高立式格状沙障防风效益

庞营军[1,2]，屈建军[1,2,3]，谢胜波[1,2]，肖建华[1,2]，韩庆杰[1,2]

(1. 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；2. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所 敦煌戈壁荒漠生态与环境研究站，甘肃 敦煌 736200；3. 甘肃省风沙灾害防治工程技术研究中心，甘肃 兰州 730000)

摘　要：针对在风沙危害严重地区，半隐蔽式格状沙障容易遭沙埋，且其防护年限短等问题，提出了一种新型的防沙措施——高立式格状沙障(高 1 m，长×宽＝8 m×8 m)，并对该沙障的防风效益进行了观测。结果表明：(1) 高立式格状沙障对风速具有显著削弱作用；且越接近地表，风速被削弱的程度越大；沙障内 5 个观测点 2 m 高处风速平均减弱了 33.0%，而 0.2 m 高处风速平均减弱了 81.5%。(2) 高立式格状沙障使沙障顶部高度(1 m)以下的风速廓线偏离对数曲线；沙障顶部以上风速和高度继续呈对数关系，且风速梯度明显大于对照点。(3) 高立式格状沙障使地表粗糙度增大了 44 倍。

关键词：格状沙障；防风效益；粗糙度

文献标识码：B　　**文章编号**：1000-288X(2014)05-0011-04　　**中图分类号**：S775

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.05.009

Windproof Efficiency of Upright Checkerboard Sand-barriers

PANG Ying-jun[1,2], QU Jian-jun[1,2,3], XIE Sheng-bo[1,2], XIAO Jian-hua[1,2], HAN Qing-jie[1,2]

(1. *Key Laboratory of Desert and Desertification, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu* 730000, *China*; 2. *Dunhuang Gobi and Desert Ecological and Environmental Research Station, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Dunhuang, Gansu* 736200, *China*; 3. *Gansu Center for Sand Hazard Reduction Engineering and Technology, Lanzhou, Gansu* 730000, *China*)

Abstract: Semi-buried checkerboard sand-barriers were easy to be buried by sand and had short windproff duration. A novel sand prevention measure—upright checkerboard sand-barrier which was 1 m in height, 8 m in length and width was introduced, and its windproof efficiency was investigated. The results were as follows: (1) The barrier significantly reduced the incoming wind velocity, and the effect became more intensive approaching land surface. The averaged wind speed from five monitoring sites within the barrier showed a 33.0% reduction at 2 m high and 81.5% at 0.2 m high. (2) Wind velocity profiles within the barrier deviated from logarithmic curve below the height of the upright checkerboard sand-barrier (1 m). Above the barrier height, wind velocity profiles still followed the logarithm law, and wind velocity gradient was higher. (3) The average land surface roughness within the barrier region increased 44 times compared to the control point.

Keywords: checkerboard sand-barrier; windproof efficiency; roughness

1956 年草方格沙障(格状沙障的一种)由苏联治沙专家彼得罗院士引入中国，并在腾格里沙漠包兰铁路沙坡头实验路基试用，取得了显著的固沙效果[1]。随后的几十年，格状沙障在中国广泛推广应用[2-6]。目前，格状沙障采用的材料主要有麦草、芦苇、黏土、砾石、尼龙网等；主要规格为高 20～30 cm，长×宽＝1 m×1 m；多称之为半隐蔽式格状沙障。格状沙障有增大地表粗糙度，减弱地表风速，改变沙粒搬运形式和降低搬运能力等作用[7]。传统的格状沙障固沙能力强，但阻沙能力弱。在风沙活动强度大的地方，

收稿日期：2013-10-11　　修回日期：2013-10-29

资助项目：铁道部科技研究开发计划项目“拉日铁路工程建设关键技术研究：高原铁路生态环保关键技术研究”(2011G027-D)；国家重点基础研究发展计划“青藏高原重大冻土工程的基础研究”(2012CB026105)；国家自然科学基金重点项目“青藏铁路沙害形成机理及防治对策研究”(40930741)

