

# 利用人工降水效果统计量 评价人工降水效果

冯宏芳 郑淑贞 陈敏艳 曾光平

(福建省气象局,福州 350001)

## 提 要

采用统计数值模拟方法研究人工降水增雨效果统计量的分布及特征。结果表明:人工降水增雨效果统计量服从正态分布(正态拟合概率 $>0.70$ ),增雨效果统计量的均值与增雨效果相关密切( $r>0.99, \alpha<0.001$ ),一元线性回归方程显著,可信度达99%以上。利用这一规律,通过统计增雨效果统计量可以求出人工增水效果。

**关键词:** 人工降水 效果统计量 评价效果

## 前 言

人工降水的直接效果(即人工催化后,引起地面降水量的变化)通过各种统计方法给出定量的评价。但是由于降水时空分布的不均匀性,各种非随机化人工降水统计方法所给出的统计结果不仅包括人工影响的部分,同时还包括众多非人工影响因素产生的结果。而且目前无法从效果统计结果中把人工影响的“信号”区分出来。不同的统计方案由于假设不同,降水时空分布不均匀性,影响也不同,效果统计量特征值也不一样。

序列试验假设降水在时间分布上是均匀的,以历史同期降水量均值作为作业期自然降水量的估计值。由于降水在时间分布上的不均匀性,使得统计结果必然包括降水时间分布不均匀性所产生的假效果。

区域对比试验假设降水在空间分布上是均匀的,以同期对比区降水量作为影响区自然降水量的估计值。由于降水在空间分布上的不均匀性,这一方案统计结果中也包括降水空间不均匀性所产生的假效果。

历史回归试验根据历史资料建立目标区与对比区的历史雨量回归方程,然后利用这一历史回归方程从试验期对比区的雨量来估计目标区的自然雨量,它假设试验期两区自然降水量的关系与历史上同期两区自然雨量关系是一样的。由于降水时空分布的不均匀

性,这种假设显然是不合理的,必然使回归分析结果产生假效果。

## 1 分析思路

通过采用统计数值模拟方法中的自然复随机化试验法<sup>[1]</sup>分析历史资料(自然降水资料)产生“效果”统计量的规律。

具体做法是从历史样本(容量为 $N$ )中随机抽取 $K$ 个单元( $K$ 值是由增雨效果和检出率确定<sup>[1]</sup>)作“催化”处理(假设催化效果 $\theta=0.00, 0.10, 0.20, \dots, 1.00$ ),各增雨效果在各自的试验中保持定常。其余 $n=N-K$ 个单元留作对比。

对于给定的一种“催化”处理(如 $\theta=0.10$ ),一种抽样方式(如随机抽取一次 $K$ 个单元作为“催化”样本),可以得出一个相应的“效果”统计量 $R_i(\theta, K)$ ;显然,对于给定的 $\theta$ 值和 $K$ 值可以进行不同的抽样方式,比如说10000次,可得出10000个 $R_i(\theta, K)$ 。很显然,由于降水时空分布的不均匀性,使得 $R_i(\theta, K)$ 不等于 $\theta$ 。可以通过分析 $R_i(\theta, K)$ 分布及统计量特征值的规律,探讨 $R_i(\theta, K)$ 统计量特征值与增雨效果的关系。

## 2 分析资料

为探讨人工降雨效果统计量分布规律以及效果与效果统计量的特征值的关系,本文对辽宁省、江西省、河南省、安徽省飞机人工降水同期的历史自然降水资料以及新疆自治

区中天山山区人工降水历史自然径流量资料,采用本文第二节的方法进行数值试验。人工降雨同期历史自然降水资料(径流量的资料)指历史上与人工降水相同季节或月份的自然降水资料(径流量的资料)。根据影响区和对比区的设置的原则<sup>[2]</sup>,防止催化剂污染。

