

文章编号:1002-3682(2014)04-0001-13

基于动力条件改变的笔架山连岛坝 侵蚀原因分析*

孙家文^{1,2}, 张子鹏¹, 于永海¹, 孙昭晨², 梁书秀², 索安宁¹

(1. 国家海洋环境监测中心 国家海洋局海域管理与技术重点实验室, 辽宁 大连 116023;

2. 大连理工大学 海岸和近海工程国家重点实验室, 辽宁 大连 116024)

摘 要:利用 MIKE21 软件的波浪谱模型及潮流模型对辽宁锦州大笔架山岛连岛坝海域的波浪、潮流等水动力条件进行了数值计算,并对锦州港建设前后的动力条件变化进行了分析。结果表明:锦州港的建设完全阻断了偏西向波浪对连岛坝的塑造作用,坝体的侵蚀确系单侧(偏东向)波浪作用的结果,坝体局部侵蚀严重区域形成四处明显的潮沟,潮沟处流速增大,加剧了对坝体的侵蚀。

关键词:连岛坝;侵蚀;动力条件

中图分类号: P736

文献标识码: A

大笔架山岛连岛坝位于辽宁锦州大笔架山及大陆之间,长约 1 650 m,宽 30~35 m,呈“S”形,主要由砾石和粗砂组成。典型砾石的长、宽、高分别为 30 cm×20 cm×10 cm, 10 cm×8 cm×3 cm, 4 cm×2.5 cm×2 cm。从 20 世纪 80 年代开始,大笔架山岛周边海洋工程陆续开始建设(图 1),导致连岛坝周边海域水动力及冲淤条件发生明显变化,进而引起连岛坝形态出现明显改变。主要表现:1)坝体高度明显降低,局部最大降低高度在 1.0 m(图 2);2)坝体宽度增加 5~10 m,原有堤脊标识逐渐向西移动,西坡变陡,东坡变缓;3)坝体东侧砾石大于西侧砾石,且在西侧出现条带状粗砂富集带(图 3);4)坝体出现 4 条潮水沟,将连岛坝切为数段,往日退潮时游人顺堤上岛,如今已遭几条潮水沟所阻(图 3)。

本文采用 MIKE21 软件的波浪谱模型及潮流模型,对大笔架山岛连岛坝海域的波浪、潮流等水动力条件的改变进行数值计算,分析周边海洋工程(锦州港)建设对连岛坝海域动力条件的影响程度,从动力改变的角度分析导致连岛坝侵蚀的原因。

* 收稿日期:2013-09-17

资助项目:国家海洋局公益性行业科研专项——近岸海域空间整治效果与开发存量评估关键技术研究应用(201405025);国家自然科学基金——区域海岸景观格局变化的海洋冲淤环境影响机制(41376120);国家海洋局海域管理重点实验室资助项目——岬湾砂质海岸修复平面规划设计关键技术研究(201304)

作者简介:孙家文(1983-),男,副研究员,博士,主要从事海岸动力学方面研究. E-mail:solar_paper@163.com

(陈 靖 编辑)

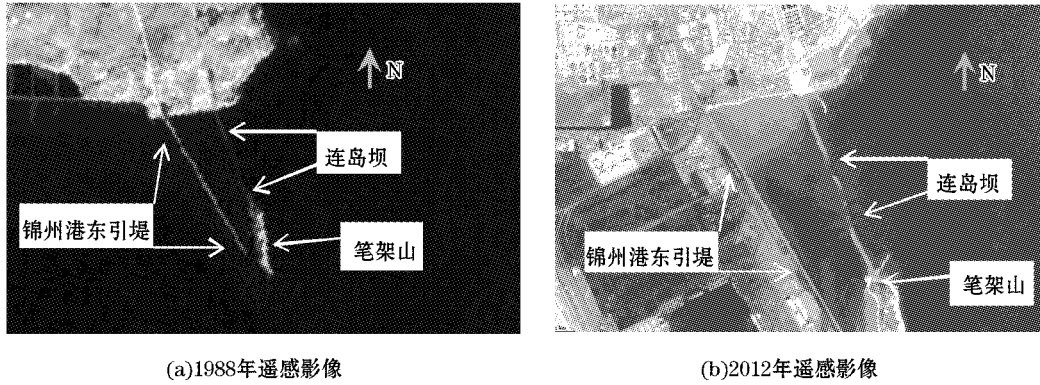


图1 1988年和2012年连岛坝周边海域开发状况示意图
Fig. 1 Development in the sea areas around the tombolo in 1988 and 2012

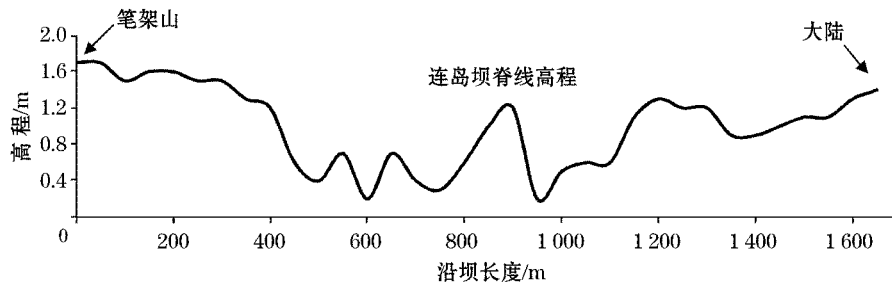


图2 连岛坝沿坝脊线高程分布
Fig. 2 Distribution of the elevation along the crest of the tombolo

