

2001年台风暴雨的分析

杨克明 王文东 张守峰 张建忠 崔 绚 郭文华

(中央气象台,北京 100081)

提 要

利用常规资料、HLAFS格点资料和GMS-5静止卫星红外云图,对2001年我国台风暴雨的天气气候特征、热带低压造成的“8.5”上海特大暴雨及0103号台风“榴莲”的强暴雨形成的物理条件进行了诊断分析研究,并探讨了动力学、热力学和大气层结稳定度等物理因子在这两次强暴雨过程中的主要作用。分析结果对实时预报业务和科研工作有一定启示意义。

关键词: 台风暴雨 物理因子 诊断分析

引 言

台风是发生在热带海洋上的强烈风暴,当它移近大陆或登陆后将会带来暴雨、强风和海潮。台风的严重灾害之一就是台风暴雨,其范围和强度都很大,是造成爆发性洪水的主要原因。每年我国都有不少地区形成不同程度的洪灾。但台风暴雨也是我国重要的水资源,若能及时做出预报,并掌握好水库的调节与蓄放等,却可化害为利。台风暴雨的预报很困难,它涉及到不同尺度大气运动的相互作用和复杂的大气物理过程,这些至今还远未揭示清楚,暴雨的机理和预测研究也是当今世界的重大科研课题之一。

本文利用常规资料、HLAFS格点资料、GMS-5静止卫星红外云图等资料,对2001年登陆我国的热带低压、风暴和台风暴雨特征及两次强暴雨天气过程进行了分析,以探讨台风暴雨活动规律和成因。

1 台风暴雨概况

2001年登陆我国的热带风暴和台风共9个,另有一个热带低压,明显多于常年平均数(7个)。它们登陆后均产生了强降雨,台风暴雨(10次)占全年暴雨天气过程(30次)的33.3%。但就强暴雨过程来看,除19号台风“利奇马”为中等强度暴雨过程外,其它9次都为强暴雨过程,占该年强暴雨过程(17次)的58.8%,可见台风常伴有强降雨系统。并且该年登陆华南沿海的台风多(5个),台风

暴雨频繁,两广洪涝灾害严重。

2 台风暴雨基本特征

0102号台风“飞燕”6月20日下午在菲律宾以东洋面上生成,23日晚在福建福清市沿海登陆,初台登陆时间稍偏早,从而使得这年台风暴雨也提早出现。受其影响,23~25日,苏南、沪、浙北、闽东、赣东北出现了暴雨和大暴雨,局部地区特大暴雨。7月有5个台风(或热带风暴)登陆华南沿海,为1949年以来同期登陆数量之最。台风“榴莲”、“尤特”、“潭美”、“玉兔”和“桃芝”于7月2、6、11、26、30和31日分别在广东湛江、惠东和海丰的交界处、台湾台东县附近沿海、广东电白、台湾花莲和福建连江附近沿海登陆。受它们的影响,华南大部、江南南部和东部沿海地区、西南地区南部先后普降大到暴雨,部分地区大暴雨或特大暴雨。两广南部、云南南部降雨量有300~700mm,比常年同期偏多5成至2倍,广东降雨量异常偏多,为1961年以来同期的次高值。持续的强降雨使部分地区江河水位暴涨,两广等地发生了严重洪涝灾害。台风“桃芝”带来的暴风雨,使台湾花莲县发生了50年以来最严重的洪水和泥石流,损失超过台币14多亿元。8月仅有一个热带低压和一个热带风暴登陆我国,时间发生在月初和月末,较之常年同期数量偏少,因此台风暴雨也少。受热带低压的影响,8月5~6日,上海市出现了50年以来罕见的特大

