

江汉平原地表风场对几种典型 低空流场的响应^{*}

周 军 徐传玉

(南京气象学院, 南京 210044)

提 要

本文用改进的 Mass-Dempsey 一层中尺度模式, 模拟江汉平原附近梅雨期 4 种典型低空流型影响下的地表流场, 发现低空流型对地表风场有重要影响。当低空切变线控制时平原地表有辐合系统新生发展, 而其它流型控制时地表只维持辐散流场, 模拟结果还表明该地地面风场有明显的日变化。

关键词: 江汉平原; 地表风场; 模式响应。

一、引 言

地表风场既受到当地地形的影响, 又受到上层天气系统的制约, 是上层天气系统和当地地形相互作用的产物。在天气分析和数值试验研究方面, 近年来人们比较重视不同尺度天气系统间的相互作用和上下层天气系统间的相互耦合作用, 但至今由地形原因产生的中小尺度系统还很难从实际观测场中分离出来, 而对于后者的研究还很少将耦合作用的层次向下延伸到地表, 因为各地的地形地貌千差万别, 讨论这些问题常会陷入具体的个别的结论中去。但这方面的讨论对实际业务工作却是重要的, 他们需要关心预报区内地面流场的现状及其演变。因为地表风场的具体形式关系到近地层空气质量的辐合辐散, 也关系到近地层大气中水汽和感热的输送, 是判断低层大气垂直运动和稳定度变化的重要手段, 所以本文围绕 75-09-02-36 课题中关心的问题——用改进的 Mass-Dempsey 一层中尺度模式, 模拟长江中游灾害性天气试验区地表风场对几种梅雨期典型低空流型的响应情况。通过对江汉平原地表响应风场中尺度特征的分析与讨论, 试图给当地或其它有类似地形特点的盆地区域提供地表流场分析的有关依据。

二、地形概况及梅雨期控制当地的低空流型统计

江汉平原位于长江中游湖北省境内, 是一个不完整的盆地, 四周有大小不等的 3 个主要山地障碍物和 3 个宽度不等的豁口。平原西边是尺度较大、地势较高的鄂西山地和鄂西南高原山地, 它是全国地势二级阶梯的一部分, 一般海拔在 1000m 左右, 最高处在 3000m 左右。北边和东北边是相互毗邻的桐柏山和大别山, 水平尺度小于鄂西山地,

1990 年 9 月 4 日收到, 1991 年 7 月 5 日收到修改稿。

* 75-09-02 国家攻关项目 36 号课题。

一般高度在 500m 左右, 较高处为 1000m 左右. 东南方为幕阜山和九宫山, 水平尺度略小于东北山区, 高度也在 500m 左右. 平原南边是地势低洼平坦的通向洞庭湖区的一个宽阔豁口. 西北方是鄂西山地和桐柏山之间的汉水河谷, 这里地势相对较低, 构成平原西北方的另一气流通道. 第三个豁口在平原东边, 是大别山与幕阜山间的长江河谷, 该豁口比较狭窄. 除此之外在平原北部桐柏山以南还有一个孤立的大洪山. 上述山脉和豁口对湖北省实验区地表风场产生动力和热力的影响, 造成与地形尺度相当的地面流场系统. 文献[1]对该地平均意义下的地表流场系统已有过讨论, 这里试图对地表瞬时流场及其演变作进一步研究. 平原及四周地形等高线标于文中相应的地表流场图中.

梅雨期控制湖北省试验区对低层 700 hPa 的流型主要有 4 种: (1) 低空切变线控制型. 此时东西向切变线横贯湖北中部, 有时还伴随着低涡, 切变线南北两侧分别受南北气流控制; (2) 低空偏南气流控制型; (3) 低空偏北气流控制型; 该两型出现时, 湖北省全省分别受一致的偏南风 and 偏北风控制. (4) 小高压控制型; 此时全省受反气旋环流控制, 环流中心在江汉平原中部. 据 1989 年 7 月的统计, 4 种流型出现几率如表 1 所示. 其中以低涡切变线型和西太平洋副高西侧的偏南气流控制型最为常见.

