

市(地)级人工增雨决策指挥系统

魏慧娟¹ 崔新建¹ 杨国锋² 王 静¹ 张俊波¹ 袁春风¹

(1. 河南省驻马店市气象局, 463000; 2. 河南省气象局)

提 要: 介绍了驻马店市人工增雨作业指挥系统的结构、技术要点、功能和应用情况。系统将作业需求分析、作业潜势预报、作业条件判别、作业现场指挥与反馈、作业效果分析评估、作业信息共享等功能有机地融合, 为市、县增雨作业提供了可视化、可操作性强、自动化程度高的业务技术平台和决策指挥平台。

关键词: 人工增雨 决策指挥系统 业务技术平台

A Municipal Level's Decision System of Weather Modification

Wei Huijuan¹ Cui Xinjian¹ Yang Guofeng² Wan Jing¹ Zhang Junbo¹ Yuan Chunfeng¹

(1. Zhumadian Meteorological Office, 463000; 2. Henan Meteorological Bureau)

Abstract: Based on the character of geography and climate in Zhumadian, an advanced municipal level's decision system of weather modification is built up. It includes five subsystems and twenty sub-modules, which cover almost all the basic information of weather modification. The system offers an intelligent and automatic operation technique platform for municipal level's weather modification.

Key Words: weather modification decision system operation technique platform

引 言

我国有组织的人工影响天气活动已经有40多年的历史, 它们在农业抗旱、防雹、增雨、森林灭火以及生态环境建设中发挥了重要作用。“八五”至“九五”期间, 与作业相配

套的人影技术研究取得了较多成果^[1-6], 各级人影作业指挥系统也逐步建立起来^[7-10], 在一定程度上体现了智能化、积累型等特点, 解决了增雨指挥中的主观判断和盲目作业的问题。随着市(地)级人影作业规模的扩大、气象观测手段的提高和通讯技术的发展, 如何有效地解决人影作业的适时、适量、科学性、

资助项目: “十五”河南省重大科技攻关项目(0522030400)项目资助

参加此项研究的人员还有: 河南省驻马店市气象局韩贵甫, 崔焕东, 王平等同志

收稿日期: 2007年8月1日; 修定稿日期: 2007年10月17日

系统性的问题就显得更为急迫。“市(地)级人工增雨作业指挥系统”以气象信息系统为依托,与气象业务网络相连接,上可调用省人影中心信息,报送有关资料,下可向作业炮点直接发布作业指令,收集各县雨量与作业实况,融作业需求、作业潜势预报、各种实时观测资料、作业参数、作业方案设计、实时指挥、效果评估等功能为一体,在人工影响天气综合业务技术的集成化、客观化、智能化等方面进行了积极的探索。

1 总体思路和系统结构框架

“市(地)级人工增雨决策指挥系统”,是根据驻马店市地理环境和气候特点,结合近年来人工增雨影响天气的实践经验 and 市(地)级人影业务需求,建立的一套现代化的人工

增雨作业指挥系统。它包括作业需求、作业潜势预报、实时作业指挥、作业效果评估与信息发布、数据库五个子系统,21 项次级功能模块(图 1)。

系统采用 VB6.0 语言设计成结构化的程序,物理量的算法程序放在独立链接库中,且独立于主系统,以插件的方式与主系统相接,实现了产品处理过程组件化,且系统是模块化的编程,各模块不相互干涉,易于扩充和推广。

系统为可视化业务技术平台,用户界面简单明了,主要为 windows 环境下流行的窗口、菜单、命令按钮等组成,多窗口、多层目录显示,数据文件子目录按种类、层次、时次组织。图形输出具备显示、叠加、动画和修改功能,文字显示输出以文本和表格形式为主。指挥系统通过通讯网络实现省—市—县连接,使作业信息、指令实时传递到作业点。

