

翡翠岛沙丘动态变化监测与动力成因探讨

周艳军^{1, 2} 孙丽华^{1, 3} 樊清华³

(1 河北省气象与生态环境重点实验室, 石家庄 055000; 2 秦皇岛市抚宁区气象局, 抚宁 066300;

3 秦皇岛市气象局, 秦皇岛 066000)

摘要: 利用翡翠岛观测站、沙丘流量及影像监测、渤海海冰监测等资料, 研究了2008年以来翡翠岛沙丘动态变化特征, 探讨了气象与海洋要素对沙丘动态变化的影响。研究结果表明: 西部海区入海河流沙源量自然减小下, 水动力条件可自动修复海岸带存沙量, 沙丘之间在环境风场作用下微循环流动; 不同季节的盛行风对沙丘动态变化的贡献值有差异; 翡翠岛气象观测站沿岸沙丘整体增高了1.5~1.8 m, 沙丘向海坡度和背海坡度平均增幅为20~30°; 沙丘高度变化与重冰期相关, 冬季海冰外缘线大于20 km时, 海陆温差致水平气压梯度加大, 海冰摩擦系数小, 致偏东风在冰面迅速增强, 是流沙量增大的主要动力因素。

关键词: 翡翠岛沙丘动态变化监测, 海陆沙源循环, 风动力因子, 海冰因素

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.03.006

Sand Dune Dynamics and Controlling Factors at Emerald Island

Zhou Yanjun^{1, 2}, Sun Lihua^{1, 3}, Fan Qinghua³

(1 Key Laboratory of Meteorological and Ecological Environment of Hebei Province, Shijiazhuang 055000

2 Meteorological Bureau of Funing District of Qinhuangdao City, Funing 066300

3 The Oceanic and Atmospheric Observatory of Qinhuangdao, Qinhuangdao 066000)

Abstract: This study examined the temporal variation of sand dune at Emerald Island since 2008. Datasets used in this study include site meteorological observation, Bohai sea ice detection, sand dune flow-meter, and image monitoring. The results indicated that, with the reduction of sand yield from rivers to the western sea, hydrodynamic force automatically restored coastal sand deposit sediment. Sand dunes moved slightly between under the influences of environmental wind fields. Prevailing winds in different seasons contributed differently to the sand dynamical movement. Compared with the data in 2008, the sand dune height along the coast has increased by 1.5–1.8 m in general, with an average increase of 20–30° in seaward and reverse seaward. Further results showed that sand dune height variation was related to sea ice period. Once the Bohai sea ice edge was extended over 20 km, the horizontal pressure gradient increased as a result of the sea-land air temperature difference and the sea ice friction coefficient decreased. This resulted in an increased intensity of easterly wind on the sea ice, which was mainly responsible to the increased sand flow.

Keywords: sand dune variation detection at emerald island, sand source cycles between land and sea, wind dynamical factor, sea ice factor

0 引言

秦皇岛市昌黎黄金海岸位于渤海西海岸带中部, 海岸线全长52.1 km^[1]。在风、潮汐、海流及河流的作用下, 形成了一条长40.0 km、宽4.0 km的新月形沙丘和沿海数道沙堤组成的沉积地貌。1997年沙丘最高处达44.9 m, 为我国海岸带沙丘的最高峰, 总面积为

300 km², 分陆域和海域两部分(图1)。20世纪80年代初, 我国研究人员在与澳大利亚昆士兰州黄金海岸纳米比亚海滨对比后^[2], 将此地定义为中国的“黄金海岸”。1990年, 国务院将秦皇岛市昌黎黄金海岸列为首批五个国家级海洋自然保护区之一。“黄金海岸”主沙丘北段被8.0 km左右的护沙林和矮棵沙棘等绿色植被环绕, 旅游开发报告中又将其命名为“翡翠岛旅游区”(图2)。

随着国家发展战略总体目标的提出, 科学规划沿海地区绿色环保与生态理念的实施方案和需求加大, 国家海岸带沙丘环境变化及影响被广大科技工作者所

收稿日期: 2017年8月1日; 修回日期: 2019年4月10日

第一作者: 周艳军(1980—), Email: 15703350555@139.com

资助信息: 秦皇岛市科技局项目(201301B030); 秦皇岛市气象科研项目(2014KY008)



