

基于强浪下的祥云岛岸滩 侵淤特征及防护措施

陈文超,邱若峰,邢容容,宫立新,刘修锦

(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;

河北省海洋地质资源调查中心,河北秦皇岛 066001)

摘要:从祥云岛的地理位置上来看,对监测区 A1—A9、B1—B5 剖面岸滩演变有重要影响的为 NE、NW 向浪以及 SW 向浪。3 个方向的强浪比率分别为 1.58%、0.98%、0.45%,对岸滩侵淤的影响作用也与强浪比率呈明显的相关性。从海滩养护类型上划分,祥云岛所属的养滩类型为同相养滩中的平直砂岸养滩和直岸凸滩养滩,这两种养滩类型均对波浪作用的响应比较强烈,必须辅以“硬工程”加强防护。

关键词:岸滩侵蚀;海滩养护;剖面特征;侵淤分析

中图分类号: P737.12

文献标识码: A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2016.11006

海岸带是水圈、大气圈、岩石圈和生物圈交互作用地带,也是人类活动最频繁的地区,其环境动力系统十分复杂且演化极为迅速,对人类影响非常巨大。尽管地貌学家、地质学家和海岸工程师对海岸的研究已经持续了 100 多年,但对于探讨岸线特征和位置随时间变化原因的海岸演化研究直到最近 30 年才有所突破^[1]。世界各个区域海滩侵蚀的原因多种多样,归结起来主要为自然因素和人为因素。自然因素在大时间尺度上主要指全球海平面上升,在小时间尺度上主要指风暴浪对岸滩的冲刷。

近几十年来,海岸侵蚀已经成为世界性的灾害,据 IPCC(政府间气候变化专门委员会)的估计,世界范围内约有 70% 的砂质海岸受到侵蚀,岸线蚀退率约 1~1.5 m/a,个别侵蚀严重的海岸

蚀退速率可达 5~8 m/a。近年来,由于我国经济发展迅速,海岸带人为活动频繁,加之养滩护滩意识兴起较晚,导致我国主海岸线年年锐减,砂质海岸从 1975 年的 3 653.63 km 减少到 2007 年的 2 864.64 km,32 年间减少了 1/5^[2]。

唐山祥云岛近几年由于人为活动频繁,加之海洋水动力条件活跃,沿岸不同位置出现了程度不同的侵淤现象。研究该区域的暴风浪数据资料显示,祥云岛岸滩的侵淤差异与各向强浪频率不同呈现极其密切的关系。

1 研究区概况

祥云岛位于乐亭县东南部,京唐港与北港之间的沿海地带,为离岸沙坝岛。祥云岛长约 13 km,陆地海拔高度 3.5 m,呈 NE—SW 走向,岛屿面积 20.68 km²,岸线长 24.46 km。海岛东北段为潮汐通道,现已人为改造;西南端为大清河口;东部靠海侧建有简易的人工沙堤;中西部靠海侧残留有低缓沙丘。

高潮滩宽约 50~100 m,潮间带的沙滩面积

收稿日期:2016-04-17

基金项目:河北省科学技术研究与发展计划(11276709D);基础勘查项目(冀海涵[2015]98号)

作者简介:陈文超(1987—),男,硕士,助理工程师,主要从事海洋地质、海滩养护方面的研究工作。E-mail:qhddzdcwc@163.com

约为 0.64 km²。沙滩沉积物高潮滩、潮间带以浅黄色、黄棕色细砂为主,平均粒径 Mz 介于 2.06 Φ~2.34 Φ,分选系数介于 0.24~0.47,分选好,平均坡度 3°~8°;—3 m 水深线以深海域以粉砂为主。水下岸坡发育三列断续分布的水下沙坝,坝顶平缓,向陆坡度陡于向海坡度,坝槽相对高度约为 2.2 m。

