



穿沙公路沙柳防护带平茬恢复期辅助沙障设置模式优选

裴志永, 乔敬伟, 秦伟, 段广东, 郝少荣, 王国忠

引用本文:

裴志永, 乔敬伟, 秦伟, 等. 穿沙公路沙柳防护带平茬恢复期辅助沙障设置模式优选[J]. 林业工程学报, 2019, 4(4): 127–134.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13360/j.issn.2096-1359.2019.04.019>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

沙柳试验削片机切削机构的设计

Design on the cutting mechanism of experimental sandy-shrub chipper

林业工程学报. 2016, 1(4): 124–128 <https://doi.org/10.13360/j.issn.2096-1359.2016.04.021>

磷酸活化沙柳制备活性炭工艺

Study of the preparation of Salix psammophila activated carbons by the activation of H₃PO₄

林业工程学报. 2016, 1(3): 58–62 <https://doi.org/10.13360/j.issn.2096-1359.2016.03.011>

7种沙生灌木饲用营养成分评定

Analysis of the grazing value of seven shrub species

林业工程学报. 2015, 29(5): 139–142 <https://doi.org/10.13360/j.issn.1000-8101.2015.05.034>

沙柳多元醇液化产物流变性能的研究

林业工程学报. 2020, 5(2): 90–96 <https://doi.org/10.13360/j.issn.2096-1359.201907013>

沙柳多元醇液化产物流变性能的研究

The research of rheological properties of salix polyol liquefied products

林业工程学报. 2020, 5(2): 90–96 <https://doi.org/10.13360/j.issn.2096-1359.201907013>

穿沙公路沙柳防护带平茬恢复期辅助沙障设置模式优选

裴志永¹, 乔敬伟¹, 秦伟², 段广东¹, 郝少荣¹, 王国忠^{1*}

(1. 内蒙古农业大学能源与交通工程学院, 呼和浩特 010018; 2. 内蒙古建筑职业技术学院市政与路桥工程学院, 呼和浩特 010070)

摘要:为防止穿沙公路路侧地表和路面在沙柳防护带平茬恢复期内被风蚀和沙埋, 设置纱网沙障予以防护, 并探究其发挥阻、输沙能力的最优设置模式。在沙柳防护带迎风侧, 设置不同距离和角度的纱网沙障, 对各模式下的风速和输沙率进行观测, 计算粗糙度并分析。研究结果表明: 设置距沙柳防护带不同距离的纱网沙障, 风速流场等值线分布不同, 其中距离为3倍障高时风速降低和恢复的速率较其他两个距离更快, 且风速衰减幅度最大点所对应位置在沙柳防护带范围内; 沙柳防护带内地表粗糙度均大于旷野(7.33倍以上), 设置角以45°为最优; 减少输沙率随纱网沙障设置角度的增加而减小, 且均大于88.08%, 距离为3倍障高时各角度减少输沙率均值为89.14%, 对近地表风沙流控制效果最为明显。综合对比分析, 纱网沙障最优设置模式为: 沙柳防护带迎风侧3倍障高处, 与地面夹角45°。

关键词:穿沙公路; 沙柳防护带; 纱网沙障; 风蚀; 沙埋

中图分类号: S753.7 文献标志码: A 文章编号: 2096-1359(2019)04-0127-08

Optimization of the sand barrier's set mode during stumping convalescence of *Salix psammophila* protection belt on desert crossing highway

PEI Zhiyong¹, QIAO Jingwei¹, QIN Wei², DUAN Guangdong¹, HAO Shaorong¹, WANG Guozhong^{1*}

(1. College of Energy and Transportation Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China;

2. Municipal & Road & Bridge Engineering College, Inner Mongolia Technical College of Construction, Hohhot 010070, China)

Abstract: Road surface and highway pavement would be easily damaged by wind erosion and sand burial during stumping convalescence of *Salix psammophila* protective belt on the desert crossing highway. Therefore, the gauze sand barrier was set up for protection of road surface, and its mode of arrangement high limit sand resistance and sediment transport were explored. On the windward side of *S. psammophila* protective belt, the gauze sand barrier was set at different angles and at different distances of *S. psammophila* protective belt's windward side. The wind speed and sediment transport rate were observed, and the roughness was analyzed in different modes. As the distance from gauze sand barrier to *S. psammophila* protection belt varied, the results showed that the distribution of wind speed flow isoline was different. The isoline was the densest when the distance was 3 times greater than the barrier height. In addition, the corresponding position with the maximum attenuation of wind speed was within the scope of the *S. psammophila* protective belt. And the maximum rate of the wind speed reduction and recovery were compared with the other two distance arrangements. The surface roughness within *S. psammophila* protective belt was markedly increased and greater than the open field (more than 7.33 times), and the best setting angle was 45°. The reduction of the sediment transport rate decreased with the increase of the setting angle of the gauze sand barrier, and all of them were greater than 88.08%. The effect of control to wind sand flow on surface was the most obvious when the gauze sand barrier was 3 times greater than barrier height from *S. psammophila* protective belt, and the average of transport rate was 89.14%. Above all, the optimum mode of arrangement gauze sand barrier should be set 3 times greater than the barrier height and had an angle of 45°.

