

云水收集器及其观测结果的简要分析*

沈志来 宁天山 黄美元 吴玉霞

(中国科学院大气物理研究所)

提 要

本文介绍了我们自制的云水取样器,野外实验表明这是一种简便易行的取样装置。成都地区和重庆地区云中地面雨水 pH 值比较说明两个地区的雨水酸化过程正好相反,由滴从云中落到地面,前者是碱化过程,后者则为酸化过程。

一、引 言

随着酸雨监测和防治途径研究的不断深入,酸雨的成因日益为人们所重视。现在,国内不但建立了一定密度的酸雨监测网,有的地方还分析雨水的化学组份,有的把地面雨水 pH 值和化学组份的分析结果与某些气象要素,例如雨强、雨滴谱、风向、风速等联系起来分析,以研究酸雨的形成过程和机制^[1]。

目前,关于酸雨形成过程有多种观点,有人认为已有的硫酸盐气溶胶由核化过程进入云水中,并形成云水和雨水中绝大部分硫酸盐浓度;另外有人认为,云下冲刷是造成地面雨水中硫酸盐浓度的主要原因。因此,研究地面雨水和云水中各种离子浓度与降水微物理特征的关系,就成为当前人们感兴趣的问题。此外,从五十年代创建关于大气化学性质的系统研究以来,对于云和雾的化学性质的兴趣与日俱增,其原因是:

(1) 野外实验结果表明,降水对气溶胶和气体的冲刷不是造成所观测的雨水中离子种类和浓度的唯一主要过程。这样,发生在云中的过程具有极其重要的作用。

(2) 已建立了各种关于硫和氮有关成份的转换的化学模式,它的野外实验验证已迫在眉睫。

(3) 污染物和酸雨形成的长距离传输问题的研究要求有可靠的云化学的资料^[2]。

因此,不论从酸雨和云微物理特征的关系,还是从云化学研究本身来说,云水收集都是极其重要的。但是到目前为止,国内尚无这种资料。本文介绍一种我们自制的机载云水收集器,并对一些观测结果作简要分析。

1986年4月25日收到,1986年6月16日收到修改稿。

* 云水和雨水化学分析是由重庆市环境科研监测所做的。

二、云水收集器

完善的机载云水收集器要满足以下基本要求：能从非降水的暖性、过冷或者冰化云中收集到有代表性的云水样品；具有适当的空间分辨率，即高的收集效率，在短时间内取得的样品足够用于云的水平和垂直剖面的研究；收集器应当最大限度地减少对样品的污染，不仅收集器构造材料要符合化学上的要求，还要保证即使在飞行过程中也能做到收集器清洗方便。理想的云水收集器难以得到，但是，精心设计和适当的谨慎操作，可以得到合适的云水样品，并带回实验室进行分析。

目前，国外使用的云水收集器有棒槽碰撞式^[3]，指状冷冻式^[4]，以及可使云滴和云中气体分离的离心力式分离器^[5]。

图1为我们自己制作的云水收集器。它是一种被动棒槽碰撞式收集器，相似于 Winfers 等人设计的装置^[3]。它由两部分组成，暴露在机身外部的收集部分，有7根带槽的聚四氟乙烯棒（槽朝向气流方向），分成两排交错排列，前3根后4根，后面加一排金属支撑棒。装在机舱内的部分是聚乙烯收容器。云滴随气流打在棒槽内并随气流流入机舱内的收容器里。还有一个排气孔，调节气流的人流和出流大小，使收集器处于最佳工作状态。整个仪器在飞行过程中可随时拆卸更换，以便清洗。在过冷云中取样时，云滴打在取

样棒上冻结成冰，到一定程度取下放入塑料袋内融化，并换上另外一只。

设计要求棒槽的宽度 b 与棒的半径 r 的比不能超过 0.3，否则圆棒周围的气流会明显地被扰动。棒的半径 r 决定了作为云滴尺度函数的收集效率。我们的收集器的结构尺寸为 $r = 0.476\text{cm}$ ，槽长度 $l = 19.5\text{cm}$ ， $b = 0.15\text{cm}$ ，总收集面积为 20.48cm^2 ，实际收集速率约为 0.5ml/min 。

