



海丰电厂码头工程港内波浪条件研究

李衍旺¹, 王勇健¹, 林尚飞²

(1. 中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510230;

2. 河海大学 港口、海岸与近海工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 结合华润电力海丰电厂煤码头项目的建设, 开展波浪整体物理模型试验, 对防波堤、码头及护岸设计波要素, 码头面上水高度和港内波高分布进行了测定。根据工程不同平面布置方案中的试验结果, 确定最优化的工程总平面布置方案, 为港口工程的设计、建设提供了科学依据。同时, 简要讨论了工程中航道及港池开挖及防波堤建设对波浪传播的影响。

关键词: 布置方案; 设计波要素; 波高分布; 码头上水

中图分类号: TV 139.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)09-0068-06

Wave condition research for Haifeng power plant terminal project

LI Yan-wang¹, WANG Yong-jian¹, LIN Shang-fei²

(1. CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510230, China;

2. College of Harbor, Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Three-dimensional model test in wave basin is set up combined with the project of Haifeng power plant terminal. The design wave parameters for the breakwater, wharf structure and revetments are obtained in the wave basin. Also, the overtopping on wharf surface and the distribution of wave heights are studied in the experiment. Based on the test, the wave heights distribution in different layout schemes are analyzed to determine the optimal scheme and provide a scientific basis for the design and construction of the harbor. Meanwhile, the effect of excavation of navigation channel and construction of breakwater on wave transmission is briefly discussed.

Key words: layout scheme; design wave parameters; wave height distribution; overtopping

波浪是海洋中最常见的现象之一, 是影响沿海港口最重要的水动力因素和作用力。港内波浪条件是港口规划建设中首要考虑的问题^[1]。在海港建设中, 码头结构的合理设计以及港口建筑物的合理布局对港口船只的平稳停泊及装卸作业有着显著的影响。这就要求在防波堤或天然障碍物的掩护下, 港内停靠区域具有良好的波况。因此, 了解波浪的传播和变形特性, 确定港内波浪的分布一直以来是诸多学者关注的问题。

针对实际工程中的波浪传播问题, 一般有理论分析、实验研究、现场观测以及数学模型等解决方法^[2]。近岸波浪在内部能量结构和外形尺度

特征上与外海波浪都有较大的差别, 其传播变形是一个非常复杂的过程。而对于复杂地形的港域波浪特性研究, 物理模型研究能够较好反映波浪的传播变形特性。从20世纪70年代开始, 丹麦水工研究所就展开了应用不规则波进行防浪掩护试验。1974年, Zwamborn J. A.等^[3]开展了物理模型试验, 研究南非理查德港港域波浪条件及航道开挖对于波浪传播的影响。数十年来, 随着港口经济的发展, 波浪物理模型得到了更为广泛的应用。例如, 东营港^[4]、三亚南山港^[5]、青岛造船基地^[6]、烟台港^[7]、青岛董家口港区^[8]、广东平海电厂码头工程^[9]、揭阳港通用码头工程^[10]等均开展了物理模

收稿日期: 2013-02-17

作者简介: 李衍旺(1979—), 男, 工程师, 从事港口海岸与近海工程研究。

型实验研究港内波浪条件。本文以华润电力海丰电厂煤码头工程为例, 通过波浪整体物理模型, 研究工程中不同方案港内波高分布及特性, 对工程建设有指导意义及实用价值。

1 工程概况

华润电力海丰电厂煤码头工程位置位于广东省红海湾了哥嘴至赤石河出口段岸线。码头工程建设规模为: 近期建设1个5万DWT散货泊位和1个3 000 DWT重件泊位, 远期煤码头按2个10万DWT散货泊位考虑。工程项目还包括防波堤、进港航道, 以及陆域堆场、码头配套设施、港口公用配套基础设施等。近期港区航道及回旋水域底高程-14.4 m, 航道设计底宽145 m; 远期港区航道及回旋水域底高程-16.2 m, 航道设计底宽185 m。

设计的工程规划方案共计2个。

1) 方案1: 散货码头位于港区东侧, 且与斜坡式防波堤分离, 采用透空的突堤式码头布置方案。码头结构采用方沉箱重力墩式结构, 码头长度为273 m, 码头面宽度32 m, 码头面高程为8.0 m。散货码头引桥长度为250 m, 宽度为14 m。重件码头位于港区北侧, 采用岸壁式沉箱结构方案, 码头长138 m, 顶面高程5.2 m。防波堤采用斜坡式结构, 总长1 527 m。防波堤堤顶高程按允许少许越浪考虑, 堤头段堤顶高程为7.0 m, 堤身段堤顶高程为6.5 m, 堤头100 m堤顶宽11.4 m, 其余堤身部分顶宽10.8 m (图1)。

