

北戴河海滩养护侵蚀热点

刘会欣,杨燕雄,张甲波,刘建涛

(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)

摘要:“侵蚀热点”的存在会对整个海岸资源造成严重的损失,尤其是对海滩养护工程效果造成不良影响,是海滩养护研究的重点。以北戴河西海滩海滩养护工程为例,结合工程后定期的剖面监测数据,确定了养护工程后西海滩“侵蚀热点”的位置,通过数值模拟和物理模型试验对于侵蚀热点的成因进行了分析研究,以期能够对以后的海滩养护工程提供参考。

关键词:北戴河;海滩养护;侵蚀热点;离岸潜堤;人工沙坝

中图分类号:P753

文献标识码:A

“侵蚀热点”是指海岸线的某一个位置相对于临近区域的海岸线来说,其侵蚀后退的速率明显高于其他区域^[1,2]。侵蚀热点常出现在缺少泥沙补给的岸段或遭受严重侵蚀的岸段。Kannan 和 McNinch 认为侵蚀热点可能与离岸沙坝的存在与否有关^[1,3];Kannan 等初期的研究结果表明侵蚀热点的存在与多重沙坝的缺失有关^[3],并且沿岸倾斜沙坝所在的区域几乎就是被确定为持续的侵蚀热点的区域所直接对应的离岸区域^[1];也有学者认为海岸线侵蚀热点的产生与沿岸传播的梯度有关,这种沿岸传播梯度是由于海底地形起伏导致的波浪的折射或衍射引起的^[4-6]。

侵蚀热点的存在会对整个海岸资源造成严重的损失,尤其是对海滩养护工程效果造成不良影响,是海滩养护研究的重点。本文以北戴河西海滩人工海滩养护工程为例,对西海滩养护工程后侵蚀热点的形成原因进行了分析研究,以期能够对以后的海滩养护工程提供参考。

1 北戴河西海滩养护工程概况

1.1 总体设计理念

工程的设计理念主要是基于静态平衡岬湾理论和海滩平衡剖面理论,根据西海滩实测地形及海区水动力环境,合理利用天然岬头并对其进行改造,建设潜礁、离岸潜堤等构筑物,改变局部水动力条件,并根据静态岬湾形状设计海滩养护方案,营造稳定的岬湾海岸,达到治理、保护北戴河西海滩的目的。

1.2 工程布置

北戴河西海滩位于北戴河海滨的最西端,西邻戴河口,东临北戴河老虎石浴场,是北戴河开发历史最长的海滩,为基岩岬湾海岸向砂质海岸的过渡区。海岸后方为丘陵,海滩长约 3.55 km,向海侧 400 m 水深 2 m 左右,潮差较小,是优良的自然浴场。

海滩养护工程首先对北戴河西海滩进行滩肩补沙,将滩肩高程提高至 2 m 左右,补沙宽度约 50 m,之后在离岸约 200 m 处吹填人工沿岸沙坝,在西海滩中部离岸约 450 m 处修建 3 座离岸

收稿日期:2012-11-20

基金项目:国家海洋局海洋公益性行业科研专项(200905008-05);河北省科学技术研究与发展计划(11276709D)

作者简介:刘会欣(1983—),男,硕士,工程师,主要从事海滩养护、近岸水动力模型等方面的研究工作。Email: liuhuixin1025@sina.com

潜堤,并在戴河口和老虎石处建设 2 座潜礁,作为人工岬头控制岸线,保护沙滩稳定(图 1),工程于 2011 年 3 月底竣工,2011 年 4 月开始进行相关的测量工作。整个西海滩沿养护工程区沿岸布设了 T1—T21 等 21 条监测剖面(图 1),剖面间距离约 150~200 m,剖面长度可以覆盖整个工程区域,对养护工程前后的海滩剖面变化情况进行监测,以全面把握海滩养护工程后整个西海滩的侵蚀变化状况。

图 1 西海滩养护工程及监测剖面布置

Fig. 1 Map showing beach nourishment projects and monitoring profiles at West Beidaihe beach

