

黄彦彬,姚展予,游积平,等. 基于“.NET”的华南区域人工增雨效果统计检验共享平台的设计与实现[J]. 气象,2011,37(6): 727-734.

基于“.NET”的华南区域人工增雨效果 统计检验共享平台的设计与实现^{*}

黄彦彬¹ 姚展予² 游积平³ 张瑞波⁴ 蔡杏尧⁵ 崔 丹¹

1 海南省气象科学研究所,海口 570203

2 中国气象科学研究院云雾物理重点开放实验室,北京 100081

3 广东省人工影响天气办公室,广州 510080

4 广西壮族自治区人工影响天气办公室,南宁 530028

5 海南省保亭县气象局,保亭 572300

提 要: 利用 Google Earth 二次开发工具 API 设计了一种基于浏览器/服务器(B/S)模式的人工增雨作业效果检验的动态人工增雨效果检验共享系统。该系统基于“.NET”平台,以 C# 作为主要开发语言,利用 Google Earth 二次开发工具 API 实现了区域级人工增雨作业效果评估的共享,实现了 Google Map 和火箭作业点、飞机作业航线的叠加。该系统能动态地勾画和快速计算火箭、飞机人工增雨作业区域、对比区域的面积,通过互联网技术访问人工增雨数据库、气象资料数据库和自动雨量数据库,导出人工增雨效果检验报告,实现了区域级人工增雨效果检验业务的统一。系统界面友好,拥有 Google Earth 强大的“数字地球”地理信息,具有较强的交互性和可操作性,实现了人工增雨效果统计检验的区域系统共享。

关键词: 人工增雨, 效果评估, 共享平台

Design and Realization of the Shared Platform for the Effect Evaluation of Precipitation Enhancement in Southern China Based on “.NET”

HUANG Yanbin¹ YAO Zhanyu² YOU Jiping³ ZHANG RuiBo⁴ CAI Xingyao⁵ CUI Dan¹

1 Hainan Institute of Meteorological Sciences, Haikou 570203

2 Key Laboratory for Cloud Physics and Weather Modification of CMA, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081

3 Weather Modification Office of Guangdong, Guangzhou 510080

4 Weather Modification Office of Guangxi, Nanning 530028

5 Baoting Meteorological Station of Hainan Province, Baoting 572300

Abstract: A shared platform for the dynamic effect evaluation of precipitation enhancement, based on the model of Browser/Server (B/S), is developed by using API, the second development platform of Google Earth. The system is based on “.NET” platform with C# as the main program language. The location of local rocket launchers and the flying track of aircraft are merged on the Google Map. Areas of the operated regions are affected by rocket seedings and/or aircraft seedings and the contrast regions can be promptly sketched and calculated dynamically. Databases of precipitation enhancement, meteorological observation

^{*} 中国气象局新技术推广项目“广州区域人影作业条件综合监测分析平台”(CMATG2008M47);国家科技支撑计划课题“混合云人工增雨技术研究”(2006BAC12B02);科技部公益性行业(气象)科研专项项目“京津经济区及华北区域气溶胶对云的改变导致的降水变化及其在天气预报中的应用”(GYHY200706036);中国气象局云雾物理环境重点开放实验室开放科研课题“多普勒雷达参量特征在人工增雨作业效果物理检验中的应用”(2009Z0037)

2010 年 1 月 12 日收稿; 2010 年 12 月 20 日收修定稿

第一作者: 黄彦彬,主要从事人工影响天气及大气物理领域的研究. Email: yanbinhuang@139.com

and automatic rain-gauge can be browsed via Internet, and the reports of effect evaluation of precipitation enhancement can be exported by the system. The unification of regional effect evaluation of precipitation enhancement is realized. The system contains plenty of digital geography information from Google Earth. It is interactive and easily operated with friendly interface. A shared system for the regional effect evaluation of precipitation enhancement is realized.

