

华北中寒武世张夏组复合海平面变化旋回层序*

梅冥相 梅仕龙

(中国地质大学,北京 100083)

提 要 华北中寒武世张夏组,以发育较多的鲕粒灰岩著称。其中发育的五十至六十余个潮下型碳酸盐米级旋回层序形成有规律的垂直叠加形式,构成十余个五级旋回层序,三个四级旋回层序及一个三级旋回层序,最终形成一个典型的复合海平面变化旋回层序。这些潮下型碳酸盐米级旋回层序,常呈 1:4 的叠加关系,反映了地层记录中的米兰柯维奇性质,即单个米级旋回层序与短偏心率旋回(周期为 10 万年)有关。不同级别旋回层序及其有序叠加形式,反映了鲕粒滩沉积的非渐变性及旋回性。

关键词 旋回层序 复合海平面变化 张夏组 中寒武世 华北

分类号 P 53

第一作者简介 梅冥相,32岁 副教授 博士 沉积学及地层学专业

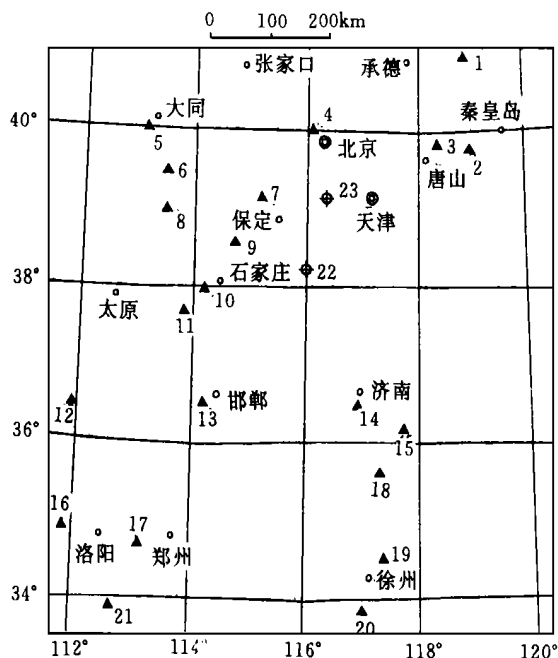
旋回,应指地层沉积作用或堆积作用的周期性作用时间过程;层序,是指相应旋回过程的产物。由于海平面变化存在不同的周期和级次,将形成幕式沉积作用过程,最终形成不同级别的旋回层序。而不同级别旋回层序之间的有规律的垂直叠加形式,即构成了复合海平面变化旋回层序^[4]。

1 张夏组米级旋回层序的成因类型

在研究区域内(图 1),张夏组地层由以下岩相单元构成(图 2示): a 盆地相钙质泥岩或粉砂质钙质泥岩; b 盆地相含泥质条带薄层泥晶灰岩; c 缓坡相至滩相鲕粒灰岩; d 缓坡相生物丘灰岩。把上述四个岩相单元从深到浅垂直叠加在一起,即构成图 2 所示的向上变浅相序,该相序形成了潮下型米级旋回层序的基本模式。在实际地层记录中,由图 2 所示的完整相序构成的米级旋回层序较少见,多由两到三个单元构成,它们以“岩层向上变厚、颗粒向上变粗、环境向上变浅”为特征。随着沉积环境由深变浅,这些米级旋回层序的岩相单元将发生有规律的变化,从而构成一个图 3 所示的米级旋回环境变化谱系。

米级旋回层序的环境变化谱系表明,它们是异成因机制(与米兰柯维奇旋回有关的高频率海平面变化)控制下的、周期性的自旋回沉积过程的产

物^[1,2,3,5,6]。如图 4 所示,在均衡沉降的构造背景下,



1. 平泉双洞子, 2. 卢龙武山, 3. 唐山赵各庄, 4. 北京西山, 5. 大同口泉, 6. 山西浑源悬空寺, 7. 河北保定清醒, 8. 五台山红石头掌, 9. 曲阳西口南, 10. 井径东方岭, 11. 山西昔阳, 12. 洪洞广胜寺, 13. 邯郸峰峰, 14. 泰安张夏, 15. 莱芜颜庄, 16. 渑池任村, 17. 郑州嵩山, 18. 山东泗水, 19. 徐州贾旺, 20. 宿县夹色, 21. 鲁山辛集, 22. 留 9 井, 23. 桐 16 井

