

全国人工降水、防雹 科技座谈会报告选编

(上)

中央气象局研究所

1973 年 10 月

433

42

毛主席语录

要认真总结经验。

在生产斗争和科学实验范围内,人类总是不断发展的,自然界也总是不断发展的,永远不会停止在一个水平上。因此,人类总得不断地总结经验,有所发现,有所发明,有所创造,有所前进。

说 明

一九七二年十二月，在长沙召开了“全国人工降水、防雹科技座谈会”，为了更好地总结、交流各地的经验和成果，经与提供报告的有关单位磋商选取七十七篇，汇集成册，供从事这项工作的同志参考。

由于我们政治与业务水平不高，在选编中会出现不少缺点，请批评指正。

目 录

人工降水部分

1. 新丰江水库区人工降水试验的效果及其分析方法·····	1
2. 湖南地区九年夏季高空人工降雨试验总结·····	16
3. 新安江流域 1968—1972 年人工降水总结·····	36
4. 四川地区 1972 年飞机人工降水试验总结·····	49
5. 1972 年湖北省人工催化降雨实验技术总结·····	65
6. 福建省 1972 年 4—5 月份人工降雨试验飞机作业技术总结·····	72
7. 1972 年人工催化降雨实验初步总结·····	77
8. 尿素催化层状冷云的野外试验·····	83
9. 碘化银水溶胶影响冷云的试验·····	97
10. 北京市 1972 年人工催化降雨小结·····	107
11. 天津市人工降雨试验分析·····	110
12. 1963 年 3 月 8 日干冰催化层性冷云试验报告·····	121
13. 1972 年 10 月 19 日人工催化降雨的初步分析·····	127
14. 用盐粉和尿素对春、夏季层状云催化效果的分析·····	135
15. 四川省高炮人工催化降水总结·····	144
16. 三七高炮人工催化降水试验情况报告·····	163
17. 碘化银催化降水试验总结·····	167
18. 吉林层状冷云催化效果与天气条件关系的初步研究·····	178
19. 新丰江水库地区人工降水试验天气条件的选择与利用·····	187
20. 1971 年 5 月 21 日人工降水个例分析·····	195
21. 湖南地区夏季对流云微结构特征·····	201
22. 降水性层状云微物理特征的初步探讨·····	216
23. 云室内尿素成冰性能试验·····	227
24. 人工降水试验的水化分析·····	242
25. 广西进行人工降雨试验目前所用的催化剂播撒装置·····	249
26. 试制 109 土炮弹技术总结·····	254
27. FJ-50 型土火箭技术总结·····	263
28. 降雨火箭的制造和使用·····	274

新丰江水库区人工降水 试验的效果及其分析方法

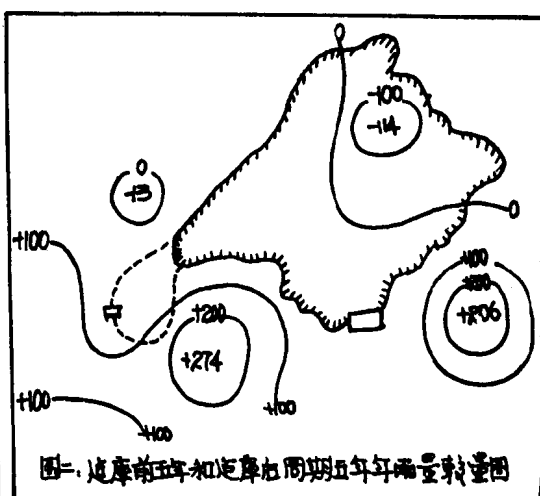
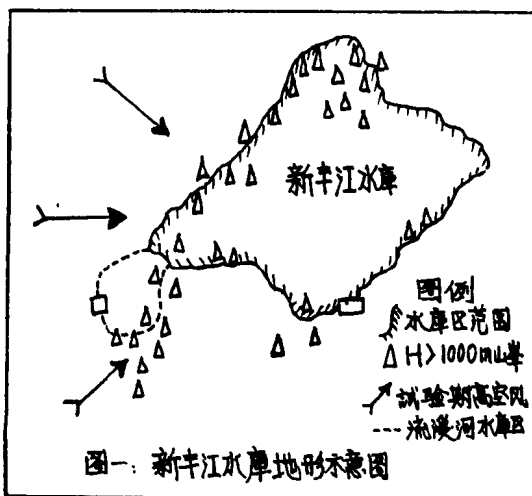
广东省气象局

水库区的人工降水试验,在我省还是一个新的课题;试验效果的分析研究工作,也才刚刚开始。

1970—1972年,我们在毛主席“备战、备荒、为人民”的伟大战略方针指引下,在省委、军区、军区的正确领导和中央气象局的指导下,由气象、水电、科技、轻工、电信等部门协作,并得到空军和民航的大力支援,在新丰江水库进行了三次人工降水试验,共150天,作业54日,飞行59架次,撒播盐粉约120吨(以上不包括支农抗旱和单独在其他水库的试验)。在这150天,水库区降水总量1307毫米。其中作业日雨量739毫米,作业后短时(6小时)雨量305毫米。经过分析检验,有16日(次)的试验雨量显著增加。降水增量的效果估算为174毫米,即在自然降水基础上增加14.1%。其中1972年效果较好,约增多106.9毫米(14.7%);而相对于6小时的雨量,即增加54%。1971年效果较小,仅增多雨量30毫米(10.5%)。三年来,由于人工降水试验,而获得了约5亿6千万立方水量的效益(其中72年为3亿5千万立方),如以9立方水发一度电计算,约可发电6千多万度。

一、概 述

新丰江水库区,背靠南岭山脉东段,横跨广东省的河源、新丰、连平三县的大部分,总面积5900平方公里,最大库容100亿方以上。库区地形复杂,被九连山区的20多座海拔1000多米的山峰环绕,且山脉呈西南—东北走向,使春夏间的西北和西南方向天气受阻,加



之蓄水面积大,抑制了热力对流(见图1),因此,水库建成后,雨量分布起了变化。据22个雨量站17年历史资料统计,建库前五年(1956—1960)与建库后同期五年(1966—1970)相比,建库后每年4月20日—7月10日,库区雨量平均偏少约11%。库外西南、东南两侧新出现了两个正距平中心,而库区上游则成了负距平中心(见图2)。由此可见,除天气规律自身的变化之外,库区下垫面的改变而引起的局部气候改变,是新丰江水库春夏间雨量偏少的重要原因。

