

# 人工增雨作业中区域雨量估算方法的探讨

林长城<sup>1</sup>, 李白良<sup>2</sup>, 隋平<sup>1</sup>, 蔡义勇<sup>1</sup>, 夏辉<sup>3</sup>, 陈彬彬<sup>1</sup>

(1. 福建省气象科学研究所, 福建 福州 350001; 2. 福建省气象台,  
福建 福州 350001; 3. 福建省气象局 科技减灾处, 福建 福州 350001)

**摘要:** 利用 Surfer 8 软件的插值法对估算人工增雨作业区域平均雨量进行二次开发, 探讨不同属性降水在不同插值法下的雨量分布结果和同一插值法下不同网格距下的雨量分布结果。结果表明, 对流性降水的雨量插值方法首选径向基本函数法, 混合性降水则以最小曲率法为佳; 对流性降水和混合性降水的雨量分布插值网格距以  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$  为准; 距离平方反比法的区域平均雨量估算值不受网格距变化影响, 但明显比算术平均法小; 对于对流性降水, 另 4 种插值法在网格距为  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$  以下的估算值均比算术平均法小, 而对混合性降水另 4 种插值法的区域平均雨量估算结果基本不受网格距变化影响, 且与算术平均法基本相当。

**关键词:** 人工增雨; 区域雨量估算; Surfer 8 软件

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2010)01-0156-05

中图分类号: P333.9, P481

## Estimation Methods for Regional Rainfall in Artificial Precipitation Operation

LIN Chang-cheng<sup>1</sup>, LI Bai-liang<sup>2</sup>, SUI Ping<sup>1</sup>, CAI Yi-yong<sup>1</sup>, XIA Hui<sup>3</sup>, CHEN Bin-bin<sup>1</sup>

(1. Fujian Meteorological Science Institute, Fuzhou, Fujian 350001, China;

2. Fujian Meteorological Observatory, Fuzhou, Fujian 350001, China;

3. Disaster Prevention and Alleviation Department of Fujian Meteorological Bureau, Fuzhou, Fujian 350001, China)

**Abstract:** Through secondary development of estimating average rainfall in artificial precipitation operation regions, the rainfall distribution of different attribute precipitations by various interpolation algorithms and the rainfall distribution in different grid intervals by the same interpolation algorithm were studied using interpolation algorithms of Surfer 8. Results showed that the first selected interpolation algorithm for rainfall amount of convective precipitation was radial basic function method and for mixed precipitation, the least curvature method was best. The interpolation grid intervals for the rainfall distribution of convective and mixed precipitation were  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ . The estimated value of average regional rainfall by inverse distance square method was unaffected by grid interval, markedly lower than that by arithmetic mean method. For convective precipitation, when the grid interval was  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$  or even smaller, the estimated values by other four kinds of interpolation algorithms were lower than that by arithmetic mean method, while for mixed precipitation, the values were basically unaffected by grid intervals and equivalent to that by arithmetic mean method.

**Keywords:** artificial precipitation; regional rainfall estimation; surfer 8 software

在当前抗旱或水库蓄水的人工增雨作业中,除了注重作业的科学性外,更重要的是关注作业后究竟增加了多少降水的问题。评价人工增雨作业效果通常采用随机试验和非随机试验的两种方法。虽然这两种试验都提出了各种不同的效果评价分析方法,其目的都围绕着对比区或影响区的地面雨量分析。在国内外人工增雨试验和作业的诸多文献中有关区域雨量计算方法介绍较少,而且多数情况采用的是雨量等

值线和算术平均法来计算区域平均雨量。前者优点是理论依据较充分,能反映降水的地区分布和地形对降水的影响,但对区域内的雨量测点密度有一定的要求,因绘制和计算工作繁锁而受到限制;算术平均法仅能在小区域且区内雨量站分布比较均匀的情况下比较适用,但在抗旱或水库蓄水人工增雨作业,由于地形和交通的原因,地面雨量站网分布并非理想,采用此法计算区域平均雨量难免显得粗糙<sup>[1-6]</sup>。

