

The background of the cover features a detailed line drawing of a tree with a thick trunk and a dense canopy of leaves. At the base of the tree, a large, stylized bird-like creature with long, pointed wings is depicted, appearing to be in flight or perched. The entire scene is rendered in a light, woodcut-like style. At the top of the cover, there are faint, stylized characters that appear to be '痕迹学' (Traces of Science).

# 痕迹学理论与应用

胡 斌 王冠忠 齐永安 著

中国矿业大学出版社

# 痕迹学理论与应用

胡 斌 王冠忠 齐永安 著

中国矿业大学出版社

## 内 容 简 介

本书较系统地概述了痕迹学的基本理论和应用途径,包括痕迹学研究内容、技术和方法、痕迹学的一些原理、痕迹化石分类学、痕迹相模式及其在沉积环境分析中的应用、痕迹化石埋藏学与痕迹组构分析、氧控制条件下的特征痕迹化石组合、紊流事件沉积与痕迹群落、痕迹学在层序地层学和华北地区含煤、油、气沉积盆地以及新疆塔里木盆地油、气勘探中的应用研究等,其中包含了一些国外痕迹学研究的最新进展。

本书可供科研院所的专家和高校师生从事痕迹学、古生态学和沉积学研究与教学时参考,并可作为本科生或研究生用教材,也可供从事煤、油、气田勘探的工程技术人员使用。

责任编辑:陈贵仁

## 痕 迹 学 理 论 与 应 用

胡 斌 王冠忠 齐水安 著

---

中国矿业大学出版社出版发行

北京地质印刷厂印刷

开本 850×1168 1/32 印张 6.75 字数 180 千字

1997年8月第一版 1997年8月第一次印刷

印数:1—1 000册

---

ISBN 7-81040-706-6

---

P·36

定价:12.00元

# 前 言

痕迹学这门新兴边缘学科自本世纪 80 年代初引入我国以后,得到了许多古生物学、古生态学和沉积学工作者的高度重视,尤其在古生态和古环境研究、层序地层学研究以及能源勘探等方面运用痕迹学理论已经取得大量成果。本书就是作者自 1984 年以来完成的“非海相痕迹相的研究”(国家自然科学基金项目)和“痕迹学基础理论与事件沉积研究”、“中国东部晚古生代煤系沉积中痕迹相模式的研究”、“层序地层学与痕迹组构的研究”、“层序地层学在陆相含煤、油、气盆地分析中的应用研究”(煤炭部煤炭科学基金和青年科学基金项目)以及“华北区煤、油、气沉积盆地中痕迹相与组构研究”(河南省科委的自然科学基金项目)等课题的成果总结。

本书涉及内容包括痕迹学的主要研究内容、技术和方法、痕迹化石分类学、痕迹相模式及在沉积环境分析中的应用、痕迹化石埋藏学与痕迹组构分析、氧控制条件下的特征痕迹化石组合、紊流事件沉积与痕迹群落、痕迹学在层序地层学中的应用以及痕迹学在华北区含煤、油、气沉积盆地和新疆塔里木盆地油、气田勘探中的应用研究等。上述内容包含了一些国外痕迹学研究的最新进展。从实用角度出发,全书较系统地概述了痕迹学的主要基本理论和研究方法,并列举了部分研究实例。

本书可供科研院所的专家 and 高校师生从事痕迹学、古生态学和沉积学研究与教学时参考,并可作为本科生或研究生用教材,也可供从事煤、油、气田勘探的工程技术人员使用。

本书由焦作工学院胡斌主编,王冠忠和齐永安任副主编。编写分工为:胡斌,第一章 1~3 节、第二章 1、2、5 节、第三章、第五章、第八章 1~2 节、第九章 1~4 节;王冠忠,第四章、第二章 3、4 节、第六章;齐永安,第一章 4~5 节、第七章、第八章第 3 节、第九章 5

~6 节。撰稿过程中,承蒙国际知名沉积学和痕迹学家 R. Goldring 博士指导,中国地质大学(武汉)胡益成、龚一鸣教授、中国矿业大学刘焕杰教授以及中国石油大学(华东)狄明信和姜在兴教授审稿并提出了宝贵意见;研究工作中,曾经得到吴贤涛教授的指导和张国成博士的协助,在此一并致以真诚谢意。

