

# 相向而行的重力波与暴雨

丁德刚

(天津市气象局, 天津 300074)

王树芬

(天津市气象研究所)

## 提 要

本文对 1988 年 7 月 21 日天津地区大暴雨的天气过程进行了详细分析, 发现这次暴雨是两个中尺度系统引起的两片雨区相向移动、合并而后加强形成的。研究表明这是两个相向而行的重力波内波叠加的结果。

关键词: 重力内波; 中尺度系统; 扰动气压。

## 一、引 言

重力波对暴雨以及其他强对流天气的影响, 从 60 年代开始逐渐被公认是一种物理机制。例如文献[1,2,4,10,11]等的研究都提到了重力波的传播与降水的关系。尤其文献[2]曾指出: 快速移动的重力波赶上慢速移动的重力波而使扰动轮廓发生变形, 形成畸变, 最后形成飑线。另外文献[7, 8]提出从西来的地面辐合线与东来的海风锋相遇时可以触发强对流天气, 或使天气过程增幅。本文通过对 1988 年 7 月 21 日天津地区大暴雨的个例分析, 发现在北京地区有一降水区, 在天津东部也有一个降水区。这两个降水区相向移动, 在天津市附近合并, 雨量增大。经过研究表明这是由于两个相向而行的重力波在天津市附近相遇、叠加而促使雨区合并而加强。

## 二、暴雨环境场特征

1988 年 7 月 21 日天津地区出现了大暴雨天气。7 月 20 日 20 时 (北京时) 500hPa 高空图上, 北京位于西风带弱高压脊的后部, 地面上位于贝加尔湖东侧锢囚气旋下方的冷锋前部 (图 1)。

7 月 20 日 20 时, 北京探空层结曲线 (图 2), 对于干空气是稳定状态, 对湿空气中层以下不稳定。若产生降水, 低层必须有强大的辐合抬升作用才有可能。

7 月 21 日 08 时, 北京位于 500 hPa 小低涡前部。天津地区多数台站出现 30 mm/h 以上的降水, 从 03 时到 12 时达到 100 多 mm。例如天津 124 mm, 北京 110 mm。塘沽一小时最大为 66 mm。

1991 年 6 月 1 日收到, 1992 年 6 月 21 日收到再改稿。

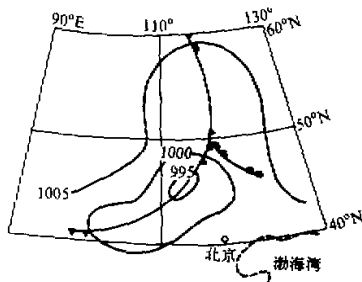


图1 1988年7月20日20时  
(北京时,下同)地面图

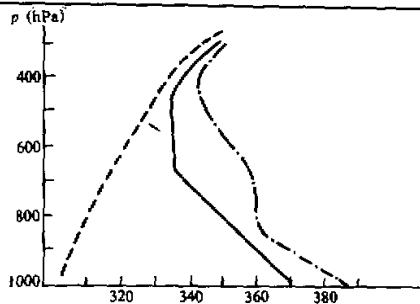


图2 1988年7月20日20时  
北京  $\theta$ ,  $\theta_{se}$ ,  $\theta_{se}^*$  廓线  
---  $\theta$ , —  $\theta_{se}$ , ···  $\theta_{se}^*$

### 三、重力内波分析

这次大暴雨天气过程,从大尺度天气系统是分析不出的,说明还有中尺度扰动系统。

本文采用文献[4]提出的滤波方法揭示中尺度系统。二宫洗三利用日本的稠密观测网,分析暴雨中的中尺度系统。设一物理量从环境场中分离出中尺度扰动成份。假定一物理量  $a$ , 在观测点上按时间序列进行分离

$$a(t) = \overline{a(t)} + a'(t), \quad (1)$$

式中  $\overline{a(t)}$  为环境场的物理量;  $a'(t)$  为中尺度的扰动量。  $a(t)$  每 30 分钟取一次资料。  $\overline{a(t)}$  求法是采用 5 点滑动平均:

$$\overline{a(t)} = \frac{1}{5} [a(t-2\Delta t) + a(t-\Delta t) + a(t) + a(t+\Delta t) + a(t+2\Delta t)]. \quad (2)$$

根据 (1) 和 (2) 式可以求出

$$a'(t) = a(t) - \overline{a(t)}. \quad (3)$$

这种滤波方法与文献[9]提出的办法相似,只是后者时距取 1 小时。

空间距离可以用时空转换求出各观测点的物理量空间分布。

首先分析天津地区塘沽站的海平面气压和扰动气压的变化。从图 3 可以清楚地看到海平面气压从 7 月 20 日 21 时开始下降,直下降到 21 日 14 时,已下降了 7.0hPa,但看不出有中尺度扰动。应用文献[4]分析方法就可以看出中尺度扰动。第一个波动是 20 日 23 时到 21 日 03 时;第二个波动从 03 时到 05 时;第三个波动从 05 时到 12 时。周期分别为 4 小时、2 小时和 7 小时。