如何利用有限的雨量测站的资料,通过较合理的插值方法客观、快捷地反映每次人工增雨作业效果,并以此来回答抗旱、水库蓄水人工增雨作业中地方政府和水库厂方对作业效果和水库流域增加雨量数量问题已成为亟待解决的现实问题。

本研究在当前人工增雨效果评价中有关区域雨量计算方法的基础上,利用 Surfer 8 软件的插值法对人工增雨作业区域平均雨量估算方法进行二次开发,实现福建省闽西北地区的不同属性降水的区域平均雨量快捷计算,同时对 Surfer 8 软件所提供各种离散点格网化方法进行比较分析,以确定不同网格距下的插值结果,同时对所关注的区域平均雨量进行估算,以便本软件系统今后能够更加客观快捷地评估人工增雨的作业效果。

## 1 资料处理方法

本研究雨量资料均取自福建省气象部门当前布设的气象自动站逐小时雨量资料。根据降水强度( $R_1$ )等级,地面雨强分5个降水等级:小雨( $0 < R_1 \leq 2.5$  mm/h),中雨( $2.5 < R_1 \leq 7.9$  mm/h),大雨( $8 \leq R_1 \leq 15.9$  mm/h),暴雨( $R_1 \geq 16$  mm/h);日降水量( $R$ )标准:小雨( $0 < R < 10$  mm),中雨( $10 \leq R < 25$  mm),大雨( $25 \leq R < 50$  mm),暴雨( $R \geq 50$  mm)。

在 Surfer 8 软件所提供的12种离散点格网化方法中选取5种插值方法进行雨量网格插值,分别为距离平方反比法、径向基本函数法、克里金法、谢别德法和最小曲率法。为了比较区域平均雨量大小,同时也用算术平均法对所关注区域内平均雨量进行估算。

本研究的网格点取值范围在115.6—120.6E, 23.5—28.5N区域内,并分别以网格距 $0.2 \times 0.2$ ,  $0.1 \times 0.1$ 和 $0.05 \times 0.05$ 的3种网格(单位:°)进行插值。所关注的区域范围可以通过二次开发的人工增雨区域平均雨量估算软件,在全省雨量分布区域内以人机互动方式进行选择。

为了比较各种插值方法对不同属性降水区域平均雨量估算的差异程度,本研究分别选择2008年7月18日16—17时的一个对流性(积状云)降水的小时雨量资料和2008年6月11日9时至12日08时的一个混合性(积层混合云)降水的日降水资料进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同插值方法下的雨量分布结果

为了比较不同插值方法下雨量分布之间的差异程度,下列以网格距 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ 为准,对对流性降水的小时雨量资料和混合性降水的日雨量资料用5种不同插值法进行插值和雨量等值线绘制处理,结果见图1—2。

由图1可见,在2008年7月18日16—17时的对流性降水当中,5种不同插值方法下的雨量分布结果差异比较明显,其中径向基本函数法、克里金法和最小曲率法在陆地的雨量分布结果比较接近,所绘制出的等值线比较客观;而谢别德法比前3者在海上和陆地上多出3个极值区,与实际地面雨量分布的结果差异明显;距离平方反比法所处理出来的雨量分布更不符合实际,除了降水强中心的范围变小外,降水范围则明显扩大。可见,对于陆地上的对流性降水,插值方法首先应当考虑选取径向基本函数法、克里金法和最小曲率法。

由图2可见,在2008年6月11日9时—12日8时的混合性降水当中,由于混合性降水的降水范围比较大且相对均匀,所以5种不同插值方法下的雨量分布结果虽有所差异,但基本相同。其中径向基本函数法、克里金法、谢别德法和最小曲率法在陆地的雨量分布结果比较接近;与对流性降水相比,谢别德法同样会在海上部分出现极值区,距离平方反比法插值后同样也使降水范围“扩大”。可见,对于混合性降水,径向基本函数法、克里金法和最小曲率法对地面对降水分布的描述更为客观,尤其是最小曲率法更接近实际。