图1 翡翠岛地理位置及2008年翡翠岛沙丘实景航拍图 (沙丘峰高约36 m)

Fig. 1 Geographical location of Emerald Island and aerial photograph of dunes of Emerald Island in 2008 (peak height is about 36 m)

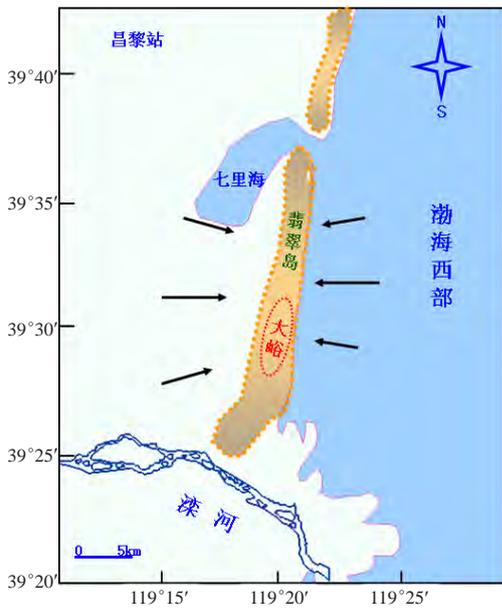


图2 卫星遥感、地理信息合成图 (黄色为沙丘, 最高峰区域为红色“大峪”处, 黑色(东、西向)箭头为优势风)

Fig. 2 Integrated map of satellite remote sensing and geographic information (yellow is the dune, the highest peak area is the red "Dayu" place, and the black (east and west) arrow is the dominant wind)

关注, 并逐渐成为研究热点^[3-5]。20世纪80年代, 研究者先后对中国海岸沙丘的类型及分布规律等进行了研究^[6-8], 定义了中国温带海岸沙丘分类标准, 并对渤海西海岸带沙丘的形成时代、沉积的成因和特征等进行了探讨; 通过研究翡翠岛海岸沙丘发育的成因^[9-10], 认为“主导风况、沙源、地形”是海岸沙丘发育的三要素; 李晶等^[11]在2004—2007年开展了针对翡翠岛沙

丘主峰区域风沙运动的观测研究, 认为“在盛行风作用下, 受物源减少、植被固定和人为扰动等诸多因素影响, 沙丘高度逐年降低, 沙丘向海坡坡度、背海坡坡度均减小”。综合上述研究, 发现使用的气象资料基本上以2007年前昌黎县观测站(海拔高度18.0 m, 以下简称昌黎站)的监测数据为主, 该站距离翡翠岛(海拔高度2.0 m)海岸带约30.0 km, 其边界层10 m高度风场数据代表性较差, 且研究海岸沙丘的气象条件多为宏观特征的论述。由于海岸带连续性气象监测数据不足2年, 缺少针对逐日大于 $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的优势风和持续时间大于6 h的风速数据分析。此外, 渤海近海区域每年有近3个月海冰期和沙丘冻沙层, 风动力条件、海洋环境条件与其他海区差异较大, 导致上述研究结论具有一定的局限性, 因此, 翡翠岛沙丘动力学成因变化分析及研究有待最新监测资料的补充和订正。

本文利用2008—2016年翡翠岛气象观测站(以下简称翡翠岛站)、人工监测沙丘流量及影像、渤海海冰监测资料等, 构建同步数据链; 采用国内沿海沙丘动态特征研究方法, 分析引发翡翠岛沙丘动态变化动力学成因; 探讨重冰期海冰因子双重效应, 估算岸段风沙变化特征值, 为量化研究海岸风沙动态演变、旅游区规划、生态与环境保护等提供新的依据。

1 数据

以2008—2016年翡翠岛人工监测沙丘流量及影像资料为依据, 通过查询同步气象观测数据、渤海海冰船舶监测与卫星遥感等资料, 基于时间与空间匹配原则, 构建不同学科综合数据链, 估算出翡翠岛沙丘环境变化特征值, 探讨沙丘动态变化的不同要素因子之间的相互作用。

1.1 气象监测资料

使用翡翠岛站2008—2016年10 m高度风场资料。分析2015—2016年山海关造船厂码头、秦皇岛港2号码头气象观测站盛行风及优势风动力效应, 对比昌黎站风速差值, 通过海区大风上游站与海冰资料、沙丘监测资料进行同步对比分析, 得出研究结论。

