

安顺市一次局地大暴雨天气漏报原因分析

蒙军 徐良军 王冉熙 王兴菊 刘思洋
(贵州省安顺市气象局, 安顺 561000)

摘要: 利用NCEP $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析资料、区域自动站观测资料、雷达资料、FY-2G卫星资料等, 分析了2021年8月10—11日安顺市局地大暴雨的天气系统、环境条件、TBB特征、雷达回波特征等, 并结合数值模式预报对本次局地大暴雨天气进行分析和反思, 结果表明: 1) 本次局地大暴雨天气夜雨特征明显, 且以对流性降雨为主; 2) 安顺市北部的大暴雨是副热带高压外围低槽配合冷空气导致的, 安顺市西部的大暴雨是滇南倒槽北抬加强导致的; 3) 导致安顺市北部的大暴雨天气系统较为深厚, 导致安顺市西部的大暴雨天气系统较为浅薄; 4) 数值预报对副热带高压东西移动的强度和位置偏差, 以及对滇南倒槽发展变化的位置偏差, 是本次局地大暴雨天气漏报的主要原因。

关键词: 大暴雨, 局地, 漏报, 倒槽

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2023.03.007

Cause Analysis of Underreporting of a Local Rainstorm in Anshun City

Meng Jun, Xu Liangjun, Wang Ranxi, Wang Xingju, Liu Siyang
(Anshun Meteorological Bureau of Guizhou Province, Anshun 561000)

Abstract: Combined with various numerical models, the weather system, environmental conditions, TBB characteristics and radar echo characteristics of the local heavy rain in Anshun City from August 10 to 11, 2021 are analyzed by using NCEP $1^\circ \times 1^\circ$ reanalysis data, regional automatic station observation data, radar data and FY-2G satellite data to reflect on the local heavy rain weather forecast during that period of time. The results show that (1) The local rainstorm has obvious characteristics of night rain and convective precipitation; (2) The heavy rain in the north of Anshun City is caused by the low trough around the subtropical high combined with cold air, while the heavy rain in the west of Anshun City is triggered by the strengthening of the northward uplift of the inverted trough in southern Yunnan; (3) The synoptic system leading to the heavy rainfall in the north is relatively deep, while the synoptic system causing the rainstorm in the west is relatively shallow; (4) The main reasons for the underreporting of the local heavy rain are the prediction deviation of the intensity and position of the east-west movement of the subtropical high and the prediction deviation of the development of the inverted trough in southern Yunnan.

Keywords: rainstorm, local, underreporting, inverted slot

0 引言

安顺市在夏季常常出现突发性强降雨天气, 并造成严重的灾害, 给人民的生产和生活带来很大的影响。近年来国内外专家学者对暴雨天气进行了大量的研究^[1-9], 尽管如此, 在预报中仍会出现暴雨预报偏差。陈淑琴等^[10]分三个阶段对浙江一次暴雨预报失败进行详细分析, 指出冷空气和热带低压的活动导致系统演变和维持时间的预报偏差, 使得暴雨天气预报失败; 欧阳大量等^[11]对黔东南暴雨漏报过程进行了统计分析, 将漏报的暴雨天气系统分为了3种类型, 分别为局地地形增强型、局地热雷暴型和春季强对流单体型; 陆琛莉等^[12]对杭州湾2015年7月的一次“梅中返春”稳定性持续暴雨预报失误进行分析, 指出在稳定

性降雨预报中, 预报员需重视模式在预报临近时刻的调整, 根据实况监测和雨带的移动、演变对冷暖气流影响作甄别, 及时调整降雨落区和影响时间, 才能做出更准确的预报。为了提升对暴雨天气的认识, 分析暴雨天气的成因, 总结暴雨天气漏报的原因, 本文利用NCEP $1^\circ \times 1^\circ$ 逐6 h再分析资料、常规观测资料、地面观测资料、FY-2G逐小时探测资料、贵阳多普勒雷达资料等对2021年8月10—11日安顺市局地大暴雨天气漏报的原因进行分析, 以期为提高大暴雨的预报准确率总结经验。

1 天气实况分析及各家数值模式预报效果检验

1.1 天气实况分析

从图1可以看到, 2021年8月10日夜间安顺市出现了局地大到暴雨, 一共有16个区域自动站出现了暴雨

收稿日期: 2022年1月6日; 修回日期: 2022年4月10日
第一作者: 蒙军(1988—), Email: 460248283@qq.com

(24 h降雨量大于50 mm)以上降雨, 其中市西部的关岭木厂(图1d)出现了大暴雨, 累计雨量为100.8 mm, 市北部的平坝斯拉河(图1e)也出现了大暴雨, 累计雨量为100.4 mm。这次局地性暴雨和大暴雨天气主要是由短时强降雨产生的, 在16个站的暴雨以上降雨中有14个站出现了短时强降雨(1 h降雨量大于20 mm), 占全部暴雨站的87.5%, 最大小时雨强在普定县补郎

乡, 为58.7 mm/h。

本次降雨以对流性降雨为主, 小时雨强较强, 降雨主要集中在10日23时—11日5时(北京时, 下同), 有明显的夜雨特征。

1.2 各家数值模式降雨落区预报检验

从各家数值模式预报的降雨落区可以看到, ECMWF、广州模式、贵州WRF对安顺区域10日20

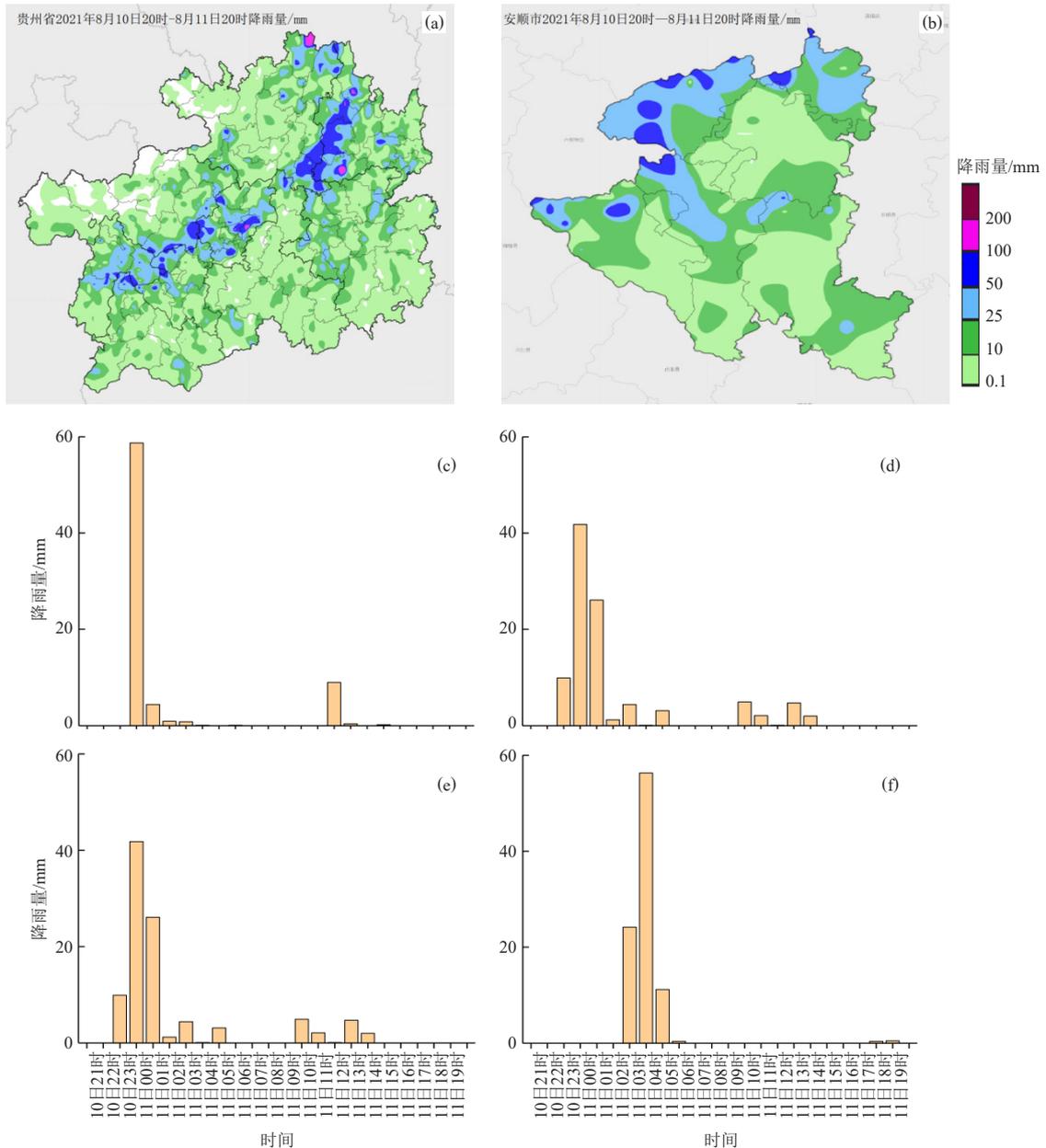


图1 2021年8月10日20时—2021年8月11日20时降雨量

(a) 贵州省累计降雨量; (b) 安顺市累计降雨量; (c) 普定补郎逐小时降雨量; (d) 关岭木厂逐小时降雨量; (e) 平坝斯拉河逐小时降雨量; (f) 关岭岗乌逐小时降雨量

