

4
中国科学院地球物理研究所集刊

第 10 号

我国云雾降水微物理 特征的研究

科学出版社

中国科学院地球物理研究所集刊

第 10 号

我国云雾降水微物理 特征的研究

科学出版社

1965

內 容 簡 介

本集刊主要是中国科学院地球物理研究所 1962 年在湖南南岳和山东泰山所作的云雾降水微观观测的初步分析和总结,共包括十篇論文。前三篇对我国南方(南岳)云滴谱特征作了初步分析;第四—七篇探讨了我国陣雨和雷雨降水的特点及其演变规律;第八篇是关于用吸水紙法测量雨滴谱的檢定工作;最后两篇是有关降水过程的理論研究。这些論文以定量的观测事实,說明了我国云雾降水微结构的一些重要特征,为云雾物理的研究提供一定的依据。

本书可供气象研究工作者,首先是云雾物理的研究工作者,气象业务工作者和有关高等院校教育工作者参考。

中国科学院地球物理研究所集刊

第 10 号

我国云雾降水微物理特征的研究

科学出版社出版

北京朝阳門内大街 117 号

北京市书刊出版业营业許可証出字第 051 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

1965 年 8 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

1965 年 8 月第一次印刷 印张:6 1/2

印数:0001—1,700 字数:130,000

統一书号:13031·2148

本社书号:3276·13-15

定价:[科七] 0.95 元

說 明

解放以来，根据国家的需要和地球物理学科在国内的发展要求，我們曾进行了一系列的研究工作，以期对我国社会主义建設和推动本学科的发展作出一些貢獻。

随着研究工作的开展，很多研究成果都写成論文，这些研究論文，或者由于篇幅过多，或者由于比較专门，不适宜于刊登在相应的学报上，过去我們曾陸續以书籍形式出版了九种。为了便于收藏和查閱，經中国科学院领导批准，今后将以“中国科学院地球物理研究所集刊”形式刊印出版。在清查历年来出版情况的基础上，每期予以序列编号（本集刊从10号开始，以前出版的予以补編，見下列附表）。

为了有系統地刊印出版我所的研究成果，便于讀者查閱參考，規定今后本专刊将包含两种內容：一种是規模較大、篇幅較多的研究工作結果，一种是某一研究专题方面的論文集。讀者可以根据个人的需要和兴趣，选择閱讀。

茲值我所集刊正式刊印之际，特书短言，以告讀者。敬請不吝賜教，随时对本集刊予以批評指正。

赵 九 章

1965年1月25日

中国科学院地球物理研究所集刊编号

编号	书 名	出版時間
1	台风研究	1953年
2	大气环流的若干基本問題	1958年
3	动力气象学論文集（一）	1961年
4	北半球冬季阻塞形势的研究	1962年
5	东亚季风的若干問題	1962年
6	云雾降水微物理的一些理論問題	1963年
7	动力气象学論文集（二）	1963年
8	中国夏季副热带天气系統若干問題的研究	1963年
9	平流层大气环流及太阳活动对大气环流影响的研究	1964年

前 言

1958年大跃进以来,中国科学院地球物理研究所先后在南岳和泰山等地进行了一系列的云雾降水观测,对我国云雾降水的一些特点有了初步了解。为了进一步研究某些过程的演变规律,需要有系统地与云雾降水过程有关的各种参量的综合观测。为此,我们于1962年春夏二季,先后在南岳望日台和泰山玉皇顶,组织了两次综合性更强的观测。观测对象主要是积状云、锋面云系的微结构和雷阵雨降水的演变过程。在微观观测设计上,采用了对整个过程尽可能作自始至终的序列观测。观测的时间间隔较密,一般在5—10分钟以内。同时我们特别注意了云中微结构的起伏和第二极大问题。本集刊的主要内容,就是对这两次观测中的微观观测部分的研究分析结果。当然由于几个项目的专题综合观测还是初次进行,在观测组织和测量方法方面,还需要今后进一步提高。但从研究分析中所提出的一些云雾降水微物理特征看来,这些研究结果对我国云雾降水过程的了解是有帮助的。

这两次观测得到当地许多单位的热情支持和帮助。我们在此表示深切的谢意。

北京大学和中国科学技术大学(58级)的部分同学也参加了这部分工作,对泰山观测工作的完成有不少帮助,我们很为感谢。

这两次观测分析是在顾震潮先生指导下完成的。张晓周、李云、郑爱英、王再南、陈炎涓和赵燕曾等同志积极参加了观测和资料的分析整理。在讨论和审稿过程中,温景嵩同志提供了不少宝贵的意见。

目 录

說明.....	(iii)
前言.....	(vi)
南岳鋒面云系和降水(1962 年 4—5 月)的微結構特征	朱珍华等 (1)
南岳云滴譜第二极大及其它重要特征.....	洪钟祥等 (18)
南岳和泰山云中微結構起伏資料的初步分析.....	詹丽珊等 (30)
南岳一次陣性降水的演变特征.....	徐华英等 (41)
泰山两次雷雨云降水微結構的一些特征.....	阮忠家 (49)
南岳和泰山雷雨与陣雨微結構的对比分析.....	戎佩英等 (62)
泰山一次雷雨雨滴譜观测結果.....	何珍珍 (69)
吸水紙上雨滴斑迹放大系数的測定.....	何珍珍 (72)
大水滴的破碎对陣雨雨滴譜的作用.....	阮忠家 (80)
关于雨滴的冲刷作用及其对降水过程的影响.....	黄美元 (92)

