

利用行星边界层顶上方最邻近标准 等压面的实测风推算地面风的 方法及其比较

曲延祿 张程道

(总参谋部气象研究所)

提 要

文中提出了一种在实际地形条件下,利用行星边界层顶上方最邻近标准等压面的实测风推算地面风的方法——修正的 Taylor 螺旋线法。试算表明,按这种方法和 Taylor 螺旋线法推算的地面风场的基本流型均与实测流场相似,但在风速模的均方根误差上,前者较之后者有显著改进。按文中方法推算得到的地面风场所求得的散度场的分布与天气区的配置也较合理,且散度值与实况比较接近。

一、引 言

在含有下垫面摩擦参数化的数值模式中,计算行星边界层的动量、热量和水汽通量时,一般需要用适当的方法估算出下垫面的风矢量;进行动力气候或大气环流分析时,在没有或缺少地面平均合成风资料的情况下,地面风场也常常需要设法推算出来。可见,如何推算地面风是关系到某些计算或分析质量的一件基础性工作。

二、推算方法

1. Taylor 螺旋线法

早在 1916 年, Taylor 假定地转风和湍流交换系数随高度不变,在如下两个边界条件下,即 Z 趋向 ∞ 时, $\mathbf{v}$ 趋向 $\mathbf{v}_g$; 于螺旋层底 ($Z = 0$) 处, $\mathbf{v} = c \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial z}$ (c 是一比例常数), 对边界层中的“三力平衡”方程

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial z} \right) - f \mathbf{k} \times (\mathbf{v} - \mathbf{v}_g) = 0 \quad (1)$$

求解,得到了有名的 Taylor 螺旋线^[1], 并据此导出了螺旋层底上的风速与地转风速间的关

系式:

$$v_0 = v_g (\cos \alpha_0 - \sin \alpha_0)$$

或写成

$$\begin{aligned} u_0 &= (\cos \alpha_0 - \sin \alpha_0) (u_g \cos \alpha_0 - v_g \sin \alpha_0) \\ v_0 &= (\cos \alpha_0 - \sin \alpha_0) (u_g \sin \alpha_0 + v_g \cos \alpha_0) \end{aligned} \quad (2)$$

这里, α_0 为螺线层底上风矢与地转风矢间的夹角。该式表明, 只要给出 α_0 角, 螺线层底上的风便由该层中的地转风唯一地确定。

(2) 式是目前被较多采用的一种推算地面风的公式^[2]。其中的 α_0 一般认为与温度层结无关, 取为常数 (例如取 $\alpha_0 = 25^\circ$), 并认定由此求得 u_0 、 v_0 即是地面风的两个分量。

2. 修正的 Taylor 螺线法

上述的 Taylor 螺线法是在不计边界层的斜压性和温度层结影响的前提下得到的。实际上, 螺线层中的地转风是随高度变化的。如考虑这种情况, (1) 式应修正成

$$k_M \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} - f k \times (v - v_{g0}) + f k \times N z = 0 \quad (3)$$

这里, $N = \frac{\partial v_g}{\partial z}$ 为地转风的平均垂直切变, z 是由螺线层底计起的高度坐标, v_{g0} 是 $z = 0$ (螺线层底) 处的地转风矢量。不过, 在螺线层的大部气层中, 该式左端最后一项均比中间的一项小, 因此, 允许认为螺线层中力的平衡可在不考虑热成风的条件下实现^[3]。作为这一论点的一个旁证, 水表面上方边界层中温度平流引起的比值 v_g/v_{g0} 的变动范围, 一般仅限于 0.9—1.10 之间; 温度平流对地面风向的影响也是可以忽略不计的^[4]。因此, 作为近似, 由边界层顶的地转风推算螺线层底的风速时, 可以不计边界层斜压性的影响。

温度层结直接关系到边界层中动量等的垂直交换, 进而影响风的垂直分布。从动量湍流交换的角度考虑, α_0 应随稳定度的增大而增大, 这已为观测所证实^[5]。为了简单和便于应用, 温度层结对边界层中风垂直分布的影响, 我们归结为在不同性质的温度层结下取不同的 α_0 值。

