



塞内加尔某项目关于防波堤支堤 掩护港池的情况分析

李 宇¹, 夏远松²

(1. 中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 海外事业部, 广东 广州, 510230;
2. 中交二航局第三工程有限公司, 江苏 镇江, 212000)

摘要: 以塞内加尔某新建集装箱码头工程为例, 探讨在涌浪条件下防波堤支堤的平面布置方案以及对码头前沿波浪的影响。通过波浪数学模型试验, 对比分析不同防波堤支堤长度对码头前沿波浪的影响, 并计算各方案下的码头不可作业时间。研究结果表明, 防波堤支堤的长度对港内波浪的掩护效果显著影响, 较长的防波堤支堤能够有效减少不可作业时间。具体而言, 方案 1(支堤长 323 m)的不可作业时间为 0.7%, 方案 2(支堤长 120 m)不可作业时间为 2.23%, 方案 3(不设支堤但调整航道底高程)不可作业时间为 1.47%。研究还发现, 当其他条件(如抬高码头前沿停泊水域、港池以及外航道)调整时, 即便取消防波堤支堤也可能达到较好的掩护效果。该研究为类似港口工程的防波堤设计提供了参考依据, 并为今后在长周期波情况下的防波堤建设和优化提供了思路。

关键词: 涌浪; 集装箱码头; 防波堤支堤; 不可作业时间

中图分类号: U656.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)12-0097-09

Spur breakwater protection for water basin in a project in Senegal

LI Yu¹, XIA Yuansong²

(1. CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Oversea Business Department, Guangzhou 510230, China;
2. The Third Construction Company of CCCC Second Harbor Engineering Co., Ltd., Zhenjiang 212000, China)

Abstract: This paper takes a new container terminal project in Senegal as an example to explore the layout scheme of spur breakwater under swell conditions and its impact on waves at the front of the terminal. Through wave mathematical model experiments, the effects of different spur breakwater lengths on the waves at the terminal front are compared and analyzed, and the downtime under each scheme is calculated. The results show that the length of the spur breakwater has a significant impact on the shielding effect of waves in the harbor, and longer breakwater support can effectively reduce downtime. Specifically, the downtime for Scheme 1 (with a spur breakwater length of 323 m) is 0.7%, for Scheme 2 (with a spur breakwater length of 120 m) is 2.23%, and for Scheme 3 (without a spur breakwater but with adjusted channel bottom elevation) is 1.47%. The study also found that when other conditions(such as raising the dock front berthing water area, harbor basin, and outer channel)are adjusted, even if the breakwater support is cancelled, it may still achieve a good shielding effect. This research provides a reference for the design of breakwaters in similar port projects and offers insights for the construction and optimization of breakwater schemes under long-period wave conditions in the future.

Keywords: swell; container terminal; spur breakwater; downtime

在港口工程中, 防波堤的主要作用是减小港内波浪, 从而提高船舶的靠系泊时间, 增加货物装卸作业时间。在天然良港以外的港口总布置平面

中, 防波堤的布置有着至关重要的地位。从 20 世纪开始, 国内外学者针对防波堤的布置形式进行了大量的研究。2011 年, 邓磊等^[1]通过调整防波

堤轴线、修改堤头布置和结构形式、局部开挖等对原防波堤布置方案进行优化,经模型试验验证,以上措施明显消减了港内波高,满足港口作业标准,取得了良好的效果。2016年,翟法等^[2]基于波浪数学模型模拟了不同平面布置方案港内波高情况,探讨防波堤结构形式、口门方向、口门宽度、航道和港池边界结构对港内波高的影响。2023年,赵军^[3]基于波浪数值模型试验,对不同的防波堤口门形式进行分析研究。由于防波堤本身并不直接产生经济效益,通常情况下,为了减少项目投资,增加港口项目的投资效益,减少港口项目的回报周期,港口项目基本上尽可能都只布置1条防波堤,很少有防波堤支堤的情况,而在实际工程应用中,为减少涌浪影响而设置防波堤支堤的平面布置则更少。

本文以塞内加尔某新建集装箱码头工程为例,详细描述在涌浪条件下,防波堤支堤的平面布置方案,并基于波浪数学模型试验,对比分析各方案中防波堤支堤布置对于码头前沿波浪的影响,并结合码头前沿船舶允许作业波高标准,对比分析不同平面方案下泊位处的不可作业时间,从而为防波堤平面方案的选择提供有力依据。

1 工程概况

塞内加尔某新建集装箱码头工程位于塞内加尔达喀尔半岛东南侧约50 km的岸线上,旨在解决达喀尔老港因位于核心城区,交通集疏运条件拥堵、港城矛盾突出、港口水深不足的问题。同时,老港集装箱泊位的吞吐量已经达到70万TEU/a,远超设计规模60万TEU/a。新建集装箱码头也为了满足老港区发展以及塞内加尔日益增长的吞吐量需求。新建港区建设内容主要包括新建2个结构满足2万TEU集装箱船靠泊的码头、工作船码头、防波堤、护岸、陆域堆场、辅建区、航道疏浚以及其他相应配套内容。

