

1998年6月下旬长江中下游强降水过程成因分析*

闫之辉 田 华

(国家气象中心,北京 100081)

提 要

利用国家气象中心的有限区域预报模式,对1998年6月下旬发生的一次强降水过程进行了数值试验,并通过对风场、水汽场、垂直速度场等变量的诊断分析,对降水过程的成因进行了初步探讨。分析结果显示,北方南下的干空气与西南暖湿气流在长江中下游地区形成的切变和西南低空急流是造成这次大暴雨的主要天气尺度系统,而沿切变线移动的中尺度系统对降水的增强起了重要作用。

关键词:强降水 数值试验 低空急流 切变线

引 言

1998年6月24~27日,在我国长江中下游地区出现了一次连续性的强降水过程,常规观测记录显示,部分地区24h累积降水量超过了140mm。由于这次降水过程持续时间长、降水强度大,给长江中下游地区造成了较大灾害。

为了解这次强降水过程形成的主要机制及暴雨形成过程中多尺度之间的相互作用,利用国家气象中心的有限区域数值预报模式对这次强降水过程进行了数值试验,并对动力场、热力场和水汽来源等物理量进行诊断分析,力求揭示这次强降水过程的主要成因。

1 模式简介

试验中使用的预报模式为国家气象中心业务有限区域模式^[1](HLAFS)的高分辨率版本,其水平分辨率为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 经纬度网格,垂直方向取20层等 σ 面。水平积分范围为 $15^{\circ} \sim 60^{\circ} \text{N}$, $72^{\circ} \sim 135^{\circ} \text{E}$ 。模式的物理过程中,可分辨尺度的凝结过程采用了显式降水方案。方案中,水相物质被分为水汽、云水和雨水3种形式,云水和雨水的预报方程与水汽的预报方程相似。当空气被抬升饱和后发生凝结,凝结水并不马上降落到地面,而是作为云水储存在大气中,当云水含量超过某一临界值时,云水开始向雨水转化,云水和雨水受到大尺度动力过程的作用随空气一起运动。除此之外,由于雨水的质量较大,所受到的重力大于空气的浮力,当雨滴形成后将产生相对于所在气团的运动,方向向下。雨水在下落过程中与云中的小云滴不断发生碰撞,其体积不断增大,下落速度加快,当雨水下落

* 本文由国家重点基础研究发展规划项目 G1998040906 课题提供经费支持。

2001-04-25 收到,2001-11-05 收到修改稿。

到地面时就变成了降雨。模式中的微物理过程主要包括:云水向雨水的自动转换,云水、雨水的蒸发和雨滴与云滴的碰并过程等。积云对流参数化方案采用了质量通量方案,方案中考虑了下曳气流的影响。除上述物理过程外,模式中还考虑了地面土壤过程,行星边界层内的动量、热量和水汽的垂直输送过程以及辐射过程。模式与全球谱模式 TI06L19 进行单向嵌套,侧边界条件处理方案采用了 Davies 方案,且每 3 h 更新一次。

试验中使用的初值为国家气象中心有限区域资料同化系统提供的分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$ 的同化资料,采用双线性插值方案直接插值到 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ 经纬度网格。

2 大尺度环流背景

在暴雨发生的时段内,西太平洋副热带高压呈东北—西南向,副高东段在日本以南洋面上,西段位于我国南海海面及沿海地区,西脊点位于 104°E 附近,副高的位置及形态有利于水汽沿副高的西北侧向长江中下游地区输送。在中高纬地区, $40^\circ \sim 60^\circ \text{N}$, $70^\circ \sim 120^\circ \text{E}$ 为一稳定的低压区,新地岛到东西伯利亚为一西北—东南向的高压坝,使其南侧的低压系统较为稳定。从该低压区内不断有冷空气分裂并沿河西走廊东移影响长江中下游地区^[2]。冷暖空气在长江中下游地区交汇,为这次强降水过程提供了十分有利的大尺度环流背景。

