

乌鲁木齐冬季地面云凝结核观测结果

陈万奎 严采葵

(国家气象局气象科学研究所)

姚瑞平 王鼎丰

(新疆维吾尔自治区气象局)

提 要

本文分析了1983年11—12月在乌鲁木齐等地用Mee⁽¹⁾公司云凝结核仪观测的云凝结核资料,讨论了云凝结核数浓度日变化类型、来源,以及过饱和度核谱类型。

一、前 言

本文拟为新疆冬季人工增雪试验提供凝结核(以下简称CCN)背景数浓度和基本特征。

国内用Mee-130云凝结核仪观测始于1983年3月⁽²⁾。以后,在陕西、吉林、新疆、广东、内蒙、四川、北京等地进行了观测。本文给出了1983年11—12月在乌鲁木齐等地地面观测结果。

二、观测仪器和资料处理

测量仪器是Mee-130云凝结核仪。该仪器主要由热扩散云室和数据记录部分组成。扩散云室体积约30cm³,云室内相对于水面过饱和度 S 可随意调节,本文所用 S 变化范围是0.2—4%。对应的CCN最小半径为0.03 μm (不可溶粒)和0.006 μm (可溶硫酸盐核)。取样间隔时间分自动档(30、60、300秒)和手动档(可随意选取间隔时间)。最大记数浓度为19999cm⁻³。取样数据输出格式顺序是:扩散云室上板温度 T 、上下板温度差 ΔT 、CCN数浓度 N_0 。 N_0 需经过饱和度订正,订正后得出在给定过饱和度下的CCN数浓度 N :

$$N = N_0 / K(S)$$

$K(S)$ 为过饱和度订正因子,它与 S 对应关系列于表1。过饱和度 S 按下式计算:

$$S = \left\{ \left[3.105 \times \left(10^{\frac{7.5 \times T}{237.3 + T}} + 10^{\frac{7.5 \times (T - \Delta T)}{237.3 + T - \Delta T}} \right) - 6.110 \times 10^{\frac{7.5 \times (T - \frac{\Delta T}{2})}{237.3 + T - \frac{\Delta T}{2}}} \right] \right. \\ \left. \div 6.110 \times 10^{\frac{7.5 \times (T - \frac{\Delta T}{2})}{237.3 + T - \frac{\Delta T}{2}}} \right\} \times 100\%$$

表 1 S 与 K(S) 关系

| | | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| S(%) | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.0 | 1.2 | 1.4 | 1.6 | 1.8 | 2.0 |
| K(S) | 0.62 | 0.77 | 0.89 | 1.00 | 1.09 | 1.18 | 1.26 | 1.34 | 1.42 | 1.55 | 1.67 | 1.78 | 1.89 | 2.00 |

三、观测结果

测站设在地窝铺机场,其东南约 20km 为乌鲁木齐市中心区,东面约 15km 是石油化工总厂,西南约 14km 为八一钢铁厂(见图 1)。因而,吹东南风和偏南风时,测站均处于市区、工业区的下风方向。

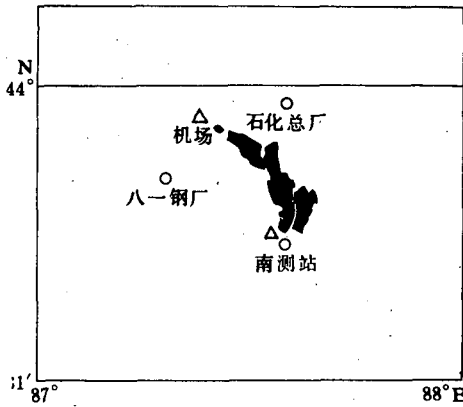


图 1 地窝铺测站位置图

(图中 Δ 为 CCN 测站, 阴影区为市区, \circ 为工业区)

