

粤中实验区中尺度扰动分析

广东省热带海洋气象研究所

一九八〇年 12 月

粤中实验区中尺度扰动分析

王 荫 桐

粤中中尺度分析,近年来已有不少著述,但专题研究总难深入探讨弄清它的活动规律,进一步解决暴雨预报问题的差距,还须作艰苦细致的工作,基于上述的认识,本文拟从三年华南前汛期暴雨试验获得的资料,对粤中中尺度气压扰动发生发展源地与暴雨带分佈,天气尺度系统对中尺度扰动发展做贡献,及其与暴雨之间的联系等方面进行分析,冀图为暴雨短期预报提供有益的依据。

1977 — 1979年5—6月共有十次重大暴雨过程,它基本上概括了不同强度的冷空气对华南暴雨的直接和间接影响。暴雨过程日期有:

- <1> 1977年6月21 — 23日
- <2> 6月10 — 12日
- <3> 5月28 — 6月1日
- <4> 5月18 — 21日
- <5> 1979年6月9 — 11日
- <6> 5月26 — 28日
- <7> 5月11 — 15日
- <8> 1978年6月5 — 8日
- <9> 5月26 — 28日
- <10> 5月15 — 18日

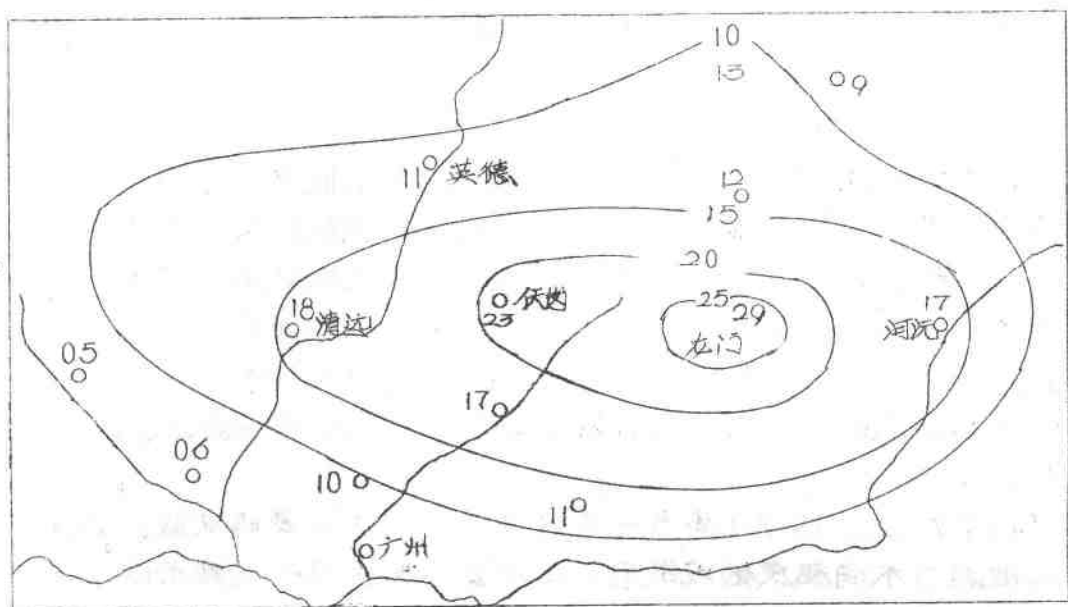
由于1977年空间分布密度稀疏,因此作对比分析时,采用1978 — 1979年资料。用过程编号“< >”代替过程时间。

一、粤中暴雨带和中尺度暴雨中心

(一) 暴雨带分佈

粤中试验区是广东主要暴雨区之一。从5—6月平均暴雨日

数(380毫米)分布图一可知。多暴雨中心位于伏岗、龙门一带，轴线成东西向，位于河源至清远一线。



图一 1951—76年5—6月平均暴雨日数

(二) 至英试验区暴雨区分布

试验区各县暴雨分布不均，在分析中尺度暴雨带时，发现强度强的雨团，多活动在 $23^{\circ}40'$ — $24^{\circ}30'$ 之间。在(5)——(10)过程中，如果取雨团强度 ≥ 20 毫米/小时，出现次数 ≥ 6 次作为多暴雨标准，则实验14县中基本可分成二类。

