

文章编号: 1000-0550 (2005) 01-0091-07

# 塔里木盆地塔中地区志留系塔塔埃尔塔格组 潮坪沉积中的遗迹化石

施振生 朱筱敏 王贵文 钟大康 张新培

(石油大学资源与信息学院 北京昌平 102249)

**摘要** 在塔里木盆地塔中地区志留系塔塔埃尔塔格组中共发现遗迹化石 11 属 12 种,包括 *Skolithos linearis*, *Skolithos verticalis*, *Ophiomorpha nodosa*, *Arenicolites* sp., *Cylindrichnus* sp., *Thalassinoides suevicus*, *Diplocraterion parallelum*, *Taenidium satanassi*, *Macaronichnus segregatis*, *Palaeophycus tubularis*, *Planolites beverlegensis* 和 *Cochlichnus anguineus*。这些遗迹化石主要是无脊椎动物的居住迹、进食迹和觅食迹,其中大部分呈全浮痕保存,少数呈上浮痕或下浮痕保存。按其古生态和沉积学特征,可划分出三个遗迹组合: *Skolithos* - *Thalassinoides* 遗迹组合,代表了平坦底型条件下的砂坪沉积环境; *Planolites* - *Palaeophycus* 遗迹组合,反映了潮间带砂泥坪沉积环境; *Cochlichnus* - *Planolites* 遗迹组合,代表了平均低潮线附近的泥坪沉积环境。

**关键词** 遗迹化石 潮坪沉积 塔里木盆地 志留系 塔塔埃尔塔格组

**第一作者简介** 施振生 男 1976 年出生 博士研究生 沉积学与遗迹学

**中图分类号** P512.2 Q911.28 **文献标识码** A

## 1 前言

自国家“七五”科技攻关以来,目前塔里木盆地塔中地区钻遇志留系的井已有 52 口,其中很多井在志留系塔塔埃尔塔格组都有取心。这些取心井中实体化石较为稀少,而遗迹化石却十分丰富。这使得塔中地区志留系塔塔埃尔塔格组遗迹学研究不仅成为可能,而且也十分必要。而精细的遗迹学研究,不仅有助于了解古代造迹生物的行为习性特征,还对沉积环境分析具有重要意义,因而其在石油勘探和开发中地位日益提高。本次研究的主要手段是岩心观察,共观察塔中志留系塔塔埃尔塔格组取心井 7 口,发现了大量遗迹化石。这些遗迹化石的发现,不仅对分析个体遗迹化石特征及沉积环境具有重要意义,而且对建立塔中地区志留系塔塔埃尔塔格组潮坪沉积遗迹学模式提供了重要的化石依据。本文将详细描述所发现的个体遗迹化石,并分析遗迹组合特征及其沉积环境。

## 2 宿主岩系地层

塔中地区位于塔里木盆地中部的沙漠腹地,构造上隶属于中央隆起带的塔中低隆起(图 1)。其塔塔

埃尔塔格组最早由塔得埃尔塔格群(地质部十三大队,1956)演变而来,命名剖面位于柯坪县西南塔塔埃尔塔格。关于塔塔埃尔塔格组的时代,1988 年以前,多数研究者依据在该组中采获的植物化石 *Lepidodendropsis* 将其置于早、中泥盆世。1988 年,王朴等依据该组所产的棘鱼化石 *Sinacanthus* 将其时代定为早、中志留世<sup>[1]</sup>。1990 年周志毅和陈丕基<sup>[2]</sup>,1991 年夏树芳等表达了相同看法<sup>[3]</sup>。刘时藩(1995)根据该组中所产的 *Sinacanthus* 和 *Hanyangaspis*,认为其时代应中志留世<sup>[4]</sup>。周志毅(2001)根据该组中产的疑源类、孢子化石及牙形类,将其划归于下志留统<sup>[5]</sup>。本文依照周志毅(2001)的划分方案。

塔中地区塔塔埃尔塔格组与下伏地层柯坪塔格组为连续沉积(图 2),其间的岩性变化是逐渐过渡的,没有截然的界线。一般以红色层增厚、岩性变粗、腹足类化石增多作为塔塔埃尔塔格组的底界。其与上覆地层依木干他乌组亦为连续沉积,以大套紫红色泥岩、粉砂质泥岩的出现和较多双壳类化石的发现作为塔塔埃尔塔格组的顶界。

塔中地区塔塔埃尔塔格组的厚度为 91.5 m (巴东 2 井)至 249.5 m (塔中 11 井),主要由灰绿色、浅灰色薄—中厚层细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩夹泥、页

岩组成。实体化石有双壳类、腹足类、无铍纲腕足类、无颌类、棘鱼、疑源类和孢子等。依据岩性及电性特征,该组可进一步划分为上、中、下三个亚段。下亚段厚度 0~100 m,主要由浅灰色粉、细砂岩组成,夹薄层绿灰色、灰绿色泥岩、粉砂质泥岩。自然伽玛曲线有钟形、箱形及锯齿状 3 种,伽玛值 60~75 API。底部可见钙质胶结的底砂岩。砾石成分有石英砾、变质岩砾、火成岩砾、泥砾及灰岩砾(塔中 30 井)。中亚段厚度约 20 m,岩性以灰绿色、绿灰色泥岩、粉砂质泥岩为主,夹 1~2 层薄层状浅灰色粉、细砂岩。上亚段厚度约 70 m,由浅灰色粉细砂岩与灰绿色、绿灰色泥岩不等厚互层组成。自然伽玛曲线以锯齿状为主,伽玛值平均 90 API。向西巴东 2 井相变为棕、棕褐色粉砂质泥岩为主夹薄层浅灰色粉、细砂岩。

