

马茜茜,肖建华,姚正毅,等.高立式阻沙网风场扰动特征的风洞模拟[J].中国沙漠,2026,46(3):32-40.

高立式阻沙网风场扰动特征的风洞模拟

马茜茜¹,肖建华^{2a},姚正毅^{2a},薛 娴^{2ab}

(1.阜阳师范大学 历史文化与旅游学院,安徽 阜阳 236037; 2.中国科学院西北生态环境资源研究院 a.干旱区生态安全与可持续发展国家重点实验室, b.干旱区盐渍化研究站,甘肃 兰州 730000)

摘要: 高立式高密度聚乙烯(HDPE)阻沙网具有优良的力学性能与耐久性,在防风固沙工程中表现出显著的阻沙效果,已成为沙漠公路等风沙危害严重区域广泛采用的关键防护措施。基于内蒙古额济纳旗S315公路沙害严重区段实地沙样,开展系统的风洞模拟试验,探究不同高度阻沙网与来流风速组合条件下的风场扰动特征及防风效能。结果表明:阻沙网在迎风侧和背风侧形成明显的三功能分区结构(减速区—加速区—沉降区),其中背风侧的风速削弱效应更为显著。随着阻沙网高度的增加,两个减速区面积都在增加,背风侧减速区面积始终大于迎风侧,风速的减弱速率和幅度也明显高于迎风侧。阻沙网在下风向的防护距离可延伸至16H。

关键词: 高立式HDPE阻沙网; 风洞实验; 风场扰动; 防风效能

文章编号: 1000-694X(2026)03-032-09

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2025.00110

中图分类号: X43

文献标志码: A

0 引言

风蚀是干旱、半干旱地区土地退化和生态环境恶化的主要原因,严重影响区域农业生产和生态安全。近年来,随着风沙防治技术的发展,各类防风固沙措施被广泛应用于风沙区的生态恢复与工程建设中^[1]。高密度聚乙烯(High Density Polyethylene, HDPE)阻沙网是近年来广泛应用的防风固沙材料,具有抗老化、强度高、耐久性好等优点,已被广泛应用于海岸、交通干线以及文物古迹等的沙害防治^[2-4]。

在开阔沙地上,风沙流运动较为稳定。高立式HDPE阻沙网的设置对近地层气流结构产生扰动,使其周围风速、风向及动能空间分布发生显著变化,进而在局部尺度上形成区别于原始地表风沙环境的“次生气流”结构。根据气流运动特征,对阻沙网两侧流场进行分区是解释其空气动力学的重要步骤。首次对阻沙网两侧次生流流场做出分区的是Plate^[5]。而后基于风洞实验和数值模拟,国内外学者对Plate的分区进行验证和扩展。相关研究逐

步构建了较为成熟的功能分区模式,适用于低疏透度高立式阻沙网的近地层气流结构特征研究^[6-8](图1)。高立式阻沙网的布设导致气流运动发生深刻的变化,这种变化无疑会导致其附近沙粒沉积和运移规律的不同。Dong等^[9]通过风洞实验确定了高立式阻沙网附近沙粒运动的3种模式:顺风运动、逆风运动和振荡运动。在这种模式下,产生5个沙粒运动区域——顺风区、振荡区、逆风区、振荡区、顺风区(图2)。

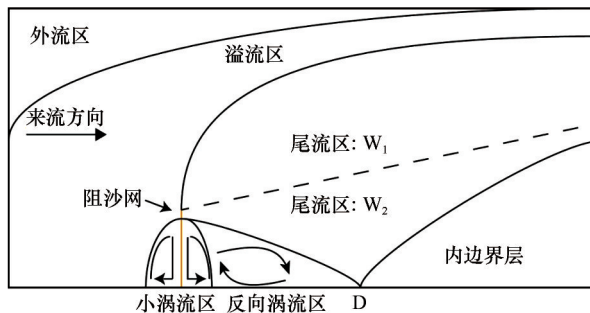


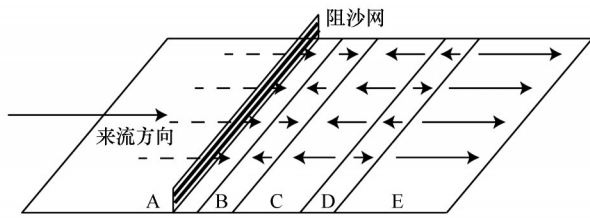
图1 低疏透度阻沙网两侧典型气流模式^[6-8]
Fig.1 Typical regimes of air flow near a fence with low porosity^[6-8]

收稿日期:2025-06-09; 改回日期:2025-07-07

资助项目:内蒙古自治区科技重大专项(2024JHGS0009);中国科学院“西部之光”项目(xbzglzb2022018);阜阳师范大学高层次人才科研启动项目(2024KYQD0123)

作者简介:马茜茜(1995—),女,山西长治人,讲师,研究方向为荒漠化防治。E-mail: maxx@lzb.ac.cn

通信作者:肖建华(E-mail: xiaojh@lzb.ac.cn)



注:A为顺风区,B为振荡区,C为逆风区,D为振荡区,E为顺风区

图2 低疏透度阻沙网周围输沙模式^[9]

