

# 台湾地区中尺度试验期间梅雨锋 及其对流云团的研究

马群飞 赵思雄

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100080)

## 提 要

本文对台湾地区中尺度试验(TAMEX)中的两次IOP(加密观测期)过程进行了诊断研究, 结果表明:

(1) 1987年5月13日至17日, 台湾地区的对流系统活跃, 究其原因, 主要系两次锋面过境所致。这两条锋面的温度梯度比长江流域一般的梅雨锋要强, 梅雨锋上的对流云团与降水直接有关。

(2) 高空东移短波槽与梅雨锋的有利配合, 是造成台湾地区出现较大降水的重要原因。IOP2有高空短波槽配合, 因而降水比IOP1大。槽与锋面的配合, 使对流层中低层正涡度区加强, 这与华南前汛期暴雨的特征有某些相似之处。

(3) 由每小时一次的GMS卫星云图上发现, 在此期间台湾地区发展的对流云团与大陆的系统联系密切。此外, NCAR飞机落仪探测资料表明, 与环境相比, 云团内部有较深厚的湿层; 时空加密探空资料的计算结果显示, 700hPa以下的水汽主要来自水平方向的辐合, 而在高层主要来自垂直输送。对于活跃的云团而言, 上述特征更加明显。

**关键词:** 中尺度系统; 梅雨锋; 对流云团。

## 一、引 言

对于每年6—7月份发生在我国长江中下游地区和日本西南部的梅雨, 国内外已作了很多研究<sup>[1-8]</sup>。我国台湾地区的气象学者对梅雨锋亦作了大量研究<sup>[9-11]</sup>。然而他们所讨论的梅雨在时间上不属于上述长江流域的梅雨, 而是大体相当于5—6月我国大陆地区的华南前汛期期间所发生的锋面降水, 它是春季影响台湾的一种主要的天气系统。

为了深入揭示台湾地区梅雨过程的主要特征, 1987年开展了台湾地区中尺度试验, 即TAIWAN AREA MESOSCALE EXPERIMENT (TAMEX)。至今已经有一批新的研究成果问世。初步统计表明<sup>[11]</sup>在TAMEX的13个加密观测期(IOP)中有8次与梅雨锋有关, 而在6次中尺度对流系统活跃的IOP中, 有5次是梅雨锋引起。因此研究TAMEX个例的天气尺度系统及中尺度对流云团活动, 无疑应从梅雨锋着手。然而, 需要指出现有的研究工作, 相当多数集中于对中 $\beta$ 尺度对流云团的研究。尽管已对IOP4的锋面过程进行了仔细的分析<sup>[12]</sup>, 但这属于一类不活跃的干锋。为了比较, 我

1991年11月28日收到, 1992年7月25日收到再改稿。

们需要对其它类型的锋面进行分析。同时,我们还认为,为深化对梅雨过程的认识,应从以下3方面进一步开展工作:(1)分析与台湾地区对流系统有关的上游(即我国大陆)的大尺度与中 $\alpha$ 尺度系统以揭露更多事实;(2)对高低空系统的相互结合及其机理做更深入的探讨;(3)对中 $\beta$ 尺度系统与环境场的关系及水汽供应的过程作定量诊断。

为此,本文分析了TAMEX期间IOP1和IOP2时期台湾地区梅雨锋及其对流云团的结构特征,并进行了若干动力学的诊断。为行文的方便,以下我们所说的“梅雨”系指台湾地区5—6月的降水,并且为了讨论问题,我们将分别就资料及分析方法,天气形势和过程,高低空系统的相互作用,台湾地区梅雨锋结构以及中 $\beta$ 尺度对流云团特征等逐一加以讨论。

## 二、资料及分析方法

TAMEX的实地观测作业是在1987年5月1日至6月30日进行的。其观测网包括75个地面站,125个雨量站,12个无线电探空站,10个气球测风站,21个气象测风塔,5部常规雷达,3部都卜勒雷达和一个超高频雷达及1架NCAR的P3飞机,此外日本的准静止气象卫星也提供云图资料。

1987年5—6月称为特别观测期(SOP),而在这两月里,根据锋面过境或有云团活动进行了13次密集观测,相应的时间称为密集观测期(IOP)。在SOP中,无线电探空每6小时进行1次,而在IOP中加密至3小时1次。在IOP时,地面站每半小时获取一次资料。P3飞机可得在其飞行高度上每秒钟的气象资料,同时可获得从飞行高度上投下的落仪(Dropsonde)资料。日本准静止气象卫星在SOP内提供3小时1次云图,而在IOP时增至每小时1次并提供增强显示图。

1987年5月13日至17日,有两次锋面移过台湾,同时发现有一些与锋面相伴的云团,与两次锋面过程相应应有IOP1和IOP2两次观测,IOP1从13日14时(地方时,下同)至14日8时;而IOP2从16日14时至17日11时。

