

文章编号: 1009-3850(2007)02-0082-06

镇泾地区延长组长 8 油层组基准面旋回 与储层非均质性的关系

王 峰, 田景春, 谭先锋, 陈 蓉

(成都理工大学 沉积地质研究院, 四川 成都 610059)

摘要: 本文运用高分辨率层序地层学理论, 对镇泾地区延长组长 8 油组储集砂短期基准面叠加样式以及储层非均质性特征进行分析, 建立了 6 种不同的非均质模式; 探讨了不同级别的基准面旋回对储层非均质性特征的控制作用, 短期旋回控制了储层的层内非均质性特征, 中长期旋回控制了储层的层间非均质性特征。

关键词: 镇泾; 上三叠统; 延长组; 高分辨率层序地层; 储层非均质性; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: P512.2

文献标识码: A

储层非均质性是指储层的基本性质(岩性、物性、电性及含油性)在三维空间上分布的不均一性, 对油气田的勘探和开发效果影响很大, 是储层评价和油藏描述的重要内容^[1]。储层非均质性宏观上受到古地理格局、地层格架和沉积相带的控制, 微观上受成岩作用和孔隙结构的影响。在三角洲前缘亚相中, 不同的微相组合构成的储集砂体在垂向上被分隔成不同的渗流单元, 这些渗流单元的非均质性特征与高分辨率层序地层地基准面旋回密切相关。CROSS T.A. 的高分辨率层序地层学理论是基于基准面旋回和可容纳空间变化原理, 揭示了短期基准面旋回与沉积动力学和地层响应过程的关系, 及其相对应的沉积微相演化序列、保存状况和有利储集砂体的发育位置和产出特征^[2,3], 从而在理论上对储层砂体的微相类型和非均质性特征的变化规律进行了合理的解释。本文运用高分辨率层序地层学理论, 详细分析了镇泾地区上三叠统延长组辫状河三角洲前缘储油砂体不同微相组合的短期基准面旋回特征及叠加样式, 对不同储集砂体的非均质性特征进行研究, 在等时格架内探讨了不同级别基准面旋回对储集砂体展布及其储层非均质性特征的控制作用。

1 地质背景

镇泾地区位于鄂尔多斯盆地西南部。延长组内陆湖盆沉积经历了一套完整的湖进—湖退过程, 长 10 段至长 7 段为湖进期, 长 6 段至长 2 段为湖退期。受印支晚期运动的影响, 延长期盆地南缘及西缘的同生构造活动频繁。特别是在延长组长 6 至长 8 油组沉积期, 因盆地南部不均衡沉降, 基底地形产生分异, 盆地西南部强烈下陷使边界斜坡变陡、水体明显变深。研究区发育的辫状河沉积体系, 广泛接受来自西南部和南部物源供给而沉积, 沉积条件复杂, 砂体类型多样。其主要储集砂体类型为水下分流河道、河口坝、“坝上河”、“河上坝”^[4]、远砂坝及浅湖砂坝。储层孔隙度为 2.0%~18.7%, 平均为 10.7%; 渗透率为 $(0.08 \sim 6.15) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均为 $0.481 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

2 短期基准面旋回结构类型

短期基准面旋回层序是根据钻井岩芯和测井曲线等实际资料所能识别的成因地层单元, 厚度普遍较薄, 一般为数米级至近十米级, 时间跨度为 0.14~

收稿日期: 2006-06-30

第一作者简介: 王峰, 1977 年生, 博士研究生, 主要从事储层沉积学研究。

0.25Ma,与Vail的V级层序(准层序或准层序组)级别相当,也是层序分析的基础^[9]。层序由彼此间具成因联系的若干单一岩性层或多个岩性韵律层(或最小成因地层单元)叠加组合而成,结构类型较多,变化较为复杂。依据短期基准面旋回结构类型及叠加样式,结合对取心段和测井曲线的研究,可在镇泾地区长8油组中识别出两大类4种短期基准面结构类型(表1)。

