

浅海相碎屑岩米级旋回层序的成因类型及其在长周期旋回层序中的有序叠加形式

梅冥相

(中国地质大学, 北京)

[内容提要] 与碳酸盐岩地层相似,与地球轨道效应有关的高频率海平面变化旋回在碎屑岩地层中也形成类似的米级旋回层序。这种异成因机制控制下的自旋回沉积过程的产物,根据沉积动力机制可分为潮汐动力型及波浪动力型,前者以“环境总体向上变浅、颗粒向上变细、岩层向上变薄”的正粒序序列为特征,后者以“环境向上变浅、颗粒向上变粗、岩层向上变厚”的反粒序序列为特征。这些不同类型的米级旋回层序不但是基本的地层工作单元,而且其有序垂向叠加形式是识别和定义长周期三级旋回层序的基础,这在岩心观察、露头研究中显得尤为重要。

关键词 碎屑岩 米级旋回层序 成因类型 有序叠加形式

在前人研究成果的基础上,如 Osleger^[1]对潮下型碳酸盐米级旋回层序,Read^[2]对环潮坪型碳酸盐米级旋回层序,Massetti^[3]对深水非对称型米级旋回层序等的研究,梅冥相等^[4~10]把碳酸盐岩米级旋回层序归为四大类型:L-M型、潮下型、环潮坪型、深水非对称型,并对其识别标志、相序组构特征、环境变化谱系,以及不同类型米级旋回层序在长周期旋回层序中的有序叠加形式进行了系统的介绍;吴智勇等^[11,12]也对与米兰柯维奇旋回有关的高频率旋回沉积作用进行过介绍;童金南等^[13]对浅滩相碳酸盐“副层序”的研究,这些不胜枚举的研究成果,表明了米级旋回层序在碳酸盐岩地层中的普遍存在。许多学者在进行层序地层,特别是露头层序地层学研究时,已注意到“副层序”的相序特征及类型,如章雨旭等^[14]对北京西山寒武至奥陶系地层中副层序类型的描述。他们所谈的“副层序”相当于本文所指的米级旋回层序。

由于碎屑岩的形成作用多以“侧向加积作用”为主,与高频率海平面变化的响应不象碳酸岩那么明显,但它们在不同的沉积环境,由于沉积动力机制的不同而形成不同类型的米级旋回层序,而且不同类型的米级旋回层序具有各自特征迥异的相序特点。

1 潮汐动力型碎屑岩米级旋回层序

如图1所示,由潮汐作用为主要动力的陆表海环境,高频率海平面变化所形成的米级

① 九五攀登专项——“中国层序地层、地球节律与古大陆再造(SSER)”的成果之一。

② 本文1998年2月4日收稿。

旋回层序是以“正粒序序列”为特征的，米级旋回层序随沉积环境由深变浅，“厚基底类”逐渐变为“薄基底类”，构成一个米级旋回层序的环境变化谱系。这种类型米级旋回层序的总体特征是：向上沉积环境总体变浅、岩层向上变薄、颗粒向上变细，而且米级旋回层序间多由暴露间断面或相应的面分开。潮汐动力型碎屑岩米级旋回层序主要发育在以潮汐和风暴为主要沉积营力的浅海环境中，而且它们在长周期三级旋回层序中常形成有规律的垂直叠加形式，更为重要的是三级旋回层序的相序组构与它所包含的米级旋回层序具有相似性。

