

安徽含山中志留世 海湾沉积环境中的痕迹化石组合

胡 斌 王观忠

(焦作矿业学院)

〔内容提要〕 安徽含山中志留世坟头组地层中已识别出三种不同沉积环境条件下的痕迹化石组合:(1)*Protopaleodictyon*(始网迹)组合,由 *Protopaleodictyon submontanum*, *Acanthorhapha* sp., *Planolites* sp. 1 和 *Gordia* cf. *molassica* 组成,产生于海湾(河口湾)潮下过渡带环境;(2) *Arenicolites*(沙蠕迹)组合,包括定形的 *Arenicolites* sp., *Skolithos* sp. 和 *Thalassinoides* sp. 以及 *Planolites* sp. 1,并共生无定形的生物扰动潜穴和各种不规则形态的倾斜潜穴,伴生有腕足类的 *Lingula*,腹足类的 *Orthonota*, *Hormotoma* 和 *Ecculiomphalus* 以及三叶虫类的 *Coronocephalus* 等实体化石,形成了海湾(河口湾)的泥砂质岸滨环境;(3) *Chondrites*(丛藻迹)组合,以高度分枝潜穴系统 *Chondrites furcatus* 和 *C. arbuscula* 的富集为特征,含少量 *Planolites* 化石,丰度高分异度低,伴生有腕足类的 *Striispirifer* 和三叶虫类的 *Coronocephalus* 以及瓣鳃类和腹足类等实体化石,代表具有一定局限性的海湾潮下带贫氧的底层沉积环境。

关键词 痕迹化石 岩相古地理 过渡相 坟头组

安徽中南部的含山境内,沿太湖山省级公路一带的中志留世坟头组地层出露良好,系一套边缘海(海湾环境为主的)碎屑岩沉积。前人对这套地层做过大量生物地层学方面的工作,但有关痕迹化石方面的研究甚少,迄今为止尚无正式报道。笔者在对该地层进行岩相古地理研究的同时,发现了12种不同种类痕迹化石,可归为三种不同沉积环境条件下的痕迹化石组合。这为进一步研究下扬子区中志留世古地理与古环境以及区域地层对比提供了新的证据和途径。

1 地层背景

太湖山坟头组地层厚390m左右,按其岩性和化石组成特征可大致划分为九个不同层段,痕迹化石主要发育在中上部(E—H段)地层中(图1)。现自下而上简述如下。

A段(未见底),厚27m,由黄绿色、青灰色薄层状砂质泥岩和泥质粉砂岩组成,夹多层灰绿色薄—中厚层状细粒长石石英砂岩。

B段,厚约40m,主要为黄绿色薄—中厚层状细砂岩和粉砂岩,夹二层中厚层状中粒砂

2 痕迹化石组合及其沉积环境分析

本区坟头组中部地层中的痕迹化石共识别出十二种类型,按其组成、产状及沉积特征,可划分为三种不同沉积条件下的痕迹化石组合。

2.1 *Protopaleodictyon* 组合

该组合产于坟头组中部 E 段地层中,主要以底内进食潜穴为特征,含少量觅食拖迹,重要组成分子有 *Protopaleodictyon submontanum* (亚山地始网迹)、*Acanthorhaphé* sp. (棘线迹,未定种)、*Planolites* sp. 1 (漫游迹,未定种 1) 和 *Gordia* cf. *molassica* (摩拉斯线形迹,相似种)。

含此组合地层的岩性为灰绿色薄层状粉砂质泥岩和泥岩,伴生沉积构造为砂、泥互层层理、透镜状层理、脉状层理、攀升层理、包卷层理和水平层理。垂向上,这些岩层往往与薄—中厚层状细砂岩或砂岩透镜体不等厚互层。砂岩中发育缓波状层理、平行层理和波状交错层理,层面上见明显的舌状或不对称波痕。