Fig.2 Regimes of particle movement near a fence with low porosity^[9]

高立式 HDPE 阻沙网通过改变近地层风场结构,削弱地表风速,减少风蚀起沙过程,起到了控风、固沙的双重作用。然而,阻沙网在风沙流中的扰动机制较为复杂,其风场扰动特征受网高、网孔密度、排列方式以及来流风速等多因素影响^[10]。阻沙网高度是影响阻沙网重要的设计指标。来流风速是影响风沙活动与阻沙效能的首要因素,而阻沙网高度直接决定其扰动范围与阻风能力。二者的组合效应决定了风场结构的时空调控效果,是高立式阻沙网性能发挥的关键参数。尽管高立式阻沙网在风沙防护工程中已有广泛应用,然而,在风沙灾害日益严重的沙漠公路沿线,尤其是在工程实际应用背景下,现有参数配置多基于经验或通用推荐,缺乏结合特定区域风沙特征的实验验证与科学依据。因此,本文以 S315 策达公路典型风沙区段为

背景,选取实地采集的沙样,开展系列风洞模拟实验,系统分析不同来流风速(8、10、12、16、20 m·s⁻¹)与阻沙网高度(5、8、12、15 cm)组合下的风场扰动特征,以期为该区域防沙工程的科学布局 and 参数优化提供理论支撑和数据基础。

1 材料与方 法

1.1 实验装置

实验在中国科学院沙漠与沙漠化重点实验室风沙环境风洞中进行。直流开口吹气式风洞由动力段、整流段、实验段和扩散段4部分组成。洞体长 37.78 m,实验段长 16.23 m,实验段截面积为 0.6 m×1.0 m(高×宽)。风速在 1~40 m·s⁻¹连续可调。边界层的厚度为 120 mm。

1.2 实验设计

图3为室内风洞实验布设示意图。为了模拟戈壁地表,在实验段风洞地板上连续铺设 4 m 长的粗砂纸(阻沙网迎风侧 1 m,背风侧 3 m),以增加地表粗糙度。在洞内垂直架设毕托管,使其平行于横截面的中轴线,分别测量空洞和阻沙网布设条件下的风速。垂直测点 h 共 10 个:0.3、0.6、1.2、2、4、8、12、16、20、24 cm;水平测点共 17 个:-16H、-8H、-4H、

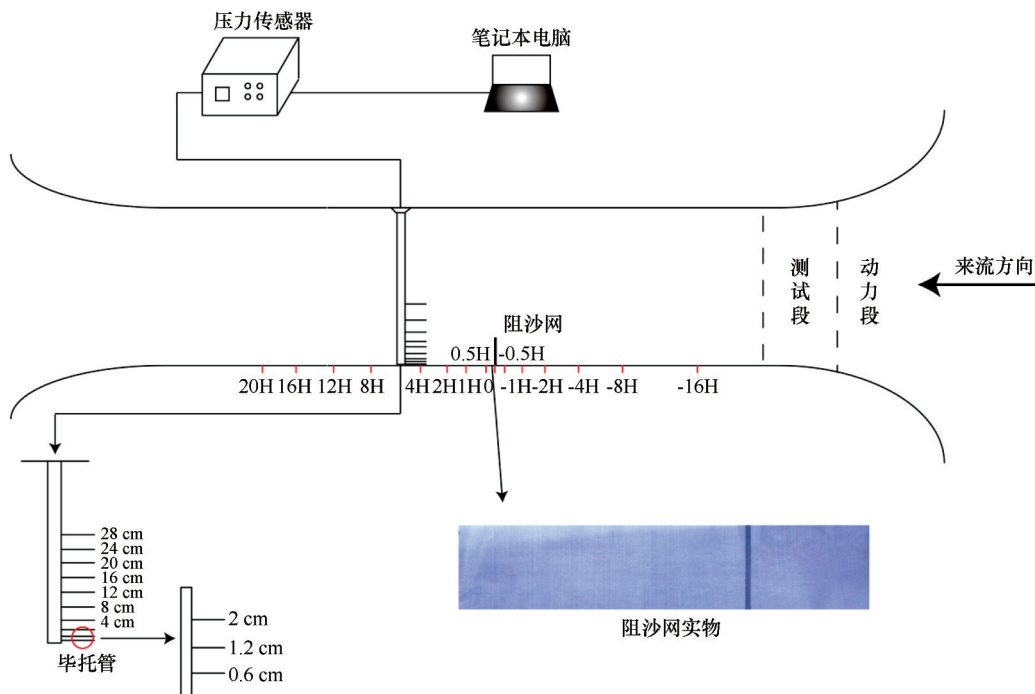


图3 室内风洞布设示意图

Fig.3 Layout of indoor wind tunnel experiment

-2H、-1H、-0.5H、0、0.5H、1H、2H、3H、4H、6H、8H、12H、16H、20H(H为阻沙网高度,迎风测为-H,背风侧为+H)。阻沙网模型宽1.0 m,疏透度为42%,孔隙均匀布局且为方形。