2 北戴河西海滩侵蚀热点的位置及演化特征

2.1 北戴河西海滩侵蚀热点的位置

由于北戴河海滩滩肩的平均高程约 1.6 m 左右,故本文通过 RMAP 软件对测得的剖面数据进行处理,以 1.6 m 高程作为基准来确定养护工程前后各个剖面在不同时期的海岸线位置,图 2 给出了不同时期西海滩海岸线的位置图,其中“201009”(代表 2010 年 9 月,下同)为养护工程前的海岸线位置,“201104”为养护工程竣工时的岸线位置,其他曲线分别代表工程竣工后不同时期的海岸线的位置。

由图 2 可以看出,海滩养护工程后,随着时间的推移 T1—T5 剖面处的海岸线经历了淤进和蚀退交替出现的过程,直至养护工程结束后 15 个月(2012 年 6 月),岸线位置的整体变化不大,表现为略有侵蚀的状态;而 T6—T9 剖面处的海岸线

相对于其他剖面位置则表现为持续的侵蚀过程,并且随着时间的推移该侵蚀过程会有持续存在的趋势;2011 年 4 月—2011 年 7 月期间,T10—T16 剖面的海岸线的较大变化是由于人工挖沙所致,此后 T10—T18 剖面之间的海岸线经历了少量的侵蚀后退和淤积过程,但整体变化程度不大,也基本处于侵蚀平衡状态;T19 和 T20 剖面处海岸线与工程结束时的海岸线相比,则表现出少量的淤积状态,但淤积程度不大。

图 2 不同时期海岸线模拟位置

Fig. 2 The location of coastlines in different periods

由以上分析可知 T6、T7、T8、T9 剖面处的海岸线,养护工程竣工后表现出持续的侵蚀后退过程,根据“侵蚀热点”的定义可知,该 4 条剖面所对应的海岸线位置为西海滩的侵蚀热点;T10—T16 剖面处海岸线自 2011 年 4 月—2011 年 7 月期间的较大变化为人为原因所致,此后岸线退化程度并不大,故不能被确定为西海滩的侵蚀热点。

2.2 北戴河西海滩侵蚀热点演化特征

通过对于侵蚀热点所处的剖面在养护工程开始前(201009)、养护工程竣工后(201104)、养护后 3 个月(201107)、养护后 5 个月(201109),养护后 8 个月(201112)、养护后 12 个月(201204)以及养护后 15 个月(201206)的监测剖面数据进行分析处理,得到了西海滩“侵蚀热点”(T6—T9 剖面)处海滩养护工程前后不同时期的剖面形态曲线(图 3),表 1 给出了侵蚀热点(T6—T9 剖面)以及邻近区域(T4、T5、T10、T11 剖面)处海岸线在不同时间段的蚀退或淤进距离。由图 3 和表 1 可以看出,侵蚀热点所在的位置处(T6—T9 剖面)的海岸线在养护工程结束后(201009—201104)明显

向海淤进,其中 T6 剖面向海淤进距离最大为 62 m,其他 3 条剖面处向海淤进的距离也都在 50 m 以上,这反映了养护工程对海滩滩肩的补沙效果;养滩结束后前 3 个月期间(201104—201107),岸线蚀退距离较大,其中 T9 剖面处的蚀退距离约 21.5 m,这可能是受到了人工挖沙的影响,其他 3 条剖面处在此时间段内的蚀退距离约 6~7 m;养护后第 3~5 月(201107—201109)期间,岸线的蚀退距离相对较少,T6、T7、T8 剖面平均蚀退距离约 1.5 m,T9 剖面甚至出现了较少量的淤进现象;第 5~8 月期间(201109—201112),岸线蚀退

的距离较大,T6、T7、T8 剖面平均蚀退距离在 7 m 以上,T9 剖面处的蚀退距离相对较少,为 3.4 m;第 8~12 月期间,岸线又经历了一个蚀退量不大的时期,平均蚀退距离小于 1.5 m,T9 剖面处还出现了少量淤进的现象;第 12~15 月期间,T6、T7、T8 剖面处岸线的平均蚀退距离约为 3.4 m,T9 剖面处的蚀退距离更是达到了 6.4 m。整体来看,随着时间的推移,侵蚀热点处的岸线不断向岸蚀退,表现出了较为持续的侵蚀过程,其蚀退速度具有快慢间断的特点,并且侵蚀的过程还将持续下去。

图 3 T6—T9 剖面不同时期剖面轮廓曲线

Fig. 3 The profile curves of T6—T9 in different periods

表 1 不同时间段各剖面处的岸线进退距离

Table 1 The erosion and accumulation distances of the shoreline in different periods

