

南海深海塑料垃圾污染

彭晓彤¹, 钟广法²

1. 中国科学院深海科学与工程研究所, 三亚 572000

2. 同济大学海洋地质国家重点实验室, 上海 200092

摘要 渔业捕捞及商业航运活动的塑料排放是南海深海塑料污染的主要来源。南海深海微塑料污染始于20世纪80年代, 具有明显陆源输入的特征, 陆架近岸区域微塑料污染严重。陆坡深海峡谷是塑料/微塑料向深海盆地输运的主要通道, 近底浊流在输运中发挥了重要作用。综述了南海海底塑料垃圾深潜研究的最新进展, 首次提出了深海塑料垃圾生态系统的概念。

关键词 南海深海; 塑料垃圾; 生态系统

从顶着科技荣光到沦为环保灾难, 塑料成为“人类史上最糟糕的发明”仅用了100多年的时间。当前, 海洋塑料污染已成为与温室效应、臭氧衰竭和海洋酸化并列的重大全球环境问题。每年约有640万t的塑料垃圾由陆地进入海洋, 并呈逐年上升趋势。目前除太平洋、大西洋、印度洋等大洋及沿海海域大量分布外, 在南、北极甚至在地球表面最深处—马里亚纳海沟都发现塑料及微塑料的痕迹^[1]。进入海洋的塑料垃圾至少能够在海底保留数百年, 其物理破坏和化学毒性对脆弱的海洋生态环境构成了严重的威胁。

由于受深海探测技术手段的制约, 目前国内外

学术界对海洋塑料垃圾污染的认识主要局限于河口、海岸带、浅海和远洋表层水, 而对大于1000 m水深的深海海底塑料污染状况知之甚少。南海是西太平洋最大的边缘海, 海上常年有密集的渔业和商业运输活动; 同时, 南海周边国家人口密度大、生产方式相对粗放, 是世界上塑料制品的主要生产和消费市场之一, 每年通过各种途径排入南海的塑料垃圾数量可观, 这些塑料垃圾对南海独特而珍稀的生物资源带来巨大的潜在危害。

综述和总结了南海深海塑料和微塑料深潜科学研究的最新进展, 主要数据来源于文献[2]和[3], 以及“深海勇士”号载人潜水器下潜视频数据资料。

收稿日期: 2020-04-11; 修回日期: 2020-07-03

基金项目: 国家重点研究计划项目(2016YFC0304900)

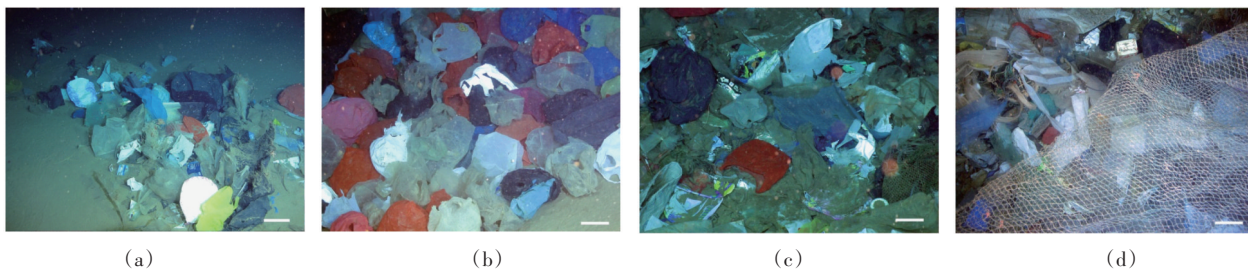
作者简介: 彭晓彤, 研究员, 研究方向为深海地质地球化学与探测技术, 电子信箱: xtpeng@idsse.ac.cn

引用格式: 彭晓彤, 钟广法. 南海深海塑料垃圾污染[J]. 科技导报, 2020, 38(18): 99-104; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2020.18.015

1 南海深海塑料垃圾堆的发现及塑料来源

自2018年以来,“深海勇士”号载人潜水器依靠其高精度定点作业的优势,对南海深海海底塑料/微塑料污染进行了20多潜次的调查。一系列的

近底观测结果表明,南海深海中海底塑料垃圾分布范围广,分布具有不均匀性,整体污染状况不容乐观。特别是在南海西沙海槽北缘峡谷局部海域,深海海底塑料垃圾的堆积已经达到了触目惊心的程度(图1的垃圾堆中塑料制品及废弃的渔具等最为常见)。