3 个例试验结果分析

以 1998 年 6 月 26 日 08:00(北京时,下同)为初始场进行了个例试验,并对模式降水量预报,风场、水汽场等进行了诊断分析。图 1 给出了由模式作出的 24 h 降水量预报与降水观测实况,图 1a 为 6 月 26 日 08:00 到 6 月 27 日 08:00 的降水量观测实况,图 1b 为由模式预报的相应的 24 h 累积降水量。由图中可以看出,无论雨带的形状、走向以及降水中心强度,预报与实况都基本是一致的,只是强降水中心较实况略偏东一些。

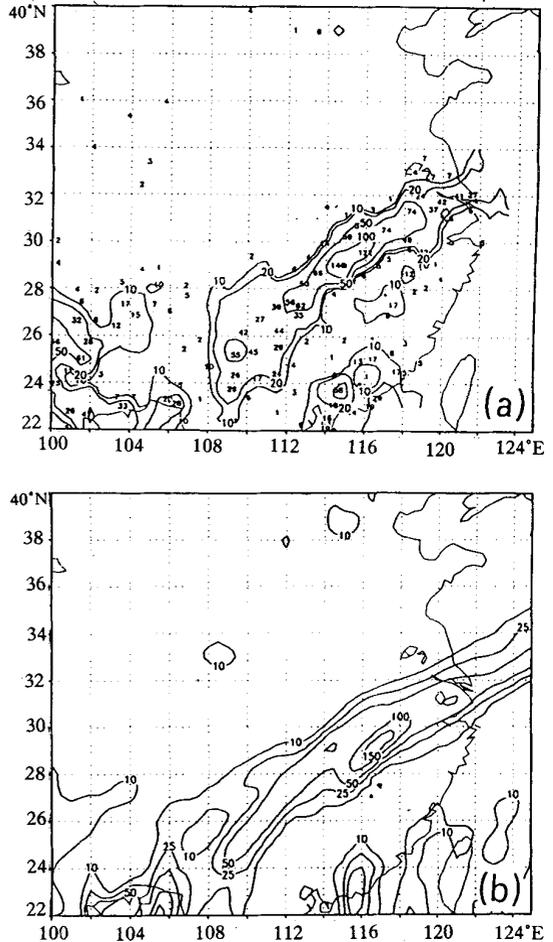


图 1 (a) 1998 年 6 月 26 日 08:00 到 27 日 08:00 的降水量实况 (b) 以 26 日 08:00 为初始场由预报模式作出的 24 h 降水量预报 (mm)

图2给出了850 hPa等压面的风场分布情况,其中,图2a为6月26日08:00的初始风场,图2b为由模式作出的24 h的预报场。从图2a中可以看出,从长江下游到我国西南地区维持一东北—西南向的较弱的风场切变,图中中间的细实线为切变线位置,切变线右侧的粗断线为850 hPa最大风速位置(低空急流轴线),切变线左侧的粗断线为200 hPa最大风速位置(高空急流轴线)。从图中切变线和高、低空急流轴线位置的配置可以看出,在切变线南侧的低空急流区,较强的西南气流源源不断地把暖湿空气从洋面向长江中下游一带输送,为这次强降水过程提供了充足的水汽;在切变线右侧与低空急流轴之间由于风速切变在低层产生气旋性流场;而在切变线的左侧由于高空急流的作用,在高层产生反气旋性流场,这种动力场的配置有利于在切变线附近诱发出强对流天气。由图2b可以看出,26日08:00以后,西南气流不断增强并北移,24 h后我国大部分地区盛行西南气流,已无明显的风向切变,只在急流北侧维持较强的风速切变,与初始场相比,相应的高、低空急流轴的位置也更接近切变线,高、低空急流和切变线相汇在 108°E 以东地区。与图1的雨区相对照可以看出,强降水落区就出现在850 hPa的切变线南侧靠近低空急流轴的地区。

