

文章编号: 1000-0550(2006) 01-0081-09

苏北盆地高邮凹陷 古近系戴南组滨浅湖沉积中的遗迹化石

张喜林 朱筱敏 郭长敏 杨俊生 王玉秀
(中国石油大学(北京)资源与信息学院 北京 102249)

摘要 苏北盆地高邮凹陷古近系戴南组滨浅湖沉积中动物遗迹化石共鉴定出 6 个遗迹属 8 个遗迹种,其中 1 个为未定种。包括 *Taenidium barretti*、*Taenidium satanassi*、*Beaconites coronus*、*Cystidium curvatum*、*Palaeophycus isp.*、*Planolites montanus*、*Skolithos verticalis* 和 *Skolithos linearis* 等。这些遗迹化石主要是无脊椎动物的进食迹和居住迹,呈全浮痕或半浮痕保存。根据组合特征及沉积环境分析,可识别出两个遗迹化石组合: 1) *Taenidium* - *Beaconites* 遗迹组合,主要由具新月型回填纹构造的进食迹组成,反映了周期性干旱气候条件下的滨浅湖沉积环境; 2) *Skolithos linearis* 遗迹组合,主要由居住潜穴组成,代表了三角洲平原—前缘沉积环境。生物扰动根据扰动特点,可分为三种类型,即 1) 均一型,反映了湖平面缓慢上升之后较长时间保持稳定; 2) 增强型,反映了湖平面整体稳定条件下的小幅度快速上升,然后保持稳定和缓慢下降; 3) 复合型,反映了湖平面先缓慢上升,然后缓慢下降。三角洲平原—前缘分支河道沉积序列中遗迹化石的类型、丰度、分异度和扰动指数垂向上呈规律性的变化,结合其沉积学特征分析,可分为四个沉积单元,每个沉积单元的内部物理成因构造和生物成因构造明显不同。

关键词 遗迹化石 沉积环境 苏北盆地 古近系 戴南组

第一作者简介 张喜林 男 1972 年出生 工程师 在读博士生 沉积学与遗迹学

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

1 前言

近年来,中国中生代陆相沉积中的遗迹学研究取得了重要进展。主要表现在两个方面:一、已对陆相沉积各亚相和微相的遗迹学特征有了较深入了解;二、初步建立了陆相遗迹相分布模式^[1-7]。然而,中国中生代沉积盆地数量繁多,许多盆地的遗迹学研究还未开始,陆相遗迹相模式还不完善。研究区苏北盆地,前人在沉积和层序方面已做过一些工作^[8-10],但遗迹学方面至今未见报道。本次研究,通过大量岩心观察和化石样品鉴定,在苏北盆地高邮凹陷古近系戴南组发现了丰富的遗迹化石。这些遗迹化石的发现,不仅为研究本区沉积环境提供了遗迹学证据,而且为建立和完善陆相遗迹相模式提供了重要化石材料。本文将详细描述所发现的个体遗迹化石及其组合特征,并分析其沉积环境。

2 地质背景

高邮凹陷地理上位于江苏省扬州市北部,构造上

位于苏北盆地南缘(图 1),是一个典型箕状断陷湖盆。其南部以北倾的真武断层为界,北部为菱塘桥凸起和柘垛低凸起,整体上呈断、凹、坡的构造格局,自南向北依次发育南部断阶带、中央深洼带和北部斜坡带,凹陷内断裂系统以北东东向为基本展布方向。位于北部斜坡带和中央深洼带之间的汉留断层为南倾同生断层,在凹陷西部活动较强^[9,10]。

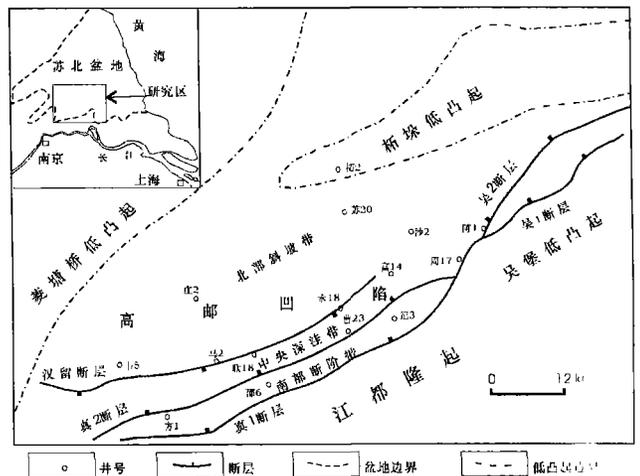


图 1 高邮凹陷构造单元划分

Fig 1 Tectonic division of Gaoyou sag

收稿日期: 2005-03-11; 收修修改稿日期: 2005-07-05

高邮凹陷古近系自下而上分为阜宁组、戴南组和三垛组,其中,戴南组可进一步划分为戴一段和戴二段(图 2)。戴一段下部以深灰、灰、暗紫色泥岩、砂质泥岩为主,与浅灰、灰色细砂岩、含砾不等粒砂岩、砾状砂岩不等厚互层;中部为暗紫色泥岩与灰、浅棕色不等粒砂岩、粉砂岩不等厚互层;上部为“五高导泥岩段”,岩性为低电阻灰、深灰色泥岩夹深灰色粉砂岩、暗紫色砂质泥岩。戴二段岩性纵向上具有粗、细、粗的三分性。下部由暗棕、棕、紫红、灰绿色泥岩、砂质泥岩夹浅灰色粉砂岩、泥质粉砂岩组成;中部为暗棕、棕、紫红色泥岩、砂质泥岩夹浅灰色泥质粉砂岩;