工程整体平面布置大致为L形,泊位垂直于等深线布置,长870 m,布置在天然水深-11~-7 m处。泊位后方通过吹填成陆,陆域纵深约为630 m,

用于堆场布置。堆场通过吹填的铁路预留区与海岸线连接。防波堤主堤布置在泊位靠海侧位置,其走向大致顺等深线方向布置。防波堤支堤布置在主堤400 m位置,其走向大致与等深线垂直。

防波堤支堤采用抛石斜坡堤的结构形式,堤心利用合适的疏浚料,上方布置1~500 kg块石的堤心石。海侧垫层块石采用300~600 kg块石,港侧垫层块石采用200~500 kg块石。

2 自然条件

2.1 地形

工程位置直面大西洋,近岸陆域地形较为平坦,后方陆域有局部小型山包。工程所在海域水深变化平缓,从-20 m水深处到海岸线的直线距离约为4~5 km。

2.2 潮位

基于NGAO 53基面,工程潮位情况为:最高天文潮(HAT)为1.08 m;平均海平面(MSL)为0.11 m;最低天文潮(LAT)为-0.82 m。

2.3 波浪

根据实测波浪数据^[4],主浪向偏SW向,波浪特征为涌浪主导。谱波高 $H_{m0} < 1.0$ m占比93.7%,波周期 T_p 主要集中在10~14 s。

2.4 海流

根据实测潮流数据,近岸海流平行于海岸线以东南向为主,平均流速约为0.15 m/s,最大流速不超过0.68 m/s。

3 波浪数学模型

项目基于MIKE 21-SW开展波浪数学模型的研究,以FHDI-GNWM^[5-7]波浪谱数据为边界条件,结合C-MAP以及工程区部分实测水深地形数据,建立波浪数学模型,推算工程位置处波浪情况,同时结合声学多普勒海流剖面仪(acoustic Doppler current profiler, ADCP)实测波浪数据对波浪数值模拟结果进行验证。采用国际上认可度较高的波浪模拟软件MIKE 21-BW模型,并考虑平面方案,修改防波堤支堤长度,为集装箱泊位不可作业时

间的情况分析提供依据。

3.1 波浪模型基础数据

模型边界波浪条件采用 FHDI-GNWM 波浪谱数据。选取工程区域中 1#1827 点 ($14^{\circ}37'37.27''N$, $17^{\circ}35'21.91''W$) 以及 1#4073 点 ($14^{\circ}25'42.07''N$, $17^{\circ}21'03.90''W$) 波浪谱数据作为波浪模型的边界波浪条件, FHDI-GNWM 波浪谱数据点位置, 见图 1。



图 1 FHDI-GNWM 波浪谱数据点位置

Fig. 1 Location of FHDI-GNWM wave spectrum data points

模型验证数据采用项目实测波浪数据, 实测点为 ADCP-1 ($14^{\circ}35'11.3''N$, $17^{\circ}08'52.6''W$, 天然水深-6 m) 和 ADCP-2 ($14^{\circ}34'48.2''N$, $17^{\circ}10'23.1''W$, 天然水深-15 m)。实测波浪数据点位置, 见图 2。

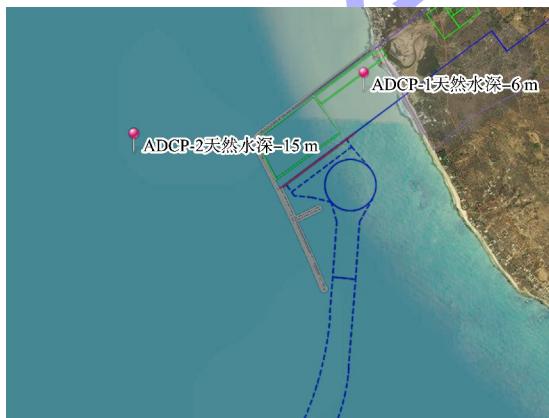


图 2 实测波浪数据点位置

Fig. 2 Location of measured wave data points

3.2 波浪模型计算

采用 MIKE 21-SW 模型进行波浪的数值模拟, 计算过程中采用 CFSR 风场作为驱动力, 并考虑白浪损耗、风生波、波浪破碎损耗、底摩阻损耗以及水深变化引起的浅水变形、折射和部分绕射等物理现象的影响。波浪数学模型的地形和网格见图 3。