那末,这一雨量减少的情况是在什么样的天气条件之下出现的呢?哪一类型的天气对水库的雨量起支配的作用呢?我们普查的结果见表1。

表1 新丰江地区 1961—1970 年每年 4 月 20 日至 7 月 10

日天气形势(以 08 时为准)与雨量统计

数 量 项 目 年 份	各 天 气 形 势 日 数						总日数	水库内 总雨量 (mm)	库 外 (B 区) 雨 量 (mm)	库内(A) 库外(B) 之差 (mm)
	锋面 低槽	冷变性 高压脊	脊后 槽前	副热带 高压	台 风 (台风槽)	台风外 围环流				
1961	22	24	9	13	5	9	82	656	822	-166
1962	34	27	14	7	0	0	82	857	1101	-244
1963	28	27	17	3	4	3	82	392	407	-15
1964	19	32	9	14	6	2	82	960	896	+64
1965	22	31	23	6	0	0	82	760	800	-40
1966	26	34	13	7	0	2	82	983	1117	-134
1967	23	24	17	13	2	3	82	565	699	-134
1968	22	32	28	0	0	0	82	1291	1337	-46
1969	19	39	16	8	0	0	82	609	739	-130
1970	22	31	20	9	0	0	82	563	847	-284
合计	237	301	166	80	17	19	820	7638	8765	-1127
平均	23.7	30.1	16.6	8.0	1.7	1.9	82	764	877	-113
≥0.1mm 雨日平均数	22.3	17.4	15.0	4.9	1.7	1.3	62.6	—	—	—
分型日数与 总日数比	28.9%	36.7%	20.2%	9.8%	2.1%	2.3%	100%	—	—	—
与总雨量比	60.4%	12.4%	18.5%	1.5%	5.7%	1.6%	100%	—	—	—

从表1可看出,春夏间影响新丰江地区的天气主要有两类六型。

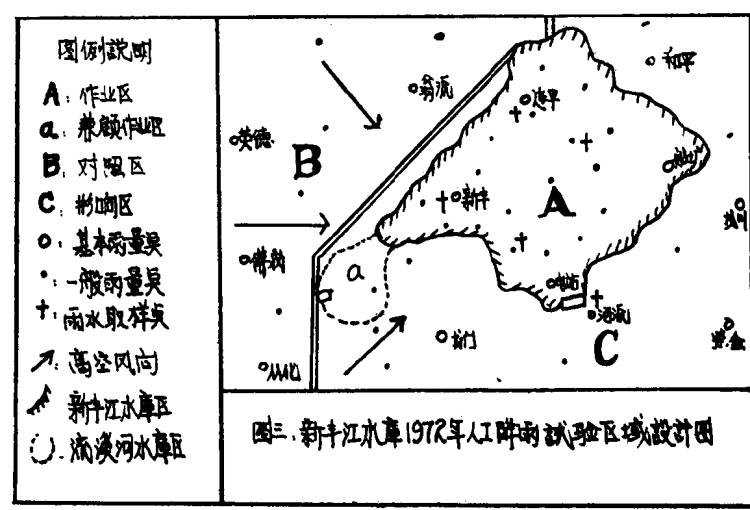
- I 类——锋面低槽(包括弱冷锋、静止锋、西南低槽等),脊后(锋后)槽前,台风;
- II 类——冷变性高压,副热带高压,台风外围环流。

两类天气各占日数的一半左右。然而,雨日及雨量比则差别很大。I 类天气中, ≥ 0.1 mm 的雨日机率达 93%; II 类则仅 59%。其中 ≥ 10.0 mm 的雨日,有 83% 出现于 I 类天气,而且 I 类天气的雨量占总量 85%。在 I 类天气中又以锋面低槽为主要,虽然它仅为总日数 28.9%,但却占有 10.0mm 雨量和总雨量的 60% 以上。而由于地形和当地气候特点,锋面低槽天气下,水库内雨量比库外上风方地区少 15%。因此,在水库区人工降水试验中,要着重抓住锋面低槽和与之密切相近的脊后(锋后)槽前天气进行催化作业,这是毫无疑问的。当然,在抓住这个重点的同时,也不应放过 II 类天气中某些特殊的有利的时机。

我们的人工降水试验,从生产的实际需要出发,以增加发电水源为主要目的,采用非随机方案,原则上在试验期内凡具有适宜的天气都争取时机作业。但由于在此雷雨季节,因航路受雷雨阻碍等客观原因,实际上有半数以上的作业机会被放弃。

遵照伟大领袖毛主席关于“有比较才能鉴别”和“去粗取精,去伪存真,由此及彼,由表及里”的教导,我们对试验效果的分析检验,根据非随机试验的特点,采用综合分析,多因控制,相互比较,分层检验的方法。即,对降水分布(雨型)、雨量估算、降水强度和雨水含盐量作综合分析,用历史性多因(区域、天气、雨量、时段)控制的经验回归法进行效果估算,在分析中贯穿着时间、空间的对比,按天气类型分层检验。具体做法是:

- 1. 把试验区划分为 A、a、B、c 四个区,其中 A 为作业区, a 为兼顾作业区。B 为对照区,



规划在 A 区上风方。c 为影响区,属 A、a 区下风方。在四个区域内设 13 个基本雨量点和 33 个一般雨量点。另外设 5 个雨水取样点,用于收集雨水样品,分析效果。

- 2. 分天气型对 A、B 区基本雨量点的历史雨量作普查统计,除统计日雨量外,还统计每日 08—24 时叠加的 6 小时雨量,每日分 08⁰¹—14, 09⁰¹—15, …… , 18⁰¹—24, 共统计 10 组。

