

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

何 刚^{1,2}, 尹志军³, 唐乐平⁴, 焦廷奎⁴

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029;

2. 中国石油天然气股份有限公司勘探与生产公司, 北京 100011;

3. 中国石油大学油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249;

4. 长庆油田分公司勘探开发研究院, 陕西 西安 710021)

摘要:为准确预测鄂尔多斯盆地苏 6 加密试验区块盒 8 段有效储层的空间分布, 利用苏 6 加密试验区块的地质、测井和生产动态资料, 建立了包括地层格架、构造、沉积和储层属性等子模型在内的储层地质模型。研究表明, 苏 6 加密试验区块盒 8 段为河流相沉积环境, 储层砂体的成因类型包括点坝、心滩、河道等, 呈南北向带状展布, 横向尖灭快。储层孔隙度分布范围为 3%~15%, 渗透率为 $(0.1 \sim 2) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 是典型的低孔低渗储层, 储层非均质性强。应用储层地质模型, 可以直接预测有效储层的空间分布, 为气田开发井网的部署和调整提供地质依据。

关键词:储层建模; 低渗透; 有效储层; 苏 6 加密试验区块; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE122

文献标识码: A

文章编号: 1672-1926(2010)02-0251-06

0 引言

苏里格气田位于鄂尔多斯盆地的苏里格庙地区, 区域构造横跨陕北斜坡、伊盟隆起和天环坳陷 3 个构造单元。目前, 在苏里格气田已发现了盒 8 段、山 1 段和下古生界等多套含气层段。该气田勘探面积约为 $3.6 \times 10^4 \text{ km}^2$, 天然气地质资源量为 $3.8 \times 10^{12} \text{ m}^3$ [1-2]。

上古生界二叠系下石盒子组盒 8 段是苏里格气田的主力气层。自 2000 年 6 月苏 6 井经过压裂改造后获日产无阻流量 $120.6 \times 10^4 \text{ m}^3$ 高产工业气流以来, 苏 6 加密试验区块一直是苏里格气田地质研究和开展开发试验的重点区块。前人 [3-5] 针对气田的地层层序、沉积体系、储层特征等开展了大量的研究工作并取得了丰富的成果。但由于苏 6 加密试验区块盒 8 段属于河流相沉积, 具有平面上多个砂体叠置连片分布、单砂层横向尖灭快、储层物性差、非均质性强、有效储层单砂体薄、井间连通性差等特征, 并且这些因素目前仍是制约气田开发效果最关键的地质因素。因此, 本论文将现代储层建模的技

术应用到苏 6 加密试验区块有效储层的精细研究中, 对有效储层的空间分布进行了准确地预测, 为提高气田开发效果提供了地质基础。

1 资料基础及建模方法

储层地质模型是对储层的类型、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的高度概括 [6-7]。储层建模的目的就是通过通过油气勘探和开发中取得的地震、测井、测试、钻井等各方面的资料, 对储层上述各方面的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。随着油气田开发的深入和资料的积累, 建立定量的储层三维地质模型成为精细油藏描述最有效的手段之一。现代油藏地质建模是依据地质统计学的基本理论, 应用确定性和随机性建模的方法, 得到反映储层空间变异性属性的三维数据体。

苏 6 加密试验区块位于苏里格气田的东部, 加密试验区块南起苏 39-14-2 井, 北至苏 6-8-11 井, 西

起苏 38-16-1 井,东至苏 38-16-6 井,面积约 50 km²。目前,苏 6 加密试验区块内共有包括探井、评价井、开发井和加密井等在内的不同类型的井 49 口,每一口井都有全套的常规测井资料,包括自然伽玛(GR)、自然电位(SP)、声波时差(AC)、双侧向电阻率(RLLD、RLLS)等,且完成了多井的测井资料二次数字处理;每一口井都有齐全的储层孔隙度、渗透率、泥质含量、含气饱和度等参数处理成果,同样已完成了储层油、气、干层的综合解释,为开展储层建模研究提供了完备的资料基础。

