

用混合和扩散云室对大气冰核浓度的观测分析^①

杨绍忠¹ 王祥国² 游来光¹ 皮家雄¹

(1. 中国气象科学研究院, 北京 100081; 中国气象学会秘书处)

提 要

继 1963 年用混合云室对春季冰核浓度观测之后, 1994~1996 年, 在同季节、同地点用混合和静力扩散云室又做了同步观测。对取得的资料进行整理分析, 得出了凝华核浓度在不同天气背景下占总冰核浓度的百分比, 两种云室测值的对应关系; 分析了扩散云室的容积效应及冰核浓度随气压、能见度等气象因子的变化。

关键词: 混合云室 扩散云室 大气冰核浓度 对比分析

引 言

我国自 1958 年对自然冰核开展观测以来, 用便携式混合云室曾对许多地区进行过观测, 取得了大量有研究价值的资料^[1]。随着云和降水物理学研究的深入, 对冰核观测的需求越来越高。如在不同核化机制的试验模拟方面, 国内外曾研制出多种不同原理的试验装置, 希望能确切地对各种核化机制进行分别模拟, 进而对自然冰核或云催化剂的成冰性能等进行更深入的研究。但由于冰核尺度非常小, 化学成份和核化过程极为复杂, 到目前为止, 只有在静力扩散云室中能单独模拟凝华、凝结-冻结核化机制(尽管还存在某些争议)^[2,3], 而其他任何冰核测定装置所模拟的机制都难以实现单一性。本文对用静力扩散云室和 Bigg 型混合云室测量的北京地区自然冰核的同步观测资料整理分析, 意在得出不同天气背景下凝华核浓度; 对比和分析北京地区大气冰核浓度与天气背景的关系。关于利用此次观测资料所做的冰核浓度年代变化以及与冰云微结构之间的相关性研究等已有文献发表^[4]。

1 云室简介

1.1 混合云室

观测使用的混合云室与先前观测所用混合云室结构相似, 不同在于运用氟制冷、并增加温控系统。由于云室壁的热传导惯性, 云室温度有 $\pm 2\sim 3^{\circ}\text{C}$ 的周期性波动, 因此, 操作时均统一在波动到当前预定平均温度时采样、通水汽或雾, 再透过上部的玻璃板观察, 当达到该预定最低温度后开始计数, 此时的最低温度即视为活化温度。除此之外, 其他均以延用多年的操作方法进行。

观测自然冰核时, 由于吸湿性和非吸湿性的不同尺度的各种气溶胶粒子在混合对流中经历了突然降温, 过冷雾从无到有并活化增长的整个过程。此间, 除阴雨天外, 一般湿度环境也有一个从冰面欠饱和到冰面过饱和(吸入气样预冷阶段)然后到水面高度过饱和(通水汽形成过冷雾阶段)的变化, 凝华、凝结-冻结、接触冻结和浸入冻结各种机制都有可能发生。

关于云室的造雾, 观测中使用了人工吹汽法形成过冷雾和用超声雾化器直接通雾法

① 本文得到国家自然科学基金 49375229 # 项目的资助

两种。两种造雾方法的雾滴谱峰值直径基本一致,均在 $8\mu\text{m}$ 左右,但后者可大大减轻对气样体积和温度的扰动,延长了过冷雾在云室中的维持时间,雾滴浓度也高于前者,从而使冰核能较充分地活化增长。由于不同温度核化成冰的数量有量级的差别,故实际操作时只能凭肉眼观察并控制通湿时间。

冰晶的显现仍用过冷糖液、目测计数的方法,冰核浓度的计算与传统方法相同。

1.2 静力扩散云室^[5]

与该云室相配套的取样器可同时安装4片滤膜(孔径 $0.45\mu\text{m}$)。并在混合云室做 -20°C 观测时进行同步采样。采样时间15min,每片滤膜的气样体积为30L。采样后的滤膜用密闭的专用容器保存,以后做集中统一的显现处理。在预定温湿条件下,扩散云室中同时处理一次获得的4片滤膜。显现时间为40min。显现处理后,将得到的4片滤膜的冰晶数求平均,以平均值作为一个数据记录。

