

南澳羊屿村围填海拆除工程对水环境的影响

徐婉明¹, 邓伟铸², 倪锦锋¹, 郑兆勇¹

(1. 国家海洋局南海规划与环境研究院, 广东 广州 510300; 2. 珠江水资源保护科学研究所, 广东 广州 510611)

摘要: 为了研究南澳羊屿村围填海拆除工程对周围水环境的影响,采用数值模拟方法,分析工程前后港池水体的流速流向、纳潮量和水体半交换时间的变化情况。结果表明:围填海拆除 100 m 后,口门附近水域流速增加 0.25 m/s;港池纳潮量增大 30%;港内水体半交换时间缩短 1.7 d。总体来说,实施围填海拆除工程,可以增强口门附近水动力条件,增大港池环境容量,提高水体交换能力,改善港内水质环境和生态问题,为编制南澳羊屿村历史遗留围填海项目生态保护修复方案提供科学的依据和客观指导。

关键词: 围填海拆除工程; 水动力; 水体交换; 水环境

中图分类号: X55

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2020)02-0115-06

Impact of reclamation removal on water environment in Yangyu Village on Nan'ao Island

XU Wanming¹, DENG Weizhu², NI Jinfeng¹, ZHENG Zhaoyong¹

(1. South China Sea Institute of Planning and Environmental Research, State Oceanic Administration, Guangzhou 510300, China;
2. Scientific Institute of Pearl River Water Resources Protection, Guangzhou 510611, China)

Abstract: To study the impact of reclamation removal on the surrounding water environment in Yangyu Village on Nan'ao Island, the numerical simulation method was used to analyze the hydrodynamic environment changes of the tide current, the tidal prism and the water exchange half-life time before and after the removal of the reclamation. The results showed that the flow velocity near the gate increased 0.25 m/s, the tidal prism of the harbor increased by 30%, and the half-life time of the water exchange in the harbor was shortened by 1.7 d after the removal of 100 m. In general, demolishing the reclamation which is located in Yangyu Village on Nan'ao Island can enhance the hydrodynamic conditions near the gate, improve the environmental capacity, increase the water exchange capacity of the harbor, and improve water quality and ecological status. This paper can provide scientific evidence and objective guidance for the ecological protection and restoration scheme for the remaining reclamation project in Yangyu Village on Nan'ao Island.

Key words: reclamation removal; hydrodynamics; water exchange; water environment

1 研究背景

进入 21 世纪,我国沿海地区土地资源稀缺和经济快速发展之间的矛盾日益突出。为了解决这一矛盾,沿海地区实施了一系列的围填海工程^[1-9]。目前,围填海工程已经成为人类利用海洋空间资源,向海洋拓展生存和生产空间的一种重要手段^[10]。

近几年,随着“保护优先、生态用海、集约用海”等科学用海理念的推广,围填海工程对海洋生态环境的影响得到了国内众多学者的关注。龚旭东等^[11]以

东山湾为例,从潮流、纳潮量和水交换 3 个方面探讨了半封闭海湾围填海对水动力环境的影响。戴霞等^[12]利用天津大学水流泥沙数学模型软件模拟分析了渤海湾湾顶海域在天津港围填海工程和曹妃甸围填海工程联合作用下的潮流运动特征。田艳等^[13]从海域空间、水动力和生态环境 3 个方面分析了 2000 - 2005、2005 - 2010 和 2010 - 2013 年莱州湾 3 个阶段围填海工程对海洋环境产生的累积影响。陈培雄等^[14]采用历年现场采集调查资料成果对比的方法,从海底岸滩演变以及海洋水动力环境、水质环境和沉

收稿日期:2019-08-28; 修回日期:2019-10-12

基金项目:国家海洋局南海分局局长基金项目(1673)