图3给出了850 hPa等压面的水汽通量散度分布情况。图3a和图3b分别为1998年6月26日08:00的水汽通量散度的初始场和相应的由模式作出的24 h预报。由图中可以看出,与风场相配合在切变线南侧维持一较强的水汽通量辐合带,中心最大强度在 $80 \times 10^{-9} \text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1}$ 以上,26日08:00以后,随着西南气流的增强,水汽通量辐合带也随之增强、北移,强降水中心刚好出现在初始场和24 h预报的水汽通量辐合带之间。

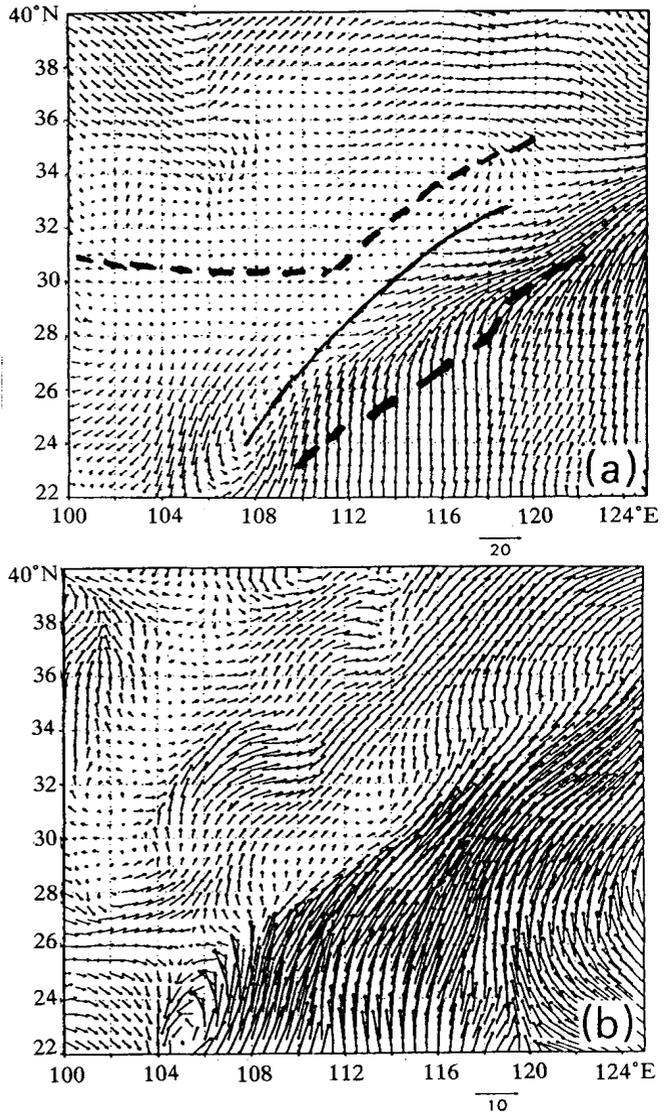


图2 (a) 1998年6月26日08:00 850 hPa初始风场 (b) 以26日08:00为初始场由预报模式作出的24 h预报

另外,从水汽通量散度分布图上也可以看到,在水汽通量辐合带内有一些尺度小于 200 km 的中尺度涡旋活动,这些中尺度系统的活动显然是造成降水强度加强的直接原因。

图 4 给出了 500 hPa、700 hPa 和 850 hPa 垂直运动场的初始分布及其由模式作出的 24 h 预报。从图中可以看出,从 850 hPa 到 500 hPa,这一区域存在着深厚的上升运动,其中心强度除 850 hPa 外,都在 $60 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上。26 日 08:00 后,上升运动不断加强、北移,24 h 预报的强上升运动中心强度超过了 $90 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

