

文章编号: 1000-0550(2017)04-0714-16

doi: 10.14027/j.cnki.cjxb.2017.04.006

杭州湾庵东滨岸潮间带现代沉积物中的生物遗迹特征

王海邻¹, 王长征¹, 宋慧波¹, 胡斌^{1,2}

1. 河南理工大学资源环境学院, 河南焦作 454003

2. 河南省生物遗迹与成矿过程重点实验室, 河南焦作 454003

摘要 杭州湾庵东滨岸潮间带软底质沉积中发现的造迹动物有泥螺、珠带拟蟹守螺、弹涂鱼、宁波泥蟹、沙蚕、竹蛭、虹光亮樱蛤、海葵以及鸟类和植物等, 包括软体动物、节肢动物、环节动物、脊索动物、腔肠动物等 5 个动物门类, 共计 8 属, 营造的生物遗迹主要有运动迹(爬迹、拖迹、足辙迹)、居住迹、觅食迹(进食迹)、生殖迹、停息迹、排泄迹、逃逸迹以及鸟类足迹和植物根迹等。分析表明潮间带不同的沉积环境, 造迹生物及其遗迹的主要类型、空间分布、丰度、多样性具有明显的差异。1) 研究区潮间带不同的沉积环境, 造迹生物种类与分布不同, 其遗迹的主要类型和分布特征具有明显的差异性, 高潮区沉积物主要是富含有机质的砂质泥, 生物遗迹包括珠带拟蟹守螺拖迹、停息迹和生殖迹, 泥螺拖迹和停息迹, 宁波泥蟹的觅食迹、居住迹和足辙迹, 沙蚕的拖迹、觅食迹、居住迹和排泄迹, 弹涂鱼的爬行迹和居住迹, 以及鸟类足迹和植物根迹, 其中层面遗迹以珠带拟蟹守螺的拖迹、沙蚕拖迹和觅食迹丰度最高, 层内遗迹以沙蚕居住潜穴丰度最高, 分布面积最广, 扰动程度强烈, 宁波泥蟹居住潜穴局部密集, 扰动程度强烈, 植物根迹密集, 深度可达 50~60 cm, 这些生物遗迹常与平行直脊波痕和干涉波痕共生。中潮区沉积物主要由灰色粉砂和含砂粉砂构成, 含水率较高, 植被较稀疏。中潮区平坦的潮坪上生物遗迹主要由虹光亮樱蛤的居住潜穴和竹蛭的居住潜穴和摄食迹组成, 丰度较高, 具有少量泥螺拖迹以及植物根迹和鸟足迹。在中潮区潮沟两侧, 沉积物颗粒较细, 常见珠带拟蟹守螺的拖迹, 宁波泥蟹的居住潜穴、足辙迹, 弹涂鱼的爬迹。中潮区潮坪上多发育舌型波痕, 生物遗迹多与舌型波痕共生。低潮区沉积物主要是灰色粉砂和粉砂质砂, 含水率高, 多为汤底, 无植被, 常见遗迹主要是虹光亮樱蛤的居住潜穴, 竹蛭的居住潜穴以及少量海葵居住潜穴。2) 沉积物的粒度、含水率影响遗迹的清晰度; 3) 由于受潮水、波浪运动的冲刷作用, 沉积物表面的遗迹易被破坏, 保存率极低, 底内动物的居住潜穴保存率相对较高。该研究不仅为杭州湾潮间带沉积环境研究提供了新的现代生物遗迹信息, 而且也可为古代强潮河口湾潮间带沉积环境中的古遗迹学研究提供借鉴。

关键词 杭州湾; 潮间带; 沉积环境; 现代生物遗迹

第一作者简介 王海邻, 女, 1971 年生, 博士研究生, 副教授, 沉积学和遗迹学, E-mail: whl@hpu.edu.cn

通讯作者 胡斌, 男, 教授, E-mail: hub@hpu.edu.cn

中图分类号 P512.2 Q911 **文献标识码** A

0 引言

遗迹学主要研究现代生物和古代生物在生活过程中在沉积物底层(层面和层内)遗留下来的活动遗迹^[1-2]。这种生物活动遗迹与其沉积底层、生态环境、沉积环境有着密切关系, 具有十分重要的实证价值和指导意义^[2-3]。因此, 新遗迹学研究受到国内外学者的广泛关注。从 20 世纪起, 国外学者就已经对现代沉积中的生物遗迹进行了研究^[4-7]。

关于现代海岸潮坪环境中的生物遗迹群落研究始于 20 世纪 30 年代, 德国科学家对德国西北部北海(Wadden Sea)和波罗的海潮坪上的现代底栖生物遗迹进行了大量研究, 并编写出版了《北海潮坪的实证古生物学》^[8]。20 世纪 50—60 年代, 德国的 Seila-

cher 教授在 Wadden 海进行了长时间的关于现代生物遗迹方面的研究, 详细观察和记录了造迹生物的造迹过程, 同时提出了遗迹相建立的基本原则^[9-11]。在遗迹学的行为分类和遗迹化石生态学分类方面奠定了基础。到了 20 世纪 70—80 年代, Frey^[12]等新遗迹学工作者, 对美国佐治亚海岸和北卡罗莱纳等地的河口湾、盐沼环境、潮坪以及韩国仁川现代潮坪环境下的生物遗迹进行了更为系统的研究^[4-5, 12-13]。Izumi *et al.*^[14]在日本中部更新统中下部的 Kukumoto 组的粉砂岩中识别出了 2 种遗迹组。Netto *et al.*^[15]在巴西南部的 Rio Grandedo Sul 海岸平原中识别出了一系列的 Ophiomorpha puerilis, 利用光学显微镜、Micro-CT、SEM 观察了分布于潜穴壁上的粪粒的主要成分和结构。新遗迹学的研究成果极大地丰富

收稿日期: 2016-05-09; 收修改稿日期: 2016-08-03

基金项目: 国家自然科学基金项目(41272117, 41102002); 海洋地质国家重点实验室开放基金资助项目(MGK1409) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No. 41272117, 41102002; Open Project of State Key Laboratory of Marine Geology, No. MGK1409]

了遗迹学的数据库和知识点。

相比而言,我国学者对古遗迹学方面的研究较多,对新遗迹学的研究较少,起步晚、成果少,我国关于新遗迹学方面的研究主要有:王珍如等^[16]对我国北部湾潮间带造迹生物群及其遗迹进行了观察和描述;王英国^[17]对我国渤海湾西岸大石河河口湾现代生物遗迹进行了研究;胡斌等^[18]、Wang *et al.*^[19]对黄河中下游及黄河三角洲的现代生物及其遗迹群落进行了研究。总体上讲,中国新遗迹学研究起步较晚,与西方发达国家相比,还有较大差距,尤其是现代海岸潮坪沉积环境中的生物遗迹研究更少,针对杭州湾现代潮坪的沉积学研究,范代读等^[20]都做过大量的研究工作,为本次专门的现代生物遗迹研究奠定了良好的基础。但对于杭州湾庵东浅滩有关现代潮间带沉积物中的生物遗迹研究工作相对更少,仅宋慧波等^[21]对杭州湾庵东浅滩现代沉积物中的生物遗迹进行了初步研究^[21],本研究在前期研究的基础上,进一步观察和描述了该区潮间带造迹生物及其遗迹特征,进一步查明造迹生物及其遗迹的种类组成与空间分布特征,以及与沉积物性质的关系,研究成果一方面可为本区的现代遗迹学研究提供新资料,另一方面也可地为史时期河口湾沉积环境中的遗迹化石研究提供可作为对比分析的实例例证。

1 研究区概况

1.1 地理位置

庵东滨岸带位于杭州湾南岸潮滩的凸出段(图1),属于中纬度亚热带季节性气候区,气温受冷暖气团交替控制以及杭州湾海水调节,年平均气温约为16℃,气候温暖湿润,四季分明。由于受海洋性季风

影响,该地区多年平均降水量为1 351.1 mm,雨量充沛,年平均湿度为18%,年平均日照约2 078.3小时。

庵东滨岸属于强潮环境下的凸岸边滩式潮滩堆积体。该潮滩西至钱塘江河口,东邻湾口潮汐通道,向北呈扇形突出,为现代杭州湾潮滩的主体。该区大部分为人工围合的滩涂,潮上带滩地宽约2 000~3 000 m,潮间带浅滩宽约7 000~8 000 m。受波浪和潮汐作用的共同影响,在平面分布上庵东浅滩可划分为潮上带、潮间带和潮下带三种沉积亚环境。

1.2 沉积背景

庵东滨岸属于潮坪沉积环境,沉积物以粉砂、黏土质粉砂为主,含盐量较高。潮间带高潮区泥沼环境水动力较弱,低洼处有积水,生长有近海喜盐植物,植物以海三楞草占绝对优势,植被较密集,沉积物富含有机质,以泥质沉积为主。潮间带中—低潮区为粉砂滩,黏土体积分数为3%~12%,主要由灰色粉砂构成,中潮滩上植物主要是海三楞草,但植被较稀疏;中潮滩下部至低潮滩沉积物表面无植被,中—低潮滩沉积物中砂体积分数为5%~20%,见水平纹层,层面上可见生物潜穴孔,中—低潮滩上潮沟发育。

范代读等^[20]研究庵东滨岸浅滩现代沉积特征时,描述了高、中、低潮坪的沉积特征:高潮坪沉积物主要为灰色含黏土粉砂和粉砂,黏土体积分数为5%~20%,砂体积分数为3%~10%,见砂质纹层,浅滩由西向东,该层黏土含量增多,砂含量减少,沉积物逐渐变细,厚度变薄。中潮坪主要由灰色粉砂和含砂粉砂构成,砂体积分数为5%~20%,黏土体积分数为3%~12%,上部可见植物根系及少量潜穴,发育水平纹层,自西向东沉积物变细,与上覆层和下伏层均呈渐变关系。低潮坪主要由灰色粉砂和粉砂质砂组成,黏

