

冯净雪,丁占良,尤莉,等.科尔沁沙地西部横向沙丘间的风况和输沙势[J].中国沙漠,2022,42(4):110-119.

# 科尔沁沙地西部横向沙丘间的风况和输沙势

冯净雪<sup>1</sup>,丁占良<sup>2</sup>,尤莉<sup>3</sup>,韩广<sup>1</sup>

(1.湖南师范大学 地理科学学院,湖南 长沙 410081; 2.包头师范学院 资源与环境学院,内蒙古 包头 014030;  
3.内蒙古自治区气候中心,内蒙古 呼和浩特 010051)

**摘要:**以科尔沁沙地西部一处典型横向沙丘群为研究对象,在沙丘顶部、丘间走廊和迎风坡脚各布设一套自动气象站,对流动性的横向沙丘群内部的风况进行了连续16个月的实地观测。为有效说明沙丘群外围气象站是否能真实反映沙丘群内部实际风况特征,从翁牛特旗国家站获取了同时段风况的小时数据。结果表明:(1)丘间走廊年内主导风向为SW,与迎风坡脚基本一致但频率更高,相对于沙丘顶部(WNW)和翁牛特旗(NW)而言,风向大角度向左偏转;(2)丘间走廊年内平均风速为 $3.28\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,春季平均风速可达 $4.74\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,瞬时风速大于起沙风速;丘间走廊会发生较强烈的风沙活动,这对塑造丘间走廊完整形态、形成稳定的横向沙丘群空间格局具有重要作用;(3)利用日均值计算丘间走廊的输沙势为37.94 VU,低于沙丘顶部94.54%,高于翁牛特旗86.99%,由此可知,沙丘群外围气象台站测得的风况数据不能真实反映沙丘群内部风沙活动的实际情况。为更精确地估算沙丘群内部的真实输沙状况,建议至少在沙丘顶部和丘间走廊各布设一套全自动气象站进行联动观测。本研究对于揭示沙丘群落整体风况变化规律和沙尘灾害防治具有重要的理论和技术支撑价值。

**关键词:** 横向沙丘群; 风况; 主导风向; 输沙势; 科尔沁沙地

**文章编号:** 1000-694X(2022)04-110-10

**DOI:** 10.7522/j.issn.1000-694X.2022.00017

**中图分类号:** P949

**文献标志码:** A

## 0 引言

沙丘通常是在特定强度的风力作用下、地表松散沙质沉积物经过一定距离的搬运而在特定地形部位重新堆积而形成的地貌,是干旱、半干旱地区典型地貌。横向沙丘在全球干旱、半干旱地区分布广泛,是与主导风向基本垂直的沙丘类型,往往大规模发育。横向沙丘群通常由新月形沙丘链及其之间宽窄、长短不一的丘间走廊或丘间地共同构成,其中连通性较好、无明显障碍物的丘间地则被称为丘间走廊,宽度介于上风向沙丘落沙坡坡基到下风向沙丘迎风坡脚。

沙漠和沙地内部自然条件恶劣,交通不便,在其腹地内进行实地观测的难度很大,因此,人们在研究干旱、半干旱地区沙漠和沙地的风况特征并估算其风沙活动强度时,通常采用其外围邻近气象台站的观测资料作为数据基础<sup>[1-4]</sup>。而实际上,沙漠和沙

地内部(尤其是沙丘群内部)的实际风况数据与邻近气象台站记录的数据之间存在着显著差异。孙佳琦<sup>[5]</sup>通过实地观测指出,沙漠外围气象站点的观测资料具有明显的局限性,不能全面、真实地反映沙漠或沙地腹地的气候气象特征,由此计算出的输沙势或输沙强度会严重偏离实际情况。尽管由于沙漠和沙地腹地交通不便,且观测仪器易受沙丘前移的影响甚至被埋没,布设和维护仪器设备的难度和成本很高,但为阐明邻近气象站数据与沙漠和沙地内部实际气象数据之间的差异,依然有必要克服困难开展该方面的观测。

迄今为止,国内外部分学者已在沙漠或沙地腹地开展过一些实地观测研究。国内学者如郑先念等<sup>[6]</sup>、庞营军等<sup>[7]</sup>、郭洪旭等<sup>[8]</sup>将测风仪器安装在沙垄间谷地或利用沙漠和沙地腹地气象台站记录的数据,系统分析了沙漠或沙地内部不同高度的风速脉动特征以及起沙风况和输沙势。但整体而言,国

收稿日期: 2021-12-12; 改回日期: 2022-02-16

资助项目: 国家自然科学基金面上项目(41271025)

作者简介: 冯净雪(1996—),女,河南焦作人,硕士研究生,主要从事风沙地貌学研究。E-mail: 1454073143@qq.com

通信作者: 丁占良(E-mail: dingzlnm@126.com)

内对沙丘群内部观测的研究较少,特别在丘间走廊的观测研究更少,已开展的研究中,由于仪器布设数量过少或观测时间不够长,尚难以全面把握其风况特征和风能环境的性质<sup>[9-10]</sup>。国外学者曾在沙丘背风坡或丘间走廊布设风速仪,探讨横向沙丘背风坡不同部位的气流变化模式和丘间走廊的空气动力学特征<sup>[11-16]</sup>。但在世界范围内,此类研究还非常有限。

我们曾在科尔沁沙地西部横向沙丘群内部研究过盛行风条件下,特别是冷锋过境期间丘间走廊中次生气流的基本特征<sup>[17]</sup>,但未对该地区的全年风况及输沙势做全面系统研究。为此,本项研究将3套自动气象站分别安装在科尔沁沙地西部横向沙丘群内部的典型部位进行实地观测,以获取更全面、更具代表性的风况资料,进而完善输沙势的计算方式,推算沙丘或沙丘群的前移与偏移方向,最终为干旱、半干旱区流沙的治理与防护提供科学依据。