无论那种收集器，为了得到较理想的空间分辨率，必须解决收集效率问题。根据 Langmuir 和 Blodott 关于气流中粒子流过圆棒时的理论研究，当 $r = 0.476\text{cm}$ 时，收集效率与云滴半径的函数关系示于图2。可以看出，基本上半径小于 $1\mu\text{m}$ 的粒子没有发生碰撞，所有半径 $8\mu\text{m}$ 以上的云滴都可被收集。平均地说，取液态含水量 $s = 0.2\text{g/m}^3$ ，气流速度 $v = 57\text{m/s}$ ，收集 20ml 云水用 40min ，则我们的云水收集器收集效率 $E \approx 36\%$ 。

我们于 1984 年 5 月在四川省气科所人工降雨伊尔-1 型飞机上安装一套，1985 年 9 月在我们研究所专门租用的双水獭飞机上安装了两套自制云水收集器，在国内首次正式取得了云水样品，

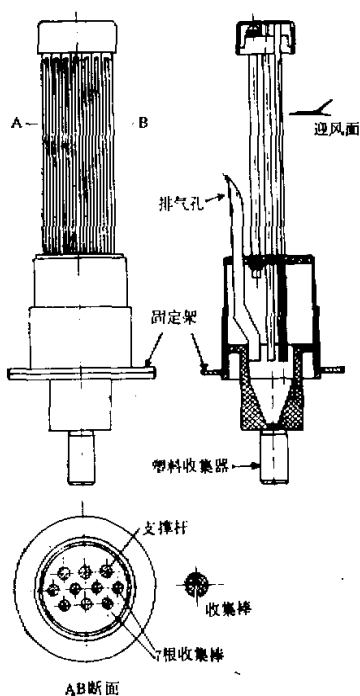


图1 被动棒槽碰撞式云水收集器结构图

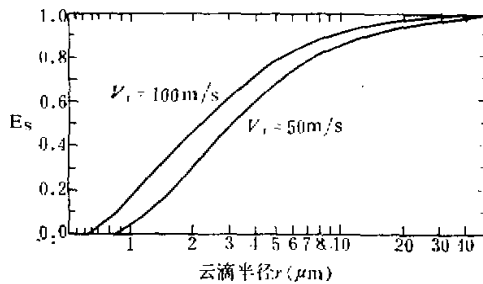


图2 半径 $r = 0.476 \mu\text{m}$ 的圆棒驻点的收集效率 E_s 与云滴半径 r 的关系

并对样品做了 pH 值测量和部分样品的离子组份和浓度分析。实践表明,我们自制的云水收集器是简便易行的。

三、云水、雨水的收集和化学分析

1984年5月成都地区穿云飞行中,共取得样品16份(其中5份因云水量少,所得结果只供参考)。成都机场附近云水样品的 pH 值范围为 5.38—6.74;飞机起飞前,云水收集器收集的地面雨水样品7份,其 pH 值最高为 7.33,最低为 5.08。比较每天观测的雨水样品的 pH 值和云水样品的 pH 值发现,似乎成都地区云水比雨水 pH 值低,即云水比地面雨水偏酸。尽管两者不是同时测量的,由于是层状云降水,这种比较还是有参考意义的。这个事实说明,成都机场附近的雨水,在降落到地面的过程中是个碱化过程。

1985年9月—10月,为进行“西南地区酸雨来源和防治途径的研究”,与重庆市环境科研监测所合作,在四川省重庆地区进行了地面和空中的综合观测,这里只介绍部分结果,其他部分另文叙述。

