

粉沙质海岸航道回淤强度预测及治理措施

周红珊

浙江省围海建设集团舟山有限公司 浙江 舟山 316000

【摘要】：粉沙质海岸航道易在大风条件下发生骤淤，严重影响港口正常通航与运营安全，开展航道回淤预测及治理措施研究具有重要工程价值。以滨州港为研究背景，基于三维水动力与波浪耦合模型，系统识别航道回淤关键动力因子，构建回淤强度预测方法，开展不同治理方案的数值模拟与效果分析。研究明确粉沙质海岸航道回淤主控机制，提出适配的防沙导流堤布设及泥沙阻断措施，可为同类海岸航道骤淤防治提供理论依据与技术参考。

【关键词】：粉沙质海岸；航道回淤；三维水沙模型；防沙导流堤；骤淤防治

DOI:10.12417/2811-0528.26.15.060

我国渤海湾沿岸多为粉沙质海岸，岸滩平缓、泥沙颗粒细，波流作用下泥沙易起运，航道骤淤问题突出，长期制约港口建设与运营。滨州港作为区域重要海港，港区航道曾因大风出现严重淤积，治理难度大、影响范围广。现有研究多聚焦单一动力条件或局部治理措施，对粉沙质海岸航道回淤机制与系统性治理方案的综合研究仍显不足。本文依托三维水沙耦合模型，开展航道回淤成因、预测及治理措施研究，为保障航道稳定通航提供技术支持。

1 粉沙质海岸航道回淤成因分析

粉沙质海岸航道淤积的物质基础，来自海域特有的泥沙分布特征。研究区域沉积物平均中值粒径为 0.044 mm，颗粒细、易起运，整体呈近岸粗、外海细的分布规律。0 m 以浅及 0~2 m 水深区域中值粒径约为 0.054 mm，2~5 m 与 5~10 m 水深区域中值粒径约为 0.046 mm，10 m 以深粒径递减明显，不同水深泥沙可悬浮性差异显著，为航道不同区段淤积提供差异化物源条件。波流耦合作用是泥沙起运与运输的核心动力。常态潮流往复运动维持泥沙缓慢迁移，寒潮大风期间强风浪能量强、持续时间长，25 年一遇大风条件下风速高、有效波高大，可大面积掀动滩面泥沙并形成高含沙水体。涨落潮水流在口门附近因边界约束发生转向，局部流速增大，泥沙起运强度提高，大量泥沙随横向水体交换进入航道水域。滩面泥沙横向搬运是航道淤积的主要来源^[1]。岸滩平缓，波流可直接作用于广阔浅滩，持续冲刷滩面并向航道方向输沙。航道开挖后水深增大、流速降低，水流挟沙能力下降，悬浮泥沙在航道内沉降堆积。

2 粉沙质海岸航道回淤强度预测

2.1 航道回淤动力因子识别

粉沙质海岸航道回淤动力因子识别聚焦波流耦合作用下的关键水沙参数筛选与量化表征。以实测水文资料为基础，系统提取寒潮大风期间风速、有效波高、潮流流速、流向、水体

含沙量及泥沙沉速等核心参数，明确大风重现期与泥沙起运阈值之间的对应关系。通过深入分析波生流与潮流的叠加效应，科学界定不同动力组合下的泥沙输移强度阈值，合理区分常态水动力与极端大风动力对航道淤积的贡献占比，精准识别出波浪掀沙、潮流输沙及波流共振是驱动航道骤淤的主导动力因子，为后续数值模拟提供精准的动力边界条件，有效提升回淤预测的科学性与准确性，为同类粉沙质海岸港口动力环境分析提供量化参考依据。

2.2 航道回淤数值模型构建

航道回淤数值模型构建采用 FVCOM 三维水动力模型与 SWAN 波浪模型耦合，引入新型三维辐射应力优化波流耦合精度。模型采用非结构化三角形网格，工程近域加密至 50m，垂向分层 10 层并开启干湿淹判定，通过 MCT 耦合器实现波浪泥沙数据实时交互。泥沙运动模拟依托三维悬沙对流扩散

方程，核心方程如下：
$$\frac{\partial (cD)}{\partial t} + \frac{\partial (ucD)}{\partial x} + \frac{\partial (vcD)}{\partial y} + \frac{\partial ((w-w_s)c)}{\partial z} =$$

$$D \frac{\partial}{\partial x} \left(K_y \frac{\partial c}{\partial y} \right) + \frac{1}{D} \frac{\partial}{\partial z} \left(K_x \frac{\partial c}{\partial z} \right) + DS$$

式中，c 为泥沙浓度，D 为总水深，u、v、w 为三维流速分量，w_s 为泥沙沉速，K_x、K_y 为垂向与水平扩散系数，SSS 为泥沙源汇项。该模型可精准刻画近岸三维水沙运动特征，为粉沙质海岸航道回淤过程模拟提供可靠技术支持。