此组合中的 *Protopaleodictyon* 和 *Acanthorhaphé* 过去多发现在深水浊积砂扇 (Książkiewicz, 1970)、三角洲前缘斜坡下浊积砂扇 (Eagar et al., 1985) 和深湖浊积砂扇 (吴贤涛, 1985) 沉积中,而 *Gordia* 和 *Planolites* 这类穿相化石也常与之伴生。坟头组中含这一化石组合的岩层不具有浊流沉积的序列 (鲍玛序列) 特征,它的下部为砂质浅滩或砂坝沉积;上部为潮下带粉砂和泥质沉积 (图 2)。就其伴生的沉积构造看,包卷层理显示其沉积底形具一定坡度,攀升层理可能与洪水流有关,砂泥互层层理、透镜状层理和脉状层理常出现于潮下带和潮汐沉积中,在浊流沉积中少见。由此看来,该组合的沉积背景与潮汐流、波浪水流、河流及洪水流的综合影响有关,环境条件很不稳定,盐度不正常,海洋底栖生物缺乏。因此,该

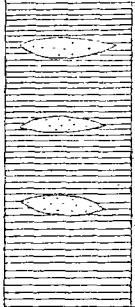
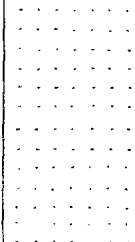
柱状图	层段	岩性	沉积构造	痕迹化石	沉积环境
	E	泥岩 粉砂质泥岩 夹细砂岩透 镜体	水平层理 透镜状层理 攀升层理 包卷层理 砂、泥质层理 舌状波痕 不对称波痕	<i>Protopaleodictyon</i> <i>Acanthorhaphé</i> <i>Gordia</i> <i>Planolites</i>	潮下带 (过渡带)
	D	细砂岩	平行层理 缓波状层理 板状、槽状 交错层理 羽状交错层理		浅滩 (砂坝)

图 2 *Protopaleodictyon* 组合的垂直沉积层序。

Fig. 2 Vertical sedimentary sequence of the *Protopaleodictyon* assemblage

痕迹化石组合很可能产生于海湾(河口湾)浅滩(砂坝)向海一侧的潮下过渡带环境。

2.2 *Arenicolites* 组合

Arenicolites 组合以居住潜穴为特征,由不甚完整且不规则的 U 型、垂直和倾斜潜穴以及 T 型和 Y 型分叉的潜穴系统组成。可识别的定形痕迹化石有 *Arenicolites* sp. (沙蠕迹,未定种), *Skolithos* sp. (石针迹,未定种)和水平分布的 *Thalassinoides* sp. (海生迹,未定种)。同时还共生有少量水平进食管状潜穴 *Planolites* sp. 1 (漫游迹,未定种 1)和无定形的生物扰动潜穴。这一组合产自坟头组中上部(F 段)的粉砂质泥岩和粉砂岩中,其中夹多层薄层细砂岩或砂岩透镜体。共生的实体化石有腕足类的 *Lingula* (舌形贝), *Athyris* (无窗贝);腹足类的 *Hormotoma* (链房螺), *Ecculiomphalus* (松旋螺), *Orthonota perlata* (沿边后直蛭)和三叶虫类的 *Coronocephalus* (王冠虫)等,但完整者甚少,大多为破碎的介壳堆积。

该组合中多数痕迹化石是 *Skolithos* 痕迹相的重要组成分子,常出现在较高能的岸滨环境或其它高能环境。这里的 U 形、垂直和倾斜潜穴混生在含泥的砂质层中,并受到一定程度的生物扰动作用。这种复合现象表明,该区在沉积这段地层时,先处于较高能的滨岸(前滨至临滨)环境。在此环境中,大量滤食性生物产生 U 型、垂直和倾斜的居住潜穴;随后,水体加深或受到局限,环境能量变低,以致出现较强生物扰动。因而原先生成的居住潜穴就遭受不同程度破坏。从实体化石来看,其组成属非正常盐度的海生生物组合,尤其是舌形贝,更常见于滨岸带或河口湾附近;另一方面,实体化石大多破碎堆积,说明它们经历了波浪水流或潮汐水流的破坏和搬运作用。综上所述,可以相信,该痕迹化石组合形成于海湾(河口湾)的泥砂质岸滨环境,其沉积底层先是富氧的,后来变为贫氧。