暴雨。0104号热带风暴“菲特”8月31日11时在广西北海沿海登陆,8月末至9月初,华南南部连降暴雨,部分地区出现了大暴雨和特大暴雨。降雨量普遍有80~120mm,其中广东的广州、台山、阳江、电白、湛江和上川岛等地达200~500mm,一些地区发生了较严重的洪涝灾害。9月,0116号热带风暴“百合”20日上午在广东潮阳到惠来一带沿海登陆,受它的影响,19~21日,福建和广东两省东部沿海地区降雨量普遍有30~90mm,其中厦门、漳州、惠来、汕尾和惠阳等站雨量达到110~300mm,造成局部洪涝灾害。9月下旬后期,受0119号台风“利奇马”的影响,浙东、闽中北下了暴雨到大暴雨,28~30日,雨量一般达50~150mm。这是2001年最后一次台风暴雨过程。

3 7月台风暴雨频发之缘由

7月5个台风(或热带风暴)登陆华南沿海,华南台风暴雨频发,其原因与亚欧大气环流特征密切相关。从7月500hPa平均高度和距平图(图略)可知,北欧高压脊较多年平均显著偏强,致使西西伯利亚长波槽深厚,贝加尔湖以东高压脊强盛,致使西太平洋副高位置也明显偏北,并伴有40gpm的正距平区,表明其强度强,副高脊线较常年偏北5个纬度。副高西南侧南海到菲律宾以东洋面为40gpm的负距平区,说明该地区热带辐合带活跃且多热带气旋活动。

上述5个台风或风暴都是从热带辐合带区内发展起来的,由于副高位置偏北、强而稳定,在18°N以北的热带和副热带地区建立了明显的东风带。首先在辐合区南侧西南季风或偏南气流的出现并加强,促使热带辐合区也增强并北移,在北移的过程中,偏南气流和东风气流形成较大的水平切变区,区中有低压生成并发展成风暴。然后,它们受稳定的副高南侧东风牵引向偏西方向移动,当移至副高西南侧时,受东南气流引导向西偏北方向移动,均登陆于华南一带沿海。受台风环流和环境场的影响,华南暴雨频繁出现,很多地区出现了暴雨和大暴雨,局部地区特大暴雨。

4 “8.5”上海特大暴雨过程的分析

4.1 降雨概况

8月5日傍晚至6日,上海市普降大暴雨,部分地区出现了特大暴雨。市区降雨量普遍在100~170mm,郊区50~80mm,其中黄浦区24小时雨量高达294mm、徐家汇275mm,是50年以来最大的日雨量(1969年8月5日徐家汇204mm)^[1],最大1小时雨量全市均在60~80mm,其中徐家汇为75.4mm。浦东地区还出现了龙卷风;8月3~5日,苏东南、皖东南、浙南和闽东北也出现了暴雨。

这次降雨有突发性强、雨势猛、强度大、大暴雨集中之特点,是历史同期罕见的特大暴雨过程。因而造成农田被淹、房屋倒塌、居户进水、雷击等灾害。

4.2 热带低压的形成和移动

7月下旬末至8月初,东亚中低纬度呈两脊一槽的经向环流型。大陆高压脊位于蒙古国东部到我国西北和西南两地区东部,该高压脊以东至我国东部沿海是一个深厚的低槽区,其下游为较强的副热带高压盘踞在25°N以北到日本海一带,它的南侧是赤道辐合区,其上多热带云团和台风活动。7月末,上海特大暴雨的主要影响天气系统热带云团形成于20°N、150°E附近的洋面上,并沿着副高南侧东风气流向西移动,它从东风气流中得到能量,强度逐步加强。8月3日当热带云团移至台湾以东洋面时发展为热带低压,然后转受副高西南侧东南气流引导向西北方向移动,当天夜间登陆于浙闽交界一带沿海,而后进入副高内,从浙南移入皖南,4日晚上当到达黄山附近时,受东边副高西北侧西南气流牵引转向东北方向移动,并受副高阻挡移速缓慢。5~6日,致使苏东南和上海出现暴雨、大暴雨和特大暴雨。

