

# Synoptic Analysis of a Rainstorm Process in Beijing in Mid-July 2018

Deyu Zhao

School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan  
Email: zhaodeyucuit@outlook.com

Received: Oct. 27<sup>th</sup>, 2019; accepted: Nov. 11<sup>th</sup>, 2019; published: Nov. 18<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

This paper uses the MICAPS system to use the national weather station data to conduct a weather analysis of the "7.16 torrential rain" incident in Beijing on July 16-17, 2018. Through the large-scale circulation situation analysis, water vapor condition analysis, unstable condition analysis, lifting dynamic condition analysis and satellite cloud image analysis, the following conclusions are drawn: 1) The rainstorm range is small, the locality is strong, and the intensity is strong, the duration is short. 2) Circulation situation: The high latitude trough provides high dry and cold air transport in the north, and the western Pacific subtropical high provides warm and humid air in the south and a steady stream of water vapor. 3) After analyzing the physical field of relative humidity field, water vapor flux divergence field and false equivalent temperature field in Beijing, it can be observed that the water vapor conditions in Beijing area are sufficient during heavy rain. 4) After analyzing the unstable conditions, the K index, SI index and CAPE value can reflect the accumulation of unstable energy during heavy rain. 5) Uplifting dynamic conditions analysis can reflect the rise of low-level convergence in the Beijing area, high-level divergence, providing good dynamic conditions for precipitation. 6) The satellite cloud map shows that there are cumulonimbus clouds over the Beijing area and sufficient water vapor conditions provide conditions for heavy rain.

## Keywords

Beijing Rainstorm, Circulation Analysis, Subtropical High, Physical Quantity Analysis, Satellite Cloud Picture

---

# 2018年7月中旬北京市一次暴雨过程的天气学分析

赵德宇

成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都

Email: zhaodeyucuit@outlook.com

收稿日期: 2019年10月27日; 录用日期: 2019年11月11日; 发布日期: 2019年11月18日

## 摘要

本文利用MICAPS系统使用全国气象站数据对2018年7月16~17日北京“7.16暴雨”事件进行了分析。通过对大尺度环流形势分析、水汽条件分析、不稳定条件分析、抬升动力条件分析以及卫星云图等的分析得出以下结论: 1) 本次降雨过程暴雨范围小, 局地性强, 强度变化大, 持续时间短。2) 环流形势上高纬低压槽提供北方干冷空气输送, 西太平洋副热带高压提供南方暖湿气流和源源不断的水汽。3) 在对北京地区相对湿度场、水汽通量散度场、假相当位温场等物理场进行分析后可以观察到暴雨期间北京地区的水汽条件充足。4) 在对不稳定条件分析后K指数、SI指数和CAPE值能反应出暴雨过程中不稳定能量的堆积。5) 抬升动力条件分析可以反应出北京地区低层辐合上升, 高层辐散, 为降水提供良好的动力条件。6) 卫星云图显示北京地区上空存在积雨云且水汽条件充足, 为暴雨提供了条件。

## 关键词

北京暴雨, 环流分析, 副热带高压, 物理量分析, 卫星云图

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

暴雨定义为降水强度很大的雨, 常在积雨云中形成发展[1]。暴雨是我国常见的一种严重灾害性天气, 它会对人类生产生活产生负面影响, 甚至是巨大灾难[2] [3]。暴雨的形成过程是十分复杂的, 充足的、源源不断的水汽、持久的强气流上升运动和大气层结的不稳定等主要物理条件; 大、中、小尺度天气系统与下垫面特别是地形的有利组合等都是暴雨的形成条件[4] [5]。

暴雨的出现规律、形成原因错综复杂, 加之对暴雨的监测与探测手段有限, 造成的损失非常巨大, 因此暴雨一直是我国气象工作者关注的重点[6]。许多强降水往往都发生在特定的大尺度环流背景下, 再和各种尺度的系统相互作用而造成[7] [8]。对于大气环流方面, 孙建华等[9]指出, 在特定的长波系统形势下, 天气尺度系统的停滞、充沛的水汽条件以及有利的地形是形成华北区域持续性大暴雨的原因。对于急流影响方面。也有研究认为北京暴雨的形成也受高空中带来的高空急流影响, 高空急流东移随着经向度持续增大, 北京地区往往处于较强的辐散区内, 带来较大降水[10]。对于水汽方面, 王婧羽等[11]对北京2012年“7.21”特大暴雨过程进行分析后指出, 暴雨区内水汽的辐合与暴雨发生的时间和空间具有较好一致性, 在低层水汽的辐合起主要作用, 中高层水汽垂直输送作用更为显著。在西太平洋副高作用方面, 刘还珠等[12]认为北京大多数降水是在西风槽与副热带高压的相互作用下发生的, 产生强烈的上升运动从而产生强烈的降水, 对流不稳定发展有利于暴雨的局地增强。

2018年7月15日20时至17日夜间, 北京及周边地区陆续迎来了大到暴雨的天气现象, 导致部分道路发生内涝, 公路变成河。截至2018年7月18日, 降雨共造成北京全市道路塌方塌陷35处, 此外, 为防止降雨可能会带来的地质灾害, 北京全市共转移群众5399人。造成了巨大的经济损失。因此, 本文将采用全

国气象站点资料,利用 MICAPS 系统针对 2018 年 7 月 15~18 日北京地区暴雨过程的主要环流形势,同时从急流影响,水汽条件、垂直运动条件、相关物理量场及不稳定层结等进行了分析,从而为暴雨预警提供参考。

## 2. 资料概况

气象资料来自中国气象局提供的北京市 2018 年 7 月中旬强降水过程中的各类气象要素资料,包括高空观测、地面数据、物理量数据、卫星云图等[13]。利用中国气象局 MICAPS 系统软件[14][15]对此次降水进行天气学分析。

## 3. 降水实况

中国气象局规定 24 小时降雨量称为日降雨量,24 小时降雨量 10 毫米以下称为小雨;10.0~24.9 毫米为中雨;25.0~49.9 毫米为大雨;50.0~99.9 毫米为暴雨;100~250 毫米为大暴雨;超过 250 毫米的为特大暴雨。2018 年 7 月 16 日~18 日北京地区发生了一次暴雨过程。图 1 为北京地区此次 7 月 16~17 日暴雨天气的 24 小时降雨量,16 日 08 时在霞云岭的 24 小时降雨量最高(图 1(a)),降雨量达到了 91 毫米,此外海淀区、石景山、门头沟、丰台等地区 24 小时降雨量均大于 50 毫米的暴雨水平。16 日下午 14 时,北京气象台继续发布蓝色暴雨预警信号,17 日 08 时 24 小时降雨量(图 1(b)),在怀柔的 24 小时降雨量最高值达到了 108 毫米,并且 17 日 08 时的 24 小时降雨量(图 1(c))。16 日白天到 17 日凌晨多处地区都为暴雨天气(图 1(d))。

