

自动临近预报系统及其在北京奥运期间的应用^{* 1}

陈明轩¹⁾ 高峰¹⁾ 孔荣¹⁾ 王迎春²⁾ 王建捷²⁾ 谭晓光¹⁾
肖现¹⁾ 张文龙¹⁾ 王令³⁾ 丁青兰³⁾

¹⁾(中国气象局北京城市气象研究所,北京 100089)

²⁾(北京市气象局,北京 100089) ³⁾(北京市气象台,北京 100089)

摘 要

该文介绍了对流风暴自动临近预报系统(BJ-ANC)及其在 2008 年北京奥运会期间的应用。BJ-ANC 是在技术引进基础上,通过本地化改进和拓展研发而形成的适合于在京津冀地区使用的对流风暴自动临近预报系统。BJ-ANC 系统通过对风暴进行分析,利用临近预报算法和模糊逻辑集成技术,生成反映风暴发生、发展和消亡的分析及预报产品。系统考虑了京津冀地区边界层辐合线及地形与风暴生消发展之间的密切关系。通过对 2008 年实时预报结果的检验表明:系统对风暴单体在 1 h 内的外推预报与实际观测的风暴单体中心的距离偏差较小;系统的 1 h 定量降水预报和自动站的降水观测接近;系统对风暴回波的总体预报性能明显优于持续性外推方法。通过对 2008 年北京奥运会期间对流风暴个例的实际应用分析表明:系统对风暴的临近预报具有指导意义,边界层辐合线对风暴的局地新生和快速演变具有明显的正面预报效果。另外,系统反演得到的对流层低层热动力三维特征提供了风暴生消、发展预报的重要判据。

关键词: 对流风暴;临近预报;北京奥运

引 言

自 20 世纪 90 年代以来,国际上对流风暴临近预报技术发展很快,已经从单纯的雷达回波外推转换为以外推预报为基础,并融合其他观测资料以及精细数值预报结果的综合专家系统,从而提高了对流风暴临近预报的水平^[1]。美国国家天气局(NWS)在借鉴、吸收国际上先进临近预报技术和思路的基础上,研发了直接面向预报员的对流分析与临近预报系统(SCAN)^[2]。

2008 年北京奥运会、残奥会期间,WMO 世界天气研究计划(WWRP)在北京成功实施了“北京 2008 预报示范项目”(B08FDP^①),主要就是针对奥运期间强对流天气的诊断预警和临近预报,国际上多个国家和地区的临近预报系统参与了正式示范。总体而言,参加 B08FDP 项目基本上以专家系统为主。可以说,在目前单纯依靠数值模式进行对流天气临

近预报还不成熟的情况下,专家系统基本代表了当今国际上临近预报业务的主流发展。

近几届奥运会经验表明^[3-5],高影响天气特别是强对流风暴严重影响赛事及相关活动的顺利举行。统计研究表明^[6-8],北京奥运会期间的天气气候形势异常复杂,极易出现局地突发性的对流风暴和强降水。这类天气尺度较小、发展迅速、机理复杂,所以预报难度极大^[9-11]。因此,需要客观、自动的临近预报系统,为北京奥运提供对流天气临近预报和预警的技术支撑和保障。

为满足上述需求,在美国国家大气研究中心(NCAR)已有的对流风暴自动临近预报技术基础上^[12],结合京津冀地区的资料状况、地理和气候特征,通过本地化开发和相应的研究工作,对一系列算法进行改进,使其适合于在京津冀地区使用,并最终研发了对流风暴自动临近预报系统(Beijing-Auto-NowCasting, BJ-ANC)。BJ-ANC 系统成为北京奥运气象保障服务体系的核心组成部分,并代表北京的临近预报

* 公益性行业(气象)科研专项“京津冀城市群强对流天气短时临近预报关键技术研究”(GYHY200706004)和北京市绿色通道课题“城市突发气象灾害风险防范与快速响应关键技术研究”(Z090506016609001)共同资助。

① <http://www.b08fdp.org>。

2009-09-27 收到,2010-02-09 收到再改稿。

系统,与国际上多个国家和地区的临近预报系统一起参加了 B08FDP 项目的正式示范运行。

1 系统介绍

BJ-ANC 系统利用多种局地观测资料和精细数值预报结果,通过一系列算法和技术,产生不同的对流风暴分析和临近预报因子,然后由模糊逻辑算法合成这些预报因子,形成反映对流风暴发生、发展、

维持和消亡的临近预报产品,以及强降水的定量预报。在系统运行的过程中,还可以人为输入边界层辐合线,并自动融合进系统的分析和临近预报中。系统运行流程如图 1 所示。

概括起来, BJ-ANC 系统的主要特点包括:

① 利用对流风暴识别、追踪和分析算法(TITAN)^[13],对风暴单体进行自动追踪分析,得到对流风暴的三维结构属性和发展演变特征,以及强风暴单体的外推预报。

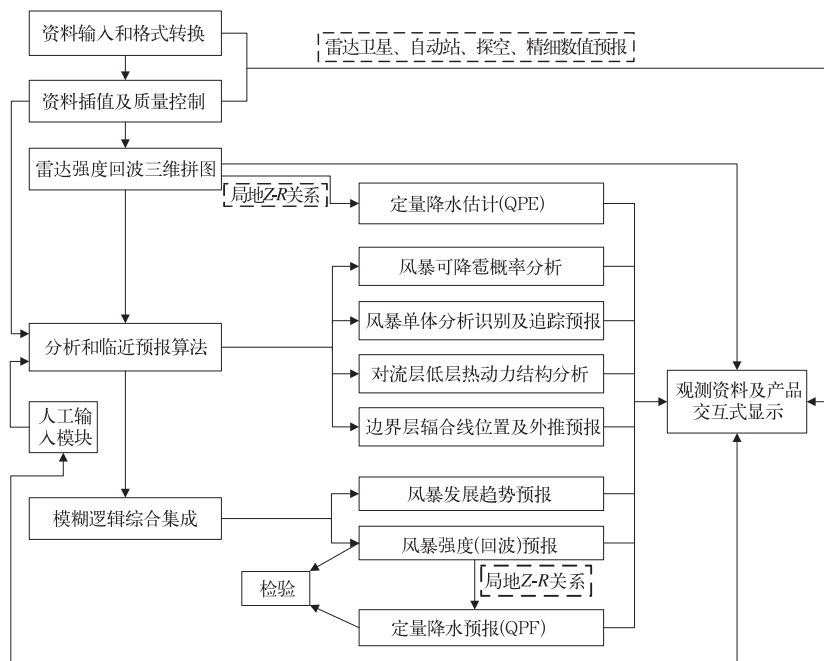


图 1 BJ-ANC 系统的业务运行流程及生成的主要业务产品

Fig. 1 Operational running flow and main products of storm analysis and nowcasting from BJ-ANC