温度层结的性质, 采用温度差

$$\Delta T = T_s - T_* - \gamma_p H \quad (4)$$

判定, 这里, T_s , T_* 分别是地表面和边界层顶的气温, H 为整个边界层的厚度, γ_p 为边界层中的平衡温度垂直梯度。 γ_p 大体上等于自由大气中的温度垂直递减率^[6]。本文取 $\gamma_p = 0.64 K \times 10^{-2} \text{米}^{-1}$, 且约定 $-1.8 K \leq \Delta T \leq 1.8 K$ 时, 层结处于平衡状态, 此时取 $\alpha_0 = 25^\circ$; $\Delta T < -1.8 K$ 时, 层结是稳定的, 取 $\alpha_0 = 30^\circ - 35^\circ$; $\Delta T > 1.8 K$ 时, 层结是不稳定的, 取 $\alpha_0 = 15^\circ$ 。

地面观测规范规定, 测风感应器的架设高度为 10—12 米。因此推算地面风时, 还应将求得的螺线层底高度上的风速换算成地面上方 10—12 米高度处的风速值。在贴地层, 可认为风向不随高度改变, 其中的风速廓线遵循幂指数律:

$$V = V_1 \left(\frac{h}{h_1} \right)^p \quad 0 \leq p \leq 1$$

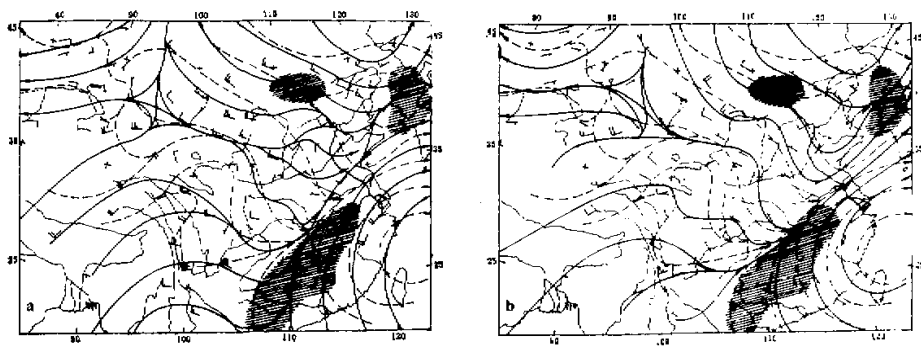


图 2 按两种方法推算出的地面流场与地面实测流场的比较(1979年1月17日08时, 图中的阴影部分为降水区,虚线为按地面实测风绘制的流线)

a——按 Taylor 螺线法; b——按修正的 Taylor 螺线法。

包含有某一标准等压面(850或700毫巴)时, P_{Bi} 取作该标准等压面的气压值, T_{Bi} 在该等压面上读取;否则, P_{Bi} 和 T_{Bi} 值在地面图上读取。

求出边界层顶的地转风后,按前面给出的有关公式即可推算出地面风。顺便指出,上述计算方案也适用于对网格点的计算。

利用1979年1月17日08时(北京时,下同)和同年7月3日08时的资料,对我国大部分测站按前述两种方法进行了试算。限于篇幅,这里给出1月17日按推算出的地面风场和实测地面风场绘制的流线图(图2)。显见,按这两种方法推算出的地面流型大致相似,且与实测流场相当接近。但按修正的 Taylor 螺线法推算出的风速模的均方根误差比之按 Taylor 螺线法推算出的明显减小(见表1)。

表 1 按两种方法推算出的地面风速的均方根误差

日 期	推算方法	测站总数N	风速均方根误差 σ_v (米/秒)	风速均方根误差分布 (站数/百分比)				风速偏差极值 (米/秒)
				0—3.3 米/秒	3.4—5.4 米/秒	5.5—7.9 米/秒	≥ 8.0 米/秒	
1979.1.17.08时	I	89	4.1	57/64.0	13/14.6	16/18.0	3/3.4	11.3
	II		2.1	79/88.8	8/9.0	2/2.2	0/0.0	6.2
1979.7.3.08时	I	83	3.7	54/65.1	20/24.1	8/9.6	1/1.2	8.1
	II		2.6	70/84.4	9/10.8	4/4.8	0/0.0	7.2

