



一种带防浪板的桩基式防波堤结构

彭志豪¹, 陈海燕¹, 周海芳²

(1. 中交第四航务工程勘察设计院, 广东 广州 510230;

2. 中交四航局港湾工程设计院有限公司, 广东 广州 510290)

摘要: 以非洲某项目为例, 提出带防浪板桩基式防波堤结构, 运用 ANSYS 有限元模型计算这种结构的可行性, 并通过工程量对比论证该结构的优点。该结构成功解决了缺少石料、地震液化等问题, 降低造价近一半。

关键词: 防浪板; 桩基式防波堤; *P-Y* 曲线; ANSYS 有限元法

中国分类: U 656.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)03-0062-04

Pile supported breakwater structure with wave-proof plate

PENG Zhi-hao¹, CHEN Hai-yan¹, ZHOU Hai-fang²

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

2. Engineering Design Institute Co., Ltd. of CCCC Fourth Harbor Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510290, China)

Abstract: Taking a project in Africa for example, we propose a pile supported breakwater structure with wave-proof plate, demonstrate the feasibility of this structure by the calculation using ANSYS finite element method, and analyze the advantages based on the comparison of the engineering quantity. Applying the structure, we solve the problem of the lack of stone materials and seismic liquefaction and cut the cost by nearly 50%.

Keywords: wave-proof plate; piled wave breakwater structure; *P-Y* curve; ANSYS finite element method

随着水运的发展及船舶大型化, 海岸自然资源被持续大规模开发利用, 优良港湾资源殆尽, 因此新建港口不得向掩护条件较差的海域发展, 在水深、浪大、地质条件复杂的海域建设防波堤成为不可避免的趋势。

防波堤结构形式可分为斜坡式、直立式、半直立半斜坡式, 其中斜坡式结构一般为抛石斜坡堤, 堤芯由开山石组成, 护面块体可以是规格块石、混凝土人工块体等; 而直立式目前常用的有沉箱结构(圆沉箱、方沉箱)、方块结构等。由于沉箱结构需要大型预制厂和起重设备, 在一些非洲国家实施起来造价较高, 而抛石斜坡堤结构有时又受到当地石材的限制, 特别是水深较大时, 造价很高, 因此, 寻求合理、可靠的结构形式和

切实可行的施工方法以保证其使用功能并降低造价为世界各国港口工程界所重视。

本文通过一个工程实例提出一种带防浪板桩基式防波堤结构, 利用这种结构成功解决了项目缺少石料及地震液化等问题, 降低了工程造价。

1 项目概况

项目位于非洲东南部、大西洋西侧, 防波堤长约 1 770 m, 波浪条件较好, 设计条件如下。

1) 设计水位。

天文最高潮位 (HAT): 4.35 m;

平均海平面 (MSL): 1.90 m;

天文最低潮位 (LAT): 0.00 m。

2) 设计要求按照 100 a 一遇的波浪条件。

设计波浪条件见表 1。

收稿日期: 2015-07-24

作者简介: 彭志豪 (1983—), 男, 工程师, 从事港口工程设计工作。

表1 设计波浪

天文最低潮位/m	H_s/m	T_p/s
4.35	2.4	6.5
	1.5	12.0
1.90	2.2	6.5
	1.2	12.0
0.00	1.4	6.5
	0.3	12.0

表2 土层参数

土层	层顶深度/m	层底深度/m	厚度/m	$\rho/(kg/m^3)$	$D_R/\%$	c'/kPa	$\varphi'/(^{\circ})$	q_c/MPa
1s	0	5	5	1 850	40~50	0	34	3
2s	5	20~30	15~25	1 900	60~70	0	36~37	10
3s	20~30	30~40	10	1 900	70~90	0	38	25
	回填砂			1 900	70	0	38	
	液化后土层			1 900		1	4	

