

高原逗点云团与江南暴雨

季良达 郑新江 马 岚

(国家卫星气象中心, 北京)

万 丰

张晓虎

(国家气象中心, 北京)

(国家卫星气象中心, 北京)

摘 要

本文主要是利用水汽图像和 HLAFS 数值模式计算方法从定性到定量地研究 1998 年 6 月 12 日~14 日江南北部的一次大暴雨过程。通过云系路径的分析和发展的定量研究, 我们可清楚看到影响江南北部这次大暴雨过程的天气系统, 是从青藏高原东移的。其中, 特别是该系统(气旋)东移到暖湿的海面时得到了大量暖海表面水汽蒸发补充, 水汽上升凝结潜热释放, 促使气旋迅速发展。

关键词: 江南大暴雨过程, 水汽图像, HLAFS 模式。

一、概 况

本文主要利用水汽图像和 HLAFS 数值预报模式计算方法研究 1998 年 6 月 12~14 日江南北部的一次大暴雨过程。12 日主要雨区位于江淮地区, 日雨量为 20~40 mm, 13~14 日江南北部日雨量为 60~150mm, 其中, 江西鹰潭市日雨量最大达 204 mm。由于连续几天暴雨, 引起山洪爆发, 泥石流等造成人民生命财产的严重损失。

二、高原逗点云系的来由

高原逗点云系来自有两个方面, 第一方面是外面移入, 移入路径有三条: 西路从克什

*本文于 1999 年 6 月收到。

作者简介: 季良达 (1937-), 男, 福建人, 高级工程师。

米尔进入高原西部；南路从尼泊尔、不丹等地北上进入的；西北路从新疆地区进入。第二方面是在高原上原地生成的，大家知道青藏高原地势高、地形复杂、气候多变，冬季是一冷源，夏季是一热源，正如叶笃正先生在《青藏高原气象学》书中所论述，地表接受日照强度越高，太阳辐射被大气吸收和反射回天空的部分越少，也就是到达地面的越多。但同样地形越高，冰雪覆盖面越多（尤其是冬季），反照率也就越大，被地表面吸收的太阳辐射也就减少。青藏高原是世界上最高的高原，它对大气有热力作用，这种热力作用直接加之于对流层中部，对大气层影响较大。98年5~6月高原上的月平均气温比常年偏高，它的热力作用应该比常年更加明显。又因为青藏高原上大气垂直结构上层冷、下层暖特别突出，尤其是白天太阳照射，地面温度回升特别快，但高空慢，所以容易产生大气垂直不稳定气流，一旦低层水汽供给充足，高原上白天对流性云发展特别快，但一到晚上太阳照射消失，地表冷却，大气垂直不稳定气流减少，高原上对流云明显减少，有的几乎消失，但有的云系已发展成逗点云系，有的甚至已发展成气旋性云系，如湿核心气旋的云系，它就更容易消失了。它不仅不容易消失，而且是湿核心气旋的核心在变化中不断加湿，气旋的云系在发展。

三、高原云系的昼夜变化

高原云系由于受太阳光照射不一，昼夜变化是十分明显的，白天由于受太阳光照射，地表气温回升很快，此时如果低层水汽充沛，对流云将发展很快；相反，晚上高原上的热量向四周辐射，地面冷却很快，对流云也将处于减弱状态。不妨我们可选1998年7月19~20日12时和18时，两天每天两个时次的水汽图像进行比较，12时是高原上受热，可代表高原上对流云发展较强时刻，18时是高原上冷却、气温下降，可代表高原上对流云处于减弱的时刻。由图（1998年7月19日12时和1998年7月19日18时）（图略）两张图比较可见，19日12时图上，整个青藏高原上布满了米粒状的不稳定的对流性积云，非常白亮，反映它正在发展中，其云团总数大约有30余个。6小时后，高原冷却气温下降到最低点。由于地面冷却，气温下降，高原上对流不稳定减少，19日18时图上可清楚看出，青藏高原西部，30~33°N，80~90°E地区的积云系，就高原上的云量而言，12时图上比18时图上明显多，亮度也亮，而18时图呈灰白色，高原中部和东部的云系减弱比6小时前更为明显。同理，我们选取1998年7月20日12时和18时两个不同时刻图，作比较高高原上云系，由于白天受太阳光照射受热和晚上冷却，所产生对流性不稳定云系的发展与削弱更加突出，20日12时青藏高原上云系无论是云量、云系亮度、云高都明显比20日18时多、亮、高。