4.3 大暴雨形成的物理条件

采用有限区数值预报模式计算的物理量,对强暴雨形成的条件进行了诊断分析,以探讨其成因。

4.3.1 热带低压的二维流场结构

从8月5日08时经热带低压中心(强暴雨区)的南北向二维流场剖面图上(图1a)可见,上升运动发生在低压环流以北约750km

的区域内,来自低纬度的气流沿低压环流上升,将水汽大量向上输送,形成中低空暖湿层,造成上海上空大气层位势不稳定,在700hPa处上升速度达最大,为 $-29 \times 10^{-4} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。这股随高度向北倾斜的上升气流到高层后向南流去,出现下沉运动区。构成一个暖湿上升、冷干下沉的正环流圈,在低压环流南北两侧中低层有小股分支气流形成两个方向相反的小环流圈。低压北侧高空南流的上升气流合并到上海高空的上升支中,加强暴雨区中的垂直运动。6日08时(图1b)上升气流不再向北倾斜,几乎是垂直向上输送,400hPa以下上升运动十分强烈,上升气流在700hPa达最大,上升速度为 -49×10^{-4}

$\text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$,400hPa以上气流向中高层辐散南流,出现较强下沉运动区,400hPa处下沉速度最大,为 $18 \times 10^{-4} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$;热带低压北侧正环流圈被中纬小槽后部较强北风下沉气流所替代,一股下沉气流与低压中心附近的暖湿气流相遇而抬升,合并到其中,是强降雨的激发系统;另一股则往北流。强暴雨出现在暖湿气流风速辐合区内,辐合区尺度为300km左右,是叠置在大尺度急流轴上的中尺度风速脉动。从低层气流几乎垂直上升、高层较强辐散之特点说明热带低压已变性,具有副热带天气系统的性质,有着北冷南暖的斜压结构特征。

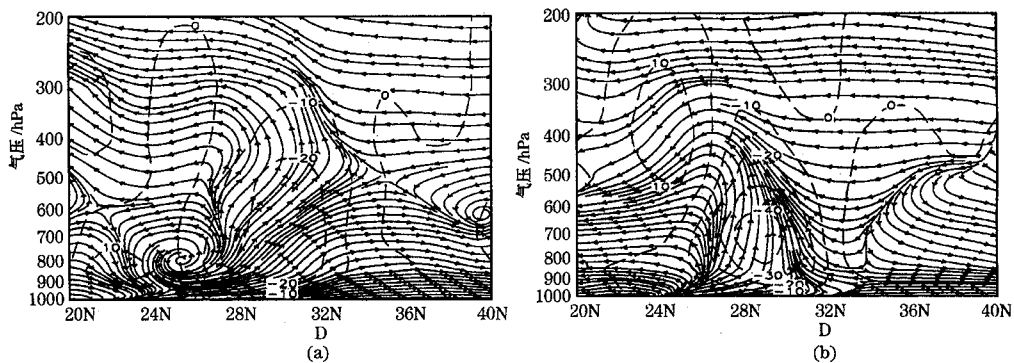


图1 沿热带低压中心垂直环流图 (a)5日08时(沿119°E) (b)6日08时(沿121°E)
(实线为流线,虚线为 ω 等值线,单位: $10^{-4} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$)

4.3.2 涡度散度场配置与强暴雨的关系

许多分析结果表明,暴雨发生时暴雨区附近有明显的正涡度增长,表征着气旋性环流发生和发展,利于强降雨团的活动。图2a是8月6日08时通过低压中心东西向涡度垂直分布。热带低压环流区域700km上空有

很强的正涡度和辐合区,低压中心近于同最大正涡度中心垂直,中心极值出现在500hPa处,达 $71 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ 。说明该低压系统中有很强的旋转运动。低压东西两边为负涡度和辐散区,强降雨区偏于低压中心东侧,位于正涡度中心下方。8月6日08时东西向散度