著 者

1997. 4

# 目 录

<b>第一章 痕迹学与痕迹化石研究</b> .....	1
第一节 痕迹学及其研究对象 .....	1
第二节 痕迹化石的主要种类 .....	3
第三节 痕迹学的主要研究内容及相关学科 .....	16
第四节 痕迹学的发展简史 .....	17
第五节 生物痕迹的研究技术和方法 .....	23
<b>第二章 痕迹化石的特性及分类</b> .....	30
第一节 痕迹化石的特性及其研究意义 .....	30
第二节 痕迹化石的系统分类和命名 .....	35
第三节 痕迹化石的保存分类 .....	38
第四节 痕迹化石的生态分类 .....	41
第五节 痕迹化石的形态分类 .....	46
<b>第三章 痕迹相模式及其在沉积环境分析中的应用</b> .....	64
第一节 痕迹相的概念 .....	64
第二节 痕迹相模式 .....	66
<b>第四章 痕迹化石埋藏学与痕迹组构分析</b> .....	82
第一节 痕迹化石埋藏学 .....	82
第二节 痕迹组构的概念 .....	90
第三节 生物的梯阶式开发与痕迹分层 .....	91
第四节 复合痕迹组构与梯阶类型 .....	94
第五节 痕迹组构的描述及分析实例 .....	99
<b>第五章 紊流事件沉积与痕迹群落</b> .....	106
第一节 紊流事件沉积层序的共同特点 .....	106
第二节 浊流事件沉积与痕迹群落 .....	108
第三节 风暴事件沉积与痕迹群落 .....	114

第四节	洪水事件沉积与痕迹群落 .....	119
<b>第六章</b>	<b>氧控条件下特征痕迹化石组合 .....</b>	<b>123</b>
第一节	一般组合模式 .....	123
第二节	缺氧标志痕迹化石 <i>Chondrites</i> .....	126
<b>第七章</b>	<b>痕迹学在层序地层学及储层研究中的应用 .....</b>	<b>128</b>
第一节	痕迹学在层序地层学中的应用研究现状 .....	128
第二节	塔里木盆地下志留统层序地层学研究中的 应用实例 .....	133
第三节	痕迹学在储层研究中的应用 .....	148
<b>第八章</b>	<b>华北区含煤、油、气沉积地层及痕迹化石的组成     与分布特征 .....</b>	<b>155</b>
第一节	晚古生代含煤地层及痕迹化石组成与分布特征 .....	156
第二节	中生代含煤、油、气地层及痕迹化石组成与分布 特征 .....	164
第三节	新生代含油、气地层及痕迹化石组成与分布 特征 .....	168
<b>第九章</b>	<b>华北区含煤、油、气沉积盆地中痕迹群落     与痕迹组构 .....</b>	<b>174</b>
第一节	上石炭统太原组中痕迹群落与痕迹组构 .....	174
第二节	下二叠统山西组中痕迹群落 .....	181
第三节	下二叠统下石盒子组中痕迹群落 .....	184
第四节	上三叠统谭庄组中痕迹组构 .....	188
第五节	下侏罗统鞍腰组中痕迹群落 .....	191
第六节	东濮油田下第三系沙河街组中痕迹组构 .....	194
<b>参考文献</b> .....		199

# 第一章 痕迹学与痕迹化石研究

## 第一节 痕迹学及其研究对象

### 一、痕迹学的定义

痕迹学亦称遗迹学,它的英文名为 Ichnology,原名系由希腊文 iknos(意指 trace 或 track,即痕迹或足迹)和 logos(意指 word 或 study,即学科)复合而成。它研究的是现代和古代生物生活时遗留下来的活动痕迹。这种生物活动痕迹的形成和保存与沉积物及其后沉积作用(post-depositional agents)密切相关。所谓后沉积作用,意指沉积物一沉积下来就受到物理、化学和生物的影响以及被这些因素的作用所改造的过程。其中物理作用有振荡波(oscillating waves)、搬运流(transportive currents)和压实现象(compaction phenomena)等;化学作用有氧气扩散作用(oxygen diffusion)、矿物溶解作用(mineral dissolution)和胶结作用(cementation)等;生物作用主要是动、植物改造沉积物的作用(sediment reworking by animals and plants)。上述各种作用,都能在沉积物中形成某种可识别的结构、组构和沉积构造特征。这里,着重要强调的是生物作用,因为在某些情况下,生物因素的作用往往超过了物理因素的和化学因素的,并有助于地质工作者能更好地了解沉积岩的演变历史。人们认识和了解原生沉积结构、成岩组构和物理沉积构造是很重要的;同样,认识和了解生物的结构、组构及沉积构造也是十分重要的,二者有同等重要的位置。从这一意义出发,Ekdale 和 Bromley 等人(1984)认为,痕迹学就是研究



