

垂直气流速度起伏条件下形成降水的各因子分析*

徐 华 英

(中国科学院地球物理研究所)

提 要

文献[1]阐明了上升气流的起伏对暖的薄云降水有重要作用,本文在此基础上进一步分析了各因子的影响。结果指出,垂直速度的起伏量和平均值,云中含水量及云厚等参量,只有在适当的配置下,才有可能形成降水。并且着重分析了起伏量大小对雨滴谱的影响。看来,起伏量太大对降水形成是不利的。

一、引 言

由于垂直气流有起伏,使形成降水所需要的云厚大为降低^[1,2],然而所形成降水质点的大小和多少,不仅与云厚、含水量、平均垂直气流及其起伏量等参量有关,而且还与这些量的相互配置有关。如果这些参量配置得不够好,那么,即使相当厚的和含水很多的云,也不会形成降水。相反,如果配置得好,那么,即使比较薄的和含水较少的云,也可能形成降水。因此,分析这些因子的作用是很有意思的,特别是分析起伏量大小对降水的作用就更值得注意。本文利用了电子计算机计算了较多的例子,目的是对这个問題作一些初步探讨。

二、形成降水各因子作用的分析

1. 起伏量 在气流有起伏时,水滴随气流运动而在空间造成分散的分布。分布的分散程度和气流场的起伏量有关。本文用垂直速度起伏的均方差及相关时间大小(即数值计算中的时间步长)来表示气流的起伏量。速度起伏的均方差愈大,水滴愈分散。而时间步长的长短表示起伏场相关尺度的大小,因此,时间步长愈长,水滴在空间分布也愈分散。

我们讨论两类云的(这两类云有不同的云厚、含水量和平均垂直速度)气流起伏量对降水形成的影响。共计算了8个例子(见表1),计算得到的雨滴谱见图1和图2。

首先,我们在同一类云中(例1—5例6—8)比较速度均方差对降水形成的影响。为此用3对例子(例1与例3,例4与例5以及例7与例8)来进行对比。从图1和图2中可以看出,垂直气流速度起伏小时,出云的雨滴总浓度较多,峰值浓度大,而且峰值半径也大,较大水滴很多。在相反的情况下,大水滴要少些。因此可以说,气流速度的均方差太大时,对降水反而不利。

再来看不同的时间步长对出云雨滴谱的影响。用两对例子(例1与例2及例3与例4)来进行对比。和上面分析的情况相同,时间步长太大对降水形成也不是有利的,这时

* 本文1964年1月2日收到。

表 1

例 序	云 厚 H(米)	初始水滴 位置 z ₀ (米)	含 水 量 q (克/米 ³)	平均垂直 速 度 \bar{W} (米/秒)	垂直速度 均 方 差 σ (米/秒)	計 算 的 时 間 步 长 Δt (秒)	起 伏 量 $\sigma^2 \Delta t$ (米 ² /秒)
1	700	150	0.2	0.2	0.1	200	2
2	700	150	0.2	0.2	0.1	400	4
3	700	150	0.2	0.2	0.2	200	8
4	700	150	0.2	0.2	0.2	300	12
5	700	150	0.2	0.2	0.4	300	48
6	1600	100	1.0	0.5	0.2	200	8
7	1600	100	1.0	0.5	0.5	100	25
8	1600	100	1.0	0.5	1.0	100	100

出云的大水滴，浓度反而偏少(图1)。下面我们考虑垂直速度起伏的两个特征量——均方差和相关时间大小对降水形成的综合影响。为此，研究两类云，它们的速度起伏大小和时间步长各自不同。现在求原来位于某高度上的水滴，经过相同时间以后，在这两类云中造成的分布情况。为简单起见，设一类云的时间步长 Δt_1 是另一类云的时间步长 Δt_2 的两倍。我们只把在第一类云中水滴走一步后的结果，和第二类云中水滴走两步后的结果相比较。用文献[1]的表示方法，在第一类云中，原来在 $z=0$ 高度上的水滴，经过 Δt_1 时间后运动到 $z-z+\Delta z$ 高度的概率是：

$$P_1(z)dz = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1\Delta t_1} \exp\left\{-\left(\frac{z}{\Delta t_1} + V - \bar{W}\right)^2 / 2\sigma_1^2\right\} dz. \quad (1)$$

