

重大活动文艺演出天气预报服务复盘分析及策略探讨

■ 王媛媛 雷蕾 吴宏议 徐路扬

为庆祝中国共产党成立100周年，“伟大征程”文艺演出于2021年6月28日晚在国家体育场举行。针对6月28日和29日的强对流天气风险及可预报性进行复盘分析，并对气象服务保障策略进行回顾和探讨。本次活动的准确天气预报，为相关重要决策提供了关键依据。逐小时滚动提供气象服务专报以及精准、细致、周到的现场气象服务助力演出活动取得了圆满成功。

中图分类号：P4

文献标志码：A

DOI：10.3969/j.issn.2095-1973.2024.04.008

为庆祝中国共产党成立100周年，“伟大征程”文艺演出于2021年6月28日晚在国家体育场举行。此前，分别于6月22日和25日在国家体育场进行了两场全流程彩排演练。演出中超大LED屏、音响等电子设备，以及高空威亚表演和国家体育场冠顶焰火燃放等环节对气象条件敏感性强，尤其是降雨、强对流天气和6级以上大风对演出效果和安全性有很大的影响。

6月22日17—23时（北京时，下同）进行第一次演练，天气晴朗，下午高温晴晒，体感炎热，傍晚高温高湿的环境容易导致观演群众中暑。6月25日傍晚到夜间第二次演练，受冷涡影响出现雷阵雨，北京北部大雨、局地暴雨，并伴有短时强降雨、大风、冰雹等强对流天气，国家体育场地区恰巧在演出期间出现了明显雷雨（累计雨量8.3 mm）和6级左右短时大风，焰火燃放和文艺演出因此暂停半个多小时，雷雨大风天气为活动带来了明显不利影响。

6月下旬临近正式演出期间，北京地区先后受多个冷涡影响。对2010—2020年活动同期历史天气进行复盘发现，北京地区该期间受低涡、高空槽、切变线天气系统影响的概率高达85%，均可能造成强对流、降雨、大风等高影响天气，尤其是低涡系统，极易造成强对流天气，局地性强、不确定性大，定时定点定量的预报难度大。加之北京三面环山、东南部面朝渤海湾，城市建筑群和热岛特征显著，下垫面复杂（图1），天气复杂多变，气象服务保障难度极大。6月28日500 hPa北京地区受西北气流控制，低层为偏

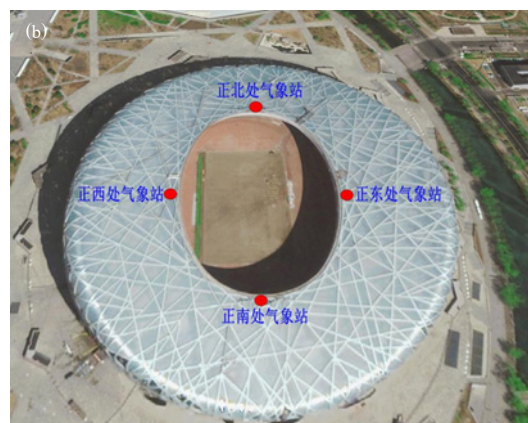
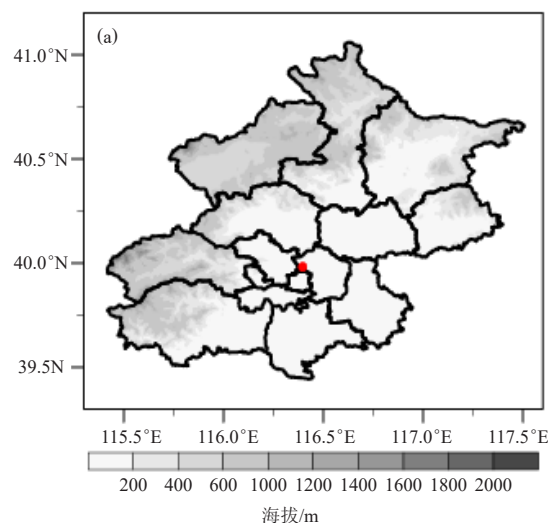


图1 北京地区地形图(a, 红点为国家体育场所在位置)和国家体育场俯瞰图(b, 红点为国家体育场冠顶东、西、南、北四处自动气象站)