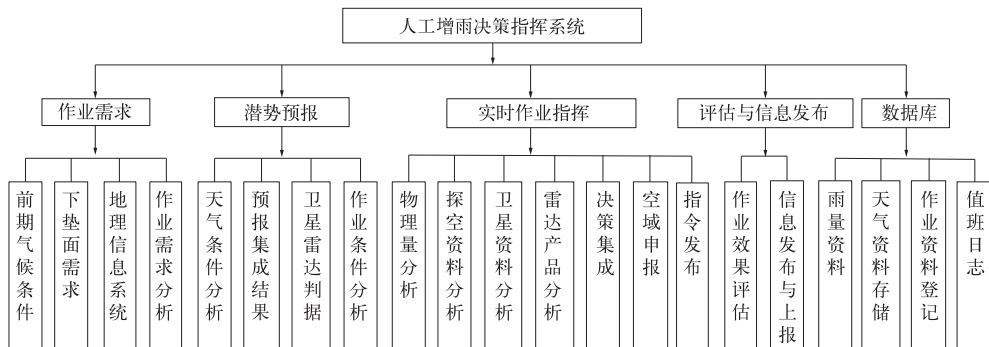


图 1 市(地)级人影作业指挥系统结构图

2 主要功能模块介绍

2.1 作业需求

系统首先进入作业需求分析模块。根据前期的气候特点、下垫面土壤含水量、墒情遥感信息以及近期墒情观测后农作物的耗散量等来判定作业需求。以土壤含水量为判据,制定一般干旱标准(表 1)和关键农时季节的旱情对人工增雨作业的具体要求(表 2)。

表 1 一般干旱标准

	轻度干旱	中度干旱	严重干旱
局地干旱	$15\% > S \geq 13\%$	$13\% > S \geq 10\%$	$S < 10\%$
区域性大面积干旱	$65\% > f \geq 55\%$	$55\% > f \geq 45\%$	$f < 45\%$

注: S、f 分别为 10cm、20cm、30cm 三层的土壤含水百分率和相对湿度的平均值

根据以上标准,依托地理信息模块,系统自动将全市前期的降水量(图 2a,见彩页)和墒情(图 2b,见彩页)分别显示出来,结合近期墒情观测后作物的耗散量,形成明确的作业需求图(图 2c,见彩页)。

表 2 关键农时季节的旱情对人工增雨作业的具体要求

关键农时季节	增雨作业需求
2 月中旬—3 月底	轻度干旱的中期,即 $S<14\%$ 时,适宜进行增雨作业
4 月份	出现中度干旱和严重干旱时,适宜进行增雨作业
5 月 1 日—24 日	小麦灌浆期,在中度干旱的中期,即 $S<12\%$ 时,适宜进行增雨作业
5 月 25 日—6 月 4 日	小麦收打和晾晒时期,不宜进行增雨作业
6 月 5 日—6 月 15 日	夏播期,出现轻度干旱,即 $S<15\%$ 时,适宜进行增雨作业
6 月 16 日—7 月 5 日	出现中度干旱时,即 $S<13\%$ 时,适宜进行增雨作业
7 月 6 日—7 月 25 日	农作物生长、拔节时期,出现轻度干旱,即 $S<15\%$ 时,适宜进行增雨作业。
7 月 26 日—7 月 31 日	农作物开花受粉期,不宜进行增雨作业
8 月 1 日—8 月 31 日	大秋作物后熟阶段,在中度干旱,即 $S<13\%$ 时,适宜进行增雨作业
9 月份	在出现严重干旱时,即 $S<10\%$ 时,适宜进行增雨作业
10 月份	麦播期,在 $S<16\%$ 时,适宜进行增雨作业

2.2 作业潜势预报

利用 30 年历史资料分析影响驻马店降水的大气环流形势,分为 9 种天气形势:阻塞高压型、平直波动型、沿海低槽型、切变型、纬向副高型、经向副高型、移动副高型、副高控制型、副热带高压偏北型,并分别建立各型 24~72 小时预报方程;结合气象台天气预报集成结果和卫星、雷达判据,分析作业条件,制作潜势预报。

