

人工影响降雨再分配初步探讨

曾光平^①

(福建省气象科学研究所,福州 350001)

提 要

采用统计方法和数值模拟方法探讨人工影响后降水再分配和对局地降雨影响的可能性。统计结果表明:人工降雨影响了降水的自然分布,在作业点下风方出现了二个影响区:一个是增雨区(出现在作业点下风方 15~50km),另一个是减雨区(出现在作业点下风方 90~150km)。数值模拟结果表明:人工催化影响降水演变过程,而且改变了降水的分布。通过人为有意识的影响,有可能达到调控降水,减弱局地降雨的目的。

关键词: 人工影响 降雨 分布

引 言

干旱和洪涝灾害是我国最主要的自然灾害,随着国民经济快速发展,洪涝和暴雨造成的损失也越来越严重,已成为政府和公众日益关注的问题。半个多世纪来的人工影响降水研究和应用使人们关于自然云的微物理学、动力学以及各种技术知识大大增加,同时,有关人为干预降水形成过程的认识也不断提高。研究和实践表明:在适宜的地理背景和自然环境下在适当的云体部位进行有科学指导的人工催化作业,有可能达到增加降水和提前降水的目的,人工降水已成为抗旱救灾、水库蓄水的一种重要手段。与此同时,人工削弱局地暴雨(或抑制局地暴雨)也逐渐引起公众和科学界的重视。

早在 60 年代国外就开始了这项研究(也称“下风方效应”、“目标区外效应”、“延伸效应”、“持续效应”等)。Simpson 在 1977 年^[1]和 1978^[2]年分别发表过有关研究论文。美国在 60 年代进行人工影响台风的“狂飙计划”。此外美国的白顶试验也得出减少降水的统计

结果。

WMO 对这一研究给予极大的关注,多次在《人工影响天气现状的评述》^②中指出有意识播云导致降水转移和在目标区外使降水发生变化的问题。

根据天气学原理降水过程是能量和水汽积蓄和释放过程,因此从原则上来讲可以通过人为干预,破坏自然降水这一过程或使降水在时空上再分布,达到削弱或抑制局地暴雨的过程。

为探讨这一问题我们开展人工降水对降水时空分布影响的研究。采用统计学方法和数值模拟方法开展研究。

1 人工降水对降水时空分布影响的统计结果

1.1 试验方案设计

人工降雨对降雨时空分布影响(人工降水“下风方效应”)统计研究采用固定目标区和对比区的随机回归试验方案。分析资料选用古田人工降雨随机试验(1975~1986 年 4~6 月)样本。样本容量共 244 个,其中催化

^① 参加本项研究的有福建省气象科学研究所大气研究室全体成员。

^② 国家气象局科教司、中国气象学会大气物理委员会,1988,人工影响天气(一),50~54。

单元 122 个,非催化单元也是 122 个,作为对比。试验研究区面积为 20000km²。作业点设在古田县西北偏北 29km 的石塔山上。试验期(4~6 月)主要降水系统是自西向东移动的锋面切变线,且 500hPa 高空主要吹西南偏西风,这样把影响区设在作业点的下风方石塔山东偏北方向。为探讨人工影响下风方效应,将影响区一直向东延伸到闽东沿海。在影响区正西面设一个对比区。两区相隔 11km,作业点位于两区之间,可防止催化剂对对比区的污染。

试验期间“711”雷达设在古田县城关。试验单元取 3 小时。

根据天气预报,雷达观测,探空资料及事先规定的指标来选定试验单元^[3]。对符合作业条件被确定为试验的单元根据随机化原则决定是否催化,非催化单元作为对比单元。

1.2 统计评价方法

采用随机回归试验方案统计分析人工影响效果的区域分布。

考虑到作业期 500hPa 风向风速和雷达

观测到的作业云移速为 25~30km·h⁻¹。受催化影响的云体移到下风方目标区的时间受作业云移速和催化剂在云中扩散的影响,综合考虑这两个因素,根据下风方目标区内各站点距作业点不同距离取不同统计时段。具体是,距作业点距离小于 60km,统计时段取 1~3 小时;距作业点 60~90km,取 2~4 小时时段;距作业点 90~120km,取 3~5 小时时段;距作业点 120~150km,取 4~6 小时时段。