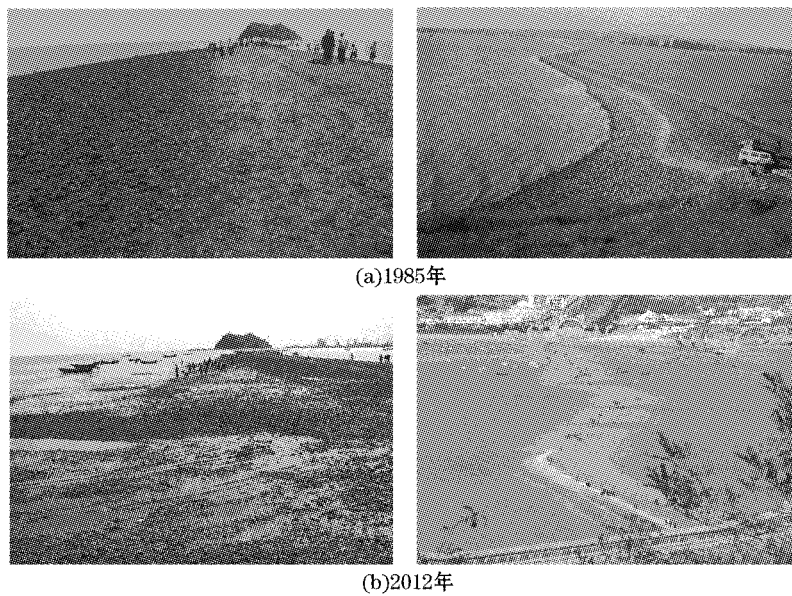


图3 1985年和2012年连岛坝地貌形态比较
Fig. 3 Comparison of the geomorphological forms of the tombolo in 1985 and 2012

1 连岛坝海域波浪动力条件变化

1.1 控制方程

波浪场计算采用 MIKE21 软件的波浪谱模型(MIKE21 SW)^[1],模型控制方程为波作用守恒方程。采用波作用密度谱 $N(\sigma, \theta)$ 来描述波浪,自变量为相对波频率 σ 和波向 θ 。波作用密度与波能谱密度 $E(\sigma, \theta)$ 的关系为

$$N(\sigma, \theta) = E(\sigma, \theta) / \sigma \quad (1)$$

对于波浪在缓坡和潮流区域的传播,相对角频率 σ 和绝对角频率 ω 的线性耗散关系如下:

$$\sigma = \sqrt{gk \tanh(kd)} = \omega - \vec{k} \cdot \vec{U} \quad (2)$$

式中, g 为重力加速度; d 为水深; \vec{U} 为流速矢量; $\vec{k} = (k_x, k_y)$ 为波数。

在笛卡尔坐标系下,波作用守恒方程表示为

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla \cdot (\vec{C}N) = \frac{S}{\sigma} \quad (3)$$

式中, S 为源项; $\vec{C} = (C_x, C_y, C_\sigma, C_\theta)$ 指波群速度, C_x, C_y 分别表示波作用在地理空间 (x, y) 中传播时的变化, C_σ 表示由于水深和流速变化造成的相对频率的变化, C_θ 表示由水深和流速引起的折射,波浪传播速度均采用线性波理论计算:

$$\begin{cases} C_x = \frac{dx}{dt} = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)} \right] \frac{\sigma k_x}{k^2} + U_x \\ C_y = \frac{dy}{dt} = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)} \right] \frac{\sigma k_y}{k^2} + U_y \\ C_\sigma = \frac{d\sigma}{dt} = \frac{\partial \sigma}{\partial d} \left(\frac{\partial d}{\partial t} + \vec{U} \cdot \nabla d \right) - C_g \vec{k} \cdot \frac{\partial \vec{U}}{\partial s} \\ C_\theta = \frac{d\theta}{dt} = \frac{1}{k} \left(\frac{\partial \sigma}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial m} + \vec{k} \cdot \frac{\partial \vec{U}}{\partial m} \right) \end{cases} \quad (4)$$

式中, $\vec{U} = (U_x, U_y)$ 为流速; s 为 θ 方向空间坐标; m 为垂直于 s 的坐标; C_g 为波群速度。

MIKE21 SW 模型的新版本(2011 版)中增加了对波浪绕射、反射的计算,可以较为精确地考虑近岸人工结构物(如防波堤)引起的波浪反射、绕射的影响,提高了模型近岸波浪计算的能力。

1.2 模型计算

1.2.1 计算域范围及网格设置

计算范围西起葫芦岛高角,东至锦州白沙湾老龙头东侧,计算网格采用三角形网格(图 4),计算水域面积约 30.3 km^2 ,水深从 -12 m 到 $+1.5 \text{ m}$ (水深资料根据连岛坝附近海域实测图和海图输入,高程均订正到当地理论深度基准)(图 5),整个计算域共计剖分为 67 892 个网格,最小网格尺度为 2 m 。

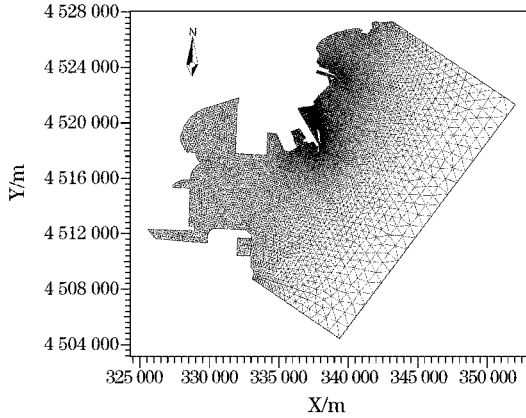


图4 计算网格图

Fig. 4 Computational grid map

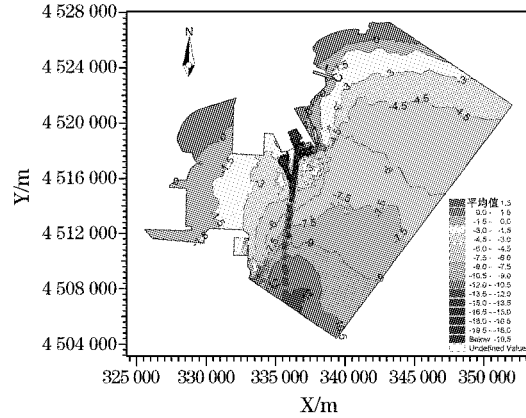


图5 计算域水深地形图

Fig. 5 Bathymetric map of the computational range

1.2.2 波浪入射边界条件

由于大笔架山岛及附近的锦州港无长期实测波浪资料,连岛坝(天桥)的外海设计波浪采用葫芦岛海洋站长期资料推算。经对葫芦岛海洋站1963—1997年测波数据的频率分析,再经折射和浅水影响计算,大笔架山岛(锦州港)外侧-5 m处波浪要素如表1所示。

