

塔里木盆地志留统塔塔埃尔塔格组 痕迹化石与海进期沉积及海进体系域

齐永安 胡斌

(焦作工学院化石燃料研究所 河南焦作 454159)

提 要 在层序地层学研究中,海进(transgression)常被认为是快速形成的,序列简单,并以少量沉积为特征。对塔里木盆地志留统塔塔埃尔塔格组痕迹化石及沉积特征研究表明,海进期沉积及海进体系域比人们想象的要复杂,由三类沉积组成:(1)与海进侵蚀有关,包括海进滞留沉积,发育固底控制 *Glossifungites* 痕迹相;(2)与海进初期的海面缓慢上升或总体海进过程中的静止期有关,包括前滨和临滨砂泥岩,发育 *Skolithos* 痕迹相和近端 *Gruziana* 痕迹相;(3)与海面快速上升有关,包括滨外泥岩,发育远端 *Gruziana* 痕迹相。

关键词 痕迹化石 海进期沉积 海进体系域 塔塔埃尔塔格组 岩相

第一作者简介 齐永安 男 33岁 博士 副教授 痕迹化石与沉积学

长期以来,在层序地层学研究中,人们的研究重点集中在层序界面和低位体系域之上,而海进沉积及其相关的界面并没有引起人们的注意。海进常被认为是快速形成的,序列简单,并以少量沉积为特征。对此,MacEachern 等^[1]曾明确指出,海进侵蚀面至少和低位期界面同样复杂,海进体系域沉积相组合或许比低位体系域更复杂。

1 层序界面与底部突变海进砂体

关于层序界面的识别, Van Wagoner 等^[2]注意到,河谷下切和充填的时空分布对于理解 I 类层序界面是重要的。但层序界面并不是一个单一而广泛的界面,如果它形成在海平面迅速下降期,并伴随有大量的沉积物供应,层序界面就明显地以削截为标志;如果沉积物供应较少,则以广泛的陆上暴露而几乎没有削截为标志。然而,过去人们在识别层序界面时,过分注重陆上暴露证据和对下切谷的研究,而对海进过程中的侵蚀则考虑较少,特别是在浪控陆架和浅海剖面中。事实上, I 类层序界面从具有陆上暴露证据到周期性下切谷底部进行追踪是不可能的,原始层序界面很可能被侵蚀,保存在地质记录中的层序界面将是一个海进侵蚀面(transgressive surface of erosion),形成在相对海平面的上升阶段,而不是下降阶段。

塔里木盆地塔中北部斜坡带下志留统塔塔埃尔塔格组中的 I 类层序均以底部突变的砂岩开始,向上被粉砂质泥岩和泥岩所替代,表现为向上逐渐变细的沉积相序。穿过层序界面没有表现为陆上暴露和河流的回春作用,而以发育海进侵蚀面为特征,痕迹化石表现为固底控制的悬食居住潜穴 *Diplocraterion* 切穿软底滨外环境的 *Helminthopsis*, *Chondrites* 等沉积进食潜穴。

塔塔埃尔塔格组 I 类层序底部均发育具突变基底的滨岸砂体, Posamentier 等^[3]将这种底部突变的临滨砂体作为与强制性海退有关的低位体系域,而本文的此类砂体则属于海进体系域,原因主要有:(1)本文层序底部无下切谷。在早志留世塔塔埃尔塔格组沉积期,陆架坡折位于塔里木盆地的北部和西部边缘凹陷带,整个盆地内部表现为陆表海环境,尤其在塔中地区,不发育点物源,缺乏河流和河口湾沉积。由此可见,这些层序与下切谷无关,其底部砂岩仅仅形成在大规模淹没整个大陆架的海侵之后。(2)底部突变的砂体表现为退积地层分布模式,这是海进体系域的典型特征。低位体系域的缺乏可以解释为无沉积或者即使有沉积也被海进侵蚀所改造。正象 Cant^[4]所解释的那样,在海进过程中,一个低角度爬升滨线可以清除大部分或全部的非海相沉积物。(3)识别低位临滨砂体的主要方法是沿着向陆方

向,这些砂体上超尖灭在一个不整合面之上^[3]。而塔中地区并不发育这种上倾尖灭特征,明显的下切和过路沉积在这些砂岩的任何上倾端均未见。因此,塔塔埃尔塔格组中的I类层序均缺乏低位体系域,底部突变的滨岸砂体代表了海进体系域。

