



基于生态环保的海湾水环境整治技术

郭 磊，祝健康，李永烨

(中交水运规划设计院有限公司，北京 100007)

摘要：针对前海湾水体交换能力差、表层底质污染严重、低潮时有大片泥质岸滩出露、近岸海域水体劣于Ⅳ类海水标准以致严重影响周边环境和前海景观的问题，通过对湾区水动力、泥沙冲淤、水体交换、水环境容量、污染疏浚土处理和资源化利用等进行研究，提出生态环保的整治方案。工程的实施改善了湾区水环境，保护和修复了海洋生态，对河道、湖湾治理、航道疏浚等工程具有参考价值。

关键词：海湾水环境；清淤工程；底泥处理

中图分类号：TV 148；U 6

文献标志码：A

文章编号：1002-4972(2021)10-0059-05

Technology of bay water environment improvement based on ecological environmental protection

GUO Lei, ZHU Jian-kang, LI Yong-ye

(CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: In response to the problems of poor water exchange capacity in Qianhai Bay, serious surface substrate pollution, large muddy shores exposed at low tide, and near-shore waters inferior to Class IV seawater standards, which seriously affect the surrounding environment and the landscape of Qianhai, we probe into the hydrodynamic force, sediment erosion and deposition, water exchange, water environment capacity, polluted dredged soil treatment and resource utilization, etc. and propose an ecological and environmental protection remediation scheme. The implementation of the project improved the water environment of the bay area, protected and restored the marine ecology, and may serve as reference for river and lake bay management and channel dredging projects.

Keywords: bay water environment; dredging project; sediment treatment

前海湾作为前海的重要门户，自北向南有西乡河、新圳河、双界河、桂庙渠、铲湾渠5条河渠汇入。由于河渠的陆源污染不断汇入半封闭式海湾，使得湾内淤积严重，水环境日趋恶化，严重影响前海深港现代服务业合作区以“前海水城”为核心理念的规划实施^[1]。

笔者对前海湾水动力条件、水体交换能力、水环境容量、泥沙回淤、污染底泥处理等关键技术进行研究，提出生态环保的海湾水环境整治方案。工程实施后改善了前海湾水环境，保护和修复了海洋生态，为建设“前海水城”创造了有利

条件^[2]。工程对污染底泥进行了无害化处理，经机械压缩滤水后进行资源化利用，对河道湖湾治理、航道疏浚等工程具有借鉴意义。

1 工程概况

前海湾又称大铲湾，与大、小铲岛相望，是一个半封闭式的海湾。湾口宽度约1 km，湾内水域面积约6 km²，平均水深多在1.5 m左右，落潮时有大片潮滩出露(图1)。

湾内表层均为淤泥，平均厚度8 m，呈深灰色，黑色，流塑状，黏性好，含大量腐殖质，表

层 0.5 m 为流泥，污染严重，气味腥臭。根据《疏浚泥海洋倾倒分类和评价程序》，在工程区采集 106 组样本，对有机碳、多氯联苯、汞、铜、锌、铅、镉、油类、砷、总铬、六六六、DDT 等进行检测分析，得知工程区域大部分浅滩表层 0.5 m 内为沾污疏浚物（Ⅱ类），部分区域为污染疏浚物（Ⅲ类），主要超标物为铜、汞、砷和油类^[3-4]。

