

2014年8月18~20日宁波暴雨过程综合分析

徐蓉^{1,2}, 朱晓翠², 杨怡曼², 岳俗甲², 王武军²

¹宁波市气象局, 浙江 宁波

²宁波市奉化区气象局, 浙江 奉化

Email: xurongnuist@126.com

收稿日期: 2020年12月5日; 录用日期: 2020年12月25日; 发布日期: 2020年12月31日

摘要

本文采用常规地面观测资料、每日4次的 $1^\circ \times 1^\circ$ NCEP FNL资料、红外卫星云图和雷达径向速度资料等, 对2014年8月18日至20日出现在宁波地区的暴雨天气过程进行了探讨。通过分析天气形势, 讨论抬升机制、水汽条件、层结不稳定性等因素的作用, 发现高空低槽的东移南压导致冷暖气流交汇是本次暴雨的系统背景, 在此基础上, 高低空急流激发上升运动, 低层低涡提供水汽辐合, 以及不稳定能量高值区的配合对应, 共同导致了此次天气过程。

关键词

暴雨, 高低空急流, 水汽通量辐合, 不稳定能量

Comprehensive Analysis of the Heavy Rainfall Process in Ningbo from August 18 to 20, 2014

Rong Xu^{1,2}, Xiaocui Zhu², Yiman Yang², Sujia Yue², Wujun Wang²

¹Ningbo Meteorological Bureau, Ningbo Zhejiang

²Fenghua District Meteorological Bureau of Ningbo, Fenghua Zhejiang

Email: xurongnuist@126.com

Received: Dec. 5th, 2020; accepted: Dec. 25th, 2020; published: Dec. 31st, 2020

Abstract

Based on the conventional ground observation data, NCEP FNL $1^\circ \times 1^\circ$ reanalysis data four times a day, infrared satellite cloud image and radar radial velocity data, the heavy rainfall from August

文章引用: 徐蓉, 朱晓翠, 杨怡曼, 岳俗甲, 王武军. 2014年8月18~20日宁波暴雨过程综合分析[J]. 气候变化研究快报, 2021, 10(1): 12-17. DOI: 10.12677/ccrl.2021.101002

18 to 20, 2014 in Ningbo was discussed in this article. By analyzing the weather situation and the effect of uplift mechanism, water vapor condition, stratification instability, etc., it was found that the convergence of cold and warm airflow caused by the southeastward movement of the upper low trough was the system background of this heavy rainfall, on this basis, the ascending motion of the upper and low-level jets, the water vapor convergence provided by low-level vortex, and the coordination of the high-value area of unstable energy led to this weather process.

Keywords

Heavy Rainfall, Upper and Low-Level Jets, Convergence of Water Vapor Flux, Unstable Energy

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

暴雨是一种灾害性天气,是我国夏季汛期主要的气象灾害[1]。由于它具有降水时间短、强度大的特点,对国民经济各部门的危害性都很大,特别会对农业生产、国家建设和居民生活等带来很大的危害[2]。Tang 等[3]在研究中指出,我国东部不同区域的暴雨过程虽然同为致灾的高影响事件,但各自具有不同的天气、气候特点,而且各自过程期间的环流背景和影响系统也有显著差异。此外,不同的天气形势也会造成不同的暴雨落区、雨量大小,即使在相似的形势背景下,影响系统在位置、强度上有细微的差别,造成的降水也各不相同。因此,加强针对不同暴雨天气过程的研究,对提高暴雨预报能力有着重要意义。本文通过分析和对比地面观测资料、卫星、雷达以及 NCEP FNL 资料等,对宁波地区 2014 年 8 月 18 至 20 日的暴雨过程进行了探讨。

