

文章编号:1006-7639(2005)-01-0045-04

一次东风波中尺度暴雨的 Q 矢量 与 MM5 预测能力对比

郑 峰¹, 寿绍文²

(1. 浙江省温州市气象局, 浙江 温州 325027; 2. 南京气象学院大气科学系, 江苏 南京 210044)

摘 要: 利用 NCEP $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析资料对 2001 年 8 月 3~4 日的浙南闽北的东风波暴雨过程进行了分析。根据 Q 矢量散度分析讨论了这次过程中的暴雨演变以及东风波诱发中尺度低涡发生发展的原因。同时, 利用中尺度有限区域模式 MM5V2 对该东风波诱发中尺度低涡进行模拟。结果表明: Q 矢量散度大值中心强度和位置的演变较好反映了暴雨落区和中尺度低涡的诱发, 其预示能力较 MM5V2 预报的准确率高, 将中尺度模式和 Q 矢量计算结合起来可以提高风暴路径和雨区的预报准确率。

关键词: 东风波; 中尺度低涡; Q 矢量散度; MM5 模拟; 暴雨

中图分类号: P435

文献标识码: A

引 言

众所周知, 垂直运动是大气过程发展的产物, 是导致云、降水等天气现象的重要动力条件^[1]。大气中发生的凝结和降水过程、热量和动量的垂直输送以及大气中位能与动能之间的相互转换等都与垂直运动有密切关系, 因而垂直运动常被作为天气系统生成和发展的一个重要指标, 是天气预报以及与暴雨有关的研究工作中十分重要的一个物理量, 掌握它的诊断方法, 对于天气预报, 特别是对暴雨预报有着重要的意义^[2]。长江中下游地区暴雨的发生是多种尺度系统综合作用的结果, 而其中的中尺度系统又往往是直接的触发和影响系统, 其骤发性强, 先兆特征不明显, 尤其是对局地突发性暴雨过程, 难于作出准确和及时的预报^[3]。在科学文献中, Q 矢量方法被誉为业务垂直运动估算的高级方法^[4], 因此运用 Q 矢量等物理量诊断中尺度是一个很有效的方法。

1 准地转 Q 矢量的定义

Hoskins 等由准静力、准地转、绝热、无摩擦、 f 平

面的 P 坐标系运动方程组出发推导出了下列新形式的准地转 ω 方程:

$$-A^2\omega = -2\nabla \cdot \vec{Q}$$

上式表明, 在 f 平面上准地转的垂直运动仅由 Q 矢量的散度决定。当 ω 场具有波状特征时, ω 与 Q 矢量散度正相关。所以可推断出, 当 Q 矢量散度小于零时, $\omega < 0$ 为上升运动, 反之为下沉运动。所以, 这种以 Q 矢量散度为唯一强迫项的新形式的准地转 ω 方程避免了传统方程的大量计算, 而且具有物理意义清楚、计算简便的特点^[5]。

2 数值模式简介

使用的中尺度数值模式为第 5 代美国 NCAR 宾州州立大学的中尺度数值模式 (MM5V2)。其水平网格距取 54 km, 水平区域的中心点设在 36°N , 105°E , 东西向格点数 129 个, 南北向格点数 121 个; 嵌套内域网格距取 18 km, 东西向格点数 85 个, 南北向格点数 85 个, 铅直方向为 21 个非均匀 σ 层, 地形分辨率 10', 积云对流参数化方案为 BETLS/MILLER 的积云对流参数化方案, 行星边界

收稿日期: 2004-12-04; 改回日期: 2005-02-17

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40405009, 402050008) 和国家重点基础科研发展规划项目 (2004CB418301) 共同资助

作者简介: 郑峰 (1973-), 男, 浙江温州人, 硕士, 主要从事短期天气预报和研究工作。

层方案取 MRF 方案,且考虑由云引起的长、短波辐射。时间步长为 2 min。积分 48 h 需 2 个多 h。

3 天气概况

2001 年 8 月 3 日我国沿海从 400~850 hPa 受高压脊控制,浙南闽北受脊底部深厚东风气流影响,20 时起东风波登陆浙江南部沿海,发生了大到暴雨或大暴雨,4 日 8 时东风波减弱的同时,在浙闽交界处诱生一个低涡,该低涡在高空东南偏南气流引导下向西北偏北方向移动,低涡经过的地方相继发生暴雨。据统计,8 月 3 日 20 时到 4 日 14 时,18 h 降水量有 4 个县(市)、9 个乡镇 >150 mm,其中 200 mm 以上有 5 个乡镇。瑞安市西部宁益乡达 298 mm,平阳县敖江镇 4 日 8 时 1 h 降水量达 98 mm。这次特大暴雨造成稻田受淹、房屋倒塌、山体滑坡,直接经济损失达 5 000 多万元。