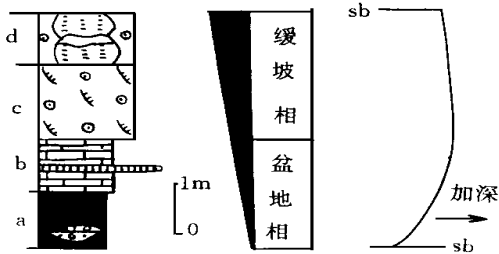
图 1 研究区域及剖面位置

Fig. 1 Studied areas and section locations

* 国家重大基础攻关项目—中国古大陆及其边缘层序地层及海平面变化研究(SSLC)的成果之一

沉积环境本身就存在如图 4A所示的空间变化(鲕粒滩到盆地相所代表),这种主要以空间变化所控制的环境变化称为“静态变化”,各相带之间的相变面为“静态相变面”;由海平面变化产生的加深(图 4之

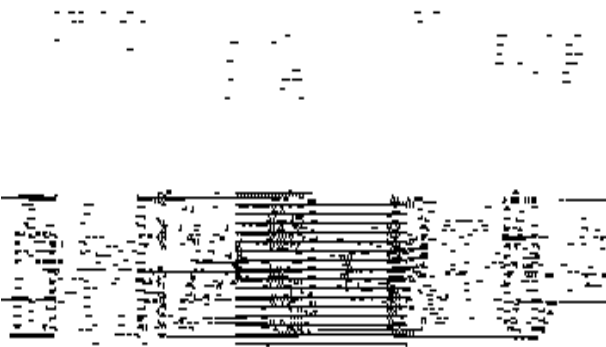
c. e. i.),尽管米级旋回层序的相序结构存在差异,但它们反映的环境加深及变浅过程是同步的,这就是旋回层序的“时间上环境变化的同步性”的体现;构成米级旋回层序的岩相单元及相序结构,在空间



sb为瞬时淹没断面, a至 d代表不同的岩相单元,说明见正文。

图 2 米级旋回层完整相序

Fig. 2 Complete facies- succession of a meter-scale cyclic-sequence

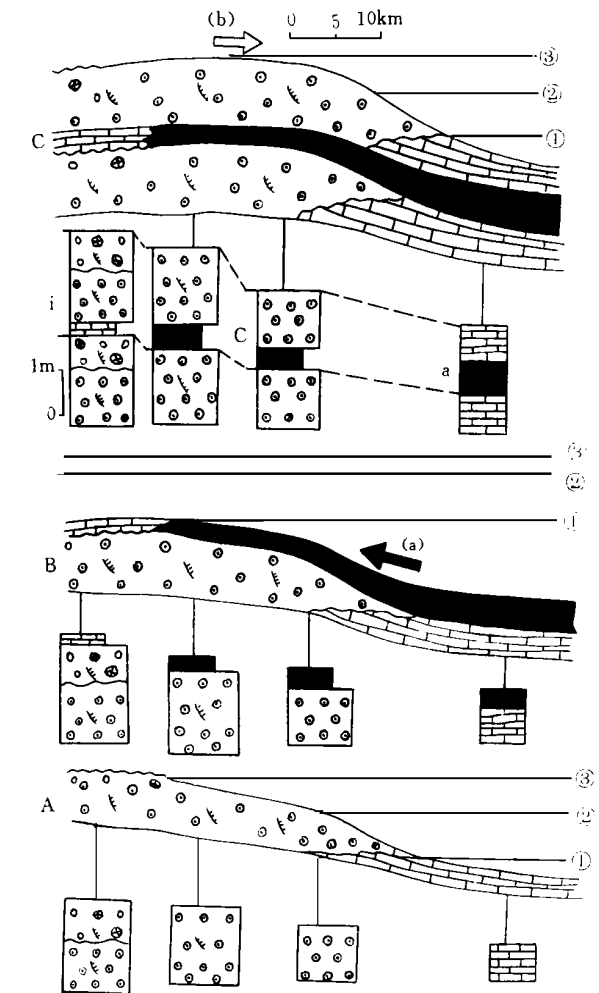


a至 i代表不同类型的米级旋回层序;①为风暴浪基面,②为正常浪基面③为海平面; 1受淡水改造的滩相鲕粒灰岩, 2生物丘灰岩, 3滩相鲕粒灰岩, 4缓坡相鲕粒灰岩, 5盆地相薄层泥晶灰岩, 6盆地相泥晶灰岩, 7风暴砾屑灰岩, 8海绿石灰岩, 9钙质泥岩

