

梅雨锋上与强暴雨有关的中低压 及其三维环境流场的诊断研究*

施 曙 赵思雄

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100080)

提 要

本文对1986年6月22日出现于长江中游的一次中低压过程进行了诊断分析。这个中低压水平尺度约500km, 生命史为一天, 但是形成了日降水量263mm的特大暴雨。分析揭示, 梅雨锋是一条近于东西走向的正涡度带状分布区。而这一带状区中存在强烈的中尺度水汽通量辐合中心和深厚的上升运动区, 有利于中尺度低压的形成。 M 和 θ 的剖面表明, 条件对称不稳定(CSI)可能是这次梅雨锋暴雨的一种触发机制。此外, 由拉格朗日方法对气块三维轨迹的计算表明, 来自高低空和不同方向的两支大尺度气流的结合使高空辐散加强, 可能对中低压的发展有帮助。

关键词: 梅雨锋; 中尺度; 暴雨。

一、引 言

对梅雨过程的特征, 陶诗言等中外学者早已进行过广泛的研究^[1-5]。最近, 二宫光三又对梅雨期间的大尺度环流特征作了进一步的讨论^[6]。秋山孝子对梅雨锋上的中间尺度云团及其运动学和热力学的特征作了较深入的分析^[7]。已经发现, 在夏季长江中上游形成的中低压, 其尺度大约500—1000km, 生命史在一天或一天以上, 在它们形成之后一般向东或东北方向传播。这些扰动通常在长江中下游引起暴雨, 然后减弱消失。但在有利条件下, 扰动可迅速发展, 并转变成天气尺度的气旋。为了弄清这些低压发展的原因, 赵思雄等已采用理想初始场对中低压的形成过程进行了模拟^[8], 而周晓平等用实际的观测资料对梅雨锋上中尺度低压发生发展过程作了数值实验^[9]。他们的结果表明, 风场尤其是低层风场在中尺度低压发生发展过程中有重要作用, 从而成功地复制出了中低压。但是由于当时计算条件所限, 未能对这些低压发生发展的物理过程作进一步的模拟。然而, 这恰恰是一个非常重要的问题。

已经清楚地了解, 梅雨锋的雨区虽呈带状, 然而其空间分布是很不均匀的, 这和中尺度低压在何时何处发生发展有很明显的关系。但是, 中尺度低压发生发展的规律至今仍有待解决的题目。为了深入理解有必要先弄清楚以下的问题: (1) 这类中尺度低压的维持与能量转换机制如何? (2) 这类扰动是在何种动力不稳定的环境条件下发展起

1992年4月8日收到, 12月18日收到修改稿。

* 国家自然科学基金资助项目, 编号: 49275240。

来的？（3）为了对上述两种物理过程有更深入的理解，应该进一步揭示发展的中低压的结构并弄清其三维环境流场具有何种特征？为讨论第一个问题，赵思雄已对梅雨锋上两类低压发展的能量转换过程进行了诊断^[10]。对第二个问题，小仓义光等已用北美的资料作过一些研究，发现在中尺度扰动活跃的区域中，经常满足对称不稳定条件^[11]。本文将主要针对上述第（3）点进行讨论。应当强调指出，地处梅雨锋东段的日本列岛一带，由于广大海洋地区资料的缺乏，很难对中低压的周围环境作这类研究。为了便于同已有的动力学诊断结果进行比较，本文采用了经过能量分析并经过 CSI 理论计算的同一个例，即 1986 年 6 月 21 日 00 时至 6 月 23 日 12 时（协调世界时 UTC，下同）的实际观测资料，对中国大陆梅雨锋上中尺度低压及其环境进行诊断，并对气块的三维轨迹按拉格朗日方法进行倒算与追踪。这样的系列式研究对深化我们的认识无疑是大有帮助的。

