



基于泊稳分析的防波堤布置方案优化研究

马如彬

(上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海 200092)

摘要: 结合某中心渔港港池防波堤平面布置方案设计, 针对港池锚地泊稳条件不满足相应的波高要求的问题, 利用 MIKE21 BW 模块计算港内水域的波高分布, 为提高港池内有效泊稳面积, 提出两种防波堤优化设计方案, 通过计算并综合考虑工程造价、运维等因素, 确定防波堤最终优化方案。结果表明, 通过延长防波堤和调整口门角度, 可以有效减小港池内的波高, 从而增加港区的有效掩护面积, 满足锚地的泊稳要求。

关键词: 波要素; 泊稳面积; 防波堤布置; 优化方案

中图分类号: U656.2; TV92

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)01-0050-08

Optimization of breakwater layout scheme based on anchoring analysis

MA Ruben

(Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China)

Abstract: Combining with the design of the plane layout scheme of the breakwater of a central fishing port, in view of the problem that the anchoring conditions of the harbor pond cannot meet the corresponding wave height requirements, this paper calculates the wave height distribution of the water area in the port using the MIKE21 BW module. To improve the effective anchorage area in the harbor basin, the paper puts forward two kinds of optimal design schemes of breakwater, and determines the final optimization scheme of breakwater through calculation and comprehensive consideration of engineering cost, operation and maintenance. The results show that the methods of extending the breakwater and adjusting the angle of the entrance gate can effectively reduce the wave height in the port basin, thereby increasing the effective cover area of the port area and meeting the anchoring stability requirements of the anchorage.

Keywords: wave element; area of anchorage; breakwater layout; optimization scheme

目前, 我国渔港工程的建设相对滞后, 存在数量少、建设标准低、功能性单一、港区环境差、管理维权缺乏依据等问题^[1]。而渔港工程的建设不仅为渔民的生产、渔船的避风减灾以及渔政的执法维权提供了重要基地, 同时对推动地方渔业以及渔区经济社会的和谐发展也起到了重要作用^[2-3]。

沿海地区通常自然条件较为恶劣, 为保证港

内渔船的安全作业, 需要建设防波堤挡浪抗潮。而合理的防波堤布置方案不仅能有效保护港内掩护水域, 同时能够有效节省投资。

中心渔港在平时是渔船卸港的繁忙节点, 台风期间为周边渔船的集中避风港。大型渔港防波堤在挡浪抗潮的同时, 为港内渔船提供安全的作业环境, 还不应影响船只的顺畅进出, 兼顾港池内淤积、水动力减弱等问题, 合理地布置防波堤

收稿日期: 2023-05-02

作者简介: 马如彬 (1981—), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为水利、水运工程。

是中心渔港的设计和建设的重要课题。

目前国内基于实际工程开展了一些相关研究。潘宝雄等^[4]对某渔港工程开展波浪绕射计算,提出 3 种防波堤走向方案,并结合泥沙淤积、工程投资、锚地要求等因素综合确定最佳布置方案;季飞^[5]优化了百浪鼓东防波堤工程的平面布置方案,并提出透空式结构;王裕盛等^[6]利用数值模拟技术计算不同布置方案下堤后波高分布,并确定最佳布置方案;符家英等^[7]根据港内波高分布、港池泊稳效果及淤积情况等确定了某一级防波堤及口门的布置方案。

中心级渔港定位高、功能复杂、安全性要求高,在有限的用海面积条件下,港口平面布置紧凑、内容繁多。合理的防波堤线位设计有利于其他建构物物的布置,同时对港池内不同区域形成有效的掩护。工程处于地理条件得天独厚的湾区,工程布置在综合考虑地形和气候条件的基础上,通过数值计算分析,定量确定防波堤的布置,具有较高的经济价值。