其次分析 1988 年 7 月 20 日到 21 日 14 时的 38—41°N, 115—119°E 内的 70 多个站点的资料,时距取 1 小时,网距为 20km,绘制逐时的海平面气压场和扰动气压场。从扰动气压场分析中可知,7 月 21 日 03 时北京的房山有一负扰动中心,以每小时 30km 的速度向东偏南移动,而在天津东部塘沽和海上有一负扰动中心,以每小时大约 12km 的速度向西偏北方向移动。21 日 08 时左右在天津市附近合并,形成一个强的负

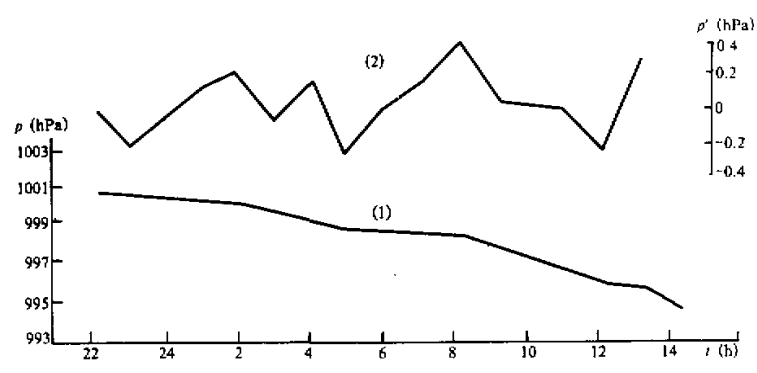


图 3 1988 年 7 月 21 日塘沽站气压变化  
(1) 海平面气压, (2) 扰动气压

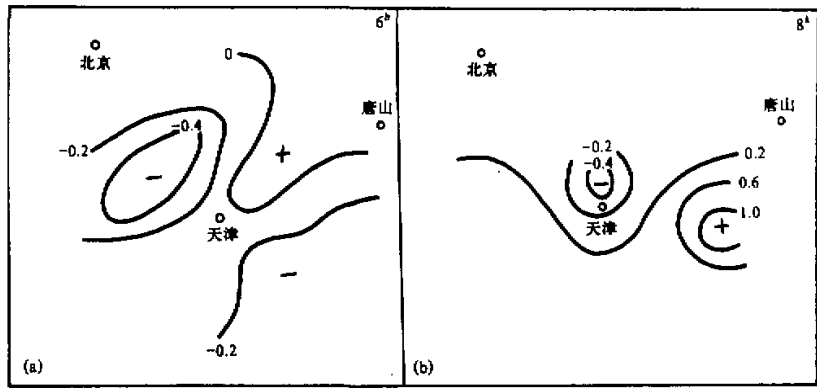


图 4 1988 年 7 月 21 日扰动气压分布图  
(a) 6 时, (b) 8 时

扰动中心, 同时在塘沽东部有一正扰动中心在加强 (图 4)。正、负扰动中心距离大约 40—50km。

此外, 又分析了从昌平到塘沽一线的剖面图 (图略)。21 日 03—04 时在昌平有一负扰动, 中心在大兴县, 06 时传播到武清, 08 时到天津市; 在 03 时, 塘沽也有一负扰动中心, 05 时传播到天津市东部, 08 时传播到天津市与西来负扰动合并, 负扰动中心加深。08 时后逐渐向东移去。从剖面图分析中可以看到最长的周期为 7 个小时, 最短的为 3 小时, 波长 30—80km, 最大振幅为 1—2hPa。

根据以上分析的扰动气压变化以及波长、振幅和周期, 以至移动速度等, 都属于大气重力内波。因为文献[3, 4, 6]等对大气重力内波的性质已有精辟的论述, 而且与文献[9, 11]等对重力内波的分析性质也基本一致。

四、重力波与相关物理量场

散度场的分析范围、时距和网距与扰动气压场相同。通过散度场的分析可以看到 21 日 03 时开始有一自西向东偏南移动的辐合中心 $-4.0 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ ，速度  $20\text{--}30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 。另外在天津以东塘沽、渤海沿岸也有一辐合中心 $-3.0 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ ，向西缓慢移动。08 时在天津附近两个辐合中心合并、加深，其强度为 $-8.1 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ 。合并后向东移动，强度继续加深，到 11 时，强度为 $-11.9 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ （图 5）。

