

云中可溶性物质对冰核化影响的实验研究*

陈汝珍 鄞大雄 蒋耿旺 赵京华

(中国气象科学研究院,北京,100081)

摘 要

用冷台冻滴和 2m^3 云室试验相结合的方法,研究了云中可溶性物质对冰核化的影响。实验结果表明,一般云中观测到的可溶性盐类气溶胶(如 NaCl 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 等)在温度高于 -18°C 时不易成为冰核。而高浓度的可溶性铵盐(如 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 NHCl 等)则能显著提高 AgI 的成冰温度。 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 能使 AgI 成冰晶数在 -10°C 提高 2 个量级, -6°C 提高约 1 个量级。该结果对人工催化技术有一定指导意义。

关键词: 可溶性物质,冰核化,云室试验。

1 引 言

长期以来,对于可溶性物质影响云中冰相生成的作用,一般认为,大气中常见的可溶性盐类(如 NaCl 、 NH_4NO_3 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 等)组成的气溶胶粒子,高于 -18°C 不能成为冰核^[1]。但早在 1950—1960 年代,一些小扩散云室的实验就指出,某些有机物(酒精、硅蒸气等)会对冰晶形状有影响。后来,印度 Murty 的水滴冻结实验指出,水滴中存在可溶性的硫酸盐时会提高成冰温度^[2]。Pitter 和 Finnegan 室内研究亦表明,云水中含有可溶性盐类时,会影响冰晶形态、攀连方式并容易产生次生冰晶^[3]。但总的说来,此类研究尚不多。

本实验总的思路是根据国内外对云水化学成分的观测资料,同时考虑 Warkman-Reynolds 冰-水界面电位差效应,适当选择加入云水中的化学物的成分与浓度,采用 2m^3 云室和冷台冻滴方法,通过反复对水云(蒸馏去离子水)和含溶质的“溶液云”的对比试验来考查可溶物质对冰核化的影响。

本研究的特点是将冷台冻滴试验与云室试验有机的结合起来。用冻滴试验普查可溶物质对水滴冻结特性的影响,尤其有意义的是还专门进行对人工冰核 AgI 冻结温度的影响;用云室试验研究对冰晶产生、攀附及繁生等影响,并在云室中进一步量化冻滴试验的结果。

2 冻滴试验

2.1 实验设计和设备

本试验采用标准的降温速率和冻滴尺度,比较“水滴”和“溶滴”的冻结温度的差别,分

* 1993 年 7 月 2 日收到原稿,1993 年 10 月 6 日收到修改稿。国家自然科学基金资助项目。

析可溶物质对冻结温度的影响。

2.1.1 冷台系统和试验过程

冻滴试验需在一个洁净的、可控制测量温度的光滑垫面上进行。本试验借用静态扩散云室中处理滤膜的冷台^[4],原云室共有 4 个冷台,只用其中 1—2 个。冷台的最上层是一直径为 50mm,厚 2mm 的镀铬铜板,铜板的另一面用导热脂固定在 40×40mm 的半导体制冷堆上,4 个冷台共有 4 块同样的冷堆。铜板中间埋置一个小的铂电阻,作为测量和控制温度的元件。采用分段预置温度值的办法,使降温率控制在 2℃/min,从 0℃开始计时,随着温度下降,板上 20 个滴先后冻结,记下各水滴的冻滴温度和时间,当水滴全部冻结,一次试验完毕。再使电压反向,对冷台加温,到 0℃后水滴融化,反复清洗。涂上甲基硅油,再进行下次试验。

整个扩散云室放在温度为 -18℃—-20℃的冷箱中,经事先用点温计对冷台表面测量,表明与控制器温度读数一致,且 4 块铜板温度均匀,一个铜板上最大温差只有 0.1℃。

2.1.2 纯水制备及均匀水滴产生

将蒸馏水通过去离子处理,再经过实验室的蒸汽冷凝法又一次蒸馏,这样可除去水中大部分不挥发的电解质和胶体物质以及可溶于水的某些气体(如 CO₂,NH₃),水的导电率达到 1—2μmho/cm。