### 2.2 同一插值法不同网格距下的雨量分布结果

在同一种插值法下网格距越大,对所关注区域的雨量分布反映可能越不真实;而网格距越小除了期望提高地面雨量分布精度外,同时加大整个计算工作量,延长了计算时间。下列以对流性降水选取径向基本函数法和混合性降水中选取最小曲率法在网格距分别为 $0.2^\circ \times 0.2^\circ$ ,  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ 和 $0.05^\circ \times 0.05^\circ$ 的3种情况下进行插值比较,结果见图3—4。

由图3—4可以看出:两种不同属性降水的3种不同网格距的插值结果基本相似,其中图3—4中b和c的结果更加接近,说明在一定的网格距下,插值的结果并不受网格距大小变化的影响,这可能与本次气象自动站密度不变有关,因此在目前所布设的气象自动站密度的情况下,分析区域雨量分布结果所采用的网格距取 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ ;如果气象自动站密度增大,在分析区域雨量分布时网格距可考虑缩至 $0.05^\circ \times 0.05^\circ$ 。

### 2.3 不同插值法下的区域雨量估算结果

对于区域雨量的估算,以往所采用手工描绘的等值线和算术平均法都因过于繁琐及包含主观因素或因方法简单其结果受到质疑。在人工增雨作业中,能比较科学、客观、快捷地计算出所关注区域的人工增雨效果是当前人工影响天气业务亟需解决的一项技术。为此,本研究选择不同网格距 $0.2^\circ \times 0.2^\circ$ ,  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ 和 $0.05^\circ \times 0.05^\circ$ 下的6种插值方法对于不同属性降水的关注区域(详见图5a和图5b的划定区域)平均雨量进行计算,结果见表1。

