

塔河油气田 AT1 区块凝析气藏三维地质建模研究

刘蕊¹, 盛海波¹, 蔡玥², 张庭娇², 付国民²

(1 中国石油化工股份有限公司西北油田分公司, 新疆 乌鲁木齐 830011;

2 长安大学地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054)

摘要: 以随机函数理论为基础, 采用相控—多参数协同的随机建模方法, 建立塔河油气田 AT1 区块凝析气藏三维地质模型, 实现气藏精细三维表征。首先, 以钻井和岩芯资料为基础构建储层构造模型; 然后, 以小层界面为控制条件建立储层结构模型; 接着, 在沉积相、地质条件的约束下, 采用序贯指示模拟法来建立砂体骨架模型; 随后, 在砂体骨架模型内进行优势相计算, 形成最终有效砂体骨架模型; 最后, 以有效砂体骨架模型为约束, 采用序贯高斯模拟法建立储层物性参数模型。结果表明: 将物性参数变量与微相分布结合的序贯高斯模拟法建立孔隙度等物性参数的分布模型, 以及采用地质分析类比、地质统计分析等方法优选最佳模型是有效的地质建模方法; 所建地质模型精确细致地表征了塔河油气田 AT1 区块凝析气藏构造格架及储层、流体三维分布, 反映了辫状水道复合连片, 东北向展布, 储层物性受相控较明显, 非均质性较强。

关键词: 地质建模; 随机模拟; 凝析气藏; 序贯高斯模拟; 塔河油气田

中图分类号: P539.2; TE122.2 文献标志码: A 文章编号: 1672-6561(2011)02-0168-04

Study on Three-dimensional Geologic Modeling of Condensate Gas Reservoir in Block AT1 of Tahe Oilfield

LIU Rui¹, SHENG Hai-bo¹, CAI Yue², ZHANG Ting-jiao², FU Guo-min²

(1. Northwest Oilfield Branch Company, China Petroleum and Chemical Corporation, Urumqi 830011, Xinjiang, China;

2. School of Earth Sciences and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract Based on the random function theory, three-dimensional geological model of the condensate gas reservoir in AT1 Block of Tahe Oilfield was built by the phase control and multi-parameter cooperative stochastic modeling method and three-dimensional quantitative characterization of the gas reservoir was realized. Firstly, structure model of reservoir was built based on the data of drilling and core; secondly, structural model of reservoir was built under the control condition of substratum interface; thirdly, skeleton pattern of sandbody was built by sequential indicator simulation method under the sedimentary facies and geological condition; fourthly, phase preference was calculated with the skeleton pattern of sandbody, and then the final pattern was built; finally, physical parametric model of reservoir was built by sequential Gaussian simulation method under the control of effective skeleton pattern of sandbody. There are effective geological modeling methods that combined physical parameters with micro facies distribution, sequential Gaussian simulation method built the distribution model of physical parameters porosity, and optimization model was selected by geological analysis analogy and statistics. The geological model built showed the tectonic framework, reservoir, fluid three-dimensional distribution of condensate gas reservoir in Block AT1 of Tahe Oilfield accurately and meticulously, and indicated that braided stream was complex and connected, physicality of reservoir was controlled significantly by facies, the direction of distribution was northeast, and the inhomogeneity was strong.

Key words: geological modeling; stochastic simulation; condensate gas reservoir; sequential Gaussian simulation; Tahe Oilfield

0 引言

油气藏地质建模实际上就是表征油气藏构造格

架及储层参数空间结构、分布、变化特征。建模的核心问题是井间储层参数预测, 即精细表征储层非均质性问题。由于储层行为的结构性和随机性, 储层

收稿日期: 2010-07-26

基金项目: 中国博士后基金项目(20070420489)

作者简介: 刘蕊(1977-), 女, 河南项城人, 工程师, 从事油气田开发研究。E-mail: liurui8077@126.com

研究中的储层预测结果便具有多解性,采用传统的确定性方法对储层空间参数进行研究或预测就难以得到满意的结果,难以真实地表现储层复杂的非均质性特征。近年来,以地质统计学理论为基础以及以变异函数理论为核心而发展起来的研究空间变量分布的三维地质建模技术,不同程度地解决了储层预测中储层行为的不确定^[1-10]。