Keywords: desert crossing highway; *Salix psammophila* protection belt; gauze sand barrier; wind erosion; sand burial

收稿日期: 2018-08-24 修回日期: 2018-12-08

基金项目: 国家自然科学基金(31400622)。

作者简介: 裴志永, 男, 副教授, 研究方向为森林资源开发与环境工程。通信作者: 王国忠, 男, 教授。E-mail: guozhongwnm@126.com

省道313乌审旗段地处毛乌素沙地南缘,沿线自然环境恶劣,风大沙多,流动沙丘分布广泛,穿沙公路随时受到风蚀沙埋的严重危害,从而影响到道路的正常运营,制约着该地的资源开发和经济的持续发展^[1]。为防风治沙,最大程度保护公路减少风沙危害,当地以沙柳为树种配置设立防护林带并取得良好效果。

沙柳的生物学特性要求3~5 a对过成熟沙柳进行平茬复壮^[2],否则就会因衰退而失去防护功能。穿沙公路沙柳防护带植被逐步退化,多年生植物大量减少,导致植被的高度和盖度不足以防止表层土壤风蚀^[3-4]。平茬恢复期内,沙柳防护带拦截地表风沙流能力减弱,地表粗糙度降低,风速增加,挟沙能力增大,输沙率则呈指数式增加^[5],对沙柳防护带内地表造成风蚀的同时,穿沙公路出现沙埋现象。为解决这一工程问题,需在植被再次发挥防沙作用之前的短时间内增设辅助防沙设施^[6],来防治公路沙害。沙漠化防治的另一种重要手段是机械固沙,即通过设置各种机械沙障,对风沙起到固、阻、输、导的作用^[7],达到防止风沙危害的目的。PE纱网,即聚乙烯纱网,作为一种绿色环保的机械沙障材料,具有低成本重复使用的优势和显著的防风固沙效果而被广泛应用。

PE纱网材料沙障由Qu等^[8]于2000年发明,并在沿海海岸风沙防治中试验成功,现阶段已被应用到了铁路戈壁风沙流对路基危害^[9]的防治当中,试验结果表明:PE纱网沙障具有抗风蚀性能强、可重复利用、寿命长及绿色环保等特点,能够有效控制风沙流危害,并对减少路基养护工作量具有重要作用;闫德仁等^[10]对设置纱网沙障前后的输沙量进行风洞模拟试验得出:在沙障迎风侧0.5H(H为障高)和背风侧0.5H~2H范围内均处于积沙状态,并且距离沙障越近积沙越厚,而在沙障迎风侧1.5H~2.5H范围则以风蚀状态为主,这种风蚀积沙变化为在纱网沙障背风侧3H范围内植树固沙造林提供了理论依据;王睿等^[11]对几种不同材料机械沙障防沙效益进行监测表明,防风效益、阻沙效益和表土含水率等随沙障材料、规模和结构发生变化,高密度聚乙烯纱网沙障的风速降低比为55.7%,高于同规格沙柳沙障18.3%,各材料机械沙障均能减少积沙量并保持土壤水分;闫德仁等^[12]对纱网沙障植被恢复研究表明,纱网沙障设置2 a后,草木植被盖度平均提高到40%左右,风沙危害得到明显控制。现阶段关于纱网沙障的研究大多针对单一纱网沙障结构,对其防风阻沙效益

具有重要意义。但当前关于公路沙柳防护带平茬恢复期,如何排布纱网沙障使之最大限度地发挥阻、输沙功能的问题仍缺乏实证研究。

为确保沙柳防护带平茬恢复期内公路和沙柳防护带地表免受沙埋和风蚀的危害,以纱网沙障为研究对象,通过野外调查及风速观测,探究其最佳布置方式,使纱网沙障能够对沙柳防护带内地表起到固沙作用的同时,又可对公路路面的流沙进行疏导,防止穿沙公路出现沙埋现象。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区地处省道313府深线图—乌段,全长71.2 km,位于毛乌素沙地南缘鄂尔多斯市,东起图克镇,西止乌审旗。公路两侧沙丘高大,流动性强,风蚀严重,对公路危害性大。当地年风沙日数100~252 d,主要以西北风为主,风期常见风速为6~8 m/s,起沙风速为4.6 m/s,砂砾组成主要以粗沙和中沙为主。

该地主要的气候表现为大风和多风季节。植被主要有:沙柳(*Salix psammophila*)、油蒿(*Artemisia ordosica*)、柠条(*Caragana intermedia*)等。

1.2 试验设计

1.2.1 试验地的选择

试验地位于府深线图—乌段(38°42'40.67"N, 109°03'42.94"E)处,防护情况见图1。该段公路走向与主风向夹角^[13]约为39°,因其小于45°,属于易形成路面舌状和堆状沙埋路段^[14],路堑距离长,高度大,并且高大流动沙丘多,沙丘坡度约为27°。经以往观测,全年中3—5月多为大风天气,风沙活动较其他月份更为活跃,图2反映了3—5月的主风向分布情况。选择垂直于主风向的成熟两行一带式沙柳防护带(长度15 m)进行平茬,留茬高度为5 cm。防护带行距宽1.5 m,株距0.5 m。测得平茬恢复期内沙柳防护带地表沙粒径范围为1.42~6.30 mm,属风沙危害粒径。纱网沙障高度为1.5 m,孔目尺寸2 mm×2 mm,为避免边缘效应,纱网长度设置为30 m^[15]。

1.2.2 测试项目与方法

纱网沙障设置模式:纱网沙障的设置分为沙柳防护带迎风侧1倍障高处(-1H),2倍障高处(-2H),3倍障高处(-3H)。根据试验地实测,与地面水平夹角为30°不易于固定,起不到长时间防风阻沙的作用,所以角度分别设置为0°,45°,60°和90°(图3a)。