② 利用交叉相关追踪算法(TREC)^[14-15],对一定阈值之上的雷达回波进行分网格追踪,获得每个网格上的回波移动矢量,并依此进行回波的外推预报。所以,基于 TREC 的外推预报是考虑了不同区域回波形变和风暴演变趋势预报。

③ 通过人机交互模块,可人工输入边界层辐合线。因为引入了边界层辐合线与对流风暴生消、发展关系的概念模型^[16-18],使得 BJ-ANC 系统对风暴的局地新生和快速演变具有一定预报能力。

④ 利用雷达资料快速更新循环四维变分同化技术(VDRAS)^[19-22],反演得到与对流风暴发展演变密切相关的对流层低层热动力三维结构。

⑤ 利用模糊逻辑算法,对各种与风暴生消、发展

密切相关的预报因子进行权重集成,并对基于 TREC 的回波分网格外推预报进行修正,最终产生对流风暴强度、位置及发展演变趋势的临近预报。

⑥ 利用雷达拼图、回波预报及局地 Z-R 关系,计算不同时段的对流强降水定量估计(QPE)和对流强降水定量预报(QPF)。

2 系统改进及拓展研发

对流风暴临近预报具有很强的局地性特点。为建立适合于京津冀地区使用的风暴自动临近预报系统,在技术引进基础上,开展了大量本地化研究和算法改进,以及新算法的研发。

② Sun J, Chen M X, Wang Y C. A frequent-updating analysis system based on radar, surface, and mesoscale model data for the Beijing 2008 forecast demonstration project. *Wea Forecasting*, submitted.

2.1 关键算法改进和研发

主要的本地化改进和拓展研发内容。

表 1 简要给出了系统的核心技术和算法,以及

表 1 针对 BJ-ANC 系统的主要本地化改进和拓展研发内容

Table 1 Improved and developed techniques and algorithms for BJ-ANC

引进的技术和算法	主要改进及拓展研发内容
雷达超折射地物回波(AP)识别和抑制基本算法 ^[23]	通过试验,为北京、天津、石家庄 3 部 S 波段雷达设定不同的参数集,实现 AP 回波的自动识别和移除
雷达静止地物回波(NP)识别和抑制基本算法	利用杂波图过滤技术,实现每部 S 波段雷达 NP 回波的自动识别和移除
雷达亮带识别和抑制算法	利用反射率因子垂直廓线模板识别技术,实现亮带回波的自动移除 ^[24]
雷达回波拼图技术	经过参数调整,实现多部雷达反射率因子的实时三维拼图和组合拼图
风暴单体识别、追踪、分析和预报算法 ^[13]	将风暴单体识别追踪和外推从椭圆拟合改进为不规则多边形拟合
回波交叉相关预报算法 ^[14]	通过多种技术和方法,改进和优化算法 ^[15]
对流层低层热动力反演算法 ^[19-20]	实现多部雷达基数据直接同化;改进杂波过滤和插值分析等初始化模块;研发新的反演变量(扰动温度梯度、反演变量时间增量) ^[21-22]
云分析算法 ^[25]	通过 FY-2C 和 FY-2D 双卫星资料,识别积云形状和位置;通过红外云顶亮温变化率,判断风暴新生、快速增长或消散
人机交互模块	试验辐合线在风暴临近预报中的作用,并调整和优化系统参数
模糊逻辑综合集成算法 ^[12]	筛选关键预报因子;定义预报因子无量纲化隶属函数;确定集成权重系数;实现各种预报因子有效集成
风暴气候统计研究	京津冀地区风暴回波发生发展和移动特征、时空分布规律、主要影响系统、日变化特征 ^[8, 26-30] ,用以改进和优化系统参数
QPE 和 QPF 算法	利用雨滴谱、雷达和自动站观测,获得适用于北京地区对流强降水的 Z-R 关系($Z=386R^{1.43}$) ^[31] ^③ ;研发 QPE 和 QPF 算法

2.2 边界层辐合线及地形与风暴生消、发展关系的概念模型

在风暴自动识别追踪和外推预报的基础上,如何更好地考虑风暴的生消、发展,特别是边界层不稳定和地形对风暴演变发展的影响,成为进一步提高风暴自动临近预报水平的关键所在。国外的研究表明^[16-18],边界层辐合线反映了地面或对流层低层的不稳定,其与风暴的新生和发展存在紧密联系。Wilson 等^[26]的研究初步证实,在京津冀地区,从新一代天气雷达和加密自动站上能够观测到明显的边界层辐合线,包括海锋、阵风锋、山谷风、地面弱风切变等,而且辐合线及地形作用与这一地区的风暴局地新生和快速演变存在密切联系,这与国外的研究结果相似。最近,通过对 2006—2008 年京津冀地区近 30 个对流风暴典型个例进行统计,进一步证实了辐合线和地形对该地区的风暴生消、发展存在显著影响,并初步总结出如下预报规则:

① 辐合线相互作用(碰撞),或者风暴与辐合线相互作用(碰撞),风暴将快速加强或产生新风暴。

② 辐合线伴随风暴移动(移向和移速相近),风

暴将维持较长时间。

③ 辐合线远离风暴(与风暴移向相反,或移动速度大于风暴移速),风暴将快速消散。

④ 东南部平原的辐合线抵达西北部山边,易形成新风暴或使西北部山区的风暴下山加强,并可能进入北京城区。

⑤ 西北部山区的辐合线抵达山边,可能使风暴维持并下山,或触发产生新风暴。

上述规则为在 BJ-ANC 中应用边界层辐合线预报风暴新生和快速演变提供了科学依据。

3 2008 年运行情况及结果分析

3.1 资料及运行配置

2008 年夏季, BJ-ANC 系统实时接入资料描述见表 2。

系统运行范围是以北京 SA 雷达站为中心的 500 km×500 km,覆盖了京津及河北省大部分地区。系统预报更新间隔为 6 min,与雷达 VCP21 扫描模式一致。

③ 肖现,廖菲,肖辉,等.北京对流性降水的雨滴分布瞬时特征与雷达降水关系.热带气象学报,待发表.

