

2020年7月7日贵州西北部大暴雨

诊断分析及模式检验

李刚^{1, 2} 吴古会¹ 姚浪² 刘健平² 刘元美²¹

(1 贵州省气象台, 贵州 贵阳 550002;

2 毕节市气象局, 贵州 毕节 551700)

【摘要】: 采用ECMWF(EC)预报资料、NCEP/NCAR $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 再分析资料、FY-4卫星资料和地面及高低空常规观测资料,对2020年7月7日贵州西北部毕节地区出现的大暴雨过程成因、要素场特征及数值预报产品的业务释用性能进行评估分析。结果表明,此次大暴雨过程为高空槽东移南压与低层切变配合地面弱冷空气共同影响的结果,过程中水汽含量与能量异常丰富、大气层结十分不稳定。整个降水系统在毕节西北部由MCS逐渐东移南压发展影响,具有典型的中尺度特征,从各要素场上看,无论从降水时段还是空间落区上都与暴雨的形成和发展有着密切联系。此次过程中,EC形势预报展现了较好的配置和性能;通过24h累积降水预报的检验评估,EC模式在降水落区及华南中尺度预报模式在降水量级上均有着优越的表现,在贵州西北部地区表现了较好的参考价值和业务实用性。

【关键词】: 暴雨 短时强降水 假相当位温 模式检验

【中图分类号】: P458.2 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1003-6563(2022)02-0046-07

0 引言

随着全球气候变暖加剧,极端高温、低温、干旱及暴雨等天气事件也呈现出极端发展趋势^[1,2,3,4]。贵州位于青藏高原东部斜坡地带,属于亚热带湿润季风气候,不但地形地貌复杂,且气候异常多变,暴雨成为了主要的灾害性天气之一^[5,6]。在贵州暴雨经常导致严重的洪涝灾害,一直以来不但受到气象及政府部门的极度重视,而且也是国内外研究和关注的重点及热点。尽管气象部门对暴雨的预报存在着各种困难,但针对区域和季节性暴雨^[7,8,9,10],相关文献在形成机理及实况监测预警上都作了较为全面的探讨,得到不少有意义的结论。

当前对于贵州暴雨、极端性降水的发生发展以及模式偏差分析与检验,已有一些研究成果^[11,12,13,14]。通过大量资料分析,发现贵州的暴雨及降水主要出现在5—9月,且呈现出明显的月季变化趋势^[15]。贵州地形复杂,受高原影响并有着季风雨季特点,每年汛期开始早、持续时间长及暴雨频繁等特征,且不同地形对降水承受能力有着明显差异^[16]。特别在厄尔尼诺年份,降水更是较为异常^[17]。同时,贵州还受西风带及热带地区天气系统共同影响^[18],中小尺度对流活动频繁^[19]。另一方面,毕节位于贵州西北部,受特殊地形及下垫面条件等外强迫作用^[20],使得其预报难度增大,如多数对流性降水及过程均是以毕节地区作为源地初生并

作者简介: 李刚(1983-),男,高级工程师,硕士,研究方向:中短期天气预报及数值预报释用研究。

基金项目: 贵州省十三五规划项目:贵州智能网格预报支撑能力建设(二期);贵州省气象局开放基金(黔气科合KF[2017]04);毕节市气象局登记制项目(BJKD[2021]09-03)

东移发展，进而影响贵州大部地区。

2020年7月7日，贵州西北部毕节出现了大暴雨天气过程，造成了极大的经济损失。其中，此次暴雨导致贵州西北部黔西市中坪镇黄泥坡社区发生山体滑坡，共毁损房屋61栋，共134户484人紧急撤离。针对本次贵州西北部毕节地区大暴雨降水过程，利用业务应用的ECMWF细网格预报资料、NCEP/NCAR $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 再分析资料、FY-4卫星资料和地面及高低空观测资料，对该暴雨过程的大尺度环流背景、中尺度系统的发生发展、过程中各要素场特征的变化以及各尺度模式预报性能和表现进行分析与探讨，以期对今后地方暴雨预报提供相应指导与参考。

