

1991年6月江淮持续暴雨的云系特征分析*

叶惠明 张凤英 冉茂农
朱小祥 李桂芝

(国家卫星气象中心,北京 100081)

提 要

通过对GMS静止卫星的红外数据处理,获得了1991年夏季江淮梅雨期暴雨大范围的平均云分布。对1991年6月6次江淮暴雨过程逐时和3小时的GMS红外云图动画和照片的分析,得到了该地区梅雨期暴雨的三种中低纬云系相互作用的云型演变模型图,并利用由卫星气象中心处理的NOAA卫星的TOVS水汽反演资料,结合低层的 θ_e 和急流分析,给出了1991年6月江淮暴雨的水汽输送的一些特征。

关键词:江淮暴雨;降水云系;水汽输送。

1 引 言

1991年夏季,在我国长江和淮河流域地区出现了梅雨期大范围、长时间的持续暴雨和罕见的特大洪涝。

国内外学者对中国的梅雨有过不少研究,早在50年代,陶诗言和陈隆勋^[1]就指出,印度西南季风与我国长江中下游的梅雨有密切的关系。罗绍华^[2]分析了与长江中下游梅雨有关的印度西南气流、副热带高压西北侧西南气流、南半球越赤道气流及副热带高压西南侧的东南气流的热力性质,并给出了有关各支气流的三维模型图,揭示了长江中下游地区梅雨发生时的一些大尺度特征。秋山孝子^[3]根据GMS卫星的红外数字化资料给出了梅雨锋大尺度、天气尺度以及中尺度特征的地区差异及日变化;利用谱分析方法研究了梅雨锋扰动和高空西风带扰动的相互作用及天气尺度扰动和中尺度扰动的相互关系。这些结论对业务预报中预报梅雨锋面上暴雨的出现和发展具有指导意义。

本文采用GMS卫星的红外数据资料、NOAA卫星的TOVS水汽反演资料及短時間间隔的云图动画等资料,分析和探讨了什么样的云系分布和活动与梅雨有关?江淮暴雨的水汽来源有什么特征等问题,试图探索由新的处理手段得到的卫星资料在我国暴雨分析

1992年6月2日收到,12月2日收到修改稿。

* 本文得到国家“八·五”攻关课题经费和国家卫星气象中心事业费支持。

研究中的应用方法。

2 1991年夏季江淮暴雨的总平均云量分布特征

由于多次乃至十几次暴雨过程通过计算机处理得到的大范围总平均云量结果的分析和研究要比一般的个例分析或用简单的处理方法得到的暴雨云量分析结果更有代表性,我们对1991年5月19—26日、6月2—20日和6月29日—7月13日三段梅雨期江淮暴雨过程的GMS卫星的红外数据进行总平均处理,获得了1991年夏季江淮暴雨大范围的总平均云图(图1)。

图1表明了几个明显的特征:(1)30°N及附近一带呈准东—西走向的70%多云区由高原东部经四川盆地、江淮地区往东到达日本,这是梅雨锋总平均位置。其内的江淮地区嵌有80%云区,表明这一时期这一地区的对流云活动旺盛,与暴雨的频繁发生是一致的。(2)在低纬地区,110°E以东、10°N附近的70%带状云区是ITCZ的一部分,80°—105°E的西南季风活跃区,大片70%—80%的多云区北涌,与梅雨锋云带相连。(3)20°N附近的斜线区是副热带高压少云区,其中心位置在23°N附近,西脊到达110°E,表征当时副高的强盛,对江淮梅雨期暴雨的发生和维持是极为有利的。

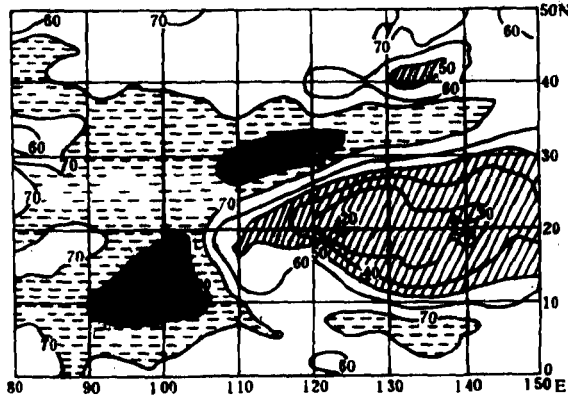


图1 1991年5月19—26日,6月2—20日和6月29日—7月13日三段梅雨过程总平均云量图(虚线和黑色区分别代表70%和80%多云量区,斜线代表<50%少云量区)

