

南昌昌北机场冬季一次罕见连续雷暴天气过程 诊断分析

李新勇^{1,2}, 李琼花^{1*}

¹中国民用航空华东地区空中交通管理局江西分局, 江西 南昌

²成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都

收稿日期: 2023年4月10日; 录用日期: 2023年5月11日; 发布日期: 2023年5月18日

摘要

本文利用NCEP提供的FNL再分析资料对2022年11月27~28日南昌昌北机场强雷暴降水天气过程的天气学成因进行了诊断分析, 结果表明: 出现在中高层的槽线以及地面锋面系统是此次昌北机场强连续雷暴的主要影响天气系统; 强雷暴降水发生时昌北机场水汽充沛、处于高能高湿的环境场中, 有不稳定能量的蓄积; 在昌北机场地区低空辐合, 高空辐散产生的抽吸作用利于垂直上升运动的加强和维持, 为暴雨的发生发展提供了较为有利的动力条件; 同时干冷空气与暖湿气流在昌北机场上空交汇, 以及较为深厚的逆温层增大了昌北机场上空的温度梯度, 从而加强了水汽在暴雨区的积聚, 为南昌市昌北机场地区暴雨的发生、发展提供了有利的热力条件; 在昌北机场上空有深厚的不稳定层结, 有利于强对流天气过程的发生发展。

关键词

强对流天气, 环流形势, 水汽条件, 动力条件, 热力条件

Diagnostic Analysis of a Rare Continuous Thunderstorm Weather Process in Nanchang Changbei Airport in Winter

Xinyong Li^{1,2}, Qionghua Li^{1*}

¹Nanchang ATMB CAAC, Nanchang Jiangxi

²School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan

Received: Apr. 10th, 2023; accepted: May 11th, 2023; published: May 18th, 2023

*通讯作者。

文章引用: 李新勇, 李琼花. 南昌昌北机场冬季一次罕见连续雷暴天气过程诊断分析[J]. 气候变化研究快报, 2023, 12(3): 465-484. DOI: 10.12677/ccrl.2023.123049

Abstract

Based on the FNL reanalysis data provided by NCEP, the synoptic causes of the strong thunderstorm precipitation weather process at Nanchang Changbei Airport from November 27 to 28, 2022 were diagnosed and analyzed. The results show that the trough line in the middle and upper levels and the ground frontal system are the main influencing weather systems of the strong continuous thunderstorm at Nanchang Changbei Airport. When severe thunderstorm precipitation occurs, Changbei Airport is rich in water vapor and is in an environmental field of high energy and high humidity, with unstable energy accumulation. In the low-level convergence of Changbei Airport area, the suction effect caused by high-altitude divergence is conducive to the strengthening and maintenance of vertical ascending motion, which provides a more favorable dynamic condition for the occurrence and development of rainstorm. At the same time, the dry and cold air and warm and humid air flow converge over the Changbei Airport, and the deeper inversion layer increases the temperature gradient over the Changbei Airport, thus strengthening the accumulation of water vapor in the rainstorm area, which provides favorable thermal conditions for the occurrence and development of rainstorm in the Changbei Airport area of Nanchang City. There is a deep unstable stratification over Changbei Airport, which is conducive to the occurrence and development of strong convective weather processes.

Keywords

Strong Convective Weather, Circulation Situation, Water Vapor Condition, Dynamic Condition, Thermal Condition

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. 资料和方法

1.1. 所用资料

本文利用 2022 年 11 月 27~29 日的两套资料: NCEP 提供的 FNL 再分析资料, 分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$ 。包括风场(uwnd, vwnd)、位势场(hgt)、地面气压场(pres)、水汽通量散度、大气可降水量、散度、垂直速度以及假相当位温(θ_{se})。

全文中的时次如无特别说明, 均为北京时; 且全文中的图表如无特别说明, 均为利用 FNL 再分析资料处理所得到。

1.2. 研究方法

1.2.1. 整层水汽通量散度

采用从地面气压往上垂直积分至 300 hPa 的方式, 计算整层水汽通量散度, 计算公式为:

$$Q_{div} = -\frac{1}{g} \cdot \nabla \cdot \int_{p_s}^p \vec{V} q dp \quad (1)$$

其中, Q_{div} 表示整层水汽通量散度, 单位为 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; g 为重力加速度, 单位为 $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$; \vec{V} 是 u 、 v 方向的风速, 单位为 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; q 为各层比湿, 单位为 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$; 大气层顶 p 取为 300 hPa, p_s 为地面气压。水汽通量

散度的物理意义为: 水汽通量散度为正值区域表示水汽以该地区为中心, 向周围辐散, 即该地区为附近地区内水汽源; 反之, 若某区域水汽通量散度表现为负值, 则表示其四周有水汽向该区域汇合、聚集, 则表明该地区为水汽汇。

1.2.2. 假相当位温

一般来说, 在绝热情况下, 大气层中气块的温度一方面随气压场的变化而产生相应的变化, 另一方面其变化也受到水汽凝结和蒸发的影响, 基于以上理论, 引入一个物理量, 用以对空气冷暖程度进行衡量, 该物理量即为假相当位温 θ_{se} 。假相当位温(θ_{se})是指: 气温经历过湿绝热过程, 将气团内含有的全部水汽凝结、释放, 再经过干绝热过程达到 1000 hPa 时, 该气团所具有的温度, 其计算公式为:

$$\theta_{se} = T \left(\frac{1000}{p-e} \right)^{R_d/c_{pd}} \exp \left(\frac{Lr}{c_{pd}T_c} \right), \quad (2)$$

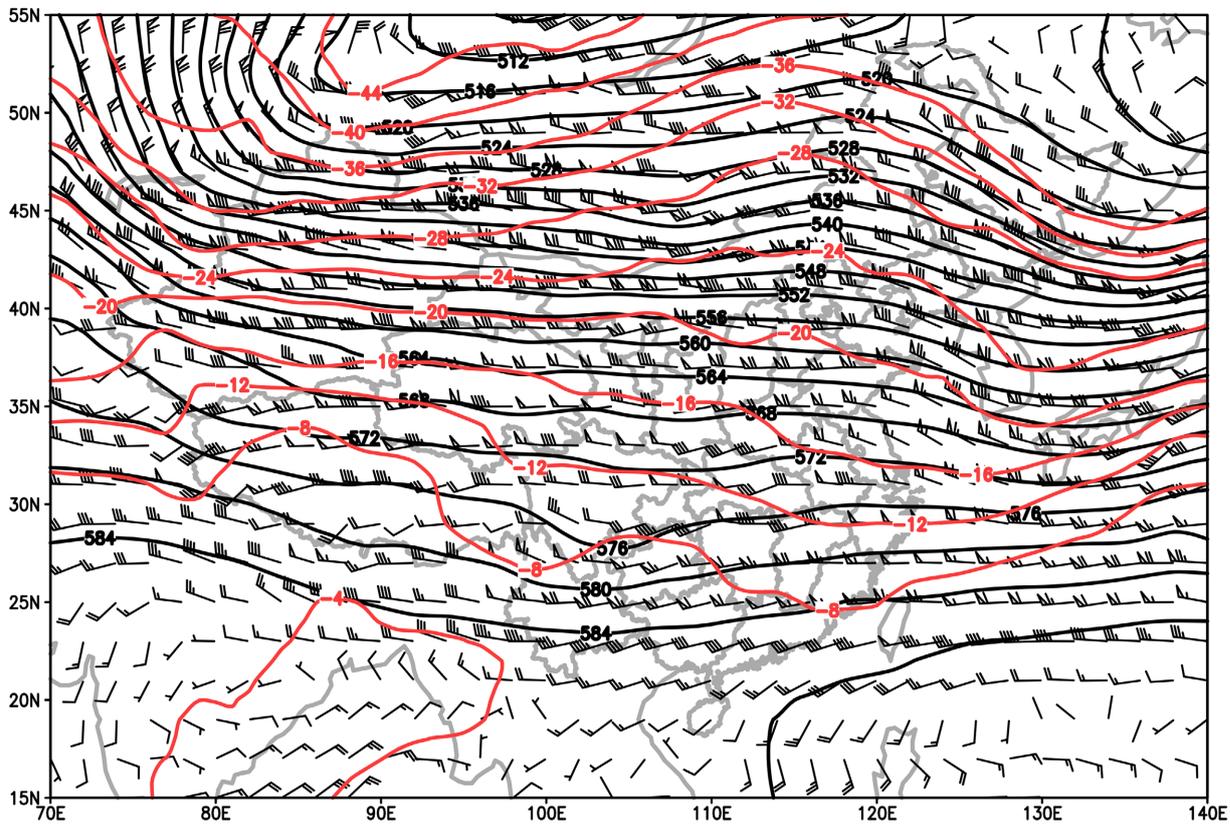
其中, θ_{se} 是温度、气压、水汽含量的函数, 是表征温压湿综合的物理量, 假相当位温不但考量了气压对气团温度的影响, 并且考虑了凝结潜热使气团的升温的影响, 因此假相当位温无论在干湿绝热过程中, 还是在湿绝热过程中, 都具有相当的保守性。由 T-lnp 图可知, 在同一气压下, θ_{se} 越大, 代表该气团越暖、越湿, θ_{se} 越小, 代表该气团越干、越冷。

