

蒋建莹,汪悦国. 2014. 卫星水汽图像上两次暴雨过程的干、湿特征对比分析. 气象, 40(6): 706-714.

卫星水汽图像上两次暴雨过程的干、湿特征对比分析^{*1}

蒋建莹¹ 汪悦国²

1 国家卫星气象中心, 北京 100081

2 广东省茂名市气象局, 茂名 525000

提 要: 2010 年 7 月和 2011 年 6 月江南和华南地区出现了两次强降水过程, 分别属于梅雨锋和季风槽暴雨过程。本文利用常规观测资料、NCAR/NCEP 再分析资料和卫星水汽图像对比分析了这两次暴雨过程。分析结果表明: 这两次暴雨过程的发生既有相似点, 又有不同之处。水汽图像显示这两次暴雨过程中都有一条水汽带, 暴雨云团均发生在水汽带中, 并与低层 850 hPa 的 $\theta_{se} \geq 350$ K 脊轴近于重合。江南暴雨过程中水汽带的北部边界与 700 hPa 的上升运动带、200 hPa 的辐散带和负涡度带近于平行, 强对流云团与低层上升运动中心和高层的辐散中心大致吻合; 而华南暴雨过程中并无明显此特征。位涡的分析表明在华南暴雨中暗区对应对流层高层的高位涡带, 水汽带对应低位涡带; 而在江南暴雨中, 高位涡带与暗区的对应没有华南暴雨明显。水汽图像上的干、湿特征的异同与环境场不同密切相关。

关键词: 水汽图像, 水汽带, 暗区, 对比分析

中图分类号: P458

文献标志码: A

doi: 10. 7519/j. issn. 1000-0526. 2014. 06. 007

Comparative Analysis of Two Severe Rainfall Events with Different Dry-Moist Characteristics on Satellite Water Vapor Imagery

JIANG Jianying¹ WANG Yueguo²

1 National Satellite Meteorological Centre, Beijing 100081

2 Maoming Meteorological Office of Guangdong, Maoming 525000

Abstract: Two severe rainfall processes happened in the south of the lower reaches of the Yangtze River and South China in July 2010 and June 2011, respectively, which were caused by the Meiyu front and monsoon trough separately. Conventional observation data, NCAR/NCEP reanalysis data and satellite water vapor imageries are used to analyze the two severe rainfall events. The results show that the two cases have something in common, but also some differences. The water vapor imagery shows that both of the two cases have the water vapor band. The rainstorm cloud clusters all occur in the water vapor bands no matter how the water vapor patterns change. A high θ_{se} tongue ($\theta_{se} \geq 350$ K) at 850 hPa maintains within and in parallel to the direction of the water vapor band during the two heavy rainfall periods. In the former case, the dark area on the north border of the water vapor band is corresponding to an updraft belt at 700 hPa, a divergence area and a negative vorticity area at 200 hPa. The strong convective clouds are nearly coincided with the center of the upward motion at low-level and the convergence center in high-level. However, in the latter case, there are no such evident characteristics. The analysis on potential vorticity (PV) indicates that the dark areas are corresponding to high band of PV in the upper troposphere while the

* 国家自然科学基金项目(41105028)资助

2013 年 9 月 4 日收稿; 2014 年 5 月 5 日收修定稿

第一作者: 蒋建莹, 主要从事卫星天气分析. Email: jiangjy@cma. gov. cn

water vapor band is corresponding to low band of PV in the later case. As to the former case, the correspondence of high band of PV and dark areas is not as evident as in the later case. The similarities and differences of dry and moist characteristics on the satellite water vapor images are closely related to the different large-scale ambients.

Key words: water vapor imagery, water vapor band, dark areas, comparative analysis

引言

由于卫星资料的高时空分辨率,利用其来监测分析范围较大的暴雨和雷暴、冰雹等范围较小且变化较快的对流性天气是十分有效的。卫星图像(包括可见光、红外云图和水汽图像)可以直观清晰地展示出大气中发生的动力和热力过程,而这些过程恰恰是天气现象产生的原因所在。自从卫星云图出现以来,对卫星云图的解释和使用,便成为天气预报工作不可分割组成部分(许健民等,2008)。由于大气是一个三度空间结构,我们不仅要密切关注对流层中低层的天气系统行为,也要对对流层中高层的系统加以关注。我们知道,云的大多数特征在水汽图像上表现不出来,因此水汽图像能有效地揭示出对流层中部的大尺度流型,作为大气运动的被动示踪物(巴德,1998)。

水汽图像上最重要的特征是干区、湿区及它们之间的边界。干区一般指的是图像上暗灰色到近黑色的区域,湿区一般指的是中等灰度到明亮色调的区域,它们经常与天气尺度的下沉和上升运动区域相匹配;而“边界”经常被用来确定正在缓慢移动的天气系统中高层气流的方向。水汽图像上的干湿边界特征,包括连续时次干湿边界和暗区亮度的变化,对天气系统的发展与否有明显的指示意义(杨军,2012)。

近年来,随着位势涡度(位涡)思想和相应理论的日臻完善,越来越多的气象工作者借助位涡工具来分析诊断和预报天气(曹丽霞等,2013;陶祖钰等,2012a;2012b)。由于干侵入被定义为源于对流层高层下沉至低层的高位涡低湿空气(于玉斌等,2003),它在水汽图像上表现为中等到近黑色灰度的特定区域,因此卫星水汽图像成为监测干侵入最为直观有效的工具,它有助于确定和跟踪能够导致系统发展的高空动力强迫(桑特里特等,2008)。我国的气象工作者利用水汽图像上的暗区对黄淮气旋(杨贵名等,2006;黄彬等,2011)、东北冷涡(吴迪等,2010;刘