图 3 米级旋回层序的环境变化谱系

Fig. 3 Paleoenvironment spectrum of subtidal carbonates in meter-scale cyclic sequences

A到 B)及变浅(图 4之 B至 C)同样又会产生相带迁移,加深和变浅过程均会产生与间断面共生的相变面,称之为“动态相变面”,这种“动态相变面从深到浅可能从淹没间断面变为暴露间断面,不同的沉积环境中其间断时间有在差异,从而表明动态相变面也是穿时的面,称为“间断面穿时”。一个海平面变化所产生的加深和变浅过程,其结果是在不同的沉积环境中形成不同类型的米级旋回层序(图 4之 a.



A到 B代表环境加深过程,产生由(a)所示的淹没海泛作用; B到 C代表海平面下降道成的环境变浅过程,产生(b)所示的鲕粒滩沉积作用;①为风暴浪基面 ②为正常浪基面,③为海平面; a. b. c. i.代表图 3所示的米级旋回层序类型

图 4 米级旋回层序的成因过程

Fig. 4 Genetic process of a meter-scale cyclic sequence

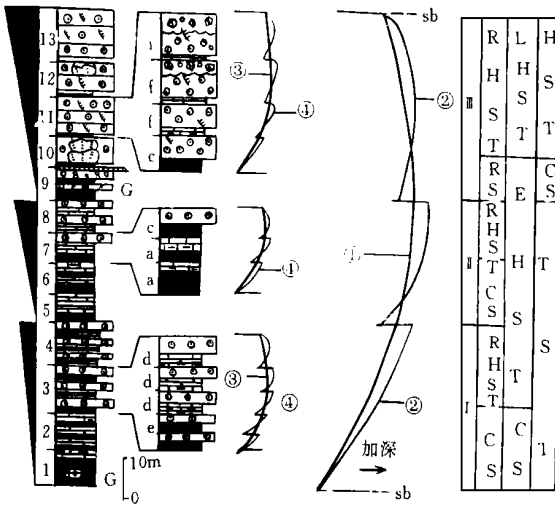
上又存在有规律的变化,如图 4C所示,米级旋回层序的下部岩石单元由盆地相钙质泥岩变为泥晶灰岩,上部单元由泥晶灰岩变为鲕粒灰岩,由深到浅鲕粒灰岩变厚,体现了旋的“空间上相序的有序性”。叠加于沉积环境的静态(空间)变化之上的,由异成因海平面变化所驱动的动态(时间)变化,正好反映了

异成因机制控制下的自成因沉积过程 (如淹没作用和鲕粒滩进积作用等), 这就是为什么说米级旋回层序是异成因机制控制下的自旋回沉积过程的产物

2 米级旋回层序在长周期层序中的有序叠加形式

以发育较多的鲕粒灰岩为特征的张夏组, 并非是连续沉积的鲕粒滩, 其中发育有不同级次的淹没间断面。如图 5 所示, 50 余个米级旋回有序叠加构成十余个五级旋回层序 (米级旋回序列), 大多由 3 - 5 个构成一组 (如图 5 中的“c - c' - d - d'”序到“a - a' - c'”序列到“e - f - f'”序列等) 而呈 1: 4 的叠加关系, 反映了地层记录的米兰柯维奇旋回性, 即单个米级旋回与短偏心率旋回有关, 五级旋回层序与长偏心率旋回 (周期为 40 万年) 有关, 研究区域张夏组地层中可识别出 13 - 16 个五级旋回层序, 间接地代表其形成时限为 500 万至 650 万年。