上部为暗棕色泥岩、砂质泥岩、泥质粉砂岩与浅灰色粉砂岩互层。戴南组沉积期,高邮凹陷总体上为滨浅湖沉积环境。戴一段沉积期,凹陷断陷活动较强烈,气候温暖潮湿,沉积范围不断扩大,水体相对较深,南部陡坡带主要发育近岸水下扇沉积,北部缓坡带以三角洲沉积为主,中央深洼带为半深湖—深湖沉积。戴二段沉积期,凹陷断陷活动减弱,加上前期的充填作用,湖盆水深变浅,但范围扩大,南部陡坡带由于高差变小,扇三角洲沉积占主导地位,北部缓坡带坡度降低,三角洲沉积体系向南扩展,出现了南北物源交叉叠置的现象^[8-10]。

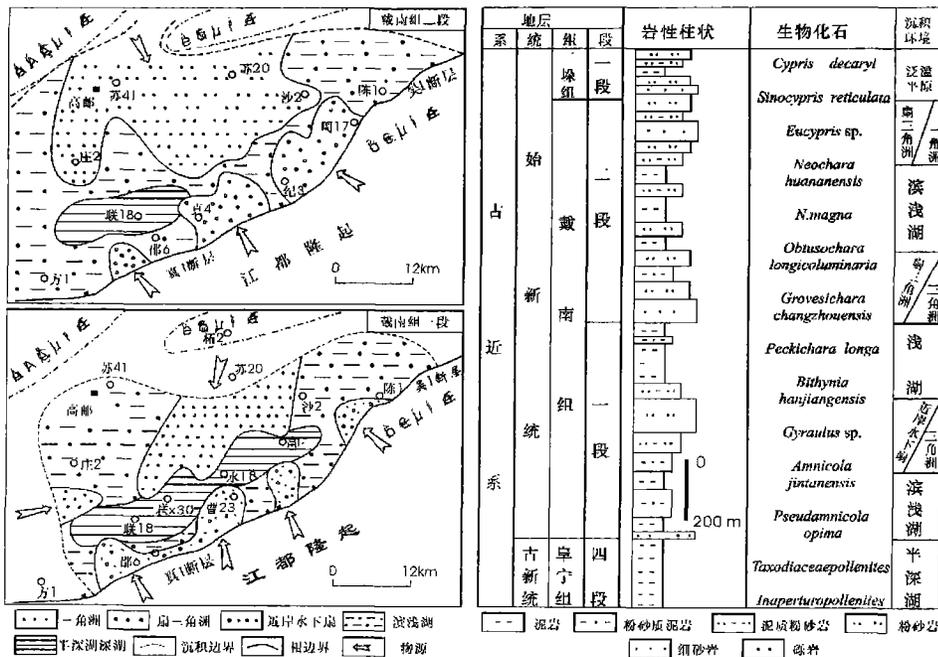


图 2 高邮凹陷戴南组地层及沉积相

Fig 2 Stratigraphy and sedimentary facies of Dainan Formation of Gaoyou Sag

戴南组有丰富的实体化石如介形类、腹足类和轮藻。戴一段生物以浅水类型为主,介形类属种单调,腹足类、轮藻等化石丰富,此外还见较多的植物炭化碎屑。介形类以 *Cypris decaryi* (德卡里金星介)、*Sinocypris reticulata* (网纹中华金星介) 和 *Eucypris* sp (真星介未定种) 为主;轮藻类见 *Neochara huananensis* (华南新轮藻)、*N. magna* (高大新轮藻)、*Obtusochara longicoluminaria* (长柱形钝头轮藻)、*Grovesichara changzhouensis* (常州厚球轮藻) 等,在高邮凹陷南部化石最为丰富;腹足类在马家咀地区获得 *Bithymia hanjiangensis* (邗江豆螺)、*Gyraulus* sp (小旋螺未定

种)、*Amnicola jintanensis* (金坛河边螺)、*Pseudamnicola opima* (丰富假河边螺) 等。戴二段的化石特征与戴一段基本相似^[10]。

3 遗迹化石类型及其保存特征

按生态或造迹生物的行为习性分类,高邮凹陷古近系戴南组滨浅湖沉积中所发现的遗迹化石可分为以下 2 大类 6 个属 8 个种,其中 1 个为未定种,即, 1) 进食迹 (fodinichnia): *Taenidium barretti* (发夹状枝带迹), *Taenidium satanassi* (萨坦那斯枝带迹), *Beaconites coronus* (冠状似形似塔形迹), *Macaronichnus seg-*

regatis(分离通心粉管迹), *Cystichnum curvatum*(弯曲似泡沫迹), *Palaeophycus* sp. (古藻迹未定种), 和 *Planolites montanus*(山地漫游迹); 2) 居住迹 (domichnia): *Skolithos verticalis*(垂直石针迹) 和 *Skolithos linearis*(线状石针迹)。根据个体遗迹的分析推测, 这些化石的造迹生物多数属节肢动物 (尤其是昆虫类), 少数为软体动物 (主要是腹足类和双壳类) 以及蠕虫动物等。

遗迹化石多数为全浮痕 (full relief) 和上浮痕 (epirelief) 保存, 少数为下浮痕 (hyporelief) 保存。总体上, 进食迹主要产于紫红色、褐红色粉砂质泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩和细砂岩中, 居住迹主要产于中一厚层浅灰色细砂岩内。

4 主要遗迹化石属种描述

进食迹 (Fodinichnia)

枝带迹属 Ichnogenus *Taenidium* Nicholson, 1873

(图版 I-3)

发夹状枝带迹 *Taenidium barretti* Nicholson, 1873

描述 直—微弯曲状进食潜穴, 不分枝。长度不定, 一般约 6 cm, 直径 4~5 mm。外表具不规则绳索状纹饰, 无衬壁。主动充填, 具新月型回填纹构造, 巢状的半月型构造沿边界融合在一起, 但并未造成具有衬壁的假象, 充填物较围岩略粗。底迹或内迹保存, 大多平行或略倾斜层面分布, 潜穴之间常相互交叉穿越或截切。