2. 天气形势

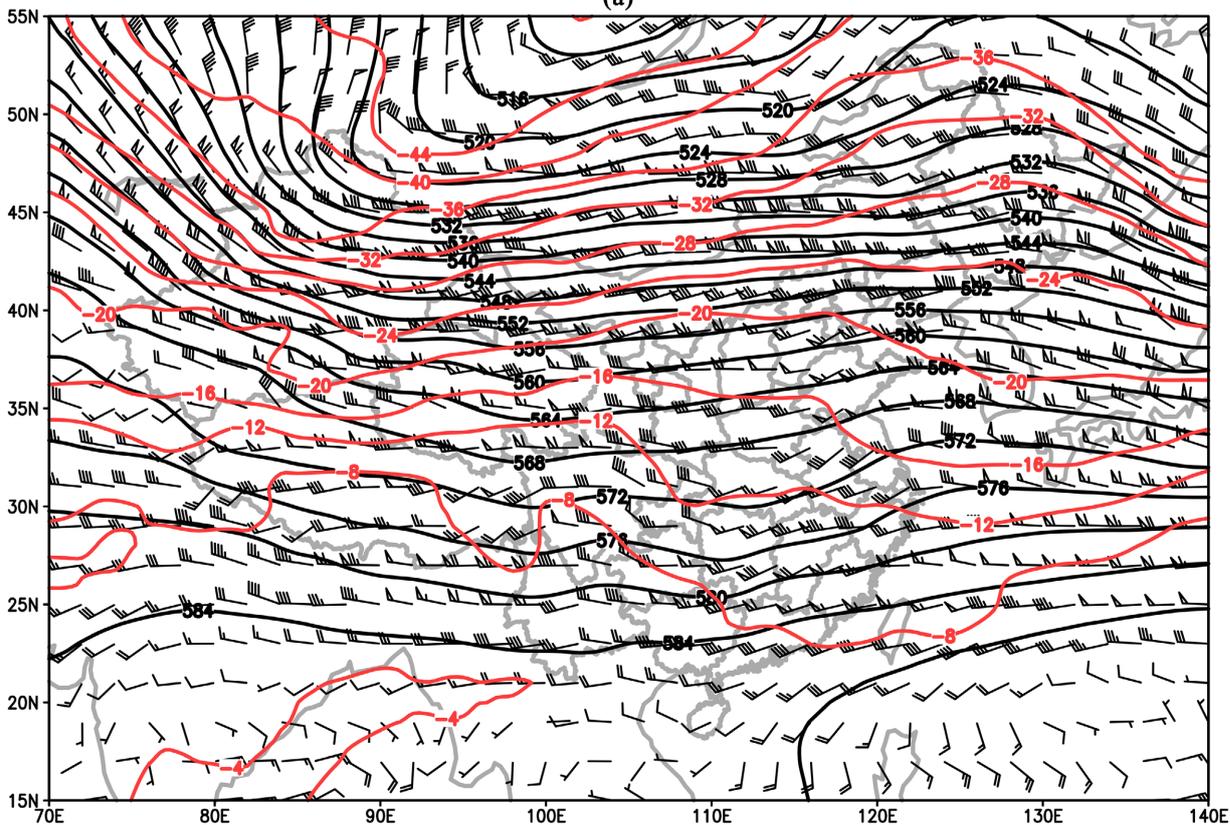
2.1. 高空环流形势

暴雨一般出现在有利的高低空系统配置下, 为了研究强降水发生时的天气系统配置, 分析此次强对流天气过程 500 hPa 上的环流形势(图 1), 26 日 20 时(图 1(a)), 亚欧大陆中高纬度地区基本表现为“两槽一脊”型环流形势, 高压脊位于我国内蒙古东北部至华北地区, 2 个低压槽区分别位于新疆西北部地区和库页岛至日本西部一线, 呈带状分布, 同时在我国陕西省 - 四川省东部 - 贵州省西部 - 云南省东北部一线也有一槽线, 南昌地区处于高空槽前部, 槽后较强的西北气流对冷空气东移南下有引导作用, 与槽前西南暖湿气流交汇, 为暴雨的发生发展提供了有利的条件; 西太平洋副热带高压(以下简称副高)在中低纬地区较弱, 西伸脊点在(114°E, 23°N)附近(图 1(a)), 有利于槽的移动, 又促使西南气流加强, 进一步为暴雨的发展提供了有利条件。至 27 日 08 时(图 1(b)), 槽线进一步向东移动, 此时副高东退较为显著, 有利于槽线的移动, 而此时南昌仍处于槽前, 持续的西南暖湿气流为暴雨的发生、发展提供了较为有利的水汽条件。至 27 日 20 时(图 1(c)), 此时南昌地区槽过境, 逐渐转为西北气流, 槽线移动至我国东南沿海地区, 而在我国四川省东部-贵州省西部以及云南省东部又形成一槽线, 且逐渐向东南昌地区移动, 再次为降水区提供输送水汽。至 28 日 08 时(图 1(d)), 第二波槽线进一步向东移动, 此时南昌地区处于槽前西南气流区域, 进一步为降水区输送暖湿气流。由以上 500 hPa 高空环流形势分析可知, 在对流中层风场出现辐合, 副高减弱, 配合一股弱冷空气南下, 这些都是有利于中尺度天气系统发生的一些基本条件。

从 700 hPa 位势高度场和风场上(图 2)可以看到, 此次暴雨过程中南昌地区处于较强的西南气流辐合区, 为暴雨的发生、发展提供了充足的水汽。26 日 20 时(图 2(a)), 槽线位于我国内蒙古中部 - 陕西省西部 - 甘肃省东南部 - 四川省东部至云南省东部地区一线, 南昌处于槽前, 较强的西南气流向降水区输送了大量的暖湿气流, 表明此时水汽输送较为显著, 主要影响区域为我国华南地区。至 27 日 20 时(图 2(b)), 槽线进一步维持并加强, 发展至我国华北至西南地区一线, 冷空气也进一步向东移动, 700 hPa 位势高度场也揭示了本次南昌地区强降水过程的水汽来源, 较强的西南气流将大量水汽由孟加拉湾以及我国南海地区输送至降水区, 为本次暴雨的形成提供了有利的水汽条件。至 28 日 08 时(图 2(c)), 在我国四川省东南部



(a)



(b)

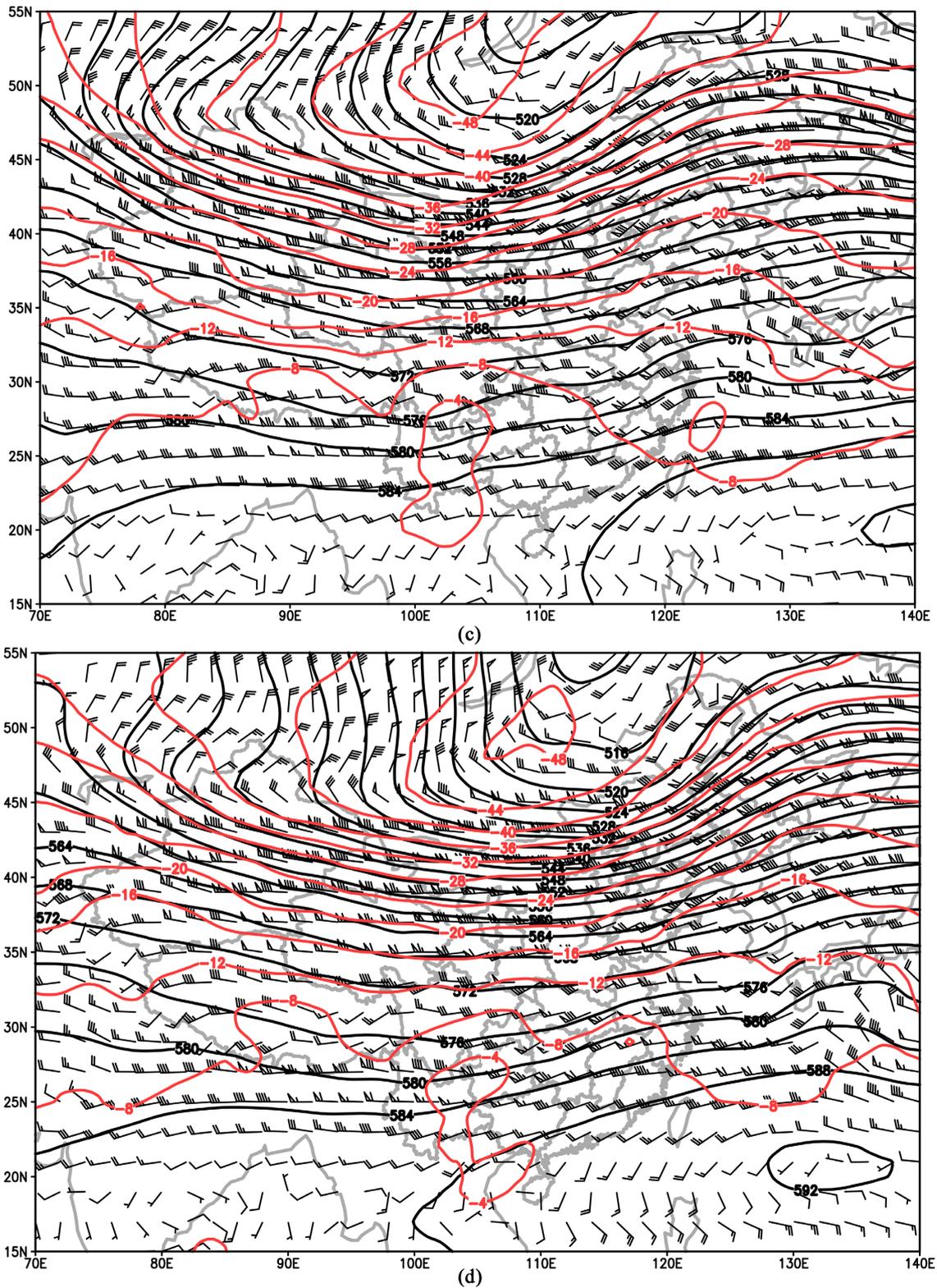
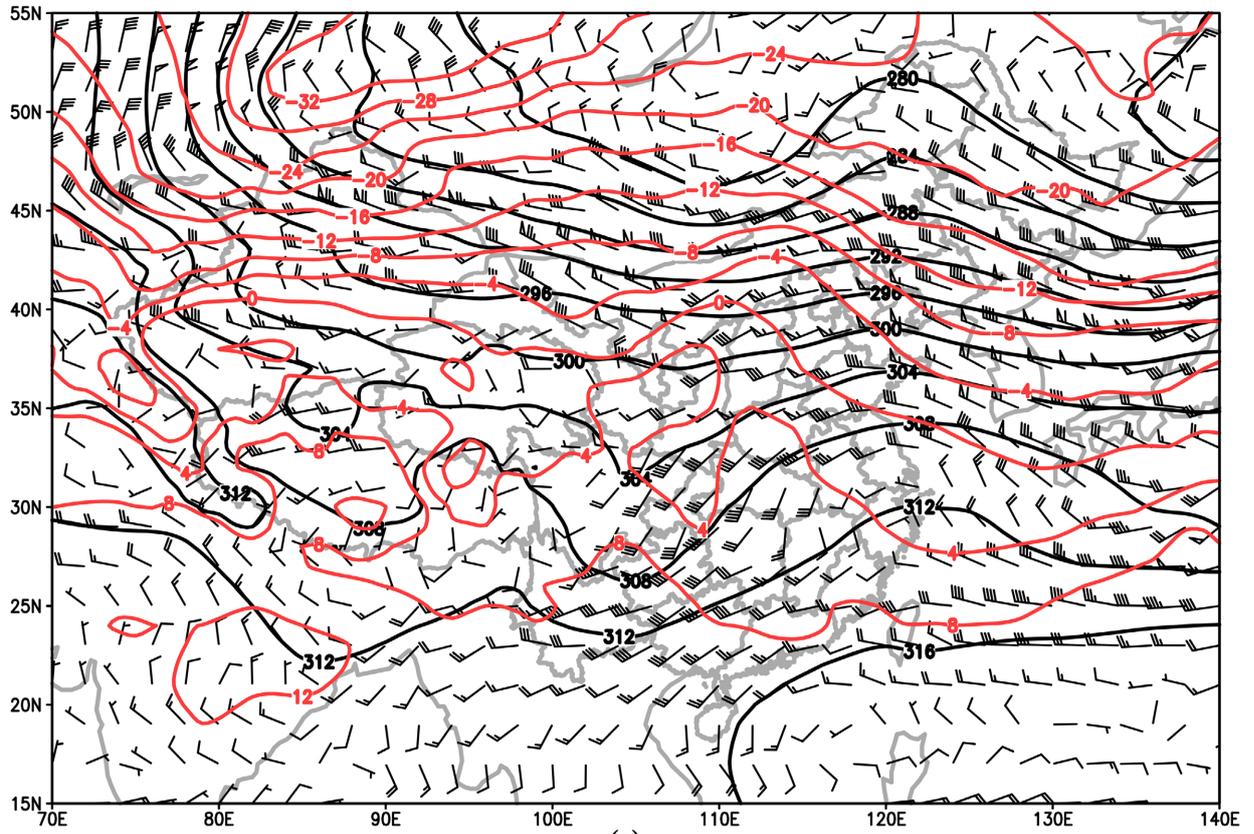
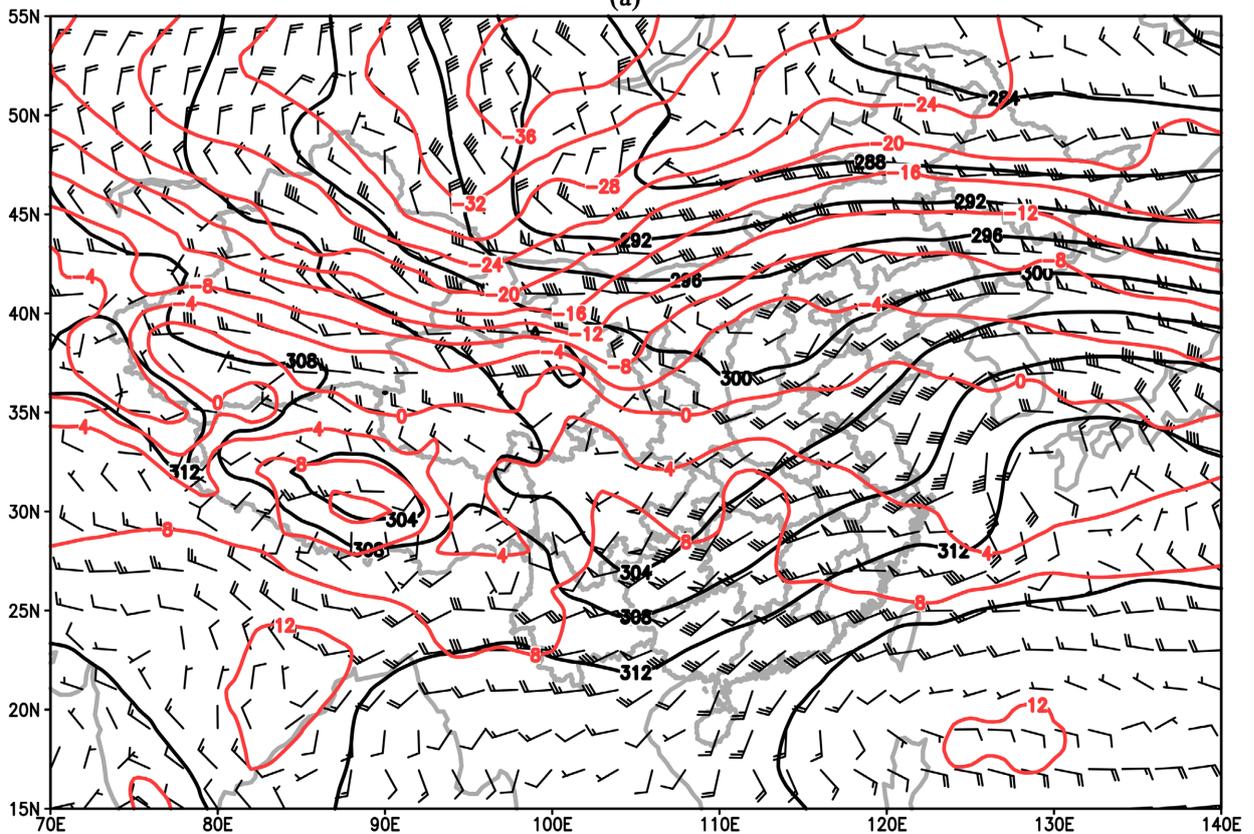


