

丁录胜. 格库铁路芦苇把栅栏和大网格防沙体系防护效益[J]. 中国沙漠, 2024, 44(3): 42-50.

# 格库铁路芦苇把栅栏和大网格防沙体系防护效益

丁录胜

(新疆铁道勘察设计院有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830011)

**摘要:** 通过野外观测和数值模拟, 对格库铁路米兰戈壁区段芦苇把栅栏和大网格防沙体系防护效益进行了研究。结果表明, 单排芦苇把阻沙栅栏后2~14H(H, 栅栏高度, 2 m)范围内最大防风效率(风速衰减比)可达86%, 阻沙效率(输沙通量衰减比)91.8%~96.8%; 双排阻沙栅栏最大防风效率变化不大, 但阻沙效率增大到98%, 经大网格带后阻沙效率提高到99.7%。风沙流经防沙体系后, 平均粒径显著减小, 由240  $\mu\text{m}$  变为72~109  $\mu\text{m}$ , 分选性趋于变好。实测和模拟得出, 两道50%孔隙度芦苇把阻沙栅栏和两个大网格(4 m×4 m×0.8 m)组成的防沙体系能够起到较好的风沙防治效果, 且工程造价相对较低。该防护体系适用于格库铁路戈壁大风区风沙危害防治。

**关键词:** 防沙体系; 芦苇把栅栏; 防护效益; 格库铁路

文章编号: 1000-694X(2024)03-042-09

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2023.00136

中图分类号: P931.3

文献标志码: A

## 0 引言

格库铁路东起青海省格尔木市, 西至新疆维吾尔自治区库尔勒市, 全长1 214 km, 对完善中国西北铁路网骨架, 推动新疆、青海两省区经济社会发展, 加强民族地区团结和巩固国防安全均有重要意义。格库铁路新疆段(图1A)全长708 km, 沿途戈壁、干湖盆以及流动性沙丘等风沙地貌类型多样, 沙源丰富。沿线地处极端干旱区, 气候干燥, 起沙风频率高, 风沙危害极为严重。据统计, 沿线遭受风沙危害路段约占线路全长的60%<sup>[1]</sup>。风沙危害防治是格库铁路新疆段路基工程修建成功与否的关键技术。

铁路风沙危害及其防治一直是风沙工程学的重要内容<sup>[2]</sup>。近70年来, 中国在铁路防沙方面取得了举世瞩目的成绩, 基于铁路风沙防治需求, 经过长期的工程实践, 提出具有代表性的风沙综合防护体系与模式<sup>[3]</sup>。例如, 为保证中国首条沙漠铁路——包兰铁路列车运行安全, 在腾格里沙漠东南缘沙坡头段建立了“以固为主, 固阻结合”的综合防沙体系, 防护体系兼具了植物固沙和工程防沙措施<sup>[2]</sup>, 保障了铁路畅通无阻, 为国家创造了数百亿

元的经济效益<sup>[3]</sup>。兰新高铁是中国首条穿越戈壁大风区和风沙区的高速铁路<sup>[3-4]</sup>, 自东往西途经烟墩风区、百里风区、三十里风区和达坂城风区等四大风区, 在大风作用下, 戈壁风沙流所携带/砾冲击力, 对道路交通设施产生极大的破坏作用<sup>[5]</sup>。为保障其安全运行, 在明晰戈壁大风区风沙运动规律的基础上, 建立了由多排冲孔钢板、铁制编织网栅栏和高立式镁水泥基固沙障组成的综合防沙体系, 来降低大风风速, 并阻截戈壁风沙流, 风沙防护效益显著<sup>[6]</sup>。

南疆地区盛产芦苇, 价格低廉、环保且耐老化, 近几十年来在风沙工程中得到了广泛应用。例如, 在塔克拉玛干沙漠公路中, 芦苇栅栏(芦苇把和排)和半隐蔽式芦苇沙障是防沙工程中的重要组成部分, 取得了较好的防沙效益<sup>[7]</sup>。然而, 研究结果也表明, 沙漠公路防沙体系中的紧密型芦苇把栅栏(10%疏透度), 由于积沙紧靠栅栏两侧, 容易失效<sup>[8]</sup>。由于芦苇栅栏扎制全靠手工, 无法大批量生产, 在塔克拉玛干沙漠公路后期的防沙体系中被尼龙网栅栏代替<sup>[9]</sup>。这些防沙体系主要针对沙漠地表风沙

收稿日期: 2023-08-30; 改回日期: 2023-10-08

资助项目: 中国铁路总公司科技研究开发计划课题(2017G004-E)