2. 灾害天气实况分析

2014 年 8 月 18 日至 20 日,宁波市出现了暴雨过程,主要以强降水为主,同时伴随雷电、大风等天气现象。本次过程中有三个时段降水特别集中,分别是 8 月 17 日 23 时至 18 日 02 时,18 日 21 时至 19 日 10 时,以及 20 日 05 至 14 时。宁波全市的过程平均雨量为 150.1 mm,主要流域面雨量为 118 mm,超过 250 mm 共有 4 个站,最大平均雨量在达蓬山(慈溪),达到了 277.4 mm,最大 1 小时雨量在白玉湾(象山),达到 90.3 mm。此外,还有 10 个站的极大风速超过 17 m/s。表 1 为本次过程中各县(市、区)的雨量。由于降水时段高度集中,且降雨量大,城市一些低洼地带出现积水,水库和河网水位普遍偏高,不少大中型水库超过汛限水位。

Table 1. Total rainfall of all districts of Ningbo from 20:00 on August 17 to 20:00 on August 20

表 1. 宁波市各区县 08 月 17 日 20 时~08 月 20 日 20 时雨量表

区/县	平均雨量(毫米)	城区雨量(毫米)
慈溪	189	178
象山	160	157
余姚	160	198
宁海	155	115
镇海	155	143

Continued

奉化	136	158
鄞州	126	140
北仑	91	82

3. 天气形势分析

3.1. 500 hPa 环流背景

陶诗言[4]指出：暴雨通常是在有利的大尺度环流条件下产生。此次暴雨过程主要是由西风带系统影响产生。从 500 hPa 环流形势场可以看出(图 1(a), 图 1(b)), 8 月 18 日东北冷涡后部分裂出冷空气南下, 在华北到长江中下游一带形成深厚的低压槽, 槽前有西南气流将暖湿空气向偏北方向输送, 西太平洋副热带高压表现为东北 - 西南走向, 588 线压在浙江省南部。宁波市就处于两系统之间的宽阔地带。随后高空槽缓慢东移, 到了 20 日, 槽分为南北两支, 北支即将移出东北地区, 南支则再次加深、加强, 因此, 低槽东移南下所带来的冷空气, 与副高边缘的暖湿气流交汇于长江中下游地区, 激发了中尺度系统生成, 同时在地面有低压配合, 为暴雨的形成提供了有利的背景条件。

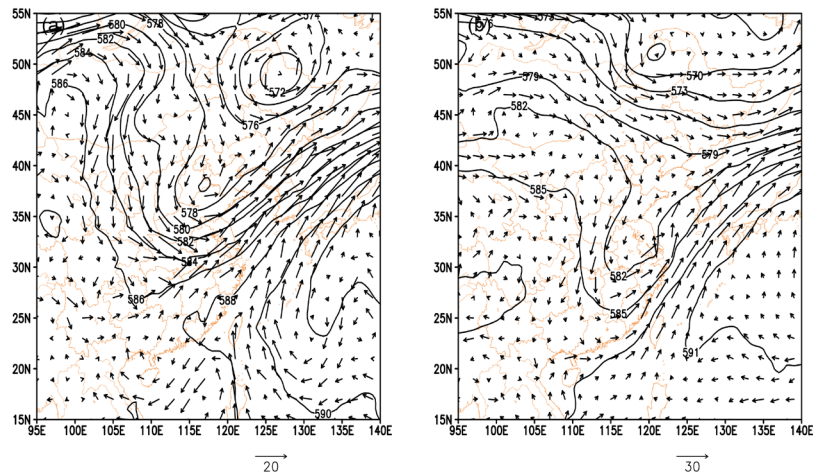


Figure 1. Height field and wind field at 500 hPa. (a) 08:00 on August 18, 2019; (b) 08:00 on August 20, 2019 (unit: m/s)
图 1. 500 hPa 高度场和风场。(a) 2019 年 8 月 18 日 08 时; (b) 2019 年 8 月 20 日 08 时(单位: m/s)