收稿日期：2022年8月1日；修回日期：2023年5月11日

第一作者：王媛媛（1989—），E-mail: wyy19890103@163.com

通信作者：雷蕾（1983—），E-mail: Leilei_bjt@126.com

南风，内蒙古东南部至东北地区南部有低涡切变和弱冷空气影响，河北和北京的北部山区在上述系统后部和地形影响下，局地有可能生成雷暴单体，但垂直风切变较小，不利于对流组织化发展。CMA、CMA-MESO、ECMWF（简称EC）等模式均预报28日20—23时北京地区无明显降雨，但是作为北京汛期重要支撑的CMA-BJ（即睿图-短期RMAPS-ST）3 km区域模式与主观分析一致，预报28日19时前后北京东北部有分散、小而孤立的对流回波自东北向西南移动，恰好在活动期间（20—22时）影响北京城区。6月29日蒙古低涡东移，500 hPa北京地区受冷涡槽前冷平流影响，850 hPa偏南风暖平流明显增强，具有“上冷下暖”热力不稳定大气层结，垂直风切变加大，有利于京津冀出现较大范围的对流天气。从天气发生概率来看，29日对活动产生影响的风险更大，但28日山区孤立雷暴能否下山，以及对于国家体育场固定地点是否会产生影响，短期预报难度仍较大。

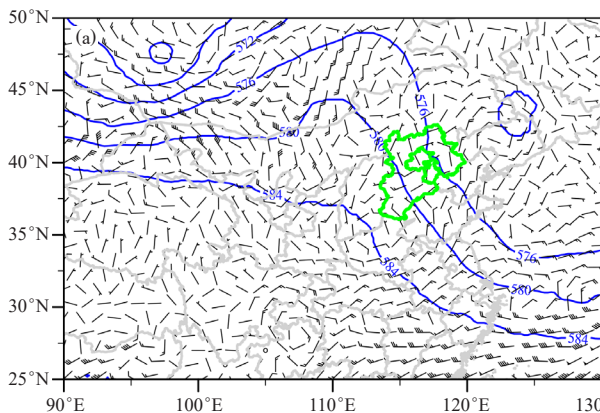
本文对上述活动期间复杂天气的预报和服务进行了复盘分析，对采取的相关策略进行探讨，旨在不断提升重大活动气象服务质量，为政府及重大活动组织管理提供科学决策支持，也为其他省市进行重大活动气象保障提供借鉴和参考。

1 6月28日和29日天气实况及天气形势

1.1 天气实况

6月28日，环北京周边地区出现雷电，尤其是承德—秦皇岛—天津一带出现局地性短时强降水和雷暴大风天气；北京地区28日午后至前半夜以多云天气为主，后半夜出现分散性阵雨。国家体育场地区天气实况为多云转阴，最高气温为33.2℃，16时后气温逐渐下降，19—22时气温为28~30℃，相对湿度为50%~70%，体感较闷热。

受蒙古冷涡影响，29日京津冀地区对流天气范围



较前一日明显扩大，出现了雷电、短时强降水和局地冰雹。上午北京部分地区出现阵雨，下午至夜间出现雷阵雨，局地雨强大，并伴有小冰雹和6级以上短时大风。国家体育场地区以阴为主，夜间有小雨天气，降雨量为0.1 mm。

1.2 天气形势

强对流天气的发生需要水汽、不稳定能量和触发机制3个基本条件，此外还需要较大的垂直风切变。6月28日08时，500 hPa北京地区受高压脊前西北气流控制，但是内蒙古东南部、河北东北部至东北地区南部存在低涡切变；850 hPa华北平原为偏南风（图2a），但暖平流不明显，且湿度较差。北京地区对流有效位能CAPE约为1000 J/kg（图3a），500 hPa和850 hPa温差（图3c）、K指数均为36℃，具有一定对流潜势，但垂直风切变较小（图3e），抬升凝结高度和自由对流高度位于850 hPa以上，高度相对较高，而其上受偏北风影响不利于对流发展。从地面过去3 h降雨分布来看，仅周边山西、河北中南部和东北部地区出现弱降雨。

6月29日08时，500 hPa上贝加尔湖以南蒙古低涡发展加强并东移，京津冀地区处于冷涡低槽前上升运动区内，并有冷平流影响（图2b）；850 hPa仍然为偏南风，但暖平流明显增强。相对湿度也明显增大，出现“上冷下暖”和“上干下湿”的不稳定大气层结。CAPE较前一天增大至1500 J/kg，K指数超过36℃，0~6 km垂直风切变也加大至16 m/s以上（图3b、3d、3f），有利于京津冀地区出现区域性强对流天气。综合分析，从天气形势看国家体育场29日出现受到雷阵雨天气影响的风险概率高于28日。