1.2 2008—2016年海冰监测资料

秦皇岛海区船舶监测与FY-3A气象卫星遥感资料。分析重冰期的外缘线、冰厚、冰型、冰情等, 与偏东风出现的次数、气压场、海温及岸基的最低气温时段进行匹配, 确定同步资料链接点。

1.3 沙丘监测资料

翡翠岛沙丘动态监测时间为2008年10月—2016年6月, 数据分为三类: 1) 2008—2016年航拍实景

照片。2) 2008年10月—2013年12月逐年监测站体积 ($7\text{ m} \times 7\text{ m} \times h\text{ m}$) 重量, 坡度为 $10^\circ \sim 20^\circ$, 距离为 35.0 m ; 2013年1月—2015年6月体积 ($7\text{ m} \times 7\text{ m} \times h\text{ m}$) 重量, 坡度为 $20^\circ \sim 30^\circ$, 距离为 40.0 m 。3) 2015年7月—2016年6月逐月, 两个不同坡度体积 ($0.4\text{ m} \times 0.4\text{ m} \times h\text{ m}$) 重量, 坡度为 $30^\circ \sim 40^\circ$, 距离为 $40 \sim 45\text{ m}$ 。沙粒度资料来源于中科院地理科学与资源研究所。为精确监测翡翠岛沙丘的形态变化和移动速率, 沙丘监测采用GPS实地定位、MICAPS 3.1系统及GPS地形图描绘沙丘海区边界, 进行同步数据时空尺度匹配, 绘制沙丘走向图及冬季重冰期剖面, 客观描述2008年以来沙丘最新的动态演变规律及特征值。

2 翡翠岛地理、气象及海洋因素分析

2.1 地理与沙源变化

翡翠岛沙丘是北方沿海发育较为典型的海岸沙丘, 北起洋河口, 南至滦河口北, 其中滦河北至七里海海岸段沙丘高度自北向南沙逐渐减小, 沙丘主体为加积型横向沙丘链, 内侧向陆地方向依次分布多列新月形沙丘链、灌丛沙丘、沙席, 多数呈现准固定状态。

滦河的入海泥沙是形成翡翠岛沿岸沙丘的主要沙源, 经海洋动力作用后, 移动至海滩堆积而成。滦

河属多沙性的河流, 据1998—2007年《海滦河水文统计资料》和《河北省水资源公报》统计, 早期滦河年平均入海泥沙量为 $1.028 \times 10^7\text{ t}$, 20世纪80年代, 由于上游潘家口水库和大黑町水库投入运行后的截流作用, 年平均入海泥沙量降低至 $3.74 \times 10^5\text{ t}$; 1999年(桃林口水库运行)后, 年平均入海泥沙量仅为 $3.31 \times 10^5\text{ t}$, 直到2007年, 秦皇岛至唐山海区四级河流入海泥沙量趋于 0 t 。由于海滩得不到充足的沙源供应, 并在海水的不断侵蚀后, 导致海滩宽度减小, 坡度变大, 另外, 随着砂粒变粗, 阻碍了沙粒的移动, 减少了风沙流的形成, 减缓沙丘的发育和演变(包括人为因素)。1997年10月, 大圩顶沙丘的最高点为 44.91 m , 而2007年10月为 36.63 m , 降低率达 0.87 。

最新监测显示: 2008—2016年, 七里海至大峪沙丘北部区域(翡翠岛站附近)的沙丘高度呈现增加趋势(图3), 平均增高 $1.5 \sim 1.8\text{ m}$, 距离海岸线 $40 \sim 50\text{ m}$ 沙丘向海坡坡度、背海坡坡度均增高 $20^\circ \sim 30^\circ$ 。沙粒颗粒度平均粒径均值为 $300\text{ }\mu\text{m}$, 表层有大量贝壳粉末, 显然, 主沙丘高度下降的背景下, 这种变化可能与近海海区沙带修复、沙丘之间自循环等因素有关, 且与渤海重冰期流沙在西风作用下沉降冰面后转为东风时回流至海岸带有一定的关联(即海冰因素)。