实验选取了4个高度阻沙网(5、8、12、15 cm)和5组风速(8、10、12、16、20 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)对阻沙网附近的风速廓线、流场进行测定,获得不同水平位置、不同高度的风速减弱率,以确定阻沙网阻滞作用,从而便于评估阻沙网的有效防护范围。

1.3 实验条件

风洞的雷诺数 $Re=10^5\sim 10^6$,气流处于完全湍流状态,可达到自模拟要求。风洞底板铺设了粗砂纸以模拟戈壁下垫面,边界层的厚度为20 cm左右,因此,可以假设风洞的流动深度几乎没有限制阻沙网模型上方边界层的发展。通过绘制空洞条件下不同自由流风速廓线图,可以发现遵从对数分布规律(图4):

$$U_z = a \ln Z + b \quad (1)$$

式中: Z 是距离地面的高度(cm); U_z 是在高度 Z 处的自由流风速($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$); a 和 b 是线性拟合的回归系数。

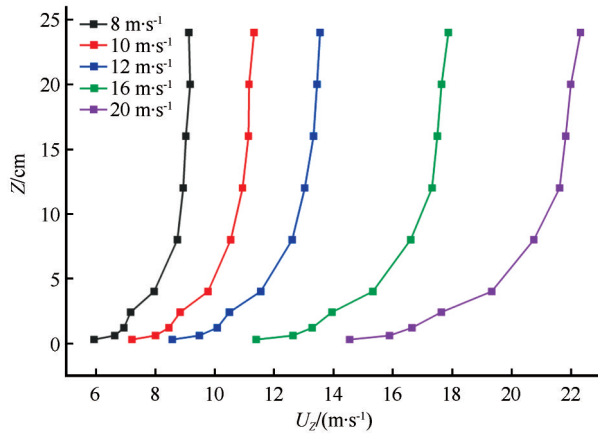


图4 无阻沙网布设条件下的风速廓线

Fig.4 Wind speed profiles without fence

自由流速度为6、8、10、16、20 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的风速廓线分布符合对数规律,决定系数 R^2 均超过0.9726(表1),对应的地表粗糙度分别为0.00017、0.00020、0.00025、0.00020、0.00014 cm。

1.4 防风效能

阻沙网干扰下的风速变化可以用归一化无量纲相对风速 u_r 来表示^[11]:

表1 无阻沙网布设条件下高度 Z 与风速 U_z 的线性拟合

Table 1 The linear fit of the height Z with the wind speed U_z without fence

$U/(m\cdot s^{-1})$	Z 与 U_z 的线性拟合	R^2	Z_0/cm
8	$\ln Z = 1.2696U_z - 8.6856$	0.9726	0.00017
10	$\ln Z = 1.0221U_z - 8.5251$	0.9852	0.00020
12	$\ln Z = 0.8365U_z - 8.2878$	0.9861	0.00025
16	$\ln Z = 0.6468U_z - 8.5006$	0.9854	0.00020
20	$\ln Z = 0.5359U_z - 8.8871$	0.9864	0.00014

注: Z 为距离地表的高度, U_z 表示在高度 Z 的水平风速, Z_0 为地表粗糙度, U 为自由流风速。

$$u_r = \frac{u_z(\Delta x, z)}{u_0(\Delta x, z)} \times 100\% \quad (2)$$

式中: u_r 为相对风速(%); Δx 是测点距阻沙网的水平距离(以阻沙网高度 H 的倍数表示,上风向为负,下风向为正); z 是高度(m); u_z 是阻沙网干扰下,高度 z 、水平距离 Δx 处的平均风速(%); u_0 是在相同条件下的空洞风速。用防风效能,即 $R_{c(\Delta x, z)}$,表示风速减弱的程度^[12-13]:

$$R_{c(\Delta x, z)} = (1 - u_r) \times 100\% \quad (3)$$

式中: $R_{c(\Delta x, z)}$ 为防风效能(%); u_r 为相对风速(%)。

2 结果与分析

2.1 流场特征

近地表流场是反映阻沙网功能的重要指标。由图5可以看出,当阻沙网布施于平坦沙地时,其前后一定范围内的流场受到强烈干扰,气流结构不再保持平衡状态,气流运移规律将会大大改变。从阻沙网前后的流场分布来看,气流在经过时存在明显的功能分区,主要分为迎风侧减速区、网顶加速区、背风侧减速沉降区3个功能区。气流在接近阻沙网的过程中,遇阻减弱,在迎风侧紧邻阻沙网并低于阻沙网高度的一定区域出现能量的损失,形成一个小气流减速区,范围在-4H至阻沙网布设位置。在此区域内,因底层风速降幅较大,沙粒以沉降方式堆积,久而久之,迎风侧形成沙丘^[14-15]。由于阻沙网阻挡,流线被抬升,疏透度越低,抬升作用越强,实验中所采用的阻沙网疏透度为42%,介于最优疏透度30%~60%,故而流线抬升作用较明显。但研究已经指出,当疏透度大于60%时,流线提升幅度将大大减小^[14,16]。阻沙网对气流的抬升作用使近地层风动量向垂直方向传递,导致其背风侧顶部区域气

