

文章编号: 1009-3850(2014)04-0054-05

东营凹陷东辛油田河控三角洲河口坝 构型界面层次建模研究

赵雪, 陈清华, 刘喜林, 王晶

(中国石油大学(华东) 地球科学与技术学院, 山东 青岛 266580)

摘要: 河口坝地下储层构型的分析及建模研究甚少, 至今未能建立完整的3~5级界面层次模型, 迫切需要建立一套完整的三角洲河口坝构型界面层次模型。为此, 本文提出了分级控制下的界面识别与井间预测相结合的河口坝储层构型建模方法。结果显示, 在人机互动的共同作用下, 完整的河口坝模型可以为实际生产提供空间理论上的支持。研究区各构型单元不断向前推移, 形成了明显前积的三角洲模式, 河口坝增生体夹角范围为 $0.2^{\circ} \sim 3.43^{\circ}$, 主物源方向延伸距离为1.64km, 垂利物源方向为0.89km。整体上看, 河口坝增生体呈席状分布、连续性好。这一研究不仅完善了河口坝地下储集体理论的研究, 而且对提高油田开发效率具有重要意义。

关键词: 东辛油田; 河口坝; 层次建模; 变差函数

中图分类号: TE122.2⁺⁴

文献标识码: A

储层构型研究兴起于20世纪80年代, 其主要研究内容为岩相类型划分、沉积界面划分和构型单元描述。目前, 运用储层构型分析法, 人们对露头、现代沉积以及覆盖区进行了精细研究, 取得了许多成果, 丰富并加深了对陆相储层非均质性的认识, 其中也包括对覆盖区三角洲相储层的研究。而对地下储层构型分析及建模研究目前还不完善。河口坝构型层次建模的研究普遍集中在4级到5级, 关于3级界面的建模研究较少。

在油田勘探开发的过程中, 储层构型为油气田开发提供了重要依据。随着油气田开发程度的不断加大, 砂体内部的剩余油的开采逐渐成为油田开发的主要目标。因此, 迫切需要对地下储层构型进行更直观深入的研究, 从而提高油气采收率、最大限度地开发油气资源。

河控三角洲是我国陆相沉积的典型类型之一, 河口坝沉积是其最重要的储集砂体。本文以东营凹陷东辛油田辛1断块沙二段W₁砂组河口坝沉积储层为例, 综合利用地质、测井、油田生产数据等资

料, 探讨建立完整地下河口坝界面层次模型的方法。这对于丰富河口坝地下储层地质理论以及提高剩余油的开采具有重要的意义。

1 研究区概况

东辛油田位于济阳拗陷东营凹陷中央隆起带中段。其北、西、南面分别为民丰洼陷、利津洼陷和牛庄洼陷, 东西长28km, 南北宽7.7km, 勘探面积约217km²[1-2]。

东辛油田整体是一个大型的伸展褶皱系统^[3], 受控于北部边界断层, 其西部的郝现断裂带是在盆地演化过程中发育的弧形滑脱生长断裂系统, 东为中央断裂背斜东段辛东构造带。全区具有构造异常复杂、断层多、断块小、构造差异大、储层发育但纵横向变化大、含油层系多、含油条带窄、油水关系复杂等特点^[3-4]。

研究区的含油层自下而上共发育沙三段、沙二段、沙一段、东营组、馆陶组、明化镇组6套含油层系。据前人对研究区沙二段的分析研究, 东辛油田

收稿日期: 2014-05-07; 改回日期: 2014-06-18

作者简介: 赵雪(1990-), 女, 硕士研究生, 构造地质专业。E-mail: geozhaoxue@126.com

沙二下亚段属于滨浅湖背景下的三角洲沉积^[5]。其中河口坝沉积由于入湖河流能量充足,携带沉积物较多,是研究区三角洲沉积中最典型的沉积砂体类型。

辛1断块位于东辛油田东端辛镇长轴背斜北翼,是一个受两条东西向南倾三级断层遮挡形成的条带状反向屋脊油藏,东西长6.4km,南北宽1km。

2 构型界面层次分级

储层地质建模就是用模型来表征储层结构和储层参数的空间分布和变化特征^[6]。构型建模的核心是恢复不同界面层次构型单元的分布。小级别构型单元的分布受控于大级别构型单元,层次界面建模的主要思路是分级控制下的建模,即由大到小地进行界面层次建模。

