

防风固沙林阻沙效果的风洞模拟实验

沈晓东 程致力

(中国林业科学研究院林业研究所)

区柏森 俞学曾

(中国环境科学研究院)

关键词 防风固沙林; 紧密结构; 通风结构; 透风系数

1 研究方法

按照一般野外采用的防风固沙林结构,设计出9种实验模型(表1)。模型是用直径4cm、高4cm的塑料松针和直径3.5mm的铅丝制成。林带模型高16cm,枝下高4cm;灌木片林高4cm,模型缩比为1:50。

表1 模型类型和主要参数

序号	名称	覆盖度 (%)	透风系数	株行距 (cm×cm)	行数
1	紧密结构林带		0.27	4×4	5
2	通风结构林带 I		0.37	4×4	5
3	通风结构林带 II		0.60	8×4	5
4	灌木片林 I	78		4×4	30
5	灌木片林 II	27		8×6	20
6	灌木片林 I + 通风结构林带 I	78	0.26	4×4	30
7	灌木片林 I + 通风结构林带 II	78	0.58	4×4	30
8	灌木片林 II + 通风结构林带 I	27	0.30	8×6	20
9	灌木片林 II + 通风结构林带 II	27	0.51	8×6	20

流场测点布置:水平方向(H为林带或片林的平均高度,“-”表示林带或片林的迎风面;“+”表示林带或片林背风面)为-3H、-2H、-1H、-0H(灌木片林中距前缘2H、15H和28H)、+0H、1H、2H、3H、5H、7H、10H、15H;在垂直梯度上对于林带:H/50、H/8、H/2、1H、2H;对于片林:2/25H、H/2、1H、2H。

来流风速廓线按沙区平坦地表参数确定,在风洞中人工形成边界层。在实验模型上风处放置3m长的沙盘,实验采用粒径0.1~0.25

mm为主的天然沙。

实验于1989年在中国环境科学研究院一座中性低湍流环境风洞中进行。用日本产DA=200型超声风速仪监测实验段来流和校正热线风速仪;用丹麦产DISA 56 COO型恒温热线风速仪测量流场的平均风速和湍流强度。另有吸沙器、秤等。

2 实验的相似性

按照相似理论,模拟实验首先应该满足几何相似这一基本条件,同时还应满足相似的边界条件,使得运动相似。

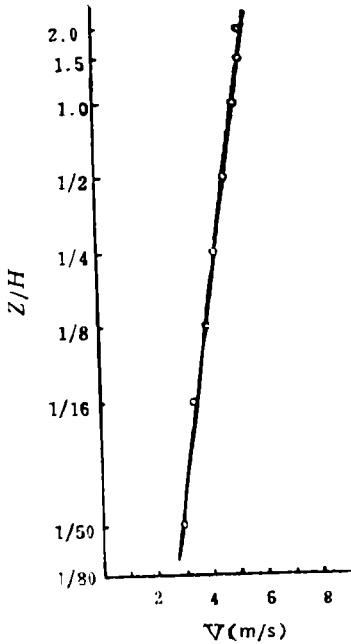


图1 来流风廓线

一般的风洞模拟实验中,由于模型尺寸比实物小得多,因此很难做到雷诺数与野外现场一致。在以往的研究中得出,当 $R_e \geq 2.5 \times 10^4$, 雷诺数进入自准区^[3]。经检测模型特征雷诺数 $R_e = 5.5 \times 10^4$ 大于临界值。

2.3 吹沙实验的模拟

风洞中模拟风沙现象难以严格满足相似条件,其原因是按比例缩小的沙粒粒径会导致模拟现象违反风沙流自然规律^[4]。为此,对紧密结构和通风结构Ⅱ林带做了连续60 min的吹沙实验。图2给出两种不同结构林带60 min吹沙后,林带前后每H距离段内的相对积沙量分布, Q为各段实验的积沙量, W为模型前后的总积沙量。图2反映出不同结构的林带具有各自的积沙分布规律。自然界风沙流移动,绝大多数集中在0~10 cm高度内^[6],在风洞中采用的模型高度为16 cm,而且实验摩擦速度略高于沙粒起动摩擦速度,沙粒起跃高度低,沙流基本上被模型阻挡。图3、图4为野外调查的紧密结构林带和通风结构林带的阻积沙特征。图2的实验结果与之相比较,显示出两者具有相似的积沙分布规律。

