

# 腾格里沙漠沙尘暴天气动力要素特征研究

吕萍, 董治宝, 张正偲, 赵爱国

(中国科学院 沙漠与沙漠化重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:** 利用中国科学院风沙科学观测场的近地层观测资料, 分析了腾格里沙漠地区沙尘暴天气过程地面摩擦速度、空气动力学粗糙度以及床面剪切力的变化特征。结果表明, 在沙尘暴过境时, 地面摩擦速度、空气动力学粗糙度以及床面剪切力并不是保持一成不变, 而是随时间不断发生变化, 各高度层风速之间相关系数大于0.9, 具有很显著的相关性。

**关键词:** 腾格里沙漠; 摩擦速度; 粗糙度

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)03-0104-03

中图分类号: P445+.4

## Variations of Dynamical Elements During a Sand-storm Passing the Tengger Desert Region

LU Ping, DONG Zhi-bao, ZHANG Zheng-cai, ZHAO Ai-guo

(Key Laboratory of Desert and Desertification, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu 730000, China)

**Abstract:** Based on the data collected at the Sand Drift Observation Station of Chinese Academy of Sciences, the characteristics of friction velocity, aerodynamic roughness length, and shear stress during a sand-storm passing the Tengger Desert region were analyzed. Results show that the elements vary with time during the passage of the sand storm. The variation of wind speed is highly correlated with the height and the coefficient correlations are all bigger than 0.9.

**Keywords:** Tengger Desert region; friction velocity; roughness length

风是塑造地表景观的主要外营力之一, 也是沙粒发生运动的动力因素<sup>[1]</sup>。因受地表摩擦力及热力作用的影响, 湍流运动是近地层大气的固有属性。湍流是流体在特定条件下所表现出的一种特殊、随机的但具有一定规律的运动现象, 大气作湍流运动时, 各点的速度大小和方向都是随时间脉动的, 表现出一定的阵性, 它在大气边界层内扮演着极其重要的角色。地表与大气之间的物质与能量的交换、传输就主要是通过湍流输送来实现的。湍流输送越强, 大气与地表之间的物质与能量的交换、传输活动就越强, 反之, 二者之间的相互作用就越弱。近地层搬运沙粒的风, 几乎全部是湍流的, 湍流动量下传是地表起沙扬尘的有效机理<sup>[2-4]</sup>。

在风沙两相流的运动中, 风速改变最显著的作用就是影响床面沙粒所受到的剪切力<sup>[5]</sup>。而剪切力与输沙率密切相关, 特别是反映床面处剪切力大小的摩擦速度直接出现在诸多输沙率公式中。根据风与沙之间的相互作用, 地表沙粒在受到风剪切力作用而起

跳的同时, 会对风产生一定的阻滞作用, 即沙粒运动对风也会产生一定的影响<sup>[6-16]</sup>。

以往对于沙尘暴发生过程中近地层微气象要素特征的研究主要集中于利用国家标准气象台站的测风数据。我们知道, 国家标准气象台站多建在远离沙漠源区的地区, 限制了人们关于沙尘源区沙尘暴发生时近地层微气象要素特征的研究。另一方面, 以往关于沙尘暴过程中地面摩擦速度、空气动力学粗糙度以及床面剪切力的变化特征研究的报道也不多见。

有鉴于此, 本文拟利用中国科学院风沙科学观测场风沙观测塔观测系统的沙尘暴观测资料, 对腾格里沙漠地区沙尘暴天气过程地面摩擦速度、空气动力学粗糙度以及床面剪切力的变化特征进行详细分析, 为深入理解风沙互馈作用机制及防沙工程的合理设计提供更为可靠的理论依据。

### 1 实验场地及计算方法

腾格里沙漠位于阿拉善高原东南部(37°32′—

收稿日期: 2009-01-08

修回日期: 2010-03-22

资助项目: 中国科学院“西部之光”人才培养计划“西部博士资助项目”草方格作用机理的实验与数值模拟(290828911); 国家自然科学基金面上项目(40871003)