全部配制的溶液都用试剂级的化学药品,采取常用的浓度容量法配制。

用装有一定刻度的不锈钢针的医用注射器产生均匀水滴,经鉴定,水滴的平均直径为 2.62mm,其体积为 9.42mm³,与 Vali 用的平均直径 2.67mm,体积 10mm³ 很接近,与 Murty 用的 2.2mm 水滴差别也不大。

2.1.3 样品数的选择性试验

冻结温度的概率分布提示我们必须测量大量样品的冻结温度才有意义。考虑到既要使实验结果有一定的统计意义,又不使工作量太大,我们做了如下的工作。即分别进行二次水滴的冻结试验,每次 6 组共 120 个滴,得到其平均冻结温度 \bar{T} 、中值冻结温度 T_{50} 。结果发现大组平均(240 个滴)与每组(120 个滴)平均值相当一致。随后又进行了对 Na₂SO₄ 二种浓度的试验,得到同样令人满意的结果(表 1)。所以,正式试验时,每种样品一般做 6 组试验 120 个滴。

表 1 样品数的选择性试验

滴数	蒸馏去离子水				Na ₂ SO ₄ 10 ⁻⁴ N				Na ₂ SO ₄ 10 ⁻⁵ N			
	T _f	\bar{T}	T ₅₀	σ	T _f	\bar{T}	T ₅₀	σ	T _f	\bar{T}	T ₅₀	σ
① n=120	-15.9	-19.1	-19.3	1.29	-12.9	-17.1	-17.7	1.51	-16.2	-18.8	-19.0	1.05
② n=120	-16.2	-19.1	-19.2	1.22	-13.6	-17.2	-17.6	1.26	-15.7	-18.8	-19.0	1.20
①+② n=240	-16.0	-19.1	-19.2	1.26	-13.2	-17.1	-17.6	1.40	-15.9	-18.8	-19.0	1.13

2.2 冻滴实验结果

除纯水的背景试验外,共做 NaCl、(NH₄)₂SO₄ 等 15 种不同溶液的冻结试验,浓度一般取 10⁻¹—10⁻⁵N。为研究它们对人工冰核的影响,其中还加进了对 AgI 的试验。首次冻结温度 T_f 为 6 组试验平均,平均温度 \bar{T} 和中值温度 T₅₀。(即低于该温度时,半数的滴冻

表 2 可溶盐冻结试验的主要统计结果

	10 ⁻¹ N			10 ⁻² N			10 ⁻³ N			10 ⁻⁴ N			10 ⁻⁵ N							
	T _f	\bar{T}_{50}	σ	T _f	\bar{T}_{50}	σ	T _f	\bar{T}_{50}	σ	T _f	\bar{T}_{50}	σ	T _f	\bar{T}_{50}	σ					
NaCl	-16.5	-19.8	20.0	1.47	-14.0	-18.8	-19.3	19.3	-14.7	-18.8	-19.1	1.56	-15.4	-19.0	-19.2	1.23	-15.5	-19.1	-19.6	1.52
(NH ₄) ₂ SO ₄	-15.0	-19.3	-19.5	2.19	-14.9	-19.1	-19.4	1.78	-15.5	-18.9	-19.0	1.36	-14.9	-19.4	-19.8	1.50	-17.0	-19.4	-19.5	0.98
Na ₂ SO ₄	-12.4	-17.6	-17.9	2.00	-14.7	-18.7	-19.0	1.67	-13.8	-18.2	-18.8	2.06	-13.2	-17.1	-17.6	1.40	-15.9	-18.8	-19.0	1.13
H ₂ SO ₄					-14.6	-17.1	-17.1	1.25	-14.8	-18.9	-19.1	1.80	-14.5	-19.0	-19.4	1.66	-16.4	-19.0	-19.0	1.23
NaNO ₃	-16.1	-19.4	-19.6	1.35	-16.0	-18.7	-18.9	0.99	-16.3	-19.0	-19.3	1.10	-16.7	-18.7	-18.8	0.90	-16.7	-19.0	-19.0	0.80
NaCl10 ⁻¹ N					-15.2	-19.0	-19.3	1.56	-15.7	-19.1	-19.5	1.52	-15.9	-19.3	-19.6	1.43	-14.7	-18.7	-19.1	1.66
+(NH ₄) ₂ SO ₄ 10 ⁻¹ N																				
2NaI					-7.7	-15.2	-15.8	4.13												
(AgI+2NaI)10 ⁻² N					-3.6	-4.9	-5.0	0.61	-5.9	-7.0	-7.0	0.74	-5.2	-7.1	-7.0	1.06	-6.3	-9.4	-9.5	1.49
(AgI+2NaI)10 ⁻² N																				
+[(NH ₄) ₂ SO ₄ +NaCl]*	T _f '=-1.3	T _a '=-1.9			T _f '=-1.6	T _a '=-2.3			-3.7	-5.2	-5.3	0.68	-4.4	-6.0	-6.0	0.75				
(AgI+2NaI)10 ⁻² N					T _f '=-0.7	T _a '=-2.5			T _f '=-1.5	T _a '=-2.9										
+(NH ₄) ₂ SO ₄ N*																				
(AgI+2NaI)10 ⁻² N					T _f '=-0.6	T _a '=-2.5			T _f '=-1.4	T _a '=-2.8										
+NH ₄ Cl N*																				
(AgI+2NaI)10 ⁻² N					T _f '=-0.9	T _a '=-2.1			T _f '=-1.1	T _a '=-2.5										
+(NH ₄) ₂ CO ₃ N*																				

