

沙质草原槽形风蚀坑表面沉积物粒度特征

王帅^{1,2}, 哈斯²

(1. 浙江省水利河口研究院, 浙江 杭州 310020;

2. 北京师范大学 资源学院 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875)

摘 要: 通过对呼伦贝尔沙质草原槽形风蚀坑表面沉积物粒度的观测分析, 发现活跃发展时期的槽形风蚀坑沙物质总体结构以中沙为主, 其次是细砂, 粗砂和粉沙含量很少, 且不含砾石。由于沙源沉积物粒度组成比较均一, 风蚀坑各部位粒径频率曲线均呈单峰对称(或近对称)。响应于风力侵蚀和堆积, 在粒度诸参数中, 粗沙和细沙含量, 频率曲线众数粒径, 以及平均粒径等发生了明显的变化。该研究结果作为表面气流的响应, 支持了先前提出的槽形风蚀坑动力学过程。

关键词: 沙质草原; 槽形风蚀坑; 沉积物; 粒度

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2008)06-0122-04

中图分类号: S157

Particle Size Variation in Trough Blowout on Sandy Grassland

WANG Shuai^{1,2}, Hasi Eerdun²

(1. Zhejiang Institute of Hydraulics and Estuary, Hangzhou, Zhejiang 310020, China;

2. College of Resources Science and Technology, and State Key Laboratory of

Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Sediment samples collected in blowouts were analyzed. Results indicate that particle size and sorting parameters vary systematically with blowout position. Sediment in a trough blowout is mainly composed of medium and fine sand, with less coarse sand and silt. No gravel is observed in the trough blowout. Because of relatively uniform composition of sediment particles, frequency curve varying with different depths of the trough blowout show the single peak symmetry. In response to wind erosion and accumulation, the contents of coarse sand and fine sand, the plural size for frequency curve, and the average particle size change significantly. The results testify the flow models of blowout.

Keywords: sandy grassland; trough blowouts; sediments; particle size variation

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^[1-2]。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详细的了解^[3], 近年来关于风蚀负地貌的研究逐渐多了起来, 已经在风蚀坑形态^[4-5]、气流^[6-9]、蚀积速率^[10]和演化过程^[11-12]等方面取得了一些结果, 但还没有形成统一结论。

风蚀坑内沙物质是沉积物被风力重新分选、搬运和堆积而形成的。由于形态对气流的改造作用, 使风力分选作用在不同形态风蚀坑内各部位之间出现不同程度的差异, 而且这些差异最大程度地表现在沙丘沙粒度组成上。

本文根据对呼伦贝尔沙质草原槽形风蚀坑表沉积物粒度的观测结果, 对槽形风蚀坑动力学过程研究奠定基础。

1 研究区与研究方法

1.1 研究区概况

呼伦贝尔沙质草原位于内蒙古高原东部, 地形波状起伏^[13]。自然景观以起伏沙地与平缓草原相间为特色。按照风蚀坑发育程度的不同, 将沙质草原风蚀坑分为两类, 分别分布在平坦草地和缓起伏固定沙丘上, 平坦草地上的风蚀坑又根据形状可以划分为活化沙斑、碟形风蚀坑和槽形风蚀坑 3 种主要形态, 以及由这 3 种简单风蚀坑相连形成的复合风蚀坑。

研究区属温带半干旱草原气候, 干冷多风, 年均气温 $-1.3\text{ }^{\circ}\text{C}$; 多年平均降水量 353.7 mm , 年均风速 3.2 m/s 。近地面风主要来自西北和西南两个象限, 风向比较稳定, 但强度具有明显的季节性变化。运用 Fryberger 方法^[14]对区域风向风速多年观测资料的统计分析结果表明, 年输沙势为 279.1 VU , 属于中风能环境, 合成输沙方向是 126° 。在不同方向风中, 西北风的输沙势占 17% , 西南风占 7% , 北风占 12% 。在季节变化上, 3—5 月输沙势占全年的 57% , 且以西北、西和西南风为主^[15]。由此可见, 3—5 月是研究区风沙活动频繁且强盛的季节。各月合成输沙方向差别不大, 介于 $135^{\circ}\sim 162^{\circ}$ 之间。合成输沙势与输沙势的比值(RDP/DP)称为风向变率指数。该指数越小风变率越大, 风况越复杂。研究区月风向变率指数在 $0.28\sim 0.80$ 之间, 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, 50 a 来指数介于 $0.22\sim 0.92$ 之间, 合成输沙方向在 $125^{\circ}\sim 167^{\circ}$ 之间, 并且指数随时间有增长趋势, 风向逐渐稳定, 与该区的风蚀坑走向高度一致^[16]。