其中 σ_1 是速度的均方差， V 是水滴末速度， \bar{W} 是平均垂直速度。

用文献[1]的表示方法，在第二类云中，原来在 $z=0$ 高度上的水滴，经过 Δt_2 时间以后运动到 $z'-z'+dz'$ 高度的概率是：

$$P_2(z')dz' = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_2\Delta t_2} \exp\left\{-\left(\frac{z'}{\Delta t_2} + V - \bar{W}\right)^2 / 2\sigma_2^2\right\} dz'.$$

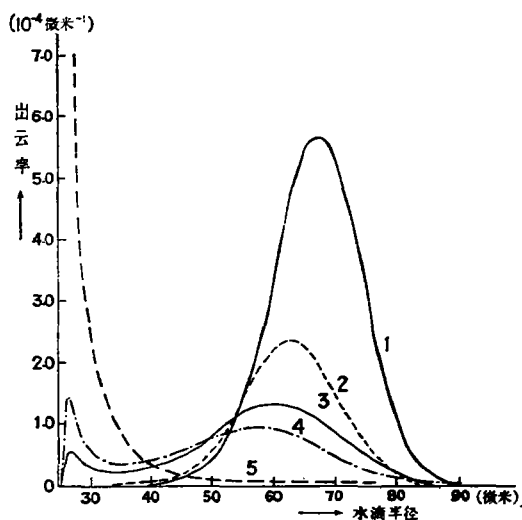


图 1

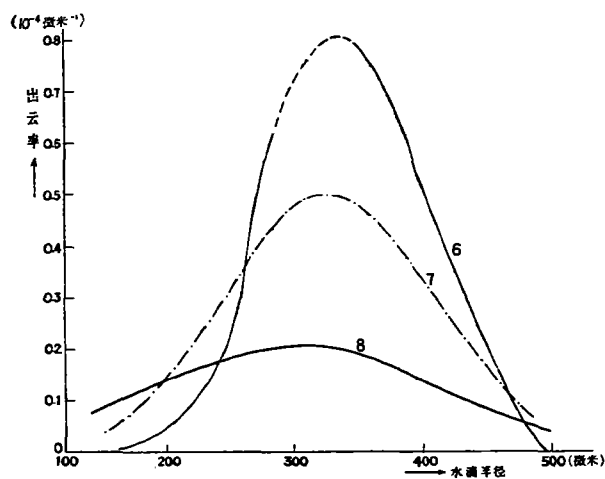


图 2

其中 σ_2 是速度的均方差, 第二步由 z' 运动到 $z-z+dz$ 高度的概率是:

$$P_2(z-z') dz = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_2\Delta t_2} \exp\left\{-\left(\frac{z-z'}{\Delta t_2} + V - \bar{W}\right)^2 / 2\sigma_2^2\right\} dz.$$

因此, 经过两个 Δt_2 后, 原来位于 $z=0$ 高度上的水滴, 运动到 $z-z+dz$ 高度的概率是:

$$P_2(z) dz = \int_{H_1}^{H_2} P_2(z') P_2(z-z') dz' dz.$$

这里 H_1 和 H_2 是云底与云顶的高度。当 H_1 与 H_2 足够大或 σ_2 足够小时, 近似地有 $H_1 = -\infty$, $H_2 = +\infty$, 因此得到:

$$P_2(z) dz = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_2\Delta t_2} \exp\left\{-\left(\frac{z}{2\Delta t_2} + V - \bar{W}\right)^2 / \sigma_2^2\right\} dz. \quad (2)$$

