

海滩养护的功效率和寿命

——以北戴河海滩养护工程为例

邱若峰¹, 庄振业², 赵友鹏¹, 刘冀闽¹

(1 河北省地矿局秦皇岛矿产水文工程地质大队, 河北秦皇岛 066001;

2 中国海洋大学海洋地球科学学院, 青岛 266100)

摘要:以北戴河海滩养护工程作为实例,通过养滩前后 3 年的监测剖面数据,不仅计算了干滩宽度、中潮滩宽度、低潮滩宽度与单宽侵蚀量 4 个主要参数变量,分析了海滩剖面形态的演化特征,而且还计算了养护海滩效率系数和保存系数,结果显示:近 3 年来北戴河养护海滩干滩、中潮滩、低潮滩效率系数分别为 5.37、2.88、1.47,保存系数分别为 1.01、0.67、0.75。初步总结了北戴河养护海滩的短期功效,其中西海滩养滩寿命为 10~12 a,延长养滩工程寿命包括养滩砂岸的长度,平面护岸体系,抛沙方量和破波高度等因素。

关键词:海滩养护;养滩寿命;效率系数;控制因素;北戴河

中图分类号:P737.1

文献标识码:A

海滩是滨海旅游产业重要的自然载体,但是近几十年来我国砂质海岸侵蚀现象普遍存在,岸线侵蚀率达 1.0~1.5 m/a 以上,严重者达 15 m/a,分布十分广泛,由此带来了巨大的经济损失^[1,2]。海滩养护技术是为了在一定时期内弥补天然侵蚀所带来的沙的损失,主要用于维护海滩稳定性,或者在没有海滩的区域建造人工海滩,并为发展滨海旅游,提升城市品味提供良好条件。自 20 世纪 90 年代开始,海滩养护的相关工作在我国陆续展开^[3-9],并在 2008 年后快速发展起来^[10],2010 年国家鼓励对侵蚀严重的海滩进行整治与修复,在其支持下于秦皇岛北戴河、厦门观音山、三亚鹿回头建立了公益性沙滩养护示范区。养滩工程同传统工程,诸如公路、桥梁、港口、码头

等类似,同样涉及到使用年限,即寿命问题。养滩工程的寿命长短依新海滩地貌、水动力和泥沙运动状况而定。但是,我国海滩的养护工程对养护海滩的寿命少有报道,总结养滩工程的系数临界值十分必要,管理部门应按照各种系数值距临界值的差值来评估该工程优劣并及时提出表扬、通过、制止、曝光和追加责任等意见^[11]。笔者以北戴河海滩养护工程为例,探讨了同相养滩的稳定性、寿命及其控制因素,对我国北方养护海滩评估标准提出了认识和建议。更好地了解工程失败或成功的控制因素,目的在于提高人工海滩养护方案的设计水平。

1 养滩工程概况

北戴河真正意义上的海滩人工养护工作始于 2000 年,位于东海滩,之前的海岸防护主要以建筑硬式护岸工程为主,其目的主要是防止海岸后退,但缺乏针对海滩养护的软工程认识。2005—

收稿日期:2013-12-24

基金项目:河北省科学技术研究与发展计划(11276709D);北戴河海滩恢复治理工程后评价体系研究(2013997002)

作者简介:邱若峰(1980—),男,高级工程师,主要从事海洋地质环境调查与海滩养护研究工作。E-mail:qrofen1980@163.com

2010年开展了北戴河旅游海滩人工养护研究,确定了秦皇岛海滩养护的基本设计理念和施工方法^[12-15]。北戴河海滩养护采用人工养滩柔性工程为主,辅以必要的突堤、离岸潜堤等硬工程措施,构建人工岬湾,依靠海洋生态系统本身的自组织和调控能力,防止沙滩蚀退的一种防护方法。其包含3方面的涵义:①功效上防止海岸继续侵蚀,创造稳定安全的陆缘环境,避免沿岸建筑物遭受侵蚀破坏,保护土地资源、人民生命财产安全;②景观上创造亲水的近自然的沙滩休闲环境,营造良好的海滨休闲度假氛围,达到人与自然和谐共生;③生态上恢复原有海滩地貌类型,对辅助工程——突堤、离岸潜堤进行生态改造,利用人工鱼礁结构物布设潜堤,不仅可以起到消波功能,还可以创造出鱼类新的栖息环境,有助于繁衍海底生物。

