

文章编号: 0253-9985(2004)05-0491-05

层序地层构成与层序控砂、控藏的自相似特征 ——以三角洲-浊积扇体系为例

邓宏文, 王红亮, 王居峰, 谢晓军, 苏宗富, 尚尔杰

(中国地质大学, 北京 100083)

摘要: 受不同级次基准面旋回控制, 沉积盆地地层具有明显的旋回性和旋回的多级次性。不同级次的沉积旋回具有自相似性特征。陆相盆地大型三角洲-浊积体系层序地层划分与构成分析表明, 沉积旋回的自相似性导致不同级次层序的沉积相构成与储层分布规律的自相似特征。与三角洲大规模进积作用伴生的浊积成因的“低位扇”通常紧邻长期基准面旋回(三级层序)底界面分布; 在长期旋回内部, 具有一定规模的浊积扇体同样出现在中期基准面旋回上升早期, 沿中期旋回(四级层序)底界面分布。层序地层构成的自相似性特征导致与大型三角洲沉积体系伴生的浊积成因砂体乃至岩性圈闭油藏分布的自相似性。

关键词: 高分辨率层序; 沉积旋回; 砂体分布; 油藏分布; 自相似性

中图分类号: TE111.3 文献标识码: A

Self-similarity of constitution of sequence stratigraphy and distribution of sandbodies and lithologic reservoirs: taking delta-turbidite fan system as an example

Deng Hongwen, Wang Hongliang, Wang Jufeng, Xie Xiaojun, Su Zongfu, Shang Erjie

(China University of Geosciences, Beijing)

Abstract: Strata in sedimentary basins are characterized by remarkable multistage cyclicity, due to the control of multi-stage base-level cycles. Sedimentary cycles in different stages have certain self-similarities. Sequence stratigraphic analysis of large delta-turbidite systems in terrestrial basins indicates that self-similarity of sedimentary cycles would result in the self-similarity of sedimentary facies and reservoir distribution of sequences in different stages. Low-level fan of turbidity genesis, formed in the lowstand system tract and associated with large-scale progradation of delta, are generally adjacent to the lower boundary of long-term base-level cycle (third-order sequence). Within the long-term cycle, turbidite fans of certain scale also occur during the early rising of medium-term base-level cycle, and are distributed along the lower boundary of medium-term cycle (fourth-order sequence). The self-similarity of sequence stratigraphy leads to the self-similarity of distribution of turbidity sand bodies and lithologic reservoirs that are associated with large scale delta sedimentary systems.

Key words: high resolution sequence; sedimentary cycle; distribution of sandbody; distribution of oil reservoirs; self-similarity

国内外勘探实践证明, 层序地层学分析技术是寻找隐蔽圈闭的有效手段^[1]。源自被动大陆边缘海相盆地三级层序体系域构成模式为盆地范围内沉积体系与沉积相时空演化以及不同成因类型储层分布规律与预测研究提供了科学依据。以体系域构成模式为基础的“低位域”控砂、控藏理论

已被海相和陆相盆地油气勘探所证实^[2]。随着油气勘探的深入与勘探难度的增加, 油气勘探和田滚动开发对储层预测精度的要求越来越高。三维地震采集与计算机处理技术的日新月异为油田或油藏规模的储层精细预测提供了可靠的资料基础。以岩心、钻/测井、三维地震资料为基础的高

基金项目: 中国石油化工集团公司勘探先导项目“中国东部高精度层序地层及岩性油藏勘探理论研究”

第一作者简介: 邓宏文, 女, 58岁, 教授(博导), 层序地层学

收稿日期: 2004-08-23

分辨率层序地层理论与分析技术为三级层序内部不同沉积环境内高频层序的构成模式研究和砂体分布精细预测提供了可能性。

本文在对济阳拗陷东营凹陷三角洲- 浊积扇体系高分辨率层序地层以及储层分布规律研究过程中,发现不同级次层序的构成具有明显的自相似性特征。这种自相似性导致不同级次层序内砂体分布规律及岩性圈闭油气藏分布的自相似特征。

