

衡山云雾微结构起伏的初步观测试验*

許煥斌

(中央气象局观象台)

提 要

本文使用云滴連續取样方法实验研究了自然云雾的绝对总浓度和云滴谱形的起伏。观测发现,层积云的中、下部,云滴浓度有尺度为1—6米的起伏,起伏值的大小可达30—100%;云滴谱的谱形起伏也很显著,而且与浓度起伏有对应关系,在起伏尺度内,云滴谱在浓度小的地方小滴较多,而在浓度大的地方大滴较多。另外还看到,即使云滴浓度在较大范围内是均匀时,由于云滴的离散混乱分布,小体积内的滴谱也会有起伏,当滴数超过1000—2000个时,这种起伏才很小。

云雾微结构是有起伏的。在山上观测时凭肉眼观察也可见到云雾一阵浓、一阵淡,往往在1, 2米距离内浓度就发生很大的变化。这种云雾微结构的起伏是云雾微结构的重要特征。它对云滴生长过程有着很大的影响^[1]。但在过去,注意这种起伏的人很少^[2]。因此有必要对它进行观测研究。

只要我們了解了云滴谱谱形和绝对总浓度的起伏,其它微结构量的起伏也就可以知道,因此我們將根据观测结果讨论云滴谱谱形和绝对总浓度的起伏。

一、观测方法

我們所用的滴谱取样装置如图1所示。取样用的取样片,鑲在狹长的取样杆上。取样杆竖立在一个小小的风洞中。当风洞后方的风扇转动时云滴随空气进入风洞,打在取样片上。取样片可均匀地上升,使它連續取样。取样片长度 $L = 6.2$ 厘米,暴露孔长度 $l = 0.3$ 厘米及 0.4 厘米。取样片上升所用的时间由秒表测定。风扇鼓风系统用手搖来带动。风洞中气流速度是15—20米/秒。同时,手搖时取样片上升,搖动搖柄一圈时取样片上升0.8厘米或2.5厘米。

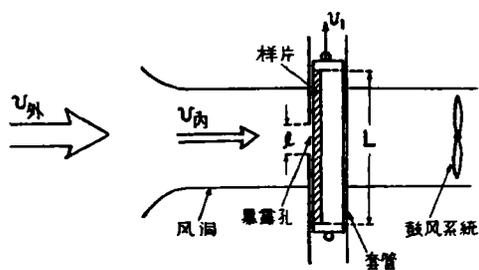


图1 取样装置示意图

观测的误差有:

风洞中气流起伏造成的滴谱起伏。由于鼓风不均匀,风洞中的气流会有起伏。这起伏一方面造成了云滴捕获时捕获性能的起伏,一方面引起气流流量的起伏。这都会造成所取滴谱的人为的起伏。实验表明由于鼓风不均匀而造成的风洞中气流不均匀约有 ± 1

* 本文1964年3月23日收到。

米/秒。所以气流相对误差是 7%，取样体积及浓度可能有 7% 的误差。

风洞中气流误差 ±1 米/秒时，对小水滴 ($d = 5\mu$) 的捕获系数改变 5—6%，对 $d > 40\mu$ 的大水滴可以认为没有影响。我们按平均气流作云滴捕获订正时，就有这种误差。

以上几项误差总值共约 15%。

由于手摇时不均匀而造成的起伏并不严重，因为手摇的不均匀大都是在摇到固定角度时产生过重、过轻的现象，这种不均匀造成的起伏在取样片上应造成 0.8 厘米或 2.5 厘米间隔的浓度特大或特小。我们没有测到这种间隔，而且实际上由于气流加大(减小)时，样片同时上升变快(慢)，所以可能引起的两种影响能互相抵消一部分。另外，由于取的滴不太密，取了就进行读数，因此合并、蒸发等误差不重要。

最后还应该指出，在这种观测方法中的取样分辨能力。令样片上某点通过暴露孔的时间是 t ，风洞中气流速度是 v ，那末比 $x = vt = vl/v_1$ 更短距离中的起伏就受到了平滑(其中 v_1 是取样片上升速度)。在我们的观测中 $v_1 = 3$ 厘米/秒左右，而 $x = 1.5$ 米左右，所以风洞中空间间隔 2 米以下的微结构起伏是不能分辨的。外界空间间隔则是 $x_0 = v_H t$ 。在我们这次观测中， $x_0 \sim 0.5$ 米。