依据现代储层建模的方法及其一般步骤^[8-9],通过细分沉积单元,从构建盒 8 段高分辨层序地层格架模型入手,建立包括构造和沉积微相在内的储层框架结构模型,最后以构造格架和沉积微相为约束条件,应用研究区 49 口井储层属性参数(孔隙度、渗透率、泥质含量和含气饱和度)为已知信息,采用条件模拟的方法,通过变差函数分析,应用序贯高斯模拟的方法,实现了井间储层参数的预测,建立了精细的储层三维地质模型,预测了有效储层的空间分布。

2 建模成果及其应用

2.1 地层格架模型

地层格架是指区域或油藏范围内地层的空间分布及叠置关系。建立地层格架模型就是要把在同一地质历史时期形成的地层归于同一地层单元^[10]。对苏 6 加密试验区块盒 8 段地层进行等时对比,采用标志层控制下的旋回对比法开展研究。其中盒 8 段顶、底既是区域标志层,也是 2 个等时界面,区块内特征清楚,可以稳定对比,2 个界面之间为一个向上变细的一级旋回。在盒 8 段内部,依据沉积旋回划分出 2 个二级旋回、4 个三级旋回和 8 个四级旋回(图 1)。其中 2 个二级旋回分别相当于盒 8 上和盒 8 下 2 个油层组,而 4 个三级旋回则相当于 4 个砂层组,8 个四级旋回则相当于 8 个小层。依据等时界面控制的旋回对比方法,改变了依靠岩性地层对比关系,克服了地层对比过程中的穿时性,建立了正确的地层对应关系(图 2),为沉积模型的研究以及储层物性模型的建立提供了不同级次的地层单元。

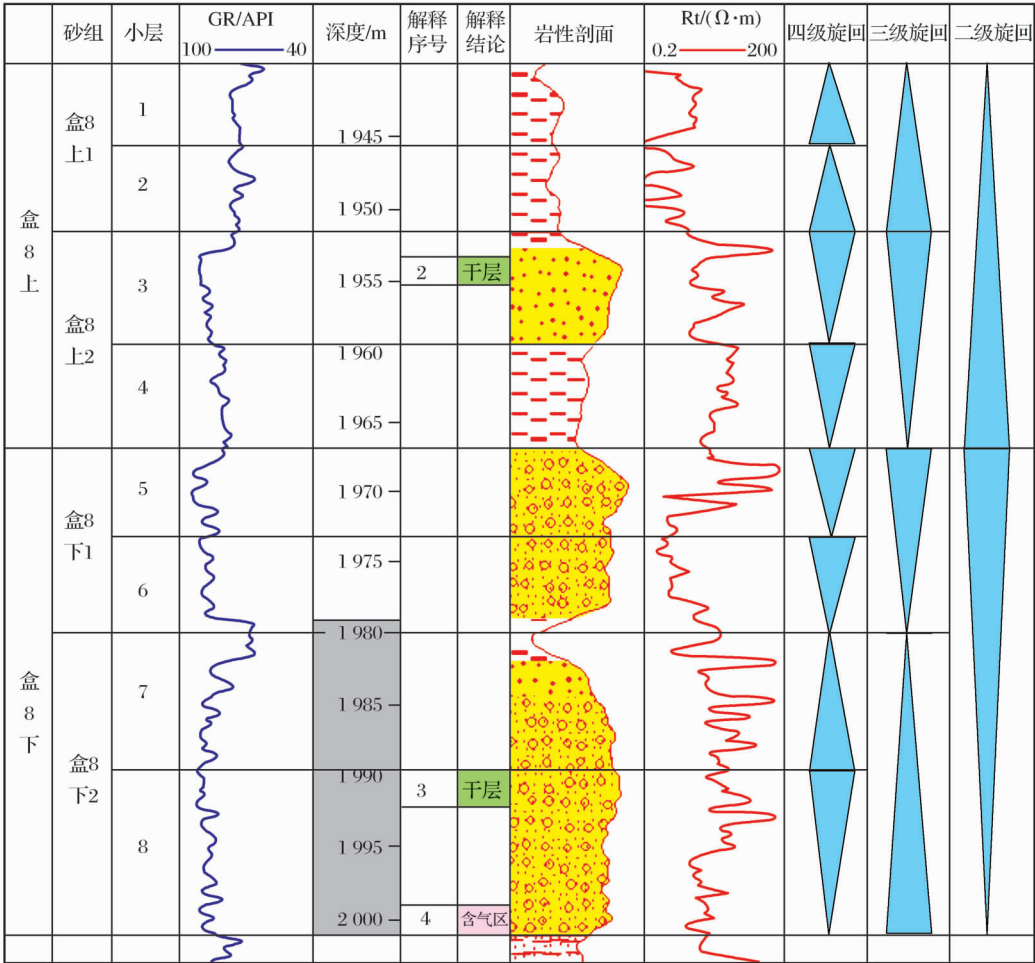


图 1 盒 8 段精细地层划分(S6-8-7 井)

