



## 近岸滩涂区海堤口门尺寸优化数值分析

陆伟<sup>1</sup>, 刘姝娜<sup>2</sup>, 房新玉<sup>1</sup>, 朱宇新<sup>3</sup>

(1. 天津水运工程勘察设计院有限公司, 天津 300456;

2. 交通运输部广州打捞局, 广东 广州 510655;

3. 交通运输部天津水运工程科学研究院, 天津 300456)

**摘要:** 针对近岸滩涂区建设海堤过程中需进行海堤口门设置, 建立近岸滩涂区数学模型作为研究手段, 应用水动力和水质模型模拟海堤所在滩涂区的水动力条件和海堤所围水体与外海交换情况, 研究海堤口门尺寸大小与口门处水流流速、所围水体的交换时间、交换率的关系。计算结果表明: 近岸滩涂区受地形高程的影响, 在落潮阶段大部分滩涂区均有露滩现象, 在该区域建设海堤时, 当口门设计尺寸超过 100 m 时, 可保证通过口门处的水流最大流速控制在 1 m/s 以下, 也可实现在 1 个潮周期海堤内部的水体全部下泄至外海, 与外海的水体实现 100% 交换率, 为后期海堤口门设置提供决策依据。

**关键词:** 近岸滩涂; 数值模拟; 透水海堤; 水体交换

中图分类号: U651

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)08-0043-08

## Numerical analysis for optimization of seawall entrance size in nearshore tidal flat areas

LU Wei<sup>1</sup>, LIU Shuna<sup>2</sup>, FANG Xinyu<sup>1</sup>, ZHU Yuxin<sup>3</sup>

(1. Tianjin Water Transport Engineering Survey and Design Institute Co., Ltd., Tianjin 300456, China;

2. Guangzhou Salvage Bureau, Ministry of Transport, Guangzhou 510655, China;

3. Tianjin Research Institute for Water Transport Engineering, Ministry of Transport, Tianjin 300456, China)

**Abstract:** Regarding the problem of setting seawall entrance during the construction of the seawall in nearshore tidal flat areas, a mathematical model of the nearshore tidal flat area is built as a research tool to simulate the hydrodynamic conditions of the tidal flat area where the seawall is located and the exchange between the water enclosed by the seawall and the open sea. We study the relationship of the size of the seawall entrance with the flow velocity at the entrance, the exchange time, and the exchange rate of water enclosed by the seawall. The calculation results show that the nearshore tidal flat areas are affected by the terrain elevation, and most tidal flat areas are exposed during the ebb phase. For the seawall built in this area, when the size of the entrance is more than 100 m, it can not only ensure that the maximum flow velocity at the entrance can be controlled below 1 m/s but also realize that all water inside the seawall can be discharged to the open sea in a tide cycle, achieving an exchange rate of 100% with the open sea water, which provides a decision-making basis for the later setting of seawall entrance.

**Keywords:** nearshore tidal flat; numerical simulation; permeable seawall; water exchange

随着连云港赣榆港区规模扩大, 作为目前唯一的进港通道已经无法满足集疏运系统升级的需要。拟在现有防波堤基础上, 实施 1 条突堤疏港道路工程。根据国务院《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)相关要求: “除国家重大战略项目外, 全面停止新增围填海项目审批”。现有防波堤拓宽和新建海堤方案均涉及新增填海和事实围海问题, 为了保护环

收稿日期: 2022-10-24

作者简介: 陆伟 (1985—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事海洋地理信息、港口环保等技术研究工作。

境、最大程度地减少工程建设对海洋环境的影响、维持海域自然属性,因此,拟建的突堤疏港道路工程需采取非透水结合透水构筑物的用海方式进行建设。

工程位于近岸浅滩区域,滩涂宽阔,水深坡度较小,深水区离岸较远,涨落潮历时较长。透水构筑物开口的设置在一定程度上影响了近岸围海区的纳潮量和水体交换能力<sup>[1]</sup>,因此需要通过

数值模拟计算,对透水构筑物开口方案进行优化设计<sup>[2]</sup>,旨在为后期水工构筑物结构选型提供科学的决策依据。

透水海堤位于连云港港赣榆港区突堤根部,平行布置于现有防波堤工程南侧,涉海段长度约为 1 227 m。为满足工程围区内外水体交换,突堤南部区域平均高程为 3.5 m(理论最低潮面)。平面布置见图 1。

