

# 苏里格气田 ZT1 区块储层地质建模

刘占良<sup>1</sup>, 朱新磊<sup>2</sup>, 杜支文<sup>1</sup>, 常 森<sup>1</sup>

(1. 中国石油长庆油田公司 第五采气厂, 陕西 西安 710018; 2. 山东科技大学 地球科学与工程学院, 山东 青岛 266590)

**摘要:**对致密砂岩而言, 确定优质储层和有效砂体的展布规律是气田开发的关键; 而储层地质建模可从三维角度直观地实现储层精细描述, 在油气田开发中得以广泛应用。在地震、测井、测试、钻井等各方面的资料基础上, 遵循从点-面-体的步骤建立了鄂尔多斯盆地苏里格气田 ZT1 示范区的构造模型、沉积相模型和储层属性模型。构造模型描述了研究区北东高而南西低的西倾单斜构造的空间格架; 沉积相模型展示了研究区盒。段辫状河三角洲平原和山<sub>1</sub> 段曲流河三角洲平原的沉积相展布特征; 属性模型直观地展示了研究区的低孔、低渗的物性特征。

**关键词:**鄂尔多斯盆地; 苏里格气田; 储层; 地质模型

中图分类号: P628. 2; TE122

文献标志码: A

文章编号: 1672-3767(2015)01-0001-08

## Reservoir Geological Modeling of ZT1 Block in Sulige Gas Field

Liu Zhanliang<sup>1</sup>, Zhu Xinlei<sup>2</sup>, Du Zhiwen<sup>1</sup>, Chang Sen<sup>1</sup>

(1. No. 5 Gas Production Plant, Changqing Oilfield Company, PetroChina, Xi'an, Shangxi 710018, China;

2. College of Earth Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China)

**Abstract:** It is a keystone of gas field development to confirm the distribution of high quality reservoir and effective sand bodies in tight sandstone gas field. Geological modeling is extensively used in gas field development for accurate and intuitive description of the space frame and geometry of tight sandstone reservoirs. This study taking advantage of seismic, well logging, testing and drilling data established the tectonic model, sedimentary facies model and reservoir model in the ZT1 demonstration area of eastern Sulige Gas field in the Ordos basin with 3D perspective, following the steps of point-face-body. The tectonic model describes the space frame of west dip monoclinical structure, high in northeast and low in southwest in the study area. The sedimentary facies model shows that the He 8 section develops braided river delta plain subfacies and Shan 1 section mainly develops meandering river delta plain subfacies respectively. The attribute model has intuitive expression of physical characteristics with low porosity and low permeability in the study area.

**Key words:** Ordos basin; Sulige Gas field; reservoir; geological model

苏里格气田二叠系气藏属致密砂岩气藏, 具有低压、低产、低丰度等特征, 储层地质条件复杂, 砂体连通性差, 叠置模式多样, 使得气田有利区勘探和高渗储层分布的预测难度增大, 增加了气田的开采成本风险<sup>[1]</sup>。因此, 对苏里格气田进行气藏描述和气藏模拟十分关键, 而建立气藏预测地质模型是解决气藏描述和模拟的核心之一<sup>[2-3]</sup>。本文以 ZT1 区块为例, 在遇低产低效能源背景下, 利用 Petrel 软件建立研究区的三维地质模型, 对气藏进行精细刻画描述, 进而探讨储层分布规律, 预测优质储层, 为确定气藏开发方案、寻找有利探勘开发区提供参考。

收稿日期: 2014-05-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(41402120)

作者简介: 刘占良(1964—), 男, 陕西长安人, 高级工程师, 长期从事油田勘探开发与管理工作。

E-mail: Lzl\_cq@petrochina.com.cn

## 1 区域地质背景

苏里格气田东区地处内蒙古自治区乌审旗和陕西省榆林市境内,南接乌审旗气田和靖边气田,东邻榆林气田。区域构造位于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡中北部,呈北东高、南西低的西倾单斜构造<sup>[4]</sup>。本研究以苏里格气田东区 ZT1 示范区为重点解剖对象,面积约 453.7 km<sup>2</sup>,行政区域隶属于内蒙古自治区鄂尔多斯市乌审旗。区域构造横跨陕北斜坡、伊盟隆起 2 个构造单元(图 1)。苏里格气田东区盒<sub>8</sub>-山<sub>1</sub> 段为大型河流冲积平原沉积,沉积相决定了储集层砂体的发育类型和规模。受河道规模、河道迁移及水体能量的制约,河流相砂体横向变化快,且砂体非均质性强,而储层砂体控制着气藏的分布。因此,寻找物性较好的砂岩储层并对其进行详细描述,成为该区天然气开发的关键和勘探研究的核心。

