

2005 年 8 月 16 日天津大暴雨成因分析

李 云^{1,2} 缪启龙¹ 江吉喜²

(1. 南京信息工程大学, 210044; 2. 国家卫星气象中心)

提 要: 运用 FY-2C 卫星资料和由 NCEP/NCAR 再分析资料计算的多种物理量场, 初步分析了 2005 年 8 月 16 日天津大暴雨的成因: 此次大暴雨发生在低槽冷锋前部, 对流层中层低槽和副热带高压的维持、对流层低层切变线的出现、近地面层冷空气的扩散侵入、对流层中低层强盛的不稳定能量以及充沛而又深厚的水汽等天气条件的有效合理配置, 造就了这次历史罕见的大暴雨。降水显著的中尺度特性与中尺度云团相对应。同时, 对比分析了 15 日发生在河北东北部、京津地区的另一个降水较弱、对流天气强的对流云团, 结果显示它们形成发展中存在差异, 为今后两类天气的预报提供了一些线索。

关键词: 暴雨 红外辐射亮温(TBB) 云区湿度 物理量场

Analysis of “2005. 8. 16” Heavy Rain in Tianjin

Li Yun^{1, 2} Miao Qilong¹ Jiang Jixi²

(1. Nanjing University of Information & Technology, Nanjing 210044;
2. National Satellite Meteorological Center)

Abstract: Based on FY-2C meteorological satellite data and several physics-fields calculated by NCEP/NCAR reanalysis data, the causation of the heavy rainfall event on August 16, 2005 in Tianjin is analyzed. This event occurred in a cold front with trough. And the infrequent rainfall was produced by the reasonable allocation of the trough and the subtropical high in the middle troposphere, the shear line in the low troposphere, the incursion of the cold air in the surface, the strong instability energy in the lower / middle troposphere and the sufficient water vapor. The mesoscale characteristics of the event are associated with the mesoscale convective cloud clusters. At the same time, another convective cloud clusters with weak precipitation but strong convection in the north-eastern Hebei Province, Beijing and Tianjin on the 15th are compared and analyzed. There are some differences between them in environmental conditions of their formation and development. It could provide some forecasting information for two kinds of weather in the future.

Key Words: heavy rain black body temperature (TBB) cloud humidity physics-fields

引 言

华北地处中纬地区,夏季暖湿空气北上,北方冷空气南下频繁,两者在这里交汇,常常出现云团强烈发展,引发强度大、历时短的降水天气,这种天气一旦发生往往造成严重灾害,所以对这一地区进行暴雨个例研究,总结预报规律是十分有意义的。针对华北地区暴雨,不少研究人员作了大量分析^[1-9],其中,孙建华等^[7]将发生在 1990 年代的华北大暴雨过程分为多个类型,指出低槽冷锋型是京津地区值得关注的暴雨类型,但此种类型出现罕见大暴雨的几率低,少有人研究。2005 年 8 月 16 日,天津经历的一场历史罕见大暴雨就属于这种类型。本文运用 FY-2C 卫星资料和 NCEP/NCAR 再分析资料对此次低槽冷锋型大暴雨过程进行分析,并对对比分析了 15 日发生在河北东北部、京津地区,与之类型相似但降水较弱的强对流天气过程,找出其间差异,为今后的预报提供一些参考。

1 降水概况

2005 年 8 月 16 日,天津地区的大暴雨过程降雨量普遍在 50mm 以上,其西南部雨量超过 100mm,有的地方达 200mm 以上,降雨量创 50 多年以来同期之最。16 日 08 时至 17 日 08 时(北京时,下同)的 24 小时雨量(图 1),静海 171mm,西青 161mm,市区 151mm,大港 112mm,市区自动雨量站有 2 个出现 200mm 以上降水。由于降水强度超过排水管道设施的设计能力,造成市区道路大面积积水,个别地方积水深达 40~170cm,致使 76 条公交线改道运营。

此次降水过程雨量分布极不均匀,以天津西南部地区最强,并且具有历时短、强度大的显著中尺度特征,降水主要集中出现在 08—16 时,其中 09—11 时的 2 个小时中,西青观测站降水量就达到了 80.5mm,市区