因此,构型界面层次建模的基础是对于构型界面层次的分级。按照Miall(1985)的构型界面定义,将东辛油田沙二段W₁砂组河口坝构型从小到大大划分为1~5级界面^[7-9](图1)。

界面级别	界面限定构型单元	时间单元(年)	界面分级划分方案
5	河口坝复合体	10 ⁴ -10 ⁵	
4	单一河口坝	10 ² -10 ³	
3	河口坝增生体	10 ⁰ -10 ¹	
2	纹层组	10 ⁻² -10 ⁻¹	
1	纹层	10 ⁻⁵ -10 ⁻³	

图1 不同级别的界面划分

Fig.1 Hierarchical division of individual boundaries

1级界面是由一系列相同纹层组成的交错层系的界面。2级界面为交错层系组界面。由于1、2级界面发育不稳定,且仅可在岩芯中识别,因而不具有井间对比性。在实际构型分析中,1、2级界面也不作为主要研究对象。

3级界面为单一河口坝内部增生体的顶、底界面,其限定的构型要素为河口坝增生体,厚度较小,向前积方向延伸,其间为不稳定的泥质或钙质夹层。

4级界面为单一河口坝的顶界面,由多个河口

坝增生体叠合形成,限定的构型要素为单一河口坝,其间多为泥质或钙质隔层。研究区中4级界面分隔三角洲前缘河口坝沉积中的各韵律层。

5级界面为河口坝复合体的顶界面,由多个单一河口坝垂向及侧向叠合形成,限定的构型要素为河口坝复合体,往往作为小层的分界面。

3 构型界面识别及其层次建模

在构型界面层次分级的基础上,依级次对各构型界面进行层次建模。由于建模中采用的资料主要是测井资料,而测井资料本身存在多解性和不确定性,所以要注意地质构型特点与井间资料分析所得构型特点的结合^[10]。按照各构型单元的特点与井点处的构型单元进行联结,构建初始构型模型,然后按照构型模式中各构型单元之间的几何配置关系,对已联结的初始模型进行优化,使最终模型既与井点吻合,又符合地质模式^[11]。

3.1 5级与4级构型界面

5级界面为河口坝复合体之间的夹层,SP曲线回返率高。研究区中5级界面为大面积发育、延伸范围很广的厚层前三三角洲泥质层,分布稳定。其是研究区三角洲前缘沉积体中可以识别出来的最高级别的沉积界面,不具渗透性,构成小层间的良好隔层(图2)。

4级界面为单一河口坝之间的夹层,SP曲线回返明显。研究区中4级界面岩性为泥岩或粉砂质泥岩,厚度较大,平面发育较稳定,延伸范围较广,是研究区三角洲前缘河口坝沉积的各韵律层分界面,也是小层内的主要渗流屏障(图2)。

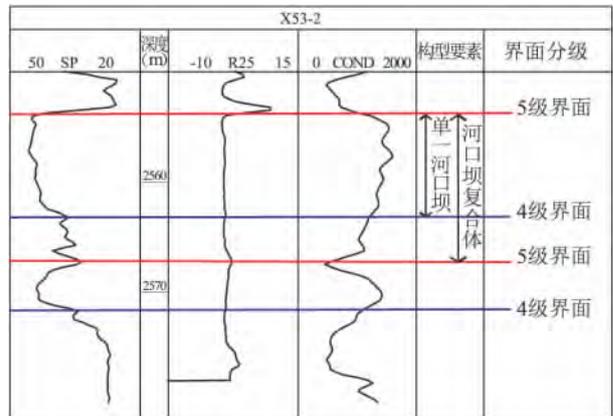


图2 X53-2井典型河口坝砂体5级与4级界面识别

Fig.2 Recognition of the 5th- and 4th-order boundaries of the representative channel mouth bar sandstones through the X53-2 well

研究区5级与4级构型界面的分布范围广,界面之上的隔夹层特点明显,易于识别,井间对比性强,因此往往采用确定性建模的方法对研究区5级与4级构型界面进行三维建模^[12]。