1, 小于6次的县有四会、伏岗、花县、从化、增城、翁源、连平。暴雨中心分布较为分散。

2, ≥ 6 次的县暴雨中心分布如表一，从表中的分布可知，多暴雨地区，主要发生在谷地和水网地区，它的分布与地形有密切联系。

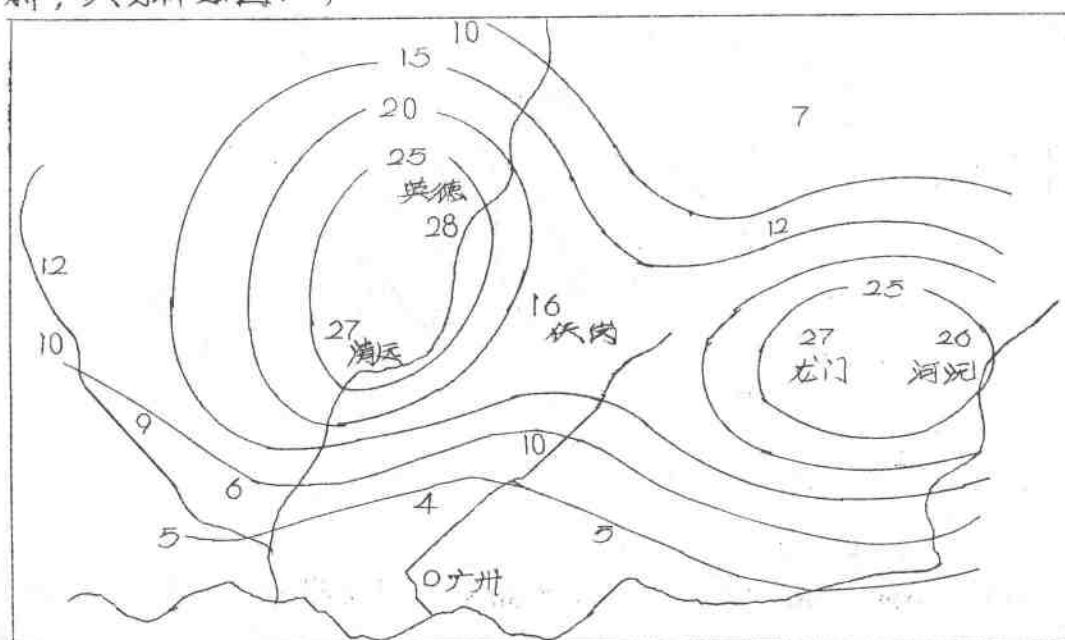
表一

暴雨中心分佈

站名	分佈情况	最大雨量/小时
怀集	西北部 怀集、中洲、马宁一带	20-30 毫米
广宁	东部 江屯附近	60-70 "
清远	北部 石潭、沙河一带	40-50 "
	东北部 横石、大罗山附近	30-40 "
英德	西北部 大湾附近	40-50 "
	南部 连江口、长湖附近	60-70 "
龙门	中部 左潭、龙门一带	60-70 "
	西部 南昆附近	70-80 "
河源	北部 新天	30-40 "
	西部 锡坊附近	30-40 "
	东北部 柳城	20-30 "
新丰	东部 马头附近	50-60 "

(三), 中尺度雨团 (≥ 20 毫米/小时) 总次数分佈

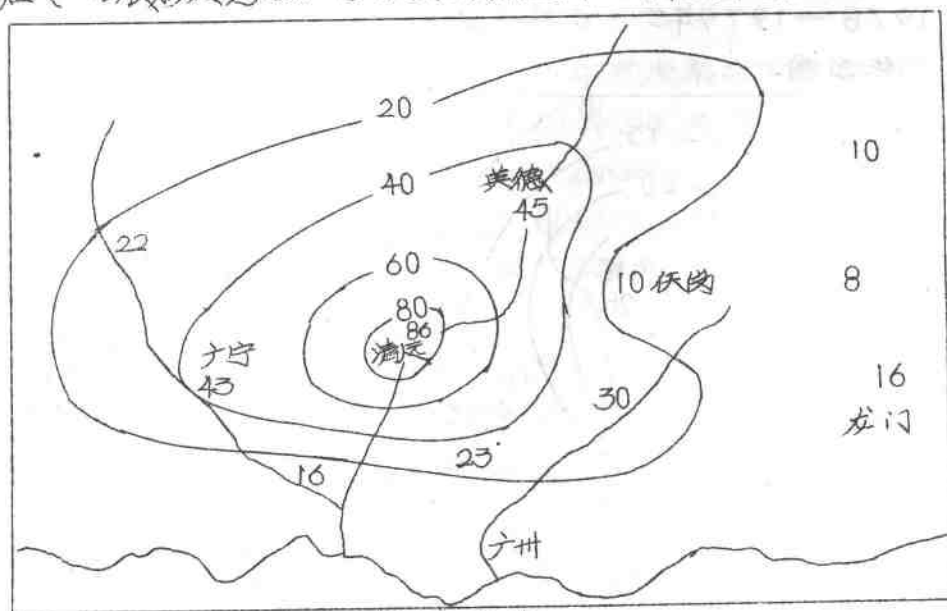
为了证实粤中暴雨带是中尺度强雨团活动最频繁的地区, 这里给出 1978—1979 年 5—6 月强雨团 (≥ 20 毫米/小时) 统计资料, 其分佈如图二,

