

郑永光, 林隐静, 朱文剑, 等. 2013. 强对流天气综合监测业务系统建设. 气象, 39(2): 234-240.

# 强对流天气综合监测业务系统建设<sup>\* 1</sup>

郑永光<sup>1</sup> 林隐静<sup>1</sup> 朱文剑<sup>1</sup> 蓝 渝<sup>1</sup> 唐文苑<sup>1</sup>  
张小玲<sup>1</sup> 毛冬艳<sup>1</sup> 周庆亮<sup>1</sup> 张志刚<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 国家气象中心, 北京 100081

<sup>2</sup> 中国气象局, 北京 100081

**提 要:** 强对流天气监测是其预报的基础。国家气象中心强天气预报中心利用多源观测资料(常规和非常规资料)建设了强对流天气综合监测业务系统。强对流天气的监测对象包括积云、地面高温、雷暴、地闪、冰雹、龙卷、大风、雷暴大风、短时强降雨、雷暴反射率因子、对流风暴(基于雷达资料)、深对流云及中尺度对流系统(Mesoscale Convective Systems, MCS, 基于静止卫星红外 1 通道资料)等不同时段分布。发展的监测技术主要包括自动站资料质量控制技术、强对流信息提取和统计技术、直角坐标交叉相关雷达回波追踪(Cartesian Tracking Radar Echoes by Correlation, CTREC)技术、雷暴识别追踪分析和临近预报(Thunderstorm Identification Tracking Analysis and Nowcasting, TITAN)技术、深对流云识别技术、中尺度对流系统识别和追踪技术, 以及闪电密度监测技术等。强对流天气监测系统自动定时运行, 其输出数据与 MICAPS 业务平台完全兼容。该监测系统在国家气象中心的强对流天气预报业务中发挥了重要作用。

**关键词:** 强对流, 多源资料, 综合监测, 业务系统

**中图分类号:** P412

**文献标识码:** A

**doi:** 10. 7519/j. issn. 1000-0526. 2013. 02. 013

## Operational System of Severe Convective Weather Comprehensive Monitoring

ZHENG Yongguang<sup>1</sup> LIN Yinjing<sup>1</sup> ZHU Wenjian<sup>1</sup> LAN Yu<sup>1</sup> TANG Wenyuan<sup>1</sup>  
ZHANG Xiaoling<sup>1</sup> MAO Dongyan<sup>1</sup> ZHOU Qingliang<sup>1</sup> ZHANG Zhigang<sup>2</sup>

<sup>1</sup> National Meteorological Centre, Beijing 100081

<sup>2</sup> China Meteorological Administration, Beijing 100081

**Abstract:** The convective weather forecasting is based on its monitoring. The Severe Weather Prediction Centre of National Meteorological Centre constructed an operational system of severe convective weather comprehensive monitoring based on the multi-source data, including conventional observation data, automatic weather station (AWS) data, lightning data, radar data and satellite data. The convective weather monitoring includes cumuli, high temperature at surface, thunderstorm, cloud-ground lightning, hail, tornadoes, high winds, thunderstorm high winds, short-duration heavy rain, radar reflectivity, convective storms (based on radar data), deep convective clouds, and mesoscale convective systems (MCS) based on the IR satellite data. The system gives the different distributions of different convective weather in different periods. The techniques used in the system include: The quality control of AWS data, the extracting information and statistical technique of convective weather, (Cartesian Tracking Radar Echoes by Correlation, CTREC), (Thunderstorm Identification Tracking Analysis and Nowcasting, TITAN), identification

\* 气象关键技术集成与应用项目(CMAGJ2012M59)及公益性行业(气象)科研专项(GYHY201206004、GYHY201206003 和 GYHY200906003)共同资助

2012 年 2 月 6 日收稿; 2012 年 9 月 7 日收修定稿

第一作者: 郑永光, 主要从事强对流天气研究. Email: zhengyg@cma.gov.cn

of deep convective clouds, identification and tracking of MCS, and lightning density monitoring. The system of monitoring convective weather automatically runs regularly, fully compatible with the MICAPS platform. The monitoring system at National Meteorological Centre has played an important role in real-time convective weather forecasting.

