

1963年夏季湖南盐粉催化浓积云降水试验效果的分析*

馬培民 孙奕敏 赵瑞华 姜福成 薛蕃炳
(中央气象局观象台) (湖南省气象局)

提 要

本文分析了1963年在湖南人工降雨试验中云的宏观和微观观测资料,并对1959—1962年部分宏观资料进行了统计。一般在盐粉催化后,浓积云中大滴($D \geq 100\mu$)浓度增多,谱也加宽,其反应与所播入的盐核浓度相当;上升气流加强,含水量增大,云顶升高表现得很明显;地面出现降水的时间和强度的加大也有较好的对应。文中还列举了典型的个例来说明盐粉催化浓积云后的效果,并进一步讨论了浓积云中盐粉催化对降水的形成和云中气流的影响。从而认为,在有利的条件下,用合适的人工催化方式,可以增加暖性浓积云的降水量。

一、前 言

几年来,在湖南省人工降水试验中,对浓积云人工降雨效果检查方面做了一些工作,包括在飞机上观测云的宏观变化,在地面收集气象站降水资料。特别在1962年作了个例物理检查效果的分析,看到盐粉催化浓积云能引起云滴浓度增加和含水量加大,同时还目测到云中有降水质点存在。初步估计催化后云中大水滴(直径 $D \geq 100\mu$ 者)浓度有所增加,并曾讨论盐粉的作用和云顶催化后向上发展的原因。

1963年6月27日至8月20日在湖南用飞机进行了24天人工降雨作业,这个期间用盐粉催化了62块浓积云。其中约70%的催化对象是发展旺盛的羣体或孤立而庞大的浓积云,少部分是Cb旁的浓积云。作业云的厚度一般是在3500—5500米之间。播盐时,飞机都保持在云体的中上部,即在离地面4500—5500米高度上,以5—10公斤/公里的播撒剂量穿云作业,所用盐粉的平均直径在30—50 μ 之间。

采用了上述催化方法,飞机观测表明,在1963年夏季62块作业的云中,催化后有11块以浓积云状态降水,25块顶部发展为砧状而降水,6块只有雨旂,6块云消,11块由于看不见云底,情况不明,其余三块催化后无变化。而在有降水的云中,6月27日、29日、30日以及7月18日、29日、30日和8月4日、12日等8天的效果比较明显。在人工催化作业中同时取得了云内的微结构观测资料,特别是取得了有关云中大滴和颠簸的资料。

本文试用1959—1962年飞机上目测的云顶发展速度和1959—1963年云体催化后出现降水或雨旂的时间等宏观观测资料,以及1963年观测的云内大滴、颠簸、含水量等微观资料,探讨盐粉对于浓积云的催化效应。此外,收集了降水自记记录和水文站的降水资

* 本文于1965年3月11日收到。

料,以检查催化后一定范围内的降水分布和雨强变化。最后通过 7 月 30 日个例分析,进一步讨论盐粉的催化作用,对现用的人工降雨作业技术的改进提供了一些线索。

二、催化前后云的变化

1. 宏观变化

几年来在飞机上作业时经常看到,当盐粉播入云中以后,几分钟内,云顶就迅速上升。例如:1962 年 8 月 16 日 16 时 37 分对一块浓积云播盐,10 分钟后,云顶上升 800 米,平均上升速度为 1.3 米/秒;再经过 12 分钟,云顶继续上升了 1500 米,平均上升速度为 2.1 米/秒;最后,又过了 6 分钟,云顶上升 1000 米,平均上升速度为 2.8 米/秒,这时云体发展为 Cb,底部产生降水;1963 年也观测到类似的情况,如 6 月 30 日,在催化前浓积云云顶目测约 6000 米,但催化后 16 分钟飞出云外看到云下有降水,云顶升高为 8000 米。我们统计了 1959—1962 年飞机上目测催化后云顶上升速度的资料,得到如图 1 所示的云顶上升速度分布情况。从图上可以看到,74 次观测中,有 93% 的云块在催化后云顶向上发展,上升速度又以在 0.5—3 米/秒之间的为最多,占有 80%;也有不少是大于 3 米/秒的,最大曾达 6 米/秒。