## 2 地质条件研究

### 2.1 地层划分

二叠系石盒子组盒<sub>8</sub>段和山西组山<sub>1</sub>段是 ZT1 示范区主要含气层,也是本文研究的重点,故需先对盒<sub>8</sub>段和山<sub>1</sub>段进行详细的小层划分与地层对比。通过地震剖面解释、测井、钻井剖面分析、标志层识别和追踪对比分析,建立研究区目的层地层格架,将研究区盒<sub>8</sub>段和山<sub>1</sub>段划分为盒<sub>8上</sub><sup>1</sup>、盒<sub>8上</sub><sup>2</sup>、盒<sub>8下</sub><sup>1</sup>、盒<sub>8下</sub><sup>2</sup>及山<sub>1</sub><sup>1</sup>、山<sub>1</sub><sup>2</sup>、山<sub>1</sub><sup>3</sup>七个小层(图 2)。

### 2.2 沉积相分析

以岩性、沉积结构、测井曲线、古生物等各种沉积相标志以及砂地比为基础,结合研究区所处的构造位置及沉积演化背景,划分研究区的沉积微相,盒<sub>8</sub>段发育辫状河三角洲平原亚相,进一步划分为辫状分流河道、泛滥平原等微相;山<sub>1</sub>段主要发育曲流河三角洲平原亚相,细化为分流河道、河床滞留、天然堤、废弃河道、分流河道间等微相(图 2、图 3)。

#### 2.2.1 辫状河三角洲前缘亚相

辫状河三角洲前缘二元结构不明显,主要由泛滥平原微相和河床滞留微相组成。

##### 1) 辫状分流河道微相

岩性以灰—灰白色含砾粗砂岩、粗砂岩等粗碎屑岩为主,岩性剖面具不明显的正旋回特征。沉积构造以块状层理、平行层理、板状交错层理、槽状交错层理为主,说明形成的水动力较强,河道的下切侵蚀能量较强,底部一般发育底砾岩,具冲刷面,与下伏泥岩突变接触。测井曲线为低自然电位,自然伽马曲线多为高幅平滑箱型等(图 4(a),4(b))。

##### 2) 泛滥平原微相

以泥岩沉积为主,局部含粉砂岩,泥岩颜色主要为深灰色,杂色泥岩相对较少。自然伽马曲线幅度低,接近泥岩基线。

#### 2.2.2 曲流河三角洲平原亚相

曲流河三角洲平原亚相具有典型的二元结构,剖面上因河道形成的粗粒沉积物厚度和分流河道间形成的细粒沉积物厚度大致相当。主要沉积微相有:分流河道(滞留沉积、边滩)、天然堤和分流河道间。