**Key words:** severe onvective weather, multi-source data, comprehensive monitoring, operational system

## 引 言

我国是强对流天气(短时强降水、冰雹、雷雨大风和龙卷等)频发国家之一。由于强对流天气时空尺度小、变化快、天气剧烈、社会影响大,发生发展机制比较复杂,是目前天气预报业务中的难点和重点之一。

强对流天气的监测是强对流天气预报业务的重要组成部分,尤其是短时临近预报的基础。由于业务短时临近预报时间紧、任务急,方便快捷的强对流天气的监测系统和产品调用就显得尤为重要。这样的监测系统能够快速提取强对流天气有效信息,实现大量数据的快速处理,可以有效减轻预报员的工作量,显著提高工作效率。因此加强强对流天气的监测能力是提高强对流天气预报业务水平的重要方面。

强对流天气的监测不仅可以了解强对流天气的发生状况,包括当前强对流天气的状态、强对流天气过程、历史强对流天气状况和强对流天气气候分布等,还可以为强对流天气预报检验(包括定性检验和定量检验)提供基础数据。

强对流天气监测的含义包括狭义监测、广义监测。狭义强对流天气监测主要是指强对流天气实况的监测,这也是通常所理解的监测。广义监测还包括强对流天气发生条件的监测。本文所指的监测主要是指狭义监测。

现阶段中国气象局已经建设完成了灾害性天气短时临近预报系统——SWAN(郑永光等,2010a;2010b)。SWAN系统具有了强大的强对流天气实时监测和报警功能,但其监测的重点是当前强对流天气(包括冰雹、大风、短时强降水和雷达特征量等)的实况和报警,尚不具有相应的统计功能,缺乏对不同时段、不同强度、不同类别强对流天气的监测能力,不能完全满足全国区域的强对流天气预报和技术总结的需要。2009年,国家气象中心强天气预报中心利用常规观测资料、重要天气报告(WS报)、自

动站和闪电等资料部分实现了全国强对流天气的实时监测(郑永光等,2010;2011;何立富等,2011)。

因此为了进一步提高强对流天气的监测能力,国家气象中心强天气预报中心在SWAN系统监测技术基础上进一步完善了的强对流天气的监测技术,实现了基于多源数据资料的我国强对流天气实时综合监测,生成的实时监测数据也成为强对流天气预报短时临近预报和检验的重要数据基础。

## 1 监测内容

国家气象中心强天气预报中心利用常规地面观测资料、重要天气报告(WS报)、自动站资料、地闪定位资料、雷达反射率因子资料(包括全国拼图和单站雷达基数据资料)、静止卫星红外1和水汽通道资料等,实现了对我国及其周边地区不同类别强对流天气的不同时段、不同强度的实时监测。

不同的数据具有不同的优势和劣势。常规地面观测资料和WS报可信度高,包含天气现象数据,但时空分辨率较低。自动站资料时空分辨率高,但存在一些质量问题,且没有天气现象数据。地闪定位资料时空分辨率高,能够提供正地闪和负地闪信息,但目前尚未覆盖全国。雷达反射率因子能够提供高时空分辨率的对流活动信息,但容易受到地物杂波等的影响。静止卫星资料覆盖范围广,时空分辨率较高,但只能提供云顶信息。因此不同的数据源提供了不同的强对流天气监测信息,所以强对流天气的监测需要综合多源数据来进行。

强对流天气的监测对象包括积云、地面高温、雷暴、地闪、冰雹、龙卷、大风、雷暴大风、短时强降水、雷达反射率因子、对流风暴(基于雷达资料)、深对流云、MCS(基于静止卫星红外1通道资料)等。雷达反射率因子和深对流云监测虽然不能提供具体的强对流天气类型信息,但可以反映强对流天气系统的发展强度;不同强度的雷达反射率因子也反映了对流系统中的水成物粒子的属性,超过55 dBz的反射率因子一般表征了对流系统中冰相粒子的分布,因

