

特大暴雨的中- β 尺度系统研究

沈树勤 曾明剑 吴海英

(江苏省气象台, 南京 210008)

提 要

受 0012 号台风(派比安)外围影响,在 2000 年 8 月 30 日 08 时到 31 日 08 时,江苏东北部地区出现了一次具有局域性、突发性、高强度、超历史记录的特大暴雨过程。经综合分析表明:暴雨期间,在台风外围第二象限稳定的东风气流,并发生扰动,构成产生特大暴雨的中尺度东风辐合线天气系统。这条中尺度东风辐合线高频次的准东西向和低频次的准南北向分布、更替,与响水 $\geq 10\text{mm}$ 雨团的高频区相一致。由地面速度平流散度(F)分析得出,强降雨团是与 $F > 0$ 的强中心趋于一致,也即是在辐合增强或维持最强的响水及其附近爆发。进一步分析表明:地面速度平流散度变化与局域性高强度雨团的维持及其雨强增幅关系十分明显。

关键词: 特大暴雨 中- β 尺度东风辐合线 地面速度平流散度

1 突发性、高强度、超历史纪录的一次特大暴雨

受 0012 号台风(派比安)外围影响,在江苏东北部地区出现一次特大暴雨过程(见表 1)。

这里特别指出的是:江苏响水县 24 小时

雨量为 801.6mm(30 日 02 时~31 日 02 时),突破江苏历史上最大的雨量纪录,接近响水常年 900mm 左右的年降水量,6 小时最大雨量达 384.1mm,3 小时最大雨量达 229.9mm,1 小时最大雨量达 88.8mm,具有突发性、高强度的特征。

表 1 2000 年 8 月 30~31 日江苏东北部降水强度综合表

地名	日最大雨量/mm	各时段最大雨量/mm			各雨团频次					降水高峰期
		6h	3h	1h	≥ 10	≥ 20	≥ 30	≥ 40	≥ 50	
响水	801.6	384.1	229.9	88.8	21	16	13	9	5	30 日 04 时~31 日 01 时
灌南	353	173.8	125.5	57.4	11	6	4	1	1	30 日 05~19 时
灌云	319.5	216.4	130.5	53.7	9	6	4	3	1	30 日 06~14 时
涟水	280	143.5	98.9	46.1	14	4	2	1		30 日 16 时~31 日 08 时
赣榆	253	101.7	58.3	43.2	8	3	1	1		30 日 15 时~31 日 02 时
连云港	223	101.7	58.1	43.2	10	2				30 日 18 时~31 日 02 时
淮安	245	94.8	74.5	29.6	10	5				30 日 14 时~31 日 04 时
燕尾港	511	270.7	143.5	58	13	9	7	6	5	30 日 11~23 时
海滨	381	86.8	67	34.3	9	4	1			30 日 10~20 时

分析雨量大于 10mm 的分布形态与 24 小时雨量相似,响水县出现雨团频次最高,其值为 21 次,是从 30 日 04 时到 31 日 01 时 22 时段中出现的,仅有 30 日 23 时在 10mm 以下。分析还表明雨团最大频次轴线有两

条:一条是准东西向,一条是准南北向,这两条轴线交点都通过响水,这表明南北向雨团活动和东西向雨团活动都以响水为中心。

江苏东北部特大暴雨是在沿海北上台风(派比安)外围大尺度背景下产生,“0012”号

台风(派比安)于2000年8月27日02时在菲律宾东部的洋面生成,在8月30日02时到8月31日08时在它运行的路程中,南北最大距离相差7.3纬度,东西最大距离相差1.1经度,近中心气压在965~970hPa之间,仅有5hPa的变化,近中心最大风力在33~35 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,相差2 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,这次沿海北上的台风在一狭长的区间运行,强度很强,中心气压及其风力十分稳定,变化不大,始终在对流层低层维持稳定的东风气流。并在东风气流扰动中,在江苏东北部形成了中- β 尺度的辐合线,特大暴雨就在这支中- β 尺度的辐合线附近爆发。台湾“67.10”特大暴雨、上海“77.8”特大暴雨、山东“74.8”特大暴雨也都是在台风北方的东风扰动中产生的^[1]。