比较(1)式和(2)式, 由于 $\Delta t_1 = 2\Delta t_2$, 所以只要 $\sigma_1 = \frac{\sigma_2}{\sqrt{2}}$ 则 $P_1(z) = P_2(z)$. 看来在 $\sigma^2\Delta t$ 相同时, 所造成水滴在空间的分布是相同的。我们可以用 $\sigma^2\Delta t$ 这个量来表示总的起伏量, 在表 1 中最后一行给出了这些数值。

比较起伏量 $\sigma^2\Delta t$ 的大小, 马上看出, 随着 $\sigma^2\Delta t$ 的增加, 出云的大雨滴减少。但是在实际计算中, 经过两个步长以后得到的空间分布与(2)式不完全一样, 这不仅由于云是有界的(这边界我们看作是吸收壁), 而且在数值计算中还有种种计算误差。因此用 $\sigma^2\Delta t$ 来表征起伏量, 只是一种近似的办法。

以上分析可以说明, 起伏量太大对降水形成不利。起伏量太大时造成水滴分布过于分散, 使早期水滴的出云率很高, 出云底的雨滴中小水滴很多, 而留在云中时间较长, 可以长到较大半径的水滴数目就少了。在例 5 中的起伏量最大, 它的出云雨滴中小滴很多, 而大滴浓度十分少。而在起伏量较小的例子里, 却出现了相反的情况。但是还不能由此得出结论, 认为起伏量越小越好。图 2 中例 6—8 表明, 当起伏量相当大时, 不仅较小的水滴多, 而且较大的水滴浓度也多。显然, 当起伏量非常小时, 情况和过去的均匀气流理论相近, 对薄云降水并不有利。这样看来, 要造成最有利的降水, 起伏量要适当。太大或太小对降水形成都不利, 显然, 最佳的起伏量和云的物理状况有关。

2. 平均垂直气流速度 例 8 与例 9 的平均上升气流不同, 前者是 0.5 米/秒, 后者是 1.0 米/秒, 其余参数相同, 它们的出云雨滴谱都绘于图 3 上。例 9 的垂直速度较大, 有很多水滴(96.6%)从云顶出去了, 因此最后出云底的雨滴总浓度较小, 然而大部分是较大的水滴, $R > 660$ 微米的水滴浓度超过例 8, 显然这是由于较大的垂直速度能够托住较大水滴造成的。

如果没有起伏, 上升气流加大, 出云底水滴半径会增大, 然而当气流增大到某一临界值以上, 水滴将全部从云顶出去, 不能形成降水。但当有起伏时, 对垂直速度的要求就不同了, 比较大的垂直速度当然会使水滴从云顶出去较多, 但由于气流有起伏总还能保留一部分水滴从云底降落下来。因此, 考虑了垂直气流的起伏, 对平均速度大小的要求比均匀条件下宽一些, 从而会长出更大的雨滴。

3. 含水量与含水厚度 含水量大小的影响, 可以从例 7 与例 10 看出, 它们的含水

量分别是 1.0 克/米^3 与 1.2 克/米^3 。从图 4 可以看出,含水量较大时,出云水滴中大滴浓度就比较大,显然含水量大小的影响还和其它参量有关,如果平均垂直速度小,那么,大的含水量对形成降水并不有利(从图 4 也能看出)。因此含水量也同样需要大小适当。

