



斜坡式护岸结构优化设计

张弛, 牛恩宗, 齐彦博, 张鑫

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 相对于传统的斜坡式护岸结构形式, 优化的倒L型胸墙窄体护岸结构可以减少工程量, 进而大幅降低工程造价。提供了两个案例, 在波浪力和越浪量方面进行了计算和分析对比, 同时经物理模型试验证明, 优化方案在结构安全等方面都可以满足规范和使用要求, 供类似工程参考。

关键词: 倒L胸墙窄体护岸结构; 结构优化; 越浪量

中图分类号: U 656.31

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)05-0067-05

Optimization design of sloping revetment structure

ZHANG Chi, NIU En-zong, QI Yan-bo, ZHANG Xin

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

Abstract: Compared with the traditional slope revetment structure, the optimized inverted-L breast wall narrow-body revetment structure can reduce the engineering volume and save the engineering cost significantly. Two schemes are calculated and analyzed in the wave force and wave overtopping. By the physical model test, the optimized scheme can meet the requirements of the code and utilization in structure safety and overtopping, and thus may serve reference for the similar engineering.

Keywords: inverted-L breast wall narrow-body revetment structure; structure optimization; wave overtopping

在许多港口工程中, 护岸是在海中填筑防波堤, 然后堤后回填或吹填砂或土, 海中建防波堤最常见的是斜坡式结构, 它的主要优点是结构简单、施工方便、适用于不同地基, 缺点是材料消耗大, 随着水深的增加, 材料消耗量很快增加。

常见斜坡堤结构形式体型均较大, 针对斜坡堤材料消耗大的缺点, 在设计过程中, 牛恩宗等^[1]提出了倒L胸墙窄体防波堤结构, 随后李元青^[2]、李玉龙^[3]、宋军营等^[4]做了相关研究, 在黄骅、青岛董家口、汕头等地成功应用, 项目实施至今效果良好。

1 案例1^[5]

1.1 原设计方案

工程位于北方某港, 为某综合型执法码头配套工程, 外护岸总长1 170 m。

工程外护岸控制波浪要素为S (SSE) 向, 为正向浪, 重现期50 a的设计波浪要素见表1。

表1 防波堤设计波浪要素 (重现期50 a)

设计水位	波要素			
	$H_{1\%}$ /m	$H_{5\%}$ /m	$H_{13\%}$ /m	\bar{T} /s
极端高水位	4.2	3.6	3.1	
设计高水位	3.6*	3.4	3.0	7.0
设计低水位		2.7*		

注: *表示破碎波。

收稿日期: 2014-08-12

作者简介: 张弛 (1984—), 男, 硕士, 工程师, 注册土木工程师, 从事水运工程咨询与设计工作。

原设计方案为常规带挡浪墙的斜坡式断面，堤身采用水上抛填 10~300 kg 块石，外侧护面采用 3 t 扭王字块体，下侧为 150~300 kg 垫层块石，为了防止波浪底流速对坡底的冲刷，堤脚处铺设

碎石垫层和 100~150 kg 护底石；堤的内侧为二片石垫层、土工布和碎石倒滤层，堤顶设挡浪墙，挡浪墙顶高程为 6.1 m/5.8 m，挡浪墙前安放 2 块 3 t 扭王字块体，结构断面见图 1。