本文以南方地区某中心渔港工程为例,利用数值方法计算港内水域的波高分布,在此基础上

为保证港内有效泊稳面积,对防波堤布置方案进行优化设计,以期对工程的设计施工提供指导,同时对泊稳要求较高的大型渔港具有借鉴意义。

1 工程概况

中心渔港港区岸线呈微凹形岸线,长约 4 km,为砂质海岸。工程拟建设 600 HP (441 kW) 渔船、2 000 t 冷藏船以及修船泊位等共 21 个相关配套设施,初定的工程平面布置如图 1 所示。进港航道方位角为 24°N — 204°N ;港池东南侧边界为旅游休闲区;港池北侧为北突堤兼码头总长约 680 m,港池西侧为防波堤兼修船码头总长约 750 m。港池东西向宽约 1 000 m,南北向纵深约 900 m,港池水域面积约 97.03 万 m^2 。600 HP 渔船、2 000 t 冷藏船以及维修泊位码头前沿设计泥面高程为 -5.0 m ,码头及引桥面高程为 3.8 m ;渔船回旋水域按 600 HP 渔船布置,设计泥面高程取 -5.0 m ;200~600 HP (147~441 kW) 渔船停泊锚地设计泥面高程 -5.0 m ,水域面积 11.3 万 m^2 ;200 HP 以下渔船停泊锚地设计泥面高程为 -3.2 m ,水域面积为 25.4 万 m^2 。



图 1 工程平面布置

根据地形和气象资料,本工程主要考虑 NW—N 向的常浪向。港区附近海域常风向为 NE,频率为 20.8%,其次为 ENE 和 SE 向,频率分别为 11.3%和 9.3%。强风向为 WNW,年平均风速为 5.4 m/s。

2 数值计算模型

2.1 计算条件

本文建立 SWAN 风浪模型,推算外海波浪要素,从 SWAN 风浪大模型中嵌套小模型提取波浪要素,作为 MIKE 21 中 BW 计算模块的边界条件。本次 SWAN 数值计算大模型尺寸为 42.5 km×15.8 km (长×宽),开边界的网格边长最大为 1 000 m,工程区域附近岸线网格边长最小为 50 m。BW 数值计算小模型尺寸为 3 333 m×1 887 m (长×宽),空间精度为 3 m×3 m。

根据渔港分类和等级标准规定,中心渔港内设计高水位时 50 a 一遇各向波浪有效波高均小于 0.5 m 的区域为有效掩护水域。本工程 50 a 一遇设计高水位为 2.24 m。

2.2 计算浪向

根据附近海域监测站波浪统计资料,本工程港池向北偏西开口,综合考虑到湾口正北及防波堤布置情况,在计算渔港港池泊稳性时,主要计算 W、NW、NNW 向波浪入射的情况。不同浪向造波线布置见图 2。

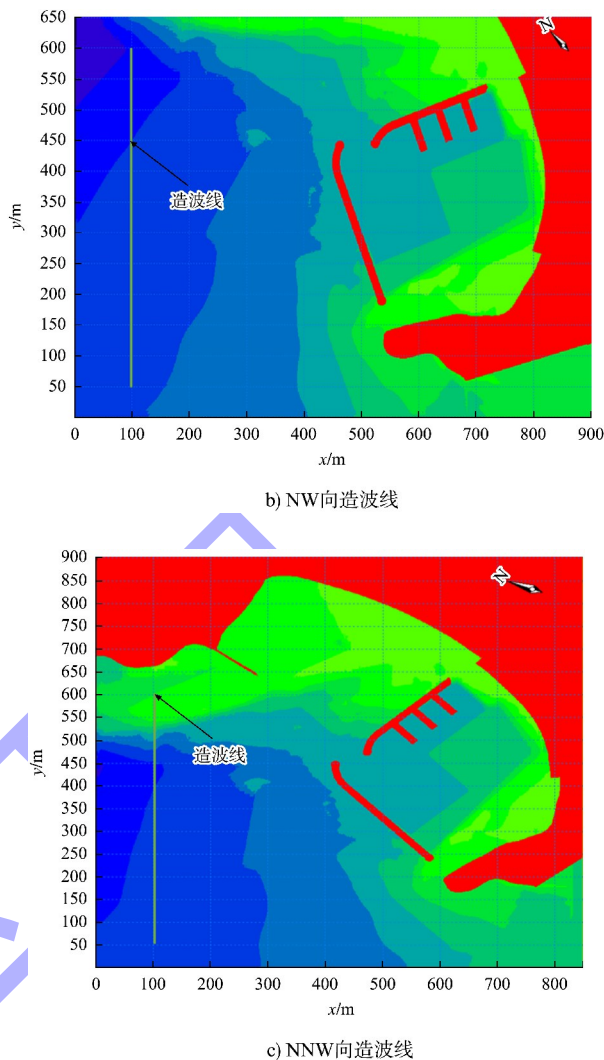
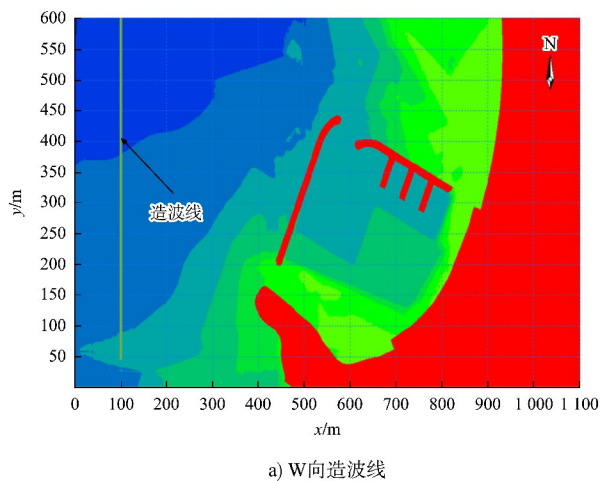


