

# 海岸新月形沙丘移动与形态变化的典型研究

董玉祥, 黄德全

(中山大学地理科学与规划学院 广东省城市化与地理环境空间模拟重点实验室, 广东 广州 510275)

**摘要:** 依据2006~2008年连续3 a共9次采用RTK GPS技术与测量方法对一个典型海岸新月形沙丘形态的高精度测量数据, 分析了海岸新月形沙丘的移动方向、方式、速度以及形态变化特点。结果表明, 海岸新月形沙丘具有缓慢、向陆往复式前进的移动特点, 形态变化则具有随季节增减变化中高度、宽度、长度、断面面积与体积增加的加积特征, 究其原因是区域风况、海岸地表覆被、沙丘形态及人类活动等共同作用的结果。

**关 键 词:** 海岸新月形沙丘; 移动; 形态变化; 河北昌黎海岸

**中图分类号:** P931.3

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0690(2014)07-0863-07

## 1 研究背景

沙丘移动及其形态变化是风沙地貌研究的基本内容<sup>[1]</sup>, 国外采用测量、遥感与GIS等技术手段<sup>[2-6]</sup>, 已对欧洲波罗的海<sup>[7,8]</sup>、南美洲<sup>[9-12]</sup>、北美洲<sup>[2,13]</sup>、英国<sup>[14]</sup>、韩国<sup>[15]</sup>、澳大利亚<sup>[16]</sup>以及地中海沿岸<sup>[17]</sup>等地海岸沙丘的移动及形态变化进行了观测研究, 包括海岸前丘、新月形沙丘与抛物线沙丘等<sup>[12-18]</sup>, 如波罗的海Leba海岸新月形沙丘的移动速率为1.0~10.0 m/a<sup>[7]</sup>, 巴西东北Ceara海岸新月形沙丘的移动速率为17.5 m/a<sup>[9]</sup>。

国内沙丘移动与形态变化的研究主要是采用形态或纵剖面测量方法确定内陆沙漠沙丘移动的方向、速度与形态变化<sup>[1,19-25]</sup>, 其中以20世纪60年代初对塔克拉玛干沙漠沙丘移动与形态变化的观测最具代表性<sup>[20-22]</sup>, 后又对腾格里沙漠东南缘沙丘形态及其变化<sup>[23]</sup>、塔里木沙漠石油公路沿线沙丘的移动<sup>[24,25]</sup>等进行过研究。中国内陆沙丘移动的研究表明<sup>[1,20-22]</sup>, 沙丘移动方向取决于盛行风向, 移动方式有前进式、往复前进式和往复式3种, 而移动速度按其年均移值可分为慢速(<5.0 m/a)、中速(5.0~10.0 m/a)和快速(>10.0 m/a)3种类型。

与国外海岸沙丘移动与形态变化的系统研究相比, 国内对海岸沙丘移动与形态变化的研究则

明显不足。国内20世纪80年代主要对中国海岸风沙地貌类型及其演化模式进行了深入研究<sup>[26-29]</sup>, 近期则主要集中于海岸风沙运动过程的观测与实验研究<sup>[30-33]</sup>, 目前仅见个别海岸沙丘移动和形态变化的观测结果<sup>[34-36]</sup>, 缺乏对海岸沙丘尤其是国内常见海岸沙丘类型——新月形沙丘移动与形态变化的全面、长时间和高精度的观测与研究。为此, 利用高精度的RTK GPS测量技术, 在中国海岸风沙地貌分布的主要地区——河北昌黎黄金海岸, 选择形态典型的海岸新月形沙丘, 连续进行3 a的实地测量, 依据所获得的高精度海岸沙丘位置与形态变化数据, 分析中国典型海岸新月形沙丘的移动方向、方式与速度及形态变化。

## 2 研究区域概况及测设方法

### 2.1 研究区域概况

河北昌黎黄金海岸属暖温带半湿润大陆性季风气候(表1), 年均温10.1~11.0℃, 年降水量732.7 mm, 夏季6~8月降水量约占全年降水量的75%; 年均风速2.9 m/s, 最大风速20 m/s, 冬春季节干燥多风, 4月平均风速达3.8 m/s; 区内风况复杂, 在东亚季风与海陆风作用下向岸风与离岸风常交替出现, 离岸的WSW风为常风向, 其频率为13%, 平均风速3.6 m/s, 最大风速14 m/s; NE、NNE和ENE为

收稿日期: 2013-05-24; 修订日期: 2013-07-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(40571019, 40971007)资助。

作者简介: 董玉祥(1964—), 男, 河南西平人, 博士, 教授, 主要从事海岸风沙地貌和土地资源开发利用与保护方面的教学与研究。  
E-mail: eesdyx@mail.sysu.edu.cn

