

文章编号:1009-9603(2021)04-0063-08

DOI:10.13673/j.cnki.cn37-1359/te.2021.04.007

## 多物源储层分区耦合建模方法及应用

窦梦皎<sup>1</sup>,李少华<sup>1</sup>,王 军<sup>2</sup>,李志鹏<sup>2</sup>,郭士博<sup>2</sup>,杨明林<sup>2</sup>

(1.长江大学 地球科学学院,湖北 武汉 430100; 2.中国石化胜利油田分公司 勘探开发研究院,山东 东营 257015)

**摘要:**利用传统分区岩相建模方法模拟多个物源方向的储层空间分布时,模拟的砂体在分区边界处多呈突变接触,不符合地质认识。为此,提出了一种多物源储层分区耦合建模方法。首先根据不同物源影响范围将研究区划分为若干区块,然后按一定顺序依次模拟。提取先模拟分区边界上的模拟结果作为相邻后续模拟区块的条件数据,并结合后续模拟区块中的井点数据进行模拟计算,保证了分区边界上模拟砂体的连续性。最终得到整个研究区的砂体模型,模拟的砂体在各个分区边界处均连续分布。以东营凹陷盐家油田盐935-936区块沙四段上亚段为例进行了应用研究,并与传统的分区岩相建模和基于局部变化变差函数建模方法进行对比,结果表明,该分区耦合建模方法可以更真实地构建研究区的三维地质模型,解决了传统分区岩相建模方法存在的各区块边界处砂体突变的问题,提高了建模质量。

**关键词:**多物源;分区耦合建模;条件数据;砂体连续性;局部变化变差函数

中图分类号:TE319

文献标识码:A

## A method and application of partitioned coupling modeling for multi-source reservoirs

DOU Mengjiao<sup>1</sup>, LI Shaohua<sup>1</sup>, WANG Jun<sup>2</sup>, LI Zhipeng<sup>2</sup>, GUO Shibo<sup>2</sup>, YANG Minglin<sup>2</sup>

(1.School of Geosciences, Yangtze University, Wuhan City, Hubei Province, 430100, China; 2.Exploration and Development Research Institute, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying City, Shandong Province, 257015, China)

**Abstract:** When the traditional partitioned modeling method simulates reservoir distribution with multiple sources, the simulated sandbodies show abrupt contact at the boundaries between segments, which does not conform to geological understanding. Therefore, this paper proposed a partitioning coupled modeling method for multi-source reservoirs. Firstly, the research area was divided into several segments according to the influence ranges of different sources and then each part was simulated in a specific order. The simulation results on the segment boundaries modeled earlier were extracted as the conditional data for the adjacent segments modeled later. After combining the well-point data within the segments modeled later, the simulation calculation ensured the continuity of the sandbodies at the boundaries between segments. Finally, the sandbody model of the entire research area was obtained and the simulated sandbodies were continuous on each segment boundary. This paper performed the applied study with the upper sub-member of the fourth member of the Shahejie Formation in the Y935-936 block of the Yanjia Oilfield in the Dongying Sag as the example. The proposed method was compared with traditional partitioned modeling and the variogram modeling based on local variations. The result demonstrates that the partitioned coupling modeling method can build a more realistic three-dimensional geological model of the research area, eliminating the abrupt contact between sandbodies induced by traditional partitioned modeling and improving the modeling quality.

**Key words:** multi-source; partitioned coupling modeling; conditional data; sandbody continuity; local variation based variogram

收稿日期:2021-03-04。

作者简介:窦梦皎(1998—),女,陕西渭南人,在读硕士研究生,从事储层地质建模方面的研究。E-mail:1258215484@qq.com。

通信作者:李少华(1972—),男,湖北武汉人,教授,博导。E-mail:534354156@qq.com。

基金项目:国家自然科学基金项目“基于沉积模式的辫状河储层构型建模方法”(41872129)。

陆相盆地储层沉积体系变化频繁,岩性分布复杂,流体分布受构造和岩性双重控制,沉积相带横向变化快且垂向多期叠置,盆地内的局部凸起或高地决定着物源体系的分布格局,储层受多物源影响,连通性和连续性相对较差,非均质性严重<sup>[1-4]</sup>。多物源复杂沉积体系下的储层建模一直是广大学者关注和研究的重要问题<sup>[5-9]</sup>,多采用分区建模的策略<sup>[10-12]</sup>,可以提高建模效果的准确性。

李少华等提出了两种分区建模的方法:一是通过添加趋势线作为分区线,将研究区划分为若干区块,利用网格过滤功能对不同区块设置变差函数,以模拟多个物源条件下的储层分布;另一种方法是建立方位角分布的面文件,对不同位置设置不同的方位角进行模拟<sup>[13]</sup>;卜范青等设定不同区带,对各区带独立进行随机模拟,实现多物源条件下深水浊积水道内部储层特征的模拟<sup>[14]</sup>;李盼盼在已有模型的基础上,通过规则形状切割网格或不规则边界截取部分模型,对区块整体三维构造模型进行分区切割<sup>[15]</sup>。上述研究对多物源沉积体系下的储层建模方法进行了有益的探索,研究对象尽管受不同方向物源控制,但是模拟的砂体基本上是分开的、无交叉叠合,在建模过程中不需考虑不同沉积体之间的砂体连通性等问题。当砂体分布贯穿多个分区时,已有建模方法会导致不同分区之间砂体出现不连续、突变的情况,不能反映真实的地质情况。