* : T_f'为60个滴的首次冻结温度, T_a'为60个滴全部冻结的温度。

结)及标准偏差 σ ,一般为120个滴的统计。表1为样本数的选择性资料,可以看出,大组240个滴的冻结温度分别与二次120个滴的冻结温度十分一致。实验结果见表2及图1,从中可知:

(1) 溶滴的首次冻结温度离散较大,6组试验差值平均为 3°C ,有的甚至差 $4-5^{\circ}\text{C}$;而平均冻结温度和中值冻结温度各组间离散较小,平均差值 $\leq 1^{\circ}\text{C}$,两者相当一致,且中值附近冻结点离散很小。该结果反映一组水滴的冻结取平均冻结温度(或中值冻结温度)代表性更好。

(2) 试验的溶液大多能不同程度地提高水滴的冻结温度(见图1),其中尤以 Na_2SO_4 和 H_2SO_4 ,促冻明显。溶液浓度对冻结温度的影响随溶液成分而异。有的呈正相关,随浓度增加冻结温度提高,如 H_2SO_4 ,当浓度增加到 10^{-2}N 时,能提高 2°C ;有的高低浓度影响不同,如 NaCl 、 NaNO_3 ,在高浓度($\geq 10^{-1}\text{N}$)是阻冻的,在 $10^{-2}-10^{-5}\text{N}$ 范围内,又能略提高水滴的冻结温度,随浓度下降作用也减弱;其他一些盐类(如 Na_2SO_4 等)浓度的影响不完全呈正相关。