作者简介:徐婉明(1987-),女,广东广州人,硕士,工程师,研究方向为物理海洋学。

通讯作者:郑兆勇(1979-),男,山东宁阳人,博士,高级工程师,主要从事海洋资源保护与利用研究。

积物环境几个方面综合分析三门湾近期大型围填海工程的海洋环境综合效应。王勇智等^[15]通过 MIKE 3 模型分析罗源湾 3 个典型围填海时期岸线与地形条件下的纳潮量和水交换能力变化。崔磊等^[16]从环境的变化趋势以及浮游植物、浮游动物和鱼类种类及多样性的变化入手,研究 2010—2014 年淇澳岛水域南部半潮礁围填海工程对当地水域生态系统造成的影响。张威等^[17]基于 Lagrangian 粒子追踪技术模拟分析前湾填海工程对整个胶州湾污染物输运的影响规律及范围。邓泽林^[18]运用环境指标变量动态对比分析法、灰色关联分析法和 Pearson 相关分析法研究沙埕港海湾环境质量与围填海工程的关联性。

为了减轻围填海对海洋生态环境的负面影响,2018 年国家发布了《国务院关于加强滨海湿地保护严格管控围填海的通知》(国发[2018]24 号),其中围填海历史遗留问题区域的生态保护修复方案编制工作受到沿海各省的高度重视。南澳羊屿村围填海项目属于广东省围填海历史遗留问题。本文采用二维潮流模型和物质输移模型,通过对南澳羊屿村围填海拆除方案实施前后水动力和水体交换情况进行数值模拟,分析研究了南澳羊屿村围填海拆除工程对水动力和水体交换的影响,为南澳羊屿村围填海项目生态修复方案的制定提供科学依据和指导。

2 工程概况

南澳羊屿村围填海工程项目位于广东省汕头市南澳岛北部后江湾海域。该项目从 1992 年开始投入建设,至今已施工完成。围填海的区域形成较为封闭的一个环抱式港池,口门宽度仅有 10 m(见图 1)。受围填海区的阻水作用,港池内水动力减弱,水体交换能力降低,导致水质环境容易恶化。为了改善港池内水动力情况,提高水体交换能力,拟对南澳羊屿村围填海项目实施拆除工程,拆除围填海长度约 100 m。南澳羊屿村围填海工程项目概况见图 1。

3 模型建立

3.1 模型基本方程

在笛卡尔直角坐标系下,基于 Boussinesq 涡黏假定和静水压假设,沿垂向平均的二维潮流和物质输移基本方程表述如下。

连续方程:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial [(h + \eta)u]}{\partial x} + \frac{\partial [(h + \eta)v]}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

动量方程:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - fv = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{gu \sqrt{u^2 + v^2}}{C^2(h + \eta)} + \frac{\partial}{\partial x} \left(A_x \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A_y \frac{\partial u}{\partial y} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + fu = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{gv \sqrt{u^2 + v^2}}{C^2(h + \eta)} + \frac{\partial}{\partial x} \left(A_x \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A_y \frac{\partial v}{\partial y} \right) \quad (3)$$

对流扩散方程:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial c}{\partial y} \right) \quad (4)$$

式中: x, y 为直角坐标系坐标, m ; t 为时间, s ; u, v 为流速, m/s ; η 为水位, m ; h 为水深, m ; A_x, A_y 为水流紊动粘性系数, m^2/s ; f 为科氏参量; g 为重力加速度, m/s^2 ; C 为谢才系数; c 为保守物质浓度, mg/L ; D_x, D_y 为物质紊动扩散系数, m^2/s 。

3.2 计算范围及模型设置

模型计算范围东至宫口半岛,西至新津河口,包含后江水道、柘林湾和大埕湾水域,计算域东西宽约 48 km,南北长约 45 km(见图 2)。模型采用不规则三角形网格,空间分辨率在 5~1 000 m 之间。水深地形采用潮州市、汕头市和福建省海域的海军海道测量局电子海图。外海边界采用从全球潮汐模型 TPX07.2 提取的潮位,考虑了 $M_2, S_2, N_2, K_2, K_1, O_1, P_1, Q_1, M_4$ 等 9 个调和分潮。保守物质初始浓度在港池内取 1 mg/L,其他水域取 0。模拟时段为连续 30 d,时间步长设置为 30 s。