英等,2012)等天气系统的发生发展进行分析,并获得了一些很有意义的结论。因此,将水汽图像与位涡场和常规动力场联合使用,正在逐渐成为解译卫星云图的重要方法之一(桑特里特等,2008;曹丽霞等,2013;曹治强等,2013)。

我国位于亚洲季风区,夏季风爆发和盛行期间是我国的暴雨季节。华南地处我国最南端,每年汛期开始早、持续时间长且暴雨频发;而长江中下游地区的梅雨期降水经常导致江淮流域出现洪涝灾害,这两类暴雨都引起了气象科学家们的高度重视(薛纪善,1999;倪允琪等,2004;金荣花等,2012;林爱兰等,2013)。关于梅雨锋暴雨的水汽图像特征已有不少研究(郑新江等,1997;1998;覃丹宇等,2004;2005),而对华南暴雨的水汽图像特征却并不多见。大范围雨带的第一次北跳是从华南北移到长江中下游地区,因此这两类暴雨的水汽图像有怎样的差异和相似性,是值得思考的问题。

2010年7月8—14日受梅雨锋云系影响,长江流域出现入汛以来最强降雨,其中7月12—13日降雨最强,暴雨和大暴雨主要出现在这一时段,许多测站日降雨量超过100 mm,部分测站的降雨量创其1961年以来日雨量极值(图略)。而2011年6月28日20时至29日20时,受东移高空槽和活跃南海季风槽的共同影响,广西中部和南部沿海、广东大部出现大到暴雨、部分地区大暴雨,其中广西防城港达90.5 mm、广东阳江为356 mm、台山168 mm(图略)。这两次过程分别发生在长江中下游和华南地区,雨带分布类似,前者属于梅雨锋暴雨过程,后者是季风槽带来的强降水。

为了充分发挥水汽图像在暴雨监测中的重要作用,本文拟利用FY-2E水汽图像、常规观测资料和NCEP/NCAR $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析资料,对这两次暴雨过程进行对比分析,试图揭示季风槽暴雨与梅雨锋暴雨在卫星水汽图像上干湿特征、常规动力场和位涡场的差异和相似性,总结水汽图像上干湿特征变化的规律,以增强对水汽图像上不同天气系统的分析和认识及水汽图像在暴雨天气分析和预报中的

应用。

1 对流层上部环流分析

研究表明,对流层上部的环流与暴雨、强对流等天气密切相关(王峰等,2001;侯青等,2006)。图 1a 是 2010 年 7 月 12 日 13:30(北京时,以下如无特殊说明皆为北京时)的水汽图像、云导风与 300 hPa 位势高度场的叠加,由图可见:庞大的南亚高压从青藏高原一直延伸至西太平洋,高压中心位于高原北部,高压北部是西风急流,南侧为东风急流,风速比西风要小。略呈东北—西南向的梅雨锋云系从朝鲜半岛伸展至西南地区东部,地面对应准静止锋;西太平洋副热带高压(以下简称副高)西伸至中南半岛,北界在华南北部,梅雨锋区正好位于副高北侧边缘。一方面,西南季风活跃,从孟加拉湾源源不断地输送水汽至梅雨锋区;另一方面,梅雨锋的北方是一暗边界(弧状边界),表明北方有冷空气南下,梅雨锋区附近因为冷暖交汇激烈,对流活跃,强对流天气频发。在图 1b 中,2011 年 6 月 28 日 19:30 南亚高压盘踞在青藏高原南部,脊线大致位于 30°N 以南。高压北侧的西北地区中部、内蒙古西部至蒙古国中东部一带高空有急流发展。高空槽分别位于渤海到黄淮东部、西南地区东部一线,槽前的强辐散区在卫星图上表现为比较均匀的大片湿区。另外,四川东部、西北地区东部、江汉、黄淮西部至华北是一明显暗区,说明中高层有冷空气南侵;而出现强对流云的江南、华南地区正好位于暗区的南侧,其上空有明显的辐散气流,有利于低层辐合,产生强烈的上升运动,造成强降水。

从以上分析来看,虽然这两次暴雨过程都是在有利的对流层上部环流形势下产生的,但水汽图像上的干湿特征存在明显差异,我们将在下文进行详细阐述。

2 水汽图像上干、湿特征对比分析

2.1 水汽图像的演变特征

从 2010 年 7 月 12—13 日的水汽图像动画(图略,时间间隔 30 min)中可以看出:沿长江中下游地区维持一条近于东西向分布的水汽带,水汽带上的亮度并非均匀分布,白亮的暴雨云团有此消彼长的

过程;而丝缕状的卷云羽揭示出水汽带上空的高层辐散比较明显;水汽带的北侧并无明显的动力干带/点(桑特里特等,2008),这可能与梅雨锋主要表现为强烈的湿度对比而不是明显的温度对比(张丙辰,1990)有关。

而 2011 年 6 月 28—29 日的水汽图像动画(图略,时间间隔 30 min)显示:这次过程的水汽带较梅雨锋暴雨过程要宽,水汽带上也有多个对流云团活动。但不管水汽带如何演变,对流云团均发生在水汽带中(覃丹宇等,2004)。水汽带的北侧有动力干带/点(桑特里特等,2008)存在。在这次暴雨过程中,动力干带的灰度逐渐加深,并且自北向南推进,从西南地区东部一直伸展到云南中部,形状也从最初的扇形演变成了狭长的带状,即这次暴雨过程伴随有干侵入。随着暗带的消失,这次暴雨过程也随之减弱。

