

预报夜间地面逆温高度的一个简单模式

刘 畅

(北京市气象科学研究所)

李都竹

(气象科学研究院)

蒋瑞宾

(北京气象学院)

一、前言

行星边界层昼夜特性的研究，对于预报污染物的扩散具有重要意义。昼夜间边界层高度的变化有明显的不同，过去对夜间边界层高度的研究多集中于诊断方程方面，即借助于局地地而热量和动量通量等参数来描述边界层高度。用这种定常状态方程描述边界层结构的方法是不够的，近期的研究^[1,2]表明，大气层中稳定的边界层是连续演变的，因此，应当用描述边界层时间演变的预报方程来表达。

Yamada等^[3]在考察了昼夜行星边界层形成和演变的基础上提出了一个简单的方法来估计夜间地面逆温高度，它对于业务上使用的、简单的空气污染预报模式将具有重要的意义。本文依据Yamada的思路，利用北京郊区的探测资料，导出夜间地面逆温高度的增长率方程，并与实测资料进行了对比。

二、预报方程

对于理想的水平均匀性大气，可以把夜间地面逆温高度定义在温度递减率为零时的最低高度，就不太理想的条件，此高度被确定为有效冷却扩展到的高度。

在近似满足水平均匀的条件下，夜间地面逆温层的增长率方程可由平坦地形的热能方程构成。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial z}(-\bar{\omega}\theta) + \left(\frac{\partial \theta}{\partial t}\right)_r \quad (1)$$

式中 t 为时间， z 为垂直坐标， θ 和 $\bar{\theta}$ 分别为位温的平均值和涨落值。此方程表明，夜间边界层的温度变化起因于两个过程，即湍流热通量 $-\bar{\omega}\theta$ 的梯度代表的湍流混合和由于长波辐射造成的大气温度变化率。积分方程(1)可得出夜间逆温层高度的增长率方程。从 $z=0$ 积到地面逆温层顶 $z=h$ 处，得

$$\int_0^h \frac{\partial \theta}{\partial t} dz = (\bar{\omega}\theta)_0 - (\bar{\omega}\theta)_h + \int_0^h \left(\frac{\partial \theta}{\partial t}\right)_r dz \quad (2)$$

完成(2)式中 θ 的积分是基于，假定边界层内位温廓线用下式表达

$$\theta = \theta_h - \Delta\theta(1 - z/h)^{\alpha} \quad (3)$$

这里 θ_h 为 $z=h$ 处的位温， h 为逆温高度，逆温层顶、底之间温差表示为 $\Delta\theta = \theta_h - \theta_s$ ， θ_s 为地面位温， α 为指数。根据北京郊区的探测资料，点绘了夜间边界层归一化的位温廓线(图1)，拟合得：

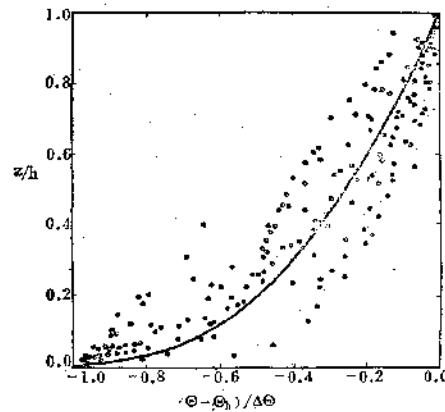


图1 北京郊区冬、春季节夜间边界层资料归一化的位温廓线

$$\theta = \theta_h + [(\bar{z}/h)^{-2.4} - 1](\theta_h - \theta_s) \quad (4)$$

式中， α 取为2.4。积分(4)式得：

$$\int_0^h \theta dz = (0.706\theta_h + 0.294\theta_s)h \quad (5)$$

(5)式代入(2)式左边

$$\text{左式} = [-0.294(\theta_h - \theta_s)] \cdot \frac{dh}{dt} + h \left(0.706 \frac{\partial \theta_h}{\partial t} + 0.294 \frac{\partial \theta_s}{\partial t} \right) \quad (6)$$

Yamada在分析夜间边界层中湍流变化特征的基础上给出 $(\frac{\partial \theta}{\partial t})_r$ 的近似表达式

$$(\frac{\partial \theta}{\partial t})_r = C \frac{\partial \theta_s}{\partial t} (1 - z/h) + \frac{\partial \theta_h}{\partial t} \cdot \frac{z}{h} \quad (7)$$

(7)式代入(2)式右边

$$\text{右式} = (\bar{\omega}\theta)_0 - (\bar{\omega}\theta)_h + \frac{ch}{2} - \frac{\partial \theta_s}{\partial t} + \frac{h}{2} \frac{\partial \theta_h}{\partial t} \quad (8)$$