Figure 1. Geopotential height field, temperature field and wind field at 500 hPa at (a) 20:00 on 26th; (b) 08:00 on 27th; (c) 20:00 on 27th; (d) 20:00 on 28th; November, 2022 (geopotential height field unit: dagpm, wind field unit: m/s, temperature field unit: °C)
图 1. 2022 年 11 月 (a) 26 日 20 时; (b) 27 日 08 时; (c) 27 日 20 时; (d) 28 日 20 时 500 hPa 位势高度场、风场以及温度场 (位势高度场单位: 10 gpm, 风场单位: m/s, 温度场单位: °C)



(a)



(b)

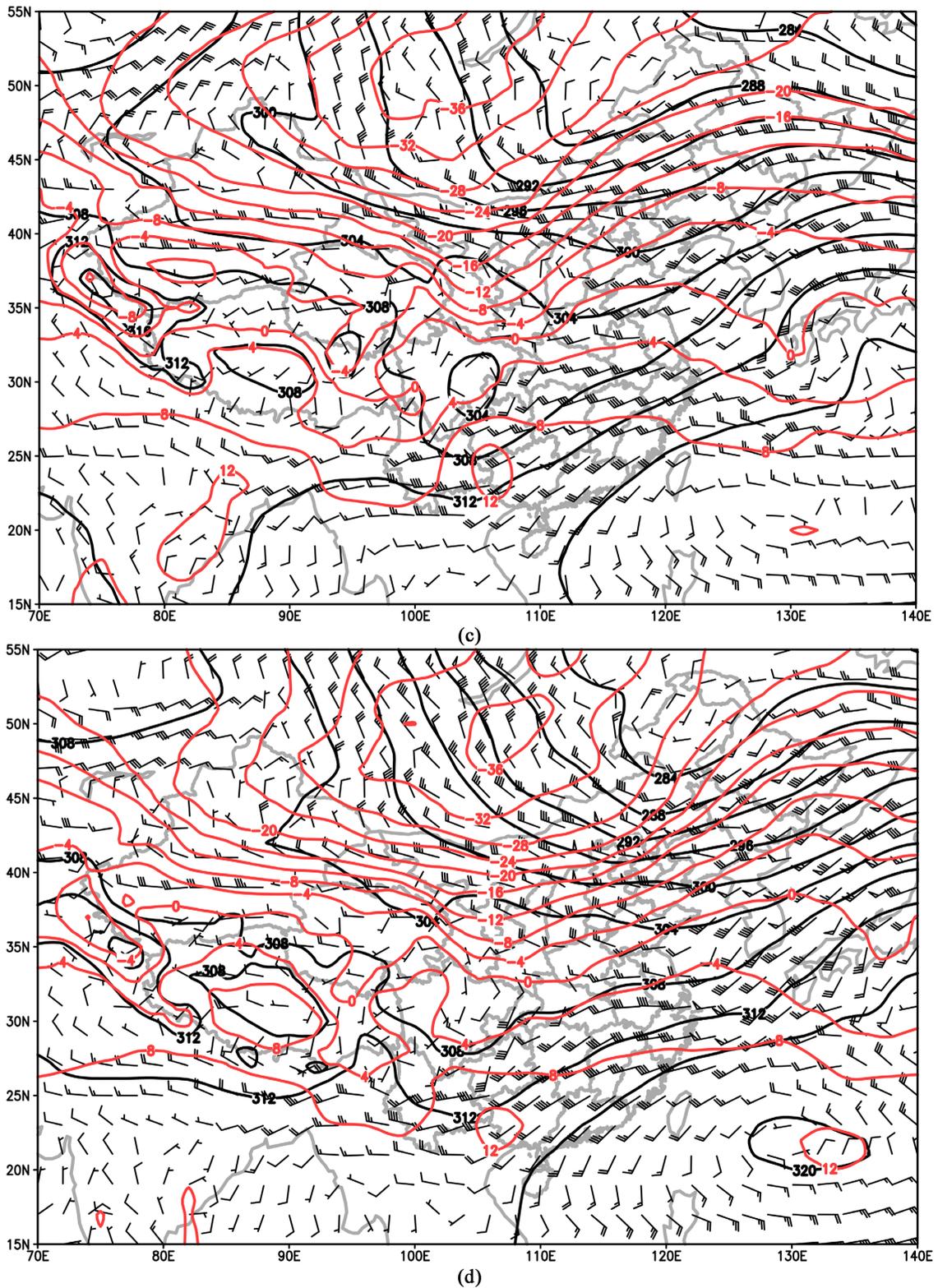


Figure 2. Geopotential height field, temperature field and wind field at 700 hPa at (a) 20:00 on 26th; (b) 08:00 on 27th; (c) 08:00 on 28th; (d) 20:00 on 28th; November, 2022 (geopotential height unit: dagpm, wind field unit: m/s, temperature field unit: °C)

图 2. 2022 年 11 月 (a) 26 日 20 时; (b) 27 日 20 时; (c) 28 日 08 时; (d) 28 日 20 时 700 hPa 位势高度场、风场以及温度场 (位势高度场单位: dagpm, 风场单位: m/s, 温度场单位: °C)

地区形成西南低涡, 南昌地区此时仍处于西南气流中, 为降水区输送了大量的暖湿气流。至 28 日 20 时(图 2(d)), 槽线进一步向东移动, 此时位于四川省东部 - 贵州省西部至云南省东北部一线, 持续的西南气流, 为暴雨的进一步维持提供了有利条件。由以上 700 hPa 环流形势分析可知, 高空槽后西北气流引导冷空气南下与中低层的暖湿气流相交汇, 为本次暴雨过程提供了较好的动力及热力条件。

2.2. 地面环流形势

由地面环流形势分析(图 3)可知, 由于高空槽后冷平流的输送, 南昌地区的海平面气压场逐渐降低, 高层干冷、中低层暖湿的配置增大了气层的不稳定性, 有利于南昌地区对流性强降水的发生。26 日 08 时(图 3(a)), 此时锋面位于我国内蒙古西部 - 甘肃省南部 - 四川省东部 - 贵州省西部以及云南省东北部地区一线, 南昌地区处于锋前位置, 呈东高西低形势, 持续的西南风为降水区输送大量暖气空气, 为暴雨的形成提供了有利的水汽条件。至 27 日 08 时(图 3(b)), 随着锋面系统逐渐向东南方向移动, 南昌地区的气压也进一步降低, 为暴雨的持续提供了有利的动力条件。至 27 日 20 时(图 3(c)), 低压中心位于我国四川省东南部、重庆市西南部以及贵州省中北部地区, 南昌市处于锋前位置, 持续的西南风为强降水天气的持续提供了有利的水汽条件。至 28 日 08 时(图 3(d)), 天气系统移动较为缓慢, 南昌仍处于低压前部, 这种低层强烈的辐合上升运动, 为暴雨的持续提供了有利的动力条件。

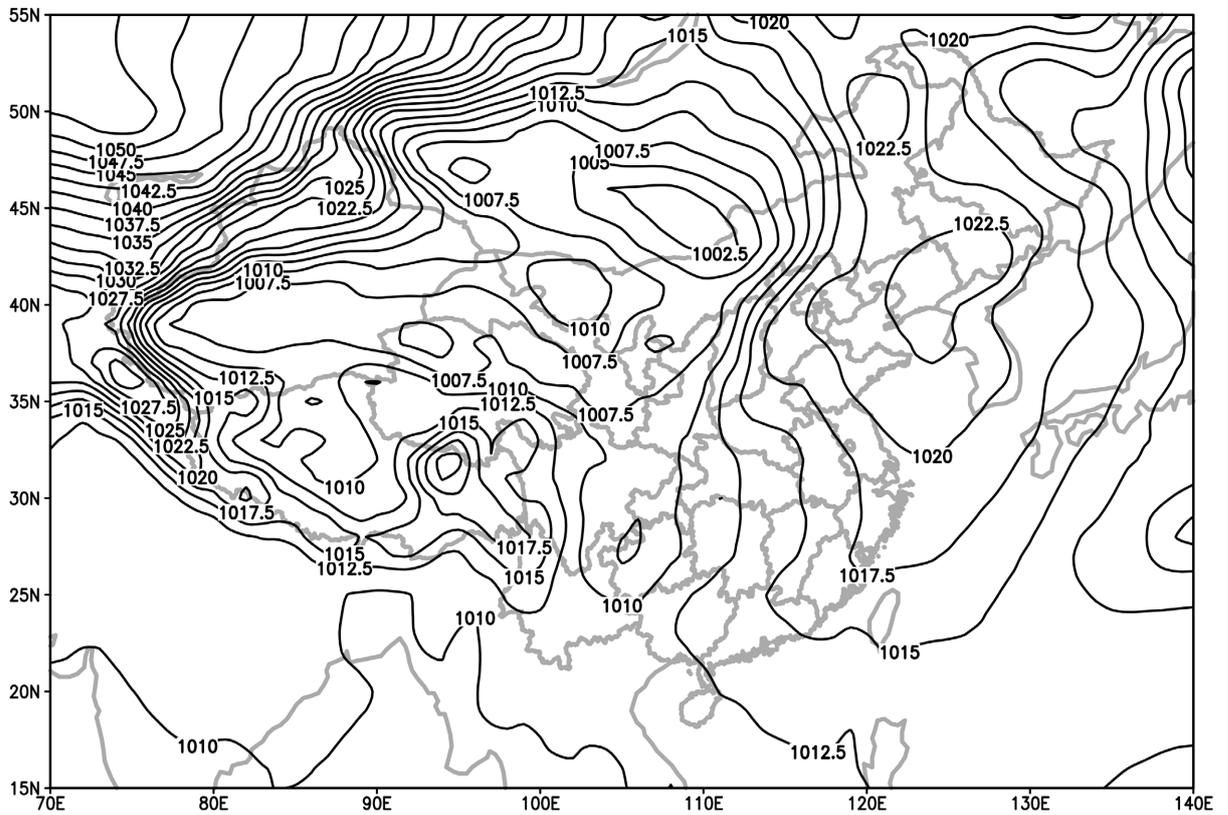
由以上分析可知, 出现在中高层的槽线以及地面锋面系统是此次南昌地区暴雨的主要影响天气系统, 高空槽后西北气流引导冷空气东移南下与中低层的暖湿气流相交汇, 随着空中槽线不断向东移动, 持续的西南气流为南昌地区输送了大量水汽, 为本次暴雨过程提供了较好的动力及热力条件, 同时地面低压系统移动较为缓慢, 这种低层强烈的辐合上升运动, 也有利于南昌地区强对流天气的持续。