1.2 研究方法

本研究在海拉尔沙质草原选择一大型槽形风蚀坑($49^{\circ}15'6.69''\text{N}$, $119^{\circ}38'10.59''\text{E}$), 走向西北东南向(约 $31^{\circ}\sim 130^{\circ}$), 长约 130 m , 宽 25 m , 深 8 m 。西北入风口处沉积物和崩落物混杂, 坡度较陡($18^{\circ}\sim 21^{\circ}$), 东南出风口积沙坡长而缓($4^{\circ}\sim 6^{\circ}$), 东北坡和西南坡坡度较陡(都约 $24^{\circ}\sim 26^{\circ}$), 但东北坡侵蚀强烈, 出露河流相沉积物并有崩塌现象, 西南坡有大量沙物质沉积且有沙粒滑落到坡脚, 坑底出露地下水, 不可再侵蚀。利用传统方法系统采集了风蚀坑不同部位表层 3 cm 土样(风蚀坑入风口坡上、坡中和坡脚, 积沙坡脚、坡中和坡顶, 直至坑后积沙下风侧边缘, 以

及坑前部、中部和后部的两侧坡面), 根据粒度变化规律分析风力侵蚀堆积格局, 探讨风蚀坑发育过程。

采集的土样首先经过室内风干处理, 取样品 $1\sim 2\text{ g}$, 加 10% 的双氧水 $5\sim 10\text{ ml}$ 于加热板加热, 再加 $5\sim 10\text{ ml}$ 的盐酸消煮, 取下后加水洗酸至中性。用 MALVERN 公司 2000MU 型激光粒度仪测定粒径。

粒度参数是描述粒度分析特征的数值, 包括平均值(M_z)、标准差(S_D)、偏度(S_K)和尖度(K)等, 统计计算的数学表达式为:

$$M_z = \frac{\sum_{i=1}^n x_i f_i}{100} \tag{1}$$

$$S_D = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - M_z)^2 f_i}{100}} \tag{2}$$

$$S_K = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - M_z)^3 f_i}{100} \right] / \left\{ \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - M_z)^2 f_i}{100}} \right\}^3 \tag{3}$$

$$K = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - M_z)^4 f_i}{100} \right] / \left\{ \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - M_z)^2 f_i}{100}} \right\}^4 \tag{4}$$

式中: x_i ——粒级组中值(ϕ); f_i ——频率百分数; 在 Excel 中, 调用“SUMPRODUCT”函数计算结果。

2 结果分析

槽形坑中部横断面各部位的粒径频率曲线与纵断面相比, 差异更加明显。坑底粒径最细, 双峰型式, 众数粒径出现在 0.01 mm 附近, 体积百分比为 4% 左右。其它部位的粒径频率曲线型式基本一致, 均为单峰态趋势, 众数粒径在 $0.28\sim 0.35\text{ mm}$ 附近, 体积百分数从大到小依次为入风口, 顶后 60 m , 顶后 40 m , 坑后缘, 积沙坡顶和顶后 20 m 。除坑底淤泥质外, 入风口处众数粒径偏左, 坑后缘偏右, 积沙坡顶, 顶后 20 m , 顶后 40 m , 顶后 60 m 的频率曲线依次向左偏移, 粒径逐渐变细(图 1)。

