

“94·7”北京大暴雨诊断分析

李青春 陆 晨 周文吉

(北京市气象科学研究所, 100081)

提 要

1994年7月12日08时—13日08时北京地区特大暴雨的出现是台风低压北上与西来槽共同作用造成的。低层水汽辐合中心与暴雨中心基本一致,低层水汽辐合及上升运动的加强与12小时最大降雨量相对应。在此次台风系统影响过程中,温度平流的拉普拉斯项对上升运动的作用最大,尤其在降雨强度最大的时候,降水释放潜热的作用与涡度平流微差项的作用相当,在对流层中层降水释放潜热的作用尤为突出。地形作用相对很小且随高度递减。

关键词: 诊断分析 大暴雨 非线性 ω 方程 强迫项

引 言

1994年7月12日08时—13日08时受9406号台风北上及西来槽的共同影响,京、津、冀地区出现大范围大暴雨,特大暴雨天气,12日08时—13日08时北京地区24小时降雨量最大的9站平均雨量为206.2mm,13站大于100mm,其中降雨量最大的平谷站为299.9mm。我们用MM4客观分析结果,计算了 31×31 正方形网格点上的(网格距为45km)相对涡度 ξ 、散度 D 、垂直速度 ω 、水汽散度等物理量分析这次大暴雨过程产生的环境条件,并通过求解包含4个强迫项的非线性 ω 方程^[1]分析出各强迫项 ω_i 对 $\Sigma\omega_i$ 的贡献。

1 ξ 、 D 演变与天气系统的移动

12日20时台风低压(中心位于西华(57193)附近)与相对应850hPa正涡度中心基本重合,与其对应的低层辐合中心位于台风低压中心的西部。此时北京位于西来槽前的弱正涡度区中且处于低层辐合中心附近(图略)。显然,12日20时北京是受西来槽前的低层辐合影响而出现降雨的。到13日08时(图1)台风低压对应的正涡度中心北移到

德州附近,此时西来槽并入低压,北京附近的低层辐合中心数值明显加强(由 $-3.5 \times 10^{-5} \cdot s^{-1}$ 降至 $-8.0 \times 10^{-5} \cdot s^{-1}$)且与正涡度中心近于重合,位于台风低压中心(天津、廊坊之间)南部。从12日20时—13日08时,由于台风低压北移及西来槽的合并使低层辐合加强,北京附近格点(19,18)上,散度值由 $-2.5 \times 10^{-5} \cdot s^{-1}$ 降为 $-6.9 \times 10^{-5} \cdot s^{-1}$ 。

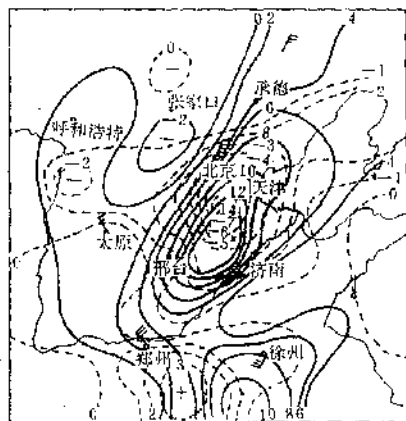


图1 13日08时850hPa涡度(实线)、散度(虚线)及风场分布图

单位: $10^{-5} \cdot s^{-1}$

低压辐合的加强导致上升运动的加强,

北京附近格点(19,18)上用修正的运动学方法求解出的 ω 值从 $-13.1 \times 10^{-7} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 降为 $-30.9 \times 10^{-7} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$,而北京大暴雨过程正发生在这段时间内(见图2)。

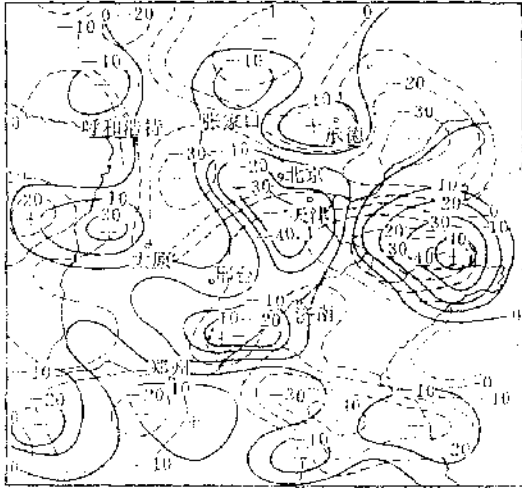


图2 1994年7月12日20时(虚线)、13日08时(实线)850hPa用修正的运动学方法求解的 ω 分布图
单位: $10^{-7} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$

