

文章编号: 1000-0550(2003)02-0324-04

论陆相层序地层学四分方案的可行性

董清水 刘招君 方石 柏涛

(吉林大学地球科学学院 长春 130026)

摘要 针对陆相地层发育特点,讨论了层序地层学基本原理在陆相地层中应用的可行性。指出陆相层序发育晚期常出现强制性湖退,从而在湖平面由相对稳定的高水位下降到相对稳定的低水位这段时间内,形成了大型前积地层楔;该强制性地层楔的底界面为整合下超面,顶界面为区域性侵蚀界面。此时不宜按照传统层序地层学的观点将该地层楔的底界面作为层序界面,层序界面划分在该地层楔的顶界面更符合经典层序地层学的理论真谛;强制性湖退地层楔应为陆相三级层序单元内高水位体系域之上的“新”体系域,陆相层序地层三级层序单元应该四分;陆相层序地层四分方案的单元是可识别的,且具有理论意义和实际应用价值。

关键词 陆相层序地层学 四分方案 可行性

第一作者简介 董清水 男 1963年出生 副教授 博士 沉积与石油地质

中图分类号 P539.2 **文献标识码** A

1 引言

经典的层序地层学理论源于大陆边缘海相地层的研究成果,并成功地应用到了不同构造背景下的海相地层研究之中。但由于该理论把全球海平面变化作为层序成因的主导因素,所以,该理论如何推广到陆相地层的研究中,成为了近十年来地学界关注的焦点。近年来,国内外的许多学者进行了广泛的探讨。

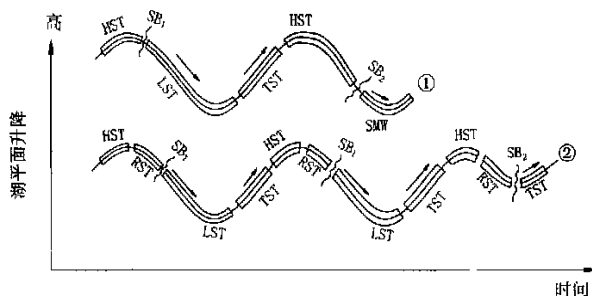
目前,国外学者关于陆相层序地层学模式的理论基本上保持了经典层序地层学理论关于海平面升降控制层序发育的思想体系^[1,2]。例如,Olsen在1990年、1991年建立的“低位体系域-湖侵体系域-高位体系域”的陆相断陷湖盆层序地层模式即为典型代表^[3]。

我国陆相层序地层学的研究虽然起步稍晚,但在研究思路却较少受经典层序地层学关于海平面变化影响作用的束缚,提出了许多陆相层序地层模式^[4-7]。特别是陆相层序地层三级层序单元四分方案,与经典的层序地层三分方案有一定的差异性。作者针对四分方案的基本观点,从成因机制及单元的可识别性等方面系统论述了陆相层序地层学四分方案的可行性。

2 陆相层序地层学四分方案的基本观点

陆相层序地层学四分方案即是陆相层序地层三级层序单元进一步划分为四个体系域单元的观点。以刘招君等人1994年、1997年、1998年提出的陆相层序地层学四分方案为例^[8-10],认为在陆相地层中,一个

完整的层序应由四个体系域组成:低水位体系域-水进体系域-高水位体系域及水退体系域(图1)。



LST—低水位体系域; TST—水进体系域; HST—高水位体系域; RST—水退体系域; SMW—陆架边缘体系域; SB1—I型层序界面; SB2—II型层序界面 ①—据 H. W. Posamentier ②—据刘招君

图1 体系域与水平面升降关系图
(据刘招君,1994,1997,修改)

Fig. 1 Relationship between system tracts and lake-level change(after Liu Zhaojun 1994,1997)

低水位体系域形成于盆地发育初期或湖平面快速下降期,其底界面以不整合面及其相应的整合面为底界,以首次湖泛面为顶界。水进体系域形成在连续湖侵造成的湖平面上升期,由首次湖泛面与最大湖泛面所限定;其中,首次湖泛面是指湖平面连续上升阶段的第一次湖泛作用形成的底界面,最大湖泛面是最大湖侵作用面。高水位体系域形成于湖泊水体扩展到极限后至湖泊水体开始周期性连续萎缩时的最大湖平面相对静止的高水位期;以最大湖泛面为底界,以湖退下超面或层序界面为顶界;在最大湖泛面附近,常发育凝缩