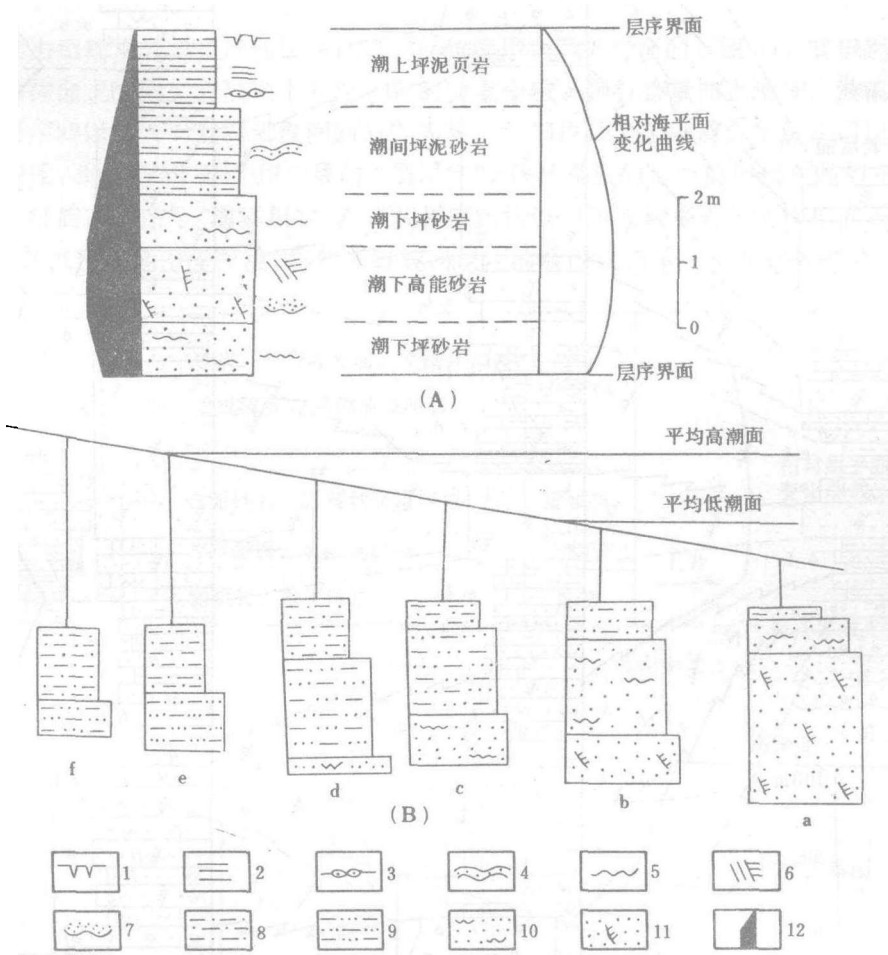


图 1 潮汐动力型碎屑岩米级旋回层序

(A)为具完整相序的米级旋回层序；(B)为米级旋回层序及其环境变化谱系；a至f代表不同类型的碎屑岩米级旋回层序；a和b为厚基底类；c和d为过渡类型；e和f为薄基底类；1. 干裂；2. 水平纹层；3. 透境状层理；4. 波状层理；5. 脉状层理；6. 交错层理；7. 冲刷面以及充填于冲刷面之上的正粒序层构成的风暴沉积；8. 潮下坪砂岩；9. 潮间坪泥砂岩；10. 潮下坪砂岩；11. 潮下高能砂岩；12. 正粒序序列

发育于燕山地区东部的元古宇常州沟组是以一套潮坪碎屑沉积为特征的地层，其中根据岩相及相序组构可以识别出 4 个长周期三级层序（图 2），发育的潮汐动力型碎屑岩米级旋回层序在三级层序中形成有规律的垂直叠加形式，表现在以下几方面：第一、在与三级海平面下降阶段产生的环境变浅过程中，大部分三级层序之顶部发育薄基底类（图 1 之 e、f）潮汐动力型碎屑岩米级旋回层序；第二、在三级海平面变化旋回的最大海侵期（即最大

