

## 呼伦贝尔沙质草原区域风况与风蚀坑形态特征<sup>\*</sup>

王 帅<sup>1,2</sup>, 哈斯<sup>2</sup>

(1. 浙江省水利河口研究院, 杭州 310020; 2. 北京师范大学 资源学院, 北京 100875)

**摘 要:**对呼伦贝尔海拉尔气象观测站风速风向观测记录(1951 - 2003 年)统计分析,发现呼伦贝尔地区以西北、西和西南风为主,西北风出现频率最高。年输沙势为 279.1 VU,属于中风能环境,合成输沙方向是 148.3°。冬季风向变率指数较高,夏季较低,近 50 a 来风向逐渐趋于稳定,与本区的风蚀坑走向高度一致。呼伦贝尔沙质草原的风蚀坑可以分为两类,即沙丘风蚀坑和平坦草地风蚀坑。其中平坦草地风蚀坑又可以根据发育阶段和形态将其分为沙斑、碟形坑和槽形坑等简单风蚀坑。

**关键词:**风蚀坑;区域风况;形态特征

**中图分类号:**S157

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2008)03-0074-03

## Wind Regime and Blowouts Geomorphology in Hulun Buir Sandy Grassland

WANG Shuai<sup>1,2</sup>, Hasi Erdun<sup>2</sup>

(1. Zhejiang Institute of Hydraulics and Estuary, Hangzhou 310020, China; 2. College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

**Abstract:** Hulun Buir sandy grassland in the semi-arid environment where the wind energy is medium and wind blows from single direction; the value of sand dune mobility is small. And it is apparent that most of the erosion activity should occur in the spring during the months of March, April, and May. Usually, the strong wind is from northwest, west and southwest. In terms of the evolutionary stages and their geomorphology, blowouts can be classified as sand patch, sauce blowout, and trough blowout on flat grassland, they are in the earlier stage of the process of sandy grassland turned into sandy land. And others are on sand dunes.

**Key words:** Blowouts; wind regime; sandy grassland

风蚀坑是广泛分布在沙质海岸和干旱、半干旱沙质草原地区的一种重要的风沙地貌类型<sup>[1-2]</sup>。随着相关测试技术和手段的不断提高,目前已经对主要类型沙丘的形成环境和动力学过程有了相当的了解<sup>[3]</sup>,近年来关于风蚀负地貌的研究开始逐渐增多。已经在风蚀坑形态<sup>[4-5]</sup>、气流<sup>[6-9]</sup>、蚀积速率<sup>[10]</sup>和演化过程<sup>[11-13]</sup>等方面取得了一些成果,但还没有形成统一结论。风蚀坑是大气侵蚀力和地表抗侵蚀力相互作用的结果,表面气流是塑造风蚀坑形态的主要动力,而表面气流是区域风况被地表形态改造的结果<sup>[14]</sup>。本文根据呼伦贝尔地区海拉尔气象站资料,分析区域风况特征,并总结该地区风蚀坑的基本形态。

### 1 研究区概况

呼伦贝尔沙质草原位于内蒙古高原东部(图 1),地势东高西低,海拔 650~700 m,地形起伏平缓,属典型高平原。该区属温带半干旱草原气候,干冷多风,年均气温 -1.3℃;年平均降水量 353.7 mm,且集中在 6~9 月(占全年的 80%);多年平均蒸发量 1 217.6 mm,其中 3~5 月蒸发量为同期降水的 8~11 倍。地带性土壤为沙质栗钙土,钙积层埋深 0.1~0.3

m。地带性植被属中温型典型草原,主要植物以大针茅(*Stipa grandis*)、克氏针茅(*Stipa krylovii*)和糙隐子草(*Cleistogonessquarrosa*)为主,在退化、沙化地区小黄柳(*Saxx flayda*)、小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*)、冷蒿(*Artemisia frigida*)、百里香(*Thymus serpyllum*)、差巴嘎蒿(*A. halodendron*)和冰草(*A. gropyron cristatum*)等特征物种增多<sup>[15]</sup>。

