

人工增雨效果的数值统计评估方法

胡 鹏^{1,2} 谷湘潜³ 冶林茂² 董官臣²

(1 南京信息工程大学, 南京 210044; 2 河南省气象局气象科学研究所, 郑州 450003;
3 中国气象科学研究院, 北京 100081)

摘要 利用 1995~2001 年河南省春季降水资料, 采用数值预报与统计相结合的方法, 对飞机人工增雨的效果进行检验。该方法的基本思路是根据降水的气候特征设定增雨效果的评估区, 在同一评估区内应用数值模式 MMS V3 对历史降水过程的降水量进行数值预报, 从而获得一组预报雨量, 对非增雨过程的数值预报雨量与降水实况进行统计分析, 建立预报雨量与实况雨量的数理统计关系。对增雨作业过程的降水同样采用相同的数值模式进行预测, 并与增雨后的实况雨量比较, 从而得到飞机人工增雨效果。评估结果表明: 1995~2001 年春季飞机人工增雨效果比较明显, 豫北区(I 区) 平均为 16.7%, 豫东区(II 区) 平均为 19.3%。

关键词 人工增雨 数值统计 效果评估

引言

自人工影响天气科学试验开展以来, 人工催化作业的效果检验一直是极其重要, 而且是非常难以解决的科学难题。曾光平等在这方面作了大量的工作, 如区域对比试验、历史回归试验、古田水库人工增雨随机试验^[1-3]等, 并取得了很好的检验效果; 宋润田等(2000) 利用首都机场 RVR 能见度自动观测系统所测的实时资料及配对 t 检验法, 对人工消雾试验的效果进行了检验, 结果表明人工消雾前后能见度变化差异显著^[4]; 许焕斌(2001) 对爆炸影响云雾试验进行了分析和数值模拟, 验证了爆炸影响气流理论的可信性^[5]; 秦长学等(2003) 分析了碘化银地面发生器增雨(雪) 作业的可行性和确定作业时的可能与技术^[6]; 耿素江等(2003) 利用辽宁省 1981~1990 年 10 年无人工增雨作业的 NCEP 500 hPa 高度场资料以及 1996、1997 年有增雨作业的 500 hPa 资料, 对 10 年间无增雨日及两年中增雨日要素场采用“切比雪夫-傅里叶混合多项式”展开, 以寻求两个要素场的最小相关值, 藉此给出两年中不同增雨天气型的个例分析及 23 架次日增雨效果

百分率, 从而基于历史相似天气评估了人工增雨效果^[7]。上述工作大多建立在自然降水的统计上, 采用对比区或历史相似天气的降水, 应用统计学方法, 来检验作业区的增雨效率^[8]。近年来, 有关人工增雨效果检验方法的研究日渐深入, 特别是与数值方法相结合的效果检验方法逐步受到重视, 如 Yao Zhanyu 等(2004) 对青海省河南县的云催化降水效率进行了统计评估^[9], 姚展予等人(2004) 又用区域控制法对该地区 1997 年的人工增雨效果进行了评估^[10], 均取得了较好效果。本文尝试采用 MMS V3 中尺度嵌套网格模式的降水预报产品, 通过建立同区域内历史降水的数值预报结果与实况雨量的数理统计关系, 用同一区域的降水来定量评估本区域内的飞机人工增雨效果, 为人工增雨效果评估探索一种新的思路。

1 方法简介

1.1 自然降水量处理

考虑到数值模式的预报精度随时间的变化, 在时间上, 将不同季节的降水量分为不同的时段, 每个时段为 6 h, 即 02:00~08:00、08:00~14:00、14:00

河南省重大科技攻关项目“人工影响天气优化技术研究”资助

作者简介: 胡鹏, 男, 1961 年生, 高级工程师, 在读博士生, 从事天气预报、环境气象及相关技术研究, E-mail: hupeng1961@yahoo.com.cn