讨论 具新月形回填构造的潜穴如 *Taenidium*, *Beaconites* 和 *Ancorichnus* 之间的区别在于回填构造的形态、潜穴壁 (wall) 的有无及其表面特征。其中, *Beaconites* 发育潜穴壁 (wall), 而 *Taenidium* 和 *Ancorichnus* 则不具潜穴壁。*Ancorichnus* 和 *Taenidium* 的区别为: 前者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), 而后者不具有这种构造^[11]。苏北盆地戴南组的标本因不发育潜穴壁且具新月型回填构造而归属于 *Taenidium*。现在认为 *Taenidium* 可划分出四个遗迹种: *T. serpentinum*, *T. cameronensis*, *T. satanassi* 和 *T. barretti* 它们之间的区别为回填构造的形态^[12]。该遗迹属在海、陆相环境中均可出现, 陆相环境中主要由节肢动物或多足类动物产生^[13]。

产地层位 高邮凹陷古近系戴南组。

萨坦那斯枝带迹 *Taenidium satanassi*

D' Alessandro et Bromley, 1987

(图版 I-1)

描述 直~微弯曲形进食潜穴, 不分枝。可见长度 5~7 cm, 宽 8~14 mm。外表光滑无饰, 无衬壁。主动充填, 具回填纹构造, 单个回填纹为圆饼状, 与 *T. barretti* 之间的区别为回填构造之间在边界处并不相交。充填物为细—粉砂岩。潜穴呈内迹保存, 相互之间交切, 呈星射状, 与层面斜交或高角度倾斜。

产地层位 高邮凹陷古近系戴南组。

似塔形迹属 Ichnogenus *Beaconites* Vialov, 1962

冠状似塔形迹 *Beaconites coronus* Vialov, 1962

(图版 I-7)

描述 直—微弯曲状进食潜穴, 不分枝。长约 8 cm, 直径 9~11 mm。外表光滑, 具薄层衬壁。主动充填, 具新月型回填纹构造, 回填纹宽度明显窄于潜穴直径。内迹保存, 与层面呈高角度倾斜。

讨论 Keighley 和 Pickerill (1995) 对 *Beaconites* 遗迹属进行了系统研究, 确定了三个遗迹种: *Beaconites antarcticus*, *B. capronus* 和 *B. coronus*, 其中, *B. capronus* 因其尖楞状的回填构造而与其它两个种相区别; *B. antarcticus* 和 *B. coronus* 之间的区别为: 前者回填纹的单个房室宽度大于潜穴直径, 而后者回填纹的单个房室宽度小于潜穴直径^[11]。

产地层位 高邮凹陷古近系戴南组。

似泡沫迹属 Ichnogenus *Cystichnum* Hubin, 1993

弯曲似泡沫迹 *Cystichnum curvatum* Hubin, 1993

(图版 I-2)

描述 近水平管状潜穴, 微弯或任意弯曲, 底迹保存, 平行层面分布, 长度可大于 10 cm, 直径 5~8 mm。潜穴外壁表面具有似泡沫痕状或瘤状小凸起和一些宽窄不一的横向肋痕, 密集而不规则。小凸起一般直径 0.5~1.5 mm, 横向肋痕有时向一侧倾斜, 宽度小于 3 mm, 长度约为 5 mm 或略大。穴内由砂、泥充填, 无新月形回填构造。

讨论 该遗迹属是胡斌等 (1993) 首次命名的。其表面特征很像 *Ophiomorpha* 的瘤状衬壁, 但 *Ophiomorpha* 是垂直层面分布的居住潜穴^[4]。胡斌等 (1993) 认为该遗迹属可能形成于靠近水道或水道附近的漫滩环境。现代河、湖岸边泥和粉砂沉积物底层上的喜泥甲虫或沙蟋蟀 (sand cricket) 可营造类似的表层潜穴 (superficial burrows)^[14]。

产地层位 高邮凹陷古近系戴南组。

漫游迹属 Ichnogenus *Planolites* Nicholson, 1873

山地漫游迹 *Planolites montanus* Richter, 1937

(图版 I-8, I-6)

描述 直—微弯曲管状潜穴, 不分枝。可见长度 4~5 cm, 直径 3~4 mm。外壁光滑无饰, 无衬壁。充填物为浅灰色粉砂岩, 无回填纹构造。分布于浅灰绿色粉砂质泥岩中, 内迹保存, 与层面平行或略倾斜, 在层面上常与小型波痕共生。

讨论 根据潜穴的大小、弯曲度和潜穴壁的性质, 该遗迹属可区分出 3 个遗迹种: *P. montanus*, *P. beverlegensis* 和 *P. annularis*。其中, *P. annularis* 具有环状纹饰。*P. montanus* 和 *P. beverlegensis* 是依据大小和弯曲度来区分的, 前者直径一般不超过 5 mm, 弯曲状到蛇曲状, 而后者直径不小于 8 mm, 一般 10 mm, 潜穴直或微弯^[15]。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, 为主动充填产物^[15], 在各种沉积环境均可出现。Buatois 和 Mangano 认为, 非海相中该遗迹的造迹生物是节肢动物^[16]。

产地层位 高邮凹陷古近系戴南组。

居住迹 (Dm ichn ia)

石针迹属 Ichnogenus *Skolithos* Hallenann, 1840

线状石针迹 *Skolithos linearis* Hallenann, 1840

(图版 I-5)

描述 直或微弯曲的管状潜穴, 不分枝。直径约 7 mm, 可见长度约 5 cm, 潜穴直径较稳定, 与层面垂直。外壁光滑, 无衬壁。被动充填, 充填物成分与围岩相同。分布于浅灰色细砂岩中, 内迹保存。

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)。*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^[17~19]。

产地层位 高邮凹陷古近系戴南组。

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

(图版 I-6)