根据 1996 年 9—12 月、1997 年 3—6 月对曹妃甸海区的波浪观测,1999 年 3—12 月又进行了近一年的波浪补充观测。根据这些实测资料统计

的波高及频率如表 1、图 1。

根据统计结果,本海域常浪向为 S,出现频率为 8.62%;次常浪向为 SE,出现频率为 5.77%。强浪向为 ENE,该方向波能占 16.48%, $H_{1/10} \geq 1.8$ m 的出现频率为 0.81%,但对应波能占 9.84%;次强浪向为 NW 和 NE,两方向波能分别占 9.91%和 9.14%, $H_{1/10} \geq 1.8$ m 的出现频率分别为 0.68%和 0.53%,而对应波能分别占 5.35%和 5.42%。 $H_{1/10} < 0.6$ m 的波浪占波浪总数的 60%,但波能只占波能总数的 9.3%。

表 1 曹妃甸各向波高频率统计
Table 1 wave height frequency statistics in every direction in Caofeidian /%

波高 H/m	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	C	合计
0.1~0.6	1.11	0.73	2.27	1.49	2.66	1.95	4.34	2.24	4.90	1.49	4.44	2.07	2.13	1.55	1.49	0.85	24.13	60.0
0.6~1.8	1.14	0.73	1.83	2.60	2.77	1.49	1.43	1.47	3.69	1.34	1.76	2.10	1.69	1.20	2.04	0.53	5.93	36.0
≥1.8	0.03	0.09	0.53	0.81	0.24	0	0	0.03	0.03	0	0.21	0.24	0.03	0.06	0.68	0.30	0.32	4.0
合计	2.28	1.55	4.63	4.90	5.67	3.44	5.77	3.74	8.62	2.83	6.41	4.41	3.85	2.81	4.21	1.68	30.4	100.0

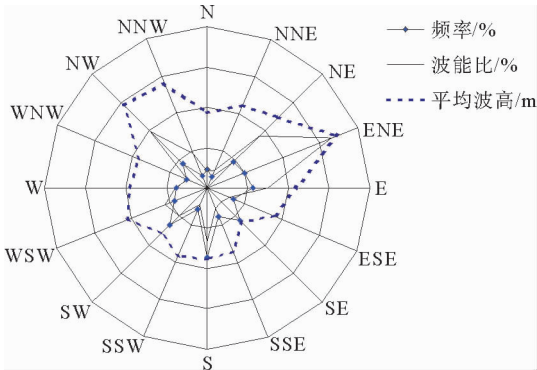


图 1 曹妃甸海区波浪分布玫瑰图
Fig. 1 Rose diagram of wave distribution in Caofeidian sea area

普遍认为,暴风浪作用下的岸滩侵蚀最为明显^[3]。从波高、波能的统计结果可以看出,强浪向虽然频率较小,但相对于频率较大的常浪向可携带更大的波能,更容易达到岸滩泥沙运移的启动流速,从而影响岸滩侵淤状态。本文主要在强浪向波候条件下分析祥云岛岸滩的侵淤特征,从祥云岛的地理位置上来看,对其 A1-A9、B1-B5 岸滩演变有重要影响的为 E、NE、NW 向浪以及 SW

向浪,而 SE 向浪与岸滩方向垂直,引起岸滩泥沙的沿岸运移不明显,故影响较小。

2 调查方法与手段

祥云岛岸滩侵淤特征调查主要以野外踏勘和剖面定位观测为主。野外踏勘的主要目的是调查海滩的区域背景、冲淤状况以及人类活动影响等,同时走访周边居民,明确海滩的历史状态和近期演化;并对滩面上的特征点进行拍照,使用 GPS 对拍照点进行精确定位,以便为室内成图做参照。在滩面上选择 2 条垂直于岸线的剖面,以便下一步定位剖面观测和表层沉积物取样。

剖面定位观测的目的主要是通过滩面点的绝对高程变化来分析海滩剖面的动态变化,以及通过滩面水平距离的明显变化来分析海滩的冲淤状况。剖面测量仪器为 LEICA 全站仪,剖面基点选择固定地物为目标,并选择合理的固定地物后视点以确定剖面线与水边线垂直;对仪器架设点和每一个观测点均使用 GPS 精确定位;剖面测量时多选在低潮时进行,剖面延伸一般最大至水深 1 m 处。

