

2003年秋季华北地区一次 区域性大暴雨分析

柴东红¹ 宋晓辉² 傅曷珊¹ 张海霞²

(1. 河北省石家庄市气象台,050081; 2. 河北省邯郸市气象台)

提 要

通过对2003年10月10~12日发生在华北地区的一场罕见大范围暴雨、区域性大暴雨天气的分析发现,生成于孟加拉湾的季风云团及其向东北方向扩展的西南季风云系与高空急流云系的结合为区域性大暴雨的形成打下了基础;高、低空急流的耦合及中、低空系统的上下叠加为大暴雨的形成创造了良好的动力场;多支低空急流的形成为大暴雨提供了有利的水汽条件。

关键词: 区域性大暴雨 急流 西南季风云系 季风云团

引 言

2003年10月10~12日,华北地区出现了大范围暴雨、区域性大暴雨天气,许多站24h雨量达100mm以上,为历史同期(10月)几十年以来的极值,更有一些站破了历史同期日最大、月最大降水量的纪录。其中48h(北京时间10日08时~12日08时)最大雨量为252mm,出现在山东的宁津县。雨量分布如图1所示。

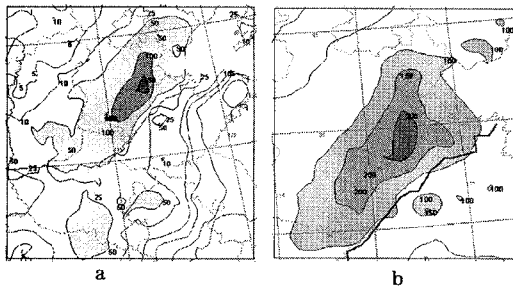


图1 雨量分布图

a. 2003年10月11日08时24h雨量(中心为 ≥ 150 mm的大暴雨);

b. 2003年10月12日08时48h雨量(粗实线为黄河,它与地面切变线位置相吻合,中心为 ≥ 200 mm的雨区)

金秋十月出现强度如此之大、范围如此之广的暴雨、大暴雨天气实属历史罕见,可以

说是一次异常降水。其中必有特殊的原因,很有必要对这次过程进行仔细认真的分析研究。

1 环流形势特征及其系统的配置

暴雨期间,200hPa图上,位于 $34 \sim 41^\circ\text{N}$ 有一条呈东西走向的高空急流不断向东伸展。暴雨区始终位于急流轴的右侧。

10日08~20时,500hPa高空图上,为稳定的一槽一脊形势。贝加尔湖—巴尔喀什湖为低压槽,我国东部处于宽广的槽前,且槽前西南气流逐渐加强。700hPa高空图上,位于四川北部的低槽加深东移,槽前西南急流逐渐增强到 $14\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上,暖平流强盛,华北东南部、山东中西部均处急流下游。河北的衡水至渤海湾形成一条东北—西南向的小切变。850hPa图上,从6日20时开始至8日,孟加拉湾西部($10 \sim 20^\circ\text{N}$, $80 \sim 90^\circ\text{E}$)形成并维持一个低压,此低压9日开始向东北方向移动,10日08时中心移至孟加拉国与西藏南部(27°N , 92°E),并配合有弱冷槽。10日20时低压向东延伸,在重庆形成一低涡,并配合有人字形切变,低涡前部逐渐形成14

$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上的SSW风急流;沿黄河中下游至渤海湾形成一条东北—西南向切变线,在黄河切变线右侧形成一支南南东方向的低空急流。地面图上,10日08时,蒙古至西西伯利亚平原东部为一高压。我国东部 37°N 以南为宽广的倒槽。10日14时高压东移南扩,对华北形成回流,倒槽加强东北抬,冷暖空气在渤海湾至黄河下游一带交绥,形成一条东北—西南走向的地面切变线,切变线两侧辐合明显,以后继续维持。到10日20时,暴雨区附近自地面至高空各系统已形成明显的叠加态势:地面切变线与边界层切变线、低空切变线及500hPa槽前西南气流上下叠加。这种配置建立了很好的动力场,使暖空气沿冷气垫向上爬升产生的垂直运动大大加强。而从200hPa全风速场看(图略),此时在北京上空附近形成一个中心最大风速为 $56\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的急流核,急流轴呈西北—东南向。暴雨出现在高空急流右侧、低空急流左前方,这正是高、低空急流耦合形成最有利于暴雨发生的动力场的区域。11日08时,700hPa衡水至渤海湾切变线及200hPa北京上空附近的急流核均消失,低槽及急流略东移。850hPa低涡中心移至重庆南部,右侧暖切变与黄河切变线打通,急流略东移。由此可见,系统的配置已相对减弱。随着系统的缓慢减弱东移,暴雨区逐渐减弱东移。

