

1988年闽北地区“5.21”暴雨的中、小尺度特征*

曾光平 郑淑贞 刘峻

(福建省气象科学研究所, 福州 350001)

杨本明 杨贤茂 陈秋平

(福建建阳雷达站)

提 要

本文利用“5.21”福建闽北特大暴雨过程中获得大量加密资料,较深入地分析了暴雨过程中、小尺度特征,给出不同尺度、不同物理特性的中小尺度系统(云团)相互作用,生消、发展、组合过程,以及武夷山脉的复杂地形在该过程中所起的重要作用,显示出在一定环境流场下,由中小尺度天气系统活动导致出现的天气变化密集的低纬山区形成持续性特大暴雨的重要特色。

关键词:暴雨;中小尺度结构;湿有效位能;云团;雷达回波。

一、引 言

1988年5月20—22日福建省闽北地区出现一场大暴雨和局部特大暴雨过程,由于这次暴雨来势猛、雨强大、时间集中,致使河水猛涨,山洪暴发,山体滑坡,泥石流成流,死亡人数达90余人,造成严重的灾害。

在这场暴雨过程中,位于闽北建阳的“713”雷达进行了连续跟踪观测。与此同时,在暴雨区设置了稠密的地面雨量网,进行加密探空观测(平均2—3小时施放一次探空气球),接收逐时GMS地球同步卫星资料,取得大量宏、微观资料。

本文利用这些宏、微观资料,分析这次过程降水的中、小尺度特征,并对暴雨发生的机制进行探讨。

二、暴雨过程概况

1. 实况分布

这次暴雨过程从5月20日15时开始到22日4时结束,强降水主要集中在20日19

1990年6月11日收到,1991年1月11日收到修改稿。

* 国家气象局基金资助课题。

时至 21 日 23 时, 过程总雨量分布如图 1. 暴雨区主要集中在武夷山东南侧的建阳地区, 其中心位于崇安县的五夫乡, 总降水量为 372.5mm.

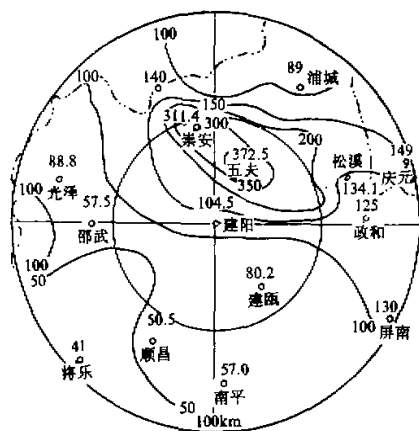


图 1 1988 年 5 月 20 日 15 时—22 日 04 时雨量分布图

35°N 附近, 中纬度地区为纬向环流。副高脊线在 18°N 附近, 西脊点西伸到 103°E. 17 日起乌拉尔山附近高压开始减弱崩溃。整个欧亚大陆为稳定低压控制, 中纬度短波槽活动频繁。20 日, 500hPa 东亚中纬度为移动性短波, 在华东沿海和湖北西部各有一短波低槽东移, 低纬副高十分强大, 300hPa 南亚反气旋较稳定, 暴雨区位于中空副高北侧和高空南亚反气旋东侧的西北气流控制区。

引起这次暴雨的主要天气系统有: 静止锋、切变线、低涡及低空急流。

三、中尺度特征

88521 暴雨的形成与演变过程十分复杂。从 20 日 15 时起至 22 日 17 时止, 由不同尺度、强度, 生命史为 5—10 小时, 移向移速各异的, 具有不同物理特性的 5 个中小系统或云团在不同时段内相互作用, 混合或组合的结果, 先后出现 5 次降水过程(见表 1)。显示出地处低纬的武夷山系东南侧特殊地形与环境条件下形成天气变化密集区在结构上的重要特色。

暴雨过程分二个阶段: 第一阶段(第一次降水过程)是由季风云系与锋面云系相交产生中间尺度对流云团在锋前暖区产生暴雨; 第二阶段是经西藏高原东移的冷空气缓慢入侵, 在静止锋前暖区产生暴雨(第二—四次降水过程)。其后冷空气快速东移南压, 在锋面附近产生大范围暴雨(第五次降水过程)。

1. 第一次降水过程

暴雨前, 对流层中低层有低温切变活动。20 日 08 时 850hPa 低涡位于重庆附近(图 2a), 暖式切变从低涡中心东伸到常德, 在低涡东南侧有一支 14—18m/s 的西南急流,

