

# 黄河上游地区大气冰核浓度的观测研究

李 娟 黄 庚

(中国气象科学研究院人工影响天气研究中心, 北京 100081)

## 提 要

2000年8月在甘肃省玛曲县,利用 Bigg 型混合云室进行了四个温度下的大气冰核浓度的测量,分析了冰核浓度日变化的特点,以及随天气状况、气压等要素变化的关系。通过与北京、兰州、西宁等一些地区的观测结果的比较,可以看出在人为活动较少的玛曲,自然冰核和我国北方其他地区相比,接近于西宁、西安、北京(1963)和大连等地的浓度值,而比甸子山及北京 90 年代的观测值要少。

**关键词:** 大气冰核 云室 观测 分析

## 引 言

黄河是我国的第二大河,其上游地区的年径流量约为  $200 \times 10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ,占黄河年径流总量的三分之一。但是近年来,黄河上游来水量降至历史最低点。据统计,从 1991~1999 年,近 9 年黄河上游年平均径流量比前 36 年(1955~1990 年)的平均值减少<sup>[1]</sup>了  $150 \times 10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 。1997 年,黄河断流 7 次累计 222 天,严重影响了沿黄各省的工农业发展,因而人工增雨工作受到广泛关注。

2000 年 8 月,为了了解黄河上游地区云和降水形成的物理机制和人工增雨的微物理背景条件,我们在位于黄河第一个拐弯的玛曲县进行了大气冰核的测量工作。玛曲海拔 3471m。人迹稀少,基本上没有工业生产活动,因此空气洁净,能见度一般都能达到 30~60km。当地具有特殊的地理位置和地形条件,来自孟加拉湾和印度洋上空的暖湿气流及藏东、川西的低空水汽均能到达,其水汽通量与降水量均为青藏高原同纬度地区的相对大值区<sup>[2]</sup>,降水较多,常为夜雨。由于地处高原,夏季太阳辐射强烈,热力、动力的强迫造成大气的辐合上升运动,使大气层结常常呈现不稳定状态,多生成对流云, Cu、Cb、Ac、Sc 为主要云属。当地浓积云常连接在一起

形成浓积云群,并受南部山脊的动力性抬升而与山脉的走向一致。云底很平,离地高度大约在 800m 左右。当有系统过境时,多数情况下会形成持续时间较长的连续性降水。地面多为微弱的东风。观测点位于玛曲县城,选在盛行风的上风方,并注意附近居民生活用煤烧烟带来的影响,尽量减少局地人为污染的影响。

当地降水云云底温度较低,降水多为冷雨过程,因此冰晶过程是当地云产生降水的重要的微物理过程。大气冰核浓度是影响冰晶过程的重要因子,因此很多人在这方面进行了广泛的研究。此类工作在 1963~1974 年,我国先后在北京、兰州、西安、大连、白城、天津等 14 个地区进行过,1989 年 11~12 月赵仕雄等在西宁、格尔木用多种方法进行了对比观测。但是在本工作进行以前,还没有对高原地区大气冰核本底浓度的观测,因而这项工作是有一定价值的。

## 1 观测方法

观测采用的是 Bigg 型冰核计数器。仪器主体为混合型冷云室,云室有效体积为 3.05 升。云室底部是过冷糖液盘,糖盘置于盛满阻冻剂并可上下拉提的容器上,糖液中糖与水的质量比为 1:1。冷室外壁是蒸发盘

管,由制冷机通过蒸发盘管实现制冷降温,制冷下限温度为 $-30^{\circ}\text{C}$ 。云室内壁涂上甘油,以防结霜。抽取空气气样达到预定温度后通入饱和空气,形成过冷雾,过冷雾可维持2~3分钟。空气中的冰核活化后形成小冰晶落在糖盘上,长大至可目测计数的尺度后将糖盘拉起并读数,经过计算,可得冰核浓度。为了和其他地方(如北京,西宁)的资料作比较,也采用人工吹气造雾的方法。温度先降到 $-30^{\circ}\text{C}$ ,随云室自然升温,由低温到高温分别做 $-30$ 、 $-25$ 、 $-20$ 和 $-15^{\circ}\text{C}$ 这四个温度下的冰核浓度的观测。