统计各井5级与4级构型界面的深度数据时,由于测井资料中储层构型的离散属性,需要对离散数据进行处理。目前用于离散变量的三维建模方法主要有示性点过程、序贯指示模拟、截断高斯模拟以及多点地质统计学等。本文采用序贯指示模拟将各界面点的离散数据进行处理,模拟各向异性的地质现象^[13],建立这两级的层面模型。从5~4级构型模型的栅状图上可以看出研究区单一河口坝构型分布十分广泛,基本全区都有发育,无明显前积特征(图3)。

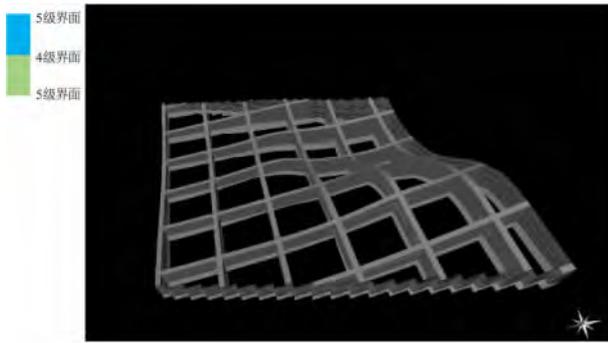


图3 5~4级构型界面模型栅状切片

Fig. 3 Fence slices of the 5th- and 4th-order architectural boundary modeling

3.2 3级构型界面

3级界面为单一河口坝增生体之间的夹层,SP曲线轻微回返。研究区中3级界面岩性以泥质粉砂

岩为主,厚度很小、向前积方向延伸,范围有限,发育不连续,对流体起局部遮挡作用,具有局部分隔能力,延缓流体的流动。

3级界面由于发育范围有限,识别特征较弱,在资料较少的区域,往往需要在进行3级界面夹层识别的基础上,结合研究区典型动态资料进行井间预测(图4),确定研究区夹层发育模式及夹角发育范围,得到井间可信程度较高的夹层预测结果,并以此控制研究区3级界面的层次建模。

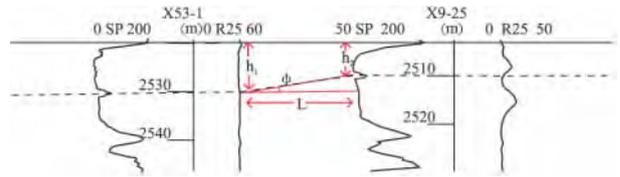


图4 X53-1 - X9-25 井3级夹层倾角计算示意图

Fig. 4 Sketch to show the calculations of the dip angles of the 3rd-order boundaries from the X53-1 to X9-25 wells

$$\tan\varphi = (h_1 - h_2) / L$$

式中: L 为同一夹层上两井之间的水平距离; h_1 和 h_2 分别为两井夹层顶距最近中期旋回顶的距离。 φ 为3级界面夹层向湖方向与水平面之间的夹角。经计算, X53-1 与 X9-25 井间3级界面夹角为 1.43° 。同理,对全区多口井进行3级界面夹角的计算,得出研究区3级界面夹角范围为 $0.2^\circ \sim 3.43^\circ$ 。

以已经建立的4级界面为重要参照界面,以3级界面夹角范围作控制,遵循同级次沉积界面产状接近,所限定的构型要素单元的厚度及其变化趋势一致的原则,进一步确定出研究区内部的各个3级沉积界面(图5)。

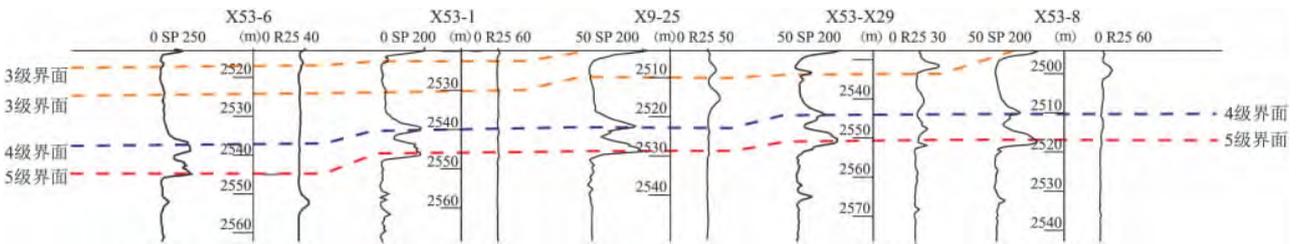


图5 X53-6 - X53-8 井沉积界面与构型单元划分剖面图

Fig. 5 Cross section showing the division of the sedimentary boundaries and architectural elements from the X53-6 to X53-8 wells