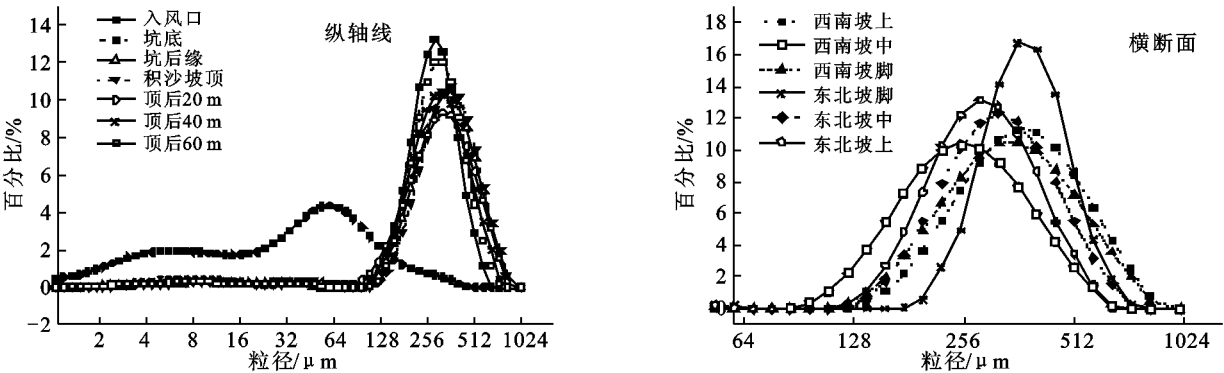


图 1 槽形坑纵轴线和中部横断面粒径频率曲线

槽形坑由于规模较大,粒度组成在各部位存在明显差异,但除了坑底主要为黏土质外(达 91.05%,平均粒径为 5.24ϕ),其余各点均主要以中沙为主。在纵轴线上(图 2),入风口坡上由极细沙逐渐变为中沙,而分选则由坡上至坡脚逐渐变好,偏度中部最高,坡脚次之,上部最小,尖度中部最大,坡上部次之,坡脚最差;坑底主要为不可侵蚀的极细沙质,偏度和尖度最小,但分选并不好。

在坑后缘底部至积沙坡顶部,细沙有减少趋势,粗沙含量不断增加,平均粒径 1.78ϕ ,介于 $1.67 \sim 1.99\phi$ 之间,分选逐渐变差;坑后积沙坡顶后,随着下风向,细沙含量有所增加,粗沙含量下降,平均粒径 1.82ϕ ,介于 $1.69 \sim 1.93\phi$ 之间,分选性变化不明显,和河床沙相比,粒径变细,分选性变好。

