

林网方位与防风效应野外模拟试验研究*

宋兆民 孟平

(中国林业科学研究院林业研究所)

张翼 刘德胜

(中国科学院地理所)【安徽省林业研究所】

关键词 黄淮海; 林网方位; 防风效能; 野外模拟

我国早在建国初期就开始有计划地发展农田防护林,其林带结构与方位多以宽行并与主害风方向垂直的设计方案为主。自70年代以后,逐渐发展窄林带小网格的农田防护林网模式^[4]。据初步统计,目前全国已有1/5的耕地实现了此种类型的农田林网^[5]。但至今对农田林网与主害风向方位(即林网与风偏角的关系)关系的认识还不统一^{[1-3][6]},为此,我们于1984年5月至7月在安徽省宿县新河乡黄淮海平原综合防护林体系试验示范区,通过野外模型实验和理论推导,对窄林带小网格的农田防护林网的透风度^[9]、方位与防风效应进行了较深入的探讨,为黄淮海平原综合防护林体系的建设提供规划设计的理论依据。

一、观测实验

实验场地东西长6 km,南北宽最小3 km,地势开阔平坦,下垫面为麦茬和豆苗覆盖,来流路径不小于1.5 km,测杆高3 m,模型采用木栅栏。根据实验要求,将透风度用塑料布分别调成0.44、0.25、0.08,栏高1.2 m,栅栏围成 $25 \times 24 \text{ m}^2$ 、 $30 \times 20 \text{ m}^2$ 和 $35 \times 17.1 \text{ m}^2$ 的林网。林网内均匀设置16个测点,在每个测点上观测0.5 m和1.5 m高度的风速、温度、湿度。对照点(随风向改变移动)选在迎风面 $10H$ (林高)处,平均采样时间为20 min,本文所使用的是仅限于三种形状林网不同风偏角情况下的林网平均防风效应的资料。

二、理论计算

(一) 林带防护区中风速分布规律

林网是由林带组成的,研究林网的防风效应可以将林网的防风效应看成4条林带综合作用的结果,因此首先来看林带的防护区中风速分布规律。

在自然条件下透风林带背风面防护区中风速廊线基本上服从误差函数分布规律,满足当风偏角 $\theta = 0^\circ$ 时,有:

本文于1988年4月8日收到。

* 本文属黄淮海平原综合防护林体系课题内容之一。

$$u(x, z) = \frac{1}{2}(u + u_b)(1 + \lambda \operatorname{erf} \xi) \tag{1}$$

式(1)中 $u(x, z)$ 为林带背风防护区中, 与林带垂直的水平距离 x 、高度 z 处的风速; u 是林带上部空气自由流速, 一般为 $4H$ 高度的风速^[1]。 u_b 是林带下部透过的气流的速度, 一般取林后 $3H$ 处的风速^[7]。

$$\lambda = (u_\infty - u_b)/(u_\infty + u_b) \tag{2}$$

$$\xi = \sigma \frac{z}{x} \tag{3}$$

这里 ξ 是依赖于 z 和 x 的无量纲变量, $\operatorname{erf}(\xi)$ 是 ξ 的误差函数, λ 、 σ 是经验常数。

透风林带迎风防护区中相对风速 $u_r(x, z)$ 满足二元幂函数的对数形式的模式^[6], 即:

$$u_r(x, z) = \ln(|x|^P + z^Q + 0.5) \tag{4}$$

或
$$u_r(x, z) = u_0(z) \ln(|x|^P + z^Q + 0.5) \tag{5}$$

式(5)中 $u_0(z)$ 是 $u(x, z)$ 同高度迎风面 $-6H$ 水平距离处的水平风速, P 、 Q 为参变量。

(二) 风偏角 $\theta = 0^\circ$ 时, 林网中风速分布规律

令旷野风速为 $W(z)$, 当 $W(z)$ 垂直吹向迎风主林带 1 和主林带 2 时, 有:

$$\left. \begin{aligned} u(x, z) &= \frac{u + u_b}{2} \left(1 + \lambda \operatorname{erf} \sigma \frac{z}{x} \right) & x \leq S_1 - 6 \\ u(x, z) &= u[(S_1 - 6), z] \ln(|x|^P + z^Q + 0.5) & x > S_1 - 6 \end{aligned} \right\} \tag{6}$$