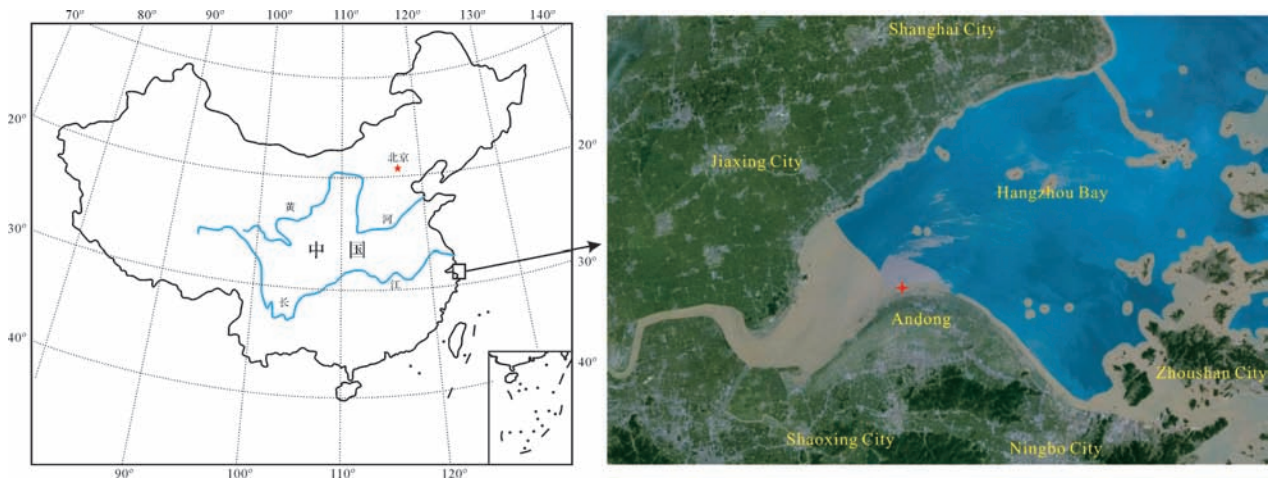


图1 研究区位置图(来自 Google Earth™)

Fig.1 Location of the study area (from Google Earth™)

土体积分数为 2%~10%, 砂体积分数为 10%~45%, 自西向东黏土含量增多, 砂含量减少, 东西沉积物粒度差异明显, 底部沉积物有变细的趋势, 可能属潮下带沉积。

本次考察得知, 庵东滨岸沉积以非生物成因沉积构造为主, 其中较为常见的有波痕、水平薄层砂泥交互层理、泥裂和冲刷—充填构造等沉积构造(图 2)。在高潮滩及潮上带的沉积物中见有大量植物根系, 发育薄层砂泥交互层理(图 2a, b), 是由憩流时的泥质沉积与涨、落潮时形成的砂质沉积组合而成的。潮滩波痕(图 2c, e)是潮流、波浪等作用于非黏质沉积物而形成的一种微地貌形态, 可见平行直脊波痕、干涉波痕、舌形波痕, 分布广泛, 其中平行直脊波痕和干涉波痕在高潮区发育普遍, 舌形波痕在中潮滩和低潮滩发育较普遍。泥裂常见于潮上带和高潮滩(图 2f), 是由泥质沉积物长期暴露、干涸、收缩而成。

庵东滨岸潮间带泥砂质沉积物中有机质丰富, 与潮上带相比, 潮间带造迹生物门类较多且丰度高, 体态偏小, 造迹生物主要有环节动物、软体动物、节肢动

物、脊索动物、腔肠动物等。

2 造迹生物种类及其遗迹类型

庵东滨岸潮间带观察到的造迹生物包括泥螺 *Bullacta exarata* (阿地螺科)、珠带拟蟹守螺 *Cerithidea cingulata* (汇螺科)、弹涂鱼 *Periophthalmua cantonensis* (弹涂鱼科)、宁波泥蟹 *Ilyplax ningpoensis* (十足目)、虹光亮樱蛤 *Moerella iridescens* (双壳纲)、竹蛭 *Solen strictus* (双壳纲)、沙蚕 *Nereis succinea* (多毛纲)、海葵 *Sea anemone* (珊瑚虫纲) 以及鸟类和植物, 它们所造的遗迹类型包括运动迹(拖迹、爬迹、足辙迹、足迹)、停息迹、生殖迹、排泄迹、居住迹、觅食迹(进食迹)、逃逸迹以及鸟类足迹和植物根迹(表 1)。

2.1 泥螺 *Bullacta exarata* (阿地螺科) 造的遗迹

泥螺 *Bullacta exarata* (阿地螺科) 属软体动物门腹足纲, 潮间带底栖动物, 生活在高中潮区泥沙质或泥质沉积物表面, 退潮后在沉积物表面爬行, 有时潜于沉积物表层往下 1~3 cm 深处, 以有机碎屑、底栖藻类、无脊椎动物的卵、幼体和小型甲壳类等为食。

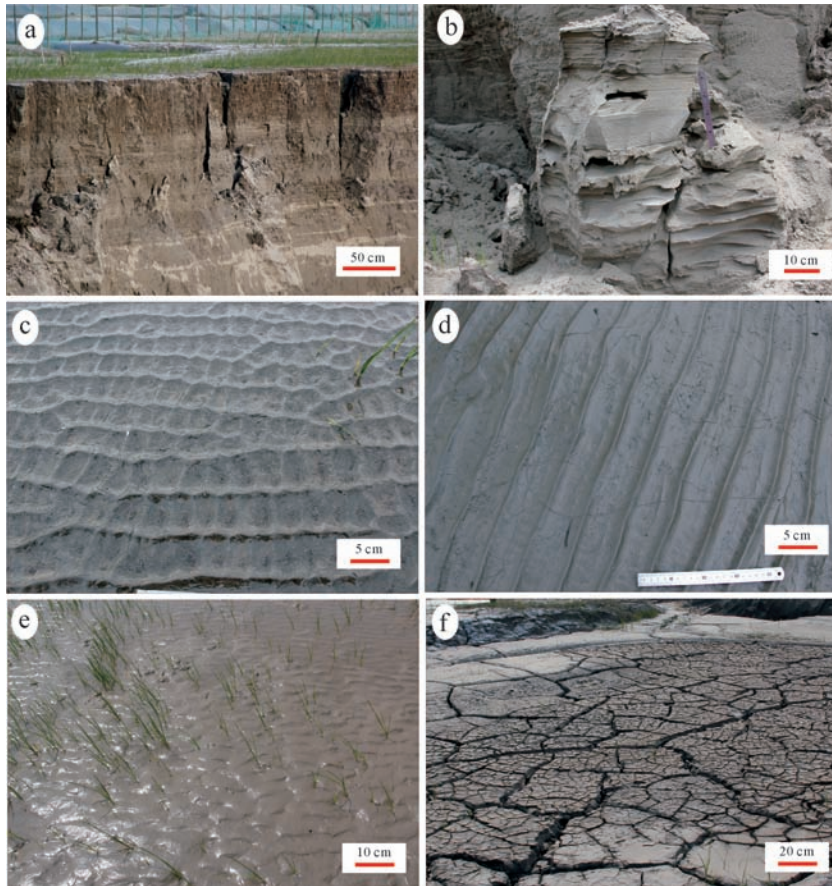


图 2 杭州湾庵东滨岸潮间带中常见的沉积构造

a, b. 水平薄层砂泥交互层理; c. 干涉波痕; d. 双脊波痕; e. 舌形波痕; f. 泥裂

表1 杭州湾庵东滨岸潮间带造迹生物种类及其遗迹类型

Table 1 Trace-makers and their trace types in the intertidal deposits of Andong shore zone, Hangzhou bay

生物名称	生物种类	生物分布特征	遗迹类型
珠带拟蟹守螺	软体动物门腹足纲	高潮区低洼积水处,数量很多,在10 cm×10 cm中可见65~80个	拖迹、停息迹、生殖迹
泥螺	软体动物门腹足纲	潮间带均可见,以高中潮区居多,在10 cm×10 cm中可见12~18个	拖迹、停息迹
沙蚕	环节动物门多毛纲	潮间带均可见,主要分布在高潮区,在10 cm×10 cm中可见22~37条	拖迹、觅食迹、居住迹、排泄迹
宁波泥蟹	节肢动物门软甲纲	潮间带均可见,潮沟附近明显多于潮坪	足辙迹、觅食迹、居住迹
弹涂鱼	脊索动物门辐鳍鱼纲	潮间带均可见,主要分布在高潮区,在1 m×1 m中可见36~48条	爬迹、居住迹
虹光亮樱蛤	软体动物门双壳纲	中低潮区,低潮区居多,在1 m×1 m中可见16~22个	居住迹
竹蛭	软体动物门双壳纲	中低潮区,中潮区居多,在1 m×1 m中可见15~18个	居住迹、进食迹、逃逸迹
海葵	腔肠动物门珊瑚虫纲	低潮区,考察期间仅发现2个	居住迹
鸟	脊索动物门鸟纲	在高中潮区居多	足迹
植物		高中潮区,高潮区植物密集,根深度可达40~50 cm,中潮区植物根迹,根深度可达20~30 cm,低潮区未见植物	根迹

泥螺 *Bullacta exarata* (阿地螺科) 造的遗迹常见为拖迹和停息迹。拖迹是其在底表运动时产生的极浅的条带状痕迹,一般宽度约0.5 cm,可见长度约20~30 cm,拖迹形状一般有直型、微弯型、任意弯型,不分枝,其形状与沉积物含水率和粒度有关,在含水率较高、粒度较细的泥质沉积物表面,拖迹为极浅的带状,中部平滑平坦,两侧各形成一条略高于底表的细沙脊(图3a)。在含水率相对较低的泥质沉积物表面,拖迹为两条平行的带沙脊的细沟痕(图3b),形状上看起来象三条隆起的细沙脊中间夹两条犁沟状的拖痕,属表生半浮痕遗迹。停息迹是其半潜入沉积

物内时形成的由浅入深的痕迹,一般深约1~3 cm,长度约3~7 cm,形状上象短柄勺把,与其拖迹相比,停息迹潜入沉积物较深,但痕迹较短,(图3c)。由于泥螺 *Bullacta exarata* (阿地螺科) 造的遗迹多产生于含水率高的泥质沉积物表面,所以,其遗迹较难保存。

2.2 珠带拟蟹守螺 *Cerithidea cingulata* (汇螺科) 造的遗迹

珠带拟蟹守螺 *Cerithidea cingulata* (汇螺科) 属软体动物门腹足纲,常生活于沉积物表层,多呈群聚状态,聚集在高潮区低洼积水处或藻类富集处,潮间带高潮区的珠带拟蟹守螺 *Cerithidea cingulata* (汇螺科)

