

# 陕西富平中奥陶统金粟山组的遗迹化石及沉积环境

李日辉

(地质矿产部海洋地质研究所,青岛)

**提 要** 陕西富平中奥陶统金粟山组产有大量遗迹化石。本文建立了第三段的 *Paleodictyon* 遗迹群落,认为二、三段的遗迹组合相当于 *Nereites* 遗迹相。同时利用遗迹化石进行了沉积环境分析。认为金粟山组的沉积环境自上而下经历了碳酸盐台地—盆地边缘—陆坡下部—陆坡上部的演变。

**关键词** 遗迹群落 *Nereites* 遗迹相 中奥陶统 金粟山组 陕西富平  
**第一作者简介** 李日辉 男 32岁 博士 地层古生物学 海洋地质学

遗迹化石作为地史时期特定环境条件下一种特殊的生物成因的沉积构造,其指相意义正日益受到沉积工作者的重视。陕西富平中奥陶统金粟山组有丰富的遗迹化石,尽管该组的生物地层学、沉积学研究已大量开展(梅志超等,1982、1986;安太庠等,1985、1990;贾振远,1988),但遗迹化石及其沉积环境分析方面的工作还很薄弱。为此,笔者曾于1988年8—9月间赴富平地区进行金粟山组遗迹化石的系统采样,获得了大量遗迹化石标本。

## 1 金粟山组时代及遗迹化石分布

### 1.1 金粟山组时代

金粟山组由安太庠等(1985)建立,厚逾千米,分布于富平的小沟峪、赵老峪、灵殿沟一带。主要是一套薄层泥晶灰岩夹硅质层、角砾灰岩、凝灰岩的沉积。梅志超等(1986)将这套地层命名为赵老峪组,认为其时代属中奥陶世晚期至晚奥陶世早期。但安太庠(1990)等牙形石的研究表明,该组时代为中奥陶世。在此采用安太庠等的上述意见,使用金粟山组一名,并将其时代限定为中奥陶世。

### 1.2 遗迹化石层位及相对丰度

按安太庠(1990)等意见,金粟山组岩性可分为四段。第一段为白云岩,又称赵老峪白云岩南岩段,厚160m,该段中没有发现遗迹化石;第二段岩性为薄层泥晶灰岩夹硅质层和凝灰岩;厚100m。该段中遗迹化石稀少,仅见少量缠绕形遗迹 *Gordia*、树枝状进食迹、*Chondrites*、蛇曲形遗迹 *Cochlichnus* 和不规则网状遗迹 *Neurodictyon*;第三段为薄层灰岩夹角砾状灰岩,偶夹有凝灰岩,厚约280m,该段遗迹化石极为丰富,产于薄层灰岩的上、下层面,以大量网状遗迹为特征,包括下列遗迹属 *Belorhaphe*、*Chondrites*、*Cochlichnus*、*Gordia*、*Helminthopsis*、

*Helminthoida*、*Megagraption*、*Neurodictyon*、*Oldhamia*、*Paleodictyon*、*Phycodes*、*Protopaleodictyon*、*Squamodictyon*；第四段为薄层灰岩偶夹凝灰岩和角砾岩，厚约 300m，其上与中石炭统假整合接触。该段遗迹化石稀少，仅见少量 *Gordia*、*Cochlichnus*。

另外据梅志超等(1982)研究，第二段中除产放射虫外还见有少量介形虫、三叶虫、腕足类，凝灰岩中并产有少量笔石印痕；第四段产小型斑礁 *Lichenaria* sp. 及腕足类 *Sowerbyella* sp. 遗迹化石分类见表 1。

