

Advance Research on Main Controlling Factors for Sequence Stratigraphy and Sequence Models

Shangfeng Zhang^{1,2}, Changmin Zhang¹, Yaning Wang¹, Rui Zhu¹

¹School of Geoscience, Yangtze University, Jingzhou Hubei

²Key Laboratory of Exploration Technologies for Oil and Gas Resources, Ministry of Education, Yangtze University, Jingzhou Hubei

Email: jpuzhangsf@163.com

Received: Aug. 5th, 2018; accepted: Aug. 20th, 2018; published: Aug. 27th, 2018

Abstract

Because of different opinions on main factors for forming stratigraphical sequence and sequence models, the study of Sequence Stratigraphy has been limited during a long period. Based on current analysis of sea level changes, paleotopography of slope-break, sequence models and other aspects, the author considered that study of the sea level changes can be decomposed to methodology, mechanism and sediment response to sea level changes and the mechanism of different hierarchical sea level changes is the most important. The controlling of slope-break on stratigraphic sequences must be strengthened, and various sequence models should be reviewed so integrated sequence models influenced by main controlling factors should be summed up because none of sequence models is applicable everywhere. Objectives of the study are to dispel misunderstandings so as to hope Promoting research and development on sequence stratigraphy.

Keywords

Sequence Stratigraphy, Sea Level Changes, Slope-Break Zone, Sequence Model

层序地层主控因素及层序模式研究进展

张尚锋^{1,2}, 张昌民¹, 王雅宁¹, 朱 锐¹

¹长江大学地球科学学院, 湖北 荆州

²长江大学油气资源与勘探技术教育部重点实验室, 湖北 荆州

Email: jpuzhangsf@163.com

收稿日期: 2018年8月5日; 录用日期: 2018年8月20日; 发布日期: 2018年8月27日

摘要

长期以来, 由于对地层层序形成主控因素及层序模式分析观点分歧, 限制了层序地层学研究的进一步发展。本文通过海平面变化、古地形坡折带等层序形成主控因素, 以及层序模式等研究现状分析, 将海平面变化研究概括为研究方法、海平面变化机理及沉积响应分析等五个方面, 重点阐述了不同层次海平面变化机理的差异性。同时认为应加强坡折带对层序形成过程控制等方面研究, 并对现行的层序地层模式进行评述。认为不存在放之四海而皆准的标准化层序模式, 强调总结在主导因素控制下的综合层序地层模式。以上分析的目的, 仅为消除对层序地层学的某些误解、以期对层序地层学研究的快速发展有所推动。

关键词

层序地层学, 海平面变化, 坡折带, 层序模式

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

层序地层学理论从提出到快速发展经历了 60~70 年的时间, 在此过程中不断地出现不同观点的争论, 其焦点涉及层序界面的确定、层序形成的主控因素及层序模式等诸多方面, 这些争论一方面促使理论体系的分支不断增多, 同时其理论体系不断完善, 另一方面似乎降低了层序地层的研究热度, 以及部分相关企业人员的接受程度。造成这一问题的主要原因可能是许多从事层序地层学研究的从业人员对该理论体系普遍缺乏深刻的认识, 将层序地层学等同于地层划分, 忽视了层序地层学的主要目的是研究等时地层格架内岩石及岩相关系的这一核心问题, 而且研究过程中没有严格按照层序地层学分析流程进行, 如在层序分析过程中仅仅重视界面问题, 而忽视反映海平面变化的沉积相叠置关系的分析, 或者将实际资料生搬硬套于层序地层学理论, 将层序等同于地层组或油层组等穿时的地层单元, 从而造成研究结果存在谬误, 与实际情况不相符。针对这些问题的存在, 觉得有必要通过对层序地层主控因素如海平面变化、坡折带分析及层序地层模式建立等研究进展的总结梳理, 进一步理清层序地层学理论体系的核心内容及精髓, 并明确层序地层学未来的研究重点所在。