南岳鋒面云系和降水(1962年4—5月) 的微結構特征

朱珍華 石可昭 黃美元

一、引言

鋒面云系是一個重要的天氣現象，它的宏觀天氣學特征已為大家所熟知，但是到目前為止，對鋒面云系內部的微觀結構了解得還不十分清楚。在為數不多的鋒面云微結構研究中，以 Е. Г. Зак^[1-4]、А. М. Боровиков^[3,4] 觀測得最多。Е. Г. Зак 的研究主要著重於云中相態結構在空間的配置以及和降水的關係，以後 Е. Г. Зак 和 А. М. Боровиков 研究了鋒面云系形成、發展、消失的過程和大气層結、氣流的聯繫，也提到了在不同云系發展階段的一些微結構特征，但他們的注意比較偏重於鋒面云系中一個個的云塊。把鋒面云系看做一個整體，研究其中微觀參量在空間分布規律的有 С. Н. Бурковская^[5]，她給出了暖鋒云系平均含水量的空間分布，指出在鋒的上界附近有含水量較大的地帶，並說明這個含水量分布與鋒面附近垂直氣流的空間分布是相配合的。但她對於其他重要微觀參量，沒有進行觀測。

鋒面云系在水平方向可以伸展幾百以至幾千公里，在這樣大的範圍內氣象要素的分布和演變是很複雜的：有上升氣流，有下沉氣流；有雲的發展，也有雲的消散。鋒面云系作為一個整體來講，在這樣複雜的條件下，它的微結構在空間如何分布，又是怎樣隨時間演變，都需要進一步仔細研究。

基於這個目的，1962年4—5月我們在南岳望日台觀測中，抓住天氣系統作序列觀測。觀測一般是這樣進行的：根據氣象台的預告，事先作好準備，在鋒面到來之前只要雲接地，有降水發生，就開始觀測。每隔10—20分鐘作一次雲滴譜觀測。雨滴譜觀測較密，間隔一般在5分鐘以內。與此同時進行風速、雲況等宏觀觀測。這樣一直到鋒面系統過境為止。

雲滴譜測量是用改進後的三用滴譜儀。它有電動和手搖二種型式，二者都有定時裝置，能確定暴露時間（電動式為0.18秒，手搖式為0.11及0.07秒）。這樣可以計算雲滴絕對濃度，從而推算雲中含水量。雨滴的取样仍是一般採用的吸水紙法。

一般來說，南岳春季鋒面活動比較頻繁，但由於鋒面過境常很突然，觀測來不及準備，且多次鋒面過境又是夜間，加上伴隨有大風和大雨，給觀測帶來不少困難。因此，觀測次數較多的資料只有四份：4月29日的資料最全面，鋒前、鋒區及鋒後都有；4月17日和5月

表1 各次观测概况

日期	项目	锋面上界 过本站时间	观测时间	时间 间隔(分)	观测次数	方法与仪器
4月29日	云滴	15:20 ¹⁾	11:40—18:00	10	39	电 动
	雨滴		7:15—18:05	2, 5, 10	93	吸 水 纸
5月14日	云滴	9:40	10:14—12:40	10	12	电 动
	雨滴		9:46—10:55	2	29	吸 水 纸
4月17日	云滴	6:00—8:00間	9:10—16:51	20	15	手 搖
	雨滴		8:54—17:20	2, 5, 10	39	吸 水 纸
4月27日	云滴	5:00—8:00間	15:55—19:50	10	20	电 动

14日只有锋区和锋后的资料；5月14日锋面过境前云不接地，也不下雨，所以只观测了锋面过境后的情况；4月27日也只观测到锋后的云滴谱。观测情况见表1。

二、资料分析

1. 一般特征和极端情况

锋面云系的宏观结构很复杂。首先，它不是由单纯的某一种云组成，有时出现有规律的 Ci-Ac, As-Ns 的云系，有时由于锋面扰动不稳定，可以发展成强盛的对流云及阵性降水，因此要概括一个锋面云系微结构平均特征是困难的，现在只能列出各天平均值作为例子。各天云滴各参量的平均值如下：浓度 n 为 200—400 个/厘米³；含水量 w 为 10^{-1} — 10^0 克/米³，常见值是 0.2—1 克/米³；平均直径 $\bar{d}_1$ 为 10—20 μ ；平均立方直径 $\bar{d}_3$ 较平均直径大，但也在 10—20 μ 这个范围内，由表2可见。

表2 云滴各参量的平均值和极端值

时 間	参 量		n (个/厘米 ³)	w (克/米 ³)	$\bar{d}_1$ (μ)	$\bar{d}_3$ (μ)	d_{max} (μ)	平均次数
4月17日	最 大		572	2.56	21.1	24.1	64.0	15
	最 小		211	0.29	11.9	12.3	20.0	
	平 均		374	0.77	14.5	15.5	27.6	
4月29日	最 大		415	0.91	24.0	25.5	56.0	39
	最 小		59	0.10	9.1	9.7	20.0	
	平 均		227	0.33	12.3	14.2	34.5	
5月14日	最 大		384	1.37	15.7	21.0	50.0	12
	最 小		139	0.12	9.3	11.2	20.0	
	平 均		256	0.57	12.9	15.6	34.5	
4月27日	最 大		520	0.20	12.3	13.2	36.0	20
	最 小		143	0.07	6.0	2.3	14.0	
	平 均		244	0.14	9.2	10.6	23.5	

1) 15:20 即指 15 时 20 分，全书各文均同。

从观测中看到,最大的云滴浓度为 572 个/厘米³,最小为 59 个/厘米³,几乎差 10 倍;但含水量差别更大,如锋区的雷雨云下部观测到 2.56 克/米³,在锋后很远处观测到最小值为 0.07 克/米³,二者相差 37 倍;平均直径最大 24 μ (也在锋区),最小 6.0 μ ;除 4 月 27 日外,最大直径 $d_{\max}$ 各天都在 50 μ 以上,而 4 月 17 日为 64 μ (锋区雷雨云中的情况),最小值一般是 20 μ 。

