

潮滩上的人造沙滩

——潍坊滨海旅游区沙滩构建始末

周 军^{1,2}, 庄振业¹, 李建华³, 曹立华^{1,2}, 陈文超^{1,2}

(1 中国海洋大学海洋地球科学学院, 青岛 266100;

2 中国海洋大学海底科学与探测技术教育部重点实验室, 青岛 266100;

3 潍坊滨海经济技术开发区管理委员会, 山东潍坊 261100)

摘 要:潍坊人造沙滩构建于粉砂淤泥质潮滩上,是我国潮滩养滩的首创工程之一,这里潮流速较小,无法起动滩沙,风暴潮的强浪是破坏人造沙滩的主要因素。一期工程抛沙 33 万 m³,一个冬季 2 次风暴潮侵蚀掉 2/3。二期工程延长了东西丁坝,坝头转向中部,沙滩中部增加了 T 型丁坝,符合丁坝群构建理论,再抛沙 30 万 m³,改善了沙滩的稳定性,半年来监测知无蚀有微淤迹象。

关键词: 潍坊;潮滩;人造沙滩;海滩养护

中图分类号:P737.1

文献标识码:A

海滩抛沙养护是抵御海岸侵蚀的最佳方法,国外主要用于砂质海岸上^[1],我国粉砂淤泥质海岸十分广泛,渤海的粉砂淤泥质岸约占 1/3 以上。在粉砂淤泥质潮坪上建人工沙滩,既要防止抛沙流失,还要避免潮滩下陷和沙滩泥化。潍坊人造沙滩是继上海金山沙滩和天津东疆沙滩^[2-4]之后建筑的。2011 年 11 月在潍北围垦的生态旅游度假区防潮坝之东北角,经过二期建设,终于在 2013 年建成了 130~150 m 宽,1 600 m 长的松软沙滩,当年游客数万,沙滩外缘基本稳定,局部微淤,是渤海沿岸较为成功的人造沙滩。本文将介绍沙滩的建设始末和经验。

1 区域概况

潍坊人造沙滩建于莱州湾湾顶、潍坊市北部滨海生态旅游度假区的西北角。潍坊滨海生态旅

游度假区位于 37°09'~37°14'N, 119°10'~119°18'E,南距潍坊市 55 km,西邻白浪河,东抵虞河和堤河口,西北靠近潍坊森达美港(图 1)。



图 1 人造沙滩位置示意图

Fig. 1 The location of Weifang artificial beach

收稿日期:2014-01-20

基金项目:国家自然科学基金(41006024)

作者简介:周 军(1987—),男,在读硕士,主要从事海滩养护和海底探测方面的研究工作. E-mail:zhoujunouc@126.com

潍坊市近海为粉砂淤泥质潮滩,坡降较缓,潮间带宽约 5~8 km,近年岸滩亦显侵蚀^[5,6]。自陆向海至 0.5 m 等深线附近,围海成滨海生态旅游度假区,四周以防潮坝围绕,其西北角防潮坝以外构建人造沙滩。防潮坝外的潮滩(原滩)由砂质粉砂组成,中值粒径为 0.070 3 mm,非大潮期间,海底不出露于水面上。

本区潮滩平均宽 4 km,平均坡降 $(2\sim3)\times 10^{-4}$ 。沿岸大部分地段已修筑海堤,岸线以此为界,其外至低潮线即为潮滩地带,潮间带分潮间上带(龟裂纹带)、潮间中带(坑凹带)和潮间下带 3 个亚带^[7,8],主要地貌类型有潮间水道、潮沟、潮间沙堤和低潮带附近的各种沙波;水下岸坡大致在 5 m 水深以内,宽 5~8 km,坡降 $(6\sim8)\times 10^{-4}$ 。水深 5 m 以外为平坦的莱州湾海底平原,坡降为 3×10^{-4} 。

潮滩主要动力为潮汐,按森达美港码头南侧 1990 年 4 月 16 日至 1991 年 4 月 15 日 1 年的潮位观测资料计算本区为不规则半日潮。潮位特征值见表 1。