我们把无线电探空站分成A、B、C3个区域(图1),垂直间隔为25hPa,然后用曲面拟合法计算有关物理量<sup>[13]</sup>,以探讨不同区域的对流云团特征和同一云团不同部分特征。

在多数情况下,对流云团的出现并非孤立事件,它们与中 $\alpha$ 尺度环境场的关系较密切。为此,我们利用东亚120个常规无线电探空站的资料,来对中 $\alpha$ 尺度环境场进行诊断。诊断区域水平范围为 $18.0^{\circ}\text{N}$ — $40.0^{\circ}\text{N}$ , $102.0^{\circ}\text{E}$ — $125.0^{\circ}\text{E}$ ,网格距为90km,垂直范围为1000至50hPa,垂直间隔为50hPa。

## 三、天气形势和过程

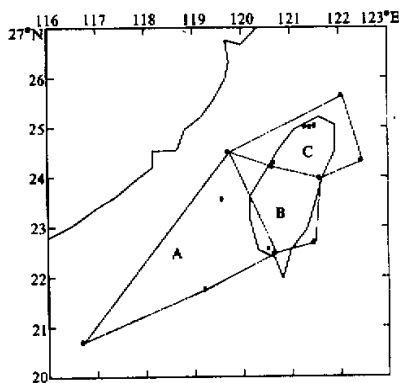


图1 无线电探空站网(白点)及曲面拟合的区域  
3个黑点从南至北分别是高雄、水清、中正机场3个地面站

1987年5月12日08时,地面图上我国

华中地区有一低压倒V字形槽,槽内沿长江一线有一准静止锋,锋后为一高压区。至13日08时,地面锋面移至杭州到昆明一线,850hPa层上,从杭州、南昌至昆明一线有一切变线,在其北边,从青岛至蚌埠有一风速为20m/s的偏北气流,有利于冷空气南下。至13日20时,地面锋面已移至台湾北部,大约位于北纬25.0°N一线,尽管锋面温度对比较弱,但从其它物理量场仍可清楚发现它。图2给出了这一时刻的700hPa上的涡度分布,一条东西走向的正涡度区,大体相当于锋面的位置。到14日08时,锋面移过台湾。这次锋面经过台湾时,移动速度快,锋后高压强,所以台湾无大的降水出现,只在台湾北部海面有一批中尺度对流云团经过。

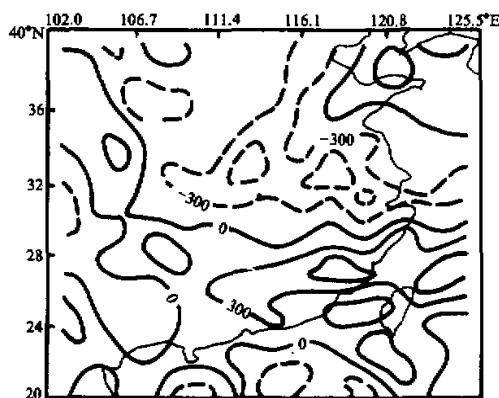


图2 1987年5月13日20点(LST)700hPa上的涡度分布

第二次锋面则有所不同,15日20时,北京至西安一线有一锋面,850hPa至500hPa都有槽线与之配合。至16日08时,锋面移至宁波、衡阳一线,850hPa层有西南急流维持在锋前,而在长江以北为偏北风,至17日08时,锋面位于台湾中部,以后锋面移过台湾,第二次锋面结束。

总之, IOP1和IOP2两次过程,地面都有锋面由大陆东移经过台湾,对流层低层都有切变线与之配合,500hPa均有西风带短波槽相伴,在锋面南下经过台湾前24小时,都出现了西南低空急流,所不同的是第二条锋面在台湾地区引起的降水更显著。

#### 四、高空短波槽和低层系统的耦合

在1987年5月中旬,一个明显的事实是,在IOP1和IOP2期间,当锋面过境时,都伴有对流层中层槽移过台湾上空。从5月13日20时各层涡度场(图略)可以看出,该时刻在台湾上空低层是一正涡度区,500hPa以上为负涡度区,正涡度区在大陆上空,这说明低层有切变线存在,但高空短波槽距离较远。850hPa等压面上垂直速度最大值为 $10.1 \times 10^{-3} \text{hPa/s}$ ,700hPa层上升区域大为缩小。整个而言,因高空短波槽配合不太有利,致使上升运动仅限于对流层中下层,因而,在IOP1期间,梅雨锋上的对流系统不是非常活跃。

IOP2 是南北方向系统相互作用的结果,这在涡度场上也很明显,从低层到高层为整层的上升运动,这是因为相应的散度场在低层辐合而在高层辐散的缘故。

这也许说明,对流层中层槽与地面锋的有利配合是引起台湾地区降水的重要因子。我们已注意到, IOP2 中高低空系统有利结合,台湾有较大的降水, IOP1 中不太有利的配合,上升运动弱,降水小。特别是在 IOP4 中高空槽远离地面锋,则无降水出现<sup>[12]</sup>。因此,高空短波槽对台湾天气的影响是不可忽视的。