2 $-\nabla \cdot (\bar{q}\bar{v})$ 和 ω 与最大降雨量的时空关系

根据文献^[2],在不考虑液、固态水及蒸发量的条件下,整个对流层内的水汽收支方程为:

$$\left[\nabla \cdot \left(\frac{1}{g} \int \frac{\partial \bar{q}}{\partial t} dp + \Delta t \cdot \frac{1}{g} \int \nabla \cdot (\bar{q}\bar{v}) dp \right) \right] = M$$

M 为水汽凝结量,若假定凝结后全部落地, $\frac{\partial \bar{q}}{\partial t}$ 贡献很小,可忽略,则 M 等于降水量,

公式可化简为 $M = \Delta t \cdot \frac{1}{g} \int \nabla \cdot (\bar{q}\bar{v}) dp$

公式表明:降水量与水汽通量散度有关。在我们计算的水汽通量散度分布图上可看到,12日20时北京处于850hPa水汽通量辐合中心附近,中心数值为 $-5.0 \times 10^{-7} \text{g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,从对应的12日20时地面图上看,北京处于降雨中心南部,水汽通量辐合中心与降雨中心近于重合,位于北京东北部(图略)。到13日08时,北京南部有水汽

通量辐合中心,中心数值为 $-11.1 \times 10^{-7} \text{g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (图3),北京附近格点(19,18)上,水汽通量辐合值由 $-3.6 \times 10^{-7} \text{g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 降为 $-7.8 \times 10^{-7} \text{g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。与此同时北京地区雨强最大,我们选出现最大24小时降水量的3个站(通县、顺义、平谷)计算其24小时降雨量的3站平均值为 R_3 ,比较 $\nabla \cdot (\bar{q}\bar{v})$ 和 ω 对降雨量的作用(见附表)。发现从12日20时-13日08时水汽通量辐合以及上升运动区的加强与12小时三站平均降雨量的增强相对应。由此可见,低层水汽辐合及上升运动与降雨强度有很好的对应关系。

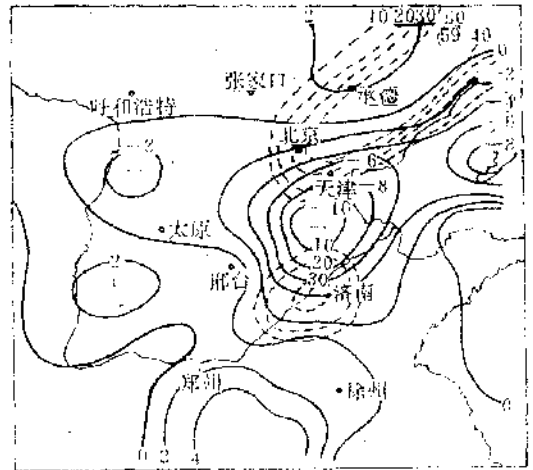


图3 1994年7月13日08时水汽通量散度(实线)及6小时降雨量(虚线)分布图
单位分别为 $10^{-7} \text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 、mm

附表 $\nabla \cdot (\bar{q}\bar{v})$ 、 ω 对降雨量作用的比较

	12日08-20时	12日20时-13日08时
R_3	77.7mm	158.0mm
$\nabla \cdot (\bar{q}\bar{v})$	-3.6	-7.8
ω	-13.1	30.9

3 非线性 ω 方程诊断

我们分析12小时3站平均雨量最大的13日08时的包含4个强迫项的非线性 ω 方程^[13]中各项对 $\Sigma \omega_i$ 的贡献。

求解方程:

$$\begin{aligned} & \sigma \nabla^2 \omega + f^2 \frac{\partial^2 \omega}{\partial p^2} = \\ & -B \nabla^2 (-\vec{v} \cdot \nabla \theta) - f \frac{\partial}{\partial p} \\ & [-\vec{v} \cdot \nabla (\xi + f) - \rho_0 g \vec{v}_h \cdot \nabla h \\ & - \frac{R}{pc_p} (\nabla p^2 H_c + \nabla p^2 H_s)] \end{aligned}$$