式(6)中 S_1 为主林带 1 和主林带 2 之间的距离。

(三) 风偏角 $\theta \neq 0^\circ$ 时, 林网中风速分布规律

林网中的风速分布是由四条林带共同作用而形成的, 如图 1 所示, 将林网分成四个区域, 每个区域中的风速分布是由于不同林带的作用占主导地位的结果。

在区域 I 中任一点上 x 方向的风速为^[7]:

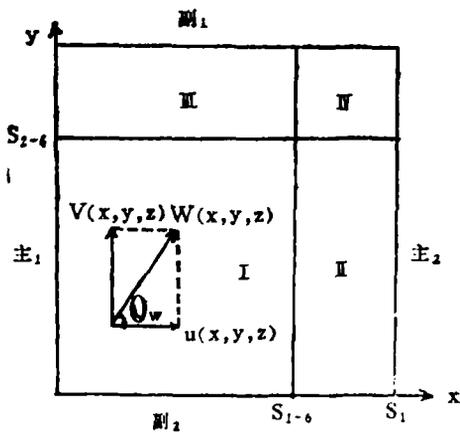


图 1 林网中风速分布规律示意图

$$u(x, z) = \frac{u_\infty + u_b}{2} \left(1 + \lambda_1 \operatorname{erf} \sigma_1 \frac{z}{x} \right) \tag{7}$$

其中: $u_\infty = W_\infty \cos \theta \tag{8}$

$$u_b = u_0 \cdot 0.1579 e^{-1.821 \sigma_1} \tag{9}$$

$$u_0 = W_0 \cos \theta \tag{10}$$

这里 u_∞ 、 u_0 分别为旷野风速 W_∞ 、 W_0 在 x 轴方向的分量, 同样在 y 轴方向的分量为:

$$V_{\infty} = W_{\infty} \sin \theta \quad (11)$$

$$V_0 = W_0 \sin \theta \quad (12)$$

$$V_b = V_0 \cdot 0.1579e^{1.821\alpha_1} \quad (13)$$

上式中 α_1 、 α_2 为主林带 1 和副林带 1 的透风度， λ_1 、 σ_1 是相应于主林带 1 的透风度 α_1 的参数。在 y 方向风速分量为：

$$V(y, z) = \frac{V_{\infty} + V_b}{2} \left(1 + \lambda_2 \operatorname{erf} \sigma_2 \frac{z}{y} \right) \quad (14)$$

λ_2 、 σ_2 为相应于副林带 1 透风度 α_2 的参数。

对于区域 I 中任一点，风矢量 $\vec{W}(x, y, z)$ ，根据矢量合成法则有：

$$\begin{aligned} |\vec{W}(x, y, z)| &= \sqrt{u^2(x, z) + V^2(y, z)} \\ &= \sqrt{A_1^2 \left[1 + \lambda_1 \operatorname{erf} \left(\sigma_1 \frac{z}{x} \right) \right]^2 + A_2^2 \left[1 + \lambda_2 \operatorname{erf} \left(\sigma_2 \frac{z}{y} \right) \right]^2} \end{aligned} \quad (15)$$

其中

$$A_1 = \frac{W_{\infty} \cos \theta + 0.1579W_0 \cos \theta e^{1.821\alpha_1}}{2} \quad (16)$$

$$A_2 = \frac{W_{\infty} \sin \theta + 0.1579W_0 \sin \theta e^{1.821\alpha_1}}{2} \quad (17)$$

$$\lambda_1 = \frac{W_{\infty} \cos \theta - 0.1579W_0 \cos \theta e^{1.821\alpha_1}}{W_{\infty} \cos \theta + 0.1579W_0 \cos \theta e^{1.821\alpha_1}} \quad (18)$$

$$\lambda_2 = \frac{W_{\infty} \sin \theta - 0.1579W_0 \sin \theta e^{1.821\alpha_1}}{W_{\infty} \sin \theta + 0.1579W_0 \sin \theta e^{1.821\alpha_1}} \quad (19)$$

而合成的风矢量的偏角 θ_w 有：

$$\theta_w = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{A_2 \left[1 + \lambda_2 \operatorname{erf} \left(\sigma_2 \frac{z}{y} \right) \right]}{A_1 \left[1 + \lambda_1 \operatorname{erf} \left(\sigma_1 \frac{z}{x} \right) \right]} \quad (20)$$