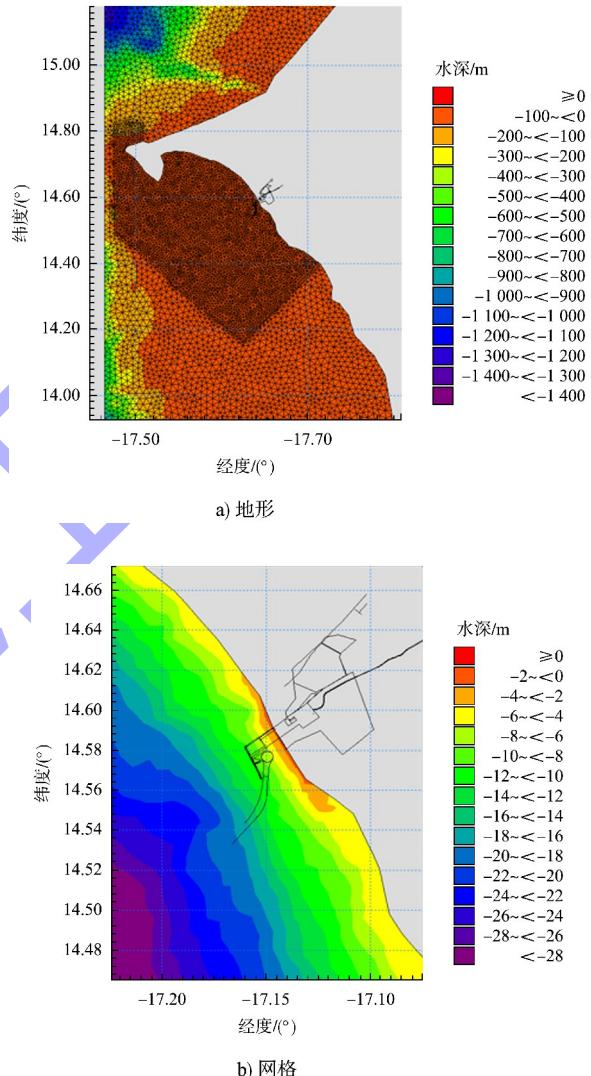


图 3 波浪数学模型的地形和网格

Fig. 3 Terrain and grid of wave mathematical model

3.3 波浪模型验证

采用 ADCP-2 的数据对模型结果进行验证, 波浪数值模拟结果与实测数据对比结果见表 1、2 以及图 4、5。

表 1 H_{m0} - T_p 联合频率分布 (波浪数值模拟结果)Tab. 1 Joint frequency distribution of H_{m0} and T_p (numerical wave simulation results of waves)

		联合频率							
T_p/s	H_{m0}	$<0.4\text{ m}$	$0.4\text{ m}<H_{m0}<0.6\text{ m}$	$0.6\text{ m}<H_{m0}<0.8\text{ m}$	$0.8\text{ m}<H_{m0}<1.0\text{ m}$	$1.0\text{ m}<H_{m0}<1.2\text{ m}$	$1.2\text{ m}<H_{m0}<1.4\text{ m}$	$1.4\text{ m}<H_{m0}<1.6\text{ m}$	$H_{m0}\geq 1.6\text{ m}$
<6		0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6~<8		0.0	0.5	0.3	0.8	0.5	0.1	0.0	0.0
8~<10		0.8	0.4	0.1	0.6	0.2	0.1	0.0	0.0
10~<12		1.3	14.1	6.4	0.7	0.4	0.0	0.0	0.0
12~<14		0.9	11.2	14.9	4.1	0.9	0.1	0.0	0.0
14~<16		0.8	8.5	8.5	4.4	2.1	0.3	0.0	0.0
≥16		0.9	6.1	3.6	2.6	1.0	0.8	0.3	0.4

表 2 实测数据的 H_{m0} - T_p 联合频率分布 (ADCP-2)Tab. 2 Joint frequency distribution of H_{m0} and T_p of measured data (ADCP-2)

		联合频率							
T_p/s	H_{m0}	$<0.4\text{ m}$	$0.4\text{ m}<H_{m0}<0.6\text{ m}$	$0.6\text{ m}<H_{m0}<0.8\text{ m}$	$0.8\text{ m}<H_{m0}<1.0\text{ m}$	$1.0\text{ m}<H_{m0}<1.2\text{ m}$	$1.2\text{ m}<H_{m0}<1.4\text{ m}$	$1.4\text{ m}<H_{m0}<1.6\text{ m}$	$H_{m0}\geq 1.6\text{ m}$
<6		0.1	1.3	1.7	1.2	0.2	0.0	0.0	0.0
6~<8		0.4	1.8	2.6	1.4	0.5	0.3	0.1	0.1
8~<10		0.5	2.0	0.9	0.8	0.6	0.5	0.2	0.2
10~<12		2.8	13.9	4.8	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0
12~<14		3.0	18.7	13.9	3.5	0.5	0.0	0.0	0.1
14~<16		0.7	5.4	6.2	3.1	1.4	0.5	0.2	0.0
≥16		0.1	0.9	0.9	0.5	0.3	0.2	0.1	0.1

