

痕迹学入门

吴贤涛 编著



煤炭工业出版社

痕迹学入门

吴 贤 涛 编 著

煤炭工业出版社

内 容 提 要

痕迹学是研究现代和古代生物所留下的痕迹的科学，是地学中的新兴分支。

全书共分十二章，首先介绍了痕迹学及其研究历史；并从“以古论今”和“将今论古”两个方面论述了痕迹化石与沉积环境的关系及各种沉积环境中的典型痕迹化石；痕迹化石与沉积作用；痕迹化石与地层的划分对比；痕迹化石的形态分类、真假痕迹化石的辨别及生物痕迹的演化；最后介绍了痕迹学研究方法。

本书通俗易懂，图文并茂，可供石油、地质、煤炭等部门从事地质、古生物研究的工作者，及高、中等院校地质专业的学生学习参考。

责任编辑：罗 醒 民

痕 迹 学 入 门

吴 贤 涛 编 著

*

煤炭工业出版社 出版

《北京安定门外和平北路16号》

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本787×1092¹/₁₆

印张10¹/₄

字数236千字

印数1—1,600

1986年8月第1版

1986年8月第1次印刷

书号15035·2782 定价1.70元

前 言

痕迹学是地学中一门新兴的边缘学科，它的发展，是随着化石燃料资源勘探开发对沉积环境解释的急剧需求而兴起的。

研究古代沉积环境，途径甚多，但都离不开观察具体的地层柱子。地层柱子就像一篇难懂的、没有标点符号的“古文”，以往的研究，似乎更多地强调地史中的连续、慢速、渐变过程。与传统的理论和方法不同，痕迹学在灾变的现实主义思想影响下，认为沉积地层是正常和事件两类沉积交替形成的，它把研究重点放在不连续的、快速的、突变的和灾变的过程；它对沉积环境的研究，是利用生物在正常沉积和事件沉积过程中所产生的不同反应及其留下的痕迹来进行。在判断沉积的快慢、沉积盆地的相对水深以及恢复次级沉积环境等方面，痕迹学自有其独到之处。就是说，它能把地层柱子上快速和慢速沉积圈点出来，能把不同速度沉积所代表的水深和环境部位，勾画出来，从而帮助我们读懂地层柱子这本难懂的古文，以利准确精细地重塑古代沉积环境，为寻找能源资源服务。由于痕迹学和痕迹化石研究有上述功效，因而受到当今国际沉积学、古生态学、经济地质学等方面学者们的高度重视。当然，痕迹学的研究，尚处在发展过程中，它的理论和方法，仍有待于在实践中不断修正和完善。

本书对痕迹学有关术语和痕迹化石名称的翻译是尝试性的，作者试图在优先使用已有译名的基础上，尽量把化石名称与形态及保存特征联系起来，以利记忆和鉴别。

对痕迹化石和痕迹学，作者涉猎甚浅，书中谬误或不当之处，在所难免，敬希读者不吝指正。

本书写作过程中，得到杨遵仪教授、赛拉赫教授、杨式溥教授和克拉姆斯博士的鼓励和帮助，在此致以衷心谢意。

作 者

目 录

第一章 绪论	1
一、什么是痕迹学	1
(一) 生物痕迹和痕迹化石	1
(二) 痕迹化石的特点	1
(三) 痕迹化石常用名词	1
(四) 痕迹化石的分类	2
二、研究痕迹学的意义	6
(一) 古生物地层学意义	6
(二) 古地理和古环境学意义	6
(三) 沉积学意义	7
三、痕迹学研究史	9
(一) 国外研究史	9
(二) 国内研究史	10
四、痕迹学和均变主义 (现实主义原理)	10
(一) 历史的回顾	10
(二) “以古论今”	11
五、痕迹化石在找油中的应用	11
第二章 现代环境和现代生物活动对沉积物的影响	15
一、环境重塑	15
二、环境和相	15
三、环境分类	16
四、生物活动对底层沉积物的影响	17
五、生物活动和搬运作用	19
六、生物潜穴和成岩作用	19
七、生物潜穴和搬运作用	20
八、生物潜穴中溶液的对流	22
九、生物活动和底层性质	22
(一) 潜穴清晰度与泥质底层性质	22
(二) 生物扰动和底层微结构	23
(三) 潜穴充填方式和底层性质	23
十、痕迹化石和成矿作用	23
(一) 潜穴壁衬的黄铁矿化	23
(二) 生物扰动与油气的储集和运移	23
第三章 群聚痕迹和古地理分带	24
一、滨海环境及其生物痕迹	24
(一) 现代碎屑滨海环境和生物痕迹	24
(二) 现代碳酸盐滨海环境和生物痕迹	26

(三) 滨海岩岸带痕迹化石	28
(四) 滨海沙岸带痕迹化石	28
(五) 古代滨海环境举例	30
二、浅海环境及其生物痕迹	31
(一) 现代浅海环境概况和沉积物特征	31
(二) 浅海带痕迹化石	34
(三) 浅海环境举例	36
三、半深海环境及其生物痕迹	37
(一) 现代半深海环境及其生物痕迹	37
(二) 半深海带痕迹化石	38
四、深海环境及其生物痕迹	39
(一) 现代深海环境及其生物痕迹特征	39
(二) 深海带痕迹化石	41
五、痕迹化石时间和环境分布的控制因素	42
(一) 相控制	42
(二) 属种多样性的控制	42