辽宁省飞机人工降水历史同期自然降水资料(1981~1990年,4~9月),作业单元为4小时,自然降水样本容量385个。

江西省柘林水库飞机人工降水历史同期自然降水资料(1979~1982年),作业单元为4小时,自然降水样本容量122个。

河南省飞机人工降水历史同期自然降水资料(1991~1997年,9~11月),作业单元为3小时,自然降水样本容量129个。

安徽省北部飞机人工降水同期历史自然降水资料(1985~1994年,7~9月),作业单元为4小时,自然降水样本容量484个。

新疆自治区中天山山区人工降水同期历史自然径流量资料(1960~1986年,4~9月),径流量时间单元为10天,自然径流量样本容量270个。

### 3 增雨效果统计量分布特征

#### 3.1 历史回归试验效果统计量分布特征

表1列出采用柯尔莫哥洛夫定理对检出率 $p=0.80$ 和 $p=0.90$ ,增雨效果 $\theta=0.20$ 时,历史回归试验增雨效果统计量的正态分布检验的结果。

从表1结果可以看出,历史回归试验增雨效果统计量正态拟合度很高, $[1-k(y_0)] > 0.70$ ,可以认为历史回归试验增雨效果统计量分布正态性很好。

$\theta$ 等于其它值时,增雨效果统计量分布也具有上述特征。

表1  $\theta=0.20, p=0.80$ 和 $p=0.90$ 时效果统计量的正态“拟合度”检验结果

地区	$p=0.80$	$p=0.90$
辽宁省	0.7514	0.7718
江西省	0.7323	0.7515
河南省	0.7600	0.7714
安徽省	0.7213	0.8021
新疆自治区	0.6993	0.7108

#### 3.2 不同试验方案效果统计量分布特征

表2列出检出率 $p=0.80$ ,增雨效果 $\theta=0.20$ 时,常用的三种试验方案增雨效果统计量的正态分布检验的结果。

表2  $\theta=0.20, p=0.80$ 时不同试验方案效果统计量的正态“拟合度”检验结果

地区	历史回归试验	序列试验	对比试验
辽宁省	0.7514	0.6111	0.6783
江西省	0.7323	0.7114	0.6935
河南省	0.7600	0.6001	0.6330
安徽省	0.7213	0.7011	0.6958
新疆自治区	0.6993	0.5914	0.5800

表2结果表明:三种试验方案增雨效果统计量正态拟合概率都很高,其中历史回归试验高于其它两种试验。

#### 4 增雨效果与增雨效果统计量特征值的关系

采用历史回归试验方法分析增雨效果与增雨效果统计量特征值的关系。计算结果列于表3。

表3 增雨效果(%)与增雨效果统计量特征值(%)关系

增雨效果	0.0	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0	80.0	90.0	100.0
辽 均值	0.61	11.27	20.69	30.49	40.81	50.75	61.71	71.71	82.66	95.20	105.76
宁 方差	9.69	10.62	11.37	12.26	17.24	22.53	28.38	34.81	38.84	42.67	43.17
江 均值	0.38	10.81	20.82	30.59	40.93	51.88	60.61	71.24	81.35	91.77	101.51
西 方差	6.56	7.38	7.72	11.76	18.10	19.80	21.16	22.38	24.69	25.24	26.04
河 均值	0.08	10.06	19.74	30.35	40.45	50.41	62.16	70.30	80.56	89.72	104.96
南 方差	10.54	11.58	12.40	13.00	17.41	22.82	28.47	36.36	39.79	48.96	55.55
安 均值	0.13	9.61	19.72	30.23	40.16	50.16	62.38	71.93	81.33	91.77	102.25
徽 方差	7.22	7.83	8.62	11.19	16.25	23.24	28.59	31.83	33.37	37.58	38.26
新 均值	-0.08	10.01	20.11	30.19	40.05	50.45	60.41	70.52	80.42	90.31	99.35
疆 方差	2.76	3.94	7.87	8.55	9.25	10.04	10.69	11.20	12.04	13.16	13.46

表 4 列出它们的回归方程。

表 4 催化效果与催化效果统计量特征值均值的回归关系

地 区	$p=0.80$			$p=0.90$		
	相关系数	$r$ 显著度	回归方程	相关系数	$r$ 显著度	回归方程
辽宁省	0.9995	<0.001	$y = -0.367 + 0.955x$	0.9999	<0.001	$y = 0.345 + 0.965x$
江西省	0.9999	<0.001	$y = -0.522 + 0.989x$	0.9999	<0.001	$y = -0.605 + 0.992x$
河南省	0.9993	<0.001	$y = 0.494 + 0.975x$	0.9995	<0.001	$y = 1.133 + 0.961x$
安徽省	0.9999	<0.001	$y = 0.472 + 0.974x$	0.9998	<0.001	$y = 0.720 + 0.965x$
新疆自治区	0.9999	<0.001	$y = -0.139 + 0.999x$	1.000	<0.001	$y = -0.190 + 1.002x$