作者简介: 吕萍(1972—), 女(汉族), 甘肃省宁县人, 博士, 副研究员, 主要从事风沙物理研究。E-mail: lyping@lzb.ac.cn。

40°00' N, 102°15' —105°41' E), 东界贺兰山, 东南角分别到黄河边, 西北以雅布赖山与巴丹吉林沙漠相隔, 南侧为祁连山脉。沙漠面积为  $4.27 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 约占全国沙漠总面积的 6.2%, 是我国第 4 大沙漠。

中国科学院风沙科学观测场位于腾格里沙漠东南缘中卫市的西北角。观测场内是经过平整的水平观测场, 分为风沙运动、沙尘暴、风沙地貌动力 3 个观测区和防沙工程、风沙危害 2 个实验区。场内有一个 48 m 高的风沙综合观测塔, 观测项目主要包括: 2 层风向, 9 层风速, 6 层温、湿度。风速传感器依次安装在铁塔的 48, 32, 24, 16, 12, 8, 4, 2, 1 m 高的位置, 风向传感器安装在 16 m 和 12 m 的高度处。实验观测为 24 h 连续、自动观测, 自动记录, 在对观测数据进行分析时进行 30 min 滑动平均处理。

本文拟利用风沙科学观测场的观测资料对 2005 年 4 月 8 日腾格里沙漠地区一次沙尘暴过程过境时地面摩擦速度、空气动力学粗糙度以及床面剪切力特征进行分析。计算方法如下:

根据近地面层 Monin—Obukhov 相似性理论, 有以下关系式:

$$u^* = ku_i \left[ \ln \frac{z_i}{z_0} - \phi_m \left( \frac{z_i}{L} \right) \right]$$

式中:  $u^*$  ——摩擦速度;  $u_i$  —— $Z_i$  高度平均风速;  $Z_0$  ——空气动力学粗糙度;  $L$  ——Obukhov 长度;  $k = 0.4$  为 Von—Karman 常数;  $\phi_m \left( \frac{z_i}{L} \right)$  ——风速的稳定度修正函数。

$$\phi_m = \begin{cases} 2\ln\left(\frac{1+x}{2}\right) + \ln\left(\frac{1+x^2}{2}\right) - 2\text{arctg}x + \frac{\pi}{2} & (z/L < 0) \\ -5x/L & (z/L \geq 0) \end{cases}$$

其中:

$$x = \left(1 - 16 \frac{z}{L}\right)^{1/4}$$

## 2 结果与分析

图 1 给出了风沙观测塔记录的 2005 年 4 月 8 日一次沙尘暴过程 8 个高度的水平风场随时间演变情况。从图 1 中可以发现, 不同高度层之间的风速变化不但具有很好的相关性, 而且相关性非常显著。其中表 1 为不同高度层风速之间的相关系数, 可以看到, 其相关系数值都大于 0.9, 说明不同高度层之间风速的变化具有很好的同步性。

地表土壤风蚀起沙过程实质上是运动的空气流与地表微粒在界面上相互作用的动力过程。对于单

个土壤微粒, 其能否脱离地表决定于所受空气动力和阻力的合力。在风沙物理学中, 摩擦速度被用来反映微粒所受到的空气动力作用的大小, 图 2 为沙尘暴过程地面摩擦速度随时间演变情况, 直线为平均值。可以看到, 摩擦速度并不是保持一成不变, 而是围绕着平均值处在不断变化之中, 这是由于地表沙粒在吸收风的能量而起跳的同时, 会对风产生一定的阻滞作用, 即沙粒运动对风也会产生一定的影响, 结果导致风动力不断发生变化。