3.3 模型验证

潮流模型验证采用南澳岛北部海域多个临时观测站的潮位过程和潮流过程,其中潮位观测站 2 个(C1 和 C2),潮流观测站 4 个(V1~V4),各观测点分布见图 2。验证时间为 2017 年 7 月 11 日 14:00—7 月 12 日 15:00。各观测站潮位和潮流验证结果分别见图 3、4。图 3、4 表明, C1 和 C2 站计算潮位过程与实测潮位过程吻合较好, V1~V4 站模拟流速、流向过程与实测数据在数值和相位上较为一致。总体上,本文建立的潮流模型能正确地反映项目海域的潮流运动规律,可以应用于工程水域的水动力和水体交换研究。

4 结果与分析

4.1 水动力影响分析

4.1.1 流速流向变化 围填海拆除方案实施后,口门变宽,附近水域的流速、流向将会发生一定程度的

变化。以大潮为例,图 5 给出了围填海拆除前后涨、落急流场对比图。

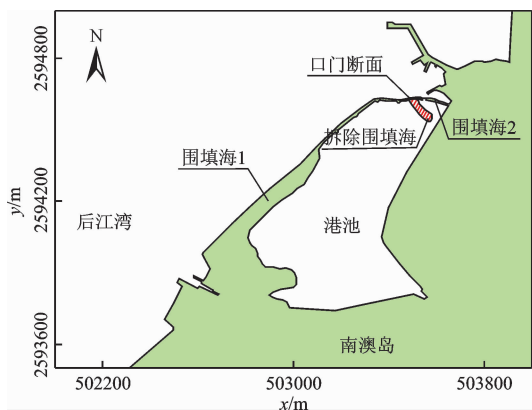