表 1 金粟山组化石分类表

Table 1 Comprehensive classification of tracefossils in Jinshushan Formation

形态类型	保存方式	生态习性	遗迹属	
分枝潜穴	束状分枝	底生迹	进食迹	<i>Phycodes</i>
	均分枝	底生迹	进食迹	<i>Chondrites</i>
放射形遗迹	无中心区	表生迹	进食迹	<i>Oldhamia</i>
弯曲形遗迹	简单弯曲	底形迹	耕作迹	<i>Helminthopsis</i>
蛇曲形弯曲	波浪形	表生迹	觅食迹	<i>Cochlichnus</i>
	缠绕蛇曲	表生迹	觅食迹	<i>Gordia</i>
	紧密蛇曲	表生迹	觅食迹	<i>Helminthoida</i>
分枝蛇曲及弯曲形遗迹	锯齿状曲线形	低生迹	进食迹	<i>Belorhaphe</i>
	蛇曲外缘处分枝	底生迹	耕作迹	<i>Protopaleodictyon</i>
网状遗迹	规则多边形网状	内生迹或底生迹	耕作迹	<i>Paleodictyon</i>
	鳞网状	内生迹	耕作迹	<i>Squamodictyon</i>
	不规则网状	内生迹	耕作迹	<i>Neurodictyon</i>
内生迹或底生迹		耕作迹	<i>Megagraption</i>	

## 2 *Paleodictyon* 遗迹群落及其古生态、古环境

由遗迹化石地层分布和表 1 可知，金粟山组共发现有 13 个遗迹属，它们可分别归于六个形态大类中，这些形态大类特征清楚，容易识别。其中网状遗迹有 4 个遗迹属，它们是 *Megagraption*、*Neurodictyon*、*Paleodictyon*、*Squamodictyon*，约占总遗迹属数目的 30%，且是六个形态大类中数量最丰富的一类。此外，遗迹化石主要产于薄层泥质灰岩形成时的水/泥界面附近，而且主要分布于第三段中，延续时限较短，在工作区不同剖面的相同层位都有出现且组成相似。由此可以推断，第三段中以网状遗迹为代表的遗迹化石是特殊生物群落对特定环境条件适应的产物，它已经具备了建立遗迹群落的条件，考虑到以 *Paleodictyon* 为代表的网状遗迹类在群落内数量、相对分异度等方面占绝对优势，因此将其命名为 *Paleodictyon* 遗迹群落。

*Paleodictyon* 遗迹群落特点如下：

1 组成 该群落的组成分子有：*Belorhaphe*、*Chondrites*、*Cochlichnus*、*Gordia*、*Helminthopsis*、*Helminthoida*、*Megagraption*、*Neurodictyon*、*Oldhamia*、*Paleodictyon*、*Phycodes*、*Protopaleodictyon*、*Squamodictyon*，其中以网状遗迹 *Paleodictyon* 类最丰富。

2 时代 该遗迹群落主要分布于中奥陶世金粟山组第三段沉积期，群落延续的时代较为短暂。

3 地理分布 在富平灵殿沟、达家坡、赵老峪等地金粟山组的第三段都有该群落的分布。

4 生态习性特点 从表 1 可以看出，群落内表生迹、底生迹、内生迹都出现，13 个遗迹属

的保存类型所占比例无太大的差别,但绝对数量则以内生迹占优势,习性类型以耕作迹(*Agrichnia*)和进食迹(*Fodinichnia*)为主,兼有部分觅食迹(*Pascichnia*)。这表明造迹生物主要在水/泥界面附近以食泥或诱捕方式(trap)获取食物,由于潜穴一般较细,推测可能是“蠕虫类”生物。

5 生存环境 网状遗迹类是该群落中的重要组成分子,它个主要呈内生迹保存,习性类型属耕作迹。耕作迹是一类特殊的遗迹类型,以 *Paleodictyon* 类为代表。Roder(1971)认为这类遗迹与生活于现代海滩多毛虫 *Paronis* 的潜穴相似。后者利用广泛铺开的环形巷穴来诱捕其活动范围内的微生物,在这一点上其功能类似于蜘蛛网。*Seilacher*(1977)也认为,*Paleodictyon* 是营建于较深水体表面之下不太深的多边形网状穴道系统,而且在多边形的端点处有垂直向上的开口,并借此向网状巷穴内充气和带入碎屑有机物。这种获取有机物的方式在有机质含量低的深水环境下显然极为实用。另外,群落中觅食迹较少,反映出沉积层面有机质含量不是十分丰富,而垂直居住迹的缺乏也暗示着在遗迹群落形成时,水体宁静,因为居住一般见于潮间带或浅水高能环境,指示较为动荡的水动能条件。因此,该遗迹群落形成于有机质含量低的低能较深水环境。