1. CCN 数浓度 N 的日变化

按观测点地方时整点开始,观测 30 分钟,作为整点观测值。CCN 数浓度 N 的日变化有如下三种主要类型。

I 型: N 低值出现在 14 h (11 月 14 日、15 日(图 2a)、21 日),高值在 6—12 h、16—22 h 间出现。

II 型: N 从 6 h 到 16 h 不断增加,在 18—20 h 间可达高值(11 月 18 日、20 日(图 2b))。

III 型: N 从 6 h 到 14 h 不断减小,在 16—22 h 略有增加(11 月 19 日)或出现次高值(11 月 26 日(图 2c))。

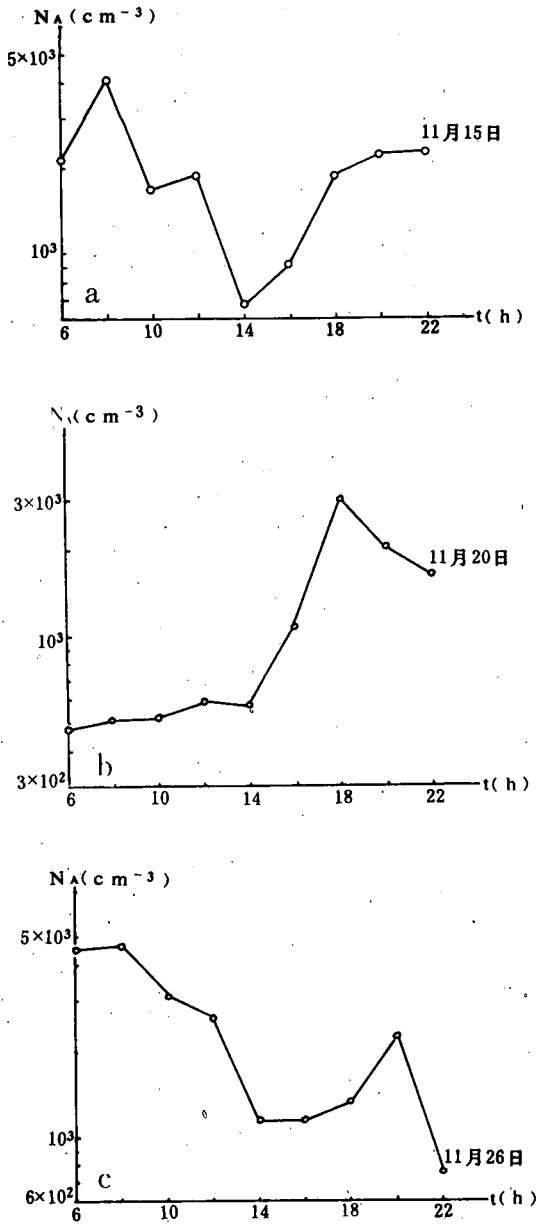


图2 CCN数浓度 N 的日变化类型
 (a) I型 (b) II型 (c) III型
 (横座标 t 指地方时)

上述日变化类型主要和低层风的日变化、大气乱流交换日变化、人类活动日变化密切相关。例如 I 型日变化, 14 点时由于日照, 地面增温, 低层乱流交换加强, 因而 CCN 向空间输送也加强, 使其不易在低层积聚; 其次, 中午燃煤取暖、工厂烟尘排放、交通车辆活动比早晚相对减少, 局地源强度减弱; 此外, 此时多对应偏北风, 外来源强度较弱, 造成了此

时 N 出现低值。而早、晚则相反,低层乱流交换减弱,燃煤取暖、工厂烟尘排放、交通车辆活动增加,有利于局地源强度增强,而且,此时地面多吹偏南风(测站位于城市、工厂区的下风向),故 N 出现高值。

对于 II、III 型日变化,低层风的影响最重要。II 型 N 值在 6—16 h 不断增加,对应于地面偏北风减弱,偏南风加强,偏南风挟带大量 CCN 到测站,使 N 值不断增加。在 18—20 h, N 出现高值是偏南风稳定控制的结果。III 型的日变化和 II 型相反,在 6—14 h 期间, N 不断减小,主要是偏南风不断减弱后转变成偏北风控制所致;而 16—22 h N 出现次高值,则对应于地面偏北风停息和转为偏南风。

2. CCN 数浓度 N 与风向的关系

表 2 列出了不同风向(以方位角表示)时 CCN 的几何平均浓度 $N_L = \sum_{i=1}^n \log N_i / n$, 算术平均浓度 $N_A = \sum_{i=1}^n N_i / n$ 和对应的标准方差 S_L^2, S_A^2 。

