

海岸带海洋地质环境勘查中海底沉积重金属污染分析

林思文 刘栋 刘祥伟 王兵 刘建

中国地质调查局烟台海岸带地质调查中心, 山东 烟台 264000

[摘要] 海岸带海洋地质环境中的海底沉积物重金属污染问题日益严重, 主要来源于工业排放、农业废水、航运活动及城市排污等。重金属在海底沉积物中长期积累, 不仅影响海洋生态系统的健康, 还通过食物链威胁人类健康。尽管国内外已有一些研究, 但对于污染源的分布、污染物的积累机制及其生态风险等方面仍缺乏深入的了解。海洋地质环境的特殊性使得重金属污染更为复杂, 因此, 研究海底沉积物中的重金属污染及其治理对保护海洋环境具有重要意义。

[关键词] 海岸带; 海洋地质; 环境勘查; 海底沉积; 重金属污染

DOI: 10.33142/nsr.v1i3.14927

中图分类号: X55

文献标识码: A

Analysis of Heavy Metal Pollution in Seabed Sediments during Marine Geological Environment Exploration in Coastal Zones

LIN Siwen, LIU Dong, LIU Xiangwei, WANG Bing, LIU Jian

Yantai Coastal Zone Geological Survey Center of China Geological Survey, Yantai, Shandong, 264000, China

Abstract: The problem of heavy metal pollution in seabed sediments in coastal marine geological environments is becoming increasingly serious, mainly from industrial emissions, agricultural wastewater, shipping activities, and urban sewage discharge. The long-term accumulation of heavy metals in seabed sediments not only affects the health of marine ecosystems, but also threatens human health through the food chain. Although there have been some studies both domestically and internationally, there is still a lack of in-depth understanding of the distribution of pollution sources, the accumulation mechanism of pollutants, and their ecological risks. The particularity of marine geological environment makes heavy metal pollution more complex. Therefore, studying heavy metal pollution in seabed sediments and its treatment is of great significance for protecting the marine environment.

Keywords: coastal zones; marine geology; environmental exploration; seabed sediments; heavy metal pollution

引言

随着工业化的加速推进以及人类活动的日益频繁, 海洋环境中的重金属污染问题愈发突出, 尤其在海底沉积物中表现显著。海底沉积物作为海洋污染物的主要积累介质, 在生态系统中发挥着不可忽视的重要作用。重金属污染的来源集中于陆地径流、工业废物排放、航运活动及海洋资源开发等渠道, 而这些污染物通过食物链逐级扩散, 不仅对海洋生物健康构成严重威胁, 也可能危及人类食品安全。海岸带, 位于陆海交界的特殊地理位置, 成为了重金属污染最为突出的区域之一, 因此, 保护其生态环境尤为重要。对海岸带海底沉积物中的重金属污染展开的研究, 可明确污染物的来源及分布规律, 并评估其对生态系统的具体影响。通过这些研究结果, 污染防治和生态修复的科学支持能够得到有效提供。本文通过采集典型海岸带区域沉积物样本, 分析了重金属污染的特性及影响因素, 并参考国内外成功经验, 提出了适用于我国海岸带的污染治理策略, 以推动海洋生态环境的可持续发展。

1 重金属污染对海洋生态系统的危害

重金属污染对海洋生态系统的危害复杂且深远。海洋, 作为地球上规模最大的生态系统, 承载着丰富的生物多样

性并具有重要的生态功能。然而, 一旦汞、铅、镉、铜等重金属进入海洋环境后, 不仅会对海洋生物的生长和繁殖构成严重威胁, 还会通过食物链逐步传递, 最终危及整个生态系统的稳定性。海洋生物, 尤其是底栖生物, 如贝类和螃蟹, 由于摄食被污染的沉积物, 成为重金属污染的主要“累积体”。重金属对海洋生物的毒性作用尤为显著, 它们通过水体进入生物体内, 破坏细胞功能, 可能导致发育异常、免疫力削弱, 甚至死亡。与此同时, 重金属污染还可能导致敏感物种数量的锐减, 甚至灭绝, 从而破坏生态平衡, 降低物种多样性。海洋植物, 如海藻和水生植物, 也因重金属的抑制作用而光合作用效率下降, 削弱了生物氧气生产能力, 这进一步削弱了海洋生态系统的自我调节功能。长时间的重金属污染, 最终可能导致生态系统功能的退化, 削弱渔业资源的可持续利用能力, 并对人类健康构成潜在威胁。