1.3 统计分析结果

1975~1986 年(4~6 月)12 年共进行 244 次随机试验,按随机化原则决定其中 122 次催化,122 次非催化,留作对比。根据下风方目标区内各站距作业点不同距离,取不同统计时段采用回归分析法分析单站催化效应^[4]。

作业点下风方目标区内各雨量站点催化效应回归分析结果绘于图 1。增雨效果大于等于 20%和小于等于 -20%区域统计显著度 $\alpha < 0.05$ 。

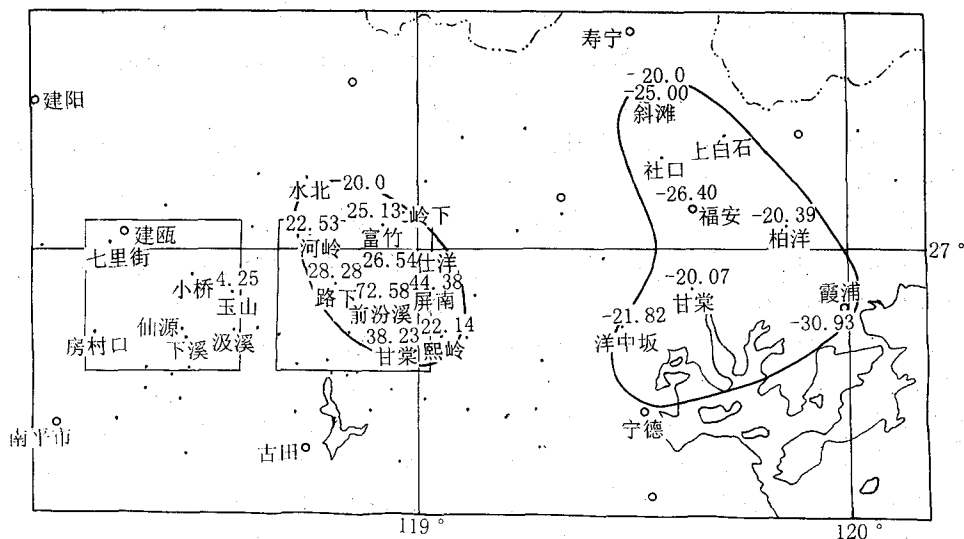


图 1 单站增雨效果分布图

从图 1 中可以看出:

①单站相对增雨效果绝对值大于 20%

有两个区域:第一个区域位于作业点下风方 15~50km,呈椭圆形状,长轴呈西北东南走向,长轴长约 50km,短轴呈东北西南走向,短轴长约 30km;第二个区域位于作业点下风方 90~150km。

②第一个区域为正效果区,第二个区域为负效果区。

③正效果区区域比负效果区区域小,但正效果区内单站增雨值大于负效果区的单站减雨值。如正效果区前汾溪站相对增雨 72.38%,屏南县相对增雨 44.35%,甘棠相对增雨 38.23%;而负效果区最大相对减雨值上白石为-35.11%,霞浦为-30.93%。

④两个区域之间相对增雨值和相对减雨值均不显著($\alpha > 0.05$),相对增雨绝对值最大值仅为百分之十几。

1.4 人工催化总效果

分别计算 $\alpha < 0.05$ 增雨区每次作业绝对增雨值和 $\alpha < 0.05$ 减雨区每次作业绝对减雨值,然后将两者相减得出人工催化效果。

下表列出各次作业在下风方增雨区和减雨区($\alpha < 0.05$)平均雨量绝对变化值。

表 1 人工增雨区域增雨效果统计值

	面积/km ²	各次作业平均绝对增雨/mm/3h	每次作业区域平均增雨/10 ⁴ m ³
增雨区	1148.35	1.570	180.33
减雨区	2772.16	0.307	85.19

从表 1 中可以看出:古田人工降雨期间(1975~1986 年 4~6 月间)每次作业在增雨区($\alpha < 0.05$ 的区域)平均绝对增雨 1.57mm/3h,区域总增加雨量 $180.33 \times 10^4 \text{m}^3$;在减雨区平均绝对减雨 0.307mm/3h,区域总减雨量 $85.19 \times 10^4 \text{m}^3$ 。每次作业净增加降水量为 $95.14 \times 10^4 \text{m}^3$ 。

