

文章编号: 1000-0550(2005) 01-0100-08

济源盆地谭庄组 (T₂₋₃) 上段湖相沉积及遗迹化石特征

张国成¹ 曾玉凤¹ Buatois L A² Mangano M G²

1(河南理工大学 河南焦作 454100)

2(Facultad de Ciencias Naturales Universidad Nacional de Tucuman Casilla de Correo 1 (CC) 4000 San Miguel)

摘要 济源市西南郊出露有中—上三叠统谭庄组,代表了济源中生代盆地充填的一部分。在湖相剖面中识别出六种岩相组成的两类相序,相序 1 呈叠置的向上变粗的序列,由下到上由富有机质页岩(相 E,类型),纹层粉砂岩(相 A)和水流波痕层理砂岩(相 B)组成,记录了在温暖潮湿条件下常年性开放湖泊中小型河口坝三角洲的进积作用;相序 2 缺少明显的垂直序列,由互层状细粒碳酸盐岩和粉砂岩(相 C),变形层理和波浪改造砂岩(相 D),富有机质页岩(相 E,类型)和粘土岩组成,虽然也代表了常年性开放浅水湖泊体系,但反映出很强的季节性气候控制特征。湖相剖面的相 C 中发育丰富的 *Skolithos linearis* 组合,也反映出底层受季节性气候控制。文章深入探讨了该组上段浅湖沉积的环境演替及气候对沉积作用的控制作用,在湖泊演化过程中,很可能出现过几次水体分层。根据晚三叠世时期的古地理重建,推测谭庄组上段湖相沉积反映出的强烈季节性可以用潘加亚巨型季风影响的设想模式解释。

关键词 湖相沉积 遗迹化石 气候控制 济源盆地 谭庄组

第一作者简介 张国成 男 1964 年出生 副教授 博士 沉积大地构造学与遗迹学

中图分类号 P512.2 Q911.28 **文献标识码** A

1 地质背景

济源盆地位于河南省西部(图 1),属济源—义马中生代盆地,是鄂尔多斯巨型盆地的一部分^[1,2]。

盆地内发育有中三叠统一中侏罗统的地层,中生界地层划分为三叠系两个组和侏罗系三个组^[3,4],分别形成于不同的陆相环境(图 2)。

其中,中三叠世时期,盆地被冲积扇和河流沉积物充填,很少形成永久性水体,冲积沉积物构成了椿树腰组和谭庄组下部^[4]。中三叠世—晚三叠世时期,谭庄组上部沉积作用形成于常年性浅水湖泊中。与侏罗系和白垩系之间的界限相对应,这一地区发生了走滑构造作用,造成沉积地层的短暂缺失。早侏罗世时期,在靠近地形高地的南部义马地区,发育了粗粒的冲积扇和扇三角洲沉积体系,而在北部的地区,则形成了以鞍腰组为代表深湖浊流沉积^[1],其中发育一套深水遗迹化石组合^[1,5],但中、晚三叠世谭庄组中的遗迹化石尚未有详细的研究。中侏罗世时期,杨树庄组三角洲沉积体系注入湖泊,而后来的马凹组河流体系贯穿了湖盆。

谭庄组厚约 580 m,由泥岩、富有机质页岩、薄层

碳酸盐岩、粉砂岩和砂岩组成,与下伏椿树腰组整合接触,与上覆鞍腰组呈平行不整合接触。下段由显示下粗上细二元结构正韵律的河流相沉积组成,上段 180 m 形成于常年性浅水湖泊,产有属于晚三叠世的

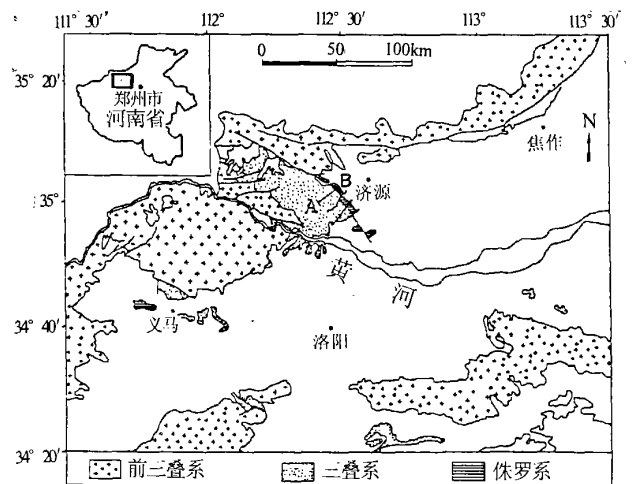


图 1 济源盆地三叠纪湖相沉积分布图

(A - B 为图 3 沉积剖面位置)

Fig 1 Location of the Triassic lacustrine deposits of Jiyuan Basin showing the Section A - B illustrated in Fig 3