图 5 给出了沿预报降水中心所在位置(116.5°E)的 θ_{sc} 经向剖面图。(图 5a, 5b, 5c)分别为 26 日 08:00、26 日 20:00 和 27 日 08:00 的实况分布,图 5d, 5e 为以 26 日 08:00 为初始场由模式作出的 12 h 和 24 h 预报场。从图 5a 可以看出,在 6 月 26 日 08:00,中高纬度的冷空气位于北纬 30° 以北地区,冷空气的中心位于 35° 以北。在北纬 25° 到北纬 30° 之间 850 hPa 附近存在一 θ_{sc} 高值区,最大值达 357 K 以上,由于这一高值区的存在,使得大气在大约 850 hPa 到 650 hPa 以上的中层存在一位势不稳定区,在 400 hPa 以上的高层也有一 θ_{sc} 的高值中心,呈漏斗状向低层延伸。在北纬 25° 以

南的中层大气为干而冷的气团。对比图 5a 与图 5b、图 5c 可以看出,在上述地区在未来的 24 h 内,不稳定能量有一次释放和再建立的过程。在 26 日 20:00 位势能量明显减弱, θ_{sc} 最大值为 348 K 左右,而在 27 日 08:00 该地区的位势能量再次增强,中心最大值达到了 354 K。这种位势不稳定能量的建立、释放和再建立的过程刚好和强降水出现的时间相吻合。对比图 5b 与图 5d、图 5c 与图 5e 可以看出,对于不稳定能量的建立和释放过程,预报模式基本上作出了准确的预报,只是对于 24 h 预报而言地面附近冷空气的位置预报略

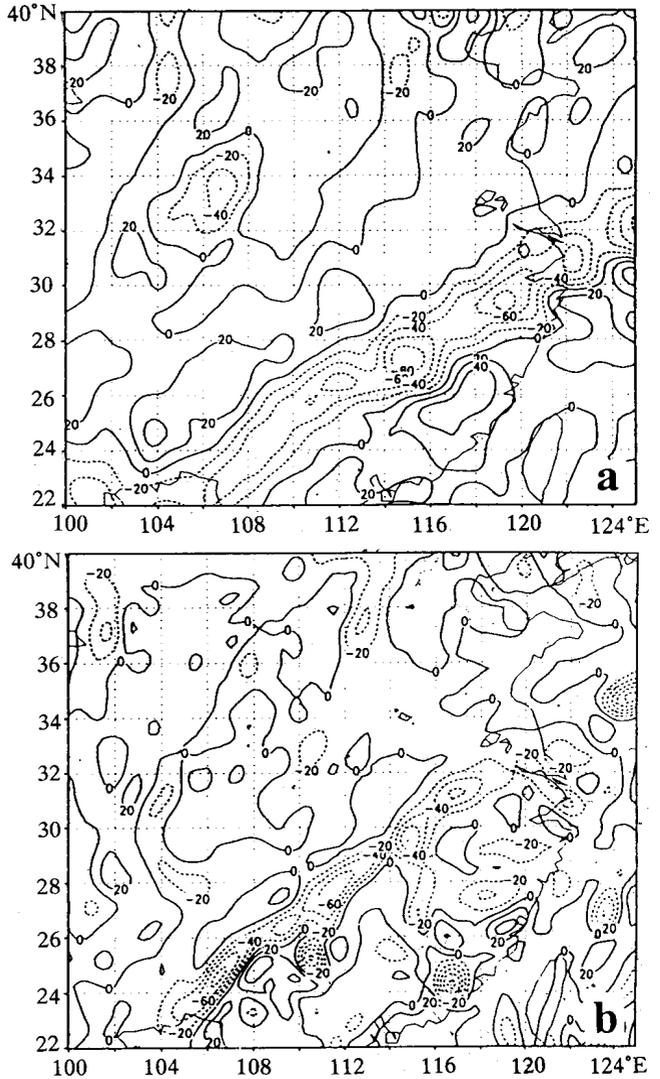


图 3 (a) 1998 年 6 月 26 日 08:00 850 hPa 水汽通量散度 ($10^{-9} \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1}$) 的初始场 (b) 以 26 日 08:00 为初始场由预报模式作出的 24 h 预报