1 降水实况

1.1 空间分布

受高空槽、低层切变以及地面弱冷空气共同影响，7月5—11日贵州出现了一次自北向南的持续性暴雨天气过程，从降水量上看，7月7—8日对贵州西北部毕节地区影响最为明显(如图1)，其强降水主要集中在毕节中部以南地区。此次过程于7日14时开始，8日20时趋于结束，期间累积降水量达暴雨50.0 mm的国家站有4站(黔西90.6 mm，织金89.3 mm，纳雍74.5 mm，迤那55.8 mm)，大雨25.0~49.9 mm有3站，中雨1站，小雨3站；在区域站上，达大暴雨100.0 mm有40站，暴雨50.0~99.9 mm有106站，大雨25.0~49.9 mm有55个站，中雨10.0~24.9 mm，有75站，小雨158站，其中累积降水最大为纳雍曙光187.4 mm。

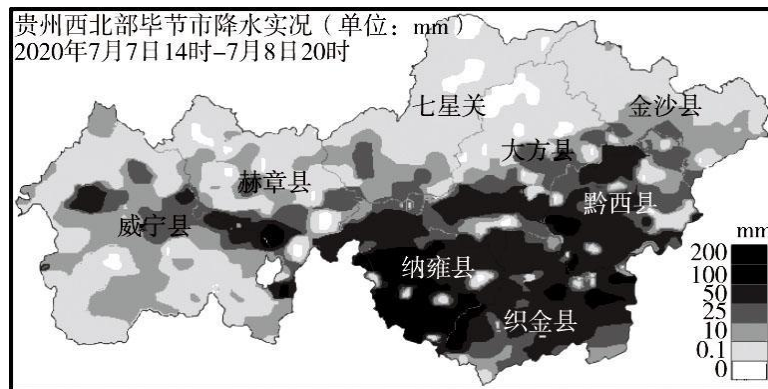


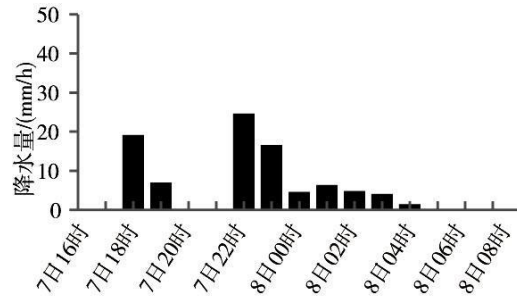
图1 2020年7月7日14时—8日20时累积降水实况

从逐6 h实况累积降水演变分布上(图略)，可看出降水为7日14时后开始影响贵州西北部地区，7日20时—8日02时最为集中，之后趋于减弱结束。图中还看出，整个降水过程始于毕节中北部，并逐步东移的一个过程。

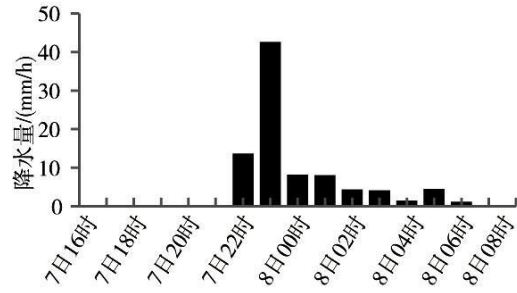
1.2 时间分布

区域自动区站资料显示，2020年7月7日14时—8日20时小时雨强最大为84.8 mm/h，为织金县三甲乡，其次是黔西市鹅项井水库81.7 mm/h。此外，小时雨强在50.0~80.0 mm间有12站，在30.0~50.0 mm间有52站，20.0~30.0 mm间有64个站，整个降水过程中短时强降水特征较为明显。

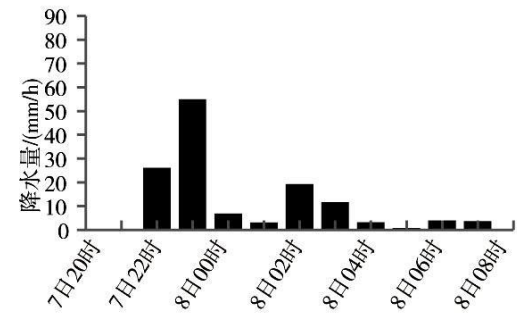
为更好地了解过程的短时强降水特征，图2给出降水量最大的国家站黔西、织金县以及区域自动站纳雍县曙光乡、织金县三甲乡的逐时演变，可看出降水主要集中在7日午后及夜间，其降水峰值主要集中在20时至次日03时左右。



