

## 地 面 連 續 云 滴 譜 儀\*

黄美元 洪钟祥 熊尚清

(中国科学院地球物理研究所) (中国科学技术大学)

### 提 要

我们设计制作的地面连续云滴谱仪,它的连续工作时间达二分钟,而过去我们用的滴谱仪一次连续工作只二秒钟。暴露时间可根据实际需要调节。1964年春在野外实际测试中表明,这一仪器可以用来观测周期 $10^{-1}$ — $10^1$ 秒的云雾微结构起伏。文中对仪器的误差也作了简单的估计。

### 一、引 言

在实际的云雾中,常可以发现云滴在空间分布上的不均匀性或时间上的多变性。这种所谓云内微结构的起伏,对云滴的增长、降水的产生有很大意义<sup>[1]</sup>。但现有一些在实际中常用的地面云滴谱仪<sup>[2,3]</sup>都是间断式取样的,不能获得一个较长序列的云滴谱资料<sup>[4]</sup>,难于用来分析较小尺度(例如米的量级)的云内微结构起伏。基于这种情况,设计一种连续滴谱仪是很需要的。这种仪器应该考虑这样一些要求:利用设计的仪器能研究 $10^{-1}$ — $10^1$ 秒量级的起伏,这在一般高山观测条件下相当于一米到几百米尺度的云内微结构起伏。因此要求仪器能连续工作几分钟。为了适用于不同云型不同地区,样片所需暴露的时间应该可以调节。仪器还须有一定的精度,使得仪器本身的误差小于一般云雾中云滴的起伏量。

### 二、仪器原理和性能

本文只着重介绍连续云滴谱仪的连续取样装置部分(仪器形状如图1所示)。仪器取样基于惯性捕获原理。风洞(1)依靠抽风马达(2)产生稳定的气流(20—30米/秒), (3)是连续取样机构,当小电机(4)转动的时候即可带动样片通过风洞内的取样暴露窗口进行取样。

感应片采用熏有氧化镁或煤烟的胶片。为了防止擦片,新的设计中用两个能使片子螺旋形缠绕的绕片筒,保证取样片不相互重迭,从而达到连续取样的目的。

螺旋形的绕片系统机械结构是丝杠与螺母的配合。其作用可参看图2。电动机(1)带动转轴(2)并通过转轴上的键(3)带动主动绕片筒(4)。由于筒上的螺母与丝杠(5)配合,因此使得筒子能同时转动和沿轴向移动。被动绕片筒(6)预先绕满取样片(7),片子的头部穿过风洞固定于主动绕片筒之上,所以筒(4)的转动也带动了筒(6)一起转动和作轴向移动,这就保证了两个筒子的同步运动。这样,被动绕片筒上通过风洞取样后的

\* 本文 1964 年 11 月 25 日收到。

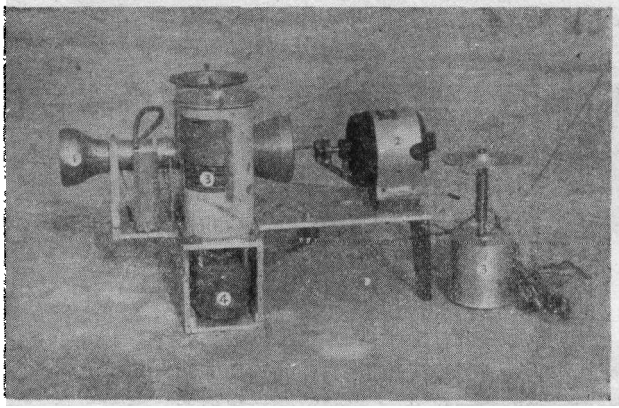


图1 连续云滴谱仪

片子互不重叠、均匀无损地绕在主动绕片筒上。

为了保证使 4 毫米宽的取样片螺旋形的绕在筒上且前后重叠，这就要求筒子每转一周，在轴向上升 4 毫米。为此，设计了梯  $16 \times 4$  (直径 16 毫米，螺距 4 毫米) 的丝杠。筒的上盖为了与丝杠配合相应地设计成带有梯  $16 \times 4$  的螺母。底盖正中有一带键槽的直径 10 毫米的孔用来与转轴配合 (参看图 3 或图 1)。绕片筒直径和高度均取为 80 毫米，丝杠长度等于绕片筒移动距离 84 毫米。要使绕片筒向上移动，丝杠就必须固定。取样装置外壳 (10) 既提供了固定条件，同时又起到保护感应片的作用，使得外界云雾不直接打

