

# 天气气候分析 黄河上游云凝结核观测研究

黄 庚 李淑日

(中国气象科学研究院,北京 100081)

德力格尔 李仑格 王黎俊

(青海省人工影响天气办公室)

## 提 要

分析了2000、2001年8月在黄河上游的玛曲~河南县利用美国Mee公司的130型云凝结核计数器观测的资料,讨论了凝结核的谱型,浓度随饱和度、天气状况及一些气象要素变化的关系,通过与其它地方观测结果比较,可以看出在地表植被较好的黄河上游牧区,人类活动、污染较少,其自然凝结核少,浓度与青岛的测值相近,与海洋过饱和核谱型接近。

**关键词:** 云凝结核 凝结核计数器 观测 分析

## 引 言

在黄河上游地区人工增雨的预研究中,为了了解该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2000、2001年8月,在黄河第一个拐弯的玛曲县和河南县进行了凝结核、冰核的测量。凝结核的存在是大气中发生凝结现象的必要条件,大气中的气溶胶粒子通过其对水的相变作用而影响云的微物理结构和降水过程,大气中的冰核的数量影响冷云降水过程,而云凝结核的数量影响暖云降水过程。人类活动排放的气溶胶粒子影响了大气和气候,凝结核增加了云的水滴数量和含水量,增加云的反照率而影响辐射。因此,世界各国都开展凝结核观测研究,我国先后在北京、内蒙古、新疆、吉林、陕西、广东、四川等地开展了观测研究。

黄河上游的玛曲、河南地区,地处青藏高原东麓,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>[1]</sup>。夏季太阳辐射强烈,有近4000米高大面积的动力强迫,产生大量的积云,不仅有较好冷云降水条件,还有暖云降水现象,那些环绕弥漫山腰的云雾,常常受逆温层的限制,长时间滞留在山腰、山谷或地面上,异常潮湿,牧草挂满水珠,有时有阵雨或毛毛雨,加上被植被析出的水汇成涓涓细流,滋润牧草,成为当地重要水源。因此,观测研究凝结核,研究黄河上游暖雨过程有现实意义。

## 1 观测的程序和资料的处理

凝结核的观测是应用美国Mee公司的130型云凝结核(CCN)计数器,其工作原理是将空气样品抽入密闭的扩散云室,利用不同温度下的水面之间有温度梯度和水汽密度梯度,由于云室上下底面均维持在水面饱和水汽压,则水汽由暖的表面向冷的表面扩散,而在这两水面的中间,可形成一定的过饱和度,水汽就会在凝结核上凝结出一个个小水滴。水滴对激光束的散射强度与水滴浓度成

正比,经高灵敏度光检测器的检测,得到的散射光电信号自动转换为滴浓度,也就是凝结核浓度。其饱和度可通过上下板温差  $\Delta t$  在  $0\sim 10^{\circ}\text{C}$  间随意调节,调节范围在  $100\%\sim 104\%$ ;上板温度  $T$ 、上下板温差  $\Delta t$  和凝结核浓度  $N_0$  可自动或手动控制,并在面板上显示,  $N_0$  可测范围为  $0\sim 19999$  个  $\cdot\text{cm}^{-3}$ 。采样间隔时间有 30 秒、1 分钟、5 分钟三档。玛曲观测点距地约 10m;河南的观测点则在地面,均在盛行风的上风方,并注意到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。

采样前,先检查云室、水室的洁净及蒸馏水水量,清污,换足清洁蒸馏水,然后预置、采样。玛曲采用手动采样,每天采样 6 次,时间为 08、11、14、17、20、23 时,每次采样 20 组,  $\Delta t$  预置  $3.5^{\circ}\text{C}$ ,采样间隔时间为 1 分钟;这可反映一种饱和度下不同时段云凝结核(简称 CCN)的浓度分布,共采样 1180 次。河南县自动采样,每天上午、下午和晚上采样 3

次,每次  $\Delta t$  预置  $2、4、6、8^{\circ}\text{C}$  四档,采样间隔时间为 1 分钟,每次采样 80 组(每个  $\Delta t$  20 组);这可反映不同饱和度下不同时段 CCN 的浓度分布,共采样 3600 次。

