

某护岸结构破坏原因分析及修复设计

荣传亚¹, 郭恒文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. 中交天津航道局有限公司, 天津 300461)

摘要: 通过物理模型试验, 研究某护岸前部开挖港池对护岸稳定的影响。结果表明: 港池开挖前后, 6 t 扭王字块体和胸墙均失稳, 胸墙后部冲刷严重, 堤脚附近波高增减幅度约 2%, 胸墙后越浪量增减幅度约 9%。开挖港池后护底块石轻微变形, 但不是引起护岸破坏的直接原因。护岸破坏的直接原因是胸墙顶高程偏低, 越浪水体在胸墙后产生较大冲刷坑, 引起胸墙失稳, 从而导致护岸结构破坏。综合考虑护岸、码头和取水口头部的关系, 得出了护岸修复断面图, 经过物理模型试验的验证, 修复断面安全可靠, 并已应用于工程实践。

关键词: 港池开挖; 护岸破坏; 物模试验; 修复设计

中图分类号: U 656.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)01-0104-06

Cause of structural damage and repair design of revetment

RONG Chuan-ya¹, GUO Heng-wen²

(1. CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510230, China; 2. CCCC Tianjin Dredging Co., Ltd., Tianjin 300461, China)

Abstract: This paper analyzes the influence of harbor basin excavation near revetment on the stability of revetment based on the physical model test. The results show that: before and after the excavation of the harbor basin, 6 t Chinese accropode and breast wall are instable, the back of the breast wall scours seriously, the wave height increases or decreases about 2% near the toe, the overtopping volume increases or decreases about 9% behind the breast wall. The toe protection stone has slight deformation after excavation, but it is not the direct reason for the revetment damage. The direct reason is the low elevation at the top of the breast wall. Overtopping generates a large scour pit which leads to the instability of the breast wall and the revetment structure damage. The repair section drawing is obtained according to the comprehensive consideration of the revetment, wharf and the intake head. The repair section is confirmed safe and reliable by the physical model test, and it has already applied to the engineering practice.

Keywords: excavation of the harbor basin; revetment damage; physical model test; repair design

1 工程概况

某已建护岸位于海南省儋州市, 护岸东侧为后方陆域, 西侧拟建 2 个液体化工泊位, 护岸前沿到规划码头前沿线的距离为 53.3 m。总平面布置如图 1 所示。

护岸为抛石斜坡堤结构, 海床原泥面坡度为 1:15 ~ 1:25, 护面坡度 1:1.5, 采用 6 t 扭王字块体护面, 护面块体下采用 200 ~ 400 kg 垫层块石, 堤脚采用 100 ~ 200 kg 抛石护底, 护底宽度为 5 m, 堤

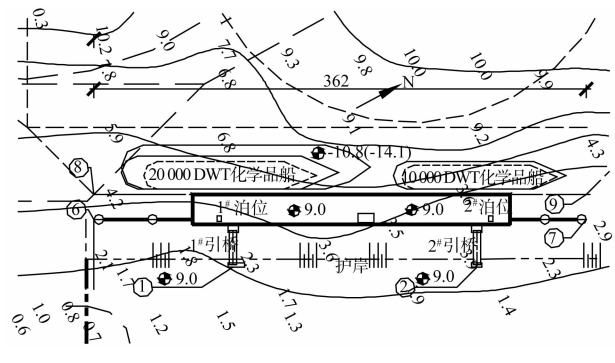


图 1 总平面布置

收稿日期: 2014-04-21

作者简介: 荣传亚 (1986—), 男, 硕士, 工程师, 从事港口工程结构设计工作。

顶设置削角混凝土防浪胸墙, 顶高程为 6.8 m, 胸墙后采用 100~300 kg 块石保护, 宽度为 15 m, 厚度为 70 cm。护岸前部港池底高程为 -14.1 m, 横