各间隔浓度可分成以下几档:直径大于等于 40 μ 的云滴浓度为 10^{-1} — 10^0 个/厘米³,最大达 11.7 个/厘米³,这样的水滴一般要在锋区才有;直径在 30 μ 以上的云滴浓度为 10^{-1} — 10^1 个/厘米³,锋区内大约为 20—30 个/厘米³,最大达 51 个/厘米³,锋区以外只有 0.5 个/厘米³;直径不到 20 μ 的云滴浓度,在锋区外有 200—300 个/厘米³,锋区内只有 50—100 个/厘米³。

从以上各平均量的分析可以看到,锋面云系的微结构是复杂的,云滴谱各参量的分布极不均匀,特别是在锋区,虽然云滴浓度小,但却是大云滴和含水量集中的区域。

2. 个例分析

为了进一步具体了解锋面云系微结构的特征,下面我们将对各天的资料分别进行分析和讨论。其中,4 月 29 日的资料比较完整,我们将着重分析;而对其它三例,除了指出一些共同特点以外,着重介绍其各自的特殊性。

(1) 4 月 29 日

观测总站设在望日台,海拔 1266 米。在 08 时地面图上(图 1 星号是测站),锋已过南岳。考虑锋面的坡度,山上的测站可能还处在锋前。由山上气象要素变化来看,冷锋上界过测站的时间大致为 15 时 20 分到 15 时 40 分。从 11 时开始测站气温就稍有下降,从 14 时到 17 时降温达 3 $^{\circ}\text{C}$ (表 3),超过正常的日变化,说明有冷空气侵入;并且,在这一时段内风向有 SW—W—NW 显著的转变过程。看来,将 15 时 20 分钟定为锋面过境时间,误差不会太大。

云系是 Ci→As, Ac, Sc→Ns 的锋面云系。锋前三层云: Ci、Ac tra 和 Sc。低云的云底高度为 600—1000 米,测站接近云的底部。随着锋区的移近,Ac tra 转成 Ac op 及 As, Ac, 在锋区是 Ns, Fn, 云底降到 200—300 米,此时测站处于云的中部。锋后云又回到 Ac, As, Sc, Fc 等,云底高度约为 1000—1500 米,测站位于云底附近。

表 3 4 月 29 日锋面过境前后气象要素的演变

时 间 要 素	05:00	08:00	11:00	14:00	14:20	14:40	15:10	15:20	16:20	17:00	20:00	23:00
风 向	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	W	NW	NW	NW	NNW
风 速	7.6	7.1	5.6	3.6	5.0	3.7	5.6	3.9	6.3	8.0	5.1	5.3
温 度	13.8	13.8	13.7	12.5						9.6	7.9	7.8

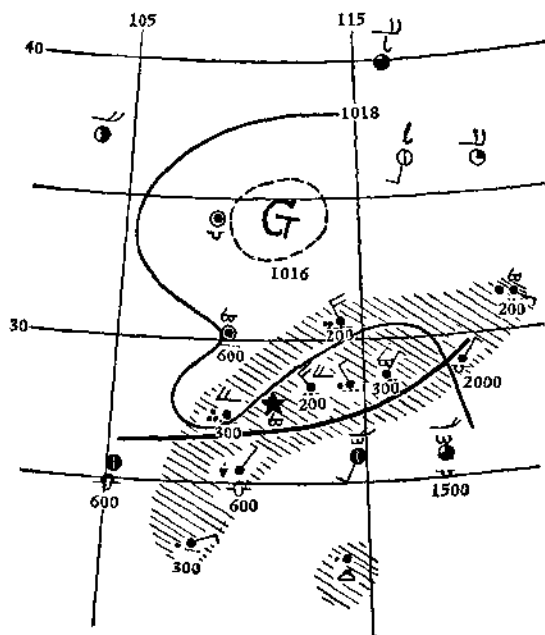


图1 云系和降水分布图
(1962年4月29日08时)

这天云滴观测自11时04分至18时,雨滴观测从7时15分到18时05分。观测到的是 $Sc \rightarrow Ns \rightarrow Sc$ 的底部或中部的云滴谱,以及锋前、锋区和锋后的雨滴谱,现分别介绍如下:

云滴 在锋区及其附近有云滴谱增宽及滴谱中出现第二极大的现象。首先看一下在锋区滴谱宽度的变化,表4中 d_{max} 表示观测到的最大云滴直径。可见 d_{max} 从锋前(14时50分)就已增大到 44μ (0.3 个/厘米³),15时40分达到极大为 56μ (0.1 个/厘米³),随后又逐渐变小;锋后(16时30分)就只有 20μ (0.2 个/厘米³)。从表4可见,在锋区最大云滴直径大部分在 $40-50\mu$,而锋前锋后很少有超过 35μ 的。表中 $n_{d \geq 20\mu}$, $f_{d \geq 20\mu}$ 分别表示直径超过 20μ 的云滴绝对浓度和相对浓度。在锋区 $n_{d \geq 20\mu}$ 可达 60 个/厘米³,相对浓度也有 60% ,即有一半以上的云滴直径在 20μ 以上。但锋区以外, 20μ 以上的云滴不多,如16时30分时 $n_{d \geq 20\mu}$ 为 4.5 个/厘米³ (2.5%)。这反映了锋区的滴谱远比锋区以外的宽。

云滴谱在锋区另一重要特点是:出现第二极大,而且它的演变有一定规律(图2)¹⁾。锋前的平均滴谱没有双峰、谱也较窄。15时40分观测到比较典型的锋区云滴谱,它与锋

表4 锋区及其附近滴谱参量的演变

时 间	14:50	15:00	15:10	15:20	15:30	15:40	15:50	16:00	16:10	16:20	16:30
$d_{第二}(μ)$			24.0	28.0	28.0	34.0	28.0	26.0	24.0		
n (个/厘米 ³)			6.2	4.0	6.2	7.0	9.5	11.3	11.8		
f (%)			3.8	2.9	4.3	6.7	9.6	8.4	13.0		
$d_{max}(μ)$	44.0	48.0	48.0	40.0	44.0	56.0	50.0	42.0	38.0	34.0	20.0
n (个/厘米 ³)	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.4	0.2	0.2
f (%)	0.06	0.1	0.06	0.1	0.06	0.1	0.1	0.1	0.5	0.1	0.1
$n_{d \geq 20μ}$	27.5	28.1	33.5	19.2	29.8	50.2	58.1	57.8	48.5	4.5	0.2
$f_{d \geq 20μ}$	11.9	16.2	20.3	14.1	19.7	47.0	58.6	43.6	53.4	2.5	
风 向	SW	SW	SW	WSW	W	NW	NW	NW	NW	W	NNW