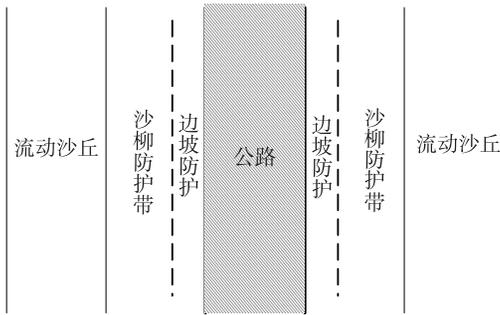


图1 公路防沙体系
Fig. 1 Highway sand control system

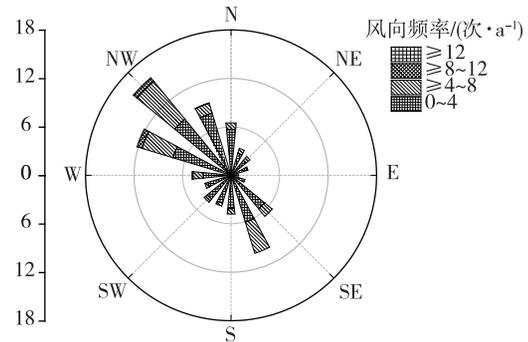


图2 3—5月风向玫瑰图
Fig. 2 March-May wind rose map

风速风向测量:实验采用 QS-3000, 16 通道瞬时风速采集仪,旷野设置 HOBO 风速风向仪作为对照。风速测点布置方向沿主风向并垂直于纱网沙障,分别位于沙柳防护带的迎风侧 1 倍障高处 (-1H),背风侧 1 倍障高处 (1H), 2 倍障高处 (2H), 3 倍障高处 (3H), 4 倍障高处 (4H), PE 纱网沙障的迎风侧 1 倍障高处 (随沙障移动), 为探

究近地表风沙流活动规律,将第 1 个风杯高度设置为 0.2 m;借鉴贾丽娜等^[15]、韩致文等^[16]、庞营军等^[17]对于直立式网格状机械沙障的研究方法,本研究将第 2 个风杯高度设置为 2 m,如图 3b。按纱网沙障不同设置模式依次进行观测,数据记录间隔时间为 5 s,观测时间为 30 min。

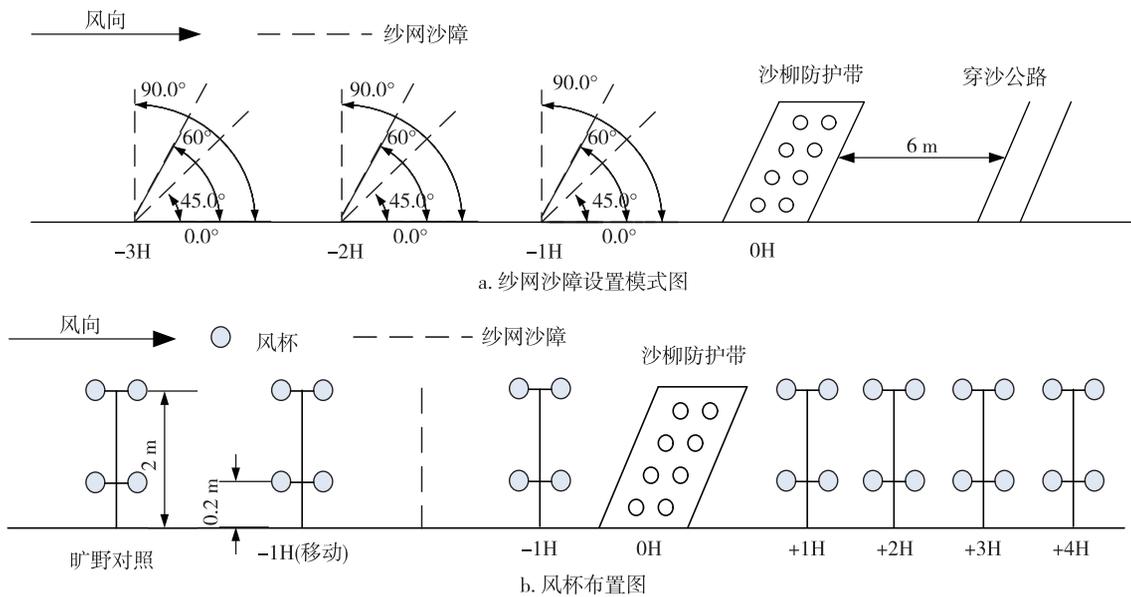


图3 实验仪器布设示意图
Fig. 3 Layout of experimental instruments

近地表输沙率测定:采用 BL-DJSQ 多路方口阶梯式集沙仪,集沙仪进沙口规格为 20 mm×20 mm,共 50 路,高度为 1 m。观测时将集沙仪设置在纱网沙障的前后各 1 m 处,进沙口与旷野主风向垂直,集沙仪底部与地面齐平^[18]。每组试验观测结束后,使用精度为 0.01 g 的电子秤称质量。

地表粗糙度观测:地表粗糙度是风速等于零的某一几何高度,是气流梯度濒临消失的最小值^[19]。利用 0.2 m 和 2 m 处风速值,剔除数据中明显偏离所属样本其余观测值的个别值。根据拉伊哈特曼

公式^[20]进行计算:

$$\lg Z_0 = \frac{\lg Z_2 - \frac{u_2}{u_1} \lg Z_1}{1 - \frac{u_2}{u_1}}$$

式中: Z_1 、 Z_2 为观测点高度,m; u_1 、 u_2 为高度 Z_1 、 Z_2 处的风速,m/s; Z_0 为粗糙度,cm。

1.3 数据处理

利用 Excel 2016 进行数据整理,用 Origin 9.0 和 Suffer 8.0 对数据进行处理分析。由于当旷野风

速小于起沙风速(4.6 m/s)时不能对风沙活动产生直接影响^[21],故剔除低于起沙风速的数据组。为避免野外风向的多变性,对每组测试实时数据进行筛选,将0.2和2 m高度处每组实时数据进行平均,得到1组测量结果,个别点出现异常的原因可能是野外风向的突变造成的。