3.2. 红外卫星云图和多普勒雷达探测资料分析

从 20 日 08 时红外卫星云图(图略)可以看出, 与 500 hPa 槽相对应, 在东北到东南沿海地区有大片的带状云系, 云带整体移动缓慢, 其间不断产生中尺度的对流云团, 合并加强, 从而影响宁波。在 08 时 22 分的雷达径向速度图上(图略), 对流层低层存在风向的顺时针旋转。对应低层有暖平流, 到高空则变为逆转, 对应冷平流, 上冷下暖的层结分布有利于大气趋于不稳定, 触发中尺度对流发展, 与 20 日早晨发生的强降水相互对应。

4. 暴雨成因分析

4.1. 动力抬升条件

暴雨是多个影响系统叠加的结果, 当不同影响系统之间达到最佳配置时容易形成长时间暴雨[5] [6] [7]。分析高、低空的风场配置可知, 在 700 hPa 上, 19 日 14 时(图 2(a)), 切变线位于山东到湖北南部,

切变线南侧的江浙一带和福建地区为一条低空急流,到20日14时(图2(b)),切变线东移南压至长江中下游一带,其南侧的急流加强,低空急流在浙江东部沿海地区,急流中心强度超过20 m/s。低空急流向暴雨区不断输送低层的动量、水汽和热量,提供中尺度天气系统形成的条件和环境场。在对流层高层200 hPa天气图上,19日14时和20时的低空急流上空偏北一侧都对应存在着高空西南急流,中心风速超过40 m/s(图2(c),图2(d)),高空急流的主要作用是使急流前方正涡度加强,促使中低空强烈上升运动的维持与发展。暴雨区对应低空急流的左侧和高空急流的右侧,这种高、低急流的耦合配置,为强对流天气的生成提供了较好的动力抬升条件,使大气变得更加对流性不稳定。另一方面,高低空急流的长时间存在又有利于暴雨的维持。

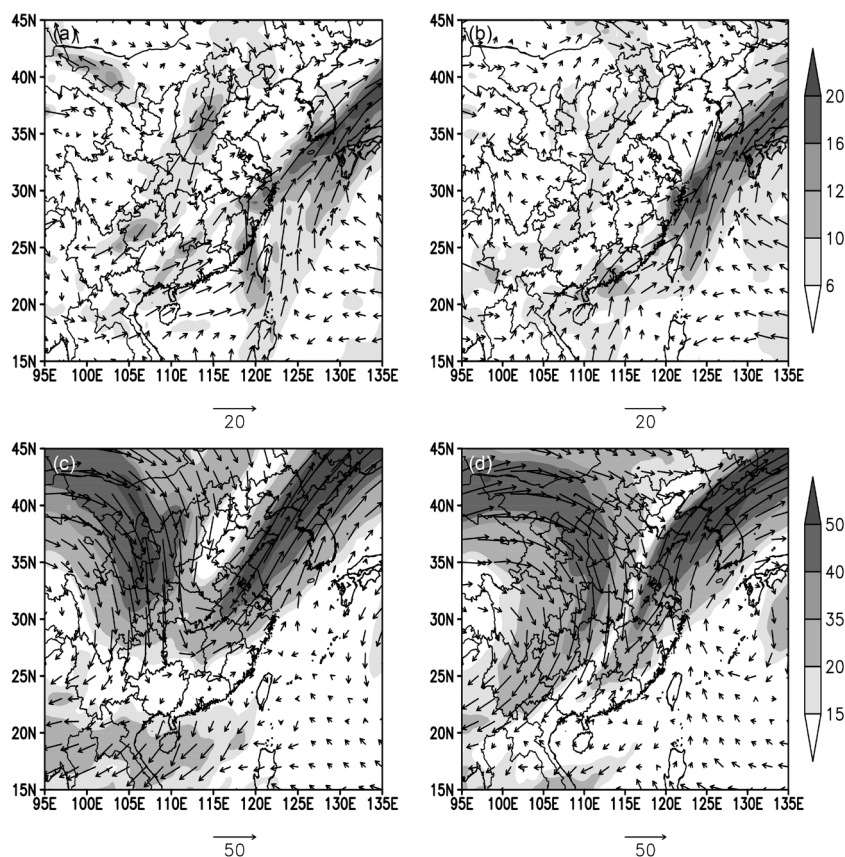


Figure 2. Wind vector (arrow) and total wind speed distribution at 700 hPa (up) and 200 hPa (down) (shadow, unit: m/s). (a) (c) 14:00 on August 19, 2014; (b) (d) 14:00 on August 20, 2014

