

一次上海春季强对流天气过程的诊断分析

王正大, 徐佳, 过霁冰, 张乐, 殷靓文

上海市奉贤区气象局, 上海

收稿日期: 2023年8月15日; 录用日期: 2023年9月13日; 发布日期: 2023年9月20日

摘要

本文利用上海市气象自动站实况资料和NECP的FNL ($1^\circ \times 1^\circ$, 逐6小时)再分析资料, 对2022年4月13日上海市强对流天气过程进行了诊断分析。结果发现: 此次上海强对流过程是在春季江淮气旋形成和发展中所造成的。850 hPa上江淮气旋形成, 在气旋和切变线经过区域, 冷暖空气交汇, 强对流天气触发; 700 hPa垂直速度场上存在一个垂直上升运动大值区, 该垂直上升运动中心与对流云系发展强盛区对应; 水汽方面, 上海925 hPa上形成两条水汽输送带, 水汽通量大值区靠近长江出海口。不稳定条件方面, 上海市上空存在上干冷、下暖湿的不稳定层结; 中低层风垂直切变大, 0°C 层高度为3.5 km, 有利于强降水的发展。从比湿场来看, 强比湿出现层次较低, 所以本次强对流过程是由动力条件和不稳定条件主导的。

关键词

江淮气旋, 西南涡, 强对流

Diagnostic Analysis of a Strong Convective Weather Process of Spring in Shanghai

Zhengda Wang, Jia Xu, Jibing Guo, Le Zhang, Liangwen Yin

Shanghai Fengxian Meteorological Service, Shanghai

Received: Aug. 15th, 2023; accepted: Sep. 13th, 2023; published: Sep. 20th, 2023

Abstract

Using FNL reanalysis data ($1^\circ \times 1^\circ$, every 6 hours) from NECP and automatic observation data from Shanghai Meteorological Services, a strong convective weather process in Shanghai on Apr. 13th, 2022 is diagnostically analyzed. The results show that this strong convective weather process is mainly caused by the formation and development of Jianghuai cyclone in spring. In 850 hPa, Jianghuai cyclone is formed, cold and warm air are converged in the area where the cyclone and

文章引用: 王正大, 徐佳, 过霁冰, 张乐, 殷靓文. 一次上海春季强对流天气过程的诊断分析[J]. 气候变化研究快报, 2023, 12(5): 896-903. DOI: 10.12677/ccrl.2023.125092

shear line pass, by which strong convective weather is triggered. There is a large region of fast vertical ascent motion in the vertical velocity field of 700 hPa, which corresponds to the strong development of convective cloud system. Two water vapor conveyor belts are formed on Shanghai in 925 hPa, and the large water vapor flux area is close to estuary of the Yangtze River. In terms of unstable conditions, there are unstable layers of dry-and-cold upper layer and warm-and-humid lower layer above Shanghai. In addition, the vertical wind shear of the middle and low layers is large and the height of the 0°C layer is 3.5 km, which is conducive to the development of heavy precipitation. The level of strong specific humidity is lower on the vertical specific humidity field, which indicates that this convective weather process is dominated by dynamic conditions and unstable conditions.

Keywords

Jianghuai Cyclone, Southwest Vortex, Strong Convection

Copyright © 2023 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

江淮气旋属于温带气旋的一种,不少江淮气旋就是由于西南涡东移引起的,易出现短时强降水和雷雨大风等强对流天气[1]。强对流天气具有影响范围小、发展速度快、持续时间短的特点,它的发生常伴有雷暴、短时暴雨、冰雹、强风(龙卷风)等灾害性天气。因此,雷暴大风产生机理和预警预报一直是灾害性强对流天气研究的重要内容。秦丽等[2]、赵瑜等[3]、杨庆红等[4]研究发现,雷暴大风的生成与层结不稳定、抬升条件触发、垂直风切变等密切相关,中高层干冷、低层暖湿、850 hPa与500 hPa温差大、低层冷空气的渗透等都可以使大气层结不稳定性加大,促使垂直上升运动加强,为强对流天气的发展提供有利条件。马素艳等[5]、曲晓黎等[6]指出,强对流天气一般都是由中小尺度系统引发的,因而运用卫星和雷达产品更能发现其临近或短时特征。

2022年4月13日上海出现了一次罕见的雷暴、强降水天气过程,本文利用上海市自动气象站常规观测资料和NECP的FNL($1^\circ \times 1^\circ$,逐6小时)再分析资料,对此次天气的触发机制、环境条件和物理量特征进行分析,以期为本地区春季雷暴、强降水等强对流天气的预测预报及监测预警提供参考。