表 2 N 与低层风向的关系(S 为 0.4—0.6%)

| 风向(度) | 0~ 30 | 31~ 60 | 61~ 90 | 91~ 120 | 121~ 150 | 151~ 180 | 181~ 210 | 211~ 240 | 241~ 270 | 271~ 300 | 301~ 330 | 331~ 360 | C |
|-------------------------|----------|-----------|-----------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------|
| $N_L(\text{cm}^{-3})$ | 2.99 | 2.80 | 3.08 | 3.41 | 2.98 | 3.20 | 3.12 | 2.60 | 2.63 | 2.78 | 2.41 | 2.95 | 3.09 |
| $S_L^2(\text{cm}^{-3})$ | 0.29 | 0.14 | 0.39 | 0.09 | 0.36 | 0.19 | 0.27 | 0.32 | 0.24 | 0.44 | 0.68 | 0.25 | 0.28 |
| $N_A(\text{cm}^{-3})$ | 1185 | 656 | 1561 | 2598 | 1221 | 1725 | 1513 | 459 | 478 | 874 | 599 | 1000 | 1522 |
| $S_A^2(\text{cm}^{-3})$ | 748 | 211 | 1349 | 522 | 1062 | 638 | 659 | 310 | 211 | 708 | 688 | 481 | 1138 |

从表 2 看出:风向为 61~210 度时,测站位于市区、工厂区下风向, N_L 和 N_A 值均明显高于测站处于上风向(211~360~60 度)时的相应值。当风向为 31~60 度和 211~330 度时,测站几乎不受城镇和工厂源的影响, N_L, N_A 值最低。静风时虽不受城市、工厂源影响,但由于测站附近燃煤取暖、生活排放的烟尘和来自机场的车辆排放废气的影 响, N 值也相当高,有时接近受市区和工厂区影响时的测值。

当风向改变时,特别是测站处于市区、工厂区上、下风向交换时, N 变化明显。如 11 月 26 日 20 h, 风向 160 度、风速 2 m/s, 测站受市区影响, $N_A = 2300 \text{ cm}^{-3}$, 22 h 时风向 290 度, 风速 2 m/s, 测站不受市区、工厂影响, N_A 减小为 770 cm^{-3} 。又如 11 月 18 日, 10 h 风向 240 度, 风速 1 m/s, 测站不受市区、工厂影响, N_A 为 240 cm^{-3} , 14 h 时风向 210 度, 风速 2 m/s 测站受八一钢铁厂影响, N_A 增高为 1250 cm^{-3} 。

3. CCN 数浓度与核源强关系

图 3 给出了 12 月 2 日在市区南约 7 km 处 N 的观测结果。该测站四周开阔,没有居民区,其南约 2 km 处有一热电厂(以下简称南测站,见图 1)。当测站吹偏北风时,受市区烟尘影响,低层能见度变坏,当 S 为 0.5—0.6% 时, $N_L = 3.04 \text{ cm}^{-3}$, $N_A = 1214 \text{ cm}^{-3}$, 吹偏南

风时,热电厂烟尘被气流挟带影响该测站,数浓度明显增高, $N_L = 3.71 \text{ cm}^{-3}$, $N_A = 5442 \text{ cm}^{-3}$ 。可见热电厂烟尘比市区烟尘中含有更丰富的 CCN,其算术平均数浓度高出约 3.5 倍。为了弄清热电厂和市区核源强度大小,分析比较了南测站和机场测站平均测量结果。由于机场测站比南测站离市区和热电厂远,若市区 CCN 源强大于热电厂源强,并假定 N 随核源距离增加而减小,那末受市区(包括热电厂)影响时(假定源强不变),远离市区的机场测站 N 值应低于南测站,至少不应高于南测站。实测表明:机场测站在受市区和热电厂共同影响时(风向 91—180 度) $N_A = 1740 \text{ cm}^{-3}$,高于仅受市区影响时南测站测值(N_A 为 1210 cm^{-3})。这些事实表明:热电厂具有比市区更大的 CCN 源强,离它越近数浓度越大,吹偏南风时,南测站 N_A 测值(仅由热电厂核源供给)比机场测站(受热电厂、市区核源共同影响)的 N_A 值高出约 2.1 倍。因而,研究热电厂 CCN 源对乌鲁木齐冬季低云形成的作用、人工影响低云,改善大气环境是有实用意义的。

