

“9061”闽西大暴雨过程分析

卢福隆 谢柏华

(福建龙岩地区气象局)

提 要

本文分析了1990年5月31日晚至6月1日上午,在福建省西北部发生的大暴雨过程的大尺度环流背景、物理量场、卫星云图和雷达回波资料,指出了这次过程产生的物理机制和各要素场特征。

一、概况

1990年5月31日晚至6月1日上午,闽西北部发生了一场大暴雨、局部特大暴雨的降水过程。根据水文点和各县站提供的雨量资料,闽西西北部共有18个站点12小时降水量($31^{20}-1^{08}$)在100mm以上,其中8个站点雨量在150mm以上、2个站点雨量超过250mm。这次降水来势较猛,雨量集中、致使山洪爆发、山地滑坡,冲毁大量的农田和房屋,造成人员伤亡和经济损失。

二、大尺度环流背景和主要影响系统

1. 大尺度环流背景

5月30—31日,欧亚中高纬度的环流为两脊一槽型,西脊在 75°E ,东脊在 150°E ,低槽位于贝加尔湖西北。中纬度冷空气活动不太强,高原以东存在阶梯槽,北面一槽与低涡(位于渤海)相连,高原东南侧也有阶梯槽存在。在低纬度,孟加拉湾东北部有一南支槽东移;西太平洋副热带高压为两环,西环小,位于中南半岛南部,东环主体较大,位置稍偏东,但在加强西伸。30—31日,在鄂霍次克海到日本一带,西风带高压脊明显加强,中纬度西风槽东移慢且在加深,东亚经向环流发展。

2. 主要影响系统

(1)850hPa切变线及其上的西南低涡

5月31日08时,850hPa切变线位于宁波、七仙山、吉安、都匀、昆明一带,与30日相比,辐合明显加强;另外,在切变线的西段,位于芷江与百色之间有低涡生成。31日20时,切变线西段南压,低涡中心移到柳州东侧,并呈扁圆形。至6月1日08时,切变线继续南压,低涡沿切变线移到梧州、连平一带;另外,在福州与赣州之间产生了一个小涡旋。分析表明,强降水区随着切变线的南移而南移,强降水中心与低涡的生成和发展相联系。

(2)地面准静止锋

31日08时,冷锋位于南京、南昌、衡阳、桂林、百色一带,至14时明显南压至武夷山、南岭北侧一带,并转为准静止锋。31日20时至6月1日08时,锋面南移慢,且在闽西北一带停滞少动。这一时段,武夷山地形槽逐渐明显,雷暴区沿锋面从西往东扩展,强降雨带沿锋面、锋后向东发展。这次闽西的大暴雨产生于锋面和锋后。

(3)500hPa高空槽

从5月31日至6月1日几个时次500hPa高空槽的移动变化和对应地面图上强降雨带的配置情况(图略)可以看出,强降雨带随着高空槽的东移加深而东移发展;而且,基本上在

槽前成带状分布。

三、物理量特征分析

分析计算各时次物理量，对大暴雨过程形成和发展的动力学、热力学特征进行探讨。

1. 温度场特征

图1是31日08时沿东北—西南走向的温

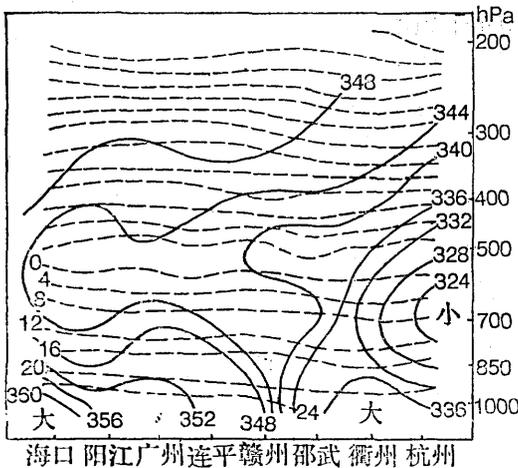


图1 1990年5月31日08时T和 θ_{se} 的垂直剖面图

度场结构的垂直剖面图，从 θ_{se} 场看，赣州以西的中层700—400hPa存在着 θ_{se} 的低值区，700hPa以下为 θ_{se} 的高值区，赣州与邵武之间存在着等 θ_{se} 线的密集区。至20时（图略），这种层结仍然存在，低层等 θ_{se} 线的密集区南移至连平与赣州之间，而且加密；邵武与赣州之间存在弱的锋区。另外，位于闽西上游的连平站31日08时K指数达38℃，表明这一带已相当不稳定。这次大暴雨产生于这种不稳定层结下的等 θ_{se} 线的密集区中。6月1日，等 θ_{se} 线密集区南移减弱，不稳定层结破坏。

