

华北地台北缘奥陶系亮甲山组的 碳酸盐复合海平面变化旋回层序

梅冥相

(中国地质大学 北京)

【内容提要】 华北地台北缘亮甲山组地层中发育有六种碳酸盐米级旋回层序,a型和b型属潮下型,其下部单元为钙质泥岩(a型)及薄层泥晶灰岩(b型),上部单元为颗粒泥晶灰岩(a与b相同);c-f型属环潮坪型,它们的上部单元均为薄层泥晶白云岩及泥质白云岩,其下部岩石单元:c型为厚层及块状颗粒泥晶灰岩,d型为局部白云石化颗粒泥晶灰岩,e型为白云岩化颗粒泥晶灰岩,f型为中厚层含少量颗粒的泥晶结晶白云岩。从a型到f型正好构成一个米级旋回层序的环境变化谱系。

根据米级旋回层序的有序垂直叠加形式,可以建立亮甲山组地层构成的复合海平面变化旋回层序:1个三级旋回层序包含3个四级旋回层序,13—15个五级旋回层序,60余个左右的米级旋回层序。

通过这项研究表明,在浅水地层中进行露头旋回层序研究时,米级旋回层序是基本工作单元,其有序垂直叠加形式是识别长周期旋回层序的关键。

关键词 旋回层序 复合海平面变化 亮甲山组 奥陶系

“层序”与“旋回”是两个古老的基本概念,不同的地质学科中赋予它们不同的涵义。在沉积学及地层学范畴内,Sloss(1963)把“层序”(sequence)定义为“比群、超群更高一级的地层单元,在一个大陆的大部分地区可以追索,而且以区际的不整合面为界”;70年代,Vail(1977)修订了Sloss(1963)的“层序”概念,他认为“层序”是一个相对整一的、连续的而且成因上有联系的地层单元,其顶底界以不整合面或者与之可以对比的整合面为界,这种层序由一个单一的客观标准,即地层本身的物理关系,来确定。Vail等(1977)把层序界面的客观规定与层序内部的成因上相联系的地层之间系统的沉积模式相结合,使“层序”这个概念成为沉积学和沉积相解释的一个基本而又非常实用的基础,最终建立了地层学及沉积学的又一崭新分支——层序地层学。

至90年代初,多数学者的研究成果表明,海平面变化具有不同的周期或级次,因而将产生不同级别的旋回层序。许多学者倾向于把“层序”当作长周期的旋回层序,Sloss(1963)关于“层序”的定义相当于二级旋回层序(千万年至亿年周期);Vail等(1977)所定义的“层序”相当于三级旋回层序(百万年至千万年周期)。而“旋回”(cycle)主要是指高频率振荡旋回层序,如L—M旋回(Einsele,1982)、环潮坪碳酸盐旋回(Read,1986,1991)、潮下碳酸盐旋回

(Osleger 等, 1990, 1991)、深水非对称旋回 (Masetti, 1991)、米级旋回 (Goodwin 和 Anderson, 1985, 1990) 等等。他们把这两个概念混用, 均指地层旋回性沉积记录, 80 年代的 T—R 旋回 (海侵—海退旋回) 的提法 (Einswale, 1984; Hallam, 1981; Mackenzie 等, 1981; Seilacher 等, 1984; Aigner, 1984) 更加表明了这一点。

笔者认为, 旋回应指地层沉积过程及沉积作用的时间周期过程, 而层序主要是指时间周期性沉积过程的产物。旋回有不同的周期, 相应地就存在不同级别的层序 (见表 1), 故总称为“旋回层序” (cyclic sequence)。根据不同的形成周期而分别称为一级、二级……。我们把表 1 中一级至四级统叫“长周期旋回层序”, 它们主要与构造型海平面变化有关; 五级至八级为“高频率振荡旋回层序”, 它们的形成机制主要是米兰柯维奇旋回产生的“冰川型海平面变化旋回”, 如五级相当于长偏心率旋回, 六级相当于偏心率旋回, 七级相当于黄赤交角旋回及岁差旋回, 八级相当于太阳黑子爆发周期旋回 (sun-spot cycle) 等。

在一个长周期海平面变化旋回控制下, 叠加于其上的高频率振荡旋回层序 (又称“米级旋回层序”) 将形成一个有序的叠加形式。所以在露头及岩心的详细观察中, 米级旋回层序是基本工作单元, 米级旋回层序的有序叠加形式是识别长周期旋回层序的关键。这样, 就避免了机械地去套用层序地层学的术语和在克拉通盆地等浅水背景的沉积地层中的由于“凝缩层”不发育而给确定长周期旋回层序带来的困难。