2.3 *Chondrites* 组合

此组合以高度分枝潜穴系统 *Chondrites furcatus* (分叉丛藻迹)和 *Chondrites arbuscula* (小树丛藻迹)的大量富集为特征,含少量的 *Planolites* sp. 1 和 *Planolites* sp. 2。这是一个丰度甚高而分异度很低的痕迹组合。*Chondrites* 潜穴高度富集时形成强扰动层,此时,完整的潜穴形态很少见,在层内和层面分枝潜穴管相互穿插、截切和叠复,显示底层几乎达到百分之百的扰动。这些痕迹化石产在坟头组上部(G、H 段)的黄绿色薄层状泥岩和粉砂质泥岩中,在扰动程度较低的岩层中可见明显的透镜状层理和微波状层理以及水平层理。实体化石常见 *Striispirifer* (条纹石燕)、*Coronocephalus* (王冠虫)以及瓣鳃类和腹足类等。垂向剖面上,含 *Chondrites* 化石的泥岩层与薄—中厚层状细砂岩不等厚互层。

纵所周知,*Chondrites* 和 *Planolites* 一样,是地史时期各类沉积物中常见的一种穿相化石。就海洋环境来说,它从边缘海、浅海直到深海区均可出现。据 Bromley 和 Ekdale (1984) 研究,*Chondrites* 是沉积物中缺氧的痕迹化石标志,即这种潜穴系统往往产生在氧化带界面之下的厌氧带沉积物内,这种沉积物内的孔隙水中氧含量很低。他们还指出,贫氧条件对 *Chondrites* 造迹生物分布的影响程度要比水深或沉积物类型大得多,因为这种造迹生物对低氧条件有极大的忍耐性。后来, Ekdale 和 Mason (1988) 综合研究了从富氧到贫氧沉积环境中的痕迹化石组合特征,提出了一种氧控痕迹化石组合模式(oxygen-controlled trace-fossil model),即(A)以居住迹(Domicinia)为主的组合出现在富氧的底层水和孔隙水环境中,如 *Skolithos* 组合;(B)以牧食迹(Pascichnia)为主的组合产于充氧或贫氧的底层水和贫氧的孔隙水环境中,如 *Scalartituba-Spirophyton-Phycosiphon* 组合;(C)以进食迹(Fodinichnia)为主的组合产生在充氧或贫氧的底层水和无氧的孔隙水环境中,如 *Chondrites* 与

Zoophycos 组合; (D) 在抗生无生物痕迹的情况下, 沉积物内具原始水平层理, 代表无氧的底层水和孔隙水环境。对照上述理论, 本区坟头组中的 *Chondrites* 组合可解释为贫氧的底层水和无氧的孔隙水环境。但应该指出的是, 在沉积物中 *Chondrites* 痕迹化石含量较少且出现三叶虫和腕足类等实体化石时, 底层水是充氧的。因此, 从 *Chondrites* 的保存丰度、共生的岩性和沉积构造以及实体化石的组成等综合特征看, 我们可把本区坟头组中的 *Chondrites* 组合解释为具有一定局限性的海湾潮下带的低能(贫氧)环境中的痕迹化石标志。

3 主要痕迹化石描述与讨论

本区坟头组中已识别的痕迹化石有 12 种, 其中定形的有 11 种, 共有三种生态类型。

1. 居住迹

- (1) *Skolithos* sp. (石针迹, 未定种)
- (2) *Arenicolites* sp. (沙蠕迹, 未定种)
- (3) *Thalassinoides* sp. (海生迹, 未定种)
- (4) 倾斜潜穴

