

催化作业对炮点雨滴谱的影响

林祥明 郑淑贞 黄文娟 梁金福*

(福建省气象科学研究所)

提 要

本文利用人工降雨试验中地面雨滴谱资料,分析催化作业对作业点附近雨滴谱的影响。催化作业使大、中尺度($D > 0.6\text{mm}$)的滴浓度增加,从而使谱特征量发生变化,计算的雨强加大。

福建省古田水库地区人工降雨区域回归随机试验取得较明显的增雨效果^[1]。试验期间配合区域雨量的统计检验,进行地面雨滴谱的观测和分析,以试作人工降雨效果的物理检验。本文利用1980—1985年作业点(炮点)石塔山的资料,分析催化作业对炮点附近雨滴谱的影响。通过催化和未催化两种作业过程雨滴谱特征量平均值及平均谱的比较,分析催化作业增大雨强的作用。

一、试验的一般情况

催化试验采用区域回归随机试验。作业点设在古田县石塔山顶(海拔1629米)。雨滴谱取样点设在山头平地上,离炮点50米,一般都处于云底或雾中,地面风速较大(4—10米/秒)。雨滴谱取样采用滤纸斑迹法,取样面积850平方厘米,读数面积316平方厘米,取样暴露时间为几秒到几十秒。取样一般是在正点作业后开始,每隔5分钟取一次,在一或二小时内结束。虽然没有按完整降水过程取样,但是由于样本统一取自有一定作业条件的云系,集中反映了云系发展过程中某阶段的降水特征,便于比较。

二、资 料 分 析

1. 催化与未催化作业不同效果

1980—1985年我们取到样本755份,选其中作业后一小时内的样本515份,按不同云状、分别比较两种作业的效果。先按公式**逐份计算雨滴谱谱特征物理量,并按不同云

1986年10月18日收到,1987年4月1日收到修改稿。

*我党大气物理专业1986届毕业生,现在福建省气象局工作。

**王鸿恩:人工降雨作业前后雨滴谱变化的对比,气象知识,194—106,福建省气象科学研究所,1982。

状、不同作业性质分组计算这些物理量的简单算术平均值。为了与滴谱计算的雨强平均值进行比较, 再从自记雨量纸上读取正点作业后一小时内实际雨量。统计结果见表 1、2。

表 1 两种作业平均雨强

	未 催 化				催 化			
	作业次数	样本份数	计算雨强 (mm/h)	自记雨量 (mm)	作业次数	样本份数	计算雨强 (mm/h)	自记雨量 (mm)
层 状 云	13	103	2.55	2.28	12	96	3.44	3.33
积 状 云	4	30	5.94	3.70	9	73	13.10	11.50
混 合 云	7	64	6.07	4.41	15	149	7.22	5.67
合 并	24	197	4.21	3.14	36	318	7.43	6.35

注: 表中计算雨强和自记雨量的合并项为样本数的加权平均

表 2 两种作业雨滴谱特征量平均值

	层 状 云		积 状 云		混 合 云		合 并	
	未催化	催 化	未催化	催 化	未催化	催 化	未催化	催 化
含水量 (mg/m^3)	148.1	187.7	318.4	543.8	297.4	339.9	222.5	340.8
空间浓度 (个/ m^3)	3993	4607	9640	7497	8001	6335	6155	6080
平均直径 (mm)	0.251	0.246	0.298	0.273	0.222	0.253	0.249	0.255
均立方根直径(mm)	0.439	0.435	0.506	0.552	0.431	0.476	0.447	0.481

统计表明, 催化比未催化作业计算雨强明显增大, 合并统计相对增大约为 80%, 经秩合检验增大显著。积状云增大最明显(120%), 层状云、混合云相当(分别增大 35%、19%)。自记雨量的增大趋势与之吻合, 分别为 210%、46%、29%。催化作业后雨滴含水量明显增多, 各类云合并统计相对增大 53%。空间浓度、平均直径、均立方根直径按云型统计各有不同; 层状云催化作业后空间浓度增加 15%, 而积状云、混合云则减少 20% 左右。层状云平均直径、均立方根直径变化不明显, 但积状云、混合云催化作业均立方根直径明显增大, 平均直径积状云变小、混合云变大。催化作业影响了雨滴谱的分布。

