

# 2007年汛期淮河流域连续性 大暴雨 TBB 场分析

陈晓红<sup>1</sup> 胡 雯<sup>2</sup> 周扬帆<sup>1</sup> 郑苏明<sup>3</sup> 余金龙<sup>1</sup>

(1. 安徽省气象台, 合肥 230031; 2. 淮河流域气象中心; 3. 安徽省气象局探测保障中心)

**提 要:** 利用水平分辨率  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$  经纬度 FY-2C 卫星 TBB 网格资料、连续性强降雨过程和最强降水时段的加强加密降水资料(其中,安徽临泉县迎仙站日降水破安徽省日最大降水纪录),对应分析 TBB 平均场分布特征及其演变特点,揭示强降水云团生消史与暴雨发展的内在联系。结果表明: TBB 低值区与淮河流域强暴雨落区有明显的对应关系, TBB 值减小过程与雨强增强过程比较一致, TBB 梯度大值区在某地长时间维持将产生长时间强降水。源源不断的来自南海经广西沿着副高西北侧向东北方向伸展的水汽输送,与西风槽不断带来的新鲜冷空气在淮河流域相汇,对淮河流域强降水云系的生成、发展和维持起着重要作用。同时,在此阶段 TBB 低值区在淮河流域一带稳定少动,南北摆动幅度小,时生时伏的变化,造成淮河流域天气 53 年以来全线致洪暴雨重大事件。

**关键词:** 夏季风 连续性大暴雨 TBB 场

## TBB Features of Continuous Torrential Rain over Huaihe River Valley in Summer of 2007

Chen Xiaohong<sup>1</sup> Hu Wen<sup>2</sup> Zhou Yangfan<sup>1</sup> Zheng Suming<sup>3</sup> Yu Jinlong<sup>1</sup>

(1. Anhui Meteorological Observatory, Hefei 230031; 2. Huaihe River Basin Meteorological Center;  
3. Atmospheric Technical Support and Detection Center of Anhui Meteorological Bureau)

**Abstract:** With the TBB data from FY-2C satellite and the hourly observed precipitation data, the TBB features of torrential rain in Huaihe River valley from June 30 to July 10, 2007 are studied. Based on the records of the strongest rainfall period, some synoptic and climatic characteristics are summarized. The results show that TBB can directly and quantitatively present the features of intensity and distribution of cloud system with heavy rainfall.

资助课题: 灾害天气国家重点实验室基金资助(2007Lasw11-1)和中国气象局 2007 年研究型业务专项“淮河流域水文气象预报业务系统”。

收稿日期: 2008 年 10 月 27 日; 修定稿日期: 2008 年 12 月 16 日

The torrential rainfall and the lower TBB band have a good relationship, and the southwest monsoon is very strong. The transported water vapor from the South China Sea to the north-east along the northwest side of the subtropical high and Guangxi Province, and the constant flow of fresh air from westerly trough, meet in Huaihe River valley, which plays an important part in the generation, development and maintenance of the strong convective cloud cluster in Huaihe River valley. The lower TBB band along the Huaihe River valley is less dynamically stable with a small north-south swing, and the process appear to be in a cycles of development-enhancement-weakening-regeneration, which causes in a torrential rain over Huaihe River valley.

**Key Words:** summer monsoon continuously torrential rain TBB

## 引 言

淮河流域位居长江流域和黄河流域之间地带,地属副热带季风区,季节变化显著,暴雨是其夏季较为多发的灾害性天气。近年来国内外专家的研究发现<sup>[1-3]</sup>,降水与云顶温度有很好的相关性,TBB 温度越低,表明云顶越高,对流越旺盛;云与降水的关系比天气尺度环流形势或系统与降水的关系更密切,可以根据相当黑体亮度温度(Black Body Temperature,缩写为 TBB)的演变推断天气系统强度、活动。姚秀萍等<sup>[4]</sup>通过 TBB 资料对西太平洋副热带高压特征的分析,指出西太平洋副热带高压的 TBB 场分布和演变与特大暴雨区有着较好的配合。他们指出,TBB 特征与对流的发展、雨带的分布和降水多寡有密切关系,然而不同天气形势所对应的 TBB 有一定差异。目前针对省级范围夏季强降雨过程 TBB 与切变线的研究还很不足,为提高省级预报与服务质量,充实过硬的业务技术手段,本文关注 2007 年发生在淮河全流域的一场 53 年以来的特强降雨带来的灾害事件,将 TBB 资料的分析和应用作为研究重点,而对强降雨发生的机理研究不作全面分析。着重分析 2007 年 6 月 30 日至 7 月 10 日安徽省淮河流域连续性大暴雨过程,中低层切变