2. 进食迹

- (5) *Protopaleodictyon submontanum* (亚山地始网迹)
- (6) *Acanthorhaphe* sp. (棘线迹, 未定种)
- (7) *Chondrites furcatus* (分叉丛藻迹)
- (8) *Chondrites arbuscula* (小树丛藻迹)
- (9) *Planolites* sp. 1 (漫游迹, 未定种 1)
- (10) *Planolites* sp. 2 (漫游迹, 未定种 2)

3. 觅食拖迹

- (11) *Gordia* cf. *molassica* (摩拉斯线形迹, 相似种)

4. 无定形的生物扰动构造

Acanthorhaphe Książkiewicz, 1970

Acanthorhaphe sp. (图 3)

描述: 短粗线状弯曲形潜穴, 穴宽 5—8mm, 长小于 5cm, 两侧有不规则短枝状分枝。潜穴内为浅灰色泥质粉砂充填, 颜色比围岩浅。下痕迹脊痕保存, 平行层面分布。

讨论: 此种痕迹类似于 *Protopaleodictyon*, 但分枝短 (< 2cm), 不呈半结网形态而明显区别于后者。从其所处层位和岩性特征来看, 生成环境与 *Protopaleodictyon* 相同, 在以往报道的某些复理石沉积中二者也常伴生出

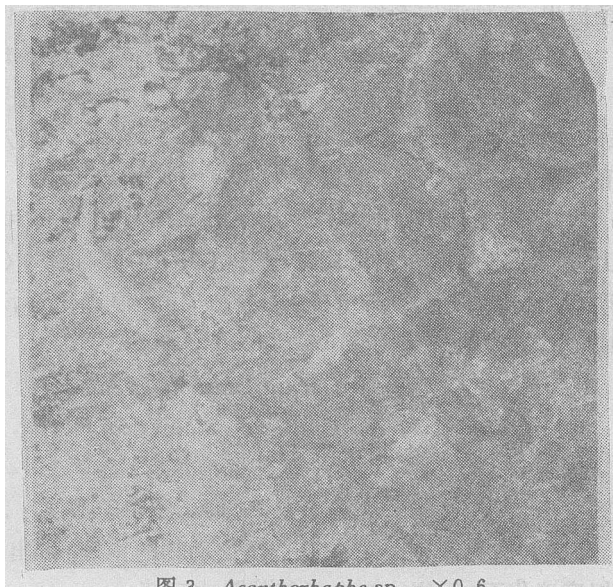


图 3 *Acanthorhaphe* sp., $\times 0.6$

Fig. 3 *Acanthorhaphe* sp., $\times 0.6$

现(Ksiazkiewicz, 1970; 吴贤涛, 1983)。

Chondrites von Sternberg, 1833

Chondrites furcatus (Brongniart), 1849 (图 4A)



图 4 A. *Chondrites furcatus*; B. *C. arbuscula*

Fig. 4 A, *Chondrites furcatus*; B, *C. arbuscula*

描述: 树枝状分枝潜穴系统, 枝穴直径 2mm, 大小均一, 可见最长枝穴 5cm 左右, 枝穴一般呈锐角(常为 30° — 45°)分出。内迹保存, 各分枝潜穴斜穿层面或趋向于平行层面分布, 形态完整者甚少。潜穴(浅灰色)与围岩(黄绿色泥岩)在颜色上差别明显。

讨论: 该标本与波兰喀尔巴阡山中、新生代复理石沉积中的 *C. furcatus* 基本相同(Ksiazkiewicz, 1977)。近几年来, 有关 *Chondrites* 痕迹化石研究较详, Bromley 和 Ekdale (1984) 已经提出, 这种潜穴系统产生在缺氧或贫氧沉积物内, 代表一种厌氧或还原的沉积背景。

Chondrites arbuscula (Fischer—Ooster), 1985 (图 4B)

描述: 高度分枝的潜穴系统。枝穴直径 1mm, 可见最长枝穴不足 2cm, 均以较小锐角($<30^{\circ}$)分出, 斜穿层面或趋于平行层面。内迹保存, 枝穴多而密, 大多不完整, 富集时显示沉积底层遭强生物扰动。潜穴均为浅灰色泥岩充填。