2 模式预报及数值试验

2.1 模式预报

CMA、CMA-MESO、EC、NCEP数值模式客观

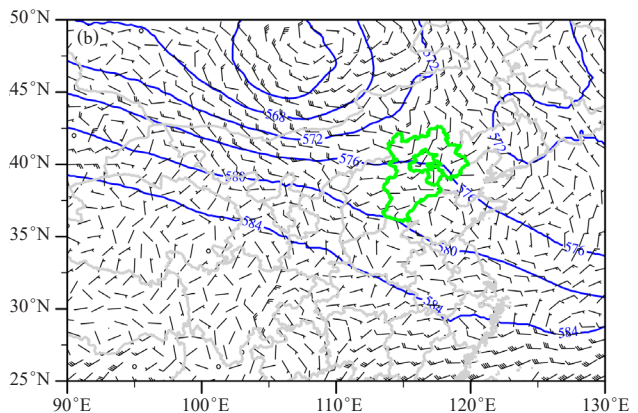


图2 ERA5 0.25°×0.25°再分析资料2021年6月28日08时(a)和6月29日08时(b) 500 hPa形势场(图中蓝色曲线表示位势高度,单位: dagpm; 黑色风向杆表示850 hPa风场,单位: m/s)

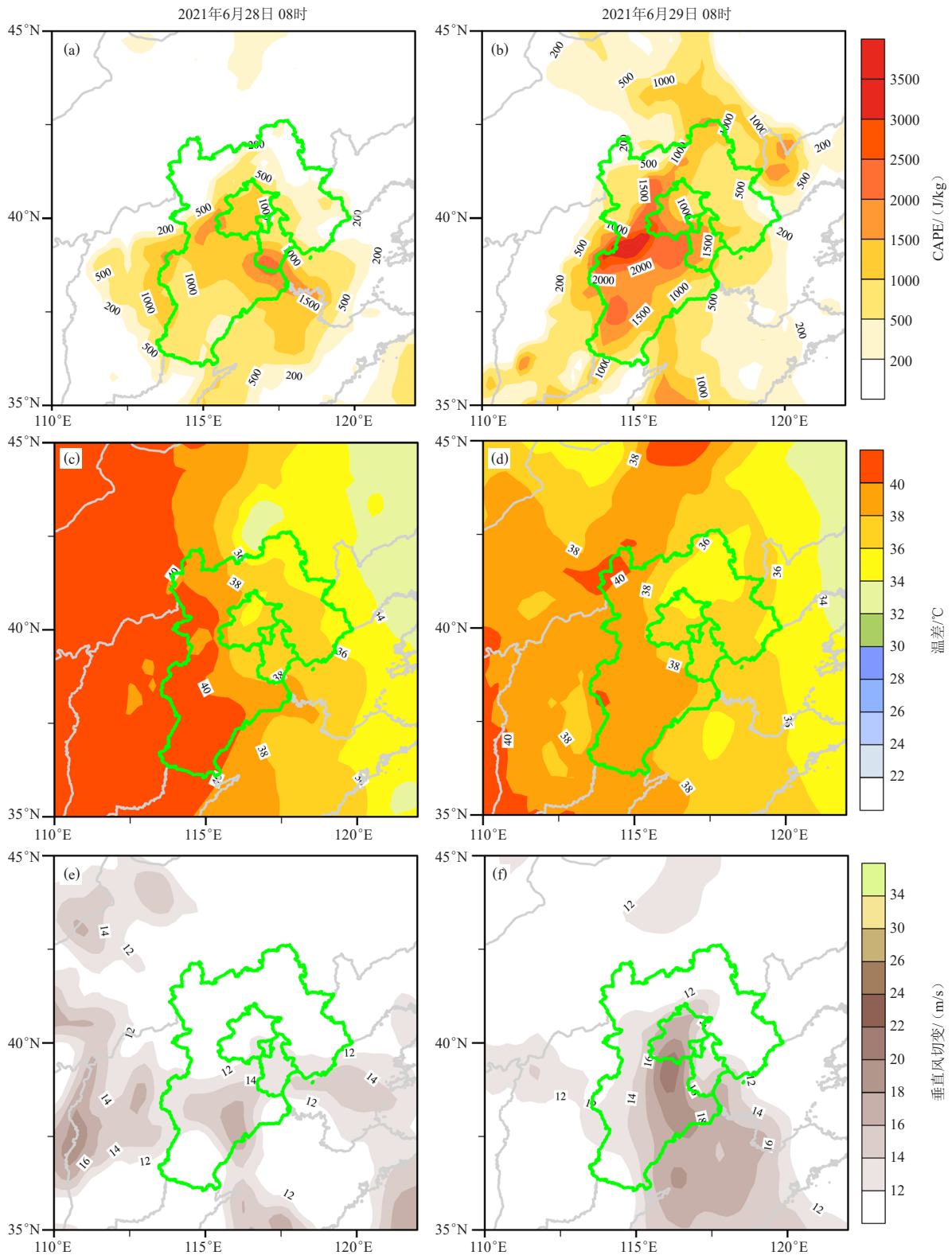


图3 2021年6月28日08时和6月29日08时CAPE (a, b)、850 hPa与500 hPa温差 (c, d)、0~6 km垂直风切变 (e, f)

