

2002 年 7 月 20~25 日揭示的热带水汽羽和暴雨的关系^{* 1}

覃丹宇 方宗义 江吉喜

(中国气象局国家卫星气象中心,北京,100081)

摘 要

利用 GMS-5 水汽图像和 NCEP/NCAR $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析资料,分析了 2002 年 7 月 20~25 日梅雨暴雨过程中热带水汽羽的变化及其与物理量场的配置。结果表明热带水汽羽和暴雨之间存在密切联系,(1)有一条热带水汽羽始终和暴雨相伴,其走向从孟加拉湾向东北方向延伸到朝鲜半岛,热带水汽羽不单体现了水汽在对流层中、高层的平流,实际上还反映了对流层整层深厚的水汽沿着水汽通道向北输送。其中,低空急流对水汽涌的输送起到了积极的作用,每一次水汽向东北方向涌动时,其东南侧都伴有低空急流,并且急流核跟随水汽涌一起移动。中尺度对流云团在急流的左前方生成和发展,它们也跟随水汽涌一起移动。(2)热带水汽羽的北部边界大致与高空急流轴平行,暴雨云团一般出现在西南风高空急流入口区的右后方,距离急流轴约 3 个纬距的地方。高空急流的存在为 MCS 提供了很好的质量外流途径,即辐散机制,有利于 MCS 的发展。(3)在暴雨过程期间,热带水汽羽内维持有一条 $\theta_{se} \geq 350$ K 的脊轴,走向和热带水汽羽平行。低空 θ_{se} 脊轴不单指示了低空高能量的位置,其上或附近也最有可能存在明显不稳定的区域,因此也是暴雨容易出现的地方。另外,在热带水汽羽中也维持着一条窄而强的正涡度带,位置和走向均和低空 θ_{se} 脊轴相吻合,体现了低层的动力抬升机制,正涡度中心基本和 MCS 相对应。

关键词: 水汽图像,水汽羽,暴雨。

1 引 言

水汽是大气运动很好的被动示踪物,在反映大尺度流型方面特别引人注目^[1]。研究表明,中尺度对流系统常常伴随热带水汽羽出现,热带水汽羽显示了热带天气系统和西风带天气系统的相互作用关系^[2]。

Thiao 等^[3]研究了 5~10 月的极端降水事件后指出,80% 的个例与水汽羽有关。Scofield 等^[4]总结了热带水汽羽和 θ_{se} 的配置及其与暴雨的关系,提出了有利于强对流和暴雨发生的概念模型。郑新江等^[5~7]对水汽图像(6.7 μm)进行了大量的研究,分析产生暴雨的中尺度云团的水汽图像特征,发现暴雨云团发生在水汽图上的干、湿区边界的湿区一侧,同时也分析了边界的形成以及边界两侧的物理条件,指出水汽羽与强降水的关系,并概括出梅雨期暴雨的水汽图像概念模型。周淑玲和王仁胜^[8]的研究

表明,强对流天气发生在水汽图像最白亮区域与红外云图对流云团西端的重合区。李云川和胡欣等^[9]认为水汽图像中较亮的湿区与 θ_{se} 高值区的重合,是强对流暴雨产生的重要物理因子。李大山和石定朴^[10]对具有明显水汽输送带的持续性暴雨作了综合分析,给出了一次典型气旋发展阶段暖区水汽输送带的清晰直观图像。施望芝等^[11]认为在常规气象资料和红外云图上看不出有连续性暴雨以及暴雨结束信息,而在水汽图像上可以判断出来,这种信息对暴雨预报非常重要。覃丹宇等^[12]分析了一次梅雨锋暴雨过程中的水汽羽特征,认为梅雨期间的热带水汽羽是一条深厚暖湿输送带,反映了中高层水汽从孟加拉湾向长江下游的输送,以及通过大尺度上升运动造成的水汽自下而上的垂直输送,并且水汽羽与对流层上层的负涡度和正散度区域有很好的对应关系,水汽羽的北部边界附近的暗带与一条强涡

* 初稿时间:2004 年 10 月 29 日;修改稿时间:2005 年 2 月 28 日。

资助课题:国家基础研究发展规划(2004CB418302)。

作者简介:覃丹宇,男,1968 年生,博士,副研究员,从事卫星气象研究,电话:010-68407237, E-mail:dyqin@nsmc.cma.gov.cn。

度梯度和高空急流轴相关,具有明显的斜压性。

总的来看,对水汽图像上暴雨系统的分析和认识还不够,对不同类型的水汽型在暴雨天气分析和预报中的作用仍缺乏了解。虽然大量的观测事实表明了暴雨和水汽羽有关,但是却不清楚为什么水汽羽会和强降水有关。另外,在暴雨预报实践中一般比较注重对流层低层的水汽状况,而水汽图像由于反映的是中高层的水汽状况,因此容易被忽视。本文利用GMS-5水汽图像资料和NCEP/NCAR $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析资料,定义对流层中上部形状完好的天气尺度水汽带的移动或涌为水汽羽,发源于热带辐合带(ITCZ)的水汽羽为热带水汽羽(这在图像动画中比较容易识别),分析了2002年7月20~25日梅雨暴雨过程的水汽图像特征,以此揭示热带水汽羽和暴雨的关系。

2 个例概况

2.1 逐日24 h降雨量

2002年7月20~25日,长江中下游、江淮、黄淮地区先后出现了暴雨,局部地区达到了大暴雨。这次强降雨过程,在卫星云图上云系有着显著特征,比如强西南季风云系的一次次涌入;高原东部云系东移;中纬度地区冷锋云系向东偏南方向移动;以及它们中的两者或三者相互作用等。

从24 h雨量图上分析,暴雨过程分成两个阶段(图1),即20日08时~22日08时和22~25日(北京时)。开始时,主要的暴雨区在江南中东部的偏南地区,暴雨区呈西南—东北走向,暴雨中心在江西东北部,雨量100~144mm;另外,在湖南东部、安徽