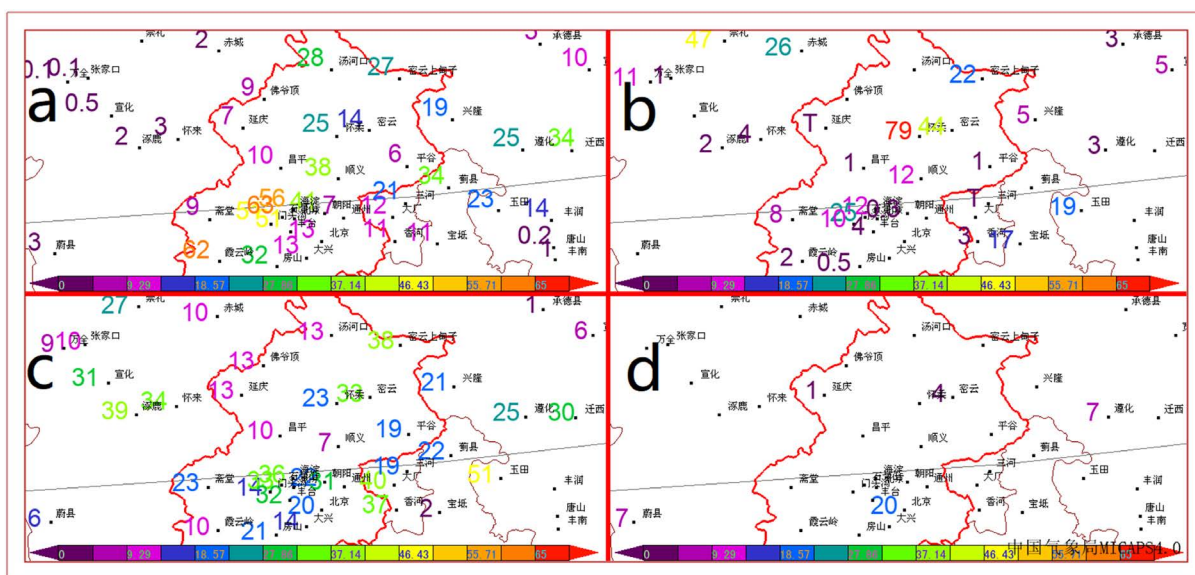
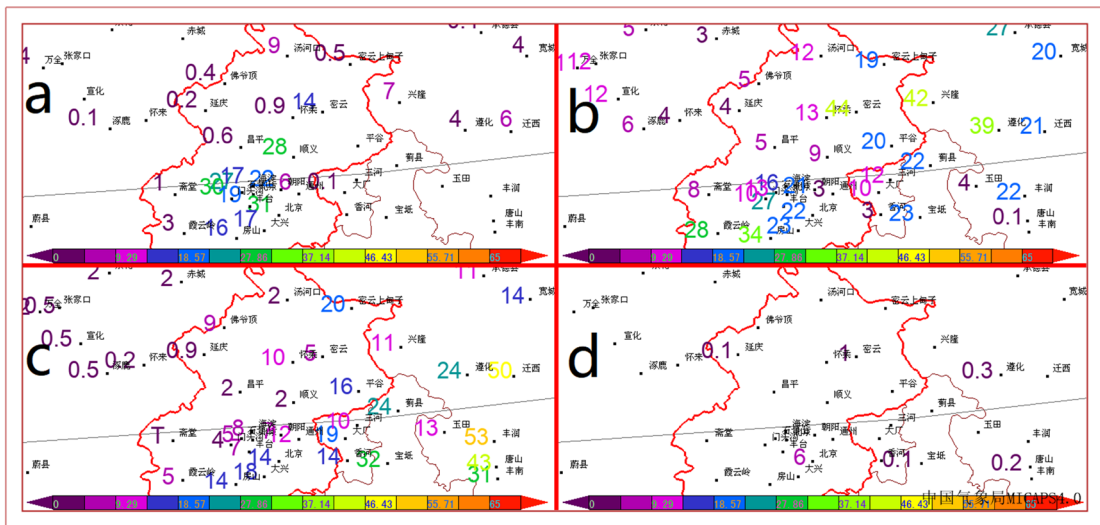


Figure 1. 6-hour rainfall map of Beijing area at 08:00 on July 16th, 2018 ((a) 16 at 08:00; (b) 16 at 4:00; (c) 16 at 20:00; (d) 17 at 02:00)

图 1. 2018 年 7 月 16 日 08 时~17 日 02 时北京 6 小时降雨量((a) 16 日 08 时; (b) 16 日 14 时; (c) 16 日 20 时; (d) 17 日 02 时)

从北京地区 6 小时降雨量图(图 2)可以看出,本次降雨分为两个阶段。第一阶段是从 16 日凌晨开始降雨(图 2(a)),且西部地区 6 小时降雨量最大,达到大暴雨水平。上午阶段北京北部怀柔一带出现大暴雨(图 2(b)),降雨强度在 16 日下午开始减弱,晚上 20 时过后只有房山一带有少许降雨。第二阶段从 17 日凌晨开始降雨,降雨强度依然在西部地区最强,但与 16 日相比降雨强度有所减弱,降雨减弱开始在 17 日下午(图 2(c)),直到 17 日夜间(图 2(d))此次降雨过程基本结束。



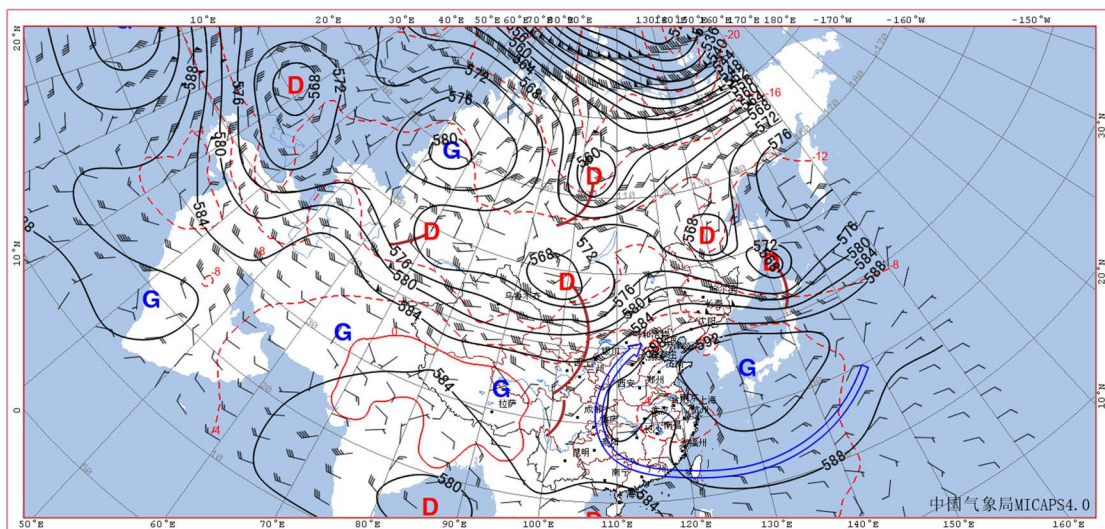
**Figure 2.** 6-hour rainfall map of Beijing at 08:00 on July 17th, 2018 ((a) 17 at 8:00; (b) 17 at 14:00; (c) 17 at 20:00; (d) 18 at 02:00)

