

# 摩阻风速与平均风速的转化关系研究

程 宏, 邹学勇, 张春来

(北京师范大学中国沙漠研究中心, 环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875)

**摘 要:** 针对多数研究都是以摩阻风速表征地表输沙量, 而气象站风速观测通常是 10 m 或 12 m 高度的平均风速, 因此在利用气象站风速观测资料来评估大范围或者某一特定区域较长时间的地表输沙量时, 首先需要解决摩阻风速与平均风速的转化关系。然而, 很少见到相关研究报道。借助风洞实验和 2003 年春天在北京郊区获得的 9 种不同下垫面的野外风沙观测数据, 对摩阻风速与平均风速的转化关系进行了探讨, 认为它们满足线性关系。

**关键词:** 摩阻风速; 风速廓线; 风蚀

中图分类号: S157

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)02-0133-02

## A Study on the Relationship Between Friction Wind Velocity and Mean Wind Velocity

CHENG Hong, ZOU Xue-yong, ZHANG Chun-lai

(China Center of Desert Research, Key Laboratory of Environmental

Change and Natural Disaster, the Ministry of Education of China, Beijing Normal University, Beijing 100875)

**Abstract:** Most researches express the flux of sand transporting quantity with a power function of friction wind velocities and the wind velocities observation in weather station is the mean velocities in 10 m or 12 m height, so the first key question is how to establish the relationship between friction wind velocities and the mean wind velocities at some height when we would assess the sand transporting quantity for large area or for a specific region for long time by making use of the observation data of wind velocities with long time in weather station. Little research on the question has been published. The data from wind tunnel experiment and filed wind sand observation from 9 different earth surfaces in Beijing outskirts in 2003 are used to discuss the transferred relationship between friction wind velocities and the mean wind velocities at some height. The result shows that they satisfy a linear relationship.

**Key words:** friction wind velocity; wind velocity profile; wind erosion

## 1 引 言

风作为地表沙粒运动的主要动力, 是土壤风蚀的决定性因素; 输沙量(率)垂向分布规律是刻画土壤风蚀程度的基本物理量之一, 不仅是检验风沙物理理论预测模型是否合理的重要参数, 而且也是制定防沙治沙措施的主要科学依据。国内外许多学者通过野外风沙观测、风洞试验以及数值模拟对这两个风沙物理学参数进行了大量研究<sup>[1-10]</sup>。另一方面, 风场与运动沙粒的相互作用将导致风沙流建立一种负反馈机制, 即一定风力条件下风对沙粒的搬运能力是有限的, 科学家对气流和沙粒间相互作用的机理进行了研究, 提出了数十个理论和经验公式用来计算输沙率<sup>[11]</sup>, 其中绝大多数研究以摩阻速度的幂函数来表征输沙率。然而, 如果要评估较大范围或者某一特定区域较长时间的地表输沙量时, 往往需要借助气象站的风速观测数据, 然而气象站风速观测通常是某一特定高度(10 m 或 12 m)的平均风速。因此如何利用这些风速资料来表征过去或者较大范围的风沙活动状况是风沙学界关注的问题, 换一句话, 就是如何建立摩阻风速与平

均风速的转化关系。根据风洞实验数据与 2003 年 4 月对北京郊区的大量野外风沙观测结果, 本文探讨了摩阻风速与平均风速的转化关系, 以期能够有效地将气象站长期观测数据用于风沙运动研究中。

## 2 研究方法

野外风沙观测仪器采用北京师范大学与北京市气象局联合研制的野外用梯度风速仪, 该风速仪能自动采集并保存观测数据, 可测不同高度上的 9 个风速及 0~360° 风向, 风速的测量范围为 0.3~30 m/s, 分辨率为 0.1 m/s; 风向的分辨率为 3°。2003 年 4 月在北京北郊的延庆、密云、怀柔、顺义、平谷进行野外风沙观测, 主要观测地类有种植用地(包括翻耕地、留茬地、麦地)、林地(包括果树林、乔木林、幼林地)、草业用地(苜蓿地、草地)和杂草地, 共计 9 种不同下垫面的野外风沙观测。其中每种地类的观测数: 留茬农地 5 处, 翻耕地 4 处, 麦地 2 处, 果树林 2 处, 乔木林 3 处, 幼林地 1 处, 苜蓿地 3 处, 草地 2 处, 杂草地 1 处, 典型样点的位置与地表状况见表 1; 每种下垫面的野外风沙观测都测量了 8 个不