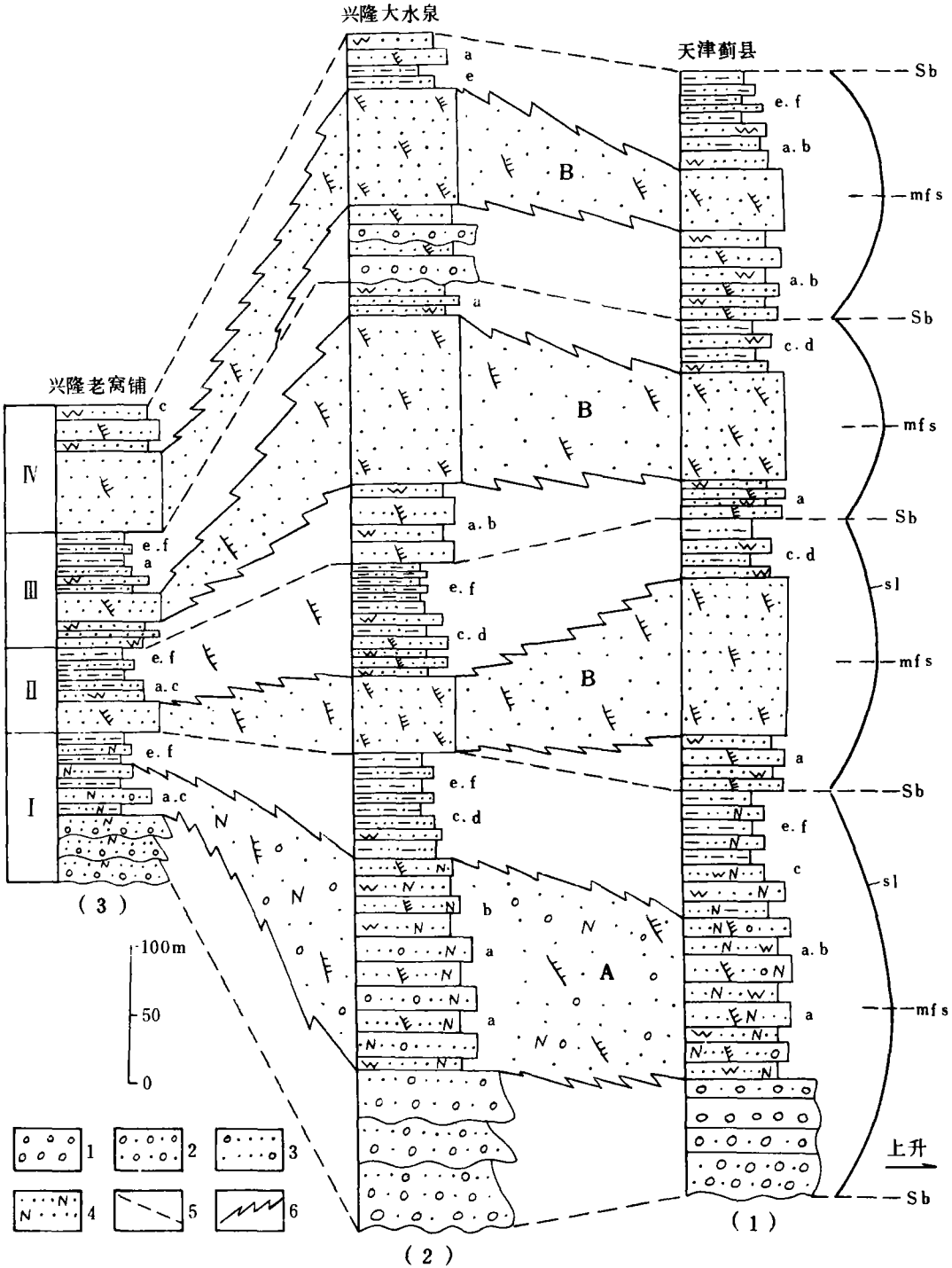


图2 元古宇常州沟组地层中的三级层序划分

图中I、II、III、IV代表4个三级层序,a至f代表米级旋回层序类型,sb为层序界面,sl代表相对海平面变化曲线,
mfs代表最大海泛面;A为以含长石粗砂岩和含长石细砾粗砂岩为特征的潮下高能砂体;
B为以中细粒石英砂岩为特征的潮下高能砂体;1. 中细粒砾岩;2. 含砂砾岩;3. 含砾砂岩;
4. 含长石砂岩;5. 与层序界面共生的动态相变面;6. 静态相变面

海泛面 (mfs) 的形成期), 不是形成“凝缩段”, 而是形成潮下高能砂体, 米级旋回层序不发育, 只是偶尔见到厚基底类潮汐动力型米级旋回层序 (图 1 之 a 和 b 示); 第三、三级层序的相序组构与米级旋回层序存在相似性。要注意的是, 在三级海平面变化旋回最大海侵期形成的潮下高能砂体, 从南东至北西厚度变薄, 每一个三级层序顶部以发育薄基底类米级旋回层序为特征的局限潮坪相沉积则变厚, 同时表明了三级层序界面 (sb) 自北西向东南由“暴露间断面”变为相对连续的“沉积物转换面”。

