

一次积雨云降水过程的宏微观 物理特征和雨水酸度的综合观测

张铮 刘宝章*

(北京大学地球物理系)

摘 要

1984年7月27日晚,在北京西郊北京大学综合观测了一场积雨云降水的全过程。包括两个降水过程:第一个降水过程持续时间短(33min),平均雨强大(12.9mm/h),雨滴谱宽且出现多峰,降水pH值7.0左右;第二个降水过程的持续时间长(126min),平均雨强较弱(1.6mm/h),随降水的强烈冲刷,云下空气愈来愈干净,pH值连续下降至6.6,电导率也大大减小。

一、引言

为了解积雨云降水过程的宏、微观物理特征,降水酸度和电导的情况,本文对1984年7月27日北京地区一次积雨云过境时的云和降水的宏微观物理特征和降水酸度的变化进行了综合观测,观测点设在北京大学物理大楼的五楼顶部。711测雨雷达连续监视积雨云的生成、移动发展和消散;EL电接风向风速计记录积雨云降水全过程的地面风向风速变化;滤纸法观测了降水过程中雨滴分布状况;分时段测定了降水的酸度和电导等。通过观测,对这次积雨云降水过程的一些主要物理化学特征,有了一定程度的认识。

二、降水随时间的变化

1984年7月27日16时以前无云或有少量的淡积云,16时以后,在本站西部和西北部有积雨云发展并移向本站上空,云体厚密庞大,云底黑并带有碎雨云,至19时积雨云主体移到本站上空,地面风速加大,云中有闪电和雷鸣。19:21开始有零星雨滴飘

落,但由于雨滴稀疏,雨量很小($<0.1\text{mm}$),直到19:38雨量计才开始记录。

降水全过程的虹吸式雨量计记录,见图1,降水可分为两个过程。19:38—20:11为第一个过程,持续33min,降水量7.1mm,平均雨强为12.9mm/h。20:11—20:40降水停歇了29min。20:40—22:46为降水第二过程,持续126min,降水量为3.4mm,平均雨强为1.6mm/h。第二过程的平均雨强约为第一过程平均雨强的1/8。

如按雨强变化,可将整个降水过程分成雨强变化相对均匀的11个时段,见表1和图1、2。在降水第一过程中,时段Ⅲ的雨强最大达19.7mm/h,而且分布较均匀。降水第二过程为时段Ⅵ—Ⅺ,除开始和结束雨强较小外,中间过程又可分为4个时段,雨强分布有起伏,每个时段的平均雨强为1.2—3.0mm/h,大小可相差2倍多。通过雷达观测(见下节)可知,影响本站的降水是由一个

*参加观测的还有毛节泰、吴宝民、韩志刚同志和大气物理专业85届毕业生邵庆秋、张卉、任立平、裘百克、韩维和龚威等。

表1 1984年7月27日不同降水时段的雨强

降水时段	采样时间	时间间隔 (min)	降水量 (mm)	雨强 (mm/h)	降水过程
I	19:21—19:38	17	0	0	第一
II	19:38—19:46	8	0.1	0.8	第一
III	19:46—20:07	21	6.9	19.7	第一
IV	20:07—20:11	4	0.1	1.5	第一
V	20:11—20:40	29	0	0	间歇
VI	20:40—21:00	20	0.3	0.9	第二
VII	21:00—21:22	22	1.1	3.0	第二
VIII	21:22—21:45	23	0.9	2.3	第二
IX	21:45—22:00	15	0.3	1.2	第二
X	22:00—22:23	23	0.7	1.8	第二
XI	22:23—22:46	23	0.1	0.3	第二