(16) 和 (20) 式是在区域 I 中，即 $0 < x \leq (S_1 - 6)$ 和 $0 < y \leq (S_2 - 6)$ 中成立， S_2 是副林带 1 与副林带 2 的间距。同理对区域 II 中任一点风矢量 $\vec{W}(x, y, z)$ 为：

$$|\vec{W}(x, y, z)| = \sqrt{u^2[(S_1 - 6), z] \ln^2[(S_1 - x)^{P_1} + z^{Q_1} + 0.5] + A_2^2 \left[1 + \lambda_2 \operatorname{erf} \left(\sigma_2 \frac{z}{y} \right) \right]^2} \quad (21)$$

$$\theta_w = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{A_2 \left[1 + \lambda_2 \operatorname{erf} \left(\sigma_2 \frac{z}{y} \right) \right]}{u[(S_1 - 6), z] \ln[(S_1 - x)^{P_1} + z^{Q_1} + 0.5]} \quad (22)$$

这里 P_1 和 Q_1 是相对于主林带 2 迎风防护区中，二元幂函数对数风速分布模式中的经验参数。(21) 和 (22) 式在区域 $(S_1 - 6) < x < S_1$ 和 $0 < y \leq (S_2 - 6)$ 中成立。

对于区域 III 有：

$$|\vec{W}(x, y, z)| = \sqrt{v^2[(S_2 - 6), z] \ln^2[(S_2 - y)^{P_2} + z^{Q_2} + 0.5] + A_1^2 \left[1 + \lambda_1 \operatorname{erf} \left(\sigma_1 \frac{z}{x} \right) \right]^2} \quad (23)$$

$$\theta_w = \arctg \frac{V[(S_2 - 6), z] \ln [(S_2 - y)^{P_2} + z^{Q_2} + 0.5]}{A_1 \left[1 + \lambda_1 \operatorname{erf} \left(\sigma_1 \frac{z}{x} \right) \right]} \quad (24)$$

式中 P_2 、 Q_2 是相对于副林带2透风度 a_4 的迎风防护区中二元幂函数风速分布模式中的经验参数。(23)、(24)式在区域 $0 < x \leq (S_1 - 6)$ 和 $(S_2 - 6) < y < S_2$ 区域中成立。

对于区域IV,任一点风矢量 $\vec{W}(x, y, z)$ 有:

$$|\vec{W}(x, y, z)| = \sqrt{u^2[(S_1 - 6), z] \ln^2[(S_1 - x)^{P_1} + z^{Q_1} + 0.5] + V^2[(S_2 - 6), z] \ln^2[(S_2 - y)^{P_2} + z^{Q_2} + 0.5]} \quad (25)$$

$$\theta_w = \arctg \frac{V[(S_2 - 6), z] \ln [(S_2 - y)^{P_2} + z^{Q_2} + 0.5]}{u[(S_1 - 6), z] \ln [(S_1 - x)^{P_1} + z^{Q_1} + 0.5]} \quad (26)$$

(25)、(26)式在区域 $(S_1 - 6) < x < S_1$ 和 $(S_2 - 6) < y < S_2$ 中成立。这样从已知旷野风速分布中确定的 W 和 W_0 (对平均情况而言应为中性层结对数分布),林带的高度 H 及透风度 a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 ,林网面积,形状及风偏角 θ ,根据(11)、(21)、(23)、(25)式及有关确定参数的表达式,就可求出网格内的风速分布。可以事先估算出任意林带特征(高度和透风度)、任意林网面积和形状、任意风偏角情况下的风速分布。

(四) 林网的防风效应

将林网内的风速平均降低值称为林网的防风效应(相对旷野风速),记为 η ,将林网内的平均相对风速记为 \bar{W}_R ,平均风速记为 \bar{W}_0 ,则有:

$$\bar{W} = \frac{\int_0^H \int_0^{S_2} \int_0^{S_1} W(x, y, z) dx dy dz}{\int_0^H \int_0^{S_2} \int_0^{S_1} dx dy dz} \quad (27)$$

这是林网内 H 高度以下整个防护空间的平均风速,由于防护林的主要目的是保护较低高度处的农作物,因此林网区域内的平均风速为:

$$\bar{W}(Z) = \frac{\int_0^{S_2} \int_0^{S_1} W(x, y, z) dx dy}{\int_0^{S_2} \int_0^{S_1} dx dy} \quad (28)$$

$$\text{而} \quad \bar{W}_R(Z) = \frac{\int_0^{S_2} \int_0^{S_1} W(x, y, z) dx dy}{W_0(Z) \int_0^{S_2} \int_0^{S_1} dx dy} \quad (29)$$

$$\text{所以} \quad \eta(Z) = 1 - \frac{\int_0^{S_2} \int_0^{S_1} W(x, y, z) dx dy}{W_0(Z) \int_0^{S_2} \int_0^{S_1} dx dy} \quad (30)$$