**图 2.** 2018 年 7 月 17 日 08 时~18 日 02 时北京 6 小时降雨量((a) 17 日 08 时; (b) 17 日 14 时; (c) 17 日 20 时; (d) 18 日 02 时)

## 4. 天气形势分析

### 4.1. 欧亚环流形势

15 日 20 时欧亚环流形势上(图 3), 在中高纬度欧洲地区, 存在明显的低压系统, 空气呈辐合上升趋势, 欧洲地区天气情况较差。乌拉尔山脉地区被一稳定高压系统占据, 贝加尔湖北部地区存在明显低压中心, 在高低压系统之间的偏北气流将北冰洋的干冷空气强势带入亚洲内陆区域。在我国北部周边地区, 同时存在着几个低压中心, 分别在新疆西北部, 蒙古地区, 我国东北黑龙江上部。形成了几个低压槽系统, 这些系统将大大促进亚洲北方的干冷空气继续向偏南方向推进。在中低纬度地区, 副热带高压系统北伸至日本海, 处于我国东北地区附近, 西至我国东南地区。



**Figure 3.** Eurasian circulation situation at 20:00 on July 15, 2018

**图 3.** 2018 年 7 月 15 日 20 时欧亚环流形势

### 4.2. 500 hPa 环流形势

15日20时,500 hPa 高度场(图4),外蒙地区长期占据一低压系统,低压槽系统较为深厚,延伸至我国青藏高原地区。北京地区受槽前西南气流的影响,副热带高压在日本海延伸到我国东南地区,暖湿气流从太平洋西岸沿副热带高压外侧箭头方向进入我国中部,副热带高压外侧西南暖湿气流提供充沛了水汽条件,并且与我国北方的干冷空气相遇,有利于降水的产生。

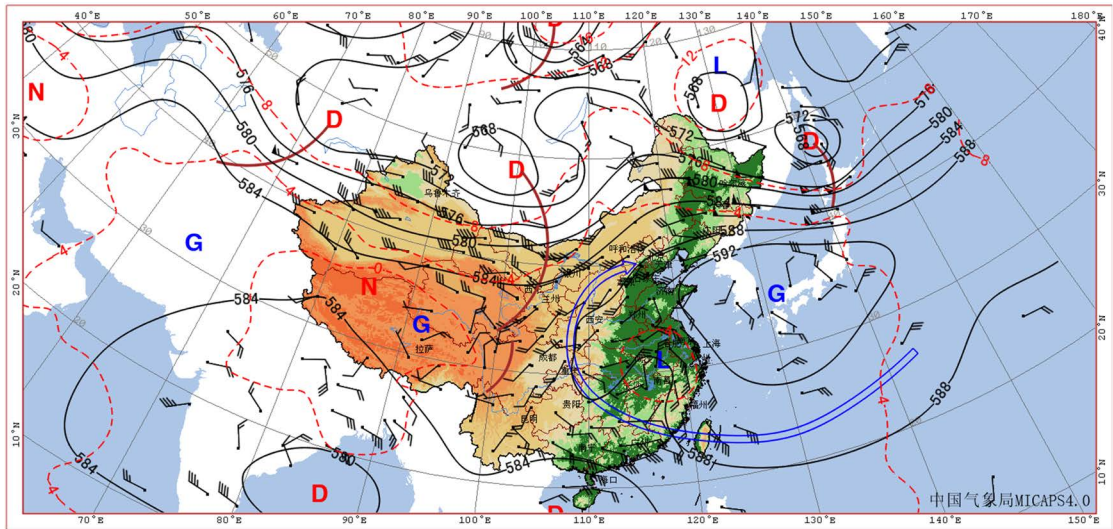


Figure 4. High altitude map of 20:500 hPa on July 15, 2018  
图4. 2018年7月15日20时500 hPa 高空图

16日08~20时500 hPa 高空图(图5),从蒙古大槽发展出来的南支槽发展东移至我国内蒙古中部,北京地区受槽前西南气流影响,处于副热带高压西北侧的西南气流明显加强。17日08时,北京地区风速达到八级,风速达到此次暴雨过程最大。

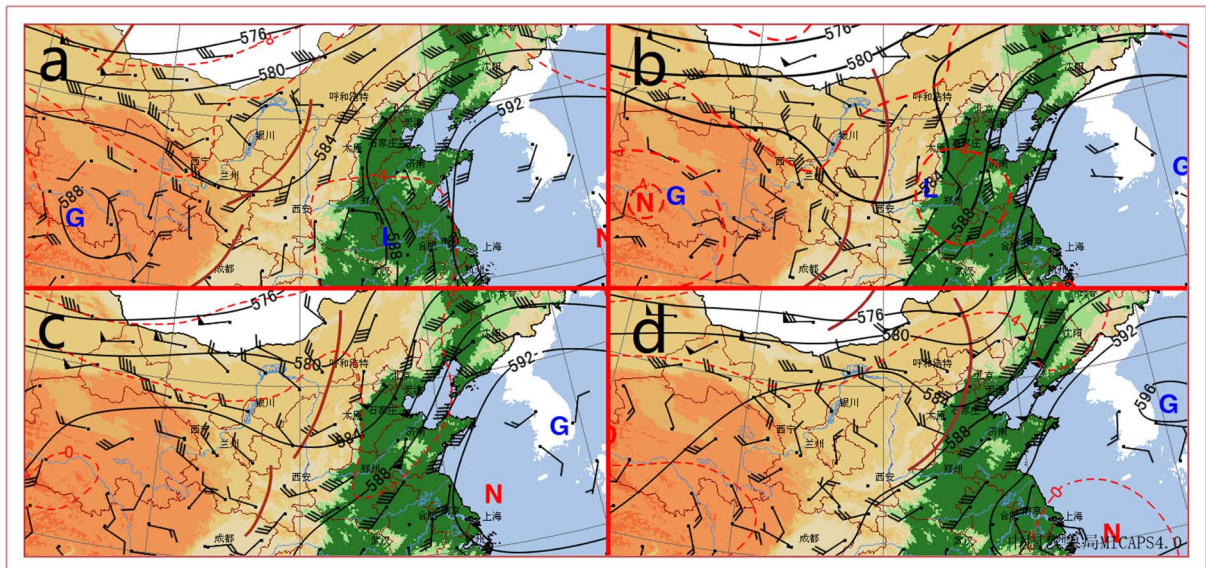


Figure 5. High level wind at 20:500 hPa on 08:00, July 16, 2018  
图5. 2018年7月16日08时~17日20时500 hPa 高空风场