作者简介: 丁录胜(1965—), 男, 高级工程师, 甘肃甘谷人, 主要从事铁路设计及风沙防治研究。E-mail: dingls65@163.com

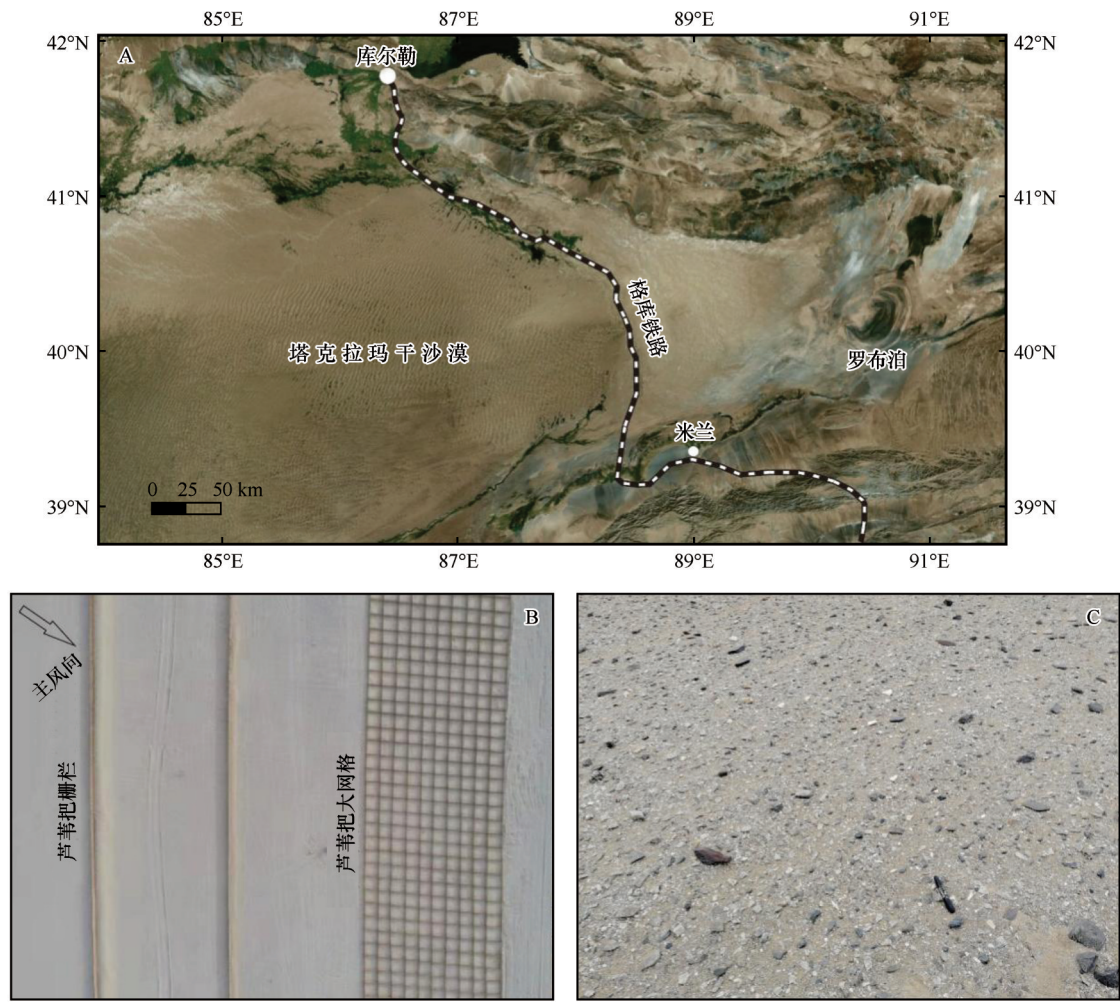


图1 格库铁路新疆段示意图(A)及米兰戈壁区芦苇把防沙体系航拍图(B)和戈壁地表照片(C)

Fig.1 Schematic diagram of the Xinjiang section of the Golmud-Korla Railway ( A ), aerial photograph of the reed-bundle sand control system ( B ) and gobi surface photo ( C ) in the gobi area of Milan along the Golmud-Korla Railway

流,主要用来阻截风沙流和固定流沙;在戈壁区,戈壁由于砾石覆盖,除含沙量较为丰富的沙砾质戈壁外,就地起沙较少,防沙体系设计原则多以“阻、输导”为主。而且,戈壁区风力较强,疏透型芦苇排栅栏往往强度不够<sup>[10]</sup>。为更好地将廉价防沙材料芦苇应用于戈壁大风区风沙危害防治,加强抗风强度,将芦苇用镀锌铁丝捆扎成排制成芦苇把栅栏。目前,芦苇把栅栏和芦苇把大网格组成的防沙体系已应用于格库铁路新疆段铁路戈壁风沙防治工程中。例如,在格(尔木)库(尔勒)铁路米兰戈壁区,受阿尔金山冲洪积作用影响,戈壁风沙流是造成铁路沙害的主要动力因子。研究表明,该区铁路沙害沙源主要是来自于戈壁之上的流动性沙丘<sup>[11]</sup>。为更好地防治风沙危害,在格库铁路米兰戈壁区建立了防沙试验段工程——芦苇把防沙体系,该体系由两道芦苇把栅栏和芦苇把大网格带组成(图1B),防

治原则“以阻为主”。然而,为更好地推广应用,芦苇把栅栏和大网格带组成的风沙防护工程体系防护效益亟须评价。

本文以格库铁路米兰戈壁区芦苇把栅栏和大网格带组成的防沙体系为例,通过野外观测和数值模拟,研究分析风速、输沙通量和风沙流沙粒粒度等参数沿防沙体系变化规律,评价格库铁路新疆段米兰戈壁区芦苇把防沙体系的防护效益,旨在为格库铁路戈壁区及南疆其他戈壁铁路风沙危害防治提供科学依据。

## 1 研究区概况

研究区位于阿尔金山山前冲洪积戈壁(图1C),戈壁砾石以细砾(<6 cm)为主,砾石覆盖度40%~50%,砾石间沙粒以细沙为主(0.125~0.25 mm)。研究区属暖温带极端干旱气候,据若羌县气象资料,



区域年平均降水量 43.2 mm, 年平均蒸发量达 2 033.3 mm, 年平均大风日数为 13 d, 10 m 高瞬时极大风速可达  $40 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。根据 2018 年观测数据, 2018 年平均气温  $13.9^\circ\text{C}$ , 最高气温  $43.5^\circ\text{C}$ , 最低气温  $-15.5^\circ\text{C}$ , 平均相对湿度 26.5%。研究区起沙风以偏东风为主 (ENE 和 E), 属高风能环境<sup>[12]</sup>。防沙体系东侧约 4 km 外分布新月形沙丘和沙丘链, 为区域铁路风沙危害的主要沙源<sup>[11]</sup>。在偏东风的作用下形成戈壁风沙流, 造成路基积沙危害。