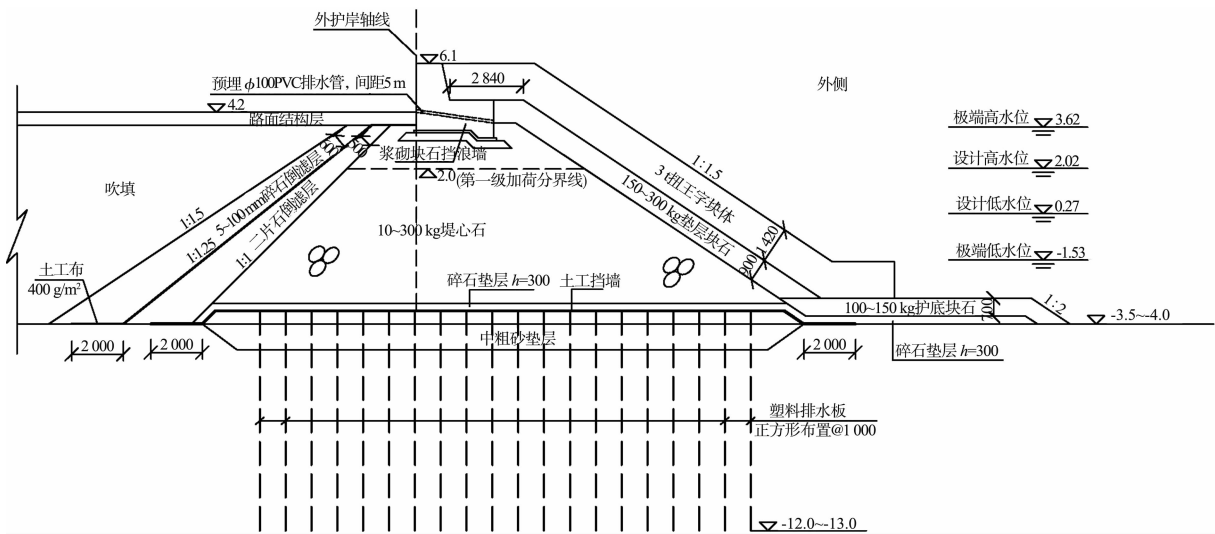


图1 原护岸结构断面 (高程: m, 尺寸: mm, 下同)

1.2 结构优化设计

1.2.1 结构方案

优化设计方案结构 (图 2) 由堤心石、块石灌浆、钢筋混凝土挡墙及护面块体、垫层块石、护底块石等组成，本方案有以下几个优点：1) 降

低了堤顶高程，由 6.1 m 降为 5.3 m，减少了堤心石和护面块体等的工程量，降低了工程造价；2) 弧形挡浪墙结构可以有效减少波浪的越浪量；3) 在挡浪墙内布置排气孔，可以有效减少波浪浮托力，增加挡浪墙稳定性。

