

碳酸盐缓坡区的露头层序地层研究

童金南¹, 崔玮霞²

(1. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074; 2. 河南石油勘探开发研究院, 河南南阳 473132)

摘要: 碳酸盐缓坡区沉积相带宽, 缺乏直观的物理层序界面标志, 但区域上受气候海平面控制的多级岩性旋回发育, 可对比性强, 生物丰富, 因而可借助于旋回地层学和生态地层学方法进行区域露头层序地层研究. 通过岩性旋回叠加型和生境型迁移过程研究, 较好地进行了下扬子区下三叠统露头层序划分, 建立了层序地层格架, 并提出以海侵面为界进行层序划分对于碳酸盐缓坡区露头层序地层研究更有可操作性和实用性.

关键词: 碳酸盐缓坡; 露头层序地层学; 岩性旋回; 下三叠统; 下扬子区.

中图分类号: P539.2 **文献标识码:** A

文章编号: 1000-2383(2002)05-0565-05

作者简介: 童金南(1962-), 男, 教授, 博士生导师, 现主要从事三叠纪及二叠系—三叠系界线地层和古生物学研究.

碳酸盐缓坡是一种独特的地理单元, 它是大陆边缘以极低角度向外缓慢伸展, 由浅水碳酸盐沉积占据的广大陆架沉积区^[1]. 这种沉积区的最大特点是, 沉积区开阔, 沉积相带宽缓, 沉积层延展广泛, 在大区域内没有明显的陆架坡折^[2]. 虽然有些缓坡的前缘也可能存在变坡的坡折区, 但它们通常位于大范围碳酸盐沉积区的远端, 在通常的野外研究中不易观察到. 现代是地球表面地理分异比较强烈的时期, 碳酸盐缓坡的数量和规模都不突出. 但地史各时期的碳酸盐缓坡沉积广泛存在^[3], 是现存各时期地层记录中最为常见的沉积体.

地史时期的碳酸盐缓坡通常面积大、范围广, 沉积岩性单一, 以碳酸盐沉积组占绝对优势, 在大区域范围内稳定一致. 由于沉积水体浅, 在温暖低纬度地区, 碳酸盐沉积受气候及相关因子和生物产率的控制十分显著, 因而沉积物的组分和沉积结构有明显的时间波动性, 常形成具有一定周期的旋回性地层序列, 并在大区域范围内有相似性和可对比性. 但是, 由于碳酸盐缓坡区沉积物的岩相空间分异不明显, 而边缘陆架坡折区又不易找到或者不存在, 因此在该区域进行层序地层研究就比较困难. 尤其采用传统的层序地层学研究方法在碳酸盐缓坡区开展

露头层序地层研究, 至少面临 3 个主要的困难: (1) 通常无地震地层资料而只能面对零星的地表露头; (2) 无可供研究和判别层序类型的陆架坡折沉积物; (3) 大范围内稳定一致的岩性难以用传统的沉积学方法分辨沉积相的迁移和判别沉积体的转移过程(进积、退积或加积).

早三叠世时期, 下扬子地区是扬子地块上的一个典型的碳酸盐沉积缓坡区. 沉积区地势上呈南东高北西低, 向北西缓斜. 但在沉积区的南东侧未能观察到着陆点, 其与华夏地块沉积区交接处, 地表无可供研究的地层露头. 在沉积区的北西侧, 直到与华北地块的交接处仍未见有陆架坡折沉积物. 因此该缓坡既可能是无明显陆架坡折的同斜缓坡, 也可能是具深水坡折的末端变陡缓坡^[3], 但与深水坡折对应的沉积区已消失在与华北地块的对接带中, 全区以碳酸盐沉积物占主导, 岩性在区域上比较稳定, 岩相比较单一. 所有这些碳酸盐缓坡区特殊的沉积盆地格局和沉积物结构特点都不利于经典的 Exxon 公司层序地层理论和方法的应用^[4-6].