表1 昌黎月均气象数据统计  
Table 1 Statistics of mean monthly meteorological data at Changli

月份	降水量(mm)	平均风速(m/s)	大风日数(d)	最多、次多风向	最大风速方向	最大风速(m/s)
1	4.1	3.0	0.6	WSW	NE	14
2	7.2	3.1	0.6	WSW	NE	15
3	8.9	3.4	1.0	WSW	ENE	18
4	24.3	3.8	1.8	WSW	E	16
5	46.1	3.4	1.1	WSW	E	18
6	98.0	2.7	0.8	NE, WSW	NNW	16
7	248.1	2.2	0.4	NE	ENE	17
8	196.7	1.9	0.4	NE	WNW	20
9	54.2	2.2	0.0	WSW	NNE, ENE, W, WNW, NNW	10
10	30.7	2.7	0.3	WSW	NNE, ENE, W, WNW	12
11	9.3	3.0	0.6	WSW	W	13
12	5.0	3.0	5.6	WSW	NW	18
年	732.7	2.9	8.2	WSW	ENE	13

主要向岸风,频率为6%,为优势或强风向,其中ENE风平均风速达4.1 m/s。

河北昌黎黄金海岸是中国海岸沙丘分布的典型地区<sup>[37]</sup>,拥有南北长约45 km、宽1.5~2 km、高15~30 m的海岸沙丘带,有横向沙脊、新月形沙丘、沙席等沙丘类型,尤以集中分布于其南端翡翠岛的海岸沙丘最具代表性,其海岸横向沙脊、新月形沙丘的面积较大、形态典型、规模高大,其中新月形沙丘分布于高大的海岸横向沙脊向陆一侧,为NW-SE向,高5~15 m,宽80~600 m,沙丘两坡明显不对称,沙丘向海NE向坡较缓、倾角8~12°,而向陆SW坡陡、倾角25~28°。

2.2 测设方法

海岸新月形沙丘移动与形态变化的实地测量采用RTK GPS基准站设站和移动台观测的方法<sup>[38]</sup>。为满足海岸沙丘移动与形态变化厘米级变化量的精度要求,需要对在多个已知点上测量出来的WGS-84坐标进行平滑处理,并对其高程进行曲面拟合,实现已知点对应的椭球体曲面和WGS-84坐标对应的椭球体曲面之间的拟合,测量精度可达到1~2 cm的精度<sup>[38]</sup>。然后,把测量点的坐标数据输入到RTK GPS移动台的控制器内,利用RTK GPS精确的导航功能,每次测量时都精确定位,对所有测点进行重复测量。实际分别于2006年1月18日、4月14日、11月12日,2007年1月30日、4月1日、11月6日,2008年4月14日、8月19日和2008年12月14日共进行了9次测量。

在黄金海岸翡翠岛测量所选择的典型新月形沙丘高约13 m、长约140 m,南北两翼宽约260 m。大致按1~2 m间距分别沿沙丘外围边线测量沙丘的底部范围尤其是背风坡脚线及沙丘两翼顶点,沿沙丘丘顶测量丘顶脊线,并沿强风风向进行沙丘断面测量,依此可通过对新月形沙丘表面典型点位与断面的测量结果分析其移动与形态变化。其中(图1),选择丘顶(S2)、沙丘两翼顶点与丘顶中间(S1、S3)3个点位的变化,代表沙丘丘顶脊线的移动变化;新月形沙丘两翼顶点D和E的点位变化,代表沙丘两翼顶点的移动;背风坡脚线顶点(J2)及其与沙丘两翼顶点间1/2处的J1与J3点的点位变化,代表背风坡脚位置的变化;沙丘丘顶(S2)高度的变化代表沙丘高度的变化;经过S1、S2和S3点的沙丘横断面面积的变化,代表沙丘横断形态的变化;沙丘底部范围的变化,代表底部形态的变化;按照沙丘底部范围与横断面数据计算出的沙丘体积,则是沙丘形态变化的主要指标。