米级旋回层序在长周期三级、四级旋回层序中也形成有规律的垂直叠加形式: 在四级旋回层序的

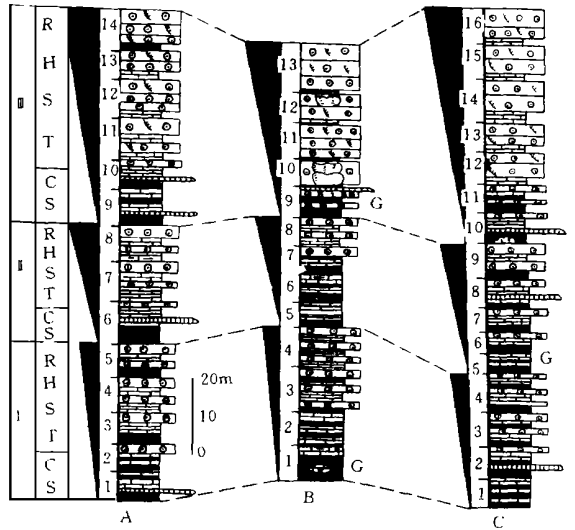


1 至 13 代表五级旋回层序, a 至 i 代表图 3 所示的米级旋回层序类型, G 为发育青海绿石生物屑灰岩的地层, I 至 III 代表四级旋回层序, ① 至 ④ 分别代表三级、四级、五级、六级海平面变化曲线, CS 为凝缩段, RHST 为相对高水位体系域, EHST 为早期高水位体系域, LHST 为晚期高水位体系域

图 5 张夏组复合海平面变化回层序—以浑源悬空寺剖面为例

Fig. 5 Cyclic-sequence of the composite sea-level change developed in Zhangxia Fm, Taking the Xuankongsi section of Hunyuan County as an example

CS 单元中, 由于叠加在长周期海平面变化上升阶段的高频率海平面变化所产生的加深效应比变浅效应明显, 故发育 a, b 型米级旋回, 由远洋相钙质泥岩及半远洋泥晶灰岩组成, 构成四级旋回层序的凝缩段 (CS) 单元; 反之, 在四级旋回层序的 RHST 单元中, 则发育由鲕粒灰岩作为上部岩石单元的米级旋回层序如 d, e, f, g, h, i 等。四级旋回层序在三级旋回层序中又形成有规律的叠加, 从图 5 之 I 至 III 可看出, 旋回层序 I 和 II 的 RHST 发育 c, d, e 型米级旋回, 只是旋回层序 III 的 RHST 单元才发育属滩相的 f, g, h, i 型米级旋回层序。从更大层次的相序上讲, 张夏组构成的三级旋回层序的相序特征是: “盆地相—中缓坡—盆地相—中缓坡—盆地相—中缓坡—浅缓坡 (鲕粒滩) 相”, 即一个由“CS+EHST+LHST”序列构成的三级旋回层序, 包含三个“CS+RHST”构成的四级旋回层序。这种不同级别旋回层序间的有序叠加, 正好说明了“旋回含旋回 (Cycle within cycle)”的本质涵义。



