

文章编号: 1009-3850(2014)03-0052-05

层序地层学中海侵-海退的重新解释及地质意义

岳亮¹, 吴和源², 李红英²

(1. 江苏建筑职业技术学院矿业与交通工程学院, 江苏 221116; 2. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083)

摘要: 海平面变化的主要表现形式是海侵和海退, 它们是地球地质历史发展中最基本的现象和过程, 也是层序地层学的主要构建机制, 研究者以此建立层序地层格架及其模式, 进行层序地层的成因单元配置和模式划分。随着研究的深入, 已识别出两种海侵(正常海侵, 快速海侵)和3种海退(高水位正常海退, 低水位正常海退, 强迫型海退), 本文着重论述其在层序地层学中的定义及解释, 并探讨其主要的沉积特点。

关键词: 海侵; 海退; 层序地层学; 快速海侵; 强迫型海退

中图分类号: P539.2

文献标识码: A

引言

海平面变化导致的沉积环境和沉积物充填样式的变化是沉积地质学研究的一个热门问题, 对古海平面变化的研究可以促进人类对现代海平面变化的认知, 无论对学术研究还是对生产、生活都有极大的科学价值^[1-4]。从地震地层学的产生到层序地层学的成熟, 海平面变化都是控制层序形成的一个重要地质因素, 科学家们研究描述了层序内部地层的叠加形式, 系统地认识了各种独特的沉积成因类型^[5-9]。层序地层学作为一个年轻的学科, 却是分析聚煤作用的一种有效方法, 广泛应用于含煤地层的研究所。

1 传统的海侵-海退

海侵和海退是地质学研究中最基本的概念。海侵(transgression), 又称海进, 是在相对短的地史时期内, 因海面上升或陆地下降, 造成海水对大陆区浸的地质现象。海退(regression), 与海侵相反, 是在相对短的地史时期内, 因海面下降或陆地

上升, 造成海水从大陆向海洋逐渐退缩的地质现象。

对于“变幻无常”的海平面, 人们希望建立一个标准的海侵-海退模式。最早的研究始于17世纪, 当时的“水成说”把各种岩石解释为海平面下降过程中不同阶段的产物。之后 Walther 的相序连续性原理赋予了海侵-海退过程的地层学和沉积学意义, 成为了一个广为接受的模型。随着研究的深入, 海侵-海退过程也可描述为一种退积-进积作用形成的地层序列。

2 层序地层学中的重新解释

Vail^[10]研究全球海平面变化的文章发表后, 在研究海平面变化的概念和方法上都有突破性的进展。海平面变化从层序地层学诞生之时开始, 就是主要的研究内容, 并在各种层序地层模式的解释中逐渐加强。海平面变化表征的海侵-海退作用及其形成的多种地层叠置方式, 一直为研究的热点。

2.1 两种海侵

受许靖华的“地中海干化模式”启发, 何起祥认为在地质记录中存在两种不同的海侵序列, 分别是

收稿日期: 2013-11-18; 改回日期: 2013-12-02

作者简介: 岳亮(1986-), 男, 硕士, 助教, 从事煤田地质及层序地层学的教学和研究。E-mail: qzyueliang@163.com

资助项目: 江苏省青蓝工程资助

事件型海侵和渐进型海侵,并总结了事件型海侵沉积物的特点^[1]。龚一鸣称两种海侵为阶跃海进和渐进海进,指出阶跃海进地层的层序连续相序不连续和渐进海进地层的层序连续相序也连续^[2]。为叙述方便,本文使用快速海侵(即事件型海侵或阶跃海进)和正常海侵(即渐进型海侵或渐进海进)。

相对于正常海侵过程中海水对陆地方向缓慢侵进,快速海侵是一种与地质事件相关的海侵,具有幕式性和突发性的特点。对于形成快速海侵的地质环境,老的观点认为其多发生于古活动边缘,

