

# 高炮防雹作业决策指挥系统的研制

金凤岭<sup>1</sup> 张云峰<sup>1</sup> 翟国辉<sup>2</sup> 安英玉<sup>3</sup>

(1. 黑龙江省人工影响天气办公室, 哈尔滨 150030;  
2. 黑龙江省气象局; 3. 黑龙江省气象台)

**提 要:** 从黑龙江省人工影响天气工作的实际出发, 利用现有的新一代天气雷达、卫星遥感等探测手段, 依托先进的通讯设备和网络技术, 对黑龙江省冰雹的发生、发展、演变、冰雹路径以及雷达回波特征等进行研究, 研制了人工防雹作业指挥系统, 实现冰雹天气预警、空域电话录音、指挥高炮科学作业、作业数据存储和作业情况宏观调控等多项功能, 提高了高炮防雹作业的科学性。

**关键词:** 天气预警 防雹作业 决策指挥 数据库

## Research and Development of Cannon Hail-suppression Operation Decision Command System

Jin Fengling<sup>1</sup> Zhang Yunfeng<sup>1</sup> Zhai Guohui<sup>2</sup> An Yingyu<sup>3</sup>

(1. Weather Modification Office of Heilongjiang Province, Harbin 150030; 2. Meteorological Bureau of Heilongjiang Province;  
3. Meteorological Observatory of Heilongjiang Province)

**Abstract:** Based on artificial affecting weather works practice, the occurrence, development, evolution and the route of hail in Heilongjiang Province and the radar echo features are studied by using the current measurement techniques, such as new generation weather radar, satellite remote sensing, and the advanced communication and network technique. An artificial hail-suppression operation command system was developed, which has a series of functions, such as the warning of hail weather, air telephone recording, commanding cannon operation scientifically, storage of operation data and micro-control of operation. This system makes the cannon hail-suppression operation be scientific and effective.

**Key Words:** weather warning hail suppression operation decision command data base

黑龙江省科技厅社会专项资金项目资助

收稿日期: 2006 年 10 月 30 日; 修定稿日期: 2007 年 2 月 12 日

## 引 言

冰雹是我国重要灾害性天气之一。冰雹出现的范围较小,时间短,但来势猛,强度大,常伴有狂风骤雨,因此往往给局部地区的农牧业、工矿企业、电讯、交通运输以至人民的生命财产造成较大损失。近年来,国内部分省份进行了相关内容的研究。山西省人影办孙国德等<sup>[1]</sup>通过对 711 数字化雷达资料进行统计研究,得到雷达识别雹云的各项参数指标。广西张瑞波等<sup>[2]</sup>利用数字化天气雷达的平显回波(CAPPI),结合作业炮点的地理信息,依托气象预警系统计算机网络,建立了集作业指挥、作业信息处理及其数据库管理为一体的人影实时作业指挥平台。德力格尔<sup>[3]</sup>应用气象常规资料和卫星云图、雷达等观测技术建立人工增雨、防雹作业微机决策系统。金建德<sup>[4]</sup>以人影工作流程为总的设计思路,实现了作业时间的申请、回复及州、县之间乡镇雨情的自动传输。刘跃峰<sup>[5]</sup>利用雷达观测等手段,做好对冰雹云的提前识别、预报,实现对冰雹云的实时检测,并可以直接对各个作业点下达作业方位、仰角、用弹量等量化指挥指令。

黑龙江省是冰雹灾害多发省份,多年来,高炮人工防雹作为一种有效的防灾减灾手段,已成为一项常规业务服务于社会。特别是近年来,随着社会经济的发展,人工防雹工作越来越得到地方各级政府的高度重视。但

是,黑龙江省的防雹作业方式和管理措施仍处于比较落后的状态,没有突破性进展,投入效益比较低。随着计算机和网络技术的发展,以及新一代天气雷达等先进探测手段的业务化,使研制一套行之有效的防雹作业业务技术系统成为可能。