综合以上几点,在一定模型缩比和风速条件下,采用原风速、原沙,在雷诺数自准的前提下,模拟吹沙实验以比较不同结构模型的阻沙效果是可行的。

2.1 运动相似

依照气象学在中性条件下,近地边界层速度分布一般呈对数分布:

$$V_{(z)} = \frac{V_*}{K} \ln \frac{Z}{Z_0}$$

式中 Z_0 是粗糙度, V_* 为摩擦速度,卡门常数 $K \approx 0.4$, $V_{(z)}$ 为高度 Z 上的风速。在风洞中,人工形成模拟实验的边界层,图1为风洞中模拟风速廓线与拟合廓线的对比,小圆点表示实测值。线性回归得出 $Z_0 = 0.126$ cm,在沙区实测值在0.0047~0.1310 cm范围内^[1],符合沙区自然条件。摩擦速度 $V_* = 0.231$ m/s,略高于沙粒起动摩擦速度0.192 m/s^[2]。

2.2 雷诺数检测

雷诺数是惯性力与粘性力之比: $R_e = VH/\gamma$, H 是模型的特征高度, V 为气流速度, γ 为空气运动粘性系数,在常温常压下为 1.467×10^{-6} m²/s。

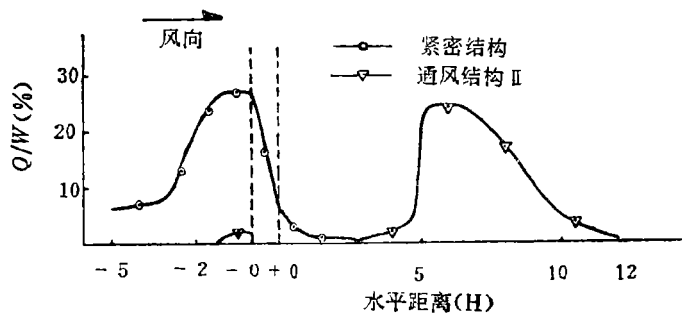


图 2 两种不同结构林带前后的积沙分布

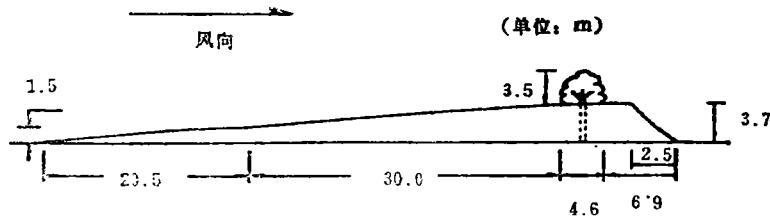


图 3 野外紧密结构林带的阻积沙特征¹⁾

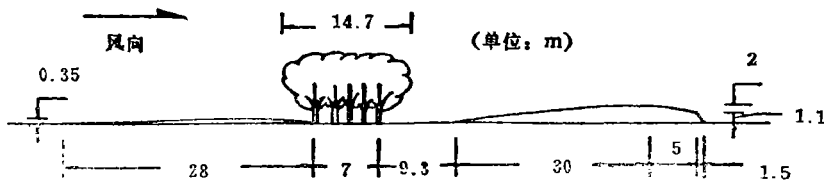


图 4 野外通风结构林带的阻积沙特征¹⁾

3 分析与结果

从表 2 看出，两种不同覆盖度片林的阻积沙量基本相同，这说明当片林覆盖度达到一定时，阻沙效果没有明显区别。这是由于贴地的风沙流，遇到灌木片林的阻挡，风速下降，使得沙粒损失运动的能量，从而绝大多数流沙沉积在林前和林中。表 2 显示三种不同结构的林带在阻积沙分布上有很大的差别。

从图 5 可以看出不同结构的林带具有不同的阻积沙分布特征。紧密结构林带将来沙量的 94% 阻积于迎风面的一定范围内，只有约 6% 的来沙越过林带，分布在背风面 3H 以内；通风结构林带，来沙在迎风面和背风面堆积成不连续的两部分，只是在堆积部位和数量上存在着明显的差异，这些主要取决于林带的透风系数。