受控于较大的地质构造作用,类似如岛屿环境的受限陆表海、半封闭盆地等,发育典型的快速海侵地层(图1B),即以碳酸盐岩为主的地层,在海平面上升速率超过碳酸盐岩沉积速率时,常常导致碳酸盐台地的淹没而形成的碳酸盐与上覆细粒远洋相之间的接触面被定义为“淹没不整合面”^[4,13],被称为层序地层学的类型3层序界面^[6,17]。表明了一个快速海侵过程所产生的凝缩段直接覆盖在下伏的层序界面上,形成了特殊的淹没不整合型层序(凝缩段(CS)+高水位体系域(HST))。

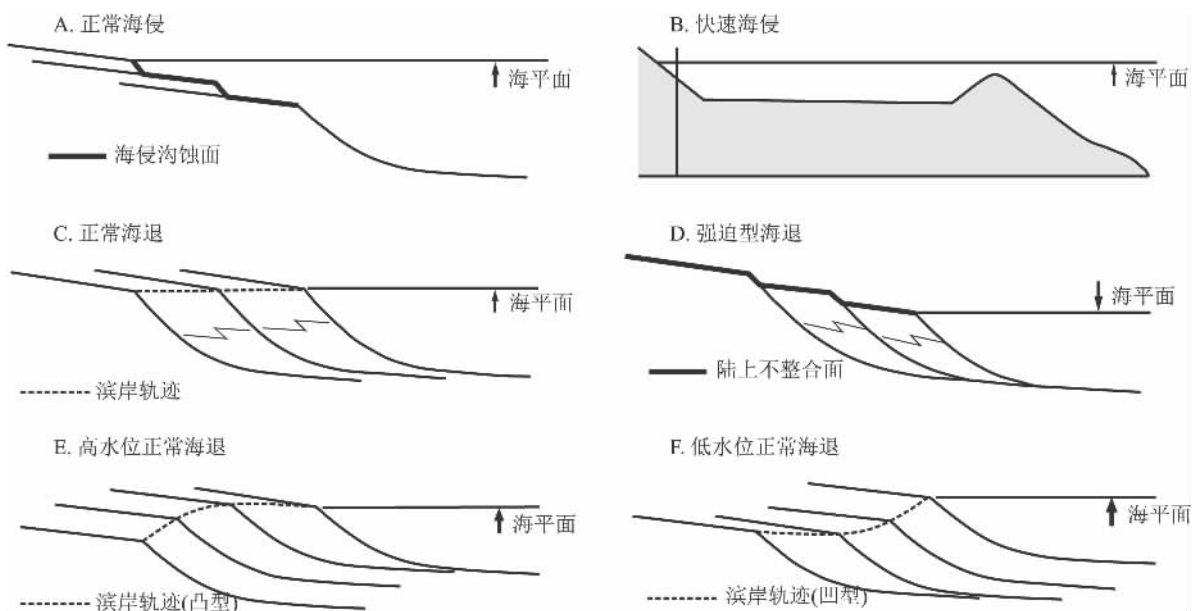


图1 两种海侵和3种海退(A、C、D、E、F据文献^[3])

Fig. 1 Models showing two types of transgressions and three types of regressions (A, C, D, E, F after Catuneanu, 2006)