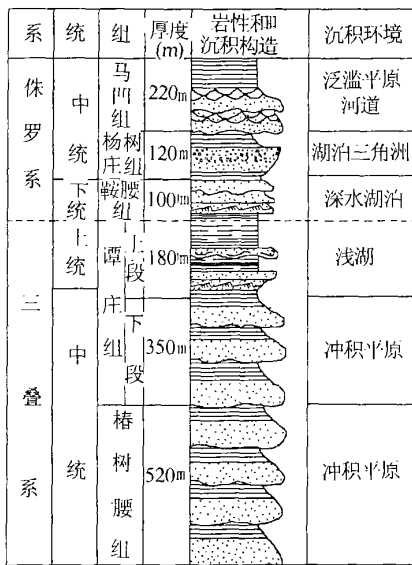


图 2 济源盆地中生代地层和沉积环境柱状图
(图例同图 3)

Fig 2 Column of stratigraphy and sedimentary environments of the Mesozoic in Jiyuan Basin (for legend see Fig 3)

Danaopsis-Bernaulia 植物群^[5], 但是, 济源剖面孢粉分析显示谭庄组上段属于中三叠世—晚三叠世, 晚三叠世晚期的地层记录并不存在^[6]。谭庄组和鞍腰组之间的间断与走滑作用相关。

2 沉积相

谭庄组上段共识别出 6 种岩相, 其沉积特征和形成环境见表 1。

3 相组合及其形成环境

3.1 相组合

由纹层粉砂岩 (相 A)、水流波痕层理砂岩 (相 B) 和局部的类富有机质页岩 (相 E) 组成, 以向上变粗的层序为特征, 从底到顶由相 E 相 A 渐变为相 B。单个向上变粗层序厚度变化从 2 m 到 8 m, 但层序通常叠置在一起的, 在湖泊沉积序列中形成两个明显的地层段 (0~35 m 和 71~95 m, 图 3)。

每个组合层序垂向上记录了从悬浮沉积到水流沉积和偶尔可见的波浪改造的湖泊三角洲河口坝的进积作用。在浅水湖盆, 当富含沉积物的高密度水流进入时, 河流水体和盆底的摩擦作用成为主控因素, 紊流扩散局限于水平状, 导致河口坝三角洲体系具有

分叉的水道。相组合 的形成过程与摩擦力控制的河口坝沉积类型相似, 底流携带沉积物离开卸载点阻止了高角度前积层的形成, 导致床底载荷远离岸线沉积^[11-12]。河口坝沉积层序上段出现的槽状交错层理砂岩, 代表河口坝中部和近端受分流水道的影响。

按湖泊充填模式法对厚度不对称相旋回进行的水深计算得出谭庄组由相组合 记录的湖泊水深大约是 15 m^[13]。在细粒岸外沉积物中, 水平纹理发育和缺少沉积前遗迹化石可能代表底层缺氧条件, 沉积后生物沉积构造在河口坝顶部的出现说明底层氧含量得到了改善。

由此可见, 相组合 序列记录了温暖、潮湿条件下开放湖泊体系小型三角洲河口坝的进积作用。

3.2 相组合

由互层状细粒碳酸盐岩和粉砂岩 (相 C)、变形层理和波浪改造砂岩 (相 D)、类富有机质页岩 (相 E) 和粘土岩 (相 F) 组成, 缺少明显的垂向序列, 构成了两个界限清晰的地层段 (35~71 m 和 95~175 m, 图 3)。

与相组合 相反, 相组合 缺少陆源沉积物进积序列, 组合的主体代表了较浅水湖泊沉积, 砂岩层顶部常见的波痕表明至少部分事件沉积层形成于风暴浪基面以上的近滨环境。根据相对稳定的岸线和蒸发岩不发育, 推断沉积作用发生在开放湖泊中。洪积岩记录了和季节性降雨相关的周期性洪水活动, 富有机质页岩 (相 E) 在沉积记录中的多次出现则提供了湖泊环境存在温度或化学分层作用的重要线索。

常年性湖泊多出现温度或化学分层, 靠近湖面, 太阳能加热和空气交换形成温暖充氧水体, 在温跃层 (thermocline) 以下则是下层寒冷、高密度, 通常是缺氧的停滞水层^[14] (hypolimnion)。相组合 下部相对较厚的富有机质页岩段 (图 3, 35~71 m) 表明常年性缺氧或近于缺氧水层的存在, 可能代表了分层湖泊不完全的水体循环。富有机质页岩中缺少生物扰动、底栖生物和水流构造也支持这种解释。在黑色页岩段沉积期间, 湖泊深度可能达到了最大值, 到湖泊沉积上部, 富有机质页岩最终消失了。垂向上相的排列特征和缺少富有机质页岩表明, 晚期水体条件和早期 (35~71 m 地层段) 盛行的不完全的水体循环条件不同, 是受周期性完全循环过程 (holmix) 影响的逐步浅化的湖泊。正是完全循环过程阻碍了富有机质沉积物的沉积和保存。