Fig. 1 Rainfall from 20:00 BT of August 10 to 20:00 BT of August 11, 2021

(a) Cumulative rainfall in Guizhou Province; (b) Cumulative rainfall in Anshun City; (c) Hourly rainfall at Bulang in Puding; (d) Hourly rainfall at Muchang in Guanling; (e) Hourly rainfall at Sila River in Pingba; (f) Hourly rainfall at Gangwu in Guanling

时—11日08时的降雨预报均为小雨(图2a、图2b、图2d、图2g、图2h、图2j);上海模式在安顺中部和南部预报了暴雨和大暴雨(图2c、图2i),与实况暴雨出现的落区位置有所偏差;CMA-MESO模式9日20时起报的降雨落区在安顺市东南部边缘预报了局地暴雨(图2f),CMA-MESO在10日08时起报的降雨落区中安

顺市都没有预报暴雨(图2l);与实况降雨落区最接近的是CMA-3KM降雨落区预报(图2e、图2k)。

从广州3KM模式(图3)逐时同化的降雨落区预报可以看到,10日08时和11时起报的暴雨落区均位于安顺市北部,但14—23时起报的降雨量级和暴雨范围不断调小,仅在安顺市南部预报了局地的暴雨。

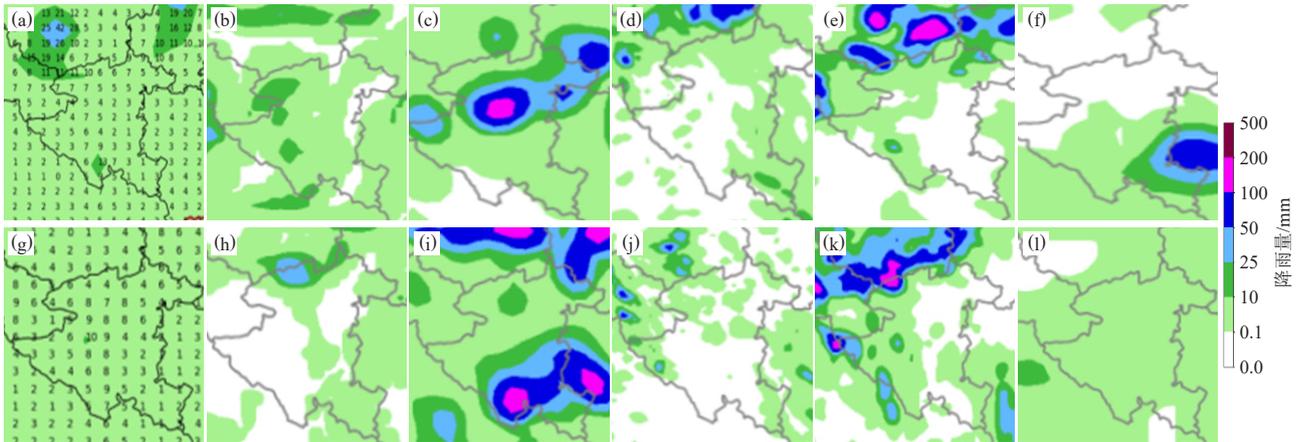


图2 不同模式对2021年8月10日20时—11日08时降雨落区预报(上:9日20时起报;下:10日08时起报)
 (a, g) ECMWF; (b, h) 广州模式; (c, i) 上海模式; (d, j) 贵州WRF模式; (e, k) CMA-3KM; (f, l) CMA-MESO
 Fig. 2 The predicted rainfall falling area by different models from 20:00 BT of August 10 to 08:00 BT of August 11, 2021
 (upper: the forecast starting at 20:00 BT of August 9; lower: the forecast starting at 08:00 BT of August 10)
 (a, g) ECMWF; (b, h) Guangzhou model; (c, i) Shanghai mode; (d, j) Guizhou WRF model; (e, k) CMA-3KM;
 (f, l) CMA-MESO

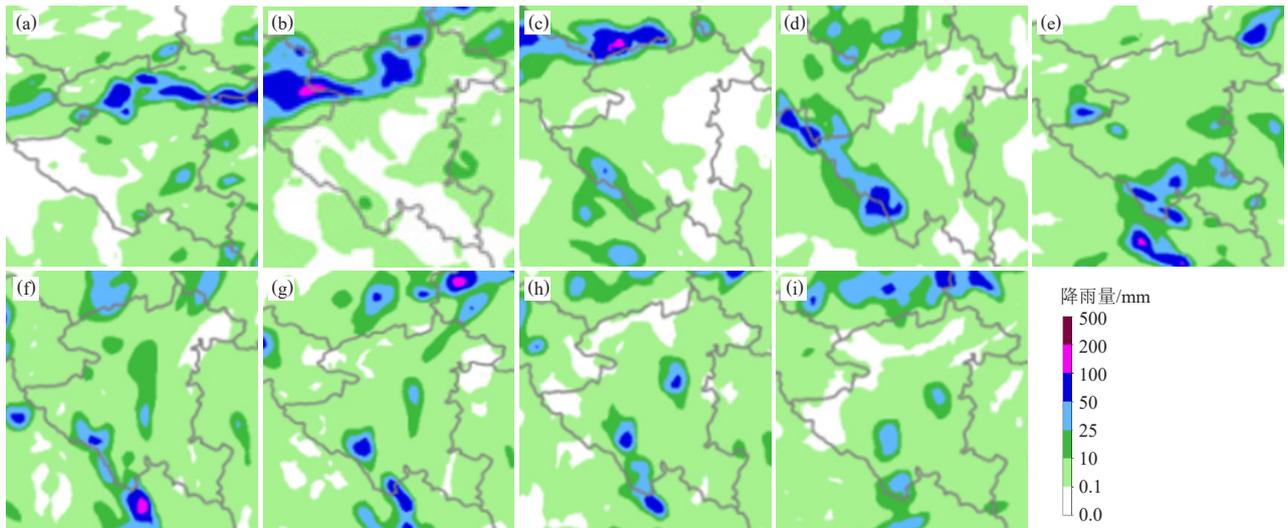


图3 2021年8月10日广州3 km模式不同时段起报降雨落区
 (a) 08时起报10日08—20时; (b) 11时起报10日20时—11日02时; (c) 14时起报10日23时—11日02时; (d) 14时起报11日02—05时; (e) 17时起报10日17时—11日05时; (f) 20时起报10日20时—11日08时; (g) 21时起报10日21时—11日09时; (h) 22时起报10日22时—11日10时; (i) 23时起报10日23时—11日11时

Fig. 3 The predicted rainfall by GZ 3 km model corresponding to different starting time on August 10, 2021 and accumulated time period
 (a) 08:00 BT, 08:00—20:00 BT of August 10; (b) 11:00 BT, 20:00 BT of August 10 to 02:00 BT of August 11; (c) 14:00 BT, 23:00 BT of August 10 to 02:00 BT of August 11; (d) 14:00 BT, 02:00—05:00 BT of August 11; (e) 17:00 BT, 17:00 BT of August 10 to 05:00 BT of August 11; (f) 20:00 BT, 20:00 BT of August 10 to 08:00 BT of August 11; (g) 21:00 BT, 21:00 BT of August 10 to 09:00 BT of August 11; (h) 22:00 BT, 22:00 BT of August 10 to 10:00 BT of August 11; (i) 23:00 BT, 23:00 BT of August 10 to 11:00 BT of August 11

