



## 某斜坡式防波堤工程优化设计

宋军营<sup>1</sup>, 宋继浩<sup>2</sup>, 齐彦博<sup>1</sup>

(1. 中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007; 2. 中电投国际矿业投资有限公司, 北京 100044)

**摘要:** 在水深较大的海域, 传统的斜坡式防波堤结构形式因其断面较大使得造价大幅上升。研究成果和工程实例表明: 带减压倒 L 型胸墙的斜坡堤可以优化传统防波堤设计形式, 在保证工程安全性和满足使用要求的同时, 可以较好地降低工程造价。结合工程案例, 对斜坡式防波堤结构优化设计进行研究和探讨, 供类似工程参考。

**关键词:** 防波堤; 带减压倒 L 型胸墙的斜坡堤; 优化设计

中图分类号: U 656.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)04-0057-06

### Optimization design of rubble mound breakwater engineering

SONG Jun-ying<sup>1</sup>, SONG Ji-hao<sup>2</sup>, QI Yan-bo<sup>1</sup>

(1. CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China;

2. CPI International Mining Investment Co., Ltd., Beijing 100044, China)

**Abstract:** Traditional mound breakwater structure in deeper waters brings cost rise sharply due to its large cross section. According to some research and engineering examples, It is known that rubble mound breakwater with pressure-relieving inverted-L breast wall can optimize the traditional breakwater pattern, guarantee the safety and meet the using requirements. Meanwhile, it can reduce the cost. Combining with an engineering case, this paper probes into the mound breakwater structure optimization design, which provides reference for similar projects.

**Key words:** breakwater; rubble mound breakwater with pressure-relieving inverted-L breast wall; optimization design

随着我国港口建设的发展, 港址已由天然条件较好的港湾向波浪条件更为恶劣的外海发展。防波堤作为抵御外海波浪侵入、为港内水域提供平稳作业条件的重要水工建筑物, 其设计方法和理念一直受到水运行业的高度重视和不断研究。斜坡式防波堤是水深不太大时一种常见的防波堤结构形式, 然而在波浪和水深都增大的外海, 传统的斜坡堤结构形式由于断面尺寸和护面块体的加大, 工程量和工程造价急剧增加<sup>[1]</sup>。

国内的一些专家和学者对防波堤结构设计进行了一系列的理论研究和试验研究, 并提出了一

些创新形式。牛恩宗等<sup>[2]</sup>对直立式防波堤、斜坡式防波堤分别提出了梳式防波堤、带减压倒 L 型胸墙的斜坡堤的创新结构形式, 并在一些工程中成功实践。其中带减压倒 L 型胸墙的斜坡堤, 通过设置垂直部分面向港内、水平部分面向外海的倒 L 型胸墙, 利用波浪作用在胸墙水平部分的垂直力和作用在水平部分与垂直部分的相位差, 使波浪垂直力成为增加胸墙稳定的外力, 而相位差使同步水平力最小。

本文根据已有的防波堤结构创新成果, 对某斜坡式防波堤工程实例进行优化设计研究, 为类似工程提供参考。

收稿日期: 2013-08-16

作者简介: 宋军营 (1985—), 男, 工程师, 从事水运工程设计与研究咨询工作。

### 1 工程概况

#### 1.1 工程位置

本工程位于我国南方某省市的新港区，由于  
 外海波浪较大，计划建设东、西防波堤，为港区  
 规划的大宗干散货作业区、通用泊位作业区、液  
 体散货作业区等码头作业区提供较好的掩护条件，  
 东防波堤长 5 423 m，西防波堤长 3 315 m。东西  
 防波堤位置如图 1 所示。