多年来, 笔者在中国南方二叠纪、三叠纪古生物学、沉积学和地层学等多科研究实践中, 尝试从层序地层学的基本原理和理论出发, 将旋回地层学的方法和生态地层学的成果应用到露头层序地层学的研究中去, 探索出一种新的露头层序地层学研究方法, 对于碳酸盐缓坡区的层序地层学研究十分有效. 这

项研究不仅有利于层序地层学的理论应用和发展,而且将层序地层学与相关地层学科紧密结合起来,有利于地层学的发展和进步。

1 层序的识别与划分

传统的层序地层学研究中层序的识别,尤其是层序界面的标定至关重要。但是碳酸盐缓坡区通常难以找到可以直接识别的物理层序界面,尤其早三叠世的下扬子地块处于构造海平面特殊时期。一方面,早三叠世是古生代末全球大海退后的总体海平面上升期^[7],全球性的海平面上升消减了一些区域性海退沉积记录,使低海平面时期的沉积记录和沉积构造标志不易辨认。另一方面,下扬子地块地处印支构造拼合期华夏地块与华北地块之间,虽然在板块对接中的“软碰撞”未发生强烈的造山作用^[8],但下扬子区在早三叠世的挤压中不断被抬升,从而导致了该碳酸盐缓坡的转化和消亡。海平面和区域构造的共同作用,使得该区的层序地层研究变得更加复杂,更难以常规的层序地层学研究方法进行研究。

由于层序界面难以直接识别,我们只能通过层序内部的结构型式进行分析和判别。层序的地层结构是一组由区域海平面变化、区域构造控制的盆地容纳空间和区域沉积物源供给量共同制约的动态体系。此外,在碳酸盐沉积区,气候也是控制层序结构的重要因素^[9]。在碳酸盐缓坡沉积区,这几方面因子有特殊的表现型式和作用规律。当区域构造处于相对稳定或在区域上没有重大分异时期,气候变化可能是控制层序结构的主导因子。在低级别的副层序旋回中,全球或区域气候变迁直接控制了海平面的升降运动,或者两者呈协同变化。碳酸盐缓坡区的主要物质供给来自于海水中的物质本身,异源的陆源物仅有从远源区悬移而来的细少悬浮组分。无论是生物成因的还是化学成因的碳酸盐沉积物产量,明显受控于气候的波动,与区域气候变化表现出良好的一致性。这种受控于气候变化的沉积速率,也控制了沉积物的可容空间。从下扬子区早三叠世地层发育特点来看,本区早三叠世基本上处于构造相对平稳时期,至少在面上没有明显的构造分化。因此沉积层和沉积序列具有良好的空间展布可追索性和可对比性。

由区域气候变化所控制的碳酸盐缓坡沉积体系,最典型的特点是具有广泛可追索对比的多级旋回性岩性分层序列,具有与米兰柯维奇天文周期良

好的可对比性,因而是旋回地层学研究的宝贵资源^[10,11]。同时,这种与海平面变化一致的气候驱动沉积旋回,与层序地层中的多级副层序周期具有成因上的联系^[12]。