表1 1987 年 7 月试验区 700 hPa 流型及出现几率

流 型	切 变 线	偏南气流	偏北气流	小高压环流
几 率	12 / 31	13 / 31	5 / 31	1 / 31

三、对 Mass-Dempsey 模式的改进

Mass-Dempsey 一层中尺度模式(以下简称 MD 模式)是对 Danard 模式的改进和发展^[2, 3], 他们在一定的假设条件下, 采用莱布尼兹法则从气压梯度力中消去被重力平衡的气压变量, 将由地表动量方程、热力学方程、静力方程组成的方程组改写成以地表温度 T_s 、地表风矢量 $\vec{V}_s$ 为独立变量的闭合方程组:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \vec{V}_s}{\partial t} = & -\vec{V}_s \cdot \nabla_\sigma \vec{V}_s - f \vec{k} \wedge \vec{V}_s - g \left\{ \left(e_1 - \frac{H}{T_H} \right) \nabla_\sigma T_s \right. \\ & - \left[e_1 + \frac{e_2}{r T_R} (T_H - T_R) \cdot \nabla_\sigma T_R \right] + (re_1 - e_2 H) \nabla_\sigma Z_s \\ & \left. + (e_2 - re_1) \nabla_\sigma Z_R \right\} + \vec{F} + K_M \nabla_\sigma^2 \vec{V}_s, \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial T_s}{\partial t} = & -\vec{V}_s \cdot \nabla_\sigma T_s - \frac{A_2}{A_1} \vec{V}_s \cdot \nabla_\sigma T_H - \frac{A_3}{A_1} \vec{V}_s \cdot \nabla_\sigma T_s \\ & + \frac{Q}{A_1 c_p} + \frac{K_T}{A_1} \nabla_\sigma^2 T_s, \end{aligned} \quad (2)$$

方程组中各参数的物理含义、模式的参数化方案、差分方案及时间积分方案可参见文献[3]. 该模式需要的初始资料是: (1) 计算区内 5 点平滑后的地形资料; (2) 参考气压

等压面(700 hPa)上的天气尺度温度场和高度场资料; (3) 由探空资料算得的参考温度递减率。

该模式在模拟西雅图海岸附近的地表风场时有过比较理想的结果^[3], 用在梅雨期湖北省试验区时客观环境与模式的参数化方案有较大出入, 我们对它作了适当的改进:

(1) 模式中参考温度递减率 r 对求解地表风场起至关重要的作用, 而 r 值由试验区最接近气流上游边界处测站的探空记录求得, 并假定在计算区内处处相等。这与梅雨期湖北境内的情况有较大出入, 当近地层梅雨锋区横贯于湖北省境内时, 锋面两侧入流方式不同, r 值也有较大差异, 不考虑这个特点模拟出的地表风场有较大失真。为此我们先用计算区内外几个探空站的等压面资料内插到各网格点上, 然后求得 r 值的场面分布:

$$r(I, J) = - \frac{T_{700}(I, J) - T_{850}(I, J)}{Z_{700}(I, J) - Z_{850}(I, J)}.$$

结果表明改进后模拟结果有较大改进。

(2) 原模式中地表非绝热加热参数只区别水面和陆面间非绝热加热的差异^[3], 不能反映出不同高度的陆面上非绝热加热的差别。湖北省地形复杂, 地表高度差很大, 高山和平原上温度日较差差异很明显^[1], 同样的非绝热参数不能较好地反映高地与平原间近地层热力状况的差别, 为此我们对非绝热参数化方案作了改进, 加入随地表高度而变的系数 $AVG1$, 且令

$$AVG1 = b [1 + a (Z_s - AVG) / AVG],$$

其中 AVG 是试验区地表平均高度, Z_s 是格点对应的地表高度, a 、 b 是随季节和试验区环境而变的参数。本试验中分别取 0.5 和 0.6, 改变后的加热参数如图 1 所示。

