

郭虎,王令,时少英,等. 国庆 60 周年演练中一次降水过程的短时预报服务[J]. 气象,2010,36(10):21-28.

国庆 60 周年演练中一次降水过程的短时预报服务^{*}

郭 虎 王 令 时少英 郭金兰 王国荣

北京市气象台,北京 100089

提 要: 由于降水的原因,原定于 2009 年 9 月 5 日晚间的国庆 60 周年彩排向后平移 24 小时进行。在预报北京地区有连阴雨的天气背景下,利用风云 2C、新一代天气雷达网、地面自动站、垂直风廓线、微波辐射计等多种高时空分辨率探测资料,结合 BJ-RUC 产品,对北京天安门降水进行精细化的短时预报。通过采取严密监视天气变化,跟进式精细化预报服务的措施,顺利完成了这次重大气象服务的保障任务。再次证明多种新型探测资料在对大气物理状况的释用,填补常规探测资料时空分布的不足等方面的应用价值,这些资料有助于对天气系统位置、强度变化的确定;雷达回波拼图可以得到较大范围降雨区的位置、移向和移速,在天气系统较为稳定的情况下可以进行 2 小时以上的外推。

关键词: 降水, 短时预报, 精细预报服务

Very Short-Range Forecast Service of a Rainfall Event During the National Day Celebration Rehearsals

GUO Hu WANG Ling SHI Shaoying GUO Jinlan WANG Guorong

Beijing Meteorological Observatory, Beijing 100089

Abstract: Predicted rainfall in the area of the Tian'anmen Square, the site for the first-round grand National Day celebration rehearsal, had prompted Chinese authorities to postpone the date for the second round from 5 September, 2009 to the next day. By utilizing the monitoring data of FY 2C, the new generation weather radar network, automatic weather stations, wind profile, and microwave radiometer etc., with the combination of the products of BJ-RUC model, the very short-range forecast for the rainfall event in the area of the Tian'anmen Square was produced, and the tailored meteorological service was provided, then the good service effect had achieved. Through the forecasting service, it is proved that comprehensive monitoring data are very useful for the explanation and application to the status of atmospheric physics and making up the lack of temporal and spatial distribution of conventional data. The data are helpful for the determination of the position and variation of the synoptic system, even the extrapolation beyond 2 hours.

Key words: rainfall, very short-range forecasting, refined meteorological service

引 言

降水是对人类活动影响较大的天气现象,随着近年来新一代天气雷达网的建设,各种新型探测手段的增加,对降水系统的中小尺度特征认识不断增强。郭虎、段丽、李建、孙继松等分别从不同的角度对北京地

区夏季暴雨的中小尺度特征做出了分析^[1-4],但是对降水的定时定点预报还有很大的难度。短期降水预报只考虑北京地区 12 小时的降水性质和雨量预报,从奥运气象服务开始,这种“今天白天阴天有阵雨转多云”的预报已经远远不能满足气象服务的需要,从而开展了定点、定时段的精细化预报,开展了短时临近预报^[5-6]。2009 年国庆 60 周年大庆庆典筹备期间,

^{*} 公益性行业(气象)科研专项(200906039)和中央公益性科研院所专项(IUMKY200904)共同资助
2010 年 1 月 8 日收稿; 2010 年 5 月 12 日收修定稿
第一作者:郭虎,主要从事天气学研究, Email:guohu@263.net

传承发展了奥运气象服务的成果^[7-9],开展了针对天安门及相关地点的精细化预报。

按照首都中华人民共和国成立 60 周年庆祝活动筹备委员会气象服务组的国庆“9.5”演练气象保障的工作部署,北京市气象台制定了《国庆“9.5”天安门地区演练气象服务保障业务实施方案》。这是一次带妆彩排,天安门广场集结人员有 19 万之多。因此根据业务实施方案,2009 年 9 月 3 日下午,首都军地气象专家为原定于 5 日进行的国庆演练进行了天气会商。预报意见一致认为:受锋面影响 5 日至 6 日北京会出现一次明显的降水过程,尤其是 5 日夜间的降雨可能会达到中雨,对演练活动将产生不利影响。9 月 4 日 17 时,中央气象台和北京市气象台连线会商的结果仍然预报 5 日夜间有雨,9 月 6 日的天气相对要比 5 日天气好些。首都中华人民共和国成立 60 周年庆祝活动筹备委员会根据气象预报做出决定:国庆演练活动向后平移 24 小时进行,各大媒体登出了城市交通管制措施后延的公告。秋雨要在演练之夜到来的消息迅速传遍京城千家万户。

