

# 浙西开化上奥陶统复理石中的环形迹

夏邦栋 吕洪波 熊斌辉 何永明 胡宝生

(南京大学地质系)

**内容提要** 开化环形迹产于浙西开化上奥陶统复理石中,为发育于泥质岩顶面的椭圆形多圈水平旋槽,一般3—5圈。椭圆长轴可达35厘米,短轴可达18.5厘米。椭圆个体之长轴均沿北东方向平行分布,且和古水流方向一致,是造迹动物在水底觅食时选取最佳方向以减小水流推力所致。痕迹化石和大量的浅海沉积构造共生,说明痕迹产生于浅水环境。

**主题词** 开化环形迹 复理石 上奥陶统 浅海

**第一作者简介** 夏邦栋 男 54岁 教授 沉积-大地构造

本文报道了环形迹的新种——开化环形迹。它产于浙西开化上奥陶统复理石沉积中,与蛇曲迹密切共生。

沉积构造的特点表明,环形迹椭圆形长轴定向的原因在于定向底流的作用。据盆地内痕迹属种的分布特点及各种沉积构造的综合分析推测,化石产于浅海海湾之潮下带,并非深海环境。

## 一、痕迹化石描述

浙西上奥陶统于潜组(或长坞组)是一套厚度近2000米的复理石沉积,产出丰富的遗迹化石。笔者对该复理石中的遗迹化石进行了初步研究,发现有如下属种:

*Spirodesmos kaihuaensis* Xia, He et Hu (sp. nov.)<sup>1)</sup>, *Gordia*, *Chondrites*, *Monocraterion*, *Torrowangea*, *Planolites*, *Helminthopsis*, *Münsteria*, *Unarites*, *Protichnites*, 还有一些属种正在鉴定之中。现仅就其中个体较大、保存明显、国内尚未报道的开化环形迹之特征及其地质意义作一初步探讨。

开化环形迹(新种) *Spirodesmos kaihuaensis* Xia, He et Hu (sp. nov.)

**材料:**化石保存于粉砂质泥岩之顶面,其上覆粉砂岩之底面上有化石的印模一下脊痕(图版 I, 1)。

**描述:**为椭圆形多圈水平旋槽,单槽,一般3—5圈,圈距约1—2cm。个体大小不一,大者长轴(A)35cm,短轴(B)18.5cm;小者A=10cm, B=6cm, A/B≈2。旋槽横断面呈“U”形,宽0.3~0.6cm,深约0.1—0.2cm,沿长轴方向槽的宽度与深度较沿短轴方向略小,且沟槽更为光滑。个体不相连,但可有局部重叠。

**产地及层位:**浙江省开化县俞家坞公路旁,上奥陶统于潜组,附近若干韵律层中均

1) 后面署名乃发现者之姓氏(夏、何、胡)

产有此种遗迹化石。

属种比较：该环形迹与 *Spirodesmos*, *Spirorhaphé*, *Multilaqueichnus* 等属外形都有相似之处，但 *Spirorhaphé* 为双带突脊型，而本化石为单槽型；*Multilaqueichnus ganluoensis* 种之各椭圆个体间是连续的〔4〕，而本化石之各单体间不相连；*Spirodesmos* 属的两个种均为突脊状〔9〕，而本化石为沟槽状，但二者外形基本相似，区别不大，故不另名新属，而定为环形迹属的一个新种。

## 二、讨 论

### 1. 形成机理

杨遵仪等（1982）研究四川甘洛多圈迹时认为，多圈迹由活动性较强的大型无硬壳早期动物沿沉积物表面呈环状水平觅食而成〔4〕。安德烈（K. Andree, 1920）与胡克莱德（R. Huckriede, 1952）认为 *Spirodesmos* 是腹足类动物排出的卵之堆积条带〔9〕。赛拉赫（A. Seilacher）根据在太平洋等洋底所发现的类似 *Spirodesmos* 属的环形迹的特征〔8〕，曾指出，环形迹乃生物粪便的堆积条带〔6〕。