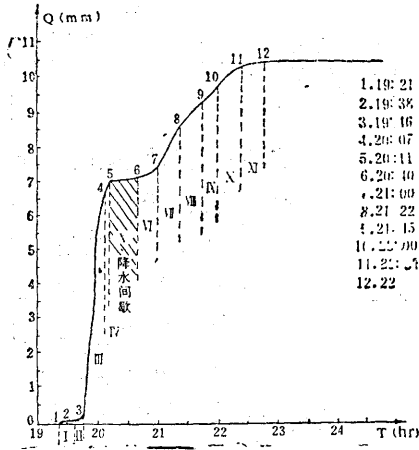


图1 1984年7月27日虹吸式雨量计的降水记录

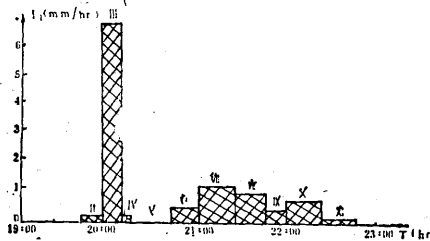


图2 1984年7月27日雨强随时间的变化

缓慢移过测站上空的降水单体两次兴衰变化引起的。这个降水单体第一次发展旺盛，其降水量、降水强度大，而且分布较均匀，但维持的时间短。经过降水削弱，此降水单体的第二次发展强度远比第一次小，表现在降

水量、降水强度要小得多，而且分布不均匀，但持续的时间较长。

三、雷达回波图象

用711雷达对云和降水的发生发展进行了连续观测，采用PPI显示器，仰角 3° ，雷达屏幕扫描50km，衰减30dB。对雷达回波进行定时照相，按雷达回波照片描图，观测云和降水的发展范围和强度，现选6幅雷达回波图，见图3，分析这次积雨云降水过程的变化。

1984年7月27日下午16:00雷达开机以后，在本站西部开始有积云发展，19:00左右一个近似月牙状的云带由北、西、南三个方向移向本站，以后月牙状的回波南北两端向中间合并靠拢，强度加大，覆盖区域也向东方和南方发展，19:21开始降雨，图3-(1)、3-(2)和3-(3)分别对应为降水第一过程中的II、III和IV降水时段的雷达回波图象。20:11降水间歇，出现布满孔洞的回波图象，回波显得松散破碎，此时天空云层变薄有消散趋势。20:40降水第二个过程开始，图3-(4)为降水开始后2min的雷达回波图象，依然多孔破碎，具有降水间歇时期的特征。图3-(5)处于降水第二过程的第VI时段，图3-(5)明显具有图3-(4)的大致轮廓，但孔洞已消失，回波又变得厚实均匀。因此第二个降水过程可认为是原降水单体削弱解体后，重又发展起来的结果。在降水第二个过程中，整个回波区向东、东南和东北方向发展，演变到图3-(6)时，云体缩小并趋于消散，雨区由东部移出本站。总之，由雷达回波观测到的一个降水单体的两次兴衰过程，对应地面两个降水过程的出现和消失，整个系统由测站西部上空发展起来，经过测站产生天气过程后，由东