- 3. 以历史雨量数据配合作业日(时段)雨量数据,用历史性多因控制经验回归法估算降

水效果。日雨量取相同的区域、天气型、雨量三个条件作为控制因子；作业后 6 小时雨量增加相同降水时段，以四个条件作为控制因子。用最小二乘法选取经验回归直线，并作经验相关系数计算， t 检验（包括区间估计和母体 α 和 β 的差异显著性检验），置信概率取 0.05 和 0.01。主要公式：

$$y \text{ 依 } x \text{ 回归方程 } \hat{y} = a + bx = \frac{\bar{y} \sum x^2 - \bar{x} \sum yx}{\sum x^2 - n\bar{x}^2} + \frac{\sum yx - n\bar{x}\bar{y}}{\sum x^2 - n\bar{x}^2} x \quad (1)$$

$$x \text{ 依 } y \text{ 回归方程 } \hat{x} = a' + b'y = \frac{\bar{x} \sum y^2 - \bar{y} \sum xy}{\sum y^2 - n\bar{y}^2} + \frac{\sum yx - n\bar{x}\bar{y}}{\sum y^2 - n\bar{y}^2} y \quad (2)$$

式中 y ——水库内(A区)雨量； x ——对照区(B区)雨量； $a(a')$ ——待定常数； $b(b')$ ——待定系数。

$$\text{经验相关系数 } r = \pm \sqrt{bb'} \quad (b, b' \text{ 为正值时取正值}) \quad (3)$$

$$t \text{ 检验区间估计 } \tilde{p} = a + bx \pm t_{0.05(0.01), s_0} \quad (4)$$

$$\text{其中均方根差 } s_0 = \left(\frac{\sum y^2 - a \sum y - b \sum yx}{n} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

母体系数 α 和 β 差异显著性检验

$$t = \frac{a - \alpha}{\left[\frac{\sum x^2 (\sum y^2 - a \sum y - b \sum yx)}{n(n-2)(\sum x^2 - n\bar{x}^2)} \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (6)$$

$$t = \frac{b - \beta}{\left[\frac{\sum y^2 - a \sum y - b \sum yx}{(n-2)(\sum x^2 - n\bar{x}^2)} \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (7)$$

4. 效果估算和检验程序。以B区作业日(或作业时段)的雨量 x' 作为固定的客观控制量(暂不考虑A区的雨量 y')，反查历年自然降水的对应于试验期的历史雨量 $x(x=x')$ ，以这一天或这同一时段的一对历史的 x, y 值，作为建立历史回归方程的一个子点。如果历史上有 n 个 $x=x'$ 值，则取其平均值作为一个子点；如果查不出 $x=x'$ 值，则取最接近 x' 的历史 x 值。全试验期有 n 个 x'_i 值 ($i=1, 2, 3 \cdots n$)，就从历史上反查出 n 对 x_i, y_i 值 ($i=1, 2, 3 \cdots n$)，建立回归方程。然后用这一历史回归方程，对试验期的 n 个 y' 值进行检验，并对试验效果作定性判断和定量估算。其判别标准是：

(1) 定性判断：

1) 全试验期或全期某类天气的试验效果达到显著程度——历史回归线与试验期回归线的 α 和 b ，在 $t_{0.05}$ 的意义下，来自不同的母体， $\hat{y}' > \hat{y}$ 。（ $\hat{y}'$ 为试验期回归期望值， $\hat{y}$ 为历史回归期望值）。

2) 试验获得增量效果，但不显著——在 $t_{0.05}$ 意义下，两条回归线仍属于同一母体，但部分试验次数的降水增量已超出 $t_{0.05}$ 区间，且超出次数的机率 $> 5\%$ 。

3) 全试验期(或某类天气)的试验无效——其降水量均在历史回归线的 $t_{0.05}$ 区间之内，增量超出区间的次数，其机率 $< 5\%$ 。

4) 全期试验的结果使雨量减少——超出 $\hat{y} + t_{0.05} s_y$ 区间上限的次数的机率 $< 5\%$, 超出 $\hat{y} - t_{0.05} s_y$ 区间下限的次数的机率 $> 5\%$ 。

(2) 雨量估算:

经检验后对每次试验结果区别下列三种情况,

1) 有效作业日 —— $y' > \hat{y} + t_{0.05} s_y$;

2) 雨量正常日 —— $\hat{y} + t_{0.05} s_y > y' > \hat{y} - t_{0.05} s_y$

3) 雨量减少日 —— $y' < \hat{y} - t_{0.05} s_y$

其中, 以有效作业日降水增量之和, 作为全期试验效果的总估算值, 即 $\Sigma \Delta y$, ($\Delta y = y' - \hat{y}$)。

5. 按试验的降水效果估算值进一步估算水库实得水量效益。

其公式为:

库区全试验期总雨量 $\times$ 库区面积 = 理论总水量 (立方) (6)

全试验期来水总量 (立方/秒) $\times 86400$ 秒 = 全期实得水量 (立方) (7)

$\frac{\text{全期实得水量}}{\text{理论总水量}} \times 100\% = \text{有效来水率}(\%)$ (8)

人工降水试验总雨量效果 $\times$ 库区面积 $\times$ 有效来水率 = 实得水量效益 (立方) (9)

二、分 析

我们的人工降水试验效果的分析检验, 是于 1972 年才有计划地进行的。为了便于说明分析的思路、过程和方法, 现着重叙述 72 年的分析。在此基础上对前两年的试验效果也作出估算。

1972 年 4 月 20 日至 7 月 10 日, 我们在新丰江水库作业 24 日 (25 架次), 水库区全期总雨量为 835 毫米, 比历年同期的平均雨量偏多 10.6%。我们认为, 仅从雨量偏多这一点, 是不足以说明人工降水的效果。因为历年来, 自然降水也多次出现过偏多。必须对于降水情况进行具体的分析, 才能作出适当的判断。

