

云室中两种检测冰晶方法的比较^①

鄯大雄

(中国气象科学研究院,北京 100081)

提 要

通过实验比较了在云室中检测冰晶的两种方法——糖盘法和玻片法,结果表明玻片法测到的冰晶数比糖盘高数倍。讨论了两种方法检测的上下限、优缺点及应用范围。

关键词: 云室 冰晶数 检测

引 言

自然冰核在冷云降水过程中扮演重要角色,人工冰核可作为催化剂用于人工增雨和抑制冰雹,因此冰核检测是云物理和人工影响天气工作的一项重要内容。冰核粒子的尺度大都在 0.01 至 $1\mu\text{m}$ 范围内,光学显微镜无法观测,尤其是它们的成冰特性只有当其活化产生了冰晶后才能显现出来。因此冰核检测首先要创造一个能使冰核活化的环境条件(通常是在维持负温的云室中制造过冷雾),让冰核在其中活化长出冰晶,冰晶的尺度比冰核大 2~3 个量级,能用光学显微镜观测甚至目测到,这样冰核检测便变为对云室中冰晶的观测计数。

云室中检测冰核有以下假设:一个冰核只活化一次,每次只产生一个冰晶;冰核在云室中的分布是均匀的,所产生的冰晶降落到云室底部的分布也是均匀的;云室中不存在由非冰核活化引起的冰晶增生过程,这些假设在一般情况下都能满足。成冰阈温高于云室温度的冰核在云室环境下会活化产生冰晶,但是这需要一定时间,冰晶的产生有先后之分,冰核在云室中所处的高度不同,冰晶形成后悬浮和增长的时间也不同,因此在云室底部检测到的冰晶的大小有差别。冰核检测不关心云室内局部的或瞬时的冰核空间浓度,而是让云室中冰核活化后产生的冰晶全部沉降下来,检测分布在云室底部的冰晶,便可换算云室体积内的冰核浓度。

检测冰晶的基本做法是接取云室中下落的冰晶(取样),对其进行准确计数。为了获取有代表性的资料,需注意两个方面的问题:一是取样和计数面积要足够大,或多个视野计数求出平均冰晶数,以除去冰晶分布的局地差异(虽然其分布总体上是均匀的但也存在差别)。二是取样时间要能覆盖云室中冰晶下落的全过程,如果冰晶产生的时间延续较长,则必须对冰晶进行多次连续取样,再累计求得全时段的冰晶总数。

检测冰晶有几种不同的方法。糖盘法:将盛有蔗糖溶液的盘子放在云室底部接取冰晶,冰晶掉进糖溶液中吸取溶液中的水分长大成可见的结晶,便可目测计数。玻片法:用预冷的显微镜载物玻璃片接取冰晶,取样后放入制冷的小盒(冷台)中,在显微镜下计数或照相。冰晶声学计数器:将悬浮有冰晶的空气抽入特制的玻璃管,在直径 1mm 左右的细管部分气流速度达到 $150\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,冰晶通过时会发出噼啪声,记录单位时间声响的次数,可换算冰晶浓度。前两种方法需人工判读,但比较直观明确;后一种能自动计数,但对大水滴也有响应,因而误差较大不常用。国内在多种小型混合云室中用糖盘法对自然冰核和催化剂进行过检测,取到过一批资料,它对催化剂的检测值离散较大,最大可相差两个量级。玻片法用于一些较大的云室,最近有些混合云室也开始用此法检测催化剂,检测值离散相对小一些。但是长期以来并未对这

^① 本工作系中国气象局科教司 2001 年度支持项目“冰核检测方法的研究”的一部分。

两种方法进行过直接比较。本文通过实验在同一条件下对它们检测冰晶的结果进行了对比,并对检测中有关问题进行了讨论。

1 两种常用方法的比较

1.1 实验及结果

实验在一个80升的混合云室中进行,云室高约40cm。云室降温到某预定负温,事先将预冷糖盘和载物片放置在云室底部盖好,用超声雾化器向云室中通雾约10秒钟,待雾在云室中扩散均匀冷却后,用捏泡法^①产生冰晶,冰晶长大在云室内光柱中出现冰晶闪烁时,去盖使糖盘和玻片同时暴露,对下落的冰晶取样,取样时间的长短视冰晶浓度而定。然后对糖盘和玻片上的冰晶分别计数,得到单位面积(cm^2)糖盘的冰晶数 N_T 和玻片上的冰晶数 N_B ,重复上述步骤共得到36对数据,舍去玻片上冰晶数仅为 $0.5/\text{cm}^2$ 的一组数据后绘制成图(见图1)。