此项研究在借鉴上述成果的基础上,主要以新一代天气雷达作为人工防雹作业指挥的手段,利用极坐标和直角坐标的变换实现人工防雹作业与雷达实时监测的降水回波有机结合,计算出高炮的射角和方位角<sup>[6]</sup>;实现电话录音,语音调用等功能;通过大屏幕实时显示,动态监控全省高炮作业等。可为省政府人工降雨办公室、省人工影响天气中心、空军飞行学院、各市县气象局和农垦、森工部门提供作业的实用系统,对解决现实工作存在的盲目性问题有着重要的意义和广泛的应用前景。

## 1 系统主要内容及功能

### 1.1 系统结构

该系统由 5 个子系统组成,结构见图 1。

### 1.2 冰雹天气预报

可以直接调用 MICAPS 系统,对常规天气资料、 $T-\ln p$  图、卫星云图和物理量场等信息进行分析;调用三维冰雹云模式<sup>[7]</sup>,实现资料采集、资料处理和结果显示等功能;调用新

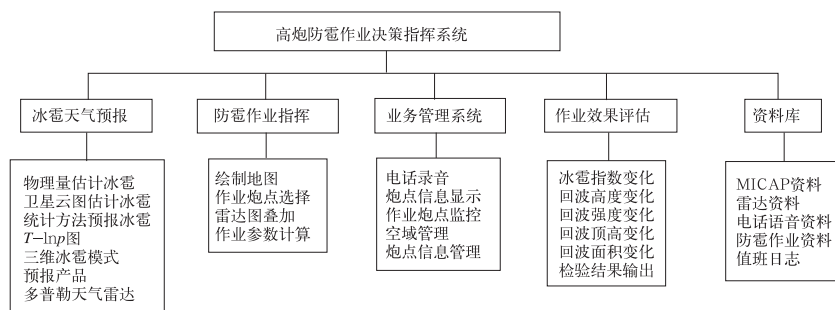


图 1 系统框图

一代天气雷达系统,制作冰雹预报;制作物理量估计图像产品,对冰雹可能发生的区域进行填色,根据冰雹发生的强弱程度进行不同颜色填充,同时具备多日图形产品动画的功能;调用静止卫星红外云图,以图像产品的形式定量地实现降雹估计;根据当日高空地面形势场,利用统计预报方法做冰雹预报;调用冰雹数值预报模式,制作冰雹预报。

### 1.2.1 冰雹物理量预报方法模型的建立及实现

通过对大量冰雹天气历史资料进行分析,找出发生冰雹天气时的  $K$  指数、沙氏指数、比湿和相对湿度指标,并根据冰雹天气发生的强弱程度对其进行分级量化,建立冰雹物理量预报模型。利用 VB 控制 grads 绘图软件包,将当天的物理量场图形化,同时根据预报模型,对可能发生冰雹天气的区域进行填色。最后预报产品以拼图的形式在系统中显示出来,可以实现多日图像产品的连续动画。绘图部分可以每日定时完成,亦可通过系统菜单实现。此外,在图形设置菜单上预留了指标调整接口和绘图设置接口,方便日后对预报方法进行改进。

### 1.2.2 静止卫星估计冰雹方法

GMS 资料的收集和选取。收集黑龙江省 81 个地面观测站 1999—2001 年期间 5—9 月的所有日降水量值超过 15mm 以上的资料,选取每 3 小时降水量值做为基本的资料信息,同时收集与之对应的 GMS 卫星云图资料,建立了 3 小时降水量值与卫星云图资料的逐一对应关系。

卫星数据估计降水量方法设计。云顶温度是能够反映云团降水强弱最重要的云顶特征量,所以根据卫星云图资料中的云顶温度,运用 Arkin 为代表的云指数法,设计适合黑龙江省的定量降水估计方法。