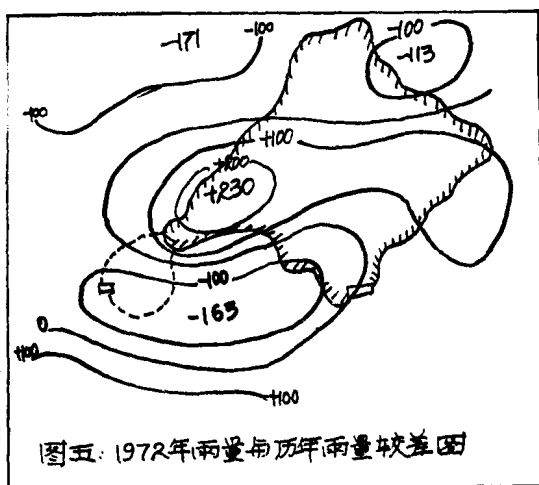
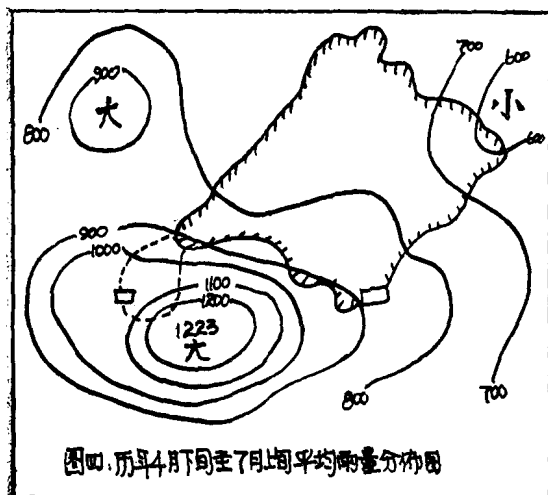
1. 雨型分析。

通过对降水分布形态的分析和比较, 有助于我们直观地了解人工降水试验与降水分布的关系。

据水库及其周围 40 个雨量站的历史资料, 1961—1970 年在 4 月 20 日至 7 月 10 日期间的雨量分布, 就其平均状况来说, 雨量中心在库外西南方, 雨量梯度自西南向东北递减 (如图 4)。

而 1972 年, 我们以同样 40 站的雨量与历史求距平, 则明显地出现了降水分布十分有利于库区, 一个 +230mm 的距平中心位于新丰县内, 它三面均被负距平区包围而独立存在 (如图 5)。

1972 年之所以出现这种形态的降水分布, 其原因可能有四点:



- (1) 纯属于自然现象, 且在历史上也曾出现过;
- (2) 虽然建水库后第一次出现, 但主要是非作业日的自然雨量偏多而形成, 仍与人工降水无关;
- (3) 主要是作业日雨量偏多而形成, 但却是非作业时段的自然雨量起主要作用;
- (4) 主要是由于人工播盐后的短时雨量显著增加而形成的, 它与人工降水试验有密切

表 2 1972 年与历史上雨量大于历年平均值年份的天气特征比较

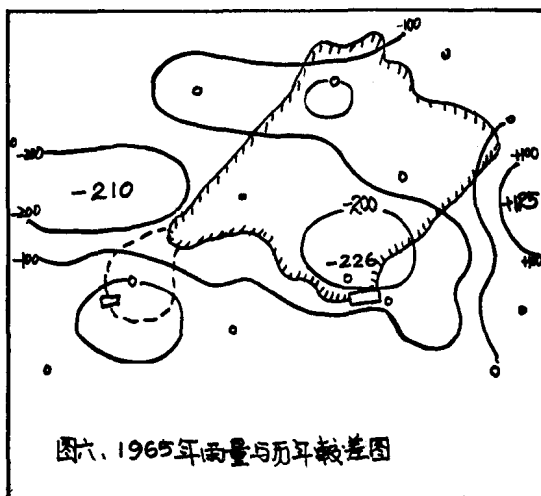
年份	库内全期雨量 (mm)	距平 (mm)	与库外 B 区雨量差 (mm)	正距平中心位置	主要天气特征	1972 年比较
1962	857	+22	-244	在库外西部, 中心值为 $> +300$ mm	锋面低槽日数为历年最多共 34 天偏多 40%。而不利于降水的副高天气仅 7 天。	锋面低槽日数, 仅接近于历年平均数, 共 23 日。而副高天气却多达 21 日, 相当于 62 年 3 倍。
1964	960	+125	+64	库外东北和西南, 中心值为 $> +300$ mm	此年台风日数是历年最多的一年, 共 6 天, 仅台风带来的雨量就达 279 mm 并且比库外偏多 122 mm。	台风日数为 0
1966	983	+148	-134	在库外偏南方, 中心值为 $> +750$ mm	冷空气活动占优势, 锋面天气日数比历年偏多 13%, 副高天气仅 7 天。	今年为副高天气最活跃的一年, 日数比 66 年多 3 倍, 出现时间比 66 年提前 35 天。
1968	1291	+456	-46	库外西南中心值为 $> +1100$ mm	此年 6 月份为特大暴雨年, 库内外均有不少站 6 月雨量 > 1000 mm, 而副高天气日数为 0。	今年天气特征与 68 年相反。6 月份库内无暴雨日而副高天气从 6 月 1 日起就相继出现, 日数达 21 天。

关系。

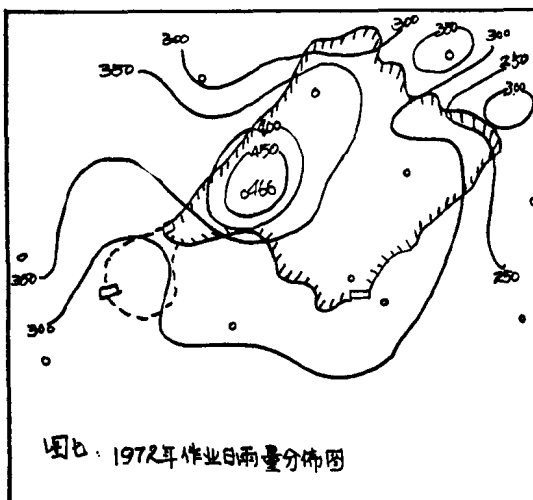
我们通过对历史资料的分析，证明了第一种假设是不存在的。水库建成后，与 1972 年一样雨量大于历年平均值的有四年。然而，这四年的雨量正距平中心均在库外，而且天气特征也与 1972 年大不相同(见表 2)。

我们进一步从雨型相似方面再作比较。历史上水库四周八个县的雨量及降水分布近似于 1972 年的是 1965 年，而 65 年库内的雨量和降水分布却与 72 年截然相反，库区为负距平中心控制(如图 6)。