### 3 金粟山组沉积环境分析

由遗迹化石剖面上分布可以发现,金粟山组遗迹化石最显著的一个特点是剖面上分布的不均匀性。第一段的粉晶、泥晶白云岩中没有发现遗迹化石,根据岩性特点,推测其沉积部位应为浅水碳酸盐台地。

第二段中化石遗迹见少,仅发现 *Chondrites*、*Cochlichnus*、*Gordia* 和 *Neurodictyon* 四个遗迹属。*Cochlichnus* 是一形态为蛇曲形的觅食迹;*Chondrites* 则是树枝状进食迹;*Gordia* 是缠绕的蠕虫类生物的觅食迹,三者皆为跨相遗迹属(*McCann and Pickerill*, 1988),可出现于各种相环境中,新遗迹属 *Neurodictyon* 则是不规则的网状潜穴,其潜穴有主次之分,主潜穴较粗且大致平行,属 *Paleodictyon* 类,是 *Seilacher*(1967) *Nereites* 遗迹相的分子。因此,第二段的遗迹组合大致相相于 *Nereites* 遗迹相。

如前述,第三段中的遗迹化石以形态各异的网状遗迹为主,称之为 *Paleodictyon* 遗迹群落。群落中的 13 个遗迹属有 8 个是深水复理石相的分子,它们是 *Paleodictyon*、*Neurodictyon*、*Belorhapha*、*Helminthoida*、*Squamodictyon*、*Megagraption*、*Protopaleodictyon*、*Helminthopsis*; 其余的 5 个遗迹属也为跨相遗迹属,常见于复理石相。总体来说,该遗迹群落指示的水深较深。值得指出的是,*Crimes* 和 *Anderson*(1985)报道加拿大纽芬兰南部寒武统 *Random* 组浅水沉积产中有 *Helminthoida crassa*、*Nereites*、*Paleodictyon*、*Protopaleidictyon*、和 *Squamodictyon* 等长期以来认为指示深水环境的遗迹类,他们认为这些形态复杂的网状遗迹在浅水环境中出现的原因可能是在寒武纪初期,其造迹生物的生存环境就是浅海,只不过随着之后底栖生物之间竞争的加剧,才迁移到深海环境之中。的确,迄今为止,寒武纪之后的地层中还没有发现网状和紧密蛇曲状遗迹。金粟山组第三段 *Paleodictyon* 遗迹群落的组合特征、沉积物类型及相序特点,排除了属浅水环境的可能性,该群落也相当于 *Nereites* 遗迹相。

*Seilacher*(1967)认为 *Nereites* 遗迹相代表深海环境,其遗迹化石分布于半远洋泥及浊积岩的末端沉积中。*Ekdale* 等(1984)也认为,该遗迹群落主要发育在浊流沉积到达的深海平原

以下。*Ksiazkiewicz*(1977)根据波兰 *Carpathians* 山区侏罗纪到第三纪复理石中有孔虫水深资料推测共生的网状遗迹出现的水深在 600~2000m,其中有些类型的水深大于 2000m。

现代 *Nereites* 遗迹群落出现的深度很深,根据 Lamont 海洋研究所对太平洋、印度洋进行的大量照片观察,它们产出的深度大于 4000m(Bouren 和 Heexen,1965)。而非洲西北部地区现代大陆斜坡 *Nereites* 遗迹相的水深约 2000m(Wetzel,1981)。由此可以看出,现代 *Nereites* 遗迹群落水深分布较地史时期能要深得多。因根据前述 Crimes 和 Anderson(1985)的观点,*Nereites* 遗迹群落的代表分子网状遗迹类,其造迹生物在寒武纪出现于浅水环境中,之后逐渐演化进入较深水体以至深海环境。奥陶纪恰巧是这种迁移演化的早期,推测当时造迹生物尚未占据深海生态环境,其遗迹群落的分布深度可能相当于半深海—深海。参照前述 *Carpathian* 山区网状遗迹的水深资料,金粟山组 *Nereites* 遗迹相的水深可能在 500~100m。