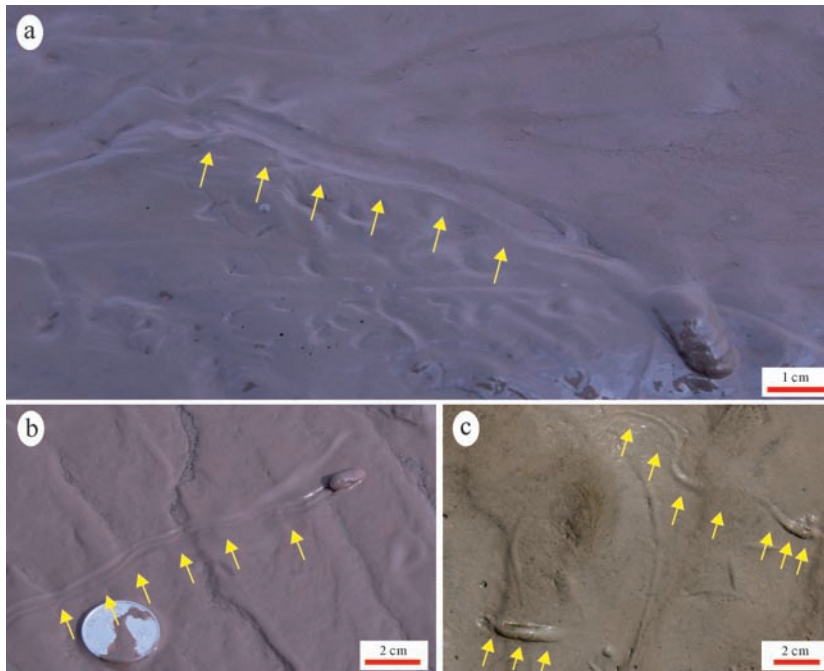


图3 杭州湾庵东滨岸潮间带中泥螺造的遗迹

a, b. 泥螺在泥质沉积物表面造的条带状拖迹;c. 泥螺向沉积物内下潜停息时形成的由浅入深的停息迹

Fig.3 Traces made by animal *Bullacta exarata* in the intertidal deposits of Andong shore zone, Hangzhou bay

明显多于中潮区和低潮区,潮沟两侧明显多于平坦的潮坪区,观察到的遗迹包括拖迹、停息迹和生殖迹。

拖迹是其在沉积物表面匍伏运动时拖拉着贝壳在表层沉积物上划擦而形成(图4),宽度4~8 mm,呈直线形、“C”形弯曲或任意弯曲形,犁沟状,无分枝,偶有交切。在含水率较高、粒度较细的泥质沉积物表面,犁沟状拖迹两侧齐整无沙脊(图4a),在含水率较低、粒度较粗的砂泥质沉积物表面,拖迹两侧有不连续的微隆起的沙脊(图4e),属表生半浮痕遗迹。拖迹的密度随动物觅食活动和群聚活动而分散或密集。

停息迹是动物运动过程临时停息时形成的,其爬行时将螺壳全部或部分抬起,爬行过程在沉积物表面产生犁沟状拖迹,生物在爬行过程临时停息时,螺壳压在沉积物表面,形成三角状压痕,大小与生物体大小一致,压痕周围有沙脊,近似等间距排列,与运动拖迹相伴随,从轨迹形态上似串珠状,属表生半浮式停息迹(图4d)。退潮后,由于生物暴露在外部环境的

时间长或周边环境发生急剧变化,螺体会直立向下运动,形成表生半浮痕直立停息迹,圆形,直径2~3 cm,深度3 cm左右,螺体直立,塔尖向下,由于螺体向下旋转运动,紧邻螺体周围的沉积物呈现圆形褶皱(图4b),有时螺体会呈水平状全部或部分潜入沉积物,形成囊状的表生水平停息迹(图4c),长度一般3~4 cm,深度0.5~1 cm,周围有隆起的沙脊。

在繁殖季节,珠带拟蟹守螺 *Cerithidea cingulata* (汇螺科)通常以壳壳顶部为中心,按照逆时针方向运动边产卵,卵和分泌的黏液从螺体前端右侧排出,与表层沉积物黏结在一起,形成生殖迹,生殖迹为泥质圆条状卵群,粗细均匀,宽度约为0.1 cm,长度为0.3~0.5 cm,沿运动拖迹的右侧排列,属表迹。

2.3 沙蚕 *Nereis succinea* (多毛纲)造的遗迹

沙蚕 *Nereis succinea* (多毛纲)属环节动物门多毛纲,喜栖息于有淡水流入的潮间带或沿海滩涂的沙泥中,幼虫以浮游生物为食,成虫以腐植质为食。

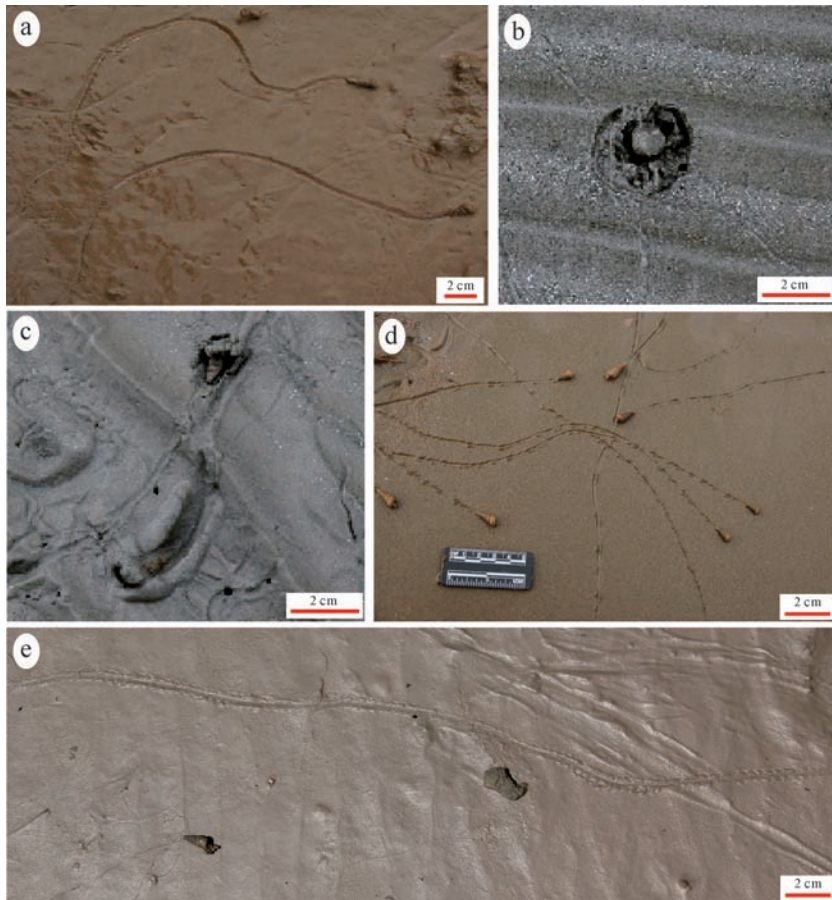


图4 杭州湾庵东滨岸潮间带中珠带拟蟹守螺造的遗迹

a.泥质沉积物表面的“C”形弯曲拖迹;b.螺体直立向下形成的表生直立停息迹;c.螺体全部或部分潜入沉积物形成的囊状表生停息迹;d.串珠状停息迹;e.中沟两侧具有不连续沙脊的拖迹

Fig.4 Traces made by animal *Cerithidea cingulata* in the intertidal deposits of Andong shore zone, Hangzhou bay

研究区高潮区、中—低潮区均可见大量沙蚕 *Nereis succinea* (多毛纲) 及其遗迹,高潮区明显多于中潮区和低潮区,潮沟两侧明显多于平坦的潮坪区。统计表明,在高潮区 10 cm×10 cm 样地中可见 22~37 条,丰度极高。其遗迹包括运动拖迹、觅食迹、居住迹和排泄迹。

运动拖迹是其在沉积物表面爬行过程中产生,一般 3~10 cm 长,1~2 mm 宽,直或微弯曲,横断面呈浅 U 形,纵向轨迹呈条带状,不分枝,拖迹凹槽两侧有略高于层面的沙脊,两端常与居住潜穴洞口相连(图 5a)。

沙蚕 *Nereis succinea* (多毛纲) 潜入沉积物内部形成居住潜穴,常见垂直管状、“Y”形、“U”形和不规则的“X”形,潜穴深度一般 10~20 cm,直径 1~2 mm,等

粗,直径大小与生物大小相关,内表面光滑,横截面为圆形(图 5b,c)。由于沙蚕 *Nereis succinea* (多毛纲) 密度较高,其对表层往下 0~20 cm 深沉积物内的扰动程度较高(图 5d)。沙蚕 *Nereis succinea* (多毛纲) 潜穴在表层有圆形洞口(图 5e),直径 1~2 mm 左右,觅食时沙蚕 *Nereis succinea* (多毛纲) 上半身伸出洞口,摄食沉积物表面的藻类、有机物等,稍有动静即迅速缩回穴内,沙蚕 *Nereis succinea* (多毛纲) 身体反复伸出洞口觅食,在穴口形成几条 1~3 cm 长度不等的拖迹,沿穴口呈星射状分布,形成星射状觅食迹(图 5f)。

在高潮区,退潮后可观察到沉积物底层表面沙蚕 *Nereis succinea* (多毛纲) 潜穴洞口有粪粒产生,粪粒直径约 0.2 mm,在穴口呈圆锥状粪丘分布,涨潮时粪丘大部分被冲刷,退潮后 10~15 分钟左右,在底表穴口

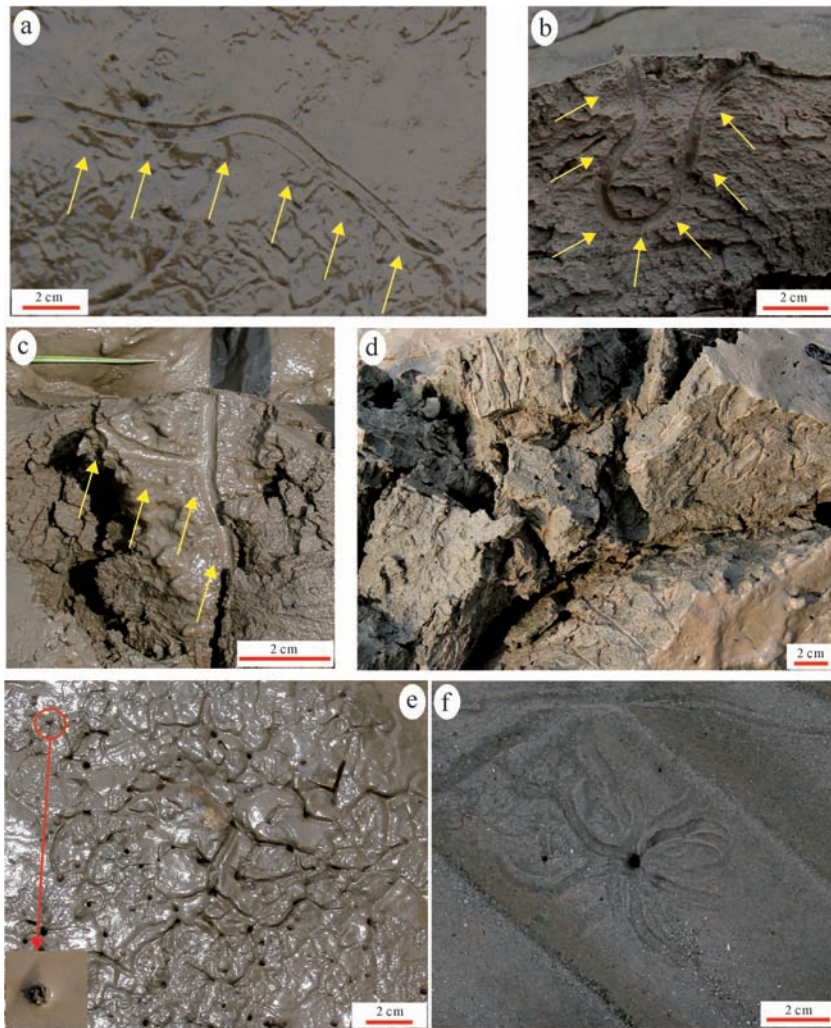


图 5 杭州湾庵东滨岸潮间带中沙蚕造的遗迹

a.沙蚕运动拖迹;b. U 形潜穴;c. Y 形潜穴;d. Y 形和 U 形潜穴,同时可见沙蚕扰动程度强烈,扰动深度 10~20 cm;e.密集潜穴口,可见沙蚕觅食痕迹和粪丘;f.星射状觅食迹