二、计算方案和天气形势

为了分析中尺度低压环境场较细致的特点，我们未采用现成的格点资料，而是采用了测站的探空资料。本研究中我们一共选用了 120 个探空站，在计算区域中有 73 个探空站，客观分析方案既可采用区域内站点的资料，也可使用区域外的站点上的资料。计算的范围是 $22^{\circ}\text{--}44^{\circ}\text{N}$ 和 $100^{\circ}\text{--}126.6^{\circ}\text{E}$ ，网格点为 720 个，即东西方向为 30 个，南北方向为 24 个。我们称整个区域为大区。为了进行较为细致的分析，我们在中尺度低压生成并达最强发展的时刻选取以它为中心的小区作了计算。在计算中，我们首先输入地面，1000，850，700，500，400，300，250，200，150，100hPa 等 11 层等压面的资料，然后，在 1000 至 100hPa 的 19 个层次上分别对风速的两个分量 U ， V 和 T 进行客观分析。为了考虑山脉抬升的影响，在计算垂直运动时，采用了地形分析的数据。计算在极射赤道面投影的底图上进行，其水平格距是 94.75km (22°N)。这一次梅雨锋过程很清楚。6 月中下旬，长江中下游一直维持一条锋面，此锋面处于地面倒槽之中，我们注意到 6 月 20 日 00 时在 700hPa 四川盆地东部有气旋性环流区，在 500hPa 上空西安至巴塘一线为一槽区。6 月 21 日 00 时 700hPa 上已有低压在鄂西形成（图 1），500hPa 上槽线位于郑州至昆明一线，并有小股冷空气侵入低涡西北部。22 日 00 时，700hPa 上的低中心已位于汉口东边，处在低空西南急流的左前方，这时长沙的风速达 24m/s 。500hPa 上的槽已移到郑州至贵阳一线。在这种对流层中上层的有利背景下，诱发了梅雨锋上尺度较小的中低压的形成。我们已经注意

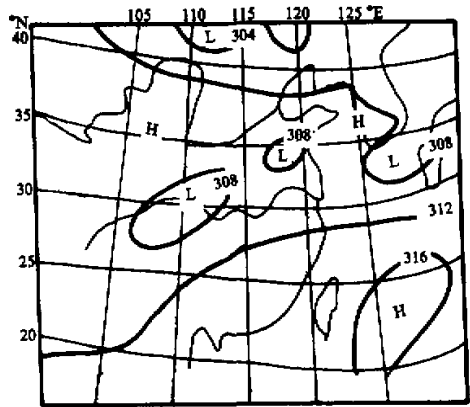


图 1 1986 年 6 月 21 日 00 时，
700hPa 高度场

到, 在 6 月 20 日 00 时至 21 日 00 时降水最大在沅陵附近为 100mm, 而从 6 月 21 日 00 时至 22 日 00 时, 降水最大值见于湖北黄石附近为 263mm。

三、梅雨锋是一条近于东西走向的带状分布的正涡度区域

已经知道, 梅雨锋与中纬度地区的典型的冷锋不同, 其锋面两侧的温度对比不明显, 而湿度梯度的数值更大。同时还知道, 梅雨锋两侧的气流汇合明显, 形成了一条沿东西方向走向的切变线。因此, 很难沿用过去锋面的概念来描写梅雨锋。

从 1986 年 6 月 21 日 12 时 700hPa 的风矢量场可以看出 (图 2), 在我国东部长江流域以南地区, 大体为西南气流, 在长江以北地区, 则为偏东北气流, 南北两支气流在长江流域形成了很明显的切变区。至 22 日 00 时, 西南气流与偏北气流均进一步加强, 辐合也大为加强 (图略)。从 6 月 22 日 00 时的 700hPa 涡度分布图可以看到 (图 3), 沿长江流域有一条东北西南走向的正涡度带状分布区, 在这个带状区域中其最大中心值的分布是不均匀的, 其中一个位于长江中游的大值区, 正涡度值达 $14.0 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, 恰好与暴雨中心的极值区相对应。这说明在这一地区有可能存在着明显的中尺度系统。当然, 除了风场分布有利于降水外, 水汽场的有利配合是至关重要的。由于水汽通量辐合能更好地描写水汽集中的能力, 而不仅仅是水汽的通过能力, 因而有可能更好地预示暴雨的发生。1986 年 6 月 22 日 00 时 700hPa 上的水汽通量辐合场的分布 (图未给出), 可以看到在我国南方有三个水汽辐合中心, 东面的在浙江沿岸, 西面的在湖南一带。第三个中心尤其值得注意, 它位于武汉以东地区, 与涡度分布图上的正涡度中心的位置是很相近的。这又一次启示人们, 在长江中游中尺度系统的存在。我们还注意到, 这种中尺度系统的结构在垂直运动场上也是有反映的。我们还分析了 1986 年 6 月 21 日 12 时沿 115°E 经线方向的剖面图上的垂直运动的分布, 同时还作了沿 110°E 和 120°E 的垂直运动剖面图 (图未给出)。在 21 日 12 时的图上可以看到, 与我国东部 (120°E) 和