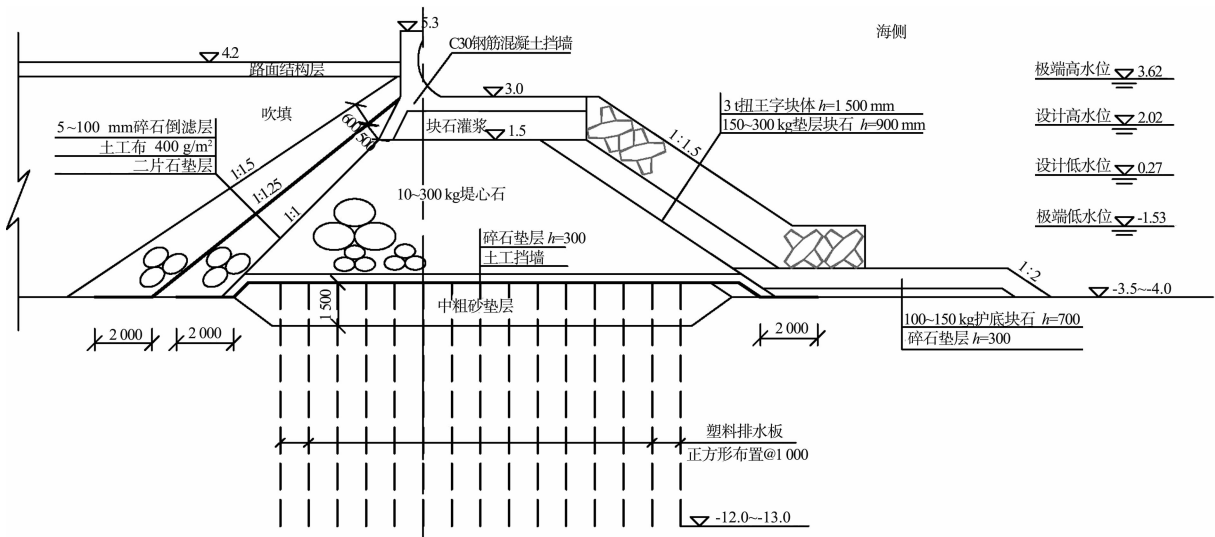


图2 优化方案结构断面

1.2.2 经验公式计算

稳定计算时考虑了水平波压力、浮托力、竖向波压力、墙后被动土压力等。挡浪墙波浪力作用见

图 3，充分利用了竖向波压力对挡浪墙的稳定作用。图中 P 为平均波压力强度，根据 JTS 145-2—2013 《海港水文规范》^[6] 8.2.11 计算。

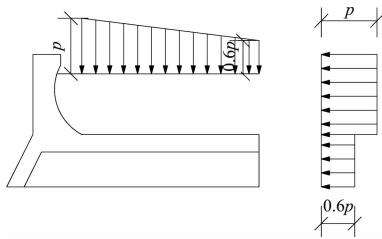


图 3 挡浪墙波压力经验计算简图

挡浪墙与块石灌浆二者可以形成一个整体, 而块石灌浆与堤心石之间的摩擦系数可以达到 0.8, 有利于挡浪墙的稳定。

计算结果显示, 挡浪墙抗滑、抗倾稳定抗效比均大于等于 1.1, 超过规范要求。

1.2.3 物理模型试验

断面物理模型试验在中交天津港湾工程研究院有限公司的大型不规则波试验水槽中进行 (图 4), 试验结论如下:

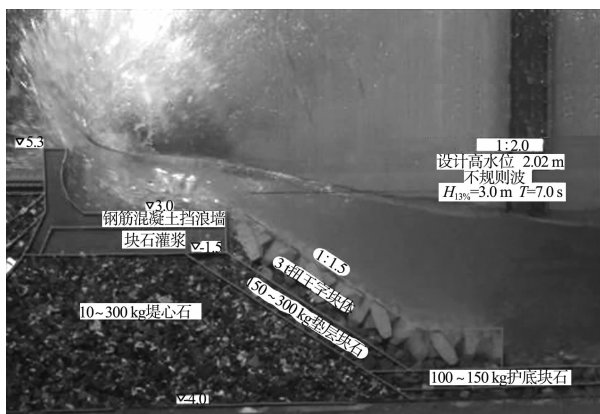


图 4 优化断面物理模型

1) 优化断面在极端高水位 3.62 m、50 a 一遇 $H_{13\%} = 3.1$ m 的不规则波作用下, 块体护面处于稳定状态, 挡浪墙无位移。

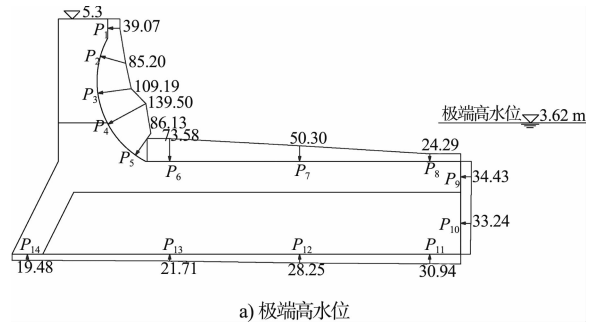
在设计高水位 2.02 m、50 a 一遇 $H_{13\%} = 3.0$ m 的不规则波作用下, 挡浪墙、3 t 扭王字块体均处于稳定状态。