2. 暴雨过程实况

此次强降水过程主要集中在2022年4月13日下午到夜间,4月14日早晨降水过程趋于结束,此次降水过程覆盖整个上海市,大部分地区降水量达到暴雨量级。其中,大暴雨量级的降水主要出现在上海市北部地区,降水以对流性为主,最大累积降水量是158.9 mm,发生在上海市青浦金泽西岑,24小时内,累积降水达到10~50 mm的气象站有4个,达到50~100 mm的气象站有61,超过100 mm的气象站有11个。

3. 暴雨诊断分析

3.1. 天气形势

作为强降水发生、发展的背景,大尺度环流形势的支持十分重要。从200 hPa高层环流场(图1)上可

以看到,上海市处于槽前控制,存在南、北两支高空西南急流,其南支位于江西东南部、福建北部和浙江省,北支位于河北中南部、天津南部到辽宁南部,上海市位于南支急流出口区左前侧和北支急流入口区右后侧的高空强辐散区,其辐散流场的作用,对于低层辐合上升运动的加强有一定贡献;同时,存在“阶梯槽”结构,有利于槽的发展、加深[7]。

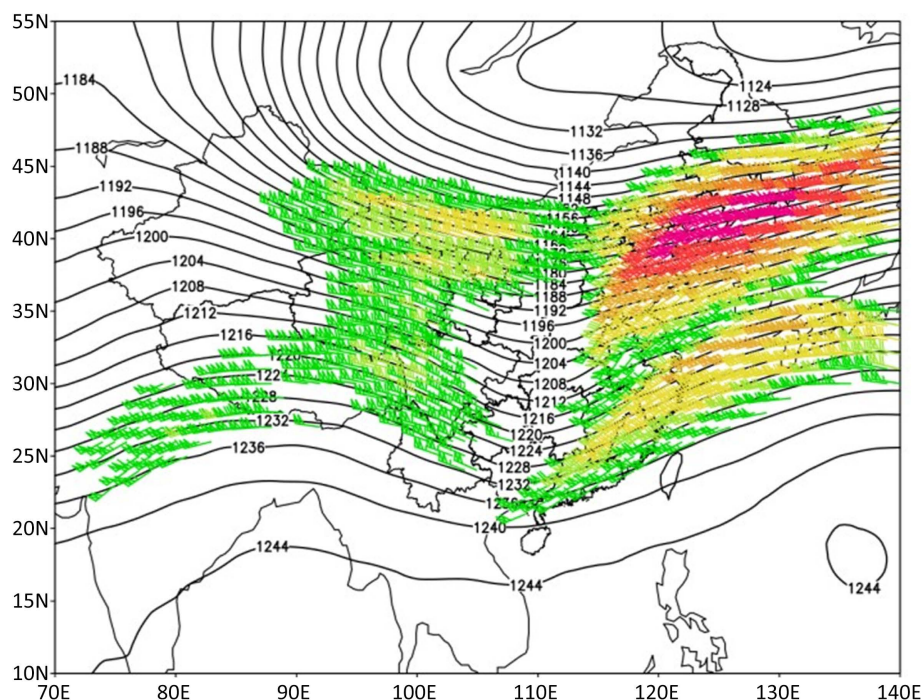


Figure 1. Potential height field of 200 hPa at 14:00 on April 13, 2022 (unit: dagpm)

图 1. 2022 年 4 月 13 日 14 时 200 hPa 位势高度场(单位: dagpm)

500 hPa 上, 12 日 08 时(图 2(a)), 我国中东部为西高东低形势, 副热带高压还未进入南海, 我国境内四川陕西一带有一北支槽, 同时其南侧有一南支槽东移, 我国西南地区受该北支槽前西北气流控制, 偏北风引导高纬冷空气逐渐向南入侵, 南支槽较北支槽往东移动的快, 两槽形成错位。同时, 我国四川盆地东部有新的西南低涡形成, 低涡往南伸出一支低槽, 我国江南地区处在南支低槽前, 冷暖空气在不断在江南一带交汇, 造就了该低涡, 造成了 13 日上海市的强降水。西南涡及其变性体是我国降水, 尤其是暴雨形成的主要影响环流之一, 其产生、东移、转化与我国中东部及西南地区的降水有着密切的关系[8][9][10][11]。4 月 13 日 14 时(图 2(b)), 随着西南涡东移, 500 hPa 上的西南低涡已经减弱为槽, 我国大部分地区仍处于槽后西北气流的控制, 江南华南一带处于高空槽的前部, 来自贝加尔湖的冷空气直接南下, 进入我国淮河流域, 上海市同时受到西北气流与西南气流的影响, 冷暖空气交汇于此处, 逐渐形成江淮气旋, 产生强对流天气。

