

近岸补沙养护海滩研究综述

A review of the shoreface nourishment for beach protection

吴建^{1,2}, 拾兵¹

(1. 中国海洋大学 工程学院, 山东 青岛, 266100; 2. 海军92854部队, 广东 湛江, 254002)

中图分类号: P753

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2011)08-0108-05

在海平面上升、风暴频率增加等自然因素和人工挖沙、河流水利及海岸工程建设等人为因素的影响下, 海滩侵蚀的现象越来越普遍^[1-6]。我国厦门岛、北戴河、青岛汇泉湾等黄金海滩滩面变陡, 颗粒粗化, 岸线萎缩, 可用沙滩面积大幅减少, 海滩资源的损失已成为滨海城市旅游业发展的瓶颈。随着人们对海滩侵蚀问题的重视, 学者和专家提出了各种海滩防护政策和工程措施并付诸实践^[7-9], 其中环境友好型的人工育滩工程在欧、美、日等发达国家的海岸防护中逐步兴起^[10-12]。

按照泥沙在海岸剖面抛填位置的不同, 人工育滩可分为沙丘补沙(将所有的补给泥沙堆积在平均高潮位以上)、海滩补沙(将泥沙堆积在平均低潮位与沙丘线之间)、近岸补沙(将补给泥沙抛填在平均低潮位以下形成人工沙坝, 依靠波浪作用将泥沙向岸滩输移)等形式^[13], 其中海滩补沙能快速拓宽干滩, 在美国得到广泛应用, 我国香港、海南、厦门、青岛等地也有工程实践, 而水深 - 8 m 以内的近岸补沙在欧洲特别是荷兰已逐渐取代海滩补沙在育滩工程中的主导地位, 发挥突出的防护作用。与海滩补沙等人工育滩形式相比近岸补沙有两点优势: 其一施工过程中海滩的休闲娱乐等不会受到干扰; 其二无需直接在岸滩上抛沙, 省去输沙到岸滩的施工工序, 节约费用。荷兰海岸防护实践表明, 近岸补沙比海滩补沙的效果更为理想, 是一种非常有潜力的海滩防护方法^[14]。

近岸补沙在海滩防护中的潜在作用有两方面: “喂养”效应和“遮蔽”效应。所谓“喂养”效应就是抛填泥沙在波流作用下向岸输移, 于其后一定位置落淤, 形成对海滩的养护; 所谓“遮蔽”效应, 就是通过破浪削弱波能, 形成水平环流, 促使遮蔽区水体的挟沙能力减低, 为沿岸运动泥沙在抛填沙体后沉积提供条件, 发挥潜堤的作用^[15]。本文对近岸补沙的国内

外研究现状分别从工程实践、现场观测、物理模型试验、理论分析与数值模拟角度进行了总结, 并展望了该领域的发展趋势。

1 研究现状

海滩地貌形态的变化, 涉及海滩地行动力学、近海地质学、海岸动力学、泥沙运动力学、黏性流体力学等各学科, 特别是泥沙运动的复杂性, 使得对海滩侵蚀及防护的研究出现困难。在一开始的近岸补沙育滩实践中, 填沙体基本保持稳定, 或没有明显减弱其后方海滩的侵蚀速度, 造成对其研究的一度停止。NOURTEC(Innovative Nourishment Techniques Evaluation)工程计划实施以来, 研究者从现场后期观测、物理模型、数值模拟及理论分析等方面, 加强对近岸补沙防护机理及效果的认识, 为海滩填沙防护实践提供了理论指导, 减少了工程实施的经验因素。

1.1 工程实践

近岸补沙工程实践在初期并没有取得较理想的防护效果。20 世纪 90 年代前各工程的补沙多稳定在抛填区域, 只有少数采取直接海岸防护措施且抛填水深较浅时, 沙坝才向岸移动, 这些成功的育滩实践包括巴西的 Copacabana Beach、丹麦的 Limtjord Barriers、澳大利亚的 Kira Beach、加拿大的 Silver Strand 等处海滩^[16-17]的补沙。1993 年 5 月至 1996 年 12 月欧盟对近岸补沙方法, 展开的专题研究