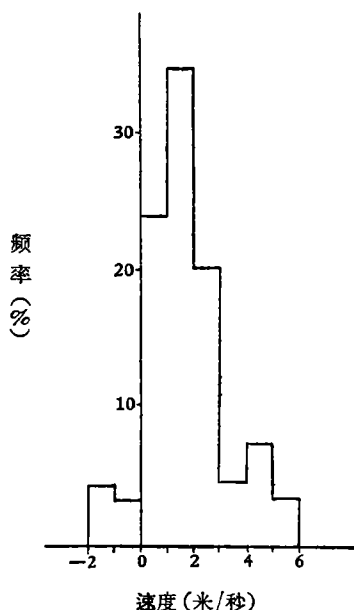


图 1 盐粉催化后云顶垂直发展速度频率分布 (1959—1962 年 74 次资料统计结果)

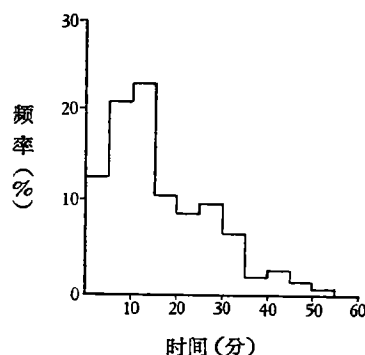


图 2 催化后出现降水或雨旂的时间频率分布 (1959—1963 年 148 次资料统计结果)

催化后云底出现雨旂或降水及地的时间,一般在一、二十分钟之内。图 2 是 1959—1963 年的 148 次催化后出现降水或雨旂的时间频率分布,可以看到,在催化后 5—15 分钟出现降水或雨旂的占 43%。

2. 微 结 构 变 化

催化后云体的宏观变化,是与云中出现的微观变化分不开的。过去曾发现,盐粉催化能引起云滴浓度的增加,如1962年8月28日观测到云滴浓度在催化后18分钟内约增加4倍。1963年我们又用铝箔取样器观测了云内的大水滴(直径大于 100μ 者),资料表明:云内不但存在有为数不少的大水滴,而且盐粉播入后,可使大滴浓度明显地增加。

表1中列出了7天的大滴浓度观测结果:其中5天催化后云体有降水,其大滴浓度催化后都比催化前大,表中给出了其平均值;其他两天催化后云体消散,大滴浓度明显地有减少。

6月30日,对顶高6000米的一块倾斜浓积云作业,图3a是在4900米作业高度上的飞行路线,先后在云体西南部的A、B两处取得催化前后的观测资料。此云在催化后16分钟降水至地,云顶发展到8000米。

7月29日,云在催化后发展成积雨云并降水。飞机在4700米高度上之c处来回穿云作业与观测(图3b)。

7月30日,云顶高约6000—7000米,云中颠簸较强,霰粒也大。飞机在5200米高度上绕云边穿云作业,在D处取到催化前后观测资料。此云最后有降水(图3c)。

8月4日,云顶高5500—6000米,图3d是在5300米作业高度上的飞行路线,在E、F处取样,播盐21分钟后,发展为积雨云并降水。

8月12日,浓积云顶高5500米,在5200米高度上G、H两处取样。播盐后18分钟产生降水及地(图3e)。

表1 催化前后云内大滴浓度和相对湿度变化

日 期	时 间	催化前大滴浓度 (个/米 ³)			时 间	催化后大滴浓度 (个/米 ³)			云内相对 湿度(%)		催化后云体反应
		$D \geq 100\mu$	$D \geq 270\mu$	$D \geq 1000\mu$		$D \geq 100\mu$	$D \geq 270\mu$	$D \geq 1000\mu$	催化前	催化后	
1963年6月30日	16:43	78.2	5.7	0	16:49	1240	180	12.3	100	100	降水及地
7月29日	15:26	80	5.1	0	15:29	191	6.6	0	84	92	发展成积雨云并降水及地
7月30日	14:43	320	42	0	14:51	7240	100	0	96	100	有降水
8月4日	16:20	469	6.1	1	16:25	2070	106	15	87	100	发展成积雨云并降水及地
8月12日	14:29	152	6.5	0	14:34	785	43	0	100	100	有降水
平 均		220	13.1	0.2		2310	87	5.5	93.4	98.4	
7月3日	13:53	1320	205	0	14:00	40	9	0	87	56	少量降水后云消散
8月1日	16:47	93	1.8	0	16:51	0	0	0	100	86	云消散

以上五块云都在作业后降水,云中大滴浓度增加,相对湿度也上升。但在7月3日和8月1日(图3f和3g),两块云的云体细而高,播盐后大滴浓度减少,相对湿度下降,最后云消。