2) 方案2: 散货码头位于港区北侧, 采用岸壁式码头布置方案。码头结构采用重力式沉箱结构, 码头长度为273 m, 码头面高程为5.2 m。重件码头位于港区东侧防波堤内侧, 结构与方案1相同。防波堤结构及高程与方案1相同, 但平面布置及长度不同, 其总长为1 567 m (图2)。

2 模型设计

波浪整体物理模型试验遵循JTJ/T 234—2001《波浪模型试验规程》, 模型按重力相似准则设计, 为定床、正态模型。实验在河海大学江宁校区80 m × 40 m × 1.2 m的大型波浪水池中进行,

水池中装备有多向不规则波造波机系统, 可按要求模拟规则波和各种谱型的不规则波。综合考虑试验水池和建筑物结构的尺度、模型应包括的范围、波浪要素及试验仪器测量精度等因素, 确定模型几何比尺为1:100。试验中, 根据工程总平面布置图进行模型布置, 采用断面板法模拟地形。同时为了减小港池边壁的波浪反射影响, 模型外围边界设置了消浪设施。码头、引桥、防波堤等建筑物的外形尺寸和高程均按设计图纸模拟制作, 码头沉箱及引桥采用有机玻璃制造, 防波堤采用抛石结构。各测点波高采用DJ-800型多功能数据采集、处理及分析。在波浪平稳条件下, 不规则波每次采集180个以上的波浪进行统计分析, 规则波采集20个波浪, 每组试验至少采集3次, 取其平均值作为该组试验的结果。