表1 大笔架山岛-5 m处波要素

Table 1 Wave parameters in the -5 m area around the Dabijianshan tombolo

| 重现期 | 50 a一週 | | 25 a一週 | | 10 a一週 | | 2 a一週 | |
|-----|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|
| | $H_{4\%}/m$ | t/s | $H_{4\%}/m$ | t/s | $H_{4\%}/m$ | t/s | $H_{4\%}/m$ | t/s |
| S | 3.7 | 6.8 | 3.2 | 6.3 | 2.8 | 5.9 | 1.8 | 4.7 |
| SSW | 3.9 | 6.8 | 3.4 | 6.7 | 3.0 | 6.2 | 2.3 | 5.1 |
| SE | 3.4 | 6.8 | 3.0 | 6.3 | 2.7 | 5.9 | 1.3 | 4.3 |
| ESE | 2.2 | 6.3 | 1.8 | 6.1 | 1.4 | 5.6 | 1.0 | 4.1 |
| E | 2.4 | 5.9 | 2.0 | 5.5 | 1.6 | 5.1 | 1.1 | 3.9 |

数值实验时采用试算的方法,通过调整边界处的入射波高大小,将-5 m等深线的数值计算结果与上表中的数据进行对比,从而确定波浪数值计算模型中的入射边界条件。

1.2.3 数值模型有效性验证

为了验证本文建立的波浪数学模型在大笔架山岛海域的有效性,将数值计算结果与物理模型试验结果进行了对比。物理模型试验在大连理工大学海岸和近海工程国家重点实验室沿岸水池内进行^[2],利用物模试验的波高监测结果验证数值计算方法的有效性。图6为物理模型试验浪高监测仪的布置图,图7为连岛坝模型试验布置情况图。

图8给出了设计高水位情况下ESE向50 a一週波高的物模试验值与数值计算值比较柱状图。物模试验中ESE向波浪垂直造波机,50个测波点均在波浪作用的有效范围内,而其他方向的波浪均为斜向入射,部分波高监测点不在波浪作用的有效范围内,因此数值结果仅与ESE向的物模试验结果进行了对比。

由图 8 可以看出,连岛坝至湊波点(-1.8 m 等深线)范围内的波高结果吻合良好,而大笔架山岛东侧及-1.8 m 等深线以东海域结果差异稍大。原因在于物模试验和数模计算的造波边界位置不同,受水池尺寸限制,造波机位于-4 m 等深线处,大笔架山岛东侧和湊波点(-1.8 m 等深线)以东海域的波高监测点位置距离造波机较近,此范围内波浪处于非稳定区,因此由浪高仪监测得到的波高值会与实际值有差别,而湊波点及以西海域波浪已经较为稳定,数值计算值和物模结果吻合较好。基于此,本文建立波浪谱模型可以用于连岛坝周边海域波浪场分布的数值计算。

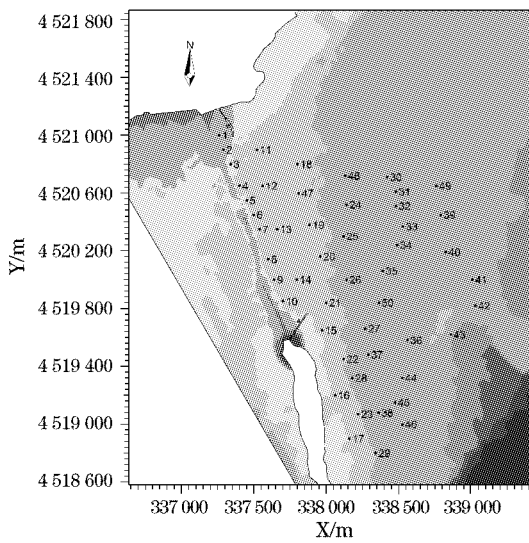


图 6 波高变化测点位置

Fig. 6 Locations of the points where the wave height changes

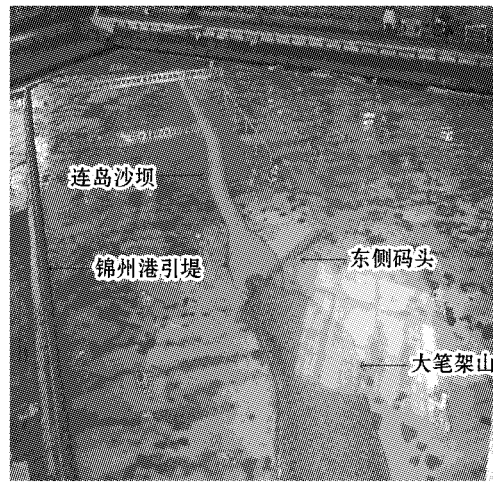


图 7 连岛坝模型试验布置情况

Fig. 7 Layout of the model test at the tombolo

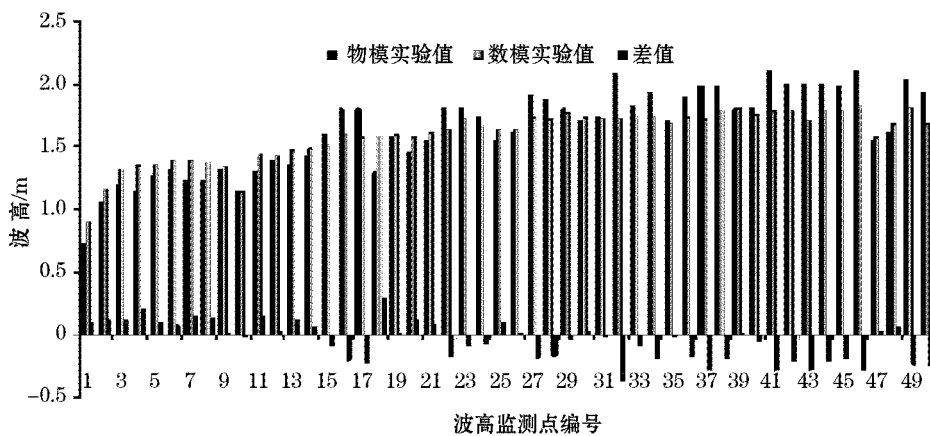


图 8 设计高水位 ESE 向 50 a 一遇物理模型试验与数值计算波高比较图

Fig. 8 Comparison of the wave heights between the physical model and the numerical simulation for 50-year return period at designed ESE high water level