收稿日期: 2004 年 8 月 2 日; 定稿日期: 2004 年 9 月 28 日

~20:00, 20:00~02:00;在空间上,将河南省的地域根据不同的气候与降水特点划分为不同的评估区。河南省春秋季节的飞机人工增雨区域主要集中在豫东和豫北,本文只对上述两区域的增雨效果进行评估,图1给出了详细的分区范围。

I区(豫北)、II区(豫东)各有12个雨量站,将区域内各站的降水量按时段进行统计,用算术平均值代表区域降水量,同时将增雨作业过程与非作业过程按不同的序列进行统计。

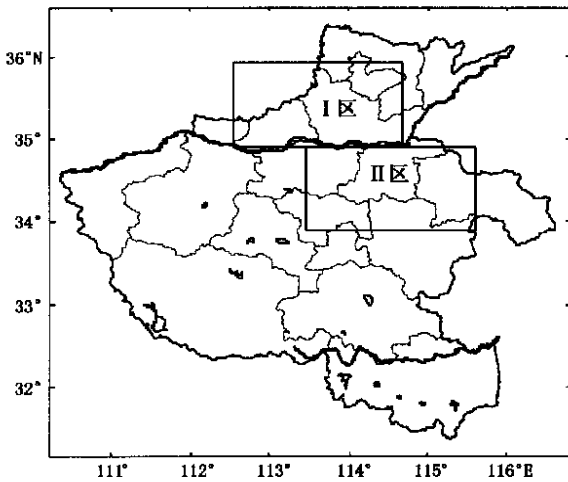


图1 评估区域分布图

1.2 数值模式输出雨量

选用的模式是由美国宾州大学(PSU)和美国国家大气研究中心(NCAR)共同研发的第5代中尺度模式的第3版本MM5 V3,它是在其前一版本MM5 V2基础上发展的。该模式较以前版本的模式有比较大的改进,其中主要是采用完全的非静力控制方程,引入了比较详细的陆面过程参数化方案和辐射参数化过程。本文基于MM5 V3版中尺度嵌套网格模式,其主要物理过程和参数设计如下:模式计算域中心位于(110°E, 35°N),粗网格距为60 km,细网格距为20 km,垂直方向为不等距的25层,格距为45 km;动力学过程为流体非静力平衡方案,下边界条件为Blackadar行星边界层方案;侧边界条件为时变流入/流出边界条件;大气辐射方案为简单冷却方案;背景场资料为TI06L19的1.125°×1.125°全球资料,垂直方向17层。每小时输出1次雨量预报。对于选定评估区,分别预测各雨量站的降水量,各测点的统计平均值作为评估区域的代表雨量。

各种数值试验表明:PSU/NCAR的中尺度数值

模式MM5能够较好地模拟我国一些中尺度天气系统及相联系的降水时空分布特征,并能在一定程度上揭示其发生和发展的过程和物理机制^[11-13];程麟生等通过MM5全域模拟结果与RAWINS的客观分析和云图分析对比后,发现MM5模式基本上可模拟出大尺度系统和 α 尺度低涡切变线的发生、发展和演变,并对其降水模拟、预报能力给予充分肯定^[14,15]。本文通过用历史资料进行控制试验,同样发现MM5 V3模式对评估区的环流形势、雨区分布及降雨量级等有较好的模拟、预报能力,可以用于人工增雨效果评估。但由于模式运行前期输出误差较大,又考虑到不同时段、不同季节的精度不同,对于评估白天(08:00~20:00)的增雨效果,采用前一天20:00的资料作为起报场,评估夜间(20:00~08:00)的增雨效果,采用当日08:00的资料作为起报场,生成了每6 h 1次的数值预报产品。

1.3 数理统计关系

用数值模式对历史降水过程降水量进行数值预报,获得一组预报雨量,对非增雨过程数值预报雨量与降水实况进行统计分析,根据不同评估区域、时段建立预报雨量与实况雨量的数理统计关系,即:

$$Y_{\text{估算}} = aY_{\text{数值计算}} + b \quad (1)$$

对相同区域和时段的增雨过程采用相同的数值模式进行降水预测,并应用上式的关系对模式预报雨量进行逐步回归订正,获得理论上的实际降水量。与实况雨量比较,从而得到飞机人工增雨的效果。