图 1 研究区地理位置

Fig. 1 Geographical position of study area

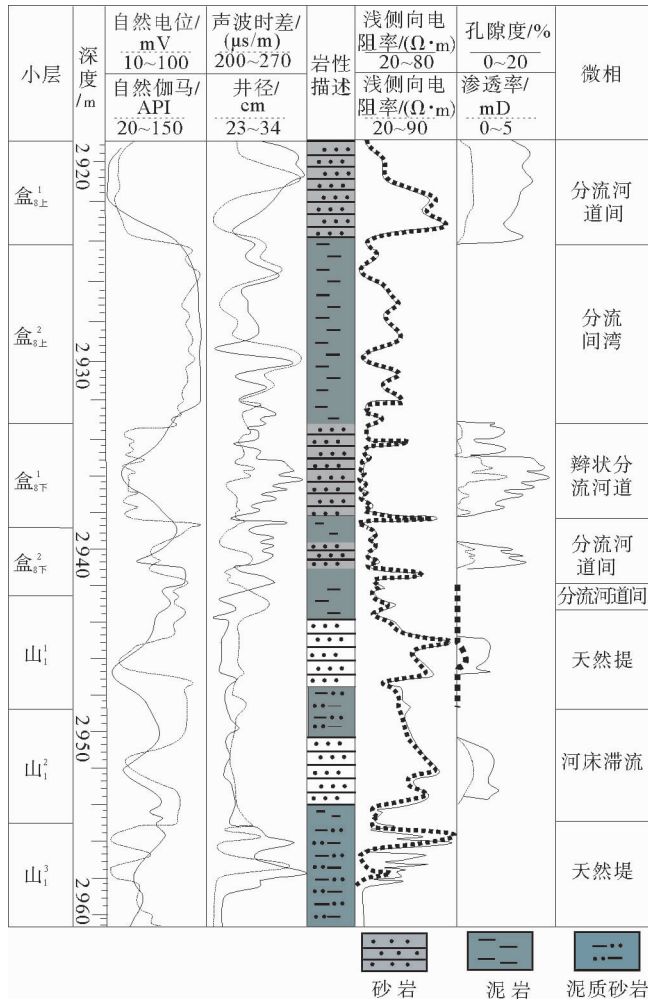


图 2 研究区盒<sub>8</sub>、山<sub>1</sub>段岩性岩相综合柱状图

Fig. 2 The lithology and lithofacies generalized histogram of He 8 and Shan 1 in the study area

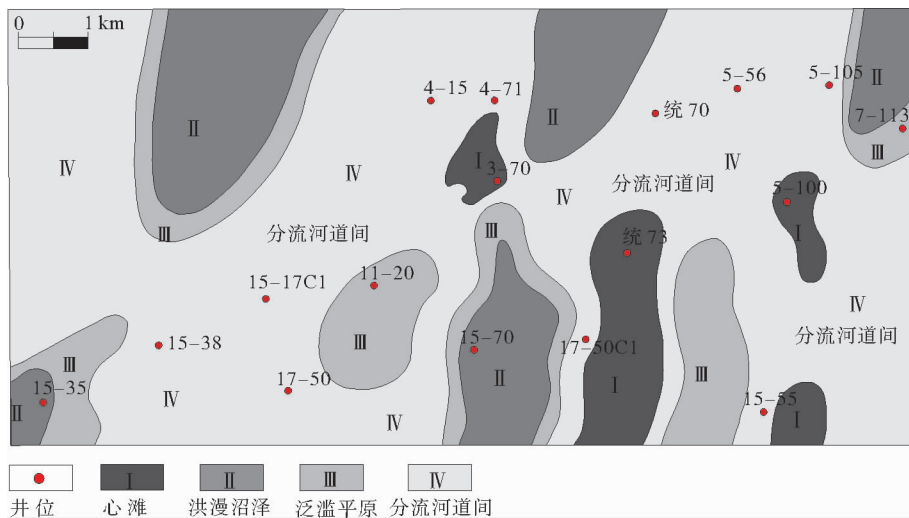


图 3 研究区盒<sub>8</sub>下沉积相平面展布图

Fig. 3 The distribution map of sedimentary facies on He 8 in the study area

### 1) 水下分流河道微相

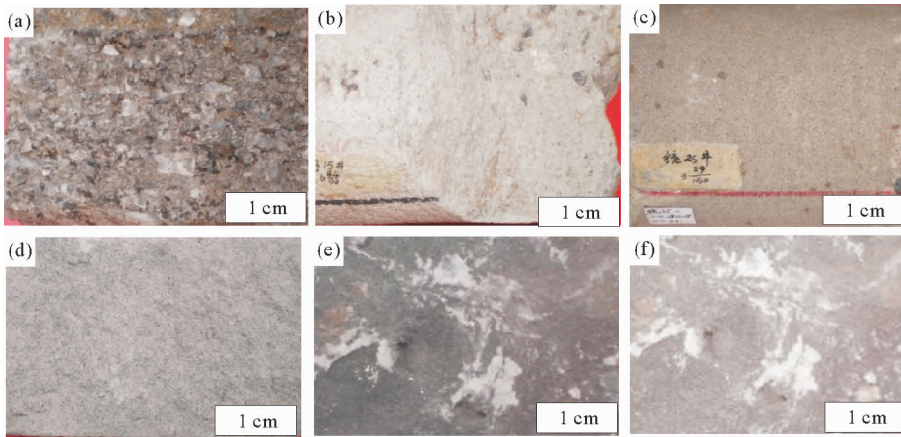
由边滩和河床滞留组成,其中边滩是最主要的沉积单元,为河床侧向侵蚀的结果;河床滞留为河床底部滞留沉积的含砾石混杂堆积,主要由磨圆较好的石英砾或呈片状的泥砾组成,测井曲线为低自然电位、低自然伽马等特征,该微相在研究区不发育,多在 10 cm 以内(图 4(c))。

### 2) 天然堤微相

天然堤沉积主要发育于河道两侧,是曲流河的主要特征之一,其沉积物主要由细砂岩、粉砂岩和泥岩组成。砂质沉积内部具沙纹交错层和流水波痕,低自然电位,自然伽马曲线呈指状(图 4(d))。

