

华北地区云凝结核的观测研究^{* 1}

石立新^{1,2} 段 英^{1,2}

1 河北省人工影响天气办公室, 石家庄, 050021

2 河北省生态环境监测实验室, 石家庄, 050021

摘 要

利用连续气流纵向热梯度云凝结核仪对中国华北地区空中和地面的云凝结核(CCN)进行了观测研究。2005年秋季和2006年春季的飞机观测结果表明,华北地区的CCN主要来源于地面,近地层CCN浓度较高,CCN浓度随高度增加而减少;CCN的分布与地面源地密切相关,污染地区乡村上空CCN浓度比无污染地区乡村高5倍以上,而污染城市上空的CCN浓度无显著差异;水平穿越淡积云云簇时云内CCN明显减少,表明云对CCN的消耗作用。2005年夏季石家庄地面CCN观测显示,同一过饱和度(S)下的CCN浓度差异很大,在 $S=0.1\%$ 、 0.3% 和 0.5% 下的最小值分别为584、808和2431个/ cm^3 ,最大值分别为9495、16332和21812个/ cm^3 ;CCN有明显的日变化,06时以后浓度开始上升,上午至中午前后达到极大值,下午浓度下降,原因可能是由于上午汽车排放以及光化学产物开始增加所致;降水对CCN具有冲刷作用。本文根据关系式 $N=CS^k$ 拟合得到的空中和地面的CCN活化谱参数 C 值明显较大(大于1000), k 值较高(约0.7),表明华北地区CCN具有大陆性特征。

关键词: 华北,云凝结核,观测。

1 引 言

随着社会的不断发展,人类活动对自然环境产生了深刻影响。除了气候的自然波动外,大量证据表明,人类活动对天气和气候尤其是局地天气和气候变化起到了重要作用,如热岛效应、光化学烟雾等。人类活动可以通过 CO_2 、粒子、云量、臭氧、排放的热量以及地表覆盖的改变等形式来无意识地影响天气和气候,其中大气中的粒子——气溶胶能够通过云、辐射和降水的作用影响天气和气候。

大气气溶胶作为云凝结核(CCN)通过改变云的微物理和辐射特性可以间接影响气候。其一为Twomey效应,气溶胶粒子的增加导致云滴浓度增加,在云中液态水含量一定时会减小云滴的有效半径。增加的云滴浓度增加了云的光学厚度,从而增加了云的反射率^[1-3];其二为Albrecht效应,由于较小的云滴长大成雨滴需要更长的时间,云滴尺度的减小抑制了从云到降水的过程,从而延长了云的维

持时间,同时也降低了气溶胶的清除效率,增加了行星短波反照率^[4]。

研究表明,云滴数量在很大程度上与CCN浓度有关^[5]。Twomey等^[6]分析了典型海洋性和大陆性气团中过饱和度与CCN浓度的关系,发现CCN在大陆气团内一般比海洋气团内要丰富。Squires^[7]指出高浓度的CCN可以抑制碰并降水过程(暖雨)的发生。而冷雨过程也会受到CCN的影响,Mitchell^[8]发现降雪率与云滴尺度呈线性关系,而云滴尺度则是CCN的函数。模式研究表明,热带地区CCN浓度的增加改变了降雨产生的高度和机制^[9]。吸湿剂云催化试验结果表明云底的CCN和滴谱与降水效率相关,对降水的定量预报和全球变化问题都具有重要的实际意义^[10]。

近年来随着人们对全球变化的关注和相应研究的增加,云物理的研究也开始向辐射特性方向发展^[7],其中CCN是决定云辐射特性的一个重要因素。然而由于对控制人为气溶胶地理和垂直分布、

* 初稿时间:2006年9月5日;修改稿时间:2007年2月8日。

资助课题:国家自然科学基金项目(40475003)和河北省自然科学基金(D2005000593)。

作者简介:石立新,主要从事大气物理研究和人工影响天气工作。E-mail:shilixin@xinhuanet.com

传输等过程缺乏充分的了解,估算气溶胶所产生的直接和间接辐射强迫作用存在着很大的不确定性^[11],这种不确定性很大程度上归因于对气溶胶的云滴核化特性认识不足。因此开展 CCN 的观测对研究天气和气候变化具有重要意义。

目前国际上对 CCN 开展了许多观测研究,如 Snider 等^[12]在西班牙无污染和中度污染的地区上空进行 CCN、气溶胶和云滴的观测;Hitzenberger 等^[13]1997—2000 年在欧洲阿尔卑斯山利用 CCN 仪研究了 CCN 的分布规律;2002 年美国 CRYSTAL-FACE 利用气溶胶探头和新的 CCN 仪器进行了气溶胶与 CCN 的飞机观测;日本的 APEX 计划(1999—2005 年)中也包括了对于 CCN 和气溶胶的飞机观测试验。但是国际上对于污染严重特别是人口在百万以上的城市开展 CCN 的地面观测和研究则非常匮乏。