Key words: precipitation enhancement, effect evaluation, shared platform

引言

人工增雨的效果检验是亟待解决的重要课题之一,也是人工影响天气技术中最薄弱的环节。它的研究进展不仅对该人工影响天气学科的发展产生重大积极作用,而且也为人影响天气科学作业提供依据。目前人工增雨效果评估方法基本上分为 3 种:即物理分析方法^[1-4]、统计检验方法^[5-12]和数值模拟方法^[13-14]。统计检验方法能在一定的显著性水平上得出定量的增水结果,便于评价作业的有效性,是人工增雨效果检验的基本方法,著名的以色列人工降雨随机交叉试验^[5-6]就采用统计检验方法,我国的福建省古田^[7]、海南省^[8]、吉林省^[9]、北京市^[10]、河南省^[11]、甘肃省^[12]等地也用统计检验方法检验当地的人工增雨效果。目前,由于业务上的需求,各地建立了一些适合当地的效果检验系统^[15-16]。但各省区自主开发的人工增雨效果检验系统多为单机版设计,各人影业务部门作业方式和效果检验存在一定差异,使人工增雨效果评估的规范化和共享、推广带来一定难度。而在基层县级人影业务部门,一般作业完毕后,当地政府和相关部门需要及时了解作业情况和作业效果,由于技术条件的限制,作业效果的评价存在一定的难度,评价的方法结果往往存在较大差异。因此有必要建立一个相对规范和统一的动态效果检验计算平台,有助于人工增雨效果检验业务向规范化、科学化方向发展,也避免了各地重复开发带来的浪费,便于推广和共享。

WebGIS 是 Web(World Wide Web)技术应用于 GIS(Geographic Information System)开发的产物^[17-19]。利用 Web 技术在网络上发布地理信息,就能从 Internet 的任意一个节点浏览 WebGIS 站点中的空间数据、制作专题图、进行各种空间检索和空间分析,这就为地理信息的开放和共享提供了切实可行的技术。WebGIS 有利于信息共享,并易于实现

数据分布式管理。基于这种思路,立足于目前人工影响天气管理实际需求和业务发展需要,设计并实现了一种基于“.NET”的华南区域(广西、海南、广东)的省、市、县一体化的人工增雨效果统计检验共享平台。考虑到专用的 GIS 地图费用较高,该平台采用了美国免费推出的 Google Earth 作为 GIS 平台,并利用 Google Earth 的二次开发工具 API 设计了一种基于浏览器/服务器(B/S)模式的动态人工增雨效果共享系统。将人工增雨作业资料、历史雨量、自动站雨量等数据与地理信息结合在一起,并根据华南区天气系统的特点设计了基于历史近似的区域回归试验检验方法,采用 C# 和 Mapscript 结合的编程方式,实现了人工增雨作业的综合查询和作业效果的动态计算、效果检验报告自动输出等功能。本文介绍该平台的设计思路,以期对人工影响天气业务系统的开发和资源共享有所启示。

1 平台设计思路和基本功能

1.1 设计思路及框图

根据华南区域人工增雨作业的特点,充分利用气象资源,建立一个操作简单、运行稳定、功能实用、基于 Web 技术的人工增雨效果统计检验共享平台。系统平台基于以下思路设计:

(1) 基于 B/S 结构,就是只安装维护一个服务器(Server),而客户端采用浏览器 Internet Explorer 运行软件,即浏览器/服务器结构。客户端不必安装及维护。另外,若对平台进行升级,只要将服务器的软件升级到最新版本,而各级人影业务部门的客户端,无需安装、维护等,操作使用方便。

(2) 系统内容丰富,操作界面友好,使用方便。地理平台基于 Google Earth,可以提供丰富的卫星影像、行政地图、混合地图(卫星影像+行政地图),可以提供 1:16 的放大、缩小、游移功能,在地图上自动绘制增雨火箭作业位置、飞机航线等,用户对作

业的环境、地形、位置等一目了然。

(3) 基于“.NET”平台,站点的交互性和可维护性好、可扩展性强。

(4) 强大的查询检索功能。对于火箭作业,可以任意查询包括作业位置、作业仰角和方位、作业经纬度等作业资料,并用小图标标示火箭作业位置;对于飞机作业则可以自动绘制作业航线。

