

戈壁风沙流结构和风速廓线特征研究

张克存, 屈建军, 沮瑞平, 方海燕

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000)

摘要: 通过对戈壁地表风沙流特性的风洞模拟实验, 旨在探讨戈壁地表性质是如何影响气流的紊动性, 并对风沙流的结构和风沙活动层内的风速廓线产生影响, 从而对野外风沙工程的设计提供理论依据。实验发现: 在戈壁地表风沙活动层主要集中在距地表 20 cm 范围内; 由于沙颗粒与戈壁地表的砾石发生碰撞, 浓度分布不再简单的服从对数关系递减, 其极值出现的高度随风速的增加而上移, 呈现“象鼻效应”; 不同风速下风沙活动层内同一高度含沙颗粒浓度之间存在很好的相关性。

关键词: 戈壁; 风沙流结构; 风速廓线

中图分类号: S 157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2005) 01-0054-02

Research on the Characteristics of Structure of
Drifting Sand Flux and Wind Velocity Profile over Gobi

ZHANG Ke-cun, QU Jian-jun, ZU Rui-ping, FANG Hai-yan

(Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research

Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Through researching on simulation of drifting sand flux's characteristics over Gobi surface in the wind tunnel, the aim is to probe into how the characteristics of Gobi surface effected on the eddy of air current, moreover, on the structure of drifting sand flux and velocity profile in the layers of drifting sand activity. Therefore, it can provide a theoretic gist for the design of sand drifting engineering in the field. This experiment shows that the height of the layer of drifting sand activity is within 20 cm over surface, there is a good relativity between sand concentration and corresponding wind velocity and a distinctive impacting on the air current containing sand in this scope.

Key words: Gobi; structure of drifting sand flux; wind velocity profile

风沙流是指含有沙粒的运动气流, 是一种沙粒的群体运动^[1]。是风沙物理学研究的核心内容, 也是风沙地貌、沙漠化、风沙工程的基础理论之一, 在整个风沙学科中占有极其重要的地位^[2]。从流体力学角度来看, 风沙流是一种气体及其搬运的固体颗粒(沙粒)的混合流(气固两相流), 它的形成依赖于空气与沙质地表两种不同密度的物理介质的相互作用。对风沙流的研究国内外不同的学者已从能量分布、跃移沙粒的轨迹、风沙层中沙颗粒的垂向浓度分布以及沙颗粒带电效应等多个角度对此进行了深入的研究^[3~8]。如果没有风蚀过程发展导致风沙流的出现, 就不可能有因沙粒输送和堆积过程中引起的各种沙害。如在沙漠公路地段, 风沙危害主要源于防沙体系沙物质的侵入和防沙体系内部因近地面气流变异而产生的风蚀与堆积^[9]。另外, 在兰新铁路沿线, 风沙

危害主要以强风沙流危害为主^[10]。所以, 防治沙害、改善沙区生态环境的根本措施还是抑制或削弱风沙流的强度。我国戈壁面积广大, 地表裸露, 风力强劲。戈壁风沙流对村、镇和工农业基础设施具有极大的破坏性, 是我国干旱区特有的最严重的自然灾害之一^[11]。基于此, 本文做了戈壁地表对风沙流特性影响的风洞模拟。

1 实验设计

本次实验是在中国科学院寒区旱区环境与工程研究所沙漠与沙漠化重点实验室的野外环境风洞中完成的, 其实验段长 21 m, 断面 1.2 m × 1.2 m。根据实验时的气压和气温, 用数字式微压差计系统调节进口风速。在风洞实验段轴向, 位于洞体中央 60 cm 处沿 1.0, 1.5, 3.0, 6.0, 12.0, 20.0, 35.0, 50.0

① 收稿日期: 2004-06-17

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(G1999043505); 国家科技攻关项目“十五”攻关(2002BA517A11)资助

作者简介: 张克存(1978-), 男, 甘肃民勤人, 博士研究生, 主要从事风沙工程与风沙物理研究。

cm 8 个不同高度安置风速廓线仪。实验过程中使洞体内沙床表面与风速廓线仪的底部处于同一高度, 由此可认为风速廓线仪在不同高度所采集的风速即可代表风沙流中不同高度的风速。实验分别选取 8, 12, 16, 20 m/s 4 组风速, 得到戈壁地表风速廓线。测量输沙量的垂直分布采用平口式积沙仪, 风沙流入口断面宽 0.5 cm, 高 1 cm, 共分为 60 层。为使风沙流充分发育, 戈壁前缘留有 9 m 的自由沙面。另外, 在实验过程中为了避免风速廓线仪对积沙量的影响, 将积沙仪设置在风速廓线仪后 2 m 处, 与其处于同一水平位置。为了模拟戈壁地表, 在风洞中铺一些碎小的砾石近似。每完成一个风速的实验, 重新布置自由沙面, 确保沙源充足。实验采用沙样为天然混和沙, 其平均粒径为 0.125 mm, 具体实验布设情况(见图 1)。