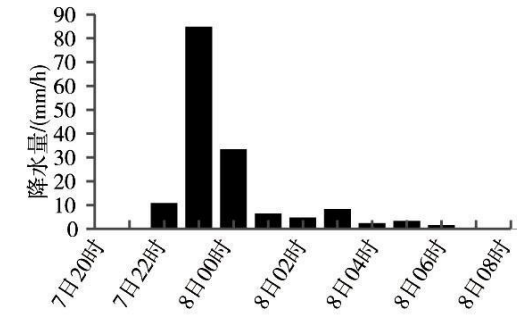
(a) 黔西县



(b) 织金县



(c) 纳雍县曙光乡



(d) 织金县三甲乡

图2 7日 14时—8日 08时逐时降水量时间序列

2 主要环流形势及影响系统

2.1 环流形势

从环流形势上(图 3),中高纬为明显的两槽一脊,东部低槽从我国东北一直延伸到西南,其南部位于重庆至贵州中部,中纬度西风带锋区在河套东南部出现明显分支,孟湾及南海一带受副高控制,高原东南侧对流层中高层存在显著的反气旋环流特征,地面贵州西部北有弱冷空气侵入,从西到东部一带存在明显辐合。700 hPa 上,来自孟湾的西南气流和副高外围气流在云贵交汇,配合南压高压东南部的东北气流,在川东一带形成切变辐合系统。850 hPa 上,贵州中东部存在显著的急流区,最大风速达 20.0 m/s,贵州北部至西部一带存在显著切变线,配合地面冷空气迫使暖湿气流沿冷空气垫抬升,触发毕节地区对流性暴雨天气过程发生发展。图中还可以看出,影响贵州的中低层切变均位于 500 hPa 高空槽后,具有明显的前倾结构,反映出当时大气层结处于极不稳定状态。

2.2 高低空风场

高、低空急流的配置对强降水天气的产生有着极为重要的作用,高空急流的抽吸作用有利于上升运动的维持和加强,是高空产生辐散的重要机制^[21],低空急流是水汽和能量的输送者,高低空急流的耦合是暴雨或大暴雨产生的重要机制。

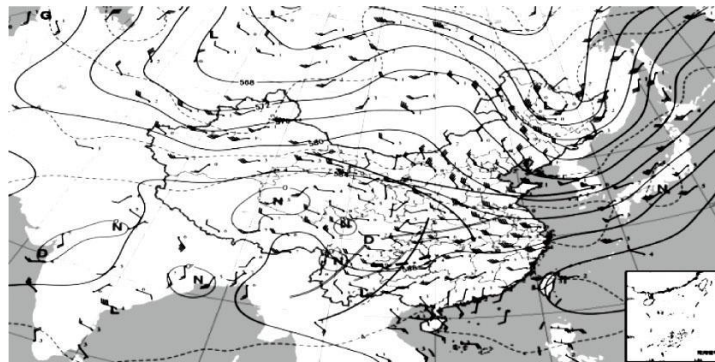
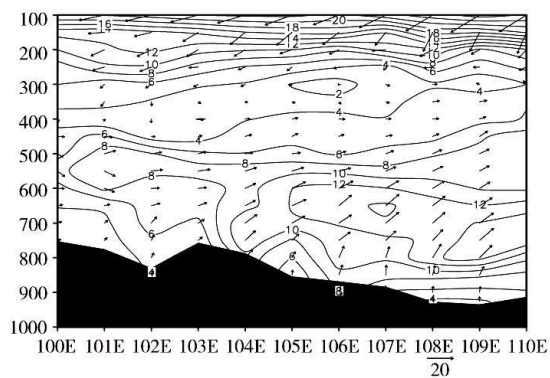