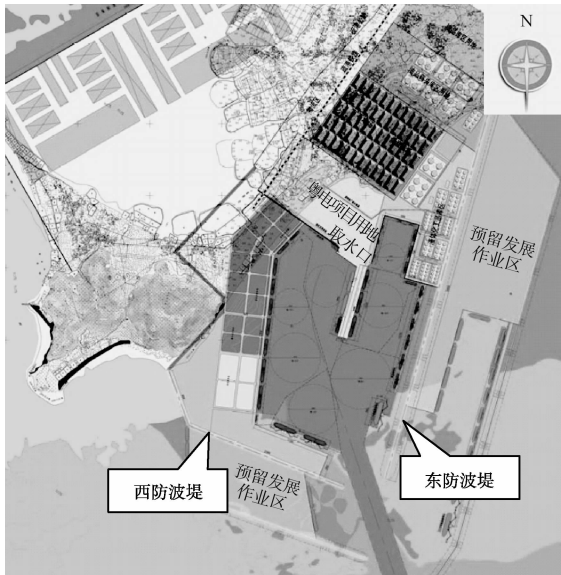


图 1 东、西防波堤位置

#### 1.2 设计条件

##### 1.2.1 水深

由于东、西防波堤向外海延伸较大，工程  
 区域水深向外海增加较快，防波堤轴线从岸一直延

伸至 -15 m 水深处，最深处堤身高度达到 24 m 以  
 上。东、西防波堤有较大部分区域的设计水深在  
 10.0 ~ 15.5 m 等深线处。

##### 1.2.2 设计水位

工程位置设计水位如下：设计高水位 3.20 m；  
 设计低水位 0.26 m；极端高水位 4.34 m；极端低  
 水位 -0.44 m。

##### 1.2.3 波浪条件

根据实测资料统计，工程区域常浪向为 ESE  
 向，出现频率 55.71%；次常浪向 SE 向，出现频  
 率为 31.75%；强浪向为 SE 向，各方向  $H_{1/10} >$   
 $1.5\text{ m}$  的频率为 4.63%，各方向  $H_{1/10} > 2.0\text{ m}$  的频  
 率为 1.28%，各方向  $H_{1/10} > 3.0\text{ m}$  的频率为  
 0.18%，各方向  $H_{1/10} > 4.0\text{ m}$  的频率为 0.05%。  
 波玫瑰图见图 2 所示。

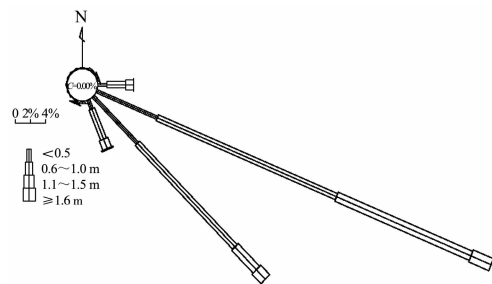


图 2 波玫瑰图

本工程东、西防波堤控制波浪要素分别为  
 E-ESE向、S-SSW 向，为正向浪。重现期为 50 a  
 的设计波浪要素见表 1。

表 1 防波堤设计波要素 (重现期 50 a)

防波堤	波向	周期/s	波高/m	极端高水位/m			设计高水位/m			设计低水位/m		
				$H_{1\%}$	$H_{5\%}$	$H_{13\%}$	$H_{1\%}$	$H_{5\%}$	$H_{13\%}$	$H_{1\%}$	$H_{5\%}$	$H_{13\%}$
东防波堤	E-ESE	11.2	-15	9.7	8.2	7.1	9.3	8.0	6.9	8.9	7.7	6.7
			-13	9.3	7.9	6.9	9.1	7.8	6.8	8.1°	7.5	6.6
			-11	8.9	7.7	6.7	8.5°	7.5	6.6	7.0°	7.0°	6.4
			-9	8.1°	7.4	6.5	7.5°	7.2	6.4	5.8°	5.8°	5.8°
西防波堤	S-SSW	10.6	-13	9.1	7.7	6.7	8.9	7.6	6.6	8.0°	7.3	6.4
			-11	8.7	7.5	6.5	8.5°	7.3	6.4	6.9°	6.9°	6.2
			-9	8.0°	7.2	6.3	7.4°	7.0	6.2	5.8°	5.8°	5.8°
			-7	6.9°	6.9°	6.1	6.3°	6.3°	6.0	4.6°	4.6°	4.6°

##### 1.3 原设计方案

东防波堤轴线与规划码头轴线平行，拟取为  
 $195^{\circ}41'30'' \sim 15^{\circ}41'30''$ ；西防波堤为折线布置形

式，陆侧堤头至 800 m 位置轴线为  $159^{\circ}50'17'' \sim$   
 $339^{\circ}50'17''$ ，在 800 m 长段转向  $132^{\circ}$ ，轴线为  
 $111^{\circ}50'17'' \sim 291^{\circ}50'17''$ 。

东、西防波堤采用抛石斜坡堤结构方案, 对今后回填形成陆域堤段, 根据水深及波浪条件不同, 堤顶高程为 6.0 ~ 9.0 m, 堤顶施工通道宽度为 6 m。堤顶挡浪墙为现浇混凝土结构, 顶高程为 7.0 ~ 12.0 m。在不同堤段堤心石分别采用 1 ~ 100 kg, 1 ~ 300 kg, 1 ~ 800 kg 开山石, 外坡坡度为 1:1.5, 外坡随机安放 5, 11, 20, 25 t 扭王字块体作为护面块体, 其下为不同厚度和规格的垫层块石。内坡坡度为 1:1.5, 内坡在高程 2.0 m 以上采用灌砌块石护面, 厚度不小于 0.8 m, 以下护面采用