下扬子区早三叠世地层具有良好的与天文气候周期对应的旋回性碳酸盐沉积序列^[13]。这种周期性的岩性旋回主要由两方面的沉积组分和结构变化所反映出来。其一是灰、泥组分的相对含量变化;其二是岩性层理的厚度变化。这些变化组合构成了下扬子区早三叠世多种岩性旋回地层序列(图 1)。与米兰柯维奇周期旋回地层结构对照研究,这些基本旋回的组具有明显与天文轨道周期数目对应(如 1:5~1:6)的多级旋回特点^[13]。从层序地层学副层序结构特点来看,这些基本层序都是典型的向上变浅的副层序,而多个岩性旋回的组合则形成了高级别的副层序组,并呈现了良好的地层结构转变过程,即进积、加积和退积。因此,通过各露头剖面多级岩性旋回组合结构的分析,即可以比较有效地识别各区域层序的内部结构,进而进行层序和体系域的划分。不过,下扬子区下三叠统基本岩性旋回(副层序)的组分、结构和分布有如下特殊性:(1)受古生代末生物大灭绝的影响,三叠纪初生物碳酸盐产率剧减,因而三叠纪初的副层序中贫碳酸盐岩,而以泥质组分占优势,且旋回层内的岩性层厚度通常较小。显然,这些副层序并不一定代表深水沉积环境;(2)虽然缓坡区地势平缓,但大区域上相的分异还是可以观察到的。处于近陆区的岩性旋回不仅厚度大、以碳酸盐组分为主,而且常夹有浅水沉积标志(如浅滩相标志);而较深水区则以泥质岩性旋回为主,旋回中的岩性层的厚度也较小,并且在某些层位上还夹有深水碎屑沉积层;(3)虽然早三叠世下扬子区区域构造稳定,但区域构造抬升仍超出全球海平面上升幅度,因此下三叠统整体为一个海退序列。上部地层中的副层序体现了较下部者明显浅水的特点,甚至在后期还有白云质组分加入。同时,由于沉积盆地抬升和沉积作用快速充填,沉积相带在早三叠世后期迅速向北方深水区迁移,而浅水相带迅速扩展,深水盆地逐渐消亡。因此副层序厚度迅速加大,并仅由碳酸盐岩所组成;(4)虽然根据副层序的叠加型式可以比较容易识别层序的结构,判别层序内体系域的性质,但由于缺少宏观的物理界面标志,仅依据层序界面上下地层中的加积副层序组是难以标定真正的层序界面的。事实上,在碳酸盐缓坡沉积地层中最典型的物理

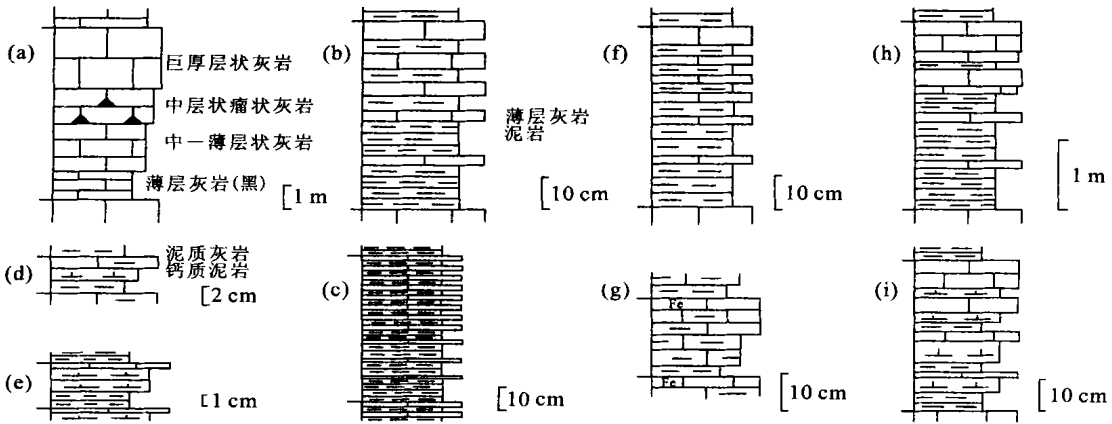


图 1 下扬子区下三叠统岩性旋回(副层序)的基本组构型式

Fig. 1 Basic lithological cycles (parasequences) in the Lower Triassic of the Lower Yangtze region

a. 早期高位域(马家山第 4 层序); b. 早期高位域(西山、丫山); c. 海侵域(马家山, 中陆架); d. 早期高位域(凝缩层, 马家山, 下陆架); e. 早期高位域(凝缩层, 煤山); f. 早期高位域(湖山、铜陵, 中陆架); g. 海侵域下中部(西山、煤山, 上陆架); h. 晚期高位域(马家山); i. 晚期高位域(西山、煤山) 海侵域(煤山、丫山) (叠加型式不同)

界面是海侵面^[14]。其次, 最大海泛面的位置可以通过密集的副层序组识别并在区域上追索对比。

碳酸盐缓坡区层序地层研究的另一个有效手段是生态地层学研究成果的应用^[15]。虽然无机的沉积相标志分异不大, 但有机的群落生境型的迁移通常对环境变化的指示更加灵敏^[16]。因此, 如果采用群落生境型代替沉积相标志, 就能很好地进行层序结构的识别和划分, 尤其对于层序地层格架的建立具有独特的作用^[17]。虽然生态地层学不直接研究层序内部沉积序列的充填过程, 但通过野外露头剖面上生境型的迁移方式, 可以恢复沉积序列的充填型式, 进而判别沉积体系域和层序结构^[15, 17]。不过, 生境型的应用有一个基本问题需要注意, 生境型所指示的环境深度是区域构造隆降与全球或区域海平面变化共同作用的结果, 其所代表的是相对水深。此外, 一些典型的生物事件界面也是一些关键的层序界面的有效识别标志^[18]。