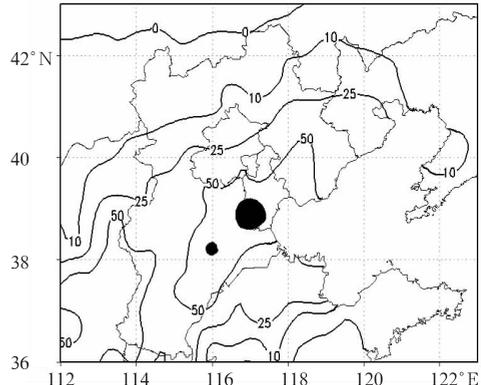


图 1 2005 年 8 月 16 日 08 时—17 日 08 时 24 小时降雨量(单位: mm) 阴影区降雨量大于 100mm

60.0mm,静海 61.0mm。

2 环境场特征与暴雨云团的形成和发展

8 月 15—16 日,500hPa 等压面上一宽广的低压槽自蒙古国中部缓慢东移南下,16 日 08 时移至我国内蒙古中东部至甘肃中部一线;副热带高压在山东至朝鲜半岛以及黄海西北部一带呈西南—东北走向。副热带高压西北侧与低压槽前之间的河北、京津地区为较强的西南气流汇合区,尤其是副热带高压西北侧来自较低纬度的暖湿气流十分活跃(图略),从而构成该地区出现暴雨的中层有利形势。低层流场和温度场更清晰地展示出了有利于暴雨的出现及其落区的环境场条件(图 2)。暴雨发生前,在 850hPa 的流场中,

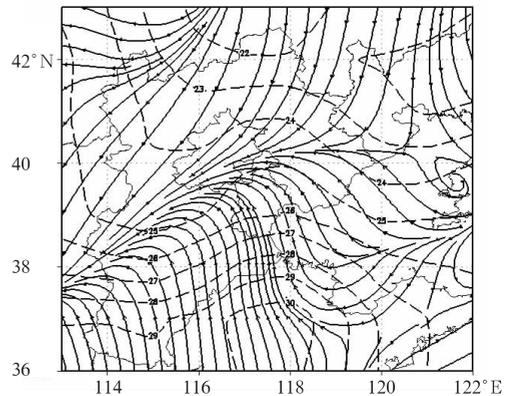


图 2 2005 年 8 月 16 日 08 时 850hPa 流场(实线)与 1000hPa 温度场(虚线)

京津地区附近出现一条西南—东北向的切变线,切变线暖区一侧的天津至河北中东部为一致的南风气流,对应在1000hPa的温度场中,有一暖舌自山东中部一带向北直抵京津地区东北部,而切变线北侧为一致的东北气流,地面有冷舌相伴随,并且地面冷空气越过了切变线抵达天津地区北部。此时,地面冷锋已经移至河北北部,随着地面冷空气的进一步南侵,在冷锋前部暖区内激发出了一系列强对流云团,造成了天津的大暴雨。分析表明,对流层中层低槽和副热带高压的维持、对流层低层切变线的出现以及地面冷锋南压等天气系统的有效合理配置,为天津大暴雨的发生提供了有力的背景条件。

从卫星图像上可以清楚地找到上述背景场。16日凌晨,红外云图上一条冷锋云系位于内蒙古中部至青藏高原东部,云系东南部大范围的晴空区对应着稳定的副热带高压,当冷锋云系东移靠近河北附近时,在云系前部副热带高压西北侧开始激发出一系列小的对流云团。16日07时,河北南部地区出现了一个云顶温度低于 -32°C 的对流云团A,在其东北侧还存在一个小云团B,此时在天