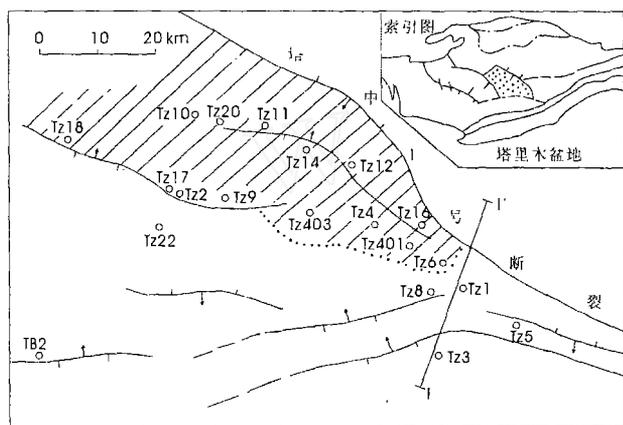


图 1 塔里木盆地塔中地区构造位置图  
图中标志斜线范围为研究区

Fig 1 Tectonic location of Tazhong area, Tarim basin

### 3 宿主岩系沉积环境

关于塔里木盆地塔中地区塔塔埃尔塔格组的沉积环境,前人已做过很多研究。侯会军等对塔中地区志留系的沉积特征进行认真分析,认为其为陆表海碎屑潮坪沉积,由泥坪、砂泥坪和砂坪三个微相组成,并建立了陆表海碎屑潮坪沉积相模式<sup>[6]</sup>。陈方鸿等利用测井资料,认为塔中地区志留系以碎屑潮坪沉积为主,可分为砂坪、潮道、砂泥坪和泥坪四个微相,并建立了塔中地区志留系沉积微相解释模型<sup>[7]</sup>。朱筱敏认为志留系为一套坡缓、水流不畅的潮坪沉积体系,可分出砂坪、砂泥坪和泥坪沉积微相<sup>[8]</sup>。本文认同前人的观点,认为塔中地区志留系为一套无障壁的碎屑潮坪沉积体系,可细分出泥坪、砂泥坪、砂坪、潮汐水道、潮汐三角洲五个沉积微相。确定依据如下:

塔里木盆地具有较多大幅度的构造运动,在志留纪沉积之前,起伏的地形已趋于剥蚀夷平;志留纪沉积时期,塔里木盆地为稳定克拉通内坳陷盆地,当时的海洋为地势较为平缓、水体较浅的陆表海;在塔里木盆地志留系沉积的塔中地区,发育反映碎屑潮坪沉积的多种相标志,特别是存在反映碎屑潮坪沉

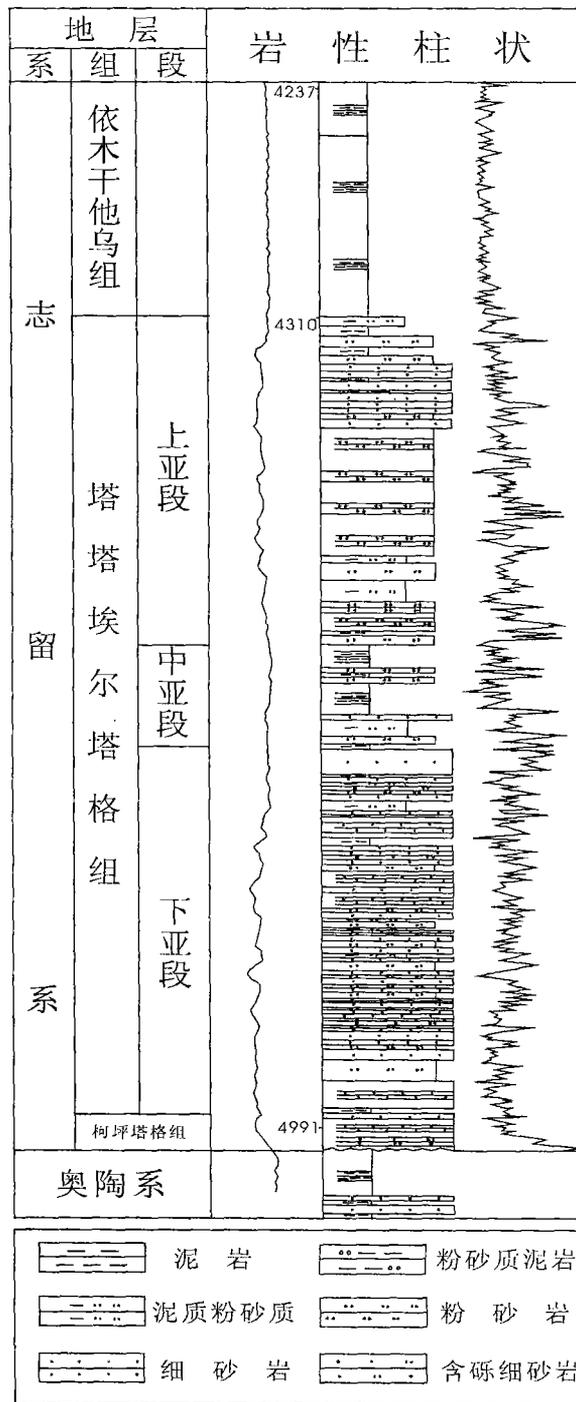


图 2 塔里木盆地塔中地区塔塔埃尔塔格组综合柱状图  
Fig 2 Generalized stratigraphic log for the Tataertage Formation in Tazhong area, Tarim basin

积的沉积构造组合;在钻测井资料中尚未发现典型的障壁岛沉积,在地震反射剖面上也尚未发现反映障壁岛存在的地震相类型。

#### 4 遗迹化石的组成与保存特征

按生态或造迹生物的行为习性分类,塔里木盆地塔中地区塔塔埃尔塔格组中发现的遗迹化石主要由以下 3 大类 11 个属 12 个种代表分子组成,即,居住迹 (Domichnia): *Skolithos linearis*, *Skolithos verticalis*, *Ophiomorpha nodosa*, *Thalassinoides suevicus*, *Diplocraterion parallelum*, *Arenicolites* sp 和 *Cylindrichnus* sp;

进食迹 (Fodinichnia): *Taenidium satanassi*, *Macaronichnus segregatis*, *Palaeophycus tubularis* 和 *Planolites beverlegensis*; 觅食迹 (Pascichnia) 或称觅食拖迹 (grazing trails): *Cochlichnus anguineus*, 上述遗迹化石大多为全浮痕 (Full relief) 或内迹 (Endichnia) 保存,少数呈上浮痕 (Epirelief) 和下浮痕 (Hyporelief) 保存,即顶迹 (Epichnia) 和底迹 (Hypichnia) 保存。