防沙体系由两道芦苇把栅栏和大网格带组成, 两道芦苇把栅栏高度均为 2 m, 间距 20H (H 为栅栏高度), 即 40 m, 芦苇把直径为 5 cm, 把间距约 5 cm, 因此, 栅栏孔隙度约 50%。第二道栅栏后设空留带, 长度为 40 m。大网格带由 10 道  $4 \text{ m}\times 4 \text{ m}\times 0.8 \text{ m}$  芦苇把大网格组成, 芦苇把大网格孔隙度与阻沙栅栏相同 (图 1B)。

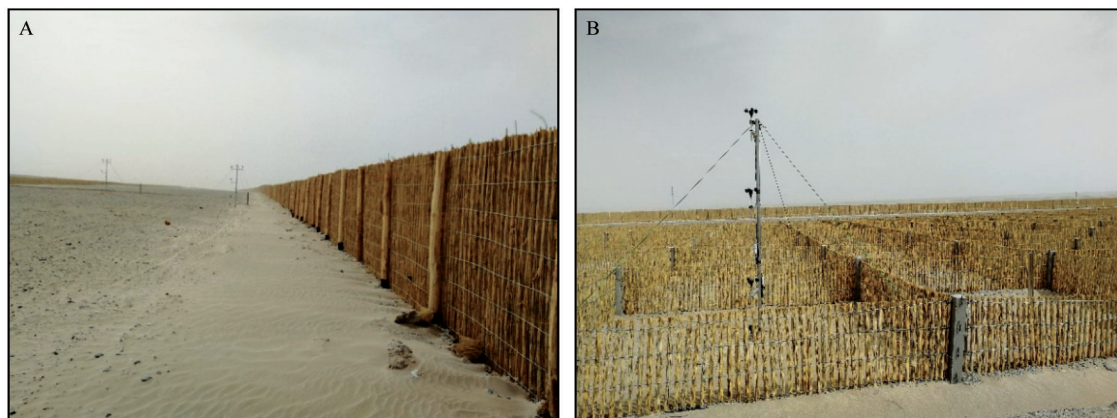


图2 格库铁路米兰戈壁区芦苇把栅栏(A)和大网格(B)防沙体系断面流场和输沙率观测

Fig.2 Observation of the flow field and sand transport rate of reed-bundle sand fences (A) and large reed checkerboards (B) in Milan gobi area of the Golmud-Korla Railway

## 2.2 数值模拟

数值模拟中使用的防沙体系模型与实际尺寸一致, 选取长度为 196 m、高 40 m 的二维计算区域, 第一排芦苇把阻沙栅栏距离入口 40 m, 第二排阻沙栅栏距离入口 80 m, 芦苇把大网格距离入口 120 m 处开始设置, 共 36 m 长 (图 3A)。50% 孔隙度栅栏模型宽度为 5 cm, 间距为 5 cm (图 3B)。利用前处理软件 Gambit 进行网格划分, 采用结构性格网对计算区域和模型进行网格划分, 对靠近模型的区域进行网格加密处理 (图 3C), 网格数量为 37.5 万左右。

通过 ANSYS-Fluent 软件进行模拟计算。边界条件设置中上风向采用风速入口 (velocity-inlet) 和

## 2 研究方法

### 2.1 野外观测

本区段防护体系走向大致为 E-W ( $100^\circ$ ), 分别在第一道栅栏上风向外围无影响区 (对照, 30H 以上, H 为沙障高度), 第一道阻沙栅栏后 2H 和 14H, 第二道阻沙栅栏后 2H 和 12H 以及路基边缘大网格带末端架设多梯度 HOBO U21 气象站和 1 m 便携式集沙仪进行风沙观测 (图 2)。HOBO 梯度风速仪架设高度为 0.2、0.8、2、3 m 等 4 个高度, 风向观测高度为 3 m, 风速、风向采集频率为 0.1 Hz, 记录间隔为 1 min。1 m 集沙仪为便携式楔形集沙仪, 集沙口尺寸为  $2 \text{ cm}\times 2 \text{ cm}$ , 共 50 个集沙盒, 集沙效率 72%~87%<sup>[13]</sup>。现场风沙观测时间为 2018 年 5 月 3 日, 为东北风扬沙天气过程, 观测断面的布置走向沿主风向方向。

下风向设置自由出流条件边界条件 (out-flow), 流域左、右侧面和上表面采用对称边界条件 (symmetry boundary), 底部壁面采用 wall 边界条件进行描述。入口风速遵循对数风速廓线, 入口风速 2 m 高设置为 10、12、14、16  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  等 4 个风速。湍流模型采用标准  $k-\varepsilon$  湍流模型进行求解, 在近壁面区域, 采用标准壁面函数 (standard wall functions) 来保证计算精度, 动量和湍流动能等离散化问题均采用二阶迎风格式, 计算残差设置为  $10^{-6}$ 。