✓ 第四章 个体痕迹与地质信息

一、古网穴、皱饰迹与古水流方向	43
(一) 古网穴、鳞网穴与深海水流方向	43
(二) 皱饰迹与浅海水流方向	43
二、鸡尾穴与环境梯度	44
(一) 鸡尾穴的形成环境和外形特征	44
(二) 鸡尾穴个体大小和环境的关系	45
三、双管穴与底层面的加积和侵蚀	45
(一) 双管穴提供的证据	45
(二) 现代双壳动物沙螂(<i>Mya</i>)活动痕迹与底层面的加积和侵蚀	48
四、瘤形穴与能量、盐度的关系	48
(一) 瘤形穴的特征	48
(二) 瘤形穴与环境能量的关系	49
(三) 瘤形穴与古盐度的关系	49
五、蠕虫痕迹与古土壤	50
(一) 垂直型眼球构造和蠕虫	50
(二) 蠕虫潜穴、蠕虫遗体空间与碳酸盐潮汐坪上古土壤的关系	50
六、蠕虫及后生动物的生物扰动与藻席形态的变化	51
(一) 藻类生长与叠层石的形成	51
(二) 生物扰动与叠层石形态	51
七、居住潜穴和古气候	52

第五章 淡水环境及其生物痕迹

一、淡水沉积物的物理、化学性质及其底栖生物	54
(一) 淡水沉积物的物理性质	54
(二) 淡水沉积物的化学成岩作用与水深的关系	54
(三) 淡水中的底栖大生物	54

二、淡水痕迹化石	55
(一) 陆地痕迹化石特点	55
(二) 河流痕迹化石	56
(三) 网状河流的痕迹	56
(四) 三角洲、湖泊、河流水道和冲积扇环境的痕迹	56
(五) 非海相痕迹化石的鉴定	57
第六章 痕迹化石与沉积作用	60
一、慢速沉积	60
(一) 连续慢速沉积	60
(二) 不连续慢速沉积	60
二、快速沉积	62
(一) 快速沉积实例	62
(二) 快速沉积在无机构造方面的特征	62
(三) 快速沉积在有机构造方面的特征	63
三、风暴沉积	64
(一) 风暴特征	64
(二) 现代风暴沉积特征	64
(三) 风暴沉积类型及与其共生的痕迹化石	65
(四) 风暴沉积的意义	66
四、浊流沉积和浊流事件前后的痕迹	67
(一) 浊流事件前痕迹和冲击侵蚀 (Shock erosion)	67
(二) 浊流事件后痕迹和反递变	69
五、洪水沉积和洪积岩	69
六、无生物扰动和震积岩	70
(一) 地震的能量传递	71
(二) 地震岩的识别	71
七、稀有事件和灾变的现实主义	72
第七章 痕迹化石与地层划分对比	75
一、震旦纪痕迹化石	75
二、早寒武世梅树村阶 (托莫特阶) 痕迹化石	76
三、痕迹化石和前寒武系、寒武系界限问题	77
四、后生动物痕迹化石的特点	79
五、三叶虫痕迹在古生代地层划分对比方面的意义	80
(一) 三叶虫痕迹与其使用工具和着地部分的关系	80
(二) 早古生代三叶虫痕迹简述	80
第八章 痕迹化石的岩芯研究	84
一、在岩芯中研究痕迹化石的意义	84
二、岩芯和露头	84
三、岩芯中的痕迹相	85
四、岩芯处理	85
五、岩芯中常见痕迹化石	86
第九章 痕迹化石形态分类	93

一、管形痕迹	93
二、U形痕迹	93
三、圆形和椭圆形痕迹	93
四、直形痕迹	93
五、枝形痕迹	94
六、星形痕迹	95
七、螺形痕迹	95
八、弯曲形痕迹	96
九、环曲形痕迹	97
十、蛇曲形痕迹	97
十一、具叉枝的弯曲形和蛇曲形痕迹	97
十二、网形痕迹	98
第十章 真假痕迹化石的辨别	99
一、物理成因的假生物痕迹	99
(一) 水流在沉积物表面流动引起的	99
(二) 流体穿过沉积物运动引起的	99
(三) 闪电引起的	100
(四) 边缘矿物颗粒引起的	100
(五) 未岩化地层变形引起的	100
(六) 干缩裂隙引起的	101
二、化学成因的假生物痕迹	101
(一) 差异沉淀引起的	101
(二) 差异溶解引起的	101
(三) 硅化作用引起的	102
三、有机成因的假生物痕迹	102
(一) 植物	102
(二) 原生壳上的斑点	102
(三) 原生壳上的肌痕	102
(四) 印痕	102
(五) 钻孔和掘坑	102
第十一章 生物痕迹的演化	103
一、痕迹与生物行为及个体发育的关系	103
二、痕迹化石在环境分布上的演化	103
三、造迹生物个体大小的演化	105
四、觅食格局的演化	106
第十二章 痕迹学研究方法	111
一、实验观察法	111
(一) 无硬体骨骼的掘穴生物	111
(二) 具硬体但不用硬体掘穴的生物	113
(三) 用硬体掘穴的生物	114
二、实用技术法	115
(一) 研究岩化沉积物中痕迹使用的技术	115