3. 物理量诊断分析

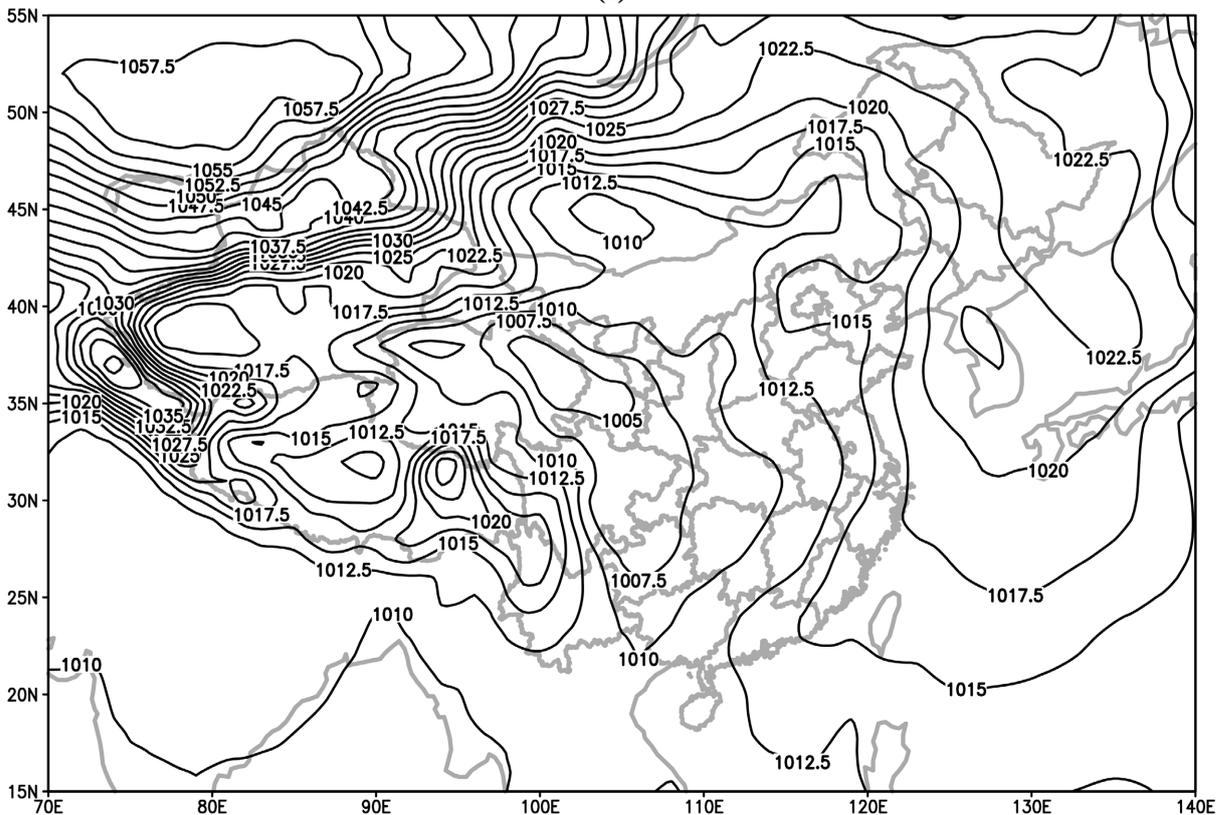
3.1. 水汽条件

一个地区上空水汽含量的多寡对暴雨的产生、发展和结束有着直接的影响, 同时某地降水的强度及频率与该地上空整个大气柱的水汽含量以及水汽饱和程度有着紧密的关联[1]。作为强降水过程发生的关键物理条件之一, 是否有充沛、持续的水汽供应是诊断强降水过程必须要考虑的因素。大气中水汽含量的多少、传输特点及其聚集度是决定降水多少的重要影响因子。

水汽辐合程度对暴雨的发生尤为重要, 通过对整层大气水汽通量散度(图 4)的分析发现, 此次强降水过程中有极强的水汽聚集过程。由 850 hPa 上水汽通量散度以及风场分析可知, 26 日 20 时(图 4(a)), 水汽通量散度的辐合中心位于贵州省西北部地区, 辐合中心强度超过了 $-60 \times 10^{-6} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$, 南昌地区的水汽通量散度也超过了 $-20 \times 10^{-6} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$, 表明此时南昌地区的水汽含量较为充沛, 同时由风场分析可知, 我国华南地区均为偏南气流, 持续向降水区输送来自我国南海地区的水汽, 为强降水天气的形成提供了较为充沛的水汽条件。之后水汽通量散度的辐合中心逐渐向东移动。至 27 日 08 时(图 4(b)), 水汽通量散度的辐合中心位于南昌市南部地区, 其辐合中心强度超过了 $-120 \times 10^{-6} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$, 表明此时江西省南部地区水汽含量仍较为充沛。至 28 日 08 时(图 4(c)), 水汽通量散度的辐合中心已移至南昌市东部地区, 其中心强度仍超过了 $-60 \times 10^{-6} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$, 且江西省大部地区仍为西南气流, 来自孟加拉湾以及我国南海地区的水汽仍不断向降水区输送, 为暴雨的持续提供了有利的水汽条件。由风场分析可知, 在我国安徽省西北部 - 河南省东南部 - 湖北省东部 - 贵州省西部以及四川省东部地区有一切变线, 充足的水汽配合风切变, 为强对流天气的持续提供了有利的水汽以及动力条件。至 28 日 20 时(图 4(d)), 江西省东部以及西部地区的水汽通量散度仍超过 $-20 \times 10^{-6} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$, 同时在贵州省南部地区再次形成水汽通量散度的辐合中心, 其中心强度超过 $-100 \times 10^{-6} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$, 切变线也进一步东移南下, 向南昌地区靠近。由此可知, 南昌地区在此次产



(a)



(b)