2. 海平面变化分析方法

海平面变化是层序地层分析的基石, 海面的变化信息只能根据地质记录中保留下来的古地貌、古沉积环境、古生物、地球化学, 以及地球物理等方面的证据间接获得。前人在海平面升降变化的确定方法探讨方面, 做了大量的探索性研究, 概括起来包括以下 4 个方面(表 1), 每一种研究方法分别从不同侧面对海平面升降进行分析, 展示了该方法的特点及优势。

1) 海平面变化的地理/地貌学分析: 通过海相沉积物面积或体积的变化和不同时期古岸线/古水深标志间接判断海平面变化, 如 Sloss 根据北美地台沉积盆地沉积物体积和沉降速率随时间的变化, 以 10 Ma 为间隔时间, 绘制出大约 50 百万年的新生代周期海平面变化图(Miall, 1997) [1]。

2) 海平面变化的沉积学分析: 依据沉积序列、沉积相组合变化、岩相与生物相等确定海平面的变化关系。近年来, 在这方面研究工作主要集中在两个方面, 其一是通过岩相关系序列分析确定海平面的变

Table 1. Methods of determining sea level changes**表 1.** 海平面变化分析方法

分析方法	涉及参数	适应范围
地理/地貌学方法	海相沉积面积(体积)、(古)海岸线、古水深	近代海平面, 古代海平面变化
沉积学方法	沉积序列、岩相、生物相、沉积相组合	古生代以来海平面变化
地球化学方法	同位素、微量元素、稀土元素、古地磁等	不同时代海平面变化
地球物理方法	地震反射终止, 上超点、下超点、削截点等	具地震资料的盆地海平面变化

化,如吴亚生等(2001)利用生物礁结构相序列确定了中二叠世茅口期全球海平面上升过程[2];李华等(2009)综合岩相、生物相等资料对中晚泥盆世吉维期—弗拉斯期早期主要的海平面变化历史进行分析[3];Zubair等(2011)利用沉积相组合关系确定犹他州晚白垩世海平面变化等[4];其二是探讨海平面变化的沉积响应,如李广雪等(2009)讨论了中国东部陆架沉积环境对末次冰盛期以来海面阶段性上升的响应特征[5];Cristian等(2009)分析了大陆边缘构型及沙质沉积物向深水的路过对海平面变化的响应[6];Rhodri等(2011)和Patricio等(2012)分别探讨了潮控条件下强制性潮坪沉积对海平面下降的响应,及煤系地层发育区煤质与海平面变化的关系等,明确海平面变化过程对沉积的控制作用[7][8];陈晓辉等(2013)论述了辽东半岛南岸海域潮流沙脊沉积特征、潮汐沙脊的分带性及分布明显受海平面变化控制,并建立受海平面变化控制的沉积体系发育分布模型和层序模型[9]。

3) 海平面变化的地球化学分析: 研究发现沉积物(岩)中所含有的同位素、微量元素、稀土元素等变化与海平面变化具有相关性,当海平面下降时, $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 值均正偏,负值绝对值减小, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值负偏,正值绝对值增加;而海平面上升, $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 值均负偏,负值绝对值增加, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值正偏,正值绝对值减小。从而根据同位素 $\delta^{34}\text{S}$ 及 $\delta^{13}\text{C}$ 年龄曲线绘制出的显生宙相应的海平面升降曲线,以及根据 $\delta^{18}\text{O}$ 所编制的新生代海平面变化曲线,并己为大家广泛接受(Miller等,1985;邵磊,2009)[10][11]。同时根据微量元素及稀土元素分析海平面变化,如李军等(2009)通过稀土元素变化确定了冲绳海槽中部近两万年以来海平面变化[12];而汪凯明等(2009)及许中杰等(2012)通过海相碳酸盐岩微量元素特征分析分别确定冀北坳陷中元古界及华南陆缘晚三叠世—中侏罗世海平面升降变化[13][14];除此之外,人们还探索了海平面变化的其他地球化学响应关系,如Michael等(2010)分析了加拿大西部上泥盆统海平面变化与磁化率的关系[15];Steven等(2010)对具有海水Mg/Ca比值的海藻缓慢增长与方解石产率增长,及其与海平面变化的关系的分析等[16],都取得较好的研究效果。