1.2.3 连岛坝海域波浪场分布变化

通过分析连岛坝附近海域海洋工程分布可知,对连岛坝周边海域水动力变化影响最大的工程为锦州港,锦州港东引堤与大笔架山岛最短距离仅为 120 m。根据 1980—1982 年在大笔架山岛进行的短期测波资料表明,连岛坝海域的常浪和强浪向均为 SSW 和 S 向,E~SSW 的波浪频率可以占到所有浪向的 73%。

本文给出了锦州港建设前后,连岛坝及附近海域设计高水位 50 a 一遇 SSW、S 向波浪场的分布情况(图 9),表 2 为锦州港建港前后连岛坝两侧波高分布对比,其中测点 1~21 位于坝体东侧,测点 22~42 位于坝体西侧(图 10)。

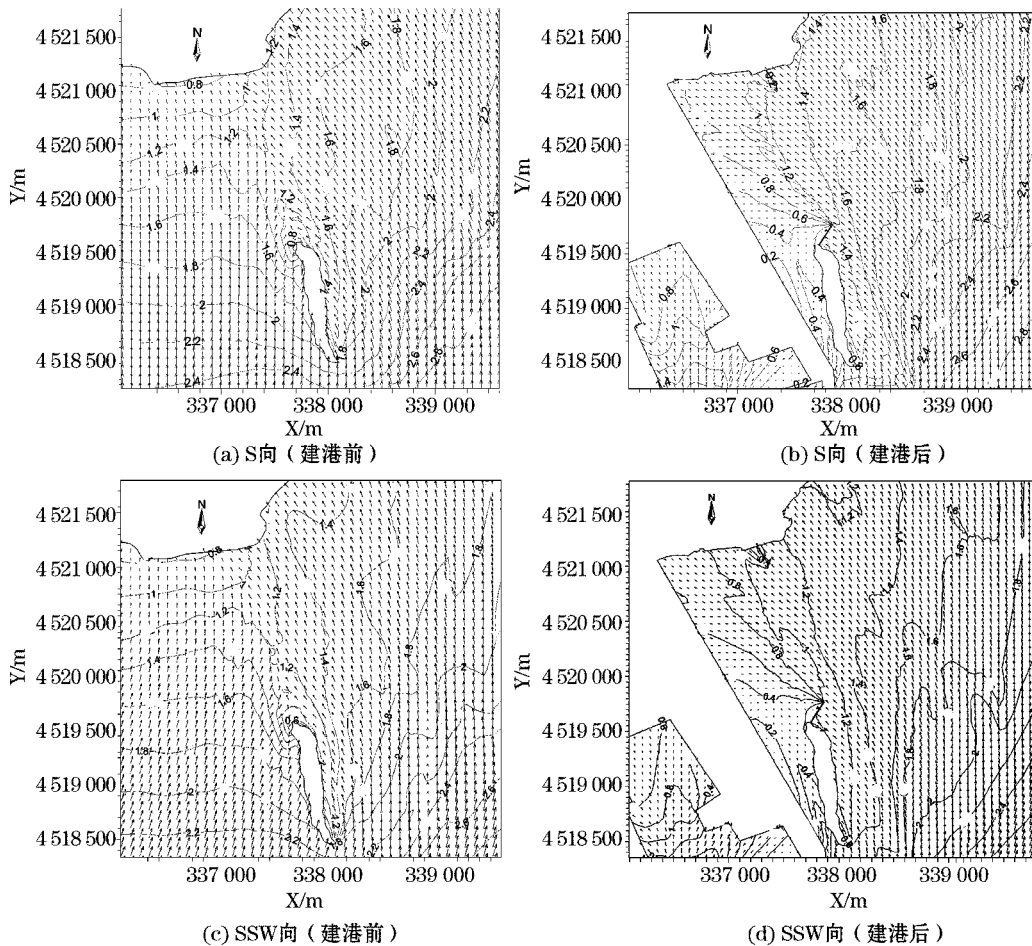


图 9 锦州港建港前后设计高水位 50 a 一遇 SSW、S 向波向波浪场的分布情况

Fig. 9 Distributions of 50-year return period wave height at designed S and SSW high water levels before and after the construction of the Jinzhou Port

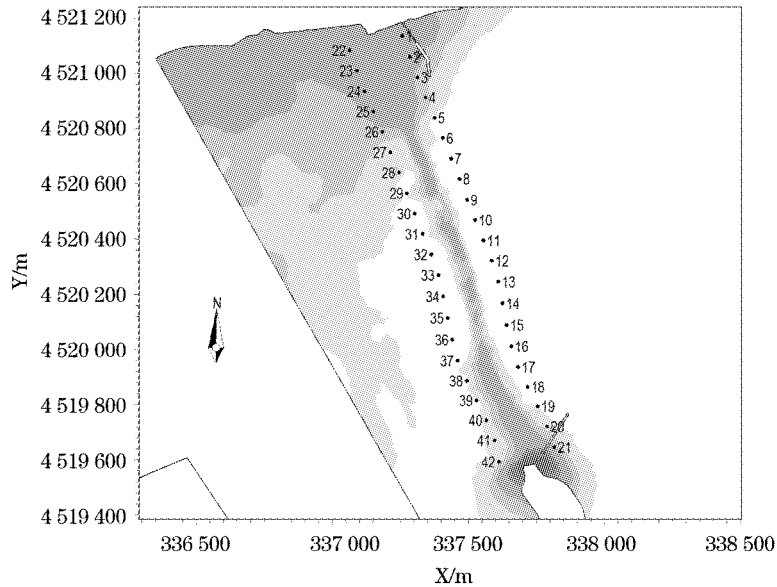


图 10 波高变化测点位置图

Fig. 10 Locations of the points where the wave height changes

由图 9 及表 2 可知:

1) 对于偏南(SSW、S)向波,锦州港建设前连岛坝两侧的波高差异较小,坝体两侧最大的波高差异均小于 10 cm。锦州港建设后,锦州港东引堤与笔架山岛之间仅有宽度为 120 m 的狭窄水道,几乎完全阻断了 SSW、S 向波浪对连岛坝西侧的影响,坝体西侧波高普遍降低 20 cm,坝体两侧的波高差异增大至 30~40 cm。