700 hPa (图 3(a))上同样存在低槽, 位置和分布形态基本与 500 hPa 低槽重合, 说明高空槽系统深厚, 从 850 hPa (图 3(b))上的高度场与风场来看, 本次降水过程的主要影响系统为西南低涡以及北方的低槽。贝加尔湖东部有冷空气沿中纬度短波槽南下, 四川盆地西部有新的西南低涡生成, 在上海市附近有江淮气旋形成, 中心位于浙江省南部, 外围风力超过 $12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 由高层气流引导东移, 在气旋和切变线经过区域, 冷暖空气抬升交汇, 强对流天气触发。西风槽接连不断东移, 为暴雨提供充足动力抬升条件和高层干冷空气入侵, 高层干侵入十分有利于对流发展。

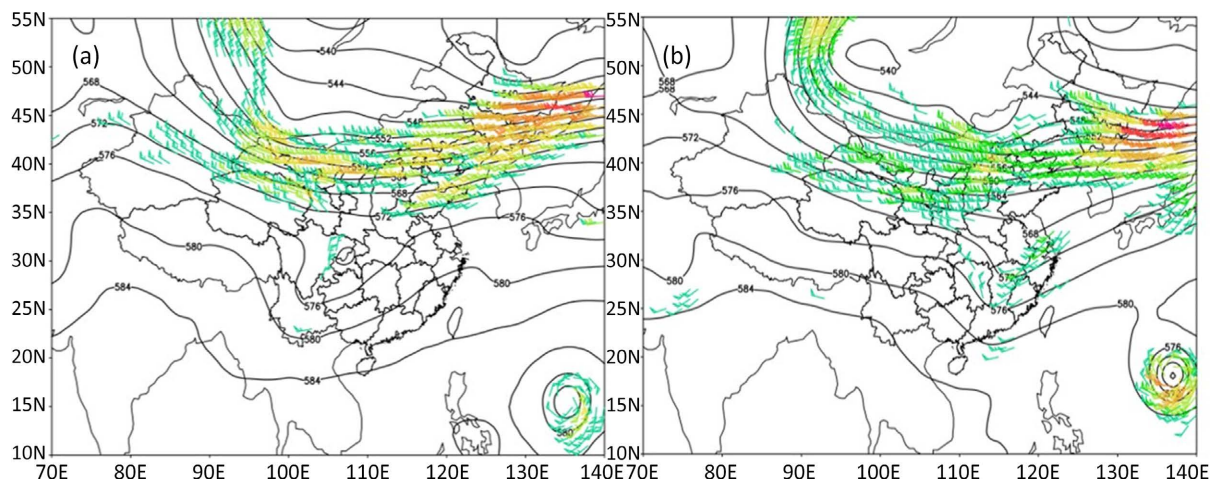


Figure 2. Potential height field of 500 hPa (a: 08:00 on April 12, 2022; b: 14:00 on April 13, 2022, unit: dagpm)

图 2. 500 hPa 位势高度场(a: 12 日 08 时; b: 13 日 14 时, 单位: dagpm)