表 1 谭庄组上段岩相特征及其形成环境

Table 1 Facies features and their depositional environments in the upper part of the Tan Zhuang Formation

岩相	沉积特征	古生物特征	环境解释
相 A: 纹层状粉砂岩和极细砂岩	以横向稳定的灰绿色水平纹理粉砂岩为主, 形成厚度达 5m 的岩性段。在粉砂岩中局部出现有厚 2~4m 的透镜状薄煤线, 可见毫米粗细的近水平和倾斜的植物根迹和丰富的植物碎屑。	粉砂岩段中发育有鱼鳞片、叶肢介和分散的、保存较好的介形虫化石。	浅水低能环境 ^[7] , 部分是间湾沉积。
相 B: 水流波浪层理砂岩	由厚 0.6~8m 的砂岩段组成, 在几十米范围内呈透镜状。下部粉砂岩向上变为从细粒到中粒, 偶尔粗粒的砂岩。细砂岩显示水流波状和爬升纹理, 向上过渡为板状层理砂岩, 终于板状交错层理或槽状交错层理的粗砂岩, 单层厚 0.2~2.0m。局部有软沉积物变形, 特别在块状厚砂岩层底面, 形成重荷模。砂岩、粉砂岩顶部偶见到泥裂, 有时砂岩层显示和爬升层理或水流波浪顶面共生的流水波浪层理段, 在层组顶部偶尔出现浪成波浪层理砂岩。	在层组顶部见有遗迹化石 <i>Arenicolites</i> (沙蹠迹)、细小的觅食遗迹和富植物碎屑层。	湖泊三角洲远端坝~河口坝沉积。浪成波浪砂岩是波浪改造河口坝砂体使其顶部变成了浅滩。
相 C: 互层状细粒碳酸盐岩和粉砂岩	交替的灰白色碳酸盐岩纹层 (0.05~0.4m) 和灰绿色纹层状粉砂岩 (0.5~1.5m) 组成厚达 2.6m 的岩性段。岩层底面截然, 侧向稳定。	除沉积后形成的垂直潜穴 <i>Skolithos</i> 外, 缺少实质性的生物扰动。	强烈季节变化的湖泊环境 ^[8] 。
相 D: 变形层理和波浪改造砂岩	侧向稳定的变形层理细砂岩, 层段厚达 1.8m, 单层厚从几 cm 到 70cm, 通常向上变细。由三部分组成: 底部平行层理段, 向上变为变形层理段, 终止于波浪层理段, 顶面有保存完好的振荡波痕, 通常呈对称的“V”形, 波长平均 8cm, 波高 4.6cm, 波脊直到轻微弯曲。多数层序的上、下段缺失, 以具重荷底模变形层理砂岩为主。常见截然底面正粒序细砂岩, 在厚层砂体的下段偶尔可见内碎屑。	砂岩层顶部可见沉积后潜穴 (<i>Skolithos Palaeophycus</i>)。	周期性洪水进入浅湖形成的事件沉积层 ^[9] 。对称波痕表明砂体在湖泊近滨地区被波浪改造。
相 E: 富有机质页岩	深灰—黑色纹层状富有机质页岩组成的厚 2~50cm 岩性段。类型 I 由薄页岩段 (2~20cm) 组成, 有机质以强烈降解的草本植物的细碎屑组分为主, 镜质组反射率 (R_o) 0.93, 有机碳 (TOC) 含量 1.08。类型 II 由显著的页岩段 (15~50cm) 组成, 有机质主要是无定形~腐泥类型, 镜质组反射率 (R_o) 0.84, 有机碳 (TOC) 含量 1.87 ^[6] 。	类型 I 由蕨类植物和锥叶植物的双囊状花粉颗粒为主 (75%~85%), 次为蕨类植物、锥叶植物和石松植物孢子、单沟孢粉颗粒和绿藻 <i>Botryococcus</i> sp。类型 II 以单调的由绿藻 <i>Botryococcus</i> sp 为主 (>90%), 次为另一种绿藻 (<i>Tasmanites</i> sp)、孢子、外皮和木质残体, 局部见有鱼鳞片。	底层缺氧或近于缺氧的静水湖盆。
相 F: 粘土岩	不显沉积构造的浅灰色粘土岩组成的厚 0.6~2.0m 层段, 出现在谭庄组最顶部。	富含植物碎片	极浅水泥坪。

