

文章编号:1004-9045(2008)02-0121-06

# 江汉平原一次突发性特大暴雨的诊断分析

张端禹, 张 兵

(中国气象局武汉暴雨研究所, 武汉 430074)

**摘 要:** 利用 NCEP  $1^\circ \times 1^\circ$  逐 6 h 分析资料和湖北省自动气象站雨量资料分析了 2006 年 5 月 24 日夜间江汉平原南部一场突发性大暴雨、局部特大暴雨过程的成因。结果表明,这次强降雨发生之前,高空急流南界先向北移出湖北省上空,伴随着强降雨的发展与减弱,急流南界又重新南扩到湖北南部;急流核在强降雨发生之前在  $35^\circ\sim 40^\circ\text{N}$  之间东移,特大暴雨发生时已位于暴雨区东北方向渤海湾一带。这次特大暴雨发生在边界层中尺度正涡度区合并加强过程中。暴雨过程伴随着高层惯性稳定度的减小与低层位势不稳定的维持;南海西北部到华中地区西南水汽通道的建立是特大暴雨发生的有利条件,水汽输送主要集中在中、低层。特大暴雨发生之前低层正值湿螺旋散度增加明显。

**关键词:** 特大暴雨;高空急流演变;正涡度区;湿螺旋散度

中图分类号: P458.1\*21.1 文献标识码: A

## 1 引言

江汉平原位于长江中游北岸,地势相对平坦。其西有鄂西山地,东面有幕阜山、大别山,北面是鄂北岗地,向南则是洞庭湖平原。暴雨是江汉平原主要的灾害性天气之一。如 2002 年 7 月 22 日 08 时至 23 日 08 时,荆州 24 h 降雨 148.7 mm,最大雨强为  $39.8\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 。公颖等<sup>[1]</sup>利用非静力模式 MM5 对此次过程进行数值模拟,模拟结果很好地描述了暴雨的时空分布及相伴随的中-尺度系统的发生发展过程。试验结果表明,高空中尺度辐散系统的出现诱发了低层中尺度对流系统的产生,低层中尺度系统产生后对高层流场的流速、流型均有很大的影响,促使高层高低风速偶极子和疏散状流型的出现。又如 2004 年 7 月 16 日 08 时至 20 日 08 时,江汉平原和鄂东北出现了一次暴雨到大暴雨过程,暴雨中心位于潜江附近,过程雨量达到 420.3 mm,为其建站以来最大值。金琪等<sup>[2]</sup>研究了这次暴雨过程特征,发现暴雨期间自孟加拉湾至暴雨区有一支深厚的水汽输送带稳定维持,并在暴雨区上空形成水汽辐合中心,低空急流发展对水汽输送起到重要作用;暴雨中心位置与低层螺旋度中心的移动一致,可为强降水落区、落点预报提供参考。

2006 年 5 月 24 日 08 时至 25 日 08 时,江汉平原南部又一次出现暴雨、局部特大暴雨天气过程。本文应用 NCEP  $1^\circ \times 1^\circ$  逐 6 h 分析资料、湖北省自动气象站雨量资料,分析了这次特大暴雨的特点和成因。

## 2 降雨实况

根据湖北省自动气象站降雨量资料,2006 年 5 月 24 日 08 时至 25 日 08 时,超过 25.0 mm 大雨区位于江汉平原到鄂东北,超过 50.0 mm 暴雨区位于江汉平原中部,超过 100.0 mm 大暴雨出现在江汉平原南部石首、监利和洪湖三站。其中,超过 250.0 mm 特大暴雨区只出现在地处三站中间的监利县。可见,强暴雨区有很强的中-尺度特性(20~200 km)。监利县气象局自动气象站逐小时雨量显示,24 日 21 时至 25 日 06 时,县城 9 h 内降雨 263 mm,最强降雨集中在降雨初期 24 日 21~24 时,3 h 降雨 200.3 mm,占过程降雨量的 76%。

图 1 给出了这次强降雨过程中湖北省每 6 h 一次雨量分布。如图 1a 所示,24 日 14~20 时湖北省境内超过 10 mm 的降雨中心有两个。其中北部中心位于鄂北岗地襄樊附近,中心最大雨量为 18 mm;南部中心位于鄂西南山地与江汉平原连接之处,中心最大雨量为 58 mm。如图 1b 所示,24 日 20 时至 25 日 02 时,北部中心雨量稍稍增强为 20 mm;南部中心位置略有东移,但降雨迅速加强,中心雨量超过了 250 mm。25 日 02 时以后,雨带逐渐东移,湖北省降雨强度大为减弱。