此监测超过 55 dBz 的反射率因子分布能够一定程度上反映可能的冰雹天气分布。对流风暴和 MCS 的监测可以反映不同尺度对流系统的分布和移动。

强对流天气的实时监测是时间滑动的、最近 1、3、6、12 和 24 h 分布监测。强对流天气的月监测为月、旬、候等分布监测，为制作强对流天气监测月报和年报提供数据基础。强对流天气的监测也可以根据天气过程设置为任意时次、任意天数的分布监测。强对流天气最近时间段(1、3、6、12 和 24 h)的监测是为了了解最新天气实况和天气过程；时间滑动监测为了数据的随时更新；月、旬、候等监测是为了提供强对流月度监测报告；任意时次、任意天的强对流监测是为了天气技术总结和技术研发以及气候分布特征分析。

积云是大气不稳定状态的反映，其中以鬃积雨云发展最为强烈。地面高温也在一定程度上反映了大气的的不稳定程度。监测积云和地面高温的分布可一定程度上为强对流天气预报提供大气是否稳定的前期信息。

雷暴和闪电是最为常见的对流天气。监测雷暴和闪电是为了较全面了解大气中对流天气的分布和强对流天气的前期发展信息。雷暴的监测(图 1)使用常规地面观测资料 and 重要天气报告完成，包括基本站、基准站和一般站的观测资料。闪电监测(图 2)的资料来源是中国气象局气象探测中心提供的地基监测网监测的地闪资料。

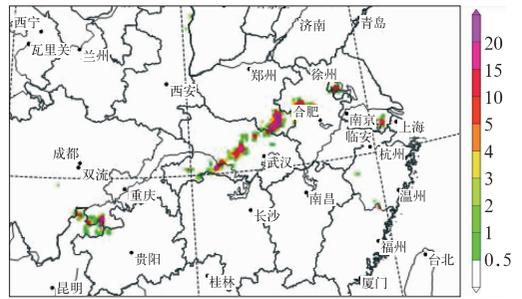


图 2 2011 年 7 月 26 日 20 时 30 分的 30 min 闪电密度

Fig. 2 The 30 min lightning density 20:30 BT 26 July 2011

冰雹、龙卷和大风的监测(图 1)是强对流天气监测的重点，资料来源主要是常规地面观测资料 and 重要天气报告。冰雹监测包括发生时间和直径大小。为了提高大风监测产品的时空分辨率，也使用了自动站资料进行大风监测(图 3)，但该资料需要进行必要的质量控制。大风的监测划分为不同的强度，分别为 17、25 和 30  $m \cdot s^{-1}$ 。系统使用雷暴和大风产品综合进行雷暴大风监测。

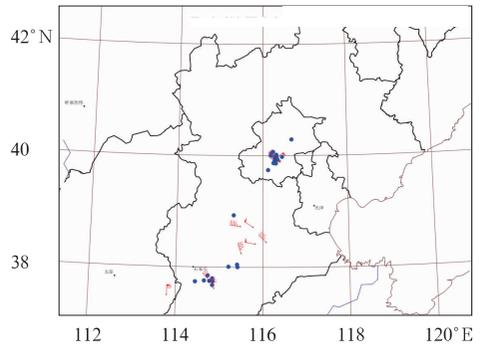


图 3 2011 年 7 月 26 日 23 时基于自动站资料的短时强降水 ( $\geq 20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ ) 和雷暴大风 ( $\geq 17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) 1 小时监测

Fig. 3 Short-duration heavy rain ( $\geq 20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ ) and thunderstorm high winds ( $\geq 17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) 1 h monitoring based on the hourly AWS data at 23:00 BT 26 July 2011

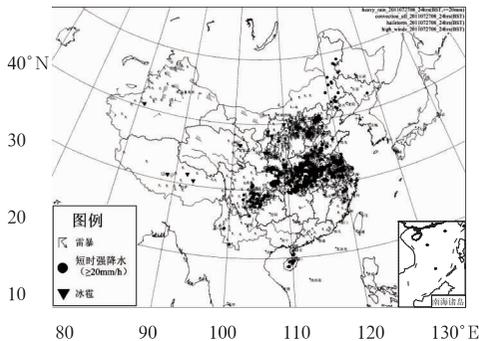


图 1 2011 年 7 月 26 日 08 时至 27 日 08 时基于地面常规观测、WS 报的雷暴、大风和冰雹 24 小时监测和基于自动站 1 小时降水量的短时强降水 ( $\geq 20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ ) 24 小时监测

