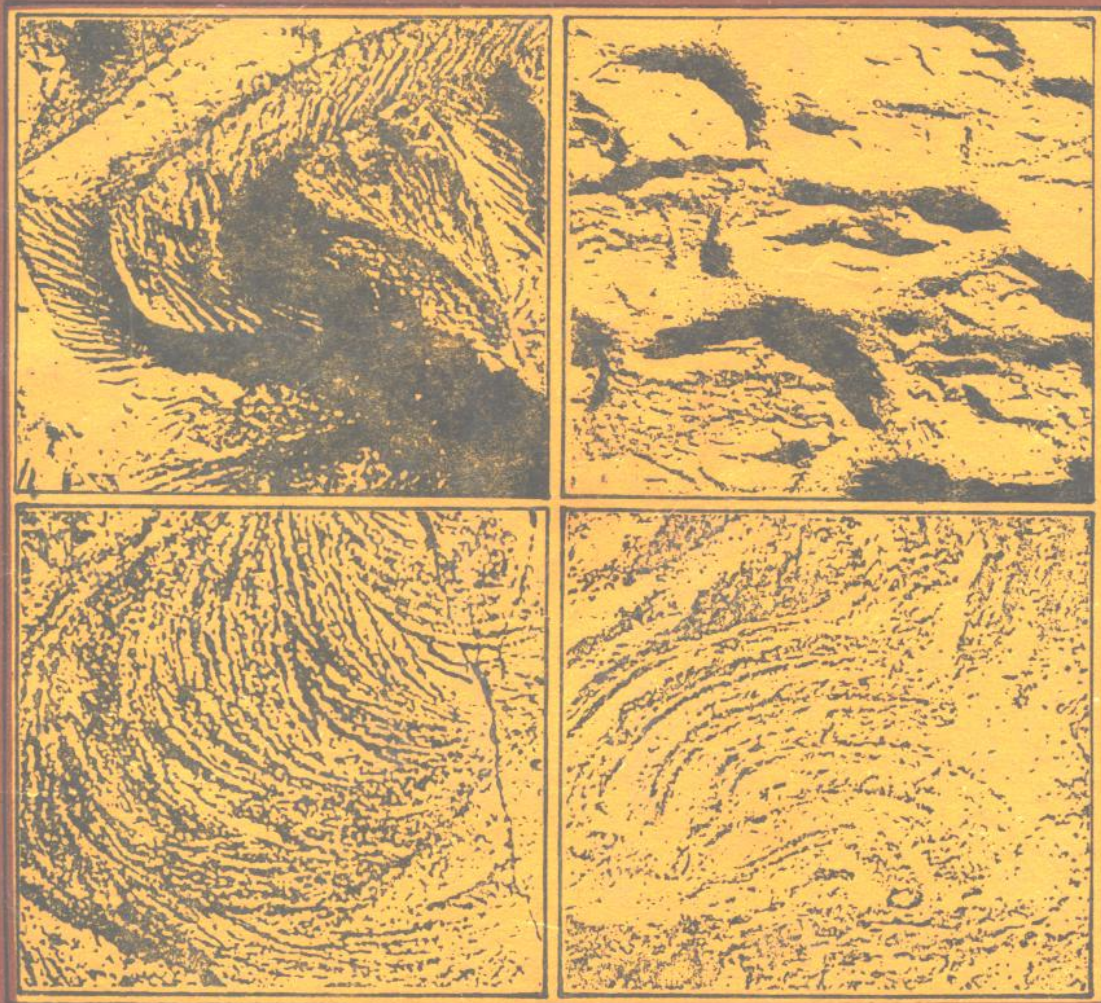


古遗迹学

杨式溥 著



地质出版社

古 迹 学

(自然科学基金资助项目)

杨 式 溥 著

地 质 出 版 社

古 迹 学

杨式溥 著

责任编辑：荣灵璧

地质出版社出版发行
(北京和平里)

地质出版社印刷厂印刷
(北京海淀区学院路29号)

新华书店总店科技发行所经销

开本：787×1092¹/₁₆。印张：11.25 铜版图：9页 字数：299000

1990年9月北京第一版·1990年9月北京第一次印刷

印数：1—1000册 国内定价：8.60元

ISBN 7-116-00666-4/P·569

序

古遗迹学是专门研究地质时期生物活动留下的遗迹化石，是地学中一门新兴的边缘学科。研究古遗迹学对于确定古动物群落的性质、地层对此、恢复古代沉积环境，和判别生物对沉积物成分的影响有着重要意义。并在能源（石油和煤炭）和矿产资源的勘探方面具有较大的应用价值。

古遗迹学在我国过去几乎是一个空白领域，80年代开始才受到许多地质学家们的重视。为了促进这门学科的发展，作者根据近年来自己系统采集和研究的各时代遗迹化石和教学上的经验，编写这本以我国实际资料为基础，系统介绍该学科领域中的基本概念、新理论和新成就。

在绪论中重点介绍古遗迹学的研究范围，遗迹化石的特殊性质和如何识别遗迹化石，对遗迹化石分类。在第二章系统介绍了形态分类、保存分类、生态习性分类和综合分类。第三章扼要介绍在研究当中最基本、最重要的方法即对遗迹化石进行细致深入的行为习性分析，因为只有通过这种分析，才能使已经灭绝的遗迹生物同其生活环境联系起来。第四、五两章系统介绍了遗迹化石在古生物学、地层学、沉积学和古生态学方面的应用，说明遗迹化石研究无论是对生物进化理论和地质生产实践都具有广阔的前景。

本书的后半部分（第六至十章）是以我国实际资料为基础介绍一些古遗迹学中重要的专门问题。第六章介绍了当前广泛被采纳的遗迹相以及在我国的应用，遗迹相是遗迹化石群落同具体沉积相的结合，是遗迹学当中最显著的成就。第七章介绍了我国当前发现的最古老的遗迹化石，包括元古代和震旦系寒武系界线附近的遗迹化石。这涉及到后生动物的进化理论和震旦系寒武系界线的划分问题。第八章系统介绍了我国古生代早期（寒武纪至泥盆纪）*Cruziana*遗迹群落的地层和地理分布，这是近年来在我国新发现的7个不同时代和不同层位的*Cruziana*及其相关的遗迹组合。这些成果丰富了我国和世界上有关三叶虫遗迹化石——*Cruziana*群落的知识，补充了这些很少化石的砂岩系地层的划分和对比。第九章对深海相的遗迹化石研究过去在国内完全是空白领域，本书系统介绍了我国寒武纪至白垩纪海相浊流沉积复理石相的遗迹化石群，书中还介绍了这些遗迹化石的古生态和古环境以及这些产地同中国板块构造对接带的关系。这些遗迹化石的研究对于石油勘探，古地理古环境分析都具有重要的意义。