由图可知, 300mm 以上的特大暴雨区呈西北—东南向带状分布, 面积约为 1100km²。崇安站从 20 日 20 时到 21 日 20 时 日雨量为 245.5mm, 出现了有记录(1956 年)以来的次高值, 即仅次于 1968 年 7 月 11 日的 247.2mm。崇安县五夫乡从 20 日 20 时到 21 日 14 时的 18 小时内雨量达 310.9mm。建阳县的坑下 4 小时 20 分钟内雨量达 141.7mm。可见, 在时空分布上降水高度集中。

2. 环流背景及主要影响系统

暴雨发生在欧亚高纬度经向环流减弱调整期。16 日, 欧亚大陆高纬度为一槽一脊型, 长波槽位于乌拉尔山东侧, 槽底南伸到

表 1 暴雨中小尺度结构特征

降水过程	云团特征					回波特征			雨带特征		过程	最大雨强		
	编号	起止时间	生命史 (小时)	尺度(km) (走向)	云顶温度 (℃)	移向 / 移速	云团 结构	水平尺度(km ²) (走向)	高度 (km)	强度 (dBz)	移向 / 移速	位置 尺度(km) (走向)	总雨量 (mm)	mm/h 10min
I	A	20日15时 — 20日20时	6	20×100km (西北—东南 向)	-40 — -54	W→E / 30	密实 温度 梯度大	2个30×30 单体 (西北—东南)	13.0	30	W→E / 30	锋前 暖区 20×100 (南北)	33.1	29.2 13.4
II	B	20日20时 — 21日02时	5	100×250km (西北— 东南向)	-54 — -68	W→E / 10	密实 温度 梯度大	60×180 (西北— 东南向)	17.0	45	W→E / 5	锋前 暖区 50×200 (东西)	74.1	36.8 11.3
III	C ₁	21日02时 — 21日12时	10	2个100×120 (东西向)	< -68	W→E / 10	密实 温度 梯度大	70×250 (东西向)	14.5	45	W→E / 5	锋前 暖区 60×350 (东西)	176.5	51.5 11.3
IV	C ₂	21日10时 — 21日19时	9	30×30 30×30 30×50 (南北向)	< -68	W→E / 15	呈疏散 分布,温度 梯度小	60×150 (南北向)	11.5	35	W→E / 5	锋前 暖区 60×300 (东西)	112.9	40.8 10.3
V	D ₁	21日19时 — 21日24时	5	100×100	< -68	W→E / 40	密实 温度 梯度大	60×260 (东北— 西南向)	17.0	45	W→E / 30	锋区 40×200 (东西)	50.0	33.0 11.6