预报结果均显示在上述天气背景下，6月28日京津冀地区无大范围降雨，而29日有较大范围的降雨。

CMA-BJ 3 km区域中尺度模式却与上述结果有较

明显分歧：27日11时预报28日19时前后北京东北部有分散、小而孤立的对流回波自东北向西南移动（为天气背景中所述的内蒙古东南部至东北地区南部小低涡

切变和弱冷空气影响所致)，对流下山后恰好在活动期间（20—22时）影响北京城区（图4）。因此，综合

全球模式和区域模式，活动时的天气仍存在较大不确定性。

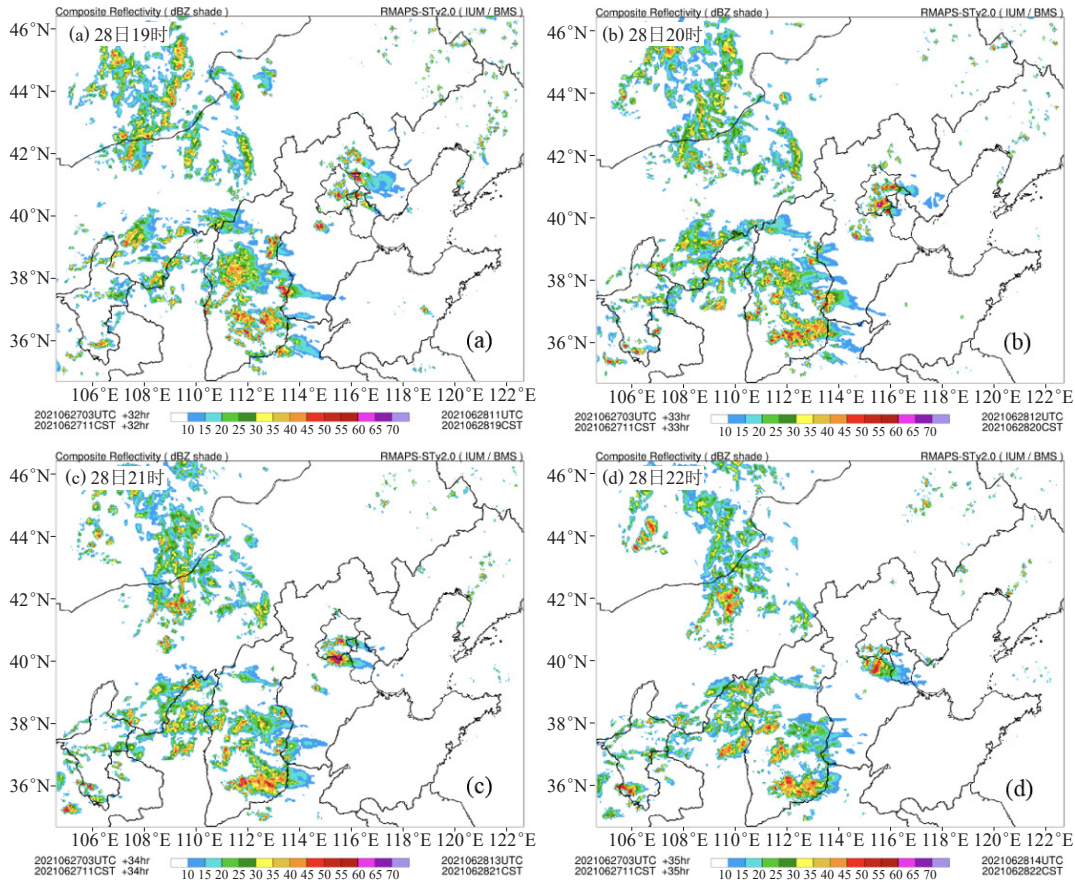


图4 CMA-BJ 3 km模式2021年6月27日11时起报，预报28日19—22时雷达回波组合反射率

2.2 数值试验策略和可预报性

2.2.1 CMA-BJ 3 km 模式替换背景场试验

为了进一步分析6月28日CMA-BJ 3 km区域中尺度模式预报出分散雷暴影响活动开展的可预报性，北京城市气象研究院应军地活动专项会商需求，首次进行

CMA-BJ 3 km区域模式切换背景场的数值定制试验。27—28日分别采用CMA-GRAPES、NCEP-GFS数据替换原EC背景场进行特定场次模式冷启动，再次进行同化和模拟。试验结果如下（图5）：27日14时以CMA-GFS数据为背景场的预报，对流在石家庄以西山区发

