

文章编号:1672-9854(2009)-02-0059-08

微相分析在高分辨率层序分析中的运用

向雷,张哨楠,丁晓琪

(成都理工大学能源学院)



向雷

摘 要 以科学合理采出的岩心或露头样品中所获得的微相标志,可提供古水深的线索。微相标志可以有效识别作为建立碳酸盐岩三级层序地层格架基础的陆上暴露面、淹没不整合面、初次海泛面以及最大海泛面等层序界面,还可以识别和解释多种类型的准层序。

关键词 层序地层;微相分析;层序分析;高分辨率;运用

中图分类号:TE111.3 **文献标识码**:A

向雷 1982年生。2004年7月毕业于西南石油大学资源勘查工程专业,现为成都理工大学能源学院油气田开发地质专业在读硕士。通讯地址:610059 四川省成都市成都理工大学能源学院研究生2006级

1 概 述

现代碳酸盐岩沉积学的主要任务之一就是识别和解释碳酸盐岩沉积旋回叠加类型^[1]。生物群、颗粒组分、沉积结构及早成岩阶段的微晶灰岩等的系统变化可以反映沉积旋回性,沉积微相分析能够更好地理解沉积作用、沉积环境的短期变化。进行层序地层学研究一般需要三个基本条件——古环境解释、等时性判断、区域性和局部性影响因素判别。微相分析可以获取这三个条件,并且微相研究可以进一步证实层序边界的成因、形成时限及发育位置。

高分辨率层序分析的目的在于理解时间跨度在数万年到数十万年之间短周期沉积的过程,这需要对沉积相及沉积环境进行逐层分析,需要确定沉积层序、层序界面以及最大海泛面^[2]。根据常见的沉积层序叠置样式及相变化,可以确定出小、中、大各种规模的层序^[3-6]。四级、五级甚至更高级别的层序可以通过沉积相的变化反映出环境的最小变化^[7-10],并且通过这些与小规模高频海平面变化对应的准层序在上百千米范围内的对比,建立起可用

于详细的古地理重建的年代格架^[7]。国内对于高分辨率层序地层学的研究多见于陆相沉积,强调运用地震解释、测井解释与钻井资料综合分析^[11-13],而海相碳酸盐岩沉积高分辨率层序地层学研究还处于起步阶段。本文试图运用岩石薄片、岩石揭片、抛光片等研究手段所取得的微相资料实现对海相碳酸盐岩沉积古水深演化的分析、层序界面的识别和准层序的鉴别。

2 微相分析的采样工作

微相资料的多变性、多样性和丰度与所采样品的大小有关。样品的尺寸越大,信息量与多样性就有可能增加。由于层状浅海碳酸盐岩剖面微相高度的多样性,用于高分辨率层序分析的剖面或岩心,应使用0.1m或更小的采样间距进行连续采样。而对于碳酸盐岩斜坡薄至中厚层碳酸盐岩,可以将采样间距控制在0.2~0.5m之间进行连续采样。连续采样可以提供更好的微相信息,更好地进行微相类型划分,更好地识别剖面中微相类型的一般趋势。虽然层状深水碳酸盐岩微相类型单调,总的组分性质可能是

收稿日期:2008-07-29

均质的,但也必须以厘米级采样间距定量研究微相标志和显微化石分布,才能分析控制层序发育的内在因素。硬底与凝缩段要采用贯穿整个层厚的槽状样品,并对层面进行仔细分析,因为微相类型可能在毫米级到厘米级范围内发生变化。块状至大套互层的碳酸盐岩需要采集大量的样品。

3 相对水深的微相分析标志

微相资料可以提供相对海平面变化趋势的证据,这为层序分析提供了依据。钙藻对光照强度具有很强的依赖性,所以钙藻是水体深度的极好指示器。原地粗枝藻属钙质绿藻生长深度非常浅,在数十厘米到数米的范围内,生长在潮间带与潮下带的上部;钙扇藻属绿藻,其生长的深度范围在数十厘米到数十米之间^[14],而叶绿素生态群生存的深度下限在100m左右。热带环境中的珊瑚状红藻生活的水体深度范围在20m到80m之间,而在非热带环境中水深可以超过200m。叠层石不同的生长方式受控于水体扰动程度,叠层席在潮间带及潮上带的静水环境中产出,而穹顶型生长方式在潮下带比较常见^[15]。与绿藻或红藻共生体共生的有孔虫被限制在浅海环境,而与硅藻共生的有孔虫则可以生活在更深的水体深度中。大的有孔虫的大量存在是浅海光照环境的很好证据。大量适应于深、很深的无光线的大洋底部环境的介形类底栖生物群的存在指示了深水环境^[16]。六射造礁珊瑚化石和珊瑚礁发育在水体深度小于100m的透光带中。对底栖生物化石组合进行梯度分析能够得到相对水深的信息。因在特定的古水深,具有与之对应的、特征的生物分带模式,故利用岩内微钻孔生物等可以很好地划分透光带、弱光带^[17]。