3 观测结果与分析

以2006年1月18日首次测量值为基准,比较9次测量的新月形沙丘典型点位、断面以及体积数量等的变化,分析海岸新月形沙丘的移动与形态变化。

3.1 新月形沙丘的移动

1) 沙丘丘顶脊线的移动。新月形沙丘丘顶脊线上的3个测点S1、S2和S3随季节向陆(往背风坡方向)、向海(往迎风坡方向)移动的变化明

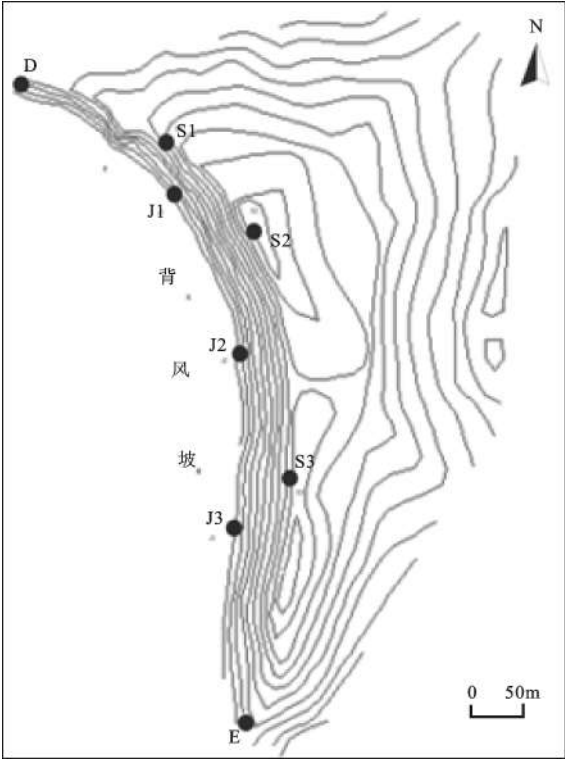


图1 典型海岸新月形沙丘地形及主要测点  
Fig.1 Typical coastal crescent dune topography and main surveying point position

显(表2),如丘顶顶点(S2)研究期间分别向陆移动5次和向海移动3次,其位置研究期间总体向陆移动3.50 m,S1点位置观测期间总体向陆7.12 m,但S3点随季节往复运动后总体向海移动了1.91 m,期间S1、S2和S3点位两次相邻观测时间内的最大位移为10.03 m。3 a中新月形沙丘丘顶脊线最大位移为7.12 m,年均最大位移为2.37 m/a,为慢速、往复式前进的移动。

2) 沙丘两翼顶点的移动。新月形沙丘北翼顶点(D)同期向海东移、向陆西移各4次,观测期间总体向海往迎风坡方向移动了5.77 m;南翼顶点(E)同期也分别向海东移、向陆西移各4次,总体向海往迎风坡方向移动7.92 m(表2)。研究期间,两次相邻测量时间内最大位移北翼顶点(D)和南翼顶点(E)分别是10.42和15.08 m,研究期末相对首次测量北翼顶点(D)和南翼顶点(E)的年均位移只有1.92和2.64 m/a,亦表现为慢速、往复式前进移动特点。但是,新月形沙丘各部位移动路径较复杂,如新月形沙丘两翼顶点D和E向海或向陆的移动只是一个相对整体性的移动方向,其实际移动方向并非单纯的唯一方向的向海(东)、向陆(西),而是随风向变化有着复杂多样的移动方向(图2)。

表2 翡翠岛新月形沙丘不同测点的位置变化(m)

Table 2 Change of different surveying point positions on the crescent dune at Feicui Island (m)

测量时间	2006-01-18	2006-04-14	2006-11-12	2007-01-30	2007-04-01	2007-11-06	2008-04-18	2008-08-09	2008-12-14
相对于前次测量的位置变化(向陆往背风坡方向为+、向海往迎风坡方向为-)									
S1	0.00	+2.10	-1.79	+0.69	+4.41	-0.29	-7.81	-0.21	-10.03
S2	0.00	+1.40	-2.72	-2.54	+3.31	-0.10	+6.41	+0.38	+7.54
S3	0.00	+0.42	-2.72	-1.32	+5.53	-0.19	+2.58	-0.20	-6.01
D	0.00	+1.97	-1.93	-5.20	+5.49	-4.62	+0.83	+6.83	-10.42
E	0.00	-5.16	-13.05	+5.90	+2.60	-9.01	-8.73	+12.72	+15.08
J1	0.00	+2.05	+1.75	+2.02	-0.06	+2.93	+0.85	+0.49	+0.33
J2	0.00	+4.36	+0.15	-0.11	+0.17	+4.41	-2.89	+4.92	-2.68
J3	0.00	+6.12	-0.19	+0.82	-0.68	+1.87	+0.06	+2.84	-0.15
测量时间	2006-01-18	2006-04-14	2006-11-12	2007-01-30	2007-04-01	2007-11-06	2008-04-18	2008-08-09	2008-12-14
相对于首次测量的位置变化(向陆往背风坡方向为+、向海往迎风坡方向为-)									
S1	0.00	+2.10	+0.31	+0.99	+5.40	+5.11	-2.71	-2.91	+7.12
S2	0.00	+1.40	-1.32	-1.21	+2.10	+1.99	-4.41	-4.04	+3.50
S3	0.00	+0.42	-2.30	-3.62	+1.91	+1.72	+4.31	+4.11	-1.91
D	0.00	+1.97	+2.54	-4.63	+2.26	-2.57	-3.42	+8.14	-5.77
E	0.00	-5.16	-14.68	-9.16	-11.72	-8.02	-15.03	-11.67	-7.92
J1	0.00	+2.05	+3.80	+1.69	+1.58	+4.51	+5.36	+5.85	+6.18
J2	0.00	+4.34	+4.48	+4.37	+4.54	+8.95	+6.06	+10.98	+8.30
J3	0.00	+6.12	+5.92	+6.79	+6.06	+7.93	+7.99	+10.83	+10.68