为此,笔者提出了一种多物源储层分区耦合的建模方法,解决了不同区块之间砂体突变的问题。以东营凹陷盐家油田盐935-936区块的砂砾岩油藏进行应用研究,并与传统的分区岩相建模方法和基于局部变化变差函数建模方法进行对比,结果表明提出的多物源储层分区耦合建模方法较好地解决了不同区块砂体分布不连续的问题。

## 1 建模基本思路

多物源储层分区耦合建模方法是指根据研究区不同方向物源的控制范围,划分为若干区块,分别对这些区块砂体进行模拟,后模拟的区块以先模拟的相邻区块边界的模拟结果作为条件数据,与井点数据共同约束模拟砂体分布。重复上述过程,直到全部区块模拟完成,这样就得到了全区的分区耦合模型。分区耦合建模的核心为分区建模、条件约束、模型耦合。分区建模是指根据不同沉积体系砂体分布特征不同而分别进行模拟。条件约束是指基于地质理论、认识及地震资料,在构建三维地质

模型过程中,充分利用分区边界局部范围内的模拟结果作为已知约束条件,保证模型分区边界处砂体分布的真实性。模型耦合是指不同分区模型不是简单的拼接成一个整体模型,而是不同区块之间有内在的联系,从而解决了传统分区岩相建模方法导致的砂体突变问题。

## 2 建模流程

多物源储层分区耦合建模基本流程主要包括:多物源储层分区边界确定、分区网格模型构建、分区岩相模拟、岩相模型耦合(图1)。其中分区岩相模拟只包含两个分区A和B,如果有更多的分区,实现的步骤是相同的。

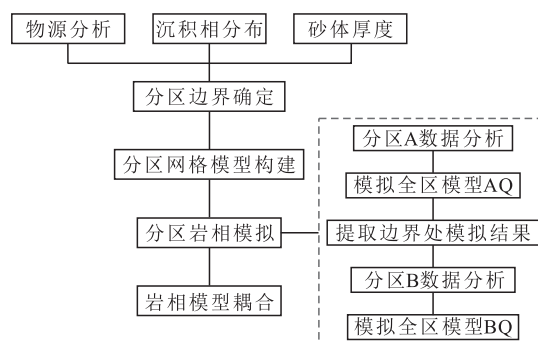


图1 多物源储层分区耦合建模流程

Fig.1 Flow chart of partitioned coupling modeling for multi-source reservoirs

### 2.1 分区边界确定

在物源研究的基础上,结合砂体描述及地震属性分析等手段,确定研究区内不同方向物源控制的沉积相展布范围,根据这些范围划分不同的区块,如果需要考虑边界的不确定性,可以设置多组边界,例如最可能的、乐观的和悲观的边界<sup>[16]</sup>,为了简化问题,只采用最可能的边界划分方案。

### 2.2 分区网格模型构建

在模型网格化时,根据已确定的分区边界将研究区划分为若干区块,建立分区网格模型。该模型的构建,为后续分区岩相模拟及岩相模型耦合奠定了基础。

### 2.3 分区岩相模拟

传统的建模方法是在分区模拟的基础上直接拼接各个分区模型,而分区模型是独立的,因此容易出现分区边界砂体不连续的现象。为了建立不同分区之间的内在联系,需要将先模拟的分区边界作为相邻区块模拟的约束条件。由于模型是基于网格划分的,分区边界(图2)仅为一个面,转化为网格后不可能同时属于A区和B区。在具体实施过程

中,把边界两侧的网格都提取作为条件数据。假设先模拟A区,采用A区内的井点数据进行统计分析和模拟,得到基于A区模拟参数的整个研究区模型AQ,提取边界两侧的网格作为条件数据A-B;然后模拟B区,基于B区内井点数据的统计分析进行全区模拟,在模拟过程中前面提取的条件数据A-B参与计算,得到整个研究区模型BQ。如果还有分区,可以按照上述方式依次进行,得到基于各个分区模拟参数的全区模型。

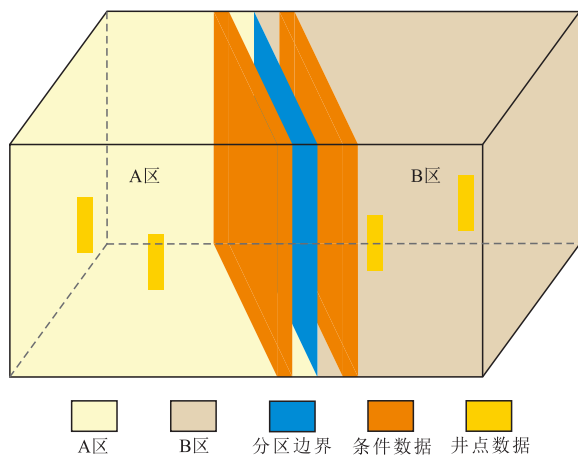


图2 分区岩相模拟条件数据示意

Fig.2 Conditional data for partitioned modeling

### 2.4 岩相模型耦合

基于分区岩相模拟结果在边界处的条件化,把传统独立的分区模拟变成了有内在联系的分区模拟。利用网格过滤功能,对基于各个分区模拟参数建立的全区岩相模型进行拼接,构建整体岩相模型。在此基础上,再进行相控物性参数建模。