2. 两种作业谱特征量随时间的变化

表 3 为两种作业在不同时间内出现雨强峰值的次数, 催化作业的时间从打炮开始算起, 未催化作业以作业后第一次取样时间为起点。在 10 分钟内出现峰值的次数, 催化的占 36%, 未催化的占 21%。20 分钟内催化的占 69%, 未催化的占 34%。没出现峰值的,

催化只占14%，而未催化占25%。大致可看出催化作业促使雨强最大值出现时间比未催化约提前10分钟。

表3 两种作业出现雨强峰值情况

	层状云		积状云		混合云		合 并	
	未催化	催 化	未催化	催 化	未催化	催 化	未催化	催 化
0—5分	0	2	0	0	1	1	1	3
5—10分	1	3	2	3	1	4	4	10
10—20分	1	2	1	4	1	6	3	12
20—30分	6	3*	0	1*	0	2*	6	6*
30分以后	3		1		0		4	
未出现峰值	2	2	0	1	4	2	6	5

*表示峰值出现在20分钟以后次数

进一步分析由滴谱计算的雨强及空间浓度、均立方根直径随时间变化的速率。逐个求出各次作业一小时内出现的最大雨强(未出现峰值则取最小值)与第一次取样的雨强之差，再除以相应的取样时间间隔($\Delta I/\Delta t$)，即得雨强变化速率。类似地求出其它两项速率($\Delta N/\Delta t$ 、 $\Delta D/\Delta t$)，再分别对这三项速率求算术平均值，结果列于表4。

表4 谱特征量随时间变化速率

		层状云		积状云		混合云		合 并	
		未催化	催 化	未催化	催 化	未催化	催 化	未催化	催 化
$\Delta I/\Delta t$	$\bar{x}$	0.109	0.301	1.316	2.915	0.167	1.295	0.327	1.368
(毫米/时·分)	σ	0.106	0.366	0.436	4.892	1.688	2.005	1.032	2.946
$\Delta N/\Delta t$	$\bar{x}$	190.7	496.1	1748.8	420.5	-364.7	403.9	288.4	438.8
(个/米 ³ ·分)	σ	340.8	643.6	1008.5	500.3	619.3	743.2	910.7	657.6
$\Delta D/\Delta t$	$\bar{x}$	6.2E—4	-0.011	-0.012	0.0153	1.7E—3	0.005	-0.001	0.002
(毫米/分)	σ	0.009	0.013	0.043	0.025	0.014	0.007	0.023	0.019

注： $\bar{x}$ 为平均值， σ 为均方差

从变化速率的正负值可以判断相应的特征量增大与否，其值的大小反映了作业后一段时间内这些特征量变化的激烈程度。从雨强变化速率来看，两种作业后，各种云型的雨强都是增大的，其增大的速率又明显的是催化作业快。另外从空间浓度和均立方根直

径变化速率比较可看出: 催化作业雨强的增大主要靠雨滴空间浓度的增大(除积状云)和均立方根直径的增大(除层状云)。

3. 两种作业雨滴平均谱的比较

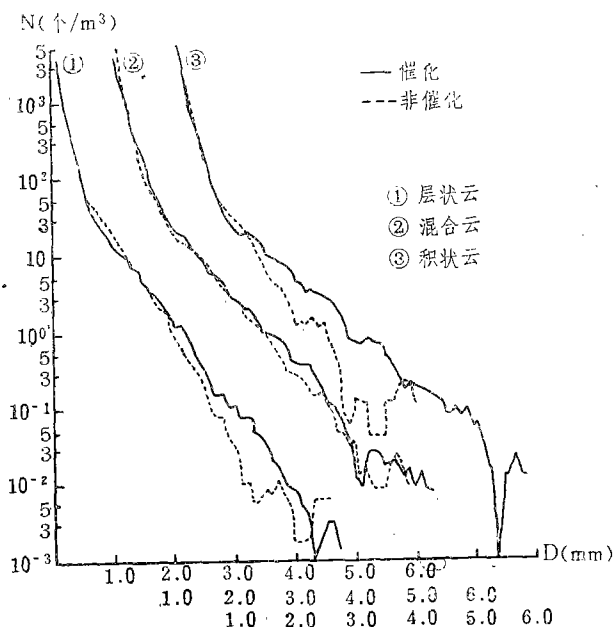
上述分析可以看到催化作业对雨滴谱分布产生了影响。为了深入分析这些影响, 将作业后一小时内滴谱样本分类计算了雨滴平均谱。首先建立关系式

$$\bar{N}(D) = [\sum_{j=1}^k N_j(D)] / k$$

式中 $N_j(D)$ 表示某分组中第 j 份雨滴谱直径在 D 和 $D + \Delta D$ 间隔中雨滴空间数密度, 即空间浓度, $\bar{N}(D)$ 表示该组在同一间隔中雨滴平均数密度, k 为该组滴谱样本份数。