中国对 CCN 的研究主要是游来光等在“北方层状云人工降水试验研究”中于 1983—1985 年利用 MEE-130 型 CCN 仪进行的观测研究^[14-15]。1994—1995 年宁夏曾使用该仪器在贺兰山地区开展了 CCN 的观测^[16]。由于 MEE-130 存在标定等许多困难,目前该仪器早已停止生产和使用。自 20 世纪 80 年代以来中国工农业生产和城乡建设出现了飞速发展,人类活动对环境的影响日益突出^[17-20]。而由于缺乏观测 CCN 的专门仪器,新的社会发展时期中 CCN 在不同地区、不同季节、不同天气背景下的时空分布特征及其云物理效应和与环境关系的观测、研究在中国目前尚处于空白状态。

华北地区是中国北方重要的经济中心,其中石家庄是中国 113 个重点城市中空气污染较为严重的城市之一^[21-22]。因此开展华北地区尤其是石家庄市上空及其地面 CCN 的观测对于研究人为排放对环境的影响具有典型的代表性。

2 仪器和观测

2.1 仪器

对 CCN 的测量最早使用的是化学梯度扩散云室^[5],以后发展为静力热梯度云室。早期的云室全部采用静态影像技术处理粒子数据,20 世纪 70 年代开始出现采用粒子光学计数的连续气流云室。目前仅有少数发达国家为数不多的研究飞机上安装了 CCN 仪,内部多为连续气流热梯度云室。河北省人

工影响天气办公室 2004 年从美国引进机载云物理探测仪器并改装了一架 Cheyenne III A 飞机,其中测量 CCN 的装备是 DMT 公司(Droplet Measurement Technologies,美国)生产的 CCN 仪(DMT CCN Counter)。

DMT CCN 仪的主要结构见图 1,其核心部分是一个高 50 cm、内径 2.3 cm 的圆柱形连续气流纵向热梯度云室(图 1 中 Column)。云室上、中、下部分别安放了热敏元件(RTD)以精确测量温度,通过上、中、下部的 3 组热电制冷器(TEC)分别控制上、中、下部温度,使云室温度上低下高,形成一定的温度梯度。云室内壁维持一定量的水流以保持湿润。由于从云室内壁向云室内部的水汽扩散比热扩散快,因而在云室的垂直中心线区域达到最大的过饱和度(过饱和度以下简称为 S)^[23]。环境空气进入仪器后被分为采样气流和鞘流两部分。经过过滤和加湿、没有气溶胶粒子的鞘流环绕在采样气流周围进入云室,可以把采样粒子限制在云室垂直中心线区域。采样粒子在设定的过饱和度下活化增长,活化后的粒子进入云室下面的光学粒子计数器(OPC)腔体。OPC 内照射激光的波长为 660 nm,通过粒子侧向散射计算得到活化的 CCN 粒子尺度和个数(探测的最小粒子直径 0.75 μm)。该仪器还内置了一套计算机系统并配备了触摸式显示屏,可以实时处理、记录和显示各种数据。使用 LabView 编写的操作软件在内嵌式 Windows XP 下运行,可以方便地设置 S 等有关物理量并对仪器参数进行动态监测。通过 RS-232 串口可以把数据传输到其他计算机,还可以通过 USB 接口连接其他存储设备。

利用已知粒子分布的多分散 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 气溶胶对该仪器进行校验,在云室总气流率为 500 cm^3/min 和温差为 5℃下($S=0.26\%$)测量得到的 CCN 浓度与预计值非常一致,两者达到了 1:1 的关系($r^2=0.81, n=26$)^[23]。Roberts 等^[24]在 2004 年使用 DMT CCN 仪与安装在同一架 King Air 飞机上的美国 Wyoming 大学静力热梯度 CCN 仪(采样时间间隔 40 s)进行了水平飞行对比观测($S=0.2\%$)。结果表明,两种仪器的观测结果是比较一致的,最佳拟合直线的斜率为 1.055($r^2=0.673$)。