4 遗迹化石特征

谭庄组上段湖泊沉积中的遗迹化石总体上不丰富。在所发现的遗迹类型中, 多数为垂直的居住迹, 构成单一类型的 *Skolithos* 组合, U 型潜穴 *Arenicolites* 只在一个河口坝相序顶部见到, 近水平的居住迹 *Palaeophycus* 也不多见。缺少层面遗迹, 反映了底层形成时的环境条件不适合生物存在。根据本剖面 *Skolithos* 组合反映的信息, 这种情况是环境压力太大造成的。

石针迹遗迹属 *Skolithos* Halldenian 1840

线状石针迹 *Skolithos linearis* (图版 -1-7)

描述: 直长、不分枝的垂直或近垂直管状潜穴, 横

切面圆形或椭圆形, 由于较围岩胶结好, 往往风化成柱状 (图版 -3-4)。具薄衬壁或无, 无衬壁者穴壁轻微凹凸, 常形成一层氧化铁薄膜, 潜穴壁外发育有不规则的横环或膨胀节。潜穴内充填物上、下不一致, 与围岩也不一致, 显示为暗紫色含铁质粉砂岩。单个潜穴直径不变化, 个体之间直径差别大 (见图版 -2), 范围在 6~25mm 间, 潜穴长度在 100~350mm, 最长可达 460mm, 穿过多个薄粉砂岩层和纹层状碳酸盐岩。

讨论: 垂直、不分枝的管状潜穴, 直径远小于长度的特征可以毫无疑问地将其归入 *Skolithos* 遗迹属。由于其外壁所显示的膨胀环, 曾有学者^[12]将其归入 *Stipicellus* 遗迹属或 *Skolithos serrata* Salter 1864^[6]。