3 江淮暴雨过程中的云型演变

通过1991年6月影响江淮地区6次暴雨过程的短时间间隔的GMS卫星云图动画和照片分析,我们发现,江淮流域梅雨期暴雨主要与三种云系的活动有关。第一是锋面云系,它在大尺度辐合流场背景下生成;第二是西南季风云系,其云团单体一个个呈东北—西南走向,东北侧光滑、西南侧辐散。它的出现标志着存在深厚的湿层和强的风速垂直切变,高

层为东北风,低层为西南风。这股低层暖湿气流的存在,是暴雨的水汽和不稳定能量的输送者;第三是从高原北部移来的盾状或逗点状云系,它标志着正涡度平流和上升运动的存在和活动。三种来自不同纬度地区的云系在江淮地区交汇,是造成这一地区暴雨发生和持续的重要原因之一,其过程大体有两种:

(1)南北两逗点云系叠加

在过程初期,从孟加拉湾或南海北涌的西南季风云系与减弱的静止锋西端的中低云交汇,在湘西地区生成一个小逗点云团。此时,西北侧有另一个小逗点云团东移,随着强西南季风云系向东北方向推进,湘西地区小逗点云系北上。当南北两逗点云系合并时,发展成中等幅度的盾状云,在其南段生成暴雨云团。以后随着盾状云的东移,并逐渐演变为东—西向云带。此时,西南季风减弱,暴雨便随之减弱(图 2a)。

(2)逗点云与减弱的静止锋云系叠加

逗点状或盾状高空槽云系频繁地从高原北侧偏东移与江淮地区静止锋及西南季风云系叠加,是这一地区出现持续暴雨的典型云型(图 2b)。

过程出现前期,静止锋云系比较弱,东段已出海,西段位于江淮流域一带。其西北侧有自高原北侧往东南移的短波槽逗点状或盾状云系。当其接近静止锋西段云系时,常常在静

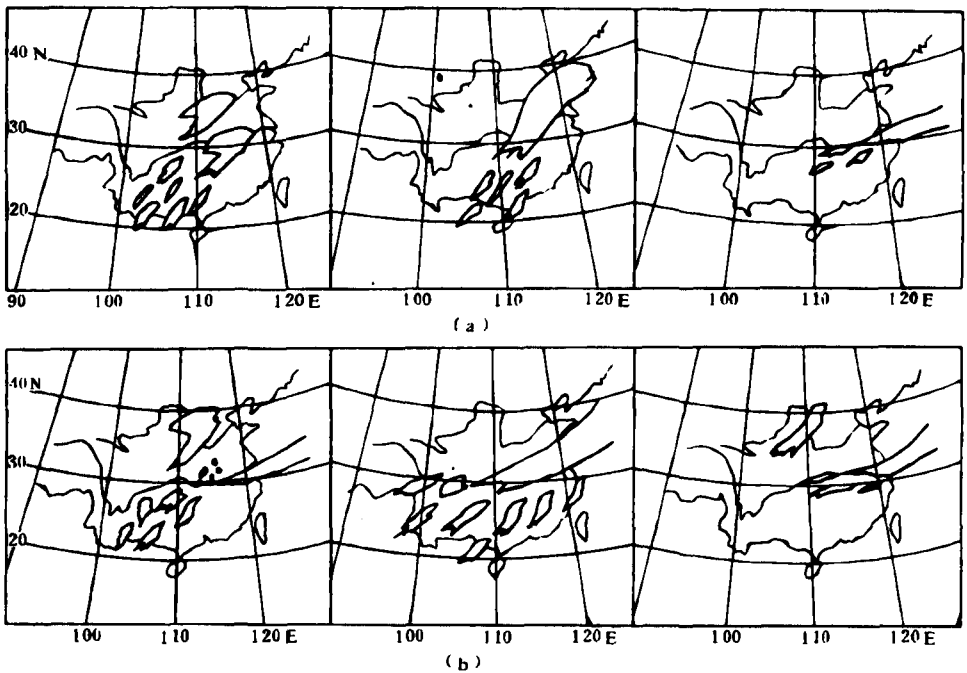


图 2 1991年6月江淮暴雨的两种云型演变图

(a)南北两逗点云系叠加型 (b)逗点云系与静止锋云系叠加型

(a、b中的三幅分别为暴雨发生前、发生时和减弱或结束时云型)