工程实施前海水水质劣于国家第四类海水水质标准，水体富营养化程度高，主要超标物质为无机氮和活性磷酸盐。

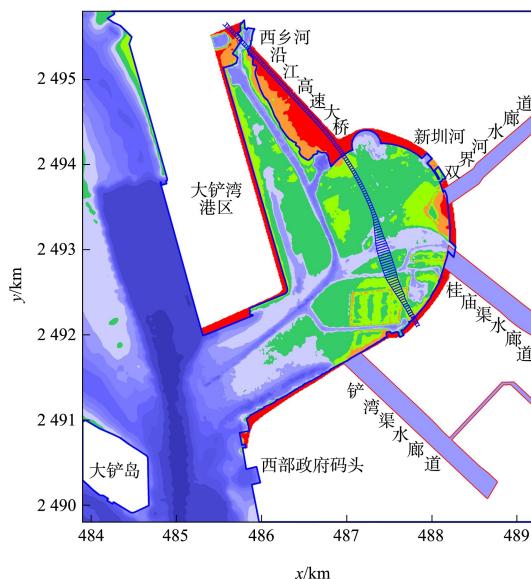


图 1 2013 年工程前水下地形

2 技术路线

从河湾水系的整体出发，提出前海湾水环境整治的前提条件是对汇入湾内的河渠进行截污整治和水保方案的实施。针对湾内水体交换能力差、淤积严重、低潮时有大片滩涂出露的现状特点，从改善湾内水动力条件、提高水交换能力、减小海床泥沙回淤和增强湾区环境容量的角度出发，提出初步整治比选方案，并通过数学和物理模型等研究手段，在定量分析的基础上，结合工程目标、投资等因素，优化整治方案，确定推荐方案，并对实施效果进行后评估。比选方案主要分两大类：滩槽清淤和整体清淤。

2.1 滩槽方案

该方案以导流为原则，塑造利于将河渠来水汇向湾口的地形。实测资料显示，在各河渠汇入

湾内后形成数条深槽，并相交于沿江高速收费站西侧附近，最终在该区域实现大部分水体的交换。深槽的汇流点距离湾口较近，在潮流作用下，有利于较快完成湾内水体交换。基于该理念形成方案 1：滩顶高程-2.0 m，槽底高程-3.0 m（图 2）。

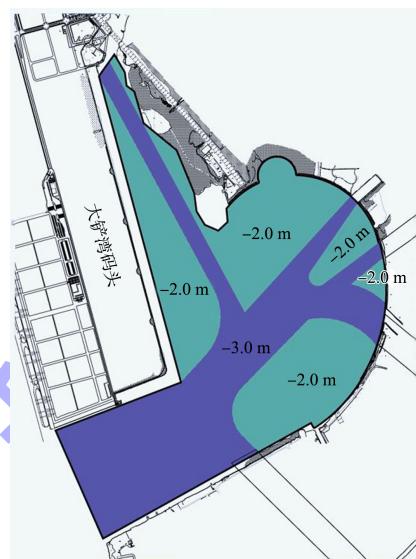


图 2 方案 1：滩槽方案

2.2 整体清淤方案

该方案采用平挖的方式，选取-1.0、-2.0、-3.0 m 3 个不同的清淤底高程，重点研究不同清淤深度对各控制因素的影响，分别对应方案 2、3、4（图 3）。

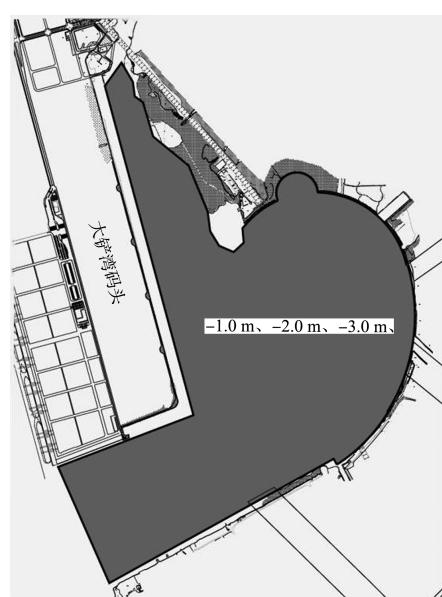


图 3 方案 2、3、4：整体清淤方案

3 模型研究

采用二维潮流水质模型进行模拟计算。模型根据 2007 年夏季大潮过程(包括 13 个潮位站和 11 条垂线测流)、2011 年 5 月大潮过程(包括 10 个潮位站和 11 条垂线测流)、2012 年 5 月实测大潮和小潮过程数据进行率定。工程后泥沙回淤量将影响项目实施决策, 为此进行了物理模型试验^[5]。

3.1 流速流态变化

工程前口门和深槽流速稍大, 其他区域涨落潮平均流速都很小。随着工程的实施, 前海湾水深加大, 湾内涨落潮平均流速大多减小, 原有深槽减小幅度较大, 原有滩地流速略有增大。

工程前落潮时水流归槽较为明显, 工程实施后湾内水流较为均匀。涨潮时, 工程前口门回流较小; 工程后口门地形较平, 水流在南岸形成回流。和整体开挖方案相比, 滩槽方案的导流作用并不明显, 对约束引导水流的作用不大。