2) 锦州港建设前后,连岛坝两侧波向的改变也是十分明显的。由于地形影响而导致波浪发生折射和绕射,在连岛坝东侧水域 SSW、S 向波浪转变为 SSE 向,建港后坝体东侧海域波浪(E~SSE)亦没有明显的变化;连岛坝西侧水域,建港前 SSW、S 向波在坝体西侧未有明显变化,建港后几乎完全阻断了 S、SSW 向波浪对连岛坝西侧水域的影响,现状主要是 S、SSW 向波浪绕过大笔架山岛后形成的 SSE 向绕射波越过连岛坝进入西侧水域。

3) 结合大笔架山岛附近海域 1980—1982 年短期测波资料的分析可知:E~SSW 的波浪频率占到所有浪向的 73%,可以看出锦州港建成后有 73% 外海波浪是在连岛坝东侧海域作用到连岛坝上的。

综上所述,锦州港建设前连岛坝两侧波浪动力条件是较为平衡的,两侧波浪动力的平衡是维持坝体存在及稳定的重要条件;而建港后塑造(维持)坝体稳定的偏西向波浪作用完全消失,而偏东向波浪对坝体的塑造作用依然存在,在单侧波浪动力条件下,坝体高度逐渐降低,接近对称的坝体逐渐向西偏移,西坡变陡,东坡变缓。

表2 锦州港建港前后SSW和S向波高的变化(m)

Table 2 Changes in the SSW and S wave heights before and after the construction of the Jinzhou Port(m)

| 测点 | | S向波高 | | | | SSW向波高 | | | |
|----|----|------|------|------|------|--------|------|------|------|
| | | 工程后 | | 工程前 | | 工程后 | | 工程前 | |
| 东侧 | 西侧 | 东侧 | 西侧 | 东侧 | 西侧 | 东侧 | 西侧 | 东侧 | 西侧 |
| 1 | 22 | 0.36 | 0.79 | 0.85 | 0.64 | 0.39 | 0.8 | 0.83 | 0.66 |
| 2 | 23 | 0.61 | 0.81 | 0.9 | 0.71 | 0.62 | 0.82 | 0.84 | 0.73 |
| 3 | 24 | 1.05 | 0.87 | 0.95 | 0.74 | 0.99 | 0.85 | 0.86 | 0.75 |
| 4 | 25 | 1.16 | 0.89 | 0.99 | 0.77 | 1.05 | 0.86 | 0.90 | 0.78 |
| 5 | 26 | 1.18 | 0.88 | 1.05 | 0.86 | 1.04 | 0.82 | 0.94 | 0.86 |
| 6 | 27 | 1.18 | 0.88 | 1.06 | 0.93 | 1.03 | 0.81 | 0.94 | 0.93 |
| 7 | 28 | 1.18 | 0.90 | 1.10 | 0.97 | 1.04 | 0.83 | 0.97 | 0.97 |
| 8 | 29 | 1.19 | 0.88 | 1.14 | 0.99 | 1.04 | 0.81 | 1.01 | 1.00 |
| 9 | 30 | 1.19 | 0.87 | 1.16 | 1.00 | 1.02 | 0.79 | 1.03 | 1.02 |
| 10 | 31 | 1.25 | 0.87 | 1.17 | 1.05 | 1.07 | 0.79 | 1.05 | 1.07 |
| 11 | 32 | 1.19 | 0.90 | 1.16 | 1.08 | 1.00 | 0.80 | 1.03 | 1.10 |
| 12 | 33 | 1.20 | 0.90 | 1.13 | 1.09 | 0.99 | 0.79 | 1.02 | 1.11 |
| 13 | 34 | 1.16 | 0.85 | 1.19 | 1.11 | 0.95 | 0.72 | 1.09 | 1.12 |
| 14 | 35 | 1.15 | 0.82 | 1.21 | 1.14 | 0.92 | 0.66 | 1.10 | 1.14 |
| 15 | 36 | 1.15 | 0.80 | 1.19 | 1.13 | 0.92 | 0.64 | 1.07 | 1.14 |
| 16 | 37 | 1.07 | 0.75 | 1.10 | 1.11 | 0.86 | 0.60 | 0.98 | 1.12 |
| 17 | 38 | 0.95 | 0.63 | 1.07 | 1.07 | 0.75 | 0.51 | 0.96 | 1.09 |
| 18 | 39 | 0.85 | 0.51 | 1.12 | 1.05 | 0.67 | 0.41 | 1.00 | 1.07 |
| 19 | 40 | 0.58 | 0.40 | 1.12 | 1.03 | 0.46 | 0.33 | 1.01 | 1.04 |
| 20 | 41 | 0.17 | 0.32 | 1.05 | 0.90 | 0.14 | 0.27 | 0.95 | 0.90 |
| 21 | 42 | 1.07 | 0.26 | 1.03 | 0.82 | 0.98 | 0.23 | 0.96 | 0.82 |

2 连岛坝海域潮流动力条件变化

波浪物理模型试验结果表明^[2]:在单侧波浪作用下,连岛坝高程整体不断下降,沿程坝体高度逐渐出现高低不等的变化,其中坝体四处位置降低明显大于其他位置,逐渐趋于连岛坝现状,说明坝体破坏确系东侧来浪所致。虽然单侧波浪是造成连岛坝破坏的主因,但单纯波浪作用还不足以使连岛坝形成如此深的潮沟。

根据现场观测,在涨、落潮过程中潮沟内的流速明显增大,因此分析认为潮沟形成后沟内的流速增大加剧了潮沟处的侵蚀。为了验证上述论断的正确性,采用潮流数值模型,对连岛坝附近海域的潮流场进行了数值计算,期望得到潮沟内的最大流速。