## 五、台湾地区梅雨锋的结构

我们已经知道,在 IOP1 和 IOP2 两次过程中均有地面锋经过台湾。为讨论这两条锋面结构,我们首先根据中  $\alpha$  尺度网的观察资料,分析了各个时刻沿不同经度的经向剖面图,可以发现,在 IOP2 中,5 月 16 日 20 时,沿  $121.5^{\circ}\text{E}$  锋面前缘位于北纬  $29.0^{\circ}\text{N}$  (图略),锋面两侧,温度场和湿度场相差明显。而在东经  $115.0^{\circ}\text{E}$  处,该锋面在湿度场上还很明显,但在温度场上已很微弱。所以该锋面东西端结构不同,东端斜压性较强,西端斜压性较弱。在其它个例分析中,曾见到类似的情况<sup>[9]</sup>。

此外,还用 IOP1 和 IOP2 3 小时一次的时间加密探空资料,作了单站的时空剖面图,以观测锋面移过台湾时物理量场更细微的变化。我们选择了台北、海研一号船、及东港 3 个站作为代表来分析。

可以看出(图 3), IOP1 中锋面在 5 月 13 日 09 时前后开始影响台北站( $25.00^{\circ}\text{N}$ ,  $121.43^{\circ}\text{E}$ )。锋面过境前两小时,低层 900hPa 以下有一增温增湿的过程,至 12 时即锋面过境后 3 小时,800hPa 附近假相当位温  $\theta_{se}$  出现低值中心。锋面主要表现在 800hPa 等压面以下,在 800hPa 以上几乎无法辨认。这跟锋面在大陆地区时相比高度已大大降低。此锋面过境后在低层维持一浅薄的干冷空气,类似于华南春季的冷空气垫<sup>[14]</sup>。

海研一号(RCHY,  $24.5^{\circ}\text{N}$ ,  $119.75^{\circ}\text{E}$ )的变化有类似的情况(图略),它位于台北站南边约半个纬度处,锋面比台北站晚了 3 小时,即在 13 日 12 时开始影响该站,锋面高度跟台北站相比进一步降低。最后当锋面到达东港站( $22.5^{\circ}\text{N}$ ,  $120.47^{\circ}\text{E}$ )时温度梯度已不太明显,只在湿度场上有些反映,且影响时间较短,风场变化也很小。

总之, IOP1 锋面在经过台湾时,前几小时在地面有一增温增湿过程,锋两侧温度、湿度对比明显,锋面所达纬度越低,其高度也越低,锋面变性明显,在台湾南部温度梯度已很小。

在 IOP2 中,锋面是在 5 月 16 日 10 时开始影响台北站的(图略),在锋面抵达前 6 小时左右,低层 900hPa 以下有一增温增湿过程。这与 IOP1 类似。锋抵达前几小时,西南风开始增大,750hPa 附近在 16 日 07 时西南风出现一峰值,约为 18m/s,接着稍有减弱。在 17 日 07 时,800hPa 又出现一峰值,中心值为 21m/s。

锋面到达海研一号时是在 16 日 14 时,比台北站晚了 4 个小时,可见该锋面移动速度要比 IOP1 锋面慢。锋面高度并未象 IOP1 那样有显著下降。在锋抵达前十几小时,西南风开始增大,在 16 日 09 时在 750 hPa 出现急流中心,然后减弱,约 24 小时后又达一峰值。

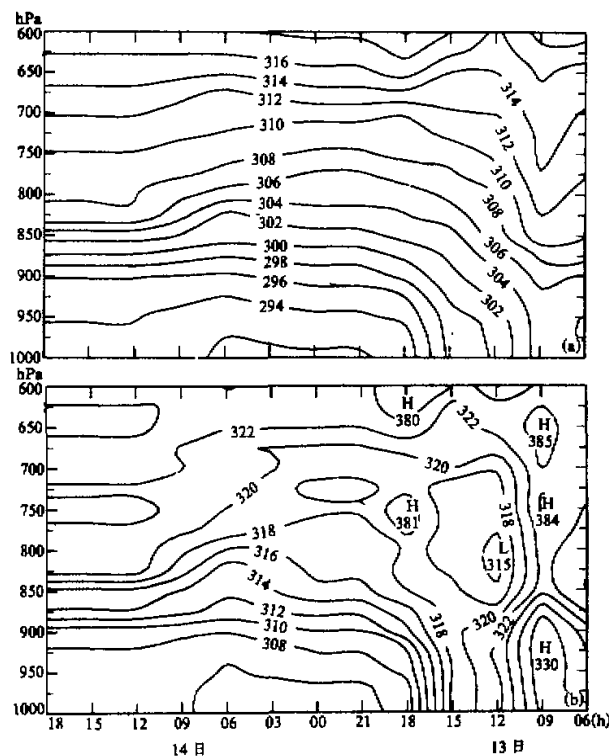


图3 台北站( $25.0^{\circ}\text{N}$ ,  $121.4^{\circ}\text{E}$ )从13日06时至14日18时的时间高度剖面图.  
(a) 位温的变化, (b) 假相当位温的变化

上述两个IOP 例子的剖面分析所得的结果, 与华南前汛期暴雨的特征相比有某些类似之处, 即锋前广大暖区处于位势不稳定状态, 暴雨容易发生, 锋后大气层结稳定, 常出现稳定性连续降水, 有时可达一般暴雨的量级<sup>[15]</sup>.

