

文章编号:1004-9045(2007)02-0125-05

鄂东南一次大暴雨过程成因分析与潜势预报

黄治勇¹, 王 珏¹, 王兴涛², 毛以伟¹

(1 武汉中心气象台, 武汉 430074; 2 湖北省宜昌三峡机场, 宜昌 443007)

摘 要: 采用天气图资料和 AREM 中尺度数值模式逐时预报产品, 用天气学方法对 2006 年 5 月 8 日发生在湖北省东南部的大暴雨过程进行天气背景、动力、热力特征及潜势预报分析。分析表明: 200 hPa 上贝加尔湖至四川盆地深厚的西风带低槽以及配合低槽东移的南支槽系统、脊线稳定在 19°N 附近的西太平洋副热带高压和 850 hPa 上新生的低涡是本次大暴雨过程的主要影响系统。200 hPa 上高空急流右后方强烈辐散, 其抽吸作用加剧了中低层的上升运动, 700 hPa 上西南急流的稳定维持为本次过程提供了丰富的水汽。大暴雨发生在⁻高能舌、对流稳定度指数负值中心以及 700 hPa、850 hPa 比湿之和的湿舌的左前方。对流有效位能 CAPE、风暴相对螺旋度 SRH 等对流参数对强降水的发生、发展有较好的潜势预报指示意义。

关键词: 大暴雨; 成因; 潜势预报; 对流参数

中图分类号: P458.1+21.1 **文献标识码:** A

1 引言

2006 年 5 月 8 日湖北省东南部发生了一次大暴雨天气过程, 大暴雨带位于监利、赤壁、咸宁、江夏、鄂州、大冶一线, 南北宽约 120 km, 东西长约 260 km。强降水集中出现在 8 日夜间。

陈艳等^[1]分析了对流有效位能(CAPE)、风暴相对螺旋度(SRH)等参数对大暴雨的指示作用。吴庆梅等^[2]分析了 MM5 模式输出的对流参数的效果。齐琳琳等^[3]分析了 2003 年 7 月 4-5 日南京市的一次强雷雨过程, 认为对流参数的分布、演变可以较好地揭示出强雷雨的发生、发展。以上表明, 选取合理、适当的对流参数对于短时段强雷雨天气的潜势预测、强度判别是有指示意义的。

利用 AREM 中尺度模式逐时预报产品, 对本次大暴雨过程发生的不稳定条件、水汽条件及垂直运动的维持等进行了初步研究, 并通过计算有关对流参数, 探讨本次过程的潜势预报。

2 大气环流背景分析

8 日 08 时, 200-500 hPa 各层中高纬均为典型的两脊一槽, 贝加尔湖至四川盆地为宽广槽区, 四川到贵州(30°N 以南)为南支槽区, 可见本次过程的主要影响系统西风带低槽系统较深厚并有南支槽配合; 200 hPa 上, 成都至阜阳有东北西南向高空急流存在, 江

汉平原至鄂东南位于其右后方(辐散区), 其抽吸作用有利于低层上升运动发展(图 1a); 8 日 08 时至 9 日 08 时, 西太平洋副热带高压脊线维持在 19°N 附近, 500 hPa 武汉至长沙、南昌的 24 h 位势高度差-4 gpm, 700 hPa 上为-3 gpm, 位势梯度较大, 有利于该处西南急流的发展; 随着南支槽配合西风带低槽东移, 24 小时宜昌变高-1 gpm, 武汉为 0, 而长沙、南昌变高分别为-3 gpm、-2 gpm, 可见 9 日 08 时后, 武汉至长沙、南昌的位势高度梯度显著减小, 强降水也告结束。8 日 08 时, 700 hPa 上湖南北部(29°N)附近有西南低空急流存在, 其北侧为辐合区, 有利于上升运动加强发展, 晚 20 时后, 荆州至武汉一线有切变线生成并缓慢南压(图 2)。850 hPa 上, 为明显的气旋性环流影响湖北省, 20 时至次日 08 时, 有低涡自鄂西南沿 700 hPa 切变线东移, 21 时低涡在鹤峰南方(110.5°E, 29°N)形成(图略), 24 时, 低涡东移至江汉平原南部监利附近(图 3a), 9 日 03 时, 低涡东移至赤壁、咸宁附近(图 3b), 06 时, 低涡移至鄂州附近(图 3c), 08 时, 低涡东移进入安徽省(图 1b 为实况, 图 3d 为预报场), 预报与实况比较一致, 该低涡对湖北省的影响结束。已有研究表明, 低涡沿切变线移动, 会造成较强的辐合, 为暴雨产生提供动力条件, 同时由于低涡移动速度慢, 也有利于强降水的持续; 8 日 08 时地面上, 湖北省南部受暖低压倒槽控制, 有利于近地层增湿增温。