2008年与2009年春季、夏季对北戴河海滩部分浴场进行试验性人工养护,养滩试验工程要求尽快形成新的海滩,采用滩肩补沙,主要通过车载的方式,运送养护沙至补沙区域,迅速增加干滩宽度。在海滩养护过程中,通过数模和物模验证,结合北戴河地区海滩实际情况,海滩养滩理论和施工方法逐渐成熟和完善。综合试验段数据分析,在优化设计施工方案的基础上,于2009—2013年分期分段对秦皇岛旅游海滩进行了养护。由于砂源的多元性,采用近岸补沙—水力吹填为主,卡车陆运为辅的施工方法,水力吹填水沙混合,泥沙沉降速度快,海滩坡度容易成型,起到了事半功倍的效果。工程完成养护岸段长约11 km(图1),补沙量约 $500 \times 10^4 \text{ m}^3$,滩肩单宽补沙量

100~370 m^3/m 。其中北戴河西海滩的养滩工程长3.57 km,补沙滩肩宽度50~70 m,完成滩肩补沙量约 $130 \times 10^4 \text{ m}^3$,是目前我国规模最大的养滩工程。

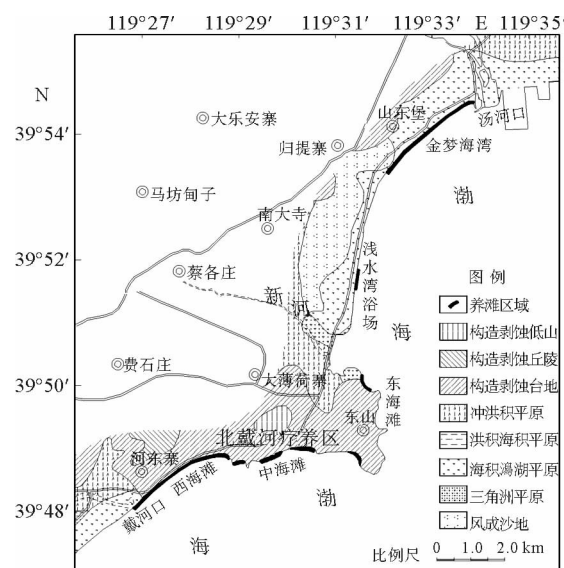


图1 北戴河养滩工程区域位置

Fig. 1 Location of the beach nourishment projects in Qinhuangdao

养护工程海滩回填后海滩剖面外推,海滩宽度和沙层厚度增加,增强了海滩对波能的渗透、吸收能力,同时渗透消能有利于降低波浪爬高,减轻了海岸侵蚀,起到了软性护岸作用。同时塑造了海滩弯月型自然沙滩风貌,恢复并扩展了自然沙滩的规模,提供了优质亲水的休憩空间(图2),充分体现了“阳光、沙滩、休闲”的滨海城市风貌。

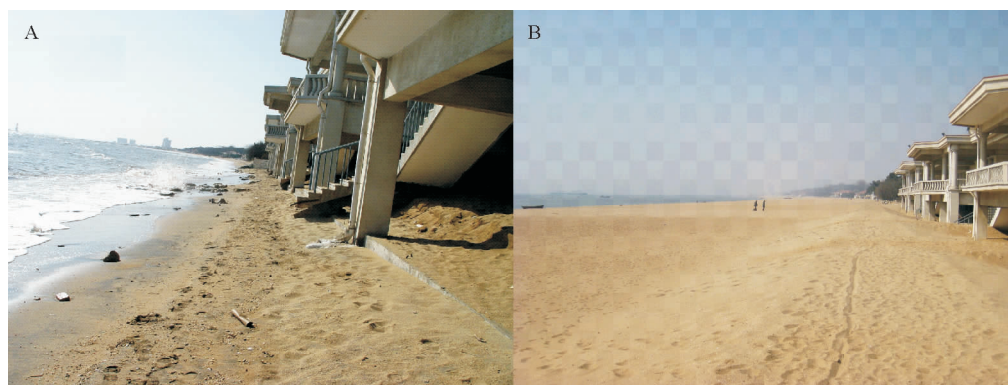


图2 养滩前后效果对比(A 养滩前,2008年6月摄;B 养滩后,2011年4月摄)

Fig. 2 Comparison of the beaches before and after the nourishment project

(A, before nourishment Jun 2008; B, after nourishment Apr 2011)

2 监测与功效

养滩扰动了近岸系统,像天然的沙滩一样,新形成的沙滩会对波浪、潮位的变化做出响应,海滩横向及纵向形态在时空上有所变化,因此,在适当位置部署工程监测计划对岸滩与海滩形态进行周期性定位监测十分必要^[10]。特别是当工程效果与设计不符时,监测数据尤其重要。可依靠完整的历史资料和监测数据量化及预测养滩作用,评估工程效果,有益于了解养护海滩变化原因,改进工程设计方案。