2 海进期沉积与海进体系域

塔塔埃尔塔格组发育了广泛的海进体系域,笔者从中识别出三类沉积:(1)与海进侵蚀有关,主要为海进滞留沉积,发育固底控制 *Glossifungites* 痕迹相,包括相A和相B;(2)与海进初期的海面缓慢上升或总体海进过程中的静止期有关,主要为前滨和中上临滨细砂岩以及下临滨砂、泥岩互层沉积,发育 *Skolithos* 痕迹相和近端 *Cruziana* 痕迹相,包括相C和相D;(3)与海面迅速上升有关,由滨外泥岩组成,发育远端 *Cruziana* 痕迹相,包括相E。

2.1 相A中等一差分选多源砾岩相

沉积学特征:相A主要由具侵蚀基底和碎屑支撑的砾岩层组成,局部为层间撕裂屑和粗砂岩。砾岩层厚5~20 cm,碎屑物为多源性,以石英砾石为主,其次为泥砾,可见少量燧石和岩屑。砾石分选中等一差,磨圆较好。砾岩成层性差,发育不甚明显的正粒序结构,偶尔可见低角度平行纹层。

痕迹学特征:痕迹化石稀少,偶尔可见不甚完整的垂直潜穴 *Diplocraterion*, 潜穴直径细小,约2~3 mm,从砾岩层底部向下伸入到下伏含 *Helminthopsis*, *Chondrites*, *Zoophycos* 等痕迹化石的泥岩中。

成因解释:相A以发育分选差、磨圆好的多源砾石层为特征,代表了高能条件下异地搬运而来的粗粒物质快速堆积形成的,它与下伏的强生物扰动泥岩呈突变接触。但在砾岩层底部却见到 *Diplocraterion* 向下切穿了软底底质中形成的 *Helminthopsis*, *Chondrites* 等 *Zoophycos* 等进食潜穴和泥质沉积物。这种切穿关系表明 *Diplocraterion* 代表了固底控制的 *Glossifungites* 痕迹相^[5]。因为软泥是不能够支撑无壁衬的垂直潜穴通道的,只有底质的坚固性质才能确保这种无壁衬的垂直居住潜穴不致于坍塌。痕迹化石这种切穿关系可以解释为:在含 *Helminthopsis*, *Chondrites* 和 *Zoophycos* 等痕迹化石的松软泥质沉积物形成之后,海平面上升停止,然后下降,泥质沉积物遭受上覆沉积物压实、脱水、胶结,其结果是原先的软底变为固底,尔后再遭受侵蚀露出,形成了

固底底质。在随后而来的海侵过程中,海水携带大量粗粒物质并侵蚀已固化的泥质沉积物,营悬食生活的海洋生物在这种固化的泥质沉积物中向下掘穴,并切穿软底环境中形成的痕迹化石,这也是为什么这些固底控制的悬食生物居住潜穴总是为上覆地层的粗粒沉积物充填的缘故。因此,固底控制痕迹化石 *Diplocraterion* 就区分出了与沉积间断有关的侵蚀性不连续面。这种侵蚀性不连续面指示海平面在下降后,又复上升,因而此一界面既是海进面,又是层序界面,这样,相A就代表了与海进侵蚀有关的滞留沉积。

2.2 相B含砾粉砂质泥岩相

沉积学特征:相B由含砾粉砂质泥岩组成,砾石多为石英砾,偶见泥砾,这些砾石呈星散状分布于粉砂质泥岩中,分选差但磨圆较好。原生沉积构造不甚发育,可见少量波状和水平纹层。相B一般较薄,厚度不超过10 cm。

痕迹学特征:痕迹化石较少,以发育垂直居住潜穴 *Diplocraterion* 为特征。与相A一样,这类垂直潜穴也代表了固底控制的 *Glossifungites* 痕迹相,所不同的是, *Diplocraterion* 在相B中更为发育,潜穴数量不仅多,而且向下掘穴的更深,个别潜穴深度超过20 cm,不但完全切穿了含软底痕迹化石 *Helminthopsis*, *Chondrites* 和 *Zoophycos* 的泥岩,而且可伸入到泥岩下伏的厚层细砂岩中。

成因解释:相B与相A常呈渐变关系,当相A不存在时,则与下伏地层呈突变接触,相B的沉积学特征和痕迹学特征均与相A相似,只是粗粒沉积物较少,泥质沉积物较多,代表了远端的海进侵蚀滞留沉积。

2.3 相C含交错层理细砂岩相

沉积学特征:相C由厚层细砂岩组成,细砂岩单层厚50~150 cm,发育有丰富的沉积构造,多为板状交错层理,可见槽状交错层理、平行层理和低角度双向交错层理。偶尔见有泥砾,泥砾呈扁平状,常顺层分布。在细砂岩层之间常具有薄层(5~10 cm厚)粉砂质泥岩。

