

中国科学院地球物理研究所

我国云雾降水微物理特征问题

顧震潮等著

(内部资料·注意保存)

科学出版社

P426.5
12
85/6

中国科学院地球物理研究所

我国云雾降水微物理特征问题

顧震潮等著

(内部资料·注意保存)

科学出版社

1962

內 容 簡 介

本书是中国科学院地球物理研究所 1960—1961 年期间在湖南、河南和河北地区所作的云雾降水物理观测结果的分析总结,共包括八篇论文。其中六篇反映了我国云雾降水微结构的一些重要特征,一篇是巨盐核浓度的季节变化与大气环流的关系,最后一篇是对流性暖云人工降水作业时,撒布颗粒与部位以及撒布效率的理论研究。本书不但对云雾降水的物理机制和人工降水的理论研究很有参考价值,而且对于改进人工降水的技术措施也很有参考意义。

本书可供人工降水工作者、气象研究工作者和教育工作者参考。

我国云雾降水微物理特征问题

顧震潮等著

*

科学出版社出版 (北京朝阳门大街 117 号)

北京市书刊出版业营业登记证出字第 061 号

中国科学院印刷厂印刷 科学出版社发行

*

1962 年 10 月第一版 书号:2623 字数:117,000
1962 年 10 月第一次印刷 开本:787×1092 1/16
(京) 001—900 印张:5 3/4 插页:1

定价:0.85 元

目 录

前言.....	1
南岳云雾降水物理观测(1960年3—8月)结果的初步分析.....	顾震潮等 2
我国几个地方巨型盐核分布的一些特点.....	陈炎涓 22
南岳巨盐核浓度的季节变化与大气环流季节变化的关系.....	李麦村 30
南岳云滴谱资料(1960年9月—1961年8月)的初步分析.....	章光鋈 36
南岳大云滴观测资料(1960年10月—1961年5月)初步总结.....	詹丽珊 47
南岳雨滴谱观测(1960年7月—1961年8月)结果的初步分析.....	魏绪林 51
南岳阵雨雨滴谱连续取样观测(1961年8月)结果的初步分析.....	阮忠家 58
对流性暖云人工降水作业中撒药部位与撒药颗粒对撒布效率影响的初步理 论研究.....	顾震潮等 64

前 言

本书中所发表的主要是 1960—1961 年中我們在湖南南岳和其他地点所作的我国云雾降水微物理观测結果分析的总结。我們对云雾降水物理的研究是 1958 年大跃进时才开始的,因此不論是云雾物理观测本身,还是分析方法都是初步开展阶段,还存在不少缺点。例如各項观测的配合还很不够,分析也偏重于单項观测結果的分析。但也因为这是新开展的工作,所以对我們有不少启发,其中有的对我們理解云雾降水的机制很有帮助,为这方面的理論研究工作提供了有意义的問題和綫索。这些理論研究的結果,将在以后另行刊印发表。

本专刊的最后一篇論文,是关于对流云暖云人工降水作业方面的理論研究結果,它也总结了我国暖云人工降水的一些經驗。由于暖云人工降水至今还没有什么系統的理論研究,这方面即使是比較簡單的討論也是很需要的。在我們今后对暖云降水机制作进一步了解的基础上,这方面的研究工作一定会有新的开展。

南岳云雾降水物理观测 (1960年3—8月) 结果的初步分析

顧震潮等*

一、引言

1958年大跃进以来,人工降水工作已在我国各地迅速地开展起来,而且取得了不少效果。但是由于我们对我国的云雾降水的物理性能缺少很好的调查研究,我们还不能对症下药地进行最有效的人工降水技术措施。在这意义上,南岳云雾降水物理观测基地的建立,对我国南部云雾降水物理性质进行比较系统的、全面的了解,是十分必要的和及时的。本文就是对基地最初半年观测资料的分析研究结果。经过对这些资料的分析,我们发现了我国暖云云雾降水物理的一些重要特点、这是过去所不知道的。这些特点对云雾降水物理机制的分析和人工降水的理论以及技术措施都很有意义。并由此提出了对我国人工降水工作上的相应建议。

二、观测情况

南岳云雾降水物理观测基地的云雾降水物理观测,是在1960年3月中旬开始的。观测分别在下列地点进行。

1. 总站: 设在望日台,即湖南省气象局南岳气象站的观测场附近,高度1266米。四周没有树木,只有西边约500米以外有1333米高的祝融峰。总站的观测项目包括云滴谱、含水量、雨滴谱、盐核(氯离子)、以及云的宏观观测。

2. 分站: 设在总站东北的紫盖峰,高1035米(在赤帝峰的藏经殿也工作过)。在有东北风的时候,云雾可能要越过紫盖峰才能到达望日台,因此紫盖峰的数据更能代表云雾的自然情况。并且总站资料与紫盖峰分站资料的比较,可以了解云雾受地形的影响情况。分站进行云滴谱、含水量及云的宏观观测,但观测次数很少。

3. 梯度站: 设在总站的南边,上山公路所经过的茶园和半山寺,高度各在930米及600米左右。这一带坡度比较大,并且交通比较方便。梯度站观测云滴谱、含水量、雨滴

* 研究、分析、整理者: 顾震潮、陈炎涓(盐核、雨滴谱)、徐乃璋(盐核)、章光银(云滴谱)、张云龙(含水量)、詹丽珊(云滴谱、雨滴谱)。1960年底前后总结,1961年修改。