2 人工催化降水对降水时空分布影响的数值模拟

本文利用胡志晋的一维积雨云双参数模式模拟福建省古田人工降雨试验期(华南前

汛期)锋前和高压天气条件下以暖云降水过程为主的暖积云自然降水过程和暖云催化过程。

2.1 催化方法

两个个例自然模式云高云水量区均出现在暖区,大于 $4\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 云含水量区,锋前个例位于 3000~4300m 高度,云水转化过程约在 24 分钟开始;高压个例位于 3400~5500m 高度,云水转化过程约在 21 分钟开始。这一季节 0℃层高度位于 5500m 左右。降水分别从 33 分钟和 42 分钟开始,暖雨降水是主要的。

自然云雷达初始回波出现高度较低而且强中心位于 0℃层高度以下。锋前个例初始回波出现在 2500m,强回波中心位置随时间升高,大约 10~20 分钟强回波中心升至 3000~4000m,强度为 20dBz;回波着地时间出现在初始回波出现后 15 分钟;随着降雨着地强回波中心高度下降,强度也逐渐减弱。高压个例初始回波出现的高度、强中心位置及其变化与锋前个例基本一样,即初始回波出现的高度较低,强回波中心出现在暖区。这一观测结果与模式运行结果基本相符,表明这一类云降水是暖云过程发动的。

两个个例自然云冰晶核化率极低,在云体进入 0℃层后一段时间内云中冰晶浓度小于 10^3 个 kg^{-1} 。两个个例在冷区开始云雨转化过程时间分别是 32 分钟和 36 分钟。通过“撞冻-繁生”正反馈过程,冰粒子浓度和霰水量增加,部分霰粒子转化为冰雹,霰和雹下落在 0℃层以下融化为雨滴。这时由于第一阵降水(暖云降水)已经消耗了大部分云水,暖区不能再提供充沛的水汽。所以在这类云中不会出现暖雨过程发动的冰相降水。对这类模式云我们进行不同播云时间、播云位置和播云剂量的冷云催化试验,结果表明由于冷区过冷却水含量较少,播云没有对冰晶浓度和冷区云雨转化过程产生明显的影响,再加

上第一阵降水基本上消耗了暖区大部分云水,致使催化后总降水量没有明显变化,催化效果不超过4.0%。

对这两类云进行不同时间、不同高度、不同剂量的暖云试验,结果表明暖云催化效果较明显并随催化的时间、高度和剂量不同而异。在初始回波出现的时间高度上进行催化效果最佳。锋前个例在模式运行到15分钟,3000m高度上催化,催化剂量取 10^5kg^{-1} (下同)效果最好,相对增雨达27.68%;绝对增雨5.599mm;高压个例在模式运行到12分钟,2400m高度上催化效果最好,相对增雨达4.92%;绝对增雨2.113mm。说明这两种天气条件锋前催化效果最好,高压较差。对不同剂量催化试验(催化剂量 N_r 分别取 10^2kg^{-1} 、 10^3kg^{-1} 、 10^4kg^{-1} 、 10^5kg^{-1} 、 10^6kg^{-1} 等),表明催化效果随剂量的增大而增加,只是随剂量增大催化效果增加趋于缓慢。本文在模拟时剂量取 10^5kg^{-1} 。

2.2 模式云3分钟雨强数值试验结果

图2和图3分别为锋前天气条件下和高压天气条件下2种模式云3分钟雨强随时间分布图。

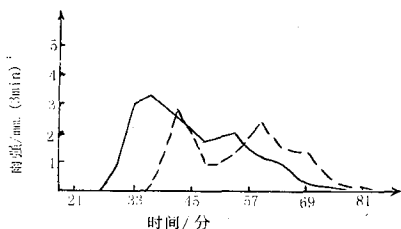


图2 锋前天气条件下自然云和催化云3分钟雨强随时间分布
实线:催化云 虚线:自然云

数值试验结果表明:

①模式云3分钟雨强分布表明,催化使过程总降水量发生变化。催化后,锋前条件下相对增雨27.68%;锋区天气条件下相对增雨10.59%,高压天气条件下相对增雨最小

仅为4.92%。

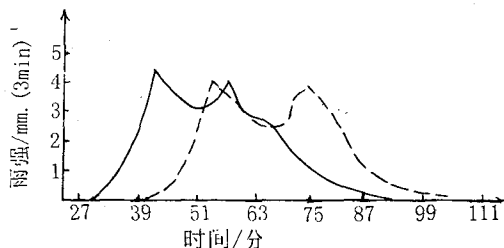


图3 高压天气条件下自然云和催化云3分钟雨强随时间分布
实线:催化云 虚线:自然云

②催化后使降水产生重新分布,不仅使降水提前发生,而且在播云后先出现增雨后出现减雨。锋前天气条件下56分钟前(催化后41分钟前)增雨,其后为减雨;锋区天气条件下,65分钟前(催化后59分钟前)增雨,其后为减雨;高压天气条件下,52分钟前(催化后40分钟前)为增雨,其后为减雨。

③3种天气条件下,催化云平均云水含量均小于自然云平均雨水含量。

3 人工影响降水分布机制的探讨

通过对两种模式云云水含量和雨水含量随时间的变化分布的对比,探讨催化对降水演变的影响的机制。

分析结果表明三种不同天气条件下,暖云催化微物理过程很相似。

①催化动力效应很小,上升速度没有发生变化,云顶高度也没有明显变化。

②催化加速暖区云雨转化,提前消耗大量云水,使云中云水明显减少,相应雨水含量提前出现并有明显增加。下表列出两个个例云雨碰并率最大值及出现的时间和高度。

表2 两个个例云雨碰并率最大值计算结果

	催化云 Ccr 最大值		自然云 Ccr 最大值	
	锋前	高压	锋前	高压
时间/min	24	24	27	33
高度/m	4000	3400	4400	5000
Ccr($10^{-3}\text{gkg}^{-1}\text{s}^{-1}$)	28(3*)	24(0*)	54(24**)	52(15**)

注: * 相应高度上自然云的 Ccr ** 相应高度上催化云的 Ccr

从表2中可以看出催化后云雨碰并提前出现,其最大值出现的时间均比自然云提前。在催化云雨碰并率 C_{cr} 出现最大值的时间和高度上自然云雨碰并率 $< 3 \times 10^{-3} \text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, 即自然云云雨转化过程还未启动。在自然云 C_{cr} 出现最大值的时间、高度上,催化云 C_{cr} 已明显减少且均小于自然云 C_{cr} , 即此时催化云消耗了大量的云水。这与前面所述催化对云水含量和雨水含量演变的影响是一致的。

4 小结

统计分析和数值模拟分析结果表明,通过人为有意识的影响,有可能达到改变降水分布,减弱局地降雨的目的,但是上述结论还

是初步的,缺乏足够的物理证据。人工影响局地降雨无论从理论上还是从应用上都极为复杂,需要进行更深入研究。

参考文献

- 1 Simpson, Joanne. Areas of seeding effects. World Meteorological Organization, Geneva, Weather Modification Programme, Precipitation Enhancement Project, Report No. 6, Dec., 1977: 56.
- 2 Simpson, Joanne. Areas of seeding effects. World Meteorological Organization, Geneva, Weather Modification Programme, Precipitation Enhancement Project, Report No. 9, April, 1978: 121~146.
- 3 曾光平. 人工降水. 福州: 福建科学技术出版社, 1997: 39~42.
- 4 曾光平. 人工降水. 福州: 福建科学技术出版社, 1997: 135~136.

Study on Precipitation Redistribution of Weather Modification

Zeng Guangping

(Fujian Institute of Meteorological Science, Fuzhou 350001)

Abstract

Using the statistical method and the numerical simulation method, the precipitation redistribution after weather modification and the possibility of the influence on local precipitation was discussed. Statistical results indicate that artificial rainfall influences the nature distribution of precipitation, and two pieces of influence area are appeared at downwind area of the operation base. One is a rain-increasing area (at downwind 15—50km area of operation base), another is a rain-reducing area (at downwind 90—150km area of operation base). Results of numerical simulation indicate that the artificial catalys influences the precipitation development procedure and transforms the precipitation distribution. It is possible to control precipitation and to weaken local precipitation through artificial conscious influence.

Key Words: weather modification precipitation redistribution numerical simulation