沉积物中后沉积生物作用的科学。它的研究领域涉及生物与底层间的关系诸方面,这种关系又主要集中在动、植物如何在沉积物中留下他们的记录以及留下什么样的纪录。实质上,这种记录指的就是生物活动的痕迹。

## 二、痕迹学的研究对象

广义来讲,痕迹学的研究对象包括两个方面:一方面是研究现代生物活动的痕迹,即通过对现代各类生物的造迹活动进行详细的观察和描述,了解各类造迹生物的活动规律、痕迹特点与分布特征及其与沉积底层的关系,进而分析受控的环境因素;另一方面是研究古代生物活动的痕迹,即痕迹化石(trace fossils),亦称遗迹化石,它是古代生物在底层内或底层层面上进行各种生命活动所留下的痕迹被沉积物充填、埋藏后,再经后期成岩的石化作用而形成的。前者的研究旨在说明后者的成生规律及环境意义。

古代生物活动的底层(substrata/substratum)常见类型有7种:(1)硬底(hard/rocky ground),指胶结成岩的岩石质底层或完全硬化的(fully indurated)底层;(2)固底(firm ground),指固结但未胶结的沉积物底层;(3)僵底(stiff ground),指硬但没有完全固结的底层;(4)软底(soft ground),指松软尚未固结的砂或砂泥质沉积物底层;(5)汤底(soup ground),指被水浸成泥浆状或淤泥状的沉积物底层;(6)壳底(shell ground),指生物介壳堆积的沉积物底层;(7)木底(wood ground),指树木堆积为主的沉积物底层,生物往往寄生在木质物上进行钻孔或觅食活动。

古代生物在底层上能留下痕迹的生命活动行为方式通常包括10种:(1)跑动——生物在层内或层面上的快速运动,可分层内逃跑(escaping)和层面上跑动(running),前者是在沉积物底层受到加积或侵蚀时,生物为保持与水-沉积物界面一定的距离而产生的向层内上、下快速运动;后者是生物在底层层而上因某种刺激而产生一种快速运动,一般与沉积作用无密切关系;(2)走动(walking)——生物在层面上进行的行走运动;(3)爬行

(crawling)——生物使用其所具有的足趾或附肢在层面上进行爬行的运动,但身体往往不接触地面;(4) 蠕动(creeping)——生物使用其身体的一部分接触地面而进行的爬行运动;(5) 休息(resting)——生物在底层层面上活动时突然停栖下来,旨在躲避食敌或消除疲劳;(6) 觅食(grazing, 亦称牧食或触食)——生物在层面或层面附近的挖食或捕食活动;(7) 进食(feeding, 亦称摄食)——生物由层面向层内深部活动并探索取食的行为;(8) 居住(dwelling)——通常是指生物为了寻求避护所而向层内进行挖潜或钻孔的活动;(9) 游泳(swimming)——水中各种动物在水与沉积物界面附近进行的游泳活动;(10) 飞行(flying)——动物突然离开底层层面向空中飞行的运动。

上述各类生命活动在底层上留下的痕迹都有可能形成痕迹化石。这种生物活动痕迹化石与实体化石(body fossils)是不同的。二者的主要区别是:前者表现的是生物与底层间的关系,直接反映生物生命活动时的习性规律及其所处的生态环境因素(如水深,底层性质,水体能量,水体及底层中的含氧量以及食物供给条件、水体的盐度和温度等);后者表现的主要是生物体本身的形态、结构和构造特征,更多地反映生物的发展演化规律和生物群落的生态条件。

## 第二节 痕迹化石的主要种类

痕迹化石作为痕迹学的主要研究对象,它的类型很多,就目前研究程度而言,其种类大致可归纳为五大类 18 种(见表 1-1)。

### 一、软底沉积物中的动物痕迹

#### 1. 足迹(tracks)

足迹为动物在底层面上运动(走动或跑动)时留下的不连续单个足趾印痕。这类痕迹常出现于沙滩或海滩上,其造迹动物多为双足动物,如两栖类、爬行类、哺乳动物类及昆虫和鸟类等。据