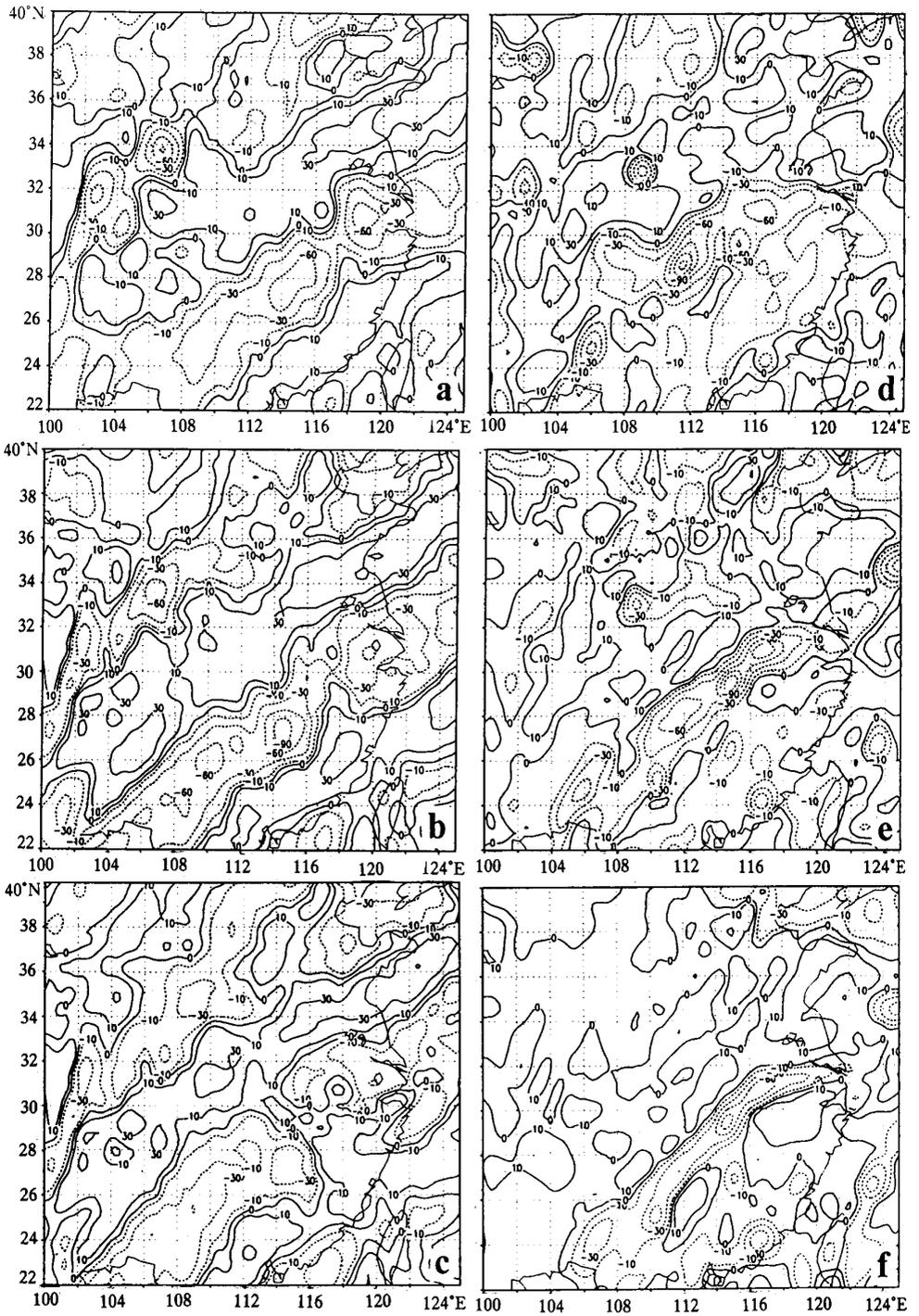


图4 (a)(b)(c) 分别为1998年6月26日08:00,500,700,850 hPa垂直运动初始场, (d)(e)(f) 分别为以26日08:00为初始场由预报模式作出的相应的24 h预报