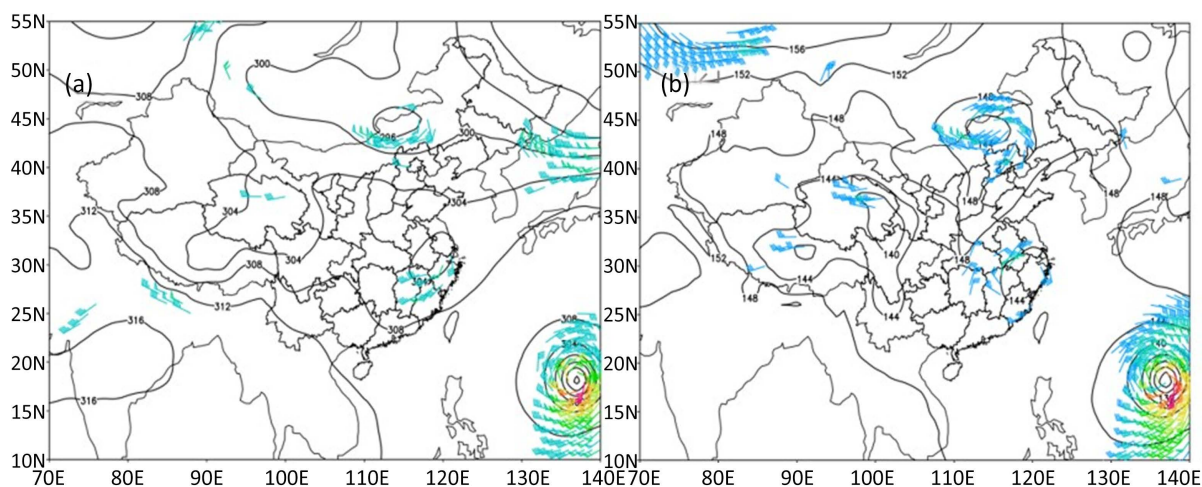


Figure 3. Potential height field at 14:00 on April 13, 2022 (a: 700 hPa; b: 850 hPa, unit: dagpm)

图 3. 2022 年 4 月 13 日 14 时位势高度场(a: 700 hPa; b: 850 hPa, 单位: dagpm)

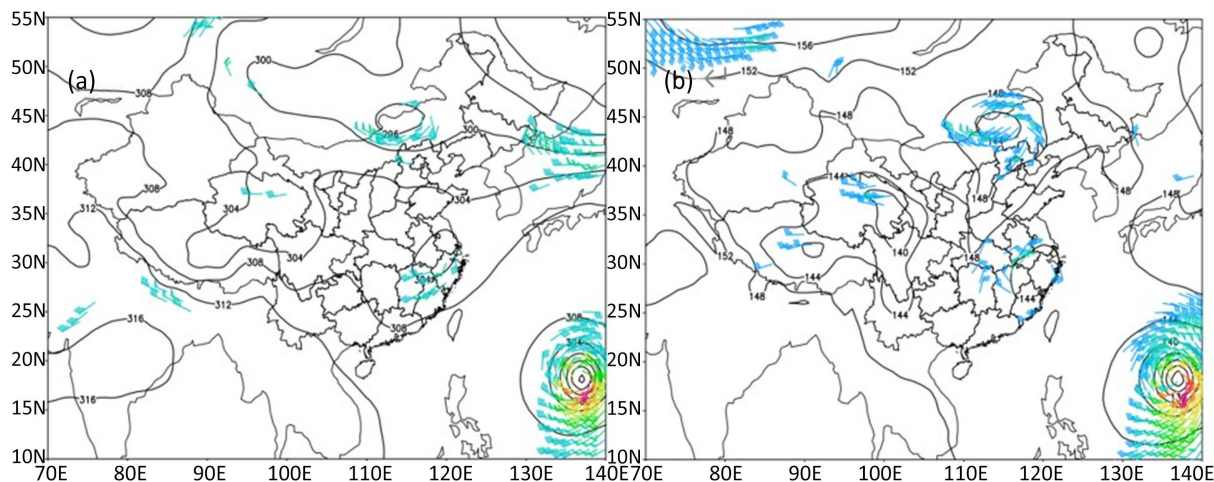


Figure 4. Sea level pressure field (unit: hPa) and function of frontogenesis (colored) on April 13, 2022 (a: 08:00; b: 14:00)

图 4. 2022 年 4 月 13 日海平面气压场(单位: hPa)及锋生函数(填色, a: 08 时; b: 14 时)

从地面图(图 4)上来看, 13 日 08 时(图 4(a)), 东高西低形势明显, 高、低压之间的河北南部有一辐合线, 长江流域有一准静止锋, 从贵州西南部东伸至江苏省北部, 锋前出现低压中心, 对应长江中上游一带出现降水, 至 14 时(图 4(b)), 地面低压区形成江淮气旋, 上海市强降水持续。

3.2. 动力条件

垂直方向上风场的散度分布可以反映系统的动力条件, 高层辐散产生的抽吸作用有利于上升运动的产生, 并引起低层暖湿空气的辐合, 辐合抬升后形成云系, 并通过水汽凝结释放潜热, 进一步加强上升运动, 因此强上升运动形成发展旺盛的云系, 而低层辐合, 高层辐散的风场分布有利于上升运动的加强[12]。