作者简介：庞营军(1984—)，男(汉族)，河北省广平县人，在读博士，研究方向为风沙物理和风沙工程。E-mail：pangyingjun@lzb.ac.cn。

通信作者：屈建军(1959—)，男(汉族)，陕西省高陵县人，博士，研究员，主要从事风沙地貌与风沙工程研究。E-mail：qujianj@lzb.ac.cn。

沙障内会很快积满沙子，从而失去阻沙能力，成为风沙流的过境场。有鉴于此，本文提出一种新的防沙措施——高立式格状沙障，兼顾阻沙和固沙。通过高立式格状沙障防风效益的观测和分析，旨在为工程防沙的优化设计提供理论依据和技术支撑。

1 研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于西藏自治区日喀则市境内的噶东镇。该区年均气温 6.7 ℃，年均空气湿度 5.13 hPa，年降雨量 469.9 mm，年蒸发量 2 068.6 mm。年平均风速 1.47 m/s，主导风向西南；年平均大风日数（≥8 级）19 d。地表类型为戈壁，并有新月形沙丘分布；主要天然植被有砂生槐（*Sophora moorcroftiana*）、藏沙蒿（*Artemisia wellbyi*）、白草（*Pennisetum centrasiaticum*）、固沙草（*Orinus thoroldii*）等。铁路走向 40°，主导风向与铁路夹角 8°左右。该地冬春季风沙活动强烈，沙物质主要来自荒漠宽谷和沙质农田。

1.2 实验布置

该高立式格状沙障以植物纤维为原料，采用机织方式生产而成，孔隙度为 50%。高立式格状沙障（高 1 m，长×宽＝8 m×8 m）布设在拉萨—日喀则铁路 DK219 段（29°15′14″N，89°12′32″E，3 900 m）偏东侧的平坦戈壁上，平行路基，距离铁路路基 100 m 左右。2013 年 5 月，利用长春气象仪器厂梯度风速仪，对高立式格状沙障内的风速进行了观测（图 1）。对照点在离沙障 60 H（H 为沙障高度，1 m）的平坦自然地表上，其风速可以认为不受沙障影响。沙障内风速仪布设位置如图 2 所示。每套风速仪在距地表 0.2，0.5，1，1.5，2 m 处各安装有一个风速传感器。数据同步观测，传感器采集数据间隔为 1 min。该地起沙风速为 5 m/s（距地表 2 m 高处）。从对照点起沙风数据中随机挑出 5 组风速大小相近，风向相似的观测数据，并找出对应时刻高立式格状沙障内部 5 个观测点的风速和风向数据。各个站点同一高度的风速数据进行算术平均。对高立式格状沙障内部 5 个观测点和对照点的风速进行对比分析，以评估该高立式格状沙障的防风效益。