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 高邮凹陷古近系戴南组。

5 遗迹组合及其沉积环境

根据组成特征及沉积环境, 高邮凹陷古近系戴南

组滨浅湖沉积中的遗迹化石可划分出两个遗迹组合: *Taenidium*—*Beaconites* 枝带迹—似塔形迹遗迹组合和 *Skolithos linearis* 线状石针迹遗迹组合。

5.1 *Taenidium*—*Beaconites* 遗迹组合及其沉积环境

该遗迹组合主要由小型、水平、具新月型回填构造的进食潜穴组成, 其次为垂直柱状到不规则形态的居住构造。主要组成分子有 *Taenidium barretti* (发夹状枝带迹), *Taenidium satanassi* (萨坦那斯枝带迹), *Beaconites coronus* (冠状似塔形迹), *Palaeophycus* isp. (古藻迹(未定种)), 和 *Planolites montanus* (山地漫游迹)。总体上, 遗迹化石的丰度很高, 分异度相对较低。该遗迹组合主要发育于暗棕色、灰绿色泥岩、粉砂质泥岩或泥质粉砂岩中, 中间夹有薄—中层粉砂岩和细砂岩。暗棕色、灰绿色泥岩和粉砂质泥岩中主要产 *Taenidium barretti* (发夹状枝带迹) 和 *Planolites Montanus* (山地漫游迹), 主要沿层面分布, 相互截切, 对层面造成较强的扰动, 但在纵向上生物扰动十分微弱。伴生的实体化石有腹足类和介形类(图版 I-4)。其中腹足类个体较大, 壳质较厚, 保存十分完好; 介形类化石十分丰富, 局部层段构成生物堆积层。与泥岩、粉砂质泥岩相伴生的物理沉积构造有水平层理和缓波状层理, 局部层段发育波痕和泥裂。就波痕和泥裂与生物遗迹的关系而言, 绝大部分标本都反映前者先于后者, 因为一些遗迹明显沿波痕面分布, 或被砂充填的泥裂上空过。而在泥质粉砂岩和细砂岩中, 遗迹化石主要为与层面倾斜或高角度倾斜, 有时甚至垂直的进食迹和居住迹, 丰度相对较低, 但分异度相对较高。常见分子有 *Skolithos verticalis* (线状石针迹), *Taenidium satanassi* (萨坦那斯枝带迹), *Beaconites coronus* (冠状似塔形迹) 和 *Palaeophycus* isp. (古藻迹未定种), 在较厚层粉砂岩所夹的薄层泥质条带中发育有 *Planolites Montanus* (山地漫游迹), 生物扰动非常丰富, 扰动指数为 3~5 级。物理沉积构造见平行层理和波状交错层理, 实体化石稀少, 有时偶见生物贝壳碎片。

该遗迹组合主要由进食迹和居住迹组成, 没有发现牧食迹, 反映了水体能量中等—较高; 而遗迹组合的丰度和分异度都较高, 则指示水体含氧量较高, 大量生物可以在此生活, 留下大量活动痕迹; 且所有的遗迹化石没有表现出一种特定的进食策略, 则说明沉积基底中营养物质非常丰富, 造迹生物不需要采用一定的进食模式, 也可获得大量营养物质。且伴生的大量实体化石, 如介形类和腹足类, 个体较大, 壳体较

厚,说明环境水体较浅。该遗迹组合常伴生有泥裂和波痕,这表明沉积区域经常性的暴露地表。综合分析,该遗迹组合反映了周期性出露地表的滨浅湖沉积环境。

滨浅湖沉积中生物扰动按扰动特征,分为三种类型:均一型(图版 -1)、增强型(图版 -2 3 4)和复合型(图版 -5)。

均一型:该类扰动组合从下到上可分为三段,即,紫红色泥岩段(A段)、浅灰色粉砂岩段(B段)和紫红色泥岩段(C段)。其中,A段生物扰动主要沿层面分布,纵剖面上的扰动却十分微弱。B段粉砂岩厚 30~35 cm,与 A 段泥岩呈渐变接触。从 B 段与 A 段接触处往上,生物扰动逐渐增强,扰动指数从 1 渐变为 5。而 B 段内部生物扰动均一,扰动指数 5~6 原生沉积构造遭到极大破坏。C 段泥岩的特征与 A 段类似。

均一型扰动组合见于紫红色泥岩所夹的薄层浅灰色粉砂岩中,泥岩与粉砂岩中生物扰动呈渐变关系,反映了湖平面短期缓慢上升,且上升幅度较小。粉砂岩段生物扰动十分强烈,物理成因构造遭到极大破坏,反映了湖平面上升之后,在较长的一段时间内保持稳定,造迹生物长时间在底层内活动,对物理成因沉积构造造成强烈破坏。

增强型:与均一型类似,根据岩性特征,该扰动组合由下至上也可分为三段,即 A 段紫红色泥岩、B 段浅灰色粉砂岩和 C 段紫红色泥岩。A 段内部的生物扰动沿层面分布,个体形态清晰,常见分子为 *Taenidium barretti*(发夹状枝带迹),岩心纵剖面上生物扰动微弱。B 段厚约 40~50 cm,与 A 段接触处存在一薄层生物扰动,厚约 2 cm,扰动指数达到 4 级。在 B 段内部,生物扰动从下到上逐渐增强,遗迹个体逐渐变小,形态逐渐模糊,扰动指数则由底部的 0~1 级渐变为顶部的 5~6 级。C 段扰动特征与 A 段相似。

增强型扰动组合中的 A 段与 B 段呈突变接触,反映了湖平面的短暂快速上升。湖平面上升之后,水动力条件增强,生物的生境变得相对恶劣,只有少数机会种群才能在此生活,产生一些形态清晰的居住潜穴和进食潜穴。湖平面在快速上升之后存在着一个短时间的稳定状态,随后又缓慢下降,水动力条件逐渐变弱,大量生物又开始在此活动,从而产生强烈的生物扰动。