Fig.5 Traces made by animal *Nereis succinea* in the intertidal deposits of Andong shore zone, Hangzhou bay

处会重新形成粪丘(图5e)。与潮上带半固结状态沉积物内的沙蚕 *Nereis succinea*(多毛纲)潜穴内和沉积物表面处发现的沙蚕 *Nereis succinea*(多毛纲)粪粒相比,潮间带底表沙蚕 *Nereis succinea*(多毛纲)穴口的粪粒明显细小,且潮间带底表上沙蚕 *Nereis succinea*(多毛纲)穴口的粪粒成丘状分布,而潮上带可见散布于底表或遗留在其潜穴内的沙蚕 *Nereis succinea*(多毛纲)粪粒,粪粒大小与生物的大小有关。

2.4 虹光亮樱蛤 *Moerella iridescens*(双壳纲)造的遗迹

虹光亮樱蛤 *Moerella iridescens*(双壳纲)属软体动物门双壳纲,其壳长约3 cm,高约2 cm,呈长卵形,两侧略等称,表面具同心圆的轮脉,常潜于泥涂中表层往下5~6 cm深处,以海水中的浮游生物,藻类和各种残渣为食。

虹光亮樱蛤 *Moerella iridescens*(双壳纲)一般潜于沉积物中生活(图6),当受水流冲刷露出沉积物时,虹光亮樱蛤 *Moerella iridescens*(双壳纲)会利用其发达的斧足的收缩作用进行挖掘,首先足的前端伸展变细插入沉积物中,然后依靠血液流入,足前端膨大而呈球状,在泥砂中起锚定作用,再依靠缩足肌的收缩,动物身体被拉入沉积物内,依靠身体后端的水管的引伸与外界相通,保证呼吸、营养和排泄作用的进行。动物体向沉积物中潜穴时,由于壳体的挤压作用和两个水管的经常性的伸缩,在沉积物中形成固定形状的居住潜穴,潜穴分为下部的穴室和上部的穴道(图6a),下部的穴室与生物外形大小和形状相似(图6c,d),穴道深约3 cm,宽约2.5 cm,厚约2 cm,有时穴室表面的泥质沉积物可见与生物壳体表面一致的纹痕。由于虹光亮樱蛤 *Moerella iridescens*(双壳纲)

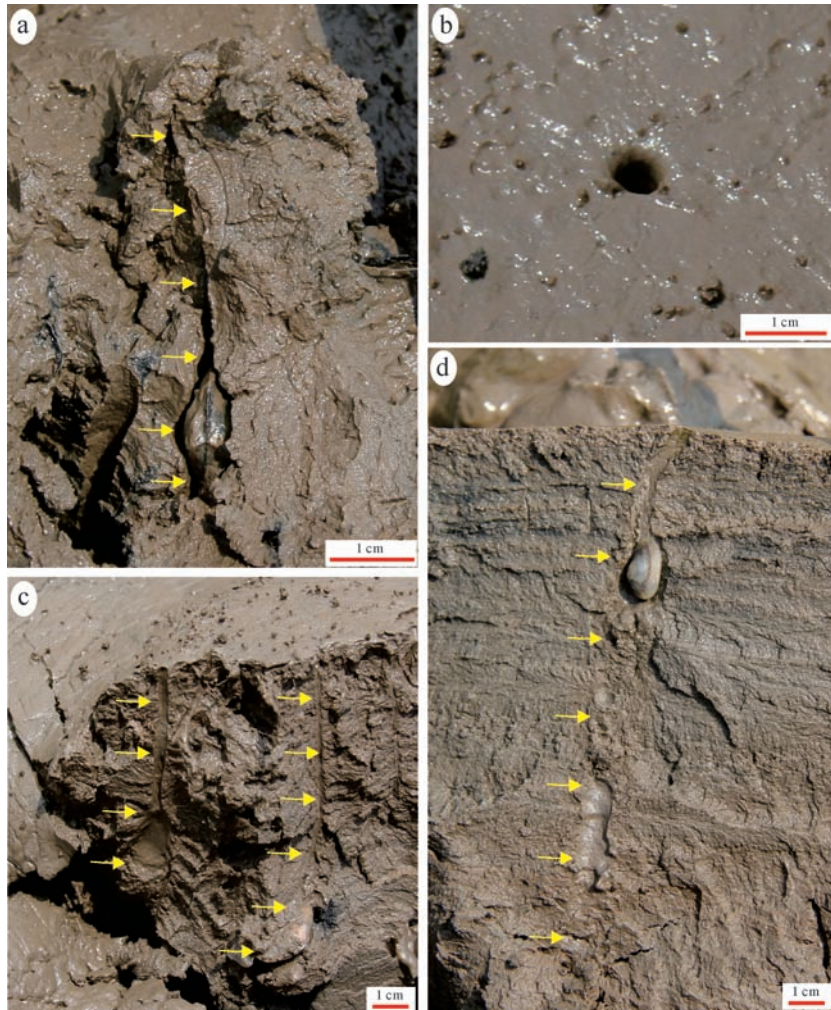


图6 杭州湾庵东滨岸潮间带中虹光亮樱蛤造的遗迹

a.潮间带沉积物中的虹光亮樱蛤及其潜穴;b.在底层表面常见密集的潜穴口;c.潜穴管道及底部穴室形状;d.虹光亮樱蛤保存在潜穴管的底部

的两个水管全部愈合,因此上部穴道为直立的圆管状,管道长度约4 cm,直径约3 mm,穴道与底层表面垂直,在底层表面可见密集的圆形穴口(图6b)。

从底层表面的潜穴开口来看,虹光亮樱蛤 *Moerella iridescens* (双壳纲) 潜穴与沙蚕 *Nereis succinea* (多毛纲) 潜穴有显著差异,虹光亮樱蛤 *Moerella iridescens* (双壳纲) 潜穴在底层表面的开孔一般为单孔,直径3 mm左右,孔口与底层表面齐平,周围无泥粒或粪粒(图6b)。沙蚕 *Nereis succinea* (多毛纲) 潜穴在底表的穴口明显小于虹光亮樱蛤 *Moerella iridescens* (双壳纲) 的穴口,直径约1~2 mm,且沙蚕 *Nereis succinea* (多毛纲) 潜穴一般较密集,部分穴口处有粪粒或星射状分布的觅食拖迹。

考察时,在人工围堤形成的粉砂质沉积物中可见虹光亮樱蛤 *Moerella iridescens* (双壳纲) 及其潜穴,保存完整,尚未被填充,底层表面可见其潜穴穴口。

根据野外观察统计,虹光亮樱蛤 *Moerella iridescens* (双壳纲) 的遗迹主要是居住潜穴,遗迹丰度高,但分异度较低,从遗迹分布情况来看,中—低潮区砂泥质和粉砂质沉积物中丰度最高,高潮区则相对较少,且多位于平坦的潮坪区,潮沟两侧相对较少。

2.5 竹蛭 *Solen strictus* (双壳纲) 造的遗迹

竹蛭 *Solen strictus* (双壳纲) 属软体动物门双壳纲,壳长约6 cm,一般壳长为壳高的4~5倍,壳体前后两端开口,生长线明显。竹蛭 *Solen strictus* (双壳纲) 喜栖息于潮间带中下潮区至浅海的沙泥滩中,以其锚形斧足营直立生活,通常将其身体大部分埋入砂泥中,一旦遇到危险或不良环境,会自割其出水管和入水管,同时迅速将身体全部埋入砂泥中。根据多次野外观察发现,竹蛭 *Solen strictus* (双壳纲) 一般多位于潮间带中低潮区,且平坦的潮滩上分布明显多于潮沟两侧。

竹蛭 *Solen strictus* (双壳纲) 所造遗迹包括居住迹、觅食迹和逃逸迹(图7)。竹蛭 *Solen strictus* (双壳纲) 居住潜穴与底层表面近似垂直,整体形状为“Y”形,分为下部的壳体穴道和上部的水管穴道(图7a)。下部的壳体穴道是竹蛭 *Solen strictus* (双壳纲) 在沉积物中上下移动形成的,穴道的横切面与生物横切面形状一致,一般宽约1.5 cm,厚约1.0 cm,壳体穴道长度大于壳体长度,一般长度约6~8 cm。上部的水管穴道为其水管反复伸出沉积物底层表面摄食时形成的穴道,由于竹蛭 *Solen strictus* (双壳纲) 的两条水管全部分离,因此,其水管穴道为“V”形,两条分枝的水管

穴道形状相同,下部较粗,直径约2~3 mm,顶部较细,直径约1~2 mm,长度约4~8 cm。当竹蛭 *Solen strictus* (双壳纲) 潜入沉积物较深时,其潜穴上部的水管穴道一般较长,反之,当竹蛭 *Solen strictus* (双壳纲) 潜入沉积物较浅时,其上部的水管穴道一般相应较短。当竹蛭 *Solen strictus* (双壳纲) 收到惊吓时,会迅速向下掘穴潜逃,此时会形成明显较长的壳体穴道,壳体穴道长度可达13~15 cm,形成其逃逸迹(图7b)。

竹蛭 *Solen strictus* (双壳纲) 潜穴在沉积物底层表面一般呈现成对出现的穴口,穴口直径约2 mm左右,穴口相距约0.5~2 cm,穴口周围无堆积物(图7d)。在含水率较高的泥质汤底条件下,由于竹蛭 *Solen strictus* (双壳纲) 水管伸出沉积物底表吸允沉积物的摄食活动对表层的沉积物造成扰动,在穴口周围有时会有明显的圆晕,圆晕直径5~6 cm,略低于周围沉积物表面,中心可见1个或2个小孔,由于竹蛭 *Solen strictus* (双壳纲) 摄食过程的扰动,圆晕处沉积物表面颜色与周围沉积物表面颜色不同(图7c),由于受水流的改造,有时圆晕不规则。