模式计算范围以 109°E , 29°N 为原点, 向东取 70 个格距, 向北取 40 个格距, 每个格距取 11 km, 大致包括湖北全省和与湖北相邻的川东, 陕东南、豫南、皖西、湖北及赣西北部分地区, 针对 4 种典型低空流型, 输入相应日期 08 时的实测资料作为初始资料。模式先在绝热状态下由初态积分到地形动力强迫下的稳定态。该稳定态代表了试验区 08 时与低空 700 hPa 温压场和 700 hPa 以下的 r 值场相对应的地表风场。稳定态判据取 $\delta u_s / \delta t$ 和 $\delta v_s / \delta t < 10^{-5} \text{m/s}^2$, 达稳定态后, 再在非绝热条件下积分到所需时间。

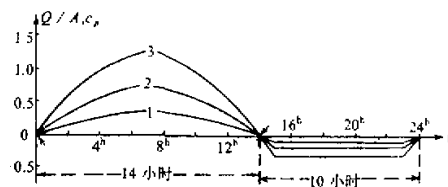


图 1 地表非绝热加热参数随高度和时间的变化

1、2、3 分别为 50 m、600 m、1400 m 高度处的参数

四、几种典型低空流型控制下的地表响应风场特征分析

在测站比较稠密、实测风场分析较可靠的江汉平原上, 模式输出的地表风场与实际风场有较好的对应关系, 说明改进后的 MD 模式对湖北省梅雨期的地表流场有较好的模

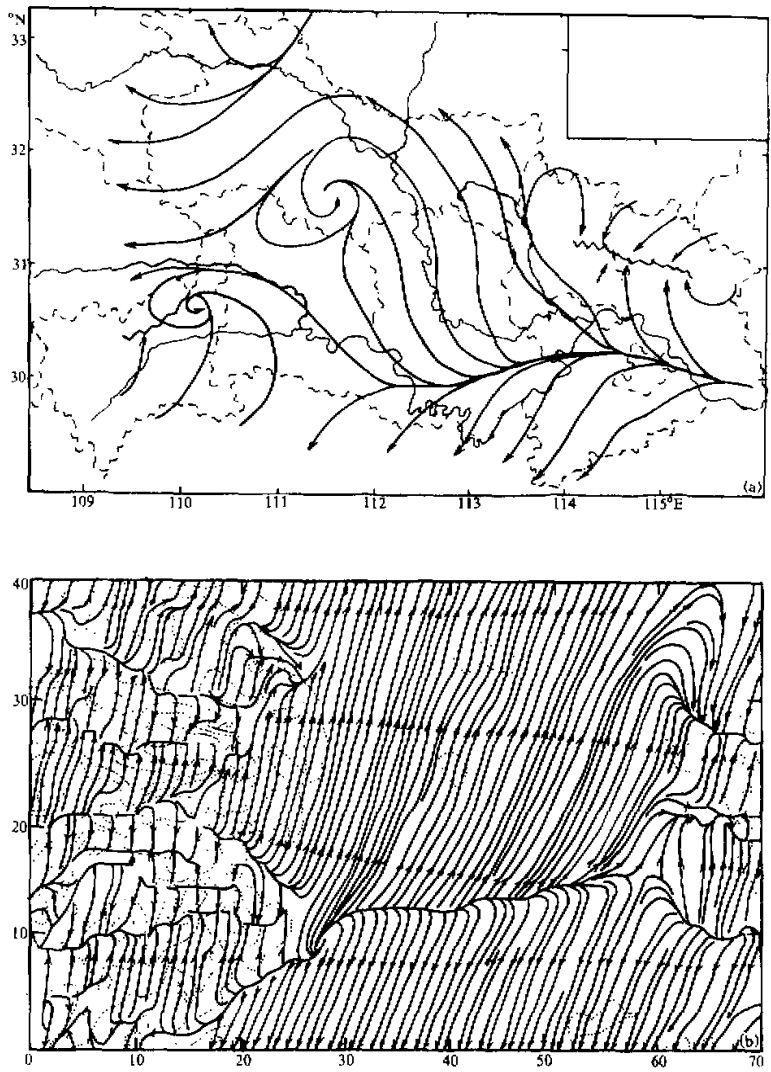


图2 7月26日14时地表风场
(a) 实测风场, (b) 模式输出风场

拟能力, 现以受低层偏南气流控制的7月26日14时为例(图2), 这时平原上实测风场有两个主要系统, 沿 30°N 有一条东西长400 km的辐散线, 鄂东北 31°N 以北有一条长约100 km的辐合线, 考虑地表非绝热加热作用后, 在同一时刻的模式输出结果中, 这两个系统清晰可见, 30°N 附近的辐散线南北位置和东西长度都与实况一致, 鄂东北的辐合线水平尺度与实况相符, 只是位置稍偏北. 其它例子中主要系统也有较好的时空对应关系, 在考虑了非绝热加热作用后系统间的对应关系更好, 其中平原上的对应关系

最好, 高大山脉的坡面上空气流动方向与实况对应也很好。但鄂西山区模拟风场远比实况场复杂, 出现了许多与高山深谷平行的辐散辐合线, 可能与山区测站稀少, 实测流场代表性差, 而模式的格距很小, 模拟风场充分反映了中小尺度地形的影响等因素有关。为此响应风场特征的分析主要围绕江汉平原及其相邻的地区。

1. 低空偏南气流控制型

