



海洋地质与第四纪地质

MARINE GEOLOGY & QUATERNARY GEOLOGY

山东裕龙岛跨河道工程对沉积动力环境影响研究

王超, 姜胜辉, 王世臣, 李春川

Study on the impact of cross-river engineering on sedimentary dynamic environment in Yulong Island, Shandong

WANG Chao, JIANG Shenghui, WANG Shichen, and LI Chunhuan

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16562/j.cnki.0256-1492.2022102501>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

钱塘江中下游沉积物磁性特征及其对沉积动力环境的指示意义

Magnetic properties of sediments and their implications for sedimentary dynamic environment in the middle and lower reaches of the Qiantang River

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(2): 181–191

苏北-南黄海西部第四纪长江埋藏古河道分布研究进展

Research progress on distribution of Quaternary buried paleo-Yangtze River channels in the North Jiangsu-western South Yellow Sea

海洋地质与第四纪地质. 2020, 40(4): 40–54

文登近岸海域重矿物组合分布及对沉积动力环境的指示

Distribution of heavy mineral assemblages in Wendeng nearshore waters and their implications for sedimentary dynamic environment

海洋地质与第四纪地质. 2018, 38(1): 127–138

三角洲废弃河道演化过程及受控机制——以黄河刁口废弃河道为例

Evolution of abandoned deltaic river channelA case from the Diaokou channel of the Yellow River

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(2): 22–29

龙口近岸海域潮流作用下悬浮泥沙时空分布特征及输运机制

Spatiotemporal distribution pattern and transport mechanism of suspended sediments in Longkou offshore under the action of tidal current

海洋地质与第四纪地质. 2020, 40(4): 55–66

晚全新世淇澳岛红树林有孔虫记录与古环境意义

Late Holocene foraminiferal record from mangrove reserve, Qi’ao Island, Pearl River Estuary and its implications for paleoenvironment

海洋地质与第四纪地质. 2020, 40(3): 74–86



关注微信公众号，获得更多资讯信息

王超, 姜胜辉, 王世臣, 等. 山东裕龙岛跨河道工程对沉积动力环境影响研究 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2024, 44(1): 191-202.
WANG Chao, JIANG Shenghui, WANG Shichen, et al. Study on the impact of cross-river engineering on sedimentary dynamic environment in Yulong Island, Shandong[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2024, 44(1): 191-202.

山东裕龙岛跨河道工程对沉积动力环境影响研究

王超¹, 姜胜辉², 王世臣³, 李春川¹

1. 中国海洋大学深海圈层与地球系统前沿科学中心, 青岛 266100
2. 中国海洋大学海底科学与探测技术教育部重点实验室, 青岛 266100
3. 中国科学院海洋研究所, 青岛 266071

摘要:根据裕龙岛附近海域水文和地形等实测资料,采用数值模拟的方法,模拟了研究区跨河道工程建设前后的水动力、冲淤和水交换等沉积动力特征,探讨了跨河道工程建设对裕龙岛内部沉积动力环境的影响。结果表明,跨河道工程建设使裕龙岛内部水道潮流流速整体减小,最大减小量超过20 cm/s,减弱了水道内水动力环境;工程建设对水道内冲淤环境产生一定影响,改变了水道的微侵蚀环境,部分地区发生淤积,最大年淤积量超过2 cm;工程建设明显影响水道内水交换,造成水交换率下降,部分区域水交换率低于60%。整体而言,经一河、经二河建设桥梁,纬一河建设管涵对水道内沉积动力环境影响相对较小,符合工程建设的实际要求。海岸工程建设应优先考虑海洋环境保护,实现工程和环境的协调发展。

关键词:跨河道工程; 水交换; 潮流场; 裕龙岛

中图分类号:P731 文献标识码:A DOI: [10.16562/j.cnki.0256-1492.2022102501](https://doi.org/10.16562/j.cnki.0256-1492.2022102501)

Study on the impact of cross-river engineering on sedimentary dynamic environment in Yulong Island, Shandong

WANG Chao¹, JIANG Shenghui², WANG Shichen³, LI Chunchuan¹

1. *Frontiers Science Center for Deep Ocean Multispheres and Earth System, Ocean University of China, Qingdao 266100, China*
2. *The Key Lab of Submarine Geosciences and Prospecting Techniques, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266100, China*
3. *Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China*

Abstract: With the hydrological and topographic data from sea area near Yulong Island, Shandong, the sedimentary dynamic patterns of current, erosion and deposition, water exchange rate before and after the cross-river engineering (bridges or tunnels) were simulated numerically, and the impact of the engineering on the internal sedimentary dynamic environment of the Yulong Island was discussed. Results show that the engineering would decrease the tidal current velocity in overall, and the maximum reduction is over 20 cm/s. This situation would weaken the hydrodynamic environment such as the erosion and deposition in waterways, and change the micro erosion environment. In some regions, siltation would occur and the maximum annual siltation is over 2cm. In addition, the project will influence the water exchange within waterway. The rate of water exchange would be reduced by less than 60% locally. As a whole, it is suggested to build bridges across Jingyi River and Jinger River, while to use pipe and culvert in Weiyi River would be the best option with a minimal impact, which accords with the actual requirements of engineering construction. Coastal engineering construction should prioritize marine environmental protection and achieve coordinated development between engineering and the environment.

Key words: cross-river project; water exchange; tidal current field; Yulong Island

工程建设对海洋环境的影响一直备受国内外学者的关注。海岸工程建设往往会改变海岸形态,引起海域水动力环境的改变。Kassas^[1]认为海岸工程的建设会导致所在海域潮流、潮位、波浪等水动力条件发生变化。Byun等^[2]认为韩国海岸工程的

建设导致附近海域潮汐特征发生显著变化。Rtimi等^[3]探讨了世界第二大潮汐电站的建设对法国兰斯河口水动力特征的影响,认为工程建设不会导致潮流特征大范围改变,仅在工程附近水域有较大变化,防波堤堤头水域由于挑流作用流速增大,

资助项目:国家自然科学基金“强风浪作用下废弃水下三角洲冲淤过程及地貌重塑机制——以黄河清水沟三角洲为例”(42276172)

作者简介:王超(1990—),男,硕士,工程师,主要从事海洋地质学研究, E-mail: 865090611@qq.com

通讯作者:姜胜辉(1981—),男,博士,高级实验师,主要从事海洋沉积动力研究, E-mail: 540986464@qq.com

收稿日期:2022-10-25; 改回日期:2023-05-30. 张现荣编辑

其余区域流速普遍减小。海岸工程建设会阻隔沿岸泥沙输运,破坏海岸抵抗海洋灾害的能力^[4]。Ranasinghe等^[5]认为海岸防波堤的建设对岸线附近海域的冲淤环境和地貌演变产生了较大影响。Neumann等^[6]认为过多的海洋工程建设甚至会引起全球海平面上升和其他重大极端事件。规划建设良好的海岸工程又会有效地减小波浪效能,保护港口和海岸^[7-8]。围填海工程的建设会造成海域面积减小,直接导致纳潮量减少^[9-10],影响水交换^[11],进而影响海洋生态环境。Rusdiansyah等^[12]利用数值模拟研究了雅加达湾海堤的建设对海湾纳潮量的影响。Barnes等^[13]认为人工岛的建设会改变原有海域的地形条件,直接影响附近海域的海洋生态环境。人工修复岸线会增强水交换能力^[14],减轻海洋污染。

裕龙岛位于山东省龙口市龙口湾南部海域^[15](图1),填海面积35.23 km²,建设7个离岸式人工岛。前人对裕龙岛也做了很多研究,刘金鹏等^[16]运用MIKE21软件对裕龙岛及附近海域的波浪场和水动力场进行了模拟研究;费成鹏等^[17]利用MIKE21数学模型模拟了裕龙岛建设前后的潮流、波浪、纳潮量及水交换率等水动力特征,探讨了人工岛群建设对龙口湾水动力环境的影响;刘星池等^[18]利用MIKE21软件模拟了裕龙岛不同建设方案对龙口湾潮流变化和海底冲淤演变的影响。然而,前人的研究多集中于较大型的海湾或者开阔区域的大型工程,研究方向也主要集中于潮流场、波浪场等水动力方面,对于人工岛等大型工程内部跨河道工程建设对沉积动力环境影响的系统研究很少。因此,本文针对山东裕龙岛内部跨河道工程的建设对沉积动力环境的影响进行了较为全面的研究。