2 波浪动力型碎屑岩米级旋回层序

波浪动力型碎屑岩米级旋回层序是以“反粒序序列”为特征的 (图 3), 其识别标志是沉积环境总体向上变浅、岩层向上变厚、颗粒向上变粗、颗粒含量向上增加。波浪动力型米级旋回层序间以“瞬时加深淹没间断面”为界, 与潮汐动力型碎屑岩米级旋回层序间的界面正好相反, 即为 Vail 等^[15]所定义的“副层序”。该类型的米级旋回层序类似于“潮下型碳酸盐米级旋回层序” (梅冥相)^[4~10], 其相序组构以“陆棚相页岩—滨岸相砂岩”为总体特征。随着沉积环境由深变浅, 构成米级旋回层序的成因岩相单元存在有规律的变化, 即

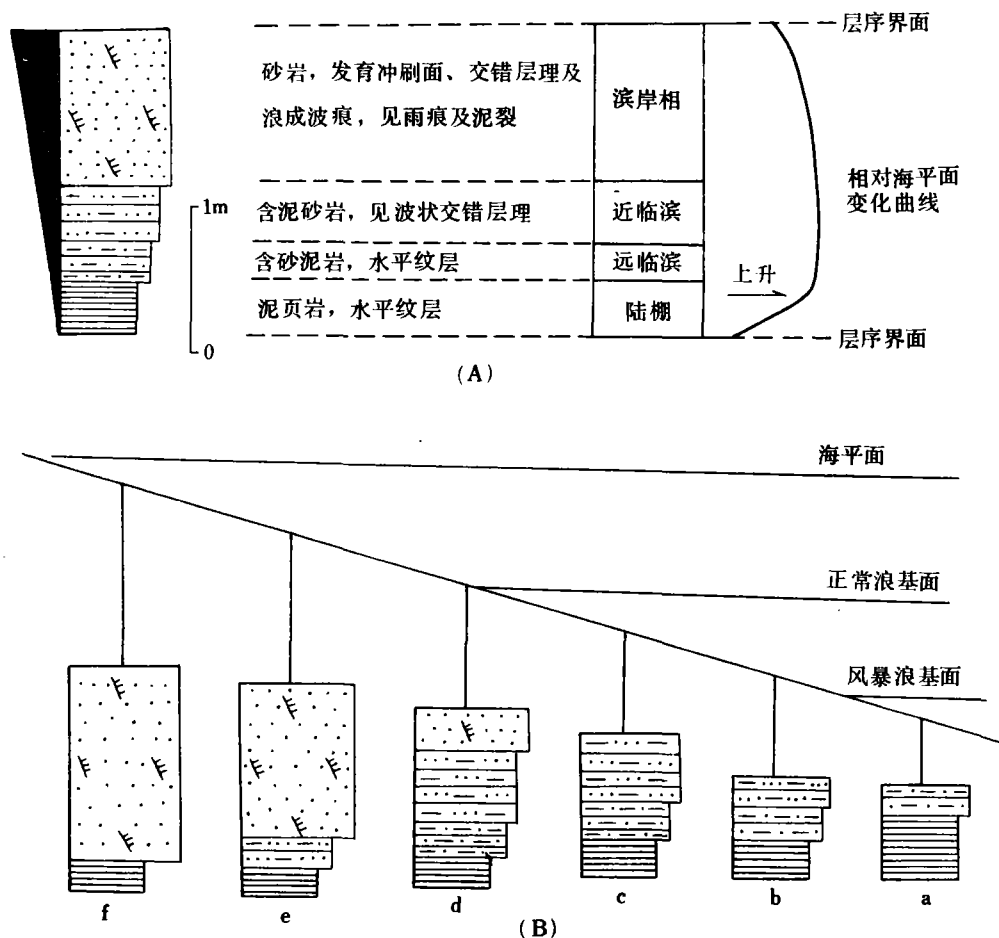


图 3 波浪动力型碎屑岩米级旋回层序

(A)代表具完整相序的米级旋回层序;(B)为米级旋回层序的环境变化谱系;a至f为不同类型的波浪动力型米级旋回层序

滨岸相砂岩变厚而陆棚相页岩变薄，从而构成图 3 所示的环境变化谱系。波浪动力型碎屑岩米级旋回层序主要发育在以波浪作用为主要沉积营力的浅海环境中，它们在长周期三级层序中常构成有规律的垂直叠加形式。