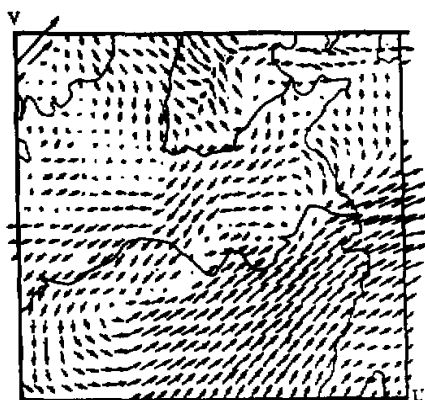


图 2 1986 年 6 月 21 日 12 时,
700hPa 风矢量图

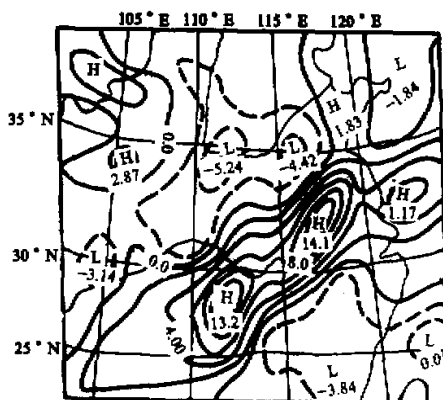


图 3 1986 年 6 月 22 日 00 时,
700hPa 涡度分布
单位: 10^{-5} s^{-1}

西部(110°E)的情况不同,长江中游(115°E)在梅雨锋区附近,存在着较为深厚的垂直运动区。这种中尺度的垂直运动的水平范围是较窄的,尺度并不太大,但与上述中尺度系统引起的雨区是相对应的。

四、梅雨锋上引发暴雨的中低压结构分析

日本梅雨锋试验期间,由于资料所限,对梅雨锋中低压结构的研究并不多。中国大陆地区梅雨锋中低压结构的研究亦有待开展和深入,尤其对长江中游地区引发强暴雨的中低压更是如此。本个例提供了进行这种研究的机会。为了对此次长江中游引起特大暴雨的中尺度低压的垂直结构进行分析,我们沿 30°N(即大体相当于梅雨锋所在的位置)取不同中心点的小区域作平均,以了解中尺度低压区域与非中尺度低压区域中对流层上下层结构之异同。共取了四个不同的区域 A、B、C、D,它们的中心点分别为 105°E, 28.5°N; 100°E, 30°N; 115°E, 30°N 和 120°E, 30°N, 每个小区域取以上述各点为中心共 25 个格点的区域,即大体相当于水平方向 400—500km 的范围。应当强调指出其中 C 这个小区正好是中尺度低压之所在,而 A、B 位于其上游, D 位于其下游。