Fig. 1 The 24 h monitoring of thunderstorms, high winds and hail based on conventional observations and WS reports, and the short-duration heavy rainfall ( $\geq 20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ ) 24 h monitoring based on hourly AWS rainfall data from 08 BT 26 to 08 BT 27 July 2011

短时强降水的发生频率显著高于冰雹、龙卷和雷暴大风，其监测资料来源是自动站的 1 小时降水资料。最近，郝莹等(2012)给出了安徽省不同强度的短时强降水的时空分布特征。短时强降水监测等级区分为三类，分别为： $\geq 20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 、 $\geq 30 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$  和

$\geq 50 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ ;也监测每一自动站的最近 3、6、12 和 24 小时降水累积数据。其中图 1 和图 3 给出了  $\geq 20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$  短时强降水的监测实例。

雷达反射率因子(图 4)、CTREC(郑永光等, 2011; Tuttle et al, 1990)矢量场(图 5)和对流风暴(图 6)监测主要基于全国雷达反射率因子拼图,也可以根据需要切换为单站雷达基数据。反射率因子和对流风暴的监测被划分为不同的等级(35、40、45、50 和 55 dBz 等)来反映不同强度的对流天气;CTREC 矢量场主要提供整体对流系统的移向和移速;对流风暴的监测基于 TITAN(郑永光等, 2011; Dixon et al, 1993; 韩雷等, 2007)算法,主要关注不同对流系统的移向和移速。该产品还能够提供对流系统的“列车效应”监测。柯文华等(2012)分析了 2010 年 6 月 25 日在粤东南部地区发生了超历史纪录的强降水过程“列车效应”问题。

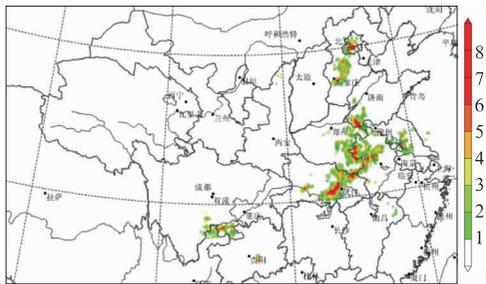


图 4 2011 年 7 月 26 日 23 时雷达反射率因子  $\geq 45 \text{ dBz}$  1 小时次数监测

Fig. 4 Hourly radar reflectivity  $\geq 45 \text{ dBz}$  monitoring at 23:00 BT 26 July 2011

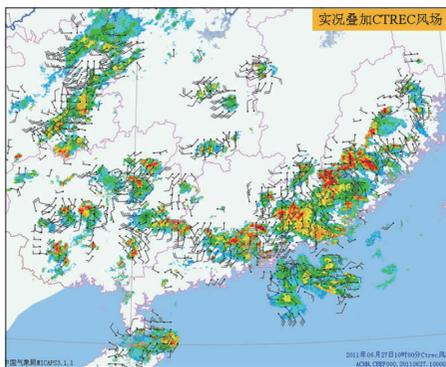


图 5 2011 年 6 月 27 日 18 时华南拼图反射率因子叠加 CTREC 矢量场  
Fig. 5 Reflectivity mosaic diagram superimposed CTREC vector field in South China at 18:00 BT 27 June 2011

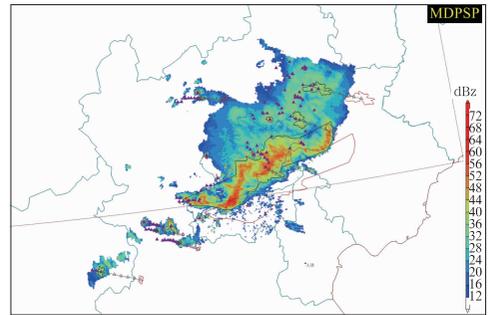


图 6 2011 年 6 月 23 日 16 时 TITAN 对流风暴 ( $\geq 35 \text{ dBz}$ ) 产品(彩色填充为反射率因子,紫色实心三角为对流风暴质心位置,黑色实线为当前对流风暴边界,红色实线为 1 小时预报边界,空心三角为预报质心)

Fig. 6 Convective storm ( $\geq 35 \text{ dBz}$ ) products of TITAN at 16:00 BT 23 June 2011 (color shaded for the reflectivity, purple solid triangles for the convective storm centroids, black solid line is the current convective storm border, red solid line is 1 h forecast boundary, open triangles for the prediction centroids)