1 亮甲山组中的碳酸盐米级旋回层序类型及可能的形成机制

华北地台北缘亮甲山组由开阔台地—半局限台地—局限台地 (潮上云坪) 相地层组成一个总体向上变浅序列, 向南迅速相变为一套白云岩 (习称“三山子白云岩”的一部分)。在该套地层中大致可识别出六种碳酸盐米级旋回层序 (图 1), 它们正好构成一个古地理背景较浅的环境变化谱系。

a 和 b 属潮下碳酸盐型米级旋回层序 (梅冥相, 1993), 以水体向上变浅、岩层向上变厚、颗粒向上变粗为特征。a 型的下部单元为钙质泥岩, 为高频率海平面上升造成的瞬时淹没所形成的滞后沉积单元; 其上部单元为生物潜穴颗粒泥晶灰岩, 主要由生物屑及砂屑组成, 见生物潜穴及生物扰动构造, 局部发育冲刷面, 为浪基面之上的正常浅海均衡沉积单元。b 型的上部单元与 a 型相同, 只不过其下部岩石单元为含泥质条带的薄层泥晶灰岩, 为高频率海平面快速上升造成的环境加深效应, 未形成瞬时淹没, 碳酸盐生产率降低但未降低至零的条件下的产物。这两种类型的米级旋回层序间的界面均为加深间断面, 表现在较深水的沉积物 (钙质泥岩及泥晶灰岩) 直接盖在下伏米级旋回层序的上部单元岩石 (颗粒泥晶灰岩) 之上, 颗粒泥晶灰岩之顶层面为一硬底, 其上见水下溶蚀孔等。

c—f 型属环潮坪型碳酸盐米级旋回层序, 以水体向上变浅、颗粒向上变细、岩层向上变

表 1 旋回层序级次划分及相应的层序地层术语、形成时限

Table 1 Hierarchy, terms and duration of cyclic sequences

旋回层序级次	相应的层序地层术语	形成时限
一级	超巨层序	$>10^8$ 年
二级	巨层序	10^7-10^8 年
三级	层序	10^6-10^7 年
四级	亚层序	1.0—3.0 百万年
五级	准层序组	400,000 年
六级	准层序	100,000 年
七级	韵律层	20,000—40000 年
八级		$<10,000$ 年

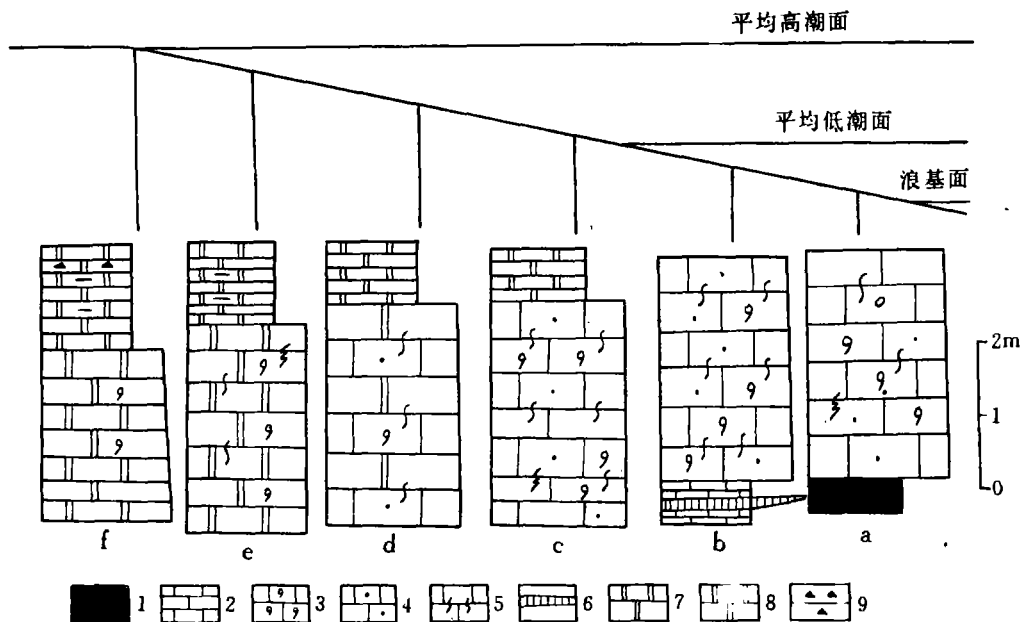


图 1 亮甲山组地层中发育的米级旋回层序类型及其环境变化谱系

a—b. 为潮下碳酸盐型; c—f. 为环潮坪碳酸盐型;

1. 钙质泥岩; 2. 泥晶灰岩; 3. 生物屑灰岩; 4. 砂屑灰岩;