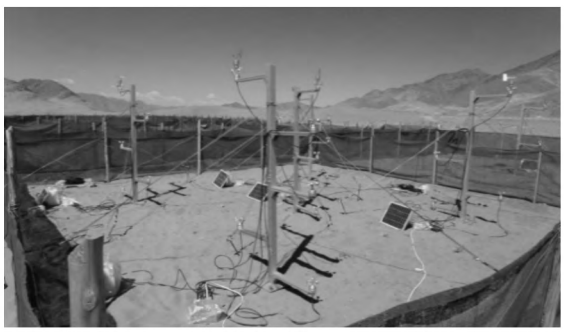


图 1 高立式格状沙障防风效益野外观测布设示意图

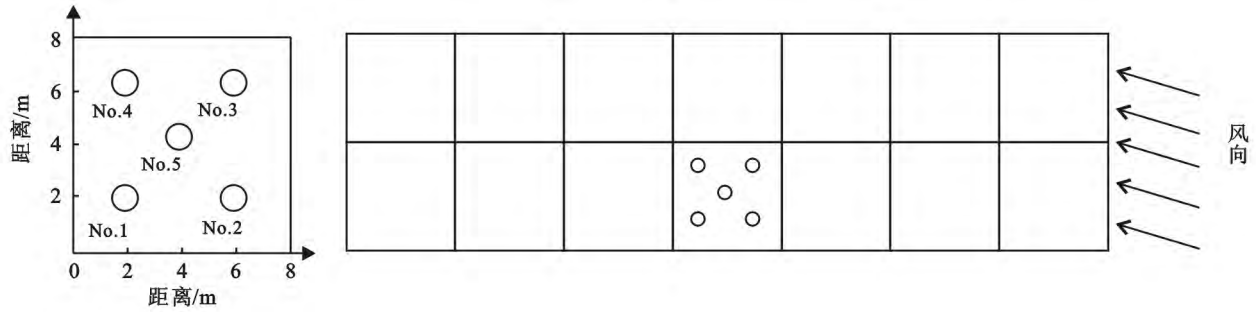


图 2 高立式格状沙障内部观测点布设示意图（单位：m）

1.3 计算方法

在中性大气层结条件下，均匀床面上风速随高度呈对数分布，即风速廓线可表达为：

$$u=\frac{u_*}{K}\ln\frac{z}{z_0} \tag{1}$$

式中：u——高度 z 上的风速（m/s）；K——卡曼常数（0.4）；u_*——摩阻风速（m/s）；z_0——空气动力学粗糙度（m）。下同。

$$u_*=\sqrt{\frac{\tau}{\rho}} \tag{2}$$

式中：τ——地面与流体之间的剪切力或摩擦力（N/m²）；ρ——空气密度（kg/m³）。

在有大粗糙元覆盖的地表上，风速廓线将调整为

$$u=\frac{u_*}{K}\ln\frac{z-d}{z_0} \tag{3}$$

式中：d——零平面位移高度（m），取决于地表粗糙元的几何特征。

Stanhill G[8] 提出了零平面位移高度 d（cm）和粗糙元高度 h（m）的关系：

$$\lg d=0.979\ 3\lg h-0.153\ 6 \tag{4}$$

本文中对照点地表平坦，根据公式（1），利用全部高度的风速数据进行最小二乘拟合，得出 z_0 和 u_*。根据公式（4），该高立式格状沙障区域的零平面位移 $d\approx0.78$ m。根据公式（3）分别对高立式格状沙障内

观测点 1,1.5 和 2 m 的风速数据进行最小二乘拟合,得出 z_0 和 u_*。

2　结果与分析

2.1　高立式格状沙障对风速的影响

风是沙子发生运动的动力因素,风沙运动是一种贴近地面的气流对沙子的搬运现象[1]。因此,要研究防沙措施的防风防沙效益,必须要分析其对风速的减弱程度。从表 1 中可以看出,相对于对照点的风速,高立式格状沙障内部风速明显被削弱;且越接近地表,风速减弱的程度越大。对照点 0.2 m 高处风速为 5.04 m/s,高立式格状沙障内部 5 个测点 0.2 m 高处风速平均值为 0.93 m/s,减弱了 81.51%;对照点 2 m高处风速为 7.06 m/s,高立式格状沙障内部 5 个测点 2 m 高处风速平均值为 4.73 m/s,减弱了 32.97%。

表 1　高立式格状沙障内风速减弱情况

位置	2 m 高处		1.5 m 高处		1 m 高处		0.5 m 高处		0.2 m 高处	
	风速/($m \cdot s^{-1}$)	减弱/%	风速/($m \cdot s^{-1}$)	减弱/%	风速/($m \cdot s^{-1}$)	减弱/%	风速/($m \cdot s^{-1}$)	减弱/%	风速/($m \cdot s^{-1}$)	减弱/%
对照点	7.06	—	6.78	—	6.52	—	5.96	—	5.04	—
No.1	4.76	32.58	4.06	40.12	2.66	59.20	1.40	76.51	1.12	77.78
No.2	4.90	30.59	4.22	37.76	2.38	63.50	0.94	84.23	0.54	89.29
No.3	4.60	34.84	3.54	47.79	2.50	61.66	0.64	89.26	0.66	86.90
No.4	4.14	41.36	3.82	43.66	2.80	57.06	1.68	71.81	1.42	71.83
No.5	5.26	25.50	3.82	43.66	3.02	53.68	1.62	72.82	0.92	81.75
平均	—	32.97	—	42.60	—	59.02	—	78.93	—	81.51