## 1 研究区概况

科尔沁沙地(41°41′—46°05′N, 117°49′—123°42′E)位于中国东北平原的西南部,主要分布在西辽河冲积平原,地势南北高、中部低,西部高、东部低,海拔120—850 m,总面积约4.23万km<sup>2</sup>。地貌以流动沙丘和固定、半固定沙丘为主,其西缘和南缘广泛分布着山地丘陵和剥蚀残山。气候属于温带大陆性季风气候,冬季寒冷,夏季炎热,年平均气温为6.2℃,年降水量300—400 mm,降水量季节分配不均匀,集中在6—8月,年蒸发潜力2 000—2 500 mm。该地区水系发达,主要河流有西拉木伦河、查干木伦河、响水河(少郎河下游)、乌力吉木伦河、老哈河和教来河等,大气降水和地下水补给是河流水源的主要来源。土壤类型以风沙土为主,褐土、黑钙土、栗钙土、潮土和盐碱土也有分布。植被以沙生植被为主,常见植物有沙米(*Agriophyllum squarrosus*)、黄柳(*Salix gordejewii*)、差巴嘎蒿(*Artemisia halodendron*)、芦苇(*Phragmites australis*)、榆树(*Ulmus pumila*)、羊草(*Leymus chinensis*)、冰草(*Agropyron cristatum*)等,部分地段分布有疏林干草原、草甸植被。

科尔沁沙地西部(42°15′—43°13′N, 119°15′—120°40′E)大致处于老哈河以西,主体位于内蒙古赤峰市翁牛特旗北部的西辽河冲积平原,以流动、

半固定沙丘群为主,有许多基岩剥蚀残山分布其中,如松树山自然保护区、玉龙沙湖景区等地。由于地处西拉木伦河上游的山口下风向,冬春季节西北向风力强劲,流动沙丘广泛发育,主要是新月形沙丘链,属于丘间地比较开敞的沙丘群类型。

## 2 研究方法

### 2.1 观测场地的选择

本文选取的观测场处于翁牛特旗北部少郎河下游(响水河中游)右岸发育良好的横向沙丘群内部(图1),新月形沙丘链和丘间走廊发育比较完整。此处距离东侧S304省道和居民点有一定距离,既便于运输仪器设备,又能免于人畜活动的频繁干扰和破坏。

### 2.2 仪器的布设和调整

根据实地地形和流场特征,我们分别在上风向沙丘顶部、丘间走廊(接近落沙坡坡脚)和下风向沙丘迎风坡坡脚3个部位各布设1套自动气象站(Dynamet CR1000,美国),同时观测太阳辐射、气温、地温、风向、风速、相对湿度等常规气象要素。自动气象站的扫描频率为10 s,记录的数据为1 h内6次数据的平均值。观测时间自2015年12月17日至2017年4月30日共16个月。观测期间由于沙丘前移,2016年5月初对3台自动气象站的位置和姿态进行了调整(表1)。翁牛特旗气象站位于乌丹镇北郊,距离观测场大约28 km。

### 2.3 数据处理与计算

原始数据按照国家气象台站气象数据整理规范进行处理,将小时风速数据分别转化为日均值和月均值,将风向数据由度数转化到16个方位,再利用Origin绘制3个观测部位和翁牛特旗的风速折线图和风玫瑰图。

该地区起沙风在10 m高度上为4.9 m·s<sup>-1</sup>,据此筛选出4个地点所有风速>4.9 m·s<sup>-1</sup>的数据。为提高计算精度,本文以1 h为单位统计16个方位的起沙风频率和起沙风平均风速,根据Fryberger等<sup>[18]</sup>提出的输沙势计算公式进行计算。为便于比较不同时间尺度下输沙势的计算结果,分别以日和月为单位进行了统计。