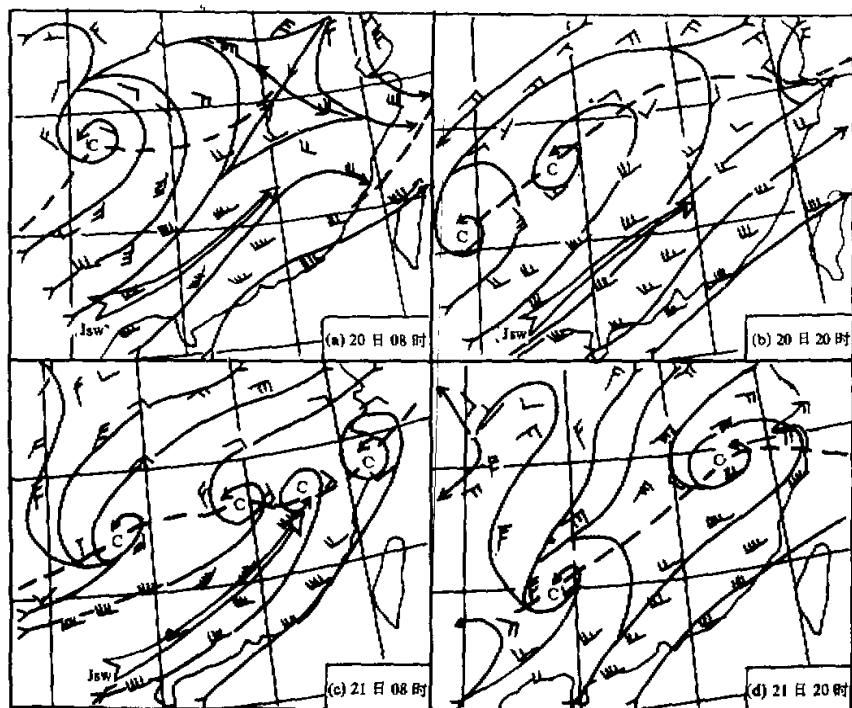


图2 1988年5月20日8时—21日20时850hPa流场

轴线从南宁东伸到赣州。此时,从卫星云图上可以看出自孟加拉湾北上的季风云系与自西北向东南移动的西风带高空槽前的锋面云系靠近,在850hPa以南低涡相对应云区上发展出三个对流单体。随低涡发展,切变线东伸(20时已分裂出一个涡旋沿切变线东传),对流单体也东移发展。从云图上可以看到17时位于闽东北云带的西北侧发展出西北—东南走向的短带(A云团),尺度约 $20 \times 100 \text{ km}^2$,云顶温度为 $-40 \sim -54^\circ\text{C}$ 。这时,建阳“713”雷达观测到在该处有一条南北向略带弧头的回波带,带中有多个单体,强度30dBz,高度9km。随着系统的发展,A云带迅速东移南压,19时,进入闽北,云带结构密实,温度梯度较大。19时11分雷达观测到短带移到崇安及测站上空,发展迅猛,出现二个尺度为 $30 \times 30 \text{ km}^2$,高达13km的强中心,其位置与云区位置一致。相应地面出现一条南北向狭小的雨带($20 \times 100 \text{ km}$),强降水中心位于崇安及测站,19时至20时,降水量分别达到29.2mm和23.5mm。随着20时850hPa切变线北抬,华南地区云系强度减弱,云团云顶温度上升($-26 \sim -40^\circ\text{C}$),回波速度减弱,这次降水过程结束。

2. 第二次降水过程

20日22时,由于冷锋云系南压,使原来趋于减弱的低涡云团得到再度组织发展的

条件. 位于 $26^{\circ}-28^{\circ}\text{N}$, $116^{\circ}-118^{\circ}30'\text{E}$ 云团(B 云团)发展东移. 至 23 时, 回波团已发展成三个中- β 尺度云团(云顶温度 $-54^{\circ}- -68^{\circ}\text{C}$), 其结构密实, 温度梯度大, 呈西北-东南向, 缓慢东移. 与云图上观测到的云团相对应, 20 时 40 分雷达观测到位于江西黎川附近对流单体发展移入闽北, 23 时 10 分发展成西北-东南向强短回波带, 顶高 17.0km, 强度为 45dBz, 从地面图及 850 hPa 图上可以看到静止锋和切变线维持在闽浙交界, 使得云团(回波)在该区停滞长达 4 个多小时, 造成强降水, 强降水中心正位于回波停滞区.

3. 第三次降水过程

这次降水过程主要表现为云团进入西南开口的喇叭口谷地内受阻, 在有利的天气条件下, 对流强烈发展, 不仅新生出强对流云团, 而且云团内尺度更小的单体(中- γ)频繁出现, 且生消极快. 这些决定降水时空不均匀性, 显示出地处武夷山东南侧特殊地形及天气条件下产生暴雨的主要特点.

(1) 喇叭口内云团新生发展

位于 B 云团后部的中间尺度云团 C(图略)于 02 时从江西逐渐移近武夷山. 该云团有二个尺度为 $100\times 200\text{km}^2$, 云顶温度 $< -68^{\circ}\text{C}$ 的强中心 C_1 , C_2 . 05 时 C_1 前部进入闽北山区喇叭口谷地. 从图 2 可以看出 20 日 20 时至 21 日 08 时切变线南压并维持在暴

表 2 C_1 和 C_{1A} 云团及其回波特征

		时 间	21 日 05 时	06 时	07 时	08 时	09 时	10 时	
		< -68°C 面积(km^2)	1.39×10^4	1.69×10^4	1.79×10^4	1.12×10^4	1.10×10^4	3.86×10^3	
C_1 云团	云团特征	移速(km/h)	5	10	15	5	10	10	
	回波特征	时 间	3 时 56 分	5 时 53 分	6 时 44 分	7 时 47 分			
		尺 度 (km^2)	5×80	80×120	80×120	60×100			
		高 度 (km)	10	10	15.5	12			
		强度 (dBz)	35	40	45	45			
C_{1A} 云团	云团特征	时 间				08 时	09 时	10 时	
		< -68°C 面积(km^2)				1.93×10^3	3.25×10^3	2.16×10^3	
		移速(km/h)				5	5	10	
	回波特征	时 间				7 时 59 分	8 时 31 分	9 时 28 分	10 时 06 分
		尺 度 (km^2)				20×20	50×60	50×50	30×30
		高 度 (km)				10	15.5	13	8
		强度 (dBz)				35	45	40	30

雨区上空,切变线上生成一串中尺度低涡,低空西南急流加强,中心风速从 $14-18\text{ m/s}$ 增到 20 m/s ,急流轴向东北伸展至切变线上暴雨中心,为云团在谷地发展,不断输送水汽和能量.地面图上,西南地区气旋发展,倒槽东伸到长沙附近,槽内静止锋从气旋中心东伸并维持在浙南,暴雨区上空中低层为辐合区,中心在 700 hPa 附近,其值为 $-2.5 \times 10^{-5} \cdot \text{s}^{-1}$, 500 hPa 以上为辐散场,中低层辐合,高层辐散均比 20 日及 21 日 20 时后强烈.而且从地面到 200 hPa 整层均为上升运动, $600-300\text{ hPa}$ 层 W 为 $(-60-80) \times 10^{-4} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$. 这种有利的天气形势和物理场造成的热力和动力条件,使云团在闽北喇叭口谷地内停滞、发展、新生.