统计3级构型界面的深度数据,在 Petrel 软件中以实际界面夹角为控制趋势面,建立3级构型界面的层面模型。由于河口坝增生体内部构型复杂,序贯指示模拟对离散数据进行处理时不能确切地表达增生体的空间形态,因此需要通过人机交互的

方法对模型进行再处理,使得模型既与井点吻合,又符合地质模式。

从3级构型模型的栅状图上可以直观地看出,研究区河口坝增生体构型分布局限,在构型内部,河口坝增生体不断向前推移,最终形成了向湖盆方

向前积的一系列单砂层(图6)。

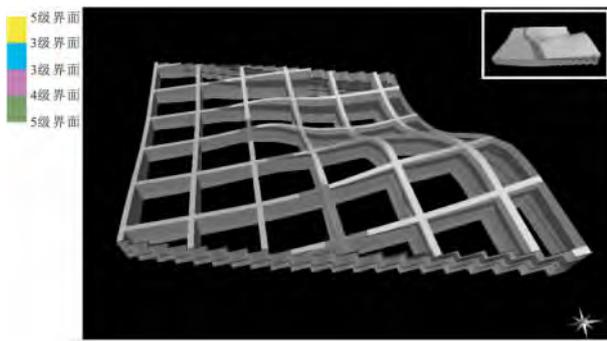
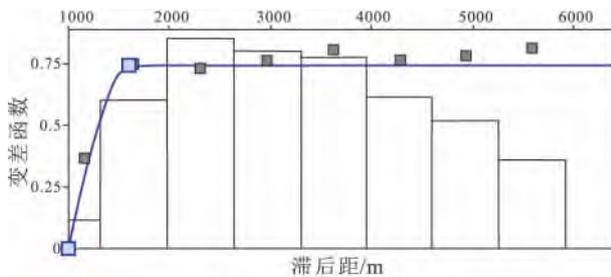


图6 整体河口坝构型界面模型栅状切片

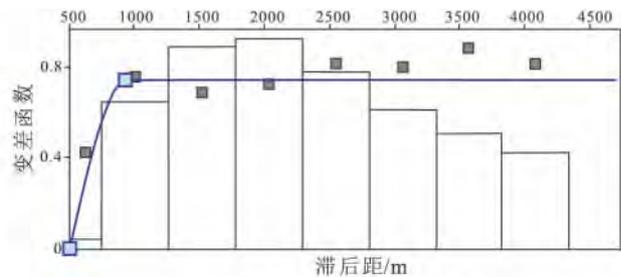
Fig.6 Fence slices of the architectural boundary modeling of the channel mouth bar sandstones

4 变差函数分析

借助于变差函数分析这一有力手段,采用模拟技术,将地质、钻井资料与地震资料有机地结合起来,可以获取可靠的储层空间分布规律^[14]。在Petrel软件中精确的变差函数分析是在数据分析(Dataanalysis)中进行的。首先进行数据变换,模型



(a) 主变程实验变差函数拟合



(b) 次变程实验变差函数拟合

图7 实验变差函数拟合

Fig.7 Diagrams showing the fitting of the experimental variograms

5 结论

(1) 利用界面识别与井间预测相结合的方法,以逐级控制为主体思路,人机交互共同作业,实现了基于井点数据的完整河口坝构型界面层次模型,突破了以往只建立到4级的界面建模技术。这一创新技术可以帮助在其它河口坝研究区中完善地下储集体理论的研究,对提高各油田开发效率具有重要意义。

(2) 结合研究区典型动态资料进行井间预测,在确定研究区夹层发育模式的基础上,确定研究区夹角发育范围在 $0.2^{\circ} \sim 3.43^{\circ}$,得到井间可信程度较高的夹层预测结果。

数据变换主要包括 Inputtruncation, Outputtruncations, Logarithmic 以及 Normalscore。数据变换的好坏影响后期对建立模型变差检验的精准性。