图 2. 700 hPa (上)和 200 hPa (下)风矢量(箭头)和全风速分布图(阴影, 单位: m/s)。 (a) (c) 2014 年 8 月 19 日 14 时; (b) (d) 2014 年 8 月 20 日 14 时

4.2. 水汽条件

从 850 hPa 水汽通量散度的水平分布及演变情况可以看出,8 月 19 日 20 时,在福建中部有一低涡存在,对应有强的水汽辐合区,中心值达到 $-6 \times 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ (图 3(a)),随后低涡不断向东北方向移动,20 日 02 时位于浙闽交界处(图 3(b)),20 日 08 时(图 3(c))移至浙江中部,低涡前部所带来的偏东气流的水汽输送,在宁波上空形成强烈水汽辐合中心。可以看出,水汽通量的辐合区,即水汽通量散度负大值区与暴雨的落区有很好的对应关系,有利于触发低层不稳定,低层的水汽汇聚为大暴雨提供了充足的水汽和能量,形成深厚的高湿层结,并且使不稳定层结维持,从而触发中尺度对流发展。

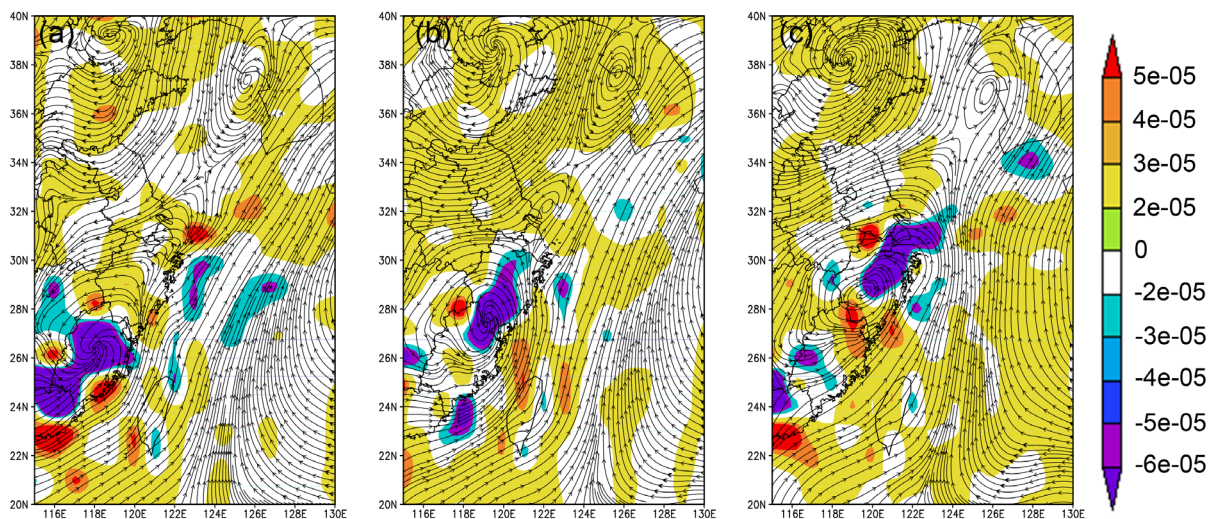
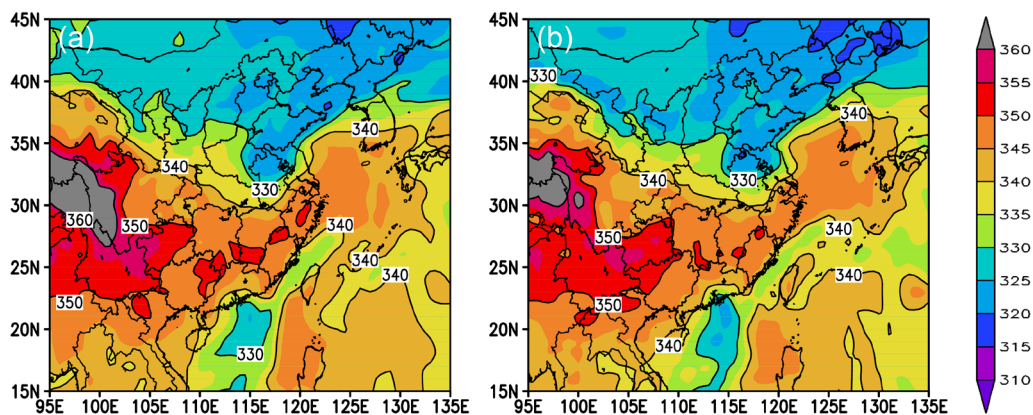