2 结果与分析

2.1 纱网沙障防风体系流场特征

纱网沙障和沙柳防护带体系内外的风场特征可以直观地反映气流的阻滞情况,通过分析防风体系风速流场图中不同高度的等值线分布,可以得出防风体系前、后不同距离范围内的风速变化规律。为确定纱网沙障不同距离下的风速流场特征,将纱网沙障角度统一设置为90°。将数据进行筛选,得到纱网沙障距沙柳防护带1倍障高时旷野风速为6.82 m/s的测量组、2倍障高时旷野风速为6.11 m/s的测量组、3倍障高时旷野风速为5.88 m/s的测量组。利用 Suffer 8.0 绘制出纱网沙障和沙柳防护带复合体系内的风速流场图(图4~6)。

由图分析可得:随着纱网沙障距沙柳防护带的距离增加,3个距离的风速衰减区的起点向前迁移,风速衰减断面范围扩大,且速度变化幅度变大,

表明纱网沙障的设置距离与风速流场特性有密切关系。纱网沙障距沙柳防护带距离不同,风速变化规律大致相同,但风速流场中风速降低幅度最大所对应的位置不同。确定风速降低最大幅度的点所对应的位置,对沙柳防护带前缘制定合理的纱网沙障排布方式具有重要意义^[22]。0.2 m高度处:当纱网沙障距沙柳防护带1倍障高时,在防护带背风侧0H~3H范围内等值线密集,风速衰减幅度较大^[23],防护带背风侧1H~1.5H处达到最小值;当纱网沙障距沙柳防护带2倍障高时,风速衰减断面宽度明显大于1倍障高,在防护带迎风侧-1H到背风侧1H范围内降到最低,说明两者相距2倍障高时风速衰减最大值所对应的位置较1倍障高远,但等值线都较为稀疏,风速减弱和恢复的速度都较慢;纱网沙障距防护带3倍障高时,其风速变化规律与2倍障高大体相同,但等值线密度较其他两个距离都要密集,风速变化幅度最大点所对应的位置在沙柳防护带范围内,可在沙柳防护带处使风速迅速衰减到最小值,且在沙柳防护带背风侧风速恢复速率较快,路面输沙效果显著。