3 侵淤特征及分析

3.1 侵淤特征

自 2011 年 7 月以来,对祥云岛沿岸布设的 14 条海滩剖面(A1—A9,B1—B5)(图 2)进行了周期性定位监测。剖面观测数据表明,祥云岛大部分岸段出现了较严重的侵蚀,尤其受 NE 向、NW 向、SW 向强浪影响下的 A8、A5、B1 剖面处岸滩侵蚀最为明显,2013—2014 年净单宽体积变化分别为 -131.435 、 -116.234 、 $-74.021 \text{ m}^3/\text{m}$,与该海区强浪比率呈正相关关系(表 2)。剖面 A6、A3 及 B2、B3 处岸滩由于沿岸流的补给,出现了程度大小不一的淤积现象。

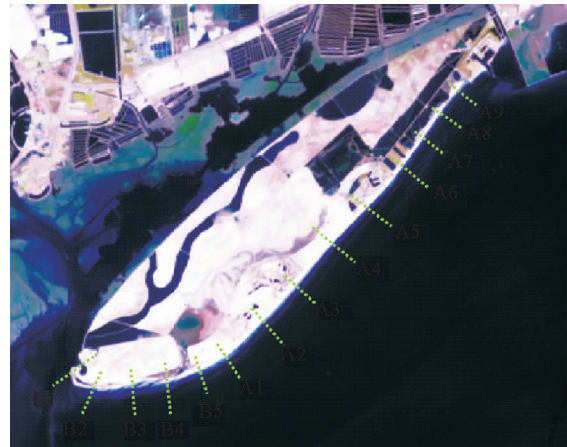


图 2 祥云岛剖面监测位置示意图

Fig. 2 Monitoring profile location at Xiangyun island

表 2 祥云岛海滩剖面单宽体积变化

Table 2 Unit width volume of beach profiles in Xiangyun island

剖面单宽体积 变化/ (m^3/m)	2011.7— 2012.3	2012.3— 2012.6	2012.6— 2012.9	2012.9— 2013.4	2013.4— 2013.11	2013.11— 2014.4	2012— 2014	2013— 2014
A1	-11.328	-7.5	-10.051	8.979	13.114	-31.786	-27.24	-18.672
A2	-13.33	-3.091	-14.948	18.649	-15.31	-1.742	-16.44	-17.052
A3	0.383	-17.111	15.162	1.762	18.183	-11.065	6.93	7.118
A4	0.598	-38.099	-0.569	-7.558	4.778	-21.039	-62.49	-16.261
A5	-12.32	-494.085	-78.17	196.161	-202.453	86.219	-492.33	-116.234
A6	6.45	-65.084	48.221	-82.488	-75.423	84.236	-90.54	8.813
A7	-35.48	-107.134	126.052	70.46	-20.361	-9.257	59.76	-29.618
A8	162.046	75.633	-72.014	86.234	-102.464	-28.971	-41.58	-131.435
A9	0.128	-36.941	32.376	5.514	10.002	-0.435	-23.461	-14.936
B1	-0.002	-15.315	25.955	75.138	-26.643	-47.378	11.76	-74.021
B2	-0.177	53.4	-42.766	-13.335	27.548	-17.453	7.39	10.095
B3	61.43	49.897	76.435	-39.756	1.313	37.135	125.02	38.448
B4	-0.036	25.649	-56.144	27.132	-1.26	-1.908	-6.53	-3.168
B5	0.224	23.692	-12.676	-5.794	4.898	-13.881	-3.76	-8.983

剖面 A3 自 2011 年 7 月开始测量到 2012 年 9 月,海滩剖面一直处于调整状态,该时期剖面 A3 区域主要以淤积为主,滩面厚度持续增大,2012 年 6—9 月,最大单宽淤积量为 $15.162 \text{ m}^3/\text{m}$ 。2013 年 4 月以来测得的 A3 剖面,岸滩形状已基本保持稳定,整体趋势是在淤进中不断微调,年净单宽沙量变化值为 $7.118 \text{ m}^3/\text{m}$ (图 3)。