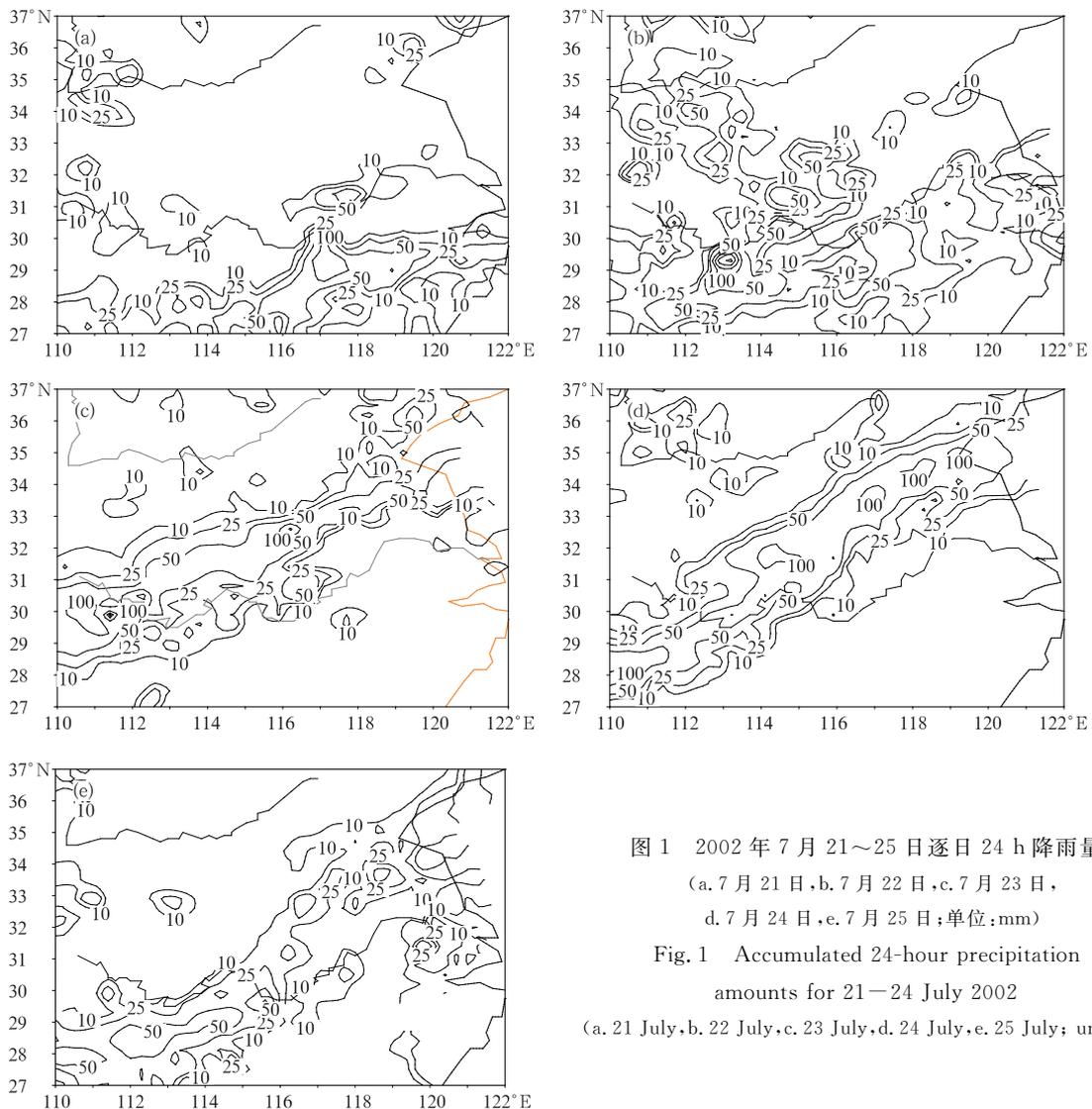


图1 2002年7月21~25日逐日24 h降雨量

(a. 7月21日, b. 7月22日, c. 7月23日,
d. 7月24日, e. 7月25日; 单位: mm)

Fig. 1 Accumulated 24-hour precipitation
amounts for 21–24 July 2002

(a. 21 July, b. 22 July, c. 23 July, d. 24 July, e. 25 July; unit: mm)

沿江局部地区也出现了分散的暴雨中心(图 1a)。次日暴雨区北抬至江南中西部及沿江地区;另在河南的东南部和湖北的东北部局地也有零散的暴雨区出现(图 1b)。第 3 天,暴雨区继续北抬,沿江暴雨范围急剧减小,仅在江北的鄂东、皖西南交界处留下一个范围不大的暴雨区;与此同时,从鄂西南经豫南、皖北中部至苏北中部,新发展出一条西南—东北走向的暴雨带,局部地区出现了零散大暴雨中心(图 1c)。第 4 天,即 23 日 08 时~24 日 08 时,这条暴雨带缓慢向偏东方向移动,雨势加强,暴雨区和内嵌的大暴雨区范围均明显加大(图 1d)。25 日在东移过程中较快减弱消失(图 1e)。

2.2 天气形势

同时期的天气形势可以归纳为 200 hPa 的经向型长波槽脊、500 hPa 的阻塞形势和 850 hPa 的切变线共同影响,以及这些天气系统不断发展和演变的过程。而系统性的暴雨过程(22~25 日)发生时,天气形势为:850 hPa 图上,从贵州南部到江苏北部维持一条东北—西南向冷性切变线,西太平洋上有热带气旋活动。随后冷空气南下,切变线得到加强,冷性切变线的东南方盛行西南风,西北侧为偏北风(图略)。500 hPa 图上,由于热带气旋活跃,副热带高压主体退居海上,对大陆的影响只剩下一个弱的反气旋环流。在中高纬度,阻塞高压/切断低压形势已经形成,西风环流经向度加大。由切断低压派生的一个低压向南移动,中心越过 38°N ,在其向南延伸的槽线持续影响下,系统的斜压性加强,进而使低层切变得到加强,对流云团活动也被限制在槽前和副热带高压(副高)边缘的狭长区域(图 2)。200 hPa 高度,南亚高压偏西偏弱,主要位于青藏高原上,而中高纬度呈经向环流型,副热带急流南伸到 35°N 附近(图略),中尺度对流云团位于高空急流入口区东南侧的强辐散区里。

2.3 平均水汽图像

平均水汽图像基本上能反映该时段内对流层上部的水汽分布情况^[13],因此,可以用逐时日平均水汽图像来研究暴雨发生期间水汽型的主要特征及其演变情况。

图 3 显示,在青藏高原南部稳定维持着一块白亮的区域 W_1 ,对应天气图上,这里是一个闭合高空反气旋,即南亚高压。在 W_1 的东面,一条热带水汽羽($W-V-P$)始终和暴雨相伴,其走向从孟加拉湾

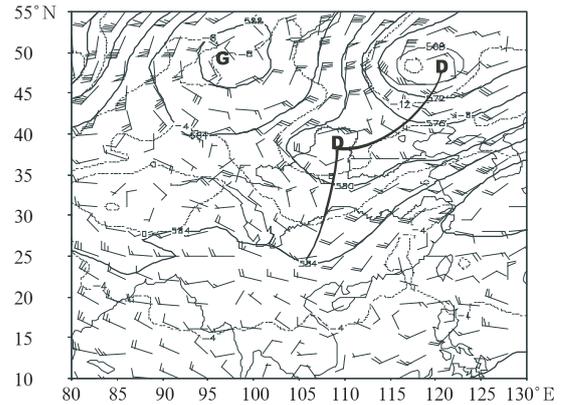


图 2 2002 年 7 月 23 日 12:00Z 500 hPa 天气形势
Fig. 2 500 hPa height(4 dagpm intervals),
temperature (4 $^{\circ}\text{C}$ intervals) and wind
(half-barb=2 m/s) at 12:00Z, 23 July 2002,
subjective analysis short-wave-trough is shown