图 2 不同浪向泊稳计算造波线布置

2.3 设计波要素

通过 SWAN 风浪模型推算的 50 a 一遇设计高水位波要素作为 BW 模型计算泊稳条件的边界波要素,见表 1。防波堤及码头后方护岸处按不完全反射处理,反射系数为 0.5,计算边界及天然岸线均按消波处理。

表 1 BW 模型开边界设计高水位下 50 a 一遇设计波要素

波浪方向	波高 $H_{13\%}$ /m	平均周期/s
W	2.68	7.10
NW	4.13	7.86
NNW	4.02	7.88

2.4 采样点布置

本文计算沿泊位共布置 21 个采样点(1#~21#),

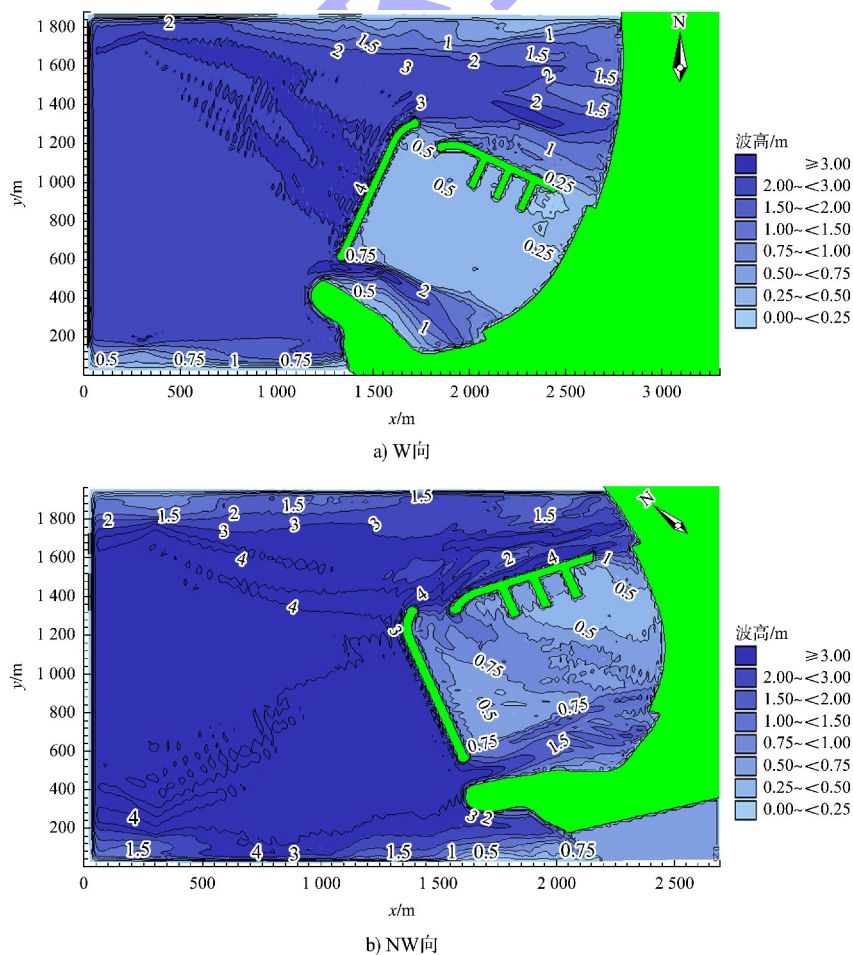
具体位置见图 1。其中 1[#]~3[#]泊位为 600 HP 修船泊位，20[#]、21[#]泊位为执法船舶泊位，其余均为渔船作业泊位。