### 3) 分流河道间微相

沉积物多为泥岩,含少量粉砂岩和细砂岩,具水平层理、透镜状层理和虫孔构造(图 4(e),4(f))。



(a) 块状灰褐色砾岩, T29 井, 2 699.38 m, 分布于盒<sub>8</sub> 段底部及山西组底部, 单×40; (b) 块状浅灰色含砾粗砂岩, T29 井, 2 727 m, 分布于盒<sub>8</sub> 段底部及山西组底部, 单×40; (c) 深灰色中砂岩-含砾粗砂岩, T25 井, 2 802 m, 山<sub>1</sub> 段, 单×40; (d) 灰白色细砂岩, Z51 井, 2 934 m, 山<sub>1</sub> 段, 山西组分流河道, 单×40; (e) 粉砂质泥岩, Z31 井, 3 004.5 m, 分布于山<sub>1</sub> 段, 分流间湾等沉积微相, 单×40; (f) 粉砂岩中虫孔构造, Z51 井 1 750.1 m, 出现于盒<sub>8</sub> 段, 河漫湖、泛滥盆地和分流间湾等沉积微相, 单×40

图 4 研究区盒<sub>8</sub>、山<sub>1</sub> 段岩芯照片

Fig. 4 Photos of cores of He<sub>8</sub>, shan<sub>1</sub> in the studied area

## 3 储层地质建模

储层地质模型通过油气勘探和开发过程中获得的地震、测井、钻井、测试等资料,对储层的类型、几何形态、规模大小、储层内部结构、储层物性参数及流体分布高度概括<sup>[5]</sup>。进而对储层特征进行描述和预测,得到表征储层各项属性的三维数据体和图像显示<sup>[6-7]</sup>。考虑到地质因素,为提高建模精度,本次建模网络采用 0.8 m 纵向网格,50 m×50 m 的横向网格,基本满足对研究区各储层砂体的控制,建立的模型网格总数为  $2.2 \times 10^7$  个。

### 3.1 储层建模的方法

目前常用的储层地质建模方法有确定性建模和随机建模两种:①确定性建模是根据已知确定性资料的控制点对井间未知区域给出确定性、唯一、真实的储层参数<sup>[8]</sup>,进而建立储层模型;②随机建模是 20 世纪 80 年代中期,在资料不完善、储层结构空间配置和储层参数空间变化复杂以及难以掌握储层真实特征情况下发展起来的一项新技术,其核心是对井间储层进行多学科综合一体化、三维量化及可视化的预测,适合描述储层的非均质性与不确定性<sup>[9-10]</sup>。

### 3.2 构造模型

构造模型是指地层在地应力作用下发生变形、变位而呈现出的起伏形态<sup>[9]</sup>,反映了储层的空间格架特征,是建立其他模型的基础<sup>[10]</sup>。符合实际的构造模型能为后续的沉积相模型及物性参数模型提供准确的地层框架。因此首先需要建立构造模型,其基本思路是遵循从点-面-体的步骤,以层序地层划分的不同级别地

层单元的层位数据为基础,导入井位数据和分层数据,然后在分层数据基础上利用井点约束进行收敛插值勾画出层面构造模型,再通过校正,按不同砂组和小层的钻井深度,以一定的间距进行网格化,分别模拟层面的起伏形态,最后将各个层面模型进行空间叠合,建立反映地层在三维空间起伏变化的三维构造模型<sup>[10]</sup>(图 5)。

从图 5 可以直观地看出,研究区盒<sub>8</sub>段和山<sub>1</sub>段的构造格局,盒<sub>8</sub>、山<sub>1</sub>段构造比较简单,总体起伏不大,为北东高、南西低的西倾单斜构造,倾角较小,局部形成起伏较小轴向近东西或北东向鼻状构造,这些鼻状构造与三角洲砂体匹配,对天然气的富集有一定控制作用,研究区断层不发育。

### 3.3 沉积微相模型

沉积相为沉积环境及在该环境中形成的沉积岩物性特征的综合<sup>[11]</sup>。沉积相尤其是沉积微相的分布不仅控制了储集砂体的几何形态、规模大小和空间展布规律,而且对储层非均质性及油气分布也具有重要影响<sup>[12-13]</sup>。因此在构建属性模型之前首先要建立沉积微相模型。本论文主要选用序贯指示模拟方法,其基本过程:在构造模型基础上,以测井解释的单井相数据为基准,首先把沉积微相进行合并,然后粗化加载的单井微相数据,并逐层调节垂向比例数据;再通过变差函数确定主变程、次变程和垂变程;然后采用序贯指示模拟方法分别进行模拟,采用趋势面和变差函数的双重控制手段,逐层做出沉积微相模型;最后在随机产生的一系列沉积微相中按不同模拟方法分别挑选最合理的模拟结果,并对比分析两种模拟方法的模拟结果,最后优选出符合地质实际的模型(图 6)。