(二) 研究未岩化沉积物中痕迹所使用的技术	116
(三) 树脂浇铸潜穴技术	116
三、数学模式法	117
(一) 颗粒的生物搬运模式	117
(二) 潜穴内溶液的扩散模式	119
(三) 潜穴内溶液的对流模式	120
(四) 研究生物扰动数学模式的意义	121
参考文献	122
名词索引	129
图版	135

第一章 绪 论

一、什么是痕迹学

(一) 生物痕迹和痕迹化石

痕迹学 (Ichnology) 是研究现代和古代生物活动留下痕迹的科学。研究现代生物活动痕迹的, 称新痕迹学 (Neoichnology); 研究古代生物活动痕迹的, 叫古痕迹学 (Palaeoichnology)。

地质工作者感兴趣的主要是古痕迹学。因为它能帮助解决诸如地层对比、环境分析、古地理再造等重大地质问题。但是要有成效地研究古痕迹学, 还必须借助于新痕迹学, 因为“将今论古”是地质学各领域普遍适用的法则。对痕迹学的研究, 当然也不例外。

古痕迹学研究的主要材料是痕迹化石。

痕迹化石是古代生物在底层内或底层层面上进行钻穴、行走、栖息、觅食、逃跑、潜伏等活动时留下的遗痕。底层主要由泥、粉砂、砂、灰泥等构成。但也有不少生物是在树木上掘穴(如藤壶, *Barnacles*)或在其它生物壳上钻孔(如牡蛎, *Oyster*)的。其形成时间大都在沉积之后, 但也有和沉积同时的。如逃逸构造。

痕迹化石 (trace fossils) 和实体化石 (body fossils) 不同之处在于, 前者反映生物受底层和其它古生态参数(如水深、沉积物粗细、能量、盐度、水温等)控制的生命活动; 而后者则主要或更多地是反映生物的构造。

(二) 痕迹化石的特点

德国赛拉赫 (A. Seilacher) 和美国的弗莱 (R. Frey) 认为痕迹化石的特点有四:

1) 延续时限长。已知痕迹化石的延续时间大多很长。这个特点对进行生物地层对比是不利的, 但却有利于对不同时代的岩石进行古生态比较。

2) 痕迹相带范围窄。这个特点反映形成痕迹的生物对古生态条件是有选择的。即从大陆到海盆最深处的不同环境带, 会出现不同的痕迹化石。

3) 无次生变位。痕迹化石和实体化石不同, 它不会受搬运作用的影响, 因此真实地反映了原有的沉积环境。此外, 制造痕迹的生物有时会破坏或掩盖能反映沉积环境的沉积构造, 这时, 痕迹化石就成了能说明环境的唯一线索。

4) 易于研究。痕迹化石没有实体化石那样繁多的名称, 因为生物的行为与其所生活的环境密切相关。不同的生物由于生活在同一环境中而可能具有相同或相似的觅食、防护方法, 相同或相近的栖息洞穴。所以存在有相同或相似的痕迹化石。

(三) 痕迹化石常用名词

足迹 (Tracks): 生物单个足脚孤立地印在底层层面上的痕迹。

足辙迹 (Trackway): 单个生物作连续线形运动时, 遗留下的连续足迹。

拖迹 (Trail): 生物以其身体的一部分或全部, 在底层层面上爬过后, 留下的象犁田一样犁出的连续沟垄。

潜穴 (Burrow): 生物为了防护和觅食, 在尚未固结的底层内所挖掘的穴道。

钻孔 (Boring): 生物在坚硬的底层钻凿的孔洞。

井形潜穴 (Shaft): 垂直的圆柱状潜穴, 也可能是复杂潜穴系统中的垂直部分, 见 (图3-6)。

巷形潜穴 (Tunnel): 生物在沉积物内挖掘的水平圆柱状潜穴, 或是一套复杂潜穴系统中的水平部分, 见 (图3-6)。

螺形潜穴 (Spreiten): 许多密集并相互平行呈螺旋状的潜穴。这种潜穴是生物在底层内向上、向下或向侧方移动时形成的。有时也可呈同心状, 见 (图3-6)。

主动充填 (Active fill = Backfill): 底层层内或层面上的痕迹被生物所充填, 称为主动充填。它是生物行为形成的构造的一部分。常呈新月形结构, 见 (图8-14)。

被动充填 (Passive fill): 底层层内或层面上的痕迹被后期沉积物充填, 称为被动充填。

生物扰动构造 (Bioturbation structure): 沉积作用受生物活动的扰动所形成的构造。由于沉积物的再作用, 其中的痕迹化石一般缺乏清晰的几何形态而呈痕斑结构 (burrow-mottled texture图1-4, A)。