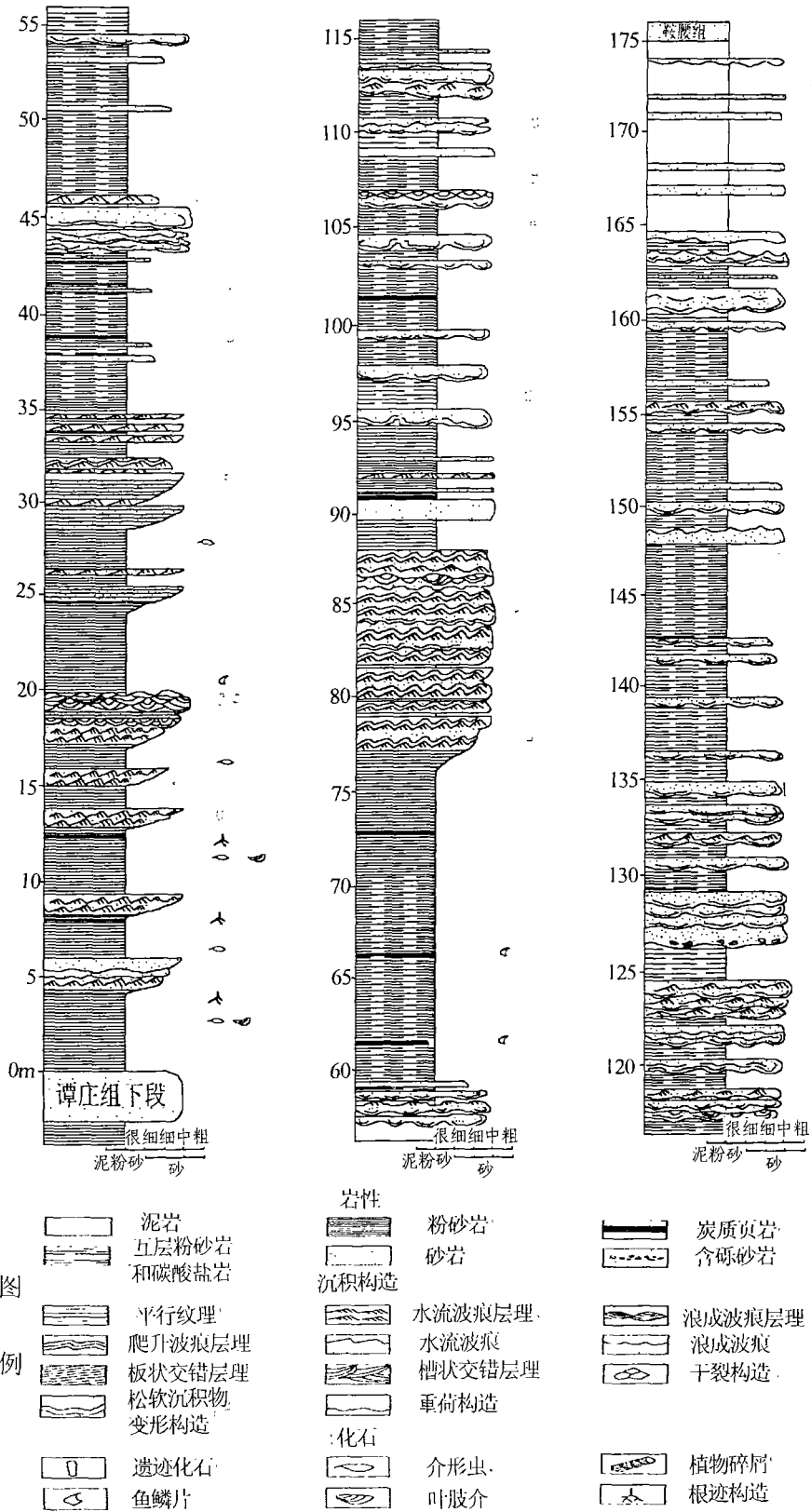


图 3 济源剖面谭庄组上段沉积柱状图

Fig 3 Sedimentary columns of the upper part of the Tanzhuang Formation, Jiyuan section

但是, *Stipcellus* (= *Skolihos serrata*) 的环节是潜穴内壁显示, 充填物也显示环节膨大, 且环节是近等间距有规律出现^[15], 此处标本仅外壁显示膨大环节, 内部充填物不显示, 明显是和围岩中钙质纹层的胶结和成岩作用相关, 而不是其属性特征, 因此不能归入 *Stipcellus* (= *Skolihos serrata*)。相反, 除了遗迹保存上的细小变化, 其特征与 *S. linearis* 符合, 可归入 *S. linearis*。

对 *Skolihos* 型潜穴的造迹生物的认识有一个过程。在 1960~1970 年代, *Skolihos* 被认为是滨浅海沉积的标志, Seilacher (1967, 图 2)^[16] 用它来定义滨海遗迹相。潜穴大体上被认为是底栖蠕虫生物, 如扁虫类食悬浮食物生物的居住遗迹, 但多种食沉积物的多毛虫也建造此类潜穴^[17]。后来, *Skolihos* 型潜穴在多处河流沉积中被发现^[18-23], 人们认识到一些陆生甲壳动物和昆虫幼虫是造迹生物。本文的 *Skolihos* 认为也是由甲壳动物所建造。

在济源剖面, *Skolihos linearis* 在多个层位出现 (图 3), 最常见发育在互层状细粒碳酸盐岩和粉砂岩 (相 C) (图版 -1~6) 中, 偶尔也产于变形层理和波浪改造砂岩 (相 D) 顶部 (图版 -7), 而在富有机质页岩 (相 E) 和粘土岩 (相 F) 未见, 反映出造迹生物在水体缺氧环境无法生存。潜穴密集或孤立产出, 根据野外观察, 最大产出密度可达 25 个 m^2 (图版 -2), 密度可以和海相垂直管砂岩相比^[24], 但高密度潜穴和高能环境无关, 其密度大小与底层提供给造迹生物的殖居窗 (colonization window) 长短有关, 潮湿底层持续时间越长, 潜穴越密, 反之则稀疏, 如果殖居窗太短, 甚至没有遗迹出现。

Skolihos linearis 的穴壁特征表明, 潜穴在有一定固结程度的底层内建造, 直径粗大 (> 15 mm) 的潜穴, 其充填物上、下不一致, 下部为褐红色泥岩, 上部为无构造粉砂岩, 表明潜穴曾经长期使用, 下部充填物经过了生物改造, 仅有细粒物质得到保存; 而上部充填物没有生物改造的迹象, 可能是造迹生物放弃潜穴后被动充填的结果。由于潜穴被动充填部分渗透性好, 在与泥岩接触的地方形成氧化铁薄膜 (见图版 -5, 6), 与围岩中碳酸盐岩接触的地方则胶结成膨胀环, 这些特征也支持潜穴曾被长期使用。相 C 中产出的大小不一致的潜穴 (图版 -2) 可能是不同甲壳动物或同类甲壳动物的不同龄幼体建造。直径细小的潜穴, 垂深较小, 充填物上下一致, 也不具膨胀环 充填特征反映造迹生物在雨季有水覆盖时在底

层内建造潜穴, 在水体干涸时废弃或继续向下挖掘, 躲避在水位附近的潮湿条件下。在下次雨季洪水来临时, 沉积物填充了潜穴, 造成被一次性废弃的潜穴充填物一致而长期使用的潜穴充填物上下不一致, 这些特征反映出潜穴的形成与季节性气候的密切关系, 造迹生物在覆水或潮湿底层中掘穴, 在底层变干涸时弃之或进一步向深部挖掘。从穿过多个粉砂层深达 460 mm 的潜穴可知相 C 沉积过程中曾经出现过干涸, 根据 Hasiotis (2003) 的研究, 这种情况下底层内地下水水位降低到沉积物界面以下近半米深处^[23, 25]。