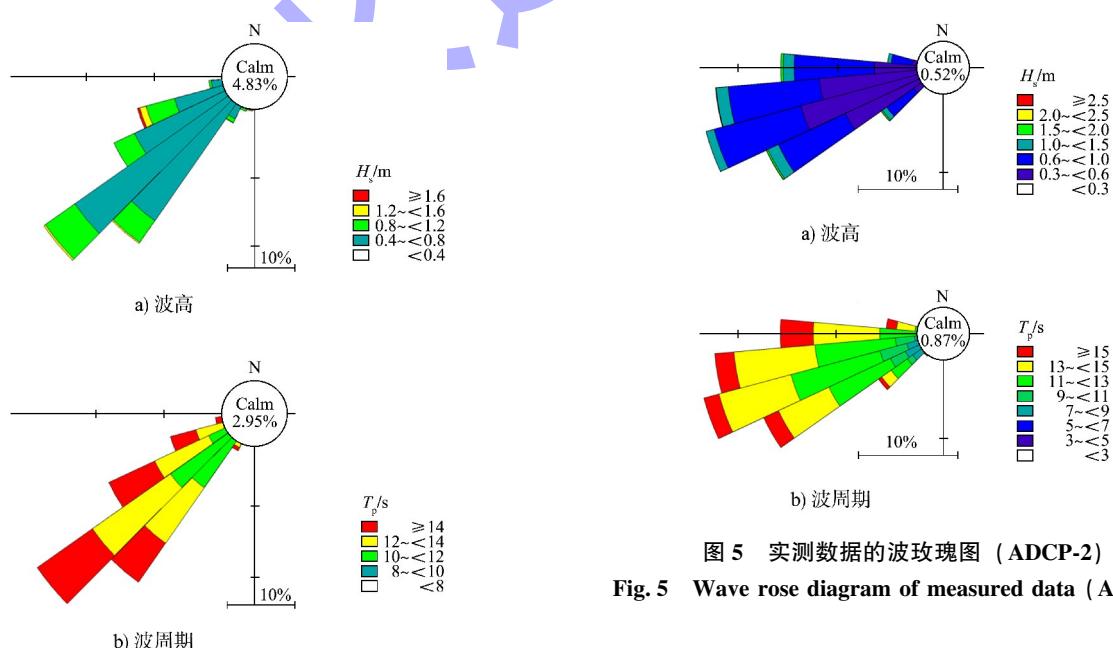


图 4 工程位置波玫瑰图 (波浪数值模拟结果)

Fig. 4 Wave rose diagram at project location (numerical simulation results of waves)

根据 2 组数据中波高玫瑰图、波周期玫瑰图和 H_{m0} - T_p 联合频率分布表对比可知, 其数据高度相似, 均能够较好地模拟工程区域的波况条

件, 因此, 该工程平面方案推演过程中的波浪分析基于 MIKE 21-SW 模型进行计算、分析契合工程实际。

4 支堤方案比选

4.1 不可作业时间计算思路

根据已建立近岸波浪传播模型, 将 FHDI-GNWM 波浪谱中的数据推算至港内波浪数学模型边界处, 再通过建立港内波浪数学模型, 根据泊位处有效波高 H_s 限制条件求得泊位不可作业时间。

4.2 总平面方案

根据现有总平面方案, 防波堤支堤布置在主防波堤 400 m 处, 主要原因是考虑到防波堤支堤内侧与主防波堤内侧的水域需要布置港区的工作船泊位, 其中拖轮泊位总长 175 m, 采用一字形布置于主防波堤内侧; 引航船和小型交通艇泊位总长 120 m, 采用 U 字形布置于防波堤支堤内侧。另外需要预留远期港区发展所需的工作船泊位的空间。另外, 由于主防波堤堤顶布置有行车通道, 为减少工程量, 防波堤支堤不宜再向外海侧移动。

基于上述原因, 防波堤支堤无法再沿主防波堤走向移动, 因此, 为进一步优化防波堤总工程量, 在结合主防波堤位置与航道走向情况、现有操船试验报告以及 UKC (富余水深, under-keel clearance) 试验报告^[8]结论的前提下, 缩短防波堤支堤长度及研究优化防波堤总工程量才能具备可行性。

综上, 防波堤支堤长度分别按照以下 3 个方案进行研究推演。具体布置见图 6。具体底高程调整见表 3。

- 1) 方案 1: 支堤长约 323 m, 航道底高程为 -20.5 m。
- 2) 方案 2: 支堤长约 120 m, 航道底高程为 -20.5 m。
- 3) 方案 3: 不建设支堤, 但根据 UKC 试验数据^[9], 调整航道底高程。