2.1 非对称型短期旋回

一个完整的基准面旋回在地层记录中由代表二分时间单元的完整地层旋回组成,也可仅由基准面二分时间单元的上升或下降部分组成。根据所处部位的不同,可将残缺的基准面旋回划分为向上变深和向上变浅两种非对称旋回。

1. 向上变深非对称型旋回

该类型主要发育在物源供给充分的三角洲前缘的水下分流河道沉积区,短期旋回以保存上升半旋回沉积记录为主,下降半旋回表现为冲刷缺失或发育不完整。砂体的底部常具明显的冲刷面,向上发育变细的沉积序列,按岩性组合和沉积序列特征,可细分为低可容纳空间和相对高可容纳空间两种亚类型(图1A、B)。低可容空间类型形成于 $A/S \leq 1$ 的沉积条件下,由多层砂岩叠置切割的水下分流河道砂体组成,单层砂体底部冲刷侵蚀作用强烈。在基准面缓慢上升过程中,沉积速率远大于基准面上升速率,砂体发生强烈的主动进积,仅保留下部较粗的沉积物。相对高可容空间类型形成于 $A/S < 1$ 的沉积条件下,由于基准面上升引起可容空间递增,物源供给减少,可容空间能容纳大部分沉积物,形成“二元结构”明显的完整水下分流河道储集砂体。

2. 向上变浅的非对称型旋回

该类型主要发育在三角洲前缘河口坝沉积区以及浅湖沉积区(图1C)。短期旋回以仅保留基准面下降半旋回的沉积记录,上升半旋回以欠补偿或无沉积记录间断面为特征。根据下降半旋回岩性组成

和厚度保存情况,同样可分为低可容空间和高可容空间两种亚类型。低可容空间型形成于沉积速率较快的河口位置,由多个向上变粗的河口坝砂体叠置而成;高可容空间型是由较细的远砂坝夹薄层泥岩或薄层河口坝组成。

2.2 对称型短期旋回结构

该类型旋回对基准面上升和下降的旋回都有保存,形成于A和S近于相等的条件下。根据短期基准面旋回叠置样式,可细分为以下两种基本类型。

1. 向上变深复变浅对称型旋回

该类旋回以湖泛面为对称轴,常表现为“河上坝”复合砂体,即下部为具“二元结构”的水下分流河道,上部是具反粒序的河口坝砂体的组合(图1D)。该类砂体组合形成于中期基准面上升过程中,可容空间增长速率接近于沉积物供给率($A/S \leq 1 \sim A/S \geq 1$)条件下,即沉积与沉降处于相对均衡或弱欠补偿条件下,保留了短期基准面上升期和下降期的沉积记录。在短期基准面上升期,可容空间递增,物源供给减少,可容空间能容纳大部分沉积物而形成水下分流河道砂体;短期基准面下降期,随着可容纳空间减小和沉积物供给量增多,沉积物粒度变粗而形成了反粒序的河口坝砂体。

2. 向上变浅复变深对称型旋回

该类旋回以短期旋回转换面为对称轴,常表现为“坝上河”复合砂体,即下部为具反粒序结构的河口坝,上部为水下分流河道的砂体组合(图1E)。该类砂体形成于中期基准面下降过程中,可容空间减小速率接近于沉积物供给速率($A/S \geq 1 \sim A/S \leq 1$)条件下或中期旋回由下降到上升的转换位置。下部的河口坝形成于先期旋回基准面下降晚期的强迫进积,即在基准面下降过程中,无论沉积物供给多少,岸线都会向湖盆方向迁移;上部的水下分流河道形成于后期旋回基准面上升早期的主动进积,即基准面开始缓慢上升过程中,沉积物的供给速率大于基准面的上升速率,而造成强烈的充填作用。由于基