剖面编号	各时间段岸线进退距离/m					
	201009—201104	201104—201107	201107—201109	201109—201112	201112—201204	201204—201206
T6	62.23	−7.24	−1.73	−7.54	−0.24	−3.37
T7	52.98	−6.05	−0.89	−6.83	−2.53	−3.29
T8	54.12	−6.72	−1.62	−7.49	−1.27	−3.49
T9	55.48	−21.53	0.31	−3.4	0.22	−6.4

3 西海滩侵蚀热点成因分析

3.1 岸线演变数值模拟

3.1.1 模型介绍

利用目前国际最流行的 GENESIS 系统模拟长期海岸线的变迁,以分析西海滩侵蚀热点的位置,GENESIS 是基于一线理论所开发的模拟海岸长期变化的系统,在大量的工程应用中逐步完善并成熟起来,已广泛应用于预测岸线的长期演变及岸线对海岸建筑物和人工养滩的响应等方面。

3.1.2 GENESIS 模型的理论公式

(1)控制方程:

$$\left(\frac{dy}{dt}\right)+\left(\frac{1}{D_B+D_C}\right)\left(\frac{\partial Q}{\partial x}-q\right)=0 \quad (1)$$

式中: D_B 为海水所能到达的最大高程;
 D_C 为存在沿岸输沙的最大深度;
 $q=q_s+q_o$ 为横向输沙率(离岸输沙+向岸输沙)。

(2)沿岸输沙率公式:

$$Q=(H^2C_g)_b[a_1\sin2\theta_{bs}-a_2\cos\theta_{bs}\left(\frac{\partial H}{\partial x}\right)]_b \quad (2)$$

式中: H 为有效波高;
 C_g 为波群速度;
 b 为波浪破碎时的参数;
 θ_{bs} 为破波角。
无量纲参数 a_1 和 a_2 定义如下:

$$a_1=\frac{K_1}{16\left(\frac{\rho_s}{\rho}-1\right)(1-p)(1.416)^{5/2}} \quad (3)$$

$$a_2=\frac{K_2}{8\left(\frac{\rho_s}{\rho}-1\right)(1-p)\tan\beta(1.416)^{7/2}} \quad (4)$$

式中: ρ_s 为砂的密度;
 ρ 为海水的密度;
 p 为砂的孔隙率;
 $\tan\beta$ 为海滩平均坡度;
1.416 为有效波高向均方根波高的转化系数;

K_1 、 K_2 为可调节的 2 个经验参数,可根据模拟结果进行调整。

3.1.3 岸线演变模拟结果

模拟区域计算网格的 x 轴大致垂直岸线方

向(328°),长度为 3 200 m(包括了整个西海滩在内); y 轴与之垂直,长度为 3 500 m(海侧取到 7 m 水深左右);网格间距为 20 m。滩肩高度取设计滩肩高度 2 m,封闭水深根据之前学者对该地区的研究取 7 m, K_1 、 K_2 按北戴河已有工程岸线模拟的取值经验,取 $K_1=2$, $K_2=0.77$,中值粒径综合考虑补沙粒径和本地砂粒径取 0.45 mm,时间步长取 3 h,模拟时间为 10 a,离岸潜堤的透射系数根据堤顶高程取 0.5。

表 2 不同模拟时间岸线侵蚀点处的海滩宽度

Table 2 Beach width at shoreline erosion hotspots in different periods (relative to the shoreline before the project)

模拟时间 (相对于补沙之前)	侵蚀点处的海滩宽度/m			
	B	D	F	H
1 a 后	35.6	36.3	30.9	28.7
3 a 后	24.7	24.3	12.7	18.7
10 a 后	15.6	20.1	3.1	24.4

由图 4 可以看出不同模拟时间下岸线的侵淤状况,对比各时间下的模拟结果,发现工程 3 年后岸线演变的速率会变得很慢,据此可以推算工程 10 年后的岸线演变将会更加缓慢,并最终在几年内形成静态平衡人工岬湾岸线。