4) 海平面变化的海岸上超分析: Vail等提出根据地震剖面所揭示的地层上超或退覆点的迁移确定区域或全球相对海平面变化幅度,Haq等(1988和2008)建立了中—新生代海平面变化的年表,并编绘了古生代海平面变化曲线[17][18]。国内在南海区域开展古近系—新近系海平面变化研究,并且编制出海平面变化曲线(许仕策等1997;谢金有等,2012)[19][20],与Haq的中—新生代海平面变化具一定的相似性。

5) 不同层次海平面变化机理分析: 对于海平面变化方法的探讨的同时,研究者不断加强海平面变化机理分析,讨论全球海平面变化的尺度问题,认为大尺度、长时段的全球海平面变化与冰川海平面密切相关,建立了全球冰川海平面的加速上升、冰川堆积空间标准化模型,分析海平面变化及冰盖物质的平衡等,近年来取得大量的研究成果[21][22][23][24][25](Yoshi等,2008;Merrifield等,2009;Burgess等,2010;Munneke等,2012;丁明虎,2013),同时不断探索分析中小尺度的构造—海平面变化(邢凤存等,2011)[26]。总之,人们试图通过不同地区海平面变化特点分析,并与前人全球海平面变化对比(时国

等, 2011), 最终确定海平面的地区性旋回[27], 但人们对于海平面变化是否具有全球性时常提出质疑, 如 Miall (2005) 等认为 Haq 等人的工作值得肯定, 但将中—新生代海平面变化曲线作为全球对比的标准还需斟酌[28]。

3. 坡折带分析

坡折带在层序地层分析过程中起着重要的作用, 不同类型的坡折, 如断裂坡折、挠曲坡折或沉积坡折的存在对盆地充填过程中沉积体系类型及分布具有明显地控制作用。关于坡折带的研究主要包括坡折带成因分析、坡折带与层序模式及坡折带对沉积的控制 3 个方面, 充分显示坡折带研究的重要性。

1) 坡折带的成因分析

研究者根据坡折带的综合成因, 将其分为构造坡折(包括断裂坡折、挠曲坡折等)、地貌坡折、沉积坡折及侵蚀坡折等(林畅松等, 2000; 刘豪等, 2004) [29] [30], 并探讨坡折发育类型与盆地构造特征的关系, 如下第三系东营断陷型凹陷, 在长轴缓坡带大型三角洲前缘发育沉积坡折, 而在短轴方向则多发育断裂坡折(王英民等, 2003) [31]。

2) 坡折带与地层构成模式分析

长期以来, 关于古地形地貌在层序形成中作用分析, 特别是坡折带对沉积过程及层序发育特点的影响被研究者极大地忽视了, 造成在这方面研究较为薄弱。Gonzalo 等(2013)探讨了裂谷后盆地地形地貌及坡折特征对沉积过程及地层构型的控制作用[32]。

3) 坡折带对沉积体系的控制作用研究

中国学者在这方面研究较为深入, 肖军等(2003)认为陆相断陷含油气盆地断裂坡折带发育[33], 同沉积断裂长期活动形成的构造坡折带控制层序发育和沉积过程; 任建业等(2004)及倪金龙等(2007)通过研究认为不同类型的断裂坡折控制沉积分布样式, 如弧形断裂控制低位扇体呈环带状分布, 阶梯状断裂坡折带控制多级扇体的发育[34] [35]。王颖等(2009)提出大型拗陷沉积盆地的坡折带是重力流发育的最有利场所[36], 并认为开展拗陷湖盆坡折带背景下的重力流沉积模式及其分布规律的研究具有重要意义; 对于具有多坡折带的海相盆地而言, 发育于陆架区域的小型坡折带主要控制三角洲及扇三角洲等浅水沉积体的展布, 而陆架边缘坡折带则控制陆架边缘三角洲及海底扇等较深水沉积的发育(王永凤等, 2011) [37]。坡折带不但控制沉积作用和沉积分布, 而且控制层序的体系域类型及特征, 如低位体系域的深切谷、低位扇, 高位体系域的三角洲及强制性海退体系域(王颖等, 2005; 邵磊等, 2008; 吕大炜等, 2008; 刘豪等, 2011) [38] [39] [40] [41]。

