

台风暴雨的中尺度分析

林锦瑞

提 要

本文分析了7315强台风登陆后,在台风外围南风急流的作用下造成特大暴雨过程的中尺度系统活动的特征,指出:中小尺度雨团及其伴生气压场扰动均发生在地面中尺度的辐合线引起的湿静力能锋区上;激发对流性雨团的有利地理环境是喇叭口山地的迎风坡和水温高于气温的海湾地区;雨团及与之伴随出现的气压扰动是沿着对流发生之前的地面能量锋区移动的。

中尺度系统是造成暴雨的直接系统,台风暴雨亦不例外。普查华东地区的台风暴雨历史资料表明,24小时雨量达到大暴雨(100毫米以上)或特大暴雨(200毫米以上)的过程,几乎每次都出现每小时降雨量为50毫米以上的雨强中心。这种骤雨具有明显的中尺度时空特征,生命史为几小时—十几小时,水平尺度为30—250公里。要搞好暴雨的落区与强度的预报,必须解决中尺度系统发生、发展的预报,但目前对这方面还了解得很少。本文利用浙江省较多的风与微压计的自记记录,对在厦门登陆的7315台风进行中尺度分析,以增进对台风暴雨发生、发展规律的认识,为台风暴雨预报提供一些事实和根据。

一、螺旋雨带与南风急流雨带的特征

各个台风中降水情况十分复杂,取决于许多因素,但可以概括为两大类的天气尺度背景再加上地形作用。

一类是台风环流本身,有人认为是从台风眼壁向外激发出重力波,造成波长为200—500公里的条状强降雨区。大量的雷达观测资料表明,台风中的中尺度雨带主要是螺旋雨带,与它相应的中尺度低槽气压场扰动,因为天气尺度的扰动太强不易分析出来。但中尺度系统所具有的时空特征及强烈对流仍很明显,且雨带按台风准圆形环流与台风中心移速的合成矢量移动。雨带分布按螺旋状向中心眼壁汇合。图1 a和图1 b分别是7315台风在海上时和登陆前3小时的雷达回波照片素描,由于台风向西北移动,强度减弱,螺旋雨带也减弱。图1 b上回波仅集中在台风的右侧,范围也大大缩小。在台风登陆厦门之前1小时螺旋雨带才袭击了厦门市,最强的雨量中心出现在厦门站南侧的海沧公社(150

毫米/1小时), 厦门站为86毫米/1小时, 再往东北离海沧公社约20公里的集美雨量站测得雨强仅为 58.7 毫米/1 小时。这种不均匀分布说明了螺旋雨带是由比它尺度更小的雨

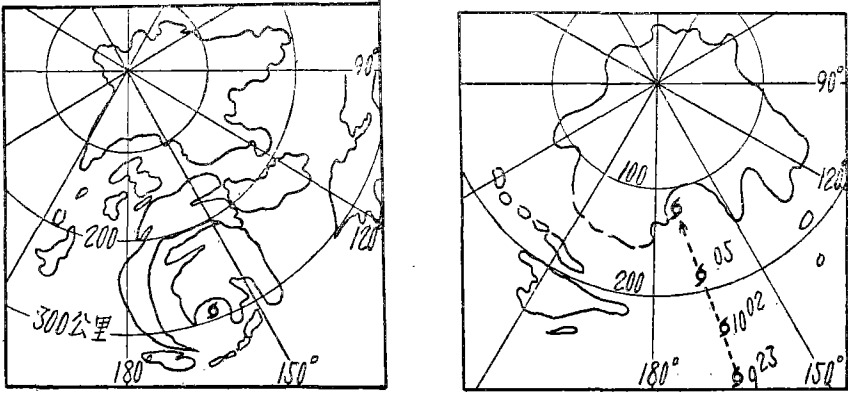


图 1 a 晋江1973年10月9日23时(台风中心: 22.4°N, 119.3°E; 方位 164°, 距测站280公里)
图 1 b 晋江1973年10月10日08时(台风中心: 23.8°N, 118.7°E; 方位171°, 距测站120公里)