二、观测试验结果

试验共进行了八次。1960 年 9 月 8 日在衡山用手摇带动系统第一档(摇动一圈样片上升 0.8 厘米)作了三次试验。9 月 13 日做了五次试验，其中三次用的是第二档(摇动一圈样片上升 2.5 厘米)，两次用第一档。两天试验共取到资料八份，其中第二份与第三份资料用连续拍照方法沿样片中心线把云滴全部照了下来。第四份与第八份照了一部分，其它各份没有照相，只对样品作了仔细的观察，做了记录。我们用这些资料分析了云滴总浓度与滴谱起伏的一些特征：

1. 云滴总浓度的起伏

在样片上可以很清楚地看到云滴浓度有时大有时小，作为一个初步的了解，我们把总浓度的峰值与谷值之间的距离叫做起伏的尺度。由于这是在一个点上用一架仪器取下来的样片，把样片运行速度 v_1 去除这个距离就可以得到起伏的欧拉时间尺度。假定在这么短时间内个别变化不显著，并且外界风速的气流起伏不大，那么用外界平均风速乘上这个时间尺度就是云滴总浓度起伏的空间尺度。所以浓度峰到谷的距离是空间尺度的一半。下表中列出了各次试验所测出的数据。

表1 资料一的结果

1960 年 9 月 8 日，云的性质是层云 St 转成层积云 Sc，测站离云底约 500 米，档数是第一档， $v_H = 13.6$ 米/秒，样片运行时间 $t_1 = 3$ 秒，样片运行速度 $v_1 = 2.1$ 厘米/秒，暴露孔长度 $l = 0.4$ 厘米，分辨时间 $t = 0.19$ 秒， $v_H = 2$ 米/秒，分辨本领 $x_0 = 0.4$ 米。

峯谷距离(毫米)	9.0	12.6	6.3	9.4
欧拉时间半尺度(秒)	0.43	0.60	0.30	0.45
空间半尺度(米)	0.9	1.2	0.6	0.9

表2 資料二的結果

1960年9月8日, 云的性質同前, 第一檔, $v_{丙} = 14.6$ 米/秒, $t_1 = 3$ 秒, $v_1 = 2.1$ 厘米/秒, $l = 0.3$ 厘米, $t = 0.14$ 秒, $v_{外} = 8$ 米/秒, $x_0 = 1.1$ 米。

峯谷距離(毫米)	3.5	4.5	7.0
歐拉時間半尺度(秒)	0.17	0.21	0.33
空間半尺度(米)	1.4	1.7	2.6

表3 資料四的結果¹⁾

1960年9月13日8時48分, 云的性質是層積雲 Sc, 測站距雲底 300—400 米, 第一檔, $v_{丙} = 16.6$ 米/秒, $t_1 = 2.6$ 秒, $v_1 = 2.4$ 厘米/秒, $l = 0.3$ 厘米, $t = 0.115$ 秒, $v_{外} = 6$ 米/秒, $x_0 = 0.7$ 米。

峯谷距離(毫米)	4.7	8.0	6.0	12.3
歐拉時間半尺度(秒)	0.20	0.33	0.25	0.52
空間半尺度(米)	1.20	2.0	1.5	3.1

表4 資料五的結果

1960年9月13日, 云的性質同前, 第二檔, $v_{丙} = 14.7$ 米/秒, $t_1 = 1.8$ 秒, $v_1 = 3.4$ 厘米/秒, $l = 0.3$ 厘米, $t = 0.09$ 秒, $v_{外} = 6$ 米/秒, $x_0 = 0.5$ 米。

峯谷距離(毫米)	10.0	8.0	5.0	4.5	3.5	16.0
歐拉時間半尺度(秒)	0.30	0.24	0.15	0.13	0.10	0.48
空間半尺度(米)	1.8	1.4	0.9	0.8	0.6	2.9

