

万玉发, 王志斌, 张家国, 等. 长江中游临近预报业务系统(MYNOS)及其应用. 应用气象学报, 2013, 24(4): 504-512.

# 长江中游临近预报业务系统(MYNOS)及其应用

万玉发<sup>1)\*</sup> 王志斌<sup>1)</sup> 张家国<sup>2)</sup> 吴翠红<sup>2)</sup> 吴涛<sup>2)</sup> 王珏<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>(中国气象局武汉暴雨研究所, 武汉 430074) <sup>2)</sup>(武汉中心气象台, 武汉 430074)

## 摘 要

针对长江中游强风暴天气特点和现代预报业务需求,在借鉴世界临近预报系统,特别是美国的 Auto-Nowcaster 和 WDSS-II 以及英国的 GANDOLF 等先进经验的基础上,以我国多普勒天气雷达网为重要技术手段,结合数值预报等信息资源,于 2007 年研究建成长江中游临近预报业务系统(MYNOS)。MYNOS 主要技术方法包括:雷达与雨量计实时同步积分结合的降水估算方法(RASIM),雷达反演参量与中尺度模式输出物理量相结合的强风暴性质自动识别和追踪技术,基于暴雨回波生命史特性约束下的多尺度合成降水量临近预报,基于数值预报模式和模糊逻辑学的强对流天气分类落区潜势预报,集 GIS 功能并整合各种定量监测与预警产品于一体的短时预报工作站。MYNOS 已成为短时临近预报业务的支撑平台,其中实时生成的流域定量降水估算与临近预报、强对流天气分类潜势诊断与识别预警产品等成为日常预报业务的重要参考依据。

**关键词:** 长江中游临近预报业务系统; 强对流; 定量监测; 自动识别

## 引 言

如何利用我国多普勒天气雷达网,开展暴雨和强风暴天气的监测预警技术研究并建立先进而实用的业务系统是十分迫切的课题。自 20 世纪 80 年代以来,国外在研究以天气雷达为骨干的临近预报系统方面给予很大投入,发展极为迅速。具有里程碑意义的是在 2000 年悉尼奥运会期间,世界天气研究计划预报示范项目展示了国际上 9 个临近预报系统<sup>[1]</sup>,8 年后又有 8 个临近预报系统参加到 2008 年北京奥运会的预报示范项目中<sup>[2-3]</sup>,对临近预报技术发展起到了很大的推动作用。在世界众多临近预报系统中,先进而具有代表性的有美国国家大气研究中心开发的 Auto-Nowcaster<sup>[4]</sup>,国家强风暴实验室开发的 WDSS-II(Warning Decision Support System-Integrated Information)<sup>[5]</sup>,英国研究建立的对流性降水预报系统 GANDOLF(Generating Advanced Nowcasts for Deployment in Operational Land-sur-

face Flood forecasts)<sup>[6]</sup>等。

Wilson 等<sup>[7]</sup>对强风暴临近预报技术作了全面的归纳和展望,对于了解临近预报技术的基本特点及研究、建立临近预报系统起到重要启示作用。临近预报技术可概括为 3 个部分:一是外推技术,包括在移动、尺度和强度不变假定下的外推以及基于过去在尺度和强度变化趋势下的外推;二是考虑风暴初生和消亡生命史过程的专家系统技术;三是利用雷达数据进行初始化的数值预报模式技术。俞小鼎等<sup>[8]</sup>研究了雷暴与强对流临近天气预报技术进展,郑永光等<sup>[9]</sup>总结了短时临近预报业务现状、技术进展以及面临的挑战,同样认为短时临近预报技术是外推预报技术、数值预报技术、概念模型预报技术以及这 3 种技术的结合应用。美国近年发展的统一航空风暴预报系统 CoSPA(Consolidated Storm Prediction for Aviation)<sup>[10]</sup>和澳大利亚的降水集合预报系统 STEPS(Short-Term Ensemble Prediction System)<sup>[11]</sup>等中,均体现了外推预报与数值预报的融合技术。

2012-10-09 收到, 2013-06-08 收到再改稿。

资助项目:湖北省科技攻关计划项目(2004AA306B01),中国气象局气象新技术推广项目(CMATG2007M19),中国气象局气象关键技术集成与应用项目(CAMGJ2012M32)

\* email: yufawan@163.com

早在“七五”期间,湖北武汉就研究建立了具有卫星和雷达网综合处理功能的长江中游短时天气监测系统(MYWMS, Weather Monitoring System in Middle Yangtze river)<sup>[12]</sup>,“八五”期间又研制能实现大范围降水累积量的实时监测预报系统(LARORAS, Large Area Rainfall Observation in Real-time Automatic System)<sup>[13]</sup>。2003—2007 年湖北省气象局和科技厅联合支持自主研发长江中游临近预报业务系统(MYNOS, Nowcasting & warning Operational System in Middle Yangtze river),其目的就是要充分利用多普勒天气雷达这一先进探测装备,直接针对和处理短时暴雨、冰雹、雷暴大风灾害天气临近预报的业务难题,建立短时临近预报业务的支撑平台。借鉴世界临近预报系统的先进经验,结合长江中游强对流天气特点和实际业务需求,确定 MYNOS 的技术策略和重点是建立一个信息集成显示平台,充分发挥天气雷达在临近预报系统中的基石作用,认真研究定量监测和自动识别技术,并重点与数值预报相结合。MYNOS 历时 5 年研究,同时也经历了 6 年的业务应用,其重要成果已经进入全国灾害天气短时临近预报预警系统(SWAN, Severe Weather Automatically Nowcast System)中。