团组成, 这些雨团随着台风登陆减弱和螺旋雨带趋向消失而大大减弱, 一个半小时以后 (即台风登陆厦门约半小时以后) 雨团移到漳州时, 从雨量自记记录得到的雨强就只有14毫米/1小时, 雷达观测分辨不出螺旋结构*。由此可见, 螺旋雨带所造成的台风暴雨可能落区与强度的预报, 基本上可以由天气尺度的台风环流的路径与强度的预报, 结合当地的地形作用作出判断。

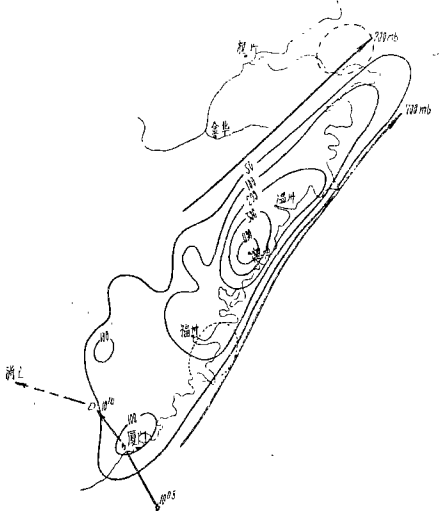


图 2 7315台风过程总雨量与台风路径 (图中细实线为过程等雨量线 (毫米), 粗实线为200mb 最大南风风速轴和700mb 南风急流轴(10、11日两天平均位置), 虚线为 500mb 最大南风风速 中心, 点划线为 200mb最大南风风速中心)

另一大类的暴雨是由台风环流与周围环境系统共同作用而激发出中尺度系统所造成

*福建晋江雷达站照片。

的中尺度雨带。这一类比第一类复杂得多，本文仅分析台风与副热带高压（或是赤道缓冲带）共同作用下所造成的台风外围的偏南风急流（简称南风急流）中激发的中尺度雨带。这个雨带分布于700毫巴南风急流轴的左前方，最大雨量中心则位于200毫巴最大南风中心的右后方和500毫巴最大南风中心的北侧之间的区域里(如图2)。雨带的强度变化与南风急流强度密切相关。值得指出，在7315台风中它所造成的特大暴雨中心为488毫米（福鼎）远大于台风环流本身的螺旋雨带所造成的大暴雨中心164毫米（厦门）。由此可见，台风登陆后的暴雨预报，必须十分重视第二类雨带与雨团的预报。

二、南风急流中雨团发生的触发条件与发生源地

南风急流的存在就向暴雨将要发生的地区源源不断地输送水汽，而且水汽的差动平流使该地区位势不稳定不断重建得以维持^[2]。在南风急流轴的左前方具有水汽辐合与强烈上升运动、气旋性切变涡度等等动力条件。而在500毫巴以上的气层却又是辐散，提供了中尺度雨团发生的最有利背景条件，但是中尺度系统生成还需要有触发条件。中尺度分析结果表明，在本次过程中的触发条件，是闽浙沿海地区的中尺度辐合线与能量锋区。它们是如何形成的呢？

图3 a 是台风登陆之前的地面气压形势，闽、浙位于台风北部的偏东气流中，这支气流经过闽、浙地区的山区时在较高大的仙霞岭和洞宫山前形成了明显的地形脊，在小比例尺天气图上，还可以分析出许多小的反气旋环流，形成了从迎风坡的中小尺度的反气旋中心流向沿海辐散的气流，再加上海陆之间摩擦的差异，在闽浙沿海形成了如图3 b 所示的那样较强的中尺度辐合线，根据 10^{03} — 12^{08} 五个时次计算，一般辐合