在本书最后一章（第十章）系统介绍了我国各时代常见的遗迹化石，共选取50个遗迹属70余个遗迹种。掌握我国常见的这些遗迹化石对于今后进一步开展古遗迹学研究是十分必要的。书中为了便于掌握这些属种，尽可能附以各属的素描图和化石的照像图版。

本书适用于古生物学、沉积学、石油和煤田勘探等专业的大学生和研究生作为教学参考书，或广大地质工作者、石油煤田勘探工作者作为科学研究参考丛书。

目 录

序

第一章 绪论	1
一、遗迹学的定义及研究范围	1
二、遗迹化石的特殊性质	4
三、如何识别遗迹化石	8
第二章 遗迹化石的分类和命名	11
一、保存分类	11
二、行为习性分类	13
三、形态分类	17
四、遗迹化石的命名	19
第三章 遗迹化石的行为习性分析	21
一、潜穴的类型及其功用	22
二、停息迹的分析	29
三、运动形成的遗迹——爬行迹分析	30
第四章 遗迹化石的古生物学和地层学应用	39
一、遗迹化石的古生物学应用	39
二、遗迹化石的地层学应用	43
第五章 遗迹化石的沉积学和古生态学应用	49
一、遗迹化石的沉积学应用	49
二、遗迹化石的古生态学应用	55
第六章 遗迹相及其对环境分析的意义	61
第七章 中国上元古界和震旦系—寒武系界线附近的遗迹化石	78
一、中国上元古界的遗迹化石	78
二、滇东、川中地区震旦系—寒武系界线附近的遗迹化石	80
第八章 中国古生代 <i>Cruziana</i> 遗迹相及其地层和地理分布	90
一、三叶虫的行为习性分析和 <i>Cruziana</i> 的形成	90
二、中国的 <i>Cruziana</i> 遗迹群落及其地层和地理分布	96
第九章 中国浊流沉积复理石相的遗迹化石	114
一、浊积岩及其遗迹化石研究的进展	114
二、我国地史时期复理石相遗迹化石	117
三、复理石相遗迹化石的古生态和古环境	127
四、复理石相遗迹化石与板块构造的关系	131
五、复理石相遗迹化石在地史时期的分异度变化	132
第十章 我国常见的遗迹化石描述	134
参考文献	161
图版说明及图版	175

第一章 绪 论

一、遗迹学的定义及研究范围

遗迹学 (Ichnology) 这个名词是由希腊文“iknos”——轨迹和“logos”——学问或科学所组成,是指研究动物和植物生活时期在沉积物中活动所留印下来的痕迹记录。从沉积学的角度可以说遗迹学研究沉积后 (post-depositional) 生物作用于沉积物的影响;或者说研究各种生物成因构造 (Biogenic structure)。生物成因构造正如同物理的、化学的沉积构造一样重要。这个研究领域包括生物同沉积物底层 (substrata) 之间相互作用的关系。

遗迹学包括新遗迹学 (Neoichnology) 研究现代生物的遗迹学和古遗迹学 (Palaeoichnology 或 Palichnology) 研究地史时期生物活动的化石记录。

虽然遗迹学是介于生物学、古生物学、地层学、古生态学和沉积学,还有地球化学之间的边缘交叉学科,甚至在许多方面对上述学科都可以提供有用的资料 (详见第四、五章),近三十年来的发展,证明这个学科已经成为一个非常有用的独立的学科。

早期历史上曾经把遗迹学隶属于古生物学,这是因为遗迹学研究生物 (或生物化石) 的活动记录,在研究方法上更接近于生物学和古生物学,并且遗迹学的研究,确实对于各类古生物化石 (脊椎动物、无脊椎动物及微体化石) 均可以提供许多重要的信息,尤其是对生物的行为习性的解释。但是从另外一方面看,遗迹学完全是一个独立的学科,因为遗迹化石 (Trace fossils) 是完全不同于实体化石 (body fossils) 的特殊产物,它既属于广义的化石,也属于某种生物成因的沉积构造。

生物遗迹学研究的领域很广泛,其中最主要的是研究造成遗迹的生物种类 (即造迹生物),解释这些遗迹所代表的生物行为习性,恢复造迹生物的生活条件,研究这些遗迹是怎样形成和保存下来的,它们在什么环境和什么时间造成的,以及这些遗迹对于生物的和化学的、物理的环境有什么影响;也就是说如何使所有这些资料最大限度的用来丰富我们的地质学和生物学。总之,遗迹学是一个尚未完全打开的宝库,这里蕴藏着许多非常有用的地球科学和生命历史的信息,有待于我们去开发。对于地质学家来说需要研究地质时期的遗迹化石,因为它可以帮助解决诸如环境分析、地层对比、恢复古地理环境等重大的地质问题。

尽管现代和古代环境中生物及其形成的遗迹无处不在,但由于人们对遗迹缺乏认识,尤其是对于遗迹作为一种沉积营力所起的作用,却普遍被人们忽视,对于地质学家和沉积学家来说,自然界的无机沉积构造同生物沉积构造二者是同样重要的,不应当忽视任何一个方面。沉积学家认为遗迹学是研究各种生物成因构造的学科,然而生物成因构造包括的范围很广,据 R. W. Frey (1971, 1973) 研究,它应当包括以下内容。

生物成因构造 (Biogenic structures) 指生物活动形成的各种构造;包括沉积底层发现的各种能反映生物行为习性的或生物功能的形态特征和证据,又可划分为生物沉积构

造，生物侵蚀构造和其他可以表示生物活动的证据，但在生物成因构造中应当排除生物的实体，也不应当包括由生物体埋藏在沉积物中形成的内模，印痕，因为它们是生物死后被动的同周围岩石相接触而产生，并非生物生活时期活动造成的。

1. 生物沉积构造(biogenic sedimentary structure) 是指由于生物在未固结的沉积物之上或其中活动而形成的构造，包括生物扰动构造，生物成层构造和生物沉积构造。

