

文章编号: 1000-694X(2005)05-0790-04

# 高立式移动沙障应用技术试验研究

郜永贵, 林庆功\*

(兰州铁路局 中卫固沙林场, 宁夏 中卫 751700)

**摘 要:** 高立式移动沙障的栅栏障体采用 18 号铁丝将 1.0~1.2 cm 树枝编织成长 2 m、宽 1 m、孔隙度为 40%~60% 的阻沙栏, 用扁铁做阻沙栏的腰条, 用移动管卡连接立柱与障体, 安装于流动沙丘丘顶、丘间低地、迎风坡等部位。经过研究后发现: 传统上采用的各种高立式沙障扎设完成后, 因沙障不能移动, 栅栏障体被动地被风蚀或沙埋, 不仅降低了防护效果, 而且使用寿命较低。高立式移动沙障的栅栏障体既能沿立柱上下移动, 又可以根据流沙的危害整体移动, 达到因害设防的目的, 机动灵活地阻截流沙, 推广应用的较高。还提出了高立式移动沙障的设计原理及制作安装方法。

**关键词:** 高立式移动沙障; 应用技术; 防护效果

**中图分类号:** U216.413 **文献标识码:** A

包兰铁路中甘段穿越的腾格里沙漠, 沙丘高大起伏, 自然条件极为恶劣。沙坡头治沙防护体系的建立, 确保了包兰线的畅通。但由于该体系“封沙育草带”不完整, 植被平均盖度不足 10%, 使“前沿阻沙带”阻沙量增加, 沙堤越阻越高, 对防护体系构成很大的压力。目前采用的高立式树枝沙障<sup>[1,2]</sup>, 因材料来源有限, 使用一年后, 均不同程度地出现了风蚀、沙埋, 为此, 该场设计制作了移动式沙障, 取得了较好的效果。

## 1 试验区自然条件概况

本区地处西北内陆, 受蒙古高压和地形的影响, 具有干燥、高温、多风的特点。该区多年平均降水量 186.2 mm, 年降水量分布不均, 冬、春季节降水量偏少, 7~9 月降水量占全年的 60% 以上; 年均相对湿度 40%, 年均温度 9.6 °C; 绝对最高气温 38.1 °C, 绝对最低气温 -25.1 °C; 年平均风速 2.8 m·s<sup>-1</sup>, 最大风速 26 m·s<sup>-1</sup>, 4~10 m·s<sup>-1</sup> 的风速出现频率达 98.7%, 大于 5 m·s<sup>-1</sup> 的起沙风每年有 200 d。常年盛行西北-西北偏西风, 沙丘合成移动方向 310~63°。

## 2 沙障的设计、制作与安装

高立式栅栏障体所承受的风的压力, 通过栅栏腰条全部传递于相邻的立柱上。所以移动沙障的设

计, 首先要对立柱进行受力分析, 通过计算立柱能够承担的最大压力, 设计单个障体的面积和立柱的长度、埋深。

### 2.1 沙障立柱的受力分析

当立柱不受外力作用时, 立柱承受着自身重量、栅栏障体重量。沙障立柱 7~10 cm, 可以视为刚性材料, 完全可以承受自身重量和栅栏障体重量, 而且立柱垂直于作用面, 与重力方向一致, 故在设计时, 可以忽略。当立柱承受来自风力作用于栅栏障体的外力时, 立柱旋转中心承受主动土压力、被动土压力, 二者是作用力与反作用力的关系(图 1)。主动土压力取决于立柱承受的外力, 即作用于栅栏障体的风力。

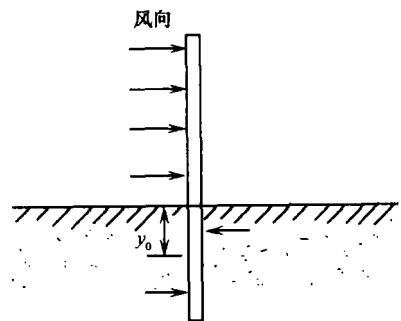


图 1 沙障立柱受力分析图

Fig. 1 Analytic map of stress on high vertical mobile sand barrier

收稿日期: 2004-06-04; 改回日期: 2004-10-04

作者简介: 郜永贵 (1969—), 男(汉族), 宁夏盐池人, 高级工程师, 主要从事铁路沙害的治理及研究工作。E-mail: gcyg\_05@souhu.com