3 泊稳计算结果分析

经计算，50 a 一遇设计高水位工况下，各采样点波要素见表 2，不同浪向波高分布如图 3 所示，不同浪向下港池内有效掩护水域面积见表 3。根据计算结果可知，在 50 a 一遇设计高水位工况下，最大波高出现在 NW 向下 3[#] 采样点处，波高 0.99 m。此外，对比不同风向下各采样点波要素计算结果可知，W 浪向下港内波高大于 0.5 m 区域的面积最小，NW 浪向下港内波高大于 0.5 m 区域的面积最大，说明 NW 向浪是各向浪中最强的，本文采用 50 a 一遇设计高水位 NW 向浪模拟结果中有效波高小于 0.5 m 区域的面积作为港内有效掩护水域的面积。经过计算得到的港池内有效掩护水域面积为 24.94 万 m²，不满足中心渔港的有效掩护水域面积 40 万 m²。

表 2 各采样点波要素

采样点	50 a 一遇设计高水位不同浪向波高 $H_{13\%}/\text{m}$		
	W 向	NW 向	NNW 向
1 [#]	0.54	0.95	0.63
2 [#]	0.57	0.95	0.59
3 [#]	0.54	0.99	0.59
4 [#]	0.45	0.81	0.53
5 [#]	0.48	0.58	0.38
6 [#]	0.43	0.52	0.38
7 [#]	0.38	0.55	0.38
8 [#]	0.43	0.58	0.35
9 [#]	0.40	0.58	0.38
10 [#]	0.38	0.52	0.35
11 [#]	0.45	0.58	0.42
12 [#]	0.40	0.52	0.38
13 [#]	0.38	0.52	0.35
14 [#]	0.40	0.52	0.38
15 [#]	0.35	0.52	0.35
16 [#]	0.35	0.44	0.32
17 [#]	0.26	0.48	0.42
18 [#]	0.21	0.44	0.46
19 [#]	0.23	0.40	0.38
20 [#]	0.33	0.48	0.49
21 [#]	0.23	0.55	0.59



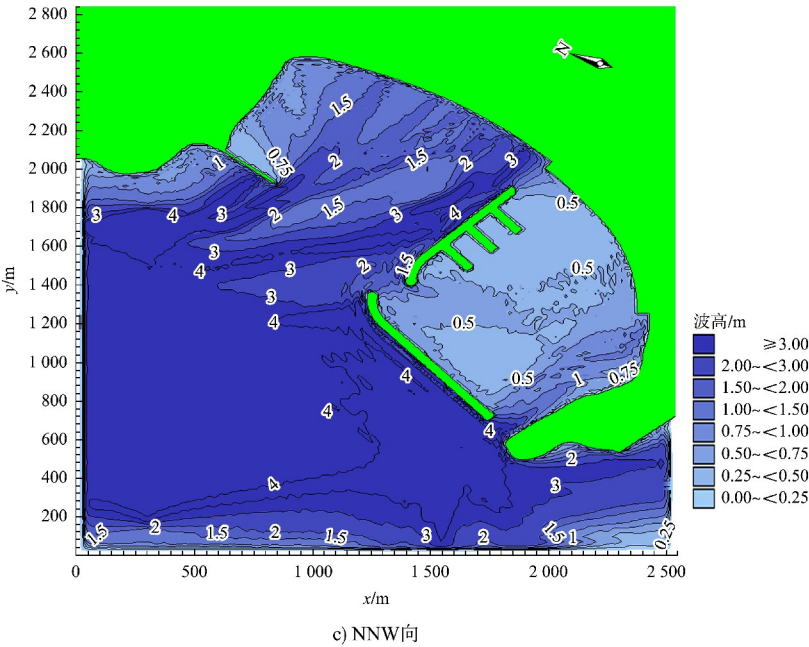


图 3 50 a 一遇设计高水位不同浪向波高分布

表 3 50 a 一遇设计高水位工况下有效掩护水域面积

波浪方向	总水域面积/万 m ²	有效掩护水域面积/万 m ²
NNW	97.03	32.42
NW	97.03	24.94
W	97.03	35.57

注：港区总面积 97.03 万 m² 中包含约 25.0 万 m² 礁石区面积。

4 防波堤布置方案优化

4.1 优化方案 1

根据上述计算结果，新建中心渔港有效掩护水域面积小于规划面积 40 万 m²，需要对渔港防波

堤平面布置进行优化，以期满足规划要求。根据图 3 的波高分布情形，波浪从港区口门以及西南侧开口传入港区内。本文采取 2 种方案提升有效掩护面积：1) 向南延伸西防波堤，减小西南侧开口长度；2) 向北顺延西防波堤，缩小港区口门宽度。对 50 a 一遇设计高水位 NW 浪向条件下港池泊稳情况展开计算分析。