表 2 2008 年夏季 BJ-ANC 系统实时接入资料
Table 2 Ingested real-time data by BJ-ANC in 2008 summer

资料名称	资料源	资料间隔	资料内容
同步的雷达基数据*	北京、天津、石家庄(S波段)和张北(C波段)	6 min	反射率因子和径向速度
自动站数据	北京及周边 106 站	5 min	温度、露点、气压、风
卫星标称图	FY-2C, FY-2D(双星交错)	15 min	可见光、红外
卫星云分类	FY-2C, FY-2D(双星交错)	30 min	云产品分类
加密探空	北京及周边 5 站	6 h	所有探空量
数值预报	快速更新循环数值预报系统	3 h	分析及预报场、模式探空

注: * 利用雷达远程控制技术和 GPS 授时技术, 实现多部雷达的时间同步扫描和分层扫描数据的远程传输, 在控制服务器组合成在时间上同步的雷达基数据(Level-II)资料。

3.2 统计检验结果分析

在 2008 年北京奥运期间, B08FDP 项目检验评估利用的是澳大利亚气象局实时检验系统 RT-FV^[32]。本文利用 RTFV 对 1 h 的 QPF 和强风暴单体的外推预报进行检验, 包括 Quantile-Quantile 图(Q-Q 图)和常规检验。将某一时段内所有时次的预报结果插值到观测站点, 并将所有时次、所有站点的预报和观测从小到大排序, 将名次数相同的预报和观测绘制在图上, 就得到 Q-Q 图。该方法可以从总体上评估预报强度的偏差(最佳评分为 1:1 线), 是评判精细格点预报强度偏差的一种直观有效的检验方法。对于常规的格点统计检验来说, 最常用的包括 Bias, TS 和 ETS 评分。

3.2.1 1 h QPF 检验及与 B08FDP 其他系统的比较

利用 RTFV 系统, 对 BJ-ANC 系统在 500 km × 500 km 范围内的 1 h QPF 进行了客观检验。实况资料是北京及周边地区 106 个自动站的 1 h 降水观

测。图 2a 是 2008 年 7 月 11 日—9 月 16 日的 1 h QPF 检验的 Q-Q 图。由图 2a 可见, 系统的 1 h QPF 和自动站观测降水的强度非常接近。图 2b 是 B08FDP 国际检验小组针对各参加系统的 1 h QPF 的检验结果, 其检验时段为 2009 年 8 月 1 日—9 月 20 日, 实况资料使用的是北京地区 17 个奥运场馆自动站的 1 h 降水观测。由图 2b 可见, BJ-ANC 系统、中国香港天文台的 SWIRLS 系统、加拿大环境局的 CARDS 系统对 1 h 强降水的定量预报最接近 1:1 线。从图 2a 和 2b 的比较来看, 不论是在京津冀地区, 还是针对北京地区的奥运场馆, 系统对 1 h 强降水的定量预报性能表现一致。

针对上述 7 月 11 日—9 月 16 日 500 km × 500 km 的不同阈值降水, 利用 RTFV 计算得到的 BJ-ANC 不同阈值 1 h QPF 的 TS, ETS 和 Bias 评分如表 3 所示。

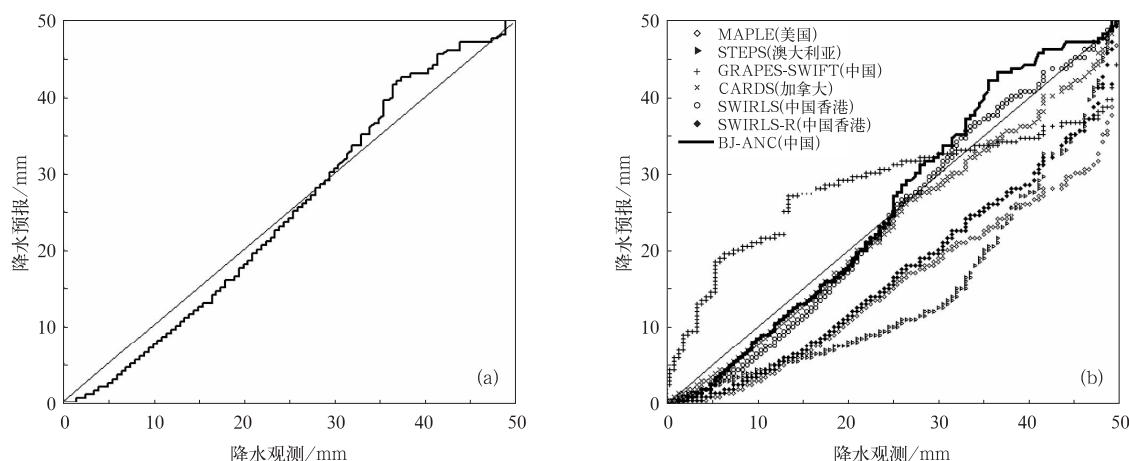


图 2 1 h 定量降水预报 Q-Q 图检验

(a) 2008 年 7 月 11 日—9 月 16 日在 500 km × 500 km 范围内的 BJ-ANC 系统 1 h QPF 检验,
(b) 2009 年 8 月 1 日—9 月 20 日 B08FDP 国际检验小组针对各参加系统在北京地区的 1 h QPF 检验

Fig. 2 Q-Q verification of 1-hour QPF by BJ-ANC from 11 July to 16 September 2008 in 500 km by 500 km domain (a) and each B08FDP system from 1 August to 20 September 2008 in Beijing area made by B08FDP verification group (b)