\* 收稿日期: 2006-09-05

基金项目: 国家科技攻关项目(2005BA517A06); 国家自然科学基金重点项目(10532030); 北京市科技新星计划(2006A31)资助

作者简介: 程 宏(1975-), 男, 博士, 专业为自然地理。

同高度的风速:5 cm, 15 cm, 30 cm, 60 cm, 120 cm, 180 cm, 240 cm, 300 cm, 测量时间均超过 2 h。

风洞实验在中国科学院寒区旱区环境与工程研究所室内风洞中进行。为了使边界层充分发育,实验时在实验段下风向铺设 6 m 长、3~ 5 cm 厚度的沙层,沙样是经过筛分后的天然沙,沙粒粒径均在 0.2~ 0.3 mm 之间,沙粒的质量密度为 2 650 kg/ m<sup>3</sup>。实验安排在夜间进行,实验温度 22 ℃。对于风速测量,在风洞的垂向中线上所铺设沙面的终点处固定风速廓线仪,用多支防沙皮托管同时观测,主要测量 2, 5, 10, 15, 20 cm 五个高度处风速平均值。每个皮托管在使用前都进行了标定,它们通过微压差传感器实现风速实时采集。

表 1 典型养地的地表特征

地类	位置	地表状况
翻耕地	延庆康庄	周围空旷,土地平整过后
留茬地	延庆大营村	地形空旷,玉米留茬,株行距 20 cm× 60 cm,茬均高 15 cm
苜蓿地	顺义赵全营镇	盖度大于 97%,苜蓿平均高度 30 cm
果树林	延庆康庄镇西红寺村	树均高 3 m,株行距 3 m× 5 m,盖度 30%
乔木林	密云立新庄村	树种有杨树、桃树、柏树、松树、果树以及两种灌木,该样地的盖度估计在 90%
麦地	平谷东双营村	盖度约 95%,均高 25 cm,宽行距 20 cm,窄行距 10 cm
人工草地	顺义东江头村	草高约 5~ 6 cm,盖度近 100%
幼林地	怀柔杨宋凤翔开发区西	葡萄行距 250 cm,株距 100 cm 左右,株高 1.5 m 左右
杂草地	怀柔杨宋凤翔开发区	枯枝落叶覆盖度约 90%,平均高度 67 cm

### 3 结果与讨论

#### 3.1 风速廓线

在近地层中,风受到地面摩擦阻力的影响,一般而言,摩擦阻力随高度增加而减小,因此风速随高度而增加。通常地,风速随高度的分布(即风速廓线)满足对数规律,在半对数纸上表现为一条直线。本文用最小二乘法对野外观测与风洞实验获得的不同高度的风速进行拟合,结果表明风速廓线的最佳拟合曲线为对数函数,具体的表达式为:

$$u=a+b\ln(z) \tag{1}$$

式中: $a$ 、 $b$ ——拟合系数,拟合系数如表 2 所示,相关系数  $R^2>0.93$ ,这说明本文的野外风沙观测和风洞实验的风速廓线遵循对数分布规律,与前人的研究结果基本一致<sup>[12-13]</sup>。

#### 3.2 摩阻风速与风速的转化关系

由于摩阻风速( $U_*$ )可以通过测定任意两个高度上的风速获得<sup>[12]</sup>,即:

$$U_*= \frac{U_2-U_1}{5.75(\lg h_2-\lg h_1)} \tag{2}$$

根据野外风沙观测和风洞实验获得不同高度的风速,利用计算相隔一个高度的两个不同高度的风速,按照(2)式获得这两个高度决定的摩阻风速,从而得到某一特定下垫面或轴线风速情况下的多个摩阻风速,对这些摩阻风速进行平均,即得到该下垫面或轴线风速情况下的摩阻风速  $U_*$ 。

对于风洞实验,本文考察摩阻风速和 20 cm 高度的平均风速的关系;对于考察野外风沙观测,本文考察同一下垫面不同风速情况下的摩阻风速与 300 cm 高度的平均风速的关系。利用 TableCurve 软件对风洞实验与野外风沙观测的摩阻风速与特定高度的平均风速进行拟合,结果表明最好的拟

参考文献:

[ 1 ] Bagnold, R A. 风沙与荒漠沙丘物理学[ M ]. 钱宁,林秉南译. 北京:科学出版社,1959.  
[ 2 ] Owen P R. Saltation of uniform grains in air[ J ]. J. Fluid Mech.,1964,20(2): 225– 242.  
[ 3 ] Chepil W S. Dynamics of wind erosion ( Part I to ) [ J ]. Soil Sci.,1945,60: 305– 320, 397– 401, 475– 480.