线影响系统下强降水与云顶温度 TBB 的关系,旨在考证连续性大暴雨过程中云系统的强度和活动与强降水之间相互存在的密切关系,以增进对淮河流域致洪暴雨形成机制的进一步了解,增强自身的预报能力。

## 1 资料和方法

本文主要使用 2007 年 6 月 30 日 08 时至 2007 年 7 月 10 日 08 时,水平分辨率为  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$  经纬度 FY-2C 卫星云图逐小时相当黑体亮度温度 TBB 资料和该时段安徽省 1121 个乡镇自动观测站的逐小时的降水资料,及相应时期 NCEP 500hPa 高度场、6 小时时间间隔  $1^\circ \times 1^\circ$  850hPa 风场和比湿资料,进行各种统计比较分析。高时空分辨率的 TBB 资料直观、全面地提供了云系统的分布和对流活动的信息,较大地弥补了常规气象观测资料时空尺度的不足。

## 2 过程概述

2007 年 6 月 30 日至 7 月 10 日,安徽省淮河流域( $30.9 \sim 35^\circ\text{N}$ 、 $115.0 \sim 119.5^\circ\text{E}$ )出现持续性强降雨,每日暴雨、大暴雨,降水集中程度和降水强度均远大于 2003 年,并且集中在淮河干流,导致淮河流域发生仅次于

1954 年的大洪水,致使淮河洪水泛滥,并大范围行洪和蓄洪,造成巨大的经济损失。图 1 是致洪暴雨过程总雨量,由图可见:淮河流域累计过程雨量超过 200mm,干流上均超过 400mm,≥250mm 的有 381 个乡镇,雨量最大乡镇临泉县的迎仙 794.7mm,其中 7 月 7 日 20 时至 8 日 20 时,迎仙站日雨量达到 518.1mm,打破了 2005 年 9 月 2 日台风泰利在岳西造成的 493.1mm 安徽省日最大降水纪录。

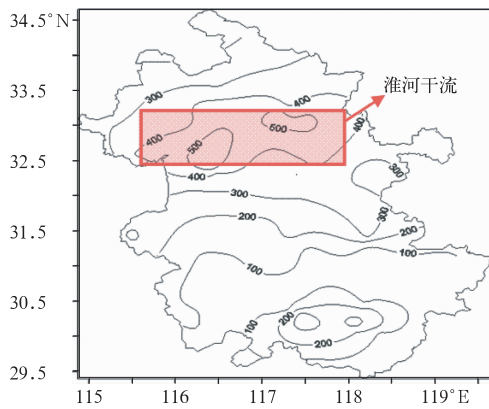


图 1 2007 年 6 月 30 日 08 时至 7 月 10 日 08 时安徽省总雨量(单位:mm)

### 3 TBB 场特征

#### 3.1 TBB 平均场分析

为了获取淮河流域致洪暴雨期间云系的分布和水汽输送<sup>[5]</sup>等信息,将 TBB 资料进行平均处理,计算出 1000~850hPa 平均水汽输送,得到致洪暴雨时段 TBB 平均场与水汽输送平均矢量分布图(图 2),由图可见,淮河流域致洪暴雨云带受到来自西风带云系的影响,也受到西南季风云系的影响。在 30~33°N 附近 TBB 的 -10℃ 等值线所包围区域成东西带状,在河南西部分成东西两部分,淮河流域大水,出现在东部 TBB 为 -20℃、最大达 -30℃ 范围内。36°N 以北,我国东北、