贵州中西部的下奥陶统湄潭组下段地层，其中广泛发育波浪动力型碎屑岩米级旋回层序。该套地层以“砂质进积型海岸沉积序列”（梅冥相）^[16]为特征，即从下至上由陆棚相页岩、临滨相砂页岩、前滨相砂岩组成（图 4）。在前滨相砂岩中发育冲洗层理及 *Skolithos* 组合的遗迹化石。这套地层本身构成了一个三级层序。从贵阳乌当剖面向西至赫章剖面，可以看出陆棚相页岩单元向西变薄，而滨岸相砂岩地层则由东向西增厚，这是由三级海平面变化旋回产生的环境加深至变浅的过程中所形成的特殊的相序形式。波浪型米级旋回层序在长周期三级层序中构成有规律的垂直叠加状态，表现在以下两方面：第一，从下至上，米级旋回层序由图 3 所示的 a 和 b 型向上演变为 e 和 f 型为特征，垂向上由陆棚相页岩向上演变为滨岸相砂岩为主，与横向上由东向西由深变浅的变化构成一个整体；第二，米级旋回层序的相序组构特征与三级层序存在相似性，这就是习称的“旋回含旋回”的本质涵义。

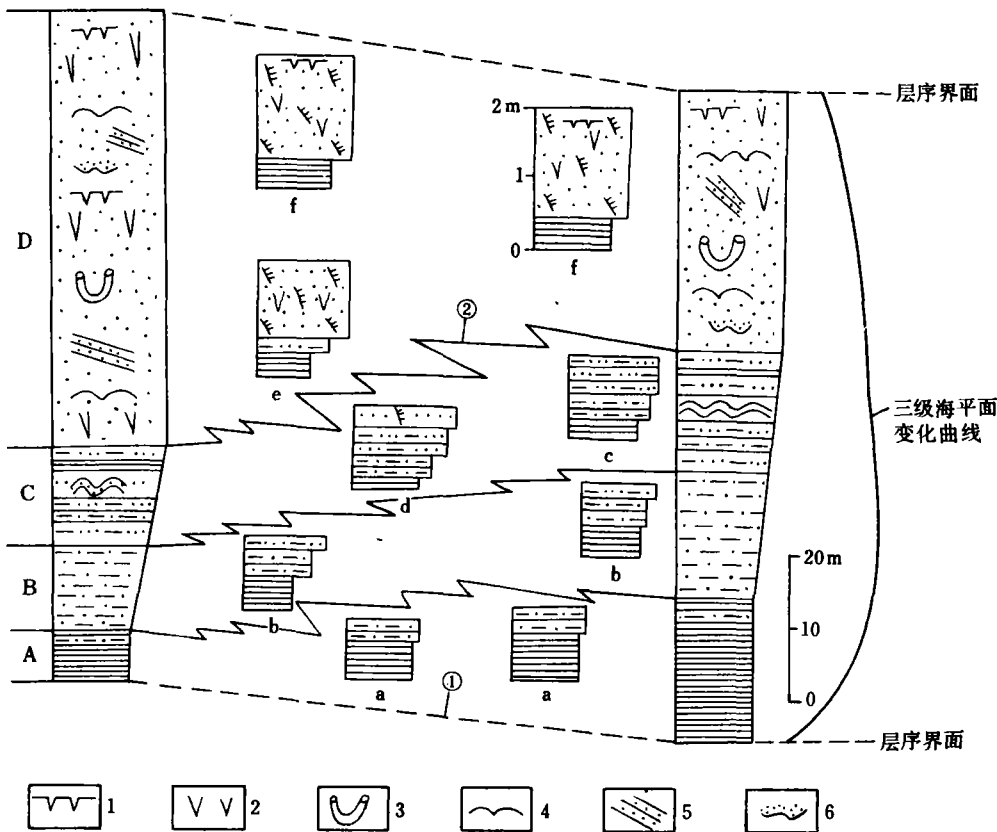


图 4 贵州奥陶系湄潭组地层中的波浪动力型碎屑岩米级旋回层序在三级层序中的有序叠加形式
A. 陆棚相; B. 远临滨相; C. 近临滨相; D. 滨岸相。a 至 f 代表图 3 所示的不同类型的米级旋回层序。1. 泥裂; 2. *Skolithos*; 3. *Thalassinoides* (海生迹); 4. 浪成波痕; 5. 交错层理; 6. 冲刷面; 其它岩性符号同图 3

3 关于碎屑岩米级旋回层序形成机制的初步探讨

碎屑岩米级旋回层序是高频率海平面振荡变化旋回的产物。以前常把这种小级别相序

为特征的旋回层序归为“构造振荡作用”的产物,但它们常发育于构造相对较稳定的克拉通盆地中,从而排除了快速的、高频率的构造振荡作用的沉积背景。在许多地层中,可以观察到3~5个米级旋回有序叠加成米级旋回层序的序列,反映了地层记录的“米兰柯维奇性质”(Schwarzacher)^[17],即形成米级旋回层序的高频率海平面变化旋回的驱动机制是米兰柯维奇旋回,也就是说与地球轨道效应旋回,如长偏心率旋回(周期为40万年)、短偏心率旋回(10万年)、岁差旋回(2万年),存在成因联系。80年代中期,Goodwin和Anderson^[18]就提出了PAC假说,即“间断-加积旋回机制”,来描述地层的堆积作用。