向东北方向延伸到朝鲜半岛,和暴雨区一致,范围比暴雨区略宽。从图上还可以看到高空气旋的演变过程。即湿核 C 由早期的被暗区环绕,逐渐发展演变成螺旋型 C_1 (图 3d),表明了高空的气旋环流系统不断发展、逐渐加强,并形成闭合气旋环流。与此同时, C_2 湿核也出现,预示着高空气旋环流已分裂成两个相对独立的部分。与螺旋水汽型相伴随的是阻塞环流的形成。灰白色的 R 处对应高空脊上游垂直上升运动形成的湿区,当高空脊不断发展并“后伸”到低压的极地一侧,最终形成具有闭合反气旋环流特征的水汽型 A 时,就产生了典型的水汽“头阻塞”,其中的内边界 D_2 清晰可见。内边界 D_2 是向东凹进的,西侧为湿空气,东侧为干空气,干(暗)区成月牙形,在流场上,闭合高压南侧新形成的东风带和上游西风带构成了鞍型场,其伸展轴与部分内边界 D_2 重合。与此同时,另一块显著的暗区 D_1 不断从中国东部海洋向中国东南部发展,其过程类似于阻塞形势水汽“头边界”的形成。从高度场和流场来分析(图略),此时有西太平洋热带气旋向西北方向移动,逐渐靠近台湾岛,而副高主体相应减弱,向东北方向收缩到日本上空,两者之间形成了强劲的东风带,干暖的下沉气流“吹”向大陆,与上游西(南)风形成了“阻塞”,产生了暗区 D_1 。 D_1 和 D_2 两块暗区的发展变化也改变了热带水汽羽($W-V-P$)的位置和宽度,水汽羽东部最初覆盖了东海到南海北部,南宽北窄(图 3a),逐渐向西收缩影响中国中部地区,

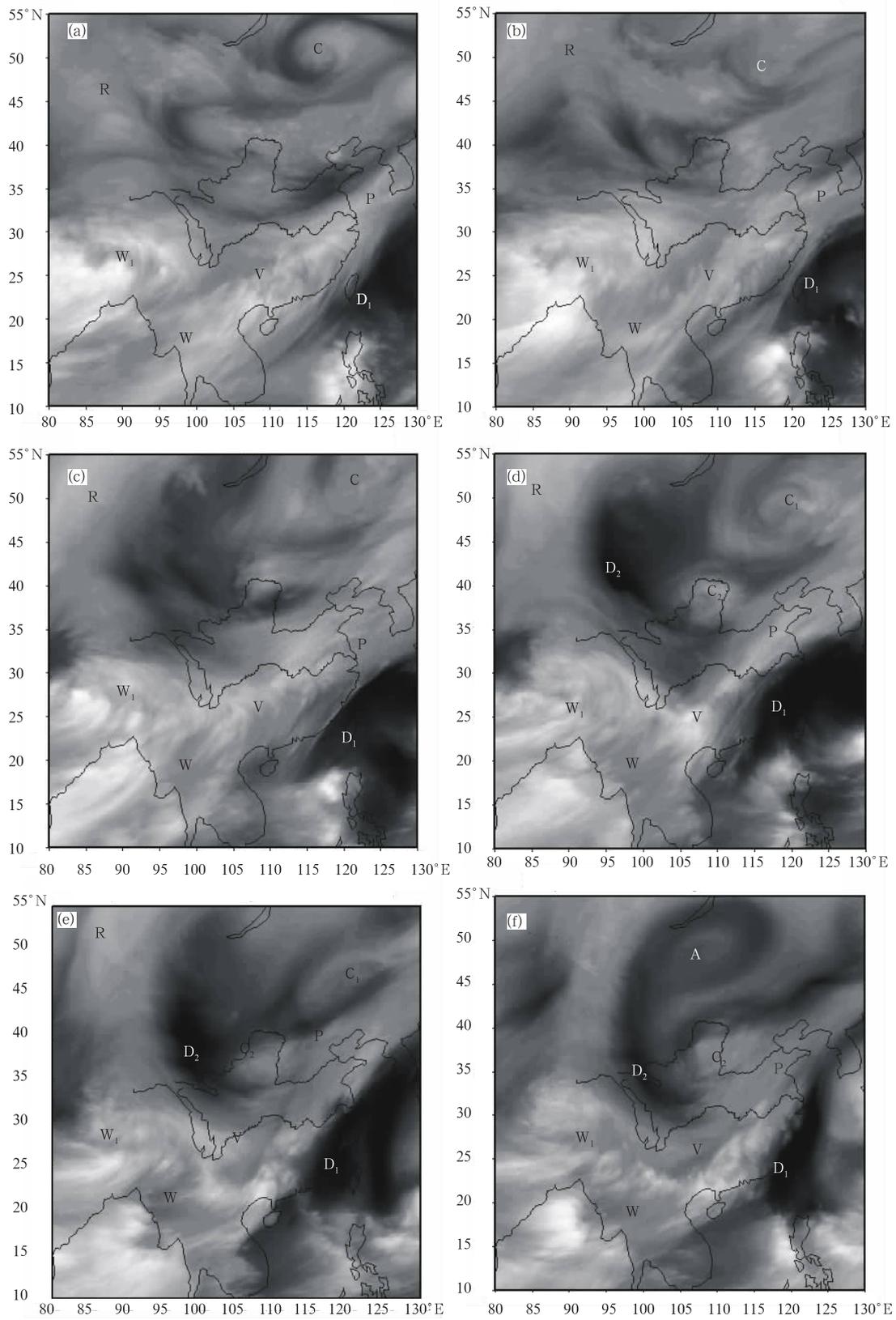


图3 2002年7月20~25日的逐日平均水汽分布
 (a. 7月20日, b. 7月21日, c. 7月22日, d. 7月23日, e. 7月24日, f. 7月25日)
 Fig. 3. Daily mean water vapour images for (a) 20 July, (b) 21 July, (c) 22 July,
 (d) 23 July, (e) 24 July and (f) 25 July 2002

形成一条窄的水汽带,并不断有湿涌从低纬地区向中高纬地区涌动(图 3d),从而引发沿途的暴雨。

3 水汽羽和暴雨的关系

3.1 水汽羽和低空急流的配置

暴雨常和低空急流相伴出现,并且暴雨多出现在低空急流的左前方^[14]。因此在考虑水汽羽和暴雨的关系时,也希望了解水汽羽和低空急流在暴雨过程中的配置如何,特别是在水汽向东北方涌动时低空急流所起的作用。

图 4 显示了两次水汽涌动发生时 850 hPa 西南风急流的情况。7 月 22 日 12 时一个湿涌 S_1 从华

南西部向东北移到了河南、山东一带(图 4a),6 h 后移到了渤海湾一带,同时在四川盆地附近又聚集了一团水汽 S_2 (图 4b);23~24 日,第 2 个水汽涌 S_2 的移速和路径几乎是第 1 个水汽涌 S_1 的翻版,也是从华南西部向东北方向先后影响华中地区和渤海湾到东北南部地区(图 4c~d)。每一次水汽向东北方向涌动时,其东南侧都伴有低空急流,并且急流核跟随水汽涌一起移动。在急流的左前方有中尺度对流云团生成和发展,它们也跟水汽涌一起移动。可见低空急流对水汽涌的输送起到了积极的作用,强劲的西南风将充足的水汽从低纬地区带到了中高纬度地区。