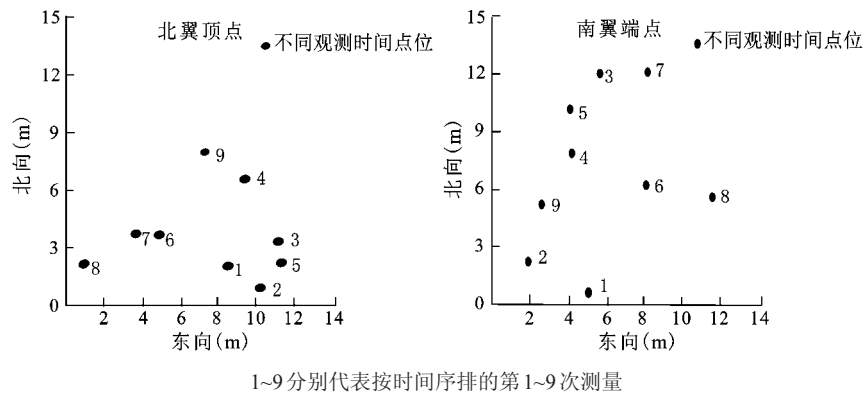


图2 新月形沙丘两翼顶点位置的变化

Fig.2 Change of wing apex points Positions of the crescent dune

3) 沙丘背风坡坡脚位置的变化。沙丘坡脚是体现沙丘移动的标志部位。海岸新月形沙丘背风坡坡脚线上除两翼顶外的3个点位的变化方向和速度略有差异(表2),但各点均存在有向陆、向海移动的变化,如J2观测期间分别向陆移动5次和向海移动3次,观测期间总体向陆移动8.30 m,同样J1和J3两点观测期间也分别向陆移动6.18和10.68 m,新月形沙丘背风坡坡脚在区域强风向作用下向陆移动的特点明显。相对首次测量位置,3 a后新月形沙丘背风坡坡脚线上3个测点的最大位移为10.68 m,年均最大移距3.56 m/a,平均移距2.80 m/a,亦属慢速移动。

### 3.2 新月形沙丘的形态变化

1) 沙丘丘顶高度的变化。海岸新月形沙丘的高度变化明显,按丘顶顶点测点S2的高度测量结果(表3),其高度相对于首次测量基本处于不断增加之中,研究期末沙丘丘顶高度增加1.01 m,但期间丘顶高度随季节夏秋季降低、冬春季升高的变化明显,且降低幅度小于升高幅度,故新月形沙丘高度在随季节增高或降低变化中不断升高,加积现象明显。

2) 沙丘断面形态的变化。以新月形沙丘迎风坡顶点为起点、经沙丘丘顶测点S2至背风坡坡脚为终点间的水平距离刻度沙丘长度,不同季节间差异较大,最大相差11.20 m(表3),研究期间沙丘长度整体增加2.30 m。同期,两翼间距离所代表的新月形沙丘的宽度出现类似的变化,两次间测量最大相差13.63 m(表3),研究期间沙丘宽度增加9.51 m。在沙丘长度增加与两翼扩展情况下,新月形沙丘底围面积一直扩大,与2006年1月18日首次观测相比其面积3 a中增加了2 236.14 m<sup>2</sup>(表4)。沙丘横断面也是沙丘形态的重要指征,为便