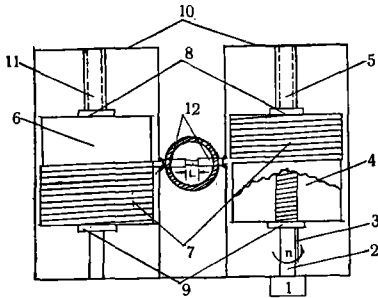


图2 连续取样机构

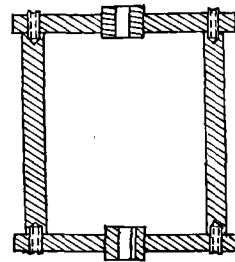


图3 绕片筒

在感应片上。外壳是内直径 86 毫米的圆筒，高度等于绕片筒的移动范围加上筒的整个高度，现取为 170 毫米。外壳的前方开有透明窗口 (见图 1)，以观察仪器工作情况。在装片时，窗口可以完全打开。仪器主动和被动两方面的构造大致一样。绕片筒和外壳完全没有差别，可以相互换用。所不同者只是被动轴 (11) 上部是长 82 毫米、梯  $16 \times 4$  的丝杠，下部为直径 10 毫米的轴。

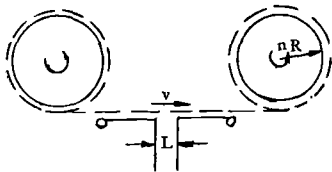


图4 取样窗口

为了保证取样片通过风洞的中心，设计了  $4 \times 4$  毫米<sup>2</sup> 的长方形导管 (12)，它固定于两个取样外筒之上并贯穿于风洞工作段后部的中心，在正中对着气流的方向开有取样暴露窗口，参看图 4。窗口的宽度为 4 毫米，长度  $L$  可视实际所需的暴露时间来调节。

抽风系统所用的动力是单相交流电机，电源为 220

伏 50 周的交流電，額定功率和轉速分別為 30 瓦和 6000 轉/分。運片的動力現用 PД-90 型平衡電機；電源電壓為 127 伏，頻率 50 周；額定功率和實際轉速分別為 10 瓦和 9 轉/分。

此外，配合儀器使用的感應片是用簡單的裁片裝置由電影膠片裁割而成的。當廢電影膠片拉過彼此相隔 4 毫米的兩塊鋒利的刀片時便可得到寬度為 4 毫米而且相當均勻的感應片。

根據以上設計的結構，本儀器具有下述幾個主要性能。第一，繞片筒的直徑 ( $D$ ) 和高度 ( $H$ ) 都是 80 毫米，片子的寬度 ( $b$ ) 為 4 毫米，所以樣片長度  $l = \frac{H}{b} \cdot \pi D \approx 5$  米。考慮到片子的移動速度約 3.2 厘米/秒，故本儀器可以連續取樣 2 分鐘左右，比過去我們的滴譜儀取樣時間 (2 秒) 要長得多。這對研究雲霧微結構小尺度的起伏看來更有價值一些；第二，因為儀器是電動的，所以工作時比手搖的要穩定一些，這就可減少一些測量誤差，提高觀測質量；第三，儀器取樣暴露時間可任意調節，能滿足實際的需要；第四，抽氣速度一般是 20 米/秒，最大可達 30 米/秒，而取樣片的特徵寬度是 4 毫米，因此直徑 4 微米以上的雲霧滴都能捕獲。

### 三、儀器誤差

儀器誤差主要反映在兩方面，即暴露時間和抽氣速度的測量誤差，現簡單討論如下：

**暴露時間誤差** 儀器取樣暴露窗口如圖 4 所示，其長度  $L$  可以根據需要調節，暴露時間用下式計算

$$t = \frac{L}{2\pi n R}$$

這裡  $n$  和  $R$  分別為繞片筒的轉速和半徑， $L$  為取樣窗口長度。根據誤差傳遞原理，可把  $t$  的最大相對誤差寫成

$$\left(\frac{\Delta t}{t}\right)_{\text{最大}} = \left|\frac{\Delta n}{n}\right| + \left|\frac{\Delta R}{R}\right| + \left|\frac{\Delta L}{L}\right|$$

