

# 非随机化人工增雨试验效果的统计模拟研究\*

曾光平

(福建省气象科学研究所,福州 350001)

人工增雨抗旱救灾、水库蓄水发电外场作业均采用非随机化作业方案。非随机化试验通常有序列试验、区域对比试验和历史回归试验以及本文提出的多因子分层回归试验。由于自然降水在空间和时间分布上存在巨大差异,使得这些方法难以客观定量评价人工影响的效果。本文采用统计数值模拟方法,分析这些方案的功效、准确度和灵敏度,在此基础上确定影响效果评价的因子。

多因子分层回归试验是选择一些与降水过程有密切关系的物理现象或天气现象,通过分层建立回归关系。由于探测手段局限,福建省夏季人工增雨时只考虑了天气形势、降水类型和12h雨强等3个因子。根据人工增雨季节天气和降水特征,天气形势分为:副热带高压控制(含副热带高压边缘)和锋面系统2类;降水类型分为对流性降水、混合型降水和稳定型降水3类;降水强度分为 $<2\text{ mm}/12\text{ h}$ 、 $2\sim 10\text{ mm}/12\text{ h}$ 和 $>10\text{ mm}/12\text{ h}$ 3类。考虑到样本容量和自然降水的稳定性,本文取锋面系统影响下的稳定性降水,雨强区间取 $2\sim 10\text{ mm}/12\text{ h}$ 。由于其它分层取值回归时样本容量小、降水起伏大,2个区域雨量相关性差,导致对比单元与催化单元条件相似的假定依据不充分,回归分析的功效、准确度和灵敏度很低,使回归方程代表性很差、回归有效性差。因此文中对其它分层暂不作分析。

模拟试验资料是福建省1961~1990年7~9月自然降水资料。试验单元为6h,自然降水样本容量为1360个,区域雨量相关系数( $r$ )为0.5981( $\alpha < 0.01$ )。

## 1 功效、准确度和灵敏度分析

本文在统计模拟研究中,功效、准确度和灵敏度分别取以下值为规定的标准:

功效  $p \geq 0.80$ ;准确度 相对增值的准确度  $\xi \geq 0.80$ (即失真率  $\eta \leq 0.20$ );灵敏度(即在一定的相对增雨效果  $\theta$  下的统计检验显著度)  $\alpha \leq 0.05$ 。

不同方案的功效、准确度和灵敏度随样本容量和增雨效果的变化各有不同的特点,4种非随机试验方案中,多因子分层回归试验的功效、准确度和灵敏度均高于其它方案。当  $N=50, \theta=0.30$  时,多因子分层回归试验的功效  $p=0.89$ ,区域回归试验  $p=0.66$ ,其它2种方案均为  $p < 0.35$ ;多因子分类回归试验失真率  $\eta=0.25$ ,区域回归试验失真率次之( $\eta=0.42$ ),区域对比试验  $\eta$  为0.77,序列试验最差( $\eta=1.55$ );多因子分类回归试验灵敏度  $\alpha < 0.05$ ,区域回归试验次之,区域对比试验最差( $\alpha > 0.5$ )。当  $N=100, \theta=0.30$  时,多因子分类回归分析法的功效  $p=0.99$ 、准确度  $\xi=0.81$ 、灵敏度  $\alpha < 0.05$ ,已达到规定标

\* 1998-03-11收到,1998-10-05收到再改稿。

准;区域回归试验  $p=0.75$ 、 $\xi=0.71$ 、 $\alpha>0.1$ ,未达到规定标准,但较接近规定标准;其它2种方案甚至到  $N=200$ 、 $\theta=1.00$  时,还达不到规定标准.

## 2 影响非随机化人工增雨试验效果评价因子的分析

与随机化试验方案一样,非随机化人工增雨试验,影响统计方案设计的科学性因子有区域降水量相关性、催化作业样本容量、对比单元样本容量及统计变量的变数变换等,但主要是前2个因子.以下着重讨论区域降水量相关性和催化作业样本容量对统计方案设计科学性因子的影响.采用统计数值模拟方案分析这些因子对多因子分层回归试验方案的影响,并确定这些因子的最佳取值.

分析表明:①区域降水量相关系数和样本容量明显地影响各种方案的功效、准确度和灵敏度,并随区域降水量相关系数的提高和样本容量的增加而提高.②取  $p\geq 0.80$ 、 $\xi\geq 0.80$ 、 $\alpha\leq 0.05$ ,对于人工增雨可能增雨范围(20%~30%),多因子分层回归试验在本文分层取值情况下,相应于  $r=0.86$ 、 $0.70$  和  $0.61$  的催化作业样本数分别为 50~30、100~50、150~100;当  $r<0.52$  时,无法满足统计方案设计的要求.

## 3 小结

(1)4种非随机试验方案中,多因子分层回归试验在分层取值情况下其功效、准确度和灵敏度均较高于其它3种方案,区域回归试验方案次之,序列试验和区域对比试验方案难以满足统计方案设计的要求.

(2)影响非随机化人工增雨试验效果的因子主要有区域降水量相关系数和样本容量,而且这种影响随着相关系数的增大和样本容量的增大而减小.

(3)在人工增雨可能的增雨范围内(20%~30%)在分层取值情况下,多因子回归试验方案的试验周期最短,对应于  $r>0.70$ ,催化作业样本数为 100~50,区域回归试验次之(样本数为 130~80).其它2种方案试验周期更长.