

文章编号:1673-8411 (2015) 01-00105-03

# 几种人工增雨效果检验方法分析

徐冬英, 张中波, 唐林, 王治平

(湖南省人工影响天气领导小组办公室, 湖南 长沙 410007)

**摘要:**通过对目前国内外人工增雨效果检验的几种方法(统计检验、物理检验和数值模拟检验方法)的分析,找出了适于湖南省人工增雨效果检验的最佳方法。

**关键词:**人工增雨;效果检验;方法分析

中图分类号:P48

文献标识码:A

## Analysis on several testing methods of artificial precipitation effect

Xu Dongying, Zhang Zhongbo, Tang Lin, Wang Zhi-ping

(Hunan Province Weather modification office, Hunan Changsha 410007)

**Abstract:** Based on analysis of several testing methods (statistical test, physical test and numerical simulation test method) for artificial precipitation effect of home and abroad at present, the best method for testing artificial precipitation enhancement effect of Hunan province was found out.

**Key Words:** artificial precipitation; effect test; method analysis

## 前言

人工增雨效果检验是评估人工增雨技术总体科学水平和经济效益所不可缺少的重要环节,也是用于各级领导决策的重要依据。由于云和降水自然变率大,人们的认识能力有限,人工增雨效果检验一直是个世界性的难题。为了解决这一问题,国外和我国各省、市、自治区人影业务科技人员进行了大量的科学试验研究,得出了一些检验方法<sup>[1-7]</sup>。湖南省人工影响天气指挥中心在前人研究的基础上,尝试利用统计学方法,建立一种新的效果检验方法并在实践中得到了应用。

## 1 效果检验的基本方法

所谓人工增雨的效果评估就是要使用一定方法找出作业后的实测降水量B与自然发展云的自然降水量C的差值A,即 $A=B-C$ 。B值在作业后我们可以实际观测到。但在现有的科学基础上,人们却很难对C做出明确的定量预报。也就是说人工增雨的效果评估关键在于解决C的问题上。对于C,目前也只能通过各种间接的途径来获得。对估计值C的可

信度的检验,称之为效果检验。

自然降水量C的估计值要比实测雨量困难得多。也就是说,人工增雨的效果检验,实质上就是采用某种方法对云如果不催化、本身可以降的雨量进行定量估计的问题。目前国内外常用的人工增雨检验效果的方法有三种,即:统计检验、物理检验和数值模式检验。

### 1.1 统计检验

人工增雨效果检验常用的方法是统计分析方法,它是以地面降水量为统计变量。早期检验方法采用的是简单的雨量对比分析,逐步发展为雨量的统计检验。即对实测催化雨量与统计推断雨量之间的差值进行统计检验,找出由于降水的自然变差和估计值的随机误差引起的差异的可能性有多大<sup>[8-11]</sup>。若这种可能性很大,我们就没有理由认为人工催化显著地改变了实际雨量,即效果不显著;若这种可能性很小,例如小于5%,则认为人工催化效果显著。这种可能性的大小通常称为显著性水平或显著度。所有的统计分析方法无论是随机还是非随机的试验都是试图在降水自然起伏背景上对作业区或作业云的自然降水做出客观定量的估计。

收稿日期:2014-05-25

基金项目:湖南省气象局重点科研课题《湖南省飞机人工增雨作业指标研究》。

作者简介:徐冬英(1963-),女,工程师,主要从事人工影响天气业务管理工作。

所谓随机试验是把符合事先规定催化条件的机会原则分成 2 组: 一组催化, 一组不催化, 并互为对比。此时 2 组样本中统计量的差异, 可归因于催化的作用。统计学家认为只有随机试验才能符合科学客观的要求。20 世纪 60 年代以来美、俄、以色列、乌克兰等国家进行了长期大量随机化稳定的人工降水试验<sup>[12]</sup>。这些试验, 除了一部分因自然变化大、试验周期短、样本不足, 没有得出统计显著的结果外, 得到了人工增加雨量 10%~30% 的统计证据。但是, 随机试验的最大缺点是放弃一部分适合作业的机会, 且试验周期相当长, 不适合于抗旱、蓄水等生产性人工影响天气作业, 实际很难实现。目前普遍采用的方法为非随机试验, 它适用于生产性的人工增雨作业。

## 1.2 物理检验

单纯的雨量统计检验具有“黑箱”的性质, 它不能证明催化和雨量变化的物理因果关系, 统计分析结果也缺乏客观性。20 世纪 80 年代以来科学界对效果检验, 要求获取催化作用的物理证据, 要检验催化是否造成了一系列的物理变化, 如冰晶和降水粒子增多; 云中温度和上升速度增大等, 直到地面雨量增多, 这被称为物理检验。考虑到这些物理量本身也有较大的自然变化, 其催化效果也应采用统计分析方法, 故又称为物理统计方法。由于监测通信技术的迅速发展, 机载、地基等云降水探测设备的不断完善, 使物理统计检验得以实施。人们可以准确地预测具体云条件下和具体催化技术的物理效果, 虽然不够精确, 但能指示催化改变的物理量及其改变时间、空间和数量的大致范围, 利于效果检验的设计和运行。