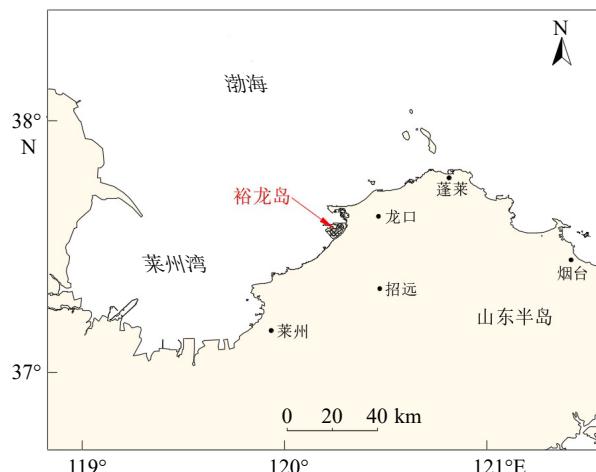


图1 裕龙岛地理位置图

Fig.1 Location of the Yulong Island

裕龙岛内部各人工岛之间有多条水道与外侧海域相通,为了裕龙岛项目的后续发展,需要建设跨河道工程,解决各人工岛之间的连接问题。跨河道工程建设方案分为桥梁方案和管涵方案两种。建设桥梁对区域海洋环境影响较小,但是建设成本高,施工难度较大;建设管涵成本低,难度小,但是对海洋环境影响较大。基于工程建设实际考虑,在环境可接受范围内,尽可能建设管涵。因此,需要对比分析不同建设方案对沉积动力环境的影响。本文利用研究区附近海域的潮位潮流、水深地形、表层沉积物、卫星影像、海图等资料,运用数值模拟的方法,主要从水动力、地形地貌冲淤、水交换等方面研究了裕龙岛内部12个跨河道工程不同组合方案对沉积动力环境的影响,为跨河道工程建设提供技术支撑,为裕龙岛工程的后续建设和海洋环境保护提供理论依据^[19-20]。

1 研究区及工程概况

龙口湾是屺姆岛连岛沙坝围成的一个次生海湾,为莱州湾的一个附属海湾^[21],整体地势东南高、西北低,地貌主要为冲洪积平原或浅海平原,海岸类型主要为基岩海岸或砂砾质海岸^[22],湾内水深除航道外普遍小于10 m^[23]。湾内表层沉积物粒径较细,主要以粉砂和砂为主^[24]。潮流性质以不规则半日潮流为主,潮流运动形式主要为往复流^[25]。

裕龙岛内部3条主水道分别为纬一河、经一河、经二河,水道宽度为40~400 m,平均水深约4 m,共需要建设12个跨河道工程,即纬一河跨河道工程1、2、3,经一河跨河道工程4、5、6、7、8,经二河跨河道工程9、10、11、12(图2)。截止2021年底,纬一

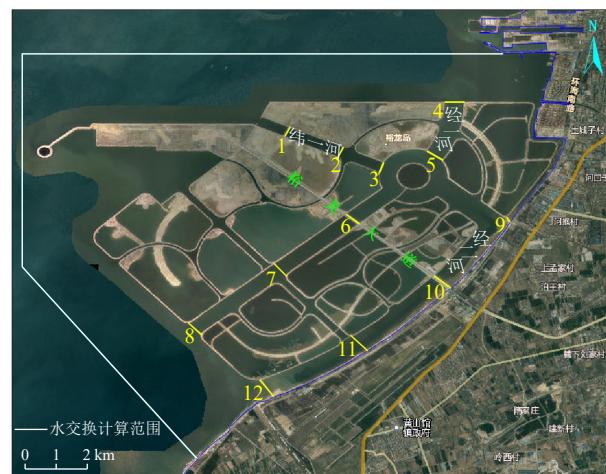


图2 跨河道工程位置图

Fig.2 Location of the cross-river project

河通道 3、经一河通道 6 和经二河通道 10 均已建成临时道路, 并且埋设管涵。桥梁方案建成桥面宽度约 15 m, 桥墩直径约 1 m, 根据水道宽度建设桥墩数量不等; 管涵方案建成路面宽度约 15 m, 管涵直径约 1 m, 统一埋设 4 根管涵。

2 建设方案

基于工程建设对沉积动力环境和水交换等方面产生的影响^[26-27], 选取 4 种不同组合建设方案进行数值模拟。

方案 1: 所有跨河道工程全部建设管涵;

方案 2: 经一河跨河道工程建设桥梁, 其余建设管涵, 即通道 1、2、3、9、10、11、12 建设管涵, 通道 4、5、6、7、8 建设桥梁;

方案 3: 现有工程基础上, 纬一河跨河道工程 1、2 建设管涵, 其余建设桥梁, 即通道 1、2、3、6、10 建设管涵, 通道 4、5、7、8、9、11、12 建设桥梁;

方案 4: 经一河、经二河跨河道工程建设桥梁, 纬一河跨河道工程建设管涵, 即通道 1、2、3 建设管涵, 通道 4、5、6、7、8、9、10、11、12 建设桥梁。

3 研究方法

3.1 数学模型

本研究采用 MIKE21 模型中的水动力模块、泥沙输送模块和对流扩散模块, 对研究区海域的潮流场、地形地貌冲淤和水交换进行数值模拟^[28-31], 共进

行两个时间段的模拟计算, 分别为 2017 年 5 月 1—31 日和 2018 年 5 月 1—31 日。模型采用非结构三角网格剖分计算域, 采用标准 Galerkin 有限元法进行水平空间离散, 时间上采用显式迎风差分格式离散动量方程与输运方程^[32]。模型计算域范围为辽宁登沙河和山东鸡鸣岛两点以及岸线围成的北黄海及渤海海域, 并对裕龙岛附近海域进行局部加密(图 3), 最小空间步长约 6 m。

水深地形选取 2005 年以来中国人民解放军海军航海保证部制作的 1:100 万海图(10011 号), 1:15 万海图(11370 号、11570 号、11710 号、11770 号、11840 号、11910 号), 1:2.5 万海图(11891 号)及 2018 年中国海洋大学在裕龙岛附近调查的水深地形测量资料, 岸界依据 2014—2017 年的卫星影像资料确定。根据中国海洋大学 2018 年在裕龙岛附近海域调查的表层沉积物资料和历史表层沉积物调查资料, 确定沉积物类型、性质、粒度特征等相关参数。风资料参照龙口气象站 2002—2006 年每日资料统计, 确定该区各向风出现频率输入模型进行计算。

3.2 水交换计算方法

假定在水道附近海域有同样的溶解态保守污染物, 使水体中污染物质的浓度达到某一个特定的量值 W_c , 且初始时刻均匀分布在附近水域内, 假设水边界流入时给定这种物质在开边界的浓度为 0, 计算出不同时刻此种物质的浓度值 W , 进而通过以下公式计算不同时刻被区外海水置换的比率(也即水体交换率), 来对比不同建设方案裕龙岛内部水

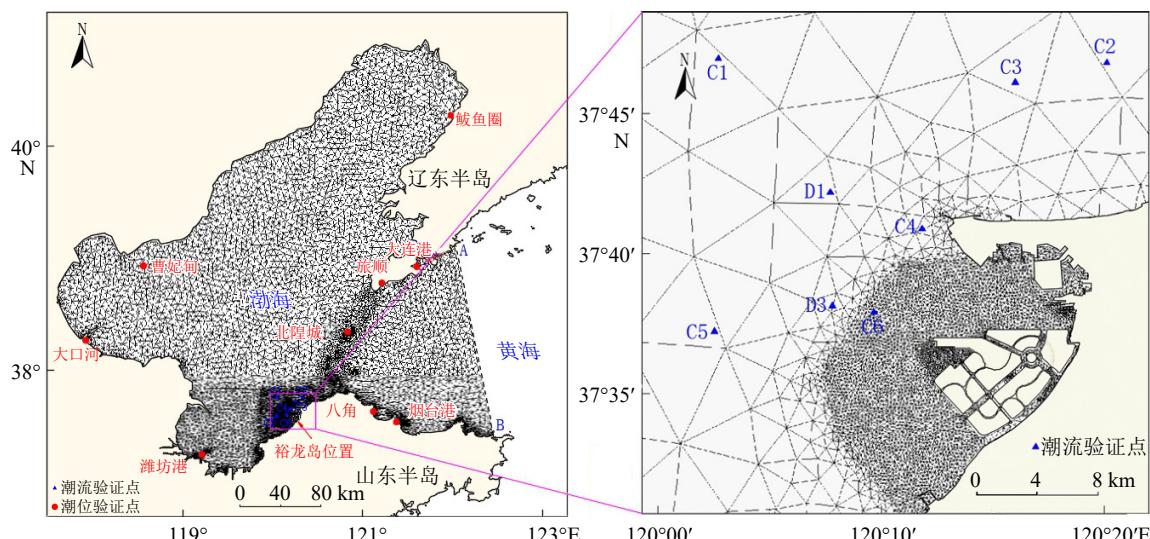


图 3 网格分布及验证点位置

Fig.3 Grid distribution and tidal verification sites on tidal level (red dots) and tidal current (blue triangles)