如果 5 日夜间不下雨,推迟演练将失去意义。如果 6 日演练期间仍然有雨,也将造成重大的不利影响。通过准确的短时临近预报和跟进式的预报服务,胜利完成这次预报服务任务。

1 天气系统和实况

1.1 天气形势

受冷空气和西南暖湿空气的共同影响,4 日夜间至 7 日上午北京地区持续阴雨天气。5 日 20 时的 500 hPa 天气图上,北方的冷空气位于贝加尔湖到东北平原;而陕西、山西、河北的南部及其以南均处于暖高压脊的控制之下。北京处于锋区的偏南一侧。5 日 20 时 700 hPa 的切变线位于北京北部;850 hPa 切变线位于北京南部。到 6 日 08 时天气形势没有明显的调整。6 日 08 时 40°N 附近 500 hPa 西风环流较为平直。地面图上,从 5 日 14 时起,北京处于高压底部,而且环流比较平直,高压主体南压缓慢,在河套南部有一个弱的倒槽,6 日 02 时略向东北方向扩展。

以 6 日 08 时的红外云图为例,可以看到:对应于 500 hPa 的锋区,东北南部、华北到西北上空被锋区大范围带状云系覆盖,以层积云为主。对应于 700、850 hPa 的切变线,云层相对较厚,分布着一些

对流云和高云,如图 1 所示。

从 5 日 08 时到 6 日 20 时,间隔 6 小时一次的北京单站探空图上可以看出 400 hPa 以下红色温度廓线和绿色露点温度廓线接近重合,湿度基本达到饱和状态(图 2)。K 指数等对流参数却达不到强对流的标准,因此不会产生雷暴等灾害性天气,以阵雨天气为主。

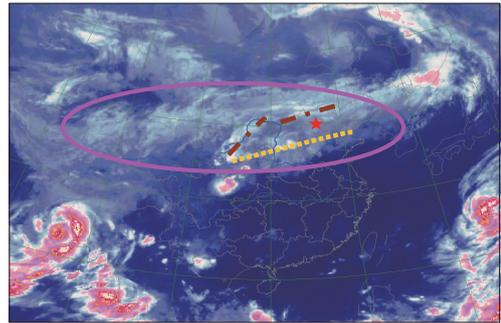


图 1 2009 年 9 月 6 日 08 时(北京时)风云 2C 卫星红外云图与天气系统的配置

红五星指示北京位置;粉色椭圆形区域示意 40°N 附近的锋区;棕色点划线为 700 hPa 切变线位置;黄色点线为 850 hPa 切变线位置

Fig. 1 The combination of the infrared image of FY-2C and synoptic system at 08:00 BT 6 September 2009

Where the red five-pointed star denotes the position of Beijing; the pink ellipse area denotes the front near 40°N; the brown dotted and dashed line denotes the position of the shear at 700 hPa; and the yellow dotted line the position of the shear at 850 hPa

1.2 天气实况和服务节点

在上述环流背景下,北京地区从 4 日凌晨出现降水,雨量时大时小,降水断断续续。4 日 20 时至 7 日 11 时,北京大部分地区出现了小雨到中雨,图 3 给出了天安门自动站监测到的 5 日 20 时至 7 日 12 时的逐时降水情况。从图中可以看到此次降雨过程表现出间歇性特点,雨量分散。其中 5 日夜间的降水主要集中在 22 时后至 05 时前。6 日白天为阵雨,6 日 22 时降雨结束,在 6 日 23 时到 7 日 04 时是降水间隙。

预报服务从 5 日 20 时开始,根据天气情况,向首都中华人民共和国成立 60 周年庆祝活动筹备委员会按照演练时间节点不断汇报天气情况,各跟进式服务节点和服务内容如表 1 所示。通过表 1 和图 3