受纱网沙障透风性的影响,气流被分为两部分,近地表气流穿过沙障风速降低,而2 m 高风速绕过纱网沙障时发生绕流而增加,3个距离均在迎

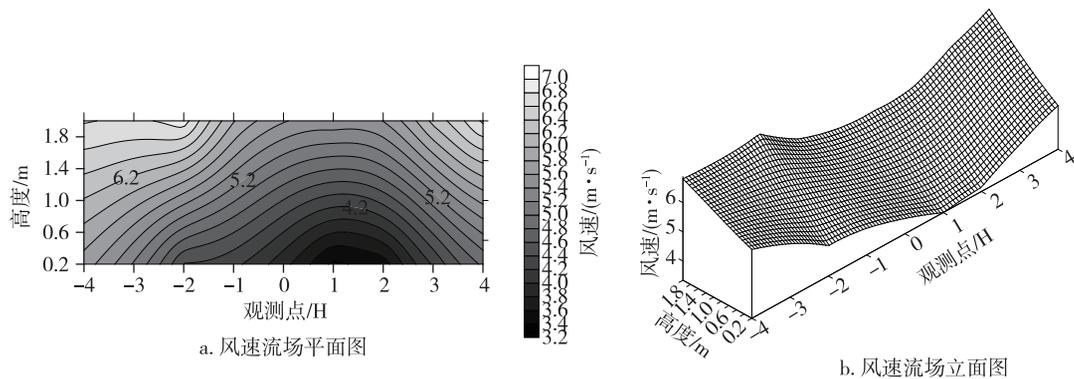


图4 6.82 m/s 风速流场图
Fig. 4 6.82 m/s wind velocity field diagram

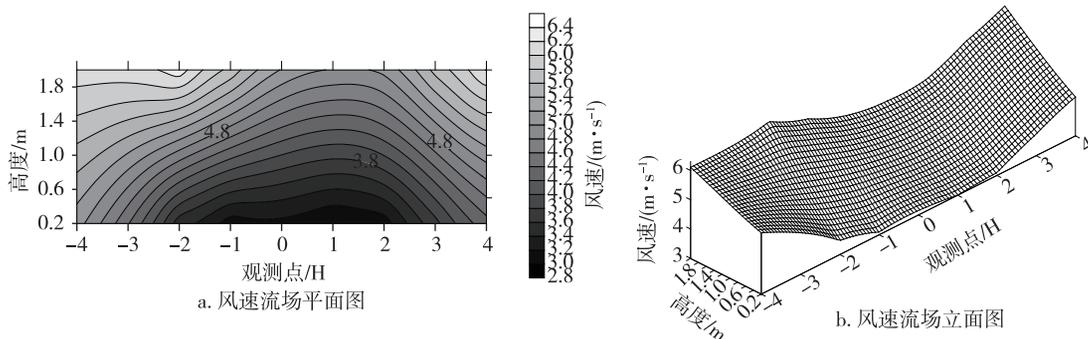


图5 6.11 m/s 风速流场图
Fig. 5 6.11 m/s wind velocity field diagram

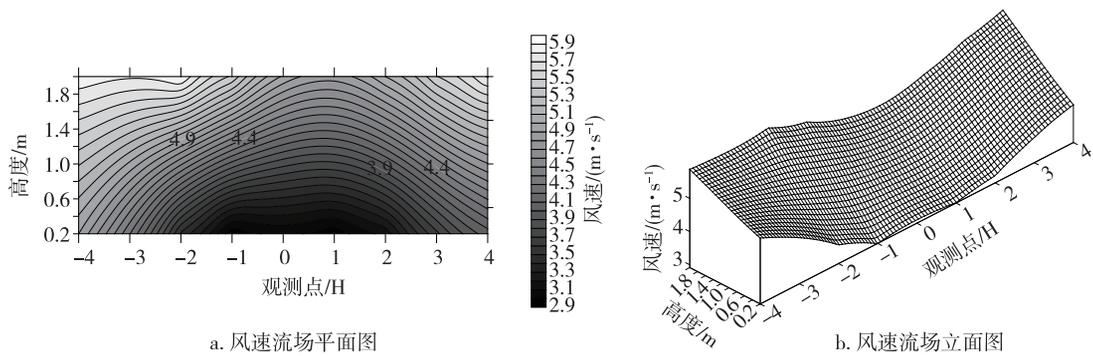


图6 5.88 m/s 风速流场图
Fig. 6 5.88 m/s wind velocity field diagram

风侧-2.5H~-1.5H 的上方有一个显著风速加速区,在-1H~3H 之间等值线平稳,风速变化不大。4H 后,风速基本恢复到了旷野风速。风速流场特征表明,纱网沙障断面风速总体呈纱网沙障前缘风速迅速降低区—中部风速低值区—后缘风速恢复区的趋势,纱网沙障前缘风速迅速降低,导致沙粒沉积,是主要的堆积区。纱网沙障防护中部,风速降低,此时风速控制在起沙风速之下,可控制地表起沙,对纱网沙障背风侧的平茬恢复期内沙柳防护带及公路路面起到防护作用。设置纱网沙障可将来风风速在防护带范围内有效降低,并在沙柳防护带背风侧逐渐升高,拦截了近地表风沙流的同时可防止流沙在路面堆积。

2.2 不同设置模式纱网沙障内外风速变化规律

野外风速测定过程中风速风向变化大,较难比较,因此选取相对风速(0.2 m 处风速和 2 m 处风速的比值)来比较各个角度和位置的纱网沙障风速衰减和恢复规律(图7)。不同排布方式下风速变化规律大体一致,但防风体系的风速衰减和恢复幅度并不相同。图7 可以清楚地反映出纱网沙障和沙柳复合体系内风速变化情况,风速降低28.9%~51.0%不等,纱网沙障角度设置为45°时,3 个距离下的风速衰减量均最大,纱网沙障和沙柳防护带体系的防风效果最为明显。风速恢复速率呈90°>45°>60°>0°的变化趋势,且沙柳防护带背风侧4H 处均大于纱网沙障障前风速。

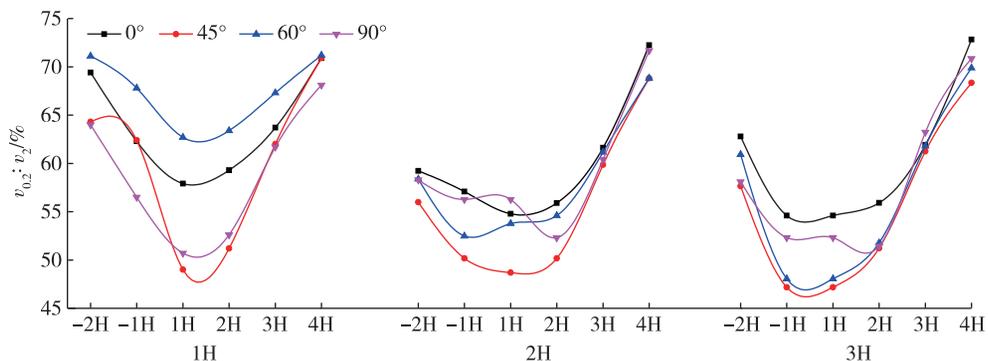


图7 风速衰减趋势图
Fig. 7 Wind velocity attenuation trend diagram

随着纱网沙障位置的改变,风速降低的速率也不同,距沙柳防护带3 倍障高处的风速衰减程度整体性高于其他两个距离,这与风速流场分析结果一致。经观测,未设置纱网沙障时,平茬恢复期内沙柳防护带在背风侧1H 处可将风速减弱27.06%,而设置纱网沙障后,在沙柳防护带背风侧1H 处可将来风风速平均降低43.49%,可见纱网沙障和沙柳防护带的组合可将防风效益提升16.43%。3—5 月当地多以大风为主,设置纱网沙障后风速到达沙柳防护带迎风侧1H 时,可将来风风速减弱到沙粒

启动风速以下,保护表面沙粒不启动,有效地固定近地表风沙流,提高总体的防风效益。在沙柳防护带背风侧4H 处风速恢复到旷野风速的70%~73%,并呈逐渐增大的趋势,到达路面时基本可恢复到旷野风速,输导路面积沙效果良好,路面沙埋得到有效防治。