应当指出,第二、三须中的遗迹化石尽管都属 *Nereites* 遗迹相,但其丰度、分异度差别很大。这可能主要是由食物供应控制的。食物是动物赖以生存的首要条件。深水环境,由于远离大陆,陆源有机质只能凭借浊流才能到达。此外,浊流还能提高深部水体中溶解氧的含量,使浊流后的生物群落较浊流前的生物群落分异度、丰度都相对要高,其遗迹群落也应有相应的反映;另一方面也暗示着金粟山组第二段比第三段的沉积位置离物源区的距离要远,水体相对较深,可能为盆地边缘相;而第三段的沉积位置为斜坡下部。

从沉积岩石学特点看,第二段中产黑色薄板状燧石岩,内含放射虫,纹层发育。梅志超等(1982)认为该段的形成深度可达 1000m,这与利用遗迹化石推断的结果相似,另外,第三段中除了碎屑流和浊流沉积外,还发育等深流沉积(梅志超等,1982、1986)。等积岩为分选良好的砂屑及粉屑石灰岩,通常呈页状、透镜状或薄板状,夹在半远洋的泥晶灰岩中。现代等深流沉积在北大西洋西海岸的一些地区都有发现,其位置一般在陆隆地区,而这也正是 *Nereites* 遗迹相的位置。Crimes 等(1980)还报道了威尔士志留纪网状遗迹与等积岩共生。第三段中遗迹化石的研究与沉积学的研究是吻合的。

第四段中遗迹化石稀少,仅发现 *Cochlichnus*, *Gordis* 两个跨相遗迹属。由于缺乏“标准”的遗迹类型,难以准确地确定其沉积位置。但考虑到这两个遗迹属在其下的二、三段中都有产出,推测第四段沉积时水体可能也较深。如前述,该段中产零星异地里亨珊瑚(*Lichenaria sp.*)斑块及部分腕足类化石,仍含少量碎屑流成因的含漂浮砾薄板状灰岩;而且顶部的泥灰岩中滑塌构造发育。推测其位置可能靠近台地边缘。因此,第四段的沉积位置应为陆坡上部。

总之,金粟山组以历了浅水碳酸盐台地—盆地边缘—陆坡下部—陆坡上部沉积环境的演变,水体由浅—深—逐渐变浅。值得指出的是第一段沉积位置为浅水碳酸盐台地,到第二段沉积时突然过渡为盆地边缘,单纯用海侵海退作用加以解释似乎难以成立。可能的解释是,当时秦岭板块向华北板块俯冲,该区陷落为弧后深水盆地的大陆边缘,接受了二~四段的深水碳酸盐沉积(梅志超等,1986)。

本文初稿经中国地质大学(北京)杨式溥教授审阅;西北大学地质系梅志超教授和中国地质大学(武汉)贾振远教授惠赠了部分遗迹化石标本;中国地质大学(北京)王树元工程师承担了标本照像,在此一并致谢。