CCN 浓度订正:仪器出厂时,CCN 浓度是按  $\Delta t$  为  $3.5^{\circ}\text{C}$ ,过饱和度  $S$  为  $0.5\%$  时校准的,如  $\Delta t$  不是  $3.5^{\circ}\text{C}$  和过饱和度  $S$  不是  $0.5\%$  时,CCN 浓度须进行订正。其方法是由每次采样得到 3 个数据:  $T、\Delta t、N_0$  (订正前凝结核浓度),由  $T、\Delta t$  查表<sup>[2]</sup> 得出过饱和度  $S$ ,由  $S$  查出订正因子  $S^t$ ,订正后的浓度  $N = N_0 S^t$ ;或直接用下面的过饱和度公式<sup>[3]</sup> 由温度计算  $S$ ,再由  $S$  查表 1,得出  $N = N_0 S^t$ 。

$$S = \left( (3.105 \times (10^{\frac{7.5 \times T}{237.3+T}} + 10^{\frac{7.5 \times (T-\Delta t)}{237.3+T-\Delta t}}) - 6.110 \times 10^{\frac{7.5 \times (T-0.5 \times \Delta t)}{237.3+T-0.5 \times \Delta t}}) \div 6.110 \times 10^{\frac{7.5 \times (T-0.5 \times \Delta t)}{237.3+T-0.5 \times \Delta t}} \right) \times 100\%$$

表 1 S 与  $S^t$  的关系

S	0.1	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	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	4.0
$S^t$	0.45	0.62	0.77	0.89	1.0	1.09	1.18	1.26	1.34	1.42	1.55	1.67	1.78	1.89	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.55

## 2 观测结果

### 2.1 凝结核浓度

黄河上游河南、玛曲地区的 CCN 浓度,在  $0.12\%\sim 3.5\%$  过饱和度时,平均为  $8.2\sim 81.3$  个  $\cdot\text{cm}^{-3}$ ,极大值为  $1775$  个  $\cdot\text{cm}^{-3}$ ,极小值为 0。其中  $N$  为  $20\sim 30$  出现的频率最大,占总数的  $30\%$ ,  $N$  为  $10\sim 20$  的次之,占  $23\%$ ,  $N > 1000$  的不足  $1\%$ 。在青藏高原东部,1995 年 4 月 17 日曾用 FSSP 飞机探测晴天的气溶胶,600m 高处平均浓度为  $1.25 \times 10^6$  个  $\cdot\text{m}^{-3}$ ,2800m 高处平均为  $2.32 \times 10^6$  个  $\cdot\text{m}^{-3}$ ,比相应高度的其它地方少 2 个量级<sup>[4]</sup>。看来这里近地层的气溶胶、云凝结核和冰核<sup>[5]</sup> 浓度都偏小,比其它地方少。这里是牧区,地表为牧草覆盖,多水泽,人烟稀少,

没什么工业,空气清新,除人们生活烧烟外,大气的污染物少,因此近地层大气中的气溶胶、CCN 和 IN 浓度相对较少;但在一般情况下,它们的浓度是随高度减少的,测站接近 4000m,其 CCN 与北京<sup>[6]</sup> (4000m 时 109)内蒙古<sup>[7]</sup> (3700m 时 25)和青岛<sup>[8]</sup> (2000m 时 25)相应高度的测值,还是相当的。

河南县与玛曲县相邻,两地的 CCN 浓度相当。河南县在玛曲县西北约 60km,年均雨量少 50mm,水泽湿地少,CCN 平均浓度是玛曲的 2 倍,在  $0.5\%$  过饱和度下,是玛曲的 1.4 倍。

CCN 浓度的昼夜变化为早晚大,中午小(如图 1 所示)。这种分布与一般的地区相反,但与辐射变化相一致。这里车辆少,白天

与夜晚,人类和牛羊对环境的影响差别不大,可能大气层结的影响较大;夜晚、早晨短波辐射弱,长波辐射强,多静风,地表冷却快,常形成逆温层,逆温层限制了大气中的气溶胶粒子向高空传输,使逆温层内的气溶胶粒子浓度变大,造成了凝结核相对较多;午后,太阳辐射强,乱流加强,气溶胶粒子向高空传输加强,地表面气溶胶粒子相对减少,凝结核相对较少。