## 3 实例应用

以东营凹陷盐家油田盐935-936区块砂砾岩储

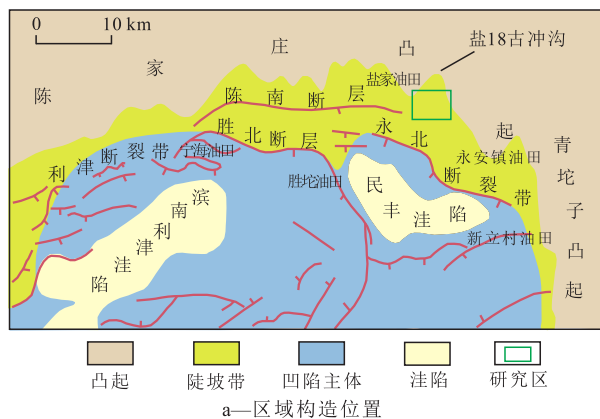


图3 盐935-936区块区域构造位置及砂砾岩体展布示意(据文献[21]修改)

Fig.3 Regional structural location and glutenite distribution in the Y935-936 block of the Yanjia Oilfield in the Dongying Sag (Modified after Reference[21])

层为研究对象。对研究区构建模拟网格,平面网格按照 50 m×50 m 进行划分,垂直方向网格 1 m×1 m。岩相划分为泥岩和砂岩。

### 3.1 地质背景

东营凹陷盐家油田地理位置位于山东省东营市垦利县西张乡,构造位置处于济阳拗陷东营凹陷北部陡坡断裂构造带东段,其北部为陈家庄凸起,东部为青坨子凸起,两凸起均系花岗片麻岩的古凸起,南临民丰生油洼陷<sup>[8,17-20]</sup>(图3a)。

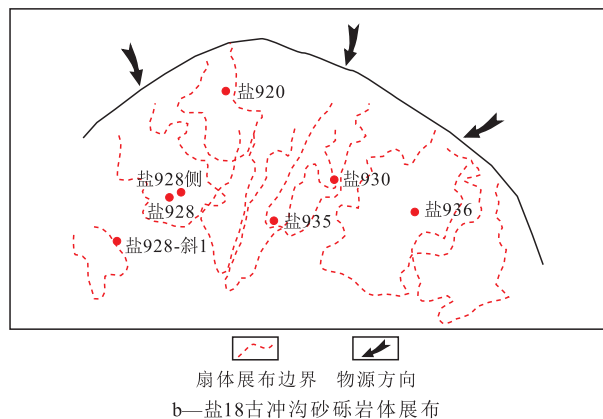
研究区构造相对比较简单,西部具有北高南低的特点,东部具有东北高、西南低的特点。砂砾岩油藏自西向东呈现含油气连片的趋势,主要含油层段为沙四段的砂砾岩体,为断陷湖盆陡坡带的近岸水下扇砂砾岩复合扇体。砂砾岩体内幕岩性复杂,为多期次快速堆积或再次垮塌沉积<sup>[21-23]</sup>,储层电性受致密砾岩影响大。该类油藏由于埋藏较深,且多为有效储层与非有效储层混杂、非均质性严重,为特低孔、特低渗透油藏。

根据前人对沙四段上亚段沉积时期古冲沟沉积物源的分析,盐18古冲沟存在3个方向的物源(图3b),分别为沿冲沟方向的北部物源以及来自冲沟西部和东部的侧向物源<sup>[18,24-25]</sup>。其中东部和西部两个扇体相对独立,中部处于扇间位置。

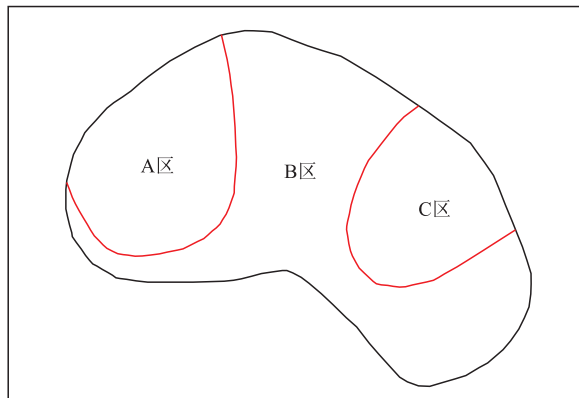
### 3.2 多物源储层分区耦合建模

在地震及地质综合研究基础上,依据东、西2个扇体展布形态将研究区划分为A、B和C区3个不同物源控制区块(图4a),并建立相应分区网格模型(图4b)。

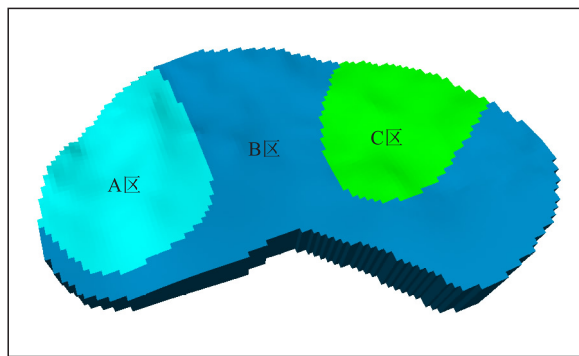
对3个区块分别设置相应的变差函数、砂体百分比等模拟参数。A、B和C区变差函数方位角分别设置为340°,0°和45°。使用序贯指示模拟的方法进行砂体模拟,基于传统分区岩相模拟方法得到分



b—盐18古冲沟砂砾岩体展布



a—分区边界



b—分区网格模型

图4 盐935-936区块分区示意

Fig.4 Segments in the Y935-936 block

区岩相模型(图5)。

采用分区耦合建模方法时,首先需要分区边界模拟结果进行条件化。将分区边界线向两侧指定范围内扩展得到闭合多边形,采用将闭合多边形转化为断层-断面-离散点的处理方法,提取分区边界两侧的网格(图6)。