由背景场分析可知, 此次过程中上海市强降水受 500 hPa 槽前西南气流影响。13 日 08 时(图 5(a)), 700 hPa 垂直速度场上东海 - 华南一带有一个垂直上升运动大值区, 该垂直上升运动中心与对流云系发展强盛区对应, 即强上升运动有利于云系发展。从 850 hPa 散度场分布上可以看到, 到 13 日 14 时(图 5(b)), 散度大值中心随系统的移动逐渐向东移动, 且明显加强。过程中的强降水形成发展过程与槽前高低层风场散度分布有关, 云系分布方向低层有辐合中心, 高层有辐散中心, 加强了上升运动, 且 200 hPa 高空急流的加强使得海上云团强度和槽前减弱云团的入海加强。

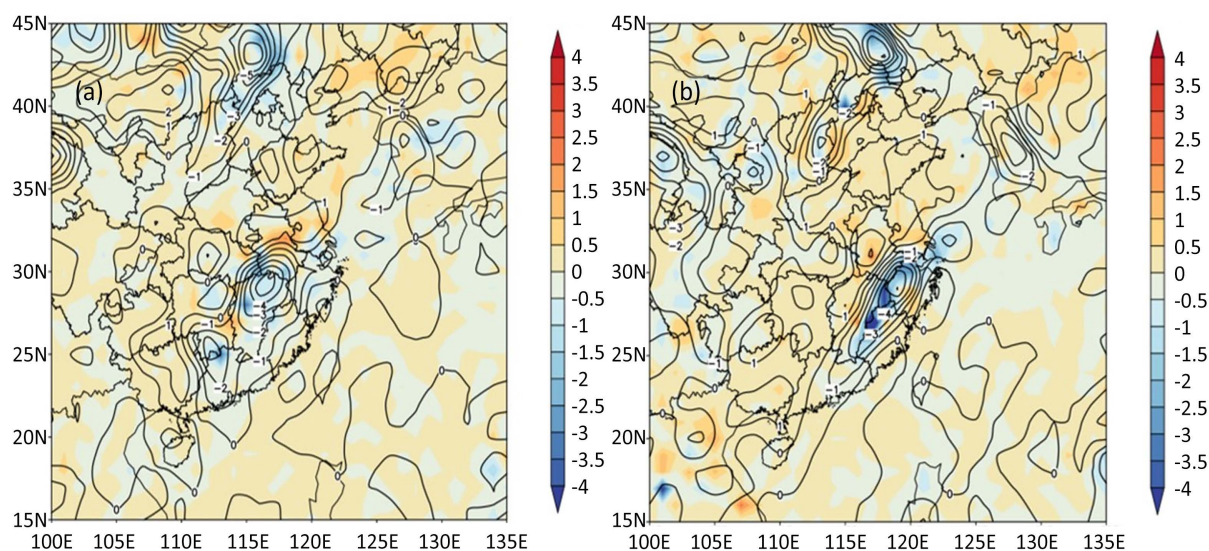


Figure 5. Vertical velocity field of 700 hPa (a, colored, unit: $\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$) at 08:00 on April 13, 2022 and divergence field of 850 hPa at 14:00 on April 13, 2022 (b, isoline, unit: $10^{-6}\cdot\text{s}^{-1}$)

图 5. 2022 年 4 月 13 日 08 时 700 hPa 垂直速度场(a: 填色, 单位: $\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$)及 4 月 13 日 14 时 850 hPa 散度场(b: 等值线, 单位: $10^{-6}\cdot\text{s}^{-1}$)

3.3. 水汽条件

水汽是形成降水的基本条件之一, 水汽来源及其输送是影响降水强度的主要因素, 所以在降雨研究过程中, 水汽条件一直是的重点问题之一[13]。4 月 13 日 08 时(图 6(a)), 对流层低层大致形成两条水汽输送带, 一条将孟加拉湾及南海的水汽沿西南气流输送至我国华南、江南; 一条受副高后部影响将西太平洋暖湿气流沿偏东路径往北输送至我国长江中下游, 水汽通量的大值中心集中在华南以及江南一带。13 日 14 时(图 6(b)), 水汽输送带进一步东移, 水汽通量大值区靠近长江出海口, 覆盖上海市上空, 偏南气流将海面上的暖湿气流带到上海市, 水汽输送较为充足。