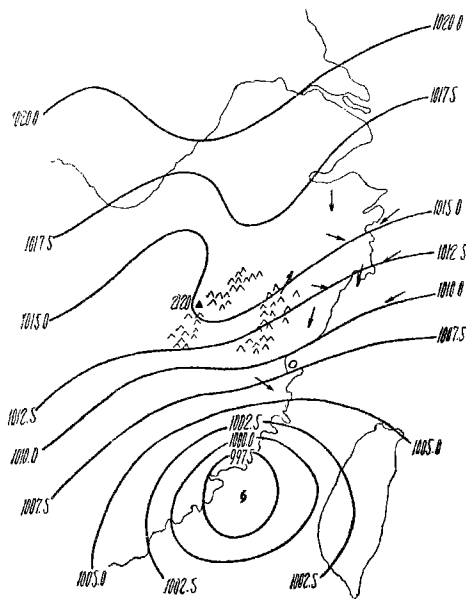


图3 a 1973年10月10日08时地面部份气压形势图

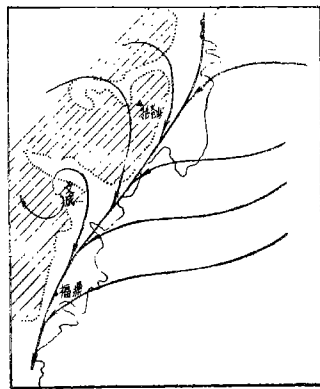


图3 b 1973年10月10日14时沿海中尺度辐合线
(斜线区为丘陵山地)

量均在 $-1 \times 10^{-4} \text{秒}^{-1}$ 以上，最大辐合量为 $-6.1 \times 10^{-4} \text{秒}^{-1}$ ，比这次地形抬升引起的辐合量

$-1 \times 10^{-5} \text{秒}^{-1}$ 大一个量级。辐合线汇集了来自内陆较干冷的气流与海上暖湿空气，地面图上就形成了一条中尺度的 θ_{se} 密集带，它的水平梯度($-\nabla\theta_{se}$)为 $-1.5^\circ\text{C}/10$ 公里，它也就是一条中尺度的湿静力能量锋区（简称为能量锋区），它就成为中尺度系统及其相应的雨团的有利的触发条件，辐合抬升促使大量湿斜压有效位能释放，转化为强对流的垂直运动动能。

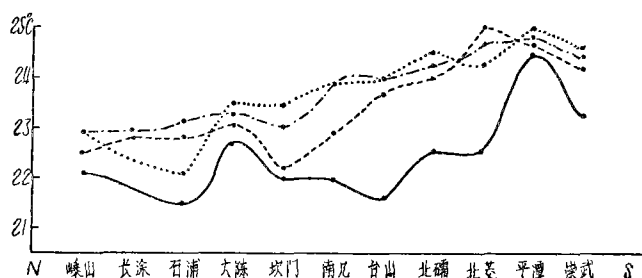


图4 1973年10月10—11日海面平均水温与平均气温的分布曲线（实线—10日平均气温，虚线—10日平均海温，点线—11日平均气温，点划线—11日平均海温）

中分析还表明在能量锋区上能量最易释放而引起强对流的地方，是在具有三面环山且向东开口的喇叭状地形的测站及海湾附近的测站。7315台风外围的南风急流所造成10日一场大暴雨和11日一场特大暴雨中，先后共有15个雨团活动（雨团是以每小时雨强等于大于10毫米的外包线为准）。其中8个雨团最先发现于能量锋区靠暖区一侧的山区测站，特别是具有向东开口的喇叭状地形的测站。例如11日午后就有三个雨团接连从文成站移出，因为具有这种地形的测站午后受热不均，特别是偏东气流进入喇叭口地区气流加速，在迎风坡上造成较强的上升气流，就大大加强了能量锋区上中尺度辐合线上的辐合上升气流，所以最先引起能量释放，产生较强的对流。

为什么海湾地区也是中尺度雨团的发生源地呢？因为秋季受冷空气影响后的陆上气温下降比海面水温快，造成海面水温高于气温。由图4可以看出，从闽江口以北的北莖海洋站到台山海洋站之间平均水温较平均气温高出 2°C ，夜间与早晨水温与气温的差异更大，通过湍流对热量的向上输送在海湾附近的空气就形成了一个暖湿的中心，即