## 1 MYNOS 的结构及功能

由于灾害性天气短时临近预报的特性,人们分析资料并作出预报的可用时间非常有限<sup>[4]</sup>,因此 MYNOS 必须具有多种探测信息收集、处理及其产品的合成显示分析能力,形成基于 GIS 信息的综合分析显示工作站。王志斌等<sup>[14]</sup>从系统需求、设计、实现 3 个方面进行了详细描述,本文介绍的重点则是 MYNOS 功能以及几种主要气象算法的基本原理和关键技术。

### 1.1 系统总体结构

系统由 3 个部分组成:第 1 部分是前置处理系统,从多个服务器和数据库获取海量数据,并进行多个气象算法运算,生成各类产品;第 2 部分是产品服务器,存储和管理所有前置处理系统生成的产品,借助宽带通信,实现 MYNOS 产品共享;第 3 部分是工作站,提供给预报员各种监测预警产品的显示分析平台。

### 1.2 系统功能结构

MYNOS 共有 5 个功能层次(图 1)。第 1 层为信息获取层,提供天气雷达、卫星遥感、闪电定位、地

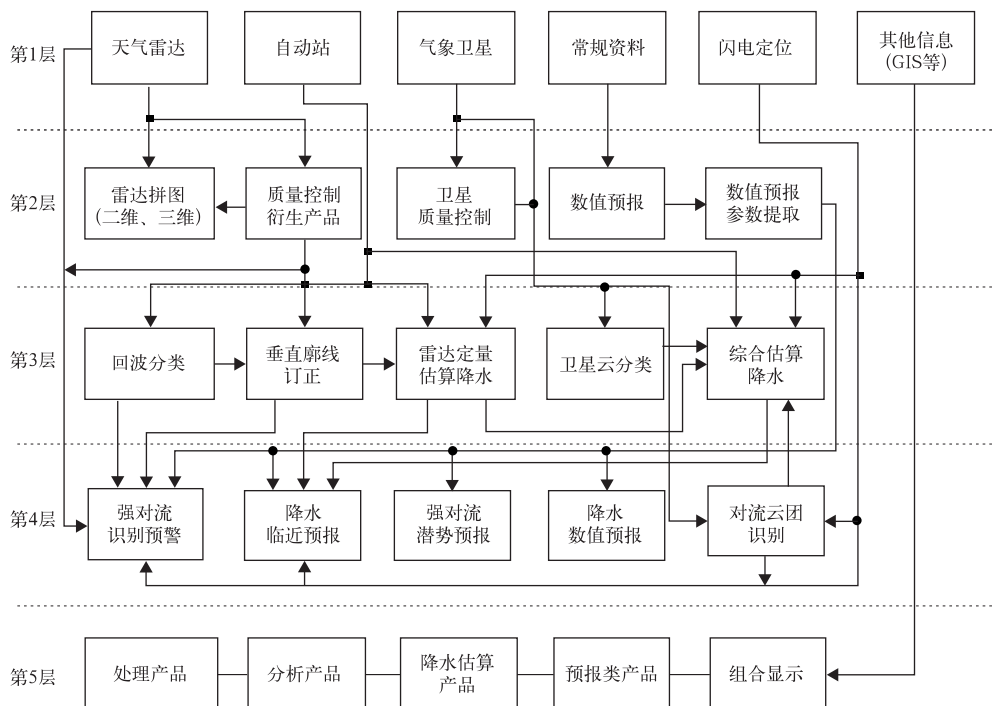


图 1 MYNOS 功能结构示意图

Fig. 1 Function structure chart of MYNOS

面探测等监测信息;第2层为监测产品层,主要包括雷达质量控制、雷达三维拼图以及数值预报产品参数提取等;第3层为定量测量降水层,包括雷达回波分类、卫星云分类、回波垂直廓线的生成与订正、雷达与雨量站联合降水估算、结合卫星的多手段联合降水估算等;第4层为预报产品层,包括强对流潜势预报、降水数值预报、对流云团自动识别、强对流天气分类识别跟踪、暴雨临近预报等;第5层为显示分析层,供短时预报员任意显示各种产品。

### 1.3 系统功能概要

MYNOS前置处理系统是一个实时自动运行处理系统,采用多线程方法实现了海量数据高频度的实时通信和多种气象算法有效调度运行,按照指定周期调度不同功能子模块,生成各种产品供工作站显示。

MYNOS工作站是一个人机交互系统,是一个预报警发布平台。它既具有单独显示分析各种探测信息以及监测预报产品的功能,也具有各种图形、图像叠加显示分析,图形、图像的无级缩放,图层管理、图像动画、图像对准等功能。采用高级语言从底层自主开发,通过设计特殊类型的图层,解决了如特定的强对流天气模型表达、图像数据在系统中的快速动画、特殊投影方式下图像的对准等问题。

## 2 雷达和雨量计实时同步结合估算降水

MYNOS提出雷达和雨量计实时同步结合方法即RASIM(RADAR-raingauge Synchronously Integrated Method in real-time)<sup>[15]</sup>,通过同步积分使雷达和雨量计采样为准同雨团样本,从而建立动态的转换关系,旨在削弱雷达设备的探测误差以及Z-R关系的转换误差这两个层面对雷达估算降水的影响。