5. 生物潜穴灰岩; 6. 风暴砾屑灰岩; 7. 白云岩; 8. 泥质白云岩; 9. 蒸发角砾岩

Fig. 1 Types of metre-scale cyclic carbonate sequences developed in the Ordovician Liangjiashan Formation and their spectrum of environmental changes

a and b represent subtidal carbonate types; c to f represent circumtidal flat carbonate types;

1=calcareous mudstone; 2=micritic limestone; 3=bioclastic limestone; 4=calcarenite;

5=burrowed limestone; 6=storm calcirudite; 7=dolostone;

8=muddy dolostone; 9=evaporitic breccia

薄为特征。它们的下部单元为正常浅海沉积的颗粒(生物屑及砂屑)泥晶灰岩,发育生物潜穴及生物扰动构造,也见冲刷面等。随着其形成的古地理背景变浅,该岩石单元的颗粒含量、生物化石的丰富程度变低,而遭受白云石化作用的程度增强。该单元为由高频率海平面上升造成的环境加深效应过程中,于潮坪背景下的产物。环潮坪型碳酸盐米级旋回层序的上部单元岩石为泥晶白云岩及泥质白云岩,为高频率海平面变化旋回的下降期的产物。其中常见蒸发角砾、小型喀斯特面等极浅水暴露标志,随着古地理背景变浅,该单元的白云石化程度增强,厚度增大。在全部由白云岩组成的环潮坪型米级旋回层序(图 1 之 f)中,其下部单元为成岩白云岩,以中厚层块状结晶白云岩为特征,残留少量生物屑及砂屑;上部单元为准同生泥晶白云岩,以薄层泥晶白云岩及泥质白云岩为特征,这也就表明了亮甲山组顶部的白云岩地层中(属三山子白云岩的一部分),成岩白云岩与准同生白云岩交互沉积的原因是由于高频率海平面变化旋回控制下的周期性多次白云石化的结果。环潮坪型米级旋回层序间的界面是以“暴露间断面”为特征,这与潮下型具有显著的区别。

亮甲山组地层发育在一个陆表海型碳酸盐台地的北缘,是均衡沉降构造背景下的产物。在这种均衡沉降的构造背景下,高频率海平面升降变化旋回将使沉积环境产生周期性的变化,其变化的时间幅度在地质学范畴中又很短暂。根据 Read(1989,1990)及 Osleger(1990,

1991)关于北美地台奥陶—寒武系地层的旋回性记录的研究成果,一般认为在地球历史的温暖时期发育的米级旋回层序的形成周期约为10万年,即与偏心率旋回相关,属表1中所划分的六级旋回层序。叠加于地壳均衡沉降构造背景之上的10万年级别的海平面变化旋回,将产生沉积物容纳空间的有规律的变化,以及沉积环境的有规律变化。而它本身又受更长时限周期的海平面变化旋回的控制,在垂向上构成一个有序叠加形式。

在高频率海平面变化旋回的上升阶段,沉积环境将受到加深效应的影响(图2中的从A到B),这时形成米级旋回层序的下部单元,于较深的背景中形成瞬时淹没,从深到浅形成从钙质泥岩经薄层泥晶灰岩、颗粒泥晶灰岩到白云石化灰岩的岩相变化与分布特征。

在高频率海平面变化旋回的下降阶段(图2,从B到C),沉积物容纳空间的增长速率变小,造成沉积环境总体变浅,从深到浅形成颗粒泥晶灰岩经中厚层泥晶结晶白云岩到准同生泥晶白云岩、泥质白云岩的岩相变化及分布特点。

2 米级旋回层序的有序叠加形式及复合海平面变化旋回层序

华北地台亮甲山组地层本身构成一个三级旋回层序,它包含了3个四级旋回层序,15个左右的五级旋回层序,60余个六级旋回层序(米级旋回层序)。这种不同级次的旋回层序的有序叠加即表明了Miall等(1984)所讲的“旋回含旋回”(cycle within cycle)的特点,这就是Goldammer等(1990)所称的“复合海平面变化旋回层序(composite sea-level change cyclic sequence)”(图3及图4示)。该三级旋回层序的底界面为一整合型层序界面,表现在下伏冶里组地层构成的三级旋回层序的顶部岩石的局部白云石化及硅化所代表的变浅。界面之上为一套厚10m左右的生物灰岩及颗粒灰岩(为近似于滩相的高能沉积,不发育米级旋回层序),二者之间无明显的不整合关系。其顶界面为Ⅱ型层序界面,具有明显的不整合面。如套用层序地学学的术语,该三级旋回层序由三个体系域单元构成:海侵体系域(TST)、早期高水位体系域(EHST)及晚期高水位体系域(LHST),不发育典型的“凝缩段”(CS)。从下至上,由以发育a、b型米级旋回层序经c、d型到e、f型为特征的垂向有序变化,即从以“淹没节拍”为主变为以“暴露节拍”为主的米级旋回层序的有序叠加形式。

