

doi:10.3799/dqkx.2014.001

六盘山盆地早白垩世含盐地层中石蚕巢化石

何欣¹, 卢宗盛^{2*}, 翁平³, 李海峰³, 贾璐¹, 刘纯高⁴

- 1. 中国地质大学研究生院, 湖北武汉 430074
- 2. 中国地质大学生物地质与环境地质国家重点实验室, 湖北武汉 430074
- 3. 宁夏回族自治区地质调查院, 宁夏银川 750021
- 4. 中国石油辽河油田研究院, 辽宁盘锦 124010

摘要: 石蚕(昆虫纲:毛翅目)巢化石保存在宁夏六盘山盆地早白垩世马东山组和乃家河组含盐地层中,化石呈群栖、密集、相互平行、叠层状分布。石蚕巢为直立锥状体,长约13 mm,平均直径约2.5 mm。管壁具三层式结构,包括内、外暗色有机质层和中部胶结颗粒层。暗色有机质层为泥晶结构,以灰泥质为主;中部胶结颗粒层,主要由有机质球粒构成,球粒呈球形、椭球形和卵圆形等,形态大小一致,平均长0.3 mm,直径0.10~0.15 mm。这些有机质球粒在管壁中排列规整,长轴大多与石蚕巢生长方向垂直。依据管壁中规则排列的有机质球粒将六盘山盆地的石蚕巢化石归为 *Coprindusia* 遗迹属。通过对比各种造管生物形态学和生态学方面的特征以及现生造迹昆虫的生活环境、管体形态大小、管壁胶结颗粒组成和排列方式,综合相同层位上昆虫实体化石的分析,六盘山盆地的管状化石可能是宁夏石蛾科宁夏石蛾属房氏宁夏石蛾(*Ningxiapsyche fangi*)的幼虫巢。

关键词: 六盘山盆地;早白垩世;石蚕巢;化石;毛翅目;有机质;沉积。

中图分类号: P52 **文章编号:** 1000—2383(2014)01—0001—09 **收稿日期:** 2013—03—17

Fossil Caddisfly Cases from the Early Cretaceous Aliferous Strata in Liupanshan Basin, China

He Xin¹, Lu Zongsheng^{2*}, Weng Ping³, Li Haifeng³, Jia Lu¹, Liu Chungao⁴

- 1. Graduate School of China University of Geosciences, Wuhan 430074, China
- 2. State Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China
- 3. Ningxia Institute of Geological Survey, Yinchuan 750021, China
- 4. Institute of Liaohe Oilfield, PetroChina, Panjin 124010, China

Abstract: Fossil caddisfly (Insecta: Trichoptera) larval cases have been recently discovered in the Early Cretaceous lacustrine deposits (Madongshan Formation and Naijiahe Formation) in Liupanshan basin, Ningxia. The arrays of caddisfly larval cases occur as superimposed layers of vertically oriented cases. The fossils are gregarious, dense, parallel to each other and closely packed. The single larval case is conical and similar in size (generally 13 mm in length and averagely 2.5 mm in diameter). The wall of the caddisfly larval cases is divided into three layers, including internal, external dark organic matter layers which have micrite structures and are composed of lime muds, and the middle layer of cemented aphanitic particles composed of organic pellets. The calcified organic pellets are orbicular, spheroidicity and ovate, with its size ranging from 0.10 to 0.15 mm wide by averagely 0.3 mm long. The pellets are in regular arrangement, and their long axes are mostly perpendicular to the growth direction of the caddisworm cases. The larval cases in Liupanshan basin are attributed to *Coprindusia* in ichnology according to the pellets along the walls of the cases. By comparing the features of various tube-maker organism in morphology and bionomy, and the habitat, size and shape of cases, the composition of case-building particles, and case construction way, combining the analysis to insect body fossil from the same layers in which the caddisfly cases preserved, it seems like that the caddisfly larval

基金项目: 国土资源部公益性行业科研专项(No.201111006-01); 国家科技重大专项(No.2011ZX05006-001)。
作者简介: 何欣(1988—), 男, 硕士研究生, 主要从事地层古生物和沉积地质学方面的研究工作。
*** 通讯作者:** 卢宗盛, E-mail: zshlu@cug.edu.cn

cases in Liupanshan basin are *Ningxiapsyche fangi* from Ningxiapsychidae.

Key words: Liupanshan basin; Early Cretaceous; caddisfly cases; fossil; Trichoptera; organic matter; sedimentology.

石蚕(Phryganea)是节肢动物门昆虫纲毛翅目幼虫的统称,大多数石蚕就地取材构筑不同形状、不同质地的管状巢,即石蚕巢.这些管状巢可随石蚕移动,它们具有居住和保护幼虫的功能(Mackay and Wiggins, 1979; Williams and Penak, 1980; Boyero and Barnard, 2004; Brian *et al.*, 2011).石蚕巢化石由 Cockerell 于 1923 年最早报道以来,目前在世界上至少 20 个国家或地区的中、新生代地层中已陆续有所报道,其中最古老的石蚕巢化石记录在俄罗斯外贝加尔和蒙古 Baissa 的中侏罗统(Ivanov and Sukatsheva, 2002; Ponomarenko *et al.*, 2009).这些研究报道大概分为 3 个方面:一是建立了与石蚕巢相关的遗迹化石 13 个属,包括 *Conchindusia*、*Piscindusia*、*Ostracindusia*、*Pelindusia*、*Terrindusia*、*Molindusia*、*Folindusia*、*Secrindusia*、*Scyphindusia*、*Charindusia*、*Indusia*、*Coprindusia* 和 *Tektonargus* (Standley, 1970a, 1970b; Jarzembowski, 1995; Hasiotis *et al.*, 1998; Sukatsheva, 2005; Ivanov, 2006; Ponomarenko *et al.*, 2009; Gallego *et al.*, 2011);二是对石蚕巢管壁物质成分进行了分类描述(Bradley, 1924; Loewen *et al.*, 1999; Boyero and Barnard, 2004);三是探讨石蚕巢遗迹的生物种类(Leggitt and Cushman, 2001; Paik, 2005).目前国际上还未见有关石蚕巢管壁清晰完整的分层结构的报道和描述,其胶结颗粒层独特的排列方式在国际上也极其少见.本论文拟基于采自宁夏六盘山盆地的石蚕巢化石,结合现生造迹昆虫幼虫巢的形态和管壁胶结颗粒成分分析,重点描述这些化石的管壁结构特征及胶结颗粒的排列模式,确定其遗迹学归属,并探讨造迹昆虫的生物属性.六盘山盆地石蚕巢化石的发现,揭示了早白垩世晚期盆地东缘浅水低能的沉积环境,补充了六盘山盆地陆相昆虫群的化石面貌,对六盘山群地层的划分、对比与时代的进一步确定也具有一定的参考价值.