该型7月份出现几率最高(见表1), 7月26日湖北省试验区位于700 hPa太平洋副热带高压西侧的偏南气流中, 08时地面图上湖北省处于暖气团中, 以晴到多云天气为主。图2b是该日14时的地面模拟风场。

7月26日08时模式输出的地表响应风场与该日14时在平原地区有大致相同的态势(08时图略), 一个最明显的系统是江汉平原上的东西向辐散带, 08时的长度与平原东西跨度相当, 两侧疏散气流几乎伸展到整个江汉平原, 辐散带北侧的偏南气流在大洪山、桐柏山附近出现山前分枝, 山侧绕流和背风坡汇合的现象, 14时东西向辐散带两侧气流增强, 流线间距变密, 到夜间才逐渐减弱, 但一直维持到第二天清晨(图略), 因此平原上的东西向辐散带结构清楚, 位置比较稳定, 是低空偏南气流控制下江汉平原地表流场的最重要特征。它不利于地表扰动的形成, 这与人们的实际经验相符合, 也与当天的实际情况相一致。

在08时图上大别山南坡和幕阜山北坡近山脊处各有一条小尺度辐散线, 两线之间的弱辐合线在平原东豁口的沿江一线, 14时沿江辐合线消失并演变为辐散带, 且与平原上主辐散带相接, 使后者向东伸入东豁口长江河谷, 夜间02时该地又恢复成辐合带。大别山南坡和幕阜山北坡08时的辐散带, 14时演变成辐合带, 27日02时又转变成辐散带。东豁口及两侧散度场的明显日变化, 是偏南气流控制下地表风场演变的又一特点, 这种日变化与地表热力因子造成的散度场日变化规律一致^[1], 不难想象这可能是由于当地南北向马鞍型地形热力作用造成的。

2. 低空切变线控制型

低涡切变线是梅雨期导致江淮流域发生降水的重要低层系统, 发生机率极大, 常伴阴雨天气。7月1日08时700 hPa切变线在宜昌、汉口一线, 刚好横贯试验区中部, 该系统在850 hPa上也有反映, 地面静止锋在湖南中部, 江汉平原白天阴有小雨, 夜间中到大雨, 并伴有地面波动发展。

在08时地表响应风场上(图3a), 江汉平原东北部到西南部是一支水平尺度较宽的东北气流, 它是地面静止锋后大尺度东北气流的反映, 这支东北气流在桐柏山、大洪山山前分支, 两侧绕流, 并在山后分别形成反气旋性汇合系统, 14时江汉平原上流场结构基本与08时相似, 大洪山背风坡的反气旋式辐合系统范围略有扩大, 20时前后该系统有强烈发展(14时, 20时图略)。夜间02时, 地表风场出现更加显著的辐合形势, 辐合系统继续发展并扩展到整个江汉平原, 汇合气流的反气旋环流特征明显减弱, 中心处还出现了微弱的气旋性环流特征。