根据生物扰动破坏原生层理的程度, 可将生物扰动分为下列七个强度等级 (据瑞纳克, Reineck, 1963), 见 (表1-1)。

生物扰动强度分级

表 1-1

强度等级	生物扰动程度 %	生物扰动分类
0	0%	无生物扰动
1	1~5%	微弱生物扰动
2	5~30%	弱生物扰动
3	30~60%	中等生物扰动
4	60~90%	强生物扰动
5	90~99%	极强生物扰动
6	100%	全生物扰动

(四) 痕迹化石的分类

痕迹化石常用的分类方法有三种。①根据其在地层中的保存情况, 称为保存分类; ②根据造迹生物的行为特征, 叫做生态分类; ③根据其形态特点, 称之形态分类。

形态特征是痕迹化石分类, 定名的主要依据, 将在第九章专门叙述。但是保存情况和行为特征对于研究痕迹化石与地层的关系, 研究沉积作用的状况进而对古地理、古环境的恢复都有重要意义。现将赛拉赫1968年提出的保存分类和弗莱1975年提出的生态分类, 分别介绍于下。

赛拉赫的保存分类 (1964) 见 (图1-1):

1) 上浮痕 (Epirelief)

痕迹位于砂岩层的顶面上。又可分为两种: 如浮痕的凹面向上, 称为沟痕; 如凸面向上, 则为脊痕。

2) 下浮痕 (Hyporelief)

痕迹位于砂岩层的底面。底面的沟痕凹面向下, 脊痕的凸面也向下。

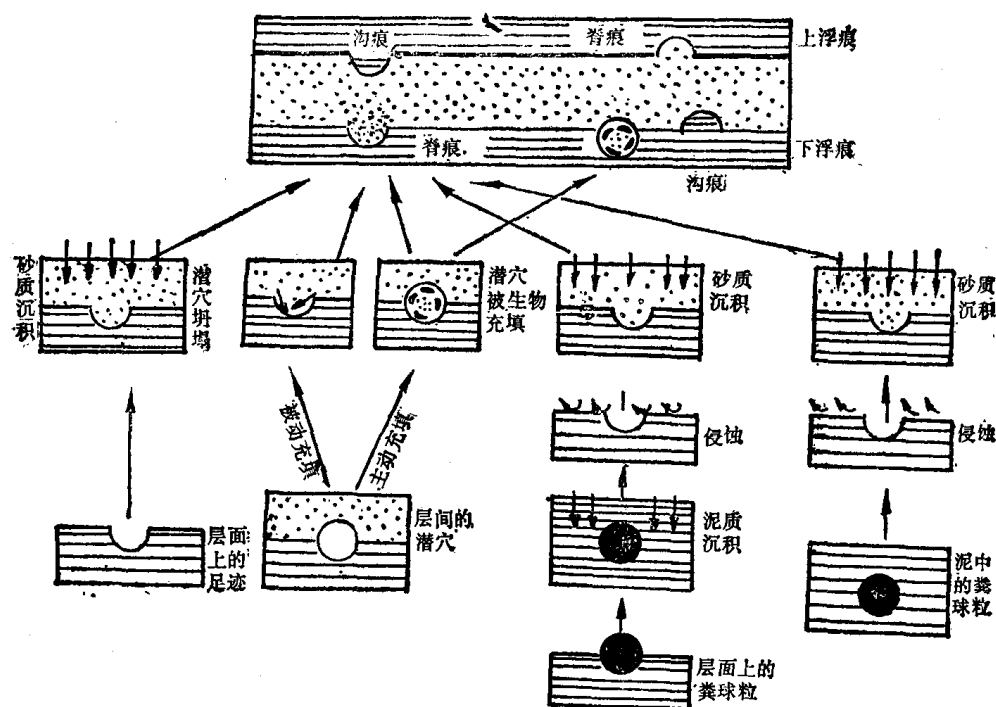


图 1-1 痕迹化石保存分类
(据赛拉赫, Seilacher)

3) 全浮痕 (Fullreliefs)

是与周围沉积物分离的痕迹。这种痕迹的保存方式是在岩层的剥离面上，但沿沉积物的层间面也可找到。

弗莱的生态分类 (1975) 见 (图1-2)；

1) 休息痕迹 (resting traces)

在水底表面活动或在水底浮游的生物休息时形成的痕迹。例如，螃蟹为了躲避肉食生物的攻击，暂时隐藏海底，有时可达数小时之久。休息痕迹能反映造迹生物的外部形态，因为此时的运动量最小。但当生物离开休息地时，也能破坏其休息痕迹 (图1-2, D)。

