

# 东营凹陷南斜坡沙四段高频沉积 旋回对滩坝砂体的沉积控制作用

王冠民<sup>1</sup>, 高亮<sup>1</sup>, 林旭梅<sup>2</sup>, 王志坤<sup>1</sup>

(1 中国石油大学 地球资源与信息学院, 山东 东营 257062; 2 青岛理工大学 自动化工程学院, 山东 青岛 266520)

**摘要:** 在东营凹陷南斜坡的沙四段地层中, 常发育典型的湖相滩坝砂体沉积。详细观察表明, 这些滩坝砂体在垂向上常发育较为对称的高频基准面上升半旋回和下降半旋回, 且对滩坝砂体的沉积过程有明显的控制作用。通过测井曲线的频谱分析, 高频基准面的变化与米兰柯维奇轨道气候周期有着密切的关系, 而单砂体规模的滩坝砂体在平面展布上又有着明显的对称性。这些都表明滩坝砂体主要沉积在湖平面升降转换的相对稳定期, 同生断层活动产生的陡坎或隆起会有助于滩坝砂体的富集。可根据滩坝砂体的垂向沉积序列和组合方式来判断滩坝主体的分布位置。

**关键词:** 湖相滩坝; 高频旋回; 沉积模式; 横向预测; 东营凹陷

**中图分类号:** P618.130.2; TE122.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2008)01-0044-05

## High Frequency Cycles and it's Control Action to Lacustrine Shoal-Bar in the 4th Member of Shahejie Formation in Southern Slope of Dongying Depression

WANG Guan-min<sup>1</sup>, GAO Liang<sup>1</sup>, LIN Xu-mei<sup>2</sup>, WANG Zhi-kun<sup>1</sup>

(1. School of Earth Resources and Information, China University of Petroleum, Dongying 257062, Shandong, China;

2. School of Automation Engineering, Qingdao Technological University, Qingdao 266520, Shandong, China)

**Abstract** Typical lacustrine shoal-bar sand body develops in the 4th member of Shahejie Formation in Wang 73 well field of Dongying Depression. Relatively symmetrical half cycles of base level of deposition often develop in vertical sequence of strata containing lacustrine shoal-bar sand body, and the change of high frequency base level of deposition controls the sedimentary process of shoal-bar sand obviously. By spectrum analysis to bore log, it is found that the change of high frequency base level of deposition is related to Milankovitch cycles closely, and the plane distribution of single shoal-bar sandstone layers is symmetrical. These characters show that lacustrine shoal-bar sand body deposit at a relative period of the transform process of base level of deposition when steep gradient or uplift due to the action of contemporaneous fault can conduce to deposition and accumulation of shoal-bar sand. The distribution of main shoal-bar sand body can be forecasted by vertical sedimentary sequence and association.

**Key words:** lacustrine shoal-bar sand; high frequency cycle; sediment model; horizontal forecast; Dongying Depression

## 0 引言

碎屑滩坝相沉积是陆相断陷湖盆缓坡带滨浅湖

区常见的一种沉积类型。碎屑湖泊滩坝砂体主要见于湖泊边缘、湖中局部隆起和湖湾等处的缓坡滨浅湖地区, 经湖浪、湖流搬运、淘洗然后沉积而成<sup>[1-3]</sup>。

收稿日期: 2007-08-20

基金项目: 山东省自然科学基金项目(Y2007E11); 中国石油大学(华东)博士基金项目

作者简介: 王冠民(1969-), 男, 吉林桦甸人, 副教授, 博士, 从事沉积与储层学教学与研究。E-mail: wgm-lxm@163.com

©1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



层中得到了验证,而气候变化则是引起盆地沉积基准面变化的重要原因之一。

20 世纪 80 年代以来,稳定地层中的高频旋回的成因被越来越多的研究成果证明是与米兰柯维奇轨道旋回所驱动的全球气候变化密切相关的<sup>[7-14]</sup>,米氏轨道旋回周期正成为探讨地层形成和古环境演化的重要手段,并在近年来被逐渐应用到陆相盆地中<sup>[12-14]</sup>。

目前米兰柯维奇旋回理论在陆相盆地中的应用主要是通过沉积旋回(或从测井曲线所反映的不同级别旋回)之间叠加关系的角度来实现的<sup>[12-14]</sup>,如果不同级别的高频旋回确实属于米兰柯维奇控

制,那么旋回之间的厚度叠加关系应该与不同轨道周期的叠加比例关系是相似的。

为了进一步研究旋回变化与滩坝砂体展布的对对应关系,对王家岗地区沙四段接近滩坝砂体的自然伽马测井曲线数据进行快速傅立叶变换,将曲线数据的时间(对应于深度)领域转换到频率领域,得出该井的频谱曲线<sup>[12-14]</sup>。由此通过数学变换,将测井曲线分解成一些彼此相互独立的不同周期(直接表现为地层旋回厚度)的旋回及其出现频率。由于不同井的测井曲线组合不同,部分井的测井曲线采用的是 COND、浅电阻率、声波时差等对岩性变化灵敏的曲线(表 1)。

