

飞机人工增雨区域控制模拟 试验效果评价^①

李玉林

(江西省人工影响天气办公室,南昌 330046)

曾光平

杨梅

(福建省气象科学研究所)

(江西省气象台)

提 要

采用非随机化-区域控制模拟试验方案,对江西柘林水库区域(1979~1982)飞机人工增雨作业结果进行重新评价;通过与其它非随机化试验方案比较,区域控制模拟试验方案能够客观定量反映出柘林水库飞机人工增雨作业实际结果,是一种比较理想的人工增雨效果检验方法。分析结果表明,每次飞机人工增雨作业平均增雨量1.37mm/4h,相对增雨率24.92%($\alpha < 0.05$);经准确度比较,区域控制模拟试验方案产生的假效果为0.53%,属最小;而序列试验、区域对比试验、历史回归试验产生的假效果分别为9.89%、-19.52%、9.58%。

关键词: 飞机增雨 区域控制模拟试验 效果评价

引 言

柘林水库区域位于江西西北部,流域面积14700km²。1979~1982年为了解决水库缺水发电,在水库上游区域开展了飞机人工增雨,共飞行作业30架次,80%以上架次降了中~大雨。根据对1982年6月历史回归分析结果,相对增雨率为78.4%^[1];由于检验方法的局限性,此结果不能客观真实地反映柘林库区增雨实际效果。利用非随机化方案-区域控制模拟试验方案,对柘林水库(1979~1982)飞机人工增雨效果重新进行计算评估;此方法不仅克服了随机化试验周期长的缺点,而且弥补了非随机化其它方案不足之处;对周期短且专为抗旱服务的增雨试验,适用性强,可信度高,是一种可行的人工增雨效

果检验方法。

1 区域控制模拟试验方案的基本设想

人工增雨量 ΔR 可由下式表示:

$$\Delta R = R_s - R_{ns} \quad (1)$$

式(1)中 R_s 为影响区实测雨量(mm), R_{ns} 为假设未催化时自然降雨量(mm)。 R_s 是通过布设雨量点或由水文雨量站点获得, R_{ns} 则是通过模拟计算得到。

为了客观评价人工增雨效果,国内外进行了大量有设计的外场试验研究^[2],试图从巨大的自然降水差异中检验出人工催化播云结果。根据外场作业和研究需要,提出了两大类效果检验方案:随机化试验与非随机化试验方案。按照随机抽样理论与原则,随机化试验方案能准确且定量检出增雨结果,可信度

^① 为中国气象局云雾物理基金资助项目内容之一

也较高,但要求试验周期长,如以色列长达15年试验才分析出相对增雨率为10%~15%的结果;福建古田水库也在长达12年的试验中,才在 $\alpha < 0.01$ 与90%检出率下析出23.05%的人工增雨结果。随机化试验方案缺点在于,一是试验周期长,二是要失去50%作业机会,所以对以抗旱为目标的人工增雨试验适用性较差。

目前,大部分人工增雨外场作业都采用非随机化作业方案,它包括序列试验、区域对比试验和历史回归试验等,这些方案假设自然降雨量时空分布是平稳的,这实际上是难以做到的。因为自然降雨量时空分布差异大,假设无法得到满足,所以非随机化方案也很难真正反映出人工增雨结果。

通过随机化与非随机化试验方案分析比较,一种新的非随机化-区域控制模拟试验方案被提出来了^[3],与其它非随机化方案相比具有较为明显的优越性,它首先肯定自然降雨量时空分布是非平稳的,然后从长序列历史降雨量资料样本中分析出与作业期自然降雨量相似的样本,再利用数值模拟计算方法对作业影响区与对比区自然降雨量关系进行数值模拟,由计算机输出分析结果。

2 柘林水库(1979~1982)飞机人工增雨区域控制模拟试验方案效果评价

2.1 飞机人工增雨概况

柘林水库自1972年建成发电后,库区流域面积降雨量偏少,始终未达到设计库容量和库水位。为解决库区缺水发电问题,江西省政府决定在柘林水库区域上游进行飞机人工增雨,以江西南昌向坊机场为基地,飞行作业区域为库区上游的修水、铜鼓、武宁等县;省气象台713雷达提供作业区域云雨回波和天气实况。1979~1982年飞行作业30架次,飞行时间76小时,使用盐粉、尿素催化剂36.4吨;作业飞机为伊尔-14型与C-46型飞机。根据地面降雨量统计,飞行作业区域平均降

雨量12.0mm,最大降雨量42.0mm。

2.2 区域设计

在柘林水库区域上游设立一个影响区Y和两个对比区 X_1 、 X_2 , X_1 为主对比区(图1)。两个对比区位于影响区上风方(500hPa风向为WSW)。影响区Y面积3300km²,设有11个雨量点;主对比区 X_1 面积为2300km²,设有12个雨量点;对比区 X_2 面积为2300km²,设有6个雨量点。三个区域雨量资料记为:

历史资料:影响区: Y'_{ns} ,对比区1: X'_{1ns} (K组样本),对比区2: X'_{2ns} 。

作业期资料:影响区Y,对比区1: X_{1s} (J组样本),对比区2: X_{2s} 。

区域控制模拟试验效果统计分析步骤如下。

①分析作业期二个对比区及历史资料中三个区降雨量特征:均值、相关性、雨量分布的概率正态化型。

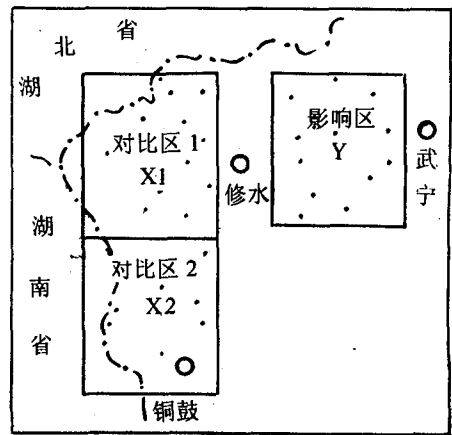


图1 柘林库区区域控制模拟试验区

②从1979~1982年与作业期为同一季节、同一降水类型获得对比样本,此外还符合以下条件:

从降水资料中获取对比样本(Y_{ns} 、 X_{1ns} 、 X_{2ns}),对比样本选取的条件是该时段二个对比区降雨量为以下值:

$$X_{1s}^* - 2\sigma_{X_1} \leq X_{1ns} \leq X_{1s}^* + 2\sigma_{X_1} \quad (2)$$

$$X_{2s}^* - 2\sigma_{x_2} \leq X_{2ni} \leq X_{2s}^* + 2\sigma_{x_2} \quad (3)$$

(2)、(3)式中 X_{1s}^* 、 X_{2s}^* 、 σ_{x_1} 、 σ_{x_2} 分别为作业期二个对比区降雨量均值和方差。

1979~1982 年长序列中共有 155 个资料样本,从中选取 122 个符合上述条件的对比单元,并同时满足式(2)和(3)(计算程序中给出具体值)。

对经上述处理后的三个区历史降雨量资料,从 122 个对比单元中随机抽取一组(如 40 个),采用统计数值模拟方法(文献[3]),分别对 Y 区与 X_1 区、 X_1 与 X_2 区进行数值模拟计算,可得多组相关系数、回归系数值;然后再建立影响区 Y 与主对比区 X_1 的自然降雨量的相关系数 $R_{(y-x_1)}$ 、回归系数 $A_{(y-x_1)}$ 、 $B_{(y-x_1)}$ 与二个对比区这些参量的多元回归方程:

$$R_{(y-x_1)} = R_0 + R_1 \cdot R_{(x_1-x_2)} \quad (4)$$

$$A_{(y-x_1)} = A_0 + A_1 \cdot (x_1 - x_2) + A_2 \cdot A(x_2 - x_1) \quad (5)$$

$$B_{(y-x_1)} = B_0 + B_1 \cdot (x_1 - x_2) + B_2 \cdot B(x_2 - x_1) \quad (6)$$

式(4)、(5)、(6)中 R_0 、 A_0 、 A_1 、 A_2 、 B_0 、 B_1 、 B_2 分别是 $R_{(y-x_1)}$ 、 $A_{(y-x_1)}$ 、 $B_{(y-x_1)}$ 多元回归方程的回归系数。

将作业期主对比区 1、对比区 2 的降雨量特征值 R 、 A 、 B 代入式(4)、(5)、(6) 计算得出影响区和主对比区相关系数与回归系数估计值 $R_{(y-x_1)}^{\#}$ 、 $A_{(y-x_1)}^{\#}$ 、 $B_{(y-x_1)}^{\#}$;从而模拟得出作业期影响区自然降雨量与主对比区自然降雨量一元线性回归方程:

$$Y_s^{\#} = A^{\#} \cdot (y - x_1) + B^{\#} \cdot (y - x_1) \cdot x_{1s} \quad (7)$$

然后用作业期主对比区 X_1 自然降雨量代入式(7) 计算得出影响区自然降雨量的估计值 $Y_s^{\#}$, 则人工催化增雨效果为:

$$\Delta R = \frac{Y_s - Y_s^{\#}}{Y_s^{\#}} \quad (8)$$

效果的显著性采用 t 检验。

2.3 作业单元、历史资料样本、作业样本确定

作业单元取 4 小时。历史资料样本是根据降雨量分布规律,1979~1982 年雨量资料长序列中资料样本共有 155 个,符合目标区与对比区条件的即为同一季节、同一降水类型资料样本为 122 个;然后取这 122 个样本单元作为历史资料样本。作业样本确定标准为:第一,作业云回波指标为,回波强度 ≥ 25 dBz,云顶高度 ≥ 6 km,强中心高度 ≥ 4 km;第二,为保证催化剂不影响对比区,规定(实际统计结果)500hPa 风向为 WSW,平均风速为 $12.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,与对比区不产生污染,这样在 1979~1982 年共飞行作业 30 架次中,符合要求的有 21 个作业样本。