收稿日期: 2009-12-17; 修回日期: 2011-05-23

基金项目: 国家 863 计划项目(2008AA09Z309); 国家自然科学基金项目(50879084)

作者简介: 吴建(1983-), 男, 安徽宿州人, 助理工程师, 硕士研究生, 主要研究方向: 海滩侵蚀与防护, E-mail: woo-jian@163.com; 拾兵(1961-), 男, 通信作者, 教授, 博士生导师, 主要从事河流、河口与海岸动力学研究, E-mail: sediment@ouc.edu.cn

NOURTEC(包括 1992 年对德国 Norderney 0.26 km^2 的近岸区域抛沙约 $350\,000 \text{ m}^3$, 1993 年对丹麦 Torsminde Tange 0.24 km^2 的近岸区域抛沙 $250\,000 \text{ m}^3$, 1993 年荷兰 Terschelling 水深 $4.5\sim 7 \text{ m}$ 处填沙 $2\,000\,000 \text{ m}^3$)取得了较好的防护效果,推动了近岸补沙工程的发展,其中荷兰的育滩实践发展最为迅速。

1990 年前荷兰每年有 $20\sim 30 \text{ ha}$ 的沙丘消失,直至 1990 年荷兰制定动态海岸防护政策,以该年初的岸线为基准,通过人工填沙实现海岸的动态稳定,使大部分海滩宽度在 1990~1999 年期间有 10 m 左右的增长。2000 年荷兰对海岸防护政策重新评估,认为近岸补沙比海滩填沙效果较理想且经济^[18],由此促进了荷兰海岸近岸补沙量于 2001 年后迅速地增长,据资料统计仅 2000~2007 年荷兰近岸填沙量就超过 50 Mm^3 ,在其 Schiermonnikooa, Wadden coast, Petten, Noord-Holland coast, Zuid-Holland coast, Voordelta area 等海岸 - $4\sim -8 \text{ m}$ 水深处的补沙工程都取得了较理想的防治效果^[19-20]。从图 1^[21]荷兰 Terschelling 近岸补沙对岸线的影响可以看出,近岸补沙工程防止了海岸侵蚀后退,并使岸线向海推进。

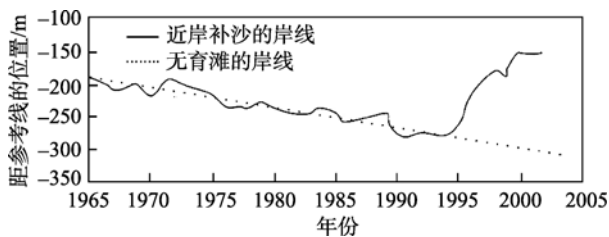


图 1 近岸补沙对岸线的影响

1.2 现场观测研究

NOURTEC 通过海岸监测系统及人工测量对瓦登海(the Wadden Sea)沿岸丹麦 Torsminde Tange、荷兰 Terschelling 和德国 Norderney 海岸的近岸补沙进行全面监测。比较不同水深单位长度泥沙体积的变化发现,1992 年在德国 Norderney 海岸进行的海滩和近岸组合补沙,效果优于 1989 年的单纯海滩补沙^[22];1993 年对丹麦 Torsminde Tange 的最外沙坝抛填粗泥沙,减弱了后方海滩侵蚀强度;1993 年在荷兰 Terschelling 的近岸补沙有较强的向岸输移,岸滩拓宽超过预期。

Bougdanou^[13]对南荷兰省 Ter Heijde, Katwijk, Noordwijk 等三处近岸补沙的实践从泥沙总体积、断面、沿岸输沙、海滩宽度等方面进行观测,发现近岸