2 雷达和卫星资料分析

从10日22时—11日06时的雷达回波演变来看(图4), 10日22时有强度在50 dBZ以上的回波影响安顺西北部, 10日22时—11日01时回波维持在安顺市北部(图中A所示), 回波从狭长的带状逐渐变为块状, 在此期间平坝斯拉河出现了短时强降雨, 3 h内降雨量接近100 mm。结合斯拉河和补郎附近同时刻的雷达反射率因子剖面图(图5)可以看到降雨期间最强反射

率因子为50 dBZ, 高度在3 km附近, 强度为45 dBZ的高度达到9 km, 斯拉河上空有明显较强回波墙, 补郎的回波墙面积比斯拉河的稍小, 都是典型的短时强降雨回波。11日02—06时安顺北部回波强度有所减弱, 11日00时后安顺西南部有回波向北发展加强(图4中B所示), 11日02—04时, 北移的回波在关岭北部加强, 与此同时, 关岭木厂和岗乌均出现了短时强降雨, 木厂3 h降雨量超过100 mm。

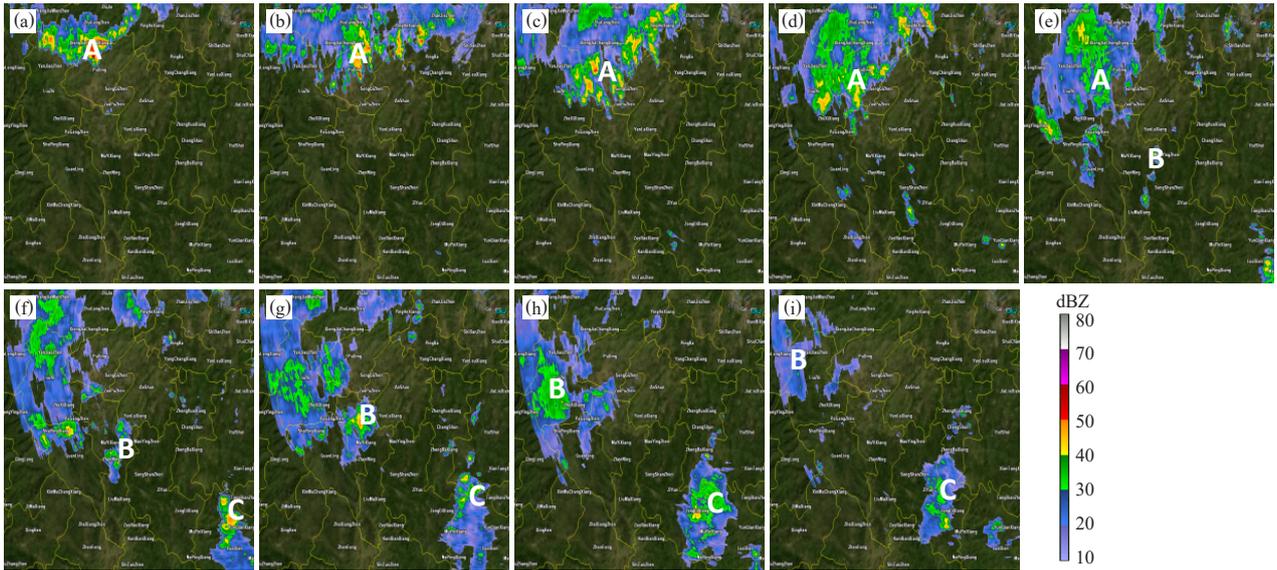


图4 2021年8月10日22时—11日06时贵阳多普勒雷达反射率因子(1.4°仰角)

(a) 10日22时01分; (b) 10日23时; (c) 10日23时59分; (d) 11日01时03分; (e) 11日02时02分; (f) 11日03时01分; (g) 11日04时; (h) 11日04时59分; (i) 11日06时03分

Fig. 4 Guiyang Doppler radar reflectivity factor from 22:00 BT of August 10 to 06:00 BT of August 11, 2021 (1.4° elevation) (a) 22:01 BT of August 10; (b) 23:00 BT of August 10; (c) 23:59 BT of August 10; (d) 01:03 BT of August 11; (e) 02:02 BT of August 11; (f) 03:01 BT of August 11; (g) 04:00 BT of August 11; (h) 04:59 BT of August 11; (i) 06:03 BT of August 11

从FY-2G卫星TBB(云顶黑体辐射温度)图上可以看到(图6), 10日22时—11日01时安顺附近的TBB不断升高至0℃以上, 安顺北部的对流云系逐渐减弱, 此期间安顺北部出现了强降雨, 11日02时安顺南部开始出现新的对流云系, 安顺南部的TBB开始下降至0℃以下, 并在11日02—06时迅速降低至-40℃以下, 期间安顺西部出现强降雨, 11日06时-40℃以下的TBB区域低值区向北抬, 对流云系向北扩展, 安顺西部和北部的TBB变为0℃以上, 安顺西部和北部降雨减弱。

3 暴雨漏报的原因分析

3.1 天气形势分析

500 hPa上, 8月10日08时川西高原有高空槽, 云南南部有低压倒槽(简称滇南倒槽)影响, 副热带高压(简称副高)588线位于华东沿海一带; 10日20时

副高588线向西伸至湖南中部, 川西高原槽东移至川中, 形成阶梯槽, 滇南倒槽向北加强影响到贵州西南部, 高原槽东移和副高西伸有利于槽后的冷空气和副高南侧的暖湿气流交汇, 使大气的不稳定性增强; 11日08时副高588线继续西伸, 西脊点已越过贵州中部, 达到安顺西部, 高原槽西退到川西高原, 滇南倒槽有所减弱。700 hPa上, 10日08时长江横切变西段位于贵州北部, 云南中部有切变影响; 10日20时长江横切变西段南压至贵州东南部; 11日08时川渝交界形成西南涡, 云南切变向西移, 贵州为西南涡南侧的偏南气流影响, 10日08时—11日08时贵州均位于湿区。850 hPa上, 10日08时贵州北部受到长江横切变西段影响, 贵州位于湿区; 10日20时长江横切变西段依然维持在贵州北部, 贵州中部为干湿交界区; 11日08时南海至贵州的偏南气流加强, 川渝交界有低涡中心, 贵州位于湿区。700 hPa和850 hPa上切变的维持和偏南气流的

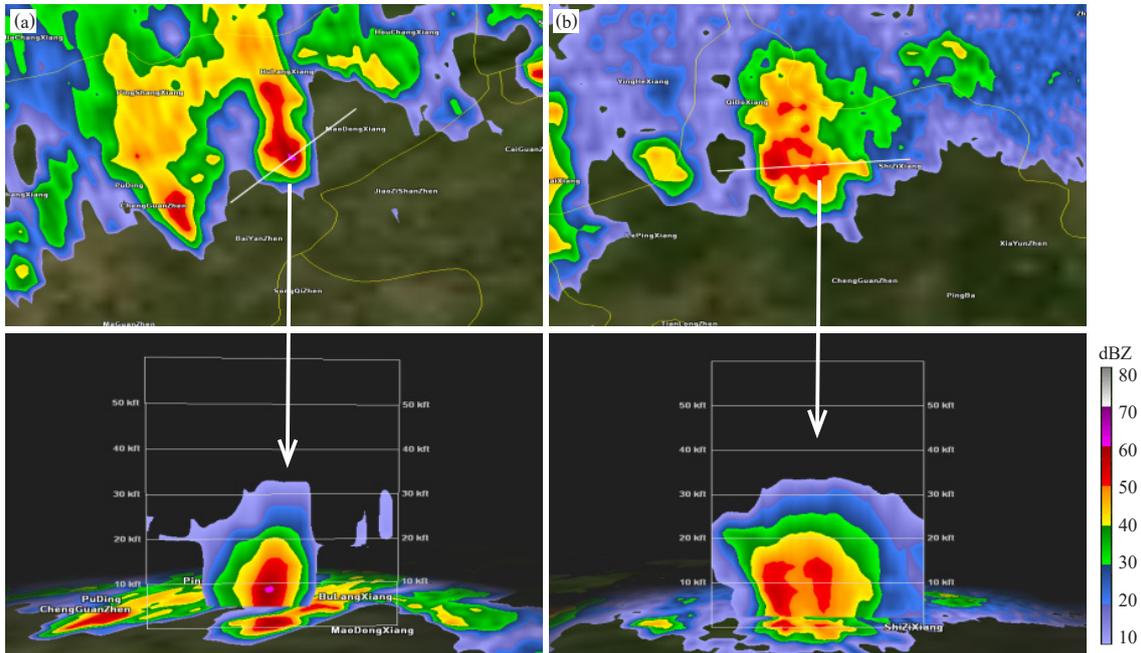


图5 2021年8月10日23时05分反射率因子剖面 (白线为剖面位置)