2 原设计方案

防波堤设计参考防波堤设计与施工规范^[1], 断面原泥面高程为-5.0 m, 堤顶高程6.8 m, 堤顶净宽8 m, 堤芯采用1~500 kg 回填块石,

3) 地震。

设计地面峰值加速度为0.167g。

4) 土层参数。

项目所在土层为砂性土, 第1层土为松散到中密粉细砂(1s), 第2层土为密实含黏土的细到中砂(2s), 第3层为密实到非常密实的砂夹黏土(3s), 各土层参数见表2。

港侧采用2层500~1 500 kg 的规格块石护面, 垫层块石100~300 kg; 海侧采用2 t 扭王字块, 100~300 kg 垫层块石, 防波堤两侧边坡为1:1.5, 断面见图1。

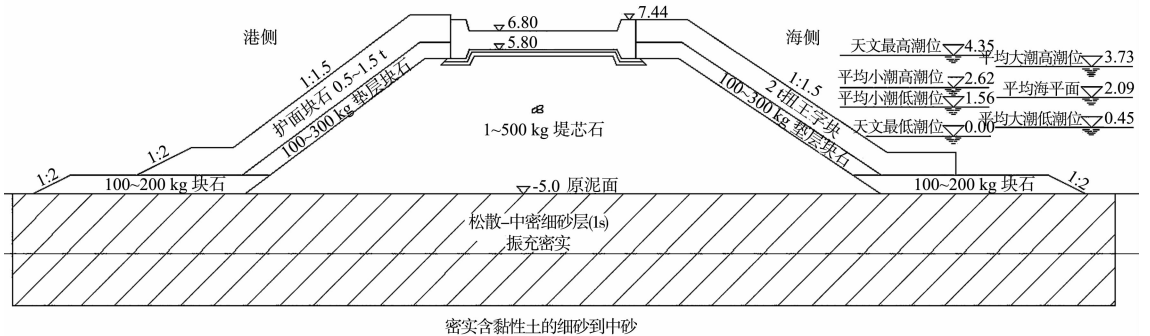


图1 某防波堤原抛石斜坡堤结构(高程:m)

表层约5 m 深度范围粉细砂在地震工况下发生液化, 抛石斜坡堤结构两侧坡脚10 m 范围内需要地基处理, 处理方式为加中粗砂振冲密实, 经处理后地震工况下边坡稳定安全系数为1.139 (港侧)和1.108 (海侧)。

3 优化方案

原抛石斜坡堤结构具有施工工艺成熟、稳定可靠、应用广等优点, 但是由于项目所在地缺乏石料, 须从200 km 以外的地方采购, 块石成本初步估算约在100 USD/m³, 而抛石斜坡堤结构的用石量非

常大, 这样使得成本很高, 且大量的远距离运输存在风险, 对项目工期也有一定的影响, 所以解决项目的石料问题成为一个关键。针对石料缺乏的问题, 设计组提出一种带防浪板桩基式防波堤结构。该结构主要材料为钢管桩和混凝土, 通过安装在海侧桩上的预制混凝土板对港内形成掩护作用, 避免了大量使用块石, 也不需要因为地震土层液化而软基处理, 且施工较简单, 不需要有大型的施工设备和预制厂, 成功解决了当地缺少石料的难题。

3.1 方案介绍

桩基式结构单个排架由2根直径1 219 mm、

壁厚 20 mm 的钢管桩组成, 排架间距为 5 m, 上部结构为现浇混凝土平台, 海侧每 2 根桩共用 1 块预制混凝土防浪板。为了减少泥沙运动至港内, 且项目水深较浅, 如果采用透空式, 港外波浪将影

响港内的作业环境, 所以本项目防浪板的底高程设计到原泥面。临海侧设置挡浪墙, 挡浪墙顶高程为 9.0 m, 底部设计 10 m 长的袋装砂防冲刷, 断面见图 2。