### 2 区域风况

研究区年均风速 3.2 m/s,3~5 月平均风速达 4 m/s,全年大风日数 20~40 d。对呼伦贝尔海拉尔气象观测站风速风向每日 4 次观测记录(1951 - 2003 年)统计分析,以 2003 年为例,表明虽然各年风况有所不同,但风向较为稳定,明显显示了该区以西北、西和西南风为主。一年内西北风出现频率最高,约占全年的 55.8%,偏西风合计占 79.5%,尤其是 10 m/s 的大风主要来自西北、西和西南 3 个方向(表 1)。

#### 2.1 输沙势

运用 Fryberger 方法对区域多年风况资料统计分析结果(图 2)表明,该区年输沙势为 279.1 VU,属于中风能环

<sup>\*</sup> 收稿日期:2007-07-31

基金项目:国家自然科学基金项目(40471013)

作者简介:王帅(1982-),男,内蒙古鄂尔多斯人,硕士研究生,主要从事水土资源保护研究。E-mail:shuaiwang@ires.cn

境,合成输沙方向是 148.3°。近地面风能主要来自西北和西南两个象限,其中西北风的输沙势占 17%,西南风占 7%,北风占 12%。风能强度具有明显的季节性变化,年内输沙势

在 3-5 月和 9-11 月两个时间段出现高峰,其中 3-5 月输沙势占全年的 57%,由此可见,在气候干冷的 3-5 月是研究区风沙活动频繁且强盛的季节。

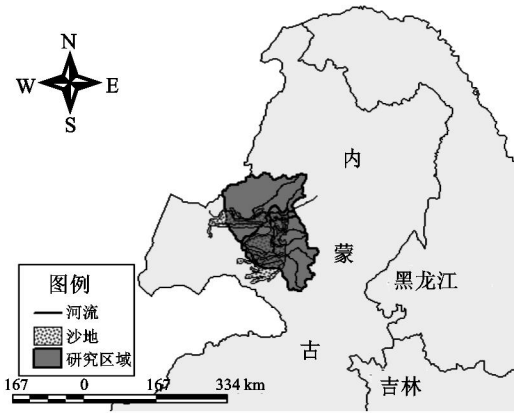


图 1 研究区位置

表 1 2003 年呼伦贝尔各风向、风速段出现频率 %

风向	风速段/(m·s <sup>-1</sup> )					
	6~7.9	8~9.9	10~11.9	12~13.9	14~15.9	16~17.9
NNE	6.77	0.56	0.56	0	0	0
NE	1.12	0	0	0	0	0
ENE	0.56	0	0	0	0	0
E	3.95	0	0	0	0	0
ESE	2.25	1.12	0	0	0	0
SE	2.25	0.56	0	0	0	0
SSE	1.12	0	0	0	0	0
S	0	0	0	0	0	0
SSW	1.12	0	0	0	0	0
SW	3.95	0	0	0	0	0
WSW	2.25	2.25	0	0	0.56	0
W	6.21	3.95	2.25	0.56	0.56	0
WNW	11.29	5.08	2.25	0	0	0
NW	7.9	4.51	1.69	1.12	0.56	0
NNW	3.95	2.25	0	0	0	0
N	11.86	2.82	0.56	0	0	0

沙势与输沙势的比值(RDP/DP)称为风向变率指数,指数越小风变率越大,风况越复杂。本区月指数 0.28~0.80,冬季指数较高,夏季较低,说明风力越强,变率越小,风况越趋于稳定,方向固定的高能大风对塑造风蚀坑形态具有重要作用。根据研究区 1951-2003 年风向变率指数情况看(图 3),50 a 来指数介于 0.22~0.92,合成输沙方向在 125~167°,并且指数随时间有增长趋势,风向逐渐稳定,与本区的风蚀坑走向高度一致<sup>[14]</sup>。