表5 資料六的結果

1960年9月13日10點30分, 云的性質同前, 第二檔, $v_{丙} = 13.2$ 米/秒, $t_1 = 2$ 秒, $v_1 = 3.1$ 厘米/秒, $l = 0.3$ 厘米, $t = 0.10$ 秒, $v_{外} = 6$ 米/秒, $x_0 = 0.6$ 米。

峯谷距離(毫米)	14.0	6.5
歐拉時間半尺度(秒)	0.45	0.21
空間半尺度(米)	2.7	1.3

1) 資料三濃度起伏幅度小於觀測誤差, 未列。

表6 資料七的結果

1960年9月13日, 云的性質同前, 第二档, $v_{内} = 13$ 米/秒, $t_1 = 2$ 秒, $v_1 = 3.1$ 厘米/秒, $l = 0.3$ 厘米, $t = 0.10$ 秒, $v_{外} = 5$ 米/秒, $x_0 = 0.5$ 米。

峯谷距离(毫米)	5.6	13.9	10.0	4.0
欧拉時間半尺度(秒)	0.18	0.45	0.35	0.13
空間半尺度(米)	0.9	2.3	1.8	0.7

表7 資料八的結果

1960年9月13日, 云的性質同前, 第一档, $v_{内} = 13$ 米/秒, $t_1 = 3.6$ 秒, $v_1 = 1.72$ 厘米/秒, $l = 0.3$ 厘米, $t = 0.18$ 秒, $v_{外} = 5$ 米/秒, $x_0 = 0.9$ 米。

峯谷距离(毫米)	4.0	5.2	3.2	3.8	10.5
欧拉時間半尺度(秒)	0.24	0.30	0.18	0.22	0.61
空間半尺度(米)	1.2	1.5	0.9	1.1	3.1

从上表中可以看出在层积云的底部和中部, 云滴浓度有尺度等于1—6米的起伏, 更小一点的尺度由于仪器的分辨本领限制而未能看到。尺度6米到十几米的起伏在这次資料中也不大明显。更大一些尺度的起伏, 由于样片的长度有限也未能看到, 这是要在今后工作中加以改进的。

关于起伏大小的問題, 本文先把浓度峯与谷的差值当成起伏大小的一种量度。分析了資料二、四、八的情况把它列在表8上面。

表8 云滴总浓度起伏的大小

資料号碼	資料二				資料四						資料八	
	谷1	峯1	谷2	峯3	峯1	谷1	峯2	谷2	峯3	谷3	峯4	谷4
照相取样张数	3	3	3	3	2	2	1	1	1	1	1	1
滴数 N	343	537	315	653	439	292	180	129	291	113	198	49
差数 ΔN	194	222	338		147		51		171		149	
平均总数 \bar{N}	440	426	483		366		155		202		124	
相对差数 $\Delta N/\bar{N}$	44%	52%	70%		40%		33%		84%		120%	

由此可見, 云滴浓度在不大距离上(約1—6米)有很大差別, 相对的起伏可达33—120%(誤差 $0 \pm 15\%$)。起伏不但是存在的, 并且还比較大。

2. 云滴滴譜的起伏

(1) 云滴滴譜起伏与浓度起伏的关系, 从連續拍照下来的資料二看来, 云滴譜也有起伏, 而且它和浓度起伏有一定关系。資料二上共有五个峯, 其中除去第二、四、五个峯谷浓度起伏不甚明显外, 第一个与第三个峯谷之間浓度起伏很清楚, 同时, 滴譜也有起伏。情

况大体上如图 2 所示，滴譜在谷 A 处偏窄，而在峯处較寬，C 处最寬，B 处其次。

我們在谷 1 与峯 1 处按图 2 所示的位置 A, B, C 上取了三个滴譜，繪成图 3a—c。此外在谷 3 与峯 3 同样位置上也选了三个滴譜描在图 4 a, b, c 上。这两套图清楚地說明从谷过渡到峯时滴譜逐渐加寬的情况。例如由谷 1 到峯 1，直径大于 25 μ 的云滴百分数由零增加到 7.7 和 13.0，从谷 3 到峯 3 时，云滴直径大于 25 μ 的百分数由 3.2 增到 7.0 和 10.0。