### 2.3 数据处理

首先, 利用梯度风速仪测得的防沙体系断面

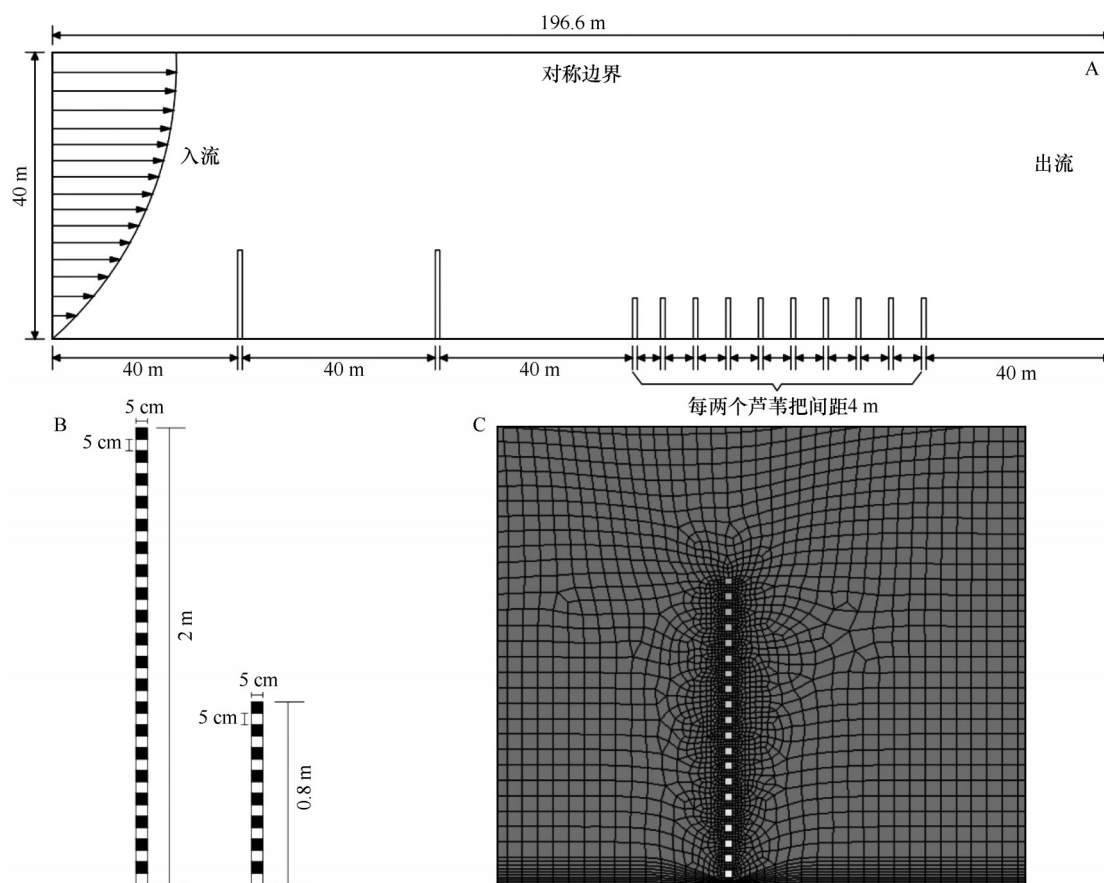


图3 数值模拟计算域及边界条件设置(A)、模型设置(B)与网格划分(C)

Fig.3 Numerical simulation domain and boundary condition setting (A), model setting (B) and grid division (C)

不同测点不同高度风速,计算防护体系的防风效应,即挟沙气流风速在进入防沙体系后的衰减百分比:

$$\eta_w = \frac{(W_{0z} - W_{1z})}{W_{0z}} \times 100\% \quad (1)$$

式中: $\eta_w$ 为防沙体系的防风效应; $W_{0z}$ 为体系外围对照点在高度 $z$ 处的风速( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ); $W_{1z}$ 为体系内测点在高度 $z$ 处的风速( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )。

其次,计算体系断面不同测点输沙率随体系的衰减变化,即阻沙效率:

$$\eta_Q = \frac{(Q_0 - Q_1)}{Q_0} \times 100\% \quad (2)$$

式中: $\eta_Q$ 为防沙体系的阻沙效率; $Q_0$ 为体系外围对照点处1 m高度范围内的输沙通量( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ), $Q_1$ 为体系内测点处1 m高度范围内的输沙通量( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )。

粒度参数,包括平均粒径、分选系数、偏度和峰态,计算采用Folk和Ward等<sup>[14]</sup>提出的方法。

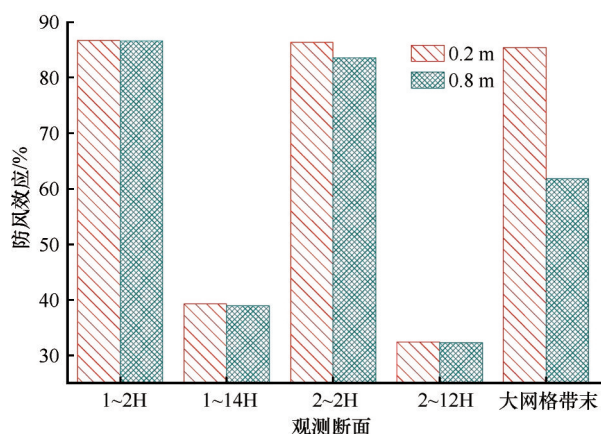
### 3 结果与分析

#### 3.1 防风效应沿防沙体系变化

##### 3.1.1 实地观测

现场断面观测时间为2018年5月3日09:30—16:37,时间段内风向 $22.5^\circ$ — $66^\circ$ ,平均值为 $43.3^\circ$ ;2 m平均风速为 $10.75 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,最大瞬时风速 $17.11 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。风沙流观测时长约375 min,风沙流与体系走向平均夹角为 $58^\circ$ 。

挟沙气流经第一道2 m高芦苇把阻沙栅栏,在阻沙栅栏后2H距离处0.2 m和0.8 m高度防风效应均在86%左右,经14H距离后防风效应衰减到39%,表明挟沙气流有所恢复;经第二道芦苇束阻沙栅栏,栅栏后2H处0.2 m和0.8 m高度防风效应又分别增大到86%和83%,到12H防风效应均减小至32%,而经0.8 m高40 m大网格后两高度防风效应分别增大到85%和62%(图4)。因此,栅栏后存在显著的风速降低区,导致风沙流挟沙能力降低,风沙流中沙粒沉降形成积沙,表明栅栏发挥了很好的防护作用。



1~2H和1~14H分别指第一道栅栏后2H和14H, 2~2H和2~12H对应第二道栅栏后2H和12H

图4 防风效应沿防沙体系观测断面变化

Fig.4 Variation of wind protection effect of sand control system along the observed section

### 3.1.2 数值模拟

以  $12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  和  $16 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  入口风速为例, 分析芦苇把防沙体系流场变化。气流经防护体系, 风速呈现不同程度的降低趋势, 且防护体系中阻沙栅栏和大网格对来流速度的影响不同(图5)。气流在经过第一排阻沙栅栏时, 在栅栏上方, 气流明显加速, 形成