收稿日期: 2006-08-28; 定稿日期: 2007-01-04

基金课题: 中国气象局重点推广项目“长江中游气象水文预报服务系统”、湖北省气象局青年基金课题“雷暴大风强降水对流参数经验指标研究”

作者简介: 黄治勇, 男, 1969 年生, 高级工程师, 主要从事短期天气预报和管理工。Email: hzyqj@126.com

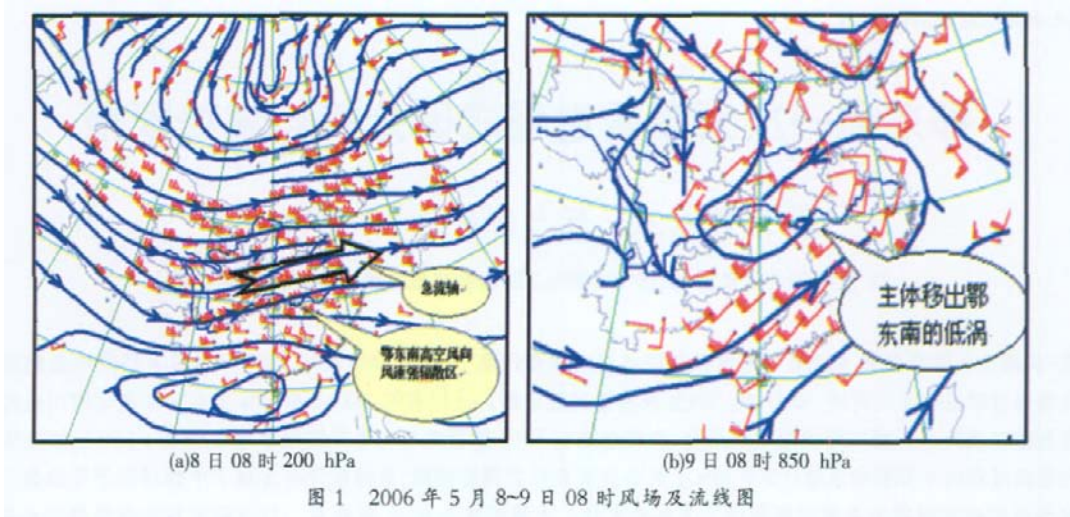


图 1 2006 年 5 月 8-9 日 08 时风场及流线图

3 暴雨发生条件分析

暴雨发生通常与不稳定机制、水汽输送和强的上升运动维持时间有关。

3.1 不稳定机制

对流性稳定度指数 $I_{conve} = (\theta_{s500} - \theta_{s850})$, 指厚度相当大的某一层空气被抬升且达到饱和时的稳定度情况,

当 θ_{s500} 随高度减少时, 为对流性不稳定, 反之则为对流性稳定, 其触发机制要有大范围的抬升运动且使不稳定气块达到饱和, 其造成的天气往往比较强烈, 范围也较大。文中对流稳定度指数取 $\theta_{s850} - \theta_{s500}$, 与 I_{conve} 正负符号相反。图 2 为 2006 年 5 月 8-9 日对流稳定度指数与 700 hPa 风场的叠加图。