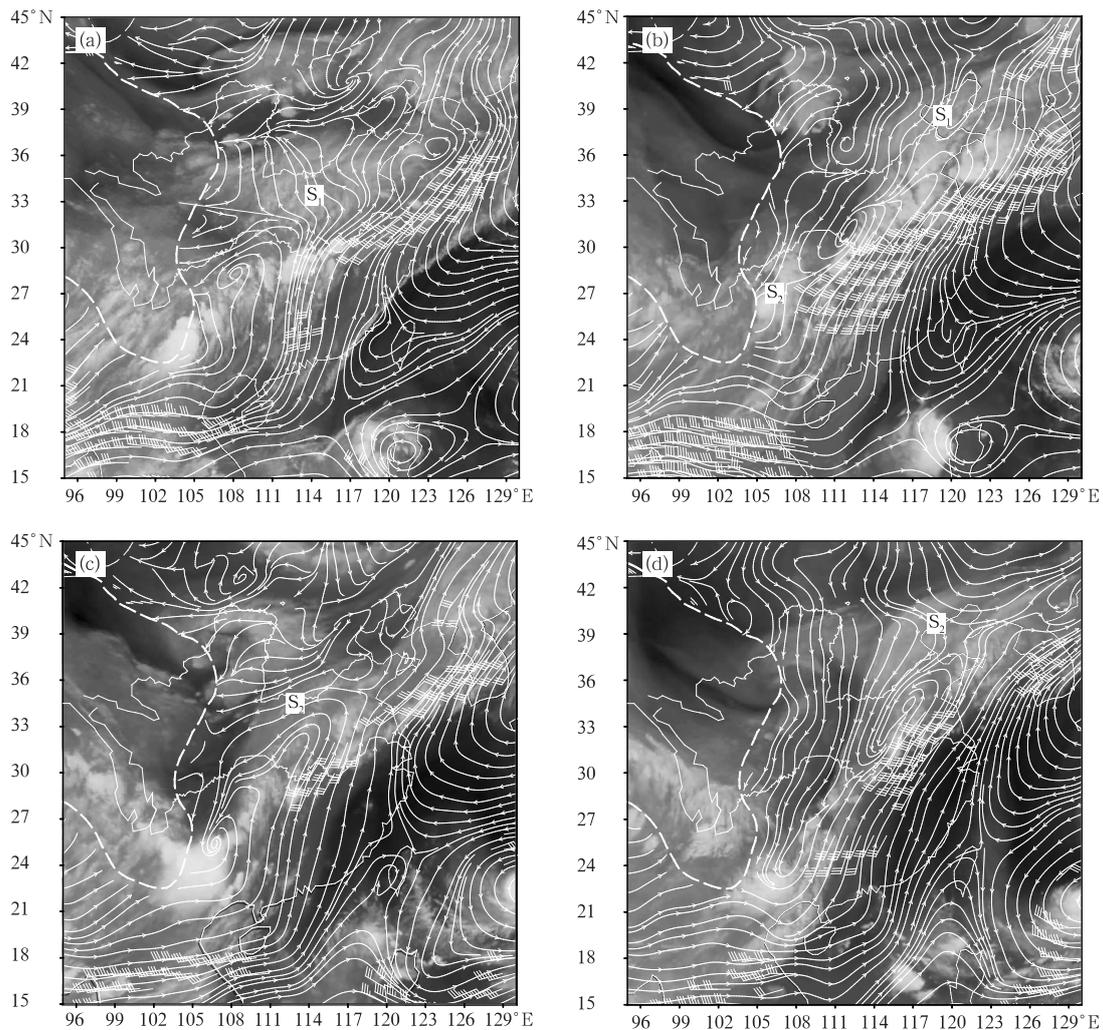


图 4 2002 年 7 月 22~23 日水汽羽、850 hPa 流线和大于 12 m/s 的风矢

(a. 12:00Z 22, b. 00:00Z 23, c. 12:00Z 23, d. 00:00Z 24;粗虚线包围的区域为高原,下同)

Fig. 4 850 hPa stream lines and wind barbs(magnitude >12 m/s) for (a) 12:00Z 22,

(b)00:00Z 23, (c)12:00Z 23, (d)00:00Z 24 July 2002, the water vapour images

are superimposed (The dash line indicates the Tibet Plateau)

联系低层水汽通量的变化情况(图略), 这个例说明, 水汽涌不单是表现了水汽在对流层中、高层的平流, 实际上还反映了对流层整层深厚的水汽沿着水汽通道向北输送, 在此过程当中不断有中尺度对流系统被激发出来, 水汽涌经过时沿途产生了暴雨天气。在 24 h 降雨量图中, 就可以看到在大范围暴雨带中呈线状排列的一个个雨核(图 1d)。

3.2 水汽羽和高空急流的配置

高空急流是强对流系统发生的重要机制之一, 高空急流入口区右后方往往具有高空辐散的环境条件, 有利于中尺度对流系统的形成和发展^[15~17]。

在暴雨过程当中, 均可以看到水汽羽和高空急

流的关系及其对暴雨的作用。以 22~23 日为例(图 5a~d), 图中显示了水汽羽、300 hPa 流线和 >28 m/s 的风矢, 粗虚线箭头为手工分析的高空急流轴。由于低纬有热带气旋活动, 副高位置比较稳定, 西脊线位于 $27^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{N}$ 。高空长波槽发展, 在河套地区形成切断低压, 其东部出现了西南风高空急流。水汽涌的北部边界指示了急流轴的位置, 水汽涌的边界大致与高空急流轴平行, 暴雨云团一般出现在西南风高空急流入口区的右后方, 距离急流轴约 3 个纬距的地方。图中 MCS 北部水汽和高空急流区重合的事实说明, 高空急流的存在为 MCS 提供了很好的质量外流途径, 即辐散机制, 有利于 MCS 的发展。