在具体模拟过程中,按顺序依次对各个分区进行岩相模型模拟。首先模拟A区,基于A区内的井

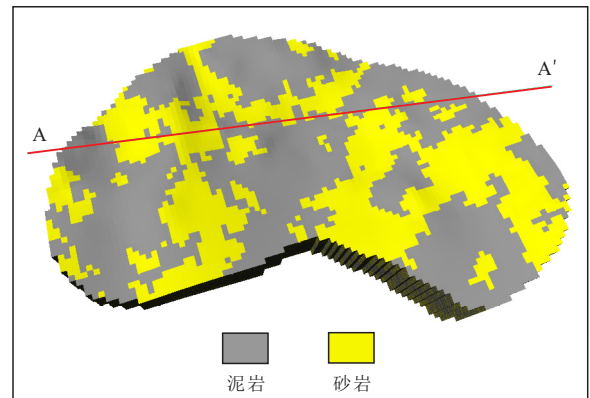


图5 传统分区岩相模型模拟结果

Fig.5 Traditional partitioned modeling results

数据统计分析的结果模拟计算得到整个研究区模型AQ。然后利用边界网格A-B对模型AQ提取模拟结果作为条件数据(图7a);然后模拟B区,此时模拟参数基于B区内的井点数据分析得到,边界A-B提取的条件数据结合B区内原有的井点数据共同作为条件数据,模拟得到全区模型BQ;最后模拟C区,此时仅B区与C区相邻,因此提取模型BQ的边界B-C上的模拟结果作为条件数据(图7b),得到模型CQ。

模型耦合是将分区模拟的全区岩相模型AQ, BQ和CQ拼接起来。采用网格过滤的方式,AQ只保留A区部分的网格(图8a),同样的方式得到BQ和CQ的分区岩相模型(图8b和8c)。将3个区块截取的部分模型组合在统一的三维空间框架下,得到研究区的分区耦合模型(图9)。