(a) 平坝斯拉河反射率因子剖面; (b) 普定补郎反射率因子剖面

Fig. 5 Reflectance factor profile at 23:05 BT of August 10, 2021 (white line as the profile position)
 (a) Reflectance factor profile of Sila River in Pingba; (b) Reflectance factor profile of Bulang in Puding

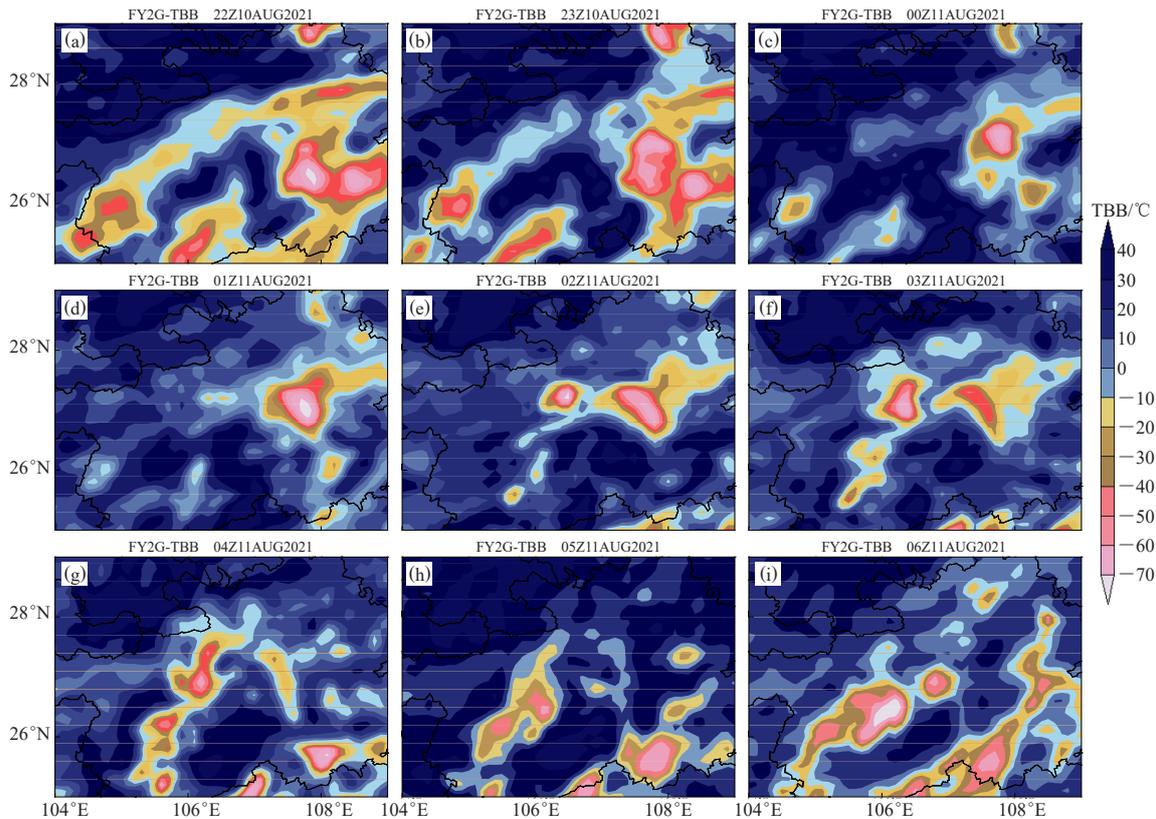


图6 2021年8月10日22时—八月11日06时逐小时云顶黑体辐射温度

(a)10日22时; (b)10日23时; (c)11日00时; (d)11日01时; (e)11日02时; (f)11日03时; (g)11日04时; (h)11日05时; (i)11日06时

Fig. 6 Hourly TBB from 22:00 BT of August 10 to 06:00 BT of August 11, 2021

(a) 22:00 BT of August 10; (b) 23:00 BT of August 10; (c) 00:00 BT of August 11; (d) 01:00 BT of August 11; (e) 02:00 BT of August 11; (f) 03:00 BT of August 11; (g) 04:00 BT of August 11; (h) 05:00 BT of August 11; (i) 06:00 BT of August 11

加强有利于水汽在切变附近积累，为本次降雨提供有利的水汽条件。10日08时—11日08时冷空气从高层向低层渗透，中低层暖湿气流不断增强，来自南海的暖湿气流源源不断地向贵州中部输送，使得贵州中部水汽充沛。

从表1中可以看到，10日08时—11日08时，500~850 hPa上偏南气流维持影响贵阳，除了10日20时850 hPa上温度露点差大于2 °C外，其余时段700 hPa和850 hPa的温度露点差均小于2 °C，说明在

降雨前期和降雨期间贵阳上空大气维持在饱和状态；而500 hPa上24 h变温从0.7 °C变为-0.5 °C再变为-1.3 °C，700 hPa上24 h变温从-2.6 °C变为-0.3 °C再变为0.2 °C，850 hPa上24 h变温从-0.8 °C变为2.8 °C再变为-0.2 °C，说明在降雨前期和降雨期间有冷空气从高空向低空渗透。综上，安顺北部受到副高北侧长江横切变西端的影响，安顺西部受到副高边缘滇南倒槽前偏南气流影响，暖湿气流和弱冷空气分别在安顺北部和西部交汇，造成了暴雨和大暴雨。

表1 2021年8月10日08时—11日08时贵阳站各气象要素

Table 1 Meteorological elements of Guiyang Station from 8:00 BT of August 10 to 8:00 BT of August 11, 2021

要素	500 hPa			700 hPa				850 hPa					
	风向	风速/ (m/s)	24 h 变温/°C	风向	风速/ (m/s)	温度露点 差/°C	24 h 变温/°C	24 h 变高/hPa	风向	风速/ (m/s)	温度露点 差/°C	24 h 变温/°C	24 h 变高/hPa
10日08时	西南	8	0.7	西南	6	1	-2.6	-1.5	西南	4	2	-0.8	-1
10日20时	南	2	-0.5	西北	2	2	-0.3	0.2	南	4	6	2.8	-1.1
11日08时	东南	2	-1.3	东南	4	0.1	0.2	1.7	南	4	2	-0.2	1.8

3.2 欧洲中心预报偏差分析

3.2.1 副高588线的西伸东退预报偏差

根据ECMWF(图7)8月9日20时对500 hPa形势场预报，在10日20—23时副高588线西伸控制贵州，11日02—05时副高588线东退至湖南西部而后至湖南东部，11日08时副高588线再次西伸控制贵州。而实际上副高588线西伸时并未完全控制贵州，东退时也未移出贵州境内，在10日20时—11日05时安顺市西部和北部正是位于副高外围，且受到副高东西摆动影响，对流云系在安顺西部和北部停滞，导致暴雨和大暴雨出现。

3.2.2 滇南倒槽预报偏差

ECMWF预报滇南倒槽在10日20时—11日08时稳定维持在滇南。而实际上10日20时—11日05时滇南倒槽有所加强北抬使得南海的暖湿气流沿着倒槽前侧不断向贵州西南部输送，安顺市西部的大暴雨就是在滇南倒槽北抬加强时产生的。

3.3 垂直运动条件分析

从图8上可以看到，10日14时500~700 hPa上安顺附近 ω (垂直速度) >0 ，但在850 hPa上 $\omega < 0$ ；10日20时从500~850 hPa上安顺附近的 $\omega < 0$ ；11日02时500 hPa和850 hPa上安顺附近维持 $\omega < 0$ ，并且 $\omega < 0$ 区域扩大。这说明在10日14—20时安顺附近的垂直上升运动不断加强，在10日20时—11日02时垂直上升运动继续加强，为安顺西部和北部的暴雨发生提供了有利的动力条件。