优化方案 1 向南延伸西防波堤直至岸边，彻底封闭西南侧开口，港区平面布置如图 4 所示。

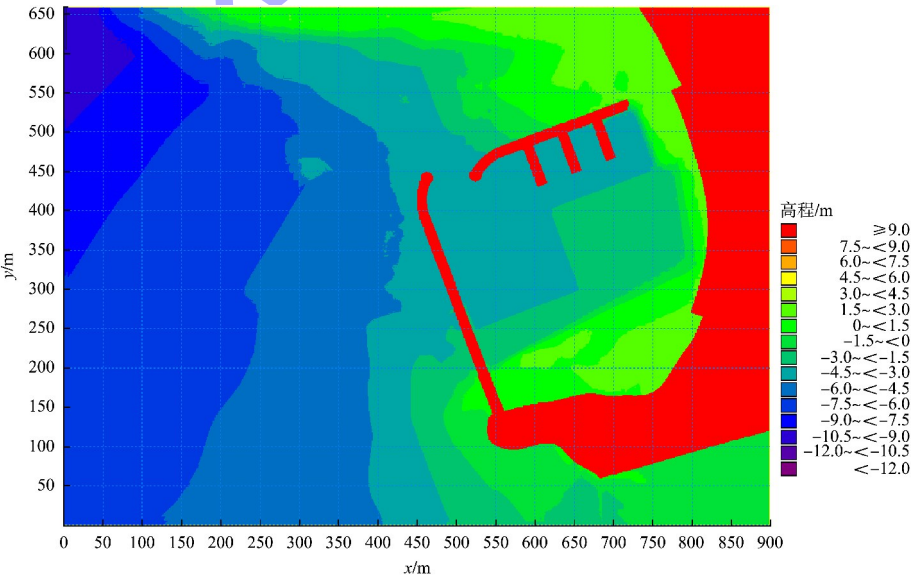


图 4 优化方案 1 港内泊稳计算地形

图 5 为 NW 浪向的波高分布，根据计算结果可知，NW 浪向下港内小于 0.5 m 波高的水域面积为 32.85 万 m²，小于 40 万 m²，不符合规划要求。由

于西南侧开口彻底封闭后的有效水域面积都不符合要求，再缩短防波堤长度保留西南侧开口也不会增加有效水域面积。因此，优化方案 1 不满足要求。

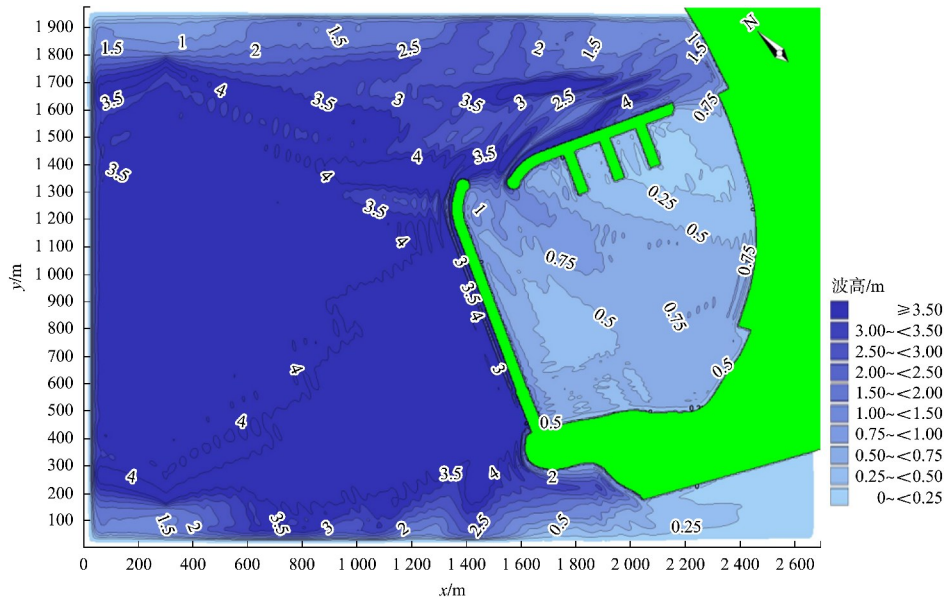


图 5 优化方案 1 在 50 a 一遇设计高水位 NW 浪向下的波高分布

4.2 优化方案 2

优化方案 2 向北顺延西防波堤，综合考虑航道布置的合理性，对顺延长度分别取 15、20、40 和 60 m 进行数值模拟，港区平面布置如图 6 所示不同顺延长度下优化方案 2 的波高分布见图 7，其