1 化石的产出特点

本文描述的石蚕巢化石主要产于宁夏同心县东约 20 km 的窑山地区,化石层位属早白垩世六盘山群马东山组—乃家河组底部(图 1).

石蚕巢化石主要保存在剖面第 2、3、4 层的钙质

泥岩和钙质粉砂岩中,分原地埋藏和异地埋藏 2 种情况:原地埋藏的化石显示石蚕巢群栖、直立紧密排列,成叠层状分布,内外层之间可见约 2 mm 厚的碳酸盐微层(图 2a);异地埋藏的石蚕巢化石分散保存在钙质粉砂岩内(图 2b).

2 石蚕巢的形态和结构

石蚕巢形态大小一致,直立锥状体,长约 13 mm,直径 1.8~3.0 mm,平均约 2.5 mm,表面无横纹和纵肋等壳饰,不分叉(图 3a),个体间无联结构造(图 2a, 3b).

石蚕巢管壁为胶结壁,具清晰的三层式结构,包括内、外暗色有机质层和中部胶结颗粒层(图 3).位于管壁内的暗色层厚约 0.02 mm,泥晶结构,不连续,成分主要为灰泥质;位于管壁外的暗色层厚约 0.04 mm,泥晶结构,成分以灰泥为主;位于管壁中部的胶结颗粒层主要由隐晶质的有机质球粒构成,这些球粒与巴伐利亚地区晚侏罗世至早白垩世缓坡沉积的粪球粒以及澳大利亚南部 Coorong 泻湖中现代沉积的粪球粒很相似.球粒呈球形、椭球形和卵圆形,长轴最长可达 1 mm,平均约 0.3 mm;直径大小一致,约 0.10~0.15 mm.球粒在管壁中排列规整,长轴大多与石蚕巢的生长方向垂直,间隔 0.02~0.10 mm 密集地绕着管壁叠层状排列.因此,石蚕巢圆形横截面上球粒主要呈椭圆形,“U”形纵剖面上多数呈圆形(图 4).

六盘山盆地的石蚕巢与英国南部(长 12~14 mm,直径约 4 mm)、西伯利亚(长 8~14 mm,直径 3.3~4.1 mm)和中国辽宁(长约 15 mm,直径约 4 mm)等地区早白垩世发现的长角石蛾科的巢化石相比明显较小(Jarzembowski, 1995; Ivanov, 2006; 黄迪颖等, 2009),而比美国始新世绿河组的(长约 10 mm,直径约 2.5 mm)略大(Leggitt and Cushman, 2001),这是因为各地区各时代筑造石蚕巢的昆虫种类的差异所致.另外,由于石蚕是就地取材营造管状巢,胶结颗粒的类型受控于石蚕当时所处的生存环境.从现有资料看,石蚕巢管壁胶结颗粒主要有 3 类(表 1):第 1 类是砂岩颗粒,这种石蚕巢在河流、湖泊等环境中都有分布;第 2 类是植物碎片,既有被子植物的也有裸子植物的,它们通常被切割成