4. 层序模式建立

Sloss 认为层序的概念及其实践与地层学有着同样的悠久历史, 如 Wanless 和 Weller “旋回层”、Levorsen “地质层” 概念上世纪 30~40 年代已经存在(Miall 1997)。现代层序由 Vail, Mitchum 等在 Sloss 层序概念的基础上, 结合地震地层学研究提出, 至此层序地层学研究得到突飞猛进的发展, 但争论不断, 有关层序地层学模式层出不穷, 先后涌现出经典层序地层三分模式、T-R 层序二分模式、包括强制性海退的四分模式、及高分辨率地层层序模式等(表 2)。

1) 经典层序三分模式: 由 Sloss 及 Wheeler (1949~1963) 等以不整合为界的克拉通层序概念演化而来。Exxon 研究组的 Mitchum 等把 “沉积层序” 定义为由相对整合且有成因联系、顶底以不整合或相关整合为界的地层单位。并大胆的提出层序的形成演化与海平面变化有关。Wongoner 等 1987 年对 Mitchum 等的定义进行了修改, 提出 I 型和 II 型不整合层序, 并据此将沉积层序划分为自下而上依次由低水位、海进和高水位体系域组成的 I 型层序和由陆架边缘、海进和高水位体系域组成的 II 型层序。虽然后来一些

Table 2. Analysis of models of sequence stratigraphy
表 2. 层序地层模式分析

层序模式	层序界面	层序组成单元	主控因素	发育位置
三分体系域模式	不整合面及相关的整合面	低位体系域—海侵体系域—高位体系域	海平面快速下降, 沉积坡折或地貌坡折	陆架内沉积坡折带或陆架边缘
四分体系域模式	不整合面及相关的整合面	低位体系域—海侵体系域—高位体系域—海平面下降体系域(强制性海退体系域)	海平面缓慢下降, 地貌坡折	陆架边缘
T-R 旋回模式	不整合面及相关的整合面	海侵体系域(T)—海退体系域®	海平面变化、沉积供应	陆架、陆坡
高分辨率层序地层模式	不整合面及相关的整合面	基准面下降半旋回—基准面上升半旋回	基准面变化、沉积供应	盆地任何部位

学者要求废弃 I 型和 II 型层序的概念, 但对层序的三分模式并未有争议, 而且在海相盆地层序地层研究中被广泛采纳, 用于建立适用于各研究区域的模式, 如所建的南海宽缓陆架碎屑岩三角洲地层构型及层序模式(张尚锋等, 2013) [42]。

2) T-R 层序二分模式: T-R 旋回即海侵—海退旋回, 这一概念由 Johnson 等人 1985 年提出, 是以海侵面及其可比界面为界的层序单位。该旋回是从一个加深事件开始到下一个同等规模的加深事件开始之间的时间段内沉积下来的沉积岩(Embry, 2002) [43]。一些生物地层学家赞同将海侵面作为层序地层界面, 因海进面一般是生物辐射演化面或爆发演化面, 在野外易于识别, 可精确地标定其年代(殷鸿福等, 1995) [44]。

3) 包含强制性海退的四分模式: Posamentier 和 Vail 1988 年就对相对海平面下降时期沉积作用的特征进行过讨论, Plint 也识别出相对海平面下降时期形成的“滨外坝”型滨面砂、砾岩序列的沉积模式, 但直到 1992 年才出现“强制性海退”模式及“强制性海退体系域”的概念, 且在研究中识别出陆架上的强制性海退楔(Chakraborty 等, 2008) [45]。直到 30 多年后的 2009 年, 加拿大阿尔伯塔大学 Catuneanu 教授及国际层序地层学著名学者在层序地层学标准化讨论议题中才提出层序的四分模式(Catuneanu, 2009) [46], 但就有关层序界面及体系域组合关系还存在争议, 难以达成共识(Helland, 2009; 梅冥相, 2010; 李绍虎, 2010) [47] [48] [49]。