表 1 王73~王66 井区沙河街组不同周期地层旋回厚度和厚度比

Tab. 1 Stratigraphic Thickness and Ratio of Various Cycles of Shahejie Formation in Wang 73 Well Area								
井号	井深/ m	偏心率	地轴倾角			D 旋回	岁差	
		A 旋回	B 旋回	C 旋回	E 旋回		F 旋回	
草36 *	1 070~1 120	3 2		1 330	0 840	0 670	0 590	
		1	/	0 417	0 263	0 209	0 185	
通41 *	1 280~1 400	4	2	/	1 330	1	0 8	
		1	0 5	/	0 333	0 25	0 2	
王斜141	1 332~1 532	8	/	3 2	/	2	1 330	
		1	/	0 4	/	0 25	0 167	
王112	1 488~1 569	4	2 29	1 6	/	0 84	0 76	
		1	0 57	0 4	/	0 21	0 19	
王730	1 199~1 399	5 33	2 67	/	1 6	1 33	1	
		1	0 5	/	0 3	0 25	0 19	
王732	1 352~1 422	4	2	/	/	1	0 8	
		1	0 5	/	/	0 25	0 2	
王73-斜 1	1 343~1 425 4	8 01	/	/	2 290	1 780	1 230	
		1	/	/	0 285	0 222	0 154	
王66	1 585~1 775	8 01	/	/	/	1 780	1 230	
		1	/	/	/	0 222	0 154	

注:/ 为该井没有显著周期; \* 为该井位于主断层的上盘; 各旋回对应的数值表示: 上部为旋回厚度/m, 下部为各旋回与偏心率旋回的比值

根据 Berger 等计算的地质历史时期米兰科维奇旋回周期的变化<sup>[13]</sup>,可知全新世时的偏心率周期恒定不变,为 100 ka;地轴倾角周期 54 0.41.0 ka;岁差周期为 23.0、19.0ka;三者之间的比率为 1 :0.54 :0.41 :0.23 :0.19。

从表 1 中可以看出,本次计算的测井结果中,B 旋回与 A 旋回的比值变化为 0.50~0.60,与对应的米兰科维奇旋回偏心率周期和地轴倾角长周期之比 0.54 的误差不超过 7.4%;C 旋回与 A 旋回的比值变化为 0.417~0.40,与对应的米兰科维奇旋回偏心率周期和地轴倾角短周期之比 0.41 的误差不超过 1.7%;E 旋回与 A 旋回的比值变化为 0.21~0.25,与对应的米兰科维奇旋回偏心率周期和岁差长周期之比 0.23 的误差不超过 8.7%;F 旋回与 A 旋回(王73-斜 1 和王66 井除外)的比值变化为 0.167~0.20,与对应的米兰科维奇旋回偏心率和岁差短周期之比 0.190 的误差不超过 12.1%。

将分析结果结合本区相关构造,得出以下认识:

(1)该井区的高频沉积旋回与米氏周期的偏心率、地轴倾角和岁差旋回存在一定的成因联系,其中岁差旋回更发育,这很可能与岁差旋回周期较短、在沉积地层中更容易保存有关。

(2)断层两侧上下盘的地层相比,高频旋回尽管都与米氏周期有关,但上盘的沉积厚度普遍偏小,下盘的厚度普遍偏大。表明下盘除了以气候作为沉积的主控因素以外,还存在着明显偏快的构造沉降影响。而研究区同生断层的活动方式,应该属于周期性不明显的稳滑,否则断层间歇性

幕式沉降的结果, 会影响沉积旋回的数量、周期变化与垂向叠加方式, 造成与米氏旋回叠加比例关系的不符。

### 3 滩坝砂体的平面展布特征

为了进一步确定研究区高频旋回对滩坝砂体的沉积控制作用, 经过精细的砂体对比, 将王73井区沙四段的滩坝砂体划分为10个厚度在3~6 m的

单个砂层。每个单砂层的平面展布形态均以数量不等、大小不一的条带状砂体为主, 平行于湖岸(图 2), 并且这些砂体在平面上都远离三角洲等物源, 代表了受波浪、湖流改造后的沉积特点。根据砂体厚度、曲线形态和砂体的平面展布, 可以将研究区的砂体进一步分为滩坝主体、滩坝边缘(包括滩坝前、滩坝后)、坝后泻湖或湖湾、滨浅湖等亚相和微相类型。