道的水体净化能力^[11,33-36]。

$$n = (W_c - W) / W_c$$

式中, n 为水体交换率, W_c 为原有的污染物浓度值, W 为每一时刻水体中的污染物浓度值。

本文选取裕龙岛内部河道及其周边 2 km 左右范围内海域作为水交换计算区域(图 2)。

4 结果

4.1 模型验证

利用大连、旅顺、鲅鱼圈、曹妃甸、大口河、潍坊港、北隍城、八角、烟台港、龙口港等 10 个潮位站历史观测资料经调和分析后^[37], 选用 M_2 、 S_2 、 K_1 、 O_1 四个分潮的调和常数预报出大潮期的潮位与计

算结果进行验证; 同时选用中国海洋大学 2017 年 5 月 10—11 日在研究区附近进行的 2 个站位(C4、C6)潮位现场观测资料进行验证。验证结果表明, 对应观测点上潮位模拟结果与实测潮位资料基本吻合。

采用中国海洋大学于 2018 年 5 月 18—19 日在研究区附近进行的 2 个站位(D1、D3)和 2017 年 5 月 10—11 日(大潮)在研究区附近进行的 6 个站位(C1、C2、C3、C4、C5、C6)共 27 小时海流同步连续观测资料与计算结果进行验证。验证结果表明, 对应观测点上的潮流流速流向模拟结果与实测潮流资料基本吻合, 能够较好地反映研究区周边海域潮流状况。限于篇幅限制, 本研究仅列出距离研究区较近的站位潮位验证曲线(C6、龙口港, 图 4)和潮流验证曲线(D3、C6 站位, 图 5)。

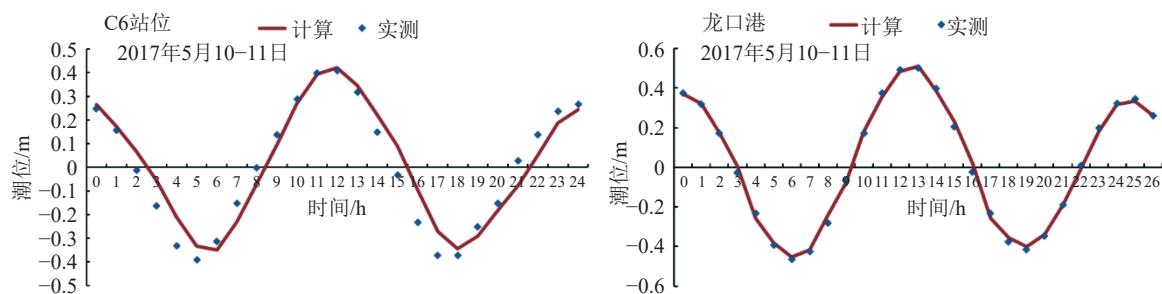


图 4 潮位验证曲线

Fig.4 Tidal level validation curve

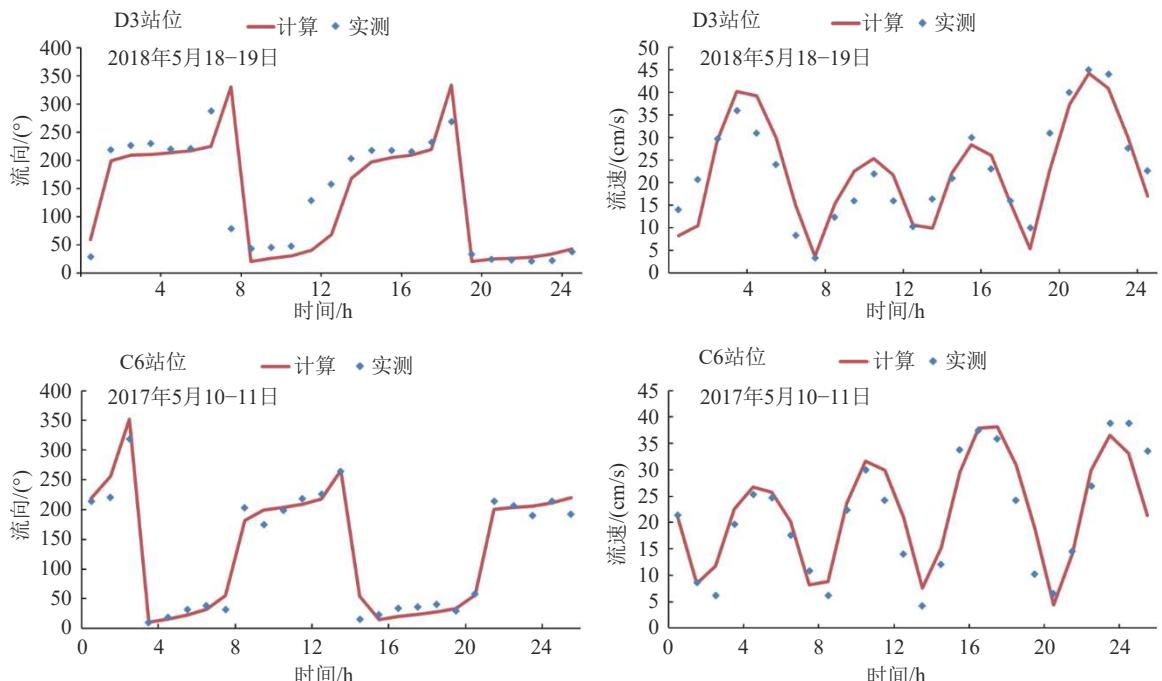


图 5 潮流验证曲线

Fig.5 Tidal current validation curve

采用中国人民解放军海军司令部航海保证部出版的龙口港 2002 年海图和 1992 年海图水深地形资料进行对比分析, 计算典型断面水深年变化量(图 6), 将工程建设前的年模拟冲淤变化量与海图水深变化量进行对比, 验证冲淤数值模型的准确性^[38]。结果显示, 除了 M-M' 断面 5.5 km 处和 N-N' 断面 2.7、3.6 km 处进行航道疏浚, 水深变化较大之外, 总体而言, 从冲淤厚度和趋势上看, 模拟值与实测值基本吻合(图 7)。

4.2 潮流场模拟结果

本研究分别模拟了工程建设前和 4 种不同工程

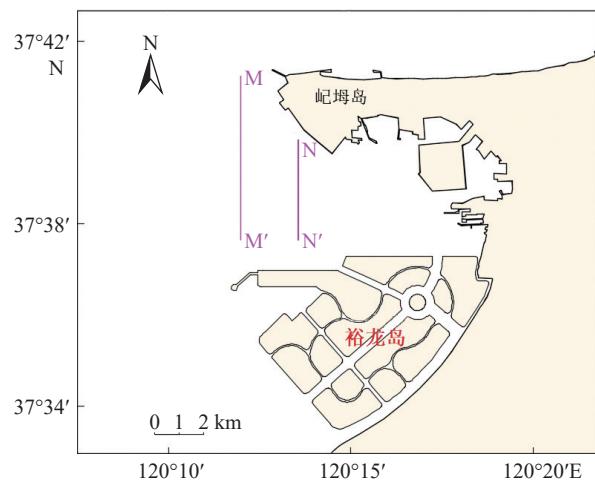


图 6 水深变化对比断面位置图

Fig.6 Location of the comparison section for water depth changes

组合建设方案的水道潮流场, 结果如下:

(1) 工程建设前

涨急时, 纬一河流速为 15~40 cm/s; 经一河整体由北向南流, 流速为 30~60 cm/s; 经二河整体由北向南流, 北侧流速小于 10 cm/s, 南侧和中间区域流速为 10~30 cm/s。

落急时, 纬一河流速为 20~40 cm/s; 经一河整体由南向北流, 流速为 20~45 cm/s; 经二河整体由北向南流, 流速为 10~30 cm/s(图 8)。