为了更进一步分析锋面特征, 比较两次锋面的不同结构, 根据半小时一次的地面资料我们分析了地面气象要素的变化. 在IOP1, 中正机场站从开始观测起(13日17时), 温度即开始下降, 到14日00时, 气温已从13日17时  $27.80^{\circ}\text{C}$  下降到  $19.0^{\circ}\text{C}$ , 即下降了  $8.8^{\circ}\text{C}$ , 中间可分为两次不连续的过程, 从13日17时至19时30分降了  $3.8^{\circ}\text{C}$ , 从13日22时到14日00时又降了  $5^{\circ}\text{C}$ , 对应这两次降温过程, 除日变化影响外, 可能与两个云团经过有关, 锋面过境时, 温度露点差较大, 风速变化也比较大. 从水湙站( $24.2^{\circ}\text{N}$ ,  $120.6^{\circ}\text{E}$ )、高雄站( $22.6^{\circ}\text{N}$ ,  $120.3^{\circ}\text{E}$ )的变化可以看出, 锋面越到南边, 要素场变化越小, 气温增高, 湿度增大, 但总的变化很相似. IOP2时, 中正机场站(图4)温度下降比IOP1要小, 只降温  $5^{\circ}\text{C}$ , 中间有3次弱降温过程, 可能对应着3个云团经过, 这可以从降水资料证实. 温度露点差要比IOP1小, 这说明IOP2湿度较大, 对应每一次降温, 风速都有一次峰值, 从另外两站的变化可以看出, IOP2的锋面变性要比IOP1慢.

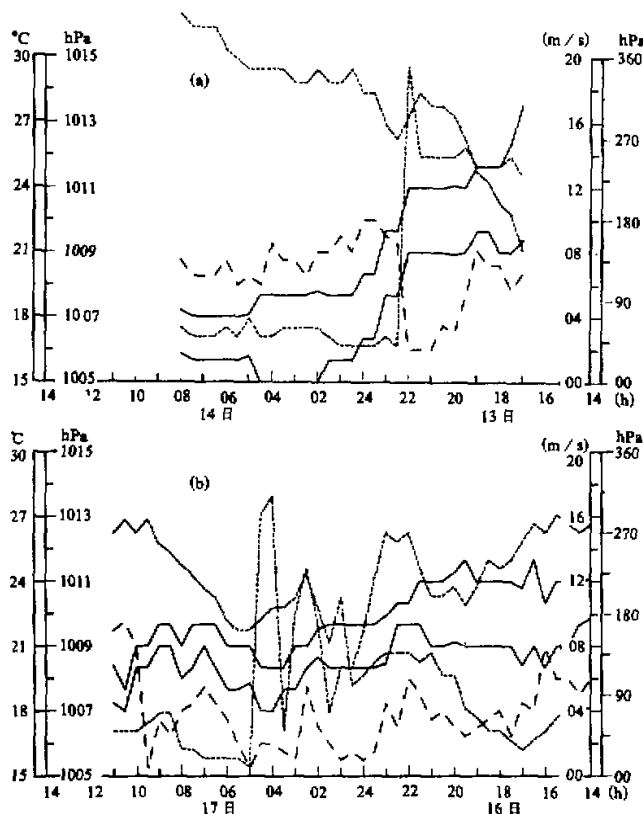


图4 中正机场站(25.08°N, 121.23°E)地面气象要素, 时间变化图

实线为温度和露点温度, 线虚线为风速, 点虚线为风向, 点线虚线为气压

## 六、中 $\beta$ 尺度对流云团的分析

人们早已发现, 梅雨锋上的降水并不是均匀的, 在雨带内常有一个个暴雨雨团, 对应卫星云图可以看到一个个白亮云团<sup>[16]</sup>。

### 1. 中 $\beta$ 尺度对流云团的卫星云图特征

我们知道, 当 IOP1 和 IOP2 两条锋面经过台湾时, 并不是都有降水, 降水与中尺度对流云团有更密切的关系, 因此我们利用云图来追踪云团的移动和演变。

从每小时一张的卫星云图上可以看出, 13 日 08 至 17 日 12 时, 共有 10 个对流云团值得注意, 我们分别标出 A、B、C、D、E、F、G、H、I、J 等编号, 现分述如后。5 月 13 日 08 时, 从日本海经长江口到贵阳一线有一条狭长的以中低云为主的锋面云带, 云带未发现明显的中尺度对流云团, 至 11 时云带开始断裂而成几片云系(图略), 在大陆上主要