从图9上可以看到，普定补郎和平坝斯拉河在8月10日14时—11日02时从地面到高空均为上升运动区，

垂直运动伸展高度较高，最强中心的 $\omega < -1$ Pa/s；而关岭岗乌8月10日14时—11日02时仅在600 hPa以下有垂直上升运动，且垂直上升运动的强度比补郎和斯拉河弱得多，最低 ω 在0~-0.25 Pa/s。这说明导致安顺市北部普定补郎和平坝斯拉河的降雨系统较为深厚，而导致安顺市西部关岭木厂和岗乌的降雨系统较为浅薄。

从ECMWF预报(图10)可以看到，不论是8月9日20时起报还是8月10日08时起报，对10日20时—11日08时的垂直上升运动预报都较弱，9日20时起报10日20时—11日08时垂直速度都大于0，10日08时起报10日20时—11日08时仅在700 hPa以下有浅薄的垂直速度小于0层结。而实况(图8)在10日20时—11日08时在200~800 hPa的垂直速度都小于0，ECMWF预报结果与实况差异较大，这也是ECMWF对本次暴雨预报漏报的原因之一。

3.4 探空图分析

从贵阳站探空资料(图11和表2)可以看到，8月9日20时—10日08时湿层明显增厚；从10日08时—10日20时湿层厚度增加了736.4 m，CAPE值跃增了835.7 J/kg，K指数增加了4.4 °C，0~3 km风切变和0~6 km垂直风切变都有所减小，CIN从41.3 J/kg减小为0，500 hPa和700 hPa的温差及850 hPa和500 hPa的温差均增加了3 °C左右；到11日08时，贵阳站湿层依然很深厚，CAPE值依然维持在782.6 J/kg，K指数高达41.8 °C，但500 hPa和700 hPa的温差及850 hPa和500 hPa的温差有所减小。这说明在暴雨天气发生前期，大气的不稳定度不断增加，不稳定能量不断积

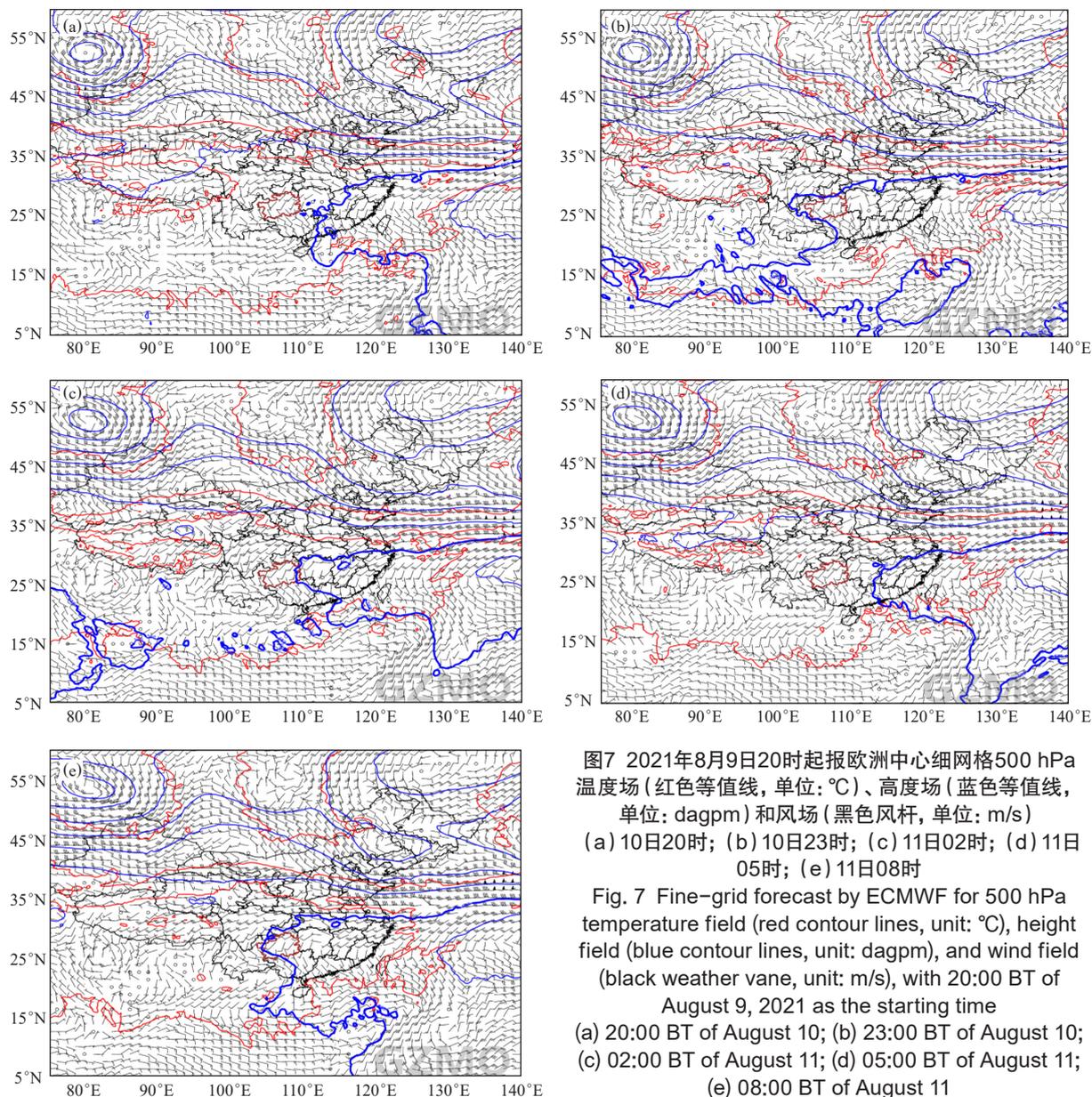


图7 2021年8月9日20时起报欧洲中心细网格500 hPa温度场(红色等值线,单位:°C)、高度场(蓝色等值线,单位:dagpm)和风场(黑色风杆,单位:m/s)(a)10日20时;(b)10日23时;(c)11日02时;(d)11日05时;(e)11日08时

Fig. 7 Fine-grid forecast by ECMWF for 500 hPa temperature field (red contour lines, unit: °C), height field (blue contour lines, unit: dagpm), and wind field (black weather vane, unit: m/s), with 20:00 BT of August 9, 2021 as the starting time (a) 20:00 BT of August 10; (b) 23:00 BT of August 10; (c) 02:00 BT of August 11; (d) 05:00 BT of August 11; (e) 08:00 BT of August 11

累,水汽不断聚集,为暴雨的发生储备了有利的能量和水汽条件,有利于对流性降雨的发生,这也是本次降雨以对流性降雨为主的原因。

从威宁站的探空资料(图11和表2)可以看到,9日20时—10日08时湿层略变薄,10日08—20时湿层增加了1298.6 m,CAPE值增加了263.7 J/kg,DCAPE值减少了201.2 J/kg,CIN从81.5 J/kg减少为0。相比贵阳站,威宁站的不稳定度要稍弱,但不断增厚的湿层也提示贵州西部有水汽的聚集,暴雨可能发生。

本次天气过程期间,贵阳市也出现了暴雨和大暴雨,而威宁仅个别乡镇出现大雨。贵阳站的探空特征物理量大部分达到了安顺的暴雨阈值(安顺市气象台统计),但由于贵阳站和威宁站均和安顺市有一定的

距离差,各项物理量和安顺实际还有一定的差距,因此预报时没有考虑会出现大暴雨,对探空资料缺乏有效的订正能力,并且对贵阳站的探空物理量不够重视,导致了本次局地大暴雨天气漏报。

根据数值模式预报的结果,预报员认为长江横切变位置偏东对安顺不会有太大影响,加上大部分数值预报对10日夜间的降雨量级基本为小雨,所以没有预报暴雨和大暴雨。反观10日8时和20时贵阳站的探空资料可以看到,大部分特征物理量指标都达到了安顺典型暴雨天气的阈值,对当天探空资料不够重视导致了本次暴雨和大暴雨的漏报。