表 3 BJ-ANC 系统在 2008 年 7 月 11 日—9 月 16 日
不同阈值 1 h QPF 的统计检验

Table 3 Verification on 1-hour QPF from BJ-ANC
period from 11 July to 16 September 2008

降水阈值/mm	TS 评分	ETS 评分	Bias 评分
0.2	0.35	0.33	0.60
1.0	0.27	0.25	0.52
2.0	0.22	0.21	0.50
5.0	0.12	0.12	0.50

综合分析表 3 可以看出,0.2 mm 阈值降水的 TS 评分为 0.35,ETS 评分为 0.33,说明对于降水有无的预报,系统提供的 1 h QPF 具有指示性。但是,从 Bias 评分可以看出,1 h QPF 存在偏弱的趋势。究其原因,主要是由于在 BJ-ANC 系统中,计算 QPF 的回波预报阈值设置偏高所造成的。

比较 B08FDP 国际检验小组针对各参加系统的 1 h QPF 评分结果可见,对于不同阈值的降水预报,每个系统的各种评分表现不一(图略)。BJ-ANC 系统对有无降水(0.2 mm)和 10 mm 降水的 1 h 预报评分排名靠前,但对于 5 mm 降水的 1 h 预报评分则较低。BJ-ANC 系统是在回波预报的基础上,利用固定的非线性 Z-R 关系计算 QPF,并没有利用地面降水观测对 Z-R 关系进行实时校正,也没有对不同

类型降水使用不同 Z-R 关系。而 1 h 为 5 mm 左右的降水可能是对流性降水,也可能是层状云降水,或者是二者的混合性降水,所以单一的 Z-R 关系常常会造成大的降水偏差。这是导致系统对 5 mm 降水的 1 h 预报技巧偏低的主要原因,也是系统需要进一步改进的方面。

3.2.2 强风暴单体外推预报检验

利用 RTFV,对 2008 年 8 月 1 日—9 月 16 日, BJ-ANC 系统基于 TITAN 算法的强风暴单体外推结果进行检验(图 3)。其中检验依据为当时观测的强风暴单体的追踪识别结果,检验范围为 500 km×500 km。由图 3 可见,风暴单体 30 min 外推预报的 TS 和 ETS 评分接近 0.3,1 h 外推预报的 TS 和 ETS 评分则接近 0.2。另外,TS 和 ETS 评分相当,说明系统对风暴单体外推预报的随机击中率很小。预报的 Bias 评分接近 1,表明系统对强风暴单体在 1 h 之内的外推预报与 1 h 后的追踪识别结果相当。从风暴单体中心的距离偏差来看,30 min 和 1 h 预报的距离偏差分别在 6 km 和 10 km 左右。

从 B08FDP 国际检验小组对各个系统风暴单体外推预报的检验来看,基于 TITAN 算法的风暴单体外推预报具有相对明显优势(图略)。

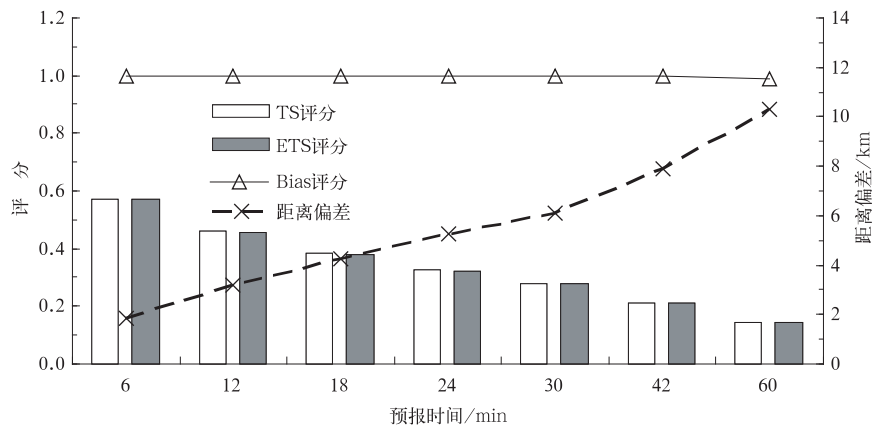


图 3 2008 年 8 月 1 日—9 月 16 日 BJ-ANC 系统对 35 dBZ
以上风暴单体外推预报的检验

Fig. 3 Verification of BJ-ANC extrapolation on storm cells above 35 dBZ
during the period from 1 August to 16 September 2008

3.2.3 风暴回波预报检验

对风暴回波预报检验是 BJ-ANC 系统自动进行的,主要计算常规的统计检验评分,范围为上述的 500 km×500 km。而对于实况观测,利用的是上述

4 部雷达的拼图。因为系统预报结果和拼图的分辨率均是 1 km×1 km,因此,统计检验也采用 1 km×1 km 的格距计算得到。另外,国际上通常也采用与持续性外推方法的预报结果进行对比来评估一个临

近预报系统的预报效果。所谓的持续性外推预报,是指不考虑风暴强度和大小的变化而仅考虑风暴位置变化的外推预报。

统计表明,2008年5月26日—9月19日,BJ-

ANC系统对北京及周边的42次强对流风暴进行了实时预报。检验亦主要针对这42次对流风暴进行,检验时间合计30180 min,检验预报次数合计5030。这里给出预报检验结果的平均值(如图4所示)。由

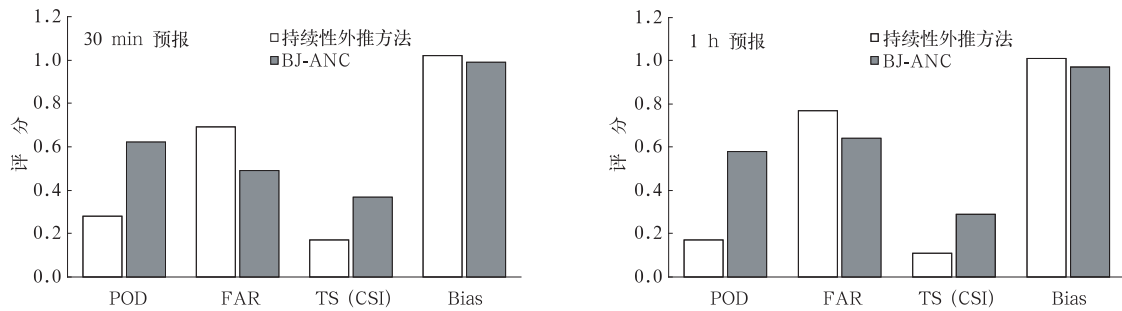


图4 BJ-ANC系统和持续性外推方法对北京及其周边地区在2008年5月26日—9月19日发生的42次对流风暴事件的回波预报统计检验平均值

Fig. 4 Verification average of reflectivity nowcasts of 42 storm events from BJ-ANC and persistence method in Beijing area and its vicinity from 26 May to 19 September 2008