4) 以基准面原理为核心的高分辨率地层层序模式: 高分辨率地层层序是由 Cross 所提出, 认为层序是受地层基准面旋回控制的容纳空间速率的周期性变化的产物, 归结为容纳空间速率变化响应于质量守恒和沉积物体积分配。该理论体系的提出, 在我国陆相含油气盆地油气勘探开发及储层评价中发挥了重要作用(杨有星等, 2012; 杨勇等, 2013; 朱红涛等, 2011) [50] [51] [52]。

5. 层序地层学研究展望

由于受不同海平面变化速率、构造沉降速率及古地形地貌的控制, 造成地层沉积方式、沉积类型、沉积特点及其分布存在差异, 表现出不同的层序地层模式。未来层序地层模式研究应关注以下几个方面:

1) 坡折带对沉积具有明显的控制作用, 它不但控制沉积层序基本特征, 而且控制层序内部体系域以及层序的发育模式。经典层序模式一般是在陆架边缘单一坡折带建立的, 而通过研究发现陆相断陷盆地和具有宽缓大陆架海洋盆地多坡折带是普遍存在的, 因此, 通过多坡折带沉积充填响应分析, 建立多坡折带层序地层模式, 不但可以丰富和完善层序地层学理论, 而且可以更好地预测与不同坡折带有关的矿产资源分布规律。目前, 陆相断陷盆地多坡折带对沉积作用和层序模式的控制研究已受到广泛关注, 取得大量的研究成果, 然而世界海相盆地面积广阔, 但其大陆边缘多坡折带层序模式的研究却很少引起

重视。如在南海北部宽缓陆架已经发现多坡折带的存在,应该以此重点研究对象,建立多坡折带层序地层模式,以推动其他海相盆地多坡折带层序地层研究,完善层序地层学理论体系。

2) 关于层序形成的控制因素,目前认为海平面或基准面是主控因素之一,但对全球海平面变化控制层序形成之说却否定之声不断,而基准面又是抽象的,人们在研究中难以把握,由此造成层序划分研究及层序模式建立过程中出现标准难以统一、多种模式并存的现象。从研究过程的可操作性看,应选择海平面作为层序形成控制因素,况且对于同一盆地而言,海平面变化过程及变化方式肯定是一致的,所不同的是盆地内不同地区及不同坡折带在海平面变化过程中对沉积作用的控制有所差异。因此,一旦根据盆地内沉积类型、沉积方式及沉积地层构型,结合古生物、地球化学分析及地震资料解析,确定了海平面变化过程,便可依据盆地坡折带特征及分布,建立层序地层发育及分布模型。

3) 层序内体系域的构成,也是目前层序地层学研究争论的焦点之一,究竟层序由哪几个体系域组成才是合理的?对于这一问题的解决,必须充分考虑多坡折带分布的区域性及坡折带特征,同时考虑海平面变化的层次性及海平面的升降幅度,分层次分区域考虑,不可能存在统一的标准化模式。总之,层序地层学理论体系、研究方法及层序模式还处于探索和发展之中。关于层序内体系域概念厘定、层序和体系域的成因解释,以及层序模式的建立等方面,不同学派或相同学派不同学者的观点甚至还存在很大的分歧。只有全面利用各种资料,充分考虑各种因素,才能建立较为完整的层序地层综合模型,并有助于增强模型的可预测性。

6. 结论

1) 通过对层序地层学理论体系核心内容如海平面变化和坡折带研究方法、成因机制及其作用研究过程的分析调研,聚焦层序地层学的研究重点,明确在海平升降变化下不同类型坡折带对层序及沉积类型和分布的控制特点,为层序模式建立奠定了基础。

2) 总结了四种层序模式的各自特点及研究进展,并对层序地层学未来研究进行展望,认为不可能存在放之四海而皆准的层序标准化模式。只有全面利用各种资料,充分考虑各种因素,如进行不同层次海平面变化与坡折带综合分析,才能建立符合实际且较为完整,而且各具特色的层序地层模式。