有两片云系 A 和 B. A 中心位于  $25.6^{\circ}\text{N}$ 、 $111.8^{\circ}\text{E}$ , B 中心位于  $26.5^{\circ}\text{N}$ 、 $118.0^{\circ}\text{E}$ . 这两个云团缓慢向东移动, 至 14 时 A 云团开始减弱, 至 19 时, B 云团开始影响台湾北部, 从这一时刻的增强显示云图可以看出, 对流中心位于  $25.0^{\circ}\text{N}$ 、 $120.0^{\circ}\text{E}$ , 同时在  $26.2^{\circ}\text{N}$ 、 $121.5^{\circ}\text{E}$  也有一小的对流中心. 可以发现, B 云团生命史较长, 它由几个尺度更小的对流系统组成, 这些对流系统生命史约 3 小时左右, 值得注意的是, 该云团在台湾岛上降水很小, 主要影响了台湾北部洋面.

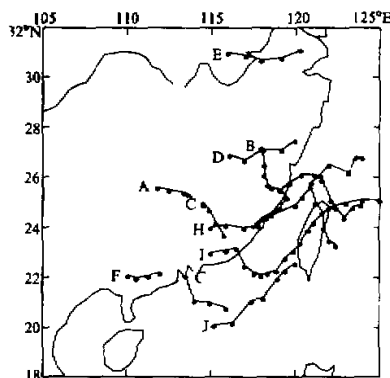


图5 由每小时一次的卫星云图得到的云团生命史及其轨迹

各云团的起始时间分别为: A、B 为 13 日 11 时, C、D、E 为 15 日 18 时, F、G、H 为 16 日 08 时, I 为 16 日 14 时, J 为 17 日 05 时

15 日 08 时, 长沙上空有一涡旋状云团, 至 18 时云团上出现 3 片云区 C、D、E, 其中 C 中心位于  $25.0^{\circ}\text{N}$ 、 $114.5^{\circ}\text{E}$ , D 中心位于  $27.4^{\circ}\text{N}$ 、 $116.0^{\circ}\text{E}$ , E 中心位于  $31.5^{\circ}\text{N}$ 、 $115.8^{\circ}\text{E}$ . 每片云区的尺度约在 2 个纬度左右. 整个而言, 因为缺乏有利的大尺度环境影响, 这些云团移动较慢, 自生自灭.

16 日 08 时, 我国华南和南海上空有一大片云区, 这片云区又由 3 个云团, 即 F、G、H 组成. 中心分别位于  $22.1^{\circ}\text{N}$ 、 $110.0^{\circ}\text{E}$ ,  $22.0^{\circ}\text{N}$ 、 $113.5^{\circ}\text{E}$ , 和  $24.0^{\circ}\text{N}$ 、 $115.0^{\circ}\text{E}$ . 到 12 时, H 云团开始影响台湾东部, 并逐渐扩展至台湾北部, 到 17 时, H 云团影响整个台湾.

16 日 14 时, 在  $23.0^{\circ}\text{N}$ 、 $115.0^{\circ}\text{E}$  附近又出现一个云团 I, 该云团先缓慢地向东南方向移动, 然后转向东北, 向台湾岛移动, 23 时开始影响台湾. 该云团移到台湾后, 强度稍有减弱, 移动速度加快, 至 17 日 03 时移出台湾. 17 日 05 时, 在  $20.1^{\circ}\text{N}$ 、 $115.2^{\circ}\text{E}$  处出现一新云团 J, 该云团在向东北方向移动的过程中逐渐减弱, 因而对台湾岛未造成显著影响 (图 5).

综上所述, 伴随两条锋面有若干对流云团发展, 其中相当一部分只影响大陆, 但是值得注意的是, 其中还有一部分影响了台湾及其附近洋面, 13 日云团 B 及 16 日的云团 H 和云团 I 即是如此.

## 2. 中 $\beta$ 尺度对流云团内部的温湿特征

飞机落仪资料可提供云团较详细的信息, 为此, 我们在由云图确定出的一批中  $\beta$  尺度云团中, 选出云团 B 和云团 H, 用美国 NCAR 的 P3 飞机落仪资料来研究它们的温湿分布特征. 目的在讨论这两个较活跃和不太活跃的云团有何相似之处与不同点. 同时并对每个云团内部和它们的环境状况进行比较.

图 6a 是根据 13 日 19 时 16 分在  $27.0^{\circ}\text{N}$ 、 $122.4^{\circ}\text{E}$  的飞机落仪资料得出的垂直廓线图. 此时飞机位于云团 B 的北部. 可以看出, 在该云团的北部 650hPa 以下湿度较大, 相对湿度达 98% 左右, 而在 575hPa 开始, 相对湿度向上突然减小, 550hPa 相对湿度为 31.5%. 温度层结跟湿度层相配合, 在 575hPa 以上, 减小比低层快, 在风场上 600hPa 以下为东南风,

风速达  $10\text{m/s}$ ,  $600\text{hPa}$  以上为西南风.