5 湖泊演化和气候控制

在谭庄组上段识别出了两类湖泊相体系。相组合 在剖面下部占主导, 形成于温暖潮湿条件下的常年性浅水湖泊体系中, *Danaeopsis*-*Bernoulia* 植物群和共生的以蕨类和锥叶植物花粉为主的微古植物组合支持潮湿温暖条件。这一时期, 降雨和入湖淡水超过了蒸发量、渗入量和外流量 (开放条件), 在细粒纹层沉积物中的相对较多多样性的介形虫动物群, 表明了长久安静的浅水条件。缺少蒸发岩晶体证明水体盐度低, 常年性河流支撑了三角洲体系, 形成了特征的不对称相组合 旋回。

相组合 在剖面中部和上部占主导位置, 反映了和气候影响直接相关的湖泊动力学的重要变化, 显示出由于很强烈的季节性降水导致的周期性洪水与相对干燥、逐步浅化的时期相间隔的湖泊体系总体特征, 有几个方面的证据支持这种解释。

沉积学证据包括周期性的碳酸盐岩—碎屑岩 (相 C) 和洪积砂岩 (相 D) 的存在。交替的碳酸盐岩—碎屑岩层偶很可能和相对干燥时期 (低碎屑输入) 和潮湿期 (高碎屑输入) 的波动相关, 受到季节性降水和入湖径流的控制。短暂事件沉积 (相 D) 代表了进入浅水湖泊的周期性片流。遗迹化石 *Skolihos linearis* 的保存特征也反映出了周期性的气候波动。

孢粉组合和有机物质的性质也显示出两种相组合间明显的差异。相组合 微古植物群以绿藻 *Botryococcus* 为主, 指示以内源有机质为主, 表明重要的有机质盆内自生方式。这一著名的微古植物群在降雨量相对较低地区的不受扰动的淡水或咸水透光带尤其丰富。盆外有机质的输入趋于稀释盆内自生有机质, 因此, *Botryococcus* 含量在孢粉组合中的突然增加, 可能反映了长时期处于相对干燥条件下, 最终造成缺少陆源碎屑和陆源有机质输入 席状洪水在季

节性降雨时进入湖泊, 可以引起浮游生物死亡, 在快速沉降、底层氧气耗尽和埋藏速率高的合适条件下有时保存下来。简言之, 考虑到沉积学和古生物学信息, 相组合 记录了气候较干燥、季节性明显的湖泊阶段, 但显然缺少真正干燥或半干燥气候的证据如蒸发岩和风成沉积, 这可能反映了全球气候格局^[26]。古地理重建表明, 三叠纪大陆组合成一个超级大陆—潘加亚大陆, 根据中国晚三叠世古气候重建, 济源—义马地区位于潮湿温暖的鄂尔多斯巨型盆地的南部边缘, 靠近热带—亚热带气候带^[27]。作为一个工作设想, 推测谭庄组湖泊沉积中、上段强烈季节性证据可能反映了潘加亚巨型季风循环系统。为了检验这一古气候设想, 需要和鼓励进一步进行研究。

6 结论

- (1) 在济源谭庄组湖相剖面中识别出六种岩相, 并分别组成了两类相序。
- (2) 相组合 呈叠置的向上变粗的序列, 由下到上由富有机质页岩 (相 E, 类型), 纹层粉砂岩 (相 A) 和水流波浪层理砂岩 (相 B) 组成, 记录了在温暖潮湿条件下常年性开放湖泊中小型河口坝三角洲的进积作用。
- (3) 相组合 缺少明显的垂直进积序列, 由互层状细粒碳酸盐岩和粉砂岩 (相 C), 变形层理和波浪改造砂岩 (相 D), 富有机质页岩 (相 E, 类型) 和粘土岩组成, 也代表了常年性开放浅水湖泊体系, 相 E 的有机质特征和岩相的垂向交替反映出很强的季节性气候控制特征。
- (4) 在互层状细粒碳酸盐岩和粉砂岩 (相 C) 中, 发现了单调的高丰度 *Skolithos linearis*, 潜穴充填和埋藏特征反映了季节性气候控制底层中造迹生物的活动, 造迹生物在覆水或潮湿底层中掘穴, 在底层变干涸时弃之或进一步向深部挖掘。

参考文献 (References)

