

# “94·7”北京大暴雨的湿位势倾向诊断

陆 晨 周文吉 李青春

(北京市气象科学研究所, 100081)

## 提 要

利用湿位势倾向方程,对1994年7月12—13日的700hPa位势高度场进行了诊断分析。结果表明,湿位势倾向方程中的差动潜热能平流项,对产生北京地区本次大暴雨天气的台风低压系统发展和移动,起到不可忽视的作用;而相对涡度平流项,在该次过程中作用不大。

**关键词:** 大暴雨 湿位势倾向 诊断分析

## 引 言

1994年7月12—13日,北京地区发生了一次特大暴雨过程,最大过程雨量为167.5mm,其中12日08时—13日08时的日雨量达116mm。

暴雨的产生与水汽条件有着密切的关系,早在50年代人们就开始注意水汽的作用。近年来又从湿大气运动的热力学和动力学性质的分析中,阐明了潜热释放对于湿大气环流的重要作用<sup>[1]</sup>。而在暴雨的诊断分析中,主要是从暴雨水汽来源、水汽收支方程两方面来讨论,并得到:在暴雨发生前,水汽平流大于水汽辐合;暴雨盛期,水汽辐合大大超过水汽平流。而在暴雨发生的动力作用中,湿大气中的差动潜热能平流,对扰动系统的发生发展起到很重要的作用<sup>[2]</sup>。

本文对这次特大暴雨过程的700hPa位势高度场,进行了诊断分析,发现差动潜热能平流对造成这次特大暴雨的700hPa台风低压系统的发展和移动起到了很大的作用,而相对涡度平流作用不大。

## 1 湿位势倾向方程及计算方法

### 1.1 方程

由热力学第一定律、状态方程、静力方程和地转涡度方程可得到湿大气位势倾向方

程<sup>[2]</sup>,即:

$$\begin{aligned} & [\nabla^2 + \frac{f_0^2}{\sigma_m} \frac{\partial}{\partial p}] \chi = - f_0 \zeta \\ & \cdot \nabla (\xi + f) + \frac{f_0^2}{\sigma_m} \frac{\partial}{\partial p} (\frac{R \zeta}{\rho} \cdot \nabla T) \\ & + \frac{f_0^2}{\sigma_m} \frac{\partial}{\partial p} (\frac{R \zeta}{\rho} \cdot \nabla \frac{L}{C_p} q) \end{aligned}$$

式中  $\chi = \frac{\partial \phi}{\partial t}$ , 是位势倾向,  $f_0$  为地转参数;  $\sigma_m$  为静力稳定度参数,它是随高度变化的,其它为常规符号。方程左边为位势倾向,右边第一项为涡度平流项,第二项为差动温度平流项,第三项为差动潜热能平流项。

### 1.2 计算方法

在对湿位势倾向方程进行诊断时,我们的计算范围是32—44°N, 107—122°E区域。考虑到目前的资料条件,计算只限于850、700和500hPa 3个等压面上的3个时次(12日08时、12日20时和13日08时),计算网格为31×31的正方形网格,格距为45km。这里  $f_0$  的取值为平均值,即40°N的  $f_0$  值,  $f_0 = 9.37 \times 10^{-6} \cdot \text{s}^{-1}$ 。对于湿位势倾向方程中右边第一项涡度平流项,只计算相对涡度平流;方程中右边第三次差动潜热能平流项的各层潜热能平流,则按其相对湿度的大小进行调整<sup>[2]</sup>。假定湿大气的位势场和位势倾向

场在水平方向是正弦波分布,根据湿斜压大气准地转模式的简单分析,得到:

$$\vec{v} \cdot \nabla \frac{L}{C_p} q_s = \begin{cases} 0 & \omega \geq 0 \\ \vec{v} \cdot \nabla \frac{L}{C_p} q_s \left( \frac{F - F_c}{1 - F_c} \right) & \omega < 0 \end{cases} \begin{cases} F_c \geq F \\ F_c < F \leq 1 \end{cases}$$

式中  $F$  为相对湿度;  $F_c$  为临界相对湿度,在此取  $F_c = 0.5$ <sup>[3]</sup>。由式中可看出,当  $\omega \geq 0$  即在下沉运动区,无潜热输送;而当  $\omega < 0$  即上升运动区,当  $F_c \geq F$  时(按干空气处理)仍无

潜热输送,而当  $F_c < F \leq 1$  时,可允许空气在未达到饱和前,有部分潜热输送。同样,静力稳定度  $\sigma_m$  也有类似调整,即:

$$\sigma_m = \begin{cases} -\frac{R}{P} \left( \frac{\partial T}{\partial P} - \frac{RT}{C_p P} \right) = -\frac{\lambda}{T} \frac{\partial T_d}{\partial P} = \sigma_d & \begin{cases} \omega \geq 0 \\ \omega < 0 \quad F_c \geq F \end{cases} \\ -\frac{R}{P} \left[ \frac{\partial T}{\partial P} - \frac{RT}{C_p P} + \frac{L}{C_p} \frac{\partial q_s}{\partial p} \left( \frac{F - F_c}{1 - F_c} \right) \right] = -\frac{\lambda}{T} \frac{\partial T_d^*}{\partial p} & \omega < 0 \quad F_c < F \leq 1 \end{cases}$$