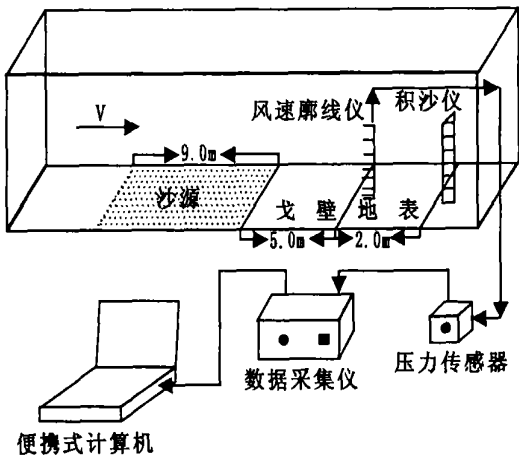


图 1 戈壁地表实验布设示意图

2 实验结果分析

2.1 对风速廓线的影响

风是沙粒发生运动的动力因素, 风沙运动是一种贴近地表的气流对沙粒搬运现象。因此, 要研究风沙运动, 首先要了解近地面层风的性质。对于确定某一种风的可能搬运沙粒数量来说, 风速是最重要的。但是, 几乎所有搬运沙粒的风, 不论是在风洞还是野外, 全是湍流(紊动)的。大气作湍流运动时, 各点的流速大小和方向将是随时间脉动的, 表现出一定的阵性。因此, 在讨论近地层大气的风速时, 是用一定时间间隔的平均风速代替瞬时风速^[1]。所以, 要研究近地表气流特性, 风速廓线是一个主要的指标, 它指的是风速沿高程的分布。风沙活动层中风速随高度的分布遵循对数规律, 但由于不同的下垫面对气流紊动性的影响程度不同, 使得携沙气流的能量分布变化很大, 最终导致沙颗粒在风沙活动层中的浓度随着风速的增加在增加, 相应地风沙活动层的范围也与风速呈正比增加。

从图 2 可以看出, 在距沙床面 20 cm 高度内, 风速随高度的增加变化比较急剧, 超过 20 cm 高度, 风速随高度的增加变化比较缓慢。在 20~35 cm 高度范围内, 风速几乎处于稳定状态, 随高度的变化很微弱。35 cm 以上, 风速随高度的变化又开始加强。结合风沙流结构图 3, 把这些区段的风速变化与其对应高度层内含沙颗粒的浓度做一对比。不难发现: 0~20 cm 范围内风速变化急剧主要是由于输沙量不是

与风速呈简单的线形关系, 也就是说, 随风速的变化, 含沙气流的能量分布变化很大, 导致在 0~20 cm 高度范围内, 含沙颗粒的浓度变化很大, 进而对风速廓线产生很大的影响。20~35 cm 这一高度层内, 发生运移的沙粒主要是一些粒径较小的悬移质, 其浓度随风速的变化相差不大, 对风速的影响不太明显。35 cm 以上风速随高度变化加强的原因主要是由于这一高度几乎不含沙颗粒, 风速的变化与稳定床面相似。

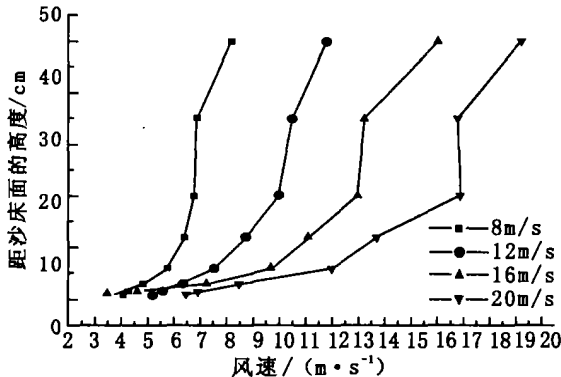


图 2 戈壁地表的风速廓线

2.2 对风沙流结构的影响

风沙流的结构是指风沙流中的沙量在垂直高度上的分布规律, 是风与地表相互作用的产物。在特定的风速下, 下覆地表对其影响占绝对优势。主要是由于不同的下垫面对沙颗粒的启动风速、跃移高度、能量衰减影响程度不同。戈壁地表对风沙流的影响呈现独有的特征, 具体情况见图 3。