计算结果输出:绝对增雨为 $1.37 \text{ mm}/4\text{h}$,相对增雨为 24.92% ($\alpha < 0.05$)。

2.4 不同试验方案准确度比较

正常情况下非作业单元人工增雨效果应等于零,但因受降雨量变异影响,统计的增雨结果不为零,产生了假效果。因此要用准确度好坏来比较区域控制模拟试验方案与非随机化其它方案的可靠性。

要在巨大降雨量变异背景下检验出增雨结果,如果析出的假效果大于或相当于增雨结果,则试验方案不可取,也无法析出实际的增雨结果。从 1979~1982 年长序列历史资料中取出的 122 个样本中,任取 40 个非催化资料样本,假设其催化,然后用不同试验方案模拟计算 10000 次增雨结果,以其平均值作为假效果值,结果列表 1。按照理论要求,这 40

表 1 不同试验方案计算的假效果值

方案	绝对增雨 mm/4h	相对增雨 %	α
区域控制模拟试验	0.038	0.53	$\alpha < 0.20$
序列试验	0.66	9.89	$0.01 < \alpha < 0.20$
区域对比试验	-1.76	-19.52	$\alpha \approx 0.05$
历史回归试验	-0.27	9.58	$0.01 < \alpha < 0.2$

个非催化样本未进行催化,其增雨结果应当等于零,但实际上计算机输出结果不为零,造

成了假效果。

由表1看出,区域控制模拟试验方案计算出的假效果值最小,为0.53%;序列试验方案、区域对比试验方案、历史回归试验方案计算的假效果值比较大,分别为9.89%、-19.52%、9.58%。可见区域控制模拟试验方案的准确度优于其它方案,能比较客观地反映和评价柘林水库区域飞机人工增雨效果。

此外,从对江西省单个人工增雨试验的分析结果看,相对增雨率在17.1%~78.4%之间变化(表2)。由于方案的局限性和资料样本及试验周期太短等,使得计算的增雨结果值明显偏大,不能反映出实际的增雨结果。

表2 江西人工增雨不同试验方案结果比较

方案	绝对增雨 (mm/月)	相对增雨 %	α
1974年黎川历史 回归试验(高炮)	24.8	17.1	<0.025
1976年柘林历史 回归试验(高炮)	41.8	43.5	<0.025
1982年柘林区域 对比试验(飞机)	102.2	78.4	<0.025
1979~1982柘林区域 控制模拟试验(飞机)	1.37 (mm/4h)	24.92	<0.005

表3是利用福建、江西、河南三省资料应用区域控制模拟试验方案计算所得出的结果,表明与随机化(福建古田)方案计算的结果值比较接近。

表3 区域控制模拟试验方案与随机化方案结果

省份	绝对增雨 mm/4h	相对增雨 %	α
福建	1.50	22.07	<0.01
江西	1.37	24.92	<0.05
河南		20.1	<0.01
福建古田随机试验	1.55	23.05	<0.01

3 小结

利用区域控制模拟试验方案对柘林水库区域(1979~1982)飞机人工增雨重新计算评价结果表明,每次飞机人工增雨作业增加降雨量(绝对增雨)1.33mm/4h,相对增雨24.92% ($\alpha < 0.05$),平均每个飞行作业日在水库区流域面积增加水量1279.6m³。

参考文献

- 1 李玉林. 江西柘林库区流域(1982年6月)飞机人工增雨效果评定. 江西气象科技, 1988(4).
- 2 Mason B J. 云物理学. 北京: 科学出版社, 1979.
- 3 曾光平. 非随机化人工降雨试验效果评价方法研究. 大气科学, 1998, 18(2): 232~242.

Effect Assessment of a Simulation Test of Airplane Rain Enhancement with Area Control

Li Yulin

(Weather Modification Office of Jiangxi Province, Nanchang 330046)

Zeng Guangping

(Fujian Research Institute of Meteorological Science)

Yang Mei

(Jiangxi Meteorological Observatory)

Abstract

By using of a simulation test with a non-randomize area control, the effect assessment of airplane rain enhancement over Zheling Reservoir of Jiangxi province from 1979 to 1982 was conducted and compared with other non-randomize tests. It is shown that the area control test is an objective assessment method better than others. Mean rain enhancement of every airplane operation is 1.37mm per four hours, and the relative rate of rain enhancement is 24.92%. By comparing accuracy of every method, the false effect of area control test is 0.53%, but the falso effect of sequence test, area contrast test and historical regression test is 9.89%, -19.52% and 19.58% respectively.

Key Words: airplane rain enhancement simulation test with area control effect assessment