复合型:该类生物扰动见于紫红色泥岩或粉砂质

泥岩所夹的较厚层粉砂岩中,粉砂岩厚达 60~70 cm。根据扰动特征,粉砂岩由下至上分为两段,即减弱段和增强段。减弱段底部主要为紫红色泥岩,从下到上,岩性逐渐变粗,生物扰动逐渐减弱,扰动指数从 5 渐变为 1,遗迹化石个体逐渐增大,形态也逐渐清晰,在顶部有时可识别出清晰的 *Taenidium satanassi*(萨坦那斯枝带迹)。增强段覆盖于减弱段之上,它们之间存在一个极限点,该点的生物扰动最弱,遗迹化石个体最大,形态最清晰。在极限点之上,生物扰动逐渐增强,个体逐渐变小,形态逐渐模糊,颗粒粒度也逐渐变细,到顶端则渐变为紫色泥岩。

复合型生物扰动反映了湖平面的小幅度缓慢上升和缓慢下降旋回。在缓慢上升阶段,由于水动力增强,生物生存环境日渐恶劣,故生物扰动减弱;而在缓慢下降阶段,水动力则逐渐变弱,生物扰动逐渐增强。

5.2 *Skolithos linearis* 遗迹组合及其沉积环境

该遗迹组合以居住潜穴为重要特征,主要由较长的垂直或高角度倾斜的柱状潜穴构成,代表分子有 *Skolithos linearis*(线状石针迹)。该遗迹化石主要产于具平行层理或大型板状交错层理的中一厚层细砂岩中,砂岩层下部有时含泥砾,甚至形成滞积层,并具有底面冲刷构造。该组合反映了能量较高、底层较固结的三角洲平原一前缘分支河道沉积环境,造迹生物靠吃悬浮物来维持生命活动。

根据遗迹学和沉积学特征,可将三角洲平原一前缘分支河道沉积分为四个单元(图 3)。第一个沉积单元主要由块状含砾砂岩和砾岩构成,见不清晰的大型槽状交错层理,遗迹化石没有发现。该沉积单元为分支河道底部滞留沉积,该沉积环境水动力强,不适合生物生存,遗迹化石鲜见。第二个沉积单元主要由中、细砂岩构成,见交错层理和平行层理,垂直居住潜穴发育,个体较大,生物扰动较弱,扰动指数为 1~2。该沉积单元反映了分支河道中下部沉积环境。第三个沉积单元由粉细砂岩构成,发育小型槽状交错层理和波状交错层理,进食潜穴发育,见 *Taenidium satanassi*(萨坦那斯枝带迹)、*Beaconites coronus*(冠状似塔形迹)、*Planolites montanus*(山地漫游迹)和 *Cystichnum curvatum*(弯曲似泡沫迹),个体较大,与层面倾斜或水平,扰动指数为 3~4。该沉积单元反映了分支河道上部顶部沉积环境,由于水动力较弱,含氧量丰富,故遗迹化石发育。第四个沉积单元以紫红色泥岩或粉砂质泥岩为主,遗迹化石主要为沿层面分布的

进食迹, 常见分子有 *Taenidium barretti* (发夹状枝带迹)、*Planolites montanus* (山地漫游迹) 等, 反映了天然堤或分支间湾沉积环境。

总体上, 从第 I 沉积单元演变到第 IV 沉积单元, 遗迹化石由以居住迹为主演变为以进食迹为主, 个体变小, 扰动增强, 与层面交角降低, 反应了环境水体能量变弱, 生物扰动增强。



图 3 三角洲平原—前缘分支河道沉积序列遗迹化石特征

Fig 3 Characteristics of trace fossils in delta plain-front distributary channel sedimentary sequence

6 结论

(1) 高邮凹陷古近系戴南组滨浅湖沉积中共发现遗迹化石 2 大类 6 属 8 种, 其中 1 个为未定种, 即:

1) 进食迹: *Taenidium barretti*, *Taenidium satanassi*, *Beaconites coronus*, *Macaronichnus segregatis*, *Cystichnum curvatum*, *Palaeophycus* isp, 和 *Planolites montanus*; 2) 居住迹: *Skolithos verticalis* 和 *Skolithos linearis*。这些遗迹化石大多为全浮痕和上浮痕保存, 少数为下浮痕保存。

(2) 根据组成特征及沉积环境分析, 高邮凹陷古近系戴南组滨浅湖沉积中的遗迹化石, 可划分出两个遗迹组合: 即 *Taenidium - Beaconites* 遗迹组合和 *Skolithos linearis* 遗迹组合。*Taenidium - Beaconites* 遗迹组合以发育具新月型回填构造的进食迹为特征, 常见分子有 *Taenidium barretti*, *Taenidium satanassi*, *Beaconites coronus*, *Macaronichnus segregatis*, *Palaeophycus* isp, 和 *Planolites montanus*。丰度较高, 分异度相对较低, 反映了周期性暴露的滨浅湖沉积环境。*Skolithos linearis* 遗迹组合主要出现于具平行层理或大型板状交错层理的中厚—厚层细砂岩中, 遗迹化石以居住潜穴为主, 常见分子有 *Skolithos linearis* 反映了三角洲平原—前缘沉积环境。

(3) 滨浅湖沉积中存在三种扰动类型: 均一型、

增强型和复合型。均一型扰动组合中生物扰动均一, 扰动指数为 5~6 反映了湖平面缓慢上升之后较长时间保持稳定; 增强型扰动组合从泥砂接触处向上生物扰动逐渐增强, 反映了湖平面整体稳定条件下的小幅度快速上升、稳定和缓慢下降; 复合型扰动组合的扰动强度先减弱后增强, 反映了湖平面先缓慢上升, 以后又缓慢下降。