补沙工程促进了泥沙的向岸运动,判定工程成功。Baptist, Grunnet, VanDuin 等^[17,21-23]总结了荷兰海岸近岸补沙的工程实践,发现近岸补沙对沙坝系统循环周期、位置等自身演化规律产生影响,沙坝在较短时间内演变为海岸沙坝系统的部分,其对近岸地形的影响周期在 $2\sim 8 \text{ a}$,而在不同的地点表现出不同的形态动力行为,如 Terschelling 的近岸补沙有较强的向岸输移和岸滩拓宽,西南海岸的填沙较长时间保持在抛填位置,而在 Egmond 等处的填沙并没有较好地减弱海滩侵蚀强度,监测还发现填沙对海洋生态的干扰可在短期内恢复。

2002 年分别在巴塞罗那 Bogatell 长 600 m 的海滩抛沙 $70\,000 \text{ m}^3$ 与 La Barceloneta 长 $1\,100 \text{ m}$ 的海滩抛沙 $40\,000 \text{ m}^3$ 形成近岸沙坝,现场监测发现填沙使滩面面积增加了 $5\,000\sim 13\,000 \text{ m}^2$,但一年半后出现侵蚀并越来越严重,海滩面积与育滩前相当或更少,认为形态动力系统对水下剖面有较大影响^[24]。

1.3 物理模型试验研究

实验室研究通常在二维水槽或大型水池中进行剖面及区域性的模拟试验分析,增进了对近岸补沙作用及效果的认识,对工程布置有指导作用。

1.3.1 以研究水下沙坝对波浪折减效果为目的的试验

Zwambom 等^[25]为南非的德班海滩养护工程进行动床试验,以波浪折减系数的大小寻找最佳的沙坝顶宽,并认为海滩侵蚀与深水波陡和深水弗劳德数有关。Sawaragi 等^[26]通过二维动床试验,分析了水下沙坝在底宽固定而高度变化时的消波效能和碎波范围。Vincent 等^[27]对水深 45 cm 处,高 30 cm 的固定人工沙坝试验,以不同入射条件探讨沙坝后方波高变化,结果显示不论是规则波或单向入射的不规则波皆会在沙丘后方形形成聚焦效应。最近笔者也对北戴河海岸的水下沙坝育滩工程进行了断面物理模型试验,结果表明近岸人工沙坝对波浪的消减可达 30% 以上^[28]。

1.3.2 以研究近岸补沙对泥沙输移、沙坝迁移、剖面变化情况为目的的试验

Gunayakti^[29]进行了不同粒径下近岸沙坝泥沙输移的模型试验,结果显示在同样的波浪条件下,粒径较细的颗粒较易向岸传输,若有沿岸流则易于被带到外海甚至消失,相反颗粒粗的填沙较容易沿岸输移或保持在抛填处,并给出抛填泥沙输移与水下沙坝高度(h_b)、水深(h)、坝顶高度(h_c)、坝顶宽(B_c)

的关系, 当 $0.5 \leq h_b/h \leq 0.8$ 和 $5 \leq B_c/h_c \leq 21$ 时, 会有 75% 的填沙向岸输移。Sawaragi 等^[26]进行动床试验, 以摩阻流速和泥沙沉速比(u^*/ω)作为育滩泥沙运动的判别因子, 其值在 0.5~0.6 时会造成沙坝侵蚀, 与以 Shields 参数判别的结果一致。对 Perdido Key 的近岸补沙, 进行水平比尺为 1: 100, 垂向比尺 1: 16, 时间比尺 1: 25 的物理模型试验, 通过各波况下沙坝质心位置的变化, 判别沙坝的运动趋势, 结果表明小波高、长周期的波浪促使沙坝向岸运动, 大波高、短周期的波浪造成沙坝离岸运动。SUPERTANK (The SUPERTANK data collection project) 的水槽试验包括宽、窄两组水下沙坝, 宽沙坝为约 30 m 宽的矩形, 窄沙坝为底宽 15 m 的三角形, 两沙坝均高于底床 1.5 m, 试验测量了沙坝在波高 $H_{m0}=0.4$ m, 波周期 $T_p=8.0$ s 作用 810 min 后地形变化情况, 结果显示, 窄沙坝相比宽沙坝在高度上有较快和幅度较大的减小, 更多的填沙向岸输移, 而宽沙坝则有部分泥沙向海运动^[30]。黄志诚、张庆民^[31-32]分别对水平底床和斜坡上水下沙坝的演变情况进行了研究。Hoyng^[33]对高位、低位两种近岸补沙方案进行了常浪及风暴浪下的试验, 结果表明近岸补沙在各工况下都降低了离岸输沙率, 增强向岸输沙, 抛沙体的高度对养护效果起到极其重要的影响。