此外,9日08时~11日20时位于海上 27°N 、 131°E 有一热带低压,经历了由发展到维持直至减弱的阶段,日本海高脊也不断加强,形成东阻形势,使系统东移缓慢;暴雨初期,暖空气势力较强,随着低层冷空气的加速南下,冷暖空气形成对峙,10日14时~11日14时冷暖空气的势均力敌使地面切变线基本呈准静止状态(这也是暴雨出现较集中的时段)。这些均延长了降水的持续时间,为暴雨和大暴雨的产生赢得了时间。

2 云图特征分析

(1)本次暴雨的云图特点是以较稳定的层状云为主,结合地面资料看,云的结构为以雨层云为主的多层稳定性云,降水为稳定的连续性降水。

(2)季风云团:在热带地区卫星云图上经常出现的达4个纬距以上的白色云区称为云团。而发生在热带印度洋和东南亚地区的云团因为与季风的关系密切,称为季风云团。冬季位于 $5\sim 10^{\circ}\text{N}$ 之间。6月中旬开始,随着季风的推进,爆发性地向北发展。到8月份,可推进到 $20\sim 30^{\circ}\text{N}$ ^[1]。

6~8日,对应孟加拉湾低压,在孟加拉湾—印度东部形成并维持2~3个季风云团。它们时而合并,时而分离,强弱不断变化。

9日08时,在 $17\sim 30^{\circ}\text{N}$ 、 $77\sim 93^{\circ}\text{E}$,季风云团为3个(图2a)。9日14时,东南部的一个云团减弱消失,北部的云团保持了6h(10~16时)的逗点状云形(图2b)。16时季风云团的主体移至孟加拉国—我国西藏南部边界($21\sim 30^{\circ}\text{N}$ 、 $84\sim 93^{\circ}\text{E}$),以后云团缓慢东移,其外围不断向东北方向扩展形成西南季风云系(图3a)。

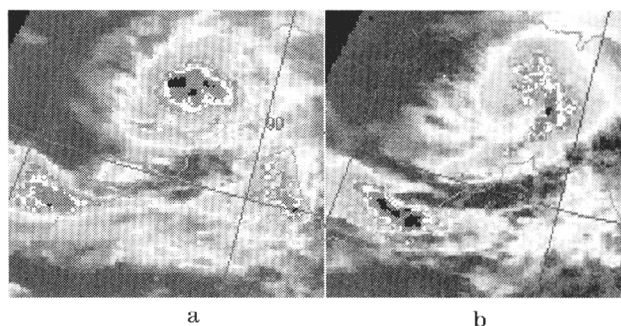


图2 2003年10月9日08时(a)、9月14时(b) GOES-9红外云图

(3)西南季风云系在向东北扩展的过程中不断减弱,由对流云逐渐演变为稳定的层状云,与东移的高空急流云系结合后加强(图3a),分四股势力(以西南季风云系的势力为主)影响我国东部长江以北地区:9日20时~10日08时,第一股影响陕西中部、山西南部10日08时12h内出现区域性中到大雨。

以后逐渐东移,使华北大部分地区上午(08~14时)下了小雨或中雨,局部还下了大雨。10日11时左右,第二股云系在华北南部和湖北加强并逐渐控制这一区域,势力较第一股强(图3b),云顶温度最低达 -43°C ,以后东移影响山东、湖北并逐渐减弱。10日20时前河北东南部和山东东北部边界一些站出了暴雨。第三股,10日18时云系自山西中部开始略加强向东北方向移动,逐渐控制河北并快速加强,11日03时左右达到最强(图3c),云顶温度达 -52°C 左右,较强云带10日23时~11日06时在地面切变线左侧的河北