四、高原逗点云系东移

98年6月12~14日长江中下游至江南东北部的一次暴雨过程的天气系统是一中尺度气旋云系，其中，特别是气旋尾部云带发展并南压、西伸影响到赣北、闽北出现了大暴雨，江西鹰潭市日雨量最大为204mm。这一气旋云系来由与发展情况，不妨我们用水汽图像作

一追踪分析。利用序列水汽图像我们可追踪到 98 年 6 月 10 日 09 时, 详见图 1 序列图。此图像共 6 幅, 最后一幅是 6 月 12 日 09 时, 中间历时 51 个小时, 序列图每两幅图中间间隔的时间不等, 短的间隔 6 小时, 长的 14 小时。由序列图 1a 位于我国西北地区东部, 青藏高原东部有一近南北向锋面云带, 云带西南部也就是位于西藏东部、青海东部有许多白亮小尺度对流性云系。这些云系组成带状, 位于青海鄂陵湖西侧有一黑点。此黑点可分析为是中尺度云团的一个中心, 其中, 这个黑点还连接着两条暗线, 细分析位于青海西部内蒙古西部边界附近, 有一头边界, 其边界不十分清晰, 可见气旋云系不强。9 小时后, 10 日 18 时云系东移, 位于甘肃迭部附近出现一黑点, 6 小时后, 即图 1b 黑点发展为暗区, 其云系中心移至四川达县附近, 10 小时后 (6 月 11 日 10 时), 其云系中心移到河南南阳附近, 6 月 12 日 00 时云系中心移至山东菏泽地区, 7 小时后, 图 1c 气旋云系中心移到黄海北部海域。

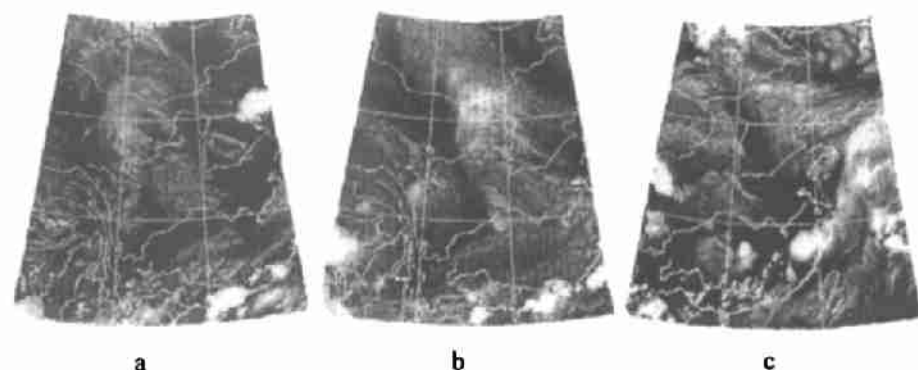


图 1 1998 年 6 月 10 日 09 时、11 日 00 时、12 日 09 时水汽图像

五、逗点云系东移发展

由图 1 东移的问题前面已作了交代, 发展问题由图 1a 到图 1b 也可看得很清楚, 由 10 日 18 时图到 11 日 00 时图, 位于青藏高原东部的云已发展成逗点云系, 图 1b 位于青海湖东南方的逗点云系头边界清晰, 即由甘肃武威到天水有一条近南北向暗线, 暗线南端紧接着有一干涌区, 其干空气向逗点云系伸入, 由 11 日 10 时图可见头边界清晰度不如前一时刻, 也就说强度稍些减弱, 但位于长江中游的云加厚, 12 日 00 时的云图暖区部分已移到黄海上, 但气旋中心还在陆地上。由此图可见头边界十分清晰, 头边界西侧暗区加大、加黑, 与暗区相接干气流向气旋云系伸入, 头边界西伸, 云带北端的北边界向东南方凹进, 云系头上游方向出现辐散状云。由此可见, 这云已发展为气旋云系, 高层辐散很清楚, 低层辐合也是很明显, 气旋云发展, 其中心位于头边界内侧头下方山东菏泽附近。云带尾部向西南方向伸展到江西北部、浙江和福建北部。图 1c 其气旋中心已移黄海上, 头边界已出现一鼻子, 暗区仍有发展, 特别是位于云带北侧边界更加清晰, 云带尾部不稳定性积云再度发展。此时也是江西北部、福建北部和湖南北部出现暴雨到大暴雨时刻。