向已开挖的宽度为 30 m, 前、后分别采用 1:3 及 1:2 斜坡与两侧连接 (图 2)。

50 a 一遇护岸设计波浪要素见表 1。

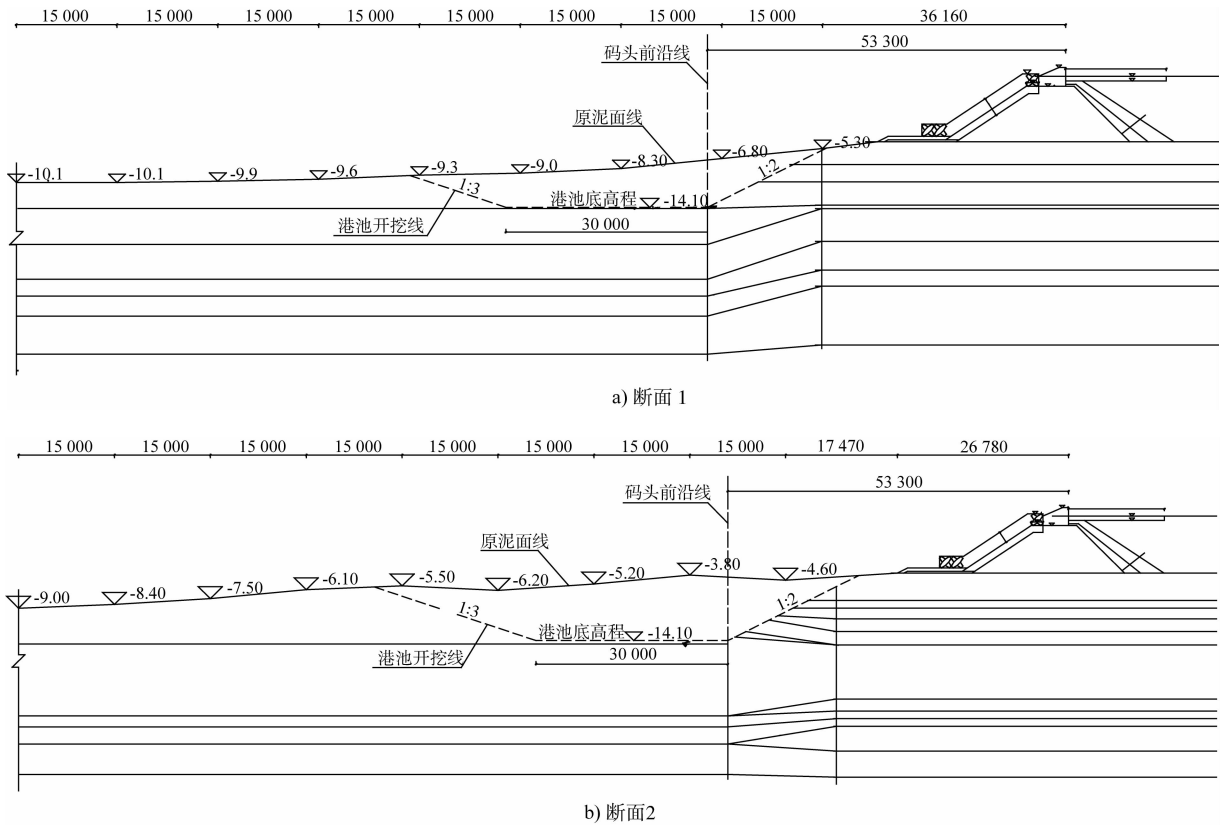


图 2 原护岸及开挖断面

表 1 护岸设计波浪要素 (50 a 一遇)

护岸	设计水位	水位/m	$H_{1\%}$ /m	$H_{4\%}$ /m	$H_{5\%}$ /m	$H_{13\%}$ /m	H /m	T /s	L /m
原护岸	极端高水位	5.07	5.09*	5.09*		4.84	3.68	9.0	70.5
	设计高水位	3.45	3.92*	3.92*		3.92*	3.04	9.0	62.8
	设计低水位	0.54	1.83*	1.83*		1.83*	1.42	9.0	44.0
建码头后护岸	极端高水位	5.27	7.13	6.22	6.05	5.22	3.50	9.3	108.7
	设计高水位	3.64	7.00	6.13	5.97	5.18	3.50	9.3	103.4
	设计低水位	0.69	6.47	5.73	5.59	4.90	3.40	9.3	96.2
	极端低水位	-0.40	6.28	5.60	5.47	4.83	3.40	9.3	93.2