### 4.3. 700 hPa 环流形势

从 15 日 20 时 700 hPa 高空图(图 6)中可以看出, 外蒙存在一低压系统, 低压槽南北跨度较大, 延伸至我国的青藏高原地区, 较为深厚, 带来的干冷空气对北京地区影响较大。北京地区处于槽前, 盛行西南风。副热带高压中心位于日本南部地区, 副热带高压系统对我国影响广泛, 暖湿气流沿副热带高压外围西南侧沿箭头方向流向我国, 带来大量水汽。沿途温度露点差均较低, 水汽含量较大。北京地区西边的干冷空气与南边来的暖湿空气相遇, 发生强烈冲击, 形成动量、热量和水汽的集中带, 有利于北京地区的暖湿气流抬升, 有利于降水的生成。

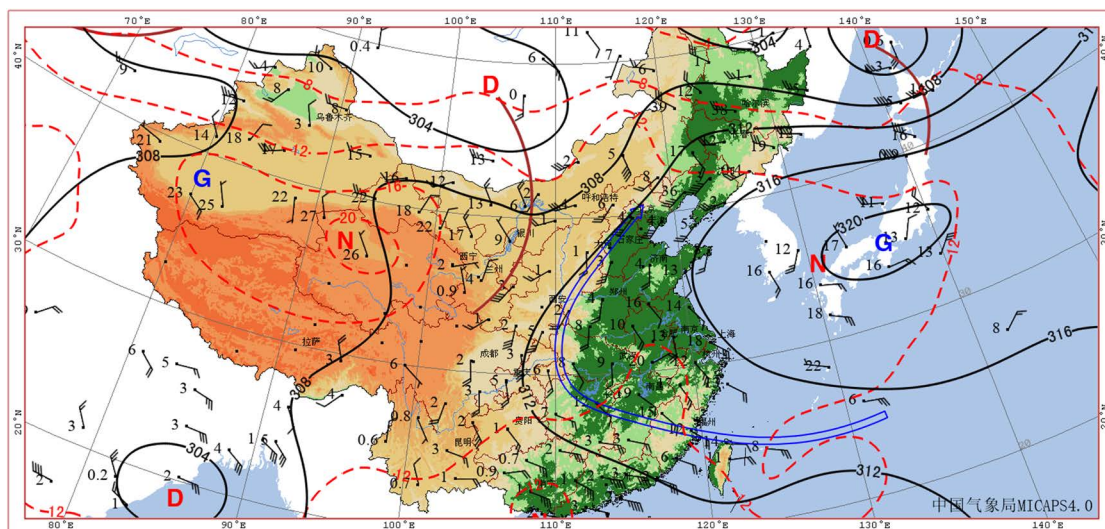


Figure 6. High level map at 20:00 700 hPa on July 15, 2018

图 6. 2018 年 7 月 15 日 20 时 700 hPa 高空图

### 4.4. 850 hPa 环流形势

7 月 15 日晚 20 时 850 hPa (图 7), 在山西河北一带存在气旋性风切边, 有弱的辐合上升, 温度露点差很低, 水汽几乎饱和状态, 天气情况较差, 有利于降水的生成。16 日 08 时, 处于山西河北一带的气旋性风切边东移至北京地区, 且北京地区所处的西南气流明显加强为低空急流, 水汽输送变得更强。

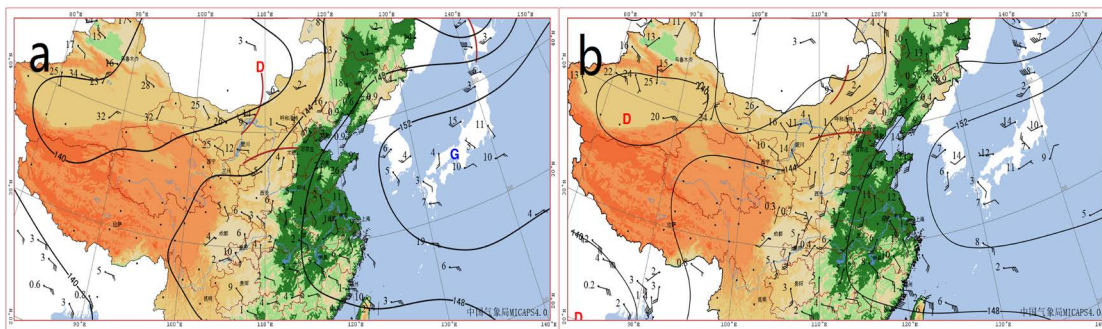


Figure 7. 20:00 on July 15, 2018 (a) and at 08:00 on the 16 (b) at 850 hPa

图 7. 2018 年 7 月 15 日 20 时(a)和 16 日 08 时(b)850 hPa 高空图

综上所述, 本次降水在 500 hPa 高空图中高纬度地区的环流是呈现多波动型的, 西伯利亚的几个大低压系统促进了从北冰洋和欧洲的干冷空气向我国输送。在各个高度层, 外蒙古均有一低压中心, 它促

进着冷空气南下，从北冰洋来的干冷空气达到西伯利亚后，在外蒙古低压系统的作用下经过我国新疆和内蒙古地区继续向内地输送。此时太平洋西沿岸也在各个层次存在着高压系统，从太平洋西岸来的暖湿气流沿副热带高压外侧输入我国东部地区，输送了大量水汽。在黄河中段山西一带，北方来的干冷空气与副热带高压外侧带来的暖湿空气相汇合，造成暖湿气流抬升。在低层，北京地区存在着气旋性切变线，切变线上的气流呈气旋环流，水平辐合明显，有利于低层空气上升，为此次暴雨发生提供了有利的环流背景条件。16日08时过后，北京地区低层所处的西南气流逐渐加强为低空急流。在本次暴雨天气过程中，西南暖湿气流向北面输送到干冷空气下方时，就会形成对流性不稳定层结，在上升运动的触发下，容易产生暴雨等对流性降水。