譜以及云的宏观观测。

日常观测时间是 8 时、11 时、14 时、17 时（北京时间）共四次。当有重要天气变化，如在锋面过境后、雷雨开始时、以及下雨情况变化时，增加观测次数。



图 1 南岳基地各观测站位置分布图
(气象站有的离基地较远,不全在图上)

观测的主要仪器是三用滴谱仪。这种仪器可以用来观测云滴谱、含水量以及盐核。它比抽气筒式的仪器优点多,对盐核的观测可以定量(在时间测定仪帮助下,云滴浓度观测也可以定量),它是用硝酸银胶片上的里塞根环来进行辨别的。含水量的观测,则使用按查依采夫(Зайцев)原理安装的仪器。这种仪器可以在没有电源的地方使用,并且重量很轻,携带方便。

雨滴谱的观测用葛麻油法。云的宏观观测主要是目测云的发展、变化及特殊情况。

总站的气象情况依靠南岳气象站的观测。在分站及梯度站，另作简单观测，包括风向、风速。工作中需要的天气预报收听省或专区天气预报的广播。

从1960年7月底起，在南岳和它的四周陆续建立了11个气象站进行观测，因此对南岳云的宏观情况，例如总站离云底高度等可以知道得更清楚。

1960年5月间是湖南进入梅雨的时节。5月份湖南一般雨水最多，云雾出现也多，并且大都是锋面雷雨和对流性云。这是这段时间天气上总的特点。

1960年6—8月间湖南天气较早，在南岳地面云雾也较少，大部分都在最高峰以上500米。而且主要的云块都在白石峰一带，因此云雾观测次数比较少，但盐核(氯离子)观测较多。

三、盐核观测结果

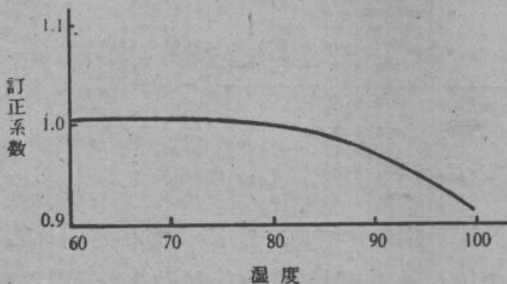
大气中自然云雾的形成与吸湿性的盐核有密切的关系，而直径在 2μ 以上的巨型盐核的存在，对降水的形成有着重要的作用。云雾物理的研究，基本上已经确定在水汽凝结时，巨型盐核会形成巨大云滴的核心；而由于巨大云滴与大量小云滴在下降中的重力碰并作用，使巨大云滴迅速形成雨滴，这是暖云降水的主要过程，对暖云的人工降雨工作也就是利用这种过程来进行的。因此盐核的观测不但可以帮助我们了解暖云的自然云雾降水的过程，并且也对如何利用盐粒、盐水等进行人工降水的问题有所启发。

盐核的观测只有在晴天测站没有云雾的时候进行，我们的盐核观测是在5月份开始的，而湖南5月份雨天最多，所以5月份盐核观测次数不多。

观测一般在下午14时进行。抽气速度为25—35米/秒，暴露时间为20秒钟，共抽气12升以上。

盐核大小的观测要有两种订正。

第一，盐核放大因素，我们用常数6，事实上它与盐核中含盐浓度有关^[1]，因此，我们对此也应该加以订正。把不同湿度下盐水平衡浓度进行换算，得到图2的订正曲线。由



此可见，在相对湿度为60—94%范围内，误差在5%以内。相对湿度到99%时，误差为8—9%。

第二，盐核是吸湿性的。在不同的湿度下盐核吸收水分多少有不同，盐核的密度也不同，因此同样大小的盐核含盐的质量也不同。一般说来相对湿度在40—50%

以上，盐核就已是液体小滴，不一定相对湿度要到78%（即对氯化钠的饱和湿度）。湿度再大，盐核也不断吸湿增大。

盐核本身的大小，因相对湿度不同、吸湿多少不同而引起的订正，可以制成订正曲线（以78%为标准），如图3。由图可见，在相对湿度60—94%范围内，重量大小可差45%，

显然盐核实际含盐量的訂正远为重要。可見除了湿度在 95% 以上的情形以外，放大因数不准的訂正可以忽略。事实上，在我們这段时间中的 14 时，95% 以上的相对湿度也很少发现。

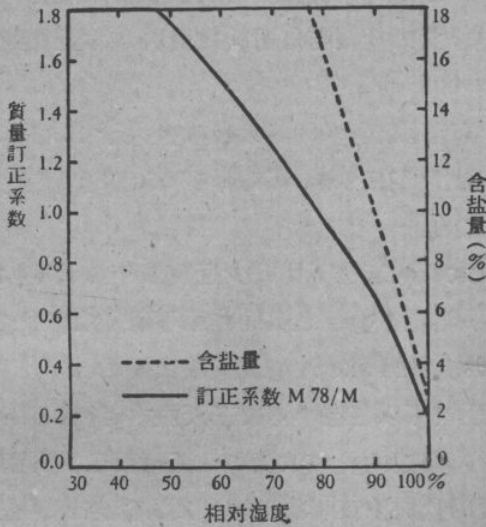


图3 盐核含盐量和质量的湿度(对 78%) 訂正曲线

盐核的观测在 6 月到 7 月 10 日，因观测制度执行得不够严格，有一定的污染，盐核数可能太大，因此，我們只以 5 月及 7 月 10 日以后的

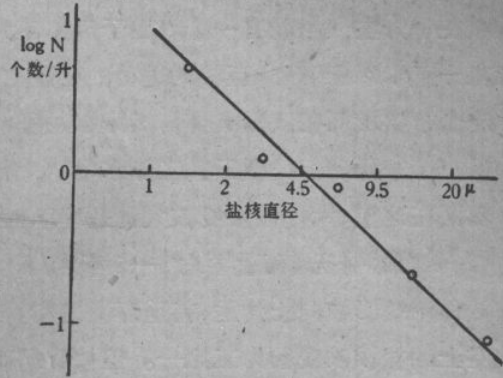


图4 1960年5月11日14时南岳望日台盐核分布

资料来进行分析。但我們补上了同年 9 月与 10 月份的盐核观测资料。

南岳在一开始观测盐核时，就发现空中盐核很大，也很多。例如 5 月 11 日 14 时(晴，东南风，风速为 4 米/秒，湿度为 75%) 的记录是一个典型例子(图 4)。