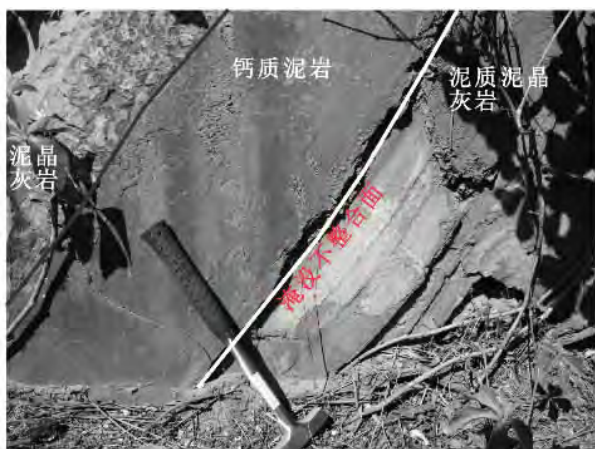


图2 淹没不整合面

Fig. 2 A drowned unconformity

淹没不整合型层序不只是发育于碳酸盐岩地层之中,其同样存在于碎屑岩地层中。这种类型的层序在华北寒武系中上部(图2)、扬子地区的寒武

系下部以及华南的三叠系下部均较为发育^[8],意味着快速海侵事件广泛存在,并不局限于特殊的构造背景下。

北京西山寒武系张夏组内部的一个淹没不整合面,代表了一次快速海侵事件。钙质泥岩直接覆盖在泥质泥晶灰岩上。

2.2 3种海退

随着地震技术精度的提高和层序地层学的广泛应用,Posamentier^[9]根据加拿大Alberta地区发育的独特地层叠置,提出了强迫型海退概念。基于同一地区的研究,Plint^[20]也证明了此概念的成立。通过对强迫型海退的关注和研究,Hunt和Tucker提出了强迫型海退楔体系域(FRST)^[8],即下降阶段体系域(FSST)^[21]。新体系域解决了Exxon模式类型I层序的概念体系不协调,将体系域四分方案定格为:LST+TST+HST+FSST。

正常海退,通常是沉积物供给为主因,滨线沉积速率大于基准面上升速率的发育过程,以加积作用为特点而进积作用为过程(图1C);强迫型海退,是由基准面下降所驱动,滨线地区均表现为海退过程,以阶梯下降的进积作用为基本特点(图1D)。

随着对地层堆积特点的深入认识,具有进积作用和加积作用相结合特点的正常海退又可以分为高水位正常海退和低水位正常海退(图1,E和F)^[13]。两种正常海退都是由沉积物供给所驱动,不同之处为:高水位正常海退发生在基准面上升减速阶段,是加积作用向进积作用转化,而低水位正常海退发生在基准面上升加速阶段,是进积作用向加积作用转化。

2.3 一个完整的旋回

在层序地层学中,目前较多认可的方案是一个完整的基准面变化旋回包含着海侵-海退的4种事件(图3):(1)由沉积物驱动的正常海退(高水位和低水位)阶段;(2)海侵阶段;(3)由基准面下降驱动的强迫型海退阶段。研究这些成因类型的独特沉积形态,可较为清晰地解剖一个层序的形成过程。

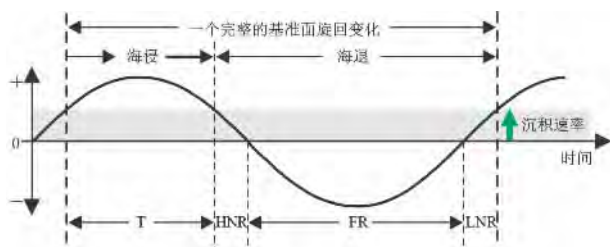


图3 记录4个事件的一个完整基准面旋回

HNR-高水位正常海退; FR-强迫型海退; LNR-低水位正常海退; T-海侵

Fig. 3 Uninterrupted base-level cycles recorded by four events

细化标定4个海侵-海退事件的变化:海侵开始表明了海水逐渐向陆侵浸的退积作用,至海侵结束转化为进积作用,其之间的沉积地层解释为海侵体系域。海侵体系域一般覆盖于层序中最低、最古老的沉积地层,该沉积地层则定义为低位体系域。此时最大海平面之后的海退事件以高位正常海退为开端,发育上凸型的地层叠置,标定为高水位体系域,直至强迫型海退的开始。强迫型海退是向盆地连续阶梯下降的进积作用,形成下降阶段体系域。之后则是低位正常海退的开始,发育上凹型的地层叠置,该层段则可划入下一个低位体系域。

3 地质学意义

层序地层学中海侵-海退事件的重新解释,4个事件标定了所有层序地层界面以及体系域的形成时间,进而导致了体系域划分由三分法到四分法的转变^[22,23]。而对正常海退和强迫型海退的识别及其沉积响应方式的区分,不同的认识产生了不同的层序地层模式,代表了层序地层学从1988年以来后Exxon时代的重要进展^[18]。

广泛存在的快速海侵意义重大,比如晚古生代华北聚煤盆地的快速海侵成煤作用具有多旋回性,揭示了煤聚积规律,丰富了煤地质学的基础理论^[24,25]。对两种海侵过程的认识,有利于地质现象研究的精细化,有助于沉积盆地的建模研究和大范围的等时地层对比,并推动了定性描述到定量分析的转变。