### 2.1 RASIM方法的基本原理

RASIM方法主要基于一个事实和两个概念。一个事实是雨量计与其垂直上空雷达的小时累积量( $Z_{OH}, Q_G$ )存在符合幂律的相关性,两个概念是准同雨团样本与小时等效反射率因子,这在文献<sup>[15]</sup>中有较充分的论述。在1h内,雨量计的降水累积量用 $Q_G$ 表示,与其相对应的垂直上空某层的雷达反射率因子累积量用 $Z_{OH}$ (或 $Z_B$ )表示,这样很容易得到单站积分型的 $Z_B$ - $Q_G$ 关系:

$$Q_G = A_{B_i}^{-\frac{1}{b_i}} Z_{B_i}^{\frac{1}{b_i}} \quad (1)$$

式(1)中, $Z_B = \left[ \int_0^T Z_{B_i}^{-\frac{1}{b_i}} dt \right]^{b_i}$ ,  $b_i$ 为固定指数<sup>[16]</sup>,  $T=1$ h,  $A_{B_i}$ 为单站云雨转换系数。对式(1)在降水区域 $S$ 进行面积分,并引入 $A_{BS}$ 为适合区域的待定系数,将积分转换为离散求和,各离散雨量计小时测量为 $Q_{G_i}$ ,对应各雨量站点的雷达小时测量为 $Z_{B_i}$ ,则有

$$A_{BS} = \left[ \sum_{i=1}^N Z_{B_i}^{\frac{1}{b_i}} / \sum_{i=1}^N Q_{G_i} \right]^{b_i} \quad (2)$$

式(2)中, $N$ 为区域 $S$ 内的雨量站数, $A_{BS}$ 是区域转换公共系数。这样很容易得到雷达逐个像元( $x, y$ )小时累积降水量 $Q_R$ 估算方程或 $A_{BS}$ 区域型雷达降水估算方程:

$$Q_R(x, y) = A_{BS}^{-\frac{1}{b_i}} Z_{B_i}^{\frac{1}{b_i}}(x, y) = \sum_{i=1}^N Q_{G_i} Z_{B_i}^{\frac{1}{b_i}}(x, y) / \sum_{i=1}^N Z_{B_i}^{\frac{1}{b_i}} \quad (3)$$

### 2.2 RASIM方法的误差分析

式(3)是用一个公共系数 $A_{BS}$ 来代替区域 $A_{B_i}$ 中各点真实的 $A_{B_i}$ 进行地面降水估算的,难免存在估算误差。对于某个站点而言,雷达估算降水量 $Q_{R_i}$ 与雨量计实测降水量 $Q_{G_i}$ 的差值为 $\Delta Q_{R_i}$ ,那么单站差估率 $\mu_i$ 可定义为<sup>[17]</sup>

$$\mu_i = \frac{\Delta Q_{R_i}}{Q_{G_i}} = \frac{A_{B_i}^{\frac{1}{b_i}} - A_{BS}^{\frac{1}{b_i}}}{A_{BS}^{\frac{1}{b_i}}} = \left( \frac{A_{B_i}}{A_{BS}} \right)^{\frac{1}{b_i}} - 1 \quad (4)$$

其物理意义为单站单位实测降水量所含有的错估量。式(4)表明, $\mu_i$ 是该站转换系数 $A_{B_i}$ 在 $\frac{1}{b_i}$ 为指数的幂值上相对于公共转换系数 $A_{BS}$ 的相对离差,它揭示了 $\mu_i$ 产生的本质原因是 $A_{B_i}$ 对于 $A_{BS}$ 的偏离度。

整个区域降水估算误差可取两个判据来表达:第1个判据是区域降水差估率 $\mu_S$ 。定义为各单站降水差估量区域内总和与区域对应各站点实测降水量总量的比值。 $A_{BS}$ 型的区域降水差估率 $\mu_S$ 在任何时次均为0,即在区域内所有高估总量必定与低估总量相等。第2个判据是区域降水绝对差估率 $\mu_{|S|}$ 。定义为各单站降水差估量绝对值区域内总和与区域对应各站点实测降水量总量的比值,表达如下<sup>[18]</sup>

$$\mu_{|S|} = \frac{\sum_{i=1}^N |\Delta Q_{R_i}|}{\sum_{i=1}^N Q_{G_i}} = \frac{\sum_{i=1}^N |\mu_i| \times Q_{G_i}}{\sum_{i=1}^N Q_{G_i}} \quad (5)$$

由式(5)可知,即使区域内 $\mu_S$ 为0,但若各单站存在

误差,则  $\mu_{|S|} \neq 0$ ;各站转换系数  $A_{B_i}$  均等于区域公共系数  $A_{BS}$  情况除外。式(5)中,  $\mu_{|S|}$  是各  $|\mu_i|$  按  $Q_{G_i}$  分配的加权平均值。

### 2.3 雷达反射率因子场的构建技术

构建一个能够反映降水实际的反射率因子场是雷达降水估算的首要条件,在 MYNOS 中研究和实现了非降水回波(特别是地物和超折射回波)的识别和抑制技术<sup>[18]</sup>、降水回波分类技术<sup>[19]</sup>、雷达回波垂直廓线 VPR (Vertical Profile of Reflectivity) 生成和订正技术<sup>[20]</sup>;结合雷达探测范围的地理信息形成尽量接近地面且受非降水干扰少的混合扫描反射率因子场<sup>[21]</sup>。另外, Gabella 等<sup>[22]</sup> 指出进行雨量计-雷达测量数据对质量控制的重要性,式(4)清楚显示了  $\mu_i$  产生的原因是  $A_{B_i}$  对于  $A_{BS}$  的偏离度,由此建立一种可通过设定  $\mu_i$  合理区间来判别雷达和雨量计错误数据对的质量控制新方法<sup>[17]</sup>。

## 3 强对流天气分类识别与临近预报

临近预报技术最早起源于雷达回波的外推技术,后来强调利用多种观测及其反演信息并结合数值预报研究建立风暴生命史模型,从而来指导和约

束外推预报,如 GANDOLF 的 OOM(Object-Oriented conceptual Model) 技术<sup>[23]</sup>、Auto-Nowcaster 系统采用多预报因子的模糊逻辑融合技术<sup>[4]</sup> 等。在风暴识别和追踪中,主要应用交叉相关与质心追踪技术或在此基础上的改进技术,如 SCIT(Storm Cell Identification and Tracking)<sup>[24]</sup>、TITAN(Thunderstorm Identification, Tracking, Analysis, and Nowcasting)<sup>[25]</sup> 技术。MYNOS 以 TITAN 技术为基础,并研究建立了雷达参量(包括反演量)与数值模式输出参量相结合的分类识别强对流天气技术,生成相应识别、预报产品(图 2)。