## 3 特大暴雨形成的动力条件分析

### 3.1 高、低空急流与散度场

图 2 为 24 日 08 时至 25 日 02 时不同时刻 200 hPa 风场和散度场。从图 2a 可见,24 日 08 时风速超过

收稿日期: 2007-05-10; 定稿日期: 2007-09-28

基金项目: 中国气象局武汉暴雨研究所“暴雨研究开放基金”(IHR2006G09)资助

作者简介: 张端禹,男,1966 年生,副研究员,主要从事暴雨成因机理研究。E-mail: wh\_zdy@yahoo.com.cn

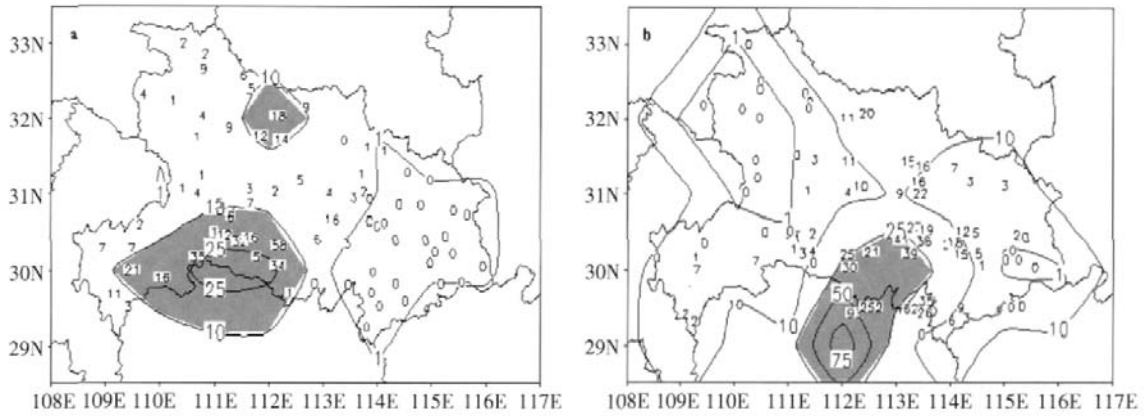


图 1 特大暴雨过程 6 h 雨量演变 (a)24 日 14~20 时(阴影区雨量大于 10 mm);  
(b)24 日 20 时至 25 日 02 时(阴影区雨量大于 25 mm)

30 m·s<sup>-1</sup> 的高空急流南界位于 30°N 附近, 急流轴线位于 36°N 附近, 急流上风速核位于河套地区的甘肃东南部, 其中心风速超过 50 m·s<sup>-1</sup>。此时湖北省上空大部分地区风速超过 30 m·s<sup>-1</sup>。图 2b 显示, 14 时急流的南边界向北撤退到 32°N 附近, 湖北省上空大部分地区风速下降到 30 m·s<sup>-1</sup> 以下。急流轴线位置少动, 其风速核向东北方向移动到山西、河北两省中部交界的地方, 最大风速下降到 45 m·s<sup>-1</sup>。图 2c 显示, 20 时即特大暴雨临近时急流南扩, 湖北西北部风速又加大到 30 m·s<sup>-1</sup> 以上。急流核已东移到渤海湾上空, 其中心风速再次上升到 50 m·s<sup>-1</sup> 以上。此时湖北位于急流核右后方。图 2d 显示, 25 日 02 时最强降雨发生后, 急流风速核位置

与强度均稳定, 急流南界继续南扩, 湖北省上空大部分地区风速又超过了 30 m·s<sup>-1</sup>。在上述时段高空急流的走向基本维持东西向。可见, 江汉平原这次强降雨发生之前, 高空急流南界先向北移出湖北省上空, 伴随着强降雨的发展与减弱, 急流南界又重新南扩到湖北南部; 强降雨发生之前, 急流核在 35°~40°N 之间东移, 特大暴雨发生时急流核位于暴雨区的东北侧, 最大风速在 50 m·s<sup>-1</sup> 以上。从图 2 还可发现, 在江汉平原强降雨的发展过程中, 200 hPa 暴雨区上空存在明显的辐散。