华北地区,有零散 TBB<-10℃ 云区。TBB>0℃ 区域呈东西带状,西北部边缘达四川盆地到湖南。10℃ 的带状区域与 5880gpm 等高线所围范围基本一致,脊线位于 22°N 附近,超过历年平均位置 20°N<sup>[4]</sup>,明显偏强。还可看到,南海经马来西亚到孟加拉湾东部表现为 -20℃ 以上宽广云带,孟加拉湾东部维持 TBB≤-40℃ 的大范围强对流云区,淮河流域云带与 -20℃ 云区从越南、老挝经云贵高原减弱为 -10℃ 位与湖南云带相连。水汽输送矢量平均分布表明,源源不断的来自南海经广西沿着副高西北侧向东北方向伸展的水汽输送,与西风槽不断带来的新鲜冷空气在淮河流域相汇,同时河南与湖北交接处气旋性环流的存在,对淮河流域致洪暴雨云系的生成、发展和维持起了主导作用。

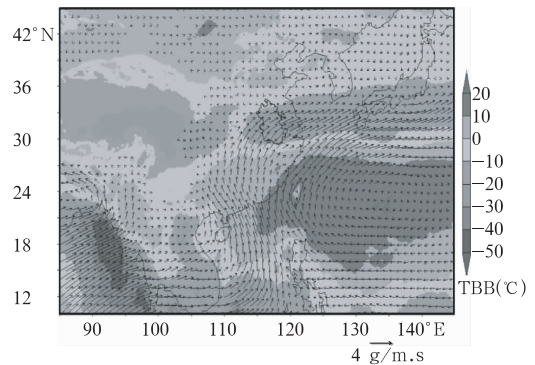


图 2 强降水期间 TBB 平均场和水汽输送矢量平均分布图

#### 3.2 连续性大暴雨过程强降雨团与 TBB 关系

将  $\geq 10\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$  作为强降雨团的一个样本,统计致洪暴雨 10 天期间、1121 个自动雨量观测站,合计 295944 样本,强降雨团出现有 5078 站次,其中  $10 \sim 20\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$  有 3353 站次、 $20 \sim 30\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$  有 1122 站次、 $30 \sim 40\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$  有 392 站次、 $40 \sim 50\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$  有 136 站次、 $> 50\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$  有 75 站次。再将 TBB 的格点资料按照全省 1121 个自动观测站的经纬度,以距离最近原则进行插值,插值

结果作为该站点所在位置的 TBB 值,得到不同强度雨团降水时对应云顶温度。如表 1 所示:不同强度雨团降水时 TBB 集中在 $-70\sim-50^{\circ}\text{C}$ 之间,其中 $10\sim 20\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ , $20\sim 30\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ , $30\sim 40\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 雨团在 $-60\sim$

$-50^{\circ}\text{C}$ 出现概率最大,且降水量越大占比例越大; $TBB> -20^{\circ}\text{C}$ 不会出现 $>50\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 以上降水; $40\sim 50\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 和 $>50\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 最大概率 $27.2\%$ 和 $37.4\%$ 出现在 $-70\sim-60^{\circ}\text{C}$ 之间,说明对流越强对降水的贡献越大。