2 层序地层格架

层序地层格架是由沉积相带迁移所代表的副层序组构成的^[3]。但在碳酸盐缓坡区, 沉积相带宽, 大区域内岩相稳定, 相带迁移的宏观标志不明显, 且相带之间的界线也比较模糊, 因此, 依据沉积相带的分异, 难以建立层序地层格架。我们在下扬子区下三叠统露头层序地层学研究中, 应用生态地层学的研究成果, 以生境型代替沉积相, 较好地解决了这一问题^[17]。

由于有机生物界对外界环境的指示较无机的沉积标志更加灵敏, 而且陆架浅水碳酸盐缓坡区也是生物群最为繁茂、狭适应性稳定生物最为丰富的地区, 尽管沉积物岩性分化不大, 但生物群落的区域和古地理分化仍十分明显, 因此借助于反映当时生活群落生态环境的生境型及其迁移形式分析, 仍可以比较可靠地建立以生境型为基础的层序地层格架。与传统的层序地层格架不同的是, 其内部基本组分是生境型, 而不是沉积相。不过, 这两者在本质上是一致的, 都反映了形成层序地层的环境变迁过程(图 2)。

层序地层格架除了空间属性外, 时间属性也是十分重要的。传统的层序地层格架除强调被认为具有明确时间含义的层序界面及层序内部的少数特殊时间面外, 其主体结构部分是建立在沉积相迁移的时间一致性的基础上的。而对于碳酸盐缓坡区的露头层序地层学研究来说, 不仅层序间和层序内部具有明确时间含义的界线难以识别, 而且通常也没有相关的地震等连续性物性资料提供给露头层序地层研究。虽然多级岩性旋回(副层序)在各地表露头剖面上十分显著, 但难以仅依据物理学方法(如岩性层追索、旋回层对比等)建立它们之间的时间关系。而在生态地层学中, 生境型是建立在生物研究基础上的。当前, 生物地层学方法仍然是地层年代分析最有效、最可靠的手段之一。生态地层学是为弥补生物地层学中关于异相地层对比中的不足而发展起来的^[16]。因此, 恢复生境型的群落本身就具有年代地层学意义, 由生境型迁移构筑的层序地层格架, 也具有比较

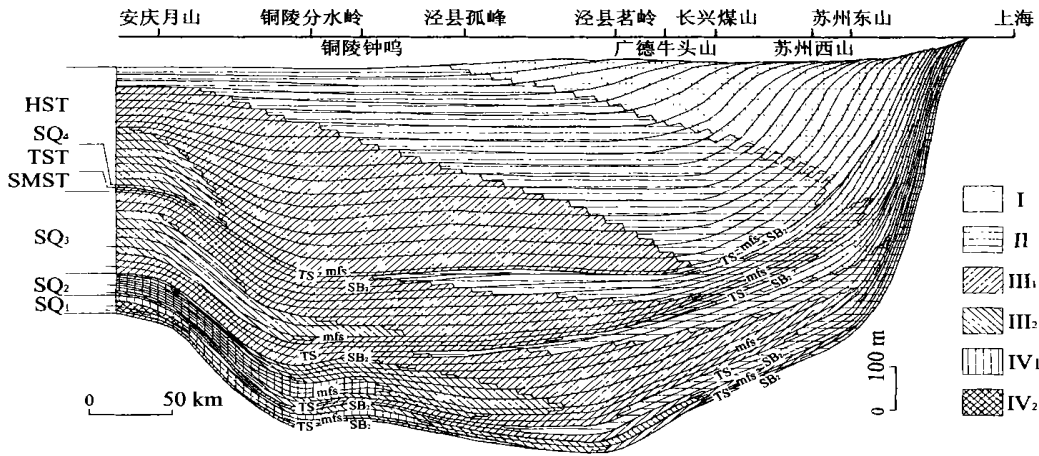


图 2 下扬子区下三叠统层序地层格架

Fig. 2 Profile of the Lower Triassic sequence stratigraphy in the Lower Yangtze region

