南京气象学院学报

Journal of Nanjing Institute of Meteorology

Vol. 20 No. 3 Sep. 1997

植被对夜间温度场的影响

费秋英1) 曹文俊2)

(1) 湛江气象学校, 湛江 524005; 2) 南京气象学院大气物理学系, 南京 210044)

摘 要 发展了一维非定常大气边界层模式,模拟了植被下垫面情况下夜间温度场的分布特点,并与裸地下垫面的夜间温度场作对比,定量研究了植被对夜间温度随高度分布的影响。

关键词 边界层, 逆温, 模拟

分类号 P404

大气边界层中的温度廓线分布形态决定了气层的稳定性,也决定了污染物在大气中的分布、迁移及变化。Yamada¹¹, Nieuwstandt²¹等曾建立了一维非定常边界层模式,模拟边界层内的温度廓线,研究逆温的演变过程,得出了逆温高度的预报公式。这些工作的前提是晴空、裸地下垫面。本文着重研究植被对边界层内温度垂直分布的影响。

1 模式的建立

1.1 控制方程

考虑没有大尺度天气形势变化, 正压大气, 下垫面性质均一的情况, 用K 理论, 设 $K_m = K_h$ = $K_q = K$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = f(v - v_g) + \frac{\partial}{\partial t} (K \frac{\partial u}{\partial t})$$
(1)

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -f\left(u - u_{s}\right) + \frac{\partial}{\partial t}\left(K \frac{\partial v}{\partial t}\right)$$
(2)

$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \left(K \frac{\partial \Theta}{\partial t} \right) + \left(\frac{\partial \Theta}{\partial t} \right)_{t}$$
(3)

$$\frac{\partial q}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} (K \ \frac{\partial q}{\partial t}) \tag{4}$$

式中, u, v 分别为沿 X, Y 轴的风速分量; q, θ 分别为空气的比湿和位温; u_{g}, v_{g} 为地转风在 X, Y 轴的分量; $(\frac{\partial}{\partial})_{r}$ 为大气长波辐射冷却率; K 为湍流扩散系数。

1.2 湍流扩散系数 K 的选取

选用Karlsson 表达式

$$K = \begin{cases} l^2 s & \overline{1 - Ri} & (Ri < 1.0) \\ l^2 s & \overline{1 + Ri} & (Ri & 1.0) \end{cases}$$

收稿日期: 1995-01-13; 改回日期: 1995-08-10

第一作者简介:费秋英,女,1963年10月生,硕士,讲师

式中s= $\overline{\left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z}\right)^2}; Ri$ 为理查逊数, $Ri = \frac{g}{\theta} \frac{\partial c}{s^2}; l$ 为混合长度, 用 Black adar⁶表达式求出 $l = \frac{k(z + z_0)}{1 + \frac{k(z + z_0)}{\lambda}}$

式中, k 为卡门常数, $k = 0.4; \lambda 为 l$ 在高层的极限值, $\lambda = \frac{2.7 \times 10^4 G}{5}, G$ 为地转风模; f 为科氏参数。

1.3 $\left(\frac{\partial}{\partial}\right)$ r的计算

选用朱抱真^印提出的方法求长波辐射冷却率($\frac{\partial}{\partial}$),。

$$C_{R} = \left(\frac{\partial T}{\partial t}\right)_{r} = -\frac{g}{c_{p}}\left\{\left(\epsilon_{g}\sigma T_{g}^{4} - \sigma T_{z}^{4}\right)\frac{\mathrm{d}\tau}{\mathrm{d}u^{*}} - \sigma T_{z}^{4}\frac{\mathrm{d}\tau}{\mathrm{d}u^{*}}\right\}$$
(5)

$$\frac{\frac{d}{\tau}}{\frac{du^{*}}{du^{*}}} = -\frac{m}{m+1} \frac{d \ e \ (u^{*})^{d-1}}{(1+e \ (u^{*})^{d})^{2}}$$
(6)

$$\frac{\mathrm{d} \tau}{\mathrm{d}u^*} = -n \frac{d e (u^*)^{d-1}}{(1 + e (u^*)^d)^2}$$
(7)

其中, e=1.75; d=0.146; n和 m 是经验常数; u^* 为大气光学厚度, $u^*(z) = \int_{0}^{a} \rho q dz$ 。