剖面 A6 自 2012 年 3 月—2013 年 4 月虽然在整个测量期间剖面处于蚀淤相间状态,但从单宽沙量变化上来看,整体上是侵蚀量大于淤积量,也就是剖面 A6 在此期间整体上处于侵蚀状态;2013 年 11 月,岸线后退程度达到最大,单宽沙量变化值为 $-75.423 \text{ m}^3/\text{m}$;2013 年 11 月至 2014 年 4 月,测量结果显示,岸线向海淤进近 50 m,测得单

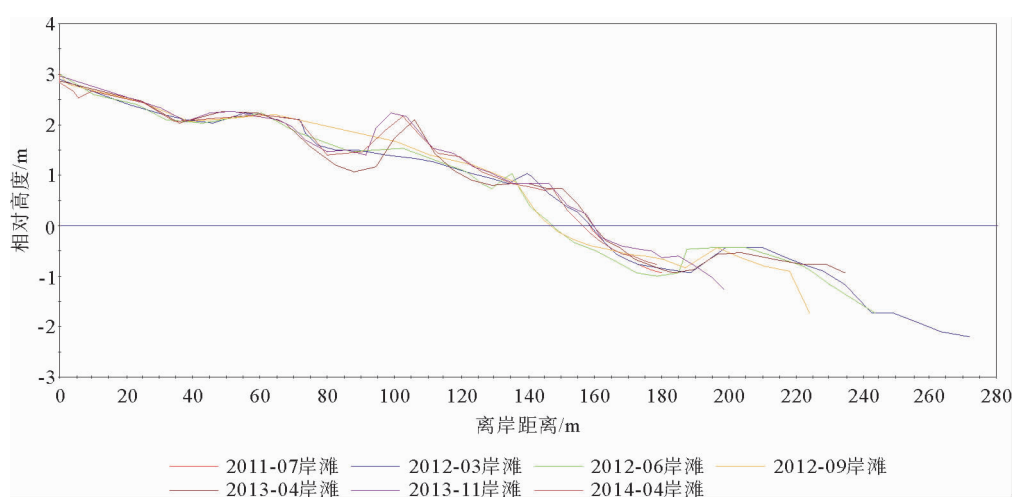


图 3 剖面 A3 不同时期岸滩剖面变化

Fig. 3 Variations of the A3 beach profiles in different periods

宽沙量变化为 $84.236 \text{ m}^3/\text{m}$ 。由此可以看出,剖面 A6 所处区域水动力环境较强,沉积物沉降和流失的速度都很快,形成的滩面十分不稳定(图 4)。

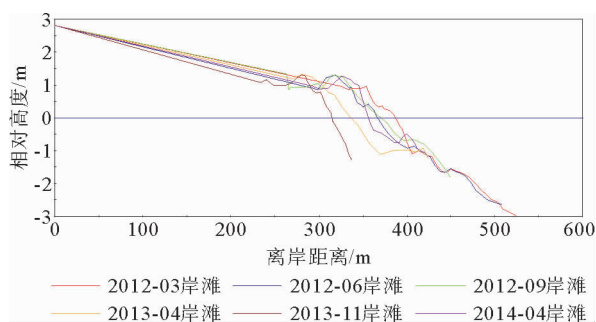


图 4 剖面 A6 不同时期岸滩剖面变化

Fig. 4 Variations of the A6 beach profiles in different periods

剖面 B2 岸滩形状较稳定,持续后退现象明显,水下沙坝持续向陆侧推进。除 2012 年 3—6 月岸滩出现明显的向海淤进外,大部分时间以蚀退为主,其中 2012 年 6—9 月,岸滩单宽沙量变化值达 $-42.766 \text{ m}^3/\text{m}$;2014 年 4 月测得的海滩剖面 B2 与 2013 年 4、11 月相比,滩肩顶向陆持续后退,单宽沙量变化值分别为 10.095 、 $-17.453 \text{ m}^3/\text{m}$,2013—2014 年净单宽沙量变化为 $10.095 \text{ m}^3/\text{m}$ (图 5)。