(1) 生物扰动构造(bioturbation structure): 由于生物的活动(例如足迹、移迹、潜穴等类似的构造)中断，扰乱和破坏了原来的生物成因的和物理成层构造或沉积组构，谓之生物扰动构造。

(2) 生物成层构造(biostratification structure): 由生物活动参加而形成的生物成因沉积的层理构造，包括生物成因的递变层理，足丝垫(byssal mat)和叠层石等。

(3) 生物沉积构造(biodeposition structure): 由于生物活动引起的产物和聚集于沉积物中的一种生物成因构造，例如粪粒，生物侵蚀产物和粪铸型以及粪化石等。

2. 生物侵蚀构造(bioerosion structure) 由生物对坚硬物质(包括石质硬底、骨骼、贝壳、木头)机械挖掘或用生物化学侵蚀方法而形成的生物成因构造，包括钻孔、抓痕、咬痕等。

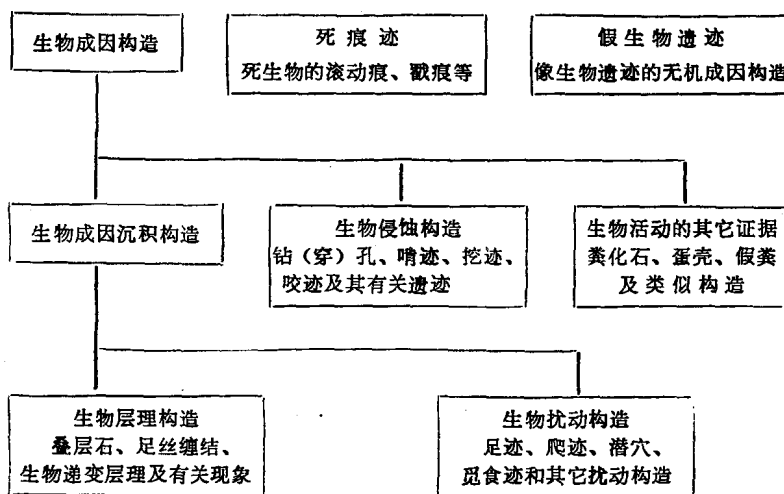


图 1-1 生物成因构造的关系

(据R. W. Frey, 1971, 1973)

遗迹化石(trace fossils或ichnofossils)是地史时期生物产生在沉积物表面或其内部的各种生物活动记录。它既不包括生物体变成的遗体化石，也不包括各种自然营力(物理的和化学的)所形成的无机沉积构造。因此，沉积学家们认为遗迹化石是指地史时期各种生物成因的沉积构造。生物活动形成遗迹是非常普遍的事物，古代生物和现代生物一样，在运动时产生各种成双成对的足迹，有方向性的行迹，软体或腹侧接触松软泥砂移动时产生的移迹或拖迹。在泥砂底部有些动物挖掘成各种深浅不等的凹坑或潜穴，在坚硬的岩石上或贝壳上，许多门类的生物可以用物理的、化学的方法造成各种钻孔，以达到居住、保护和寻觅食物的目的。各种吞食沉积物的动物，在较深的水底穿行于底层附近，可以造成各种摄食潜穴，生物扰动可以严重地破坏沉积物的原生层理。吞食后的泥砂排出体外，使沉

积物得到重新改造,甚至成形的排泄物也可以形成粪化石遗迹。严格来说,藻类分泌粘液,捕集沉积细屑形成的叠层石,也应属于遗迹化石的范围。

概括起来遗迹化石主要包含以下一些研究内容:

(1) 足迹 (tracks): 分离单个的脚印,一般指脊椎动物的脚印,形成于沉积物的表面上成凹坑或形成为上覆沉积物的铸模。

(2) 行迹 (trackways): 一系列连续的足迹,并能指示出运动的方向。

(3) 移迹 (trails): 连续运动的轨迹(缺乏分离的足迹),例如腹足动物在沙滩上爬行造成的移迹。

(4) 潜穴 (burrows): 生物在软而未固结的沉积物中形成的穴道或构造。

(5) 钻孔 (boring): 在硬底上挖掘或腐蚀而形成的孔道,如在岩石上、贝壳上、木头上等。

(6) 各种生物侵蚀构造: 如海胆、鱼类的挫磨、擦刮和抓伤痕迹。

大部分遗迹学家(并非全部)将下列内容也包括在研究范围之内:

(7) 粪化石 (coprolites): 大形排泄物如鱼粪或其他脊椎动物的排泄物。一般长度大于1cm。

(8) 粪卷 (fecal casting): 连续的成条成卷的排泄物。

(9) 粪粒 (fecal pellets): 各种无脊椎动物(如双壳类、甲壳动物等)排泄的微粒,一般小于1cm。

(10) 各种粪以外形成的挖掘微粒: 如甲壳类挖掘潜穴形成的产物,鸟类和脊椎动物反刍的产物等等。

(11) 植物根组织穿过古土壤形成的构造。

(12) 藻类形成的叠层石。

(13) 生物成因的层状构造,包括生物成因的递变层理,生物扰动构造。

有些不常见的化石,过去也曾经有人放在遗迹之内,实际上它们并非遗迹,例如各种动物的鳞、角、蜕壳、卵化石、蛋化石、胶结壳(有孔虫砂质壳)、钙质虫管如龙介(Serpulids)和蠕龙介(Spirobis),都应属于实体化石,因为这些是生物本身分泌的或产生的物质,它们并不代表生物的活动产物。物体沿水底被水流和风浪推动形成的工具痕(tool marks)或死亡生物壳体滑动形成的死亡痕(death marks),也不能表示生物生活期间的活动,因此它们也不是生物遗迹。古代人类使用过的各种工具(石器、铁器、弓箭等)属于人类制造的遗物,也不应包括在遗迹化石之内。

遗迹化石同实体化石比较,在某些方面有其特殊的优越性。首先,它们同实体化石比较,遗迹化石更好的反映造迹生物的行为习性,是沉积环境良好的指示者。一般来说遗迹化石局限于较窄的岩相范围内,并且它们常在不含其他化石的“哑地层”中产出,例如粗粒碎屑岩内。另外除粪化石外,所有的遗迹化石都是原地埋藏,代表原始沉积环境,不会被自然营力搬运再沉积。这些均有利于对环境分析。