2.1 养滩监测

为了量化 2011 年养滩工程的作用,在北戴河西海滩养滩区共布设 20 条常规监测剖面(西海滩区域位置见图 1,剖面位置见图 3),对养护后近 3 年海滩形态进行监测(2011 年 1 月—2013 年 6 月)。使用实时动态差分法(RTK)和全球定位系统(GPS)建立了水平及垂直控制(黄海基准)。近 3 年研究期间共调查了 208 频次海滩剖面,测线至水下沙坝外缘约-4 m 水深处,部分测线延伸至-7 m 水深。应用相关海滩区域形态分析程序包,计算养护后海滩岸线及沙量变化情况。每期不同特征值岸线及剖面沙量变化的计算都是基于这些点位 3 年监测期的变化。由于夏季休疗旅游和冬季海冰影响,监测频率具有明显季节性特点。评价日期由 2011 年 1 月至 2013 年 6 月。

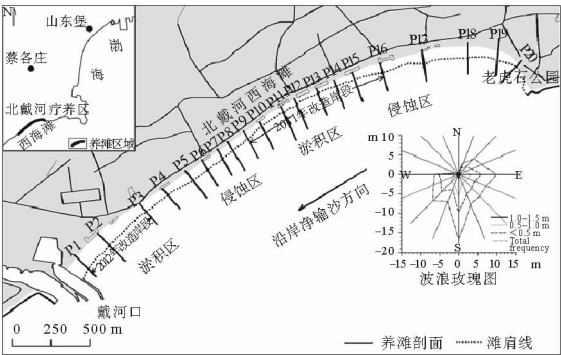


图 3 养滩侵淤图

Fig. 3 Distribution map of erosion and deposition after beach nourishment

2.2 养滩功效

评价养滩效率非常重要的参数通常包括(但不限于)干滩宽度、风暴后存留沙量及决定总剩余量的水下沙量^[16-18],评估标准往往以诸如效率系数、保存系数等量化参数来体现。

(1)效率系数

效率系数又称为改造系数。常用抛沙前后岸线蚀退速率之比,或抛沙后前滩肩宽度之比的数值来核定,比率愈高,养滩效果愈好^[11]。北戴河海滩养护采用养滩前后干滩宽度、中潮滩以上宽度、低潮滩以上宽度作为评估标准,从养滩后第 1 个月随即开始监测海滩变化,整理分析补沙后的干滩(+1.6 m 滩肩线以上宽度)、中潮滩(0 m 等深线以上宽度)和低潮滩(-1 m 等深线以上宽度)侵蚀或沉积,效率系数计算结果汇于表 1。由

表 1 北戴河海滩养护工程效率系数

Table 1 The efficiency coefficients of Beidaihe beach nourishment

剖面	干滩效率系数	中潮滩效率系数	低潮滩效率系数
P1	2.19	1.56	1.22
P2	1.85	1.74	1.00
P3	5.39	2.55	1.16
P4	6.54	3.95	1.94
P5	4.55	3.18	1.46
P6	5.97	3.54	1.66
P7	4.50	3.04	1.15
P8	5.76	3.46	1.45
P9	4.94	2.98	1.51
P10	6.74	3.61	1.68
P11	3.61	2.80	1.60
P12	3.07	2.45	1.57
P13	8.56	4.07	1.62
P14	5.06	3.16	2.07
P15	3.30	2.56	1.54
P16	4.72	3.10	1.96
P17	3.66	2.23	1.43
P18	13.43	3.67	1.11
P19	6.33	3.08	1.72
P20	5.67	2.35	1.21
加权平均	5.37	2.88	1.47

表 1 数据分析可知,养滩前西海滩干滩宽度较窄,最大干滩宽度 56.3 m,最小干滩宽度 5.5 m,加权平均宽度 18.16 m,养护后,干滩宽度平均外延至 56.41 m,是原始海滩平均宽度的 3 倍,效率系数介于 1.85~13.43,加权平均后为 5.37;中潮滩以上宽度,养滩前加权平均宽度 34.90 m,养滩后加权平均宽度 91.21 m,效率系数 2.88;低潮滩以上宽度,养滩前加权平均宽度 72.86 m,养滩后加权平均宽度 100.89 m,效率系数为 1.47。北戴河海滩养护的目的在保护海岸安全的前提下提高海滩休闲价值,增加休憩空间,采用滩肩补沙的方法,形成宽阔滩肩,效率系数干滩的最大,中潮滩次之,低潮滩最小。