表 1 人造沙滩附近潮位特征值(理论最低潮面起算)

Table 1 Tidal eigenvalues near the artificial beach
(from the theoretical lowest tide level)

特征量	特征值	特征量	特征值
平均海面/m	1.23	平均潮差/m	1.60
平均高潮位/m	1.96	平均大潮潮差/m	1.76
平均低潮位/m	0.36	平均小潮潮差/m	1.39
年最高潮位/m	3.47	平均涨潮历时	5 h 57 min
年最低潮位/m	-0.63	平均落潮历时	6 h 28 min

潮流按本区 2011 年 3 月实测数据显示,以往复流为主,涨潮偏 SW,落潮偏 NE。大潮期间涨潮平均流速 0.08~0.18 m/s,落潮平均流速 0.07~0.15 m/s;小潮期间涨潮平均流速 0.12~0.16 m/s,落潮平均流速 0.10~0.15 m/s;总体来说,潮流速呈外海大于近岸的趋势。且底层流速略小于表层流速。本区潮滩流速一般小于泥沙起动流速(26 cm/s)。但暴风浪期间,流速较大。

莱州湾是我国著名的风暴潮高发区域。如 1969 年 4 月 23 日 16 时羊角沟最高潮位值曾达到 6.74 m^[9],超过当地平均海平面 3.66 m,3 m

以上的增水持续了 8 h,1 m 以上增水持续了 38 h。按潍坊北港近 2 年的风暴潮资料分析,潍坊滨海生态旅游度假区近海风暴增水幅度一般为 1.5 m 左右,最强可达 3.0~3.6 m。增水 1.5 m 左右的风暴潮,年均发生 5~6 次;增水 2.0~2.5 m 的风暴潮,年均发生 1~2 次;增水 3.0 m 左右的风暴潮,年均发生 0.2 次。风暴潮高水位,波浪爬高是作用于潮滩泥沙的重要动力。

按 2008—2010 年港区观测资料统计,本海区常浪向为 NE 向,频率为 25.3%,次常浪向 NNE,频率为 17.4%,强浪向也为 NE 向(图 2)。强浪多出现在冬季,春秋两季亦多发,夏季海面较为平静。所以冬季风暴潮天气往往是携运潮滩泥沙运动的主要时期。

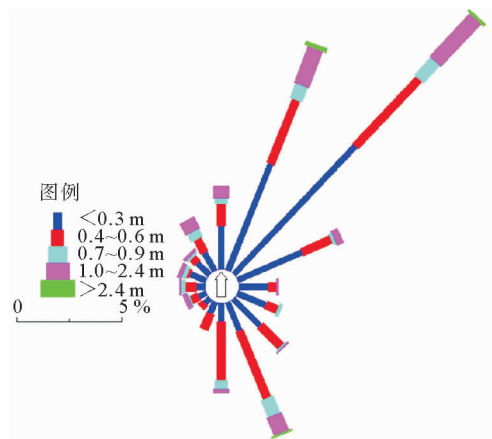


图 2 莱州湾—10 m 水深波浪玫瑰图

Fig. 2 Wave rose diagram in the depth of
—10 m at Laizhou Bay

2 人造沙滩一期工程

潍坊滨海旅游度假区人造沙滩一期工程岸线长约 1 600 m,沙滩宽约 200 m,由铺沙岸段和东西两丁坝组成,丁坝长为 250 m(图 3)。

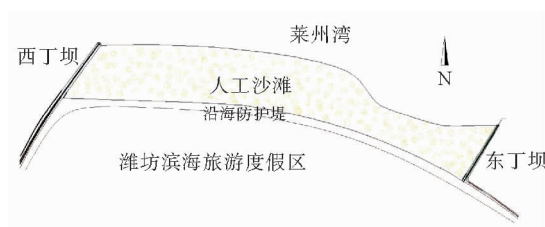


图 3 人造沙滩一期工程平面布置略图

Fig. 3 Map of the first-stage project of the
artificial beach

2.1 丁坝

东西丁坝各长 250 m, 陆上部分长 89 m, 人造沙滩部分长 161 m, 坝高 6.35~5.0 m, 伸向 54°, 坝顶宽约为 5.0 m, 顶部两边有观景道, 为高出路面 0.3 m、宽 0.5 m 的混凝土挡墙。