云中大水滴的增加,必然表现为云中含水量的增大,观测资料表明了这一点。例如6月30日的第四块作业云,飞机在4900米高度上云体的东部和西部分别观测了含水量,得到两个部位上催化后测得的含水量都比催化前增加约50%(表2)。7月29日和30日这

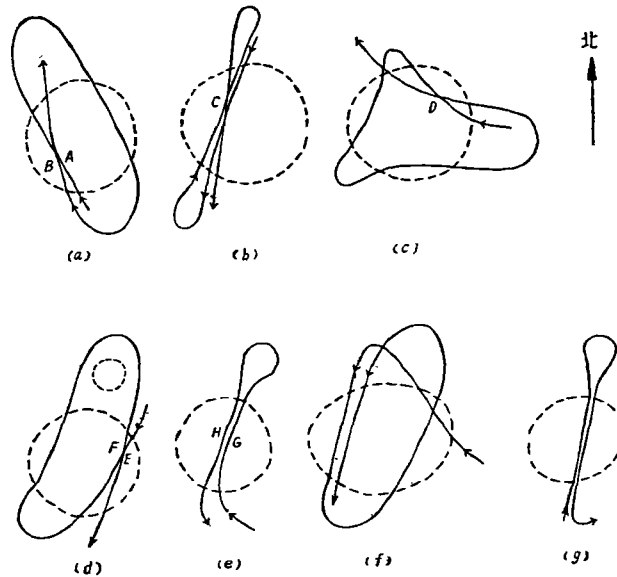


图3 穿云高度的平面航迹图

(a 1963年6月30日,穿云高度: 4900米, b 7月29日,穿云高度: 4700米, c 7月30日,穿云高度: 5200米, d 8月4日,穿云高度: 5300米, e 8月12日,穿云高度: 5200米, f 7月3日,穿云高度: 4700米, g 8月1日,穿云高度: 4600米)

两块发展的云,催化后含水量也有增加,但催化后无降水而消散的云其含水量是下降的,如表2中7月3日和8月1日的催化云。

表2 催化前后云中含水量的变化

日期	观测部位	催化前		催化后		q_2/q_1	催化后云体宏观反应
		时间	含水量 q_1	时间	含水量 q_2		
1963年6月30日	4900米中上部西边	16:44	2.1克/米 ³	16:48	3.1克/米 ³	1.46	降水
6月30日	4900米中上部东边	16:47	0.29	16:51	0.42	1.45	降水
7月29日	4700米中上部西边	16:26	1.6	16:37	1.9	1.19	发展成积雨云降水
7月30日	5200米中上部东北边	14:43	0.16	14:50	2.0	12.4	降水
7月3日	4700米中上部西边	13:52	2.6	13:59	1.6	0.6	消散
8月1日	4600米顶部中间	16:47	1.9	16:51	0.17	0.09	消散

我们设想,这样大的含水量的增加可能由于盐粉的催化作用结果,使云中上升气流加强而给云内水分以更大的补充,因此我们还有必要利用颠簸资料看一看催化前后云中气流的变化情况,表3中列出了几次催化前后云中垂直气流的变化,垂直气流速度 w 是利用下式计算的:

$$w = \frac{2G/S}{0.84C_{y\alpha}\rho V} \Delta n,$$

式中 G 为飞机重量, S 为机翼面积, $C_{y\alpha}$ 为飞机的举力系数, ρ 为空气密度, V 为飞机速度, Δn 为飞机垂直方向的过载荷。根据表3中所列4块作业云的垂直气流变化情况看

表 3 催化前后云内垂直气流速度的变化

日 期	催化前垂直气流速度 (米/秒)			催化后垂直气流速度 (米/秒)		
	时 间	最大上升气流	最大下沉气流	时 间	最大上升气流	最大下沉气流
6月30日 (第四块云)	16:43	1.9	2.0	16:46 16:59	4.0 2.9	5.7 5.7
7月29日	15:22	3.1	2.4	15:24	3.7	5.0
7月30日	14:59	2.9	2.9	15:03 15:06	2.7 2.2	2.8 3.0
8月1日	16:31	3.9	3.9	16:33 16:41	2.2 5.6	1.9 2.5
平 均		2.9	2.8		3.3	3.8

来,的确在催化后云内的上下起伏气流普遍比催化前加大,平均最大上升气流速度比催化前增加 14%, 平均最大下沉气流速度比催化前增加 36%。

三、地面效果

由于人工催化的降雨是局地性的, 因此有时在飞机上能够观测到被催化云降水至地面, 但却没有落到测站, 所以往往降水资料收集不到。在 1963 年夏季作业期间, 只有 8 架次是在测站上空附近作业, 而且降水落到了测站。从这些资料来看, 催化区的降水量比周围地区大, 而且四周受到的影响也是不均匀的, 和高空风向有很大关系, 一般是下风方雨