2.6 宁波泥蟹 *Ilyplax ningpoensis* (十足目) 造的遗迹

宁波泥蟹 *Ilyplax ningpoensis* (十足目) 属于节肢动物门软甲纲,宁波泥蟹 *Ilyplax ningpoensis* (十足目) 头胸甲近圆形,长约3~4 cm,宽约为长的1.5倍,步足较长,是头胸甲长的1.5倍左右。生活于潮间带沉积物中,涨潮时潜入底内,退潮后在底表摄取泥沙,食其有机质,具群聚性,在高潮区的低洼水边处、中潮区的潮沟两侧多见,遇到刺激后迅速潜入底内。

宁波泥蟹 *Ilyplax ningpoensis* (十足目) 在潮间带造的遗迹包括居住迹、觅食迹、足辙迹。居住迹一般为“J”形、“Y”形、垂直管状或近似“7”字形的潜穴,上下等粗,直径3~4 cm,深度15~48 cm。一般“J”形、“Y”形的垂直管状潜穴与底层表面表垂直或近似垂直,近似“7”字形的潜穴分为上下两部分,一般下部长约15~40 cm,为J型或垂直管状,与底表近似垂直,上部潜穴长度约7~8 cm,为“C”形,与底层表面斜交。潜穴在底层表面有开口,穴口直径一般为3~4 cm,有时为单穴口,有时成对出现,成对出现时一般是“Y”形潜穴的穴口,主穴道的穴口直径稍大。穴口与底表垂直、斜交或近似平行,穴口大部分与底层表面齐平,由于沉积物含水率、粒度的差异或者由于潮水的冲刷作用,其潜穴在底层表面的穴口形状各有

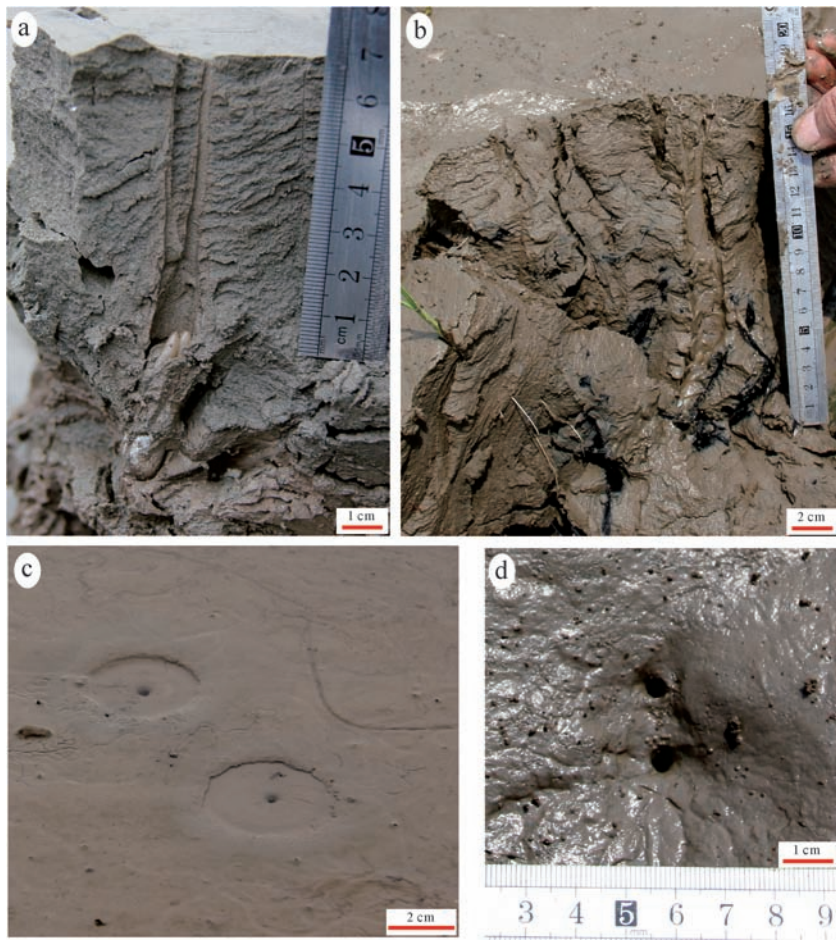


图7 杭州湾庵东滨岸潮间带中竹蛭造的遗迹

a.竹蛭及其居住潜穴;b.竹蛭的水管穴道在底层表面的穴口;c.竹蛭的觅食迹;d.受到惊吓的竹蛭迅速向下掘穴逃逸形成的逃逸潜穴

Fig.7 Traces made by animal *Solen strictus* in the intertidal deposits of Andong shore zone, Hangzhou bay

不同(图 8a~e),在高潮区含水率较低的泥质沉积物表面可见部分穴口周围有泥墙,穴口位于泥墙的顶部,泥墙为圆筒型或圆丘状(图 8e),外径约 4~5 cm,高出沉积物底表约 0.5~2.5 cm,在泥墙周围有时有动物挖泥筑墙时留下的爪痕(图 8b)。

穴口周围经常有爪痕,有时有食渣沙粒,沙粒堆积在穴口,由于受潮水冲刷作用,有时坍塌或变形。有时可见动物觅食过程的足辙迹和食渣沙球分布在穴口附近(图 8a,c)。

宁波泥蟹 *Ilyplax ningpoensis*(十足目)遗迹多分布在高潮区、中潮区的潮沟两侧,受沉积物粒度、含水率的影响,其遗迹形状不同,高潮区含水率较低的沉积物中宁波泥蟹 *Ilyplax ningpoensis*(十足目)潜穴有时深度可达 60~80 cm(图 8d),宁波泥蟹 *Ilyplax ningpoensis*(十足目)遗迹形状较多,丰度和分异度较高,局部扰动程度强烈。

2.7 弹涂鱼 *Periophthalmua cantonensis*(弹涂鱼科)造的遗迹

弹涂鱼 *Periophthalmua cantonensis*(弹涂鱼科)也叫跳跳鱼,属脊索动物门辐鳍鱼纲,具有两栖性,可在潮间带沉积物底层内或表层生活,既可在水中游泳也可在沉积物表面爬行和跳跃。庵东潮滩潮间带高潮区的跳跳鱼密度较高,1 m×1 m 样地观察最多可达 48 条,中潮区则多分布在潮沟两侧,低潮区分布较少。

跳跳鱼造的遗迹包括居住潜穴和表层的运动迹。跳跳鱼在含水率高、粒度小的较软的泥质沉积物中向下掘穴居住,居住潜穴多为“Y”形,由上部的“U”形穴道和下部的直管穴道组成,当其遇到刺激时,会快速钻入底层内的穴道中,在穴口不断地伸头探视情况,有时也利用宁波泥蟹 *Ilyplax ningpoensis*(十足目)的潜穴进行居住,由于沉积物较软,其潜穴一般难以

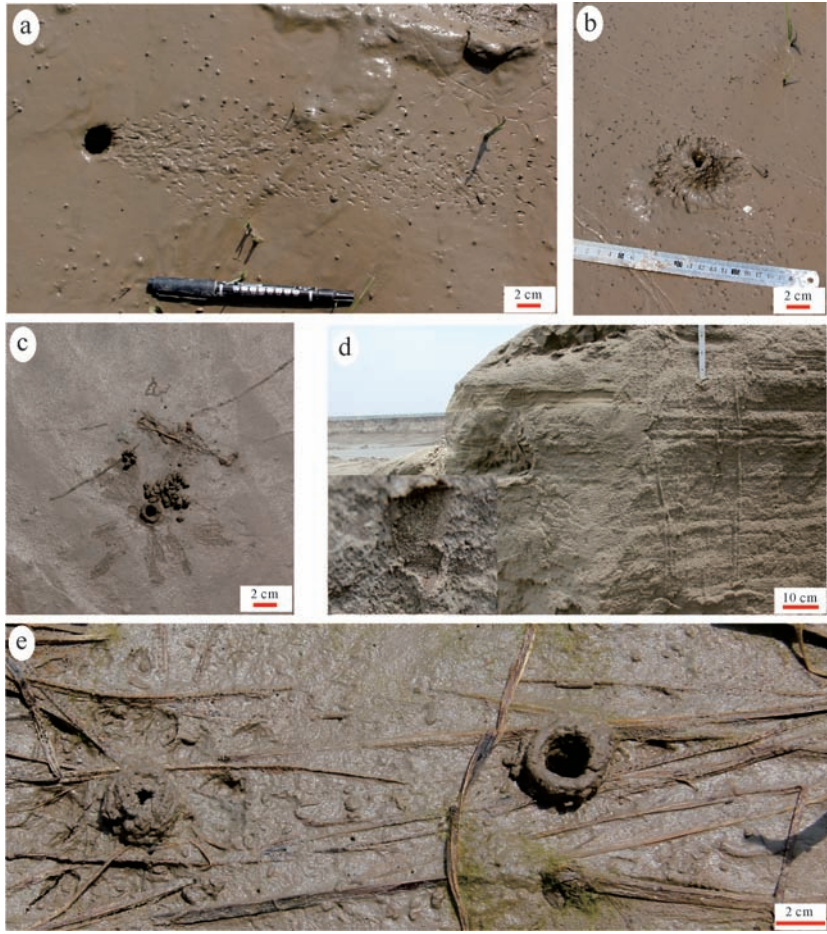


图 8 杭州湾庵东滨岸潮间带中宁波泥蟹造的遗迹

a. 宁波泥蟹潜穴穴口; b. 具丘状泥墙的潜穴穴口, 泥墙周围有爪痕; c. 具圆筒形泥墙的潜穴穴口, 穴口周围有摄食过程产生的足辙迹和食渣砂球; d. 高潮区的宁波泥蟹垂直管状、“Y”形潜穴, 已被填充; e. 具圆筒形和圆丘状泥墙的穴口, 泥墙周围无爪痕

Fig.8 Traces made by animal *Ilyoplax ningpoensis* in the intertidal deposits of Andong shore zone, Hangzhou bay

