

沈阳市乡级人工增雨作业指标预报 研究及系统的开发与应用

梁红¹ 张涛¹ 李琳¹ 崔劲松¹ 方娟² 张绍勇³

(1. 沈阳市气象局, 辽宁 沈阳 110168; 2. 辽宁省气象台, 辽宁 沈阳 110016; 3. 辽宁省防雷技术服务中心, 辽宁 沈阳 110016)

摘要:根据人工增雨作业对预报精细化的需求,结合辽宁部分城市天气预报和多普勒雷达回波实时资料,研究确定了沈阳市乡级人工增雨作业指标及其计算方法,并建立了相应的业务运行及发布系统,分别以文本和图形的形式定时或不定时地发布人工增雨作业指标预报信息,可为人工增雨作业提供较为准确、更精细的指导预报,提高了人工增雨作业效率。

关键词:人工增雨作业;指标预报;系统开发;乡级

中图分类号:P481 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-503X(2009)05-0044-04

1 引言

我国是一个气象灾害多发的国家,工农业生产一直受到干旱、洪涝等气象灾害的威胁。随着国家经济发展和科学技术水平的提高,人工影响天气作为防灾减灾的重要组成部分,在防御和减轻干旱以及水资源开发中发挥越来越大的作用。近年来我国人工影响天气业务发展很快,许多学者专家对人工增雨作业的天气条件、作业方式、作业效果评估等方面都作了深入细致的研究。根据不同的干旱情况、天气条件和精细化预报的要求,人工增雨作业指标的确定成为学者研究的目标。白卡娃^[1]通过分析飞机人工增雨作业过程作业前后的天气雷达回波资料、天气背影和地面降水资料,提出了一套飞机对冷云部位进行人工增雨作业的具体指标和作业方式。龚佃利等^[2]用模式预报方法对山东省飞机增雨降水区进行了分级,以此方法为基础建立的决策系统为增雨作业指挥提供了实用性技术工具。肖卉等^[3]利用数字化天气雷达资料以及探空、天气形势等资料,通过分析、统计和研究多项作业指标,总结出适宜的人工增雨作业技术方法。近年来,很多省份开始研制、开发、应用人工影响天气业务技术系统^[4-7],游积平^[8]设计的广东省人工增雨飞机作业系统,具有天气预警、云况探测、数值模拟、作业指挥、效果评估以及监控全省火箭增雨情况等多种功能;这些业务系统对各地的人工增雨作业工作起到了重要的指导作用。为了提高作业效益,实现人工增雨作业的量化,提高捕捉人工增雨作业时机的能力,本文从预报角度出发,充分利用短期预报结果,结合雷达回波实

时资料,研究确定了人工增雨作业指标的分级与预报,并在此基础上开发了人工增雨作业指标预报系统。

2 资料与方法

2.1 资料

数据计算应用每日基准站未来24 h天气预报信息,包括天气现象、风向、风速、最低气温和最高气温,基准站的选取为沈阳市所辖的东陵、辽中、新民、法库、康平站以及沈阳周边的阜新、铁岭、抚顺、本溪、鞍山和辽阳共11个站;多普勒雷达终端接收的实时体扫资料。

2.2 方法

气象要素的空间分布具有连续性的特征,而获取的数据是离散的、不连续的,预报也是离散的、不连续的,同样,要想得到空间中其他离散点的预报,一般采用空间插值的方法。空间插值的理论假设是空间位置上越靠近的点,越可能具有相似的特征值;而距离越远的点,其特征值相似的可能性越小。插值方法^[9]有距离倒数加权插值(the inverse distance weighted)、样条函数插值(spline method)、克里金插值(kriging method)。本文采用距离倒数加权插值。距离倒数加权插值法是假定已知点值对未知点值的影响与距离有关,越靠近未知点对其影响越大。其影响程度用一个权重系数来量化,权重系数的大小为已知点到未知点的距离的倒数的平方。对众多已知点值进行加权平均即可得到未知点的值,其优点是可以通过权重调整空间插值的结构;缺点是不合理的加权会导致较大的偏差。距离倒数加权插值法的图形表达见图1。

距离倒数加权插值法的计算公式:

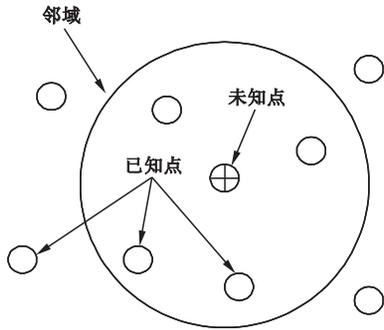


图1 距离倒数加权插值法示意

$$C_0 = \frac{\sum_{i=1}^n W_i \cdot C_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (1)$$