## 5. 物理量诊断分析

### 5.1. 水汽条件分析

充沛的水汽及其明显输送是暴雨产生必不可少的条件之一。由图8可以看出北京地区相对湿度一直处于70%~90%之间，在16日和17日更是达到了90%以上的湿区，整体湿度偏大，水汽充足，为暴雨天气提供了充足条件。此外水汽分布呈西南到东北，符合西南暖湿气流输送的水汽走向。

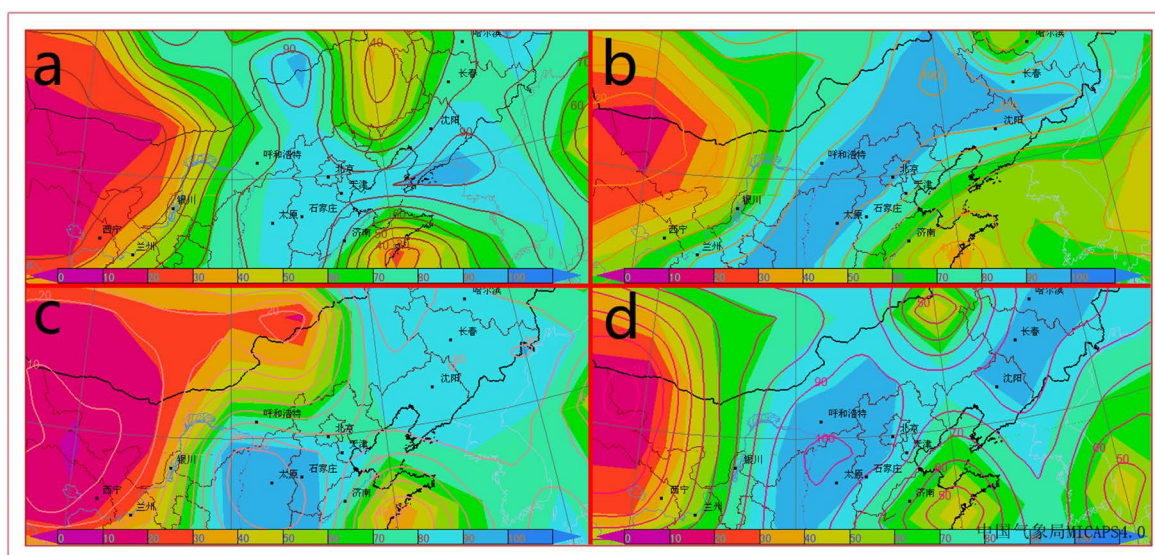


Figure 8. 850 hPa relative humidity ((a) 15 at 20:00; (b) 16 at 08:00; (c) 16 at 20:00; (d) 17 at 08:00)

图8. 2018年7月15日20时~17日08时850 hPa相对湿度((a) 15日20时; (b) 16日08时; (c) 16日20时; (d) 17日08时)

水汽通量散度是测量落水区水汽含量的物理量。负值表示水汽在某一区域汇合，正值表示某一区域水汽辐散。7月15日20时~17日20时的925hPa层次上(图略)，北京地区一直处在水汽通量散度负值区内。在16日晚北京北部有大量水汽聚集，为17日的降雨提供了水汽保证。此阶段中北京盛行的西南风将沿副热带高压的西南暖湿气流中的水汽源源不断地输送到北京境内。

### 5.2. 不稳定条件分析

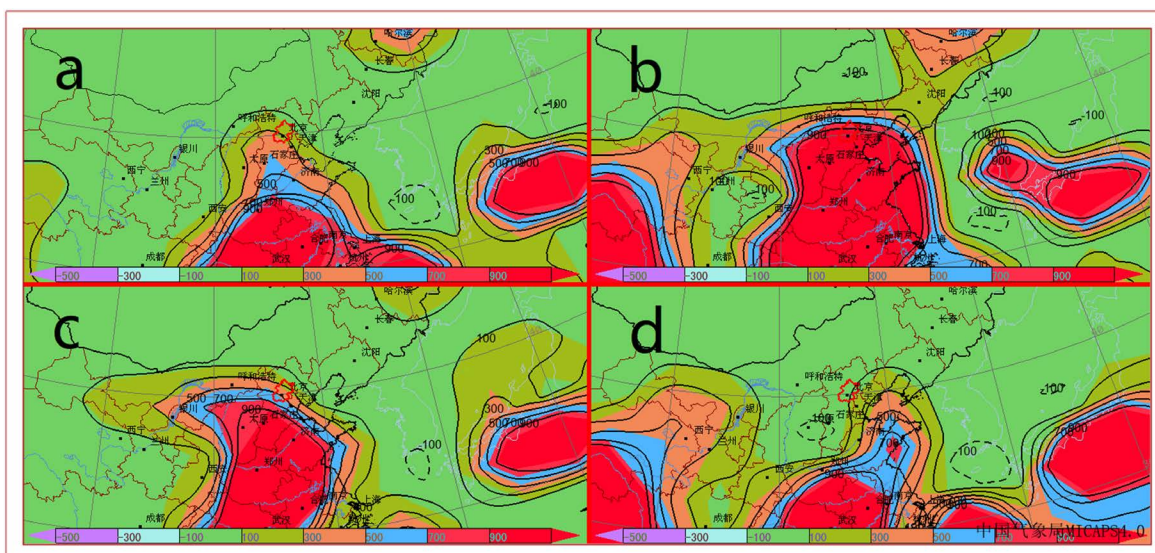
北京地区16日08时的K指数为41，沙氏指数为-3.41；17日08时的K指数为39，沙氏指数为-3.71，这两天的K指数均大于30，沙氏指数均小于0(表1)，指示出两天的大气层结并不稳定，对流发展旺盛，有利于降水的发展。

**Table 1.** Unstable parameter  
**表 1.** 不稳定参数

	15日 20时	16日 08时	16日 20时	17日 08时	17日 20时
K	37	41	35	39	45
SI	-0.78	-3.41	-1.31	-3.71	-6.06
Cape	1103.9	148.2	97.3	366.6	518.8

### 5.3. 对流有效位能分析

北京地区7月15日08时~16日20时的对流有效位能如图所示(图9)。从15日08时~15日20时北京地区的CAPE值明显大幅度增长,这段时间内北京地区的不稳定能量不断增强,随着不稳定能量的明显增强,15日08时之后12小时内,北京上空气团的不稳定能量在急剧堆积,为北京16日的暴雨天气提供了条件。16日08时~16日20时,随着强降雨的产生,CAPE值急剧减小。