合关系为线性关系:  $U_z=a+ bU_*$ , 其中  $U_z$  为  $z$  高度的平均风速,  $U_*$  为摩阻风速,  $a$ 、 $b$  为拟合系数。拟合结果如表 3 所示。由表 3 可知,相关系数( $R^2$ )都大于 0.93,这说明拟合结果是可行的。由于现阶段有关输沙率的模型基本都是以摩阻速度的幂函数来表征的,因此基于  $U_z-U_*$  关系,可以有效地利用气象站风速观测资料,用以评估较大范围或者某一特定区域较长时间的地表输沙量,提高现阶段相关研究结果的精度。尤其是通过野外调查、遥感影像或航片获得大范围下垫面的情况,那么基于这一关系,就可以动态地获得大范围地表起沙起尘。因此  $U_z-U_*$  具有重要的现实意义。

表 2 风速廓线拟合系数

类型		拟合公式 $u= a\ln(z) + b$			
		$a$	$b$	$R^2$	
风洞实验	轴线风速 20 cm 风速	19.2	2.0217	13.812	0.97
		18.2	2.0006	12.495	0.99
		17.5	1.90611	12.17	0.98
		16.5	1.8011	11.446	0.98
		15.2	1.5758	10.311	0.97
		14.7	1.5979	10.801	0.95
野外风沙观测	翻耕地	1.3562	1.8322	0.98	
	留茬地	1.0663	2.0137	0.99	
	苜蓿地	1.7318	- 2.162	0.96	
	果树林	0.6845	1.2239	0.93	
	乔木林	0.8441	1.2497	0.99	
	麦地	1.0082	0.1828	0.98	
	人工草地	1.1057	0.0818	0.97	
	幼林地	0.7821	2.058	0.97	
	杂草地	0.9386	0.2639	1.00	

表 3 不同土地类型条件下摩阻风速与平均风速的拟合参数

类型		$a$	$b$	$R^2$
野外风沙观测	翻耕地	- 0.0491	0.0672	0.97
	留茬地	- 0.0235	0.068	0.98
	苜蓿地	0.0085	0.1031	0.97
	果树林	- 0.0013	0.0622	0.98
	乔木林	- 0.0291	0.0592	0.93
	麦地	- 0.025	0.0847	0.99
	人工草地	- 0.0245	0.0807	0.99
	幼林地	- 0.0239	0.0565	0.93
	杂草地	- 0.0276	0.0751	0.99
风洞实验	平坦流沙地表	0.0224	0.0443	0.96

### 4 结 论

由于运动沙粒与风场的相互耦合作用(也称自平衡机制),因此在一定的风力条件下,风中携带的沙粒数(即输沙率)将维持在某一个特定值。现阶段都是用摩阻速度来表征输沙率。而具有相当长观测时间的气象站风速观测资料通常是 10 m 或 12 m 的平均风速,因此评估大范围或者某一特定区域较长时间的地表输沙量时,首先要解决摩阻风速与平均风速的转化关系问题。本文借助风洞实验和 2003 年春天在北京郊区获得的 9 种不同下垫面的野外风沙观测数据,探讨了摩阻风速与平均风速的转化关系,认为它们满足线性关系。

经过精心设计,河岸堤设计为如图(见图 4):

岸堤的左断面分为两个阶梯和一个倾斜面,河流与台阶相衔接处,种植挺水植物(如香蒲、茭白等),这些植物能够吸收河水中的营养物质,防止水体富营养化,同时能够为水生生物营造必要的栖息地和产卵地。第一个台阶上部种植具抗冲刷能力比较强的草类(如美人蕉),截流吸收随雨水流入河道内的营养物质。第二台阶上铺筑绿色多孔性高渗透生态混凝土砖,地表径流能够迅速渗入地下,减轻了河道中营养物质过多的负担。岸堤的倾斜面和垂直面,采用三峡大学绿野环保工程有限责任公司开发的植被混凝土(水泥、腐殖质、外加剂、混合植绿种子和水)对倾斜面土体喷射加固绿化,同时起到吸收径流中营养物质和美化景观的功效。岸堤的右断面毗邻城市主要路面,上为高层建筑,仅种植耐冲刷草本植物。