图二, 暴雨过程 ≥ 20 毫米雨团总次数分佈

图中可知最多强降雨团中心，分别分佈在龙门，英德附近，其轴致基本和历年暴雨带分佈相接近（参考图一）。但雨轴西段较图一稍偏北，其原因在于图一的资料来源取自英德县站，事实上英德县的长湖，连江口，大湾等地的暴雨日比县站要多，故图二雨轴偏北。

（四）中尺度扰动源地与暴雨带

实验区周围中尺度扰动比较活跃（已见前述）。下面仅就1978—1979年5—6月的6个过程进行分析，从22天479小时中，发现有379个扰动*活动，佔总时次79%，平均每小时约有0.8个中扰动发生（尚有50个和降水有联系的，未达到统计标准未统计在内），扰动频率如此之高，无疑对暴雨发生发展有巨大的贡献。我们从实验区周围22县扰动活动的统计中，可以看到至英实验区扰动分佈源地（图三），它集中在北江下游的清远、英德、广宁一带。华南前汛期暴雨试验实验指出：中尺度扰动移动路径，大多以偏东移为主。而多暴雨区恰位于扰动源地的下游约100公里处（比较图一和图三），表明它是扰动偏东移后（一般移速约30—50公里/小时），降水开始大的地区。



图三 中尺度扰动源地分佈

* 采用逐小时气压5项滑动平均求偏差，并规定 ≥ 0.2 毫巴央中心连续二小时以上作为有扰动统计。

二. 扰动发生发展的条件

(一) 水汽和稳定性。华南初夏受夏季风影响，粤中试验区位于珠江三角洲，盛行偏南风（表二）。对流层低层的流场^[4]有利于潮湿空气经实验区深入粤北，地面偏南风迎风坡和谷地狭口地形动力作用下，易于形成不稳定扰动，构成暴雨气候的环境场。

表二 韶关至台山5-6月各地最多风向频率

地名	最多风向	
	5月	6月
韶关	C S	C S
	34 18	35 20
英德*	C S	C S
	42 14	43 13
从化*	C SW	C SW
	35 13	40 13
清远*	C S	C S
	31 8	34 9
广州	C SE	C SE
	22 17	24 15
台山	S	S
	25	25

* 垂直试验区站名。

从对流层中下层稳定性参数“K指数”分析，得知在暴雨过程中，侵入实验区的潮湿不稳定中心，有来自广东沿海和由实验区西北方移入两类。它们在暴雨前12-24小时“K指数”即开始增大，不稳定轴线常横贯实验区。这里仅给出过程^[5]为例。表三为沿 113°E $22.0-25.5^{\circ}\text{N}$ “K指数”时间演变，从表上可以看到潮湿不稳定轴，9日8时位于 $22.0-23.0^{\circ}\text{N}$ ，12小时后已移至实验区，维持并增大到10日20时，不稳定能量向实验区南北扩散，“K”值达35.7-36.8，这时正是实验区暴雨发生最强烈之时（分析见下文）。本例不稳定能量所以能得到发展，