中部与山东东部徘徊,云带走向与低层切变线、暴雨区一致,较强云带与垂直速度大值区对应,但较夜间暴雨中心偏北,这与水汽通量辐合大值区和能量大值区偏南有关。由此可见,暴雨中心出现在较强垂直运动与较大水汽通量辐合的交汇处。11日08时后较强云区有所减弱且分成两股,一股影响东北,因水汽、动力条件不足,降水不大,较弱的另一股影响山东出现大范围暴雨。第四股,11日01时开始发展并逐渐影响安徽、江苏(雨量较小),11时以后入海。

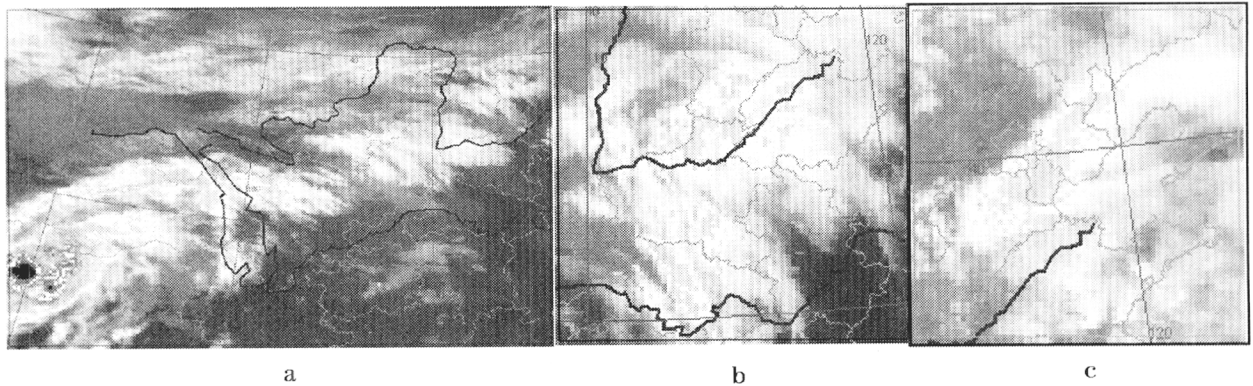


图3 2003年10月10日00时(a)、10日15时(b)、11日03时(c)GOES-9红外云图

3 水汽条件分析

从各层 $T - T_d$ 场看,9日08时~10日20时暴雨区内的水汽逐渐接近饱和。这说明低层不断南下的冷空气形成的冷气垫,使南来的强暖湿空气沿冷气垫向上爬升,且达到很高的高度,使暴雨区形成深厚的湿层。这一点也可从相对湿度垂直剖面图(略)上看出:饱和层自地面向上高度达400hPa,为形成暴雨提供了有利的湿度条件。

10日08时仅700hPa有一支水汽来自孟加拉湾的西南急流,位置偏西。10日20时,700hPa急流东移加强,925hPa形成东南急流和偏南急流,水汽来自黄海、东海和南海;850hPa形成来自孟加拉湾的西南急流,来自南海的偏南急流和来自东海的南南东急流;11日08时,925hPa急流维持,850hPa的南南东急流消失;700hPa仍为西南急流。从

各层水汽通量场(图略)看,各层的急流与各层水汽通量大值轴对应较好。

9日20时~11日08时,700~500hPa水汽通量大值轴与季风云系对应较好,约呈西南—东北向,并且随着季风云系的东北上,轴线逐渐逼近、指向暴雨区;850hPa除了与季风云系对应的主轴外,10日08~20时,逐渐形成西太平洋(对应海上低压)—东海—华北南部的大值轴,10日20时还出现了由南海通向主轴的分支(图4)。11日08时,东海大值轴和南海的分支消逝。925hPa,9日20时~10日08时分别有两支由孟加拉湾—南海和西太平洋—东海—甘肃的水汽通量大值轴。10日20时两只轴有所东移,孟加拉湾—南海的大值轴转为西南—东北向,它与另一支轴相交于华北东南部,同时出现了通向南海的分支,南海则有一个中心达 $28\text{g}\cdot(\text{s}\cdot$