表 1 雨团与对应的 TBB 分布

TBB 温度/ $^{\circ}\text{C}$		$<-80$	$-80/-70$	$-70/-60$	$-60/-50$	$-50/-40$	$-40/-30$	$-30/-20$	$-20/-10$	$-10/0$	$>0$
$10\sim 20\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$	次数	33	233	631	744	492	415	336	309	156	4
	百分比	1.0%	6.6%	18.7%	22.0%	14.6%	12.3%	9.9%	9.1%	4.6%	1.2%
$20\sim 30\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$	次数	14	86	257	265	145	112	98	78	53	14
	百分比	1.2%	7.7%	22.9%	23.6%	12.9%	10.0%	8.7%	7.0%	4.7%	1.2%
$30\sim 40\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$	次数	1	34	88	101	55	30	39	23	15	6
	百分比	0.3%	12.7%	31.7%	33.4%	19.7%	9.7%	11.2%	6.2%	3.9%	1.5%
$40\sim 50\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$	次数	0	14	37	29	21	16	6	8	3	2
	百分比	0.0%	11.6%	27.2%	21.3%	15.4%	11.8%	4.4%	5.9%	2.2%	1.5%
$>50\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$	次数	0	12	28	18	11	2	4	0	0	0
	百分比	0.0%	16.0%	37.4%	24.0%	14.6%	2.6%	5.4%	0.0%	0.0%	0.0%

### 3.3 最强降水时段 TBB 特征分析

#### 3.3.1 最强降水时段 TBB 演变特征

定义:2007 年淮河流域致洪暴雨期间连续出现 $\geq 20\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 站数最多为最强降水时段,确定 7 月 8 日 03 时至 9 日 17 时为淮河流域最强降水时段。在分析范围内,沿迎仙站( $115.15^{\circ}\text{E}$ )作一经向剖面,取 TBB  $115.0\sim 119.5^{\circ}\text{E}$  纬向平均值,得到最强降水时段暴雨云带的纬度时间演变特征(图 4a),将其上  $TBB\leq -30^{\circ}\text{C}$  的等值线,与所对应淮河流域的逐时降水总雨量(图 4b)和逐时降水量 $\geq 20\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 站数(图 4c)进行对比分析,结果表明:降水强度时序峰值、 $\geq 20\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 站数时序峰值与  $TBB< -40^{\circ}\text{C}$  对应较好,  $TBB$  值减小的过程与雨强增强的过程比较一致,说明强降水与对流云团强烈发展程度有着密切的关系,暴雨过程与中尺度对流云团的生命期及其群发性有关;另外,持续强降水演变对应于  $TBB$  的存在和维持与较大梯度变化有关,  $TBB$  梯度变化减小,降水随之

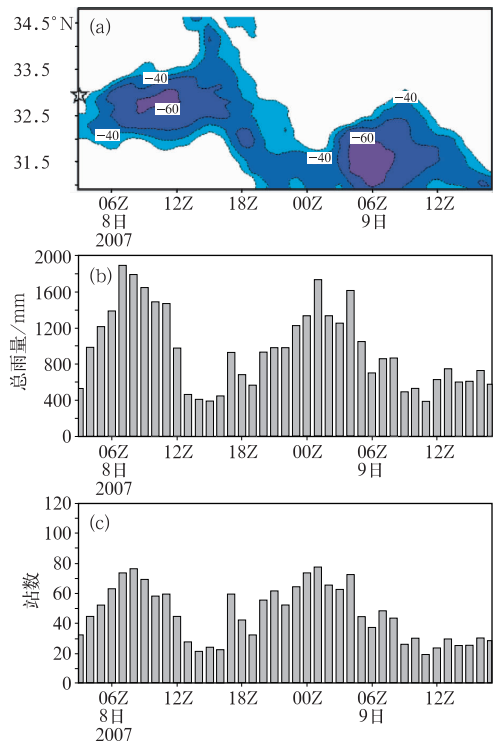


图 3 2007 年 7 月 8 日至 9 日 17 时迎仙站( $\star$ )TBB 纬度-时间演变图(a),淮河流域逐时总雨量(b)和淮河流域  $R\geq 20\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 站数(c)

减小,反之亦然;也发现 TBB 冷区出现滞后强降水的发生。由此可见,强降雨带在淮河流域一带稳定少动,南北摆动幅度小,循环往复地进行着发展—增强—减弱—再生成的过程,造成了 2007 年汛期淮河流域全线致洪暴雨发生。

### 3.3.2 最强降水时段雨团与 TBB 值关系

表 2 给出了最强降水时段雨团与对应 TBB 分布,从中可看出不同强度雨团出现在 TBB 为  $-60 \sim -50^\circ\text{C}$  之间概率最大;  $TBB <$