表 2 各种实验模型阻积沙分布特征

模型结构	相对积沙量 (%)			
	灌木林前及林中	灌木林后	林带前缘及林中	林带后缘
紧密结构林带			94.12	5.88
通风结构林带 I			52.38	47.62
通风结构林带 II			2.06	97.94
灌木片林 I	98.96	1.04		
灌木片林 II	99.17	0.83		
灌木片林 II + 通风结构林带 I	96.20			3.78
灌木片林 II + 通风结构林带 II	96.56			3.44

1) 图 3、图 4 引自新疆林业科学院刘钰华、张纯等的野外调查资料。

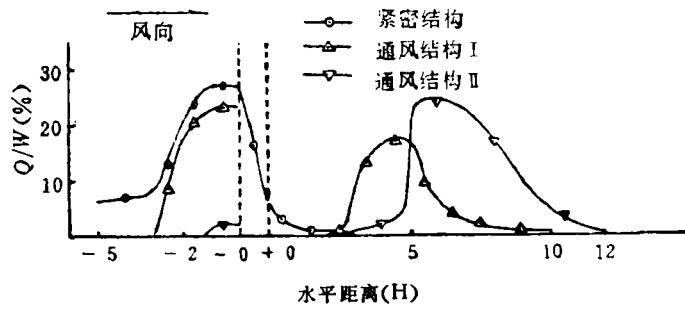


图5 不同结构林带的阻积沙分布特征

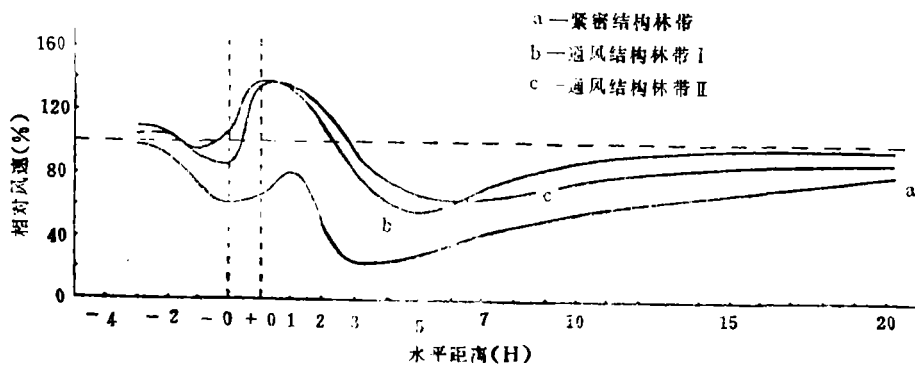


图6 不同结构林带的防风作用

图6给出3种结构林带H/8高度上相对风速变化曲线。风速在紧密结构林带迎风面边缘大幅度降低(约40%)，加上枝叶的阻挡，使来沙大量沉降堆积，达到一定高度后才越过林带分布在弱风区(3H)以内。通风结构林带，气流遇到林冠层的阻挡，在林缘迎风面形成反向涡旋，这个涡旋尺度的大小受林带透风系数大小的影响，进而影响到林带前缘风速降低的程度，使得一部分来沙沉降堆积在林带前缘，气流通过树冠下的通道被加速，在背风面后缘形成高速区，将另一部分来沙吹到背风面弱风区沉降堆积。透风系数越大，迎风面林缘积沙量越少，背风面沙粒堆积部位也越向后推移，积沙覆盖面积也越大(通风结构I为 $10.5H - 2.5H = 8H$ ，通风结构II为 $12H - 2.5H = 9.5H$)。如图5所示，其积沙峰值均出现在弱风区稍前的位置上。

两种不同覆盖度灌木片林分别与通风结构林带I组合形成紧密结构，与通风结构林带II组合形成近似疏透结构。图7给出灌木片林II+通风结构林带H/8高度上相对风速变化曲线。图中片林II+通风结构林带I显示出紧密结构背风面风速变化特征，在 $2.5H \sim 9H$ 间，相对风速小于0.7；而片林II+通风结构林带II背风面风速变化较为平缓，在 $3H \sim 12H$ 间，相对风速小于0.7，贴地层风速降低的范围大于前一种组合。图8给出片林II+通风结构林带的相对积沙分布特征。从图中可看出，96%的沙粒沉降在片林林中，片林II+通风结构林带II背风面，沙粒堆积较为平缓，而且面积较大。两种组合形成林带背风面的积沙峰值，均出现在弱风区前缘 $0.5 \sim 1H$ 的位置，这是地面积沙后由于沙面的摩擦阻作用所致。