(5) 方便的操作。客户端可以通过选择作业区-对比区,自动生成可编辑修改的《人工增雨效果检验报告》,用户对其简单修改、润色后自动存为 word 文档,方便、快速地上报主管部门和相关政府部门。

1.2 地理平台

Google Earth 是 Google 公司在 2005 年 6 月向全球推出的免费卫星影像软件。用户通过下载和安装全球卫星影像客户端软件,即可在线浏览和使用世界各地的高清晰度卫星图片。Google Earth 以各种分辨率的卫星影像为基础数据。Google Earth 提供的图片分辨率在高清区域可以达到 $0.6\sim 1\text{ m}$,相当于 $1:2500$ 的地图,可满足人工增雨作业指挥和效果评估的需求。

Google Earth 提供的高分辨率卫星影像,可对视图方位、经纬度和高度进行匹配,可放入点位标记、影像贴图及多边形三维数据。人工增雨检验共享平台借助 Google Earth 提供的地理平台,并使用该平台提供的 API 二次开发工具。

1.3 系统功能

输入网址就可以直接从 Internet 上访问该系统。实现的功能主要包括人工增雨查询、图形操作、火箭作业位置和飞机航线的动态叠加、自动雨量站和气象站的动态叠加、作业区-对比区面积自动计算、效果检验报告的自动生成及格式转换等。

1.3.1 图操作

用户可以自己选择要显示的图层,地图会动态刷新。系统使用免费的 Google Earth 作为地理平台。根据需求,用户可以自动选择卫星影像地图、行政地图和混合地图作为地图背景,可以实现放大、缩小、游移的功能,放大比例可以达到 $1:16$,使用户可以方便查找自己感兴趣的区域。影像地图放大后可以显示当地的道路、地形、山脉、河流等详细丰富的地理信息资料,对火箭、飞机人工增雨作业背景进

行详细了解。

1.3.2 人工增雨作业查询

人工增雨效果检验时间段、历史雨量时间段采用下拉式菜单设计,方便操作,用户可以选择开展火箭、飞机人工增雨的任何作业时段进行检验,然后确定历史序列雨量评估时段。选择好作业时段后,网页上自动用小火箭图标显示全省火箭作业位置或是绘制飞机作业航线。

1.3.3 作业区和对比区

用户可根据作业位置框定任意方向的多边形作业区和对比区,作业区和对比区随即变换不同色彩,并且透明化,美化界面。特别设计了作业区、对比区的多边形选择操作方式,用户可根据作业实际需求和效果检验步骤任意选择作业区、对比区,选择对比区和作业区后自动弹出作业区和对比区内气象站、自动雨量站的站号、站名、经纬度页面,方便用户查询,系统还可以用小火箭图标显示作业区内火箭作业位置、雨量站位置 and 对比区雨量站位置,用户可以根据需要自动消隐。

1.3.4 作业区、对比区面积的计算

客户端可以根据需要任意选择一组作业区、对比区和一次人工增雨作业样本,以满足不同用户的业务需要,系统可以自动计算框定的作业区、对比区的面积。

1.3.5 生成人工增雨作业效果评估报告

平台可以自动计算并输出人工增雨作业效果评估报告,报告使用 word 文档的方式,自动给出大字红头作业效果检验报告的政府通用格式,报告内容包括:

(1) 作业信息:对于火箭人工增雨作业输出火箭发射时间、地点、作业经纬度、发射方位和仰角、作业用弹量等报表;对于飞机人工增雨作业,输出飞行起始时间、催化剂用量;

(2) 效果检验过程:包括对比区-作业区雨量正态分布检验过程、使统计变量正态化转换的方式、相关系数、拟合方程、 t 检验置信区间等;

(3) 作业效果与经济效益:作业影响区绝对增加量、相对增加量、折合水量、经济效益等。

客户端据此可以再次进行编辑、修改,根据需求对 Google Earth 作业分布图截图粘贴到该文档,生成图文并茂的人工增雨作业效果检验公报,然后选择 word 存盘输出或是放弃等。图 1 为自动生成的人工增雨效果检验公报的样式,由于以网页 html 形