### 3.1 风暴临近预报技术

一是风暴体识别。在 TITAN 的基础上,MYNOS 建立了基于雷达坐标系的风暴三维结构,先识别出笛卡尔坐标系中组成风暴面的径向段,并映射到雷达坐标系中的相应径向段,由所有径向段重构风暴三维结构。

二是风暴跟踪及预报。风暴跟踪(匹配)采用 TITAN 的匈牙利算法<sup>[25]</sup>;风暴预报采用线性外推法,根据移动矢外推风暴未来位置以及体积变化趋势计算未来投影面的大小,预报时效为 6,30,60 min。

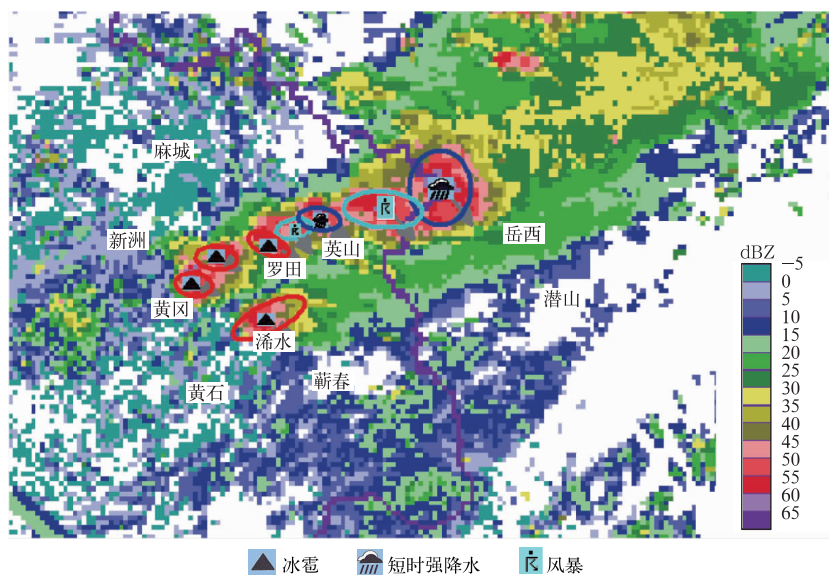


图 2 2008 年 6 月 3 日 19:30(北京时,下同)黄冈地区强对流天气识别产品  
(椭圆圈表示风暴水平投影面范围,如同时识别出冰雹和大风天气则只显示冰雹符号)

Fig. 2 Identification products of strong convective weather in Huanggang Region at 1930 BT 3 Jun 2008

(ellipse denotes the range of horizontal projection plane of wind storm, if both hail and gale are identified at the same time, only hail symbol is signed)

### 3.2 强对流天气分类识别技术

基于风暴体结构提取回波特征量,并结合数值模式预报场作为识别因子分类识别强对流天气。冰雹识别采用 WSR-88D 中的 SHI (Severe Hail Index) 算法<sup>[26]</sup>,其中  $0^{\circ}\text{C}$  和  $-20^{\circ}\text{C}$  湿度层高度数据直接从数值预报场获取。识别短时强降水和雷暴大风天气采用模糊逻辑原理,使用隶属函数模糊化处理所有识别因子,并对模糊化值求权重平均得到短时强降水和雷暴大风指数:

$$I_{\text{HR}}(\text{或 } I_{\text{SW}}) = \frac{\sum_{i=1}^N \omega_i f_i}{\sum_{i=1}^N \omega_i} \quad (6)$$

式(6)中,  $I_{\text{HR}}$  和  $I_{\text{SW}}$  分别表示短时强降水指数和雷暴大风指数,  $f_i$  表示特征量的模糊值,  $\omega_i$  表示特征量对应的权重值,  $N$  表示特征量个数。如  $I_{\text{HR}}$  (或  $I_{\text{SW}}$ ) 不小于阈值则认为风暴将产生相应的强对流天气;反之,不会产生相应的强对流天气。

#### 3.2.1 雷暴大风识别因子

郑佳锋等根据雷达回波特征设计了阵风锋自动识别算法<sup>[27]</sup>,本文则利用强冰雹指数  $I_{\text{SH}}$  (单位:  $\text{J}/(\text{m} \cdot \text{s})$ )、风暴移动速度  $V_{\text{CM}}$  (单位:  $\text{km}/\text{h}$ )、风暴单体重力势能  $E_{\text{CEP}}$  (单位:  $10^3 \text{J}$ )<sup>[28]</sup>、低层水平风速  $V_h$  (单位:  $\text{m}/\text{s}$ )、回波顶高  $H_T$  (单位:  $\text{km}$ )、垂直液态水含量  $C_{\text{VIL}}$  (单位:  $\text{kg}/\text{m}^2$ )、大气垂直相对湿度 ( $F_{87}$ ,  $F_{75}$ ,  $F_{52}$  分别表示 850 hPa 与 700 hPa, 700 hPa 与 500 hPa, 500 hPa 与 200 hPa 平均相对湿度, 单位:  $\%$ ) 等多因子识别雷暴大风。对这些参量通过统计求取隶属函数分布并进行模糊和权重处理,形成