图 1 南澳羊屿村围填海工程项目概况

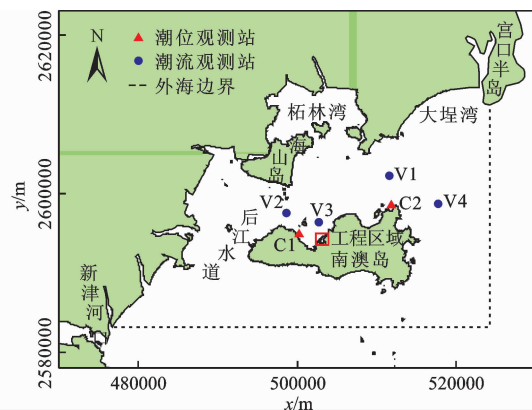


图 2 模型计算范围及验证点分布图

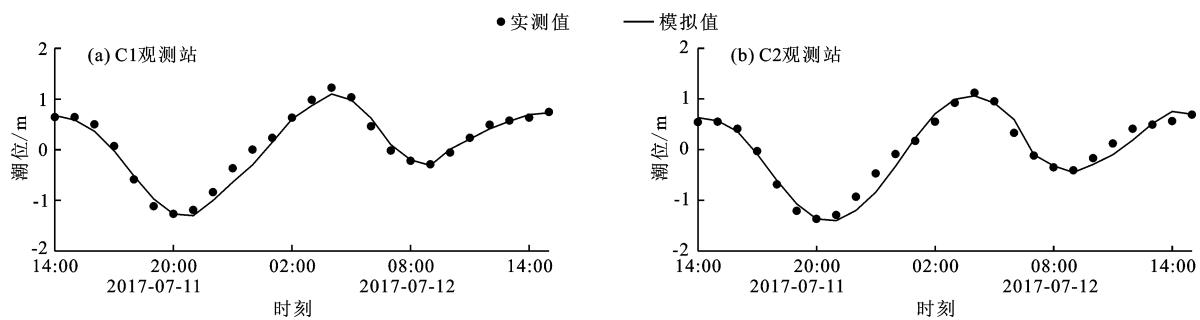


图 3 C1 和 C2 观测站潮位验证结果

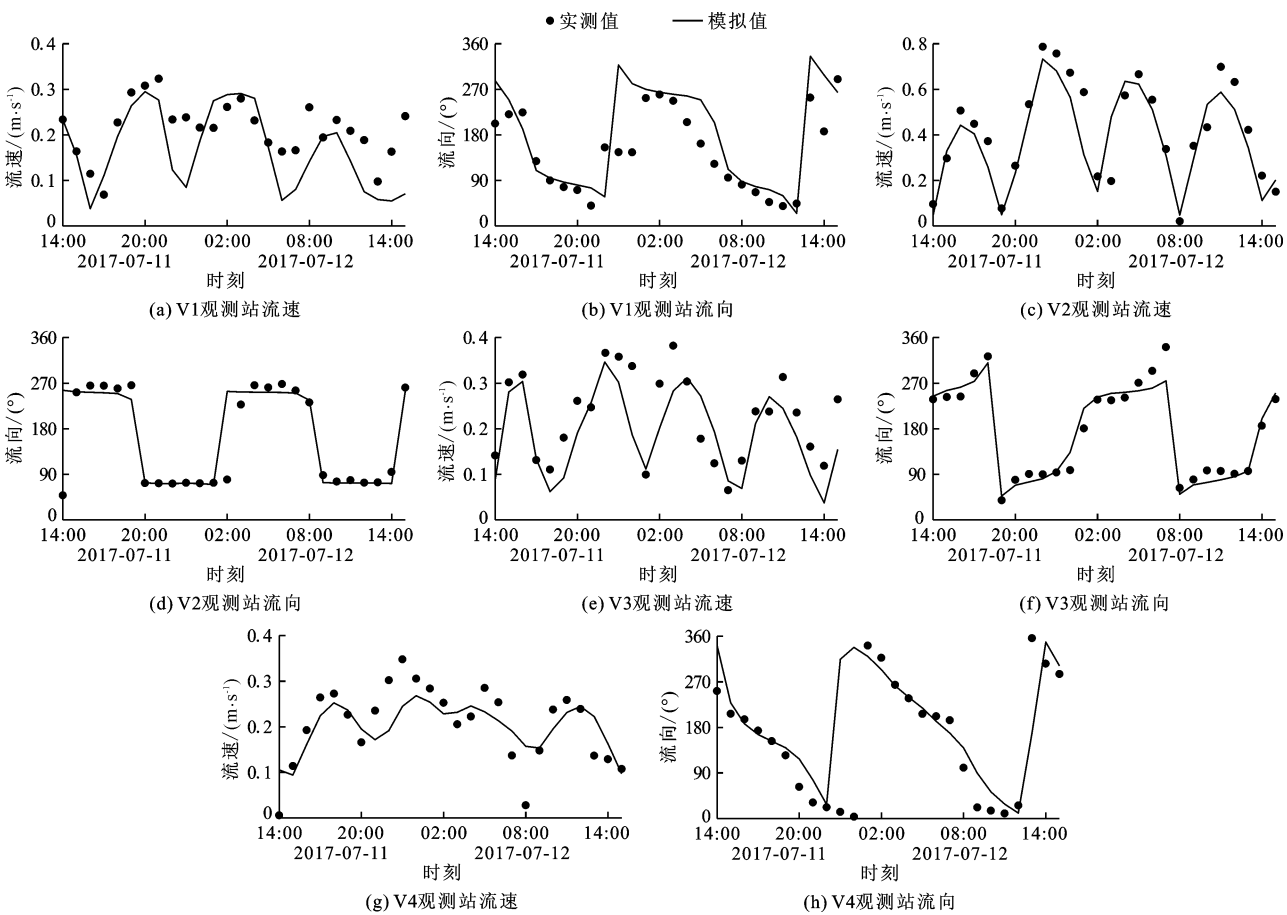


图 4 V1 ~ V4 观测站潮流验证结果

从图 5 中可以看出,围填海拆除 100 m 后,涨潮时水流经过口门后直接向长堤内侧水域扩散,无需绕过堤头填海区;落潮时长堤内侧水体直接流向口门,不形成回流。涨、落潮时口门附近水域流速变化较大,长堤堤头附近水域以流速增大为主,短堤内外两侧水域以流速减小为主,流速增加最大值 0.20 m/s,流速减小最大值 0.25 m/s。港池末端水域及港池外东侧海域涨落急流速流向基本不变。