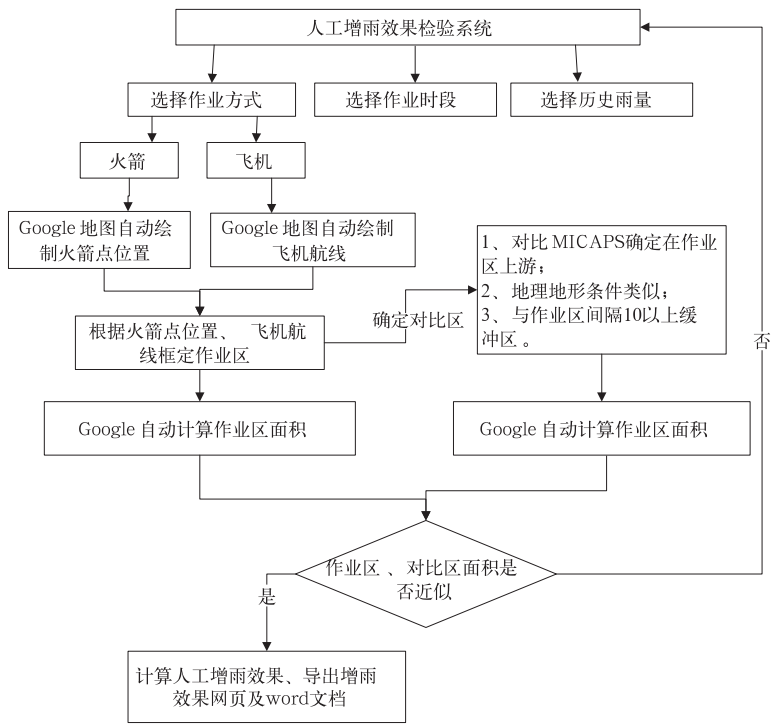


图 2 人工增雨效果检验系统操作流程

Fig. 2 The operational processes of the artificial precipitation enhancement system

史自然降水量回归方程,然后利用这一历史降水量回归方程以试验期对比区自然降水量估计影响区的自然降水量(即影响区自然降水量的估计值)。它假设试验期对比区和影响区自然降水量的回归关系与历史上二区回归关系相同。这种方法又称作区域控制法或历史回归法。

利用区域回归试验方法开发的人工增雨效果检验系统常固定作业区 and 对比区^[7-9],适用于常年干旱的省份在某一固定区域作业。但对于华南省份来讲,由于各地旱涝的差异增雨需求也有很大的不同,发生干旱的区域往往不固定,作业地区也不固定。因此,采用了根据作业情况、天气形势、地理地形等条件来选定作业区、对比区。

系统可以自动画出预先选定作业期的飞机增雨的航线、火箭(高炮)作业点的位置,用户可以根据飞机增雨航线、火箭(高炮)作业的位置用鼠标选出作业影响区域。用户可在作业区上游勾画一个对比区,同时利用 Google Earth 清晰的行政+影像混合地图模式及可达 16 倍的放大功能,对作业区和预设对比区的地理、地形条件进行分析,判断作业区-对比区地理、地形背景基本一致、对比区是否受到污

染、对比区-作业区面积是否基本相等等人工增雨效果对比检验的先决条件。

2.2 人工增雨效果检验步骤

(1) 选择统计变量

选择统计变量时要考虑到以下三个因素:第一,所选择的变量要有代表性,能代表试验区试验期的实际降水量。第二,变量要适合于进行统计检验,如果采用 t 检验法,则要求变量服从或近似服从正态分布。因此,统计分析时统计变量是选择降水量本身,或取降水量的某种变换(如对数、方根、立方根等),都要以是否更接近正态分布为准。第三,所取的变量的区域相关系数应该较大,变量本身的自然变差应该较小,即变量要有相对稳定性,这样统计检验方法效率才比较高。