目前,塔河油气田已到了开发中后期,开发矛盾日趋激烈,对油藏描述提出了更高要求。三维地质建模技术可以将地震、测井、岩性等地质数据及前人研究成果应用于地下储层的模拟,并最终建立精细储层地质模型^[3,7,11-12]。因此,笔者以随机函数理论为基础,采用相控—多参数协同的随机建模方法,建立AT1区块凝析气藏三维地质模型,实现气藏精细三维表征,为气藏高效开发奠定基础。

1 研究区概况

塔河油气田位于新疆维吾尔自治区轮台县与库车县之间,是一多含油气层系、多成藏类型的超大型油气田,AT1区块凝析气藏位于塔河油气田南部,含油气层系为三叠系中统阿克库勒组(T_2a)中油组,为典型的受低幅度构造与断层控制的底水凝析气藏。AT1区块的井区位于湖底扇中扇相带,沉积微相细分为辫状水道、分支间漫溢、无水道前缘席状砂等微相,主水道位于AT1-6—AT1-9一线,储层砂体主要为辫状水道砂体,由北向南展布(图1)^[13-15]。其储层孔隙类型以粒间孔、粒间溶孔为主,孔隙度平均为23.50%,渗透率平均为829.02 \times

$10^{-3} \mu\text{m}^2$,表明该储层为中孔、中渗储层。AT1区块开发方案已实施完毕,但在开发过程中气藏稳产时间短,产量和压力下降快,气藏供液不足,需进一步深化落实储层砂体分布,建立气藏精细地质模型,为开发调整措施的实施提供地质依据^[13-19]。