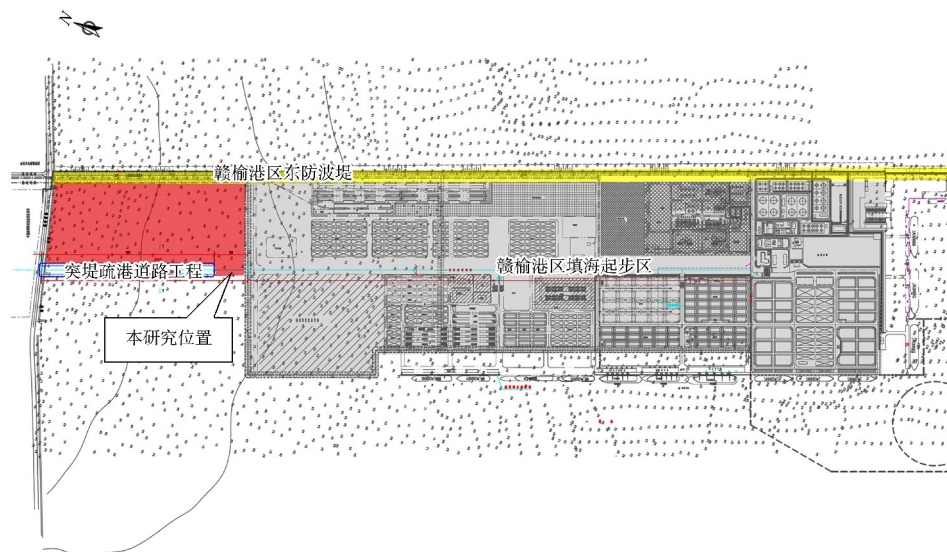


图 1 连云港港赣榆港区突堤工程总平面布置

## 1 海洲湾数值模型的建立

研究采用交替方向隐式迭代法(ADI 方法)对质量及动量守恒方程进行积分计算,为保证工程海域流场计算的准确性,本次模拟采用了模型嵌套方式计算<sup>[3-4]</sup>。在小范围区域内建立工程前、后的水流数学模型和水质扩散模型。

### 1.1 潮流数学模型

水动力模型采用了 3 层嵌套方式计算。大模型计算域南北跨度约 289 km,东至 35 m 等深线处,全域共划分网格 514×956 个,网格步长为 300 m;中尺度模型的计算域取自东经 119°05′38.49″E—119°26′36.74″E,北纬 34°57′08.15″N—35°06′57.69″N 的区域,计算域包含了赣榆以及连云港北侧的整个海洲湾海域,空间步长为 60 m×60 m,共划分了 450×330 个网格。通过对计算区域的模拟得到该海区的整体流场特性,并对流速与流向

进行验证。为更好地显示工程局部区域的水动力特性,在此基础上对工程局部区域进行加密计算,小范围模型共划分 220×200 个、空间步长为 20 m×20 m,计算过程中模拟时间步长为 5 s,见图 2。

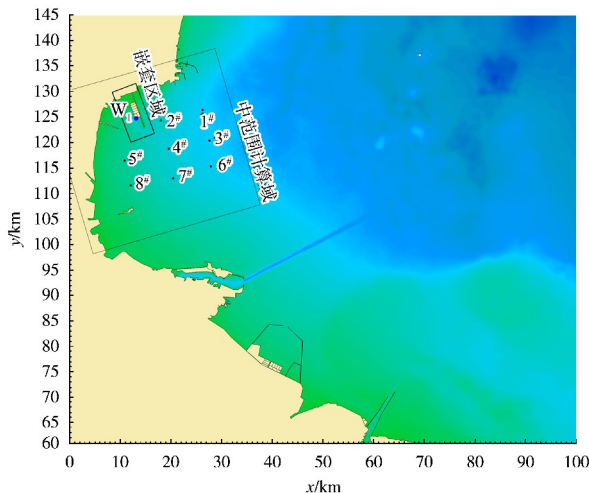


图 2 计算域、模型嵌套及潮流验证站位

水深采用最新的海图资料以及赣榆港区局部实测水深资料, 局部水深比尺为 1:2 000。外海边界通过插值求出开边界处各网格点的调和常数, 并作为数值模型中潮流模拟的开边界条件。通过开边界逐步向内域求解, 进而得出大网格海域的水位场和流速场, 同时对各实测潮位站点以及潮流站点的实测值与计算值进行验证。小区域开边界水位采用大区域输出水位结果插值得出。

## 1.2 模型验证

选取 2016 年 4 月在海州湾内的 1<sup>#</sup>~8<sup>#</sup> 共 8 个临时测流资料和  $W_1$  同步水位资料(位置见图 2)进行验证, 通过计算与实测结果对比, 如潮位站  $W_1$  (图 3)、潮流站 5<sup>#</sup>(图 4)的计算与实测结果对比, 发现两者涨、落潮的潮时基本一致, 流速大小也较为相似; 计算潮位与实测潮位过程完全吻合, 其误差均可控制在允许范围 10 cm 以内。