典型的休息痕迹化石有三叶虫的休息痕迹 (*Rusophycus*) 和海星休息痕迹 (*Asteriacites*)。

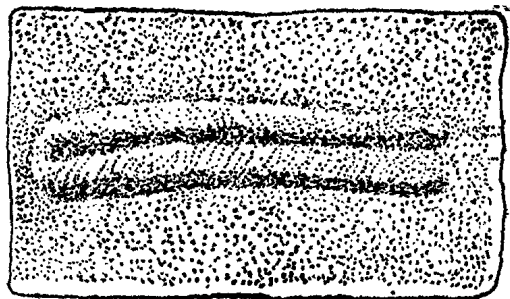
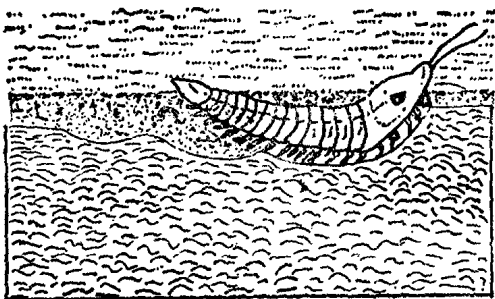
2) 爬行痕迹 (crawling traces)

是在水底活动或浮游的生物爬行时形成的痕迹。其中最常见的是肉食生物、腐食生物和某些吃沉积物的生物 (如蜗牛)。它们爬行运动的方向常一定 (图1-2, A)。

爬行痕迹多出现在不同沉积物的分界面上，如砂和粉砂的界面上。已知爬行痕迹有二叶石 (*Cruziana*)、犁沟迹 (*Aulichnites*)、斯科尼西亚迹 (*Scolicia*) 等。

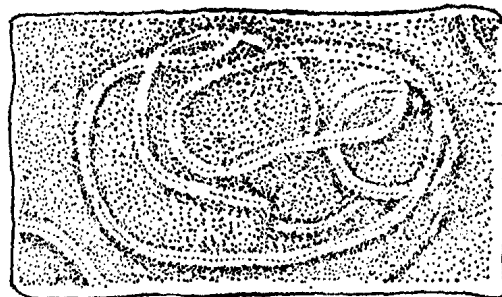
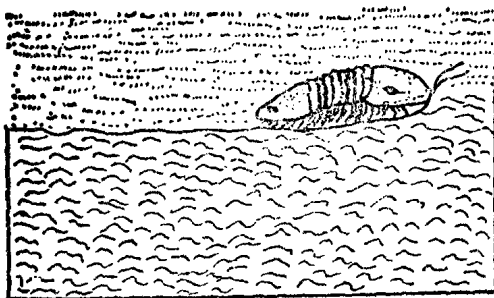
3) 觅食痕迹 (grazing traces)

生活在水底表面的可移动生物，在底层层面上、或在接近层面处，寻找食物时形成的痕迹。有些生物如蛤，可在接近层面处掘穴，用其可伸缩的水管，吮吸底层上的沉积物作为食料 (图1-2, B)。



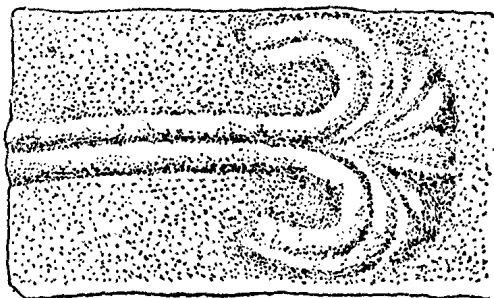
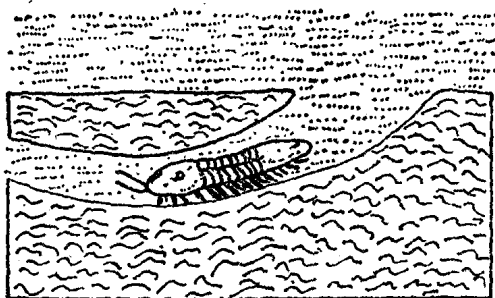
A

A. 爬行痕迹



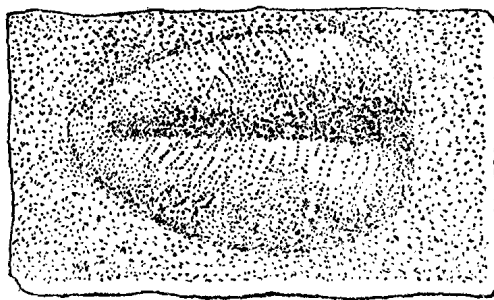
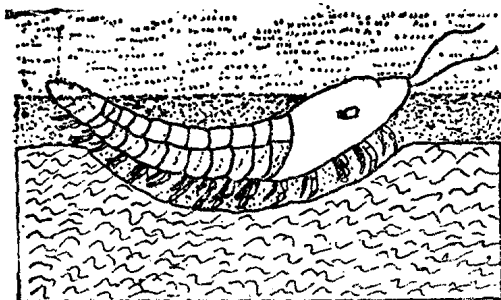
B