效果的物理检验方法可为效果统计检验方法提供物理依据, 但这种方法无法给出定量效果。

## 1.3 数值模式检验

随着气象学家对云、降水和人工影响天气原理的进一步认识和计算机技术的发展, 一种新的效果评价方法也应运而生, 即数值模式检验方法。该方法是建立在云和降水宏观动力过程、微物理学过程及人工影响天气原理基础上, 针对不同问题, 建立一套描述云和降水过程的方程组, 采用适当的差分方案, 利用计算机求解。这是一种客观分析方法, 是效果检验的基本途径。然而, 目前人们对云和降水自然规律以及人工影响天气的机理认识还不十分清楚, 为了计算, 对模式本身做了大量的简化, 模式的差分设计还不够完善, 用于直接定量预报降水量及云体变化还比较困难, 因此, 这种方法作为人工增雨效果检验的手段还不十分可靠, 有待进一步完善。

# 2 常用的增雨效果统计检验方法

目前国内外较为公认的增雨效果统计检验方法

有以下几种。

## 2.1 序列试验

最简单的统计检验方法是序列试验。这种方法的关键是根据目标区雨量历史资料, 求出该地区相应于试验期的历史平均雨量, 以此作为试验期自然降水量的估计值, 然后与实测雨量比较, 得出人工影响的效果估计量。它是建立在假设试验区的自然降水量在历史上是平稳的时间序列。为了进行这种检验, 首先要确定计算雨量的时间单位。由于雨量的逐日变差很大, 所以几天的时间显然太短, 较适合的时间单位为 1 个月或 1 个季。

具体检验方法: 根据月(季)雨量历史资料求出该地的平均月(季)雨量  $R$  及其标准差  $S$ 。如果将月(季)雨量看成具有近似正态分布, 当历史资料年份比较长( $n>30$ )时, 近似服从标准正态分布。如果某一年的相应月份进行了催化试验, 结果月雨量的增值足够大, 使得  $\geq 1.65$ 。由正态分布的规律可知, 由于降水的自然起伏使得  $U \geq 1.65$  的概率只有 5%, 这是小概率事件, 所以认为该月(季)的人工降水试验有显著效果, 显著性水平为 5%。

序列试验以作业区历史平均雨量作为作业期自然估计值, 它假定了作业区自然降水量在历史上是平稳的随机序列。由于天气形势不同或局地气候条件有变化, 这个假定常常不能成立。且由于降水的自然变率太大, 用历史平均雨量来估计试验期的自然降水量的误差也就太大了。

## 2.2 区域对比试验

区域对比试验是选取一对对比区(指不受催化影响的地区), 一目标区(是指受到催化影响的地区)。假设试验期中对比区和目标区的降水量在空间分布上是均匀的。然后以同期对比区自然降雨量作为影响区自然雨量的估计值, 用影响区的实测雨量减去该估计值, 就得到了人工影响的效果。

区域对比试验是利用同期对比区雨量作为自然雨量的估计值。它假定作业期自然雨量的空间分布统计上是均匀的, 但实际上降水的地理分布差异很大, 同时在对对比区的选择上不可避免地存在着主观偏差, 因此, 这种假设存在着不合理性, 也很难满足。

## 2.3 区域回归试验

利用对比区(指不受催化影响的地区)自然雨量作为预报因子, 对试验期目标区(是指受到催化影响的地区)雨量进行统计推断。具体方法是: 借助于一个或一个以上的对比区, 根据历史资料建立目标区与对比区雨量的历史回归方程, 然后利用这一历史回归方程由试验期对比区的雨量来估计目标区的自然雨量<sup>[13]</sup>。

这种方法虽然没有假设降水在时空分布上是平稳的, 但比序列试验和区域对比试验前进了一步, 但

仍假设试验期目标区和对比区雨量相关关系和历史同期的区域雨量相关性相同。这种依据是不够充分的, 因此这种相关关系相同的假设难以满足。此外历史资料的长短以及对比区选择等都会影响统计检验的结果。

#### 2.4 区域控制模拟试验

该方法是在影响区上风方设计 2 个或 2 个以上的对比区(这里我们以 2 个对比区为例), 其中选择 1 个为对比区 1, 另 1 个为对比区 2; 1 个为影响区。

(1) 分析作业单元和历史资料雨量的统计特征值, 如均值、方差、各区雨量相关性及其分布拟合参数等。

(2) 根据上述特征值对对比区 1 和对比区 2 的历史资料进行删除, 使保留下的对比区 1 和对比区 2 历史雨量资料特征值和作业期 2 个对比区的雨量特征值相拟合。具体采用逐步剔除一逼近的方法。从时空分布上存在巨大差异的长序列历史资料中, 寻找与作业期降水特征的相似型。