层。水退体系域形成于高水位晚期沉积物供给速率大于湖平面上升速率时的相对湖平面缓慢萎缩期或高水位期之后的强制性湖退期;以湖退下超面为底界,以层序界面为顶界。

上述完整的层序中,既可以上部某些体系域被剥蚀,还可缺失下部的低水位体系域。缺失下部低水位体系域的层序称为 II 型层序,发育下部低水位体系域的层序称为 I 型层序,I 型层序的底界面称为 I 型层序界面,II 型层序的底界面称为 II 型层序界面。

3 陆相层序地层学四分方案的可行性

3.1 层序地层学原理在陆相地层中应用的可行性

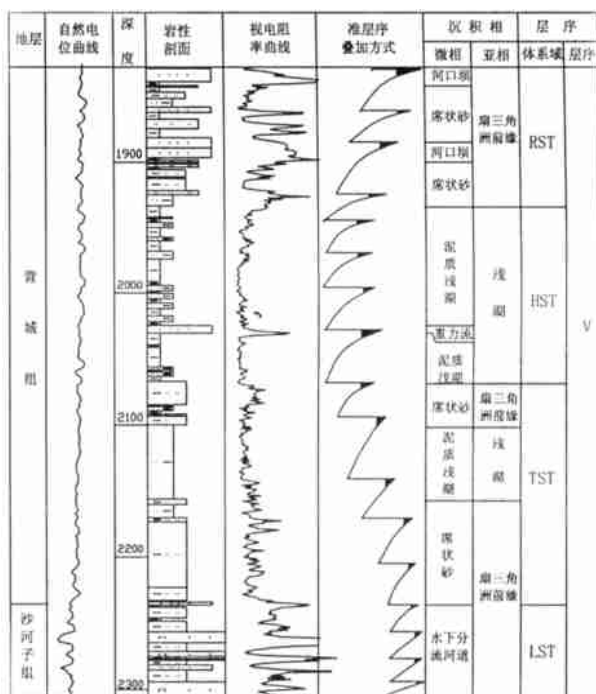
据 Vail 的观点,层序地层学的对象是多套旋回性变化的、以不整合及其相应整合面为界的、内部具有规律性变化的地层^[1],不整合面及旋回性是层序地层学应用的基础。不整合面在陆相地层中广泛发育已被大家所熟知,陆相地层的旋回性虽然不如海相地层发育完整、规律性特征,但其内岩性、岩相的周期性重复仍是比较明显的,这在岩心、露头、测井曲线上均可见到。例如,在松辽盆地梨树地区杨 203 井 2 300~1 850 m 的沙河子组—营城组地层中(图 2),不仅其测井曲线幅值和岩性构成了一个明显的变化旋回,而且,其岩相也呈有规律的变化,旋回的底部为水下分流河道沉积,向上过渡为席状砂、泥质浅湖,最上部为河口坝沉积,形成了一个由浅变深,再由深变浅的岩相旋回。

进一步讲,陆相地层的发育主要受构造运动、物源供给和气候三因素的影响,其中构造运动和气候两因素的旋回性比较明了;实际上物源供给因素也是在随着物源区的地理环境特征、岩石成分特征等因素的周期性变化而变化。因此,控制陆相地层发育的主要因素也是呈旋回性变化的。

由此可见,陆相地层的旋回性变化及其内以不整合面为界的地层发育特征,使得陆相地层具备了应用层序地层学原理的基本条件,层序地层学原理在陆相地层中应用是可行的。

3.2 陆相层序地层学四分方案的可行性

海相地层的发育以海平面变化为主导,构造和沉积物供给一般为次要因素,沉积体叠置关系的控制因素比较单一,且变化相对缓慢稳定;在海平面由最高位置开始下降到水位最低并相对稳定这段时间内,河道下切,使所形成的低位体系域的底界面与海相地层中的不整合面相吻合。