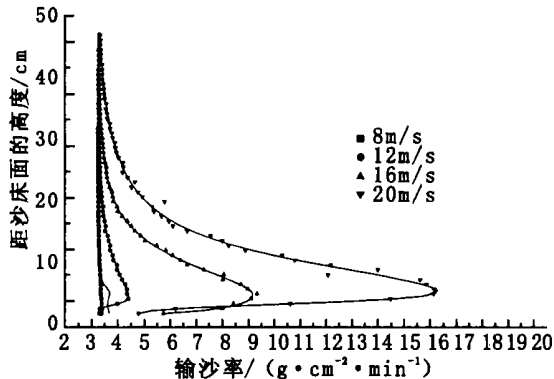


图 3 戈壁风沙流结构

从图 3 不难发现, 随着风速的增加, 20 cm 高度以下沙颗粒的含量增加趋势很大, 超过 20 cm 的高度沙颗粒含量基本上处于稳定状态。最大含沙量出现的高度层是随风速的增加而上移: 当风速在 8 m/s 时, 最大含沙量高度在距离沙床面 2 cm 处, 风速为 12 m/s 时, 最大高度在 4 cm 处, 风速为 16 m/s 时其高度在距沙床面 5 cm 处, 风速为 20 m/s 时其高度增加到距沙床面 6 cm 处。这主要是由于随风速的增加, 沙床面的蠕移质携带的能量增大, 当与戈壁地表的砾石发生碰撞时, 其起跳高度增大引起含沙量随风速的增加呈上升的趋势, 即所谓的“象鼻效应”。这说明沙粒与砾石发生碰撞过程中能量损失很少, 起跳角度较大。另外, 对不同风速下含沙量随高度的分布作了曲线拟合, 得到图 3 所示函数曲线, 其分布形式如下:

3 结 论

从前面的现状分析能够看出: 自狼心山向东西居延海地

下水埋深和 EC 均增大。与西河相比, 东河的地下水埋深和 EC 均高于西河。东西向来看, 以达镇为界, 地下水埋深和 EC 分别向两侧减小。

参考文献:

[1] 中国科学院地学部. 西北干旱区水资源考察报告: 关于黑河、石羊河流域合理用水与拯救生态问题建议[J]. 地球科学进展, 1996, 11(1): 1– 4.

[2] 龚家栋, 程国栋, 张小由, 等. 黑河下游额济纳地区的环境演变[J]. 地球科学进展, 2002, 17(4): 491– 495.

[3] 王明远, 姚云峰, 王林和. 额济纳荒漠绿洲环境容量与环境影响评价[J]. 林业科学研究, 2000, 13(6): 673– 678.

[4] 孙文新, 曾群柱. 黑河下游干旱地区环境变化研究[J]. 中国沙漠, 1997, 17(2): 149– 153.

[5] 胡春元, 李玉保, 高永, 等. 黑河下游生态环境变化及其与人类活动的关系[J]. 干旱区资源与环境, 2000, 14(增刊): 10– 14.

[6] 中国科学院兰州沙漠研究所黑河流域水资源考察队. 黑河流域水资源合理开发利用的研究[J]. 中国沙漠, 1987, 7(4): 12– 21.

[7] 郭英卓. 黑河下游水资源变化对生态环境的影响分析[J]. 海河水利, 2000, (增刊): 7– 8.

[8] 施雅风, 张祥松. 气候变化对西北干旱区地表水资源的影响和未来趋势[J]. 中国科学(B 辑), 1990, 25(9): 968– 977.

[9] 朱震达, 刘述, 高前兆, 等. 内蒙古西部古居延– 黑城地区历史时期环境的变化与沙漠化过程[J]. 中国沙漠, 1983, 3(2): 1– 8.

[10] 刘亚传. 居延海的演变与环境变迁[J]. 干旱区资源与环境, 1992, 6(2): 9– 18.

[11] 陈隆亨. 黑河下游地区土地荒漠化及其治理[J]. 自然资源, 1996, 1: 35– 43.