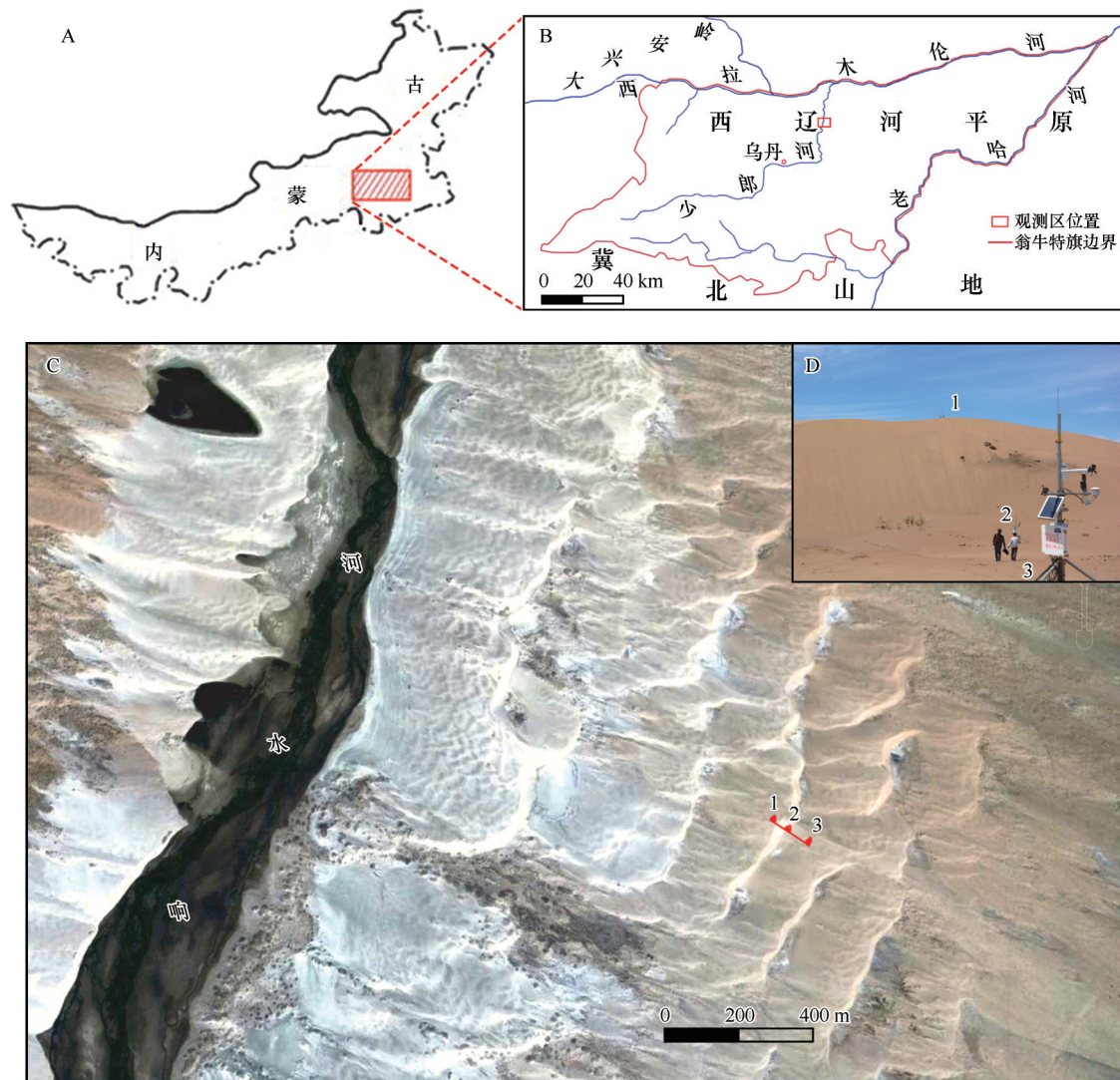


图1 研究区位置

Fig.1 Geographical location of the studied area

表1 仪器安置的细节<sup>[17]</sup>Table 1 Settings of three observation localities<sup>[17]</sup>

序号	部位	冬季		春季	
		高度/m	距离/m	高度/m	距离/m
1	沙丘顶部	20	0	0.3	0
2	丘间走廊	0	37	0.8	42
3	迎风坡脚	3	107	3.5	113

高度是相对于当地丘间走廊最低点而言,距离是从丘顶部位1号气象站起算;该处两相邻沙丘脊线间距约170 m。

## 2.4 输沙势和合成输沙势的计算

输沙势(Drift Potential, DP)反映一定时间内风成沙运移强度,是衡量区域风沙活动强度的重要指标<sup>[18-20]</sup>。

$$DP = V^2(V - V_t)t \quad (1)$$

式中:DP为输沙势,以矢量单位VU表示;V为起沙风速;V<sub>t</sub>为临界起沙风风速;t为起沙风持续时间,计算时用起沙风出现频率来表示。

根据中国气象局标准气象站规定,风速的测定高度为10 m,而我们在沙丘群内部设置的自动气象站记录的是2 m高度的风速数据,因此,需利用公式(2)将2 m高度的风速数据转换为10 m高度的风速数据,风向不做转化<sup>[7]</sup>。

$$U_{10} = \frac{U_2(\ln 10 - \ln z_0)}{\ln 2 - \ln z_0} \quad (2)$$

式中:U<sub>10</sub>为10 m高度风速;U<sub>2</sub>为2 m高度风速;z<sub>0</sub>为地表粗糙度。

合成输沙势(RDP)是16个方位输沙势的矢量合成,反映净输沙能力。合成输沙方向(RDD)可表示沙粒输移的净趋势或不同方向起沙风的影响下

风成沙总体输移的方向。起沙风的方向变率( $RDP/DP$ )是风向可变性的指标,当风来自同一个方向时, $RDP/DP$ 接近于1,当风来自多个不同方向时, $RDP/DP$ 接近于0。

### 3 结果与分析

#### 3.1 风营力的整体特征

##### 3.1.1 风向

丘间走廊同沙丘顶部、迎风坡脚和翁牛特旗全

旗月均风向的风玫瑰图明显不同(图2)。丘间走廊年内以SW风为主,风向频率为68.70%,SSW、S和SSE风虽有发生但频率较低。与沙丘顶部的主导风向WNW风相比,丘间走廊的主导风向向左偏转67.5°;与迎风坡脚的主导风向SW风相比,两地主导风向一致,但丘间走廊SW风的发生频率明显更高;与翁牛特旗主导风向NW相比,丘间走廊的主导风向明显向左偏转90°,两地主导风向差异较大,说明翁牛特旗气象站的风向数据不能代表沙丘群内部的风向特征。