从表 2 可以看出: (1) 05 时 C_1 云团进入谷地后移动缓慢(平均速度 10 km/h). 3 时 36 分雷达观测到该云团的回波已移到武夷山西侧,强度达 35 dBz , 高度为 10 km , 5 时 53 分位于闽北谷地崇安,强度为 40 dBz , 回波在谷地停滞(移速 $5-10\text{ km/h}$)、发展. 到 6 时 44 分发展为高度为 15.5 km , 强度为 45 dBz 的强对流体. (2) 08 时在 C_1 云团左前方发展出一个云顶温度 $< -68^\circ\text{C}$, 尺度为 $45 \times 45\text{ km}$ 的对流体 C_{1A} (图 3). 单体不断发展, 09 时 $< -68^\circ\text{C}$ 区域面积为 08 时的 1.68 倍. 7 时 59 分雷达发现在测站东北

$40-70\text{ km}$ 内有三个顶高为 10.0 km , 强度为 35 dBz 强对流单体呈近东西向排列, 到 9 时发展合并成顶高 15.5 km , 强度 45 dBz 近东向短回波带. 在闽浙交界地带造成 18.5 mm/h 的强降水.

(2) 中- γ 雨核生消频繁

有利的天气形势及物理场使这次降水过程对流单体发展非常旺盛, 且中- γ 小单体频繁出现, 生消极快, 导致在中- β 雨带中出现许多较小尺度的强降水区(雨核). 雷达跟踪观测及地面稠密雨量网资料分析表明, 这些小单体尺度一般为十几—几十平方

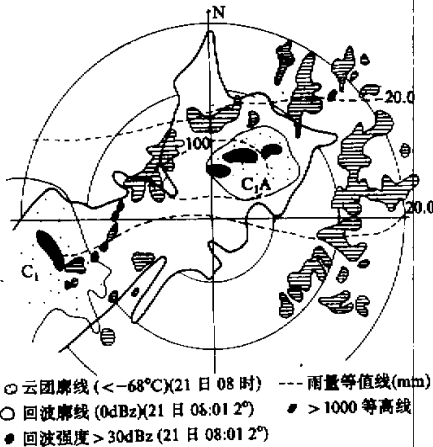


图 3 第三次降水过程雨量分布及云团回波廓线图

公里, 生命史为 10 几分钟—1 小时, 10 分钟雨强为几毫米, 最大可超过 10 mm , 常造成局地强降水.

图 4 是 8 时—8 时 20 分区域雨量分布及雷达回波图. 从图中可以看出在大片雨区中有多个强降水中心, 其中 8 时—8 时 10 分在闽北喇叭口谷地上, 10 分钟雨强大于 1 mm 有 3 个(崇安县大于 5 mm), 强降水区与 C_{1A} 云团及雷达回波强中心位置十分吻合. 8 时 07 分雷达观测发现崇安上空有一个强度大于 55 dBz , 高度 11.0 km . 水平尺度为 $20 \times 10\text{ km}^2$ 强中心. (图 4a) 这些对流单体变化极快. 8 时 22 分观测到该单体发展并分裂成二个强中心, 对应地面降水, 乌墩 10 分钟雨量从 5.5 mm 增加到 9.5 mm , 黄坑从 3.0 mm 增到 15.0 mm (图 4b).