(4) 依据沉积学和遗迹学特征的不同, 三角洲平原—前缘分支河道沉积序列纵向上可分为四个沉积单元, 它们在遗迹化石的类型、丰度、分异度和扰动指数等方面呈规律性变化。

参考文献 (References)

- 张建平, 李明路. 遗迹学研究现状及其在层序地层学中的应用潜力. 沉积学报, 2000, 18(3): 389~394 [Zhang Jianping, Li Minglu. Advances in ichnology and its potential for sequence stratigraphy. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(3): 389~394]
- 胡斌, 齐永安, 张国成, 等. 中国中—新生代陆相沉积中的遗迹群落. 沉积学报, 2002, 20(4): 574~581 [Hu Bin, Qi Yong'an, Zhang Guocheng, et al. The ichnocoenoses of Mesozoic-Cenozoic terrestrial deposits of China. Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20(4): 574~581]
- 胡斌, 吴贤涛, 潘丽敏. 川西峨眉晚古生代和中生代河流沉积中的遗迹化石群落. 沉积学报, 1991, 9(4): 128~135 [Hu Bin, Wu Xiantao, Pan Lina. Ichnocoenoses of the Late Paleozoic and Mesozoic fluvial deposits of Emei Area, Western Sichuan, China. Acta Sedimentologica Sinica, 1991, 9(4): 128~135]
- 吴贤涛. 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, 1985, 3(3): 23~31 [Wu Xiantao. Trace fossils and their environmental significance in nonmarine turbiditic deposits from Jiyuan—Yima Basin, western Henan. Acta Sedimentologica Sinica, 1985, 3(3): 23~31]
- 施振生, 朱筱敏, 胡斌, 等. 济阳坳陷车镇凹陷古近系沙河街组遗迹化石 *Macaronichnus* (通心粉管迹) 及其沉积环境. 古地理学报, 2004, 6(2): 207~215 [Shi Zhen-sheng, Zhu Xiaomin, Hu Bin, et al. Sedimentary environments of *Macaronichnus* of the Shahejie Formation of Paleogene of Chechen Sag in Jiyang Depression. Journal of Paleogeography, 2004, 6(2): 207~215]
- 施振生, 胡斌, 张新培. 山东省东北部车镇凹陷古近系沙河街组滨浅湖沉积中的遗迹群落. 古生物学报, 2005, 44(1): 96~105 [Shi Zhen-sheng, Hu Bin, Zhang Xinpei. Ichnocoenosis of shore-shallow lacustrine Shahejie Formation (Paleogene) in Chechen Sag, Jiyang Depression of Bohaiwan Basin, Shandong. Acta Palaeontologica Sinica, 2005, 44(1): 96~105]
- 施振生, 朱筱敏, 胡斌, 等. 济阳坳陷车镇凹陷古近系沙河街组深水沉积中的遗迹化石. 古地理学报, 2005, 7(2): 233~242 [Shi Zhen-sheng, Zhu Xiaomin, Hu Bin, et al. Deep water trace fossils from the Shahejie Formation of Paleogene of Chechen Sag in Jiyang Depression. Journal of Paleogeography, 2005, 7(2): 233~242]