#### 5 主要遗迹化石属种描述

居住迹 (Domichnia)

石针迹属 Genus *Skolithos* Haldemann, 1840

线状石针迹: *Skolithos linearis* Haldemann, 1840

(图版 F1)

描述:简单垂直管状潜穴,不分枝;长 7 cm 左右,直径约 15 mm;横断面呈圆形或亚圆形;外壁光滑;无衬壁;被动充填,充填物成分与母岩相同;内迹保存,与层面垂直或高角度倾斜。

讨论:依据充填物特征及潜穴外部形态,该遗迹属在研究区可分出两个遗迹种:*S. linearis* (线状石针迹) 和 *S. verticalis* (垂直石针迹) (图版 F9)。*S. linearis* 主要分布于粉砂、细砂岩中,个体较大,常单独出现,细砂或粉砂充填;*S. verticalis* 主要出现在砂、泥薄互层中,常弯曲、个体较小,成群出现,泥质充填。该遗迹属一般被认为是环节动物或帚虫动物的居住潜穴,常出现于水流动荡的海相环境和陆相淡水环境中<sup>[9]</sup>。

产地层位:塔里木盆地塔中地区志留系塔塔埃尔塔格组。

垂直石针迹: *Skolithos verticalis* (Hall), 1942

(图版 F9)

描述:较细小的针状潜穴;长 11 mm 左右,直径约 2 mm;横断面呈圆形或亚圆形;外壁光滑;无衬壁;

被动充填,充填物常为泥质;内迹保存,与层面垂直或高角度倾斜。

产地层位:塔里木盆地塔中地区志留系塔塔埃尔塔格组。

蛇形迹属 Genus *Ophiomorpha* Lundgren, 1891

瘤状蛇形迹 *Ophiomorpha nodosa* Lundgren, 1891

(图版 F2, 5)

描述:简单弯曲的圆柱型潜穴,不分枝;直径约 7 ~ 9 mm;横断面呈圆形或亚圆形;具有瘤粒状衬壁,衬壁厚约 1 mm;内壁光滑;有的潜穴的潜穴壁呈黑色或灰黑色,明显深于围岩;被动充填,充填物为浅灰色粉砂岩;内迹保存,与层面倾斜或斜交分布。

讨论:本属主要是依据衬壁的粪瘤特征进行分类的,目前包括四个种:*O. nodosa*, *O. bomeensis*, *O. irregularaire* 和 *O. annulata*。塔中地区塔塔埃尔塔格组的标本因与模式种 *O. nodosa* 的基本特征相符,衬壁由形态不规则、大小不同、排列紧密的粪瘤组成,故归入此种。

*Ophiomorpha* 遗迹属的生成环境非常广泛,从目前发现的标本来,多数分布于近岸砂体 (包括泻湖、河口湾、潮坪、三角洲相) 中,少数见于近岸灰岩、河流相、浅海风暴岩和深海浊积扇,在陆相环境中亦可出现。该遗迹属的造迹生物是虾或类虾动物,现生代表有美人虾和喇咕,这些生物喜欢在松软、富氧、饱含水分和有机质的基底上活动,基本上不受水深和盐度的影响<sup>[10]</sup>。

产地层位:塔里木盆地塔中地区志留系塔塔埃尔塔格组。

海生迹属 Genus *Thalassinoides* Ehrenberg, 1944

苏爱维海生迹 *Thalassinoides suevicus* Kennedy, 1966

(图版 F1, 4)

描述:沉积层内向三维空间展布的分支潜穴系统;Y形分枝,分枝处角度达 60°。无衬壁,潜穴壁光滑;充填物与围岩一致。潜穴直径约 3 mm,粗细均匀。

讨论:*Thalassinoides* 一般是指三维空间展布的分支潜穴系统,圆柱形,无壁衬。它以潜穴外表无复杂的瘤粒或疙瘩状 (ovoid pellets) 的装饰区别于蛇形迹 (*Ophiomorpha* Lundgren, 1891), 以潜穴壁无纵脊 (longitudinal ridges) 区别于海绵形迹 (*Spongeliorpha* De Saporta, 1887)<sup>[11, 12]</sup>。根据潜穴的建造方式,该遗迹属可定出四个种:*T. callianassa*, *T. suevicus*, *T. paradoxicus* 和 *T. horizontalis*, *T. callianassa* 和 *T. sue-*

*vicus*以水平分支为主,潜穴壁常被粘液胶结;*T. paradoxicus*分支系统较深,形态也较复杂;*T. horizontalis* (Myrow, 1995)则无垂直井形穴 (vertical shaft),无潜穴壁抓痕和潜穴回拐点。这里的标本以水平分枝为主,且潜穴壁为粘液胶结,充填物岩性与围岩相同,故将其归入 *T. suevicus*。该遗迹属一般被认为是由甲壳纲十足目动物形成。

产地层位:塔里木盆地塔中地区志留系塔塔埃尔塔格组。

双杯迹属 Genus *Diplocraterion* Torrel, 1870

平行双杯迹 *Diplocraterion parallelum* Richter, 1926

(图版 F7)

描述:具蹼状构造的 U 形潜穴,潜穴宽约 3 cm, 高约 7 cm;与层面垂直或高角度倾斜,在层面上常见成对的圆形管口,圆形管间有纹理构造连接;岩心纵切面最常见为只穿过连续纹理的断面,此断面反映为呈新月形或人字型的管。

讨论:根据栖管的性质、蹼的生长方向(单方向性或双方向性),该遗迹属可划分出 5 个遗迹种:*D. parallelum*,特征是两栖管平行;*D. helmersenii*,其 U 形管在基部膨胀;*D. biclavatum*,其 U 形管除在基部膨胀外,两栖管在底端两分叉;*D. habichi*,其两栖管壁在上部呈漏斗状;*D. polyupsilon*,其特征是其蹼是双向性的<sup>[13]</sup>。塔中地区塔塔埃尔塔格组中的 *Diplocraterion* 因其两栖管相互平行,故将其归属于 *D. parallelum*。该遗迹属一般出现于较高能环境中,它是滤食性动物的居住构造。