表1 镇泾地区辫状河三角洲前缘砂体中期旋回A/S值变化对储集砂体组合的控制

Table 1 Controls of the A/S ratios on the reservoir sandstone associations in the medium-term cycles of the braided delta front reservoir sandstones in the Zhenjing region			
短期基准面旋回结构类型	短期旋回在中期旋回的叠加部位	中期A/S变化趋势	储层砂体微相组合
向上变浅非对称型旋回	中期旋回下降晚期	$A/S \leq 1 \sim A/S < 1$	叠加河口坝
向上变浅复变深对称型旋回	中期旋回下降中期	$A/S \geq 1 \sim A/S \leq 1$	“坝上河”复合砂体
中期旋回下降早期	中期旋回上升晚期	$A/S \geq 1$	浅湖砂坝
向上变深复变浅对称型旋回	中期旋回上升中期	$A/S \leq 1 \sim A/S \geq 1$	“河上坝”复合砂体
向上变深非对称型旋回	中期旋回上升早期	$A/S < 1 \sim A/S \leq 1$	叠加水下分流河道

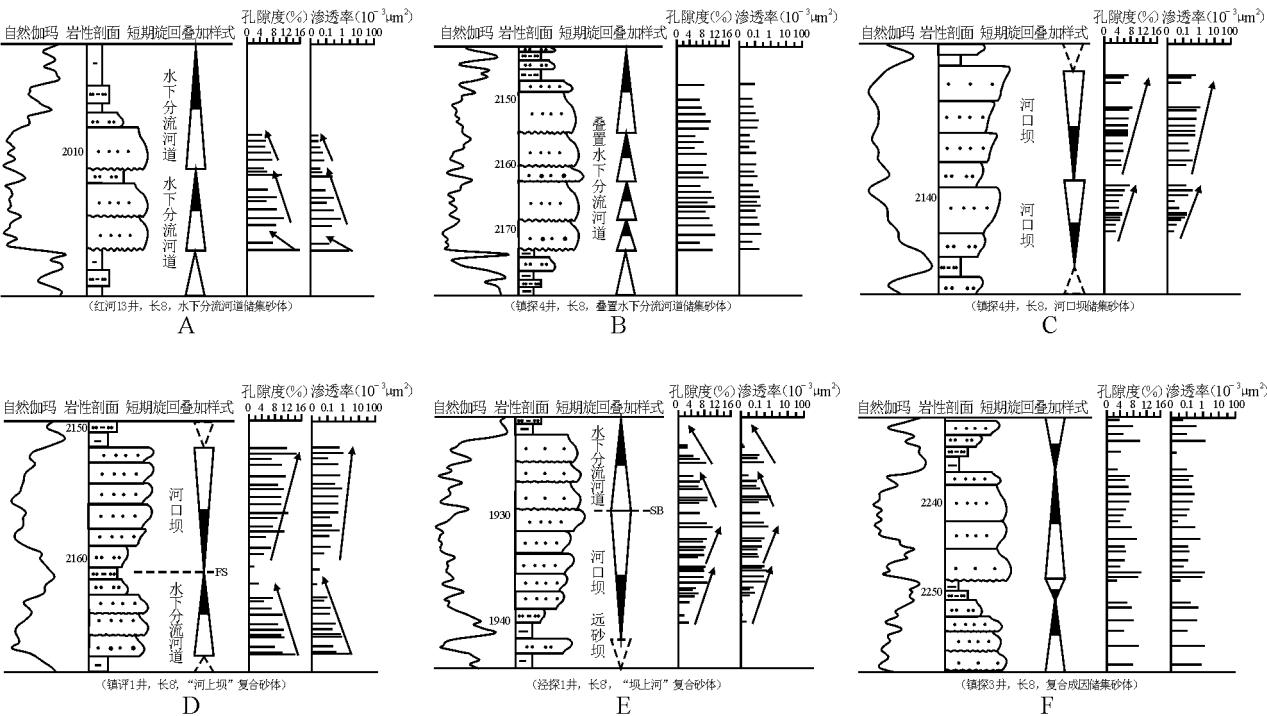


图1 镇泾地区辫状河三角洲前缘砂体储层非均质性模式与短期旋回剖面结构

A. 物性向上变差的非均质模式; B. 物性变化均匀的非均质模式; C. 物性向上变好的非均质模式; D. 物性向上变差复变好的非均质模式; E. 物性向上变好复变差的非均质模式; F. 物性变化复杂的非均质模式

Fig. 1 Heterogeneity models and short-term cyclic sections for the braided delta front reservoir sandstones in the Zhenjing region