试验采用波要素为数学模型计算提供, 考虑

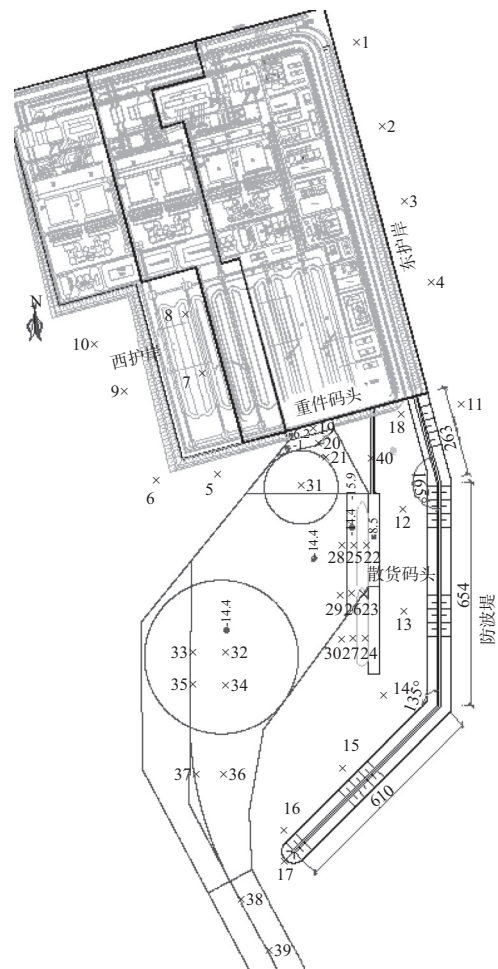


图1 方案1平面布置及测点分布

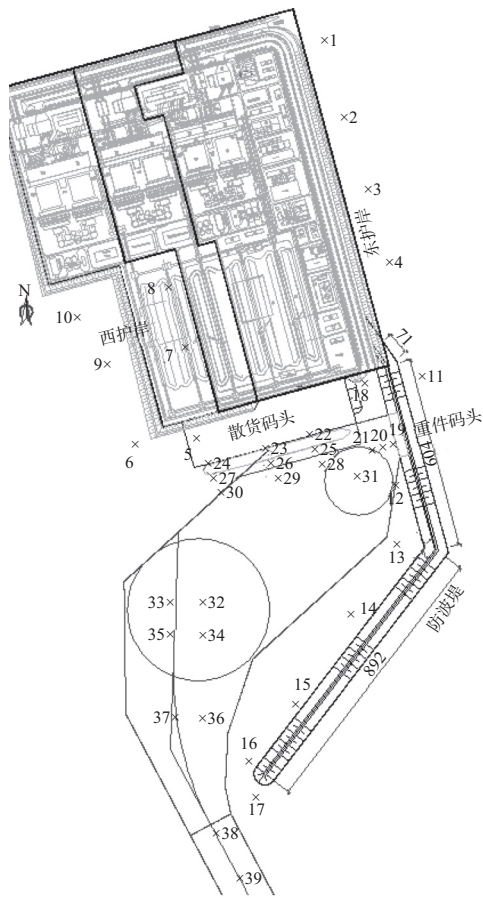


图2 方案2总面布置及测点分布

了不同的波浪重现期、潮位及入射波方向，如表1所示，表中为38#测点（图1）波要素。试验中共测试了9种工况，考虑了防波堤建成后，两个不同方案、近期航道或远期航道开挖、是否有码头与护岸结构的8种工况组合，同时包括原始地形工况。原始地形工况试验主要是为测量防波堤及东护岸等处的设计波要素，这种工况下以50 a一遇波要素为主；各方案航道开挖无码头波要素试验主要与原始地形条件下波要素试验进行对比，观察航道及回旋水域的开挖及防波堤工程完成后对港内码头、护岸等处的设计波要素所产生的影响，同时测量码头及西侧护岸等处的设计波要素，这种工况下以50 a一遇波要素为主；各方案航道开挖有码头波要素试验主要观测散货码头及重件码头等处的泊稳波高及波浪上水情况，这种工况下以10 a一遇及2 a一遇波要素为主。

试验中，在模型范围内一共布置了40个波高测点，主要分布在散货码头、重件码头、护岸、

防波堤、港内回旋水域等处。其中各码头分别于码头前沿、半倍船宽及1倍船宽处设置3排波高传感器，以便观测各泊位泊稳波高。方案1各工况中测点布置如图1所示，原始地形工况下测点布置亦与方案1相同。方案2各工况中测点布置如图2所示。

表1 特征点设计波浪要素

潮位	规则波 H/m	$H_{13\%}/m$	T/s	波向	波浪 重现期/a
200 a, 3.42 m		6.3	10.3	SSE	
		5.5	9.7	S	50
		4.6	9.1	SSW	
100 a, 3.27 m		6.3	10.3	SSE	
		5.5	9.7	S	50
		4.6	9.1	SSW	
极端高潮位 3.15 m		6.2	10.2	SSE	
		5.5	9.6	S	50
		4.5	9.1	SSW	
设计高潮位 1.97 m		5.7	9.9	SSE	50
		5.1	9.4	S	
		4.3	8.8	SSW	
设计低潮位 0.20 m	4.8	4.8	9.7	SSE	10
	4.0	4.0	8.7	S	
	3.3	3.3	8.2	SSW	
		3.2	8.7	SSE	2
		2.4	7.3	S	
		1.8	6.6	SSW	
	4.9	9.2	SSE		
	4.7	8.8	S	50	
	4.0	8.4	SSW		
	4.3	9.1	SSE		
	3.6	8.1	S	10	
	3.1	7.8	SSW		

3 试验结果及分析

3.1 地形开挖及防波堤建设的影响

波浪在近岸传播过程中，波向线方向趋向于与等深线垂直，波浪传播方向的变化是因为波速随深度的不同而改变导致波峰线的偏转。在海港建设中，航道及港池的开挖而形成地形的陡变，对于波浪的传播往往有着十分显著的影响。其影响表现为，航道内的水深较大，波速大于航道两侧波速，波浪向航道外侧折射。同时，海港中防波堤布置的合理与否直接影响到港口营运、船舶安全、基建投资及维护费用等。

考虑方案1近期航道开挖有防波堤无码头工况及方案1远期航道开挖有防波堤无码头工况与原始地形工况下各测点波要素进行比较, 分析航道、港池开挖及防波堤建设对港域波高的影响。如图3所示, 给出了极端高潮位50 a一遇S向波浪条件下各测点波高。图中横坐标为测点编号(测点编号见图1), 纵坐标为各工况与原始地形工况下相应测点比波高。从图3可知, 无论是近期航道或者远期航道开挖工况, 各测点比波高 K 均小于1, 防波堤的掩护效果是十分显著的。在S向波浪作用时, 港域西侧所受掩护较少, 因此6, 9, 10, 32~39等测点比波高稍大。但由于航道开挖使得波浪传播至开挖区域后, 在开挖区域边坡处部分波能向西侧折射, 因此各测点比波高仍小于1, 且越往港域内侧波能扩散越明显, 比波高值越小。而防波堤堤头处17#测点, 由于堤头波浪反射使得其比波高较大。此外, 远期工况与近期工况相比, 航道及港内回旋水域开挖范围增大, 开挖深度亦增加, 使得波浪在传播经过开挖区域的能量扩散更为明