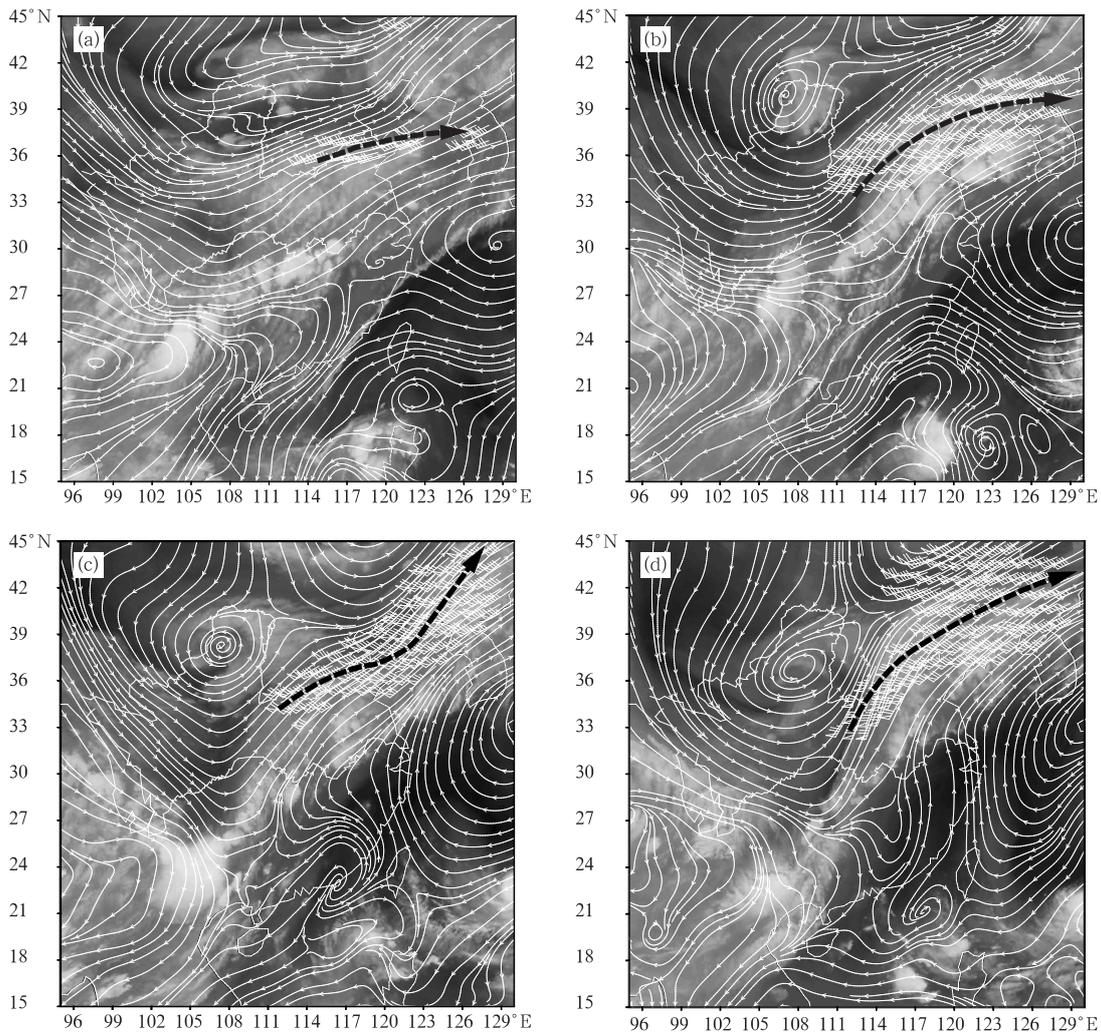


图 5 2002 年 7 月 22~23 日水汽羽、300 hPa 流线和 >28 m/s 的风矢

(a. 12:00Z 22, b. 00:00Z 23, c. 12:00Z 23, d. 00:00Z 24; 带箭头粗虚线为急流轴)

Fig. 5 The water vapour plume, 300 hPa stream lines and wind barbs (magnitude >28 m/s)

for (a) 12:00Z 22, (b) 00:00Z 23, (c) 12:00Z 23 and (d) 00:00Z 24 July 2002

(The dash arrows indicate upper level jet streak)

3.3 水汽羽和 850 hPa θ_{se} 脊轴的配置

通常用 $\theta_{se} > 340$ K 表示高能量区, θ_{se} 的垂直分布可表示大气层结的位势不稳定性, 因此简单分析低空 θ_{se} 脊轴可以大致找到大气最有可能存在明显不稳定的区域, 分析它和水汽羽的关系也可以确定

有利于 MCS 形成和发展的环境条件^[2~4]。

从图 6 可以看到, 20~21 日, 热带水汽羽已经形成, 形状完整, 从孟加拉湾向东北延伸到朝鲜半岛。在水汽羽中有一条 $\theta_{se} \geq 350$ K 的从华南西部向东北方向伸展, 经长江口到东海, MCS 发生在江