2.3 实时作业指挥

首先利用卫星云图的客观化处理资料定性确定作业云系范围,根据物理量垂直剖面特征确定云体中催化剂播撒的适宜区域,利用雷达回波分析确定发射方位、仰角、作业时间、用弹里量等作业参数,发布作业指令。

2.3.1 卫星资料客观化处理

该模块应用客观化处理程序,利用卫星云图资料,结合 T213 高度、温度预报场和高空观测实况资料,对云顶温度和云顶高度进行客观化定量分析。根据卫星红外图像格点的灰度值确定云顶温度,采用 T213 数值预报的温度资料,根据云顶温度所对应的层次反查出云顶高度。分析结果可与云图在 MI-CAPS 系统中叠加显示。

根据客观化处理结果,云顶温度处于 $-10^{\circ}\text{C}\sim-24^{\circ}\text{C}$ 播云都有效,峰值区位于 $-15^{\circ}\text{C}\sim-20^{\circ}\text{C}$ 称为播云温度窗,是选择可播性的重要条件之一。根据对应的云顶高度,可定性确定作业云系部位。云顶亮温是分析增雨云层的另一重要要素。当亮温值达到 -63°C ,面积达到一定范围时,云团的强度比较适合高炮、火箭增雨作业。

2.3.2 物理量垂直剖面分析

云微物理理论和探测证明:对于人工增雨,一般来说催化剂播撒的温度窗为 $-10^{\circ}\text{C}\sim-24^{\circ}\text{C}$ ^[11]。根据二维积云时变模式计算结果,积云最佳催化部位在云中上升气流最强回波中心部位^[15],作业高度在云体温度 -10°C 所在高度;层状云、积层混合云催化部位宜高,在云体温度 $-10^{\circ}\text{C}\sim-20^{\circ}\text{C}$ 所在高度^[16]。

调用河南省人影中心计算的物理量,绘制 $0、-5、-10、-15、-20、-25、-30^{\circ}\text{C}$ 层冰面饱和区、垂直水汽输送区、整层和冷层水汽积分量、温度露点差等值线的纬向和径向垂直剖面图,以此确定作业范围,一般作业区初选在 $-5^{\circ}\text{C}\sim-20^{\circ}\text{C}$ 层内冰面饱和区、水汽垂直向上输送区、水汽积分量 $\geq 9\text{mm}$ 的等值线区和 $T-T_d=2^{\circ}\text{C}$ 区等几个区域的叠加区。利用卫星、雷达和自动气象站资料实时

调整作业时间、作业区域和作业高度。

2.3.3 雷达回波分析

雷达回波分析模块可跟踪实时雷达回波变化,判断降水回波性质,根据回波强度、回波顶高度、回波总面积、中心位置、移动方向,结合回波的零度层高度和计算得出的云内温度,确定云系作业部位,明确高炮、火箭的发射方位和发射仰角、作业时间、用弹量,对作业点发布作业指令。

(1) 目标云的选择

采用雷达回波的强度变化、高度变化梯度及变化速度来识别云状,或者采用天气预报和目测的方法来确定降水的性质。以层状云(积层混合云)回波为作业对象时,要在云体降水发展旺盛阶段,回波强度 $\geq 15\text{dBz}$,顶高 $\geq 5\text{km}$ 时开始催化;以对流回波为作业对象时,在积云初始降水回波出现 $6\sim 20\text{min}$,回波强度 $\geq 25\text{dBz}$,顶高 $\geq 8\text{km}$ 时进行催化,催化区选在上升气流区,如果落在下沉气流区,将使 AgI 大部分微粒随气流下降到云内暖区而浪费,这个区域一般位于对流的云体右前侧,对积层混合云也尽可能将目标区落在对流的上述部位。当 250km 范围内有符合以上条件的回波出现并向作业点有效射程内移近时,可判断为具有作业潜力对象,进入射程内可随时作业;回波向远离本地方向而去,解除警戒。