大洪山背风坡的辐合系统最后发展到控制整个江汉平原, 环流性质从反气旋式旋转转变成气旋式旋转, 这种地表流场的演变方式实际上是地面气旋波新生发展最相似的过

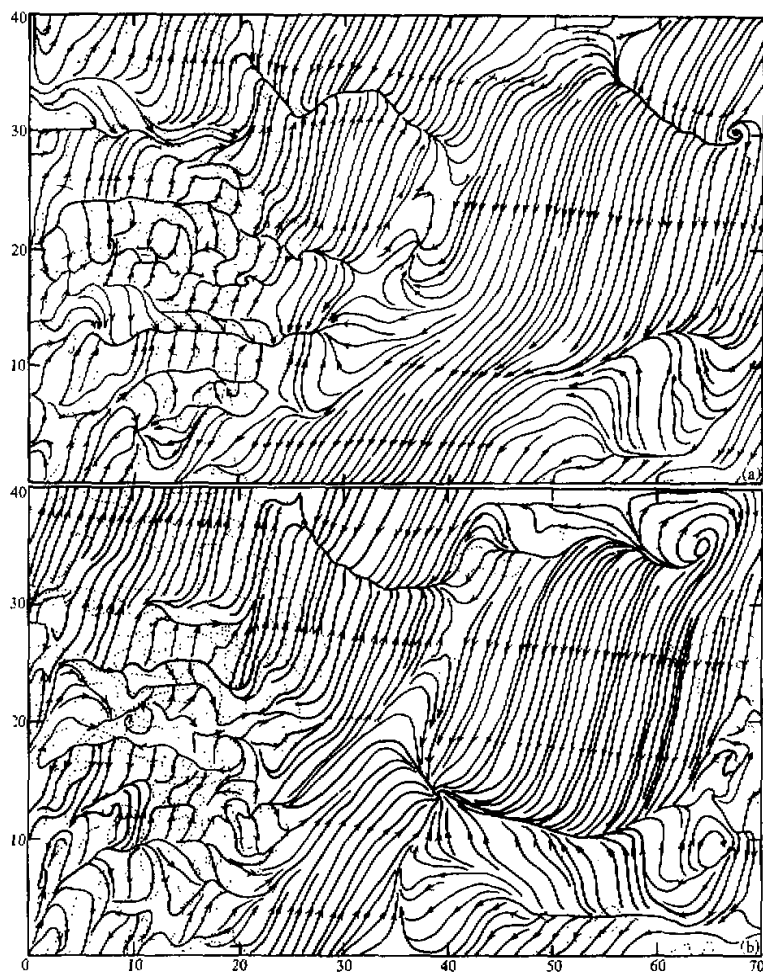


图3 低空切变线控制下的地表模拟风场

(a) 08时; (b) 次日02时

程,而在其它3种低空流型控制时没有出现,说明低空切变线对梅雨降水的贡献不仅在于其本身存在辐合作用从而有利于上升运动的形成和发展,还在于它与特定地形的耦合作用会导致地表出现辐合流场,从而更有利于近地层气流和水汽的汇合以及垂直运动的发展。如果再考虑由此引起的水汽凝结,潜热反馈,则低空切变线对梅雨降水的贡献就更重要了。模式输出结果与当天夜间江汉平原上气旋波新生和降水加剧的实况是一致的,也与众多预报员的历史经验相吻合。

低空切变线控制下,试验区地表流场还有其它一些特点:(1)大别山—桐柏山北坡上一直存在一条辐散带,强度位置少变,江汉平原西北豁口存在一条辐合带,位置也稳定少动。(2)平原东豁口的南北向马鞍型地形区域,上山风,下山风和由其构成的辐

合辐散带也有一定的日变化,但没有偏南气流控制时明显,说明该形势下地表非绝热作用造成的热力环流在当地气流中所占比重较轻.