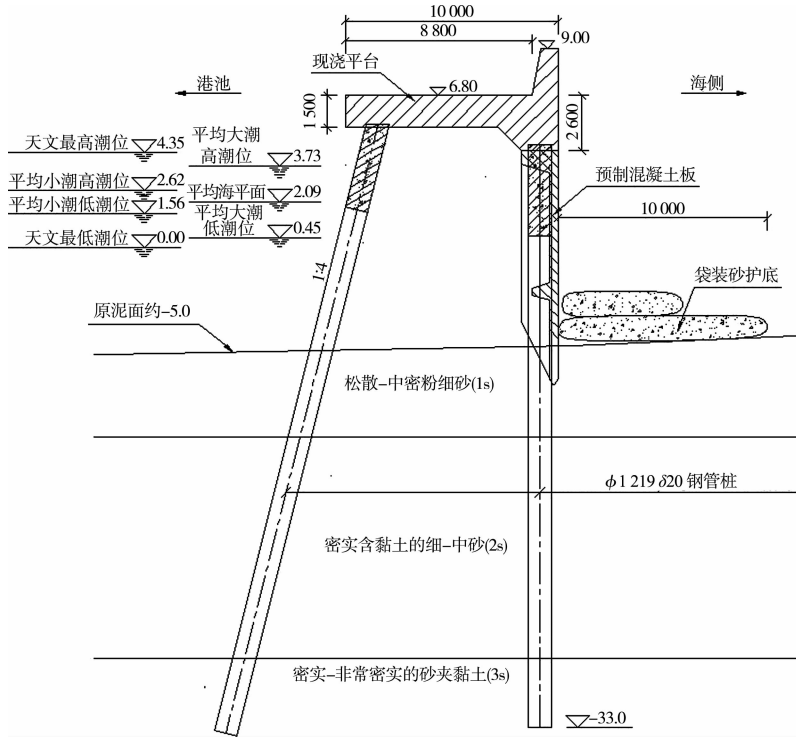


图 2 带防浪板桩基式防波堤 (高程: m; 尺寸: mm)

施工方法: 首先施工钢管桩, 沉桩位移偏差须在允许偏差范围内; 然后安装预制混凝土板, 预制混凝土板圆孔直径比桩径大 20 cm 左右, 具体根据打桩的偏差确定, 安装预制混凝土板后, 在桩与板之间压浆处理; 最后现浇上部混凝土平台。预制混凝土板与钢管桩的连接大样见图 3。

模拟, 钢管桩通过 beam188 模拟, 弹簧采用 $P-Y$ 曲线法, 防浪板与桩共用节点, 上部墩台用 solid45 实体单元模拟, 三维有限元模型见图 4。

本文项目主要分析正常工况和地震工况 2 种组合, 荷载组合及系数见表 3。

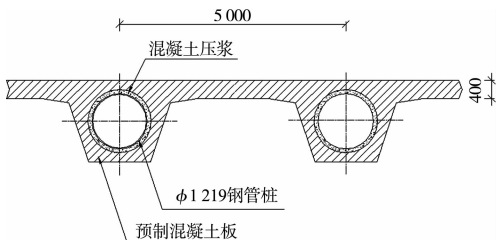


图 3 预制混凝土板与钢管桩连接大样 (单位: mm)

3.2 结构计算

结构采用国际通用有限元软件 ANSYS^[2] 建立三维模型分析, 桩土相互作用通过弹簧单元 combi39

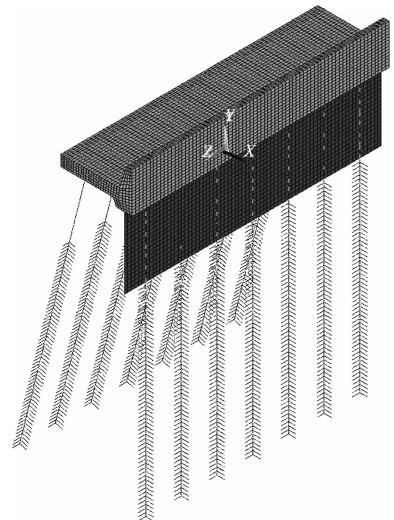


图 4 三维有限元模型

表3 荷载组合及系数

工况	自重	波压力	波吸力	动水压力	地震惯性力
1	1.0	1.0	0	0	0
2	1.0	0	1.0	0	0
3	1.0	0	0	1.0	1.0
4	1.0	0	0	-1.0	-1.0