右边第一项:表示温度平流的拉普拉斯项引起的垂直运动 ω_1 ;

第二项:表示绝对涡度平流微差项引起的垂直运动 ω_2 ;

第三项:地形作用引起的垂直运动 ω_3 ;

第四项:稳定性和对流性降水释放潜热引起的垂直运动 ω_4 。

我们选北京东部 24 小时暴雨中心附近的格点 (21, 20), 做 ω_1 垂直廓线, 对 4 项的贡献进行比较 (见图 4)。从天气图上看: ① 台风北上过程中北京东南部有强暖湿气流, 同时西来槽前也有暖平流存在, 因此温度平流拉普拉斯项造成的垂直运动最大, 造成的上升运动在中高层明显; ② 环流形势经向度很大, 地转涡度平流微差造成的垂直运动作用很强, 同时台风系统是强烈的涡旋系统, 涡度平流的垂直变化也较强, 因此在图 4 上, 绝对涡度平流微差造成的 ω_2 也很强, 造成的上升运动在中低层明显; ③ 降水释放潜热造成的垂直运动 ω_4 的作用与绝对涡度平流微差造成的垂直运动 ω_2 相当, 说明降水释放潜热造成的上升运动不容忽视, 在对流层中层其作用尤为突出; ④ 地形作用造成的垂直运动 ω_3 贡献很小, 且随高度递减。

4 结论

通过以上讨论得出以下结论:

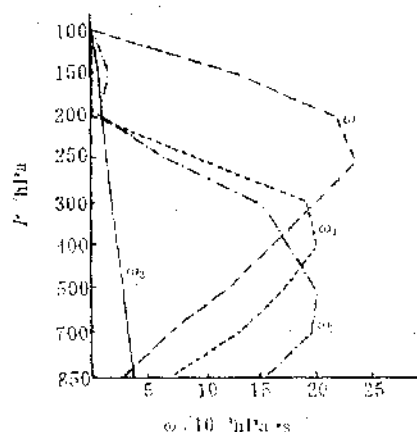


图 4 7 月 13 日 08 时 (21, 20) 格点上非线性 ω 方程 4 个强迫项造成的垂直速度分布图

单位: $10^{-4} \text{ hPa} \cdot \text{s}$

4.1 北京地区特大暴雨的出现是台风低压北上与西来系统共同作用造成的;

4.2 低层水汽辐合中心与暴雨中心基本重合, 低层水汽辐合及上升运动的加强与 12 小时最大降雨量相对应;

4.3 在此次台风系统影响过程中, 绝对涡度平流的微差项与降水释放潜热作用项对 $\Sigma \omega_1$ 的贡献相当, 对上升运动有较大贡献, 降水潜热释放作用不容忽视; 温度平流拉普拉斯项的作用最大, 尤其在降雨强度最大的时候; 地形作用相对很小且随高度减小。

参考文献

- 董晓敏, 田晓培. 天气诊断分析方法简介. 北京: 气象出版社, 1986, 90.
- 吴宝俊, 朱金元. 水汽通量散度与暴雨落区关系的分析. 长江流域暴雨文集. 北京: 气象出版社, 1982, 154.
- 董晓敏, 金秀兰等. 长江流域梅雨期一次特大暴雨过程诊断分析. 长江流域暴雨文集. 北京: 气象出版社, 1982, 103.

The Diagnosis Analysis of "94. 7" Torrential Rain in Beijing

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

Abstract

Nonlinear ω -equation including four force items and other terms associated with precipitation are calculated. The results show that the formation of the heavy rainfall in July 1994 in Beijing is a joint effect of typhoon and westerly trough. Especially, the centre of heavy rainfall is in correspondence with the moisture convergence at the low level, and the maximum precipitation of 12 hours is relevant to the intensification of ascending motion and moisture convergence. The laplace term of temperature advection in the nonlinear ω -equation is most contributive.

Key Words: diagnosis analysis heavy rainfall vertical velocity nonlinear ω -equation.