### 3.3 局部变化变差函数建模

除了与传统的独立分区建模方法对比,本文还对比了采用局部变化变差函数的整体模拟方法。局部变化变差函数建模方法是根据砂体在不同物

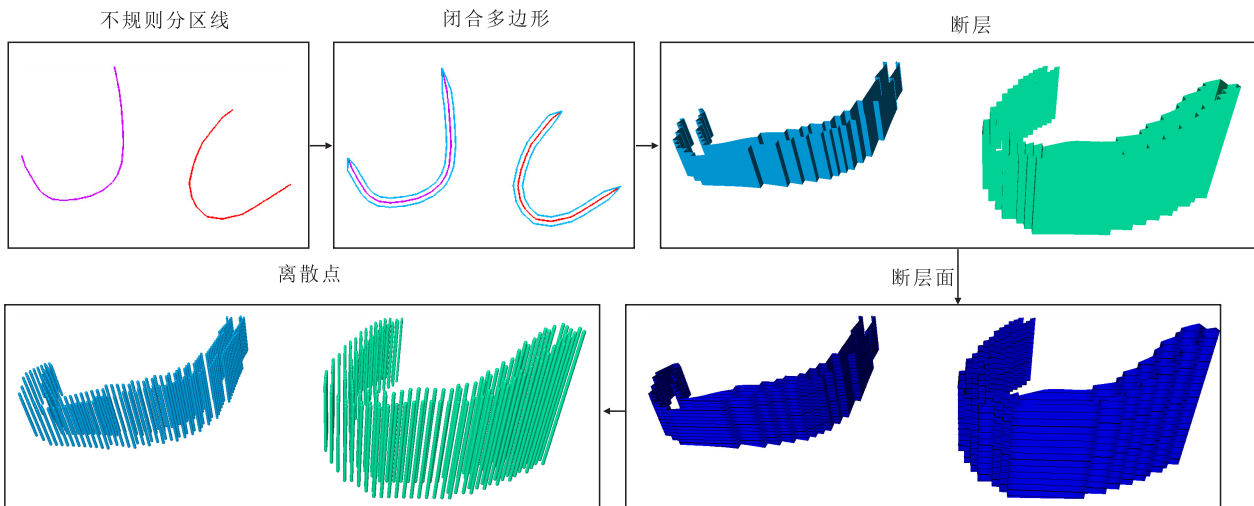


图6 边界条件数据网格的提取

Fig.6 Grid extraction from conditional data on the boundary

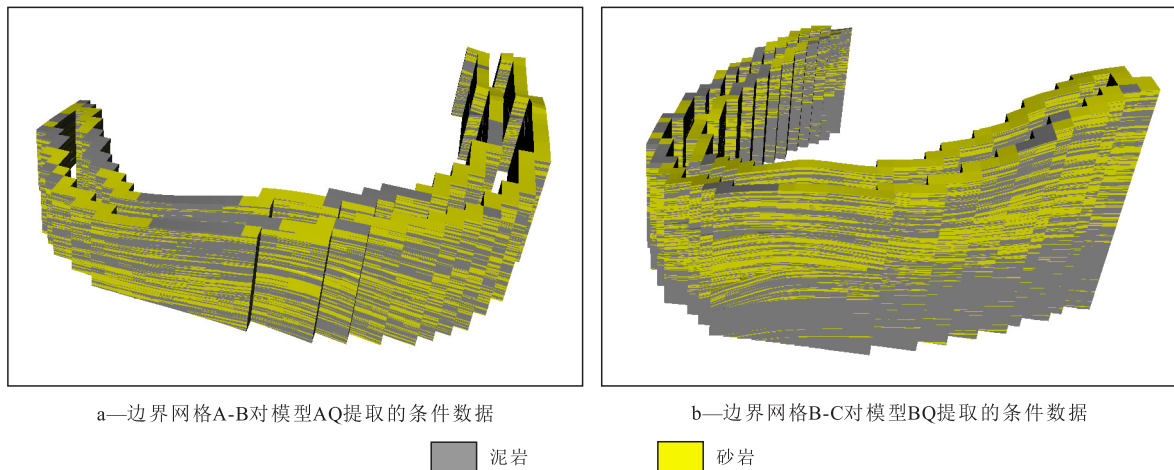


图7 盐935-936区块边界条件数据

Fig.7 Conditional data on the boundary in the Y935-936 block

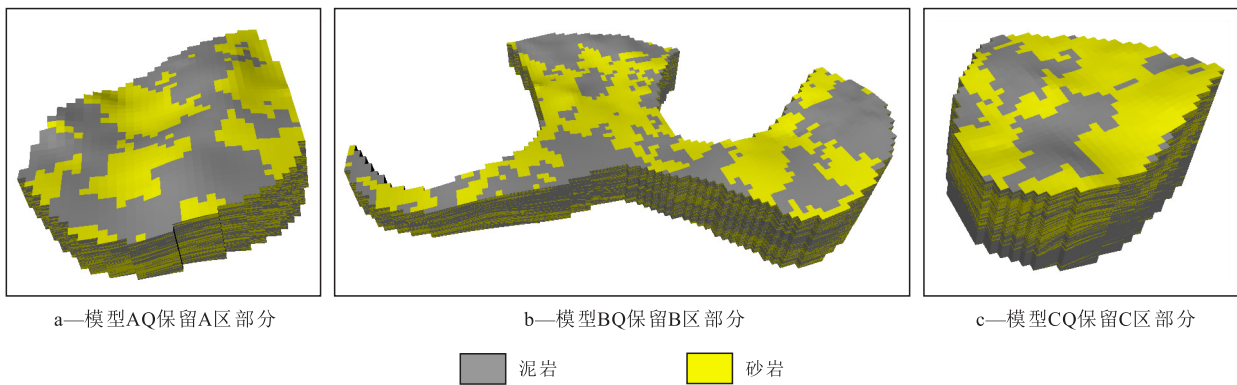


图8 盐935-936区块各分区岩相模型

Fig.8 Partitioned model of each segment in the Y935-936 block

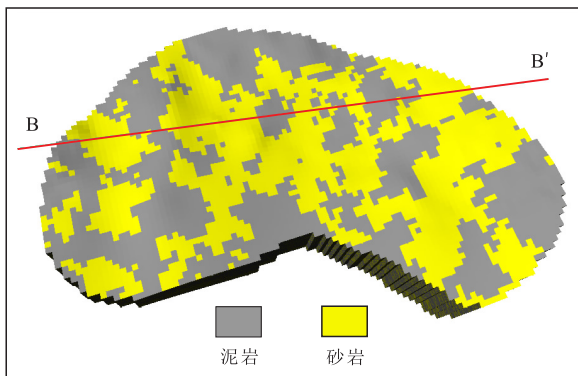


图9 盐935-936区块分区耦合模型模拟结果

Fig.9 Partitioned coupling modeling results in the Y935-936 block

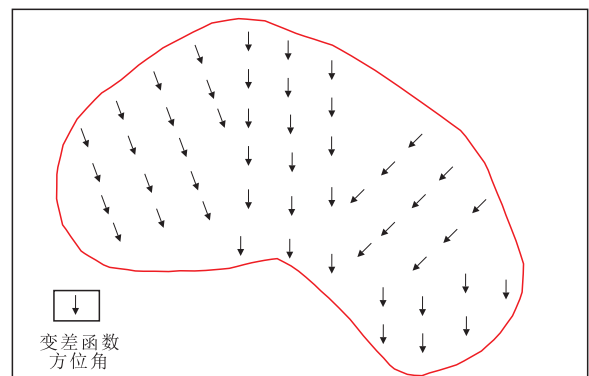


图10 盐935-936区块变差函数方位角分布

Fig.10 Distribution of variogram azimuth in the Y935-936 block

源控制区展布的方向和规模分别设置变差函数,根据砂体展布方向设置变差函数方位角(图10),并根据各个区块的砂泥比分别建立砂、泥岩趋势面,模拟过程是针对整个研究区进行的,不再是分区块模拟,最终得到模型如图11所示。

### 3.4 模拟结果对比

将分区耦合建模方法模拟结果与传统分区岩

相模型、局部变化变差函数模拟结果在剖面和平面上进行对比,分析模拟砂体在分区边界处的分布情况。

#### 3.4.1 剖面对比

传统分区岩相模型模拟的各分区内砂泥比与井点统计数据基本一致,能够体现砂体西部发育、东部不发育的特点,砂体在东、西两条边界处连续

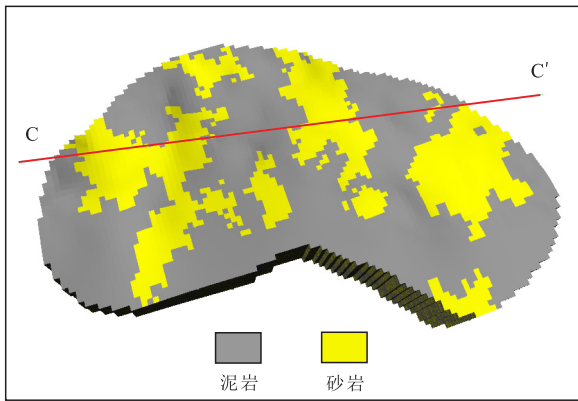


图 11 盐 935-936 区块局部变化变差函数模型模拟结果  
 Fig.11 Variogram modeling results based on local variations in the Y935-936 block