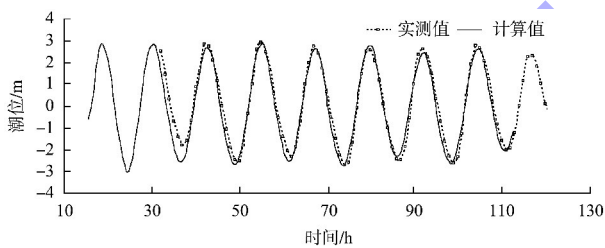
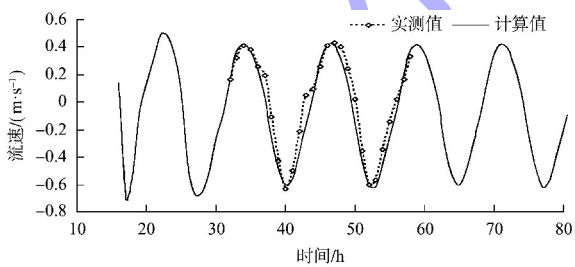
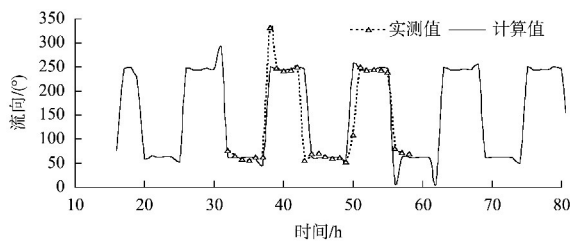


图 3  $W_1$  潮位验证曲线



a) 流速



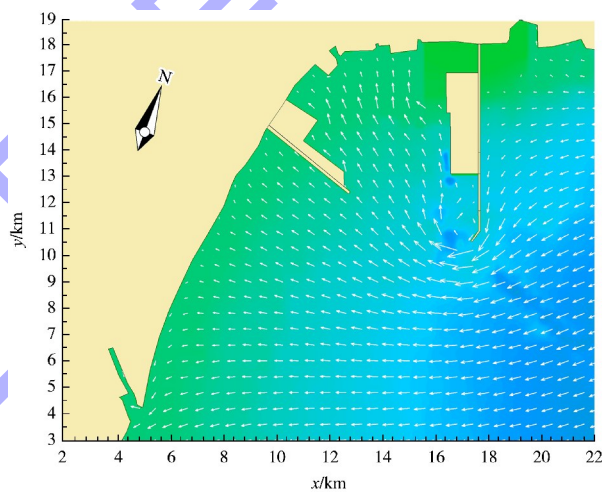
b) 流向

图 4 5<sup>#</sup>测站实测与计算流速、流向验证

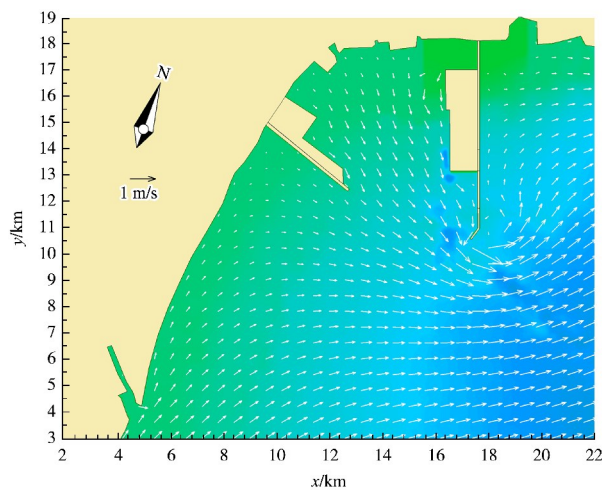
## 2 方案对水动力及环境影响

### 2.1 水动力场分析

赣榆港区位于海州湾北侧近岸海域, 海州湾海域属规则半日潮流, 潮流流速、流向较规则, 涨潮时, 外海潮流基本以 NE—SW 方向进入海州湾, 见图 5a); 落潮时, 潮流则基本以 SW—NE 向退出海州湾, 见图 5b)。在同 1 个潮周期内, 涨潮流速一般大于落潮流速, 涨潮与落潮历时相当; 潮流的流向与等深线或岸线的交角较大, 即潮流的沿岸运动趋势较小, 而以离岸、向岸的往复运动为主。