4.1.2 纳潮量变化 纳潮量既是衡量海湾开发价值的重要指标,也是反映海湾生命力的重要参数^[19],其大小影响着湾内与外部海域的水体交换强度,决定着海湾的自净能力,对海湾的水环境和生态系统产生显著影响^[20]。常用的纳潮量计算方法是统计一个涨潮或者落潮周期内通过特定断面的海水通量^[21]。

为了分析研究围填海拆除方案实施前后港池的纳潮量变化情况,本文在口门处选取一个断面(见

图 1)进行海水通量统计,其纳潮量变化情况如表 1 所示。由表 1 可以看出,实施围填海拆除方案后,港池内水域面积扩大,口门断面平均纳潮量增大至 $76.8 \times 10^4 \text{ m}^3$,纳潮量增加 30%。

4.2 水体交换影响分析

水体半交换时间指某海域保守物质质量浓度经过对流扩散稀释到初始质量浓度一半所需的时间^[22],是表征半封闭海湾水体交换能力的重要指标。图 6 给出了围填海拆除方案实施前后港池内水体半交换时间平面分布。

表 1 围填海拆除方案实施前后口门断面纳潮量变化

潮型	潮过程	纳潮量		
		拆除前/ 10^4 m^3	拆除后/ 10^4 m^3	变化/%
大潮	涨潮	61.3	80.3	31
	落潮	56.9	73.2	29
	平均	59.1	76.8	30