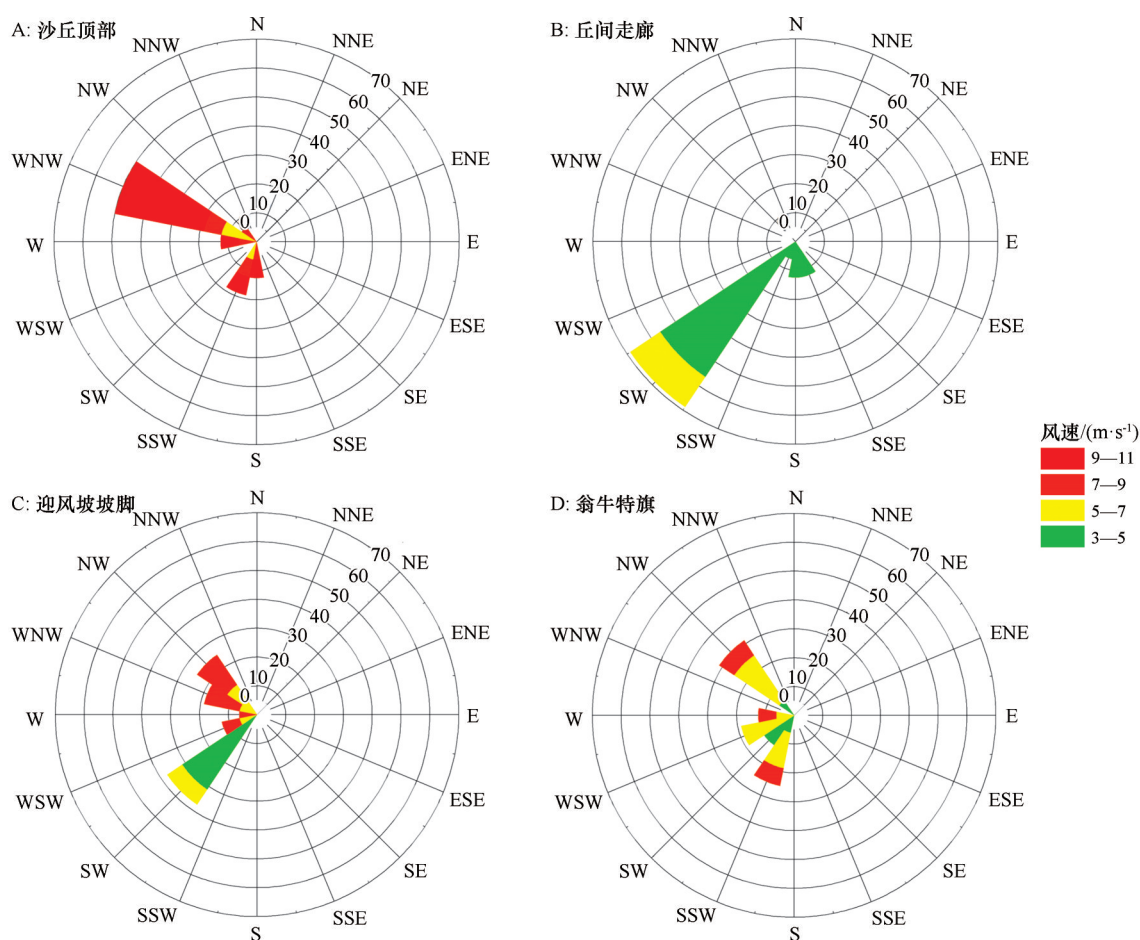


图2 沙丘群内部和翁牛特旗气象站的全年风玫瑰图

Fig.2 Annual wind roses of sand dune field and Wengniut Banner Weather Station

主导风向在丘间走廊处发生偏转的结果与Warren<sup>[21]</sup>的研究结果一致。丘间走廊常年盛行的这种偏转气流使沙丘群或沙漠整体移动方向偏向主导风向的左侧(北半球中高纬地区)。

##### 3.1.2 风速

丘间走廊同沙丘顶部、迎风坡脚和翁牛特旗月均风速的变化趋势基本一致,均为冬春季风速较大,夏秋季风速较小(图3)。就风速波动幅度而

言,丘间走廊波动幅度最小,风速最大差值为 $2.15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,沙丘顶部最大,风速最大差值为 $3.45 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,迎风坡脚和翁牛特旗居中,风速最大差值分别为 $3.21 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $2.19 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。由此可见,由于受到上风向沙丘的阻挡和丘间走廊的“空洞”效应,丘间走廊的风速变化最稳定,且该部位各月平均风速值均保持在较低水平,受过境天气系统的影响也很有限。

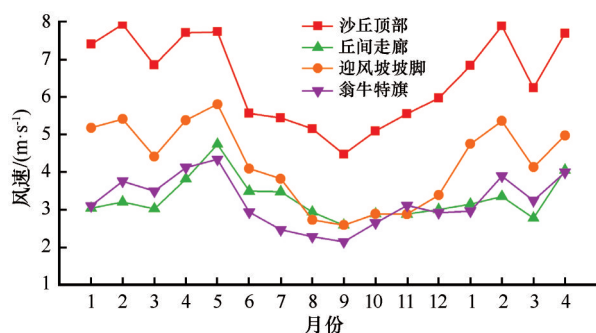


图3 沙丘群内部和翁牛特旗气象站的月平均风速

Fig.3 Monthly average wind speed chart of dunefield and Wengniut Banner Weather Station

表2 沙丘群内部和翁牛特旗气象站分季节风况数据

Table 2 Seasonal wind regimes in dunefield and Wengniut Banner Weather Station

季节	地点/部位	主导风向	频率/%	次风向	频率/%	平均风速/( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )
春季	沙丘顶部	WNW	66.7	SSW	33.3	7.43
	丘间走廊	SSE	66.7	SW	33.3	3.87
	迎风坡脚	WNW	66.7	WSW	33.3	5.20
	翁牛特旗	NW	100	—	—	3.99
夏季	沙丘顶部	SSW	66.7	S	33.3	5.39
	丘间走廊	SW	66.7	SSW	33.3	3.30
	迎风坡脚	SW	66.7	WSW	33.3	3.55
	翁牛特旗	SSW	66.7	SW	33.3	2.56
秋季	沙丘顶部	WNW	66.7	NW	33.3	5.04
	丘间走廊	SW	100	—	—	2.79
	迎风坡脚	SW	100	—	—	2.79
	翁牛特旗	NW	100	—	—	2.64
冬季	沙丘顶部	W	66.7	WNW	33.3	6.87
	丘间走廊	SW	100	—	—	3.17
	迎风坡脚	NW	66.7	SW	33.3	4.48
	翁牛特旗	WSW	100	—	—	3.25

夏季,丘间走廊和迎风坡脚的主导风向均为SW,沙丘顶部和翁牛特旗的主导风向均为SSW,4个地点的主导风向基本一致,风向偏转幅度不大。可见,在没有大型天气系统过境的情况下,局地环流发挥着主导作用。

秋季,丘间走廊主导风向为SW,相对于沙丘顶部(WNW)而言左偏 $67.5^\circ$ ,而与迎风坡脚(SW)的主导风向保持一致,与翁牛特旗主导风向(NW)相比,向左偏转 $90^\circ$ 。