雷暴大风识别因子。

#### 3.2.2 短时强降水识别因子

降水量与降水强度和持续时间有关。短时强降水识别因子包括雨团平均降水强度  $R$  (单位:  $\text{mm}/\text{h}$ )、风暴顶高  $H_T$  (单位:  $\text{km}$ )、垂直液态水含量  $C_{\text{VIL}}$  (单位:  $\text{kg}/\text{m}^2$ )、风暴移动速度  $V_{\text{CM}}$  (单位:  $\text{km}/\text{h}$ )、回波范围  $S$  (单位:  $\text{km}^2$ ) 及大气垂直相对湿度  $F_{87}$ ,  $F_{75}$ ,  $F_{52}$  (单位:  $\%$ )。其中  $R$ ,  $H_T$ ,  $C_{\text{VIL}}$  能反映降水强度;  $S$ ,  $V_{\text{CM}}$  则反映降水持续时间,  $F$  的垂直分布能较好区别强降水与其他强天气类型。同样,对这些识别参量通过统计求取隶属函数分布并进行模糊和权重处理,形成短时强降水识别因子。

### 4 多尺度合成的短时暴雨临近预报

图3给出一个降水外推临近预报的不分尺度与分尺度的对比,结果表明后者明显优于前者。与第3章所论述的强风暴天气回波不同,梅雨锋暴雨回波则是对流云和层状云混合性的范围相对较大的降水回波,在雷达回波形态上表现出多尺度特征。观测发现,不同尺度的回波生命史和移动均有很大差异,一般较大的  $\beta$  中尺度回波团或带有较长的生命史,而镶嵌其中的若干较小的风暴尺度(或称  $\gamma$  中尺度)的对流单体生命史短。因此,对单体回波比较有效的众多识别和外推的方法对多尺度特性的梅雨锋暴雨回波不适应,特别是预报时效较长的时候。Lakshmanan 等<sup>[29]</sup>提出用多尺度分割预报方法研究雷达、卫星图像的临近预报,很大程度上解决了有多尺度特性回波等目标的识别问题。

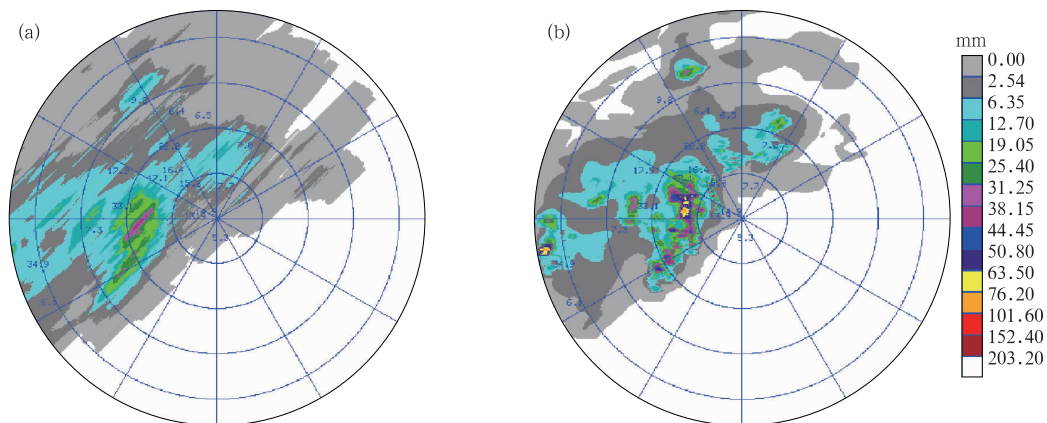


图3 2003年7月8日07:00武汉天气雷达1h降水外推预报和小时降水实况

(a)不分尺度外推预报,(b)分尺度外推预报

Fig. 3 1-h precipitation extrapolated prediction of Wuhan radar and the observed hourly precipitation at 0700 BT 8 Jul 2003

(a)non-separated scaling extrapolated prediction, (b)multi-scale extrapolated prediction



MYNOS 吸收这一先进技术思想,以梅雨锋等大范围降水为主要对象,研究建立了多尺度合成的短时暴雨临近预报技术。首先,根据暴雨回波的多尺度特征,研究暴雨回波的尺度滤波、分割、匹配等处理技术;然后,根据不同尺度回波生命史来约束其预报时效,得到分尺度下的降水预报场,实现暴雨回波多尺度的合成降水量临近预报<sup>[30]</sup>。其主要步骤包括:①雷达反射率因子场滤波,②相关法匹配求回波移动速度,③ $\gamma$  尺度回波移动速度的处理,④预报降水合成处理。

### 5 基于数值模式的强风暴潜势诊断

在短时临近预报业务中,以多普勒天气雷达观测的强对流天气特征为基础的预警技术,往往时效有限。考虑到中尺度对流系统发生发展与各种气象环境场条件关系密切,MYNOS 利用中尺度数值预报模式,计算、输出若干与强风暴发生发展有密切关系的常规物理量和对流参数,研究基于模糊逻辑学技术融合多对流参数诊断强天气潜势的技术方法,开发雷暴、雷暴大风、冰雹、短时暴雨 4 类强天气落区的潜势预报产品<sup>[31-32]</sup>。

#### 5.1 数值模式输出的物理量和对流参数

MYNOS 采用中尺度数值预报模式 AREM 原有计算各层涡度、散度、垂直速度等常规物理量的模块外,还专门设计了用于分析和诊断强对流风暴的对流参数计算模块,每天 08:00 和 20:00 两次生成逐小时常规物理量、对流参数,种类多达 20 种。MYNOS 将物理量产品与雷达、卫星等观测图像进行叠加,使预报员可以捕获到更多的强天气发生、发展和消亡的信息。

#### 5.2 多对流参数诊断强天气潜势

影响雷暴、雷暴大风、冰雹和短时暴雨发生的因子很多,利用单一的某个物理量不可以进行有效诊断。MYNOS 借鉴预报员主观综合预报思路,应用模糊逻辑学融合多对流参数技术来诊断强天气潜势。