(2) 建设方案 1

涨急时和落急时, 除管涵附近外, 其他海域潮流流速整体较小, 一般小于 5 cm/s(图 9)。

(3) 建设方案 2

涨急时和落急时, 纬一河和经二河潮流流速整体较小, 一般小于 5 cm/s; 经一河整体流速为 30~50 cm/s(图 10)。

(4) 建设方案 3

涨急时, 纬一河和经二河潮流流速小于 5 cm/s; 经一河整体由北向南流, 整体流速小于 10 cm/s。

落急时, 纬一河整体潮流流速小于 5 cm/s; 经一河整体由南向北流, 南侧流速小于 10 cm/s, 北侧流速为 10~20 cm/s; 经二河南侧流速小于 5 cm/s, 北侧流速为 10~20 cm/s(图 11)。

(5) 建设方案 4

涨急时, 纬一河潮流流速小于 5 cm/s; 经一河整体由北向南流, 流速为 30~60 cm/s; 经二河整体由

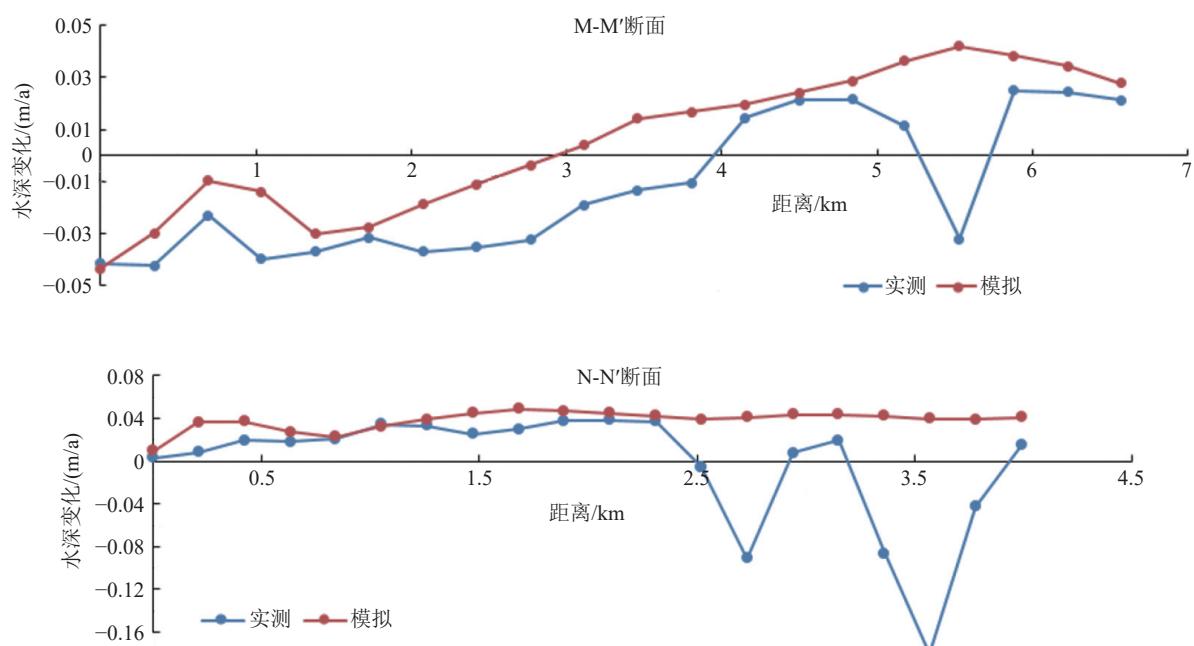


图 7 水深变化对比验证结果

Fig.7 The results of comparison and validation for water depth changes

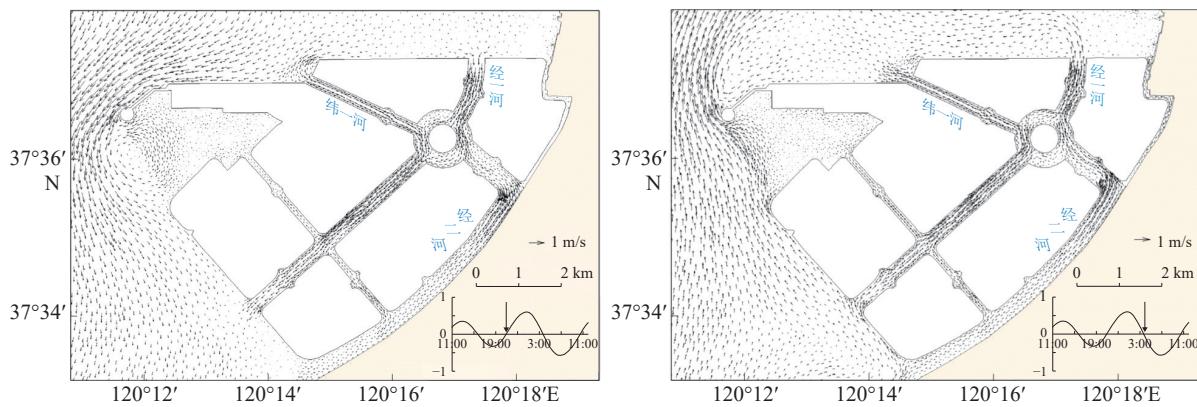


图8 工程建设前涨急时和落急时潮流场

Fig.8 Tidal current field during flood tide and ebb tide before cross-river engineering

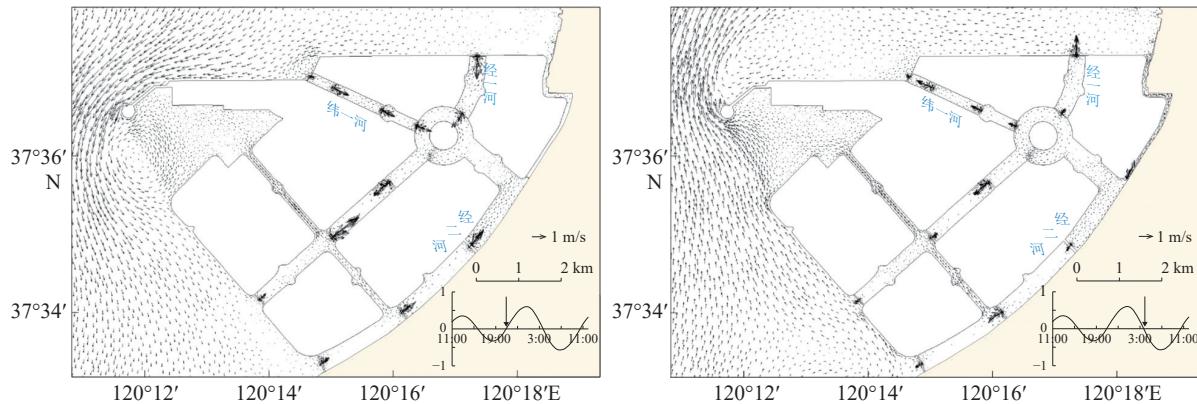


图9 方案1涨急时和落急时潮流场

Fig.9 Tidal current field during flood tide and ebb tide of Plan 1

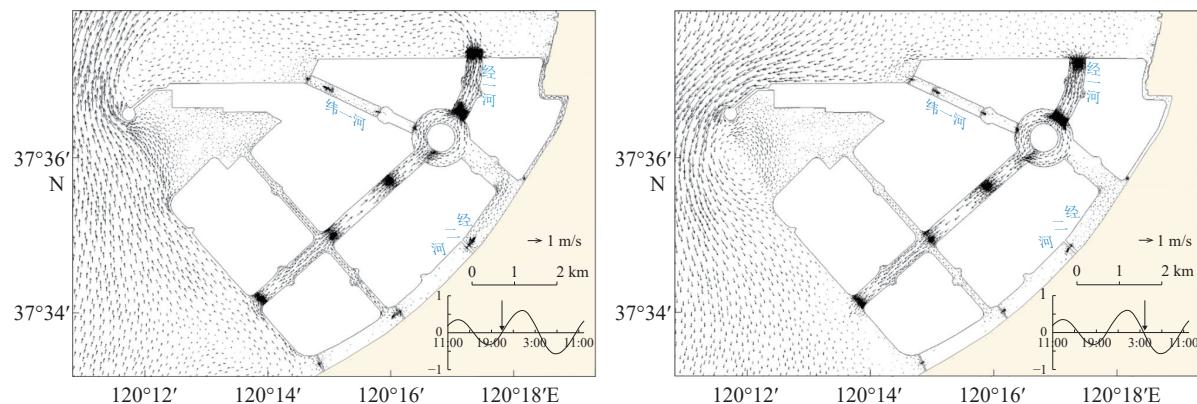


图10 方案2涨急时和落急时潮流场

Fig.10 Tidal current field during flood tide and ebb tide of Plan 2

北向南流，北侧流速小于10 cm/s，南侧流速为10~30 cm/s。

落急时，纬一河潮流流速小于5 cm/s；经一河整体由南向北流，流速为20~45 cm/s；经二河整体由北向南流，流速为10~30 cm/s（图12）。

4.3 地形地貌冲淤模拟结果

本研究分别模拟了工程建设前和4种不同工程

组合方案的冲淤情况（图13、14），由结果可知：

工程建设前整体以微侵蚀为主，其中纬一河西侧微侵蚀，东侧微淤积，年淤蚀量小于2 cm；经一河以侵蚀为主，年侵蚀量为2~8 cm；经二河北侧以侵蚀为主，年侵蚀量为4~8 cm，南侧微淤积，年淤积量为2 cm左右。