(2) 选择统计量时间单元

统计时间单元可选用月(候)或日降水量或天气系统过程降水量。系统采用催化作业后 24 小时作为统计变量的时间单元。

(3) 统计变量正态化

由于对试验效果进行回归分析时,采用 t 检验

法(包括单个事件 t 检验法和多个事件 t 检验法)和方差不相等的双样本回归分析法检验效果,要求参加统计分析的变量服从正态分布,但实际降水量分布严重偏态。因此,为使统计变量正态化,需将统计变量进行变数变换,系统采用 5 种变换:(a)原序列转换;(b)开 3 次方根转换;(c)开 4 次方根转换;(d)双曲正切转换;(e) $\sqrt[3]{x} + \sqrt[3]{x-1}$ 转换。然后利用柯尔莫哥洛夫分布函数拟合度检验法或函数拟合度的 χ^2 检验法,进行正态分布的拟合度检验,使经变换后的统计变量服从正态分布或近似具有正态分布。

(4) 方差相等性分析

由于效果检验时要求供比较的样本所代表的总体方差相等。因此需进行方差相等性分析。

(5) 区域降水量的相关分析

根据目标区历史自然降水量的资料,求两区自然降水量(降水量本身或某种变换)的相关系数 r ,并进行显著性检验。相关系数 r 计算公式如下:

$$r = \frac{s_{xy}}{s_x s_y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

式中 x_i 和 y_i 是对比区(x)和影响区(y)历史降水量资料; n 为历史资料样本数; \bar{x} 和 \bar{y} 是变量 x 和 y 的均值; s_x 和 s_y 是变量 x 和 y 的样本标准差; s_{xy} 是变量 x 和 y 的协方差。

相关系数 r 的显著性检验采用 t 检验法检验。

建立统计量 t :

$$t = \frac{r}{\sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}}} \quad (2)$$

统计量 t 是具有自由度 $\nu=n-2$ 的 t 分布。

显著性水平 α 值一般取 0.01 或 0.05。根据 α 值从 t 分布表中查出置信限 t_α ;然后再与由样本算出的 t 值进行比较,若 $t \geq t_\alpha$ 则 r 有真实意义,反之 $t < t_\alpha$ 则 r 无真实意义。

(6) 建立 y 倚 x 的历史回归方程 $y=a+bx$

(7) 求增雨效果

将对比区实测降水量 x 代入上述方程,求出目标区自然降水量的估计值 \hat{y} 。

则降水量绝对增值 $\Delta R=y-\hat{y}$ (式中 y 为目标区实测降水量)相对增值:

$$E = \frac{\Delta R}{\hat{y}} \quad (3)$$

(8) 增雨效果的显著性检验

为确定上述增值 ΔR 是由于人工影响的结果引起的或者是降水自然变差引起的,必须对 ΔR 进行统计显著性检验。在统计变量总体服从正态分布、且催化样本和对比样本余方差相等的条件下,增加值的显著性检验采用单次试验效果 t 检验法或多次试验效果 t 检验法进行检验。若两组样本余方差存在显著的差异,则采用方差不相等的双样本回归发现法检验效果。

(9) 增雨效果显著性检验方法

在统计变量总体服从正态分布且催化样本和对比样本余方差相等的条件下,效果显著性检验方法如下。

建立统计量 t :

$$t = \frac{y - \hat{y}}{\sqrt{\frac{(1-r^2)}{n-2} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \left[1 + \frac{1}{n} + \frac{(x - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \right]}} \quad (4)$$

自由度 $\nu=n-2$ 。式中 n 是建立回归方程的历史样本容量, \bar{x} 、 \bar{y} 是历史样本的对比区和影响区降雨量平均值, x 、 y 是催化单元对比区和影响区降雨量实测值, \hat{y} 是催化单元影响区自然降雨量估计值。

给定 α 值后从 t 分布表中查出 t 的临界值 $t_{2\alpha}$ 。若 $t \geq t_{2\alpha}$ (或 $t \leq -t_{2\alpha}$),则表明试验效果显著,显著性水平为 α (单边检验);反之,试验效果不显著。