对于涡度、散度和垂直速度按小区域进行了平均,并且已分别给在图 4a, b, c, d 中。图上的特点非常清楚。在 A 区中,可见整层的涡度、散度的数值均较小,只是在 600—700hPa 的层次中为正涡度,但这里却对应的是辐散区。与此相对应的是在这一区域,整层垂直运动均为正值,即是存在着深厚的下沉运动,显然是不利于中尺度低压的发生与发展。在 B 区中,对流层中低层 900—400hPa 为正涡度, 700—500hPa 是辐合区。而 400hPa 以上出现了负涡度,并伴有辐散出现,这种形势下虽然较 A 区有利于低压系统的发展,但是其强度太弱。从垂直运动看,可证实这点,低层 700hPa 以下是下沉运动,而在 700hPa 以上为弱的上升运动。最引人注意的是 C 区,在这一区域中, 650hPa 附近,相应地为较明显的辐合区,峰值在 850hPa 附近。可以看到正涡度与辐合区的层次所在的高度大大降低,在高层,是很明显的负涡度和辐散区域。这种上层辐散与下层辐合的相互配合,十分有利于中低压的维持与发展。还可以看到,垂直运动场上有两个峰值,从整层而言,是深厚的上升运动区域,这或许能够帮助我们更好地理解为什么在这次过程中,中尺度低压能够出现并得以维持在 C 区附近。再将 C 区的计算结果与 D 区的计算结果作一比较则问题会更加清楚。D 区结果表明,在梅雨锋的东端,即 120°E 处,除了高层,即 300hPa 以上的层次外,整层的涡度、散度计算所得的数值均较小,说明这一区域未见什么系统发展,垂直运动的计算结果表明,整层均很弱,只在上层有很弱的上升运动存在。由上述对中尺度低压结构的分析可以看到,中尺度低压并非在梅雨锋上的任何地方都可以发展的,它只能在梅雨锋上存在有利环境条件的区域中,得以产生并加强。将 C 区的结果与松本诚一等^[12]对日本梅雨试验期间发生于九州地区的一次梅雨锋暴雨区的涡度、散度和垂直运动的平均廓线作了比较。日本个例中,上升运动仅限于对流层中低层(450hPa 以下),无辐散层见于 800hPa,辐合最大值见于 900hPa,比长江流域的个例偏低。这也许是本例的低压系统更强,暴雨最大日降水量为该日本个例的三倍以上之故。

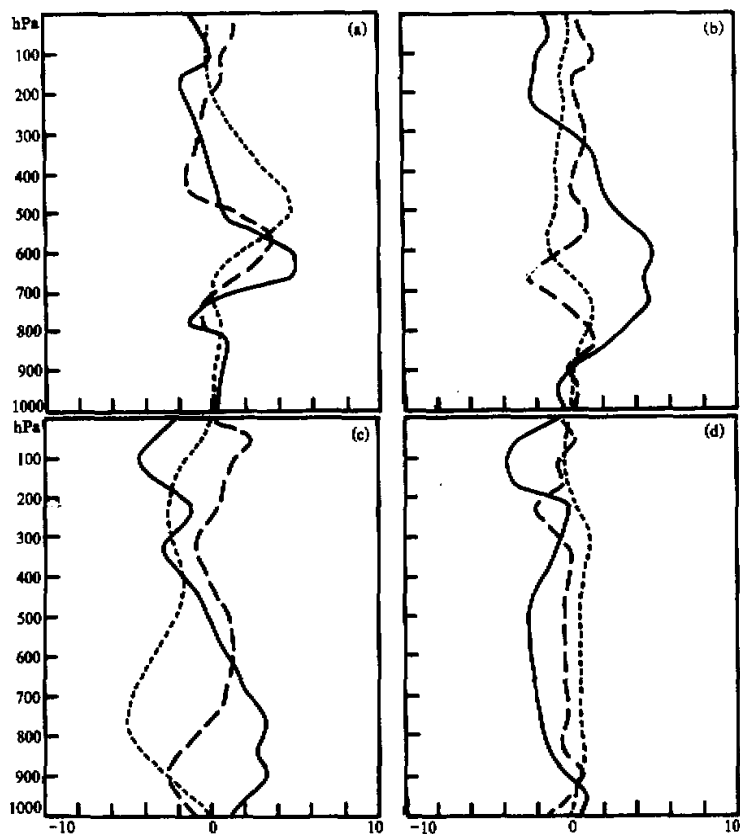


图 4 1986 年 6 月 21 日 12 时各小区平均的涡度、散度的廓线分布 (单位: 10^{-5} s^{-1}) 和 1986 年 6 月 21 日 12 时各小区平均的垂直速度的廓线分布 (单位: $10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$)