1.4 理论分析与数值模拟研究

目前对近岸补沙育滩的理论研究和数值模拟还不够完善。Hallermeier^[34]认为沙坝位置会影响泥沙输移速率, 利用波浪和底床的参数计算了输沙的极限水深, 定义内部极限水深(h_{in})之内为可动区, 外部极限水深(h_{out})之外为稳定区, 两者之间为缓动区(buffer zone)。Hands^[35]以 Hallermeier 极限水深公式判断沙坝稳定性, 将沙坝运动状态做了有效区分。Larsen and Kraus^[36]利用现场试验资料, 回归得到沙坝向、离岸输移的临界条件。Duin^[23]、Koster 等^[37]对近岸补沙养护海滩的作用机理进行分析, 如图 2, 近岸补沙后, 波浪在离岸较远处破碎, 消减了波能, 使掩护区域沿岸流挟沙能力下降, 促使挟沙落淤, 发挥掩护作用, 破波增水形成的水平环流, 增强了填沙顶部泥沙的向岸输移, 从而起到喂养海滩作用。

数值模拟方面, 由于波流、泥沙输移和岸滩底形等因素复杂的相互作用, 特别是泥沙运动的复杂性, 近岸补沙养护海滩的模拟还存在着较多的不精确处, 各模型只对波浪消减、沿岸流减弱及坝后泥沙沉积

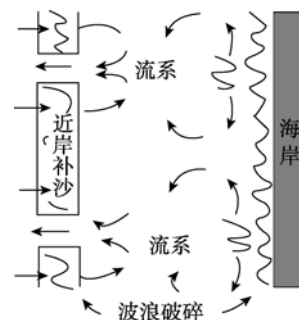


图2 近岸补沙形成的近岸流系

现象具备一定的预测能力。Douglass^[38]依据 Bagnold 的推移质方程和 Bailard 的泥沙输移方程, 对水下沙坝进行数值研究, 在泥沙迁移的方向和尺度上计算结果与试验数据较符, 对泥沙初始运动的忽略使泥沙迁移速率出现偏差。Van Duin 等^[23]利用基于过程的剖面模型 UNIBEST-TC 和海岸区域模型 DELFT3D-MOR 对荷兰 Egmond 海岸近岸补沙进行模拟, 模型在沙坝移动、波浪消减、沿岸流速减少及泥沙在遮蔽区的沉积方面取得成功, 因忽略波浪不对称引起的横向输沙, 预测剖面 and 现场测量剖面不吻合。Grunnet 等^[39]通过 Delft 3D 对 Terschelling 区域的填沙进行三维流动和泥沙输移的模拟, 计算与 NOURTEC 的观测数据比对, 有效反应了沙坝的掩护效应和喂给效应, 但对底床与运动泥沙交换的忽略, 使模型对近岸沙坝的迁移和发展预测能力不足。