2) 挡浪墙波浪力试验。

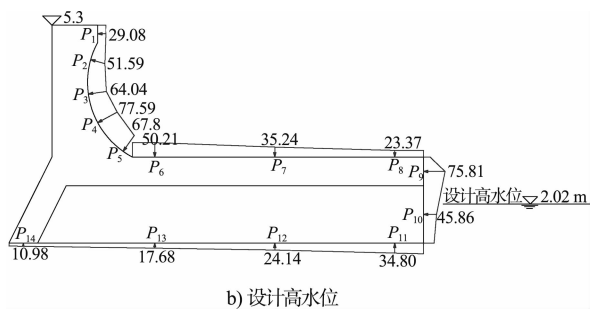
在极端高水位 3.62 m 和设计高水位 2.02 m 相应的不规则波作用下, 量测了挡浪墙与块石灌浆体所受的波浪力, 各测点波浪力分布见图 5。

从图 5 中可以看出, 结构稳定控制波浪力分布图与经验计算简图基本相符。极端高水位时,

最大压强出现在 4#测点处。设计高水位时, 最大压强出现在 9#测点处。最大压强出现在水位附近。挡浪墙圆弧段相对直立式墙, 圆弧处产生局部冲击压强更大, 一般冲击压强最大值就出现在圆弧处^[3]。在方案实施时应注意加强圆弧段的结构强度。



a) 极端高水位



b) 设计高水位

图 5 挡浪墙波浪力分布 (单位: kN)

试验值与理论计算值比较见表 2。从表 2 可以看出, 竖向波压力相差不大, 但是水平波浪力和浮托力试验值偏大。

表 2 挡浪墙波浪力比较

类别	水位	波浪力/kN		
		水平波浪力	竖向波压力	浮托力
计算值	极端高水位	196.3	232.3	112.4
	设计高水位	73.0	179.2	86.7
试验值 (不规则波)	极端高水位	249.7	249.3	177.4
	设计高水位	208.7	182.6	156.3

1.3 越浪量

1.3.1 物理模型试验

越浪量允许值见表 3。本工程在断面物理模型试验中, 验证挡浪墙稳定性的同时实测了挡浪墙顶的平均越浪量, 给出了不同水位、不同顶高程下的越浪量, 结果见表 4。在设计高水位、顶高程 5.3 m 时, 越浪量为 $0.038 \text{ m}^3 / (\text{m} \cdot \text{s})$, 满足护岸允许越浪量 $0.05 \text{ m}^3 / (\text{m} \cdot \text{s})$ 的标准。

表3 越浪量允许值

海堤表面防护	允许越浪量/($m^3 \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$)
海堤有保护,背海测为生长良好的草地	≤ 0.02
堤顶三面均有保护	≤ 0.05

1.3.2 规范公式计算

计算依据 JTS 145-2—2013 《海港水文规范》^[6] 8.2.4.3 条斜坡堤顶有胸墙时计算。计算结果见表4。从表中可以看出,规范公式计算值相比试验值有较大差异。所以在工程方案确定以前,必须经过物理模型试验验证。

由于越浪是十分复杂的物理现象,加之对其认识的局限性及模拟手段尚不完备,如波浪的破碎形态、模型的比尺效应、波浪的波群强度对越浪量均会产生影响。

实际工程中,越浪量可能达不到这么大,由二

维试验得到的结果常高估了越浪量^[7]。

表4 越浪量比较

波向	水位	波高 H/m	挡浪墙顶 高程/m	越浪量/($m^3 \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$)	
				试验值	理论计算值
S(SSE)	极端高水位	3.1	5.3	0.291	0.034
	设计高水位	3.0	5.3	0.038	0.016
	设计高水位	3.0	5.0	0.068	0.021
SW(SSW)	极端高水位	2.2	5.3	0.075	0.013
	设计高水位	2.1	5.3	0.004	0.001

注:越浪量允许值应按设计高水位计量。

2 案例2^[8]

2.1 原设计方案

工程为黄骅某电厂护岸工程,原设计方案为纯斜坡堤断面,由10~100 kg 堤心石、浆砌块石挡墙、栅栏板护面、护底块石等组成,堤顶高程12.5 m,结构断面见图6。