LST—低水位体系域; TST—水进体系域; HST—高水位体系域; RST—水退体系域

图 2 梨树断陷杨 203 井层序 V 地层发育特征

Fig. 2 The sequence V developed character Well 203 in Li-shu fault depression basin

与海相地层不同,陆相地层中,构造成为了控制地层发育的主要因素^[7,8,12],陆相湖盆的萎缩常主要是由于构造挤压抬升作用所造成的;所以,多数情况下,在陆相层序发育的晚期会出现强制性湖退,即在湖平面的下降阶段,由于构造挤压抬升作用使湖岸线被迫向湖盆方向迁移,从而在湖平面由相对稳定的高水位下降到相对稳定的低水位这段时间内,差异沉降作用增强,近源沉积物供给速率加大,形成了大型前积地层楔;此时,如果仍然按照经典层序地层学的观点进行层序单元划分,则该强制性地层楔的下超型底界面应为层序界面,但该界面并非最大不整合界面,而是整合界面;相反,该地层楔上界面却是区域性侵蚀的最大不整合面;因此,若将层序界面划分在该地层楔的下界面,则与经典层序地层学理论的“最大不整合面原则”相矛盾。只有将层序界面划分在该地层楔的顶界面(最大侵蚀不整合面)方能吻合经典层序地层学理论的真谛。

所以,作者认为:陆相三级层序单元的底界面应从强制性湖退结束时开始划分,强制性湖退地层楔应为陆相层序地层三级层序单元最上部的体系域,陆相层序地层三级层序单元应该四分,陆相层序地层学四分方案是可行的。

4 陆相层序地层学四分方案的意义及其单元的可识别性

4.1 陆相层序地层学四分方案单元的可识别性

陆相层序地层学四分方案的单元,无论在岩性、岩相组合方面,还是在测井曲线与地震剖面反映特征方面,都具有明显的可识别性。

在岩性组合上,一般低水位体系域以细粒级砂质沉积为主,高水位体系域以泥质沉积为主,二者总体粒度纵向变化不大;水进体系域除粒度较细外,总体粒度向上变细;水退体系域以粗碎屑为主,且粒度向上明显变粗。

在测井曲线上,一般低水位体系域为中幅值,高水位体系域为低幅值,二者测井曲线的总体幅值纵向变化不大;水进体系域的测井曲线为中低幅值,纵向上总体幅值明显向上变小,呈钟型组合式;水退体系域的测井曲线多为中高幅值,且总体幅值向上增大,呈漏斗型组合式。

在地震剖面上,各个体系域的反射特征也有差异。一般低水位体系域以弱振幅低连续乱岗状反射结构地震相为主,可见小型前积反射结构地震相;水进体系域以中强振幅较连续平行反射结构地震相为主,可见上超点及退积型的前积反射结构地震相;高水位体系域常以中强或强振幅连续平行反射结构地震相为主,与其它体系域相比,分布广泛,特征明显;水退体系域则以弱振幅低连续至较连续乱岗状反射结构地震相为主,可见大型前积反射结构地震相。

在岩相组合上,盆地形成初期的低水位体系域以冲积扇—辫状河沉积为主,也可存在泛滥盆地或浅水湖泊;湖平面快速下降期形成的低水位体系域以小型(扇)三角洲—湖泊沉积体系为特征,并常发育反映干旱气候的红层膏盐沉积,松辽盆地青山口剖面姚家组一段具鸡网构造的石膏层的产出就是在强蒸发作用下形成膏盐沉积的典型实例;在纵向上,低水位体系域一般为小型进积或加积型准层序组结构。水进体系域在湖盆区以浅湖和半深湖相沉积为主,在湖盆边缘区常为水进型(扇)三角洲沉积体系(即退积式的三角洲复合体),在冲积相区,水进体系域则多为曲流河沉积;另外,由于该阶段水体快速超覆变化,边缘沉积物突然充水,易与其坡度失去平衡,造成湖盆深水区水下重力流沉积发育;在纵向上,水进体系域常具退积型准层序组结构。高水位体系域在湖盆区以半深湖相沉积为主,在湖盆边缘区则常为细碎屑的边缘相沉积,在冲积相区则多为网状河沉积;由于高水位期湖平面和湖岸线随时间变化不大,从而形成了典型的加积型准层序组叠