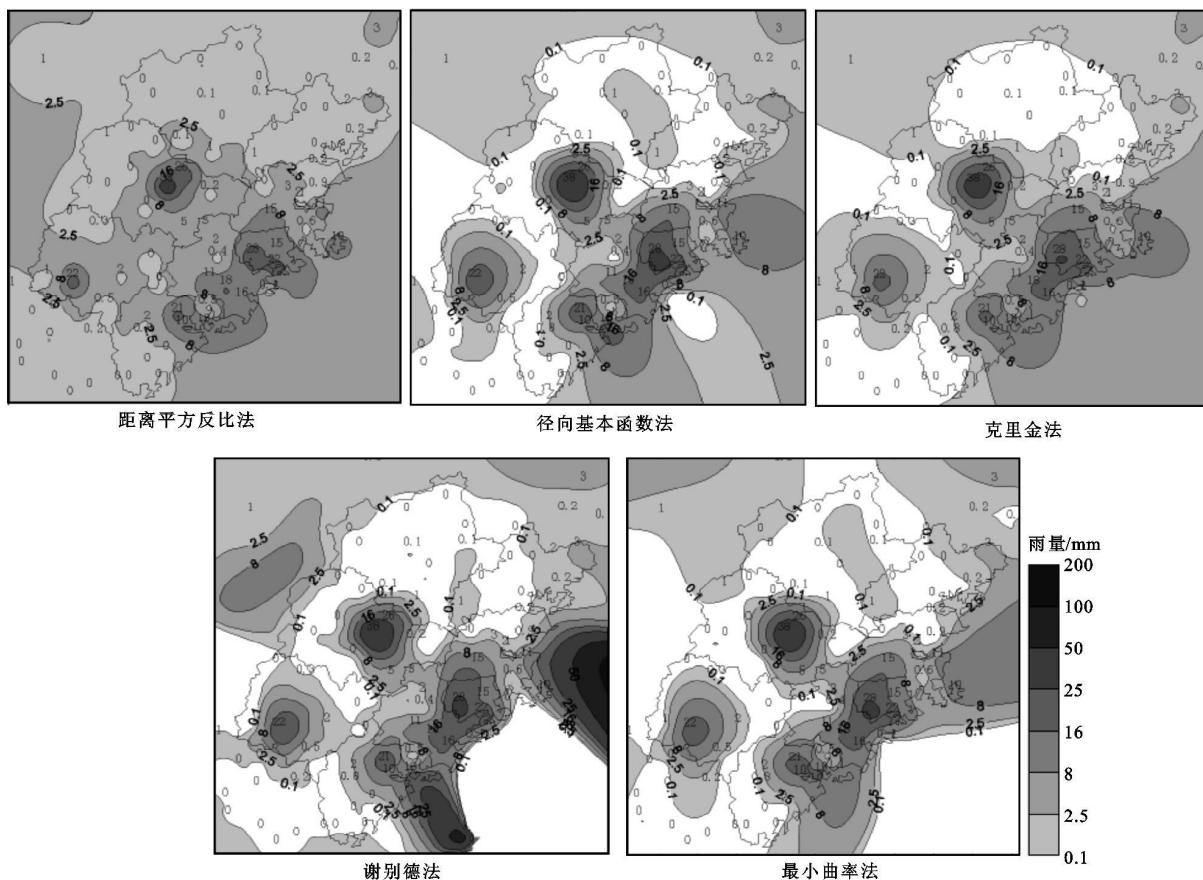


图 1 2008 年 7 月 18 日 16—17 时对流性降水 5 种插值方法下的雨量分布情况

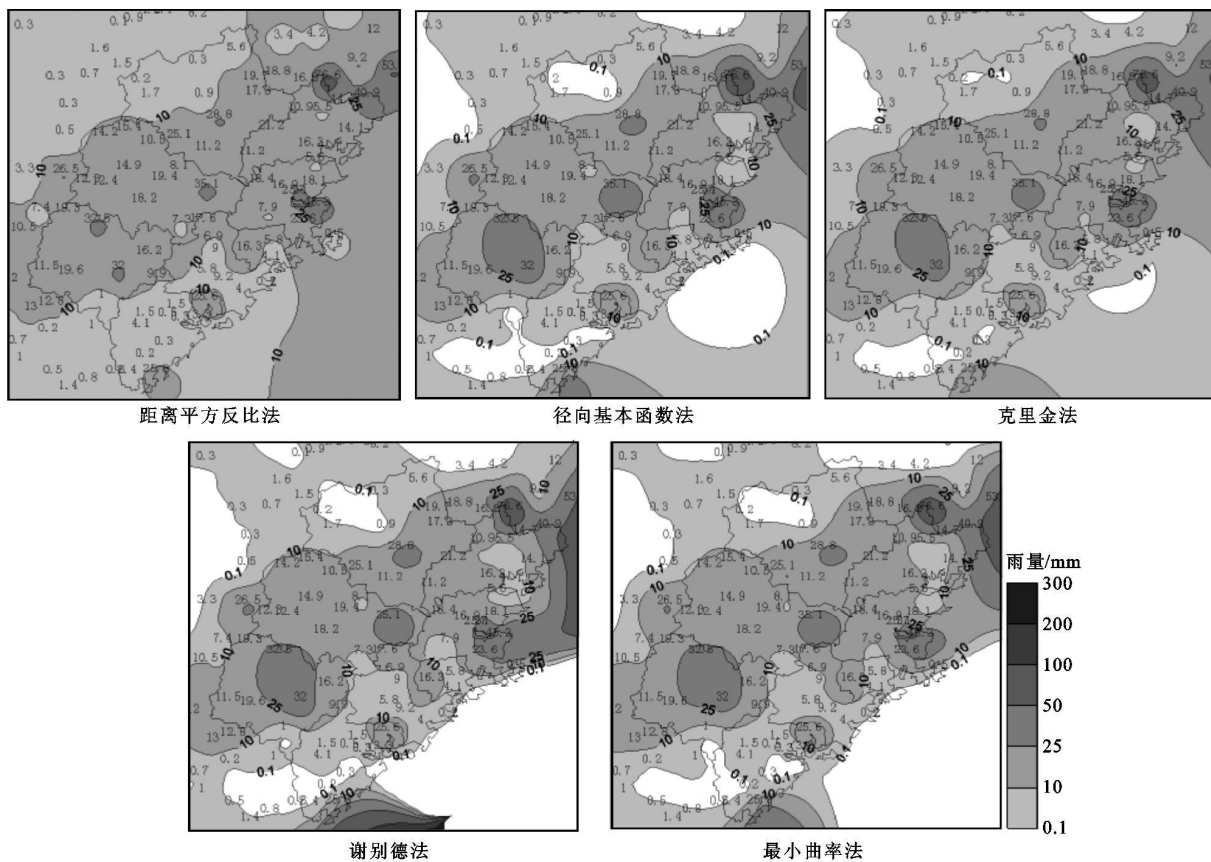


图 2 2008 年 6 月 11 日 9 时至 12 日 8 时混合性降水 5 种插值方法下的雨量分布情况

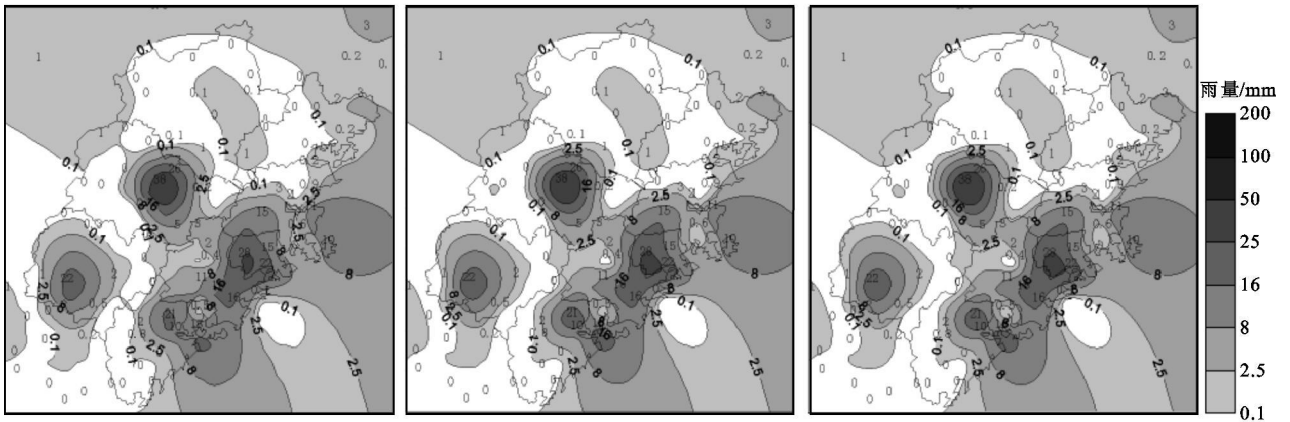


图 3 对流性降水的径向基本函数法不同网格距下雨量分布情况