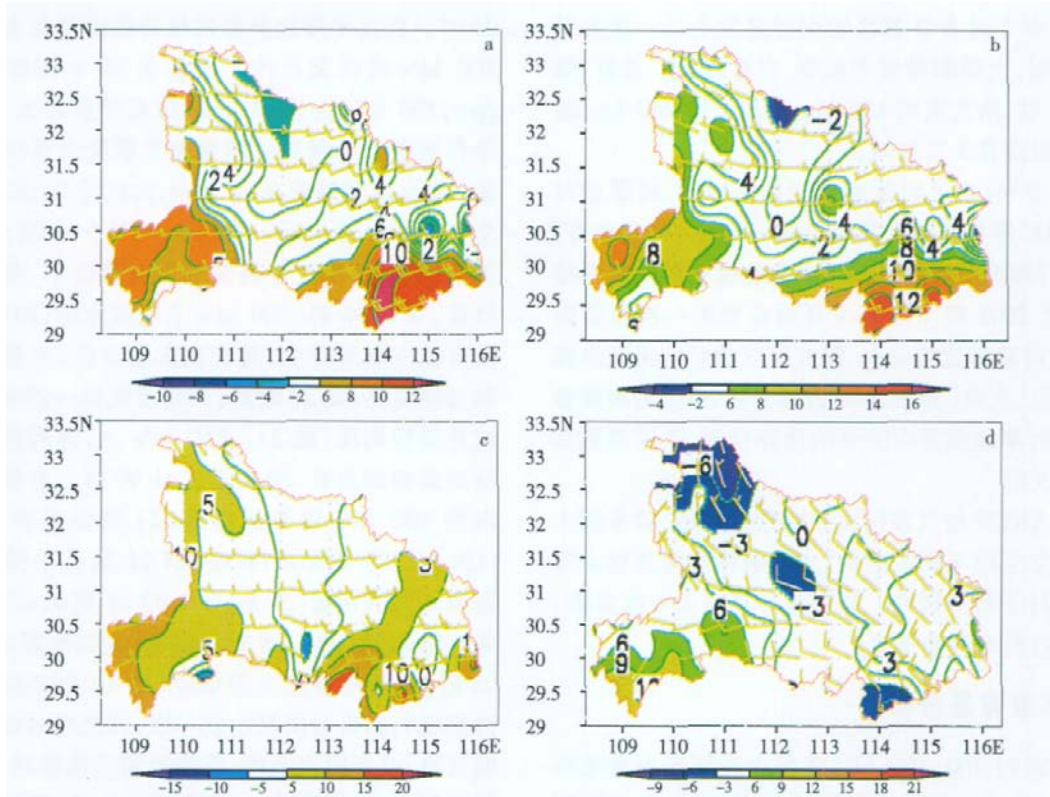


图 2 2006 年 5 月 8-9 日对流稳定度指数与 700 hPa 风场叠加图
(a: 8 日 15:00; b: 8 日 18:00; c: 8 日 21:00; d: 9 日 08:00)

由图 2 可见, 对流稳定度指数高值中心呈东西向带状分布, 其高值中心位于湖南省, 随着南支槽和低涡东移, 其高值中心向东发展, 湖北省南部位于高值中心北侧的等值线密集区内(梯度大)。8 日 15 时(图 2a), 湖南西北部、鄂东南南部、鄂西南对流不稳定开

始发展(鄂南高值中心达 9~12 K); 18 时, 前述地区对流不稳定进一步加强 (鄂南高值中心达 12~15 K, 图 2b), 并向北向东发展, 江汉平原、鄂西南降水有所加强; 21 时, 鄂南对流不稳定发展到顶峰(鄂南高值中心达 15K, 图 2c), 鄂东南、江汉平原降水开始显著加

强; 9 日 6 时后, 高值中心显著南压出省, 强降水区也随之南压, 至 08 时, 江汉平原、鄂东南出现负值中心, 对流不稳定消失 (图 2d), 湖北省的强降水也随之结束。可见随着低涡沿切变线东移, 对流不稳定也随之东移加强, 降水随之加强; 低涡东移出省, 对流性不稳

定相应减弱消失, 强降水也随之显著减弱。分析对流稳定度指数与 700 hPa 切变线叠加图以及前者与 850 hPa 低涡的叠加图 (图 3) 可见, 切变线南侧的西南气流区、低涡的东南方, 稳定度指数都较高 (不稳定性较强)。