六、逗点云系东移发展的成因

青藏高原上逗点云系东移发展的成因,由图 1a 可见,位于蒙古中部至我国青海中部,有一条东北~西南向锋面云带,云带东南方也就是在青海东部有一逗点云系,对应同一时刻的 500hPa 高空图(图略)上位于青海西部有一槽,东部有一西南风与东南风切变,云系处于一暖区之中,切变线后紧跟一冷槽,槽后气温一般比槽前低 4~6℃,但紧靠槽线处的槽前有 2 个站与槽后温度一样。由此可见,槽后也有部分冷空气冲到槽前。对应 500hPa 上空 200hPa 图(图略),位于青海是一较强高压脊,吹一致西北风,风速达 28~30m/s,由此产生中低层辐合,高层辐散是很明显的,有利于系统发展。此冷槽在东移过程中与槽前的暖切变合并,并逐渐东移再度发展。12 日 08 时 500hPa 图(图略)上,位于甘肃的冷槽东移到山西,12 小时后,东移到渤海海面,气旋中心温度比周围温度低 2~6℃,槽东移到海面,遇到海面的暖湿空气上升水汽凝结潜热释放,促使气旋云系再度发展。对应 200hPa 图(图略)是一清楚槽,槽后偏北风比较强,西北风达 36~44m/s,高空气温比周围也低 4~8℃,可见上冷下暖,易产生不稳定天气。

七、物理量分析

青藏高原逗点云系东移、发展造成江南东部的一次大暴雨过程,前面已作了定性分析,以下我们利用 HLAFS 数学模式对此系统的东移、发展作垂直速度、水汽通量、涡度、散度四个物理量分四个层次(850、700、500 和 200hPa)从 1998 年 6 月 11~14 日每天 2 次共 8 次计算,共算得 128 张图和数值,由于资料很多,证据很充分,在此不可能都一一列出,仅以几个有代表性物理量所属时次和层次的物理量分析,足以说明。从以上 HLAFS 模式计算的资料分析,我们可得以下几点结论:

1. 青藏高原逗点云系在东移过程中不断加强

如何更能说明天气系统的发展,上述四个物理量均可,在此我们选用垂直速度,因为垂直速度和水汽、热量、涡度、散度和能量分布都有着密切关系,由垂直运动公式:
$$\omega_p = \omega_{p_0} + \int_p^{p_0} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) dp$$
中我们也可看出,它是从连续方程 $\frac{\partial w}{\partial p} = -\left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right)$ 从地面到某高层积分所得的结果。 ω_{p_0} 为地面垂直上升运动,当地面层上升速度 $\omega_{p_0} = 0$ 则方程可简化为 $\omega_p = -\int_{p_0}^p \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) dp$,由公式可见,某 P 层的垂直速度,是由某 P 层以下整层的水平散度之和所决定的。当 $\left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) < 0$ 时,则为某 P 层向上运动,相反,当 $\left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) > 0$ 时,则为某 P 层向下运动。因为空气运动是遵守连续方程的,当水平散度之和为辐散时,上层空气必然通过 P 层向下补充,形成 P 层有下沉运动,相反,则形成 P 层有上升运动。