剖面 B3 位于金沙岛的中部岸段,由于金沙

岛西北角的波能辐聚辐散效应,该区域水动力环境缓和,滩面整体坡度较小,但起伏较大,整体呈现淤积的趋势。剖面观测显示,由潮沟发育而成的小型开放性潟湖由于沉积物的积累,深度越来越小,潟湖向海侧滩肩宽度逐渐增大,2013 年 4 月—2014 年 4 月,B3 剖面净单宽沙量年变化值为 $38.448 \text{ m}^3/\text{m}$,淤积趋势明显(图 6)。

3.2 基于强浪下的侵淤

从 2013—2014 年祥云岛岸滩净单宽变化量上可以看出,祥云岛东北部 A5、A8 剖面侵蚀最为严重,A7、A9 剖面侵蚀较轻,A6 剖面轻微淤积;中部 A1、A2、A4 剖面侵蚀较轻,A3 剖面出现轻微淤积;南部 B1 剖面侵蚀最为严重,其次 B4、B5 剖面侵蚀较小,B2、B3 剖面出现较明显的淤积现象。

由图 7 可以明显看出,祥云岛岸滩侵淤特征呈现明显的侵淤相间格局。本研究中,祥云岛岸滩自南向北可分为祥云湾海滨温泉度假村、浅水湾浴场及以西区域、金山岛旅游区 3 个部分(图 8),由强浪作用引起的沿岸物质流的源—汇现象在 3 个区域表现明显。