虽然软躯体的动物(例如蠕虫等)在现代和古代群落中数量往往很多,但它们很少能够形成化石,然而它们却能保存下活动的遗迹,遗迹化石不像实体化石需要有坚硬的外壳或硬体骨骼才能形成化石,因此遗迹化石在群落研究中是很有价值的信息,它涉及到软躯体生物的进化历史,提供有关古代群落的营养结构和种群分异的资料,同时也有利于古生

态学恢复环境的研究。

已经灭绝的生物，由于缺乏现代直接的生物代表进行比较，往往对其生活习性或生态，直接了解很少，然而遗迹化石（灭绝生物的遗迹）却能够提供重要的生态信息（例如运动方式、盐分、含氧量等），或者行为信息（例如摄食方式、运动方式、居住状态），尽管对这些造成遗迹的生物具体分类问题和亲缘关系暂时都还不明确的情况下它们也能够提供丰富的资料。

二、遗迹化石的特殊性质

遗迹化石和实体化石最主要的区别是遗迹化石代表着生物的习性或行为活动，而不是实体部分，或实体本身的铸形或印痕。遗迹化石有下列特点：

1. 遗迹化石地质分布时间较长 遗迹化石一般来说比实体化石在地质分布方面时代较长，其原因并非造迹生物比其他生物演化缓慢，而是因为实体化石的各部分器官特征比遗迹化石所代表的行为习性能够更精确的反映物种的形成。或者说物种的形态特征比行为习性在地质历程上演化较快。最明显的造迹生物，多数是活动的或半固着的底栖表生或内生动物，它们适应比较窄小范围的底层环境，更加密切的同底质条件相联系。这种底层适应情况在地质历程中一再地重复。遗迹化石的行为习性模式同环境条件的关系比起和生物系统发育的关系更加密切。因此遗迹化石在古生态学和岩相分析方面的贡献远比它们在生物地层学方面更显得重要。例如遗迹化石拟蠕形迹 (*Helminthoida*) 和古网迹 (*Paleodictyon*) 产于显生宙许多不同时代的地层中，虽然从寒武纪到第三纪都可以发现，但它们的环境基本上都是产生在深海底部的浊流沉积岩系。正像我们所熟悉的无铰纲腕足动物舌形贝 (*Lingula*) 在奥陶纪以后的各时代地层中屡见不鲜，但它们基本上指示潮间附近滨海砂质环境一样。这种在地质上分布较长而在相环境方面分布较窄的特点，大大方便了对比不同时代的生态地层和环境。

2. 遗迹化石有利于解释环境 遗迹化石多数为原地埋藏，很少被搬运，因此它们有利于解释环境。穿入到沉积物内部的潜穴和钻孔，或留印在沉积物表面的足迹和爬迹以及各种生物成因构造，它们不同于实体化石的贝壳、骨骼等，不会从产生的地点经过搬运再沉积。因此遗迹化石与原始的沉积条件有着更加密切的关系。绝大多数遗迹化石形成之后不再变动位置，仍保留在当地的原生状态。只有粪粒和偶有一些凸出在海底之上的厚壁潜穴形成之后，由于强烈的侵蚀作用，有时会被冲刷破坏或重新再沉积。但它们容易辨认。经过搬运的粪粒可以在局部大量堆积，压实之后常常变形。经过侵蚀破坏的潜穴外表形态容易区别，它们往往在局部地区成碎段，无秩序的排列在岩层内。成岩后的钻孔和潜穴一般不会被搬运，海岸附近整块岩石虽然被侵蚀破坏，散布在附近海底，其中的钻孔或潜穴仍然会保留原生状态与基底之间的相互关系。

3. 遗迹化石经常产生在缺乏其他实体化石的岩层内 遗迹化石经常产于没有其他实体化石的所谓“哑地层”中，尤其是各种砂岩系中，成为这些地层中唯一的生命证据。古老的前寒武纪变质轻微的岩层中其他化石极少，但却产生大量遗迹化石。早古生代的一些砂岩系（例如我国早奥陶世的红石崖组，志留系的砂帽群，早泥盆世的莲花山组，晚泥盆世的五通砂岩），其中大多实体化石比较贫乏，但却证明都保存有丰富的节肢动物的潜穴

遗迹二叶石(*Cruziana*)和皱饰迹(*Rusophycus*)及其他遗迹化石。地史当中的磨拉石、复理石相碎屑岩系一般贫于实体化石,却常常含有丰富的遗迹化石,因此可见遗迹化石在某种程度上补充了实体化石在生物地层学上的不足,并且在可渗透的硅质沉积物(粉砂岩和细砂岩)中遗迹化石保存的特别清楚。这种情况并非说明遗迹化石在砂岩中天然地比碳酸盐岩或其他岩性更为丰富,仅仅是因为碳酸盐岩或其他岩性中的遗迹化石不容易表现出那么清晰的轮廓和断口,风化后遗迹不容易突出,加之碳酸盐岩的胶结作用和重结晶作用,往往会破坏和削弱遗迹化石的形成。

在有些地层中遗迹化石非常清晰的原因是地球化学的反应。大多数生物成因构造在沉积物中表现为明显的断口,因为许多水生无脊椎动物的遗迹常常有各种各样有机质的衬托,例如腹足类和多毛类爬过的遗迹上常常含有一些薄层粘液以润滑其途境。许多居住潜穴内有粘液形成衬里,生物成因形成的胶结砂粒,动物将其粪便涂抹在潜穴内壁或者由几丁质构成管穴,它们既有增强抵抗周围沉积物坍塌的作用,同时也会强化这些遗迹的生物地球化学效应,引起生物遗迹与它们周围沉积物之间在结构上的显著断口,使遗迹化石表现非常清晰,或者风化后突出于岩层上。遗迹化石不仅像实体化石一样产生于各种沉积岩,同时钻孔遗迹在水成岩、火成岩及变质岩的硬基底上均可以产生,因此遗迹的分布极其广泛。

4. 遗迹化石可以反映为“一物多迹”或“异物同迹” 遗迹化石同实体化石比较另一个非常显著的特点是“一物多迹”,即同一种生物可以制造几种不同的遗迹。由于动物的习性(运动、居住、觅食等)不同,甚至是个体发育不同阶段所反映出来的遗迹往往其形态各异。例如 *Corophium* (螺赢蜚) 在泥岩内构成U形潜穴,而在排水良好的砂层内,不需要形成U形,而只要一个竖坑即可满足。又如美国 Sapelo 岛的鬼蟹 (*Ocyrodes quadrata*) 潜穴构筑有四种不同的形态,这和年龄、环境有关,从缓斜的柱形坑到J形、Y形,甚至W形变化不一。