B. 觅食痕迹



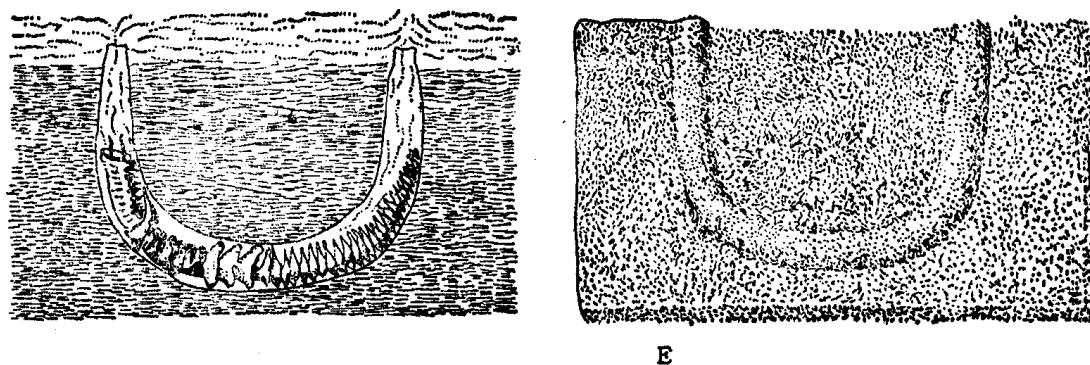
C

C. 进食痕迹



D

D. 休息痕迹



E. 居住构造

图 1-2 痕迹化石生态分类

觅食痕迹能显示造迹生物活动的路线格局。它们有的呈蛛网状，如鸡尾穴 (*Zoophycos*)；有的呈相互平行的螺旋状，象环线穴 (*Spirorhaphes*)、环形迹 (*Spirophycus*) 等深海类型痕迹。

4) 进食构造 (feeding structures)

吃沉积物的生物，在水底底层内或底层上，进取食物时形成的构造，称为进食构造。它们可以把这种构造当作暂时栖息的场所 (图1-2, C)。

此类构造与觅食痕迹不同之处在于：前者好比“井下采掘”，后者如同“露天剥离”。

进食构造有的相对简单，如沙蠕迹 (*Arenicolites*)；有的比较复杂，如罗塞尼迹 (*Rosselia*)；有的还有一系列探穴，如康藤穴 (*Chondrites*)。

5) 居住构造 (dwelling structures)

由固着或半固着的水底生物，为居住而建筑的构造。这类生物有的吃悬浮物质，有的吃腐食，也有食肉的。如由多毛虫纲巢沙蚕属 (*Diopatra*) 建造的管状居住构造 (图1-2, E)。

居住构造是生物作为防护、繁殖、孵卵和进食的场所，因此要求有坚固的“保护壁”，使之不易坍塌。有的生物在整个生命期都定居在居住构造内，有的则周期性地弃旧筑新。

现代居住构造有多毛虫的管状居住构造和蜗牛的潜穴等。

化石居住构造有针形穴 (*Skolithos*)、瘤形穴 (*Ophiomorpha*) 等。

6) 逃逸构造 (escape structures)

逃逸构造是半固着生物或轻微活动生物，被沉积物掩埋或被水流冲刷后钻出沉积层表面或向更深处掘穴时遗留下的痕迹。这类构造和沉积物的沉积或被冲刷的情况密切相关。如果底层沉积物被冲刷，这类生物就得向下掘穴；如果底层沉积物加积，这类生物必须向上移动。以便保持生物在沉积物——水界面附近的“平衡” (图1-3)。

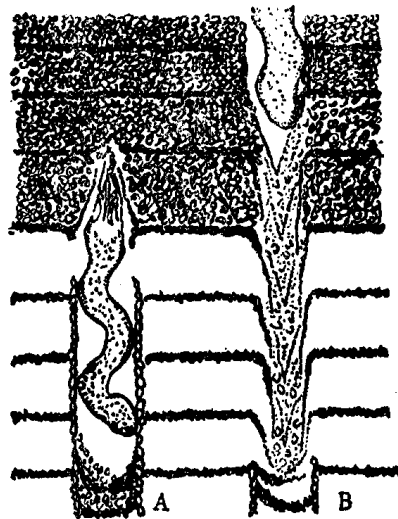


图 1-3 逃逸构造

A—海葵被沉积物覆盖；
B—海葵上突，冲破沉积物，形成逃逸构造

典型的逃逸构造在垂直剖面上呈叠置的人字形。如现代甲壳动物美人虾(*Callinassa*)即可形成人字形的逃逸构造。

二、研究痕迹学的意义

(一) 古生物地层学意义

痕迹化石是化石记录的一部分,因而也是古生物学的组成部分。但和传统古生物学不同的是,痕迹化石所遗留的“生命证据”常是软体动物的活动痕迹。因此,对于没有硬体构造的生物,也可在地层中找到其生命活动的记录。这对于研究缺乏硬体构造的前寒武纪生物及其演化具有重要意义,弥补了实体化石在早期地球历史研究方面的不足。又由于痕迹化石主要是生物居住、觅食、进食、休息、繁殖、逃逸等生命活动在沉积层中的痕迹,这些痕迹一旦记录下来,便不易被破坏。所以在那些实体化石易遭破坏的岩层中(如砂岩),却可找到大量痕迹化石,这弥补了实体化石在地层分布上的某些不足。