由于水汽图像的时间分辨率远高于 NCEP 再分析资料,因此我们选取最有代表性的时刻将水汽图像与常规动力场和位涡场叠加在一起,进行云图的解译。

2.2 湿区的特征

通常 θ_{se} 的密集带代表能量锋区,而 θ_{se} 的垂直分布可表示大气的位势不稳定性,因此分析低空 θ_{se} 脊轴可以大致找到大气最有可能出现明显不稳定的区域,分析它和水汽带的关系也可以确定有利于中尺度对流系统(mesoscale convective system, MCS)形成和发展的环境条件(Thiao et al,1993;Scofield et al,1996;2000;覃丹宇等,2005)。

2010 年 7 月 12 日 08 时和 2011 年 6 月 28 日 20 时 850 hPa 假相当位温(θ_{se})与对应时次水汽图像的叠加图如图 2 所示。在图 2a 中 θ_{se} 的密集带位于 $30^{\circ}\sim 34^{\circ}\text{N}$ 附近的长江中下游区域,说明此时北方干(冷)空气与南方湿(暖)空气正好在长江流域交汇。此个例中水汽带的范围、形状基本与 850 hPa $\theta_{se}\geq 350\text{ K}$ 的高值带的范围和形状一致,且水汽带与 850 hPa $\theta_{se}\geq 350\text{ K}$ 的脊轴近于重合,说明这条水汽带是一条暖湿输送带(覃丹宇等,2005)。同时,我们注意到水汽带的北部北界与 θ_{se} 密集带的强梯度带近于平行,而低层 θ_{se} 的密集带正是对流层低层梅雨锋所在的位置(Jiang et al,2004),即水汽带的北部边界与对流层低层的梅雨锋近于平行。在图 2b 中,水汽图像上较亮的湿区与 θ_{se} 高值区重合,与

梅雨锋类似,此时水汽带的范围和形状基本与 850 hPa 的 $\theta_{se} \geq 350$ K 的高值带的范围和形状一致,且水汽带与 850 hPa 的 $\theta_{se} \geq 350$ K 的脊轴近于重合,说明这条水汽带也是一条暖湿输送带(覃丹宇等, 2005)。水汽带的北部边界即暗区的南部边界与 θ_{se} 密集带的强梯度带近于平行。

由以上分析可见,在这两次暴雨过程中,水汽带内都维持一条 $\theta_{se} \geq 350$ K 的脊轴,其范围和形状与水汽带基本一致,表明水汽带所在的区域是一个深厚的湿区(覃丹宇等, 2004; 2005)。低层高 θ_{se} 脊轴

的维持说明来自低纬的高温暖湿气流出现在水汽带下方,有利于出现大气层结不稳定;脊轴附近多对流云团活跃造成暴雨频发(覃丹宇等, 2005)。

另外,研究发现,在梅雨锋暴雨中,水汽带南侧的 θ_{se} 较稀疏,其梯度远小于华南暴雨,表明在此个例中,梅雨锋暴雨的湿区远小于季风槽暴雨的深厚湿区范围;而在华南暴雨中,水汽带内部的 θ_{se} 比外部高 5~10 K,且北侧 θ_{se} 的梯度大于南侧,这可能与对流层中高层的干侵入有关。

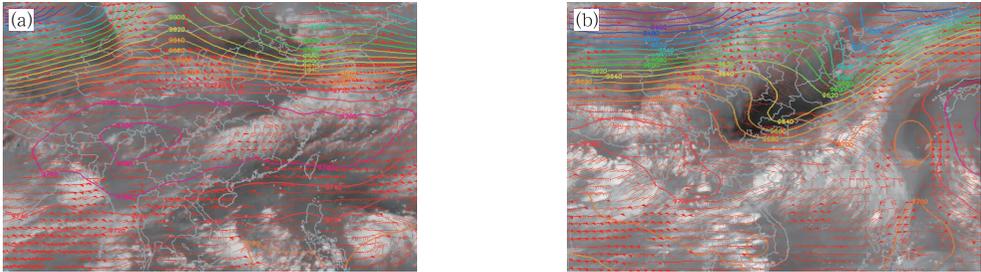


图 1 FY-2E 气象卫星水汽图像与云导风叠加图

(等值线为 NCEP 300 hPa 位势高度场, 单位: gpm)

(a) 2010 年 7 月 12 日 13:30, (b) 2011 年 6 月 28 日 19:30

Fig. 1 FY-2E meteorological satellite water vapor images and atmospheric motion vectors, and 300 hPa geopotential heights (unit: gpm)