图4可见,对于30 min预报而言,在Bias评分接近1的情况下,BJ-ANC系统的POD(击中率)和TS评分分别为0.62和0.37,明显高于持续性外推方法,而FAR(虚警率)则明显低于持续性外推方法。对于1 h预报而言,也有类似的结果。总之,从这42次强风暴事件的统计检验来看,系统对风暴回波的30 min和1 h的预报明显优于持续性外推方法。

3.3 典型个例中的表现

2008年奥运会期间(8月8—24日),北京地区出现多次对流天气过程,其中8月10日强降水和8月14日城区出现局地突发强对流风暴。

3.3.1 8月10日强降水个例

这是一次由强冷锋导致的京津冀地区典型的层状云和对流云混合强降水过程。本次过程中,特别是在强降雨云团影响北京地区的关键时段,通过对比发现,系统的风暴回波预报和QPF分别接近于同时段的雷达拼图和QPE,系统实时结果对本次强降水过程的临近预报具有一定参考性(图略)。

3.3.2 8月14日局地突发强对流风暴个例

这是一次在北京地区产生的突发强对流风暴过程。雷达观测和自动站风场观测显示,边界层辐合线(阵风锋)的频繁出现及其相互作用,是本次局地突发强对流风暴新生及快速加强的主要因素。

对于此次过程,由于输入了边界层辐合线,使得系统在辐合线与风暴生消发展概念模型的基础上,具有了对风暴局地新生和快速加强的1 h预报能力。图5给出了04:29(世界时,下同)BJ-ANC系统的风暴演变趋势和风暴回波的1 h预报,以及04:29和1 h后(05:29)的雷达观测实况。图5表明,系统在04:29成功预报出1 h后北京城区东北部局地强风暴的新生。该强风暴是由于两个原有风暴前方的边界层辐合线(阵风锋)产生碰撞,以及低层出现强烈不稳定辐合抬升而激发的。当然,对于风暴的局地新生,系统仅能给出趋势预报和强度的有无预报(目前阈值定义为25 dBZ,参见图5d的白色区域),还不能对新生风暴的每个格点的强度进行预报。另外,由图5可见,BJ-ANC系统对位于北京北部带状回波的预报偏弱。

对于局地突发对流风暴来说,自动临近预报的难度较大,而前文所述的低层热动力三维特征则可在一定程度上提供风暴新生和快速演变的客观判据。下面对这次过程中在04:29的反演结果作初步分析,进一步解释两条辐合线(阵风锋)碰撞及低层强烈不稳定抬升的机制。