加速区, 栅栏高度以下, 气流明显减速, 形成气流减速区。  $12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  入口风速下, 第一排栅栏背风侧 2H 后风速降至  $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  以下, 小于起沙风速, 而  $16 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  入口风速下, 第一排栅栏背风侧 4H 后风速降至  $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  以下, 小于起沙风速。总体上, 经第二排芦苇把阻沙栅栏, 减速区长度明显大于第一排栅栏后减速区,  $12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  和  $16 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  入口风速下, 第二排栅栏后减速区长度分别为 20H 和 17H。受两道芦苇把阻沙栅栏的影响, 气流再经过芦苇把大网格带作用形成明显的减速区, 减速区域涵盖整个大网格带。

以  $12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  和  $16 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  入口风速为例, 说明风速衰减比( $\eta_w$ )沿芦苇把防沙体系变化, 分析其防风效应。气流在经过第一道阻沙栅栏时, 栅栏高度以下沙粒跃移层 0.2 m 和 0.5 m 高度处, 风速衰减比均为 50%~80%, 而第二道栅栏风速衰减比为 80%~99%, 第二道栅栏后 9H 距离后防风效应逐渐减弱, 风速衰减比从 99% 降至 56%。之后受大网格带的影响, 风速衰减比开始增大, 经两个大网格后 0.2 m 增大至 99%, 0.5 m 高度处增大至 90%, 其余 7 个芦苇大网格内气流达到稳定(图6)。

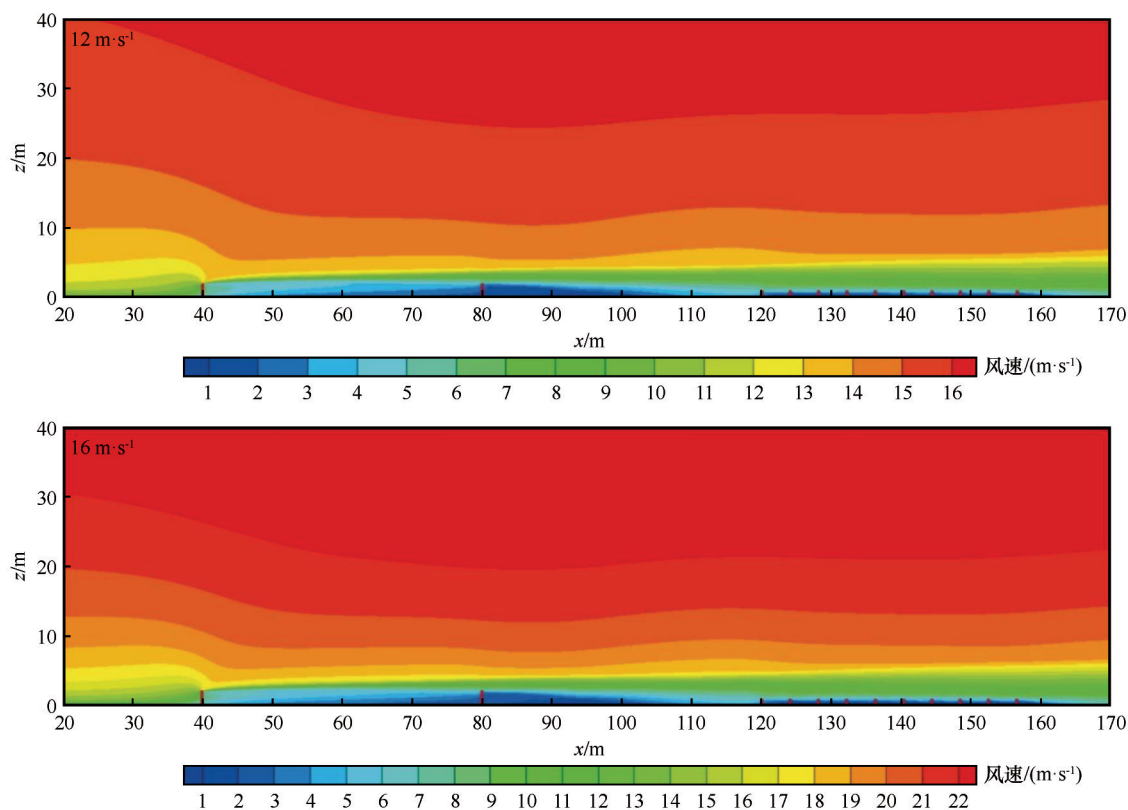


图5  $12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  和  $16 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  入口风速下芦苇把防沙体系流场云图

Fig.5 Flow field cloud image of the reed-bundle sand control system under inlet wind speeds of  $12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  and  $16 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$



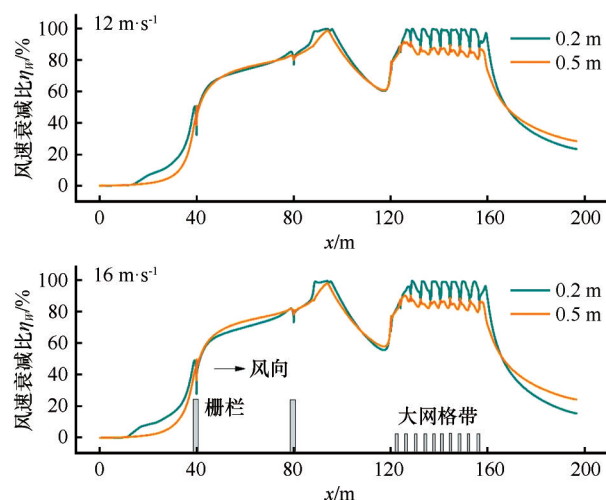


图6 12 m·s<sup>-1</sup>和16 m·s<sup>-1</sup>入口风速下芦苇把防沙体系风速衰减比

Fig.6 Wind speed reduction ratio of the reed-bundle sand control system under inlet wind speeds of 12 m·s<sup>-1</sup> and 16 m·s<sup>-1</sup>