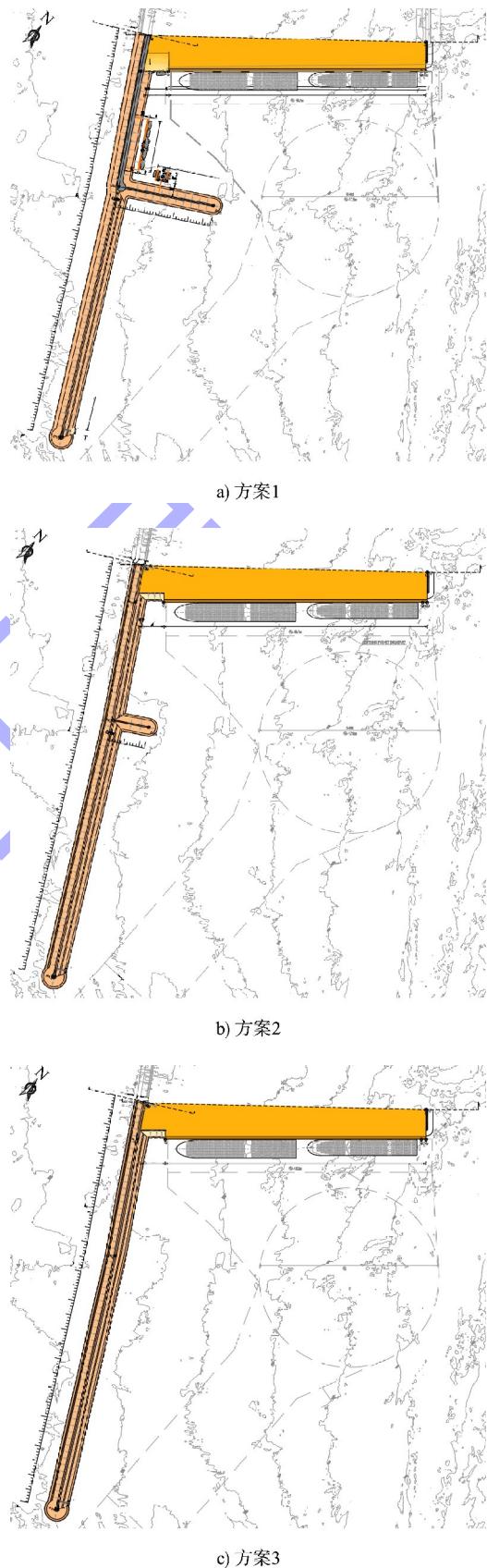


图 6 方案布置图

Fig. 6 Plan layout

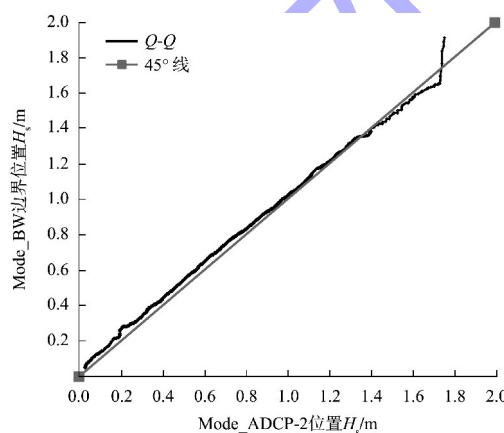
表 3 3 个方案水域底高程变化情况
Tab. 3 Changes in water bottom elevation for three schemes

变化位置	方案 1 及方案 2 航道底高程/m	方案 3 航道底高程/m	航道底高程变化量/m
码头前沿停泊水域及回旋圆	16.9	16.5	-0.4
连接段	16.9	16.5	-0.4
内航道	16.9	18.8	1.9
外航道	19.5	19.4	-0.4

4.3 模型建立

根据上述总平面方案, 建立港内波浪 MIKE 21-BW 数学模型, 波浪谱按 JONSWAP 考虑, 同时考虑斜坡式防波堤的反射系数取 0.4, 直立式码头的反射系数取 1.0。

提取模型 ADCP-2 位置和拟建港内模型边界处波浪特征时间序列, 并绘制散点分布图, 见图 7 (实测 H_s 与模拟 H_s 散点图)。由图可知, MIKE 模型边界处 H_s 总体略大于 ADCP-2, 仅在 H_s 为 1.4~1.8 m 处略小于 ADCP-2。从整体情况看, 两者均值比 1.05, 但 $1.4 m > H_s > 1.0 m$ 的累积频率基本一致, 且均值比为 1.0。在特大值区间, MIKE 模型总体较大一些, 最大比值为 1.09。考虑到港内泊位船型情况, 不可作业时间主要由大波高波浪引起, 因此, 在模型转化过程中考虑了 1.09 的转换系数。



注: $Q-Q$ 指对比模型结果(Q -model)与实测数据(Q -obs)之间的关系。

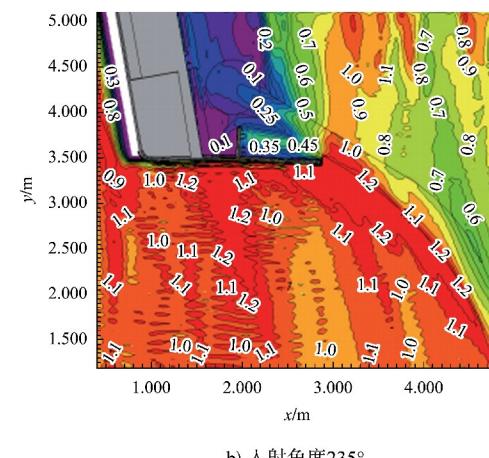
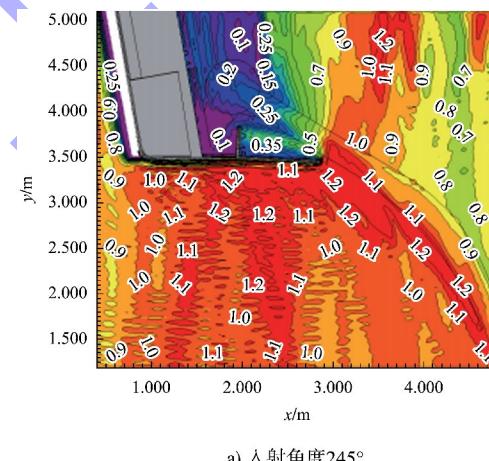
图 7 ADCP-2 位置和 BW 港内模型边界处 H_s 的 $Q-Q$ 图