于分析沙丘横断面的变化分别选择沿强风风向经过S1、S2和S3点的3个新月形沙丘横断面,对应S1、S2和S3点分别为横断面1、横断面2和横断面3,以横断面首末两个端点的连线为横断面基线计算新月形沙丘的横断面面积(表4),研究期间新月形沙丘横断面面积一般夏秋减少、冬春扩大,受季风气候影响海岸沙丘冬春季的加积特点突出,但相对首次测量研究期间3个横断面的面积除第2次测量外一直处于增加之中,从2006年1月18日的1 013.11、1 938.46和1 674.14 m<sup>2</sup>发展为2008年12月14日的10 61.23、2 092.52和1 825.41 m<sup>2</sup>,3个横断面的面积分别增加48.12、154.06和151.27 m<sup>2</sup>,3个断面面积平均增加117.82 m<sup>2</sup>,反映出新月形沙丘横断面面积不断扩大的特点。

3) 沙丘体积的变化。随高度、长度、宽度以及横断面的季节变化,新月形沙丘的体积也随季节有相应的增、减变化(表4),期间沙丘体积增加3次、减少5次。但是,随沙丘高度、长度、宽度及横断面面积的增加,新月形沙丘体积除第2次测量外一直处于增加之中,研究期间其体积增加了46 830.0 m<sup>3</sup>。

## 4 结论与讨论

典型海岸新月形沙丘移动与形态变化的高精度测量结果,其移动整体上具有明显的缓慢、向陆往复式前进的特点,但不同部位略有差异,其中丘顶脊线随季节向陆往背风坡方向、向海往迎风坡方向移动的变化明显,整体以向陆移动为主,向陆年均最大位移2.37 m/a;沙丘两翼顶点均随季节向海东移、向陆西移各4次,北翼顶点和南翼顶点研究期间总体向海往迎风坡方向年均移动1.92和2.64 m/a;背风坡坡脚3个测点的位置总体向陆移动了8.30、



表3 翡翠岛新月形沙丘丘顶高度及长度和宽度的变化 (m)  
Table 3 Height change of crescent dune top and length and width change of crescent dune at Feicui Island

形态变化	丘顶高度与变化			长度及其变化			宽度及其变化		
	新月形沙丘	相对前次	相对首次	新月形沙	相对前次	相对首次	新月形沙	相对前次	相对首次
	丘顶的相对高度	测量的高度变化	测量的高度变化	丘的长度	测量的长度变化	测量的长度变化	丘两翼间的距离	测量的宽度变化	测量的宽度变化
2006-01-18	12.31	0.00	0.00	140.18	0.00	0.00	267.84	0.00	0.00
2006-04-14	12.57	0.26	0.26	140.80	0.62	0.62	266.91	-0.93	-0.93
2006-11-12	12.51	-0.06	0.20	139.50	-1.30	-0.68	265.98	-0.93	-1.86
2007-01-30	13.42	0.91	1.11	143.86	4.36	3.68	271.40	5.42	3.56
2007-04-01	12.59	-0.83	0.28	132.66	-11.20	-7.52	262.48	-8.92	-5.36
2007-11-06	11.88	-0.71	-0.43	142.29	9.63	2.11	256.64	-5.84	-11.20
2008-04-18	12.65	0.77	0.34	143.86	1.57	3.68	270.27	13.63	2.43
2008-08-09	12.49	-0.16	0.18	143.62	-0.24	3.44	264.99	-5.28	-2.85
2008-12-14	13.32	0.83	1.01	142.48	-1.14	2.30	277.35	12.36	9.51

表4 翡翠岛新月形沙丘底部范围与横断面面积和体积的变化  
Table 4 The change of bottom scope area, transverse section area and volume of crescent dune at Feicui Island

测量时间	2006-01-18	2006-04-14	2006-11-12	2007-01-30	2007-04-01	2007-11-06	2008-04-18	2008-08-09	2008-12-14
相对于前次测量值的变化(+表示增加、-表示减少)									
底部面积(m <sup>2</sup> )	0.00	+736.41	+160.08	+555.96	+1436.16	-698.56	+229.25	+304.90	-488.06
横断面1(m <sup>2</sup> )	0.00	-35.70	+54.26	+75.02	-36.02	+4.47	-3.58	-69.14	+58.81
横断面2(m <sup>2</sup> )	0.00	-12.93	+48.90	+44.88	+58.74	-40.15	+17.29	+13.87	+23.45
横断面3(m <sup>2</sup> )	0.00	-9.82	+44.21	+106.98	-20.34	-20.11	-8.93	+2.56	+56.72
沙丘体积(m <sup>3</sup> )	0.0	-8522.6	+27217.8	+49579.8	+32488.0	-4350.9	-5435.8	-1668.6	-42477.7
测量时间	2006-01-18	2006-04-14	2006-11-12	2007-01-30	2007-04-01	2007-11-06	2008-04-18	2008-08-09	2008-12-14
相对于首次测量值的变化(+表示增加、-表示减少)									
底部面积(m <sup>2</sup> )	0.00	+736.41	+896.49	+1452.45	+2888.61	+2190.05	+2 419.30	+2724.20	+2236.14
横断面1(m <sup>2</sup> )	0.00	-35.69	+18.56	+93.56	+57.56	+62.03	+58.44	-10.69	+48.12
横断面2(m <sup>2</sup> )	0.00	-12.92	+35.98	+80.86	+139.60	+99.46	+116.74	+130.61	+154.06
横断面3(m <sup>2</sup> )	0.00	-9.82	+34.38	+141.36	+121.03	+100.92	+91.99	+94.55	+151.27
沙丘体积(m <sup>3</sup> )	0.0	-8522.6	+18695.2	+68275.0	+100763.0	+96412.1	+90976.3	+89307.7	+46830.0