- 1 吴贤涛. 豫西济源—义马盆地浊流沉积中的痕迹化石及其环境意义. 沉积学报, 1985, 3(3): 23~31 [Wu Xiantao. Trace fossils and their environmental significance in non-marine turbidite deposits from Jiyuan-Yima Basin, western Henan. Acta Sedimentologica Sinica, 1985, 3(3): 23~31]
- 2 胡斌, 齐永安, 张国成, 等. 中国中—新生代陆相沉积中的遗迹群落. 沉积学报, 2002, 20(4): 574~581 [Hu Bin, Qi Yong'an, Zhang Guocheng et al. The ichnocoenoses of Mesozoic-Cenozoic terrestrial deposits of China. Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20(4): 574~581]
- 3 康明, 孟凡顺, 任宝山, 等. 河南省中生代含煤地层的划分和对比. 焦作矿业学院学报, 1985, 5: 23~29 [Kang Ming, Meng Fanshun, Ren Baoshan et al. Division and correlation of the Mesozoic coal-bearing stratigraphy from Henan Province. Journal of Jiaozuo Mining Institute, 1985, 5: 23~29]
- 4 胡斌. 豫西济源地区的晚三叠世—中侏罗世陆相地层. 地层学杂志, 1991, 15: 48~52 [Hu Bin. On the Late Triassic-Middle Jurassic continental stratigraphy in Jiyuan Region, Western Henan Province. Journal of Stratigraphy, 1991, 15: 48~52]
- 5 Buatois L A, Mangano M G, Xiaotao Wu, Guocheng Zhang. Trace fossils from Jurassic lacustrine turbidites of the Anyao Formation (central China) and their environmental and evolutionary significance. Ichnos, 1996, 4: 1~17
- 6 Buatois L A, Mangano M G, Xiaotao Wu, et al. Sedimentary facies, depositional process and climatic controls in a Triassic Lake Tanhuang Formation, western Henan Province, China. Journal of Paleolimnology, 1994, 11: 41~46
- 7 Gore P J W. Paleocology and sedimentology of a Late Triassic lake, Culpeper Basin, Virginia, USA. Paleogeography Palaeoclimatology Palaeoecology, 1988a, 62: 593~608
- 8 Platt N H, Wright V P. Lacustrine carbonates: facies models, facies distributions and hydrocarbon aspects. In: Anadon P, Cabrera Ll & Keltz K, eds. Lacustrine facies analysis. IAS Special Publication, 1991, 13: 57~74
- 9 Seilacher A. Events and their signatures: An overview. In: Einsele G, Ricken W, Seilacher A, eds. Cycles and events in stratigraphy. Berlin: Springer-Verlag, 1991, 222~227
- 10 Allen P A, Collinson J D. Lakes. In: Reading H G, ed. Sedimentary environments and facies. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1986, 63~94
- 11 Coleman J M, Prior D B. Deltaic sand bodies. AAPG Short Course Note Series, 1980, 15: 171
- 12 Wright L D. Sediment transport and deposition at river mouths: a synthesis. Geological Society of America Bulletin, 1977, 88: 857~868
- 13 Klein G D. Estimating water depths from analysis of barrier island and deltaic sedimentary sequences. Geology, 1974, 2: 409~412
- 14 Cohen A S. Tectono-stratigraphic model for sedimentation in Lake Tanganyika, Africa. In: Katz B J, ed. Lacustrine Basin Exploration: Case studies and modern analogues. AAPG Memoir, 1990, 50: 137~150
- 15 Salter J W. Notes on the fossils from Budleigh Salterton pebble bed. Quaternary Journal of Geological Society of London, 1864, 20: 286~302
- 16 Seilacher A. Bathymetry of trace fossils. Marine Geology, 1967, 5: 413~428
- 17 Curran H A & Frey R W. Pleistocene trace fossils from North Carolina (USA) and their Holocene analogues. In: Crimes T C & Harper J C, eds. Trace Fossils 2. Liverpool Geological Society, 1977, 139~162
- 18 Stanley K O and Fagerstrom J A. Miocene invertebrate trace fossils from a braided river environment, western Nebraska, U. S. A. Paleogeography Palaeoclimatology Palaeoecology, 1988b, 62: 609~628