由于开化环形迹为沟槽状而非突脊状，且时代较老，故笔者同意杨遵仪等的看法，即由某种无硬壳动物活动造成。此类动物觅食时在沉积物表面耕犁，藉助于其固有的趋触性（thigmotaxis）和趋转性（strophotaxis）〔1〕作环形旋转，故轨迹的规律性很强。此外应该指出，此类生物应具有一定的游泳能力，在一地掘取食物一段时间后便游起移到它处，故形成一个孤立的环形迹个体，痕迹的端点没有生物实体保存的迹象，也未见痕迹转入上下层内，而是“突然”消失了，后来沉积的粉砂等充填了沟槽而铸模，痕迹得以保存。

对于某些痕迹属种所具有的定向性，许多学者都推测是由于水体流动造成的〔5〕，但还未见有人给出直接的证据。笔者对保存该痕迹模的上覆砂岩之最底部做了定向切片，发现在平行痕迹长轴方向有前积纹理及因水流拖曳而形成的倒钩状纹理（图版 I，3），而沿其短轴方向未见前积纹。众所周知，前积纹乃牵引流作用造成，其倾斜方向标志水流前进方向。此外，痕迹所在的同一层面上发育有长 1—2 cm，宽 0.3—0.8 cm 的孤立沟槽，其方向和痕迹长轴一致（图版 I，1），乃生物掘动的坑穴经过水流改造成为冲槽。上述事实说明痕迹长轴确实和水流方向一致。

为什么环形迹长轴与水流方向一致呢？这要从生物体受水流的推力说起。一般地讲，水栖动物或多或少呈某种流线体，在定向水流存在的条件下，生物顺流或逆流掘进时受到水流的推力最小，而沿横向掘进时由于受力面积大，要获得同量食物就需花更大的力气以克服水流的推力。生物体在水底掘进时受到的水流推力，可用下式近似地表示（图 2）<sup>1)</sup>：

$$F \approx PS_1 \sin \alpha + PS_2 \cos \alpha \approx F_1 + F_2$$

当生物体平行水流方向时， $\alpha = 0^\circ$ ，故

1) 为讨论方便将生物体近似看作长方体。

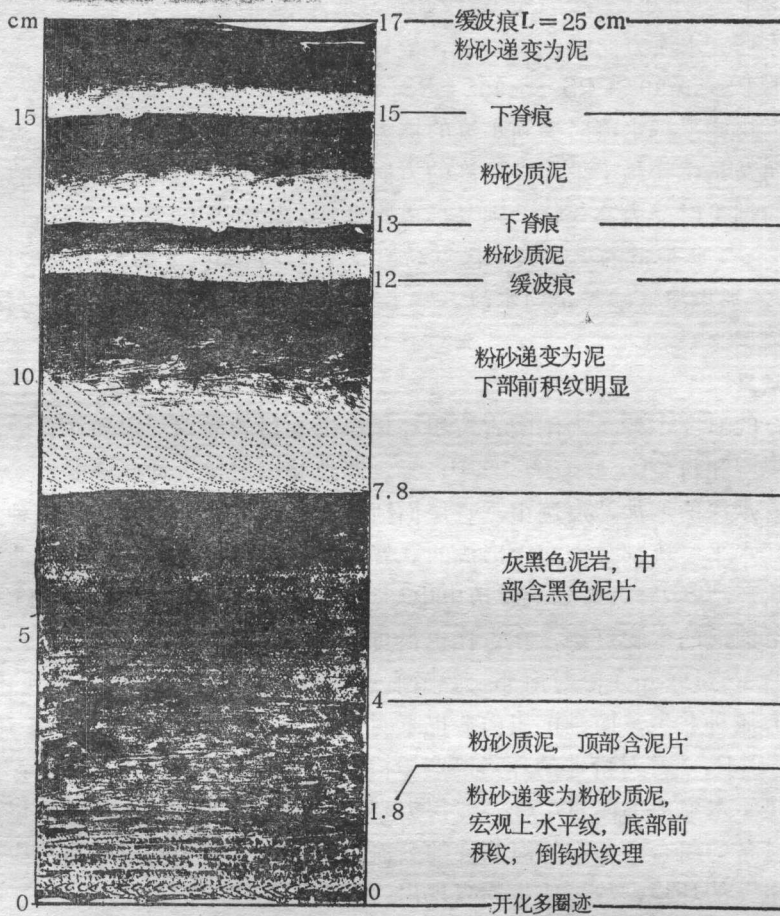
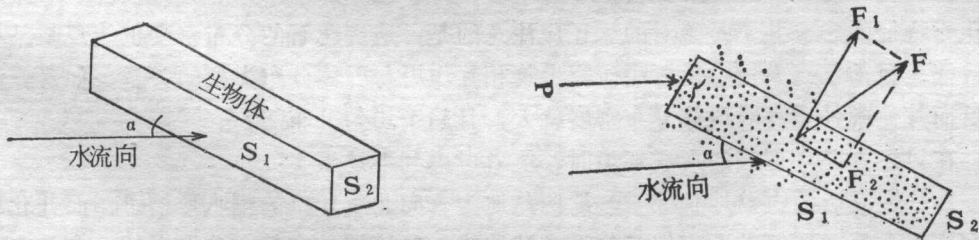