3.5 触发条件分析

10日08—11时(图略)贵州位于热低压南侧的偏

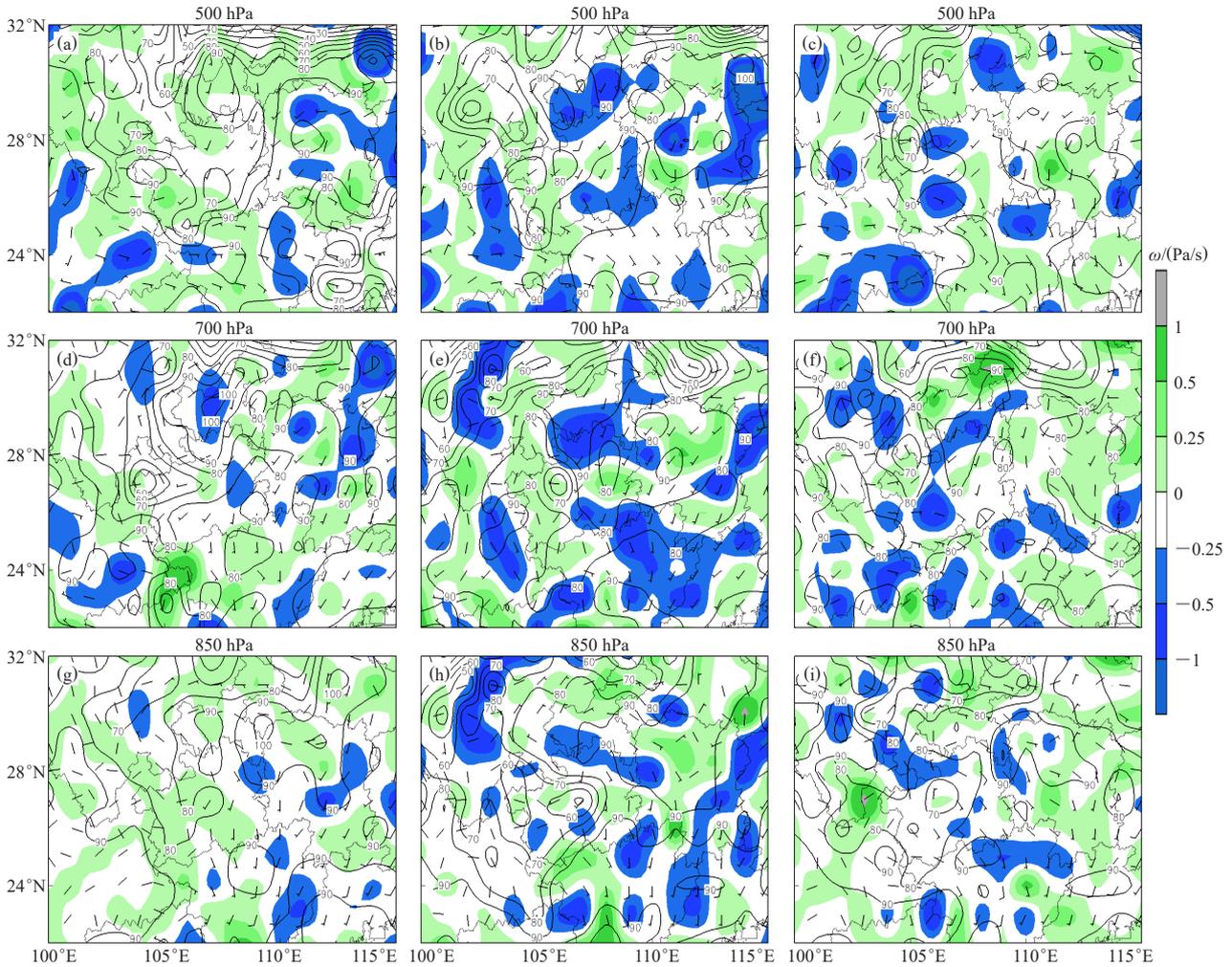


图8 2021年8月10日14时—8月11日02时500 hPa、700 hPa、850 hPa的 ω (色斑图, 单位: Pa/s)、风 (风杆, 单位: m/s) 和相对湿度 (等值线, 单位: %)
(a, d, g) 10日14时; (b, e, h) 10日20时; (c, f, i) 11日02时

Fig. 8 500 hPa, 700 hPa, 850 hPa ω (color spot, unit: Pa/s), wind (wind pole, unit: m/s), and relative humidity (contour, unit: %) from 14:00 BT of August 10 to 02:00 BT of August 11, 2021
(a, d, g) 14:00 BT of August 10; (b, e, h) 20:00 BT of August 10; (c, f, i) 02:00 BT of August 11

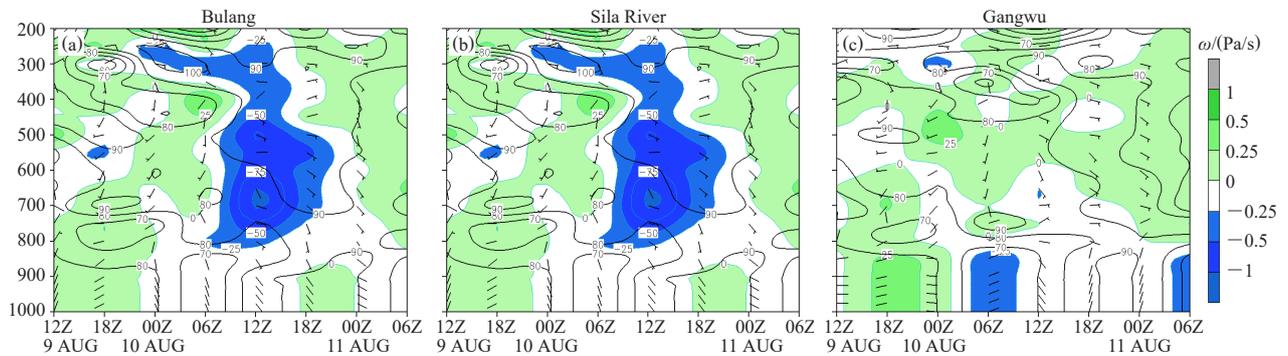


图9 2021年8月9日20时—8月11日14时 ω (色斑图, 单位: Pa/s)、风 (风杆, 单位: m/s) 和相对湿度 (等值线, 单位: %) 的剖面图

(a) 普定补郎; (b) 平坝斯拉河; (c) 关岭岗乌
Fig. 9 Profile of ω (color plot, unit: Pa/s), wind (wind pole, unit: m/s), and relative humidity (contour, unit: %) from 20:00 BT of August 9 to 14:00 BT of August 11, 2021
(a) Bulang in Puding; (b) Sila River in Pingba; (c) Gangwu in Guanling

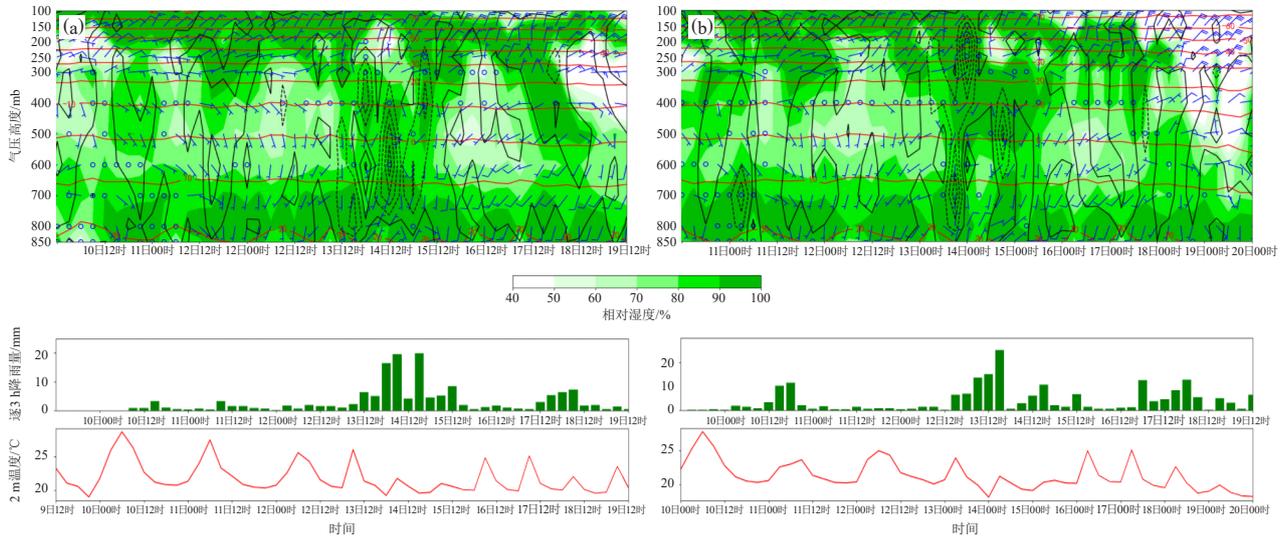


图10 2021年8月9日20时—8月20日08时欧洲中心细网格安顺预报 ω (黑色等值线, 单位: Pa/s)、温度 (红色等值线, 单位: $^{\circ}\text{C}$)、逐3 h降雨量 (柱状图) 和相对湿度 (填色图)