讨论: 此种痕迹与上述 *C. furcatus* 共生, 仅个体和穴径小、枝穴多且密而与之有别, 形态上近同于波兰喀尔巴阡山复理石沉积中的同种标本(Ksiazkiewicz, 1977)。许多研究业已表明, *Chondrites* 是种穿相(facies-crossing)痕迹化石, 不过, 它常见于低能的静水和贫氧的海底或其它类似环境中。

Gordia Emmons, 1844

Gordia cf. molassica (Heer), 1865 (图 5)

描述: 任意弯曲形拖迹, 底迹脊痕保存, 迹宽 3—4mm, 高约 1mm, 表面光滑, 横断面为斜三角形, 弯曲路线呈椭圆形或浑圆形, 分布于薄层细砂岩底面的不对称波痕面上。

讨论: 这类痕迹一般认为是蠕虫动物的拖迹, 可出现在各种沉积环境中, 所以也是一种穿相痕迹化石, 但往往产自低能的静水环境。

图 5 *Gordia cf. molassica*Fig. 5 *Gordia cf. molassica**Protopaleodictyon* Książkiewicz, 1970*Protopaleodictyon submontanum* (Azpeitia), 1933

描述: 线状弯曲形痕迹, 迹宽 2—5mm, 长度不定, 不规则分叉, 分叉角度呈钝角或直角, 一般为半结网形态, 偶而有多边形或浑圆形网格。下痕迹脊痕保存, 平行层面分布(图 6)。

讨论: 这种潜穴类似于多边形结网的 *Palaeodictyon*, 但结网不充分也不规则; 直角分叉者又像 *Megagraption*, 但没有后者规则。Książkiewicz(1970)把这种痕迹描述为蛇曲形底面拖迹, 而 Seilacher(1977)认为它可能是后沉积的层间面潜穴。含山坟头组中的标本也显示为潜穴, 其保存形式与河南济源早侏罗世鞍腰组湖相浊流沉积中同种标本极相似。英国中部奔宁(Pennine)盆地中石炭世三角洲前缘斜坡沉积中也发现有类似 *Protopaleodictyon* (Eagar et al. 1985)的痕迹。在含山坟头组中, 它产生于海湾或河口湾潮下过渡带环境中。

图 6 *Protopaleodictyon*
*submontanum*Fig. 6 *Protopaleodictyon*
submontanum

4 结 语

过去, 一般认为含山一带的坟头组系滨、浅海沉积, 本文通过痕迹化石研究, 并结合其伴生的实体化石和无机沉积构造分析, 可得出以下一些结论:

1. 本区坟头期沉积的早、中时(A—H段沉积期)为半局限的海湾或河口湾环境,主要是砂质浅滩(或砂坝)和潮下带粉砂与泥质沉积;晚时(I段沉积期)渐变为开阔的滨、浅海环境,主要是砂质海滩沉积。

2. 坟头组中的三种痕迹化石组合,即 *Protopaleodictyon* 组合、*Arenicolites* 组合和 *Chondrites* 组合,与正常开阔滨、浅海环境中的 *Skolithos* 痕迹相和 *Cruziana* 痕迹相相比,在其组成成分和产状特征上明显不同,反映了是一种受局限的边缘海沉积环境影响,并且细沉积物底层内大多是缺氧或贫氧的。

3. 实体化石在组成上既有狭盐性生物(腕足类、三叶虫),也有广盐性生物(腹足类、瓣鳃类),特别是舌形贝与大量腹足类化石共生,并夹破碎堆积的三叶虫化石,显然这不是正常开阔浅海而是海湾或河口湾附近的生物群落。

4. 坟头组的粉砂岩、砂质泥岩和泥岩中大量发育砂、泥互层层理、透镜状层理、脉状层理、水平层理和微波状层理,这是与潮汐作用密切相关。此外局部层位出现攀升层理和槽模等冲刷构造,则可能与洪水流入有关。