数值模拟结果表明,模拟0.2 m高度风速衰减比( $\eta_{wp}$ )与实测值( $\eta_{wm}$ )具有较好的相关性(图7)。这说明CFD数值模拟可以有效地反映芦苇把栅栏和大网格带组成的工程防沙体系的流场变化。

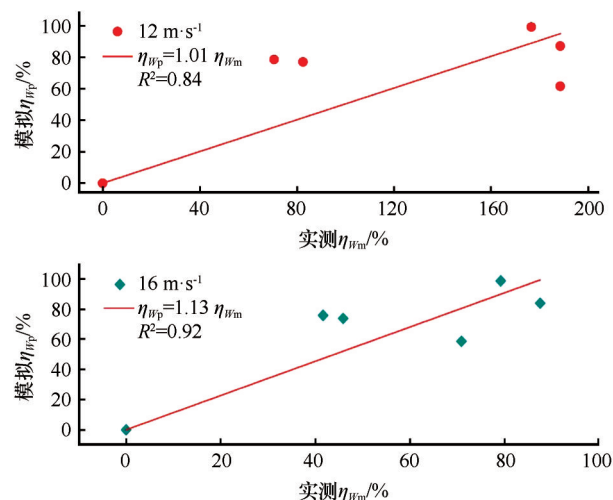


图7 数值模拟与实测0.2 m高度风速衰减比对比

Fig.7 Comparison of wind speed attenuation ratio at 0.2 m height between numerical simulation and observation

### 3.2 阻沙效率沿防沙体系变化

防沙体系外对照点在观测时段内的平均输沙通量为 $4.50 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,经一道阻沙栅栏后显著降低,在2H处输沙通量变为 $0.28 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,在14H处变为 $0.11 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,经第二道栅栏后2H和12H平均输沙通量分别进一步减小为 $0.049 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $0.057 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,输沙通量减小一个数量级,最后经大网格

带后输沙通量仅为 $0.011 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (图8A)。可见,防沙体系具有显著的阻沙效果。

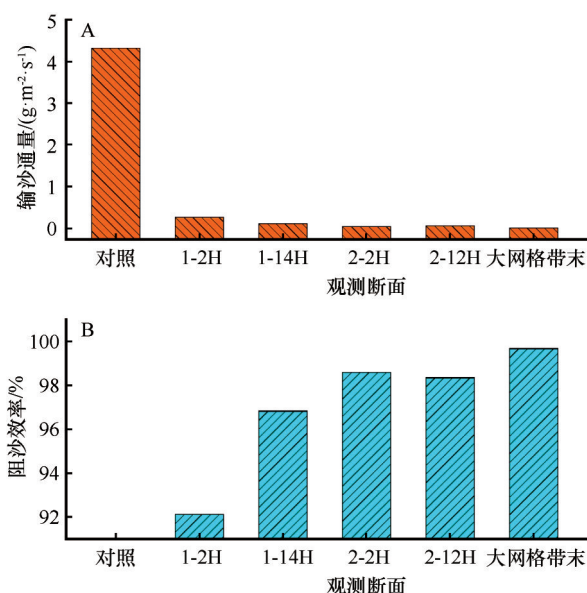


图8 输沙通量(A)和阻沙效率(B)沿防沙体系观测断面变化

Fig.8 Variation of the sand flux (A) and sand control efficiency (B) along the observed section of the sand control system

经一道阻沙栅栏后,2H处防沙效率达91.8%,14H处防沙效率达96.8%,经第二道阻沙栅栏后防沙效率达98%,最后经大网格带防沙效率达到了99.7%(图8B)。可见,芦苇把防沙体系起到了较好的阻沙效果,风沙流输沙几乎被体系完全阻截。

### 3.3 风沙流中沙粒粒度参数沿防沙体系变化

从图9可以看出,平均粒径从防沙体系外对照点到大网格带末端逐渐变小,对照点平均粒径为 $240 \mu\text{m}$ ,经两道阻沙栅栏在障后2H处分别变为 $105 \mu\text{m}$ 和 $109 \mu\text{m}$ ,到大网格带末端平均粒径减小为 $72 \mu\text{m}$ ,表明风的搬运能力逐渐降低。分选系数随防沙体系逐渐变小,为 $-0.78 \sim 1.12$ ,根据Folk-Ward分选性等级<sup>[14]</sup>,都属分选极好。偏度随体系逐渐减小,为 $-0.14 \sim 0.33$ ,在对照点偏度为 $-0.14$ ,属粗偏,经两道阻沙栅栏后分别减小为 $-0.27$ 和 $-0.28$ ,也属粗偏,到大网格带末端减小为 $-0.33$ ,属极粗偏。峰态参数经防沙体系趋于增大,为 $1.04 \sim 1.78$ ,根据Folk-Ward峰态等级划分<sup>[14]</sup>,在对照点为 $1.04$ ,属常峰态,经两道阻沙栅栏分别增大为 $1.73$ 和 $1.78$ ,属非常尖峰态,到大网格带末端为 $1.65$ ,同样属非常尖峰态。因此,风沙流中沙粒经防沙体系的“过滤”,颗粒物逐渐变细,由沙变为尘,分选性进一步变好。