式(1)中, C_0 为未知点雨量值; C_i 为已知点雨量值; W_i 为权重系数, 其数值为未知点与已知点距离倒数的平方。

3 人工增雨作业指标的分级

人工增雨作业是否实施与预报员的天气预报结果是密不可分的。天气预报是预报员在综合了各种资料, 分析了天气形势的演变后作出的准确结论, 其中包含有许多重要的信息, 如降水的大小、落区、开始结束时间和云的分布等。这些信息是人工增雨作业实施与否和如何实施、确定实施地点的重要依据。天气雷达的应用在人工增雨作业中更是起着至关重要的作用。陈冰等^[10]将新一代天气雷达产品和常规天气分析结合起来对人工增雨作业条件和效果进行综合分析结果表明, 将新一代天气雷达的众多产品结合常规天气分析, 可提高人工增雨作业和效果评价的科学性、准确性, 人工增雨作业可取得明显效果。因此, 在充分利用预报结果的基础上, 可有效地结合雷达回波进行实时订正。人工增雨作业指标分为4级:

(1) 可作业区(3级)。当地的天气形势有利于人工增雨作业条件, 预报0—12 h有降水, 本地有较强的雷达回波出现, 平均雷达回波强度大于15 dBz。

(2) 准备作业区(2级)。有利的天气形势即将向本地移动, 预报0—12 h有降水, 上游地区有较强的雷达回波出现, 平均雷达回波强度大于15 dBz, 但本地还没有较强的雷达回波出现, 平均雷达回波强度小于15 dBz。

(3) 关注作业区(1级)。有利的天气形势有可能向本地移动, 预报12—24 h有降水, 但上游地区或本地没有雷达回波出现。

(4) 不合作业区(0级)。无有利的天气形势,

预报0—24 h无降水。

4 雷达回波强度指标

天气雷达因能够灵活准确地监测较大范围(可达 $1.0 \times 10^5 \text{ km}^2$ 或以上)内的天气情况而成为气象、民航等部门密切关注天气状况的强有力探测工具。数字化天气雷达产品在人工增雨作业中发挥着越来越大的作用^[11-12]。通过数字化天气雷达终端获得的回波资料, 可以识别回波类型、计算垂直累积含水量、确定人工增雨防雹作业指标, 利用催化前后雷达回波或回波参数的演变情况、雷达所测量的降水强度, 来判断人工增雨的成败。数字化天气雷达产品已经成为人工增雨时指挥作业和检验效果最有效的手段之一。

4.1 定义

雷达回波强度指标定义为规定取值范围内的平均雷达回波强度的级别。若取值范围内雷达回波强度平均值小于15 dBz, 则雷达回波强度指标 $k=0$, 否则 $k=1$ 。本文雷达回波取值范围: (1) 120.5°E — 121.5°E , 40.5°N — 41.5°N ; (2) 120.5°E — 121.5°E , 42.5°N — 43.5°N ; (3) 122.5°E — 123.5°E , 41.5°N — 43.0°N 。

4.2 计算

采用 Visual C++ 对多普勒雷达终端接受的实时体扫资料进行了产品的二次开发, 并将计算结果运用到人工增雨作业指标的预报中, 对人工增雨作业指标进行实时订正。多普勒雷达获取的资料是以极坐标形式保存的, 而日常使用的是地理经纬坐标, 所以需将读取出的雷达回波强度资料从极坐标转换到地理经纬坐标^[13]。设雷达站的经纬度, 则雷达扫描范围任一点 $P(R, \theta)$ 对应的经纬度 (λ, φ) 的计算方法:

$$\begin{aligned} \sin S &= \frac{R}{6380} \times \left(1 - \frac{135 \times R}{6380^2}\right) \\ \cos S &= \sqrt{1 - (\sin S)^2} \\ \sin \varphi &= \sin \varphi_s \times \cos S + \cos \varphi_s \times \sin S \times \cos \theta \\ \varphi &= \sin^{-1}(\sin \varphi_s \times \cos S + \cos \varphi_s \times \sin S \times \cos \theta) \\ \lambda &= \lambda_s + \sin^{-1}(\sin S \times \sin \theta \div \cos \varphi) \end{aligned} \quad (2)$$