(a) 13:30 BT 12 July 2010, (b) 19:30 BT 28 June 2011

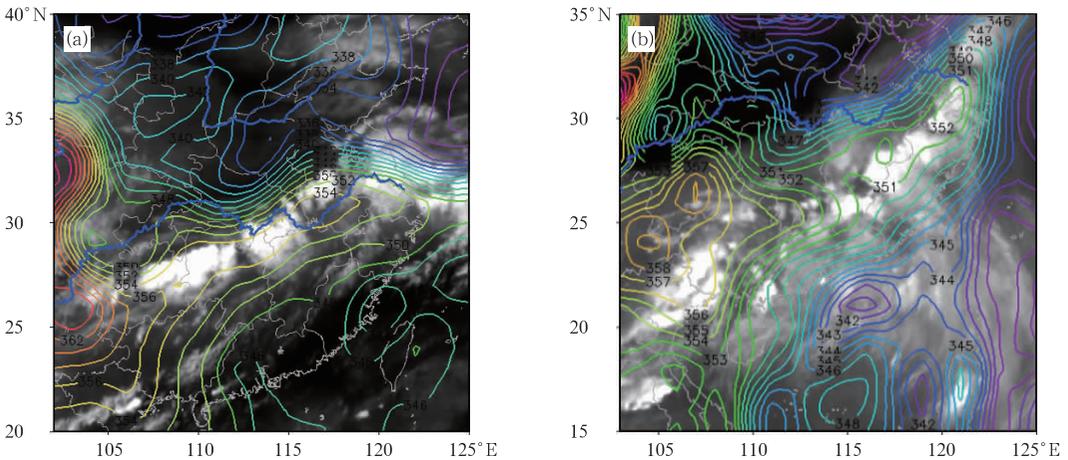


图 2 水汽图像与 850 hPa 假相当位温(单位: K)的叠加图

(a) 2010 年 7 月 12 日 08:00, (b) 2011 年 6 月 28 日 20:00

Fig. 2 FY-2E meteorological satellite water vapor images and equivalent potential temperature at 850 hPa (unit: K)

(a) 08:00 BT 12 July 2010, (b) 20:00 BT 28 June 2011

由于水汽是大气运动的被动示踪物(巴德, 1998),在水汽图像上看到的特定水汽型反映了其所在层的大气环流及垂直运动,因此可以通过计算垂

直运动、散度和涡度来分析水汽带的动力特征(覃丹宇等, 2004)。

首先,看一下暴雨发生时的动力抬升特征,700

hPa 垂直速度与水汽图像的叠加表明:2010年7月12日08时梅雨锋暴雨过程中水汽带范围内具有较明显的垂直上升运动,并且发展的中尺度对流云团与强上升运动中心有较好的对应关系。这些中尺度对流云团大多产生在梅雨锋云带内或偏南一侧(郑

新江等,1997;1998),与暴雨中心相对应(图3a);而2011年6月28日20时,在华南暴雨中,水汽带中的上升运动较梅雨锋暴雨要弱,并无明显的强上升运动中心,且中尺度对流云团与700 hPa强上升运动中心并无明显的对应关系(图3b)。

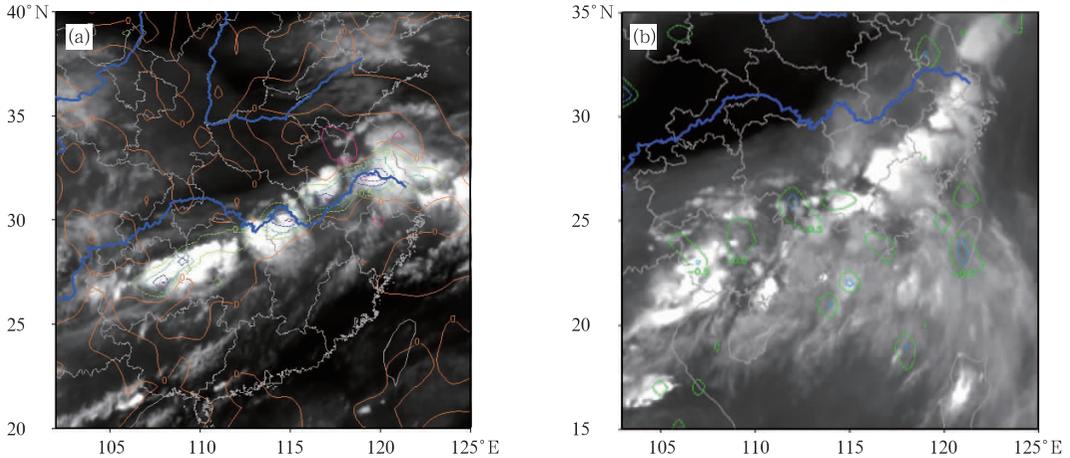


图3 水汽图像与700 hPa垂直速度(单位: $\text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$)叠加图

(a)2010年7月12日08:00, (b)2011年6月28日20:00

Fig. 3 FY-2E meteorological satellite water vapor images and vertical velocity at 700 hPa (unit: $\text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$)

(a) 08:00 BT 12 July 2010, (b) 20:00 BT 28 June 2011

而后,关注对流层高层散度和涡度的分布情况。图4和图5分别是200 hPa散度和涡度与对应时次水汽图像的叠加图。图4a显示,2010年7月12日08时梅雨锋暴雨中水汽带的北部边界与对流层上层的辐散带近于平行,且中尺度对流云团与正散度

中心相对应,这与覃丹宇等(2004)的结论是一致的;而2011年6月28日20时(图4b)华南暴雨中除了在广西北部出现一个正散度中心的大值区外,水汽带上的散度呈正负相间分布,与梅雨锋暴雨过程不同。