A. Intraformational heterogeneity model showing that the physical properties are getting worse upsection; B. Intraformational heterogeneity model showing that there is not much change of physical properties upsection; C. Intraformational heterogeneity model showing that the physical properties are getting better upsection; D. Intraformational heterogeneity model showing that the physical properties are getting worse and then better upsection; E. Intraformational heterogeneity model showing that the physical properties are getting better and then worse upsection; F. Interformational heterogeneity model showing that the physical properties are changeable

准面由降向升转换时, 水下分流河道具有强烈的侵蚀冲刷作用, 会对先期沉积的河口坝顶部砂体进行改造, 因而二者接触面多表现为小型冲刷面。

3 储层非均质性与基准面旋回的关系

储层非均质性主要包括层内、层间和平面非均质性。深入研究储层非均质性, 对于了解剩余油的空间分布、提高采收率有重要意义。在垂向上, 不同级别的基准面旋回对层内和层间非均质性特征具有明显的控制作用。

3.1 层内非均质性模式与短期旋回的关系

层内非均质性是指一个单砂体在垂向上的储渗性质变化, 包括层内渗透率的剖面差异程度、高渗透率段所处的位置、层内粒度韵律、渗透率韵律及渗透率的非均质程度、层内不连续泥岩薄层的分布等^[1]。层内非均质性特征明显受控于地层的短期旋回叠加样式和沉积动力作用的演化过程(图1)。

1. 物性向上变差的层内非均质模式

该类模式主要发育于水下分流河道向水下天然堤转化的连续沉积序列中^[6], 短期旋回表现为高可容空间向上“变深”的非对称型(图1A)。在基准面缓慢上升过程中, 伴随着可容空间的递增和沉积物供给量的递减, 细粒物质带出量逐渐减小, 从而形成粒度由粗变细、分选作用变差和泥质含量逐渐增多的完整式水下分流河道成因砂体。优质的储集砂岩位于旋回中下部的较粗的河道砂体中(表2)。

2. 物性变化不大的层内非均质模式

该类储集砂体非均质性较弱, 主要发育在多层叠置的截削式水下分流河道中^[7], 短期旋回表现为低可容空间向上“变深”的非对称型(图1B)。在基准面缓慢上升过程中, 由于可容空间较低, 水道化砂体叠置过程中有很强的冲刷改造和分选作用, 导致每个水道砂体上部物性较差的细粒部分被侵蚀而仅保存较粗粒的部分, 砂体之间以冲刷面分隔, 物性变化不大。因而在多个物性较好的连续叠置砂体中, 物性总体显示出变化较均匀的相对均质型特征。

表 2 镇泾地区辫状河三角洲前缘砂体储集砂体物性特征

Table 2 Summary of the physical properties of the braided delta front reservoir sandstones in the Zhenjing region