1 沉积学基础

海(湖)盆沉积充填过程中,构造沉降的幕式性、海(湖)平面变化的旋回性与气候改变的周期性导致盆地沉积地层的旋回性以及旋回的多级次性。陆相盆地构造运动强烈,沉积体系近源分布,受气候影响明显,沉积相复杂、相分异性差、相变快,但地层的旋回性和旋回的多级次性仍很明显,特别是大型湖盆。即使在以河流冲积相为主的陆相盆地中,基准面变化旋回及其伴生的可容纳空间增减旋回同样导致地层的旋回性和沉积旋回的多级次性。陆相盆地充填地层的旋回性和旋回的多级次性是源于海相盆地的层序地层理论与分析方法可以应用到陆相盆地的根本所在。

沉积学家已发现,不同级次的沉积旋回具有明显的自相似特征^[3]。较高级次沉积旋回的构成、砂体的成因类型与砂体分布特征与其在低级次旋回内部所处的位置密切相关。由此根据较高级次沉积旋回所处的位置和旋回构成特征可以推断其所属的低级次沉积旋回的构成特征。

图1表明了河流- 冲积相沉积旋回构成的自相似性。可以看出,相组合、相序及旋回对称性在短期旋回和较长期旋回内的自相似特征十分明显。以泛滥平原和泛滥盆地泥岩为主的对称的短期旋回多发育在较长期旋回基准面上升到下降转换处的最大可容纳空间位置(图1A);以基准面上升早期相互切割叠置的河道砂岩为主的不对称的短期旋回多出现在对称或不对称较长期旋回基准面上升早期的最小可容纳空间位置(图1C);无序的决口扇和泛滥平原构成的以基准面上升为主的不对称短期旋回常发育在较长期不对称的基准面旋回上升期的顶部(图1B);以厚层、有序的决口扇复合体和泛滥平原为主的短期基准面下降半旋回多发育在处于中等可容纳空间的较长期旋回的基准面下降半旋回中(图1D)。由上述特征可以看

出,不同级次的旋回在旋回的对称性和相组合上具有自相似性。同时,不同级次的旋回相组合的相对比例以及相序叠加样式也具有相似特征。沉积旋回的这种自相似性可以用来进行沉积相分布的预测,比如,如果短期旋回发育河道相- 决口扇相- 泛滥平原相序,可以预测,其所属的以河道砂岩为主的较长期旋回的上部将依次被决口扇和泛滥平原所代替。

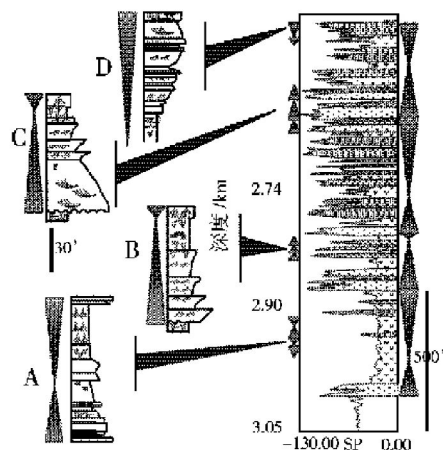


图1 河流相沉积旋回的自相似性特征

Fig. 1 Self-similarity of fluvial sedimentary cycles

三角洲沉积旋回的自相似性更加明显。济阳拗陷东营凹陷东部沙河街组沉积时期发育的大型三角洲体系为典型的以进积作用为主的三角洲体系。在沙河街组三段一二段二级层序发育过程中,由于基底沉降速率和沉积物补给速率相对大小的变化形成4个长期基准面旋回(三级层序)。长期旋回内部由于湖水扩张与收缩或三角洲进退又形成高频旋回,即中期旋回或短期旋回。不同级次旋回的构成具有相似性,以长期旋回LSC3为例(图2)。该旋回为明显的以基准面下降期相互叠置的河口坝构成的不对称旋回。可以看出,构成该旋回的中、短期旋回也以基准面下降期形成的河口坝沉积为特征。在LSC3旋回发育过程中,随着三角洲进积作用的增强,自下而上中、短期旋回的不对称性增加。处于长期旋回基准面上升到下降转换处(最大湖泛期)的中、短期旋回略具对称性,发育湖侵期泥岩段。随着长期基准面旋回的下降,短期旋回的对称性逐渐变差。处于长期旋回基准面下降晚期的中、短期旋回则具明显的不对称结构,仅由代表基准面下降期的河口坝“准层序”构成。