2.2　高立式格状沙障对风速廓线的影响

风速廓线是指风速随高度的变化。在平坦裸露的旷野,且地面物质固定不移动时,风速与高度的对数值成正比,即风速廓线是随高度呈对数函数分布的。但当气流经过障碍物时,风速分布将发生明显变化。图 3 为风速随高度的分布曲线图。若同一气象站不同高度的风速值在 3b 中的对应点近似分布在一条直线上,则说明该测点的风速和高度符合对数分布规律。从图 3 中可以发现,对照点和该高立式格状沙障内部测点 1～2 m 高度区间的风速廓线呈对数分布形式,而高立式格状沙障内测点 0.2 和 0.5 m 高度处的风速明显偏离了各自沙障顶部以上的高度—风速对数曲线。对照点和高立式格状沙障内的风速都随高度增加,但对照点 0.2～0.5 m 风速梯度大于沙障内测点,风速随高度增加增大较快;对照点 0.5～1 m 风速梯度和沙障内测点基本一致;对照点 1～2 m 风度梯度小于沙障内测点,风速随高度增加增大较慢。这主要是因为该高立式格状沙障的沙障高度为 1 m,沙障顶部以下风速被极大地削弱,垂直高度上风速梯度变小;而气流在通过 1 m 高的高立式格状沙障时,在沙障顶部会形成加速抬升的气流,导致风速梯度大于对照[9]。

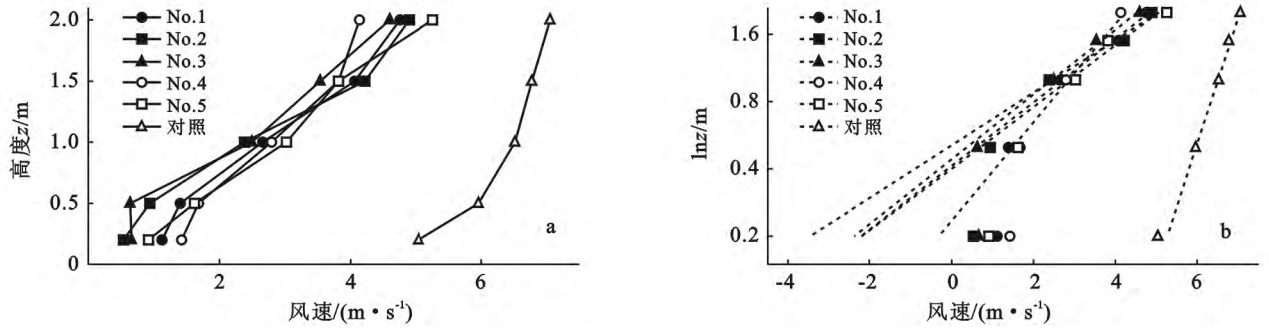


图 3　高立式格状沙障风速廓线(b 图中虚线是各观测点对应自然对数高度与风速实测值的线性拟合线,$R^2>0.93$)

2.3　高立式格状沙障对地表粗糙度影响

空气动力学粗糙度(z_0)是描述下垫面空气动力学特征的主要参数,它可以表征气流与下垫面的相互作用[10]。不同粗糙度地面上,沙粒与地表的碰撞过程、沙粒的临界起沙风速和风沙输送量不同[11]。因此空气动力学粗糙度不仅是衡量地表性质的尺度,更是衡量防沙措施防护效益的重要指标之一[12]。由表 2 可以看出,高立式格状沙障内部平均粗糙度为

2.46 cm，是对照点的 45 倍。地表粗糙度的增加，能提高起沙风速，从而减少风蚀量。

表 2 高立式格状沙障内地表粗糙度 cm

风速仪编号	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	平均	对照点
粗糙度	2.50	4.37	2.77	0.64	2.01	2.46	0.05

3 结 论

本文对一种新型的防沙措施——高立式格状沙障(高 1 m，长×宽＝8 m×8 m)的防风效益进行了观测。研究表明该沙障明显降低了风速，增大了地表粗糙度，从而能有效地减少沙障内风蚀的发生。高立式格状沙障除了在沙障内起固沙作用以外，由于其高度比较大，还能起到阻沙的作用；即使高立式格状沙障前沿积沙高度和格状沙障的高度持平后，还能继续起到阻固沙的作用，可以大大延长沙障的使用年限。