性差,呈突变接触,其中以中部区块与东部区块底层砂层组边界处突变最为明显(图 12a),不符合地质认识。分区耦合建模方法建立的模型模拟的各分区之间砂体的分布是连续的,没有出现突变的情况(图 12b)。局部变化变差函数构建的模型模拟的砂体在不同区块边界处依然存在突变的问题(图 12c),略好于传统的分区岩相模拟方法。

3.4.2 平面对比

研究区目的层包括 7 小层和 8 小层共 2 个小层,利用传统分区岩相建模方法、分区耦合建模方法和局部变化变差函数建模方法分别建立各小层砂体等厚图。从图 13 可以直观地看出,不论是传统分区

岩相建模方法还是基于局部变化的变差函数建模方法得到的砂体等厚图,在分区边界处砂体厚度均存在突变的现象,传统分区岩相建模方法砂体突变最明显,B区与C区的分区边界处(图 13b)因为C区砂岩不发育,导致B区砂体向C区是突然尖灭的。

4 结 论

研究区存在多个物源控制的沉积体分布区块时,采用传统分区岩相建模或局部变化的变差函数建模方法能够较好地刻画各个区块砂体的展布特点,但是存在分区边界处砂体突变的问题。本文提出一种分区耦合建模的方法,较好地解决了该问题。按照一定的顺序进行分区模拟,后模拟的分区以先模拟的相邻分区边界的模拟结果作为条件数据,并结合该分区内的井点数据进行模拟。新方法解决了传统建模方法导致的分区边界砂体不连续的问题,提高了模型精度。以盐家油田盐 935-936 区块沙四段上亚段砂砾岩储层为例进行应用研究,并与传统分区岩相建模方法、局部变化变差函数建模方法进行对比,通过模型剖面及砂体厚度平面图可以直观地看出,新方法更加合理地刻画了砂体的空间分布,较好解决了由分区带来模型在分区边界处砂体突变、不连续的问题。

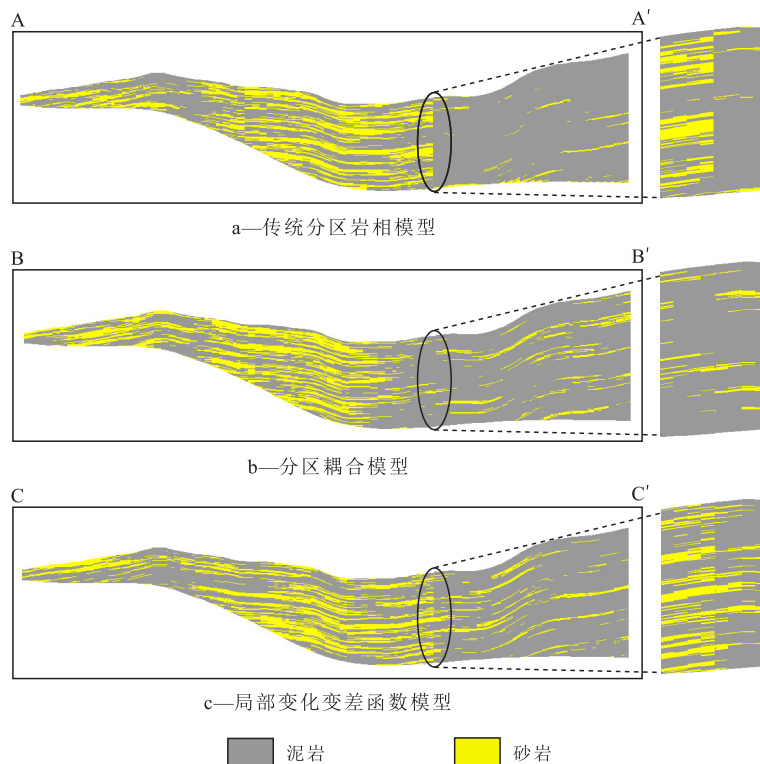
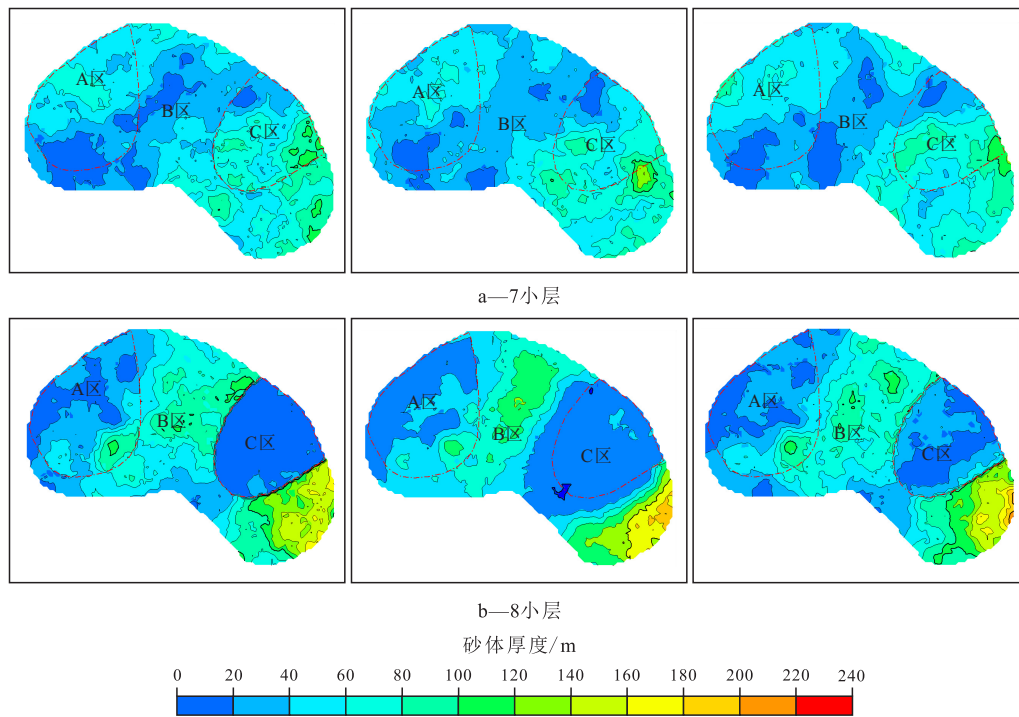