SQ₁—SQ₄. 三级层序代号; HST. 高水位体系域; TST. 海侵体系域; SMST. 陆架边缘体系域; TS. 海侵面; mfs. 最大海泛面; SB₂. II 类层序界面; I. 潮上带生境型; II. 潮间带及临滨生境型; III₁. 上部浅海上部生境型; III₂. 上部浅海下部生境型; IV₁. 下部浅海上部生境型; IV₂. 下部浅海下部生境型

可靠的时间属性。于是，碳酸盐缓坡区的层序地层格架，可以通过各区域露头剖面上岩性旋回(副层序)的叠积(充填)型式和生境型迁移过程，采用生物地层和生态地层对比及配套的副层序组结构比较所搭起的时间格架来建立(图 2)。

3 结论

碳酸盐缓坡区虽然沉积相带宽，缺乏直观的物理界面标志，但区域上受气候海平面控制的岩性旋回发育，可对比性强，生物丰富，借助于新兴的旋回地层学和生态地层学手段，仍可以较好地开展露头层序地层学研究。但在全球性海平面上升大旋回背景下，碳酸盐缓坡区的层序界面通常被掩盖，多被判断为 II 型层序，并且通常只能借助于区域岩性旋回(副层序)的叠加型式和生境型迁移的方式才能可靠地判别层序的结构型式，进行层序划分。由于层序界面常无明确的判别标志，相反，海侵面却无论从无机的物理界面、岩性突变标志，还是从有机的生物面、生境型迁移量方面，都更易于识别，而且海侵面与年代地层界线关系更加密切^[14]，因此，对于碳酸盐缓坡区的层序划分，以海侵面作为界线更加可靠，更具有实际可操作性和实用性。

参考文献:

[1] Ahr W M. The carbonate ramp: alternative to the shelf

model [J] . Transactions of Gulf Coast Association of Geological Societies, 1973, 23: 221—225.

[2] Warren J K. Evaporite sedimentology: importance in hydrocarbon accumulation [M] . New Jersey: Prentice Hall, 1989.

[3] Read J F. Carbonate platform facies models [J] . Am Assoc Petrol Geol Bull, 1985, 69: 1—21.

[4] Vail P R, Mitchum R M Jr, Todd R G, et al. Seismic stratigraphy and global changes of sea level [A] . In: Payton C E, ed. Seismic stratigraphy — application to hydrocarbon exploration [C] . Am Assoc Petrol Geol Mem, 1977, 26: 49—212.

[5] Van Wagoner J C, Posamentier H W, Mitchum R M, et al. An overview of the fundamentals of sequence stratigraphy and key definitions [A] . In: Wilgus C, Hastings B, Ross C, et al, eds. Sea-level changes: an integrated approach [C] . Soc Econ Paleontol Mineral Spec Publ, 1988, 42: 39—45.

[6] Posamentier H W, Jervey M T, Vail P R. et al. Eustatic controls on clastic deposition II — conceptual framework [A] . In: Wilgus C, Hastings B, Ross C, et al, eds. Sea level changes: an integrated approach [C] . Soc Econ Paleontol Mineral Spec Publ, 1988, 42: 125—154.

[7] Haq B U, Hardenbol J, Vail P R. Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic [J] . Science, 1987, 235: 1156—1167.

[8] 殷鸿福, 吴顺宝, 杜远生, 等. 华南是特提斯多岛洋体系的一部分 [J] . 地球科学——中国地质大学学报, 1999, 24(1): 1—12.