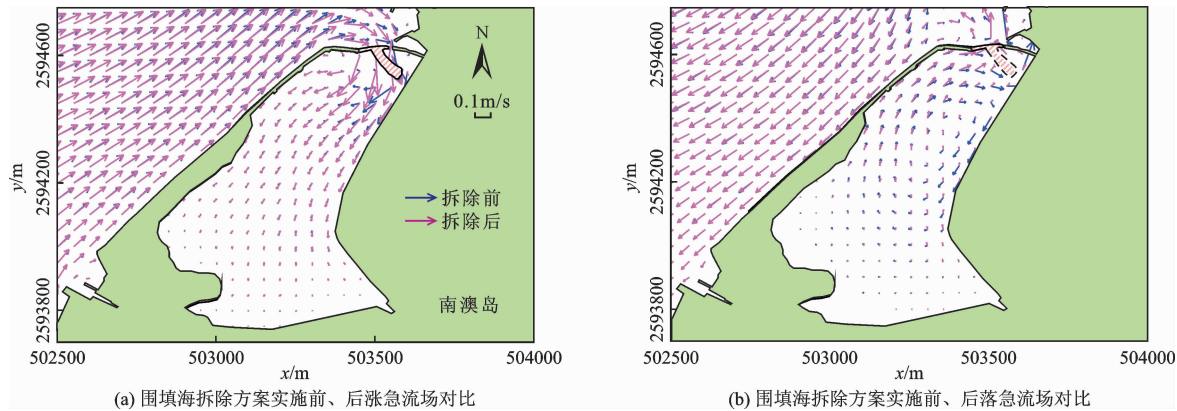


图 5 围填海拆除方案实施前后涨、落急流场对比

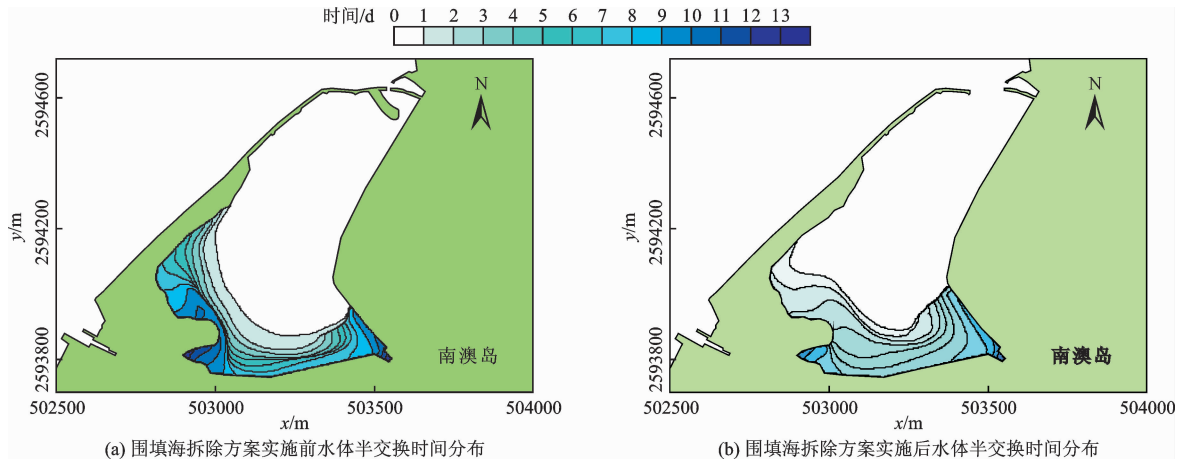


图 6 围填海拆除方案实施前后水体半交换时间

从图 6 中可以看出,由口门往港池内部水体半交换时间逐渐增加;港池末端东南角水体半交换时

间最长,西南角次之,口门最短。现状条件下,港池内全部水域完成水体半交换时间为 12.8 d;实施围

填海拆除方案后,港池内全部水域完成水体半交换时间为11.1 d,较围填海拆除前缩短1.7 d。港池水体交换时间统计结果显示,围填海拆除100 m后,保守物质平均浓度下降至一半所需时间较拆除前缩短,前5 d保守物质平均浓度震荡幅度较拆除前大,15 d内保守物质平均浓度下降速率较拆除前快。

5 讨 论

围填海拆除后,原有围填海区退陆还海,围填海拆除前口门附近顺着堤头填海区曲折岸线流动的潮流只能改变流路直接经过口门断面进出港池,口门附近水域流态变化较大,从而导致流速变化也较大。另一方面,围填海被拆除导致港池纳潮量增大,口门作为潮流进出港池的唯一通道,流速相应也会增大。通过港池内各水域流速流向对围填海拆除方案实施的响应程度看,港池末端水域受影响不大,而口门附近水域受影响较大。这主要是因为口门是半封闭港池内部与外海进行水体交换的主要通道,且被拆除的围填海正位于此处,因此口门水域对围填海拆除的响应较为敏感和剧烈。

从纳潮量变化的角度看,围填海拆除100 m后,口门宽度增加,流速增大,使得流入流出口门断面的海水通量提高30%。实施围填海拆除方案后,港池内水域面积变大,这必然导致港池纳潮量随之增大。

由于后江湾潮汐属于不规则半日潮,潮汐作用较强,潮流为湾内的主要水动力条件,且海湾内无大的河流注入,因此南澳羊屿村围填海水域的水体交换能力主要受潮汐作用的影响。围填海拆除方案实施前、后港池保守物质平均浓度变化对比见图7。

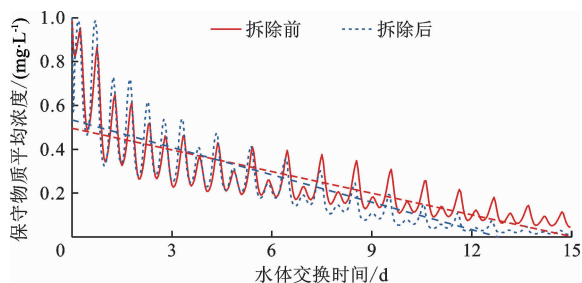


图7 围填海拆除方案实施前、后港池保守物质平均浓度变化对比

由图7可看出,港池内保守物质浓度随时间递减过程中有周期性的震荡,这与潮汐的周期性变化和作用密切相关。水动力模拟结果表明,围填海拆除方案实施后,港池内不存在因拆除前堤头填海区的阻挡作用形成的弱回流区,港内与外海的水体交