从模型可以看出,研究区盒<sub>8</sub>主要是三角洲沉积体系,发育三角洲平原分流河道间、心滩、河漫滩等沉积微相;山<sub>1</sub>主要发育曲流河沉积体系,包括分流河道(滞留沉积、边滩)、天然堤和分流河道间沉积微相,相模型比较单一。

### 3.4 储层物性模型

储层物性模型是指反映储层物理性质的储层参数模型,主要指储层孔隙度模型、渗透率模型和含气饱和度模型。储层属性模型是储层地质模型的核心<sup>[14]</sup>,能够清晰刻画有利砂体、含油砂体及物性较好砂体的展布特征及空间变化。储集层三维建模的最终目的是建立能够反映地层孔隙度、渗透率、含气饱和度空间分布的参数模型。其中,三维非均质物性模型是以参数体的形式反映储层内孔隙度、渗透率等物性参数的空间分布特征,孔隙度和渗透率表征了气藏的储集能力和渗流能力。因此,储层物性模型是地质模型中的重点。因储集层物性分布具有非均质性与各向异性,应用地质统计学和随机过程的地震约束下相控随机模拟方法,是定量描述储集层物性空间分布的最佳选择。

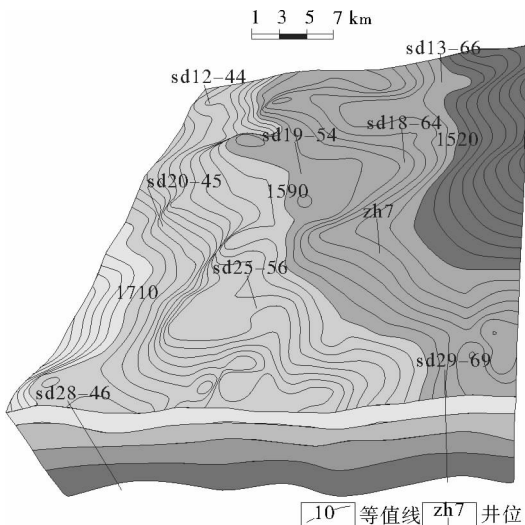


图 5 ZT1 盒<sub>8</sub> 气藏构造模型

Fig. 5 Structural modeling of He 8, ZT1 gas reservoir

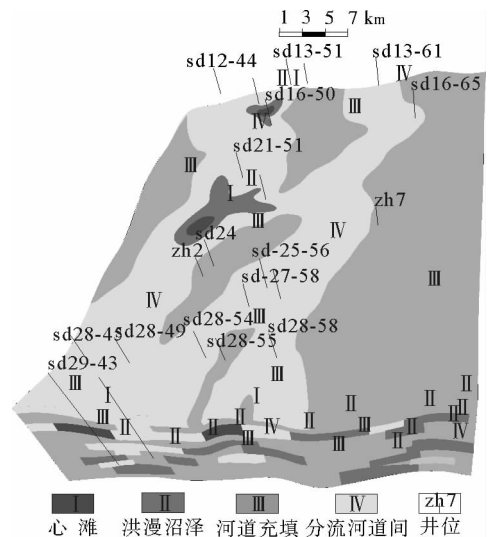


图 6 ZT1 盒<sub>8</sub> 沉积相模型

Fig. 6 Sedimentary modeling of He 8, ZT1

结合已有成果认识,针对苏东区块地质条件和沉积特点,在地层格架、构造模型和沉积相模型基础上,用相控模的方法建立了孔隙度、渗透率和含气饱和度三维模型<sup>[10]</sup>,本次研究中把储层砂体厚度分布作为第二变量,用多元序贯高斯模拟方法,多参数约束模拟预测储层物性参数的分布。首先,粗化导入的测井数据,并逐层进行参数调整和正态转换;然后,通过逐步调整变差函数来确定孔隙度展布的主变程、次变程和垂变程;最后,通过变差函数和趋势面控制,利用序贯高斯模拟算法,逐层做出符合要求的孔隙度模型(图 7)。在沉积微相模型和孔隙度模型的前提下,利用渗透率、含气饱和度与孔隙度的相关性关系,重复上面的步骤,逐步构建渗透率模型(图 8)和含气饱和度模型(图 9)。