冬季,丘间走廊主导风向为SW风,与沙丘顶部主导风向(W)相比,向左偏转 $45^\circ$ ,与迎风坡脚主导

丘间走廊5月平均风速最大,为 $4.74 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,风速均值非常接近于当地起沙风速( $4.9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ),实际上瞬时速度应大于该值,说明该部位在春季会产生较强烈的风沙活动,这对丘间走廊的塑造与维持,以及对沙丘群的整体形态变化都会产生作用。

### 3.2 风营力的季节特征

#### 3.2.1 风向

与沙丘顶部和迎风坡脚的主导风向(WNW)相比,向左偏转 $135^\circ$ ,与翁牛特旗主导风向(NW)相比,向左偏转 $157.5^\circ$ ,两地风向近乎垂直(表2)。

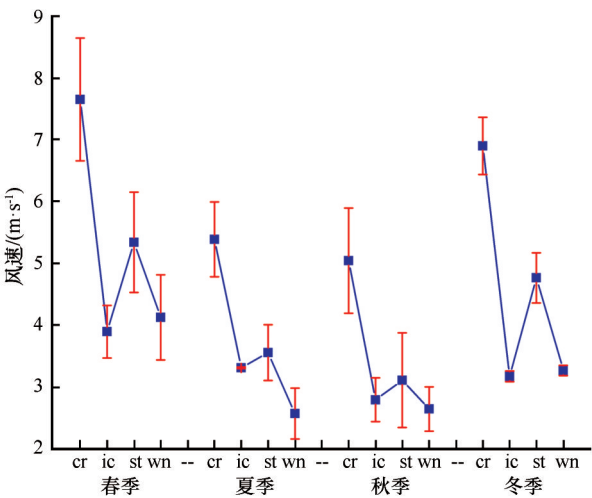
风向(NW)相比,向左偏转 $90^\circ$ 。与翁牛特旗主导风向(WSW)相比,向左偏转 $22.5^\circ$ 。

当气流运动到丘间走廊处时,受地形等因素的影响,气流方向始终会偏转成南向风(SSE和SW),特别是在春季,气流在丘间走廊处的偏角最大,此时该部位的主导风向近乎与当地主导风向垂直。

#### 3.2.2 风速

沙丘3个部位和翁牛特旗季节平均风速的变化趋势一致(图4)。春季,丘间走廊平均风速为 $3.89 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,分别低于沙丘顶部、迎风坡脚和翁牛特旗各49.12%、27.06%和5.6%;夏季,丘间走廊平均风速





cr-沙丘顶部, ic-丘间走廊, st-迎风坡脚, wn-翁牛特旗  
图 4 沙丘群内部和翁牛特旗的季节平均风速

Fig.4 Seasonal average speed in dunefield and Wengniut Banner

为  $3.31\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , 分别低于沙丘顶部、迎风坡脚各 38.62% 和 6.95%, 高于翁牛特旗 28.88%; 秋季, 丘间走廊平均风速为  $2.79\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , 分别低于沙丘顶部、迎风坡脚 44.64%、10.2%, 略高于翁牛特旗 5.68%; 冬季, 丘间走廊平均风速为  $3.17\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , 分别低于沙丘顶部、迎风坡脚和翁牛特旗 54.07%、33.47% 和 2.91%。总体而言, 丘间走廊各季节平均风速与翁牛特旗最为接近。

丘间走廊春季平均风速最大, 此时, 东亚高空西风急流正位于内蒙古地区上空, 垂直气压梯度大, 大风天气频发, 加之该部位植被稀疏, 地表大面积裸露, 伴随着强烈的大风天气, 极易对地表产生强烈的风蚀, 因此春季是丘间走廊风沙活动强烈期。

3.3 输沙势

本文分别利用小时均值、日均值和月均值数据, 结合公式(1)计算了沙丘群 3 个部位和翁牛特旗的  $DP$ 、 $RDP$ 、 $RDP/DP$  和  $RDD$ (表 3)。

以小时均值进行计算, 丘间走廊的  $DP$  为 86.88 VU, 属于低能环境,  $RDP$  为 54.53 VU, 净输沙能力相对最弱,  $RDP/DP$  为 0.63, 方向变率指数属于中变率,  $RDD$  为 NNE 方向, 表明该部位的沙物质朝东北偏北方向输移。以日均值进行计算, 丘间走廊的  $DP$  为 37.94 VU, 数值明显降低但仍属于低能环境,  $RDP$  为 29 VU, 净输沙能力不及沙丘顶部和迎风坡脚但略强于翁牛特旗,  $RDP/DP$  为 0.76, 方向变率指

表 3 不同时间尺度下沙丘群内部和翁牛特旗的输沙势( $DP$ )、合成输沙势( $RDP$ )、 $RDP/DP$  和合成输沙方向( $RDD$ )的比较

Table 3 Comparison of  $DP$ ,  $RDP$ ,  $RDP/DP$  and  $RDD$  between dunefield and Wengniut Banner at different time scales

时间尺度	地点/部位	$DP/VU$	$RDP/VU$	$RDP/DP$	$RDD$
小时	沙丘顶部	1 092.8	667.55	0.61	ESE
	丘间走廊	86.88	54.53	0.63	NNE
	迎风坡脚	258.15	159.69	0.62	ESE
	翁牛特旗	175.23	113.64	0.65	ESE
日	沙丘顶部	695.21	480.25	0.69	ESE
	丘间走廊	37.94	29	0.76	NNE
	迎风坡脚	126.85	84.65	0.67	ESE
	翁牛特旗	20.29	14.96	0.74	ESE
月	沙丘顶部	423.91	328.91	0.78	ESE
	丘间走廊	—	—	—	—
	迎风坡脚	31.57	30.54	0.97	E
	翁牛特旗	—	—	—	—

数属于中变率,  $RDD$  为 NNE 方向, 表明该部位的沙物质朝东北偏北方向输移, 与小时均值计算结果相同。由于丘间走廊各月平均风速均低于起沙风速, 在月时间尺度下其输沙势无法计算。