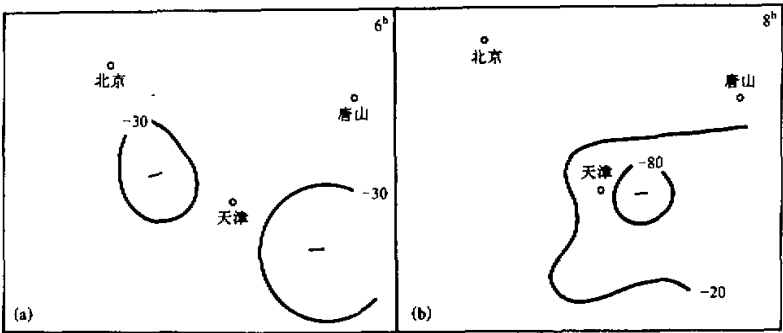


图 5 1988 年 7 月 21 日散度分布  
(a) 6 时, (b) 8 时

通过 NW-SE 方向的时间剖面图也可以看到两个辐合中心相向而行在 08 时左右于天津合并，图从略。

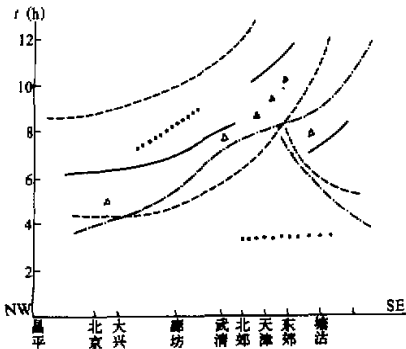


图 6 重力波各物理量传播图  
——:  $p'$  脊线, - - -:  $p'$  槽线,  
...: 辐散中心, - · - · -: 辐合中心,  
 $\triangle$ : 暴雨中心

暴雨中心的移动。7 月 21 日 03—04 时，北京开始有暴雨，05—06 时移至大兴县，平均移速大约  $20 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 。从廊坊到武清移速减慢而雨强增大。08—09 时，自西面移来的暴雨中心与东面移来的暴雨中心合并，雨强再度加大。

从廊坊、武清和天津三个单站的扰动气压曲线和各时段的雨强线分布也可以看出雨强大的地方并不是扰动气压中心所在地，而是有一定的偏离。

将重力波以及由它引起的各物理量变化绘制成图 6。从图 6 可以看出扰动气压正、负中心、辐合中心和暴雨中心的移动路径和分布是有一定规律的。暴雨中心在辐合中心的后部，靠近正扰动中心一侧，

散度中心与扰动气压中心位相差  $\pi/2$ , 这与文献[1]分析结果是一致的。

以上各物理量的分析结果和传播, 可用相向而行的重力波合成解得到解释。

## 五、小 结

通过本文的研究, 以及文献[7, 8]所揭示的海风锋对强对流天气的触发作用或增幅作用, 实际上与大气重力波活动有关。大气重力内波不仅单向传播有作用, 而且相向而行的重力波相互作用或叠加更是形成暴雨的重要物理机制。本例中西来的重力波是冷锋前部暖区中产生的, 东面来的重力波是海风锋前部产生的。当两个重力波相向传播而相遇后可以使振幅增大, 造成激烈天气。利用这种观点不但能解释本次大暴雨天气过程, 而且可以初步说明华北锢囚锋产生的暴雨和暴雨分析中的所谓  $\Omega$  型。大气中的重力波是在大尺度天气处于非地转平衡条件下产生的。因此两个相向而行的重力波相遇时, 合成的波动常是形成暴雨的一种重要物理机制。

## 参 考 文 献

- [1] 李麦村, 1978, 重力波对特大暴雨的触发作用, 大气科学, 2, No.3, 201—209。
- [2] 李麦村, 1976, 飑线形成的非线性过程, 中国科学, No.6, 592—601。
- [3] 木村龟治, 1983, 地球流体力学入门, 东京堂出版, 93—110。
- [4] 二宫洗三, 1981, 雨とメソ・システム, 东京堂出版, 106—140。
- [5] Crawford, F.S., 1968, 波动学, 科学出版社, 卢鹤坡等译, 1981, 390—416。
- [6] 杨大升, 1980, 动力气象学, 气象出版社, 226—263。
- [7] 王树芬, 1990, 一次由海风锋触发的强对流天气分析, 大气科学, 14, No.4, 504—507。
- [8] 王树芬, 1990, 海风锋对飑线天气过程的增幅作用, 天津气象, No.3, 1—5。
- [9] 湘中小尺度试验基地暴雨组, 1988, 中尺度暴雨分析和预报, 气象出版社, 203—223。
- [10] 孙淑清, 1990, 梅雨锋中大振幅重力波的活动及其与环境场的关系, 大气科学, 14, No.2, 163—172。
- [11] Uccellini, Louis.W., 1975, A case study of apparent gravity wave initiation of severe convection storms, *Mon. Wea. Rev.*, 103, 497—512。

## The Gravity Wave of Relative Motion and Heavy Rain

Ding Degang

(Meteorological Service of Tianjin, Tianjin 300074)

Wang Shufen

(Tianjin Institute of Meteorology)

### Abstract

This paper analyzes an individual case of the heavy rain which occurred in Tianjin district on 21st July 1988. It shows that the heavy rain was resulted from the relative motion of two raining areas in the east and the west, caused by two mesoscale systems. The two rain areas were intensified after merging. One can see from the case study that this was the result of superposition of the two internal gravity waves in relative motion.

**Key words:** internal gravity wave; mesoscale system; disturbance.