$-80^\circ\text{C}$  时,没有短时强降水发生;  $-20^\circ\text{C} > TBB < -70^\circ\text{C}$  时,出现  $>50\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$  可能性为零。比较表 1 与表 2,最强降水时段出现的雨团占强降水期间雨团 35.3%; TBB 为  $-60 \sim -50^\circ\text{C}$  时,最强降水时段不同强度雨团出现概率均大于强降水期间对应雨团出现概率;  $0^\circ\text{C} < TBB < -60^\circ\text{C}$  时,最强降水时段不同强度雨团出现概率均小于强降水期间对应雨团出现概率,在  $-80 \sim -70^\circ\text{C}$  处尤为明显。

表 2 最强降水时段雨团与对应的 TBB 分布

TBB 温度/ $^\circ\text{C}$		$<-80$	$-80/-70$	$-70/-60$	$-60/-50$	$-50/-40$	$-40/-30$	$-30/-20$	$-20/-10$	$-10/0$	$>0$
$10 \sim 20\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ :	次数	0	7	159	332	164	135	97	91	68	12
	百分比	0.0%	0.7%	14.9%	31.2%	15.4%	12.7%	9.1%	8.5%	6.4%	1.1%
$20 \sim 30\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ :	次数	0	2	81	149	67	43	35	40	32	4
	百分比	0.0%	0.4%	17.9%	32.9%	14.8%	9.5%	7.7%	8.8%	7.1%	0.9%
$30 \sim 40\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ :	次数	0	1	32	61	27	12	14	10	8	2
	百分比	0.0%	0.7%	22.4%	36.5%	16.2%	7.2%	8.4%	6.0%	4.8%	1.2%
$40 \sim 50\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ :	次数	0	1	14	24	10	13	2	6	2	1
	百分比	0.0%	1.7%	20.9%	32.9%	13.7%	17.8%	2.7%	8.2%	2.7%	1.4%
$>50\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ :	次数	0	0	7	15	9	2	4	0	0	0
	百分比	0.0%	0.0%	18.9%	40.5%	24.3%	5.4%	10.8%	0.0%	0.0%	0.0%

## 4 破安徽省日最大降水纪录的迎仙站特大暴雨过程云图特征和 TBB 分析

### 4.1 迎仙站特大暴雨卫星云图特征

分析逐时卫星云图(略):7月8日04时迎仙附近激发生成两个中- $\gamma$ 尺度对流单体,05时起它们迅速向中- $\beta$ 尺度发展且与东部、南部云团合并形成 MCS,至12时影响迎仙云系处于最旺盛阶段,后部形状呈圆形,边界清晰,结构紧密。对应水汽图像,此刻云团虽已与前部云系连接但结构密实边界清晰,明亮程度远大于其前部其他云系,说明强对流的湿层至少已发展到 400hPa 以上,有助于深对流继续发展。13时起 MCS 强度开始减小,但随着河套低槽云系东移,槽前在迎仙西

北部有一对流云团发展东移,受其影响造成 14 时  $18.9\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$  短时强降水(图 4a),也由于它东移南压速度较快,主体偏南,14 时后迎仙只受到强云团东侧云砧影响。

### 4.2 迎仙站特大暴雨 TBB 分析

从图 4(a)可以看出,迎仙站强降水主要集中在 7 月 8 日 05—15 时,对应的 TBB 在  $-40 \sim -65^\circ\text{C}$  之间。降水发生前, TBB 均在  $-10^\circ\text{C}$  以上,05 时当云顶温度从  $-5^\circ\text{C}$  骤降到  $-40^\circ\text{C}$ ,1 小时降水量达 20.7mm,07 时 TBB 从  $-54^\circ\text{C}$  上升到  $-39^\circ\text{C}$ ,降水从 67.2mm 减小到 19.2mm,最强雨强  $88.7\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$  出现在  $-58^\circ\text{C}$ ,14 时以后尽管云顶温度达到迎仙本次特大暴雨过程最低值  $-65^\circ\text{C}$ ,降水反而很小,在  $-61^\circ\text{C}$  时没有出现降水。