式(2)中, S 为中间量, 转换后, 可以计算出雷达回波强度指标。

5 乡级人工增雨作业指标的计算

沈阳市5个县区120个乡的分布为辽宁中部至北部, 其地理特点、环境特征和天气变化各有不同, 全年气温、降水分布由南向东北和由东南向西北方向递减, 南湿北干, 雨量集中。为了更加准确地描述

各乡的天气变化和气候特点,更好地服务于政府和大众,使预报更加准确化和精细化,为民众提供更加准确、精细的天气预报服务,经过分析和对比,利用沈阳市及周边地区部分城市的最新天气预报结果,采用距离倒数加权插值法,计算出了沈阳市120个乡的天气预报,与雷达回波强度指标相叠加,得到各乡镇的人工增雨作业指标预报信息,并分别以文本和图形的形式定时和不定时的对外发布。

5.1 基准站选择

为了使预报结果更合理、更准确,根据沈阳各乡的地理分布特点和环境特征,经过分析和比较,不仅选用了沈阳市本身的5个预报站点作为基准站,还在沈阳周边地区选取了6个市站作为基准站,最后确定东陵、辽中、新民、法库和康平以及阜新、铁岭、抚顺、本溪、鞍山和辽阳11个站作为基准站。基准站的天气预报结果可作为其他乡镇预报插值的基本数据。

5.2 报文提取

天气预报的制作与发布分早、中、晚三次。制作乡级预报时根据实际情况,选取每日早06时和晚17时进行制作,提取沈阳市和外市地基准站早05时和晚16时的电视报文。

5.3 天气要素选取

分别从所收集的电视报文中提取出基准站0—12 h时段和12—24 h时段所对应的天气现象、风向、风速、最低温度和最高温度等预报信息,依据预报信息作为基本信息,并作为乡镇天气预报的插值。

5.4 乡镇人工增雨作业指标的制作

读取基准站和各乡镇的经纬度,将经纬度距离转换为实际距离,采用距离倒数加权插值法,将基准站的各种预报信息分别插值到各乡镇,取整后得到各乡镇的天气现象、风向、风速、最低温度和最高温度等预报信息,与雷达回波强度指标相叠加,得到各乡镇的人工增雨作业指标预报信息,分别以文本和图形的形式定时和不定时的对外发布。

6 系统概况与功能

6.1 系统概况

本模块应用 Visual Basic 6.0 语言及 Visual C++ 在 Windows 平台上开发而成,系统界面见图2。

6.2 系统功能

6.2.1 天气实况

监视高空槽、切变线的位置及未来的变化情况,查看地面降水区的范围、降水量的大小、降水性质、分布及未来的移向移速,判断人工增雨作业区域降水的开始和结束时间。

6.2.2 雷达回波

可以实时查看回波的分布位置、回波强度、云顶



图2 沈阳市乡级人工增雨作业指标预报系统界面

高度和垂直累积液态水含量等,结合移动雷达指挥人工增雨作业,根据上游回波未来的移向移速,判断移近沈阳的时间,做好人工增雨作业的准备工作的。

6.2.3 卫星云图

可以实时查看与降水强度有关的云的分布位置、云的种类、TBB 及其梯度、云顶面积变化、不同对流单体合并、云的移速及环境场中湿度等因子。

6.2.4 天气预报

调阅沈阳中心气象台发布的辽宁省各市天气预报和沈阳市气象台发布的最新乡级天气预报。

6.2.5 上级指导预报

进入上级指导预报产品调阅界面,可以分别调出中国气象局的天气公报和沈阳中心气象台的数值天气预报产品的解释、天气形势分析评价及辽宁省人工影响天气办公室发布的人工增雨指导预报等。

6.2.6 数值天气预报

进入数值天气预报产品调阅界面,可以分别调出辽宁省气象局的中尺度数值预报产品和中国气象局的 T213 产品及欧洲中心的数值预报产品、日本的传真图、韩国预报、天气在线等多种数值天气预报产品。

6.2.7 自动站信息

进入自动站信息调阅界面,可以分别调出沈阳中心气象台的自动站监测页面和沈阳市气象台自动站监测页面,随时查询沈阳市100个自动站的信息,如1 h雨量、10 min雨量、风向、风速和气温等,可以得到最新、最精细的天气变化情况。

6.2.8 作业指标预报

计算各乡镇人工增雨作业指标,并分别以文本和图形的形式定时、不定时的对外发布人工增雨作业指标预报指导信息。

7 应用实例

图3给出了2007年11月8日沈阳市各乡镇人工增雨作业指标的预报信息。根据当日预报,沈阳市气象局适时对新民、辽中、沈北新区和苏家屯地区进行了人工增雨作业,作业后各地普降小雨,增雨效