当滤膜上的冰核处于冰面过饱和、水面欠饱和的湿度条件时,模拟的为凝华机制。当达到或超过水面饱和时,模拟的应是凝华-冻结机制。此次仅关心前者,未对后者进行模拟检测。

2 观测结果

观测时段为春季的3月18日~4月30日,采样点距地面约16m,周围环境开阔,无局地污染源。1994年观测15天(上午),1995年观测43天(上下午各一次),1996年观测43天(上午)。观测期间经历了严重的市区空气污染、较强的沙尘暴、能见度达8级的晴朗天气等典型的天气过程。用混合云室取得了 -15°C 、 -20°C 、 -25°C 和 -30°C 四个温度点的160组数据。用静力扩散云室取得了464片滤膜,仅在 -20°C 和 -25°C 下对滤膜样片进行了显现处理。利用北京建国门观象台(位于该测点的西南方,直线距离约3km)的地面观测资料,做了两种云室所测的冰核浓度与气压、风向及能见度等气象因子的相关分析。

2.1 凝华核的检测

就冰核浓度的日变化来看,除个别点外,

两种云室测值的峰谷值对应关系良好。当出现明显的天气变化时,两者所测的冰核浓度变化都很明显。但在不同天气背景下,两者测值的起伏程度是不一样的,也就是说,不同天气背景下的凝华核浓度所占比例存在差异。例如在 -20°C ,除沙尘暴过程外,我们将能见度为5级的视为污染天气,能见度为8级的视为晴好天气(能见度等级与能见距离的对应见表1),求得表2中所列不同天气背景下两种云室测值以及凝华核所占比例。

表1 能见度等级和能见距离的对应关系

等级	距离/m	等级	距离/km
0	0~50	5	2~4
1	50~200	6	4~10
2	200~500	7	10~20
3	500~1000	8	20~50
4	1000~2000	9	>50

表2 不同天气下两种云室测值的比较

	污染 天气	晴好 天气	沙尘暴 天气	总平均
样本数/组	20	58	8	172
混合云室/个·升 ⁻¹	91.7	38.6	160.4	77.1
扩散云室/个·升 ⁻¹	0.558	0.619	2.74	0.68
凝华核百分比/%	0.61	1.60	1.70	0.88

从表2可见,用扩散云室测定的冰核浓度值仅为混合云室观测值的0.88%,且随气溶胶粒子尺度的增大而增大。但这种与气溶胶粒子尺度正相关的结果也许有下述原因的影响。

(1)大气中稳定悬浮的气溶胶粒子的直径为 $0.002\sim 10\mu\text{m}$ ^[6,7]。混合云室观测时,对于沙尘型等较大尺度的气溶胶粒子,观测气样在1~2min的预冷时间内还未活化就已沉降进入糖液中,从而低估了大冰核的贡献。

(2)对于扩散云室,用孔径为 $0.45\mu\text{m}$ 的滤膜采样,大尺度的粒子无疑能有效地被捕获到。小尺度的粒子有可能由于气流作用钻入微孔内部或穿过滤膜不能被捕获,而低估了小尺度粒子的凝华核浓度。

这些可能存在的原因对本次观测结果的定量性的影响程度还有待于进一步的研究。

2.2 冰核浓度与能见度的关系

市区能见度的降低主要是大气稳定时由人类活动的排放物在近地层形成的烟霾所

致。这些烟霾粒子在相对湿度为40%~80%即可吸附水汽形成霾滴,使得消光系数增加,能见度降低。能见度的增大一般是受高压控制或出现较强的西北、东北或西南风时,下沉空气清洁,局地污染易随风扩散。1995~1996年春季129次观测中,能见度在

4~8级之间变化,多数为6~8级。在-15℃、-20℃、-25℃和-30℃下,对同一等级能见度的冰核浓度进行平均,得出了图1所示的结果。很明显,两种云室测定的冰核浓度都显示出随能见度降低而增高的趋势,但相关性不是很好。

