



兼顾行车功能的斜坡式防波堤设计

郑清松，曾佑荣，王贊

(福建省交通规划设计院有限公司，福建福州 350004)

摘要：斜坡式防波堤结构简单，对地基的适应性较强，施工工艺成熟，是一种常见的波浪防护结构形式，在沿海工程中广泛采用。常规的斜坡式防波堤设计通常结合结构安全、工程造价等需要，根据规范要求选择合适的防浪标准，确定相应的波浪爬高和越浪量，最终选择合适的断面结构形式。除上述因素外，兼顾行车功能的斜坡式防波堤尤其受风浪影响较大的工程，行车安全及景观要求也是设计时必须考虑的重要因素。结合实际工程的使用情况及不同物理模型试验方案的试验结果，提出在现有防护结构外侧增设宽平台的设计方案，可有效减少堤顶越浪量，经实践检验，满足使用要求。

关键词：行车功能；斜坡式；宽平台；越浪量；防波堤

中图分类号：U656

文献标志码：A

文章编号：1002-4972(2023)09-0028-04

Design of sloping breakwater with driving function

ZHENG Qingsong, ZENG Yourong, WANG Yun

(Fujian Communications Planning and Design Institute Co., Ltd., Fuzhou 350004, China)

Abstract: Sloping breakwater is a common type of wave protection structure with simple structure, strong adaptability to foundation and mature construction technology, and is widely used in coastal engineering. Conventional sloping breakwater design is usually combined with structural safety, engineering cost and other needs, according to the requirements of the code to select the appropriate wave prevention standards, determine the corresponding wave run-up and wave overtopping discharge, and finally select the appropriate section structure. In addition to the above factors, the design of breakwaters with driving function, especially those projects greatly affected by wind and waves, should take driving safety and landscape requirements into consideration. In this thesis, combined with the use of practical projects and the results of different physical model test schemes, the design scheme of adding a wide platform on the outer side of existing structure is put forward to effectively reduce the amount of wave overtopping discharge. It has been tested in practice and meets the requirements of use.

Keywords: driving function; sloping; wide platform; wave overtopping discharge; breakwater

沿海波浪防护工程在水深较浅、地基基础较差、砂石料来源有保障的情况下，经常采用斜坡式防波堤结构，如福州港松下港区防波堤工程、湄洲湾港东吴港区东1#东2#泊位护岸工程、珠海港高栏港区南迳湾作业区铁炉湾防波堤工程等。斜坡式防波堤通常根据使用要求，结合允许越浪、

基本不越浪和越浪量控制等因素综合确定断面设计，特别是堤顶的高程设计。国内针对斜坡式防护结构的越浪量控制标准已有大量研究，卢永金等^[1]在海堤波浪爬高分析与越浪设计准则探讨中，认为以控制越浪量代替不允许越浪量设计准则有极大的意义，提出应根据结构防护和功能要求直

收稿日期：2023-01-09

作者简介：郑清松（1981—），男，正高级工程师，注册咨询师，从事港口与航道工程咨询、设计与研究工作。

接以控制越浪量为设计准则; 夏运强等^[2]综合国内外有关规范和研究成果, 提出港口工程的允许越浪量标准, 指出满足交通安全的允许越浪量最小, 即使用功能的安全对允许越浪量的要求通常高于结构安全的要求, 对堤后有道路通行要求的越浪量建议值为 $\leq 3 \times 10^{-5} \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{s})$; 许荔等^[3]通过物理模型试验得出在波浪要素确定后, 可以采取提高墙顶高程或增加平台宽度的措施来保证越浪量满足控制标准。

福建地处东南沿海, 涉海防护工程容易受台风和东北季风影响, 对于兼顾行车功能的斜坡式防波堤, 更要统筹兼顾行车安全、道路维护、景观绿化、交通运输及运营管理等各种要素。本文结合福建省内的实际工程项目^[4]进行分析研究, 提出在现有斜坡式防波堤外侧护坡增设宽平台的设计方案, 以解决工程越浪量偏大、行车安全、道路维护、运营管理及滨海景观等问题。

1 工程概况

福建某沿海疏港道路工程长 3.189 km, 兼具市政功能, 设计时速 60 km/h, 道路标准宽度 44.5 m, 沿海岸线直达现有港区。道路东侧直面外海, 在东北季风季节和台风期, 易受常风向 N—NE 向、次常风向 SSW—SW 向的影响, 且经常受到 NE、E 和 SE 向的波浪作用, 需设置长 2.061 km 的临海通道防浪结构。