## 2 资料处理

2000年8月4~20日每天观测两次,分别在09:30和15:00进行。共取了30次的观测资料。在各温度下进行观测实验时,每次测得的冰核个数实际上是该次该云室体积内所含有的冰核数目,将这个值与云室体积3.05升相比较,就可以得到每升空气中大气冰核的个数。另外,由于采样的气体体积只有3.05升,因此其检测浓度的下限为0.33个/升,即在该云室内只有一个冰核时的数浓度。为了提高其检测精度,在每个温度下都进行了两次实验,因此其检测浓度的下限可以达到0.16个/升。当两次实验都没有观测到冰核时,考虑到取样的灵敏度,将这次实验的值取为小于0.16个/升,并在图1、图2中用向下的箭头标出这些点。最后,将这30次的观测资料在四个温度下进行统计平均,得出各温度下大气冰核平均数浓度,并统计观测过程中出现的各温度下冰核浓度的最大值与最小值,见表1。

表1 各温度下大气冰核数浓度(个/升)的平均值、最大值与最小值

| 温度/ $^{\circ}\text{C}$ | 平均数浓度 | 最大数浓度 | 最小数浓度 |
|------------------------|-------|-------|-------|
| -30                    | 207   | 487   | 82    |
| -25                    | 73    | 222   | 5.64  |
| -20                    | 6.77  | 24.82 | 0.48  |
| -15                    | 0.85  | 5.08  | <0.16 |

### 2.1 大气冰核浓度的日变化

图2是将上午和下午的观测结果综合起来作的各温度下冰核浓度日变化曲线图(图中曲线下的向下箭头表示观测结果低于图中

表示的浓度)。由于玛曲天气状况变化不大,也基本上没有大范围的污染天气,因而日变化没有显示出很明显的特征。下午各温度下冰核浓度变化的差异比较明显,见图2。 $-15^{\circ}\text{C}$ 时冰核浓度的日变化最大,冰核浓度的最大值是最小值的30倍,而 $-30^{\circ}\text{C}$ 时这个比值仅为6倍,变化最小。这可能与高温核较大,在空气中易沉降有关。当风刮起尘土,各温度档的冰核都有所增加,但高温核停留时间很短,很快沉降,因而变化较大。

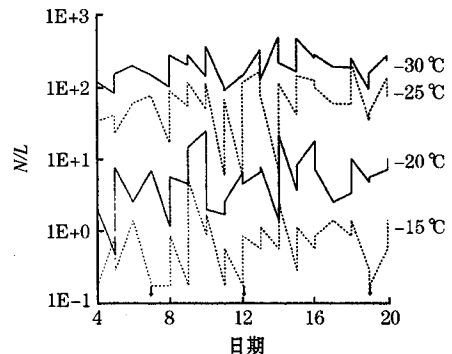


图1 各温度下冰核浓度的日变化

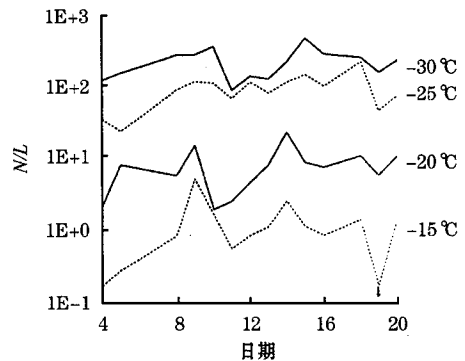


图2 下午各温度下冰核浓度日变化

### 2.2 平均冰核浓度随温度的变化以及对各谱参数的分析

表2为1989年在西宁<sup>[1]</sup>,1963年在北京<sup>[3]</sup>和90年代在北京<sup>[4]</sup>以及其他一些地区的观测结果,以 $-20^{\circ}\text{C}$ 的冰核浓度为代表。由于玛曲位于青藏高原,处于黄土高原的上风方,当地为牧区,基本上没有工业生产活动,大气受污染物影响程度较小,大气冰核浓度同西宁、西安、北京(1963)、大连等地的接近,而比北京(90年代)和甸子山的小。90年

代在北京的观测,由于观测其间出现过污染天气,因而可能测量的值偏大。

表2 我国各地不同时期-20℃冰核浓度

| 地点  | 时间          | 平均浓度(个/升) |
|-----|-------------|-----------|
| 玛曲  | 2000年8月     | 6.77      |
| 西宁  | 1989年11~12月 | 3.6       |
| 北京  | 90年代        | 75.9      |
| 北京  | 1963年       | 4.8       |
| 甸子山 | 1964年9~10月  | 17.4      |
| 兰州  | 1964年3~4月   | 11.1      |
| 大连  | 1964年3~4月   | 8.3       |
| 西安  | 1964年3~4月   | 6.1       |