3.2 潮量变化

工程实施后, 前海湾的进出潮量增加幅度较大(表 1), 水容积和进出潮量的增加可增加湾内的环境容量, 有利于污染物的稀释。

表 1 湾内纳潮量变化

工程实施方案	潮量/万 m ³	变化率/%
工程前	1 563.40	-
方案 1	2 084.68	33.34
方案 2	1 954.95	24.11
方案 3	2 049.20	31.07
方案 4	2 102.61	34.49

3.3 水体交换变化

各方案分区见图 4, 水体交换统计结果见表 2。

由于汇入前海湾的河流径流量小, 湾内水体交换的动力主要是潮汐作用。对湾内进行清淤后, 水深变大, 纳潮量增加, 湾内水体流动速度降低, 水体交换时间总体呈延长态势。

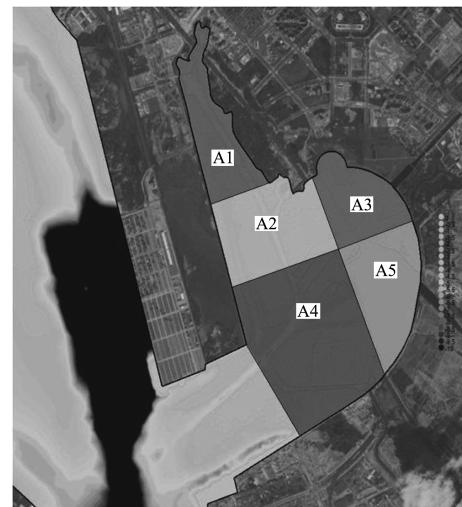


图 4 分区示意

表 2 清淤工程前、后各区域水体交换时间

区域	水体交换时间/d				
	工程前	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4
A1	8.14	>12.00	>12.00	>12.00	>12.00
A2	3.47	5.24	7.21	11.21	>12.00
A3	4.53	>12.00	11.28	11.30	13.40
A4	1.24	1.45	1.28	1.57	2.69
A5	4.34	11.03	3.25	3.96	4.10

3.4 污染物浓度变化

工程实施后, 前海湾水量增大、环境容量增大; 但清淤后, 水深的增加使前海湾潮流动力减弱, 湾内水体与湾外水体交换能力减弱, 水体交换时间延长。因而其既存在有利的一面, 也有不利的一面。为了综合分析工程影响, 假定在入湾污染物排放固定的情况下, 模拟工程前、后污染物浓度变化, 比较工程对水环境的影响。考虑的点源主要有新圳河、西乡河和桂庙渠。

研究表明: 前海湾东侧的 A4 和 A5 区域水环境改善较大, 大突堤根部的 A1 区域影响不大, A2 和 A3 区随着清淤深度增加水环境也会有所改善。

从不同的清淤底高程可以看出, 清淤底高程越小环境容量的增加越大, 前海的水环境改善幅度越大。

表 3 最大污染物浓度变化

区域	工程前		方案 1		方案 2		方案 3		方案 4	
	污染物浓度	改善/%	污染物浓度	改善/%	污染物浓度	改善/%	污染物浓度	改善/%	污染物浓度	改善/%
A1	0.98		0.97	1.02	0.99	-1.02	0.98	0.00	0.94	4.08
A2	0.66		0.52	21.21	0.75	-13.64	0.62	6.06	0.51	22.73
A3	0.82		0.78	4.88	0.90	-9.76	0.78	4.88	0.71	13.41
A4	0.53		0.34	35.85	0.37	30.19	0.22	58.49	0.15	71.70
A5	0.69		0.68	1.45	0.38	44.93	0.21	69.57	0.16	76.81

注：表中污染物浓度为相对值，假设汇入湾区的污染源初始源头浓度为 1。

3.5 泥沙回淤

采用定床浑水试验，对清淤工程后前 2 年海床冲淤变化进行试验研究。泥沙来源主要是上游径流输沙以及浅滩风浪掀沙后随潮流进入湾内水域，湾内西乡河、新圳河、桂庙渠等河渠流入的泥沙较少。试验表明，淤积主要分布在口门区，