1) 图2中的锋面云系是根据探空记录,航线气象报告作出的空间剖面图,而微结构量是南岳山上的观测结果,它反映的是当地的局地变化。我们假设在这段时间内整个系统没有个别变化,只有位置上的平移,由此把二者综合起来,作出本图。

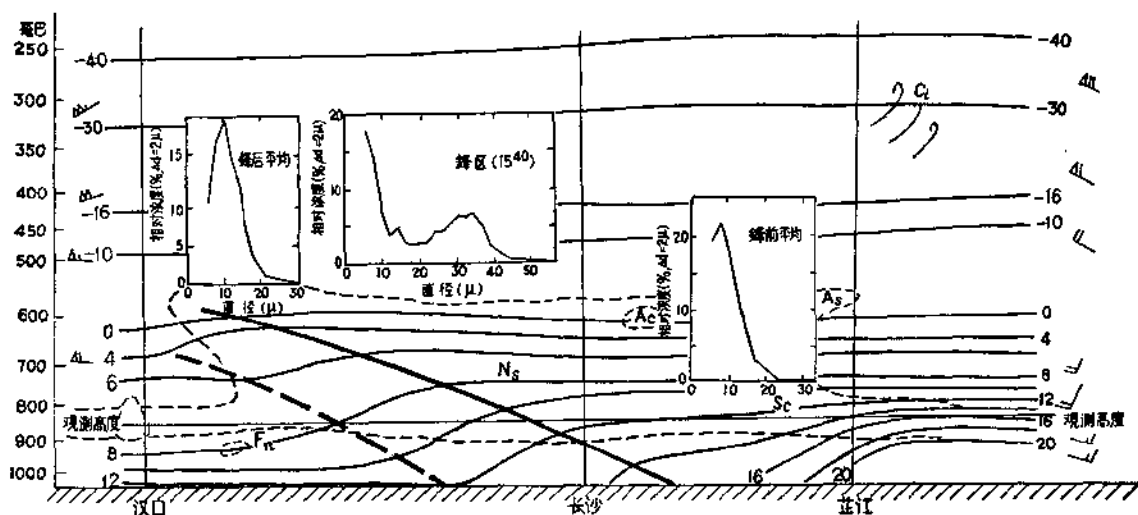


图2 4月29日锋面云系微结构特征的演变

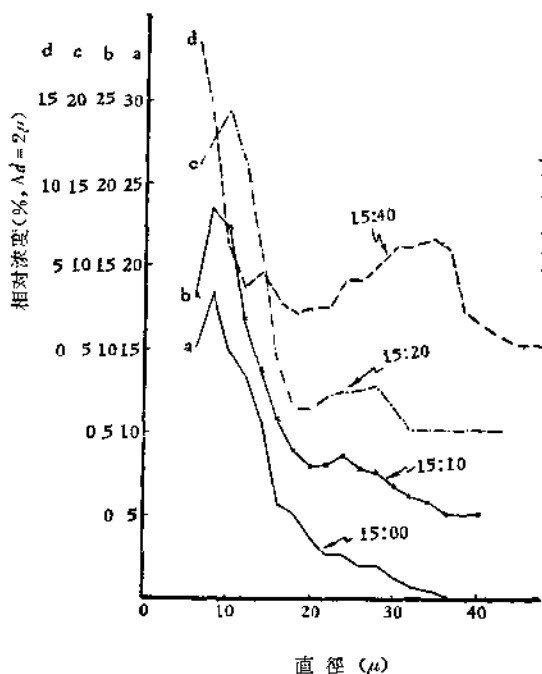


图3 云滴谱双峰形成过程
(1962年4月29日)

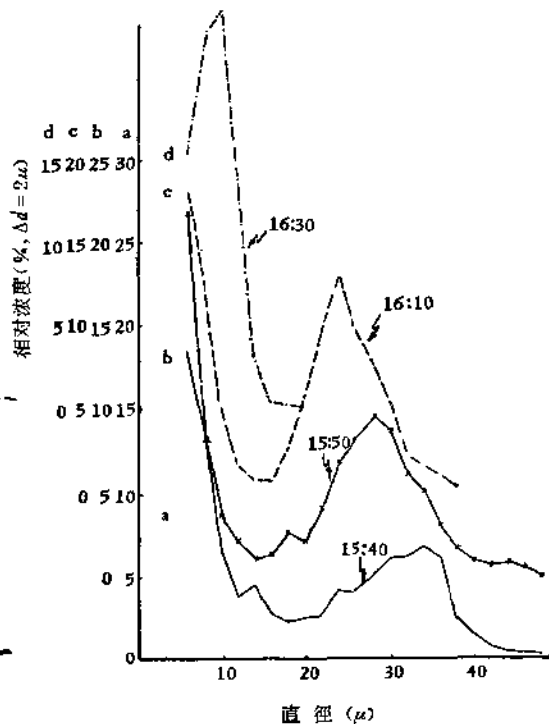


图4 云滴谱双峰消失过程

前云滴谱截然不同:在直径 34μ 处出现了第二极大,相对浓度也有6.7%,相当突出。原来第一极大位于直径 10μ 附近,后来 10μ 附近相对浓度逐渐减小,而在 18μ 出现极小点,整个滴谱也加宽到 56μ (相对浓度有0.1%)。锋区过后的平均滴谱又是只有一个极大的滴谱,峰的位置在 10μ 附近,谱宽也只有 30μ 大小。在锋区出现第二极大还是一个有规律地逐渐形成(图3)及有规律地消失(图4)的过程。在15时40分,典型峰区第二极大滴谱