特殊的颗粒类型和结构也可作为水体深度的线索。切向鲕粒分布的水体深度在10m左右;存在丰富葡萄石分布的水体深度在数十厘米内,以巴哈马葡萄石最为特征;高丰度的包粒与钙质绿藻、软体动物生物碎屑的组合表征的水体深度在数十厘米到数米范围;海相碳酸盐核形石在浅水环境与较深水环境都可以形成^[18],但蓝藻石指示1m范围内的水体深度,浅水高能环境中形成的核形石颗粒粒径比较小,具有规则的纹层,形成灰泥质颗粒灰岩与颗粒灰岩;而在深海环境中形成的核形石个体比较大,其纹层不连续,形成漂砾灰岩与颗粒质灰泥石灰岩。大部

分铁质与磷酸盐质非碳酸盐结核的核形石代表的是深水环境。红藻石虽在浅海环境和深海环境中都可分布,但其占优势的深度范围是在浪基面以下的透光带与弱光带水体中。丰富的平底晶洞发育在深潮下环境,但平底晶洞在潮间带也有分布。可通过沉积物的组分、碳酸盐岩胶结物的类型和相伴生的生物群加以区分。大多数垂向生物潜穴发育在潮间带,网状生物潜穴则发育在潮下带。深海生物潜穴与浅海生物潜穴的差异体现在遗迹化石组合及其空间分布的差异上。依据碳酸盐岩软泥、深海黏土或硅质软泥的过渡部位确定的方解石补偿深度,钙质微体化石组合保存程度的显著差异确定的溶跃面表征了深水环境。但在地质历史中,特别是显生宙以来的不同时期方解石补偿深度、溶跃面深度存在比较大的差异。用方解石补偿深度与溶跃面确定水体的绝对深度意义不大,但运用于沉积层序分析中估计相对水体深度却是可行的。小型交错层理、叠瓦构造、丘状交错层理等沉积构造对于解释正常浪基面与风暴浪基面的位置具有重要意义^[19]。

在判断古水深众多的微相标志中,可靠程度存在着差异,且大部分微相标志都具有多解性。为比较准确地获得相对水体深度,需要将水体深度的微相标志进行综合分析。

4 层序界面的识别

沉积间断面与不整合面是确认层序界面的重要因素。层序地层学对不整合与沉积间断概念的使用与传统地质学有所区别,它把区域上可追踪的沉积间断也称之为不整合。海相沉积中重要的水下沉积间断面如淹没台地中水侵作用形成的沉积间断也被视为不整合面。事实上,不整合与沉积间断并不是任何时候都可以区分的,二者在成因上往往受到构造与沉积两个因素的共同影响。基于此,可以将不整合与沉积间断统称为不连续面。

所有沉积间断与海底、陆上环境中的无沉积作用面均称为不连续面^[20]。不连续面具有不同的级别、时间跨度和分布范围。在薄片中所看到的一般是小范围的短期的不连续面,却可以反映出大规模的相对海平面变化^[6]。微相分析可用以区分各种级别的相对海平面变化^[20,6]。小级别不连续面的观察与解释有助于对碳酸盐岩进行高分辨率层序地层分析。在大多数情况下,小级别的侵蚀作用或相变与局部

的或局限的沉积作用相关联,主要受到盆地自身机制(潮汐、风暴)控制,但气候、相对海平面变化或构造沉降等盆地外部因素会加强水体能量水平的变化,从而产生侵蚀作用面或出现碳酸盐岩沉积环境与硅质碎屑沉积环境之间的变化。