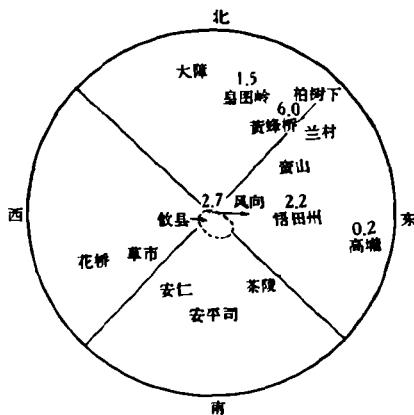


图 4 1963 年 6 月 29 日攸县南作业区的直径为一百公里范围内 08—20 时的降水 (毫米) 分布

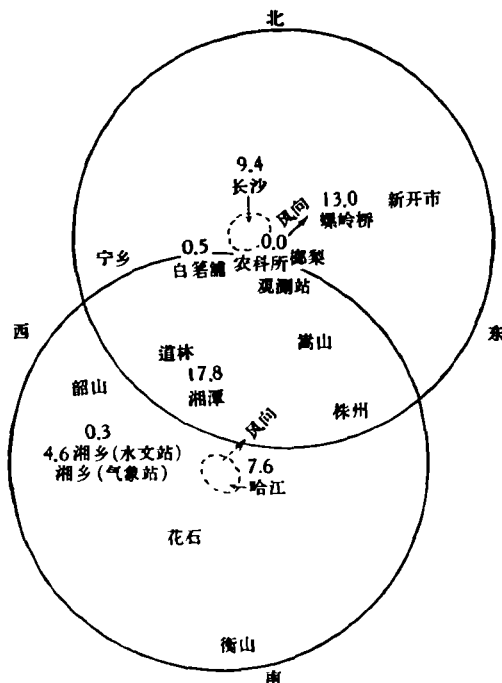


图 5 1963 年 8 月 10 日长沙与哈江二催化区的 100 公里范围内 08—20 时的降水量 (毫米) 分布 (图 5 的风向皆为长沙 19 时的高空风向)

量最大, 右侧次之, 上风方最小。如: 6 月 29 日, 16 时 55 分—17 时 57 分在攸县上空作业, 17 时 03 分—17 时 46 分攸县站降水 2.7 毫米。在催化区周围一百公里范围内(考虑对流云降雨范围在 20—30 公里内), 它的下风方的悟田州、高垅降水量分别为 2.2 毫米和 0.2 毫米, 上风方则无降水(图 4)。8 月 10 日 13 时 55 分至 14 时 39 分, 分别在长沙和湘潭南面的哈江两地上空作业, 当天 08—20 时雨量分布如图 5 所示, 图中各站的降水起止时间见表 4, 其中湘潭和螺岭桥都处于催化区的下风方, 它们的雨量都比其他地方大, 而且

表 4 1963 年 8 月 10 日作业后地面降水分布

站 名	08—20 点各时段降水起止时间和量(毫米)	08—20 点总降水量(毫米)
长 沙	●17:28—17:42(9.4); 17:42—17:50(0.0)	9.4
螺 岭 桥	●13:35—15:53(2.3); 18:43—19:08(9.9); 19:08—19:15(0.8)	13.0
白 箬 铺	●	0.5
哈 江	●15:10—16:05(7.6)	7.6
湘 潭	∇15:24—16:39(9.2); 16:39—17:13(0.0)	9.2
湘 乡	∇14:12—15:20; 15:45—15:57	0.3

注 1 表中(0.0)为微量降水。

2 各时段雨量取自雨量自记记录, 无雨量计的站只抄雨时及 08—20 时总降水量(下同)。

催化前没有降水, 湘潭催化后 2 小时内 20 分钟最大降水强度为 16.8 毫米/小时; 8 月 11 日, 15 时 29 分—16 时 07 分在邵东作业, 在一百公里的影响区范围内, 随着盐粉的作用, 催化后的雨强有明显的变化, 表 5 列出各站降水的时段和雨强增加的情况, 可以看到这一天有很多站在催化前就有降水, 可是只能下微量的雨, 直到下午飞机入云催化以后, 雨强显著增加, 过了一段时间后, 雨势又减小, 可见该天虽然云中产生自然降水可能性很大, 但从表 5 所列的降水时间和量上来看, 表明人工催化能够加大雨强, 起到增雨的作用。