产地层位:塔里木盆地塔中地区志留系塔塔埃尔塔格组

进食迹 (Fodinichnia)

枝带属 Genus *Taenidium* Heer, 1877

箱形枝形迹 *Taenidium satanassi* D'Allessandro et Bromley, 1987

(图版 F3, 10)

描述:直—微弯曲的管状潜穴,不分枝;可见长度 5~7 cm,直径约 6 mm;无衬壁,具新月形回填构造;内迹保存,大多数平行或倾斜(甚至近垂直)层面分布,潜穴之间可相互交叉穿越或截切。

讨论:古生物学家对区别具新月形回填构造的潜穴如 *Taenidium*、*Beaconites*、*Ancorichnus*感到为难。难点在于回填构造的形态、潜穴壁 (wall) 的有无及其表面特征。目前,许多学者认为, *Beaconites* 发育潜穴壁 (wall),而 *Taenidium* 和 *Ancorichnus* 不具潜穴壁。至

于 *Ancorichnus* 和 *Taenidium* 之间的区别, *Ancorichnus* 潜穴边缘具有一种由于造迹生物向前运动而产生的套膜 (mantle),而 *Taenidium* 不具有这种构造<sup>[14]</sup>。塔里木盆地塔中地区塔塔埃尔塔格组的标本因不发育潜穴壁且具新月形回填构造而归属于 *Taenidium*。Keighley 和 Pickerill (1994) 对该属进行了系统研究,整理出四个遗迹种:*T. serpentinum*、*T. cameronensis*、*T. satanassi* 和 *T. barretti*,它们之间的区别是回填构造的形态特征<sup>[15]</sup>。*T. satanassi* 因其箱形的回填构造而区别于其它种。该遗迹属在海、陆相环境中均可出现,陆相环境中的遗迹化石主要由节肢动物或多足类动物产生<sup>[14]</sup>。

产地层位:塔里木盆地塔中地区志留系塔塔埃尔塔格组

古藻迹属 Genus *Palaeophycus* Hall, 1847

管状古藻迹 *Palaeophycus tubularis* Hall, 1847

(图版 F11)

描述:直或微弯曲形柱形或亚柱形潜穴,不分枝;潜穴粗细较稳定,直径为 5~7 mm,可见长度达 7 cm。潜穴表面光滑,具有薄层衬壁,衬壁不明显;被动充填,充填物与围岩相同;主要分布于灰绿色泥质粉砂中,内迹保存,与层面平行或略微倾斜,同一层面上潜穴常互相交插排列。

讨论:Pemberton 和 Frey (1982) 对该遗迹属进行了认真研究,整理出了以下 5 个遗迹种:*P. tubularis* Hall, 1847; *P. striatus* Hall, 1852; *P. heberti* (Saporta, 1872); *P. sulcatus* (Miller et Dyer, 1878); *P. sulcatus* (Miller et Dyer, 1878) 和 *P. altematus* (Pemberton et Frey, 1982)。它们之间的区别是衬壁的特征。塔中地区塔塔埃尔塔格组的标本表面光滑无饰,因此应归入 *P. tubularis*。该遗迹属的造迹生物是由捕食性或食悬浮性动物,现生代表有捕食性多毛类 *Glicera*<sup>[16]</sup>。该遗迹属可以出现在海相、边缘海相或大陆淡水环境中。Buatois 和 Mangano 认为,非海相环境中该遗迹的造迹生物是昆虫或其他节肢动物<sup>[17]</sup>。

产地层位:塔里木盆地塔中地区志留系塔塔埃尔塔格组

漫游迹属 Genus *Planolites* Nicholson, 1873

伯弗利漫游迹 *Planolites beverlegensis* Nicholson, 1873

(图版 F8)

描述:直或微弯曲形柱形或亚柱形潜穴,不分枝;潜穴粗细较稳定,直径为 7~9 mm,可见长度达 4 cm。

潜穴表面光滑,无衬壁;主动充填,充填物为浅灰绿色粉砂岩,无结构,颜色与围岩不同;主要产于灰绿色粉砂质泥岩中,内迹保存,与层面平行或略微倾斜,潜穴之间常相互交错排列。

讨论:与 *Planolites* 形态特征相近的遗迹属有 *Macaronichnus*、*Planolites* 及 *Palaeophycus*。它们之间的区别是 *Macaronichnus* 具清晰的潜穴壁,且为主动充填,充填物较基质干净;而 *Planolites* 虽为主动充填,但不具潜穴壁;*Palaeophycus* 发育潜穴壁,但为被动充填,充填物岩性与围岩一致<sup>[18]</sup>。塔里木盆地塔中地区塔塔埃尔塔格组的标本因不发育潜穴壁,且为主动充填,故将其归于 *Planolites* 遗迹属。依据潜穴的大小、弯曲度和潜穴壁的性质,该遗迹属包含 3 个遗迹种:*P. montanus*、*P. beverlegensis* 和 *P. annularis*<sup>[17]</sup>。其中,*P. montanus* 和 *P. beverlegensis* 主要是依据个体大小和弯曲度进行区分的。*P. montanus* 直径一般不超过 5 mm,弯曲状到蛇曲状;而 *P. beverlegensis* 直径不小于 8 mm,一般为 10 mm,潜穴直或微弯。这里的标本直径近 8 mm,应归入 *P. beverlegensis*。该遗迹属一般被解释为食沉积物动物(可能是多毛类)的觅食构造<sup>[16]</sup>,其在各种环境均可出现。Buat-  
ois 和 Mangano 认为,非海相环境中的造迹生物是节肢动物<sup>[17]</sup>。

产地层位:塔里木盆地塔中地区志留系塔塔埃尔塔格组

#### 觅食迹 (Pascichnia)

蜗行迹属: Genus *Cochlichnus* Hitchcock, 1858

蛇形蜗行迹 *Cochlichnus anguineus* Hitchcock, 1858

(图版 I-6)