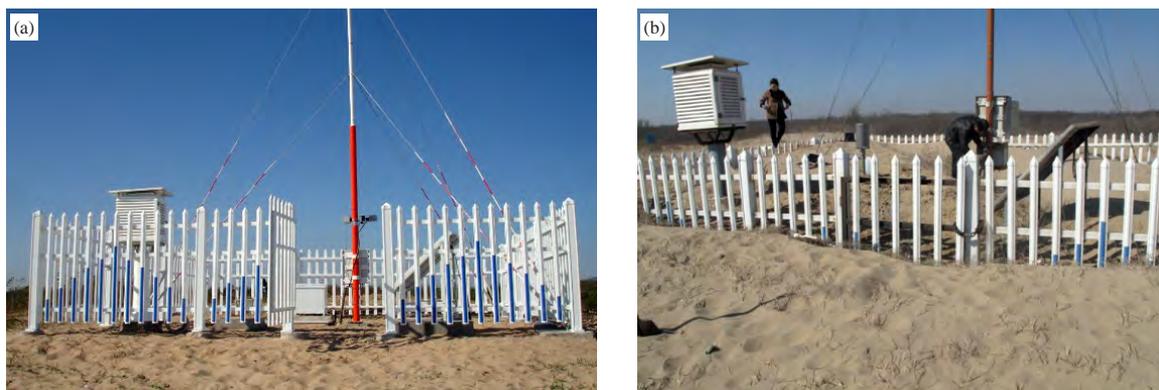


图3 (a) 2008年10月26日, 翡翠岛站建站时防护栏 ($7.0\text{ m} \times 7.0\text{ m} \times 1.8\text{ m}$);
(b) 2016年3月26日, 翡翠岛站护栏 (1.8 m) 被发育型沙丘掩埋

Fig. 3 (a) The Emerald Island Station (protection fence dimension: $7.0\text{ m} \times 7.0\text{ m} \times 1.8\text{ m}$) when it was built on 26 October 2008;
(b) The Emerald Island Station guardrail (1.8 m) when it was buried by the developmental sand dunes on 26 March 2016

2.2 气象因素的影响

影响沙丘变化的气象因素较多, 如: 边界层风场对流沙的动力因素, 盛行风与优势风的相互作用, 冬季的优势风大于昌黎站风速量级 $3 \sim 5\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 等。相对而言, 以四季划分: 沙流量冬季最大, 春季中等, 夏季最小, 其他次之。春季蒸发量大, 在出现西南风时, 干沙层较易形成局部区域的扬沙天气; 夏季是全年降水量的集中时段, 沙丘整体含水量大, 固沙作用明

显; 秋季为冷暖空气转换时段, 干沙层逐渐增厚; 冬季是沙丘变化活跃期, 渤海北部被大陆冷高压控制, 盛行东北季风, 平均每月冷空气侵袭 $4 \sim 5$ 次, 每一次都伴有 $6 \sim 7$ 级偏北风, 有时达 $9 \sim 10$ 级, 且风向逆时针变化, 为E-N-W方向, 持续 $1 \sim 2\text{ d}$, 而在秦皇岛近海及翡翠岛海岸带还可能出现 $11 \sim 12$ 级偏东风, 约持续 $2 \sim 3\text{ d}$ 。

2.2.1 翡翠岛站 $10\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 风场

秦皇岛沿海观测站30年统计资料显示, 平均风速

为 $3.0\sim 3.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (图4a), 盛行季风主要以西风、西南风及东北风为主, 风速分布见图4b, 春季为大风时段, 最大平均值为 $3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 冬季次之; 风沙物理学、

气象学所关注的是向岸风和海岸线夹角对沙流量的动力效应, 风沙启动风速一般为 $4.1\sim 6.4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。故此, 风场资料需要设定风级条件后再进行分析。