(2) 作业参数的确定

根据回波位置、炮点位置和高空气流的信息,确定发射方向,一般采用逆气流方向发射,发射仰角主要参考回波顶高度和云内温度,炮弹飞行在云顶以下 $-10^{\circ}\text{C}\sim -24^{\circ}\text{C}$ 的播云温度窗区。

云内温度与高度可由计算获得。对于对流云,采取通过对地面温度按一定的温度垂直递减率(根据实际情况可更改,系统默认值是 $6^{\circ}\text{C}/\text{km}$)的方法来得到一定高度的温度,

输入地面温度后,系统按指定的温度垂直递减率自动给出零度层高度;对于层状云降水,有时在雷达回波上可观测到比较清楚的零度层亮带,这样便可通过零度层亮带高度、地面温度和温度垂直递减率来计算得到某一高度的云中温度;对于积层混合云,如有零度层亮带特征时按层状云情况确定,若无零度层亮带特征则按对流云情况确定。另外,无论是哪种云都可由邻近探空站点的探空资料绘出的 $T-\ln p$ 图上的温度垂直分布情况来确定零度层高度,将其直接输入。

(3) 用弹量的计算

用弹量是根据炮弹有效扩散体积内催化所需增加的冰晶数和催化剂的成核数来确定。用弹量=有效扩散体积内催化所需增冰晶数/每枚增雨弹的成核数。根据试验,层状云(积层混合云)有效降水的冰晶浓度宜增加到 $20\sim 100$ 个/L,积云催化要求在 -10°C 层冰核数浓度大于 $10^2\sim 10^3$ 个/L^[13]。河南省春夏季降水性层状云中的冰晶粒子平均浓度为 $3\sim 5$ 个/L,积层混合云中为 $8\sim 10$ 个/L,取平均值来计算,作业时层状云冰晶浓度应由4个/L增加到20个/L,积层混合云冰晶浓度应由9个/L增加到50个/L,积云增加100个/L。根据“三七”高炮催化弹和WR-1B型火箭催化弹在云中的扩散体积和实验室获得的催化剂有效成核率,结合雷达回波性质,计算出高炮和火箭作业时每次发射的用弹量(见表3)。

2.4 人工增雨效果评估

对作业后的效果评估,本系统结合雷达观测和乡镇雨量点,从以下两个方面进行:一是作业影响区增雨量计算,通过区域雨量对比分析给出作业后影响区雨量增值;二是人工增雨影响区面积估算,为了适应抗旱人工增雨作业工作需求,采用一种简易实用半定

表 3 高炮、火箭增雨作业每次发射用弹量

云状	回波强度(dBz)	云顶高度(Km)	火箭弹(枚)	高炮人雨弹(发)
层状云	≥15	≥5	1~3	10~30
积层混合云	≥20	≥5.5	4~8	40~80
积云	≥25	≥8	5~6	50~60

量估算催化作业影响区的方法,用抛物线来近似模拟催化影响区域,估算出影响区范围和面积后,根据作业云的移向,在作业点上风方选定一个与影响区范围相同的区域作为人工增雨作业对比区,分别求出作业影响区和对比区区域平均雨量,计算出增雨效果。

2.5 数据库管理

数据库管理包括:雨量资料、天气资料存储、作业资料 and 值班日志四部分组成。每次作业时各种资料入库管理,以建立人工影响天气作业数据库。

雨量资料处理具有逐时、6h、12h 和 24h 雨量存储、绘图、统计、查询、打印等功能。天气资料存储增雨作业中使用的所有气象信息,包括高空、地面天气图,卫星云图、T213 数值预报产品、欧洲中心数值预报产品、省台局域网资料等,具有绘制、查询历史作业资料功能。作业资料库包括:装备管理、地面作业管理、弹药管理、人员管理、事故灾情库、图片资料管理、政策法规管理、炮点库。值班日志用于编写和查询值班日志,实现办公无纸化。