(a) 8月9日20时起报; (b) 8月10日08时起报

Fig. 10 Fine-grid forecast by ECMWF for Anshun City, including ω (black isoline, unit: Pa/s), temperature (red isoline, unit: $^{\circ}\text{C}$), every 3-hour rainfall (histogram) and relative humidity (color filling map) from 20:00 BT of August 9 to 08:00 BT of August 20, 2021

(a) Forecast starting from 20:00 BT of August 9; (b) Forecast starting from 08:00 BT of August 10

南气流中, 在四川和重庆南部辐合线不断向南移动影响贵州; 10日11—14时辐合线在贵州北部维持; 10日17时贵州东北部形成边界层低涡, 辐合线位于贵州中部; 10日20时贵州中部辐合线略有北抬至贵州西北部, 安顺西北部位于辐合线南侧; 10日23时辐合线南压影响安顺北部; 10日23时—11日02时安顺北部出现短时强降雨; 11日02—05时辐合线西段北抬, 东段东移, 随着南风加强, 贵州省西南部有新的辐合线向北抬, 在安顺中部形成南北向辐合线, 辐合线东侧的安顺西部附近出现短时强降雨。10日23时—11日02时安顺北部受到贵州省北部南压的辐合线西段影响, 11日02—05时安顺市西部受到贵州省西南部北抬的辐合线影响, 产生了暴雨和大暴雨。

对比ECMWF 8月9日20时起报的10 m风场(图12), 10日17—20时贵州中部的辐合线与实况基本一致; 10日23时预报辐合线北抬减弱, 与实况辐合线南压影响安顺北部有偏差, 所以导致对安顺北部的暴雨和大暴雨漏报; 11日02—05时预报辐合线继续北抬减弱, 且南风没有加强, 对贵州西南部的的新生辐合线未做预报, 与实况有较大的偏差, 导致了安顺西南部的暴雨和大暴雨漏报。

4 结论和讨论

本次安顺市北部和西部的大暴雨和暴雨都是在副高西伸的背景下发生的, 通过对天气系统、中尺度

辐合线、卫星云图、雷达等资料的分析发现, 其中影响的中小尺度系统有所差异。通过对比多家数值预报模式结果, 分析了导致本次局地大暴雨天气漏报的原因。

1) 安顺市北部普定和平坝境内的暴雨和大暴雨主要是由于长江横切变西端附近, 来自南海的暖湿气流和来自切变后侧的弱冷空气交汇, 在有利的热力和动力条件下, 对流云团迅速发展加强导致的。ECMWF对副高588线摆动位置偏北, 对垂直速度强度预报偏弱, 对地面辐合线移动方向预报错误, 导致安顺市北部的暴雨和大暴雨漏报。

2) 安顺市西部关岭境内的暴雨和大暴雨主要是由于南风加强, 滇南倒槽加强北抬, 槽前水汽输送加强, 对流云团自南向北发展加强产生。ECMWF对滇南倒槽和贵州西南部新生辐合线漏报, 对南风强度和垂直速度强度预报偏弱。

3) 副高边缘暴雨和大暴雨常常发展迅速局地性强, 预报难度大, 通过高效及时的短时临近监测手段, 可以提高预警的准确率, 减少气象灾害带来的经济损失。

参考文献

- [1] 卢小丹, 王黎娟, 刘国忠, 等. 两个不同季节台风引发广西特大暴雨的水汽和螺旋度对比分析. 热带气象学报, 2017, 33(3): 375-385.
- [2] 宋雯雯, 李国平, 龙柯吉, 等. 两类动力因子对四川盆地一次低涡暴雨的应用研究. 高原气象, 2018, 37(5): 1289-1303.

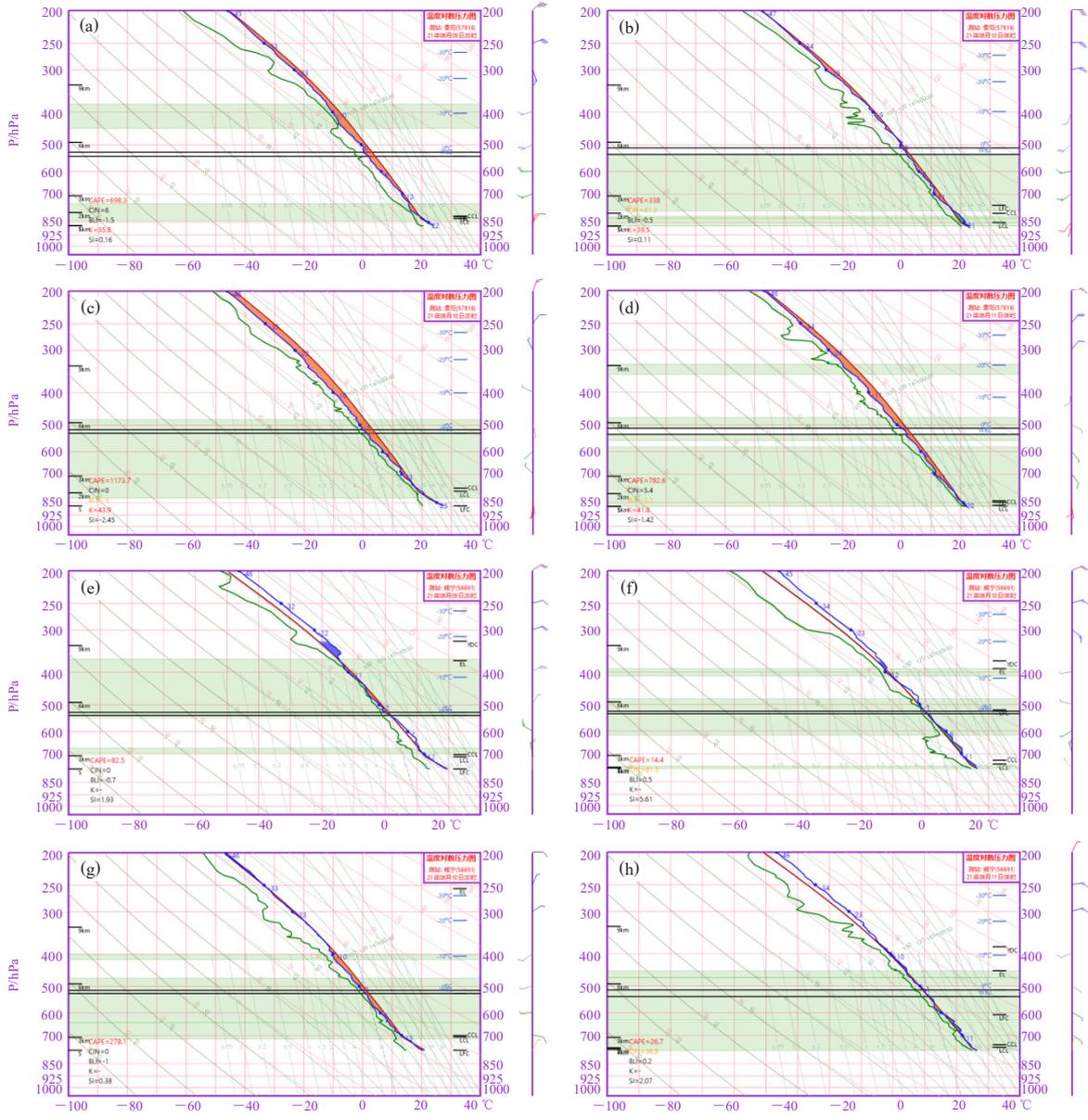


图11 2021年8月9日20时—11日08时贵阳 (a-d) 和威宁 (e-h) 探空图
(a, e) 9日20时; (b, f) 10日08时; (c, g) 10日20时; (d, h) 11日08时