注: * 表示破碎波高。

开挖尚未完成就遭受到强台风“纳沙”的袭击, 护岸结构产生不同程度的破坏, 主要表现在以下几个方面: 扭王字块体失稳, 部分块体翻过堤顶; 胸墙断裂、沉降、前倾、后仰, 底部发生淘刷, 但水平位移较小; 堤后冲刷严重, 形成较深冲刷沟, 但是护岸结构未发生整体滑坡破坏。护岸北侧 100 m 左右长度范围内并未开挖, 但是护岸破坏程度同上。图 3 为台风前后护岸情况。



a) 台风前(未损坏)



b) 台风后(已损坏)

图3 台风前后护岸

为分析港池开挖对护岸的影响,研究护岸结构破坏的直接原因,同时为护岸修复设计提供参考,本文选取2个典型断面开展波浪物理模型试验。

2 原护岸断面物理模型试验^[1]

2.1 港池开挖对堤前波高的影响

港池开挖前,在波浪传播过程中,波能逐步集中,沿程波高变大直至破碎,随着波浪破碎加剧,沿程波高逐渐减小。

港池开挖后,由于受迎浪侧边坡反射影响,在背浪侧边坡坡顶处波高明显增大,波浪进入开挖区域,随着水深变大,波能扩散,波高逐步减小,波浪传播至迎浪坡时,再次发生波能集中,沿程波高逐步增大,直至波浪发生破碎。尽管在开挖30 m区域内波高变化较大,但在堤脚附近波高变化很小,增减幅度在2%以内(表2)。

表2 堤脚处波高变化

位置	水位/m	入射有效波高 $H_{13\%}$ /m	实测有效波高 $H_{13\%}$ /m		增减 幅度/%
			开挖前	开挖后	
断面1	5.07	4.84	4.58	4.61	0.7
	5.27	5.22	4.81	4.90	1.9
断面2	5.07	4.84	5.00	4.91	-1.8
	5.27	5.22	5.55	5.48	-1.3

2.2 港池开挖对越浪量的影响

港池开挖引起的越浪量小幅增减,但增减幅度较小,约9%,对堤后冲刷没有产生大的变化(表3)。

表3 越浪量变化

位置	水位/m	入射有效波高 $H_{13\%}$ /m	实测越浪量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)		增减 幅度/%
			开挖前	开挖后	
断面1	5.07	4.84	0.80	0.74	-7.5
	5.27	5.22	0.98	0.96	-2.0
断面2	5.07	4.84	0.93	1.01	8.6
	5.27	5.22	1.28	1.29	0.8

2.3 港池开挖对胸墙的影响

波浪作用初期胸墙轻微震动,未见位移,但胸墙后方15 m范围内100~300 kg块石发生严重冲刷,波浪相当于原型0.5 h作用下,坑的最深处约为2.0 m,3 h作用后,坑的最深处约为2.5 m,胸墙失稳。

港池开挖后:胸墙后方回填块石的冲刷范围和深度与开挖前基本相同,胸墙也失稳(图4)。

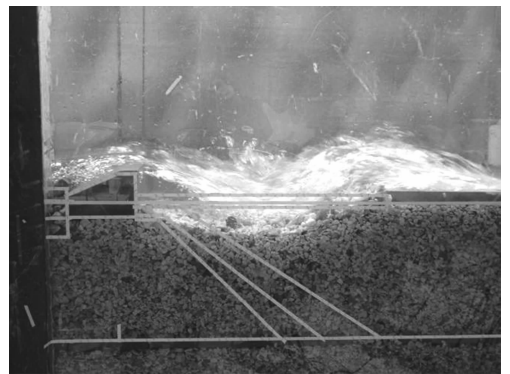


图4 胸墙后部越浪冲刷

2.4 港池开挖对护面块体的影响

港池开挖前:在设计潮位及相应波浪作用下,坡肩块体晃动明显,经过波浪相当于原型3 h作用后,坡面上部块体下滑,坡肩处出现约半倍块体宽度的缝隙,局部露出垫层块石,但未见护面块体翻滚;护底平铺扭王字块体1个滚落。6 t扭王字块体不能满足稳定要求。

