洪泛事件能量大小的波动及其所携带碎屑物的粗细,因此通常呈现“无规则”的粒序,不存在曲流河砂体那样的“向上变细”的粒序;在注水开发作用下,水洗不均,突进严重,这就增强了垂向非均质性。而 3—5 砂组为扇

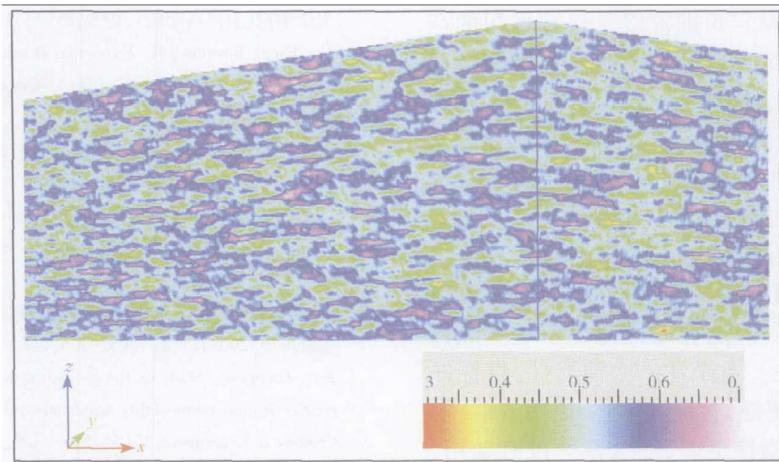


图6 开发初期纵向放大后的非均质综合指数模型

[x 为东北方向(图中右), y 为西北方向(图中左); 显示比例: $x:y:z = 1:1:10$]

Fig. 6 The vertical exaggeration of 3D model of heterogeneous aggregative index in earlier development stage

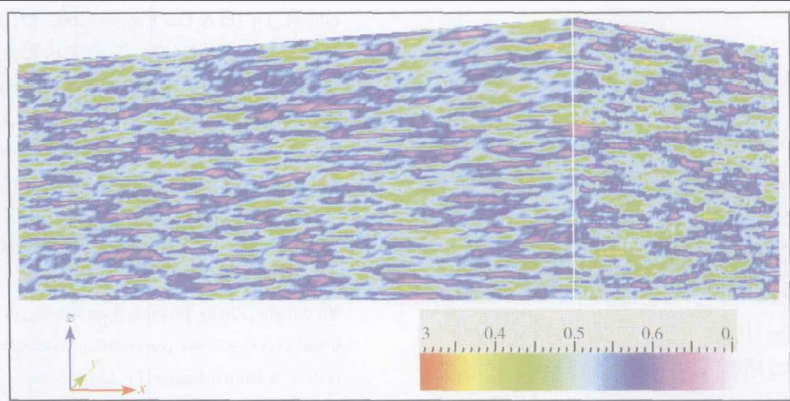


图7 开发中期纵向放大后的非均质综合指数模型

[x 为东北方向(图中右), y 为西北方向(图中左); 显示比例: $x:y:z = 1:1:10$]

Fig. 7 The vertical exaggeration of 3D model of heterogeneous aggregative index in middle development stage

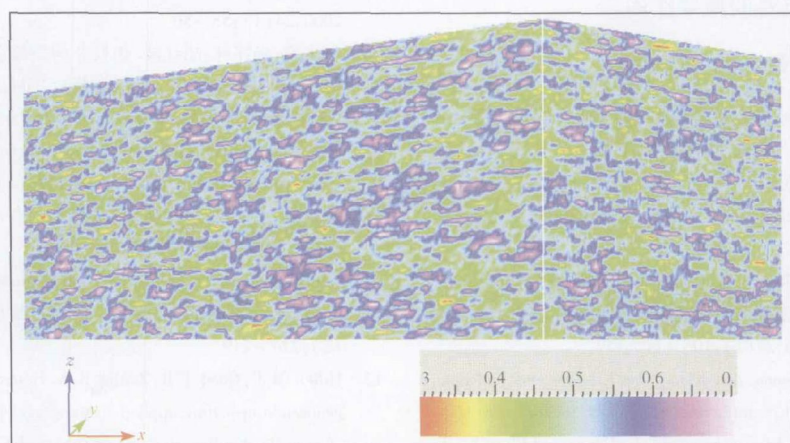


图8 开发后期纵向放大后的非均质综合指数模型

[x 为东北方向(图中右), y 为西北方向(图中左); 显示比例: $x:y:z = 1:1:10$]

Fig. 8 The vertical exaggeration of the 3D model of heterogeneous aggregative index in later development stage

三角洲前缘沉积,扇三角洲前缘是快速堆积的产物,其颗粒大小混杂、分选差,成分成熟度和结构成熟度低,导致砂岩孔渗性较差,纵向上差异明显。正是由于辫状河和扇三角洲前缘的这种沉积特征,造成了储层性质在垂向上的变化较之在水平方向的变化要剧烈得多。