换较拆除前顺畅,口门附近潮流流速增大,港池容纳海水的能力大幅提高,因此港池内全部水域完成水体半交换时间缩短,水体交换速率增大。

综上所述,围填海拆除工程实施后,可以导致口门附近水动力条件增强,港池环境容量增大,水体交换能力提高,从而使港内水质环境和生态问题得到改善。张玮等^[23]研究也表明,环抱式港池的水体交换能力主要取决于水流流速大小,增大水体交换通道过水断面宽度,可增加进出潮量,增强港池的水动力条件,提高其水体交换能力。因此,南澳羊屿村围填海拆除方案可以达到一定的生态修复目的。

6 结 论

本文通过建立二维潮流模型和物质输移模型,对南澳羊屿村历史遗留围填海拆除工程开展水环境影响研究,主要结论如下:

(1)围填海拆除100 m后,口门附近水域流速、流向变化较大,长堤堤头周边水域以流速增大为主,短堤内外两侧水域以流速减小为主;港池末端水域及港池外东侧海域流速流向基本不变。

(2)现状条件下,港池纳潮量为 $59.1 \times 10^4 \text{ m}^3$;围填海拆除方案实施后,港池内水域面积增大,纳潮量显著增加,增幅达30%。

(3)港池水体半交换时间的空间分布由口门向内部逐渐增加,其中水体半交换时间最大值出现在港池末端东南角。部分历史围填海被拆除后,港池内全部水域完成水体半交换时间为11.1 d,较围填海拆除前缩短1.7 d。

(4)实施围填海拆除工程,可以增强口门附近水动力条件,增大港池环境容量,提高水体交换能力,改善港内水质环境和生态问题,为编制南澳羊屿村历史遗留围填海项目生态保护修复方案提供科学的依据和客观指导。

本文对南澳羊屿村围填海拆除工程产生的水环境影响进行了模拟分析,下一步可对实施围填海拆除方案引起的泥沙冲淤变化以及波浪要素变化开展研究,以便更全面地评估南澳羊屿村围填海拆除工程对附近海洋环境的影响,编制更合理有效的生态保护修复方案。

参考文献:

- [1] 王智海. 横沙浅滩围填海工程对周边水环境影响的数值模拟[D]. 大连:大连理工大学,2018.
- [2] 王江竹,宛立,楚阳,等. 围填海对海洋水文动力环境的影响[J]. 珠江水运,2018(18):84-85.

- [3] 谢丽,王芳,刘惠. 广东省围填海历程及其环境影响研究[J]. 江苏科技信息, 2015(24): 67-70.
- [4] 李东,侯西勇,张华. 曹妃甸围填海工程对近海环境的影响综述[J]. 海洋科学, 2019, 43(2): 82-90.
- [5] 钱健,陈立红,丰卫华,等. 椒江口海域围填海强度及环境影响分析[J]. 海洋开发与管理, 2018, 35(9): 62-66.
- [6] 苏涛,牛超,詹诚,等. 广西围填海进程及其对近海生态和生物资源的影响分析[J]. 广西科学院学报, 2018, 34(3): 228-234.
- [7] 张志飞,诸裕良,何杰. 多年围填海工程对湛江湾水动力环境的影响[J]. 水利水运工程学报, 2016(3): 96-104.
- [8] 张秋丰,靳玉丹,李希彬,等. 围填海工程对近岸海域海洋环境影响的研究进展[J]. 海洋科学进展, 2017, 35(4): 454-461.
- [9] 魏婷. 连云港围填海工程对海洋生态环境的影响及防治对策研究[J]. 国土资源情报, 2014, (6): 23-27+22.
- [10] 张敏霞. 围填海工程对近岸海域海洋环境影响的研究进展[J]. 化工管理, 2019(3): 140-141.
- [11] 龚旭东,俞缙,蓝尹余. 半封闭海湾围填海对水动力环境的影响分析[J]. 华侨大学学报(自然科学版), 2019, 40(1): 72-78.
- [12] 戴霞,白玉川. 围海工程带来的潮流变化[J]. 水资源与水工程学报, 2015, 26(1): 136-142.
- [13] 田艳,于定勇,李云路. 莱州湾围填海工程对海洋环境的累计影响研究[J]. 中国海洋大学学报, 2018, 48(1): 117-124.
- [14] 陈培雄,张鹤,周鑫,等. 三门湾近期围填海工程对海洋环境综合影响分析[J]. 绿色科技, 2018, (4): 104-109.
- [15] 王勇智,孙惠凤,谷东起,等. 罗源湾多年围填海工程对水动力环境的累积影响研究[J]. 中国海洋大学学报, 2015, 45(3): 16-24.
- [16] 崔磊,吕颂辉,董悦镭,等. 围填海工程对淇澳岛附近水域环境因子与生物群落的影响[J]. 热带海洋学报, 2017, 36(2): 96-105.
- [17] 张威,唐军,梁丙臣. 胶州湾前湾围填海工程对其污染物输运影响的模拟研究[J]. 海洋环境科学, 2017, 36(1): 29-36, 42.
- [18] 邓泽林. 福建省沙埕港海湾环境质量与围填海工程关联性研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2018.
- [19] 叶海桃,王毅刚,曹兵. 三沙湾纳潮量及湾内外的水体交换[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2007, 35(1): 96-98.
- [20] 贾晗. 围填海对渤海湾和珠江口水动力及水质影响数值模拟研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2018.
- [21] 王雪,陈学恩. 胶州湾纳潮量和水交换数值模拟[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2017, 47(3): 1-9.
- [22] LUFF R, POHLMANN T. Calculation of water exchange times in the ICES-boxes with a eulerian dispersion model using a half-life time approach[J]. Ocean Dynamics, 1995, 47(4): 287-299.
- [23] 张玮,陈祯,刘燃,等. 环抱式港池水体交换研究——以连云港徐圩港区为例[J]. 中国港湾建设, 2014, 193(3): 1-8.