显, 因此港内各区域波高略有减小。在远期码头前沿, 港池的开挖使得24, 27, 30等测点不再处于开挖区域边缘, 开挖区域向外折射的波能影响减弱, 因而波高减小显著。

航道浚深使其对波浪的折射作用增强。而对于不同方向的入射波浪, 航道对波浪传播的影响也是不同的。如图4所示, 给出了方案1近期航道开挖有防波堤无码头工况极端高潮位50 a一遇不同方向波浪作用时各测点波高分布。在SSE向波浪入射时, 防波堤对港内区域掩护较好, 同时入射波方向基本沿着航道轴线, 波能向开挖区域东西两侧扩散, 因此港内5~10, 19~21, 31~37等测点比波高较小。但是在38, 39测点处, 入射波浪传递距离较短而大部分波能仍未向航道外侧扩散, 因此比波高较大。而11~16, 22~30等测点, 防波堤掩护下波浪主要通过绕射影响该区域, 但受到从航道内扩散至东侧区域的波能影响, 比波高值并未明显减小, 反而部分测点波高增大。在其余各潮位试验中, 规律与上述分析类似。

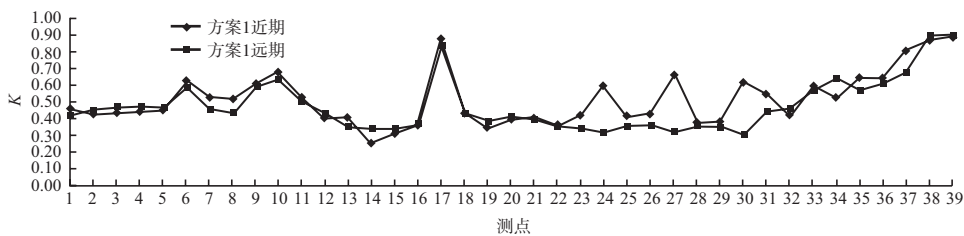


图3 各工况比波高分布

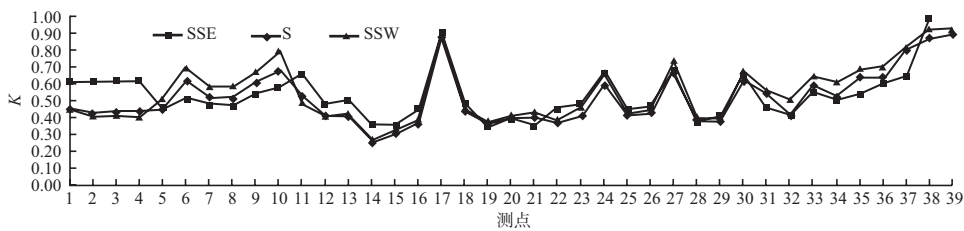


图4 方案1各方向波浪作用下比波高分布

3.2 建筑物设计波要素

考虑方案1与方案2近期航道开挖有防波堤无码头的工况进行分析, 比较不同方案下码头结构及西护岸设计波要素。图5~7分别表示各方案在极端高潮位50 a一遇SSE、S、SSW向波浪作用下各测点有效波高分布(测点编号见图1和2)。从

图中可知, 在各方向波浪作用时, 方案1中西护岸(5~10测点)设计波要素均明显小于方案2。在SSE向波浪作用时, 方案1中重件码头及散货码头处波高略小于方案2中。而当S向及SSW向波浪作用时, 方案1中散货码头远期规划泊位处(24, 27, 30测点)波高略大于方案2中, 其余各测点