2.1 控制方程

MIKE21 FM子模块属二维潮流模型,根据 Boussineq 假设、静水压力假设、浅水条件和适定边界条件,通过控制体积法求解由不可压缩雷诺平均 Navier-Stokes 方程概化的浅水方程^[4],可用于海岸地区潮流场的模拟。模型采用无结构网格优化计算,适用于具有复杂边界的海岸和河口环境模拟,并考虑了干湿动边界处理滩地在涨、落潮过程中的变化。笛卡尔坐标下的连续性方程、动量方程见式(5)~(7)。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(h\bar{u}) + \frac{\partial}{\partial y}(h\bar{v}) = hS \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial h\bar{u}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}^2}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}\bar{u}}{\partial y} = f\bar{v}h - gh \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\tau_{sx}}{\rho_0} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_0} - \\ \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x}(hT_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y}(hT_{xy}) + hu_s S \quad (6) \end{aligned}$$

$$\frac{\partial h\bar{v}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}\bar{v}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}^2}{\partial y} = -f\bar{u}h - gh\frac{\partial\eta}{\partial y} - \frac{h}{\rho_0}\frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{gh^2}{2\rho_0}\frac{\partial\rho}{\partial y} + \frac{\tau_{sy}}{\rho_0} - \frac{\tau_{by}}{\tau_0} - \frac{1}{\rho_0}\left(\frac{\partial s_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{yy}}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial x}(hT_{xy}) + \frac{\partial}{\partial y}(hT_{yy}) + hv_s S \quad (7)$$

式中, η 为自静止海面向上起算的海面波动(潮位); d 为静水深(海底到静止海面的距离); $h = d + y$, 为总水深; x 和 y 为原点置于未扰动静止海面的直角坐标系坐标; $f = 2\omega \sin\varphi$ 为柯氏参数, 其中 ω 是地转角速度, φ 是地理纬度; g 为重力加速度; τ_{sx} 和 τ_{sy} 分别为海面风应力在 x 和 y 方向的分量; τ_{bx} 和 τ_{by} 为海底涡动摩擦力在 x 和 y 方向的分量; s_{xx} , s_{xy} , s_{yx} 和 s_{yy} 为辐射应力分量; T_{xx} , T_{xy} , T_{yx} 和 T_{yy} 为水平粘滞应力项。 u 和 v 分别为沿 x 、 y 方向的垂向平均流速分量:

$$h\bar{u} = \int_{-d}^{\eta} u dz, \quad h\bar{v} = \int_{-d}^{\eta} v dz \quad (8)$$

具体的数值离散格式、模型定解条件详见文献[3], 这里不再一一赘述。

2.2 计算域范围及边界条件

模型的计算域范围和网格设置与波浪计算模型相同, 见 1.2.1。

模型的边界条件采用潮位控制, 计算时给定每个边界上不同节点处的潮位值, 节点处的潮位值通过中国海域潮汐预报软件 Chinatide^[5] 获取。

2.3 模型验证

模型的验证分为潮位验证和流速验证, 验证点的位置见图 11。验证资料选择国家海洋环境监测中心在大笔架山岛海域进行的大潮期(2011-06-03T08:00—04T08:00)和小潮期(2011-06-09T09:00—10T09:00)4 个测站连续 25 h 的潮流及潮位观测数据。

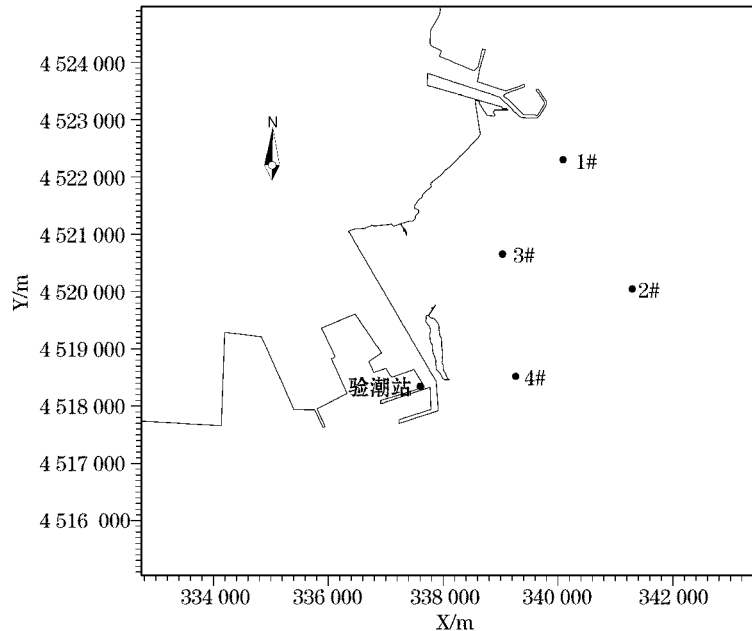


图 11 潮位及潮流验证点位置图

Fig. 11 Locations of the tide and tidal current verification points

2.3.1 潮位计算验证

首先对研究区域进行了30 d的水动力场计算。计算的初始条件为:当 $t=0$ 时, $u=v=\eta=0$,其中 u 、 v 分别为水平流速的 x 方向的分量和 y 方向的分量; η 为未扰动海面上的潮位。整个计算域由静止开始计算,大约6 h后全场流态达到稳定。计算时按小时输出验证潮位站的潮位变化过程,用于对大、小潮进行潮位验证。大、小潮的潮位验证过程曲线,如图12所示。由图12可以看出,工程海域的潮汐属于非正规半日潮,一日潮位过程包括两个涨潮、落潮过程,潮位过程的高低潮不等现象明显。图中的大潮和小潮实测潮位和数值模拟结果都说明了这一点。

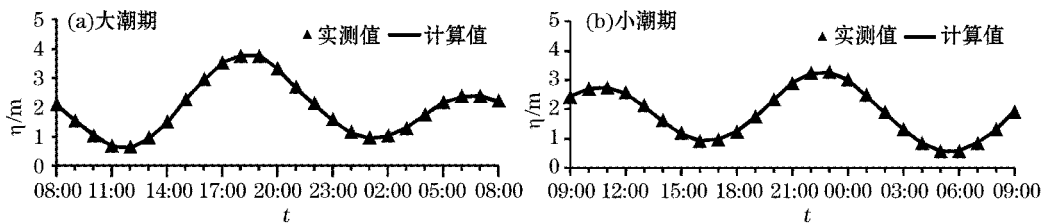


图12 潮位过程验证曲线

Fig. 12 Validation of tidal level process

2.3.2 流速、流向验证

计算时按小时输出验证潮流站的流速、流向变化过程,用于对流速、流向的验证。图13为大潮期4个测点的垂线平均流速、流向验证图(鉴于文章篇幅限制,仅给出了大潮期流速、流向验证过程)。由图13可见,各验证点计算流速和实测资料吻合较好,最大误差小于10%。验证结果符合TJT/T 233-98《海岸与河口潮流泥沙模拟技术规程》^[6]要求,计算结果与实测憩流时间和最大流速出现的时间偏差小于0.5 h,流速过程线的形态基本一致,涨、落潮段平均流速偏差小于10%。