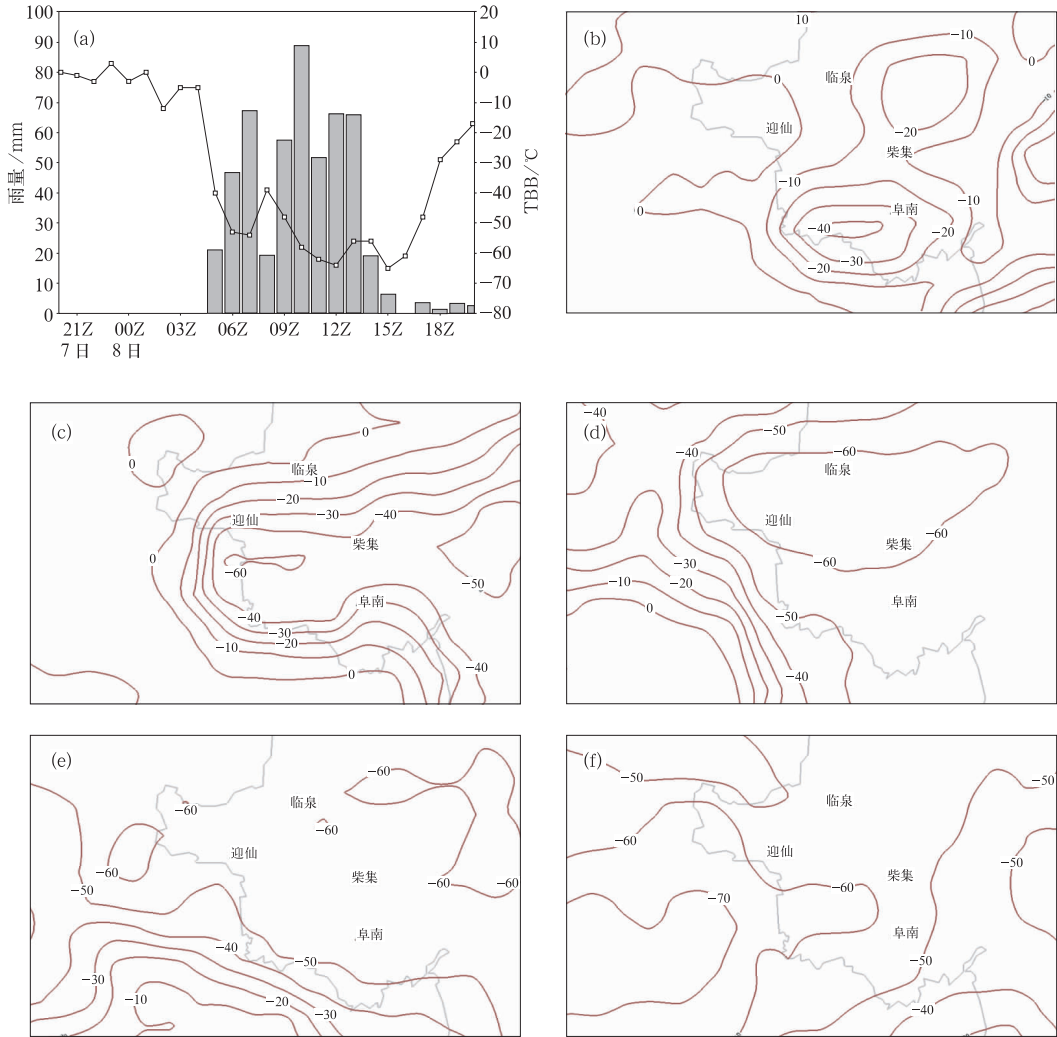


图 4 迎仙 2007 年 7 月 7 日 20 时至 8 日 20 时逐时 TBB 与雨量图(a)和 08 日 04 时(b)、05(c)、12(d)、13(e)、14(f)时 TBB 分布(等值线 10°C 间隔)