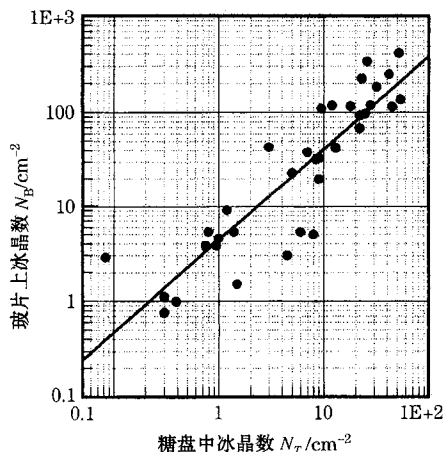


图1 小型混合云室中用糖盘和玻璃片对冰晶同时取样计数的对比

对35组数据按幂函数进行拟合,得到下式:

$$N_B = 4.415 \times N_T^{0.97}, \text{ 相关系数为 } 0.8808.$$

两种方法取到的冰晶数有较大的差别,而且图中各点有较大离散,玻片上的冰晶数一般为糖盘的4倍多。其原因值得进一步分析和讨论。

1.2 两种方法检测冰晶上下限的差别

主要从两种方法对冰晶平面密度的检测能力来考虑。

糖盘法:整个糖盘测到一个冰晶为其测

量冰晶的下限,因此测量下限是随糖盘面积而不同的;糖盘中冰晶密度达到 50cm^{-2} 为测量上限,因为冰晶太密,结晶体小,目测很难分辨,而且稍微增长就会连成一片。举一个典型的小型混合云室的例子:云室体积为10l,底面积为 200cm^2 ,当糖盘面积为 100cm^2 时,其测量冰晶浓度的下限可达到 0.02l^{-1} ;而测量冰晶浓度的上限则超不过 10^3l^{-1} 。因此糖盘法测量低浓度的冰晶比较敏感,但测量高浓度冰晶则受到限制。

玻片法:取样面积为几平方厘米,显微镜下观测的视野面积约1到几个平方毫米(随显微镜放大倍数不同而异)。在低冰晶浓度(如 $1\text{个}\cdot\text{cm}^{-2}$)下,观测几个视野也未必能碰到一个冰晶,需用显微镜扫描全部取样面积,测量的准确性也难保证,它的测量下限要比糖盘高2~3个量级。但是玻片法可分辨每个视野10~100冰晶(与冰晶大小有关),具有测量 $10^4\text{个}\cdot\text{cm}^{-2}$ 冰晶的能力,在上述同样条件下,测量上限能达到 $2 \times 10^5\text{l}^{-1}$,比糖盘法约高两个量级,因此玻片法更适合测量高浓度冰晶。

1.3 糖盘法的优缺点

优点:显现直观,取样面积较大,目测计数。

缺点:对使用技巧要求较高,容易造成误差或低估。具体说有下列方面:糖溶液浓度要随云室温度调整(见参考文献[1]),比较麻烦。糖盘虽放置在盛有乙二醇与水混合溶液的热容槽中(温度维持在 -12°C),但糖盘的温度并不均匀,特别是当云室温度低于 -12°C 时,糖盘边缘部分温度较低,往往容易先出现白色结晶。当糖盘温度高于云室温度时,靠近糖盘处有弱的上升气流,小冰晶有时不易掉进糖溶液中;糖溶液蒸发变浓时小冰晶也不易进入,这样都容易造成缺测。在糖盘中冰晶形成的结晶体是逐步增长的,随冰晶掉入时间不同结晶体的大小不一,若冰晶很多,结晶体增长会相互连接成片,需掌握好取样的时间,此前就应停止取样,并及时计数,而且要有另一个糖盘(或糖盘的另一部