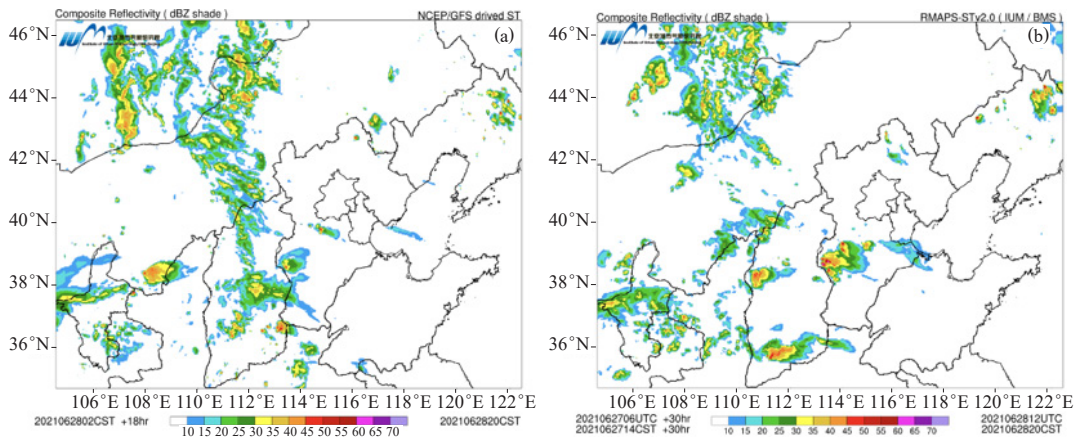


图5 2021年6月28日02时替换为NCEP-GFS数据做背景场 (a) 和6月27日14时替换为CMA-GFS数据做背景场 (b) 驱动CMA-BJ 3 km区域模式，预报28日20时雷达回波组合反射率

展旺盛,北京无对流影响;28日02时,以NCEP-GFS数据为背景场的预报,华北东北部对流系统偏东向南移动,在河北交界消失,同样未下山影响北京。上述试验结果表明业务CMA-BJ 3 km模式对活动期间有对流影响的预报结果可能偏强。27日的军地活动专项大会商中,预报专班参考大多数模式预报和试验结果,确定28日20—22时国家体育场地区出现对流活动概率较小。可见,模式“定制试验”为提前24~36 h的活动精细化预报确定提供了重要支撑。12 h 短时预报阶段,CMA-BJ 3 km业务模式结果逐渐调整与CMA等模式趋于一致,增加了预报可信度。

2.2.2 RMAPS-NOW 模式降尺度预报试验

为了在短时临近0~12 h进一步追踪和更精准地分析河北东北部对流下山的可能性及其影响,北京城市气象研究院对6月28日睿图临近预报模式(简称

RMAPS-NOW)首次启动了逐小时降尺度(1 km)预报试验。其滚动多时次逐1 h预报结果为:河北北部燕山山区的对流向南移动能够下山,但是将从北京东部地区掠过,向天津移动时逐渐减弱(图6a~6b),对国家体育场活动无影响。通过检验,虽然RMAPS-NOW模式1 km模拟结果所预报的对流在下山过程中减弱消亡的速度较实况更慢(图6c),但整体而言,1 km逐小时降尺度预报试验仍为临近预报提供了强有力的支撑和参考。