部移出。

四、降水过程中的地面风向风速变化

由EL电接风向风速计的连续记录可知，7月27日18:30以前为偏南风，18:40

转成西风，风速很小或静风，这是降雨以前的地面风情况，19:10以后开始加进北风成份，当时风向为西北偏西风，风速加大，于19:21开始降零星小雨。分析表明：

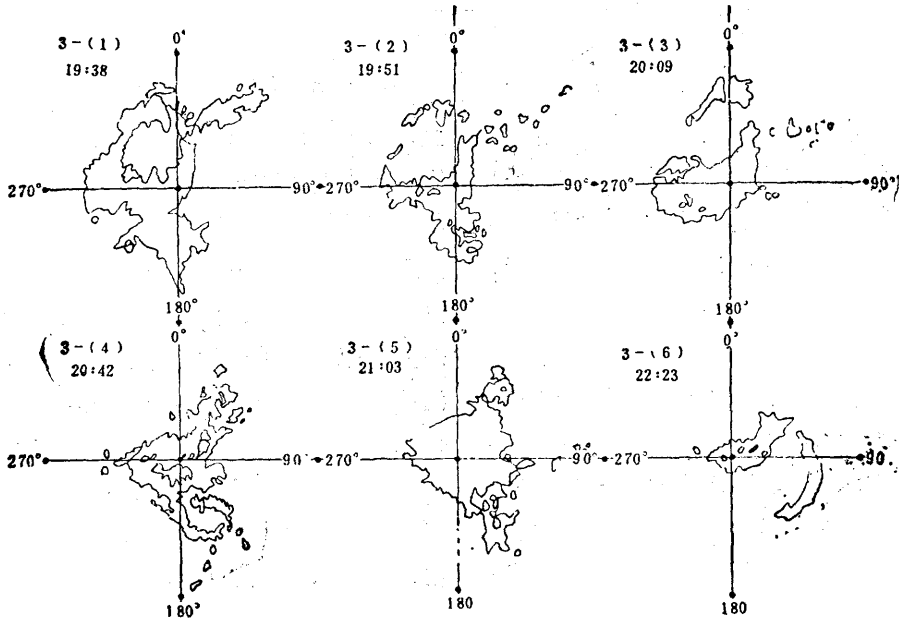


图3 1984年7月27日降水雷达回波

1. 由19:21开始降雨至22:46降雨全部结束，在历时3个多小时中，风向由降雨开始时的西北偏西，沿逆时针旋转变化的，至降雨结束转成东南风，约转了一周半(520°)，见图4。风向在变化过程中虽有摇摆，甚至摆动较大，但逆时针变化趋势十分明显，而

且降雨开始和结束与风向关系十分密切，例如：20:10和22:40的风向，皆因出现南风成份，而使第一、第二降雨过程停止。又如：20:40以后南风成份消失转成东风，而使降雨过程重又开始。

2. 虽然在整个降雨过程中风速都不大，但每次降雨开始都伴随着风速加强，在降雨过程中风速有起伏，当风速减小甚至成静风时，降雨停止。见图5。

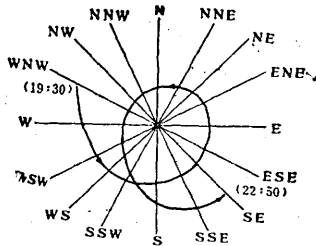


图4 1984年7月27日19:30—22:50测站地面风向变化趋势

五、降水过程中雨滴谱的观测

在整个降水过程中进行了雨滴谱的观测，采用玫瑰精加滑石粉涂刷在滤纸上，用滤纸接取雨滴，在降水开始、结束和雨强变化较大时取样，筛选12张有代表性的雨滴

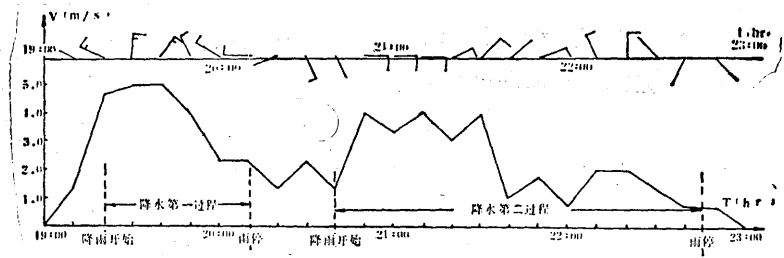


图5 1984年7月27日19:00—23:00测站地面的风向风速与降水

谱进行读数,并用PC-1500计算机进行数据处理,计算出的降水主要参数(雨滴的平均直径 D_1 、均平方直径 D_2 、均立方直径 D_3 、数密度 N 、含水量 W 和瞬时雨强 I 等)列于表2。图6为计算机绘制的6张降水第一过程的雨滴数密度谱(间距0.2mm),图6-(1)、(2)和6-(3)、(4)、(5)及6-(6)相应的降水时段分别为II、III和IV。由表2和图6可看出、雨滴谱的几个参数的变化趋势是一致的,当瞬时雨强增加,滴数密度增加,雨滴谱向大尺度移动,并出现第