加结构。水退体系域在湖盆边缘相中一般为(扇)三角洲平原或前缘沉积,在湖盆中部一般为滨浅湖沉积,在河流相中多为曲流河沉积;由于该时期沉积物楔状体不断向盆地中心推进,湖岸线也不断向盆地中心迁移,从而形成了湖退型(扇)三角洲沉积体系(即进积式的(扇)三角洲复合体),构成了典型的进积型准层序组叠加结构。

至于陆相环境中的凝缩层,一般多为分布范围较广的半深湖—深湖相暗色泥岩和油页岩沉积,也有高有机质含量的暗色泥岩、白云岩条带和结核。此外,区域范围的煤层,作为最大水侵时期缺乏碎屑沉积供给的稳定缓慢沉积物,也常常是凝缩层。凝缩层具有划分体系域的意义,凝缩层的底界面是水进体系域和高水位体系域的分界面。

4.2 陆相层序地层学四分方案的意义

陆相层序地层学四分方案将易于形成巨厚暗色泥质烃源岩的高水位体系域与易于形成良好储集砂体的水退体系域划分开来,有利于油气预测中的生储盖组合评价及砂体预测,便于作为岩相古地理成图单元更准确地预测油气分布。

例如,随着油气勘探程度的提高,松辽盆地深层油气资源已成为今后勘探的重点,为此,必须对深部地层的生烃潜力及其有利储集砂体的分布进行综合预测;若按传统的方法,或以组、段为单元,或以下部为泥、上部为砂的传统高水位体系域为单元,它们都不利于油气资源的精确预测,前者易于出现地层对比的穿时错误,后者将砂体发育的储集层位与泥岩广布的生烃层位叠合在一起作为一个研究单元,难以实现精确的地质描述。由松辽盆地梨树断陷深部层序V的地层发育特征可以看出(图2),层序V的中上部是以泥质沉积为主的高水位体系域,顶部为扇三角洲前缘砂体发育,且油气显示良好的水退体系域;二者的岩相类型明显不同,其生烃潜力及油气成藏可能性等特征也有很大的差异,不易将它们作为一个研究单元,只有将二者划分开来,按不同的成图单元分别进行研究,才有可能更精确地刻画砂体的分布规律,才有可能更客观高效地预测油气资源量。

5 结论

(1)陆相地层的旋回性变化及其内以不整合面为界的地层发育特征,使得陆相地层具备了应用层序地层学原理的基本条件;(2)陆相层序发育的晚期常出现强制性湖退,形成大型的前积地层楔,只有将层序界面划分在该地层楔的顶界面(最大侵蚀不整合面)方能吻合经典层序地层学理论的真谛;(3)三级层序单元进一

步划分为低水位体系域、水进体系域、高水位体系域及水退体系域四个次级单元的陆相层序地层学四分方案是可行的; (4) 陆相层序地层学四分方案不仅具有实际应用价值, 而且可识别划分。

参考文献 (References)

- 1 Shanley K W, McCabe P J. Perspectives on the sequence stratigraphy of continental strata [J]. AAPG Bull, 1994, 78: 544~568
- 2 Van Wagoner J C. Sequence stratigraphy and marine to nonmarine facies architecture of foreland basin strata, Book Cliffs, Utah, USA Reply [J]. AAPG Bull, 1998, 82(8): 1 607~ 1 618
- 3 Olsen P E. Tectonic, Climatic, and Biotic Modulation of Lacustrine Ecosystems—Examples from Newark supergroup of Eastern North America [J]. AAPG Memoir 50, 1991: 209~ 224
- 4 顾家裕, 宁从前. 陆相层序地层学在油气勘探中应用的几个关键问题 [J]. 长春科技大学学报, 1998, 28(专辑): 46~ 50 [Gu Jiayu, Ning Congqian. The key petroleum on the application of terrestrial sequence stratigraphy in petroleum exploration [J]. Journal of Changchun Science University, 1998, 28 (special edition): 46~ 50]
- 5 魏魁生, 徐怀大, 雷怀玉等. 非海相层序地层学——以松辽盆地为例 [M]. 北京: 地质出版社, 1996 [Wei Kuisheng, Xu Huaida, Lei Huaiyu *et al.* Sequence stratigraphy of nonmarine facies—take Song-liao basin as an example [J]. Beijing Geological Publishing Press, 1996]
- 6 纪友亮, 张世奇等. 层序地层学原理及层序成因机制模式 [M]. 北京: 地质出版社, 1998 [Ji Youliang, Zhang Shiqi, *et al.* The theory of sequence stratigraphy and genesis mechanism mode of sequence [M]. Beijing Geological Publishing Press, 1998]
- 7 董清水, 崔宝琛, 李想等. 陆相层序地层划分及岩芯测井高分辨率层