图 3 7 月 7 日 08 时实况形势配置图

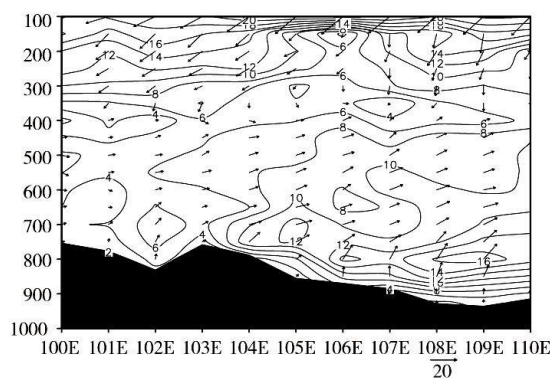
图 4(a)中,暴雨区(104.8° ~106.5° E, 26.0° ~27.0° N)附近 7 日 14 时中低层 800 hPa 对应着较强的风速带,风力达 10.0~12.0 m/s,并伴有明显的上升运动,到降水集中时段 8 日 02 时(图 4(b)),暴雨区中低层存在着明显的急流建立,达 12.0~15.0 m/s,上升运动较上一时次更为显著,表明此次过程中低层水汽和不稳定能量得到有效输送和明显加强,进一步说明该时段内雨势变强。(图 4(c))从 7 日 14 时降水过程逐渐开始,位于 26° N 暴雨区上空 800 hPa 的风场逐渐加强,在 8 日 05 时左右达到峰值,与降水集中时段相对应。因低层气流通常伴随着水汽和能量输送,所以风速增强和急流建立在一定程度上对降水产生和加强有很好的预示作用,从而低层风速的增大在这次过程中起相当重要的作用,它为暴雨区输送大量水汽和能量。

3 云图特征

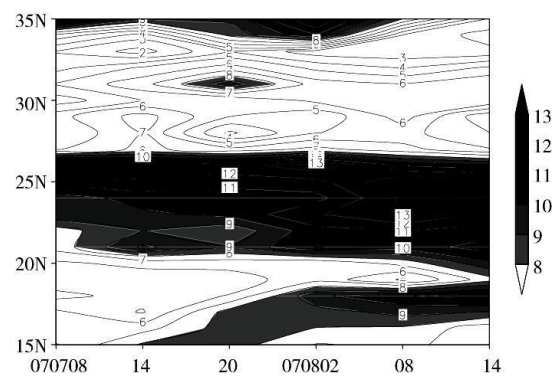
从卫星云图的演变过程可看出,图 5(a)中为 7 日 13 时红外云图,在贵州西北部毕节边缘逐渐向 MSC 生成发展,过程中不断东移南压发展壮大,至 8 日 01 时发展范围最大,云顶亮温达最低和颜色最亮,即表示在 01 时对流云团开展高度最高,发展最旺盛,过程中有较强的上升运动维持,从而产生了这次暴雨过程,致使 01 时左右小时雨强达最强。



(a) 7日14时

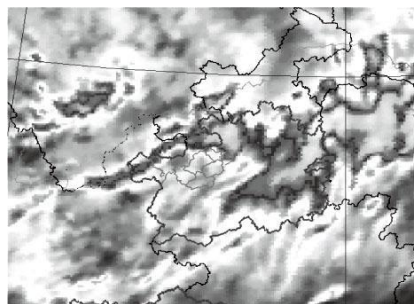


(b) 8日02时

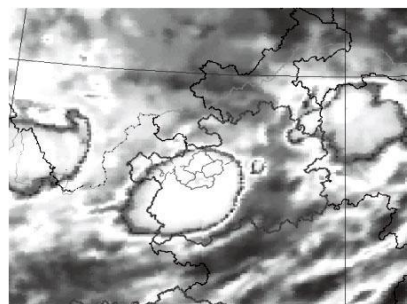


(c) 时间-纬度剖面图

图4 7月7日沿26°N风矢量场与全风速垂直剖面图及沿105°E 850 hPa全风速时间-纬度剖面图



(a) 7日13:00时



(b) 8日01:00时

图 5 中尺度红外云图特征

4 物理量场分析

4.1 稳定度分析

在整个大气层结表现中, 500 hPa 以下 $T-T_d < 5\text{ }^\circ\text{C}$, 说明中低层大气十分潮湿。从不稳定能量及各类指数在暴雨发生前后的变化可以看出(表 1、表 2), 7 日 8 时贵阳上空附近有较强的不稳定能量, 达 1000.6 J/kg, 到 20 时能量增至 1606.2 J/kg, 伴随降水过程的开始能量逐步释放, 到 8 日 08 时减小到 46.2 J/kg, 过程中能量释放达 1596.2 J/kg; 从 K 指数和 Si 指数的变化趋势也表现了类似的特征, 7 日 08 时至 20 时是一个大气变得更加不稳定的过程, 而到次日 08 时, K 指数与 Si 指数向着大气相对稳定的方向变化。