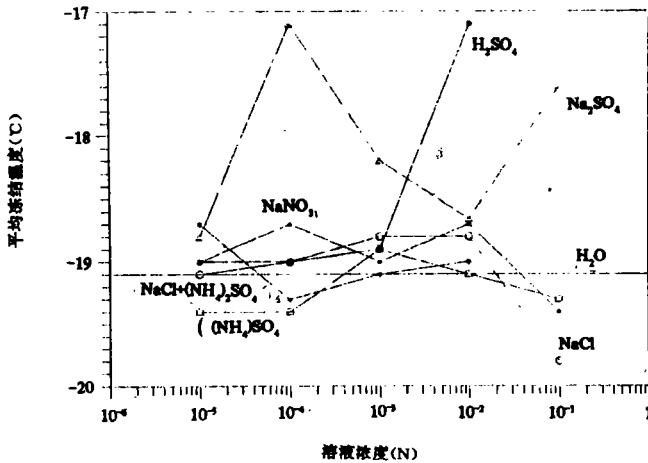


图1 可溶盐对水滴冻结温度的影响

(3) 高浓度的各类可溶铵盐(NH_4Cl , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 等)能明显提高 AgI 的冻结温度。对 10^{-2}N 的 AgI 溶液(用 NaI 作增溶剂)首次冻结温度为 -3.6°C ,平均冻结温度为 -4.9°C 。当加了 10^{-2}N 铵盐溶液时,上述三种铵盐180个溶滴中,首次冻结温度为 -1.1°C , -2.9°C 时全部冻结完;随着铵盐浓度的提高(10^{-1}N 时), AgI 的冻结温度也更高,首次冻结温度为 -0.6°C , -2.5°C 时180个滴全部冻结完。

实验还表明,溶滴中含有铵盐的同时还含其它杂质(如 NaCl)时,对 AgI 冻结影响与上述单项铵盐结果相同,随着铵盐浓度降低,虽然对 AgI 成冰温度影响也减弱,但只要少量铵盐存在时(如 10^{-4}N), AgI 溶滴的首次冻结温度由 -5.2°C 提高到 -4.4°C 平均冻结温度由 -7.1°C 提高至 -6.0°C ,仍能明显提高 AgI 的成冰温度(见表2)。

3 2m³ 云室试验

3.1 实验设计和内容

为研究可溶性物质对所产生冰晶的浓度、形态、攀附及繁生等的影响,并对悬浮在大气中微米量级的云滴进行更真实地模拟,以进一步量化上述冻结试验的结果,试验的第二部分在 2m³ 云室^[5]中进行。实验技术的改进关键在于送雾空气的高净化及用物理方法产生冰晶两点。

3.1.1 本试验对实验环境条件的洁净程度要求特别高,对原云室的气源作进一步净化。使经过二级过滤的送雾空气再通过一定浓度的硫酸酸洗、分子筛干燥和二级活性炭吸附处理,以去掉空气中的 CO₂ 及 NH₃ 等可溶气体。

3.1.2 用均质核化原理的物理方法产生冰晶。本实验采用 Popping bubble(捏泡)技术,在注射器内安放一个塑料泡(作减震垫用的那种,其空气体积约为 0.25cm³),用简单的操作杆伸进云室,压破该塑料泡,只听“拍”一声,30—40s 后即可产生大量冰晶,从雾透明度记录的急剧变化就可判断。该方法的优点是没有引入其他化学物质,无“污染”,核化几乎同时发生,无残留核,操作简便,易重复,有利于作“对比”试验。

3.1.3 实验内容和方法

(1) 在 -4℃—-16℃ 温度范围内,用“捏泡”技术产生冰晶,分别以“纯水”及不同成分、浓度的“溶液”造雾,通过连续显微摄影观测生成冰晶的情况。尤其注重观测冰晶形态的细节,以及攀附、攀连方式和次生冰晶出现等“宏观”特征的变化。在取得大量资料的基础上,进行两类云的对比分析。

(2) Na₂SO₄ 是上述冻滴试验中对水冻结温度影响最为明显的一种可溶盐类,因此,在云室温度 -20℃,高纯水造雾,待含水量稳定后,通入一定量的 Na₂SO₄ 雾,接着又连续通纯水雾,以保证含水量稳定,观测 Na₂SO₄ 等盐类在云室中产生冰晶的情况。

(3) 根据铵盐能明显提高 AgI 冻结温度的冻滴试验结果,在温度 -5—-10℃,分别以高纯水及 (NH₄)₂SO₄ 的溶液造雾,点燃含有 AgI 的滤纸 2cm² 以产生冰晶,观测 (NH₄)₂SO₄ 溶液对 AgI 产生冰晶的影响。