图 3 同时给出了作用在沙粒上的剪切力变化示意图。当气流中存在运动颗粒时, 大量的颗粒被起动、加速, 从而对气流产生相应的作用力, 使剪切力发生变化。

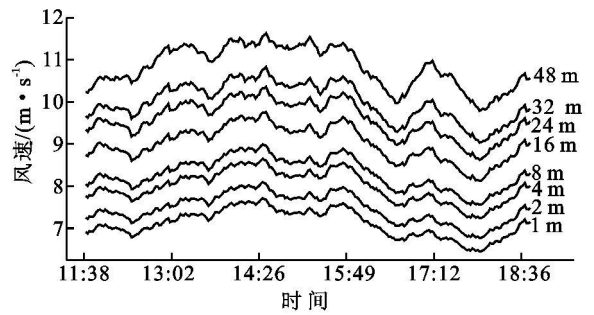


图 1 不同高度水平风场的时间演变

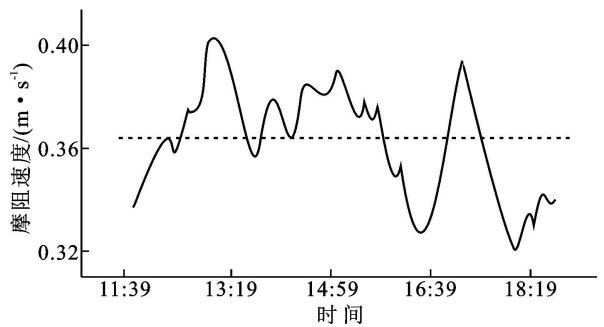


图 2 地表摩擦速度随时间变化

表 1 不同高度风速相关性分析

| 高度/m | 48    | 32    | 24    | 16    | 8     | 4     | 2   | 1   |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|
| 48   | 1.0   |       |       |       |       |       |     |     |
| 32   | 0.987 | 1.0   |       |       |       |       |     |     |
| 24   | 0.961 | 0.990 | 1.0   |       |       |       |     |     |
| 16   | 0.936 | 0.975 | 0.993 | 1.0   |       |       |     |     |
| 8    | 0.920 | 0.962 | 0.985 | 0.996 | 1.0   |       |     |     |
| 4    | 0.918 | 0.961 | 0.985 | 0.996 | 0.999 | 1.0   |     |     |
| 2    | 0.923 | 0.964 | 0.986 | 0.996 | 0.999 | 1.0   | 1.0 |     |
| 1    | 0.921 | 0.962 | 0.984 | 0.996 | 0.998 | 0.999 | 1.0 | 1.0 |

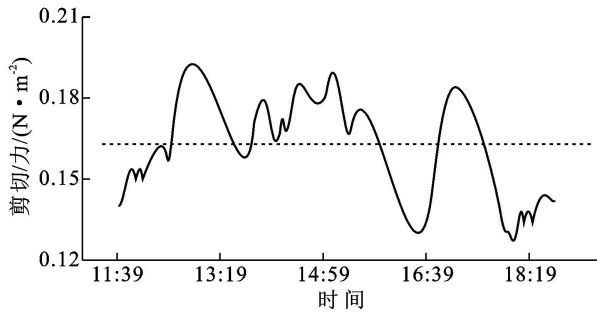


图 3 地表剪切力随时间变化

从空气动力学角度来讲,空气动力学粗糙度是气/固界面上“无滑移”层的厚度,即流体质点的速度与未受扰动的流体速度几乎相同的高度。任何影响“无滑移”区与外部区域之间能量交换的因素都会影响到空气动力学粗糙度的厚度,即空气动力学粗糙度不但取决于地表的粗糙性质,而且决定于流经地表的流体的性质,其大小从一定程度上反映了近地表气流与下垫面之间的物质与能量的交换、传输强度以及它们之间相互作用的特征。图 4 给出了空气动力学粗糙度随时间演变情况,受运动沙粒的影响,空气动力学粗糙度在平均值上下发生不断变化,而且粗糙度与风剪切力两次峰值的出现时间几乎同步,即 12:59 分和 17:11 分,说明局地起沙是沙尘的重要贡献之一,即腾格里沙漠是重要的沙尘源区之一。