出現前半小时,第二极大即已在直径 25μ 的地方出现了。不过,那时它与极低点的位置相距較近(极低点在 20μ 附近),其濃度相差也不大。此后,第二极大位置逐渐向大的方向移动,其与极低点的濃度相差也不断增大,本身的濃度也不断增大(在此期間极低点位置沒有显著变化);而在 15 时 40 分形成了这次过程的最典型的第二极大滴譜。图 4 給出了它的消失过程,第二极大位置逐渐向小的方向移动,到 16 时 10 分已移到 25μ 附近,而在 16 时 30 分时完全消失。消失阶段与形成阶段不同,在消失过程中,虽然第二极大不断向左退,但相对濃度却不断增加,其与极低点的相对濃度差也不断增大,直到 16 时 10 分以后的 20 分钟内才迅速消失,这也是值得注意的。

在鋒区云滴譜各参数与鋒前,鋒后也有显著的不同:总濃度比一般較小,但大云滴濃度比一般較大,小云滴濃度較小;含水量及平均直径都較大。由表 5 及图 5 可以看出:总

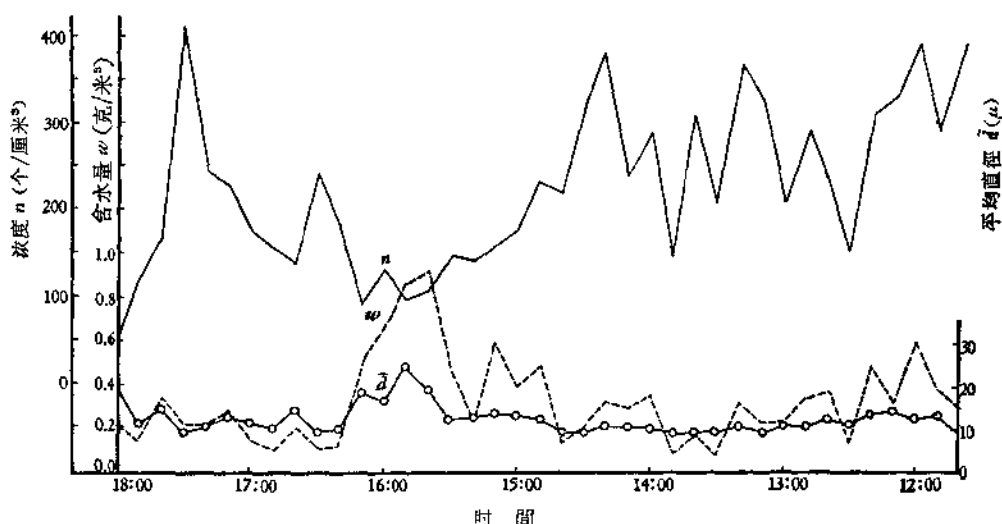


图 5 4 月 29 日云滴各参量随时间的变化

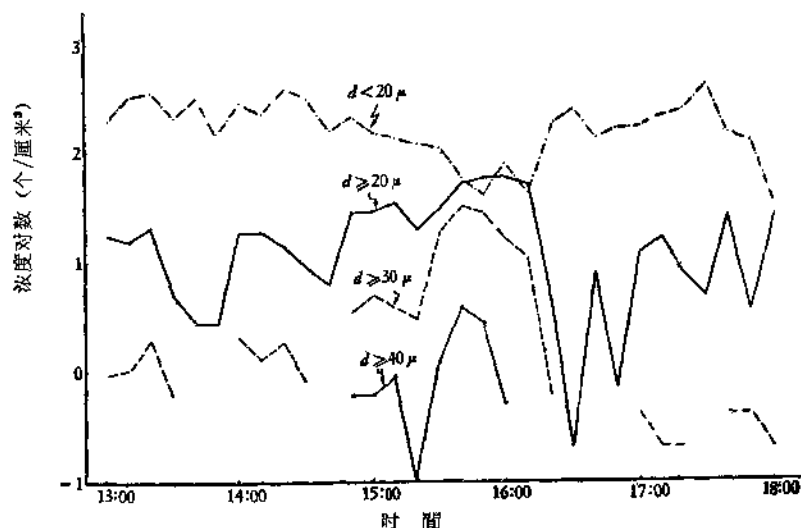


图 6 4 月 29 日云滴間隔濃度

表5 4月29日云滴各参数随时间的变化

	n (个/厘米 ³)			w (克/米 ³)			$d_n(\mu)$			$d_1(\mu)$			I (毫米/小时)		
	锋前 11:40	锋区 15:20	锋后 16:30	锋前 11:40	锋区 15:20	锋后 16:30	锋 15:10	锋 15:20	锋 15:30	锋 15:10	锋 15:20	锋 15:30	锋 15:10	锋 15:20	锋 15:30
	前	区	后	前	区	后	前	区	后	前	区	后	前	区	后
1	412	136	241	0.29	0.24	0.12	10.9	15.1	9.7	9.7	12.3	9.2	3.73	1.25	7.10
2	294	148	137	0.40	0.49	0.21	13.7	18.5	14.3	13.4	12.4	14.0	1.32	4.60	2.86
3	415	106	157	0.62	0.91	0.11	14.0	25.4	11.0	12.4	19.2	10.3	2.30	1.12	2.80
4	329	99	178	0.33	0.86	0.15	12.3	25.5	13.0	14.2	24.0	11.4	1.53	2.67	1.80
5	309	132	226	0.50	0.67	0.28	14.5	21.3	13.3	13.2	16.6	12.9	0.77	5.60	2.18
6	154	91	245	0.15	0.52	0.22	12.1	23.1	11.9	11.2	18.8	10.3	2.03	4.57	1.80
7	231	183	412	0.37	0.14	0.23	14.4	11.4	10.2	12.1	9.7	9.3	0.25	3.56	3.20
8	286		169	0.34		0.34	13.0		15.1	10.7		14.7	0.53		3.73
9	209		122	0.23		0.15	12.8		13.2	10.6		11.4	0.67		3.48
10	328		59	0.23		0.22	11.1		19.2	9.8		17.5	1.45		2.79
11	368			0.36			12.3			10.4			0.07		
12	210			0.14			10.8			9.1			0.16		
13	308			0.18			10.5			9.5			0.67		
14	145			0.10			11.0			9.1			0.70		
15	286			0.36			13.4			10.8			1.53		
16	238			0.30			13.4			10.8			1.16		
17	332			0.32			11.6			10.1			1.02		
18	320			0.21			10.8			9.1			0.35		