—: VOR, ---: DIV,: W

(a) 105°E , 28.5°N ; (b) 110°E , 30°N ; (c) 115°E , 30°N ; (d) 120°E , 30°N

五、条件对称不稳定 (CSI) 与对流不稳定

近年来对称不稳定概念被引入中尺度动力学领域。在 70 年代初, Hoskins^[13]指出 SI 可能是锋前雨带的触发机制之一。此后, 关于 SI 的研究进入了一个新阶段。Bennetts 和 Hoskins^[14]、Emanuel^[15]、许秦和周晓平^[16]等对 SI 的问题也做了大量的理论研究和数值实验, 并对 SI 的对中尺度对流的激发机制进行了初步的探讨。最近, 刘建和张可苏针对中国的梅雨系统进行了研究^[17], 利用二维非地转斜压线性模式, 对

1986 年 6 月 21—22 日梅雨带进行了计算, 结果表明, 对称不稳定的确是梅雨锋雨带中对流活动的一种可能触发机制。本文从另一角度对条件对称不稳定的问题进行了讨论, 即是从实测的资料出发, 分析等 M 面 (即绝对动量) 和等 θ_{se} 面的剖面, 按照由理论模式推导出的判据, 若等 θ_{se} 面的斜率大于等 M 面的斜率时, 则满足 CSI 的条件。图 5 给出了 6 月 21 日 00 时沿 115°E 的剖面上的 M 面和 θ_{se} 面的分析, 可以发现, 长江中游地区, $30\text{—}32^\circ\text{N}$ 处, 900hPa 高度附近存在一片等 θ_{se} 面斜率大于等 M 面斜率的区域, 即满足条件对称不稳定判据。为了比较, 将这里所得的结果与由二维非地转线性模式对同一个例的同一时刻计算结果相对照 (见文献 17)。从 6 月 21 日 00 时扰动增长率的空间分布可以看出, 最大值区的分布与雨区的分布很接近。可以注意到, 在长江中游有一个最大增长率区域存在。这一结果与我们剖面图上的分析是可以相互印证的。我们还注意到, 从这一时刻开始, 在长江中游地区 6 小时累计降水量已超过了 100mm , 这也许和环境存在某种不稳定状态有关系。

但是, 应该指出在东亚的情况下 CSI 的分布也许有其特点的。从图 5 可看出, 在长江流域并非存在“纯粹”的 CSI, 我们可以发现在这一区域中还同时存在着对流不稳定。理论分析表明, 条件对称不稳定的判据成立时, 并不要求一定要有对流不稳定的情况发生。因此, 应该说本例是两类不稳定并存的。赵思雄等在分析东亚冷锋时已见到过这种情况^[18], 与 Emanuel 分析的北美个例不大相同, 在东亚的个例中“纯粹”的对称不稳定并不是很多见的, 而可能是以一种“混合”型出现的。

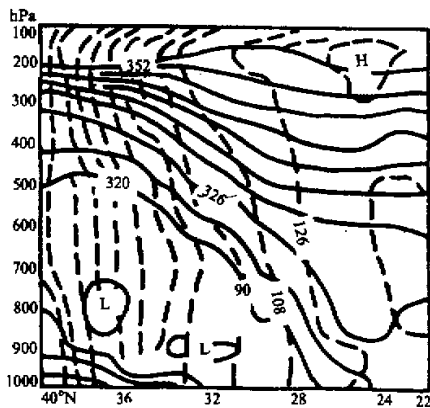


图 5 1986 年 6 月 21 日 00 时, 沿 115°E 剖面上的 M 和 θ_{se} 的分布
实线: θ_{se} , 虚线: M

六、三维环境流场与气块轨迹的计算

已经知道, 梅雨锋上的中尺度低压形成于动力学不稳定的环境中, 同时也知道, 梅雨锋是由南北两支气流汇合而成。施曙等^[19]已用九点拉格朗日插值方案讨论过二维流场的特征。那么, 梅雨锋上中尺度低压环境场的三维气流的结构到底如何? 为了回答这一问题, 自然我们也应采用拉格朗日方案计算气块的轨迹并追踪其源地。具体作法与赵思雄^[20]等讨论季风低压时使用的方案类似。设 F 为任一气象变量, 并假定气块在移动过程中所具有的 F 值不随时间改变, 因此有