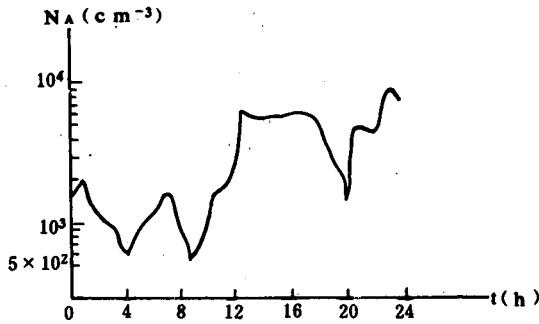


图 3 12 月 2 日南测站 N 值日变化

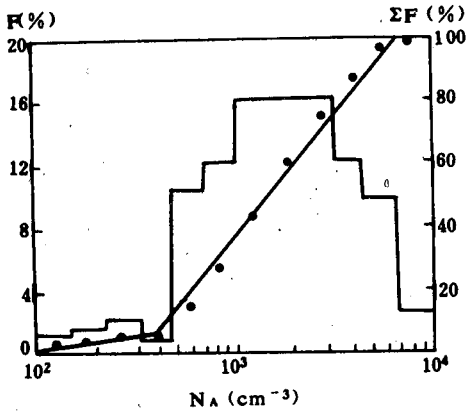


图 4 N_A 频率分布

(直方图为 N_A 频率分布,折线为累计频率分布)

在远离市区和工厂区的达板城(位于市区东南约 75 km)测得的 N_A 明显降低,大多低于 10 cm^{-3} ,最大数浓度(S 为 0.5—0.6%)仅 140 cm^{-3} 。在吐鲁番郊区东坎测得的 N_A 值更低,最大数浓度 78 cm^{-3} 。上述事实表明:达板城、吐鲁番常年少云地区,背景云凝结核浓度亦低。

4. CCN 数浓度 N 的频率分布

观测表明,不同测站的 N 测值不同,同一测站 N 值变化亦很大。如机场测站测得的 N 极端值相差最大达 3 个量级。将 S 为 0.5—0.6% 时的 N_A 值按等对数间隔分档(每个量级等分为 6 个等对数间隔),250 组平均

测值 N_A 的对数频率分布绘于图 4,它近似于正态分布。浓度累计频率分布趋势在 N_A 值为 $100—480 \text{ cm}^{-3}$ 范围内增加缓慢,占总数的 6%,和 Hobbs^[3] 在美国高平原地区观测到的 A 型谱(即低值云凝结核数浓度)相似,但其频率比 Hobbs^[3] 结果明显偏低(低 44%)。在 N_A

为 $481-10000 \text{ cm}^{-3}$ 范围内,数浓度累计频率增加很快,占总频率数的 94%,和 Hobbs^[3] 的 B 型谱相似(即高值云凝结核数浓度),但频率比文献[3]结果高 44%。

我们也将不同 N_A 值范围内累计频率分布的两种类型分别称为 A、B 型。A 型谱几何平均数浓度 $N_{A_g} = 2.32 \text{ cm}^{-3}$, 标准偏差 $S_{A_g} = 1.6 \text{ cm}^{-3}$ 。B 型谱 $N_{B_g} = 3.59 \text{ cm}^{-3}$, $S_{B_g} = 2.8 \text{ cm}^{-3}$ 。 N_{B_g} 比 N_{A_g} 高出 1.27 倍。这比 Hobbs^[3] 的对应值大许多,这可能表明乌鲁木齐地区云凝结核数浓度与美国高平原地区有很大差异。