痕迹学特征:相C的痕迹化石无论是丰度还是分异度均明显高于相A和相B,常见的有垂直居住潜穴 *Skolithos*, *Diplocraterion*, *Cylindrichnus*, *Arenicolites*, 倾斜居住潜穴 *Palaeophycus*, 三维潜穴系统 *Thalassinoides* 和进食潜穴 *Macaronichnus*。这些痕迹化石在细砂岩层中反复出现,个别类型如 *Skolithos*,

Thalassinoides 等可对沉积物形成程度不同的扰动改造。当扰动较弱时,原生沉积构造基本完好;扰动强烈时,原生沉积构造几乎完全被改造而无法辨认。

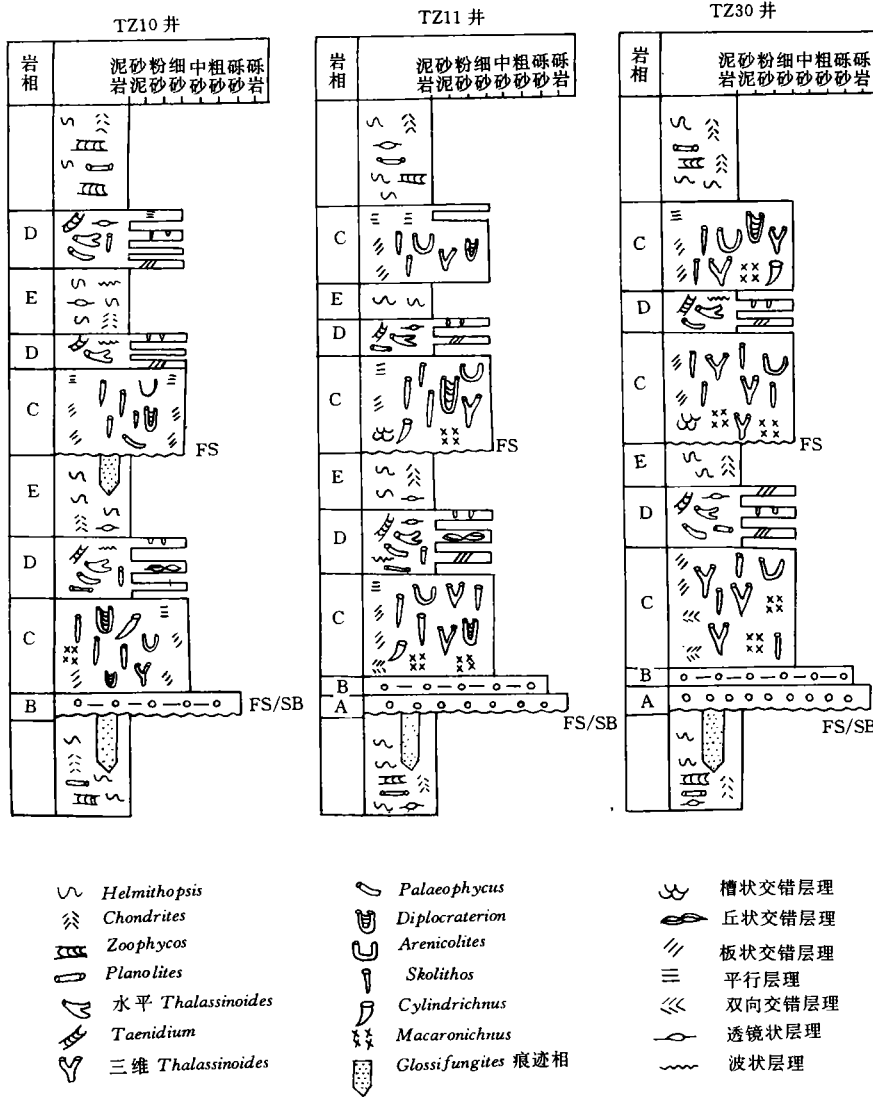


图 1 塔塔埃尔塔格组海进体系域相组合与痕迹化石分布图

Fig. 1 Facies assemblage of transgressive systems tracts and distribution of trace fossils from Tataertage Formation

成因解释:相 C 的沉积学和痕迹学特征均反映了高能条件下的前滨和中上临滨环境,痕迹化石代表了 *Skolithos* 痕迹相。从图 1 可知,相 C 下伏常与相 A 或相 B 呈渐变关系,而当相 A 或相 B 不存在时,则与相 E 呈突变接触,上覆则与相 D 呈渐变关系。相 C 的这种相变关系表明其形成于海进初期,与海平面缓慢上升有关或者形成于海平面总体上升过程中的静止期。当其下伏保存有相 A 或相 B 时,海进侵蚀面就位于相 A 或相 B 之底;而当相 A 或相 B 缺失时,海进侵蚀面就位于相 C 之底,相 C 与相 E 的突变接触以及其底部固底控制 *Diplocraterion* 痕