(28—30)式中积分 $\int_0^{S_2} \int_0^{S_1} W(x, y, z) dx dy$ 需要将林网分为上述四个区域来积分。

这样,根据 W 和 W_0 ,林高 H 及透风度 a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 ,林网面积和形状(S_1 , S_2),以及风偏角 θ ,可事先估算出林网网格的防风效应。

三、实验和理论模式的计算结果

(一) 正方形林网条件下防风效应与风偏角的关系

表 1 说明当林网近似为正方形($22 \times 21.2H_0^2$)时, \bar{W}_R 、 η 与 θ 的关系, 其中 \bar{W}_R' 和 η' 是根据矢量合成模式计算出来的理论值, \bar{W}_R 和 η 是实际观测值。 W_0 是按中性层结分布计算的 $4H$ 高度的旷野风速, H_0 取 1.137 m (木栅栏高减去下垫面上零平面位移高度 0.063 m , H_0 称为林带 (此处为模型) 的空气动力学高度, $H_0 = H - D$, D 为零平面位移高度。 D 是按 Monteith 的经验公式, 即:

$$\left. \begin{aligned} D &= 0.63h \\ Z_0 &= 0.13h \end{aligned} \right\} \quad (31)$$

计算得到的 h 为下垫面作物高度, 这里取麦茬为 0.1 m 。

表 2 为一般麦田林网防风效应的理论值和相对风速平均值。林带高取 1.5 m , 小麦高取 1 m , 林网为正方形, 旷野风速为 $W_0(Z=0.25H)$

表 1 正方形林网 \bar{W}_R 、 η 与 θ 的关系

项 目		θ	0°	30°	60°	90°
$\alpha = 0.25$	\bar{W}_R		0.734	0.704	0.733	0.733
	\bar{W}_R'		0.687	0.695	0.701	0.688
	η		0.266	0.296	0.267	0.267
	η'		0.313	0.305	0.299	0.312
$\alpha = 0.08$	\bar{W}_R		0.760	0.803	0.769	0.747
	\bar{W}_R'		0.730	0.728	0.731	0.730
	η		0.240	0.197	0.231	0.253
	η'		0.270	0.272	0.269	0.270

表 2 理论数字模拟 \bar{W}_R' 、 η' 与 θ 的关系

项 目		θ	0°	15°	30°	45°	60°	75°
$\alpha = 0.0$	\bar{W}_R'		0.899	0.900	0.901	0.901	0.901	0.901
	η'		0.101	0.100	0.099	0.099	0.099	0.099
$\alpha = 0.1$	\bar{W}_R'		0.755	0.756	0.759	0.760	0.760	0.759
	η'		0.244	0.243	0.241	0.240	0.240	0.240
$\alpha = 0.2$	\bar{W}_R'		0.687	0.689	0.694	0.695	0.694	0.691
	η'		0.313	0.311	0.306	0.305	0.306	0.303
$\alpha = 0.3$	\bar{W}_R'		0.662	0.664	0.668	0.670	0.669	0.666
	η'		0.338	0.336	0.332	0.330	0.331	0.334
$\alpha = 0.4$	\bar{W}_R'		0.665	0.667	0.671	0.673	0.672	0.669
	η'		0.335	0.333	0.329	0.327	0.338	0.331

从表1和表2中可以看到：(1)实验和理论计算均表明，正方形林网中的平均相对风速和防风效应与风偏角基本上没有什么关系。表1实测值中除 $\alpha=0.08$ 、 $\theta=30^\circ$ 的结果离散较大外，一般在不同风偏角时，正方形林网防风效应偏差不超过5%；(2)当 $\alpha=0^\circ$ 时， η 最小，当 α 为0.3—0.4时，防风效应最佳。

(二) 长方形林网中 η 和 θ 的关系

表3、4中的风偏角均为短边法线与风向的夹角。林高为15 m，小麦高为1 m。这两个表说明了一般麦田林网防风效应的理论值和风偏角的关系。

表3 长方形林网 \bar{W}_R 、 \bar{W}_R' 、 η 、 η' 与 θ 的关系^①

	0°	30°	60°
\bar{W}_R	0.787	0.717	0.660
η	0.213	0.283	0.340
\bar{W}_R'	0.765	0.720	0.618
η'	0.235	0.280	0.384