他们指出:地层堆积作用是一种薄的、与异成因机制相响应的幕式沉积作用过程,这种间断-加积作用过程的产物就是米级旋回层序。他们当时只描述和系统阐述了波浪动力型米级旋回层序为特征的幕式沉积作用过程。实际上,与高频率海平面变化旋回有关的“间断-加积旋回机制”有两种类型的间断:一种是以瞬时加深淹没断面为特征的间断,另一种是以瞬时暴露间断面为特征的间断。前者以波浪动力型碎屑岩米级旋回层序间的界面为代表,后者则为潮汐动力型碎屑岩米级旋回层序的界面。也就是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。在以潮汐为主要沉积营力的浅海环境中,高频率海平面上升所形成的环境加深过程是造成高能动荡的正常浅海相沉积;而高频率海平面下降产生的环境变浅过程即形成局限潮上坪环境,最终使沉积基底露出水面而形成暴露间断面。自成因沉积作用还包括潮间高能砂体的侧向加积作用等。在以波浪为主要沉积营力的浅海环境中,由于离广海较近,沉积背景稍深,高频率海平面上升所产生的环境加深过程常形成海泛作用,形成瞬时加深淹没断面。随着海平面上升速率的减小,乃至进入海平面相对下降期,环境变浅至高能滨岸带沉积了滨岸砂体,此时还会产生砂体的进积作用,从而形成了与潮汐动力型米级旋回层序迥然不同的“反粒序”相序组构。综上所述,同一海平面变化旋回所产生的环境加深及环境变浅过程,在不同的古地理背景中由于沉积动力机制的不同,将形成不同相序组构的旋回层序。更进一步说,层序地层学所定义的“副层序”,即“以海水洪泛面或可与其对比的界面为界的、相对整合的、彼此有成因联系的层或层组”。从更广义的范畴上讲,除了海水洪泛面以外,还有瞬时暴露间断面。层序地层学定义的类型I及类型II界面均属“暴露间断面”的范畴。加深淹没间断面也可以作为层序界面。要特别注意的是并不是所有地层中米级旋回层序都发育,如图2中的潮下高能砂体以及图4中的滨岸砂体,由于沉积物供应较充分而呈连续沉积,米级旋回层序只局部发育;在更深的环境中,由于高频率海平面变化旋回所产生的环境加深或环境变浅效应影响不大,米级旋回层序也常常不发育,这也是地层记录的复杂性及不完整性的重要体现之一,从这一方面就能很好理解桑德尔法则——“空间上(指地层记录)的旋回性反映了时间上的旋回性,而空间上旋回性的缺乏并不代表时间上旋回性的缺失”了。