整个显生宙主要的煤、石油堆积时期与全球海平面变化间的密切关系是人所共知的。沉积锰矿、铝土矿及磷块岩往往形成分布于海侵层序的下部^[26,27]。而在油气勘探领域,低位体系域常发育砂岩储集体,高位体系域和海侵体系域则发育盖层和圈闭。依据层序地层间的相关性可以描述储盖层的分布,可进行盆地建模和确定烃类运移路径^[28,29]。

4 结论

(1) 快速海侵的普遍性及其典型的沉积特征,对区域性地层对比和沉积环境突变解释有着很好的指导意义,在沉积地质学的研究中不可忽视。但由于其事件性的特征,而无规律可循,较难划入一个通用模型中。

(2) 正常海退和强迫型海退的辨别,改革了传统的层序地层模式,导致沉积体系域由三分变为四分,变得更加完善和科学。高水位正常海退和低水位正常海退的区分,细化了地层沉积叠置样式的分类,强调了对沉积过程的讨论。

(3) 对海平面变化和层序地层学的研究是相互推动的。对海侵-海退过程的深入理解促使了层序地层学的成熟化、精细化发展,而层序地层学发展则增加了研究海平面变化的手段和角度。

参考文献:

- [1] 张选阳. 层序地层学和海平面变化 [J]. 岩相古地理, 1989, 39 (1): 1-10.