图 4 不同模拟时间后岸线形状模拟结果

Fig. 4 The simulation results of shoreline in different periods

通过对不同模拟时间下岸线侵蚀极值点处的海滩宽度进行对比统计(表 2),发现西海滩的侵蚀热点位于 B、D、F、H 位置处。通过侵蚀热点的位置与离岸潜堤、潜礁的位置对比,可以发现侵蚀

热点的位置恰好位于离岸潜堤和潜礁的掩蔽区之间,掩蔽区内的岸线则出现了明显的淤进现象。

3.2 岸线演变物理模型试验

物理模型试验是在大连理工大学海岸和近海工程国家重点实验室进行的,实验采用的多功能综合水池有效使用尺寸为 40 m(长)×24 m(宽)×1.0 m(深),水池配有不规则波造波机及其微机控制和数据采集系统,模型试验平面布置图如图 5 所示。

图 5 模型试验平面布置图

Fig. 5 Layout of physical model tests

模型试验分别采用一年一遇、二年一遇和五年一遇的大浪,波浪分别从 SE、SSE、ESE 3 个方向对试验岸段进行循环作用,每个方向的波浪作用时间为 40 min。每种大浪作用完成后,分别对岸线的位置进行测量,可以得到不同类型大浪作用后的侵蚀岸线对比图(图 6)。

图 6 不同类型大浪作用后的岸线对比

Fig. 6 Comparison of erosional shorelines after wave actions of different wave height

对比不同大浪作用后的岸线可以发现,3 种类型的大浪分别使海岸线产生了不同程度的侵蚀后退过程,并且发生严重侵蚀区域的位置也比较一致,即试验岸段的两端以及离岸潜堤中间区域的侵蚀退化程度较为严重,而其他区域由于受到了 3 个潜堤和西海滩两侧潜礁的掩护,侵蚀退化程度较小,甚至在二年一遇的大浪的作用下形成了较明显的淤积凸出现象,这充分证明了离岸潜堤对海岸的保护作用。

由物理模型试验的结果发现,侵蚀热点的数量为 4 个,侵蚀热点的位置如图 6 中红色的区域所示(I、II、III、IV)。该结果与数值模型的模拟结果基本一致,侵蚀热点的位置与离岸潜堤的位置有关,即处于离岸潜堤与潜礁的掩蔽区之外的区域易于形成侵蚀热点。

3.3 西海滩侵蚀热点成因分析

通过数值模拟和物理模型试验研究,发现“侵蚀热点”的存在与离岸潜堤的位置有关,这主要是由于离岸潜堤可以发挥消减波能的作用,有效消减侵蚀性波浪的波能,在正常波浪和水位状况下,离岸潜堤可以保护在其后方的海岸和临近海岸免受波浪的侵蚀。北戴河西海滩养护工程修建离岸潜堤群由 3 个离岸潜堤构成,潜堤之间形成了较大的间断,这种间断的存在可以使较大波能传送到间断所对应的岸段,而在离岸潜堤的保护区域内破波高度较小,在潜堤之间的间断区域破波高度比较大,并且在间断区域波浪导致的平均水位变化(增水)大于被保护的区域,波增水的沿岸差异导致缺口处的水流从高水位流向低水位的离岸潜堤保护区,从而产生裂流,加速沿岸流从两侧流向离岸潜堤后面的保护区域,使沉积物沿岸线方向重新分配,此外沿岸流和裂流会在潜堤之后合并而形成复杂的环流模式,沿岸流携带的泥沙会在被保护区内沉积下来,形成淤积,而潜堤之间的间断区域就会形成“侵蚀热点”(图 7)。

3.4 近岸沙坝对侵蚀热点的影响

西海滩的侵蚀热点(T6—T9 剖面)的位置与数值模拟和模型试验所得到的侵蚀热点 F(III)所在的位置基本一致,而对于数值模拟或物理模型所得到的其他 3 个侵蚀热点,西海滩

的实测数据并没有明显的体现出来,因此,接下来将对西海滩侵蚀热点的成因开展进一步的分析。

图 7 侵蚀热点成因解释示意图

Fig. 7 A sketch map showing the formation of erosional hotspots

通过对海滩养护工程竣工后的水深测量数据进行处理,得到了工程后西海滩海域的三维地形图(图 8)。通过对比分析可以发现,西海滩沙坝的形态差异性较大,西海滩东西两侧沙坝形态较好,沙坝的坝顶高程较大,沙坝的宽度也较大;西海滩中部沙坝的连续性较差,起伏差异较大,沙坝的宽度以及坝顶高程也相对较小,因此,侵蚀热点的位置可能与近岸沙坝有关。