表 5 1963 年 8 月 11 日催化后地面各站雨强变化

站 名	08—20 点各时段降水起止时间和量(毫米)	20 分钟最大雨强(毫米/小时)	
		催 化 前	催 化 后
邵 阳 县	∇12:47—13:05(0.0); 17:24—18:07(13.7); 18:07—20:00(8.1)	0	31.8
邵 阳	∇12:25—12:33(0.0); 13:17—14:10(0.1); 16:15—17:01:(0.61); 17:58—18:07(0.0); 18:07—20:00(0.2)	0.3	1.8
新 化	∇10:10—11:03(0.0); 13:32—14:23(0.0); 15:02—15:29(0.0); 15:29—17:19(2.8)	0.0	5.4

注 1 表中(0.0)为微量降水。

2 “20 分钟最大雨强”是指催化前后两小时之内的。

四、1963 年 7 月 30 日个例分析

1. 天气形势: 30 日太平洋副热带高压迅速减弱东移。08 时 700 毫巴天气图上切变线位于济南到昆明一线和湖北省西南部冷锋迅速南移, 11 时到达洞庭湖区。直到 7 月 31 日此冷锋并未移至长沙, 仍然活动于湖南省的西北部。

2. 催化前云的宏观条件: 14 时 27 分—15 时 10 分飞机选择在衡阳南部和北部上空

的甲、乙、丙三块浓积云进行作业。这几块云正处于蓬勃发展的阶段,云顶为标准的花椰菜状,云体稍有些向西南方倾斜。

这天大气对流比较强盛,在周围其他地区也有发展比较旺盛的云,例如湘潭和耒阳附近都有积雨云在降水。

3. 催化前后微结构变化: 飞机保持在云体中上部(拔海高度为 5200 米)播盐和观测。从资料里看到云中大滴谱变化是很明显的,图 6 和图 7 是乙云和丙云在穿云作业过程中所观测到的大滴谱(直径大于 100μ 者)。看出这两块云在第一次和第二次穿云时,大滴谱形状很平直,谱也很窄,最大直径只有 400μ 左右。但到第三次穿云时,谱变宽,浓度加大,最大直径达 1000μ 以上。如乙云播盐后 8 分钟的第三次穿云时,观测到滴谱在直径 500μ 处出现一个峰值。大滴浓度也增加一个量级(列于表 6)。同时三块云中的实测含水量,也是随时间增加而增加的,见图 8 所示。

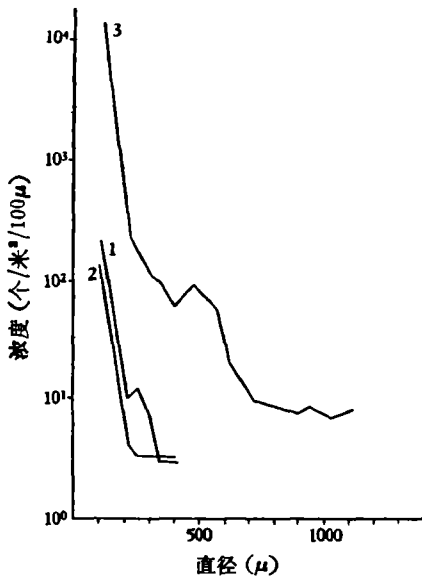


图 6 1963 年 7 月 30 日乙云中大滴谱分布
[1—14:27 第一次穿云取样(催化前)
2—14:33 第二次穿云取样(催化后)
3—14:35 第三次穿云取样(催化后)]

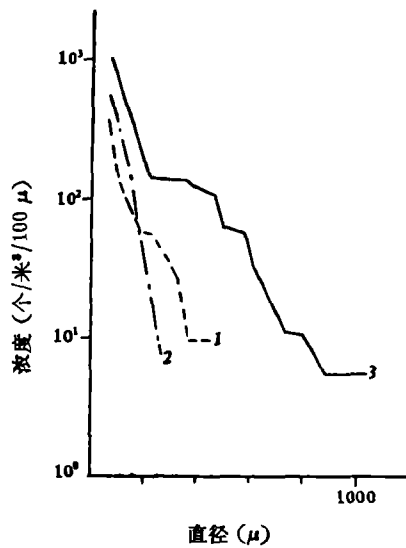


图 7 1963 年 7 月 30 日丙云中大滴谱分布
[1—14:44 第一次穿云取样(催化前)
2—14:45 第二次穿云取样(催化后)
3—14:47 第三次穿云取样(催化后)]