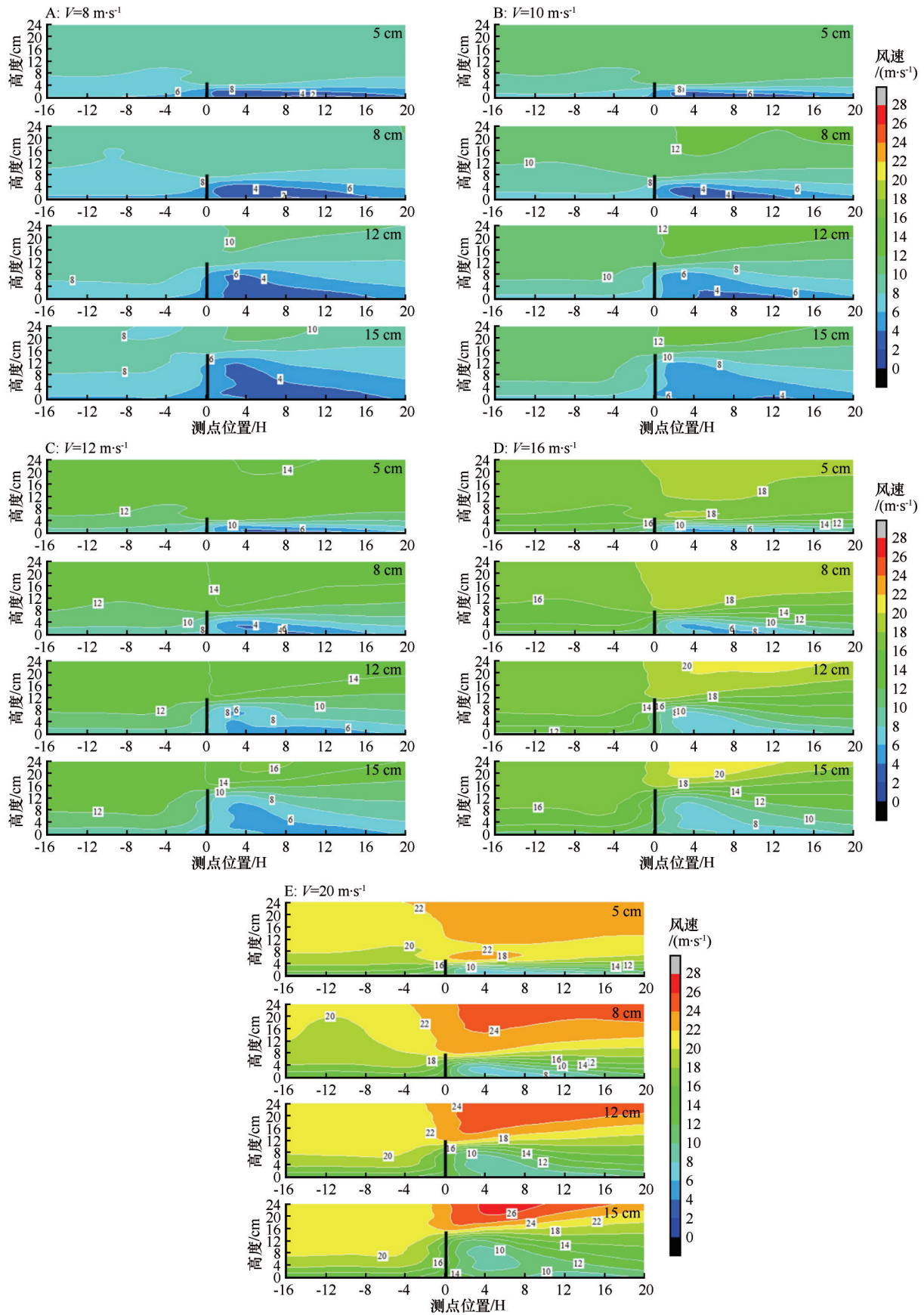


图 5 不同来流风速下不同高度阻沙网流场分布

Fig.5 Flow fields around fences of different heights under under different inflow wind speeds

流速度增强,形成上方加速区。与此同时,迎风侧气流在通过阻沙网时受到阻挡,部分动能损耗并转化为湍流能量,从而在背风侧近地面区域形成明显的减速与沉降区。阻沙网迎风侧和背风侧的减速区是沙粒最主要的沉积区^[15,17-18],但分析各组流场发现,随着阻沙网高度的增加,两个减速区面积都在增加,背风侧减速区面积始终大于迎风侧,其风速的减弱速率和幅度也明显高于迎风侧,例如当自由流风速为 $8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时(图5A),背风侧减速区内最低风速低于 $2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,而迎风侧减速区内风速为 $4\sim 6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。气流经过阻沙网背风侧的减速沉降区后,随着与阻沙网水平距离的增大,气流逐渐摆脱阻沙网的影响,风速逐渐恢复到自由流。阻沙网越高,迎风侧气流抬升强度越大,导致网顶的加速区有向上风向移动的趋势。