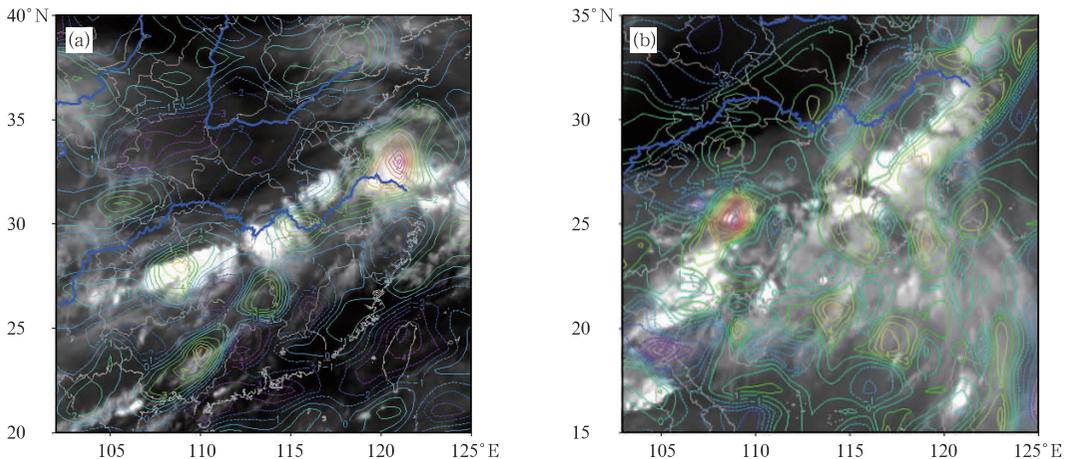


图4 水汽图像与200 hPa散度(单位: 10^{-5}s^{-1})叠加图

(a)2010年7月12日08:00, (b)2011年6月28日20:00

Fig. 4 FY-2E meteorological satellite water vapor images and divergence at 200 hPa (unit: 10^{-5}s^{-1})

(a) 08:00 BT 12 July 2010, (b) 20:00 BT 28 June 2011

图 5a 则揭示出,2010 年 7 月 12 日 08 时梅雨锋暴雨中水汽带的北部边界与对流层上层的负涡度带近于平行,但中尺度对流云团与负涡度中心并不相对应,这与覃丹宇等(2004)的结论不一致;而 2011

年 6 月 28 日 20 时(图 5b)华南暴雨中水汽带上的涡度与散度类似,呈正负相间分布,其显著特征是在水汽带的北侧边界(即暗区的位置)出现了很强的正涡度带,这在梅雨锋暴雨过程中并没有出现。

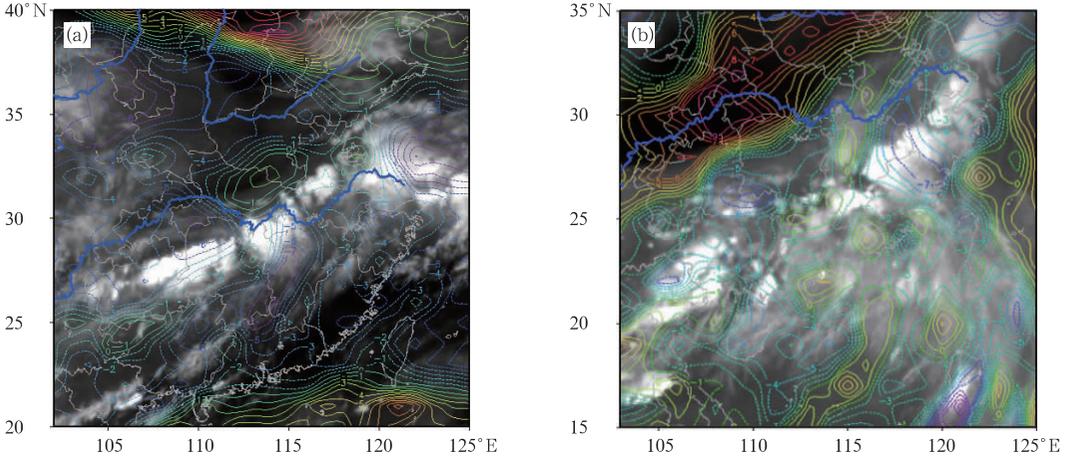


图 5 水汽图像与 200 hPa 涡度(单位: 10^{-5} s^{-1})叠加图

(a)2010 年 7 月 12 日 08:00, (b)2011 年 6 月 28 日 20:00

Fig. 5 FY-2E meteorological satellite water vapor images and vorticity at 200 hPa (unit: 10^{-5} s^{-1})

(a) 08:00 BT 12 July 2010, (b) 20:00 BT 28 June 2011

200 hPa 散度和涡度及 700 hPa 垂直速度的分布型表明,在梅雨锋暴雨期间,水汽带所在区域有大尺度上升运动,其中中尺度对流云团发展的地方具有强上升运动(覃丹宇等,2004);而在季风槽暴雨过程中,中尺度对流云团发展的地方却无明显的强上升运动。这可能与华南前汛期暴雨的特点有关。

传,它在水汽图像上表现为中等到近黑色灰度的特定区域,而水汽图像是监测干侵入的有效工具(桑特里特等,2008),因此可以利用位涡的分布来研究水汽图像上干(暗)区的特征。

2.3 干区的特征

大量研究表明,干侵入活动对降水具有明显的影响。干侵入的机制实际上就是高位涡的侵入和下

图 6 是 2010 年 7 月 12 日 08 时和 2011 年 6 月 28 日 20 时 300 hPa 位涡与同时次的水汽图像叠加图。图 6a 显示,在梅雨锋暴雨期间,高位涡区($PV > 1 \text{ PVU}$)位于华北及黄淮等地;而华南暴雨期间(图 6b),在水汽带的北侧出现高位涡带,在其南侧呈现为宽广的低位涡带。