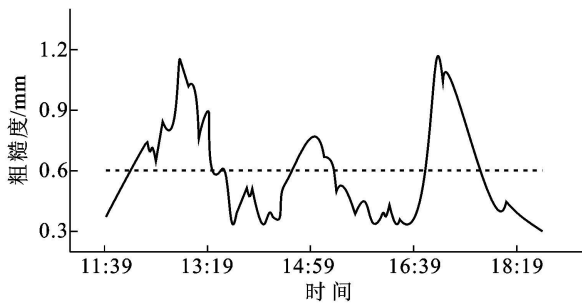


图 4 空气动力学粗糙度变化

### 3 结论

利用风沙科学观测场的观测资料对 2005 年 4 月 8 日腾格里沙漠地区一次沙尘暴过程过境时地面摩擦速度、空气动力学粗糙度以及床面剪切力的变化特征进行了分析,结果发现:在沙尘暴过境时,地面摩擦

速度、空气动力学粗糙度以及床面剪切力并不是保持一成不变,而是在平均值上下随时间不断发生变化,而且粗糙度与风剪切力两次峰值的出现时间几乎同步;各高度层风速之间相关系数都大于 0.9,具有很显著的相关性。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 邱新法,曾燕,缪启龙.我国沙尘暴的时空分布规律及其源地和移动路径[J].地理学报,2001,56(3):317-319.
- [ 2 ] 曾庆存,董超华,彭公炳,等.千里黄云——东亚典型沙尘暴[M].北京:科学出版社,2006:46.
- [ 3 ] 曾庆存,程雪玲,胡非.大气边界层非常定下沉急流和阵风的起沙机理[J].气候与环境研究,2007,12(3):244-250.
- [ 4 ] 曾庆存,胡非,程雪玲.大气边界层阵风扬沙机理[J].气候与环境研究,2007,12(3):251-255.
- [ 5 ] Chepil W S, Siddoway F H. Strain-gauge anemometer for analyzing various characteristics of wind turbulence [J]. J Meteorol, 1959, 16: 411-418.
- [ 6 ] 李振山,倪晋仁.风沙流中风速脉动的实验测量[J].应用基础与工程科学学报,2003,11(4):352-360.
- [ 7 ] Shao Y, Li A. Numerical modeling of saltation in atmospheric surface layer[J]. Boundary-Layer Meteorol., 1999, 91: 199-225.
- [ 8 ] 武建军,何丽红,郑晓静.跃移层中沙粒浓度分布特征的研究[J].兰州大学学报,2002,38(3):15-21.
- [ 9 ] 何丽红,武建军,郑晓静.影响拜格诺结的若干因素分析[J].中国沙漠,2003,23(4):347-354.
- [ 10 ] 何丽红,郑晓静.风—沙—电多场耦合模型及其对风沙流结构的影响[J].兰州大学学报:自然科学版,2005,41(3):87-92.
- [ 11 ] 刑茂,郭烈锦.风沙稳定输运中起跳沙粒运动状态分布函数[J].工程热物理学报,2004,25(3):448-450.
- [ 12 ] 张克存,屈建军,昝瑞平,等.典型下垫面风沙流中风速脉动特征研究[J].中国科学,2006,36(12):1163-1169.
- [ 13 ] 张克存,屈建军,董治宝,等.风沙流中风速脉动对输沙量的影响[J].中国沙漠,2006,26(3):336-340.
- [ 14 ] 张克存,屈建军,董治宝,等.格状沙障内风速波动特征初步研究[J].干旱区研究,2006,23(1):93-97.
- [ 15 ] 张克存,屈建军,昝瑞平.下垫面条件对风沙活动层气流紊动性影响的风洞模拟[J].水土保持通报,2004,24(3):1-4.
- [ 16 ] 包慧娟,李振山.风沙流中风速纵向脉动的实验研究[J].中国沙漠,2004,24(2):244-247.