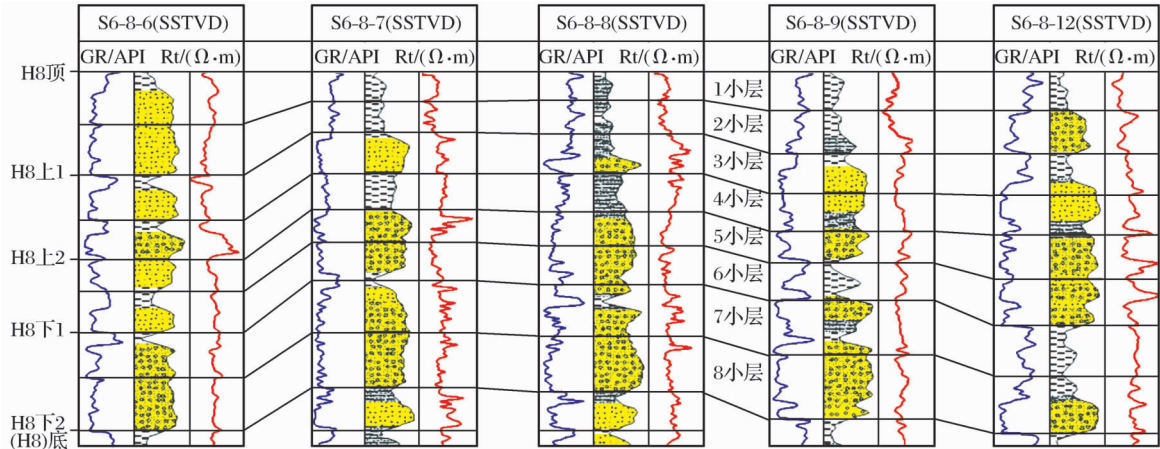


图2 盒8段地层等时对比剖面

2.2 构造模型

构造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。苏6加密试验区块盒8段构造相对比较简单。构造模型建立的思路是,以高分辨层序地层划分的不同级别地层单元层位数据,通过井斜校正,按不同砂组和小层的钻井深度,以一定