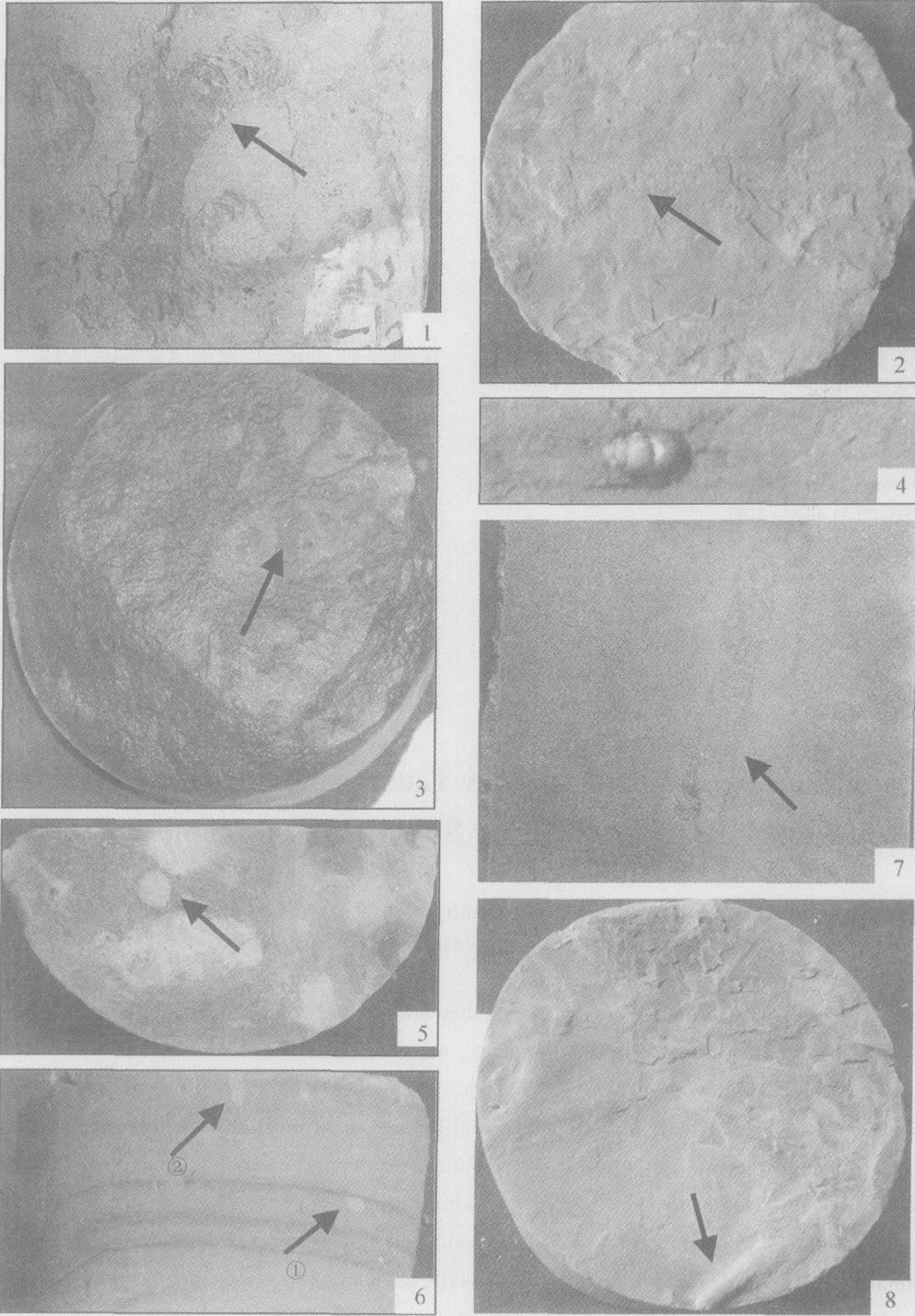
- 8 居春荣, 黄杏珍, 闫存凤, 等. 湖相碳酸盐岩在建立苏北盆地第三系层序地层格架中的作用. 沉积学报, 2005, 23(1): 113~121 [Ju Chunrong Huang Xingzhen Yan Chunfeng *et al* Role of lacustrine carbonate rock in establishment of sequence stratigraphy framework of Lower Tertiary in Subei Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2005, 23(1): 113~121]
- 9 张喜林, 朱筱敏, 钟大康, 等. 苏北盆地高邮凹陷第三系—上白垩统层序地层格架特征. 沉积学报, 2004, 22(3): 393~399 [Zhang Xilin, Zhu Xiaomin, Zhong Dakang *et al* The character of sequence framework of Tertiary and Upper Cretaceous in Gaoyou Sag, Subei Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22(3): 393~399]
- 10 张喜林, 朱筱敏, 钟大康, 等. 苏北盆地高邮凹陷古近系戴南组沉积相及其对隐蔽油气藏的控制. 古地理学报, 2005, 7(2): 207~218 [Zhang Xilin, Zhu Xiaomin, Zhong Dakang *et al* Sedimentary facies and its controlling on subtle oil and gas reservoirs of the Daian Formation of Paleogene in Gaoyou Sag, Subei Basin. *Journal of Palaeogeography*, 2005, 7(2): 207~218]
- 11 Keighly D G and Pickerill R K. The ichnotaxa *Palaeophycus* and *P+anolites*: historical perspectives and recommendations. *Ichnos*, 1995, 3: 301~309
- 12 Keighly D G and Pickerill R K. The ichnogenus *Beaconites* and its distinction from *Ancorichnus* and *Taenidium*. *Palaeontology*, 1994, 37(2): 305~337
- 13 Daganis E, Bradley S J, Briggs E G. A Gondwanan coastal arthropod ichnofauna from the Muth Formation (Lower Devonian, Northern Indiana): paleoenvironment and trace maker behavior. *Paleosol*, 2001, 16: 126~147
- 14 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
- 15 Pemberton S G and Frey R W. Trace fossil nomenclature and the *P+anolites*-*Palaeophycus* dilemma. *Journal of Paleontology*, 1982, 56: 843~871
- 16 Buatois L A and Mangano M G. Trace fossils from a Carboniferous turbidite lake: implication for the recognition of additional nonmarine ichnofacies. *Ichnos*, 1993, 2: 23~258
- 17 Albert S P. Systematic review of the genus *Skolithos*. *Journal of Paleontology*, 1974, 48(4): 661~668
- 18 施振生, 朱筱敏, 王贵文, 等. 塔里木盆地塔中地区志留系塔塔埃塔格组潮坪沉积中的遗迹化石. 沉积学报, 2005, 23(1): 91~99 [Shi Zhenheng, Zhu Xiaomin, Wang Guiwen *et al* Trace Fossils of Tidal Flat Tataetage Formation (Silurian) in Central Tarim Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2005, 23(1): 92~99]
- 19 张国成, 曾玉凤, Buatois L A, 等. 济源盆地谭庄组 (T_{2-3}) 上段湖相沉积及遗迹化石特征. 沉积学报, 2005, 23(1): 101~107 [Zhang Guocheng, Zeng Yufeng, Buatois L A, *et al* Lacustrine deposits and associated trace fossils in the Upper Part of the Tanzhuang Formation (T_{2-3}), Jiyuan Basin, Henan Province. 2005, 23(1): 101~107]

Trace Fossils of Shore-shallow Lacustrine Daian Formation (Paleogene) in Gaoyou Sag, Subei Basin, Jiangsu Province