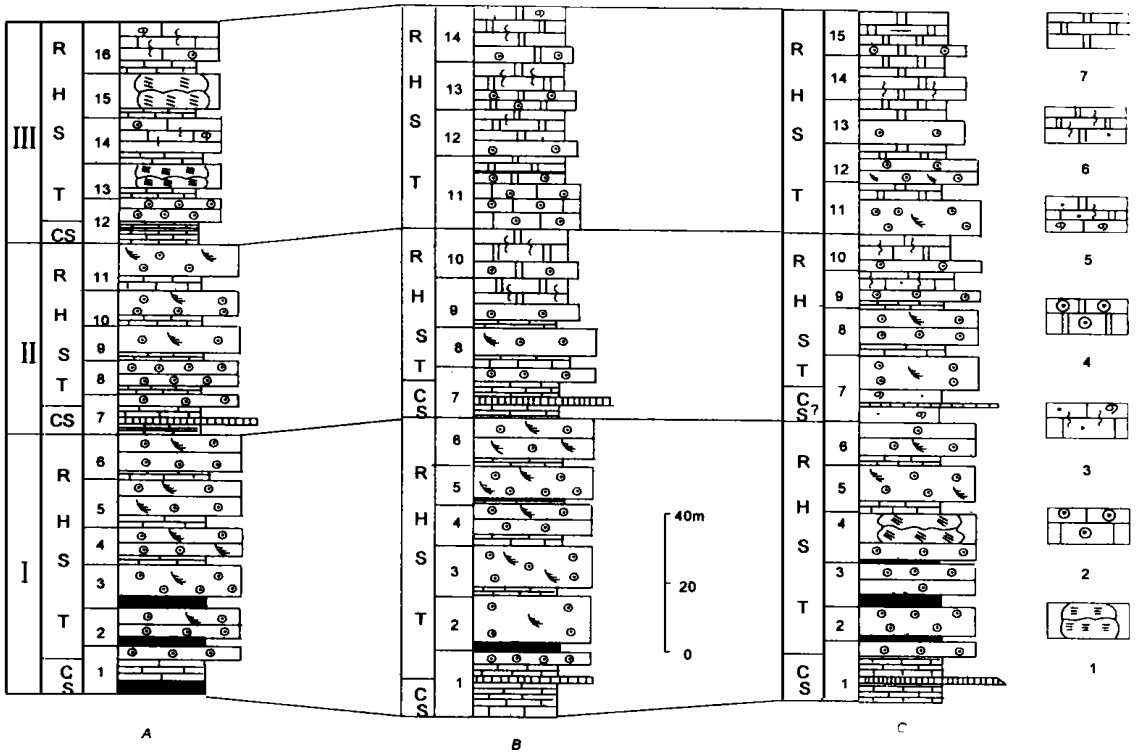
1 至 16 代表五级旋回层序, G 为发育海绿石生物屑灰岩的地层; A 为大同口泉剖面, B 为浑源悬空寺剖面; C 为北京西山剖面

图 6 华北北缘张夏组旋回层序的横向对比

Fig. 6 Horizontal correlation of cyclic-sequences developed in Zhangxia Fm. the northern margin of North China