深对流云(图 7)和 MCS(图 8)监测基于风云 2 静止卫星红外 1 和水汽通道资料。该监测产品区根据红外 1 通道  $T_{\text{BB}}$  的分布区分为三个等级,分别为弱( $-52^\circ\text{C} < T_{\text{BB}} \leq -32^\circ\text{C}$ )、中( $-72^\circ\text{C} < T_{\text{BB}} \leq -52^\circ\text{C}$ )和强( $T_{\text{BB}} \leq -72^\circ\text{C}$ )深对流云。深对流云监

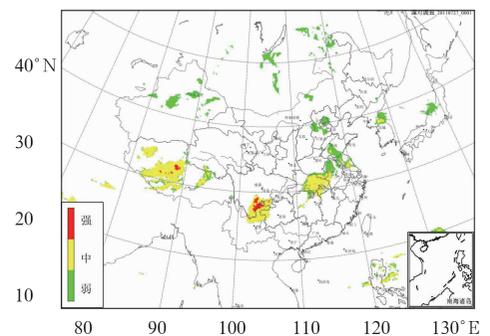


图 7 2011 年 7 月 27 日 00 时深对流云分布(其中级别弱、中、强由  $T_{\text{BB}}$  数值决定,弱:  $-52^\circ\text{C} < T_{\text{BB}} \leq -32^\circ\text{C}$ , 中:  $-72^\circ\text{C} < T_{\text{BB}} \leq -52^\circ\text{C}$ , 强:  $T_{\text{BB}} \leq -72^\circ\text{C}$ )

Fig. 7 Distribution of deep convective clouds classified by three grades of  $T_{\text{BB}}$ , i. e. weak:  $-52^\circ\text{C} < T_{\text{BB}} \leq -32^\circ\text{C}$ , moderate:  $-72^\circ\text{C} < T_{\text{BB}} \leq -52^\circ\text{C}$ , strong:  $T_{\text{BB}} \leq -72^\circ\text{C}$  at 00:00 BT 27 July 2011

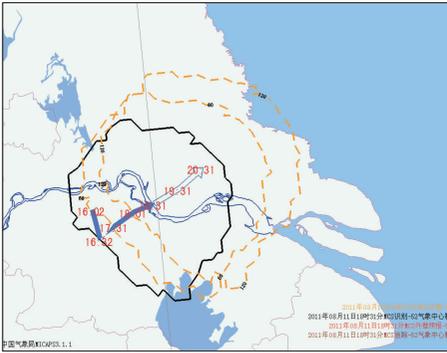


图 8 2011 年 8 月 12 日 02:30 基于  $-52^{\circ}\text{C}$   $T_{\text{BB}}$  识别的 MCS 及追踪和外推预报  
(实心箭头: 追踪结果,  
空心箭头: MCS 外推预报路径,  
黑色实线: 当前 MCS 边界, 黄色  
虚线: 1 和 2 h 的 MCS 外推预报边界)

Fig. 8 MCS ( $T_{\text{BB}} \leq -52^{\circ}\text{C}$ ) identification, tracking and extrapolation prediction at 02:30 BT 12 August 2011 (solid arrow: MCS track, hollow arrow: MCS extrapolation forecast track, black solid line: current MCS boundaries, yellow dashed line: boundary of 1 h and 2 h MCS extrapolation prediction)

测可以给出不同时段的对流活动的强弱分布,但 MCS 监测给出的是对流系统的移向移速和强度等信息。一般说来,基于静止卫星红外  $T_{\text{BB}}$  资料识别的 MCS 尺度要大于基于雷达反射率因子资料识别的对流风暴,这是因为对流系统的云砧远大于对流风暴、且一个 MCS 往往包含多个对流风暴的缘故。因此 MCS 的移动路径更能够代表较大尺度对流系统的移动。