这样得出模型既符合区域特征又符合井区变化,又降低储层属性分布的不确定性,增加了可靠性和准确性。

通过模型可以发现,孔隙度整体很差,大于 10% 的发育范围很少,呈点状分布,孔隙度在 8%~10% 的区域分布较广且集中,南北向连通性较好,主要对应于辫状河沉积;渗透率大于  $0.70 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  的范围很小,渗透率在  $0.25 \times 10^{-3} \sim 0.40 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  的范围分布较广,呈南北向分布,主要对应辫状河沉积。因此,ZT1 区块储层具有低孔、低渗特点,含气饱和度主要分布在 20%~80%,含气一般。

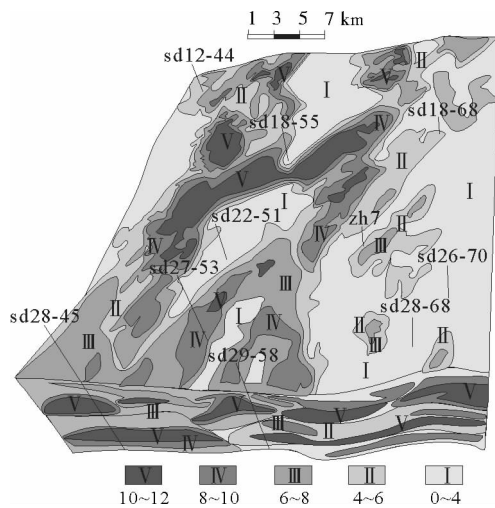


图 7 ZT1 盒, 孔隙度模型

Fig. 7 Porosity modeling of He 8, ZT1

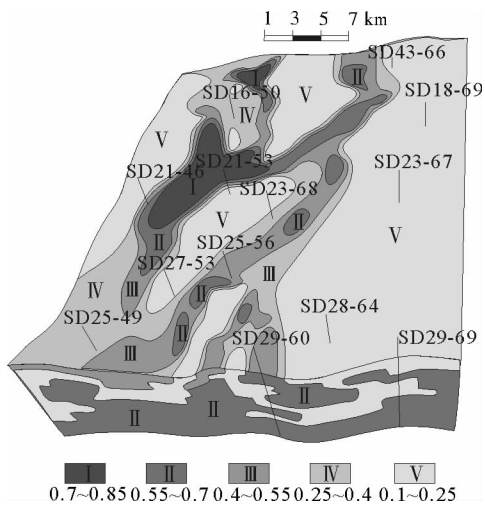


图 8 ZT1 盒, 渗透率模型

Fig. 8 Permeability modeling of He 8, ZT1

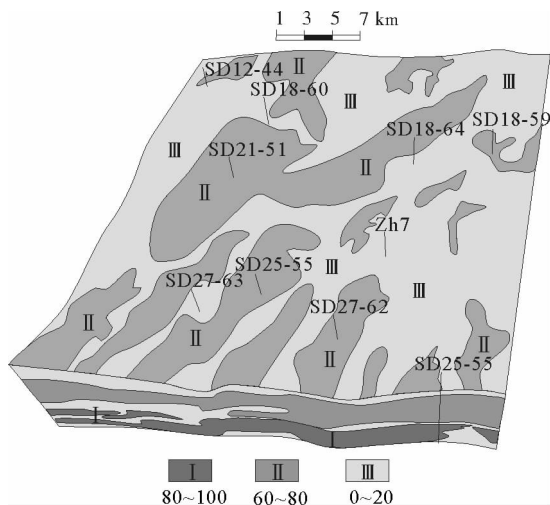


图 9 ZT1 盒, 含气饱和度模型

Fig. 9 Gas saturation modeling of He 8, ZT1

#### 4 模型检验

随机建模具有较强的随机性和不确定性,因此只有对模型分析和优选才能选出符合实际的最佳地质模型,本次通过从随机实现的模型统计参数与原始数据的符合程度方面对三维地质模型的精度进行检验。本文主要通过对离散化前后孔隙度和渗透率的差异,来判断所建立的模型是否吻合实际地层特征。如图 10 所示,在 0~5% 孔隙度分布区间,经模拟化后的孔隙度占研究区总量的 7%,经过离散化后的孔隙度占研究