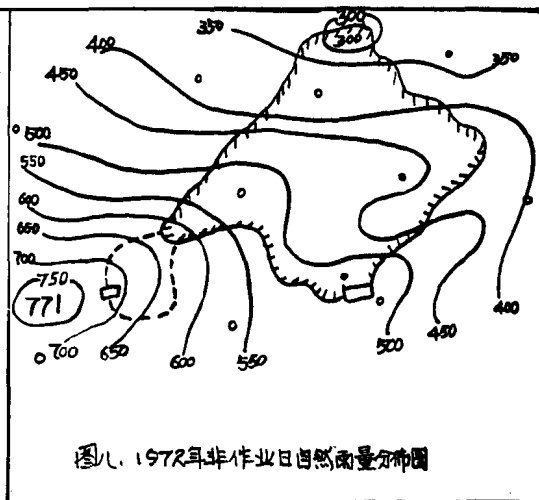
通过对 1972 年作业日与非作业日的雨量统计，也看清了非作业日库内降水并没有偏多，(如图 7、8)，而作业日库内雨量却偏多了。图 7 是作业日雨量分布，唯一的一个 450 mm 的中心独立地出现于库内(新丰县)；而非作业日的自然降水分布(图 8)，与历史平均状态并无明显差异。



图六、1965年雨量与历年较差图



图七、1972年作业日雨量分布图



图八、1972年非作业日自然雨量分布图

再通过作业日催化时段(作业后 6 小时)与非作业时段(18 小时)站网雨量的分析比较(如图 9、10)，更进一步弄清降水分布两者的差异。在催化时段里，雨量高度集中于水库内，中心 222mm 雨量闭合区控制了库区大部分及影响区。而非作业段的自然降水，雨量中心在库外上风方较远的地区，库区仅受其脊线伸入，雨量只是稍有偏多。

至此，可以认为：对于 1972 年新丰江地区雨量距平中心的形成，起主要作用的是人工降水试验在作业后 6 小时的雨量，但非作业段的自然雨量稍有偏多，也有所贡献。

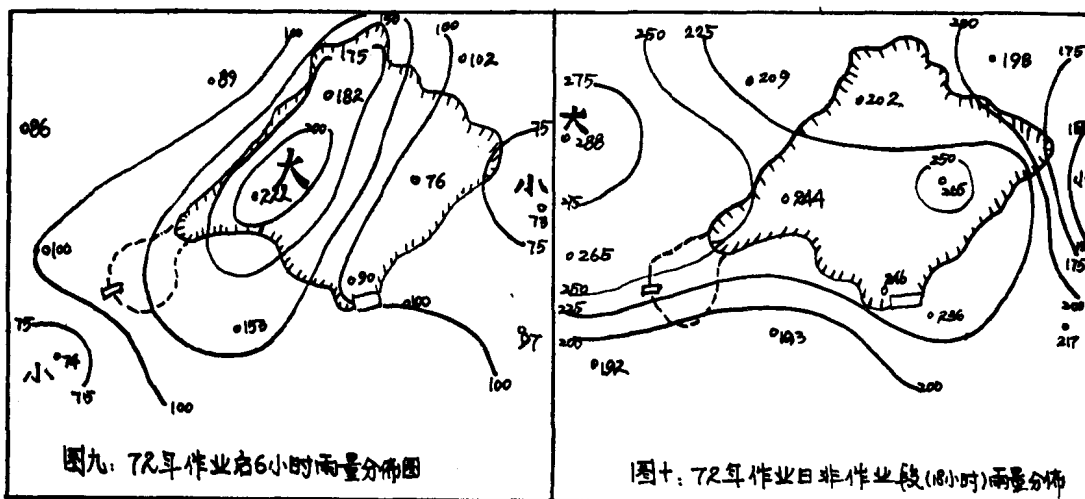


表 3 1972 年作业日雨量统计表 (雨量单位: mm)

编号	日期	天气形势	1972年 雨 量		历史雨量		编号	日期	天气形势	1972年 雨 量		历史雨量	
			A区 y'	B区 x'	A区 y	B区 x				B区 x'	A区 y'	A区 y	B区 x
1	4.20	锋面低槽	18.6	7.0	2.0	7.0	13	6.4	锋面低槽	49.3	25.0	29.4	24.9
2	4.22	锋面低槽	2.1	2.5	21.9	2.5	14	6.5	冷高压脊	21.0	1.4	4.0	1.4
3	5.3	脊后槽前	5.0	29.5	32.9	29.6	15	6.14	锋面低槽	21.6	66.7	19.2	68.8
4	5.4	脊后槽前	3.3	5.3	3.0	5.3	16	6.17	锋面低槽	33.4	7.2	1.7	7.2
5	5.5	锋面低槽	52.7	60.2	18.7	61.2	17	6.19	脊后槽前	29.5	8.2	1.6	8.2
6	5.6	锋面低槽	15.8	31.7	27.2	32.5	18	6.26	副 高	0.1	1.7	2.2	1.7
7	5.11	锋面低槽	45.0	33.7	14.8	33.4	19	6.27	台风外围环流	5.1	5.1	0.6	5.4
8	5.13	冷高压脊	5.0	0.4	0.4	0.4	20	6.28	台风外围环流	1.9	9.3	0.0	10.2
9	5.17	冷高压脊	0.4	0.4	0.4	0.4	21	7.3	副 高	1.4	2.1	0.4	1.9
10	5.19	锋面低槽	36.1	20.3	15.6	20.4	22	7.5	副 高	0.0	2.2	0.4	1.9
11	5.29	脊后槽前	4.1	0.1	2.7	0.1	23	7.9	副 高	17.0	1.4	2.8	1.4
12	5.30	锋面低槽	9.2	1.4	0.9	1.4	24	7.10	副 高	0.1	无雨	0.2	无雨
历史雨量数据:													
n=24.			(n-2)=22		n $\bar{y}^2$ =1718		n $\bar{x}^2$ =4459		Σy =203.0				
Σx =327.2			$\bar{y}\Sigma x^2$ =109260		$\bar{x}\Sigma yx$ =81722		$\bar{y}$ =8.46		$\bar{x}$ =13.63				
Σyx =5996			n $\bar{x}\bar{y}$ =2767		Σy^2 =4403		Σx^2 =12915						

表 4 1972年作业后六小时雨量统计表 (雨量单位: mm)