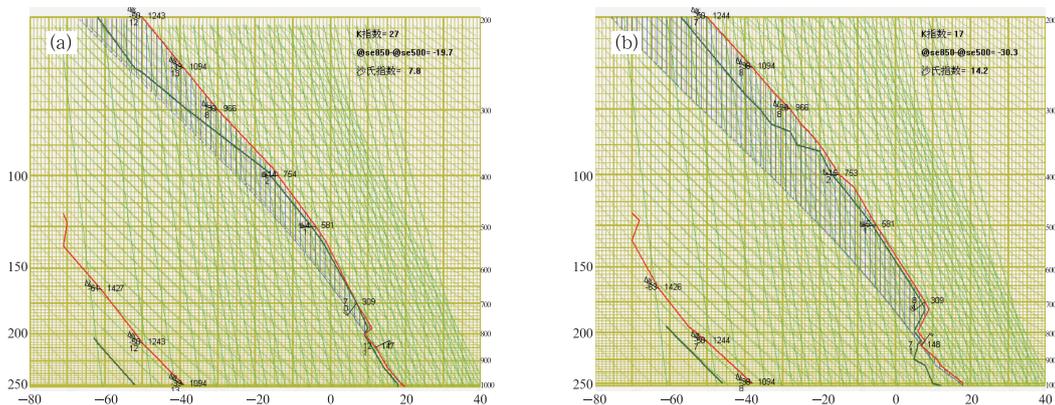


图 2 2009 年 9 月 6 日 02 时加密探空(a)和 08 时探空(b)

Fig. 2 The densified soundings at 02:00 BT (a) and 08:00 BT (b) 6 September 2009

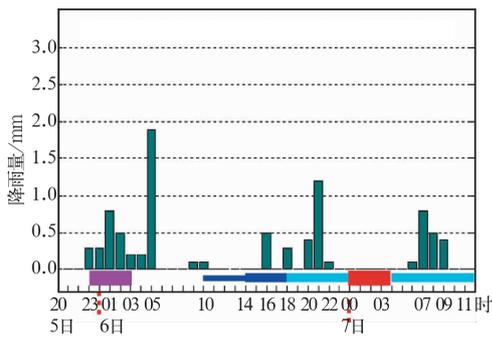


图 3 天安门自动站 2009 年 9 月 5 日 20:00 至 7 日 12:00 逐时降雨量监测情况(见蓝绿色的柱状图)

图中时间轴上粉色粗实线段表示原定的 5 日演练时间;蓝色表示调整后演练队伍集结准备阶段;青色表示游行队伍的集结阶段或撤场阶段;红色表示 6 日演练阶段

Fig. 3 The hourly rainfall records of Tian'anmen automatic weather station during the period from 20:00 BT 5 to 07:00 BT 7 September 2009 Here the pink short solid line presents the scheduled rehearsal period, the blue one the adjusted rehearsal preparedness period, and the cyan one the time of assembling or withdrawing; and the red one the rehearsal time

的比较可以看出这次预报服务是成功的。

2 精细化、短时降水预报依据

在这种持续降水,多小波动的天气情况下,精细化、短时临近预报显得极为重要。5 日 16 时、21 时,6 日 09 时、10:30、14 时、15:30、20 时、21:30、7 日 1:30 多次对天气进行了会商。短时临近预报除了参

表 1 预报服务时间节点和预报服务意见

Table 1 The schedule of forecast service associated with the advises

日期时间	预报服务意见
5 日 20 时	22—23 时,天安门开始降雨,夜间雨量 3~5 mm。
6 日 10 时	白天,天安门地区有间断性小雨,雨量 2~5 mm。前半夜集结时段有降水,演练期间无降水。
6 日 16 时	16—20 时,天安门地区仍有间断性小雨,雨量 1~3 mm。前半夜集结时段有降水,演练期间无降水。
6 日 18 时	18—24 时,天安门地区仍有间断性小雨,雨量 1~3 mm。
6 日 19 时	20—22 时,天安门地区小雨,雨量 1~3 mm。
6 日 21:30	天安门降水再过半小时停止,此后 5 小时无雨。
6 日 23:35	演练时段无降水,以阴天为主。
7 日 00 时	演练在无降水、气温、湿度都比较适宜的天气下有序进行。
7 日 02 时	降水在此后 1~2 小时开始,对撤场有影响,请做好准备。

考 BJ-RUC 的预报意见外,对云图、雷达、风廓线、微波辐射计、自动气象站等新型探测资料进行仔细的分析。通过对这些高时空分辨率资料的分析来捕捉大气中小尺度天气变化,制作天安门地区的精细化降雨预报。

2.1 9 月 5 日晚上出现降水的短时预报依据

9 月 5 日午后从各种常规气象资料来看北京具备降水的条件,但是实况却是天安门广场迟迟没有出现降水,通过对地面实况和微波辐射计资料的分析,15 时到 19 时 2 km 以下的相对湿度较低(图 4a 中的黑框处),2~5 km 之间湿度较大。只有低层湿度增加后,降水才能开始,低层湿度是否增加,开始增加的时间是短时预报的关键。