收稿日期:1991年5月22日

## 参 考 文 献

- [1] 梅志超等, 1982, 石油与天然气地质, 第3卷, 第1期, 49~56页
- [2] 李文厚, 1986, 沉积学报, 第四卷, 第1期, 34~42页
- [3] 安太庠等, 1985, 地质学报, 第59卷, 第2期, 97~108页
- [4] 李日辉, 1992, 现代地质, 第6卷, 第2期, 183~187页
- [5] 贾振远, 1988, 石油与天然气地质, 第9卷, 第2期, 171~177页
- [6] 杨式溥, 1986, 我国浊流沉积复理石相的遗迹化石及其古生态和古环境, 中国古生物学会第十三、十四届学术年会论文选集, 安徽科学技术出版社, 143~161页
- [7] Bouren, D. W. and HEECEN, B. C., 1965, Science. Vol. 150, p. 60~63
- [8] Ceimes, T. P. and Anderson, M. M., 1985, Journ. of Paleontol. Vol. 59, No. 2, p. 310~343
- [9] Ksiazkiewicz, M., 1977, Trace fossils in the flysch of the Polish Carpathians. Palaeontologica Polonica. Vol. 36 p. 1~208
- [10] McCann, T. and Pickerill, R. K., 1988, Journ. of Paleontol. Vol. 62, p. 330~348
- [11] Seilacher, A., 1967, Marine Geology. Vol. 5, p. 413~429
- [12] Seilacher A. 1977, In T. P. Crimes and J. C. Harper (eds.): Trace fossils 2. Geolo. J. Spec. Issue 9. Seel House Press, Liverpool, p. 289~334

## Trace Fossils From Middle-ordovician Jinsushan Formation, Fuping, Shaanxi and Their Depositional Environments

Li Rihui

(Institutr of Marine Geology, Ministry of Geology and Mineral Resources,  
P. O. Box18, Qindao)

### Abstract

Characteristized by hemipelagic thinly-bedded lime mudstones interbedded with limestone breccias derived from gravity flow, the Middle-Ordovician Jinsushan Formation yields abundant trace fossils, but they are not evenly vertical distributed. A brief description is as follows (in ascending order):

Member 1, which consists mainly of dolomites, containing no trace fossils.

Member 2, which composed of dark gray thinly-bedded lime mudstone, and is characterized by a small amount of tuff, radiolarian chert and well-sorted thinly-bedded calcareite and calcisiltite which represent the equivalent of contourite. Trace fossils are rare, with only one network trace fossil (*Neurodictyon n. ichnogen.*) and three facies-crossing trace fossils (*Chondrites*, *Cochlichnus*, *Gordia*) occurring.

Member 3, which consists of thinly-bedded lime mudstones interbedded with limestone breccias and yield abundant trace fossils, which includes: *Belorhappe*, *Chondrites*, *Cochlichnus*, *Gordia*, *Helminthopsis*, *Helminthoidea*, *Megagraption*, *Neurodictyon*, *Oldhamia*, *Paleodictyon*,