基金项目

国家自然科学基金(41472098)及国家“十三五”重大科技专项(2017ZX05032-002-002)联合支助。

参考文献

- [1] Miall, A.D. (1997) *The Geology of Stratigraphic Sequences*. Springer-Verlag, Berlin, 433.
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-03380-7>
- [2] 吴亚生, 范嘉松. 根据生物礁定量计算茅口期全球海平面变化幅度[J]. 中国科学(D辑), 2001, 31(3): 233-242.
- [3] 李华, 马学平, 韦龙明. 广西菜子岩剖面中上泥盆统界线附近沉积相与海平面变化[J]. 古地理学报, 2009, 11(5): 503-512.
- [4] Jinnah, Z.A. and Roberts, E.M. (2011) Facies Associations, Paleoenvironment, and Base-Level Changes in the Upper Cretaceous Wahweap Formation, Utah, U.S.A. *Journal of Sedimentary Research*, **81**, 266-283.
<https://doi.org/10.2110/jsr.2011.22>
- [5] 李广雪, 刘勇, 杨子赓. 中国东部陆架沉积环境对末次冰盛期以来海面阶段性上升的响应[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2009, 29(4): 13-19.
- [6] Carvajal, C. and Steel, R. (2009) Shelf-Edge Architecture and Bypass of Sand to Deep Water: Influence of Shelf-Edge Processes, Sea Level, and Sediment Supply. *Journal of Sedimentary Research*, **79**, 652-672.
<https://doi.org/10.2110/jsr.2009.074>
- [7] Jerrett, R.M., Hodgson, D.M., Flint, S.S. and Davies, R.C. (2011) Control of Relative Sea Level and Climate on Coal