波高相差不大。这是由于在S向和SSW向波浪入射时，波浪不能有效地穿越开挖区域，因此方案2位于北侧的远期规划泊位测点波高略小。此外，传

递至航道内的波浪在传播时亦有部分波能向外侧扩散，也使得方案1中处于东侧开挖边坡外边缘的远期规划泊位测点波高略大。

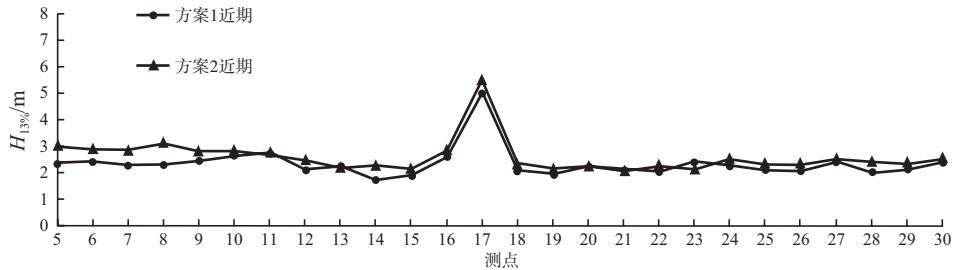


图5 SSE向波浪作用时有效波高分布

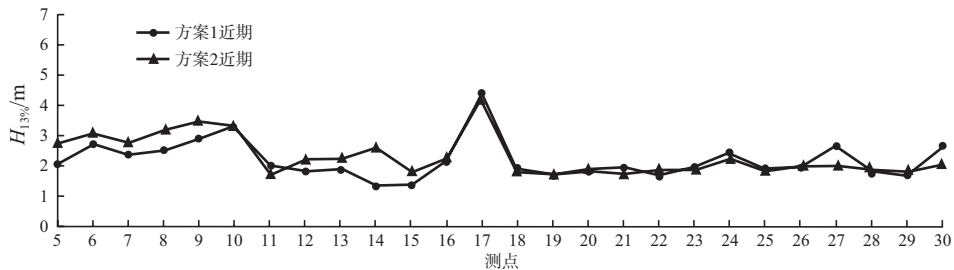


图6 S向波浪作用时有效波高分布

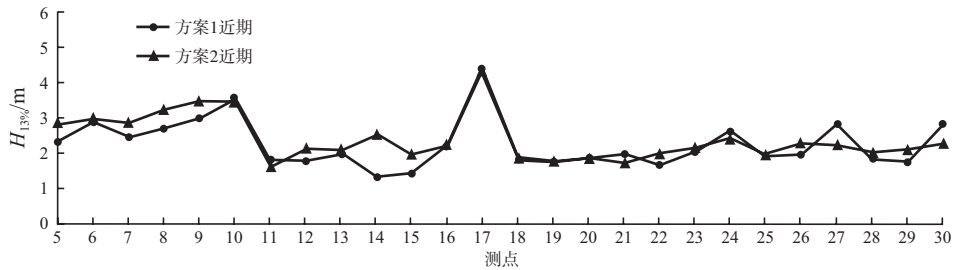


图7 SSW向波浪作用时有效波高分布

3.3 泊稳波高

根据《海港总平面设计规范》中关于船舶装卸作业允许波高和风力的规定来判定码头泊稳要求，其中3 000 t船舶作业的允许波高为顺浪 $H_{4\%}=0.8$ m，横浪 $H_{4\%}=0.6$ m；5万t吨及10万t船舶作业的允许波高为顺浪 $H_{4\%}=1.5$ m，横浪 $H_{4\%}=1.2$ m。

选择各方案有码头、防波堤及护岸结构的工况中，设计高潮位2 a一遇的波浪作用下，比较分析各泊位前沿 $H_{4\%}$ 波高（图8~10）。由图可知，在重件泊位处（19~21测点）方案1中波高比方案2略小，其在SSE向波浪作用时虽无法满足泊稳要求，但在S及SSW向波浪作用时基本满足泊稳要求。方案1中散货5万t泊位处（22, 23, 25, 26,

28, 29测点）波高约为1 m，较方案2中小。而方案1中远期规划泊位（24, 27, 30测点）波高较方案2中略大（方案1中波高约为1.35 m，方案2中波高约为1.1 m），但综合考虑方案1中码头前沿波浪呈现顺浪形式，而方案2中码头前沿波浪呈现横浪形式，因此方案1中的泊稳条件更为良好。

3.4 码头及护岸上水

码头的上水情况直接关系码头面高程确定是否合理，影响着码头设施与结构的安全。试验中测试了不同方案中码头面的上水情况。考虑到设计高潮位、设计低潮位时码头前沿基本不上水，分析比较各方案在极端高潮位50 a一遇的波浪作用时各泊位码头上水情况（表2）。