表 2 给出的是威宁站上空即暴雨区上游能量和大气稳定度的变化情况, 其趋势与表 1 贵阳站较为相似, 过程能量释放为 1654.9 J/kg, 超过贵阳站。

表 1 贵阳站各能量指数变化

时间	CAPE/(J/kg)	K 指数	Si 指数
7 日 08 时	1000.6	38.4	-0.41
7 日 20 时	1606.2	44.5	-2.6
8 日 08 时	46.2	39.0	0.4

表 2 威宁站各能量指数变化

时间	CAPE/(J/kg)	K 指数	Si 指数
7 日 08 时	312.7	/	-1.54
7 日 20 时	1785.9	/	-1.96
8 日 08 时	131.0	/	-1.62

从暴雨区 850 hPa 的 θ_{se} 时间剖面上(图略)。可看出暴雨区 26°N 处从 14 时开始存在 θ_{se} 大值区, 达 370 K 以上并一定维持到 20 时, 直到降水过程开始才逐步减少下降, 8 日 02 时后, θ_{se} 低值区明显下降到 360 K, 即暴雨区上空的不稳定层结明显减弱并渐趋于稳定。

4.2 垂直运动条件

图 6(a)和图 6(b)为散度和涡度在暴雨区的时间剖面图, 7 日 14 时开始中低层和 400 hPa 的负散度逐步变小, 500 hPa 正散度逐渐增强, 表明整个大气层结中低层和高层都存在明显的辐合, 中层是辐散, 整个过程较强状态一直维持到 8 日 02 时, 为暴

雨的发生发展提供较有利条件。图 6(b)中, 中低层涡度中心值逐渐变强, 高层为弱涡度或负涡度区, 从而知整层非常有利大气的上升。图 6(c)中, 7 日 14 时到 8 日 02 时, 中低层大气其上升运动是一个不断加强再减弱的过程, 其大值区中对应高空也存在另一个大值区, 且出现时间与暴雨最强时段超前 2~3 小时, 即在雨强最大最集中前 2~3 小时, 整层大气有着较深厚的垂直上升运动对应。此外, 各要素也有着很好的配置, 在上升运动区 ($w < 0$), 有正涡度 ($\zeta > 0$) 与之对应, 极值区时段与暴雨区时段相符, 随着暴雨过程的结束, 各物理量逐渐减弱。

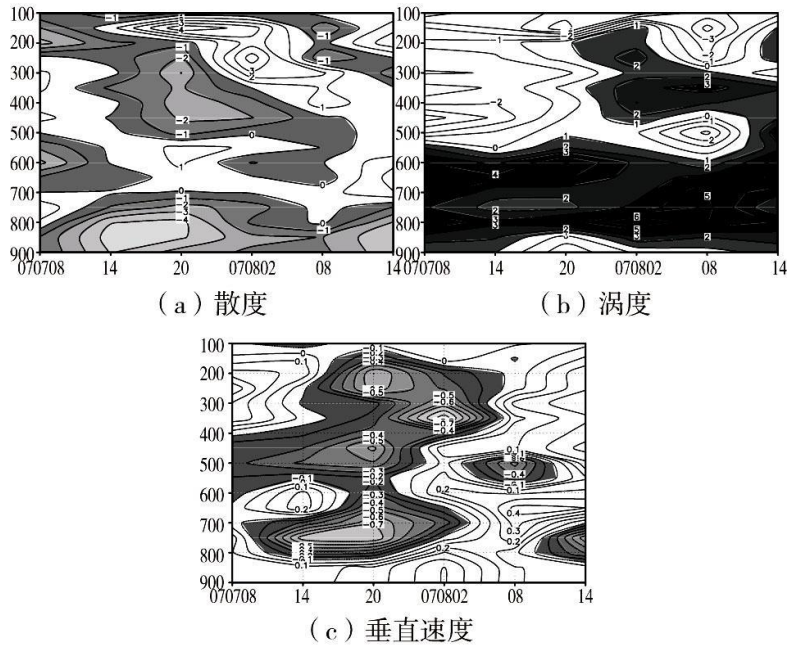


图 6 各要素场时间高度剖面图

注: (a)、(c)中的阴影区为小于 0 区域, (b)中的阴影区为大于 0 区域。其中: 散度和涡度单位: $10^{-6} \cdot s^{-1}$; 垂直速度单位: $10^{-1} Pa \cdot s^{-1}$ 。