在海滨沙滩上(例如我国广西北海或青岛滨海)常常可以见到同一种蟹类(*Uca*)由于行为习性不同会造成不同遗迹,例如它们居住在潜穴内,形成J形潜穴居住迹,其遗迹化石属名为 *Psilonichnus*,在潜穴的口部堆积有蟹挖掘潜穴形成的小泥球,当蟹离开潜穴外出

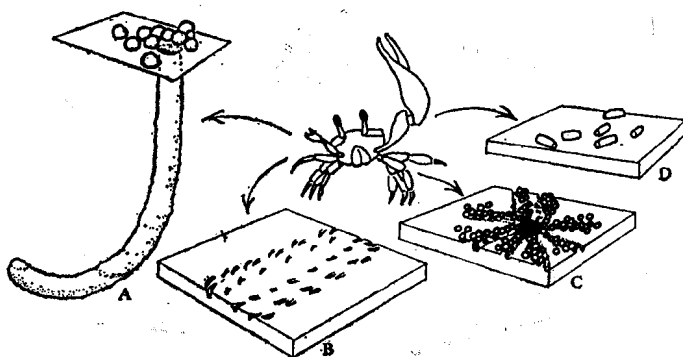


图 1-2 同一种蟹(*Uca*)由于各种不同习性而形成不同类型的遗迹

A—J形潜穴 *Psilonichnus*; B—运动足迹 *Diplichnites*; C—觅食迹,堆积在洞穴入口成放射状小球;

D—粪化石

(据A. Ekdale等, 1984)

时，常常留下运动的足迹称 *Diplichnites*，并且足迹具有一定的方向性排列。围绕潜穴口部为辐射沟和成排的小泥球是蟹类的觅食迹，另外蟹类的排泄物成短柱状粪粒，也常在这些遗迹附近发现。这是“一物多迹”很明显的现代生物的举例(图1-2)。

早古生代的三叶虫栖息时形成椭圆形的二叶石名皱饰迹(*Rusophycus*)，而三叶虫类形成的犁沟和潜穴，造成的伸长的条带形遗迹名克鲁兹迹(*Cruziana*)，三叶虫在海底运动时形成双形迹(*Dimorphichnus*)。游泳时形成单形迹(*Monomorphichnus*)，这是遗迹化石“一物多迹”的举例。

遗迹化石还可以表现为“异物同迹”，即两种或多种生物可以制造出非常近似的遗迹。蠕虫和软体动物在软底质上可以形成很相似的带状爬迹，如环虫、星虫(*Priapulids*)和纽虫动物都具有蠕形体态，都可以留下非常相似的弯曲痕迹，许多种遗迹内部呈现出环节的构造。又如U形管可以由甲壳动物虾类、海胆类、肠鳃类(*Enteropneusta*)以及一些海参形成。许多多毛纲蠕虫，甚至是双壳类中的蛭蛤(*Solen volum*)和端足类(*Amphipods*)中的螺赢蜚属(*Corophium*——甲壳纲)都可以居住在U形潜穴内。又如停栖迹皱饰迹(*Rusophycus*)可以由节肢动物三叶虫类，腹足动物的nassid和多毛纲的*Aphrodites*以及鳃足动物都可以产生椭圆二叶形的遗迹(A. Seilacher, 1960)。当然它们的个体大小、形态细节还有区别(图1-3)。

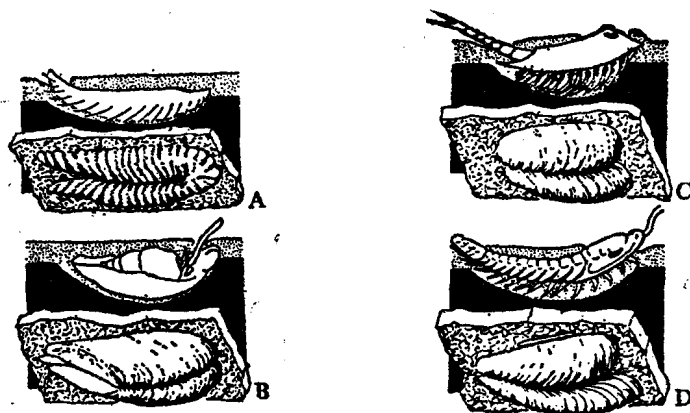


图 1-3 几种不同门类的生物由于行为习性相同，形成相似的二叶形停息迹(*Rusophycus*)

A—多毛类蠕虫 *Aphrodites*；B—腹足类 *Nassid*；C—鳃足动物亚纲；D—三叶虫
(据Seilacher, 1960, 部分)

还有丛藻迹 *Chondrites*，据 Simpson(1970) 研究可能是由多毛纲的蠕虫、星虫，甚至可能由吃碎屑的节肢动物摄食沉积物时造成。

由于保存的机械作用相同，生物也可以形成非常相似的遗迹。在一层泥之上覆以砂和粉砂，一条鱼和一只虾的腹侧穿过砂达到泥，两种不同的动物可以留下非常相似的停息迹(A. Seilacher, 1953)。

虽然遗迹化石表现出如此复杂的情况，但是根据动物的习性和遗迹的形态分析，我们还是可以相当精确的加以区分。W. Frey(1975)曾经举出一个含有各种不同习性行为的遗迹化石的组合(图1-4)。