描述:细长“S”形觅食拖迹;长度约 8 cm,宽约 5 mm,单一痕迹宽窄较一致;表面光滑。表迹保存,沿层面或波痕面分布。

讨论:Fillion 和 Pickerill (1990)<sup>[19]</sup>、Buat-  
ois 和 Mangano (1993)<sup>[17]</sup> 以及 Buat-  
ois 等 (1997)<sup>[20]</sup> 先后对该遗迹属进行了研究、整理出以下 3 个遗迹种:*C. anguineus* Hitchcock (1858); *C. antarcticus* Tasch (1968) 和 *C. annulatus* Orłowski (1989)。*C. anguineus* 以不发育横向纹饰而与其它两个种相区别。与 *Cochlichnus* 相似的遗迹属有 *Belohaphe* 和 *Hem inthopsis*, 它们之间在形态特征上存在着一定差别。与 *Belohaphe* 相比, *Cochlichnus* 的转折处比较圆滑,而 *Belohaphe* 的转折处则成一定角度;与 *Hem inthopsis* 相比, *Cochlichnus* 呈现“S”形的弯曲,而 *Hem inthopsis* 则是一种

任意弯曲的觅食拖迹<sup>[22]</sup>。

关于 *Cochlichnus* 遗迹属的生态分类,存在多种解释。Buat-  
ois 和 Mangano (1993) 认为其是一种牧食迹 (*grazing trace*)<sup>[17]</sup>; Elliott (1985)<sup>[22]</sup>、Pollard 和 Hardy (1991)<sup>[23]</sup> 以及 Metz (1995)<sup>[24]</sup> 认为其是运动迹 (*locomotion trace*); Eager 等 (1985)<sup>[25]</sup> 则认为是进食构造 (*feeding structure*); Buat-  
ois 等<sup>[20]</sup> 认为可能是运动迹或运动与进食活动的产物,因此应为牧食迹。*Cochlichnus* 在海相、边缘海相、非海相环境中均有产出。在现代洪积平原和湖泊边缘环境中,类似的波形遗迹是由线虫类形成的<sup>[26]</sup>。

产地层位:塔里木盆地塔中地区志留系塔塔埃尔塔格组

## 6 遗迹化石组合及沉积环境

塔里木盆地塔中地区志留系塔塔埃尔塔格组中发育的遗迹化石,按其古生态和沉积学特征,可划分出三个遗迹组合:*Skolithos* - *Thalassinoides* 遗迹组合、*Planolites* - *Palaeophycus* 遗迹组合和 *Cochlichnus* - *Planolites* 遗迹组合。

### 6.1 *Skolithos* - *Thalassinoides* 遗迹组合及沉积环境

该遗迹组合的岩性组成为棕褐色、浅灰色细砂岩、棕褐色粉砂岩夹薄层浅灰绿色泥岩或泥质条带,局部层段可见厚 3 ~ 10 cm 的复成分砾质粉细砂岩。砾质粉细砂岩中砾石大小多为 0.3 cm × 0.5 cm,呈定向分布,其底以冲刷界面与下伏灰绿色泥岩呈突变接触。细砂岩、粉砂岩中常见平行层理、低角度楔状交错层理及层面浪成波痕沉积构造。砾质粉细砂岩中常见正粒序层理和块状层理。

该遗迹组合主要由居住迹和进食迹组成。其中居住迹主要分布于砂岩、粉砂岩中,由完整的垂直、倾斜或 U 型潜穴及少量水平潜穴组成,遗迹化石包括 *Skolithos*、*Arenicolites*、*Cylindrichnus*、*Diplocraterion* 和 *Thalassinoides* 等,遗迹化石的分异度低、丰度低至中等,局部较高。灰绿色泥岩中发育少量进食潜穴 *Macaronichnus*。*Macaronichnus* 个体较小,与层面水平或倾斜,呈“小白点”状。

该遗迹组合反映了平坦底形条件下的砂坪沉积环境,局部有潮汐沟道切入。砂坪由于位于平均低潮线附近,水体动荡,环境不稳定,多数生物在此难以生存,只有少量喜砂悬食性生物才能够在这种不断迁移的砂质沉积物中掘穴,产生零星居住潜穴。在短时期水体能量相对较低的条件下,一些喜泥质基底的生物

在此生存,产生一些小型的进食潜穴 *Macaronichnus*。

## 6.2 Planolites - Palaeophycus 遗迹组合及沉积环境

该遗迹组合主要发育于不等厚互层的棕褐色、灰绿色泥岩、粉砂质泥岩和浅灰色粉细砂岩中,局部地区自生黄铁矿富集。伴生的无机沉积构造有脉状层理、波状层理、透镜状层理以及层系厚度为 2~3 cm 的束状浪成波痕交错层理和板状交错层理,偶尔见到泥裂发育。波状交错层理的砂、泥薄互层中单层砂、泥厚度约为 0.3~3 cm。粉细砂岩中还可见到包卷层理、递变层理或块状层理以及片状泥砾,泥砾呈灰绿色、棕褐色,棱角~次棱角状,大小为 0.1 cm × 0.5 cm ~ 1 cm × 2.5 cm,大多顺层分布。

该遗迹组合主要由进食潜穴、滤食居住潜穴和觅食潜穴组成,包括 *Planolites*、*Palaeophycus*、*Macaronichnus*、*Skolithos*、*Ophiomorpha* 和 *Taenidium* 等,遗迹化石的丰度和分异度都很高。遗迹化石在岩心上分布具有三种类型:砂、泥薄互层中,遗迹化石的丰度和分异度非常高。薄层粉砂岩中生物扰动构造十分丰富,个体遗迹化石难以辨认,仅能识别出少量清晰的 *Planolites* 和 *Palaeophycus*,原生层理遭到强烈破坏,基本上达到均质化。薄层灰绿色泥岩中遗迹化石的丰度和分异度相对较低,依稀可见到原生层理构造,砂、泥薄互层的界面十分模糊。薄层砂岩中少量清晰的遗迹化石切穿砂、泥岩的分界面,进入到泥岩中,对泥岩造成扰动;局部层段发育的薄层灰绿色粉砂质泥岩和中厚层浅灰色粉细砂岩互层中,生物扰动构造非常微弱,但粉砂质泥岩中自生黄铁矿富集;