丁坝采用抛石斜坡结构。坝心采用 1~200 kg 的开山石, 两侧斜面坡度均为 1:1.5, 护面采用钢筋混凝土栅栏板, 其下为 40~80 kg 垫层块石, 垫层块石与堤心石之间为 10~100 kg 块石。内外两侧堤脚设护底块石, 护底块石下设碎石垫层和土工布软体排, 保护堤脚地基土, 防止波浪淘刷。

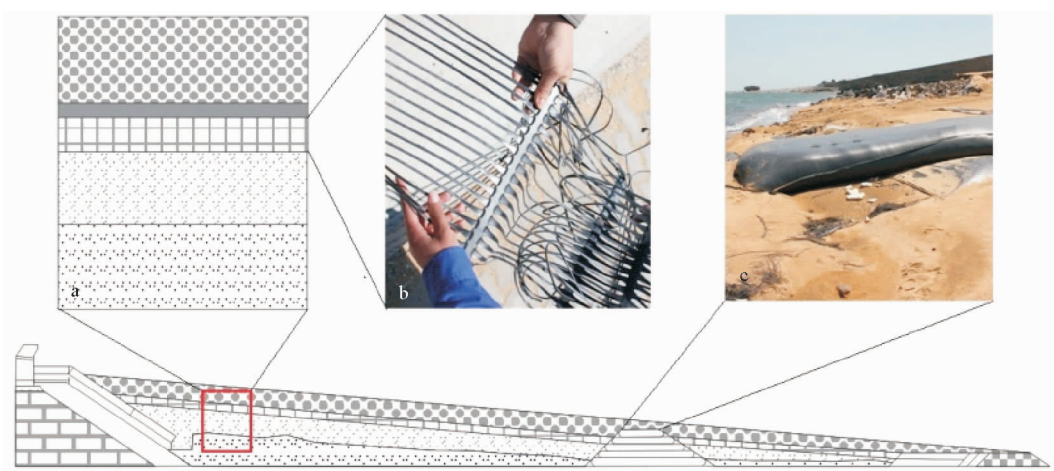
2.2 抛沙情况

人造沙滩剖面铺设主要分 2 段, 上段为设计

高水位(+2.64 m)以上至滨海新城围堤胸墙处, 该段采用坡度约 1:50, 沙滩铺设厚度 1.0 m; 下段为设计高水位以下向海, 该段采用坡度 1:25, 沙滩铺设厚度 1.5 m。沙滩坡脚位置处高程约 -0.03 m。整个人造沙滩铺垫 33 万 m³ 莱州优质海滩沙。

人造沙滩铺设共分为 2 层, 上层约 1.5~2 m, 区间为新铺滩沙, 中值粒径约在 0.61~0.70 mm 之间, 平均为 0.67 mm; 而下层均为极细砂, 其粒径在 0.10~0.13 mm 左右; 两不同粒径的泥沙层之间由高强度的塑料格栅(图 4b)和超厚的土工布分隔(图 4a)^[10]。

为起到保滩作用, 设计高水位处铺沙下方埋设大型充填袋(图 4c); 沙滩水下坡脚处抛填 100~150 kg 的块石。人造沙滩地层剖面见图 4a。



a 人造沙滩地层剖面; b 塑料格栅; c 大型充填袋

图 4 人造沙滩地层组构剖面示意图

Fig. 4 A section of the artificial beach

3 一期工程后人造沙滩演化状况

2011 年 10 月潍坊滨海人造沙滩一期工程竣工后, 一个冬季经历了 2 次增水 1.5~2.0 m 的暴风浪天气, 滩沙严重流失。于 2012 年 4 月及 11 月对人造沙滩进行了实地测量, 从现场踏勘状况看来沙滩侵蚀严重。沙滩西部维持情况较好, 但中段滩面已有大量土工布出露, 显示滩沙大量流失, 沙滩东部所抛沙接近全部流失(图 5)。