图1 开化环形迹上覆层标本剖面图  
(剖面平行痕迹椭圆长轴)

Fig. 1 Profile of the overlying strata covering the *Spirodesmos kaihuaensis* (parallels to the long axis of elliptical traces)



P——单位横截面积水流之推力     $S_1$ ——生物体侧面  
 $S_2$ ——生物体端面 ( $S_2 < S_1$ )     $\alpha$ ——生物体与水流夹角  
 F——生物体所受水流推力

图2 生物体受水流推力示意图

Fig. 2 Schematic diagram of a organic body pushed by current

$$F_{\parallel} \approx PS_1 \sin 0^\circ + PS_2 \cos 0^\circ = PS_2 \text{ (最小)}$$

当生物体垂直水流方向时,  $\alpha = 90^\circ$ , 故

$$F_{\perp} \approx PS_1 \sin 90^\circ + PS_2 \cos 90^\circ = PS_1 \text{ (最大)}$$

可见, 生物体平行水流时受到水流的推力最小, 处于最稳定的状态, 故环形迹长轴平行水流方向乃是生物趋于采用最经济的方向掘进的结果。相反, 在安静的水体中, 生物沿各个方向掘进时受力都一样, 则易形成圆环状, 如鲍恩 (D.W. Bourne) 和黑泽恩 (B.C. Heezen) 所报道的见于太平洋克马德克 (Kermadec) 海沟内的类似痕迹就是无定向的〔8〕, 那里海底缺乏定向水流。鉴于上述讨论, 环形迹长轴方向可作为测定古流向走向的依据之一。

## 2. 环境意义

遗迹化石的研究主要是为阐明古沉积环境提供有用的信息, 国外在这方面已有很多学者进行过观察和讨论〔5, 6, 7, 8, 10, 11, 12〕。赛拉赫据现代生物痕迹随水深的分布规律总结出: 随着水深的增加, 痕迹由垂直层面渐转为平行层面分布。这是一种总的趋势, 但并不是说凡水平痕迹都是深海中形成的。赛拉赫就曾指出, 环形迹和蛇曲迹也可出现于浅海或大陆环境〔6〕。考虑到地质历史中环境条件的差别及生物的演化趋势, 即使是今天仅发现于深海的生物痕迹, 在古代也很可能存在于其它环境。

马森 (T.R. Mason) 等对南非二叠系遗迹化石组合进行了研究, 发现环形迹同其它典型的浅海属种共生, 而且沉积构造也表明含化石的沉积岩形成于浅海环境〔11〕。特纳 (Turner, B.R.) 等对南非的环形迹产于浅海的原因进行过探讨, 指出: 造迹生物的行为主要取决于水盆地的能量条件、底层类型和食物供给性质, 因此, 可以出现例外于赛拉赫深度分带的组合, 如与外海相连的分流河道内富含营养的封闭海湾中心就可产生类似于“深水”的环境, 故可使生物表现出“深海”生物的行为〔12〕。