港池开挖后:坡肩块体稳定情况和港池开挖前基本相同,但护底平铺扭王字块体滚落数增加至4个。

2.5 港池开挖对护底块石的影响

港池开挖前,在设计潮位及相应波浪作用下,护底块石个别滚动,少量晃动,未见护底变形。

港池开挖后, 护底块石少量滚动, 少量晃动, 个别块石被带至扭王块体上, 个别滚落至港池, 护底轻微变形。港池开挖会引起波浪底部流速变化, 波谷作用时, 堤脚下泄水体流速变大, 对坡脚和护底块石的稳定有一定影响, 对护岸上部结构影响很小, 未引起护面块体的整体下滑。

3 护岸修复设计

3.1 修复设计的原则

码头前沿线为规划线, 挡浪墙后沿线为陆域边线, 二者之间的距离为 53.3 m, 断面横向可供设计的空间比较小, 还要考虑护岸、码头和取水箱涵的协调性。码头前沿港池底高程为 -14.1 m, 挡墙后方陆域高程为 6.2 m, 二者高差比较大。由于原护岸堤心基本没有破坏, 清理完表层废弃的扭王字块体后应该尽量减少开挖, 缩短工期, 降低对边坡整体稳定的影响。

3.2 堤脚和肩台的设计

斜坡堤堤脚有 2 种形式: 第一种是在底部平铺 2~3 块护面块体用于顶住斜坡上的块体, 块体前设置护底块石; 第二种是在底部设置抛石棱体顶住上面的块体。由于后者断面上比较节省空间, 并且高程 -14.1 m 以下为坚硬黏土, 粘聚力 $C = 96.4 \text{ kPa}$, 摩擦角为 24.8° , 标贯达到 50 击, 可以不用设置护底块石。所以堤脚做成一个抛石棱体, 棱体外坡坡度为 1:1.5, 棱体顶高程为 8.0, 宽度为 3.0 m, 满足顶高程需设置在设计低水位下至少 1 倍波高处的要求。在码头后沿线和挡墙后沿线的中间泥面高程大约为 2.5 m (图 5 中虚线), 如果采用一坡到底的断面形式, 开挖量比较大, 施工期边坡稳定也难以保证; 结合台风后的地形, 为了减少开挖, 在设计高水位附近高程 3.5 m 处做一个肩台, 肩台上摆放 3 块护面块体, 肩台宽度 6.34 m, 满足规范的要求。