再看 850 hPa 超过 12 m·s<sup>-1</sup> 低空急流演变情况。23 日 08 时到 20 时我国南方基本没有低空急流

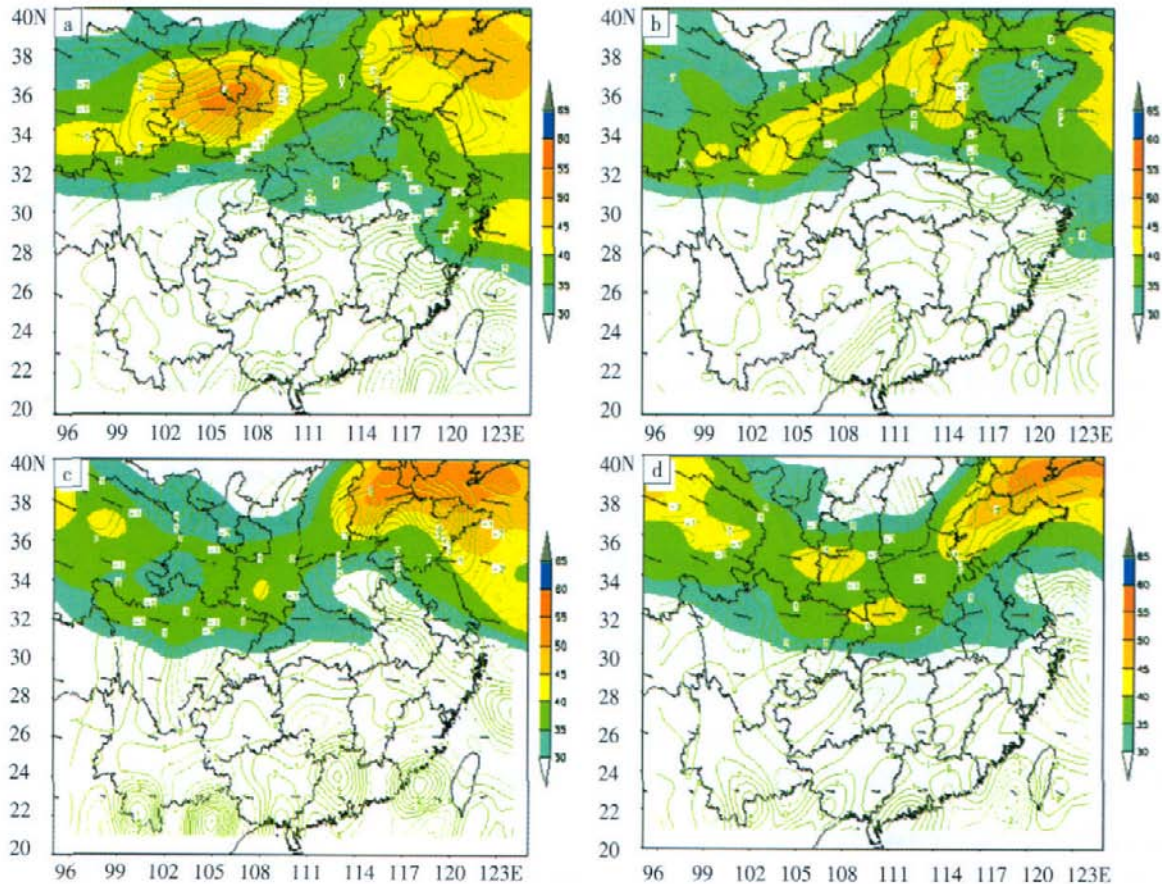


图 2 200 hPa 急流与散度场(10<sup>-5</sup> s<sup>-1</sup>)(a)24 日 08 时;(b)24 日 14 时;(c)24 日 20 时;(d)25 日 02 时(阴影区风速超过 30 m·s<sup>-1</sup>)

活动; 24日02时, 贵州北部到重庆西部有一支风速超过  $14 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  偏南风急流活动; 24日08时至14时, 西南风低空急流主要在广西和贵州一带活动。图3a显示, 24日20时, 该西南风低空急流北进到湖南西南部、贵州南部到广西一带, 中心风速加强为  $15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,

此时监利位于低空西南风急流左前方辐合区内; 从图3b上可见, 在25日02时, 该低空急流快速东移北上至江西、湖北、河南、安徽等省, 其强度变化不大。此后, 这支低空急流维持 NE—SW 走向并逐渐缓慢东移入海。