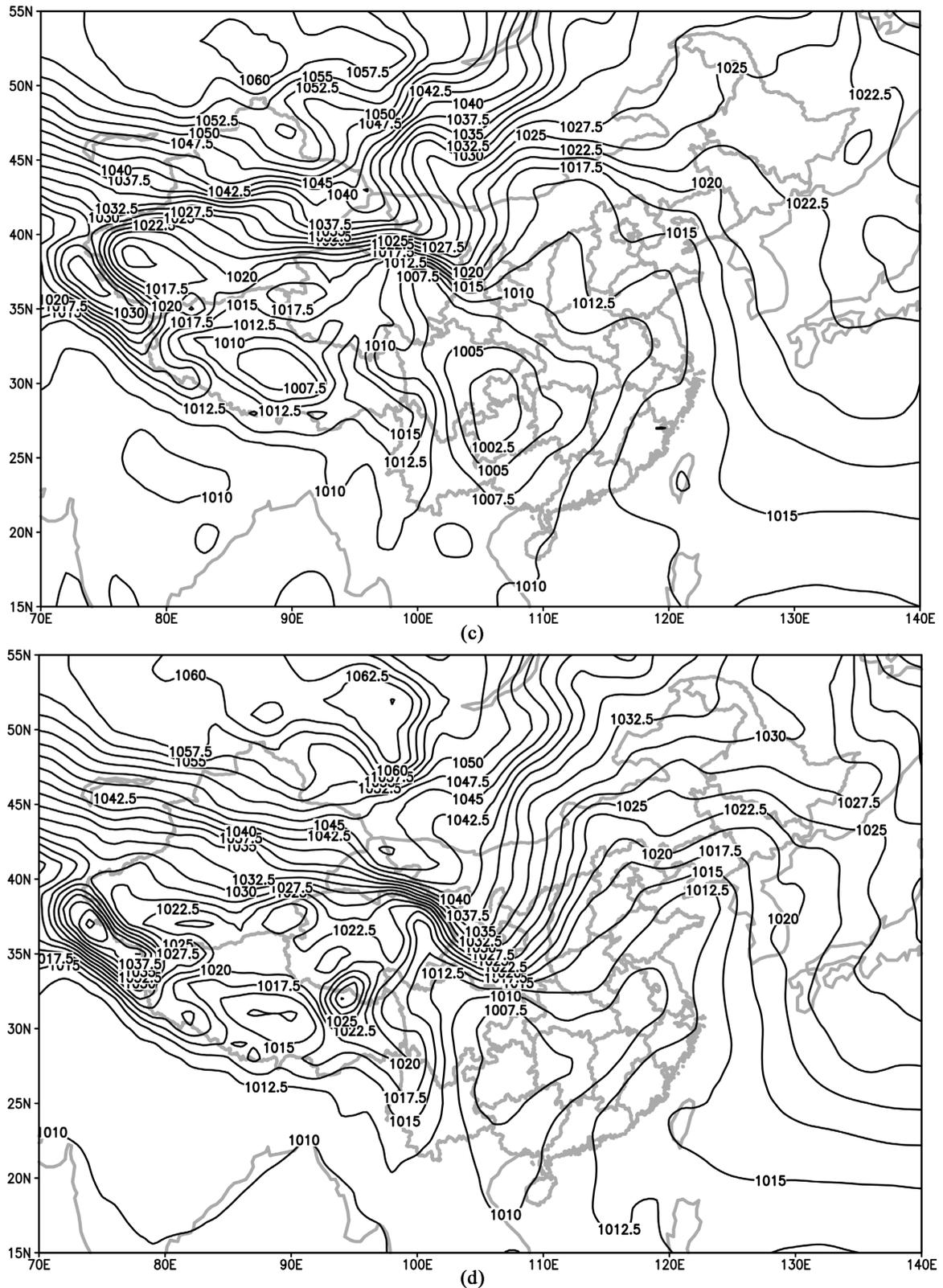
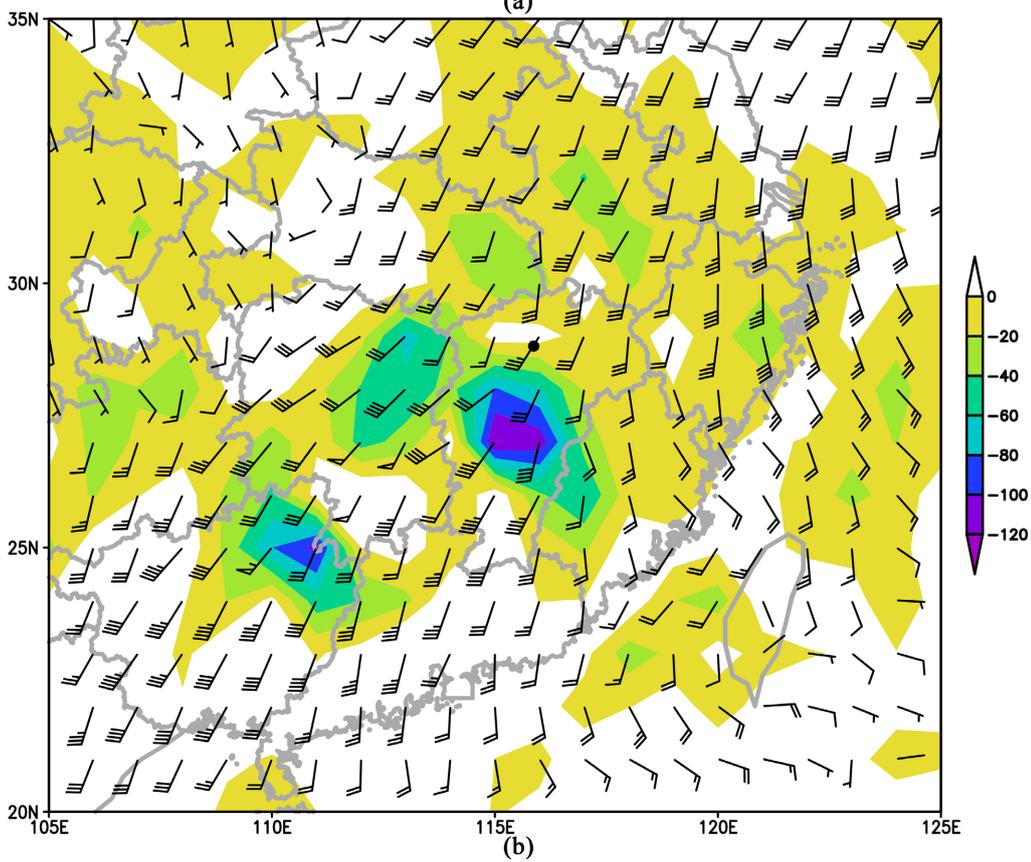
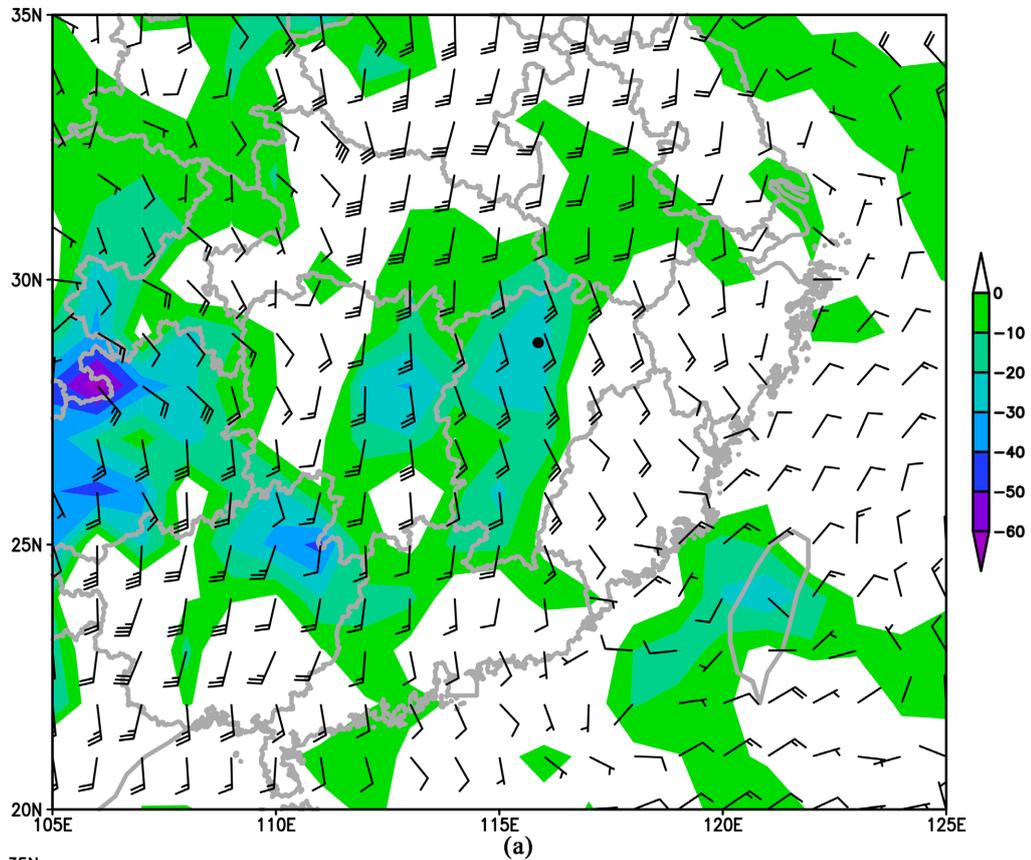


Figure 3. Sea level pressure field at at (a) 20:00 on 26th; (b) 08:00 on 27th; (c) 20:00 on 27th; (d) 20:00 on 28th; November, 2022 (unit: hPa)

图 3. 2022 年 11 月 (a) 26 日 20 时; (b) 27 日 08 时; (c) 27 日 20 时; (d) 28 日 08 时地面气压场 (气压场单位: hPa)



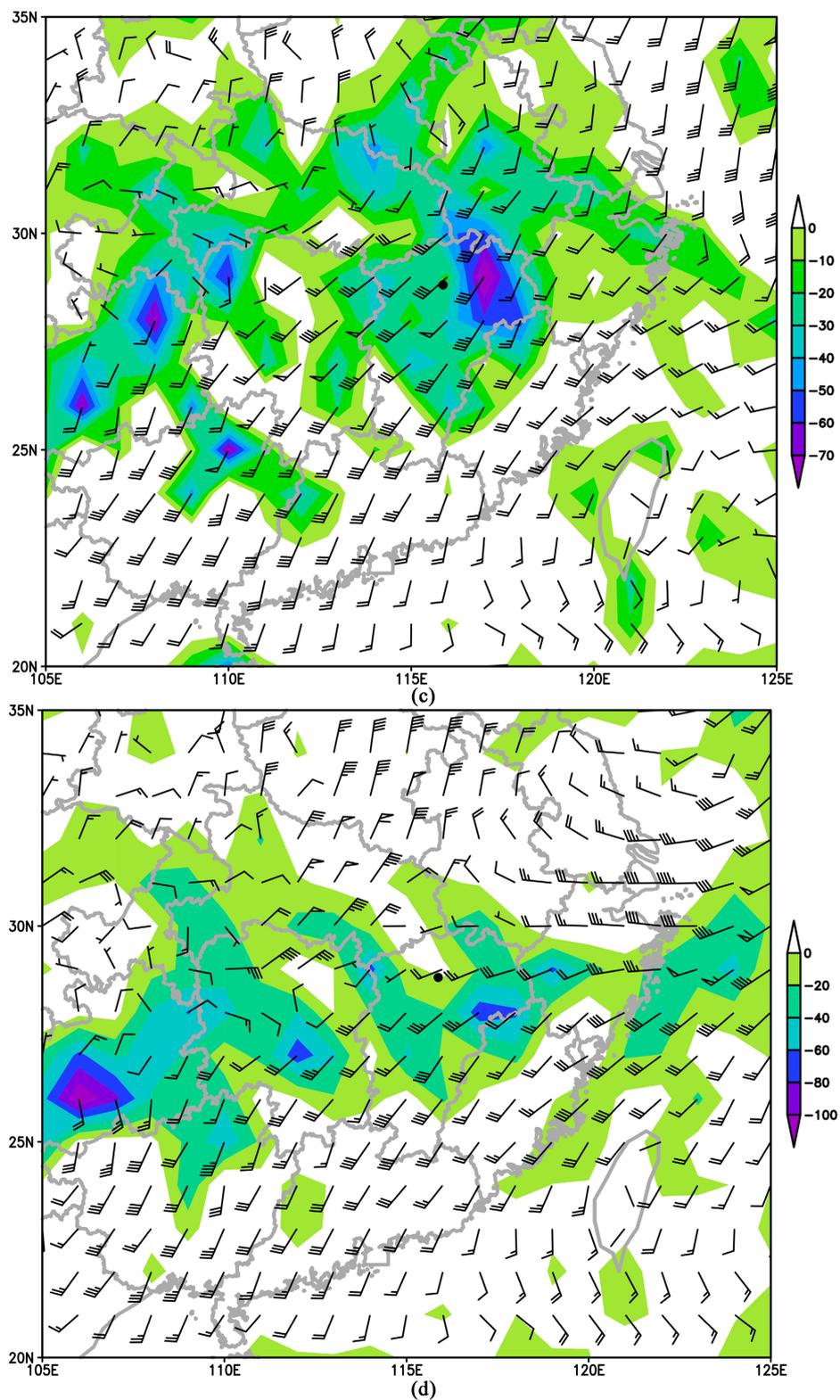


Figure 4. Water vapor flux divergence field (shaded, unit: $10^{-6} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$) and wind field (unit: m/s) at 850 hPa at (a) 20:00 on 26th; (b) 08:00 on 27th; (c) 08:00 on 28th; (d) 20:00 on 28th, November, 2022 (“.” is the location of Nanchang City)

图 4. 2022 年 11 月 (a) 26 日 20 时; (b) 27 日 08 时; (c) 28 日 08 时; (d) 28 日 20 时; 850 hPa 水汽通量散度 (填色, 单位: $10^{-6} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$) 以及风场 (单位: m/s , “.” 为南昌市位置)