方案1整体以微淤积为主，年淤积量1 cm左右；经二河北侧微侵蚀，年侵蚀量小于2 cm。

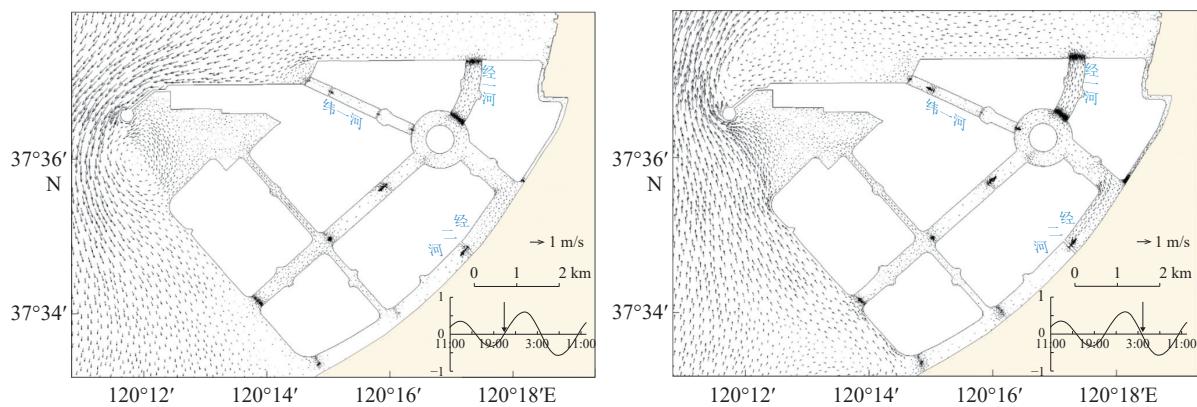


图 11 方案 3 涨急时和落急时潮流场

Fig.11 Tidal current field during flood tide and ebb tide of Plan 3

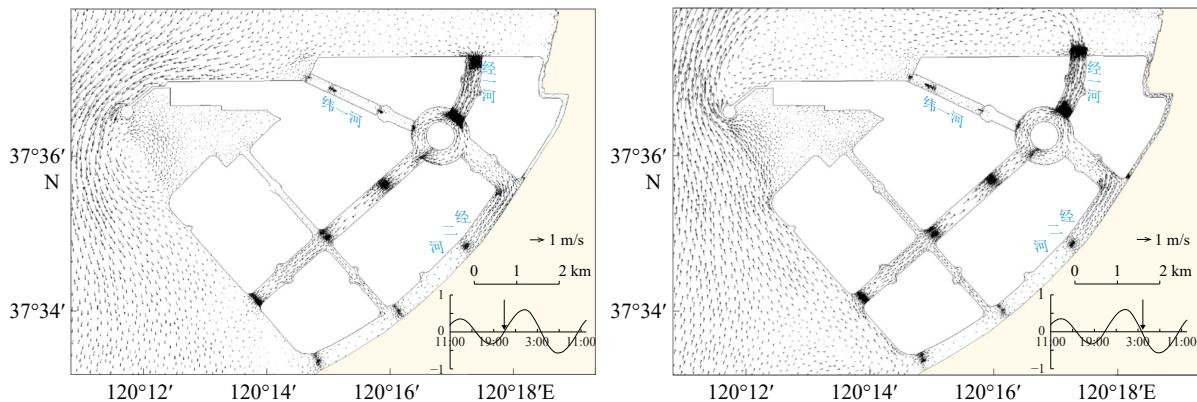


图 12 方案 4 涨急时和落急时潮流场

Fig.12 Tidal current field during flood tide and ebb tide of Plan 4

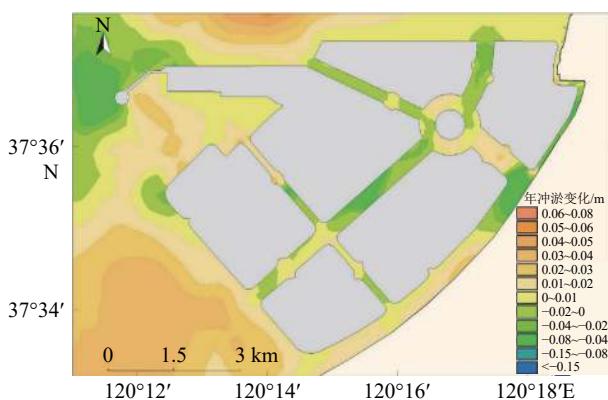


图 13 工程建设前年冲淤变化

Fig.13 The annual changes in erosion and siltation before construction of river-crossing project

方案 2 纬一河微淤积, 年淤积量小于 2 cm; 经一河以侵蚀为主, 年侵蚀量为 2~8 cm; 经二河北侧以侵蚀为主, 年侵蚀量小于 2 cm, 经二河南侧微淤积, 年淤积量小于 2 cm。

方案 3 整体以微淤积为主, 年淤积量 1 cm 左右; 经二河北侧微侵蚀, 年侵蚀量小于 2 cm。

方案 4 纬一河微淤积, 年淤积量小于 2 cm;

经一河以侵蚀为主, 年侵蚀量为 2~8 cm; 经二河北侧以侵蚀为主, 年侵蚀量为 4~8 cm, 经二河南侧微淤积, 年淤积量约 2 cm。

4.4 水交换模拟结果

本研究分别模拟了工程建设前和 4 种不同工程组合方案 14 d 水交换情况(图 15、16), 由结果可知, 工程建设前水道内水体 100% 发生交换, 水交换较好; 方案 1 水道内绝大部分区域水交换率小于 60%, 水交换较差; 方案 2 纬一河、经二河大部分区域水交换率小于 60%, 经一河水交换率超过 90%; 方案 3 水道内大部分区域水交换率小于 50%, 水交换较差; 方案 4 纬一河西侧大部分区域水交换率超过 50%, 其余水道水交换率超过 90%, 水交换较好。