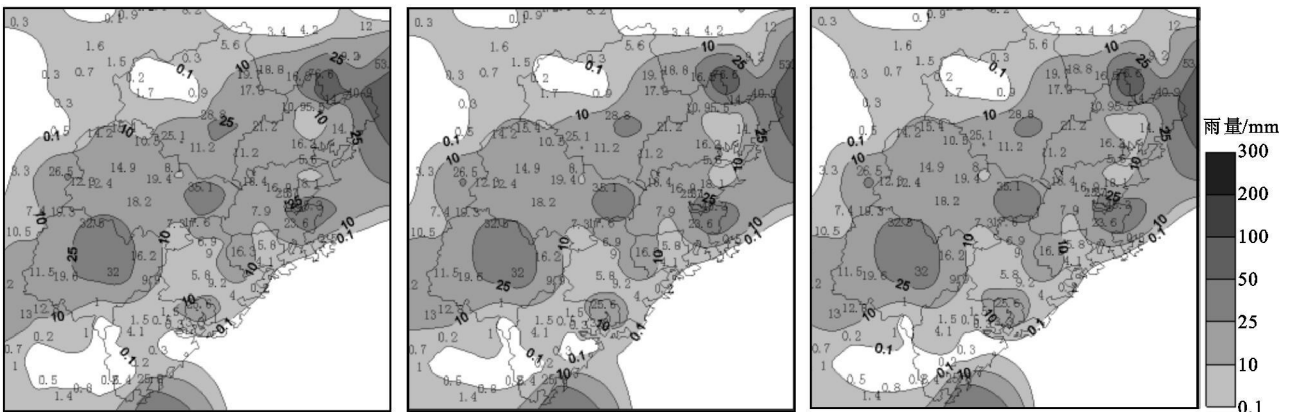
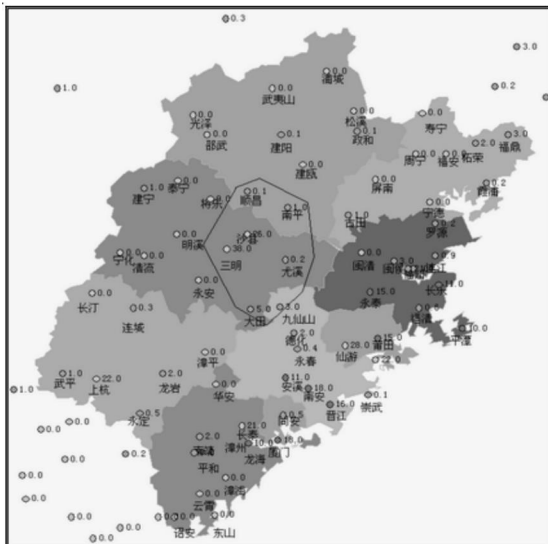
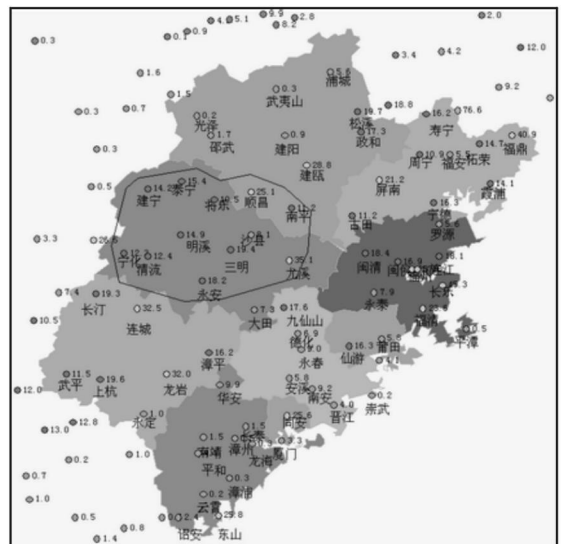


图 4 混合性降水的最小曲率法不同网格距下雨量分布情况



a 对流性降水下区域降水分布



b 混合性降水下区域降水分布

图 5 不同属性降水条件下的区域降水分布

由表 1 可见, 对于对流性降水, 网格距取  $0.2^{\circ} \times 0.2^{\circ}$  时, 除了距离平方反比法外区域平均雨量估算值都比另外 4 种插值法在网格距低于  $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$  以下的结果大; 当网格距低于  $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$  时, 另外 4 种插值法的区域平均雨量估算值都不因网格距变小而产生明显改变, 且其结果也都比算术平均法估算出的