300 ~ 500 kg 块石, 厚度为 1.2 m。

对内侧布置码头的堤段, 防波堤的堤顶高程为 10.0 m, 堤顶安放 3 块 25, 30 t 扭王字块体。堤心石采用 1 ~ 800 kg 开山石。外坡坡度为 1:1.5, 外坡随机安放 25, 30 t 扭王字块体作为护面块体。内坡坡度为 1:1.5, 内坡在高程 -1.0 m 处设置 3 m 宽的平台, 平台以上采用 25 t 扭王字块体护面, 平台及其以下护面采用 1 000 ~ 2 000 kg 块石, 厚度为 1.5 m。

东、西防波堤原设计方案典型断面见图 3。

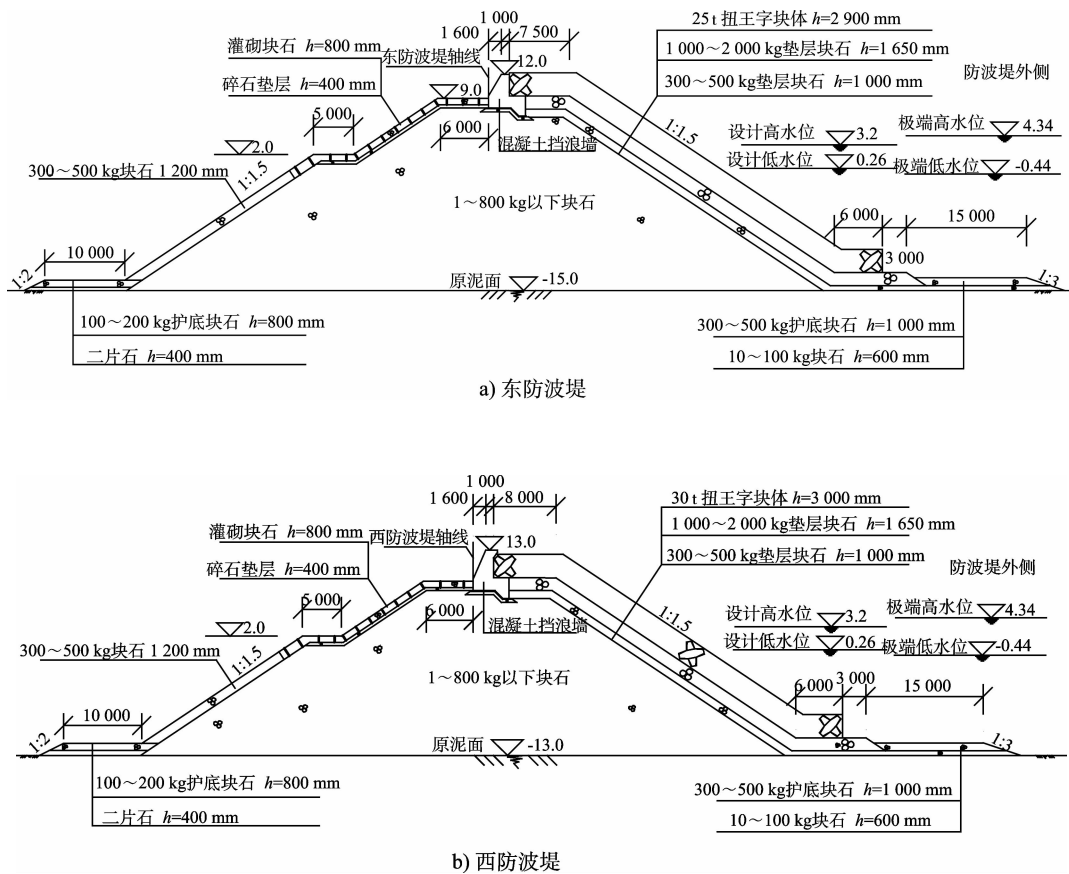


图 3 原设计方案典型断面

## 2 优化设计研究

### 2.1 优化设计方案

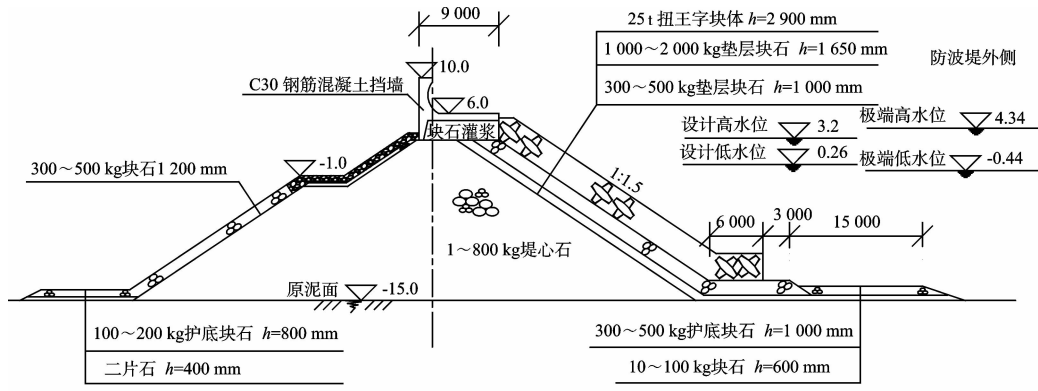
根据斜坡式防波堤创新结构研究成果和一些工程实例, 本工程东、西防波堤堤身结构顶宽以及挡浪墙结构存在优化可能。即采用带减压倒 L 型反弧挡浪墙结构形式可以更好地改善挡浪墙结构受力, 在满足施工通道的同时进一步减小堤顶

宽度、减少堤心石和护面块体数量, 从而降低工程造价。

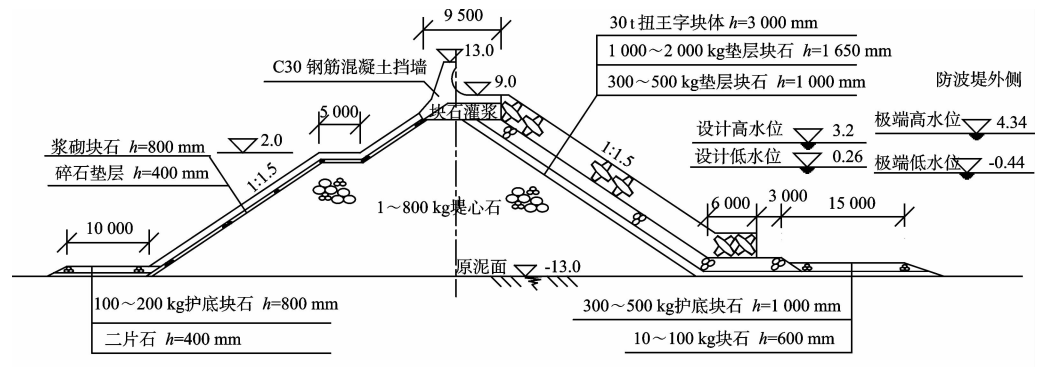