有效掩护水域面积见表 4。优化方案 2 中，顺延长度为 15 m 时的有效掩护水域面积最小为 36.72 万 m²，不满足规划要求；顺延长度为 20、40、60 m 时的有效掩护水域面积最小为 42.58 万 m²，可以满足规划要求。

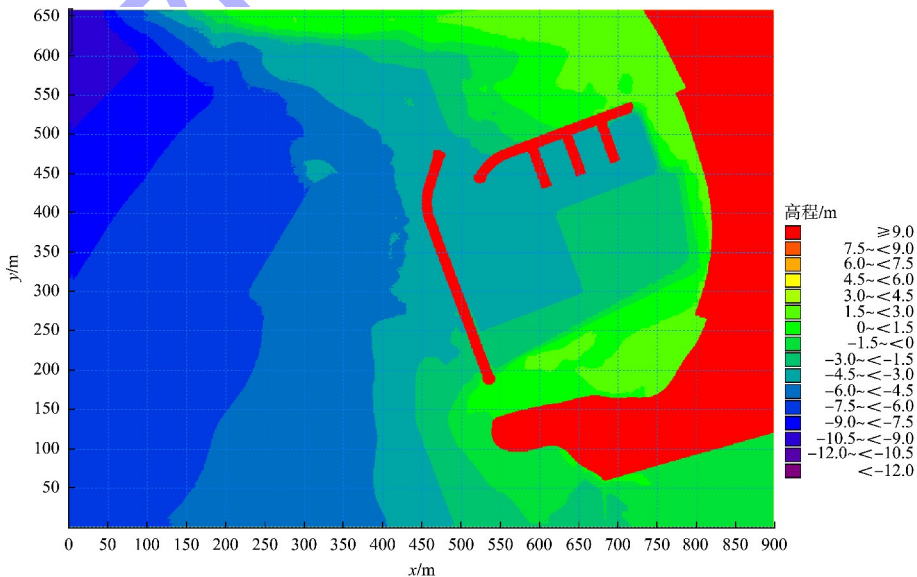
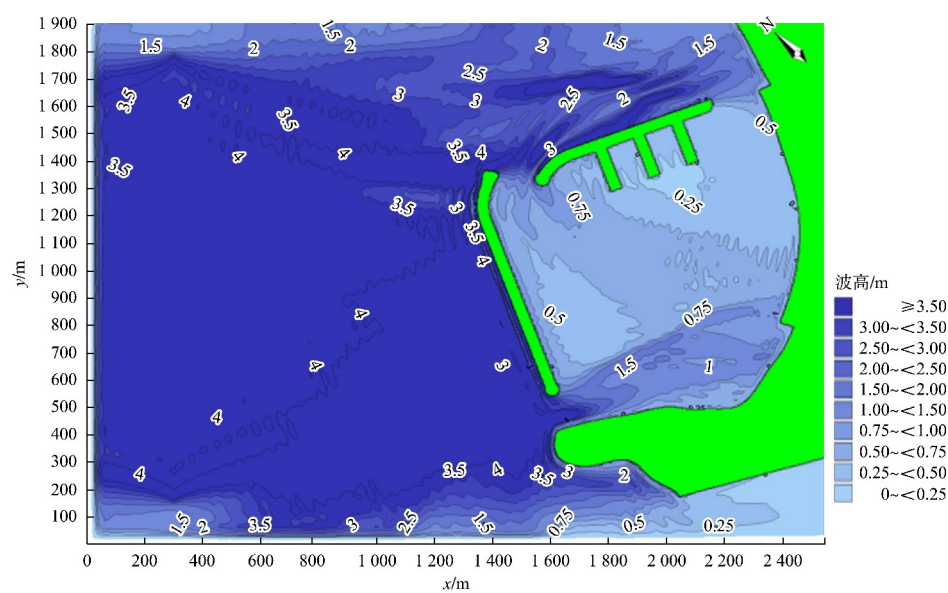
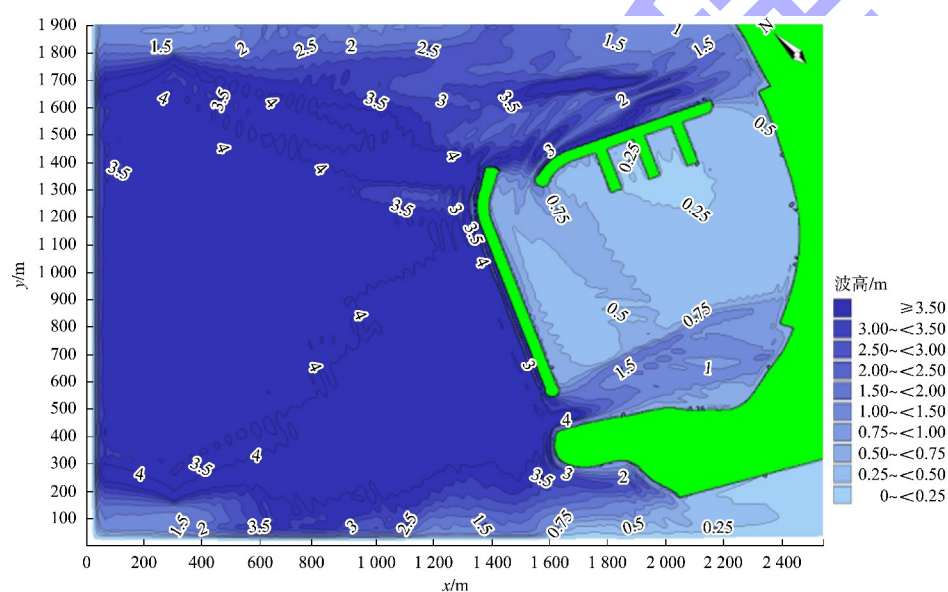