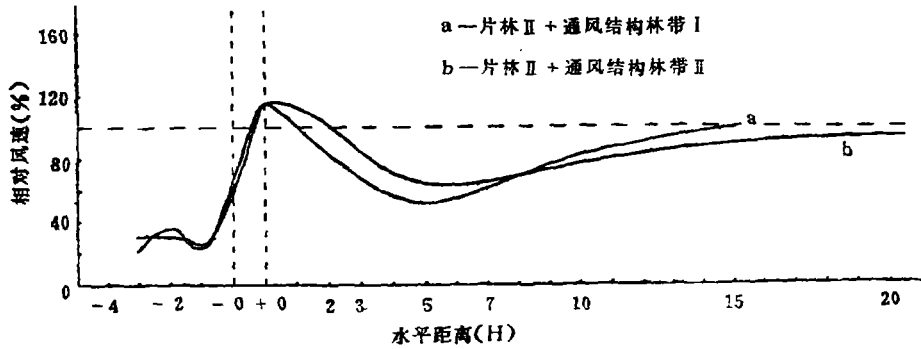


图7 灌木片林Ⅱ+林带对风速的影响

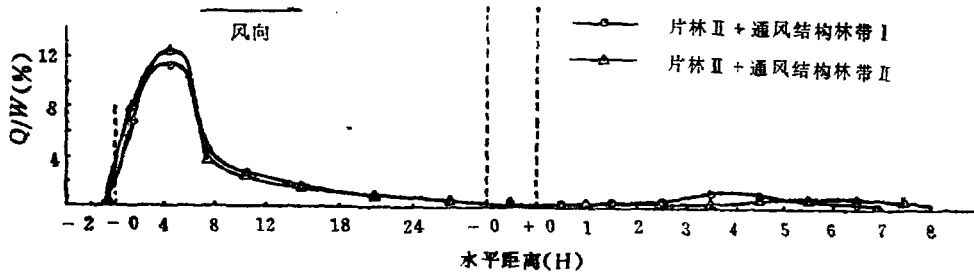


图8 灌木片林Ⅱ+林带的阻积沙分布

4 结 论

(1) 风洞模拟实验和野外对不同结构防风固沙林带的观测研究结果，具有一致的规律性，因此在一定模型缩比和风速条件下，采用原沙并在雷诺数自准的前提下，模拟吹沙实验用以在不同结构模型间比较阻沙效果，是可行的。

(2) 当灌木片林覆盖度达到一定时，其覆盖度的变化对阻沙效果影响不大。

(3) 在林带的影响下，流沙的堆积分布特征主要取决于林带的结构。这样可以根据防护对象，选用相应类型的林带和最适宜的透风系数，在一定范围内可使林带达到最佳的防护效果。

(4) 紧密结构林带、灌木片林+林带具有近似的防风阻沙效果，是最好的防风固沙林模式。

参 考 文 献

[1] 耿宏宽等，1985，我国沙区起沙风气候学研究，中国沙漠，(5)1：16~26。
 [2] Bagnold, R. A., 1941(钱正译，1959)，风沙和荒漠沙丘物理学，科学出版社。
 [3] Woodruff, N. P. et al., 1953, Wind Tunnel Studies of Shelterbelt Models, *J. of Forestry*, 51:3.
 [4] 贺大良等，1987，风沙现象的相似问题，中国沙漠，(7)1：18~23。
 [5] 高尚武等，1984，治沙造林学，中国林业出版社。

*Study of Wind Tunnel Simulation Experiment
on Effects of Sand-Shifting Control Forest*

Shen Xiaodong Cheng Zhili

(Research Institute of Forestry CAF)

Ou Bosen Yu Xuezheng

(The Environmental Science Academy of China)

Abstract This paper is based on the blown wind and sand experiment of nine different structures of sand-shifting control forests in a wind tunnel. The results are as follows: ① Wind tunnel simulation experiment results and those got from survey and studies on sand-shifting control forest belts of different structure in field have the same regularity. ② When tracts of shrub forests have certain coverage, the variation of plantation coverage has slight influence on sand-control effects. ③ Being affected by forest belts, the feature of accumulated sand distribution is determined by the structure of forest belt. The corresponding type of forest belt and the most suitable coefficient of porosity can be selected according to different protected objects.

Key words sand-shifting control forest; dense-structure; vent-structure; porous coefficient