观察和保存。

退潮后跳跳鱼在沉积物表面不停地爬行、跳跃, 进行觅食活动从而在沉积物底层表面留下爬行迹(图 9)。跳跳鱼爬行时其胸鳍支撑身体, 尾鳍左右摆动控制方向, 身体部分或全部离开底层表面, 或前半部离开底层表面, 后半部从底层表面拖过, 跳跳鱼爬行迹中间沟槽为其爬行过程身体后部在底层表面产生的拖迹, 两侧外部较大的对称排列的弧状压痕为其两个胸鳍的压痕, 根据其胸鳍压痕的弧状方向可判断动物运动方向, 拖迹两侧内部对称分布的较小的弧状压痕为其运动过程因其尾鳍左右摆动产生的尾鳍压痕(图 9b)。当跳跳鱼运动过程身体全部离开底表时, 只产生胸鳍和尾鳍的压痕, 无中间的拖痕(图 9a)。跳跳鱼痕迹长度与其爬行距离有关, 长度 5~60 cm 不等, 痕迹宽度与动物形体大小有关, 中间拖痕一般宽度 2~5 mm, 尾鳍压痕为弧状, 长度 2~5

mm, 宽度 1~3 mm, 对称分布于内侧, 胸鳍的压痕为弧形, 长度 0.5~1.5 cm, 宽度 2~5 mm, 对称分布于外侧, 当沉积物含水率较低、粒度较小时, 其痕迹清晰, 其胸鳍压痕中可见明显的纹理, 当沉积物含水率高, 较软时, 其痕迹不够清晰, 胸鳍压痕中不显示纹理。

2.8 海葵 *Sea anemone* (珊瑚虫纲) 造的遗迹

海葵 *Sea anemone* (珊瑚虫纲) 属腔肠动物门珊瑚虫纲, 其结构简单, 由体壁围成的肠腔和触手组成, 身体呈圆柱形, 体长 10 cm 左右, 直径 1 cm 左右, 顶部有触手, 触手绽开的时候像菊花, 口是唯一与体外相通的孔道, 靠自身分泌的黏液营底内固着生活, 靠皮肤细胞的收缩和肠腔内液压的变化引起动物在沉积物中做垂向运动。在水体中, 虫体部分伸出底层表面, 依靠口周围众多的、辐射状排列的触手获取小型动物为食。无水时, 虫体缩入底内, 躲避不利的环境。

庵东潮间带海葵 *Sea anemone* (珊瑚虫纲) 数量较

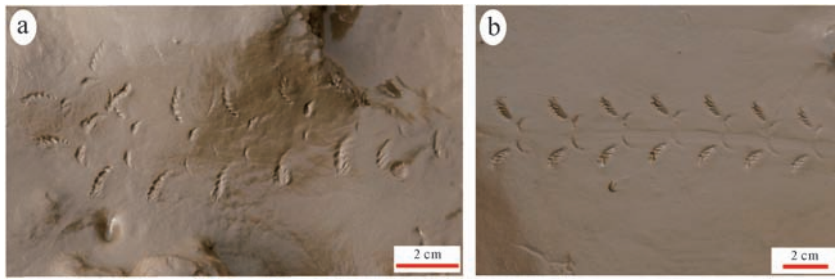


图9 杭州湾庵东滨岸潮间带中弹涂鱼造的遗迹

a.弹涂鱼爬迹,中间无拖痕;b.弹涂鱼爬迹,中间有拖痕,胸鳍压痕中可见清晰的弧形纹理

Fig.9 Traces made by mudskipper (*Periophthalmua cantonensis*) in the intertidal deposits of Andong shore zone, Hangzhou bay

少,考察期间仅在低潮区发现少量海葵 *Sea anemone* (珊瑚虫纲),海葵 *Sea anemone* (珊瑚虫纲)造的遗迹为垂直管状居住潜穴(图10a),潜穴深15 cm左右,直径1 cm,穴道与底表近似垂直,横截面圆形,穴壁光滑,潜穴在底层表面有开口,开口处呈杯状(图10b)。

2.9 鸟足迹和植物根迹

庵东滨岸潮间带高潮区和中潮区生长有近海喜盐植物,植物以海三楞草占绝对优势,其中高潮区植被较密集,中潮区植被较稀疏,中潮区下部至低潮区无植被。因此在该潮间带高潮区可见较密集的植物根迹,深度可达50~60 cm,中潮区有根迹,但较高潮区稀疏,深度一般20~30 cm(图11a)。此外,由于研究区潮间带高一中潮区生长有植被,且沉积物表层生活着大量的泥螺 *Bullacta exarata* (阿地螺科),这些为鸟类提供了丰富的食物来源,因此该潮间带高一中潮区可见许多鸟类足迹(图11b,c,d)。

3 生物遗迹组合与分布特征

Uchman *et al.*^[22]对潮间带沉积物的沉积特性(粒度、含水率、和有机质含量等)与生物遗迹形态特征的关系进行了研究,Bromley^[23]对潮间带造迹生物的生物习性和造迹过程进行了详细的研究。王珍如等^[16]对我国北部湾泥沙滩潮间带造迹动物及遗迹群落特征进行了研究,主要对泥沙滩潮间带生物遗迹类型进行了统计,结果表明底表动物以腹足类动物的运动迹为主,此外还发现有觅食迹、停息迹和逃逸迹。底内动物以居住迹为主,从形态上包括简单的单轴型、“U”型和“Y”型居住潜穴。宋慧波等^[21]对该研究区现代沉积物中的生物遗迹进行了研究,在潮间带共发现造迹生物4种,重点对不同沉积环境下层面上的生物遗迹特征进行了观察和研究。

本研究在前期研究的基础上,进一步对研究区的造迹生物和遗迹进行了观察和统计,新发现的造迹生

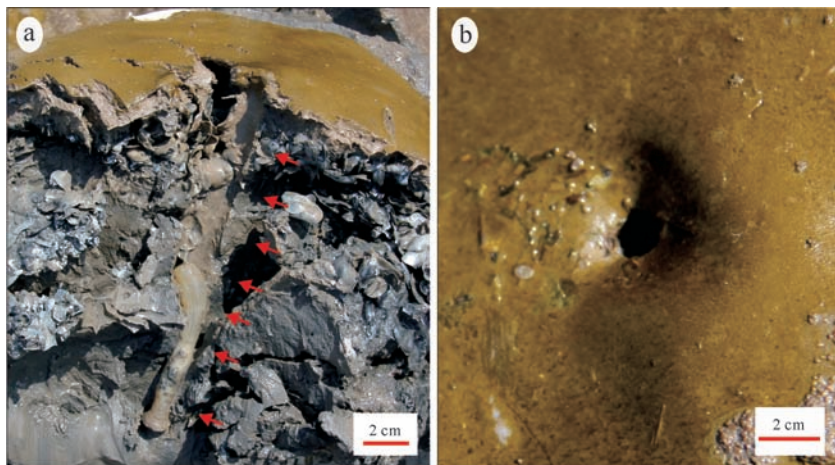


图10 杭州湾庵东滨岸潮间带中海葵造的遗迹

a.海葵及其垂直潜穴;b.海葵潜穴在底表开口

Fig.10 Traces made by *Sea anemone* in the intertidal deposits of Andong shore zone, Hangzhou bay

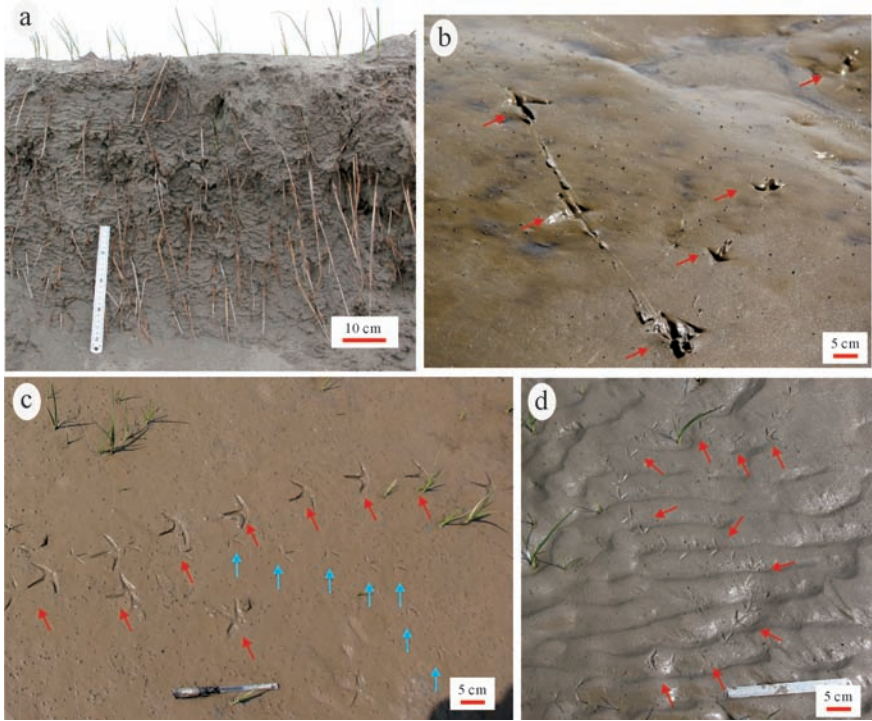


图 11 杭州湾庵东滨岸潮间带中—上部的植物根迹和鸟足迹

a.潮间带上部沉积物中的植物根迹;b.具高含水量沙泥质沉积物中的鸟足迹;c.两种不同大小的鸟足迹;d.波痕上的鸟足迹

Fig.11 Rhizoliths and bird tracks in the middle-upper intertidal deposits of Andong shore zone, Hangzhou bay

物有虹光亮樱蛤 *Moerella iridescens* (双壳纲)、竹蛭 *Solen strictus* (双壳纲)、沙蚕 *Nereis succinea* (多毛纲)、海葵 *Sea anemone* (珊瑚虫纲),并对研究区不同亚环境的造迹生物及其遗迹组合的分布特征进行了统计和分析。

在杭州湾庵东滨岸区的潮间带中发现 10 个种类的造迹生物,包括软体动物的泥螺 *Bullacta exarata* (阿地螺科)、珠带拟蟹守螺 *Cerithidea cingulata* (汇螺科)、虹光亮樱蛤 *Moerella iridescens* (双壳纲)和竹蛭 *Solen strictus* (双壳纲)、环节动物的沙蚕 *Nereis succinea* (多毛纲)、节肢动物的宁波泥蟹 *Ilyplax ningpoensis* (十足目)、脊索动物的弹涂鱼 *Periophthalmua cantonensis* (弹涂鱼科)、腔肠动物的海葵 *Sea anemone* (珊瑚虫纲)以及脊椎动物的鸟类和植物等,营造的生物遗迹主要有运动迹(爬迹、拖迹、足辙迹)、居住迹、觅食迹(进食迹)、生殖迹、停息迹、排泄迹、逃逸迹以及鸟类足迹和植物根迹等。造迹生物及其遗迹的分布与潮间带的亚环境条件有密切的关系,也就是说,高、中、低潮区沉积物中的造迹生物及其遗迹在种类、丰度和分异度上以及这些生物遗迹的产状有明显的差异,现分述如下:

3.1 高潮区生物遗迹组合

研究区潮间带高潮区沉积物粒度较细且富含有机质,水动力较弱,植被密集,生物遗迹的组成包括层面遗迹和层内遗迹,层面上常见珠带拟蟹守螺 *Cerithidea cingulata* (汇螺科)拖迹、停息迹和生殖迹,泥螺 *Bullacta exarata* (阿地螺科)拖迹和停息迹,宁波泥蟹 *Ilyplax ningpoensis* (十足目)的觅食迹和足辙迹,沙蚕 *Nereis succinea* (多毛纲)的拖迹、觅食迹和排泄迹,跳跳鱼的爬行迹,以及鸟类足迹,其中珠带拟蟹守螺 *Cerithidea cingulata* (汇螺科)的拖迹、沙蚕 *Nereis succinea* (多毛纲)拖迹和觅食迹丰度最高;层内遗迹常见宁波泥蟹 *Ilyplax ningpoensis* (十足目)的居住潜穴、沙蚕 *Nereis succinea* (多毛纲)居住潜穴、跳跳鱼居住潜穴及植物根迹,其中沙蚕 *Nereis succinea* (多毛纲)居住潜穴丰度最高,分布面积广,扰动程度最强烈,宁波泥蟹 *Ilyplax ningpoensis* (十足目)居住潜穴局部密集,扰动程度强烈,植物根迹密集,深度可达 50~60 cm。高潮区底层沉积物中含水率较高,沉积物未固结,这些生物遗迹常与平行直脊波痕和干涉波痕共生。

3.2 中潮区生物遗迹组合

研究区潮间带中潮区沉积物主要由灰色粉砂和

含砂粉砂构成,含水率较高,多属饱和或过饱和状态,植被较稀疏。中潮区平坦的潮坪上生物遗迹主要包括虹光亮樱蛤 *Moerella iridescens* (双壳纲) 的居住潜穴,竹蛭 *Solen strictus* (双壳纲) 的居住潜穴和摄食迹,泥螺 *Bullacta exarata* (阿地螺科) 拖迹以及植物根迹和鸟足迹,其中以虹光亮樱蛤 *Moerella iridescens* (双壳纲) 和竹蛭 *Solen strictus* (双壳纲) 的居住潜穴丰度最高。在中潮区潮沟两侧,沉积物颗粒较细,常见珠带拟蟹守螺 *Cerithidea cingulata* (汇螺科) 拖迹,宁波泥蟹 *Ilyplax ningpoensis* (十足目) 居住潜穴、足辙迹,跳跳鱼爬迹。中潮区潮坪上多发育舌型波痕,上述生物遗迹多与舌型波痕共生。

3.3 低潮区生物遗迹组合

研究区潮间带低潮区沉积物主要是灰色粉砂和粉砂质砂,含水率高,多为汤底,表面无植被,常见遗迹主要是虹光亮樱蛤 *Moerella iridescens* (双壳纲) 的居住潜穴,竹蛭 *Solen strictus* (双壳纲) 的居住潜穴以及少量海葵 *Sea anemone* (珊瑚虫纲) 居住潜穴。

综上所述,潮间带的生物遗迹组合在空间上的分布有明显的差异性(图12),也就是说,高潮区、中潮区和低潮区的生物遗迹类型和分布特征具有明显的差异性,而造成这些差异性的主要控制因素为沉积物底层的性质及有机食物的含量、造迹生物的种类及其习性和水动力条件等。

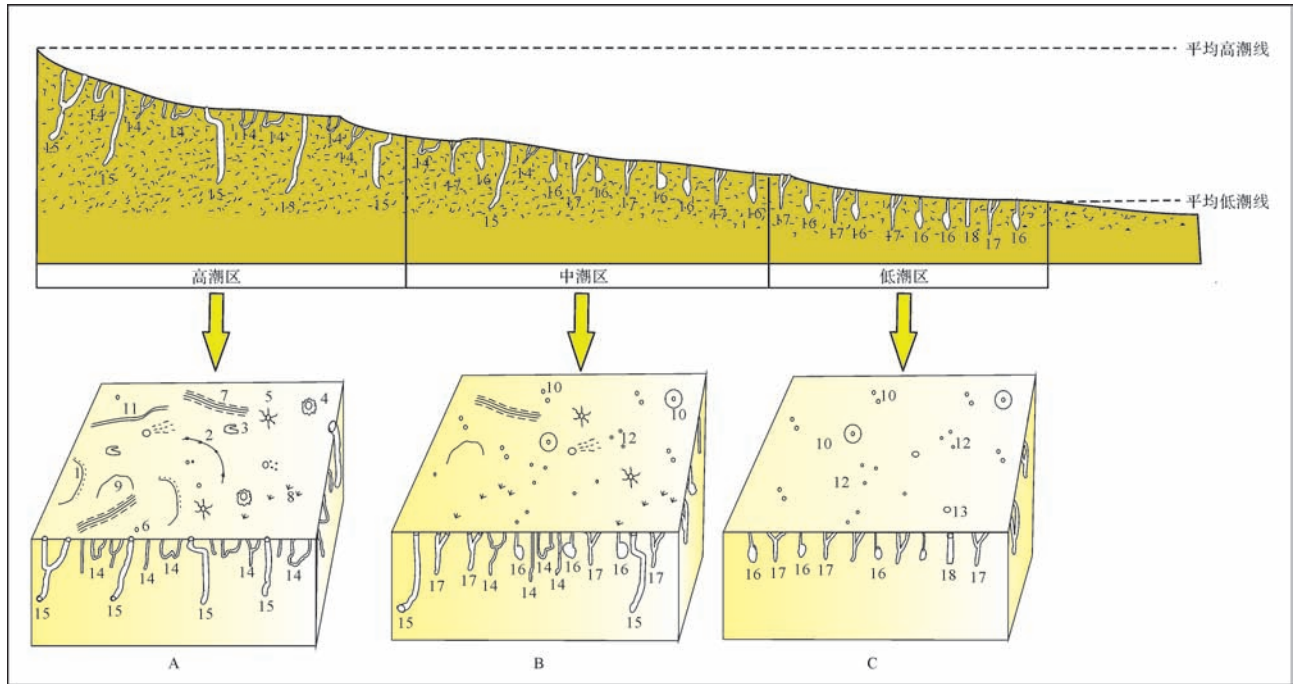


图12 庵东滨岸潮间带现代生物遗迹组合分布模式图

A.高潮区生物遗迹组合;B.中潮区生物遗迹组合;C.低潮区生物遗迹组合

- 1.珠带拟蟹守螺生殖迹;2.珠带拟蟹守螺串珠状停息迹;3.珠带拟蟹守螺水平停息迹;4.珠带拟蟹守螺垂直停息迹;5.沙蚕星射状觅食迹;6.宁波泥蟹潜穴在沉积物表面的开口;7.跳跳鱼爬迹;8.鸟足迹;9.珠带拟蟹守螺爬迹;10.竹蛭潜穴在沉积物表面的开口;11.泥螺拖迹;12.虹光亮樱蛤潜穴在沉积物表面的开口;13.海葵潜穴在沉积物表面的开口;14.沙蚕垂直管状、U型、Y型、J型、W型潜穴;15.宁波泥蟹J型、垂直管状、Y型潜穴;16.虹光亮樱蛤潜穴;17.竹蛭潜穴;18.海葵潜穴

Fig.12 Distribution model of ichnoassemblages in modern deposits of Andong shore zone, Hangzhou bay

A. Ichnoassemblage in the upper of the intertidal flat, B. Ichnoassemblage in the middle of the intertidal flat, C. Ichnoassemblage in the lower of the intertidal flat

4 结论

重点研究了杭州湾庵东滨岸潮间带现代生物遗迹的组成与分布特征及其造迹生物的种类和习性,主要取得以下几方面的认识:

(1) 研究区潮间带软底质沉积中发现的造迹生物有泥螺 *Bullacta exarata* (阿地螺科)、珠带拟蟹守螺 *Cerithidea cingulata* (汇螺科)、跳跳鱼、宁波泥蟹 *Ilyplax ningpoensis* (十足目)、沙蚕 *Nereis succinea* (多毛纲)、竹蛭 *Solen strictus* (双壳纲)、虹光亮樱蛤 *Moerel-*

la iridescens (双壳纲)、海葵 *Sea anemone* (珊瑚虫纲) 以及鸟类、植物等, 主要包括软体动物、节肢动物、环节动物、脊索动物、腔肠动物等 5 个动物门类, 共计 8 属, 营造的生物遗迹主要有运动迹(爬迹、拖迹、足辙迹)、居住迹、觅食迹(摄食迹)、生殖迹、停息迹、排遗迹、逃逸迹以及鸟类足迹和植物根迹等。

(2) 研究区潮间带不同的沉积环境, 造迹生物种类不同, 其遗迹的主要类型及其分布特征具有明显的差异性。这种差异主要表现在三个不同的沉积区域, 即: 高潮区底层沉积物粒度较细, 主要为富含有机质的沙质泥, 含水率中—低, 植被密集, 层面以珠带拟蟹守螺 *Cerithidea cingulata* (汇螺科) 的拖迹、沙蚕 *Nereis succinea* (多毛纲) 拖迹和觅食迹丰度最高, 层内以沙蚕 *Nereis succinea* (多毛纲) 居住潜穴丰度最高, 分布面积最广, 扰动程度较强烈, 宁波泥蟹 *Ilyplax ningpoensis* (十足目) 居住潜穴局部密集, 扰动程度强烈, 植物根迹密集, 深度可达 50~60 cm, 这些生物遗迹常与平行直脊波痕和干涉波痕共生; 中潮区沉积物主要由灰色粉砂和含砂粉砂构成, 含水率较高, 多属饱和或过饱和状态, 植被较稀疏, 生物遗迹以虹光亮樱蛤 *Moerella iridescens* (双壳纲) 和竹蛭 *Solen strictus* (双壳纲) 的居住潜穴丰度最高, 在潮沟两侧, 沉积物颗粒变细, 常见珠带拟蟹守螺 *Cerithidea cingulata* (汇螺科) 拖迹, 宁波泥蟹 *Ilyplax ningpoensis* (十足目) 居住潜穴和足辙迹以及跳跳鱼爬迹, 这些生物遗迹多与舌型波痕共生; 低潮区沉积物主要是灰色粉砂和粉砂质砂, 含水率高, 多为汤底, 表面无植被, 常见生物遗迹主要是虹光亮樱蛤 *Moerella iridescens* (双壳纲) 的居住潜穴, 竹蛭 *Solen strictus* (双壳纲) 的居住潜穴以及少量海葵居住潜穴。这三个沉积区中生物遗迹组合的特点与分布特征可反映海平面的变化, 对潮间带局部海陆环境的变迁有良好的指示意义。