这些遗迹所表现的习性和形态差异非常强烈，星动迹(*Asteriacites*)和皱饰迹(*Ruso-*

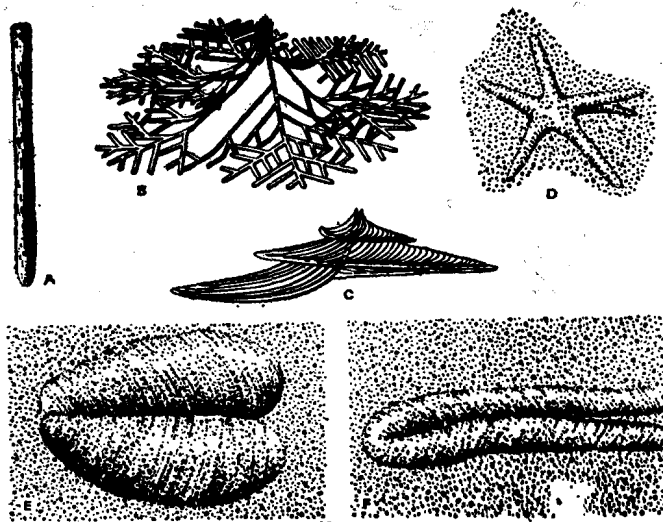


图 1-4 不同习性的遗迹组合举例

A—石针迹(*Skolithos*)垂直地层分布；B—丛藻迹(*Chondrites*)觅食潜穴系统；C—动藻迹(*Zoophycos*)牧食迹；D—星动迹(*Asteriacites*)停息迹；E—皱饰迹(*Rusophycus*)短二叶形三叶虫类停息迹；F—克鲁兹迹(*Cruziana*)纵长二叶形三叶虫类潜穴
(据 Frey, 1975)

phycus) 虽然都是停息迹，但是前者是由海星类形成，后者可能是由节肢动物三叶虫形成；树枝状的丛藻迹 (*Chondrites*) 和动藻迹 (*Zoophycos*) 虽然都是由食泥动物形成的觅食潜穴，但前者表现为向下和侧部“开采”巷道，后者表现为螺旋形觅食，所有这些遗迹又都和居住潜穴垂直管石针迹 (*Skolithos*) 完全不同，只有爬行迹 (*Cruziana*) 潜穴同停息迹 *Rusophycus* 有可能是同一类生物形成的，前者可能是也可能不是后者运动的延伸，详细的研究形态和保存条件，将有可能解决二者之间的关系；总之通过对上述遗迹组合的分析，我们看到在这个古老的环境中至少生活着五种或六种不同种类的造迹生物。

5. 遗迹化石同其造迹生物的 实体化石很少共同保存 根据遗迹判断造迹生物是相当复杂的问题。遗迹化石研究的目的之一当然是希望把遗迹化石同其造迹生物联系起来，事实上这是非常困难的，因为绝大多数情况下遗迹化石和它们的造迹生物很少共同保存在一起。只有很稀少的情况下例如像德国巴伐利亚侏罗纪佐伦霍芬灰岩采石场中找到过鲎类 (*Limulus*) 的标本，它们位于自己的爬迹末端 (图1-5)；但这却是非常罕见的例外。

造迹生物很少同其造成的遗迹保存在一起的原因可能是多种多样的，文献中很少有完全令人满意的解释，我们推想可能是造迹生物大多数为能活动的生物，遗迹是它们生活过程形成的，因此只有在意外的事件中当生物突然死亡的情况下才有可能同遗迹共同保存；另外的原因是许多只有



图 1-5 佐伦霍芬灰岩的鲎类 (*Limulus*) 恰巧保存在它的足迹化石末端
(据 Abel, 1935)

软体的生物虽然可以造成大量遗迹，但它们死亡后遗体完全腐烂，不能保存成化石；第三种原因是保存环境，例如遗迹化石常常出现在砂岩粉砂岩中，其中却很少能保存下实体化石，因为钙质壳体或钙质骨骼易于被水淋滤和冲走，结果只剩下遗迹。

在大多数情况下，我们必须依靠对遗迹化石的形态功能分析的办法来恢复或推测可能的造迹生物的种类。一个遗迹化石和它的制造者，或者至少和造迹生物的一部分愈相似，二者的联系工作就愈容易。最成功的例子是将克鲁兹迹 (*Cruziana*)、皱饰迹 (*Rusophycus*) 以及其他爬行迹 (*Diplichnites* 和 *Dimorphichnum*) 和三叶虫类的节肢动物联系起来，以及根据脊椎动物的足迹来复原造迹动物。在中新生代地层中 *Thalassinoides* 和 *Ophiomorpha* 的潜穴当中曾经找到过美人虾 (*Callinassa*) 和雕虾 (*Glypeoid shrimp*) 的螯肢和身体的一部分。似乎可以证明它们是这些遗迹的制造者，但我们必须慎重的分析潜穴内的实体化石的身体结构同潜穴大小是否一致，造迹者的功能是否同挖掘这种潜穴有关，因为在潜穴内也可能保存有造迹生物生前的共栖者或它们的捕获物。有些动物 (例如各种蠕虫类) 可以造成非常相似的潜穴，因此有些遗迹的造迹生物甚至大的类别也难于判断。研究遗迹的造迹生物困难的原因，当然还包括上述“一物多迹”及“异物同迹”的原因。尽管存在各种原因和困难，但研究造迹生物却始终是遗迹化石研究的一个重要方面。

三、如何识别遗迹化石

识别一种沉积构造是生物成因还是非生物成因是摆在遗迹工作者面前的首要任务。认识遗迹化石虽然也决定于鉴定者的经验和水平以及遗迹保存的好坏。甚至还可以采取一定的方法以便提高遗迹化石的识别性 (例如染色、切片、制作内模或其他方法)，但首先应当找寻一些具体的特征和构造来帮助我们区别生物的和非生物的 (物理的或化学的) 沉积构造。A. A. Ekdale, R. G. Bromley 和 S. G. Pemberton (1984) 举出下列识别遗迹化石的特征：

(1) 遗迹同生物体，或生物体的一部分相似。由于遗迹是各种生物所创造，所以遗迹化石一定会同生物体，或生物的某些器官构造相似。最显著的例子是足迹化石 (恐龙足迹、鸟类足迹或其他脊椎动物足迹)；有些克鲁兹迹 (*Cruziana*) 和皱饰迹 (*Rusophycus*)，同三叶虫的腹侧形态相对应。许多海星所形成的五角形印痕，同其身体的五辐射对称相适应。作到这一点需要我们熟悉造迹生物的身体构造，同时也需要我们很好的了解遗迹化石的埋藏和保存作用。

(2) 遗迹具有一定的个体大小，并且常常是均匀一致的形态构造的延续。因为遗迹是由某种生物所造成的，生物体有一定的个体大小或身体宽窄，因此形成的脊状隆起或凹形沟槽和潜穴也有一定的大小和宽度，在层面上或层面内这些构造的大小宽窄和形态常常延续不变。非生物的无机构造 (工具痕、泥裂等) 虽然也会在一定范围内延伸，但其大小、宽度往往变化不定，常一端尖灭或加宽。