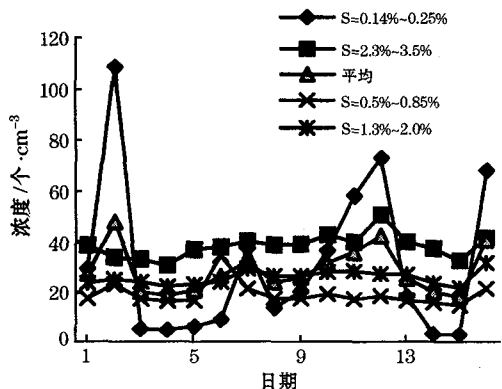


图1 逐日不同饱和度下的CCN浓度

### 2.2 凝结核浓度的逐日变化

图2为河南县2001年8月四个 $\Delta t$ 及平均CCN浓度的逐日变化曲线。观测期间,遇到雾2天,烟雾1天,风沙1天,雨及零星小雨9天。如图2,久旱后的8月2日形成辐射雾(7月份旱,仅降雨30多毫米),CCN浓度是日均最高值。3~5日晴,是日均最低值,之后时晴时雨,CCN浓度上下起伏。8月12日早上有雾,下午风沙,CCN浓度出现高值,还溢出,污染较重。13~15日,晴,CCN又回落到低值。16日,冷锋过境,CCN出现高值。16天内出现3个峰值有2个含雾(其中1个含雾和风沙),1个短时小雨。总的来看,在黄河上游的玛曲~河南地区,晴天对应CCN的低值,风沙、久旱后的雾天、零星小雨和西北移近锋面对应CCN的高值,但雨后的蒸发雾和雨天CCN相对为低值。从总的平均来看,雾天最高,雨天次之,晴天最低(表

2)。这里地势高,雨天的测值相当于云底,一般情况下,云下是CCN的大值区。从昼夜的变化看,早晚高,14时低(图1);那些受逆温的影响,有雾的早上CCN浓度最大,比最低的大一千倍。

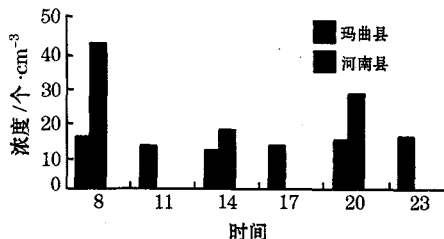


图2 黄河上游凝结核的昼夜分布

### 2.3 凝结核浓度与饱和度、温度的关系

过饱和度 $S$ 与测量温度 $T$ 、上下板温差 $\Delta t$ 有关, $\Delta t$ 的大小反映了饱和度的大小。据测量,当 $\Delta t$ 为 $2^\circ\text{C}$ 时, $S$ 的范围为 $0.12\% \sim 0.25\%$ ,当 $\Delta t$ 为 $4^\circ\text{C}$ 时, $S$ 为 $0.5\% \sim 0.85\%$ ,当 $\Delta t$ 为 $6^\circ\text{C}$ 时, $S$ 为 $1.3\% \sim 2.0\%$ ,当 $\Delta t$ 为 $8^\circ\text{C}$ 时, $S$ 为 $2.3\% \sim 3.5\%$ 。在温度相同或相近时 $S$ 大,CCN浓度也大,如 $\Delta t$ 为 $6^\circ\text{C}$ 时CCN的平均浓度是 $\Delta t$ 为 $4^\circ\text{C}$ 时的1.5倍, $\Delta t$ 为 $8^\circ\text{C}$ 时CCN的平均浓度是 $\Delta t$ 为 $4^\circ\text{C}$ 时的1.9倍(图3),但却是 $\Delta t$ 为 $2^\circ\text{C}$ 时的1.2倍,这是由于不能同时测量不同 $S$ 下的CCN浓度,08时先测 $\Delta t = 2^\circ\text{C}$ 时的值,早上常有逆温,CCN一般较高,天气状况的影响掩盖了饱和度的影响,造成了上午 $\Delta t = 2^\circ\text{C}$ 时饱和度低却凝结核浓度高的现象。