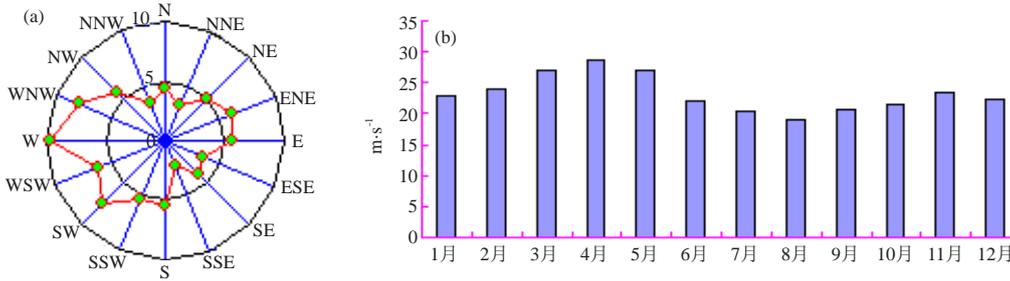


图4 昌黎站2000—2015年风向频率 (a) 和风速频率 (b)

Fig. 4 Wind direction frequency (a) and wind speed frequency (b) at the Changli Station from 2000 to 2015

当风速大于 $4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时 (表1), 翡翠岛站2008—2016年大风时段为冬季, 偏东风平均最大值为 $5.8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 春季偏西风平均最大值为 $5.6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 可以初步得出风沙启动盛行风与优势风平均值及主要分布特征。显然用昌黎站风场资料代表海岸带 $10\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 风场的结果会有较大偏差。

表1 2008—2016年翡翠岛监测站风速大于 $4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 月平均频率
Table 1 Month average frequency of wind speed greater than $4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ at the Emerald Island Monitoring Station in 2008—2016

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	单位
风向	NE	NE	W	SW	SW	S	S	SE	ESE	NW	NE	NE	方位
频率	12	11	9	11	7	5	3	6	7	9	9	11	%
风速	5.8	5.6	5.6	5.5	5.0	4.3	4.1	4.1	4.2	5.3	4.7	5.5	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

当取冬季大于 $10\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的风速时, 偏东风频率及风速达到35%以上, 翡翠岛沙丘高度变化则与海冰重期密切相关。显然, 偏东风作用是将沙滩干沙层向沙丘输送, 使沙丘高度增加; 偏西风作用是将偏东风吹过沙丘背部至底部的干沙二次回流至顶部或海岸带; 南风和北风的作用是削弱沙丘顶部两侧积沙, 维持沙丘梯形结构, 部分沙流与沙臂斜交在两侧风坡产生涡流引发一般性的沉积沙链。

2.2.2 翡翠岛临界起动风速与风矢量夹角

根据拜格诺沙粒开始移动的临界速率与粒径关系式和普兰特一冯·卡曼的速度对数分布律, 可以求出任何高度上风沙的起动速度

$$u_t = 5.75A\sqrt{\frac{\rho_s - \rho}{\rho}gd\lg\frac{z}{z_0}} \quad (1)$$

式中, A 为经验系数, ρ_s 为沙粒密度, ρ 为空气密度, g 为重力加速度, d 为沙粒粒径, z 为所测风速值的高度, z_0 为地面糙度。

由式 (1) 可以计算出翡翠岛海滩干沙的临界起动风速 (海岸带高度 1.0 m) 为 $4.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (中段为

$4.7\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 南段为 $4.4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)。本段海岸线呈NNE-SSE向延伸, 与向岸优势风的夹角多在 $45^\circ\sim 90^\circ\sim 135^\circ$ 之间, 向岸盛行风作用的有效力较大。加上海滩坡度小 ($1:400\sim 1:900$) 和该岸段干沙量供应较充足, 有利于海岸沙丘的发育。

北戴河和山海关海区之所以没有形成有规模的横向沙丘链、低矮小丘, 是由于在坡度平缓相同的条件下, 受上述海岸线走向和优势风交角影响所致, 如北戴河和山海关海岸线呈NE—SE向延伸, 与NE—E—SE向向岸优势的夹角多为小于 $25^\circ\sim 30^\circ$, 加之金山嘴和老龙头岛屿向海区延伸, 直接影响NE向风速, 不利于海岸沙丘的生长发育。每年6—7月为S风向, 虽然频率有利向岸风形成, 但此段时间为一年降水高峰期, 降水有效抑制了沙滩移动。

