

下垫面条件对风沙活动层气流 紊动性影响的风洞模拟

张克存, 屈建军, 俎瑞平

(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, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 通过对尼龙网格状沙障(孔隙度 30% 左右)、戈壁、麦草沙障和流沙地表风沙流特性的风洞模拟实验, 旨在探讨不同下垫面与气流的紊动性之间的关系, 以及如何影响风沙流的结构和风沙活动层的风速廓线, 从而对工程防沙的优化设计提供理论依据。研究发现, 对于特定的下垫面, 在不同风速下同一高度层含沙量具有很大的相关性。由此可见, 气流的紊动性是决定风沙活动层沙颗粒浓度分布的主要指标, 也是治理沙害的一个很重要的判据。

关键词: 下垫面; 紊动性; 风洞模拟

文献标识码: A

文章编号: 1000—288X(2004)03—0001—04

中图分类号: P425.1; P425.6

Wind Tunnel Simulation to Determine the Effect of Underlying Sand-laden Layer Surface Characteristics on Air Current Turbulence

ZHANG Ke-cun, QU Jian-jun, ZU Rui-ping

(Key Laboratory of Desert and Desertification, Cold and Arid Regions Environment

and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, Gansu Province, China)

Abstract: A wind tunnel simulation of the characteristics of sand drift over a nylon net barrier with a porosity of about 30%, a grass barrier, and Gobi and mobile sand surfaces has been conducted. The aim of this paper is to describe the relationship between different underlying surfaces and air current turbulence and how characteristics of the underlying surface affect the movement of wind-blown sand and the wind velocity profile in sand-laden layers. An attempt is made to establish a theoretical base for optimizing the design of sand-control engineering in the field. This study has found that, for different underlying surfaces, there is a relationship between sand transport rate the same height above the surface at different velocities. Thus, air current turbulence can be considered as an index to determine the distribution of sand in the sand-laden layer and an important criterion determining impacts of movement.

Keywords: underlying surface; turbulence of air current; wind tunnel simulation

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]。它是风与其携带的沙物质组成的气固两相流, 是风沙物理研究的核心内容, 也是风沙地貌、沙漠化、风沙工程的基础理论之一^[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 2 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。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或改变风沙流结构。使沙颗粒发生运动的最终能量来源是携带沙粒的气流, 研究携沙气流的空间分布和时序变化是开启风沙现象之门的钥匙, 而携沙气流的紊动性主要受下垫面特性的影响^[9-10]。基于此, 本文做了不同下垫面对风沙活动层气流紊动性影响的风洞模拟研究。

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 21m, 断面 1.2m × 1.2m。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。整个实验选取 8, 12, 16, 20 m/s 4 组风速,并沿风洞实验段轴向,距洞壁一侧 60 cm 处设置 1.0, 1.5, 3.0, 6.0, 12.0, 20.0, 35.0, 50.0 cm 8 个不同高度。在第 4 道沙障后 50 cm 处安置风速廓线仪,得到不同下垫面地表的风速廓线。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 m,高 1 cm,共分为 60 层。为防止风速廓线仪对积沙量的影响,积沙仪安置在风速廓线仪后 2 m 处,与其处于同一水平位置。尼龙网与麦草沙障设置在流动沙面上,出露高度为 15 cm,沿风洞实验段轴向的间隔 1 m,共设 6 道。为使风沙流充分发育,第 1 道沙障前留有 8 m 的自由沙面。每完成一个风速的实验,重新布置沙面,确保沙源充足。为了模拟戈壁地表,在第 1 道沙障与积沙仪之间铺一些碎小的砾石。实验采用沙样为天然混和沙,其平均粒径为 0.125 mm。在每次更换实验材料时,只改变下垫面的状态,积沙仪、风速廓线仪和沙障的安放位置固定不变,具体见图 1。