大气冰核浓度随温度的降低一般具有指数式增加的规律。对玛曲的资料,将平均数浓度与温度用指数形式  $N = N_0 \exp(-bT)$  拟合,得关系式:  $N = 0.0035 \exp(-0.38T)$ 。平均冰核浓度的对数和活化温度的相关系数  $r$  为 0.98,可见它还是较好的符合指数式增

加的规律。图3为各地平均冰核浓度随温度的变化。结果表明,玛曲与北京两次观测结果的拟合曲线平行,与1963年在北京的观测结果很接近,比西班牙在1985年测的冰核浓度要小。世界一些地区的谱参数平均值见表3。

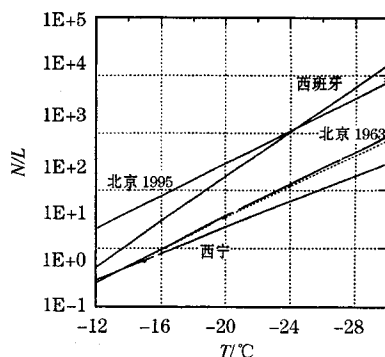


图3 各地区测得冰核浓度随温度的变化  
虚线为玛曲的观测结果

表3 各地冰核温度谱参数

| 地点  | 文献(年代)                                      | $N_0$ 个/升             | $B/^\circ\text{C}^{-1}$ | 温度范围    | 观测方法 |
|-----|---------------------------------------------|-----------------------|-------------------------|---------|------|
| 玛曲  | 李娟、黄庚<br>(2000)                             | 0.0035                | 0.38                    | -15~30℃ | 混合云室 |
| 西宁  | 赵仕雄等 <sup>[3]</sup><br>(1989)               | 0.009                 | 0.308                   | -15~30℃ | 混合云室 |
| 北京  | 游来光等 <sup>[2]</sup><br>(1995)               | 0.034                 | 0.395                   | -15~30℃ | 混合云室 |
| 北京  | 游来光等 <sup>[1]</sup><br>(1989)               | 0.003                 | 0.389                   | -15~30℃ | 混合云室 |
| 西班牙 | Perez <sup>[7]</sup><br>(1985)              | $1.00 \times 10^{-3}$ | 0.5349                  | -13~20℃ | 混合云室 |
| 亚洲  | Bigg and stevenson <sup>[8]</sup><br>(1970) | $1.95 \times 10^{-4}$ | 0.415                   | -10~20℃ | 扩散云室 |
| 非洲  | Bigg and stevenson <sup>[8]</sup><br>(1970) | $1.11 \times 10^{-4}$ | 0.432                   | -10~20℃ | 扩散云室 |
| 北美洲 | Bigg and stevenson <sup>[8]</sup><br>(1970) | $7.49 \times 10^{-5}$ | 0.434                   | -10~20℃ | 扩散云室 |
| 欧洲  | Bigg and stevenson <sup>[8]</sup><br>(1970) | $6.35 \times 10^{-5}$ | 0.438                   | -10~20℃ | 扩散云室 |
| 北美洲 | Hobbs et al. <sup>[9]</sup><br>(1985)       | $2.00 \times 10^{-4}$ | 0.300                   | -12~20℃ | 扩散云室 |

冰核温度谱参数  $N_0$  和  $b$  之间的关系又可以按指数式  $N_0 = A \exp(-Kb)$  拟合,各地谱参数  $A, K$  值见表4。玛曲的  $N_0$  和  $b$  的关系式为:  $N_0 = 62.25 \exp(-26.67b)$ , 相关系数  $r$  为 0.83。这表明  $N_0$  与  $b$  有负相关,  $N_0$  随  $b$  的增大而减小。同时随表列出的还有北京90年代、1963年以及甸子山在1964年观测

结果拟合的  $A, K$  值。可以看出都呈负相关。 $N_0$  和  $b$  的拟合曲线见图4(虚线为玛曲的拟合曲线)。玛曲的拟合曲线与1963年北京的资料接近,90年代在北京的观测结果拟合的相关线比玛曲的上移近10倍。