3 张夏组旋回层序的空间变化及地层格架

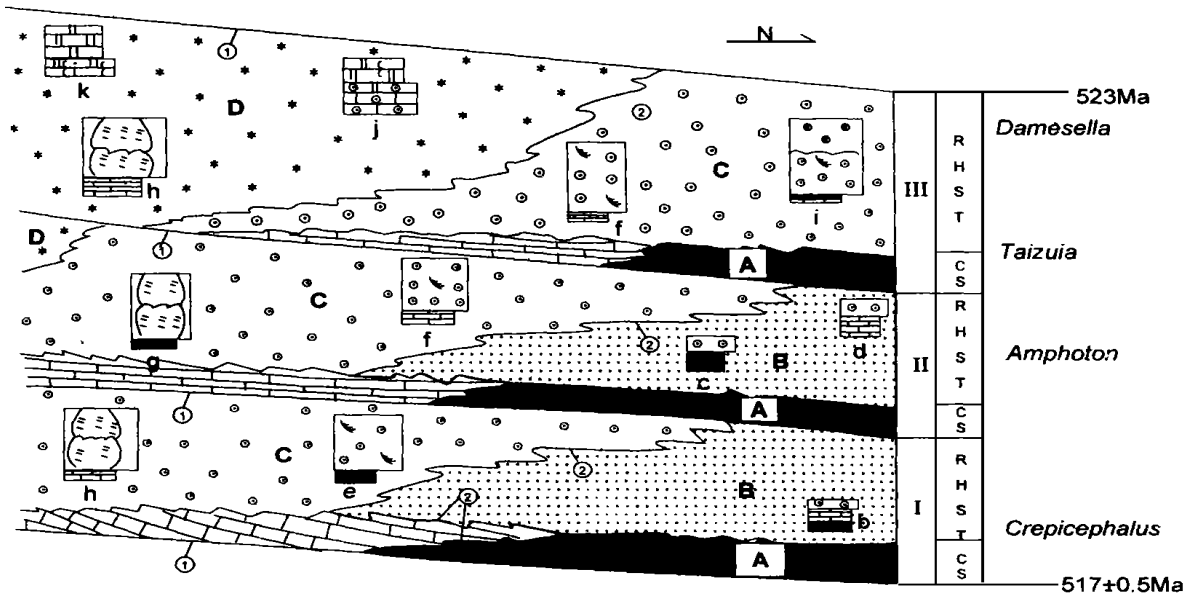
在研究区域北部, 图 5 所示的三个四级旋回层



1至 16代表五级旋回层序, A为徐州贾旺剖面, B为宿县夹沟剖面, C为郑州嵩山剖面;①为叠层不生物丘 ②为滩石坪含泥晶鲕粒灰岩 ③为滩后坪生物潜穴颗粒泥晶灰岩,④为滩后坪鲕粒白云岩 ⑤为潮坪相含颗粒白云质灰岩,⑥为潮坪相含生物潜穴白云岩, ⑦为潮坪白云岩。其他岩性符号同图 3

图 7 华北南缘张夏组旋回层序的横向对比

Fig. 7 Horizontal correlation of cyclic sequences developed in Zhangxia Fm. the sothern margin of North China



A代表深缓坡至盆地相地层, B代表中缓坡相地层, C为浅缓坡至鲕粒滩相地层, D为滩后坪相地层;①为与间断面共生的动态相变面, ②为静态相变面; a至 i代表图 3所示的米级旋回层序, j和 k为环潮坪米级旋回层序

图 8 华北张夏组地层格架

Fig. 8 Stratigraphical framework of Zhangxia Fm. in North China

序均以“CS+ RHST”序列为特征;张夏组构成的三级旋回层序为一淹没不整合型层序,以“CS+ EHST+ LHSI”为特征,而“TST+ CS+ HST”的划分是不正确的,三个四级旋回层序代表的三个“加深淹没→总体向上变浅”过程均可进行很好的对比(图 6)

在研究区域南部,三个四级旋回层序的 CS 单元均以盆地相至深缓坡相薄层泥晶灰岩为特征,而且第三个四级旋回层序的 CS 单元特征不明显,它们之间的界面除了四级旋回层序 I 的底界面为淹没间断面外,II 和 II 的底界面则为连续沉积的动态相变面(图 7);更为特殊的是,四级旋回层序 I 和 II 的 RHST 单元以鲕粒滩相灰岩为主,II 的顶及 III 的 RHST 单元则发育较多的滩后坪相岩石——潮坪相白云岩、潮坪相含颗粒泥晶白云岩、潮坪相含颗粒白云质灰岩、滩后坪鲕粒白云岩、滩后坪生物潜穴颗粒泥晶灰岩、滩后坪泥晶鲕粒灰岩等,与北缘形成明显的区别。另外,在第 III 个四级旋回层序的 RHST 中远发育图 8 之 J K 所示的环潮坪型米级旋回层序,即含:“颗粒泥晶白云质灰岩——潮坪白云岩”为特征的 K 型以及“滩后坪鲕粒白云岩——潮坪的白云岩”为特征的丁型。

正是根据南北向的变化特征,即可建立图 8 所示的旋回层序格架。该格架说明了华北张夏组的鲕粒滩的非渐变沉积过程及空间分布特征:即隶属于四级旋回层序的加深淹没过程中形成从南到北由薄变厚的 CS 单元;在四级旋回的海平面变化停滞期及下降期,则以鲕粒滩的从南向北的进积作用为特征,在晚期还形成潮坪进积作用。在华北北缘,张夏组构成的三级旋回层序以:盆地相—深缓坡—中缓坡—浅缓坡及鲕粒滩”的垂向相序为特征;在南缘,则以“鲕粒滩—滩后坪”为特点。更重要的是,频繁而有序的相变,在地层记录中形成了两种相变面(图 8 之①和②);与间断面共生的动态相变面和静态相变面,前者由海平面变化产生的沉积环境的时间变化的产物,后者主要为沉积相空间变化的产物,前者造成各地间断面时间不同的“间断面面穿时”,后者造成“相变面穿时”。

4 结 语

不同级别旋回层序及其有序叠加形式的研究表明,地层的堆积作用过程是一个非渐变沉积过程。旋回层序的两大特征——“空间上相序的有序性及时间上环境变化的同步性”,赋予旋回层序特殊的沉积学涵义及地层学意义。为此,我们可以得出以下结论:

(1) 异成因旋层序,首先是一个有成因相关的相序,“成因相关”的本质意义是该相序能代表一个海平面升降变化过程,以此而与传统的相序相区别。

(2) 旋回层序界面,首先是一个相变面,我们称之为“动态相变面”,其次是一个间断面,它指加深淹没间断面及暴露间断面,前者是上覆地层加深效应大于下伏地层变浅效应的产物,后者是下伏地层较强的变浅效应的产物。

(3) 凝缩段,并非只有三级旋回层序所独有,它是与海平面相对快速上升过程中产生的海泛作用的产物,同样也存在级别归属。

(4) 在露头研究及岩芯观察中,“岩性、岩相、相序”是关键,不同级别旋回层序及其有序叠加形式是研究的核心。如图 5 所示,张夏组构成的三级旋回层序,包含三个四级旋回层序,其体系域划分存在多种方案,说明了机械地进行层序界面的识别及体系域划分不是解决问题的关键。

参 考 文 献

- [1] 梅冥相. 岩相古地理. 1992, 12(2): 44~ 50.
- [2] 梅冥相. 岩相古地理. 1993, 13(6): 35~ 45.
- [3] 梅冥相, 周丕康. 岩相古地理. 1994, 14(1): 17~ 25.
- [4] 梅冥相, 罗光文, 苏德辰. 桂林冶金地质学院学报. 1994, 14(2): 145~ 153.
- [5] Goldhammer R K, et al. Geological Society of America Bull. 1990, 102(2): 535~ 562.
- [6] Oslager D A and Read J F. Journal of Sedi, Petro, 1991, 61(4): 1225~ 1252.
- [7] Swarzacher W. Cyclostratigraphy and the milankovitch theory. Elsevier, 1993, 225.

Cyclic-Sequences of Composite Sea-Level change Developed in Zhangxia Formation of Middle-Cambrian in North-China

Mei Mingxiang and Mei Shilong

(China University of Geosciences, Beijing 100083)

Abstract

Zhangxia Formation of the Middle Cambrian in North China is particularly famous for the well-developed oolitic limestone. Many kinds of meter-scale cyclic-sequences, belonging to subtidal carbonate type are discerned in Zhangxia Formation, and they are characteristic of "upward thickening of rock-bed" and "upward coarsening of sedimentary grain" as well as "upward shallowing of depositional environment". The stacking pattern of 1: 4 indicates that one meter-scale cyclic-sequence is genetically related to short-precession cycle of the Milankovitch cycle. In strata of Zhangxia Formation, various order cyclic-sequences and their regularly vertical stacking patterns constitute a typical carbonate cyclic-sequence of composite sea-level changes.

On basis of the nature of the carbonate cyclic-sequence of composite sea-level changes developed in Zhangxia Formation, it could be concluded as follows

① Cyclic-sequence ought to be a genetically relative facies-succession at first, the meaning of which is that this facies-succession can reflect a process of relative sea-level changes. There are various orders for cyclic-sequences, which are genetically related to various periods of sea-level changes.

② The surface of cyclic-sequence is a facies-changing surface that generally coexists with punctuated surface, which includes exposing punctuated surface and deepening-starve punctuated surface.

③ In the research of cyclostratigraphy and sequence stratigraphy, especially the study of outcrop as well as rock-core section, "lithology and lithofacies as well as facies-succession" are the key to discern cyclic-sequences, various order cyclic-sequences and their regularly vertical stacking patterns are the core.

④ Condensed section that is defined by stratigraphy, does not exist in the third-order cyclic-sequence. In some depositional environment, there is also "condensed section" in the fourth-order cyclic-sequence(subsequence). So it must be careful to pay attention to the belonging of condensed section in various order cyclic-sequences.

⑤ There are two important factors for cyclic-sequences regularity of facies-succession in space and simultaneity of environment change in time, both of which endow with particular meanings on stratigraphy and sedimentology to cyclic-sequences.

Key Words cyclic-sequence variation of composite sea-level Zhangxia Formation Middle Cambrian North China