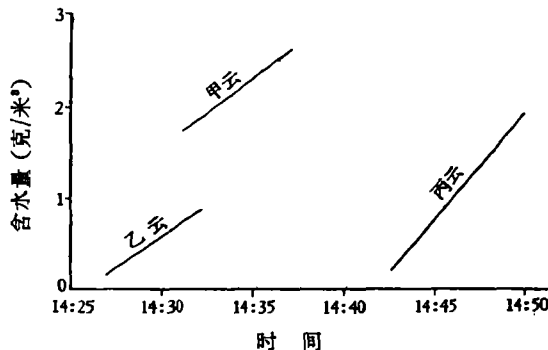


图 8 甲、乙、丙三块云中的含水量随时间的变化

表 6 1963 年 7 月 30 日大滴浓度、含水量、雷达反射率观测结果

乙 块 云

穿云次序	时 间	浓度 N_D (个/米 ³)			大滴计算含水量 (克/米 ³)	雷达反射率计算值 (毫米 ⁶ /米 ³)
		$D \geq 100 \mu$	$D \geq 270 \mu$	$D \geq 1000 \mu$		
第一次	14:27	236	6	0	$0.5428 \cdot 10^{-3}$	0.0088
第二次	14:33	81	26	0	$0.1161 \cdot 10^{-3}$	0.00488
第三次	14:35	6945	325	15	$36.82 \cdot 10^{-3}$	36.127

丙 块 云

穿云次序	时 间	浓度 (个/米 ³)			大滴计算含水量 (克/米 ³)	雷达反射率计算值 (毫米 ⁶ /米 ³)
		$D \geq 100 \mu$	$D \geq 270 \mu$	$D \geq 1000 \mu$		
第一次	14:43	320	42	0	$1.152 \cdot 10^{-3}$	0.0593
第二次	14:45	360	3	0	$0.463 \cdot 10^{-3}$	0.00493
第三次	14:47	1298	417	9	$41.10 \cdot 10^{-3}$	0.5615

表 7 1963 年 7 月 30 日云中垂直气流与温度变化

甲 块 云

穿云次序	时 间	由颠簸记录计算的垂直气流速度		云中温度 (°C)
		最大上升速度(米/秒)	最大下沉速度(米/秒)	
第一次	14:28	+3.00	-3.32	—
第二次	14:29	+2.12	-3.40	-4.1
第三次	14:31	+6.96	-2.40	-2.8
第四次	14:37	+4.10	-4.98	-2.5

乙 块 云

穿云次序	时 间	由颠簸记录计算的垂直气流速度		云中温度 (°C)
		最大上升速度(米/秒)	最大下沉速度(米/秒)	
第一次	14:27	+1.28	-2.04	-3.0
第二次	14:32	+6.32	-6.32	—

丙 块 云

穿云次序	时 间	由颠簸记录计算的垂直气流速度		云中温度 (°C)
		最大上升速度(米/秒)	最大下沉速度(米/秒)	
第一次	14:43	+2.62	-2.52	-3.1
第二次	14:50	+3.13	-2.30	-2.9

注: 1. 表中三块云穿云高度均在 5200 米。

2. 表中第一次穿云都为催化前的资料, 其余各次都为催化后的。

3. 符号“—”表示缺记录。

这一天在催化过程中, 飞机随云内气流的扰动而产生较强的颠簸, 根据观测资料(表 7)表明, 云中上升和下沉气流速度加大, 温度也有相应的升高。

4. 地面雨量分布: 从当天天气形势上看, 活动于湖南省西北部的冷锋只在湖南西北

五、討 論

在前几节里,我们列举了催化前后云的宏观结构及微观结构的变化。这些变化说明,盐粉催化对云的宏观与微观过程都有影响,而且这二种过程有着紧密的相互制约的关系,这关系比较复杂,目前还不可能全面地论述这个问题。下面只就目前观测到的现象作初步的探讨。

1. 降水质点的形成

从表 1 所引述的资料可以看到,催化后大滴浓度是增多的,它的增加量和我们播入的相应尺度的盐核浓度大致相对应。以 1962 年 8 月 25 日在 5000 米高度上的取样为例(取样时间已是该处播盐后的十余分钟之后),它的累计核浓度分布如图 11 所示(云外播盐区实际取到的盐核谱)。如果取一般认为的盐核在云中吸湿增长直径可增至 3—4 倍,则 100μ 以上的水滴由直径大于 30μ 的盐核变成,其浓度为 $400—500$ 个/米³, 270μ 以上的滴可由 $80—90 \mu$ 以上的盐核吸水后变成,其浓度为 $30—40$ 个/米³,与前述催化后云中大滴浓度的增大值大致相近。