其第一个四级旋回层序(图3之IV₁)的下部单元(相对低水位体系域(RLST))由一套块状生物屑及砂屑灰岩构成,上部单元由a和b型米级旋回层序叠加而成的2个五级旋回层序构成,中间以一套厚5m左右的泥晶灰岩、泥灰岩夹风暴砾屑灰岩为特征,这种薄层泥晶灰岩及泥灰岩为代表的慢速沉积正好构成该四级旋回层序的“凝缩层”。

第二个四级旋回层序(图3之IV₂)大致包含4个五级旋回层序,其相对低水位体系域(RLST)主要发育c型米级旋回层序,相对高水位体系域(RHST)主要由d型米级旋回层序组成,不发育凝缩段。

第三个四级旋回层序(图3之IV₃)在浑源悬空寺大致包含6个五级旋回层序,其RLST单元主要由e型米级旋回层序构成,RHST单元主要由f型米级旋回层序构成。

这3个四级旋回层序代表了在1个三级海平面变化过程中的3个次一级升降过程,其IV₁的顶底界均为连续沉积或具有瞬时淹没特征的整合型层序界面,IV₂及IV₃的顶界面均为暴露间断型界面。在三级或四级长周期层序中所包含的五级旋回层序的识别标志也是根据米级旋回层序的有序叠加形式,表现在米级旋回层序多由3—5个组成一套。如图3所示,环潮坪型米级旋回层序(六级)构成更高一级的五级旋回层序,也是组成一个总体向上变浅