^① $\alpha=0.44$ 。

表4 长方形林网中的 η' 值

N	α	0°	15°	30°	45°	60°	75°
N = 2	0.0	0.078	0.081	0.091	0.106	0.121	0.138
	0.1	0.170	0.198	0.221	0.254	0.291	0.321
	0.2	0.242	0.251	0.279	0.321	0.368	0.407
	0.3	0.259	0.269	0.300	0.345	0.396	0.440
	0.4	0.253	0.264	0.295	0.342	0.395	0.440
N = 3	0.0	0.067	0.072	0.087	0.105	0.131	0.149
	0.1	0.162	0.178	0.207	0.257	0.311	0.355
	0.2	0.205	0.219	0.260	0.321	0.390	0.448
	0.3	0.218	0.234	0.277	0.343	0.419	0.484
	0.4	0.211	0.226	0.271	0.339	0.417	0.483

四、结论和讨论

根据表1—4的计算结果，综合出以下几点结论：

1. 在相同条件下(林网面积、林高、透风度、零平面位移高度)，对于短边法线与风向夹角为风偏角的长方形林网来说，风偏角增大防风效应增大；风偏角在45°—90°范围时，防风效应优于相同条件下的正方形林网的防风效应；在0°—45°范围内劣于正方形林网的防风效应，风偏角为90°时防风效应最佳。

2. 林网长宽比增加时，上述结论中防风效应增加或下降的程度加强。

3. 相同条件下的正方形林网的防风效应不受风偏角的影响。

4. 透风度对林网的防风效应有明显的影响，在其它条件相同时， $\alpha=0.0$ 的林网防风效应最小， α 在0.3—0.4时防风效应最佳。

5. 根据以上结论，建议在黄淮海平原对有明显主害风地区，应采取长边与主害风垂直的长方形林网，长宽比的限度应以不妨碍其它条件保持正常为宜。长边法线与主害风向的夹角需要变化时，应控制在0—45°之内；若无明显主害风地区可采用正方形或近似正方形的林网，因正方形林网防风效应随风偏角变化比较平缓。故可不考虑方位，在规划设计时可因地制宜进行。

参 考 文 献

- [1] Eimern, J. Van et al., 1964, Windbreake and Shelterbelts, WMO Technical Note, 59:12—28.
- [2] Coborn, J. M., 1957, Shelterbelt and microclimate, Bull. For. Comm., 29.
- [3] Jesen, M., 1961, Shelterbelt effect, Danish Technical Press Copenhagen, 21—78.
- [4] 宋兆民等, 1981, 河北深县农田林网气象效应研究, 林业科学, 17(1): 8—19.
- [5] 宋兆民, 1984, 黄淮海平原防护林体系的建设对农业生态系统的改造和调控作用, 林业气象论文集, 气象出版社, 96—100.
- [6] 张翼等, 1986, 林带迎风防护区中风速分布的模拟研究, 科学通报, (4): 45—47.
- [7] 张翼等, 1986, 林网中风速分布规律和防风效应研究, 中国科学 B 辑, (2): 948—956.
- [8] 曹新孙等, 1983, 农田防护林学, 中国林业出版社.
- [9] 宋兆民等, 1987, 林带的透风度与林网的防风效应, 林业科学, (4): 398—402.

A STUDY ON THE MODEL EXPERIMENT OF ORIENTATION AND THE EFFECT OF SHELTERBELT LATTICE IN HUANG-HUAI-HAI PLAIN

Song Zhaomin Meng Ping

(*The Research Institute of Forestry CAF*)

Zhang Yi

(*The Institute of Geography, Academia Sinica*)

Liu Desheng

(*The Research Institute of Forestry, Anhui Province*)

Abstract Using the data of field experiment, a mathematical model of orientation and the wind reduction effect of the shelterbelt lattice was obtained. The preliminary conclusion is as follows:

1. The vector composition method is suitable to the study;
2. Under the same conditions, for a shelterbelt square, the wind reduction effect is not related to wind inclination;
3. Under the same conditions, for a shelterbelt rectangle, if the prevalent wind is from the short side of the rectangle, the wind reduction effect will increase as the wind inclination angle become larger.

Key words Huang-Huai-Hai; orientation of shelterbelt lattice; wind reduction effect; field model