

# 人类工程活动对海洋地质灾害的影响机制与防控对策研究

邹嘉玲

同济大学土木工程学院 上海 200092

**【摘要】**：随着全球沿海地区人口增长和海洋经济的快速发展，人类工程活动对海洋地质环境的扰动不断加剧，显著改变了沿海和近海地区的自然演化过程，并诱发或加剧了一系列海洋地质灾害。本文在系统梳理相关研究成果的基础上，综述了人类工程活动对典型海洋地质灾害的影响类型与作用机制，重点分析了大坝与水库建设、沿海工程施工、地下水过度开采以及海上结构和海底设施建设等工程活动对海岸侵蚀、地面沉降、海水入侵和海床失稳的影响过程。在此基础上，总结了国内外在海洋地质灾害监测、防控与工程优化方面的主要技术路径与管理对策。研究认为，人类工程活动通过改变沉积物收支、水动力条件和地下水系统稳定性，是当前海洋地质灾害加剧的重要驱动因素，亟需在海洋开发过程中强化风险意识与可持续管理理念。

**【关键词】**：海洋地质灾害；人类工程活动；海岸侵蚀；地面沉降；海床失稳

DOI:10.12417/2811-0536.26.03.016

## 1 引言

随着社会经济发展和城市化加快，沿海和近海地区人类活动显著增强，海洋地质环境扰动加剧，海洋地质灾害风险持续上升。全球约20%的人口居住在距海岸25 km范围内，过去70年沿海城市数量增长约5倍。海洋资源开发强度不断提高，2021年海洋油气资源占全球油气总量的34%，其中深水和超深水占比超过40%（刘朝全等，2022）。进入21世纪以来，我国海洋经济快速发展，海洋生产总值占GDP比重于2017年达到9.4%（狄乾斌等，2019）。工程活动与自然过程叠加作用显著，海岸侵蚀、地面沉降、海水入侵和海底滑坡等灾害与人为工程活动密切相关，大坝和人工海岸结构加剧侵蚀（Selvan et al.,2016），近海油气开发和海上工程建设可能诱发海底不稳定甚至滑坡（申艳军等，2023）。

在海洋经济快速发展背景下，人类工程活动已成为影响沿海和近海海洋地质灾害演化的重要驱动因素。本文围绕典型灾害类型，系统分析其形成机制并探讨防控与管理对策。

## 2 人类工程活动影响下的典型海洋地质灾害

(1) 海岸侵蚀：海岸侵蚀与堆积受水动力条件和沉积物供给共同控制，当沉积物收支失衡时侵蚀占主导。全球沿海地区，尤其是三角洲普遍面临侵蚀问题。流域内大坝和水库削弱河口泥沙供给，使岸线后退速率超过淤积速率，导致海岸持续侵蚀，上游工程与采砂活动影响显著（Aydın et al.,2014）。

在我国，海岸侵蚀影响范围广、危害程度高，砂质及粉砂淤泥质海岸侵蚀问题突出。国家海洋局监测显示，部分岸段年均退缩速率达数米至数十米，其中

辽宁绥中侵蚀速率约4.9 m/年，江苏盐城局部岸段高达35.0 m/年。

(2) 地面沉降：地面沉降，尤其是不均匀沉降，可引发建筑倾斜和基础设施破坏。在气候变化背景下，其与海平面上升及风暴潮等极端事件叠加，显著加剧沿海洪涝和侵蚀风险（Abidin et al.,2013a）。研究表明，地面沉降既受自然条件控制，也与地下水和油气过度开采及高强度城市建设密切相关（Abidin et al.,2013b）。我国地面沉降广泛分布，沿海地区最为集中，已成为制约沿海城市可持续发展的重要环境问题。

(3) 海水入侵：海水入侵是指海水沿沿海含水层向陆地方向推进，导致地下水盐度升高和水质退化的过程。该现象在自然条件下普遍存在，但在人类活动干扰下明显加剧。我国多数沿海城市，尤其是人口密集地区，均不同程度地受到地下水过度开采引发的海水入侵影响（Huang and Guo,2008）。

(4) 海床失稳：海床是海上工程设施的重要承载基础，其稳定性直接关系工程安全。尽管海床演化主要受潮汐、洋流和波浪等自然动力控制，工程建设、管线铺设和资源开发可通过改变应力与渗流条件诱发失稳或滑坡，采砂和海上风电等活动对海床形态演化影响显著，含气水合物区尤为敏感。