BJ-ANC 系统的资料显示,5 日 20 时 VDRAS 风场^[10]显示低空有一支东风气流开始加强,它从渤海湾吹向北京城区,高度在 2 km 以下(如图 4b、4c、4d)。北京雷达组合反射率图上表现出天津到北京东南部有零散的,强度 40 dBz 以下,高度 5 km 以下的回波向偏西方向移动,约 $20 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 。在河北西部有高度 10 km 的混合型降水云系向东移动,约 $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 。分析认为:东部较低的、向西移动的回波表示低层渤海湾水汽正在向北京输送,低层的湿度

条件将逐渐转湿。西部较高的回波由 700 hPa 切变系统生成,当云系东移到达北京上空时,使垂直切变加强,北京城区降水就会开始。

从南郊观象台的风廓线雷达图(图 4e)上也可以看出:19:00 后,2 km 以下,偏东风逐渐加强。

通过对多种资料的分析判断,北京城区降水开始的时间应该在 22—23 时之间。通过对天气系统、结合雷达回波的尺度、强度分析,认为夜间有雨,降雨量为 3~5 mm。

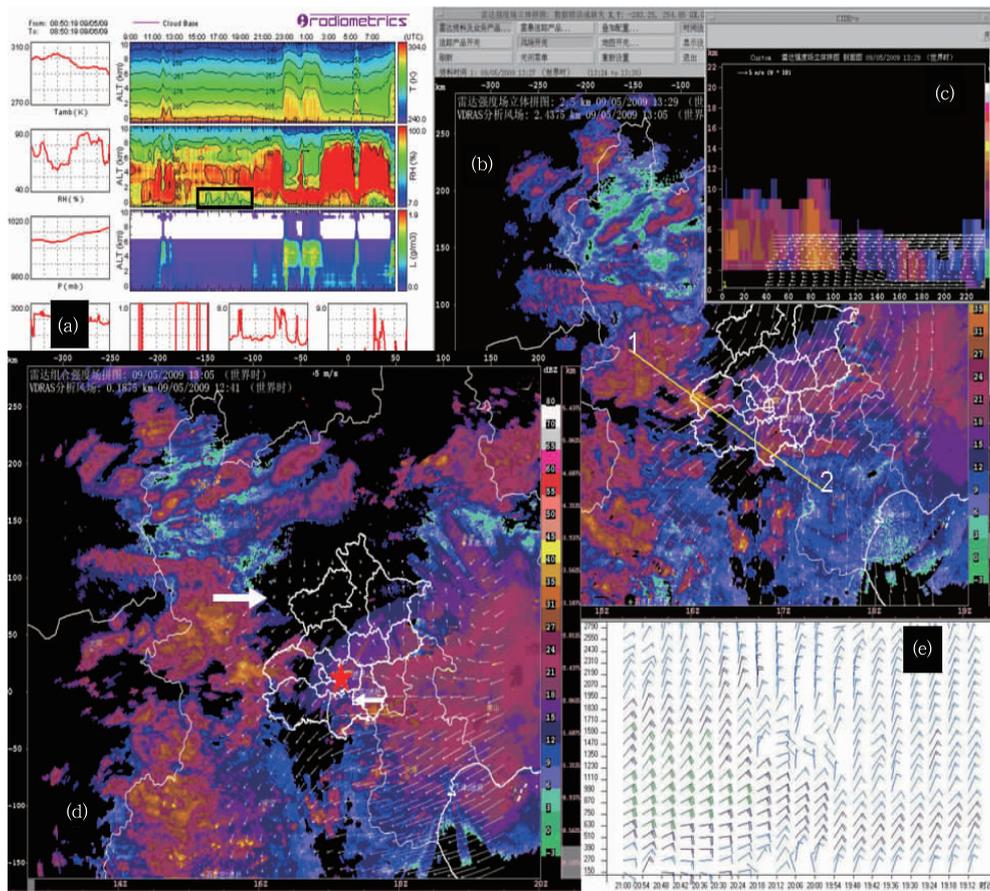


图 4 2009 年 9 月 5 日晚降水预报判断依据

(a)9 月 5 日 08:50 至 6 日 08:50 北京观象台微波辐射计资料,图中黑框处为 15—19 时相对湿度较小的区域,5 日 20 时以后相对湿度逐渐增加;(b)5 日 21:29 BJ-ANC 系统 2.5 km 高度的雷达立体拼图;(c)沿着 b 图中 1—2 黄色线作的任意垂直剖面,可以看出北京东部的回波高度低,而西部的回波高度较高;(d)20:41 的 BJ-ANC 系统组合反射率拼图,小的白色箭头为 VDRAS 反演的 107 m 高度上的风矢量,白色箭头指示回波移动的方向和速度;(e)5 日 19:12—21:00 北京观象台风廓线雷达 2000 m 以下的风廓线图