为便于比较, 以指数递减分布形式拟合平均谱, 即 $N(D) = N_0 \exp(-\lambda D)$ 。利用线性回归, 计算 D 与 $\ln(\bar{N}(D))$ 的回归系数 R 及谱参数 N_0 、 λ 。按公式进一步用 $\bar{N}(D)$ 计算每组平均谱的雨强、平均直径、均立方根直径等。计算结果列于图1和表5。

平均谱反映了作业后一小时内雨滴谱的平均特征, 反映了催化作业对滴谱分布的影响。从图1、表5可看出:



注: ②、③横坐标零点逐往右移, ① $D < 0.7$ mm部分实虚线重叠

图1 两种作业雨滴平均谱

1) 平均谱实际分布在 $\bar{N}(D) > 0.05$ (个/米³·0.1毫米)区域, 层状云、混合云未打炮的呈递减分布, 没有出现峰值, 催化作业的基本也是递减, 仅在 $D = 3.0$ mm附近出现小峰值。积状云两种作业都是多峰谱, 但催化作业的在 D 约为1.2与4.6mm处多出两个峰值。从实际谱宽来看, 催化作业都比不打炮的宽, 积状云更明显。

表5 两种作业平均谱特征量比较

	层 状 云			积 状 云			混 合 云		
	未催化	催 化	$\Delta f/f$	未催化	催 化	$\Delta f/f$	未催化	催 化	$\Delta f/f$
份 数	78	69		27	54		60	136	
雨强(mm/h)	2.74	3.12	13.87	6.20	15.34	147.4	6.38	7.59	18.97
空间浓度(个/米 ³)	4208	4310	2.42	10400	9530	-8.37	8474	6739	-20.47
最大直径(mm)	4.4	4.6	4.54	3.9	5.7	46.2	4.8	5.2	8.3
平均直径(mm)	0.201	0.195	-2.99	0.191	0.197	3.14	0.181	0.204	12.71
均立方根直径(mm)	0.416	0.418	0.48	0.392	0.502	28.06	0.413	0.465	12.59
含水量(mg/m ³)	158.0	164.8	4.30	328.7	631.5	92.12	311.5	354.9	13.93
雷达反射因子(mm ⁶ /m ³)	1264	2021	59.89	5485	26620	385.3	5805	8320	43.32
谱拟合R	0.804	0.861		0.671	0.813		0.980	0.979	
N ₀ (个/米 ³ ·0.1毫米)	2140	621		1546	498		425	354	
λ (mm ⁻¹)	4.169	3.098		3.538	2.113		2.395	2.219	
λ_M (mm ⁻¹)	3.318	3.229		2.795	2.311		2.778	2.679	

2) 平均谱拟合参数也表明, 三种云型除积状云不打炮的以外基本呈指数递减分布, 其回归系数R基本大于0.8。催化作业的谱较宽, 其 λ 值均小于不打炮的, N_0 值及 N_0/λ 值也小, 用平均谱拟合分布积分计算得到的空间浓度均小于不打炮的。一般认为, M—P谱分布代表雨滴平均分布情况, 分布表达式为 $N_M(D) = N_{M0} \exp(-\lambda_M D)$, 其中 $N_{M0} = 800$ (个/米³·0.1毫米), $\lambda = 4.1I^{-0.21}$ (mm⁻¹), I 为平均雨强, 单位为mm/h。将各组平均雨强代入, 可求出相应的 λ_M 值。为比较实际平均谱拟合分布与相同雨强下M—P分布的差别, 设:

$$S = \ln(N(D)/N_M(D))$$

则

$$S = \ln(N_0/N_{M0}) - (\lambda - \lambda_M)D$$

将D~S点绘成直线, 可以看出两种分布在对应的直径间隔内空间浓度的偏差程度。若 $S < 0$, 则 $N(D) < N_M(D)$, 表示在D与D+ ΔD 间隔内拟合分布的浓度比M—P分布少, 反之为多。若 $S = 0$, 则 $N(D) = N_M(D)$, 对应的D值表示为D₀。图2为三种云型计算结果。催化作业的D₀值分别为1.9、2.4、1.8mm, 不打炮的分别为1.2、0.9、1.6mm, 说明直径在1 < D < 2 (mm)附近的滴分布相当接近M—P分布。另外可看到催化作业的三种云型当D < D₀时, 雨滴普遍比M—P分布少; D > D₀时, 普遍多。而未催化作业的除混合云外, 情况刚好与催化作业的相反, 混合云在D > D₀时雨滴