a) 涨潮



b) 落潮

图 5 赣榆港区所在海域流场情况

研究的主要区域为赣榆港区北侧近岸滩涂区, 因此分析了近岸滩涂区在 1 个潮周期内的流场情

况, 见图 6。由图可知, 一突堤疏港主通道工程位于浅滩位置处, 该区域位于理论深度基面 3 m 以上, 在落潮起始时刻潮位最高, 此时水流流速最

小, 在落潮过程中水流快速从南侧高程相对较低的区域泄出, 在 6 h 后潮位达到最低, 此时近岸区域大部分处于露滩状态。

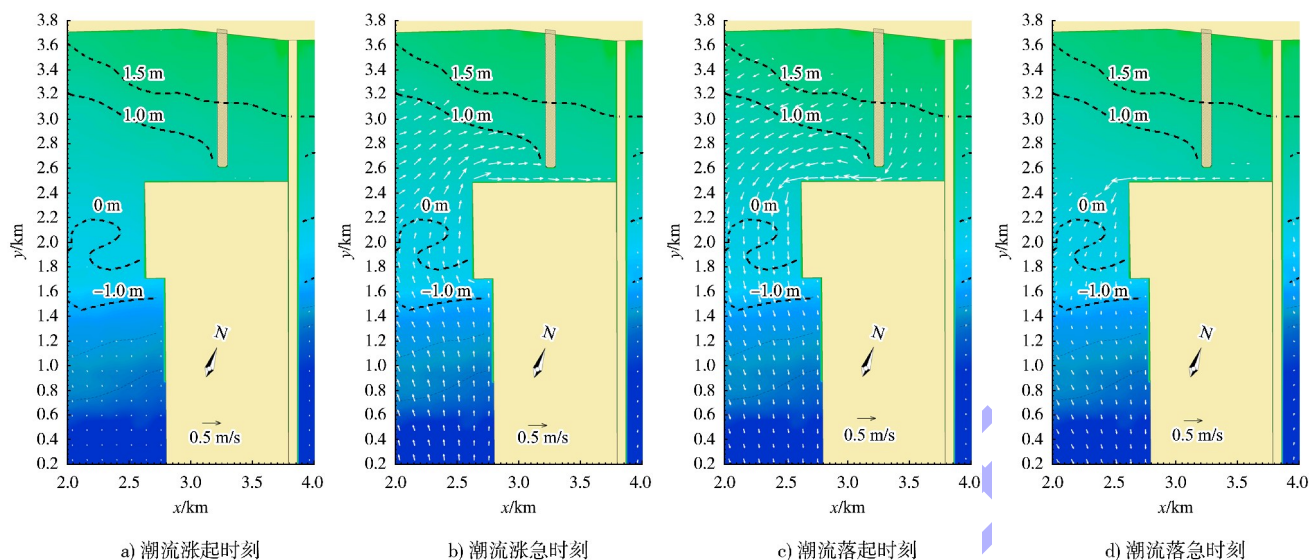


图 6 1 个潮周期内近岸海域流场情况

## 2.2 水交换模拟结果分析

根据对开阔海域内固定区域水体交换的研究, 一般受涨潮和落潮的影响, 所研究的固定区域内水体不会随着涨、落潮的作用全部流出<sup>[5]</sup>, 因此通过 1 个潮周期内水体交换率进行分析。本文研究的海堤口门位于浅滩位置处, 通过分析在海堤不同开口位置处水体流态和交换情况, 得出不论在海堤工程哪个位置开口, 水流主要通过高程相对较低的南侧开口流向海外, 当开口足够大时可全部流出, 形成完全露滩的现象, 达到水交换率 100% 的情况。

为了对比南侧开口大小与水体交换的相互关系,

分别对南侧开口 20、40、50、60、80、100、120 m 的方案进行预测, 根据预测结果总结南侧开口 20、50、100 和 120 m 等对比方案下的开口位置处最大流速情况(图 7)以及水体交换情况(图 8~11)。

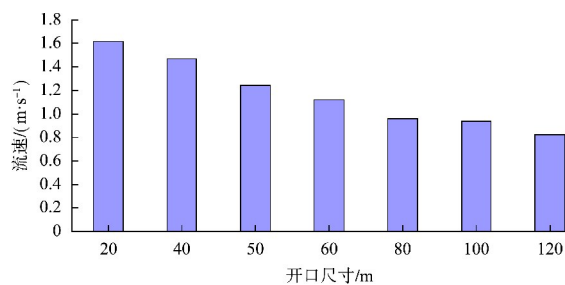
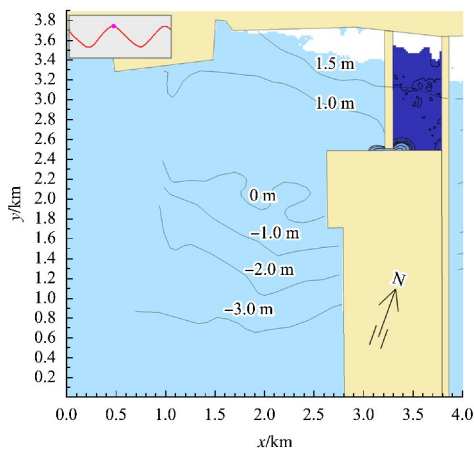
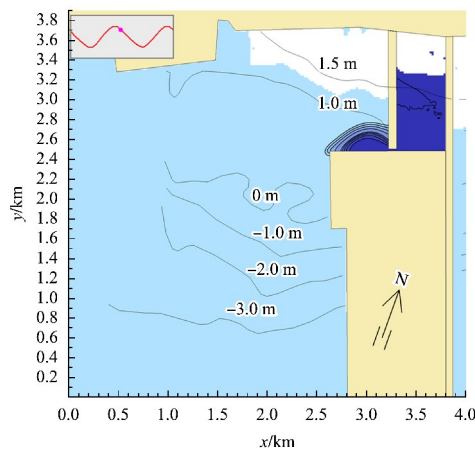