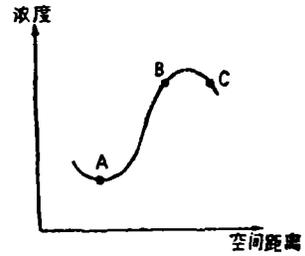


图 2 浓度起伏与滴譜取样位置

这种現象在平均譜上也很清楚，我們在谷 1, 峯 1, 谷 2, 峯 3 四个地方各选了三张滴譜把它們平均后画在图 5 上面。显然，谷上滴譜窄些，峯上滴譜寬些。在谷 1 直径大于 15 μ 的云滴占 56.3%，大于 25 μ 的占 4.6%；而在峯 1，相应的云滴分别增到 74.0% 和 7.3%。在谷 2 处直径大于 15 μ

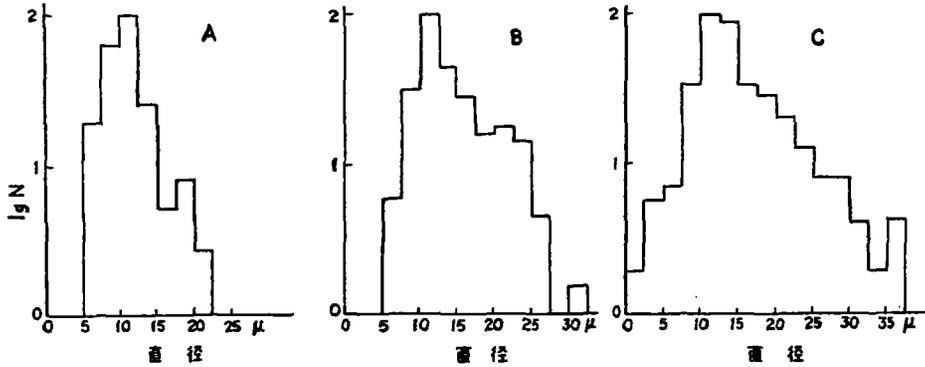


图 3 資料二上谷 1 与峯 1 处滴譜

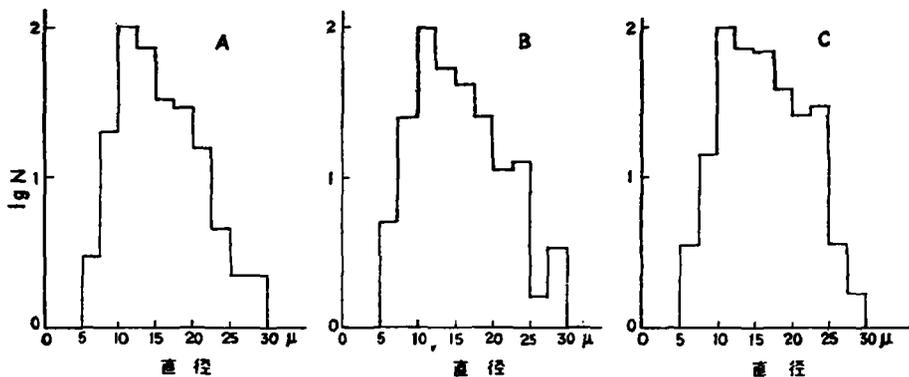


图 4 資料二上谷 3 与峯 3 处滴譜

的云滴占 68.7%，大于 25 μ 的份数占 3.4%，而在峯 3 处分别增到 83.5% 和 8.1%。

(2) 在較大范围浓度均匀条件下，由于云滴是一顆一顆地混乱的分布在云中，所以在某一个小体积中云滴浓度以及云滴譜（間隔浓度）仍存在着起伏，这种起伏可能服从

Poisson 分布。当体积增大到某一程度以后,这种起伏就很小了。对于滴谱而言,也就是要得到足够多的滴,才能构成比较稳定的滴谱。这种在小体积中云滴混乱分布所造成的起伏,不仅是考虑取样代表性的一个重要方面,而且在云滴的起伏生长过程中也具有意