根据美标 API 分析桩基应力, 要求应力验算时下列两式计算结果小于 1.0^[3], 对于地震工况钢管桩屈服应力取正常工况下的 1.3 倍。计算结果见表 4。

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_m}{\left(1 - \frac{f_a}{F'_e}\right)} \frac{\sqrt{f_{bx}^2 + f_{by}^2}}{F_b} \leq 1.0 \quad (1)$$

$$\frac{f_a}{0.6F_a} + \frac{\sqrt{f_{bx}^2 + f_{by}^2}}{F_b} \leq 1.0 \quad (2)$$

式中: f_a 为轴向应力 (MPa); F_a 为容许轴向压缩应力 (MPa); F_b 为容许弯曲应力 (MPa); C_m 为假设无侧面平移框架时的系数; f_{bx} 为 x 方向弯曲应力 (MPa); f_{by} 为 y 方向弯曲应力 (MPa); F'_e 为压曲稳定的结构的临界应力 (MPa)。

3.3 计算结果

由表 4 可以看出钢管桩内力、变形均能够满足设计要求, 其中位移极限值为 0.118 m。

3.4 主要工程量对比

与原抛石斜坡堤结构相比, 主要工程量及估算价格见表 5 (100 m 长度范围内)。

表4 计算结果

工况	最大压桩力/kN	最大拔桩力/kN	最大弯矩/(kN·m)	式(1)	式(2)	变形/m
1	2 520	0	2 441	0.648 < 1.0	0.818 < 1.0	0.056
2	4 220	0	1 515	0.628 < 1.0	0.857 < 1.0	0.060
3	2 668	0	2 417	0.525 < 1.0	0.666 < 1.0	0.056
4	4 736	466	2 422	0.683 < 1.0	0.886 < 1.0	0.092

表5 主要工程量及估价

抛石斜坡堤结构					桩基式结构			
块石/m ³	地基处理/m ³	路面混凝土/m ³	2 t 扭王字块/m ³	造价/万 USD	混凝土/m ³	钢管桩/t	袋装砂/m ³	造价/万 USD
40 450	47 000	1 205	1 552(1 784 件)	673.93	2 498	526 (22 根)	2 000	346.34

可见斜坡堤结构每延米造价约 6.7 万 USD, 而带防浪板桩基结构每延米造价约为 3.46 万 USD, 所以带挡浪板桩基式防波堤结构相对于抛石斜坡堤结构具有以下优点: 1) 用石量少, 除了混凝土碎石外不需要额外的块石结构; 2) 降低工程造价; 3) 降低项目石料长途运输的风险, 使项目工期可控。

4 结语

本文提出的带防浪板桩基式防波堤结构, 设计有效波高为 2.4 m, 在波高不很大、水又较深的地方, 本结构在造价方面具有较大的优势; 在波

高较大、石料缺乏的地方, 也可以考虑采用本结构, 但是应考虑增加断面桩基数量。总之, 这种带防浪板桩基式防波堤结构成功解决了本文项目中石料缺乏的难题, 降低了工程成本。

参考文献:

- [1] TJS 154-1—2011 防波堤设计与施工规范[S].
- [2] 叶裕明, 刘春山, 沈火明, 等. ANSYS 土木工程应用实例[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006: 64-67.
- [3] SY/T 10030—2004 中华人民共和国石油天然气行业标准[S].

(本文编辑 郭雪珍)