从潮位过程及流速、流向验证结果看,数模能够客观反映大笔架山岛及附近海域的潮流运动规律。

2.3.3 流场涨落过程及其特性分析

模拟结果表明:本区属于弱流区,锦州港港区附近海域流速在20 cm/s左右。整个计算域内的潮流受地形的影响比较明显,流向变化比较复杂,近岸区流速很小,开阔区域流速稍大。大笔架山岛附近海域,平均流速为10~20 cm/s。

图14(a)为现状条件下大笔架山岛海域大潮涨急时刻流态图。由图可以看出,涨急时刻,锦州湾外主流向为NE向,受葫芦岛高角的影响,进入湾内的水流分成两股,并在锦州港口门处分流,一股进入锦州湾内,一股沿锦州港南防波堤进入大笔架山岛海域;进入大笔架山岛海域的潮流,由于受大笔架山岛山体的阻挡,亦分成两股,一股沿大笔架山岛与锦州港东引堤之间的潮汐通道进入连岛坝与锦州港东引堤之间的水域,一股绕过大笔架山岛东侧,在连岛坝不出水的情况下,会有一部分进入连岛坝西侧水域,大部分水体流向小笔架山岛及锦州中心渔港。

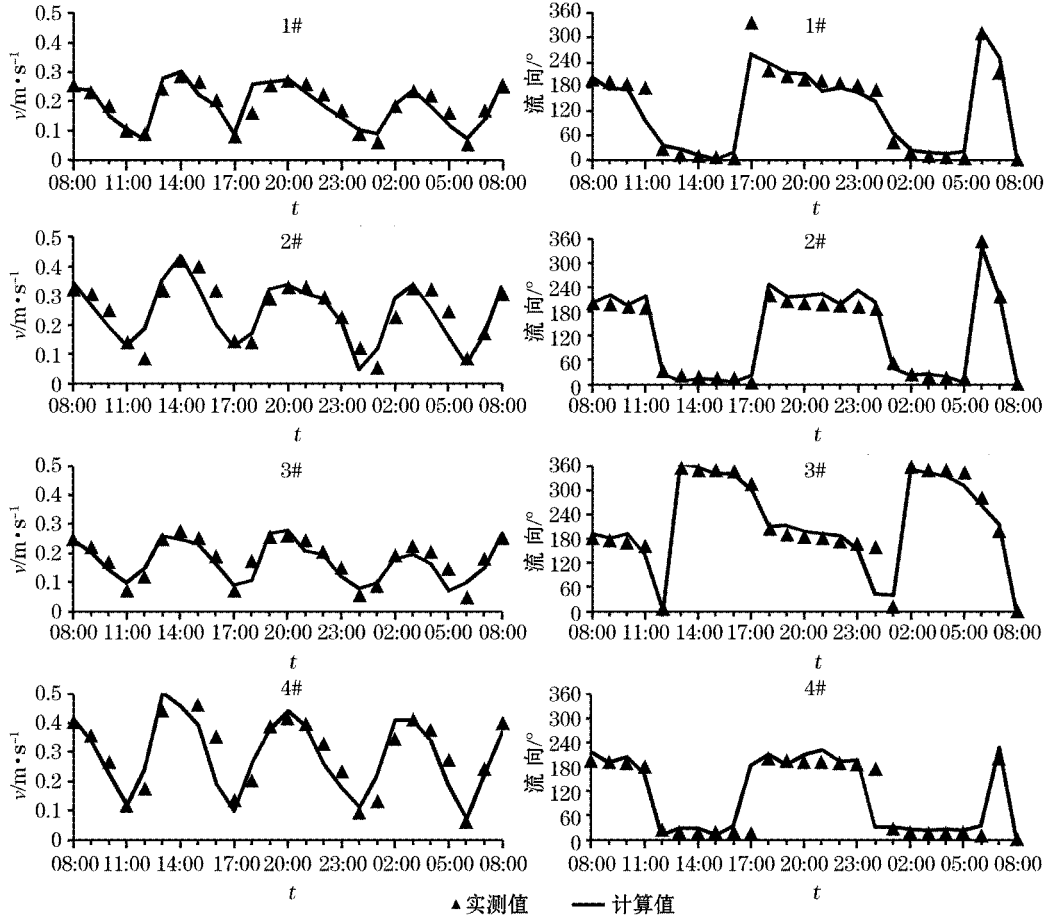


图 13 流速、流向验证曲线

Fig. 13 Tidal current validation curves

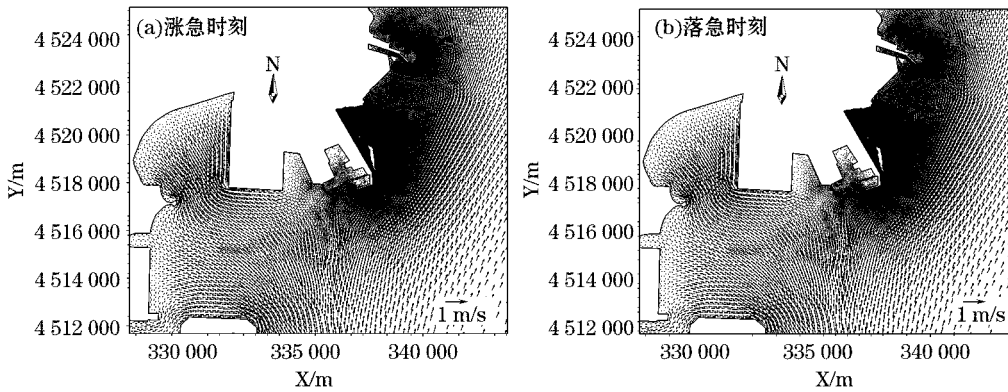


图 14 潮流场计算结果

Fig. 14 Simulated results of tidal current field

图 14(b) 为现状条件下大笔架山岛海域大潮落急时刻流态图。从图中可以看出, 落急时刻, 锦州湾外主流向为 SW 向, 潮流到达连岛坝后, 在连岛坝不出水的情况下, 会有一部分进入连岛坝西侧水域, 大部分水体沿笔架山岛东侧流动, 两股水流在锦州港东引堤南端交汇, 而后沿着锦州港南防波堤流动, 最后与锦州湾内落潮流在锦州港口门外汇合, 流向葫芦岛高角。