2. 湿度场特征

大暴雨发生前，中低层高湿区由西往东移动。31日08时，连平的地面比湿为18.6 g/kg，24小时增湿2.2g/kg。31日来自孟

加拉湾的西南气流及来自南海东北部的小股东南气流与北方南下的偏北气流交汇，在闽西、赣南、粤北等地造成明显辐合。31日20时，南雄至寻乌、寻乌至上杭之间850hPa的水汽通量散度分别为 -5.3×10^{-7} 和 $-3.6 \times 10^{-7} \text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1}$ 。6月1日08时，这一带的水汽辐合虽减弱但仍较强。

3. 散度和铅直速度的垂直分布

(1) 散度的垂直分布

图2a、b分别为南雄附近上空和连平上

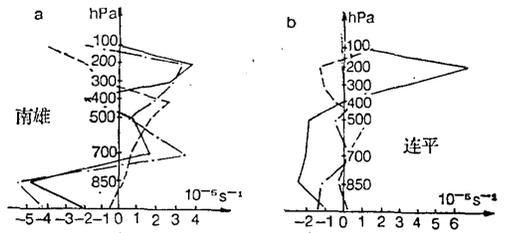


图2 南雄和连平附近上空散度垂直分布
断线表示31日08时的，点划线表示31日20时的，
实线表示1日08时的

空散度的垂直分布情况。由图可见，31日08时至6月1日08时两处上空低层的辐合明显增大，高层辐散大为加强。31日20时，南雄850hPa和200hPa的散度分别为 $-5.56 \times 10^{-5} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $3.23 \times 10^{-5} \cdot \text{s}^{-1}$ ；6月1日低层辐合仍很强。连平站31日20时以前其上空的辐散辐合量较小，至6月1日08时，400hPa以下均为辐合层，400hPa以上为强辐散层，辐合辐散极值分别达 $-2.5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ (850hPa)和 $6.8 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ (200hPa)。

(2) 铅直速度的垂直分布

图3a和b分别为南雄附近上空和连平上

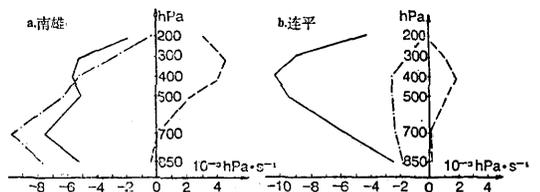


图3 南雄(a)和连平(b)上空铅直速度分布
断线为31日08时的；点划线为31日20时；实线为1日08时的

空的铅直速度的垂直分布情况。由图可见,31日08时两处上空皆为下沉运动,至20时后,整层为上升运动。31日20时,南雄700hPa的 ω 值达 $-9.6 \times 10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$,此时,连平上空的上升速度还不强。至6月1日08时,南雄上空的上升速度仍很强,连平则从低层至高空400hPa的上升速度几乎呈线性增加,400hPa的 ω 值 $-10.4 \times 10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。可见,暴雨发生时,这一带的上升运动是很强的。

4、能量场分析

由总温度和湿有效位能场逐日分析得出,在大暴雨发生前,(1)高能区是由西向东移动的;(2)闽西西南侧一带明显增能,31日08时连平850hPaT,达 69.4°C ,Amk值为 $67.8 \text{J/hPa} \cdot \text{m}^2$;(3)在大暴雨发生时,赣州至连平一带存在较强的能量锋区,能量梯度为 $8.1^\circ\text{C}/100\text{km}$,这次大暴雨发生在能量锋区偏于高能区一侧。