Fig. 4 The forecast analysis of the rainfall event

(a) The data of microwave radiometer at Guanxiangtai observatory during the period from 08:50 BT 5 to 08:50 BT 6 September, where the black frame presenting the time period of the lower relative humidity; (b) the radar mosaic diagram at 2.5 km height of BJ-ANC system; (c) the vertical cross section of radar echo along the yellow line from dot 1 to dot 2 in Fig. 4b; (d) the composite reflectivity of BJ-ANC system at 20:41 BT 5 September, where the shorter white arrow is the wind vector at 107 m retrieved from the VDRAS, the longer one the direction and speed of echo movement; and (e) the wind profile at Guanxiangtai Observatory during the period from 19:12 BT to 21:00 BT 5 September 2009

正如预报的那样,5 日 22:45 天安门开始出现降水,23 时,位于天安门的自动气象站传回信息显示,降雨量为 0.3 mm。到 6 日早晨 05 时,天安门降雨量达 4.2 mm。

2.2 9 月 6 日演练集结时段降水的短时预报依据

VIPS 系统经过 2008 年北京奥运会气象服务的应用,不断修改完善。今年雷达拼图范围扩大到 6 部雷达,分别是北京、天津、石家庄、张北、秦皇岛、承德。VIPS 系统有较为详细的地理信息,可以测量任意两点间的距离。

6 日从天气形势看,具备降水的条件,白天降水不断。其他资料均表明北京地区有阵雨,但是天安门 18—24 时演练集结时段的降水开始和结束时间、雨量大小需要有定时、定量的预报,因此根据 VIPS 系统雷达组合反射率拼图资料分析(如图 5 所示)降水开始、结束时间和雨量,17:48 在 VIPS 组合反射率雷达回波拼图上可以分析出一个长度约为 300 km,宽度约为 100 km 的中尺度系统将要影响北京,回波最大强度为 35 dBz,高度为 8 km。以 $60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 的速度向东移动。它与 700 hPa 切变相配合。

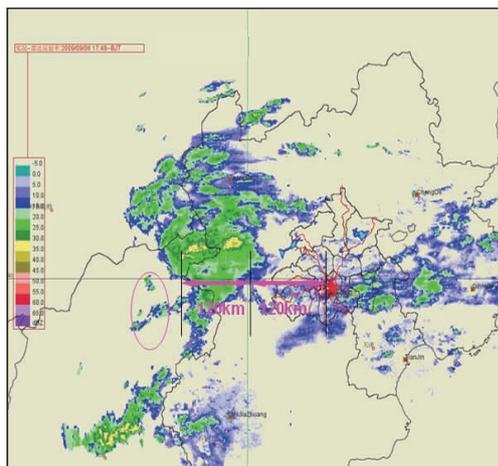


图 5 2009 年 9 月 6 日 17:48 的 VIPS 系统 6 部雷达组合反射率拼图

粉色的箭头指示影响北京城区回波的宽度和回波前沿到北京的距离;红色五角星指示北京城区

Fig. 5 The composite reflectivity of 6 radars from VIPS at 17:48 BT 6 September 2009

The pink arrow denotes the width of the echo and the distance between the front edge of the echo and the centre of Beijing; and the red five-pointed star representing the urban area

根据对图 5 的分析,做出了天安门 20 时左右再次出现降水,持续时间约 2 小时,雨量 1~3 mm 的短时预报。

实况是:天安门的降水从 19:45 开始,21:46 结束,持续时间 2 小时,雨量为 1.7 mm。游行队伍集结时段,受到降水的影响,加之气温较低,参加排练的小学生被安排到人民大会堂避雨。

2.3 9 月 6 日演练时段无降水的短时预报依据

9 月 6 日 21:30 天安门正在降雨的时候,定于 7 日 00 时开始的庆典彩排还能继续进行吗?需要确定的答复。

21:30 可以得到的常规气象资料有:20 时的地面图、部分高空天气图。20 时的地面图上,北京西部为大片的雨区(如图 6b 的绿色实线圈画区域),850 hPa 北京仍然位于切变线的北侧,为东北气流中,与石家庄之间为风的辐散;700 hPa 北京到东胜之间为一弱脊,东胜到临河之间有一个切变(如图 6a 棕色实线所示);在观象台风廓线图上可以看到,21 时 3000 m 高度上,西风转为西北风(图略);对应于 21 时的红外云图,在 40°N ,河套上空和河套西部还有一些白亮的云区(如图 6c 粉色实线圈画区域)。