(3) 对经上述处理后的 3 个区的历史样本雨量资料, 采用统计数值模拟方法, 建立影响区与对比区 1 的自然雨量相关系数、回归系数以及 2 个对比区这些参量的多元回归方程。再将作业期间对比区 1 和对比区 2 的雨量特征值代入上述求出的相关系数、回归系数及回归方程中, 得出作业期影响区和对比区 1 的相关系数和回归系数估计值, 从而模拟出作业期影响区自然雨量和对比区 1 自然雨量的一元线性回归方程。

(4) 再将作业期对比区 1 的自然雨量值代入, 即可求出作业影响区自然降水量的估计值。这样就可求出作业效果。

这种方法是近几年来提出的, 它比上述几种方法更完善了。但它的实质仍然是把不相似的样本从相似天气系统中剔除掉, 从而将人为的主观删除效应引入效果分析中。

### 3 对一种新的检验方法的应用

目前的效果检验方法虽很多, 但都不同程度上存在着问题。湖南省在人工增雨效果检验方面也做了大量的研究工作, 尝试了多种检验方法, 但由于方法本身的缺陷和资料方面的不足, 使检验效果不是十分令人满意。目前, 我们尝试了利用统计学方法, 遵循区域回归试验中二区设计的原则, 对描述天气过程的标准层温、压、湿、风等要素进行浓缩, 寻求相似分析方法, 建立相似分析模型。

#### 3.1 建立描述湖南降水天气过程的数据库

主要考虑 850, 700, 500hPa 标准层的温、压、湿要素。其范围在  $108.8^{\circ}\sim 114.3^{\circ}\text{E}$ , 北纬  $24.6^{\circ}\sim 30.1^{\circ}\text{N}$ ,

格距为  $0.2\times 0.2$ ; 格点数  $28\times 28$ 。

#### 3.2 确定样本对比指标

根据现有条件, 确定对比样本的主要标准有同期性、降水性质相同性和天气形势相似性。即对比样本应和作业样本在同一时间段内、降水性质必须相同、天气形势相似。

在上述条件满足的情况下, 对标准层要素进行傅立叶展开, 对展开系数描述气象要素场, 再根据最小距离原则, 找出最为相似的样本作为对比样本。根据选出的对比样本的降水量情况, 推断作业区的自然降水量, 给出人工增雨的效果检验结果。

### 4 结束语

人工影响天气的效果检验是一项既重要又困难的研究性和业务性工作。科学的效果检验是发展人工增雨学科的基础、是不可缺少的技术环节。上述效果评估方法在国内人影业务工作中较为常用, 也取得了一些研究成果, 但是由于云和降水的时空分布自然变率很大, 并受到不同时期气候变化影响, 以及作业工具、作业方式和作业时机等因素的制约, 客观科学地对每一次增雨作业进行效果检验评估仍是国际上的一个技术难题。随着气象探测设备的不断更新以及科学技术的进步, 卫星资料、双偏振雷达资料等多种探测资料的应用, 人工增雨作业效果检验的技术水平将会得到进一步提高。

参考文献:

- [1] 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 (8): 54~58.
- [2] 黄彦彬, 李天富, 李春鸾等. 2004 年春季海南火箭人工增雨效果检验 [J]. 广东气象, 2006, 28 (1): 50~53.
- [3] 罗远晖, 潘杰丽, 李永平. 钦州市一次火箭人工增雨作业效果分析 [J]. 气象研究与应用, 2013, 34 (2): 61.
- [4] 宾振, 吴万友, 邓安强. 江西省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): 56~57.
- [5] 蒋年冲, 曾光平, 袁野. 夏季对流云人工增雨效果评价方法初探 [J]. 气象, 2008 (1): 104~108.
- [6] 蔡幸尧. 火箭人工增雨效果评价系统的设计 [J]. 广东气象, 2010, 32 (1): 48.
- [7] 刘丽君, 张瑞波, 张正国. 广西人工影响天气云系模式预报效果检验 [J]. 气象研究与应用, 2009, 30 (4): 49~51.
- [8] 叶家东. 人工影响天气的统计数学方法 [M]. 北京: 科学出版社, 1982.
- [9] 谢梦莉. 气象灾害奉献因素分析与风险评估思路 [J]. 气象与减灾研究, 2007, 30 (2): 57~59.
- [10] 曾光平. 人工降水 [M]. 福州: 福建科学技术出版社, 1997.
- [11] 章澄昌. 人工影响天气概论 [M]. 北京: 气象出版社, 1992.
- [12] 章澄昌. 当前国外人工增雨防雹作业的效果评估 [J]. 气象, 1998, 24 (10): 3~8.
- [13] 张存. 人工影响天气优化技术研究 [M]. 北京: 气象出版社, 2000: 27~28.