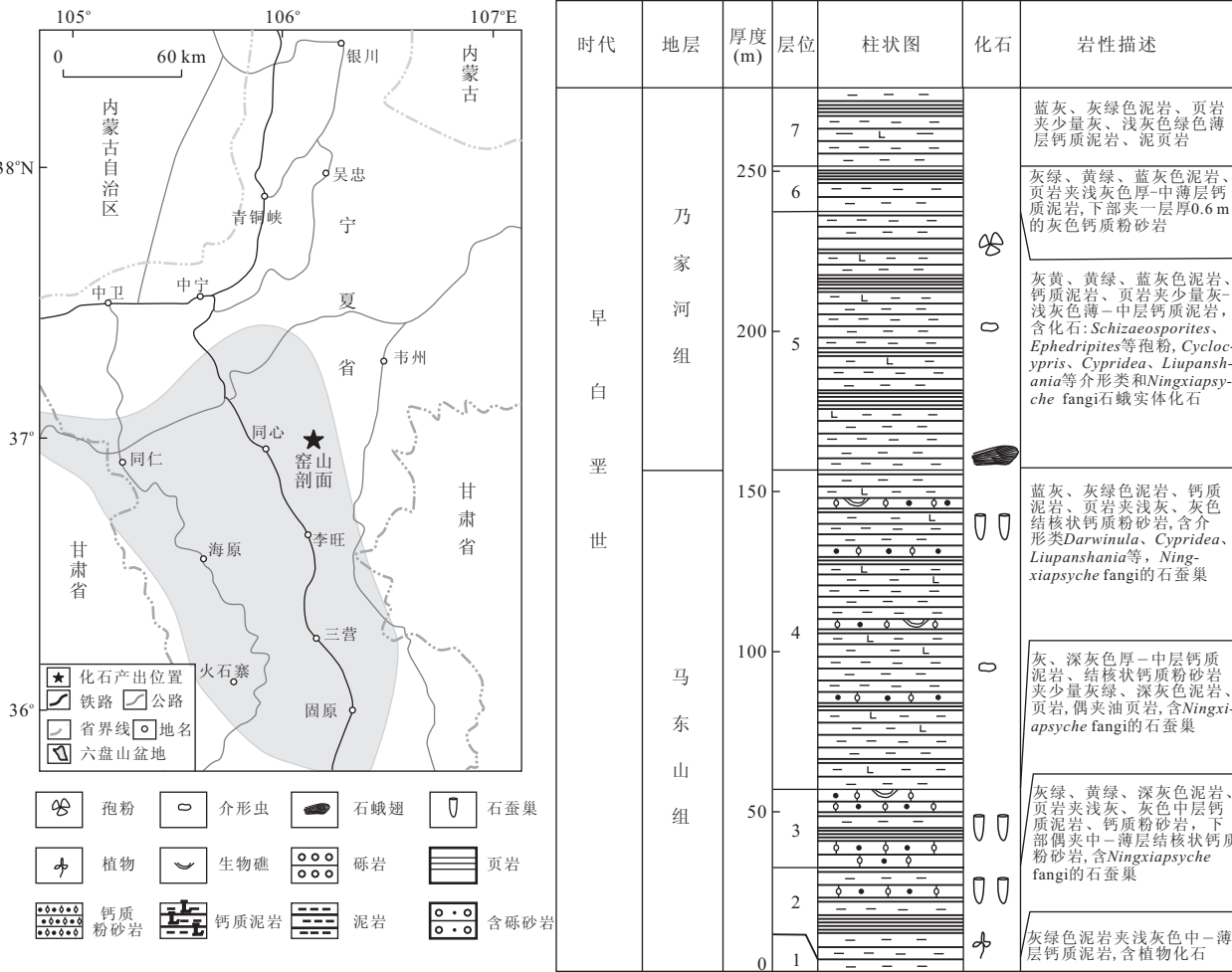


图 1 石蚕巢化石产出地理位置及产出剖面

Fig.1 Geographical location and section of the caddisfly larval cases

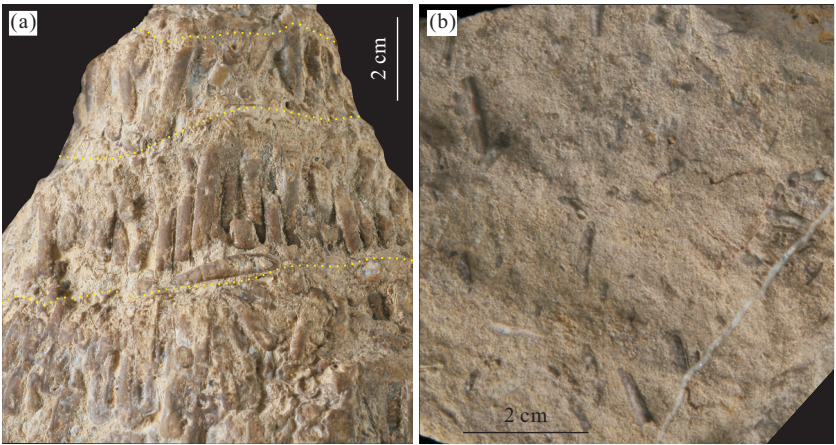


图 2 宁夏同心剖面第 4 层(a)和第 2 层(b)的石蚕巢

Fig.2 Caddisfly larval cases from the forth layer (a) and the second layer (b) in the Tongxin, Ningxia

细长的碎片规则排列在石蚕巢管壁上,这种石蚕巢一般生活在静水环境中,比如湖泊和池塘;第 3 类为有机质球粒的石蚕巢化石,它们反映了一个低能环境,常保存于局限环境的沉积物中,如泻湖(尤其是超咸泻湖),六盘山盆地含有机质球粒组成的石蚕巢主要形成于矿化度高的盐湖环境。

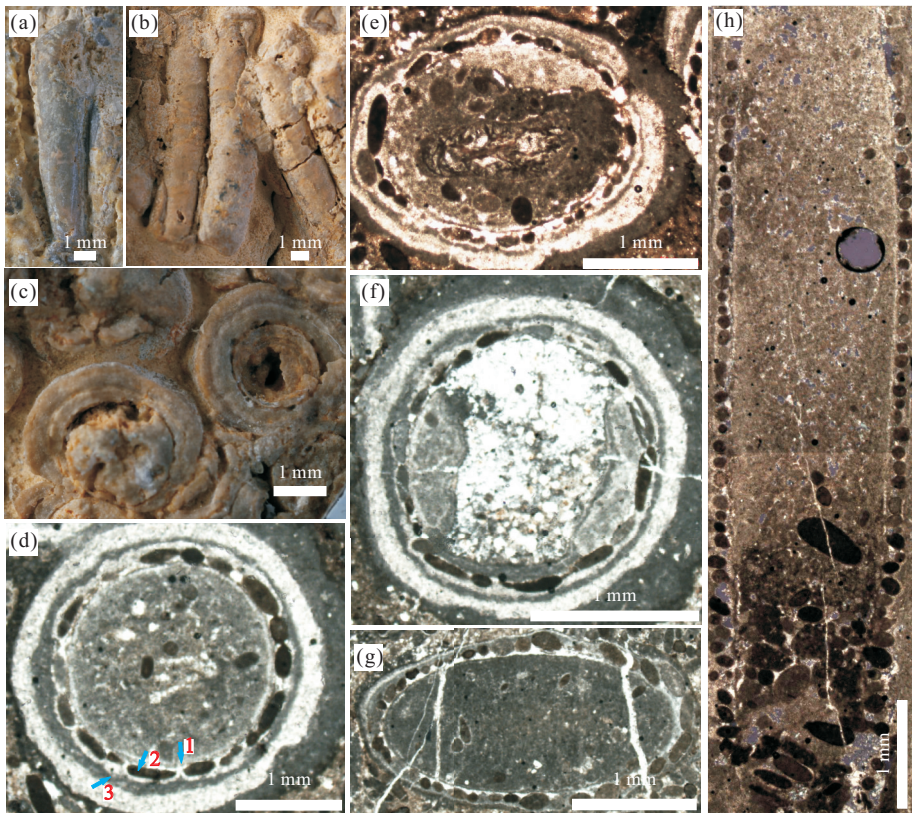


图 3 石蚕巢的形态及结构特征(化石均采自宁夏同心剖面第 4 层)

