

# 农田林网化地区近地面层廓线特征研究\*

王述礼 朱廷曜 关德新 (中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110015)

**【摘要】** 大面积林网化地区近地面层大气的系留气球观测发现, 近地面层大气的风、温、湿分为两层, 即下边界层和扰动边界层, 其厚度和廓线分布与理查逊数有关, 在中性天气条件下均满足对数分布规律, 边界层(特别是扰动边界层)内的摩擦速度  $U_*$  与旷野对比点的摩擦速度  $U_*$  增大 1 个数量级, 而粗糙度  $Z_0$  增大 2 个数量级, 甚至更大。

**关键词** 边界层 摩擦速度 粗糙度 廓线分布 理查逊数

**Profile characteristics of near-surface layer in farmland windbreak network region.**  
Wang Shuli, Zhu Tingyao and Guan Dexin (*Institute of Applied Ecology, Academia Sinica, Shenyang 110015*). -*Chin. J. App. Ecol.*, 1994, 5(2): 133-137.

Observations of wind speed, temperature and humidity over large windbreak network are with tethered ballon found that near-surface layer can be divided into two layers, lower boundary layer and turbulent boundary layer. Their thicknesses and profile distribution are related to Richardson number ( $Ri$ ). All profiles under neutral stratification are satisfied with logarithmic law. In these layers, especially in turbulent boundary layer, the friction velocities  $U_*$  are increased by one order of magnitude than that in open land, and the roughnesses  $Z_0$  by two ones or more.

**Key words** Boundary layer, Friction velocity, Roughness, Profile distribution, Richardson number.

## 1 引言

目前, 防护林气象效应的研究, 主要着重于单条林带和单个林网的防护效益<sup>[1]</sup>, 随着三北防护林工程建设的开展, 现在已形成了网、带、片相结合的防护林体系, 不仅改善了林网内的小气候条件, 而且对地方气候也产生了一定的影响. 本文首次通过对大面积林网化地区的系留气球观测, 探讨地面层的风速、温度、湿度廓线的分布规律, 为今后防护林体系建设提供科学依据.

## 2 研究方法

观测点设在吉林省西部乾安县兰字乡正字井西南面约 1.5km 处林网(图 1)中, 林带高 10m 左右, 带宽 18m, 由 6 行杨树组成, 有叶期疏透度在 0.2-0.3 左右, 主带走向 N-S, 带距 240m, 副带距在 1000-1500m, 农田林网化地区南北长约

30km, 东西宽约 15km, 观测点向风面 7-8km 以内林带、林网生长整齐, 旷野对比点设在向风面距离林网地区前沿林带约 1.5km 处平坦稀疏的草原上.

在林网内两条主带中间处(12H)建立两座观测塔, 塔高分别为 20m 和 4m, 旷野对比点的塔高为 11m, 在塔上进行动量通量、热通量和水汽通量的观测, 地面还进行了其他小气候要素的观测.

系留气球升空位置在网格中心位置, 每上升一定高度, 探空仪向地面发送一组信号, 地面接收机自动记录空气温度、湿度、风向、风速、气压及相对湿度.

## 3 结果与分析

### 3.1 大气稳定度状况

理查逊数是大气稳定度的重要指标, 根据定义<sup>[2]</sup>:

\* 国家自然科学基金资助项目.

1993年3月22日收到, 10月26日改回.



表 1 边界层厚度( $\delta$ )与理查逊数( $R_i$ )的关系

Table 1 Relationship between boundary layer thickness( $\delta$ ) and Richardson number( $R_i$ )