湾顶区淤积较少。

工程实施后湾内水深增加，涨、落潮流速有所减少，1 年后泥沙回淤较工程前整体变化不大；第 2 年后泥沙淤积略有增加，但幅度减缓。第 1 年，湾内泥沙回淤总量约为 23 万 m³；第 2 年，累计回淤量约为 35 万 m³（图 5）。

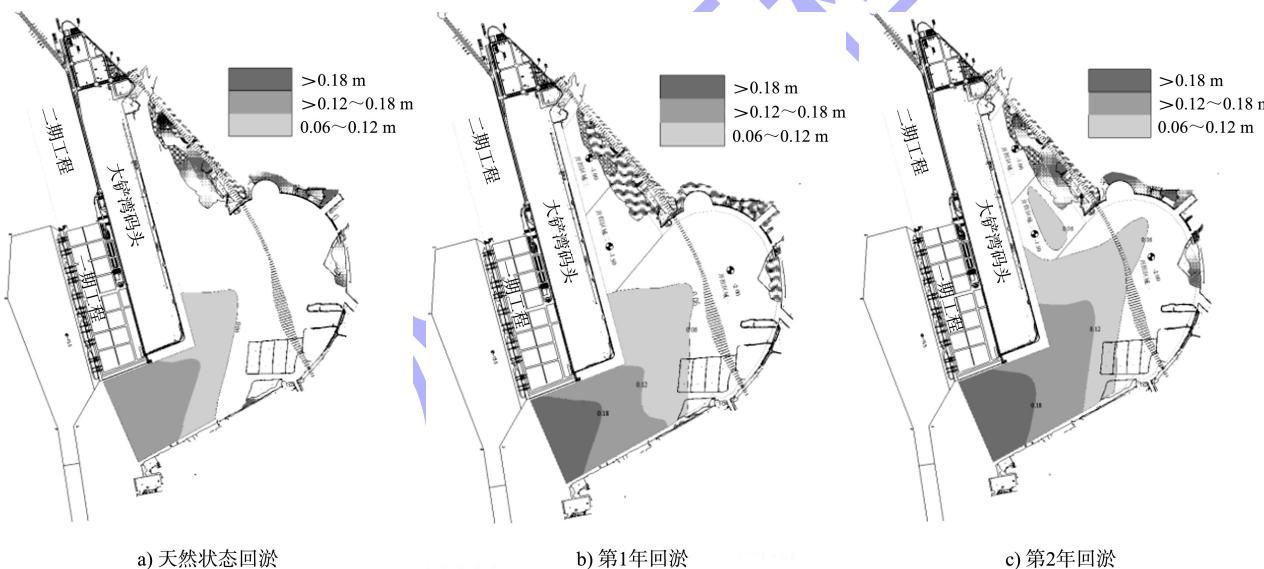


图 5 工程回淤情况

从浑水试验淤积形态及淤积过程看，湾内泥沙淤积 1~2 年基本平稳，没有出现较大的泥沙淤积。综合分析表明，伶仃洋含沙量较小，随潮流进入湾内的泥沙不多，清淤工程后，湾内不会产生大量泥沙淤积。

4 实施方案与效果

滩槽方案的导流作用并不明显，对约束引导水流的作用不大，不具有工程优势，因此不作为推荐方案。整体挖至-1.0 m 和整体挖至-2.0 m 对

A4、A5 区水体交换最有利，但对 A1、A2、A3 水域水体交换不利；整体挖至-1.0 m 会有局部区域污染底泥无法完全清除，同时施工船舶须乘潮作业；整体挖至-3.0 m 方案并没有显著改善湾区水环境，造价较挖至-2.0 m 会增加 40% 左右，为此工程推荐挖至-2.0 m 方案。由于 A1、A2 区水动力极弱，水体很难和外界发生交换，所以在该区减小了开挖深度，采取阶梯状的开挖形式和 A4 区衔接，并在该区域设置了红树林保育区，改善底泥，增强河口的生态景观效果。实施方案见图 6。