##### 5.2.1 诊断强天气的物理量

表 1 给出了影响 4 类强天气的物理量及其权重系数<sup>[31-32]</sup>。关于雷暴的形成,一般着眼于 3 个基本条件:层结稳定性、水汽和抬升源,是否为强风暴类还与垂直切变有关。这里,对雷暴的形成选取了对流有效

位能、K 指数、对流抑制能量、850 hPa 与 700 hPa 平均相对湿度  $F_{87}$  和 850 hPa 涡度  $\zeta_{850}$  5 个参数。雷暴大风发生的典型垂直湿度分布大多是低层湿、中高层干冷,除普通雷暴形成的基本条件外,将中、高层湿度条件也作为雷暴大风发生的因子重点加以考虑。冰雹的发生相当复杂,除了与热力、动力环境有关外,还与融化、风暴尺度气流结构和非静力压力对上升气流的影响及地形等多个方面有关<sup>[33]</sup>。因此,除雷暴大风所用 7 个参数外,还考虑冰雹下落过程中的融化、 $0^{\circ}\text{C}$  和  $-20^{\circ}\text{C}$  温度层高度、地形因素的影响。暴雨大多发生在高能、高湿、有强烈水汽辐合的地区,根据暴雨发生的动力、热力、水汽等条件选择参与统计的参量。最后选取 K 指数、850 hPa 假相当位温、300 hPa 与 850 hPa 涡度差、各层平均相对湿度和 850 hPa 水汽通量散度代表暴雨发生的热力、动力及水汽条件,进行统计分析并建立预报方程<sup>[32]</sup>。

表 1 预报对象、模式输出物理量及其权重  
Table 1 Prediction objects, model output physical quantities and their weights

预报对象	模式输出物理量	权重系数
雷暴	对流有效位能	0.66
	K 指数	0.41
	对流抑制能量	0.40
	850 hPa 涡度 $\zeta_{850}$	0.31
	850 hPa 与 700 hPa 平均相对湿度 $F_{87}$	0.20
雷暴大风	对流有效位能	0.62
	K 指数	0.60
	对流抑制能量	0.30
	850 hPa 涡度 $\zeta_{850}$	0.40
	850 hPa 与 700 hPa 平均相对湿度 $F_{87}$	0.20
冰雹	700 hPa 与 500 hPa 平均相对湿度 $F_{75}$	0.40
	500 hPa 与 200 hPa 平均相对湿度 $F_{52}$	0.30
	对流有效位能	0.60
	K 指数	0.60
	对流抑制能量	0.40
短时暴雨	850 hPa 涡度 $\zeta_{850}$	0.30
	850 hPa 与 700 hPa 平均相对湿度 $F_{87}$	0.20
	700 hPa 与 500 hPa 平均相对湿度 $F_{75}$	0.20
	500 hPa 与 200 hPa 平均相对湿度 $F_{52}$	0.40
	$0^{\circ}\text{C}$ 温度层高度	0.60
	$-20^{\circ}\text{C}$ 温度层高度	0.38
	海拔高度(非模式输出量)	0.20
	K 指数	0.50
	850 hPa 与 700 hPa 平均相对湿度 $F_{87}$	0.60
	700 hPa 与 500 hPa 平均相对湿度 $F_{75}$	0.60
500 hPa 与 200 hPa 平均相对湿度 $F_{52}$	0.50	
短时暴雨	850 hPa 水汽通量散度	0.60
	850 hPa 假相当位温	0.50
	300 hPa 与 850 hPa 涡度差	0.50

### 5.2.2 物理量的融合技术

融合多因子技术较多,其中模糊逻辑方法不追求物理量的具体量值,根据宽松的分级原则,可以求得较为合适的结果,并具有扩充性和兼容性。美国临近预报系统 Auto-Nowcaster 采用的就是模糊逻辑技术<sup>[3]</sup>。MYNOS 采用了 Auto-Nowcaster 的技术思路,用模糊逻辑学方法融合若干参数建立诊断模型。

MYNOS 建立了各物理量的隶属函数分布(图略),详见文献[31-32]。它们是在统计经验的基础

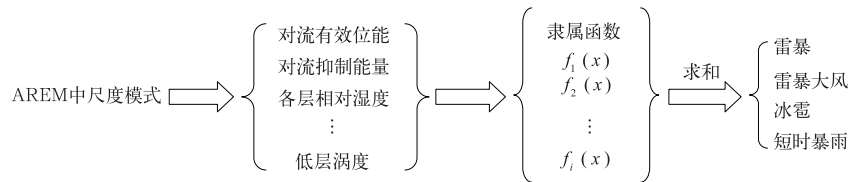


图4 强对流天气分类潜势诊断模糊逻辑算法流程示意图

Fig. 4 Fuzzy logic algorithm flowchart of strong convective weather classified potential diagnosis

上确定的。隶属函数动态范围取 $0\sim 1$ 或 $-1\sim 1$ ,正值越大表示强天气发生的可能性越大, $0$ 表示强天气发生的可能性为零,负数表示有抑制对流的作用。图4是模糊逻辑算法简单流程示意图,做法是,通过隶属函数将对应的物理量转换到 $[0, 1]$ 或 $[-1, 1]$ 空间,得到单个参量对应的天气事件可能性大小;采用加权平均法,得到组合量对应天气事件的可能性大小,其中权重系数取试验过程的统计平均(表1);给定阈值,确定天气的范围等。