No.	下边界层厚度 $\delta'$ (m)				扰动边界层厚度 $\delta''$ (m)				观测高度 Height (m)
	$R_i'$	$\delta u'$	$\delta t'$	$\delta e'$	$R_i''$	$\delta u''$	$\delta t''$	$\delta e''$	
1	0.0730	10	10	10	0.0112	15-38	15-38	15->38	130
2	0.0500	12	12	12	0.0113	16-50	16-50	16-60	160
3	0.0550	13	13	13	0.0116	16-36	16-38	16-38	150
4	0.0500	13	13	13	0.0113	16-41	16-42	16-42	130
5	0.0276	16	16	16	0.0059	20->73	20-67	20-67	73
6	0.0340	15	15	15	0.0048	23-104	23-70	23-70	147
7	0.0350	16	16	16	0.0100	20-120	20-80	20-80	176
8	0.0073	26	26	26	0.0017	30->106	30->106	30->106	106
9	0.0120	21	21	21	0.0015	27->90	27->90	27->90	90
10	0.0160	16	16	16	0.0002	20->120	20->120	20->120	120
11	0.0160	14	14	14	0.0029	17->71	17->71	17->71	71
12	0.0184	18	18	18	0.0018	21->107	21->107	21->107	107
13	0.0265	9.0	9.0	9.0	0.0022	15->100	15->100	15->100	100
14	0.0266	17	17	17	0.0022	20->94	20->94	20->94	94
15	0.0305	20	20	20	0.0021	30->100	30->100	30->100	100
16	-0.0030	20	20	20	-0.0713	30->120	30->120	30->120	120
17	-0.0086	20	20	20	-0.0114	30->140	30->140	30->140	140
18	-0.0120	12	12	12	-0.0320	16->220	16->220	16->220	220
19	-0.0250	12	12	12	-0.0176	16->220	16->220	16->220	220
20	-0.0330	12	12	12	-0.0250	12->220	12->220	12->220	220
21	-0.0440	12	12	12	-0.0260	12->140	12->140	12->140	140
22	-0.1166	12	12	12	-0.0279	12->180	12->180	12->180	180
23	-0.1650	12	12	12	-0.0400	12->260	12->260	12->220	260

注:  $R_i$ 、 $\delta_u$ 、 $\delta_t$ 、 $\delta_e$  符号的右上角'和''分别代表下边界层和扰动边界层的理查逊数、风、温度和湿度边界层厚度。

6次(约占75%),下层处于中性状态,扰动层处于不稳定状态(占25%)。

### 3.2.3 天气类型对扰动边界层的影响

从观测资料还可看出,林网化地区下边界层内,风速、温度、湿度所形成的边界层厚度差异不大,天气类型对其影响也不显著。扰动边界层不同,大气稳定度对风速、温度、湿度所形成的边界层厚度有显著影响,在稳定层结时,风所形成的动力边界层厚度与温度和水气压形成的边界层厚度差异较小,有时温度和气压的边界层略大于动力边界层,如表1中的3、4号。中性层结时,动力边界层要大于温度和气压形成的边界层3-4H,如表1中的6、7号,不稳定层结时,由于高度观测所限,差异多大,尚不清楚,有待进一步探讨。此外,温度

和水气压边界层的厚度基本一致,不受天气类型的影响。

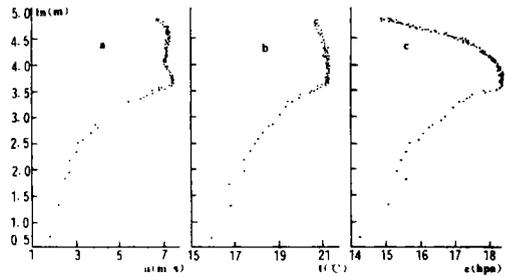


图 2 稳定层结廓线分布  
Fig. 2 Profile distribution in stable stratification.

### 3.3 林网化地区近地面层的风速、温度、水气压廓线特征

白天地面接收太阳辐射,温度迅速上升,多处于超绝热状态(不稳定层结),从观

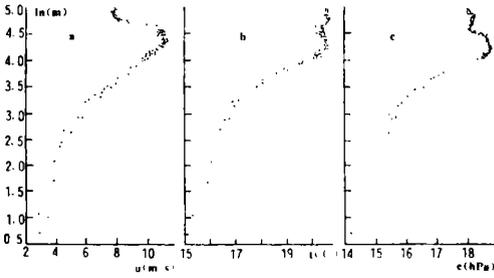


图3 中性层轮廓线分布  
Fig. 3 Profile distribution in neutral stratification.