编 号	日 期	天气形势	雨量 时段	1972年 雨 量		历史雨量		编 号	日 期	天气形势	雨量 时段	1972年 雨 量		历史雨量	
				A区 y'	B区 x'	A区 y	B区 x					A区 y'	B区 x'	A区 y	B区 x
1	4.20	锋面低槽	12.01—18	无雨	无雨	无雨	无雨	13	6.4	锋面低槽	13.01—19	12.4	4.2	5.5	4.2
2	4.22	锋面低槽	10.01—16	0.0	0.0	0.0	0.0	14	6.5	冷高压脊	16.01—22	1.6	无雨	1.6	无雨
3	5.3	脊后槽前	11.01—17	4.6	23.6	23.1	24.9	15	6.14	锋面低槽	11.01—17	12.7	2.7	5.2	2.8
4	5.4	脊后槽前	13.01—19	1.8	4.0	无雨	4.1	16	6.17	锋面低槽	17.01—23	8.1	0.1	0.1	0.1
5	5.5	锋面低槽	11.01—17	35.3	27.5	9.4	23.5	17	6.19	脊后槽前	16.01—22	无雨	0.3	1.0	0.3
6	5.6	锋面低槽	13.01—19	0.4	1.8	2.9	1.8	18	6.26	副 高	17.01—23	0.1	无雨	2.5	无雨
7	5.11	锋面低槽	11.01—17	41.7	15.4	6.8	15.3	19	6.27	台风外围环流	12.01—18	3.4	3.3	1.4	1.2
8	5.13	冷高压脊	15.01—21	0.9	0.4	0.3	0.5	20	6.28	台风外围环流	15.01—21	1.1	1.5	0.1	0.7
9	5.17	冷高压脊	15.01—21	无雨	无雨	无雨	无雨	21	7.3	副 高	15.01—21	无雨	无雨	无雨	无雨
10	5.19	锋面低槽	13.01—19	1.8	0.7	4.7	0.7	22	7.5	副 高	12.01—18	无雨	0.1	无雨	0.2
11	5.29	脊后槽前	14.01—20	5.4	无雨	2.7	无雨	23	7.9	副 高	16.01—22	21.5	1.2	0.3	0.9
12	5.30	锋面低槽	15.01—21	11.8	无雨	0.3	无雨	24	7.10	副 高	17.01—23	无雨	无雨	无雨	无雨
历史雨量数据:															
				$ny^2=186$				$n\bar{x}^2=274$							
$n=24$				$(n-2)=22$				$\sum y^2=777$				$\sum x^2=1456$			
$\sum y=66.8$				$\sum x=81.2$				$\bar{y}\sum x^2=4046$				$\bar{x}\sum yx=3207$			
$\bar{y}=2.78$				$\bar{x}=3.38$				$\sum yx=949$				$n\bar{x}\bar{y}=226$			

2. 雨量分析。

雨型分析为我们提供了判断人工降水试验的作用的线索,但这种对现象的直观考察,还无法分辨什么时候什么情况下的试验获得效果和效果有多大这样一些实质问题。必须对降水量作具体的分析和估算,才能对试验成败及其程度,获得量方面的概念。

我们用于雨量分析的基本资料数据,见表 3、表 4。

根据这些数据,对全期 24 个作业日的试验效果检验和估算,在 $t_{0.05}$ 的意义下,有 7 天的雨量显著增加, $\sum_{i=1}^7 \Delta y_i$ 值为 184 毫米。但我们认为,把日雨量检验的结果,作为对人工催化作用的评价,显然是不够确切的。因为催化作业往往只局限于当日的某一时段,而日雨量则为作业段与非作业段雨量之总和。非作业段纯自然雨量的偏多或偏少,都可以造成效果检

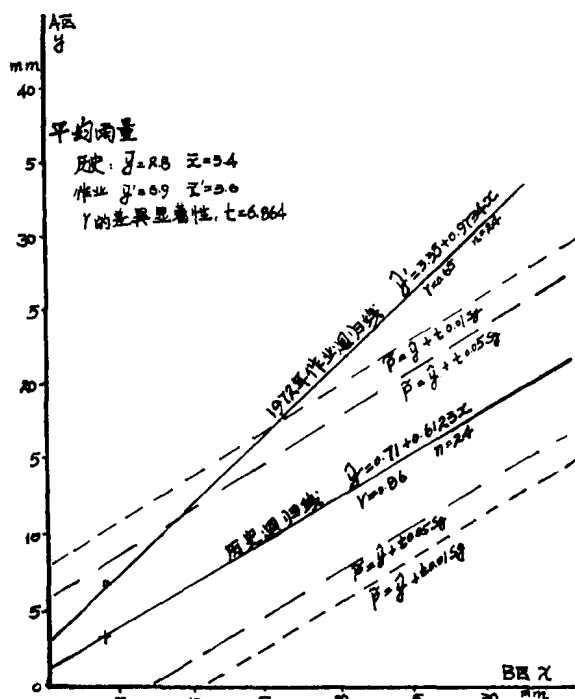


图11. 检验作业后6小时雨量的AB区雨量相关图

验的误差。尽可能排除非作业段纯自然降水的影响，这是效果检验中必须设法办到的事情。实践也证明，严格地截取催化时段的降水量(如有可能，还分别不同天气类型)，进行试验效果的检验和估算，所得的结果就较为合理和切合于实际。

图 11 和表 5，是对作业后六小时雨量检验和有效降水增量的估算结果。它们除了对雨量作出评价外，还能说明两个问题。

(1) 人工催化的效果，不仅可以从降水量的变化中表现出来，而且，在回归与相关系数中也有明显的反映。例如，图 11 显示出，在进行多因子控制后，历史上 A、B 区的雨量存在着比较密切的相关性， r 值达 0.86。而在施行人工催化作用后，这种密切相关性即受到破坏， r 值减至 0.65。按

公式 $t = \frac{|z_1 - z_2|}{\sqrt{\frac{1}{n_1 - 3} + \frac{1}{n_2 - 3}}}$ (其中 $z = 1.1513 \log_{10} \frac{1+r}{1-r}$) 作 t 检验， t 值达 6.864，说明这种差

表 5 1972 年 7 个有效作业日催化后 6 小时雨量效果估算值

(雨量单位: mm)