具递变层理的粉细砂岩与块状砂质泥岩互层中,粉细砂岩中遗迹化石少见,而粉砂质泥岩中发育具瘤粒状衬壁的 *Ophiomorpha* 和逃逸构造。

该遗迹组合的围岩主要为砂、泥薄互层,伴生有脉状、波状和透镜状层理,反映了水体能量强、弱交替。而遗迹化石的高丰度和高分异度,则反映了水体能量总体相对较低,沉积物和水中含氧量丰富、养料充沛。局部层段发育的泥裂则表明该地区间歇性出露地表。该组合被解释为形成于砂泥坪沉积环境。与该组合伴生的围岩中局部层段自生黄铁矿富集。自生黄铁矿主要形成于富氧水体中存在的局部还原环境<sup>[27]</sup>。而塔中地区塔塔埃尔塔格组局部层段自生黄铁矿的发育,则反映了砂泥坪上存在有小型低洼地带。低洼地带中由于水体相对较深,底部水体处于还原状态,造成大量自生黄铁矿的富集。并且,在自生黄铁矿富集层段生物扰动构造的缺乏,也说明了水体

中含氧量很低,生物在此很难生存。与该组合伴生的围岩中局部层段还发育有具递变层理的粉细砂岩与块状砂质泥岩互层,其反映了风暴沉积作用。理由有三:该层段中发育有遗迹化石 *Ophiomorpha* 和逃逸构造,而 *Ophiomorpha* 是一种居住潜穴,主要出现于松软、沉积速度较快的沉积基底中,反映了快速的沉积作用<sup>[10]</sup>。逃逸构造也是一种生物活动痕迹,它是在生物与沉积物—水界面之间的平衡关系被打断条件下由生物快速向上或向下掘穴作用形成的,反映了快速掩盖作用;该层段正粒序层理发育;该层段发育丰富的浪成构造及风暴作用包卷层理;该层段底部存在平坦或不规则状的侵蚀底界及扁平状顺层分布的泥砾。综上所述,该遗迹组合总体上反映了砂泥坪沉积环境,局部地区存在小型洼地及风暴沉积。

## 6.3 Cochlichnus - Planolites 遗迹组合及其沉积环境

该遗迹组合的围岩主要为紫红色、灰绿色泥岩、粉砂质泥岩,中间夹有薄层泥质粉砂岩。泥岩、粉砂质泥岩中发育水平纹理、波状层理,局部地区见有泥裂,泥质粉砂岩中发育微波状层理以及变形层理。

该遗迹组合遗迹化石包括 *Cochlichnus* 和 *Planolites*,主要分布于泥岩、粉砂质泥岩层面上,扰动微弱,扰动指数约为 1~2。由于生物扰动主要分布于层面上,具有较浅的梯序结构,故原生层理基本上未被破坏,垂向剖面上的生物扰动构造很难识别。泥质粉砂岩夹层中生物扰动构造较为发育,扰动指数约为 4。

该遗迹组合发育于紫红色、灰绿色泥岩中,中间夹有薄层粉砂岩,伴生的沉积构造为水平层理、波状层理,反映了当时的环境水体能量较低;而泥裂的出现,则表明沉积面间断出露地表。该遗迹组合形成于泥坪沉积环境。泥坪由于位于平均高潮线附近,大部分时间暴露地表,大部分生物只在沉积物层面上活动,对沉积的表面造成扰动。丰水期,泥坪被较浅的水层所覆盖,由于水动力条件较弱,氧气充分,养料充足,大量生物在沉积物层内及层面上活动,产生强烈的生物扰动。

## 参考文献 (References)

- 1 王朴,胡继宗,宋杉木,等.新疆柯坪地区 *Sinacanthus* 的发现及其地质意义.新疆地质,1988,6(3):47~50 [Wang Pu, Hu Jizong, Song Shanmu, et al. The *Sinacanthus* from the Kepin area of Xinjiang and its geological significance. Xinjiang Geology, 1988, 6(3):47~50]
- 2 周志毅,陈丕基.塔里木生物地层和地质演化(塔里木油气地质(4)).北京:科学出版社,1990.5~179 [Zhou Zhiyi, Chen Piji]