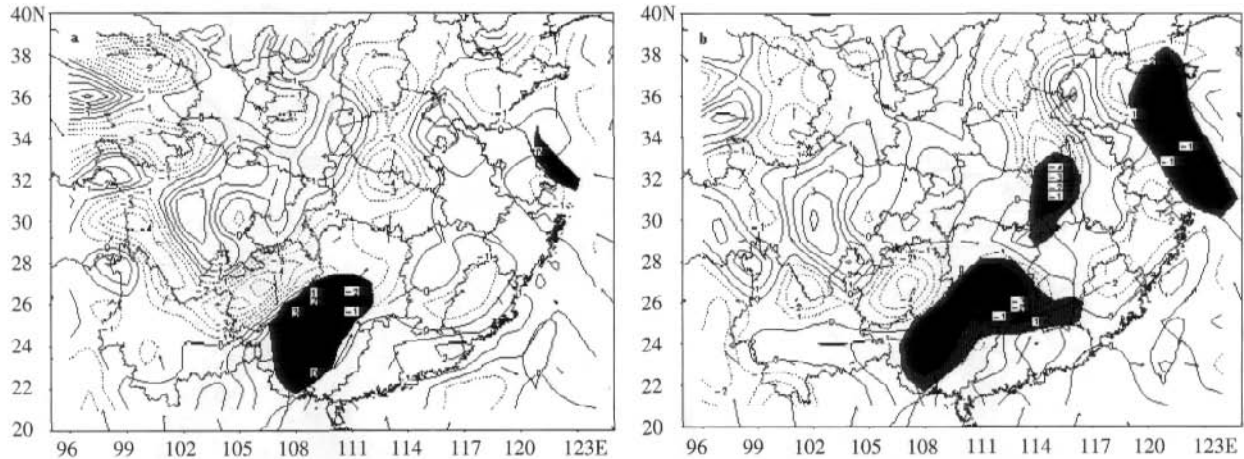


图3 850 hPa 低空急流与散度场(a)24日20时;(b)25日02时(散度单位  $10^{-3} \text{ s}^{-1}$ , 阴影区风速超过  $12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

### 3.2 高、低层流线分析

分析24日20时100~1000 hPa的流线分布发现, 大致以550 hPa层为界, 中高层偏西风气流流线从两湖盆地向长江中、下游地区散开。其中最为典型的层次出现在300 hPa, 在该等压面上西风气流从陕西南部、四川、重庆、贵州等地东移, 到达湖北、湖南上空以后开始呈现疏散形状。

与中、高层流线形成对照的是, 特大暴雨临近时低层600 hPa及以下各层来自湖南、江西等省的偏南风水流则向江汉平原汇合。这在950 hPa最为突出, 该层等压面上, 我国南方广东、广西、湖南、江西、福建、浙江等数省偏南风水流十分密集, 表现了暖湿气流非常活跃。其中, 湖南上空以南风为主, 江西上空以东南风为主。南风气流与东南风水流在湘、赣、鄂交界地区以及江汉平原上空汇合, 然后转向继续西进并最终与来自河南、陕西的北支气流在鄂西南附近相遇, 从而形成一条典型的风场辐合线。

### 3.3 垂直运动分析

从监利站垂直速度时-空剖面图(图略)可见, 24日08时以后监利上空垂直上升运动逐渐发展。其中, 尤其以24日20时前后600~900 hPa上升运动发展最为显著, 其中心数值低于  $-0.4 \times 10^{-2} \text{ hPa}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

### 3.4 低层正涡度区加强与特大暴雨产生

从23日08时至26日02时监利相对涡度的时空演变图(图略)上可见, 边界层900 hPa高度上相对涡度正值增加与暴雨的发展时间上对应最好, 故以下分析该等压面上暴雨区正涡度增加的过程。

图4给出了暴雨期间900 hPa上相对涡度正值区加强过程。从图4a中可见, 5月24日08时在川东到重庆和河南省西部有两个中尺度正涡度区A和B, 其中心位置分别为A(29.8°N, 106°E)、B(33.5°N, 112°E), 中心最大强度分别为  $5.5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 、 $6.2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ , 均属于中尺度系统。图4b显示24日14时, A中心东移至29.5°N、107°E, 强度减弱为  $4.2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ; B中心向西南方向移到33.0°N、111.5°E, 强度减弱为  $5.5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 。两个正涡度区之间的距离有所缩短。图4c显示, 到24日20时正涡度区A的中心突然东移到湖南西北部29.0°N、111.0°E, 6 h内移动的距离超过了400 km, 强度基本维持不变, 但正涡度区范围明显加大; 正涡度区B略微东移至33.0°N、112.0°E, 中心数值加大到  $7.0 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 。正涡度区B上一个时次的轴向是NE—SW走向的, 此时转为S—N走向。A与B之间距离进一步缩短,  $3.0 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 的等涡度线已经将它们包围起来。可见, 两正涡度区正在互相靠拢。图4d显示, 到25日02时A、B基本合并。合并后的正涡度中心位于监利测站附近, 相对涡度最大值增大为  $8.5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 。

对比前面6 h一次雨量图, 24日14~20时湖北省境内超过10 mm的降雨中心有南、北两个, 它们分别同24日20时湖北省900 hPa南、北两个正涡度区中心位置对应较好; 24日20时至25日02时, 南部雨量中心位置东移到监利, 降雨迅速加强, 最大雨量超过250 mm, 而25日02时900 hPa正涡度区中心也正好位于监利附近。可见, 江汉平原这次强降雨发生与低层大气正涡度加强关系密切。