通过数值模型研究填沙的影响因素以指导工程实践方面, 也取得了一定的成果。Lee^[40]同样以 Bailard 的泥沙输移方程为基础建立模型, 有效预测了沙坝的平坦化和泥沙输移方向, 定性给出沙坝迁移与波高和泥沙粒径存在的依赖关系。Larson^[41]利用均方根波高为等效波高进行海滩剖面在随机波浪下的演化模拟, 分析了沙坝形状、滩肩水浸及波浪破碎对填沙的影响。Kriauciuniene 等^[42]利用 MIKE21 软件, 对风暴条件下泥沙输移、底床演变和动态平衡剖面等方面进行模拟, 确定了立陶宛某近岸补沙工程的最佳抛填位置。Koster^[37]利用 DELFT3D 软件对不同动力条件和不同特征下的驼峰式补沙(humplike nourishing)和沙坝补沙(bar nourishing)的模拟表明驼峰式补沙能使单位尺度的填沙更多向岸输移, 而在风暴条件下驼峰式补沙的防护效果随着波向角的增大愈加明显, 且保持相当的向岸输沙和近岸剖面, 驼峰式补沙所需填沙量比沙坝补沙要少, 同时给出填沙体长 200 m, 间隔 300~500 m 时, 对海滩养护效

果较好。

Leeuwen 等^[43]避开数值模拟的条件限制, 利用线性稳定性分析的方法, 对长直海岸上不同尺度的水下沙坝在波浪作用下的消散特征进行研究, 表明长尺度的沙坝消散较慢, 且有向岸泥沙输移。

2 发展趋势

在美国, 人工育滩与护岸建筑在海岸侵蚀防护中运用的比例达到 4 : 1 以上, 在欧洲、日本等发达国家人工育滩的实践也在迅速增加。近岸补沙在海滩侵蚀防治上与海滩补沙、沙丘补沙等方法相比更具有主动性。从图 3^[19]荷兰人工育滩填沙趋势可以看出, 近岸补沙的补沙量和占人工育滩工程的比例都在增长。在“硬性”结构防护海岸暴露诸多弊端的今天, 海滩面临的侵蚀因素增多, 影响强度加大, 其脆弱性日益凸显, 加大“软性”防护工程措施实现海滩动态防护已成为发达国家海岸防护的主导思想, 近岸补沙防护海滩的应用, 使海滩防护位置从滩面走向近岸, 深化了“保堤必须保滩”的海岸防护理念。

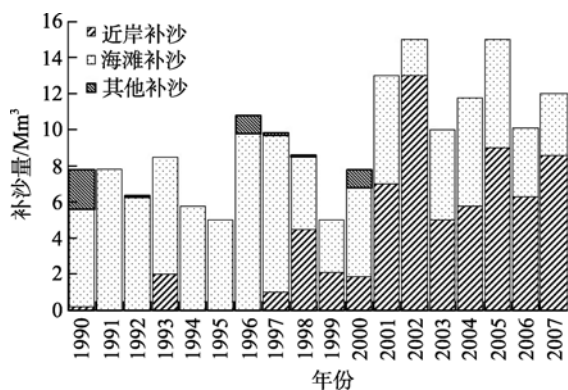


图 3 荷兰人工填沙趋势

3 结语

国内外近岸补沙工程实践及研究成果表明, 近岸补沙作为更主动的人工育滩方式, 不仅能够有效地抵御海滩侵蚀, 保持海滩动态平衡, 亦适用于海滨浴场的整治, 促进滨海旅游业的发展。在我国青岛汇泉湾等地的旅游海滩, 来沙量缩减, 沿岸泥沙输移明显, 合理使用近岸补沙, 不仅可以削减波浪及沿岸流的输沙强度, 而且作为海上储沙库, 海洋动力通过搬运填沙形成对岸滩的喂养, 促使海滩动态稳定, 可见近岸补沙是保证滨海城市旅游业持续稳定发展的有效措施。但诸如填沙对初始地形的影响