5 影响分析

5.1 水动力影响分析

裕龙岛内部水道潮流主要受龙口湾内潮流特

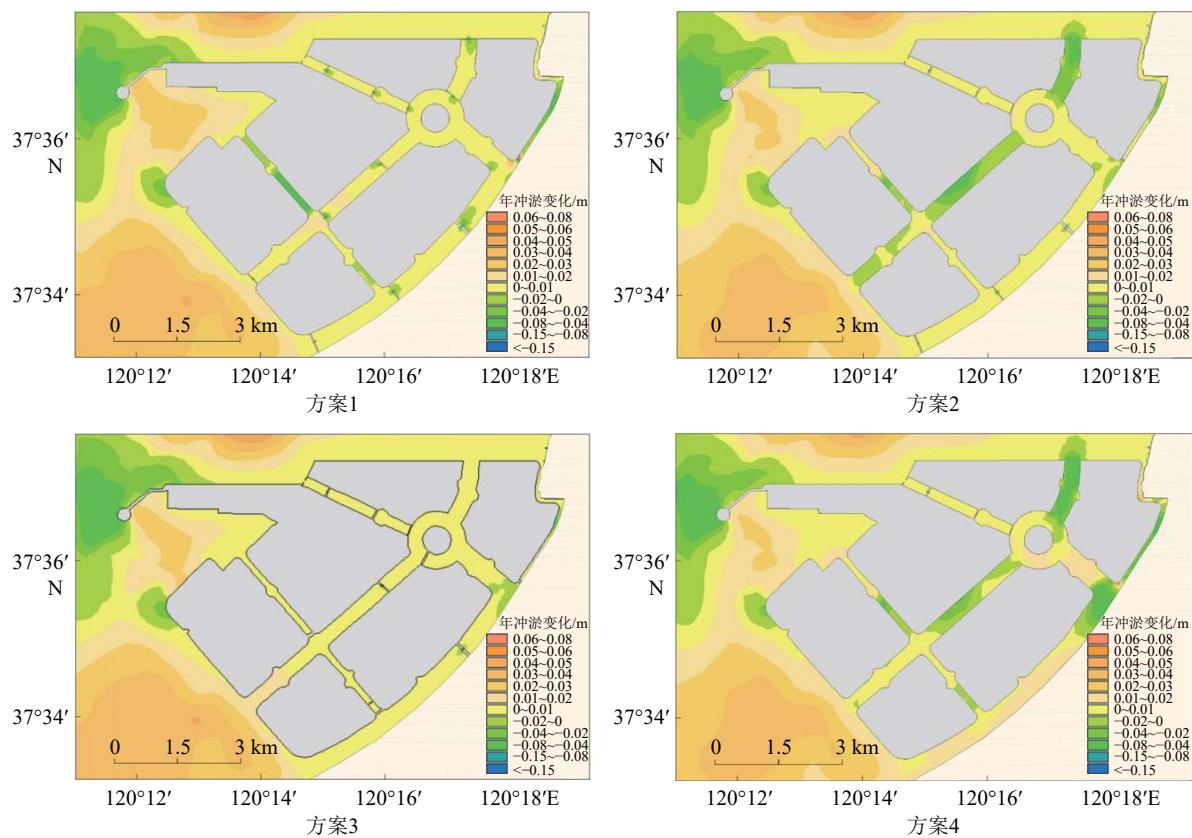


图 14 各方案年冲淤变化

Fig.14 The annual changes of erosion and siltation of each plan

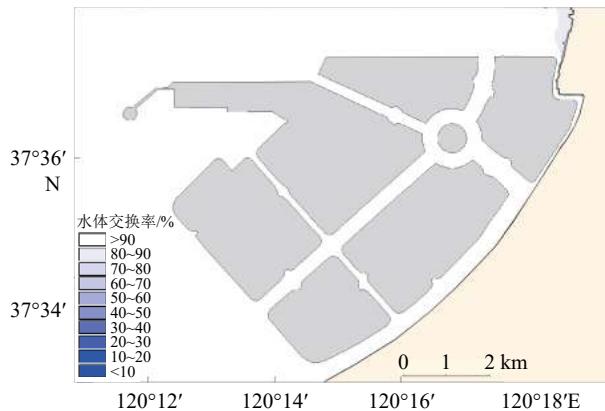


图 15 工程建设前水交换率分布图

Fig.15 The water exchange rate before construction of river-crossing project

征影响,为了分析各跨河道工程对水道内潮流场的影响,选取大潮期一个完整潮周期(13 h)的平均流速对比,在纬一河、经一河、经二河分别选取 5 个特征点,共 15 个特征点进行流速对比(图 17)。

由结果可知,跨河道工程使水道内潮流流速整体减小,对水道内水动力环境产生了一定影响。纬一河西侧,各方案对流速影响都较大,工程建设造成潮流流速普遍减小,减小量可达 20 cm/s 左右,变化

率 90% 左右;纬一河东部,方案 4 对潮流流速影响较小,其余方案对潮流流速影响较大,流速减少普遍超过 7 cm/s,变化率 70% 左右;经一河,方案 2、方案 4 对潮流流速影响较小,方案 1、方案 3 使潮流流速明显减小,减少量普遍超过 20 cm/s,变化率 80% 左右;经二河北侧,建设前和各方案的流速均较小,工程建设对潮流流速影响不大;经二河南侧,方案 4 对潮流流速影响较小,其余方案使潮流流速明显缩小,变化率超过 70%(表 1, 图 18)。

从水动力角度考虑,水道水动力强,有利于区域污染物扩散,有利于海洋环境保护和项目持续发展^[13]。本研究中方案 1 和方案 3 对潮流流速影响明显,工程建设造成水道内水动力减弱,大部分区域流速小于 5 cm/s,明显不合适。方案 2 在纬一河和经二河对潮流流速影响明显。方案 4 整体对潮流流速影响较小,水道内水动力较强,对水动力环境影响最小。

5.2 地形地貌冲淤影响分析

根据模拟结果,工程建设前,水道内整体以微侵蚀为主,仅在纬一河东侧和经二河南侧发生微淤积,年淤积量 2 cm 左右。方案 1 和方案 3 水道整体

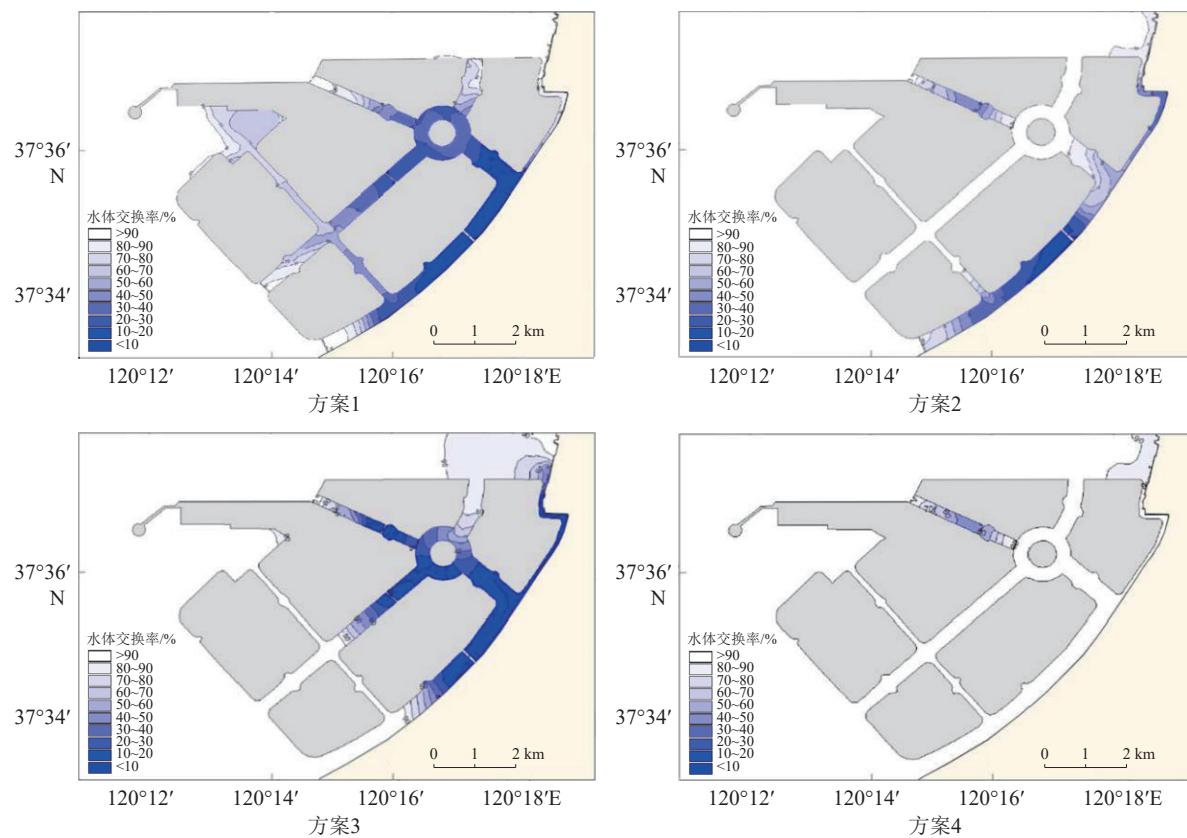


图 16 各方案水交换率分布图

Fig.16 The water exchange rate of each plan



图 17 潮流流速对比点位置图

Fig.17 Location of comparison points for tidal current velocity

以微淤积为主, 年淤积量 1 cm 左右; 方案 2 和方案 4 纬一河和经二河南侧以微淤积为主, 年淤积量 2 cm 左右, 经一河和经二河北侧以微侵蚀为主, 年侵蚀量为 2~8 cm。各方案均对水道冲淤产生了一定影响, 方案 1 和方案 3 影响较大, 造成水道内大面积淤积; 方案 2 和方案 4 影响较小, 仅造成了纬一河的微淤积。