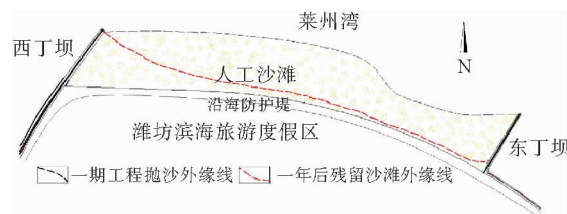


图 5 人造沙滩一期工程后平面演化

Fig. 5 Change of the artificial beach after first-stage project

从地貌形态角度,沙滩西丁坝根部残留沙滩较宽,达到100 m左右,且坡度较为平缓(图6a),潮间带堆积体较为松软;沙滩岸线呈弧形,水下有沙纹生成。自沙滩西中部开始,残留沙滩宽度很快缩窄,并伴有明显的侵蚀陡坎;沙滩中部,宽度继续缩窄,潮间带土工布开始翻露,侵蚀陡坎进一

步发育(图6b);沙滩东中部地貌呈强烈侵蚀,侵蚀陡坎位置已逐渐逼近滨海生态城防潮坝胸墙处和防潮堤根部,呈直切型(图6c),陡坎高度可接近1 m,其中塑料格栅间沙体已被波浪掏空,充填袋被移至岸边,整个沙滩水上段几乎完全消失(图6d)。



a 西丁坝根部沙滩; b 沙滩中部发育侵蚀陡坎;
c 沙滩东中部侵蚀陡坎逼近防潮坝胸墙,充填袋和格栅被移至岸边; d 沙滩东部几近完全消失

图6 人造沙滩演化状况(2013年5月)

Fig. 6 Evolution of the artificial beach

4 二期工程

于2013年春夏季开始二期工程的建设,根据对沙滩侵蚀成因的分析,防护工程的重点在于阻挡来自NE向的波浪,并阻断自东向西的沿岸输沙;由于原西丁坝长度较短,滩沙可绕过丁坝头向外海流失,因此,亦应加强对西侧滩沙的防护。考虑到以上原因,设计平面布置形式见图7,二期工程由3部分构成,即①东丁坝向海延伸至762 m,堤顶宽5 m,堤顶标高从原东丁坝头端+5.0 m,延伸至+3.5 m。②西丁坝延伸至620 m,坝顶宽5 m,坝顶标高由原坝头+5.0 m延伸至坝头+3.5 m以拦截向西的沿岸输沙。③在东丁坝西

700 m处兴建一条T型丁坝,坝顶宽5 m,坝顶标高由丁坝根处+5.0 m向海方向按1:50的坡度延伸至+2.64 m。T型丁坝直线段长431 m,T型坝头西段长180 m,NW方向延伸,T型坝头东

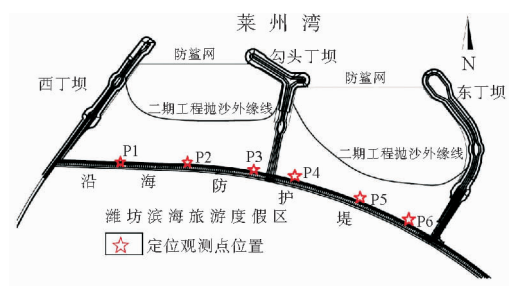


图7 二期工程平面布置图

Fig. 7 Man of second-stage project of the artificial beach

段长 150 m, 向 E 方向延伸。T 型丁坝建设目的为增强坝的消浪作用, 降低东西滩沙的交换。

在 T 型丁坝两侧向海滩再抛沙约 30 万 m^3 。沙滩宽度增至 120 m, 当年夏季旅游效果极佳(图 8)。



图 8 2013 年 8 月人造沙滩二期工程抛沙后沙滩效果

Fig. 8 The artificial beach in August, 2013

5 监测剖面 and 冲淤分析

一期工程之后, 在人造沙滩后缘设 6 个监测剖面基点, 基点位置于图 7, 2011—2014 年共测剖面 4 次。根据 2011 年 10 月、2012 年 11 月、2013 年 8 月及 2014 年 1 月实测数据作剖面图(图 9), 最终得出一期工程完工时、完工一年后及二期工程完工、完工半年后剖面演化情况, 同时计算单宽侵蚀率。剖面 P2、剖面 P6(图 9)附近是一期工程后的严重侵蚀段, 一期工程完工一年后单宽侵蚀