编号	日期	天气形势	雨量时段	1972 年		历 史		$\hat{y}$	Δy	显著性
				$(A \bar{x})$ y'	$(B \bar{x})$ x'	$(A \bar{x})$ y	$(B \bar{x})$ x			
1	5.5	锋面低槽	11.01—17	35.3	27.5	9.4	23.5	17.5	+17.8	>0.99
2	5.11	锋面低槽	11.01—17	41.7	15.4	6.8	15.3	10.1	+31.6	>0.99
3	5.30	锋面低槽	15.01—21	11.8	无雨	0.3	无雨	0.7	+11.1	>0.99
4	6.4	锋面低槽	13.01—19	12.4	4.2	5.5	4.2	3.3	+ 9.1	>0.99
5	6.14	锋面低槽	11.01—17	12.7	2.7	5.2	2.8	2.4	+10.3	>0.99
6	6.17	锋面低槽	17.01—23	8.1	0.1	1.0	0.1	0.8	+ 7.3	>0.99
7	7.9	副 高	16.01—22	21.5	1.2	0.3	0.9	1.3	+20.2	>0.99
合 计	—			145.3	51.1	28.5	46.8	36.1	+106.9	>0.99

异在 $t_{0.01}$ 的意义下已具有显著性。又如, 回归系数 b 值, 在 $x=x'$ 的情况下, 其数值的大小, 是由 y 所决定的。经作业后, 作业的 b 值增大了, 从 0.61 增至 0.97, 它说明了, 在多因相同的条件下, 人工催化作业后, 目标区的雨量比一般自然降水的雨量增加了。

(2) 检验的结果, 具有显著增量的有效作业日, 有 $\frac{6}{7}$ 集中在 I 类天气的锋面低槽型。我

们进一步按 I 类天气作分层检验 (如图 12), 在 I 类天气中, 作业的和历史的两条回归线的母体参数的差异性达到了显著的程度 ($t_{0.01}$)。这两条回归线在多因相同的条件下而来自两个不同的母体了。它进一步证明, I 类天气是新丰江水库区春夏间人工降水的主要天气条件, 锋面低槽天气尤其是主要的作业对象, 而又在 $>5\text{mm}/6$ 小时雨量的情况下, 最易收到人工加大雨量的效果。1972 年 10 个锋面低槽作业日, 6 天效果显著 (机率 60%), 其降水增量 86.7 毫米, 占全期总效果 106.9 毫米的 81%。

3. 降水强度及雨水含盐量分析。

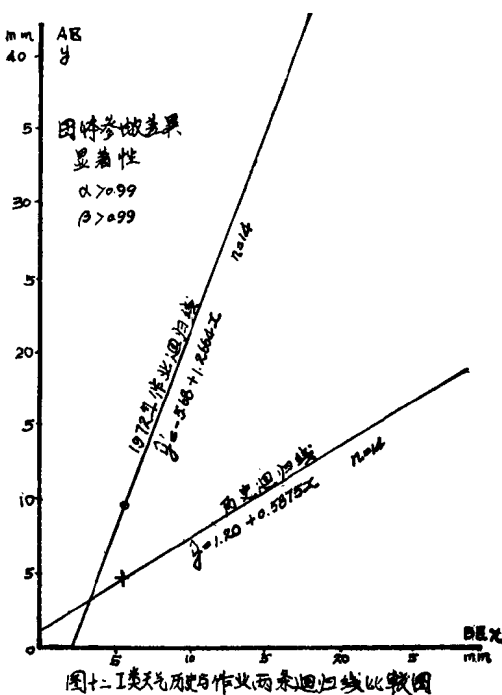
毛主席教导我们: “唯物辩证法认为外因是变化的条件, 内因是变化的根据, 外因通过内因而起作用。”人工降水作业, 仅是给云层降水加进一个外因, 它要通过云层的内因才能起作用。

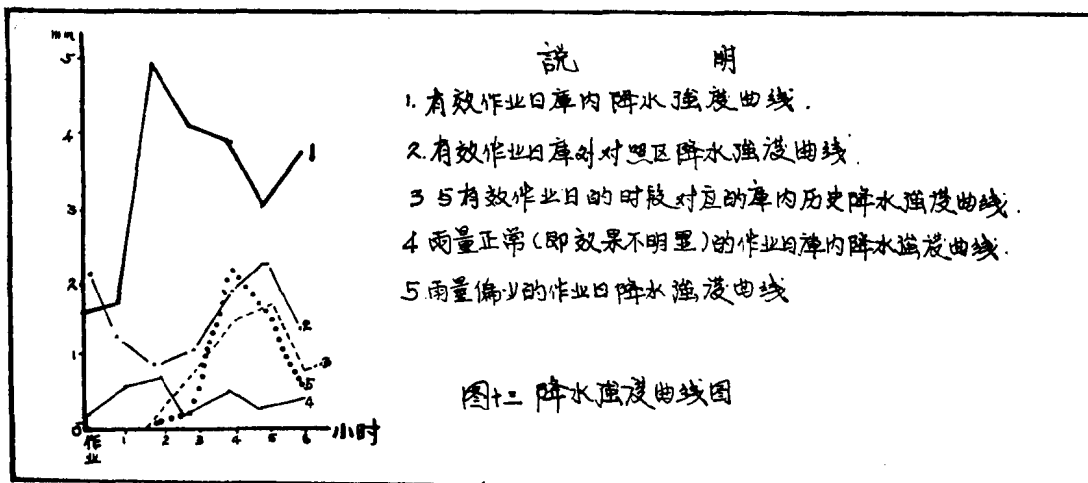
因此, 在分析人工降水效果时, 不仅要分析雨量与作业的关系, 还要分析人工催化与云雨内部矛盾运动的关系, 从而找出它们的有机联系。

我们在缺乏微观数据和雷达资料的情况下, 仅从降水强度和雨水含盐量方面作初步的探讨。

图 13 是各种情况下平均每小时降水强度变化的曲线图。其中曲线 (1.) 是显著度 0.99 的有效作业日库内每小时平均降水强度。其增量十分明显, 并在播盐后 1—2 小时达最大值, 强度相当于作业时的 3.4 倍。而表征其他情况下的降水强度的曲线 2、3、4、5, 均无曲线 1 的这种特征。