相比较而言, 在小时尺度下, 沙丘顶部的  $DP$  为 1 092.80 VU, 属于高能环境, 迎风坡脚的  $DP$  为 258.15 VU, 属于中能环境, 丘间走廊和翁牛特旗均为低能环境。净输沙能力( $RDP$ )由强到弱依次是沙丘顶部、迎风坡脚、翁牛特旗和丘间走廊。4 个地点起沙风的方向变率均为中变率。沙丘顶部、迎风坡脚和翁牛特旗的  $RDD$  均为 ESE 方向, 基本顺冷空气过境时的主导风向延伸, 而丘间走廊的  $RDD$  为 NNE 方向, 表明沙物质沿丘间走廊延伸方向(垂直于冷空气过境时主导风向)输移。

在日时间尺度下, 沙丘顶部的  $DP$  为 695.21 VU, 属于高能环境, 丘间走廊、迎风坡脚和翁牛特旗均为低能环境。净输沙能力由强到弱依次是沙丘顶部、迎风坡脚、丘间走廊和翁牛特旗。4 个地点起沙风的方向变率均为中变率。沙丘顶部、迎风坡脚和翁牛特旗的  $RDD$  均为 ESE 方向, 与冷空气过境时主导风向一致, 而丘间走廊的  $RDD$  为 NNE 方向, 表明沙物质朝东北偏北方向输移, 同冷空气过境时的主导风向基本垂直。

在月时间尺度下, 沙丘顶部的  $DP$  为 423.91 VU,

属于高能环境,该部位净输沙能力最强,方向变率为中变率, $RDD$ 为ESE方向,表明沙物质朝东南偏东方向输移。迎风坡脚的 $DP$ 为31.57 VU,属于低能环境,该部位净输沙能力较弱,方向变率为低变率, $RDD$ 为E方向,表明沙物质朝东方向输移。由于丘间走廊和翁牛特旗月均数据过小,输沙势无法计算。

通过对比不同时间尺度下 $DP$ 和 $RDP$ 的计算结果可知,随着时间尺度增大,计算结果逐渐减小,特别当时间尺度增大为月时,丘间走廊和翁牛特旗的输沙势无法计算,也无法反映这两个地点实际风沙活动状况。

## 4 讨论

### 4.1 风向偏转的原因

丘间走廊主导风向为SW风,与沙丘顶部和翁牛特旗的主导风向相比明显大角度偏转,这与Warren<sup>[21]</sup>的研究结果一致,他在研究海岸沙丘的气流运动时发现,随着距地面高度的增加,风向逐渐右偏,随着高度下降,风向逐渐左偏,是埃克曼螺旋使然。但丘间走廊风向左偏受埃克曼螺旋影响较小,我们猜测更有可能是受局地环流的影响。

现以观测期间春季一次典型冷锋过境事件为例进行分析,事件发生时间为2016年5月17日,共持续34 h。冷锋过境时的主导风向为WNW,风速为10.28—18.01  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (表4)。一方面,通过比较丘间走廊在不同天气状况下的风况特征可知,冷锋过境前,丘间走廊的平均风速为3.23  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,主导风向为SW;冷锋过境期间,平均风速增加到5.34  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,主导风向略微偏转为SSW;冷锋过境后,平均风速降低为2.22  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,主导风向恢复为SW。由此可见,冷锋过境前后,丘间走廊的风速均低于起沙风速,冷锋过境时,风速明显增加,但风向无明显变化,说明冷锋过境时,整个区域的流场对丘间走廊的气流有加速效应,但对其风向改变有限。可见,大尺度天气系统并没有完全破坏掉局地环流系统,丘间走廊处形成的南向气流很大程度上是局地环流的延续。

另一方面,通过比较相同天气状况下4个地点的风况特征可知,冷锋过境前,丘间走廊与沙丘顶部、迎风坡脚和翁牛特旗的平均风速均低于起沙风速,主导风向均以偏SW为主,冷锋过境时,4个地点的风速均有明显增加,丘间走廊的主导风向虽有

表4 一次典型冷锋过境沙丘顶部、丘间走廊和翁牛特旗平均风速和主导风向

Table 4 Averaged wind speed and dominant wind direction of a typical cold front passing at crest, corridor and Wengniut Banner

地点/部位	冷锋过境状态	平均风速 ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )	主导风向
沙丘顶部	过境前	4.58	SSW
	过境期间	13.55	WNW
	过境后	3.52	SSW
丘间走廊	过境前	3.23	SW
	过境期间	5.34	SSW
	过境后	2.22	SW
迎风坡脚	过境前	3.51	WSW
	过境期间	6.95	NNW
	过境后	2.17	SW
翁牛特旗	过境前	4.57	SW
	过境期间	5.07	WSW
	过境后	4.25	WSW

小角度偏转,但仍以南向风为主,而其他3个地点的主导风向则存在较大角度的偏转,特别是沙丘顶部和迎风坡脚,此时,这两个地点的主导风向偏转为偏NW风,与冷锋过境前的风向基本垂直,冷锋过境后,4个地点的风速风向逐渐恢复到过境前的状态。这再次证实了在大尺度天气系统过境时,丘间走廊中的局地环流依然发挥着重要作用。

### 4.2 输沙势的计算方式

不同时间尺度的数据往往会计算出不同的输沙势,也必然会反映出不同的风沙活动强度<sup>[22]</sup>。因此,选取合适的时间尺度是计算真实、准确的输沙势的前提条件。谢颖达等<sup>[23]</sup>、全涌等<sup>[24]</sup>在研究风速时距问题时发现,随着平均时距(时间尺度)增大,平均风速值变小,与实时风速的偏离程度越大,最终计算结果与实际情况的偏差也越大。通过对比沙丘群3个部位和翁牛特旗不同时间尺度下输沙势的计算结果可知,时间尺度越大,输沙势越小,特别当时间尺度为月时,原始数据被“平均”后变得很小,计算结果远远偏离实际情况,因此,月均值计算所得的输沙势不能真实反映沙丘群内部实际风沙活动情况。当时间尺度为小时时,计算结果最接近实际情况,但数据的数量过多,不便于计算,因此小