逐步回归程序的调试。建立逐步回归方程,为资料统计提供科学方法。从红外云图

中可提取红外亮温的灰度值、最大灰度值和灰度的梯度值。由红外亮温灰度值和单点降水量值计算得出降水效率值。根据以上因子,使用逐步回归方法,统计出降水量值与以上各因变量的关系如下:

$$R = 0.001161b(0) + 0.012308b(1) + 11.632674b(2) - 1.612061$$

其中, $R$  为降水量, $b(0)$  为卫星云图资料中的灰度最大值, $b(1)$  为卫星云图资料中的某一灰度值, $b(2)$  为降水效率值。

### 1.3 作业指挥

绘制黑龙江全省电子地图,并将雷达资料叠加到电子地图上,实现雷达图和电子地图的叠加。通过调节雷达图的透明度来调节两种图形的显示,使之更清晰、直观;对作业云系的雷达坐标进行变换,将作业点的极坐标转换为经度和纬度坐标;根据雷达站、炮点、作业云系三点的经度、纬度坐标,进行相应的空间三角变换,计算出炮点和雷达站的距离、角度,作业云系和雷达站的距离、角度,作业云系与炮点的距离、角度等参数;建立雷达中心、作业云系、作业炮点空间位置关系,对作业云系周边地区的高炮进行筛选,并对以上高炮进行作业等级分类,找出最适合作业的高炮和此高炮进行人工防雹作业应采用的最佳射角和方位角;研制开发电话录音软件,将电话模拟信号(包括:来电号码、通话起始时间、通话内容等)自动存储在硬盘上,形成数据库,同时实现查询、修改、删除等功能。

### 1.4 业务管理

绘制黑龙江省电子地图,省界、区界、河流、铁路、作业站点可以选择,电子地图可进行随机填色;且可通过调整放大系数,实现地图放大和缩小,同时支持开窗放大功能;实现炮点所在地、区号、炮点名称等多项查询功能,只要任意查询出炮点的经度、纬度、联系

电话等,这些信息可自动显示;系统可自动读取当前计算机时间作为作业开始时间,输入作业时间长度后自动显示结束时间;可以输入值班信息(作业区、值班员、备注内容),并输出标准值班记录,以备打印;可以增加、修改和删除作业炮点信息;根据空域申请情况实时动态显示作业情况,并以不同的标记来区分作业炮点和非作业炮点;系统调用的图像均可保存成 BMP 格式的文件,以备调用,并支持打印功能;提供实时库浏览功能,可对高炮的作业情况进行查询;可以进行高炮作业情况历史资料查询(包括日期、申请时间、作业方式等);可以调用电话录音系统。电话录音通过声卡实现通话录音。其功能包括:打进打出电话自动录音;支持多声卡,一台电脑可对多路电话进行录音(包括内线电话);支持来电显示,拨出号码识别,超强语音压缩,可采用 MP3 等各种压缩格式录音;语音文件自动传输,可将录音自动上传至网站或发送到指定电子邮箱。设计的软件可提供记录数据的多种查询功能;实现右键初始化功能,即无论在何种系统设置情况下,电子地图恢复到默认的初始状态;输入炮点作业信息,包括区号、起始时间、作业时长或作业终止时间、值班员等;作业炮点自动显示在电子地图上,并以红色图标闪烁,直至作业结束,即可恢复到正常状态。

#### 1.4.1 建立作业指挥系统坐标系

建立经纬度坐标系。系统中的数据都是以经纬度为标准进行数据处理的,系统中经纬度坐标系均满足数据转换、视图转换的要求。系统将经纬度网格作为一种地理信息数据显示在系统中。用户可在自定义的指挥环境中显示经纬度信息。系统采用等经纬度的投影方式,将各种数据投影到地理信息系统中,以经纬度为各种气象信息数据、雷达图像、云图的标准投影。确保经纬度坐标系内各种数据位置信息标准的统一。

雷达极坐标系向经纬坐标系转换。新一代天气雷达是以雷达站为中心的极坐标,各种雷达数据也是以极坐标系为基础的,这个坐标系显示回波的距离和角度。而电子地图是经纬度坐标系,在地图上叠加雷达图时就需要统一坐标系。为此研究了两种坐标系的转换关系,将极坐标系统的位置转换成经纬度坐标系。