现以 6 月 11 日 00 时~13 日 00 时 700hPa 上的垂直运动图为例(因为 700hPa 层是垂直

速度最大的层次)由序列图2(a、b、c)。图2a为6月11日00时700hPa的垂直速度图。由图可见,与系统相对应的位于内蒙中部四川、贵州、湖南有一垂直上升区域,其中,位于湖南、四川西部、内蒙中部各有一垂直速度上升区,其中心值分别为 $-356.6 \times 10^3 \text{hPa/s}$ 、 $-572.8 \times 10^3 \text{hPa/s}$ 和 $-222.1 \times 10^3 \text{hPa/s}$,24小时后,该系统东移到山西至湖南附近,东南方扩展到江西、福建北部一带,上升运动中心也分为两个大的区域,西边一个又有两个小中心,其值位于山西一个为 $-653.0 \times 10^3 \text{hPa/s}$,位于湖南一个为 $-490.0 \times 10^3 \text{hPa/s}$;东边一个也有两个中心,分别为位于苏北的中心值 $-400.0 \times 10^3 \text{hPa/s}$ 和位于赣北的中心值 $-300.0 \times 10^3 \text{hPa/s}$,可见,明显比24小时前增大,系统加强了。48小时后,即6月13日00时700hPa垂直速度,该系统继续东移到日本海峡附近海域,与此相对应辐合上升中心为 $-832.0 \times 10^3 \text{hPa/s}$,和位于东海又有一中心为 $-150.0 \times 10^3 \text{hPa/s}$ 以上。由上三天700hPa与系统相对应的垂直上升运动增加,我们分析认为该系统在东移过程中是在加强,尤其是在系统移至海上时,与系统对应的上升区域范围和中心数值都比前几天明显增强,尤其值得注意的是两个大上升区中有四个上升中心对气旋发展和锋区尾部锋生以及对闽、赣北部降水的贡献。

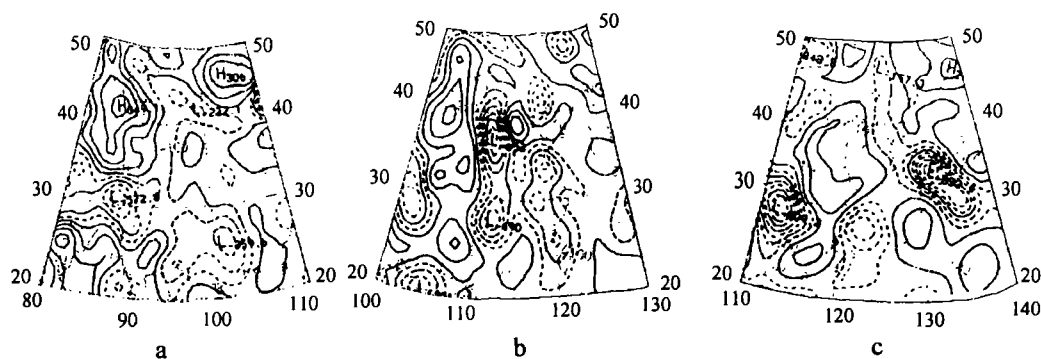


图2 1998年6月11、12、13日00时700hPa垂直速度

2. 该系统入海后迅速发展是由于水汽输送增加

作者分析认为,该系统入海后迅速发展是由于水汽对系统输送增加的原因。

水汽通量是:在单位时间里,单位体积内汇合进来或辐散出去的水汽量。

水平方面的水汽通量散度 $A(A_x + A_y)$ 的表达式为 $A = A_x + A_y$,

$$A_x = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{g} uq \right) = \frac{m}{2d} \left[\left(\frac{1}{g} uq \right)_b - \left(\frac{1}{g} uq \right)_a \right]$$

$$A_y = \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{g} vq \right) = \frac{m}{2d} \left[\left(\frac{1}{g} vq \right)_c - \left(\frac{1}{g} vq \right)_d \right]$$

m 为地图投影放大系数, d 为中心原点离周围A、B、C、D四个点的距离, u 、 v 为地转风分量, q 为比湿。

大家知道水汽输送主要表现在中低层,特别是低层,所以,在此我们可用 11~13 日 00 时 3 天, 850hPa 上水汽通量计算结果进行分析。由序列图 3 (a、b、c) 可知,其中,图 3a、即 1998 年 6 月 11 日 00 时 850hPa 水汽通量图上可见,与系统相对应水汽通量较大的位于 110°E 左右呈南北向,其中心位于老挝附近,中心值为 $257.0\text{g}/(\text{s}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{hPa})$, 24 小时后,与系统对应水汽输送中心东移到贵州、湖南一带,其中心值比 24 小时前增大为 $289.1\text{g}/(\text{s}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{hPa})$ 48 小时后即 6 月 13 日 00 时 850hPa 水汽通量图 3c,该中心继续东移至东海东部,其中心值为 $273.2\text{g}/(\text{s}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{hPa})$,向北输送水汽通量无论是范围和强度都比 24 小时前更大。由此可见,该系统发展与水汽通量输送量增加(范围加大和数值增大)有着密切关系,尤其系统入海后水汽通量增加更大。水汽通量输送增大,水汽上升凝结,潜热释放,促进辐散(辐合)加大,辐散(辐合)加大又会促使垂直运动加大,从而会促使系统发展,这是显而易见的。黄河气旋移入海迅速发展,台风登陆迅速减弱,减弱的台风移入海后又迅速加强,这些大量例子也说明这个问题,因为系统入海后可得到海面大量水汽蒸发上升补充,水汽上升凝结潜热释放,将促进系统迅速发展。