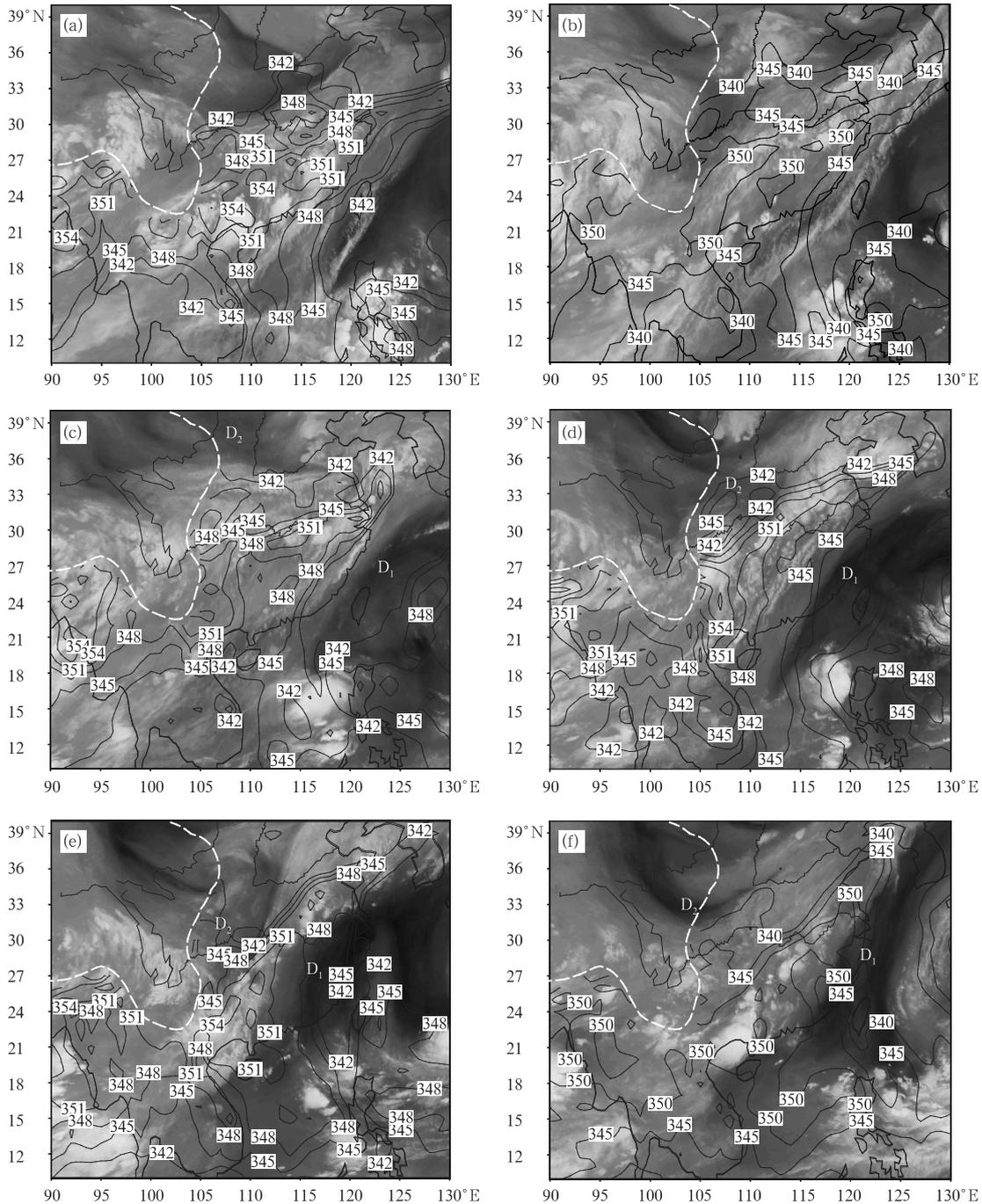


图 6 2002 年 7 月 20~25 日水汽羽和 850 hPa $\theta_{se} > 340$ K 等值线
(a. 7 月 20 日 00:00Z, b. 7 月 21 日 00:00Z, c. 7 月 22 日 00:00Z, d. 7 月 23 日 00:00Z,
e. 7 月 24 日 00:00Z, f. 7 月 25 日 00:00Z)

Fig. 6. The water vapour plume and 850 hPa $\theta_{se} > 340$ K isolines for
(a) 00:00Z, 20 July, (b) 00:00Z, 21 July, (c) 00:00Z, 22 July, (d) 00:00Z, 23 July,
(e) 00:00Z, 24 July and (f) 00:00Z, 25 July 2002)

南和华南等地(图 6a, b)。22~24 日,在副高和热带气旋西北侧外围东北下沉气流的共同作用下,一片暗区 D_1 从西太平洋向中国东南沿海发展,与此同时,中国西北地区 and 切断低压相联系的高空槽也不断加强,形成另一片暗区 D_2 。这两片暗区共同作用使水汽羽变得越来越窄,水汽只能以涌动的形式向北继续输送, θ_{se} 脊轴在这一过程中稍有摆动,但仍然

出现在水汽羽中,并且保持 ≥ 350 K 的高能量, MCS 出现在 θ_{se} 脊轴或附近(图 6c~e)。22~23 日在水汽涌发生时,850 hPa θ_{se} 分布并没有太大的变化,表明低层的热力状况是稳定的,而中上层的水汽条件则随水汽涌的移动发生变化。25 日 00 时,随着高空西风槽逐渐加强东移,水汽羽的范围又扩大了,此时对流层中上部的水汽环境保持良

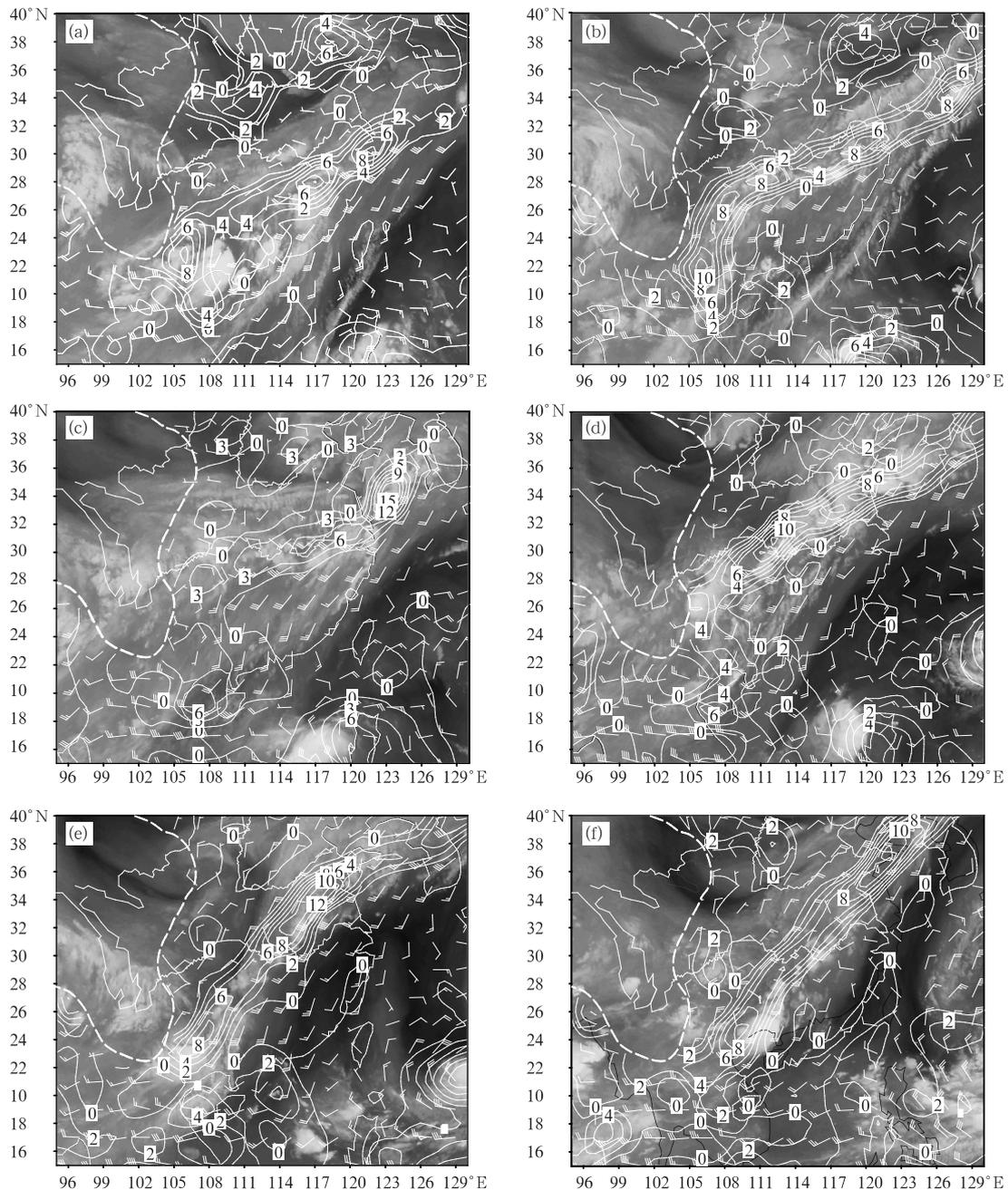


图 7 2002 年 7 月 20~25 日水汽羽、风羽和 850 hPa 正涡度(单位: 10^{-5} s^{-1})
(a. 7 月 20 日 00:00Z, b. 7 月 21 日 00:00Z, c. 7 月 22 日 00:00Z, d. 7 月 23 日 00:00Z,
e. 7 月 24 日 00:00Z, f. 7 月 25 日 00:00Z)