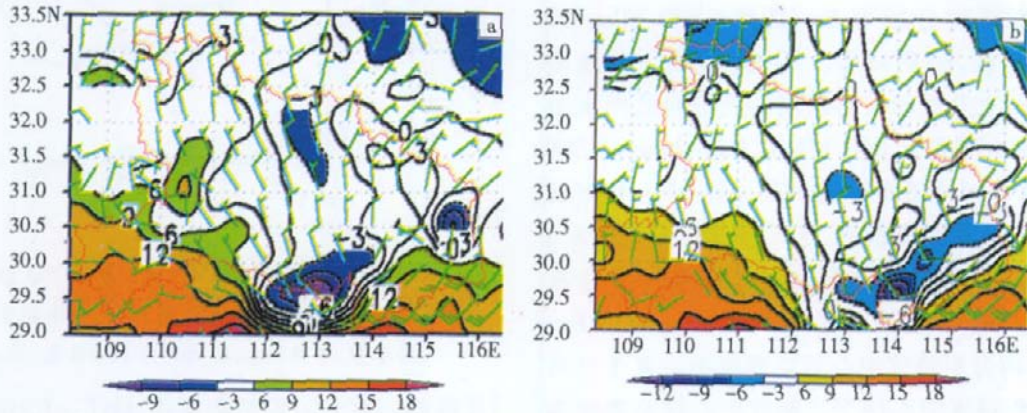


图 3 2006 年 5 月 9 日对流稳定度指数与 850 hPa 低涡叠加图(a:9 日 03:00;b:9 日 05:00)

定高值中心, 对应着高能中心。这里取 $\bar{\theta}_{se} = (\theta_{se600} + \theta_{se700} + \theta_{se850})/4$, 图 4 为 2006 年 5 月 8-9 日 $\bar{\theta}_{se}$ 与 850 hPa 风场叠加图, 由图中 $\bar{\theta}_{se}$ 的分布可见, 8 日 22 时, 能量锋呈东西向分布, 位于江汉平原南部至鄂东南一线, 监利、咸宁附近为两个高能舌区, 强降水位于高能舌区 (大于 342 K) 的靠近能量锋区一侧; 9 日 03

时, 能量锋区位于咸宁至大冶一线, 9 日 06 时, 锋区东移南压至通山武穴一线, 9 日 08 时, 锋区移出鄂东南, 可见, 能量锋区向东发展并缓慢南压与强降水中心的移动对应较好。同时可见, 高能舌位于低涡的东南部, 而 850 hPa 低涡的移动, 与高能舌区的移动方向也较为一致。