生强降水过程的时段内, 水汽辐合过程较为显著, 为暴雨的发生和持续提供了有利的水汽条件, 同时位于 850 hPa 上的风切变也有利于强对流天气的发生发展。

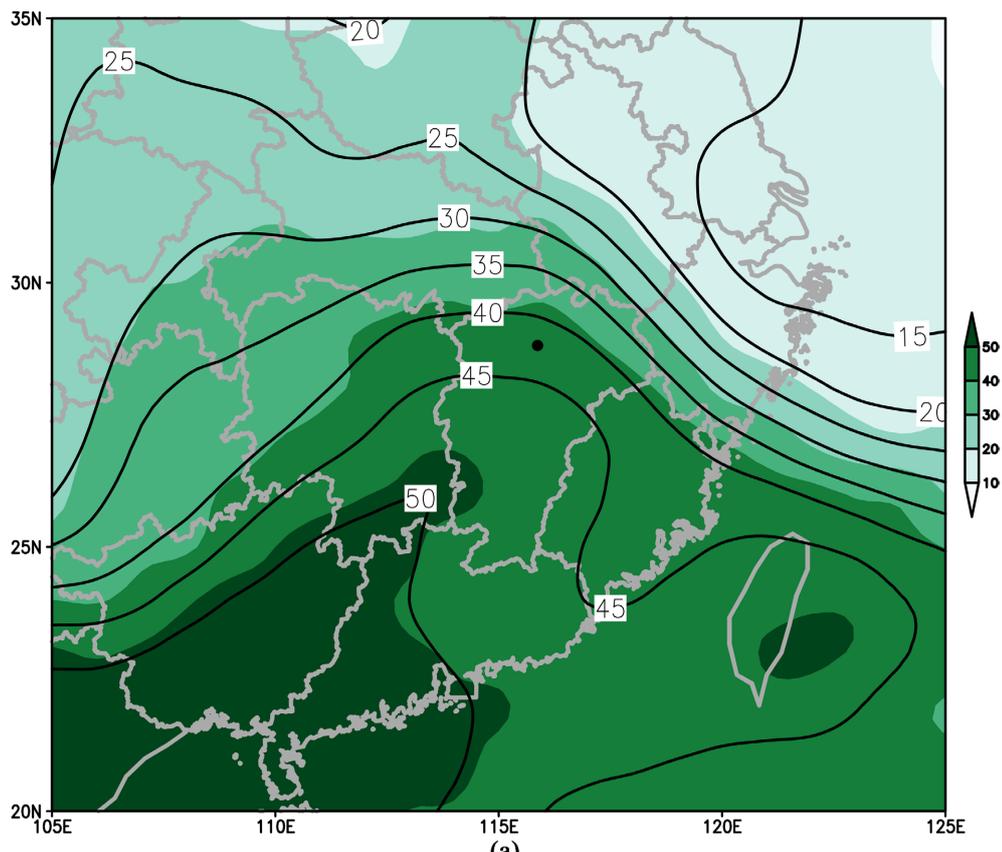
通过整层大气可降水量分析此次南昌地区的雷暴强对流过程的水汽条件, 可以看到, 27 日 08 时(图 5(a)), 本次雷暴强对流过程开始时, 可以看到在华南地区大气可降水量较大, 其中广西省东南部、广东省西部以及湖南省东南部地区最大, 其中心最大值超过 50 kg/m^2 , 且通过持续的西南气流水汽进一步向南昌地区输送, 为暴雨的发生提供了较为充沛的水汽条件。至 27 日 20 时(图 5(b)), 大气可降水量大值区范围有所减小, 中心数值超过 50 kg/m^2 的区域分布在广东省中部地区; 而江西省南部地区大气可降水量仍超过了 30 kg/m^2 , 表明江西省地区的水汽条件仍较好, 有利于强降水天气的持续。28 日 08 时(图 5(c)), 随着本次暴雨过程的持续, 我国华南大部地区的大气可降水量均超过 40 kg/m^2 , 其中南昌市南部地区大气可降水量超过了 50 kg/m^2 , 这表明由于槽前西南气流的影响, 仍有大量水汽不断输送至降水区, 导致此次暴雨过程持续时间较长。28 日 20 时(图 5(d)), 随着空中槽线以及地面锋面系统的东移南下, 在江西省中部以及浙江省西部地区大气可降水量仍超过 50 kg/m^2 , 南昌市位于大气可降水量大值区北部, 为此次南昌地区暴雨的发展提供了较好的水汽条件。

3.2. 动力条件

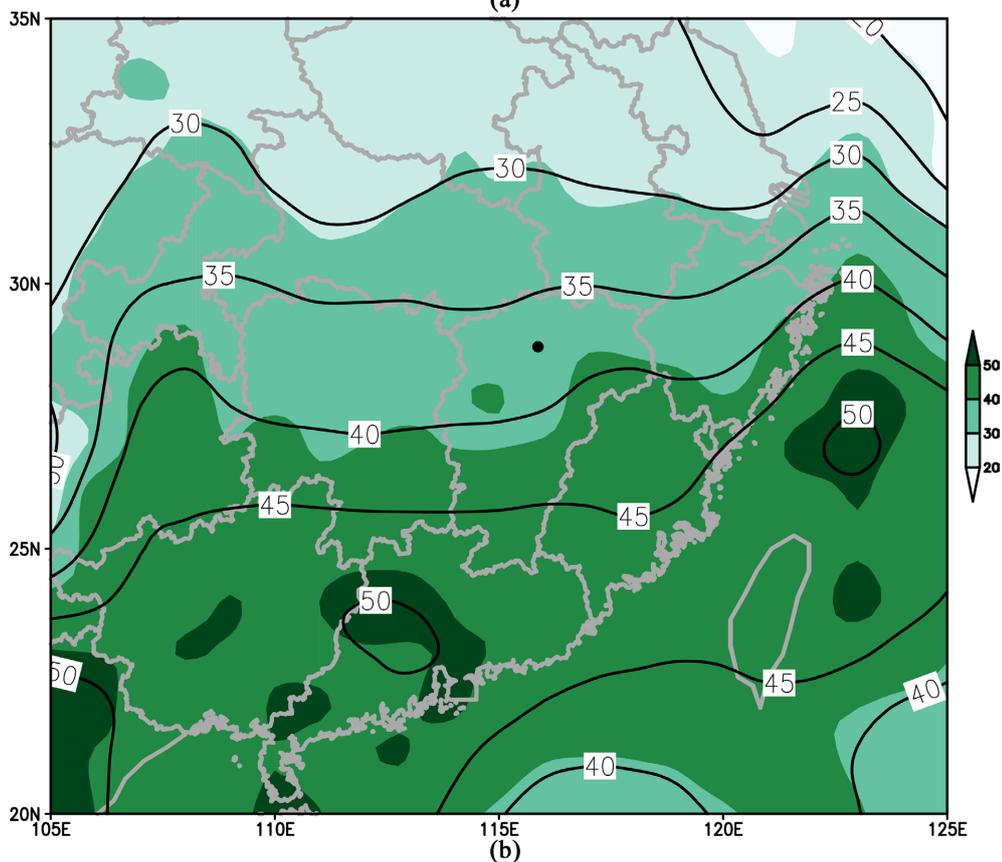
充沛的水汽、较长时间的维持和强烈的上升运动是促使暴雨过程发生、发展的必要条件[2], 而散度、垂直速度通常被用以表征强降水过程中动力条件的强弱。由图 6 可知, 27 日 08 时, 强降水开始时, 南昌市昌北机场上空 850~600 hPa 上存在显著的垂直运动场负值区, 表明该区域存在一定的垂直上升运动, 而在 600~500 hPa 上为垂直运动场正值区, 表明该区域存在垂直下沉运动, 这种交替的上升下沉运动有利于强对流天气的发生发展。同时由散度场分析可知, 在 850~700 hPa 上为散度负值区, 表明该区域有辐合上升运动, 而在高空 700-500 hPa 以及 400 hPa 以上为散度正值区, 表明在该区域有辐散下沉运动, 这种交替的上升下沉运动为暴雨的发生提供了较好的动力条件。至 28 日 08 时, 昌北机场上空近地层至 500 hPa 之间存在较强的垂直上升运动, 随着天气系统向昌北机场地区移动, 西南气流进一步加强使气旋性环流也增强, 辐合上升运动有所加强, 为降水的持续提供了动力抬升条件。随着强降水天气的持续, 至 28 日 20 时, 在昌北机场上空近地层至 700 hPa 之间存在较为深厚的散度场负值区, 表明该区域存在强烈的辐合上升运动, 而在 600 hPa 以上为散度场正值区, 表明在该区域存在辐散下沉运动, 南昌市昌北机场上空的上升下沉运动较为强烈, 湍流运动较强, 为强对流天气的持续提供了有利条件。由以上分析可知, 在昌北机场地区低空辐合, 高空辐散产生的抽吸作用利于垂直上升运动的加强和维持, 为强对流天气的发生发展提供了较为有利的动力条件。同时由于高空槽在高层大气中引导冷空气南下, 低层又存在充足的暖湿气流, 在这样的配置下, 斜压能量在中层得到大量积累, 这种斜升区带来的斜压不稳定, 为不稳定能量的储备及释放提供了强大的动力机制。

3.3. 热力条件

假相当位温(θ_{se})是表征大气温湿特征的物理量, 对流层中, θ_{se} 的数值越高, 代表着对应的区域温度和湿度越高[3]。在暴雨发生前, 江西地区持续高温, 前期高温导致近地层的高能存在。由图 7 可知, 强降水开始时 27 日 08 时, 在昌北机场上空 400 hPa 以上假相当位温较大超过 330 K, 大值区位于 300 hPa 以上, 最大超过 342 K, 这与前文高空环流形势的分析一致(图 1、图 2), 表明此时昌北地区处于槽前, 西南气流输送了大量的暖湿气流, 为强对流天气的发生提供了充足的水汽条件。随着强降水天气的持续至 28 日 08~20 时, 在昌北机场近地层至 700 hPa 以及 300 hPa 以上区域假相当位温仍较大, 普遍超过 334 K, 中心最大值超过 338 K, 具备高能高湿的不稳定条件, 表明此时昌北机场上空已积累了大量不稳定能



(a)



(b)

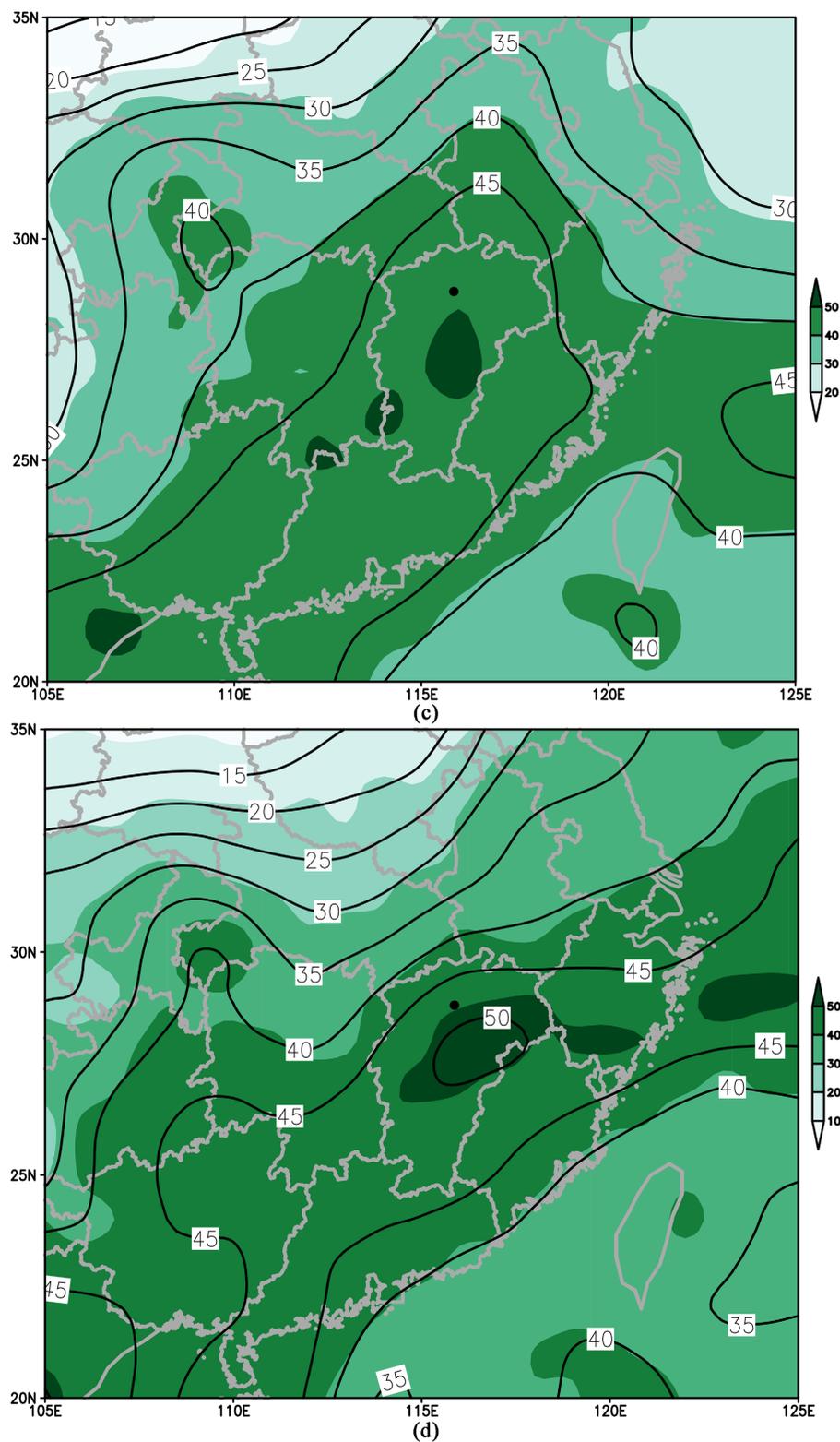


Figure 5. Total atmospheric precipitable water field (shaded, unit: kg/m^2) at (a) 08:00 on 27th; (b) 20:00 on 27th; (c) 08:00 on 28th; (d) 20:00 on 28th; November, 2022 (“.” is the location of Nanchang City)