表 2 各月份输沙方向及变率比较

月份	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
方向/(°)	144	144	135	142	146	162	160	147	145	143	141	141
RDP/DP	0.68	0.64	0.63	0.58	0.54	0.32	0.28	0.59	0.58	0.69	0.80	0.81

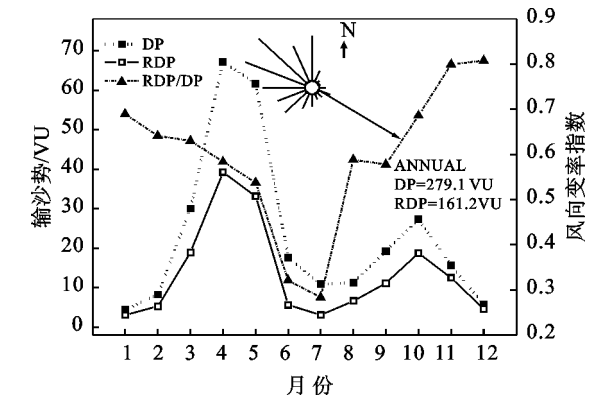


图 2 研究区年、各月输沙势

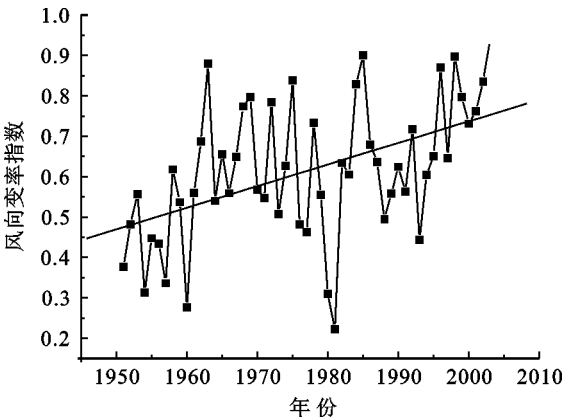


图 3 研究区 1951-2003 年风向变率指数

2.2 风向变率

各月合成输沙方向差别不大,介于 135~162°。合成输

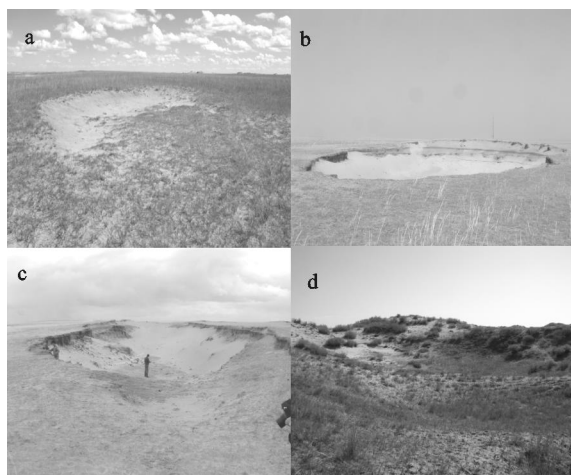
3 风蚀坑形态特征

研究区地形波状起伏,自然景观以起伏沙地与平缓草地相间为特色。该地区的风蚀坑可以分为两类,即沙丘风蚀坑和平坦草地风蚀坑。其中沙丘风蚀坑主要出现在起伏沙地固定沙丘的迎风侧,有时会有多个坑相互连接或在较早形成的坑上发育新的活化坑,坑后植被已经灌丛化,地表起伏较大,属于沙地景观;平坦草地风蚀坑分散分布在沙地两侧的草原上,主要围绕牧民聚居点和沿道路分布,此类风蚀坑是