$$F_{i,j,k}^{(\tau+1)} = F_{i-\mu_1,j-\mu_2,k-\mu_3}^{(\tau)}$$

这样问题就归结为如何求 $F_{i-\mu_1,j-\mu_2,k-\mu_3}^{(\tau)}$ 。因为 $(i-\mu_1,j-\mu_2,k-\mu_3)$ 一般不在网格点上, 求 $F_{i-\mu_1,j-\mu_2,k-\mu_3}^{(\tau)}$ 的问题可看成是插值问题。具体作法可按 Taylor 级数展开, 如

果我们假设 $n \geq 3$ 时, 凡含 $\partial^n F / \partial x^n$, $\partial^n F / \partial y^n$ 和 $\partial^n F / \partial p^n$ 的项和根据它们推导出来的微商的项远比其他项小, 我们可以得到如下三维 Taylor 级数展开式:

$$F_{i-\mu_1 j-\mu_2 k-\mu_3}^{(\tau)} = \left[1 - \frac{\mu_1}{2} (\nabla_x - \mu_1 \nabla_x^2) \right] \cdot \left[1 - \frac{\mu_2}{2} (\nabla_y - \mu_2 \nabla_y^2) \right] \\ \cdot \left[1 - \frac{\mu_3}{2} (\nabla_p - \mu_3 \nabla_p^2) \right] F_{ijk}^{(\tau)}$$

这里 $k = P / \Delta P$, ΔP 是 P 方向两相邻等压面的气压差。但是, 应当指出, 根据气块在 τ 时刻的位置 P_τ 确定气块在 $\tau+1$ 时刻的位置 $P_{\tau+1}$ 仍然是个问题。我们假定 $u^{(\tau)}$, $v^{(\tau)}$, $\omega^{(\tau)}$ 在 P_τ 点的值为已知, 则在时间 Δt 内的位移 μ_1 , μ_2 和 μ_3 可分别求出, 由此结果可算出 $P_{\tau+1}$ 坐标位置的零级近似, 有插值可求出 $u^{(\tau+1)}$, $v^{(\tau+1)}$, $\omega^{(\tau+1)}$ 在 $P_{\tau+1}$ 点上的值。若用 $u^{(\tau)}$ 与 $u^{(\tau+1)}$ 等之平均再重新修定 μ_1 , μ_2 和 μ_3 之值可得一级近似, 并得相应的一级近似的 $P_{\tau+1}$ 坐标值和 $F_{ijk}^{(\tau+1)}$ 之值。如此对每一时刻计算下去, 则可求得

气块之轨迹。

我们采用上述的方法对 6 月 21 日 00 时至 23 日 12 时的资料, 按每 12 小时的间隔进行了计算。一般说来, 从计算精度的要求看, 12 小时的间隔是太粗了, 难于较好地描写气块轨迹的真实情况, 当系统快速演变和移动时, 有时会得出很不合理的结论^[21]。但在我们研究的这一个例中, 由于梅雨锋是一个相对较为稳定少动的系统, 因而, 12 小时间隔的常规资料计算的结果大体能反映气块轨迹的特征。我们知道, 要在纸面上表示众多气块移动的

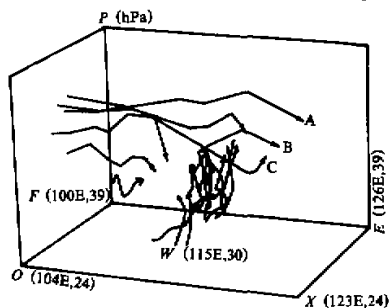


图 6 由拉格朗日方法计算的气块的三维轨迹
(时间 1986 年 6 月 21 日 00 时至 23 日 12 时, UTC)