2.4 潮沟处流速分析

通过连岛坝附近水域潮流场的数值计算发现, 连岛坝一旦露出水面, 潮沟处的流速会陡然增大, 形成潮汐通道; 豁口处, 涨潮流速最大为 0.65 m/s, 落潮流速最大为 0.60 m/s, 此流速足以把坝体的小块砾石等细颗粒物冲走, 使潮沟进一步加深。因此, 可以看出连岛坝潮沟的形成来源于波浪和潮流的共同作用, 坝体在波浪持续作用破坏形成深沟后, 潮流加速, 深沟则变成潮汐通道。连岛坝出水情况下, 最大涨、落潮流速见图 15。

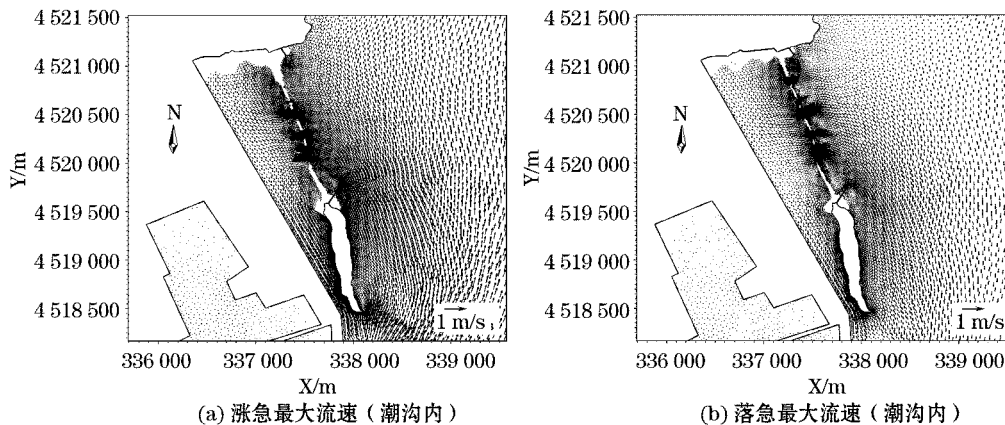


图 15 连岛坝潮沟处最大流速

Fig. 15 The maximal tidal current speed in the tidal creeks of the tombolo

3 结论

在对大笔架山岛连岛坝及附近海域进行波浪场及潮流场数值计算的基础上, 首次量化了连岛坝周边海洋工程建设对连岛坝动力场的改变程度, 基于此, 对连岛坝侵蚀的原因进行了系统分析, 并得到以下结论:

1) 连岛坝周边海洋工程的建设导致大笔架山岛周边海域水动力条件, 尤其是波浪动力条件发生明显变化。波浪频率分析表明, 锦州港东引堤建成后有 73% 外海波浪是在连岛坝东侧海域作用到连岛坝。

2) 维持连岛坝稳定的双侧动力条件变为单侧(偏东向)动力单独作用, 维持坝体稳定的西侧波浪动力条件几乎完全消失, 坝体在东侧波浪动力条件下逐渐向西偏移, 高度降低, 局部出现“豁口”。

3) 潮流场数值分析表明, 连岛坝一旦露出水面, “豁口”(潮沟)处的流速会陡然增大, 形成潮汐通道; 涨潮流速最大为 0.65 m/s, 落潮流速最大为 0.60 m/s, 足以把坝体的小块砾石等细颗粒物冲走, 使潮沟进一步加深。

4)连岛坝“豁口”(潮沟)的形成是由于波浪和潮流的共同作用,坝体在东侧波浪持续作用破坏形成“豁口”,潮流加速“豁口”侵蚀。

参考文献

- [1] 张宇. 数值模拟在北戴河西海滩养护工程海域海洋动力场的研究[D]. 上海:同济大学,2009.
- [2] 张志波,梁书秀,孙昭晨,等. 笔架山连岛沙坝侵蚀和修复的物理模型实验研究[J]. 水动力学研究与进展:A辑,2014,29(1):50-58.
- [3] 冯静. MIKE21 FM 数值模型在海洋工程环境影响评价中的应用研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2011.
- [4] 冒小丹,匡翠萍,潘毅,等. 潮流对老虎石海滩养护工程响应的数值预测[J]. 海洋地质前沿,2012,29(2):71-78.
- [5] 李孟国,郑敬云. 中国海域潮汐预报软件 Chinatide 的应用[J]. 水道港口,2007,28(1):65-68.
- [6] TJT/T 233—98 海岸与河口潮流泥沙模拟技术规程[S]. 北京:人民交通出版社,1998.

Cause Analysis of the Bijiashan Tombolo Erosion Based on the Changes of Dynamic Conditions

SUN Jia-wen^{1,2}, ZHANG Zi-peng¹, YU Yong-hai¹, SUN Zhao-chen²,
LIANG Shu-xiu², SUO An-ning¹

(1. *National Marine Environmental Monitoring Center, Key Laboratory of Sea-Area Management Technology, SOA, Dalian 116023, China*; 2. *State Key Laboratory of Coastal and Offshore Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China*)

Abstract: Dynamic conditions such as waves and tidal currents in the sea area around the Bijiashan tombolo, which is in Jinzhou city, Liaoning province, are calculated by using the wave spectrum model and the tidal current model of MIKE21 software, and the changes of dynamic conditions before and after the construction of the Jinzhou Port are also analyzed. The results show that the construction of the Jinzhou Port has completely blocked the shaping role of the westward waves to the tombolo and the erosion of the tombolo is indeed a result from the unilateral (eastward) wave action. In the local areas around the tombolo where the erosion is serious, four distinct tidal creeks are formed. Because the current velocity increases in the creeks, the erosion of the tombolo is intensified.

Key words: tombolo; erosion; dynamic conditions