2.2.3 海岸带流沙监测

沙丘监测分为两个部分 (表2): 1) 2008年10月—2012年12月为每年气象监测站 ($7\text{ m}\times 7\text{ m}\times h\text{ m}$) 体积重量, 坡度为 $10^\circ\sim 20^\circ$, 距离为 35 m ; 2013年1月—2015年6月 ($7\text{ m}\times 7\text{ m}\times h\text{ m}$) 体积重量, 坡度为 $20^\circ\sim 30^\circ$, 距离为 40 m 。2) 2015年7月—2016年6月逐月, 分别为两个不同坡度 ($0.4\text{ m}\times 0.4\text{ m}\times h\text{ m}$) 体积重量, 坡度为 $30^\circ\sim 40^\circ$; 距离为 $40\sim 45\text{ m}$ 。偏东风从海岸线—监测站 (40×50) m^2 流沙移动平均量约 $95\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$, 主要月份为12—次年2月; 偏西风从沙丘后部边缘线—监测站 (20×50) m^2 流沙移动平均量 $40\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$, 主要月份3—5月; 其他月份不显著, 仅起到南—北风沙流与沙臂斜交在背风坡产生涡流引发一般的沉积作用。翡翠岛站沿岸沙丘在整体上增高 $1.5\sim 1.8\text{ m}$, 沙丘向海坡度和背海坡度平均增幅 $20^\circ\sim 30^\circ$ (沙粒度资料来源于中科院地理所)。由于有效风能与向岸风风向同沙丘走向夹角成正比, 因此, 冬季对沙丘的向陆迁移起主要作用。

表2 2008—2016年翡翠岛站沙丘流量监测 (单位: t)

Table 2 Monitored dune flow (unit: t) at Jade Island Station in various months from 2008 to 2016

时间	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合计	坡度	(长×宽×高度)/m ³	月监测/m ³
2008	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0.1	0.1	0.2	10	7×7×0.2	
2009	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0.1	0.2	0.3	11	7×7×0.3	
2010	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0.1	0.1	0.3	0.4	12	7×7×0.4	
2011	/	/	/	/	/	/	/	/	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	13	7×7×0.5	
2012	/	/	/	/	/	/	0.6	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.4	14	7×7×0.8	
2013	0.6	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	20	7×7×1.5	0.4×0.4×h
2014	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	25	7×7×1.5	0.4×0.4×h
2015	0.3	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	30	7×7×1.5	0.4×0.4×h
2016	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	/	/	/	/	/	/	0.1	40	7×7×1.8	0.4×0.4×h

注: 坡度指2008—2019年海岸线至监测站距离实测值, h 为被实测的沙容器高度。

2.3 海洋环境因素

2.3.1 影响近海海区的沙源水动力条件

受潮汐、海流、海浪的相互作用, 在入海河流沙流量逐步递减的影响下, 自我修复近海3~5条沙带, 偏西大风沉降作用使近海风沙混合在沙带之中, 夏季东风涌浪作用后向海岸带输送表层细沙, 最终维持翡翠岛海岸线沙带总量平衡。在渤海中部、东部北上的台风、渤海气旋造成的风暴潮及大于3.0 m的长波涌浪其效力更加显著。本文所关注的是在气象风场为偏东风的条件下, 渤海重冰期海冰效应与沙丘流沙增多原因的探讨, 确定影响沙丘动因的新因子, 从而区别东海和南海沿海地区沙丘发育的不同之处。

2.3.2 重冰期渤海海冰影响

海冰是渤海特有海洋灾害现象, 一般渤海沿海

地区每年有3个月的冰期, 12月为初冰期, 以岸基冰为主, 1—2月上旬为重冰期, 2月下旬—3月初为融冰期。根据冰情的综合监测结果(表3)又分为3~4个量级, 在重冰期海冰外缘线大于20 km时, 海岸线水平方向整体扩展了20海里(1海里=1.852 km), 海冰摩擦系数小和海陆温差作用下导致了水平气压梯度加大, 使得偏东风在海岸带脉动迅速增强, 并把偏西大风沉降在冰面浮沙又吹回岸基沙丘, 这是翡翠岛冬季流沙的动力因素之一。沙丘、海冰、海浪摩擦系数由于专业不同计算方法也不同, 综合参考GBJ9-87及国际标准ISO4354和欧洲统一规范IN1991-2-4, 海冰的粗糙系数低于A类(A类系指近海海面、海岛、海岸、湖岸等, 其粗糙度指数为0.12), 在此将其摩擦系数定义为0.10。