偏多情况也不如催化作业的幅度大。我们知道M—P型分布代表雨滴平均分布状况，上面比较结果表明催化作业促使中、大滴空间浓度普遍比平均状况增多，小滴部分偏少。

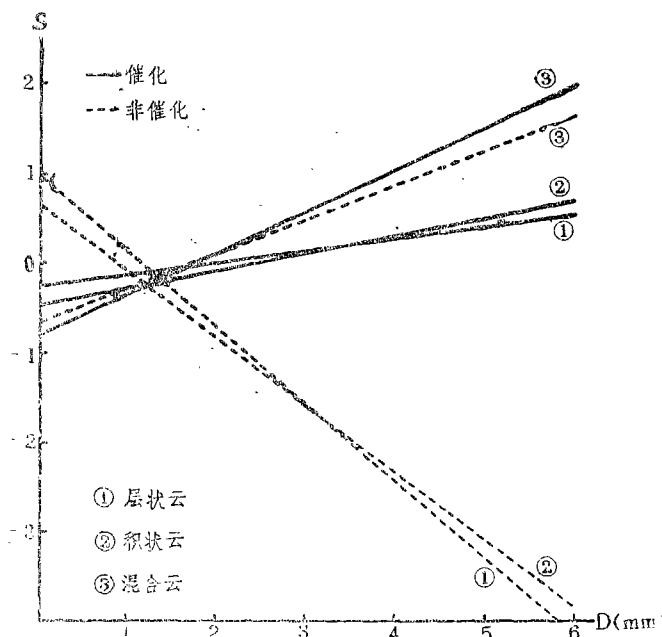


图2 平均谱拟合分布与M—P分布的偏差程度

3)表5中的 $\Delta f/f$ 表示相应的催化量比未催化量的相对增长， f 为未催化量， Δf 等于催化量与未催化量之差，其比值为百分比值。显而易见，三种云型催化作业计算雨强均有增长，含水量、雷达反射因子也相应增大，积状云最明显，层状云、混合云增大程度相当。混合云、积状云空间浓度比不打炮的减少，几种直径都比不打炮的增大。层状云空间浓度略有增加，平均直径略有减小，均立方根直径略有增大。结合图1可看出，催化作业使各种云型的中、大滴雨滴浓度加大，对总雨强的贡献加强，从而促使雨强普遍超过不打炮的情况。

三、结 论

1. 催化作业促使炮点附近降水增强，峰值提前出现。
2. 催化作业使炮点附近雨滴谱分布发生变化，使中、大尺度($D > 0.6\text{mm}$)雨滴增多，滴谱增宽。但对谱型总的影响不大，层状云、混合云雨滴平均谱基本维持M—P型指数递减分布，积状云仍呈多峰谱。三种云型均增加出现有意义的小峰值。

总之，催化作业对炮点雨滴谱的影响是明显的值得重视的现象，产生影响的物理机制是复杂的，有待深入研究。

福建省气象局王鸿恩同志和福建省计委计算中心黄绍农同志分别参加了部分分析工作和计算工作，在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] 曾光平, 福建省古田水库地区1975—1984年人工降雨效果统计分析, 气象科技, 1986, 5, 59—62.

THE INFLUENCE OF SEEDING OPERATION ON THE RAINDROP SPECTRUM AT THE WORKSITE

Lin Xiangming* Zheng Shuzhen*

Huang Wenjuan Liang Jinfu

ABSTRACT

This paper studies the influence of seeding work on the raindrop spectrum at the antiaircraft gun site, based on the raindrop size distribution in seeding experiments. It is found that in the stimulating operation the concentration of large- and medium-scale raindrops ($D > 0.6\text{mm}$) increases, thus causing the change of the spectral characteristic property and the increase of rain intensity.

*Affiliated with the Meteorological Research Institute of Fujian province