长时间的平均值也是如此。我們把 7 月 10 日到 10 月 31 日(高空人工降水作业撒布盐粒的日期除外，詳見后文)中，31 次盐核观测记录平均值作成分布曲线，画在图 5 中。平均相对湿度恰好是 78%。

为了便于比较，我們把国外海上的盐核记录^[2]，经过相对湿度訂正(一起訂正到 78% 下)后¹⁾，也表示在图 5 里。我們一看就可以了解 $d = 10\mu$ 以上的巨核与沃德考克的资料(加勒比海低空)相近，而 20μ 以上的巨核浓度甚至比沃德考克的数据更大，也不比莫厄等(爱尔兰海面)的同类数值小多少。

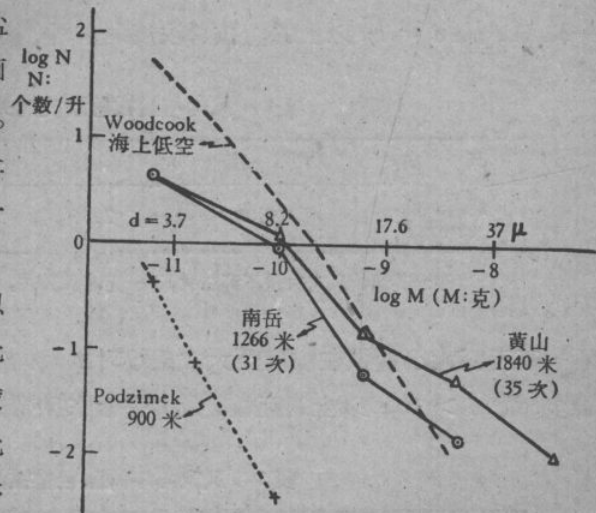


图5 盐核浓度的平均分布

1) 沃特考克(Woodcock)^[3]观测的是海水(含盐量 3.5%)，相当于相当湿度 99% 下平衡的情况。雄格(Junge)^[4]提到 95% 和 40% 下盐核的平衡大小。莫厄(Moore)等^[5]观测的是浓度 10% 盐溶液下的平衡大小(相当于湿度 90% 以下的情况，而純氯化鈉的飽和平衡湿度是 78%)，用 78% 湿度作标准。

應該指出,我們的鹽核觀測質量是比較可靠的,儀器性能及觀測方法是經過試驗比較的。在數量上,國外只憑少數幾次觀測,莫厄作了 25 次觀測,沃德考克作了 24 次,波茲米克 (Podzimek)^[6] 作了 21 次。莫厄第二型更少,只作了 5 次觀測。而我們南岳未催化日期的記錄,在本總結中就有 31 次,另黃山有 35 次,黃山鹽核與南岳鹽核資料基本上相同(見圖 5),黃山大核稍多一些。

由此可以看出,在南岳作為巨核的鹽粒在空氣里是相當多的。大致直徑大於 10 微米的鹽核在每升空氣中就有一個。由於風速不大,南岳又在內陸,離海岸有 650 公里以上,高度在一千米以上,因此巨核的這種濃度是相當大的。

這個事實說明在我國南部自然降水過程中,大概從來也不會缺少巨核來作為雲中大水滴的一個來源。因此暖雲人工降水中,小劑量平均撒布鹽粒之類的作用可能是有限的。

然而在這裡,大鹽核濃度較大也是可以理解的。根據雨水沖刷及鹽核交換的計算^[7],湖南 6—8 月的情況(雨量平均 5—8 毫米/日),巨核可以在空中停留三天左右,並且不斷受交換作用的影響向上传送,甚至逐漸攪和。這樣,海邊的鹽核濃度與幾天後由風吹到湖南高空上的鹽核濃度約為五比一。但按我們觀測的鹽核濃度增加五倍,對海邊來說還是可能出現的。南岳到海邊約 650 公里,在 5 米/秒的風速下需要 36 小時左右由海上到達南岳。如果風更大,到達南岳也更快,同時湍流也更強,所以仍可擴散相當高度,使南岳上空鹽核濃度達到很大的數值。因此,鹽核由東海、南海來的可能性是很大的。

這一點也可以從鹽核與風向的關係上看出來。根據 5—8 月份除去被污染日期(6 月份及 7 月 10 日以前),高空作業在 14 時前撒鹽粒日期及撒鹽粒後一天的日子外,即在 5 月 9—11 日、16—17 日、21—27 日、7 月 10—13 日、15—19 日、8 月 20 日、24 日、25 日、29—31 日,從 $d = 1\mu$ 以上的鹽核總濃度的統計(表 1)可以看出,吹西南風時鹽核最多。

表 1 風向與鹽核總濃度的關係($d \geq 1\mu$)