由于北京西部有太行山的阻挡,且张北、石家庄雷达南北相距约 310 km,北京正西方向对一些高度低、强度弱的回波存在探测间隙。而 6 日晚的降水天气过程主要受西风带引导气流的影响,短时预报主要考虑来自北京西部的降水回波。21:30 北京西部出现了一个大范围的无回波区,范围达到 300 km,如图 6d 粉色实线所圈画的区域所示。为了证实这片无回波区内确实无雨,对大同雷达的产品进行了分析,发现在大同以东到北京之间无回波,但是大同以西有回波正在组织发展,连接成片(见图 7a);从图 7b 的多普勒速度图的分析结合天气图上的系统分析,可以得出这是 700 hPa 切变线造成的降水区,因此根据回波移动速度外推,提供了 22 时以后,5 小时内以阴天为主,5 小时(7 日 3 时)以后有可能再次出现降水的预报意见。

到 23 时左右,发现张北雷达的回波移动方向转为 110° ,移动速度 $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ (图略),因此对这片回波进行监视,到 7 日 01:30,这片回波距离天安门还有 90 km,影响时间应该在演练撤场阶段。因此

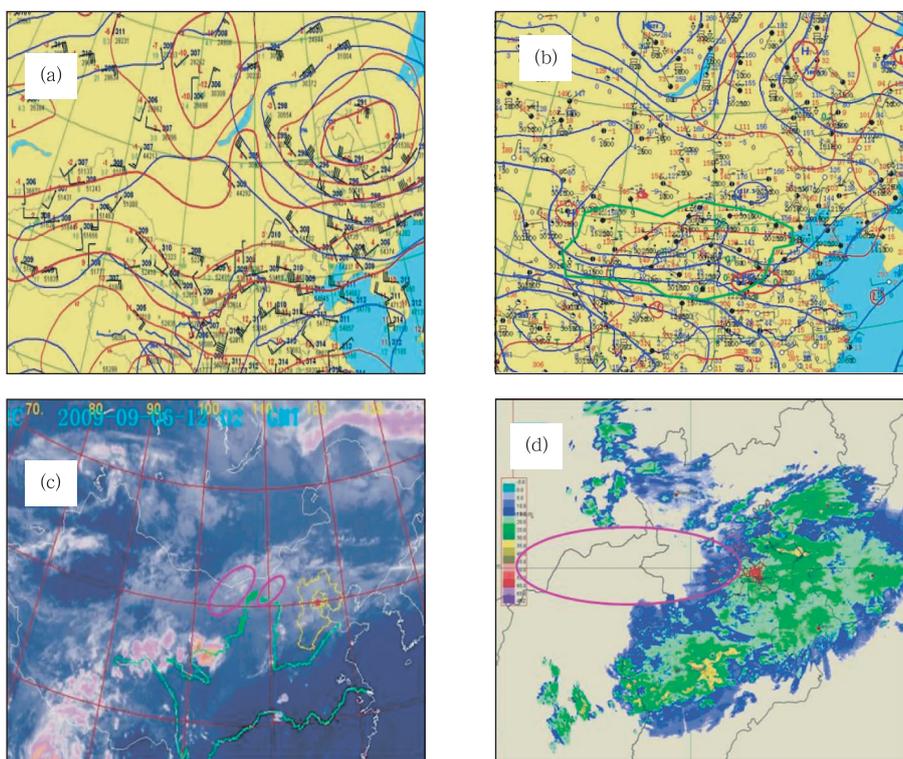


图 6 2009 年 9 月 6 日 21:30 分析的气象资料

(a)6日20时700 hPa高空图,棕色实线指示切变线的位置;(b)6日20时地面天气图,绿色实线圈画了雨区;(c)6日20时风云2C红外云图,粉色实线圈画的区域云顶亮温相对较低,与700 hPa切变对应;(d)21:30 VIPS显示组合反射率拼图,粉色实线圈画的区域为无回波区