(2) 保存系数

保存系数指的是抛沙的实际寿命与设计寿命之比,或抛沙 N 年后残留抛沙量与工程实际抛沙量之比。笔者选用后者,即计算 3 年后残留的沙量与实际抛沙量之比,并分别计算 +1.6 m、0 m、-1 m 特征线以上的不同地貌单元的沙量变化,基于不同时间节点的沙量变化来表示北戴河养滩工程的保存系数(表 2)。人工海滩经过了近 3 年的演化,泥沙经过海洋动力条件的再搬运和分选,在横向和纵向都逐渐调整,侵蚀热点区主要位于西海滩 P4—P9 岸滩附近,-1 m 以上沙滩侵蚀宽度 1.3~12.6 m,单宽侵蚀量为 11.73~71.99 m^3/m ,此岸段为波浪能量汇聚点,在波浪的扰动下,泥沙在沿岸流的影响下主要顺岸运移,参与下游泥沙的补充;受 NE 向强浪影响以及戴河防波堤的拦沙作用,淤积区主要位于 P1、P2、P11—P15 剖面岸段,淤积宽度为 15.6~36.3 m,单宽淤积量 38.24~105.46 m^3/m ,最大淤积量位于 P2 剖面附近(图 3)。相对于养滩之前的沙滩,干滩以上养滩后西海滩的单宽加权补沙量为 20.39 m^3/m ,3 年后加权单宽保留沙量为 20.26 m^3/m ,保存系数介于 -1.03~1.99 之间,加权平均后为 1.01;中潮滩以上(0 m 等深线以上)沙量,养滩后加权单宽补沙量 109.88 m^3/m ,3 年后加权单宽保留沙量 74.08 m^3/m ,保存系数介于 0.02~1.30 之间,加权后为 0.67;低潮滩以上(-1 m 等深线以上)沙量,养滩后加权单宽补沙量 156.27 m^3/m ,3 年后加权单宽保留沙量 115.73 m^3/m ,保存系数介于 0.21~1.45 之间,加权后为 0.75。

表 2 北戴河海滩养护工程保存系数

Table 2 The preservation coefficients of Beidaihe beach nourishment

剖面	干滩 保存系数	中潮滩 保存系数	低潮滩 保存系数
P1	0.38	0.29	0.34
P2	-1.03	0.02	0.21
P3	1.04	0.69	0.73
P4	1.59	0.83	0.86
P5	1.15	0.64	0.66
P6	1.48	0.66	0.67
P7	1.73	0.73	0.71
P8	0.82	0.51	0.53
P9	0.96	0.43	0.47
P10	0.88	0.40	0.42
P11	0.54	0.41	0.43
P12	0.54	0.34	0.35
P13	0.93	0.58	0.60
P14	0.95	0.71	0.75
P15	1.05	0.80	0.86
P16	1.21	0.86	0.93
P17	1.66	1.30	1.45
P18	1.99	0.89	0.92
P19	1.41	1.08	1.17
P20	1.42	0.76	1.32
加权平均	1.01	0.67	0.75

自 2011 年养滩后,近 3 年来,局部岸段出现侵蚀热点,后退严重,局部出现淤积,泥沙总体上在构建的人工岬湾内部运移,再分配,干滩总体沙量保持平衡,中潮滩以上沙量保留 67%,低潮滩沙量保留 75%。

其他评估系数还包括粒度系数(养滩前后滩面粒径 D_{50} 之比)、环境系数、经济系数等。

3 养滩寿命的研讨

3.1 养滩寿命

建房要有保障年限,建桥要提供保证水位和警戒水位,养滩也是一项规模宏大的工程,也应当预测新滩稳定的寿命。在寿命之内应保证新滩有一定宽度或能保证留下所抛沙的一定数量。通常养滩工程的寿命(half life)指新滩被侵蚀掉一半

沙(所抛沙)所用的时间,这是因为新滩从抛沙开始就向新的平衡剖面发展。新岸线不断蚀退,直到新平衡剖面稳定下来。这一过程中新滩要经历重塑期、调整期和趋稳期 3 个阶段的调整,抛沙后的前几个月由于新滩过陡和疏松,波浪强烈侵蚀,滩肩迅速后退,低潮带及滨面淤积,可称为新滩重塑期。其后,随着新滩剖面的逐渐变平缓,海滩坡度逐渐与波浪和泥沙趋向适应,新滩就逐渐愈来愈缓慢地渡过调整进入趋稳期,最终达到波浪作用海滩剖面,基本年内稳定在所抛沙量的 1/2 的时间就是寿命的终点。