区域平均雨量少; 距离平方反比法的区域平均雨量估算结果基本不受网格距大小影响, 且估算值明显小于另外 4 种插值法和算术平均法。在混合性降水中, 除了距离平方反比法的估算结果与对流性降水的一致外, 因混合性降水相对比较均匀, 网格距的大小变化对区域平均雨量估算的影响并不明显; 另外 4 种插值

法的区域平均雨量估算结果也与算术平均法的计算结果基本接近,说明在降水比较均匀的情况下,可以

选择除距离平方反比法以外的各种插值法包含算术平均法来估算区域平均雨量。

表 1 不同属性降水在不同网格距不同插值法下的区域平均雨量估算

mm

插值法	对流性降水			混合性降水		
	$0.2^{\circ} \times 0.2^{\circ}$	$0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$	$0.05^{\circ} \times 0.05^{\circ}$	$0.2^{\circ} \times 0.2^{\circ}$	$0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$	$0.05^{\circ} \times 0.05^{\circ}$
距离平方反比法	8.4	8.3	8.4	14.9	15.0	14.9
克里金法	10.3	9.8	10.0	16.7	16.8	16.6
最小曲率法	11.2	10.2	10.0	16.6	16.6	16.5
谢别德法	10.8	10.3	10.4	16.6	16.7	16.5
径向基本函数法	10.6	10.1	10.3	16.7	16.8	16.6
算术平均法	10.5	16.4				

因此,在人工增雨作业中,对于所关注区域的平均雨量可以根据不同属性的降水,采用不同网格距下的插值方法进行估算。本研究是基于本项课题所开发出的软件系统支持,区域雨量的估算是通过对区域平均雨量与区域面积的积获得,再以同样区域范围在影响区周边或上游地区选择对比区,并计算对比区的区域平均雨量值,最后通过计算对比区和影响区的区域平均雨量间的差值和区域大小来快速确定出当次人工增雨的作业效果。当然其估算精度有待于今后结合其它人工增雨效果评价方法进行比较和检验。

### 3 结论

(1) 对于陆地上的对流性降水,插值方法的选用首先应当考虑选径向基本函数法、克里金法和最小曲率法;对于混合性降水,径向基本函数法、克里金法和最小曲率法对地面和对降水分布的描述更为客观,尤其是最少曲率法更接近实际。

(2) 对流性降水和混合性降水的雨量分布插值时,网格距取  $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$ ;气象自动站密度增大时,区域雨量分布的网格距可缩至  $0.05^{\circ} \times 0.05^{\circ}$ 。

(3) 对流性降水,距离平方反比法的区域平均雨量估算值不受网格距变化影响,但明显比算术平均法小,另外 4 种插值法在网格距为  $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$  以下的估算值都比算术平均法小;混合性降水中距离平方反比法的估算结果与对流性降水一致,网格距的大小变化对另外 4 种插值法的区域平均雨量估算结果影响不明显,且与算术平均法基本相当。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 严采葵,陈万奎. 统计评估人工增雨效果的一些问题研究[J]. 应用气象学报, 2001, 12(5): 81-87.
- [ 2 ] 高树俊. 一种人工增雨效果评估简便设计方法[J]. 山东气象, 2003, 23(4): 39-40.
- [ 3 ] 徐晶,姚学祥. 流域面雨量估算技术综述[J]. 气象, 2007, 33(7): 15-20.
- [ 4 ] 孙佳,何丙辉. 流域面雨量计算方法探讨[J]. 水土保持应用技术, 2007(1): 42-45.
- [ 5 ] 张行南,程晓红. 网格法在流域面雨量计算中的应用研究[J]. 东北水利水电, 2005, 22(5): 16-17.
- [ 6 ] 潘永地,徐为根,姚益平,等. 沿海丘陵地区面雨量估算插值方法试验比较[J]. 气象科学, 2005, 25(2): 126-132.