(1) 祥云湾海滨温泉度假村岸段

该岸段对应的监测剖面为 A5—A9,强浪向中(波高 $\geq 1.8 \text{ m}$),来自 NE、ENE、E 方向的强浪

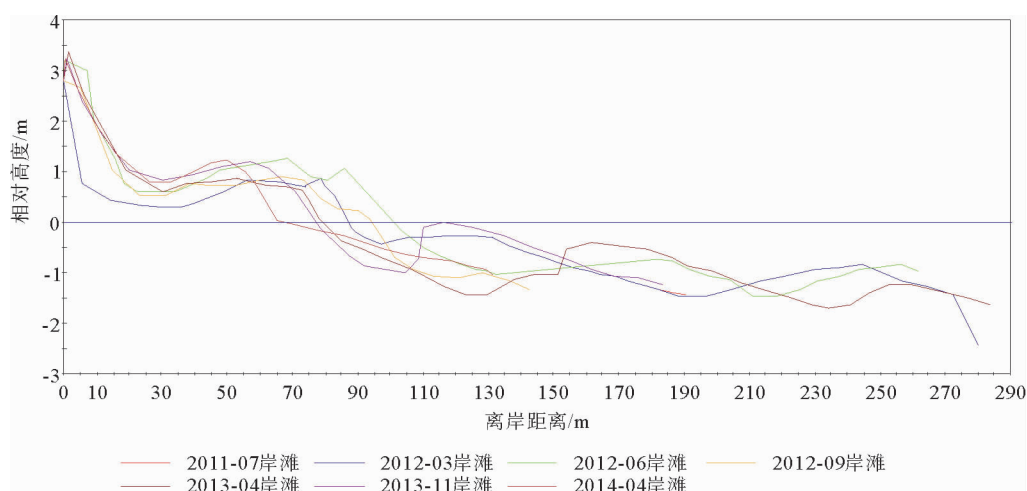


图 5 剖面 B2 不同时期岸滩剖面变化

Fig. 5 Variations of the B2 beach profiles in different periods

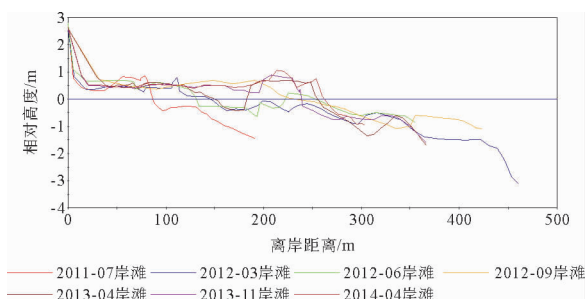
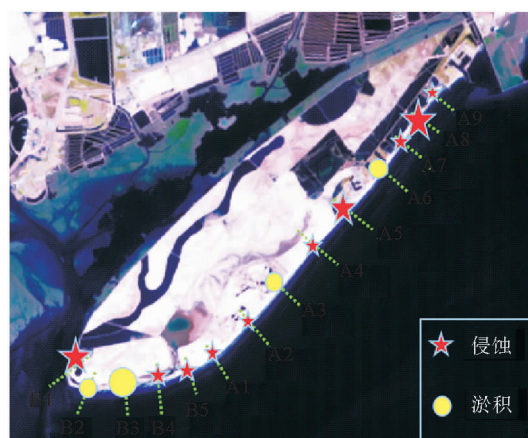


图 6 剖面 B3 不同时期岸滩剖面变化

Fig. 6 Variations of the B2 beach profiles in different periods in different periods

比率占 39.5%，其影响最为明显，引起 A8、A5 剖面的剧烈侵蚀，由于岸线方向与浪向斜交，波浪产生沿岸流，引起从 A9 到 A6 的泥沙沿岸运输，从而使 A7、A8、A9 剖面处泥沙一部分随浪冲走，一部分在剖面 A6 处沉积下来。A9 剖面位于祥云岛的最东北端，上游没有泥沙供应和补给，一直存在侵蚀，岸滩泥沙容量基数较小，使其年净单宽变化量亦不大；剖面 A7、A8 由于有沿岸流的泥沙供应，遭受波浪冲刷，使得 A8 剖面出现剧烈侵蚀；A6 剖面处岸滩由于上游沿岸流含沙量较大，泥沙沉积量比波浪冲刷量大，因此年净单宽变化为正值，即出现淤积现象。A5 剖面处遭受强烈侵蚀的原因也是如此，泥沙于 A6 剖面沉积，使得剖面 A5 处岸滩没有充足的泥沙来源，遭受强浪的剧烈冲刷，带动 A5、A4 剖面处泥沙离滩运移至 A3 剖面处，故 A3 处剖面非侵反淤。



注：图形大小代表单宽侵淤量大小

图 7 祥云岛各处岸滩侵淤特征示意图

Fig. 7 The features of erosion and deposition at different beach of Xiangyun island

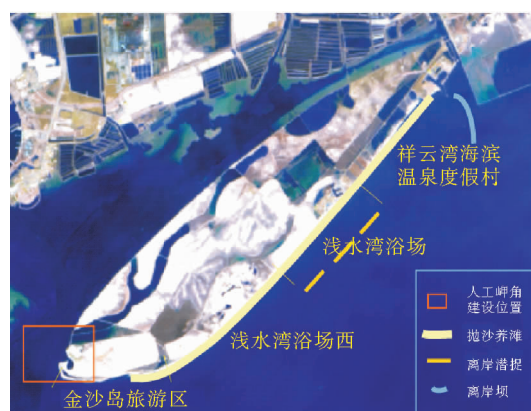


图 8 祥云岛岸滩防护措施示意图

Fig. 8 Beach nourishment at Xiangyun island

(2) 浅水湾浴场及以西岸段

该岸段对应监测剖面为 A1—A4。剖面 A3 呈现较明显的淤积现象,主要为 2 个方向的沿岸物质流的泥沙补给。一方面是由于 A5、A4 剖面遭受 NE 向浪冲刷形成的沿岸物质流的泥沙补给;另一方面是来自 SW 方向的强浪,SW、WSW 向强浪比率 11.25%,强浪冲刷祥云岛西南,浪向与岸线斜交,形成绕过金沙岛向东北方向的沿岸流,由于上游祥云岛顶端金沙岛曾人为向陆吹沙,使得原始岸滩得到充足的泥沙补给,故而在下游的 B4、B5、A1、A2 剖面处岸滩经过的沿岸流含沙量均比较高,使得该 4 处剖面处在强浪的冲蚀下,侵蚀现象不是那么剧烈,而最后沿岸流中大部分的泥沙在剖面 A3 处沉积下来,使得此处岸滩出现淤积现象。