从单站雨强随时间变化也可以看出中- γ 雨核生消演变过程. 图 5 是暴雨中心乌墩

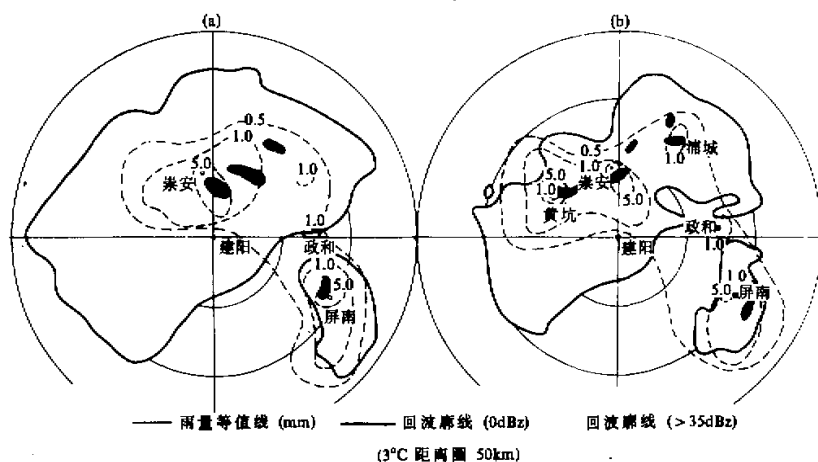


图 4 10 分钟区域雨量分布及雷达廓线图

站 21 日 2 时到 9 时, 10 分钟雨强随时间变化图。如以 10 分钟雨强大于 2mm 作为雨核, 这段时间有 8 个雨核活动, 最长时间长 50 分钟, 降雨量达 41.7mm。雨核活动是 C_{1A} 云团在谷地停滞发展造成的。

4. 第四次降水过程

这次降水过程受 C_1 云团后面 C_2 云团的影响。该云团结构呈疏散状温度梯度小, 雷达观测也表明回波密实程度及高度、强度均不如前面三个云团(见表 1), 降水分布也较分散, 仅造成局地强降水。

5. 第五次降水过程

迎风坡地形的抬升作用, 使对流进一步发展, 促使新生单体生成, 发展引起这次强降水过程, 也是闽北地区暴雨另一个主要特点。

随地面锋面缓慢南压, 整个锋面云带也东移南压靠近武夷山, 由于地形的强迫抬升作用在云团前部前后新生三个对流单体。表 3 和图 6 给出新单体演变过程。

21 日 16 时锋面云带云团东移靠近武夷山脉时, 在 $28^{\circ}40'N$, $116^{\circ}30'E$ 新生一个云顶温度为 $-26 \sim -40^{\circ}C$, 面积为 $115km^2$ 的对流单体 D_1 (图 6a)。到 21 日 17 时发展成一个细长条的云带, 尺度为 $80 \times 50km^2 (< -26^{\circ}C)$, 同时建阳“713”雷达在相应的云区也观测到一块小单体回波, 随云团东移, 到 19 时发展成中 β 云团(图 6d), 尺度为 $150 \times 80km$, 云顶温度已低于 $-68^{\circ}C$ (云高 $> 15500m$), 而 18 时云顶温度只

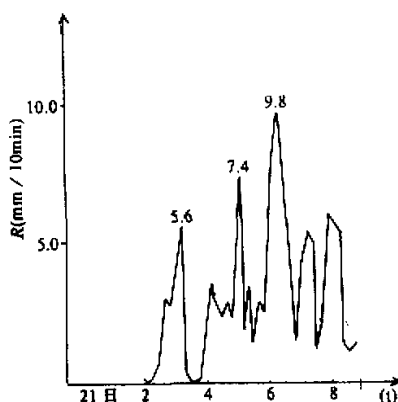


图 5 乌墩 10 分钟雨强随时间变化图

表 3 D_1 云团及雷达回波特征随时间变化

	时 间		21 日 16 时	17 时	18 时	19 时	20 时	21 时
云 团 特 征	< -26℃ (>9700m)	$S \text{ km}^2$	1.15×10^2	6.4×10^2	3.18×10^3	1.14×10^4	1.71×10^4	2.81×10^4
		S_{i+1} / S_i		5.57	4.97	3.58	1.50	1.64
	< -68℃ (>15500m)	$S \text{ km}^2$	0	0	0	1.74×10^3	7.85×10^3	2.70×10^3
		S_{i+1} / S_i					4.53	0.34
回 波 特 征	时 间			21 日 17 时 06 分		18 时 45 分	20 时	21 时 24 分
	尺度 (km^2)			20×20		80×120	100×150	120×200
	高度 (km)			6.0		16.0	17.0	11.0
	强度 (dBz)			20		40	45	30