建立空间计算的信息处理库。空间计算的信息处理库包括经纬度、直角坐标系、极坐标系、雷达回波点阵、计算机屏幕坐标系转换关系的处理,保证各种单位的信息数据准确统一投影到坐标系统,便于对比分析和转换。

#### 1.4.2 绘制全省地理信息

系统绘制全省矢量电子地图作为系统的底图,选用通用格式,便于修改和升级,可同时或选择性显示县界、河流等地理信息数据。可实现放大、缩小和打印功能。各地区还可随机填充颜色,外观美观适用。炮点信息可实现增加、修改或删除功能,是本系统的信息平台。

### 1.5 知识库

实现冰雹相关天气资料的查询、调阅及资料的续加;直接调用新一代天气雷达对流的云回波特征学习课件,实现对雷达回波特征的学习;直接调阅显示冰雹天气的物理量指标,以图表形式显示。

#### 1.5.1 建立与冰雹相关天气的多种资料库

系统入库的所有资料都通过了预报员的筛选整理,针对不同的资料,实现不同的显示方式。如历史冰雹天气的个例日期和落区以表格方式显示;对于云图和多普勒回波图像,由于入库文件是图像产品,系统直接调用了 Api 函数,采用了默认打开的方式,这样更为灵活,可以满足不同人员的需要,且便于更改。

#### 1.5.2 新一代天气雷达对流的云回波特征学习课件

通过查询新一代天气雷达回波分析的相

关教材,根据本地雷达回波特点进行了适当的修改,重点总结回波的平显反射率强度、回波形状特征,高显的回波顶高、中心强度和位置,速度的逆风区特征,谱宽特征,建立了新一代天气雷达对流云回波特征学习课件。该课件内容可修改,这避免了一定时期后课件信息过时的弊端,使用者可以针对其中的部分内容进行修改,或添加新的教学内容。

### 1.5.3 冰雹天气的物理量指标

预报员通过查阅大量的历史资料,整理出发生冰雹天气沙氏指数、 $K$  指数、 $0^{\circ}\text{C}$  层高度、 $-10^{\circ}\text{C}$  层高度、 $-20^{\circ}\text{C}$  层高度、位温、饱和比湿、比湿、相对湿度、虚温、饱和水汽压和湿度等不同物理量的指标范围,以图表的方式在系统中显示。针对冰雹天气的强烈程度,对各物理量的取值范围进行界定,最终建立冰雹天气物理量产品预报模型。当  $K$  指数  $>36$  时,冰雹最强;  $30\sim 32$  时,冰雹较弱;  $33\sim 35$  时,冰雹程度中等<sup>[8]</sup>。

### 1.6 效果检验

通过对比作业前后作业云的雷达回波强度、强中心高度、回波高度、回波面积等雷达回波产品,定性判断防雹作业是否有效。

### 1.7 数据库

数据库用户可人工上传任意需要保存的资料。对网络上共享的资料可自动按时抓取;具备资料的检索和下载机制;具有安全的资料清理和备份机制。

数据库系统建立在 linux 操作系统之上。linux 相对于 windows 在系统可操作性和稳定性上都有相当大优势,解决了网络上共享问题。采用的 samba 服务实现资料入库工作,以系统管理员的角度架设资料库管理系统,完成资料库需要完成的任务,实现资料的存储与备份。

## 2 实 例

根据 2006 年 5 月 22 日早 8 时的高空地面图得知,黑龙江省受到高空槽和地面低压的影响,哈尔滨地区将有一次明显的降水过程,并伴有冰雹等强对流天气。中午,哈尔滨雷达站就观测到自西向东移动的对流云带,并有降水产生。下午回波迅速加强,14:39 时雷达回波强度达到  $52.9\text{dBz}$ ,大于  $45\text{dBz}$  的回波面积达到  $156.3\text{km}^2$ ,回波顶高接近  $10\text{km}$ (图 2a、图 3a,见彩页);15:02 时,回波强度迅速增加,达到  $55\text{dBz}$ ,大于  $45\text{dBz}$  的回波面积发展增加到  $243.8\text{km}^2$ ,回波顶高接近  $9.2\text{km}$ (图 2b、图 3b,见彩页);肇源的三站,肇州的兴城、永胜,肇东的跃进、五里明等炮点相继作业;15:20 时,雷达回波强度减弱到  $53\text{dBz}$ ,大于  $45\text{dBz}$  的回波面积迅速减少到  $102.5\text{km}^2$ ,回波顶高降低至  $8\text{km}$ (图 2c、图 3c,见彩页)。