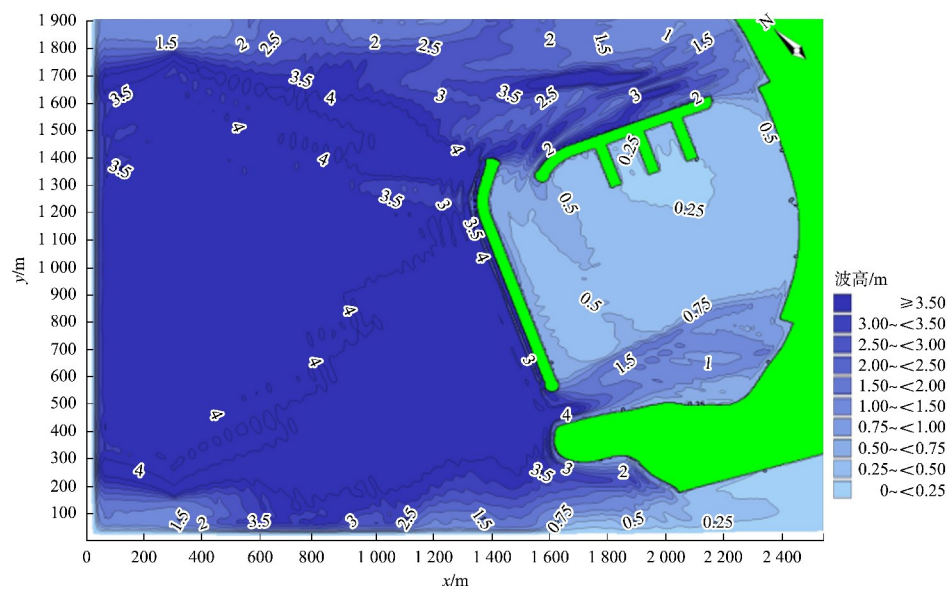
图 6 优化方案 2 港内泊稳计算地形



a) 顺延长度15 m



b) 顺延长度20 m



c) 顺延长度40 m

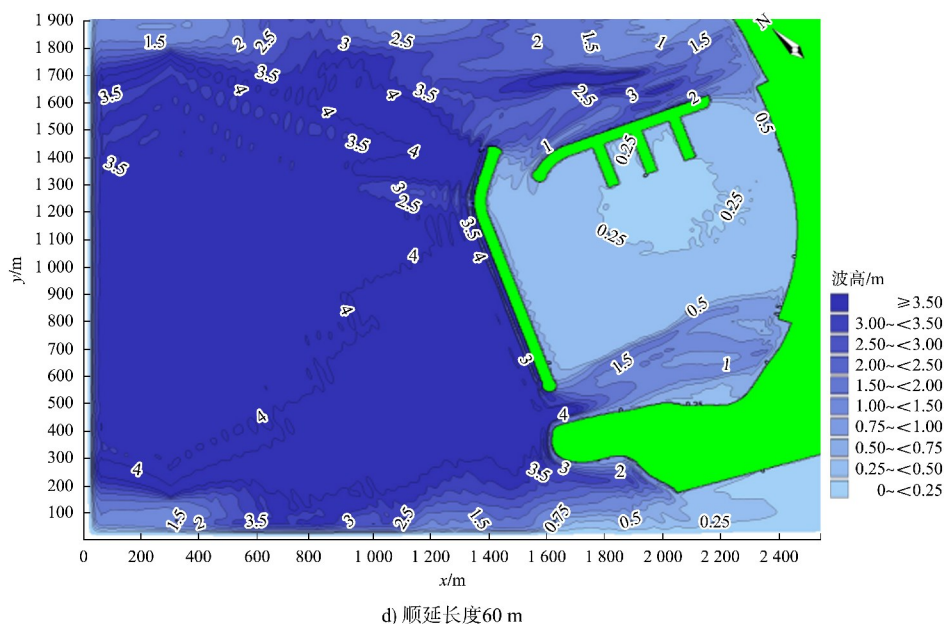


图 7 优化方案 2 在 50 a 一遇设计高水位 NW 浪向下波高分布

表 4 优化方案 2 有效掩护水域面积

顺延长度/m	总面积/ 万 m ²	不符合泊稳 条件面积/万 m ²	符合泊稳条件的 面积/万 m ²
15	97.03	60.31	36.72
20	97.03	45.69	42.58
40	97.03	36.13	60.90
60	97.03	26.74	70.29

注：港区总面积 97.03 万 m² 中包含约 25.0 万 m² 礁石区面积。

4.3 推荐优化方案

根据优化方案 2 的模拟结果，综合考虑工程造价、航道布置等因素，确定最终优化方案。此方案在原方案基础上，将北侧堤头顺着圆弧向北延伸了 20 m，港区内有效掩护水域面积为 42.58 万 m²，满足渔港掩护水域规划要求。

5 结论

1) 中心级渔港定位高，功能复杂、安全性要求高，其防波堤的布置对港内渔船作业的安全性、港池淤积、水动力减弱等方面均有重要的影响。

2) 渔港布置应结合现状地形，在满足水深条件的前提下，并通过计算充分利用海湾岸线的天然掩护条件，经济合理地确定防波堤的初步布置。