四、卫星云图、雷达回波及雨团分析

1. 卫星云图、雷达回波分析

在大尺度环流背景下,通过卫星云图、雷达回波分析,发现闽西西北部大暴雨过程主要包含3个回波系统的演变过程,且与雨团分析一致。

(1)对流回波带的停滞,使闽西西北部降水持续。从图4(GMS-4 IR卫

星云图)可知,31日移入闽西西北部的的前沿云带趋于少动;31日18时雷达探测中,有一条ENE—WSW走向的不连续回波带,在缓慢南移中充实系数不断增加,到22时带长达200km,宽30km,带中单体沿带东移并互相合并。与前个时段比较,回波顶高从8.5km发展到10.2km,衰减30dB,高度7.4km,回波中心强度达50.8dBz。这一阶段为雨团分析中的发展阶段,31日22时至1日6时,对流回波带走向与高空气流接近一致,对流回波带的上风方不断有新的回波单体产生和并入,使对流回波带长时间地停滞原地,在闽西西北部产生持续降水而形成暴雨。

(2)停滞少动的锋面回波带与东移中不同走向回波带交汇,使交汇处的回波发展,雨强增大。从图4a(31日19时)云图上看,锋面云带呈NE—SW走向,宽达5—6个纬距,其前沿较强的云带与地面锋位置K—K'一致,在云带的西南方即 $20-25^\circ\text{N}$, $110-115^\circ\text{E}$ 之间有一低涡云区,东侧的强云团位于梧州、广州、阳江一带,在强云团的前方有NW—SE走向云带与前沿的锋面云带交汇于 115°E 附近,即为图中B处,该云带南端有一强云团B'。此时,已在梅县雷达探测中测到,即为图5(31日18时59分)拼图中的B和B',分别位于赣南龙南至安远之间及粤东龙川至紫金之间。在21时

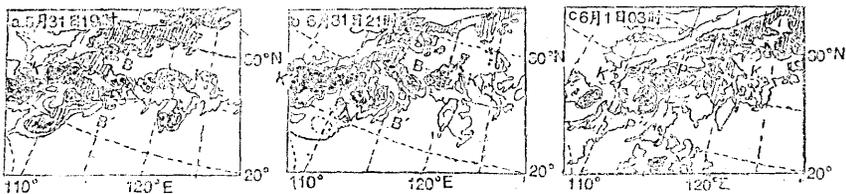


图4 卫星云图

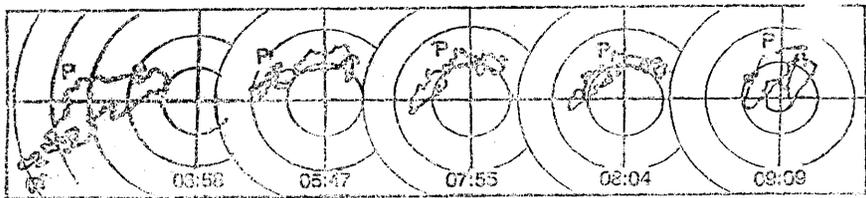


图5 龙岩雷达回波图及龙岩梅县回波拼图

云图(见图4b)上已经合并,强度有所发展;21时58分雷达拼图中呈B—B'带与锋面回波带A—A'交汇于武平北部和长汀南部境内,强回波区在长汀的濯田、涂坊附近;1日0时B—B'回波带移到闽西西北部的宣城、官庄一带,交汇处回波强度达到54.2 dBz,回波高度10.2km,官庄01—02时降水16.9mm,02—03时20.3mm;随着B—B'带东移速度减慢,强度也减弱。由此可见,两带交汇,回波发展,雨团范围明显扩展,雨强增大。

(3) 带状回波的波动,位于波动所在区域的回波强度强,雨势大。在1日03时云图(图4c)上,锋面云带的西南段较强云带已开始出现断裂,且逐渐向东北收缩,在07时30分可见光云图上(图略)得到证实。图4c上前沿的强云团P和P'与锋面云带K—K'构成波状,对应图6中03时58分雷达回波图为波状结构的回波带,波动所在处P回波

很强,地处赣南的安远一带,该处02至05时的降水量达52mm。05时47分波动回波P移至武平境内,武平06至08时降水量为63.7mm,08至09时P继续东移到连城朋口一带,连城08—10时降水34.5mm。由此可见,波动所在区域的雨强很大,且降水强度随回波带东移南压而逐渐减弱。这个阶段与下述雨团分析中雨团合并后达到强盛期的稳定阶段和后期雨团东移南压的减弱阶段相一致。

2. 雨团分析

通过收集稠密自记雨量,逐时分析31日20时至1日14时雨量图,且将大于5mm/小时的区域作为雨团,从中得出雨团演变的三个阶段(图7a、b、c),证实了回波系统演变及影响过程。