Hillgartner^[6]对碳酸盐岩台地中沉积层序的不连续面进行了分类:由海平面大规模下降而造成的潮下碳酸盐岩的暴露标志表征的地表暴露面;受到相对海平面变化与可容空间变化控制形成的凝缩作用面;海底侵蚀面;沉积相或沉积结构的转换面等四种类型。并且认为,大多数地表暴露面与大级别的层序界面相对应,凝缩作用面则位于大级别的层序界

4.1 陆上暴露面

与经典的硅质碎屑沉积体系陆上暴露面不同,碳酸盐岩沉积体系中的陆上暴露面很少产生机械改造,多是化学改造。碳酸盐岩陆架上的暴露面不会由陆架向斜坡和盆地中注入大量硅质碎屑沉积物。碳酸盐岩沉积体系中陆上暴露面常见的微相标志有:泥裂、钙结壳、古土壤^[21]、渗流豆粒^[22]、黑色卵石^[23]、帐篷构造^[24]、古喀斯特、陆源沉积物、溶塌蒸发角砾岩等;成岩环境由海水成岩环境变化为大气淡水成岩环境;出现去白云石化作用^[25]等(图 1)。

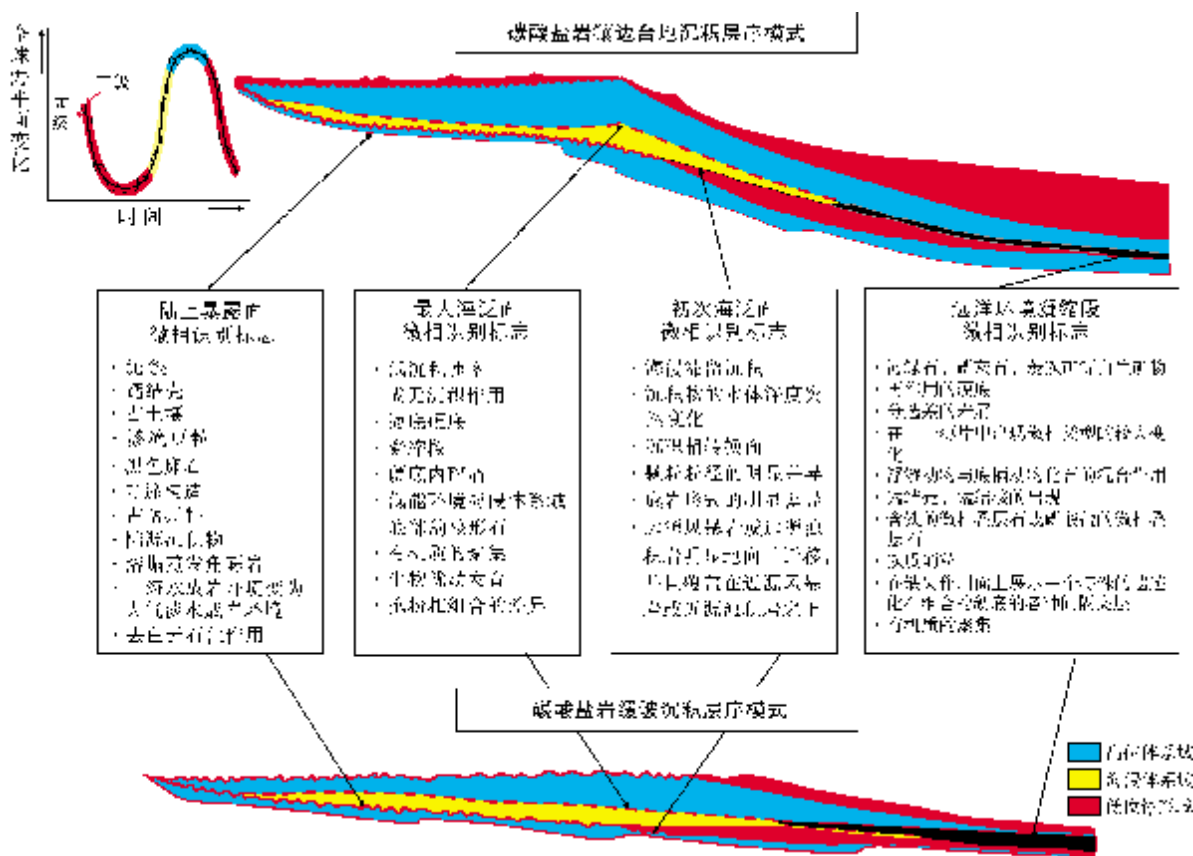


图 1 碳酸盐岩层序界面微相识别标志(据文献[26],有修改)