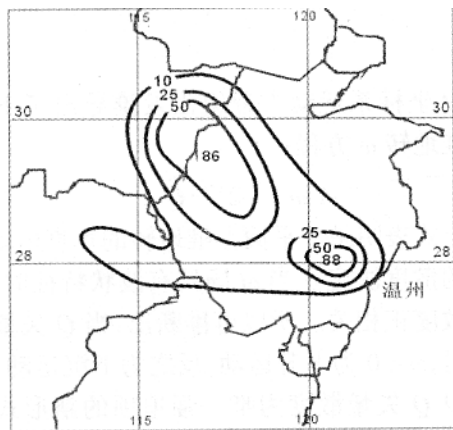
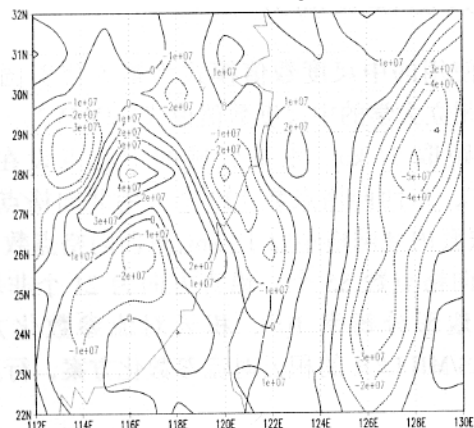


图 1 3 日 08 时~4 日 08 时 24 h 雨量分布(单位:mm)

Fig.1 Observed 24 h rainfall from 08 on August 3 to 08 on August 4



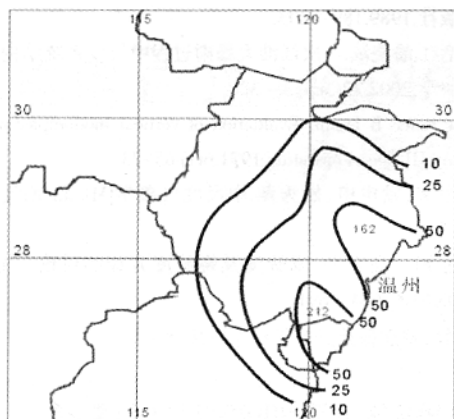
第二段降水 4 日 08 时~5 日 08 时), Q 矢量散

图 5 4 日 08 时~5 日 08 时 24 h 的实况降水(单位:mm)

Fig.5 Observed 24 h rainfall from 08 on August 4 to 08 on August 5

度与实际雨量中心对应较好 图 5、6)。

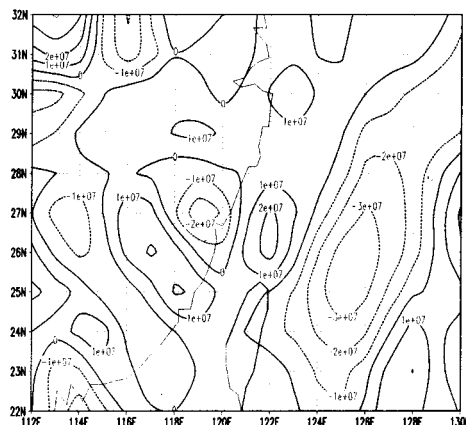
图 6 4 日 08 时 700 hPa Q 矢量散度(单位: $10^{-20} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

Fig.6 700 hPa Q vector divergence at 08 on August 4

4.2 Q 矢量对暴雨的预示能力

Q 矢量散度预示降水的机制如下:部分水平涡度输入对流体——垂直运动加强 (ω 加强)——气流被抬升(凝结潜热释放)——气柱垂直高度 (h) 和温度 (T) 发生变化—— Q 矢量散度变化。可见 Q 矢量散度对强对流垂直运动和降水的发生及落区有预示能力是由该物理量的本身物理机制所决定的。选取温州苍南上空对流层低层 700 hPa 每隔 6 h 的 Q 矢量散度值和苍南气象站 3 h 降水量进行对照。发现 Q 矢量散度走向图(图略)在 20 时出现峰值,强降水出现在次日 6 时左右,大约提前 8 h 预示大降水的出现。