的网格间距进行网格化,分别模拟层面的起伏形态,建立起反映地层在三维空间起伏变化的三维构造模型(图3)。

总体上看,苏6加密试验区块是一个向西南倾伏的单斜构造,构造相对平缓,构造幅度约50m,局部区域发育微鼻、微背斜等局部高点。

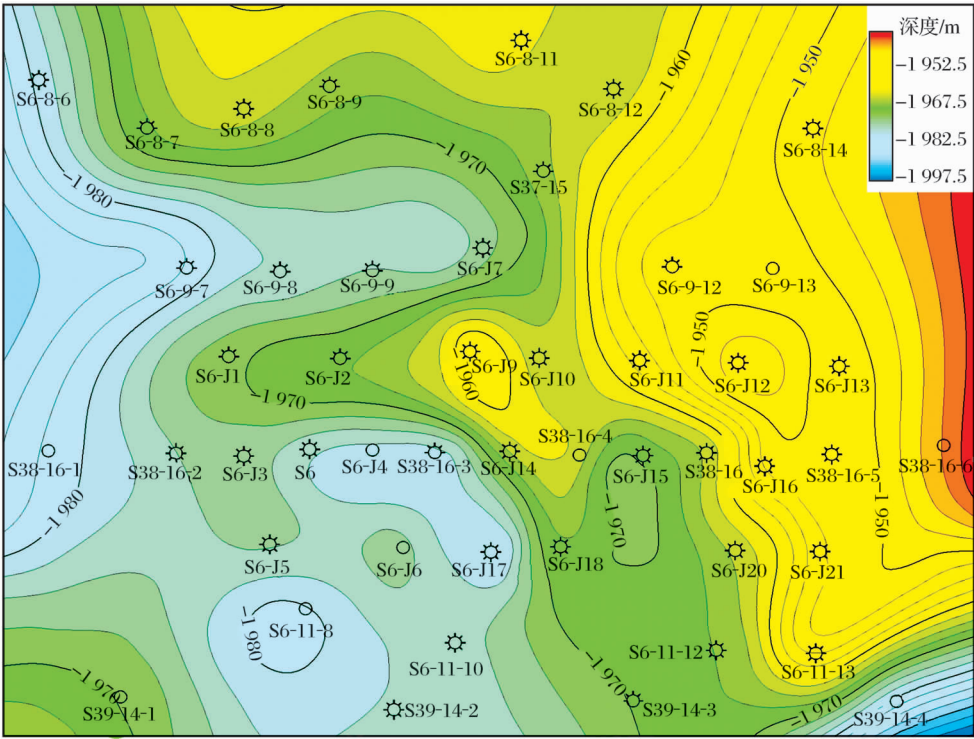


图3 盒8上油层组顶面构造特征

2.3 沉积模型

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,而且是影响储层非均质性及油气分布的主要地质因素^[11]。因此,沉积模型是苏6加密试验区块最重要的储层地质子模型之一。本次沉积模型的建立

是在高分辨等时地层格架划分的基础上,应用系统取心井资料,根据沉积的旋回性、岩性特征、泥岩的颜色、沉积构造、岩相及测井相等相标志,确定盒8上油层组为曲流河沉积环境,划分出点坝、河道滞留、天然堤、决口扇及泛滥平原等沉积微相,砂体呈条带状分布,横向尖灭快;盒8下油层组为辫状

河沉积环境,划分出心滩、辫状河道、天然堤和泛滥平原沉积微相,辫状水道和心滩砂体在垂向上叠置,平面上连片,分布广泛。在单井沉积微相划分的基础上,应用基于目标的模拟算法,得到了盒8段沉积微相空间分布模型(图4)。

2.4 储层属性模型

储层属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。储层属性模型是储层地质模型的核心^[12]。应用储层属性模型,可以准确界定有利储层的空间位置及其分

布范围,从而直接为气田开发方案的制定和调整提供地质依据。

本次储层属性模型的建立,是在地层格架、构造和沉积模型所构成的储层岩石框架内部,应用试验区49口井的测井资料二次数字处理结果,利用相控约束的方法,以地质统计学为手段,通过变差函数结构分析,应用先进的条件模拟技术,对井间储层孔隙度和渗透率的变化进行预测,分别得到孔隙度、渗透率空间分布的三维数据体,建立了储层属性的三维模型(图5)。