水动力的强弱直接影响河道内的冲淤变化。淤积会导致河道阻塞, 污染物汇集, 严重影响工程建设发展。强烈侵蚀会造成堤坝坍塌, 影响人工岛的稳定。微弱侵蚀最有利于河道稳定和污染物扩散, 有利于项目持续发展。本研究中各方案, 河道均不会发生强烈侵蚀和淤积, 方案 2 和方案 4 对沉积动力环境影响相对较小。

5.3 水交换影响分析

根据 14 d 水交换率计算结果, 工程建设对水道内水交换影响较为明显。工程建设前水交换率为 100%, 水交换好; 方案 1 水道内绝大部分区域水交换率小于 60%, 水交换较差; 方案 2 纬一河、经二河大部分区域水交换率小于 60%, 水交换整体较差; 方案 3 水道内大部分区域水交换率小于 50%, 水交换较差; 方案 4 纬一河西侧大部分区域水交换率大于 50%, 其余水道水交换率超过 90%, 水交换整体较好。

从水交换角度考虑, 方案 1、方案 2 和方案 3 水交换均较差, 不利于区域污染物扩散。方案 4 水交换较好, 满足水道水体交换的需要, 有利于海洋环境保护。

跨河道工程建设使裕龙岛内部水道潮流流速

表1 不同方案各特征站位平均流速表
Table 1 The average velocity at feature points of each plan

方案	W1	W2	W3	W4	W5	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10
建设前	23.7	26.1	27.1	11.6	9.7	29.4	30.1	49.9	21.9	23.8	2.1	8.1	28.2	9.7	6.1
方案1	6.1	3.6	3.6	1.9	1.8	5.2	5.3	4.7	1.9	3.1	2.2	8.7	5.6	3.4	0.7
方案2	2.8	1.3	0.8	4.0	2.4	33.6	26.5	36.8	21.9	24.3	1.9	3.6	4.1	1.1	0.4
方案3	2.1	1.1	0.7	2.7	2.4	7.4	2.6	4.1	7.2	7.9	1.3	5.2	4.5	1.4	1.9
方案4	2.9	1.3	0.9	9.1	7.8	37.8	23.1	33.0	18.6	20.5	2.1	7.8	23.0	7.8	5.3

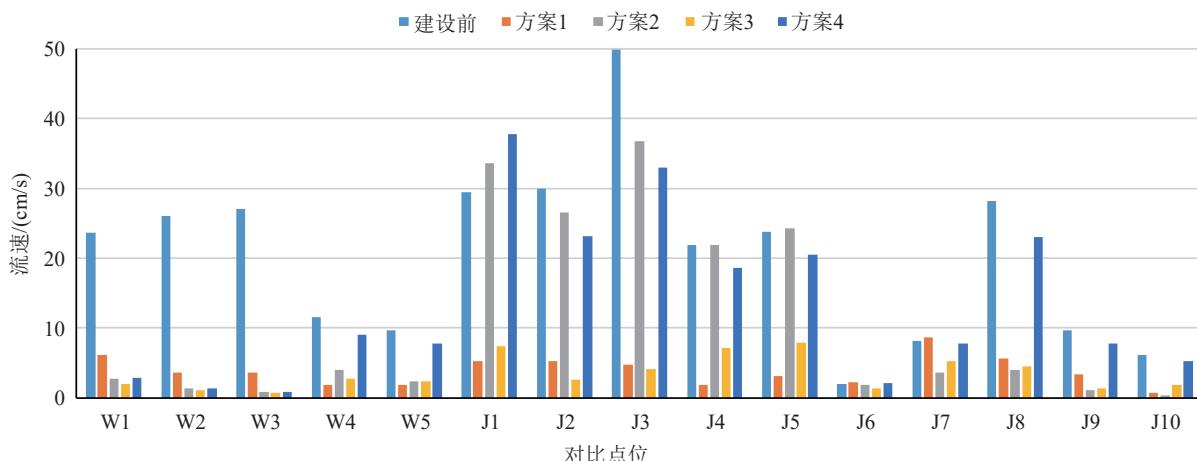


图18 不同方案特征点平均流速对比图
Fig.18 Comparison in average velocity at feature points of each plan

整体减小，部分区域减小量超过 20 cm/s，减弱了水道内水动力环境。方案 1 和方案 3 对潮流流速影响明显，大部分区域流速小于 5 cm/s；方案 2 在纬一河和经二河对潮流流速影响较大；方案 4 仅在纬一河西部对潮流流速影响较大，对整体潮流流速的影响相对较小，水道内水动力相对较强。

工程建设对水道内冲淤环境产生一定影响，改变了水道的微侵蚀环境。方案 1 和方案 3 造成水道大面积淤积，年淤积量 1 cm 左右；方案 2 和方案 4 主要造成纬一河微淤积，最大年淤积量 2 cm 左右，其他区域以微侵蚀为主。

工程建设造成水交换率下降，明显影响水道内水交换。方案 1、方案 2 和方案 3 造成水道内大部分区域水交换率低于 60%，水交换均较差；方案 4 仅影响了纬一河西侧部分区域水交换率，其余水道水交换率超过 90%，水交换整体较好(表 2)。

6 结论

(1)跨河道工程建设使裕龙岛内部水道潮流流速整体减小，部分区域减小量超过 20 cm/s(变化率约 90%)，减弱了水道内水动力环境。

表2 不同方案综合对比表
Table 2 Comprehensive comparison of each lan

方案	水动力	地形地貌冲淤	水交换
建设前	较强	微侵蚀为主	100%， 较好
方案1	较弱	微淤积为主	大部分区域小于60%， 较差
方案2	纬一河、经二河影响较大	纬一河微淤积，其他河道微侵蚀为主	纬一河、经二河大部分区域小于60%， 整体较差
方案3	较弱	微淤积为主	大部分区域小于50%， 较差
方案4	较强	微侵蚀为主， 年侵蚀量2~8 cm	大部分区域超过90%， 整体较好

(2) 工程建设对水道内冲淤环境产生一定影响, 改变了水道的微侵蚀环境。方案 1 和方案 3 造成水道大面积淤积, 方案 2 和方案 4 主要造成纬一河微淤积, 最大年淤积量 2 cm 左右。

(3) 工程建设造成水道内水交换率下降, 明显影响水道内水交换。方案 4 仅造成纬一河西侧水交换率下降, 其余方案水道内大部分区域水交换率低于 60%。

(4) 方案 4 对水道内沉积动力环境影响整体较小, 同时尽可能利用了现有工程, 符合工程建设的实际要求。

(5) 海岸工程建设应优先考虑海洋环境保护, 在环境可接受范围内, 尽可能降低投资成本, 实现工程和环境的可持续发展。

参考文献 (References)