Dean 等通过对美国人工海滩的研究后^[19,20]认为,抛沙后大约 5~10 a 新滩稳定下来就算合适的寿命,因此用 half life 代替寿命。我国许多海滩养护工程往往不预测这工程的寿命,以致无法评估工程的优劣。美国 P—K 海滩 1989—1990 年抛沙 $410 \times 10^4 \text{ m}^3$,据监测 1997 年尚保存下所抛沙的 56%,干滩数年稳定下 53 m 宽,Dean 认为是成功的工程,其寿命为 7~8 a^[11]。为什么要以半个生命来定义养滩寿命而至今未见中外专家的解释?笔者认为养滩寿命的前提是滩肩抛沙和开敞的新滩,养滩寿命的标准是残留抛沙的数量(或比例)。从抛沙到残留下一半沙(抛沙)的时间就是养滩寿命。这是因为原滩的平衡剖面是侵蚀型平衡剖面,新滩仍在原滩动力环境作用下,仍要不断地发育侵蚀型剖面。海滩养护的实质就是通过向海滩抛沙导致海滩平衡剖面的平行外移,其目的就是要有一个较宽的新滩。残留沙的数目就是养滩工程的红利。若残留所抛沙量 < 50% 左右或更小,就等于新滩宽度接近原滩宽度,意味着养滩工程的失败。强浪区新滩蚀退较快,强力硬工程可以阻止所抛沙的外流,抛沙量高和较长的养滩海岸也可增加新滩侵蚀的年限,可以增长养滩的寿命,可喻为医疗条件好可以使人增加寿命一样。

北戴河西海岸原始海滩较窄,泥沙主要表现为向西南方向沿岸运移,横向输移不明显。海滩养护初期即完工后 1~5 个月为养滩剖面自平衡过程,处于重塑期,表现为滩肩迅速后退,低潮带淤积,泥沙表现为向东南方向离岸运移,与填沙初期泥沙较松散,且填沙剖面较陡,在来波作用下,更容易发生横向输移有关。夏季人工海滩受 S、

SE 向常浪影响,海滩形态变化平缓。冬季受大风寒潮以及东北向强浪影响,新滩同样表现为养滩初期的演化规律,不同的是泥沙向西南沿岸运移趋势明显增强,横向运移减弱。养滩 3 年后,消除 2 次沙滩改造影响,泥沙总体保留原始抛沙量的 80%~90%(图 4),海滩仍然处于调整期,未来几年泥沙将基本与区域海洋动力环境相适应,缓慢进入趋稳期,若无人为干预的事件,海滩寿命可达到 10~12 a。

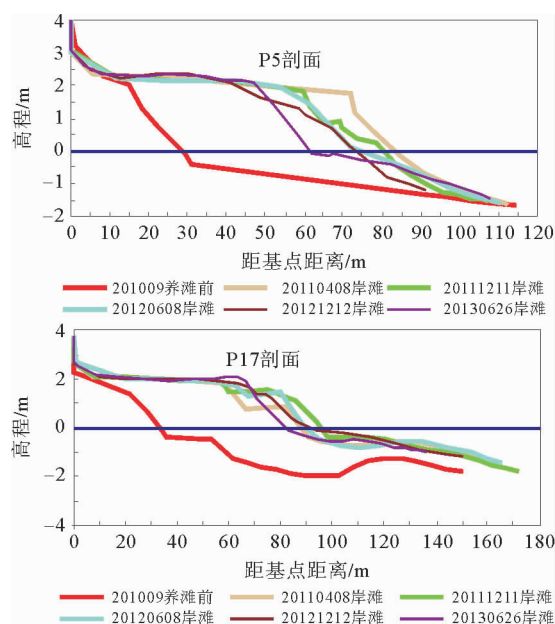


图 4 养滩前后不同时期的剖面变化

Fig. 4 Profile changes with time before and after nourishment

3.2 养滩寿命控制因素

3.2.1 “平面”防护体系

一般而言,岬湾海岸比平直的海岸更为稳定,工程实践证明效法自然的人工岬湾养滩法是退化海滩生境修复最有效的方法,北戴河海滩养护工程采取的是人工岬湾综合养滩法,同时为达到稳定海滩、延长海滩使用寿命的目的,防护工程设计在保证消浪护沙功能的前提下,根据当地的情况,选择使用人工鱼礁、人工沙坝等兼具生态功能的结构型式,形成“双坝”防护体系。