2 建模技术思路及流程

根据研究区开发特点及背景资料,制定相关建模策略及技术路线。

(1)以钻井和岩芯资料为基础,进行储层细分对比,结合地震构造解释及其储层反演成果建立等时格架,构建储层构造模型。

(2)以小层界面为控制条件,在储层构造模型的基础上,进一步剖分复合砂体,并以单一水道砂体为单元,建立储层结构模型。

(3)在沉积相、地质条件的约束下,采用序贯指示模拟法,实现多个沉积微相模型,进行模型优化,并在沉积模型基础上建立砂体骨架模型。

(4)在砂体骨架模型内,采用序贯指示模拟法,对有效砂体进行模拟建模,在实现多个有效砂体骨架模型的基础上,进行优势相计算,并以优势相模型为最终有效砂体骨架模型。

(5)以有效砂体骨架模型为约束,采用序贯高斯模拟法,建立多个储层物性参数模型,通过模型优选,建立最终储层物性参数模型。

3 储层构造模型的建立及网格设计

储层构造模型采用确定性建模方法,以地震层

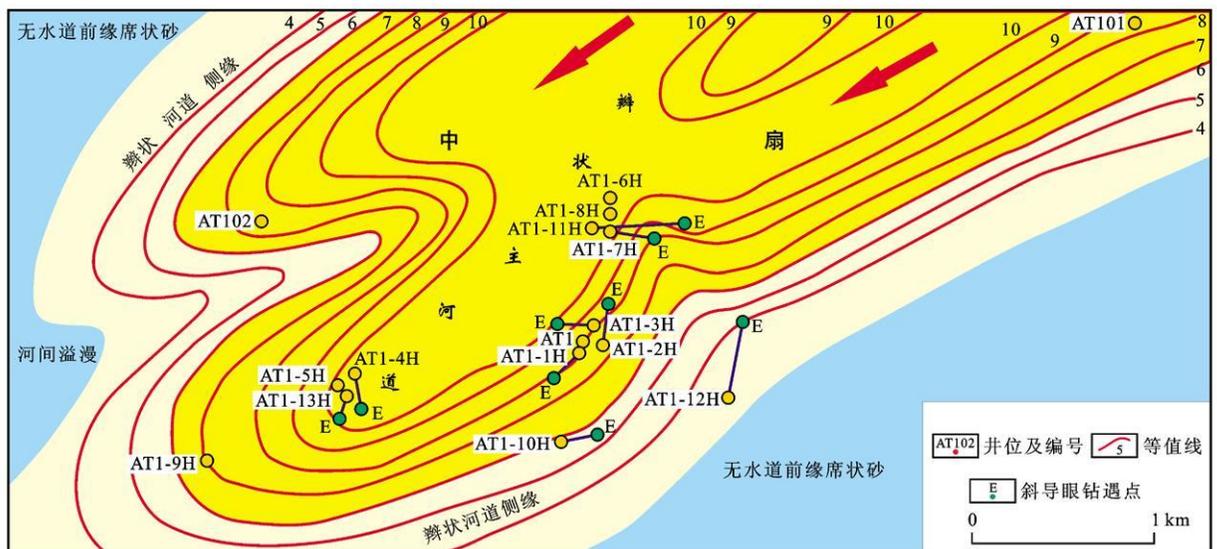


图1 AT1区块 T_2a^{3-1} 沉积相平面分布

Fig. 1 Horizontal Distribution of Sedimentary Facies of T_2a^{3-1} in Block AT1

面数据为约束,由各井坐标、分层及地震断层数据建立叠合层面模型,即首先通过插值法形成各等时层的顶、底层面模型(即层面构造模型),然后将各层面模型进行空间叠合,建立储层的空间格架。层面模型插值时采用 $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ 三角网格,根据 27 口井的分层数据插值并使层面数据完全忠实于分层数据求得,共 3 个小层 4 个层面。网格数据如表 1。

表 1 AT1 区块地质模型网格划分

区块	三角网格规格	垂向网格间距/m	总纵横向网格数分布	总网格数
AT1	$20\text{ m} \times 20\text{ m}$	1.8	$397 \times 241 \times 24$	2 296 248

4 沉积微相模型的建立

相建模是在构造模型的基础上,在沉积模式的指导下,应用井资料(单井剖面或参数)进行井间三维预测(模拟或插值),从而建立相的三维分布。沉积微相模型建立的过程包括储层结构模型、砂体骨架模型和有效砂体骨架模型的建立。

研究区中油组沉积微相可划分为辫状水道、水道侧缘、河间溢漫、前缘席状砂、深湖(浅湖)等沉积微相(图 2)。采用序贯指示模拟法对各小层沉积岩相进行模拟,得到一簇随机实现。

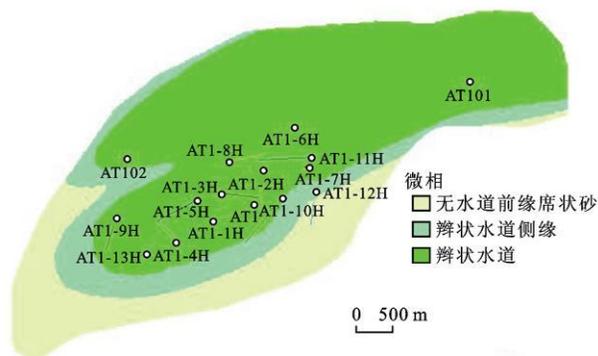


图 2 AT1 区块 $T_2 a^{3-1}$ 沉积相模型

Fig. 2 Sedimentary Facies Model of $T_2 a^{3-1}$ in Block AT1

5 储层物性参数模型的建立

储层物性参数模型采用随机建模的方法,其函数主要有高斯随机域、分形随机域、指示模拟和马柯夫随机域,高斯随机域是最经典的随机函数,这种模型最大的特征是随机变量符合高斯分布或经过转换符合正态分布。高斯模拟可采用多种算法,如序贯模拟、指示模拟、误差模拟、概率场模拟等。其中,序贯高斯模拟是应用最为广泛的一种,从算法来讲比较稳健,对于分布稳定的数据实现速度很快。结合

本地区特点,综合考虑采用序贯高斯模拟进行该地区储层参数的随机模拟。

序贯高斯模拟的输入有变量的统计参数、变异函数和条件数据。如采用相控建模,则需要输入相模型,同时对不同相还需要相应的变量统计参数和变异函数参数。包括孔隙度、渗透率、含水饱和度、泥质含量及净毛比,每一个小层每一个物性参数均需分析其变异函数特征值,在孔隙度、渗透率、含油饱和度变差函数的计算中分小层选取球状模型进行实验数据的拟合,确定主、次和垂向的变程方向和变程,各小层物性参数变成方向近似物源方向,大致为东北方向。