## 2 监测技术和方法

强对流天气监测技术架构如图 9,主要包括资料质量控制技术、信息提取和统计技术、卫星资料监测技术、雷达资料监测技术和闪电监测技术等。

### 2.1 质量控制技术

质量控制技术方面重点发展了自动站大风和降水资料及地闪资料的质量控制技术。

基于加密自动站资料的大风和短时强降水监测可以达到 1 小时的时间分辨率,高于常规测站的 3 小时时间分辨率;空间分辨率更是大大高于常规测站。

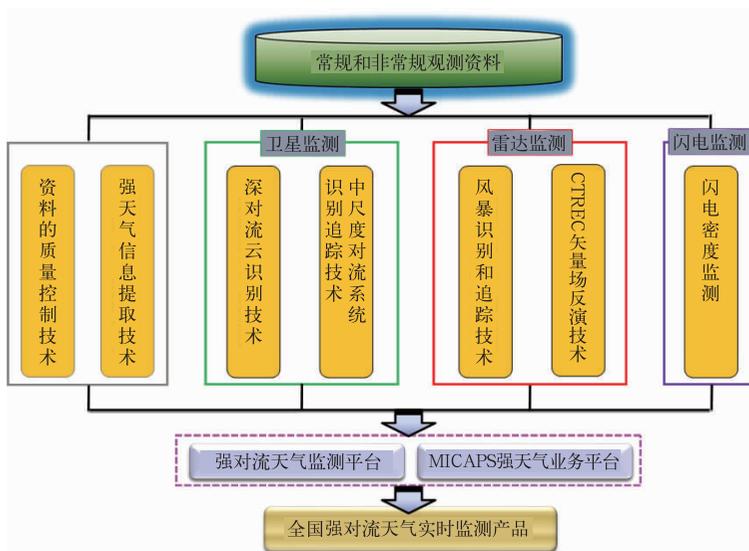


图 9 强对流天气监测技术架构

Fig. 9 Technological framework of severe convective weather monitoring

但自动站没有雷暴观测,因此仅仅根据自动站资料很难直接判断观测到的大风数据(大于等于 8 级风)是否是雷暴大风。因此,需要根据常规观测、地闪观测和静止卫星观测的  $T_{\text{BB}}$  综合来判断自动站观测到的大风天气是否为雷暴大风。但需要指出的

是,有时海拔较高的气象测站容易出现被误认的雷暴大风,因此还需要进一步发展该类天气的质量控制方法来提高其监测的可靠性。

由于自动站降水观测资料易于出现一些错误观测数据,因此需要对该资料进行质量控制以提高可

用性。但是自动站降水数据时空分辨率较高,目前与其分辨率相匹配的资料只有静止卫星资料、地闪资料和雷达资料。

地闪资料不能直接提供降水的信息,但能够提供对流活动的信息。由于短时强降水区域可能无地闪定位资料,也可能地闪活动较弱,因此尚不能判断低地闪密度区域就一定没有短时强降水天气发生。

雷达反射率因子资料可用于直接判断是否有短时强降水发生。但目前的雷达反射率因子资料不能覆盖全国,质量控制也存在一些问题(比如地物杂波问题等)。因此也难于直接使用该资料判断是否有短时强降水天气。

静止卫星  $T_{BB}$  资料具有较高的时空分辨率和可用性,可直接使用  $T_{BB}$  资料来辅助判断自动站降水资料的可信度。因此,除了对自动站降水资料进行极值检查来判断降水的合理性,还使用了静止卫星  $T_{BB}$  资料进行辅助判断。高  $T_{BB}$  的区域发生短时强降水的可能性较低,低  $T_{BB}$  的区域发生短时强降水的可能性较高。

地闪资料由于地闪定位仪运行的问题,也会出现一些错误数据。利用地闪分布的空间连续性关系对地闪资料进行了质量控制,重点去除了比较孤立的地闪分布。

## 2.2 强对流信息提取和统计技术

从多源数据中提取强对流天气信息是强对流天气监测的基础。不同类型的监测提取技术有所不同。对于积云监测,提取的是云状信息;对于雷暴、冰雹、龙卷等提取的是天气现象信息;对于高温、大风、短时强降水、雷达反射率因子则是根据设定的不同强度阈值来提取相关不同强度的对流信息;对于雷暴大风则综合使用雷暴和大风信息来获取其分布。