(3) 金沙岛旅游区岸段

该岸段对应监测剖面为 B1—B5,影响该岸段的波浪作用主要为 NW 向和 SW 向波浪。剖面 B1 位置侵蚀最为严重,主要受 NW 方向波浪影响。来自 NW、NNW 方向的强浪比率为 24.5%,较 SW 方向强浪造成的侵蚀大。剖面 B1 岸滩遭受 NW、NNW 向暴风浪直接冲刷,而且 B1 处剖面位于祥云岛西南角北岸,使得 NE、ENE、E 向浪波能在此处辐聚,波能增大,将 B1 处岸滩泥沙带离滩面,造成强烈侵蚀;经过绕射后,波能在 B2、B3 剖面处辐散,波能减小,携沙能力减弱,泥沙在此处沉降,是造成 B2、B3 处岸滩淤积的重要原因。B2、B3 处岸滩出现淤积的另一个重要原因是人为的吹沙造陆,使得该段岸线得到充足的泥沙补给,测量结果显示为淤积明显^[4]。

4 祥云岛的防护措施

海岸侵蚀最直接的后果是滩面大幅度缩小,海滩泥沙大量流失,海水吞噬大片沿海土地和植被,对沿岸建筑物造成严重破坏,对人类生活造成了很大的不便,甚至威胁^[5]。近 20 年来,西方发达国家已经充分认识到海滩侵蚀的危害和后果,并广泛开展了海滩养护工作,对海滩养护工作进行了全面系统而又细致的研究,他们认为海滩养护是抵御海岸侵蚀灾害的最佳措施。

到目前为止,仅祥云岛岛体内部部分区域进

行了岛体人工吹填以及西北部养殖池的清淤工作,沿岸沙滩尚未进行过人工养护,基于此,对侵蚀岸滩的养护措施研究是极其有必要的。

从地形地貌和海岸类型看,祥云岛所属的养滩类型为同相养滩中的平直砂岸养滩和直岸凸滩养滩^[6]。

(1) 祥云湾海滨温泉度假村和浅水湾浴场及以西区域的海滩养护属于平直砂岸养滩,养滩的重点在于减缓海滩沙的横向移动过程,多数平直海岸所处的海域波浪波峰线与岸线平行,沉积物纵向移动作用小。因此,在此类型海滩进行养护时,仅需辅以离岸潜堤(或离岸坝),使垂直于海滩的波浪提前破碎,消耗波能,减少对新滩的冲刷侵蚀即可达到护滩目的。浅水湾浴场及以西区域(图 8),该段岸线平直,大部分岸段年净侵蚀量较小,对浅水湾浴场进行软性防护——人工补沙的同时,于浴场东部岸外破浪带附近进行离岸潜堤的建设,既可以使 E 向、NE 向强浪提前破碎,消耗大部分波能,大大减小暴风浪对岸滩的冲刷^[7],又不会对浴场环境视觉景观和生态景观造成影响。

祥云湾海滨温泉度假村剖面位于祥云岛的最东北端,上游没有泥沙供应和补给,一直存在侵蚀,岸滩泥沙容量基数较小。此处海域强浪作用强劲,需要大幅度抵浪消能,若要短期内获得较好的养护效果,在硬性工程的选择上应以突出水面的离岸坝(岸外防波堤)为主(图 8),利用波浪绕射的波能辐聚辐散效应,有效降低海水在波影区的携沙能力,同时需要人为进行软性养护,即人工抛沙养滩,增加该区域岸滩的泥沙容量基数。

(2) 金沙岛旅游区岸段的海滩养护属于直岸凸滩养滩,此处区域相对于平直海岸来讲,由于波能辐聚,波浪作用相对于上下游更加剧烈,对岸滩的冲蚀也更强烈。在此类型海滩进行养滩时,不适合辅以丁坝,因为丁坝对沿岸流的阻挡,可能使凸滩上游不能淤沙,而且容易使凸滩下游侵蚀严重,起不到养滩的效果。若要取得良好的养护效果,可以通过岸外潜堤或是人工岬角的修建,对海滩进行多重防护(图 8)。此处 B1 剖面处侵蚀最为强烈,人工岬角的建设既可以阻挡西北方向的大部分波能,还能使波能在岬角内侧辐散,携沙能力减小,促进岬角内淤积;而且人工岬角的建设不