根据分析得出的统计特征参数,采用序贯高斯模拟相控建模法可得到 3 个小层的孔隙度、渗透率、含水饱和度参数模型(图 3、4)。采用地质规律对比分析及概率统计方法来挑选模型。

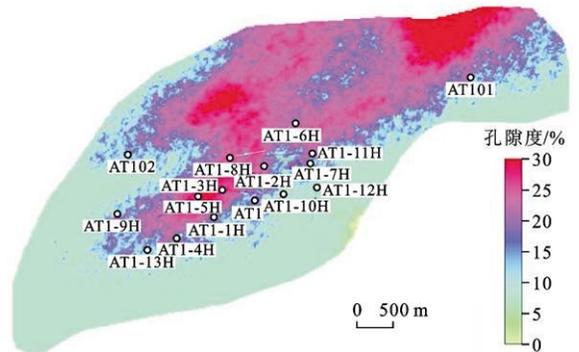


图 3 AT1 区块 $T_2 a^{3-1}$ 孔隙度模型

Fig. 3 Porosity Model of $T_2 a^{3-1}$ in Block AT1

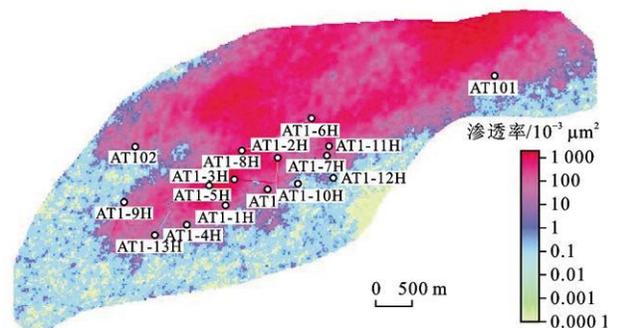


图 4 AT1 区块 $T_2 a^{3-1}$ 渗透率模型

Fig. 4 Permeability Model of $T_2 a^{3-1}$ in Block AT1

6 模型检验

6.1 沉积相模型检验

首先,从定性的角度来考虑,将得到的沉积相模型与该区的地质概念模型进行对比,选择辫状水道的规模、走向、展布规律最相似,且符合地质认识的

实现为该区的沉积相模型,然后与手工绘制的沉积微相图相似,那么该沉积相模拟就是最优模拟。其次,从概率统计的定量化角度考虑,辫状水道在模型中为主要储层,概率为 88.45%~92.01%,与地质认识的 89.00%~93.28% 比较接近,相对误差为 2%~3%。通过定性及定量两个方面的对比,最终选择图 3 作为最终的微相模型。相模型的结果表明:研究区砂体在该区分布较稳定,横向变化不大;平面上由于多期水道摆动或相互叠置,辫状水道微相大片分布,连续性好;但单个水道宽度有限。

6.2 储层物性参数模型检验

属性模型优选仍然采用定性(地质规律对比分析方法)和定量(概率统计方法来挑选模型)两种方法。首先,将模拟的物性参数模型与手工绘制的物性图进行对比,选择相似程度最高的模型作为储层参数模型的最优选择。其次,根据图 5 可知,所选模型井点约束参数数据、网格粗化及其模型参数分布概率形式特征一致。因此,模型参数分布保证了数据结构的一致性,忠实于原始数据分布。