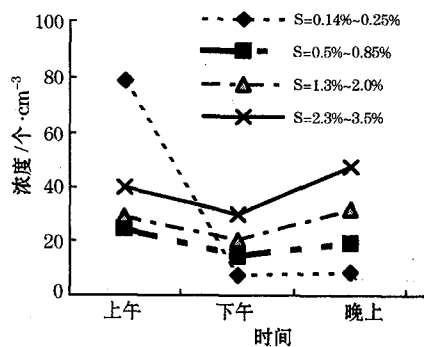


图3 不同饱和度下的CCN浓度

图4是温度与凝结核浓度的相关演变图,观测表明,气温低时,上板温度也低,饱和度和相对会高,凝结核浓度也高,CCN浓度与温度反相位,CCN的峰值对应温度的谷,在相同的饱和度下,更是如此,CCN浓度与温度反相关。

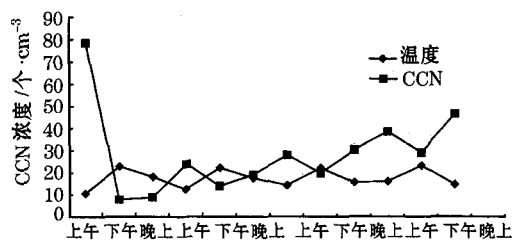


图4 温度与CCN浓度

#### 2.4 凝结核浓度与能见度

能见度受大气中气溶胶浓度(含凝结核)变化的影响,一般情况下,能见度随CCN浓度的增加而减小,反相关,在风沙和久旱后形成的辐射雾使能见度变坏时,这种关系最明显,如8月2日和8月12日,能见度300m左右,CCN浓度明显地高;但雨后的蒸发雾使能见度变坏,这种关系就不那么明显,如8月8~9日的能见度好于14日,CCN浓度却高于14日;显然影响能见度的不仅仅是大气中气溶胶粒子的光学尺度和浓度,还与大气的湿度密切相关,观测研究表明,影响CCN浓度的可能主要是大气中所含亲水粒子的含量。

#### 2.5 凝结核浓度与风

风对大气中凝结核的影响,不总是始终如一的,同一风向风速,其凝结核含量可相差100倍,风的来向既包含着不同地域气团的影响,也包含了山头、地物对风改变的影响。表2是不同风、天气下观测的平均结果。可以看出,对黄河上游的玛曲、河南地区凝结核影响较大的第一是静风,其次是偏北风;河南静风出现最多,其次是偏东风。静风常与雾、逆温层相关,早晚常常出现,其平均凝结核浓度也大;偏北风常与北方干、冷气团相联系,

CCN浓度较大。一般情况下,同一种风的风速增大,CCN浓度会增大。

表2 黄河上游地区不同风与天气的CCN浓度(个·cm<sup>-3</sup>)

	雾	小雨	晴天	偏东风	偏南风	偏西风	偏北风	静风
平均浓度	169.3	29.3	14.4	16.0	16.5	15.1	21.3	40.2

#### 2.6 凝结核浓度与冰核浓度

凝结核与冰核(IN)基本上是同时进行观测,图5为CCN与IN浓度的逐日分布。由图可见,除14~15日外,CCN与IN浓度的演变基本一致,8月2日是久旱后大雾,CCN与IN都是高值,14日晴,晚上有烟雾,15日雨,都可能使CCN浓度减少,但IN的浓度相对变高,说明期间大气的凝结核少,能成为冰核的却不一定少。

黄河上游地区的CCN、IN比其它地方少,在区域内,河南县的CCN、IN都比玛曲县的高,在-15~-30℃四个温度里,其IN的测值是玛曲的1.5~6倍。黄河上游地区的CCN浓度约比IN浓度高3个量级。

#### 2.7 参数E、K与核谱类型

对过饱和度S范围内的测值N可用幂指数 $N = ES^K$ 拟合并按E、K值进行核谱分类。不同气团、不同时间的核谱的参数E、K是不同的。黄河上游地区的CCN,在S为0.14%~3.5%的4780次观测中,E变化范围为0~1879个·cm<sup>-3</sup>,E为20~30的占30%,峰值>100的占4%,>1000的不足1%;K<1的占74%,K>1的占25.5%。