杨遵仪等认为, 四川峨眉的甘洛多圈迹产于浅海环境, 与许多浅水化石共生, 且沉积岩本身也反映出浅海的特征〔4〕。蒋志文等所报道的云南梅树村阶浅海相遗迹化石中有蛇曲迹分布〔2〕, 杨式溥等描述的属于浅海的 *Cruziana* 群落中也有蛇曲迹分布〔3〕。

大量事实说明, 利用遗迹化石进行环境分析时不能机械地套用某种现成模式, 而应根据实际资料进行综合分析。因为遗迹化石的特征是水动力条件、营养供应状况、底层性质、生物习性等多种因素综合作用的结果, 并非孤立的水深标志。可以说, 水深对遗迹化石特征的影响并不是绝对的。还应注意的是, 遗迹化石的分布密度也能反映某些环境特征, 目前有人用定量方法研究生物相互作用与群体分布类型的关系, 如营养供应充足而其他条件适宜时群体分布密度就大, 且趋于均匀分布〔10〕。

在讨论开化环形迹的形成环境时, 笔者考虑到下述事实:

1. 从恢复后的古盆地状况看, 浙西盆地为一向北东开口的喇叭形槽子, 而开化环形迹则产于盆地北西侧的西南端, 靠近古陆边缘。痕迹属种在整个盆地内的分布具有分带性: 南东侧有特征的垂直潜穴和倾斜潜穴分布, 分别指示了前滨及临滨相, 北西侧则主要为各种形态的水平痕迹, 缺乏滨岸带属种 (图3)。

2. 于潜组复理石中浅海沉积构造大量存在, 且遍布整个盆地均有发现如: 浪成对称波痕、干涉波痕、穹状波浪 (图版 I, 4、5), 前积纹层、透镜层等。环形迹产出层之

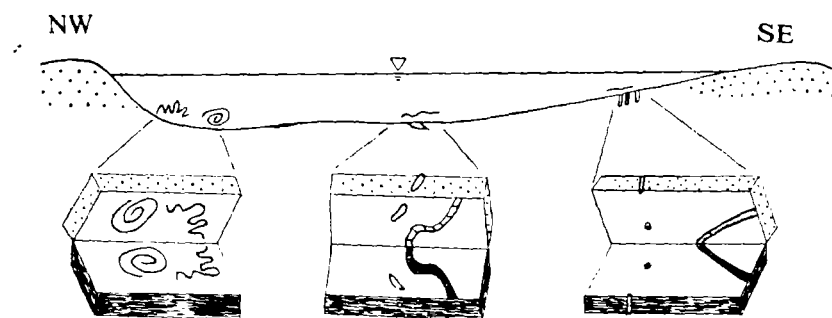


图3 浙西晚奥陶世沉积盆地痕迹化石分带示意图

Fig. 3 Schematic diagram of zonal distribution of the trace fossils in late Ordovician sedimentary basin in the lower Palaeozoic, West Zhejiang

相邻韵律层中就有波脊走向为 $N60^{\circ}E$ 的浪成对称波痕(图版 I, 5)。开化地区大量的直脊型波痕之波脊走向为NE, 并有非对称浪成波痕, 显示着北西方向存在有古海岸。上述事实都说明开化地区水深在几十米之内。

3. 开化以南仅二十余公里位于盆地西南端中心部位的常山县(沿盆地轴向可延伸至江西玉山县境内)发育有浅水碳酸盐岩, 其中发育见于潮间带以上环境的鸟眼构造等极浅水标志, 该层与开化的复理石属同期相变关系。

4. 保存环形迹的上覆层粉砂岩底部发育显微前积纹, 较上部位发育有波痕(图1, 图板 I, 3)。说明当时有底流存在, 但强度不大, 时而有波浪影响水底(图版 I, 6)。

5. 环形迹及蛇曲迹在开化分布密集, 常常相互重叠, 给人以“龙飞凤舞”之感, 说明营养供应充分, 条件适宜(图版 I, 1、2)。

6. 古流向分析表明, 古水流指向NE, 从开化到于潜一线水体渐深, 而于潜一带已属浅海, 故开化一带水深更小。

综合上述分析, 笔者认为开化环形迹形成于浙西浅海盆地西南端北侧之海湾潮下带。该处靠近古陆, 有丰富的有机质供应, 有流向NE的底流存在, 但水体基本处于低能状态, 只是偶尔受波浪影响, 对环形迹和蛇曲迹的形成十分有利。