表3 渤海秦皇岛海区破冰船海冰监测及2008—2016年的1月气象、水文资料

Table 3 Monitored ice breakers in the Qinhuangdao Area of Bohai Sea and meteorological and hydrological data in January from 2008 to 2016

时间	外缘线/km	冰厚/cm	冰型	冰情	气压场/hPa	大风次数	中部海温/°C	岸基最低/°C
2008.1.19—23	5~10	3~5	冰皮	轻度	1023~1032	3	-1.1	-13.5
2009.1.10—15	5~10	3~5	冰皮	轻度	1023~1031	4	-1.2	-14.6
2010.1.23—28	15~20	5~6	尼罗	中度	1015~1035	5	-1.8	-16.5
2011.1.18—24	15~20	5~6	尼罗	中度	1025~1035	4	-1.6	-15.5
2012.1.10—15	10~20	5~6	冰皮	轻度	1023~1039	3	-1.5	-14.5
2013.1.17—22	25~35	10~15	灰冰	重度	1025~1040	5	-2.1	-21.6
2014.1.13—19	5~10	5~6	荷叶	轻度	1023~1035	3	-1.1	-16.5
2015.1.19—23	5~10	5~6	冰皮	轻度	1023~1035	4	-1.1	-15.5
2016.1.16—21	25~40	8~12	灰冰	重度	1023~1035	6	-2.4	-24.1

2.3.3 重冰期渤海海冰对偏东风影响个案

2008—2016年, 渤海共出现2次重冰年, 2013和2016年从翡翠岛沙丘变化监测(表2)明显看出较轻冰年沙流量多4~6成。风沙物理学给出启动速度, 海洋学给出风与浪对应关系, 气象学给出动力学机理。单一学科难以给出冬季突然增多的成因, 通过重冰期典型大风个案(表4)综合分析初步得出其动因并给

出图解。

经计算, 2013年和2016年1—2月重冰期沙丘脊线向陆移动速度为 $3 \text{ m}\cdot\text{a}^{-1}$, 轻冰期其他年份移动速度为 $1.1 \text{ m}\cdot\text{a}^{-1}$ 。每次系统性大风过程 $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上持续时间大于6 h, 极大风速达 $17.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。在冬季较强冷高压控渤海部时, 偏东风频率均达到35%以上, 风速大于 $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 翡翠岛沙丘高度变化及海冰重冰期密切相关。

表4 2016年1月16日山海关船厂、海港煤码头海岛站与翡翠岛站偏东风风速对比 (单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
Table 4 Wind speed of easterly gale among Shanhaiguan Shipyard, Coal Terminal Island Station and Jade Island Station on 16 January 2016

时间/h	风向/ $^{\circ}$	风速/ $(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$		
		山船	海港	翡翠岛
0	51	10	12	14
1	56	11	13	13
2	61	12	13	14
3	61	12	14	14
4	63	13	14	15
5	63	11	14	15
6	63	11	12	14
7	61	11	12	14
8	58	12	12	14
9	68	12	13	15
10	69	13	14	15
11	65	13	14	14
12	57	12	13	13
13	61	11	11	12
14	63	11	11	12
15	63	10	10	12
16	66	10	10	13

注: 翡翠岛极大风速出现在16时35分达 $17.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

海陆温差分布密集区域在海岸带一线, 渤海中部温度高, 岸基温度低, 形成指向岸基的气压梯度力, 风矢量在浪区摩擦系数大, 遇到海冰界面时摩擦系数减小, 作用在单位面积上线性风速质点动力加速度增大, 在海岸带加大流沙抬升力。偏东风作用是将沙滩干沙层向沙丘输送, 并将偏西大风作用被沉降在冰面的流沙二次回流至顶部或海岸带, 沙丘高度增加及迎风坡堆积量是轻冰期的3~4倍。因此说重冰期海冰是其新的动力因素。

3 结论与讨论

1) 在西部海区入海河流沙源量自然减小条件下, 潮汐、海流、海浪的相互作用, 自我修复近海3~5条砂带存沙量, 在渤海中部、东部北上的台风、渤海气旋造成的风暴潮及大于3.0 m的长波涌浪其效力更加显著, 维持近海至海岸线砂带总量平衡。岸基沙丘盛行风与优势风的相互作用, 不同高低沙丘流沙处于微循环状态, 维持海岸带至沙丘之间总量及形态的平衡。