(二) 古地理和古环境学意义

痕迹化石可以用来重塑古环境和古地理。我们知道,生物和环境密切相关,在不同环境下,生物活动的痕迹很不相同。在滨海地带,潮汐波浪频繁,处于高能环境。生物为躲避波浪冲击,常垂直掘穴而居。又由于波浪能卷起沉积物,那些细小的、富有营养的有机物质颗粒便呈悬浮状态,因而这些穴居生物可摄取这些悬浮有机物质,以维持生命。所以,在这种环境下,生物活动痕迹以垂直掘穴为主要特征。

在浅海环境下,潮汐波浪常不达海底,因此海底处于低能环境。在这种环境下的生物,无需深挖洞来掩体。此外,这里波浪和水流微弱,不能把沉积物卷起。故海底生物不能坐等食物到来,而必须四处寻觅。它们寻找的常是沉积在海底的有机沉积物质,故又称食沉积物生物。因此,在这种环境下,生物往往沿底层层面爬行或挖掘倾斜潜穴。

在深海环境,周期性的浊流可把浅海区的有机物质带到深海盆地,在浊流沉积层序的顶部形成一层薄薄的泥质沉积层。痕迹生物往往沿着这层沉积薄泥进行活动,留下深海盆地特有的痕迹化石。

德国人赛拉赫,根据痕迹生物在不同深度的海水中的分布,划分了六个痕迹相(ichnofacies)带:

1) 斯科耶尼亚迹(*Scoyenia*)相

与红层或与潮上带其它非海相沉积共生。多为脊椎动物或节肢动物的足迹或爬行痕迹。

2) 针形穴(*Skolithos*)相

主要分布于潮间带或海水很浅的、未固结的软质海底地区。痕迹生物多数具有垂直管穴或U形管穴。

3) 舌形迹(*Glossifungites*)相

见于硬质海底的潮间带地区。由于强烈的波浪和潮汐作用,痕迹生物常垂直钻孔或挖掘孔道,因而留下钻孔或孔穴痕迹。

4) 二叶石(*Cruziana*)相

分布于潮下带或陆棚浅海区。该地带水流搅动减弱,常见生物的休息、觅食痕迹,水平或倾斜分叉的潜穴亦多。

5) 鸡尾穴(*Zoophycos*)相

位于浅海到深海过渡的大陆坡地区，或波浪作用面以下浊流作用带以上的地区。在这种环境下，水的搅动进一步减小，因此水中含氧量降低，但有机质含量丰富，同时沉积物的分选性和成层性较差。所以生物为了觅食既需在底层面上寻找也需在底层内探索，因而生物扰动（bioturbation）强烈。以此带的代表性痕迹化石鸡尾穴为例，造成这种痕迹生物的“长鼻”，可深入底层达1m，以摄取底层中的有机物质为食料。

6) 沙蚕迹 (*Nereites*) 相

在深海盆地底部，海水含氧量很低，光照微弱，可供深海盆地底部生物食用的有机物质，主要靠浊流和远洋沉积物供给。这类沉积物往往只在浊流的间歇期，薄薄地沉积在海底表层。因此活动在这里的生物，如何有效地摄取周围表层层面上的有机质以营生，便是主要目的。在这种环境下，痕迹化石的特点是具有各种格局型式的网状、螺旋状的爬行和觅食痕迹。

(三) 沉积学意义

痕迹化石在沉积学研究中，常被当作生物成因的沉积构造来看待。生物沉积构造能提供沉积速度、沉积间断和侵蚀、底层稳固性等方面的信息。

1. 沉积速度

痕迹化石对于解释沉积速度的快慢很有帮助。例如

快速沉积：这多发生在港湾侧向快速堆积的点坝区，或因风暴卷起沙石而沉积下来的滨岸沙滩和沙洲地带。在这些地方，一次风暴之后可堆积厚达30cm的沉积物。突然降临的风暴常把在海底爬行的生物掩埋。为了逃生，这些生物常可成功地从被埋没的沉积物中钻出来，因而形成逃逸构造（图1-3）。沙弗尔（Schafer）1972年曾报导德国北海沿岸多毛虫（*Aphrodite*）可从一次沉积厚达25~30cm的沉积物中逃跑出来，有些瓣腮类甚至可突破更厚的沉积物。所以，在快速沉积的地层中，逃逸构造便是其特有的标志。

慢速沉积：风暴过后，往往代之以平静的正常天气，此时海水水流处在正常状态，沉积物的沉积速度亦处在正常的缓慢状态。在这种情况下，生物活动和沉积作用可保持同步，沉积层中留下生物强烈扰动的痕迹，层理被彻底搅乱而无法辨认。因此缓慢沉积的标志是因沉积层理被破坏而显示出来的生物扰动（图1-4，C、D、E）。