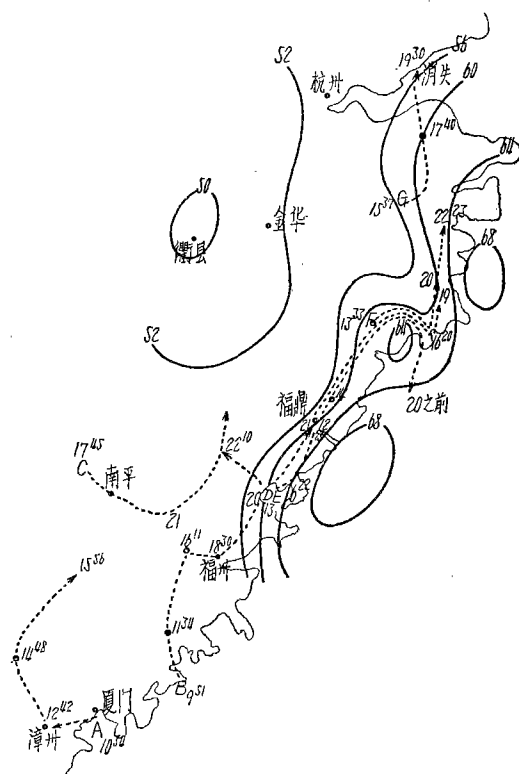


图5 1973年10月10日08时地面的 θ_{se} 线与当天午后的雨团路径（实线为10日08时地面的 θ_{se} 线，虚线为雨团路径）

θ_{se} 的高值中心(图5)。周围较冷的空气与暖湿中心之间形成了垂直环流,使不稳定能得以释放。10日有三个雨团(图中D、E、F雨团)是发生在上述海湾里,11日由于南风的暖平流作用,再加上前一日对流、湍流热交换,气温与海温十分接近,有些地方白天甚至还出现气温高于水温,只有在石浦附近水温仍高于气温,12日上午仍有一个雨团在这个地区发生。

还有2个雨团是由螺旋雨带中的中尺度雨团当台风登陆后强度大大减弱而趋向消失时,受到南风急流接济后再生,表现为改变了原来的移动方向,改沿南风急流轴移动,强度亦随南风急流的强度变化而变化(图中A、B雨团)。

三、南风急流中的中尺度系统

南风急流暴雨的中尺度气压场扰动系统,虽然远不及飕线的气压偶显著,但是从单站的要素变化及中尺度分析表明暴雨中的中尺度扰动仍是清楚的,它的生命史也是明显的。本文选择一个10日14时发生于温州湾附近的中等强度雨团为例说明。图6是雨团经过浙江坎门站时压、温、湿、风和雨量自记曲线图,从自记曲线的演变可以看出,当雨强突增到9.2毫米/10分钟时气压在相应时间里突升1毫巴/15分钟,气温突降 $1.5^{\circ}\text{C}/15$ 分钟,风向风速没有什么变化,也无雷暴发生。与此相反,在雨强减弱时风向由原来NE、10米/秒转为ESE、16米/秒,ENE风维持了一个半小时后又转为ENE。说明在这个期间有一个尺度较小的冷性高压移过坎门站,雨强最大值发生在冷性中小尺度高压的前部,弱低压的后部。图7是雨团中中尺度扰动的温压场与流场的特征,中小尺度高压为冷性、低压为暖性,它们的散度分别为 $1 \times 10^{-4} \text{秒}^{-1}$ 和 $-5.1 \times 10^{-4} \text{秒}^{-1}$,涡度值为 $-1.0 \times 10^{-4} \text{秒}^{-1}$ 和 $1.3 \times 10^{-4} \text{秒}^{-1}$ 。经过消除日变化与天气尺度系统变压影响的处理后,中小尺度扰动中的一小时变压 $\Delta P_1'$ 约为1毫巴,雨量加大之前的 $\Delta P_1'$ 为负值,雨强突增时,大多数情况下,升压降温,因为尺度小15分钟的瞬间变压要比