研究区为相对稳定的三角洲沉积环境,所以选择球状模型对3级界面限定的河口坝增生体构型进行多个方向的实验变差函数拟合。其中块金值表现为较小空间范围内的变异性,可能是由测量误差或是矿物的微观变异性引起的。本次参数模拟时为了使模拟的结果完全忠实于井数据,将块金值置零,这样模拟出的网格值会有较好的连续性。不断改变搜索半径和步长数目的值直到变差函数图形中变差函数曲线与回归曲线基本重合。

最后确定了主方向为 303° ,主变程为1644.5m;次变程方向为 49° ,次变程为897.7m(图7)。两个方向计算结果已较清楚地呈现出研究区河口坝增生体的分布特点。研究区物源方向为北北西向,刚好与主方向吻合,并且在主方向上砂体连续性较好。次方向与主方向垂直,砂体延伸范围略小,但也有较好的连续性。整体上看,河口坝增生体呈席状分布且连续性较好。

(3) 通过变差函数分析,进一步辅助确定研究区的物源方向为北北西向,沿物源方向,各河口坝构型砂体连续性较好。整体上看,研究区河口坝增生体呈席状分布且连续性较好。

参考文献:

- [1] 王秉海,钱凯.胜利油区地质研究与勘探实践[M].东营:石油大学出版社,1992.
- [2] 蒋有录.东辛复杂断块油气田成藏特征[J].石油与天然气地质,1998,19(1):68-73.
- [3] 李阳.我国油藏开发地质研究进展[J].石油学报,2007,28(3):75-79.
- [4] 李雪.东营凹陷东辛油田油气成藏模式[J].应用基础与工程科学学报,2004,2:169-178.

- [5] 王远坤. 胜利油区东辛油田地质特征与含油气规律探讨[J]. 西安石油学院学报, 1995, 10(1): 18-20.
- [6] 汤子余, 李群, 朱锐. 华池油田 H152 区开发中后期储层地质建模[J]. 沉积与特提斯地质, 2009, 29(4): 52-56.
- [7] MIALL A D. Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits [J]. Earth-Science Reviews, 1985, 22(4): 261-308.
- [8] MIALL A D. The Geology of fluvial deposits [M]. Heidelberg: Springer-Verlag, 1996. 75-178.
- [9] MIALL A D. Reconstructing the architecture and sequence stratigraphy of the preserved fluvial record as a tool for reservoir development: A reslity check [J]. AAPG Bulletin, 2006, 90(7): 989-1002.
- [10] 李少华, 张昌民, 林克湘, 尹太举, 张春生. 储层建模中几种原型模型的建立[J]. 沉积与特提斯地质, 2004, 24(3): 102-107.
- [11] 吴胜和, 岳大力, 刘建民, 等. 地下古河道储层构型的层次建模研究[J]. 中国科学: D 辑, 2008, 38(增刊 I): 111-121.
- [12] 李云海, 吴胜和, 李艳平, 等. 三角洲前缘河口坝储层构型界面层次表征[J]. 石油天然气学报, 2007, 29(6): 40-52.
- [13] 王家华, 张团峰. 油气储层随机建模[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001. 10-142.
- [14] 沈杨. 河流相储层综合预测方法探索[J]. 沉积与特提斯地质, 2002, 22(4): 84-91.

Hierarchical modeling of the channel mouth bar architectures in the river-dominated deltas in the Dongxin Oil Field , Dongying depression , Shandong

ZHAO Xue , CHEN Qing-hua , LIU Xi-lin , WANG Jing

(School of Geosciences , China University of Petroleum , Qingdao 266580 , Shandong , China)

Abstract: The present paper presents a new hierarchical 3D modeling of the channel mouth bar sandstone reservoirs in the river-dominated deltas based on the boundary recognition and well spacing forecast. The results show that a complete channel mouth bar model may provide the spatial theoretical support for the actual production under the combined effects of human-computer interaction. The constant forward migration of individual architectural-elements resulted in the formulation of the progressive delta model for the study area. The third-order boundaries between the channel mouth bar accretionary sandstone bodies exhibit the angles ranging from 0.2° to 3.43° , extended distance of 1.64 km for the principal source area, and vertical direction extending 0.89 km. On the whole, the channel mouth bar accretionary sandstone bodies are laterally extensive, and display the sheet distribution. These results will not only improve the theoretical study of the channel mouth bar sandstone reservoirs, but also enhance petroleum exploration efficiency in the study area.

Key words: Dongxin Oil Field; channel mouth bar; hierarchical modeling; variogram