Fig.3 Morphological and structural characteristics of caddisfly larval cases

a.单个圆锥状石蚕巢管;b.石蚕巢个体间无联结构造;c,d,e,f,g.管壁三层式结构,由内至外(1-3)为:内暗色有机质层-胶结颗粒层-外暗色有机质层;h.石蚕巢纵切面形态,胶结颗粒大多圆形,大小较一致

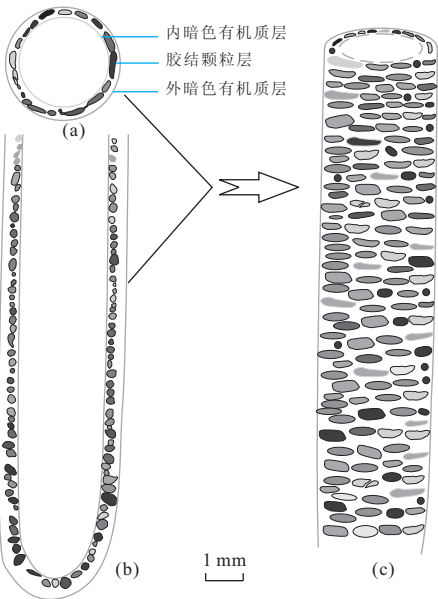


图 4 石蚕巢管壁胶结颗粒排列示意

Fig.4 Arrangements of cemented particles of the wall of the cases

a.石蚕巢横截面颗粒的排列;b.石蚕巢纵剖面颗粒的排列;c.石蚕巢立体模式图

3 石蚕巢的遗迹学分类

石蚕巢的遗迹学研究早在 20 世纪 60 年代就已开展,到目前为止已建立遗迹属 13 个,这些遗迹属的建立主要以石蚕巢管壁胶结的颗粒成分为依据(表 2).按照管壁胶结的颗粒成分,与六盘山盆地石蚕巢相似的遗迹属为 *Ostracindusia*、*Coprindusia*. 这 2 个遗迹属管壁都是由卵圆形的球粒构成,但是管体的直径大小、球粒的大小以及成分却有明显差别.Jarzembowski(1995)建立的 *Ostracindusia* 遗迹属长 12~14 mm,直径约 4 mm,球粒最大直径约 0.67 mm,球粒成分是介形虫瓣膜,球粒外表形成了碳酸盐壳;Ivanov(2006)建立的 *Coprindusia* 遗迹属管长 8~14 mm,直径约 3~4 mm,球粒长 0.3~0.6 mm,直径 0.1~0.3 mm,这些形态大小一致的球粒成分为粪球粒,它们以一定的角度有序排列.*Coprindusia* 属目前国际上仅有两处报道,均来自中生代地层,仅建立了一个种 *C. pallida* (Ivanov, 2006;Gorman *et al.*,2008).

表 1 石蚕巢管壁粘结颗粒成分对比

Table 1 Composition comparison of cemented particles of the walls of the caddisfly cases

地区和盆地	地质年代	地层	管壁颗粒成分	资料来源
美国 Wyoming	始新世	绿河组	介形虫瓣膜	Bradley,1924
华盛顿东部	中新世	Latah 组	叶片	Standley,1970a
Minnesoda 中南部	白垩纪	Windrow 组	叶片	Standley,1970b
Montana	渐新世	Peterson 和 Morman Creeks 组	叶片	Standley,1972
英国	早白垩世	Wealden 群	叶肢介瓣膜,鱼骨/鱼鳞,球粒,双壳碎片,	Jarzemowski,1995
美国 Colorado	晚侏罗世	Morrison 组	砂岩颗粒	Hasiotis <i>et al.</i> ,1998
美国 Wyoming	始新世	绿河组	碳酸盐颗粒	Loewen <i>et al.</i> ,1999
美国 Wyoming	始新世	绿河组	碳酸盐颗粒,鲕粒,砂质石英颗粒	Leggitt and Cushman,2001; Leggitt and Loewen,2002
西班牙	现代		其他石蚕巢管,砂岩颗粒,植物碎片	Boyero and Barnard,2004
韩国	早白垩世	Jinju 组	细粒砂岩颗粒,植物碎片,灰泥碎屑	Paik,2005
俄罗斯	晚白垩世	Kundur 组	植物碎片	Sukatsheva,2005
英国	早白垩世	Wealden 群	鱼骨/鱼鳞	Heads, 2006
俄罗斯 Siberia	早白垩世	Baissa	球粒(粪球粒)	Ivanov,2006
	中侏罗世	道虎沟动物群	砂质,植物碎屑	
中国	早白垩世	热河动物群	介形虫壳,双壳类碎片	黄迪颖等,2009
		卢尚坟昆虫群		