6.18和10.68 m,背风坡坡脚在区域强风向作用下向陆移动的特点明显,相对首次测量平均年移距为2.80 m/a。新月形沙丘的形态变化则具有高度、宽度、长度增加及横断面面积与体积扩大的加积特征,在随季节增高(扩大)或降低(减少)过程中,研究期末与首次观测相比新月形沙丘丘顶高度增高1.01 m,长度增加2.30 m、宽度增加9.51 m,沙丘底部面积和3个横断面的平均面积分别增加2 236.14和117.82 m<sup>2</sup>,沙丘体积增加了46 830.0 m<sup>3</sup>。

海岸新月形沙丘的移动与形态变化可简单概括为往复前进方式向陆慢速移动中沙丘加积增长的特点。与国内外海岸新月形沙丘的移动速度与形态变化相比,黄金海岸翡翠岛典型海岸新月形沙丘的移动速率与其基本吻合<sup>[7,9]</sup>,其高度升高、横断面面积扩大、体积增加的加积特征与有关研究

结果也大致相符<sup>[35]</sup>,但其往复前进的移动方式则为季风区域所特有。同时,海岸新月形沙丘移动与形态变化与处于同一区域的海岸横向沙脊相比<sup>[34]</sup>,一致具有以往复前进方式向陆缓慢移动的特点,但二者的移动速度相差较大,新月形沙丘的移动速度明显高于横向沙脊,尤其是新月形沙丘坡脚在区域强风向风力作用下持续向陆移动的特征明显,而海岸横向沙脊主要以脊顶移动为主、下部基本稳定,同时与新月形沙丘高度增加不同横向沙脊脊顶的高度总体呈现下降趋势。

究其原因,研究区海岸新月形沙丘的移动与形态变化特点主要受制于区域风况、海岸地表覆被、沙丘形态及人类活动等:

1) 研究区的风向季节变化较大(表1),向岸风与离岸风交替出现,夏、秋期间向海离岸的

WSW 风是当地的常风向,冬、春期间离海向岸的 NE、E 和 ENE 风是本区的强风向,风向的季节变化直接导致海岸新月形沙丘在不同季节随风向向海或向陆方向移动,也导致沙丘高度、分布位置与范围、体积等的季节性变化。同时,也就是在向岸风与离岸风的相向、共同作用下,受强风向风力主导作用才引起海岸新月形沙丘一直处于加积状态,致使新月形沙丘高度升高、长度与宽度增加、断面面积与体积扩大。

2) 区域强风向的向岸风与常风向的离岸风之间的风速存在一定差异,其中常风向 WSW 风的平均风速 3.6 m/s,强风向的 ENE 风的平均风速有 4.1 m/s,上年 11 至下年 5 月冬春季平均风速均在 3.0 m/s 以上,其中 4 月平均风速高达 3.8 m/s,而 6~9 月夏秋季的平均风速最高仅 2.7 m/s,风速的差异导致在强风向主导作用下新月形沙丘沙丘主体逐渐向陆西移。但是,在新月形沙丘两翼顶点部位,局部小地形和地表植被的阻隔影响了两翼随强风风向陆移动,而是在常风作用下随季节变化中总体往海移动。

3) 河北昌黎黄金海岸翡翠岛的新月形沙丘与横向沙脊虽同处一地,具有相近的自然环境与发育条件,但该区域的海岸横向沙脊形态高大、体积巨大,其脊顶高度有 25~40 m,而新月形沙丘高度不足海岸横向沙脊的一半,新月形沙丘的高度与规模远较海岸横向沙脊为小,在同样风力等条件下沙丘的移动速度与其高度成反比<sup>[1]</sup>,故新月形沙丘的移动速度明显较横向沙脊为快,同时也造成了两类沙丘间整体移动与部分移动的差别。