4.3 水汽条件

图 7(a)中, 暴雨区水汽含量异常丰富, 850 hPa 中低层比湿达到 16.0~18.0 g/kg, 700 hPa 达 9.0~12.0 g/kg, 均突破当地暴雨指标 (850 hPa 比湿达 12.0 g/kg, 700 hPa 达 8.0 g/kg); 从流场可以看到, 在暴雨区存在明显上升运动和低纬度地区中低层存在东南气流向暴雨区输送, 进一步说明水汽条件不但非常充沛, 还有源源不断的补充。图 7(b)整层积分水汽通量来看, 有两条较大的水汽带与来自正北路径的冷空气在贵州省西北部辐合, 其中一条水汽输送带来自南海副高外围的偏南气流, 占主要支配地位; 另一条是来自孟湾西南气流的水汽输送。图 7(c)为水汽通量的时间演变, 在暴雨区上空中低层存在一个水汽通量输送的高值区, 高度位于 700~900 hPa 间, 从 7 日 14 时开始一直到 8 日 02 时, 水汽的输送不断加强, 说明在降水开始时暴雨区有较强的水汽源源不断地补充, 且看出降水最集中时段与水汽通量最强时段相对应。图 7(d)表示整个过程中水汽的辐散辐合情况, 与图 c 有较好的对应, 即随着水汽能量的增大, 暴雨区的水汽通量辐合且不断增加。特别在 8 日 02 时左右, 水汽通量输送与其辐合均为最旺盛阶段, 与暴雨区雨强最大最集中时段刚好对应, 之后随着降水的逐渐减弱, 水汽通量及其辐合也趋于减小。

5 数值模式预报能力及检验

5.1 形势预报

从实况的发展演变来看, 针对此次大暴雨过程 ECMWF 提供了很好的形势预报。从 ECMWF 细网格 6 日 20 时起报的 7 日 20 时—8 日 20 时高低空形势预报中(图略), 展现了此次过程发生时高低空各层配置和预报性能, 均很好说明此次过程的可预报性及准确性。图中还展示从 7 日 14 时—8 日 20 时 500 hPa 高空槽不断南压, 由于副高外围和高空槽后冷空气共同影响, 槽的东段南压移动迅速, 西段则较为缓慢, 从而在贵州西北部影响较为强烈; 700 hPa 位于川东的低涡维持少动, 贵州西北部维持西南气流影响, 于 7 日 20 时后加强并建立急流, 为此次过程提供了丰富的水汽和能量输送; 850 hPa 低层切变线于 7 日 14 时在贵州西北部毕节地区北部形成, 之后并逐步缓慢南压, 至 8 日 20 时移至毕节南部地区, 在过程中造成了明显持久的上升运动, 同时地面 10 米风场显示, 7 日夜间至 8 日凌晨存在明显的地面辐合线, 更有助于低层能量和水汽的辐合与集聚, 促使短时强降水的发生发展。