19	219			0.15			10.9			9.5			0.32		
20	232			0.49			15.9			12.9			0.37		
21	176			0.40			16.4			13.0			0.58		
22	165			0.61			17.3			13.6					
平均值	275	128	195	0.32	0.55	0.20	12.9	19.8	13.1	11.1	16.1	12.1	1.02	3.32	3.17
极端差 ¹⁾	270	84	353	0.52	0.77	0.23	6.5	14.1	9.5	5.1	14.3	5.4			
相对值 ¹⁾ (%)	98	66	181	162	140	115	50	71	72	46	89	45			
平均距平 ²⁾	68.5	25	69.0	0.11	0.23	0.06	1.6	4.2	1.9	1.8	4.0	2.1			
相对值 ²⁾ (%)	24.8	19.5	35.4	34.4	42.0	3.0	12.4	21.2	14.5	10.2	24.8	17.4			

浓度在锋前有200—300个/厘米³，平均275个/厘米³；而锋区大部分是100个/厘米³左右，平均128.5个/厘米³；锋后平均195个/厘米³。锋区虽然总浓度下降，但较大云滴反而比较多。由图6看到，直径大于40 μ 的云滴只有在锋区很窄的范围内才有，30 μ 以上的大滴在锋区可以有50—60个/厘米³，锋区以外只有10—30个/厘米³。所以，说明总浓度的降低不是大水滴减少；相反，锋区内有更多的大滴，总浓度减少反映出较小云滴少了。比如小于20 μ 的云滴浓度到锋区时急剧下降，从原来每立方米几百个减少到几十个。

含水量在锋区是增加的。在锋前一段只有0.2—0.3克/米³，平均是0.32克/米³，而锋区内最大一次是0.91克/米³，平均值为0.55克/米³；但锋后平均只有0.20克/米³了。由图5可以看到，接近锋区含水量有显著的上升。

平均直径在锋区也是增大的。锋前平均值是11 μ ；锋区最大一次观测到24 μ ，平均值

1) 极端差：该时段内最大与最小值之差；相对值：是极端差与平均值之比。

2) 平均距平：该时段内个别量与平均量差的绝对值的平均；相对值：是平均距平与平均值之比。

是 16.1μ ; 鋒后又下降, 平均为 12.1μ 。

鋒区内不仅含水量和平均直径较大, 并且它们的变化也较激烈。在表 5 中, 我们计算了各段的极端差与平均距平作对比, 这两个值在鋒区是比较大的, 而总浓度的变化在鋒区较小。

从以上的分析可以清楚地看到, 鋒区内云滴谱有显著的增宽, 并且有规律地出现第二极大; 云滴各参数在鋒区也有明显的不连续现象, 如总浓度减少, 含水量与平均直径增大, 说明在鋒区集中了较多的大云滴, 并且它的起伏也大。以上微结构的不同的特征与不同云型的特点有直接关系。

雨滴 为了讨论方便起见, 我们将这几次测到的雨滴谱分为两种类型, 并且在讨论中以指数谱为标准作对比。

I 型谱 浓度随直径成指数递减的谱。一般是大雨滴不足, 小雨滴偏多, 谱很窄, 最大直径一般不超过 2000μ 。当雨强 I 小于 1 毫米/小时经常出现这种滴谱。

II 型谱 直径小于 500μ 的雨滴仍按指数递减分布, 在 $500-800\mu$ 处斜率发生改变, 出现第二极大或多峰现象的谱。与指数谱相比, 中间尺度雨滴不足, 而较大和较小的雨滴偏多, 特别值得注意的是直径大于 1000μ 的雨滴增多。出现这种谱的降水强度变化范围很大, 雨强为 0.1—1 毫米/小时也可能出现 (4 月 29 日 93 次观测中有 6 次是这种情况), 但主要是雨强大于 1 毫米/小时的情况下才有。

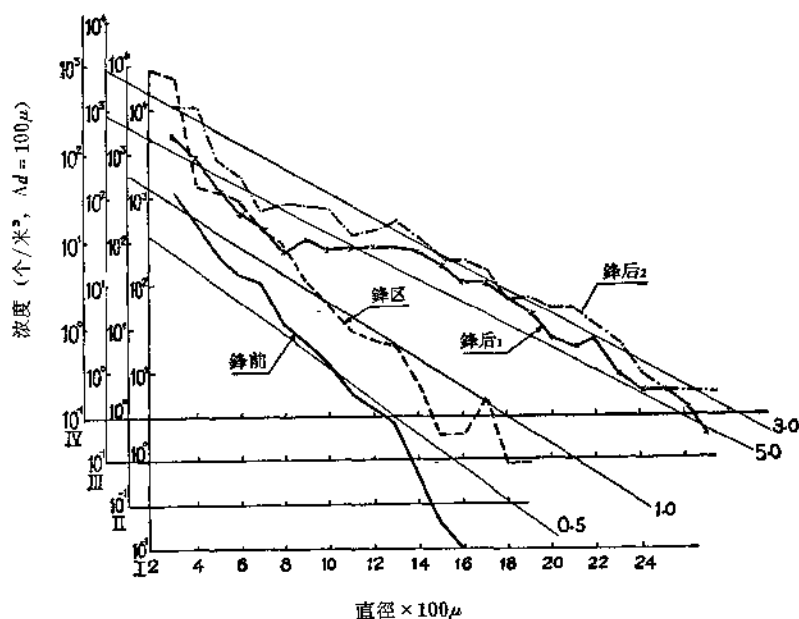


图 7 4 月 29 日各部位平均雨滴谱

(鋒前 — 12:25—13:55,
14:20—15:10,
鋒区 — 15:25—15:50,
鋒后₁ — 16:00—16:45,
鋒后₂ — 16:55—18:05)