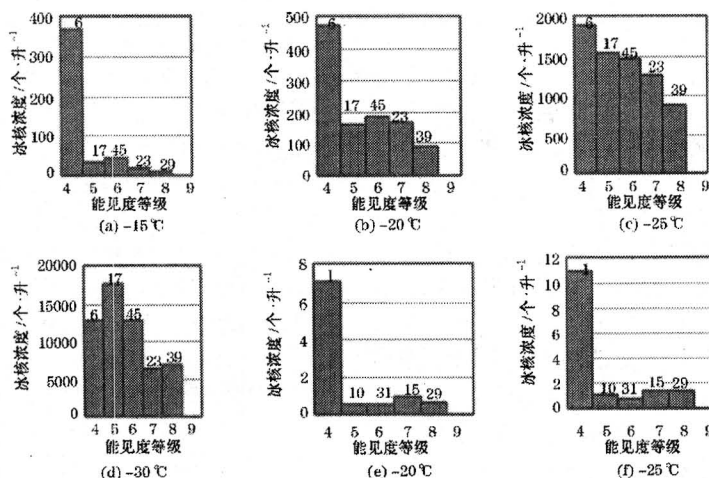


图1 北京地区大气冰核浓度与能见度的关系

(a、b、c、d为1995和1996两年混合云室平均测值,e、f为1995年扩散云室测值,直方框上方数字为观测到的次数)

2.3 冰核浓度与气压的关系

利用北京观象台每天08时的地面气压观测数据与逐日的冰核浓度做了统计,结果发现,在连续3年的同步观测期间,冰核浓度的变化与气压的变化存在相当好的反相关(图2)。分析认为:当测点处于高压辐散区,高空的较“干净”的空气对近地层的“脏”空气具有稀释净化作用,加之风的水平平流作用,

造成测点冰核浓度的降低。同理,当测点处于低压辐合区时,该测点观测到的应是来自近地层的气溶胶粒子,数密度增加,从而造成该测点的冰核浓度增加。可见,气压的高低可直接影响当地的冰核浓度及其水平、垂直输送和水平分布,是冰核浓度逐日变化剧烈的直接原因。

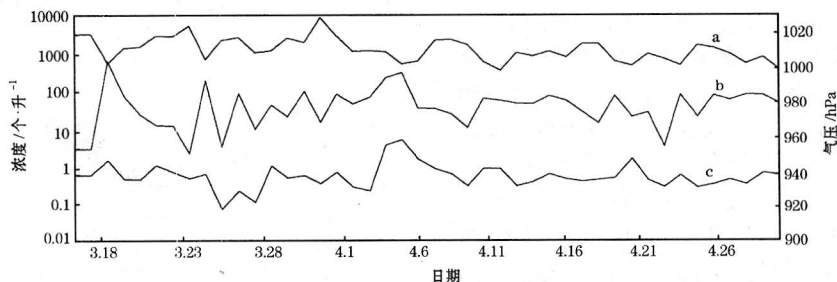


图2 1995年3月18日~4月30日北京地区大气冰核浓度随气压的变化

(a为气压,b和c分别为混合云室和扩散云室在-20℃时的逐日测值)

2.4 冰核浓度与风向的关系

将1995年的观测资料按风向16个方位,再把每个方位的平均冰核浓度作为一个

数据点,做出了冰核浓度的方向分布图。对于混合云室测值,得出了-15、-20、-25和-30℃温度下冰核浓度的方向分布。对于扩

散云室,仅在 -20 和 -25°C 检测了凝华核浓度。结果表明,该测点的冰核浓度与风向虽

有关系,但已不像1963年那样明显^[1](见图3)。

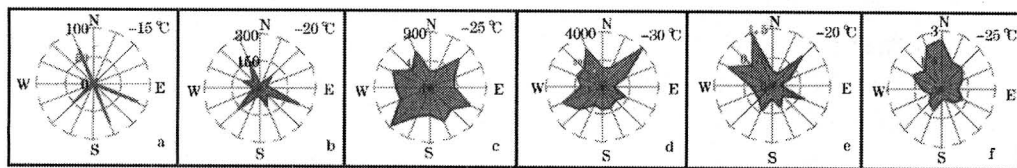


图3 1995年北京地区大气冰核浓度与风向的关系

(a,b,c,d为混合云室 -15°C , -20°C , -25°C , -30°C 测值,e,f为扩散云室 -20°C , -25°C 测值)