4 结语

地层记录的四大特性——复杂性、非渐变性、不完整性、旋回性(梅冥相)^[19],表明旋回性的研究是从复杂而不完整的地层记录中寻找更多的规律性的有效途径之一。旋回性地层记录——不同级别的旋回层序及其有序叠加形式,是研究和识别沉积物以及沉积作用的空间变化及相对时间变化序列的重要方面。旋回层序的两大特征——空间上相序的有序性和时间上环境变化的同步性,本身就赋予它们更多的地层学意义及沉积学涵义。大量的实

际资料表明,建立在不同古地理背景上的旋回层序的相序模型不但具有重要的理论意义,同时也是生产性工作,如油气勘探和区调工作的迫切需要。

参 考 文 献

- 1 Osleger D A. Subtidal carbonate cycles; implication for allocyclic versus autocyclic controls. *Geology*, 1991, 19: 917—920
- 2 Read J F and Grotzinger J P. Models for generation of carbonate cycles. *Geology*, 1986, 14: 107—110
- 3 Massetti D et al. Deep-water asymmetric cycles and progradation of carbonate platform governed by high-frequency eustatic oscillation. *Geology*, 1991, 19(4): 336—339
- 4 梅冥相. 碳酸盐米级旋回层序的成因类型及识别标志. *岩相古地理*, 1993, 13(6): 34—45
- 5 梅冥相、罗光文、苏德辰. 碳酸盐异成因复合海平面变化旋回层序. *桂林冶金地质学院学报*, 1994, 14(2): 145—153
- 6 梅冥相. 碳酸盐旋回与层序. 贵阳: 贵州科技出版社, 1995
- 7 梅冥相. 淹没型碳酸盐三级旋回层序. *岩相古地理*, 1996, 16(6): 24—33
- 8 梅冥相、徐德斌. 沉积地层旋回性记录中几个理论问题的认识. *现代地质* 1996, 10(1): 85—92
- 9 梅冥相、马永生、梅仕龙等. 华北寒武系层序地层格架及碳酸盐台地演化. *现代地质*, 1997, 11(3): 275—282
- 10 梅冥相、梅仕龙. 华北中寒武世张勇组复合海平面变化旋回层序. *沉积学报*, 15(4): 5—10
- 11 吴智勇. 米兰柯维奇旋回及年代地层意义. *地层学杂志*, 1995, 19(2): 156—160
- 12 吴智勇、姜衍文. 地质事件与高分辨率地层学. *地层学杂志*, 1996, 20(3): 235—240
- 13 童金南、李红丽. 碳酸盐浅滩滨岸区层序地层研究. *沉积学报*, 1997, 15(4): 1—4
- 14 章雨旭、彭阳、高林志. 北京西山寒武系—奥陶系主要副层序类型及其形成机制探讨. *地质论评*, 1997, 43(2): 148—154
- 15 Vail P R and Mitchum R M Jr. Seismic stratigraphy and global changes of sea-level. In: Parton C E (ed). *Seismic Stratigraphy*. Am. Assoc. Petro. Geol. Mem. 26, 1977, 26: 26—97
- 16 梅冥相. 一个典型的砂质进积型海岸沉积序列——贵州赫章 o_{1m} 的岩相特征. *贵州地质*, 1988, 5(3): 237—246
- 17 Schwarzacher W. Cyclostratigraphy and the Milankovitch theory. *Elsvier*, Amsterdam, 1993, 1—225
- 18 Goodwin P W and Anderson E J. Punctuated aggradational cycles; a general hypothesis of episodic stratigraphic accumulation. *Journal of Geology*, 1985, 93: 515—553
- 19 梅冥相. 从地层记录的特性论岩石地层学的困惑. *地层学杂志*, 1996, 20(3): 207—212