与当时位于锋区南方的急流，在南支槽前发展^[2]促进水汽输送和
不稳定能量获得加强有关。

表三 K指数演变表

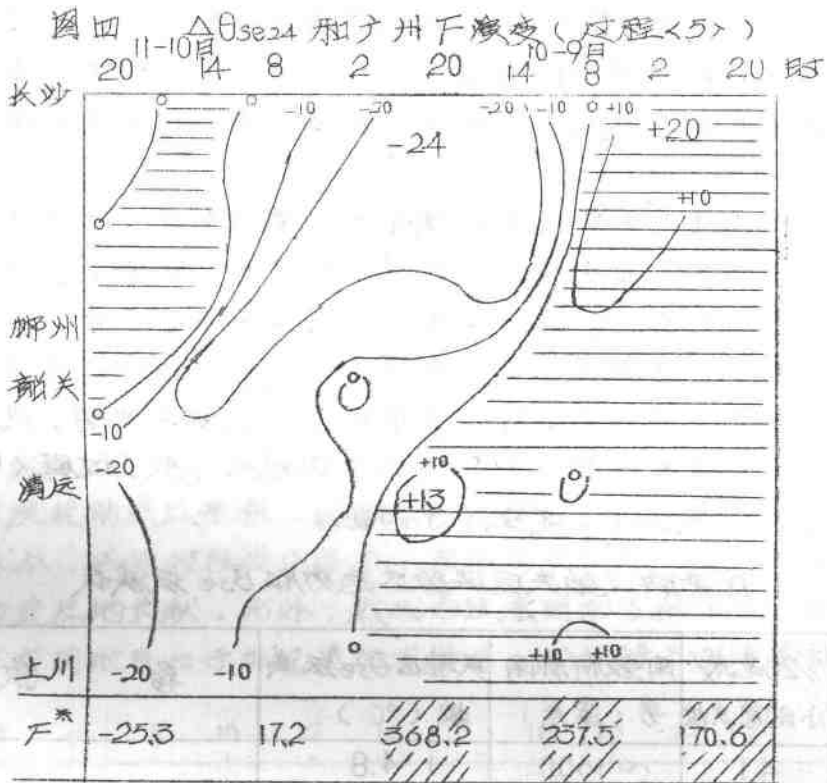
纬度 $^{\circ}\text{N}$	9日		10日		11日	
	0.8	20	0.8	20	0.8	20
25.0-25.5	31.0	30.3	34.5	35.8	26.5	24.3
23.5-24.5	33.7	35.0	36.2	36.8	32.2	30.8
22.0-23.0	36.0	34.8	35.5	35.7	35.0	34.8

箭头：潮湿不稳定，23.5—24.5 $^{\circ}\text{N}$ 代表实验区

(二) 天气尺度系统——锋面的作用

1, 锋前水汽涌升。分析经验指出，锋过南岭山地，锋前水汽显著激跃。我们分析锋舌移到韶关附近的暴雨过程得知，暴雨发生前夕，暖湿空气以一次或一次以上经珠江口向北涌进。例如过程(5)， $\Delta\theta_{se24}$ 和广州水汽通量表数值演变过程(图四)，在部图上可以看到， $\Delta\theta_{se24}=0$ 等值线随时间向南移，10日14时以后移过韶关。锋前暖湿空气在2时已逐渐向北扩大，20时暖湿中心已移至实验区(清远)附近。从实验区附近广州水汽经向输送表数值“F”的计算，也得到相同的结果。在9日20时至10日20时之间，对流层中层以下，水汽激跃，“F”最大值达到368.2，表明锋面南移过程，水汽水平输送和锋前辐合上升运动，使水汽在实验区积聚并迅速增加。

2, 水汽增长时段。暴雨发生发展与水汽不断供应有密切联系，特别是暴雨发生前夕必须具备有足够的水汽。实验区(代表站清远)水汽增长时间平均来说，有73%出现在20时。如果夜间(20-02时)和白天(08-14时)的 $\bar{\theta}_{se}$ 比较，则 $\bar{\theta}_{se}$ 在夜间增长也占56% (见表四)。实验区暖湿空气涌进时段，和锋面逼近有关。锋舌南移锋前高空暖平流相对加强，引起地面锋前低压槽内气压不断下降，自沿海指向实验区的气压梯度，有利于暖湿空气涌进实验区。



$F^* = \bar{V}g_{1000} + \bar{V}g_{850} + 2\bar{V}g_{700} + 2\bar{V}g_{500}$ 本为通量特征值
 /// 指 F 值为正距平

表四 清远 $\bar{\theta}_{se}$ 距平变化

过程 编号	$\bar{\theta}_{se}$ 距平变化			
	白天至夜间	白天至夜间	白天至夜间	白天至夜间
<1>	+	-		
<2>	0	+		
<3>	0	+	+	+
<4>	-	-	+	
<5>	+	+		
<6>	-	+		
<7>	+	-	-	-
<8>	+	-	+	
<9>	-	-		
<10>	-	-	-	

注: $\bar{\theta}_{se}$ 值: 白天 (08-14时) 为 79°C , 夜间 (20-02时) 为 76°C .