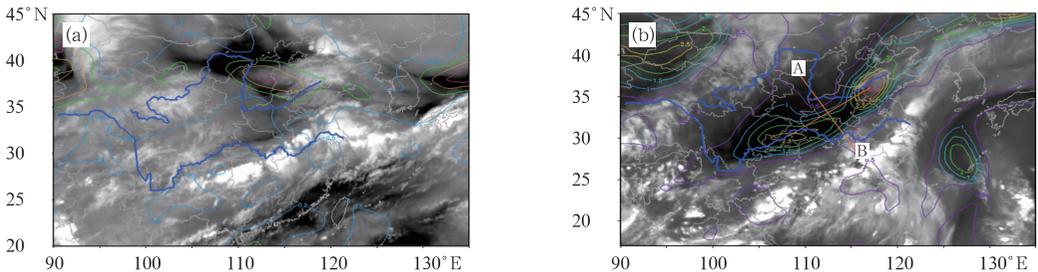


图 6 水汽图像与 300 hPa 位涡(单位:PVU, $1 \text{ PVU} = 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$)叠加图

(a)2010 年 7 月 12 日 08:00, (b)2011 年 6 月 28 日 20:00

Fig. 6 FY-2E meteorological satellite water vapor images and potential vorticity at 300 hPa (unit: PVU)

(a) 08:00 BT 12 July 2010, (b) 20:00 BT 28 June 2011

在水汽图像的演变分析中曾提及:梅雨锋暴雨期间,水汽带的北侧并无明显的动力干带/点,即干侵入不明显。因此,这里主要分析季风槽暴雨过程中干侵入的一些特征。根据暗区的形状和位涡的大小,将季风槽暴雨过程分为3个阶段,分别如图6b、

图7所示。由图可见,暗区的形状从楔形(图7a)演变成扇形(图7b),之后变成狭长的带状(图7b)减弱消失;而与之相伴随的300 hPa沿江一带的位涡也经历了从小变大再衰减的过程。

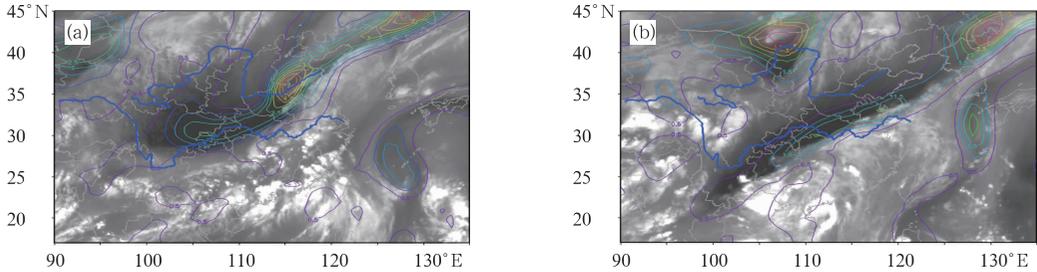


图7 水汽图像与300 hPa位涡(单位:PVU)叠加图
(a)2011年6月28日14:00, (b)2011年6月29日20:00

Fig. 7 FY-2E meteorological satellite water vapor images and potential vorticity (unit: PVU) at 300 hPa
(a) 14:00 BT 28 June 2011, (b) 20:00 BT 29 June 2011

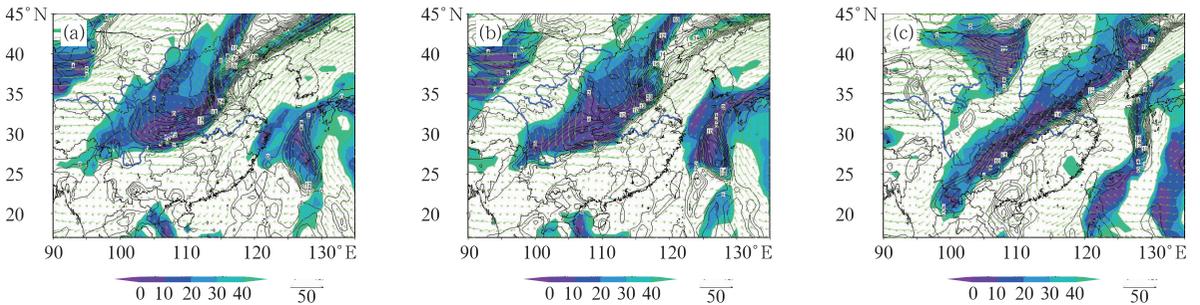


图8 300 hPa相对湿度 $\leq 50\%$ (填色)、正涡度(单位: 10^{-5} s^{-1})与风场的叠加图
(a)2011年6月28日14:00, (b)2011年6月28日20:00, (c)2011年6月29日20:00

Fig. 8 Relative humidity ($\leq 50\%$, shaded, unit: %), positive vorticity (unit: 10^{-5} s^{-1}) and wind at 300 hPa
(a) 14:00 BT 28 June 2011, (b) 20:00 BT 28 June 2011, (c) 20:00 BT 29 June 2011

图8是300 hPa相对湿度 $\leq 50\%$ (代表干冷空气的活动)、正涡度和风场的叠加图。从图8a和8b的分布可以看出,干区内盛行西北气流,受其影响,干区向东南方向侵入;而位于干区前沿即西南地区东部至江南东部一带风向的辐合说明对流层中高层存在下沉运动,干区的前沿与300 hPa的正涡度带近于平行。当干区内的盛行风向转为东北风时(图8c),此次降雨过程趋于减弱。而不同层次(300、500和700 hPa)相对湿度和风场(图略)的分布揭示:不同层次上均存在干侵入现象,且各个层次上干侵入的位置和强度不同,中高层的干侵入强度较低层要大,表明干侵入主要来自对流层中高层(刘会荣等,2010)。之前给出的多是某一层上的干、湿特征,以