04:29,雷达观测显示在北京城区南部和北京地区东北部有两个强风暴(如图5a所示)。并且

04:29 之前连续的雷达观测显示,这两个风暴逐渐加强并相向移动(图略)。图 6 给出了 04:29 反演的低层热动力结构,可以看出,两个风暴之间,特别是

在北京城区东北部,低层存在较强的辐合抬升。另外,从反演的扰动温度可以看出,两个风暴分别相伴随有强的冷池。从扰动温度空间梯度场和水平风场

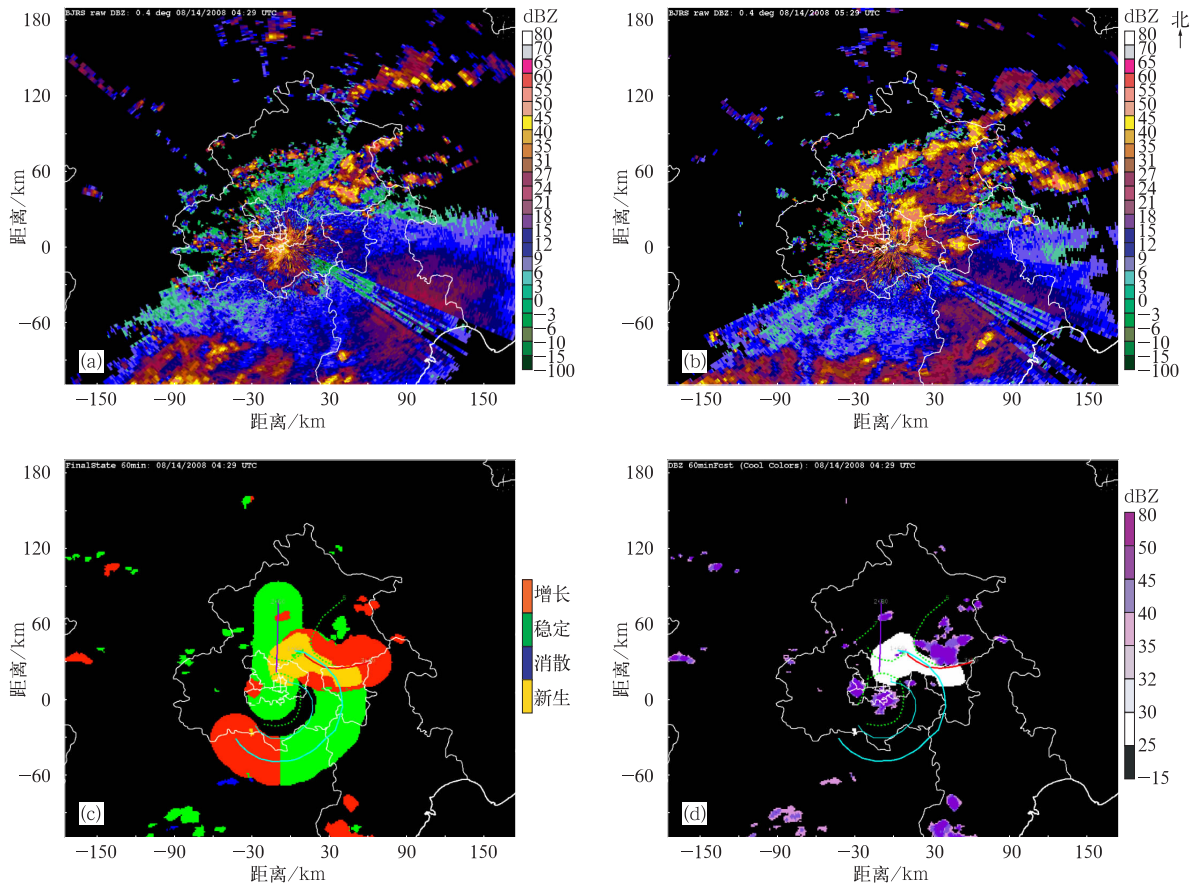


图 5 2008 年 8 月 14 日局地突发强对流风暴在 04:29(a)和 05:29(b)北京 S 波段雷达 0.4°仰角的反射率因子观测,以及 04:29 BJ-ANC 风暴发展趋势 1 h 预报(c)和风暴回波 1 h 预报(d)

(图 5c, 5d 中绿色实线为人工输入的边界层辐合线,绿色虚线为其位置的 1 h 外推预报)

Fig. 5 Reflectivity at 0.4° elevation from Beijing S-band radar at 04:29 (a) and 05:29 (b), and 1-hour forecasts of storm evolution trend (c) and storm reflectivity (d) at 04:29 14 August 2008

(solid green lines denote human-entered location of boundary layer convergence line and dotted green lines denote 1-hour extrapolation in Fig. 5c and Fig. 5d)

综合来看,指示出在两个风暴前方存在明显的阵风锋,移动方向与风暴的相向移动一致,阵风锋之间存在碰撞的可能性。综合图 6 的热动力反演结果来看,与风暴相伴随的是强的冷池,冷池的前沿是阵风锋,而阵风锋的前方则是强的辐合抬升和新风暴的形成,这与风暴发展和冷池、阵风锋、辐合抬升之间关系的概念模型完全一致^[33-34]。对于两个相向移动和发展的风暴来说,前部低层的暖湿空气不断被推

进和挤压,形成了更加有利于风暴新生和加强的动力条件,而风暴前方阵风锋的相互作用(碰撞),又加剧了这种低层的不稳定,从而导致风暴的新生将最先发生在阵风锋碰撞的地区,并会快速加强。总之,由以上分析可以预知,在这两个风暴之间的不稳定区域,将会出现新的强风暴。1 h 后(05:29)的雷达观测证实,在北京城区东北部出现了新的局地强风暴(如图 5b 所示)。

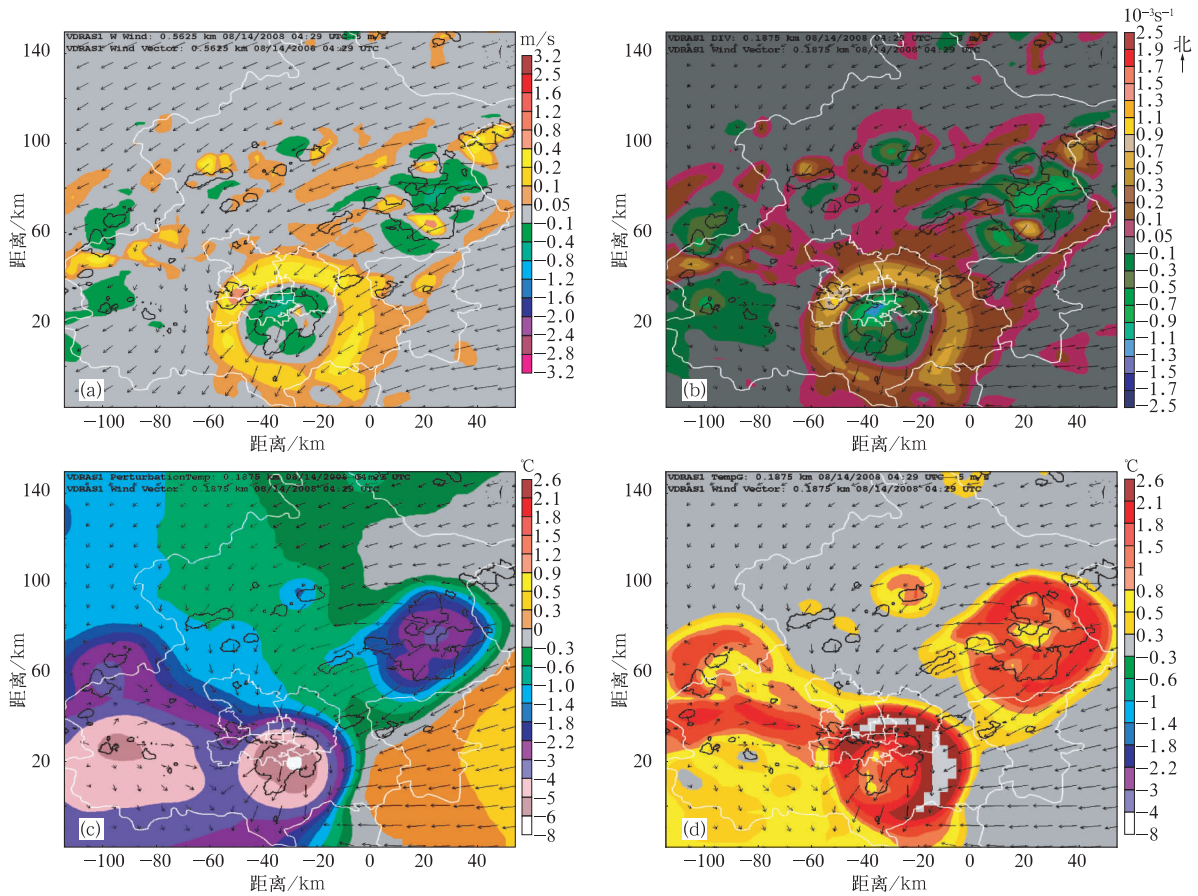


图6 2008年8月14日04:29 VDRAS反演的低层热动力变量场

(a) 562.5 m 高度垂直速度和风矢量, (b) 187.5 m 高度辐合、辐散和风矢量,
 (c) 187.5 m 高度扰动温度和风矢量, (d) 187.5 m 高度扰动温度空间梯度和风矢量
 (粗黑线为雷达观测的 35 dBZ 以上的强回波)