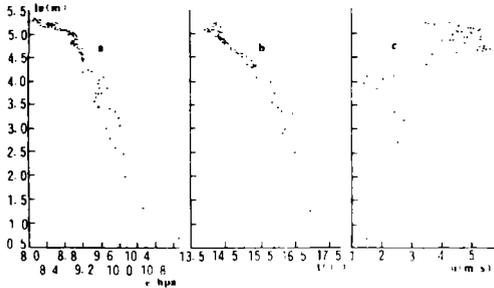


图4 不稳定层轮廓线分布  
Fig. 4 Profile distribution in unstable stratification.

测资料和图3中看出,扰动层中风廓线,虽然风速随高度的增加也在增大,但风速值的离散度很大,规律性较差,说明该层内有较强的扰动. 温度和水气压廓线不同,随高度的增加,其值在不断的下降. 由于湍流交换作用离散度小于风速的离散度,基本满足线性分布规律. 廓线的垂直高度在200m以上,如1989年5月24日下午4点30分系留气球观测资料表明(表1中的23号),高度达260m,尚未到顶.

夜间,在稳定和中性层结时,风速、温度和水气压随高度的增加,其值不断增大,(图1、2),稳定层结时的廓线垂直高度在4.0-5.0H左右,中性层结时在10H以上,再向上垂直梯度值近似于零或者在减小. 中性层结时,风速、温度和水气压廓线均满足对数分布规律,在扰动边界层内,风廓线的垂直高度要大于温度和水气压廓线高度3-4H.

3.4 林网化地区的动力参数

林网化地区速度  $u^*$  和地面粗糙度  $z_0$  随湍流交换条件和风速风向等条件的变化而变化,不是一个固定常数. 根据观测资料统计表明,旷野对比点的粗糙度  $z_0$  大约在0.2-3.0cm,摩擦速度  $u_{*0}$  与风速有关,在野外观测期间,一般在  $0.1-0.3m \cdot s^{-1}$  之间,从表2可见,在林网内的下边界层,粗糙度变化可分为两种情况,当  $R'_{*1} > 0$  时,  $z'_0$  值增加一个数量级左右,即由  $10^{-2}$  变为  $10^{-1}$ ,摩擦速度  $u'_{*0}$  变化不大;当  $R'_{*1} < 0$  时,摩擦速度和粗糙度与旷野对比点相比变化不明显,变化幅度小且平稳. 在林网化地区扰动边界层内,摩擦速度  $u''_{*0}$  和粗糙度  $z''_0$  发生了巨大变化,特别是在  $R'_{*1} > 0$  时,摩擦速度  $u''_{*0}$  比旷野点增大近1个数量级;而粗糙度  $z''_0$  比旷野对比点粗糙度  $z_0$  增加上百倍甚至更大,同时变化的幅度也比较大;当  $R'_{*1} < 0$  时,摩擦速度  $u''_{*0}$  和  $z''_0$  增值明显减小,摩擦速度  $u''_{*0}$  只增加了几倍,粗糙度增加10倍以上,变化幅度也比较小. 从上面观测资料可看出,湍流交换条件对粗糙度的影响要远大于对摩擦速度的影响.

4 结 论

4.1 林网化地区,地面边界层气流结构分为下边界层  $\delta'$  和扰动边界层  $\delta''$ ,下边界层  $\delta'$  厚度约为2.0H左右,扰动边界层  $\delta''$ ,底部一般在1.5-2.0H,变化幅度不大,扰动边界层  $\delta''$  顶部高低变化与大气稳定度有关,稳定层结时,顶部可出现在4-5H左右;在中性层结时,顶部出现在100m以上(相当于10H);不稳定层结时,由于湍流交换的增强,其层顶高均超过100m(10H)以上,甚至到260m(26H)还没有达到边界层顶部.