2.3 不同设置模式纱网沙障下垫面粗糙度变化

粗糙度表征地表与大气的相互作用,反映地表对风速的减弱作用以及对风沙活动的影响,是衡量防风治沙效益的一个重要指标^[15],下垫面粗糙度越

大表示沙地表面风速减弱的效益越好。纱网沙障的防护作用能对气流的扰动加剧,削弱了贴近地层的风速,使风的水平作用面抬升,风力不能直接作用于地表,从而达到防治沙柳防护带被风蚀的作用。

计算各个角度和距离纱网沙障的下垫面粗糙度,结果见表1。由表1可知,试验地旷野平均粗糙度 $K=0.025$,纱网沙障不同设置模式下,沙柳防护带表面的粗糙度均大于旷野粗糙度,其中最大

值、最小值分别是旷野粗糙度的36.23倍和7.33倍。沙障不同排布方式下平均粗糙度呈 $45^\circ > 60^\circ > 90^\circ > 0^\circ$,1倍障高处 > 2 倍障高处 > 3 倍障高处的趋势,但差距并不明显。沙柳防护带背风侧粗糙度呈 $1H > 2H > 3H > 4H$ 的趋势,即随着背风侧距离的增加,粗糙度减少,防止沙柳防护带被风蚀的同时,使风速在路面处增加,防止流沙上路堆积,从而在沙柳防护带范围内达到阻沙、公路路面输沙的目的。

表1 纱网沙障不同排布方式下相对风速、粗糙度分析

Table 1 Analysis of relative wind speed and roughness under different arrangement modes of gauze sand barrier

风杯位置	物理参数	纱网沙障位置和角度											
		1H				2H				3H			
		0°	45°	60°	90°	0°	45°	60°	90°	0°	45°	60°	90°
1H	粗糙度/cm	0.514	0.801	0.686	0.649	0.454	0.823	0.668	0.668	0.537	0.804	0.632	0.631
	风速比($v_{0.2}:v_2$)/%	57.9	49.0	62.7	50.7	55.6	49.0	54.5	57.2	56.3	49.5	50.3	54.2
2H	粗糙度/cm	0.470	0.704	0.650	0.581	0.423	0.762	0.618	0.553	0.459	0.751	0.561	0.537
	风速比($v_{0.2}:v_2$)/%	59.3	51.2	63.4	52.6	56.8	50.6	55.4	52.9	57.5	53.2	53.7	53.4
3H	粗糙度/cm	0.455	0.461	0.467	0.458	0.354	0.535	0.450	0.451	0.344	0.490	0.307	0.298
	风速比($v_{0.2}:v_2$)/%	63.7	62.0	67.3	61.7	63.0	61.1	62.5	61.7	63.0	62.4	62.9	64.2
4H	粗糙度/cm	0.217	0.327	0.309	0.380	0.276	0.372	0.328	0.331	0.282	0.368	0.178	0.189
	风速比($v_{0.2}:v_2$)/%	70.9	70.9	71.2	68.1	74.5	70.8	70.8	73.9	73.0	68.9	70.3	71.2
旷野	平均粗糙度/m	0.414	0.573	0.528	0.517	0.377	0.623	0.516	0.501	0.406	0.603	0.420	0.414
	粗糙度/cm	0.023	0.022	0.024	0.026	0.023	0.025	0.026	0.023	0.024	0.024	0.024	0.024
	风速比($v_{0.2}:v_2$)/%	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

2.4 不同设置模式纱网沙障近地表风沙流结构变化

平茬后沙柳防护带留茬高度过低,对近地表风沙流影响较小,防护能力下降,公路路面易发生风蚀和沙埋。根据试验地实际观察,平茬恢复期内路面开始出现舌状积沙。未设置纱网沙障的情况下,近地表风沙流从流动沙丘迎风坡开始加速,在沙丘的顶部分离^[24],风沙流变得不饱和造成防护带地表被风蚀。纱网沙障能使沙丘表面的沙粒固定,使得不饱和风沙流无法获得沙粒。设置纱网沙障后,近地表风沙流越过沙障的回流与穿过防护带的层流形成一个相对复杂的紊动气流^[25],形成了一个以迎风坡、纱网沙障、沙柳防护带的紊流区,从而降低了风沙流对于下层气流中搬运的沙量。实地观察纱网沙障前沿有堆积区,这是由于近地表0.2 m处风沙流穿过纱网时受到拦截,挟沙能力降低,2 m处风沙流绕过纱网沙障时动能增加而造成,这与内蒙古自治区林业科学研究院闫德仁等^[10]在风洞中研究不同几何形状纱网沙障输沙量中带线性沙障的风蚀状态实验结果相似。

从表2可以看出,设置纱网沙障对近地表风沙流影响剧烈,纱网前后输沙率变化明显,最大、最小

减少输沙率分别为90.23%和88.08%。减少输沙率总体呈 $0^\circ > 45^\circ > 60^\circ > 90^\circ$ 的趋势,其原因是纱网沙障对地投影面积的大小影响其障后输沙量,投影面积越大,纱网沙障对近地表风沙流拦截作用越明显,纱网沙障与沙柳防护带相距3倍障高且角度 0° 时,减少输沙率最大。设立纱网沙障后,沙柳防护带风蚀现象得到缓解,公路沙埋严重区域得到良好的改善,积沙程度明显减弱,表明纱网沙障在平

表2 不同排布方式纱网沙障前后输沙率变化特征

Table 2 Variation characteristics of sediment transport rate before and after sand barriers in different arrangements