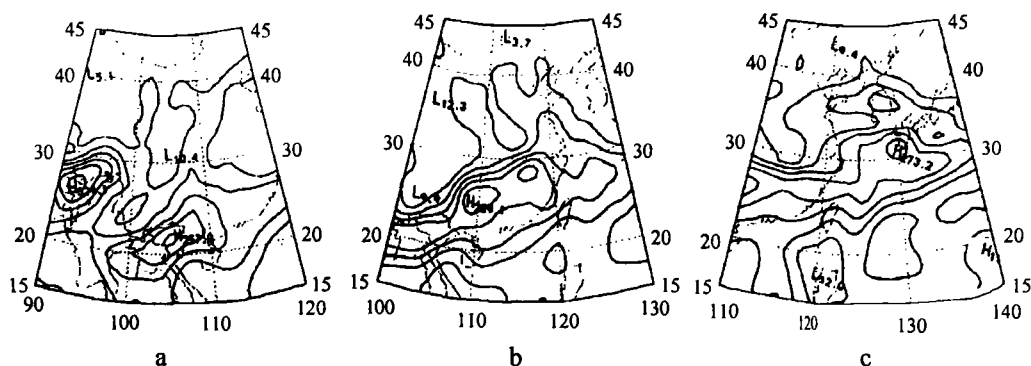


图 3 1998 年 6 月 11、12、13 日 00 时 850hPa 水汽通量。

3. 从计算散度量看,中低层辐合,高层辐散也是十分清楚的

中低层辐合上述已作了些分析,在此不重复,高层辐散,不妨我们可从 6 月 11 日 00~13 日 00 时 200hPa 散度图(图略),由 6 月 11 日 00 时图(略)与系统对应位于 110°E 东侧有一近南北向辐散区,其中心值位于山西附近最大为 $300.3\times 10^{-10}/\text{s}$, 24 小时后,6 月 12 日 00 时 200hPa 散度图(略)上,对应该系统辐散区移至黄河北部到东南沿海等地,其中心值位于黄海北部为 $380.2\times 10^{-10}/\text{s}$, 48 小时后,6 月 13 日 00 时继续东移到日本海峡,中心值为 $381.6\times 10^{-10}/\text{s}$ 。由上分析可见,中低层辐合、高层辐散在东移中逐渐加强,尤其是系统移入海后,其高层辐散(中低层辐合)更为清楚。

总之,98 年 6 月 12~14 日江南北部大暴雨是由于青藏高原逗点云系东移,并发展成气旋,气旋入海后获得暖海面大量水汽蒸发补充,水汽上升凝结潜热释放,促使气旋继续迅速发展,其中特别是锋面云带尾部锋生影响的结果。

参 考 文 献

- [1] 李国文. 西南热低压及其预报的研究. 气象学报, 1965,35 (2):
[2] 叶笃正等. 青藏高原气象学. 1979.
[3] 郑新江等. 水汽图像. 1994.
[4] 朱乾根等. 天气学原理和方法. 1979.

COMMA CLOUD CLUSTER OVER PLATEAU AND RAIN GUST OVER SOUTH OF CHANGJIANG RIVER

Ji Liangda Zheng Xinjiang Ma Lan

(National Satellite Meteorological Center, Beijing)

Wan Feng

(National Meteorological Center, Beijing)

Zhang Xiaohu

(National Satellite Meteorological Center, Beijing)

Abstract

In this paper a rain gush process over the north section of the south of Changjiang River during 12~14 of June, 1998 was studied qualitatively and quantitatively by moisture image and HLAFS numerical model. Through the analysis for cloud tracks and the quantitative study for cloud strengthen, it was clearly seen that this process was come up from Qingzang plateau, and cyclone system was rapidly intensified when it was moved over the warm and moist sea surface by absorbing a plenty of moisture, which would supply latent heat as rising.

Key words: Rain gush process over south of Changjiang River, moisture image, HLAFS numerical model.