2 地面中- β 尺度东风辐合线特征

在盛行的大尺度东风气流中,出现东风气流扰动,构成地面中- β 尺度的东风辐合线,这条辐合线是东北到北风与东到东南风两支主要气流汇合而成。首先在30日02时江苏最东部的射阳到滨海之间形成南北方向辐合线,同时出现2~3mm的降水,该辐合线向北向西挺进,于30日03时该辐合线在滨海、阜宁、宝应之间,成准东西走向。此时在辐合线的东部滨海出现第一个强降水雨团,1小时降水量为34.3mm,到30日04时辐合线在燕尾港、响水、淮阴一线,其走向仍为东西走向,滨海雨团消失,在响水出现雨强为1小时18.5mm的降水,从30日05时到12时这条辐合线基本维持少动。

辐合线为准东西走向,辐合线北侧盛行东北气流,南侧为东南气流,这一期间首先东南风速加大,阜宁、滨海由30日08时东南风4 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,到09时为8 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,辐合线的北部为东北风,风速增幅为2~5 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。这表明辐合线辐合量的增加有利于强降雨团产生,也就是这一时段正是响水发生暴雨的高峰期,6小时降水量为384.1mm。

从30日13时到31日01时随台风转向东北,从30日20时开始江苏东南部受到台风影响产生降水,而东北部仍处于台风外围的第二象限中,大尺度气流以东北到北为主,而地面中- β 尺度的辐合线仍在响水附近,但其轴向发生变化,在准东西向和准北向之间摆动,但有意义的是东西走向和南北走向的更替,其中心支点范围仍在响水、灌云、滨海一线范围内,雨带呈块状或南北走向,因而响水及其以北地区仍频发强降雨团。

从31日02时到31日07时中- β 辐合线向西移动并趋于减弱消失,仅在涟水附近产生强降水雨团,而江苏东北部雨势减弱,于31日07时降水逐渐停止。

3 地面中- β 尺度东风辐合线的发生发展及其诊断

江苏东北部特大暴雨及其强降雨团发生是与中- β 尺度东风辐合线发生,稳定及其位置方向的改变有关,为定量地表征这条辐合线,我们逐时计算出它们的散度分布,结果表明在散度场上同样也表现负散度区的产生,负散度区的稳定及其位置方向的改变。负散度主要位置也有两种形式,一种是东西方向分布,一种是南北方向分布,同样负散度最高频次两条轴线与雨团最大频次两条轴线十分吻合,且强降水雨团都出现在正、负散度梯度最大,偏负散度中心一侧。最小负散度轴的东西轴向与南北轴向间的更替是以响水为中心的,响水在降水的各时次内均呈现出较强的负散度,图1是响水附近区域平均的散度随时间演变情况。

由图1可见,整个时段内响水一直处于负散度,其值在 $0.8 \times 10^{-5} \sim 14.8 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 变动,从05时到11时负散度急剧减小,而雨强增幅最大,每小时超过50mm的雨强出现4次(共5次),其中超过每小时80mm的雨强也全在其中,而在31日01时以后负散度急剧上升增加,雨强减弱直至降水停止。

图2是响水附近水汽通量散度随时间演变,水汽通量散度反映水汽的辐合与集中,其曲线形态与散度曲线形态一样,也同样说明响水强降雨团活动与水汽的辐合有关。

上述仅仅揭示了江苏省东北部出现特大暴雨以及产生 $\geq 10\text{mm}$ 雨团频次是与中- β 尺度东风辐合线及其与散度的关系。那么为什么在响水附近出现强降雨团持续及雨强增幅?为此利用散度方程进一步探讨。