成岩作用特征可以作为研究层序地层和识别陆上暴露面的关键标志^[27-28]。在碳酸盐岩台地的层序边界不整合面之下或准层序边界平行不整合面之下可发育有意义的孔隙^[29-30]。但因胶结作用滞后于沉积作用, 沉积层序的界面与成岩胶结作用层序的界

面并不一致,早成岩阶段的大气淡水成岩痕迹可能会延伸到水沉积物作用界面之下几米处,同时,胶结物地层及其上覆和下伏地层具有不同的压实作用特征。稳定同位素、微量元素等方面也提供了在成岩作用类型中的暴露面与沉积间断存在的其他线索。

4.2 淹没不整合面

热带碳酸盐岩台地与礁经常终止于淹没不整合。淹没不整合面形成的可能原因有,构造及全球海平面升降事件造成相对海平面快速上升,台地边缘自我侵蚀作用,重复的暴露与水侵造成台地死亡,进积的硅质碎屑窒息礁与台地的生物,水体温度、营养物质、水体盐度、水体能量等环境的恶化。所以淹没不整合可能的微相识别标志有:垂向上,浅海沉积物向上快速过渡到深海沉积物;浅海颗粒组合被深海颗粒组合取代;具有氧化物、海绿石、磷灰石的硬底,

作为一个无沉积作用面将浅海沉积物与深海沉积物区分开;潜穴不连续面发育;具有台地边缘礁的镶边台地的镶边被侵蚀,斜坡沉积物中礁源物质和台缘物质丰度增加;主要微相类型垂向上突然改变;包壳作用增强;微生物壳矿化;淹没后的沉积物中铁、锰、磷等元素含量增加;薄片中的生物分异度降低;造礁生物生长形态发生重大变化;底栖生物相对于浮游生物在数量上增加;深水无光生物增加;开阔海生物群增加^[31](图2)。如果台地停止生长是由暴露作用造成的,那么其不整合面的微相标志与其他类型的层序界面的陆上暴露面的微相标志相同。

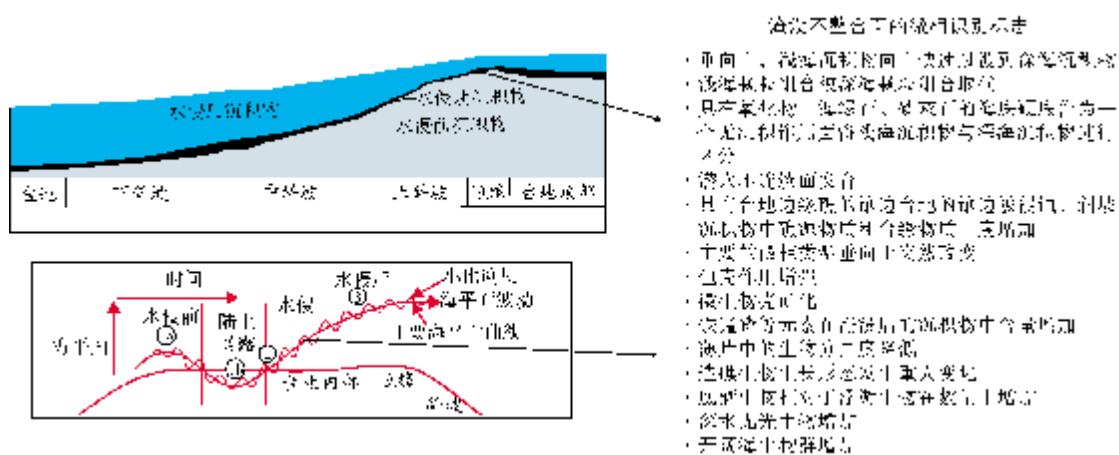


图2 淹没不整合面微相识别标志(据文献[31],有修改)

4.3 最大海泛面与凝缩段

最大海泛期的微相识别标志有:低沉积速率或无沉积作用,海底硬底,凝缩段,硬底内碎屑,低能环境海侵体系域底部发育的核形石^[32],有机质的聚集,生物扰动程度增强及孢粉相组合的差异(图1)。