三段上亚段长期基准面旋回的底部,构成三级层序“低位域”沉积。在其下部的长期旋回内发育的数个规模略小的浊积扇体,规模较大者均处于中

期基准面上升期,靠近中期旋回底界面分布^[4,5]。由此可以看出,中期旋回砂体分布的层序地层位置与其所在的长期旋回相似(图3)。

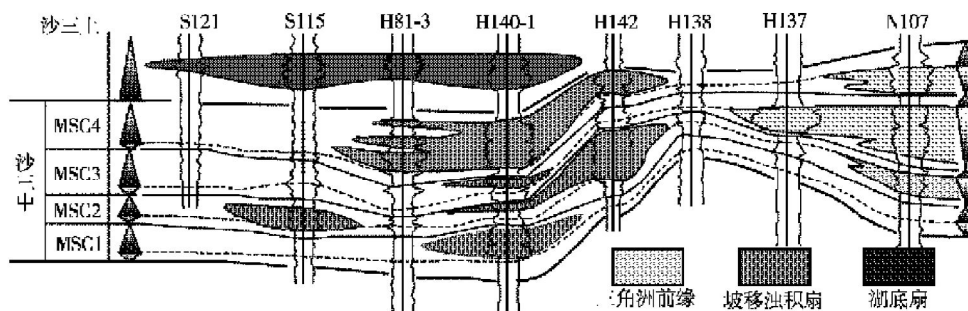


图3 三角洲-浊积扇体系层序地层控砂砂岩的自相似性

Fig. 3 Self-similarity of sandbodies controlled by sequence stratigraphy of delta-turbidite fan systems

三角洲高频旋回砂体分布的这种规律在博兴辫状三角洲-浊积扇体系中表现更为明显。在该三角洲发育过程中,中期基准面旋回MSC5, MSC6, MSC7基准面上升期是浊积扇最发育、规模也较大的时期。而规模较小的浊积扇或浊积岩砂体通常出现在中期基准面下降时期(图4)。

从前述东营三角洲、博兴三角洲沉积体系内浊积扇砂体在长期基准面旋回和中期基准面旋回所处的位置分析可以看出,三角洲-浊积扇体系不同级次基准面旋回沉积相的构成具有明显的自相似性。在长期基准面旋回(三级层序)内,较大规模的浊积扇主要形成于基准面上升早期,紧邻层序界面发育,是“低位域”的重要组成部分。长期基准面下降期(“高位域”时期)通常发育叠置的三角洲前缘砂体或滑塌浊积岩^[6-8]。在中期基准面旋回内,具有一定规模的浊积扇同样出现在中期旋回(四级层序)基准面上升早期,紧邻中期旋回界面分布,但规模较三级层序界面之上的“低位扇”减小,而基准面下降期以发育三角洲前缘砂或小规模的滑塌浊积岩为特征(图5)。

2.3 控藏的自相似性

与三角洲进积作用伴生的浊积扇砂体是油气圈闭的重要储集体类型,已成为胜利油田近几年岩性圈闭勘探的主要目标之一,并获得较大成功,如东营凹陷史家地区沙河街组三段中晚期形成的低位扇成因的岩性油气藏、沙河街组三段下部和中部沉积时期形成的规模不等的浊积扇或浊积岩体岩性圈闭油气藏等。