计算出($\frac{\partial T}{\partial}$)_r后,便可由 $\theta = T(\frac{1000}{p})^{R/c_p}$ 换算成($\frac{\partial \theta}{\partial}$)_r。 由(5)式可以算出地面所接收到的长波辐射通量 $F_{W,0}$ ⁶¹为

$$F_{1w,0} = F_{1w,top} + \int_{j=1}^{j-1} 0.5\sigma(\bar{\tau})_j (T_j^4 + T_{j+1}^4)$$
(8)

j 表示模式某一层; *J* 表示模式的总层数; *F*_{1w,top}为模式顶所接受到的向下长波辐射。为计算 *F*_{1w,top},假设模式顶(取 *H* = 1 200 m)以上的气温分布为*T*(*z*) = *T*_{1p}-0.009 8(*Z*-*H*),对流层 顶便为大气层顶高,设此处的比湿为零,模式顶与大气层顶之间的比湿呈线性分布。

1.4 植被下垫面地表温度的计算

考虑低矮丛林地带的情况, 设植被的高度为 1.26 m, 地面粗糙度一般为植被高度的 1/8, 取 $Z_{0=}$ 0.2 m。

取表面层(即植被层)为模式的第一层,其高度等于植被高度,此层内温度变化方程⁽¹⁾为

$$\rho_{c_p} \frac{\partial T_a}{\partial t} = \frac{H_g - H_f - H_a}{\Delta z} + \frac{R_d}{\Delta z}$$
(9)

式中, T_a 为表面层的气温; H_s 、 H_f 分别为来自于土壤表面及植被表面的感热通量; H_a 为表面 层与上层空气之间的感热通量; R_a 为表面层顶部与底部的辐射通量之差; Δz 为表面层的厚度。 H_s 、 H_f 的计算式¹⁰为

$$H_{g} = \frac{r_{\rm lh} (T_{g} - T_{a}) + r_{a} (T_{g} - T_{f})}{D_{\rm h}}$$
(10)

$$H_{\rm f} = \frac{r_{\rm gh}(T_{\rm f} - T_{\rm a}) + r_{\rm a}(T_{\rm g} - T_{\rm f})}{D_{\rm h}}$$
(11)

*T*_g、*T*_f分别表示地表和植被的温度; *r*_a、*r*_b、*r*_b分别表示地表面与植被、植被与表面层中空气以及表面层中空气与土壤进行感热交换的阻抗。

$$r_{a} = \frac{\ln (0.2 \frac{Z_{a}}{Z_{0}})}{k(u^{*} + 0.05)}$$
$$r_{gh} = \frac{k_{1}}{u^{*} + 0.05}$$
$$r_{h} = \frac{k_{2}}{u^{*} + 0.05}$$

$$D_{\rm n} = r_{\rm a}(r_{\rm gh} + r_{\rm lh}) + r_{\rm gh} r_{\rm ll}$$

取 k1= 8.663; k2= 3.087; u*、0*分别为摩擦速度和特征位温。

$$H_{a} = - \rho_{c_{p}} u * \boldsymbol{\theta} * \tag{12}$$

$$R_{d} = (1 - \alpha_{f}(1 - e^{-0.7LA I}))(I - I) - 2I_{f}$$
(13)

地表面放出的长波辐射 $I = \epsilon_{e} \sigma T_{e}^{4}$; 表面层顶所接收到的向下大气长波辐射 I = h(8) 式计算 得到; α 为植被覆盖的成数(取 $\alpha = 0.75$); LAI 为植被的叶面指数(取 3.0); 植被的长波辐射 $I_{f=} \epsilon \sigma T_{f}^{4}$, ϵ 为植被的比发射率(取 0.9)。将(10) ~ (13) 式代入(9) 式便可计算出 T_{e} 。

地表面热量收支方程

$$C_{\rm g} \frac{\partial T_{\rm g}}{\partial} = F_{\rm N} - H_{\rm g} - H_{\rm s} - L_{\rm v} E_{\rm g} \qquad (14)$$

 H_s 为地表面与下层土壤的感热通量⁸⁾, $H_s = 1.18\alpha(T_g - T_m)$ 。式中, ω 为地球自转角速度; T_m 为土壤深层温度无日变化处的土壤温度; $L_v E_s$ 为地表面与空气之间的潜热通量, $L_v E_{s=} - L_v \rho_{u^*} q^*$; F_N 为地表面吸收与放出的长波辐射差额

 $F_{\rm N} = I$ $(1 - \alpha(1 - e^{-0.7LAI})) - \epsilon_{\rm e}\sigma T_{\rm g}^4 + \alpha(1 - e^{-0.7LAI})I_{\rm f}$ (15) 上式第一项表示经植被吸收削弱后所到达地表面的大气辐射⁹⁾,第二项为地表面所放出的长 波辐射,第三项为地表面所接收到的植被长波辐射。