对不同时间段的强对流天气监测使用了不同的统计方法。对于最近 24 小时以内的强对流天气监测主要监测是否有强对流天气发生,最强的强对流天气如何;对于雷达反射率因子、对流风暴、深对流云和 MCS 监测的则是其发生频率。月、旬、候等强对流天气分布监测不同于 24 小时以内的强对流天气监测,对于雷暴、冰雹、大风等则监测的是雷暴日数、冰雹日数和大风日数;对于闪电监测的则是闪电密度;对于短时强降水监测的则是其发生频率。

## 2.3 地闪数据监测技术

闪电是伴随对流活动的电现象,一般来说闪电

越密集,对流活动越剧烈。

地闪的监测区分为总地闪、负地闪和正地闪监测,并监测各类地闪的密度。地闪密度指单位时间、单位面积内地闪的发生次数。监测系统读取原始地闪数据,输出不同时段累积的地闪密度数据,其空间分辨率为  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ 。

## 2.4 CTREC 矢量场计算技术

CTREC 矢量场可以提供雷达反射率因子场的移动信息。监测系统使用全国拼图的雷达反射率因子场计算 CTREC 矢量场。

CTREC 算法将雷达反射率因子场分成若干个大小相当的“区域”。将这些在上一时刻的“区域”分别与下一时刻的各个“区域”作空间交叉相关,以找出此刻与上一个时刻的特定区域相关系数最大的“区域”,从而来确定整个区域中不同网格点处的回波移动矢量。

## 2.5 对流风暴监测技术

对流风暴监测基于全国拼图的雷达反射率因子场和 SWAN 系统的对流风暴识别算法 TITAN(雷暴识别、追踪、分析和临近预报)算法。监测不同阈值(35、40、45 和 50 dBz 等)的对流风暴及其移动路径分布。

TITAN 使用单体质心算法来识别和追踪一个被看作三维实体的风暴。在风暴的检测上,TITAN 使用类似三维聚类技术识别风暴。为了追踪风暴随时间的演变,TITAN 将追踪问题转化为组合最优化问题来计算相邻两个雷达图像内风暴体的匹配关系。对于风暴体位置的预报,TITAN 使用风暴体在不同时刻的质心位置进行外推预报。

## 2.6 深对流云提取技术

深对流云监测主要利用我国的风云 2 静止卫星资料。深对流云的监测资料有两种,一种是使用国家卫星气象中心下发的云产品分类,提取其中的密卷云和积雨云生成深对流云产品;另一种使用红外 1 和水汽通道亮温资料。

基于亮温资料的深对流云识别关键是利用 IR1 通道和 WV 通道的亮温差值(下文简称“ $T_{BB_{WV}} - T_{BB_{IR1}}$ ”)来识别深对流云。当对流云发展强盛,并穿透对流层顶时,WV 通道接收到的辐射来自进入平流层的水汽,亮温较 IR1 通道观测的云顶亮温高,因而  $T_{BB_{WV}} - T_{BB_{IR1}}$  为正值。为了对处于初生阶段的

对流云能够进行有效的监测,以  $T_{BB_{WV}} - T_{BB_{IR1}} \geq -5 K$  作为深对流云识别的阈值。这种识别深对流云的方法主要来自文献(Schmetz et al,1997)。深对流云的强度度主要由  $T_{BB}$  数值决定,分别为弱 ( $-52^{\circ}C < T_{BB} \leq -32^{\circ}C$ )、中 ( $-72^{\circ}C < T_{BB} \leq -52^{\circ}C$ ) 和强 ( $T_{BB} \leq -72^{\circ}C$ ) 深对流云。

## 2.7 MCS 识别、追踪技术

利用静止卫星不同红外  $T_{BB}$  阈值 ( $-32^{\circ}C$  及  $-52^{\circ}C$  等) 识别不同强度 MCS, 监测 MCS 分布及其移动路径。其技术方法是: 首先利用静止卫星 IR1 通道 TBB 资料识别 MCS; 然后利用面积重叠追踪算法追踪识别出的 MCS, 最终获得 MCS 的移速、移向和强度的演变趋势。