比例尺=10 cm

图1 南海西沙峡谷塑料垃圾堆

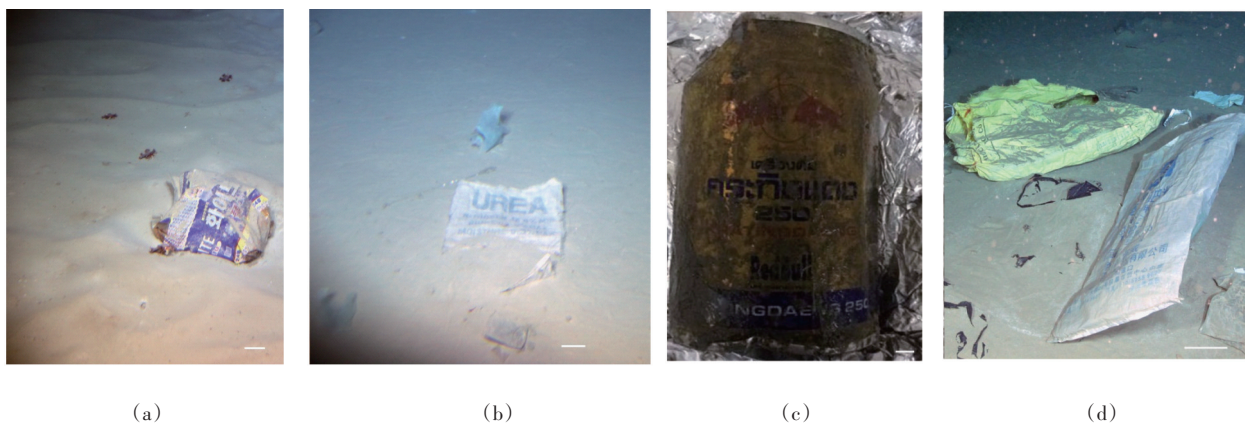
在西沙海槽北缘的多条海底峡谷中,均发现了塑料垃圾在海底的堆积,形成规模不一的垃圾堆积体。这里有迄今为止在全球深海峡谷海底发现的最大规模的塑料垃圾堆积体。网格状断面调查表明,这些垃圾堆主要分布于峡谷的冲坑中,大致沿峡谷轴向、呈分散点状或线状分布。例如,在其中一条峡谷的一个冲坑中,发现了至少33个垃圾堆。其中,10个垃圾堆体积较大,直接出露海底表层,位于冲坑的中间区域,最大的垃圾堆长度约58 m。剩余23个垃圾堆规模相对较小,部分被沉积物所覆盖。根据下潜视频数据初步估算,西沙海槽北缘的海底峡谷区局部区域垃圾丰度高达(51929个/ km^2),远高于南海北部沿海陆架地区的垃圾丰度(2~3个/ km^2)。与欧洲污染程度最高的里斯本海底峡谷(6620个/ km^2)相比,西沙峡谷的垃圾丰度也高出一个数量级。这里垃圾丰度是指单位面积内垃圾的数量,而非单位面积内垃圾堆的数量。

塑料制品,例如塑料袋、编织袋、塑料瓶和食品包装袋等,是西沙海槽区最普遍的垃圾类型。“深海勇士”号下潜拍摄到的外包装既有汉字也有外文,暗示了塑料垃圾来源的复杂性。常见的垃圾类型是废弃的渔具,如绳索、捕鱼网线和捕虾器等。同时,也偶见玻璃、橡胶、金属制品和木头等垃圾类

型。对采集的塑料垃圾袋进行拉曼光谱分析表明,最常见的塑料成分是聚乙烯和聚丙烯。

尽管当前确定海洋垃圾的确切来源仍然存在一定困难,但通过废弃物的类别可以推断南海主要塑料垃圾的来源。废弃渔具在南海北部西沙峡谷的大量堆积表明,海上捕捞等渔业活动是南海塑料垃圾的主要来源。南海渔业资源丰富,中国、越南等南海周边国家每年有超过5万多艘渔船在此捕鱼。在长年累月的渔业生产过程中,大量渔具和塑料袋、瓶子、食品包装袋等生产和生活垃圾在南海海面可能被随意倾倒丢弃。此外,南海北部还是重要的国际货运航线,船舶运输过程中产生的生活垃圾也存在着向南海直接排放现象,正如各种垃圾碎片上残存的中、英、韩等多国文字所示(图2^[1])。在下潜过程中见到成捆成袋的垃圾静静地躺在海底,可能与过往货运船只的恶意倾倒有关。