Fig. 6 The meteorological analysis at 21:30 BT 6 September 2009

(a) The 700 hPa upper-air chart at 20:00 BT 6 September 2009, where the brown solid line denotes the position of shear; (b) the surface chart at 20:00 BT 6 September 2009 the green solid line encloses the rainfall area; (c) the infrared cloud image of FY-2C at 20:00 BT 6 September 2009 with the pink area of lower TBB; and (d) the composite reflectivity from VIPS, where the pink lined area being corresponding to area without echoes

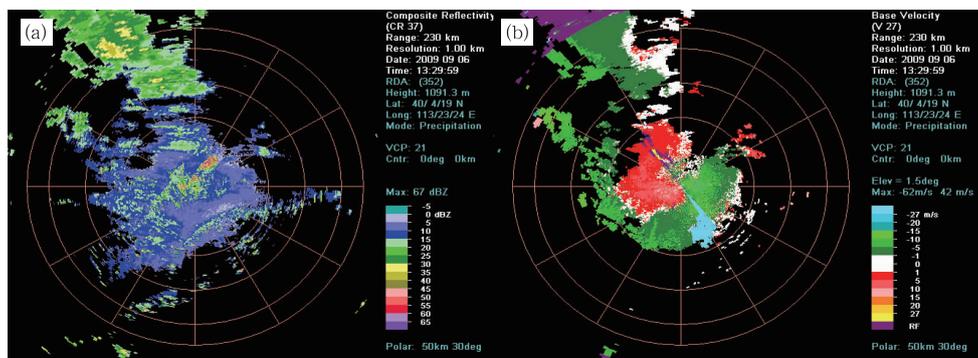


图 7 2009 年 9 月 6 日 21:29 大同 5 公分新一代天气雷达产品

(a)CR37 号产品;(b)1.5°仰角的 V27 号产品

Fig. 7 New generation weather radar products at 21:29 BT 6 September 2009

(a) the CR37 products, and (b) the V27 products at 1.5° elevation

01:30 短时预报 2 h 左右天安门转雨。04:05 天安门再次开始降水。从 21:47 天安门雨停,到 04:05

天安门再次降水,中间雨停约 6 小时,演练在无雨中进行。

3 BJ-RUC 的降水预报

快速更新循环和预报业务系统(BJ-RUC)是奥运科技成果之一,该系统以 WRF 中尺度数值模式及其三维变分系统为基础,可实时同化常规地面和

探空、区域气象站、船舶、飞机、GPS/MET 水汽等多种观测资料,每 3 小时提供一次 24 小时内的数值预报产品。选取了 BJ-RUC 5 日 14 时开始至 6 日 20 时的 11 次循环的天安门 1 小时雨量预报情况,如表 2 所示。在这 11 个循环中对降水的时间和雨量把握得不够准确,需要短时预报员根据实况资料进行

表 2 BJ-RUC 5 日 14 时至 6 日 20 时天安门 1 小时雨量预报与实况雨量(mm)

Table 2 The comparison between the records at Tian'anmen AWS and the rainfall forecasts (mm) from BJ-RUC model during the period from 14 BT 5 to 20 BT 6 September 2009

1 小时雨量预 报/月.日.时	BJ-RUC 循环预报时间/日.时											天安门实况 雨量/mm
	05.14	05.17	05.20	05.23	06.02	06.05	06.08	06.11	06.14	06.17	06.20	
09.05.15	0											0
09.05.16	0											0
09.05.17	0.7											0
09.05.18	4.7	1.8										0
09.05.19	0.2	0										0
09.05.20	0	0										0
09.05.21	0	0	0									0
09.05.22	0	0	0									0
09.05.23	0	0	0.1									0.3
09.06.00	0.1	0	0	0								0.3
09.06.01	0	0	0.9	2.8								0.8
09.06.02	0	0	0.1	0.2								0.5
09.06.03	0	0.1	0	0	0.1							0.2
09.06.04	0.4	1	0	0	0.4							0.2
09.06.05	0	0.1	0.3	0.2	0.1							1.9
09.06.06	0.5	0.1	0.2	0.4	0.5	0.5						0
09.06.07	1	0.7	0.6	0.9	0.8	0.9						0
09.06.08	0.6	0.7	0.5	0	0	0						0
09.06.09	4.1	2.4	1	0.2	0	0.1	0					0.1
09.06.10	3.1	3.4	1.1	0.3	0.2	0.1	0.2					0.1
09.06.11	2.4	1.9	0.2	0.5	0.1	0.2	0.3					0
09.06.12	1.3	1	0	0.3	0	0.1	0.5	0.3				0
09.06.13	1.7	0.3	0	0.2	0	0	0.1	0				0
09.06.14	1.1	0	0	0	0.1	0	0	0				0
09.06.15		0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0			0
09.06.16		0.6	0.1	0.2	0.1	0.2	0	0	0			0.5
09.06.17		0.5	0.4	0.4	0.2	0.1	0.1	0	0			0
09.06.18			0.1	0.9	0.4	0.2	0.1	0	0	0.2		0.3
09.06.19			0	0.1	0	0.1	0	0	0	0.7		0
09.06.20			0.1	0	0	0	0	0	0	0		0.4
09.06.21				0	0	0	0	0	0	0	0	1.2
09.06.22				0	0	0	0	0	0	0	0	0.1
09.06.23				0	0	0	0	0	0	0	0	0
09.07.00					0	0	0	0	0	0	0	0
09.07.01					0	0	0	0	0	0	0	0
09.07.02					0	0	0	0	0	0	0	0
09.07.03						0	0	0	0	0	0	0
09.07.04						0	0	0	0	0.1	0	0
09.07.05							0	0	0	0.2	0.2	0
09.07.06								0	0	0	0	0.1
09.07.07								0	0	0	0	0.8
09.07.08								0	0	0	0	0.5
09.07.09									0	0	0	0.4
09.07.10									0	0.1	0.1	0
09.07.11									0	0	0	0
09.07.12										0	0	0