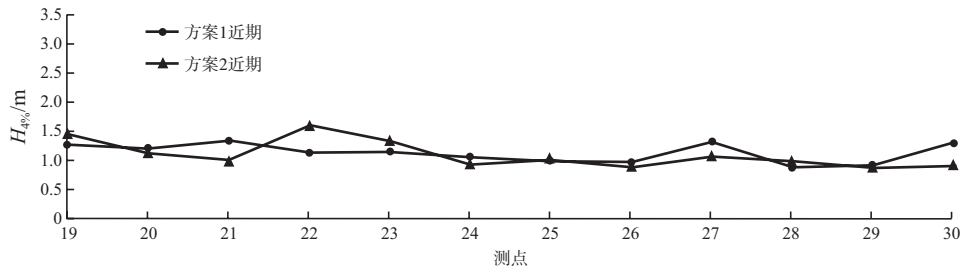


图8 SSE向波浪作用时各泊位处 $H_{4\%}$ 分布

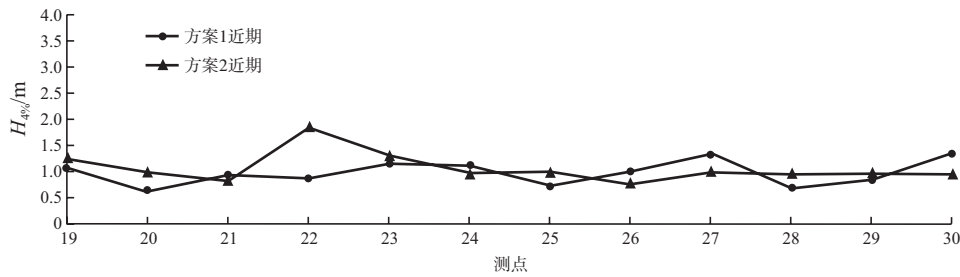


图9 S向波浪作用时各泊位处 $H_{4\%}$ 分布

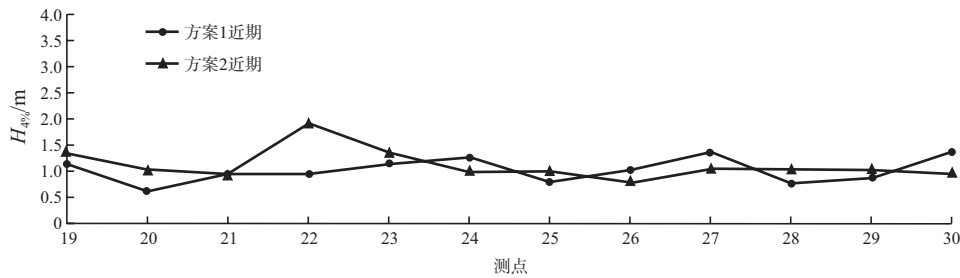


图10 SSW向波浪作用时各泊位处 $H_{4\%}$ 分布

表2 各方案码头上水高度

波浪方向	位置	方案1		方案2	
		$\Delta H_{max}/m$	$\Delta H_{4\%}/m$	$\Delta H_{max}/m$	$\Delta H_{4\%}/m$
SE	重件码头	0.67	0.22	0.36	0
	煤码头	0	0	1.03	0.55
S	重件码头	0.17	0	0.39	0
	煤码头	0	0	0.75	0.26
SSW	重件码头	0.29	0	0.48	0
	煤码头	0	0	0.93	0.38

码头上水高度的计算方法为: 潮位加上波峰高度减去码头面高程, 正值表示码头上水高度, 零值表示码头不上水。由表中可知, 方案1中各泊位码头上水高度明显小于方案2。方案1中码头采用方沉箱重力墩式结构, 而方案2中码头采用重力式沉箱结构, 因此方案1中码头前沿反射系数较小。同时, 方案1中散货码头前沿波浪多为顺浪形式而方案2中则为横浪形式, 使得方案2中码头上水高度有所增加。

此外, 通过试验中观测, 方案1及方案2中东侧护岸均不上水, 西侧护岸在200 a, 100 a, 极端高水位50 a一遇波浪作用下均有部分上水。

4 结论

试验主要针对不同的平面布置方案, 测量了码头、防波堤及护岸的设计波要素, 同时观测了各泊位前沿泊稳波高及码头、护岸上水高度。通过分析, 从建筑物设计波要素、泊位前沿泊稳波高、码头及护岸上水高度等因素分析, 推荐方案1为设计最优方案, 即散货码头布置在东侧更为合理。

试验中也表明了地形的陡然变化对于波浪传播的影响是十分显著的。因此在港口工程规划中, 须注意由于航道及回旋水域开挖而导致的局部地区波高增大现象。