上述三大组试验时,含水量为 1—2g/m³,冰晶以一定时间间隔连续观测,一般至显微镜视野内平均冰晶读数小于 0.5 个为一次试验过程。

3.2 云室实验结果

可溶性物质对冰核化影响的云室试验共进行 320 余次,其中在 -4℃—-16℃ 研究对冰晶浓度、形态、攀附等影响的高纯水试验 125 次,取得照片资料 600 余张。不同浓度的 NaCl, (NH₄)₂SO₄ 及云室上下两种溶液通雾等对比试验 170 多次,取得资料 500 余张。总的说来,可溶盐类对冰晶产生率、形态、攀附特性等影响并不产生可辨认的明显变化,“水云”和“溶液云”攀连都十分严重。由于 -4—-8℃ 温度下针、柱状形状简单,较枝状易分类计数,重点统计分析了该段的资料,结果列于表 3。云室的其他两组试验结果列在表 4 和图 2。

云室实验的主要结果如下:

3.2.1 在云室温度 -20℃—-18℃, Na₂SO₄ 等可溶性盐类组成的气溶胶有一定的成冰晶能力,但作用很弱。

3.2.2 云雾中含有 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 时能显著提高AgI的成冰晶性能。从表4和图2可以看出,在 -8°C — -10°C ,有铵盐存在,能使AgI成冰晶数提高约2个量级, -6°C 时提高约1个量级。用 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 连续通雾,冰晶持续产生,且有大小明显不同的两种尺度的冰晶存在。如表4中 -6.5°C ,低浓度的 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 溶液通雾,含水量为 $2-1.5\text{g}/\text{m}^3$,以一定时间观测到的冰晶数每次视野内几个至10个,表示冰晶浓度并不高,含水量也充足,但仍然有明显的大小两种尺度,每隔5—10min观测,冰晶仍“源源不断”,连续约70min,共计100个。尤其值得一提的实验现象是当背景雾为高纯水,经几次取样后,AgI产生的冰晶已接近尾声,视野内只有0—1个,表示即将结束实验过程,若此时再通点 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 雾,则又能使冰晶多起来,甚至可到视野内几十个,似乎铵盐能使此温度下不易核化的AgI核又活化起来。上述两种现象均经多次重复实验证实。

表3 可溶盐对冰晶(柱、针状)攀附特性的影响

云水成分	$\frac{a}{c}$ 平均 温度 分段 \bar{T}	$\frac{a}{c}$	每泡产生 冰晶总数 \bar{N}	攀附 百分比 $\frac{N-n_1}{N}$	A	B	C	D	E	F	
					对百分比	对百分比	对百分比	对百分比	对百分比	对百分比	
去离子蒸馏水	≥ 3 -5.0	6.3	7.11×10^7	16	59.63	336 13.92	488 20.22	419 17.36	779 32.27	121 5.01	271 11.23
	< 3 -8.0	1.9	2.27×10^8	9	45.92	210 7.49	391 13.94	912 32.51	1052 37.50	198 7.06	42 1.50
NaCl											
$5 \times 10^{-4}\text{N}$	≥ 3 -5.5	6.6	1.95×10^8	7	71.19	280 11.36	452 18.34	275 11.16	1064 43.16	114 4.62	280 11.36
	< 3 -7.7	2.4	2.61×10^8	4	53.07	162 8.51	304 15.97	667 35.05	676 35.52	65 3.42	29 1.52
NaCl											
10^{-4}N	≥ 3 -5.2	7.3	7.91×10^7	3	64.36	44 12.64	73 20.98	42 12.07	110 31.61	15 4.31	64 18.39
	< 3 -7.8	1.6	2.61×10^8	5	39.36	35 3.42	139 13.57	287 28.03	492 48.05	70 6.84	1 0.10
$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$											
$2 \times 10^{-5}\text{N}$	≥ 3 -6.0	6.0	1.25×10^8	1	71.96	11 4.91	54 24.11	30 13.39	100 44.64	4 1.79	25 11.16
$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$											
$2 \times 10^{-1}\text{N}$	≥ 3 -4.4	6.7	7.37×10^7	8	50.04	105 12.0	202 23.09	105 12.0	371 42.40	45 5.14	47 5.37
	< 3 -7.6	1.7	2.64×10^8	3	34.74	20 3.37	90 15.15	138 23.23	309 52.02	30 5.05	7 1.18
$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$											
$2 \times 10^{-3}\text{N}$	≥ 3 -6.3	5.8	1.64×10^8	8	68.57	237 8.48	654 23.41	389 13.92	1246 44.60	121 4.33	147 5.26
	< 3 -7.5	1.8	1.74×10^8	1	32.14	9 7.97	17 15.04	14 12.39	70 61.95	3 2.65	0 0
上: NaCl											
$5 \times 10^{-4}\text{N}$	≥ 3 -5.9	5.1	1.37×10^8	5	68.50	142 9.06	347 22.14	230 14.68	640 40.84	72 4.59	136 8.68
下: $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$											
$5 \times 10^{-4}\text{N}$	< 3 -8.2	1.6	2.97×10^8	3	35.40	8 1.11	49 6.82	187 26.04	348 48.47	125 17.41	1 0.14