处于层序地层不同位置的砂体成因类型、规模大小、储集性能、与烃源岩配置关系不同。位于

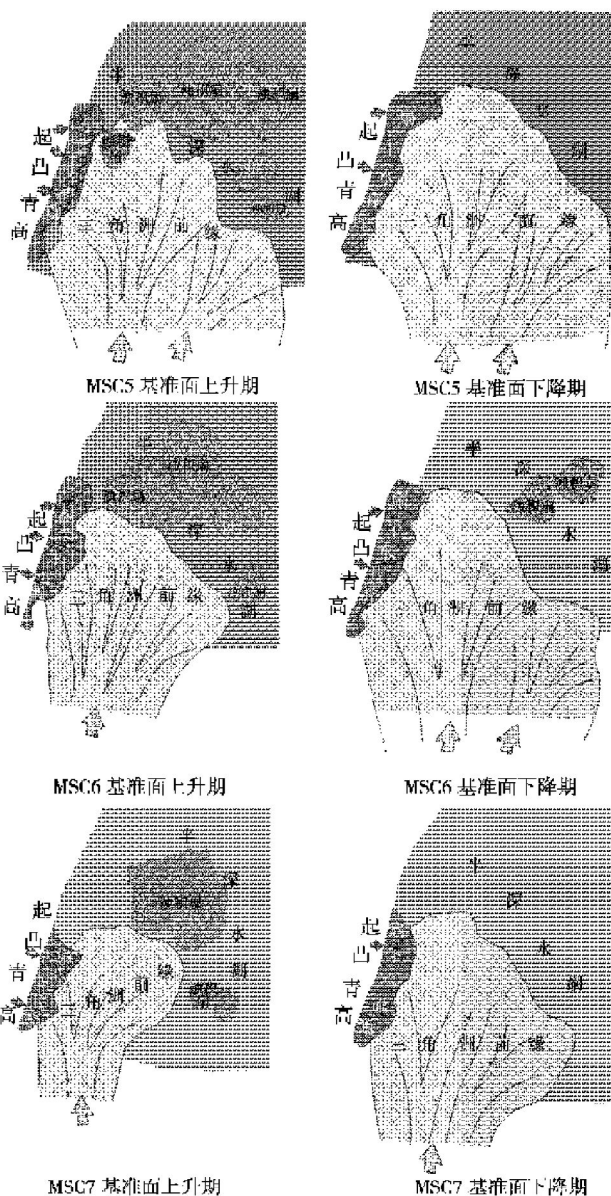


图4 博兴地区辫状三角洲-浊积扇体系中浊积扇在高频层序中的分布特征

Fig. 4 Distribution characteristics of turbidite fans of braided delta-turbidite fan system in high-frequency sequence

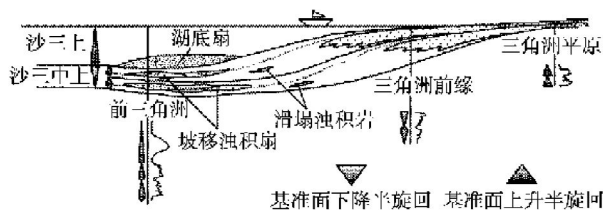


图5 三角洲- 浊积扇体系层序地层控砂的自相似性

Fig. 5 Self-similarity of sandstone distribution controlled by sequence stratigraphy of delta-turbidite fan system

基准面上升早期的“低位扇”成因的浊积扇砂体形态明显、规模大、物性好,与深水湖相烃源岩配置关系好,有利于油气成藏;处于基准面下降期滑塌

成因的浊积砂体规模较小、储集性能较差,对油气成藏不利。如上所述,处于不同级次基准面旋回上升早期的浊积砂体分布的层序地层位置、成因类型相似。层序地层控砂的自相似性导致岩性圈闭发育位置的自相似性乃至岩性圈闭成藏特征的自相似性。与东营三角洲和博兴辫状三角洲有关的浊积岩成因的岩性油气藏中,规模较大者多发育在长期(三级)基准面旋回底部,在长期基准面旋回内,油气藏又多分布在中期旋回的底部(图6)。可以看出,在长期旋回(三级)、中期旋回(四级)内,层序级次越低,砂体规模越大,成藏潜力增加。