(1) 5月31日20时至6月1日0时,为雨团合并发展加强阶段。31日20时分布在闽西西部的雨团东移中减速且向北扩展,连城附近的新雨团又接踵东移,1日0时东、西雨团合

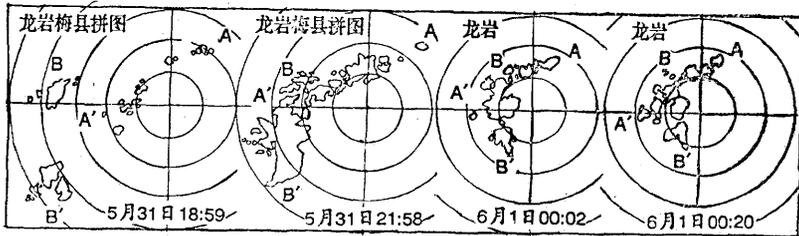


图6 6月1日龙岩雷达回波图

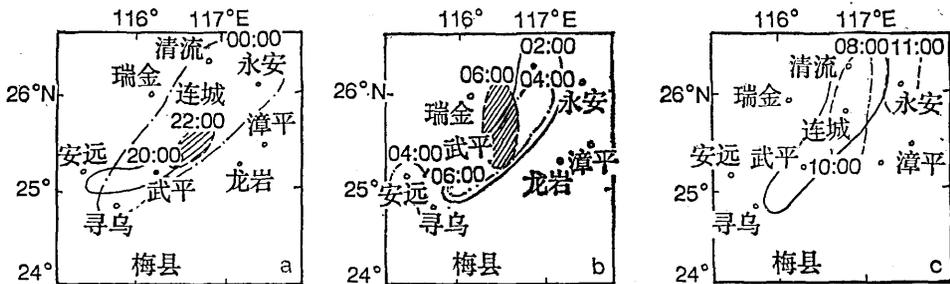


图7 雨团演变图(数字表示时间)

a为雨团合并发展加强阶段; b为稳定少变阶段; c为东移减弱阶段

并,范围明显扩展,伸向三明地区境内。

(2) 1日0时至8时,为雨团合并后发展

到旺盛期的稳定少变阶段。这个阶段受不同走向回波带的交汇及回波带波动的影响,加

大了短时雨强。

(3) 1日08时后为雨团东移南压的减弱阶段。此时，雨团有规律地东移，由于西部没有新雨团补充，雨团范围缩小，强度减弱。

五、触发机制的中分析

5月31日地面图上，冷锋后高压弱，气压梯度小；30—31日欧亚经向环流发展，西太平洋副热带高压加强西伸，南海至中南半岛南部存在小环高压，整个西风带系统因受高压带的阻碍，移动慢且在加深，环流相对稳定；另外，武夷山、南岭山脉对北方南下的冷空气有阻挡作用。以上原因致使锋面于31日14时至1日08时停滞少动。从流场分析可知，在降水时段内，闽西西北部始终贯穿一条辐合线（即准静止锋），在它的触发下，形成一条停滞少动的对流回波带。31日20时以后，在锋面西段，锋后逐渐加压（1日08时贵阳 $\Delta P_{24} = 6.9\text{hPa}$ ），西段云带南压，因受较强西南气流引导，其东段移速快（在云图上表现为1日02时后，西南一带的云区向东北方向明显收缩），在东移中与维持在闽西西部的锋面云带发生叠合和交汇，从而产生中尺度扰动。

为了分析扰动的产生和影响，我们利用比较稠密的测站自记气压资料，对31日14时至1日14时的自记值，采用Shapiro单站平滑公式(1)^[1]和时间平滑运算式(2)分别进行运算比较。

Shapiro平滑公式：

$$\overline{F}_i = (1-S)F_i + \frac{S}{2}(F_{i+1} + F_{i-1}) \quad (1)$$

时间平滑运算式：

$$\overline{F}_i = \frac{1}{i} \sum_{i-x}^{i+x} F_i \quad (2)$$

式中： \overline{F}_i 表示平滑后的场，是场的低频

部份（即大尺度场）， F_i 为原始场， S 为平滑系数（计算中取0.5）， $(F_i - \overline{F}_i)$ 表示原始场与平滑场之差，是场的高频部份（即扰动场）。(2)式中的 i 一般取中尺度系统的生命期，这里取 $i = 7$