$\text{hPa}\cdot\text{cm})^{-1}$ 大值中心。11日08时的情况与850hPa类似。

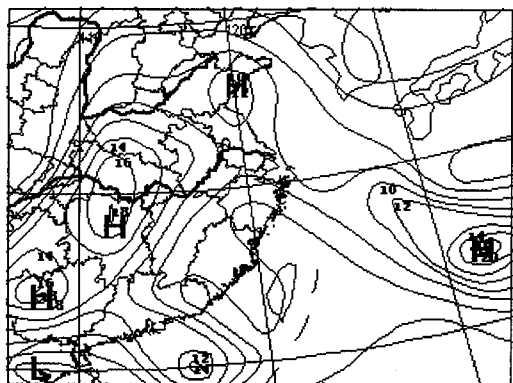


图4 2003年10月10日20时850hPa的水汽通量场
单位： $\text{g}\cdot(\text{s}\cdot\text{hPa}\cdot\text{cm})^{-1}$

水汽通量散度表示了水汽汇集的程度。来自各个方向的水汽能否在某地高度汇集是产生暴雨的必要条件。对应孟加拉湾低压,9日08时925hPa在孟加拉国有一 $-30\text{cm}^{-2}\cdot\text{g}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 的水汽辐合中心,以后中心逐渐向东北方向移动,11日08时移至华北南部。850hPa情况类似。

从11日08时切变线、暴雨区及水汽通量散度分布的叠加图中(图5a)可以看出,较强水汽辐合区的走向与切变线及暴雨区较吻合,但位置偏在大暴雨中心的南侧。同时由水汽通量散度的垂直剖面图(图5b)还可以看到,辐合层主要位于500hPa以下,并且850hPa左右水汽辐合最强,这说明水汽主要来自中、低层。

4 垂直运动分析

7日08时~10日08时,对应季风云团,925~200hPa均有一个垂直速度大值中心,它随着季风云团的变化(移动、减弱、消失)而变化。

从10日20时(图6)、11日08时(图略)时垂直速度沿 116°E 和 35°N 的空间剖面图看,暴雨区整个对流层从上到下均为上升气流,且上升气流的水平范围很大($28\sim 42^\circ\text{N}$ 、 100

$\sim 125^\circ\text{E}$)。10日20时,长江、黄河流域及内蒙古、辽宁等地从925~150hPa为上升区,700~250hPa在河北、河南、湖北、山西、陕西、山东、安徽境内均有上升中心,在500hPa和700hPa上升速度最大,中心值达 $-48\times 10^{-3}\text{hPa}\cdot\text{s}^{-1}$,在北京附近。11日08时,中心($-48\times 10^{-3}\text{hPa}\cdot\text{s}^{-1}$)略有东移,出现在700~400hPa层,位于冀、鲁、豫三省交界处;11日20时垂直上升速度减弱,中心最大值

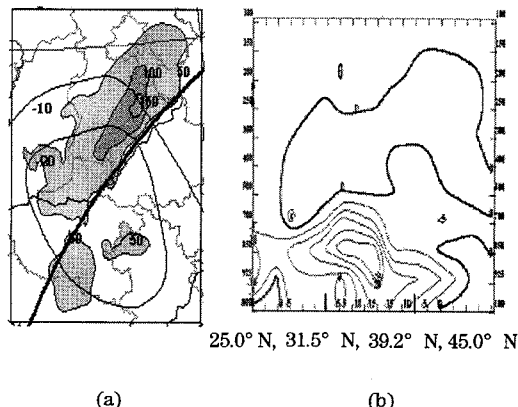


图5 2003年10月11日08时850hPa水汽通量散度(单位： $10^0\text{g}(\text{s}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{hPa})^{-1}$)与切变线、24h雨量叠加图(a),10日20时水汽通量散度沿 115.1°E 、 $25\sim 45^\circ\text{N}$ 的垂直剖面图(b)