不同高度的阻沙网背风侧最小流速出现的起始位置不同,以风速 $10\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 为例(图5B),4个高度阻沙网背风侧最小风速均为 $4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,但最小位置有很大不同。当网高为 5 cm 时,最小风速在 $1.85H$,即 9.25 cm ;当网高为 8 cm 时,最小风速在 $1.75H$,即 14 cm ;当网高分别为 12 、 15 cm 时,最小风速分别在 $4H$ 、 $10H$,分别相当于背风侧距阻沙网布设位置 48 cm 和 150 cm 。因此,阻沙网越高,速度降低越慢,也可以认为由最小风速包围的区域范围越大,减速沉降区的范围越大。相反,当阻沙网较低时,风速在背风侧很短的距离内达到最小值,继而增大,很快恢复到自由流风速,减速沉降区面积较小,不利于沙粒的沉降。

2.2 风速廓线

风速廓线是气流结构的重要特性。受地面摩擦阻力的影响,在近地表层稳定床面上的风速廓线随高度呈对数分布^[19]。但在阻沙网布设条件下,风速廓线并不完全服从对数分布规律。当来流风速分别为 $8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $16\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,在 $-4H$ 处,4种高度阻沙网风速廓线的形式仍与稳定床面基本一致,基本服从对数分布规律;在 $-0.5H$ 处,阻沙网高度以下风速逐渐减弱,阻沙网越高,风速减弱越强。在下风向 $0.5H\sim 6H$ 或 $0.5H\sim 8H$ 在阻沙网高度以下的风速减弱趋势达到最大,这归结于阻沙网前的气流堵塞效应^[20]。自阻沙网背风侧 $12H$ 处继续向下风向延伸,风速衰减程度逐渐减弱。在距网体背风侧 $20H$

处,风速剖面形态逐渐接近入流剖面,说明流场扰动效应趋于减弱,气流逐步恢复至原始流动状态。然而,此处风速仍低于入流风速,表明阻沙网的残余影响依然存在(图6)。

2.3 风速水平分布

图7是在3种来流风速(8 、 12 、 $16\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)条件下,在距离风洞地板一定高度 h (0.3 、 0.6 、 1.2 、 2.4 、 8 、 12 、 16 、 20 、 24 cm)水平方向的风速变化,可以看出,在3个自由流风速下,阻沙网附近的风速分布大致相似,表明自由流风速的影响很小。共同特征是,风速减弱程度在低于阻沙网高度时明显。当阻沙网高度为 5 cm 时, $h=4\text{ cm}$ 的风速已基本不受其影响。当阻沙网高度为 8 cm 时, $h=8\text{ cm}$ 的风速也没有明显的减弱趋势。当阻沙网高度为 12 cm 时, $h=12\text{ cm}$ 的风速也基本恢复到进口风速大小。在距风洞地表 $h=12\text{ cm}$ 的高度, 15 cm 高度阻沙网背风侧气流扰动还很强;但在 $h=16\text{ cm}$ 高度,风速受阻沙网扰动程度下降,在 $h=20\text{ cm}$ 高度,风速已基本不受阻沙网干扰。根据阻沙网对气流的干扰在超过网高时较弱^[20-22],这里主要关注 $h=12\text{ cm}$ 高度以下的风速,据此分析风速减弱率,即防风效能。

2.4 防风效能

在低于阻沙网高度范围内,有最强的风速减弱效应。因此,根据图6,对于4个高度阻沙网,分别选择等于及低于 2.4 、 4 、 8 、 12 cm 的风速,采用公式(2)和公式(3)获得相应高度的防风效能,并求其算术平均值作为阻沙网两侧对应水平位置的平均防风效能。以自由流风速 $12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 为例,从 $-4H$ 开始,防风效能逐渐增强直至 $6H$ 或 $8H$ 达到最大,随后减小(图8)。 5 、 8 、 12 cm 阻沙网在 $6H$ (分别为 30 、 48 、 72 cm)防风效能最大,分别为 58.02% 、 53.81% 、 50.19% ,而 15 cm 阻沙网在 $8H$ (120 cm)防风效能达到最大值,为 44.16% ,因此可以大致认为 $6H$ 和 $8H$ 较为特殊。从此点到阻沙网布设位置是沙粒大量沉积的区域。从图5也可以发现,虽然阻沙网高度不一致,但自阻沙网布设位置到背风侧 $8H$,减速区的范围风速持续较小。自 $12H$ 开始,风速恢复,等值线逐渐变得平直;自 $12H$ 开始延伸至 $16H$,风速在来流风速的 $56\%\sim 67\%$, $20H$ 为 $69\%\sim 77\%$ 。根据Heisler等^[23]定义的防护距离标准,由于