$N_0$  与  $b$  的负相关表明随大气冰核浓度的增大,高活性核比低活性核的增加更为明显,使冰核随温度降低而增加的趋势变缓,这

也从另一个角度说明低温下活化的冰核在大气中相对更为稳定。

表4 拟合参数  $A, K$  值

| 地点                 | 时间      | $A$   | $K$   |
|--------------------|---------|-------|-------|
| 玛曲                 | 2000年8月 | 62.25 | 26.67 |
| 北京                 | 90年代    | 695   | 26.52 |
| 北京                 | 1963年   | 31    | 25.87 |
| 甸子山 <sup>[6]</sup> | 1964年   | 7.51  | 19.50 |

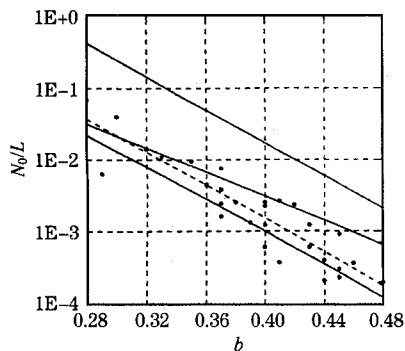


图4 从上到下依次为北京90年代、甸子山、玛曲及北京1963年的拟合曲线

## 2.3 冰核浓度与天气状况、气压的关系

### 2.3.1 天气状况对冰核浓度的影响

#### (1) 上午和下午的冰核浓度比较

分别统计上午和下午测得的四个温度下的冰核浓度,取其平均值,并作冰核的活性谱,如图5可以看出下午浓度比上午大,高温

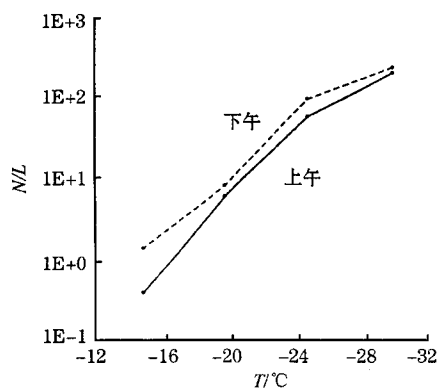


图5 分别为上午和下午各温度下平均冰核浓度随温度的变化

核更为明显。这可能是由于2000年玛曲的降雨不如往年丰沛,加之近年来草场退化,因而草原上裸露的浮土较多,在高原午后大风的作用下,一些沙尘被扬起来,其中可以作大气冰核的那一部分气溶胶粒子就导致了下午

的冰核浓度要比上午的略大。高温核一般较大,在有太风的时候才容易被吹起来,而且在空气中停留时间比较短,因而日变化较大。而低温核由于一般较小,在空气中能悬浮时间较长,因而日变化不是很大。表现在曲线图上就是低温段冰核浓度的日差别比高温段小。

#### (2) 晴天与阴天( $\geq 8$ 成云)的冰核浓度比较

冰核数浓度差别不大,晴天比阴天略少,见图6。这是几种作用综合起来的结果。在玛曲,阴天的时候一般都会下雨,由于下雨产生的冲刷作用使空气洁净,但阴天时观测点常处于低层辐合区,气压较低,有利于冰核的积聚,而对高温核,它的影响较为显著。但总的看来,在综合作用下,两者无明显差异。

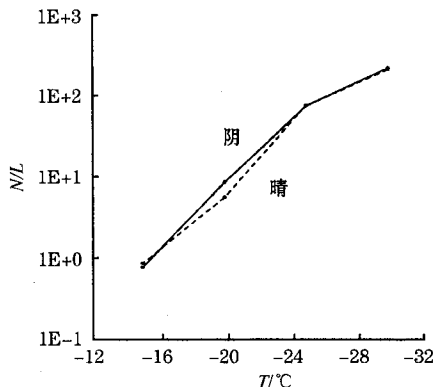


图6 分别为晴天和阴天时各温度下平均冰核浓度随温度的变化

### 2.3.2 冰核浓度与气压的关系

从整个天气形势来看,处于低压区时,空气辐合较强,有利于冰核的积聚,这是影响冰核浓度的直接因子。玛曲的分析结果见图7、图8,虚线从上至下为 $-30^{\circ}\text{C}$ 、 $-25^{\circ}\text{C}$ 、 $-20^{\circ}\text{C}$ 和 $-15^{\circ}\text{C}$ 时的冰核浓度。从整体趋势上看,高冰核浓度一般对应着气压的低值。8月8日,气压为一极大值,因而冰核浓度较低。8月10日傍晚有一低压系统经过本站并降雨,在图7、图8的大部分温度段下,都对应着冰核浓度的高值。14日,本站气压较高,因而在图示中,多数对应着浓度的低值。16日,气压降到一极小值,为667.0hPa,最大降压达到4.5hPa,因而在16日上午测量的