止锋上生成对流单体,而当其与静止锋云系叠加时,原来较弱的静止锋云系增强,在江淮地区及四川盆地一线出现一条东西向云带。此时,如果有低空急流出现,与此相伴的季风云系将会北上与云带交汇,往往在云带上先后生成多个暴雨云团,有的出现在 115°E 附

近,有的则在四川盆地生成后沿云带东移至下游的江淮地区发展,上述过程的重复出现,使静止锋云带不断得到增强,暴雨持续。

4 江淮梅雨期暴雨的水汽来源

4.1 TOVS 水汽反演结果特征

卫星的水汽通道可以表示深层大气的水汽状况,它对揭示中高层环流和环流变化起很重要的作用,NOAA 卫星的水汽通道的权重函数高度在 900hPa、700hPa 和 500hPa,其波长分别为 $8.3\mu\text{m}$ 、 $7.3\mu\text{m}$ 和 $6.7\mu\text{m}$ 。

图 3 是 NOAA 卫星的水汽通道观测到的 1991 年 6 月江淮暴雨的水汽情况,它由 6 次暴雨过程的 TOVS 水汽反演结果综合得到的中低层水汽分布图。由图看到,在暴雨期间有两支水汽通道分别来自孟加拉湾和南海(见 14g/kg 线),前者的水汽舌由西南往东北方伸展,后者的水汽舌由南往北伸展。位于 $30^{\circ}\text{--}35^{\circ}\text{N}$ 附近地区是水汽梯度较大区,在其南侧,从我国西南地区往东,整个南方大陆处在高湿区中,暴雨云团多在梯度大区偏南侧处生成和发展。水汽中心数值在 1000hPa 上可达 22g/kg ,850hPa 和 700hPa 分别可达 18g/kg 和 14g/kg ,水汽最大梯度区数值一般 1000hPa 为 $10\text{--}14\text{g/kg}$,850hPa 为 $8\text{--}12\text{g/kg}$,700hPa 为 $6\text{--}10\text{g/kg}$,有时 700hPa 上的数值与 850hPa 上的相同。

水汽舌在上述位置的持续出现,是江淮暴雨连续发生时具有足够水汽条件的表征。

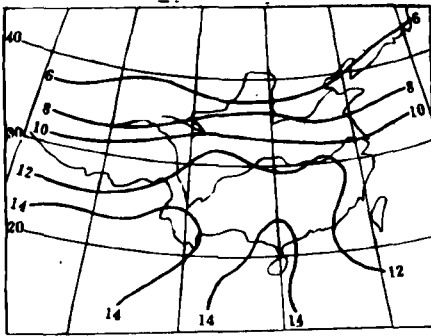


图 3 1991 年 6 月江淮暴雨中低层水汽分布图(单位 g/kg)

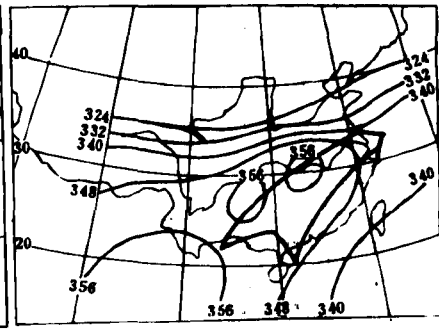


图 4 1991 年 6 月江淮暴雨 850hPa θ_e 场分布图(箭头为 850hPa 急流)

4.2 水汽舌与 θ_e 及低空急流的关系

我们计算了 6 次暴雨过程的 700 和 850hPa 的 θ_e 值,得到了中低层 θ_e 分布场。图 4 只给出 850hPa 的 θ_e 值分布情况,将图 4 与图 3 比较可见二者有许多相似之处。在图 4 上 θ_e 舌由孟加拉湾至中南半岛北部呈西南—东北走向伸向江淮地区,与水汽舌大致吻合。348K 线所围舌内,在孟加拉湾有一个 $\theta_e = 356\text{K}$ 的大值中心,另有两个 $\theta_e = 356\text{K}$ 大值中心分别与图 3 上的四川盆地和长江中下游地区相对水汽峰值区对应。在 θ_e 舌的北侧也是一个梯度较大区,340K 线北界到达 33°N 地区,有人认为这可代表季风气团的前锋^[4]。低

空西南急流轴沿 θ_e 大值中心由华南西部和中部地区伸向东北方(箭头),江淮暴雨区位于低空急流轴的左前方,这正是位势不稳定层结和水汽质量辐合区,也是上升运动和气旋性切变涡度区^[5]。低空急流轴沿暖湿中心的的活动反映了在这一时期这一地区具备了暴雨发生的几种条件,其结果与 Scofield^[6]等人的结论是一致的。