凝缩段是在低沉积速率条件下形成的沉积层厚度比同时代地层薄得多并具有不同时代化石聚集的地层单元。凝缩段的微相标志有:海绿石、磷灰石、菱铁矿等自生矿物,再作用的硬底,分选差的岩屑,在一个薄片中出现微相类型较大变化,浮游动物与底栖动物化石的混合作用^[33],锰结壳、锰结核的出现,含铁的或磷酸盐的微相叠层石,铁质鲕粒,在缺失作用面上展示一个特殊的遗迹化石组合的硬底的各种间隔夹层^[33],有机质的聚集(图1)。虽然深海碳酸盐岩中发现的凝缩段普遍发育在海侵期,但将凝缩段

发育的时间段解释为最大海侵期可能在逻辑上不严密。因为凝缩作用不仅发育在深海环境,也产生在碳酸盐岩台地的最浅的部分和最大海退期。

4.4 初次海泛面

相对海平面处于快速上升阶段之后,由于碳酸盐岩工厂的生产状态的差异使得台地碳酸盐岩沉积的响应过程有三个阶段^[26]:(1)起始阶段,碳酸盐岩沉积速率滞后于海平面上升速率,形成海侵滞留沉积;(2)超补阶段,碳酸盐岩沉积速率超过海平面上升速率使得台地的沉积物高出海面;(3)并进阶段,碳酸盐岩沉积速率与海平面上升速率持平。所以,可以将微相分析中获得侵蚀低位面的表面碎屑等海侵滞留沉积作为初次海泛面的识别标志。初次海泛面微相标志还有:微相中出现沉积物的水体深度突然变化;沉积相转换面;颗粒粒径的显著差异;成岩形

式的显著差异;远源风暴岩或远源浊积岩明显的向陆迁移,并且覆盖在近源风暴岩或近源浊积岩之上(图1)。

5 准层序的微相识别标志

准层序是体系域中最小的基本构建单元。厚度在小于1m到大于10m之间变化。准层序的形成与高频米兰科维奇旋回驱动的气候变化等有联系。

在许多前寒武纪和显生宙的碳酸盐岩台地中可以识别出两种主要的准层序类型:潮缘准层序、潮下准层序。

5.1 潮缘准层序的微相标志

单个潮缘准层序内的相变以渐变为特征,而在相邻两个准层序之间的相变通常为突变,潮缘准层

序具有比较强的不对称性^[34]。潮缘准层序垂向上发育了一个完整的潮下带、潮间带、潮上带。潮缘准层序的底部常常发育海侵滞留沉积。

通过对科学采样获得的一系列样品的薄片垂向上归位后,进行薄片鉴定,得到反映环境变化与沉积速率差异的沉积构造、生物成因构造、窗格构造、颗粒、生物群、成岩标志、粒度模式、原地生物生长形式等微相标志组合。依据所获得的微相标志组合进行沉积环境的恢复,将这些恢复的沉积单元在垂向上排列成沉积层序。如果在垂向上存在着如图3所示的潮下带、潮间带、潮上带各自特征的微相标志组合^[19],并且可能在潮下带底部具有海侵滞留沉积微相标志,同时这些微相标志组合在垂向上规律性重复,那么可以判断研究剖面发育潮缘准层序。