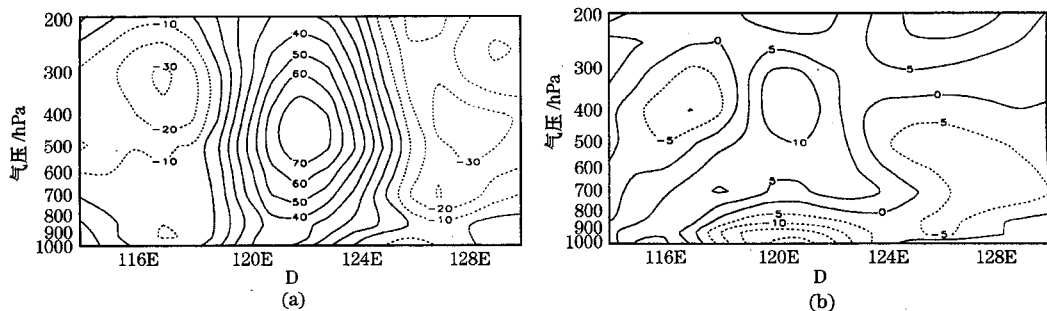


图2 2001年8月6日08时热带低压中心(沿31°N)涡度(a)和散度(b)垂直分布图(单位: 10^{-6} s^{-1})

的垂直分布与涡度场分布有着较为密切的内在联系,热带低压区域内低空为负散度和辐合区,辐合中心在1000hPa层,中心值为 $-23 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$,中高层为辐散区,中心位于400hPa,中心值是 $15 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$,强暴雨即出现在这种低层辐合、中高层辐散靠近负散度中心右侧区域。

4.3.3 水汽条件的分析

在这次特大暴雨过程中,江南东部出现东北西南向强的水汽通量,与南海至台湾省东南方大值区相通,并同东环副高西侧和西南侧低空西南急流及东南气流对应,这表明水汽主要来源于南海和台湾东南部洋面。在强暴雨发生发展过程中,上海整层水汽通量有一个增大过程,尤以500hPa以下为大,强降雨出现的8月5日20时,1000hPa的水汽通量是 $9.9 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$ 、850hPa为 $9.1 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$ 、700hPa为 $6.3 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$ 、500hPa为 $2.2 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$,说明水汽主要分布在中低层。从1000hPa水汽通量散度分布图上(图3)可知,这次强降雨过程有两条主要水汽输送通道,一条从南海向东北方经华南东部沿海往北到江南东部;另一条从台湾东南部洋面向西北

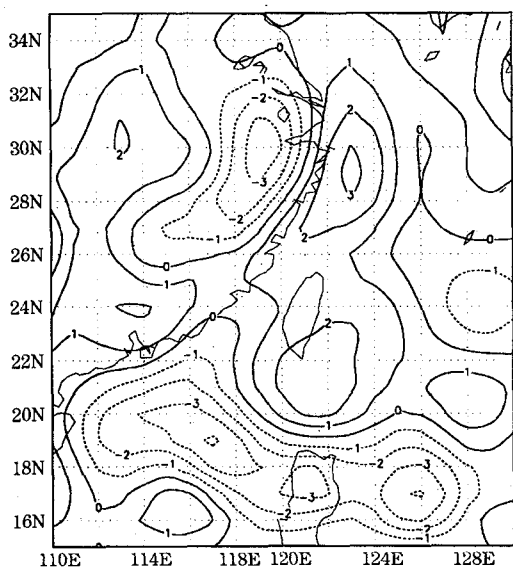


图3 2001年8月5日08时1000hPa水汽通量散度分布图
(单位: $10^{-7} \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1}$)

方经东南沿海到江南东部。6日,还有一条由500~300hPa层东风气流携带着北方海区的水汽向西输送到长江口地区。另外,从水汽通量散度时空剖面图上(图略)可以看到,在强降雨产生前10小时左右,上海800hPa以下水汽开始聚集,到5日20时,水汽辐合值明显减小,而后又增大,6日08时辐合值最大的1000hPa处达 $-34 \times 10^{-8} \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1}$,随后递减。与降雨的集中时段5日18~20时、22时至6日凌晨1时、6日06~08时,15~17时的降雨量较为吻合,这可能对降雨有预报指示意义。