(3) 众多的遗迹个体聚集在一起往往具有均匀一致的形态大小。一些群生的造迹生物，例如生存在稠密的潜穴内居住的蠕虫和双壳动物，或者在一定区域内一种生物大量活动造成遗迹，都会形成个体大小均匀一致的许多遗迹。典型的例子是石针迹 (*Skolithos* 可能是蠕虫类居住迹) 和洛克迹 (*Lockia*——双壳类停息迹)，在一块标本上可以见到许多遗迹

密集在一起，形状大小均匀一致。虽然气泡和落雨形成的构造也会密集成群，但个体大小很不一致。

(4) 一般情况下遗迹很少向着水流方向排列。虽然某些遗迹由于生物生活期间有趋流性(例如皱饰迹 *Rusophycus*)，但绝大部分生物形成的遗迹缺乏沿水流方向排列的规律性，而往往散乱的分布在层面上。然而许多由于水流引起的沉积构造却表现出一定的方向性(如波痕及其他平行沟)。

(5) 遗迹结构具有一定的规律性和复杂的几何形态。许多遗迹具有很规则的几何形态，例如规则的分枝潜穴(*Chondrites*)，规则的六角形网状构造(*Paleodictyon*)，整齐的蛇曲形潜穴(*Cosmorhapha*)，规则的螺旋形(*Spirorhapha*)，规则的辐射花瓣形(*Lorenzina*)，有些相当复杂，但却像图案一样的有一定规律可寻(*Graphoglyptids* 雕画迹)。所以这些遗迹也易于辨认。虽然泥裂也可以形成多边形的网状构造，但其角度并不固定，边缘的粗细不均匀。

(6) 遗迹可以具有衬里或外壁构造。潜穴有时可以具有清楚的内部衬里(泥质)或外壁构造(胶合砂粒、碎壳)，这些往往是生物构造而且是居住迹。有些情况下在潜穴外壁上还保存下节肢动物的抓痕(例如在 *Spongelimorpha* 之上)，据此可以解释为生物成因构造。

(7) 具有横蹼构造(*Spreite*)是某些遗迹的特征。由于潜穴向前不断的移动而形成横蹼构造，因此真正的横蹼构造一定是生物成因。如果在横蹼构造的边缘上出现边缘管，则具横蹼构造的潜穴比较容易识别，因为边缘管只能是生物成因。由于横蹼构造斜穿过层面，因此保存较好。如果垂直蹼状构造作纵切面则像是假的层理构造(图1-6)。

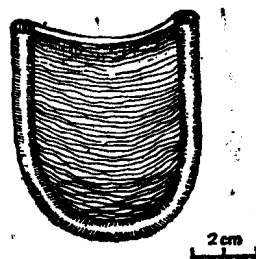


图 1-6 *Rhizocorallium* U形潜穴及其中间的横蹼状构造造成叠复的刀片形
(据 Osgood, 1975)

(8) 出现新月形充填(Meniscate fill)构造是某些遗迹的特征。许多潜穴内部被生物主动充填后形成一系列半月形充填构造，尤其是在潜穴纵切面方向可以清楚的看到。潜穴如果是被动充填就会发现缺乏构造，或者是水平层理(扁平、平行的层)，虽然非生物形成的洞穴之内也缺乏构造，但清楚的半月形构造确实指示生物成因，例如梯管迹(*Scalarituba*)。

(9) 具有粪粒也是某些遗迹的特征。原始的粪粒在某些沉积物中分布相当广泛，但需要注意其产地。在沉积物中发现粪粒及其类似物需要弄清其成因(粪粒、假粪粒和挖掘物质)，如果一个可疑的构造上面同时有粪粒，对决定共生生物的性质是很重要的线索，例如 *Rhizocorallium* 上偶有小形粪粒，*Ophiomorpha* 的潜穴壁上常有粪粒粘成瘤状，而在 *Neonereites* 的潜穴内部具有一排或两排粪粒，在 *Zoophycos* 中某些蹼状构造上也包含有粪粒。

(10) 遗迹化石上时常出现有机质残余物。许多遗迹比母岩成较深黑的颜色，这是有机质的残留物质，有时还会出现黄铁矿和其他还原矿物。

(11) 遗迹上出现细微的形态构造。许多节肢动物和蠕虫类具有很多细微的器管构造(如爪、刺、瘤、疣足和刚毛等)可以在沉积物中留下细微的构造，如抓痕、划痕。当动物在沉积物中运动时如二叶石上(*Cruziana*)三叶虫爪的抓痕。*Spongelimorpha* 之上的甲

壳动物抓痕都很清晰。

(12) 有些遗迹往往保存成内生全浮雕。许多原始的无机沉积构造，常易于同遗迹混淆，例如泥裂，底部痕(Sole Marks)，溶洞，但它们都是表面上的痕迹，而非保存在岩内成全浮雕。虽然有些足迹和爬痕和停栖迹也往往保存在层面上成半浮雕，但居住迹和觅食迹却都是全浮雕。但应注意有些无机构造如逸气孔、结核也保存成全浮雕，但气孔和结核往往直径很不规则。

(13) 偶尔也会出现造迹生物化石同遗迹化石同时保存在一起，尽管这是非常稀有的例子，其所以很少发现的原因是一部分造迹生物为软躯体动物，并不能保存下来；一部分造迹生物是活动的生物，很难停留在一个地点（例如运动迹、停栖迹、牧食迹等），Osgood (1970) 曾经发现过三叶虫化石就在其潜穴末端。上述特殊的情况在地质记录中虽然稀少，但在大量 *Cruziana* 出现的地层也可以找到一些三叶虫的脱壳。在含有丰富的蛇形迹(*Ophiomorpha*) 地层或甚至潜穴内发现过一些玉虾类的爪和螯肢碎片。虽然我们在现代可以直接观察到某种生物正在创造遗迹，但在地层中却很少能见到造迹动物同遗迹共同保存。

第二章 遗迹化石的分类和命名

分类是科学研究工作的基础，也是科学发现的一种工具，随着资料的累积，根据其内在的自然规律，把研究资料作系统的有次序的划分和排列，把相同的东西归纳为同类，并把不同的东西分开。分类的目的是便于了解它们彼此之间的相互关系。关键是根据什么原则去进行分类。遗迹化石根据定义，研究范围和基本特征，曾经有过多种独立分类方案的尝试。这是由于遗迹化石同时既是沉积构造，又是生物活动的痕迹和某种生物的产物。