Seilacher(1977,1986)的研究,脊椎动物的足迹从石炭纪就开始有了,以后不同时代有不同组合类型(图 1-1)。

表 1-1 痕迹化石的主要种类

软底沉积物 中的动物痕迹	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 足迹(tracks)</li> <li>2. 足辙迹(trackways)</li> <li>3. 拖迹(trails)</li> <li>4. 爬行迹(crawling traces)</li> <li>5. 停息迹(resting traces)</li> <li>6. 潜穴(burrows)</li> </ol>
软底沉积物 中的植物痕迹	<ol style="list-style-type: none"> <li>7. 根渗透构造(root penetration structures)</li> <li>8. 藻类叠层石(algal stromatolites)</li> </ol>
硬质底层上的 生物侵蚀痕迹	<ol style="list-style-type: none"> <li>9. 钻孔(borings)</li> <li>10. 钻洞(drill holes 或 drilling marks)</li> <li>11. 磨蚀和擦蚀痕(rasping &amp; scraping traces)</li> <li>12. 咬痕(bite traces)</li> </ol>
动物的排泄物	<ol style="list-style-type: none"> <li>13. 粪化石(coprolites)</li> <li>14. 粪铸模(fecal castings)</li> <li>15. 粪球粒(fecal pellets)</li> </ol>
非粪成因的球粒	<ol style="list-style-type: none"> <li>16. 假粪粒(pseudofeces)</li> <li>17. 回吐球粒(regurgitation pellets)</li> <li>18. 挖掘球粒(excaration pellets)</li> </ol>

### 2. 足辙迹(trackways, 亦称步迹或行迹)

足辙迹是动物在底层面上作一定方向性运动或爬动时留下的一系列成行或成组或成倍数又不连续的足趾印痕(图 1-2),这类造迹生物多数是多足的节肢动物或四足动物,如三叶虫、蜚和古蝎类等。

### 3. 拖迹(trails, 亦称移迹)

拖迹是动物连续运动时,身体的一部分(常为腹侧)接触底层

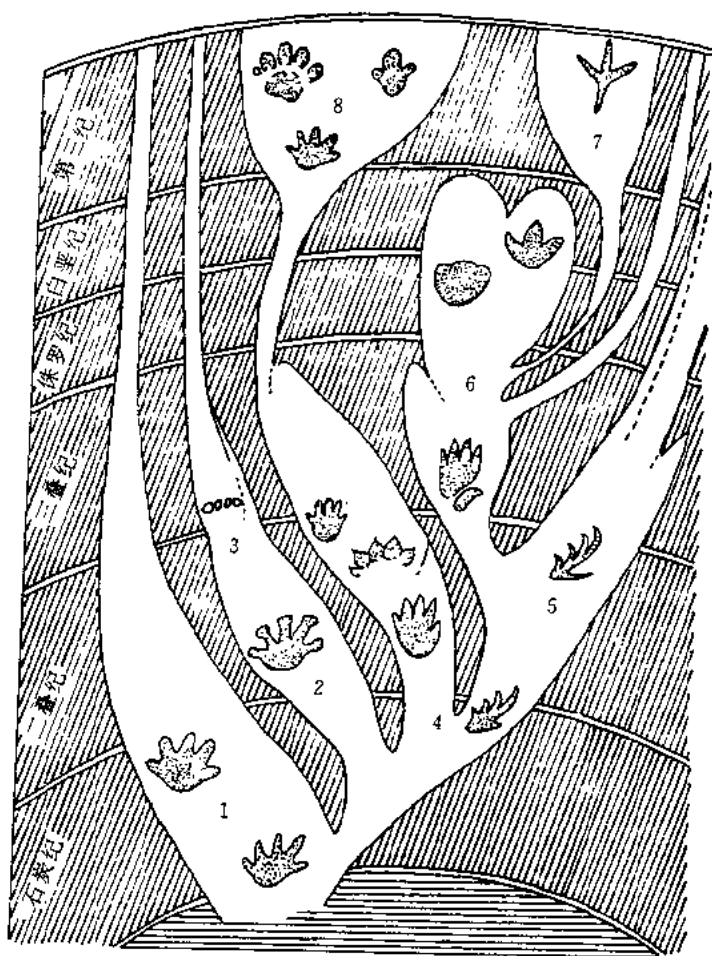


图 1-1 石炭纪至第三纪脊椎动物足迹演化图

- 1—两栖动物；2—扁形动物；3—似龟类动物；4—爬行动物；  
 5—原始蜥蜴动物；6—恐龙类动物；7—鸟类动物；8—哺乳类动物  
 (据 Seilacher, 1984)