### 参 考 文 献

- [1] 南京大学地质系古生物地史教研室, 1980, 古生物学, 下册, 地质出版社, 766—776页。
- [2] 蒋志文、罗惠麟、张世山, 1982, 地质论评, 28卷1期, 7—13页。
- [3] 杨式溥、傅绍萍, 1985, 地质科学, 1期, 43—52页。
- [4] 杨遵仪等, 1982, 地质论评, 28卷4期, 291—298页。
- [5] Seilacher, A., 1964, biogenic sedimentary structures, in John Imbrie & Norman Newell, Approaches to Paleocology, p.296-314.
- [6] Seilacher, A., 1967, Marine Geology, V. 5, N. 5-6, P. 413-428.
- [7] Smith, A. B. & Crimes, P. T., 1983, LETHAIA, V. 16 N. 1, P. 79-92.
- [8] Bourne, B. W. & Heezen, B. C., 1965, Science, V. 150, P. 60-63.

- [9] Hantzschel, W. (ed), 1975, Trace fossils and problematica, in Teicherk, C. (ed), Treatise on Invertebrate Paleontology, part W, Miscellanea, Supplement 1, p.104—108.
- [10] Pemberton & S.G., & Frey, R.W., 1984, LETHAIA, V. 17, N. 1, p.33—49
- [11] Mason, T.R., Stanistreet, I.G. & Smith, R.T., 1983, LETHAIA, V.16, N.4, p.241—247.
- [12] Turner, B. R., Stanistreet, I. G. & Whately, M.K. G., 1981, palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, V.36, N.1—2, p.113—123.

## SPIRODESMOS KAIHUAENSIS IN THE UPPER ORDOVICIAN FLYSCH IN THE KAIHUA COUNTY, WEST PART OF ZHEJIANG PROVINCE

Xia Bangdong Lü Hongbo Xiong Binhui  
He Yongming Hu Baosheng  
(Department of Geology, Nanjing University)

### Abstract

The Yuqian group (or Changwu group) in the west part of Zhejiang province is a set of flysch formation with thickness about 2,000m, in which many kinds of trace fossils are found. In this paper, we only discuss the new species (*Spirodesmos kaihuaensis*) found in kaihua County (Fig. 1).