冰核浓度曲线图(图7)上,出现了一个峰值。当日10:25~14:30本站降雨,在雨水的冲刷作用下,下午的测值就偏低,见图8。17日系统移出本站,气压回升,最大升压达3.6hPa,冰核浓度就减小。

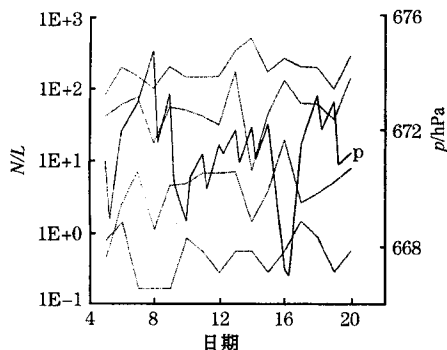


图7 上午测得的冰核浓度及气压的日变化

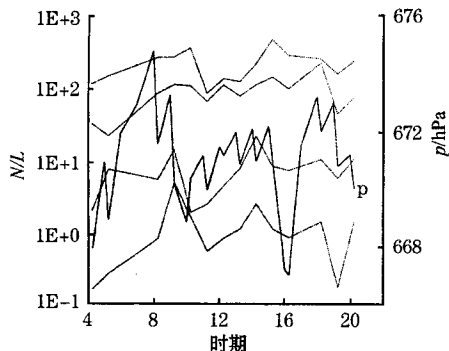


图8 下午测得的冰核浓度及气压的日变化

### 3 讨论和总结

(1) 玛曲是青藏高原上的牧区,基本上没有工业生产活动,空气相对洁净。当地大

气冰核浓度观测值同西宁(1989)、西安(1964)、北京(1963)和大连(1964)等地的浓度值接近,而比甸子山及北京90年代的观测值要少。

(2) 大气冰核的检测十分复杂,涉及云室内的温度、湿度和云雾等要素的检测,本文所用仪器采样的气体体积只有3.05升,也限制了它的代表性。但是通过类似监测方法的结果对比,仍能了解其时空变化的一般趋势。

### 参考文献

- 1 德力格尔. 青藏高原云和降水人工影响天气研究. 北京: 气象出版社, 2000年: 24~30.
- 2 青海省人工影响天气办公室编著. 青海省黄河上游人工增雨文集. 西宁, 1999年: 99~109.
- 3 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分析. 气象学报, 1964, 34(4): 548~554.
- 4 游来光, 杨绍忠, 王祥国, 皮家雄. 北京地区大气冰核浓度30年来的变化特征的初步研究. 待发表.
- 5 戴加洗. 青藏高原气候. 北京: 气象出版社, 1990年: 215~236.
- 6 河北省气象科学研究所云雾物理研究室编著. 大气中的冰核与冰雪晶. 石家庄: 河北人民出版社, 1980年: 20~59.
- 7 Allee Paul A. An ice nuclei concentration benchmark network, Proceedings of the WMO/LAMP Scientific Conference on Weather Modification, 499~506, Tshkent, 1-7 October 1973.
- 8 Bigg, E. K. and M. Stevenson. Comparison of concentration of ice nuclei in different parts of the World. J. Rech. Atmos., 1970, No. 2.
- 9 Bowdle, D. A. P. V. Hobbs and L. F. Radke. Particles in the lower troposphere over the High Plain of the United States, Part III: Ice nuclei. J. Atmos. Sci., 1985, 24, 1370~1376.

## Analysis of Observational Results of Content of Ice Nuclei in the Atmosphere in the Upper Reaches of Huanghe River

Li Juan Huang Geng

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

### Abstract

In August 2000, the content of ice nuclei in the atmosphere in Maqu area of Gansu Province was observed with mixing chamber. Then the feature of content' variation in the days different, weather conditions and pressures is analyzed. By comparison with the results of Beijing, Lanzhou City, Xining City and some other regions, the content of ice nuclei in Maqu area is less than those of some other regions, such as Beijing in the 90s and Lanzhou City. Moreover, the content in Maqu area is close to the result of Beijing in 1963.

**Key Words:** atmospheric ice nuclei chamber observation analysis