Fig. 7 $Q-Q$ plot of H_s at ADCP-2 Location and at the BW harbor model boundary

4.4 港内波浪模型计算

采用港内波浪模型, 分析 3 个方案的典型工况组合, 其对应的港内波浪模型 H_s 分布如下所示。

1) 方案 1: 在防波堤支堤长度为 323 m, 外海 H_s 为 1.2 m(约为 98% 保证频率)情况下, 港区内分别在 245°、235°、225°、215° 入射角风浪和涌浪影响下的比波高见图 8。



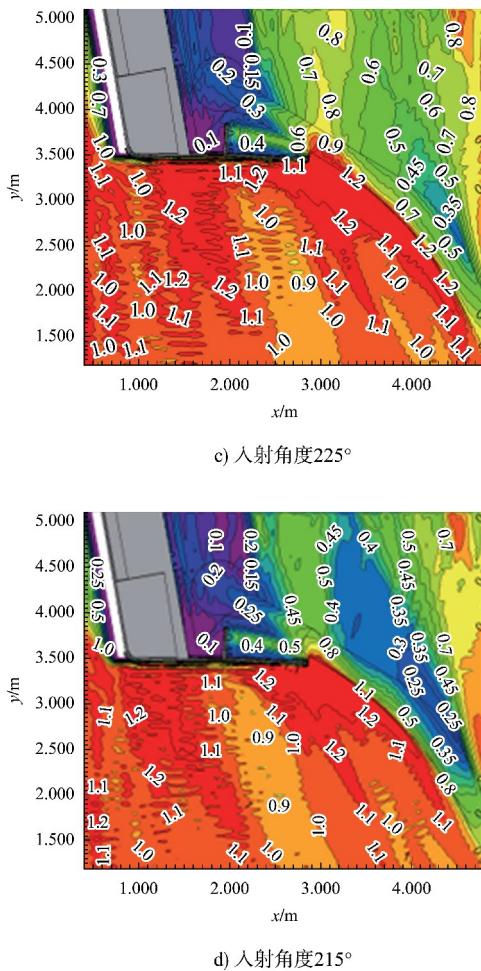


图 8 当防波堤支堤长度为 323 m、 $T_p=16$ s 时
港内模型比波高

Fig. 8 Wave height ratio at harbor model with a spur breakwater length of 323 m and $T_p=16$ s

根据模型计算, 集装箱泊位在防波堤支堤的掩护下, 其 H_s 结果见表 4。

表 4 方案 1 不同入射角度下泊位的 H_s

Tab. 4 H_s at berths for different incident angles of Scheme 1

入射角度/(°)	$T_p=16$ s 时的 H_s /m
245	0.23
235	0.22
225	0.25
215	0.22

2) 方案 2: 在防波堤支堤长度为 120 m 的情况下, 港区内 225° 入射角风浪和涌浪影响下的 H_s 见图 9。基于此模型, 集装箱泊位的 H_s 见表 5。

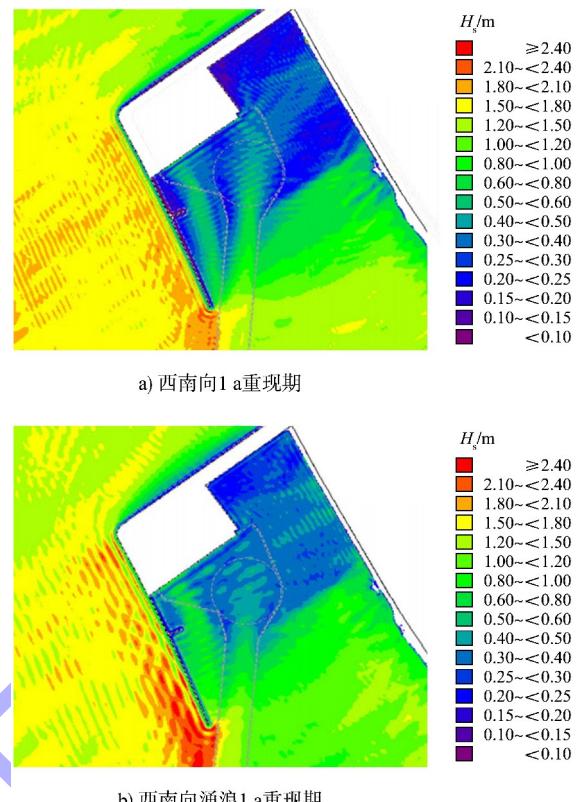


图 9 当防波堤支堤长度为 120 m、 $T_p=14.2$ s 时
波浪条件下的 H_s (入射角为 225°)