优化设计方案仅改变挡浪墙的结构形式、减小堤顶宽度, 其余设计内容, 如护面块体质量、块石垫层、护脚块石、护底块石、堤心石、内外坡度等, 均与原设计方案保持一致。根据一些工程实例, 优化设计方案挡浪墙结构由两部分组成:

一部分是上部的钢筋混凝土挡墙，另一部分是下方造价较低的块石灌浆。二者可以很好地形成整体，并且块石灌浆块体与堤心石的摩擦系数较混

凝土表面与堤心石的摩擦系数大，可达到 0.8。挡浪墙前不考虑设置扭王字块。优化设计方案断面如图 4 所示。



a) 东防波堤



b) 西防波堤

图 4 优化设计方案断面

原设计方案东、西防波堤典型断面堤顶宽度分别为 16.1, 16.6 m, 优化设计方案断面顶宽分别减少至 9.0, 9.5 m, 减少了 7.1 m, 大幅减小了工程断面, 减少了堤身工程量。

### 2.2 计算结果

优化设计方案断面的挡浪墙稳定、越浪量及整体稳定需满足规范要求。稳定计算时考虑了竖向波压力对倒 L 型反弧挡浪墙墙体稳定的有利作用。根据多次模型试验总结的波压力计算模式如图 5 所示<sup>[2]</sup>。P 为平均波压力强度 (kPa), 按 JTS 145-2—2013 《海港水文规范》(8.2.11-1) 式计算<sup>[3]</sup>。

复核最不利工况下的荷载组合, 东防波堤优化设计断面挡浪墙抗滑、抗倾最小安全系数为 1.56, 1.62, 西防波堤优化设计断面挡浪墙抗滑、抗倾最小安全系数为 1.71, 1.26, 可以