图 5. 2022 年 11 月 (a) 27 日 08 时; (b) 27 日 20 时; (c) 28 日 08 时; (d) 28 日 20 时; 整层大气可降水量 (单位: kg/m^2 , “.” 为南昌市位置)

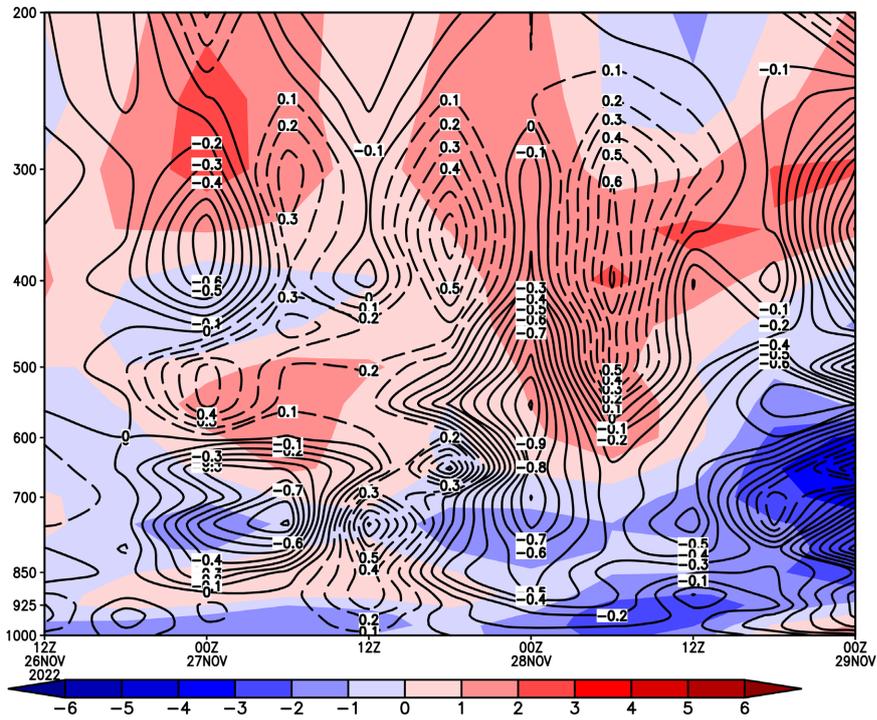


Figure 6. Profile of omega field (isoline, unit: Pa/s) and divergence field (color filling, unit: 10^{-6} s^{-1}) from 20:00 on 26th to 08:00 on 29th on November, 2022, along Changbei airport

图 6. 2022 年 11 月 26 日 20 时至 29 日 08 时沿昌北机场随时间高度剖面垂直速度场(等值线, 单位: Pa/s)以及散度场(填色, 单位: 10^{-6} s^{-1})

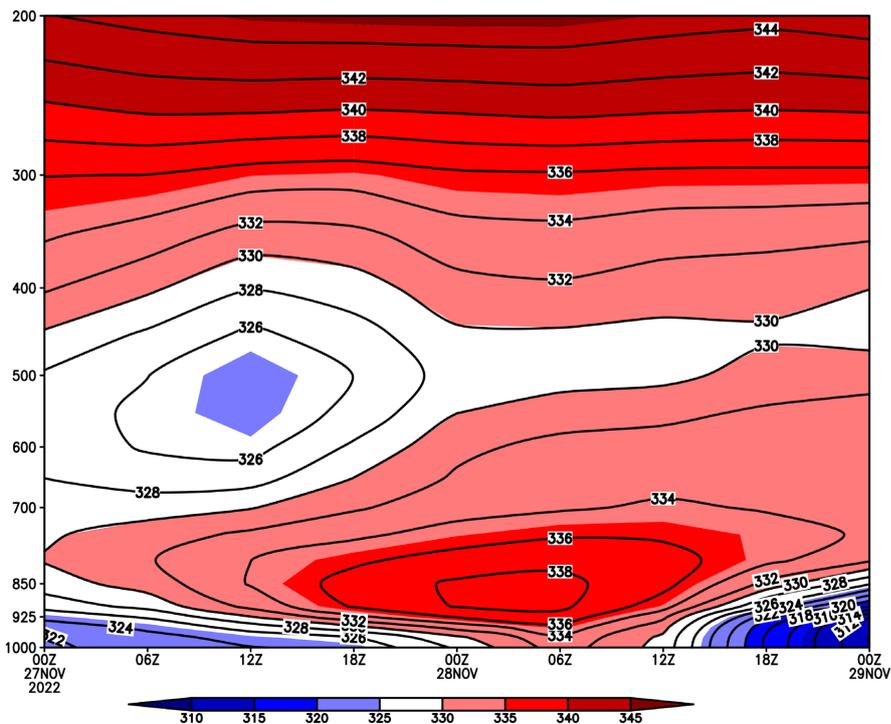


Figure 7. Profile of pseudoequivalent potential temperature field (unit: K) from 20:00 on 26th to 08:00 on 29th on November, 2022, along Changbei airport

图 7. 2022 年 11 月 26 日 20 时至 29 日 08 时沿昌北机场随时间高度剖面假相当位温场(单位: K)

量, 有利于强对流天气的维持, 且随着降水的发生, 不稳定能量逐渐释放, 进一步为强对流天气的持续发展提供有利的热力条件。

图 8 给出了南昌市昌北机场上空的温度平流分布, 可以看到, 27 日 08 时, 昌北机场上空 400 hPa 以上有较为深厚的暖平流, 其中心最大值超过 20°C , 27 日 08 时~28 日 08 时, 昌北机场上空近地层至 500 hPa 以及 400~200 hPa 上分别有一暖平流中心, 其中心最大值均超过 15°C , 表明在此次强降水天气开始时期, 由于槽前持续的西南气流为昌北机场地区输送了大量暖湿气流, 使得昌北机场上空具备高温高湿的不稳定条件, 有利于强对流天气的发生。随着强降水天气的持续, 28 日 20 时~29 日 08 时, 昌北机场上空近地层至 850 hPa 以及 400~300 hPa 分别形成了一冷平流中心, 其中心最大值分别超过 -20°C 以及 -10°C , 而在 700~400 hPa 之间仍为暖平流, 这表明随着天气系统的移动, 冷暖气团交汇加剧, 进一步为强对流天气的发展提供了有利条件; 同时由图还可知, 在昌北机场近地层至 500 hPa 之间存在较为深厚的逆温层, 且温度梯度较大, 有利于不稳定能量的积累, 同样有利于强对流天气过程的持续。

综上所述, 干冷空气与暖湿气流在昌北机场地区上空交汇, 以及较为深厚的逆温层增大了昌北机场上空的温度梯度, 从而加强了水汽在暴雨区的积聚, 为南昌市昌北机场地区暴雨的发生、发展提供了有利的热力条件。

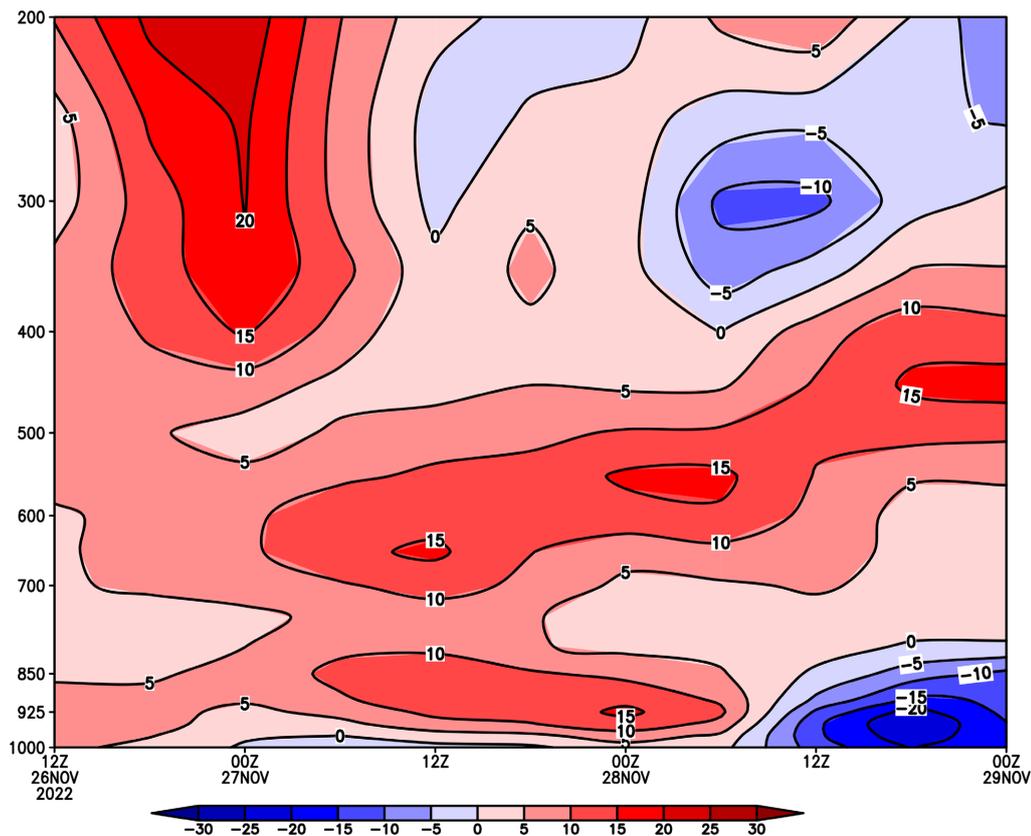


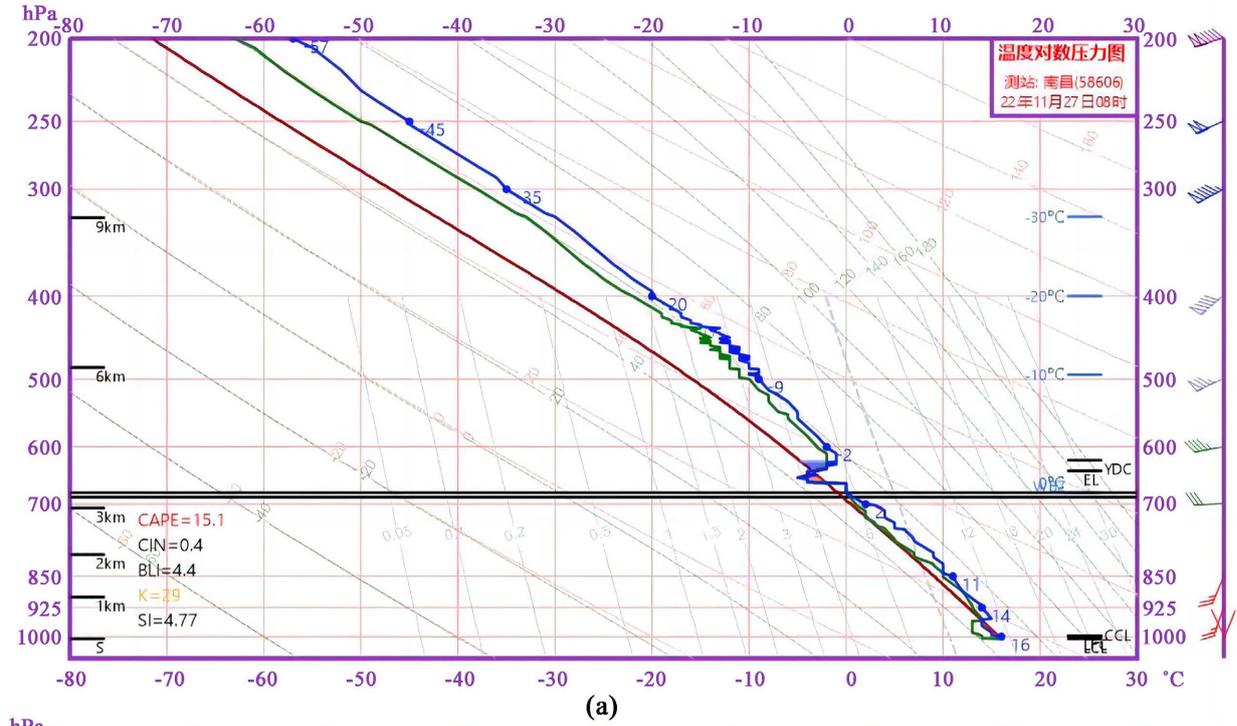
Figure 8. Profile of temperature advection field (unit: $10^{-3}^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$) from 20:00 on 26th to 08:00 on 29th on November, 2022, along Changbei airport