津西南部同样出现了一个云顶温度低于 -13°C 云团C(见图3)。09时云团A的TBB梯度明显增加,云团B快速发展成为云顶温度低于 -32°C 的拉长型对流云团^[10],天津上空的云团C也有所发展,其低于 -13°C 的冷云区面积扩大了2倍。1小时后,云团B逐渐接近天津,并强烈发展,出现了低于 -52°C 的冷云顶;此时云团C也快速发展成中 $-\beta$ 尺度云团,且在云团的迎风侧TBB存在很大的梯度。对应逐时的降雨量,该时次强TBB梯度地区降雨量达78mm。11时,云团B、C合并,并出现快速发展,12时A、B、C三云团进一步合并为云团D,云顶温度低于 -32°C 的对流云区覆盖了几几乎整个天津及周边地区,天津南部的云顶温度低于 -52°C ,有的地方甚至低于 -62°C 以下,出现了穿顶的强对流云区,TBB梯度也非常大。随着冷锋云系的东移,对流云团也东移南压,14时强对流云区已经基本离开天津。对应这一时期云团的合并和强烈发展。16日8—14时,静海、西青、天津市区6小时雨量分别高达116mm、110mm、78mm。随后,对流云团移入山东西北部,天津的降水快速减弱。值得

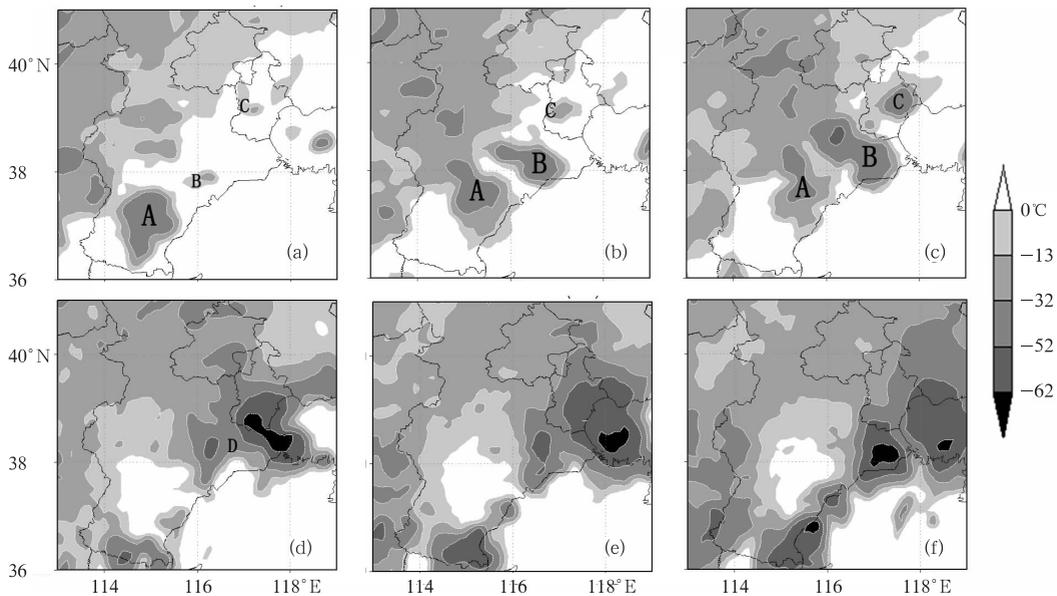


图3 FY-2C反演TBB显示图

(a)8月16日07时,(b)8月16日09时,(c)8月16日10时,(d)8月16日12时,(e)8月16日13时,(f)8月16日14时

注意的是,此次暴雨的云团的形成发展及合并,发生在冷锋云系前侧附近的暖区中。

3 暴雨形成的物理量场分析

上述云团形成发展、移动及合并后的强烈发展是发生在特定的天气尺度环境场中。为此,选用了一些物理量场进行分析。

3.1 动力条件分析

从高低层相对涡度分布可见,强降水发生前天津上空几乎整层为负涡度区,16日08时后,低层正涡度增强,14时在850hPa上河北东北部—天津—河北南部一线已转为西南—东北向强正涡度带,且一直延伸到400hPa,200hPa上该区域为负涡度带。从散度场的分析来看(图4),强降水发生前,08时在120°E以西的850hPa以下为强辐合,辐合中心在静海(39°N、117°E)附近,并且西侧辐合区向上抵达600hPa附近,随着高空槽的东移,此辐合区逐渐移至静海站上空;600hPa以上为较强的辐散区,直抵200hPa附近。另外,在FY-2C卫星探测的中高层云导风图中(图5),内蒙古中东部有一支急流,中心在内蒙古东部一带,低层在河北东北部存在一支南风急流(图略,图2中也可看出),天津位于高空急流入口右侧的辐散区和低空急流的左前方。这种深厚的中低层辐合、中高层辐散结构,以及高低层急流的耦合,十分有利于垂直上升运动的形成、发展,保证了低层水汽持