本次综合观测,穿云飞行7架次,取样16份。云水 pH 值的算术平均值为 5.62,最高值为 7.82,最低值为 4.88。同期,重庆市市区降水雨量加权平均 $\overline{\text{pH}} = 4.06$,最高值 5.18,最低值 3.07。比较发现,每天观测的云水 $\overline{\text{pH}}$ 、pH 最高值和最低值都大于雨水的相应值。这一事实说明,重庆地区雨滴在降落到地面的过程中经历迅速的强酸化过程。

表1为重庆地区9月16日穿云飞行中3个云水样品的离子浓度测量结果。

这个个例分析表明,该地区云水中负离子浓度以 SO_4^{2-} 为首,是 NO_3^- 的10倍左右。并且在负离子中 NO_3^- 的比例最小(这与美国的一些测量结果大不相同,在那里, NO_3^- 与 SO_4^{2-} 相当,有时甚至超出^[6]),说明这里的酸雨渊源主要是 SO_2 。值得注意的是负离子中的有机酸,如 HCOO^- ,且浓度还不小,除 SO_4^{2-} 外,与其他负离子浓度不相上下。许多测量指出,云水总的正负离子浓度是不平衡的,一般是总正离子克当量浓度大于总负离子克当量浓度,有的甚至在没有测量 Ca^{++} 和 Mg^{++} 的情况下,正离子浓度还大于负离子浓度^[6]。正离子浓度大于负离子浓度可能是有机酸的影响,如甲酸、醋酸、草酸和磺酸等,在我们列举的3个样品中就有两个正离子大于负离子浓度,并且随着甲酸浓度的增加,差别越来越小,甚至出现负离子大于正离子浓度的情况。因此,有机酸的测量是一项有意义

表 1 1985 年 9 月 16 日重庆地区云水中各种离子测量结果 ($\mu\text{eq/l}$)

	H ⁺	SO ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	F ⁻	HCOO ⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	$\Delta\Sigma^*$
1	7.9	491.9	37.44	221.50	150.60	--	190.60	180.20	401.40	44.67	275.20	198.6
2	5.0	176.8	14.71	61.02	66.89	26.84	33.33	61.86	98.65	13.52	67.48	-66.4
3	12.6	151.1	10.37	25.08	21.79	17.53	39.44	28.77	105.50	5.68	46.30	12.3

* $\Delta\Sigma$ 为正离子浓度和与负离子浓度之和差的工作。

四、结 论

1. 我们自制的云水收集器收集速率为 0.5ml/min, 效率约为 36%。两年的野外实验表明, 该装置是一种简便易行的云水收集器。

2. 云水和地面雨水 pH 值测量结果表明, 成都地区和重庆地区的雨水酸化是两种不同类型的过程造成的, 前者云水 pH 值低于地面雨水 pH 值, 雨水降落到地面期间为碱化过程, 而重庆地面则相反。重庆地区云水化学组份分析表明, SO₄²⁻ 在负离子浓度中比例最大, 是 NO₃⁻ 的 10 倍, 说明酸雨来源于 SO₂; 有机酸的存在对云水总正负离子的平衡起一定作用。

参 考 文 献

- [1] 何珍珍等, 1985 年, 雨水酸度与降水物理特征的关系, 大气科学, 第 9 卷, 第 4 期。
- [2] Volkov A. Mohnen, 1980, *Atmospheric Technology* No. 12.
- [3] Winters, W. et al., 1979, ASRC Airborne Cloud Water Collection System. ASRC-SUNY Pub. No. 728, report to NSF. Atmospheric Research Section.
- [4] Parungo, F. et al., 1981, Atmospheric Aerosol and Cloud microphysics Measurements. Hawaii Mesoscale Energy and Climate Project.
- [5] Walters, P. T., 1983, A separator for obtaining samples of cloud water in aircraft, *Atmo. Environ.* Vol. 17, No. 6.
- [6] Nagamoto, C. T. et al., 1983, Acid cloud and precipitation in eastern Colorado, *Atmo. Environ.* Vol. 17, No. 6, 1073-1082.