2.3 航道回淤强度计算分析

航道回淤强度计算分析依托构建的三维耦合模型，以 2015 年发生的 25 年一遇寒潮大风作为典型动力条件，系统模拟现状航道与不同出水堤延伸方案下淤积过程的时空分布特征。通过精细提取航道沿程各关键断面的淤积厚度、淤积量等实测与模拟数据，量化计算不同工况下的最大淤积厚度、平均淤积厚度、总淤积量及减淤率指标，明确出水堤延伸长度与航

道回淤强度之间的定量响应关系^[2]。深入分析口门、堤后及外海段航道的淤积差异特征,揭示堤头位置变化对淤积峰值分布的调控规律,量化单宽减淤量随延伸距离的衰减特征,精准评估不同治理方案的减淤效能,为航道减淤措施的方案比选与工程设计提供量化数据支撑,为粉沙质海岸航道骤淤强度评估提供标准化计算范式。

3 粉沙质海岸航道回淤治理措施

3.1 航道防沙导流堤布设优化

航道防沙导流堤布设优化以三维水沙模型模拟结果为基础,针对粉沙质海岸波浪耦合动力特征开展堤线位置与延伸长度的量化比选。依托实测地形与水文数据构建计算工况,设置出水堤延伸至 7.5m 水深与 9.0m 水深两类方案,通过模拟极端大风条件下堤身对流场的调控作用,量化不同堤头位置对水流流速、流向及泥沙输移路径的影响。结合减淤量、减淤率与工程经济性指标,分析单宽减淤量随延伸长度的衰减规律,明确堤线布设与主流向的最优夹角范围,形成兼顾减淤效果与造价成本的布设方案,为同类粉沙质海岸港口防沙堤设计提供技术依据。

3.2 航道泥沙输移路径阻断设计

航道泥沙输移路径阻断设计聚焦滩面泥沙横向搬运这一核心淤积来源,依托高精度波浪耦合模型系统揭示泥沙输移的主导路径与集中输沙通道。通过细致分析大风期高含沙水体的运动轨迹与扩散范围,明确口门区域为泥沙进入航道的关键节点,结合出水堤延伸方案优化堤头平面形态与轴线走向,有效改变局部流场结构,削弱水流横向挟沙能力^[3]。利用堤身阻挡作用切断浅滩至航道的泥沙输移通道,合理控制堤后水域流速降低幅度,减少泥沙沉降堆积,量化阻断措施对航道沿程含沙量分布的调控效果,构建从源头抑制泥沙输入航道的技术体系,为粉沙质海岸航道泥沙治理提供路径阻断的设计范式。见图 1。

参考文献:

- [1] 季则舟,任腾飞,张金凤,等.三维水沙模型在航道减淤措施中的应用[J].水利水运工程学报,2024,(05):1-9.
- [2] 曹杰,程晨,王钟寅,等.长江口北槽南坝田挡沙堤加高与深水航道浮泥演变[J].水利水运工程学报,2026,(02):59-72.
- [3] 林芬芬,贾雨少,黄志扬,等.盐城港大丰港区深水航道一期工程回淤特征研究[J].水运工程,2024,(12):160-166+231.

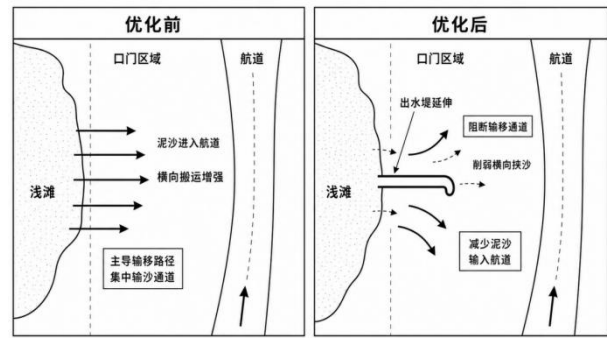


图 1 航道泥沙输移路径阻断示意图

3.3 航道骤淤应急减淤方案制定

航道骤淤应急减淤方案制定以 25 年一遇寒潮大风骤淤特征为依据,基于三维模型精细模拟得到的淤积时空分布结果,明确大风过后航道口门、堤后等重点淤积区段的淤积厚度、分布范围及堆积形态。结合粉沙质泥沙颗粒细、黏结力弱、易起动且易疏浚的特性,制定分区段、分时段的差异化应急清淤策略,科学确定清淤设备选型、清淤断面参数及清淤时序安排。通过模拟不同清淤工况下航道水深恢复效率,优化清淤作业窗口与泥沙处置路径,建立极端天气后快速恢复航道通航条件的应急机制,有效降低骤淤对港口运营的影响,为粉沙质海岸港口应对突发骤淤事件提供可直接应用的应急减淤技术方案。

4 结语

粉沙质海岸航道回淤受水动力、泥沙特性及工程布局多重因素共同影响,治理难度大且技术要求高。三维水沙耦合模型可精准刻画波浪泥沙运动规律,有效揭示航道回淤主控机制,为回淤强度预测提供可靠技术手段。防沙导流堤布设优化、泥沙输移路径阻断等措施,能够从动力调控与物源阻断层面降低航道淤积程度,保障通航水深稳定。研究成果可为粉沙质海岸同类港口航道减淤工程设计与运维提供实践参考,助力海岸港口的安全高效发展。