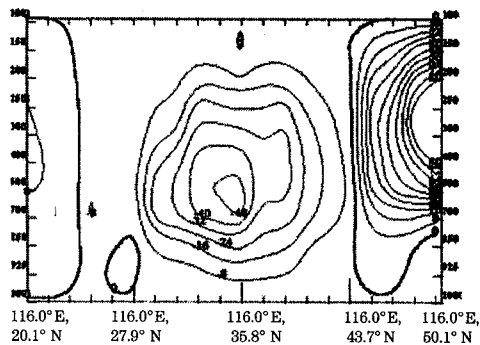


图6 2003年10月10日20时沿 116°E 上 $20\sim 50^\circ\text{N}$ 垂直速度空间剖面图(单位： $10^{-3}\text{hPa}\cdot\text{s}^{-1}$)

降至 $-20\times 10^{-3}\text{hPa}\cdot\text{s}^{-1}$,降水区出现在上升速度 $\leq -20\times 10^{-3}\text{hPa}\cdot\text{s}^{-1}$ 范围内。可见,暴雨区的上升速度是比较强的。

5 小结

(1)暴雨、大暴雨出现在高空急流轴右侧、低空急流相交点(左前方),位于地面、边界层、850hPa切变线左侧。大暴雨中心出现在700hPa河北衡水至渤海小横切变处。由于夜间700hPa小横切变和北京上空急流核的存在以及夜间急流的加强,10日夜间的降水量较大。

(2)由于季风云团形成于热带海洋上,它储存了大量的水汽和能量,因此它向东北扩展的西南季风云系为暴雨区带来了大量的水汽和能量,为区域性大暴雨的形成打下了良好的基础;高、低空急流的耦合及中、低空系统的上下叠加为大暴雨的形成创造了良好的动力场;多支低空急流的形成为大暴雨提供了有利的水汽条件。

(3)从历史资料看,生成于孟加拉湾的季风云团及其外围云系对周边地区及我国南部暴雨影响较多,而对华北地区的暴雨影响极

少。它10月份处在20~30°N的位置是否异常?这一点有待于进一步探讨。

(4)在今后的天气预报分析中,应注意分析特殊系统的表现,以利于异常天气的预报。

参考文献

- 1 朱乾根,林锦瑞,寿绍文等.天气学原理与方法.北京:气象出版社,2000:505.
- 2 陈渭民.卫星气象学.北京:气象出版社,2003年第一版.
- 3 国家气象局卫星气象中心.气象卫星图集,北京:气象出版社,1991年3月第一版.
- 4 寿绍文,励申申,姚秀平等.中尺度气象学,北京:气象出版社,2003年8月第一版.
- 5 何华,许美玲,孙绩华.孟加拉湾低压造成云南强降水的中尺度分析.气象,2000,26(2):25~28.
- 6 郑建萌,段旭.2001年云南雨季开始偏早与孟加拉湾风暴发生的关系.气象,2005,31(2):59~63.
- 7 卢世柱.一次罕见的锋面大暴雨过程的大尺度分析.广西气象,1994年,15(4):214~216.

Cause Analysis of a Heavy Rainfall Event in North China in Autumn 2003

Chai Donghong¹ Song Xiaohui² Fu Bingshan¹ Zhang Haixia²

(1. Shijiazhuang Meteorology Office, 050081; 2. Handan Meteorology Office)

Abstract

Based on the synoptic theory, a heavy rain event in East China during 10—12, Oct. 2003 is studied. Results show that the monsoon cloud system generated in the Bay of Bengal and the spreading northeastward monsoon cluster and the upper-level jet cloud are the main synoptic systems. The interaction of low-level jet and upper-level jet attributes the good dynamic condition. After the analysis of the cloud images data and numerical products, it is found that the heavy precipitation is located in the area with characters both low-level strong convergence and strong vapor supplement.

Key Words: heavy rain jet superposition southwestern monsoon monsoon cluster