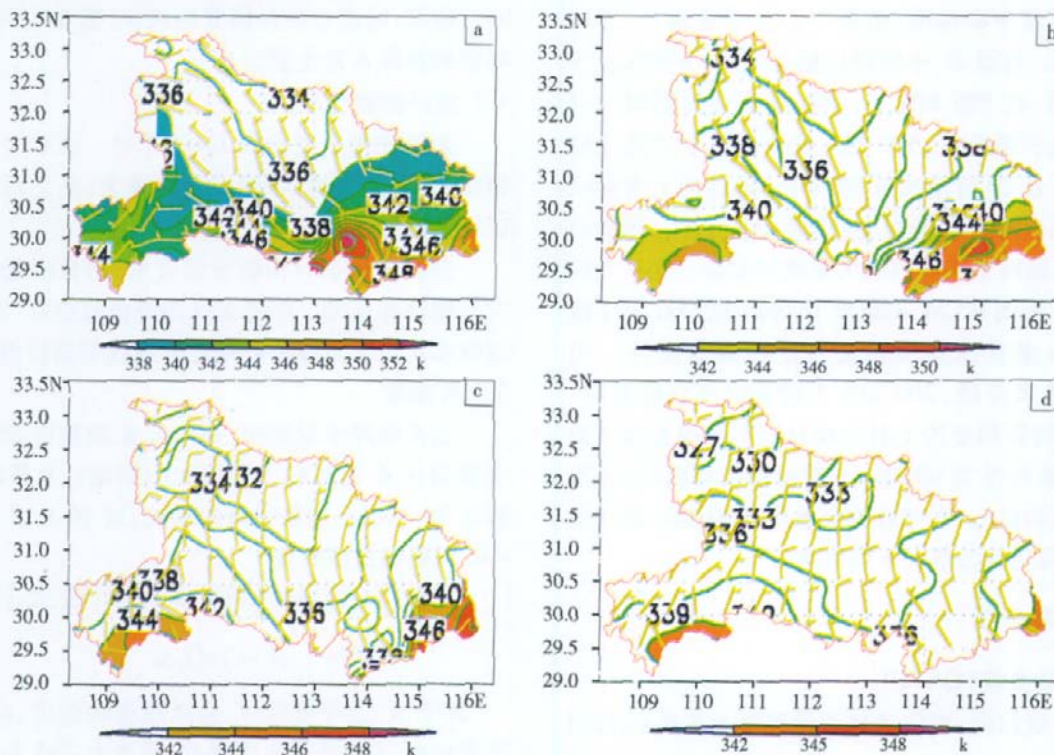


图 4 2006 年 5 月 8-9 日 $\bar{\theta}_{se}$ 与 850 hPa 风场叠加图 (a:8 日 22:00; b:9 日 03:00; c:9 日 06:00; d:9 日 08:00)

3.2 水汽条件

由 850 hPa、700 hPa 两层比湿之和时间分布图可见 (图略), 自 8 日 08 时到 9 日 4 时, 除鄂西北外,

全省大部地区为高湿区, 比湿在 $20 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上, 而荆州至江夏以南地区则维持在 $22 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上, 为湿舌区; 03-04 时, 监利、赤壁、咸宁、江夏、鄂州、大冶湿舌

区域比湿达极大值 25~26 g·kg⁻¹; 此后, 湿舌区显著东移南压, 鄂东南强降水随之结束。可见, 充足、稳定的水汽输送是鄂东南大暴雨发生的显著特征, 大暴雨落区位于湿舌的中心左前方。

3.3 强的上升运动维持

垂直速度逐时分析可见 (图略), 500 hPa、700 hPa、850 hPa 三层, 20 时以后, 湖北省南部上升运动明显发展, 强的上升运动区自湖南西北部向北向东加强移动, 最强时大暴雨区 850 hPa 达 0.05 hPa·s⁻¹、700 hPa 达 0.10 hPa·s⁻¹、500 hPa 达 0.18 hPa·s⁻¹, 可以发现在中层, 上升运动相当剧烈, 这可能与前述 200 hPa 急流轴第三象限的强辐散抽吸作用有关; 进一步分析涡度场发现 (图略), 大暴雨区内, 500 hPa、700 hPa、850 hPa 三层均为正涡度中心与负涡度中心水平方向上对称出现, 负涡度中心位于正涡度中心的北侧或西侧 (负涡度中心在系统移动的来向), 负值中心量值上小于正值中心, 大暴雨区内正值中心极大值 500 hPa、700 hPa、850 hPa 分别为 5×10⁻⁴ s⁻¹、5×10⁻⁴ s⁻¹、6×10⁻⁴ s⁻¹, 可见在大暴雨区上空有较强的正涡度自西向东传播, 有利于上升运动的发展和低层气旋性辐合加强。散度场上 (图略), 鄂南 500 hPa 上正负中心对称出现, 并成东西向间隔排列; 而 700 hPa、850 hPa 上, 负值中心则被正值中心包围, 负值中心几乎连成片, 并成东西向分布。这显示, 中低层以辐合为主, 下沉区位于辐合区外围, 在 500 hPa 上, 中低层辐合区则对应着一个辐散区和辐合区, 500 hPa 辐合区位于中低层辐合区前部。自 20 时至次日 08 时止, 辐合和上升运动区自西向东向南移动缓慢, 持续时间达 11 h, 非常有利于鄂东南强降水的持续和大暴雨的发生。图 5 为鄂东南咸宁大暴雨站 (24 h 降水 128mm) 的 200 hPa 散度、700 hPa 垂直速度和涡度的逐时演变曲线。可见, 在强降水时段, 200 hPa 为较强的高空辐散区, 700 hPa 维持较明显的上升运动且有明显的正涡度加入, 过程结束时 (9 日 08 时), 上升运动明显减弱 (垂直速度正值或弱负)、而 200 hPa 散度、700 hPa 涡度则转为负值, 高空转为辐合下沉气流。

4 潜势预报分析

4.1 对流有效位能 (CAPE)

对流有效位能, 对应于热力学图解上正面积, 常用表达式如下^[4]。

$$CAPE = g \int_{Z_{LC}}^{Z_{EL}} \left(\frac{T_{vp} - T_{ve}}{T_{ve}} \right) dz \quad (1)$$