实验区最大降压有80%云现在, 锋区移进郑州与韶关之间。且最大降压有90%云现在20时至次日8时。以上分析表明在夜间实验区水汽极大, 辐合增强, 是粤中主要暴雨常发生在夜间的原因之一。

3, 过程雨量与水汽, 暴雨量和水汽输送有关。为了观察锋区移过韶关后, 实验区总雨量和水汽之间的关系, 这里给表五, 表中为1978-1979年的过程, 从表中得知实验区 $\bar{\theta}_{se}$ 增加数在 $>4.8^{\circ}\text{C}$, 过程总雨量都在600毫米以上。过程 $<8>$ 锋区至韶关锋消, $\bar{\theta}_{se}$ 仅增大 3°C , 总雨量小于300毫米。上述事实说明, 过程水汽增长愈多, 强雨团总次数也愈多, 总雨量愈大。至于过程 $<9>$ 和 $<10>$ 因锋区在韶关以北, 这里不予讨论。

表五 锋区移过韶关后实验区雨量和 $\bar{\theta}_{se}$ 增减表

过程编号	>20 毫米/小时总次数	雨级新雨雨量(毫米)	实验区 $\bar{\theta}_{se}$ 增减数($^{\circ}\text{C}$)	备 注
$<5>$	41	~ 1600	+ 4.8	
$<6>$	35	~ 1020	~ 8.3	
$<7>$	23	~ 620	~ 5.0	
$<8>$	9	~ 280	~ 3.0	$<8>$ 过程锋至韶关消
$<9>$	1	~ 20	~ 7.0	$<9>$ 和 $<10>$ 过程锋区在韶关以北
$<10>$	3	~ 60	- 1.7	

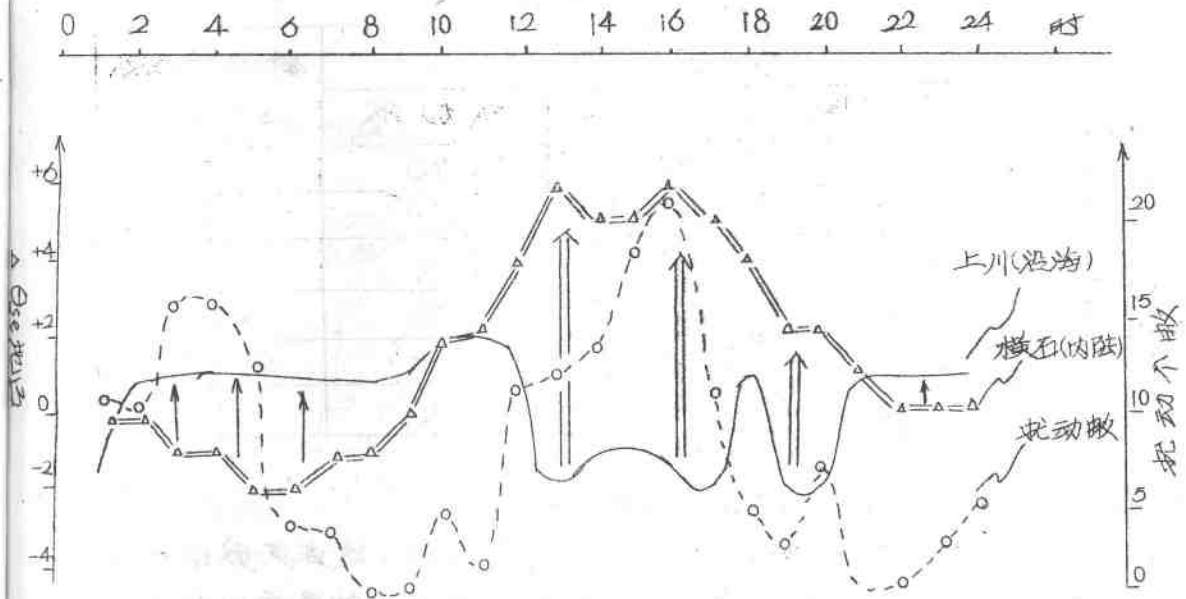
注 <20 毫米的雨团中心未统计在内。清还 $\bar{\theta}_{se}$ 代表实验区水汽。

(三) 扰动发展集中时段与海陆效应

中尺度扰动发生发展对暴雨形成有直接贡献, 而持续性发展^①的扰动尤为重要。图五为中尺度扰动平均云现时间与海陆效应关系图, 图上可以看到: 扰动云现两次高潮, 即3-4时和15-16时, 上述分布与海陆风活动较一致, 我们从沿海的上川岛和“内陆”的横石^②地云相当位温距平($\Delta\bar{\theta}_{se}$ 地云)变化, 得知21时后, “内陆”湿度低于海上, 此时湿度梯度指向海洋, 有陆风形成, 3时开始增