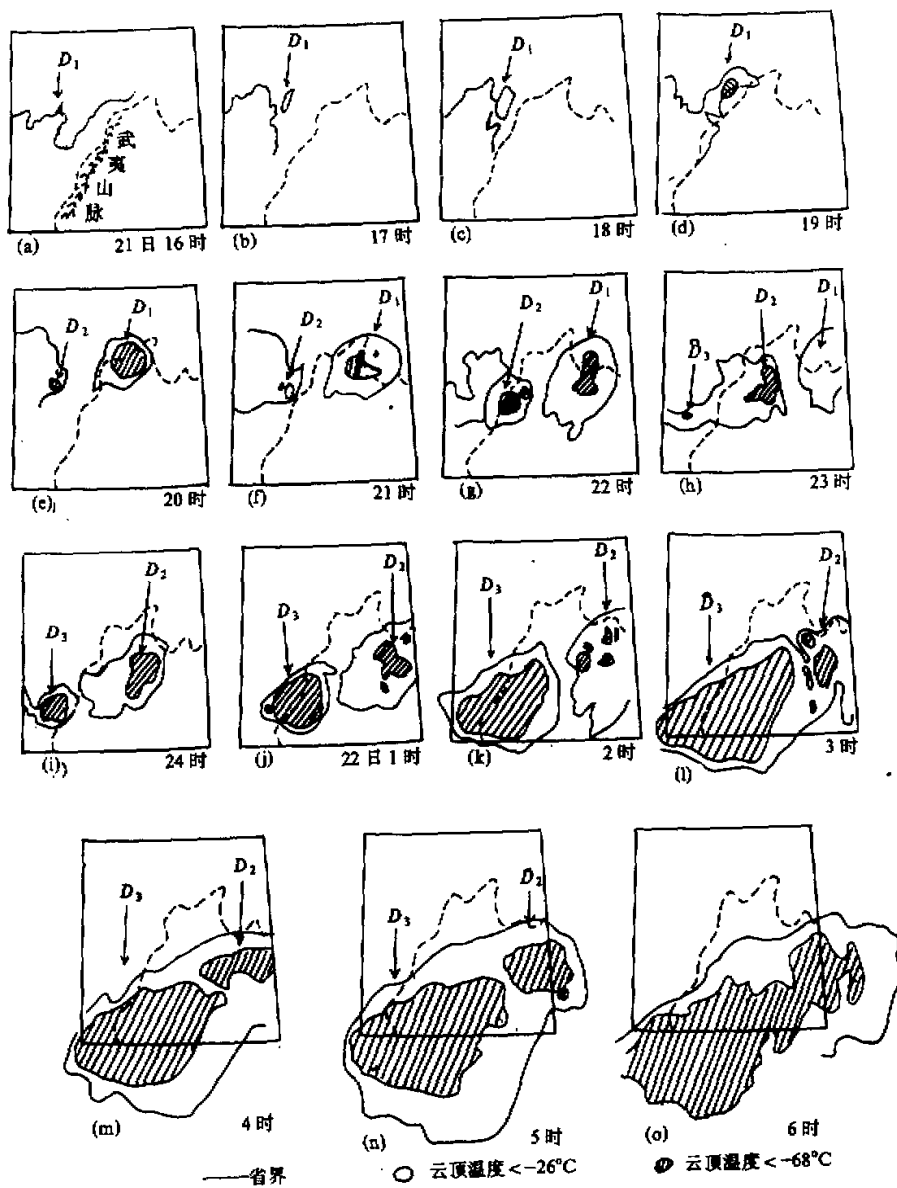
在 $-40 \sim -54^\circ\text{C}$ ，18 时 45 分雷达观测到测站 320、75km 处（光泽县际云）有一块 $120 \times 80\text{km}$ 的强回波团，强度 40dBz，顶高 16km。20 时前后冷锋及切变线快速东移南压，云团移动速度加快，相应，回波以每小时 40km 沿 100° 方向移动。东移过程中，云团受地形抬升越来越强烈，尺度增大，高度增高，云体迅速发展。20 时云团移到武夷山的七仙山、崇安一带，形成最强盛的发展阶段（图 6e），演变成直径约为 150km 的近圆形的云团，面积约为 19 时的 15 倍，其中心是直径为 100km 的强对流区。雷达观测到该北有一块 $150 \times 100\text{km}$ 严密明亮的强对流回波，中心强度 45 dBz，顶高 17km。此后云团沿武夷山背风坡继续向东移动，21 时云团中心移到浦城一带，范围扩大，达 $200 \times 200\text{km}^2$ ，但 $< -68^\circ\text{C}$ 强中心呈零星分布，温度梯度明显减小；面积仅有 20 时的 0.34 倍，以后回波继续东移南压并减弱。22 时移到闽浙交界处，24 时入海，随云团东移，形成一条 $200 \times 50\text{km}^2$ 东西向的窄短冷锋云带。

同样， D_2 、 D_3 云团也都是在主体移近武夷山时受地形抬升，在其边缘激发生成，最后与主体分裂。由于锋面切变线南压，使这二个云团新生位置，移动路径也相应偏南进入闽中及闽南。

四、暴雨过程能量转换

1. 强烈对流引起潜热释放和感热上传

暴雨过程强烈对流活动向上输送大量水汽在高空凝结，释放潜热；同时，强烈的积云对流将大量的感热向对流层上部传送，所释放的潜热和上传的感热使气团变暖，在高空造成暖区，并使等压面抬高。这种现象与云团活动，积云发生发展演变过程及强降水的出现有密切关系。图 7 是 7 月 21 日 07 时至 23 时 $\ln P-T$ 动态图。可以看出暴雨过

图 6 D_1 、 D_2 、 D_3 云团新生发展的演变过程

程在云团发展强盛时期 600hPa 以上各层等压面高度升高, 温度上升; 随着强降水出现, 这些物理量开始下降, 降水结束后, 降到最低值. 尔后, 随着新云团活动又重复这一过程.