为了更进一步研究散度变化,这里利用散度方程:

$$\begin{aligned} \frac{\partial D}{\partial t} = & -\frac{\partial}{\partial x}\left(u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y}\right) \\ & -\frac{\partial}{\partial y}\left(u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y}\right) \\ & -\omega\frac{\partial D}{\partial p} - \left[\frac{\partial \omega}{\partial x}\frac{\partial u}{\partial p} + \frac{\partial \omega}{\partial y}\frac{\partial v}{\partial p}\right] \\ & -f\xi' - \beta u \end{aligned} \quad (1)$$

文献[2]将式(1)中等式右边第一、第二项称为速度平流散度项,是有利于辐合增加或维持项,因而与暴雨有关。这里定义式(1)右边两项为不均匀场(-F)即

$$F = \frac{\partial}{\partial x}\left(u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y}\right) \quad (2)$$

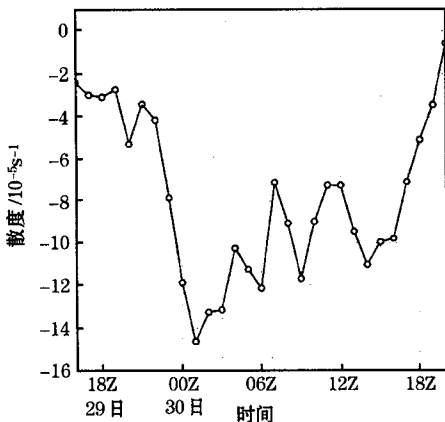


图1 2000年8月30日00时到31日04时散度分布

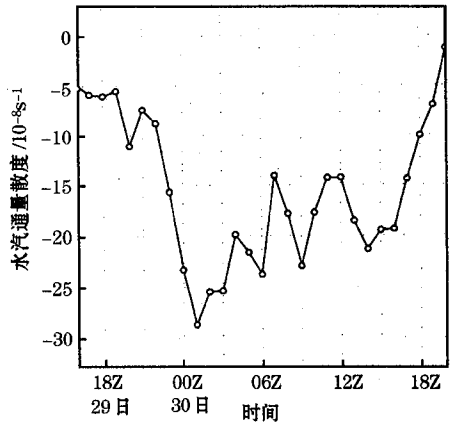


图2 2000年8月30日00时到31日04时水汽通量散度分布

当 $F > 0$ 时有利于空气质量的辐合增加,其单位为 10^{-9}S^{-2} ,图3给出2000年8月30日08、09时(其它时次相似,图略) F 值(绘图时扩大 10^9 倍)变化分布。

由图3可见在江苏东北部地区出现 $F > 0$ 的大值区,其大值区的走向呈淮南北分布,这种辐合分布并不是沿着中- β 尺度东风辐合线,而是近于垂直于辐合线,处于辐合线顶端响水附近。同样 $F > 0$ 的大值区也不是与负散度中心相吻合,而是在负散度中心偏北一侧,显见 $F > 0$ 大值中心都处于响水附近,因而响水附近爆发特大暴雨及其出现持续的高强度雨团。这也解释了强降雨团不是均匀分布在辐合线附近,也不是与负散度中心相吻合,而是与 $F > 0$ 的强中心趋于一致,也就是说在辐合增加或辐合维持最强的地方,与地面速度平流散度关系密切。

图4曲线表示响水附近格点 F 值的时间演变,从该图清楚地看出以2000年8月30日04时到31日00时 F 值均在0以上,说明这一段时间是十分有利于空气的质量辐合增加和辐合维持,因而在这段时间产生20个 $\geq 10\text{mm}$ 的雨团,同时我们还发现在 $F > 0$ 的曲线上出现波动。为了进一步揭示这种波动,这里分析 F 随时间变化,来反映辐合的加速