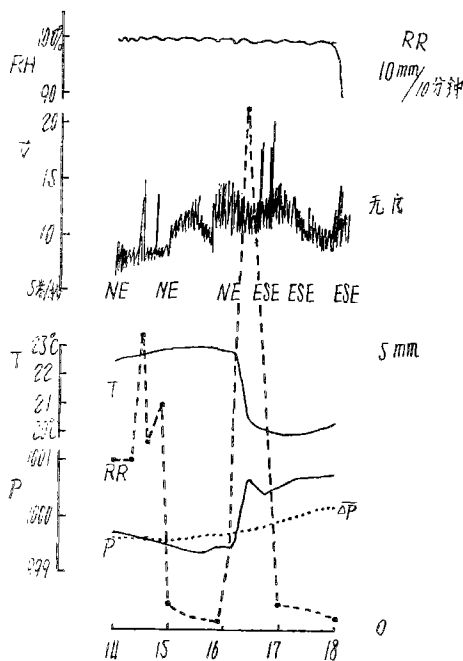
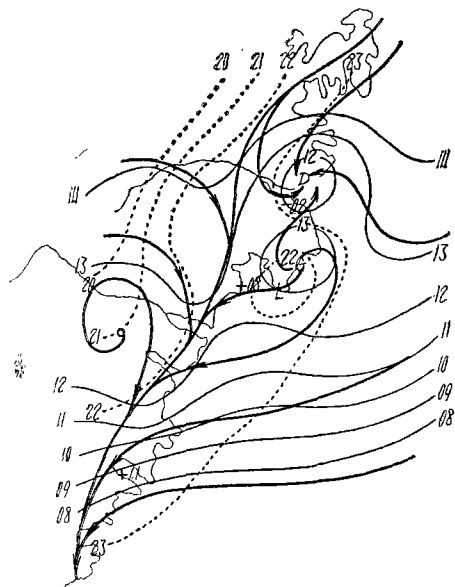


图6 1973年10月10日14—18时坎门站地面气象要素变化曲线

(ΔP : 用16个微压计记录,在没有雨团经过、测站的气压仅受日变化与天气尺度系统影响的条件下从15时—20时平均的升压值;RR: 雨强;RH: 相对湿度; $\vec{V}$: 风向风速;T: 气温;P: 本站气压)



(图中粗实线为地面流线, 细实线为等压线, 正负变压为 1 小时平均变压, 虚线为等温线)

20

13

台风中雷暴活动主要集中在北伸的倒槽和西侧的冷式切变中；因为这些区域最容易有北方的冷空气入侵^[1]。7315台风的螺旋雨带中没有发现雷暴现象，根据晋江雷达观测眼壁最大高度为7—8公里，云体不高且又具备高温高湿，所以不易出现雷暴。台风外围的中低空南风急流的空气亦是来自热带辐合带，温度高湿度大，湿层也厚。它的0℃层高度在550毫巴（约5000米）高度上，-20℃层高度在350毫巴（约8500米）高度上，而且11日的0℃层和-20℃层高度下降仅限于10毫巴以内的高度差，十分有限。所以10日和11日两天的15个雨团中有13个雨团虽具有强烈上升运动与位势不稳定，结果只造成了特别大的雨强，其中最大雨强为101毫米/1小时，出现在福鼎（11日19⁵⁴—20⁵⁴由两个雨团合并造成），但并无雷暴伴生。但是在过程行将结束时，夜间23时以后的最后二个雨团中却伴生了雷暴。雷暴的出现说明大气中层结不稳定性加大，云内微物理结构发生变化，云顶高度超过了一20℃，及云内气流结构也发生变化。雷暴发生区中（福鼎、平阳、温州、文成）没有一个探空站，本文只能借助于两侧最靠近的福州与大陈岛的资料列表说明。

表 1 1973年10月10日20时—11日20时大陈岛
与福州的 ΔT_{24} , ΔT_{d24} 与 $\Delta \theta_{se24}$ 随高度分布

	大 陈 岛			福 州		
	ΔT_{24}	ΔT_{d24}	$\Delta \theta_{se24}$	ΔT_{24}	ΔT_{d24}	$\Delta \theta_{se24}$
地 面	-0.2	-0.2	-1	0.2	0.7	3.0
900	0.4	1.2	4	0.6	-0.8	1.0
850	0.7	4.1	12	0.4	-0.4	1
800	0.9	6.6	14	0.7	-0.6	1
700	0.4	1.7	5	1.7	-0.5	4
600	-0.6	0.2	-1	-0.5	-3.5	-2
500	-0.5	-0.2	-1	0	-4.2	-5
400	-0.3	0.6	0	0.1	-3.1	-4
300	-0.6	0.7	-1	1.3	-5.8	-1
200	-2.6	-1	-3	-0.3	-3.0	-2
100	-5.4			2.8		