2 海岸带海底沉积物采样与分析方法

2.1 海底沉积物采样技术与设备

海底沉积物采样是研究海洋地质环境、污染分布和生态状况的关键环节, 且采样技术和设备的合理选择对数据的准确性与代表性具有直接影响。通常情况下, 采样需借

助专业设备,例如重型抓斗、采样管、柱状取样器以及核心取样器。重型抓斗,由于结构简单,适合在浅水区域和较为松软的海床作业,因此能够高效获取表层沉积物样本。对于深水区域或需要采集较长沉积柱样的研究,柱状取样器与核心取样器的应用更为普遍。具备在深水条件下稳定工作的能力,这些设备能够采集多层次的沉积物样本,从而为分析沉积物的年代变化及污染物分布特征提供支持^[1]。根据目标区域的水深、海床特性及沉积物性质,选择适当的设备至关重要。此外,为确保样本的代表性与精确性,采样过程中,需尽量减少对沉积物层的扰动,保证采集样本真实反映海底环境状况。

2.2 重金属含量的分析方法

重金属含量的测定是研究海底沉积物中污染物的重要环节,其中常用的方法包括原子吸收光谱法(AAS)、电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)以及激光诱导击穿光谱法(LIBS)。不同方法,各具优势,可满足多样化的样品需求与分析目标。原子吸收光谱法(AAS),作为一种传统且应用广泛的技术,主要用于检测水体及沉积物中低浓度的金属元素。通过测定金属元素对特定波长光的吸收强度,实现了该方法高灵敏度与低检测限的特性,适合对常规样品进行精确分析。电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS),凭借极高的灵敏度与同时检测多种元素的能力,已成为海洋沉积物重金属分析中的重要工具。通过该方法,可以精确识别包括稀有元素在内的多种金属成分,尤其适用于复杂基质样品中的微量成分测定。近年来,激光诱导击穿光谱法(LIBS)因其快速、无损的特点,在海底沉积物重金属检测领域得到了广泛关注。该技术,通过激光与样品表面的相互作用激发元素发光,再通过光谱分析,确定金属含量。此外,电化学分析法、X射线荧光光谱(XRF)等现代技术,也已被应用于实验室。根据样品特性与研究需求,灵活选择这些方法,为重金属污染分析提供了更多的可能性。

2.3 数据处理与结果分析方法

对海岸带海底沉积物中重金属含量的分析,需借助数据处理与结果解析方法提取有效信息,以便科学评估污染状况并加以解释。数据处理的首要任务,是实施严格的质量控制,包括剔除实验过程中的误差、校正空白样品的影响,以及修正仪器产生的背景信号。完成预处理后,数据需进行标准化处理,以确保不同分析方法的结果具有可比性。随后,描述性统计、相关性分析和方差分析等常用的统计手段,可用于识别数据中的趋势及规律。例如,描述性统计能够提供重金属元素的平均浓度、标准差以及极值信息,从而为污染程度的初步评估奠定基础;而相关性分析,则揭示重金属间的相互关联,推断潜在的污染来源。在此基础上,通过地理信息系统(GIS)技术,数据得以空间化处理,生成污染分布图,直观展

示重金属在海底沉积物中的空间分布特性,为深入理解区域污染状况提供了参考。

3 重金属污染的影响因素分析

3.1 自然因素对重金属污染的影响

自然因素对重金属污染的影响,主要体现在气候条件、地质特征、水文环境以及生物活动等方面。气候因素中,降水量、风力和温度的变化,显著影响着重金属的迁移及积累过程。降水量的增多,会加剧表层沉积物的侵蚀和流失,使得重金属随水流进入河流或海洋系统,导致其在海底沉积物中的浓度升高。同时,较高的温度,可能加快化学反应的进行,改变重金属的溶解特性以及在沉积物中的结合方式,进而影响其生物可利用性。地质条件,则通过岩石类型和地质结构对重金属的分布与浓度产生作用。在某些区域,天然岩石和土壤中富含重金属元素,当受水文作用或人类活动干扰时,这些元素可能被释放到环境中,进而对生态系统构成威胁。此外,水文条件如水流强度和潮汐作用,对重金属的运输及分布,同样具有决定性意义。强劲的水流,能够将重金属从污染源输送至远离原地的区域,而相对静止的水体,则更容易导致重金属的沉积与积累,进而形成局部污染的高风险区域。