2 春季增雨效果分析

2.1 建立回归方程

利用1995~2001年历史气象资料,采用MM5 V3中尺度嵌套网格模式对春季降水过程进行数值预报,得到不同评估区域、不同时段,以及增雨作业与非作业共计8组预报雨量序列。同样,对降水实况进行相应的统计、排序。用没有进行人工增雨作业的序列,分别建立了4个线性回归方程,并统计各回归方程的历史拟合平均绝对误差率 Q 、 F 检验值等,结果列于表1中。其中,

$$Q = \frac{\sum_{i=1}^m |R_i|}{\sum_{i=1}^m Y'_i} \times 100\% \quad (2)$$

式中 R_i 为拟合误差值, Y'_i 为实况雨量。

对上述回归方程进行 F 检验,发现均能通过 $\alpha = 0.05$ 的显著性水平检验,表明回归方程具有较高

表 1 估算雨量与区域平均雨量的线性回归方程

	08:00 ~ 14:00				14:00 ~ 20:00			
	回归方程	样本数	F 检验值	平均绝对误差率/ %	回归方程	样本数	F 检验值	平均绝对误差率/ %
I 区	$Y = 2.33 + 0.35 X$	43	5.54**	7.1	$Y = 1.71 + 0.11 X$	43	6.02**	5.3
II 区	$Y = 1.62 + 0.71 X$	43	5.83**	6.2	$Y = 1.03 + 0.21 X$	43	5.16**	8.1

注: Y 表示该区域的估算雨量, X 为数值模式预报的区域平均雨量; * * 表示通过 $\alpha = 0.05$ 的显著性水平检验。

的可信度。从表 1 的结果也可以看出,各回归方程的拟合平均绝对误差率在 5.3 % ~ 8.1 % 之间,历史拟合率较高,可以用于增雨效果评估。

2.2 增雨效果估算

将所有作业过程的数值预报雨量序列 X_i 代入回归方程中,可以得到一组估算的降水量 Y_i ,与降水实况 Y'_i 进行比较,可以获得该区域相应时段的绝对增雨量 ΔY_i 、增雨效果 E 。因为用回归方程(1)估算降水的平均绝对误差率为 Q ,因此,估算的降水量 Y_i 的变化范围应为 $Y_i(1 \pm Q)$,则:

$$\Delta Y_i = Y'_i - Y_i(1 \pm Q) \quad (3)$$

$$E \approx \frac{\Delta Y_i}{Y_i(1 \pm Q)} \times 100\% \quad (4)$$

ΔY_i 、 E 实际上存在一个变化范围,为方便起见,在估算时对其求平均值。详细的增雨效果估算(样本数同表 1) 结果列于表 2。

表 2 增雨效果评估结果 %

区域	08:00 ~ 14:00	14:00 ~ 20:00	平均
I 区	12.2	21.2	16.7
II 区	14.7	23.9	19.3

由表 2 评估结果可以看出: ①河南省春季飞机人工增雨的总体效果是明显的,1995 ~ 2001 年 I 区(豫北)和 II 区(豫东)的平均增雨效率达 18.0 %; ②区域间, II 区的作业效果要优于 I 区的作业效果; ③时段上,下午的作业效果要优于上午的作业效果。

3 小结

用相同区域和时段的数值预报雨量与实况雨量建立数理统计关系,可以实现对增雨效果的评估,该方法做为人工增雨效果评估的一种新思路,在实施评估的过程中,要收集足够长的统计样本和采用相同稳定的数值模式进行计算。由于模式的初始场的变化将影响到预报精度,因此对历史资料的完整性要求高,且计算量大。