井号	深度 /m	沉积微相	短期旋回叠加样式	岩 心 分 析 结 果			
				孔隙度 /%	渗透率 / $10^{-3}\mu\text{m}^2$	密度 / $\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}$	含油饱和度 /%
红河 6	1766.9~1774.8	浅湖砂坝	向上变浅复变深对称型旋回	$\frac{5.1\sim 9}{6.15}$	$\frac{1.05\sim 1.15}{1.11}$	$\frac{2.43\sim 2.55}{2.49}$	$\frac{9.7\sim 12.5}{1.03}$
红河 8	2040.3~2046.9	河上坝	向上变深复变浅对称型旋回	$\frac{6.9\sim 9.5}{8.23}$	$\frac{0.045\sim 0.25}{0.11}$	$\frac{2.42\sim 2.5}{2.46}$	
红河 12	2090.2~2097.5	水下分流河道	向上变深非对称性旋回	$\frac{7\sim 17.2}{14.45}$	$\frac{0.093\sim 1.43}{0.67}$	$\frac{2.23\sim 2.49}{2.3}$	
	2097.5~2101.9	水下分流河道		$\frac{2.4\sim 16.3}{12.84}$	$\frac{0.025\sim 0.701}{0.36}$	$\frac{2.27\sim 2.62}{2.37}$	
	2167.3~2176.3	河口坝	向上变浅非对称旋回	$\frac{6.1\sim 18.7}{13.34}$	$\frac{0.034\sim 3.43}{0.83}$		$\frac{9.12\sim 15.0}{12.05}$
镇探 1	2176.3~2182.1	远砂坝		$\frac{4.11\sim 10.1}{7.91}$	$\frac{0.014\sim 0.286}{0.084}$		

3. 物性向上变好的非均质模式

该类储集砂体主要发育于远砂坝-河口坝沉积序列中, 短期旋回表现为向上“变浅”的非对称型(图 1C)。形成于基准面下降到最低点位置时, 位于顶部的河口坝发生淘洗作用, 细粒物质被不断带走, 因而愈向上砂体的分选愈好。储集砂体主要为上部的河口坝砂体(表 2)。

4. 物性向上变差后复变好的层内非均质模式

该类储集砂体主要发育于水下分流河道向河口坝转化的复合储集砂体中。短期旋回叠加样式表现为向上变深复变浅的对称型(图 1D)。成因与基准面上升期先发育具有向上变深和粒度变细的退积序列, 后于下降期发育具向上变浅和粒度变粗的进积序列有关。对应对称型旋回结构的变化, 位于旋回下部和上部的砂体储层物性相对较好, 其中发育于上升半旋回中下部的砂体物性更好一些(表 2), 而对应湖泛面及两侧, 通常为泥质含量较高或钙质、硅质胶结强烈的隔层, 以隔层为分隔界线形成物性向上变差后复变好的非均质性模式。

5. 物性向上变好后复变差的层内非均质模式

该类储集砂体主要发育于河口坝向水下分流河道转化的复合储集砂体中。短期旋回叠加样式表现为向上变浅复变深的对称型(图 1E)。形成于基准面由下降到上升的转换阶段, 先期沉积物主要为物性向上变好的河口坝砂体, 在基准面下降时, 沉积物主要为物性向上变差的水下分流河道砂体。河口坝顶部砂体与水下分流河道底部砂体物性均较好, 不易区分, 二者叠置形成复合式河口坝砂体(表 2)。

6. 物性变化复杂的层间非均质模式

这类非均质性模式多为在垂向上不同的沉积微

相交替组合的结果(图 1F), 对应的储层结构为连续沉积的中—厚层状中—细粒砂岩中频繁地夹有泥质条带, 储层物性自下而上具有频繁地由好变差或由差变好的非均质性。推测储集砂体的几何形态为纵向、侧向和垂向延伸都受限的、连通性中等至较差的(或局部连通的)薄层状或透镜状砂体。

3.2 层间非均质性与中长期旋回的关系

层间非均质性是油田中宏观的、层次最低的非均质性, 它是指各砂层组内小层或单砂层之间的垂向差异性, 包括层组的旋回性、各小层或单砂层渗透率的非均质程度、隔夹层的分布等, 是对一套砂泥岩互层含油层系总体的研究, 属于层系规模的储层描述。中期旋回是在大致相同的沉积背景下形成的一套有成因联系的岩石组合。在中长期基准面旋回过程中, 随着 ΔS 值的变化, 砂体厚度及有效厚度、孔隙度、渗透率的分布特征也呈现出一定的规律性^[8]。