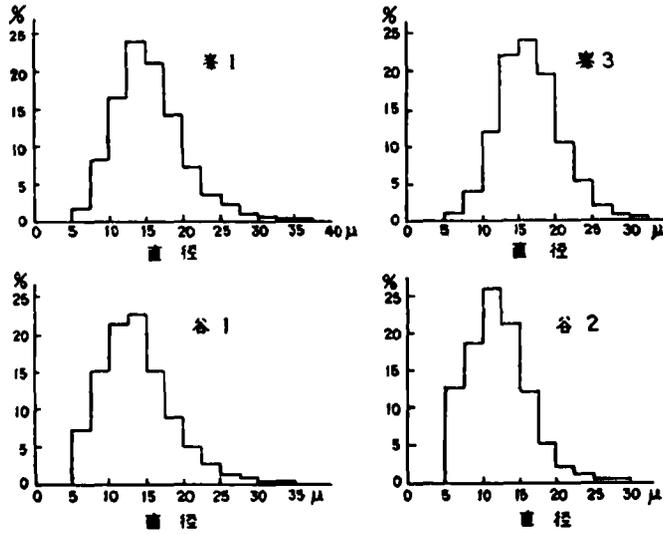


图 5 资料二上谷 1 峯 1 谷 2 峯 3 四处的平均滴谱

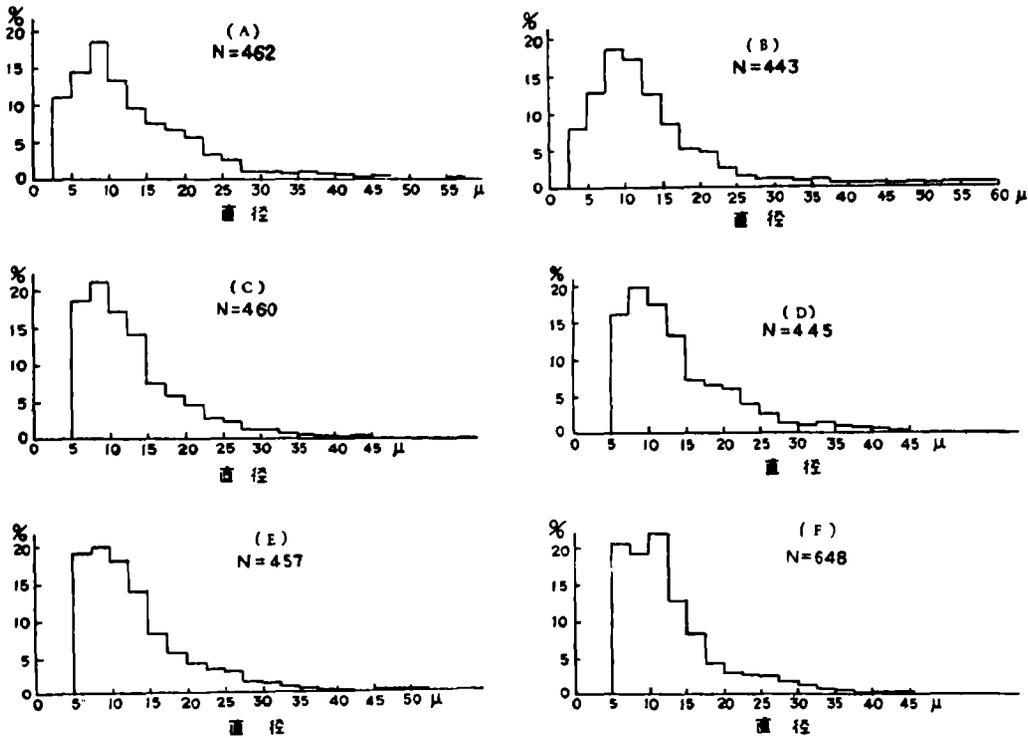


图 6 资料三上均匀地段的六张滴谱

义^[1]。这种过程在层状云与对流云中都应存在,研究这种起伏很重要。

这次观测试验中的资料三可以用来研究这种条件下的滴谱起伏。资料三的特点是浓度在几米尺度内起伏很小,只有 20%,与取样误差接近,基本上可以看做是均匀的。我们又在这个资料上选取较均匀的部分,拍照了相连的七个滴谱,把较好的六张(6A—6F)画在图 6 上。