Figure 3. Water vapor flux divergence field (shadow, unit: $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$) and flow field at 850 hPa. (a) 20:00 on August 19, 2014; (b) 02:00 on August 20, 2014; (c) 08:00 on August 20, 2014

图 3. 850 hPa 水汽通量散度(阴影, 单位: $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$)和流场。(a) 2014 年 8 月 19 日 20 时; (b) 2014 年 8 月 20 日 02 时; (c) 2014 年 8 月 20 日 08 时

4.3. 层结不稳定性条件

暴雨的形成不仅需要充足的水汽供应和强烈的上升运动, 冷暖空气活动所构成的不稳定能量的积累对于暴雨的产生同样具有重要的作用[8]。假相当位温(θ_{se})是能够表征大气温、压、湿特征的综合物理量。17日20时(图4(a))随着高空槽的推进, 带动急流不断东进, θ_{se} 的大值区位于浙江到广西一带, 呈东北—西南走向, 我市大部分地区 θ_{se} 超过 345 k, 西部地区达到 350 k 以上。到 18 日 02 时(图4(b)) θ_{se} 略向东南压, 依旧维持高值, 表明能量锋区的维持南压, 以及中层干冷空气入侵使不稳定性进一步加强。在 18 日凌晨这段集中降水期间, 宁波始终处于低层增温增湿, 中层干冷的不稳定层结当中。在 K 指数的分布上与 θ_{se} 有着相似性(图4(c), 图4(d)), 在夜间将白天积聚的不稳定能量释放后, 宁波仍旧处于 36°C 以上的大值区当中。研究表明, 在不稳定的大气层中, 只要空气具有初始上升运动, 即可得到斜升动力[9]。因此当低空出现了强迫的辐合上升运动, 并冲过低空暖盖后, 就可以加速斜升运动, 将更容易产生雷暴、短时强降水等极端天气。此外, 18 日凌晨降水的强度分布上, 宁波市南北地区相差较大, 东南部的降水量要比西北的降水量大, 例如象山石浦站小时最大雨强为 23 mm, 而慈溪站仅为 7.9 mm, 这与不稳定能量分布特征是相对应的, 不稳定能量快速累积有利于中尺度对流的触发从而造成强降水。