修正和调整。但是对于 6 日演练期间的天安门无降水预报,从 6 日 02 时至 6 日 20 时的 7 个循环看都是一致的。它的预报结果增加了预报员对这一时段预报无降水的信心。

4 总 结

北京在国庆期间有大量的重要活动,人员集中,影响面大,一般的天气要素变化在这个时段也会引起重大的影响。这次阵雨天气过程,对于农业、市政来说影响不是很大,但是对于 6 日国庆 60 周年游行彩排这样人群高度集中的活动来说,是影响重大的天气现象。因此这次降水过程的精细预报关系重大。

秋季降水还是经常出现的。在这一阶段降水回波强度减弱,经常在 35 dBz 以下,一些针对强风暴外推预报方法就不能启动,因此预报员要根据雷达回波的移动来判断未来关注区域的降水情况。通过这次预报服务证实,在把握天气系统发展变化情况下,可以进行合理的外推。

多种新型探测资料对大气物理状况的解释,有助于对天气系统的理解,如卫星云图对大范围锋区、700 hPa、850 hPa 切变等天气系统,可以直观地追踪它们的位置;风廓线雷达对高空风变化的探测,微波辐射计对本站温湿条件的探测,填补了两次探空之间的空白;雷达回波拼图可以得到较大范围降雨

区的位置、强度、移向和移速。单站雷达多普勒径向速度图能够分析本站上空的动力条件,进而分析降水系统短时的发展变化。

开展精细化的数值预报,不断改进完善预报方法仍然是我们努力的目标。

参考文献

- [1] 郭虎,段丽,杨波,等. 0679 香山局地大暴雨的中小尺度天气分析[J]. 应用气象学报,2008,19(3):265-275.
- [2] 李建,宇如聪,王建捷. 北京市夏季降水的日变化特征[J]. 科学通报,2008,53(7):829-832.
- [3] 孙继松,舒文军. 北京城市热岛效应对秋冬季降水的影响研究[J]. 大气科学,2007,31(2):311-320.
- [4] 段丽,卞素芬,俞小鼎,等. 用 SA 雷达产品对京西三次局地暴雨落区形成的精细分析[J]. 气象,2009,35(3):21-28.
- [5] 郭虎,王建捷,杨波,等. 北京奥运演练精细化预报方法及其检验评估[J]. 气象,2008,34(6):17-25.
- [6] 王令,丁青兰,卞素芬,等. 奥运气象服务中的短时预报及预警[J]. 气象,2008,34(s1):263-268.
- [7] 陈明轩,王迎春,俞小鼎. 交叉相关外推算法的改进及其在对流临近预报中的应用[J]. 应用气象学报,2007,18(5):690-701.
- [8] 范水勇,郭永润,陈敏,等. 高分辨率 WRF 三维变分同化在北京地区降水预报中的应用[J]. 高原气象,2008,27(6):1182-1188.
- [9] 王玉彬,周勇,梁丰,等. 2008 年北京奥运会气象服务中的信息资源整合[J]. 气象,2009,35(6):110-117.
- [10] 杨艳蓉,李柏,张沛源. 多普勒雷达资料四维变分同化[J]. 应用气象学报,2004,15(1):95-110.