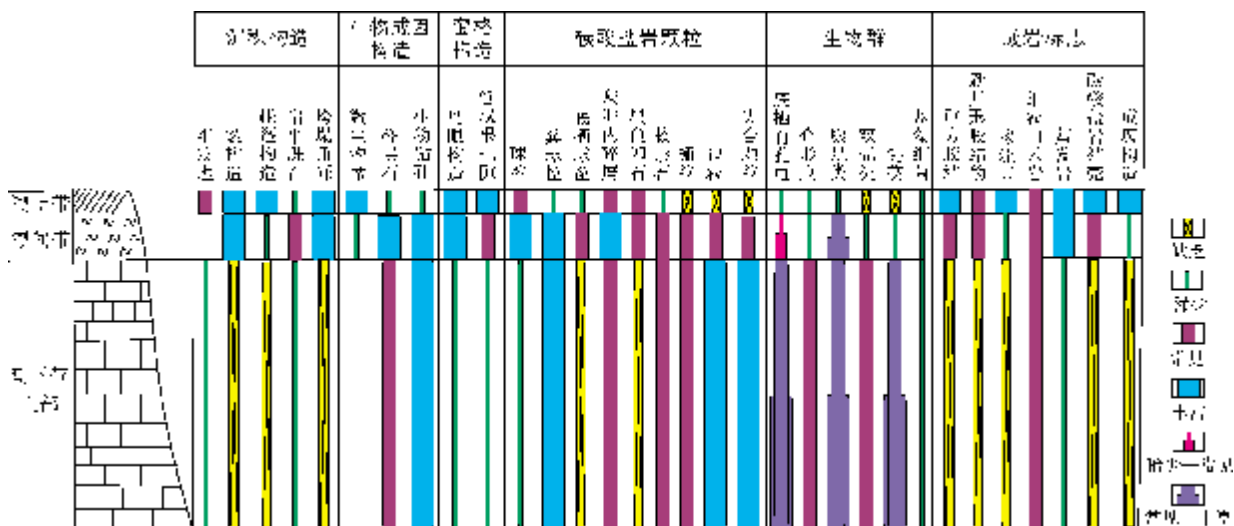


图3 潮缘准层序微相识别标志(据文献[1],有修改)

5.2 潮下准层序的微相标志

潮下准层序由潮下岩相组成,不发育潮坪纹层盖,也没有周期性暴露的潮上带或陆上暴露面的存在^[34]。依据如图1所示的海泛面微相标志所确定的海泛面,作为潮下准层序的层序界面。潮下准层序仅具有轻微的不对称性,这种不对称性表现为逐渐变浅并通常在相邻准层序之间具有渐变界面。潮下准层序具有向上变粗的趋势。

将科学采样所获得的样品制取薄片,并将薄片

中观察到的微相标志组合进行垂向归位。如果垂向剖面出现如表1所示的微相标志组合变化规律,即自下部到上部:异地正泥晶的丰度逐渐降低;核形石纹层由不连续演变为连续,粒径逐渐减小,含量逐渐增加,使得其岩石类型由漂浮灰岩、颗粒质灰泥石灰岩向灰泥质颗粒石灰岩、颗粒灰岩演进;红藻石外部形态逐渐由平圆形、扁平形向椭球形、球形变化,内部生长特征由多分枝、柱形逐渐向纹层状演进;鲕粒粒径逐渐增大,鲕壳厚度逐渐增大,显微组构由放射状演变为微晶、同心圆状;豆粒外部形状由不规则状

演变为球形,纹层由不连续向连续演变;集合颗粒的含量逐渐减少;角砾岩含量逐渐增加,且上部以礁前角砾岩、潮缘角砾岩为主;岩石支撑结构由灰泥支撑演变为颗粒支撑;层理类型由平行定向演变为叠瓦构造、交错层理;粒度呈逆粒序;分选、磨圆变好;原地生物生长形式呈脆弱分支、树枝状、柱状、灯泡状、

锥状、丘状—半球状、层状—板状的演化序列,除此以外,顶部还具有如图1所示的海泛面特征的微相标志组合时,那么可以判断存在潮下准层序。

以上两种类型的准层序都可以具有一个成岩作用盖层。各个单元之间可以被随环境迁移而形成的陆上暴露面分隔。

表1 潮下准层序微相标志^[1]

层序 位置/范围	微相标志										沉积构造	沉积物	沉积模式 (碳酸盐岩)			原始生物生长形式
	纹层特征	颗粒大小	集合体	内部生长特征	特殊构造	颗粒厚度	颗粒形状	纹层特征	外部形状	集合体形状			纹层大小	纹层厚度	分选性	
潮下准层序上部	连续纹层	小	灰泥或灰泥岩	柱状、球形	柱状、球形	厚	厚	连续纹层	球形	碎少	柱状、球形	柱状、球形	柱状、球形	柱状、球形	好	柱状、球形
潮下准层序下部	纹层不连续	大	灰泥或灰泥岩	柱状、球形	柱状、球形	薄	薄	不连续纹层	不规则形状	多	柱状、球形	柱状、球形	柱状、球形	柱状、球形	差	柱状、球形

5.3 生物礁准层序

海平面变化是浅海生物礁生长的主控因素。造礁生物随着礁顶的周期性变深和变浅而在生长形式、生物集、演替形式方面呈现出周期性的变化。生物礁准层序的识别与解释可以借助于礁生物集与礁成岩作用在古代礁中周期性的变化而识别。

5.4 远洋准层序

综合沉积学、地球化学、古生物学的数据,并借助统计学方法对这些数据进行评价,可以对受气候变化和海平面升降控制形成的远洋准层序进行识别和解释。常用的评价指标有:成层性、岩层数量和厚度、岩性变化、碳酸盐和非碳酸盐组分的含量、稳定同位素组成、微量元素、常量元素以及岩石颜色等。