图 6b 是相当于云团 B 内部的廓线图, 我们发现云团内部湿层比较深厚.  $550\text{hPa}$  相对湿度仍达  $93\%$ , 风场上  $600\text{hPa}$  以上为西南风,  $600\text{hPa}$  和  $900\text{hPa}$  之间为东南风.

图 6c 是相当于云团 B 南部的垂直廓线图, 可以看出, 其湿层较浅薄,  $750\text{hPa}$  附近相对湿度已减至  $58.1\%$ .

上述 3 个落仪探测资料结果表明, 云团 B 的尺度约为 3 个经距, 这与卫星云图上显示的差不多, 云团中心湿层较深厚.

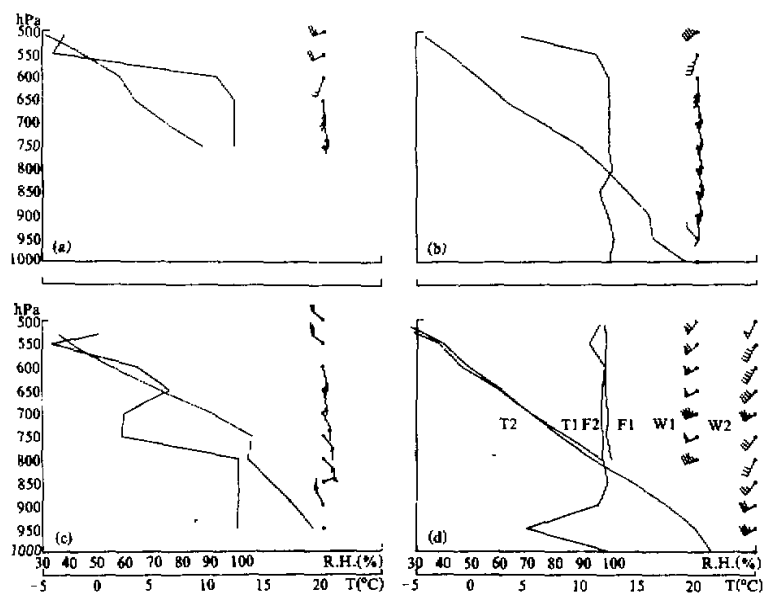


图 6 根据飞机落仪资料得到的垂直廓线图

实线为相对湿度, 虚线为温度, (a)图是 13 日 19 时 16 分在  $27.0^{\circ}\text{N}$ ,  $122.4^{\circ}\text{E}$  处

(b)图是 13 日 18 时 52 分位于  $25.6^{\circ}\text{N}$ ,  $123.6^{\circ}\text{E}$  处, (c) 图是 13 日 22 时 28 分

位于  $23.6^{\circ}\text{N}$ ,  $122.1^{\circ}\text{E}$  处, (d)图中 T1, F1, W1 是 16 日 14 时 32 分位于  $26.1^{\circ}\text{N}$ ,

$123.5^{\circ}\text{E}$  处, T2, F2, W2 是 16 日 15 时位于  $26.0^{\circ}\text{N}$ ,  $121.5^{\circ}\text{E}$  处

图 6d 是 16 日下午得到的垂直分布图, 这相当于云团 H 的区域之所在, 可以看出, 云团 H 比云团 B 湿层更深厚, 在飞机飞行的高度上(约  $500\text{hPa}$ )相对湿度仍达  $96.8\%$ , 另外, 云团 H 尺度要比云团 B 大, 在风场上, 云团 H 也跟云团 B 不一样, 云团 H 内从低层到  $500\text{hPa}$  是一致的强西风气流.

显然, 尽管云团 B 和 H 有某些相似之处, 但云团 H 比云团 B 湿度更大, 水平范围更广. 这也许是由于 IOP2 的锋面较 IOP1 活跃, 因而更有利于 H 云团发展的缘故.

### 3. 环境场对云团的水汽输送

水汽条件是造成暴雨的主要因子之一, 由于仅靠气柱本身的原有水汽量是不足以产生和维持暴雨的, 因而必须要有大量的水汽向该地输送和集中. 本节我们将讨论 IOP2 云团所在区域的辐合辐散场及水汽收支.

水汽连续方程可写为

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \nabla \cdot \vec{v} q + \frac{\partial w q}{\partial p} = -m,$$

式中  $q$  是比湿,  $m$  是凝结量.

对方程区域平均得

$$\frac{\partial \bar{q}}{\partial t} + \nabla \bar{v} \bar{q} + \frac{\partial \bar{w} \bar{q}}{\partial p} + \frac{\partial \bar{w}' \bar{q}'}{\partial p} = -\bar{m}.$$

定义视水汽汇  $\frac{\delta q}{\delta t}$

$$\frac{\delta q}{\delta t} = \frac{\partial \bar{q}}{\partial t} + \nabla \bar{v} \cdot \bar{q} + \frac{\partial \bar{w} \bar{q}}{\partial p},$$

$$\text{则有 } \frac{\delta q}{\delta t} = -\bar{m} - \frac{\partial}{\partial p} \bar{w}' \bar{q}'.$$

这表明各高度上得到的视水汽汇从理论上讲并非等于凝结量  $\bar{m}$ .