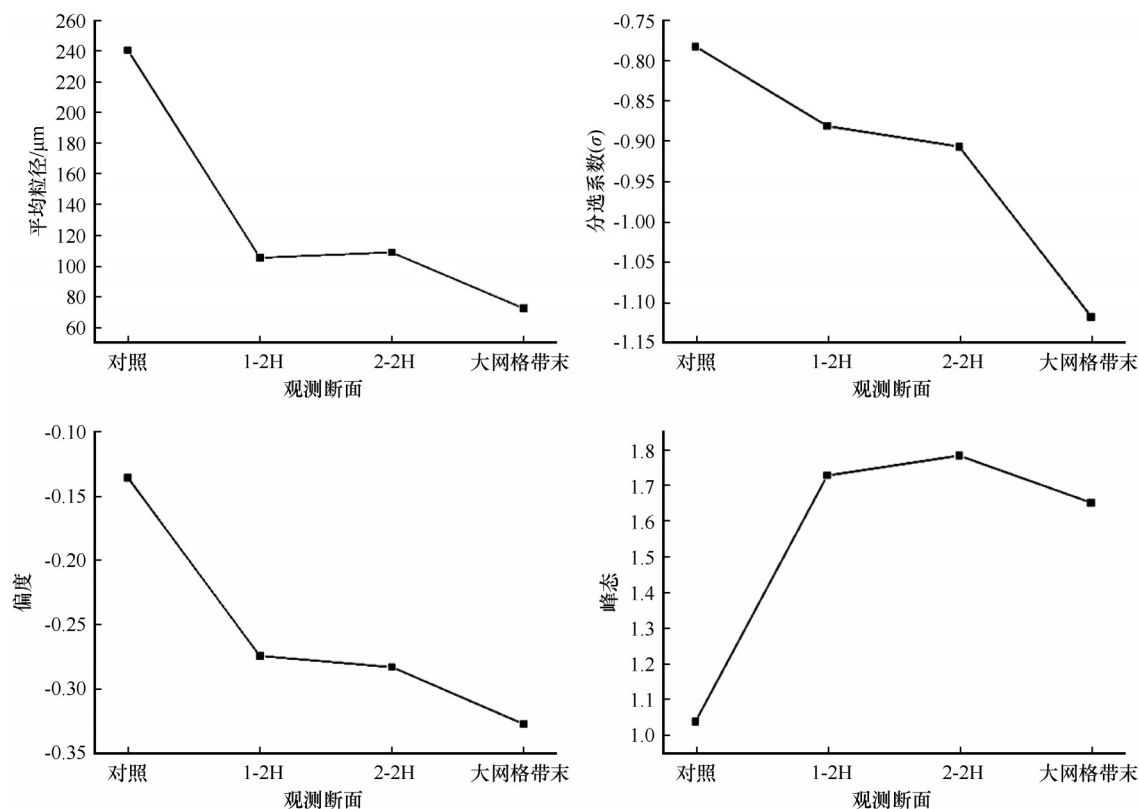


图9 风沙流沙粒粒度参数沿防沙体系观测断面变化

Fig.9 Variation of grain size parameters along the observed section of the sand control system

## 4 讨论

目前,针对铁路风沙防护体系防护效益开展的研究,特别是野外观测研究相对较少。受区域风况、风沙地貌类型等因素差异影响,沙区不同铁路采用的防沙体系配置模式多样,以往研究结果无法很好地与本研究进行对比。张克存等<sup>[15]</sup>应用三维激光扫描技术,对青藏铁路北麓河段不同阻沙栅栏防护效益进行了评估,发现30%疏透度百叶窗条形阻沙栅栏防护效益相对较好,单道栅栏下风向积沙范围为10H,双道增大到13H。Gillies等<sup>[16]</sup>对美国海岸多道50%疏透度塑料网栅栏的防护效益进行了监测研究,发现随着障后距离的增加,输沙通量呈指数规律递减;间距10H的多道栅栏在93H处输沙通量达到平衡,而间距7H的栅栏在27H处达到平衡。以上研究表明,多道阻沙栅栏阻沙效益均优于单道的作用效果,与本研究结果一致。

降低风速是防风栅栏的主要功能,孔隙度是决定栅栏防风效果的关键因子<sup>[17]</sup>。以往研究认为,20%~40%孔隙度栅栏具有较好的防风效应<sup>[18]</sup>。本研究得出,第一道2 m高50%孔隙度芦苇把阻沙栅栏障后14H和第二道障后12H防风效应相比相应障

后2H处有所降低,而阻沙效率进一步增大。Li等<sup>[18]</sup>建议,不考虑成本、法规等其他因素,防风栅栏最优孔隙度为30%~40%,而防沙栅栏最优孔隙度为50%。研究表明,孔隙度小的阻沙栅栏大部分的沙粒沉积在栅栏的迎风侧,容易积满栅栏,而孔隙度较大的栅栏更多的沙粒沉积在栅栏的背风侧,相对提高栅栏的寿命<sup>[18]</sup>。孔隙度在40%~50%左右的阻沙栅栏能够有效地阻挡沙流<sup>[19]</sup>。因此,从实际应用角度,戈壁地区50%孔隙度芦苇把栅栏能够达到理想的阻沙效果。成本上,2 m高芦苇把栅栏1 m成本约为110元,远低于目前戈壁强风区铁路防沙体系中采用的HDPE板、冲孔钢板等阻沙材料。数值模拟结果表明,芦苇把大网格流场在两个大网格后基本不发生变化(图6)。在芦苇把阻沙栅栏和大网格组成的防沙工程体系设计中,为节约工程成本,两道50%孔隙度芦苇把阻沙栅栏和两个大网格组成的防沙体系,便能够取得较好的防护效果,但在沙源丰富地区,需要较长防护周期要求下,可考虑适当增加大网格的数量。本研究为格库铁路戈壁区风沙危害防治提供了科学依据,对南疆类似戈壁铁路,如和田(若)铁路风沙危害防治具有一定的

参考意义。

## 5 结论

芦苇作为南疆公路、铁路工程防沙的重要原材料,在风沙危害防治工程中起到了重要的作用。芦苇主要是做成固沙方格,用于流动性沙丘的固定。芦苇经捆扎成把后形成芦苇把、排阻沙栅栏和芦苇把大网格,明显增强了材料的抗风强度,非常适用于格库铁路新疆段戈壁区的风沙危害防治。