其中 Z_{LC} 为自由对流高度, 是 (T_{vp} - T_{ve}) 由负值转为

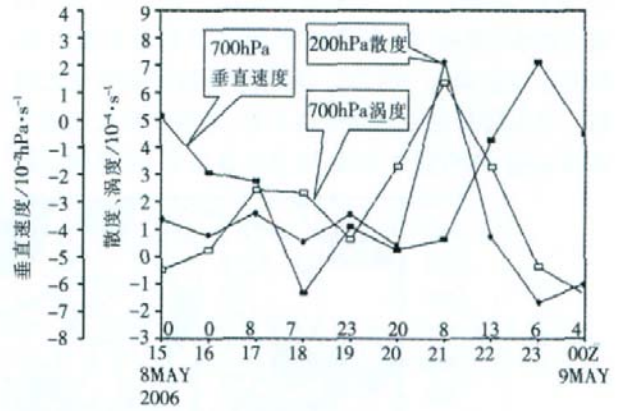


图 5 咸宁 200 hPa 散度、700 hPa 涡度、700 hPa 垂直速度逐时演变曲线图 (横坐标为时间, 世界时, 横坐标上方数字为小时降水量, 单位 mm; 纵坐标为垂直速度、散度、涡度)

正值的高度; Z_{EL} 为平衡高度, 是 (T_{vp} - T_{ve}) 由正值转为负值的高度; T_v 为虚温。CAPE 为气块在自由对流高度和平衡高度之间受环境正浮力累积做的功。

11 时至 18 时, CAPE 高值中心由湖南省北部向湖北省南部发展, 且不断增大, 秭归一带暴雨中心 CAPE 值达 900 J·kg⁻¹ 以上, 鄂东南大暴雨中心则达 1500 J·kg⁻¹ 以上, 中心位置较大暴雨区偏南、偏西 (系统移动来向)。晚上 18 时, 鄂东南 CAPE 值达峰值 3000 J·kg⁻¹, 随后, 对流有效位能开始减少 (图 6a)。可见 CAPE 峰值较强降水发生要早 6 h。

4.2 抬升指数 (LI)

条件性稳定度指数 LI < 0 时, 表示大气层结不稳定, 且负值越大, 不稳定程度越大; 反之则表示大气层结是稳定的。

分析逐时抬升指数变化可见, 抬升指数低值中心位于湖南省北部, 强降水区抬升指数多在 -2 以下, 强降水区位于负值中心附近等值线密集区内。

4.3 K 指数

这次强降水过程中, 暴雨区 K 指数在 36 以上、大暴雨区 K 指数在 39 以上 (图略), 大暴雨区 K 指数在 36 以上的维持时间较长, 在 10 h 以上。

4.4 风暴相对螺旋度

风暴相对螺旋度 (SRH) 采用如下公式计算^[4]。

$$SRH = \int_0^Z (V - C) \cdot \omega_y dz \quad (2)$$

其中, V 为环境风, C 为风暴移动速度, ω_y 为水平涡度矢量, Z 为风暴入流厚度, 通常取 Z = 3 km。

本次过程中, 风暴相对螺旋度能较好地反映强降水的发生情况, 暴雨区内, 其值在 100 m²·s⁻² 以上, 大暴雨区内, 其值达 250 m²·s⁻² 以上 (图 6b)。

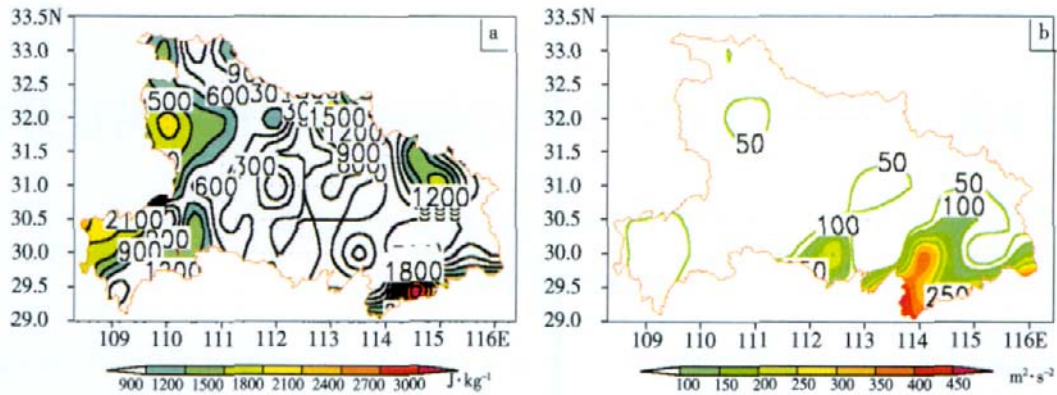


图 6 2006 年 5 月 8~9 日潜势预报指数图

(a 为 8 日 18:00 CAPE 分布图; b 为 8 日 23:00 SRH 分布图)