3 决策服务回顾及策略探讨

3.1 精准预报为确定活动举办期提供依据

2021年6月下旬,随着活动各项准备工作就绪,是否有雷雨、大风等不利天气逐步成为文艺演出能否成功举办的决定性因素,也是最不确定的因素。为了

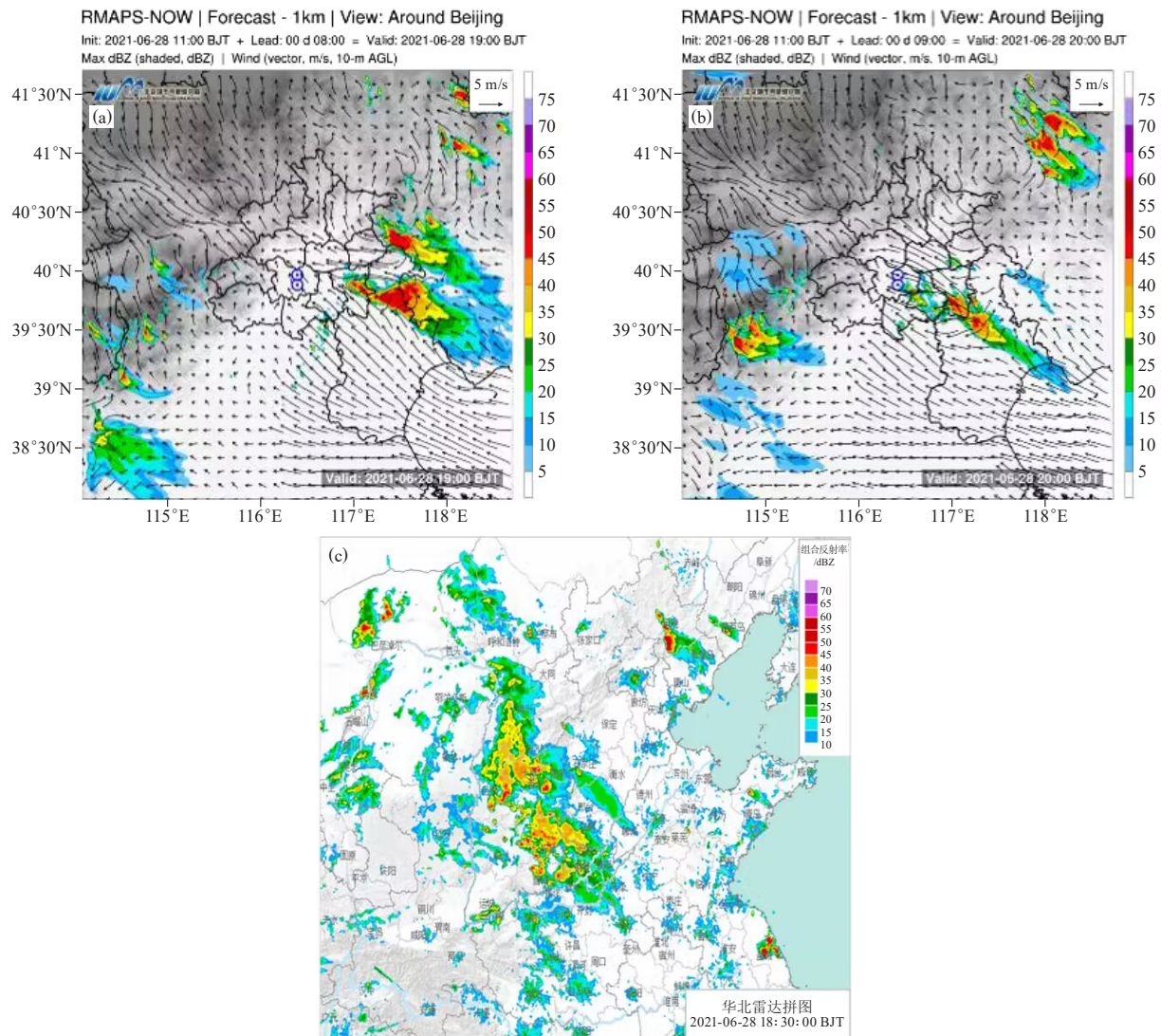


图6 2021年6月28日19时(a)和20时(b)RMAPS-NOW模式的1 km降尺度预报对流最大反射率因子和10 m风场,以及18时30分华北地区雷达回波组合反射率拼图(c)

向组织方提供有效的活动举办期天气条件参考，针对28日和29日天气，北京市气象台、在京部队先后召开了5次活动专项军地大会商，预报服务专班结合多方预报结论提前3 d预报6月29日国家体育场活动期间有雷阵雨。6月27日凌晨，经过对气象条件、降雨出现时间、影响区域等多要素的细致分析，向决策部门给出明确预报结论：28日华北东北部将有对流天气，对河北和北京北部山区有影响，可能出现分散性雷阵雨，北京城区和国家体育场出现雷雨的概率相对较小

(图7)；29日将有大范围雷雨天气。总体来看，28日出现雷阵雨概率较小，这一预报意见与6月28日及6月29日实际天气情况基本一致，科学支撑文艺演出比原计划提前一天举行，为确定活动举办时间提供了科学决策依据。此外，气象服务专报自27日19时起，24 h内逐1 h滚动更新当前至29日08时的逐小时预报，并提供体感温度预报及防范建议，其间不断根据天气实况和最新预报结果对专报材料内容进行订正和调整，力争做到精准及时，演出当日累计发布气象服务专报26期。