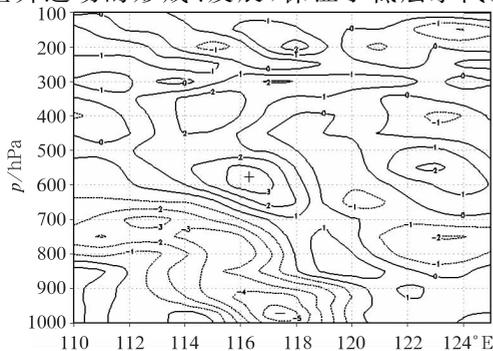
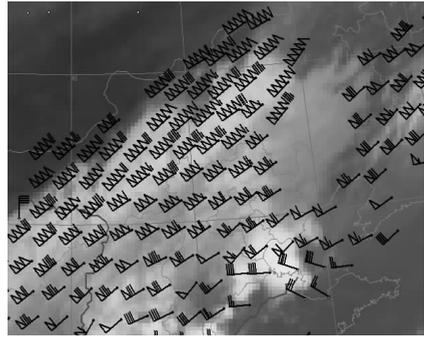


图4 2005年8月16日08时沿39°N纬向散度垂直剖面图(单位: 10^{-5} s^{-1})



5 2005年8月16日13时FY-2C中高层云导风图

续向上输送、凝结产生暴雨。

3.2 水汽条件及稳定度分析

由FY-2C卫星多通道信息和云信息反演出的云区各标准等压面上的相对湿度产品,可以很好地反映大气中的水汽分布状况。天津及附近地区整层都处于云区湿度高值区,尤其是在中低层,湿度均在70%以上。水汽通量和水汽通量散度场中,850hPa天津上空水汽通量大于 $7 \text{ g} \cdot (\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})^{-1}$,水汽通量散度小于 $-5 \times 10^{-8} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,这种强水汽辐合为天津大暴雨的出现提供了充足的水汽条件。08时850hPa θ_{se} 场中,天津以东、以南为一个西南—东北向的高能区,天津地区南部位于高能区中心的北部,这里的低层大气处于高温高湿状态,并且,天津上空 $\theta_{\text{se}500} - \theta_{\text{se}850}$ 值为 $-10 \sim -15^\circ\text{C}$,大气处在相当不稳定的状态,这一点由K指数和对流有效位能的分析中都可以得出。水汽条件和不稳定能量显示都非常有利于强降水发生。

4 与河北东北部强对流云团对比分析

天津大暴雨前一天即8月15日,在吉林西北部、辽宁北部、河北东北部直至山西的中东部冷锋云带中,嵌入有水平尺度大小不同的一连串对流云团,但它们伴随的降水强度不大,多为强对流天气。比如,15日20时处

于云团中心附近的河北遵化一带云顶 TBB 小于 -62°C , 其 6 小时降水量只有 34mm, 但出现了伴有冰雹的强雷暴天气。这与发生在天津的对流云团造成罕见大暴雨天气很不一样。根据云团产生的两类不同天气现象, 将对流云团分为雷暴云团和暴雨云团, 对比分析、区分两类云团有助于今后对此类天气做出比较准确的短时临近预报。

从云团的形成位置来看, 遵化附近的雷

暴云团出现在前一冷锋云系 A 尾部 and 后面紧随的冷锋云系 B 前部(图 6a), 而天津暴雨云团则出现在冷锋云系 B 前部暖低云之中(图 6b)。前者所处的特殊位置冷暖空气相互作用剧烈, 一连串云团被激发, 几乎是在短短的 2 小时内, 云团面积急剧膨胀, 并且 TBB 迅速降低, 但这一连串云团的生消都是独立的, 并未出现明显的合并过程; 而后者云团的发展则经历了多次合并过程。