3 系统应用情况

该指挥系统 2006 年元月建成,成功指挥了 2006 年 3 月 3—4 日、6 月 13—14 日、6 月 21—22 日、11 月 17—19 日四次人工增雨作业,下面以 2006 年 6 月 13—14 日过程为例做一介绍。

6 月 12 日作业需求分析显示,连续半个月驻马店地区平均降水量不足 1mm,耕作层水分大多在 10% 以下,旱情严重,直接威胁

到了秋作物的播种和出苗。天气条件分析显示,13—14 日本地将有一次弱的阵性降水天气过程。12 日 10 时,系统发布人工增雨潜势预报,24~48h 内具备增雨作业条件,进入人工增雨作业警备状态。

13 日 08 时探空资料显示, -5℃ ~ -15℃ 温度层稳定在 5000~7600m 之间;冰面饱和水汽压等物理量分布特征显示 13 日 20 时至 14 日 08 时是增雨作业最佳时段。13 日 15 时 23 分,站点东南方向 210km 处有积层混合云回波生成并向西北方向移动,移速 50km/h,系统立即发布作业临近预警指令,等待最佳作业时机。19:20 分,回波开始进入新蔡,强度 ≥20dBz 的面积有 1000m², 顶高 6km。根据雷达作业判别指标,发布作业指令:新蔡县柘城、砖店 19:25—19:35 高炮作业,发射方向东南,仰角 60 度,炮弹 50 发。作业 10 分钟后,站点雨量逐渐密集,雨滴增大,雷达回波变得密实,雷达回波强度增强为 30dBz。指标判断仍存在较大的增雨潜力,随后根据雷达监测结果,全市 25 个炮点多次作业,共出动高炮 19 门,火箭 9 架,发射增雨炮弹 1230 发,火箭弹 18 枚,作业在 14 日凌晨结束。这次增雨作业,影响区内 6 小时降雨量平均 10mm,对比区雨量平均仅 5mm,根据系统提供的作业影响区增雨量和半定量估算催化作业影响区面积的效益评估方法,平均降水量增加了 5mm,催化作业影响区面积 33 万公顷。

4 小 结

“市(地)级人工增雨作业指挥系统”的建

立使人工增雨工作的管理规范化、指挥科学化。系统建立了规范的作业需求和潜势预报模式,综合利用雷达信息和数值模式产品进行指挥决策,将高频次的卫星云图和雷达回波通过计算机网络、图像技术应用于作业指挥,对作业过程的所有信息都有详实的记录档案。这些功能的实现使人工影响天气作业的科技水平上了一个新的台阶,并在一定程度上克服了作业预警的无序性和盲目性,提高了人工影响天气作业指挥的科学性,使人影作业效果得到了很大的提高。

参考文献

- [1] 王广河,姚展予.人工增雨综合技术研究[J].应用气象学报,2003,14(增刊):2-10.
- [2] 唐仁茂,杨维军.夏季对流云火箭增雨技术初步研究[J].应用气象学报,2001,12(增刊):59-64.
- [3] 李云川,张文宗.数字化雷达人工影响天气作业指挥系统[J].气象科技,2005,33(3):264-267.
- [4] 李云川,张文宗.多普勒雷达数据在人工影响天气作业指挥中的应用[J].气象科技,2006,34(5):592-595.
- [5] 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.
- [6] 陈怀亮,邹春晖.人影决策指挥地理信息平台的建立和应用[J].南京气象学院学报,2002,25(2):264-270.
- [7] 王以琳.市、县级人工影响天气轨道业务流程的研究[J].干旱气象,2007,25(1):74-78.
- [8] 毛以伟,成章纲.宜昌市人工影响天气管理指挥系统的研制及应用[J].成都气象学院学报,2000,15(4):333-337.
- [9] 叶田,夏福华.淄博市人工影响天气作业决策指挥系统[J].气象,2006,27(10):46-52.
- [10] 张丰启,谢红娟.威海市人工影响天气作业管理系统[J].气象科技,2002,30(2):118-121.
- [11] 章澄昌.人工影响天气概论[M].北京:气象出版社,1992:204-217.
- [12] 刘贵华,岳治国.人工增雨(雪)作业技术系统设计方法[M].北京:气象出版社,2003:270-274.
- [13] 人工影响天气岗位培训教材[M].北京:气象出版社,2002.
- [14] 李红斌,周德平.火箭增雨作业部位和催化剂量的确定[J].气象,2005,31(10):42-46.
- [15] 王斌,唐仁茂,杨维军.积云数值模拟在火箭外场试验设计中的应用[J].中国气象局科教司,人工影响天气(十二),1999:32.
- [16] 李大山主编.人工影响天气现状与展望[M].北京:气象出版社,2002.