区总量的 9%，而原始测井曲线孔隙度占研究区总量的 10%，通过对比发现三者之间相差不大；5%~10% 区间，>10% 区间三类数值也十分接近。同理，对图 11 的渗透率对比发现，在 0~0.1 mD 分布区间的经处理前后的渗透率数据也相差不大。因此，本次建立的模型与实际地层特征很接近，也证明了整个储层三维模型准确可信，可以作为后期开发的技术依据。

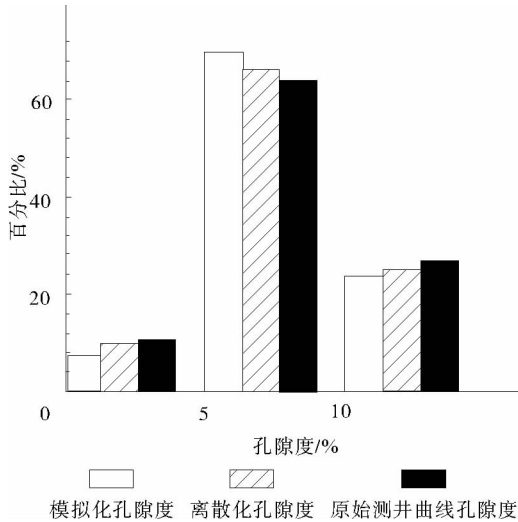


图 10 孔隙度优选实现模型与测井曲线分布直方图对比  
Fig. 10 Contrast of the optimizing porosity modeling and well logging curve distribution histogram

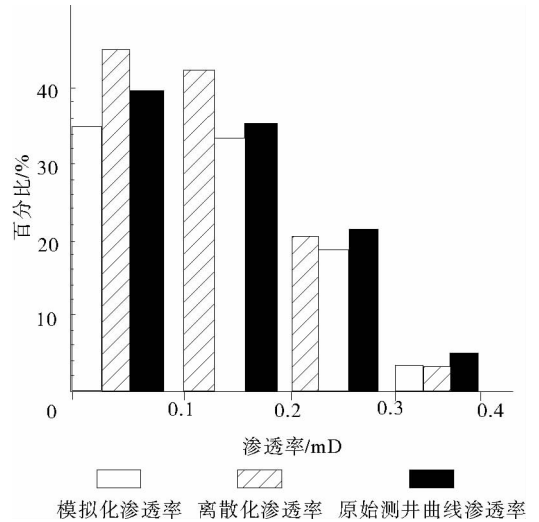


图 11 渗透率优选实现模型与测井曲线分布直方图对比  
Fig. 11 Contrast of the optimizing permeability modeling and well logging curve distribution histogram

## 5 结论

储层三维建模是对现代气藏精细研究的主要方法之一。通过对苏里格气田 ZT1 示范区进行地质储层建模研究，取得以下认识：

1) 在对不同级别地层单元层位数据研究基础上，构建的构造模型不仅能够较好地展现 ZT1 示范区东北高、西南低、倾角较小的西倾单斜构造格局，局部形成轴向近东西或北东向鼻状构造的地势特征，也为构建沉积相模型和储层属性模型提供空间框架。

2) 在构造模型的基础上，利用序贯指示模拟方法构建的沉积微相模型能够形象地展示研究区沉积相的发育特征，盒<sub>8</sub>段为辫状河三角洲平原亚相，山<sub>1</sub>段主要发育曲流河三角洲平原亚相。

3) 在沉积相模型控制下，依据砂体展布及物性变差函数分析结果，采用序贯高斯随机模拟方法建立了储层孔隙度和渗透率属性模型。属性模型的建立能够很好地解决沉积微相变化快、非均质性问题，能形象描述研究区低孔、低渗的特点。经过实践检验，利用储层属性模型与本次建立的模型大体相符。

### 参考文献：

[1] 马东旭, 杜支文, 张涛, 等. 苏里格气田 Z30 区块储层物性特征及控制因素[J]. 山东科技大学学报: 自然科学版, 2013, 32(5): 68-75.  
Ma Dongxu, Du Zhiwen, Zhang Tao, et al. Physical properties and controlling factors of reservoirs in the Z30 block in Sulige Gas field[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology: Natural Science, 2013, 32(5): 68-75.

[2] 潘少伟, 杨少春, 杨柏, 等. 相控建模技术在江苏油田庄 2 断块中的应用[J]. 天然气地球科学, 2009, 20(6): 936-940.  
Pan Shaowei, Yang Shaochun, Yang Bo, et al. Application of facies-controlled modeling technology to the fault-block 2 in Jiangsu Oilfield[J]. Natural Gas Geoscience, 2009, 20(6): 936-940.