塑料垃圾从船舶上倾倒后,较重的垃圾会较快沉积于海底,而较轻的垃圾碎屑可能会随表面洋流运移,并受到季风的影响。冬季气旋性洋流和广东沿岸海流将南海南部较轻的垃圾带到南海北部大陆架,而夏季反气旋性洋流将越南西部海岸较轻的垃圾带到南海北部大陆架。随着时间的推移,由于生物(如浮游生物和微生物)附着作用,以及有机碎



注:(a)(b)(c)(d)比例尺分别为10 cm、10 cm、1 cm、10 cm

图2 南海海底具有文字标识的垃圾污染物

屑和矿物颗粒在表面上的聚集,这些垃圾最终会沉降到陆架区的海底。一旦垃圾下沉到海床,它们会被沿岸洋流或底部洋流从大陆架上运移到西沙海槽上游的海底峡谷中,并因地形屏障而被限制在那里。大型垃圾堆通常位于峡谷中沉积环境相对稳定、水流运动相对较弱的陡崖或阶地下的冲坑洼地中。海底峡谷中常常发育的近底浊流在垃圾搬运中扮演了重要的角色,它们将大量的垃圾带到了更深的水域,从而使海底峡谷成为垃圾从沿海到深海驻留地的运移通道。

2 南海深海微塑料分布与污染历史

微塑料是指颗粒直径或长度小于5 mm的塑料碎片和颗粒,被称为“海洋中的PM_{2.5}”。除大塑料污染外,南海深海微塑料污染状况也同样不容乐观。南海深海微塑料污染趋势总体呈现出陆架区高于陆坡区、陆坡区高于海盆区的趋势。特别在近岸河口区域,微塑料的污染程度最为严重,使得南海微塑料的分布表现出明显的陆源输入特征。

通过对未扰动沉积柱的²¹⁰Pb放射性同位素定年,结合沉积物中微塑料丰度研究表明,南海微塑料污染始于20世纪80年代,在20世纪90年代中期开始急剧上升,近几年来微塑料的丰度达到了最高值,近岸站位微塑料丰度最高达1120个/kg。多项

式回归分析表明,如果不加控制,按现有增长趋势,预计2028年南海近岸海域微塑料的丰度将比2018年翻一番。这种微塑料数量随时间增加的趋势,与历年来广东省的塑料生产产量随时间增加的趋势一致,也与全球塑料产量随时间增加的趋势一致。

除丰度外,沉积物中微塑料的种类在近40年来也表现出增长的趋势。例如,在1980—1992年,西沙海槽沉积物中只检测到了4种塑料类型(聚苯乙烯、聚氨酯、聚乙烯和聚丙烯),在1992—2005年,沉积物样品中检测到了9种塑料类型,而在2005—2018年沉积物中则发现了10种不同的塑料类型,包括聚苯乙烯、聚氨酯、聚对苯二甲酸乙二醇酯、聚乙烯、聚丙烯、聚乙炔、聚氯乙烯、尼龙、人造丝和亚克力等。

微塑料污染历史的重建不仅揭示了南海北部同一地区微塑料污染程度随时间的变化情况,而且揭示了南海北部不同历史时期微塑料沉降中心的迁移(图3)。在过去40年中,南海北部沉积物微塑料平均丰度从1980—1992年的32个/kg,增加到2005—2018年的224个/kg。尽管自1980年以来,南海北部近岸站位一直是活跃的微塑料沉降中心,但在随后的30多年时间内,在西沙海槽中段和西沙海槽下段区域相继发育了新的微塑料沉降中心。