*Phycodes, Protopaleodictyon and squamodictyon.*

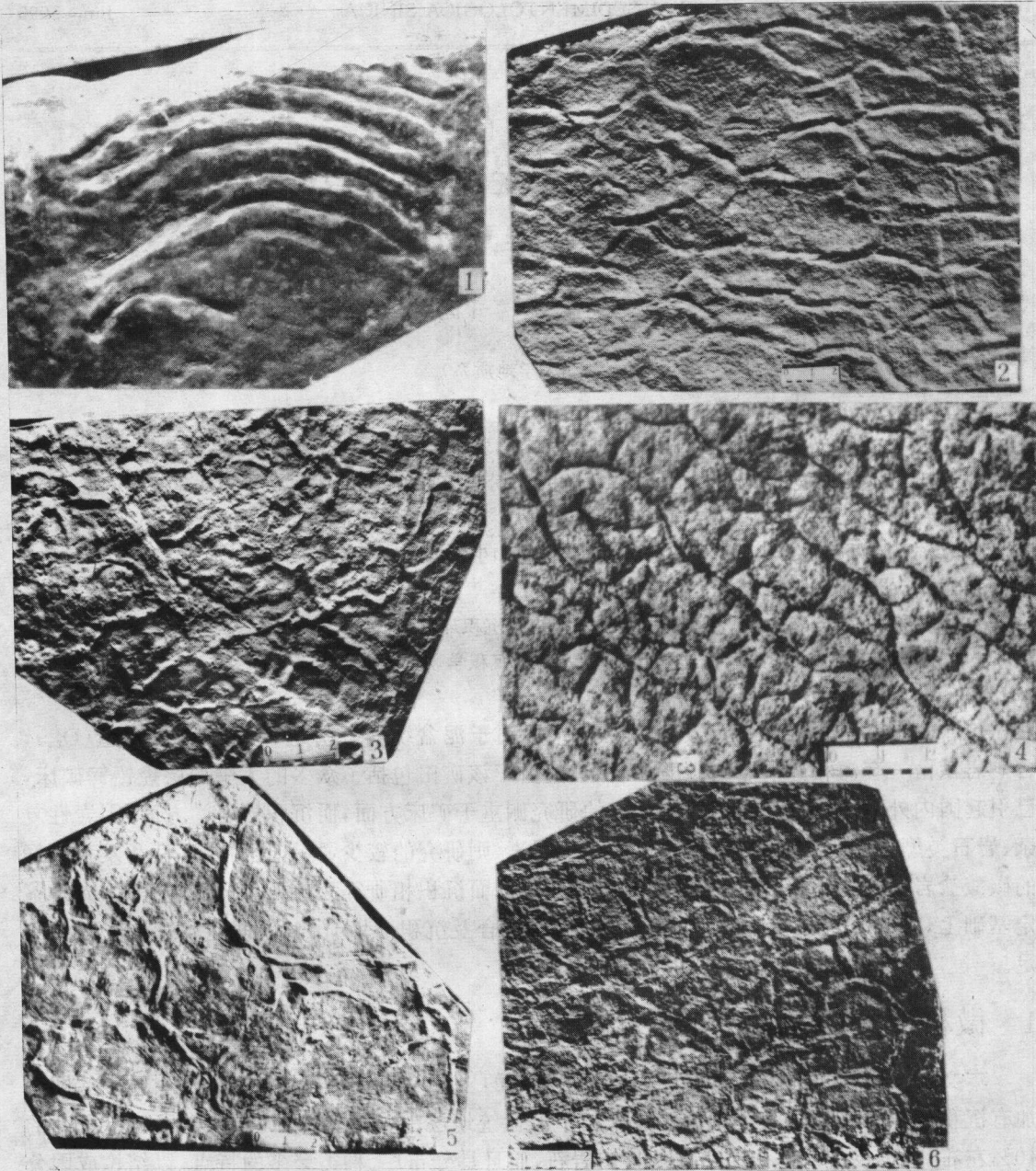
Member 4, whose lower part consists of dark gray thinly-bedded limestone and the upper, of marl. Like Member 2, it also contains a small number of trace fossils. Of which, only two ichnogenera — *Cochlichnus* and *Gordia* are recognized.

Based on the component, relative abundance and preservational aspect of the trace fossils, in Member 3, the *Paleodictyon* ichnocoenosis is established, which consists chiefly of network trace fossils represented by the ichnogenus *Paleodictyon*, and this ichnocoenosis is analogous to *Nereites* ichnofacies.

It is believed that the trace fossil association of the Member 2 belongs also to *Nereites* ichnofacies. But its water depth may be deeper than that of the *Paleodictyon* ichnocoenosis and is probably up to one thousand meters.

In terms of trace fossils, sedimentary characteristics well as paleontological evidences, it is suggested that the depositional environments of the Member 1 to 4 are shallow-platform, basin margin, lower foreslope, and upper foreslope respectively.

As to the sharp change of depositional environments from shallow-platform to basin margin, the possible cause may attribute to the subsidence owing to the tension fracturing of the area during that period.



所有标本均采自陕西富平金粟山组第三段。

1. 厚蠕形迹 *Helminthoida crassa* Schafhautl, 1851, 层面凹痕, 原大。登记号: 达 15(1)。 2 富平古网迹 *Paleodictyon fupingensis* Yang, 1986。 3. 双尾始古网迹 *Protopaleodictyon bicaudatum* Seilacher, 1977, 层底凸痕。登记号赵(23)15 4. 陕西脉网迹 *Neurodictyon shanxiensis* Li, 1992, 层面凸痕。登记号: 达(23)。 5. 不规则巨画迹 *Meegagrapton irregulare* Książkiewicz, 1977, 层底凸痕。登记号: 达 59。 6. 花瓣状鳞网迹 *Squamodictyon petolodem* Seilacher, 1977, 层面凹痕。登记号: 5759