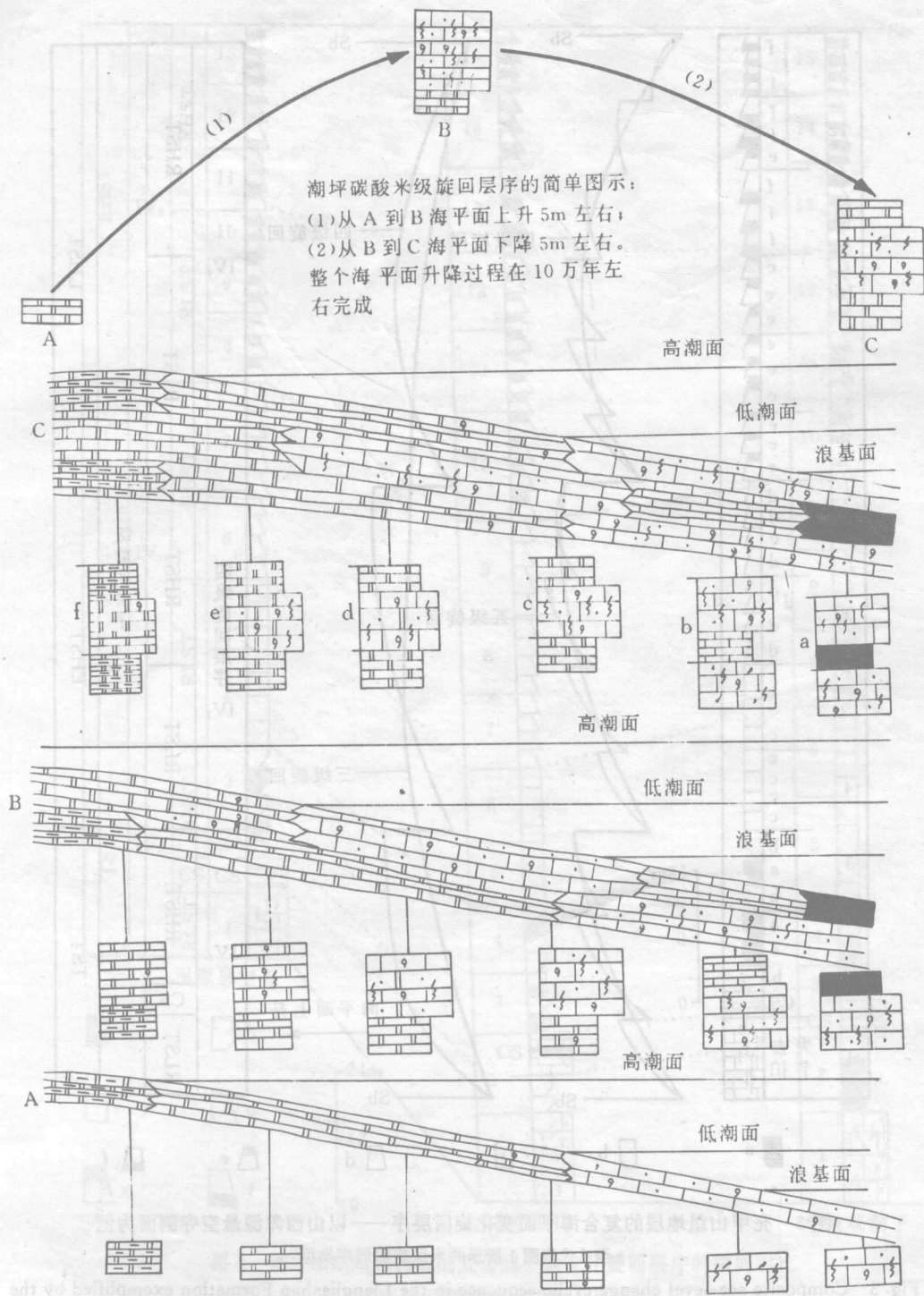


图 2 亮甲山组地层中米级旋回层序的可能形成机制(岩性符号同图 1)

Fig. 2 Probable mechanism of formation of metre-scale cyclic sequences developed in the Ordovician Liangjiashan Formation