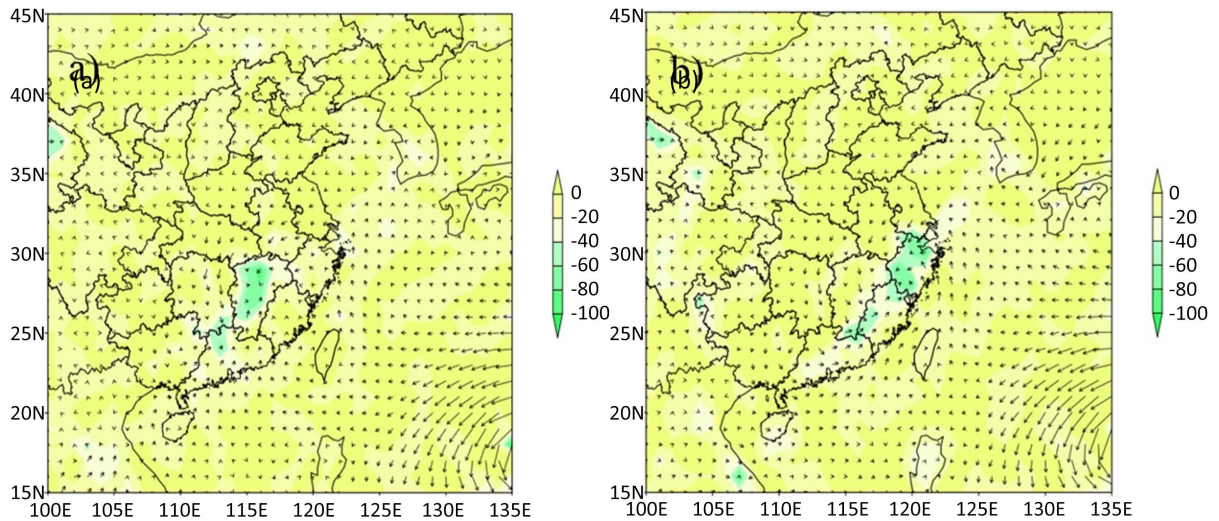


Figure 6. Water vapor flux field of 925 hPa (wind vector) and water vapor flux divergence field (colored) on April 13, 2022 (a: 08:00; b: 14:00)

图 6. 2022 年 4 月 13 日 925 hPa 水汽通量场(风矢量)及水汽通量散度场(填色) (a: 08 时; b: 14 时)

沿上海市暴雨中心作比湿、散度场的纬度-高度剖面(图 7), 可以看出, 本次上海市强降水过程中, 强比湿出现层次较低, 大于 $13 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的强比湿中心出现在 925 hPa 以下, 08 时(图 7(a)), 水汽大值中心出现在浙江、福建一带, 之后不断向北推进, 至 14 时(图 7(b)), 比湿大值中心已到达上海市附近, 配合较好的动力条件, 产生强降水。

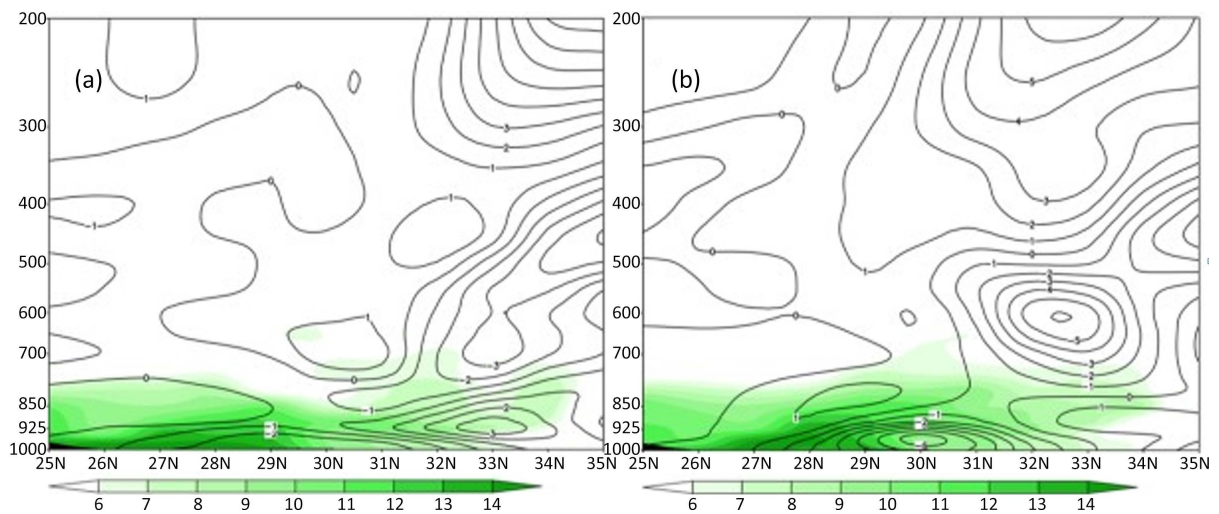


Figure 7. Profile of specific humidity (colored, unit: $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) and divergence field (isoline) along 121.32°E on April 13, 2022 (a: 08:00; b: 14:00)