数值模式的网格距应尽量与地面气象台站的间距相当,尽量避免由于网格距过大而引起的插值误

差。在评估区域的划分上要充分考虑降水的气候特征,相同气候特征的区域可划在同一个评估区。在时段划分上,如果具备足够长的样本,可采用间隔 3 h 作为一个检验单元。

受模式预报精度的影响,本文 I 区 08:00 ~ 14:00 的评估精度略显偏低,即数值模式预报精度将直接影响到增雨效果评估的精度。但随着数值模式精度的提高,本文提出的方法,其评估精度也将进一步提高,会逐步走向实用、成熟。

参考文献

- 1 曾光平,吴章云. 人工增雨. 福建:福建科学技术出版社,1997
- 2 曾光平,方仕珍. 福建古田水库人工增雨效果的多元回归分析. 热带气象,1986,2(4):336-342
- 3 曾光平,刘峻. 人工降水试验效果检验的统计模拟方法研究. 气象学报,1993,51(2):241-247
- 4 宋润田,王伟民. 首都机场人工消雾试验的效果检验. 气象科技,2000,28(3):42-45
- 5 许焕斌. 爆炸影响云雾试验的分析和数值模拟再现. 气象科技,2001,29(2):41-44
- 6 秦长学,杨道侠,金永利. 碘化银地面发生器增雨(雪)作业可行性及作业时机选择. 气象科技,2003,31(3):174-178
- 7 耿素江,班显秀,袁健,等. 基于历史相似天气评估人工增雨效果. 气象科技,2003,31(4):231-236
- 8 游来光,马培民,胡志晋. 北京层状云人工降水试验研究. 气象科技,2002,30(增刊):19-26
- 9 Yao Zhanyu. Statistical evaluation for the precipitation effectiveness of cloud seeding in Henan County of Qinghai Province. 14th International Conference on Clouds and Precipitation (ICCP 2004), Bologna, Italy, July 2004.1276-1277
- 10 姚展予,许晨海,肖辉. 用区域控制法评估 1997 年青海省河南县人工增雨效果. 气象学报,2004,62(增刊)
- 11 陶诗言,倪允琪,赵思雄,等. 夏季中国暴雨的形成机理与预报研究. 北京:气象出版社,2001.184
- 12 冯伍虎. 强暴雨中尺度系统发展结构和机理的非静力数值模式模拟研究:[博士学位论文]. 兰州:兰州大学,2000
- 13 隆霄,程麟生. “99·6”梅雨锋暴雨低涡切变线的数值模拟和分析. 大气科学,2004,28(3):342-356
- 14 程麟生. 中尺度大气数值模式和模拟. 北京:气象出版社,1994
- 15 程麟生. 中尺度大气数值模式发展现状和应用前景. 高原气象,1999,18(3):350-360

Numerical-Statistical Method for Precipitation Enhancement Effectiveness Evaluation

Hu Peng^{1,2} Gu Xiangqian³ Ye Linmao² Dong Guanchen²

(1 Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044; 2 Henan Provincial Institute of Meteorology, Zhengzhou 450003; 3 Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

Abstract: Based on the data of precipitation in spring from 1995 to 2001 in Henan, a new method was developed combining numerical prediction and statistical analysis techniques to evaluate the effectiveness of precipitation enhancement by airplane seeding. The basic idea is that the numerical forecasts for historical raining processes were formulated and a series of precipitation forecasts were obtained in terms of the MM5 V3 numerical model in the same evaluation area, which was partitioned based on the climatic rainfall characteristics. The statistical equations between precipitation forecasts for non-seeding precipitation processes and observed precipitation were established. The rainfall of the seeded precipitation processes was predicted with the above model and compared with the observation. The effectiveness of precipitation enhancement was finally gained. The results show that the average effectiveness of precipitation enhancement in spring from 1995 to 2001 is 16.7% in the northern Henan and 19.3% in the eastern Henan, respectively.

Key words: numerical statistics, precipitation enhancement, effectiveness evaluation