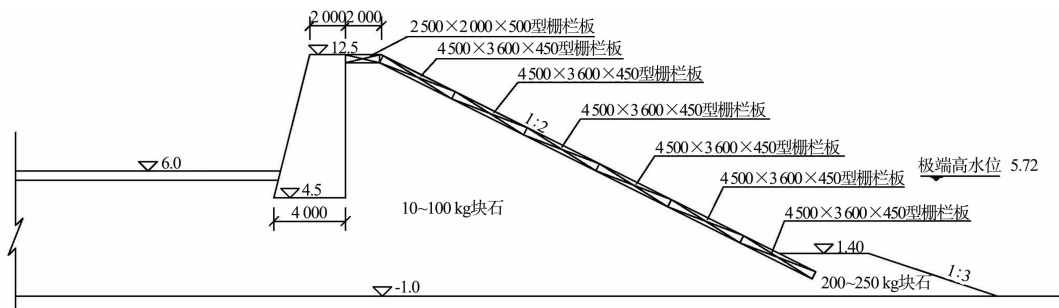


图6 原护岸结构断面

2.2 优化方案

优化设计方案为弧形挡浪墙斜坡堤结构(图7),

堤顶高程为10.0 m,在高程3.5 m处设置肩台,宽3.25 m。

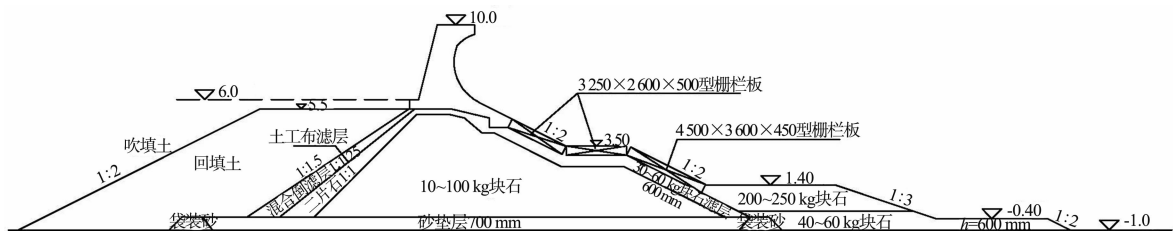


图7 优化方案结构断面

2.3 物理模型试验

断面物理模型试验在天津港湾工程研究所大型不规则波试验水槽中进行,试验对弧形挡浪墙斜坡堤方案做了挡浪墙稳定性验证和越浪量量测,同时量测了挡浪墙不同位置处的波浪力。

1) 挡浪墙稳定性验证。

试验证明堤顶高程在11.0、10.5、10.0、9.5 m

时,挡浪墙与二片石垫层用水泥砂浆浇注后,均处于稳定状态。

2) 挡浪墙点压力试验。

从图8中可以看出,在极端高水位时,最大波压力出现在圆弧的顶端,随着水位的下降,在设计高水位时,最大波压力出现在圆弧的中部。

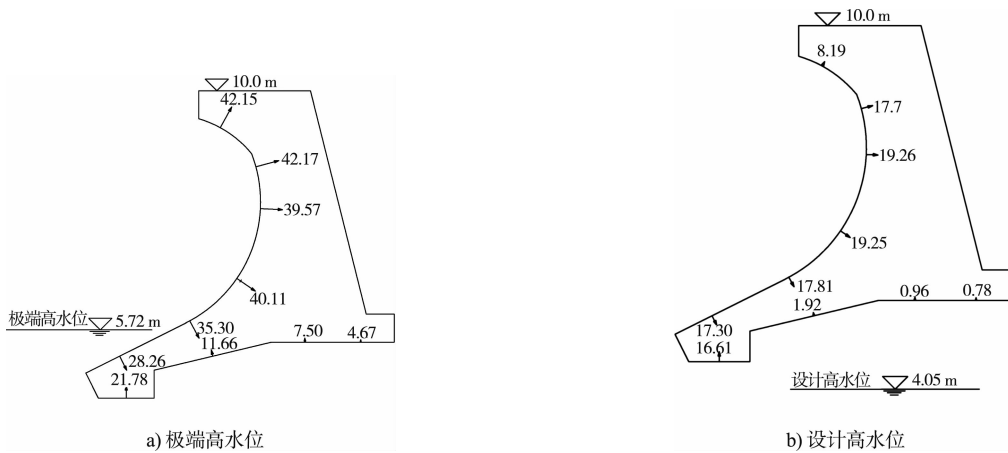


图 8 挡浪墙波浪力分布 (单位: kN)

2.4 越浪量

试验结果表明, 优化设计方案中, 当波浪冲击挡浪墙后, 沿坡面爬升的水体被圆弧挡浪墙反卷回海侧, 圆弧型挡浪墙的防浪效果显著。优化方案挡

浪墙顶高程 10.0 m 时的越浪量 $0.001\ 16\ \text{m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$ 仍小于原方案挡浪墙顶高程 12.5 m 时越浪量 $0.005\ 65\ \text{m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$, 堤顶高程降低了 2.5 m, 大幅度减少了工程造价。

表 5 越浪量比较

水位	波高 $H_{13\%}/\text{m}$	纯斜坡堤方案		优化设计方案	
		挡浪墙顶高程/m	试验值/ $(\text{m}^3\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1})$	挡浪墙顶高程/m	试验值/ $(\text{m}^3\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1})$