图 12 不同方法模拟结果剖面(剖面位置分别见图 5,图 9 和图 11)

Fig.12 Cross-sectional view of results from different modeling methods(See Fig.5, Fig.9 and Fig.11 for cross-sectional positions)



图片由左到右依次为传统分区岩相建模方法、分区耦合建模方法和局部变化变差函数建模方法的模拟结果

图 13 不同方法砂体厚度模拟结果

Fig.13 Results of sandbody thickness from different modeling models

参考文献

[1] 张宇焜,王晖,胡晓庆,等.少井条件下的复杂岩性储层地质建模技术——以渤海湾盆地石臼坨凸起A油田为例[J].石油与天然气地质,2016,37(3):450-456.  
ZHANG Yukun, WANG Hui, HU Xiaoqing, et al. Reservoir modeling of complex lithologies with sparse wells: A case from A oilfield in Shijiutuo uplift, Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2016, 37(3): 450-456.

[2] 任殿星,李凡华,李保柱.多条件约束油藏地质建模技术[J].石油勘探与开发,2008,35(2):205-214.  
REN Dianxing, LI Fanhua, LI Baozhu. Geomodeling technology under multifactor control[J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(2): 205-214.

[3] 邓宏文,王红亮,王敦则.古地貌对陆相裂谷盆地层序充填特征的控制——以渤中凹陷西斜坡区下第三系为例[J].石油与天然气地质,2001,22(4):293-296,303.  
DENG Hongwen, WANG Hongliang, WANG Dunze. Control of Paleomorphology to stratigraphic sequence in continental rift basins: Take lower Tertiary of western slope in Bozhong Depression as an example [J]. Oil & Gas Geology, 2001, 22(4): 293-296, 303.

[4] 刘雅利,刘鹏.陆相富有机质泥页岩中夹层特征及其作用——以济阳拗陷为例[J].油气地质与采收率,2019,26(5):1-9.  
LIU Yali, LIU Peng. Interlayer characteristics and their effect on continental facies organic-rich shale: A case study of Jiyang Depression[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2019, 26

(5):1-9.

[5] 徐长贵,杜晓峰,徐伟,等.沉积盆地“源-汇”系统研究新进展[J].石油与天然气地质,2017,38(1):1-11.  
XU Changgui, DU Xiaofeng, XU Wei, et al. New advances of the “Source-to-Sink” system research in sedimentary basin[J]. Oil & Gas Geology, 2017, 38(1): 1-11.

[6] 陈阳,张扬,朱正杰,等.济阳拗陷渤南洼陷沙四下亚段沉积序列及石油地质意义[J].中国石油勘探,2019,24(3):313-322.  
CHEN Yang, ZHANG Yang, ZHU Zhengjie, et al. Early sedimentary sequence and petroleum geological significance of faulted basins: a case study on the lower Es<sub>4</sub> in Bonan sag, Jiyang depression [J]. China Petroleum Exploration, 2019, 24(3): 313-322.

[7] 樊晓伊,姚光庆,杨振峰,等.准噶尔盆地车排子凸起多物源复杂沉积体系中的地震沉积学[J].地球科学,2018,43(3):786-801.  
FAN Xiaoyi, YAO Guangqing, YANG Zhenfeng, et al. Seismic sedimentology in multiple sources-complex depositional systems of Chepaizi Uplift, Junggar Basin[J]. Earth Science, 2018, 43(3): 786-801.

[8] 王苗,陆建林,左宗鑫,等.纹层状细粒沉积岩特征及主控因素分析——以渤海湾盆地东营凹陷沙四上一沙三下亚段为例[J].石油实验地质,2018,40(4):470-478.  
WANG Miao, LU Jianlin, ZUO Zongxin, et al. Characteristics and dominating factors of lamellar fine-grained sedimentary rocks: A case study of the upper Es<sub>4</sub> member-lower Es<sub>3</sub> member, Dongying sag, Bohai Bay Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2018, 40(4): 470-478.