下将对位涡最强时的6月28日20时的垂直结构加以探讨。沿图6b中横穿暗区和水汽带的AB线分别作位涡 ≥ 1 PVU和相对湿度 $\leq 50\%$ (代表干冷空气的活动)、相当位温和涡度的垂直剖面,如图9所示。由图可见,位涡值为1 PVU等值线向下伸展至500 hPa附近,对应于高位涡的是相对湿度 $< 50\%$ 的干区(图9a)。由假相当位温的定义可知,干空气具有较低的 θ_{se} 。在图9b中,中层是 θ_{se} 的低值区,对流层高层和低层分别为 θ_{se} 的大值区,干空气向下侵入暖湿气流上方时,会导致不稳定度的增强,有利于低层对流不稳定的发展,从而有利于降水的发生。高层的正涡度中心则表明暗区高层有强的辐散下沉,并且正涡度中心自北向南、由高层向低层输送。

而随着暗区的减弱消失,华南暴雨趋于结束,这可能与干侵入带来的下曳气流中断有关(于玉斌等,2003)。由此可见,适度的干侵入对华南暴雨的产生十分有利。

对于位涡的分析表明,在梅雨锋暴雨期间,高位涡区($PV > 1$ PVU)位于远距离的华北、黄淮等地;而华南暴雨期间,在水汽带的北侧出现高位涡带,而在其南侧为宽广的低位涡带。适度的干侵入对华南暴雨的产生十分有利。且不同层次上均存在干侵入

现象,中高层的干侵入强度较低层要大。干区内盛行西北气流,并向东南方向侵入,干区的前沿与300 hPa的正涡度带近于平行。横穿暗区和水汽带的垂直剖面揭示:位涡值为1 PVU等值线向下伸展至500 hPa附近,对应于高位涡的是相对湿度 $< 50\%$ 的干区。中层 θ_{se} 的低值区,对流层高层和低层分别为 θ_{se} 的大值区,这样的配置有利于低层对流不稳定的发展;高层的正涡度中心自北向南、由高层向低层输送。

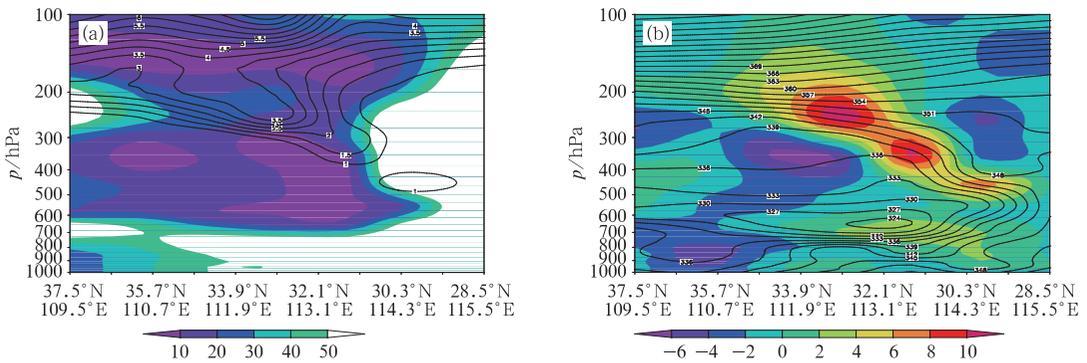


图9 2011年6月28日20:00沿AB线(a)位涡(单位:PVU)和相对湿度 $\leq 50\%$ (填色),
(b)假相当位温(单位:K)和涡度(单位: 10^{-5} s^{-1} ,填色)的叠加图

Fig. 2 (a) Potential vorticity (≥ 1 PVU, unit: PVU) and relative humidity ($\leq 50\%$, shaded, unit: %),
(b) equivalent potential temperature (unit: K) and vorticity (shaded, unit: 10^{-5} s^{-1})
at 20:00 BT 28 June 2011 along the AB line as shown in Fig. 6b

3 结论和讨论

本文分析了发生在2010年7月和2011年6月的江南梅雨锋暴雨和江南季风槽暴雨过程,并且对比两者水汽图像上的干、湿特征及其演变规律。结果表明:这两次暴雨过程的水汽图像特征既有相似点,又有不同之处。

相同之处为,在梅雨锋暴雨和季风槽暴雨中,水汽带所在的区域是一个深厚的湿区,它是一条暖湿输送带;水汽带的北部边界、暗区的南部边界与 θ_{se} 密集带的强梯度带近于平行。

不同之处:梅雨锋暴雨中,水汽带的北部边界与700 hPa的上升运动带、200 hPa的辐散带和负涡度带近于平行,强对流云团与低层的上升运动中心、高层的辐散中心大致吻合。而华南暴雨中,中尺度对流云团与700 hPa强上升运动中心的对应没有梅雨锋暴雨中对应得好,且季风槽暴雨中水汽带上的散度和涡度都呈正负相间分布,并在水汽带的北侧边