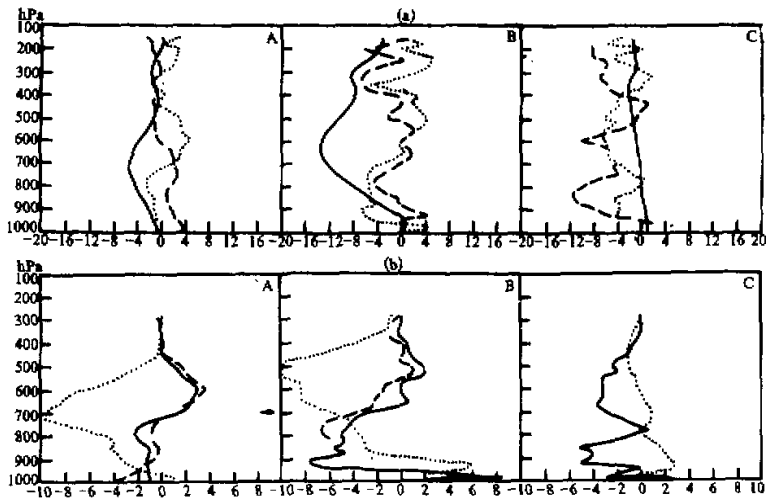


图7 5月17日12时台湾地区的物理量场及水汽方程各项

A, B, C 代表3个拟合区

(a) 线虚线代表涡度( $10^{-3} \text{hPa}^{-1} \text{s}^{-1}$ ), 点虚线代表散度( $10^{-5} \text{s}^{-1}$ ) 实线代表垂直速度( $10^{-3} \text{hPa}^{-1} \text{s}^{-1}$ )

(b) 水汽方程各项( $10^{-7} \text{s}^{-1}$ ), 线虚线代表水汽通量, 实线为水平平流项, 点虚线代表垂直通量项

(其中c图的线虚线和实线基本重合)

图 7a 是 5 月 17 日 12 时 A、B、C 区域的各物理量场。在云团活跃的 A、B 区, 低层辐合、上升运动强烈。而在云团消亡的 C 区, 环境场的辐合辐散量小, 为下沉气流控制。我们的分析表明, 无论云团活跃期和消亡期, 650hPa 以下的水汽的水平通量散度  $(\nabla \cdot \overline{vq})$  为负, 且绝对值较大, 这说明有水汽通量辐合, 即有水汽流入(图 7b), 而在 650hPa 以上, 这项在活跃期为正, 在消亡期为负。在云团活跃期, 水汽垂直通量  $\left(\frac{\partial wq}{\partial p}\right)$  为负, 在 700hPa 至 500hPa 间达到最大值, 而在消亡期这项很小, 这说明云团发展时, 低层 700hPa 以下水汽由水平辐合获得, 而在 700hPa 以上水汽则由低层向上垂直输送获得, 这一结论与日本列岛对流系统的水汽收支结果有某些相似之处<sup>[17-19]</sup>, 因此, 低层的水汽通量的辐合对对流云团发展有重要作用, 而低层辐合可能与锋面或低压槽等系统有关。

## 七、结 语

本文对台湾地区中尺度试验期间 IOP1 和 IOP2 中的两次锋面过程进行了诊断, 得到如下结论:

(1) IOP1 和 IOP2 时期共同的特征是有锋面从大陆东移经过台湾, 这些梅雨锋是移动性的。这可能是它们与长江流域 6—7 月份的梅雨锋的一个重要差别, 前者的温度对比也比后者强。台湾地区梅雨锋的结构东端比西端更清楚, 锋后的冷空气较为浅薄, 其厚度大约为 1000 m, 锋前常出现一片较深厚的对流不稳定区域, 这与我国大陆华南前汛期暴雨的特点有某些相似之处。

(2) 由大陆东移来的 500hPa 高空短波槽与地面锋相“耦合”是引起和增强台湾地区降水的重要因子。诊断表明, IOP2 中, 高空短波槽与地面锋的密切配合, 在对流层形成了深厚的正涡度区与上升运动区, 引起了台湾地区的降水, 较弱耦合的 IOP1 期间要强。

(3) 通过对日本静止卫星提供的每小时一次的卫星云图追踪分析发现, 在 1987 年 5 月 13 日 00 时(GMT)至 5 月 17 日 12 时期间, 共有 10 个对流云团先后出现于中国大陆上空, 其中大部分在大陆地区消散, 但有 3 个云团先后随锋面东移至台湾地区及其邻近海域, 并产生了较大影响。