结合本工程的风浪、地质、地材来源及工程造价等因素, 工程采用斜坡式结构, 堤身由充填袋装砂被形成, 外侧护面块体采用四脚空心方块。受通道内侧陆域控规高程及滨海景观要求的限制, 按照挡浪墙顶高程极端高水位+极端高水位对应的 50 a 一遇波浪的允许越浪量 $\leq 0.05 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{s})$ 考虑。根据波浪推算报告成果, 按《防波堤与护岸设计规范》^[5]和《港口与航道水文规范》^[6]的有关规定计算并确定挡浪墙顶高程取 7.5 m, 相关计算结果见表 1, 原设计典型断面见图 1。

表 1 挡浪墙防浪计算结果

设计水位	计算水位 H_w/m	波高 $H_{13\%}/\text{m}$	波浪爬高 R/m	富余值 a/m	计算值/m	设计高程/m	规范计算越浪量 $Q/(\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1})$
设计高水位	3.17	2.54	3.64	0.5	7.31	7.5	0
极端高水位	4.80	3.11	4.72	0.5	10.02	7.5	0.025

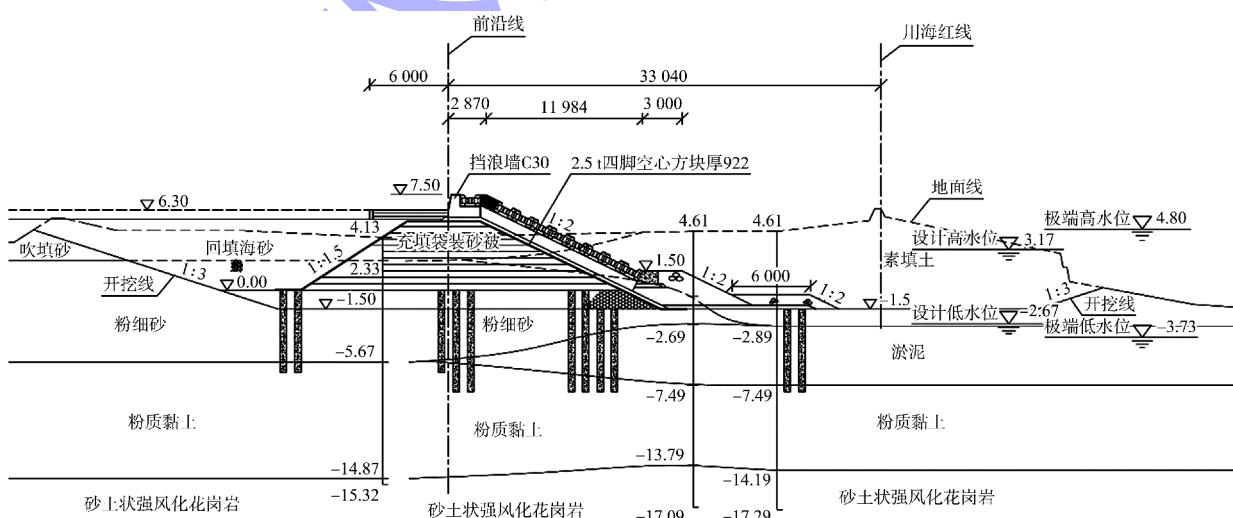


图 1 原设计典型断面 (高程: m; 尺寸: mm)

本工程 2019 年 9 月 1 日开工建设, 2020 年 8 月底基本完成斜坡式防波堤主体工程施工。2020 年 10 月在天文大潮及 17 号台风“沙德尔”增水的

共同影响下, 部分道路出现明显越浪。虽然斜坡式防波堤整体安全可靠, 但越浪现象对道路行车安全、道路维护及运营管理等造成极为不利的影

响。根据 2020 年 10—12 月的观察结果，在工程区域大潮(或潮位接近高潮位)及大浪(有效波高 $\geq 1.6 \text{ m}$ ，台风或东北季风期间均有可能发生)同时出现、相互叠加的情况下，部分结构段亦会出现越浪的现象。工程第一次实施后的越浪情况见图 2。



图 2 工程第一次实施后的越浪情况

2 物理模型试验

2.1 原设计断面验证试验

根据斜坡式防波堤主体工程施工完成后的现场越浪情况，按规范计算的越浪量与实际的越浪量差距较大。为得到原设计断面的真实越浪量，除按波浪推算报告成果提供的波浪要素对原设计典型断面进行试验外，还选取发生明显越浪时的水位、波浪及风速资料对现场情况进行复演^[7]。结果见表 2、3。

表 2 原设计断面验证试验结果

计算 水位/m	波浪 重现期/a	$H_{13\%}/\text{m}$	周期 T/s	越浪量 $Q/(\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1})$	
				模型试验	规范计算
3.17	50	2.54	7.7	0.000 7	0
4.80	50	3.11	7.8	0.089 0	0.025 0