**Figure 9.** Effective energy of convection at 20:00 on July 15, 2018, from 8:00 to 16:00

**图 9.** 2018年7月15日08时~16日20时对流有效位能

### 5.4. 抬升动力条件

图10为15日20时850 hPa垂直速度场和300 hPa垂直速度场,从图中可以明显看出850 hPa层次北京地区垂直速度为负,北京低层空气做上升运动,而300 hPa层次上北京地区垂直速度为正,表示高层空气做下沉运动。

从散度场(图11)上可以清晰看出北京地区散度为负值,水平辐合,北京东北部有较强的辐合中心,有水汽的汇合聚集。而16日20时200 hPa北京地区散度为正值,说明有水平的辐散。北京地区大气低层辐合,高层辐散,极有利于发展成深厚的上升气流,为降水提供了良好的动力条件。

涡度场(图12)也于此次降水过程相配合。16日晚,北京地区西边有一正涡度中心,该涡度中心持续向东北方向移动,北京地区在此阶段一直处于涡度中心附近,存在上升气流。在此过程中低层持续向高层输送暖湿空气,为降水提供条件,直到18日08时北京才脱离正涡度中心影响,本次降水基本结束。



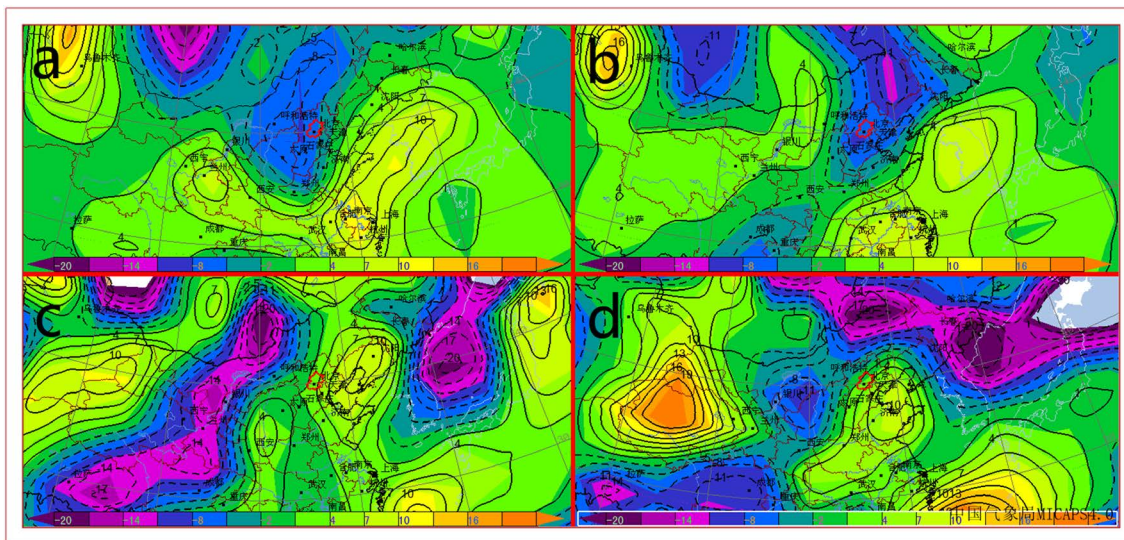


Figure 10. Vertical velocity field at 20:00 on July 15 and 16  
图 10. 2018 年 7 月 15 日 20 时与 16 日 20 时垂直速度场

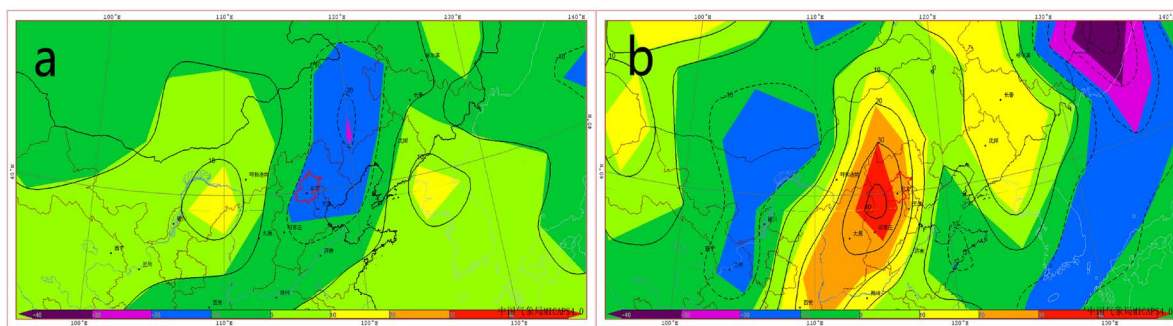


Figure 11. Divergence field at 20:00 on July 16, 2018 925 hPa (a) and 200 hPa (b)  
图 11. 2018 年 7 月 16 日 20 时(a) 925 hPa 与(b) 200 hPa 散度场

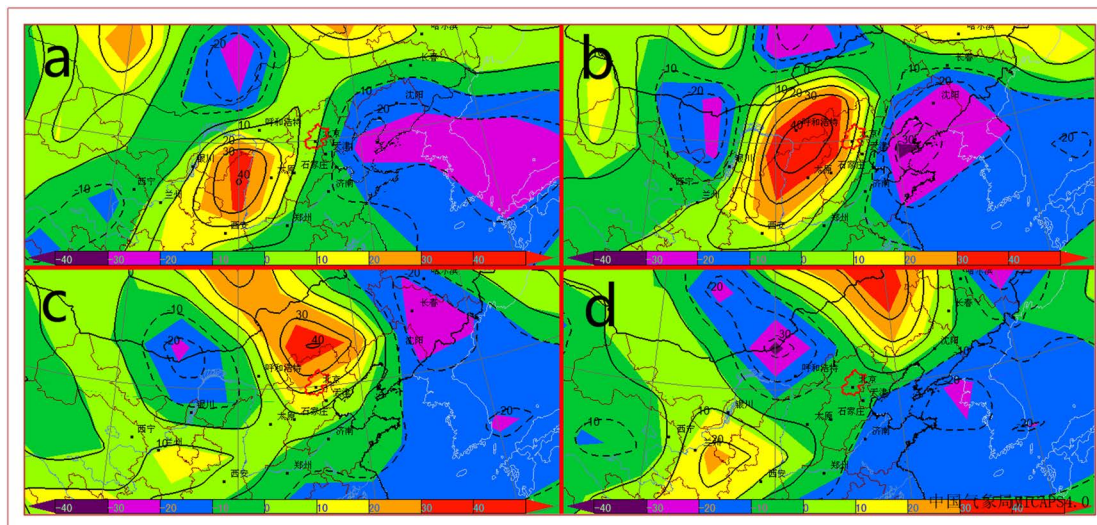


Figure 12. Vortex field ((a) 16, 20:00; (b) 17, 08:00; (c) 17, 20:00; (d) 18, 08:00)  
图 12. 2018 年 7 月 16 日 20 时~18 日 08 时 700 hPa 涡度场((a) 16 日 20 时; (b) 17 日 08 时; (c) 17 日 20 时; (d) 18 日 08 时)