\* 通讯联系人

### 2.2 立柱对沙体侧向应力的计算

根据力学原理<sup>[3]</sup>, 将沙障受到的风力为外力, 并折算成立柱作用在沙面上的弯矩和剪力, 把沙面下柱子周围的介质视为弹性体, 柱体与周围沙体的摩擦阻力非常小, 可以忽略。障体和立柱的重力垂直于作用面, 侧向应力为零, 得出柱身的最大侧应力为:

$$\delta_{\max} = m y_0^2 \Delta \Phi / 4 \quad (1)$$

式中:  $m$  为地的侧向地基系数随深度变化的比例系数( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-4}$ ), 在沙土中为  $1\,000 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-4}$ ;  $y_0$  为旋转中心至沙面距离;  $\Delta \Phi$  为旋转角。

### 2.3 立柱前后主动土应力与被动土应力计算

被动土应力:

$$\delta_p = \gamma_{\text{soil}} y \text{tg}(45 + \Phi/2) + 2C \text{tg}(45 + \Phi/2) \quad (2)$$

主动土应力:

$$\delta_a = \gamma_{\text{soil}} y \text{tg}(45 - \Phi/2) - 2C \text{tg}(45 - \Phi/2) \quad (3)$$

$$\delta_p - \delta_a = 4(\gamma_{\text{soil}} y \text{tg} \Phi + C) / \cos \Phi \quad (4)$$

式中:  $\gamma_{\text{soil}}$  为地基土体的容重( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$ );  $\Phi$  为地基土体的内摩擦角;  $C$  为地基土体单位粘聚力( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}$ );  $y$  为沙面至旋转体受力重心的距离。当立柱受力弯矩  $\delta_y$  最大时,

$$\frac{d\delta_y}{dy} = 0, \quad \text{则 } y = \frac{1}{2} y_0$$

### 2.4 沙障栅栏障体的受力计算

风力强度  $\omega_0 (\text{N} \cdot \text{m}^{-2})$  和风速  $v (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$  的关系为:

$$\omega = \gamma_{\text{air}} v^2 / 2g \quad (5)$$

式中:  $\omega$  为风力强度;  $\gamma_{\text{air}}$  为空气容重;  $v$  风速;  $g$  为重力加速度。取  $g = 9.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ;  $\gamma_{\text{air}} = 1.225 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-3}$ , 上式简化为:

$$\omega_0 = v^2 / 1.6 \quad (6)$$

风速与地形、地理、观测高度, 观测时距、观测次数等许多因素有关。对于沙漠地区, 风力通过沙丘的迎风坡、背、丘顶、丘间低地、副梁间鞍部等部位时的风速值也不相同, 风速随时间不断变化, 瞬时风速变化幅度很大。在设计沙障栅栏障体能够承受的最大压力时, 主要参考本地区 20 m 以上高空的最大风速和沙质床面空气动力学粗糙度原理<sup>[4-7]</sup>, 以确保设计的合理性。沙坡头地区 20 a 一遇的最大风速为  $19 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 40 a 一遇最大风速发生于 1993 年 5 月 5 日, 为  $26 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。沙障的设计寿命 5 a, 所以最大

风速取  $19 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  即可满足设计要求。按规定, 要计算构筑物上的风力荷载强度, 还须乘以沙障的体形系数  $k_1$ 、风力高度变化系数  $k_2$ 、地形地理条件系数  $k_3$ , 取  $k_1 = 0.9$ 、 $k_2 = 1.0$ 、 $k_3 = 1.2$ , 则作用于沙障上的风力荷载强度为:

$$\begin{aligned} \omega &= k_1 k_2 k_3 v^2 / 1.6 \\ &= 0.9 \times 1.0 \times 1.2 \times 19^2 / 1.6 \\ &= 243.7 (\text{N} \cdot \text{m}^{-2}) \end{aligned}$$