[9] 银晓,曹跃,乔向阳,等.横山地区山2段物源沉积体系及其地

- 质意义[J].特种油气藏,2018,25(5):45-50.
- YIN Xiao, CAO Yue, QIAO Xiangyang, et al. Provenance sedimentary system of the Shan2 Member in Hengshan and its geological significance[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2018, 25(5): 45-50.
- [10] 薛林福,李文庆,张伟,等.分块区域三维地质建模方法[J].吉林大学学报:地球科学版,2014,44(6):2 051-2 058.
- XUE Linfu, LI Wenqing, ZHANG Wei, et al. A method of block-divided 3D geologic modeling in regional scale[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2014, 44(6): 2 051-2 058.
- [11] 林承焰,陈仕臻,张宪国,等.多趋势融合的概率体约束方法及其在储层建模中的应用[J].石油学报,2015,36(6):730-739.
- LIN Chengyan, CHEN Shizhen, ZHANG Xianguo, et al. Probability constraint method based on multiple trend integration and its application in reservoir modeling[J]. Acta Petrolei Sinica, 2015, 36(6): 730-739.
- [12] CHAUTRU J M, MEUNIER R, BINET H, et al. Use of connection constraints for checking and enhancing geological models[J]. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 2015, 63(4): 358-373.
- [13] 李少华,张昌民,尹艳国,等.多物源条件下的储层地质建模方法[J].地学前缘,2008,15(1):196-201.
- LI Shaohua, ZHANG Changmin, YIN Yanshu, et al. Stochastic modeling of reservoir with multi-source[J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(1): 196-201.
- [14] 卜范青,张宇焜.高弯度深水浊积水道建模方法分析[J].科技导报,2013,31(28):70-73.
- BU Fanqing, ZHANG Yukun. Modeling of high-sinuosity deep water turbidite channel[J]. Science & Technology Review, 2013, 31(28): 70-73.
- [15] 李盼盼.稀密结合型井网区煤储层三维精细地质建模研究——以沁水盆地柿庄南区块为例[D].合肥:合肥工业大学,2018.
- LI Panpan. Study of the 3D fine geological modeling with sparse and dense wells—Take Shizhuang South Block in Qinshui Basin for example[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2018.
- [16] 肖大坤,王晖,范廷恩,等.基于地震属性的扇三角洲边界不确定性定量表征方法[J].中国海上油气,2016,28(4):63-69.
- XIAO Dakun, WANG Hui, FAN Tingen, et al. Uncertainty quantitative characterization method of fan delta boundary with seismic attributes[J]. China Offshore Oil and Gas, 2016, 28(4): 63-69.
- [17] 鲜本忠,王永诗,周廷全,等.断陷湖盆陡坡带砂砾岩体分布规律及控制因素——以渤海湾盆地济阳坳陷车镇凹陷为例[J].石油勘探与开发,2007,34(4):429-436.
- XIAN Benzong, WANG Yongshi, ZHOU Tingquan, et al. Distribution and controlling factors of glutenite bodies in the active region of a rift basin: an example from Chezhen Sag, Bohai Bay Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2007, 34(4): 429-436.
- [18] 张立强,杨晚.东营凹陷北带古冲沟古近系多物源沉积模式[J].中南大学学报:自然科学版,2012,43(8):3 159-3 165.
- ZHANG Liqiang, YANG Wan. Multi-provenance depositional model of paleo gully in north steep slope of Dongying depression of upper Es<sub>4</sub> in Paleogene[J]. Journal of Central South University: Science and Technology, 2012, 43(8): 3 159-3 165.
- [19] 卢浩,蒋有录,薄冬梅,等.东营凹陷永安镇—盐家地区油源特征分析[J].油气地质与采收率,2008,15(6):39-42.
- LU Hao, JIANG Youlu, BO Dongmei, et al. Oil and source rock correlation of Yong'an zhen—Yanjia region in Dongying Depression[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2008, 15(6): 39-42.
- [20] 张伟忠,张云银,王兴谋,等.济阳坳陷盆地缘次生气藏输导模式[J].石油实验地质,2019,41(2):185-192.
- ZHANG Weizhong, ZHANG Yunyin, WANG Xingmou, et al. Transmission model of secondary gas reservoir on the basin margin of Jiyang Depression[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2019, 41(2): 185-192.
- [21] 董越.东营凹陷北带盐227块砂砾岩体内部非均质特征研究[D].北京:中国石油大学(北京),2016.
- DONG Yue. Internal heterogeneity analysis of the glutenite reservoir Y227 district in north Dongying Sag[D]. Beijing: China University of Petroleum (Beijing), 2016.
- [22] 张青青,操应长,刘可禹,等.东营凹陷滑塌型重力流沉积分布特征及三角洲沉积对其影响[J].地球科学,2017,42(11):2 025-2 039.
- ZHANG Qingqing, CAO Yingchang, LIU Keyu, et al. Sedimentary characteristics of re-transported gravity flow deposits and their distribution: influence of deltaic sedimentation in the Dongying Sag[J]. Earth Science, 2017, 42(11): 2 025-2 039.
- [23] 卿繁,闫建平,王军,等.砂砾岩体沉积期次划分及其与物性的关系——以东营凹陷北部陡坡带Y920区块沙四上亚段为例[J].岩性油气藏,2020,32(6):50-61.
- QING Fan, YAN Jianping, WANG Jun, et al. Division of sedimentary cycle of sandy conglomerate body and its relationship with physical properties: a case study from the upper submember of the fourth member of Shahejie Formation in Y920 block of northern steep slope zone in Dongying Sag[J]. Lithologic Reservoirs, 2020, 32(6): 50-61.
- [24] 孟阳,李宇志,杨海中,等.东营凹陷永安镇油田沙四段永1砂砾岩体演化过程及成藏意义[J].油气地质与采收率,2019,26(5):58-65.
- MENG Yang, LI Yuzhi, YANG Haizhong, et al. Evolution process and hydrocarbon accumulation significance of Yong1 glutenite body in Es<sub>4</sub> Member in Yonganzhen Oilfield, Dongying Sag[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2019, 26(5): 58-65.
- [25] 刘建伟.济阳坳陷东营凹陷北带砂砾岩扇体沉积相并震联合地震精细描述[J].特种油气藏,2021,26(1):18-25.
- LIU Jianwei. Accurate description by well-to-seismic integration of glutenite fine sedimentation in the northern Dongying Sag, Jiyang sub-basin[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2021, 26(1): 18-25.