利用北戴河西海岸两端现有的老虎石和戴河口东防波堤 2 个岬头,顺势构筑弧形人工潜礁来

改变波浪、潮流场,进而改变海岸线,潜礁与陆地之间保留潮流通道的^[13],以保证水流通畅,减少污染;潜礁采用透水堤,由天然块石和砼消波块组成。在2座弧形潜礁之间,以人工鱼礁型式建设3座离岸潜堤,作为硬式工程在大浪时起到保护人工沙坝的作用,兼具消浪和生态效果,由平衡岬湾经验公式演算,并依据数值模拟和物理模型试验验证^[12,13,22-24],潜堤设置在水深4 m处,距岸450 m,堤长及间隔由绕射效果决定,设计每座堤长为230 m。

人工沙坝养滩略不同于近岸补沙,在旅游海滩水深较浅的海域不宜采用硬式结构,即可采用人工沙坝的方式护滩^[25,26]。人工沙坝选取粒径略大的砂,沙坝在平均潮位时潜于水下,最低潮位时略有出露,形成在常浪条件下较为稳定的沙坝。北戴河西海岸养护工程在中国大陆首次使用了近岸人工沙坝的方法保护沙滩,人工沙坝沿岸布设,距离岸线约200 m,沙坝总长约3 km,宽约50 m,相对高差约2 m,沙坝材料选用中粗砂,根据物理模型试验结果^[22],该粒径泥沙在常浪条件下不会启动,且形态较为稳定,人工沙坝可起到良好的消浪效果。水下沙坝有效防止了养护沙外泄,并且在2011、2012年沙滩维护期间,对形成的低潮深槽起到了积极的补沙效果。

双坝防护林体系起到对暴风浪的消能和对滩肩抛沙的阻滞作用,稳定增加了新滩的寿命。

3.2.2 养滩岸长度

如果要取得较好的养滩效果,养滩规模是需要考虑的重要因素,国外养滩的海滩长度一般不小于600 m^[27]。规模小的养护海滩填砂物质凸于周边海岸,容易使抛沙向上下游流失。2008年实施的北戴河六九养滩工程,养滩长度680 m,滩肩宽度30 m,取得了需要的海滩养护参数。但是,由于是试验性质的“应急”养滩工程,规模较小,工程主要目的是采集实地养滩参数,为后续综合治理工程提供设计参数。匡翠萍等^[28]采用GENESIS模型对试验段工程寿命进行了预测分析,得出试验工程30 m的滩肩宽度而完成了海滩使命,保证了2008年应急的使用问题,同时指出在不进行后续补沙及工程的情况下,浴场只能维持2~3 a,对北戴河进行综合治理刻不容缓,由此可见养滩规模大小对海滩寿命的影响。北戴河

海滩养护以西海滩为主体,养护岸线长度>3 km。依据试验段采集的养护海滩实地数据,同样采用数值模拟的方法预测,整个西海岸进行综合治理后,海滩寿命就可增加到15 a^[29],是试验段养滩工程寿命的5~7倍。《美国海岸工程手册》同样有对工程寿命的影响因素的论述^[30],考虑最简单的情况,在没有背景侵蚀的长直海滩上建设初始矩形抛沙海滩能最好地反映长度的影响。基于沿岸输沙线性方程与连续方程结合推导出岸线演化的一线理论,可以推导出事实上工程寿命与长度的平方成正比。《美国海岸工程手册》中示例问题假设其他因素都相同,如果2个工程暴露在同样波况下,但是沿岸长度不同,那么长度大的工程寿命长,此例中2倍填沙长度可以保持4倍的寿命,即增加北戴河西海岸的养滩寿命。

3.2.3 填沙方量的作用

不言而喻,抛沙方量的增加就可以减缓新滩沙流失的比例,北戴河西海岸3.57 km总抛沙量 $130 \times 10^4 \text{ m}^3$,平均单宽抛沙量为 $364 \text{ m}^3/\text{m}$,大于荷兰的多年平均单宽抛沙量 $335 \text{ m}^3/\text{m}$ 和英国的 $312 \text{ m}^3/\text{m}$,接近西班牙的 $436 \text{ m}^3/\text{m}$ ^[11],说明本区抛沙量比较高,这就延长了新滩平衡稳定的时间,增加了养滩的寿命。