时均值也不宜计算输沙势。相对而言,日均数据的数量适中,容易获取且计算结果能反映沙丘群内部真实的风沙活动情况,最宜于计算输沙势。

其次,为了能够更有效地对中小尺度天气系统进行实时观测,获取及时、准确的基本气象观测资料,进而为气象灾害监测提供服务,全国多地正逐步建设并建成乡镇全覆盖的区域自动气象观测站,主要观测要素为区域内气温、雨量、风向、风速等常规气象要素,记录数据的间隔多为小时<sup>[25]</sup>。因此,我们完全可以利用现有区域站获取区域小时风况数据,再依据国家气象台站观测规范对数据进行处理,结合输沙势计算公式,推算出区域真实的风沙活动强度。

最后,由于沙地内部自然条件恶劣,且沙丘在风力作用下会前移,建议在观测仪器得到充分防护的基础上,应有计划地将仪器布设在沙地内部,对于横向沙丘群而言,至少要在沙丘顶部和丘间走廊或丘间地各布设1套自动气象站,利用其获取的观测数据计算输沙势,从而全面把握沙丘群内部的风况特征。如此一来,既能满足科研需要,又能精确地把握沙丘内部的风沙活动特征,为精准治沙提供科学参考。

#### 4.3 丘间走廊风况的风沙地貌学意义

丘间走廊风况定位监测、场地设置、数据分析和建模对于风沙地貌学研究和风沙流控制具有深刻的理论、技术意义和应用价值。

春季丘间走廊风速明显增加,结合日均值计算所得的输沙势结果可知,该部位存在较强的风沙活动,说明春季是风沙活动强烈期。野外实际观测发现,丘间走廊发育有良好的沙波纹(图5),说明该部位的风速较大并超过起沙风速,存在非常明显的风沙活动。

春季强风和大风天气时,丘间走廊中稳定的南向气流会强烈侵蚀丘间地或丘间走廊地表,将前期形成的风蚀垄、风蚀残丘等小地貌逐渐侵蚀掉,使原本分隔状态的丘间地相互贯通,最终在横向沙丘群内部形成多条平行、连通性较好、发育完整的丘间走廊。

沙丘顶部沙物质的输移方向为ESE,丘间走廊沙物质的输移方向为NNE。经计算,两地的合成输沙方向为ESE,表明整个沙丘群朝东南偏东方向移

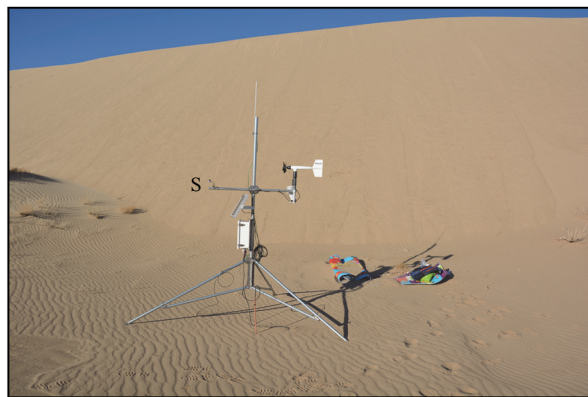


图5 丘间走廊地表横向沙波纹

Fig.5 Longitudinal sand ripples on the surface of interdune

动,但受丘间走廊中南向气流的影响,沙丘群的整体形态微向左偏,即沙丘群整体缓慢向东北偏北风向移动。

## 5 结论

丘间走廊年内主导风向为SW,春季主导风向为SSE,夏、秋、冬季为SW,各季节间风向虽有差异,但总体仍以南向风为主。相对于沙丘顶部、迎风坡脚和翁牛特旗的主导风向而言,气流在丘间走廊处向左偏转,春季左偏角度最大。

丘间走廊年内平均风速为 $3.28 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,春季平均风速可达 $4.74 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,接近起沙风速,而瞬时风速明显超过起沙风速,因此,春季是丘间走廊风沙活动强烈期,强烈的风沙活动侵蚀并搬运地表松散沙粒物质,使沙丘链之间的风蚀残墩或脊逐渐变低变小乃至消失,由此形成完整的丘间走廊,也使整个沙丘呈现向左偏移的形态特征和运动态势。

通过对比不同时间尺度下丘间走廊和其他3个地点的输沙势可知,日均数值计算所得的输沙势结果能真实地反映沙丘群内部的实际风沙活动情况,建议采用日均数值计算输沙势。

冷锋过境期间,丘间走廊的局地环流依然明显影响着其中的流场,该部位始终盛行偏南气流,表明大尺度天气系统未能完全将局地环流破坏掉。

为满足科研需要和有效获取沙丘群内部实际的风况数据,在做好仪器防护工作的前提下,应尽量在沙丘群内部布设自动观测站点,以便于区域间或年际间的相互比较与归纳。

#### 参考文献:

- [1] 张正偲,董治宝,赵爱国,等.库姆塔格沙漠风沙活动特征[J].