(上接第 114 页)

- [8] 管子隆,韩权,熊斌. 唐山矿 5 煤顶板数值模拟及涌水量预测[J]. 煤炭工程, 2016, 48(11): 81-83.
- [9] 吴雯倩,靳孟贵. 淮北市地下水流数值模拟及水文地质参数不确定性分析[J]. 水文地质工程地质, 2014, 41(3): 21-28.
- [10] 李志有,赵大伟. 三聚盛煤矿煤炭开采对地下水影响的数值模拟研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2014, 12(3): 155-158.
- [11] WU Jichun, ZENG Xiankui. Review of the uncertainty analysis of groundwater numerical simulation[J]. Chinese Science Bulletin, 2013, 58(25): 3044-3052.
- [12] 李璇璇. 侏罗系煤层顶板砂岩水采动下动态模拟研究[J]. 煤炭与化工, 2014, 37(10): 20-23.
- [13] 李旭. 泊江海子矿地下水动态特征及其数值模拟研究[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2016.
- [14] XUE Sen, LIU Yu, LIU Siliang, et al. Numerical simulation for groundwater distribution after mining in Zhuanlongwan mining area based on visual MODFLOW[J]. Environmental Earth Sciences, 2018, 77(11): 400.
- [15] 武强,徐华,赵颖旺,等. 基于“三图法”煤层顶板突水动态可视化预测[J]. 煤炭学报, 2016, 41(12): 2968-2974.
- [16] PAN Jun, LIU Chang, LI Yang. Numerical simulation for groundwater-source heat pump engineering disposing wells scheme in the coastal region[J]. Applied Mechanics and Materials, 2012, 148-149: 1408-1412.
- [17] 孙倩,邵景力,崔亚莉,等. 基于三维随机水文地质结构模型的地下水流数值模拟: 以西辽河平原为例[J]. 现代地质, 2019, 33(2): 203-212.
- [18] 翟晓荣,吴基文,韩东亚. 补给边界群孔放水试验的含水层参数计算[J]. 中国矿业大学学报, 2014, 43(5): 837-840.
- [19] 李贵仁. 基于放水试验的矿区水文地质条件重新认识及地下水数值模拟[J]. 工程勘察, 2018, 46(12): 39-44.
- [20] 李守好,金修如,黎志豪,等. 泊江海子矿放水试验及地下水位动态特征与影响因素分析[J]. 地下水, 2017, 39(5): 43-45.
- [21] 陈丽. 东胜矿区侏罗系含水层富水性特征及其影响因素分析[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2016.