風 向	西 南	南	東 南	東 北
總 濃 度 (個/升)	14.08	2.56	10.38	2.62

注:其他的風向次數不到三次,不一定有代表性。

再看一下不同大小鹽核在濃度最大或最小時的風向,可見 $d \geq 1 - 2\mu$ 的大核,在西南風時最多,而 $d > 10\mu$ 以上的巨核,大多是偏東風帶來的(表 2)。風速的影響似乎對氯離

表 2 風向與不同直徑鹽核濃度的關係

風 向	西 南	南	東 南	東 北
濃 度 (個/升)	直徑 2—10 μ			
	1.58	1.19	2.79	1.59
	直徑 > 10 μ			
	0.18	0.13	0.58	0.61

子作用不大¹⁾。

南岳盐核浓度与天气情况也很有关系。南岳的观测说明,在晴天或在中高云的天气下浓度较大($d > 1\mu$ 的 3.5 个/升),但在久雾间有降水之后,浓度就大减。8月11日起在台风影响下,南岳一连三天有雾,云较厚。14日清晨3时前还下过5小时的阵雨。盐核观测时间前后还有云雾,在14日14时的盐核观测浓度只有0.8个/升,接近8月份的最低值。还应该指出,有时候在久雾后浓度仍很大。如8月20日已在多天云雾以后,但20日本站从早晨起已没有雾,20日14时观测 $d > 1\mu$ 的氯离子浓度达到57.2个/升,绝大部分又是较小的核($d = 1 - 2\mu$ 的占53.3个/升),这是新从地面浮升起来的情况。但在间歇性雨的情况下,冲刷作用不强,浓度变化就不明显。

值得注意的是在7月20日起,我们在湖南开始了人工降水高空作业大量撒布盐粒,而从南岳的观测来看,作业时期与非作业时期的盐核浓度确有不同,这是很有意思的。

湖南1960年7、8月份高空作业撒盐粒,而有盐核观测的日期共19天,即7月20—24,29,30,31日及8月1—8,26,27,28日,其中在衡山上空撒盐而南岳有盐核观测记录的,有7月20日,24日,8月3—6

日,共7天。作业前未污染及作业后二天及二天以上不再作业的,有7月10—13日,15—19日,8月14,20,24,25,29,31日共15天。我们把这两个时期中的盐核谱作了平均,从分布盐核的平均来看作业影响很明显。图6中虚实线分别代表作业前后的分布。它表明作业后除了直径 4μ 以下的核略有增减外,主要是在直径 10μ 左右($4-20\mu$ 间隔中)的盐核大大增加,浓度是不作业时的三倍。由此可见,作业后24

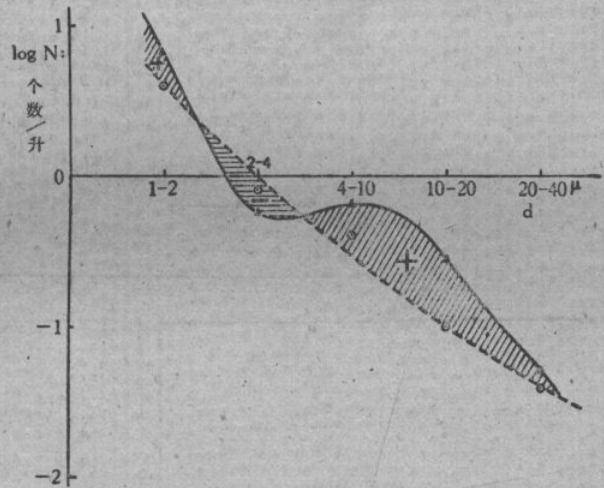


图6 1960年7—10月受高空撒盐粒作业影响及不受影响日期盐核浓度平均分布的不同

小时内直径 $4-20\mu$ 的盐粒如没有“用掉”的话,是一直能保持在空中,会继续发生作用的。事实上,直径 $4-20\mu$ 的盐核自然沉降速度在每秒三厘米以下,平均是0.5厘米/秒(考虑到盐核密度),因此也很容易被微弱的较大范围的上升气流托住。相当于这浓度的盐的总重量也不大,所以与撒盐量相比也是可能有的量²⁾。

1) 附带指出,波兹米克^[6]所测到的高空盐核浓度远比我们测到的小。根据欧洲天气图来看,这可能是在波兹米克观测那几天,恰好西欧到中欧高空是偏南的气流和偏西的气流,空气路径在陆上的部分很长,和有以下气流等缘故。

2) 平均直径 10μ ,每个盐核 2×10^{-10} 克,浓度增加每立方公里约50克,以盐核增加的体积是 $1 \times 30 \times 30$ 立方公里 = 900立方公里计,共增加盐45公斤(假定南岳高度以下盐核都增多)。而人工降水高空作业时,大约飞机每架次就要撒好几百公斤,其中平均直径 10μ 的盐粒完全可能有几十公斤。

表3 高空作业前后盐核浓度变化情况

日期	直径						总浓度
	1-2 μ	2-4 μ	4-10 μ	10-20 μ	20-40 μ	40-100 μ	
8月2日	0.40	0.19	0.82	0.09	0	0.09	1.59个/升
8月3日	5.52	1.51	2.88	2.47	0.27	0	12.65
8月4日	0.91	0.10	0.28	0.18	0.09	0	1.56
8月5日	50.0	1.09	0.28	0	0	0	51.37