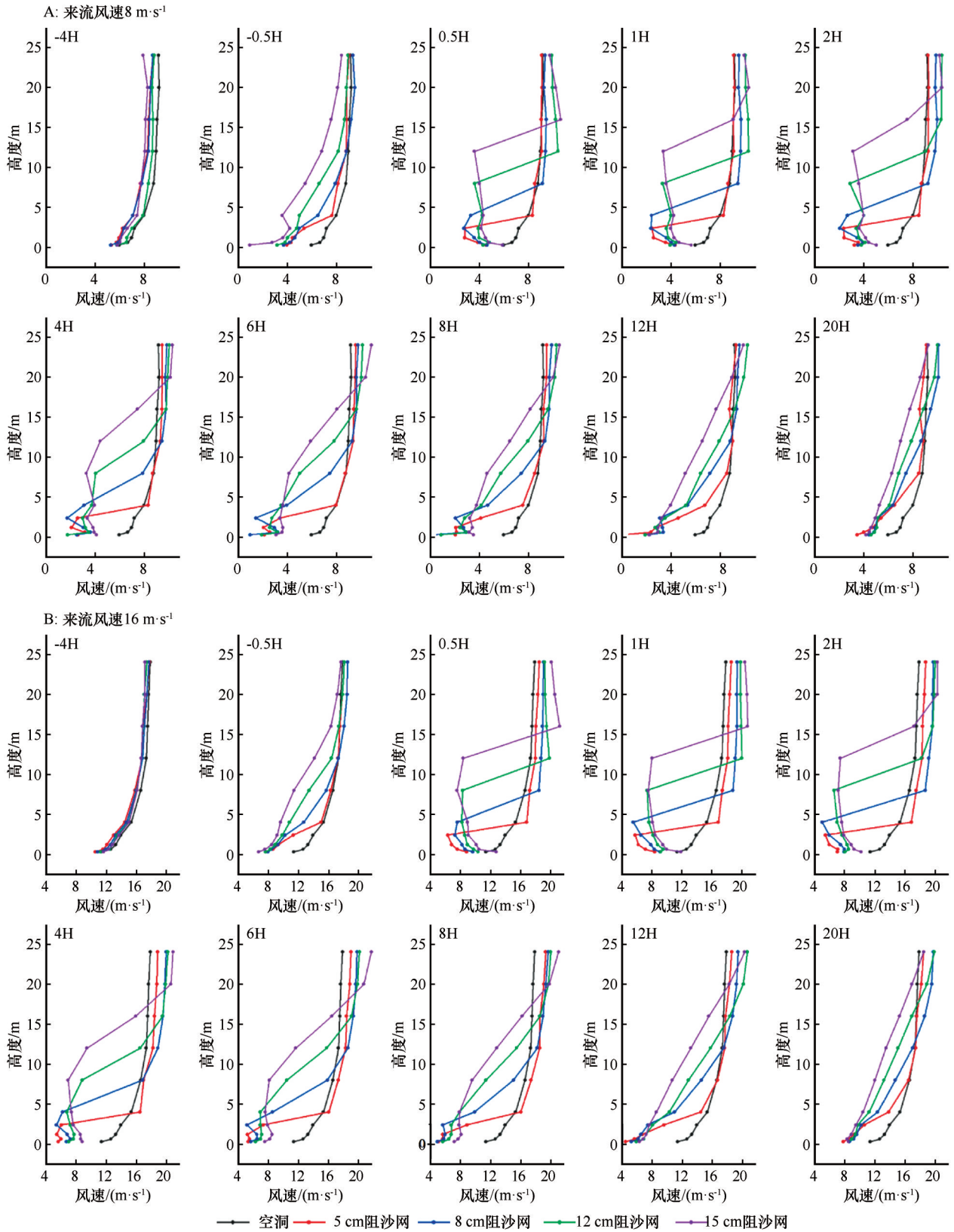


图 6 $8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $16 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 来流风速下不同高度阻沙网两侧风速廓线

Fig.6 Wind speed profiles around fences of different heights under wind velocity of $8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ and $16 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

16H 位置风速仍未达到进口风速的 70% 但已基本接近, 但 20H 已达到进口风速的 70%, 故认为阻沙网

在下风向的防护距离至少可延伸至 16H, 由于本文的防护距离采用平均防风效能得到, 与 Dong 等^[14]