## 6. 卫星云图分析

### 6.1. 红外、可见光云图

红外云图上，物像的色调决定于其本身的温度，温度越高色调越黑。云顶温度随大气高度增加而降低，云顶越高，其温度越低，色调就越白。在7月15日夜间到16日凌晨的红外云图上(图13)，可以清晰的看出北京上空呈亮白色的云系，表明此时北京上空存在着温度较低高度较高的云团，且该云系刚生成时云的边界光滑整齐，后来发展中出现卷云羽。

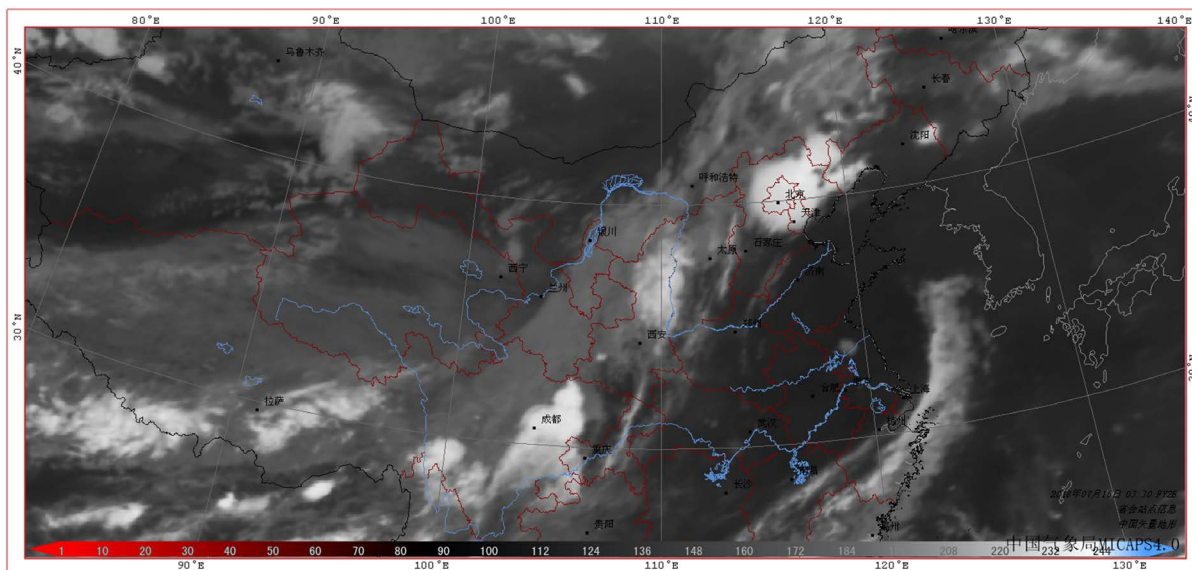


Figure 13. Infrared image at 03:00 on July 16, 2018

图 13. 2018 年 7 月 16 日 03 时红外云图

从16日早上09时可见光云图(图14)可以看出北京及其周边存在大量云团，且均颜色较白，厚度较深。

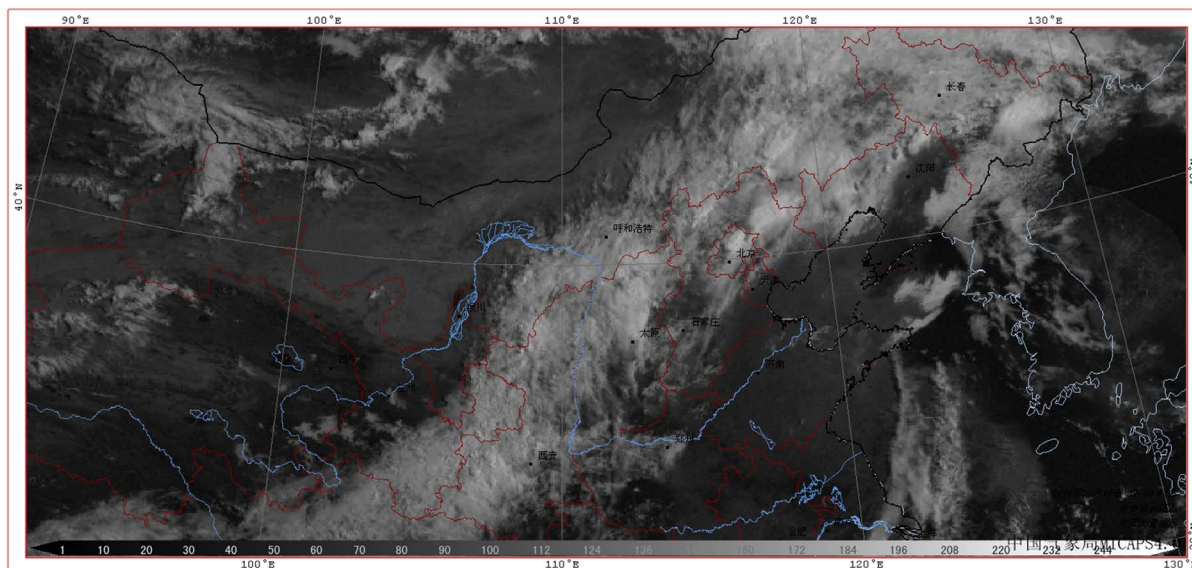


Figure 14. Visible light cloud image at 09:00 on July 16, 2018

图 14. 2018 年 7 月 16 日 09 时可见光云图

## 6.2. 水汽图

水汽图(图 15)上显示,北京地区上空从 15 日 22 时左右开始出现水汽聚集,到 16 日凌晨时水汽发展旺盛,在水汽图上色调明显亮白,持续到 17 日下午水汽才逐渐消散,表明这段时间内北京地区上空水汽开始聚集,为强降雨提供了充分的水汽条件。综上对卫星云图的分析,可以断定该云系为积雨云团,水汽含量丰富,为这次暴雨提供了条件。