图 7. 2022 年 4 月 13 日比湿(填色, 单位: $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)及散度场(等值线)沿 121.32°E 剖面(a: 08 时; b: 14 时)

综上所述, 从本次过程中的水汽配置条件来看, 有一定的水汽条件输送条件, 但由于处于春季, 缺少副热带高压的配合, 水汽是输送不算非常强烈, 所以本次过程是一次由动力条件和不稳定条件主导的强降水过程。

3.4. 不稳定条件

本次上海市的强降水过程具有明显的对流性特征, 下文利用 4 月 13 日 08 时上海宝山的探空资料分

析大气层结不稳定条件。由图 8 可知, 850 hPa 层较干($T-T_d$ 为 10°C), 850 hPa 以下层较湿($T-T_d \leq 2^{\circ}\text{C}$), 这种上干冷、下暖湿的不稳定层结有利于短时强降水和强对流天气发生[14]; 925~850 hPa 风随高度顺转, 低层暖平流较强, 850~500 hPa 风随高度继续顺转, 风速快速增大, 200 hPa 西南风速达 $62\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 高空急流强辐散引起的抽吸效应有利于加强低层辐合上升运动; 中低层风垂直切变大, 有利于形成雷暴大风强对流天气(此次过程中, 上海市局地出现 8 级以上短时大风); 0°C 层高度为 3.5 km, 表明存在一定的暖云层, 有利于发生高效率强降水。

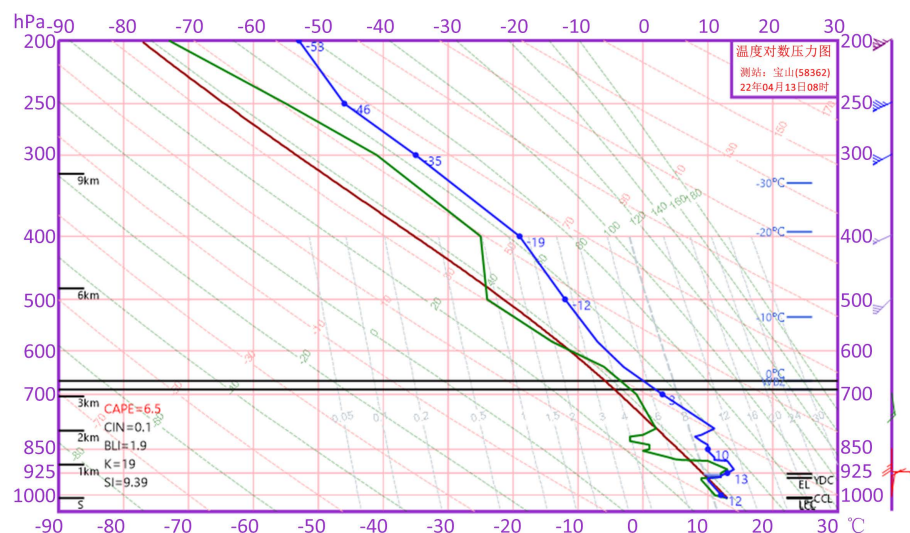


Figure 8. T-logp of Baoshan basic weather station, Shanghai at 08:00 on April 13, 2022

图 8. 2022 年 4 月 13 日 08 时上海市宝山基本气象站 T-logp 图

4. 结论

以上海市气象自动站实况资料和 NECP 的 FNL ($1^{\circ} \times 1^{\circ}$, 逐 6 小时)再分析资料为基础, 对 2022 年 4 月 13 日上海市强降水过程从实况、环流形势以及动力、水汽和不稳定条件方面进行了诊断分析, 得到如下结论:

1) 此次春季强降水过程范围涉及整个上海市, 大部分地区降水量达到暴雨量级。其中, 大暴雨量级的降水主要出现在上海市北部地区, 降水以对流性为主。最大累积降水量为 158.9 mm, 发生在上海市青浦金泽西岑, 24 小时内, 累积降水超过 100 mm 的气象站有 11 个。