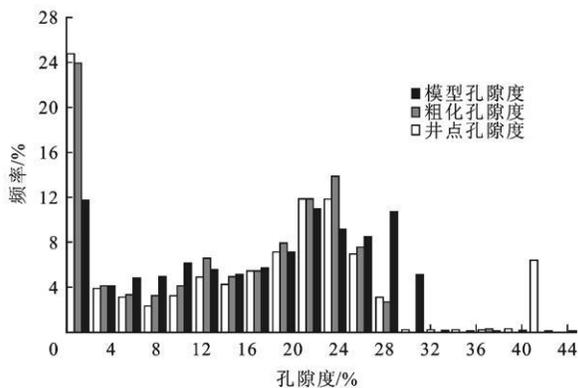


图 5 AT1 区块 $T_2 a^{3-1}$ 孔隙度模型统计

Fig. 5 Statistic of Porosity Model of $T_2 a^{3-1}$ in Block AT1

通过将所建模型与沉积微相、砂体厚度分布对比可看出,三者一致性较好,物性参数模型严格受沉积微相、砂体厚度分布控制,在分流水道发育区为孔隙度高值区,但由于成岩作用强烈,局部水道部位物性较差,水道侧缘物性变差,在分流间湾、前缘席状砂、浅湖区孔隙度很小。从上述物性模型可以看出,储层物性非均质性较强,但受相控较明显。

7 结语

(1)依据地质、岩芯、测井、断层和地震等资料,采用确定性建模方法,用地震层面数据约束建立储层构造模型,使模型与地质认识一致,并且保证模型

忠实于井点数据。

(2)采用地震约束下相控参数场的方法,用序贯指示模拟来建立储层砂体分布模型;然后采用将物性参数变量与微相分布相结合的多元序贯高斯方法建立孔隙度等物性参数的分布模型。采用地质分析类比、地质统计分析等方法优选最佳模型是行之有效的地质建模方法。

(3)地质模型反映 AT1 区块凝析气藏储层物性非均质性较强,但受相控较明显,通过地质分析及其统计评判所建模型,精确细致的表征了该凝析气藏构造骨架及储层、流体三维分布,从而为进一步调整并制定方案奠定了基础。

参考文献:

- [1] 刘建华,朱玉双,胡友洲,等.安塞油田 H 区开发中后期储层地质建模[J].沉积学报,2007,25(1):110-115.
- [2] 郭艳琴,冯娟萍,欧阳阳健,等.姚店油田北区长 6 油层组储层特征与分类评价[J].西安科技大学学报,2010,30(2):197-201.
- [3] 吴胜和,金振奎,黄沧钊,等.储层建模[M].北京:石油工业出版社,1999.
- [4] 汤军.对储层建模的研究[J].石油天然气学报,2006,28(3):50-52.
- [5] 瞿建华,王新海,秦可,等.LN 油田 2 井区三叠系储层三维建模技术研究[J].特种油气藏,2006,13(4):20-23.
- [6] 吕晓光,王德发,姜洪福.储层地质模型及随机建模技术[J].大庆石油地质与开发,2000,19(1):10-13.
- [7] 李少华,张昌民,张尚锋,等.沉积微相控制下的储层物性参数建模[J].江汉石油学院学报,2003,25(1):24-26.
- [8] 张永庆,代开梅,陈舒薇.砂质辫状河储层三维地质建模研究[J].大庆石油地质与开发,2002,21(5):34-36.
- [9] 赵惊蛰,闫林,孙卫,等.靖安油田盘古梁长 6 油藏地质建模研究[J].地球科学与环境学报,2007,29(2):162-165.
- [10] 陈德元,谭成任,徐振永,等.基于岩性划分的渗透率预测模型研究[J].地球科学与环境学报,2007,29(2):158-161.
- [11] Turner A K. Challenges and Trends for Geological Modeling and Visualization[J]. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 2006, 65(2): 109-127.
- [12] 裴亦楠.储层地质模型[J].石油学报,1991,12(4):55-62.
- [13] 郭建华,刘辰生,朱锐.阿克库勒地区三叠系层序地层学及储集砂体成因类型[J].沉积学报,2007,25(2):169-176.
- [14] 刘辰生,郭建华.新疆阿克库勒地区三叠系中油组层序地层学研究[J].地层学杂志,2008,32(1):41-46.
- [15] 张希明,王恕一.塔里木盆地北部三叠系辫状三角洲砂体储层非均质性研究——以阿克库勒—达里亚地区为例[J].石油实验地质,1997,19(3):201-207.
- [16] 李勇,李保柱,胡永乐,等.碳酸盐岩凝析气藏组分粗化数值模拟方法研究[J].西南石油大学学报:自然科学版,2010,32(1):97-100.