* $\frac{a}{c}$ 柱的长短轴之比用来表示其形态特征, $\frac{a}{c} \geq 3$ 为长柱或针状, $\frac{a}{c} < 3$ 为短柱; n 为实验次数, 用 $\frac{N-n_1}{N}$ 来表示攀附比例, N 为冰晶总数, n_1 为单个冰晶总数。攀附方式统计为六种, 两个相接为“一对”。(A, B): 一个柱冰晶端点与另一个柱冰晶中心相接, 分垂直相接(A)与不垂直相接(B)两种。(C): 两个柱冰晶端点相接成V字形。(D): 一个冰晶端点与另一个冰晶偏中心相接, 成入字形。(E): 两个冰晶平行相接。(F): 两个柱冰晶交叉相接。

3.2.3 可溶盐对冰晶产生率、冰晶形态及攀附的实验结果

(1) “溶液云”中产生的冰晶与“纯水云”中一样, 主要都集中在头4min内, 8min可掉至云室底部。表3表明, 其平均浓度一般偏高10%—30%, 个别偏高2倍。

(2) 冰晶形态主要受温度和过饱和度的影响。每次试验过程, 都有一种主要形状, 由于冰晶生长条件的微小变化(主要是时间先后引起的水汽条件差别), 使冰晶的棱、角、枝的细微结构有所差异, 但两种云中产生的冰晶形态并无可辨认的统计变化。