图 8 工程后北戴河西海滩三维地形图

Fig. 8 A three-dimensional topographic map of West Beidaihe beach after the project

为了对数值模拟和物理模型得到的 4 个侵蚀热点所对应地区的沙坝形态进行对比,分别给出了数值模拟所得到的 4 个侵蚀热点 B、D、F、H (物理模型结果中的区域 I、II、III、IV)所在位置处沙坝的轮廓曲线。图 9A 给出了 T6—T9 剖面处沙坝的轮廓曲线,该区域对应于数值模拟所得侵蚀热点 F 所在的区域,图 9B 给出了数值模拟所得到的另外 3 个侵蚀热点所对应位置处的沙坝的轮廓曲线,其中侵蚀热点 B 所在区域对应于 T16、T17 剖面;D 所在区域对应于 T13、T14 剖面;H 所在区域对应于 T3、T4 剖面。

图 9 沙坝轮廓曲线

Fig. 9 Sandbar contour curves of some profiles

通过对图 9 中的沙坝轮廓曲线进行对比,得到了各个剖面处沙坝的特征参数,统计结果列于表 3 中。由表 3 中的数据可以看出,与数值模拟所得的其他侵蚀热点(B、D、H)对应位置处的沙坝参数相比,T6—T9 剖面处沙坝的坝顶高程较小,沙坝的宽度及坝顶宽度也相对较小,而 T6—

T9 剖面的位置正好对应于数值模拟结果中的侵蚀热点 F。

由于沙坝可以使侵蚀性波浪提前破碎,减少其对海岸线的侵蚀,并且沙坝的宽度以及坝顶高程对于沙坝消能作用的发挥至关重要,而 T6—T9 剖面处的沙坝宽度和坝顶高程都要明显小于

其他岸段,因此会在该位置处形成侵蚀热点。而数值模拟和物理模拟模型试验得到其他侵蚀热点(B、D、H)处并未形成真正的侵蚀热点,主要是由于在数值模拟和物理模型试验中所用到的沙坝是连续的,并且沙坝的宽度和坝顶高程都是相同的,所形成的侵蚀热点主要与离岸潜堤和岸段两端的潜礁位置直接相关,沙坝的特征并不能成为模拟侵蚀热点形成的关键因素;而西海滩实际海滩养护工程所修建的沙坝在形态特征上存在较为明显的差异性,即形成的沙坝的宽度和坝顶高程有较大的差别,由于 B、D、H 处所对应的沙坝形态较好,沙坝的坝顶高程和宽度都明显大于 F 位置所对应的沙坝,故 B、D、H 处的海岸线在实际中未形成侵蚀热点。

表 3 沙坝特征参数统计

Table 3 Characteristic parameters of sandbars at different profiles

剖面编号	坝顶高程/m	沙坝宽度/m	坝顶宽度/m
T3	-1.0	110	50
T4	-1.3	150	60
T6	-1.3	100	40
T7	-1.7	61	25
T8	-1.7	100	50
T9	-1.8	82	40
T13	-1.0	160	98
T14	-1.2	170	93
T16	-0.75	175	84
T17	-1.0	178	50

由此可见,近岸沙坝对西海滩侵蚀热点的形成具有很大的影响,沙坝的连续性较差、沙坝宽度较小、坝顶高程较小的位置所对应的海岸线易于受到侵蚀性波浪的作用,形成侵蚀热点。

3.5 侵蚀热点的对策

侵蚀热点的存在会对整个海岸资源造成严重的损失,导致海岸线的不断侵蚀后退,其造成的不利影响主要集中在 2 个方面:首先是当侵蚀热点

出现时,需要提前准备必要的人员和设备来解决这一问题,增加了整个海滩养护计划的成本;其次是尽管整个海滩养护计划在维持平均设计宽度上是成功的,但是公众仍会把注意力集中在侵蚀热点上,认为养护工程是不够完善的^[7]。因此,在进行海滩养护工程计划之初,就需要对潜在的侵蚀热点地区进行评估,并采取适当的措施来消除或减缓侵蚀热点处岸线的侵蚀。