通过野外观测和数值模拟研究得出,芦苇把阻沙栅栏和大网格带组成的防沙体系,在戈壁风沙危害防治中起到了较好的防沙效果。防沙体系防风效应显著,体系防风效率可达86%,可阻截99%以上的沙量,风沙流经防沙体系“净化”,沙粒粒径明显变小,由细沙变为极细沙,多为悬浮颗粒物,对铁路路基的危害性显著降低。两道50%孔隙度芦苇把栅栏和两个4 m×4 m×0.8 m规格芦苇把大网格组成的防沙体系具有较好的防护效果,且工程造价相对较低,可以在格库铁路戈壁区及南疆其他类似铁路防沙中应用。为减少人工成本,芦苇装备化捆扎成把是以后防沙工程提质增效亟须改进的技术。

## 参考文献:

- [1] 李凯崇,周沁,丁录胜,等.南疆戈壁区 HDPE 板沙障风沙防护机理及效果评价[J].中国铁道科学,2019,40(3):10-14.
- [2] 屈建军,凌裕泉,刘宝军,等.我国风沙防治工程研究现状及发展趋势[J].地球科学进展,2019,34(3):225-231.
- [3] 张克存,屈建军,鱼燕萍,等.中国铁路风沙防治的研究进展[J].地球科学进展,2019,34(6):573-583.
- [4] 高扬,张伟民,谭立海,等.兰新高铁烟墩大风区风沙地貌制图与风沙灾害成因[J].中国沙漠,2018,38(3):500-507.
- [5] 谭立海,张伟民,边凯,等.兰新高铁烟墩风区戈壁近地表风沙流跃移质垂直分布特性[J].中国沙漠,2018,38(5):919-927.
- [6] 王涛.兰新高铁戈壁大风区风沙灾害形成机理及防治研究[D].北京:中国科学院大学,2018.
- [7] 王训明,陈广庭,韩致文,等.塔里木沙漠公路沿线机械防沙体系效益分析[J].中国沙漠,1999,19(2):25-32.
- [8] 徐新文,胡玉坤,潘伯荣.塔里木沙漠公路防沙体系的防护效益[J].干旱区研究,1998(1):21-26.
- [9] 王涛.中国风沙防治工程[M].北京:科学出版社,2011.
- [10] Wang T, Qu J, Ling Y, et al. Shelter effect efficacy of sand fences: a comparison of systems in a wind tunnel[J]. Aeolian Research, 2018, 30: 32-40.
- [11] Niu B, Tan L, Zhang X, et al. Targeted control of sand hazards for a railway in extremely arid regions using fingerprinting approaches[J]. Geomorphology, 2020, 361: 107189.
- [12] Tan L H, An Z S, Zhang K C, et al. Intermittent aeolian saltation over a gobi surface: threshold, saltation layer height, and high-frequency variability [J]. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 2020, 125(1): JF005329.
- [13] Dong Z, Lu J, Man D, et al. Equations for the near-surface mass flux density profile of wind-blown sediments[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2011, 36(10): 1292-1299.
- [14] Folk R L, Ward W C. Brazos River bar [Texas]: a study in the significance of grain size parameters[J]. Journal of Sedimentary Research, 1957, 27(1): 3-26.
- [15] 张克存,安志山,庞营军,等.青藏铁路北麓河路段风沙防护体系阻沙效益[J].中国沙漠,2016,36(5):1216-1222.
- [16] Gillies J A, Etyemezian V, Nikolich G, et al. Effectiveness of an array of porous fences to reduce sand flux: Oceano Dunes, Oceano CA [J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2017, 168: 247-259.
- [17] Bean A, Alperi R W, Federer C A. A method for categorizing shelterbelt porosity [J]. Agricultural Meteorology, 1975, 14: 417-429.
- [18] Li B, Sherman D J. Aerodynamics and morphodynamics of sand fences: a review[J]. Aeolian Research, 2015, 17: 33-48.
- [19] 张克存,俎瑞平,方海燕.不同孔隙度尼龙网对风沙流减弱作用的风洞模拟[J].水土保持学报,2004,18(4):4-6.



## Observation and numerical simulation of the protective effect of the reed-bundle sand control system along the Golmud-Korla Railway

Ding Lusheng

(Xinjiang Railway Survey & Design Institute Co., LTD, Urumqi 830011, China)

**Abstract:** In this study, the evaluation of the sand control efficiency of the reed bundle sand control system in the gobi region of Milan section of Golmud-Korla Railway, Southern Xinjiang, China was carried out through field observation and numerical simulation. The results show that the sand-control systems consisting of two reed bundle fences and a 40 m long belt of large reed checkerboard (4 m×4 m×0.8 m) have a good effect on controlling damages caused by the gobi wind-blown sand. The maximum windproof efficiency (wind speed attenuation ratio) in the range of 2–14H (H, fence height, 2 m) after a single row reed bundle sand fence reached 86%, and the sand blocking efficiency (attenuation ratio of sand flux) ranged between 91.8% and 96.8%. The maximum wind protection efficiency of the double-row sand fence was almost unchangeable, and the sand blocking efficiency increased to 98%, while the sand blocking efficiency increased to 99.7% as wind-blown sand flux flowing over the belt of large reed checkerboard. Moreover, as the wind-blown sand flux flowed over the sand control system, the average particle size was significantly reduced from 240 μm to 72–109 μm, and the sorting tended to become better. The measured and simulated results show that the sand control system composed of two reed-bundle sand fences with 50% porosity and two large reed-bundle grids (4 m×4 m×0.8 m) can play a good role in sand control, the project cost is relatively low, and the protection system can be applied to the control of sand damage in the gobi wind area of Golmud-Korla Railway.

**Key words:** sand-control system; reed-bundle sand fence; protective effect; Golmud-Korla Railway