



长周期波浪作用下 顶宽对抛砂潜堤稳定性的影响研究*

黄海龙¹, 周益人¹, 王 驰¹, 蒋基安²

(1. 南京水利科学研究院 河港研究所, 江苏 南京 210024; 2. 中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 上海 200120)

摘要: 非洲西北岸线, 常年遭受来自北大西洋的涌浪袭击, 其长周期的波浪特性和作用效果, 尚未有全面的认识和研究。通过物理模型试验, 再现了长周期波浪作用下抛砂潜堤的平衡过程, 对比了不同顶宽情况潜堤稳定断面形态的影响, 分析了影响的主要因素。

关键词: 长周期; 波浪; 潜堤; 稳定性

中图分类号: TV 149.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)05-0069-04

Effects of top width on stability of sand-throwing submerged embankment under the long-period wave action

HUANG Hai-long¹, ZHOU Yi-ren¹, WANG Chi¹, JIANG Ji-an²

(1. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210024, China;

2. Shanghai Waterway Engineering Design and Consulting Co., Ltd., Shanghai 200120, China)

Abstract: The northwestern coastline of Africa has always been under the attack of swell from the northern Atlantic. There has not been comprehensive research of its long-period wave properties and effects. This paper represents the balancing process of sand-throwing submerged embankment under the long-period wave action by physical model test, compares the influence of different top widths on the stable cross section form of submerged dams, and analyzes the major factors of such influences.

Key words: long period; wave; submerged embankment; stability

非洲西北岸线处于大西洋东岸, 岸线平直, 水域辽阔, 常年受到季风影响, 遭受来自北大西洋的涌浪袭击, 其长周期的波浪特性和作用效果, 尚未有全面的认识和研究。随着目前海外项目尤其援非项目的增加, 在此工程技术领域的需求愈发强烈。本文通过物理模型试验, 再现了长周期波浪作用下抛砂潜堤的平衡过程, 对比了不同波浪要素对于潜堤断面稳定形态的影响, 分析了影响的主要因素。成果可以供工程技术人员在建设类似区域工程项目时参考使用。

1 工程区情况

EACDBBVIL (Eko Atlantic city development bar beach victoria island Lagos) 围堤工程位于尼日利亚拉各斯市, 工程区濒临几内亚湾, 是保护岸滩侵蚀的围海造地项目, 见图1。工程建设前期抛砂潜堤的稳定性是工程成败的关键。工程区直接受大西洋的涌浪影响, 抛沙堤顶高程和堤身相对稳定形态主要由波浪因素决定, 因此需通过波浪模型试验, 为工程设计提供科学依据。试验采用煤粉作为模型沙, 模型比尺1:10, 测量了不同

收稿日期: 2013-07-24

*基金项目: 港口航道泥沙工程交通行业重点实验室开放基金 (200903)

作者简介: 黄海龙 (1976—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事港口航道工程。

顶宽的抛填砂断面的变化过程及相对稳定断面形态。

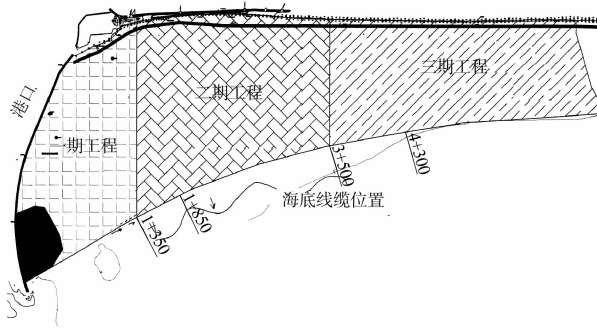


图1 工程位置

由于该位置的历史波浪要素较少，从未有过现场波浪测站，资料缺乏，且该区域的涌浪特点更加类似规则波，所以施工期设计波浪要素以平均波高控制（表1）。

表1 施工期设计波浪要素

潮位	水深/m	\bar{H}/m	\bar{T}/s
90% 低潮位 -0.12 m	9.58	2.5	11.0
		2.0	11.0
		2.0	15.0
		1.5	11.0

施工期抛沙断面设计抛填砂顶高程-3.0 m，两侧初始边坡 1:5，顶宽 30 m，抛填砂中值粒径为 0.3 mm，见图 2。为了验证不同顶宽情况下的潜堤稳定性，增加进行了顶宽 50 m 和 80 m 的模型试验。