$n$  的誤差除決定電機質量好壞外，還與電源電壓的穩定性、負載大小和摩擦情況有關，多次測量結果表明  $\bar{n} = 9$  轉/分， $\Delta n = 0.4$  轉/分，所以

$$\left|\frac{\Delta n}{n}\right| = \frac{0.4}{9} = 4.4\%$$

$R$  的靜態誤差由繞片筒加工的偏心度所決定，而我們注意的是它的動態誤差，這不但決定於筒的偏心度，而且還與繞片筒和絲杠配合的公差有關，由實際測量得

$$\left|\frac{\Delta R}{R}\right| = \frac{0.5}{40} = 1.3\%$$

$L$  的精確測量是比較困難的，為了減小誤差起見，可預先加工好不同寬度 (如 4, 5, 6 毫米等等) 的金屬條，再根據實際需要取其中某一寬度 (如 4 毫米) 者伸進窗口，將窗口兩邊的擋板向里壓緊，然後抽掉此金屬條，則窗口大小即與金屬條的寬度相等，估計用這樣的方法測量時， $\Delta L = \pm 0.1$  毫米，而一般情況下， $L = 4$  毫米，所以

$$\left|\frac{\Delta L}{L}\right| = \frac{0.1}{4} = 2\%$$

最后得

$$\left(\frac{\Delta t}{t}\right)_{\text{最大}} \doteq 8\%.$$

### 流速的測量誤差

由于高山云雾站一般电源是不大稳定的,所以流速必須实际測量。考虑到野外使用方便起见,我們采用了“U”形管压力計測流速的方法,如图5所示。若在“U”形管自由端(不接皮管的一端)加一小套管,使其頂部封閉而側面开有很小的孔,則能使自由端保持一个大气压且又很少受外界水平风速对自由端压力的影响,那么根据伯努利方程可以推得

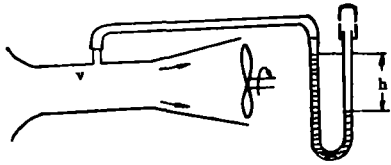


图5 流速測量原理

$$v = \sqrt{\frac{2gh}{\rho'}}.$$

式中,  $v$  是风洞工作段的流速,  $h$  是“U”形管压力計的水柱高度差,  $g$  是重力加速度,  $\rho'$  是空气密度。对于一定地点、一定时刻,可以认为  $g$  和  $\rho'$  是常数,故

$$\left(\frac{\Delta v}{v}\right)_{\text{最大}} = \frac{1}{2} \left| \frac{\Delta h}{h} \right|.$$

野外实际測量表明水柱高度涨落于  $\pm 0.5$  毫米之間,而通常工作时都保持  $h = 20$  毫米(相当于  $v \sim 20$  米/秒),注意水柱差  $h$  是二次讀数,所以

$$\left(\frac{\Delta v}{v}\right)_{\text{最大}} \doteq 2\%.$$

以上两方面的誤差都是影响取样体积的,因此可以认为由于仪器所造成的云滴浓度最大相对誤差不会超过 10%。

## 四、仪器使用情况和存在的問題

本仪器初步制成后于 1964 年春进行了野外試驗。这里仅以 5 月 21 日 15 时 15 分在庐山所取到的資料为例加以分析,主要目的想表明仪器的工作状况。

当时測站处于层积云中,它上面还有一层蔽光高积云。低云云厚約三、四百米。从宏观上看云体稳定少变。这一次連續取样的時間約为 125 秒。考虑到仪器本身的慣性時間(暴露時間)和統計上的代表性对随机变量数目的要求,初步选定照相時間間隔为 0.44 秒(就是每隔 0.44 秒取一个样),于是可得 250 个样品左右。图 6 和 7 表明浓度随時間的变

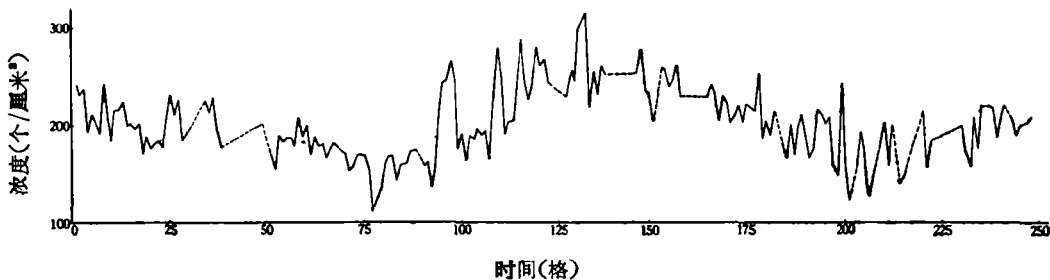


图6 浓度随時間变化  
(橫坐标每格=0.44 秒)