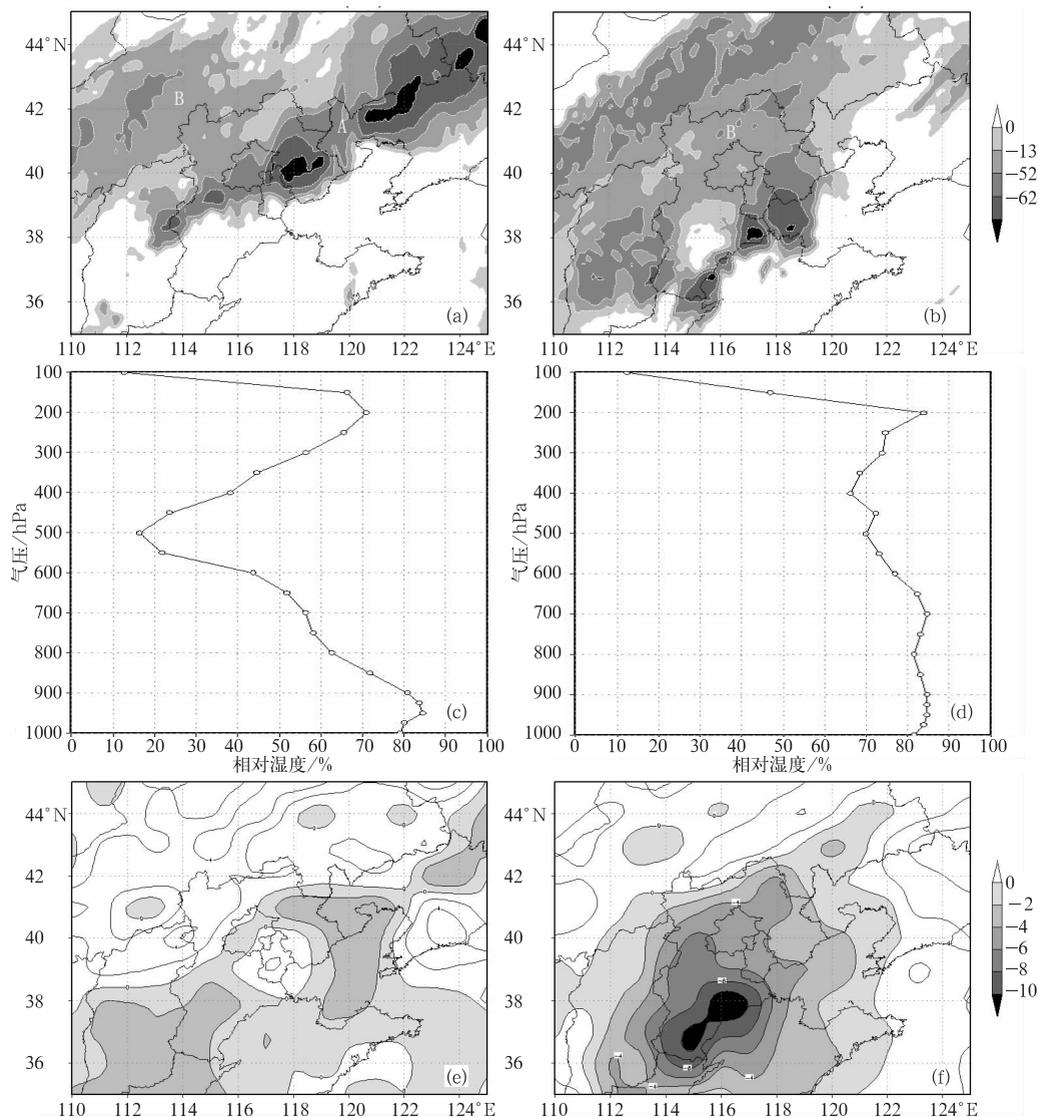


图 6 2 次降水过程 TBB(a,b)、相对湿度剖面(c,d) (单位: %) 与整层水汽通量散度(e,f) (单位: $10^{-8} \text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) 对比图
左列为 2005 年 8 月 15 日 20 时遵化站, 右列为 2005 年 8 月 16 日 14 时静海站