4.3 Q 矢量散度和 MM5 模式对诱生中尺度低涡初生位置的对比

4 日 8 时,从高度场来看,东风波已经减弱消亡。而 MM5 在浙江的东南角,有一个较强的正涡度中心存在,中心位置位于 27°N 、 121°E 附近(图 7)。红外卫星云图(图略)表明原来的涡旋云系已经减弱,而另一个新的云团生成,说明东风波引发的高空低涡已经形成。正是由于高空低涡生成,造成温州市平阳县敖江镇 4 日 08 时 1 h 降水量达 97 mm。对比图 7 和云图,可以看出正涡度中心的位置与实况 (27.6°N 、 120.4°E) 偏差较大,可见 MM5 模式诱生低涡生成预报较好,但预报初生的位置偏向实况东南。 Q 矢量散度 图 6) 中心位置 27.0°N 、 119.0°E 处于实际位置的西南方,若集成 Q 矢量散度运算和 MM5 结果可以提高对该低涡的初生位置和移动的预测能力。

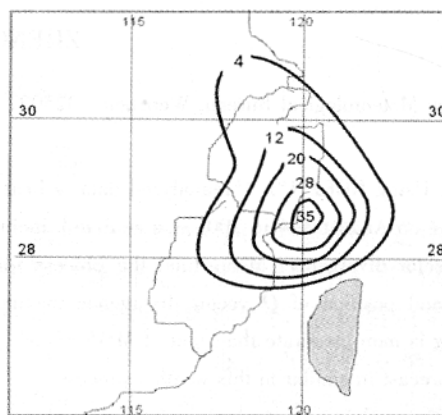
图 7 MM5 预报 4 日 08 时 850 hPa 涡度(单位: $10^{-6} \cdot \text{s}^{-1}$)

Fig.7 Simulated 850 hPa vorticity at 08 on August 4, 2001

低涡初生位置出现偏差的原因可能与初始资料的分辨率以及模式本身水平网格距大小引起的计算结果误差有关。MM5 模式经过嵌套网格距从 54 km 提高到 18 km,模式空间分辨率得到改善,但是低涡初生位置的模拟结果偏差仍较大,可见单纯提高模式空间分辨率效果并不理想,可能通过进一步恰当描述物理过程、资料优化等途径对提高模式的预报能力有帮助。另外,就中小尺度强降水而言,6 h 时间间隔的数值预报产品分辨率仍然过低,用 6 h 一次的物理量资料对成熟期的暴雨诊断能力就会减弱。将物理量计算和中尺度模式结合起来可以提高风暴路径的预报准确率^[6]。

5 结束语

(1) Q 矢量散度准确预测了降水落区及诱生低涡初生位置,其预示能力比 MM5 模式准确率高,具有应用价值。

(2) 中尺度模式结合 Q 矢量计算可以提高预报低涡和雨区的准确率。所以在日常的业务预报中可以将两者结合起来,这对短期天气预报的订正和短时或超短时预报水平的提高都将是一个新的尝试。

参考文献:

[1] 林本达. 大气中垂直环流的成因和诊断[A]. 北方天气文集(6)[C].

北京:北京大学出版社,1987.139—149.

[2] 郑良杰. 中尺度天气系统的诊断分析和数值模拟[M]. 北京:气象出版社,1989.189—203.

[3] 程艳红,潘晓滨. 一次江淮大暴雨过程中尺度系统结构分析[J]. 气象科学,2002,22(3):313—320.

[4] Lawrence B Dunn. Evaluation of vertical motion: past, present, and future[J]. Wea Forecasting, 1991, 6(1): 65-73

[5] 寿绍文, 励申申, 姚秀萍. 中尺度气象学[M]. 北京: 气象出版社, 2003.8.

[6] 陆慧娟, 高守亭. 螺旋度及螺旋度方程的讨论. 气象学报[J]. 2003, 61(6): 684—691.

A Comparison of the Forecasting Abilities of Q Vector Divergence and MM5 Model for a Heavy Rain Caused by Eastly Wave

ZHENG Feng¹, SHOU Shao-wen²

(1. Wenzhou Meteorological Bureau, Wenzhou 325027, Zhejiang, China; 2. Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing 210044, China)

Abstract: Using NCEP $1^\circ \times 1^\circ$ reanalyzed data, a heavy rain process occurred in south seacoast of Zhejiang province caused by the eastly wave on August 3~4 in 2001 was analyzed, including its evolution and the cause of cyclonic vortex emerged by the eastly wave with Q vector divergence. Meanwhile, the process was simulated by MM5V2 model. Results show that the developing of center intensity and position of Q vector divergence maximum reflected the heavy rain and the emerging of cyclonic vortex, and the forecasting is more accurate than that of MM5 model, so combining Q vector divergence and MM5 model can offer the more correct weather forecast in similar to this weather process.

Key Word: eastly wave; cyclonic vortex; Q vector divergence; MM5 model; heavy rain