根据单个沙障的面积、透风系数、风力荷载强度的值即可计算出障体栅栏障体的受力情况。本次试验所采用的沙障规格为  $1 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ , 透风系数分别为 40%、50%、60%, 单个网片的面积为  $2 \text{ m}^2$ , 所承受的风力分别为  $292.44 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $243.7 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $194.96 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

### 2.5 立柱埋深计算

高立式栅栏障体所承受的风的压力, 通过栅栏腰条全部传递于相邻的立柱上。所以设计, 首先要计算立柱能够承担的最大压力。本次试验所采用的沙障规格为  $1 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ , 单个栅栏障体承担的最大压力  $292.44 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$ , 则弯矩  $M = 292.44 \times 0.5 = 146.22 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$ 。为了确保高立式沙障的稳定, 还必须使柱身的最大侧应力  $\delta_{\max}$  小于立柱前后主动土应力与被动土应力之差, 即  $\delta_{\max} \leq \delta_p - \delta_a$ 。立柱的平均直径 7 cm, 根据计算, 当立柱埋深 0.4 m 时, 即可满足设计要求, 确保高立式移动沙障的稳定。在实际施工中, 因风沙流通过沙障的底部时, 气流速度加快, 沙面容易被风蚀, 故立柱埋深取 0.5 m。高立式移动沙障的设计见图 2。

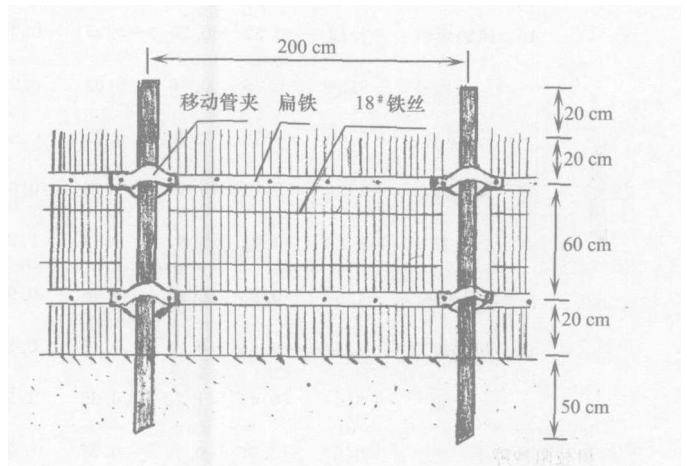


图 2 高立式移动沙障的设计图

Fig. 1 Design chart of high vertical mobile sand barrier

## 2.6 沙障的制作与安装

采用 7 cm、长 1.7 m 的立木立柱,用 18<sup>#</sup> 铁丝将 1.0~ 1.2 cm 树枝编织成长 2 m、宽 1 m,规格为 40 支·m<sup>-1</sup>、50 支·m<sup>-1</sup>、60 支·m<sup>-1</sup> 的阻沙栏,相应孔隙度约为 40%、50%、60%,用扁铁做腰条、移动管卡连接立柱与障体,安装于前沿阻沙带前 5.0~ 10.0 m 处的流动沙丘丘顶、丘间低地、迎风坡等部位。当沙障被风蚀沙埋后,可以用钳子和扳手拧松障体移动管夹上的螺栓,使障体通过管夹沿立柱移动,始终保持障体高度与防护高度相同。还可以根据沙害的不同,机动灵活地移动布设沙障,达到因害设防的目的。

## 3 使用效果分析

### 3.1 不同规格的高立式移动沙障阻沙效果分析

沿主风方向并垂直于沙障布设测钎,分别于障后 1 H、2 H、3 H、4 H、5 H、6 H、7 H、8 H、9 H、10 H,障前 0 H、1 H、2 H、3 H、4 H、5 H 及无穷远处布点,无穷远处第一点位于该断面上—沙丘的丘间低地处,沙丘沿主风方向移动时,该处年蚀积量接近于 0。无穷远处第一点与障前 5 H 之间,每 5 m 布设一