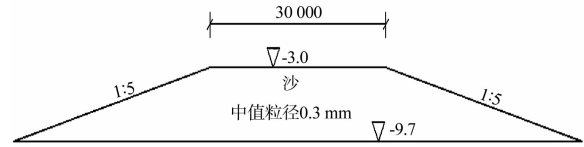


图2 施工期抛沙设计断面

2 试验设备和模拟

2.1 试验仪器和设备

试验在南京水利科学研究院泥沙厅长风、浪、流水槽内进行，水槽长 170 m，宽 1.2 m，深 1.8 m。水槽的工作段纵向平均分割成 0.6 m 宽两部分，一部分用来安放模型断面和进行模型试验，另一部分用于扩散造波板的二次反射波。水槽的一端配有消浪缓坡，另一端配有推板式不规则波造波机，由计算机自动控制产生所要求模拟的波浪要素，该造波系统可根据需要产生规则波和不规则波，模型布置见图 3。

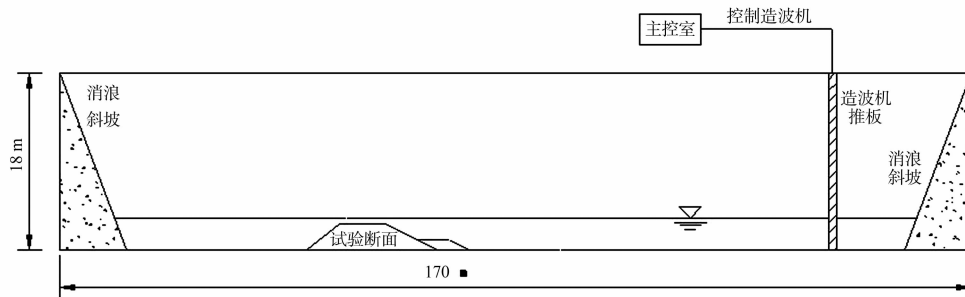


图3 波浪水槽模型布置

2.2 模型设计

对于沙质海岸平衡海滩剖面模型试验比尺的研究成果较多，为了使模型结果与原型相似，常常选用天然沙^[1-3]。由于较小粒径泥沙具有黏性，模型采用的天然沙粒径应大于 0.1 mm，因此，在模拟较小原型沙时，选用的模型比尺较小。本次试验的原型水深较大（9.58 m），粒径较细（0.3 mm），难以选择到合适的天然沙作为模型沙，因此，只有选用轻质沙作为模型沙。

事实上，本次试验的条件和要求与传统的平衡海滩剖面模型并不完全一样，只是对波浪作用下一个堆起的沙体稳定性进行研究，后部并没有连续的高滩，因此试验更重要的是满足泥沙起动和岸滩坡度的相似，这就使试验采用相对较大比尺正态模型（ $\lambda_h = \lambda_l = 10$ ）并选用轻质沙作为模型沙成为可能。

国外对于沙质海岸坡度的现场观测和试验研究开展很早，1933 年美国岸滩侵蚀局的报告中对

美国新泽西海岸提出了岸滩坡度随岸滩物质粒径的变大而变大的线性关系^[4]; 1940 年, Bagnold^[5]通过试验比较了 3 种不同粒径的沙子形成的平衡岸滩坡度情况, 认为岸滩坡度仅取决于组成岸滩的泥沙粒径, 与波高无关; 1975 年, 美国海岸防护手册点绘了沿美国佛罗里达狭长海岸、新泽西—北卡罗来纳海岸以及美国太平洋海岸部分地区的有关前滩坡度与中值粒径的关系图, 表明不同海岸地区的岸滩坡度与泥沙中值粒径的关系是不同的, 应该还与波浪动力有关。南京水利科学研究所的董凤舞^[6]收集了不同地区现场资料, 并对以往不同密度及粒径泥沙试验研究成果进行了回顾分析, 提出了综合考虑泥沙及动力因素的岸滩坡度影响因子关系式, 即

$$S = 0.151g \frac{1}{F} - 0.0171 \quad (1)$$

式中: S 为岸滩坡度; F 为岸滩参数, 可由下式确定:

$$F = \left(\frac{1.65\rho}{\rho_s - \rho} \right)^2 \frac{(H_0 L_0)^{1/2}}{10^5 d_{50}} + \frac{H_0}{L_0} \quad (2)$$