## 6 MYNOS 业务应用

MYNOS 于 2006 年 5 月在武汉中心气象台开始进行业务试验,2007 年汛期正式投入业务应用,先后推广到湖北、江西等省 30 余个地市级气象台以及相关工程安装运行。MYNOS 在业务应用中体现两大特点:一是产品丰富,MYNOS 具有实况监测、定量降水估算、定量降水临近预报、强天气分类识别跟踪、潜势预报等产品,最大限度实现了产品的时间无缝隙,为预报员开展临近预警提供参考。二是系统稳定,MYNOS 经过 6 年的业务运行,体现了良好的稳定性。由于采用类似 MICAPS 框架设计,集成基础地理信息,用户可叠加显示多种产品,且动画显示速度快。因而,MYNOS 对长江中游地区短时临近预报业务起到了技术支持作用。

本文给出定量降水估算与强对流天气识别临近预报的检验结果,而多尺度合成降水临近预报与基于数值模式的潜势预报产品的应用效果参见文献[30-32]。定量降水估算经过了多次检验评估,这里给出对武汉雷达 8 次和广州雷达 4 次降水过程的评估结果,在雷达探测 120 km 半径区域降水绝对差估率(定义见式(5))平均分别为 22%和 21%。选取

鄂东地区 6 次短时暴雨过程(时间略),共含有 234 个强降水风暴(1 h 降水量 $\geq 20$  mm),经检验正确识别(1 h 临近预报)170 个、虚警 75 个、漏报 64 个,表明大部分强降水风暴能被正确识别。

MYNOS 多次成功对冰雹、大风风暴进行识别跟踪。2007 年 4 月 15 日 15:00 河南信阳西部先后两个对流风暴初生,排列成西北—东南向并向东南移动,强度迅速增强,进入大悟时回波强度达 60 dBZ,产生冰雹最大直径约 4 cm,后进入红安产生直径约 5 cm 的冰雹。MYNOS 较完整地监测到冰雹风暴移动路径,且识别冰雹区域与实况一致。2007 年 7 月 27 日傍晚,湖北东部经历了一次大风天气过程,其中 18:56 黄石瞬间最大风速为 21.7 m/s,20:12 黄陂瞬间最大风速为 20.5 m/s,MYNOS 正确识别跟踪了多数大风风暴的移动路径。

## 7 小 结

研究表明:

1) MYNOS 是一个长江中游强天气特点的区域级(或省级)灾害天气监测预报预警业务支撑平台,其重要成果已经进入灾害天气短时临近预报预

警系统 SWAN。

2) MYNOS 体现了一系列基于多普勒天气雷达的研究成果:雷达质量控制与降水分类技术,Z 垂直廓线生成及订正技术,雷达三维拼图技术,雷达-雨量计实时积分结合的降水估算技术,强对流天气分类识别跟踪技术,多尺度合成的降水量临近预报技术等。