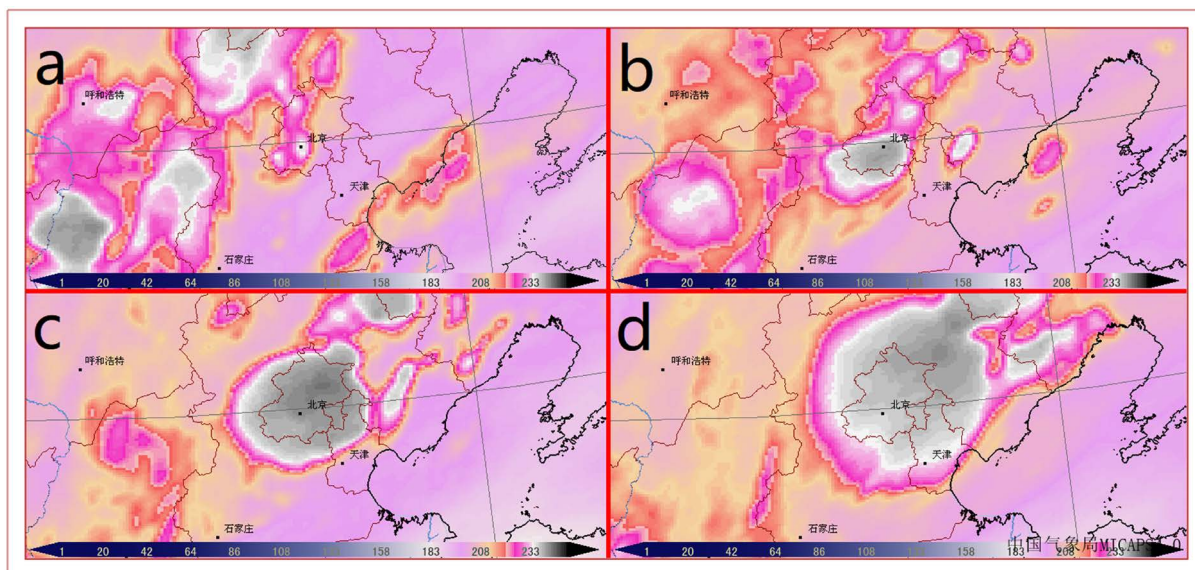


Figure 15. Water vapor map on the evening of July 15th, 2018 ((a) 15 at 22:00; (b) 16 at 01:00; (c) 16 at 02:00; (d) 16 at 03:00)  
图 15. 2018 年 7 月 15~16 日水汽图((a) 15 日 22 时; (b) 16 日 01 时; (c) 16 日 02 时; (d) 16 日 03 时)

## 7. 结论

1) 环流形势分析下可得知,西伯利亚的几个大低压系统促进了从北冰洋和欧洲干冷空气向我国输送,外蒙古的低压系统促进着冷空气南下,与从副热带高压外侧水汽充沛的西南暖湿气流相遇,形成对流不稳定层结,在低层上升运动的触发下形成暴雨是造成此次北京暴雨事件的主要原因。

2) 物理量分析得知北京地区此次暴雨过程中:相对湿度大,水汽通量散度则表示此地区上空有水汽的聚集。北京地区 K 指数, SI 指数, CAPE 指数等均达到降水条件,表示着北京地区此次暴雨过程中大气层结不稳定以及对流发展旺盛。抬升动力条件中此次过程北京地区大气低层辐合上升,高层辐散,极有利于发展成深厚的上升气流,为降水提供了良好的条件。

3) 卫星云图分析可得知北京上空从 15 日晚开始红外云图开始出现亮白色云系,可见光云图显示 16 与 17 日白天北京地区均被较亮白云系覆盖,表明云系厚度大,云顶高度高;从水汽图可以看出 16 日凌晨上空水汽饱和的积雨云提供了下雨条件。

## 基金项目

成都信息工程大学本科教学工程项目(BKJX2019007, BKJX2019013, BKJX2019042, BKJX2019056, BKJX2019062, BKJX2019081, BKJX2019089, BKJX2019120 和 JY2018012)支持。

## 参考文献

[1] 尹韩笑, 张立凤, 王蕪, 张明阳, 余世旺. 一次梅雨暴雨的动能谱特征分析及收支诊断[J]. 大气科学, 2019, 43(5):

1143-1157.

- [2] 王华, 李宏宇, 仲跻芹, 吴进, 李梓铭, 吴剑坤. 京津冀一次罕见的双雨带暴雨过程成因分析[J]. 高原气象, 2019, 38(4): 856-871.
- [3] 周林帆, 张述文, 王文强, 李少英, 李彦霖. 循环同化雷达资料对西安一次局地暴雨初始场的调整[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2019, 55(4): 463-471.
- [4] 周彦均, 高志球, 濮梅娟, 李煜斌. 不同的边界层参数化方案对江淮一次暴雨过程数值试验研究[J]. 大气科学学报, 2019, 42(4): 591-601.
- [5] 陈圣劼, 刘梅, 张涵斌, 俞剑蔚, 陈超辉. 集合预报产品在江苏省暴雨预报中的应用评估[J]. 气象, 2019, 45(7): 893-907.
- [6] 孔锋, 薛澜. 1961-2017年中国不同长历时暴雨与总降雨事件的空间分异特征对比研究[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(9): 2262-2277.
- [7] 周玉淑, 颜玲, 吴天贻, 谢泽明. 高原涡和西南涡影响的两次四川暴雨过程的对比分析[J]. 大气科学, 2019, 43(4): 813-830.
- [8] 王坚红, 张萌, 任淑媛, 王兴, 苗春生. 太行山脉地形坡度对下山锋面气旋暴雨影响模拟研究[J]. 地球科学进展, 2019, 34(7): 717-730.
- [9] 孙建华, 赵思雄, 傅慎明, 汪汇洁, 郑淋淋. 2012年7月21日北京特大暴雨的多尺度特征[J]. 大气科学, 2013, 37(3): 705-718.
- [10] 孟智勇, 唐晓静, 岳健, 白兰强, 黄龄. 地面和探空资料的 EnKF 同化对北京 7·21 极端暴雨模拟的影响[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2019, 55(2): 237-245.
- [11] 王婧羽, 崔春光, 王晓芳, 崔文君. 2012年7月21日北京特大暴雨过程的水汽输送特征[J]. 气象, 2014, 40(2): 133-145.
- [12] 刘还珠, 王维国, 邵明轩, 王秀荣. 西太平洋副热带高压影响下北京区域性暴雨的个例分析[J]. 大气科学, 2007(4): 727-734.
- [13] 师春香, 潘昉, 谷军霞, 徐宾, 韩帅, 朱智, 张雷, 孙帅, 姜志伟. 多源气象数据融合格点实况产品研制进展[J]. 气象学报, 2019, 77(4): 774-783.
- [14] 王若瞳, 王建民, 黄向东, 董一峰, 龙明盛. MICAPS4 服务端系统架构设计[J]. 应用气象学报, 2018, 29(1): 1-12.
- [15] 贺雅楠, 高高, 薛峰, 赵声蓉, 刘铭, 胡皓, 魏涛. 基于 MICAPS4 的智能网格预报平台设计与实现[J]. 应用气象学报, 2018, 29(1): 13-24.