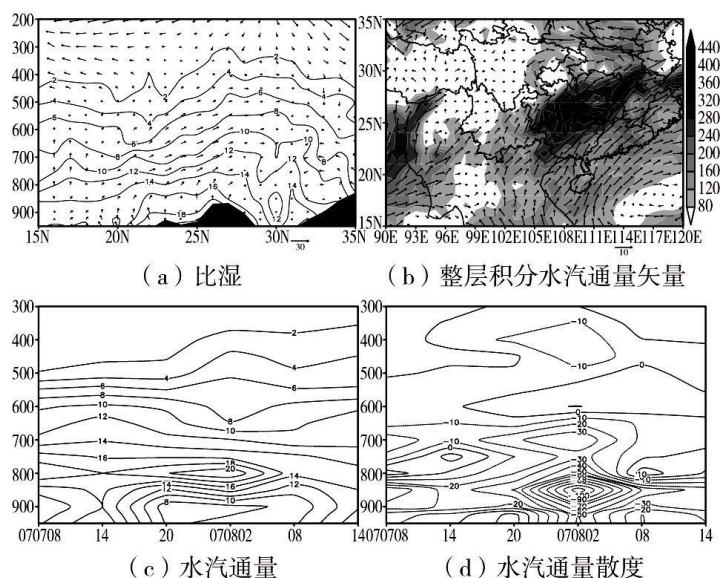


图 7 7 日 20 时沿 $106^{\circ} E$ 暴雨区上空比湿(单位:g/kg)风场(单位:m/s)、整层积分水汽通量矢量 (单位: $10^{-2} \cdot g \cdot m \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1}$)、水汽通量及水汽通量散度 (单位: $10^{-8} \cdot g \cdot cm^{-2} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$)时间演变图

5.2 降水预报

考虑到全球模式对对流性降水表现的不足和中尺度模式稳定性落后于全球预报模式, 以及日常业务各模式的应用综合体现, 全球预报模式对贵州降水落区有较好表现, 而中尺度预报模式对降水量级表现较好, 尤其是华南高分辨率中尺度预报模式, 日常业务参考性更强。

图 8 给出了过程中, 全球预报模式 ECMWF 与不同分辨率中尺度模式的 24 h 累积降水预报。图中展示, 全球模式较好地预报了此次过程的发生发展以及落区预报, 但却在降水量级上存在一定的差异。图 8(a)中, ECMWF 降水预报在中南部系统显著影响区域对降水量级预报偏小, 在北部系统快速扫过区域却预报了暴雨以上量级降水, 与形势预报在量级和区域上均存在一定偏差; 图 8(b)中, 华东中尺度模式在毕节中西部和北部考虑了暴雨和局地大暴雨的产生, 在系统南压过程中却没考虑毕节南部暴雨以上量级降水, 同样与形势相比在落区上存在一定差异; 图 8(c)中, 华南中尺度预报模式, 较好地预报了中部以南地区均有暴雨以上量级降水发生, 与整个实况天气及预报形势较为吻合。鉴于各模式以往在贵州降水预报及量级的表现, 因此在此次过程中, 对公众发布的降水预报其落区主要参考 ECMWF、量级主体参考华南中尺度预报模式, 并在此基础上进行了调整和主观订正, 从而成功准确地预报了此次大暴雨过程发生发展及降水量级与落区, 收到了较好的服务效果, 最大限度地减小了经济损失, 得到了社

会的高度认可。

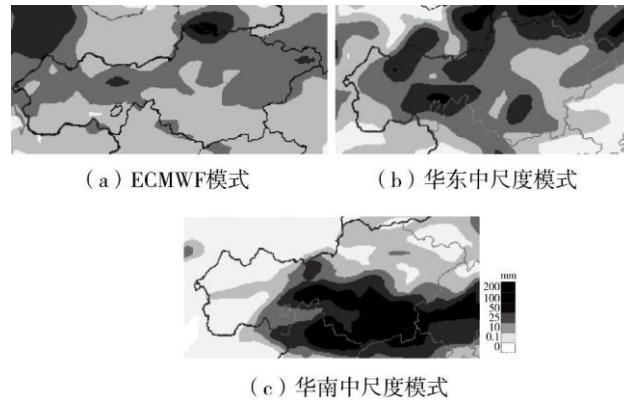


图8 6日20时起报的7日20时—8日20时 各模式24h累积降水量预报

6 小结

本文运用日常业务 ECMWF (EC) 细网格预报资料、NCEP/NCAR 再分析资料、FY-4 卫星资料以及常规观测资料, 对 2020 年 7 月 7 日贵州西北部毕节地区大暴雨过程的环流形势、要素场特征及各数值预报产品的释用性能进行了评估与分析, 得到以下结论:

(1) 此次大暴雨过程为高空槽东移南压与低层切变配合地面弱冷空气共同作用的结果, 降水主要集中区发生在毕节地区中南部低层切变与地面辐合线附近。

(2) 整个影响系统主要是 7 日午后位于贵州西北部毕节北部 MCS 逐渐生成发展并逐步东移南压, 造成毕节中南部地区的大暴雨过程; 降水时段主要集中在午后至夜间, 过程表现了明显的短时强降水特征, 其中最大小时雨强达 84.8 mm/h。