近几年将重点探索基于多普勒天气雷达径向速度资料的天气学信息自动提取与客观应用技术,研究建立融合天气学特征和图像识别的强对流天气分类识别和临近预报技术。

### 参考文献

- [1] Keenan T, Joe P, Wilson J, et al. The Sydney 2000 World Weather Research Programme Forecast Demonstration Project: Overview and current status. *Bull Amer Meteor Soc*, 2003, 84: 1041-1054.
- [2] Wang J J, Keenan T, Joe P, et al. Overview of Beijing 2008 Olympics Forecast Demonstration Project: Nowcasting Demonstration. World Meteorological Organization Symposium on Nowcasting and Very Short Term Forecasting, 2009.
- [3] 陈明轩, 高峰, 孔荣, 等. 自动临近预报系统及其在北京奥运期间的应用. *应用气象学报*, 2010, 21(4): 395-404.
- [4] Mueller C, Saxen T, Roberts R, et al. NCAR Auto-nowcast System. *Wea Forecasting*, 2003, 18: 545-561.
- [5] Lakshmanan V, Smith T, Stumpf G, et al. The warning decision support system-integrated information. *Wea Forecasting*, 2007, 22(3): 596-612.
- [6] Pierce C E, Collier C G, Hardaker P J, et al. GANDOLF: A system for generating automated nowcasts of convective precipitation. *Meteor Appl*, 2000, 7: 341-360.
- [7] Wilson J W, Crook N A, Mueller C K, et al. Nowcasting thunderstorms: A status report. *Bull Amer Meteor Soc*, 1998, 79: 2079-2099.
- [8] 俞小鼎, 周小刚, 王秀明. 雷暴与强对流临近天气预报技术发展. *气象学报*, 2012, 70(3): 311-337.
- [9] 郑永光, 张小玲, 周庆亮, 等. 强对流天气短时临近预报业务技术进展与挑战. *气象*, 2010, 36(7): 33-42.
- [10] Wolfson M M, Dupree W J, Rasmussen R M, et al. Consolidated Storm Prediction for Aviation (CoSPA). 13th Conference on Aviation, Range and Aerospace Meteorology, 2008.
- [11] Bowler N E, Pierce C, Seed A W. STEPS: A probabilistic precipitation forecasting scheme which merges an extrapolation nowcast with downscaled NWP. *Q J R Meteor Soc*, 2006, 132: 2127-2155.
- [12] 万玉发, 陈少林, 罗建国. 数字化天气雷达联网拼图与卫星云图综合实时处理系统. *气象*, 1994, 20(8): 27-31.
- [13] 万玉发, 张家国, 杨洪平, 等. 联合雷达网和卫星定量监测与预报长江流域大范围降水. *应用气象学报*, 1998, 9(1): 94-103.
- [14] 王志斌, 万玉发, 陈波, 等. 新一代短时天气预警系统设计及实现. *计算机应用研究*, 2007, 24(12): 296-299.
- [15] 万玉发, 吴翠红, 金鸿祥. 基于准同雨团样本概念雷达和雨量计的实时同步结合方法. *气象学报*, 2008, 66(2): 262-273.
- [16] Smith P L, Joss J. Use of a Fixed Exponent in "Adjustable" Z-R Relationships. Preprints, 28th Conference on Radar Meteorology, 1997: 254-255.
- [17] 万玉发, 王珏, 金鸿祥. 雷达与雨量计同步结合区域型估算降水方程的误差分析. *气象学报*, 2013, 71(2): 332-343.
- [18] 王佑兵, 万玉发. 雷达体扫反射率场的自动质量控制. *气象科技*, 2006, 34(5): 615-619.
- [19] 吴涛, 吴翠红, 万玉发, 等. 用雷达反射率作对流性降水和层状云降水自动分类. *气象科技*, 2006, 34(5): 610-614.
- [20] 吴翠红, 万玉发, 吴涛, 等. 雷达回波垂直廓线及其生成方法. *应用气象学报*, 2006, 17(2): 232-239.
- [21] 肖艳姣, 刘黎平, 杨洪平. 基于天气雷达网三维拼图的混合反射率因子生成技术. *气象学报*, 2008, 66(3): 470-473.
- [22] Gabella M, Amitai E. Radar rainfall estimates in an Alpine environment using different gage-adjustment techniques. *Phys Chem Earth: Series B*, 2000, 25(10-12): 927-931.
- [23] Hand W H. An object-oriented technique for nowcasting heavy showers and thunderstorms. *Meteor Appl*, 1996, 3: 31-41.
- [24] Johnson J T, MacKeen P L, Witt A, et al. The storm cell identification and tracking algorithm: An enhanced WSR-88D algorithm. *Wea Forecasting*, 1998, 13: 263-276.
- [25] Dixon M, Wiener G. TITAN: Thunderstorm Identification, Tracking, Analysis and Nowcasting-A radar-based methodology. *J Atmos Oceanic Technol*, 1993, 10: 785-797.
- [26] Witt A, Eilts M D, Stumpf G J, et al. An enhanced hail detection algorithm for the WSR-88D. *Wea Forecasting*, 1998, 13: 286-303.
- [27] 郑佳锋, 张杰, 朱克云, 等. 阵风锋自动识别与预警. *应用气象学报*, 2013, 24(1): 117-125.
- [28] 张家国, 万玉发, 王珏. 风暴生命史雷达特征量反演. *应用气象学报*, 2008, 19(1): 101-105.
- [29] Lakshmanan V, Rabin R, DeBrunner V. Multiscale storm identification and forecast. *J Atmos Research*, 2003, 66: 367-380.
- [30] 王珏, 张家国, 万玉发. 多尺度合成的降水临近预报技术. *气象科技*, 2008, 36(5): 524-528.
- [31] 张家国, 王珏, 王叶红. 用中尺度数值模式诊断强风暴潜势研究. *气象科技*, 2008, 36(2): 129-133.
- [32] 王珏, 寿绍文, 张家国, 等. 利用中尺度模式建立暴雨落区潜势预报. *暴雨灾害*, 2010, 29(4): 350-355.
- [33] Doswell III C A, Brooks H E, Maddox H E. Flash flood forecasting: An ingredients-based methodology. *Wea Forecasting*, 1996, 11: 561-581.



## Nowcasting & Warning Operational System in the Middle Reaches of the Yangtze with Its Implementation

Wan Yufa<sup>1)</sup> Wang Zhibin<sup>1)</sup> Zhang Jiaguo<sup>2)</sup> Wu Cuihong<sup>2)</sup> Wu Tao<sup>2)</sup> Wang Jue<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> (Wuhan Institute of Heavy Rain, CMA, Wuhan 430074)

<sup>2)</sup> (Wuhan Central Meteorological Observatory, Wuhan 430074)

### Abstract

In order to meet the need for modern operational forecasting of severe storm events in the middle reaches of the Yangtze, MYNOS (Nowcasting & warning Operational System in the Middle reaches of the Yangtze), an advanced and useful nowcasting system, is originally established in 2007 based on the experiences of the advanced nowcasting systems Auto-Nowcaster and WDSS-II of USA and GANDOLF of UK. MYNOS combines the resources of new generation radar network in China with the data from numerical weather prediction. Several advanced techniques and methods are developed and adopted as follows: Quality control of radar reflectivity field and the precipitation echo classification are achieved by identifying the structures of the vertical gradient and horizontal textures of radar reflectivity echoes. Real time formation technique of vertical reflectivity profile (VPR) is developed and used for vertical calibration of precipitation reflectivity factor. Important concepts of “quasi same-rain-volume sample” and “hourly equivalent reflectivity factor” are proposed, and the synchronously integrated method of radar and rain gauge (RASIM) is established. The cell gravity potential energy, as an important physical component of radar for describing the life span of storms, is proposed. The technique for automatic identification and tracking of severe weather is developed by means of radar derived parameters and the meso-scale output of physical parameters. The multi-scale characteristics of storm echoes through their life courses are analyzed and the echo filtering technique is studied, and the multi-scale precipitation nowcasting confined to the life time of each scale echo is realized. Potential forecasting products for severe convection meteorological phenomena (torrential rain, hail, thunderstorm, etc.) are developed based on numerical models and fuzzy logics. The problem of image registration and animation in ordinary GIS (Geographic Information System) is solved by introducing custom layer, and the nowcasting workstation equipped with the function of GIS along with numerical prediction, radar, satellite, lightning data and various quantitative monitoring, forecasting and warning products is developed from the bottom.

MYNOS is put into operational experiments in May 2006 and has been in conventional operation since the flood season of 2007. The real-time generated output of MYNOS, such as valley quantitative precipitation estimation and nowcasting, strong convective weather classified potential diagnosis and identification warning products, provide an important foundation and reference for routine nowcasting operation.

**Key words:** MYNOS; strong convection; quantitative detection; automatic identification