表 3 现场情况复演试验结果

复演 工况	水位/ m	有效 波高/m	T/s	风级	越浪量 $Q/(\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1})$	
					模型试验	规范计算
1	4.61	1.7	6.5	7	0.012 1	0.002 4
2	4.30	2.2	6.5	7	0.024 0	0.003 1

试验结果表明，受规范公式使用条件限制、水位、波高、波周期、风以及堤前水深地形^[8]等各因素的叠加影响，按规范计算的越浪量与物理模型试验的越浪量差异较大^[9]。根据现场情况复

演试验结果，原设计选择的越浪量控制值偏大，较难确保行车安全、道路维护的要求。为满足工程的结构安全和使用要求，需提升其防浪标准，提高越浪量控制标准，考虑到近年极端天气频发的因素，为减少异常气候的影响，提升后的越浪量控制标准为：1) 使用标准：2 a 一遇高潮位+2 a 一遇波浪+8 级风条件下，越浪量 $\leq 2 \times 10^{-5} \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{s})$ ；2) 安全标准：极端高水位+对应 50 a 一遇波浪+50 a 一遇风条件下(取历史实测最大风速 40 m/s)，越浪量 $\leq 0.01 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{s})$ 。

2.2 宽平台试验

为彻底解决斜坡式防波堤越浪量偏大的问题，有效减少越浪量，达到提升设计所需越浪量控制标准，对已建结构适应性最好、最有效、最直接的方式是提高挡浪墙高程和在现有护面结构外侧增设宽平台结构。结合本工程需兼顾滨海景观的要求，挡浪墙高程不宜太高，因此采用在现有斜坡式防波堤护面结构外侧增设宽平台的方案。在维持挡浪墙顶高程 7.5 m 不变的情况下，采用消浪效果更好的扭王块组成宽平台块体，对不同平台宽度和高程方案进行模型试验和对比分析，试验方案 1~6 的平台顶高程分别为 4.0、5.0、4.0/6.5、6.5、7.5、5.0/7.5 m；平台宽度分别为 9.2、10.0、5.5/5.5(台阶式)、10.6、11.2、7.4/5.0 m。

各种宽平台方案的试验结果见表 4。由不同宽平台方案的试验结果可知，在原设计断面的基础上设置宽平台可显著减小堤顶的越浪量，随着平台高程抬高和平台宽度加大，越浪量逐渐减小。宽平台块体采用 3 t 扭王块体护面满足波浪作用下的稳定性要求。不同宽平台方案中，方案 5 在 2 a 一遇高潮位+2 a 一遇波浪+8 级风条件下，堤顶越浪量为 $4.22 \times 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{s})$ ，可满足越浪量 $\leq 2 \times 10^{-5} \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{s})$ 的控制标准；在 50 a 一遇高水位+50 a 一遇波浪+50 a 一遇风条件下，堤顶越浪量为 $7.98 \times 10^{-3} \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{s})$ ，可满足越浪量 $\leq 0.01 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{s})$ 的控制标准，即可同时满足使用标准和安全标准。

表4 不同宽平台方案试验结果

方 案	水位/ 重现 期/a	波浪 重现 期/a	$H_{13\%}/m$	T/s	越浪量 $Q/(m^3 \cdot m^{-1} \cdot s^{-1})$	
					未叠加风	50 a一遇风速40 m/s、 2 a一遇8级风
1	4.80	50	3.11	7.8	5.15×10^{-2}	-
2	4.80	50	3.11	7.8	4.48×10^{-2}	-
3	4.80	50	3.11	7.8	1.74×10^{-2}	-
4	4.80	50	3.11	7.8	1.19×10^{-2}	-
5	4.80	50	3.11	7.8	3.00×10^{-3}	7.98×10^{-3}
5	4.80	2	1.60	5.2	无越浪	4.22×10^{-6}
6	4.80	50	3.11	7.8	5.97×10^{-3}	1.63×10^{-2}