为了进一步考察有效作业日的降水强度激增是否与人工播盐有关, 我们把作业区中心新丰站取得的雨水分析资料中, 按同类锋面低槽天气作比较的原则, 把纯自然雨水和有效作业日于催化后 4 小时内雨水, 在含盐 (NaCl) 量方面作一比较。在氯、钠含量方面, 催化时段的平均 9.21 毫克/升, 比自然雨水的增加了 1.30 毫克/升; 而且氯、钠离子量在氯化物总量中的比例, 也从 91% 上升至 94%。再从动态分析方面看, 雨强变化同雨水含盐量密切相关。例如, 5 月 30 日, 播区中心的新丰站, 在播盐后 3 小时内, 出现了一次总量为 35.5 毫米的大雨,



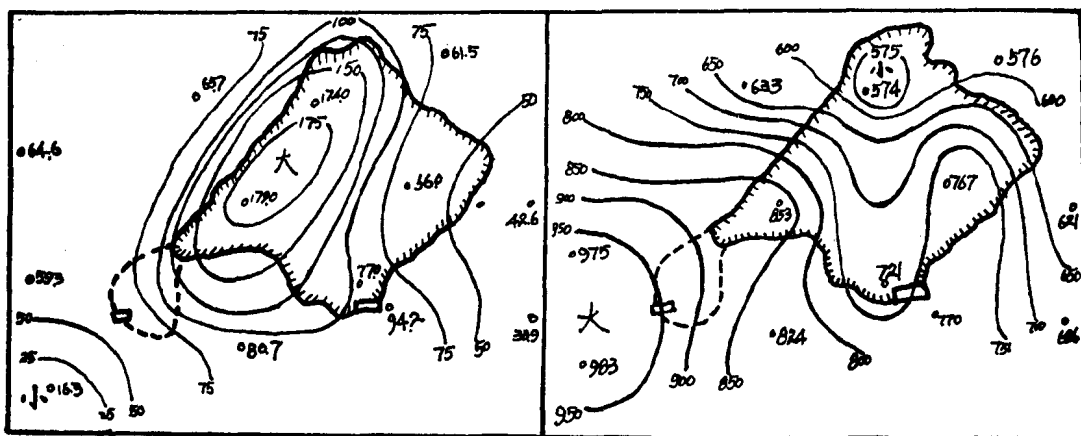


十分钟最大降水强度 16mm/10 分。雨水氯离子量，全过程平均 7.84 毫克/升，而十分钟最大降水强度出现时，氯离子量激增至 15.31 毫克/升，比平均值增多近一倍。又如，6 月 17 日，对已出现自然降水的 Sc 进行云中播盐催化。催化前一小时，降水量 7.7 毫米/小时，雨水含氯量 4.59 毫克/升；催化后一小时，降水量 11.8 毫米/小时，氯离子 5.74 毫克/升。在播盐后雨量和氯离子量都同时增加了。

通过雨型、雨量、雨强和含盐量的综合分析，得出以下结论：

第一，1972 年新丰江水库区的人工降水试验，部分地取得了成功。24 个作业日中，有 7 日能在 $t_{0.01}$ 的意义下取得了显著效果，并且为降水强度和雨水含盐量的变化所证实。在这获得成功的部分，使水库的雨量增多了 106.9 毫米。这一部分雨量，相当于全期降水总量的 12.8%；作业日降水总量的 28.3%；作业时段降水总量的 64.9%。

第二，人工降水试验获得的 106.9 毫米的降水增量效果，对于 1972 年新丰江地区 4 月 20 日——7 月 10 日期间雨量最大的正距平中心的形成，起了重要作用。很明显，如果把成功的 7 次试验的各站短时雨量除掉的话，雨量正距平中心就不存在了（见图 14、15）



图十四 1972年7次有效作业(424时)雨量分布图

图十五 1972年除7次有效作业外雨量分布图

基于以上方法,我们对三年来新丰江水库区的人工降水试验效果进行了估算。其中71年和72年的方法完全相同;70年则因缺少历史资料,仅采用距平法估算(见表6、表7)。

表6 1970—1972年新丰江水库区人工降水试验效果

年 份	试 验 期	总 日 数	作 业 日	飞 行 架 次	有 效 日		库区实测降水量 (mm)			效果估算值 (mm)
					日 数	机 率	全 期	作 业 日	作业后 6 小时	
1970	9.9—9.26	18	12	16	(4)	33%	(157	152	64	37)
1971	4.17—6.5	50	18	18	5	28%	315	209	76	30
1972	4.20—7.10	82	24	25	7	29%	835	378	165	107
合 计		150	54	59	16	30%	1307	739	305	174

表7 1970—1972年人工降水试验实得水量效益估算

年 份	雨量效果 (mm)	理论水量(亿立方)	有效来水率	水量效益(亿立方)
1970	(37)	(2.183)	(65.2%)	(1.432)
1971	30	1.770	38.3%	0.678
1972	107	6.313	55.8%	3.522
合 计	174	10.266	54.8%	5.623

三、讨 论

人工降水作业能否使雨量增加和增加多少,这是效果分析检验所研究的主要对象。在目前结合生产而进行的试验中,要评价降水量的效果,关键在于找出一种适宜于非随机试验的效果检验分析的方法。我们在实践中的体会是:

1. 从调查历史天气的背景入手,区别天气型进行分层检验是必要的。“科学研究的区分,就是根据科学对象所具有的特殊的矛盾性。”影响某一地区降水量的大小,是有很多因素的。而在诸因素中,天气形势的演变起着主导的作用。不同的天气形势下,降水的根据是不同的。例如,新丰江地区,历年春夏间,在锋面低槽天气影响下,平均日雨量19.1毫米,而在副高控制下,日平均雨量仅1.5毫米。两者相差11倍。只有对天气形势这一因素予以充分考虑,区别其特殊性,按天气型分层检验,才可能作出合乎逻辑的判断。

2. 在选定检验效果的雨量数据方面,选作业后短时段的优于全期或全日的。至于选择的时段多长为宜,我们认为,用高空撒播盐核催化暖云,时效不长,而且人工盐核在某一地区上空的停留时间也是很短的。以新丰江为例,若高空风为5m/s,6小时就掠过全区。截取作业后6小时的雨量,在一般情况下,足以反映人工催化的效应。