A 场地天气预报

一、天气综述

根据最新资料分析，军地专家一致认为29日20-23时A场地出现雷阵雨等强对流天气的可能性较28日同时段更大。

28日：北京地区晴转多云，傍晚至夜间有分散性雷阵雨。A场地20-23时多云，气温28~32℃，偏南风2、3级，相对湿度40%~50%，能见度8~10公里；28日23时-29日05时多云转阴有雷阵雨（3~8毫米），气温22~28℃，南转北风2、3级，阵风5级，相对湿度50%~90%，能见度2~6公里。

29日：北京地区多云转阴，午后至夜间有雷阵雨。A场地17-21时有小到中雨（8~15毫米），伴有雷电，偏北风3、4级，阵风7级，对活动准备和开始时段有影响；20-23时气温25~26℃，偏北风3、4级，相对湿度70%~90%，能见度4~6公里。

二、具体天气预报

时段	项目	天气	气温 (°C)	风向	风力 (级)	相对湿度	能见度 (km)
27日	17-20时	多云间晴	31~33	偏南风	2、3级	40~50	>10
	20-23时	多云间晴	28~31	偏南风	2、3级	50~60	6~8
	23-02时	多云转晴	24~28	南转北	1、2级	60~70	4~6
28日	02-05时	晴间多云	21~24	偏北风	1、2级	70~80	4~6
	05-08时	晴间多云	21~26	偏北风	1、2级	70~80	4~6
	08-11时	晴间多云	26~31	偏北风	2、3级	50~70	8~10

29日	11-14时	晴间多云	31~35	北转南	2、3级	40~50	>10
	14-17时	晴转多云	34~35	偏南风	2、3级	30~40	>10
	17-20时	多云	32~34	偏南风	2、3级	30~40	>10
	20-23时	多云	28~32	偏南风	2、3级	40~50	8~10
	23-02时	多云转阴有雷阵雨	25~28	南转北	2、3级 阵风5级	50~80	4~6
30日	02-05时	雷阵雨	22~25	偏北风	2、3级 阵风5级	80~90	2~4
	05-08时	多云	22~26	偏北风	2、3级	70~80	6~8
	08-11时	多云	26~29	北转南	2、3级	60~70	8~10
	11-14时	多云	29~32	偏南风	2、3级	40~60	8~10
	14-17时	多云转阴有雷阵雨	28~32	偏北风	3、4级 阵风7级	60~90	4~6
	17-20时	雷阵雨	26~28	偏北风	3、4级 阵风7级	70~95	2~4
	20-23时	雷阵雨转多云	25~26	偏北风	3、4级	70~90	4~6
1日	02-05时	多云间阴	23~24	偏北风	2级	80~90	2~5
	05-08时	多云间阴	23~26	偏北风	2级	70~85	4~6
2日	白天	多云	33	北转南	2、3级	70	4~6
	夜间	多云	22	南转北	2、3级	80	8~10

图7 2021年6月28—29日国家体育场气象服务专报

3.2 现场天气实况与气象服务

除了提供逐小时更新的精细化气象服务专报外，专家团队同步进驻国家体育场，提供现场气象服务保障。这种现场气象服务方式一直以来也是北京市气象局做好重大活动气象服务的重大举措。28日早晨，现场气象保障团队赶赴现场，在活动指挥部开展天气实时监视和分析，向指挥部各部门汇报国家体育场天气实况和预报。相关领导和负责人多次询问天气情况，重点关注是否会再次出现25日彩排演练期间影响国家体育场及周边地区的强对流天气。现场气象保障人员与后方预报团队实时互动，逐一提供精细化预报和服务。此外，现场人员关注到28日上午天气阴沉，湿度大，体感闷热，下午转为晴晒少云后，国家体育场看

台虽无直晒但是体感较闷热，提示活动方现场人员需注意防暑防晒。

28日13时30分延庆海陀山以西约25 km处有对流单体生成，午后至傍晚，河北张家口、承德、保定北部有分散对流回波发展，18时前后密云以东地区有强对流回波向南偏西方向移动（图6c），20时前后在近北京边界处减弱消散。现场专家团队实时报告天气情况，实况与前期预报“河北东北部有对流性天气、但对城区影响的风险相对较小”十分吻合。