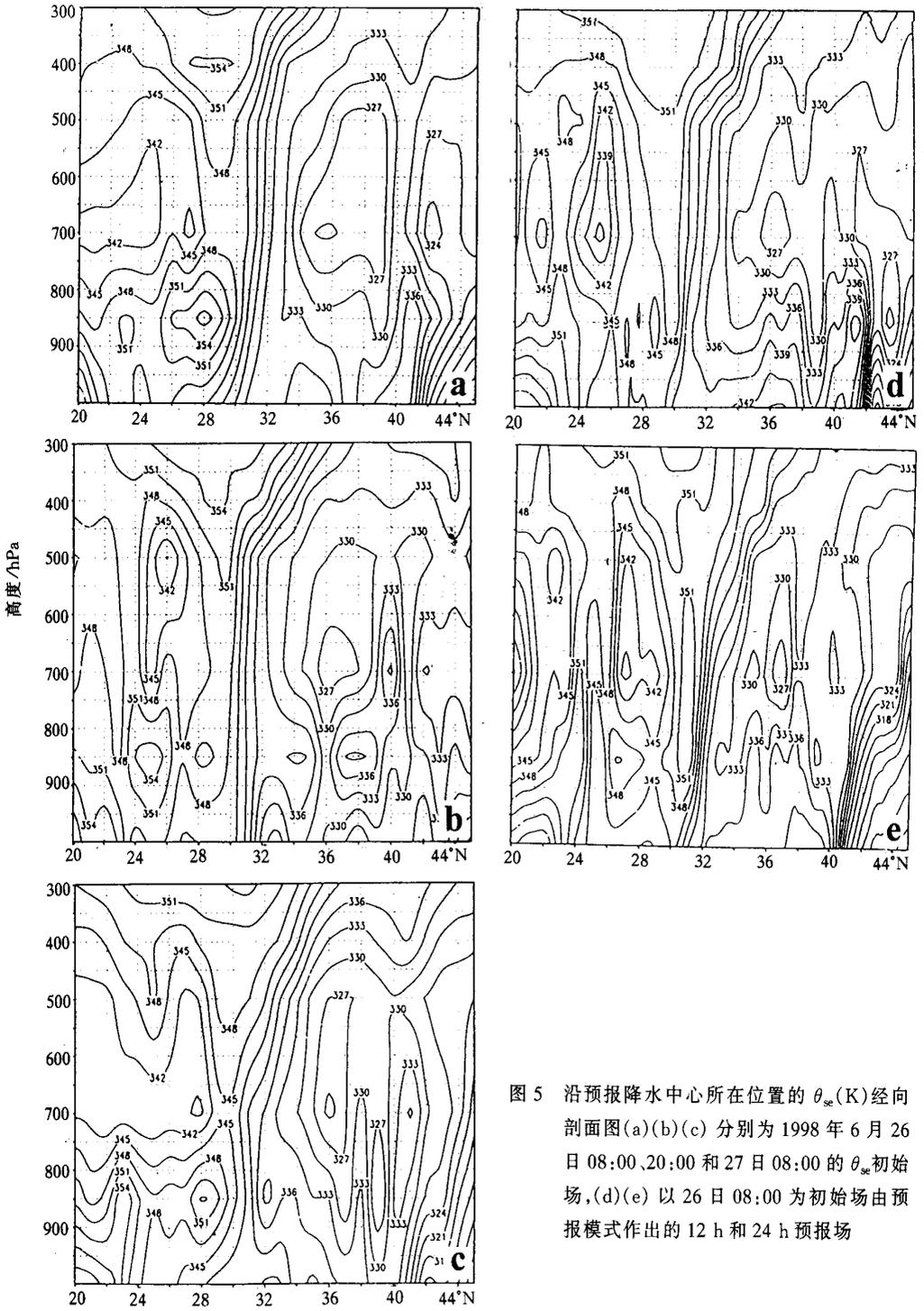


图5 沿预报降水中心所在位置的 θ_{se} (K) 经向剖面图(a)(b)(c) 分别为1998年6月26日08:00、20:00和27日08:00的 θ_{se} 初始场,(d)(e) 以26日08:00为初始场由预报模式作出的12 h和24 h预报场