满足规范要求。

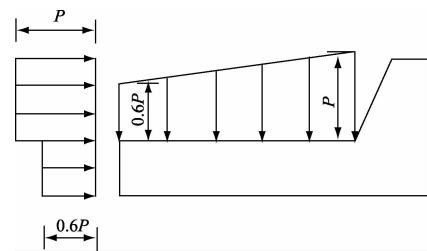


图 5 倒 L 型反弧挡浪墙波压力计算简图

根据 JTS 145-2—2013 《海港水文规范》<sup>[3]</sup> 关于越浪量的计算公式, 优化设计断面越浪量可以满足规范要求, 且由于采取了反弧型的结构形式, 波浪在爬升过程中通过弧型结构反射到外海, 越浪量小于原设计形式。优化设计断面的整体稳定也可以满足规范要求。

### 2.3 工程经验与模型试验

本文为对已有方案的优化设计, 优化设计方案



判断本优化设计断面在护面块体稳定、挡浪墙稳定和越浪量等方面可以满足规范要求，并且反弧形挡浪墙有利于减小越浪量。

3) 防波堤结构是重要的港口建筑物，优化设计断面结构形式在具体项目中可以断面物理模型试验为基础，为工程安全性提供更好的支撑。

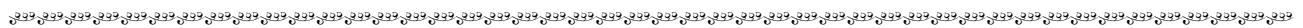
**参考文献:**

[1] 王美茹. 深水防波堤设计方法初探[J]. 港工技术, 2010(3):

(本文编辑 郭雪珍)

1-7, 41.

[2] 牛恩宗, 王玥葳, 马德堂. 防波堤结构的创新[J]. 水运工程, 2009(1): 16-22.  
 [3] JTS 145-2—2013 海港水文规范[S].  
 [4] 大连理工大学. 华能海门电厂码头及防波堤工程防波堤断面物理模型试验研究报告[R]. 大连: 大连理工大学, 2006.



(上接第 42 页)

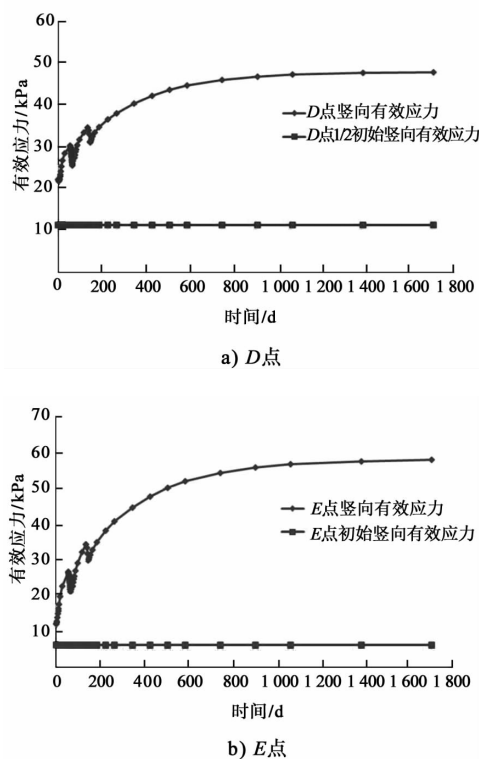


图9 竖向有效应力对比

**3 结论**

本文探讨了 PLAXIS 软件在防波堤稳定计算中的应用。

(本文编辑 郭雪珍)

可以在深厚软土地基上，在不进行软基处理的情况下，精细化计算时间对于地基的固结作用，通过施工顺序的安排，达到使防波堤施工期边坡稳定的目的。同时，分析了孔隙水压力及有效应力随时间的变化以及对防波堤稳定性的影响。

由于地质资料原因，模型采用了摩尔库伦模型。在地质资料完整的情况下，可以采用更优的 H-S 土体硬化模型进行分析。

总之，采用 PLAXIS 进行深厚软基防波堤稳定计算是可行的。对实际工程计算具有指导意义。

**参考文献:**

[1] 蒋鑫, 邱延峻, 凌建明. 强度折减法软件在评价边坡稳定性上之比较[J]. 地下空间与工程学报, 2008, 4(2): 302-309.  
 [2] EN-1997—1 Eurocode7 Geotechnical design-part 1: general rules [S].  
 [3] 王桂林. Eurocode7 直接法中极限状态三种分项系数组合的选择[J]. 建筑结构, 2011, 41(3): 83-87.