Fig. 6 VDRAS-based thermo-dynamical retrievals at 04:29 14 August 2008

(a) 562.5-meter level vertical velocity and wind vectors, (b) 187.5-meter level convergence/divergence and wind vectors, (c) 187.5-meter level perturbation temperature and wind vectors, (d) 187.5-meter level perturbation temperature gradient and wind vectors
 (solid black lines denote observed radar reflectivity above 35 dBZ)

4 小 结

本文介绍了对流风暴自动临近预报系统(BJ-ANC),总结了系统的主要特点及业务化运行流程,简述了对系统所做的主要改进及拓展研发,描述了系统在2008年北京奥运期间的实际应用情况。

BJ-ANC是在技术引进基础上,通过对核心算法和模块进行改进和研发,最终形成适合于在京津冀地区使用的对流风暴自动临近预报系统。在系统中,还考虑了边界层辐合线及地形特征与风暴生消、发展之间的关系,以及京津冀地区对流风暴发展变

化的气候特征和预报员的经验等因素。

对BJ-ANC系统在2008年的实时预报结果进行了检验。Q-Q图检验表明,对于1h QPF来说,系统预报和自动站实况观测的降水强度比较接近。通过与B08FDP其他参加系统的检验结果对比亦表明,BJ-ANC系统的1h QPF具有一定预报优势。从评分检验来看,对于降水有无的预报,BJ-ANC系统提供的1h QPF具有预报指示性。对于风暴单体的外推预报,Bias评分接近于1;30min和60min的TS和ETS评分分别接近0.3和0.2。TS评分和ETS评分相当,说明系统对风暴单体外推预报的随机击中率很小。风暴单体中心的距离偏差随

着预报时效的增加而逐渐加大,30 min 和 60 min 的距离偏差分别在 6 km 和 10 km 左右。风暴回波预报检验表明,BJ-ANC 系统对风暴强度和位置的预报技巧明显高于持续性外推方法。

应用北京奥运期间的两个个例对 BJ-ANC 系统的实际应用效果进行了简要分析。结果表明:系统给出的风暴发展趋势预报、风暴强度和位置预报(回波预报)、QPF 等产品对风暴的临近预报具有客观指导作用。由于人机交互输入的边界层辐合线指示了低层的不稳定,对风暴的新生和快速演变预报具有明显正面作用。分析还表明,对于突发性的对流风暴来说,低层热动力三维特征提供了风暴新生和快速演变的重要判据。

当然,BJ-ANC 系统还存在很多亟待改进和完善的地方,将在以后的工作中去逐步解决。

参 考 文 献

- [1] 陈明轩,俞小鼎,谭晓光,等. 对流天气临近预报技术的发展与研究进展. *应用气象学报*,2004,15(6):754-766.
- [2] Smith S, Johnson J, Roberts R, et al. The System for Convective Analysis and Nowcasting (SCAN): 1997—1998 Field test//Preprints, the 19th Conference on Severe Local Storms. Amer Meteor Soc, Minneapolis, MN, 1998.
- [3] Johnson J T, Eilts M D, Ruth D, et al. Warning operations in support of the 1996 Centennial Olympic Games. *Bull Amer Met Soc*, 2000, 81: 543-553.
- [4] Keenan T, Joe P, Wilson J W, et al. The Sydney 2000 world weather research program forecast demonstration project: Overview and current status. *Bull Amer Met Soc*, 2003, 84: 1041-1054.
- [5] Horel J, Potter T, Dunn L, et al. Weather support for the 2002 Winter Olympic and Paralympic Games. *Bull Amer Met Soc*, 2002, 83: 227-240.
- [6] 李庆祥,朱燕君,熊安元. 北京等 6 城市奥运期间不利天气的概率统计. *应用气象学报*,2006,17(增刊):42-47.
- [7] 朱燕君,陈峪,李庆祥,等. 北京奥运会期间的气象条件分析. *应用气象学报*,2006,17(增刊):35-41.
- [8] 丁青兰,王令,陈明轩,等. 北京地区暖季对流天气的气候特征. *气象*,2007,33(10):37-44.
- [9] 陈明轩,俞小鼎,谭晓光,等. 北京 2004 年“7.10”突发性对流强降水的雷达回波特征分析. *应用气象学报*,2006,17(3): 333-345.
- [10] 何立富,陈涛,周庆亮,等. 北京“7.10”暴雨 β -中尺度对流系统分析. *应用气象学报*,2007,18(5):655-665.
- [11] 郭虎,段丽,杨波,等. 0679 香山局地大暴雨的中小尺度天气分析. *应用气象学报*,2008,19(3):265-275.
- [12] Mueller C, Saxen T, Roberts R, et al. NCAR Auto Nowcast System. *Wea Forecasting*, 2003, 18: 545-561.
- [13] Dixon M, Wiener G. TITAN: Thunderstorm Identification, Tracking, Analysis, and Nowcasting—A radar-based methodology. *J Atmos Ocean Tech*, 1993, 10: 785-797.
- [14] Rinehart R E, Garvey E T. Three-dimensional storm motion detection by conventional weather radar. *Nature*, 1978, 273: 287-289.
- [15] 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. *应用气象学报*,2007,18(5):690-701.
- [16] Wilson J W, Schreiber W E. Initiation of convective storms by radar-observed boundary layer convergence lines. *Mon Wea Rev*, 1986, 114: 2516-2536.
- [17] Wilson J W, Mueller C K. Nowcast of thunderstorm initiation and evolution. *Wea Forecasting*, 1993, 8: 113-131.
- [18] Wilson J W, Megenhardt D L. Thunderstorm initiation, organization and lifetime associated with Florida boundary layer convergence lines. *Mon Wea Rev*, 1997, 125: 1507-1525.
- [19] Sun J, Crook N A. Dynamical and microphysical retrieval from Doppler radar observations using a cloud model and its adjoint. Part I: Model development and simulated data experiments. *J Atmos Sci*, 1997, 54: 1642-1661.
- [20] Sun J, Crook N A. Dynamical and microphysical retrieval from Doppler radar observations using a cloud model and its adjoint. Part II: Retrieval experiments of an observed Florida convective storm. *J Atmos Sci*, 1998, 55: 835-852.
- [21] Chen M X, Sun J, Wang Y C. A Frequent-updating High-resolution Analysis System Based on Radar Data for the 2008 Summer Olympics//Preprints, the 33rd International Conference on Radar Meteorology. Amer Meteor Soc, Cairns, Australia, 2007.
- [22] Sun J, Crook N A. Real-time low-level wind and temperature analysis using single WSR-88D data. *Wea Forecasting*, 2001, 16: 117-132.
- [23] Kessinger C, Ellis S, Anzel J Van. The Radar Echo Classifier: A Fuzzy Logic Algorithm for the WSR-88D//Preprints, the 3rd Conference on Artificial Applications to Environmental Science. Amer Meteor Soc, Long Beach, 2003.
- [24] 陈明轩,高峰. 利用一种自动识别算法移除天气雷达反射率因子中的亮带. *应用气象学报*,2006,17(2):207-214.
- [25] Roberts R, Rutledge S. Nowcasting storm initiation and growth using GOES-8 and WSR-88D data. *Wea Forecasting*, 2003, 18: 562-584.
- [26] Wilson J W, Chen M X, Wang Y C. Nowcasting Thunderstorms for the 2008 Summer Olympics//Preprint, the 33rd International Conference on Radar Meteorology. Amer Meteor Soc, Cairns, Australia, 2007.
- [27] 王令,丁青兰,陈明轩,等. 北京地区夏季对流风暴雷达气候的研究//中国气象学会雷达气象学与气象雷达委员会第二届学术年会文集. 2006.
- [28] 丁青兰,王令,陈明轩,等. 近 12 年北京暖季对流天气的气候特征. *暴雨灾害*,2007,26(2):144-148.
- [29] 王丽荣,裴宇杰,陈明轩,等. 北京对流性天气的高空气候背景分析. *气象与环境学报*,2007,23(5):1-7.
- [30] 韩雷,俞小鼎,郑永光,等. 京津及邻近地区暖季强对流风暴的气候分布特征. *科学通报*,2009,54(11):1585-1590.
- [31] 陈秋萍,曾光平,冯宏芳,等. 利用雷达回波资料对夏季对流云降水的初步探讨. *应用气象学报*,2002,13(3):339-346.