4) 近期研究区受旅游开发影响较大,尤其是 5~10 月旅游季节区内沙丘受游客踩踏、滑沙等的影响明显,特别是横向沙脊因其近海、高大和坡陡是旅游人数集中和滑沙活动等的主要场所,随着旅游人数增加与影响程度增强横向沙脊顶部高度在夏秋季降低的幅度有逐渐扩大趋势,导致冬春季横向沙脊顶部高度恢复升高的幅度相对减少,因此人为造成了海岸横向沙脊脊顶高度的逐渐降低,新月形沙丘则因其位置相对偏远难以到达等原因受人为干扰程度相对要小,其高度就在两个风向相向的向岸风与常风向的作用下逐渐加积增高。

## 参考文献:

[1] 吴 正.风沙地貌与治沙工程学[M].北京:科学出版社,2003:181~195.

- [2] Nordstorm K F,Psuty N P,Carter R W G.Coastal dunes:form and process [M]. Chichester:Wiley,1990:1-389.
- [3] Girardi J D,Davis D M.Parabolic dune reactivation and migration at Napeague,NY,USA: insights from aerial and GPR imagery[J].Geomorphology,2010,**114**(4):530-541.
- [4] Delgado-Fernandez I,Davidson-Arnott R,Ollerhead J.Application of a remote sensing technique to the study of coastal dunes [J].Journal of Coastal Research,2009,**25**(5):1160-1167.
- [5] Mitsova H,Drake T G,Bernstein D,et al.Quantifying rapid changes in coastal topography using modern mapping techniques and geographic information system[J].Environmental & Engineering Geoscience,2004,**10**(1):1-11.
- [6] Junaidi Aoki S.Wind-Blown sand and topographic changes of the coastal dune at the eroded beach[J].Journal of Coastal Research,2009,**556**(part1):322-326.
- [7] Borowka R K.Present day dune processes and dune morphology on the Leba Barrier,Polish coast of the Baltic[J]. Geografiska Annaler,1980,**62**(A):75-82.
- [8] Koprowski M,Winchester V,Zielski A.Tree reactions and dune movements: Slowinski National Park,Poland[J]. Catena,2010,**81**(1):55-65.
- [9] Jimenez J A,Maia L P,Serra J,et al.Aeolian dune migration along the Ceara coast,north-eastern Brazil[J].Sedimentology,1999,**46**(4):689-701.
- [10] Hesp P,de Castilhos J A,da Silva G M,et al.Regional wind fields and dunefield migration, southern Brazil[J]. Earth Surface Processes and Landforms,2007,**32**(4):561-573.
- [11] del Valle H F,Rostagno C M,Coronato F R,et al.Sand dune activity in north-eastern Patagonia[J].Journal of Arid Environments,2008,**72**(4):411-422.
- [12] Gay S P.Observations regarding the movement of barchan sand dunes in the Nazca to Tanaca area of southern Peru[J].Geomorphology,1999,**27**(3-4):279-293.
- [13] Marin L,Forman S L,Valdez A,et al.Twentieth century dune migration at the great sand dunes national park and preserve, Colorado, relation to drought variability[J].Geomorphology,2005,**70**(1-2):163-183.
- [14] Bailey S D,Bristow C S.Migration of parabolic dunes at Aberffraw, Anglesey,north Wales[J].Geomorphology,2004,**59**(1-4):165-174.
- [15] Rhew H S,Rhew H S.Pattern of aeolian sand transport and morphological change in the foredune ridge,Shindu dunefield, Korea:a case study during the winter,December 2000 to March 2001[J].Journal of Coastal Research,2009,**25**(4):1015-1024.
- [16] Pye K.Morphological development of coastal dunes in a humid tropical environment,Cape Bedford and Cape Flattery,North Queensland[J].Geografiska Annaler,1982,**64A**(3/4):213-227.
- [17] Tsoar H,Blumberg D G.Formation of parabolic dunes from barchan and transverse dunes along Israel's Mediterranean coast [J].Earth Surface Processes and Landforms,2002,**27**(11):1147-1161.
- [18] Momiji H,Nishimori H,Bishop S R.On the shape and migration