(3) 沉积物粒度和含水率对遗迹的形成和保存影响较大, 一般粒度较细的沉积物表面其层面遗迹较清晰, 粒度粗则模糊不清。对于层面遗迹, 含水率过低或过高都不利于遗迹的形成, 沉积物含水率过低, 沉积物较硬, 不利于层面爬行迹的形成, 但含水率过高的汤底环境也不利于层面遗迹的形成。对于层内遗迹, 含水率过低时沉积物较硬, 不利于弹涂鱼等生物层内居住潜穴的形成, 但对于已形成的层内遗迹(例如宁波泥蟹的居住潜穴), 一般不易变形, 较易保存。由于受潮水冲刷作用, 层面遗迹一般难以保存, 层内遗迹相对易于保存, 因此层内的生物居住潜穴形

态和分类是研究遗迹化石的重要参考依据。

上述成果既丰富了杭州湾潮间带沉积环境中的现代生物遗迹学内容, 又为古代强潮河口湾潮间带沉积环境中的古遗迹学研究提供了借鉴。

参考文献 (References)

- [1] 吴贤涛. 痕迹学入门[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1986: 1-11. [Wu Xiantao. The basic of ichnology[M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 1986: 1-11.]
- [2] 胡斌, 王冠忠, 齐永安. 痕迹学理论与应用[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1997: 41-50. [Hu Bin, Wang Guanzhong, Qi Yong'an. Theory and application of ichnology[M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 1997: 41-50.]
- [3] Reineck H E, Singh I B. Depositional sedimentary environments: with reference to terrigenous clastics [M]. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1973: 67-69.
- [4] Frey R W, Basan P B. Coastal salt marshes [M]//Pavis R A. Coastal Sedimentary Environments. New York: Springer-Verlag, 1978: 101-169.
- [5] Frey R W, Howard J D. Mesotidal estuarine sequences; a perspective from the Georgia Bight[J]. Journal of Sedimentary Research, 1986, 56(6): 911-924.
- [6] Seike K, Yanagishima S, Nara M, et al. Large *Macaronichnus* in modern shoreface sediments; identification of the producer, the mode of formation, and paleoenvironmental implications[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2011, 311(3/4): 224-229.
- [7] Gingras M K, Pemberton S G, Saunders T, et al. The ichnology of modern and Pleistocene brackish-water deposits at Willapa Bay, Washington; variability in estuarine settings[J]. Palaios, 1999, 14(4): 352-374.
- [8] Schäfer W. Aktuo-Paleontologie. Nach Studien in der Nordsee[M]. Frankfurt: Kramer, 1962: 666.
- [9] Seilacher A. Die geologische Bedeutung fossiler Lebensspuren[J]. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 1954, 105: 214-227.
- [10] Seilacher A. Biogenic sedimentary structures[M]//Imbrie J, Newell N D. Approaches to Paleocology. New York: John Wiley, 1964: 296-316.
- [11] Seilacher A. Bathymetry of trace fossils [J]. Marine Geology, 1967, 5(5/6): 413-428.
- [12] Frey R W. Environmental significance of recent marine Lebensspuren near Beaufort, North Carolina[J]. Journal of Paleontology, 1970, 44(3): 507-519.
- [13] Frey R W, Howard J D, Hong J S. Prevalent Lebensspuren on a modern macrotidal flat, Inchon, Korea; ethological and environmental significance[J]. Palaios, 1987, 2(6): 517-593.
- [14] Izumi K, Nishida N, Kazaoka O, et al. Benthic response to sedimentary food availability; a case from the Pleistocene Kokumoto Formation, Kazusa Group, central Japan [C]//Nara M. Abstract

- Book of 13th International Ichnofabric Workshop. Kochi, Japan; Kochi University, 2015; 30-31.
- [15] Netto R G, Curran H A, Belaústegui Z, et al. Composition and morphology of the Ophiomorpha puerilis pelleted wall and its role in tracemaker recognition and ichnofabric assignment [C]//Nara M. Abstract Book of 13th International Ichnofabric Workshop. Kochi, Japan: Kochi University, 2015; 34-35.
- [16] 王珍如, 阮培华, 高金汉. 北部湾潮间带造迹动物群及其遗迹 [M]. 北京: 地质出版社, 1994; 69-72. [Wang Zhenru, Ruan Peihua, Gao Jinhan. Intertidal trace-making faunas and their traces in the Northern Gulf of China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994; 69-72.]
- [17] 王英国. 渤海湾西岸大石河口湾遗迹生态学研究 [J]. 古地理学报, 2000, 2(1): 54-63. [Wang Yingguo. Study on ichnocoenosis ecology in Dashi River Estuary, western coast of Bohai Gulf [J]. Journal of Palaeogeography, 2000, 2(1): 54-63.]
- [18] 胡斌, 王媛媛, 张璐, 等. 黄河中下游焦作区段现代边滩沉积中的生物遗迹 [J]. 古地理学报, 2012, 14(5): 628-638. [Hu Bin, Wang Yuanyuan, Zhang Lu, et al. Biogenic traces in modern point bar deposits of the middle-lower reaches of Yellow River in Jiaozuo area, Henan province [J]. Journal of Palaeogeography, 2012, 14(5): 628-638.]
- [19] Wang Yuanyuan, Hu Bin. Biogenic sedimentary structures of the Yellow River Delta in China and their composition and distribution characters [J]. Acta Geologica Sinica: English Edition, 2014, 88(5): 1488-1498.
- [20] 范代读, 郭艳霞, 李从先, 等. 杭州湾庵东浅滩潮坪层序粒度特征及应用 [J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2005, 33(5): 687-691. [Fan Daidu, Guo Yanxia, Li Congxian, et al. Grain-size distributions and their applications on Andong intertidal facies analyses in Hangzhou Bay [J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2005, 33(5): 687-691.]
- [21] 宋慧波, 于会新, 王海邻, 等. 杭州湾庵东浅滩现代沉积物中的生物遗迹 [J]. 古地理学报, 2014, 16(5): 703-714. [Song Hui-bo, Yu Huixin, Wang Hailin, et al. Biogenic traces in modern shoal deposits of Andong area, Hangzhou Bay [J]. Journal of Palaeogeography, 2014, 16(5): 703-714.]
- [22] Uchman A, Pervesler P. Surface Lebensspuren produced by amphipods and isopods (Crustaceans) from the Isonzo Delta Tidal Flat, Italy [J]. Palaios, 2006, 21(4): 384-390.
- [23] Bromley R G. Trace Fossils: Biology, Taphonomy and Applications [M]. 2nd ed. London: Chapman & Hall, 1996; 3-139.

Characteristic of Biogenic Traces in the Modern Sediments of Intertidal Flat in Andong Area, Hangzhou Bay

WANG HaiLin¹, WANG ChangZheng¹, SONG HuiBo¹, HU Bin^{1,2}

1. School of Resource and Environment, Henan Polytechnic University, Jiaozuo, Henan 454003, China

2. Key Laboratory of Biogenic Traces & Sedimentary Minerals of Henan Province, Jiaozuo, Henan 454003, China

Abstract: Various trace-makers have been found in the soft ground of intertidal zone in Andong area, Hangzhou Bay. The trace-makers discovered in the study area include *Bullacta exarata* (Philippi), *Cerithidea cingulata* (Gmelin), *Periophthalmus cantonensis* (Osbeck), *Ilyoplax ningpoensis*, *Nereis succinea*, *Solen strictus*, *Moerella iridescens*, *Sea anemone*, as well as birds and plants. They can be classed as 8 genus, belonging to 5 categories including mollusca, arthropod, annelida, chordate, and Coelenterate. The traces made by these animals include repichnia (crawling, creeping, trails, traceways), domichnia, fodinichnia, augerisignia, cubichnia, digestisignia, fugichnia, avipedia and root traces. Based on the analysis of these traces, it is showed that their main types, spatial distribution, abundance and diversity and makers are different in various subenvironments of the intertidal zone. 1) The types and the distribution characteristics of trace-makers and their traces are obviously different in various subenvironments of the intertidal zone in the study area. In the upper tidal zone, the sediments mainly are sandy mud containing abundant organic material, the traces discovered in the area include trails, cubichnia and augerisignia made by *Cerithidea cingulata* (Gmelin), trails and cubichnia made by *Bullacta exaratas* (Philippi), fodinichnia, domichnia and trackways made by *Ilyoplax ningpoensis*, trails, fodinichnia, domichnia and digestisignia made by *Nereis succinea*, trails and domichnia made by *Periophthalmus cantonensis* (Osbeck), as well as avipedia made by birds and root traces. Among these traces, the trails and fodinichnia made by *Cerithidea cingulata* and *Nereis succinea* are the most abundant on the bedding plane. However, in the substrate, the most abundant traces are dwelling burrows made by *Nereis succinea*, and their distribution is also quite extensive, showing intensive disturbed structures. Meanwhile, the root traces (up to

50~60 cm in depth) and dwelling burrows made by *Ilyoplax ningpoensis* concentrate locally. These traces always coexist with parallel ripple marks and interference ripple marks. In the middle tidal zone, the sediments are made up of gray silt or silt mixed with sand, with high water content and sparser vegetation. The higher abundance traces in the flat zone mainly consist the dwelling burrows made by *Moerella iridescens* and dwelling burrows and fodinichnia made by *Solen strictus*, containing a small amount trails made by *Bullacta exarata* (*Philippi*) as well as root traces and birds' traces. Along both sides of the tidal channels, the sediment is finer, trails made by *Cerithidea cingulata*, domichnia and traceways made by *Ilyoplax ningpoensis*, and repichnia made by *Periophthalmus cantonensis* are commonly discovered. On the bedding plane of the middle tidal zone, linguoid ripple marks are very common, and biogenic traces always coexist with linguoid ripple marks. In the lower tidal zone, the sediments are made up of gray silt or silty sand, with high water content, most of them are soup ground and no vegetation in the area, the traces mainly are domichnia made by *Moerella iridescens* and *Solen strictus*, along with a few dwelling burrows made by *sea anemone*'s.

2) The clearness of the traces was influenced by the grain size and the water content in the substrate sediments. 3) Because of the scouring of the tidal current and the wave, the epichnial on the bedding plane may be destroyed easily, the preservation rate of traces is extremely low, however, the domichnia made by the endogeny animals in the soft ground can be preserved easily. This study provides not only a lot of new information of modern biogenic traces in order to the sedimentary environment research in the intertidal area of Hangzhou Bay, but also use for reference to paleoecology study in ancient similar intertidal flats.

Key words: Hangzhou Bay; intertidal flat; sedimentary environment; modern biogenic traces