2 初始条件和边界条件

t= 0 时, u= u(z), v= v(z), $\theta = \theta(z)$, q= q(z) z= H 时, u= ug, v= vg, $\theta = const$, q= const z= z⁰ 时, u= v= 0, $\theta = \theta_{g}(t)$, q= qg(t)

3 结果分析

本文使用 Wangara 实测资料与晴空裸地及有植被时的模拟结果作比较。由图 1 中点划线 与双点划线可知,裸地地表温度实测值与裸地地表温度的模拟值较为接近,有植被时地表面降 温比裸地地表面降温小,模拟结果与 Deardorff¹⁰⁰的模拟结果一致。其原因是由于植被的存在, 使得地面的有效净辐射减小,上层的冷空气受植被层的阻挡又不易下沉之故,而植被本身是个良好的发射体,植被表面因辐射失热较多,并通过湍流交换,使得整个植被层的温度较地表面 温度低,而且随着时间的延续,这种差异越来越大,最大温度差可达 2.3 。图 2 是植被下垫面 在 21 00 时、00 00 时、03 00 时、06 00 时的气温模拟值随高度的分布曲线。由于表面层



的温度下降,低层有逆温出现,21 00时的逆温高度约为100m,但与图3对比可知,比裸地下 垫面21 00时的逆温高度低,因为日落以后,虽然植被因辐射冷却降温,但其热容量比土壤的 热容量大,降温速率较小(对比图1中实线与虚线可知),所以植被下垫面的逆温发展较缓慢, 21 00时以后,逆温高度增加很慢,逆温层顶以上的气温随高度微微递增,近似于等温分布,



到 06 00 时左右,这种分布的高度达 750 m,对比图 4 中实线与虚线可以清楚地看出植被下 垫面的温度廓线与裸地的温度廓线差别较大,裸地下垫面的逆温发展快,植被存在时,逆温发 展慢,贴地逆温高度不大,但可以出现近似等温分布的情况。

4 结 语

本文用一维非定常模式研究了植被下垫面夜间地表温度随时间变化及气温随高度的分布

3期

情况,并与裸地下垫面的实测资料作对比后发现,由于植被的影响,使地面降温较表面层降温 小,逆温发展较裸地下垫面慢,逆温高度也不大。

参考文献

- 1 Yamada T. A rate equation for the inversion height in a nocturnal boundary layer. JAM, 1979, 18: 526 ~ 531
- 2 Nieuwstandt F T M. A rate equation for the inversion height in a nocturnal boundary layer. JAM, 1980, 19: 1445 ~ 1447
- 3 Black adar A K. The vertical distribution of wind and turbulent exchange in neutral atmasphere. J Geo Res, 1962, 67: 3095 ~ 3102
- 4 朱抱真.一个用于数值预报模式的辐射加热的计算方案.见:第二次全国数值天 气预报会议论文集,北京:科学出版社, 1980.44~45
- 5 Katayama A. Calculation of radiative transfer. WMO/IUGG SYMP, On numerical weather prediction in TOKYO, 1969, 26: 35~37
- 6 Arritt R W. The effect of weather surface temperature on lake breeze and thermal boundary layers. BLM, 1987, 40: 101 ~ 125
- 7 Heineman P H. Prediction of cooling of a nocturnal environment using two atmospheric models. JAM, 1988, 27: 473 ~ 481
- 8 Bhum arlkar C M. Numerical experiment on the computation of ground surface temperature in an atmospheric general circulation model. JAM, 1975, 14: 1246 ~ 1258
- 9 高德安 J. 作物微气象: 植被研究. 北京: 科学出版社, 1978. 13~15
- 10 Deardorff J W. Efficient prediction of ground surface temperature and moistures with inclusion of a Layer Vegetation. J Geo Res, 1978, 83: 1889 ~ 1903

EFFECT OF VEGETATION ON NOCTURNAL TEMPERATURE DISTRIBUTION

Fei Qiuying

(Zhanjiang Meteorological school, Zhanjiang 524005)

Cao Wenjun

(Department of Atmospheric Physics, NIM, Nanjing 210044)

Abstract The 1D model for unsteady boundary layer is used to simulate nocturnal temperature distribution features with vegetation available in comparison to those with no vegetation existent, and investigate the impact of vegetation on the temperature in vertical.

Keywords boundary layer, conversion, modelling