表 2 石蚕巢主要遗迹学分类

Table 2 Ichnological classification of the caddisfly larval cases

遗迹属	代表种	大小	分布时代	管壁胶结颗粒	文献来源
<i>Conchindusia</i>	<i>C. distans</i>	长 14~23 mm,宽 4~5 mm	K-	叶肢介瓣膜	Jarzemowski,1995
<i>Piscindusia</i>	<i>P. Sukachevae</i>	长 17~30 mm,宽 3~4 mm	K-	鱼骨/鱼鳞等	Jarzemowski,1995
<i>Ostracindusia</i>	<i>O. vyalovi</i>	长 12~14 mm,宽 4 mm	K-	介形虫瓣膜形成的球粒	Jarzemowski,1995
<i>Pelindusia</i>	<i>P. percealleni</i>	长 35 mm,宽 5 mm	K-	双壳和蜗牛壳的碎片	Jarzemowski,1995
<i>Folindusia</i>	<i>F. pinacea</i>	长 23 mm,宽 7 mm	J-	叶片	Standley, 1970a
<i>Scyphindusia</i>	<i>S.hydroptiliiformis</i>	长 40 mm,宽 8 mm	J-	分泌腺等物质	Ponomarenko <i>et al.</i> ,2009
<i>Terrindusia</i>	<i>T. notabilis</i>	长 15~19 mm,宽 5 mm	K-	少量叶片、木屑和砂岩颗粒	Ponomarenko <i>et al.</i> ,2009
<i>Coprindusia</i>	<i>C. pallida</i>	长 8~14 mm,宽 3.1~4.1 mm	K-	水下动物的粪球粒	Ivanov,2006;Gorman <i>et al.</i> ,2008
<i>Indusia</i>	<i>I. incredibilis</i>	长 12~20 mm,宽 3~4 mm	K-	植物和介形虫壳	Ponomarenko <i>et al.</i> ,2009
<i>Tektonargus</i>	<i>T. kollaspilas</i>	长 11~14 mm,宽 0.5~3.0 mm	J-	砂岩颗粒	Hasiotis <i>et al.</i> ,1998
<i>Secrindusia</i>	<i>S. admiranda</i>	长 23.0 mm,宽 3.5 mm	K-	分泌腺物质和砂岩颗粒	Ponomarenko <i>et al.</i> ,2009

六盘山盆地石蚕巢管壁胶结颗粒为有机质球粒,这些球粒既可能是菌藻形成的有机球粒,也可能是水下生物的粪粒.因此,将六盘山标本归为 *Coprindusia* 遗迹属.

4 造迹生物归属分析

造迹生物归属是古生物研究的难点之一.从现有资料看,能营造与石蚕巢类似的管状遗迹的生物有龙介类(Serpulids)、管状蠕虫(Vestimentiferans)、角贝类(Dentaliid)、竹节石(Tentaculitoid)、管柱珊瑚(Siphonodendron)以及藻类中某些形态与之类似的化石类群(表 3).但是竹节石和管柱珊瑚都是已经灭绝的海生无脊椎动物,龙介类绝大多数也生

活在海洋中,陆相地层中仅发现 *Spirorbis pussilus* Martin,但它的钙质管体很小(长 2~5 mm,直径 50~200 μm)(陈木和吴宝铃,1979;俞昌民和王惠基,1981,1983;丁启秀等,1993;陈哲和孙卫国,2001;Chen *et al.*,2008;Yang *et al.*,2010);管状蠕虫是冷泉流体存在的重要标志之一,虫管呈圆柱状、弯曲,管壁由隐晶质的碳酸钙组成(Halanych *et al.*,1998;Peckmann *et al.*,2005;陈忠等,2006,2007);角贝类的管体一般呈单独分散状态产出,未见群栖密集的,管壁具有各种形式的装饰;有些鼓藻(Oocardium)仅仅生活在高钙质的水体中,它们的细胞分泌粘液粘附水中的钙质形成藻灰华,但现生鼓藻都是分叉的(Bradley,1974).因此,这些生物建造的管状潜穴与石蚕巢有较大差别.

表 3 造管生物对比
Table 3 Comparison of various tube-makers

生物	分类	管状化石形态或大小	管壁特征	分布时代	参考文献
Serpulids	环节动物门多毛纲 隐居亚纲	近圆筒状,直径平均约 1.6 mm,最大长度可达 20 mm	管壁呈多层状(约 4~7 层),管外表具横纹或纵 肋等纹饰	J-	俞昌民和王惠基,1981;陈 哲和孙卫国,2001; Chen <i>et al.</i> ,2008
Vestimentiferans	环节动物门西伯达 虫科	圆柱状,不稚化,直径0.86~ 8.75 mm,平均3.8 mm,长度 最大可达42 mm	隐晶质的碳酸钙组成,外 壁表面光滑,粘结一些 钙球	S-	Halanych <i>et al.</i> , 1998; Peckmann <i>et al.</i> , 2005; 陈 忠等,2006,2007
Dentaliid	软体动物门掘足纲	管体直而微弯,两端开口	管壁也具有各种形式的 装饰	T-Q ₂	俞昌民和王惠基,1983
Tentaculitoid	软体动物门 Crico- conarida 纲	壳体为碳酸钙质,呈细长直 圆锥形,少数为弯圆锥形, 大多介于 1~10 mm,最长 可达 70 mm	发育横环、纵肋等	O ₂ -T ₂	Vinn, 2010
Siphonodendron	腔肠动物门珊瑚纲 十字珊瑚目	圆柱状,平均长约 2 cm,直 径约 3 mm	管体之间有联结构造	C	Aretz <i>et al.</i> , 2010
Oocardium	绿藻门双星藻目	管体分叉,长度不一		?	Bradley, 1974; 俞昌民和王 惠基,1981
Phryganea	节肢动物门昆虫纲 毛翅目	长 2.5~30.0 mm 不等,两 端开口	主要由砂质石英颗粒 组成	J ₂ -	Leggitt and Loewen,2002