从图 3 可以看出,在坑后部的横断面上,粒径从中部向两侧逐渐变细,分选变好,平均粒径为 1.87ϕ ,

介于 $1.61 \sim 2.06\phi$ 之间,偏度和尖度变化趋势一致,都是从中部向两侧增大。

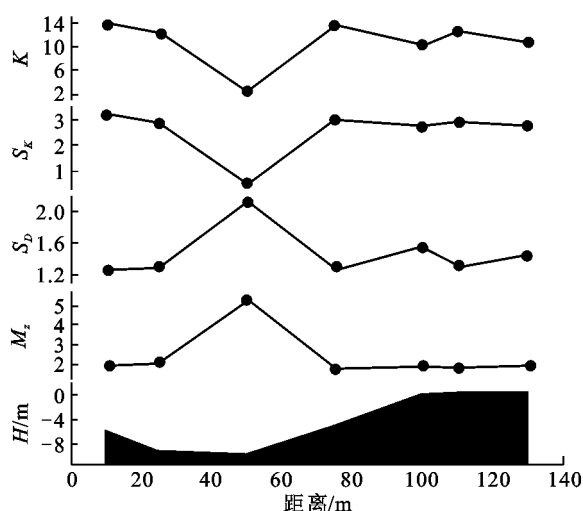


图 2 槽形坑纵轴线粒径参数

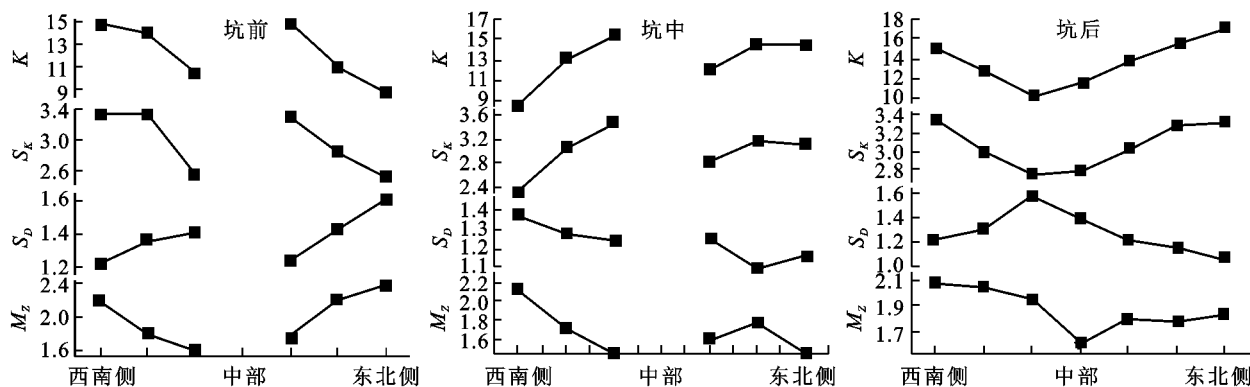


图 3 槽形坑前、中、后部横断面粒径参数

在坑中部横断面,西南侧坡自坡上向下粒度逐渐变粗,且分选变好,平均粒径为 1.85ϕ ,介于 $1.54 \sim 2.21\phi$,偏度和尖度则趋于变大。东北侧坡上部粒径最大,坡脚次之,中部最细,平均粒径 1.69ϕ ,介于 $1.53 \sim 1.86\phi$ 。偏度和尖度变化趋势一致,坡中最大,坡上次之,坡脚最小。中部横断面各部位的差异较明显,但粒径频率曲线型式基本一致,即均为单峰态趋势,众数粒径在 $0.25 \sim 0.4 \text{ mm}$ 之间,体积百分比从大到小依次为西南坡坡脚、东北坡坡中、西南坡坡中、东北坡坡上、东北坡坡脚和西南坡坡上。整体来看,平均粒径为 1.77ϕ 。

从图 3 可以看出,在坑前部的横断面上,在西南侧坡上,自坡上向下,粒度逐渐变粗,且分选变差,平均粒径为 1.87ϕ ,介于 $1.61 \sim 2.20\phi$ 之间,偏度和尖度趋势一致,自坡上向下变小。在东北侧坡上,自坡上向下,粒度也是逐渐变粗,但分选是逐渐变好的,平均粒径为 1.32ϕ ,介于 $1.21 \sim 1.40\phi$ 之间,偏度和尖度趋势一致,自坡上向下变大。

3 结论

呼伦贝尔沙质草原发育在晚更新世质地均一的灰白色海拉尔组细砂层之上,地表往往有水平或近乎水平展布的黑色或棕色土壤层覆盖,风蚀坑发育的地方土壤层被破坏,坑后积沙区土壤层被覆盖,有的甚至又发育了土壤层,若干层相互间隔。草原上风力作用的主要对象就是下覆的海拉尔组沙。呼伦贝尔沙质草地出露的土壤层和风成沙,在风力作用下重新分选、搬运和沉积。风蚀坑沙物质主要由中沙组成,其次是细沙,粗沙和粉沙含量很少,且不含砾石,平均粒径与分选参数之间存在良好的相关性。由于沙源沉积物的均一性,不同部位频率曲线型式基本一致,随着蚀积程度的不同,众数粒径发生偏移。在风蚀坑系统中,和沙源相比,细沙含量和粗沙含量可以作为蚀积程度的衡量指标。总体上,分选性有随粒径增大而变好的趋势,但并不具有普适性。