并在底层层面上蠕动(creeping)、爬行或移动造成的连续沟槽痕迹(图 1-3)。这类造迹生物很多,主要是食泥动物,如腹足动物在

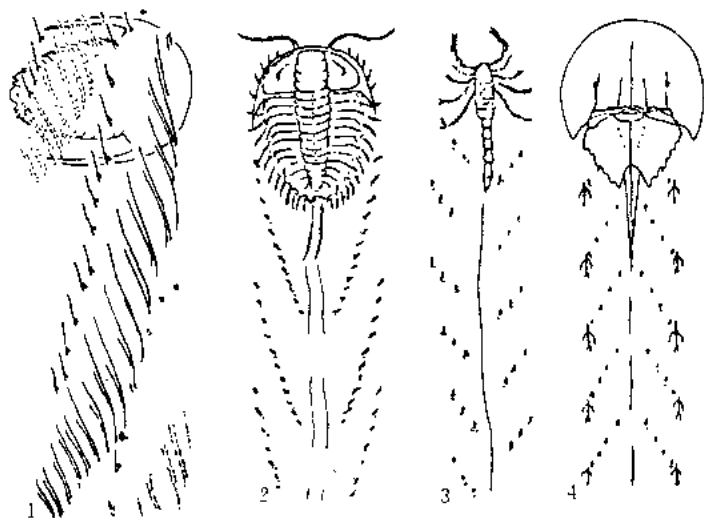


图 1-2 几种无脊椎动物的足辙迹

1、2—三叶虫；3—蝎子；4—蜇类

(据 Seilacher, 1984)

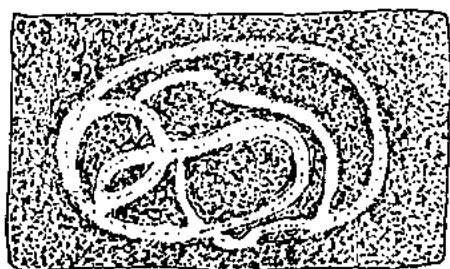


图 1-3 无脊椎动物的觅食拖迹

沙坪或浅海沙滩上爬行与觅食都可营造这类痕迹。

#### 4. 爬行迹(crawling traces)

爬行迹系动物在未团结沉积物的底层层面上利用其运动器官或附肢等进行爬动时留下的痕迹。迄今,有关三叶虫的爬行迹研究最详细,从寒武纪到泥盆纪各世纪都有不同的形态特征(图 1-4)。