- [1] Kassas M. Coastal processes with engineering applications, by R. G. Dean and R. A. Dalrymple, 2002[J]. *Environmentalist*, 2004, 24(1): 60-61.
- [2] Byun D S, Wang X H, Holloway P E. Tidal characteristic adjustment due to dyke and seawall construction in the Mokpo Coastal Zone, Korea[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2004, 59(2): 185-196.
- [3] Rtimi R, Sotolichio A, Tassi P. Hydrodynamics of a hyper-tidal estuary influenced by the world's second largest tidal power station (Rance estuary, France)[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2021, 250: 107143.
- [4] Torres-Freyermuth A, Medellín G, Salles P. Human impact on the spatiotemporal evolution of beach resilience on the Northwestern Yucatan Coast[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2021, 8: 637205.
- [5] Ranasinghe R, Larson M, Savioli J. Shoreline response to a single shore-parallel submerged breakwater[J]. *Coastal Engineering*, 2010, 57(11-12): 1006-1017.
- [6] Neumann B, Vafeidis A T, Zimmermann J, et al. Future coastal population growth and exposure to sea-level rise and coastal flooding-a global assessment[J]. PLoS One, 2015, 10(3): e0131375.
- [7] Hendriyono W, Wibowo M, Subarkah A, et al. Wave model for the design of sustainable coastal infrastructures at an industrial site in Tuban, East Java[J]. *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, 1625(1): 012049.
- [8] Gou H, Luo F, Li R J, et al. Modeling study on the hydrodynamic environmental impact caused by the sea for regional construction near the Yanwo Island in Zhoushan, China[J]. *Water*, 2019, 11(8): 1674.
- [9] 陈静, 王永学. 岸线变迁对大连湾内湾海域纳潮量的影响 [J]. *海洋通报*, 2016, 35(4): 390-395. [CHEN Jing, WANG Yongxue. Effect of the coastline changes on the tidal prism water quality of Dalian inner bays[J]. *Marine Science Bulletin*, 2016, 35(4): 390-395.]
- [10] 孙永根, 高俊国, 朱晓明. 钦州保税港区填海造地工程对海洋环境的影响 [J]. *海洋科学*, 2012, 36(12): 84-89. [SUN Yonggen, GAO Jun-guo, ZHU Xiaoming. Effect of reclamation engineering in Qinzhou Bond Harbor on marine environment of Qinzhou Bay[J]. *Marine Sciences*, 2012, 36(12): 84-89.]
- [11] Wang C, Zhang X Q, Sun Y L. Numerical simulation of water exchange characteristics of the Jiaozhou bay based on a three-dimensional Lagrangian model[J]. *China Ocean Engineering*, 2009, 23(2): 277-290.
- [12] Rusdiansyah A, Tang Y L, He Z G, et al. The impacts of the large-scale hydraulic structures on tidal dynamics in open-type bay: numerical study in Jakarta Bay[J]. *Ocean Dynamics*, 2018, 68(9): 1141-1154.
- [13] Barnes B B, Hu C M. Island building in the South China Sea: detection of turbidity plumes and artificial islands using Landsat and MODIS data[J]. *Scientific Reports*, 2016, 6(1): 33194.
- [14] Yuan Y, Jalón-Rojas I, Wang X H. Response of water-exchange capacity to human interventions in Jiaozhou Bay, China[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2021, 249: 107088.
- [15] 中国海湾志编委会. 中国海湾志 (第三分册)[M]. 北京: 海洋出版社, 1993. [China Bay Record Committee. The Bay Chorography in China: Bays in the South Shandong Peninsula and Jiangsu Province[M]. Beijing: China Ocean Press, 1993.]
- [16] 刘金鹏, 拾兵, 吴殿春. 龙口市人工岛周边海域波浪场和水动力场的数值模拟 [J]. *海洋湖沼通报*, 2021(1): 1-10. [LIU Jinpeng, SHI Bing, WU Dianchun. Numerical simulation of wave field and hydrodynamic field around the artificial island in Longkou[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2021(1): 1-10.]
- [17] 费成鹏, 胡日军, 雒敏义, 等. 龙口湾水动力特征及其对人工岛群建设的响应 [J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2022, 42(1): 81-95. [FEI Chengpeng, HU Rijun, LUO Minyi, et al. Hydrodynamic characteristics of Longkou Bay and its response to artificial island groups[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2022, 42(1): 81-95.]
- [18] 刘星池, 王永学, 陈静. 人工岛群分阶段建设对附近水沙环境影响的数值研究 [J]. *海洋通报*, 2017, 36(3): 302-310. [LIU Xingchi, WANG Yongxue, CHEN Jing. Study on the water-sediment environment of artificial islands constructed in stages by numerical simulation[J]. *Marine Science Bulletin*, 2017, 36(3): 302-310.]
- [19] Hu R J, Ma F, Wu J Z, et al. Sediment transport in the nearshore area of Phoenix Island[J]. *Journal of Ocean University of China*, 2016, 15(5): 767-782.
- [20] Jiang S H, Hu R J, Feng X L, et al. Influence of the construction of the Yantai West Port on the dynamic sedimentary environment[J]. *Marine Georesources & Geotechnology*, 2018, 36(1): 43-51.
- [21] 曲绵旭, 王文海, 丰鉴章, 等. 龙口湾自然环境 [M]. 北京: 海洋出版社, 1995. [QU Mianxu, WANG Wenhui, FENG Jianzhang, et al. Natural Environment of Longkou Bay[M]. Beijing: Ocean Press, 1995.]
- [22] 王文海. 龙口湾的开发利用与保护 [J]. *海岸工程*, 1994, 13(1): 10-19. [WANG Wenhui. The development, utilization and protection of Longkou Bay[J]. *Coastal Engineering*, 1994, 13(1): 10-19.]
- [23] 刘波, 胡日军, 袁晓东, 等. 龙口近岸海域潮流作用下悬浮泥沙时空分布特征及输运机制 [J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2020, 40(4): 55-66. [LIU Bo, HU Rijun, YUAN Xiaodong, et al. Spatiotemporal distribution pattern and transport mechanism of suspended sediments in Longkou offshore under the action of tidal current[J]. *Marine Geology*

- & Quaternary Geology, 2020, 40(4): 55-66.]
- [24] 任鹏, 孙志高, 王传远, 等. 人工岛建设对龙口湾表层沉积物粒度及黏土矿物组成特征的影响 [J]. 海洋科学进展, 2016, 34(4): 578-587. [REN Peng, SUN Zhigao, WANG Chuanyuan, et al. Impacts of construction of artificial islands on the flow-sediment regulation scheme on grain and clay compositions in the Longkou Bay[J]. *Advances in Marine Science*, 2016, 34(4): 578-587.]
- [25] 冯兴如, 杨德周, 尹宝树. FVCOM 在龙口海域潮汐潮流模拟中的应用研究 [J]. 海洋科学, 2010, 34(6): 94-99. [FENG Xingru, YANG Dezhou, YIN Baoshu. Application of FVCOM in tidal modeling of the seas adjacent to Longkou City[J]. *Marine Sciences*, 2010, 34(6): 94-99.]
- [26] Li T H, Han P, Zhao Z J. Impact analysis of coastal engineering projects on mangrove wetland area change with remote sensing[J]. China Ocean Engineering, 2008, 22(2): 347-358.
- [27] Chen J Y, Chen S L. Estuarine and coastal challenges in China[J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2002, 20(2): 174-181.
- [28] 许婷. 丹麦 MIKE21 模型概述及应用实例 [J]. 水利科技与经济, 2010, 16(8): 867-869. [XU Ting. Calculation principle and application example of a two-dimensional flow model-MIKE21 HD[J]. *Water Conservancy Science and Technology and Economy*, 2010, 16(8): 867-869.]
- [29] 王阳, 杨红, 张午. 基于 MIKE21 的江苏如东海上风电场泥沙冲淤数值模拟 [J]. 海洋湖沼通报, 2021, 43(2): 48-57. [WANG Yang, YANG Hong, ZHANG Wu. Simulation of Sediment erosion and siltation on Rudong Offshore Wind Farm Project in Jiangsu province by MIKE21[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2021, 43(2): 48-57.]
- [30] Danish Hydraulic Institute (DHI) MIKE21 Flow Model: Hydrodynamic Module Scientific Documentatice[M]. Horsholm: DHI, 2007.
- [31] Müller M, De Cesare G, Schleiss A J. Experiments on turbulence and settling down of fine sediments induced by pumped storage operations in a cuboidal reservoir[C]//Proceedings of 34th IAHR World Congress-Balance and Uncertainty. Brisbane, Australia: Engineers Australia, 2011: 1795-1802.
- [32] DHI Water & Environment. MIKE21 User Guide[M]. Denmark: DHI Water & Environment, 2002.
- [33] 罗峰, 廖光洪, 杨成浩, 等. 乐清湾水交换特征研究 [J]. 海洋学研究, 2011, 29(2): 79-88. [LUO Feng, LIAO Guanghong, YANG Chenghao, et al. Study on the features of water exchange in Yueqingwan Bay[J]. *Journal of Marine Sciences*, 2011, 29(2): 79-88.]
- [34] 姜胜辉, 朱龙海, 胡日军, 等. 围填海工程对莱州湾水动力条件的影响 [J]. 中国海洋大学学报, 2015, 45(10): 74-80. [JIANG Shenghui, ZHU Longhai, HU Rijun, et al. The hydrodynamic response to reclamation in Laizhou Bay[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2015, 45(10): 74-80.]
- [35] Shen J, Kuo A Y. Numerical investigation of an estuarine front and its associated eddy[J]. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 1999, 125(3): 127-135.
- [36] Ji Z G, Hamrick J H, Pagenkopf J. Sediment and metals modeling in shallow river[J]. *Journal of Environmental Engineering*, 2002, 128(2): 105-119.
- [37] 黄祖珂, 黄磊. 潮汐原理与计算 [M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2005. [HUANG Zuoke, HUANG Lei. Tidal Theory and Calculation[M]. Qingdao: China Ocean University Press, 2005.]
- [38] 李孟国, 曹祖德. 海岸河口潮流数值模拟的研究与发展 [J]. 海洋学报, 1999, 21(1): 111-125. [LI Mengguo, CAO Zude. Research and progress in the numerical simulation of tidal current in coastal estuarine estuaries[J]. Beijing. *Journal of Oceanography*, 1999, 21(1): 111-125.]