- 序地层界面判识 [J]. 石油实验地质, 1997, 19(2): 121~ 126 [Dong Qingshui, Cui Baochen, Li Xiang, *et al.* The classification of continental sequence stratigraphy and the recognition of high resolution sequence stratigraphy boundary by core and log [J]. Experimental Petroleum Geology, 1997, 19(2): 121~ 126]
- 8 刘招君, 程日辉, 易海永. 层序地层学的概念、进展与争论 [J]. 世界地质, 1994, 13(3): 56~ 68 [Liu Zhaojun, Cheng Rihui, Yi Haiyong. The concept, procession, controversy of sequence stratigraphy [J]. World Geology, 1994, 13 (3): 56~ 68]
 - 9 刘招君, 郭巍, 董清水. 湖盆层序地层学术语体系及模式——以松辽盆地西部斜坡为例 [J]. 长春地质学院学报, 1997, 27(增刊II): 54~ 60 [Liu Zhaojun, Guo Wei, Dong Qingshui. Lacustrine basin sequence stratigraphic term system and mode—the western ramp of Songliao basin as an example [J]. Journal of Changchun Science University, 1997, 27(supplementary issueII): 54~ 60]
 - 10 刘招君, 董清水, 郭巍. 断陷湖盆层序地层特征及模式——以松辽盆地梨树断陷为例 [J]. 长春科技大学学报, 1998, 28(专辑): 54~ 58 [Liu Zhaojun, Dong Qingshui, Guo Wei. The terminology system and mode of fault depression lacustrine basin—take Song-liao basin as an example [J]. Journal of Changchun Science University, 1998, 28 (special edition): 54~ 58]
 - 11 Vail P R. Seismic Stratigraphy Interpretation Using Sequence Stratigraphy, Part 1 Seismic Stratigraphy Interpretation Procedure [A]. In Bally A W, ed. Atlas of Seismic Stratigraphy: AAPG Studies in Geology 27 [C]. 1987, 1: 1~ 10
 - 12 李思田, 杨士恭, 林畅松. 论沉积盆地的等时地层格架和基本建设单元 [J]. 沉积学报, 1992, 10(4): 11~ 22 [Li Sitian, Yang Shigong, Lin Changsong. On the synchronous stratigraphy framework and basic construction unit of sedimentary basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1992, 10(4): 11~ 12]

On the Feasibility of the Four Division Scheme about Continental Sequence Stratigraphy

DONG Qing-shui LIU Zhao-jun FANG Shi BAli Tao

(College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061)

Abstract The author aimed at the character of the continental stratum development to discuss the feasibility of the application of classical sequence stratigraphy to continental stratum. We point out that the compulsory lake regression often appears in later period of continental stratum development, so large progradational stratum wedge come into being when lake level fall from the high relatively stable water level to the low water level, the bottom interface of this compulsory stratum wedge is conformable downlapping surface, it's top-interface is regional erosional boundary, in this circumstance, it is not feasible to take the bottom interface as sequence boundary, and the top interface as sequence boundary is more correspond to the theory of classic sequence stratigraphy. Compulsory regressive stratum should be a new system tract on high level system tract in continental third grade sequence element, continental sequence stratigraphy third grade element should be classified to four parts; the element of the scheme of four division can not only be distinguished, but also has significance in theory and in practice.

Key words continental sequence stratigraphy, the scheme of four division, feasibility