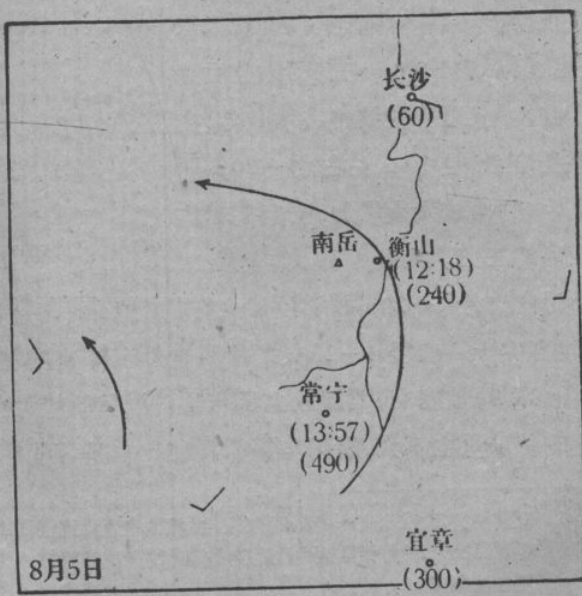
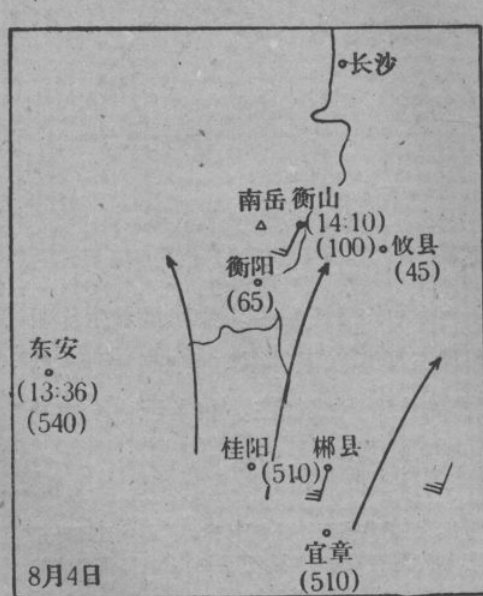
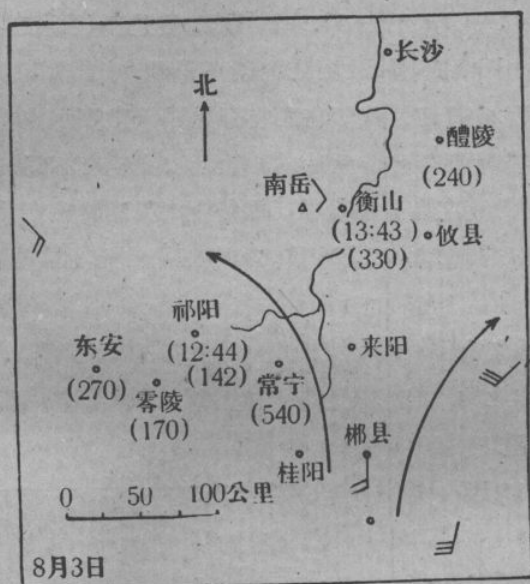


图7 1960年8月3—5日南岳四周高空气流和人工降水高空作业的地点简图

[风是08时850毫巴上的风,地点下面数字是撒盐时间(只把撒盐最早的地点及衡山的注上),最下面的数字是撒药公斤数]

為了更清楚起見，我們舉一個例子(參見表3和圖7)，這是比較最清楚的。但其餘的鹽核在作業後大都有增加，沒有減少。

1960年8月3日13時43分飛機在衡山撒鹽粒，南岳14時觀測鹽核大有增加，尤其是大核也增加很多(表3)。3日下午16時以後，湖南南部下了陣雨，風速也大(8米/秒左右，合10小時280公里)，在上風方向郴縣一帶撒的鹽粒都已可能吹到南岳。第二天(8月4日)作業較晚。在衡陽是14時46分撒的鹽粒，而在東安(離南岳200公里左右)是13時30分撒的鹽粒，14時還到不了南岳(風速6—8米/秒)。因此4日南岳觀測(14點)到的鹽核就不多了。但東安、南岳間後來風速減小到2—3米/秒，因此4日在東安撒的鹽粒可能在下一天(5日)經過吹送及湍流才擴散到南岳附近。5日南岳觀測到的鹽核大為增加，特別是直徑小的(東安撒的鹽粒也較細)。

這些事實都證明了，在雲中撒布直徑為 $4-20\mu$ 的鹽核，是可以在空中停留24小時左右，使空中這種大小的鹽核增加幾倍。由此可以了解，廣東人工降水^[8]所報告的下午撒鹽，晚上下雨的例子，從鹽粒停留在空中的時間來看還是可能的。此外，看來這對地面在爐中燒鹽粒或土炮打鹽粒時作用時間較長，也給予一定的支持，特別是當時有自然上升氣流，又借熱空氣上升的幫助，並且燒出來的鹽粒顆粒又是特別細的話。