- YIN H F, WU S B, DU Y S, et al. South China defined as part of Tethyan archipelagic ocean system [J]. *Earth Science — Journal of China University of Geosciences*, 1999, 24(1): 1—12.
- [9] Sarg J F. Carbonate sequence stratigraphy [A]. In: Wilgus C, Hastings B, Ross C, et al, eds. *Sea-level changes: an integrated approach* [C]. *Soc Econ Paleontol Mineral Spec Publ*, 1988, 42: 155—181.
- [10] Einsele G, Ricken W. Limestone-marl alternation — an overview [A]. In: Einsele G, Ricken W, Seilacher A, eds. *Cycles and events in stratigraphy* [C]. Berlin: Springer-Verlag, 1991. 23—47.
- [11] House M R, Gale A S. Orbital forcing timescales and cyclostratigraphy [M]. London: Geological Society Special Publication No. 85, 1995.
- [12] Haq B U. Sequence stratigraphy and depositional response to eustatic, tectonic and climate forcing [M]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1995.
- [13] 童金南, 殷鸿福. 浙江长兴煤山剖面 Griesbachian 期旋回地层研究 [J]. *地层学杂志*, 1999, 23(2): 130—135.
- TONG J N, YIN H F. Study on the Griesbachian cyclostratigraphy of Meishan section, Changxing, Zhejiang Province [J]. *Journal of Stratigraphy*, 1999, 23(2): 130—135.
- [14] 殷鸿福, 童金南. 层序地层界面与年代地层界线的关系 [J]. *科学通报*, 1995, 40(6): 539—544.
- YIN H F, TONG J N. Relationship between sequence stratigraphical boundary and chronostratigraphical boundary [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1995, 40(16): 1357—1362.
- [15] 殷鸿福, 童金南, 张克信, 等. 为层序地层服务的生态地层学研究 [J]. *中国科学(D辑)*, 1997, 27(2): 155—163.
- YIN H F, TONG J N, ZHANG K X, et al. Application of ecostratigraphy to sequence stratigraphy [J]. *Science in China (Series D)*, 1997, 40(2): 137—144.
- [16] 殷鸿福, 丁梅华, 张克信, 等. 扬子区及其周缘东吴—印支期生态地层学 [M]. 北京: 科学出版社, 1995.
- YIN H F, DING M H, ZHANG K X, et al. Dongwuian-Indosian (Late Permian-Middle Triassic) Ecostratigraphy of the Yangtze region and its margins [M]. Beijing: Science Press, 1995.
- [17] 童金南, 殷鸿福. 下扬子区海相三叠系层序地层研究 [J]. *中国科学(D辑)*, 1997, 27(5): 407—411.
- TONG J N, YIN H F. Marine Triassic sequence stratigraphy of Lower Yangtze [J]. *Science in China (Series D)*, 1997, 41(3): 255—261.
- [18] 张克信, 童金南, 殷鸿福, 等. 浙江长兴二叠系—三叠系界线剖面层序地层研究 [J]. *地质学报*, 1996, 70(3): 270—281.
- ZHANG K X, TONG J N, YIN H F, et al. Sequence stratigraphy of the Permian-Triassic boundary section of Changxing, Zhejiang, southern China [J]. *Acta Geologica Sinica*, 1996, 71(1): 90—103.

Outcrop Sequence Stratigraphy in Carbonate Ramp

TONG Jin-nan¹, CUI Wei-xia²

(1. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 2. Henan Institute of Petroleum Exploration and Exploitation, Nanyang 473132, China)

Abstract: The carbonate ramp, characterized by the wide sedimentary facies, is short of visual physical markers of the sequence surface. But the multi-scale lithological cycles caused by the fluctuation of regional climate-sea level are well developed, which are strong in regional correlation and abundant in fossils. Therefore, the regional outcrop sequence stratigraphy can be well studied in the light of the application of cyclostratigraphy and ecostratigraphy. The stacking patterns of the lithological cycles, i. e. parasequences, and the migration of the habitat types show that the Lower Triassic sequences are properly identified, on the outcrops in the Lower Yangtze region, for the establishment of the sequence stratigraphic framework. In addition, the transgressive surface can be used to define the third-order sequences in the outcrop sequence stratigraphy on carbonate ramp, which are more understandable and practical.

Key words: carbonate ramp; outcrop sequence stratigraphy; lithological cycle; Lower Triassic; Lower Yangtze region.