[3] 欧阳明华, 谢丛姣. 精细油藏描述中的储层建模[J]. 新疆石油学院学报, 2004, 16(1): 47-49.  
Ouyang Minghua, Xie Congjiao. Reservoir modeling in detailed reservoir description[J]. Journal of Xinjiang Petroleum Insti-

tute, 2004, 16(1): 47-49.

- [4] 杨仁超, 王言龙, 樊爱萍, 等. 鄂尔多斯盆地苏里格气田 Z30 区块储层地质建模[J]. 天然气地球科学, 2012, 23(6): 1149-1153.  
Yang Renchao, Wang Yanlong, Fan Aiping, et al. Reservoir geological modeling of Z30 block in Sulige Gas field, Ordos Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2012, 23(6): 1149-1153.
- [5] 刘蕊, 盛海波, 蔡玥. 塔河曲气田 AT1 区块凝析气藏三维地质建模研究[J]. 地球科学与环境学报, 2011, 33(2): 168-171  
Liu Rui, Sheng Haibo, Cai Yue. Study on 3D geologic modeling of condensate gas reservoir in block AT1 of Tache Oilfield [J]. Journal of Earth Science and Environment, 2011, 33(2): 168-171.
- [6] 尹艳树, 吴胜和. 储层随机建模研究进展[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(2): 210-215.  
Yin Yanshu, Wu Shenghe. The process of reservoir stochastic modeling[J]. Natural Gas Geoscience, 2006, 17(2): 210-215.
- [7] 刘晓红, 林畅松, 刘俊, 等. 低渗透储层产能预测的测井优化建模[J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2011, 33(3): 115-120.  
Liu Xiaohong, Lin Changsong, Liu Jun, et al. An optimization well logging interpretation model of production[J]. Journal of Southwest Petroleum University: Science and Technology Edition, 2011, 33(3): 115-120.
- [8] 胡向阳, 熊琦华, 吴胜和. 储层建模方法研究进展[J]. 石油大学学报, 2001, 25(1): 107-112.  
Hu Xiangyang, Xiong Qihua, Wu Shenghe. Advancement of reservoir modeling methods[J]. Journal of the University of Petroleum, China, 2001, 25(1): 107-112.
- [9] 周红, 国梁, 杨湖川. 大王北油田大 48 井区储层建模研究[J]. 新疆石油天然气, 2006, 2(2): 40-43.  
Zhou Hong, Guo Liang, Yang Huchuan. Study on reservoir modeling in the D48 area of Dawangbei Oilfield[J]. Xinjiang Oil and Gas, 2006, 2(2): 40-43.
- [10] 何刚, 尹志军, 唐乐平, 等. 鄂尔多斯盆地苏 6 加密试验区块盒 8 段储层地质建模研究[J]. 天然气地球科学, 2010, 21(2): 251-255.  
He Gang, Yin Zhijun, Tang Leping, et al. The reservoir geological model study of He8 member, Su6 infilling well experimental area, Ordos Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2010, 21(2): 251-255.
- [11] 陈凤喜, 卢涛, 达世攀, 等. 苏里格气田辫状河沉积相研究及其在地质建模中的应用[J]. 石油地质与工程, 2008, 22(2): 22-24.  
Chen Fengxi, Lu Tao, Da Shipan, et al. Study on sedimentary facies of braided stream and its application in geological modeling in Sulige Gasfield[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2008, 22(2): 22-24.
- [12] 尹志军, 田世清, 杨志彬, 等. 内蒙二连盆地赛汉塔拉凹陷下白垩统层序地层及有利成藏条件[J]. 古地理学报, 2009, 11(3): 330-337.  
Yin Zhijun, Tian Shiqing, Yang Zhibin, et al. Sequence stratigraphy and the beneficial hydrocarbon accumulation conditions of Lower Cretaceous in the Saihantala sag, Erlian Basin, Neimeng Province[J]. Journal of Palaeogeography, 2009, 11(3): 330-337.
- [13] 郑丽辉, 邢玉忠, 赵秋忙. 相控随机建模在油藏精细描述中的应用研究[J]. 西南石油大学学报, 2007, 29(6): 21-23.  
Zheng Lihui, Xing Yuzhong, Zhao Qiumang. The application of stochastic modeling in fine reservoir description[J]. Journal of Southwest Petroleum University, 2007, 29(6): 21-23.
- [14] Wong P M, Shibli S A R. Modeling a fluvial reservoir with multipoint statistics and principal components[J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2001, 31(2): 157-163.

(责任编辑: 高丽华)