这六张滴谱分别由 400—600 个云滴组成。由于滴数很少(也就是空间体积小),滴谱差异很大,不仅谱的形状不一样,而且谱的宽度、谱的峰值位置、谱的起点都不一样。

把两张两张滴谱迭加后,得到图 7 的三个滴谱。

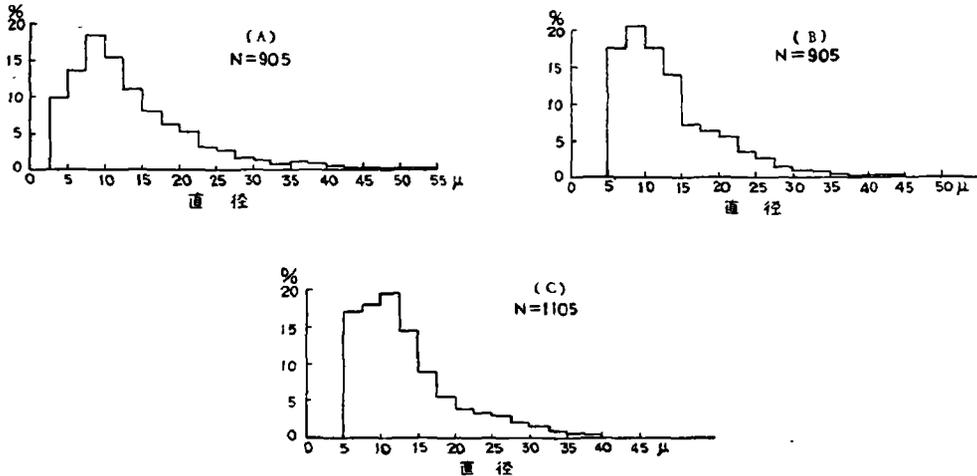


图 7 平均滴谱

(A) 图 6 的(A)和(B)相加平均, B) 图 6 的(C)和(D)相加平均, C) 图 6 的(E)和(F)相加平均)

在这一情形下,滴数已经增加到 900—1100 个,滴谱的稳定性有所增加。谱的形状也接近起来,但是宽度、峰值、起点、偏态仍有较大差异。进一步地把三张滴谱相加得到如图 8 所表示的两个滴谱,滴数增到 1300—1500 个。图 9 是数目更多的滴谱相加所得到的三个滴谱,滴数已经达到 1800—2300 个。

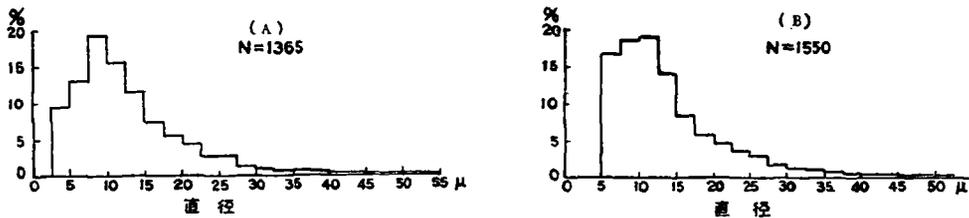


图 8 图 6 的滴谱中取三个相加后的平均谱

[A) 图 6 的(A),(B)和(C)相加平均, B) 图 6 的(D),(E)和(F)相加平均]

看来,当滴数增到 2000 个左右时,滴谱就已经相当稳定(无论是谱形、宽度、起点、峰值位置及偏态都很一致)。把图 8 和图 9 相比较,也可以说滴数在 1000—1500 个时滴谱开始稳定。假定云滴浓度平均是 100—200 个/厘米³,则在云中有 10 到 20 厘米³的体积就可消除