表6 1962年4月29日雨滴譜型降水强度的演变

时 間	譜 型	持 續 时 間	平均降水强度 (毫米/小时)	次 数
11:40—12:10	II	30 分 钟	2.3	11
14:05—14:15		10 分 钟		
12:25—13:55	I	90 分 钟	0.7	21
14:20—15:10		50 分 钟		
15:25—15:50	I	25 分 钟	1.4	6
16:00—16:45	II	45 分 钟	5.4	7
16:55—18:05	II	75 分 钟	2.8	7

我們对93次样品按降水强度及譜型作分段平均,分段情况如表6,各时段的平均雨滴譜見图7。但这是平均情况,实际上在鋒前140分钟的整个降水过程中,譜型曾发生过多
次变化,降水强度也不稳定。但I型譜維持時間較长,达90分钟之久,而II型譜持續時間
不超过半小时。在这段時間里雨强大都在2毫米/小时以下,最小只有0.07毫米/小时,平
均为1.02毫米/小时。在鋒区(15时25分—15时50分),全为I型譜,但比鋒前I型譜略
增宽,这时平均雨强为1.5毫米/小时,比鋒前稍有增加,从16时00分到16时45分是紧
跟着鋒面过鏡出現的降水中心区,平均强度5.4毫米/小时,个别达7.10毫米/小时,是这
次降水过程中的最大降水强度。个别譜上双峰很明显(图8),第二峰值位于 1000μ 左右。經多次平均
后的滴譜已沒有双峰了(图7)。但譜型与指数譜有
很大差别,300—1200 μ 的雨滴較少,在800 μ 附近斜
率发生改变,而 $d > 2000\mu$ 的雨滴很多。从16时55
分到18时08分距鋒面距离已較远,降水强度已减
弱,平均为2.8毫米/小时,各次观测中双峰現象已
不如前阶段突出。在800 μ —1500 μ 附近常比較平坦
(見图7)。直径大于2000 μ 的雨滴比指数譜为多,
但偏离程度不大。

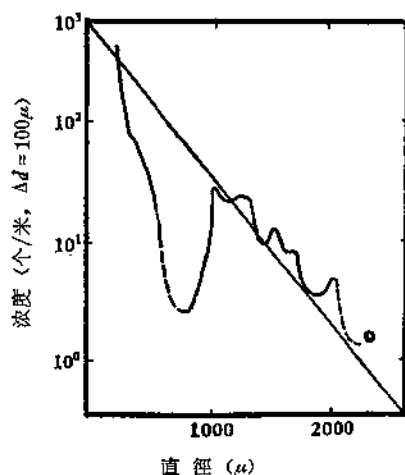


图8 4月29日16:05的雨滴譜

从这天雨滴譜演变情况的分析可以看到:在鋒
面云系造成的連續性降水中,雨强同样有很大变化,
极值間可差一个量級,并且雨滴譜也存在第二极大,而鋒后出現第二极大的机会更多,并
且可以維持較長時間,例如鋒后持續了两个多小时。

当把云滴和雨滴对照起来分析时,就可以发现一个值得注意的現象,那就是鋒面降水
的中心区域不是在鋒区里,而是在紧跟着鋒区的鋒后(見表6)。鋒面云系的大云滴集中
区与雨滴譜有第二极大区不相重合,后者落后近1小时。如在15时10分开始观测到云
滴平均直径和含水量增加,云滴譜开始出現双峰(表4),但这时雨强沒有显著变化,雨
滴譜仍維持在I型譜。一直到16时正才看到降水强度增加,雨滴譜才出現較明显的双
峰。

(2) 4月27日

这天,干冷锋过境后,测站处在高压控制之下,08点长沙探空表明,900毫巴以下及650毫巴以上有很厚的干燥层(图9)。锋面过测站的时间估计大约是在5—8时之间,云接地但无降水,15时55分开始观测,资料主要是在离锋较远的层积云或积云底部取得的。

云滴谱演变可以分为两个不同阶段。从15时55分到18时(锋面已过本站约8小时)滴谱有规律地逐渐加宽(见图10)。在这一阶段中整个滴谱向大滴方面移动;

峰值位置从小于 6μ 移到 8μ ,最后达 10μ ;观测到的最大直径从 14μ 延伸到 34μ ;直径小于 10μ 的云滴在15时55分时占总云滴数的98.9%,到18时时却只占32.3%;在整个过程中云滴绝对浓度逐渐减小,由520个/厘米³(15时55分),300个/厘米³(16时30分),262个/厘米³(17时00分)降到107个/厘米³(18时00分);平均立方直径却显著地增大,从 7.6μ 增加到 14.6μ ;而含水量增加不多,由0.12增到0.18(克/米³),这种大云滴增多,小云滴相对减少,谱逐渐加宽的现象可能反映了层积云由底部到中上部滴谱的演变(参看文献[6])。