5. CCN 数浓度 N 与 S 的关系

对 S 为 0.2—4% 范围内的 N 测值与对应的 S 值进行相关分析表明,其关系可用幂指数关系拟合:

$$N = ES^K$$

相关系数 R 多数高于 0.8, 相关显著水平 $\alpha \leq 0.01$ 。各参数值列于表 3。

表 3 用 $N = ES^K$ 拟合结果

| 观测日期 (月:日:时:分) | 风向 (度) | 风速 (m/s) | 资料 份数 | 相关系数 R | E (cm^{-3}) | K | S |
|-------------------|-----------|-------------|----------|-------------|-----------------------------|------|----------|
| 11:10:12:40 | c | | 34 | 0.90 | 1826 | 1.78 | 0.2—1.3 |
| 13:30 | c | | 40 | 0.95 | 1901 | 0.96 | 0.2—1.5 |
| 22:00 | c | | 25 | 0.86 | 2038 | 1.32 | 0.2—0.6 |
| 11:11:00:00 | c | | 31 | 0.89 | 488 | 1.70 | 0.2—2.1 |
| 10:00 | c | | 25 | 0.96 | 3714 | 0.67 | 0.2—1.7 |
| 20:20 | c | | 26 | 0.98 | 2724 | 0.83 | 0.2—1.9 |
| 12:00 | 25 | 2 | 25 | 0.95 | 1495 | 0.94 | 0.2—1.6 |
| 7:40 | 150 | 2 | 28 | 0.91 | 837 | 1.51 | 0.2—1.5 |
| 11:23:10:00 | 170 | 1 | 156 | 0.94 | 2540 | 0.54 | 0.2—3.9 |
| 11:25:9:20 | 190 | 1 | 50 | 0.94 | 4675 | 0.98 | 0.2—1.4 |
| 11:10:20:00 | 210 | 3 | 33 | 0.98 | 1636 | 1.24 | 0.2—2.0 |
| 22:20 | 210 | 2 | 27 | 0.97 | 2807 | 0.88 | 0.2—1.9 |
| 11:11:18:00 | 310 | 2 | 31 | 0.91 | 1224 | 0.91 | 0.2—1.8 |
| 16:00 | 315 | 3 | 35 | 0.96 | 1287 | 0.86 | 0.2—1.8 |
| 14:00 | 330 | 3 | 30 | 0.71 | 1844 | 0.85 | 0.2—1.9 |
| 12:14:7:20* | c | | 83 | 0.86 | 2392 | 0.74 | 0.2—2.2 |
| 12:16:9:30 | c | | 56 | 0.79 | 3134 | 0.75 | 0.4—1.6 |
| 11:35 | c | | 48 | 0.92 | 4537 | 1.51 | 0.25—1.1 |
| 13:45 | c | | 50 | 0.88 | 3944 | 0.84 | 0.5—2.1 |
| 16:00 | c | | 54 | 0.81 | 4582 | 0.92 | 0.5—1.6 |
| 17:50 | c | | 54 | 0.80 | 4769 | 0.63 | 0.4—1.5 |
| 20:00 | c | | 76 | 0.54 | 2922 | 0.51 | 0.2—1.5 |
| 22:00 | c | | 23 | 0.84 | 4146 | 1.15 | 0.5—1.0 |

注: * 为吐鲁番城区观测结果

6. 参数 E 、 K 的频率分布与核谱类型

由表 3 看出,不同时刻参数 E 、 K 值并不相同。这表明不同气团、不同时间内核谱类型不同。因此,很难用常数来表征 E 、 K 值。为此,分析了 E 、 K 变化范围和频率分布,并按不同的 E 、 K 值进行了核谱分类。

E 值变化范围为 $488\text{--}4769\text{ cm}^{-3}$, 主要出现在 $1470\text{--}4800$ 间, 占总数的 83% ($19/23$)。在等对数间隔频率分布中不呈正态。

K 值的频率分布也不呈正态, 其值在 $0.51\text{--}1.78$ 间变化, 大多小于 1, 约占总数的 70% ($16/23$), 其中 $0.6\text{--}1.0$ 的占 61% ($14/23$), $0.8\text{--}1.0$ 占 43% ($10/23$); 大于 1 的 K 值只占总数的 30% ($7/23$)。