6 结 论

(1)微相分析可以有效地建立碳酸盐岩沉积体系三级层序格架,识别与解释浅海台地准层序。

(2)对于不同气候条件和碳酸盐岩沉积模式下具体的层序界面微相识别标志需要进一步的深入研究。

(3)浅海沉积物中的准层序通过微相标志可以比较好地进行识别与解释,但对远洋准层序识别难度比较大,需要综合运用包括微相分析在内的多种分析手段。

参考文献

- [1] Flügel E. Microfacies of carbonate rocks[M]. Berlin:Springer, 2004.
- [2] Spence G H, Tucker M E. Modeling carbonate microfacies in

- the context of high-frequency dynamic relative sea-level and environmental changes [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 1999,69(4): 947-961.
- [3] Strasser A, Pittet B, Hillgartner H, et al. Depositional sequences in shallow carbonate-dominated sedimentary systems: Concepts for high-resolution analysis [J]. *Sed Geol*, 1999, 128(3): 201-221.
- [4] Krawinkel H, Seyfried H. Sedimentologic, palaeoecologic, taphonomic and ichnologic criteria for high-resolution sequence analysis: A practical guide for the identification and interpretation of discontinuities in shelf deposits [J]. *Sed Geol*, 1996, 102(1): 79-110.
- [5] Martire L. Sequence stratigraphy and condensed pelagic sediments—An example from the Rosso Ammonitico Veronese, northeastern Italy [J]. *Palaeogeography Palaeoclimat Palaeoecology*, 1992, 94(1): 169-191.
- [6] Hillgartner H. Discontinuity surfaces on a shallow-marine carbonate platform (Berriasian, Valanginian, France and Switzerland) [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 1998, 68(6): 1093-1108.
- [7] Strasser A. Detaillierte Sequenz stratigraphie und ihre Anwendung: Beispiel aus dem Purbeck des schweizerischen und französischen Jura [J]. *Facies*, 1987, (17): 237-244.
- [8] Goodwin P W, Anderson E J. Episodic development of helderbergian paleogeography, New York State, Appalachian Basin [C]// McMillan N J, Embry A F, Glass D J, et al. Canadian Devonian of the world: Proceedings of the second international symposium on the Devonian System, Volume II, Sedimentation. Society of Petroleum Geologists, 1988, 14: 553-568.
- [9] Bachmann M, Kuss J. The Middle cretaceous carbonate ramp of the northern Sinai: Sequence stratigraphy and facies distribution [C]// Wright V P, Burchette T P. Carbonate ramps. *Geol Soc London, Spec Publ* 149, 1998: 253-280.
- [10] Bauer J, Kuss J, Steuber T. Platform environments, microfacies and systems tracts of the upper Cenomanian-lower Santonian of Sinai, Egypt [J]. *Facies*, 2002, 47: 1-26.
- [11] 刘占红, 李思田. 沉积记录中的古气候周期及其在高频层序的形成中的作用 [J]. *地质科技情报*, 2007, 26(2): 30-34.
- [12] 谢寅符, 李洪奇, 孙中春, 等. 井资料高分辨率层序地层学 [J]. *地球科学: 中国地质大学学报*, 2006, 31(2): 237-244.
- [13] 邹才能, 池英柳, 李明, 等. 陆相层序地层学分析技术 [M]. 北京, 石油工业出版社, 2004.
- [14] Marshall J F, Davies P J. Halimeda bioherms of the northern great barrier reef [J]. *Coral Reefs*, 1988, (6): 139-148.
- [15] Logan B W. Cryptozoan and associate stromatolites from the recent, Shark Bay, Western Australia [J]. *Geol*, 1961, 69: 517-533.
- [16] Benson R H. Estimating greater paleodepths with ostracodes, especially in past thermospheric oceans [J]. *Palaeogeography Palaeoclimat Palaeoecol*, 1984, 48(1): 107-141.
- [17] Vogel K, Balog S J, Bundschuh M, et al. Bathymetrical studies in fossil reefs, with microendoliths as paleoecological indicators [J]. *Profil*, 1999, 16: 181-191.
- [18] Ratcliffe K T. Oncoids as environmental indicators in the much wenlock limestone formation of the English Midlands [J]. *Journal of the Geological Society of London*, 1988, 145(1): 117-124.
- [19] Demicco R V, Hardie L A. Sedimentary structures and early diagenetic features of shallow marine carbonates [M]. Tulsa: SEPM Atlas Series, 1994, (1): 265.
- [20] Clari P A, Dela Pierre F, Martire L. Discontinuities in carbonate successions: Identification, interpretation and classification of some Italian examples [J]. *Sedimentary Geology*, 1995, 100(1): 97-121.
- [21] Martini I P, Chesworth W. Weathering, soils and paleosoils [M]. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1992: 618.
- [22] Esteban M C, Pray L C. Pisoids and pisolite facies (Permian), Guadalupe Mountains, New Mexico and West Texas [C]// Esteban M, Pray L C. Coated grains. New York: Springer-Verlag, 1983: 503-537.
- [23] Strasser A, Davaud E. Black pebbles of the Purbeckian (Swiss and French Jura): lithology, geochemistry and origin [J]. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 1983, 76: 551-580.
- [24] Assereto R L, Kendall C G St C. Megapolygons in Iadina limestone of Triassic of southern alps: Evidence of deformation by penecontemporaneous desiccation and cementation [J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1971, 41(3): 715-723.
- [25] Braun M, Friedman G M. Dedolomitization fabric in peels: A possible clue to unconformity surfaces [J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1970, 40(1): 417-419.
- [26] Loucks R G, Sarg J F. 碳酸盐岩层序地层学: 近期进展及运用 [M]. 马永生, 译. 北京: 海洋出版社, 2003: 1-40.
- [27] Fouke B W, Zwart E W, Everts A J W, et al. Carbonate platform stratal geometries and the question of subaerial exposure [J]. *Sed Geol*, 1995, 97(1): 9-19.
- [28] 贾振远, 蔡忠贤. 成岩地层学与层序地层学 [J]. *地球科学: 中国地质大学学报*, 1997, 22(5): 538-543.
- [29] 于炳松. 层序地层格架中岩溶储层发育的预测模型 [J]. *石油学报*, 2007, 28(4): 41-45.
- [30] Read J F, Horbury A D. Eustatic and tectonic controls on porosity evolution beneath sequence-bounding unconformities and parasequence discontinuities on carbonate platforms [C]// Horbury A D, Robinson A G. Diagenesis and basin development. AAPG Studies in Geology, 1993, 36: 155-197.
- [31] Blomeier D P G, Reijmer J J G. Drowning of a Lower Jurassic