式中: ρ 为水密度; ρ_s 为泥沙颗粒密度; H_0 和 L_0 分别为平均深水波高和波长; d_{50} 为泥沙中值粒径。

式(1)和(2)既能表达原型又能表达模型, 既能描述天然沙又能描述轻质沙, 为沙质海岸泥沙模型满足岸滩坡度相似设计提供了依据。

2.2.1 模型比尺

考虑到模型水槽条件, 尽可能将模型做大, 并满足波陡相似, 试验采用正态模型, 比尺为 10, 即

$$\lambda_h = \lambda_l = 10 \quad (3)$$

各物理量比尺如下: 时间比尺 $\lambda_t = \lambda_l^{1/2}$, 质量比尺 $\lambda_w = \lambda_l^3$ 。

2.2.2 模型沙选择

本次试验原型抛沙粒径 0.3 mm, 密度 $\rho = 2.7 \text{ t/m}^3$ 。考虑到抛沙体在波浪作用下的变形, 模型沙应满足岸滩坡度和泥沙起动机相似。

1) 岸滩坡度相似。

由式(1)和(2)可知, 泥沙粒径比尺

$$\lambda_d = \lambda_h \lambda_{\frac{\rho}{\rho_s - \rho}}^2 \quad (4)$$

选用轻质沙 $\rho_m = 1.43 \text{ t/m}^3$ 的煤粉作为模型沙, 由此算得模型沙粒径为 0.47 mm。

2) 起动机相似。

波浪作用下泥沙起动机公式较多, 为了便于计算和比较, 选用 Goddet 和 Bagnold 的计算公式,

$$\text{Goddet: } u_c = 0.33 g^{2/3} v^{1/24} \left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right)^{2/3} d^{1/4} T^{3/8} \quad (5)$$

$$\text{Bagnold: } u_c = 32.7 \left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right)^{0.67} d^{0.433} T^{0.33} \quad (6)$$

式中: u_c 为起动机流速; v 为运动黏滞系数; T 为波浪周期。所有变量单位采用 cm, s 制。

由此得到泥沙粒径比尺:

$$\text{Goddet: } \lambda_d = \lambda_h^{5/4} \lambda_{\frac{\rho}{\rho_s - \rho}}^{8/3} \quad (7)$$

$$\text{Bagnold: } \lambda_d = \lambda_h^{0.774} \lambda_{\frac{\rho}{\rho_s - \rho}}^{1.548} \quad (8)$$

算得模型沙粒径分别为 0.66 mm 和 0.42 mm。

综合考虑上述计算结果, 选用 $\rho_m = 1.43 \text{ t/m}^3$, 粒径为 0.47 mm 的煤粉作为模型沙。采用上述起动机公式计算波浪泥沙起动机流速比尺, 见表 2。

由表 2 可见, 泥沙起动机流速比尺与流速比尺偏差并不大, 所选模型沙基本满足波浪泥沙起动机相似。

表 2 波浪泥沙起动机流速比尺

泥沙		波浪周期/s		Goddet 起动机流速/($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)			Bagnold 起动机流速/($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)			比尺
原型	模型	原型	模型	原型	模型	λ_{uc}	原型	模型	λ_{uc}	
粒径 0.3 mm	粒径 0.47 mm	11.0	3.48	39.3	11.4	3.45	22.6	7.5	3.01	3.16
天然沙	煤粉	15.0	4.74	44.1	12.8	3.45	25.0	8.3	3.01	