有差异。

除上述天气尺度系统的活动外,我们还对 850 hPa 等压面上的风场通过空间滤波方法对系统进行尺度分离,得到了滤除水平尺度小于 300 km 以后的基本风场和中尺度风场(图略)。从中尺度风场的分布可以看出,在 850 hPa 等压面上,在切变线和低空急流轴之间靠近急流轴的正涡度区域有中尺度辐合线和中尺度涡旋活动,虽然对于这些中尺度系统的活动与强降水的关系、中尺度系统的特征等方面还有待于作进一步的探讨,但显然这些中尺度活动对于强降水的发生具有不可缺少的作用。

4 结 论

通过对模式计算结果的初步分析,可得出如下初步结论:

(1) 由 24 h 降水量预报结果可以看出,对于这次强降水过程从降水落区和主要降雨区中心降水强度来讲,模式都基本上作出了与实况较为接近的预报。

(2) 副热带高压和中高纬度高低压天气系统的配置为强降水产生和维持提供了十分有利的大尺度环流背景。

(3) 产生这次暴雨过程的主要天气系统为低层切变线和西南低空急流的共同作用。由于在长江中下游地区较长时间维持低层切变和较强的西南急流,使得大量的水汽在长江中下游一带聚集,为强降水的产生提供了源源不断的水汽来源。

(4) 中低层存在的条件性不稳定层结为积云对流的发展提供了有利的条件。

(5) 北方南下的干空气与西南暖湿气流在中低层形成了较强的切变,在切变线与急流轴之间的正涡度区产生了较强的水汽辐合和上升运动,使得中低层存在的不稳定能量得以释放和再积累。在这一个例中,起主要作用的是干湿空气的切变,而没有明显的冷空气活动。

(6) 低空急流轴北侧正涡度区内频繁的中尺度活动使得降水的强度增强。

对于这次强降水过程模式虽然作出了较为成功的降水落区预报,但仔细分析预报场的诊断结果可以发现,对强降水中心位置、与强降水中心密切相关的中尺度系统的分布和垂直结构特征等的预报仍与实况存在着明显的差距。这可能是由于模式中对物理过程的描述较为粗糙,与实际大气中物理过程存在差异所致。对此差距还有待进一步的改进,模式有待完善。

参 考 文 献

- 1 闫之辉,郭肖容,赵俊英,等.一个载水预报模式的业务预报应用试验.应用气象学报,1999,10(4):453~461.
- 2 国家气象中心,国家气候中心.1998 中国大洪水与天气预报.北京:气象出版社,1999.65~68.

**CAUSALITY ANALYSIS OF A HEAVY RAIN PROCESS OVER
MIDDLE AND LOWER REACHES OF CHANGJIANG
RIVER IN JUNE 1998**

Yan Zhihui Tian Hua

(*National Meteorological Center, Beijing 100081*)

Abstract

A numerical experiment on a heavy rain process occurred in the last dekad of June in 1998 is conducted by means of the limited area prediction model of the National Meteorological Center. The formation causes of the process are discussed through analyzing the winds, water vapor, vertical velocity and other elements. The results show that the main synoptic scale weather systems causing the heavy rain are the South west low-level jet and a shear line between dry air from north and warm and moist air from southwest in the middle and lower reaches of the Changjiang River. The mesoscale weather systems moving along the shear line play a very important role in precipitation reinforcement.

Key words: Heavy rain Numerical experiment Low-level jet Shear line