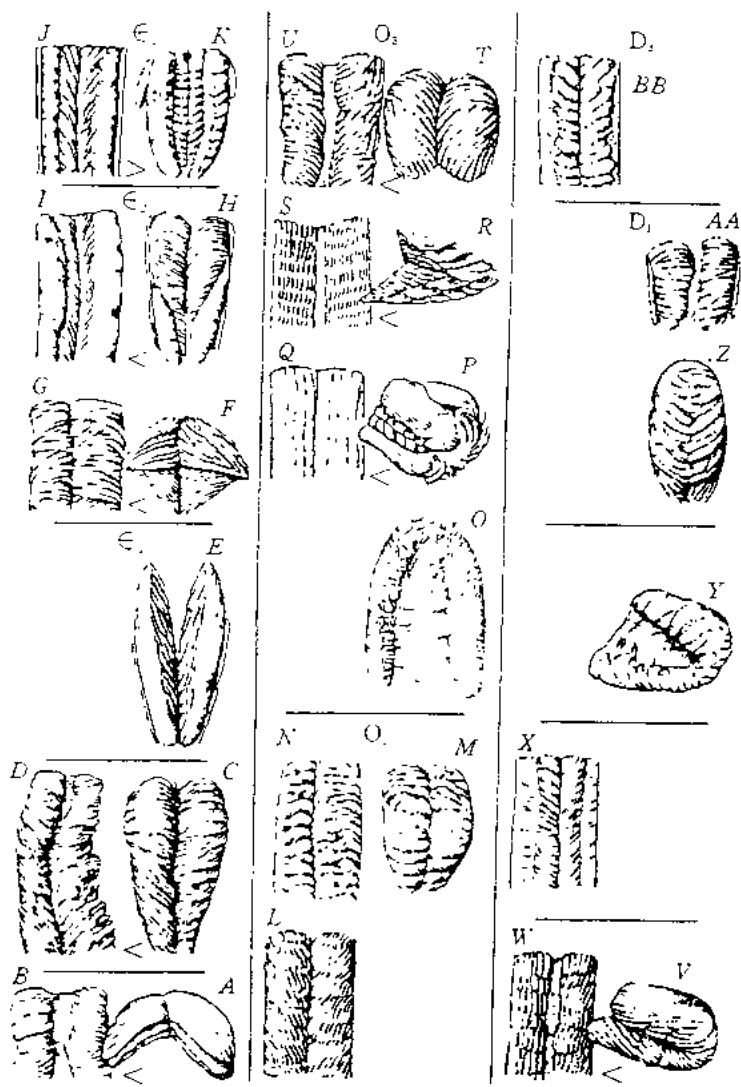


图 1-4 古生代的各种 *Cruziana* 痕迹化石

A, B—C. *cantabrica*; C, D—C. *fasciculata*; E—C. *carinata*; F, G—*barbata*;  
 H, I—C. *arizonensis*; J—C. *semiplicata*; K—C. *polonica*; L—C. *rugosa*; M, N  
 —C. *imbricata*; O—C. *lineata*; P, Q—C. *almadenensis*; R, S—C. *flammosa*;  
 T, U—C. *petraea*; V, W—C. *acacensis*; X—C. *quadrata*; Y—C. *pedroana*;  
 Z—C. *uniloba*; AA—C. *rhenana*; BB—C. *lobosa*

(据 Seilacher, 1970)

5. 停息迹(resting traces,也叫栖息迹)

停息迹指动物在松软沉积物底层层面上运行时因疲劳或遇到食敌等事件突然中断运动或正常休息停留时留下的痕迹。这种痕迹往往能够反映造迹动物的大小和部分外部形态特征。典型化石有三叶虫营造的 *Rusophycus* (皱饰迹) 和海星营造的 *Asteriacites* (似海星迹)(图 1-5 左图,图 2-15,1)。

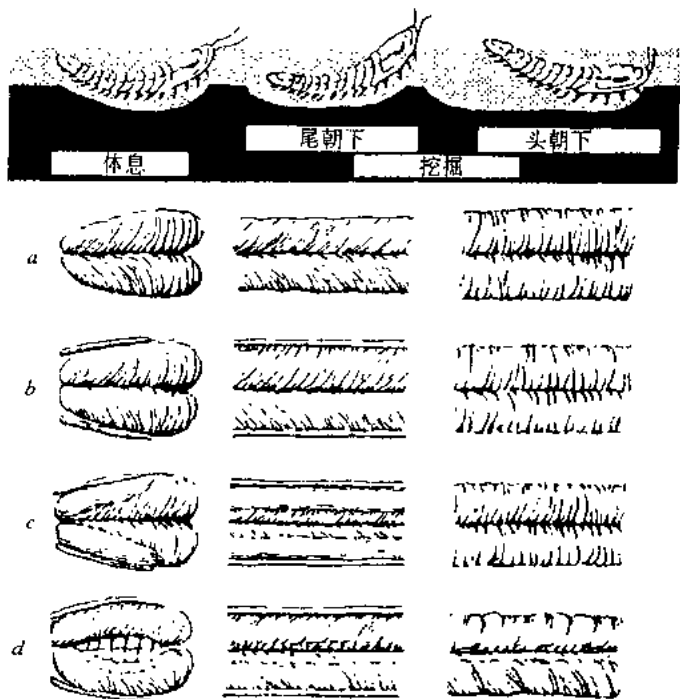


图 1-5 三叶虫动物以不同行为方式和使用不同器官  
在砂质底层上挖掘所形成的爬迹

a—仅用内肢挖掘;b—用骨肢和肋刺挖掘;c—用内、外肢和肋刺挖掘;  
d—用内、外肢、肋刺和基节挖掘

(据 Seilacher, 1970)