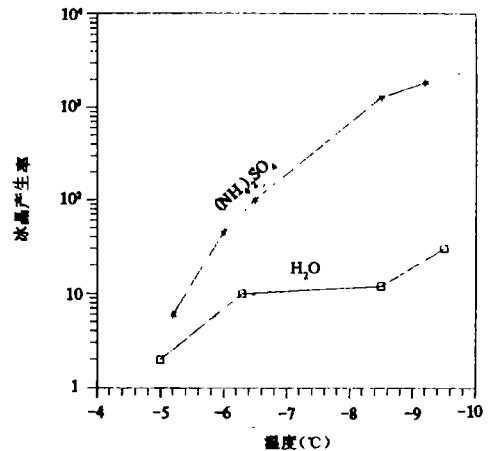
表4 可溶盐、对成冰晶率影响的云室试验结果

雾成分	发生冰晶的方法	温度(°C)	一个显微镜视野 (7.07mm ²)的平 均冰晶总数	冰晶持 续时间 (min)
蒸馏去离子水	烧 AgI 滤纸 2cm ²	-9.5	30	35
蒸馏去离子水	烧 AgI 滤纸 2cm ²	-8.5	12	30
蒸馏去离子水	烧 AgI 滤纸 2cm ²	-6.3	10	30
蒸馏去离子水	烧 AgI 滤纸 2cm ²	-5.0	2	20
(NH ₄) ₂ SO ₄ , 10 ⁻¹ N	烧 AgI 滤纸 2cm ²	-9.2	1870	80
(NH ₄) ₂ SO ₄ , 10 ⁻¹ N	烧 AgI 滤纸 2cm ²	-8.5	1300	80
(NH ₄) ₂ SO ₄ , 10 ⁻⁴ N	烧 AgI 滤纸 2cm ²	-6.5	100	70
(NH ₄) ₂ SO ₄ , 10 ⁻¹ N	烧 AgI 滤纸 2cm ²	-6.0	45	60
Na ₂ SO ₄ , 10 ⁻¹ N	烧 AgI 滤纸 2cm ²	-5.2	6	40
蒸馏去离子水	Na ₂ SO ₄ , 10 ⁻⁴ N, 25 升	-20.0	<1	10
蒸馏去离子水	Na ₂ SO ₄ , 10 ⁻¹ N, 50 升	-19.8	0.5	15
蒸馏去离子水	(NH ₄) ₂ SO ₄ , 10 ⁻¹ N, 50 升	-19.5	0.6	15
蒸馏去离子水	(NH ₄) ₂ SO ₄ , 10 ⁻¹ N, 50 升	-18.0	0.05	10

(3) 冰晶攀附主要受其形状和浓度的影响。长柱、针及枝星状易攀连。在目前的冰晶浓度实验条件下,攀附极其严重,攀连数目一般 2 至 10 余个冰晶。统计资料(表 3)表明,对长柱和针 ($\frac{a}{c} \geq 3$),“溶液云”的攀附比 $\frac{N - n_2}{N}$ 平均高约 6%,这也可能与其浓度偏高有关。

就攀附的连接方式看,对长柱和针, A 和 B 连接,水云为 34.14%,溶液云平均为 32%,两种云略同;但水云的(V)连接比例偏高约 5%,而溶液云的 D(λ)连接偏高 9%。从 Finnegan 和 Pitter 提出冰晶上电荷分布的假设考虑,似乎“溶液云”中冰晶的这种电荷极性分布略强于水云。

(4) 冰晶繁生问题。在“溶液云”中,多次发现冰晶产生 5—6min 后,出现一批尺度细小,形状单一的冰晶,这种情况出现后,冰晶落下时间延长至 15—18min,与国外报导的一致。但分析认为,这是由于同时核化产生的大量冰胚中,部分因水汽供应不足而生长较慢所致,尚不足以说明溶液云中出现了冰晶繁生现象。

图2 (NH₄)₂SO₄ 对 AgI 成冰晶率的影响

4 结论和讨论

(1) 在现有的实验条件下(水滴直径 2.62mm), 试验的可溶性盐(硫酸盐、硝酸盐、氯化物)大多能不同程度的提高水滴的冻结温度, 其中尤以硫酸类盐(Na_2SO_4 、 H_2SO_4 等)促冻明显。溶液浓度对冻结温度的影响随不同盐类而异。云室试验表明, 这些盐类组成的气溶胶粒子在温度 -20 — -18°C 其成冰作用很弱。根据国内外对云水成分的观测, 硫酸盐类的浓度一般为每升几毫克至几十毫克(相当 10^{-4}N — 10^{-3}N), 我国新疆地区低云中 SO_4^{2-} 浓度甚至观测到 474mg/L ^[6], 相当于 10^{-2}N 的高浓度, 但即使如此, 根据我们室内试验的结果, 在人为污染的大气中, 一般可溶性物质组成的气溶胶(NaCl 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 NaNO_3 、 NH_4Cl 等)在温度高于 -18°C 是很难成冰核的, 这点与国外报导的一致。

(2) 高浓度($\geq 10^{-2}\text{N}$)的可溶性铵盐(NH_4Cl 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 等)存在于 AgI 溶液中时能显著提高 AgI 滴的冻结温度。云室试验定量地表明了含有铵盐的溶液云中, 在 -10°C 时能提高 AgI 气溶胶成冰晶数 2 个量级, -6°C 时提高约 1 个量级。该结果对人工影响天气作业有一定的指导意义。例如, 在飞机上燃烧发生 AgI 气溶胶的同时, 若能向云中连续喷洒 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 等铵盐溶液, 则能大大提高 AgI 的成冰能力, 从而提高人工影响天气的作业效果。