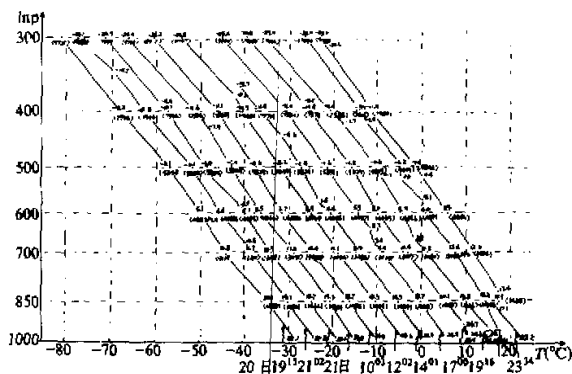


图 7 $\ln p - T$ 动态图

横坐标 $T(^{\circ}\text{C})$ 值为 21 日 23 时 34 分的温度, 曲线每
向左移 1 根横坐标温度相应增加 5°C

表 4 各等压面高度, 温度变化及平流增温值

等压面 hPa	700	500	400	300
等压面高度变化值 ΔH (位势米)	6	18	26	55
等压面温度变化值 $\Delta T(^{\circ}\text{C})$	0.4	0.4	2.0	3.9
平流增温值 $\Delta T'(^{\circ}\text{C})$	-0.28	-0.30	-4.2	0.38
潜热和感热引起增温 ($\Delta T - \Delta T'$)($^{\circ}\text{C}$)	0.12	0.70	2.42	3.52

这一现象在第五次降水过程 D_1 云团活动期间尤为明显. 温度平流(见表 4)计算表明从 21 日 19 时 16 分到 21 时 48 分 400hPa 以上各层温度等压面高度有明显上升. 平流增温值极小, 主要是由于潜热释放和感热上传引起. 如 400hPa 为冷平流, 300hPa 为暖平流, 但其值很小. 2 小时 32 分内, 这二层增温达 2.0°C 和 3.9°C , 其中由潜热和感热引起增温高达 2.42°C 和 3.52°C . D_1 云团活动结束后, 各层温度和等压面厚度明显下降. 从 21 时 48 分到 23 时 34 分 300hPa 分别下降 3.0°C 和 52 位势米. 可见强烈的对流引起的能量转换和传递可影响环境物理场.

2. 湿有效能量的变化

暴雨过程是能量的积蓄、释放、再积蓄、再释放的反复过程. 湿有效能量很好地反映出暴雨过程能量变化规律^[1]. 单位截面、单位厚度的空气湿有效能量可按下式计算:

$$A_{mk} = \frac{C_p}{g} \left[1 - \left(\frac{P_r}{P} \right)^{R/C_p} \right] T_r,$$

其中 P_r 为参考气压。

如果假定 200hPa 以上能量变化不大, 只计算 200hPa 以下各层能量, 并认为大气下界气压为 1000hPa, 且层间能量是线性分布, 则单位截面积整层气柱的湿有效能量为 $MAE = [0.5A_{mk}, 1000 + A_{mk}, 900 + \dots + A_{mk}, 300 + 0.5A_{mk}, 200] \times 100\text{hPa}$ 。

暴雨之前, 雨区上空开始积聚大量湿有效能量, 18 日 08 时为负值, 20 日 08 时激增到 $231 \times 10^6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$, 20 日 20 时高达 $438 \times 10^6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$, 以后仍继续上升, 21 日 08 时高达 $470 \times 10^6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$, 21 日 21 时达到最高值为 $545 \times 10^6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ 。过程结束后, 急剧下降, 22 日 20 时降到 $2 \times 10^6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$, 由此可见暴雨过程能量积蓄相当大。

从图 8 中可以看出 MAE 随时间变化与暴雨过程云团活动、地面降水关系极为密切, 云团活动初期湿有效能量积蓄增加; 在云团发展最旺盛阶段, 能量达到最高值, 随着强降水过程开始后, 能量下降, 强降水过程结束时, 降到最低值。尔后, 随着新的云团活动, 这一过程又周而复始。湿有效能量这种变化在 D_1 云团活动过程尤为明显。该云团活动初期(MAE)值为 $445 \times 10^6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$, 强盛阶段高达 $545 \times 10^6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$, 云团活动结束时, 下降到 $380 \times 10^6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