支测钎,并根据蚀积状况适度加密。用经纬仪准确测量断面各测钎处地面高程,用 50 m 钢尺测量断面各测钎的距离,以后,每月用钢尺观测一次各测钎的蚀积量,观测单位断面上不同规格、不同设置部位的高立式移动沙障的年蚀积搬运状况,并与目前前沿障沙带使用的树枝沙障进行比较,结果见表 1。

观测结果表明:设置于流动沙丘副梁间风蚀垭口部位的移动式沙障,规格以 60 支·m<sup>-1</sup> 阻沙效果最好。障前 1 H 处有少量积沙,障后 2 H~ 6 H 处大量积沙,阻沙率达 87.6%。规格 50 支·m<sup>-1</sup> 阻沙效果次之,障前无积沙,障后 3 H~ 8 H 处大量积沙,阻沙率达 74%。规格 40 支·m<sup>-1</sup> 阻沙效果最差,障前无积沙,障后 3 H 处仍有轻微风蚀,阻沙率仅为 56.7%。扎设于流动沙丘迎风坡部位的移动沙障,以规格 50 支·m<sup>-1</sup> 阻沙效果最好。障前 1 H~ 2 H 处有少量积沙,障后 4 H~ 8 H 处大量积沙,阻沙率达 81%。扎设于流动沙丘丘顶部位的阻沙量最大,阻沙量达 85%,以规格 50 支·m<sup>-1</sup> 移动沙障阻沙效果最好,规格 60 支·m<sup>-1</sup> 移动沙障扎设后,极易被埋毁。各种类型的移动沙障与目前扎设于迎风坡部位的前沿阻沙障树枝沙障相比,树枝沙障阻沙率仅为 48.5%,低于目前设计使用的各种类型的移动沙障。

表 1 沿主风方向不同规格、不同设置部位的移动式沙障阻沙效果

Tab. 1 Effect of sand barrier blocking blown sand when with different standard and at different position along main wind direction

沙障类型	规格/ (支· m <sup>-1</sup> )	设置 部位	蚀积量/(m <sup>3</sup> ·m <sup>-1</sup> ·a <sup>-1</sup> )										断面侵 蚀沙量/ (m <sup>3</sup> · m <sup>-1</sup> · a <sup>-1</sup> )	沙障阻 沙量/ (m <sup>3</sup> · m <sup>-1</sup> · a <sup>-1</sup> )	沙障阻 沙率 /%
			障前					障后							
			丘间低地	5 H	3 H	1 H	0 H	0 H	2 H	4 H	6 H	8 H			
移动 式 沙 障	40	迎风坡	- 4.26	- 0.13	0.06	0.21	0.35	0.65	0.51	0.43	0.28	- 4.39	2.49	56.7	
		风蚀垭口	- 2.72	- 0.32	- 0.29	- 0.33	- 0.25	0.28	0.67	0.28	0.38	- 3.91	1.61	41.2	
		丘顶	- 6.39	0.35	0.58	0.62	0.97	1.13	0.87	0.56	0.12	- 6.39	5.20	81.4	
	50	迎风坡	- 5.69	- 0.16	0.08	0.23	0.43	0.85	1.38	1.29	0.48	- 5.85	4.74	81	
		风蚀垭口	- 3.82	- 0.15	- 0.12	- 0.06	0.68	0.75	0.63	0.57	0.25	- 4.09	2.88	70.4	
		丘顶	- 6.26	0.23	0.87	0.53	1.26	1.34	0.73	0.45	0.12	6.26	5.53	88.3	
	60	迎风坡	- 4.57	- 0.25	0.33	0.45	0.95	0.76	0.63	0.35	0.23	4.82	3.70	76.7	
		风蚀垭口	3.67	- 0.61	- 0.26	0.15	0.73	0.84	0.93	0.82	0.28	4.28	3.75	87.6	
		丘顶	- 6.54	0.45	1.23	0.35	1.37	1.21	0.57	0.23	0.15	- 6.54	5.56	85.0	
树枝阻沙障		- 3.57	- 0.05	0.16	0.37	0.72	0.53	0.04	- 0.02	- 0.11	- 3.75	1.82	48.5		