4.2 由于林网效应,上下边界层发生了明

表 2 林网化地区边界层的动力参数

Table 2 Dynamic parameters of boundary layer in windbreak network region

编 号 No.	下边界层 Lower boundary layer			扰动边界层 Turbulent boundary layer		
	理查逊数 Richardson number $R_i$	摩擦速度 Friction velocity $u^*$ (ms <sup>-1</sup> )	粗糙度 Roughness $z'_0$ (m)	理查逊数 Richardson number $R_i$	摩擦速度 Friction velocity $u^*$ (ms <sup>-1</sup> )	粗糙度 Roughness $z'_0$ (m)
1	0.0073	0.360	0.170	0.0017	2.218	12.553
2	0.0120	0.372	0.120	0.0015	2.133	10.354
3	0.0160	0.246	0.028	0.0002	2.435	14.999
4	0.0160	0.613	0.457	0.0029	1.598	4.777
5	0.0184	0.433	0.234	0.0018	2.453	11.787
6	0.0265	0.313	0.270	0.0022	2.121	12.248
7	0.0266	0.538	0.297	0.0022	2.056	10.625
8	0.0276	0.388	0.145	0.0059	1.385	4.117
9	0.0305	0.259	0.044	0.0021	1.941	10.944
10	0.0340	0.461	0.198	0.0048	1.598	5.420
11	0.0350	0.467	0.286	0.0100	1.115	4.082
12	0.0500	0.364	0.591	0.0113	1.047	4.425
13	0.0550	0.326	0.237	0.0116	1.256	6.392
14	0.0730	0.260	0.147	0.0110	1.443	5.830
15	-0.0030	0.419	0.254	-0.0713	0.576	0.995
16	-0.0086	0.196	0.026	-0.0114	0.568	1.379
17	-0.0120	0.288	0.080	-0.0320	0.603	1.071
18	-0.0250	0.330	0.030	-0.0176	0.466	0.864
19	-0.0330	0.239	0.096	-0.0250	0.449	1.283
20	-0.0440	0.198	0.021	-0.0260	0.480	1.063
21	-0.1166	0.187	0.035	-0.0279	0.422	1.816

显变化。夜间,下层多处于稳定状态,而扰动边界层往往处于中性状态。白天,地面吸收太阳辐射,越接近地面空气温度越高,多处于超绝热状态,湍流交换大大增强,扰动边界层和下边界层常常同处于不稳定层结状态。

**4.3 林网化地区下边界层厚度差异不大,**天气类型对其影响也不显著,扰动边界层不同,在稳定层结时,风所形成的动力边界层厚度与温度和水气压所形成的边界层厚度差异不大。中性层结时,动力边界层要大于温度和水气压形成的边界层 3—4H。温度与水气压形成的边界层厚度基本一样,不受天气类型的影响。

**4.4 白天,**由于天气条件的不稳定,在扰动边界层中,虽然风速随高度的增加也在增加,但风速值的离散度很大,规律性较

差,说明该层内有较强的扰动,温度与水气压廓线不同,随高度的增加其值在不断的下降,离散值较小,基本满足线性分布规律。夜间,在稳定和中性层结时,风速、温度和水气压随高度的增加,其值均不断增大,离散度很小,有较强的线性分布规律。

**4.5 在林网化地区下边界层内,**粗糙度  $z'_0$  和摩擦速度  $u^*$  变化不明显,特别是  $u^*$  几乎无变化。而在扰动边界层内,  $u^*$  和  $z'_0$  与旷野点相比发生了巨大变化,尤其是  $z'_0$  要比旷野点的  $z'_0$  增大两个数量级。

#### 参考文献

- [1] 朱廷曜等. 1990. 模型林带附近乱流特征的观测研究. 中国农业气象, 11(3): 22—26.
- [2] 翁笃鸣等. 1981. 小气候和农田小气候. 农业出版社, 北京, 83—84.
- [3] 曹新孙等. 1983. 农田防护林学. 中国林业出版社, 北京, 144—240.