3.3 水动力因素

自然界的砂质海岸,在海岸动力的长期作用下经过较长时期的演变,一般会逐步形成一种与海岸动力相适应的自然地形,即平衡海岸。北戴河西海岸养滩区波浪有效波高<1.0的波浪占波浪总数的96.1%;有效波高为1.0~1.5 m的波浪占波浪总数的3.2%;有效波高>1.5的波浪占波浪总数的0.7%。综合分析养滩区常浪向为S向、E向,强浪向为ENE向和E向。工程海域夏季破波波高为小于冬季破波波高,冬季大风寒潮时,滩肩沉积物一部分被带到水下岸坡处堆积,夏季又缓慢地重新塑造与此时的波浪相适应的海滩形态。寿命对波浪环境的强烈依赖性可以解释北戴河养护海滩冬季的侧向扩散的高损失率,如果考虑破波波高的更大差别,寿命的差别就更为明显。《美国海岸工程手册》中应用简单方法通过使用典型波高及忽略波向,示例展示了所有其他因素相同时,破波高度的增长19%导致工程半寿命

减少 35%^[29], 可以作为填沙寿命的估算方法, 可见破波波高对填沙工程预期寿命的相对重要性。

4 结论

北戴河真正意义上的海滩人工养护工作始于 2000 年, 位于东海滩, 工程完成养护岸段 11 km, 补沙量约 $500 \times 10^4 \text{ m}^3$, 单宽补沙量为 $100 \sim 370 \text{ m}^3/\text{m}$ 。其中北戴河西海滩的养滩工程长 3.57 km, 补沙滩肩宽度为 $50 \sim 70 \text{ m}$, 完成滩肩补沙约 $130 \times 10^4 \text{ m}^3$, 是目前我国规模最大的养滩工程。对养护后近 3 年海滩形态进行监测, 干滩、中潮滩、低潮滩效率系数分别为 5.37、2.88、1.47, 保存系数分别为 1.01、0.67、0.75, 消除人为改造影响, 近三年低潮滩以上砂量保留原有填沙量的 80%~90%, 是我国北方同相质人工养滩成功案例之典范。

人工海滩寿命周期主要分为: 重塑期、调整期、趋稳期。北戴河人工海滩正处于调整期, 后续几年泥沙将基本与区域海洋动力环境相适应, 进入运营期, 之后如果再未发生受人为干预的事件, 海滩寿命约为 10~12 a。

控制养护海滩寿命的主要因素为: 岬湾海岸下平面的防护体系、养滩长度、抛沙量和波浪条件等。人工岬头、鱼礁式离岸潜堤、水下人工沙坝, 作为一个综合系统对养护海滩进行平面防护。海滩寿命与填砂长度成正比, 而与破波的高度成反比。针对不同的养滩工程, 一些特殊事件引起的海滩寿命变化也需要考虑。

参考文献:

- [1] 丰爱平, 夏东兴. 海岸侵蚀灾情分级[J]. 海岸工程, 2003, 22(2): 60-66.
- [2] 邱若峰, 杨燕雄, 庄振业, 等. 河北省沙质海岸侵蚀灾害和防治对策[J]. 海洋湖沼通报, 2009, 2: 162-168.
- [3] 杨燕雄, 张甲波. 治理海岸侵蚀的人工岬湾养滩综合工法[J]. 海洋通报, 2009, 28(3): 92-98.
- [4] 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.
- [5] 孙波, 顾大冬, 陈雄波. 防治沙质海岸侵蚀的人工育滩措施[J]. 水利水电科技进展, 2006, 26(2): 108-111.
- [6] 宋向群, 郭子坚, 陈士萌. 星海湾人工海滨浴场的规划设计研究[J]. 土木工程学报, 2005, 38(4): 135-140.
- [7] 季小梅, 张永战, 朱大奎. 三亚海岸演变与人工海滩设计研究[J]. 第四纪研究, 2007, 27(5): 853-860.
- [8] 陈坚, 蔡锋, 许江, 等. 厦门岛东北部海滩回填重塑研究[J]. 台湾海峡, 2002, 21(2): 243-251.
- [9] 杨燕雄, 贺鹏起, 张甲波, 等. 北戴河西海滩人工岬湾养滩规划研究[J]. 工程地质学报, 2007, 15: 418-423.
- [10] 庄振业, 王永红, 包敏, 等. 海滩养护过程和工程技术[J]. 中国海洋大学学报, 2009, 39(5): 1 019-1 024.
- [11] 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.
- [12] 潘毅, 匡翠萍, 杨燕雄, 等. 北戴河西海滩养护工程方案研究[J]. 水运工程, 2008, 417(7): 23-28.
- [13] 张宇, 刘曙光, 匡翠萍, 等. 北戴河西海滩养护工程海域潮流场数值研究[J]. 水运工程, 2008, 417(7): 7-11.
- [14] 张甲波, 杨燕雄, 郝文辉. 北戴河养滩工程沿岸流场模拟研究[J]. 海洋科学进展, 2009, 27(3): 324-331.
- [15] 杨燕雄, 邱若峰, 邹志利, 等. 北戴河海滩养护方案实验研究[J]. 水运工程, 2010, 440(4): 18-23.
- [16] NRC (National Research Council; Committee on Beach Nourishment, Protection). Beach Nourishment and Protection, Marine Board, Commission on Engineering and Technical Systems[M]. Washington, D. C.: National Academy Press, 1995.
- [17] Roberts T M, Wang P. Four-year performance and associated controlling factors of several beach nourishment projects along tree adjacent barrier islands, west-central Florida[J]. Coastal Engineering, 2012, 70: 21-39.
- [18] 胡广元, 庄振业, 高伟. 欧洲各国海滩养护概观和启示[J]. 海洋地质动态, 2008, 24(12): 29-33.
- [19] Dean R G, Yoo C H. Beach nourishment in the presence of seawall[J]. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, 1994, 120(3): 302-317.
- [20] Davis R A, Wang P, Silverman B. Comparison of the performance of three adjacent and differently nourished beaches on the Gulf Peninsula of Florida[J]. Journal of coastal Research, 2000, 16: 396-407.
- [21] 谢世楞. 桂林洋海滩整治工程概况[J]. 港工技术, 1993, 1: 1-8.
- [22] 中国海洋大学. 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, 2008.
- [23] 大连理工大学海岸和近海工程国家重点实验室. 北戴河海滩恢复治理工程物理模型实验研究报告[R]. 大连: 大连理工大学, 2009.
- [24] 张甲波, 杨燕雄, 庄振业, 等. 离岸潜堤在海滩养护中的作用[J]. 海洋湖沼通报, 2010, 4: 111-116.
- [25] 吴建, 拾兵, 李智, 等. 近岸人工沙坝促滩淤沙的试验研究[J]. 海洋通报, 2012, 31(2): 176-180.
- [26] 杨燕雄, 杨雯, 邱若峰, 等. 人工近岸沙坝在海滩养护中的应用——以北戴河养滩工程为例[J]. 海洋地质前沿, 2013, 29(2): 23-30.
- [27] Hall Jr J V. Artificially Nourished and Constructed Bea-

- ches[C]//Pro. 3rd Conf on Coastal Engineering, 1953.
- [28] 匡翠萍,潘毅,张宇,等.北戴河中直六、九浴场养滩工程效果分析与预测[J]. 同济大学学报, 2010, 38(4): 509-514.
- [29] 河北省地矿局秦皇岛矿产水文工程地质队. 北戴河海滩恢复治理工程可行性研究报告[R]. 秦皇岛:河北省地矿局秦皇岛矿产水文工程地质队, 2009.
- [30] USACE (U. S. Army Corps of Engineers). Coastal Engineering Manual [M/OL]. Washington, DC: USACE, Coastal Engineering Research Center, 2008. [http://chl.erdc.usace.army.mil/chl.aspx?p_s&a_articles;Part 5 chapter 4.](http://chl.erdc.usace.army.mil/chl.aspx?p_s&a_articles;Part%205%20chapter%204)

BEIDAIHE BEACH NOURISHMENT: A CASE STUDY OF BEACH NOURISHMENT PROJECT IN BEIDAIHE

QIU Ruofeng¹, ZHUANG Zhenye², ZHAO Youpeng¹, LIU Jimin¹

(1 Qinhuangdao Mineral Resource and Hydrogeological Brigade, Hebei Geological Prospecting Bureau, Qinhuangdao 066001, Hebei, China; 2 College of marine geosciences, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: Taking the beach nourishment project of Beidaihe as a case, the width of the dries and medium and low tidal flats and the unit deposition-erosion rate were calculated with the profile monitoring data of three years before and after the nourishment, and the evolution of beach profile shapes analyzed. Efficiency coefficient and preservation coefficient of beach nourishment were calculated. The efficiency coefficient of the dries, medium and low tidal flats of beach nourishment in Beidaihe were 5.37, 2.88 and 1.47, and the preservation coefficient were 1.01, 0.67, 0.75 respectively in the past 3 years. In this paper, we summarized the preliminary effects of beach nourishment in Beidaihe, and discussed controlling factors. The lifetime of the nourishment in Western Beach is about 10-12 years, the factors which influence the nourishment life include the length of nourishment beach, spatial bank protection system, volume of sand replacement and height of breaking wave.

Key words: beach nourishment; beach lifespan; efficiency coefficient; controlling factors; Beidaihe