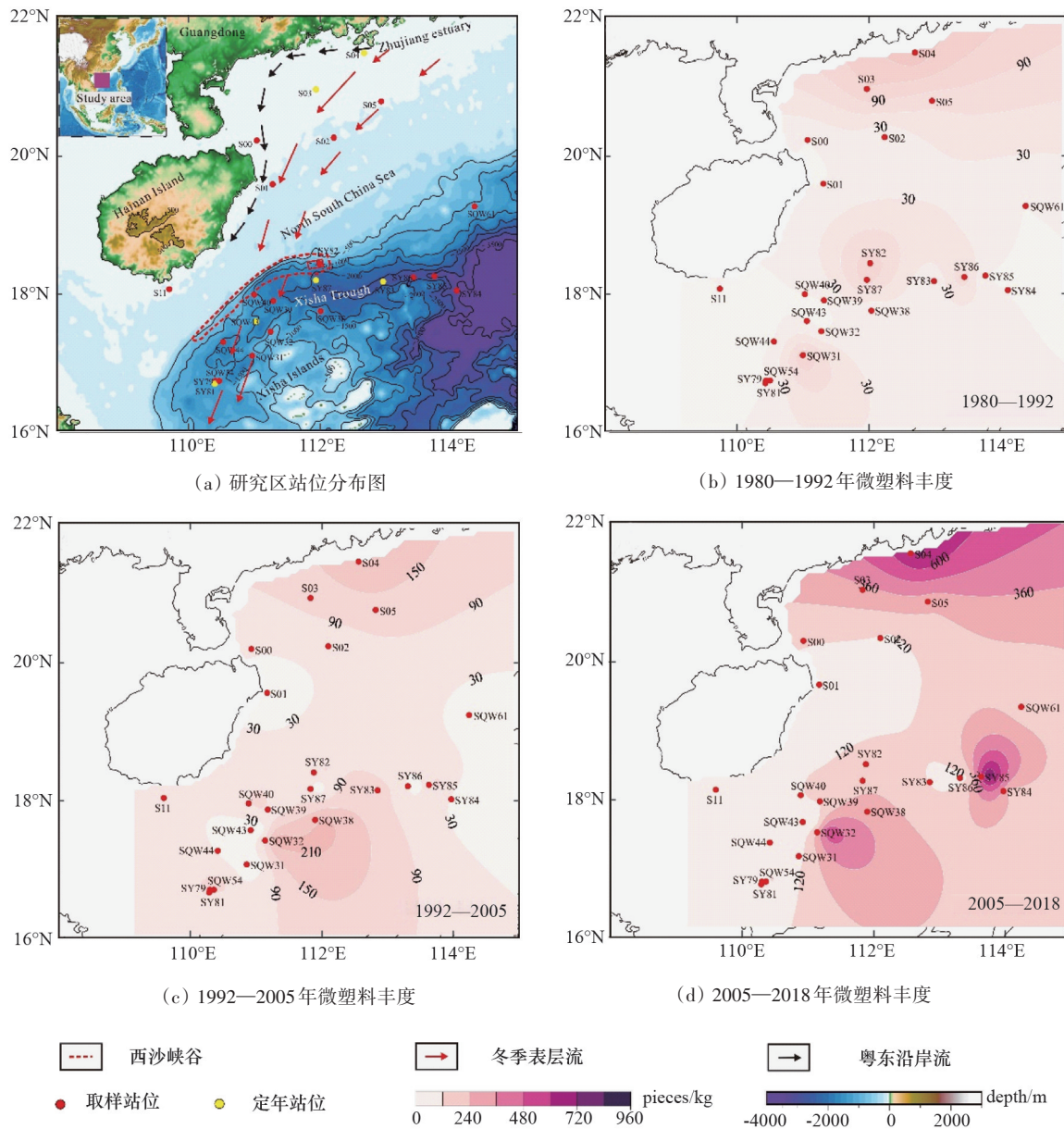


图3 南海北部沉积物的微塑料丰度(个/kg)等值线分布图

3 深海塑料垃圾生态系统

在深海环境中,塑料污染对海洋生物的生长、发育、躲避天敌和繁殖的能力皆有不同程度的影响,其主要通过以下几种方式危害海洋生物健康与生态系统稳定:(1) 缠绕海洋生物;(2) 被海洋生物所误食;(3) 携带的有毒污染物被海洋生物所吸收;(4) 向海洋生物传播病原微生物。在“深海勇

士”号的下潜中,多次观察到因塑料缠绕而导致深海海绵死亡案例。令人印象深刻的是,在深海垃圾堆分布区,多种大型深海动物以塑料垃圾堆为栖息地,表现出了一种生物主动接触塑料垃圾的迹象。这些以垃圾堆为栖息地的深海生物主要为海葵、海蛇尾和虾等深海生物。在显微镜下,也能观察到一些吸附在塑料上的小型底栖生物(例如螺、贝等)。此外,在垃圾堆周围,还生存着海参、海胆和鱼等其