备注:侵蚀为“-”,堆积为“+”;观测日期:2001年5月至2003年5月。

据观测,新扎设的树枝沙障阻沙效果接近于目前设计使用的可移动式沙障。由于树枝沙障障体结

构松散,在强风沙流的作用下,容易倾斜、倒伏,或被风蚀沙埋,有效防护高度降低。障体材料也容易被风沙流破坏,使孔隙度增大,降低了树枝沙障的阻沙率。移动式沙障障体用 4 根  $2.5\text{ mm} \times 30\text{ mm}$  的扁钢牢牢夹住,用管夹与立柱连接,障体结构紧密,并且当沙障被风蚀沙埋后,障体可以通过管夹沿立柱移动,始终保持与障体高度相同的防护高度,所以防护效果好于目前使用的树枝沙障。结果表明:移动式沙障的有效积沙距离是障高的 7~9 倍,可达 6~

8 m,被保护下的前沿阻沙带树枝沙障不发生蚀积现象。在同样条件下的前沿阻沙带树枝沙障有效积沙距离仅为 1.3~1.5 m,障后 5 m 即发生蚀积现象。

### 3.2 不同类型的高立式沙障使用效果分析

目前,沙坡头铁路治沙防护体系试验使用的高立式沙障类型主要有  $2\text{ m} \times 2\text{ m}$  玉米杆沙障、 $2\text{ m} \times 2\text{ m}$  树枝沙障,使用效果分析见表 2。

表 2 不同类型的高立式沙障使用效果分析

Tab. 2 Utilization effectivity of different types of high vertical barrier

沙障类型	规格	单位成本元/m	使用年限/a	备 注
玉米方格沙障	$2\text{ m} \times 2\text{ m}$	12	1~2	单米成本 $3\text{ 元} \cdot \text{m}^{-1}$ ,材料不可重复利用,材料强度低,材料来源丰富
树枝方格沙障	$2\text{ m} \times 2\text{ m}$	20	2~3	单米成本 $5\text{ 元} \cdot \text{m}^{-1}$ ,材料不可重复利用,材料强度较高,材料来源有限
移动沙障	$50\text{ 支} \cdot \text{m}^{-1}$	23	2~3	单米成本 $23\text{ 元} \cdot \text{m}^{-1}$ ,主要材料部件可重复利用,材料强度高,材料来源有限

试验结果表明,这两种类型的方格沙障的阻沙效果均好于目前设计使用的各种类型的移动式沙障。沙障因呈方格状,可以阻挡多种风向的风沙流,障前和方格内大量积沙。目前设计使用的各种类型的移动式沙障均为单道式,所以阻沙量不及格状沙障。但这两种类型的方格沙障也有不足之处。由于格状沙障障前和方格内大量积沙,障后积沙量较少,风沙流受阻后,就近在障前和方格内形成新的沙垄,在强风力的吹蚀作用下,移动速度加快,成为新的沙源。

从经济效益分析,目前扎设的  $2\text{ m} \times 2\text{ m}$  玉米杆制作成本达  $12\text{ 元} \cdot \text{m}^{-1}$ ,材料来源较丰富。但障体材料强度低,如果设于次要风向上,使用寿命可以达 2 a。设在与主风向垂直的流动沙丘上,沙障障体当年即可被风吹倒。所以,这种类型的沙障应做进一步的加固改进。目前,因国家实施退耕还林工程,玉米杆被广泛用作饲料,价格不断上涨,材料来源日益紧缺。 $2\text{ m} \times 2\text{ m}$  型树枝沙障目前扎设成本约  $20\text{ 元} \cdot \text{m}^{-1}$ ,仅工费就达  $12\text{ 元} \cdot \text{m}^{-1}$ 。由于材料来源比较紧缺,难以大规模推广应用。移动式阻沙障成本为  $23\text{ 元} \cdot \text{m}^{-1}$ ,价格相对昂贵。但障体材料来源于苗圃修枝和出圃苗截干枝,材料利用率高,材料来源有保障。主要部件  $2.5\text{ mm} \times 30\text{ mm}$  的扁钢可重复利用 10 a 以上,障体树枝栅栏编制成本仅  $2\text{ 元} \cdot \text{m}^{-1}$ ,长期使用成本接近树枝沙障。移动式阻沙障的障体结构紧密,当沙障被风蚀沙埋后,障体可以通过管夹沿立柱移动,始终保持与障体高度相同