5 持续性暴雨实例分析

1991 年 6 月 12—14 日,受南下冷空气和暖湿气流的共同影响,淮河流域和长江中下游部分地区接连出现暴雨—特大暴雨过程,以 12 日 02 时(GMT,下同)—13 日 02 时、13 日 05 时—14 日两次过程最强,我们选取这两段过程做了有关的分析。

5.1 卫星云图特征

6 月 11 日 11 时(图 5a),前一过程的锋面云带已移出暴雨区,在长江流域一线留下灰色的低云,11 日 20 时往北逐渐增多,高原北部有一条呈东北—西南走向的高空槽云系往东南移,这条云带的南北段在 500hPa 天气图上分别对应于两支短波槽。12 日 02 时,南段高空槽云系先与西南季风云系交汇,在四川盆地生成发展为 3×5 纬距的白亮云团,在 700hPa 以下的天气图上有低涡对应,江淮地区也有许多白色对流云活动,带状云系已形成,12 日 08 时(图 5b),和低空急流相伴的季风云系由中南半岛—南海北部一带东北上与

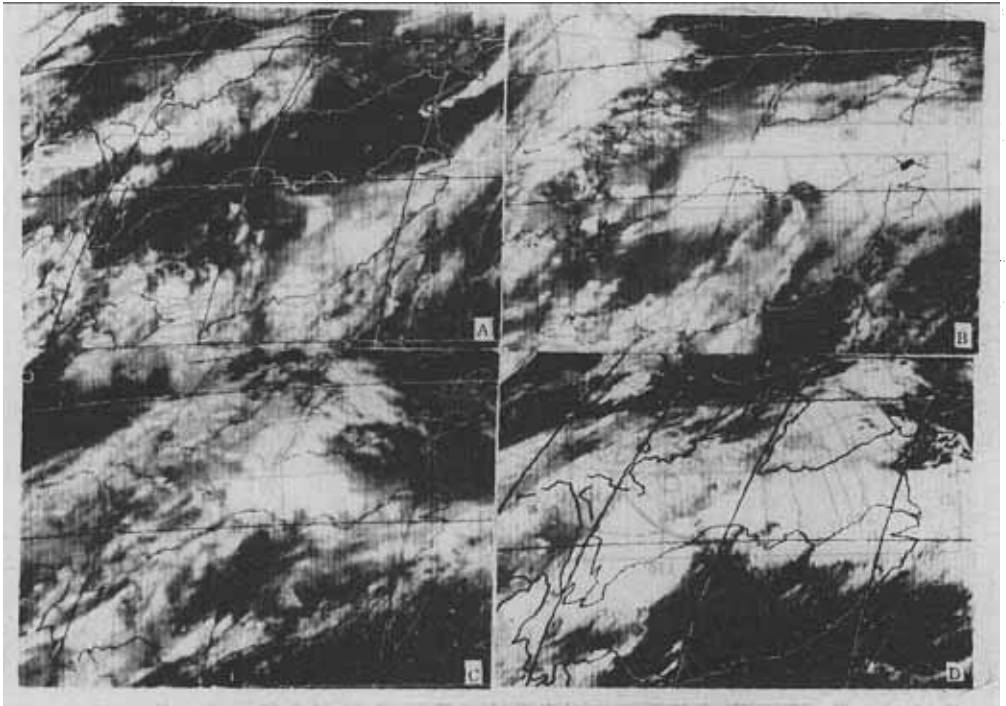


图 5 1991 年 6 月 12—14 日强降水过程 GMS 卫星云图

(a)6 月 11 日 11GMT (b)6 月 12 日 08GMT

(c)6 月 13 日 05GMT (d)6 月 13 日 22GMT

云带上的对流云交汇,加强了切变云带的辐合,在江淮地区出现 5×8 纬距的白亮云区,造成了这一地区6小时雨量达50—100mm的降水带,对应第一场强降水过程。13日05时(图5c),强降水云带在东南移过程中减弱,西段云系滞留在暴雨区,其上有新的对流单体出现,河套西部又有由高原北部移来的高空槽云系活动。以后中低纬云系在江淮流域的相互作用,使该地区不断有新的降水云团生成,降水云带重新增强, 105°E 附近地区不断有季风云团活动,并沿云带东移,与下游地区云团合并。13日22时(图5d),江淮地区 5×8 纬距的白亮云团就是上下游云团合并发展的结果,这个中间尺度云团造成了6小时雨量为50—80mm的降水区,对应第二场强降水过程。