[12] 于守忠, 李博, 蔡薇祺, 等. 内蒙古西部戈壁及巴丹吉林沙漠考察[J]. 治沙研究, 1956, 第 3 号: 96– 108.

[13] 中科院南京土壤研究所土壤系统分类课题组. 土壤实验室分析项目及方法规范[M]. (中国土壤系统分类用), 1991, 68– 71.

(上接第 55 页)

布形式如下:

$$m = \frac{a + cz + ez^2 + gz^3 + iz^4}{1 + bz + dz^2 + fz^3 + hz^4 + jz^5}$$

式中: m ——不同高度层中的输沙量(g); z ——不同的高度层(cm); $a\ b\ c...j$ ——不同的参数。

表 1 不同风速下输沙量分布函数表达式各参数值

风 速 /(m · s ^{- 1})	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	R^2
8	- 22. 78	46. 86	37. 03	- 8. 10	- 11. 68	- 0. 31	1. 23	- 0. 04	- 0. 03	0. 02	0. 997
12	0. 53	- 0. 69	0. 17	0. 20	- 0. 01	- 0. 01	0	0	0	0	0. 998
16	- 24. 41	4. 53	48. 11	- 0. 77	- 3. 91	0. 10	0. 14	0	0	0	0. 998
20	3. 87	1. 30	0. 84	- 0. 89	- 1. 95	0. 25	1. 28	- 0. 02	0. 02	0	0. 993

为了更明确地探求戈壁地表风沙流结构特征, 笔者还计算了在不同风速下同一高度层输沙量之间的相关系数, 由于 8 m/s 风速太小, 风沙活动层较低, 所以只考虑另三个风速下输沙量之间的相关系数(见表 2)。在不同风速下同一高度层输沙量具有很好的相关性, 这主要是因为不同的下垫面性

参考文献:

[1] 吴正, 等. 风沙地貌与治沙工程学[M]. 北京: 科学出版社, 2003. 17.

[2] 李振山, 倪晋仁. 风沙流研究的历史、现状及其趋势[J]. 干旱区研究, 1998, 12(3): 89– 97.

[3] 杨保, 邹学勇, 董光荣. 风沙流中颗粒跃移研究的某些进展与问题[J]. 中国沙漠, 1996, 19(2): 173– 178.

[4] 邹学勇, 郝青振, 张春来, 等. 风沙流中跃移沙颗粒轨迹参数分析[J]. 科学通报, 1999, 44(10): 1084– 1088.

[5] 董飞, 刘大有. 关于风沙层中颗粒垂向浓度分布规律等的思考[J]. 力学与实践, 1997, 19(6): 42– 44.

[6] 杨保, 邹学勇, 王周龙. 气流中跃移颗粒的受力分析[J]. 地理科学, 1999, 19(5): 475– 478.

[7] 黄宁, 郑晓静. 风沙流中沙粒带电现象的实验测试[J]. 科学通报, 2000, 45(20): 2232– 2235.

[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] 雷加强, 王雪芹, 王德. 塔里木沙漠风沙危害形成研究[J]. 干旱区研究, 2003, 20(1): 1– 6.

[10] 李丙文, 周兴佳, 黄丕振, 等. 兰新铁路沙泉子段风沙危害特点及防治[J]. 干旱区研究, 1998, 15(4): 47– 53.

[11] 邹学勇, 董光荣, 王周龙. 戈壁风沙流若干特征研究[J]. 中国沙漠, 1995, 15(4): 368– 373.

质对气流的紊动性起决定作用, 进而影响风沙流的结构。

表 2 不同风速下风沙活动层中输沙量之间的关系

	12 m · s ^{- 1}	16 m · s ^{- 1}	20 m · s ^{- 1}
12 m · s ^{- 1}	1	0. 929	0. 986
16 m · s ^{- 1}	-	1	0. 936
20 m · s ^{- 1}	-	-	1

3 结 论

在戈壁地表, 由于沙颗粒与砾石发生碰撞, 沙颗粒浓度随高度的分布不再简单的服从对数关系递减, 其极值出现的高度随风速的增加而上移, 呈现“象鼻效应”; 不同高度风沙活动层内沙颗粒浓度与其对应高度的风速具有很大的相关性; 随风速的增加, 距离地表 20 cm 范围内, 沙颗粒浓度变化很大, 超过 20 cm 高度, 基本上处于稳定状态, 也就是说, 戈壁地表对携沙气流能量分布的影响主要集中在距地表 20 cm 范围内。