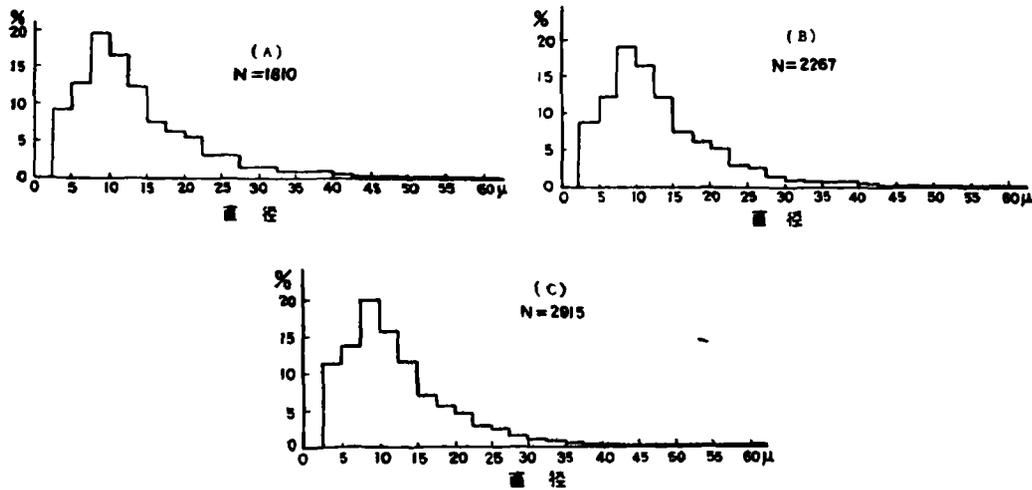


图9 图6的滴谱四张五张六张相加平均

(A) 图6的(A)、(B)、(C)和(D)相加平均, B) 图6的(A)、(B)、(C)、(D)和(E)相加平均,
C) 图6的(A)、(B)、(C)、(D)、(E)和(F)相加平均)

取样太少造成的滴谱起伏。反之,当云中空间体积小于10—20厘米³时,这种滴谱起伏很大。

三、结 论

根据这次初次观测试验可以得到下列几点结论。

1. 云的微结构是有起伏的。层积云中下部云滴浓度有尺度为1—6米的起伏。其它尺度的起伏以及各种尺度起伏之间的相互关系如何,有待进一步观测研究。
2. 在这个尺度上起伏大小可达30—100%。
3. 与浓度起伏相应,云滴谱也有起伏。在这次观测中空间起伏尺度是几米范围时,云滴谱在浓度小的地方小滴较多;在浓度大的地方大滴较多。
4. 即使在较大范围上浓度均匀,由于云滴离散混乱分布,在很小的空间体积内也会造成滴谱方面的起伏。当滴数大于1000—2000个时这种起伏才很小。

这工作是在参加中国科学院地球物理研究所的野外工作组时进行的。参加观测工作的有中国科学院张晓周、李云、郑爱英等同志。最后定稿经温景嵩同志整理。

参 考 文 献

- [1] 周秀骥,气象学报, **33** (1963), 97—107.
[2] Левин Л., Изв. АН СССР, сер. геоф., **12** (1958), 1510—1513.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФЛУКТУАЦИЙ МИКРО-СТРУКТУРЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ ОБЛАКОВ И ТУМАНОВ

Сюй Хуань-бин

(Обсерватория при Центральном метеорологическом управлении)

Резюме

В данной статье исследованы флуктуация конденсаций капель в единственном объеме и трансформация спектров на соседних местах в естественных облаках путем непрерывных сборов облачных капель. Было бы обнаружено, что в средней и низкой частях слоисто-кучевых облаков существует флуктуация конденсаций в пределе 1—6 м, а ее величина может быть достигнута до 30—100%. Что касается трансформации спектров облачных капель, то она тоже очень ясна, и имеет дело с флуктуациями конденсаций. При меньших конденсациях мелкие капли в спектрах больше, а при больших конденсациях крупные капли больше. Наряду с этим еще наблюдалось, что даже в тех облаках, в значительных областях которых конденсация распространяется более равномерно, вследствие беспорядочности и дисперсии в распределении спектров в мелком объеме тоже имеет место флуктуация. В тех случаях, когда количество капель, которые составляют спектр, больше 1000—2000, этой флуктуацией можем пренебречь.