图 8. 2022 年 11 月 26 日 20 时至 29 日 08 时沿昌北机场随时间高度剖面温度平流(单位: $10^{-3}^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$)

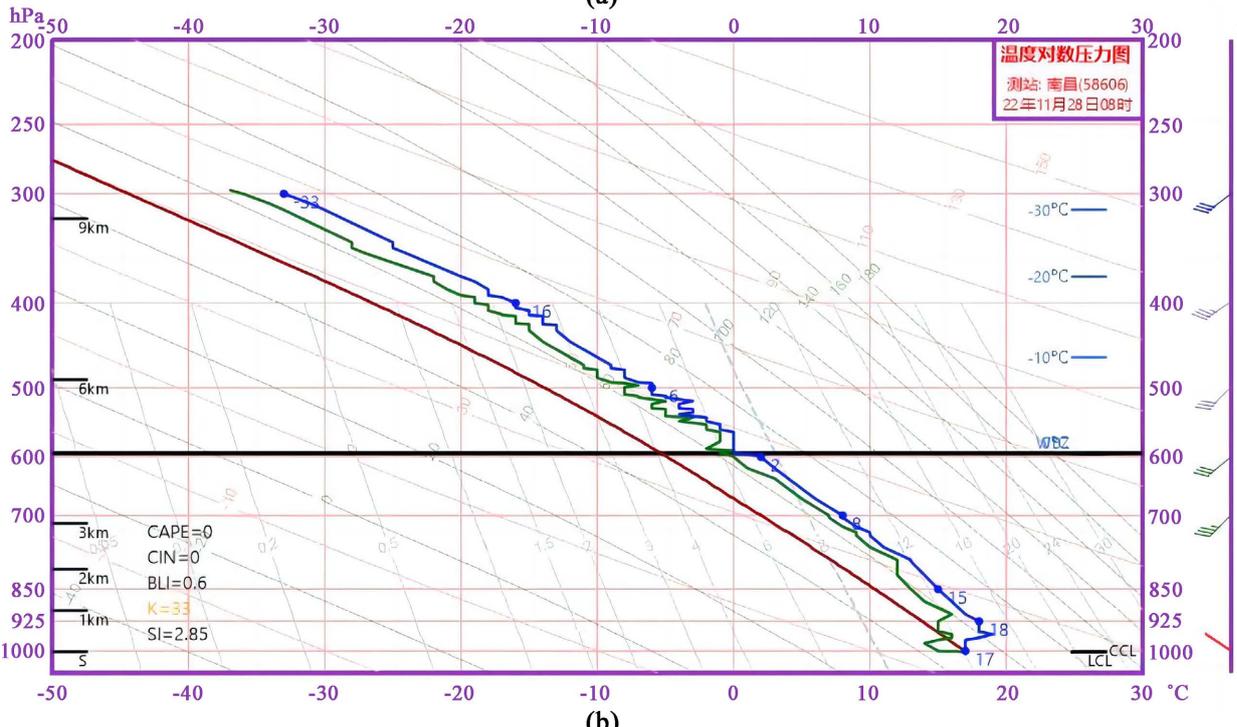
3.4. 不稳定能量

本文选取南昌站的探空图(图 9)分析此次雷暴强对流天气过程的不稳定能量, 由探空的比湿曲线可以

看出, 27 日 08 时(图 9(a)), 850 hPa 以下水汽含量在 8 g/kg 以上, 说明近地层水汽条件好, 在接近 925 hPa 以下有逆温层, 同时在 700~600 hPa 之间层结曲线落后于状态曲线, 表明在该区域积累了大量不稳定能量, 有利于强对流天气的发生。至 28 日 08 时(图 9(b)), 逆温层范围仍维持在 925 hPa 以下, 说明此时不稳定能量得到进一步累积, 同时由图可知, 南昌地区上空整层大气均为西南风, 持续的西南气流为降水区输送了大量暖湿空气, 有利于强对流天气的维持。至 28 日 20 时(图 9(c)), 该站点上空西南风仍较大,



(a)



(b)

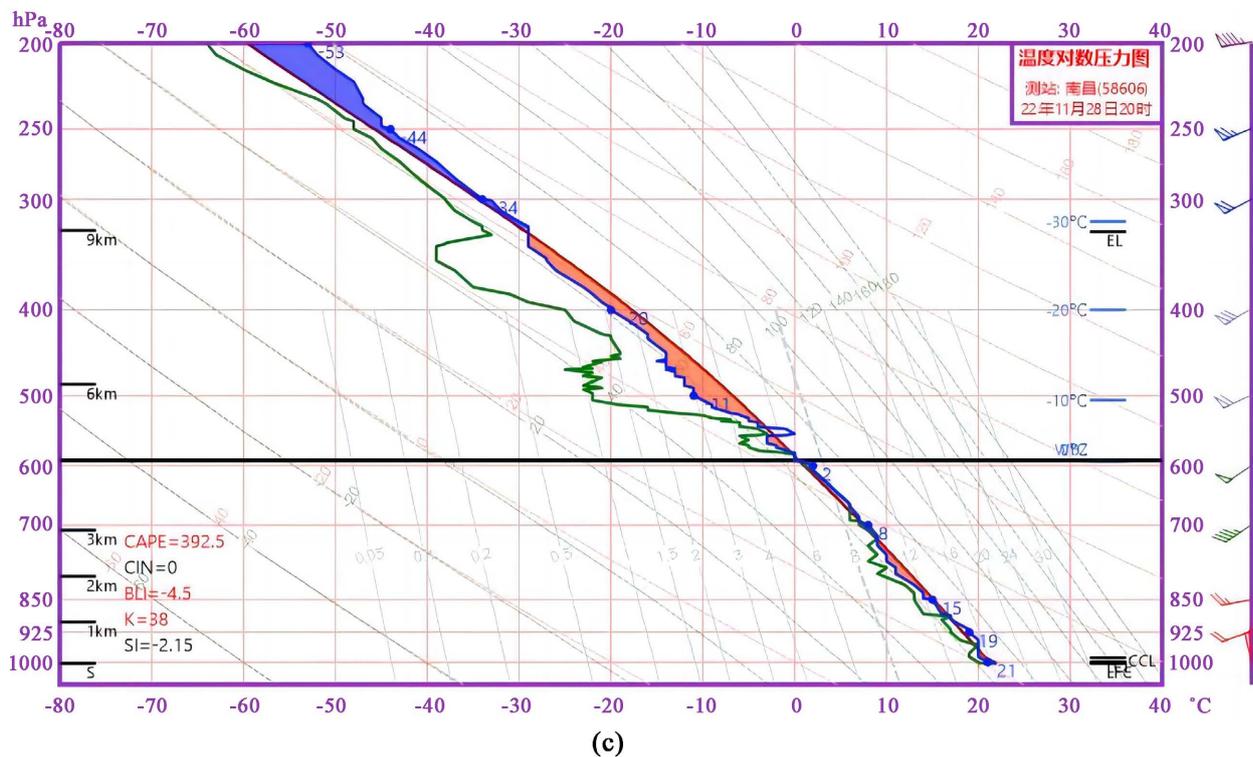


Figure 9. T-lnp Sounding field at Nanchang station at (a) 08:00 on 27th; (b) 08:00 on 28th; (c) 20:00 on 28th; November, 2022
图 9. 2022 年 11 月(a) 27 日 08 时; (b) 28 日 08 时; (c) 28 日 20 时南昌站探空

有利于斜升气流的发展, 为对流的发展以及维持提供了有利条件; 此时在 850~700 hPa 以及 600~300 hPa 之间层结曲线落后于状态曲线, 且 CAPE 值为 392.5 J/kg, 表明此时南昌地区上空不稳定能量较为充沛, 为此次雷暴强对流过程的持续发展提供了较为有利的动力、热力条件。由此可知, 此次南昌地区的强对流天气过程, 近地层的逆温层使得不稳定能量得以积累, 同时持续的西南风, 为降水区输送了大量暖湿气流, 提供了高温高湿的不稳定条件, 为强对流天气的发生发展提供了有利条件。

4. 小结

本文利用 NCEP 提供的 FNL 再分析资料对 2022 年 11 月 26~28 日南昌地区强降水天气过程的天气学成因进行了诊断分析, 得到如下结论:

1) 从环流形势上分析可知, 出现在中高层的槽线以及地面锋面系统是此次南昌地区暴雨的主要影响天气系统, 高空槽后西北气流引导冷空气东移南下与中低层的暖湿气流相交汇, 随着空中槽线不断向东移动, 持续的西南气流为南昌地区输送了大量水汽, 为本次暴雨过程提供了较好的动力及热力条件, 同时地面低压系统移动较为缓慢, 这种低层强烈的辐合上升运动, 也有利于南昌地区强对流天气的持续。

2) 水汽条件方面, 南昌地区在此次产生强降水过程的时段内, 水汽辐合过程较为显著, 为暴雨的发生和持续提供了有利的水汽条件, 同时位于 850 hPa 上的风切变也有利于强对流天气的发生发展。

3) 动力条件方面, 在昌北机场地区低空辐合, 高空辐散产生的抽吸作用利于垂直上升运动的加强和维持, 为强对流天气的发生发展提供了较为有利的动力条件。同时由于高空槽在高层大气中引导冷空气南下, 低层又存在充足的暖湿气流, 在这样的配置下, 斜压能量在中层得到大量积累, 这种斜升区带来的斜压不稳定, 为不稳定能量的储备及释放提供了强大的动力机制。

4) 热力条件方面, 干冷空气与暖湿气流在昌北机场地区上空交汇, 以及较为深厚的逆温层增大了昌

北机场上空的温度梯度, 从而加强了水汽在暴雨区的积聚, 为南昌市昌北机场地区强对流天气的发生、发展提供了有利的热力条件。

5) 不稳定能量方面, 此次南昌地区的强对流天气过程, 近地层的逆温层使得不稳定能量得以积累, 同时持续的西南风, 为降水区输送了大量暖湿气流, 提供了高温高湿的不稳定条件, 为强对流天气的发生发展提供了有利条件。

参考文献

- [1] 韩经纬, 吴学宏, 宋桂英, 等. 2006年春季内蒙古久旱转雨过程分析[J]. 气象科学, 2009, 29(2): 2235-2240.
- [2] 王珏, 梁琪瑶, 易伟霞, 等. 一次区域性暴雨过程综合诊断分析[J]. 气象与环境科学, 2009, 32(3): 10-14.
- [3] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 天气学原理和方法[M]. 第四版. 北京: 气象出版社, 2000: 385-400.