100 a 一遇 高潮位 5.94 m	3.50	12.5	0.005 65	10.0	0.001 16
极端高水位 5.72 m	3.50	15.0	0.000 19	10.5	0.000 65
极端高水位 5.72 m	3.38	12.5	0.003 65	10.0	0.000 25

4 结语

1) 案例 1 倒 L 胸墙窄体防波堤结构相比原设计方案减少了工程量, 经计算, 每延米造价由 4.24 万元降为 3.47 万元, 降低造价约 18%, 符合实际情况。案例 2 的挡浪墙顶高程降低 2.5 m, 大幅度降低工程造价。

2) 经断面物理模型试验验证, 优化方案挡浪墙与下方灌浆块石或二片石垫层浇筑成一个整体后结构处于稳定状态。在条件允许的地方可以推广应用。

3) 案例 1 的越浪量试验值满足规范要求, 案例 2 优化方案的越浪量明显减少。从试验结果可以看出, 案例 1 的规范公式计算值相比试验值有较大差异。所以在工程方案确定以前, 必须经过物理模型试验验证。

程, 2009(1): 16-22.

[2] 李元青, 李新国, 张鑫. 董家口防波堤结构设计创新与研究[J]. 水运工程, 2011(9): 123-127.

[3] 李玉龙. 不同掩护程度弧形胸墙波压力及越浪量试验研究[J]. 海岸工程, 2010(6): 17-22.

[4] 宋军营, 宋继浩, 齐彦博. 某斜坡式防波堤工程优化设计[J]. 水运工程, 2014(4): 57-62.

[5] 中交天津港湾工程研究院有限公司. 中国海监唐山维权执法基地建设项目护岸断面物理模型试验[R]. 天津: 中交天津港湾工程研究院有限公司, 2014.

[6] JTS 145-2—2013 海港水文规范[S].

[7] 俞聿修. 防波堤设计和越浪量[J]. 港工技术, 1997(2): 1-6.

[5] 中交天津港湾工程研究院有限公司. 中国海监唐山维权执法基地建设项目护岸断面物理模型试验[R]. 天津: 中交天津港湾工程研究院有限公司, 2014.

[8] 天津港湾工程研究所. 黄骅发电厂护岸工程断面物理模型试验报告[R]. 天津: 天津港湾工程研究所, 2002.

参考文献:

[1] 牛恩宗, 王玥葳, 马德堂. 防波堤结构的创新[J]. 水运工

(本文编辑 武亚庆)