Fig. 11 Atmospheric sounding from 20:00 BT of August 9 to 08:00 BT of August 11, 2021 of Guiyang (a-d) and Weining (e-h)
(a, e) 20:00 BT of August 9; (b, f) 08:00 BT of August 10; (c, g) 20:00 BT of August 10; (d, h) 08:00 BT of August 11

表2 2021年8月9日20时—11日08时探空数据

Table 2 Atmospheric sounding data from 20:00 BT of August 9 to 08:00 BT of August 11, 2021

站名	时间	CAPE/(J/kg)	DCAPE/(J/kg)	K/°C	Shr3/(m/s)	Shr6/(m/s)	H_{wet}/m	CIN/(J/kg)	T75/°C	T85/°C
贵阳	9日20时	698.3	4.0	38.2	8.8	8.5	2433.6	6.0	14	22.5
	10日08时	338.0	2.7	39.5	6.4	4.1	3950.5	41.3	11.3	21.5
	10日20时	1173.7	0.5	43.9	2.0	1.7	4686.9	0	14.2	26.1
	11日08时	782.6	0.2	41.8	2.0	3.3	5061.2	5.4	12.8	22.5
威宁	9日20时	82.5	0	/	1.8	7.1	3465.8	0	14.2	/
	10日08时	14.4	324.2	/	3.1	6.2	2515.8	81.5	13.1	/
	10日20时	278.1	123.0	/	3.9	4.9	3814.4	0	14.4	/
	11日08时	26.7	100.6	/	2.6	2.9	4406.2	36.9	13.3	/

注: 表中, CAPE为对流有效位能; DCAPE为下沉对流有效位能; K为K指数; Shr3为0~3 km风切变; Shr6为0~6 km风切变; H_{wet} 为湿层厚度; CIN为对流抑制有效位能; T75为500 hPa和700 hPa温度差; T85为500 hPa和850 hPa温度差。

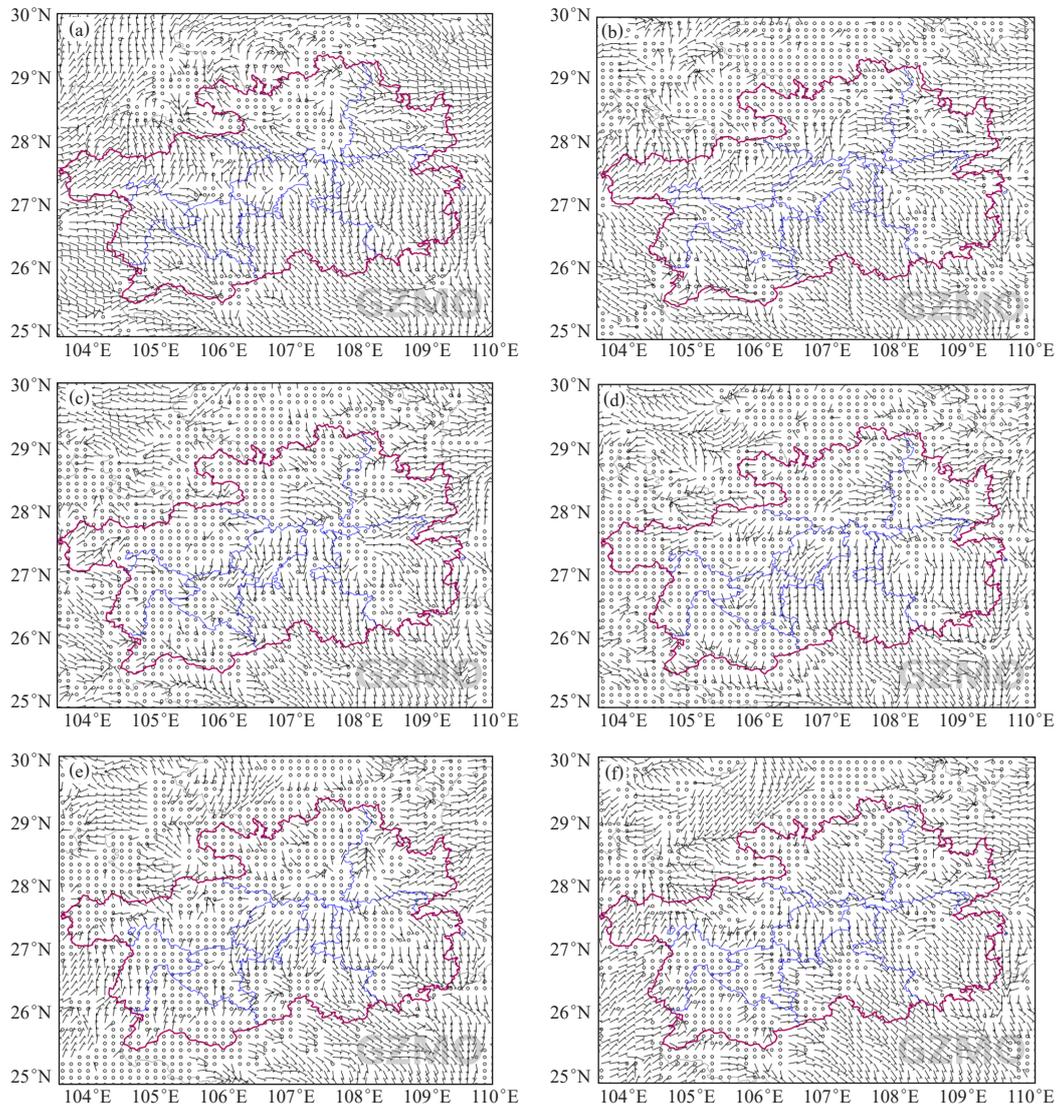


图12 2021年8月9日20时起报欧洲中心细网格10 m风场预报(风杆,单位:m/s)

(a) 8月10日17时; (b) 8月10日20时; (c) 8月10日23时; (d) 8月11日02时; (e) 8月11日05时; (f) 8月11日08时

Fig. 12 Fine-grid 10 m wind field forecast by ECMWF (wind pole, unit: m/s) starting from 20:00 BT of August 9, 2021

(a) 17:00 BT of August 10; (b) 20:00 BT of August 10; (c) 23:00 BT of August 10; (d) 02:00 BT of August 11; (e) 05:00 BT of August 11; (f) 08:00 BT of August 11

- [3] 陈传雷, 管兆勇, 纪永明, 等. 辽宁长历时暴雨中尺度对流系统特征分析. 气象, 2018, 44(8): 1051-1062.
- [4] 黎惠金, 李向红, 黄芳, 等. 广西一次特大暴雨的MCC演变过程及结构特征分析. 高原气象, 2013, 32(3): 806-817.
- [5] 王宁, 王秀娟, 张硕, 等. 吉林省一场持续性暴雨成因及MCC特征分析. 气象, 2016, 42(7): 809-818.
- [6] 陆慧娟, 高守亭. 螺旋度及螺旋度方程的讨论. 气象学报, 2003, 61(6): 684-691.
- [7] Lilly D K. The truecture, energetics and propotation of rotating convective storms. Part I: Energy with the mean folw. Journal of Atmospheric Sciences, 1986, 43(2): 113-125.
- [8] Lilly D K. The truecture, energetics and propotation of rotating convective storms. Part II: helicity and storm. Journal of Atmospheric Sciences, 1986, 43(2): 126-140.
- [9] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 天气学原理和方法(第四版). 北京: 气象出版社, 2000: 371-374.
- [10] 陈淑琴, 徐焱, 曹宗元, 等. 冷空气和热带低压共同作用下的一次暴雨预报失败原因分析. 气象, 2018, 44(1): 142-150.
- [11] 欧阳大量, 白慧, 韦波, 等. 基于区域气象观测站的黔东南州暴雨漏报过程统计分析. 中低纬山地气象, 2020, 44(3): 52-57.
- [12] 陆琛莉, 李海军, 宋刘明, 等. 一次“梅中返春”稳定性持续暴雨过程的预报失误分析. 气象, 2018, 44(1): 132-141.