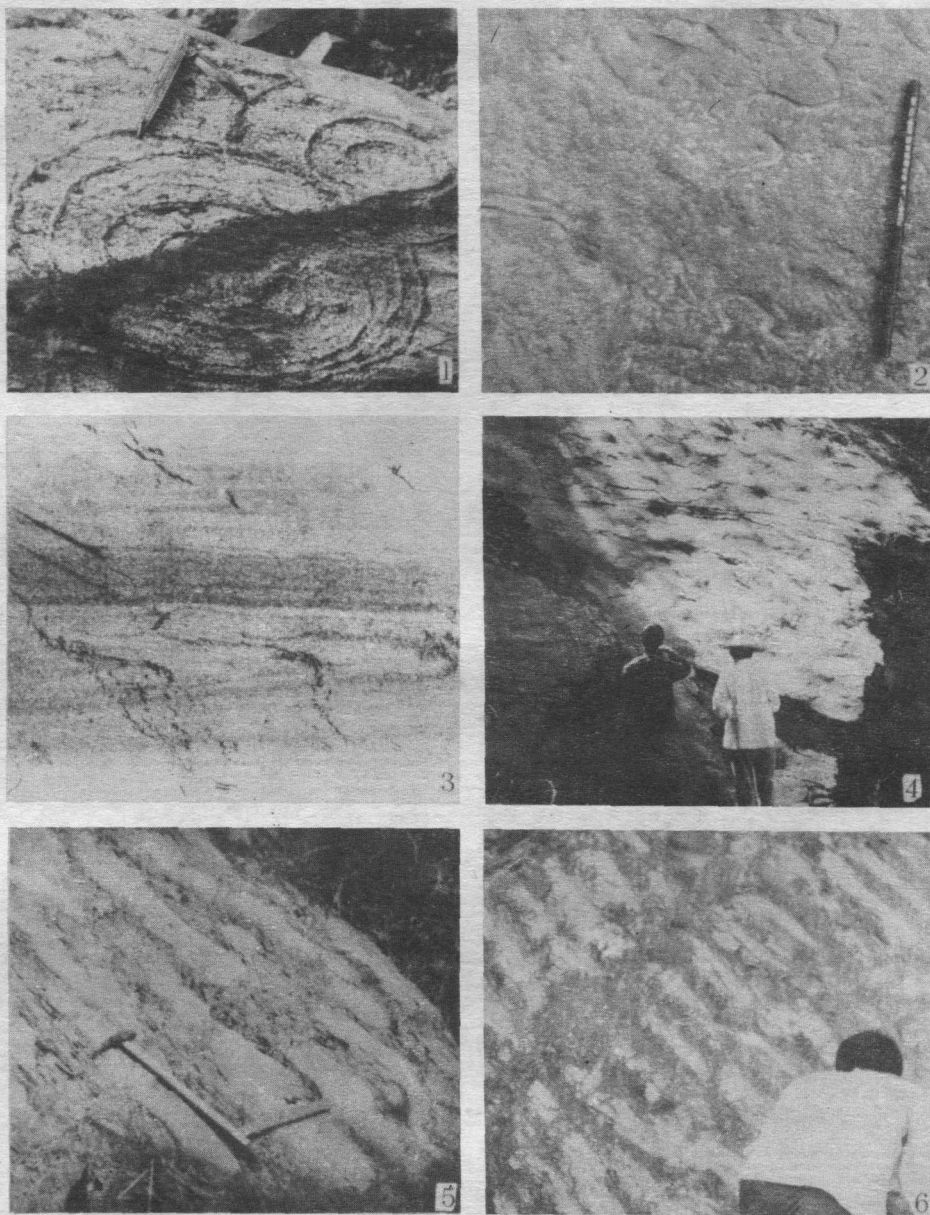
*Spirodesmos kaihuaensis*, distributed along the bedding surface, is elliptical, multi-annular, with 3—5 rings. The major axis (A) of the ellipse is up to 35cm, the minor axis (B) is up to 18.5cm, and ratio (A/B) is about 2. All of the major axis of the elliptical traces are parallel to each other in the NE direction.

The authors consider that the traces were produced by some animals which have no hard shells. The animals ploughed sediments in a round way, depending on their innate thigmotaxis and strophotaxis and developing the ringlike traces when they were looking for food. The major axes of the elliptical trace are parallel to the direction of water flow as a result of the pushing force of water flow on the organism, the animals preferred to move in the direction parallel to the water flow rather than perpendicular to it so as to reduce the pushing force of water flow.

The trace fossils coexist with many kinds of sedimentary structures, such as symmetric wave marks, interference wave marks, foreset beddings, lenticular beddings etc., showing a shallow water environment.

From all kinds of data, authors concluded that *Spirodesmos kaihuaensis* was

formed in a subtidal zone of a gulf, which was situated in the north side of the southwest part of the Early palaeozoic sedimentary basin in the west part of Zhejiang province. This area was near to an old land which supplied an abundance of organic matter to the basin. In the area there existed a bottom current with lower kinetic energy, flowing in a uniform direction. The water bottom was influenced by wave occasionally. Such an environment benefited trace fossils.



1. 开化环形迹 (砂岩底下脊痕), 上奥陶于潜组 (开化) 2. 蛇曲迹 (泥岩顶面下凹痕), 上奥陶统于潜组 (开化) 3. 粉砂岩中前积纹及拖曳纹 (环形迹上覆层底部定向薄片照相, 方向和痕迹长轴平行),  $\times 3$ , 上奥陶统于潜组 (开化) 4. 大型穹状波痕, 上奥陶统于潜组 (于潜) 5. 弱干涉浪成波痕, 上奥陶统于潜组 (于潜) 6. 对称波痕 (浪成), 上奥陶统于潜组 (开化)。