第一种称为保存分类 (Toponomic or Preservational Classification) 是把遗迹化石看作沉积构造，基本上是根据遗迹化石同其产出的围岩关系分类，着重于生物沉积构造的形成和界面的凸凹特征。一般在野外阶段注意观察和描述遗迹的保存类型，在室内研究阶段判断遗迹化石与沉积环境的关系。

第二种方案是把遗迹化石看作各种生物活动的结果，称为生物行为习性分类 (Ethological Classification) 或者称为生态习性分类，这是一种成因分类方案。这种分类对于从事岩相分析和沉积作用领域工作的人员是非常有用的。

第三种分类是根据造迹生物的系统分类 (Taxonomic Classification)，人们希望弄清某种遗迹是何种生物造成的，以便把遗迹同制造遗迹的生物联系起来。这是一种自然分类，但由于绝大多数遗迹同造迹生物并非埋藏在一起，直到目前也只有很少一部分遗迹能够准确无误的同造迹生物联系起来，所以这种分类只有一小部分能够使用。显然这种分类方案在目前还很不成熟，有待于今后遗迹工作者长期努力。

第四种分类是形态分类 (Morphological Classification) 这是纯粹根据遗迹化石形态特征的相似性划分的方案，它是一种形态描述性分类，并不涉及造迹生物的亲缘关系和行为习性。或者说是为了描述和研究目的临时性的一种分类。遗迹工作者根据自己研究的遗迹化石形态特征可以作出粗略的形态划分。

除此之外还有些学者采用，将系统分类，保存类型和形态分类结合在一起建立综合分类，如苏联Вялов的分类。

下面我们详细介绍三种分类方案：

一、保存分类

(Toponomic or Preservational Classification)

遗迹化石是生物成因的沉积构造，从遗迹化石同其周围岩石的关系出发，有些学者创立遗迹化石的保存分类。这种分类主要建立在遗迹化石在地层中的位置，以及它们同沉积物的关系方面，这种分类对于判明遗迹化石的埋藏保存成因和成岩过程，以及解释遗迹的沉积环境都非常重要，尤其是在野外阶段，对遗迹化石的产状，保存形式都应作细致的观察和记录。

(1) 瑞典的 Martinsson (1965, 1970) 建立的保存分类主要是根据遗迹产生在沉积

物中的位置划分为:

- 1) 内生迹 (Endichnia) 遗迹产在沉积物的内部, 遗迹完全包围在岩石之中。
- 2) 外生迹 (Exichnia) 保存遗迹的岩层并非它原来产出的岩层, 它们曾经过冲刷和搬运, 例如原来产在泥灰质中的潜穴或粪化石, 经过波浪和水流搬运到较粗的岩石内。
- 3) 表生迹 (Epichnia) 遗迹产在岩层的顶面上 (包括凸起或凹沟)。
- 4) 底生迹 (Hypichnia) 遗迹产在岩层的底面上 (包括底面上的凸起或凹沟)。

这种分类纯粹从保存状态出发, 优点是定义简单, 在野外易于描述各种遗迹的产状。

(2) Seilacher (1964) 所创立的保存分类如下(图2-1):

- 1) 全浮雕 (Full Reliefs) 在岩层内部保存完整的生物成因构造, 可以从母岩内完全剥离, 成为外形清楚的三度空间构造。Seilacher 的全浮雕 = Martinsson 的内生迹。
- 2) 半浮雕 (Semireliefs) 保存在两种不同岩性 (例如 砂岩/泥岩) 界面之间, 并且可以沿界面分开, 又可区分为:
 - a) 上浮雕 (Epirelief) 保存在岩层 (一般如砂岩) 顶部表面的半凸起或半凹沟槽。

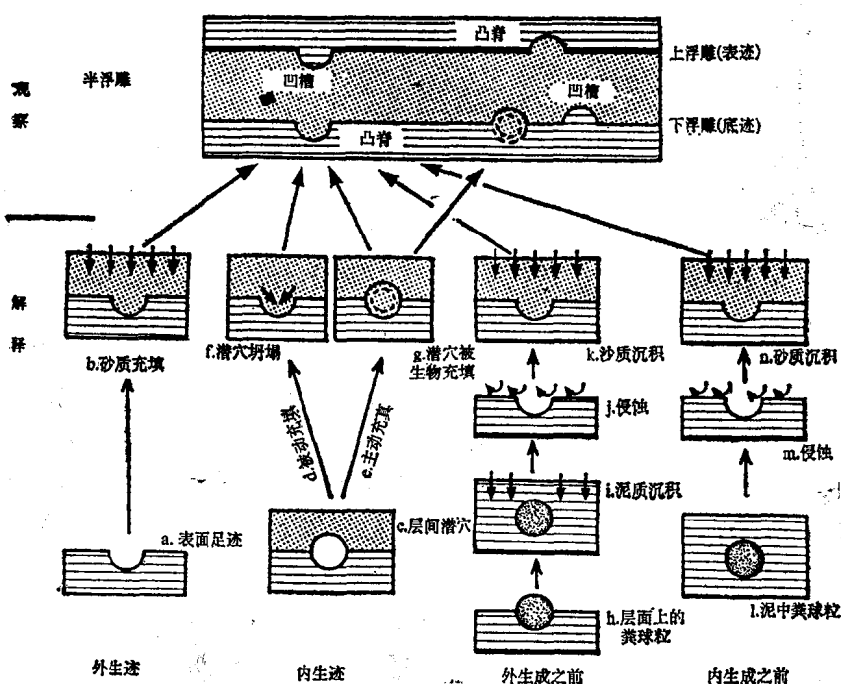


图 2-1 Seilacher 所提出的遗迹化石保存分类形成过程

Seilacher 的上浮雕 = Martinsson 的表生迹。

b) 下浮雕 (Hyporelief) 保存在岩层的底部表面的半凸起或半凹沟槽, Seilacher 的下浮雕 = Martinsson 的底生迹。

Seilacher 还提出劈理浮雕 (Cleavage reliefs) 产生表面遗迹时地面下的纹层发生变形, 沿风化劈理剥裂, 揭示出一定生物遗迹构造。

以上两种保存分类虽然所用的名词术语不同, 但二者可以互相比对(图2-2)。