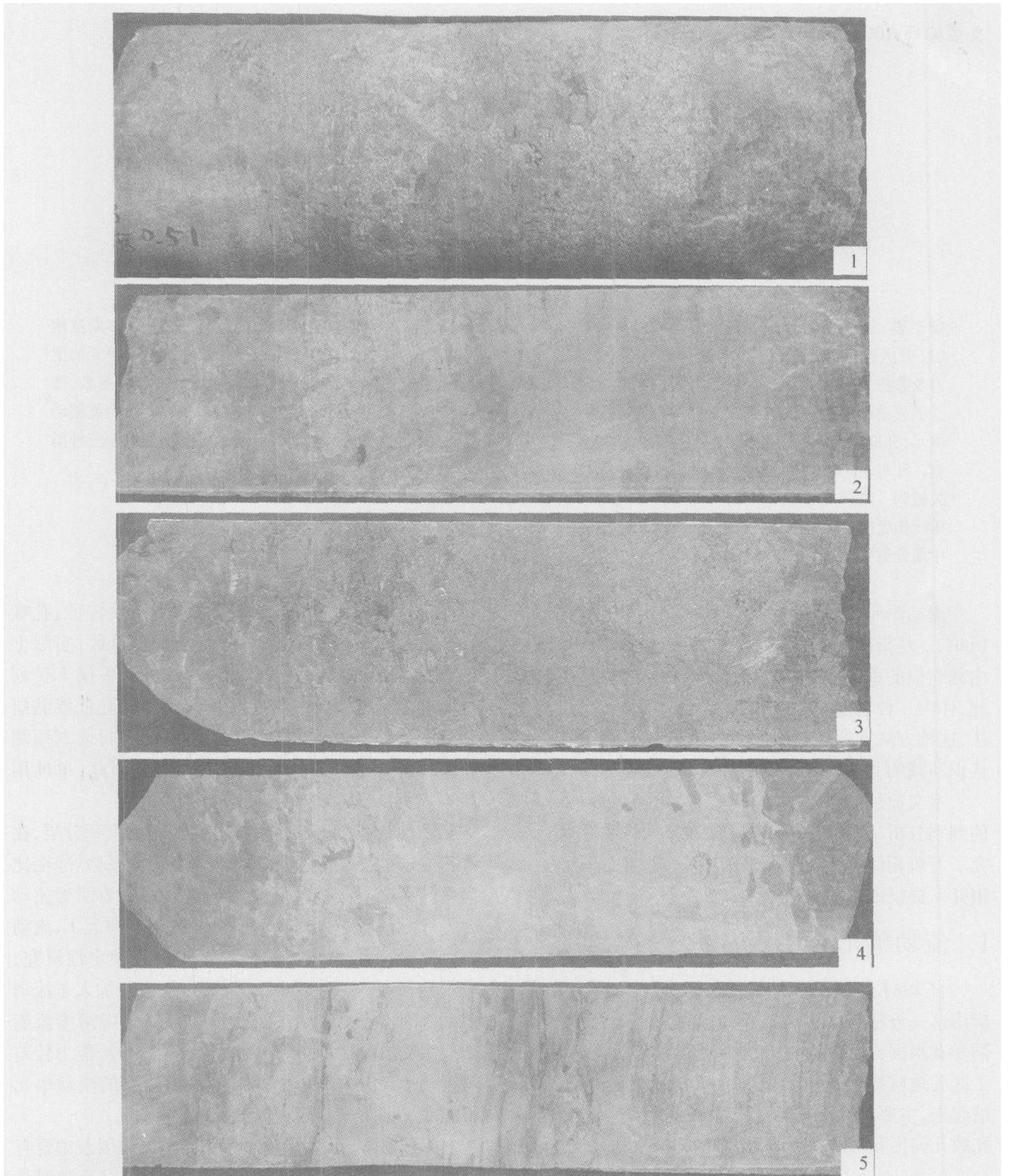
ZHANG Xilin, ZHU Xiaomin, GUO Changmin, YANG Junsheng, WANG Yuxiu
(China University of Petroleum, Beijing 102249)

Abstract The trace fossils in shore-shallow lacustrine sediments in Daian Formation, Paleogene in Gaoyou Sag, Subei Basin consist of at least 6 ichnogenera, 8 ichnospecies, namely, *Taenidium barrettei*, *Taenidium satanassi*, *Beaconites coronus*, *Cystichnum curvatum*, *Palaeophycus isp.*, *Planolites montanus*, *Skolithos verticalis* and *Skolithos linearis*. These trace fossils were mainly of Fodinichnia and Domichnia of invertebrates, and were preserved in full relief and epirelief. Based on the integrated analysis of assemblage traits and paleoenvironments, two ichno-assemblages are recognized: 1) *Taenidium*-*Beaconites* assemblage, which is mainly of feeding burrows with crescent backfilled structures and presents itself in shore-shallow lacustrine sediments under periodically arid climate; 2) *Skolithos linearis* assemblage, which is mainly of dwelling burrows and presents itself in delta plain-front sediments. Based on analysis of bioturbation variation features, three bioturbation assemblages are identified: 1) homogeneous one, which indicates that the water level might rise slowly with in little scope and then be stable for a relatively long time; 2) stronger upwards one, which indicates that the water level was generally stable and might rise with in little scope, and then be stable, and fall finally; 3) compound one, which indicates that the water level might rise slowly and then fall slowly. In a fan plain-front distributary channel sedimentary sequence, the genres abundance, diversity of trace fossils and the bioturbation index exhibit regularity vertically. Based on analysis of sedimentology and ichnology, a distributary channel sequence can be divided into 4 sedimentary sets, and each set exhibits different physical and biologic structures.

Key words trace fossils, sedimentary environment, Subei Basin, Paleogene, Daian Formation



图版 I 说明 1. *Taenidium satanassi* (箱形枝带迹); 标本编号: S-B-DN-0409。 2. *Cystichnum curvatum* (弯曲似泡沫迹); 标本编号: S-B-DN-0402。 3. *Taenidium barretti* (香蕉形枝带迹); 标本编号: S-B-DN-0408。 4. 小型螺化石, $\times 4/5$ 标本编号: S-B-DN-0401。 5. *Skolithos linearis* (线性石针迹); 标本编号: S-B-DN-0412。 6. *Planolites montanu* (山地漫游迹); *Skolithos verticalis* (垂直石针迹); 标本编号: S-B-DN-0417。 7. *Beaconites coronus* (锚型似塔型迹); 标本编号: S-B-DN-0413。 8. *Planolites montanu* (山地漫游迹); 标本编号: S-B-DN-04011。 以上照片中岩心宽度均为 10 cm。



图版 说明 1. 均一型生物扰动; 标本编号: S-B-DN-0429。 2、3、4. 增强型生物扰动; 标本编号: S-B-DN-0423、427、430。 5. 复合型生物扰动, $\times 2/5$ 标本编号: S-B-DN-0425。 以上照片中岩心直径均为 10 cm, 岩心标本左方为顶。