- sic carbonate platform: Jbel Bou Dahar, High Atlas, Morocco [J]. *Facies*, 1999, (41)1: 81-110.
- [32] Wright V P. Morphogenesis of oncoids in the Lower Carboniferous Llanelly Formation of South Wales [C]// Esteban M, Pray L C. Coated grains. New York: Springer-Verlag, 1983.
- [33] Bertling M. Taphonomy of trace fossils at omission surfaces (Middle Triassic, East Germany) [J]. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 1999, 149 (1): 27-39.
- [34] Goldhammer R K, Dunn P A, Hardie M T, et al. Sequence stratigraphy and systems tract development of the Latemar platform, Middle Triassic of the dolomites: outcrop calibration keyed by cycle stacking patterns [C]// Loucks R G, Sarg J F. Carbonate sequence stratigraphy: Recent developments and applications. AAPG Memoir, 1993, 57: 353-387.

编辑: 金顺爱

Application of Microfacies Analysis in High-resolution Sequence Analysis

Xiang Lei, Zhang Shaonan, Ding Xiaoqi

Abstract: The recognition and interpretation for sedimentary sequence of carbonate rocks, especially for high-resolution sequence, are the major objective of modern carbonate sedimentology. On the basis of scientific and reasonable sampling of cores and outcrops, thin-section criteria provide hints to water paleodepth. Microfacies criteria are able to effectively recognize and interpret not only sequence boundaries such as exposure and sub-aerial surfaces, drowning unconformities, transgressive surfaces, maximum flooding surfaces which are important to the development of a third-order sequence-stratigraphic framework, but also different kinds of parasequences.

Key words: Sequence stratigraphy; Microfacies analysis; High resolution; Recognition marker

Xiang Lei: male, Master degree in progress at the College of Energy Resources, Chengdu university of Technology, Chengdu, 610059 China