现代的石蚕巢长 2.5~30.0 mm 不等,两端开口,部分尾端封闭,管壁主要由砂质石英颗粒和植物碎片组成(Leggitt and Loewen,2002),它们一般生活在山间溪流、池塘、河流、湖泊和湿地等淡水生态系统中,特殊的可以生活在咸水环境中(Johansson, 1991; Greenwood *et al.*, 2003; Moor and Ivanov, 2008; Daniel *et al.*, 2009),在过冬或化蛹期间它们会发生聚集现象(Vvtenis, 1985).能建造这些管状遗迹的石蚕均隶属于毛翅目完须亚目(Integripalpia),包括有拟石蛾科 Phryganopsychidae、短石蛾科 Brachycentridae、黑管石蛾科 Uenoidae、齿角石蛾科 Odontoceridae、毛石蛾科 Sericostomatidae、贝石蛾科 Beraeidae、沼石蛾科 Limnephilidae、宁夏石蛾科 Ningxiapsychidae 等 29 个科,但分布于早白垩世只有 5 个科:石蛾科 Phryganeidae,短石蛾科 Brachycentridae,鳞石蛾科 Lepidostomatidae,枝石蛾科 Calamoceratidae 和长角石蛾科 Leptoceridae (Ivanov and Sukatsheva, 2002; Paik, 2005),而能在静水环境下(湖泊和池塘)生活的就只有石蛾科和长角石蛾科(Mackay and Wiggins, 1979; Paik, 2005; Leggitt *et al.*, 2007).现生石蛾科石蚕巢管一般较长(>20 mm),幼虫主要利用植物碎片筑巢;长角石蛾科石蚕巢管长一般在 10~20 mm,筑巢材料主要为砂岩颗粒(Paik, 2005).与六盘山盆地的石蚕巢化石在管壁胶结颗粒成分、管体大小方面均不符合.因

此,该石蚕巢化石的造迹生物可能是一种已经灭绝了的属种.侏罗纪和早白垩世大量的湖相昆虫群很多都在中白垩世就已经灭绝了(Ponomarenko *et al.*, 2009),在英国南部的早白垩世地层中就发现了 Necrotauliidae、Vitimotauliidae、Dysoneuridae 和 Plectrotarsidae 等化石绝灭科的翅化石(Sukatsheva and Jarzembowski, 2001),相同层位上也产出了丰富的石蚕巢化石,并做了大量遗迹学的系统分类工作(Jarzembowski, 1995).洪友崇和李镇宇(2004)在六盘山盆地含巢层位上也发现了翅化石,经过与现生毛翅目和以上化石绝灭科比较,将其命名为宁夏石蛾科宁夏石蛾属房氏宁夏石蛾(*Ningxiapsyche fangi*),分布于早白垩世晚期(Aptian-Albian),分类属于毛翅目完须亚目,能建造管状巢.可以推测六盘山盆地石蚕巢化石的造迹生物是房氏宁夏石蛾.

5 结论

(1)石蚕巢化石发现于宁夏六盘山盆地早白垩世晚期马东山组和乃家河组的钙质泥岩和钙质粉砂岩中,分原地埋藏和异地埋藏两种情况保存.石蚕巢圆锥状,长约 13 mm,平均直径约 2.5 mm.这种密集群栖叠层状分布的石蚕巢化石是国内的第 1 次记录.

(2)石蚕巢管壁具三层式结构,分为内、外暗色有机质层和中部胶结颗粒层。暗色有机质层泥晶结构,以灰泥成分为主;胶结颗粒层隐晶质,主要由有机质球粒构成,球粒形态大小一致,排列规整,长轴与石蚕巢生长的方向垂直。管壁的分层结构以及胶结颗粒独特的排列方式是迄今为止国际上的第 1 次描述。

(3)依据石蚕巢管壁中排列规整的有机质球粒,将六盘山盆地的化石标本归为 *Coprindusia* 遗迹属,本次发现是该遗迹属在我国的首次报道。

(4)通过对比环节动物、软体动物和节肢动物等门类营造的管状潜穴与石蚕巢在形态学、生态学等方面的差异,比较现生石蚕的生活环境、石蚕巢管体形态大小、管壁胶结颗粒组成和排列方式,综合相同层位上昆虫实体化石的分析,六盘山盆地的石蚕巢可能是宁夏石蛾科宁夏石蛾属房氏宁夏石蛾(*Ningxiapsyche fangi*)所为。