通过(1)式和(2)式求出各站点的扰动量，点绘暴雨中心附近的代表点——武平扰动曲线(图8)和绘出每小时扰动场图(图略)，

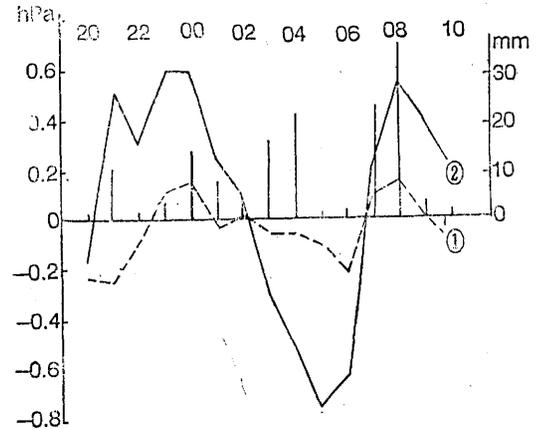


图8 武平 $(F - \overline{F}_i)$ 变化曲线

从图8看出(1)式和(2)式的扰动曲线相似，但(2)式的幅度大于(1)式，主要的降水出现在扰动场内及其附近地带。从各时次的(2)式扰动场图得知，31日18时至20时之间有一扰动场存在，其中心在赣州附近 (-0.59hPa) ，东移中减弱，与此相应西部有回波系统东移。6月1日02时至08时有较明显的扰动存在，03时出现多个扰动中心，05时扰动强度最大，中心在寻乌附近 (-0.83hPa) ，扰动沿引导气流向东北方向移动，相应在这个时段内是闽西西北部降水集中时段。表1是扰动中心与雨强中心的关系表，从表中可见扰动中心与后1小时的雨强中心有较好的对应关系。分析表明，雨团出现在扰动场附近，扰动中心与雨团强中心一致。

表 1

扰动中心与雨强中心关系表

	出现时间	02	03	04	05	06	07	08
扰动中心	地点	连城	寻乌 清流	瑞金 寻乌	寻乌	武平	连城	连城
	中心值hpa	-0.44	-0.66 -0.63	-0.66 -0.63	-0.83	-0.63	0.73	-0.27
	后一小时雨量中心	地点 雨量	连城 20.3	武平 21.5	官庄 29.0	寻乌 19.4	武平 26.8	官庄 41.5

此外, 闽西西北部地处武夷山东南侧和玳瑁山系的西北侧, 它们之间的汀江河谷下游和武平境内有武夷山脉南端与玳瑁山脉左侧七峰山脉构成喇叭口地形, 两侧山峰海拔高度大于1000m, 鉴于这种特定地形条件以及大暴雨发生前夕, 地面至850hPa层均为一致的偏南气流, 地形的动力抬升和大量水汽的辐合, 促使回波在这一带发展。回波分析表明, 大暴雨发生期间强回波中心都集中在这一带, 它明显反映出这次大暴雨过程是中尺度系统和地形叠加效应的结果。

六、小结

通过对闽西大暴雨过程的分析, 得到如下几个主要结论:

1. 这次大暴雨过程是在东亚经向环流加强发展, 850hPa低涡随切变南压东移, 地面西南倒槽在武夷山一带迅速发展情况下发生的, 地面辐合带和中尺度扰动及有利地形的叠加作用是这次大暴雨发生的触发机

制; 停滞少动的锋面回波带的持续影响与东移中尺度云带交汇及对流回波带波动等增强效应是这次大暴雨产生的主要原因。

2. 大暴雨发生的前一天, 上游邻近站的大气层结很不稳定(K值达 38°C), 中低层能级很大(850hPaT, 达 69°C); 因此, 根据系统的移动, 分析上游站的层结变化和能量变化具有预报意义。

3. 水汽输送主要来源于孟加拉湾, 南海东部也存在水汽从中低层向暴雨区输送, 大暴雨发生前, 闽西西南侧增湿明显(连平比湿从 $15\text{g}/\text{kg}$ 上升到 $18.6\text{g}/\text{kg}$)。

4. 大暴雨发生在中低层强不稳定区内, 低层能量锋区偏于高能区一侧。

5. 大暴雨发生时, 低层辐合明显, 高层辐散强烈, 整层为上升运动, 尤其中低层上升运动较强。

参考文献

- (1) 陈瑞闪, 5月21日闽北特大暴雨的中分析, 福建气象, 1988年第5期。