(3) 暴雨发生在强的对流不稳定层结和能量条件下, 异常丰富的水汽含量、中低层水汽输送与辐合和较强的上升运动为此次暴雨提供了很好的条件。

(4) 此次过程, EC 数值预报在高、低层形势预报中相对暴雨发生发展时段与落区上均展现了较好的配置和预报性能; 通过不同尺度模式 24 h 累积降水预报检验评估, EC 预报模式在落区及华南中尺度预报模式在降水量级上均有着优越的表现。即 EC 预报模式与华南中尺度模式在贵州西北部地区具有着较好的参考价值和业务实用性。

参考文献:

- [1]王月, 李辑, 焦敏, 等. 中国大范围极端低温事件的特征分析[J]. 气象与环境学报, 2020, 36(6):78-84.
- [2]刘珂, 姜大膀. 中国夏季和冬季极端干旱年代际变化及成因分析[J]. 大气科学, 2014, 38(2):309-321.
- [3]孙军, 张福青. 中国日极端降水和趋势[J]. 地球科学, 2017, 47(12):1469-1482.
- [4]丁一汇. 中国暴雨理论的发展历程与重要进展[J]. 暴雨灾害, 2019, 38(5):395-406.

-
- [5]甘文强,李刚,万雪丽.近 57a 5—9 月贵州极端强降水变化特征[J].干旱气候,2018,36(4):617-623.
- [6]黎荣,张丹丹,梅思雨,等.近 31 年来铜仁市暴雨气候特征分析[J].贵州科学,2020,38(2):54-57.
- [7]张京英,陈金敏,刘英杰,等.大暴雨过程中短时强降水机制分析[J].气象科学,2010,30(3):407-413.
- [8]何立富,周庆亮,陈涛.“05.6”华南暴雨中低纬度系统活动及相互作用[J].应用气象学报,2010,21(4):387-394.
- [9]倪允琪,周秀骥.长江中下游梅雨锋暴雨形成机理以及监测与预测理论和方法[J].气象学报,2004,62(5):647-662.
- [10]张瑶,马丽英,吴明,等.松桃县“7.15”特大暴雨综合诊断分析[J].贵州科学,2017,35(1):62-67.
- [11]李刚,牟克林,万雪丽.2012 年 5 月 21 日贵州西南部大暴雨诊断分析研究[J].中低纬山地气象,2013,37(2):10-16.
- [12]卢瑞荆,樊兰峰.1961—2008 年贵州暴雨时空分布特征[J].沙漠与绿洲气象,2017,4(3):17-21.
- [13]杜小玲,吴磊,杨秀庄,等.梅雨锋西段持续性暴雨的环境场特征及贵阳极端降水成因[J].暴雨灾害,2016,35(5):415-426.
- [14]伍红雨,黄红,陈德辉.西南地区东部一次大暴雨的中尺度数值模拟[J].气象科学,2008,28(5):494-501.
- [15]王芬,杨若文,唐浩鹏,等.近年贵州暴雨日数及降水总量的变化特征研究[J].云南大学学报(自然科学版),2013,35(S1):236-243.
- [16]LI Z,ZHENG F L,LIU W Z,et al.Spatial distribution and temporal trends of extreme temperature and precipitation events on the loess plateau of China during 1961-2007[J].Quaternary international,2010,226(1/2):92-100.
- [17]张润英,郝纹进,郑秀文,等.厄尔尼诺年忻州夏季降水与旱涝关系[J].中国农学通报,2016,32(13):147-152.
- [18]赵美艳,蒋镇.热带太平洋中部地区势力异常对中国南方冬季降水影响的数值模拟[J].中国农学通报,2017,33(31):105-111.
- [19]WANG Q W,TAN Z M.Multi-scale topographic control of southwest vortex formation in Tibetan Plateau region in an idealized simulation[J].Journal of geophysical research:atmospheres,2014,119(20):11543-11561.
- [20]李国平,陈佳.西南涡及其暴雨研究新进展[J].暴雨灾害,2017,37(44):293-302.
- [21]丁一汇.高等天气学[M].北京:气象出版社,1991:492-538.