地层		旋回(层序)划分			旋回名称		主要储层成因类型	已知油藏位置	代表井	
组	段	亚段	构造旋回(二级)	长期旋回(一级)	中期旋回(四级)	长期				中期
沙河街组	沙三段	Es ₃ ^上				LSC1	MSC1	分流河道	营14	
		Es ₃ ^中				LSC2	MSC2	分流河道	营33	
		Es ₃ ⁺				LSC3	MSC3	三角洲砂体	梁28	
							MSC4	三角洲砂体	河140	
							MSC5	三角洲砂体	史128	
							MSC6	三角洲砂体	牛43	
							LSC4	MSC7	三角洲砂体	牛25
								MSC8	三角洲砂体	王70
								MSC9	三角洲砂体	辛154
								Es ₃ ^下	三角洲砂体	干53

地层	组	亚段	层序划分		油层成因类型	已知油气藏位置	主要油气藏位置	典型井或地区
			名称	名称				
沙河街组	沙三段	沙三上	MSC1	LSC1	三角洲砂体	构造-岩性	共42井	共42井
			MSC2	LSC2	三角洲砂体	构造-岩性	共41井	共41井
			MSC3		三角洲砂体	构造-岩性	共11井	共23井
			MSC4		三角洲砂体	构造-岩性	共23井	共23井
		沙三中	MSC5	LSC3	三角洲砂体	构造-岩性	共23井	共23井
			MSC6		三角洲砂体	构造-岩性	共23井	共23井
			MSC7		三角洲砂体	构造-岩性	共23井	共23井
			MSC8		三角洲砂体	构造-岩性	共23井	共23井
			MSC9		三角洲砂体	构造-岩性	共23井	共23井
			MSC10		三角洲砂体	构造-岩性	共23井	共23井

图6 三角洲- 浊积扇体系层序地层控藏的自相似性

Fig. 6 Self-similarity of reservoir distribution controlled by sequence stratigraphy of delta-turbidite fan system

3 结论

层序地层控砂的自相似性是在高分辨率层序划分与对比的基础上,对砂体成因类型与时空展布进行精细预测的基础。层序地层控砂、控藏的自相似性研究对于砂体分布预测及运用分形几何学原理和计算机技术开展层序地层定量分析有重要意义。不同级次层序砂体分布的自相似性产生于沉积旋回的自相似特征,因而这种自相似特征应该不仅仅存在于三角洲- 浊积扇体系中,其他沉积体系中应同样存在,其规律性尚待进一步研究。

参考文献

- 1 蔡希源,李思田.陆相盆地高精度层序地层学——隐蔽油气藏勘探基础、方法与实践[M].北京:地质出版社,2003.1~271

- 2 金武第,王英民,刘书会,等.东营凹陷下第三系低位域沉积及非构造圈闭[J].石油与天然气地质,2003,24(3):249~252
- 3 邓宏文,王红亮,祝永军,等.高分辨率层序地层学——原理及应用[M].北京:地质出版社,2002
- 4 Cross T A. Stratigraphic controls on reservoir attributes in continental strata[J].地学前缘,2000,7(2):321~350
- 5 Aitken J F, Howell J A. High resolution sequence stratigraphy: innovation, application and future prospects[A]. In: Howell J A, Aitken J F. High resolution sequence stratigraphy, innovations and application[C]. Geological Society Special publication, 1996, 104: 1~9
- 6 Galloway W E. Genetic stratigraphic sequences in basin analysis I: architecture and genesis of flooding-surface bounded depositional units[J].AAPG Bull, 1989, 73: 125~142
- 7 徐怀大.层序地层学理论用于我国断陷盆地分析中的几个问题[J].石油与天然气地质,1997,18(2):83~89
- 8 李丕龙.陆相断陷盆地油气勘探地质与勘探(卷5):陆相断陷盆地层序地层学应用[M].北京:石油工业出版社、地质出版社,2003.1~192