二峰值或多峰。另外,按所分降水时段,在同一降水时段收集的雨滴谱,其差别是明显的,由此计算出的瞬时雨强不仅相差较大,而且与本时段的平均雨强(由虹吸式雨量计测出的)相比也是偏离的,因此我们了解到,即使在雨强相对均匀的降水时段中,不仅雨滴尺度的空间分布不均一,而且随时间的变化也很大。

六、降水酸度和电导的观测

按酸雨监测规范,将清洗过的塑料桶放在距楼顶1.5m高处接取雨水样品,测量雨

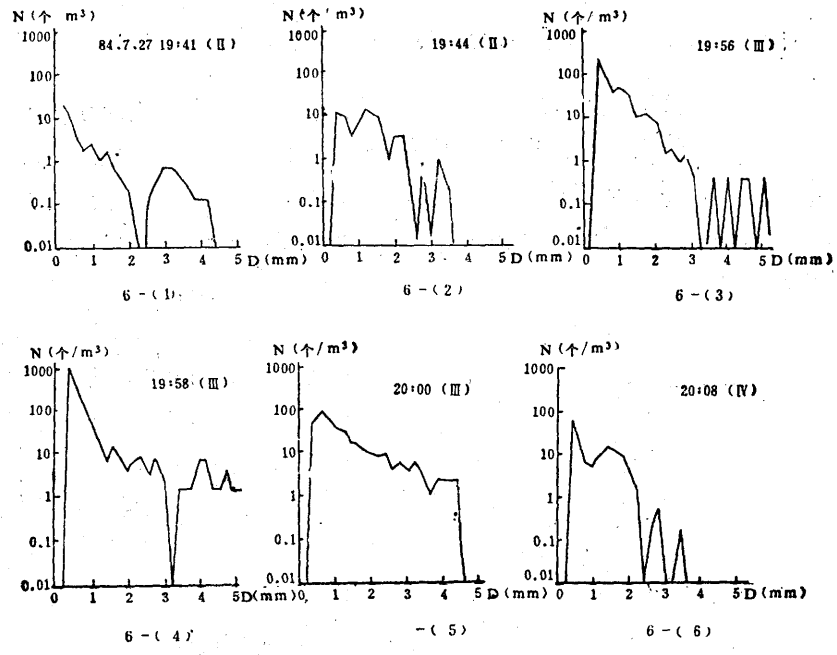


图6 1984年7月27日降水第一过程雨滴谱

表2 1984年7月27日降水雨滴谱及其特征参量

编号	采样时间	降水时段	雨强(mm/h) (虹吸式雨量计测)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	D ₃ (mm)	I(mm/h)	W(g/m ³)	N(1/cm ³)
1	19:41	II	0.8	0.33	0.52	0.71	1.91	0.067	44.5
2	19:44	II	0.8	0.59	0.66	0.73	2.79	0.122	76.0
3	19:56	III	19.7	0.37	0.44	0.55	7.64	0.329	484.4
4	19:58	III	19.7	0.32	0.47	0.70	74.95	2.479	1718.1
5	20:00	III	19.7	0.57	0.71	0.85	29.50	1.075	418.5
6	20:08	IV	1.5	0.43	0.52	0.59	2.69	0.129	152.3
7	20:34	V	0.0	0.44	0.49	0.53	0.17	0.009	16.3
8	21:07	VII	3.0	0.49	0.59	0.72	3.31	0.129	83.9
9	21:16	VII	3.0	0.47	0.52	0.56	2.70	0.145	193.4
10	21:26	VIII	2.3	0.52	0.61	0.71	4.34	0.176	115.5
11	22:00	X	1.8	0.41	0.47	0.54	1.72	0.086	131.4
12	22:21	XI	0.3	0.33	0.38	0.44	0.92	0.053	151.1

水的 pH 值, 用 DDS-11A 型电导率仪测降水的电导, 将整个降水过程分成 5 个时段, 观测结果列在表 3, 由表 3 可知:

1. 本次降水不是酸性降水, 由前 3 个时段的样品可知, 降水在第一个过程中的酸度差别不大, 而包括降水间歇期(半个小时)干沉降在内的降水第二个过程的酸度有所增加, 第二个过程的后半期降水酸度最大, 而降水的电导值, 在整个降水过程中一直是下

降的。由于本次降水是高空小槽过境, 局地抬升的积雨云造成, 说明北京地区的固态飘尘和工业排放气体等造成的污染, 总体来看是碱性的, 随降水持续时间的加长, 云下作为碱性的中和污染物愈来愈少, 降水酸度愈来愈接近云中的情况; 由于降水的冲刷, 云下空气愈来愈干净, 降水中混入的离子杂质也愈来愈少。降水 pH 值和电导的观测结果, 与我们以前的观测结果一致。

表3 1984年7月27日降水的酸度和电导

样品号	取样时间	pH值		电导 $\mu\text{V}/\text{cm}$		历时 (min)	降水量 (mm)	备注
		—*	—**	—*	—**			
1	19:38—19:57	6.98	7.13	83.5	111.0	19	5.00	降水开始立即取样
2	19:57—20:02	7.06	7.40	67.3	83.9	5	1.31	降水第一过程
3	20:02—20:11	6.97	7.12	65.1	81.0	9	0.70	至降水第一过程结束
4	20:11—21:26	6.84	6.89	56.3	65.9	15	1.87	包括降水间歇期间的干沉降和降水第二过程
5	21:26—22:36	未测	6.61	未测	33.3	70	1.62	至降水第二过程接近结束

- * 一表示降水取样后立即观测。
- ** 二表示降水取样后放到冰箱保存, 约过20小时后进行观测。

2. 如果我们将降水样品取来后, 立即进行 pH 值和电导的测定, 或将样品放入冰箱, 隔 20 小时左右再测定, 两者结果不同, 放置后的样品比立即测定的系统偏高, 即降水酸度减小, 离子杂质增多, 由此说明降水样品

即使存放冰箱中, 也仍有化学变化发生, 并且没有什么规律, 不能用简单的订正消除。因此, 及时测定降水样品的 pH 值和电导十分必要。

综上所述, 在 1984 年 7 月 27 日晚积雨

云降水过程中,通过对积雨云形成、发展的雷达回波观测,以及对雨强、地面风向和风速、雨滴谱、降水酸度和电导的连续或分时段测量,对这次积雨云过程的多项宏微观物理特征和降水的化学性质,有了较全面的了解,为今后更全面的综合观测打下基础。

参 考 文 献

- [1] Mason B.J. "The Physics of Cloud", Oxford University Press 1978.
[2] Pruppacher H. R., J. D. Klett, "Microphy-

sics of Clouds and Precipitation", D. Reidel 1978.

- [3] Harrold T. W., P. W. Austin, "The Structure of Precipitation System—a Review", J. Rech. Atmos. 1974 41—57.
[4] 北京大学地球物理系大气物理教研室云物理教学组编, 云物理学基础, 农业出版社, 1981年。
[5] 刘秀茹、程振华、酸雨监测, 酸雨, 1983年第1期。
[6] '西南地区酸雨污染问题的研究' 课题组, 大气沉降物的取样与保存方法的研究, 酸雨, 1984年第1期。
[7] 王明星, 北京地区的非酸性降水和气溶胶, 气象学报, 1985年, 第43卷第1期, 45—51。

A comprehensive observation on macroscopic and microscopic physics and acidity of a Cb precipitation

Zhang Zheng Liu Baozhang

(Department of Geophysics, Peking University)

Abstract

In the evening of July 27th, 1984, a whole process of a cumulonimbers precipitation was observed in Peking University, which had two developing processes and two declining processes. The first process of precipitation lasted a short time (33min) and had a high average rainfall density (12.9mm/hr). The pH value of the first precipitation was about 7.0. The second process of precipitation kept a long time (126min) had a low average rainfall density 1.6mm/hr. With the strong washout of precipitation, the atmosphere under the cloud became cleaner. The pH value of the second precipitation dropped 6.6 continually and the conductance became down markedly.