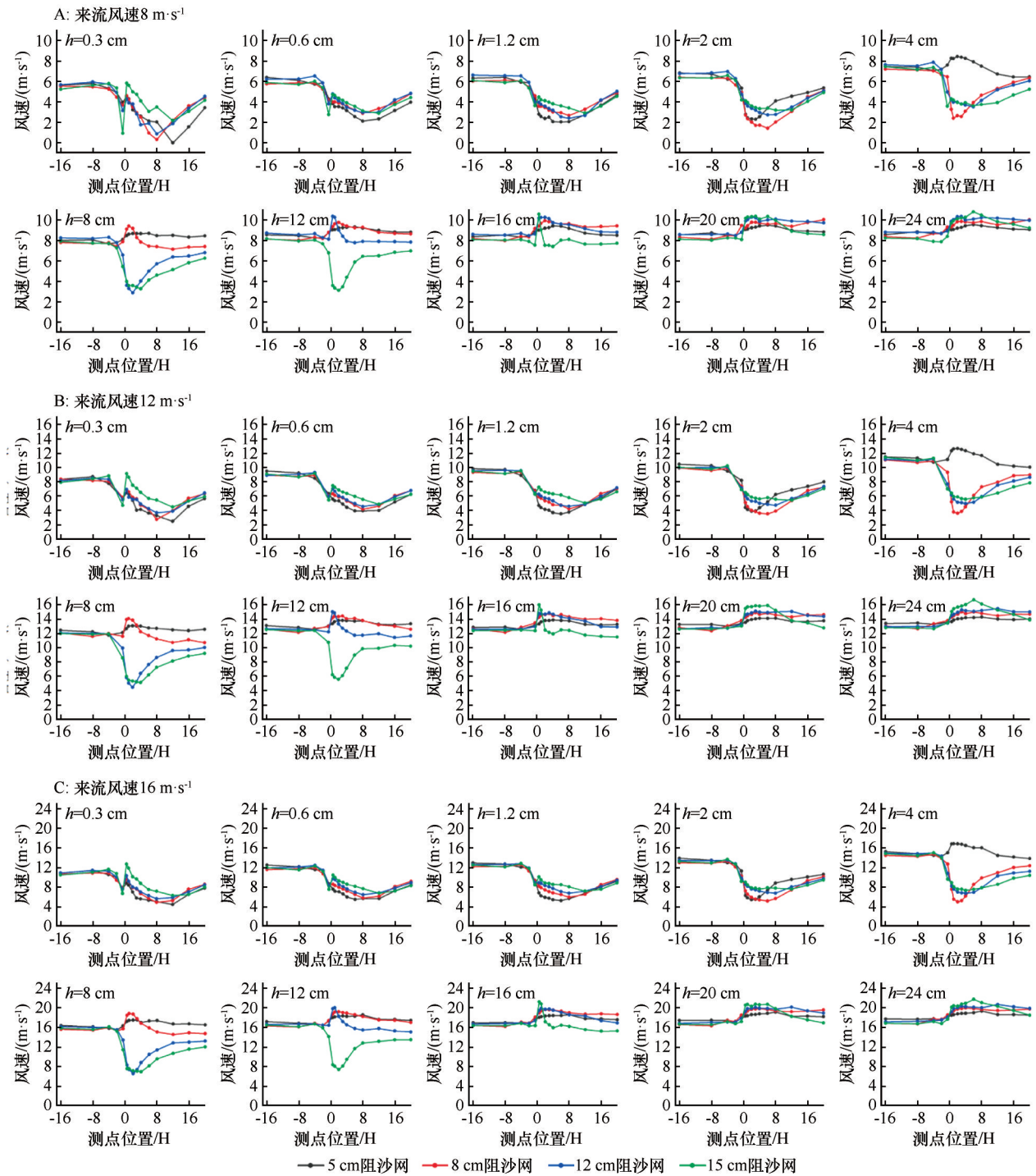


图7 不同来流风速下阻沙网水平方向风速分布特征

Fig.7 Distribution of flow velocity in horizontal direction of fences different inflow wind speeds

得到的8H~16H和罗万银等^[24]得到的13H~15H有差别。

3 结论

从阻沙网前后的流场分布来看,气流在经过时存在明显的功能分区,主要分为迎风侧减速区、网

顶加速区、背风侧减速沉降区3个功能区。阻沙网迎风侧和背风侧的减速区是沙粒最主要的沉积区。背风侧减速区面积始终大于迎风侧,风速的减弱速率和幅度也明显高于迎风侧。

迎风侧减速区从-4H开始,自阻沙网布置位置直至6H或8H,防风效能达到最大,此范围内沙粒大

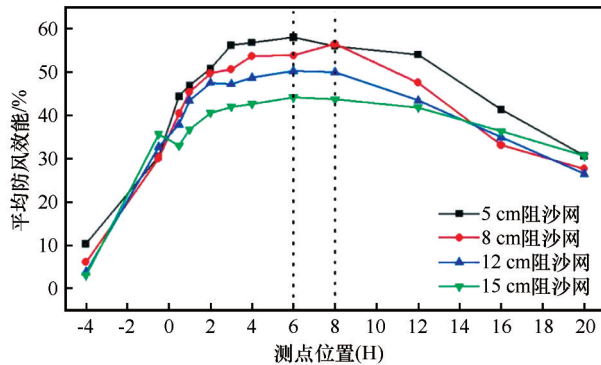


图8 风速为 $12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,不同高度阻沙网的平均防风效能
Fig.8 The average reduction coefficient of horizontal wind velocity of different height fences, when the wind speed is $12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

量沉积。由于16H位置风速达到来流风速56%~67%,已基本接近70%,故认为阻沙网在下风向的防护距离至少可延伸至16H。

参考文献:

- [1] Yao Z, Xiao J, Ma X, et al. Evaluation of the effectiveness of an expressway sand protection system in a gobi region: case study of the Ceke-Ejina expressway, Ejina Banner, China[J]. International Soil and Water Conservation Research, 2025, 13(1): 177-188.
- [2] 汪万福,王涛,张伟民,等.敦煌莫高窟风沙危害综合防护体系设计研究[J].干旱区地理,2005(5):614-620.
- [3] 倪成君,何海琦,张克存,等.华南沿海风沙危害防护体系及其效益分析[J].中国沙漠,2011,31(5):1098-1104.
- [4] 张克存,屈建军,牛清河,等.青藏铁路沿线阻沙栅栏防护机理及其效应分析[J].中国沙漠,2011,31(1):16-20.
- [5] Plate E J. The aerodynamics of shelter belts[J]. Agricultural Meteorology, 1971, 8: 203-222.
- [6] 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): 127-165.
- [7] 朱志昊,屈建军,赵爱国,等.两种形状镁水泥板沙障防风积沙效益的风洞试验[J].中国沙漠,2024,44(2):1-10.
- [8] 罗万银,董治宝,钱广强,等.直立阻沙栅栏流场特征的风洞模拟实验[J].中国沙漠,2009,29(2):6.
- [9] Dong Z, Qian G, Luo W, et al. Threshold velocity for wind erosion: the effects of porous fences[J]. Environmental Geology, 2006, 51(3): 471-475.
- [10] Li B L, Sherman D J. Aerodynamics and morphodynamics of sand fences: a review[J]. Aeolian Research, 2015, 17: 33-48.
- [11] Torita H, Satou H. Relationship between shelterbelt structure and mean wind reduction[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2007, 145(3/4): 186-194.
- [12] Dong Z B, Luo W Y, Qian G Q, et al. Evaluating the optimal porosity of fences for reducing wind erosion[J]. Sciences in Cold and Arid Regions, 2011, 3(1): 1-12.
- [13] Cornelis W M, Gabriels D. Optimal windbreak design for wind-erosion control[J]. Journal of Arid Environments, 2005, 61(2): 315-332.
- [14] Dong Z B, Luo W Y, Qian G Q, et al. A wind tunnel simulation of the mean velocity fields behind upright porous fences[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2007, 146(1/2): 82-93.
- [15] Yu Y P, Zhang C L, An Z S, et al. The blocking effect of the sand fences quantified using wind tunnel simulations[J]. Journal of Mountain Science, 2020, 17(10): 2485-2496.
- [16] Dong Z B, Luo W Y, Qian G Q, et al. A wind tunnel simulation of the turbulence fields behind upright porous wind fences[J]. Journal of Arid Environments, 2010, 74(2): 193-207.
- [17] Wang T, Qu J J, Ling Y Q, et al. Wind tunnel test on the effect of metal net fences on sand flux in a Gobi Desert, China[J]. Journal of Arid Land, 2017, 9(6): 888-899.
- [18] Lee S J, Park K C, Park C W. Wind tunnel observations about the shelter effect of porous fences on the sand particle movements[J]. Atmospheric Environment, 2002, 36(9): 1453-1463.
- [19] 鱼燕萍,肖建华,屈建军,等.不同坡角公路路基流场的风洞实验[J].中国沙漠,2018,38(3):464-472.
- [20] Cheng J J, Lei J Q, Li S Y, et al. Disturbance of the inclined inserting-type sand fence to wind-sand flow fields and its sand control characteristics[J]. Aeolian Research, 2016, 21: 139-150.
- [21] Xiao J H, Yao Z Y, Qu J J. Influence of Golmud-Lhasa section of Qinghai-Tibet Railway on blown sand transport[J]. Chinese Geographical Science, 2015, 25(1): 39-50.
- [22] Cheng J J, Jiang F Q, Xue C X, et al. Characteristics of the disastrous wind-sand environment along railways in the gobi area of Xinjiang, China[J]. Atmospheric Environment, 2015, 102: 344-354.
- [23] Heisler G M, Dewalle D R. Effects of windbreak structure on wind flow[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 1988, 22(3): 41-69.
- [24] 罗万银,董治宝,钱广强.栅栏最佳疏透度的空气动力学评价[J].中国沙漠,2009,29(4):583-588.

Wind field disturbance induced by tall vertical sand barriers: a wind tunnel simulation

Ma Xixi¹, Xiao Jianhua^{2a}, Yao Zhengyi^{2a}, Xue Xian^{2ab}

(1.School of History, Culture and Tourism, Fuyang Normal University, Fuyang 236037, Anhui, China; 2. a.State Key Laboratory of Ecological Safety and Sustainable Development in Arid Lands / b.Drylands Salinization Research Station, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Tall vertical high-density polyethylene (HDPE) sand barrier exhibits excellent mechanical properties and durability, demonstrating significant sand-blocking effectiveness in windbreak and sand-fixation projects. It has become a key protective measure widely adopted in areas severely affected by wind-blown sand, such as desert highways. This study employed wind tunnel simulations using sand samples collected from a severely sand-affected section of the S315 highway in Ejin Banner, Inner Mongolia, to investigate airflow disturbances and windbreak performance of sand barriers under varying combinations of barrier heights and incoming wind speeds. The results revealed that the barriers generated a well-defined three-zone structure (deceleration, acceleration, and deposition) on both the windward and leeward sides, with wind speed reduction being more pronounced on the leeward side. As barrier height increased, both deceleration zones expanded, with the leeward zone consistently broader and exhibiting greater wind attenuation in both rate and magnitude. Notably, the protective influence of the barrier extended to a downwind distance of up to 16 times its height (16H).

Key words: tall vertical high-density polyethylene (HDPE) sand barrier; wind tunnel experiments; wind field disturbance; windbreak efficiency