趋势或者是辐合加速的维持,用 $\partial F/\partial t$ 表示,并逐时进行计算。结果表明:当 $\partial F/\partial t > 0$ 时,表示辐合加速增长或加速增大趋势,从

而更有利于垂直上升运动加速发展,表 2 列出 $\partial F/\partial t > 0$ 和强降雨团之间的关系。

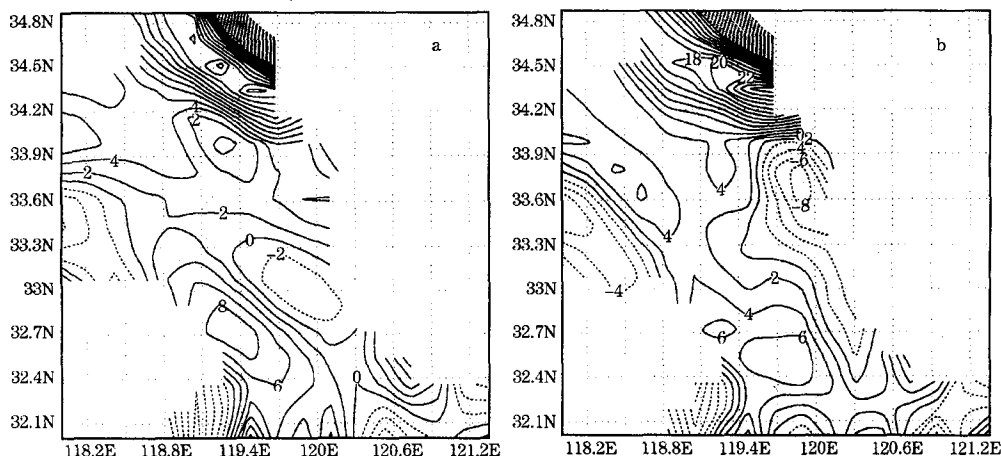


图3 地面速度平流散度分布 (a,b分别为2000年8月30日08,09时)

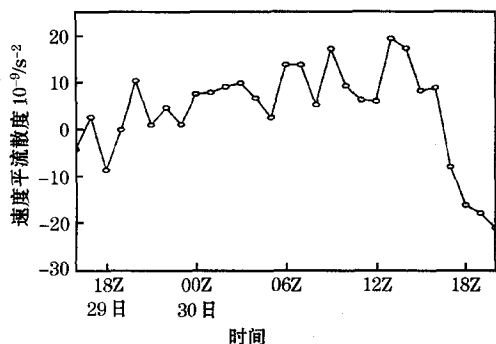


图4 响水附近 F 值的时间演变

由表 2 可见,当 $\partial F/\partial t > 0$ 时,与局域性、突发性、高强度雨团的维持及其雨强增幅关系十分密切。表中 $\partial F/\partial t > 0$ 连续出现的时间,即:2000年8月30日04时到11时6个时次,在这6个时次中也连续出现5个时次每小时 $\geq 40\text{mm}$ 的高强度雨团,响水3小时(即08~10时)最大雨强极值(229.9mm),是在这段时间;同时1小时雨强极值(即30日08时为88.8mm)也在这 $\partial F/\partial t > 0$ 连续时段产生,如果将04时、06时和08~11时 $\partial F/\partial t > 0$ 共6个时次雨量累积,其值为360.6mm,接近响水这次过程6小时最大雨量(384.1mm)的极值;同时还表明:当 $\partial F/\partial t > 0$ 的时次出现时,

该时次都有一次雨量增幅,一小时雨强最大增幅为20mm,这就表明 $\partial F/\partial t > 0$ 时,使得质量辐合加速增长,促使低层水汽加速增加、集中,同时促使上升运动加速发展,因而构成雨量增幅,尤其是 $\partial F/\partial t > 0$ 连续出现,辐合加速持续增长,形成高强度雨团维持,爆发像响水的局域性、突发性、超历史的特大暴雨。