在基准面处于上升早期和下降晚期, 砂体具有最大厚度和有效厚度, 较高的孔隙度和渗透率; 而在基准面升降转换位置时, 砂体厚度和有效厚度较小, 孔隙度和渗透率的值也相应较低。以镇探 3 井为例, 长 8 油层组位于一个长期基准面上升半旋回内, 其中可划分出 3 个中期旋回(图 2)。随着长期基准面的上升, 水体逐渐加深, 沉积物供给量减少, 而可容空间逐渐增加, 使得 ΔS 值逐渐增大, 沉积物在沉积过程中, 同一地理位置后期中期旋回沉积较前期中期旋回的物性差、砂岩厚度小、沉积物粒度细、泥质含量高。MSC3 砂体密度为 0.68, 平均孔隙度为 12.6%, 渗透率为 $0.41\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。后期 MSC2 砂岩密度变为 0.31, 平均孔隙度为 8.4%, 渗透率为 $0.28\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。MSC3 时, 可容空间大于沉积物供

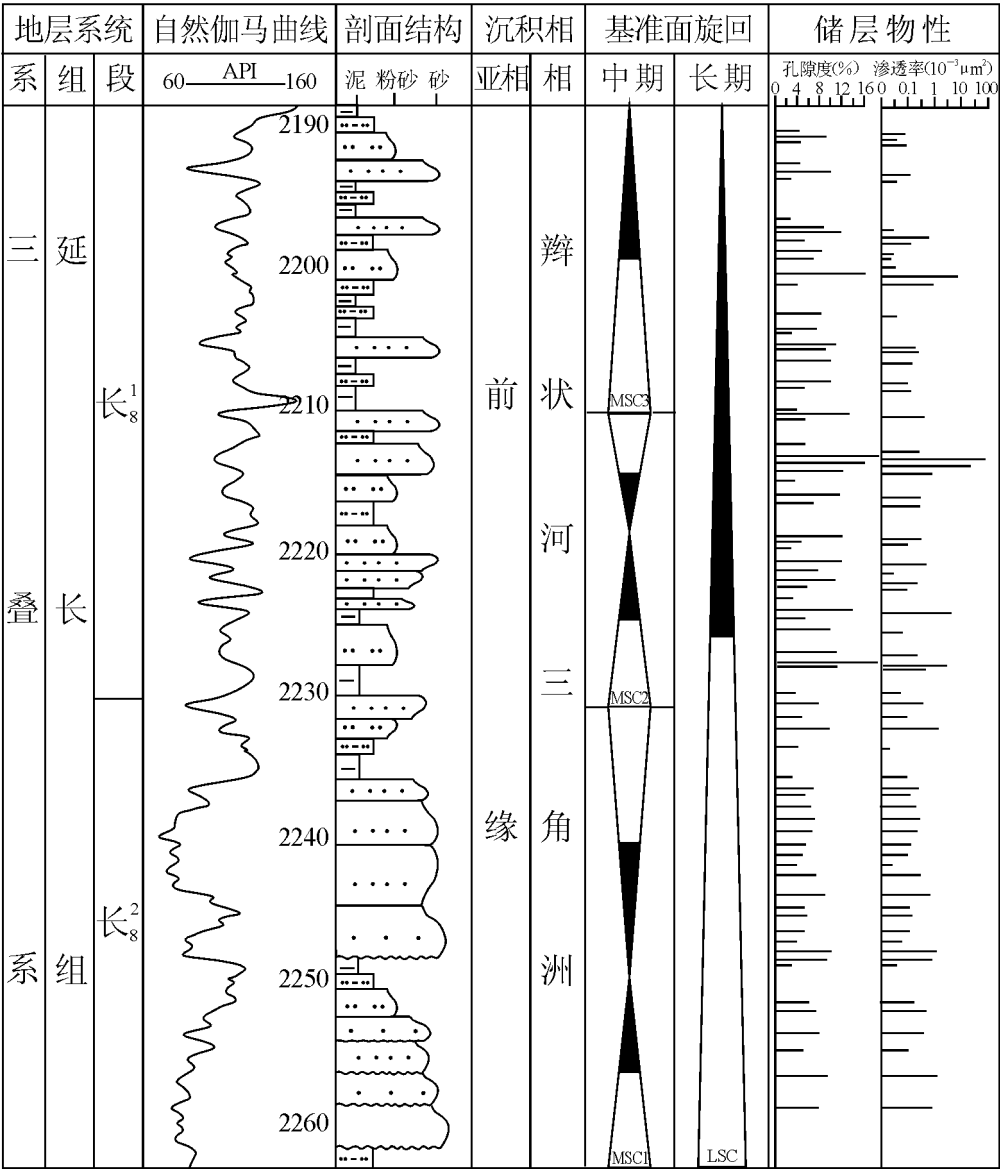


图2 中期基准面旋回内砂体的非均质性

Fig.2 Heterogeneity of the reservoir sandstones in the medium-term base-level cycles

给量, ΔS 值较大, 物源供应相对沉积空间供应不足的情况下, 可形成相对比较稳定的泥岩隔层, 而充填在可容空间中的远砂坝、浅湖砂坝等储集砂体的粒度明显变细, 厚度变薄, 储集物性变差。

4 结 论

镇泾地区延长组长8油组为一套砂、泥互层的组合类型, 储层非均质性较强, 其中层内和层间非均质性明显受基准面升、降和可容纳空间及沉积物供给量的变化影响。在基准面旋回变化过程中, 不同级次的基准面旋回的叠加控制了有利储集层段的展布, 具体表现为短期基准面旋回控制了储层的层内非均质性、中期基准面旋回及中期旋回在长期旋回