总体而言，随着海洋经济发展和工程活动增强，人类活动已成为驱动沿海和近海海洋地质灾害演化的重要因素，本文据此梳理典型灾害类型，为机制分析与防控研究奠定基础。

## 3 人类工程活动影响海洋地质灾害的主要机制

(1) 大坝与水库建设：大坝和水库虽在防洪、供水和发电中发挥重要作用，但其建设显著削减河流向

河口和海岸的泥沙供给，打破三角洲与海岸带沉积平衡并加剧侵蚀。研究表明，全球河流输沙通量持续下降，三角洲湿地增长放缓，珠江等流域泥沙明显减少，多数三角洲呈现萎缩趋势。Andredaki 等（2014）在内斯托斯河三角洲发现，大坝建成后侵蚀占主导，岸线变化与大坝数量及滞沙规模显著相关。

（2）沿海工程施工：防波堤、腹股沟和海堤等工程虽能削弱波浪，但会改变水动力和沉积物输移，导致岸线硬化并将侵蚀转移至邻近岸段（Selvan et al.,2016）。印度东南海岸和多瑙河口工程表明，此类结构可引发一侧侵蚀、一侧堆积，局部侵蚀速率超过20 m/年（Stanica et al.,2007），港口扩建甚至可能加速海滩侵蚀。

（3）地下水过度开采：地下水过度开采是沿海地区地面沉降和海水入侵的重要人为因素。地下水位下降导致孔隙水压力降低、有效应力增大，沉积物发生压缩固结，引发地面沉降；同时破坏淡水与咸水的水动力平衡，促使海水沿含水层向陆地推进（Barlow et al.,2010）。

以佛罗里达州沿海含水层系统为例，海水入侵不仅降低地下水可利用性，还可能引发土壤盐碱化，对沿海生态和农业生产造成长期影响。

（4）海上结构与海底设施建设：随着海洋工程向深海推进，风电场、油气平台和海底管道迅速增多，人类活动对海床稳定性的扰动显著增强。在含气水合物区，温压变化可引发水合物分解并诱发海底滑塌，破坏工程基础，海洋结构物亦可能加剧局部冲刷致失稳。

总体而言，人类工程活动通过扰动沉积物输移、水动力和地下水系统，成为驱动海洋地质灾害演化的重要因素，显著影响沿海与近海地质安全。

#### 4 防控措施与可持续管理对策

在沿海人口与经济快速增长背景下，人类工程活动扰动沉积物、水动力及地下水系统，加剧多类海洋地质灾害并制约发展。通过实施综合防控措施（见表1），加强风险管理、监测与技术创新，可降低灾害风险，促进沿海可持续发展（Huang et al.,2017）。

表1 减缓和适应人类活动加剧的沿海和海洋地质灾害

海洋地质灾害	保护原理	缓解措施
海岸侵蚀	沉积物预算平衡	控制河流沉积物的开采 控制河流沉积物的开采 沿海工程的合理选址

	水动力平衡	保护和重新种植沿海植被 生态系统工程物种的实施 合理的海岸保护工程
海岸地面沉降	控制或提高地下水位	限制含水层水的抽水 引水枢纽 雨水收集和再利用（海绵城） 地下水的人工补给
	降低干扰	合理的施工过程
海水入侵	控制或提高地下水位	限制含水层水的抽水 引水枢纽 雨水收集和再利用（海绵城） 地下水的人工补给
	防止海水和淡水交换	淡水和咸水之间的屏障
海床的不稳定性	选择合理的地域	合理选择海上工程领域
	土壤改善	海床土改良与加固
	降低干扰	优化施工流程

表1总结了海洋地质灾害的主要防护思路。海岸侵蚀应通过控制采砂、优化工程布局和植被恢复维持沉积与水动力平衡；地面沉降和海水入侵需限制地下水开采并结合引水、雨水利用和人工回灌；海床不稳定则通过科学选址、土体改良和施工优化降低工程扰动。

#### 4.1 沿海和海洋地质环境变化的监测

随着地理信息技术的发展，遥感（RS）、全球定位系统（GPS）和地理信息系统（GIS）等技术已广泛应用于沿海和海洋地质环境监测。基于卫星影像和航空照片的遥感数据，可用于海岸线变化评估与预测，并建立变化率数据库，为沿海管理提供科学依据。此外，GPS和合成孔径雷达干涉测量在地表沉降监测方面具有明显优势（Wang et al.,2014）。