2. 沉积间断和侵蚀

要了解沉积地层是否经历过间断和侵蚀，可用痕迹化石康蕨穴为例来说明（图1-5）。

（1）代表粉砂沉积之后，有一段沉积间断期。此时康蕨穴痕迹生物开始掘穴，以寻求食物和庇护。

（2）间断之后再接受沉积，新沉积物（砂）填塞了康蕨穴潜穴。

（3）新沉积物沉积后，被侵蚀掉，沉积了更新的沉积物（粗砂）。

（4）更新沉积物（粗砂）连同原有的粉砂岩和康蕨穴主穴道，都被剥蚀而去，只剩下生物粘液粘结的新沉积物（砂）充填的支穴道。

因而，在地层中若发现如图1-5的情况，就可推知此沉积层经历了沉积间断（生物掘穴）——沉积——侵蚀——再侵蚀等阶段。

3. 底层稳固性

底层在结构上是否具有稳固性，可根据痕迹化石的属种和数量来判断。底层若为分选良好的纯净沙沉积，其稳固性便低，说明是在高能环境下形成，造迹生物多数吃悬浮食

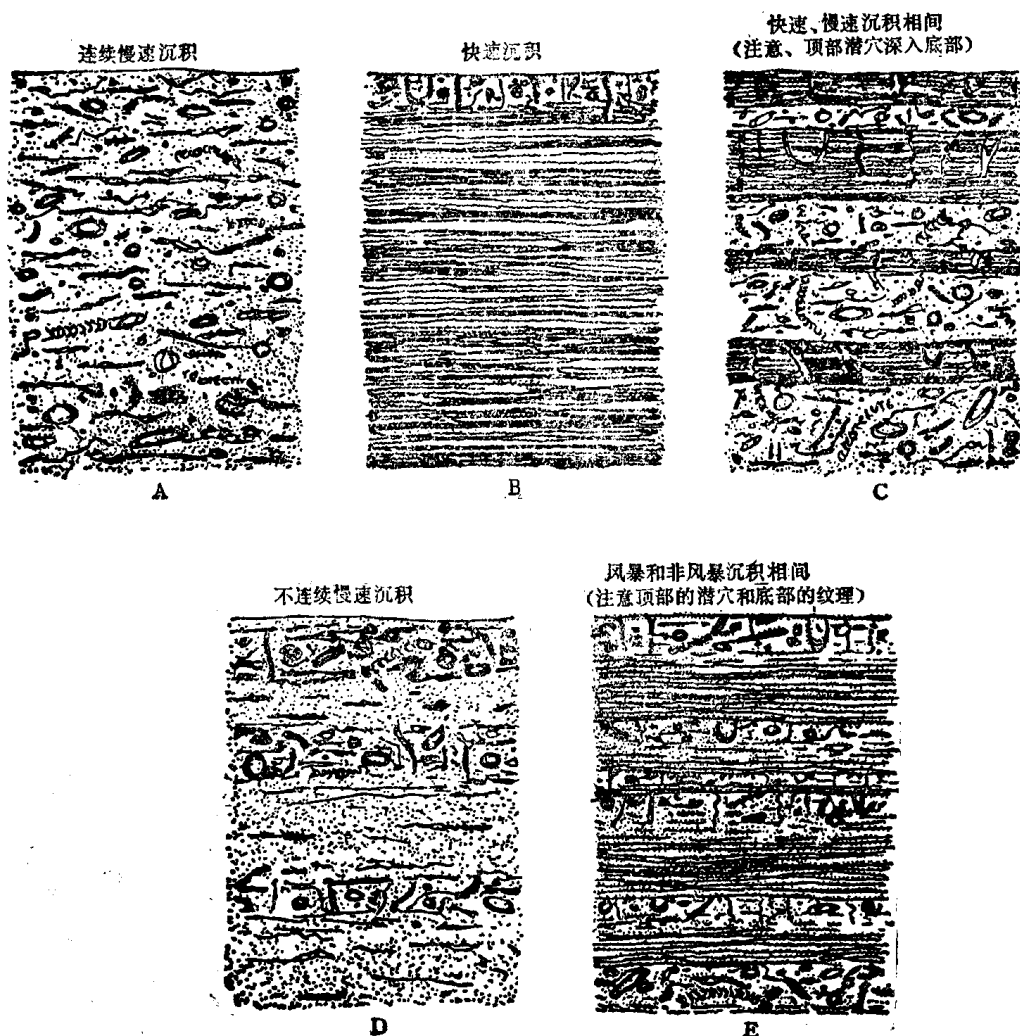


图 1-4 生物扰动和沉积速度示意图

A—痕斑结构，代表连续慢速沉积，
B~E—分别代表生物扰动和沉积速度相互间的不同关系



图 1-5 康蕨穴潜穴与沉积间断和侵蚀作用的关系

物，且属种和个体数量都较少，所建造的潜穴深而坚固，以便抵御浪力的袭击。底层若全为粘土级颗粒的沉积，其稳固性也低，造迹生物的属种和个体数量也很少，这是因为在泥泞的底层，造迹生物的运动受到限制。这说明，底层稳固性也是控制造迹生物分布的因素之一，这个因素甚至比底层沉积物的成份更重要。

4. 其它