从表1可以看出大陈岛在700毫巴以下气柱因增温和增湿（地面除外）引起 θ_{se} 明显增加，而福州是增温大于弱减湿使得 θ_{se} 仍有所增加。这二个测站在600毫巴等压面上均

出现降温和 θ_{se} 的负变量, 500毫巴以上出现 $\Delta\theta_{se}$ 负值, 可以推测介于这二个站之间的暴雨区上空(福鼎、温州…等地)的 θ_{se} 随高度分布的变化也是这样的。由于南风急流的水汽差动平流使得急流区内的大气具有位势不稳定, 11日20时以后又同时出现了温度的差动平流与水汽差动平流, 致使福鼎—温州等地的位势不稳定更加大, 有利于对流强烈发展, 对流云的云顶容易超过 -20°C , 0° 至 -20°C 气层中冰晶与过冷水滴共存, 一方面有利于雨滴扩大, 另一方面根据被大量观测事实所证明了的辛普森和鲁宾逊(Simpson and Robinson)推断: 雷雨云上部的正电荷常常和低于 -20°C 的温度相联系。而且负电荷中心的温度绝大多数低于 0°C [5]。本次过程中 -20°C 线位于8.5公里, 0°C 在5公里高度, 由于600毫巴高度有冷、干空气侵入, 位势不稳定增大, 在南风急流的有利散度场中, 对流比以前更强烈, 利于发生雷暴。

引导冷干空气从中空入侵原暴雨区从图8可知是西风带气流, 西风高度12小时内由300毫巴降至700毫巴, 低空的东风分量也大大减弱, 同时连日来中低空维持比较大的水

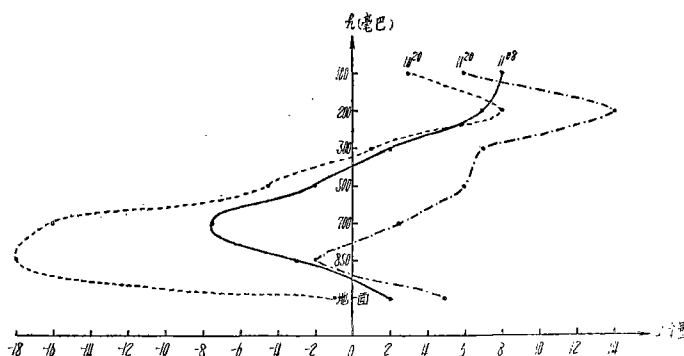


图8 福鼎上空东西风廓线的逐日演变

汽通量和水汽通量辐合都将大大减弱, 暴雨使空气中失去的水汽得不到足够补充, 都预示着暴雨过程即将结束。

参 考 文 献

- [1] 陈联寿、丁一汇, 西太平洋台风概论, 463页, 科学出版社, 1979。
- [2] 章基嘉等, 急流与台风暴雨, 南京气象学院学报, 1983, 2。
- [3] 陶诗言等, 中国之暴雨, 89页, 科学出版社, 1983。
- [4] E. B. 柯劳斯, 山东海洋学院气象专业译, 大气和海洋相互作用, 215—218页, 科学出版社, 1979。
- [5] B. J. 梅森, 中国科学院大气所译, 云物理学, 533页, 科学出版社, 1978。

A Mesoscale Analysis of the Heavy Rainfall During a Typhoon Invasion

Lin Jinrui

ABSTRACT

The characteristics are analysed of the meso- and microscale system, which produced the heavy rainfall under the action of the southerly jet stream at the periphery of the Typhoon 7315 after its landing on China's coast. It is shown that the meso- and microscale rain cores and their pressure disturbances are found in the moist-static energy frontal zone associated with the convergence line. The conditions favourable to stimulate the convective precipitation are the topographic effect of V-shape coast line and the gulf where the sea surface temperatures are higher than the air ones. These rain cores and the pressure disturbances associated are moving along the moist-static energy frontal zone prior to the occurrence of convection.