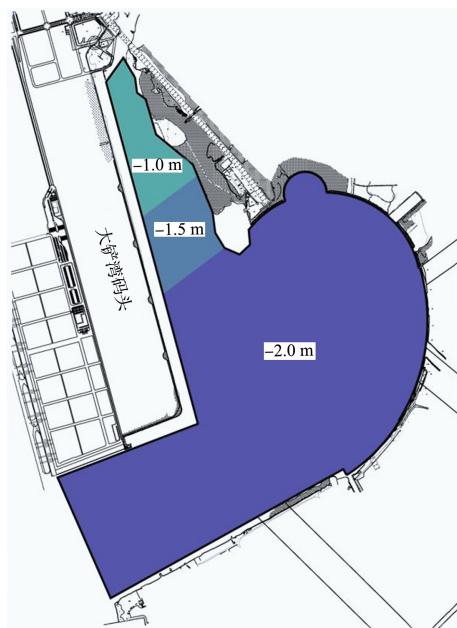


图 6 工程实施方案

工程完工 4 年(同步完成了河渠截污)后, 湾内水体清澈见底, 累计淤积量不超过 0.08 m, 底质均符合清洁淤泥标准, A1、A2 区域红树长势良好, 完全实现工程目标。

5 污染底泥无害化处理技术

近些年来, 随着对污泥填埋要求的日趋严格, 我国的污泥处理技术取得了一定的进展, 以无害化、资源化为目标, 向着科学处理、资源利用的方向发展。本工程对污染疏浚土采用“泥浆脱水固结一体化处理系统”进行固化处理。污染疏浚土泥浆颗粒极细、难以脱水、处置困难, 采用 FSA 泥沙聚沉剂、HEC 土体加固剂和重金属离子去除剂对泥浆进行处理, 经无害化处理后, 用板框压滤机进行压滤。处理工艺流程见图 7, 经无害化处理后超标化学成分含量变化情况见表 4。该方法将淤泥处理成为含水率小于 40% 的泥饼, 实现对淤泥的减量化、无害化、稳定化处理和资源化利用。

表 4 无害化处理后超标化学成分含量变化

项目	平均含量 改善率/%	稳定性	是否达到清 洁疏浚物标准
C _u	-75.40	好	是
H _g	-61.20	好	是
A _s	-34.50	好	是
油类	-85.10	好	是

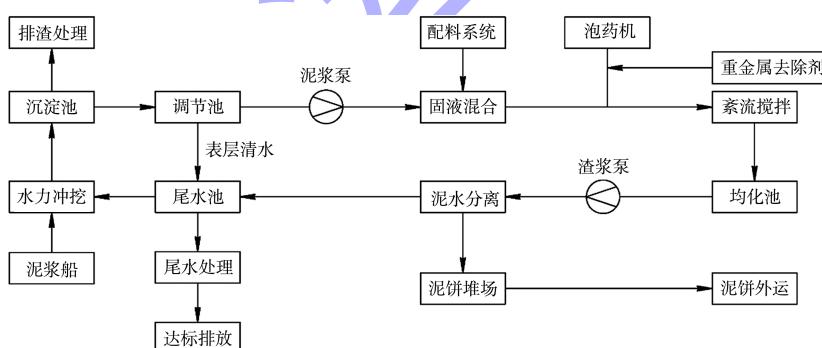


图 7 污染疏浚物处理工艺流程

根据疏浚物检测结果, 重点对超标有害物质进行处理, 主要处理方法如下:

- 1) 通过添加 FSA 泥沙聚沉剂产生电离作用, 切断淤泥颗粒的毛细管, 提高滤速、改善排水性能。
- 2) 添加 HEC 土体加固剂, 将被加固材料基本单元黏结成为牢固的整体, 使其具有较高的强度和水稳定性, 实现对有害物质的钝化和固封。
- 3) 对超标有害物质加入特定的重金属离子去除剂, 对底泥中的重金属进行有效络合、钝化后,

降低其可溶解性和浸出液毒性。重金属离子去除剂能在常温下与疏浚物中的特定重金属离子迅速反应, 生成不溶于水且具有良好化学稳定性的螯合物, 从而达到捕捉去除重金属的目的。

4) 通过板框压滤机设备, 将处理后的疏浚物分离为含水率 40% 以下的泥饼, 经晾晒后作为公园景观微地形填土使用, 实现对淤泥的减量化、无害化、稳定化处理和资源化利用。

(下转第 84 页)