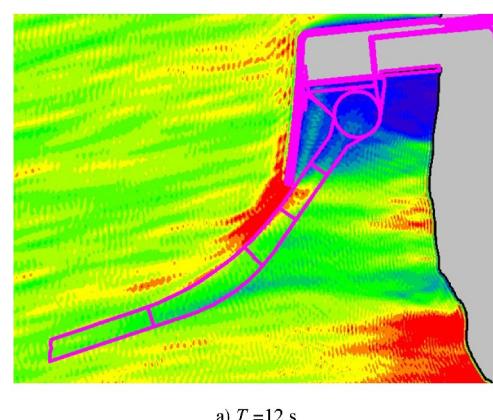
Fig. 9 H_s under wave conditions with a spur breakwater length of 120 m and $T_p=14.2$ s (incident angle of 225°)

表 5 方案 2 在 225° 入射角度下泊位的 H_s

Tab. 5 H_s at berths for 225° incident angle of Scheme 2

入射角度/(°)	风浪/m	涌浪/m
225	0.32	0.58

3) 方案 3: 根据项目资料中波浪数学模型^[11]分析, 在防波堤支堤长度为 0 m 的情况下, 港区内 225° 入射角风浪和涌浪影响下的 H_s 见图 10。



a) $T_p=12$ s

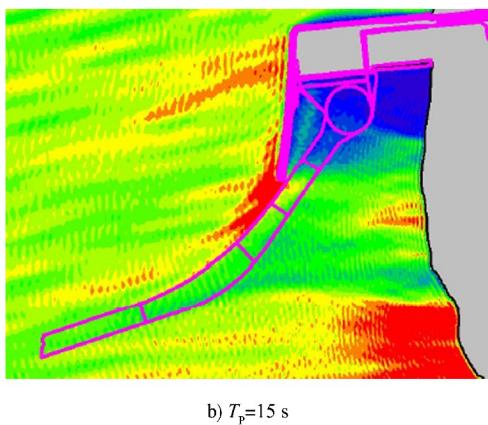
b) $T_p=15$ s

图 10 当防波堤支堤长度为 0 m、 $T_p=12$ 及 15 s 的波浪条件下 H_s (入射角度 225°)

Fig. 10 H_s under wave conditions with a spur breakwater length of 0 m and $T_p=12$ and 15 s (incident angle of 225°)

根据模型计算, 集装箱泊位在防波堤支堤的掩护下, 其 H_s 见表 6。

表 6 方案 3 在 225° 入射角度下泊位的 H_s

Tab. 6 H_s at berths for 225° incident angle of Scheme 3

入射角度/(°)	$T_p=12$ s 时的 H_s/m	$T_p=15$ s 时的 H_s/m
225	0.32	0.38

4.5 不可作业时间分析

根据 ROM 3.1-99 等规范^[10-11]对船舶作业限制波浪条件, 并参考相关科研报告^[12], 集装箱泊位可作业限制条件为 $H_s \leq 0.3$ m。

将泊位处最大 H_s 值与集装箱泊位可作业限制条件进行对比, 可得到超出可作业限制条件的年平均天数, 基于该天数, 除以 1 年 365 d, 即可知各方案中的不可作业时间。各方案不可作业时间情况见表 7。方案 1 根据表 3 计算出比波高计算值, 结合防波堤外侧的波浪时间序列, 可计算出泊位处的波浪时间序列, 进而得出各方案下的不可作业时间。

表 7 各方案不可作业时间情况

Tab. 7 Overview of downtime for each scheme

方案	超出 0.3 m 波浪的年平均天数/d	不可作业时间
1	2.56	0.70%
2	8.16	2.23%
3	5.30	1.47%

5 结论

1) 防波堤支堤的长度对港内波高控制具有显著作用。方案 1(支堤长 323 m)的不可作业时间最低, 为 0.70%, 表明较长的支堤能有效降低波浪对泊位作业的干扰; 方案 2(支堤长 120 m)的不可作业时间为 2.23%, 掩护效果明显弱于方案 1; 方案 3(不设支堤但调整航道底高程)的不可作业时间为 1.47%, 说明通过优化其他工程参数(如航道高程)亦可部分弥补支堤缺失的影响。

2) 研究进一步揭示, 在涌浪条件下, 防波堤支堤的布置需综合考虑工程成本、掩护需求及水文条件等多重因素。较长的支堤虽能显著提升掩护效果, 但也可能增加建设成本; 而通过调整航道底高程, 可在不设支堤的情况下实现一定程度的波高控制, 为工程设计提供了灵活性。