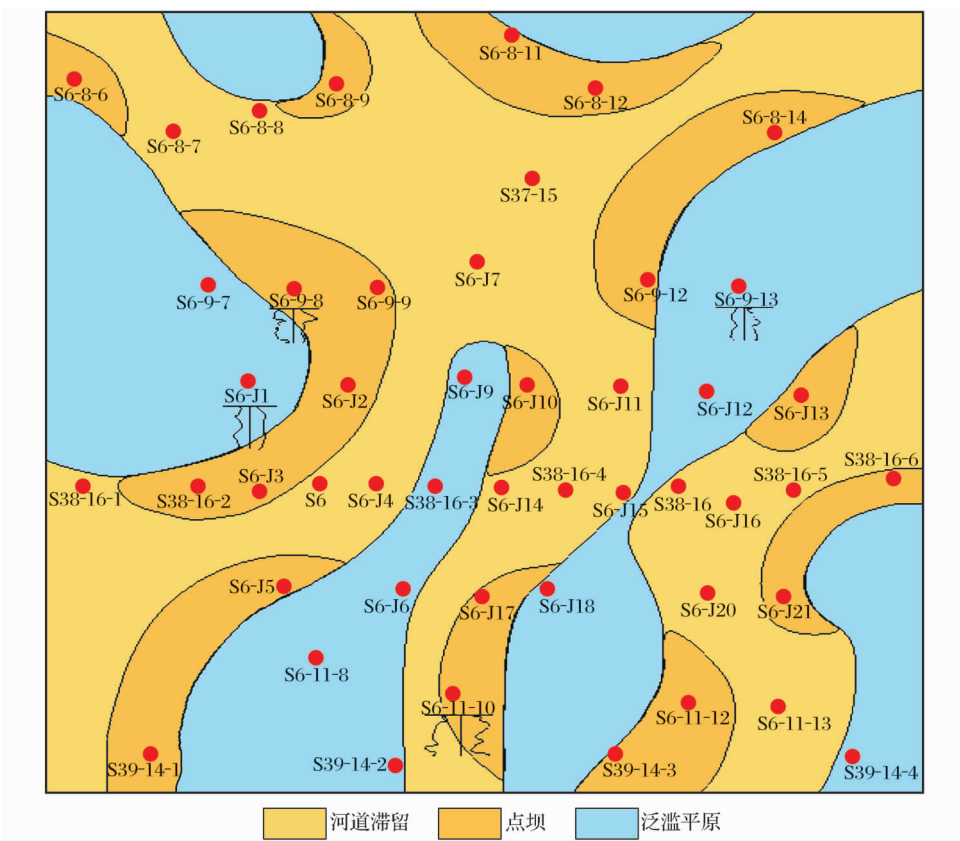


图4 盒8上油层组4小层沉积微相平面分布

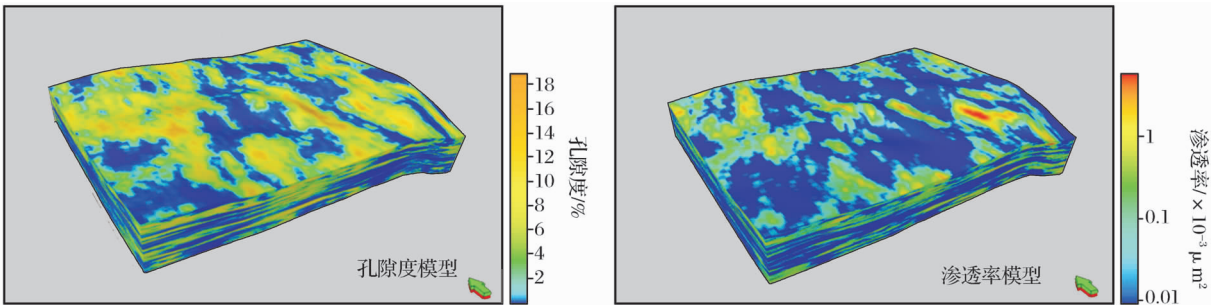


图5 盒8段储层三维模型属性

2.5 模型应用

应用储层三维地质模型,通过沿任意方向切取垂向和水平剖面,可以对储层进行定量评价,预测有

效储层的井间及平面分布。如图7为通过储层孔隙度三维模型切取的过井剖面。从图7可以直观地看出储层砂体的井间连通或尖灭情况,定量分析储层

物性的横向变化,准确地界定储层砂体的几何形态、延伸方向、分布范围等。以盒8上段储层砂体为例,储层砂体为曲流河河道滞留和点坝沉积微相,呈南北向带状展布,横向尖灭快。储层孔隙度分布范围为3%~15%,渗透率为 $(0.1\sim2)\times10^{-3}\mu\text{m}^2$,是典

型的低孔隙度、低渗透率储层。其中有效储层的孔隙度大于5%,渗透率大于 $1\times10^{-3}\mu\text{m}^2$,主要分布在河道的中心和点坝沉积微相中。因此,应用储层地质模型,可以直接预测有效储层的空间分布,为气田开发井网的部署和调整提供直接的地质依据。