3.2 人为因素对重金属污染的贡献

人为因素对重金属污染的影响,主要表现为工业排放、农业生产、城市化进程及废弃物处理等方面的作用。工业活动,作为重金属污染的主要来源之一,特别在矿产开采、冶金、化工以及能源生产等行业中,起着重要作用。这些行业在运行过程中,往往会产生大量含重金属的废水、废气及固体废弃物,这些污染物通过排放进入土壤、水体或大气,进而经沉降和扩散到海洋生态系统中,导致海底沉积物中重金属含量显著增加。在农业领域,化肥和农药的广泛使用以及污水灌溉,为重金属的输入提供了途径^[2]。部分农业化学品中,含有铜、锌、铅等元素,而用于灌溉的污水,可能夹带工业废水中的有害物质。这些污染物通过雨水冲刷进入河流,最终汇入海洋,对其生态环境造成威胁。伴随着城市化的迅速推进,建筑和交通项目的扩张,以及人类活动产生的废弃物,显著增加了重金属污染的风险。城市垃圾、污水及工业废料中,往往富含重金属元素;当缺乏有效的处理或回收时,这些污染物,可能通过暴雨径流或地下水渗透进入水体,进一步加重沉积物的污染负荷。此外,垃圾填埋场的污染物泄漏,若未得到控制,将为重金属的扩散提供便利路径。资源的过度开发与不合理的捕鱼活动,也可能破坏自然屏障,增加污染物的传播范围,从而加剧重金属对海洋环境的负面影响。

3.3 海洋地质环境对污染物积累的影响

海洋地质环境在重金属污染物的积累过程中,发挥了关键作用,主要体现在海底地形、沉积物特性、海水交换机制以及地质构造等方面。海底地形的多样性,对污染物

的沉积与分布产生了显著影响。在深海区域,由于水流速度较低,污染物容易沉积在海底,形成重金属的富集区域。而在较为平坦或开阔的海域,较强的水流可能将污染物携带至其他区域,从而降低了沉积物中的污染浓度。沉积物特性在重金属的积累中,也起着至关重要的作用。不同类型的沉积物对重金属的吸附能力存在差异。例如,富含有机质或黏土矿物的沉积物,通常具有较高的吸附能力,有助于重金属的固定,而沙质或粒径较大的沉积物则吸附能力较弱,导致污染物容易随水流迁移。与此同时,海水与沉积物之间的物质交换过程,同样影响重金属的积累与释放。在某些区域,受潮汐、水流和风力等因素作用,海水与沉积物之间频繁的物质交换,可能使沉积物中的重金属释放至水体,或将水中的污染物重新沉积至海底,形成动态循环。封闭海湾或流动性较差的海洋环境中,由于水体交换受限,污染物往往容易在海底累积,导致局部污染的加剧。此外,地质构造对重金属的分布和迁移,同样具有重要影响^[3]。某些区域的地质岩层天然富含重金属矿藏,当这些岩层遭受侵蚀或破坏时,重金属被释放至水体,从而增加了海底沉积物中的污染负荷。同时,地震与火山活动等自然地质事件,可能扰动海底沉积物,使原本相对稳定的重金属重新释放到环境中,进一步加剧污染问题。

4 海底沉积物中重金属污染的治理与防控措施

4.1 沉积物污染治理的技术手段

治理海底沉积物中的重金属污染是一项复杂且漫长的工作,需依赖多种技术手段的协同应用。物理修复技术作为一种常用方法,包括沉积物的挖掘、抽取以及填埋处理。通过挖掘污染沉积物,污染源可以被直接清除或隔离,重金属的生物利用率得以降低,并阻止污染物的进一步扩散。这种技术通常适用于污染集中区域,但其高昂的成本以及对生态系统潜在的二次破坏,必须加以关注。化学修复技术在重金属污染治理中同样占据重要地位,主要通过添加化学试剂,改变沉积物中重金属的化学形态,从而降低其生物活性。例如,通过加入石灰、硫化物或磷化物等药剂,与重金属发生化学反应,稳定的化合物便会形成,减少污染物的溶解度,进而减轻环境风险。近年来,生物修复技术在治理海洋污染方面受到越来越多的重视。利用微生物、植物等生物的代谢能力,重金属可被转化为无害物质,或者通过吸附、富集等方式去除沉积物中的污染物。例如,植物修复依靠芦苇或菖蒲等水生植物,其根系吸收重金属来实现污染物的富集清除。而微生物修复则通过特定菌种的代谢活动,重金属得以分解或转化,降低其生态危害。此外,将物理、化学与生物修复技术相结合的综合治理模式,已成为当前重金属污染治理的重要发展方向。通过充分利用各技术手段的优势,治理效果得以提升,沉积物污染问题得以逐步解决。