(4) 由 P3 飞机落仪资料及地面、高空加密资料分析表明, 这些对流云团的共同点是在云团区域内湿层较深厚, 其水平范围约 3 个纬度, 其主要水汽来源即水平通量的水平辐合自地面可达 700hPa, 而 700hPa 以上的水汽主要来自垂直输送。在这些对流云团中包含有多个尺度更小的对流系统, 其不同之处是活跃的云团湿层更厚, 水平尺度也相对更大。

致谢: 本工作得到国家自然科学基金资助。在本文完成过程中, 周晓平教授给予悉心的指导, 王作述教授、孙淑清教授提出宝贵的意见和建议, 李玉兰副教授在卫星云图分析方面提供了帮助。此外, 美国 NCAR 的郭英华博士、台湾大学陈泰然教授及王时鼎教授曾与本文的第二作者作过有益的讨论, 在此一并致谢。

## 参 考 文 献

- [1] 陶诗言等, 1980, 中国之暴雨, 科学出版社.
- [2] 王作述, 1963, 一次江淮流域切变线过程的研究, 气象学报, 33, 189 — 205.
- [3] 孙淑清、翟国庆, 1980, 低空急流的不稳定性及其对暴雨的触发作用, 大气科学, 4, 327 — 337.
- [4] 谢安、肖文俊、陈受钧, 1980, 梅雨期间次天气尺度扰动的动能平衡, 气象学报, 38, 351 — 359.
- [5] 周晓平、赵思雄、张宝严, 1984, 梅雨锋上中尺度低压发生数值模拟实验, 大气科学, 8, 351 — 361.
- [6] 赵思雄, 1988, 梅雨锋上扰动发生发展的能量分析, 大气科学(特刊), 科学出版社, 191 — 201.
- [7] Matsumoto, S. and K. Ninomiya and S. Yoshizumi, 1971, Characteristic features of "Baiu" front associated with heavy rainfall, *J. Met. Soc. Japan*, 49, 267 — 281.
- [8] Ninomiya, K. and T. Akiyama, 1971, The development of the medium-scale disturbance in the baiu front, *J. Met. Soc. Japan*, 49, 663 — 677.
- [9] Chen, G. T. -J. and C. P. Chang, 1980, The structure and vorticity budget of an early summer monsoon trough (Mei-yu) over Southeastern China and Japan, *Mon. Wea. Rev.*, 108, 942 — 953.
- [10] Chen, G. T. -J. 1983, Observational aspects of the Mei-yu phenomena in sub-tropical China, *J. Met. Soc. Japan*, 61, 306 — 312.
- [11] Kuo, Y. -H., and Chen, G. T. -J., 1990, The Taiwan area mesoscale experiment (TAMEX). An overview, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 71, 488 — 503.
- [12] Y. L. Chen, Y. -X. Zhang and Norman B. -F. Hui, 1989, Analysis of a surface front during the early summer rainy season over Taiwan, *Mon. Wea. Rev.*, 117, 1989.
- [13] 丁一汇, 1989, 天气动力学中的诊断分析方法, 科学出版社.
- [14] 许祥秀、王慕雄, 1965, 春季华南在冷空气垫上空南支西风低压槽东移时的天气过程分析, 气象学报, 35, 117 — 125.
- [15] 黄士松等, 华南前汛期暴雨, 广东科技出版社, 1986, 1 — 244.
- [16] T. Akiyama, 1984, A medium-scale cloud cluster in a Baiu front, Part I Evolution process and fine structure, *J. Met. Soc. Japan*, 62, 485 — 504.
- [17] T. Akiyama, 1975, Southerly transversal moisture flux into the extremely heavy rainfall zone in the baiu season, *J. Met. Soc. Japan*, 53, 304 — 316.
- [18] K. Ninomiya and T. Akiyama 1974, Band structure of meso-scale echo clusters associated with low-level jet stream, *J. Met. Soc. Japan*, 52, 300 — 313.
- [19] T. Nitta, 1976, Large-scale heat and moisture budgets during the air mass transformation experiment, *J. Met. Soc. Japan*, 54, 1 — 14.

## A Study of Meiyu (Baiu) Front and Convective Cloud Clusters during TAMEX

Ma Qunfei Zhao Sixiong

(*Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080*)

### Abstract

In this paper, two processes of Meiyu fronts during TAMEX are diagnosed. The results show that:

(1) The convective systems in Taiwan area during IOP1 and IOP2 are related to the passages of the Meiyu fronts. Temperature gradient of the fronts in these cases is stronger than that over the Yangtze River in summer.

(2) The analysis of dropsonde data reveals that a deep moist layer existed inside the cloud clusters, and meanwhile, the computation of radiosonde data of denser network shows that the moisture below 700 hPa is associated with horizontal convergence and that in upper layers depends on the vertical advection.

(3) The coupling between the trough at upper levels and the front at lower levels contributes to the maintenance and intensification of the positive vorticity near the Taiwan island. It is one of the important factors that cause or intensify the rainfall. It's similar to the heavy rain during pre-rain season in the mainland.

**Key words:** Mesoscale system; Meiyu front; Convective cloud cluster.