草原景观演化为沙地景观的初期阶段,多数坑是由侵蚀坑和坑后积沙组成的相对独立的地貌单元。根据发育阶段和形态将其分为沙斑、碟形坑和槽形坑等简单风蚀坑。

### 3.1 沙斑特征

沙斑是风蚀坑的初始发育阶段,诱发成因不同,形态也有所差异,道路成因的沙斑随道路延伸,平面形态不规则,侧壁陡立,底面较平,沙质,没有植被覆盖;而翻耕或动物践踏导致的沙斑一般呈椭圆状,侧壁不明显,坑内植被较好,仅有部分位置有裸沙出露(图 5)。沙斑深度一般约 1 m,长约 40~50 m 或更小,宽约 15~20 m。下风方向有薄层风积沙,草原植被盖度降低或基本不受影响。



a. 沙斑; b. 碟形坑; c. 槽形坑; d. 沙丘风蚀坑

图 4 不同形态风蚀坑

### 3.2 碟形坑特征

碟形坑和槽形坑是风蚀坑活跃发展阶段的 2 种基本形态,2 类风蚀坑复合可以形成肾形、花朵状、葫芦状、掌状和方形等各类复合或复杂风蚀坑。碟形坑规模较小,深约 2~3 m,长 70~80 m,其中风蚀坑约占 20 m,基本呈椭圆状,入风口略尖,一般在东北、东和东南形成 3 个出风口,分别形成浑圆的积沙区共同构成长约 50 m 的扇形积沙区,积沙厚度约 1 m,向后不断变薄。坑后缘有土壤层出露,形成表土层磨蚀带,坑内阳坡(东北侧)坡度较陡,有崩塌现象,阴坡(西南侧)坡度较缓,并有植被覆盖(图 4 和图 6)。风蚀坑底通常为近椭球面形态,与坑壁平滑过渡。

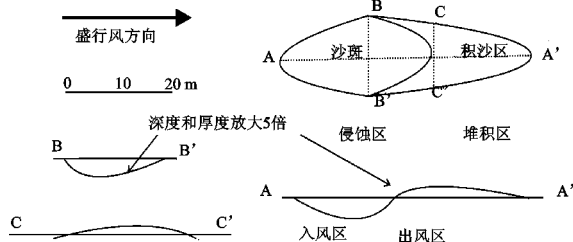


图 5 沙斑形态示意图

### 3.3 槽形坑特征

槽形坑规模较大,长约 100 m,宽约 30 m,深 7~8 m,坑后缘东侧一般有风蚀残墩发育,积沙区浑圆且范围较大,积沙厚度高达 5 m,向后延伸变薄,坑底接近风蚀基准面的湿沙层或者沙层中抗风蚀能力较强的细粉砂或粘土夹层时,因风的淘

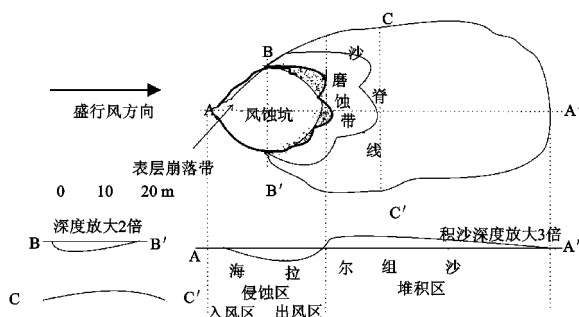


图 6 碟形风蚀坑形态示意图

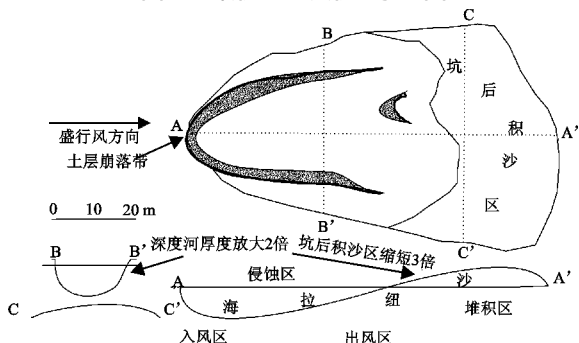


图 7 槽形风蚀坑形态示意图

蚀作用受阻变平,周边以散沙的休止角与侧壁相接,两边侧壁为土层的垂直崩落面,出露河床沙,崩落面以下为崩解的土块和垮落的散沙自然休止形成的坡面。土层崩落的现象也出现在进风端,因此进风端坑壁的坡度也比较陡,坑后缘为积沙坡,坡度较缓,坑底已经有沙生植被发育(图 4 和图 7)。