量为 $62.467 \text{ m}^3/\text{m}$, 二期工程完工半年后显示微淤, 单宽淤积量为 $8.375 \text{ m}^3/\text{m}$; 剖面 P6 一期工程完工一年后单宽侵蚀量为 $46.501 \text{ m}^3/\text{m}$, 二期工程完工半年后也显示轻微淤积, 单宽淤积量为 $30.494 \text{ m}^3/\text{m}$ 。说明二期工程以来约半年, 人造沙滩稳定微显淤, 2013 年 10 月 14 日, 增水 1.0~1.5 m, 击浪达岸边防潮坝, 但监测剖面显示沙滩无侵蚀迹象, 说明二期工程效果较好。

6 讨论

6.1 一期工程后受严重侵蚀的原因

潍坊海域受黄河口无潮点影响, 天文潮潮差不大, 涨落潮流流速只有 0.1~0.15 m/s, 小于泥沙起动流速(0.26 m/s), 难以起动滩沙。影响潍坊人造沙滩冲淤的主要因素为近岸波浪, 当波高较大时, 滩面泥沙可在波浪作用下起动悬扬, 并随波浪引起的近岸流系(沿岸流、底部离岸流、裂流等)沿岸或向离岸输送。研究区常浪向和强浪向均为 NE 向, 而人造沙滩东西两侧丁坝开口正朝向为 NNE, 致使波浪直接传播进入沙滩前缘。波浪造成滩沙直接流失并且形成由东向西的沿岸流使得沙滩东段滩沙向西转移, 人造沙滩东段侵蚀较西段尤为严重。波浪未经海底摩擦达岸边, 形成卷跃破碎, 在岸边一次性消能, 则强烈冲击岸边防波堤, 加之堤外坡陡, 产生驻波与后续波的叠加, 在波腹处波高剧增, 进一步增加了对岸滩的冲击力。

该海域风暴潮频发, 且由于其地理区位处在莱州湾湾底, 从整体格局来看属半封闭海湾, 风暴潮波受湾底岸线反射, 易发生持续增水现象。根据现场经验, 当海上预报 9~10 级风时, 增水数值即可达到 1.5 m 左右。在天文大潮情况下, 沙滩上方潮位可达到理论基面 +2 m 以上(平均高潮位为 +1.96 m, 90% 累积高潮位为 +2.64 m), 如遭遇风暴潮增水, 水位即可轻易达 +4.0 m 以上, 如叠加风暴潮浪波高以及波浪爬高, 海水可触及的位置即可超过 +5.0 m。实际上, 根据现场踏勘测量, 沙滩东侧严重侵蚀段的侵蚀陡坎位置高程最大可达到 +5.2 m(接近防潮坝围堤胸墙)处, 且围堤前方栅栏板内滩沙亦可被波浪掏空。

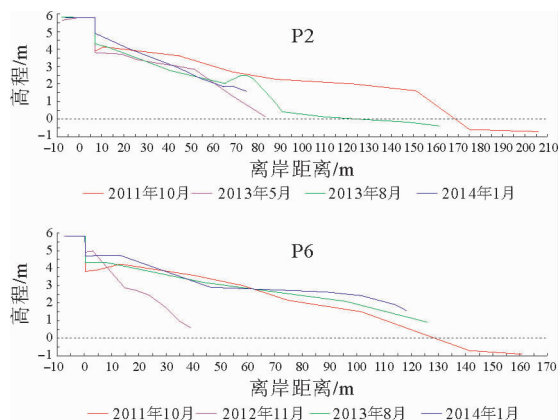


图 9 两期工程后人造沙滩剖面演化

Fig. 9 Evolution of artificial beach profiles after two stages of project

根据当地渔民提供的信息,在2012年春季一次风暴潮作用下,高程达+7.0 m以上的胸墙甚至可出现越浪现象。因此,较强风暴潮对沙滩的强烈侵蚀作用亦是沙滩损失的重要原因之一。在风暴潮作用下,水位极大增高,且引起的强浪将剧烈侵蚀滩沙,并在较高沿岸流和底部离岸流作用下,将滩沙同时沿岸与离岸输送,引起强烈的滩沙侵蚀。