表2 $\partial F/\partial t > 0$ 和强降雨团之间的关系

日.时	$\partial F/\partial t$	雨强 /mm·h ⁻¹	特点
30.04	>0	21.5	较前一时次雨量增幅16.5mm
30.06	>0	67.6	较前一时次雨量增幅20.0mm
30.08	>0	88.8	维持突发高强度雨团
30.09	>0	57.6	维持突发高强度雨团
30.10	>0	83.5	维持突发高强度雨团
30.11	>0	41.5	维持突发高强度雨团
30.14	>0	40.3	较前一时次雨量增幅26.5mm
30.17	>0	31.7	较前一时次雨量增幅16.8mm
30.21	>0	32.4	较前一时次雨量增幅11.5mm
31.00	>0	17.8	较前一时次雨量增幅11mm

4 小结

受0012号台风(派比安)外围影响,在江苏东北部地区出现一次特大暴雨过程,这次特大暴雨过程具有局域性、突发性、高强度、超历史特点。经综合分析,其结果如下:

(1)2000年12号台风在我国东部沿海活动,在它外围第二象限,江苏东北部提供稳定的东风气流,并发生扰动,构成产生特大暴雨的中尺度东风辐合线天气系统。

(2)分析中- β 尺度东风辐合线演变得出,响水10mm雨团的高频区(共21个频次)是与这条中- β 尺度东风辐合线高频次的准东西向和高频次的准南北向分布,更替有关,其辐合线高频区和雨团的主频区相一致。

(3)由地面速度平流散度 F 分析得出,强降雨团并不是在整条中- β 尺度东风辐合线附近均匀分布,也不是与负散度中心相吻合,而是与 $F>0$ 的强中心趋于一致,也即是在辐合增强或维持最强的响水及其附近爆发。

(4)经过分析统计:当 $\partial F/\partial t > 0$ 时与局域性高强度雨团的维持及其雨强增幅关系十分明显,也就是说,当 $\partial F/\partial t > 0$ 时,辐合增长,促使低层水汽加速增加,集中,同时使得上升运动加速发展,从而构成雨量增幅,统计还表明,当 $\partial F/\partial t > 0$ 连续出现时,辐合加速持续增长,形成高强度雨团维持。

致谢:本文作者感谢全省各县提供实时资料,感谢下光辉副局长、濮梅娟处长、解令运等同志的组织、支持。

参考文献

- 1 陶诗言等. 中国之暴雨. 北京: 科学出版社, 1980: 123.
- 2 孙淑清. 散度变化在中尺度对流系统分析预报中之应用. 气象, 1989, 15(1): 5.

A Study on Meso- β Scale System During An Excessive Heavy Rain

Shen Shuqin Zeng Mingjian Wu Haiying

(Jiangsu Meeteorological Bureau, Nanjing 210008)

Abstract

Affected by the outside of the typhoon 0012 (Prapiroon), an unprecedented heavy rain process, with the character of locality, intensity and abruptness, occurred in the northeast of Jiangsu from 0800GTM 30 to 0800GTM 31 August. The analysis indicates that the stable easterly stream provided by the second quadrant of the outside of the typhoon and its disturbance constitute the mesoscale easterly stream convergence line synoptic system which results in heavy rain. The high-frequency quasi east-west and quasi south-north distribution of the mesoscale easterly stream convergence line and their substitution is in agreement with the high-frequency area where rain mass with rainfall ≥ 10 mm occurs. The analysis on the surface velocity advection divergence (F) shows that intense rain mass nearly accord with the severe center with $F \geq 0$, in other words, intense rain mass explodes in Xiangshui and its vicinities where convergence strengthens or intensively maintained. The results by further analysis and statistics suggest that the changes of the surface velocity advection divergence is closely associated with the maintenance of intense local rain mass and the reinforcement of rain intensity.

Key Words: heavy rain meso- β scale easterly stream convergence surface velocity advection divergence