观测资料还表明,大滴浓度增加,谱变宽时均伴有云中相对湿度的增加,反之相对湿度降低时,大滴浓度也降低[虽然湿度的绝对数值(如 126%)不可靠,但在同一天中相隔不过数分钟,相对变化的趋势还是可信的。]相对湿度除了本身能影响盐核的凝结增长速度外,还反映云中宏观及微观过程的综合结果。湿度增大则反映云中水分供应充分,盐粉也得到生长的条件。湿度下降时人工播盐显然不能指望有好的结果。当然,观测次数不够多,数据也不够充分,还不可能把大滴浓度在催化前后的增减与云中的物理过程直接联系起来,这有待以后观测中进一步了解。

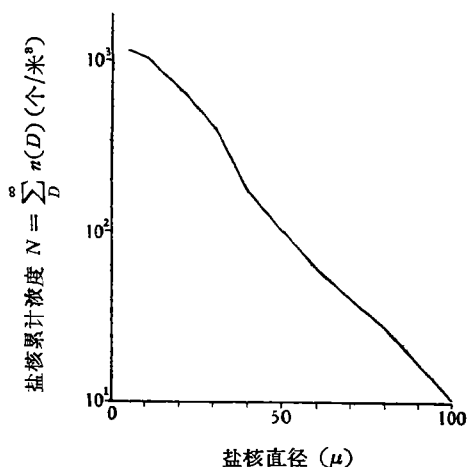


图 11 1962 年 8 月 25 日累计核浓度分布

2. 盐粉对垂直气流的影响问题

盐粉播入云中后,凝结过程所释放出的潜热具有增温作用,在不稳定层结的云中,这个增温扰动有可能发展,成为规则的上升气流。Woodcock^[1] 在 1963 年曾经讨论过盐核在大气层中由干燥层下坠到潮湿层中时,凝结潜热的增温作用在一定条件下可以引起对流的发展。在上述 1963 年夏季的试验中,催化后云顶向上发展即是直接的证据。另一方面,大量盐粉播入云中,所形成的大量水滴对上升气流具有拖带作用。根据我们的观测,厚度在 3 公里以上的浓积云中一般都存在着局部的下沉气流,而在催化后除上升气流得到发展外,下沉气流也有更大幅度的增强,这可能即是由于水滴的拖带作用。这个问题的最后解决还有待于改进观测技术,做更细致的观测研究。

3. 降水形成问题

根据 McCready 等^[2]所绘出的降水形成时间图解,在我们经常遇到的云的条件(云底温度 18—20°C, 平均上升气流速度为 3—5 米/秒)下,播入盐粉(形成直径大于 100 μ 的大滴)后,10—15 分钟内即可在云底出现降水,与我们实际观测到的大部分云催化后 10—15 分钟之内出现降水或雨旆是相当吻合的。

但我们也曾经观测到,不少不降水的云中也有直径在 100 μ 以上的大滴,浓度可达 10² 个/米³。若按 McCready 等的计算,它们也是足以在十几分钟内产生降水的,但事实却不然。这也可能表示云中降水形成与否并不完全决定于有否大滴。假如云中宏观气流结构具有某一特定形式则云中大滴可以无法掉下来成雨,一旦人为地施入大量盐粉,造成一批浓度高一个量级的大滴后,云中原有的这种平衡状态迅速崩解,而转变成有利于降水形成的状态,这两部分大滴皆得以增长成雨滴而形成降水。

两年来多次观测到顶部有雨旆而底部无雨的倾斜云体(垂直风切变引起的)的例子,对它也施加过催化,发现云体直径较大时,催化后可在云底出现降水。1963 年 6 月 30 日的一次试验就是个典型的例子。这天风的垂直切变较强,从云主体顶部生长起来的云塔都倒向南偏西的方向,且拖得很长,并从倾斜的云塔之下垂下雨旆,然后云塔很快散去。接着又有新的云塔生成,并重复前述过程。看来云中自生的大滴均消耗在倾斜的云塔中,云底部无降水。催化前在云主体顶部观测到直径大于 100 μ 的大滴浓度约为 100 个/米³,大于 500 μ 者亦有 1 个/米³,最大直径达 1 毫米。开始催化后 20 分钟观测到云底有降水及地,云的外观如图 12 所示,图上的高度标尺是按照云底高度及两层 Ac 的云高定出来的。