- 干旱区地理, 2010, 33(6): 939-946.
- [2] 陈宗颜, 董治宝, 汪青春, 等. 柴达木盆地风况及输沙势特征[J]. 中国沙漠, 2020, 40(1): 195-203.
- [3] 俎瑞平, 张克存, 屈建军, 等. 塔克拉玛干沙漠风况特征研究[J]. 干旱区地理, 2005, 28(2): 167-170.
- [4] 梁准, 吕萍, 刘铮瑶, 等. 柴达木盆地鸭湖地区风况特征与雅丹地貌形态关系[J]. 中国沙漠, 2020, 40(5): 42-48.
- [5] 孙佳琦. 巴丹吉林沙漠地区风况与风能环境观测研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2020.
- [6] 郑先念, 杨兴华, 何清, 等. 塔克拉干沙漠腹地沙尘暴天气下风速脉动特征[J]. 水土保持研究, 2020, 27(1): 366-371.
- [7] 庞营军, 吴波, 贾晓红, 等. 毛乌素沙地风况及输沙势特征[J]. 中国沙漠, 2019, 39(1): 62-67.
- [8] 郭洪旭, 王雪芹, 蒋进, 等. 古尔班通古特沙漠腹地输沙风能及地貌学意义[J]. 干旱区研究, 2011, 28(4): 580-585.
- [9] Wang X M, Dong Z B, Yan P, et al. Wind energy environments and dunefield activity in the Chinese deserts[J]. *Geomorphology*, 2005, 65: 33-48.
- [10] 张正偲, 董治宝. 黑河流域中游沙漠风能环境与风沙地貌[J]. 中国沙漠, 2014, 34(2): 332-341.
- [11] Baddock M C, Livingstone I, Wiggs G F S. The geomorphological significance of airflow patterns in transverse dune interdunes[J]. *Geomorphology*, 2006, 87(4): 322-336.
- [12] Sweet M L, Kocurek G. An empirical model of aeolian dune lee-face airflow[J]. *Sedimentology*, 1990, 37(6): 1023-1038.
- [13] Walker I J. Secondary airflow and sediment transport in the lee of a reversing dune[J]. *Earth Surface Processes and Landforms*, 1999, 24(5): 437-448.
- [14] Walker I J, Dan H S. Secondary flow deflection in the lee of transverse dunes with implications for dune morphodynamics and migration[J]. *Earth Surface Processes & Landforms*, 2013, 38(14): 1642-1654.
- [15] Frank A, Kocurek G. Toward a model for airflow on the lee side of aeolian dunes[J]. *Sedimentology*, 1996, 43(3): 451-458.
- [16] Nickling I. Dynamics of secondary airflow and sediment transport over and in the lee of transverse dunes[J]. *Progress in Physical Geography*, 2002, 26(1): 47-75.
- [17] 韩广, 尤莉, 丁占良. 主导风条件下横向沙丘群丘间走廊中次生气流的研究初报[J]. 中国沙漠, 2019, 39(5): 21-28.
- [18] Fryberger S G, Dean G. Dune forms and wind regime[C]//Mckee E D. A Study of Global sand Seas. Washington, USA: United States Government Printing Office, 1979: 137-169.
- [19] 罗凤敏, 高君亮, 辛智鸣, 等. 乌兰布和沙漠东北缘起沙风况及输沙特征[J]. 农业工程学报, 2019, 35(4): 145-152.
- [20] 房彦杰. 基于Fryberger方法的塔克拉玛干沙漠输沙势时空分布特征分析[D]. 成都: 四川师范大学, 2015.
- [21] Warren A. Dune trend and the Ekman Spiral[J]. *Nature*, 1976, 259(5545): 653-654.
- [22] 张华, 李锋瑞, 李玉霖, 等. 科尔沁沙地奈曼旗近5年来风况及合成输沙势[J]. 中国沙漠, 2004, 24(5): 107-111.
- [23] 谢颖达, 刘舒然, 欧传奇, 等. 平均风速时距取值对风电场出力计算的影响[J]. 水电能源科学, 2012, 30(12): 205-208.
- [24] 全涌, 肖钰川, 顾明. 平均时距对良态风气候地区极值风速的影响研究[J]. 工程力学, 2020, 37(4): 129-134, 152.
- [25] 李海洋, 李清, 王飞, 等. 白山区域自动气象站常见故障判断及处理建议[J]. 气象灾害防御, 2015, 22(1): 38-39.

## Wind regimes and drift potentials in the corridor of transverse dunefield in western Korqin Sandy Land

Feng Jingxue<sup>1</sup>, Ding Zhanliang<sup>2</sup>, You Li<sup>3</sup>, Han Guang<sup>1</sup>

(1.School of Geographic Sciences, Hunan Normal University, Changsha 410081, China; 2.School of Resources and Environment, Baotou Normal College, Baotou 014030, Inner Mongolia, China; 3.Inner Mongolia Climate Center, Hohhot 010051, China)

**Abstract:** In this paper, a typical transverse dunefield in the western parts of the Korqin Sandy Land was selected as study area, and a series of automatic meteorological stations were installed at the summit, the interdune corridor and the lower stoss to observe the wind conditions inside the mobile transverse dunefield for 16 consecutive months in the field. To effectively illustrate whether the nearby weather stations can truly reflect the actual wind characteristics inside the dunefield, the hourly average data of wind regimes for the same period were obtained from the Wengniut Banner National Meteorological Station. The results show that: (1) the dominant wind direction in the corridor during the year is SW, which is basically the same as the stoss but with higher frequency, and the wind direction is deflected to the left at a large angle compared with the summit (WNW) and Wengniut Banner (NW); (2) the average wind speed in the corridor during the year is  $3.28 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , and the average wind speed in spring can reach  $4.74 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , and the instantaneous wind speed is greater than the local threshold speed; the corridor has stronger wind and sand activities at this time, which plays an important role in shaping the complete form of the corridor and forming a stable spatial pattern of dunefield; (3) the sand transport potential of corridor is 37.94 VU, which is lower than the summit by 94.54% and higher by 86.99% than Wengniut Banner, thus it can be seen that the wind data measured by the nearby meteorological station cannot truly reflect the actual situation of wind and sand activities inside the dunefield; (4) in order to estimate the real situation of sand transport inside the dunefield more accurately, it is recommended to deploy at least one set of automatic meteorological station at the summit and another at the corridor for joint observations. This study has important theoretical and technical support value for revealing the overall wind condition change pattern of dunefield and sand disaster prevention and control.

**Key words:** transverse dunefield; wind regime; dominant wind; drift potential; Korqin Sandy Land