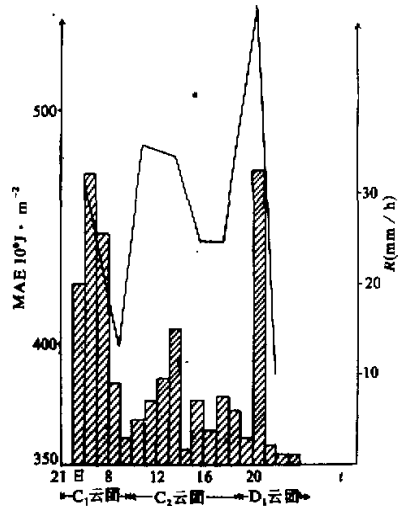


图 8 MAE 变化曲线与崇安每小时降水量对照图

五、结 论

(1) “5.21”暴雨是在有利的大尺度天气形势背景下, 由中尺度天气系统和地形作用而产生。暴雨过程由锋前暖区和锋面降水两部分组成, 强降水主要发生在锋前暖区中。暖区降水由四条中尺度雨带活动组成, 横跨锋区有三条中尺度雨带组成。这些雨带是由中- β 雨团移动过程中形成带状雨区。雨团生命史一般为几—10几小时。

暴雨过程对流发展十分旺盛, 雨核生消频繁, 雨核生命史为10几分钟—几十分钟, 造成降水时空上分布很不平衡。

(2) 地形在中小尺度系统发生发展消亡的过程中起着十分明显的特殊作用。迎风坡地形抬升使对流加强, 在母体边缘触发新生单体。从新生到发展最强盛时间一般为4小时, 云团面积($< -26^\circ\text{C}$ 区域)变化比为1.5—5/h, 而 $< -68^\circ\text{C}$ 区域面积比有时高

达 20/h. 云团高度每小时平均升高为 1100—1200 m/h, 最高可达 3750 m/h. 喇叭口地形屏障作用不仅使云团较长时间停留在谷地上空, 在迎风坡移速平均为 30—40 km/h. 进入背风坡, 喇叭口地形减少到 5—10 km/h. 气流辐合使对流加强促使新生对流单体出现, 造成局地暴雨.

(3) 暴雨过程是能量积蓄、释放、再积蓄、再释放的反复过程. 湿有效位能随时间变化与云团活动和强降水过程的密切关系, 反映出这一种过程.

(4) 强对流过程, 潜热的释放和感热的输送使中高层等压面抬升, 温度上升, 可影响物理场.

(5) 不仅雷达回波与云团所反映的云团空间位置、移向、移速基本一致, 而且回波的高度和强度与云团特征也有密切关系. 当云团温度梯度较大结构密实时, 其高度与回波高度较一致. 如 B, C₁, D₂ 云团云顶温度 < -68 °C 相应高度 > 15.5 千位势米, 雷达回波高度为 14.5—17.0 km, 对应较好, 而且回波强度均达 45 dBz 以上. 对结构疏散温度梯度小的云团, 其回波高度比结构密实温度梯度大的低, 强度弱. 如 C₂ 云团, 虽然云顶温度 < -68 °C, 但回波高度只达 11.5 km, 强度为 35 dBz.

致谢: 吴志伟高级工程师对本文提出修改意见, 特此致谢.

参 考 文 献

- [1] 吴完俊, 1982, 湿有效位能及其在暴雨分析和预报中的作用, 气象, 第 11 期, 4—7.

Features of Mesoscale and Microscale Structure of the “May 21” Heavy Rain in North Fujian in 1988

Zeng Guangping Zheng Shuzhen Liu Jun

(Meteorological Institute of Fujian, Fuzhou, 350001)

Yang Benming Yang Xianmao Chen Qiuping

(Radar Station of Jianyang, Fujian)

Abstract

In this paper, features of mesoscale and microscale structure of the “May 21” heavy rain in North Fujian in 1988 are analyzed with large amount of intensive observation data. These analyses show: (1) the interaction, generation and dissipation, and combination of systems (cloud cluster) on different scales and with different physical features (2) the importance of the wuyi mountain range complex in the above-mentioned processes, (3) the characteristics of continual heavy rain caused by the activity of mesoscale and microscale systems in low latitude mountain areas, where the weather changes frequently in certain environmental streamline field.

Key words: Heavy rain; Mesoscale and microscale structure; Moist available potential energy; Cloud cluster; Radar echo.