为了更细致地分析暴雨过程各系统之间的关系及其演变,进一步分析逐时 TBB 场的特征。由图 4 可见:04 时(图 4b)在阜南到临泉东有对流云团发展,中心分为两块,其中  $-48^{\circ}\text{C}$  最强中心向西北移,影响迎仙,另一块向东南移并与往西北移的云团合并;05 时  $-50\sim-65^{\circ}\text{C}$  低值区呈东西狭长带状(图 4c)位于淮河流域干流附近,由于与 700hPa 和 850hPa 几乎重合的切变线相吻合,05—11 时迎仙始终处于狭长带状低值区西北端,

TBB 梯度大值区,最大云顶温度梯度达  $2\sim 3.5^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 。12 时(图 4d) TBB 梯度减小,13 时(图 4e) TBB 强度迅速减弱,但迎仙西部有对流云团发展,受其影响造成  $18.9\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$  短时强降水,也由于它快速东移南压,主体偏南,迎仙 14 时后处于继续向东南侧移动的强云团前部云砧影响,造成温度低(图 4f),无明显降水现象。

以上分析表明:造成迎仙日降水量 518.1mm 破安徽省历史日降水纪录的特大暴

雨,主要是迎仙站长达8小时一直处在云顶温度 $-50^{\circ}\text{C}$ 以下,东西向狭窄 TBB 低值带梯度大值区,云顶温度梯度最大达 $2\sim 3.5^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 处,受一个 MCS 从生成—发展—成熟整个过程中的强盛阶段影响,其次是受西风带东移低槽前强对流云团边缘影响所致。

## 5 小结

本文通过对安徽省2007年6月30日至7月10日淮河流域连续性大暴雨 TBB 场演变特征以及相关分析,可以得到以下结论:

(1) TBB 平均 $-20^{\circ}\text{C}$ 低值区与淮河流域连续性大暴雨区相对应;TBB 低值区与淮河流域强暴雨落区有明显的对应关系,TBB 值减小的过程与雨强增强的过程比较一致,TBB 梯度大值区在某处长时间维持将产生长时间强降水。

(2) 最强降水时段,切变线影响下出现的不同强度雨团所对应 TBB 在 $-60\sim -50^{\circ}\text{C}$ 之间出现概率最大, $TBB < -80^{\circ}\text{C}$ ,没有短时强降水发生; $-20^{\circ}\text{C} > TBB > -70^{\circ}\text{C}$ ,出现 $>50\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 可能性为零。

(3) TBB 低值区在淮河流域一带稳定少动,南北摆动幅度小,循环往复地进行着发展—增强—减弱—再生成的过程,造成了淮河流域全线致洪暴雨发生。

(4) 造成破安徽省历史日降水纪录的迎仙特大暴雨,主要是迎仙站长达8小时持续处在云顶温度 $-50^{\circ}\text{C}$ 以下、东西向狭窄 TBB 低值带梯度大值区,云顶温度梯度最大达 $2\sim 3.5^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 处,受一个 MCS 从生成—发展—成熟整个过程中的强盛阶段影响。

## 参考文献

- [1] 陆尔,丁一汇. 1991年江淮特大暴雨的降水性质与对流活动[J]. 气象学报, 1997, 55(3):318-332.
- [2] 杨金锡,冯志娟. 1995年7月25—31日东北地区致洪暴雨 TBB 场特征[J]. 气象, 1996, 22(8): 29-32.
- [3] 江吉喜,范梅珠. GMS TBB 揭示的 1998 年长江大水的异常天气原因[J]. 南京气象学院学报, 1999, 23(3):331-337.
- [4] 姚秀萍,刘还珠,赵声蓉. 利用 TBB 资料对西太平洋副热带高压特征的分析 and 描述[J]. 高原气象, 2005, 24(2):143.
- [5] 陈晓红,余金龙,邱学兴,等. 2005 年 7 月 4—11 日淮河流域强降水过程的水汽收支分析[J]. 气象, 2007, 33(4):47-52.