图 7 小范围计算域及流速对比特征点布置



a) 1 h 后扩散情况



b) 2 h 后扩散情况

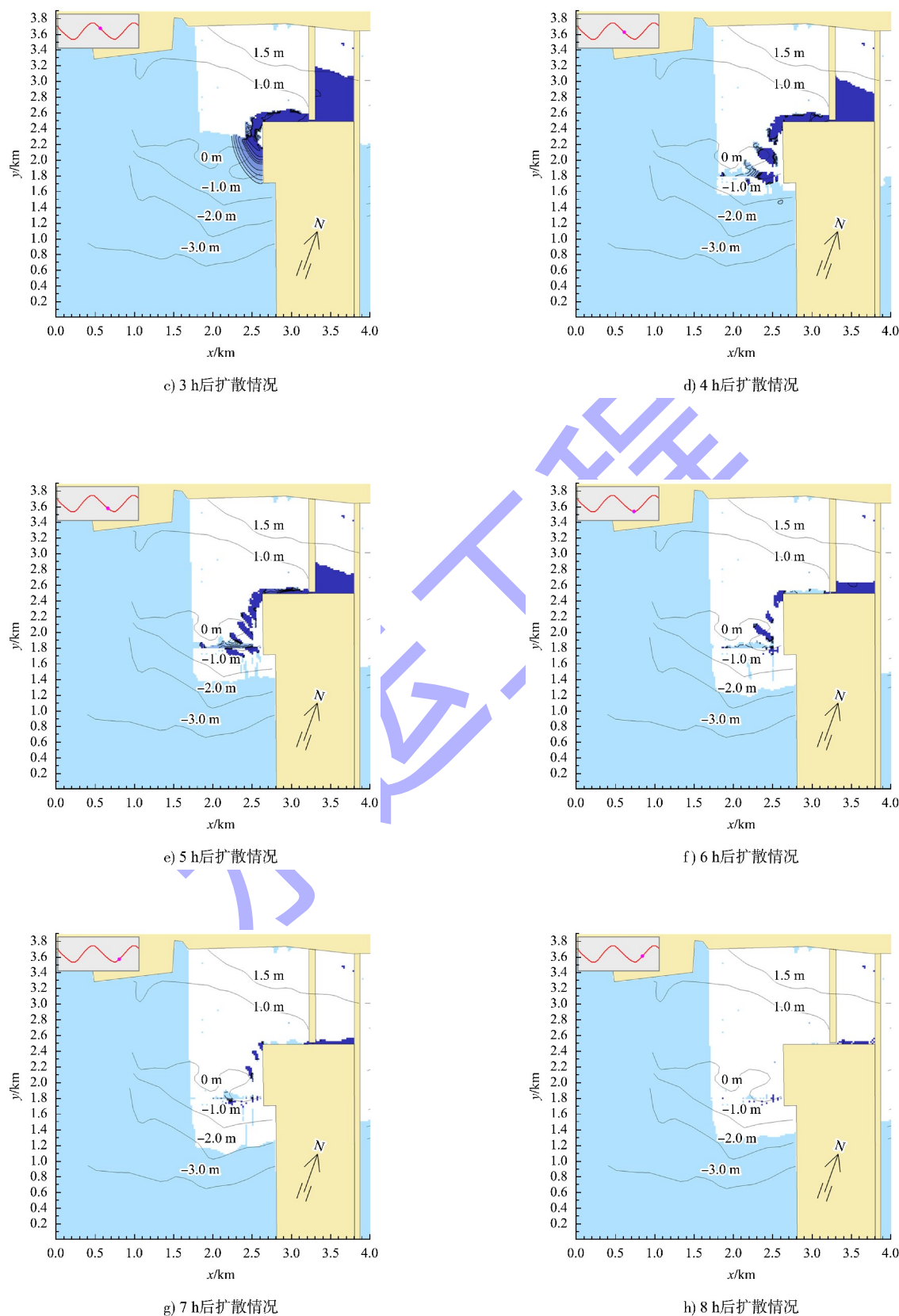