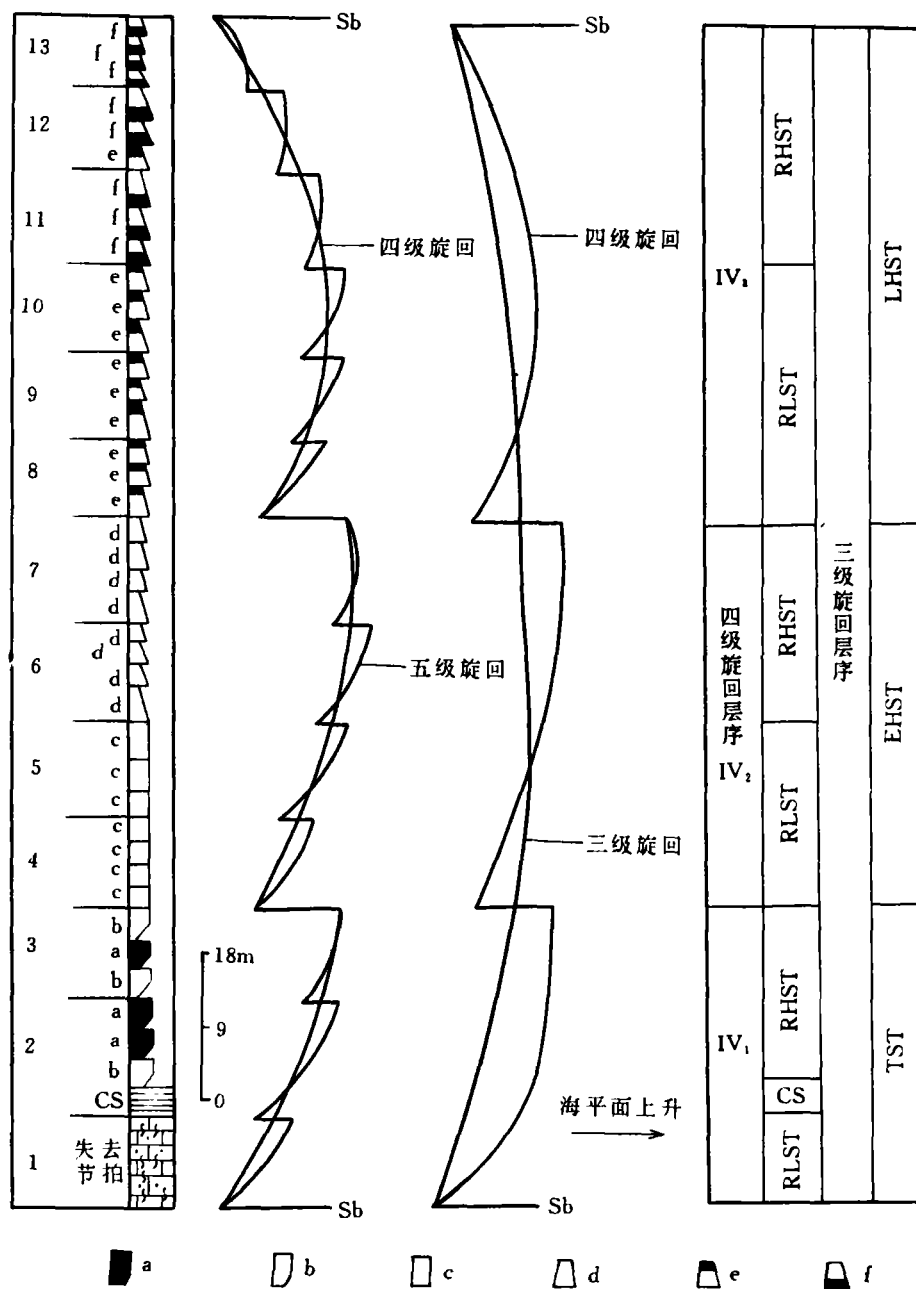


图3 亮甲山组地层的复合海平面变化旋回层序——以山西浑源悬空寺剖面为例

a 至 f 代表图1所示的米级旋回层序类型

Fig. 3 Composite sea-level change cyclic sequence in the Liangjiashan Formation exemplified by the Xuankongsi section in Hunyuan, Shaanxi.

a to f represent the types of the metre-scale cyclic sequences shown in Figure 1

序列,表现在下部岩石单元(颗粒泥晶灰岩及成岩白云岩)向上变薄,而上部岩石单元(薄层泥晶白云岩及泥质白云岩)向上变厚等特点。

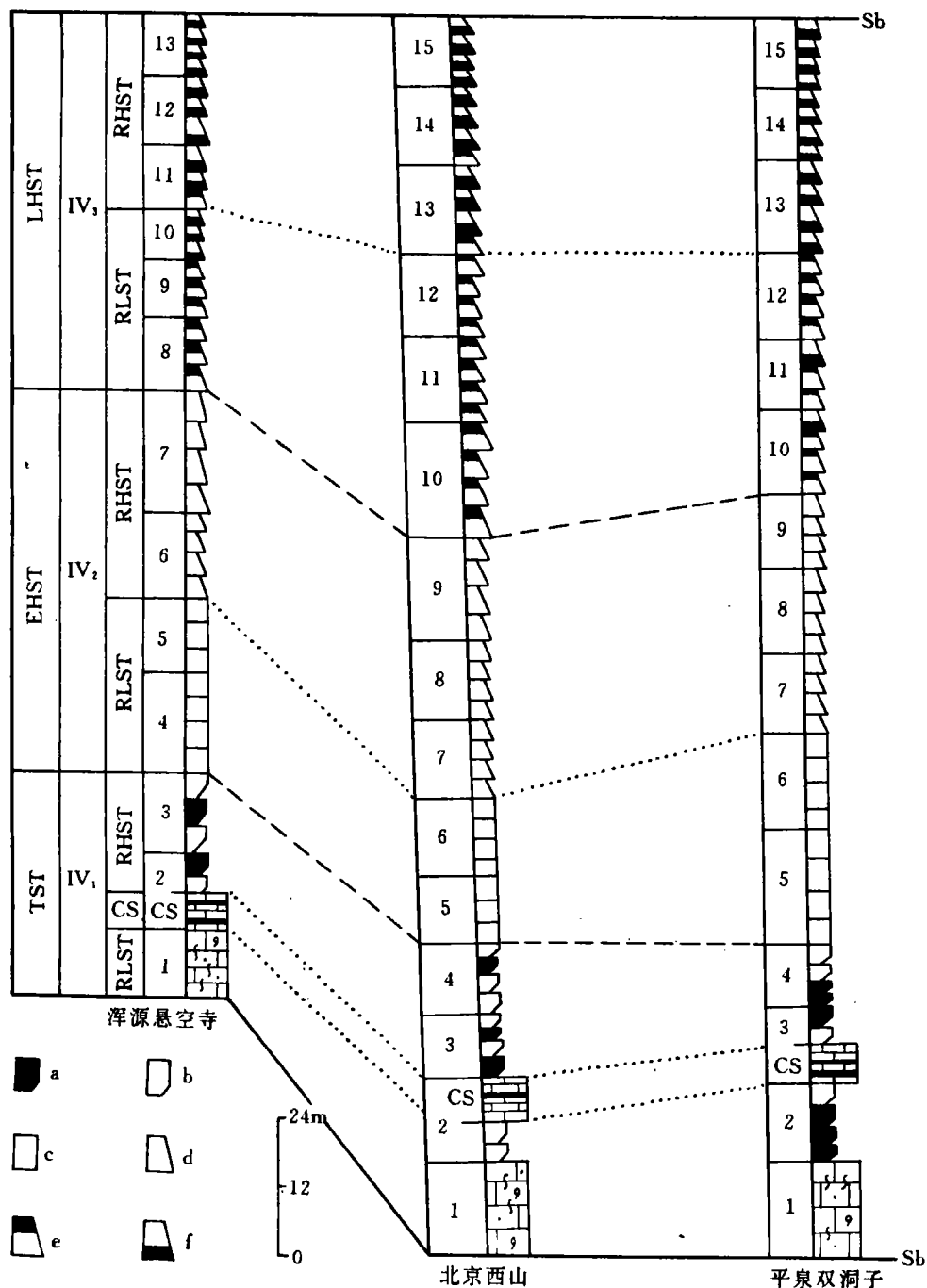


图4 亮甲山组地层构成的复合海平面变化旋回层序的横向对比
(米级旋回层序符号同图1及图3)