四、雲滴譜觀測結果

南岳基地在3—5月中作了多次雲滴譜的觀測，取得了各種情況下的雲滴譜資料。特別值得提出的是我們取得了一些濃積雲、甚至雷雨雲底部的雲滴譜資料，這是很寶貴的、很不容易取得的資料。因為濃積雲和雷雨雲是人工降水很好的處理對象，但在濃積雲和雷雨雲底部上升氣流和擾動十分強烈，飛機很難飛進去觀測，所以這種資料很少，對它作人工降水工作時的依據也就很少。例如歷來引用很廣的韋克曼(Weickmann)和阿烏弗姆·卡姆丕(Aufm Kampe)^[9]的美國資料中，就有的只是濃積雲和雷雨雲上部與淡積雲底部的資料，沒有雷雨雲底部的資料。迪姆(Diem)^[10]的資料大多數是幾百米厚的淡積雲和少數濃積雲頂部的資料。蘇聯的查依采夫(Зайцев)^[11]所發表的一個積雲的觀測資料是比較最詳細、全面的資料，但只是一塊一般的積雲(厚1.8公里)。國外的高山雲霧台也似乎沒有做好這類觀測，例如已有幾十年歷史的法國皮·特·多姆(Puy de Dôme)台^[12]雖觀測過積雲，就沒有發表過這類資料。近年來蘇聯用雷達、飛機投擲式滴譜儀等新裝備，對於濃積雲、雷雨雲進行了比較全面的觀測，測得了一些過去所不知道極有意義的數據^[13]，但也還沒有完全發表¹⁾。更不必說，為了解決我們自己的人工降水問題，我們得有自己的觀測資料。

由5月底到8月這段時間中，因天氣較旱，積狀雲比較高(一般為1500米)，因此觀測到積狀雲滴譜較少，觀測最多的是層積雲的滴譜。

1) 最近從討論雹子的文章中轉引了一些新的積雲滴譜資料，見文獻[14]。

現在我們把這些資料分別進行討論：

1. 濃積雲、雷雨雲和晴天積雲

在5月份中梅雨已到南岳，南岳有多次的強大的雷陣雨，因此觀測濃積雲和雷雨雲的機會也很多。根據這些觀測，我們看到濃積雲底部的滴譜很寬，直徑大到幾十 μ 是很普通的。先看濃積雲的例子，在我國南方濃積雲的底部，滴譜還是比較不太寬，與查依采夫^[11]的數據相似。5月9日湖南地區處在鋒後，上午長沙、衡陽間對流性天氣很強，有陣雨，四周有雷雨雲（衡陽8時，雲高1500米）。但南岳無雷電，下午南岳地區雲減少，並轉為高積雲和卷雲。南岳大致正在濃積雲底部，當天上午8時33分（北京時間）總站滴譜觀測如圖8，雲滴最大的直徑在50 μ 以上，但小粒也比查依采夫的例子中多得多。

在濃積雲中部，情形很不同。5月6日湖南地區正在鋒後，由早晨開始對流性活動增強，到下午16時前下了雷陣雨。當天下午14時，南岳四周還都沒有雷雨，只有個別地方有雷雨雲，南岳的雲應該還是濃積雲，雲底高度衡陽600米，長沙100米，看來南岳觀測點（總站）已離雲底有500米以上。14時20分的滴譜觀測證明，雲的滴譜很寬（圖9），直徑由5 μ 起（圖10同），最大的雲滴直徑為75 μ ¹⁾，比查依采夫的資料中所說的積雲上部中的水滴還大，譜也更寬。尤其值得注意的是在直徑28 μ 左右滴譜上的一個高點。注意作這些

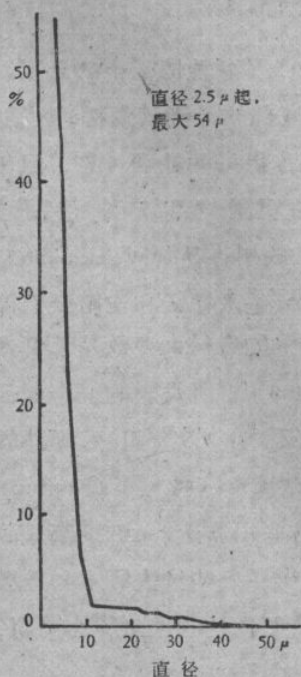


圖8 5月9日8時33分
望日台濃積雲底部的滴譜

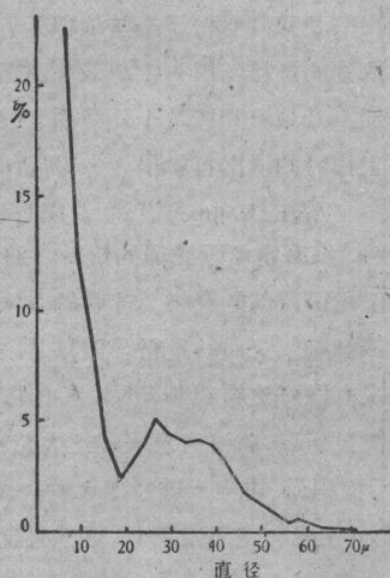


圖9 5月6日14時20分
望日台濃積雲中部的滴譜

1) 1959年在甘肅馬啣山上空，對濃積雲上部（6400米）由飛機所取得的滴譜中，平均水滴直徑也大到40 μ 左右，最大的水滴直徑約110 μ ，見文獻[15]。

滴譜时所用的是半径每隔 7.5μ 之内的平均浓度值 (每格 2.5μ , 每三格求移动平均, 来使譜平滑化)。这高点的存在, 說明在这云中云滴已經經過了相当厉害的碰并。过去在雷雨云里也发现过这种現象^[9]。虽然这云滴譜并没有、也不会比成雹的积云中 (文献 [13] 或 [9]) 那样寬。但无论如何可以看出, 过去好些浓积云的数据 (如文献 [10]) 不能代表南岳梅雨季节的浓积云的情况¹⁾。