- grophay Palaeoclimatology Palaeoecology, 1974, 15: 63~82
- 19 Binnely R & Asgaard U. Triassic Freshwater ichnocoenoses from Carlsberg Fjord East Greenland. Palaeogeography, Palaeoclimatology Palaeoecology, 1979, 28: 39~80
- 20 Fitzgerald P.G. & Barrett P.J. Skolithos in a Permian braided river deposit Southern Victoria and Antarctica. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 1986, 52: 237~247
- 21 胡斌, 吴贤涛, 潘丽敏. 川西峨眉晚古生代和中生代河流沉积中的遗迹化石群落. 沉积学报, 1991, 9(4): 128~135 [Hu Bin, Wu Xiantao, Pan Limin. Ichnocoenoses of the Late Paleozoic and Mesozoic Fluvial Deposits of Emei Area, West Sichuan, China. Acta Sedimentologica Sinica, 1991, 9(4): 128~135]
- 22 胡斌, 吴贤涛. 川西峨眉早白垩世夹关期河流沉积中的遗迹化石群落. 古生物学报, 1993, 32(4): 478~489 [Hu Bin and Wu Xiantao. Ichnocoenoses of alluvial Jiaguan Formation (Upper Cretaceous), Emei Sichuan, China. Acta Paleologica Sinica, 1993, 32(4): 478~489]
- 23 Hasbotts S.T. Continental trace fossils. SEPM Short Course Notes No. 51, 2003: 1~131
- 24 Jensen S. Trace fossils from the Lower Cambrian Mickwitzia sandstone, south-central Sweden. Fossils and Strata, 1997, 42: 1~111
- 25 张国成, 郭卫星, 曾玉凤. 河南西峡盆地晚白垩世河流相—湖泊相沉积中的遗迹组构. 古地学报, 2004, 6(4): 434~441 [Zhang Guocheng, Guo Weixing, Zeng Yufeng. Ichnofabric characteristics in the Late Cretaceous fluvial-lacustrine deposits from Xixia Basin, Southwestem Henan Province. The Journal of Palaeogeography, 2004, 6(4): 434~441]
- 26 Dubiel R.E., Parrish J.T., Good S.C. The Pangaeon megamonsoon—evidence from the Upper Triassic Chinle Formation, Colorado Plateau. Palaios, 1991, 6: 347~370
- 27 王鸿祯. 中国古地理文集. 北京: 测绘出版社, 1985: 1~283 [Wang Hongzhen. Atlas of the Palaeogeography of China. Beijing: Cartographic Publishing House, 1985: 1~283]

Lacustrine Deposits and Associated Trace Fossils in the Upper Part of the Tanzhuang Formation (T_{2-3}), Jiyuan Basin, Henan Province

ZHANG Guo-cheng¹ ZENG Yu-feng¹ Buatois L.A.² Mangano M.G.²

¹(Henan Polytechnic University, Jiaozuo Henan 454100)

²(Facultad de Ciencias Naturales Universidad Nacional de Tucuman, Casilla de Correo 1 (CC) 4000 San Miguel)

Abstract The Middle to Upper Triassic Tanzhuang Formation, being well cropped out near Jiyuan City, Henan Province, represents a part of the infill of the early Mesozoic Jiyuan-Yima Basin. The upper part of this stratigraphic unit records deposition with prevailing shallow lake conditions. Six sedimentary facies clustered into two facies assemblages were recognized in the lacustrine section. Facies assemblage 1 consists of the stacked coarsening-upward sequences composed from base to top of organic-rich shale (facies E, type), laminated siltstones (facies A) and current-rippled laminated sandstones (facies B). Units of assemblage 1 record progradation of small mouth-bar deltas within a perennial open lacustrine system under temperate and humid conditions. Facies assemblage 2 lacks a clear vertical progradation pattern and consists of interbedded fine-grained carbonates and siltstones (facies C); deformed and wave-reworked sandstones (facies D); organic-rich shales (facies E, type) and clayey mudstones (facies F). The assemblage also represents a perennial hydrologically open shallow lacustrine system, but characterized by strong seasonal climatic control. The *Skolithos linearis* monospecific assemblage mainly occurred abundantly in facies C suggests the substrates controlled by seasonal climate. Water stratification probably occurred in several periods of the lake history. Pangaeon megamonsoon influence is envisaged to explain the strong seasonality in print evidenced toward the upper part of the Tanzhuang lacustrine column.

Key words lacustrine deposit; trace fossil; climatic control; Jiyuan Basin; Tanzhuang Formation

图版 说明: 1 济源谭庄组互层状细粒碳酸盐岩和粉砂岩(相 C)中的 *Skolithos linearis*。A、B 分别为两个 *Skolithos linearis*。地质锤长 27 cm。2 相 C 中的 *Skolithos linearis* 的横截面, 潜穴密度大。箭头所指为椭圆形断面, 潜穴直径变化较大。3 相 C 中的 *Skolithos linearis* 风化后成突出的柱状(图 1 中 A), 保存为层内痕。注意钙质纹层(白色)对潜穴填充物的胶结。4 相 C 中的垂直 *Skolithos linearis* 在潜穴中部有薄衬壁, 保存为层内痕。注意潜穴壁的凹凸不平。5 相 C 中的 *Skolithos linearis* 局部弯曲(图 1 中 B), 因被动充填造成的潜穴外壁的铁质膜, 保存为层内痕。6 相 C 中的 *Skolithos linearis* 铁质膜外壁, 保存为层内痕。7 相 D 中的 *Skolithos linearis* 保存为层内痕, 无衬壁。