2) 环流背景方面, 200 hPa 上, 高层存在南、北两支高空西南急流, 上海市位于南支急流出口区左前侧和北支急流入口区右后侧的高空强辐散区, 同时, 存在“阶梯槽”结构; 500 hPa 上, 西南涡不断东移, 同时来自贝加尔湖的冷空气直接南下, 进入我国淮河流域, 上海市同时受到西北气流与西南气流的影响, 冷暖空气交汇于此; 700 hPa 上, 同样存在低槽, 位置和分布形态基本与 500 hPa 低槽重合, 850 hPa 上, 上海市附近有江淮气旋形成, 在气旋和切变线经过区域, 冷暖空气抬升交汇, 强对流天气触发。西风槽接连不断东移, 为暴雨提供充足动力抬升条件和高层干冷空气入侵, 高层干侵入十分有利于对流发展; 地面场上, 东高西低形势明显, 高、低压之间的河北南部有一辐合线, 长江流域有一准静止锋, 地面低压区形成江淮气旋, 随着江淮气旋的形成和发展, 上海市强降水维持。

3) 动力方面, 700 hPa 垂直速度场上东海 - 华南一带有一个垂直上升运动大值区, 该垂直上升运动中心与对流云系发展强盛区对应, 即强上升运动有利于云系发展。850 hPa 散度大值中心随系统的移动逐渐向东移动, 且明显加强。过程中的强降水形成发展过程与槽前高低层风场散度分布有关, 云系分布方

向低层有辐合中心, 高层有辐散中心, 加强了上升运动, 且 200 hPa 高空急流的加强使得海上云团强度和槽前减弱云团的入海加强。水汽方面, 925 hPa 上形成两条水汽输送带, 水汽通量大值区靠近长江出海口, 偏南气流将海面上的暖湿气流带到上海市, 水汽条件较为充足, 但从比湿场来看, 强比湿出现层次较低, 所以本次过程是一次由动力条件和不稳定条件主导的强降水过程。不稳定条件方面, 上海市上空存在干冷、下暖湿的不稳定层结, 低层暖平流较强, 高层风速快速增大, 200 hPa 西南风速达 $62 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 高空急流强辐散引起的抽吸效应有利于加强低层辐合上升运动; 中低层风垂直切变大, 有利于形成雷暴大风强对流天气; 0°C 层高度为 3.5 km, 表明存在一定的暖云层, 有利于发生高效率强降水。

致 谢

衷心感谢上海市奉贤区气象局的领导和同事们, 在论文完成过程中得到了你们无私的帮助, 在此深表谢意!

参考文献

- [1] 吴涛, 许冠宇, 李双君, 魏凡. 一次春季江淮气旋混合型对流天气特征及成因分析[J]. 气象, 2023, 49(1): 27-38.
- [2] 秦丽, 李耀东, 高守亭. 北京地区雷暴大风的天气-气候学特征研究[J]. 气候与环境研究, 2006, 11(6): 754-762.
- [3] 赵瑜, 赵桂香, 王思懿, 等. “7·28”山西中部强对流天气的中尺度分析[J]. 干旱气象, 2017, 35(5): 874-885.
- [4] 杨庆红, 彭九慧, 刘园园. 一次强对流天气的大气物理量及雷达回波特征分析[J]. 干旱气象, 2010, 28(3): 322-326.
- [5] 马素艳, 韩经纬, 斯琴, 等. 长生命史冷涡背景下内蒙古地区强对流天气分析[J]. 高原气象, 2015, 34(5): 1435-1444.
- [6] 曲晓黎, 段宇辉, 秦宝国, 等. 河北省中南部一次 MCC 成的暴雨过程分析[J]. 干旱气象, 2011, 29(1): 69-74.
- [7] 刘学华, 严红梅. 一次罕见的强对流天气过程分析[J]. 科技通报, 2009(1): 31-36.
- [8] 王中, 白莹莹, 杜钦, 等. 一次无地面冷空气触发的西南涡特大暴雨分析[J]. 气象, 2008, 34(12): 63-71.
- [9] 卢敬华. 西南低涡概论[M]. 北京: 气象出版社, 1986.
- [10] 刘晓冉, 李国平. 一次东移型西南低涡的数值模拟及位涡诊断[J]. 高原气象, 2014, 33(5): 1204-1216.
- [11] 朱佳蓉. 2012 年 4 月 10 日一次春季暴雨过程的综合分析[C]//第十届长三角气象科技论坛. 2013.
- [12] 陈芳丽, 窦新英, 李明华. 一次强对流天气过程中尺度对流系统特征分析[J]. 广东气象, 2012, 34(2): 10-15.
- [13] 张媛, 袁淑文, 向曦子. 强对流天气过程的典型案例分析[J]. 大气与环境光学学报, 2014, 9(3): 194-200.
- [14] 朱乾根. 天气学原理和方法[M]. 北京: 气象出版社, 2007.