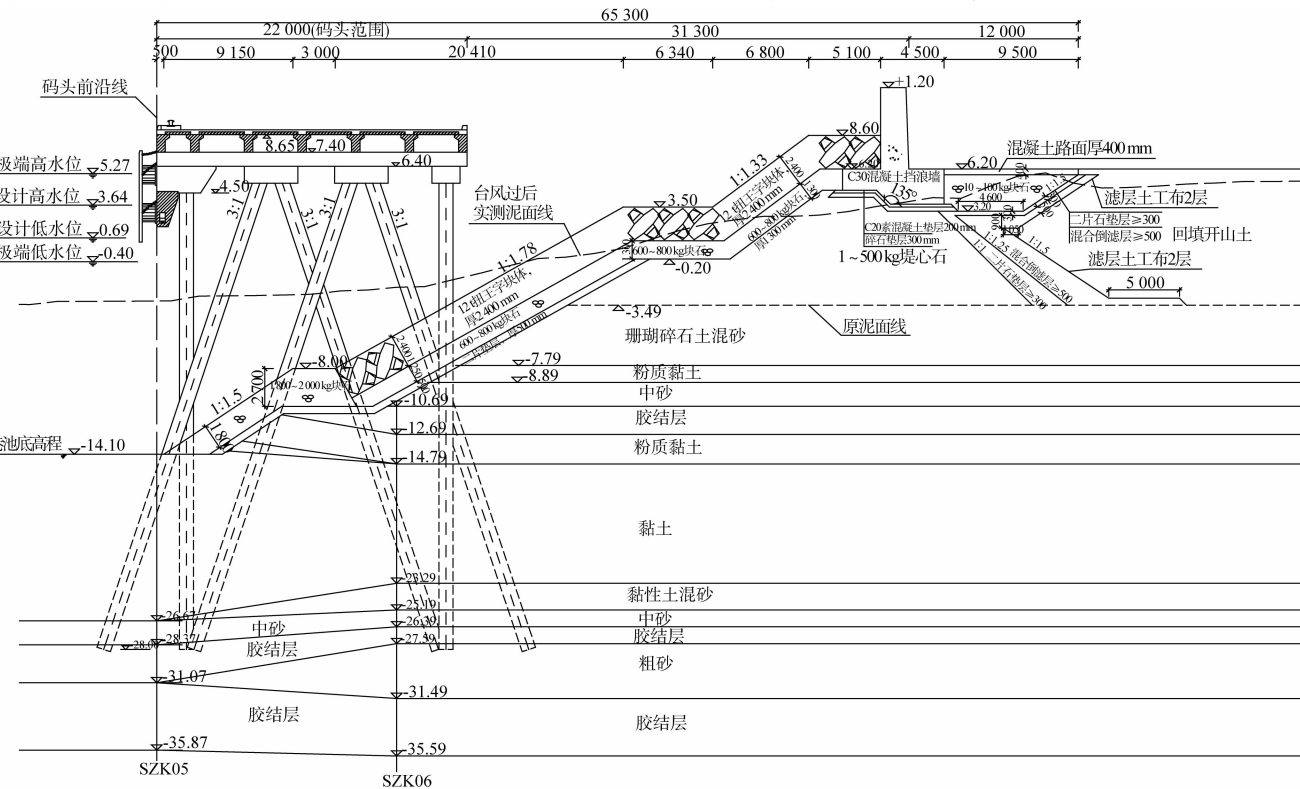


图 5 护岸修复断面

3.3 堤身坡度的设计

高程 3.5 m 肩台以上的坡度初步采用 1:1.5, 有取水口的地方需要取水箱涵挡住后面的扭王块体, 但是扭王块超出取水箱涵顶部的部分太多, 难以保

持稳定, 所以把坡度修改为 1:1.33, 保证箱涵后面水平段有一块扭王顶住坡面上的块体 (图 6)。高程 3.5 m 处肩台外侧点与堤脚抛石棱体 -8.0 处肩台的内侧点相连接形成坡面, 经计算坡度为 1:1.78。