4.2 防控措施与政策建议

海底沉积物中重金属污染的防控需要从源头管理、污染监测以及法规执行等多方面展开,形成系统性的治理措施。从源头减少污染物排放是重金属污染防控的核心。工业、农业及城市排放必须严格控制,特别是针对沿海工业区、港口和矿区等高污染区域,应加大对含重金属废水、废气及固体废弃物排放的限制力度。在农业领域,化肥和农药使用的监管尤为重要,必须加强。绿色农业技术的推广,能够有效减少农药和化肥中重金属的使用量,从而避免污染物通过土地流失进入水体并沉积到海底。实时监测与污染溯源则是防控污染扩散的重要手段。海洋环境监测体系的完善,可以定期收集海底沉积物中重金属含量的变化数据,及时识别潜在的污染风险并采取相应措施。现代遥感技术及地理信息系统(GIS)的引入,可实现污染源的精准定位,为污染治理提供科学依据。法规的健全与执行为重金属污染的防控提供了强有力的保障^[4]。环境保护相关法律应进一步完善,重金属排放的标准和限值应明确,对违规排放企业实施严厉的惩罚机制。同时,政府应制定长远的生态保护计划,以绿色发展为目标,企业应用环保技术的鼓励措施应加强,并推动相关治理技术的研发与实践,建立以政策引导为主导、市场调节为补充的多方协同防控体系。

4.3 国内外污染治理经验

在海底沉积物中重金属污染治理方面,国内外积累了丰富的经验。相对成熟的是国外的相关研究与实践,尤其是在欧美一些发达国家,多种有效的治理技术已被采用。以美国为例,海底沉积物污染治理主要依赖物理、化学及生物修复相结合的综合方法,具体措施包括沉积物的挖掘与处理、化学沉降剂的应用以及微生物修复,这些措施旨在减少重金属的释放。此外,通过严格的环境监测体系与政策法规,美国确保了污染源得以有效管控,从而避免污染物进一步进入海洋生态系统。在欧洲,德国与瑞典等国家则更加注重生态修复技术的应用,水生植物与微生物的作用被利用以修复受污染的沉积物,从而逐步恢复海洋生态环境的健康。瑞典更是通过纳米技术对水体与沉积物中的重金属进行了修复,取得了显著成效。相比之下,国内的重金属污染治理起步较晚,但近年来,随着海洋环境保护意识的提高,相关治理措施已逐步推进。在我国一些沿海地区,如长江口、珠江口等,海底沉积物污染治理已开展,采取了包括沉积物回填、固化以及污染源控制等多种措施。部分地区还在探索应用生物修复技术与化学沉降法来应对重金属污染问题。尽管这些技术目前仍处于实验与应用阶段,随着科研投入的增加与技术的不断进步,未来在海底沉积物污染治理中,发挥更加重要作用的潜力是显而易见的。

5 结语

海岸带海洋地质环境中的海底沉积物重金属污染,已

成为全球亟待解决的重大环境问题。随着污染源不断增加,重金属在海底沉积物中的积累,不仅对海洋生态系统构成威胁,且可能影响人类食品安全及健康。尽管一定的研究进展与治理措施已取得,污染源的多样性、污染物的长期积累以及其带来的生态风险依然是治理中的主要挑战。未来,污染源的监测与管理亟须加强,现有的污染治理技术亟待优化,同时,生态风险评估与修复工作应深入开展,从而实现海洋环境的可持续保护。只有通过多方合作与科技创新,才能有效遏制重金属污染对海洋生态系统及人类社会的潜在危害。

[参考文献]

- [1] 赵国鹏. 海岸带海洋地质环境勘查中海底沉积重金属污染解析方法[J]. 环境与发展, 2018, 30(12): 237-238.
- [2] 赵卫. 海岸带海洋地质环境勘查及重金属污染分析[J]. 世界有色金属, 2018(8): 287-289.
- [3] 胡睿, 窦衍光, 邹亮, 等. 胶州湾海域表层沉积物重金属元素分布特征与风险评价[J]. 海洋地质前沿, 2021, 37(11): 11-21.
- [4] 蓝先洪, 孟祥君, 梅西, 等. 辽东湾表层沉积物的重金属污染特征与质量评价[J]. 海洋学报, 2018, 40(6): 60-73.
- 作者简介: 林思文(1997.1—), 毕业院校: 国家开放大学, 所学专业: 行政管理, 当前就职单位: 中国地质调查局烟台海岸带地质调查中心, 职务: 职工, 职称级别: 技术员。