4.3.4 稳定度的分析

大气中不稳定能量的积累和释放与暴雨的形成和发展有密切关系。这次上海特大暴雨出现之时,伴有较强的雷鸣、闪电及龙卷风,属强对流性暴雨。表明大气层结极为不稳定。

从温度场(图略)可看出,在 $119 \sim 123^\circ \text{ E}$ 中低层等温线较为密集并下凹,尤以中层清楚。700~400hPa层有一个 θ_{se} 很小值区,梯度很大,在西边 $114 \sim 118^\circ \text{ E}$ 同层次也有一个 θ_{se} 小值区,揭示了上述高层的干冷空气向低层流动,以 119° E 以东的干冷空气更强一些。700hPa以下有一东西向带状 θ_{se} 大值区,对应着副热带高压西侧的暖湿西南急流,并且 θ_{se} 垂直梯度很大,表明中低层存在着强的水平能量锋区。从而形成上干冷、下暖湿大气对流不稳定层结,上海正好位于其下方,有利于强对流天气的发生和发展。

5 台风“榴莲”强暴雨过程的分析

2001年登陆我国华南和东南沿海的9个热带气旋中,以3号台风“榴莲”的降雨范围之广、强度之强为30多年来所罕见,也最引人关注,现分析如下。

5.1 路径和雨情

“榴莲”于6月30日下午在南海中部海面上发展成热带风暴,24小时后加强为台风,受副热带高压南侧外围东南气流的引导一直稳定地向西北方向移动。7月2日凌晨3时30分在广东湛江市沿海登陆,当天下午14时又在广西钦州市南部沿海再次登陆,然

后在广西南部境内缓慢地向西北移,强度逐渐减弱,3日晨在广西西部减弱为低气压,当天晚上移出广西,其影响基本结束。

受台风“榴莲”和减弱的低气压影响,6月30日至7月4日,广西南部和西部、广东西南部和中部沿海、海南大部出现了暴雨和大暴雨,局部地区特大暴雨;其中广东5个、海南7个县市总雨量超过了150mm,广西8个、海南3个县市在200~300mm,广西4个县(区)在300mm以上,防城区最大达417mm^①。由于降雨时段集中、强度大,致使广西左江、右江和邕江等出现大洪水,广西、粤西、海南发生洪涝灾害,损失严重。以广西受灾最重,直接经济损失超过150亿元人民币。

5.2 强暴雨成因的分析

台风暴雨与台风的强度、周围环流场、水汽输送和上升运动等基本物理条件密切相关。台风“榴莲”登陆时,中心附近气压为970hPa,最大风速 $35\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,非常之强盛。当其登陆并移进两广境内时,西太平洋副热带高压呈带状分布在日本及其以南洋面到华南东部至长江中下游一带地区且稳定少动。位于副高西南侧的台风环流与副高之间建立一支东南风低空急流,同时中南半岛到南海西部也有一支西南风低空急流,7月2日08时700hPa上两支急流的风速分别达 $24\sim 30\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $12\sim 22\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。两急流之间有一条暖性辐合线,与台风中心相连。从水汽通量散度图上可知(图4),低空急流是海洋向大陆输送大量暖湿空气的通道,对应两支低空急流有两条水汽输送带。来自孟加拉湾的水汽经中南半岛向东进入南海,同南海中东部的的水汽汇合,而后向北往暴雨区中输送,并随着“榴莲”西北移转向西移,是强暴雨水汽的主要来源。水汽输送轴线与东南急流轴线一致,水汽输送大值(中心值达 $68\times 10^{-8}\text{g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}$)与暴雨中心相吻合。7月2日08时暴雨区水汽通量中心值1000hPa为 $4.5\text{g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}$ 、850hPa为 $3.6\text{g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}$ 、700hPa为 $2.8\text{g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}$ 、500hPa为 $1.1\text{g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}$ 。由此可见,水汽主要从对流层中低层输入暴

雨区。从GMS-5卫星云图可见(图略),3号台风登陆后,对称型结构遭到破坏,螺旋状云带位于台风的右半圆,与两支急流相伴还有一条输入云带,强暴雨同这些稠密云区十分吻合。7月1日白天至夜间,台风本体强暴雨首先从海南、雷州半岛开始,而后发展到广西南部和西部,2~3日,广东中部沿海和西部的强暴雨主要由暖性辐合线即强对流输入云带所造成。