会拦截上游泥沙,不会影响下游的泥沙供应,从而保持 B2、B3 剖面处岸滩的持续性淤积,构建平衡岬湾。实际工程中,两个岬角之间的距离宜为单岬长度的 2~4 倍,便可有效护沙养滩,间距太小,容易引起滩面泥化,间距太大,不能起到护滩养沙的作用,造成海滩沙大量流失^[8]。

5 结论

强浪波候条件下,祥云岛岸滩侵淤变化明显,监测剖面的单宽沙量变化所呈现的侵蚀和淤积状态均与强浪频率和波能呈明显的相关性。祥云岛东北方向的 A8、A5 剖面侵蚀冲刷最为剧烈,单宽侵蚀量分别为 -131.435 和 $-116.234 \text{ m}^3/\text{m}$,主要由于受 NE、ENE、E 向波浪影响,在强浪(波高 $\geq 1.8 \text{ m}$)中,三向波浪频率为 39.5%; B1 剖面侵蚀冲刷程度次之($-74.021 \text{ m}^3/\text{m}$),主要受 NW、NNW 方向波浪影响,在强浪(波高 $\geq 1.8 \text{ m}$)中,此两种方向波浪频率为 24.5%。

对祥云岛进行岸滩防护时,要充分考虑波候条件引起的岸滩侵淤变化,针对性进行养滩。通过“软工程”与“硬工程”的综合运用,由片面防护转变为全面防护。对波候较强、侵蚀量较大的平

直区域,应适当补沙增加其岸滩宽度及标高,同时辅以离岸坝或潜堤消浪护沙;对于岸滩凸出、波能辐聚区域,人工岬角的构建为比较理想的防护方式。

参考文献:

- [1] 于德海,彭建兵,李 滨. 海岸带侵蚀灾害研究进展及思考[J]. 工程地质学报,2010, 18(6):867-872.
- [2] 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, 2009,24(12):29-33.
- [3] Grasso F, Michallet H, Barthelemy E. Experimental simulation of shoreface nourishments under storm events: A morphological, hydrodynamic, and sediment grain size analysis[J]. Coastal Engineering,2011(58):184-193.
- [4] 河北省地矿局秦皇岛矿产水文工程地质大队. 唐山湾“三岛”及周边海域淤积、海岛冲淤和岸滩变化动态监测报告[R]. 秦皇岛:秦皇岛矿产水文工程地质大队,2011.
- [5] 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.
- [6] 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:自然科学版,2009(5):1019-1024.
- [7] 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.
- [8] 陈文超. 岬间湾海滩养护监测及稳定性分析[D]. 青岛:中国海洋大学,2014.

BEACH EROSION AND DEPOSITION UNDER STORM AND DEFENSE MEASURES

CHEN Wenchao, QIU Ruofeng, XING Rongrong, GONG Lixin, LIU Xiujin

(Qinhuangdao Mineral Resource and Hydrogeological Brigade, Hebei Geological Prospecting Bureau, Qinhuangdao 066001, Hebei, China; Hebei Center of Marine Geological Resources Survey, Qinhuangdao 066001, China)

Abstract: Around the Xiangyun island, waves in northeast, northwest and southwest directions play key roles in beach evolution as seen along the monitoring profiles from A1 to A9 and the profiles from B1 to B5. The ratio of waves from the three directions is 1.58%, 0.98% and 0.45% respectively, and they are related to the erosion and deposition of beach. In terms of the types of beach nourishment, the Xiangyun island belongs to a straight sand coast of an in-phase beach. As such a beach has a strong response to wave action, some “hard projects” are indispensable.

Key words: beach erosion; beach nourishment; profile feature; erosion and deposition analysis