图8 南侧开口20 m方案条件下水交换情况

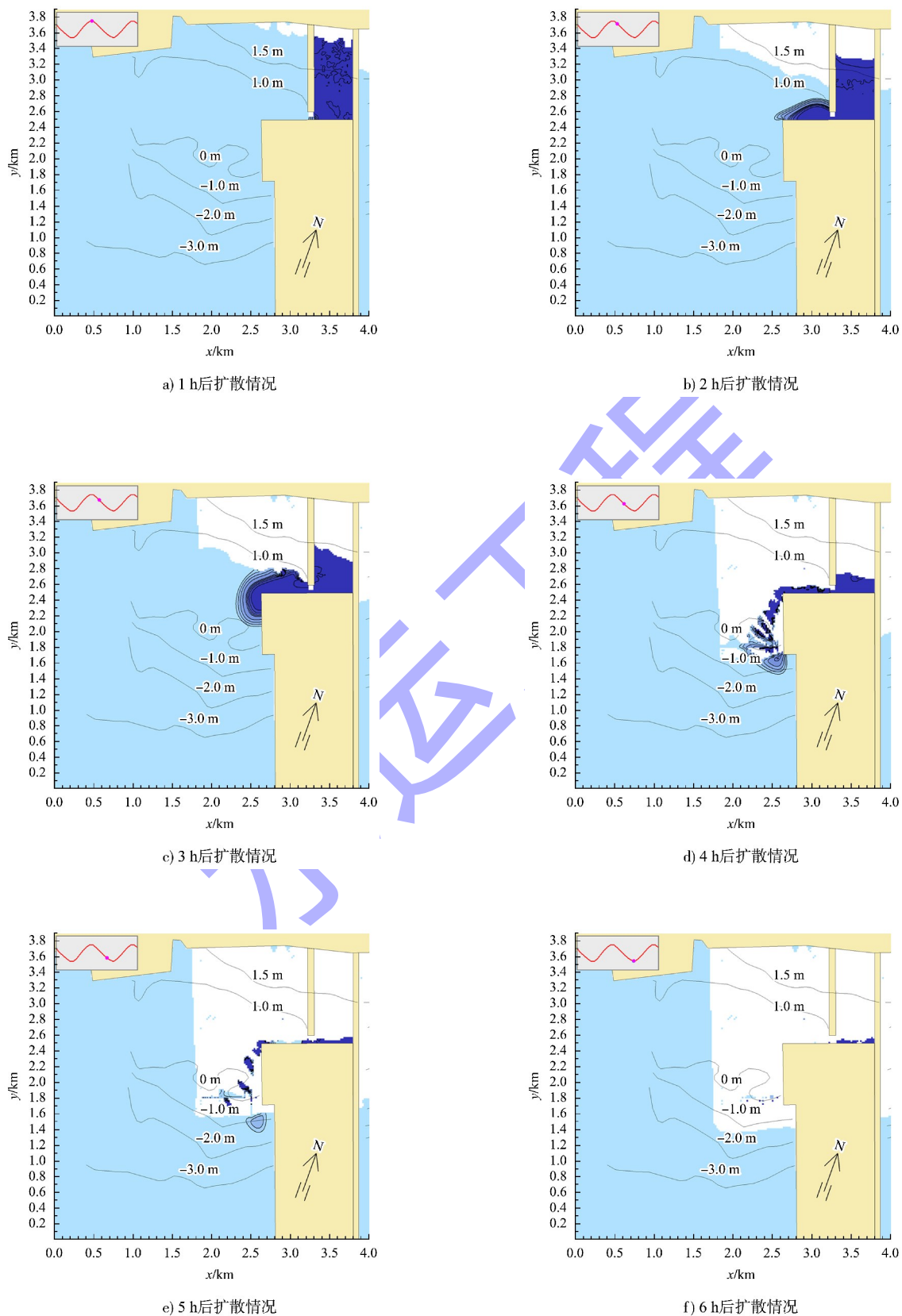


图9 南侧开口 50 m 方案条件下水交换情况