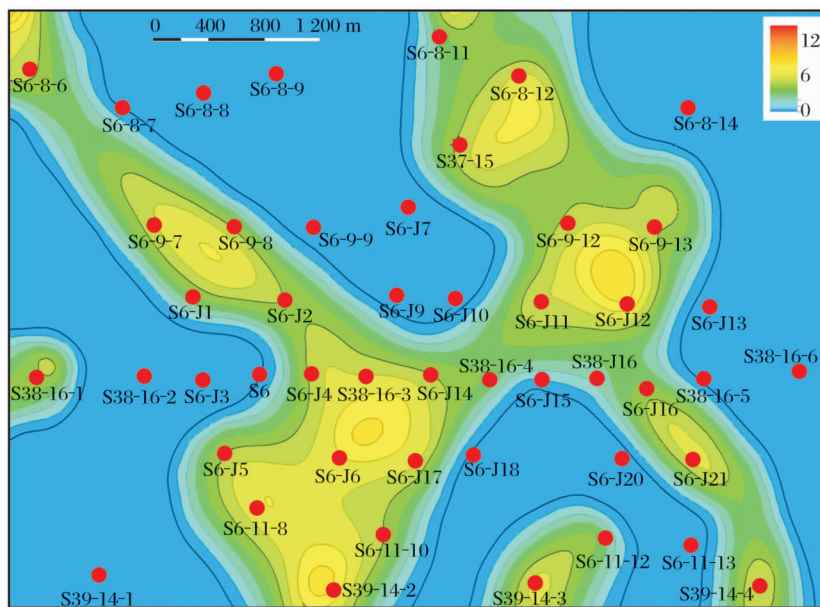


图6 盒8上油层组2小层储层孔隙度平面分布

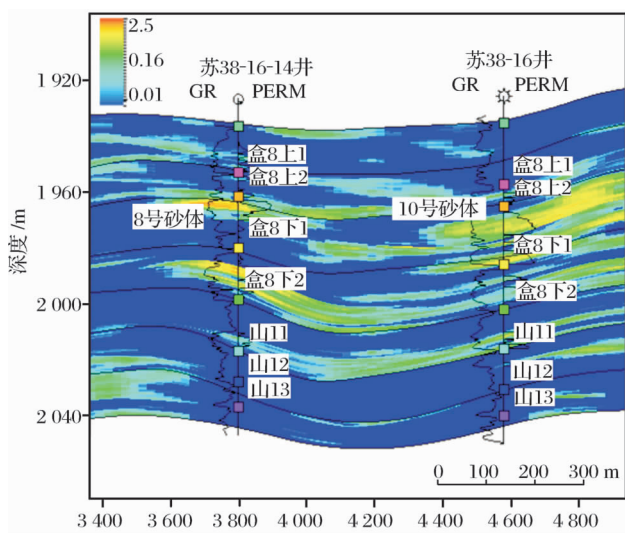


图7 盒8上油层组井间砂体连通剖面

3 模型精度检验

应用相控条件模拟法建立储层地质模型,确保了模型严格忠实于井点数据。因此,衡量模型的精度关键是预测的井间砂体的连通性及其物性变化是否符合地质实际。模型预测的井间砂体连通性是否准确可以用生产动态资料进行检验。图7所示为从模型中抽取的过苏38-16-4井和苏38-16井渗透率

剖面。从剖面上看直观地显示出了储层砂体的井间连通性及其物性的变化规律。苏38-16井生产半年,关井63 d,在盒8下1层段第10号砂体测得地层压力为19.7 MPa,而新钻的苏38-16-4井在同一地层的8号砂体地层压力为29.3 MPa,反映2口井砂体不连通或者物性差别极大,与储层地质模型基本吻合。包括上述井在内,总共应用研究区内的20对井进行了相似的砂体井间连通性生产动态分析,与模型预测结果吻合率达到85%以上,说明模型的精度是较高的。

4 结论

储层建模是现代油藏精细研究的必然要求。对于苏里格气田低渗透气藏来说,储层建模是进行有效储层空间预测的最为行之有效的方

(1)苏里格气田苏6加密试验区块盒8段储层砂体的沉积微相包括曲流河点坝、河道滞留、辫状河心滩以及辫状河道等,不同成因类型的砂体垂向上叠置,平面上连片,分布广泛,导致了储层物性横向变化快,非均质性强,有效砂体规模性小,分布复杂,制约着气田开发效果。

(2)通过对苏6加密试验区块的研究实践证明,按照相控储层建模的思想,应用随机模拟的方法,对

井间储层物性参数进行预测,直接得到井间物性参数的变化,继而依据储层物性参数的高低预测有效储层砂体空间分布,是对类似苏里格气田的低渗透河流相储层进行精细研究的行之有效的办法。

参考文献:

- [1] Yang Hua, Wei Xinshan. New progress achieved by natural gas exploration in Sulige area[J]. *Natural Gas Industry*, 2007, 27(12): 6-11. [杨华, 魏新善. 鄂尔多斯盆地苏里格地区天然气勘探新进展[J]. *天然气工业*, 2007, 27(12): 6-11.]
- [2] Liu Quanyou, Liu Wenhui, Xu Yongchang, *et al.* Geochemistry of natural gas and crude computation of gas-generated contribution for various source rocks in Sulige gas field, Ordos basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2007, 18(5): 697-701. [刘全有, 刘文汇, 徐永昌, 等. 苏里格气田天然气运移和气源分析[J]. *天然气地球科学*, 2007, 18(5): 697-701.]
- [3] Chen Fengxi, Wang Yong, Zhang Ji, *et al.* He-8 reservoir's favourable development blocks in Sulige gasfield, Ordos basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2009, 20(1): 94-99. [陈凤喜, 王勇, 张吉, 等. 鄂尔多斯盆地苏里格气田盒 8 气藏开发有利区块优选研究[J]. *天然气地球科学*, 2009, 20(1): 94-99.]
- [4] Chen Fengxi, Lu Tao, Da Shipan, *et al.* Study on sedimentary facies of braided stream and its application in geological modeling in Sulige gas field[J]. *Petroleum Geology and Engineering*, 2008, 22(2): 22-24. [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.]
- [5] Yin Zhijun, Yu Xingyun, Lu Guoyong. Sedimentary facies of 8th member of Shihezi Formation in block Su6 in Sulige gas field[J]. *Natural Gas Industry*, 2006, 26(3): 26-27. [尹志军, 余兴运, 鲁国永. 苏里格气田苏 6 井区块盒 8 段沉积相研究[J]. *天然气工业*, 2006, 26(3): 26-27.]
- [6] Deutsch C V. *Geostatistical Reservoir Modeling*[M]. Oxford: Oxford University Press, 2002: 153-187.
- [7] Yin Yanshu, Wu Shenghe. The progress of reservoir stochastic modeling[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2006, 17(2): 210-215. [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.]
- [8] Wu Shenhe, Zhang Yiwei, Li Shujun, *et al.* Geological constraint principles in reservoir stochastic modeling[J]. *Journal of China University of Petroleum*, 2001, 25(1): 55-58. [吴胜和, 张一伟, 李恕军, 等. 提高储层随机建模精度的地质约束原则[J]. *石油大学学报*, 2001, 25(1): 55-58.]
- [9] Yu Xinghe, Chen Jianyang, Zhang Zhijie, *et al.* Stochastic modeling for characteristics of petroleum reservoir constrained by facies[J]. *Earth Science Frontiers*, 2005, 12(3): 237-243. [于兴河, 陈建阳, 张志杰, 等. 油气储层相控随机建模技术的约束方法[J]. *地学前缘*, 2005, 12(3): 237-243.]
- [10] 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. [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.]
- [11] Smith R, Möller N. Sedimentology and reservoir modelling of the Ormen Lange field, mid Norway[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2003, 20(6): 601-613.
- [12] Wong P M, Shibli S A R. Modeling a fluvial reservoir with multi-point statistics and principal components[J]. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2001, 31(2): 157-163.

The Reservoir Geological Model Study of He8 Member, Su6 Infilling Well Experimental Area, Ordos Basin

HE Gang^{1,2}, YIN Zhi-jun³, TANG Le-ping⁴, JIAO Ting-kui⁴

(1. *Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China*;
2. *Exploration and Production Company, PetroChina, Beijing 100011, China*; 3. *State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China*;
4. *Exploration and Development Research, Changqing Oilfield Company, Xi'an 710021, China*)

Abstract: In order to predict the effective reservoir sandstone distribution of He8 Member, Su6 infilling well experimental area, Ordos basin, a reservoir geological model is built with the geological, logging and production data, including 4 submodels (formation skeleton model, structure model, sedimentation model and property model). According to the geological model, the depositional environment of He8 Member, Su6 infilling well experimental area is fluvial facies, the sandstone microfacies, which is composed of channel, point bar and channel bar. The sandstone with lace shape extends from north to south. The reservoir with porosity 3%—15% and permeability $(0.1-2) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ is typically low-porosity and low-permeability. Using the geological model, the space distribution of the effective sandstone of the experiment area can be predicted directly and accordingly provides the geological basis for the gas field development.

Key words: Reservoir modeling; Low-permeability; Effective reservoir; Su6 area; Ordos basin.