在积雨云中情况又不一样。在积雨云底部, 我們观测到这样的例子。5月8日湖南地区上空已轉南风, 处在靜止鋒后。衡阳、长沙間有雷雨, 南岳到早晨4时也有閃电及陣雨。8时前后, 衡阳一带云高有600—1000米。总站处在雷雨云底部, 离云底大概不会多于500米。9时15分南岳观测到的滴譜如图10。值得注意的是在积雨云底部云滴分布与浓积云中部的情况十分相似, 譜中第二最高的位置也非常相近。还应注意南岳在当日15时以前还没有下雨, 可見, 不下雨时积云滴譜也会十分寬的。至于在积雨云中, $20-30\mu$ 的水滴是不怎么样多, 往往比在浓积云中更少, 但是滴譜很寬, 发展成雨滴已很容易。5月6日15时35分正当冷鋒前鋒剛經過南岳, 馬上就要下陣雨的时候, 从所取滴譜中可以看到最大的云滴直径大到 130μ (图11), 远远大于上面所說的浓积云的情况, 而且直径

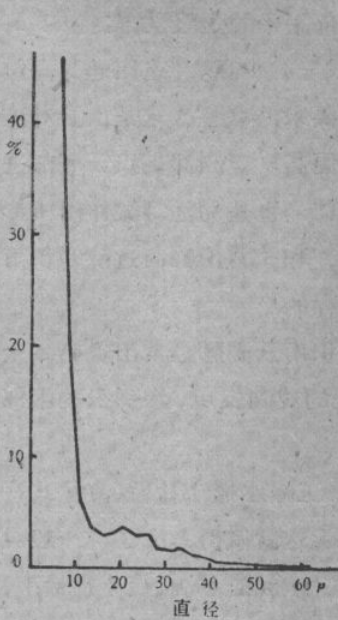


图10 5月8日9时15分望日台积雨云底部的滴譜

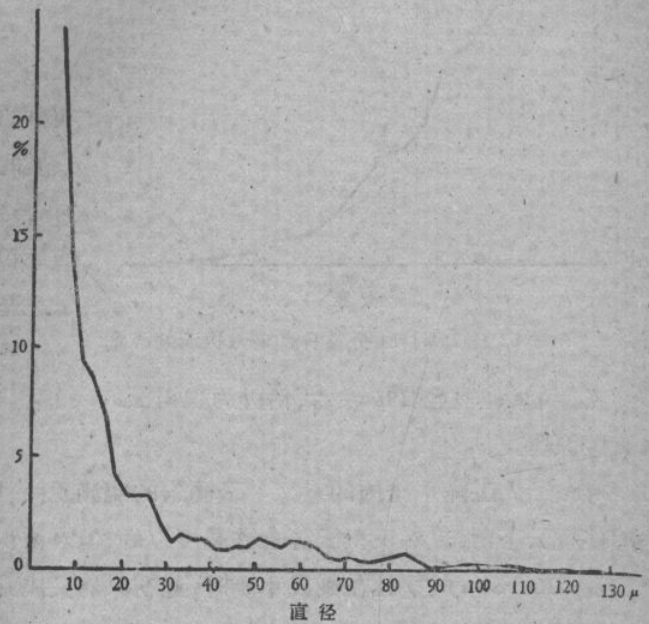


图11 5月6日15时35分望日台积雨云中部的滴譜

25μ 以上的云滴都还相当多。直径 60μ 以上大滴所占百分数随直径而減小的变化速率与韦克曼等的平均数据相似。但显然韦克曼等的观测方法有缺陷, 因为他們的数据中看不到积状云中的小云滴。虽然他們由飞机进行观测, 飞行速度約 67 米/秒, 并可以捕获到半径 1.5μ 以上的小水滴。但在他們的数据中, 显然直径 10μ 以下的水滴个数已趋向減少, 連淡

1) 实际上过去也有人在发展較強的积云和其他云中观测到, 但没有指出它的重要性^[26, 27]。

积云中直径 10μ 以下的水滴也急剧减少。显然,这是与实际情况不符的。不论我们的观测或别处的大量观测,都证明积云中百分数占得最多的水滴直径(众数直径)在 8μ 以下(雹云可能除外^[13])。这样韦克曼尽管也观测了很宽的积云滴谱,但他的数据仍然没有充分反映出水滴大小上矛盾的程度。

在晴天积云中,有时也有接近于浓积云的滴谱,特别是下雨的时候。3月12日湖南在锋面的后方,普遍有层积云。中午,一部分积云已转成晴天积云,南岳附近对流性更强,衡阳云高1500米左右,南岳山上云较低,在云飘过的间歇中,可见到晴天积云,并有碎积云,有个别带冰晶化部分的雷雨云。从12时30分起,并有断续的阵雨。14点14分总站滴谱观测说明,在这种情形下,淡积云中的大滴也可比浓积云中的大滴更多(图12),很值得注意¹⁾。

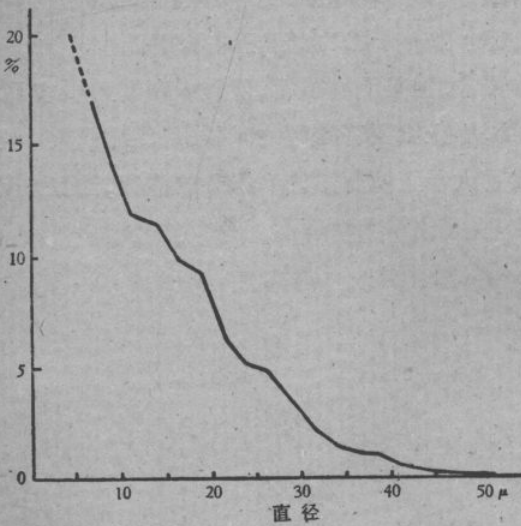


图12 3月12日14时14分望日台晴天积云的滴谱

6月后,对于对流云的观测次数甚少,但就少数的观测来看,其结果与3—5月中旬的结果是相一致的。谱带一般较宽,直径大至几十 μ 的云滴是常见的。但积雨云的底部谱带的上限为直径 55μ ,大到 100μ 以上的少见。这比起5月份观测的谱带来要窄些,这是由于对流发展的高度偏高。观测都在积云底部进行。这时大部分也是局地对流作用所形成的积雨云,和5月份锋面过境的积雨云也是不一样的。