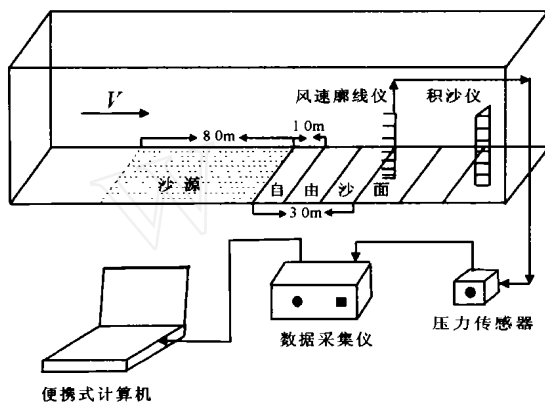


图 1 风洞实验布设示意图

2 实验结果分析

2.1 风沙活动层内输沙量随高度的变化

风沙活动层输沙量随高度分布是携沙气流能量空间梯度变化的直观表现,也是表征气流紊动性的一个借用指标。由于风沙活动层瞬时气流的紊动性很难确定,笔者用某一时段输沙量百分含量随高度变化来衡量紊动气流的特征(见图 2)。

对于特定的下垫面,如果沙颗粒的物理学特性(粒度级配、水分含量、磨圆度等)相同,其输沙量随高度的分布主要受制于风沙活动层气流的紊动性。然而,在一定的大气环流背景下,局地气流的特性主要

是由地貌类型、部位、温度层结以及障碍物的位置、几何形状等环境参数决定的。由此可见,局地的环境因素对风沙活动的影响至关重要。所以,这次实验就是在其它条件完全相同下,通过改变下垫面来探求局地环境对风沙活动的影响。

从图 2 可以看出,对于特定的下垫面,在不同风速下,输沙量的百分含量随高度分布具有很好的相关性,这表明风沙活动层内气流的紊动性主要受下垫面性质的影响。由此可见,通过人为的改变风沙活动区地表的微地形状态,能使风沙活动层携沙气流能量的空间分布发生变化,从而为解决风沙问题寻求新的突破口。为了更明确地探求下垫面性质与输沙量之间的关系,笔者还计算了同一下垫面在不同风速下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 3 个风速下输沙量之间的相关性。另外,由于流沙地表在不同风速下沙颗粒跳跃高度不一样,风沙活动层的范围差异很大,故只考虑了 16 m/s 与 20 m/s 之间的相关系数(见表 1)。

表 1 不同风速下各高度层中输沙量之间的相关性

风速/(m · s ⁻¹)	尼龙网栅栏	麦草沙障	戈壁	流沙
12; 16	0.306	0.975	0.929	—
12; 20	0.880	0.906	0.986	—
16; 20	0.954	0.964	0.936	0.960

从表 1 不难发现,对于特定的下垫面在不同风速下同一高度层输沙量具有很好的相关性,而不同性质的下垫面在相同的风速下,同一高度层输沙量相关性很差。这主要是因为下垫面性质对携沙气流的能量分布起决定作用,进而影响风沙流的结构。所以,笔者认为,治理沙害的过程要以探求风沙活动区下垫面性质和风沙流特性之间的关系为突破口。

2.2 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的现象。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。风沙活动层的风速廓线是运动沙粒与气流相互作用的产物,它们之间存在一种互馈机制。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, 携沙气流能量分布变化很大, 使得沙颗粒在风沙活动层的高度分布受下垫面环境参数的影响, 最终导致不同下垫面风沙活动层的风速与特定的下垫面存在很大的相关性。无论是何种下垫面, 由于携沙气流的能量随风速的增加在增加, 相应地风沙活动层的范围也与风速呈正比增加, 具体情况见图 3。

由图 3 不难看出, 对于戈壁地表, 在距沙床面 20 cm 高度内, 风速随高度变化比较急剧, 超过 20 cm 高度, 风速随高度的增加变化比较缓慢。主要是由于在这一高度范围内发生输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。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, 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。对流沙地表, 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。而尼龙网和麦草沙障, 随高度的增加风速变化一直很剧烈。不论何种地表, 在风沙活动层, 气流紊动性受跃移沙粒的影响很大, 风速随高度的增加很剧烈, 变化趋势也很紊乱。当高度超过 20 cm 时, 风速随高度的变化比较稳定。即风速随高度的变化趋势(两高度之间的斜率)具有很大的相似性, 对特定的下垫面在不同高度段风速变化梯度近似为某一常数。