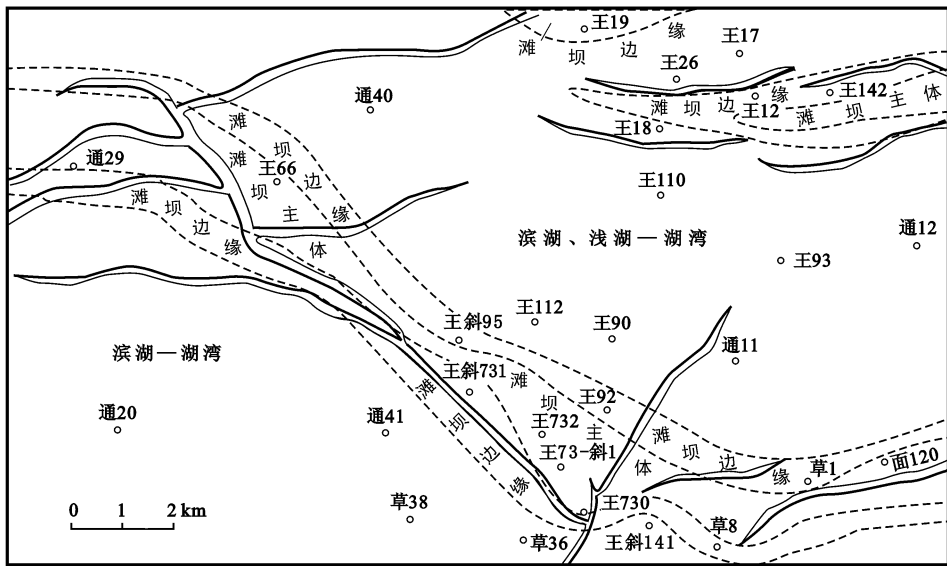


图 2 王73井区沙四段四砂组3小层沉积相平面展布

Fig. 2 Distribution of Sedimentary Facies of the Subzone 3 in the 4th Member of Shahejie Formation in Wang 73 Well Area

通过对10个小层的统计, 这些滩坝砂体在平面上具有如下特征:

(1)滩坝砂体的主沉积区与断层密切相关, 多数沿王730~王66断层一线展布, 表明因断层活动造成的水下隆起或陡坡是促使滩坝砂体沉积的有利场所。

(2)在研究区的北部王142、王19等井区, 同样也有滩坝砂体的发育, 与研究区南部的主砂体沉积区构成对应关系。只不过北部的滩坝砂体厚度一般偏小, 而且平面上不同小层的滩坝砂体分布位置常在王110~王19井之间频繁变化。

滩坝砂体的南北向对应关系, 反映了沉积基准面有规律的波动升降过程, 在基准面的升降转换阶段, 湖平面升降的高点和低点能够在一定时期内保持相对稳定, 有利于滩坝砂体的沉积。

从另一个角度看, 沉积基准面的这种稳定波动, 以气候的周期性变化作为主控因素来解释也显得最为合理。

### 4 滩坝砂体的沉积模式与横向预测

在盆地储层砂体描述越来越精细的现在<sup>[15-16]</sup>, 滩坝砂体的横向准确预测无疑会更有意义。根据沙四段滩坝砂体10个单砂层的平面沉积展布规律, 可以得出滩坝砂体的沉积模式(图 3): 湖相滩坝砂体的发育与沉积基准面(主要是湖平面)的波动升降密切相关。滩坝砂体的发育尽管与波浪作用直接相关, 但更需要一个较稳定的湖岸位置。在湖平面由上升转为下降的拐点附近, 湖平面会出现相对短暂的较稳定期, 使湖平面在高点附近比较容易发育滩坝砂体。在该过程中, 当湖平面上升速率明显减慢接近最高点时, 波浪开始冲刷湖岸并发育滩坝砂体, 此时滩坝砂体是逐渐向岸方向退积的; 而在湖平面由最高点开始缓慢下降时, 滩坝砂体则是逐渐向湖泊方向进积的, 并逐渐随着湖平面后期的快速下降而减薄乃至消失。

同样在湖平面由下降转为上升的拐点附近, 在

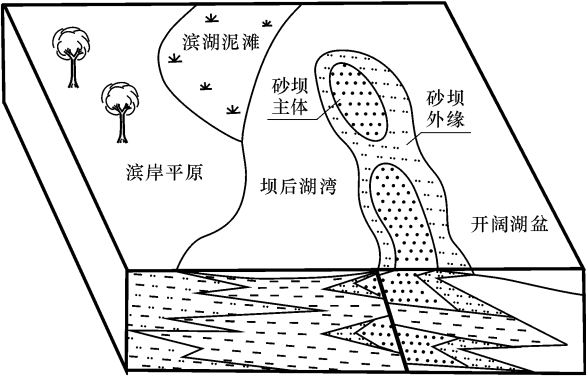


图 3 沙四段滩坝砂体在古湖盆高点处的沉积模式

Fig. 3 Sediment Model of Lacustrine Shoal-Bar Sand Body at Highstand of the 4th Member of Shahejie Formation in Study Area