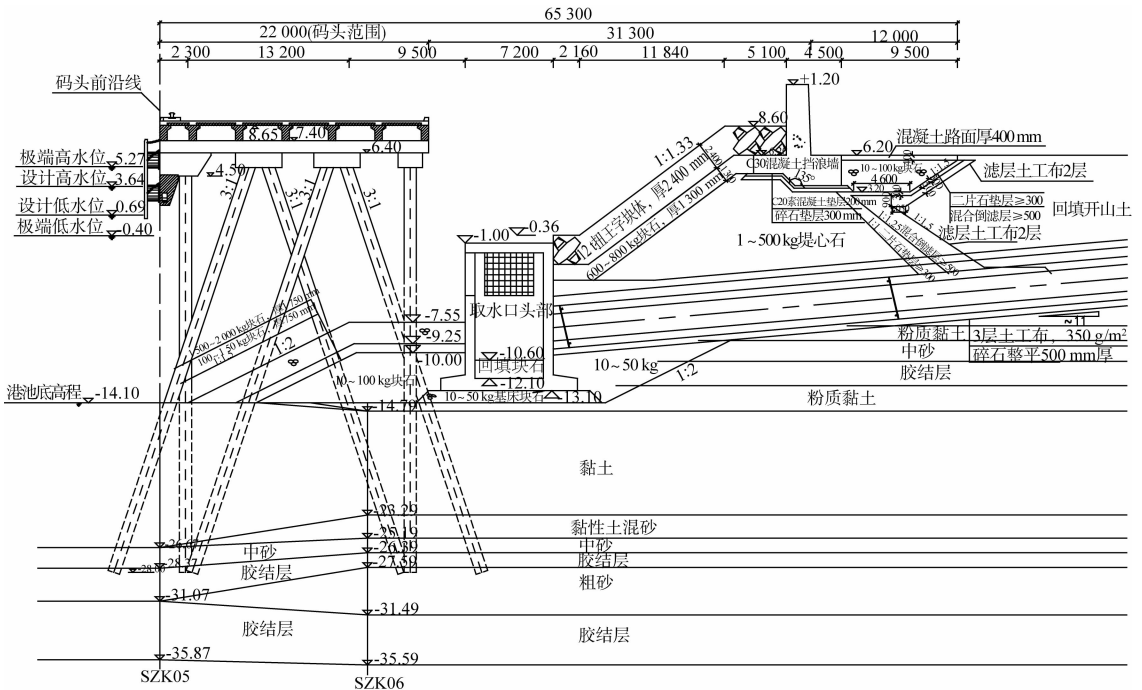


图6 取水口处护岸断面

3.4 护面块体和抛石棱体质量的确定

极端高水位时水深 $d = 19.37$ m, 平均波高 $H = 3.5$ m, $H/d = 0.18$ (< 0.3)。根据 JTS 145-2—2013《海港水文规范》第 4.1.3 条, 波高累积频率采用 5%, 护面块体稳定性计算设计波高 $H = 6.05$ m, 计算坡度采用 1:1.33, 根据 JTS 154-1—2011《防波堤设计与施工规范》计算得扭王块体稳定质量为 11.1 t, 为了施工的便利, 减少构件种类, 坡面上只摆放一种块体, 综合考虑采用 12 t 扭王字块体, 垫层块石采用 600~800 kg 块石, 肩台以下垫层块石下设置二片石垫层, 堤脚抛石棱体采用 1.8~2.0 t 块石。

3.5 挡浪墙顶高程确定

考虑工程区域波高较大, 波长较长, 按波浪爬高确定挡浪墙的顶高程比较合适。经计算, 极端高水位波浪爬高 7.36 m, 爬高最大高程为 12.63 m; 设计高水位波浪爬高 7.28 m, 爬高最大高程为 10.92 m。考虑到原护岸破坏的主要原因是挡浪墙顶高程较低, 越浪量较大, 所以修复设计应该尽量抬高挡墙的顶高程, 减少越浪。初定挡浪墙顶高程为 11.0 m, 但是理论计算显示挡浪墙抗滑稳定不满足要求, 物模试验结果也显示挡墙有向后的位移。由于在极端高水位下挡墙 6.2 m 高程以下部分主要是浮重度, 所以在底部增加挡

墙的宽度或者厚度对抗滑稳定性的增强没有明显效果, 经过计算对比确定挡墙顶高程提高为 12.0 m, 既可以减少越浪又可以增加抗滑稳定性。

4 修复设计断面物理模型试验

4.1 试验仪器及试验方法

修复断面物理模型试验在中交天津港湾工程研究院的无反射造波机试验水槽中进行(图7)。水槽的长、宽、高分别为 68.0、1.0、1.6 m。造波机系统由造波板、伺服电机、造波机控制器、计算机控制系统和数据采集、分析系统组成。可以模拟规则波和 5 种不同谱型以及双峰谱和任意谱的不规则波, 还可以模拟斯托克斯波、椭圆余弦波、孤立波、过渡波、海啸波等特殊形式的非线性波, 以及天然波列和波群。试验波浪要素采用表 2 中波浪要素。由计算机自动迭代计算在水槽中产生所需的波列。实测谱和期望谱有效波高误差控制在 $\pm 5\%$ 以内。波谱周期控制在 $\pm 3\%$ 以内。波高采用电容式波高仪量测, 越浪量采用集水称重法量测。试验采用不规则波, 按正态重力相似准则设模型, 模型的长度比尺为 $\lambda = 32$ 。每组试验重复 3 次, 波浪采集后处理取其均值作为试验值。结构稳定试验时, 波浪连续作用相当于原型 3 h。护面块体跳出超过半倍块体厚度视为失