3) 数模计算结果显示，NW 向浪是该工程设计的控制浪向，根据计算结果，本工程北侧防波堤向北延伸 20 m，港内有效水域面积为 42.58 万 m²，

可满足规划要求。

4) 在港区泊稳条件不满足要求的情况下，结合常浪向及强浪向的分布，通过延长防波堤和调整口门角度，可以有效减小港池波高，从而增加港区的有效掩护面积，满足锚地有效泊稳面积的要求。

参考文献：

- [1] 孙龙, 侯子顺, 刁劭譔, 等. 我国渔港发展趋势探讨[C]//中国水产科学研究院, 广东海洋大学. 2013 中国渔业经济专家论坛: 发展海洋渔业建设海洋强国论文集. 北京: 中国水产科学研究院, 2013: 18-22.
- [2] 孙龙. 我国渔港建设发展方向分析[J]. 中国水产, 2013(6): 25-27.
- [3] 王刚, 孙一艳, 陈丁. 渔港工程研究进展及未来发展方向[J]. 渔业现代化, 2020, 47(6): 8-12.
- [4] 潘宝雄, 马玉梅, 黄小文. 广东省 H 渔港拦沙防波堤轴线走向平面布置论证[J]. 港口工程, 1993(5): 28-32.
- [5] 季飞. 温州洞头中心渔港透空式防波堤设计[J]. 中国水运(下半月), 2017, 17(3): 123-124, 142.
- [6] 王裕盛, 王劭曼, 亢扬, 等. 小郭巨渔港工程防波堤平面布置方案[J]. 水运工程, 2018(3): 86-92.
- [7] 符家英, 叶跃飞, 曾滢. 某一级渔港防波堤及口门布置方案[J]. 水运工程, 2021(10): 125-130.

(本文编辑 王璁)