2.3 试验方法

进行冲刷试验时, 将选好的 $d_{50} = 0.47 \text{ mm}$ 的模型沙(图 4)按抛填沙断面铺设, 然后进行各组试验

波浪要素试验。试验中采用间隙式生波方式, 以消除波浪的多次反射, 规则波生波时间约为 2~4.5 min, 然后停机 5 min, 待水面平静后再继续造波。

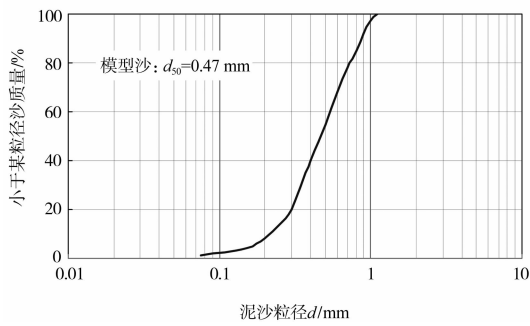


图4 模型沙级配

试验过程中,对开始造波后的不同时段床面地形,沿波浪推进方向进行测量,测点间距 25 cm,

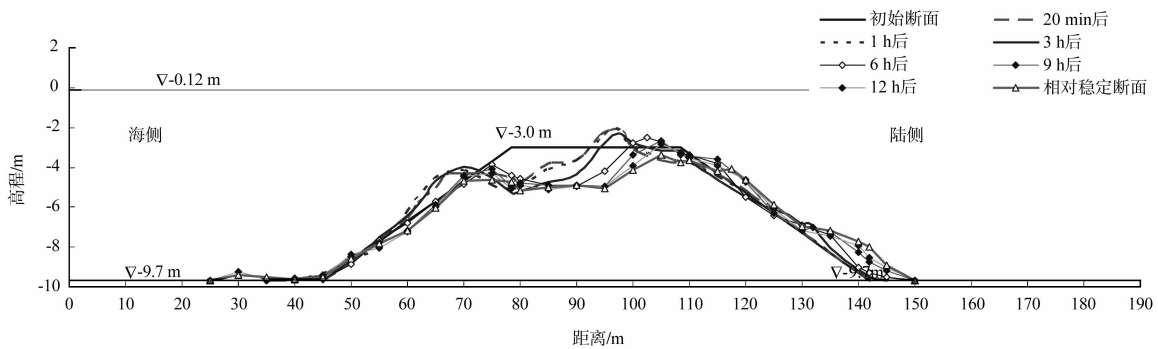


图5 $H = 1.5\text{ m}, T = 11.0\text{ s}$ 潜堤平衡过程形态

3.2 不同顶宽的潜堤比较

与初始顶宽 30 m 情况类似,波浪作用下,抛填沙断面前部首先发生侵蚀,冲起的泥沙分别向前后堆积;随着波浪作用时间的延长,冲刷不断向后发展,侵蚀宽度不断增加,但最大冲刷深度并没有明显变化。

波浪作用下不同顶宽的抛沙断面前部形态基本相同,不同处主要在于后部。主要是由于波浪作用在前部冲刷并形成堆沙体后,波浪在堆沙体上跃起,然后砸击后部,对于顶宽 $B = 30\text{ m}$ 断面,

在前后两次的地形测量值变化较小时,认为冲刷基本达到平衡,停止造波。

3 主要结果及分析

3.1 平衡过程

波浪作用下,抛填沙断面前部首先发生侵蚀,冲起的泥沙分别向前后堆积;随着波浪作用时间的延长,冲刷不断向后发展,侵蚀宽度不断增加,但冲刷深度并没有明显变化,直至达到基本稳定。其中浪高 1.5 m,周期 11.0 s 波浪作用下抛填沙断面平衡过程形态见图 5。

由于堤顶宽度较小,堆沙体靠近后部,跃起的波浪砸击在后坡上,后坡上水深较大,因此波浪影响较小;对于顶宽 $B = 50\text{ m}$ 断面,跃起的波浪砸击在堤顶后部,形成单峰形断面形态;对于顶宽 $B = 80\text{ m}$ 断面,由于堤顶宽度较大,第 1 个堆沙体后部范围仍很大,跃起的波浪砸击在堤顶后部,并形成第 2, 3 个堆沙体,随着波浪作用时间的增加,堆沙体不断被侵蚀,泥沙大部分输移至堤前几百米范围。不同顶宽潜堤稳定断面的形态比较见图 6。

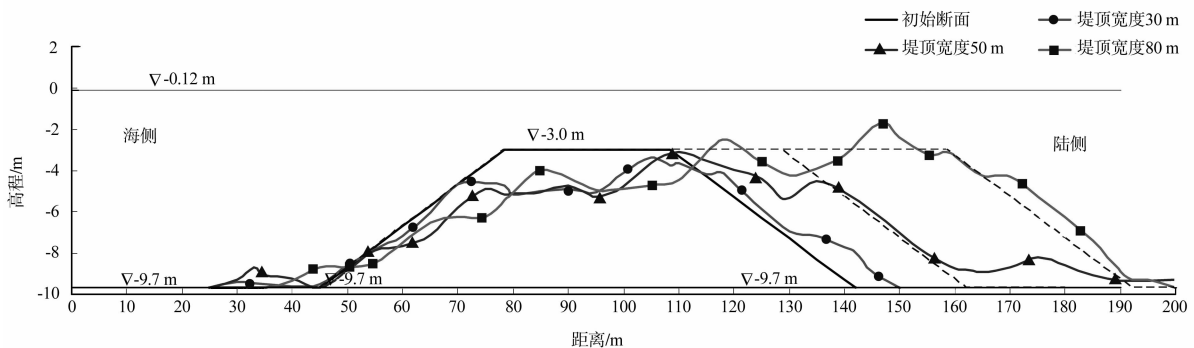


图6 不同顶宽潜堤稳定断面形态比较

(下转第 89 页)