纱网沙障 距离和角度	输沙率 $q/(g \cdot cm^{-2} \cdot min^{-1})$		减少输 沙率/%
	网前	网后	
1H/0°	1.42	0.145	89.79
1H/45°	1.41	0.154	89.08
1H/60°	1.40	0.162	88.43
1H/90°	1.39	0.165	88.13
2H/0°	1.34	0.146	89.10
2H/45°	1.45	0.162	88.83
2H/60°	1.43	0.168	88.25
2H/90°	1.46	0.174	88.08
3H/0°	1.33	0.130	90.23
3H/45°	1.47	0.156	89.39
3H/60°	1.45	0.165	88.62
3H/90°	1.44	0.168	88.33

茬恢复期内可代替沙柳防护带发挥阻沙作用,对公路路面进行防护。

3 结 论

1) 纱网沙障距防护带不同距离下风速流场等值线密度呈3倍障高处>2倍障高处>1障高处的趋势。纱网沙障距防护带3倍障高处时,能使来风风速在防护带内迅速降低到最小值,起到固沙作用,并在公路处风速呈增大趋势,防止流沙上路堆积,起到输沙作用。

2) 纱网沙障能使沙柳防护带内地表粗糙度明显增大,可有效防止风蚀,最大、最小值分别是旷野粗糙度的36.23倍和7.33倍,其中,纱网沙障设置为45°时,粗糙度均值最大。沙柳防护带背风侧各处粗糙度随着与防护带距离增加而降低。

3) 纱网沙障距沙柳防护带距离和角度不同时,减少输沙率总体呈0°>45°>60°>90°,3倍障高处>1倍障高处>2倍障高处的变化规律。

4) 设置纱网沙障后,沙柳防护带和穿沙公路沙害重点区域得到有效治理。综合各方面试验结果,纱网沙障距沙柳防护带3倍障高处,角度45°是最大限度发挥阻、输沙功能的排布组合。

参考文献(References):

- [1] 赵晓彬, 党兵, 符亚儒, 等. 半干旱区沙地高速公路防风固沙林营造技术及其效益研究[J]. 中国沙漠, 2010, 30(6): 1247-1255.
ZHAO X B, DANG B, FU Y R, et al. Technology of wind-breaking and sand-fixing forest establishment along expressway in semiarid sandy land and benefit evaluation[J]. Journal of Desert Research, 2010, 30(6): 1247-1255.
- [2] 李震, 高雨航, 刘彭, 等. 沙柳细枝颗粒致密成型过程中的压缩方式[J]. 林业工程学报, 2018, 3(4): 102-106. DOI:10.13360/j.issn.2096-1359.2018.04.017.
LI Z, GAO Y H, LIU P, et al. Compression method in dense molding process of salix twigs granule[J]. Journal of Forestry Engineering, 2018, 3(4): 102-106.
- [3] LANCASTER N, BAAS A. Influence of vegetation cover on sand transport by wind: field studies at Owens Lake, California[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 1998, 23(1): 69-82. DOI: 10.1002/(sici)1096-9837(199801)23:1<69::aid-esp823>3.0.co;2-g.
- [4] SARRE R D. Sand movement over a vegetated dune ridge[C]// El-BAZ F. Sand transport and desertification in arid lands. World Scientific, 1989:419-437.
- [5] LI F R, ZHANG H, ZHANG T H, et al. Variations of sand transportation rates in sandy grasslands along a desertification gradient in northern China[J]. Catena, 2003, 53(3): 255-272. DOI:10.1016/s0341-8162(03)00039-0.
- [6] 古哈尔克孜·马合苏提. 沙漠公路沙埋病害的预防及处理措施[J]. 科技信息, 2011(4): 336, 339. DOI:10.3969/j.issn.1001-9960.2011.04.294.
- GUHARKEZ M. Prevention and treatment measures for sand burying disease on desert highway[J]. Science & Technology Information, 2011(4): 336, 339.
- [7] 龚萍. 沙柳沙障腐蚀过程及防腐抗蚀效果研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2012.
GONG P. The corrosion processes of salix sand-barrier and the effect of anticorrosion[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2012.
- [8] QU J J, HAN Q J, DONG G R, et al. A study of the characteristics of aeolian sand activity and the effects of a comprehensive protective system in a coastal dune area in southern China[J]. Coastal Engineering, 2013, 77: 28-39. DOI: 10.1016/j.coastaleng.2013.02.002.
- [9] 唐玉龙. 青藏铁路西格段戈壁风沙流防治体系研究[J]. 中国沙漠, 2013, 33(1): 72-76. DOI:10.7522/j.issn.1000-694X.2013.00010.
TANG Y L. Wind-blown sand prevention system at gobi desert area along Xining-Golmud Section of Qinghai-Tibet Railway[J]. Journal of Desert Research, 2013, 33(1): 72-76.
- [10] 闫德仁, 胡小龙, 黄海广, 等. 不同几何形状纱网沙障输沙量风洞模拟实验研究[J]. 内蒙古林业科技, 2017, 43(3): 14-17. DOI:10.3969/j.issn.1007-4066.2017.03.004.
YAN D R, HU X L, HUANG H G, et al. Wind tunnel modeling test on sediment discharge of PE yarn net sand barrier with different geometrical shapes[J]. Inner Mongolia Forestry Science and Technology, 2017, 43(3): 14-17.
- [11] 王睿, 周立华, 陈勇, 等. 库布齐沙漠机械防沙措施的防护效益[J]. 干旱区研究, 2017, 34(2): 330-336. DOI:10.13866/j.azr.2017.02.12.
WANG R, ZHOU L H, CHEN Y, et al. Wind-blown sand control effect of sand barriers used in the Hobq Desert[J]. Arid Zone Research, 2017, 34(2): 330-336.
- [12] 闫德仁, 胡小龙, 黄海广, 等. 纱网沙障对植被恢复效果的影响[J]. 内蒙古林业, 2017(3): 10-11. DOI:10.3969/j.issn.1033-8221.2017.03.005.
YAN D R, HU X L, HUANG H G, et al. Effect of gauze sand barrier on vegetation restoration[J]. Inner Mongolia Forestry, 2017(3): 10-11.
- [13] 李明. 沙漠地区道路设计探讨[J]. 交通世界, 2018(29): 55-57. DOI:10.16248/j.cnki.11-3723/u.2018.29.023.
LI M. Discussion on road design in desert area[J]. Transpo World, 2018(29): 55-57.
- [14] 左合君, 董智, 魏江生, 等. 沙漠地区高速公路工程防沙体系效益分析[J]. 水土保持研究, 2005, 12(6): 222-225.
ZUO H J, DONG Z, WEI J S, et al. Benefit analysis of sand-prevention engineering system for highway in desert region[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2005, 12(6): 222-225.
- [15] 贾丽娜, 丁国栋, 吴斌, 等. 几种不同材料类型带状沙障防风阻沙效益对比研究[J]. 水土保持学报, 2010, 24(1): 41-44.
JIA L N, DING G D, WU B, et al. Effect of different material types of sand barrier on wind prevention and sand resistance[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2010, 24(1): 41-44.
- [16] 韩致文, 郭彩霞, 钟帅, 等. 库布齐沙漠HDPE网和植物纤维网沙障防沙试验效应[J]. 中国沙漠, 2018, 38(4): 681-689. DOI:10.7522/j.issn.1000-694X.2017.00062.
HAN Z W, GUO C Y, ZHONG S, et al. The sand-prevention