- Biostratigraphy and its geological evolution of the Tarim basin (Oil and gas geology of the Tarim basin (4)). Beijing: Science Press, 1990. 5 ~ 179 ]
- 3 夏树芳,陈云棠,张大良,等.塔里木盆地北缘志留系与泥盆系分界问题的研究.见:贾润霄主编.中国塔里木盆地北部油气地质研究(第一辑)地层沉积.武汉:中国地质大学出版社,1991.57~63 [ Xia Shufang, Chen Yuntang, Zhang Daliang, et al The research of the boundary between Silurian and Devonian in the north of the Tarim basin. In: Jia Runxu, ed The research of oil and gas geology of the north Tarim basin (The first volume) stratigraphy and sedimentology. Wuhan: China Geology University Press, 1991. 57~63 ]
  - 4 刘时藩.塔里木西北的中华棘鱼化石及地质意义.古脊椎动物学报,1995,33(2):85~98 [ Liu Shifan The geological significance of *Sinacanthus* from Tarim, China. Vertebrate Palaeontologica, 1995, 33(2): 85~98 ]
  - 5 周志毅.塔里木盆地各纪地层.北京:科学出版社,2001.39~169 [ Zhou Zhiyi Stratigraphy of the Tarim basin. Beijing: Science Press, 2001. 39~169 ]
  - 6 侯会军,王伟华,朱筱敏.塔里木盆地塔中地区志留系沉积相模式探讨.沉积学报,1997,15(3):41~47 [ Hou Huijun, Wang Weihua, Zhu Xiaomin Study of depositional model of Silurian system in Tazhong area, Tarim basin. Acta Sedimentologica Sinica, 1997, 15(3): 41~47 ]
  - 7 陈方鸿,王贵文.塔里木盆地塔中地区志留系测井层序地层学研究.沉积学报,1999,17(1):58~62 [ Chen Fanghong, Wang Guiwen On logging-sequence stratigraphy of Silurian Tazhong area, Tarim basin. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(1): 58~62 ]
  - 8 朱筱敏,王贵文,谢庆宾.塔里木盆地志留系沉积体系及分布特征.石油大学学报(自然科学版),2002,26(3):5~12 [ Zhu Xiaomin, Wang Guiwen, Xie Qingbin Characteristics and distribution of depositional systems of Silurian in Tarim basin. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2002, 26(3): 5~12 ]
  - 9 Alpert S P. Systematic review of the genus *Skolithos*. Journal of Paleontology, 1974, 48(4): 661~668
  - 10 崔智林.新疆伊犁晚二叠世 *Ophiomorpha* 的环境意义.沉积学报,1999,17(2):209~213 [ Cui Zhilin The environmental implication of the trace fossil *Ophiomorpha* from the Upper Permian of the Yili basin, Xinjiang. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(2): 209~213 ]
  - 11 Bromley R G, Frey R W. Redescription of the trace fossil *Gyrolithes* and taxonomic evaluation of *Thalassinoides*, *Ophiomorpha* and *Spongiomorpha*. Bulletin of Geology Society of Denmark, 1974, 23: 311~335
  - 12 Frey R W, Howard J D. Trace fossils from the Panther Member, Star Point Formation (Upper Cretaceous), Coal Creek Canyon, Utah. Journal of Paleontology, 1985, 59(2): 370~404
  - 13 Fursich F T. On *Diplocraterion* Torell, 1870 and the significance of morphological features in vertical, spire-bearing, U-shaped trace fossils. Journal Paleontology, 1974, 48: 952~962
  - 14 Keighley D G, Pickerill R K. The ichnogenus *Beaconites* and its distinction from *Ancorichnus* and *Taenidium*. Palaeontology, 1994, 37(2): 305~337
  - 15 Draganits E, Braddy S J, Briggs E G. A Gondwanan coastal arthropod ichnofauna from the Muth Formation (Lower Devonian, Northern India): paleoenvironment and tracemaker behavior. Palaios, 2001, 16: 126~147
  - 16 Pemberton S G, Frey R W. Trace fossil nomenclature and the *Planolites-Palaeophycus* dilemma. Journal of Paleontology, 1982, 56: 843~871
  - 17 Buatois L A, Mangano M G. Trace fossils from a Carboniferous turbidite lake: Implication for the recognition of additional nonmarine ichnofacies. Ichnos, 1993, 2: 237~258.
  - 18 Pollard J E, Goldring R, Buck S G. Ichnofabrics containing *Ophiomorpha*: Significance in shallow-water facies interpretation. Journal of the Geological Society, 1993, 150: 149~164
  - 19 Fillion D, Pickerill P K. Ichnology of the Lower Ordovician Bell Island Wabana Groups of eastern Newfoundland. Palaeontographica Canadiana, 1990, 7: 1~119
  - 20 Buatois L A, Jalfin G, Acenolaza F G. Permian nonmarine invertebrate trace fossils from Southern Patagonia, Argentina: Ichnologic signatures of substrate consolidation and colonization sequences. Journal of Paleontology, 1997, 71(2): 324~336
  - 21 Gibert J M, Fregenal-Martinez M A, Buatois L A, et al. Trace fossils and their palaeoecological significance in Lower Cretaceous lacustrine conservation deposits, El Montsec, Spain. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2000, 156: 89~101
  - 22 Elliott R E. An interpretation of the trace fossil *Cochlichnus kochi* (Ludwig) from the East Pennine Coalfield of Britain. Proceedings of the Yorkshire Geological Society, 1985, 45: 183~187
  - 23 Pollard J E, Hardy P G. Trace fossils from the Westphalian D of Writhlington Geological Nature Reserve, nr Radstock, Avon. Proceedings Geological Association, 1991, 102: 168~178
  - 24 Metz R. Ichnologic study of the Lockatong Formation (Late Triassic), Newark Basin, southeast Pennsylvania. Ichnos, 1995, 4: 43~51
  - 25 Eager R M. Trace fossil assemblages and their occurrence in Silesian (Mid Carboniferous) deltaic sediments of the central Pennine Basin, England, 99~149. In: Curran H A, ed. Biogenic Structures: Their use in interpreting depositional environments. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication, 1985, 35, Tulsa
  - 26 Chamberlain C K. Recent lebensspuren in nonmarine aquatic environments. In: Frey R W, ed. The study of Trace fossils. New York: Springer Verlag, 1975. 431~458
  - 27 初凤友,陈丽蓉,申顺喜,等.南黄海自生黄铁矿成因及其环境指示意义.海洋与湖泊,1995,26(3):227~233 [ Chu Fengyou, Chen Liang, Shen Shunxi, et al. Origin and environmental significance of authigenic pyrite from the south yellow (Huanghai) sea sediments. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1995, 26(3): 227~233 ]