^① 捏泡法是在云室实验中产生冰晶的常用方法,将包装用的塑料薄膜泡在云室中捏破,泡内空气先被压缩再冲破塑料膜突然膨胀冷却,使局地水汽均质核化产生一批冰胚,在湿环境下逐渐增长成为冰晶。

分)接替继续取样。先掉入糖盘的冰晶所形成的结晶体长大后,将占据糖盘一定的面积,等于缩小了取样面积,使后来掉在结晶体上的冰晶不能显现,造成漏测。糖盘震动会使结晶体变得模糊不清,也会造成目测计数困难,特别是当结晶体密度很高时。

1.4 玻片法的优缺点

优点:取样比较简单,适合于冰晶浓度较高的场合下使用,可在显微镜下直接观测冰晶,用一叠载物片能实现依次连续取样,得到冰晶数目、形状及大小随时间变化的关系,对于研究核化速率非常有用。

缺点:观测面积太小,不适用于检测低浓度冰晶。需配备显微镜和专用冷台,冷台温度应维持在 -10°C 以下,否则冰晶易融化。预冷的载物片只能在接取冰晶时才暴露在云室中,此前此后应尽量避免暴露在室内和云室环境中,否则玻璃片上会凝结大量小水滴,使取样后对小冰晶的辨认造成困难,操作上要特别注意。

2 结束语

上述实验和分析表明,两种方法有各自的特点,在同样条件下得到的检测结果确实存在差别。糖盘中观测到的结晶体是冰晶在糖溶液中增长形成的,是间接的方法,玻片法则是直接观测冰晶,两种方法检测冰晶的上下限有两个量级的差别。糖盘法操作比较复杂,容易缺测和漏测,用它检测催化剂成核率往往偏小是可以理解的。在选择使用这两种方法时首先要注意它们检测上下限的差别,检测低浓度冰核时(如自然冰核)可用糖盘法,检测高浓度冰核(如催化剂)宜用玻片法,如果用糖盘法检测催化剂,则必须将冰核气

溶胶充分稀释后再注入云室,否则冰晶太多会使检测难以进行,但稀释过多又会增加稀释误差。

本实验是在同一云室中进行的对比试验,对两种测量方法而言,各种产生误差的机会应是相等的。但是在冰晶产生和取样两个环节仍可能存在一些问题,捏泡法产生的冰晶初期呈丝缕结构,然后扩散到整个云室,如果在冰晶分布尚不均匀时过早取样,可能导致两种样品上冰晶数目的差别;糖盘和玻片的上盖多少留有缝隙,很难完全密闭,取样前有些小冰晶可能已经从缝隙漏入落在玻片上;打开和关闭上盖时有气流扰动,也可能影响落入的冰晶数。这些都会引起误差使实验数据离散加大。

本实验没有用人工冰核作试验,同时对云室温度也未刻意要求(温度范围在 $-13\sim-20^{\circ}\text{C}$),冰晶形状多为枝状晶,未能覆盖更高和更低温度下形成的冰晶形状(如针状、柱状、空间枝状等)。另外,这里结果是在特定的云室高度情况下得到的,云室的高度不同落入冰晶的大小会有差别,因此如果在另一高度不同的云室中作对比检测,其结果可能会有一些改变。尽管如此,实验得到的两种方法的差别是存在的,应该在今后冰核检测中引起重视。

致谢:本实验所用云室由关立友同志协助提供,蒋耿旺同志参加全部实验,孟迎春同志帮助制作一些实验器件,在此一并表示感谢。

参考文献

- 1 福建省气象局. 介乙醚的分散方法和成冰性能的初步探讨. 南京大学学报(自然科学版)(1), 1976.

Comparison of Two Methods of Detecting Ice Crystal in Cloud Chamber

Feng Daxiong

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

Abstract

Sugar solution and cooled glass slide are usually used to collect ice crystals in cloud chamber. The ice crystal counting numbers by using these two methods are compared in a small mixed cloud chamber. The results show that ice crystal number detected by glass slice is several times higher than by sugar solution. The upper and lower detecting limit of two methods are estimated. The merits and demerits, and the applied range of them are also discussed.

Key Words: cloud chamber ice crystal number detection