他一些深海生物。

诚然,深海垃圾堆可以提供深海生物新的庇护所或固着物。另一种可能性是,深海垃圾堆的存在或许为这些深海生物提供了新的食物来源,形成新的深海塑料垃圾食物链和塑料垃圾生态系统(图4)。堆积在海底的塑料垃圾,其表面人类使用过程中残留的有机污染物、长期浸泡海水中形成的微生物膜、从海水中吸附的沉降有机质,以及新发育的与塑料降解相关的微生物群落均有可能为深海底栖生物(图5)提供一种非传统的深海食物来源,构成食物链的底部基础。在食物相对贫瘠的深海,这些塑料垃圾堆也许为深海生命提供了额外的食物来源。目前尚不能确定这种深海生物直接与塑料的长期接触是否对这些生物的生理和代谢活动产生了有害影响,是否严重地影响了这些深海生物的



图4 深海塑料垃圾生态系统示意



(a) 红虾、红色食肉海葵与
白色海蛇尾

(b) 白色与红色海蛇尾

注:红色激光标尺的距离=10 cm

图5 南海西沙峡谷以塑料垃圾堆为栖息地的底栖生物

生长、发育和繁殖的能力,以及是否改变了深海原有的生物群落结构与生态功能。

4 结论

南海北部西沙海槽北缘的海底峡谷是迄今为止世界上塑料污染最严重的深海区域。我们的发现是一个见证,表明地球深海区域已经被人类活动产生的塑料垃圾严重地污染了,这远超出之前的想象。南海北部海域是无数底栖动物、鱼类和珊瑚的栖息地,其生态环境健康与中国及周边国家经济社会繁荣发展休戚相关。显然,商业捕鱼活动、航运业以及旅游开发已经对这片宝地造成了损害。

开展南海深海塑料污染多学科综合研究已经迫在眉睫,迫切需要借助于深海载人/无人潜水器定点作业和原位观测能力,对南海深海塑料垃圾进行系统的观测、取样和原位实验工作,查明南海深海塑料污染的来源和通量,建立南海深海塑料垃圾的运输模型,研究南海深海塑料垃圾的生物降解机制,解析南海深海塑料垃圾生态系统,并评估南海海底塑料垃圾对底栖生态系统的影响。

今后,需要实施更严格的法律和条例作为保护措施,以减少进入深海的塑料垃圾数量。同时,还需要加强深海环境保护教育,强化公众深海污染认识的普及,增进普通民众、渔民和海员保护深海环境的意识。

致谢:“探索一号”科考船和“深海勇士”号载人潜水器全体船员和潜航员在南海深潜航次中提供专业支撑和服务。

参考文献(References)

- [1] Peng X T, Dasgupta S, Zhong G F, et al. Large debris dumps in the northern South China Sea[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2019, 142: 164-168.
- [2] Peng X T, Chen M, Chen S, et al. Microplastics contaminate the deepest part of the world's ocean[J]. *Geochemical Perspectives Letters*, 2018, 9: 1-5.

[3] Chen M, Du M, Jin A, et al. Forty-year pollution history of microplastics in the largest marginal sea of the western

Pacific[J]. *Geochemical Perspectives Letters*, 2020, 13: 42-47.

Plastics in the South China Sea

PENG Xiaotong¹, ZHONG Guangfa²

1. Institute of Deep-sea Science and Engineering, Chinese Academy of Sciences, Sanya 572000, China

2. State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092, China

Abstract Large deep-sea debris dumps that were never recorded before on the seafloor worldwide have been discovered in the submarine canyons to the north of Xisha trough in the South China Sea (SCS). The plastics primarily came from fishery and navigation activities, as implied by the categories of plastics in the dumps. The pollution history of microplastics reconstructed by ²¹⁰Pb dating shows that the microplastics pollution started in the 1980's and it is characterized by the terrestrial input. The continental shelf in the SCS is heavily polluted by microplastics. It is further shown that the deep-sea canyons on the continental slope provide important conduits for carrying the microplastics to the deep-sea basin. The turbidity currents play a critical role in the transportation of plastics in the canyon system. This paper reviews recent progresses of studies of plastics and microplastics using manned submersible in the SCS. For the first time, the concept of the deep-sea plastic dump ecosystem is proposed.

Keywords deep sea in the South China Sea; plastics; ecosystem ●



(责任编辑 祝叶华)