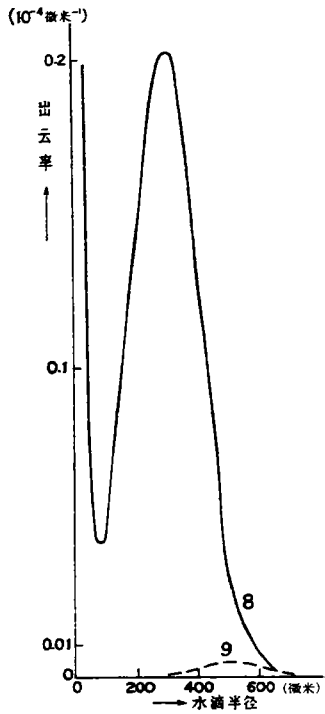


图 3

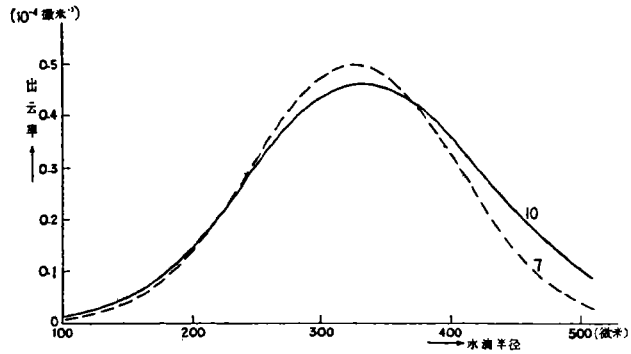


图 4

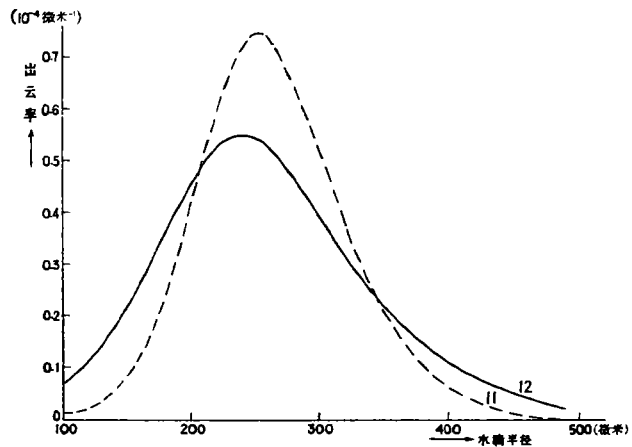


图 5

云的总含水厚度是指单位面积上云柱里的总含水厚度。例 11 与例 12 这两个例子总含水厚度都是 1.6 毫米,前者云厚是后者的一倍,含水量则相反。其余参数相同。出云谱绘于图 5,从图 5 可以看出含水量较大的云,雨滴谱也较宽,这可能是由于比较厚的云中水滴到达云的上部机会少,因此,不能充分利用云中总含水厚度。

4. 云的厚度与初始水滴位置 计算表明,云越厚越有利,然而十分厚的云这种优越性相对地降低了,因为大多数水滴不能到达云的上部,不能充分利用云厚。

水滴所在初始位置的影响,显然太高了容易从云顶出去,太低了水滴又会过早出云,这样都对降水不利。

三、结 论

在气流有起伏的降水过程中,一般来说起伏太大与太小都不合适,最佳的大小与云的具体情况有关,只有在垂直气流的平均速度、起伏大小、含水量及云厚等适当的配置之下

才可能形成降水。这说明了降水过程的复杂性。最后, 本文还没有考虑云滴浓度及湍流加速度等参量的起伏, 这些参量的起伏必然也对降水有影响, 因此, 有待进一步的工作进行研究。

本工作承顾震潮先生指导, 李兴生同志帮助进行电子计算机的计算, 特致谢意。

参 考 文 献

- [1] 徐华英、顾震潮, 气象学报, 33 (1963), 108—114.
- [2] 顾震潮, 云雾降水微物理的一些理论问题, 科学出版社, 1963年, 11—15.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСАДКООБРАЗОВАНИЕ ПРИ УСЛОВИИ ФЛУКТУАЦИИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СКОРОСТИ

Сюй Хуа-ин

(Институт геофизики АН Китая)

Резюме

Теория, учитывающая флуктуации вертикальной скорости, дает хороший результат для объяснения выпадения осадков из теплого немошного облака. В данной статье рассмотрена роль различных элементов в осадкообразовании при условии флуктуации вертикальной скорости. Показано, что осадки возможно образуются только в случае оптимального сочетания разных элементов (величины флуктуации вертикальной скорости, средней вертикальной скорости, влажности и мощности облака и т. д.). Приведен анализ влияния величины флуктуации вертикальной скорости, играющей важную роль при образовании осадков в плоском облаке, на спектр капель дождя. И видимо, слишком большое значение величины флуктуации вертикальной скорости не приносит пользы для формирования осадков.