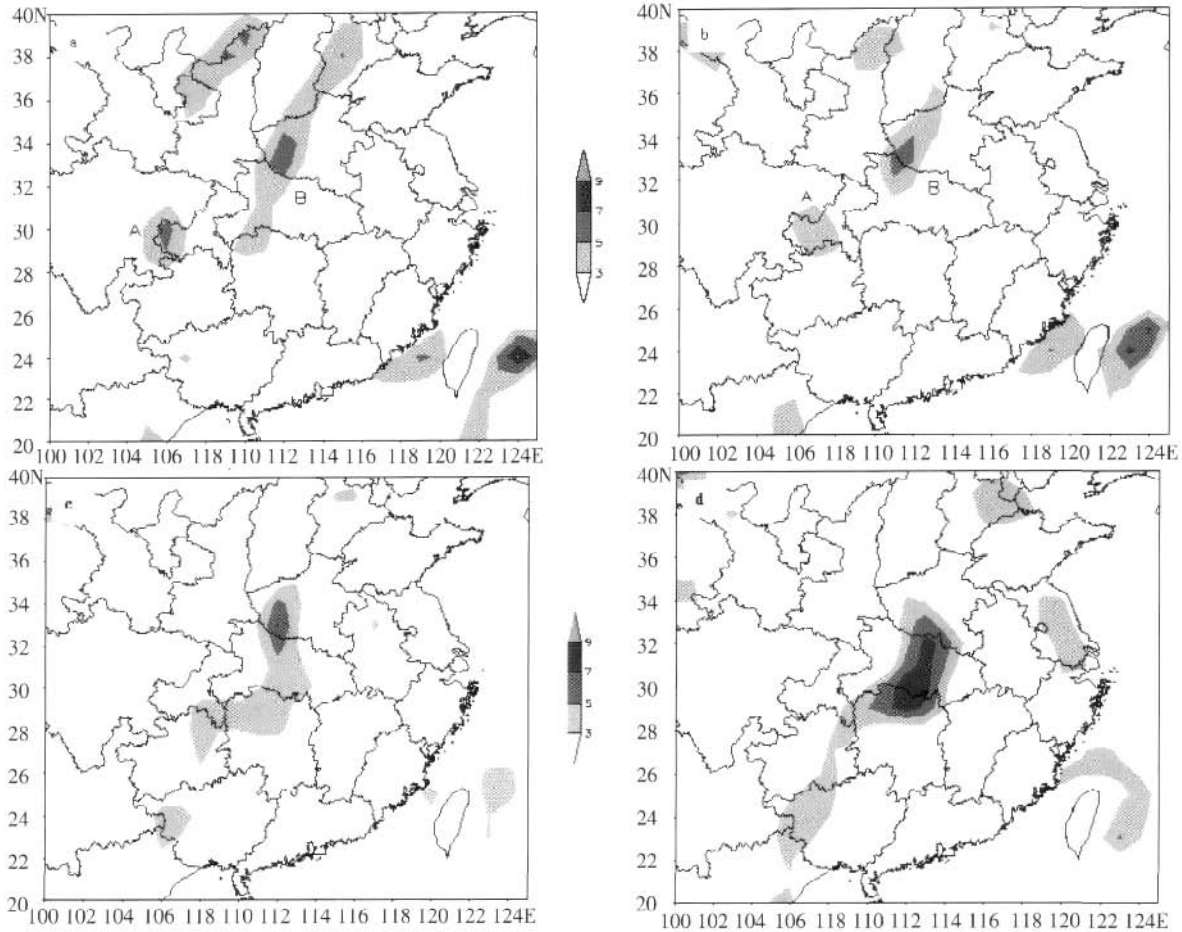


图 4 900 hPa 相对湿度变化(单位:10<sup>-3</sup> s<sup>-1</sup>) (a)24 日 08 时;(b)24 日 14 时;(c)24 日 20 时;(d)25 日 02 时

### 4 稳定度与低层能量条件

地转平衡条件下,若大气对气块的水平扰动加速,则称这种大气是惯性不稳定<sup>[3]</sup>。惯性不稳定的判据是环境气流的绝对涡度小于零。以下通过分析 24 日 20 时和 25 日 02 时高层 250 hPa 绝对涡度的分布来说明特大暴雨前后惯性不稳定的作用。24 日 20 时(图略)高层 250 hPa, 监利绝对涡度在 6.0×10<sup>-5</sup> s<sup>-1</sup> 以上,但是贵州的北部有一个水平尺度超过一个纬距的负绝对涡度区域,说明该区惯性不稳定。到 25 日 02 时(图略)监利绝对涡度下降到 3.0×10<sup>-5</sup> s<sup>-1</sup> 以下,说明惯性稳定度减小。同时原来位于贵州的负绝对涡度区已经移到了特大暴雨区南侧即湖南中北部。以上说明特大暴雨过程同时伴有监利高层大气惯性稳定度的减小和暴雨区南侧惯性不稳定区的东移。