长期注水开发使储层的岩石物理性质发生了明显变化。在不同沉积微相带,注水开发导致储层非均质性变化不一,这种差异与注入水水洗程度的强弱密切相关。由于注入水使岩性、物性好的储层岩性、物性更好,含油性变差,而使岩性、物性差的储层岩性、物性更差,油气基本没有动用,从而更加拉大了优劣储层的差距,改变了储层原有非均质程度的分布格局。若注采关系不完善,非均质性差异更加明显。

5 结论

1) 非均质综合指数可用于定量表征储层的非均质性。非均质综合指数三维模型体现了储层的空间非均质性特征。

2) 注水开发加剧了胜坨油田二区东三段砂岩储层的非均质程度。开发初期以中等非均质性为主,中期以较强—中等为主,后期以较强为主。纵向上,上部的非均质综合指数差异较大,下部的差异相对较小。纵向上的层间和层内非均质性要强于平面非均质性。

3) 研究结果对研究区目的层的井网调整和剩余油挖潜具有重要的指导作用。

参 考 文 献

- 1 焦养泉,李思田,李祯,等.碎屑岩储层物性非均质性的层次结构[J].石油与天然气地质,1998,19(2):89~92
Jiao Yangquan, Li Sitian, Li Zhen, et al. Heterogeneity of porosity and permeability in clastic rock reservoirs[J]. Oil & Gas Geology, 1998, 19(2): 89~92
- 2 尹志军,鲁国永,邹翔,等.陆相储层非均质性及其对油藏采收率的影响——以冀东高尚堡和胜利永安镇油藏为例[J].石油与天然气地质,2006,27(1):106~110,117
Yin Zhijun, Lu Guoyong, Zou Xiang, et al. Heterogeneity of non-marine reservoirs and its influences on recovery factor: take Gao-shangpu and Yonganzhen oil reservoirs in Jidong and Shengli oil-fields as examples[J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(1): 106~110, 117
- 3 金强, Browton J R. 用生产井信息确定储层非均质性[J]. 石油大学学报(自然科学版), 1999, 23(2): 18~21
Jin Qiang, Browton J R. Estimation of reservoir heterogeneity with production data[J]. Journal of the University of Petroleum, China, 1999, 23(2): 18~21
- 4 赵霞飞. 河流相模式与储层非均质性[J]. 成都理工学院学报, 1999, 26(4): 357~364
Zhao Xiafei. Fluvial facies model and heterogeneity of fluvial reservoirs[J]. Journal of Chengdu University of Technology, 1999, 26(4): 357~364
- 5 邢正岩. 低渗透砂岩油藏储层非均质地质模型研究[J]. 石油实验地质, 2003, 25(5): 505~508, 512
Xing Zhengyan. Study on the geological model of reservoir heterogeneity in low-permeability sandstone oil pools[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2003, 25(5): 505~508, 512
- 6 党彝, 赵虹, 周立发, 等. 辽河油田曙一区杜84块兴隆台油层储层非均质性[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(4): 382~386
Dang Ben, Zhao Hong, Zhou Lifa, et al. Reservoir heterogeneity of Xinglongtai oil layer in Du-84 block of Shuguang-1 area, Liaohe oilfield[J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(4): 382~386
- 7 毕研斌, 麻成斗, 石红萍, 等. 变差函数在描述储集层平面非均质性中的应用[J]. 新疆石油地质, 2003, 24(3): 251~253
Bi Yanbing, Ma Chengdou, Shi Hongping, et al. Application of variation function in description of plane heterogeneity of reservoir[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2003, 24(3): 251~253
- 8 于兴河, 郑凌茂, 宋立衡, 等. 断陷盆地三角洲砂体的沉积作用与储层的层内非均质性特征[J]. 地球科学, 1997, 22(1): 51~55
Yu Xinghe, Zheng Junmao, Song Liheng, et al. Features of depositional processes and permeability heterogeneities in deltaic sandbodies in faulted basins[J]. Earth Science, 1997, 22(1): 51~56
- 9 杨少春. 储层非均质性定量研究新方法[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2000, 24(1): 53~56
Yang Shaochun. A new method for quantitatively studying reservoir heterogeneity[J]. Journal of the University of Petroleum, China, 2000, 24(1): 53~56
- 10 杨少春, 杨兆林, 胡红波. 嫡熵非均质综合指数算法及其应用[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2004, 28(1): 18~21
Yang Shaochun, Yang Zhaolin, Hu Hongbo. An algorithm of heterogeneous synthetic index with entropy weight[J]. Journal of the University of Petroleum, China, 2004, 28(1): 18~21
- 11 邓康龄, 余福林. 川西坳陷的复合构造与油气关系[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(2): 214~219
Deng Kangling, Yu Fulin. Compound structures and hydrocarbons in western Sichuan depression[J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(2): 214~219
- 12 Hiltlen M P, Good T R, Zaitlin B A. Heterogeneity modeling and geopseudo upscaling applied to waterflood performance prediction of an incised valley reservoir: Countess YY pool, Southern Alberta, Canada[J]. AAPG Bulletin, 1998, 82(12): 2 220~2 245
- 13 Tidwell V C, Wilson J L. Heterogeneity, permeability patterns, and permeability upscaling: physical characterization of a block of