魏慧娟等：市（地）级人工增雨决策指挥系统

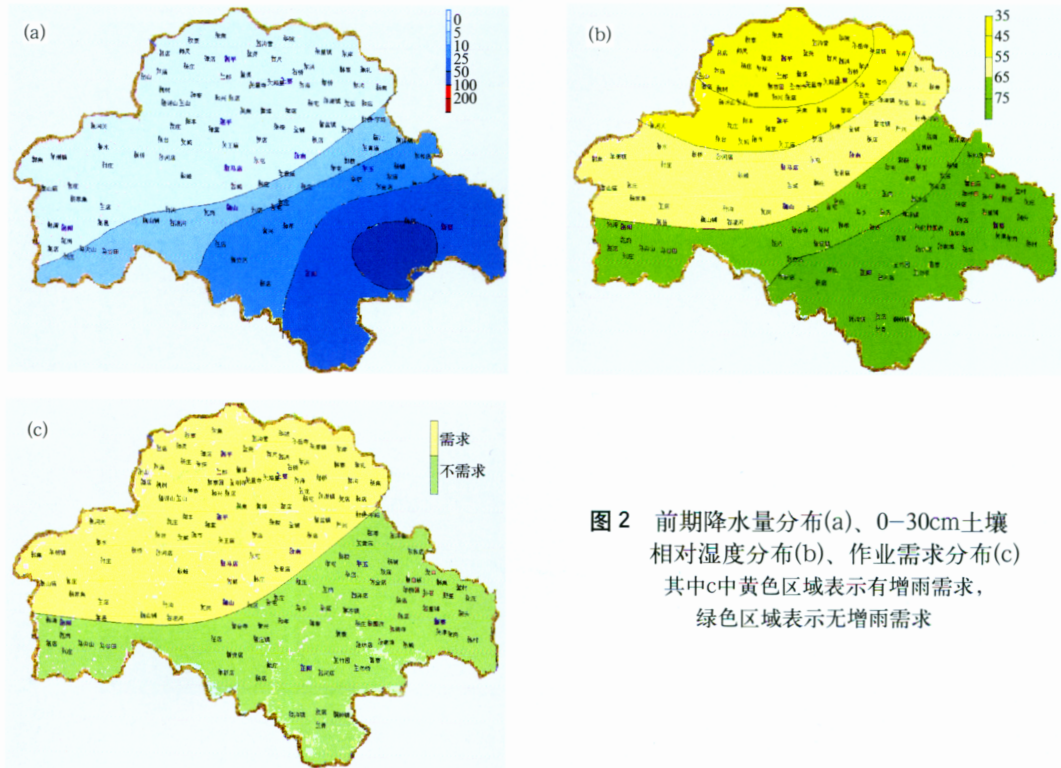


图2 前期降水量分布(a)、0-30cm土壤相对湿度分布(b)、作业需求分布(c)
其中c中黄色区域表示有增雨需求，
绿色区域表示无增雨需求