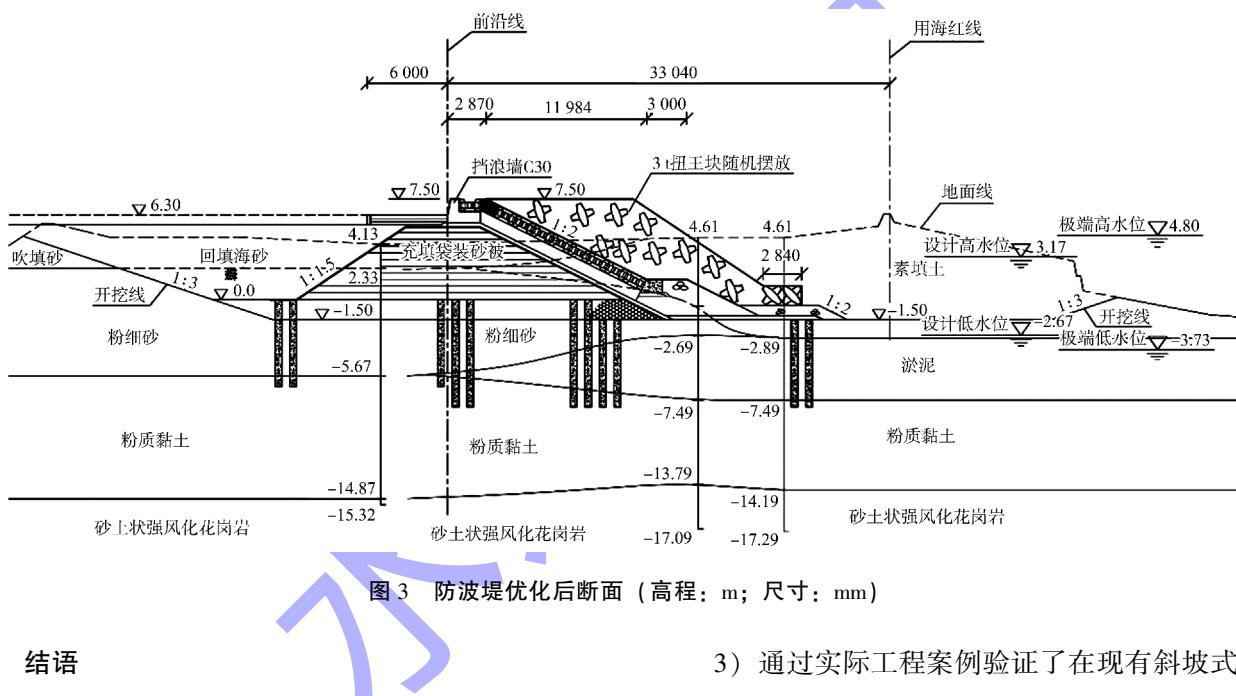


图3 防波堤优化后断面 (高程: m; 尺寸: mm)

4 结语

1) 针对原设计断面进行物理模型试验和现场情况复演试验, 表明按规范计算的越浪量和物理模型试验的越浪量结果差距较大, 受规范公式使用条件和现场自然条件的叠加影响, 规范公式计算的越浪量结果未能真实反映实际的越浪量。在类似工程设计中, 宜开展断面物理模型试验, 有条件时开展整体物理模型试验, 以确定合理的断面结构形式, 指导工程设计工作。

2) 对兼顾其它功能的斜坡式防波堤结构, 如允许越浪, 对越浪量的控制标准应结合使用功能要求慎重选择。本工程在提升设计中对越浪量采用使用标准和安全标准进行双控, 使用标准不影响道路行车安全和行人通行, 安全标准确保越浪水舌不破坏后方道路。

3 提升设计方案

由于本工程兼顾行车功能, 为保证通行安全和满足景观要求, 结合现场情况及断面物理模型试验结果, 采取在已建斜坡式护坡结构外侧增设宽平台方案以提高防浪标准和越浪量控制标准。提升设计在维持挡浪墙顶高程7.5 m不变且不损坏已建结构的前提下, 在已建斜坡式护坡结构外侧随机安放3 t扭王块至高程7.5 m, 安放扭王块平台宽度为11 m, 坡度为1:1.5, 在坡脚处安放2块水平摆放的扭王块, 典型断面见图3。提升工程实施已经历1 a的台风期和东北季风期, 目前使用情况良好。

3) 通过实际工程案例验证了在现有斜坡式结构外侧增设宽平台结构可在不影响滨海景观和不破坏现有构筑物的前提下, 有效减少越浪量, 完全满足使用要求, 为类似工程提供参考。

参考文献:

- [1] 卢永金, 何友声, 刘桦. 海堤波浪爬高计算分析与越浪设计准则探讨[J]. 水利水电技术, 2007, 38(4): 30-34.
- [2] 夏运强, 李贺青, 沈如军. 港口工程允许越浪量标准分析研究[J]. 海洋工程, 2013, 31(6): 104-109.
- [3] 许荔, 陈国平, 严士常, 等. 护岸越浪量的试验研究[J]. 水运工程, 2013(9): 36-40.
- [4] 福建省交通规划设计院有限公司. 共富路(沿海大道至码头)道路工程施工图[R]. 福州: 福建省交通规划设计院有限公司, 2021.

(下转第49页)