(3) 可溶性盐类对冰晶产生率、冰晶攀附似有一定的促进作用, 但总的说来, 作用较弱, 并未引起可辨认的明显变化。这点与 Pitter 和 Finnegan 的实验结果差别较大。他们认为对冰晶形态、攀连方式和繁生有明显影响。本组试验要求水、气特别纯净, 实验能确保通进云室的水和气的纯度, 本试验中原已存在于云室中的空气的洁净程度不易控制。

参考文献

- [1] Pruppacher H R. Klett J D. Microphysics of cloud and precipitation. D Reidel Publishing Company, U. S. A. 1978. PP254.
- [2] Ramachandra Murty, A S and Ramana Murty, BH V. Freezing characteristics of rain water drops with different solutes and their implication on anomalous ice crystal concentrations in clouds. Tellus. 1972, 24 (2): 150—154.
- [3] Pitter R L and Finnegan W G. An experimental study of effects of soluble salt impurities on Ice crystal processes during growth. Atmospheric Research. 1990, 25: 71—88.
- [4] 杨绍忠, 马培民, 游来光. 用滤膜法观测大气冰核的静力扩散云室. 气象学报, 1995, 53 (4): 91—100.
- [5] 鄯大雄, 王云卿, 陈汝珍, 蒋耿旺. 一个用于人工冰核研究的 2m^3 等温云室. 气象学报, 1990, 48 (1): 72—79.
- [6] 游来光, 刘延刚, 李炎辉. 新疆乌鲁木齐地区冬季降水与云水酸度及其化学成份的初步观测分析. 气象科学研究所院刊, 1987, 2 (1): 60—66.

EFFECTS OF SOLUBLE SALTS IN CLOUD ON ICE NUCLEATION—A LABORATORIAL STUDY

Chen Ruzhen Feng Daxiong Jiang Gengwang Zhao Jinghua

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, S.M.A. Beijing, 100081)

Abstract

Two sets of laboratorial experiments are carried out to study the effects of soluble salts in cloud on ice nucleation processes. The cold stage is used for the individual drops freezing and 2m^3 cloud chamber for the cloud droplets population experiments. The results show that drops (or droplets) containing NaCl, NH_4Cl and $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ with concentrations typically found in natural cloud do not act upon ice nucleation at temperature warmer than -18°C . However, they seems to have slight effects on ice crystal producing number and crystal aggregation. The experiments also show that high concentration of ammonium salts can obviously increase the freezing temperature of drops which contain AgI. When AgI is used to seed the cloud containing ammonium salts, the ice crystal production could increase about 1—2 orders of magnitude at temperature -6°C and -10°C respectively comparing with seeding pure water cloud.

Key words: Soluble salts, Ice nucleation, Cloud chamber test.

《气象学报》1996 年征订启事

《气象学报》是中国气象学会主办的气象学术期刊,自 1925 年创刊至今已有 70 年的历史。

70 年来,《气象学报》以大量的气象学各分支学科有创见的高水平的气象科学研究学术论文,充分反映并展示了中国气象科学研究的最新成果和学术水平,积极地进行着国内外广泛的气象学术交流。通过报道我国气象科学研究和业务的新观点、新理论、新事实、新方法和新技术,为气象和天文、环境、海洋、航空、农业、地震等相关学科的广大科研和业务技术人员提供了广泛的信息服务。在新的一年里,《气象学报》将继承 70 年的优良传统,努力为气象学和相关学科的科研技术人员、大专院校教师、研究生和本(专)科学生服务,继续做读者的良师益友。

为了向读者提供更多的信息,也为日益增多的气象科研成果提供充裕的发表机会,本刊将扩大出版量,从 1996 年元月起,《气象学报》将从季刊改为双月刊,逢双月 20 日正式出版,全年 6 期,国内外公开发行。每期仍为 16 开本,128 页,定价 12.80 元。欢迎各地读者到当地邮局及时办理订阅手续。本刊国内统一刊号为:CN11—2006/P;国内代号:2—368;国外代号 Q329。

《气象学报》编辑部

1995 年 8 月