E 、 K 值明显偏离 Twomey^[4] 测值, 对于大陆气团, Twomey 测得 $E=6000\text{ cm}^{-3}$, K 值为 $0.2\text{--}0.5$ 。本文测值和 Hobbs^[3]、Hill^[5] 测值相近。为了便于比较, 采用 Hobbs 在 [3] 中给出的大陆、过渡、海洋型核谱分类标准, 乌鲁木齐地区大陆型核谱 ($E\geq 2200\text{ cm}^{-3}$, $K<1$) 占 47.8% ($11/23$), 过渡型核谱 ($1000<E<2200\text{ cm}^{-3}$, $K>1$) 占 13.0% ($3/23$), 没有测到海洋型核谱 ($E<1000\text{ cm}^{-3}$, $K<1$), 但有中等 E 低 K 型核谱 ($1000<E<2200\text{ cm}^{-3}$, $K<1$)、低 E 高 K 型核谱 ($E<1000\text{ cm}^{-3}$, $K>1$) 和高 E 高 K 型核谱 ($E>2200\text{ cm}^{-3}$, $K>1$), 它们的出现频率各为 21.7% ($5/23$)、 8.7% ($2/23$) 和 8.7% ($2/23$)。由此可见, 乌鲁木齐地区大陆性核谱占优势, 表明了大陆性气候特点, 约点 $2/5$ 的其它类型核谱的存在可能和局地核源影响有关。

四、结 论

1. CCN 数浓度 N 的日变化有三种主要类型, 当地时间 14 h N 出现低值, $6\text{--}12$ 、 $16\text{--}22\text{ h}$ 出现高值是其中的一种类型。

2. CCN 数浓度 N 的变化范围很大, 极值相差可达 $1\text{--}3$ 个量级。数浓度频率接近对数正态分布。其中低值数浓度型 ($N_A\leq 480\text{ cm}^{-3}$) 频率很小, 仅占 6% , 高值数浓度型 ($N_A>480\text{ cm}^{-3}$) 频率高, 占 94% 。对应的几何平均数浓度相差 1 个量级。

3. CCN 数浓度 N 与低层风向密切相关, 当风向来自市区、工厂时, CCN 数浓度明显增高。离市区、工厂越近, 数浓度越高。

4. N 与 S 的关系可用幂指数关系 ($N=ES^K$) 拟合。根据参数 E 、 K 取值, 乌鲁木齐地区过饱和和核谱可分为高 E 低 K ($E\geq 2200\text{ cm}^{-3}$, $K<1$) 的大陆型谱, 占总数 47.8% , 中 E 高 K 的过渡型谱 ($1000<E<2200\text{ cm}^{-3}$, $K>1$) 占总数的 13% , 没有海洋型核谱, 但有高 E 高 K , 中 E 低 K 、低 E 高 K 型谱, 共占 39.1% 。

参 考 文 献

- [1] Cloud condensation nucleus counter operation and maintenance manual MEE INDUSTRIES. INC., 1974.
- [2] 陈万奎、马培民, 四川春季一次层状云宏观特征和降水机制, 气象科学研究院院刊, 1, 1, 1986.
- [3] Hobbs, P. V., D. A. Bowdle and L. F. Radke., Particles in the lower troposphere over the high plains of the united states, Part II: Cloud condensation nuclei and deliquescent particles; *J. Climate. Appl. Meteor.*, 42, 1358—1369, 1985.

- [4] Fletcher. N. H. ,The physics of rainclouds, Cambridge University Press, Cambridge. p. 386, 1962.
- [5] Hill. T. A. ,et al. ,An airborne study of the microphysical structure of cumuls clouds, *Quart. J. R. Met. Soc.* , 111, 517—544, 1985.

OBSERVATION RESULTS OF CCN DURING THE WINTER OVER URUMQI REGION

Chen Wankui Yan Caifan

(*Academy of Meteorological Science, SMA*)

Yao Ruiping Wang Dingfeng

(*Xinjiang Meteorological Bureau, Xinjiang Autonomous Region*)

Abstract

In this paper, the CCN features during November to December of 1983 measured by Mee-130 instrument were analysed. The CCN diurnal variation types, the effect of wind on CCN and the CCN supersaturation spectra were discussed.