对流稳定度是当整层空气抬升变为饱和情况下的静力稳定度,当湿静力温度随着高度的增加而减小时空气是对流不稳定的。根据文献<sup>[4]</sup>,湿静力温度计算公式为:

$$T = T_0 + \frac{g}{c_p} Z + \frac{L}{c_p} q(T_0, p) \quad (1)$$

其中干空气比定压热容  $c_p=1\ 004.07\ J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ ;

重力加速度  $g$  为  $9.8\ m \cdot s^{-2}$ , 海拔高度  $Z$  的单位为  $m$ ; 水的汽化潜热  $L = 2\ 501\ J \cdot g^{-1}$ , 比湿  $q$  的单位为  $g \cdot kg^{-1}$ , 得到的湿静力温度  $T$  单位既可以采用绝对温度(K),也可以采用摄氏温度( )。分析 24 日 20 时和 25 日 02 时过监利湿静力温度经向垂直剖面图(图略)可见,这两个时次雨区上空大致 750 hPa 高度以下湿静力温度随着高度的增加而减小,说明降雨过程雨区低层维持着对流不稳定。

图 5 给出了低层 850 hPa 湿静力温度沿监利所在经线时间-纬度变化。发现湿静力温度高于 64 高值区 24 日 14 时以前主要位于 25°N 以南,24 日 14 时以后突然明显北移、到达特大暴雨所在纬度,形成所谓的湿静力温度高能舌。该高能舌活动对于其后大暴雨和特大暴雨的形成十分有利。

### 5 水汽条件

图 6 给出监利站点上空水汽通量散度空间-时间变化。从 23 日 20 时至 25 日 08 时,850 hPa 以下监利出现水汽辐合,其中尤其以 24 日 20 时到 25 日 02 时最为显著,中心数值低于  $-6.0 \times 10^7\ g \cdot hPa^{-1} \cdot cm^2 \cdot s^{-1}$ 。600 hPa 以上中高层水汽在 24 日 14 时以后则以辐散为主。

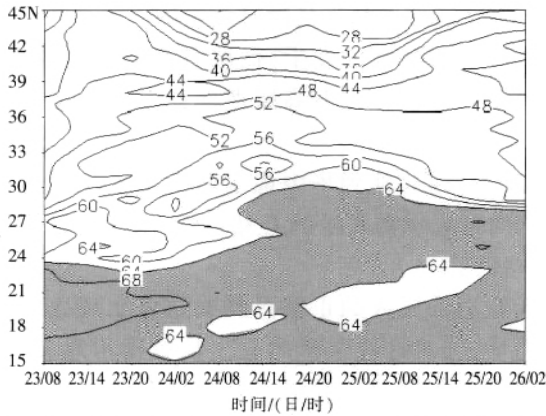


图 5 沿监利所在经线(112.54°E)850 hPa 湿静力温度随时间变化(间隔:4 °C, 阴影区数值大于 64 °C)

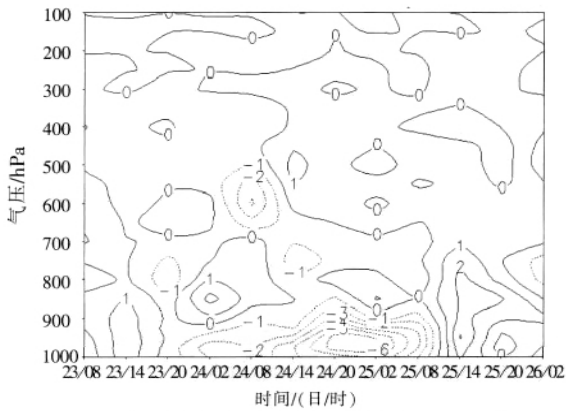


图 6 监利站点水汽通量散度的高度-时间变化(等值线间隔:1.0×10<sup>-7</sup> g·hPa<sup>-1</sup>·cm<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>)