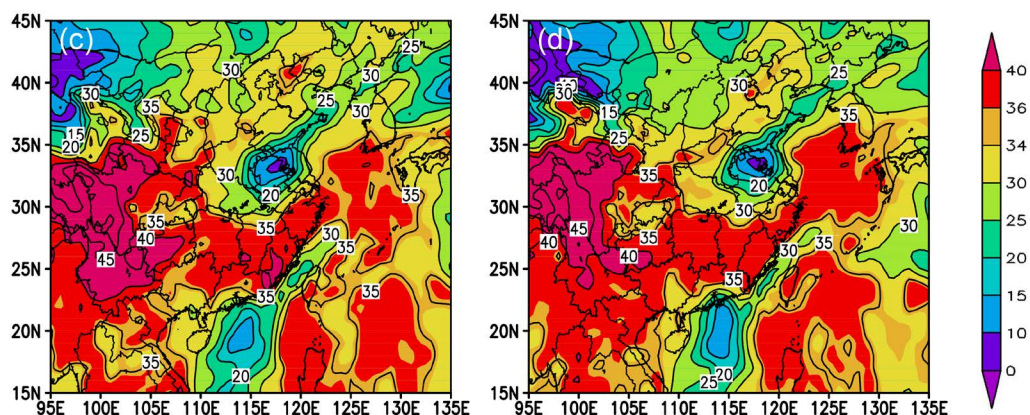


Figure 4. 700 hPa θ_{se} (upper, unit: k), K index (lower, unit: °C) distribution. (a) (c) 20:00 on August 17, 2014; (b) (d) 02:00 on August 18, 2014

图 4. 700 hPa θ_{se} (上, 单位: k)、K 指数(下, 单位: °C)分布图。(a) (c) 2014 年 8 月 17 日 20 时; (b) (d) 2014 年 8 月 18 日 02 时

5. 总结

1) 本次暴雨过程中, 高空槽带来的冷空气与副高边缘的暖湿气流在长江中下游地区交汇, 为强对流天气及暴雨的生成提供了大尺度环流背景。

2) 高、低空急流的配合为暴雨提供了有利的触发、抬升条件, 使暴雨区的上升运动得以维持和加强, 并且引发强对流天气。暴雨过程中, 宁波地区低层具有强烈的水汽输送和辐合, 为大暴雨的产生提供了充沛的水汽条件。另外, 不稳定能量的逐步释放增强了大气层结的不稳定性, 易于触发中尺度对流, 从而导致暴雨形成, 高能舌的范围移动变化与暴雨的分布和强度有着较好的对应关系, 这对今后的降水预报有一定的参考作用。

基金项目

宁波市气象科技计划项目(NBQX2018012B), 宁波市奉化区科技计划项目(20186503)。

参考文献

- [1] 张建海, 张海燕, 曹艳艳. 浙江沿海地区一次东风扰动暴雨的成因分析[J]. 暴雨灾害, 2011, 30(2): 153-160.
- [2] 张芳华, 陈涛, 徐珺, 等. 2013 年 4-10 月我国主要暴雨天气过程简述[J]. 暴雨灾害, 2014, 33(1): 87-95.
- [3] Tang, Y.H., Gan, J.J., Zhao, L., *et al.* (2006) On the Climatology of Persistent Heavy Rainfall Events in China. *Advances in Atmospheric Sciences*, **23**, 678-692. <https://doi.org/10.1007/s00376-006-0678-x>
- [4] 陶诗言. 中国之暴雨[M]. 北京: 科学出版社, 1980: 1-7.
- [5] 张顺利, 陶诗言, 张庆云, 等. 长江中下游致洪暴雨的多尺度条件[J]. 科技通报, 2002, 47(6): 467-473.
- [6] 张庆云, 陶诗言, 张顺利. 夏季长江流域暴雨洪涝灾害的天气气候条件[J]. 大气科学, 2003, 27(6): 1018-1030.
- [7] 周述学, 黄春生, 张晓红, 等. 淮河流域 2007 年雨季环流、影响系统及天气特征分析[J]. 气象科学, 2008(S1): 56-63.
- [8] 路璐, 王丽芳. 2013 年上海梅雨期间嘉定两次暴雨过程对比分析[C]. 创新驱动发展, 提高气象灾害防御能力 S2——灾害天气监测、分析与预报, 2013: 458.
- [9] 杨克明, 张守锋, 张建忠, 等. “0185”上海特大暴雨成因分析[J]. 气象, 2004, 30(3): 25-30.