3) 本文成果为类似港口工程的防波堤设计提供了重要参考, 尤其在涌浪主导的海域中, 需权衡支堤长度与其他参数的协同优化。未来研究可进一步结合经济性分析, 探索不同方案的全生命周期成本效益, 并关注更多环境因素(如泥沙输移、海流变化)对防波堤功能的影响, 以完善港口工程设计的理论体系与实践指导。

参考文献:

- [1] 邓磊, 李永烨. 华能汕头海门电厂煤码头工程防波堤布置[J]. 水运工程, 2011(9): 128-132.
DENG L, LI Y Y. Layout of breakwater for the coal terminal in Huaneng Haimen Power Plant [J]. Port & waterway engineering, 2011(9): 128-132.
- [2] 翟法, 冯卫兵. 港口平面布置对港内波况的影响[J]. 水运工程, 2016(2): 54-59.
ZHAO F, FENG W B. Influence of harbor layout schemes upon wave conditions inside harbor [J]. Port & waterway engineering, 2016(2): 54-59.
- [3] 赵军. 不同口门形式在防波堤工程中的应用研究[J]. 中国水运, 2023(7): 61-62.
ZHAO J. Study on the application of different types of doors in breakwater engineering [J]. China water transport, 2023(7): 61-62.

- [4] Mott Macdonald. New multi-user port of dakar master planning - modelling report[R]. London: Mott Macdonald, 2019.
- [5] 钟雄华, 汪中琦, 王科华, 等. 基于 FHDI-GNWM 数据的全球超越概率波高宏观分布特征分析[J]. 中国港湾建设, 2024, 44(1): 26-32.
- ZHONG X H, WANG Z Q, WANG K H, et al. Analysis of macroscopic distribution characteristics of exceedance probability wave height in global based on FHDI-GNWM data[J]. China harbour engineering, 2024, 44(1): 26-32.
- [6] 钟雄华, 王科华, 任赵飞. 基于 FHDI-GNWM 数据的全球波浪宏观分布特征初步分析成果[J]. 中国港湾建设, 2023, 43(10): 14-19.
- ZHONG X H, WANG K H, REN Z F. Preliminary analysis results of the macroscopic distribution characteristics of global waves based on FHDI-GNWM data [J]. China harbour engineering, 2023, 43(10): 14-19.
- [7] 任赵飞, 李伟仪, 王科华. 基于代表性浮标观测数据的 FHDI-GNWM 模型主要指标精度验证[J]. 中国港湾建设, 2022, 42(11): 14-18, 24.
- REN Z F, LI W Y, WANG K H. Accuracy verification of main indicators of FHDI-GNWM model based on observation data of representative buoys[J]. China harbour engineering, 2022, 42(11): 14-18, 24.
- [8] HR Wallingford. Dakar multipurpose port additional UKC assessment[R]. Wallingford: HR Wallingford, 2023.
- [9] DHI. Port d'Ndayane Channel capacity study channel dredging depth optimisation[R]. Queensland: DHI, 2024.
- [10] Recommendations for maritime works programme-design of the maritime configuration of ports, approach channels and harbour basins: ROM 3. 1-99 [S]. Madrid: Puertos del Estado, 2007.
- [11] Report n°115, Criteria for the (Un) loading of container vessels[S]. Brussels: PIANC Secrétariat Général, 2012.
- [12] Mott MacDonald Group. Limited Port of Dakar-modelling report: appendix D-MIKE 21BW modelling and downtime analysis[R]. London: Mott MacDonald Group, 2018.

(本文编辑 赵娟)

(上接第 26 页)

- [10] 韩时琳, 沈小雄. 挖入式港池泥沙淤积的调查分析[J]. 珠江水运, 2003(10): 30-32.
- HAN S L, SHEN X X. Investigation and analysis of sediment deposition in excavated harbor basin[J]. Pearl River water transport, 2003(10): 30-32.
- [11] 陈星, 徐雪松. 异重流导致泥沙淤积及减淤措施[J]. 水利科技与经济, 2010, 16(8): 870-872.
- CHEN X, XU X S. Density-current causing sedimentation and the corresponding siltation-reduction methods [J]. Water conservancy science and technology and economy, 2010, 16(8): 870-872.
- [12] 长江水利委员会水文局. 三峡水库区间来沙量分析研

究报告[R]. 武汉: 长江水利委员会水文局, 2016.

Changjiang Water Resources Commission. Analysis and research report on sediment input in area of the Three Gorges Reservoir [R]. Wuhan: Changjiang Water Resources Commission, 2016.

- [13] 刘尚武, 张小峰, 许全喜, 等. 三峡水库区间来沙量估算及水库排沙效果分析[J]. 湖泊科学, 2019, 31(1): 28-38.
- LIU S W, ZHANG X F, XU Q X, et al. Estimation of sediment amount from ungauged area and analysis of sediment delivery ratio of Three Gorges Reservoir [J]. Journal of lake sciences, 2019, 31(1): 28-38.

(本文编辑 王传瑜)