(10) 经济效益的估算

经济效益的估算按折合水量(作业影响面积 \times 影响区域的平均增雨量) \times 海南省农业灌溉平均单价计算。

3 人工增雨效果检验应用举例

3.1 2008 年 9—10 月海南省松涛水库蓄水型人工增雨作业效果检验

2008 年 9 月 20 日至 10 月 14 日,海南省气象局投入 4 部流动人工增雨作业火箭车,在海南省最大的松涛水库流域机动开展“蓄水型”人工增雨作业试验。在 25 个作业日累计实施作业火箭人工增雨

48 次,发射火箭 86 枚。

图 3 是海南省松涛水库火箭人工增雨作业影响区和对比区界面,左边有火箭车的方框为作业影响区,右边没有作业车方框为作业对比区。表 2 是该系统的计算结果,由表 2 可见,2008 年松涛水库人工增雨共增加雨量 83.5 mm,折合水库入库量 $2875 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。经过 t 检验,人工增雨效果显著,显著度超过 0.05 的水平,人工增雨效果检验结果可信度为 95%。系统设计了自动输出火箭人工增雨效果评估报告,主要包括统计时间单元内作业日期时间、作业车号、县市名称、作业参数(发射仰角、方位角、弹量等),其次包括人工增雨效果评估结果,包括作业区、



图 3 2008 年 9—10 月海南省松涛水库人工增雨作业效果检验系统评价界面

Fig. 3 The system interface of the effect evaluation of the artificial precipitation enhancement over Songtao Reservoir in Hainan Province during September to October of 2008

表 2 根据效果检验系统计算的 2008 年 9—10 月海南省松涛水库人工增雨作业效果

Table 2 The system calculation of the effect evaluation of the artificial precipitation enhancement over Songtao Reservoir in Hainan Province during September to October of 2008

检验项目	结果
增雨量/mm	83.2
相对增雨量/%	41.7
折合水量/ $\times 10^4 \text{ m}^3$	2875
对比区作业区相关系数 r	0.768
回归方程	$Y = 33.2 + 0.567X$
t 检验	54.52
显著性水平 α	< 0.05
置信度 $1 - \alpha$	95%

对比区市县、正态分布检验过程、对比区-作业区相关系数、拟合方程、增加雨量(折合水量)、相对增加雨量、经济效益,最后显示增雨效果的显著性检验(t 检验)及置信区间。

3.2 2008 年 3 月广西区飞机人工增雨作业效果检验

图 4 勾画了 2008 年 3 月上旬广西飞机人工增雨作业航线,实施飞机人工增雨作业 1 次,主要在桂西崇左、大新、平果等市县作业,作业影响区大约 $2.16 \times 10^4 \text{ km}^2$,将作业区的桂东地区作为对比区,该对比区与作业影响区天气形势类似,中间间隔一定缓冲区,因此作业区基本不受作业催化的影响,面积也基本相当,为 $2.18 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。计算了飞机人工增雨作业效果,作业影响区约增加雨量 6.7 mm,折合水量大约 $1300 \times 10^4 \text{ m}^3$,通过相关 t 检验(表 3)。



图 4 2008 年 3 月 1—10 日广西壮族自治区飞机人工增雨作业效果检验系统评价界面

Fig. 4 The system interface of the effect evaluation of the aircraft artificial precipitation enhancement in Guangxi Autonomous Region during the first decade of March 2008

表 3 根据效果检验系统计算的 2008 年 3 月上旬广西飞机人工增雨作业效果

Table 3 The system calculation of the effect evaluation of the aircraft artificial precipitation enhancement in Guangxi Autonomous Region during the first decade of March 2008

检验项目	结果
增雨量/mm	6.7
相对增雨量/%	11.6
折合水量/ $\times 10^4 \text{ m}^3$	1300
对比区作业区相关系数 r	0.866
回归方程	$Y = 11.2 + 0.243X$
t 检验	54.52
显著性水平 α	< 0.05
置信度 $1 - \alpha$	95%