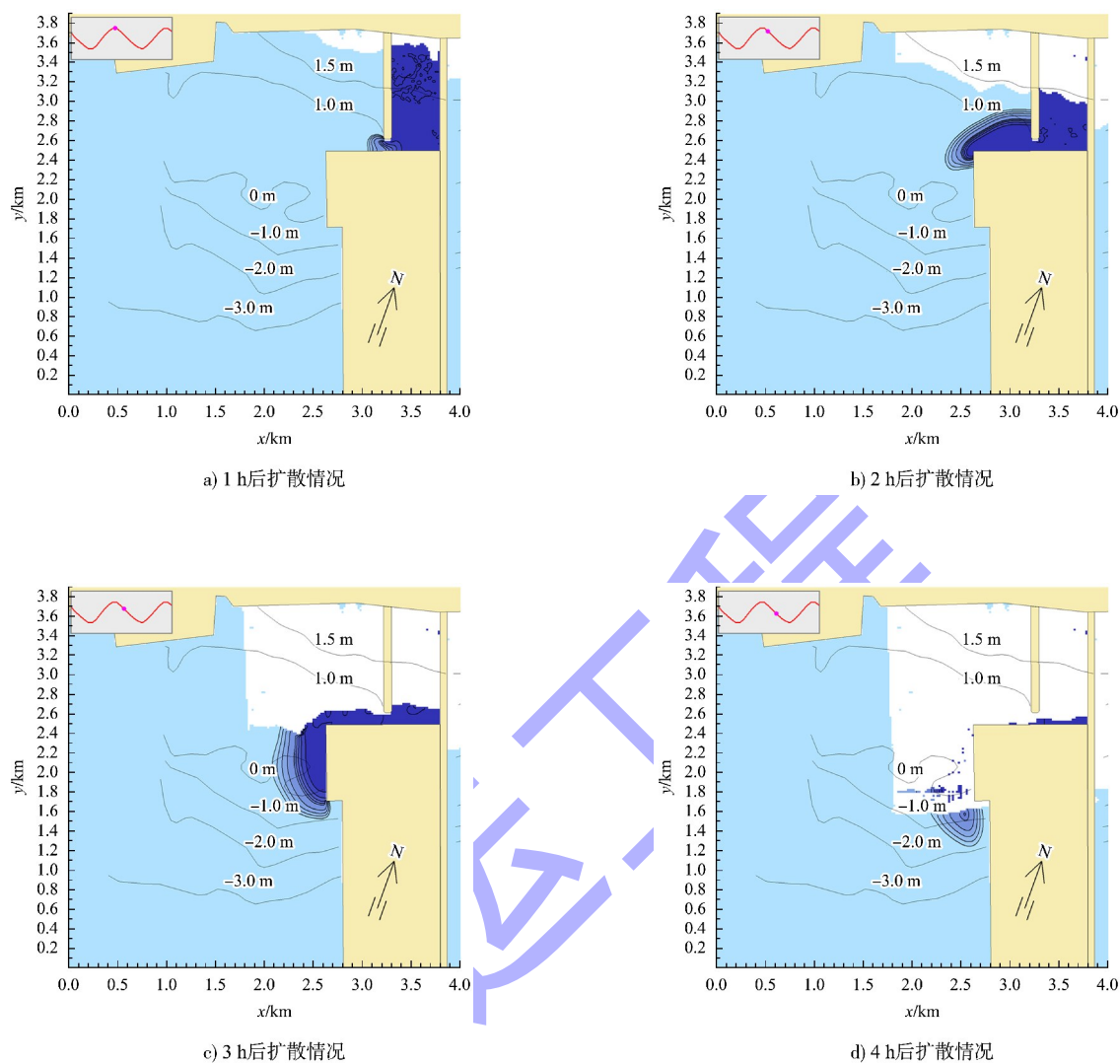
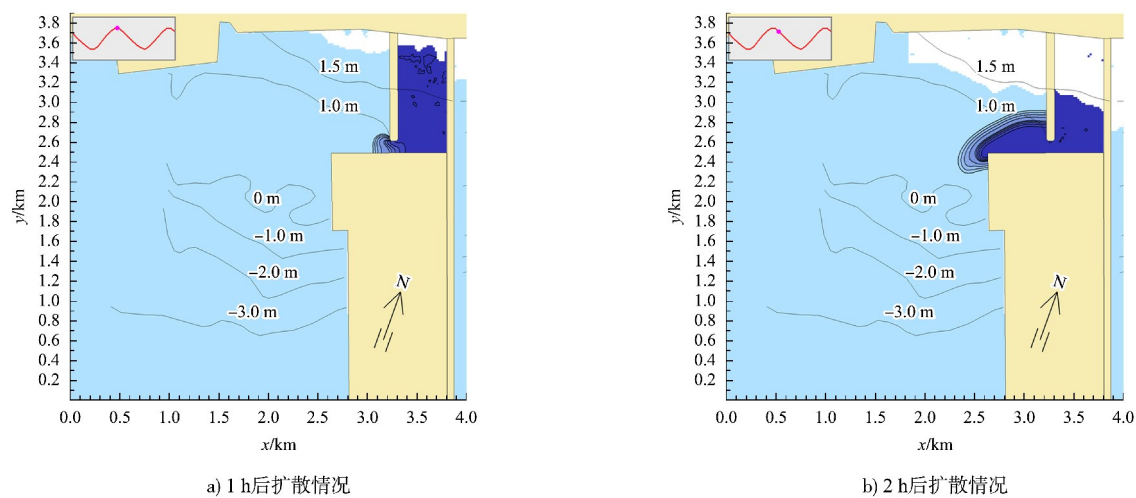