(6)式等于(8)式，得出夜间地面逆温层高度的增长率方程

$$\frac{dh}{dt} = -\frac{1}{\theta_h - \theta_s} \left\{ 3.401[(\bar{\omega}\theta)_0 - (\bar{\omega}\theta)_h] - 0.703h \frac{\partial \theta_h}{\partial t} + 1.701ch \frac{\partial \theta_s}{\partial t} - h \frac{\partial \theta_s}{\partial t} \right\} \quad (9)$$

在夜间边界层中，湍流热通量随高度迅速减小并趋

于零。 $-\frac{\partial \theta_b}{\partial t}$ 与 $-\frac{\partial \theta_s}{\partial t}$ 相比较，几乎相差一个量级，

$-\frac{\partial \theta_b}{\partial t}$ 可忽略不计，这样上式可简化为

$$\frac{dh}{dt} = -\frac{1}{\theta_b - \theta_s} \left[1.701ch \frac{\partial \theta_s}{\partial t} - h \frac{\partial \theta_s}{\partial t} + 3.401(\overline{\omega \theta})_s \right] \quad (10)$$

式中 c 为系数，取为 1。

三、资料验证

用1981年冬季和1982年春季北京郊区的低空探测资料(3), 对利用(10)式数值积分所预报的地面逆温高度进行了验证。验证中选用了4个夜晚共16个时次的资料(每个夜晚观测4次, 间隔时间为

3—6小时不等)。 θ_s 是用低空探空仪在1米高度施放瞬间的记录近似的; $(\overline{\omega \theta})_s$ 是根据北京郊区探测资料计算得出, 取平均地面热通量为 -0.002°C 米/秒。验证时, (10) 式中 θ_b, θ_s, h 为上一时次的

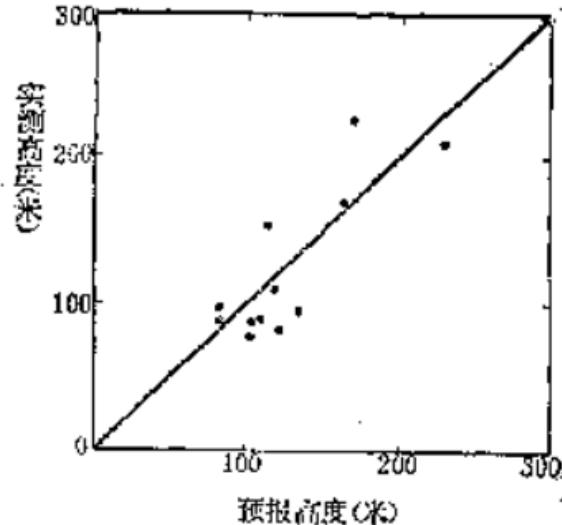


图 2 预报和实测的夜间地面逆温高度的比较

逆温层顶、底的位温及逆温高度， $-\frac{\partial \theta_s}{\partial t}$ 为上一时间段至预报时的地而位温变化率。验证结果，预报值和观测值较一致，误差一般在 ± 30 米左右（图 2）。

四、小结

1. 本文认为，在水平均匀的条件下，把边界层内温度的变化归因于由湍流混合所造成的冷却和由辐射所造成的冷却这样两个过程是合理的，由此导出夜间地面逆温增长率方程，从而做出夜间逆温层高度预报的方法，是一个简便的方法，有在业务中使用的价值。

2. 利用北京郊区近似水平均匀条件下的探测资料，导出了北京郊区夜间地面逆温高度的增长率方程，并作出了夜间地面逆温高度的增长率方程，作出了夜间逆温高度的预报，预报值与实测值对比表明，误差在 ± 30 米左右。

3. 最近的研究表明，夜间边界层顶、底之间累积的温度变化既表现于逆温厚度的消长，也表现于逆温强度的增减，这两个过程密切相关。而此模式省略了垂直和水平输送项，表达的仅仅是辐射逆温的平均高度。

4. 辐射的参数化和温度廓线的拟合均较粗糙，这可能也是造成误差的原因之一。

参考文献

- [1] Yamada, T., Prediction of the nocturnal surface inversion height, J.Appl.Meteor. 1979, Vol. 18, No. 4, 526—531.
- [2] Nieuwstadt, F. T. M., A rate equation for inversion height in a nocturnal boundary layer
- [3] 李郁竹等，北京冬季辐射逆温规律的初步研究，气象，1984年2期。