本文中高立式格状沙障内设置了 5 套梯度风速仪，观测系统本身也会对障内风速和风向产生一些影响。为了减小这种影响，野外风速观测系统应该尽可能地轻便，以减少仪器本身对空气流场的影响。此外，今后可以对不同规格(高度、长度、宽度和孔隙度等)高立式格状沙障的防风防沙效益进行系统研究，以得到高立式格状沙障的最佳配置。

[参 考 文 献]

[1] 吴正. 风沙地貌与治沙工程学[M]. 北京：科学出版社，2003：319-324.

[2] 屈建军，井哲帆，张克存，等. HDPE 蜂巢式固沙障研制与防沙效应实验研究[J]. 中国沙漠，2008，28(4)：599-604.

[3] 常兆丰，仲生年，韩福桂，等. 黏土沙障及麦草沙障合理间距的调查研究[J]. 中国沙漠，2000，20(4)：111-113.

[4] 张克存，屈建军，牛清河，等. 青藏铁路沿线砾石方格固沙机理风洞模拟研究[J]. 地球科学进展，2010，25(3)：284-289.

[5] 凌裕泉. 草方格沙障的防护效益[C]// 中国科学院兰州沙漠研究所沙坡头沙漠科学研究站. 流沙治理研究. 银川：宁夏人民出版社，1980：1-50.

[6] 钟卫，刘涌江，杨涛. 3 种沙障防风固沙效益比较的风洞实验研究[J]. 水土保持学报，2008，22(6)：7-12.

[7] 王涛. 中国风沙防治工程[M]. 北京：科学出版社，2011：171-186.

[8] Stanhill G. A Simple instrument for the field measurement of turbulent diffusion flux[J]. Journal of Applied Meteorology, 1969, 8(4): 509-513.

[9] Judd M J, Raupach M R, Finnigan J J. A wind tunnel study of turbulent flow around single and multiple windbreaks(part I): Velocity fields [J]. Boundary-Layer Meteorology, 1996, 80(1/2): 127-165.

[10] 吕萍，董治宝. 戈壁风蚀面与植被覆盖面地表性质粗糙度长度的确定[J]. 中国沙漠，2004，24(3)：279-285.

[11] 刘小平，董治宝. 砾石床面的空气动力学粗糙度[J]. 中国沙漠，2003，23(1)：40-47.

[12] 张瑞麟，刘果厚，崔秀萍. 浑善达克沙地黄柳活沙障防风固沙效益的研究[J]. 中国沙漠，2006，26(5)：717-721.

(上接第 10 页)

[20] 吕春娟，陈丽华，周硕，等. 不同乔木根系的抗拉力学特性[J]. 农业工程学报，2011，27(S1)：329-335.

[21] 陈忠安，王静. 材料力学[M]. 北京：北京大学出版社，2009.

[22] Marie G, Alexia S, Franck S, et al. The influence of cellulose content on tensile strength in tree roots[J]. Plant and Soil, 2005, 278(1/2): 1-9.

[23] 蒋坤云，陈丽华，盖小刚，等. 华北护坡阔叶树种根系抗拉性能与其微观结构的关系[J]. 农业工程学报，2013，29(3)：115-123.

[24] 朱海丽，胡夏嵩，毛小青，等. 护坡植物根系力学特性与其解剖结构关系[J]. 农业工程学报，2009，25(5)：40-46.

[25] 陈丽华，余新晓，刘秀萍，等. 林木根系本构关系[J]. 山地学报，2007，25(2)：224-228.

[26] 张超波，陈丽华，刘秀萍. 林木根系黄土复合体的非线性有限元分析[J]. 北京林业大学学报，2008，30(S2)：221-227.

[27] 杨璞，向志海，胡夏嵩，等. 根对土壤加强作用的研究[J]. 清华大学学报：自然科学版，2009，49(2)：305-308.