## 4 小 结

风蚀坑是沙质草原地区由草原景观演化为沙地景观的临界现象(Threshold),风蚀坑出现之后,其发育的地貌过程就成为草原生态系统中的主要地表过程之一,直接导致植被演替等其他过程向沙漠化方向发展。其结果是加强了地表的起伏程度,并导致草原景观破碎化,稳定性降低和土地生产力下降。在不同的时空条件下,景观破碎化的程度会随干扰强度和草原抗干扰能力的变化而发生“强盛期”和“衰弱期”的交替和循环,风蚀坑表现为固定过程和活跃过程不断反复<sup>[16]</sup>。沙质草原地区风蚀坑的发育演化过程仍需进一步深入研究。

### 参考文献:

- [1] 朱震达. 中国的沙漠化及其防治[M]. 北京: 科学出版社, 1989.
- [2] 吴正. 风沙地貌与治沙工程学[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [3] Wang Xun-ming, Dong Zhi-bao, Qu Jian-jun. Dynamic processes of a simple linear dune: a study in the Taklimakan Sand Sea, China [J]. Geomorphology, 2003, 52: 233-241.
- [4] 史培军. 试论科尔沁南部大青沟地区沙漠化土地的地表形态特征及其发育过程[J]. 内蒙古师范大学学报: 自然科学版, 1986, 1(1): 43-54.

(下转第 80 页)

着耕地盐渍化、农产品市场容量有限等技术障碍和市场障碍的有效突破,研究区内的耕地面积将再次进入快速增长时期。研究区在推广膜下微滴灌、高压渗灌等节水农业技术的同时,应注重调整农业结构,适当控制耕地面积,推行集约农业和高效农业,并且在作物播种前、耕作措施中和产品收获后注意加强土壤表面的防护措施。

相关政策的执行对区域内林地、草地、城镇用地等景观的变化产生积极的影响。在经济利益的驱动下,耕地对林地、草地的替代还将持续下去,但随着退耕还林、还草等政策的强势推动以及人类环保意识的增强,林、草地面积的下降将得到缓解。区域内各级政府应切实执行退耕还林、还草等政策,确保林地、草地等生态景观有所恢复。