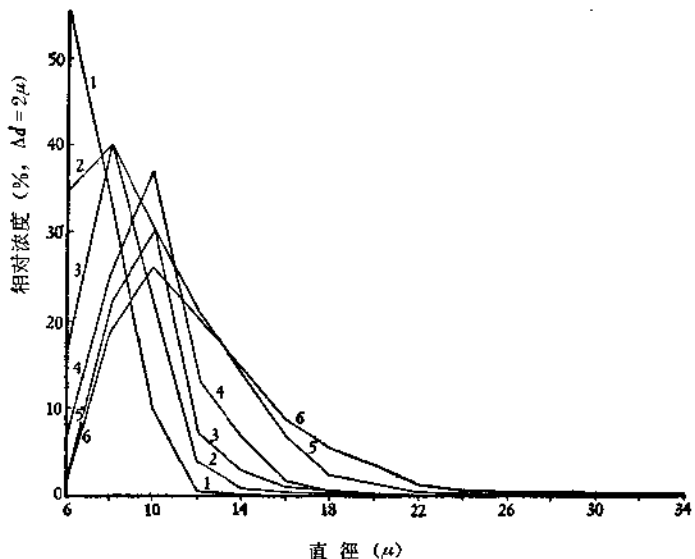


图10 4月27日15:55—18:00云滴谱的演变

(1—15:55—16:10, 2—16:20—16:26,
3—16:30—16:40, 4—16:50—17:10,
5—17:20—17:40, 6—17:50—18:00)

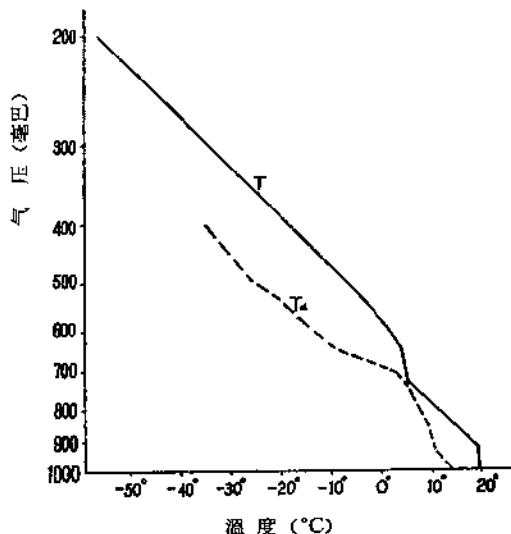


图9 4月27日08点长沙探空曲线

观测时间是从18时到19时50分,这时锋面已过本站将近十小时,是滴谱稳定不变的阶段。由表7看出,峰值位置稳定,众数直径 $d_{0.5}$ 恒为 10μ ,峰值相对浓度($f_{d0.5}$)变化也小,一般在30%左右,最大直径也很少变,约在 25μ 左右。另外,滴谱也很窄,直径小于 20μ 的云滴占99%。其他参数如总浓度、含水量、平均立方直径的变化也都很小。

在离锋很远的地方出现这种稳定性的单峰窄谱,是

表7 4月27日云滴各参量的演变

时 間	参 量	$\bar{d}_v(\mu)$	$n(\text{个}/\text{厘米}^3)$	$w(\text{克}/\text{米}^3)$	d_{Σ}	f_{Σ}	譜 寬	$n_{d \leq 20\mu}$
18:10		12.1	165	0.16	10	29.6	22	99.7
18:20		13.4	157	0.20	10	31.1	28	98
18:30		11.6	218	0.17	10	32.1	24	99
18:40		10.7	181	0.13	10	29.9	22	99
18:50		11.7	143	0.12	10	31.4	26	99
19:00		11.5	163	0.13	10	31.5	26	99
19:10		11.4	172	0.13	10	29.2	24	99
19:20		12.1	202	0.19	10	30.8	26	99
19:30		11.7	222	0.19	10	29.3	22	99
19:40		12.4	173	0.17	10	27.8	28	98
19:50		11.7	118	0.10	10	30.8	24	99

一个很值得注意的现象。这现象维持了约一个半小时，即是在几十公里内云块的微结构均匀。根据这天的天气资料，锋过境后有高压南移（中心 1012 毫巴），层结很稳定，云层以上有下沉气流，所观测到的比较均匀的微结构，可能反映了在稳定气团内层状云的特点。

(3) 4月17日

这天天气的主要特点是锋面附近有旺盛的对流发展。08 点长沙探空表明，900 毫巴到 300 毫巴整层都是饱和状态，这时长沙地区有雷阵雨。但这样的云和降水维持不久，从飞行报告中知道，大部分地区在 11 时以后已变成层积云。从天气图看到，14 时长沙及南岳地区附近主要是淡积云。这天观测从 9 时 10 分开始，观测到的是雷雨云消散阶段，及积云、层积云的情况。锋面上界过本站时间估计约在 5—8 时之间。

云滴 滴谱的谱型演变基本上可以分成三个阶段。

锋区（9 时 10 分—9 时 50 分）是宽谱和双峰阶段 最大直径一般在 30μ 以上，9 时 30 分观测到 64μ 。第二峰值位置比较稳定，平均位置在 22μ 。谱型在这段时间内有显著变化，第二峰值浓度迅速减少；而第一峰值相对浓度由 10% 增加到 30%（见图 11a）。

锋过境后 3—4 小时内（10 时 12 分—11 时 30 分）是单峰和滴谱有规律变窄阶段 从 10 时 30 分开始第二峰即完全消失，成为单峰谱。在这段时间内，峰值位置很有规律地向小滴方向移动，它由 16μ 移到 12μ ，最大直径也由 28μ 减到 24μ （见图 11b）。

锋过境 6—7 小时后（14 时 31 分—16 时 31 分）是单峰和谱型稳定不变阶段 二小时内，峰值位置一直维持在 12μ 左右；峰值浓度大部分在 35% 左右；最大直径也大部分在 22μ 以下（见图 11c）。

总之，这天滴谱演变的规律性很清楚：由双峰到单峰，由宽谱到窄谱，由变化快到稳定。与此相联系的是随着锋面的推移，云从雷雨云转为层状云。

滴谱各参数的变化是：在锋区总浓度减少，含水量及平均直径增大。总浓度在锋区为 300 个/厘米³ 左右，锋后为 400—500 个/厘米³。10 时 40 分以后由于降水强度略增以及