图 6 由拉格朗日方法计算的气块的三维轨迹
时间: 1986 年 6 月 21 日 00 时至 23 日 12 时

三维轨迹是很困难的, 因为, 三维空间需要取 x , y , p 坐标。为了突出主要特点, 避免图形“混乱”, 这里只选出少数有代表性的点来计算气块轨迹, 同时, 为保留更多的有用信息, 对这些轨迹曲线未作任何光滑处理。图 6 给出了由拉格朗日方案计算得到的三维的气块轨迹。其主要的特征是很清楚的, 可以看到有两支气流存在。在对流层上层, 一般来说, 无论是我国西部地区还是东部地区, 均以偏西气流为主 (A-C 支)。而在对流层中低层, 西部地区仍是偏西气流, 而长江中游一带则是先偏南而后上升的气流, 这偏南且上升的一支气流正和长江中游的暴雨区域及中尺度系统所在的位置相对应, 起到了增强暴雨的作用 (B 支)。两支气流 (即 A-C 支与 B 支) 在高空汇合, 且向东明显地辐散, 对长江中游梅雨锋上中尺度系统的发展十分有利。这一气块轨迹的概略图从某种意义上证实了长江流域梅雨锋期间高低空来自不同方向的两支气流的相互作用^[1]。

七、结 语

夏季, 我国长江流域至日本西南部的梅雨锋上, 经常可以见到一类中尺度低压发

生。这类中低压虽然尺度较小,生命史较短,但它们经常与强降水密切相关。1986年6月22日出现于长江中游的中低压即为一个典型的例子。它的水平尺度约500km,生命史仅一天,但是形成了日降水量263mm的特大暴雨。本文通过对此低压及其三维环境流场的分析,得到了如下的结论:

(1) 梅雨锋是一条近于东西走向的连续的正涡度的带状分布区域。雨带分布大体与正涡度带相联系,但暴雨区的分布并非是水平均匀的。

(2) 在这条带状分布的正涡度中,中尺度低压得以发展。对以中尺度低压为中心的小区的结果表明,平均高空涡度为负值,平均低空涡度为正值,有明显的中尺度的水汽通量辐合区及深厚的上升运动区与之相对应。这一特征与中低压四周环境区的垂直廓线分布有明显差异,与日本个例也有很大不同。

(3) 对 M 和 θ_{se} 的剖面分析表明,本次个例中在长江中游存在着等 M 面斜率小于等 θ_{se} 面斜率的区域,这表明条件对称不稳定是这次梅雨锋暴雨的一种可能触发机制。

(4) 对中尺度低压系统发生发展时的三维环境流场结构进行了讨论,采用拉格朗日方案对气块轨迹进行了计算和追踪。尽管资料的时间分辨率还不够高,对计算精度有影响。但由于梅雨锋期间环流形势稳定,因而仍能较好地反映流场的主要特征。分析结果表明,中尺度低压强烈发展的区域正好是低空输送带(偏南气流)转为上升并与高空偏西气流汇合的区域。上述两支气流结合后使长江中下游地区高空辐散大为增强,可能对中低压发展是很有利的。