References

- Aretz, M., Herbig, H. G., Somerville, I. d., et al., 2010. Rugose Coral Biostromes in the Late Viséan (Mississippian) of NW Ireland: Bioevents on an Extensive Carbonate Platform. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 292(3–4): 488–506. doi:10.1016/j.palaeo.2010.04.017
- Boyer, L., Barnard, P. C., 2004. A Potamophylax Larva (Trichoptera: Limnephilidae) Using Other Caddisfly Cases to Construct Its Own Case. *Journal of Natural History*, 38(10): 1297–1301. doi:10.1080/0022293031000155160
- Bradley, W. H., 1924. Fossil Caddice Fly Cases from the Green River Formation of Wyoming. *American Journal of Science*, 5(7): 310–313. doi:10.2475/ajs.s5-7.40.310
- Bradley, W. H., 1974. Oocardium Tufa from the Eocene Green River Formation of Wyoming. *Journal of Paleontology*, 48(6): 1289–1290.
- Brian, G. G., Gareth, R. H., Edmund, D. B. J., 2011. Mechanics and Ecological Role of Swimming Behavior in the Caddisfly Larvae Trienodes Tardus. *Journal of Insect Behavior* 24(4): 317–328. doi:10.1007/s10905-011-9260-1
- Chen, M., Wu, B. L., 1979. On the Discovery of Lower Tertiary Polychatous Tubes from the Jiyang District of Shandong Province, China. *Acta Oceanologica Sinica*, 1(2): 338–341(in Chinese with English abstract).
- Chen, Z., Bengtson, S., Zhou, C. M., et al., 2008. Tube Structure and Original Composition of Sinotubulites: Shelly Fossils from the Late Neoproterozoic in Southern Shaanxi, China. *Lithaia*, 41(1): 37–45. doi:10.1111/j.1502-3931.2007.00040.x
- Chen, Z., Sun, W. G., 2001. Late Sinian (Tubular) Metazoan Fossils: Cloudina and Sinotubulites from Southern Shaanxi. *Acta Micropaleontologica Sinica*, 18(2): 180–202(in Chinese with English abstract).
- Chen, Z., Yan, W., Chen, M. H., et al., 2006. The Discovery of Cold Carbonate Tuberculosis in Northern South China Sea: A New Evidence for the Natural Gas Leakage Activities. *Chinese Science Bulletin*, 51(9): 1065–1072 (in Chinese).
- Chen, Z., Yang, H. P., Huang, Q. Y., et al., 2007. Characteristics of Cold Seeps and Structures of Chemoautosynthesis-Based Communities in Seep Sediments. *Journal of Tropical Oceanography*, 26(6): 73–82 (in Chinese with English abstract).
- Daniel, H., Astrid, S. K., John, M., et al., 2009. Potential Impact of Climate Change on Aquatic Insects: A Sensitivity Analysis for European Caddisflies (Trichoptera) Based on Distribution Patterns and Ecological Preferences. *Aquatic Sciences*, 71(1): 3–14. doi:10.1007/s00027-009-9159-5
- Ding, Q. X., Xing, Y. S., Wang, Z. Q., et al., 1993. Tubular and Trace Fossils from the Sinian Dengying Formation in the Miaohe-Liantuo Area, Hubei Province. *Geological Review*, 39(2): 118–125 (in Chinese with English abstract).
- Gallego, O. F., Cabaleri, N. G., Claudia, A., et al., 2011. Paleontology, Sedimentology and Paleoenvironment of a New Fossiliferous Locality of the Jurassic Canadon Asfalto Formation, Chubut Province, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 31(1): 54–68. doi:10.1016/j.jsames.2010.11.001
- Gorman, M. A., Miller, I. M., Pardo, J. D., et al., 2008. Plants, Fish, Turtles, and Insects from the Morrison Formation: A Late Jurassic Ecosystem near Canon City, Colorado. *The Geological Society of America Field Guide*, 109(31): 295–310. doi:10.1130/2008.fld010(15)
- Greenwood, M. T., Agnew, M. D., Wood, P. J., 2003. The Use of Caddisfly Fauna (Insecta: Trichoptera) to Characterize the Late-Glacial River Trent, England. *Journal of Quaternary Science*, 18(7): 645–661. doi:10.1002/jqs.786
- Halanych, K. M., Lutz, R. A., Vrijenhoek, R. C., 1998. Evolutionary Origins and Age of Vestimentiferan Tube-

- worms. *Cahiers de Biologie Marine*, 39: 355—358.
- Hasiotis, S. T., Kirkland, J. I., Windscheffel, G. W., et al., 1998. Fossil Caddisfly Cases (Insecta: Trichoptera), Upper Jurassic Morrison Formation, Fruita Paleontological Area, Colorado. *Modern Geology*, 22: 493—502.
- Heads, S. W., 2006. A New Caddisfly Larval Case (Insecta, Trichoptera) from the Lower Cretaceous Vectis Formation (Wealden Group) of the Isle of Wight, Southern England. *Proceeding of the Geologists' Association*, 117(3): 307—310. doi: 10.1016/S0016-7878(06)80037-4
- Hong, Y. C., Li, Z. Y., 2004. A New Early Cretaceous Family from Liupanshan, Ningxia, China (Insecta, Trichoptera). *Acta Zootaxonomica Sinica*, 29(2): 224—233 (in Chinese with English abstract).
- Huang, D. Y., Wu, H., Dong, F. B., 2009. The Discover and Preliminary Study of Fossil Caddis Case in China. *Acta Palaeontologica Sinica*, 48(4): 646—653 (in Chinese with English abstract).
- Ivanov, V. D., Sukatsheva, I. D., 2002. Order Trichoptera Kirby, 1813. In: Rasnitsyn, A. P., Quicke, D. L. J., eds., *History of Insects*. Kluwer Academic Publishers, Boston, 199—220.
- Ivanov, V. D., 2006. Larvae of Caddisflies (Insecta; Trichoptera) from the Mesozoic of Siberia. *Paleontological Journal*, 40(2): 178—189. doi: 10.1134/S0031030106020080
- Jarzembowski, E. A., 1995. Fossil Caddisflies (Insecta; Trichoptera) from the Early Cretaceous of Southern England. *Cretaceous Research*, 16(6): 695—703. doi: 10.1016/0167-4048(95)00043-1
- Johansson, A., 1991. Caddis Larvae Cases (Trichoptera, Limnephilidae) as Anti-Predatory Devices against Brown Trout and Sculpin. *Hydrobiologia*, 211(3): 185—194. doi: 10.1007/BF00008534
- Leggitt, V. L., Blaggi, R. E., Buchheim, H. P., 2007. Palaeoenvironments Associated with Caddisfly-Dominated Microbial-Carbonate Mounds from the Tipton Shale Member of the Green River Formation; Eocene Lake Gosuite. *Sedimentology*, 54(3): 661—699. doi: 10.1111/j.1365-3091.2007.00854.x
- Leggitt, V. L., Cushman, R. A. Jr., 2001. Complex Caddisfly-Dominated Bioherms from the Eocene Green River Formation. *Sediment Geology*, 145(3—4): 377—396. doi: 10.1016/S0037-0738(01)00155-5
- Leggitt, V. L., Loewen, M. A., 2002. Eocene Green River Formation “Oocardium Tufa” Reinterpreted as Complex Arrays of Calcified Caddisfly (Insecta; Trichoptera) Larval Cases. *Sediment Geology*, 148(1—2): 139—146. doi: 10.1016/S0037-0738(01)00214-7
- Loewen, M. A., Leggitt, V. L., Buchheim, H. P., 1999. Caddisfly (Trichoptera) Larval Cases from Eocene Fossil Lake, Fossil Butte National Monument. In: Santucci, V. L., McClelland, L., eds., *National Park Service Paleontological Research*. United States Department of the Interior National Parks Service, Geological Resource Division, Lakewood, 72—77.
- Mackay, R. J., Wiggins, G. B., 1979. Ecological Diversity in Trichoptera. *Annual Reviews of Entomology*, 24(1): 185—208. doi: 10.1146/annurev.en.24.010179.001153
- Moor, F. C. D., Ivanov, V. D., 2008. Global Diversity of Caddisflies (Trichoptera; Insecta) in Freshwater. *Hydrobiologia*, 595(1): 393—407. doi: 10.1007/s10750-007-9113-2
- Paik, I. S., 2005. The Oldest Record of Microbial-Caddisfly Bioherms from the Early Cretaceous Jinju Formation, Korea: Occurrence and Palaeoenvironmental Implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 218(3—4): 301—315. doi: 10.1016/j.palaeo.2004.12.020
- Peckmann, J., Little, C. T. S., Gill, F., et al., 2005. Worm Tube Fossils from the Hollard Mound Hydrocarbon-Seep Deposit, Middle Devonian, Morocco: Palaeozoic Seep-Related Vestimentiferans? *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 227: 242—257. doi: 10.1016/j.palaeo.2005.04.021
- Ponomarenko, A. G., Sukatsheva, I. D., Vasilenko, D. V. O., 2009. Some Characteristics of the Trichoptera Distribution in the Mesozoic of Eurasia (Insecta; Trichoptera). *Paleontological Journal*, 43(3): 282—295. doi: 10.1134/S003103010903006X
- Standley, E. L., 1970a. Fossil Caddisfly Cases (Trichoptera) from the Cobb's Creek Site (Cretaceous) near New Ulm, Minnesota. *Annals of the Entomological Society of America*, 63(6): 1779—1780.
- Standley, E. L., 1970b. Fossil Caddisfly (Trichoptera) Cases from the Latah Formation (Miocene) of Eastern Washington and Northern Idaho. *Annals of the Entomological Society of America*, 63(2): 621—622.
- Standley, E. L., 1972. Fossil Caddisfly (Trichoptera) Cases from the Ruby River Basin (Oligocene) of Southwestern Montana. *Annals of the Entomological Society of America*, 65(2): 518—519.
- Sukatsheva, I. D., 2005. A Record of a Larval Caddis-Case Folindusia of the Subgenus Acrindusia (Trichoptera) from the Upper Cretaceous of the Amur Region. *Paleontological Journal*, 39(5): 508—511.