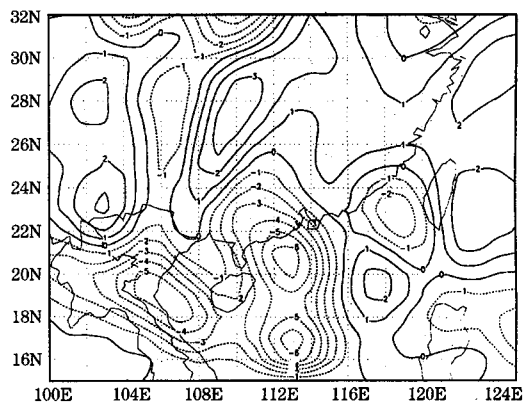


图4 2001年7月2日08时1000hPa水汽通量散度分布图

(单位: $10^{-7}\text{g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}$)

台风暴雨还受许多物理因子的影响,我们利用HLAFS模式计算的物理参数对“榴莲”的强暴雨进行了诊断分析。7月2日08时,台风环流600km水平范围内整层气流垂直向上(图略),对应有一上升运动区,700hPa最大上升速度达 $-34\times 10^{-4}\text{hPa}\cdot\text{s}^{-1}$,说明环流中上升运动非常之强烈。并有一强正涡度区配合,正涡度极值在700hPa层上,其值为 $18\times 10^{-4}\text{s}^{-1}$,100hPa层为负涡度区,表明100hPa层以上为该台风流出层。强暴雨发生在中低层辐合、高层辐散强上升运动区中。7月3日08时,已减弱为热带低压环流,水平尺度变化不大,但整层上升气流已明显向西倾斜(图略),西部高层气流开始往西流,并出现下沉运动区,上升运动区已分裂为3个中心,最大上升速度仍位于低压环流中心上空925hPa处,极值为 $-28\times 10^{-4}\text{hPa}$

^① 黎惠金,覃昌柳.影响广西的台风“榴莲”.2001年.

$\cdot s^{-1}$,另两个弱中心分别位于低压环流左侧高层及右侧中层,对应整层有正涡度区,但量值变小,极值位于925hPa处,为 $15 \times 10^{-6} s^{-1}$ 。说明随着“榴莲”的减弱,上升运动、涡旋强度等都明显变弱。强暴雨分布在低压环流、上升运动最强、正涡度中心附近区域,其它地区雨量明显减小。

6 小 结

(1)2001年汛期我国共出现了10次台风暴雨天气过程。9次都为强暴雨,占该年强暴雨过程的58.8%,华南台风暴雨频繁,洪涝灾害严重。

(2)“8.5”上海特大暴雨的影响天气系统是热带低压,强烈的辐合上升运动、充沛的水汽和大气层结不稳定等是强暴雨形成的基本物理条件。

(3)3号台风“榴莲”的强暴雨是台风环流和暖性辐合线所产生的,是动力学、热力学诸物理因子共同作用的结果。

参考文献

- 1 曹晓岗.0185特大暴雨的诊断分析.气象,2002,28(1): 21~25.

Analysis of Typhoon Heavy Rainfall in 2001

Yang Keming Wang Wendong Zhang Shoufeng Zhang Jianzhong Cui Xuan Guo Wenhua

(Central Meteorological Observatory, Beijing 100081)

Abstract

By using conventional data,HLAFS grid point data and GMS-5 stationary satellite infrared cloud picture, the diagnosis and research on synoptic characteristics of typhoon heavy rainfall in the year of 2001 in China, a especially severe rainfall caused by tropical depression on 5th August in Shanghai and physical conditions of severe rainfall from typhoon Liulian (0103) are performed. The results suggested that the dynamics, thermodynamics, atmospheric stratifications stationary and other physical factors have played a major role in the processess of two severe rainfall events investigated. As a result, it will profit us to do real-time operational forecast and research work as well.

Key Words: typhoon heavy rainfall physical factor diagnosis