Fig. 7 The water vapour plume, wind barbs (half-barb=2 m/s) and 850 hPa positive vorticity
(unit: 10^{-5} s^{-1}) for (a) 00:00Z, 20 July, (b) 00:00Z, 21 July,
(c) 00:00Z, 22 July, (d) 00:00Z, 23 July, (e) 00:00Z, 24 July and (f) 00:00Z, 25 July

好,但是低层在冷空气的影响下降降水减弱,暴雨区南移(图 6f)。相比之下,高 θ_{se} 脊轴对 MCS 的发生发展更重要,水汽羽只是反映了对流层中上部较好的水汽环境,以及大尺度的上升运动条件,但低空高 θ_{se} 脊轴往往和低空急流联系,它的维持和扰动提供了强迫 MCS 必要的水汽和热力条件,是中尺度对流系统生成的主要环境条件之一^[18]。因此,分析水汽羽时要考虑它和低空高 θ_{se} 脊轴的配置关系。

可见在暴雨过程期间,水汽羽内维持有一条 $\theta_{se} \geq 350$ K 的脊轴,走向和水汽羽平行,表明水汽羽存在的区域是一个深厚的湿区^[12]。低空高 θ_{se} 脊轴的维持是西南风稳定的结果,来自孟加拉湾和南海的高温暖湿气流出现在水汽羽下,使大气层结容易变得不稳定,脊轴附近常有 MCS 活动,因此也是暴雨容易出现的地区。

3.4 水汽羽和 850 hPa 正涡度的配置

考察 850 hPa 正涡度分布可以发现低层的动力抬升机制,找到有利于产生暴雨的区域。从图 7 可以看到,在水汽羽中也维持着一条窄而强的正涡度带,走向及变化均和 θ_{se} 脊轴相吻合,这里也是 850 hPa 切变线所在的位置。正涡度带中的涡度中心和 MCS 相对应, $(10 \sim 12) \times 10^5 \text{ s}^{-1}$ (最大 $18 \times 10^5 \text{ s}^{-1}$) 的涡度中心表明低层有强的辐合抬升。20 日 00 时~22 日 00 时,造成强涡度带的切变线主要是暖性的,西南风强盛,长江流域以南基本在其控制之下(图 7a~c)。23 日 00 时~25 日 00 时,冷空气大举南下,切变线转变成冷性,东北风逐渐盛行,向南可达华南北部(图 7d~f)。

深厚湿区(水汽羽)中存在的低层正涡度带不但有利于 MCS 的发生发展,也有利于水汽羽的维持。因为除了水汽平流外,水汽自下而上的垂直运动也可以使对流层中上部变得潮湿,低层正涡度带表明大气低空具有辐合,产生上升运动,将低层高温高湿的空气抬升。而正涡度中心表明局地低层有强的辐合,在深厚湿层的环境下,容易触发 MCS。

4 小 结

通过分析 7 月 20~25 日的水汽图像,证实了夏季发源于孟加拉湾的热带水汽羽确实有利于 MCS 的发生发展。日平均水汽图像反映了暴雨发生期间水汽型的主要特征及其演变情况,即有一条热带水汽羽始终和暴雨相伴,其走向从孟加拉湾向东北方向延伸到朝鲜半岛,并不断有湿涌从低纬地区向中

高纬地区涌动,从而引发沿途的暴雨。热带水汽羽连接着低纬度和中纬度天气系统,体现了中、低纬相互作用。热带水汽羽的稳定维持给 MCS 提供了有利的发生发展的环境条件,具体体现在以下几个方面:

(1) 当热带水汽羽中出现水汽涌时,水汽涌不单是体现了水汽在对流层中、高层的平流,实际上还反映了对流层整层深厚的水汽沿着水汽通道向北输送。低空急流对水汽涌的输送起到了积极的作用,每一次水汽向东北方向涌动时,其东南侧都伴有低空急流,并且急流核跟随水汽涌一起移动。中尺度对流云团在急流的左前方生成和发展,它们也跟水汽涌一起移动。

(2) 热带水汽羽的北部边界大致与高空急流轴平行,暴雨云团一般出现在西南风高空急流入口区的右后方,距离急流轴约 3 个纬距的地方。高空急流的存在为 MCS 提供了很好的质量外流途径,即辐散机制,有利于 MCS 的发展。

(3) 在暴雨过程期间,热带水汽羽内维持有一条 $\theta_{se} \geq 350$ K 的脊轴,走向和水汽羽平行。低空 θ_{se} 脊轴不单指示了低空高能量的位置,其上或附近也最有可能存在明显不稳定的区域,因此也是暴雨容易出现的地区。另外,在热带水汽羽中也维持着一条窄而强的正涡度带,位置和走向均和低空 θ_{se} 脊轴相吻合,体现了低层的动力抬升机制,正涡度中心基本和 MCS 相对应。

根据以上研究,可以总结出热带水汽羽和暴雨之间关系的概略图(图 8),用来说明对流层中上部的高湿环境对于 MCS 的形成具有重要的作用。热带水汽羽可能是通过“播云”(cloud seeding)的效应来增强降水,或者说提高了降水的环境效率。至于水汽羽如何造成降水增幅,恐怕还需要进行云物理

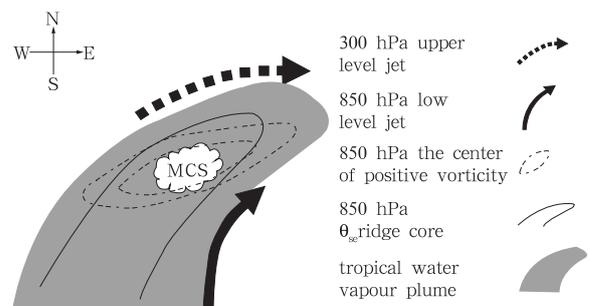


图 8 水汽羽和暴雨云团的概念模型

Fig. 8 The conceptual model of relationship between the tropical water vapour plume and MCS