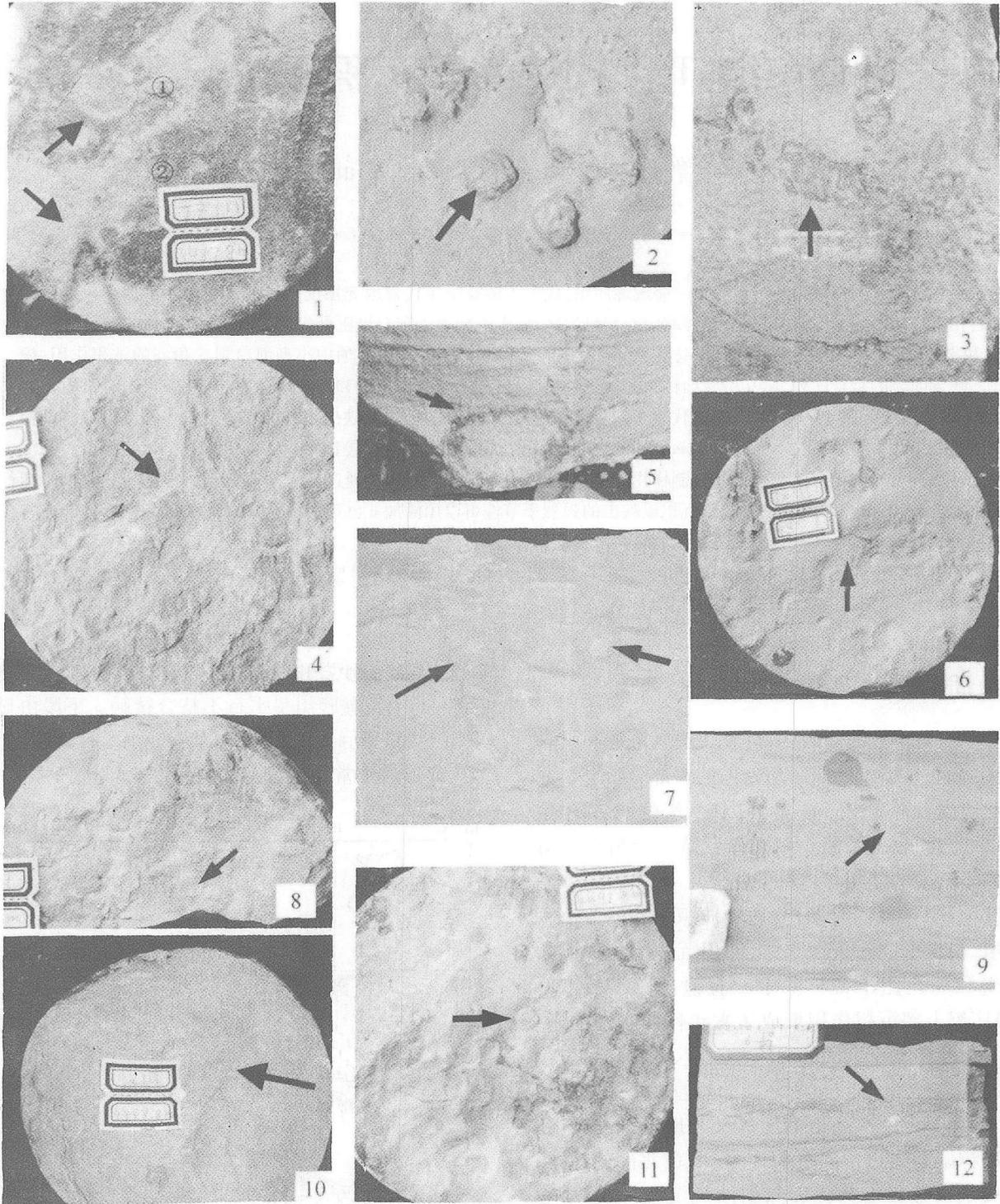
## Trace Fossils of Tidal Flat Tataertage Formation (Silurian) in Central Tarim Basin

SHI Zhen-sheng ZHU Xiao-min WANG Gui-wen  
ZHONG Da-kang ZHANG Xin-pei  
(University of Petroleum, Changping Beijing 102249)

**Abstract** Trace fossils from the tidal flat Tataertage Formation (Silurian) consist of at least 12 ichnogenera and 12 ichnospecies, namely, *Skolithos linearis*, *Skolithos verticalis*, *Ophiomorpha nodosa*, *Thalassinoides suevicus*, *Diplocraterion parallelum*, *Arenicolites* isp., *Macaronichnus segregatis*, *Cylindrichnus* isp., *Taenidium satanassi*, *Palaeophycus tubularis*, *Planolites beverlegensis* and *Cochlichnus anguineus*. These trace fossils, which are mainly preserved in full relief and epirelief, can be known as the domichnia, fodinichnia and pascichnia of invertebrates. According to their palaeoecological and sedimentological features, these trace fossils can be divided into 3 ichnoassemblages, i.e.

*Skolithos* - *Thalassinoides* assemblage, forming in the sand flat sedimentary environment, mainly consists of a set of *Skolithos linearis*, *Thalassinoides suevicus*, *Macaronichnus segregatis*, *Diplocraterion parallelum*, *Arenicolites* isp., *Cylindrichnus* isp. and so on; *Planolites* - *Palaeophycus* assemblage, which is predominantly composed of *Planolites beverlegensis*, *Palaeophycus tubularis*, *Macaronichnus segregatis*, *Skolithos verticalis*, *Ophiomorpha nodosa*, *Taenidium satanassi* and so forth, is characterized by high diversity and abundance of trace fossils. The ichnoassemblage is associated with the mixed flat between average high tidal and average low tidal base; *Cochlichnus* - *Planolites* assemblage, including *Cochlichnus anguineus* and *Planolites beverlegensis*, occurs in the mud flat sedimentary environment near average low tidal base.

**Key words** trace fossils, tidal flat sediment, Tarim basin, Silurian, Tataertage Formation



图版 I 说明 1. ① *Skolithos linearis* Haldemann,  $\times 3/5$ ; ② *Thalassinoides suevicus* Kennedy,  $\times 3/5$ ; 2. *Ophiomorpha nodosa* Lundgren,  $\times 4/5$ ; 3. *Taenidium satanassi* D'Alessandro et Bromley,  $\times 4/5$ ; 4. *Thalassinoides suevicus* Kennedy,  $\times 3/5$ ; 5. *Ophiomorpha nodosa* Lundgren,  $\times 1/2$ ; 6. *Cochlichnus anguineus* Hitchcock,  $\times 1/2$ ; 7. *Diplocraterion parallelum* Richter,  $\times 3/5$ ; 8. *Planolites beverlegensis* Nicholson,  $\times 3/5$ ; 9. *Skolithos verticalis* (Hall),  $\times 3/5$ ; 10. *Taenidium satanassi* D'Alessandro et Bromley,  $\times 1/2$ ; 11. *Palaeophycus tubularis* Hall,  $\times 3/5$ ; 12. *Macaronichnus segregatis* Clifton et Thompson,  $\times 1/2$