靠近盆地内部也会发育相应的滩坝砂体, 其沉积过程和空间砂体形态与前述过程刚好相反。

如果在湖平面升降过程中, 遇到因正向同生断层形成的地表陡坎, 则陡坎会使湖岸线在一定时期内变得相对稳定, 陡坎下较深的水体又有利于产生较强的波浪, 会进一步促使滩坝砂体的发育。

5 结语

(1)研究区沙四段的超短期沉积旋回(VI 级旋回)尽管在不同的钻井中厚度不同, 但都明显与米兰柯维奇轨道气候周期有关, 构造沉降的叠加可使下降盘的相应旋回厚度明显加大。

(2)超短期沉积基准面的变化主要由湖平面的相对变化产生的。滩坝砂体主要沉积于相对湖平面升降变化的拐点附近, 使得在平面上相对湖平面的高点和低点附近滩坝砂体呈对应分布。另外同生断层形成的陡坎的存在也会促使滩坝砂体发生堆积。

(3)超短期沉积基准面变化旋回中, 上升半旋回和下降半旋回都比较发育, 而滩坝砂体又主要发育于湖平面相对稳定期的湖岸位置。所以从控制滩坝砂体沉积的因素和滩坝砂体的沉积方式来看, 不仅可以利用滩坝砂单砂体的垂向沉积序列组合

来预测滩坝主砂体的空间分布, 而且还可以利用古构造和基准面旋回变化预测滩坝砂体的横向展布。

参考文献:

[ 1 ] Christopher H, Brian G. Hydrodynamics and Sediment Transport within the Inner Surf Zone of A Lacustrine Multiple-Barred Nearshore[ J]. Marine Geology, 2005, 218: 37-63.

[ 2 ] 朱筱敏, 信荃麟, 张晋仁. 断陷湖盆滩坝储集体沉积特征及沉积模式[ J]. 沉积学报, 1994, 12(2): 20-27.

[ 3 ] 周丽清, 邵德艳, 房世瑜, 等. 板桥凹陷沙河街组滩坝砂体[ J]. 石油与天然气地质, 1998, 19(4): 351-355.

[ 4 ] 郝运轻, 边雪梅, 王德坪, 等. 东营凹陷王 46 井孔二段暗色泥岩沉积环境[ J]. 地球科学与环境学报, 2006, 28(3): 45-47.

[ 5 ] Berger A. Milankovitch Theory and Climate[ J]. Reviews of Geophysics, 1988, 26: 625-657.

[ 6 ] 徐道一. 地层的天文对比方法[ C] //吴瑞棠, 张守信. 现代地层学. 武汉: 中国地质大学出版社, 1989.

[ 7 ] Balog A, Haas J, Read J F, et al. Shallow Marine Records of Orbitally Forced Cyclicity in a Late Triassic Carbonate Platform, Hungary[ J]. Journal of Sedimentary Research, 1997, 67(4): 661-675.

[ 8 ] Pasquier J B, Strasser A. Platform-to-Basin Correlation by High Resolution Sequence Stratigraphy and Cyclostratigraphy (Berriasian, Switzerland and France)[ J]. Sedimentology, 1997, 44(6): 1071-1092.

[ 9 ] 张海军, 王训练, 丁林, 等. 陕西镇安西口石炭一二叠界界线剖面蜓类生物多样性与高频海平面变化[ J]. 中国科学: D 辑, 2006, 36(3): 233-241.

[ 10 ] 郝维城, 白顺良, 江大勇. 法门阶上部米兰柯维奇旋回在中国发育的一致性[ J]. 科学通报, 2000, 45(15): 1654-1659.

[ 11 ] 梅宪相, 梅仕龙. 华北中寒武世张夏组复合海平面变化旋回层序[ J]. 沉积学报, 1997, 15(4): 5-9.

[ 12 ] 张小会, 赵重远. 鄂尔多斯盆地三叠统延长组米兰柯维奇旋回的确定[ J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(4): 372-375.

[ 13 ] 齐永安, 刘保民, 崔建国. 米兰柯维奇旋回及沉积作用[ J]. 焦作工学院学报, 1998, 17(5): 331-334.

[ 14 ] 吕炳全, 王红罡, 赵会民, 等. 主频计算法对测井曲线沉积旋回的精细分析[ J]. 海洋地质动态, 2002, 18(4): 27-30.

[ 15 ] 吴诗勇, 李自安. 精细地质研究现状及发展趋势[ J]. 地球科学与环境学报, 2006, 28(2): 58-63.

[ 16 ] 钱杰, 冯文光, 董志林. 大庆萨尔特中部油田主力油层单元间夹层发育特征[ J]. 地球科学与环境学报, 2005, 27(3): 23-25.