5.2 水汽场与 θ_e 场特征

图6是6月12—14日江淮暴雨过程的水汽场与 θ_e 场分布。我们看到,6月11日04—

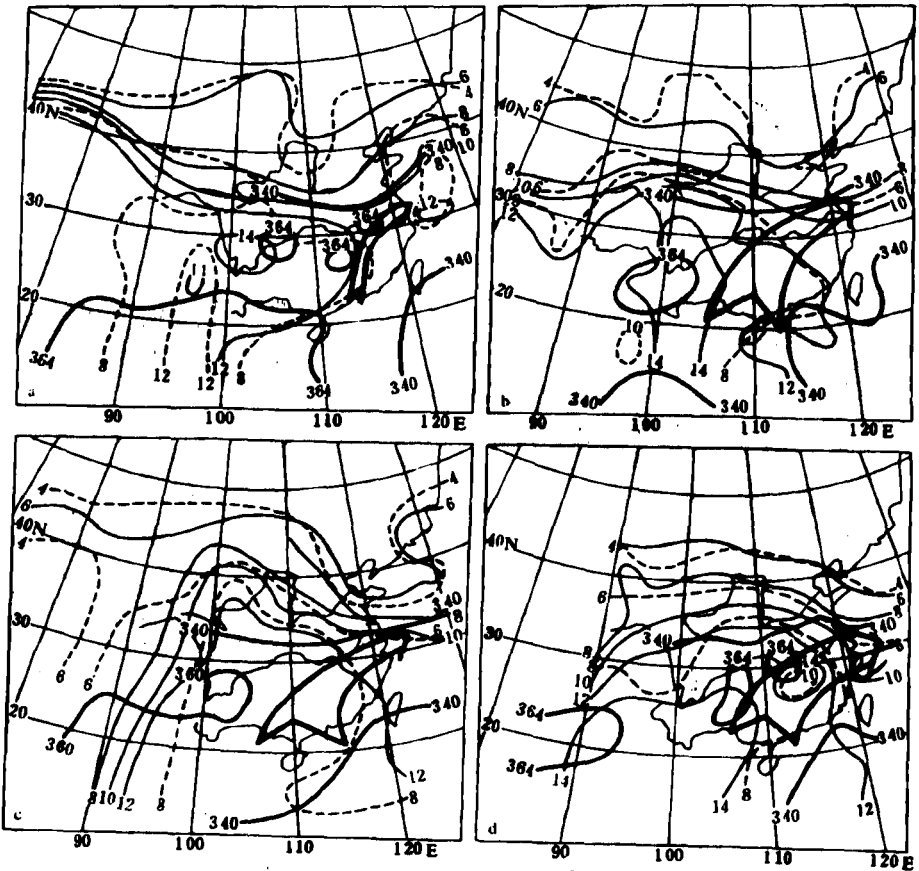


图6 1991年6月12—14日强降水过程水汽和 θ_e 场综合图

(a)6月11日04—08时水汽场,6月11日12时 θ_e 场 (b)6月12日04—07时水汽场,6月12日12时 θ_e 场 (c)6月13日04—07时水汽场,6月13日00时 θ_e 场 (d)6月13日18—21时水汽场,6月14日00时 θ_e 场(细实线和虚线分别代表850hPa和700hPa水汽等值线(由NOAA卫星TOVS水汽反演结果),粗实线为850hPa的 θ_e 等值线(只绘制340K和最大值区),箭头为850hPa急流轴)