3. 低空偏北气流控制型

当 700hPa 切变线位于湖南境内时,试验区受偏北气流控制,7 月份出现该型的几率较小(表 1),1987 年 7 月 23 日属于此例,图 4a 是该日 14 时的地表模拟风场.

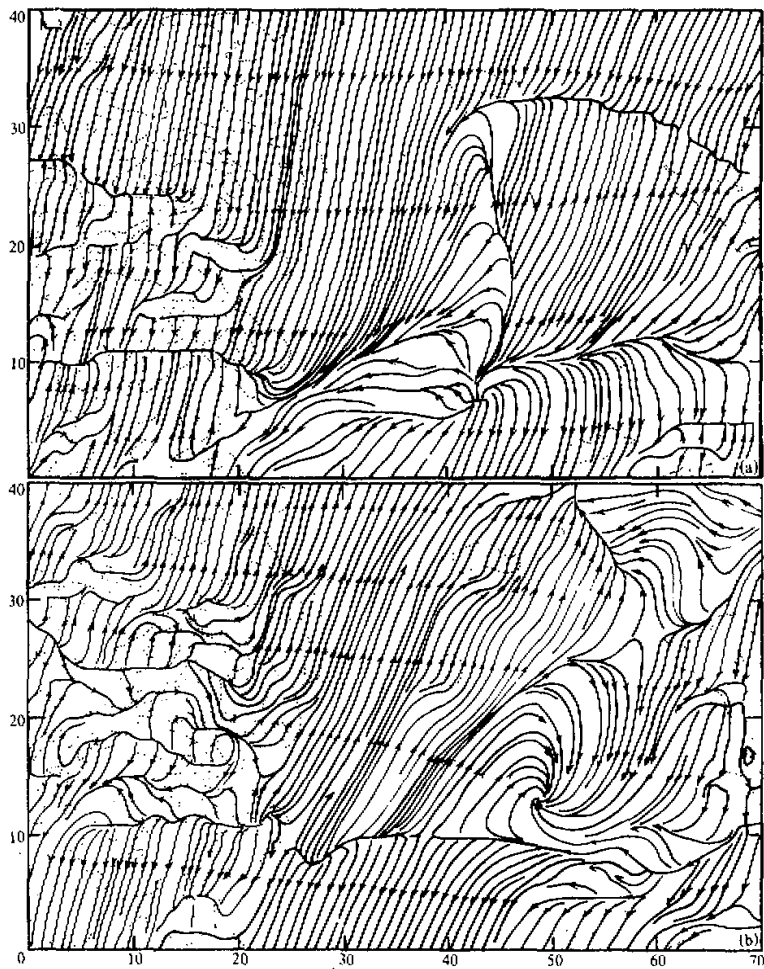


图 4 低空偏北气流控制和小高压控制时的地表模拟风场
(a) 偏北气流控制, 7 月 23 日 14 时; (b) 小高压控制, 7 月 28 日 02 时

图 4a 中最引人注意的系统是平原中部的点式辐散源和由辐散源向东、北、西 3 个方向伸展的两条近于垂直的辐散带,辐散气流几乎遍布江汉平原中部和东部. 该系统较

强, 每个时次均维持大致相同的风场结构和伸展范围, 其中 14 时最强, 次日 02 时次之, 08 时又次之 (08 时, 次日 02 时图略)。系统中疏散气流的日变化与近地层热力环流日变化一致。

低空偏北气流控制下地表流场的另一特点是平原西北豁口维持一支稳定强大的偏北风系, 该风系在 08 时还穿过平原南部豁口直伸到湖南省境内, 14 时中断在长江三峡出口处, 与平原西南的偏东气流汇合构成辐合线, 此辐合线午后与长江南岸巫山主脊上的辐合线连接, 夜间又与三峡河谷的汇合状穿谷流连接。