2) 在优势风和盛行风作用下, 偏东风从海岸线-监测站50 m×50 m流沙移动平均量为 $80\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$, 主要发生在12—2月; 偏西风从沙丘后部边缘线-监测站50 m×50 m流沙移动平均量 $50\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$, 主要发生在3—5月; 其他月不显著, 仅起到南—北风沙流与沙臂斜交在背

风坡产生涡流引发一般的沉积作用。翡翠岛站沿岸沙丘在整体上增高1.5~1.8 m, 沙丘向海坡度和背海坡度均增幅 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 。

本岸段岸线呈NNE-SSE向延伸, 与向岸优势风的夹角多在 $45^{\circ}\sim 90^{\circ}\sim 135^{\circ}$, 向岸盛行风作用的有效力较大。加上海滩坡度小(1:400~1:900)和该岸段干沙量供应较充足, 有利于海岸沙丘的发育。而北戴河海区和山海关海区没有形成有规模的横向沙丘链、低矮小丘, 在坡度平缓相同条件下, 主要原因与上述海岸线走向和优势风交角有关, 如北戴河和山海关海岸线呈NE—SE向延伸, 与NE—E—SE向向岸优势的夹角多小于 $25^{\circ}\sim 30^{\circ}$, 加之金山嘴和老龙头岛屿向海区延伸, 直接影响NE风风速, 不利于海岸沙丘的生长发育。

3) 2008年以来, 高度变化与重冰期相关, 海冰是渤海特有海洋灾害现象, 一般为3个月的冰期, 1—2月上旬为重冰期, 当海冰外缘线大于20 km时, 海岸线水平方向整体扩展了20 km, 在海冰摩擦系数小和海陆温差作用下导致水平气压梯度加大, 使得偏东风风速在海岸带脉动迅速增强, 并把偏西大风沉降在冰面浮沙又吹回岸基沙丘, 成为翡翠岛冬季流沙新的动力因素之一。也是区别于东海和南海沿海地区沙丘发育机理的不同之处。

海岸沙丘由于处于海陆交界处, 洋流作用造成动态变化较为活跃, 导致海洋与陆地连接处形成一种独特的海岸地貌, 用单一学科观点难以说明其机理。由于沙丘监测资料长、短不齐, 揭示其动因偏重于海洋与气象方面, 有一定的局限性, 有待后续研究补充和完善。

参考文献

- [1] 胡镜荣, 顾建清, 王月霄, 等. 自然保护区持续发展概论: 以国家级昌黎黄金海岸自然保护区为例. 北京: 科学出版社, 1996.
- [2] 傅命佐, 徐孝诗, 徐小薇. 黄渤海海岸风沙地貌类型及其分布规律和发育模式. 海洋与湖沼, 1997, 28(1): 56-65.
- [3] 吴正, 吴克刚. 海南岛东北部海岸沙丘的沉积构造特征及其发育模式. 地理学报, 1987, 42(2): 129-141.
- [4] 张振克. 烟台附近海岸风沙地貌的初步研究. 中国沙漠, 1995, 15(3): 210-215.
- [5] 陈方, 朱大奎. 闽江口海岸沙丘的形成与演化. 中国沙漠, 1996, 1(3): 227-233.
- [6] 高善明. 滦河北岸海岸沙丘的形成时代. 海洋湖沼通报, 1983, (3): 29-32.
- [7] 董玉祥. 中国温带海岸沙丘分类系统初步探讨. 中国沙漠, 2000, 20(2): 159-165.
- [8] 蔡爱智, 蔡月娥. 中国海岸风沙沉积的成因与特征. 中国沙漠, 1983, 3(3): 1-10.
- [9] 李从先, 陈刚, 王秀强. 滦河以北海岸风成砂沉积的初步研究. 中国沙漠, 1987, 7(2): 13-21.
- [10] 徐永兴, 李萍, 刘乐军, 等. 河北七里海外沙丘群成因新探. 海洋科学进展, 2006, (7): 349-354.
- [11] 李晶, 高伟明, 刘国君. 昌黎黄金海岸沙丘动态变化及动因解析. 海洋通报, 2009, 28(2): 281-288.