中的叠加部位决定了储层的层间非均质性特征。在中长期基准面较低部位, 储层发育良好, 而在中长期基准面旋回较高部位, 储层物性表现为相反的特征。从 ΔS 值的变化对储层的控制作用角度出发研究储层, 不仅可以提高储层描述的准确性, 同时也为储集砂体的厚度、岩石物性和出现的相关位置的预测提供一种可能。

参考文献:

[1] 伍友佳. 油藏地质学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004.
[2] 郑荣才, 尹世民, 彭军. 基准面旋回结构和叠加样式的沉积动力学分析[J]. 沉积学报, 2000, 18(3): 369—375.
[3] 邓宏文. 美国层序地层研究中的新学派——高分辨率层序地层

- 学. 石油与天然气地质, 1995, 16(2): 89—97.
- [4] 王峰, 王多云, 高明书, 等. 陕甘宁盆地姬塬地区三叠系延长组三角洲前缘的微相组合及特征[J]. 沉积学报, 2005, 23(1): 218—220.
- [5] 郑荣才, 彭军, 吴朝容, 陆相盆地基准面旋回的级次划分[J]. 沉积学报, 2001, 19(2): 249—255.
- [6] 杜春彦, 郑荣才. 陕北长 6 油层组短期基准面旋回与储层非均质性的关系[J]. 成都理工大学学报, 2004, 22(1): 73—78.
- [7] 李凤杰, 王多云, 宋广寿, 等. 陕甘宁盆地坳陷型湖盆缓坡带三角洲前缘短期基准面旋回与储层成因分析[J]. 沉积学报, 2000, 18(3): 369—375.
- [8] 谢俊, 张金亮. 法 21 断块储层非均质性研究[J]. 山东科技大学学报, 2003, 22(3): 10—13.
- [9] 范乐元, 朱筱敏, 等. 黄骅坳陷北大港构造带古近系沙河街组高分辨率层序地层格架及其对储层非均质性的控制[J]. JOURNAL OF STRATIGRAPHY, 2005, 29(4): 355—361.
- [10] 尹太举, 陈昊, 李中超. 濮城沙三中 6—10 特低渗油气藏非均质性研究[J]. 天然气地球科学, 2004, 15(5): 471—476.