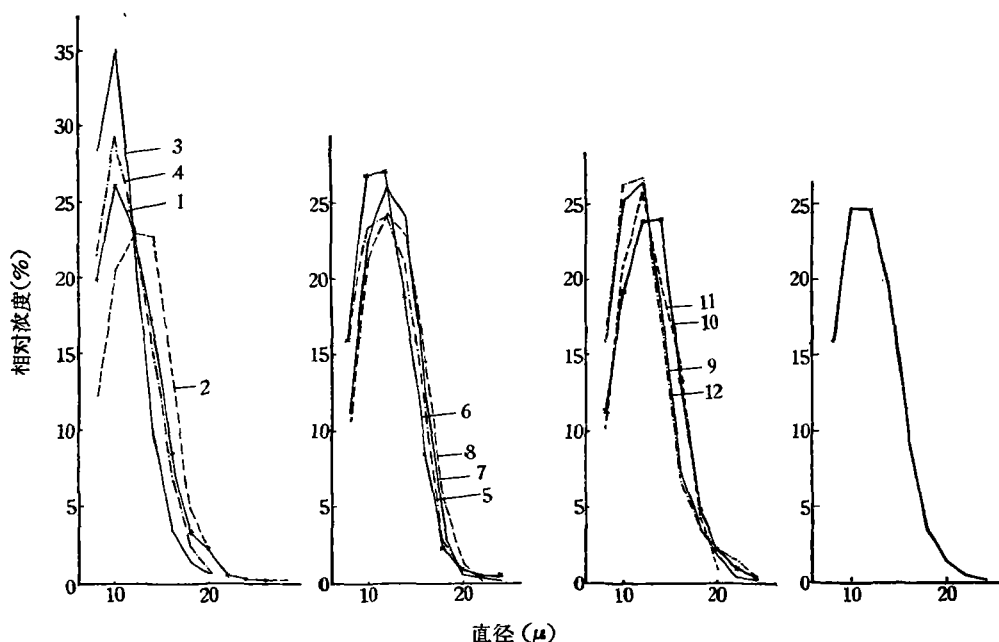


图7 不同时刻云滴谱和平均谱  
(每次时间间隔约为10秒)

化(图中虚线部分资料缺)以及不同时刻的谱型和平均谱。资料中氧化镁烟层斑痕直径  $D$  与云滴直径  $d$  之间的转换系数  $K(d/D)$  取为 0.8<sup>[5]</sup>。还需说明的是图中浓度的捕获订正是按平均谱进行的

$$n = \frac{1}{v} \sum \frac{Nf_i}{E_i} = CN.$$

式中  $n$  是绝对浓度,  $N$  是样片上实读的云滴数,  $v$  是取样体积, 因为  $f_i$  和  $E_i$  分别代表平均谱中直径为  $d_i$  的云滴的相对浓度和捕获系数。所以  $C$  为常数。当然这样处理可能与实况有一定的差别, 但是因为这份资料的谱型变化不大, 所以作为初步分析还是可以的。

从图中可以看到, 即使在持续少变的层状云中, 虽然谱型变化不大, 但浓度的起伏还是不小的, 起伏量(均方差与平均值之比)达 18%。同时在这种比较稳定的层积云中似乎有约 1 分钟的周期, 至于进一步的分析则有待以后进行。

通过上述实际观测证明, 作为地面连续滴谱观测, 这种仪器结构原理是可行的。但是仪器尚存在不少缺点, 比如使用操作不太方便, 防潮设备没有妥善解决, 部件布局欠紧凑合理(完全可以用一个马达而不用两个马达), 仪器显得比较庞大笨重等等。这都是今后应注意解决的。

致谢: 仪器设计制作过程中曾得到张佑年同志和中国科技大学机械厂金朝祥、孙凤山等同志的帮助, 郑爱英同志参加了实验和资料计算工作, 作者在此一并表示深切的感谢。

### 参 考 文 献

- [1] 周秀骥, 暖云降水微物理机制的研究, 科学出版社, 1964。  
[2] May, K. R., *J. Sci. Inst.* **22** (1945). 187.

- [3] Левин, Л. М., Старостина, Р. Ф., Чуданкин, А. В., *Исследование облаков, осадков и электричества*, Гидрометеониздат Л., 1957.
- [4] Левин, Л. М., *Изв. АН СССР, сер. геофиз.*, № 12, 1510, 1958 年.
- [5] Хуан Мей-юань, *Изв. АН СССР, сер. геофиз.*, № 10, 1962.

## A GROUND CONTINUOUS CLOUD-DROPLET SAMPLER

HUANG MEI-YÜAN, HUNG CHUNG-HSIANG

*(Institute of Geophysics and Meteorology, Academia Sinica)*

HSIUNG SHANG-CHING

*(The University of Science and Technology of China)*

### ABSTRACT

A ground continuous cloud-droplet sampler has been constructed with a sampling duration about two minutes. The exposure time may be adjusted as needed. The field experiments has shown that this instrument is convenient for measuring the fluctuation of micro-structure parameters of clouds, with period of the order of  $10^{-1}$ — $10^1$  sec. Estimation of the instrumental error is given.