5 小结

利用武汉暴雨所 AREM 中尺度模式逐时预报产品对 2006 年 5 月 8 日发生在湖北省东南部的一场大暴雨过程的天气背景、发生条件以及对流参数潜势预报技术进行了初步分析, 得出如下结论:

(1) 本次大暴雨过程发生、发展的条件是: 200~500 hPa 上为典型的两脊一槽型, 西风带低槽系统深厚且配合有南支槽东移, 副高脊线稳定维持在 19°N 附近 12 h 以上; 高空急流轴位于成都至阜阳一线, 其右后方(江汉平原、鄂东南)强烈辐散, 抽吸作用造成中低层上升运动加剧; 850 hPa 上发生发展的低涡系统, 造成强烈辐合上升运动, 是本次大暴雨过程的主要影响系统。

(2) 大暴雨发生在高能舌(342 K 以上)、对流稳定度指数负值中心(-9 K 以下)以及 700 hPa、850 hPa 比湿之和的湿舌(22 g·kg⁻¹ 以上)的左前方, 850

hPa 低涡的东南方、700 hPa 切变线的南侧。

(3) 对流参数对暴雨和大暴雨落区预报有一定指示意义, 在潜势预报中, 可以加强应用和总结: 本次过程中, 暴雨区内, K 指数在 36 以上, 对流有效位能(CAPE)在 900 J·kg⁻¹ 以上, 抬升指数在 -2 以下, 风暴相对螺旋度在 100 m²·s⁻² 以上。大暴雨区内, K 指数常在 39 以上, 不稳定能量在 1500 J·kg⁻¹ 以上, 抬升指数在 -2 以下, 风暴相对螺旋度在 250 m²·s⁻² 以上。

参考文献:

- [1] 陈艳, 寿绍文, 宿海良. CAPE 等环境参数在华北罕见秋季大暴雨中的应用[J]. 气象, 2005, 31(10): 56-61.
- [2] 吴庆梅, 付宗钰, 郭虎. MM5 模式输出对流参数的效果检验[J]. 气象, 2006, 32(4): 25-28.
- [3] 齐琳琳, 刘玉玲, 赵思雄. 一次强雷雨过程中对流参数对潜势预测影响的分析[J]. 大气科学, 2005, 29(4): 536-548.
- [4] 刘健文, 郭虎, 李耀东, 等. 天气分析预报物理量计算基础[M]. 北京: 气象出版社, 2005.

Analysis of a Heavy Rain Event in Southeast Hubei Province and Application in Potential Prediction

HUANG Zhi-yong¹, WANG Jue¹, WANG Xing-tao², MAO Yi-wei¹

(1. Wuhan Central Meteorological Office, Wuhan 430074; 2. Yichang Three Gorges Airport, Yichang 443007)

Abstract: By using meteorological method with synoptic chart and hour-by-hour mesoscale model (AREM) data, Weather background, dynamical and thermodynamic character and application in potential prediction of a heavy rain event in southeast Hubei province on May 8th, 2006 was analyzed. The results show that: the mostly affect system of this process were profound west wind low trough form Baikal to Szechwan Pan at 200-500 hPa, southern branch trough, western pacific subtropical high with ridge on 19°N and neonatal low eddy at 850 hPa. Divergence happened in the right-backside of high level jet at 200 hPa, and the pump function pricked up middle and lower level rising motion, the persistence of southwest rush at 700h offered rich vapor for this process. The big rainstorm happened where was high, negative center of convection stability index and at the left-frontage of center of sum of humidity in 700 hPa and 850 hPa, Convective available potential energy and storm relative helix preferably indicate the occurrence and development of the strong precipitation.

Key words: Extra-heavy rain; Cause; Application in potential prediction; Convective parameters