槽形坑规模较大, 地表异质性已经明显增强, 坑底侵蚀到了地下水位处不可侵蚀的黏土质, 坑缘为出露的灰白色海拉尔组沙, 有的部位发生了重力崩塌和风力重新作用, 坑后是由风力作用从坑内搬运出来的沙物质, 逐渐有了抛物线形沙丘的雏形。在入风口, 由于风速突然降低, 有一些细物质沉积了下来, 然后逐渐过渡到平均水平; 到了坑后缘, 风速降低, 侵蚀作用由下向上增强, 细沙含量随之不断减少, 相反, 在积沙坡背风坡, 细沙含量随着风向向下不断增多, 不过分选开始变差; 在坑后部的横断面上, 中部风速较高, 侵蚀强烈, 导致粒径变粗, 分选较差, 向两侧粒径逐渐变细, 分选变好; 在中部断面, 西南侧上部以沉积为主, 粒径偏细。下部以侵蚀为主, 粒径较粗, 东北侧整体上由于侵蚀作用强烈而粒径偏粗, 尤其是上部。由于东北侧中部是出露的海拉尔组沙, 由此可以比较, 经风力作用后, 不管是沉积还是侵蚀为主, 分选程度都要下降。在坑前部, 由于风速降低, 两侧坡都以沉积为主, 粒径由上到下变粗。从标准差趋势可以分析, 应该是西南侧坡下部风力作用较强, 而东北侧坡是上部较强, 支持了斜向气流从东北侧坡进入, 在坑前部形成螺旋流的观点。

总体上看, 对比活化沙斑和碟形风蚀坑内粒度特征发现, 随着风蚀坑的发育, 风力作用的不断增强, 槽形坑内粒径有不断粗化的趋势, 分选也逐渐变差。粒度变化不仅是风力主动筛选、搬运和沉积的结果, 也是被动残留的表现, 根据粒径情况, 结合气流观测, 可以更加具体地分析风蚀坑过程。系统比较各阶段风蚀坑粒径特征将会有助于理解沙质草原风蚀坑的发育过程。

[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] Lancaster N. Geomorphology of Desert Dunes [M]. London: Routledge. 1995.
- [4] Livingstone I, Warren A. Aeolian Geomorphology [M]. London: Longman. 1997.
- [5] Thomas D S G, Melanie K, Wiggs G F S. Remobilization of southern African desert dune systems by twenty first century global warming [J]. Nature. 2005, 435: 1218—1222.
- [6] Hesp P A. Foredunes and blow outs: initiation, geomorphology and dynamics [J]. Geomorphology, 2002, 48: 245—268.
- [7] Wang Xunming, Dong Zhibao, Qu Jianjun. Dynamic processes of a simple linear dune: A study in the Taklimakan Sand Sea, China [J]. Geomorphology, 2003, 52: 233—241.
- [8] Hesp P A. Flow dynamics in a trough blow out [J]. Journal of Boundary-Layer Meteorology, 1996, 77: 305—330.
- [9] Wasson R J, Nanninga P M. Estimating wind transport of sand on vegetated surfaces [J]. Earth Surface Processes and Landforms, 1986, 11: 505—514.
- [10] Lancaster N. Dynamics of deflation hollows in the Elands Bay area, Cape Province, South Africa [J]. Catena, 1986, 13: 139—153.
- [11] 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.
- [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] 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.
- [14] 哈斯, 董光荣, 王贵勇. 腾格里沙漠东南缘沙丘表面气流与坡面形态的关系[J]. 中国沙漠, 1999, 19(1): 1—5.
- [15] 王帅, 哈斯, 张军, 等. 呼伦贝尔沙质草原碟形风蚀坑表面气流及其意义[J]. 中国沙漠, 2007, 27(5): 745—749.
- [16] 王帅, 哈斯. 呼伦贝尔沙质草原区域风况与风蚀坑形态特征[J]. 水土保持研究, 2008, 15(3): 74—79.