这里  $T_d$  为干空气静力稳定度,  $\sigma_d$  为干空气层结因子。

中心每 12 小时路径上,取 7 个网格点的时间和空间平均值,结果如附表所示。从表中可看出,低压中心从 12 日 08 时—12 日 20 时北移速度很快,在其移动路径上,位势高度降低较明显。在这里湿大气中的差动潜热能平流贡献最大,而差动温度平流不利于台风低压的发展和移动;12 日 20 时到 13 日 08 时,差动潜热能平流仍有很大贡献。同时,差动温度平流贡献也很大,而相对涡度平流在这两个时段始终作用不大。从这个例子可以看出,差动潜热能平流,在台风低压中心的发展和移动中的影响是不可忽视的;而相对涡度平流一直对台风低压的发展和移动作用不明显。

## 2 位势倾向诊断分析

1994 年 7 月 12 日 08 时(北京时,下同),在 700hPa 位势高度场上,呼和浩特至张家口之间有一低槽,南边台风低压位于 32°N 以南,副高 312 线西端在 119.5°E,脊线在 38°N 附近,到 12 日 20 时,低槽已与台风低压合并,中心位于济南至郑州附近,到 13 日 08 时,低压中心已北移到北京至张家口之间,且中心强度有所加强。

我们用湿位势倾向方程来诊断分析 700hPa 上台风低压中心位势高度变化。湿位势倾向方程中右边的每一项计算值是,低压

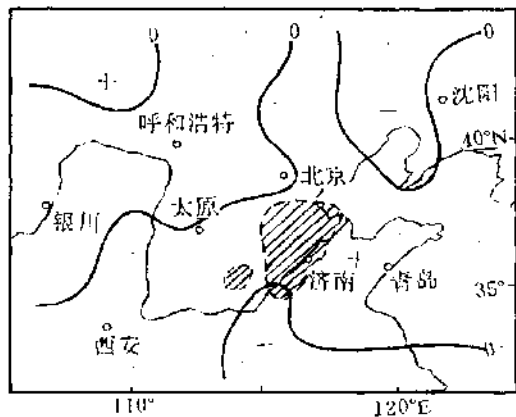
附表

	$-f\vec{v} \cdot \nabla \zeta$	$\frac{f\sigma^2}{\sigma m} \frac{\partial}{\partial p} \left( \frac{R}{P} \vec{v} \cdot \nabla T \right)$	$\frac{f\sigma^2}{\sigma m} \frac{\partial}{\partial p} \left( \frac{R}{P} \vec{v} \cdot \nabla \frac{L}{C_p} q_s \right)$	$\Delta H$
12 日 08 时—20 时	0.0	-3.6	13.0	-1.7
12 日 20 时—13 日 08 时	1.2	8.8	11.4	-1.7

另外,我们用涡度平流和差动潜热能平流对低压中心位置的移动进行了诊断。12 日 08 时 700hPa 位势高度场上,台风低压还处于 32°N 以南地区,但在差动潜热能平流的水平分布场上(附图),在济南、天津、郑州之间有一个  $> 2 \times 10^{-14} \cdot s^{-3}$  区域,对应的 700hPa 涡度平流场上,这一区域为正涡度区,12 小时后,即 12 日 20 时,700hPa 等压面

上,台风低压中心北移至济南到郑州附近,正好是差动潜热能平流  $> 2 \times 10^{-14} \cdot s^{-3}$  和正涡度平流的叠加区域。这说明涡度平流和差动潜热能平流,对于指示台风低压系统的发展和移动很有帮助,即发展中的台风低压系统,在未来 12 时的位置与正涡度平流和  $> 2 \times 10^{-14} \cdot s^{-3}$  的差动潜热能平流的叠加区相对应。这个例子证实了吴正华等人指出的,差动

潜热能平流对于降水系统的发生、发展和移动具有指示意义的结论<sup>[2]</sup>,同时这一结论对预报降水系统的移动位置有很大帮助。



附图 12日08时差动潜热能平流和700hPa涡度平流的水平分布  
实线为涡度平流0线;虚线为差动潜热能平流  
线;阴影区为差动潜热能平流 $\geq 2 \times 10^{-14} \cdot s^{-3}$   
和正涡度平流区

### 3 结论

通过以上分析表明,湿位势倾向方程中差动潜热能平流项,对于台风低压系统的发展和移动,也具有一定的指示意义。

在我们的分析中,考虑到准地转条件,而在实际大气中,对于较小尺度的分析,准地转模式的应用受到一些限制<sup>[3]</sup>。但我们用准地转近似的目的是想从简单的定性讨论中,得到一些对于台风低压系统的发生、发展和移动具有指示意义的因子,从而为台风降水的预报提供依据。事实证明,用准地转近似的湿位势倾向方程,对于台风低压的发展和移动分析是有益的。

### 参考文献

- 1 李麦村,姚隼荣,热带和副热带湿大气的大尺度运动. 气象学报,1979,37(1):28-37.
- 2 吴正华等,500毫巴湿位势倾向诊断分析和应用. 气象学报,1983,41(2):129-137.
- 3 谢义炳,湿斜压大气的天气动力学问题. 暴雨文集. 吉林出版社,1980:1-15.

## A Diagnosis of Wet Potential Tendency Equation of "94.7" Torrential Rain in Beijing

Lu Chen Zhou Wenji Li Qingchun  
(Beijing Institute of Meteorological Science, 100081)

### Abstract

The wet potential tendency equation is used to diagnose 700hPa potential height on July 12-13 in 1994. The results show that the differential latent heat advection term has an important effect on the development and movement of the typhoon low generated the torrential rain in Beijing. But the effect of relative vorticity advection is much less during the torrential rain.

**Key Words:** torrential rain wet potential tendency diagnosis