① “发展”指编号扰动生命史 >3 小时

大，6时逐渐减弱；从扰动个数曲线（断线）分布，可以看到扰动个数多寡与陆风的强弱相一致的事实。图中陆风加强时段是3-5时，扰动发层个数在12-16之间，从3-5时时段扰动发层总个数共44个。陆风减弱时段是6-9时，扰动发层个数在0-4之间，6-9时时段，扰动发层总个数仅8个。二者随时间变化的关系，可以认为扰动发层个数增加是陆风激发起主要作用。与此相反，午间海风形成，12时开始增大，17时后逐渐减弱。海风加强时段是12-17时，扰动发层个数在11-21个之间，12-17时时段扰动发层总数为75个；海风减弱时段是18-20时，扰动发层个数在3-7个之间，18-20时时段扰动发层总数为15个。从中只度扰动发层来看，在海陆风加强时段，扰动发层平均个数为11.8个，减弱时段为2.3个，差值为9.5个，这表明海陆效应对扰动发层的贡献。此外，我们也注意到动力的作用，例如锋面南移在夜间时段由于陆风迭加在锋后，促使锋面加速南移，激发



图五，中尺度扰动出现时间与海陆效应关系 实矢 陆风
虚矢 海风

②横石在清远县，距沿海约200公里，文中暂称内陆以区别于沿海。

中尺度扰动发足；而在白天时段扰动的发足与海风北上或迎风坡和各地狭口激发的贡献有关。

三 触发因子的讨论

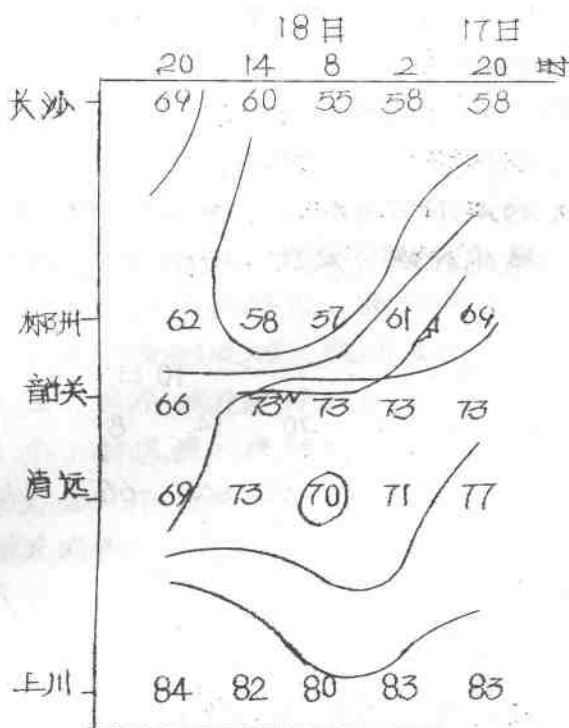
(一) 锋面南移与扰动发足。为求云锋面活动与中扰动发足间的联系，这里给云锋移过南岭山地扰动发足的比较表六。表中形响时段指锋到达的时段， $\Delta T^{\circ}\text{C}$ 指郴州至清远间温差。过程<5>，-<7>均属于锋面移过实验区的过程，从锋面形响前后对比，得知在锋激发下，发足的扰动个数均有增加；而过程<8>属于锋至韶关附近减弱锋消，故形响时段发足的扰动个数比锋消以前减少；过程<10>南移的锋静止于韶关北，在锋区不强的暖区里，扰动的增加，应认为热力形响为主，综合上述可知锋区强激发的扰动个数增加的事实。

表六 发足扰动比较表

过程 编号	距平比较			锋强度指标 $\Delta T^{\circ}\text{C}$
	形响时段	前一时段	后加数	
<5>	0.28	0.23	0.05	7
<6>	0.56	0.23	0.33	10
<7>	0.42	0.23	0.19	7
<8>	0.14	0.28	- 0.14	4
<9>	—	—	—	锋不显
<10>	0.35	0.08	0.27	4