果较好,见表1。沈阳市人工增雨作业指标预报系统



图3 2007年11月8日沈阳市各乡镇人工增雨作业指标区
表1 2007年11月8日沈阳地区降雨量及火箭作业统计

项目	新民	辽中	沈北	康平	法库	苏家屯
降雨量/mm	2.7	8.0	4.7	0.0	-	4.2
火箭数量/枚	3	6	4	-	-	4

是沈阳市人工影响天气业务技术系统研究与应用系统的重要组成部分,在沈阳市各县区气象局进行了推广应用,受到了各部门的好评,为实施人工增雨作业提供了重要依据。

8 结语

沈阳市人工增雨作业指标预报系统根据人工增雨作业的需要,将上级指导预报、各市气象台的天气预报与实时的雷达体扫资料进行有效的结合,计算并发布沈阳市各乡镇人工增雨作业指标,为沈阳市

人工增雨作业提供更准确、更精细的指导预报;系统可以随时调阅天气实况、卫星云图、雷达回波、自动站信息等实时资料,为人工增雨作业提供最新、最精细的天气实况和演变信息。

参考文献

- [1] 白卡娃. 江苏盛夏飞机人工增雨作业的雷达气象学分析[J]. 气象科学, 1999, 19(4): 396 - 402.
- [2] 龚佃利, 王以琳, 谢考宪. 山东省飞机增雨降水区分级预报方法研究[J]. 应用气象学报, 2001, 12(增刊): 139 - 145.
- [3] 肖卉, 白卡娃, 王可法, 等. 江苏省火箭人工增雨作业指标研究[J]. 气象科学, 2008, 28(4): 440 - 443.
- [4] 周毓荃, 张存. 河南省新一代人工影响天气业务技术系统的设计、开发和应用[J]. 应用气象学报, 2001, 12(增刊): 173 - 184.
- [5] 金凤岭, 张晰莹, 张云峰, 等. 新一代飞机人工增雨作业指挥系统研制与应用[J]. 气象科技, 2006, 34(4): 470 - 473.
- [6] 王以琳, 边道相, 刘文, 等. 山东飞机人工增雨作业决策系统[J]. 应用气象学报, 2001, 12(增刊): 185 - 193.
- [7] 鄢志宇, 杨桂娟, 鲁建东, 等. 市级灾害性天气应急服务系统[J]. 气象与环境学报, 2009, 25(1): 54 - 57.
- [8] 游积平, 冯永基. 广东省人工增雨作业指挥系统的设计[J]. 广东气象, 2006(1): 57 - 59.
- [9] 靳国栋, 刘衍聪, 牛文杰. 距离加权反比插值法和克里金差值法的比较[J]. 长春工业大学学报, 2003, 24(3): 53 - 54.
- [10] 陈冰, 张深寿, 冯晋勤. 新一代天气雷达产品在人工增雨作业中的应用[J]. 气象, 2003, 29(1): 23 - 28.
- [11] 迟竹萍, 陈金敏, 朱平盛. 利用数字化雷达回波参数分析人工增雨播云条件[J]. 气象, 2000, 26(4): 47 - 49.
- [12] 迟竹萍, 张苏平, 冯桂力, 等. 数字化天气雷达回波资料在人工影响天气工作中的处理应用[J]. 成都信息工程学院学报, 2001, 16(2): 119 - 122.
- [13] 胡胜, 伍志方, 刘运策, 等. 新一代多普勒天气雷达广东省区域拼图初探[J]. 气象科学, 2006, 26(1): 74 - 80.

Forecast of township level artificial precipitation enhancement indices and its system development in Shenyang

LIANG Hong¹ ZHANG Tao¹ LI Lin¹ CUI Jin-song¹ FANG Juan² ZHANG Shao-yong³

(1. Shenyang Meteorological Bureau, Shenyang 110168, China; 2. Liaoning Meteorological Observatory, Shenyang 110016, China; 3. Service Center of Lightning Protection in Liaoning Province, Shenyang 110016, China)

Abstract: According to the needs of artificial precipitation enhancement to the finer weather forecast, urban weather forecast and Doppler radar echo data, township level artificial precipitation enhancement indices and their calculation methods were determined in Shenyang. The corresponding operation system and issuance system were set up, and artificial precipitation enhancement index forecast information was issued timely or untimely with text or graph. It can provide the accurate and fine forecast for artificial precipitation enhancement and improve the efficiency of artificial precipitation enhancement.

Key words: Artificial precipitation enhancement; Forecast of index; System development; Township level