- effects of HDPE net and plant fiber net sand barriers in the Hobq Desert[J]. *Journal of Desert Research*, 2018, 38(4): 681-689.
- [17] 庞营军, 屈建军, 谢胜波, 等. 高立式格状沙障防风效益[J]. *水土保持通报*, 2014, 34(5): 11-14.
- PANG Y J, QU J J, XIE S B, et al. Windproof efficiency of upright checkerboard sand-barriers[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2014, 34(5): 11-14.
- [18] 王翔宇, 丁国栋, 吴斌, 等. 均匀式沙蒿防风阻沙效益模拟试验研究[J]. *中国水土保持*, 2010(2): 42-44. DOI:10.3969/j.issn.1000-0941.2010.02.017.
- WANG X Y, DING G D, WU B, et al. Simulation test on sand arresting effect of evenly distributed artemisia desertorum[J]. *Soil and Water Conservation in China*, 2010(2): 42-44.
- [19] 王凯嘉, 张红丽, 杜一博, 等. 夏季风影响过渡区的动力学粗糙度的特征分析[J]. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2018, 54(3): 356-363. DOI:10.13885/j.issn.0455-2059.2018.03.009.
- WANG K J, ZHANG H L, DU Y B, et al. Variable characteristics of the roughness length at the summer monsoon transition zone[J]. *Journal of Lanzhou University (Natural Sciences)*, 2018, 54(3): 356-363.
- [20] 吴正. 风沙地貌与治沙工程学[M]. 北京: 科学出版社, 2003:165-207.
- WU Z. *Geomorphology of wind-drift sands and their controlled Engineering*[M]. Beijing: Science Press, 2003:165-207.
- [21] 赵国平, 左合君, 徐连秀, 等. 沙柳沙障防风阻沙效益的研究[J]. *水土保持学报*, 2008, 22(2): 38-41, 65. DOI:10.13870/j.cnki.stbxb.2008.02.002.
- ZHAO G P, ZUO H J, XU L X, et al. Effect of salix deserts barrier on reducing wind and stabilizing sand[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2008, 22(2): 38-41, 65.
- [22] 汪言在, 魏殿生, 伍永秋, 等. 塔克拉玛干沙漠沙垄区公路防护带内风场特征研究[J]. *中国沙漠*, 2012, 32(5): 1216-1223.
- WANG Y Z, WEI D S, WU Y Q, et al. Wind speed change within the shelter forest along the taklimakan desert highway[J]. *Journal of Desert Research*, 2012, 32(5): 1216-1223.
- [23] 袁鑫鑫, 王海峰, 雷加强, 等. 不同结构尼龙网防风效应的风洞模拟[J]. *干旱区研究*, 2017, 34(1): 185-190. DOI:10.13866/j.azr.2017.01.24.
- YUAN X X, WANG H F, LEI J Q, et al. Wind tunnel simulation of wind protection effects of nylon nets with different structures[J]. *Arid Zone Research*, 2017, 34(1): 185-190.
- [24] 张克存, 屈建军, 俎瑞平, 等. 不同结构的尼龙网和塑料网防风沙效应研究[J]. *中国沙漠*, 2005, 25(4): 483-487. DOI:10.3321/j.issn:1000-694X.2005.04.005.
- ZHANG K C, QU J J, ZU R P, et al. Simulation on abated effect of nylon and plastic nets with different structure on wind-blown sand in wind tunnel[J]. *Journal of Desert Research*, 2005, 25(4): 483-487.
- [25] 张克存, 屈建军, 董治宝, 等. 格状沙障内风速波动特征初步研究[J]. *干旱区研究*, 2006, 23(1): 93-97. DOI:10.13866/j.azr.2006.01.017.
- ZHANG K C, QU J J, DONG Z B, et al. Preliminary research on fluctuation characteristics of wind speed over checkerboard sand barriers[J]. *Arid Zone Research*, 2006, 23(1): 93-97.

(责任编辑 田亚玲)