- [32] Ebert E, Wilson L, Brown B, et al. Verification of nowcasts from the WWRP Sydney 2000 forecast demonstration project. *Wea Forecasting*, 2004, 19: 73-96.
- [33] Rotunno R, Klemp J B, Weisman M L. A theory for strong, long-lived squall lines. *J Atmos Sci*, 1988, 45: 463-485.
- [34] Weisman M L, Rotunno R. "A theory for strong long-lived squall lines" revisited. *J Atmos Sci*, 2004, 61: 361-382.

Introduction of Auto-nowcasting System for Convective Storm and Its Performance in Beijing Olympics Meteorological Service

Chen Mingxuan¹⁾ Gao Feng¹⁾ Kong Rong¹⁾ Wang Yingchun²⁾ Wang Jianjie²⁾
Tan Xiaoguang¹⁾ Xiao Xian¹⁾ Zhang Wenlong¹⁾ Wang Ling³⁾ Ding Qinglan³⁾

¹⁾ (Institute of Urban Meteorology, CMA, Beijing 100089)

²⁾ (Beijing Meteorological Bureau, Beijing 100089)

³⁾ (Beijing Weather Forecast Office, Beijing 100089)

Abstract

The auto-nowcasting system for convective storm (BJ-ANC) is an expert system that has been improved and further developed to many key algorithms and modules other than they are just introduced from US. The skill of the system is focused on nowcasting convective storm in Beijing and its vicinity. Key improvements have been made to the algorithms including quality control of CINRAD radar data, diagnosis and analysis of local observations from radars, satellites, AWSs, rawinsondes and meso-NWP results from a WRF-based rapid update cycling model, identification, analysis and tracking of storm cells, grid-tracking and extrapolation of radar echo, rapid updating assimilation of radar data, quantitative precipitation estimate (QPE) and quantitative precipitation forecasting (QPF), etc.

The forecast factors produced by the above algorithms are closely related with initiation, evolution and decay of convective storm in general. These algorithms are integrated by a fuzzy logic algorithm under non-dimensional modes with different weighting coefficients in the system and nowcasting products are generated. Based on many theoretical and experimental results, the relationship and conceptual model of boundary layer convergence line and initiation and evolution of storm have been imported into the system for nowcasting localized initiation and rapid evolution of storm.

BJ-ANC system runs in real-time mode during 2008 summer time. The system performance for nowcasting initiation and rapid evolution of storm is improved after convergence line is adopted by interactive human entry function. Verification of storm cell extrapolation and 1-hour QPF in Beijing area and its vicinity during 2008 summer is performed using the B08FDP real-time verification system. The results indicate extrapolation of storm cell in 1 hour is significant and the forecast deviation is small. The 1-hour QPF from the system is comparable with rainfall observation from AWSs, denoting the QPF products can be used for supporting nowcasting operation of convective rainstorm. The storm reflectivity nowcasts from the system have been demonstrated much more significant than those from persistence method. Storm case analyses indicate these products from the system are conducive for storm nowcasting operation and boundary layer convergence line is extremely helpful. In addition, retrieval of thermo-dynamical fields can clearly indicate three dimensional structures of wind, convergence and temperature at low layer and further help forecasters make decisions on storm initiation and evolution nowcasts.

Key words: convective storm; nowcasting; Beijing Olympics