- Character in the Westphalian C (Atokan) Four Corners Formation, Central Appalachian Basin, U.S.A. *Journal of Sedimentary Research*, **81**, 420-445. <https://doi.org/10.2110/jsr.2011.37>
- [8] Desjardins, P.R., Buatois, L.A., Pratt, B.R. and Mángano, M.G. (2012) Forced Regressive Tidal Flats: Response to Falling Sea Level in Tide-Dominated Settings. *Journal of Sedimentary Research*, **82**, 149-162. <https://doi.org/10.2110/jsr.2012.18>
- [9] 陈晓辉, 张训华, 李日辉, 蓝先洪. 辽东半岛南岸海域潮流沙脊及影响因素[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2013, 33(1): 11-18.
- [10] Fairbanks, M.K.G. (1985) Cenozoic 18 O Record of Climate and Sea Level. *South African Journal of Science*, **81**, 248-249.
- [11] 邵磊, 乔培军, 庞雄, 韦刚健, 李前裕, 苗卫良, 李昂. 南海北部近代沉积物钕同位素分布及意义[J]. 科学通报, 2009, 54(1): 98-103.
- [12] 李军, 赵京涛. 冲绳海槽中部稀土元素地球化学特征及其在古环境变化研究中的应用[J]. 自然科学进展, 2009, 19(12): 1333-1342.
- [13] 汪凯明, 罗顺社. 海相碳酸盐岩锶同位素及微量元素特征与海平面变化[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2009, 29(6): 51-58.
- [14] 许中杰, 程日辉, 张莉. 华南陆缘晚三叠-早、中侏罗世海平面相对升降与古气候演化的地球化学记录[J]. 地球科学, 2012, 37(1): 113-124.
- [15] Whalen, M.T. and Day, J.E. (2010) Cross-Basin Variations in Magnetic Susceptibility Influenced by Changing Sea Level, Paleogeography, and Paleoclimate: Upper Devonian, Western Canada Sedimentary Basin. *Journal of Sedimentary Research*, **80**, 1109-1127. <https://doi.org/10.2110/jsr.2010.093>
- [16] Stanley, S.M., Ries, J.B. and Hardie, L.A. (2010) Increased Production of Calcite and Slower Growth for the Major Sediment-Producing Alga *Halimeda* as the Mg/Ca Ratio of Seawater is Lowered to a “Calcite Sea” Level. *Journal of Sedimentary Research*, **80**, 6-16. <https://doi.org/10.2110/jsr.2010.011>
- [17] Haq, B.U., Hardenbol, J. and Vail, P.R. (1988) Mesozoic and Cenozoic Chronostratigraphy and Eustatic Cycles. In: Wilgus, et al., Eds., *Sea-Level Changes: An Integrated Approach*, SEPMP Special Publication No. 42, 71-108. <https://doi.org/10.2110/pec.88.01.0071>
- [18] Haq, B.U. and Schutter, S.R. (2008) A Chronology of Paleozoic Sea-Level Changes. *Science*, **322**, 64-68. <https://doi.org/10.1126/science.1161648>
- [19] 许仕策, 秦国权, 杨少坤. 南海北部高分辨率生物地层学与相对海平面变化曲线[C]//龚再升, 李思田, 等. 南海北部大陆边缘盆地分析与油气资源. 北京: 科学出版社, 1997: 128-137.
- [20] 谢金有, 祝幼华, 李绪深, 麦文, 赵鹏肖. 南海北部大陆架莺琼盆地新生代海平面变化[J]. 海相油气地质, 2012, 27(1): 49-58.
- [21] Yoshi, N.S., Shoshirom, N.S., et al. (2008) Decadal Sea Level Variability in the South Pacific in a Global Eddy-Resolving Ocean Model Hindcast. *American Meteorological Society*, **38**, 1731-1746.
- [22] Merrifield, M.A., Merrifield, S.T. and Mitchum, G.T. (2009) An Anomalous Recent Acceleration of Global Sea Level Rise. *Journal of Climate*, **22**, 5772-5781. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2985.1>
- [23] Burgess, E.W., Forster, R.R., Box, J.E., et al. (2010) A Spatially Calibrated Model of Annual Accumulation Rate on the Greenlandic Sheet (1958-2007). *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, **115**, F2004. <https://doi.org/10.1029/2009JF001293>
- [24] Munneke, P.K., Picard, G., van den Broeke, M.R., et al. (2012) Insignificant Change in Antarctic Snowmelt Volume since 1979. *Geophysical Research Letters*, **39**, L01501.
- [25] 丁明虎. 南极冰盖物质平衡最新研究进展[J]. 地球物理学进展, 2013, 28(1): 24-35.
- [26] 邢凤存, 白振瑞, 李祯, 李思田. 塔里木盆地早、中志留世沉积序列及其对构造-海平面变化的响应: 以柯坪露头区为例[J]. 地球科学, 2011, 36(3): 541-554.
- [27] 时国, 田景春, 喻美艺. 贵阳花溪地区下、中三叠统层序地层及其海平面变化[J]. 地层学杂志, 2011, 35(4): 397-403.
- [28] Miall, A.D. (2005) Testing for Eustatic Sea-Level Control in the Precambrian Sedimentary Record. *Sediment Geology*, **176**, 9-16. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2004.03.014>
- [29] 林畅松, 潘元林, 肖建新, 孔凡仙, 刘景彦, 郑和荣. “构造坡折带”——断陷盆地层序分析和油气预测的重要概念[J]. 地球科学, 2000, 25(3): 260-266.
- [30] 刘豪, 王英民, 王媛, 齐雪峰, 杜社宽. 大型拗陷湖盆坡折带的研究及其意义——以准噶尔盆地西北缘侏罗纪拗