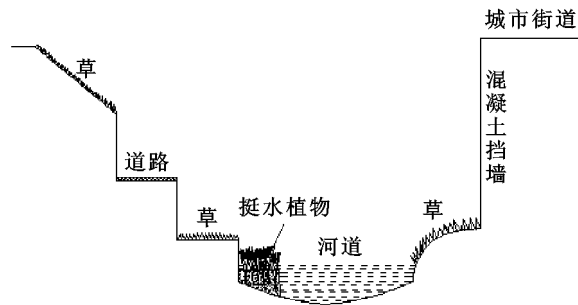


图 4 镇江古运河生态岸堤断面

参考文献:

[1] 高甲荣,肖斌,牛健植. 河溪近自然治理的基本模式与应用界限[J]. 水土保持学报, 2002, 16(6): 84- 88.

[2] 朱国平,徐伟,等. 山东省招远市城东河河道近自然治理设计初探[J]. 水土保持研究, 2004, 11(3): 160- 162.

[3] 朱三华,黎开志,刘飞. 浅析生态堤防设计[J]. 人民珠江, 2005, 增刊(2): 17- 18.

[4] The Federal Interagency Stream Restoration Working Group. Stream Corridor Restoration: Principles, Processes and Practices [M]. USDA, 1999.

[5] Craig J, Hollis A. Stream Management 2 Concepts and Methods in Stream Protection and Restoration[ R]. Environmental Laboratory, US Army Waterways Experiment Station, 1999.

[6] 吴名胜. 溪流整治生态工法案例说明- 内湖大沟溪上游整治工程[Z]. 2003.

[7] 董哲仁. 保护和恢复河流形态多样性[J]. 中国水利, 2003, (6. A 刊): 53- 56.

[8] 董哲仁. 河流形态多样性与生物群落多样性[J]. 水利学报, 2003, (11): 1- 6.

[9] 日本财团法人河口整治中心. 河流与自然环境[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2004.

[10] Almo farina. Principles and methods in landscape ecology[ M]. Chapman & Hall Ltd., 1998. 113- 117.

[11] 周应海. 试谈南淝河综合治理中的生态设计[J]. 当代建设, 2001, (4): 35.

[12] 夏振尧,许文年,等. 城市内河滨水堤岸生态修复技术探讨[J]. 中国水土保持, 2005, (10): 30- 38.

[13] 陈梅. 建设生态河流设计探讨[J]. 人民珠江, 2005, (3): 26 - 28.

(上接第 134 页)

[4] Williams. G. Some aspects of the Aeolian saltation load[ J]. Sedimentology, 1964, 3: 257- 287.

[5] 吴正. 风沙地貌学[ M]. 北京: 科学出版社, 1987.

[6] 马世威. 风沙流结构的研究[J]. 中国沙漠, 1988, 8(3): 8- 22.

[7] Anderson R S, Haff P J. Simulation of eolian saltation[ J]. Science, 1988, 241: 820- 823.

[8] Nalpanis P, Hunt LC, Barrett C F. Saltating particles over flat beds[ J]. J. Fluid Mech., 1993, 251: 661- 685.

[9] Sorensen M, McEwan I. On the effect of mid-air collisions on Aeolian saltation[ J]. Sedimentology, 1996, 43: 65- 76.

[10] Zhou Y H, Guo X, Zheng X J. Experimental measurement of wind sand flux and sand transport for naturally mixed sands[ J]. Physical Reviews E., 2002, 66: 302- 305.

[11] 吴正. 风沙地貌学[ M]. 北京: 科学出版社, 2003.

[12] Zingg, A W. Wind Tunnel Studies of the Movement of Sedimentary, Materials[ A]. In: Proceedings 5th Hydraulic Conference, Iowa Institute of Hydraulic, 1953. 111- 135.

[13] Bauer, B O, Houser, C A, Nickling, W G. Analysis of velocity profile measurements from tunnel experiments with saltation[ J]. Geomorphology, 2004, 59: 81- 98.