图10 南侧开口100 m方案条件下水交换情况



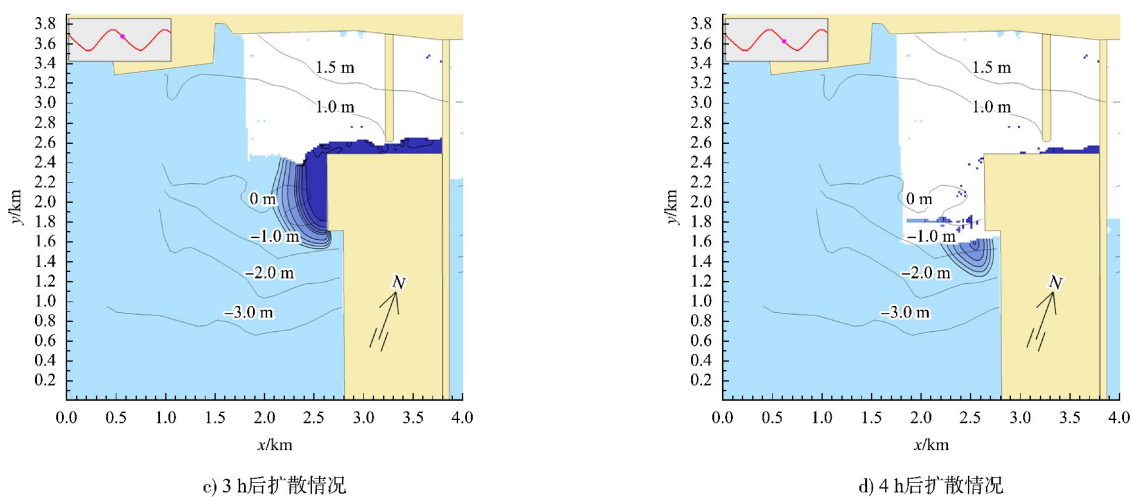


图 11 南侧开口 120 m 方案条件下水交换情况

由于近岸滩涂区域所围水体总量固定,在落潮过程中,南侧开口的大小直接影响开口位置处流速的大小。由图 7 中最大流速对比可知,随着南侧开口的增大,其开口位置处最大流速逐渐减小<sup>[6]</sup>,当开口 20 m 时最大流速可达到 1.60 m/s,开口为 50 m 时最大流速约为 1.20 m/s,当开口为 100、120 m 时最大流速可降至 1.00 m/s 以下,分别为 0.93、0.82 m/s。

由图 8~11 可知,当开口尺寸为 20 m 时,受口门的限制,围堤所围水体下泄速度较慢,在 1 个落潮阶段水体无法全部从口门处流出,直至 8 h 后才能全部从口门流出;当开口尺寸为 50 m 时,6 h 后水流全部流出口门外;当开口达到 100、120 m 时,其水体通过口门向外海流动过程相类似,均在 4 h 内流向外海。

为定量说明开口尺寸与水体下泄量的关系,列出了各开口方案下所围水体总量随时间的变化曲线,见图 12。当开口为 20 m 时,6 h 内围堤仍有少量水体残留,说明在 1 个落潮阶段内,所围水体无法全部流出;当开口逐渐变大为 40、60、80 m 时,所围水体的水量在同一时刻逐渐减小,说明随着开口的增大,围堤内水体与外界交换也越快;当开口尺寸达到 100 m 以上时,随时间的推移,围堤内水体变化趋势几乎相同,说明此时

围堤内水体向海下泄的速度不会随开口的变大而变快,基本在 4 h 左右可全部流向外海。

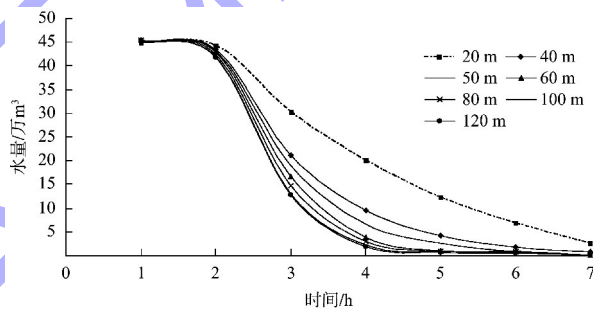


图 12 各方案下围海区域水体下泄时间与水量关系曲线

### 2.3 优化方案

通过水动力分析,在近岸滩涂区域海水主要从最南侧高程相对较低的区域流出,海堤开口主要设置于海堤南侧。

对南侧开口不同尺寸进行研究,当海堤开口尺寸小于 40 m 时,在 1 个潮周内海堤所围水体较难与外海进行有效交换,且在开口处落潮时最大流速达到 1.20 m/s 以上,较大的流速可能对开口处的地形产生一定的冲刷影响。

当海堤开口尺寸达到 100 m 及以上时,在开口处落潮时最大流速可控制在 1.00 m/s 以下,施工过程中辅以地基处理和抛石护底<sup>[7]</sup>,可有效防止潮流的涨落对开口处地形的冲刷,保护南侧围堤的结构安全<sup>[8]</sup>。

(下转第 62 页)