观察 24 日 20 时 100~1000 hPa 共 21 层各层水汽输送的情况,发现数值超过 10 g·cm<sup>-1</sup>·hPa<sup>-1</sup>·s<sup>-1</sup> 的西南水汽输送主要集中在 750~975 hPa,即向特大暴雨区输送水汽主要集中在中、低层。从 750~975 hPa 平均水汽通量场 23 日 20 时、24 日 02、08、14、20 时和 25 日 02 时连续六个时次变化来看,伴随着监利特大暴雨的发生,有一支南海西北部至北部湾附近海域水汽通道逐步建立,然后向华中五省包括湖南、江西、湖

北、安徽、河南大量输送水汽的过程。过程期间孟加拉湾到中南半岛西部一直维持西南水汽通道;过程后期孟加拉湾水汽通道与华南水汽通道连成一片。但形成特大暴雨的水汽主要还是来源于南海西部海域。

至 23 日 20 时,南海北部还没有水汽通量超过 10 g·cm<sup>-1</sup>·hPa<sup>-1</sup>·s<sup>-1</sup> 的西南风水汽通道建立;24 日 02 时水汽通量超过 10 g·cm<sup>-1</sup>·hPa<sup>-1</sup>·s<sup>-1</sup> 的大值区出现在北部湾到广西南部,24 日 08 时大值区前端到达贵州东部,24 日 14 时大值区前端回退到广西北部,24 日 20 时大值区前端到达湖南东北部,已经抵达大暴雨区南界。到 25 日 02 时,水汽通量大值轴强烈发展,前端抵达河南东南部到安徽西部,且超过 10 g·cm<sup>-1</sup>·hPa<sup>-1</sup>·s<sup>-1</sup> 的大值轴已经从淮河上游、华南到中南半岛、孟加拉湾不间断连接起来。可见西南水汽通道的建立是特大暴雨发生的有利条件。

### 6 h-螺旋度与湿螺旋散度分析

采用文献[2]中方法计算 P 坐标系中的 h-螺旋度,即

$$h = \left( \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) \quad (2)$$

采用文献[5]中方法计算湿螺旋散度 F,即

$$F = \nabla \cdot \vec{V}_q = \left( \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) \left( \frac{\partial uq}{\partial x} + \frac{\partial vq}{\partial y} \right) \quad (3)$$

图 7a 给出了监利站 h-螺旋度时-空演变。可见,23 日 14 时监利 800~400 hPa 高度之间已经有小于 -100.0×10<sup>-9</sup> hPa·s<sup>-2</sup> 的 h-螺旋度生成,但是从监利自动气象站记录看并无降雨出现;到 24 日 20 时,900 hPa 高度 h-螺旋度才开始出现小于 -150.0×10<sup>-9</sup> hPa·s<sup>-2</sup> 区域。监利站强降雨于 24 日 21 时出现,可知 h-螺旋度负值明显加大与这次降雨强度明显加强在时间上对应较好,但是,强降雨出现之前 h-螺旋度负值加大并不明显。

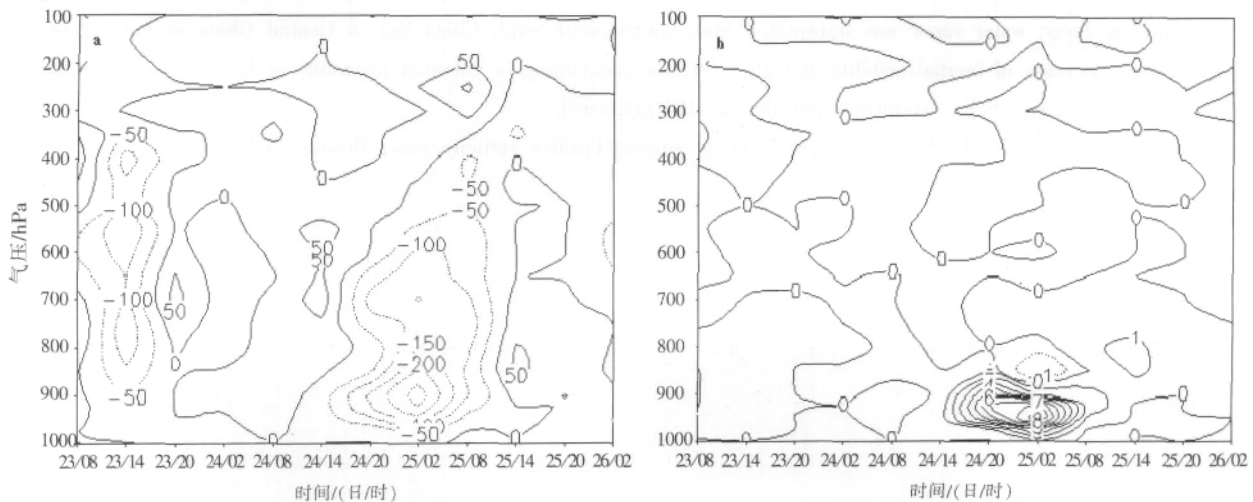


图 7 监利 23 日 08 时至 26 日 02 时 h-螺旋度(a)(单位:10<sup>-9</sup> hPa·s<sup>-2</sup>)与湿螺旋散度(b)时空剖面(单位:10<sup>-14</sup> hPa·s<sup>-3</sup>)