混合云室在 -15°C 时对来自东北向的气溶胶反应迟钝,但随着温度的降低,冰核浓度的增长速度快于其他方向,到 -30°C ,该方向为最大。对来自东南偏东方向的核浓度,随温度的降低,其增长速度明显减慢。这似乎是来自不同方向的气溶胶粒子具有不同的活化阈值。而扩散云室对来自西北、北和东北的气溶胶粒子反应较为灵敏。究竟是污染型的气溶胶中含有的凝华核少于沙尘型气溶胶中的凝华核数,或是 $0.45\mu\text{m}$ 孔径的滤膜不适宜观测污染型的冰核? Gerhard Langer 曾经得出过这样的结果——使用 $0.22\mu\text{m}$ 孔径的滤膜测定的冰核浓度比使用 $0.45\mu\text{m}$ 孔径的滤膜高4~7倍之多^[8]。

3 存在问题和分析

通过用两种云室对北京地区大气冰核浓度的同步观测,初步分析存在以下问题和应改进之处。

3.1 混合云室的温度和湿度控制

其温度控制采用了类似于家用冰箱的制冷系统。由于温度控制器的取样周期必须等于或大于压缩机断电后释放压力所需要的时间,而且云室壁有一定的热惯性,使得云室内的温度产生波动。对于增湿造雾,本次观测使用的人工吹汽和直接通雾两种方法,前者对云室温度和气样体积有扰动,有可能低估冰核浓度。后者对气样温度和体积的影响以及过冷雾的维持时间虽有改善,但所用超声雾化水必须经过严格蒸馏提纯和去离子处理才能使用。两种方法比较表明,用超声雾化器直接向云室通雾时,雾滴浓度和维持时间明显高于前者,其测定的冰核浓度比人工呼汽造雾的方法平均高3.2倍(如图4所示)。无论用那种造雾方法,到目前为止,如何避免

造雾产生的高度过饱和并实现对云室内湿度的测量和控制仍是一大难题。

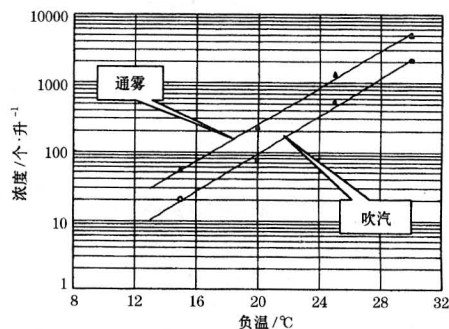


图4 人工吹汽与超声通雾的比较

3.2 静力扩散云室与气样容积

静力扩散云室虽能根据需要调控到较精确的活化温度和湿度,但它存在着随滤膜过滤空气体积的增大,所测冰核浓度有减小的趋势,即容积影响。图5给出了该次观测的混合云室测值与扩散云室测值之比随混合云室测值的变化。很明显,两者比值随混合云室测值的增大而增大,变化范围10~1000,而且温度越低,冰核浓度越高,这种影响就越严重。