- Massillon sandstone exhibition nested scales of heterogeneity[J]. SPE 57002, 2000, 283 ~ 291
- 14 何琰,殷军,吴念胜. 储层非均质性描述的地质统计学方法[J]. 西南石油学院学报, 2001, 23(3): 13 ~ 15
He Yan, Yin Jun, Wu Niansheng. Geological statistics of reservoir heterogeneity description[J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2001, 23(3): 13 ~ 15
 - 15 高树新, 杨少春, 胡红波, 等. 胜坨油田坨21断块沙二段储层非均质性定量表征[J]. 油气地质与采收率, 2004, 11(5): 10 ~ 13
Gao Shunxin, Yang Shaochun, Hu Hongbo, et al. The quantitative characterization on reservoir heterogeneities of the second member of the Shahejie Formation in Tuo 21 block, Shengtuo oilfield[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2004, 11(5): 10 ~ 13
 - 16 唐文忠, 陈彬, 翟雨阳, 等. 深度延迟人工神经网络判别水淹程度[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(3): 249 ~ 252
Tang Wenzhong, Chen Bin, Zhai Yuyang, et al. Application of depth-delay artificial neural network to discrimination of reservoir flooded degree[J]. Oil & Gas Geology, 2001, 22(3): 249 ~ 252
 - 17 丁开盛, 梁雄健. 本地电话网可靠性综合评价的熵权双基点法[J]. 电子学报, 1999, 27(10): 116 ~ 117
Ding Kaisheng, Liang Xiongjian. Evaluation of local telecommunication network reliability based on entropy double-sequence method[J]. Acta Electronica Sinica, 1999, 27(10): 116 ~ 117
 - 18 吴秀云, 伏义淑. 熵权和水轮机模糊综合最佳选型[J]. 武汉水利电力大学学报, 1999, 21(1): 27 ~ 31
Wu Xiuyun, Fu Yishu. Optimization of selecting water turbine types by combining entropy weight and fuzzy evaluation[J]. Journal of Wuhan University of Hydraulic & Electric Engineering, 1999, 21(1): 27 ~ 31

(编辑 李 军)

(上接第 651 页)

- 5 徐国盛, 左友东, 张文虎. 川东石炭系大气田成藏条件分析[J]. 矿物岩石, 2001, 21(4): 59 ~ 64
Xu Guosheng, Zuo Youdong, Zhang Wenhui. Analysis of formation factors of Carboniferous large scale gas pools in East Sichuan[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2001, 21(4): 59 ~ 64
- 6 徐国盛, 刘树根, 袁海峰, 等. 川东地区石炭系天然气成藏动力学研究[J]. 石油学报, 2005, 26(4): 12 ~ 16
Xu Guosheng, Liu Shugen Yuan Haifeng, et al. Dynamics of natural gas pools of Carboniferous in the eastern Sichuan basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2005, 26(4): 12 ~ 16
- 7 彭大钧. 含油气盆地异常高压带[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994. 144 ~ 148
Peng Dajun. Abnormal high pressure belts in petroliferous basins[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1994. 144 ~ 148
- 8 林仲虔, 钟国初. 川东中石炭统碳酸盐岩的沉积环境及沉积特征[J]. 石油实验地质, 1982, 4(2): 114 ~ 120
Lin Zhongqian, Zhong Guochu. The characteristics and sedimentary environment of the Middle Carboniferous carbonate rock of eastern Sichuan[J]. Petroleum Geology & Expeximent, 1982, 4(2): 114 ~ 120
- 9 徐国盛, 刘树根, 张英俊, 等. 川东石炭系天然气富集的水化学条件[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(1): 15 ~ 19
Xu Guosheng, Liu Shugen, Zhang Yingjun, et al. Hydrochemical condition of natural gas enrichment in East Sichuan Carboniferous system[J]. Oil & Gas Geology, 1999, 20(1): 15 ~ 19
- 10 刘树根, 王允诚, 张高信, 等. 川东大池干井高陡构造的形成机制及其对石炭系储层的影响[J]. 成都理工学院学报, 1994, 21(3): 102 ~ 111
Liu Shugen, Wang Yuncheng, Zhang Gaoxin, et al. The formation mechanism of Dachigan steep structural zone and its effect on the Upper Carboniferous reservoir in the eastern Sichuan basin[J]. Journal of Chengdu University of Technology, 1994, 21(3): 102 ~ 111
- 11 李晓清, 汪泽成, 张兴为, 等. 四川盆地古隆起特征及对天然气的控制作用[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(4): 347 ~ 351
Li Xiaoqing, Wang Zecheng, Zhang Xingwei, et al. Characteristics of paleo-uplifts in Sichuan basin and their control action on natural gas[J]. Oil & Gas Geology, 2001, 22(4): 347 ~ 351

(编辑 李 军)