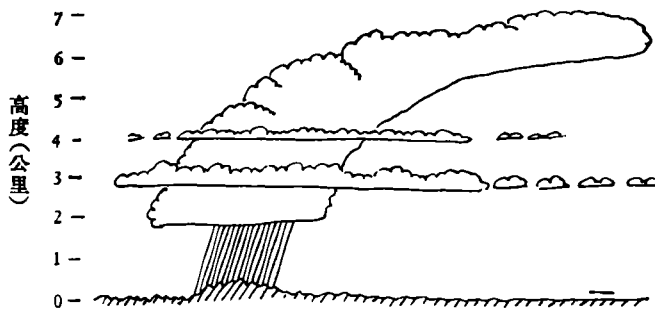


图 12 1963 年 6 月 30 日 Cb 云的外观

虽然观测资料尚不足以充分说明这个问题,但这些现象却是很有启发性的,至少它明显地表现出宏观条件对微观过程的制约作用。由此看来,催化作用必须在考虑宏观与微观过程的相互制约作用下才能得到解决。

六、结 语

综合上述,只要条件合适,催化方式、时机掌握得合适,可以增加暖性浓积云的降水量。当然,由于飞机在庞大的浓积云中穿进作业时难于保持在云体的同一部位取样,何况

云体本身还在不断发展和移动,而且也不能做到同时在几个部位取样,因此在我们的微结构变化的观测结果中必然包含自然的变化。而对于自然云的微观变化情况还缺乏观测资料,所以究竟催化后所引起的变化与自然云的自身变化有多大区别,尚待今后工作中注意观测。

目前还没有仪器来代替云顶高的目测,所以催化后的云顶发展观测还可能有相当大的误差,也有待今后研究解决。

致谢: 中国民航总局、空军部队、湖南民航局有关单位同志在试验飞行中给了我们很大帮助和支持,取得了很宝贵的资料;湖南省科委及湖南省气象局有关同志参加了观测,帮助统计整理了资料,谨此致以衷心的感谢。

参 考 文 献

- [1] Woodcock A. H., Blanchard, D. C. and Rooth, C. G. H., Salt-Induced Convection and Clouds. *Journ. Atm. Sci.* **20** (1963), 159—169.
- [2] McCready, P. B. Jr. Smith, T. B., Todd, C. J. and Bessmer, K. M., Nuclei Cumulus and Seedability Studies Final Report of the Advisory Committee on Weather Control, Vol. II (1957), P. 137.

附表 1963年夏季人工降雨试验情况汇总表

日期	云 状	云底高度 平均值 (米)	云厚 平均值 (米)	云 顶 高度 平均值 (米)	催化 高度 平均值 (米)	催化前云的特征		催化后云体变化						催化后两小时 内所观测的降 水情况	
						被 催 化 云	四 周 云	Cucong 降水	发 展 成 Cb 降水	雨 霈	被 催 化 的 云		不 明		四 周 云
											无 变 化	不 降 水			
6月30日 7月5, 9, 19, 29, 30日 8月1, 8, 10, 11, 12, 18, 20日	孤 立 Cucong	1477 21.60	5750 4280	5160	4次有霈, 16次无雨, 其他不明	5次有雨, 1次无雨, 8次不明	6次	14次	6次	2次	2次	4次	4次有 降水	16次有降水, 其降雨量为微量 —59.1毫米,平 均值是10.0毫 米,6次无降水, 其他不明	
6月27, 29日 7月8, 12日 8月2, 3, 4 日	羣 体 Cucong	1550 23.04	6100 4880	4990	1次有雨, 3次无雨, 1次有霈, 其他不明	2次有雨, 1次无雨, 其他不明	3次	5次	2次	1次	2次		5次有降水,其 降雨量为1.2— 19.2毫米,平均 值为11.7毫米, 5次不明		
7月3, 17, 19 日 8月1, 7, 8, 10日	Cb 旁 Cucong	1327 22.20	5466 4050	4820	1次有雨, 3次无雨, 12次有霈, 其他不明	2次有Cb 降水, 3次无雨, 其他不明	1次	6次	2次	2次	7次	2次有 降水	8次有降水, 降水量为微量 —25.6毫米,两 次无降水,其他 不明		
总 计							15%	38%	15%	3%	8%	20%			