08时,即第一场强降水的初生阶段,中低层水汽场反映出暴雨前水汽已大量地在未来的暴雨区积聚,水汽场的湿中心与 θ_w 大值中心接近,湿舌由孟加拉湾—南海北部向东北方向的江淮地区伸展,850hPa10g/kg和700hPa6g/kg等值线与 $\theta_w=340\text{K}$ 线北界基本重合,位于 33°N 地区,整个南方大陆处于高温高湿区中,850hPa急流轴沿 θ_w 大值中心从华南中部伸向江淮地区。6月12日04—07时,即暴雨发生的最盛阶段,低层水汽显著增长,850hPa14g/kg线所围区扩大,与 $\theta_w=364\text{K}$ 中心对应,低空急流轴范围随之增大,南段由华南中部扩展到西部,大量的水汽和高能量源源不断地随其进入暴雨区。13日凌晨,第一场暴雨减弱,在13日04—07时的水汽图上,850hPa14g/kg中心消失,但12g/kg线仍大幅度地由低纬地区向北伸展,高原东部的四川盆地在高湿舌控制之下,在其东侧的江淮地区处在水汽和 θ_w 等值线梯度较大区,低空急流基本在原地维持。表明了暴雨减弱时期,暖湿气流并没有完全减弱,在暴雨区还维持着一定的水汽和能量,降水的减弱可能是由于冷空气这种触发机制的减弱造成的。6月13日18—21时,当高原北部东移的盾状云系再次与低纬季风云系在减弱的静止锋云系上交汇时,中低层水汽场又有一次明显的调整,低层14g/kg大值中心再现,湿舌由向北转向东北伸展,在湿舌内出现多个 θ_w 大值中心,低空急流轴沿水汽和 θ_w 大值中心分布,范围扩大。这一切都发生在850hPa暖切变北抬过程,大量的高温高湿和不稳定能量再次由西南方向往江淮地区输送,与冷空气交汇,造成位势不稳定层结和水汽质量的辐合及强上升运动,使江淮地区接连出现第二场强降水。

6 结 语

通过上述的分析与探讨,我们得出了以下几点看法:

1. 高空槽云系在梅雨锋云带上与西南季风云系交汇是江淮梅雨期暴雨发生的一种云型模式,如果重复出现则能使暴雨持续发生。
2. 1991年6月江淮暴雨的水汽来源于孟加拉湾与南海,前者与西南季风的爆发有密切的关系。
3. NOAA卫星水汽通道反演得到的中低层水汽场与低层 θ_w 场基本吻合,水汽舌与 θ_w 舌、两舌北侧梯度较大区接近,暴雨云团的生成与梯度较大区有密切的关系。
4. 在降水过程中始终有低空急流存在,尤其是强降水过程有强的低空急流轴沿水汽场和 θ_w 场的湿舌内的大值中心活动,将水汽和不稳定能量源源不断地输向暴雨区,对降水的加强和维持起到重要的作用。

致谢:许健民、方宗义、董超华同志对本文提出过宝贵意见,在此深表谢意。

参考文献

- 1 陶诗言,陈隆勋. 夏季亚洲大陆上空大气环流结构. 气象学报, 1957, 23(3): 241—244.
- 2 罗绍华. 1980年夏季风对长江中下游降水的影响. 全国热带夏季风学术会议文集. 昆明: 云南人民出版社, 1982年. 124—134.
- 3 Akiyama, T. , Large, synoptic and mesoscale variations of the Baiu front, during July 1982.
part I ; Cloud feat features. *J. Met. Soc. Japan*, 1989, 67: 57—81.
Part I ; Frontal structure and disturbances. *J. Met. Soc. Japan*, 1990, 68: 557—574.
Part II ; Space-time scale and structure of frontal disturbances. *J. Met. Soc. Japan*, 1990, 68: 705—727.
- 4 丁一汇. 夏季风及其变率. 高等天气学. 北京: 气象出版社, 1991年. 298-299.
- 5 梁必骥. 华南低空急流对暴雨的作用. 热带气象学. 广州: 中山大学出版社, 1990年. 147.
- 6 Scofield and Robinson. The "Water Vapor Plume/Potential Energy Axis Connction" With Heavy Convective Rainfall. The Preprint Volume Joint Session of the Symposium on Weather Forecasting and the Sixth Conference on Satellite Meteorology and Oceanography. Atlanta, Ga; Published by the American Meteorological Society, Boston, Mass. , 1992. J36—J43.

THE CHARACTERISTICS OF THE CLOUD SYSTEM FOR JIANG-HUAI SEVERE RAINFALL IN JUNE OF 1991

Ye Huiming Zhang Fengying

Ran Maonong Zhu Xiaoxiang Li Guizhi

(National Satellite Meteorology Center, Beijing 100081)

Abstract

The mean cloudiness distribution of the severe rainfall over the Jiang-Huai area in summer of 1991 is described by processing the infrared data of GMS-4 geostationary satellite. In basis of the GMS-4 hourly image animations and 3-hour interval images for the six severe rainfall events in June of 1991, the evolutionary images of the three kinds of cloud types for the interaction of middle-low latitude cloud system during the Mei-yu period are presented. Also, the features of water-vapour transportation are studied based on the TOVS water-vapour retrievals processed and θ_{wv} field in the lower troposphere for the severe rainfall.

Key words: Jiang-Huai severe rainfall; Precipitation cloud system; Water-vapour transportation.