迹化石的出现就说明了这一点(图 1-TZ10 井)。

2.4 相 D 砂、泥岩互层相

沉积学特征:相 D 以细砂岩与泥岩、粉砂质泥岩不等厚互层为特征。细砂岩具突变基底,下部常呈块状,具有泥岩撕裂屑和泥砾,泥砾呈棱角状,分选差,中上部发育平行层理,偶尔可见丘状交错层理,厚度一般为 5~15 cm。泥岩、粉砂质泥岩层厚 10~20 cm 常发育透镜状层理、波状层理和水平层理。

痕迹学特征:细砂岩层中痕迹化石较少,只有少量垂直潜穴 *Skolithos*,偶尔可见 *Arenicolites*,属于 *Skolithos* 痕迹相。泥岩和粉砂质泥岩中痕迹化石较

为丰富,常见有水平分布的 *Thalassinoides*, *Taenidium*, *Planolites*, *Palaeophycus*, *Skolithos* 和 *Chondrites* 等,代表近端 *Cruziana* 痕迹相。

成因解释:相 D 形成在受风暴影响的下临滨环境。细砂岩层发育侵蚀基底、泥岩撕裂屑和丘状交错层理,痕迹化石为悬食生物的垂直居住潜穴,代表能够忍耐较大环境压力的机会痕迹组合 (opportunistic trace fossil suite),因此,细砂岩层是风暴期形成的产物。泥岩、粉砂质泥岩中发育较强的生物扰动,痕迹化石以水平分布的沉积进食结构为主,表明环境能量条件较低,环境压力小,代表正常天气条件下形成的产物。

2.5 相 E 强生物扰动泥岩相

沉积学特征:相 E 由灰色、灰黑色泥岩组成,局部夹有 1~2 cm 厚的粉砂岩条带。由于生物扰动强烈,原生沉积构造难以辨认,局部可见一些透镜状层理。相 E 厚一般 20~30 cm。

痕迹学特征:相 E 中发育有强烈生物扰动构造,痕迹化石除了 *Helminthopsis* 和 *Chondrites* 外,其它则难以辨认,强烈扰动几乎破坏了所有的原生沉积构造。有时这种强生物扰动可以被固底控制的 *Diplocraterion* 所切穿,二者间的切穿关系已在相 A 中予以说明。

成因解释:相 E 形成在低能的滨外环境中,代表了海平面快速上升所形成的产物。固底控制 *Diplocraterion* 痕迹化石的存在,以及相 E 与上覆细砂岩的突变接触,表明其顶部代表了另一个海泛面或海进侵蚀面。

参 考 文 献

- 1 Maceachern J A, Bechtel D J, et al. Ichnology and sedimentology of transgressive deposits, transgressively-related deposits and transgressive systems tracts in the Viking Formation of Alberta. In: Pemberton S G, ed. Application of ichnology to petroleum exploration. SEPM Core Workshop, 1992, 17: 251~290
- 2 Van Wagoner J C, Mitchum R M, et al. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores and outcrops; concepts for high-resolution correlation of time and facies. AAPG, Methods in Exploration Series, 1990, 7: 1~55
- 3 Posamentier H W, Allen S P, et al. Forced regressions on a sequence stratigraphic framework; concepts, examples and exploration significance. AAPG Bulletin, 1992, 76: 1687~1790
- 4 Cant D J. Geometric modelling of facies migration: theoretical development of facies successions and local unconformities. Basin Research, 1991, 3: 51~62
- 5 Maceachern J A, et al. Stratigraphic application of the *Glossifungites* ichnofacies: delineating discontinuities in the rock record. In: Pemberton S G, ed. Application of ichnology to petroleum exploration. SEPM Core Workshop, 1992, 17: 169~198

Trace Fossils and Transgressive Deposits, Transgressive Systems Tracts in Tataertage Formation (Lower Silurian), Tarim Basin

Qi Yongan Hu Bin

(Jiaozuo Institute of Technology, Henan Jiaozuo 454159)

Abstract

Transgression has been routinely regarded as to be rapidly accomplished, relatively simple in succession and commonly characteristic of deposit. Study on trace fossils and sedimentary features of Tataertage Formation indicated that transgressive systems tracts possess their own unique complexities and can be grouped into three main subdivisions: (1) the first group of facies is produced by the process of transgressive erosion including transgressive lags with *Glossifungites* ichnofacies; (2) the second one corresponds to those sediments deposited while relative sea level is rising slowly or related to the stillstand cycle during an overall transgression, including foreshore and shoreface sandstones as well as mudstones with *Skolithos* ichnofacies and proximal *Cruziana* ichnofacies; (3) the last one reflects the rapid rising of relative sea level including offshore mudstones with distal *Cruziana* ichnofacies.

Key Words trace fossil transgressive systems tracts Tataertage formation facies assemblage