6月后积雨云滴谱也常出现第二个最高点,位置在直径 28μ 左右,估计为积雨云的底部。5月底的观测发现,浓积云的中部也有类似情况。

对暖云人工降水措施的意义。云滴谱的观测说明,国外人工降水撒小盐粒(直径 $20-30\mu$)使暖云下雨,这对层积云等也许是可以的,但对浓积云来说这就值得考虑了。一般说来,直径 $20-30\mu$ 的盐粒在凝成水滴时,起初只能长成直径 $35-50\mu$ 的水滴,在小剂量下,由撒药所造成的这种大滴浓度一般是 10^{-2} 个/升。但在南岳浓积云中直径 50μ 的水滴已有百分之几,甚至百分之十以上,按云滴浓度是 10^2 个/厘米³ 计算,浓积云中所存在的直径大于 50μ 的水滴原来就有 10^0 个/厘米³,即 10^3 个/升左右。这数字比小盐核所形成的大水滴浓度大上万倍之多。即使考虑到撒布不均时的集中性和颗粒的团聚,人工盐核所形成的大水滴浓度,无论如何总不会比自然界中已有的大水滴多出太多。而且造成暖云降水时,并不需要大量水滴作为开始。由此可见,小剂量小颗粒的均匀撒布盐粒(或喷水),

1) 注意韦克曼等的晴天积云中,平均云滴谱是太宽了,恐怕代表性不大,这曾有人指出过^[17]。

至少对于已经发展起来的浓积云来说效果不一定是很大的。

2. 高层云、雨层云

在高层云、雨层云系统中下雨是较多的。在3—5月“梅雨锋系”移到湖南、广东一带，气旋波生成很经常。这时候大多有雷雨云发展，但在对流不稳定性不强的时候，不论有没有明显的锋面，都有高层云、雨层云系统。3月17日南岳整天有雾，9时前并断续有雨，由天气图上大范围云状来看，南岳在高层云、雨层云系统中，并且离云底很近。8时17分在下雨的间歇时间（6时24分雨停，8时20分又下），观测到云滴谱如图13，看来这滴谱还不算宽，最大云滴直径只观测到 30μ 。但在另一天，即4月11日，同样在雨层云中，但云底离地面只500米左右，观测地点（山顶）已离云底700米左右。雨在9时03分就已经停止，11点22分的观测说明滴谱很宽（图14）。最大的直径到 75μ ，分布比较均匀，大滴比较多。这比迪姆^[10]或鲍罗维科夫（Боровиков）^[16]的雨层云滴谱（同样是个例）宽多了。值得注意的是这还是在雨停很久以后的观测资料。

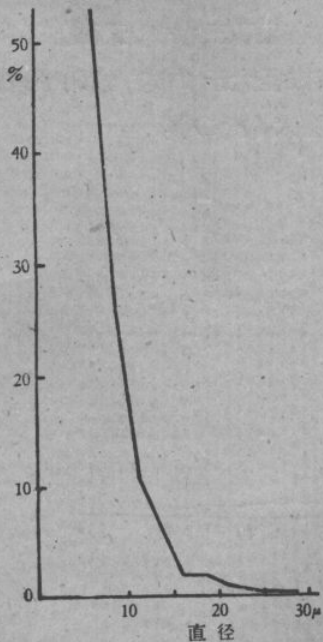


图13 3月17日8时17分
望日台雨层云的滴谱

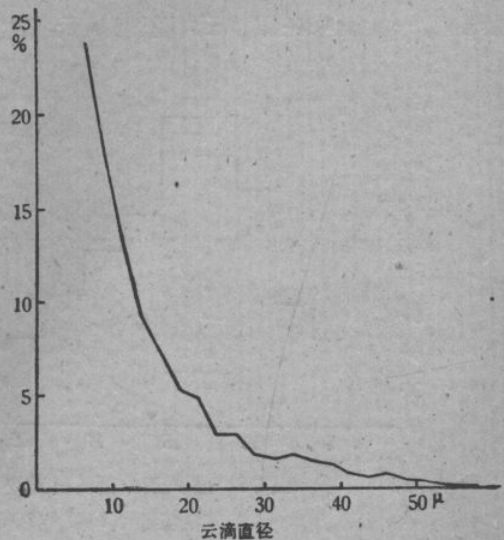


图14 4月11日11时22分
望日台雨层云的滴谱

可以指出，上面有许多资料是在下雨结束后，并且当天已不再下雨时所观测到的，而这些滴谱仍然很宽，有不少大水滴，含水量也不小（ $1\text{克}/\text{米}^3$ 左右）。浓积云如此，高层云、雨层云也如此。由此可见，这些云层或云块虽然当时雨已经不下了，但是它还有降雨的“潜力”存在，还可以使它再下一些。固然由于上升气流的减弱，水分供应不会十分充分，但也有理由可以相信，在雨停以后并不是整个大气下层的上升气流都急剧减少，只有中层