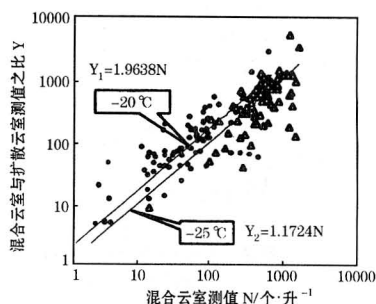


图5 扩散云室的体积效应

分析认为,这种影响是由于冰核争食云室中有限的水汽,致使较晚活化的或更小的

核不能在膜面上充分活化增长。另外,在增长着的冰晶周围存在的水汽消耗造成的水汽压降低区域(即冰晶水汽汇)更加剧了这种影响。在活化检测试验中,当水汽条件达到或超过水面饱和时,确曾观察到冰晶周围的水汽“干”区,该区域的大小和形状随冰晶的大小和形状而变,其区域范围约为冰晶的3~4倍。由此可推测,无论膜面上冰核分布密度如何,受这个水汽汇的影响有可能低估浓度测值,即使静力扩散云室也应适当控制取样容积的大小^[9]。凡是以使冰核沉降在平面上进行冰核检测的方法,要彻底消除这种影响似乎是不可能的。

4 小 结

(1)用两种云室测得的冰核浓度的日变化趋势一致,峰值值对应关系良好。在不同天气背景(如污染、降水、沙尘和晴空等)下冰核浓度均有明显的变化,而且这两种云室分别有变化程度不同的测值。扩散云室测得的凝华核平均为混合云室测值的0.88%。

(2)冰核浓度与当地气压呈相当好的反相关。气压是某地冰核浓度变化的直接原因(不考虑某种冰核源的随机入侵,如:局地污染等)。

(3)冰核浓度与风向和能见度之间没有明显的规律。来自不同方向的冰核似乎有不同的核化阈值。

(4)来自北京西北和东北的风沙以及城市污染物是该测点的重要冰核源地。

(5)混合云室可继续用于检测各种核化机制综合作用下的冰核浓度,但其温、湿度的测量和控制以及机械结构仍需进一步研究改进。扩散云室可单独模拟凝华机制,但它存在取样容积的影响。冰晶周围的水汽汇是造成容积影响的重要原因。

参考文献

- 游来光,石安英. 北京地区1963年春季冰核浓度变化特点的观测研究. 气象学报, 1964, 34(4): 548~554.
- Gabor Vali. Atmospheric ice nucleation—A review. J Rech Atmos, 1985, 19(2—3): 105—115.
- 章澄昌. 静力扩散云室中用滤膜测定自然冰核活化数的过饱和谱和温度谱. 南京气象学院学报, 1987, 10(1): 1~7.
- 游来光,杨绍忠,王祥国等. 1995和1996年春季北京地区大气冰核浓度的观测研究. 气象学报, 2002, 60(1): 101~109.
- 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(1): 91~100.
- 章澄昌编著. 人工影响天气概论. 北京:气象出版社, 1992: 10~29.
- 章澄昌,周文贤编著. 大气气溶胶教程. 北京:气象出版社, 1995: 1~31.
- Gerhard Langer, James Rodgers. An experimental study of the detection of ice nuclei on membrane filters and other substrate. J Appl Meteo, 1975, 14: 560—570.
- Rosinski J, Haagenson P L. On ice forming nuclei. Acta Meteorologica Sinica, 1991, 5(4): 497—513.

Observation of Ice Nuclei Concentration Using Mixing Cloud Chamber and Static Diffusion Chamber in Beijing

Yang Shaozhong¹ Wang Xiangguo² You Laiguang¹ Pi Jiaxiong¹

(1. Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081; 2. Chinese Meteorological Society)

Abstract

Ice nuclei concentration in the atmosphere is measured by both the Bigg mixing cloud chamber and the static diffusion chamber of processing Millipore filter samples at northwest suburb of Beijing from 18 March to 30 April 1995. The typical weather of clear sky, sandstorm, and heavy air pollution were encountered during these parallel observation. The data were obtained by mixing cloud chamber for -15°C , -20°C , -25°C and -30°C . 464 membranes sampled processed in the static diffusion chamber at -20°C and -25°C respectively under ice super-saturation condition. The data obtained from both devices was compared daily and the correlation with wind direction, surface visibility and atmospheric pressure is also analyzed.

Key Words: Bigg mixing cloud chamber static diffusion chamber atmospheric ice nuclei compare