此次作业时间持续一个多小时,作业结束后调用效果评估子系统,通过对雷达原始数据进行组合反射率的处理,对其分级强度的面积进行定量分析,得到图 4。对比分析 15:02 时和 15:20 时两个时次的雷达回波可以看出:大于  $35\text{dBz}$  的回波面积增加了  $42.7\text{km}^2$ ;

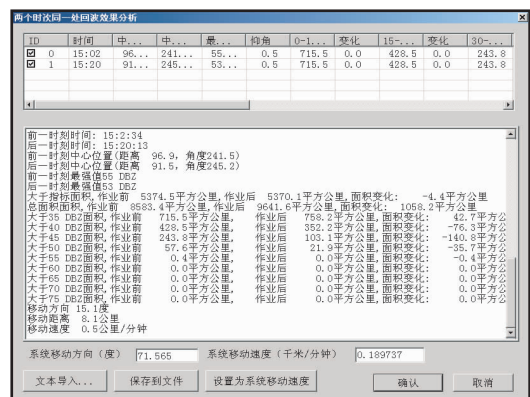


图 4 高炮作业前后雷达回波面积的变化情况

大于 40dBz 的回波面积减小了 76.3km<sup>2</sup>;大于 45dBz 的回波面积减小了 140.8km<sup>2</sup>;大于 50dBz 的回波面积减小了 35.7km<sup>2</sup>;强中心的强度在作业前后有明显的减小,小于 40dBz 的回波面积增加,而大于 40dBz 的回波面积显著减小。说明高炮作业对回波强度有影响,使部分强回波弱化,作业效果显著。

### 3 讨论

(1) 实现了新一代天气雷达资料在人工影响天气指挥作业中的应用,利用新一代天气雷达体扫资料指导高炮防雹作业,通过客观判断选择作业部位,提高了防雹作业的科学性。

(2) 将先进的电话自动录音等高科技通讯手段应用到空域申请中,开发研制出语音录音系统,使防雹作业更加真实可靠。

(3) 实现了全省高炮作业的实时动态显示,在克服了以前部分省份利用沙盘等显示全省高炮作业情况的视觉效果差等缺点的同

时,还提高了显示的准确性、方便性及可操作性。

(4) 软件系统编制实现了多进程和多线程设计。充分利用模块化、标准化的设计思想和开放式接口特性,软件开发灵活,使用方便,便于维护和升级。用户界面友好,使用方便。

### 参考文献

- [1] 孙国德,裴巨才,李培仁,等. 雷达识别雹云指标和防雹作业方法[J]. 山西气象, 2001(2):32-37.
- [2] 张瑞波. 广西人工影响天气火箭、高炮实时作业指挥系统[J]. 广西气象, 2005(4):38-39.
- [3] 德力格尔. 青海省人工影响天气综合指挥系统[J]. 气象, 1997(2): 21-24.
- [4] 金建德,等. 黔西南州人影作业指挥系统[J]. 贵州气象, 2003(3): 28-33.
- [5] 刘跃峰,易烈刚,姚章福,等. 陕西省县级人工防雹作业专家指挥系统研究[R]. 中国气象学会, 2006年年会.
- [6] 陈文选. 山东地区人工防雹用弹量的估算[J]. 气象, 2000.(9):37-40.
- [7] 何观芳. 鄂西北对流云及其人工催化的三维数值模拟个例研究[J]. 应用气象学报, 2001,(3):96-106.
- [8] 李大山. 人工影响天气技术体系的研究[M]. 北京:气象出版社, 1991:32-38.