#### 参考文献:

- [1] Donohue K D, Foster R, Motzkin G. Effects of the past and the present on species distribution: land-use history and demography of wintergreen forests[J]. *Journal of Ecology*, 2000, 88: 303-316.
  - [2] 史培军, 江源, 王静爱, 等. 土地利用/覆盖变化与生态安全响应机制[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 168-169.
  - [3] Rasmussen P E, Goulding K W, et al. Long-term agroecosystem experiments: assessing agricultural sustainability and global change[J]. *Science*, 1998, 282: 893-896.
  - [4] 程维明, 周成虎, 刘海江, 等. 玛纳斯河流域 50 年绿洲扩张及生态环境演变研究[J]. *中国科学(D 辑): 地球科学*, 2005, 35(11): 1074-1086.
  - [5] 张凤华, 潘旭东, 王苗峰. 基于遥感的玛河流域绿洲土地资源利用状况分析[J]. *新疆农业科学*, 2006, 43(2): 113-117.
  - [6] 杨发相. 新疆玛纳斯河流域的土地利用与退化问题[J]. *新疆环境保护*, 2002, 24(1): 8-12.
  - [7] 张军民. 新疆玛纳斯河流域水文循环二元分化及其生态效应[J]. *水资源与水工程学报*, 2006, 17(4): 25-28.
  - [8] 徐素宁, 杨景春, 李有利. 近 50 a 来玛纳斯河流量变化及对气候变化的响应[J]. *地理与地理信息科学*, 2004, 20(6): 65-68.
  - [9] 唐湘玲, 龙海丽, 邢永建. 玛纳斯河流域降水与径流变化及其人类活动的影响[J]. *新疆师范大学学报: 自然科学版*, 2005, 24(3): 145-149.
  - [10] 唐湘玲, 魏文寿. 玛纳斯河流域气候变化对径流变化的影响[J]. *石河子大学学报: 自然科学版*, 2005, 23(6): 730-734.
  - [11] 南峰, 李有利, 史兴民. 新疆玛纳斯河水量波动与气候变化之间的关系[J]. *水土保持研究*, 2003, 10(3): 59-61.
  - [12] 韦晓雷. 崛起的玛纳斯: 新疆玛纳斯县小城镇建设札记[J]. *小城镇建设*, 2001(2): 76-77.
  - [13] 潘旭东, 杨乐, 张凤华, 等. 玛纳斯河流域次生盐渍化弃耕地全面生态重建的新理念[J]. *新疆农业科学*, 2004, 41(6): 431-434.
  - [14] 赖先齐, 刘建国, 张凤华, 等. 玛纳斯河流域绿洲农业弃耕地生态重建的研究[J]. *石河子大学学报: 自然科学版*, 2004, 22(1): 27-31.
  - [15] 丘远尧, 刘文柱, 邵周海, 等. 玛纳斯县农牧民人均纯收入连续十三年位居全疆首位的调查报告[J]. *新疆社会科学*, 2004(2): 33-38.
  - [16] 张清. 干旱区生态系统生态资产测量及其动态变化分析[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2005.
- 
- (上接第 76 页)
- [5] 张德平, 王效科, 哈斯, 等. 呼伦贝尔沙质草原风蚀坑研究: (1). 形态、分类、研究意义[J]. *中国沙漠*, 2006, 26(6): 894-902.
  - [6] Hesp P A, Pringle A. Flow behavior in a trough blowout, Tangimoana, New Zealand [J]. *Journal of Coastal Research*, 2001, 34: 597-601.
  - [7] Hesp P A. Flow dynamics in a trough blowout [J]. *Journal of Boundary-Layer Meteorology*, 1996, 77: 305-330.
  - [8] Jungerius P D, Witter J V, Boxel J H. The effect of changing wind regimes on the development of blowouts in the coastal dunes of the Netherlands [J]. *Landscape Ecology*, 1991, 16: 41-48.
  - [9] Fraser G S, Bennett S W, Olyphant, et al. Windflow circulation patterns in a coastal dune blowout [J]. *Journal of Coastal Research*, 1998, 14(2): 451-460.
  - [10] Wasson R J, Nanninga P M. Estimating wind transport of sand on vegetated surfaces [J]. *Earth Surface Processes and Landforms*, 1986, 11: 505-514.
  - [11] Hesp P A. Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics [J]. *Geomorphology*, 2002, 48: 245-268.
  - [12] Jungerius P D, Meulen F. The development of dune blowouts, as measured with erosion pins and sequential air photos [J]. *Catena*, 1989, 16: 369-376.
  - [13] 庄燕美. 沙质草原风蚀坑形态及其土壤与植被变化[D]. 北京: 北京师范大学, 2006.
  - [14] 庄燕美, 哈斯. 沙丘风蚀坑的形态及动力过程的研究进展[J]. *干旱区地理*, 2005, 28(5): 632-637.
  - [15] 张德平, 冯宗炜, 王效科, 等. 呼伦贝尔草原风蚀沙化的机理研究成果综述[J]. *中国沙漠*, 2006, 26(2): 300-307.
  - [16] 王帅. 沙质草原风蚀坑表面气流与粒度响应[D]. 北京: 北京师范大学, 2007.