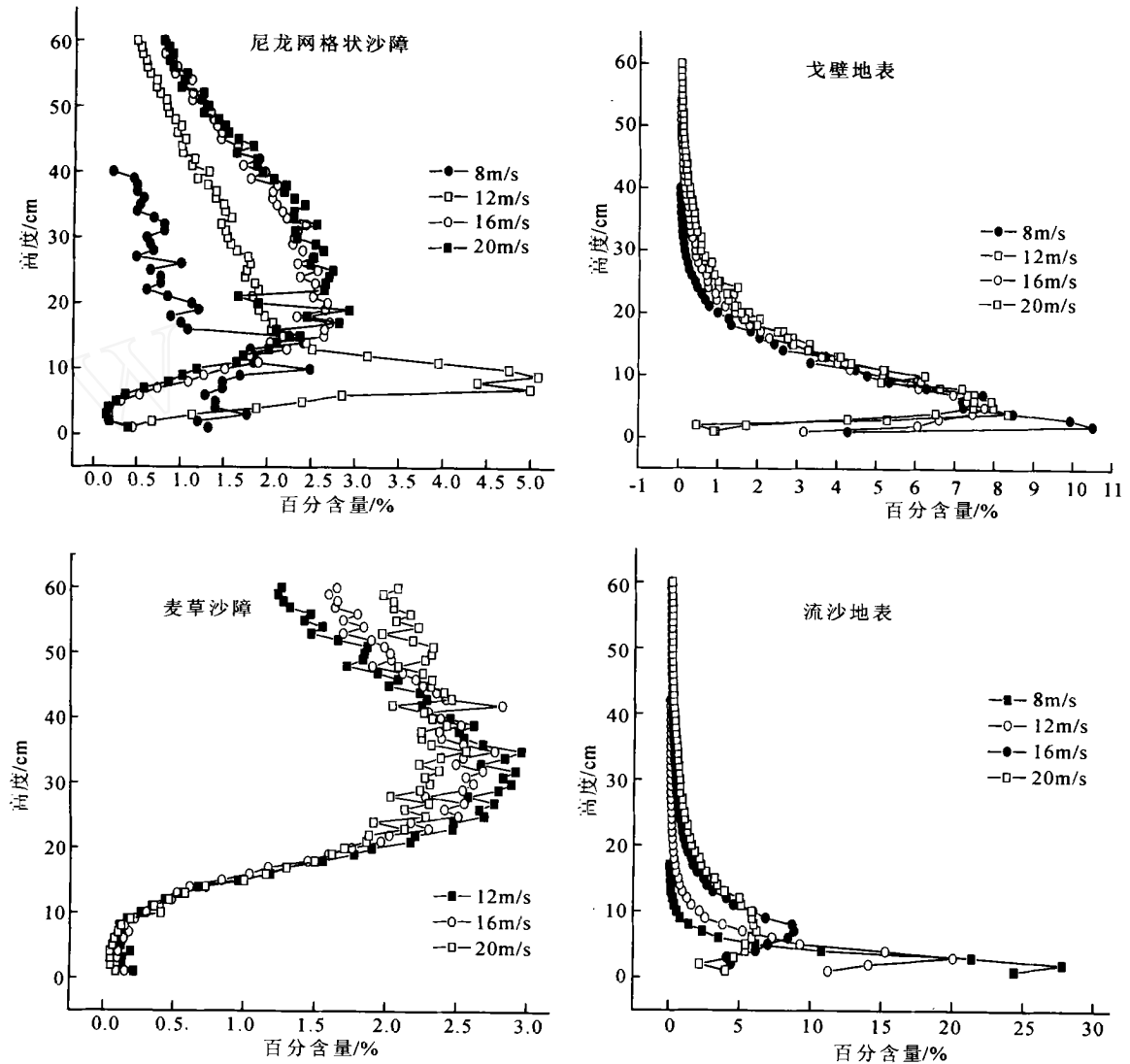


图 2 不同下垫面输沙量百分含量随高度变化

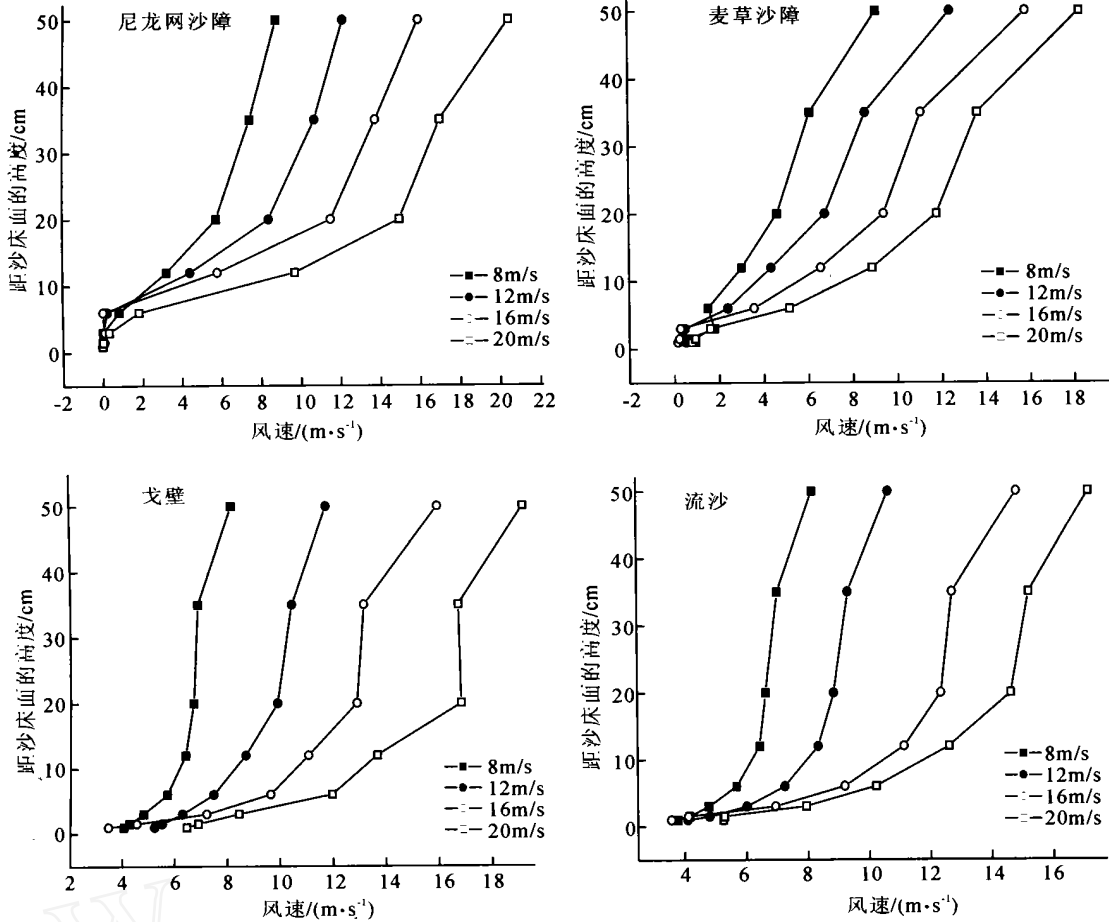


图 3 不同下垫面的风速廓线

3 结 论

由于下垫面的性质对携沙气流的能量分布起着决定性的作用,而携沙气流又是影响风沙流特性的主要因素。对于特定的下垫面,在不同风速下,同一高度层输沙量具有很好的相关性。由此可以得到以下两个结论: (1) 在沙颗粒的物理学特性(粒度级配、水分含量、磨圆度等)相同情况下,下垫面性质通过影响风沙活动层气流的能量分布来影响风沙流的结构; (2) 风沙床面上的风速廓线除了受下垫面性质影响外,还受风沙活动层含沙颗粒浓度的影响,二者存在一种动态的互馈机制。

[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. 21—61.
 [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(9): 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(6): 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(5): 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(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(10): 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(10): 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(6): 15—21.
 [9] Judd M J, Raupach M R, Fininigan J J. A wind tunnel study of turbulent flow around single and multiple windbreaks[J], part I: velocity fields. Boundary-Layer Meteorology, 1996, 80(1/2): 127—165.
 [10] Lee S J, Kim H B. Laboratory measurements of velocity and turbulence field behind porous fences[J]. Wind Eng Ind Aerodyn, 1999, 80: 311—326.