对物理量场的分析,可以看到两类对流云团之所以表现出不同天气的原因。在 $\theta_{se500} - \theta_{se850}$ 大气稳定度判识场中,遵化上空为小于 -25°C 的低值区,较天津静海更不稳定,同时,前者较后者有更强的风垂直切变,更有利于雷暴云团的强烈发展。另外,水汽条件的不同决定了降水强度的不同,静海站上空的湿层相当深厚(图 6d),从地面一直到 200hPa 相对湿度始终保持在 80%左右,并且整层水汽辐合(图 6f),这为大暴雨的形成提供了充沛的水汽条件。而雷暴云团中,遵化站的相对湿度垂直分布很不一样(图 6c),850hPa 以下在 80%左右,往上急剧减小,到 500hPa 层只为 20%,以后再逐渐增大,200hPa 上又达到 70%,这表明中层有干侵入,同时,遵化附近还处于整层水汽的辐散区中(图 6e),这些条件制约了强降水的发生。

5 小 结

(1) 2005 年 8 月 16 日天津大暴雨发生在低槽冷锋前部,对流层中层低槽和副热带高压的维持、对流层低层切变线的出现、近地面层冷空气的扩散侵入、对流层中低层强盛的不稳定能量以及充沛而又深厚的水汽辐合等天气条件的有效合理配置,造就了这次天津西南部历史罕见的大暴雨。

(2) 此次降水所表现出的雨量分布不均匀、历时短、强度大的显著中尺度特征,与冷锋云系前部层状云区中的中尺度云团相对应,云团的移动、合并发展可以很好地指示降水的落区及强度。

(3) 在卫星云图和产品上可以清楚地展现河北遵化、天津静海的两类云团演变过程,它们在常规资料及数值预报得到的物理量场

中也表现出了不同的特征。两类云团无论是在云型特征、所处云系中的位置,还是环境场中的动力和热力条件均有着较大差异。雷暴云团伴随的强对流天气,主要是由强烈的大气不稳定和较强的风垂直切变造成的;而暴雨云团伴随的强降水,与对流层深厚的暖湿结构和强烈的水汽辐合有关。这些特征可为预报两类云团所造成的不同强天气提供一些重要线索。尽可能综合利用这些资料,使短时临近预报更加准确。

参考文献

- [1] 陶诗言. 中国之暴雨[M]. 北京: 科学出版社, 1980: 1-225.
- [2] 《华北暴雨》编写组. 华北暴雨[M]. 北京: 气象出版社, 1992: 1-182.
- [3] 郑祚芳, 范水勇. 北京城区“7. 11”灾害性强降水分析[J]. 灾害学, 2005, 20(2): 66-70.
- [4] 江吉喜, 项续康. “96. 8”河北特大暴雨成因的中尺度分析[J]. 应用气象学报, 1998, 9(3): 304-313.
- [5] 李志楠, 李廷福. 北京地区一次强对流大暴雨的环境条件及动力触发机制分析[J]. 应用气象学报, 2000, 11(3): 304-311.
- [6] 王沛霖, 许丽章, 孙力. 北京地区夏季暴雨形成的环境特征[J]. 中山大学学报(自然科学版), 1996, 35(4): 107-110.
- [7] 孙建华, 张小玲, 卫捷, 等. 20 世纪 90 年代华北大暴雨过程特征的分析研究[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(3): 492-506.
- [8] 章国材, 李晓莉, 乔林. 夏季 500hPa 副热带高压区域一次暴雨过程环流条件的诊断分析[J]. 应用气象学报, 2005, 16(3): 396-401.
- [9] 江吉喜. 华北两类灾害性云团的对比分析[J]. 应用气象学报, 1999, 10(2): 199-206.
- [10] Christopher J. Anderson, Raymond W. Arritt. Mesoscale Convective Complexes and Persistent Elongated Convective Systems over the United States during 1992 and 1993[J]. Monthly Weather Review, 1998, 126(3): 578-599.