## 3 数据流程和系统组成

为了与现有 MICAPS 业务系统(李月安等, 2010)相兼容, 以强对流天气综合监测业务系统的数据基础为文件数据。系统输入的数据主要来自国家气象中心的 MICAPS 系统服务器, 包括 MICAPS 格式数据文件、地闪数据文件、卫星(如 AWX 格式、GPF 格式等)和雷达(拼图数据格式或者基数据格式)数据文件等。系统生成的产品主要是 MICAPS 格式数据文件, 可以通过综合图方式在 MICAPS 系统中调阅。系统同时也生成部分图片产品(图 1、图 2、图 4 和图 7)。

为了加强系统的容错性, 强对流天气综合监测业务系统由多个进程模块组成, 主要包括常规地面观测资料、重要天气报告(WS 报)和自动站资料监测进程模块, 地闪资料监测进程模块, 全国拼图雷达反射率因子信息提取进程模块, CTREC 进程模块, TITAN 进程模块, 深对流云监测进程模块, 以及 MCS 监测进程模块等。

强对流天气监测系统的自动定时运行。根据用户设定的时间间隔, 系统自动处理相关数据生成监测产品。

## 4 总结与未来发展

强对流天气的监测是强对流天气预报业务的基础。目前, 国家气象中心强天气预报中心已经建立了较完善的基于多源观测资料的、多类型、多时段的实时强对流天气监测技术和系统。该系统生成的监

测产品是强对流天气短期和短时预报的数据基础, 在实时业务中发挥了重要作用。

强对流天气监测技术还需要近一步完善。未来首先需要加强强对流天气观测资料(尤其是高山站雷暴大风监测、自动站和雷达资料监测等)的质量控制和提高监测产品的时效性; 需要进一步发展基于静止卫星资料的 MCS 和基于雷达资料的对流风暴识别、追踪技术; 需要发展基于多源资料的强对流天气融合监测产品。目前的监测主要是天气实况监测, 未来还要就强对流发生的前期条件和发展条件做进一步的监测(比如地面露点、地面辐合线监测等)。此外, 强冰雹和龙卷通常不会发生在气象测站, 因此对这类天气的监测还是难题, 需要进一步发展相关的监测技术和方法。

目前的强对流天气监测系统主要基于文件系统, 效率较低, 未来可考虑接入数据库系统, 以提高系统运行效率。此外, 强对流天气监测系统目前还独立于 MICAPS 和 SWAN 系统之外, 未来需要把此系统纳入 MICAPS 或者 SWAN 系统之中推广使用, 以发挥其技术辐射作用。

## 参考文献

- 韩雷, 郑永光, 王洪庆, 等. 2007. 基于数学形态学的三维风暴体自动识别方法研究. 气象学报, 65(5): 805-814.
- 郝莹, 姚叶青, 郑媛媛, 等. 2012. 短时强降水的多尺度分析及临近预警. 气象, 38(8): 903-912.
- 何立富, 周庆亮, 湛芸, 等. 2011. 国家级强对流潜势预报业务进展与检验评估. 气象, 37(7): 777-784.
- 柯文华, 俞小鼎, 林伟旺, 等. 2012. 一次由“列车效应”造成的致洪暴雨分析研究. 气象, 38(5): 552-560.
- 李月安, 曹莉, 高嵩, 等. 2010. MICAPS 预报业务平台现状与发展. 气象, 36(7): 50-55.
- 郑永光, 陈炯, 沃伟峰, 等. 2011. 改进的客观分析诊断图形软件. 气象, 37(6): 735-741.
- 郑永光, 张小玲, 周庆亮, 等. 2010a. 强对流天气短时临近预报业务技术进展与挑战. 气象, 36(7): 33-42.
- 郑永光, 张小玲, 周庆亮. 2010b. 强对流天气短时临近预报技术进展与监测技术. 2009 年灾害性天气预报技术文集, 北京: 气象出版社, 87-100.
- Dixon M, Wiener G. 1993. TITAN: Thunderstorm identification, tracking, analysis and nowcasting-A radar-based methodology. J Atmos Oceanic Technol, 10(6): 785-797.
- Schmetz J, Tjemkes S A, Gube M, et al. 1997. Monitoring deep convection and convective overshooting with METEOSAT. Adv Space Res, 19(3): 433-441.
- Tuttle J D, Foote G B. 1990. Determination of the boundary layer airflow from a single Doppler radar. J Atmos Oceanic Technol, 7(2): 218-232.