Hobbs<sup>[9]</sup>曾根据E、K值把核谱分为大陆型( $E \geq 2200\text{cm}^{-3}, K < 1$ )、过渡型( $1000 < E < 2200, K > 1$ )、海洋型( $E < 1000\text{cm}^{-3}, K < 1$ )三种类型核谱。依此标准,黄河上游地区的过饱和和核谱,E<1000cm<sup>-3</sup>,K<1的占74%,低E高K(E<1000cm<sup>-3</sup>,K>1)的占25%,高E低K(E>1000cm<sup>-3</sup>,K<1)的不足1%。可见,在低饱和度下,高原牧区的核谱以低E低K为主,是一种海洋型核谱。

在乌鲁木齐<sup>[3]</sup>冬季观测的结果表明,大陆型为主的核谱( $E \geq 2200 \text{cm}^{-3}$ ,  $K < 1$ )占47.8%,过渡型核谱( $1000 < E < 2200$ ,  $K > 1$ )占13.0%( $E < 1000$ ,  $K < 1$ ),无海洋型核谱( $E < 1000 \text{cm}^{-3}$ ,  $K < 1$ ),表明冬季影响乌鲁木齐的大陆性气候特点,与黄河上游地区的有明显的不同。

### 3 小结与讨论

(1)黄河上游地区的气溶胶、云凝结核、冰核浓度与其它相应高度的地方相近。

(2)黄河上游河南~玛曲地区在0.14%~3.5%过饱和度时的CCN浓度,平均为8.2~81.3个 $\cdot \text{cm}^{-3}$ ,极大值为1775个 $\cdot \text{cm}^{-3}$ ,极小值为0;自然凝结核少,浓度与青岛的测值相近,其过饱和核谱参数 $E < 1000 \text{cm}^{-3}$ ,  $K < 1$ ,占74%,多属海洋型核谱。

(3)当地大气中的凝结核浓度受气团性质、逆温、饱和度和诸多天气因素的影响。

(4)用130型云凝结核计数器测定时,室壁的吸附及CCN在云室内的凝聚都可能使其测值减少,此外电压低使仪器功率变小等,都可能影响到它的代表性;但通过检测分析,

仍能了解其分布变化的一般趋势。

### 参考文献

- 1 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,1999:99~109.
- 2 Cloud condensation nucleus counter operation and maintenance manual MEE INDUSTRIES. INC., 1974.
- 3 陈万奎,严采繁等.乌鲁木齐冬季地面云凝结核观测结果.应用气象学报,1990,1(4):369~376.
- 4 李仑格,赵世雄等.春季青藏高原东部大气气溶胶微物理特征分析.12<sup>th</sup>全国云、降水物理和人工影响天气科学讨论会文集,1966.10,107.
- 5 李娟,黄庚.黄河上游地区大气冰核浓度的观测研究.气象,2001,27(11):8~12.
- 6 郭恩铭.云和冰雹云物理基础.北京:气象出版社,1989:11~12.
- 7 王鹏云,何绍钦等.气象科学技术集刊(9),北京:气象出版社,1989:11~20.
- 8 章澄昌.人工影响天气概论.北京:气象出版社,1992:20~22.
- 9 Hobbs. P. V., D. A. Bowdle and L. F. Radke., Particles in the lower troposphere over the high plains of the united states, Part 2: Cloud condensation nuclei and deliquescent particles, J. Climate Appl, Meteor., 1985, 42, 1358~1369.

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

Huang Geng Li shuri

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

De Ligeer Li Lunge Wang Lijun

(Weather Modification Office of Qinghai Province)

### Abstract

By using the data measured by Mee-130 instrument in August 2000 and 2001, respectively in Maqu-Henan area in the Upper Reaches of Huanghe River, the CCN features of content variation, supersaturation, visibility, wind and weather conditions are discussed. By comparison with the results of some others regions, the content of natural condensation nucleus in the grasslands of Qinghai-Xizang Plateau is less than others, such as Qingdao the sea types with the CCN supersaturating spectra.

**Key Words:** cloud condensation nuclei (CCN) condensation nuclei counter observation analysis