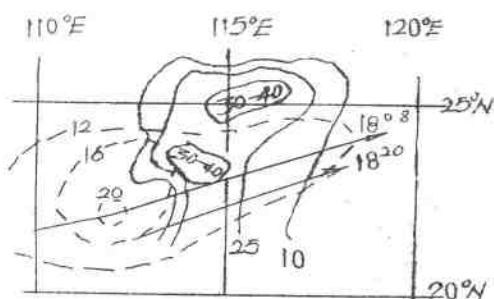
(二) 低空急流过程中锋面的作用

低空急流生消与暴雨发足的关係甚为密切，这在实践中已得到证实^[3]。我们分析中发现：有低空急流形响的暴雨过程里，暴雨带范围和中尺度暴雨中心强度发足共五，其锋面强度有关，例如过程<10>弱冷锋在韶关北部静止锋消（图六）。该过程确有低空流移过实验区（图七），并在急流北侧有暴雨发足，当时在急流北侧100-200公里范围内的强度分布（表七），属于有利对流发足和降水坛大的强度场。但由于该过程锋区不强，且很快消



图六 过程(10) 17-18日 05e 剖面图

图七 急流与雨区配置

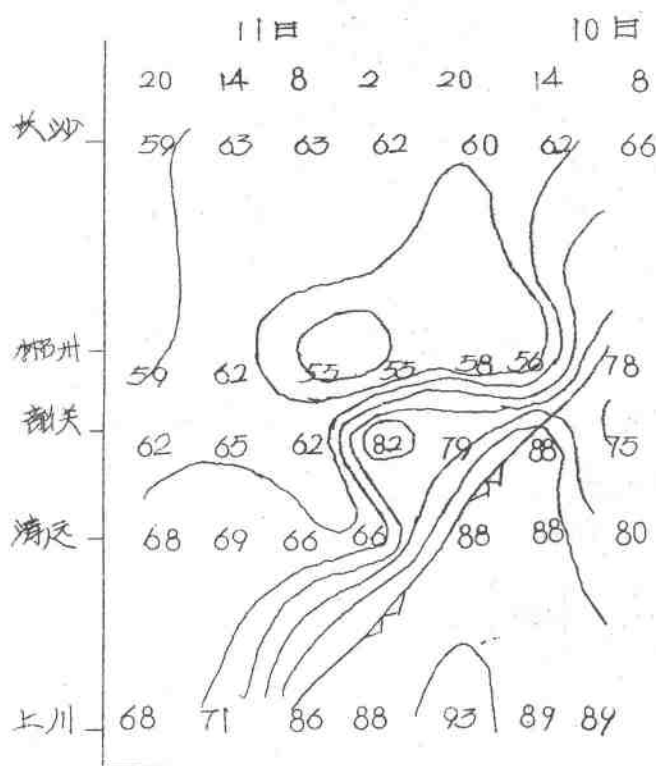


实线急流
虚线风速
实线等雨量

表七 低空急流中心左侧散度(10⁻⁵/秒)分布

距离 公里	0	100	200	300	400
500	+0.7	+3.1	+2.2	-0.7	-0.1
700	-1.7	+1.0	-2.3	+2.4	+3.5
850	+0.6	-4.6	-3.2	-0.2	0.2

消，降水未得到发展。6小时雨量仅达40—50毫米，个别为79毫米。而过程(5)冷锋较强迅速移过本省沿海(图八)，当锋位于郴州至韶关间 $\Delta\theta_{se}$ 为 32°C ，比过程(10)的梯度为大 $16^{\circ}/100$ 公里(见图六)。从实验区中尺度雨团活动和雨强分析，过程(5)远超过过程(10)(将本节分析)，通过两例对比分析，可知低空急流暴雨过程，暴雨持续与发展，冷锋触发和抬升作用有重要贡献。



图八 过程(5)10—11日 $\Delta\theta_{se}$ 时间剖面

(三) 能量锋活动对中尺度扰动及暴雨间的联系

能量锋与暴雨移动关系曾作简要分析[3]。本文仅就能量锋强度与中尺度扰动发展及暴雨等级的关系进行分析。表八为扰动与能量锋关系的统计。从表中可知能量锋($\Delta\theta_{se}^{\circ}\text{C}/10$ 公里)较强的过程，该过程发展的扰动个数较多。例如当能量锋影响到郴州以南时，锋区较强的过程(5)至(7)，扰动较能量锋影响前平均增加18.3个，正距平平均为74个，增加甚为显著；而锋区在

至美实验区以北的过程〈8〉至〈10〉,扰动个数增加甚微,平均仅加3个,负距平平均为3.3个。上述分析可知扰动发后个数与能勇锋强及其实验区相对位置有关,它表明能勇锋激发作用的结果。