- [2] 李思田. 层序地层分析与海平面变化研究-进展与争论 [J]. 地质科技情报, 1992, 11(4): 23-30.
- [3] 李祥辉, 张洁. 海平面及海平面变化综述 [J]. 岩相古地理, 1999, 19(4): 41, 61-72.
- [4] 何起祥. 海洋沉积作用的物源控制 [J]. 海洋地质前沿, 2011, 27(1): 8-13.
- [5] PAYTON C. Seismic stratigraphy: applications to hydrocarbon exploration [M]. Tulsa: AAPG Memoir 26, 1977. 1-516.
- [6] WILGUS C K, et al. Sea Level Changes: An Integrated Approach [C]. Tulsa: SEPM Special Publication 42, 1988. 1-499.
- [7] GALLOWAY W E. Genetic stratigraphic sequences in basin analysis I. Architecture and genesis of flooding-surface bounded depositional units [J]. AAPG Bulletin, 1989, 73: 125-142.
- [8] EMBRY A F, JOHANNESSEN E P. T-R sequence stratigraphy, facies analysis and reservoir distribution in the uppermost Triassic-Lower Jurassic succession, western Sverdrup Basin, Arctic Canada [A]. Vorren T, Bergsager E, Dahl-Stamnes O A, et al. Arctic Geology and Petroleum Potential [C]. NPF Special Publication 2, 1992. 121-146.
- [9] HUNT D, TUCKER M. Stranded parasequences and the forced regressive wedge systems tract: deposition during base level fall [J]. Sedimentary Geology, 1992, 81: 1-9.
- [10] VAIL P R, MITCHUM Jr R M, THOMPSON III S. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 3: Relative changes of sea level from coastal onlap [A]. Payton C E. Seismic Stratigraphy—Applications to Hydrocarbon Exploration [C]. Tulsa: AAPG Memoir 26, 1977. 63-81.
- [11] 何起祥, 业冶铮, 张明书, 等. 受限陆表海的海侵模式 [J]. 沉积学报, 1991, 9(1): 1-10.
- [12] 龚一鸣. 一种新的海进模式 [J]. 地层学杂志, 1995, 19(2): 129-132.
- [13] CATUNEANU O. Principles of Sequence Stratigraphy [M]. Amsterdam: Elsevier, 2006. 1-375.
- [14] SCHLAGER W. Drowning unconformities on carbonate platforms [A]. Crevello P D, Wilson J L, Sarg J F, et al. Controls on Carbonate Platform and Basin Development. Tulsa: SEPM Special Publication, 44, 1989. 15-25.
- [15] SCHLAGER W. Exposure, drowning and sequence boundaries on carbonate platforms [A]. Camoin G F, Davies P J. Reefs and Carbonate Platforms in the Pacific and Indian Oceans [C]. Oxford: Wiley-Blackwell, International Association of Sedimentologists, Special Publication 25, 1998. 3-21.
- [16] 岳亮, 张成见. 层序界面—驱动层序地层模式多样化 [J]. 地质学刊, 2011, 35(3): 258-264.
- [17] SCHLAGER W. Type 3 sequence boundaries [A]. Harris P, Saller A, Simo A. Carbonate sequence stratigraphy: application to reservoirs, outcrops and models [C]. Tulsa: SEPM Special Publication 63, 1999. 35-46.
- [18] 梅冥相. 从正常海退与强迫型海退的辨别进行层序界面对比: 层序地层学进展之一 [J]. 古地理论. 2010, 12(5): 547-564.
- [19] POSAMENTIER et al. Aspects of sequence stratigraphy: recent and ancient examples of forced regressions [J]. AAPG Bulletin, 1990, 74(5): 742.
- [20] PLINT A, BRETT NORRIS. Anatomy of a ramp margin sequence: facies successions, paleogeography, and sediment dispersal patterns in the Muskiki and Marshybank formations, Alberta Foreland Basin [J]. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 1991, 39: 18-42.
- [21] PLINT A, NUMMEDAL D. The falling stage systems tract: recognition and importance in sequence stratigraphic analysis [A]. Hunt D, Gawthorpe R. Sedimentary responses to forced regressions [C]. London: Geological Society of London, Spec. Pub. 172, 2000. 1-17.
- [22] 金莉, 祁左明. 强制海退概念与层序地层学体系域的讨论 [J]. 中国海上油气地质, 1997, 11(3): 229-232.
- [23] 沙旭光, 刘健, 程新民, 等. 强制海退沉积作用及其地质意义 [J]. 海洋地质动态, 2006, 22(11): 13-17.
- [24] 李增学, 李宁春, 魏久传. 事件性海侵与煤聚积规律—鲁西晚石炭世富煤单元的形成 [J]. 岩相古地理, 1995, 15(1): 1-9.
- [25] 李增学, 余继峰, 郭建斌. 华北陆表海盆地海侵事件聚煤作用研究 [J]. 煤田地质与勘探, 2002, 30(5): 1-4.
- [26] 杨瑞东, 傅馄. 古海平面变化研究的过去与现状 [J]. 地质科技情报, 1990, 9(2): 59-63.
- [27] 密文天, 林丽. 海相磷块岩沉积事件研究—以新元古代末-寒武纪成磷事件为例 [J]. 海洋地质动态, 2010, 26(4): 26-31, 54.
- [28] 吴因业, 张天舒, 张志杰, 等. 沉积体系域类型、特征及石油地质学意义 [J]. 古地理论, 2010, 12(1): 69-81.
- [29] 许红, 夏斌. 我国油气层序地层学进展及在碳酸盐岩油气勘探中的应用 [J]. 海洋地质动态, 2008, 24(4): 23-29, 32.

A new explanation and geological significance of transgression and regression in sequence stratigraphy

YUE Liang¹, WU He-yuan², LI Hong-ying²

(1. *Department of Mining and Transportation Engineering, Jiangsu Institute of Architectural Technology, Xuzhou 221116, Jiangsu, China*; 2. *Faculty of Earth Sciences and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China*)

Abstract: Transgressions and regressions are main manifestations of the sea-level changes. As the most fundamental phenomena and processes in the earth history, they are the essential construction mechanism of the sequence stratigraphy, and favourable for the reconstruction of the sequence stratigraphic frameworks and models, and disposition of genetic stratigraphic units and classification of the models. Referenced from the previous results of research, the authors in this study have proposed two types of transgressions including normal transgression and rapid transgression, and three types of regressions including highstand normal regression, lowstand normal regression and forced regression. The present paper focuses on the identification and explanation of the above-mentioned transgressions and regressions in sequence stratigraphy and their geological implications for the basin analysis and stratigraphic correlation.

Key words: transgression; regression; sequence stratigraphy; rapid transgression; forced regression