28日20时演出刚刚开始，多云天气对文艺演出没有影响，但现场团队需要继续关注风向、风力和相对湿度对焰火燃放效果的影响（出现6级以上风力，焰火无法燃放）。演出期间，现场气象保障人员每10 min向

焰火指挥部相关负责人提供国家体育场风向、平均风力、阵风风力和相对湿度的实况和预报。22时05分,随着最后一波焰火完美绽放,现场气象保障人员圆满完成此次文艺演出气象保障工作。

4 结论与思考

本文针对6月28日和29日强对流天气出现的风险及可预报性进行复盘分析,总结回顾了预报服务过程中的关键举措,旨在不断提升复杂天气的预报能力和重大活动气象服务水平,同时也希望能为其他省市气象部门开展重大活动气象保障提供借鉴和参考。

1)从大气环流形势看,28日西北气流下动力抬升条件和冷暖平流弱,不利于京津大范围对流天气出现;但是,河北和北京的北部山区在低层低涡后部和地形影响下,有可能出现局地雷暴单体并下山影响平原地区;而29日京津冀地区逐渐转为蒙古低涡低槽前部上升运动区,配合“上冷下暖、上干下湿”的大气层结条件,垂直风切变较大,对流有效位能不断增大,有利于出现大范围雷雨天气。从影响活动的天气风险概率看,29日风险更大,28日相对有利于演出活动的顺利开展。

2)针对28日局地对流的可能性以及雷暴能否下山,首次对CMA-BJ 3 km区域模式特定时刻采取替换背景场预报试验,并对0~2 h的RMAPS-NOW临近预报模式进行了1 km降尺度预报试验,取得了比较好的预报效果,给予服务很大的支撑。

3)本次活动正确预报28日“天气窗口期”,为相关重要决策提供了关键依据,助力演出活动取得圆满成功。同时逐小时滚动提供气象服务专报以及28日细致周到的现场气象服务为完成此次文艺演出气象保障工作画上圆满句号。

4)完善的军地会商机制,合理定制数值模拟试验,可以为确定预报结论提供有力支撑;预报服务团队与现场服务团队两支队伍的密切协作、相互配合,可以更好地将气象预报服务信息“穿透式”传递给保障对象,同时实时跟踪解读天气,将天气预报变成真

正可供决策者信赖和依赖的决策依据。

结合如上重大活动文艺演出和往年举办此类大型活动的气象服务保障经验,有如下几点预报服务策略值得今后深入学习和探讨:一是要继续完善军地部门联合大会商的机制;二是在日常和重大活动气象服务保障中,当全球模式和区域模式结果分歧较大时,可以实施模式背景场的切换或者降尺度的“定制化数值模拟试验”,为确定预报结论提供支撑;三是综合考虑保障活动流程安排、点位设置、活动周期等,提前组建预报服务专班团队与现场服务团队,预报服务专班团队主要负责目标区活动时段实时预报服务保障等工作,而现场服务团队主要负责面对面向活动组织方实时提供天气预报服务和变化趋势解读,形成“前后方”的重要联系纽带。

致谢:感谢北京城市气象研究院仲跻芹研究员带领的CMA-BJ短期模式团队和陈明轩研究员、秦睿博士的RMAPS-NOW临近预报团队对活动天气模式预报方面给予的巨大帮助!

深入阅读

- 甘璐,郭金兰,雷蕾,等,2021.北京世园会开幕式期间弱降水天气成因[J].气象与环境学报,37(3):12-18.
- 郭虎,王令,时少英,等,2010.国庆60周年演练中一次降水过程的短时预报服务[J].气象,36(10):21-28.
- 王华,郭金兰,仲跻芹,等,2018.2015年北京田径世锦赛开幕式天气的精细化预报与方法[J].沙漠与绿洲气象,12(5):10-15.
- 王希娟,2017.重大活动气象保障服务分析与探讨[J].青海环境,27(4):202-205.
- 吴宏议,李津,张明英,2010.浅谈现场气象保障服务工作[C]//纪念中央气象台成立60周年系列活动之全国气象服务发展论坛论文集.北京:中国气象局,282-288.
- 武艳娟,杨志捷,薛德友,2018.做好重大活动气象保障服务的思考[J].内蒙古气象(3):44-45.
- 俞小鼎,周小刚,王秀明,2012.雷暴与强对流临近天气预报技术进展[J].气象学报,70(3):311-337.
- 张永恒,薛建军,温显昱,等,2013.重大活动决策气象保障服务探讨[J].阅江学刊,5(2):36-42.

(作者单位:北京市气象台)

(编辑:卢冰)