由于侵蚀热点的存在与离岸潜堤以及近岸沙坝有关,因此,可以在设计时考虑将离岸潜堤之间的距离适当缩小或者增加离岸潜堤的数量来抑制侵蚀热点的形成;也可以适当增大离岸潜堤距海岸的距离,这样可以有效降低裂流的强度来减缓侵蚀热点处岸线的蚀退速度;还可以建设连续性较好的近岸沙坝,尤其要注意对沙坝高程以及沙坝宽度的设计,因为沙坝的高度和坝顶宽度是沙坝效能的决定性因素。

而对西海滩的侵蚀热点,建议对其所对应位置处的沙坝进行维护完善,增加沙坝的宽度及坝顶高程,以减缓或抑制侵蚀热点处海岸线的侵蚀退化速度,有效保护西海滩现有的海滩资源。

4 结语

通过对西海滩养护工程后定期的剖面监测数据进行处理分析,确定了西海滩侵蚀热点的存在位置,并对养护工程后的海岸线变迁情况进行了数值模拟和物理模型试验,分析了西海滩侵蚀热点的形成原因,主要得到以下结论:

- (1)西海滩养护工程后的侵蚀热点位于 T6—T9 剖面处。
- (2)侵蚀热点的形成不但与离岸潜堤和潜礁的位置有关,而且与近岸沙坝的状态有关,处于离岸潜堤与潜礁的掩蔽区之外的区域以及沙坝连续性较差、沙坝宽度较小、坝顶高程较小的位置所对应的海岸线易于形成侵蚀热点。
- (3)近岸沙坝的宽度和坝顶高程的大小对西海滩侵蚀热点的形成发挥着至关重要的作用,沙坝形态及特征良好的情况下,处于离岸潜堤的掩蔽区之外的区域也会由于近岸沙坝的保护作用而不会形成侵蚀热点。

参考文献:

[1] Jesse E, McNinch J E. Geologic control in the nearshore: shore-oblique sandbars and shoreline erosional hotspots, Mid-Atlantic Bight, USA[J]. Marine Geology, 2004, 211: 121-141.

[2] List J H, Farris A S, Sullivan C. Reversing storm hotspots on sandy beaches: spatial and temporal characteristics[J]. Marine Geology, 2006, 226: 261-279.

[3] Kannan S, Lippmann T, List J H. The relationship of nearshore sandbar configuration to shoreline change[C]// International Conference on Coastal Sediments, World Scientific Publishing Corp. and EastMeetsWest Productions, Clearwater Beach, FL, 2003

[4] Bender C J, Dean R G. Wave field modification by bathymetric anomalies and resulting shoreline changes: a review with recent results[J]. Coastal Engineering, 2003, 49: 125-153.

[5] O'Reilly W C, Guza R T. A comparison of two spectral wave models in the Southern California Bight[J]. Coastal Engineering, 1993, 19: 263-282.

[6] Schupp C A, McNinch J E, List J H. Nearshore shore-oblique bars, gravel outcrops, and their correlation to shoreline change[J]. Marine Geology, 2006, 233: 63-79.

[7] Dean R G. Beach nourishment theory and practice[J]. Advance series on Ocean Engineering, 2002, 18: 198-212.

EROSIONAL HOTSPOTS AT BEIDAIHE
BEACH AFTER NOURISHMENT

LIU Huixin, YANG Yanxiong, ZHANG Jiabo, LIU Jiantao

(Qinhuangdao Mineral Resource and Hydrogeological Brigade, Hebei Geological Prospecting Bureau,
Qinhuangdao 066001, Hebei, China)

Abstract: The study of “erosional hotspots” has become a hot topic for beach nourishment projects all over the world, since they might cause serious loss of coastal resources, and bring negative effect on beach nourishment projects. In this paper, using the beach nourishment project at the west Beidaihe beach as a case, the authors studied the erosional hotspots of west Beidaihe beach after nourishment through numerical modeling and physical model tests. Coupled with the monitoring data in different periods after the project, the locations of erosional hotspots at the west Beidaihe beach have been discovered. The origin of erosional hotspots was discussed as well in this paper so as to provide a technical case for reference by other beach nourishment projects.

Key words: Beidaihe; beach nourishment; erosional hotspots; offshore submerged breakwaters; artificial sandbar