界即暗区的位置,出现了很强的正涡度带,这在梅雨锋暴雨过程中并没有出现。关于位涡的分析表明:在华南暴雨中暗区对应对流层高层的高位涡带,水汽带对应低位涡带。适度的干侵入对华南暴雨的产生十分有利,且不同层次上均存在干侵入现象,中高层的干侵入强度较低层要大。在梅雨锋暴雨期间,高位涡区位于远距离的华北、黄淮等地。

水汽图像上干、湿特征的异同与环境场的不同密切相关。关于梅雨锋上水汽图像的特征已有一些研究(覃丹宇等,2004;2005),但关于季风槽暴雨,这只是一个个例,还需要更多的个例来加以验证。

参考文献

- 曹丽霞,赵亮,徐怀刚,等. 2013. 2007年7月9—10日江淮大暴雨的水汽图像解译研究. 气象, 39(5): 608-615.
- 曹治强,王新. 2013. 与强对流相联系的云系特征和天气背景. 应用气象学报, 24(3): 365-372.
- 侯青,许健民. 2006. 卫星导风资料所揭示的对流层上部环流形势与中国夏季主要雨带之间的关系. 应用气象学报, 17(2): 138-144.
- 黄彬,钱传海,聂高臻,等. 2011. 干侵入在黄河气旋爆发性发展中的

- 作用. 气象, 37(12):1534-1543.
- 金荣花, 李维京, 张博, 等. 2012. 东亚副热带西风急流活动与长江中下游梅雨异常关系的研究. 大气科学, 36(4):722-732.
- 林爱兰, 李春晖, 郑彬, 等. 2013. 广东前汛期持续性暴雨的变化特征及其环流形势. 气象学报, 71(4):628-642.
- 刘会荣, 李崇银. 2010. 干侵入对济南“7. 18”暴雨的作用. 大气科学, 34(2):374-386.
- 刘英, 王东海, 张中锋, 等. 2012. 东北冷涡的结构及其演变特征的个例综合分析. 气象学报, 70(3):354-370.
- 倪允琪, 周秀骥, 等. 2004. 长江中下游梅雨锋暴雨野外科学试验. 北京: 气象出版社, 210.
- 帕特里克·桑特里特, 克里斯托·G. 乔治夫. 2008. 方翔, 译. 卫星水汽图像和位势涡度场在天气分析和预报中的应用. 北京: 科学出版社, 156.
- 覃丹宇, 江吉喜, 方宗义. 2004. 2002年6月21—24日梅雨暴雨过程的水汽羽特征. 气象学报, 62(3):329-337.
- 覃丹宇, 江吉喜, 方宗义. 2005. 2002年7月20—25日揭示的热带水汽羽和暴雨的关系. 气象学报, 63(4):493-503.
- 陶祖钰, 郑永光. 2012a. 位温、等熵位涡与锋和对流层顶的分析方法. 气象, 38(1):17-27.
- 陶祖钰, 周小刚, 郑永光. 2012b. 从涡度、位涡、到平流层干侵入——位涡问题的缘起、应用及其歧途. 气象, 38(1):28-40.
- 王峰, 许健民. 2001. 云迹风资料所揭示的对流层上部环流形势与1998年夏季我国南方雨带的关系//《1998年长江嫩江流域特大暴雨的成因及预报应用研究》编委会. 北京: 气象出版社, 142-147.
- 吴迪, 姚秀萍, 寿绍文. 2010. 干侵入对一次东北冷涡过程的作用分析. 高原气象, 29(5):1208-1217.
- 许健民, 方宗义. 2008. 《卫星水汽图像和位势涡度场在天气分析和预报中的应用》导读. 气象, 34(5):3-8.
- 薛纪善. 1999. 1994年华南夏季特大暴雨研究. 北京: 气象出版社, 185.
- 杨贵名, 毛冬艳, 姚秀萍. 2006. 梅雨期一次黄淮气旋发展的干侵入特征分析. 热带气象学报, 22(2):176-183.
- 杨军. 2012. 气象卫星及其应用(下). 北京: 气象出版社, 525-540.
- 于玉斌, 姚秀萍. 2003. 干侵入的研究及其应用进展. 气象学报, 61(6):769-778.
- 张丙辰. 1990. 长江中下游梅雨锋暴雨研究. 北京: 气象出版社, 269.
- 郑新江, 李玉兰, 杜长萱. 1998. 1995年6月梅雨期暴雨的水汽图像分析. 应用气象学报, 9(2):246-250.
- 郑新江, 卢乃锰, 罗敬宁, 等. 1997. “96. 8. 8”福建成灾暴雨水汽图像特征分析. 海洋预报, 14(4):51-58.
- M. J. 巴德, A. S. 福布斯, J. R. 格兰特, 等编. 1998. 卫星与雷达图像在天气预报中的应用. 卢乃锰, 冉茂农, 谷松岩, 等译. 北京: 科学出版社, 12-82.
- Jiang Jianying, Ni Yunqi. 2004. Diagnostic study for structure characteristics of a typical Meiyu front system and its maintenance mechanism. Adv Atmos Sci, 21(5):802-813.
- Scofield R, Vincente G, Hodges M. 2000. The use of water vapor for detecting environments that lead to convectively produced heavy precipitation and flash floods. NOAA Technical Report NESDIS 99, 1-64.
- Scofield R A, Rao Achutuni. 1996. The satellite forecasting funnel approach for predicting flash floods. Remote Sens Revi, 14: 251-282.
- Thiao W, Scofield R A, Robinson. 1993. The relationship between water vapor plumes and extreme rainfall events during the summer season. NOAA Technical Report 67, Washington DC, 69.