The base-level cycles in the 8th oil reservoirs of the Yanchang Formation in the Zhenjing region, Ordos Basin: Its bearings to the heterogeneity of the reservoir sandstones

WANG Feng, TIAN Jing-chun, TAN Xian-feng, CHEN Rong

(Research Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

Abstract: The present paper deals, in the light of high-resolution sequence stratigraphy, with the stacking patterns of the short-term base-level cycles and the heterogeneity of the reservoir sandstones from the 8th oil reservoirs in the Zhenjing region, Ordos Basin. Six heterogeneity models are then constructed. The short-term base-level cycles have the dominant impact on the intraformational heterogeneity while the medium- and long-term cycles on the interformational heterogeneity of the reservoir sandstones.

Key words: Zhenjing; Upper Triassic; Yanchang Formation; high-resolution sequence stratigraphy; reservoir heterogeneity; Ordos Basin

巴基斯坦喜马拉雅以板块运动速度剥露的超高压榴辉岩

超高压榴辉岩产于全球许多造山带。这类岩石在俯冲和/或陆陆碰撞早期随陆壳的迁移形成于大于100km的深处。高压榴辉岩始见于巴基斯坦喜马拉雅和拉达克喜马拉雅, 这两处均位于印度缝合带以南的印度板块北缘(即主地幔断层, MMT)。前者的温压条件为 $650 \pm 50^\circ\text{C}$ 和13~18kbar。Sm-Nd 石榴子石-单斜辉石年龄显示的变质高峰期为 $49 \pm 6\text{Ma}$, Rb-Sr 多硅白云母和U-Pb 金红石年龄揭示的冷却时间分别为 $43 \pm 1\text{Ma}$ 和39~40Ma。后者温压条件为 $550 \pm 50^\circ\text{C}$ 和 $20 \pm 3\text{kbar}$ 。变质作用高峰期为 $55 \pm 12\text{Ma}$ (Lu-Hf法; 石榴子石-单斜辉石-金红石)、 $55 \pm 17\text{Ma}$ (U-Pb褐帘石)和 $55 \pm 7\text{Ma}$ (Sm-Nd法; 石榴子石-蓝闪石-金红石)。

印亚板块碰撞发生于51~49Ma, 印度陆壳主要边缘俯冲深度>100km, 时代为 $46 \pm 0.1\text{Ma}$, 即特提斯闭合之后数百万年及印亚板块碰撞演化的早期。据此推断Kaghan河谷单元剥露到35km深处的时间不晚于44Ma。对巴基斯坦北部Kaghan河谷含柯石英的超高压榴辉岩的研究表明, 其早期从100km的超高压变质深度快速剥露到大陆壳底部附近(35km深处), 为遭受缓慢的角闪岩相退化作用的剥露期。其含柯石英的超高压单元内锆石和褐帘石的U-Pb年龄证实, 印度板块北缘超高压变质作用高峰期为 $46 \pm 0.1\text{Ma}$, 温压条件为 $720 \sim 770^\circ\text{C}$ 和大于27.5kbar。金红石在低得多的压力下的退化生长发生于46.4Ma和44Ma左右, 表明榴辉岩在44Ma或更早期曾剥露到35km深处。如果在<2.5Ma内从含柯石英的深度(100km)剥露到35km深处, 意味着剥露速率为25~80km/Ma。在地幔内的剥露速率为30~80nm/yr或更大。与较快的板块速度相比已属极快。一旦被挟带到地壳底部, 榴辉岩从45Ma开始缓慢冷却, 与巴基斯坦喜马拉雅的角闪岩相片麻岩相似。由于缺乏浮力, 当Kaghan河谷单元到达下地壳和中地壳时, 其剥露速率明显降低。业已证明, 含显微金刚石和柯石英的超高压岩石剥露速率很快, 而Kaghan河谷超高压岩石剥露速率是最快的。

(王承书摘编译《Geology》, 2006, 34(11): 989—992.)