I——Taylor 螺线法; II——修正的 Taylor 螺线法。

对比按推算的地面风场和实测风场算出的散度场的分布表明,前者与天气区的配置似乎比后者更合理些。在图3中给出了1月17日按前述两种方法推算出的地面风场以及实测风场计算得到的散度场。明显看出,在图3a和图3b中,天气区均大体座落在以推算出的地面风所求得的辐合区内,且在上风方向有一辐合中心,还可以看出,按修正的 Taylor 螺线法较之按 Taylor 螺线法推算出的地面风求得的散度值与实况更为接近些。

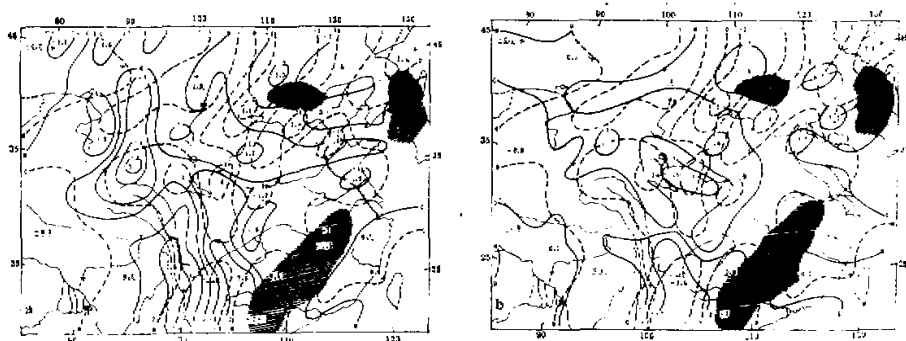


图3 按推算出的地面风场与实测风场求得的散度场(1979. 1. 17. 08时,图中阴影部分为降水区,虚线表示按实测风求得的散度场)

a——按 Taylor 螺线法推算的地面风; b——按修正的 Taylor 螺线法推算的地面风。

四、小 结

通过以上分析和对试算结果的比较,初步可得:

1. 用上述两种方法推算出的地面风场的流型大体相似,并与实测流场相当接近。但由修正的 Taylor 螺线法推得的风速模的均方根误差较之 Taylor 螺线法有显著改进。
2. 推算地面风时,边界层内的斜压性可忽略不计,但须考虑温度层结的影响,同时应将按 Taylor 螺线推算的结果换算到贴地层中测风感应器架设的高度(10—12米)上。
3. 按两种方法推算出的地面风场求得的物理量场(例如散度场)的分布与天气区的配置均比较合理,但按修正的 Taylor 螺线法求得的物理量的数值与实况更为接近些。进行天气诊断或其他分析时,似可用按文中方法推算出的地面风求得的物理量场替代由地面实测风场求得的物理量场。

参 考 文 献

- [1] Taylor, G. I., *Proc. Royal Soc. (London)*, A, Vol. 92, 1916.
- [2] Fischer, G., Heise, E. and Renner, V., *Con. Atmos. Phys.*, Vol. 46, No. 3, 157—181, 1973.
- [3] Haltiner, G. J., Martin, F. L., *Dynamical and physical meteorology*, McGraw-Hill Book Company, inc. New York, Toronto, London, 1957.
- [4] Орленко, Л. Р., *Строение планетарного пограничного слоя атмосферы*, Гидрометеоиздат, 213—214, 1979.

A METHOD ESTIMATING SURFACE WIND FROM WIND OBSERVED IN THE NEAREST STANDARD ISOBARIC SURFACE ABOVE THE TOP OF PLANETARY BOUNDARY LAYER

Qu Yanlu Zhang Chengdao

(Meteorological Research Institute of the Headquarters of the General Staff)

Abstract

In this paper, a revised Taylor spiral method is presented. It is a method for the estimate of the surface wind using the observed wind in the nearest standard isobaric surface above the top of the planetary boundary layer under the actual topographic conditions. The computing results show that the basic flow pattern of the surface wind, either derived from the Taylor spiral method or the revised one, is similar to the observed. However, in respect of the RMS error for the model of wind speed, the revised method is better than the original one. Furthermore, the disposition of the divergence obtained from the presented method and the weather region is rational. The values of divergence are also close to the results from the observational data.