Fig. 4 The lateral correlation of the composite sea-level
change cyclic sequences in the Liangjiashan Formation

(The symbols of the metre-scale cyclic sequences as same as in Figs. 1 and 2)

亮甲山组地层所构成的复合海平面变化旋回层序在华北地台北缘的山西浑源—北京西

山—平泉双洞子一带是可以对比的,特别是其长周期海平面变化(三级与四级)基本上一致。高频率振荡旋回层序不一致的原因可能是先成古地理背景不完全一样,海平面快速上升造成的“淹没间断”与海平面下降造成的“暴露间断”所造成的“间断时间幅度”的不一致性所致。

结语

1. 在克拉通盆地等浅海相地层中进行露头层序地层研究时,应该把地层旋回性记录中的高频率海平面变化旋回所形成的米级旋回层序作为基本工作单元,根据不同类型的米级旋回层序及其有序叠加形式来识别长周期旋回层序,而机械地套用“层序地层学”的体系域划分不但太粗略而且会产生一些误解和困难,因为克拉通盆地等浅水地层中海侵面、最大海泛面的产物难以识别。大多情况下,由于海水很浅,故“凝缩层”不发育,即使“凝缩段”发育,其本身也还存在是三级还是四级旋回层序的“凝缩段”的问题。地层旋回性记录中的间断——不管是加深间断还是暴露间断,都是频繁发生的,只不过可以根据其间断的时间幅度而隶属于不同级次的旋回层序。这些问题在亮甲山组地层构成的复合海平面变化旋回层序中也充分显示出来。

2. 旋回地层层序的研究需要更详细的生物地层资料,如亮甲山组地层中所识别的3个四级旋回层序,它需要生物带来确定其相对地质时代。生物地层学能为旋回地层及层序地层所研究出的海平面变化事件提供一个可以进行盆内对比乃至盆地间对比的工具,但本文在这方面是一大缺陷,我们还在继续工作来解决这一问题。

3. 根据米级旋回层序的叠加型式等可以为地层提供形成时代的时间信息,如亮甲组地层中3—5个米级旋回层序构成一个更大的旋回层序,考虑到早奥陶世是地球历史上的温室效应时期,可能比偏心率旋回更短的地球轨道效应产生的极地冰盖消长所最终形成的“冰川型海平面变化”对地层旋回性记录影响不大,故把米级旋回层序定为六级。这样,亮甲山组地层中发育了50—60个米级旋回层序,13—15个五级旋回层序,那其形成时间约为5—6Ma,这不包括其顶界面的暴露间断时间。当然,地层形成时限的这种确定方法是否与自然事实相等,还需其他方法的验证和校正,但在现有条件下它还是能提供一种时间信息。

本文在野外工作及成文过程中均得到孟祥化教授及葛铭付教授的指导与帮助,在此深表感谢!

参 考 文 献

- 孟祥化、葛铭著,1993,内源盆地沉积研究,pp. 275,石油工业出版社。
- 梅冥相,1992,碳酸盐台地的地层层序格架及旋回地层层级,《岩相古地理》92年第2期。
- 梅冥相,1993,碳酸盐岩米级旋回层序的成因类型及识别标志,《岩相古地理》93年六期。
- 梅冥相等,1993,碳酸盐沉积作用的非渐变沉积过程及其米兰柯维奇机制,见《岩石、矿物、地球化学新探索》,地震出版社。
- 梅冥相译,龚一鸣校,1992,Miall 著(1991),层序地层及其年代地层对比,《地质科学译丛》92年第1期。
- Aigner, T., 1984. Dynamic stratigraphy of epicontinental carbonates (Middle Triassic), South-German Basin: N. Jb. Geol. Palaont., Vol. 169, pp. 127—169.
- Anderson, E. J. and Goodwin, P. W., 1990. The significance of meter-scale allocycles in the quest for a fundamental

stratigraphic unit; *J. of Geol. Soc. London*, Vol. 147, pp. 507—518.

Einsele, G. and Seilacher, A., 1982. *Cyclic and Event Stratification*. Springer.