4 结束语

(1) 建立的基于“.NET”的人工增雨效果检验平台是实现多省区人工增雨效果检验过程资源共享的一种尝试,该平台界面友好,操作过程简单,为华南区域内各级人工增雨业务部门各市县人工增雨作业提供了一套操作简便、可视化、交互式的人工增雨效果评价平台,实现了作业效果评价方法和计算过程的统一,方便操作、实用性强、可移植共享。

(2) 系统地理平台基于开放的 Google Earth 设计,地理信息丰富,功能强大,可以进一步开发叠加雷达信息、气象信息,进一步升级到集人工增雨作业指挥—效果评估—作业管理于一体的人工影响天气综合业务系统。

(3) 人工增雨效果检验平台使用传统的区域回归检验方法,计算结果的准确性、科学性还受制于目前检验方法本身的限制,但随着检验手段的不断提高,人工增雨效果检验的精度必将进一步提高。

(4) 人工增雨检验平台由于涉及多个数据库操作,对服务器和带宽要求较高,计算过程比较慢,受资料安全性限制,目前也只在气象局内网上运行。

参考文献

- [1] 张瑞波,刘丽君,钟小英,等. 利用新一代天气雷达资料分析飞机人工增雨作业效果[J]. 气象,2010,36(2):70-75.
- [2] 唐仁茂,向玉春,叶建元,等. 多种探测资料在人工增雨作业效果物理检验中的应用[J]. 气象,2009,35(8):70-75.
- [3] 蒋年冲,吴林林,曾光平. 抗旱型火箭人工增雨效果检验方法初步研究[J]. 气象,2006,32(8):54-58.

- [4] 唐仁茂,袁正腾,向玉春,等. 依据雷达回波自动选取对比云进行人工增雨效果检验的方[J]. 气象,2010,36(4):96-100.
- [5] Hess, W. N 著,王昂生等译. 人工影响天气和气候[M]. 北京:科学出版社,1985,316-343.
- [6] 叶家东,范蓓芬. 人工影响天气的统计数学方法[M]. 北京:科学出版社,1982:174-178.
- [7] 曾光平,吴章云. 人工降水[M]. 福州:福建省科学技术出版社,1997,34-49.
- [8] 黄彦彬,李天福,李春鸾. 2004 年海南省人工增雨效果检验[J]. 广东气象,2006(1):50-54.
- [9] 汪学林,金德镇. 云雨物理论文集[M]. 北京:中国科学技术出版社,1987.
- [10] 李书严,李伟,赵习方. 北京市人工增雨效果评估方法分析[J]. 气象科技,2006,34(3):296-300.
- [11] 房彬,肖辉,王振会,等. 聚类分析在人工增雨检验中的应用[J]. 南京气象学院学报,2005,28(6):739-745.
- [12] 王璵,李宗璵,王劲松,等. 甘肃省秋季飞机人工增雨天气系统分型[J]. 气象,2007,33(1):94-98.
- [13] 黄彦彬. 海口市人工催化热带对流云增雨降温的数值模拟[J]. 大气科学学报,2010,33(1):40-46.
- [14] 肖明静,郭学良,肖稳安. 碘化银、液态 CO₂ 播撒对流云防雹增雨的数值模拟[J]. 南京气象学院学报,2006,29(1):48-55.
- [15] 宾振,吴万友,邓安强. 人工增雨统计检验系统设计与实现[J]. 气象与减灾研究,2008,31(4):55-58.
- [16] 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(S1):173-184.
- [17] 刘光媛,聂庆华,赵明. 基于 AcrIMS 开发 WebGIS 的农业环境信息系统研究[J]. 地理空间信息,2007,5(1):40242.
- [18] 叶青,陈冰廉. WebGIS 技术及其在气象领域的应用[J]. 广东气象,2004,25(3):40-43.
- [19] 庄立伟,刘庚山,王石立,等. 基于 WEBGIS 的农业气象信息共享与发布技术应用研究[J]. 应用气象学报,2004,15(6):745-753.