稳, 防浪胸墙后退或倾斜视为失稳。

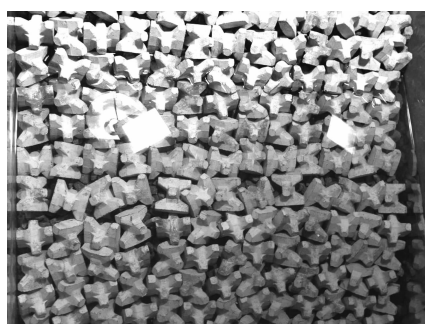


图7 修复断面试验

4.2 试验结果及分析

4.2.1 极端高水位

护岸挡浪墙稳定, 8.6 m 高程肩台附近的坡面最上部一排 12 t 扭王字块体中有个别块体随波浪轻微晃动; 3.5 m 高程肩台最外侧一排块体中有个别块体随波浪晃动; 坡脚 1.8 ~ 2.0 t 抛石棱体稳定; 胸墙后混凝土路面稳定。有少部分波浪越过堤顶。最大越浪掺气水体厚度约为 2.67 m, 越浪水体泼落在混凝土路面上, 水体最远泼落至距胸墙前沿约 9.8 m 处。实测堤顶越浪量为 $0.0291 \text{ m}^3 / (\text{m} \cdot \text{s})$ 。

4.2.2 设计高水位

护岸的挡浪墙稳定, 3.5 m 高程肩台最外侧一排扭王字块体中有个别块体随波浪晃动; 坡脚 1.8 ~ 2.0 t 抛石棱体稳定; 胸墙后混凝土路面稳定。波浪作用 2.5 h (原型) 后, 3.5 m 高程护面戽台肩角处的块体间有扒缝现象, 最大扒缝宽度约为 1/5 块体宽。有少数大浪越过堤顶, 最大越浪掺气水体厚度约为 1.31 m, 越浪水体泼落在混凝土路面上。实测堤顶越浪量为 $0.008 \text{ m}^3 / (\text{m} \cdot \text{s})$ 。

4.2.3 设计低水位

护岸 3.5 m 高程肩台附近坡面最上部一排 12 t

块体中有个别块体随波浪轻微晃动; 坡脚 1.8 ~ 2.0 t 抛石棱体肩角附近表层的少量块石随波浪晃动, 个别块石发生位移, 有的嵌在底部护面块体的缝隙中, 有的沿斜坡滚落。断面的其它各部位均稳定。偶有大浪作用时, 有零散的不连续水体泼落到堤后混凝土路面上。

4.2.4 极端低水位

护岸坡脚 1.8 ~ 2.0 t 抛石棱体肩角附近表层的少数块石随波浪晃动, 个别块石滚落, 断面的其它各部位均稳定。大浪作用时, 波浪最高爬至 8.6 m 高程的护面肩角处。

5 结论

1) 港池开挖对堤角设计波浪要素和越浪量的影响较小, 堤角设计波浪要素增减幅度约 2%, 越浪量增减幅度约 9%。

2) 港池开挖前后 6 t 扭王字块体和胸墙均不稳定, 胸墙后部冲刷都很严重, 最大冲刷深度超过 2 m。

3) 港池开挖会引起波浪底部流速变化, 波谷作用时, 堤脚下泄水体流速变大, 对堤脚和护底块石的稳定有一定影响, 对护岸上部结构影响很小。护底块石、护脚平铺扭王字块体滚落数量增多, 但未引起护面结构的整体下滑。

4) 护岸结构破坏的主要原因是: 堤顶高程偏低, 大量越浪水体在胸墙后产生较大冲刷坑, 引起胸前的失稳, 从而引起护岸结构破坏。

5) 综合考虑护岸、码头和取水口头部的关系, 得出了护岸修复断面图, 经过波浪物模试验的验证, 修复断面是安全可靠的, 已经应用于工程实践。

参考文献:

- [1] 陈小婷, 陈国平, 严士常, 等. 港池开挖对护岸工程影响试验研究[J]. 水运工程, 2013(2): 58-61.
- [2] 李景辉. 某防浪护岸波浪断面物理模型试验研究报告[R]. 天津: 中交天津港湾工程研究院有限公司, 2011.
- [3] JTS 154-1—2011 防波堤设计与施工规范[S].
- [4] JTS 145-2—2013 海港水文规范[S].
- [5] JTJ 213—1998 波浪模型试验规程[S].