方面的研究。总的来看,对水汽图像上热带水汽羽的了解还不多,对其如何生成、发展和演变,尤其是和暴雨的关系更需要做进一步的研究。

参考文献

- [1] Weldon R B, Holmes S J. Water vapor imagery: Interpretation and applications to weather analysis and forecasting. NOAA Technical Report NESDIS 57, 1991. 213p
- [2] Scofield R, Vincente G, Hodges M. The use of water vapor for detecting environments that lead to convectively produced heavy precipitation and flash floods. NOAA Technical Report NESDIS 99, 2000. 1—64
- [3] Thiao W, Scofield R A, Robinson. The relationship between water vapor plumes and extreme rainfall events during the summer season. NOAA Technical Report 67, 1993. Washington DC, 69pp
- [4] Scofield R A, Rao Achutuni. The satellite forecasting funnel approach for predicting flash floods. Remote Sens Revi, 1996, 14: 251—282
- [5] 郑新江,李献洲. 利用水汽图像分析中尺度云团. 气象, 1996, 22(1): 42~45
Zheng Xinjiang, Li Xianzhou. MCC-analysis using NOAA water vapor images. Meteor Mon (in Chinese), 1996, 22(1): 42—45
- [6] 郑新江,刘爱鸣. “96. 8. 8”福建成灾暴雨水汽图像特征分析. 海洋预报, 1997, 14(4): 51~58
Zheng Xinjiang, Liu Aiming. The satellite water vapor characteristics of the “96. 8. 8” Fujian heavy rain event. Marine Forecasts (in Chinese), 1997, 14(4): 51—58
- [7] 郑新江,李玉兰,杜长萱. 1995年6月梅雨期暴雨的水汽图像分析. 应用气象学报, 1998, 9(2): 246~250
Zheng Xinjiang, Li Yulan, Du Changxuan. Analysis of GMS-5 water vapor images during torrential rain of Meiyu in June 1995. Quart J Appl Meteor (in Chinese), 1998, 9(2): 246—250
- [8] 周淑玲,王仁胜,张丰启. 一次副高边缘强对流天气的水汽图像特征. 气象, 2000, 26(6): 48~51
Zhou Shuling, Wang Rensheng, Zhang Fengqi. Water vapor imagery features of a convective system on the edge of subtropical high. Meteor Mon (in Chinese), 2000, 26(6): 48—51
- [9] 李云川,胡欣,戴念军. 一次强暴雨过程的水汽图像分析. 气象, 2001, 27(1): 43~47
Li Yunchuan, Hu Xin, Dai Nianjun. An analysis of a severe convective storm with satellite water vapour image. Meteor Mon (in Chinese), 2001, 27(1): 43—47
- [10] 李大山,石定朴,郑新江等. 静止气象卫星水汽图像的分析和应用(一). 应用气象学报, 1998, 9(2): 186~196
Li Dashang, Shi Dingpu, Zheng Xinjiang, et al. Analysis and application of GMS-5 water vapor images(I). Quart J Appl Meteor (in Chinese), 1998, 9(2): 186—196
- [11] 施望芝,熊秋芬,陈创买. 武汉地区“98. 7”连续性暴雨的卫星水汽图像分析. 热带气象学报, 2002, 18(1): 91~96
Shi Wangzhi, Xiong Qiufen, Chen Chuangmai. Analysis of moisture images on continuous heavy rainstorm over Wuhan during July 1998. J Tropical Meteor (in Chinese), 2002, 18(1): 91—96
- [12] 覃丹宇,江吉喜,方宗义. 6月21—24日梅雨暴雨过程的水汽羽特征. 气象学报, 2004, 62(3): 329~337
Qin Danyu, Jiang Jixi, Fang Zongyi. The characteristics of water vapor plume in the heavy rain events during 21—24 June 2002. Acta Meteor Sinica (in Chinese), 2004, 62(3): 329—337
- [13] 许健民,郑新江,徐欢等. GMS-5水汽图像揭示的青藏高原地区对流层上部水汽分布特征. 应用气象学报, 1996, 7(2): 246~251
Xu Jianmin, Zheng Xinjiang, Xu Huan, et al. Upper tropospheric moisture distribution over the Tibetan plateau as revealed from the GMS-5 water vapour images. Quart J Appl Meteor (in Chinese), 1996, 7(2): 246—251
- [14] 陶诗言等. 中国之暴雨. 北京: 科学出版社, 1980. 225 pp
Tao Shiyan, et al. Severe Rainstorms in China. Beijing: Science Press, 1980. 255pp
- [15] 高守亭,陶诗言. 高空急流加速与低层锋生. 大气科学, 1991, 15(2): 11~22
Gao Shaoting, Tao Shiyan. The lower layer frontogenesis induced by the acceleration of upper jet stream. Scientica Atmospherica Sinica (in Chinese), 1991, 15(2): 11—22
- [16] 陶祖钰,黄伟. 大暴雨过程中与急流相关气块的三维运动分析. 气象学报, 1994, 52(3): 359~367
Tao Zuyu, Huang Wei. 3-D trajectory analysis of air parcel associated with high and low level jets in heavy rain. Acta Meteor Sinica (in Chinese), 1994, 52(3): 359—367
- [17] 王小曼,丁治英,张兴强. 梅雨暴雨与高空急流的统计与动力分析. 南京气象学院学报, 2002, 25(1): 111~117
Wang Xiaoman, Ding Zhiying, Zhang Xingqiang. Statistic and dynamic analysis to the relation between Meiyu storm and high level jet. J Nanjing Inst Meteor (in Chinese), 2002, 25(1): 111—117.
- [18] 郑永光,陶祖钰,王洪庆等. 黄海及周边地区 α 中尺度对流系统发生的环境条件. 气象学报, 2002, 60(5): 613~619
Zheng Yongguang, Tao Zuyu, Wang Hongqing, et al. Environment of meso- α -scale convective system development in Yellow Sea region. Acta Meteor Sinica (in Chinese), 2002, 60(5): 613—619

THE RELATIONSHIP BETWEEN TROPICAL WATER VAPOR PLUME AND HEAVY RAINFALL DURING 20—25 JULY 2002

Qin Danyu Fang Zongyi Jiang Jixi

(National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081)

Abstract

Basically, the low level moist condition is regarded as one of the most important prerequisites to heavy-rain forecast, so it is very often to ignore the upper level moist condition, which is depicted clearly on satellite water vapor imagery. Although many studies have declared some relationship between the heavy rainfall and the water vapor plume (WVP), however how and why the upper level moist condition contributes to heavy rainfall are still unclear.

The relationship between the tropical water vapor plume and heavy rainfall during 20—25 July, 2002 was analyzed using GMS-5 infrared black body temperature (TBB) data as well as NCEP/NCAR $1^\circ \times 1^\circ$ re-analysis data. Results demonstrate a close relationship between WVP and heavy rainfall as follows.

In the storm period, (1) a remarkable tropical WVP stretches northeastward from the Bay of Bengal to the Korea Peninsula, and moisture clusters were found surging one after another from lower to higher latitudes in the WVP. The moist-surges were not only depicted as the horizontal advection in the middle and upper levels but also meant the whole levels' moisture transportation in the moist channel, since each time the low level jet (LLJ) was found accompanying to the southeast of the moist-surge when it burst northeastward, and the wind core also moves with the moist surge. (2) the north edge of the WVP was almost parallel to the upper level jet (ULJ) axis, and the meso-scale convective clusters (MCS) developed in the right back side of the southwesterly ULJ, within 3 latitudes away from the ULJ axis. The existing ULJ provided well outflows of air in the upper levels (divergence mechanism) which obviously benefit to MCS evolution. (3) A high θ_{se} tongue ($\theta_{se} \geq 350$ K) maintains within and in parallel to the direction of the WVP during the heavy rain period. The low level θ_{se} tongue indicated the area of high energy accumulation, above and around which was the most possible unstable area, therefore the heavy rainfall easily occurs. (4) Similar to the θ_{se} distribution in the WVP, a narrow and strong 850 hPa positive vorticity belt stayed in the WVP, which indicated the lifting mechanism in the low levels, and the cores of the positive vorticity correspond to MCS development.

Key words: Water vapor imagery, Water vapor plume (WVP), Heavy rainfall.