及自身响应, 沙坝尺度及布置对防护效果的影响等问题还没有得到充分认识。国内对近岸补沙的设计以抛填粗沙形成稳定潜堤, 只发挥消波作用而忽视其喂养效应。可见, 对这种自然化的海滩侵蚀防治方法及其防护效果, 迫切需要深入研究, 为不同海岸环境下各种海滩养护工程的建设提供科学依据。

参考文献:

- [1] Bruun P. Sea-level as a cause of shore erosion [J]. Journal of Waterways and Harbours Division, 1962, 88: 117-130.
- [2] 王颖, 吴小根. 海平面上升与海滩侵蚀[J]. 地理学报, 1995, 50(2): 118-127.
- [3] Morton R, Sai I A. Morphological impacts of extreme storms on sandy beaches and barriers[J]. Journal of Coastal Research, 2003, 19(3): 560-573.
- [4] 姜梅. 略论护岸工程的负面影响——以美国护岸工程为例[J]. 海岸工程, 2000, 19(1): 64-68.
- [5] 冯金良. 人类工程活动对秦皇岛海滩侵蚀及淤积的影响[J]. 海岸工程, 1997, 16(3): 41-46.
- [6] 冯金良. 论陆地水利工程的海岸效应[J]. 河海水利, 1997, 6: 41-44.
- [7] 薛春汀. 中国海岸侵蚀治理和海岸保护[J]. 海洋地质动态, 2002, 18(2): 6-9.
- [8] 宋连清. 互花米草及其对海岸的防护作用[J]. 东海海洋, 1997, 15(1): 11-19.
- [9] 胡海泓. 生态型护岸及其应用前景[J]. 广西水利水电, 1999, 4: 57-59.
- [10] Hanson H, Brampton A, Capobianco M, et al. Beach nourishment projects, practices, and objectives—a European overview[J]. Coastal Engineering, 2002, 47(2): 81-111.
- [11] 姚国权. 欧、美、日的人造海滩[J]. 海洋信息, 1999, 4: 27-28.
- [12] 季小梅, 张永战, 朱大奎. 人工海滩研究进展[J]. 海洋地质动态, 2006, 22(7): 21-25.
- [13] Maria B. Analysis of the shoreface nourishments, in the areas of Ter Heij-de, Katwijk and Noordwijk[R]. The Hague: TUDelft, 2007.
- [14] Zwamborn J A, Fromme G A W, Fitzpatrick J B. Underwater mound for the protection of Durban's beaches [C]// American society of civil engineering. Twelfth coastal engineering conference. New York: American society of civil engineering, 1970: 975-994.
- [15] Hamm L, Capobianco M, Dette H H, et al. A summary of European experience with shore Nourishment[J]. Coastal Engineering, 2002, 47(2): 237-264.
- [16] Emre N O. Long-term evolution of nearshore disposal