第三个特点是试验区东北角存在一条稳定的辐合线, 与低空切变线控制时的流场特征正好相反。

4. 低空小高压环流控制型

梅雨期试验区受小高压环流控制的日子少见 (图 4b), 受此型影响时试验区 700hPa 流场较弱, 地面以晴好天气为主。

7 月 27 日 08 时, 700 hPa 小高压中心在江汉平原西部, 同一时刻模式输出图上 (图略), 江汉平原地表也出现一反气旋式环流系统, 风场结构以辐散状为主, 自环流中心向西有长约 200km 的辐散带, 14 时辐散中心东移, 辐散线向东伸入东部豁口的长江河谷, 几乎横贯江汉平原, 夜间 02 时, 主要辐散区退至平原西部。

14 时汉口北 100km 处出现一反气旋式辐合中心, 并向大别山伸出一辐合带 (图略), 12 小时后, 大别山辐合线消失, 辐合系统范围扩大, 反气旋式环流加强, 辐合形势变得明显 (图 4b), 使江汉平原夜间地表流场呈现东部辐合西南部辐散的形式, 而其它 3 种流型控制时没有出现。

平原东侧的南北向马鞍型地形区, 辐散辐合系统的时空分布类似于偏南气流控制时的状况。08 时大洪山、桐柏山附近地形动力强迫作用也很明显, 背风坡辐合系统在 08 时后未能发展。

五、结 语

上述情况表明, 改进的 MD 模式对湖北试验区地表风场有较好的模拟能力, 4 种典型低空流型控制下地表响应风场的结构有明显差别, 主要系统的性质, 位置及日变化规律与实况较一致。

就各种低空流型而言, 偏南、偏北两流型耦合出的江汉平原地表风场无论白天夜间均属强大的辐散流场, 不利于地面低压扰动的生成和发展。小高压控制下, 平原地表白天有强辐散系统, 夜间东部辐合西南部辐散, 02 时辐合系统未见发展, 此型不大利于地面波动发展。只有低空切变线型才有利于地表辐合系统的新生发展。因此切变线对梅雨降水的贡献除其自身的辐合作用外, 还应考虑与地形耦合引起地面波动发生发展的因素。

江汉平原和其东部马鞍型地形区, 流场有明显的日变化。平原上白天常见大范围辐散系统, 夜间有所减弱。即使平原上白天存在小的辐合系统, 也无充分发展, 只有到夜间才能充分发展起来 (如切变线型), 说明平原上夜间较白天有利于地面低空扰动的形成和降水天气的发展, 这与天气分析结果是一致的。

模式非绝热方案尚未考虑云天状况的区别, 试验个例也有待增加, 有待今后改进。

致谢: 张文、杨英两位同志参加部分计算工作, 作者对他们致谢意。

此工作得到湖北省气象局攻关办的资助。

参 考 文 献

- [1] 周军, 徐文金, 汪克富, 1990, 湖北省中尺度试验区地形对气象要素场的综合影响, 南京气象学院学报, 13, 第4期, 512—516.
- [2] Danard, M., 1977, A simple model for mesoscale effects of topography on surface wind, *Mon. Wea. Rev.*, **105**, 572—580.
- [3] Mass, C. F. and Dempsey, D. P., 1985, A one-level mesoscale model for diagnosing surface winds in mountains and coastal regions, *Mon. Wea. Rev.*, **113**, 1211—1222.

The Responses of Surface Wind Field to the Low Level Patterns in Jiangnan Plain

Zhou Jun and Xu Chuanyu

(*Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing 210044*)

Abstract

By using the improved one-level mesoscale model developed by Mass, C. F. and Dempsey, D. F., the surface wind fields responded to four kinds of low level patterns are simulated over Jiangnan Plain during the mei-yu season. It is shown that the surface flow depends on the variance of patterns and the convergence system at near the ground surface may be out-growth and develop only when the shear-line occurs over the plain. Otherwise, the divergence fields will appear. Also, the diurnal variation of the surface current is very evident in the simulation.

Key words: Jiangnan plain; Surface wind field; Model response.