- speed of a proto-dune[J].Earth Surface Processes and Landforms,2002,27(12):1335-1338.
- [19] 刘振兴.关于风沙问题的研究:(1)在风力作用下沙丘移动规律性的初步研究[J].气象学报,1960,31(1):84-91.
- [20] 朱震达.风力作用下沙丘演变动态过程中若干问题的初步研究[地理集刊(第5号)][M].北京:科学出版社,1963:58~78.
- [21] 朱震达,郭恒文,吴功成.塔克拉玛干沙漠西南地区绿洲附近沙丘移动的研究[J].地理学报,1964,30(1):35-50.
- [22] 朱震达,陈治平,吴正,等.塔克拉玛干沙漠风沙地貌研究[M].北京:科学出版社,1981:1~110.
- [23] 哈斯.腾格里沙漠东南缘沙丘形态示量特征及其影响因素[J].中国沙漠,1995,15(2):136~142.
- [24] 董治宝,陈广庭,颜长珍,等.塔里木沙漠石油公路沿线沙丘移动规律[J].中国沙漠,1998,18(4):328~333.
- [25] Dong Z B,Wang X M,Chen G T.Monitoring sand dune advance in the Taklimakan Desert[J].Geomorphology,2000,35(3-4):219-231.
- [26] 吴正,黄山,胡守真,等.华南海岸风沙地貌研究[M].北京:科学出版社,1995:1~146.
- [27] 傅启龙,沙庆安.昌黎海岸风成沙丘的形态与沉积构造特征及其成因初探[J].沉积学报,1994,12(1):98~105.
- [28] 张文开,李祖光.福建长乐海岸沙丘形成发育及其区域分布特征[J].中国沙漠,1995,15(1):31~36.
- [29] 傅命佐,徐孝诗,徐小微,黄、渤海海岸风沙地貌类型及其分布规律和发育模式[J].海洋与湖沼,1997,28(1):56~65.
- [30] 董玉祥,马骏,黄德全.河北昌黎黄金海岸横向沙脊表面的粒度分布模式[J].地理研究,2008,27(4):725~733.
- [31] 董玉祥,P A Hesp,S L Namikas,等.海岸横向沙脊表面风沙流结构的野外观测研究[J].地理科学,2008,28(4):507~512.
- [32] 董玉祥,S L Namikas,P A Hesp.海岸风沙流中不同粒径组沙粒的垂向分布模式[J].地理研究,2009,28(5):1179~1187.
- [33] Dong Yuxiang,S L Namikas,P A Hesp,et al.Field Measurements of Influence of Sand Transport Rate on the Structure of Wind-sand Flow over Coastal Transverse Ridge[J].Chinese Geographical Science,2008,18(3):255~261.
- [34] 黄德全,董玉祥,哈斯,等.海岸横向沙脊的移动与形态变化——以河北昌黎黄金海岸横向沙脊为例[J].地理研究,2011,30(12):2229~2238.
- [35] 胡镜荣,顾建清.自然保护区可持续发展概论[M].北京:科学出版社,1996:76~81.
- [36] 范航清.广西海岸沙滩红树林的生态研究I:海岸沙丘移动及其对白骨壤的危害[J].广西科学,1996,3(1):44~48.
- [37] 董玉祥.中国海岸风沙地貌的类型及其分布规律[J].海洋地质与第四纪地质,2006,26(4):99~104.
- [38] 黄德全,董玉祥,马骏,等.多站差分RTK GPS技术在海岸风沙观测中的应用[J].中山大学学报(自然科学版),2007,46(4):121.

## Typical Research on the Movement and Topographic Change of Coastal Crescent Dune

DONG Yu-xiang, HUANG De-quan

(School of Geography and Planning, and Guangdong Key Laboratory for Urbanization and Geo-simulation, Sun Yat-Sen University, Guangzhou, Guangdong 510275, China)

**Abstract:** A typical coastal crescent dune, located at Feicui island region of Changli Gold Coast in Hebei Province, which is one of the most typical coastal aeolian landform distribution regions in China, was chosen to study the movement and topographic change of coastal crescent dune by use of high-precision RTK GPS measurement technology during 2006 and 2008. The surveying results show that the movement of coastal crescent dune displays the characteristics of slow advancement toward inland in the way of to-and-fro. In 2006-2008, the leeward slope bottom of the coastal crescent dune moved landward with an average speed of 2.80 m/a. The topographic change represents the characteristics of increasing in height, width, length, cross-section area and volume of the coastal crescent dune with seasonal variations. Compared the last surveying with the first time, the height of coastal crescent dune top increased 1.01 m, the width increased 2.30 m, the length increased 9.51 m, the base area increased 2 236.14 m<sup>2</sup>, the area of three transverse sections increased averagely 117.82 m<sup>2</sup> and the volume of the coastal crescent dune increased by 46 830.0 m<sup>3</sup>. As a result of different interaction among wind condition, coastal land cover, the height and volume of costal dunes and the human activities in research region, the movement direction, type and velocity of the coastal crescent dune as well as the characteristics of topographic change are different from those of the other regions and other coastal aeolian dunes.

**Key words:** coastal crescent dune; movement; topographic change; Changli coast in Hebei Province