的防护高度,还可以根据沙害的不同,机动灵活地移动布设沙障,达到因害设防的目的。其他几种类型的沙障扎设完毕后,障体不能移动,障体被不断地风蚀或沙埋,降低了防护性能和使用寿命。所以相比较而言,移动式沙障的推广价值较大。

## 4 结语

(1) 移动式阻沙障的障体结构紧密,当沙障被风蚀沙埋后,障体可以通过管夹沿立柱移动,始终保持与障体高度相同的防护高度,还可以根据沙害的不同,机动灵活地布设沙障,达到因害设防的目的。

(2) 设置于流动沙丘副梁间风蚀垭口部位的移动式沙障,规格以  $60\text{ 支} \cdot \text{m}^{-1}$  阻沙效果最好。障前 1 H 处有少量积沙,障后 2 H~6 H 处大量积沙,阻沙率达 87.6%。规格  $50\text{ 支} \cdot \text{m}^{-1}$  阻沙效果次之,障前无积沙,障后 3 H~8 H 处大量积沙,阻沙率达 74%。规格  $40\text{ 支} \cdot \text{m}^{-1}$  阻沙效果最差,障前无积沙,障后 3 H 处仍有轻微风蚀,阻沙率仅为 56.7%。扎设于流动沙丘迎风坡部位的移动沙障,以规格  $50\text{ 支} \cdot \text{m}^{-1}$  阻沙效果最好。

致谢: 承蒙中国科学院寒区旱区环境与工程研究所董志宝老师指导,在此深表感谢。

### 参考文献(References):

- [1] 孙保平. 荒漠化防治工程学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2000. 144-148.

- [2] 中国科学院兰州沙漠研究所沙坡头沙漠科学研究所. 流沙治理研究(二) [M]. 银川: 宁夏人民出版社, 1991. 318- 325.
- [3] 蒋富权, 邸耀全, 张红利. 沙障立柱的受力分析及埋深计算 [J]. 中国沙漠, 1999, 19(2): 187- 189.
- [4] 刘晓平, 董治宝. 空气动力学粗糙度的物理与实践意义 [J]. 中国沙漠, 2003, 23(4): 337- 345.
- [5] 刘晓平, 董治宝, 王训明. 固定沙质床面的空气动力学粗糙度 [J]. 中国沙漠, 2003, 23(2): 111- 116.
- [6] 陈晓光, 赵光平, 郑广芬, 等. 宁夏春季典型沙尘暴特征及成因研究 [J]. 中国沙漠, 2004, 24(5): 570- 574.
- [7] 赵光平, 郑广芬, 王卫东, 等. 宁夏特强沙尘暴气候背景及其实践规律研究 [J]. 中国沙漠, 2003, 23(4): 420- 425.

## Testing Research on Application Technology of High Vertical Mobile Sand-barrier

GAO Yong-gui, LIN Qing-gong

(Zhongwei Railway Sand-fixation Forestry Farm, Lanzhou Railway Bureau, Ningxia 751700, China)

**Abstract:** The high vertical mobile sand-barriers is made up from using the no. 18 iron wire to weave branches ( 1~ 1.2 cm) into the sand-barriers which are 2 m long and 1 m wide and with 40% ~ 60% porosity; then using flat iron as their waist strips, and using moving tube clips to connect the upright column and the barriers; lastly setting up them on the moving dune top, intervals and windward slopes. Testing result shows that the traditional barriers might be eroded or covered up by sand because they aren't movable, therefore not only the protective effect is reduced but also the standing life is shortened. In comparison, the type of high vertical mobile sand-barrier can move vertically and horizontally, which can bring it into play according to the circumstance. It is of great value for generalization and application due to its conveniency in practicing. This paper has also presented the design principle and the method of its manufacture and installation.

**Key words:** high vertical mobile sand-barrier; application technology; protection effect