图 7b 显示监利湿螺旋散度时-空演变。23 日 08 时至 24 日 08 时监利上空整层大气没有出现超过  $1.0 \times 10^{-14} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-3}$  的湿螺旋散度正大值; 到 24 日 14 时距特大暴雨发生还有 7 h, 低层正湿螺旋散度开始发展, 其中 950 hPa 正湿螺旋散度超过  $1.0 \times 10^{-14} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-3}$ 。此后低层湿螺旋散度正大值明显增加, 极大值超过了  $9.0 \times 10^{-14} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-3}$ , 大值一直维持到整个降雨过程结束, 可见该物理量对这次特大暴雨发生的临近预报有一定指示作用。考查湿螺旋散度公式中的 3 个因子, 发现当时监利该高度上垂直上升运动、正涡度和水汽辐合三者都得到了发展, 其中尤以水汽辐合最为显著。

## 7 结论

(1) 江汉平原初夏这次降雨过程最初是从鄂西南山地逐渐向江汉平原东移发展的。强降雨范围不大、时间不长、降雨强度却很大, 最强降雨发生在上半夜。

(2) 这次强降雨发生之前, 高空急流南界先向北移出湖北省上空, 伴随着强降雨的发展与减弱, 急流南界又重新南扩到湖北南部; 急流核在强降雨发生之前在  $35^{\circ} \sim 40^{\circ} \text{N}$  之间东移, 特大暴雨发生时已位于暴雨区东北方向渤海湾一带。这次特大暴雨产生与低层中

尺度正涡度区加强基本是同时发生的。

(3) 伴随着暴雨的发生, 低层有高能舌区活动; 此次特大暴雨过程存在着高层惯性稳定度的减小和低层对流不稳定的维持。

(4) 南海西北部到华中地区西南风水汽通道的建立是这次特大暴雨发生的有利条件, 水汽输送主要集中在中、低层。

(5) 监利低层大的正值湿螺旋散度出现比强降雨出现要早, 它对这次强降雨发生具有指示意义, 表明预报江汉平原初夏突发强降雨要同时关注低层的水汽与动力条件。

## 参考文献:

- [1] 公颖, 周军, 李红莉. 梅雨锋上中尺度涡旋与高低层流型演变的关系[J]. 气象, 2005, 31(11): 34-38.
- [2] 金琪, 施望芝, 孟英杰. 2004 年湖北省一次暴雨过程特征分析[G]// 武汉区域气象中心编. 暴雨·灾害. 北京: 气象出版社, 2006: 9-16.
- [3] 寿绍文, 励申申, 姚秀萍. 中尺度气象学[M]. 北京: 气象出版社, 2003: 153-154.
- [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: 32-42.
- [5] 雷正翠, 任健, 马镜娴, 等. 一次江淮梅雨中的涡旋合并过程分析[J]. 南京气象学院学报, 2006, 29(3): 358-363.

# Diagnostic Analyses of an Abrupt Torrential Rain at Jiangnan Plain

ZHANG Duan-yu, ZHANG Bing

(Wuhan Institute of Heavy Rain, CMA, Wuhan 430074)

**Abstract:** An abrupt torrential rain occurred at the south of Jiangnan Plain at the night of 24th May, 2006. Using NCEP analyzed data and automatic meteorological station data, a research is conducted. The results are reached as follows: before the heavy rain, the south border of upper level jet (ULJ) stream retreated from Hubei province to the north, with the occurring and weakening of the rain, the border came back to the upper level over Hubei province again; before the heavy rain, the core of the ULJ moved from the west to the east within the zone from  $35^{\circ} \sim 40^{\circ} \text{N}$ , and when the heavy rain began, it was at the northeast of Hubei province already. The occurrence of the torrential rain coincided with the strengthening of a meso-scale zone with positive vorticity at boundary layer; water vapor was transported from northwestern South China Sea to Central China at low levels; during the rain there were decrease of inertial stability at high level and maintaining of potential instability at low levels; before the heavy rain, large positive moisture helicity divergence appeared at 950 hPa level.

**Key words:** Torrential rain; Evolution of upper level jet stream; Positive vorticity zone; Moisture helicity divergence