参考文献

1. 胡斌、王观中,1992,痕迹相模式及其应用评价,煤田地质与勘探,Vol. 20, No. 2, P. 10—15; No. 3, p. 6—11.
2. 吴贤涛,1985,豫西济源—义马盆地浊流沉积中的痕迹化石及其环境意义,沉积学报第3卷第3期, P. 23—31.
3. H. E. 赖内克和 I. B. 辛格(陈昌明,李继亮译),1979,陆源碎屑沉积环境,石油工业出版社.
4. Bromley, R. G. and Ekdale, A. A., 1984. Chondrites: A Trace Fossil Indicator of Anoxia in Sediments. Science, Vol. 224, pp. 827—874.
- Ekdale, A. A. and Mason, T. R., 1988. Characteristic Trace Fossils Associations in Oxygen-poor Sedimentary Environments. Geology, Vol. 16, pp. 720—723.
- Eagar, R. M. C. and Baines, J. G. et al., 1985. Trace Fossil Assemblages and Their Occurrence in Silesian (Mid-Carboniferous) Deltaic Sediments of the Central Pennine. In: Biogenic Structures, Allen Curran (ed.). The Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, pp. 99—149.
- Ksiazkiewicz, M., 1970. Observations on the Ichnofauna of the Polish Carpathians, in Trace Fossil I, edited by T. P. Crimes and J. C. Harper, Seel House Press, Liverpool, pp. 283—322.

关于召开“国际计算机和数据库在沉积学中的应用学术讨论会”的讯息

该会议定于1994年7月在中国成都召开,由成都地质矿产研究所和中国科学院贵阳地球化学研究所共同主办。会议内容:(1)关于全球沉积岩数据库(SEDDBA);(2)图形数据的计算机储存和处理;(3)沉积作用的计算机模拟;(4)专家系统在沉积学中的应用。

会议筹委会欢迎凡对该学科感兴趣的国内、外学者参加并在会上作学术报告,自愿要求参加该会的同志可写信与筹委会副秘书长王宜生同志联系并索取会议通知(筹委会地址:成都一环路北三段82号,邮编610082)。

大会将出版论文摘要和论文集,请国内代表于1994年3月31日前将论文中、英文摘要寄至会议秘书处。中文摘要限1000字,英文摘要限一个版面(不要图、照片)。

TRACE FOSSIL ASSEMBLAGES FROM MIDDLE SILURIAN BAY (ESTUARINE) SEDIMENTARY ENVIRONMENTS IN THE HANSHAN AREA, ANHUI

Hu Bin Wang Guanzhong
(Jiaozuo Mining College)

ABSTRACT

Three trace fossil assemblages have been recognized in the estuarine deposits in the Middle Silurian Fentou Formation, Hanshan area, Anhui.

(1) The *Protopaleodictyon* assemblage mainly consists of *Protopaleodictyon submontanum*, *Acanthorhapha* sp., *Planolites* sp. 1 and *Gordia* cf. *molassica*, and may be explained to be formed in a subtidal estuarine environment.

(2) The *Arenicolites* assemblage is made up of *Arenicolites* sp., *Skolithos* sp., *Thalassinoides* sp., *Planolites* sp. 1 and irregular diagonal burrows as well as bioturbation structures, associated with some body fossils including the brachiopods *Lingula*, gastropods *Orthonota*, *Hormotoma* and *Ecculiomphalus*, and trilobites *Coronocephalus*, and is interpreted to be originated in a muddy-sandy coastal estuarine environment.

(3) The *Chondrites* assemblage is characterized by high-branched burrow systems including *Chondrites furcatus* and *C. arbuscula*, and contains a few of *Planolites*. It is an assemblage of high abundance and low diversity, and associated with some body fossils including the brachiopods *Striispirifer*, trilobites *Coronocephalus*, gastropods and bivalves and others, Which may serve to represent a locally restricted oxygen-deficient subtidal estuarine sedimentary environment.

Key words: trace fossil, sedimentary facies and palaeogeography, transitional facies, Fentou Formation