6.2 二期工程后海滩稳定性评估

二期工程完工后,潍坊人造沙滩的侵蚀状况预期将得到极大改善。东侧丁坝延长并指向沙滩中段(图7),可以有效地阻挡NE向波浪的直接入射,在丁坝内形成波影区。根据平衡岬湾理论^[11-13],入射波浪将在丁坝头处形成绕射,改变入射方向,与原有抛沙岸线互相作用,最终形成平衡岬湾海滩。李兵等^[14]基于抛物线模型和双曲正切模型提出更适合山东半岛北部海滩实际情况的椭圆模型。公式如下:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

式中: a 为椭圆的长轴,即弧形岸段的最大水平距离;

b 为椭圆的短轴,即波浪绕射点到平直岸段的垂向距离;

c 为椭圆的焦距,即焦点为波浪绕射点(图10),同时定义 a 与 b 的比值为 k 。

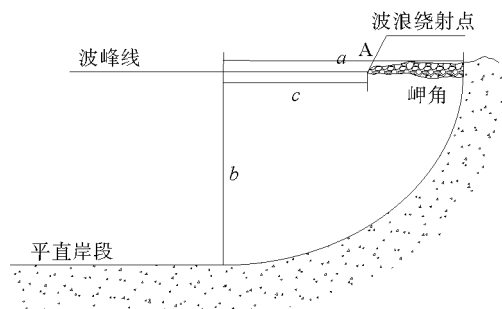


图10 人造沙滩东部平衡状态模拟效果图

Fig. 10 Simulation of equilibrium state of the artificial beach

可看出,确定岸线平衡形态只需确定 a 和 b 值, b 值是一定的, a 值的大小取决于该岸段的各种条件,假设 a 与 b 具有相关性,只需确定 a 与 b

的关系,整个岸线的平衡形态即可绘制出来。 A 点为延长的东丁坝端点。使用椭圆模型对潍坊人造沙滩平衡状态进行模拟,结果如图10。

沙滩中段新建T型丁坝在向海端向两侧延伸也能在一定程度上有效阻挡NE向强波浪,形成平衡海湾。

据《美国海岸工程手册》^[15],丁坝群的设计一般取丁坝沿岸间距为丁坝有效长度(丁坝建成时从向海端至海滩填沙设计岸线的长度)的2~3倍。一期工程中,丁坝间距为1600 m,丁坝有效长度为161 m(丁坝长250 m减去陆上部分89 m所得数据),丁坝间距约为有效长度的10倍,大于《美国海岸工程手册》规定的2~3倍,结果遭受严重侵蚀。而二期工程丁坝有效长度延长至约400 m,间距缩短为800 m,为有效长度的2倍,符合丁坝群^[16,17]的设计原则。则预期二期工程完成后,人造沙滩的稳定性将得到极大改善。

7 结论

潍坊滨海生态旅游度假区人造沙滩是建造在淤泥质海滩上的人造沙滩,为国内首例之一^[14]。一期工程建设完成后,受NE向波浪及风暴潮影响遭受强烈侵蚀,滩沙大量流失。海滩宽度锐减,海滩西部残留滩沙不足原抛沙的1/3,沙滩东部几乎完全流失。岸线平均后退65 m,最大可达150 m;同时沙厚度减少,剖面明显呈下降趋势,平均单宽侵蚀量约为54.5 m³/m。

二期工程针对上述情况进行改进,延长丁坝并在坝头段向沙滩中部靠拢,并在沙滩中部新建勾头丁坝,将人造沙滩分成东西两部分,可以有效减轻NE向波浪对沙滩的侵蚀,并有效改善人造沙滩的稳定性。监测剖面证明,二期工程至今半年来沙滩未显侵蚀,反而有微淤迹象。

致谢:本文在撰写过程中得到刘臻、焦强的真诚帮助,在此表示感谢!