- berms [D]. USA Florida: University of Florida, 1994.
- [17] Baptist M J, Tamis J E, Borsje B W, et al. Review of the geomorphological, benthic ecological and biogeomorphological effects of nourishments on the shoreface and surf zone of the Dutch coast[R]. Dutch: Wageningen IMARES, 2009.
- [18] 何起祥, 赵洪伟, 刘健. 荷兰海岸带综合治理[J]. 海洋地质动态, 2002, 18(8): 29-33.
- [19] Baptist M J, Leopold M F. The effects of shoreface nourishments on Spisula and scoters in The Netherlands [J]. Marine Environmental Research, 2009, 68: 1-11.
- [20] Karel E. Risk analysis of coastal nourishment techniques –final evaluation report[R]. The Netherlands: National Institute for Coastal and Marine Management, 1997.
- [21] Grunnet N M, Ruessink B G. Morphodynamic response of nearshore bars to a shoreface nourishment [J]. Coastal Engineering, 2005, 52: 119-137.
- [22] Knaack H, Kaiser R, Niemeyer H D. Behaviour and effectiveness of the NOURTEC experimental shoreface nourishments- Norderney case[R]. Norderney: Coastal Research Station, 1997.
- [23] van Duin M J P, Wiersma N R, Walstra D R, et al. Nourishing the shoreface: observations and hindcasting of the Egmond case, The Netherlands [J]. Coastal Engineering, 2004, 51: 813-837.
- [24] Casillas E O. Monitoring beach and shoreface nourishments using Argus [R]. Manly (Sydney): Argus Workshop, 2006.
- [25] Zwamborn J A, Fromme G A W, Fitzpatrick J B. Underwater mound for the protection of Durban's beaches [C]// American Society of Civil Engineering. PROC Twelfth Coastal Engineering Conference. New York: American Society of civil Engineering, 1970: 975-994.
- [26] Sawaragi T, Deguchi I, Park S K. Experiment study on the function of submerged breakwater to control cross-shore sediment transport on artificial nourished beaches [J]. Coastal Engineering in Japan, 1988, 31(1): 121-130.
- [27] Vincent C L, Briggs M J. Refraction-diffraction of irregular waves over a mound [J]. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, 1989, 115(2): 269-284.
- [28] 拾兵, 吴建, 杨立鹏, 等. 北戴河海滩恢复治理工程人工养滩断面物理模型试验[R]. 青岛: 中国海洋大学工程学院, 2009.
- [29] Gunyakti A. Beach preservation by means of offshore submerged mound of dredged materials[C] //American Society of Civil Engineering. Coastal Zone'87. New York: American Society of Civil Engineering, 1987: 2461-2471.
- [30] Dette H H, Larson M, Murphy J, et al. Application of prototype flume tests for beach nourishment assessment [J]. Coastal Engineering, 2002, 47: 137-177.
- [31] 黄志诚. 二维水平底床潜没沙丘演变研究[D]. 中国台湾: 成功大学, 2003.
- [32] 张庆民. 斜坡上潜没沙丘演化之试验研究[D]. 中国台湾: 成功大学, 2005.
- [33] Hoyng C W. Erosive and accretive coastal profile response[D]. Delft: Delft University of Technology, 2008.
- [34] Hallermeier R J. A profile zonation for season sand beaches from wave climate [J]. Coastal Engineering, 1981, 4: 253-277.
- [35] Hands E B, Allison M C. Mound migration in deeper water and methods of categorizing active and stable depths [C] //American Society of Civil Engineering. Coastal sediment '91. New York: American Society of Civil Engineering, 1991: 1985-1999.
- [36] Larsen M, Kraus N C. Analysis of cross-shore movement of natural longshore bars and material placed to create longshore bars[R]. Vicksburg, MS: US Army Engineering Waterways Experiment Station, 1992.
- [37] Koster L. Humplike nourishing of the shoreface. A study on more efficient nourishing of the shoreface[D]. Delft: Technical University Delft, 2006.
- [38] Douglass S L. Estimating landward migration of near-shore constructed sand mounds [J]. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, 1995, 121: 5(247): 247-250.
- [39] Grunnet N M, Walstra D J R, Ruessink B G. Process-based modeling of shoreface nourishment [J]. Coastal Engineering, 2004, 51: 581-607.
- [40] Cheol-Eung Lee. Migration of offshore mound constructed by dredged materials [J]. KSCE Journal of Civil Engineering, 1998, 2(3): 347-358.
- [41] Larson M. Model of beach profile change under random waves [J]. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, 1996, 122:4(172): 172-181.
- [42] Kriaučiūniene J, Gailiusis B, Rimavičiūtė E. Modelling of shoreface nourishment in the Lithuanian nearshore of the Baltic Sea [J]. Geologija Vilnius. 2006, 53 : 28-37.
- [43] Leeuwen S V, Dodd N, Calvete D, et al. Linear evolution of a shoreface nourishment[J]. Coastal Engineering, 2007, 54: 417-431.

(本文编辑: 刘珊珊)