据 Seilacher(1970)的研究,三叶虫类动物营造的爬行迹不仅

与它的行为方式有关,而且与它的挖掘器官也有密切关系(图 1-5,图 1-6)。

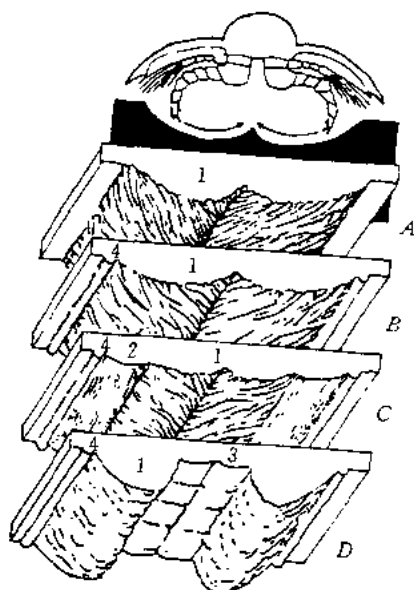


图 1-6 三叶虫使用不同器官挖掘底层所产生的不同形态痕迹  
 1—内肢痕;2—外肢痕;3—基节痕;4—肋刺痕;A—内肢挖掘;  
 B—内肢和肋刺挖掘;C—内、外肢和肋刺挖掘;D—内肢、肋刺和基节挖掘  
 (据 Seilacher, 1970)

## 6. 洞穴(burrows)

洞穴系指动物向底层内挖掘的各种洞穴。一般来讲,洞穴存在洞穴壁(wall)、洞穴管(tube)、洞穴烟囱(chimney)和洞穴模(cast)四种不同的构造特征(图 1-7)。洞穴壁指洞穴的外壁,它若被某些物质加固加厚时,就称为衬壁(wall lining)。

这些衬壁物质包括粘液、似粘液、几丁-磷灰质分泌物和碎屑颗粒(如粘土、粉砂、砂球粒、介壳碎屑或植物碎屑)。若洞穴衬壁上的沉积物颗粒被胶结后,变成一种坚固的墙壁,它就称为洞穴



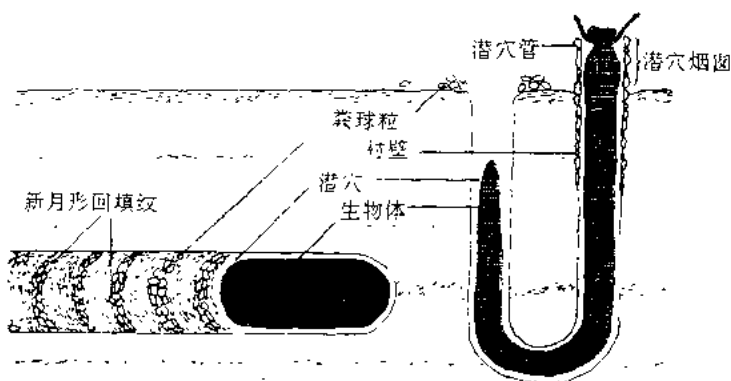


图 1-7 潜穴构造示意图

左图—某种海胆动物营造的具有新月形回填纹的运动进食潜穴；

右图—某种蠕虫动物营造的“U”形潜穴

(据 A. A. Ekdale 等, 1984)

管。潜穴烟囱是潜穴管突出于底层面沉积物之上的部分，常见例子如 *Diplocraterion* (双杯迹，图 2-7, 2a)。潜穴模亦称潜穴充填 (burrow fill)，系沉积物充填到潜穴空洞中固结形成 (图 1-7)。潜穴充填的方式分为二种，一种叫做主动充填 (active fill)，如图 1-7 所示，是在潜穴内由动物本身或其自身的行为 (即边向前挖掘边向后堆积或边食泥边排泄) 造成的充填。这种充填方式形成的潜穴充填物通常在潜穴纵剖面呈新月形回填构造 (meniscate back fill structure)；另一种称为被动充填 (passive fill)，它是指潜穴内的居住者离去或死亡后，空洞内被物理作用的沉积物充填，一般不显示回填构造。

潜穴的种类很多，痕迹学家们往往依据潜穴与底层的定向关系和潜穴的复杂程度可进一步分为垂直潜穴 (包括井形潜穴和逃逸潜穴，图 2-5)、水平潜穴 (包括巷形潜穴)、U 形潜穴、蹼状潜穴 (又称螺形潜穴，图 2-7, 2)、潜穴系统 (由垂直、水平和 T 形及 Y 形潜穴构成，图 1-8)、迷网式 (或地道式) 潜穴 (二维或平面网状潜