Einsele, G., 1984. Response of sediments to sea-level changes in different subsiding storm-dominated epeiric basin. In: Bayer, G. and Seilacher, A. (eds), *Sedimentary and Evolutionary Cycles*, Springer, pp. 66

Goldhammer, R. K. et al., 1990. Depositional cycles, composite sea-level changes, cycle stacking pattern hierarchy of stratigraphic forcing; Examples from Alpine Triassic platform carbonates; *Geol. Soc. Am. Bull.* 535—562.

Goodwin, P. W. and Anderson, E. J., 1985. Punctuated aggradational cycles: a general hypothesis of episodic graphic accumulation; *J. of Geol.*, Vol. 93, pp. 515—533.

Hallam, A., 1981. A revised sea-level curve for the Early Jurassic; *J. Geol. Soc. London*, Vol. 138, pp. 735—743.

Mackenzie, F. J. and Pigott, G. P., 1981. Tectonic controls of Phanerozoic sedimentary rock cycling; *J. Geol. Soc. London*, Vol. 138, pp. 183—196.

Miall, A. D., 1984. *Principles of sedimentary basin analysis*, pp. 382, Elsevier, Amsterdam.

Osleger, D., 1990. Subtidal carbonate cycles; implication for allocyclic vs. autocyclic controls; *Geology*, Vol. 19, pp. 917—920.

Osleger, D. A. and Read, J. F., 1991. Relation of eustasy to stacking patterns of meter-scale carbonate cycles, Late Cambrian, U. S. A.; *J. Sed. Petro.*, Vol. 61, No. 7, pp. 1225—1252.

Osleger, D. A. and Read, J. F., 1991. Cyclostratigraphy of Late Cambrian carbonate sequences: an international comparison of passive margins; *Pacific Section SEPM*, Vol. 67, pp. 801—828.

Read, J. F. and Grotzinger, J. P. et al., 1986. Models for generation of carbonate cycle. *Geology*, Vol. 14, pp. 107—110.

Read, J. F. et al., 1991. Field and modelling studies of Cambrian carbonate cycles—Reply; *J. Sed. Petro.*, Vol. 61, No. 4, pp. 647—652.

Read, J. F., 1989. Controls on evolution of Cambrian—Ordovician passive margin, U. S. Appalachians; In *SEPM special publication*, No. 44, pp. 147—165.

Read, J. F. et al., 1992. Two-dimensional computer modelling of cyclic carbonate sequences; *Kansas Geological Survey Anni. Publication on computer Modelling of cyclic sequences*.

Seilacher, A., 1984. The general model; Event condensation in a modern intertidal environment, In Bayer, G. and Seilacher, A. (eds), *Sedimentary and evolutionary cycles*, Springer, pp. 336—341.

Sloss, L. L., 1963. Sequence in the cratonic interior of North America; *Geol. Soc. America Bull.*, Vol. 74, pp. 93—114.

Vail, P. R. et al., 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part I-IV, In C. E. Parton (Editor); *Seismic Stratigraphy*. Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem. 26, pp. 26—97.

ITE SEA-LEVEL CHANGE CYCLIC SEQUENCES F THE CARBONATES IN THE ORDOVICIAN LIANGJIASHAN FORMATION ON NORTHERN NORTH CHINA PLATFORM

Mei Mingxiang

China University of Geosciences, Beijing

ABSTRACT

Six types of the metre-scale carbonate cycles are recognized in the Ordovician Liangjiashan Formation on northern North China platform. Types a and b are assigned to the sub-tidal types, which consist of calcareous mudstone (Type a) and thin-bedded micritic limestone (Type b) in the lower units, and of grainy micritic limestone (the same in Types a and b). Types c to f are ascribed to the tidal flat types, which are all composed of thin-bedded dolomicrostone and muddy dolostone in the upper units, whereas in the lower units, Type c consists of the thick-bedded and massive grainy micritic limestone; Type d is built up by the locally dolomitized grainy micritic limestone; Type e is made up of dolomitized grainy micritic limestone, and Type f represents the moderately thick-bedded micritic crystalline dolostone with a small amount of grains. It follows that Types a to f do well to form the hierarchy of the environmental changes of the metre-scale cyclic sequences.

Based on the ordered vertical stacking patterns of the metre-scale cyclic sequences, the composite sea-level change cyclic sequences may be constructed for the strata in the Liangjiashan Formation. One third-order cyclic sequence comprises three fourth-order cyclic sequences, thirteen to fifteen fifth-order cyclic sequences, and sixty and more metre-scale cyclic sequences.

The results herein have revealed that the metre-scale cyclic sequences may be used as the basic working units whose ordered vertical stacking patterns are believed to be the key to the identification of long period cycles in the study of outcrop cyclic sequences in the shallow-water strata.

Key words: cyclic sequence, composite sea-level change, Liangjiashan Formation, Ordovician