参 考 文 献

- [1] 陶诗言, 1980, 中国之暴雨, 科学出版社, 1—225。
- [2] 王作述, 1963, 一次江淮流域切变线过程的研究, 气象学报, 33, 189—205。
- [3] 谢安、肖文俊、陈受钧, 1980, 梅雨期间次天气尺度扰动的动能平衡, 气象学报, 38, 351—359。
- [4] Chen, G. T. J. and C. P. Chang, 1980, The structure and vorticity budget of an early summer monsoon trough (Meiyu) over southeastern China and Japan, *Mon. Wea. Rev.*, 108, 942—953。
- [5] Kato, K., 1985, On the abrupt change in the structure of the Baiu front over the China continent in the late of May, 1979, *J. Meteor. Soc. Japan*, 63, 20—36。
- [6] Ninomiya, K. and H. Muraki, 1986, Large scale circulations over East Asia during Baiu period of 1979, *J. Meteor. Soc. Japan*, 64, 409—429。
- [7] Akiyama, T., 1984, A medium scale cloud cluster in a Baiu Front, Part I: Evolution process and fine structure, *J. Meteor. Japan*, 62, 485—504。
- [8] 赵思雄、周晓平、张可苏、刘苏红, 1982, 中尺度低压系统形成和维持的数值实验, 大气科学, 6, 109—117。
- [9] 周晓平、赵思雄、张宝严, 1984, 梅雨锋上中尺度低压发生的数值模拟实验, 大气科学, 8, 353—361。
- [10] Zhao, S. X., 1988, The energetics of cyclogenesis on Meiyu (Baiu) front, *Palmen Memorial Symposium on Extratropical Cyclones, Helsinki, Finland*, AMS, 205—208。
- [11] Ogura, Y., H. M. Juang, K. S. Zhang and S. T. Soong, 1982, Possible triggering mechanism for severe storm in SESAME-AVE (9—10 May 1979), *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 63, 503—515。
- [12] Matsumoto, S., K. Ninomiya and S. Yoshizumi, 1971, Characteristic features of “Baiu” front associated with heavy rainfall, *J. Meteor. Soc. Japan*, 49, 267—281。
- [13] Hoskins, B. J., 1974, The role of potential vorticity in symmetric stability and instability, *Quart. J. R. Met. Soc.*, 100, 180—182。
- [14] Bennetts, D. A. and B. J. Hoskins, 1979, Conditional symmetrical instability—possible explanation for front

- rainbands, *Quart J. R. Met. Soc.*, **105**, 945—962.
- [15] Emanuel, K. A., 1983, On assessing local conditional symmetric instability from atmospheric sounding, *Mon. Wea. Rev.*, **111**, 2016—2033.
- [16] 许 秦、周晓平, 1982, 非静力平衡大气中的斜压不稳定, *大气科学*, **6**, 335—367.
- [17] 刘 建、张可苏, 1988, 梅雨锋对流活动的一种可能触发机制—关于非均匀层结、复杂环境风场下对称不稳定的一些研究, *大气科学 (特刊)*, 202—216.
- [18] Zhao, S. X. and Z. J. Li, 1990, A case study on the frontogenesis and conditional symmetrical instability in China, The Second US-PRC Joint Mesoscale Meteorology Workshop, NCAR, Boulder, Colorado, U.S.A, 38—39.
- [19] Shi Shu and Zhao Sixiong, 1990, Diagnostic study on environmental conditions of the formation of lows along the Yangtze River in autumn, Annual Report, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, **9**, No.2, 93—100.
- [20] Zhao, S. X. and G. A. Mills, 1991, A study of monsoon depression bringing record rainfall over Australia. Part II: Synoptic Diagnostic Description, *Mon. Wea. Rev.*, **119**, 2074—2094.
- [21] 廖洞贤、王两铭, 1986, 数值天气预报原理及其应用, 气象出版社, 1—423.

A Diagnostic Study of Mesolow on Meiyu (Baiu) Front Associated with Heavy Rainfall

Shi Shu and Zhao Sixiong

(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract

It is found that mesoscale lows occur often on Meiyu (Baiu) front in Summer. There is close relationship between the low system and heavy rainfall. A typical case from 21 to 22 JUNE 1986 has been analyzed. The conclusions are as follows: (1) Meiyu front is located in a banded zone of positive vorticity. The mesoscale low develops near the maxima of convergence of moisture flux. (2) The vertical cross sections of M and θ_w show that conditional symmetrical stability is a possible triggering mechanism for the occurrence of heavy rainfall on the Meiyu front. (3) Three dimensional trajectory analysis of air parcels show clearly that confluence of the two different flows coming from upper and lower levels, respectively, was very significant and result in very strong divergence in upper levels. The mesoscale low systems formed in this favourable environment of middle reaches of the Yangtze River.

Key words: Meiyu front; mesoscale low; heavy rain