此外扰动活跃的过程,暴雨带里的强雨团中心相应增多。从表九中得知:除3过程〈9〉和〈10〉锋区不显或锋在韶关以北外,能勇锋移到南岭以南时,至美实验区 ≥ 20 毫米的雨团中心6—12小时显然增多,且雨强也大。例如表中的〈5〉至〈7〉过程,当锋区最大梯度在南岭附近时,实验区的平均总雨量(仅计 ≥ 20 毫米/小时雨团,及个数并取雨强新形成的总雨量)为180毫米,雨团平均为6个;锋区侵入实验区时,平均总雨量猛增至700毫米,雨团平均为20个。特别是锋区过韶关以后尤为明显。如果以锋区移到韶关南部,风速减弱的过程〈8〉与上述过程比较,则连暴雨量和范围上有明显的区别(参表五)。

表八

扰动与能勇锋关系

过程 编号	过程扰动日平均数	能勇锋影响时段		能勇锋 强度	备 注
		扰动数	距平		
〈5〉	11.0	16	+50	3.1	
〈6〉	12.3	28	+15.7	2.5	
〈7〉	9.4	11	+1.6	2.8	
〈8〉	7.8	5	-2.8	2.3	锋过韶关消失
〈9〉	5.3	2	-3.3	0.1	锋区不显,韶关以北
〈10〉	5.8	2	-3.8	1.5	锋区静止,韶关以北

表九 能量锋与暴雨

过程编号	<5>					<6>							
时间	10:08	10:14	10:20	11:02	11:08	27:08	27:14	27:20	28:02	28:08	28:14	28:20	
锋梯度	0.4	3.1	0.7	1.0	0.9	2.5	1.7	1.2	1.4	0.8	0.9	0.8	
区位置	郴州北	韶关北	清远北	清远南	清远南	郴州南	韶关	韶关南	韶关南	清远南	清远南	清远南	
雨级/次数	2/5 3/2	2/3 4/1	2/7 3/7 4/6 5/4 6/3	2/3 3/2 4/2 5/3 6/3 8/1	2/1	2/2 3/2	2/5 4/3 5/3	2/10 3/5 4/1 5/2 6/2 7/1	2/3 3/3	2/1	2/4	2/1 3/1 4/1	

过程编号	<7>						<8>						
时间	13:02	13:08	13:14	13:20	14:02	14:08	6:08	6:14	6:20	7:02	7:08	7:14	
锋梯度	1.5	1.8	2.8	1.7	1.4	1.0	0.4	2.3	2.0	1.4	0.8	1.0	
区位置	郴州北	韶关北	韶关北	韶关南	清远	清远南	郴州北	郴州南	郴州南	韶关	韶关南	韶关南	
雨级/次数	2/2	2/1	2/2	3/1 4/1	2/10 3/3 4/3	2/4 3/2	2/1	2/2	2/4 3/2 4/1	2/3 3/1 4/1	2/5	3/1 4/1 5/1 6/1	

雨级：中尺度雨田中心雨量级。

2、3、4分别为

2 = 20-29.9毫米

3 = 30-39.9 " "

4 = 40-49.9

余类推。

梯度：°C/10Km。

过程编号	<9>	<10>	
时间	28:02	18:02	18:08
锋梯度	0.1	1.1	1.5
区位置	郴州北	郴州南	郴州南
雨级/次数	2/1	2/1	2/2

四. 小 结

冷锋越过南岭，锋前来自南海的暖湿空气向北湧进，在实验区堆积。由于暖区低槽发尺辐合加强和锋区微发作用，加强水汽输送，为暴雨发生发尺提供有利的环境场。

粤中中尺度扰动源地集中在北江下游的清远、英德、广宁一带。其下游龙门、伏岗一带的暴雨带是中尺度扰动东传频繁触发的结果。发尺的扰动平均时段和锋区微发作用及海陆效应有密切的联系。

低空急流与锋区同时存在的暴雨过程，暴雨发尺与否和锋区强度有关。锋区强度与扰动发尺个数成正比。冷锋比锋消过程的暴雨范围和强度要大得多。

能易锋区斜压作用，触发中尺度扰动发尺导致雨强增强。特别是锋区过韶关以南， >20 毫米/小时的雨团中心及强度发尺尤为明显。

参考资料

- | | |
|-------------------------------|--------|
| [1] 广东省史害性天气概况 (1951-1976年) | 广东省气象台 |
| [2] 广东暴雨带与中系统的分析 (1980) | 广东区会战组 |
| [3] 1977年5月31日粤中暴雨过程分析 (1978) | " " |
| [4] 亚洲和太平洋热带地区的对流层平均环流图 | 中央气象台 |