从表 4 可以看出:催化效果与催化效果统计量相关非常密切,相关系数  $r > 0.99$  ( $\alpha < 0.001$ ),而且方差分析表明它们之间一元线性回归方程是显著的,可信度达 99% 以上。

## 5 作业效果

### 5.1 作业效果统计量均值

根据功效(检出率)计算<sup>[3]</sup>的结果确定从历史样本中随机抽取  $n-K$  个单元(其中  $n$  为历史样本容量,  $K$  为由检出率计算出的所需单元数)建立两区历史回归方程,再将催化作业单元对比区的自然降水量代入该方程,估算催化作业单元影响区自然降水量的值,自此得出一个催化效果统计量。可以进行不同抽样方式,比如说 10000 次,可以得出 10000 个催化效果统计量  $R_i$ 。

对于上述的 10000 个催化效果统计量,求出其均值  $\bar{R}$ (见表 5)。

表 5 辽宁等四省人工增雨效果统计量均值(%)

地 区	$p=0.80$	$p=0.90$
辽宁省	38.22	38.65
江西省	30.15	30.08
河南省	23.29	23.13
安徽省	17.85	18.18
新疆自治区	缺作业资料	缺作业资料

### 5.2 效果评价

利用作业效果和作业效果特征量均值的相关关系计算出作业效果。表 6 是根据表 4 回归关系计算出辽宁省、江西省、河南省、安徽省人工增雨效果。

从表 6 得出:在  $p > 0.80$  时,辽宁省

1992~1997 年飞机人工降雨效果为 36.97% ( $\alpha < 0.02$ ),江西省柘林水库 1979~1982 年飞机人工降雨效果为 30.15% ( $\alpha < 0.01$ ),安徽省 1990~1994 年北部飞机人工降雨效果为 23.29% ( $\alpha < 0.05$ ),河南省 1993~1997 年飞机人工降雨效果为 17.85% ( $\alpha \approx 0.05$ );  $p = 0.90$  时,分别为 37.64%、29.32%、23.36% 和 18.26%。

表 6 辽宁等四省人工增雨效果(%)

地 区	$p=0.80$	$p=0.90$
辽宁省	36.97	37.65
江西省	29.30	29.32
河南省	23.19	23.36
安徽省	17.84	18.26
新疆自治区	缺作业资料	缺作业资料

## 6 小结

① 由于自然降水时空分布的不均匀性,使得用各种统计方法统计出的人工增雨效果统计值与实际增雨效果间存在差异。统计数值模拟结果表明增雨效果统计量正态拟合概率大于 0.70,认为增雨效果统计值服从正态分布。

② 增雨效果统计量的均值与增雨效果关系密切,  $r > 0.99$  ( $\alpha < 0.001$ ),一元线性回归方程显著。因此可以通过统计方法统计出增雨效果统计值来估算增雨效果。

### 参考文献

- 1 曾光平,吴章云.人工降水.福州:福建省科学技术出版社,1997:109~110.
- 2 曾光平,吴章云.人工降水.福州:福建省科学技术出版社,1997:260.
- 3 曾光平,吴章云.人工降水.福州:福建省科学技术出版社,1997:46.

# The Evaluation on the Precipitation Enhancement Effect by Using Correlation of the Precipitation Enhancement Effect and Effect Statistical Value

Feng Hongfang Zheng Shuzhen Chen Minyan Zeng Guangping

(Fujian Meteorological Bureau, Fuzhou 350001)

## Abstract

The statistical value distribution and characteristic value of the pattern of precipitation enhancement were studied by using the statistic-numerical modeling method. The results indicate that the statistical value of precipitation enhancement effect submits to normal distribution (the probability of normal fitting  $> 0.70$ ); the average of precipitation enhancement effect statistical value is correlative closely with precipitation enhancement effect ( $r > 0.99, \alpha < 0.001$ ), the equation of monadic linear regression is significant, the fiducial probability exceeds 99%. Therefore the precipitation enhancement effect can be calculated by way of the statistical value of statistics precipitation enhancement effect.

**Key Words:** precipitation enhancement effect statistical value effect evaluation