- Sukatsheva, I. D., Jarzembowski, E. A., 2001. Fossil Caddisflies (Insecta: Trichoptera) from the Early Cretaceous of Southern England II. *Cretaceous Research*, 22 (6): 685—694. doi:10.1006/cres.2001.0292
- Vinn, O., 2010. Adaptive Strategies in the Evolution of Encrusting Tentaculitoid Tubeworms. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 292 (1—2): 211—221. doi:10.1016/j.palaeo.2010.03.046
- Vytenis, G., 1985. Formation of Aggregations by Overwintering Fifth Instar Dicosmoecus Atripes Larvae (Trichoptera). *Nordic Society OIKOS*, 44: 313—318.
- Williams, D. D., Penak, B. L., 1980. Some Aspects of Case Building in Phryganea Cinerea Walker (Trichoptera: Phryganeidae). *Animal Behavior*, 28 (1): 103—110. doi: 10.1016/S0003—3472(80)80013—3
- Yang, H., Liu, H., Wang, Y. B., 2010. Calareous Tube-Worm Fossils in Microbialites after End-Permian Mass Extinction and Their Paleoenvironment Implications. *Journal of Earth Science*, 21 (Suppl.): 174—175. doi: 10.1007/s12583—010—0203—0
- Yu, C. M., Wang, H. J., 1981. Some Tube-Like Fossils from the Early Tertiary of Northern Jiangsu. *Acta Palaeontologica Sinica*, 20 (5): 406—420 (in Chinese with English abstract).

- Yu, C. M., Wang, H. J., 1983. The Polychatous Habitat Tubes. *Acta Palaeontologica Sinica*, 22 (6): 706—708 (in Chinese).

附中文参考文献

- 陈木, 吴宝铃, 1979. 山东济阳凹陷下第三系多毛类虫管的发现. *海洋学报*, 1 (2): 338—341.
- 陈哲, 孙卫国, 2001. 陕南晚震旦世后生动物管状化石 Cloudina 和 Sinotubulites. *微体古生物学报*, 18 (2): 180—202.
- 陈忠, 颜文, 陈木宏, 等, 2006. 南海北部大陆坡冷泉碳酸盐结核的发现: 海底天然气渗漏活动的新证据. *科学通报*, 51 (9): 1065—1072.
- 陈忠, 杨华平, 黄奇瑜, 等, 2007. 海底甲烷冷泉特征与冷泉生态系统的群落结构. *热带海洋学报*, 26 (6): 73—82.
- 丁启秀, 邢裕盛, 王自强, 等, 1993. 湖北庙河—莲沱地区灯影组管状化石及遗迹化石. *地质论评*, 39 (2): 118—125.
- 洪友崇, 李镇宇, 2004. 宁夏六盘山盆地早白垩世一新科(昆虫纲, 毛翅目). *动物分类学报*, 29 (2): 224—233.
- 黄迪颖, 吴灏, 董发兵, 2009. 中国石蚕巢化石(昆虫纲, 毛翅目)的发现与初步研究. *古生物学报*, 48 (4): 646—653.
- 俞昌民, 王惠基, 1981. 江苏北部下第三系的管状化石. *古生物学报*, 20 (5): 406—420.
- 俞昌民, 王惠基, 1983. 多毛纲栖管化石. *古生物学报*, 22 (6): 706—708.