#### 4.2 优化工程设计

通过优化工程设计与施工方案，可有效减轻人类活动对地质环境的不利影响。针对大坝导致的下游沉积物短缺，Kondolf等（2014）提出的泥沙绕流、冲刷排放和机械疏浚等水库泥沙管理技术，可兼顾库容维持与下游补沙（见表2）。此外，发展低成本海水淡化技术，有助于缓解淡水供需矛盾，间接降低地下水过度开采引发的地质风险。

表 2 可持续的水库泥沙管理技术 (Kondolf, 2014 年)

方法	具体措施
泥沙输移	通过导流渠或隧道分流水库周围的高含沙流量
沉积物浸渍	通过大坝排放高流量水, 尽量减少泥沙淤积
排水冲洗	冲刷和悬浮沉积物并将其输送到下游
压力冲洗	通过一个圆锥形的冲刷区域来直接清除出口上游的沉积物
湍流放空	允许密集和含沙的水通过大坝的出口
疏浚和机械拆除	使用液压泵或重型设备清除累积的沉淀物

针对人类工程活动影响海洋地质灾害的机制, 应从工程规划、资源调控和长期监测等方面实施系统防控, 在海洋开发中综合考虑地质环境承载能力, 通过优化选址与设计、调控地下水与沉积物输移并强化监

测管理, 降低工程活动对海洋地质环境的不利影响。

## 5 结论

在沿海人口集聚和海洋开发强度持续增强背景下, 人类工程活动已成为影响海洋地质环境演化及地质灾害发生的重要因素。本文系统梳理了大坝与水库建设、沿海工程施工、地下水过度开采以及海上结构和海底设施建设等工程活动对海岸侵蚀、地面沉降、海水入侵和海床失稳等灾害的作用机制。研究表明, 人类工程活动通过改变沉积物收支、水动力条件和地下水系统稳定性, 打破自然平衡并加剧灾害风险。

针对上述问题, 应在海洋开发过程中综合考虑地质环境承载能力, 强化风险评估与动态监测。通过优化工程选址与设计, 合理调控地下水和沉积物输移过程, 并结合遥感、GPS 和 GIS 等技术手段开展持续监测, 可有效降低工程活动的不利影响, 实现海洋开发与地质环境保护的协调。

## 参考文献:

- [1] ANDREDAKI M, GEORGOULAS A, HRISSANTHOU V, et al. Assessment of reservoir sedimentation effect on coastal erosion in the case of Nestos River, Greece[J]. International Journal of Sediment Research, 2014, 29(1): 34–48.
- [2] Abidin HZ, Andreas H, Gumilar I et al(2013b) Land subsidence in coastal city of Semarang (Indonesia): characteristics, impacts and causes. Geomatics 4(3): 226–240
- [3] Abidin HZ, Gumilar I, Andreas H et al(2013a) On causes and impacts of land subsidence in Bandung Basin, Indonesia. Environ Earth Sci 68(6): 1545–1553
- [4] Aydın M, Uysal M(2014) Risk assessment of coastal erosion of Karasu coast in Black Sea. J Coast Conserv 18(6): 673–682
- [5] Barlow PM, Reichard EG(2010) Saltwater intrusion in coastal regions of North America. Hydrogeol J 18(1): 247–260
- [6] Huang L, Guo ZR(2008) Mechanism of sea water intrusion in China's coastal areas and its prevention countermeasures. Chin J Geol Hazard Control 19(2): 118–123
- [7] Huang Y, Jin P. Impact of human interventions on coastal and marine geological hazards: a review[J]. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 2017, 77(3): 1081–1090.
- [8] Selvan SC, Kankara RS, Markose VJ et al(2016) Shoreline change and impacts of coastal protection structures on Puducherry, SE coast of India. Nat Hazards 83: 293–308
- [9] Stanica A, Dan S, Ungureanu V G. Coastal changes at the Sulina mouth of the Danube River as a result of human activities[J]. Marine Pollution Bulletin, 2007, 55(10–12): 555–563.
- [10] Wang G, Yu J, Kearns TJ et al(2014) Assessing the accuracy of long-term subsidence derived from borehole extensometer data using GPS observations: case study in Houston, Texas. J Surv Eng 140(3): 05014001
- [11] 申艳军, 彭建兵, 贾永刚等. 海底地质灾害发育特征与监测技术研究现状及展望[J]. 中国工程科学, 2023, 25(03): 95–108.
- [12] 狄乾斌, 周慧. 中国沿海地区人口发展与海洋经济互动关系研究[J]. 海洋通报, 2019, 38(05): 499–507.
- [13] 刘朝全, 姜学峰, 吴谋远. 2021 年国内外油气行业发展报告[M]. 北京: 石油工业出版社, 2022.