- 陷湖盆为例[J]. 沉积学报, 2004, 22(1): 95-102.
- [31] 王英民, 金武弟, 刘书会, 邱桂强, 李群, 刘豪, 辛仁臣, 杨飞. 断陷湖盆多级坡折带的成因类型、展布及其勘探意义[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(3): 199-203.
- [32] Veiga, G.D., Schwarz, E., Spalletti, L.A. and Assaferro, J.L. (2013) Anatomy and Sequence Architecture of the Early Post-Rift in the Neuquén Basin (Argentina): A Response to Physiography and Relative Sea-Level Changes. *Journal of Sedimentary Research*, **83**, 746-765. <https://doi.org/10.2110/jsr.2013.56>
- [33] 肖军, 王华, 陆永潮, 赵忠新, 陈亮. 琼东南盆地构造坡折带特征及其对沉积的控制作用[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2003, 23(3): 56-62.
- [34] 任建业, 张青林, 陆永潮. 东营凹陷弧形断裂坡折带系统及其对低位域砂体的控制[J]. 沉积学报, 2004, 12(4): 628-635.
- [35] 倪金龙, 吕宝凤, 林玉祥, 王泽利, 夏斌. 渤南洼陷断裂坡折带系统及其沉积模式[J]. 桂林工学院学报, 2007, 27(2): 153-158.
- [36] 王颖, 王晓州, 王英民, 辛仁臣, 赵志魁. 大型坳陷湖盆坡折带背景下的重力流沉积模式[J]. 沉积学报, 2009, 27(6): 1076-1083.
- [37] 王永凤, 王英民, 李冬, 徐强. 珠江口盆地坡折带特征及其对沉积体系的控制[J]. 沉积与特提斯地质, 2011, 31(3): 1-6.
- [38] 王颖, 王英民, 王晓洲, 辛仁臣, 赵志魁, 赵占银. 松辽盆地西部坡折带的成因演化及其对地层分布模式的控制作用[J]. 沉积学报, 2005, 23(3): 498-506.
- [39] 邵磊, 庞雄, 乔培军, 陈长民, 李前裕, 苗卫良. 珠江口盆地的沉积充填与珠江的形成演变[J]. 沉积学报, 2008, 26(2): 179-185.
- [40] 吕大炜, 李增学, 孙静, 吴立荣, 郭建斌, 刘海燕. 浅析陆相湖盆坡折带理论及其对沉积的控制[J]. 大庆石油勘探与开发, 2008, 27(3): 25-27.
- [41] 刘豪, 王英民, 王媛. 浅海陆棚环境下沉积坡折带及其对局部强制海退体系域的控制[J]. 沉积学报, 2011, 29(5): 906-916.
- [42] 张尚锋, 张昌民, 施和生. Siliciclastics Sequence Models in Wide and Low-Gradient Continental Margin of Northern South China Sea[C]//美国石油地质学家(AAPG)年会. Pittsburg, 2013: 110.
- [43] Embry, A.F. (2002) Transgressive-Regressive (T-R) Sequence Stratigraphy. *Sequence Stratigraphic Models for Exploration and Production: Gulf Coast SEPM Conference Proceedings*, Houston, 151-172.
- [44] 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): 539-541.
- [45] Chakraborty, P.P. and Paul, S. (2008) Forced Regressive Wedges on a Neoproterozoic siliciclastic Shelf: Chandarpur Group, Central India. *Precambrian Research*, **162**, 227-247. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2007.07.020>
- [46] Catuneanu, O., Abreu, V., Bhattacharya, J.P., et al. (2009) Towards the Standardization of Sequence Stratigraphy. *Earth—Science Review*, **92**, 1-33. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2008.10.003>
- [47] Helland-Hansen, W. (2009) Towards the Standardization of Sequence Stratigraphy—Discussion. *Earth-Science Reviews*, **94**, 95-97.
- [48] 梅冥相. 长周期层序形成机制的探索:层序地层学进展之二[J]. 古地理学报, 2010, 12(6): 711-728.
- [49] 李绍虎. 对国外层序地层学研究进展的几点思考及L-H-T层序地层学[J]. 沉积学报, 2010, 28(4): 735-744.
- [50] 杨有星, 金振奎, 王濮, 高白水, 刁丽颖, 李娜. 黄骅坳陷港中地区沙二段高分辨率层序地层格架与沉积体系分布[J]. 中南大学学报, 2012, 43(6): 2247-2258.
- [51] 杨勇, 雷卞军, 冯永玖, 孟堃, 陈波, 叶武. 鄂尔多斯盆地子洲及邻区山西组二段高分辨率层序地层和煤沉积模式[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(1): 58-68.
- [52] 朱红涛, 杨香华, 周心怀, 李建平, 王德英, 李敏. 基于层序地层学和地震沉积学的高精度三维沉积体系分析[J]. 地球科学, 2011, 36(6): 1073-1084.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2163-3967，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：ag@hanspub.org