参考文献:

- [1] 刘锡清. 中国海洋环境地质学[M]. 北京: 中国海洋出版社, 2006.
- [2] 庄振业, 曹立华, 李兵, 等. 我国海滩养护现状[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2011, 31(3): 133-139.
- [3] 孙连成. 天津港东疆港区人工沙滩冲淤稳定性试验研究

- [J]. 水运工程, 2009(2):7-12.
- [4] 陈则实, 王文海, 吴桑云. 中国海湾引论[M]. 北京: 海洋出版社, 2007.
- [5] 山东省海岸带和海涂资源综合调查成果编写委员会. 海岸带和海涂资源综合调查报告集[M]. 济南: 山东科学出版社, 1990.
- [6] 陈吉余. 中国海岸侵蚀概要[M]. 北京: 海洋出版社, 2010.
- [7] 常瑞芳, 庄振业, 关建政. 山东半岛西北海岸的侵蚀与防护[J]. 青岛海洋大学学报, 1993, 23(3): 60-68.
- [8] 庄振业, 刘冬雁, 刘承德, 等. 海岸带地貌调查与制图[J]. 海洋地质动态, 2008, 24(9): 25-32.
- [9] 夏东兴. 海岸带地貌环境及其演化[M]. 北京: 海洋出版社, 2009.
- [10] Young I O, Shin E C. Using submerged geotextile tubes in the protection of the E. Korean shore[J]. Coastal Engineering, 2006, 53: 879-895.
- [11] González M, Medina R, Losada M. On the design of beach nourishment projects using static equilibrium concepts: Application to the Spanish coast[J]. Coastal Engineering, 2010, 57: 227-240.
- [12] Masselink G, Russell P, Blenkinsopp C, et al. Swash zone sediment transport, step dynamics and morphological response on a gravel beach[J]. Marine Geology, 2010, 274: 50-68.
- [13] Komar P D. Beach Processes and Sedimentation[M]. 2nd ed. New Jersey: Prentice Hall, 1998: 544.
- [14] 李兵, 庄振业, 曹立华, 等. 山东省砂质海岸侵蚀与保护对策[J]. 海洋地质前沿, 2013, 29(5): 47-55.
- [15] U. S. Army Corps of Engineers. Coastal Engineering Manual (CEM), Change 2, V-3-3[M]// Beach Stabilization Structures. 2008: 35-76.
- [16] Coburn A S. Pitfalls of Shoreline Stabilization: Selected Case Studies[M]// Chapter 7, Beach Nourishment in the United States. Netherlands Springer: 2012, 3: 105-119.
- [17] 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.

AN ARTIFICIAL BEACH ON TIDAL FLAT: CONSTRUCTION OF WEIFANG ARTIFICIAL BEACH

ZHOU Jun^{1,2}, ZHUANG Zhenye^{1,2}, LI Jianhua³, CAO Lihua^{1,2}, CHEN Wenchao^{1,2}

(1 College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 2 Key Laboratory of Submarine Geosciences and Prospecting Techniques, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266100, China;

3 Administrative committee of Weifang Coastal Economy-Technology Development Zone, Weifang 261100, Shandong, China)

Abstract: The Weifang artificial beach is the first nourished beach constructed on a silty tidal flat in China. The tidal current in this area is too weak to move the beach sand, and the main factor to destroy the artificial beach is the strong wave caused by storm surges. In the first-stage of the project, an amount of 330 000 m³ of sand was filled, and 2/3 of the sand was eroded after two storm surges in the winter. The second-stage of the project extended the groins on both east and west sides towards the middle of the beach. Then a new “T” type groin was built in the middle of the beach. Another 33 × 10⁴ m³ of sand was nourished on the beach. It has remained stable for half a year.

Key words: Weifang; tidal flat; artificial beach; beach nourishment