DMT CCN 仪在飞机和地面均可使用,设置的 S 范围为 0.1%—2.0%。可以设置单一 S 进行连续测量,也可以设置最多 5 个不同 S 进行连续循环

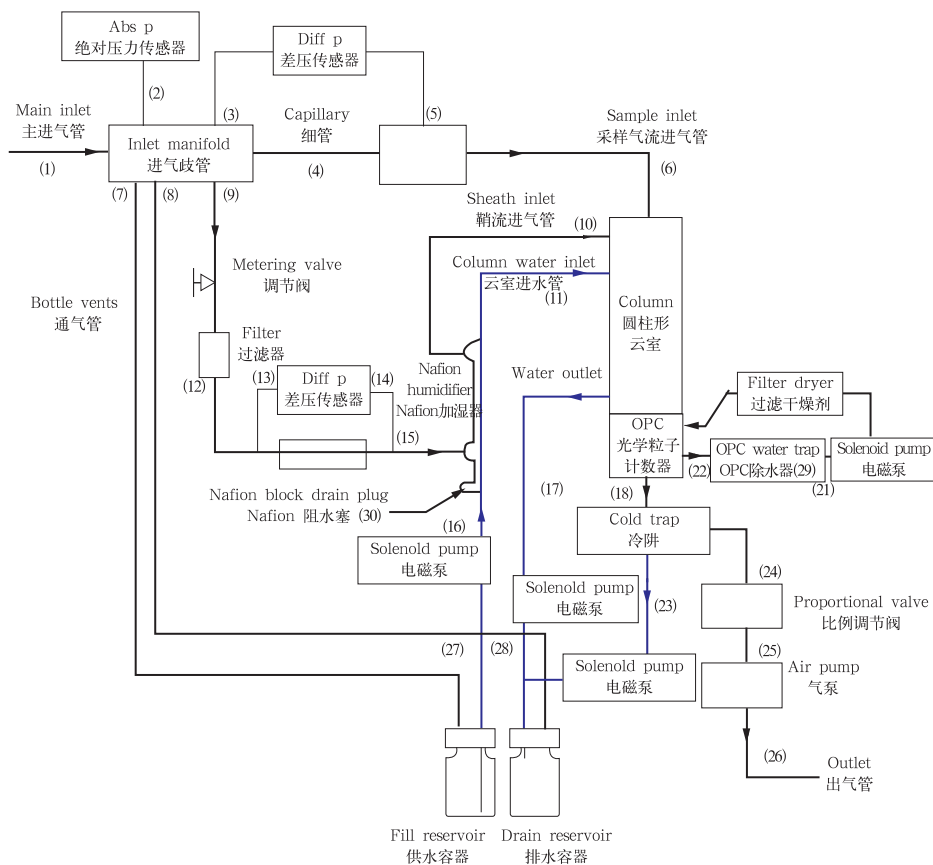


图 1 DMT CCN 仪主要结构示意图

Fig. 1 The main structure schematic diagram of DMT CCN counter

测量,计数频率为 1 Hz。仪器主要参数见表 1。

表 1 DMT CCN 仪主要技术参数

Table 1 Main parameters for DMT CCN Counter

过饱和 度范围	云室总 气流率	最佳鞘流和采 样气流率比例	采样 频率	测量粒 子尺度
0.1%—2.0%	500 cm ³ /min	10:1	1 Hz	0.75—10 μm

2.2 飞机观测

观测使用的 Cheyenne III A 是双发涡轮螺旋桨飞机,改装云物理探测仪器后的飞行上限为 8 km。2005 年 9—10 月和 2006 年 3 月,河北省人工影响天气办公室利用改装后的 Cheyenne III A 在中国华北地区上空进行了 CCN 的飞机观测,取得了近 20 架次的资料。飞机观测采用盘旋上升、下降和不同层次平飞的方法,观测高度为 500—8000 m。观测设置的 S 主要为 0.3%。

2.3 地面观测

2005 年 6—8 月,使用 DMT CCN 仪对石家庄市的地面 CCN 进行了定点观测。观测地点位于石

家庄市中心区域东南部的河北省气象局 16 楼平台,附近主要为居民生活区。采用 S 循环测量(0.1%, 0.3%和 0.5%)以及 S 分别在 0.2%和 0.3%下测量的方式,针对 CCN 的日变化和降水对 CCN 的影响开展了连续观测。

3 华北地区空中 CCN 特征

图 2 为 2005 年 10 月 21 日石家庄市上空的一次垂直探测结果。该日 08 时 500 hPa 高空华北地区为西北气流控制,石家庄处于地面高压底部的偏东气流中(天气图略),低空有一层 Sc。从图 2 中可以看出,CCN 主要集中于近地层到 3500 m 左右,3500 m 以上浓度很小,表明 CCN 主要来源于地面。这与中国早期得到的对流层内近地层 CCN 浓度较高、浓度随高度增加而减少的观测结果是一致的^[15]。

为研究污染地区与无污染地区的 CCN 分布,2005 年 10 月 7 日对石家庄附近乡村上空(38°19′—38°37′N,

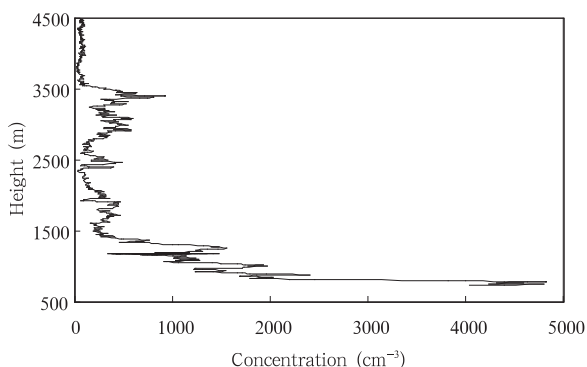


图2 石家庄市上空 CCN 的垂直分布
(2005 年 10 月 21 日, $S=0.3\%$)
Fig. 2 Vertical distribution of CCN over
Shijiazhuang City (21 October 2005, $S=0.3\%$)

114°34'—114°40'E)和张家口坝上乡村上空(41°04'—41°11'N, 114°41'—114°46'E)的 CCN 垂直分布进行了同架次晴空对比观测。该日华北地区 500 hPa 高空处于槽后西北气流中,地面受中心位于河套中央的稳定高压控制,观测两地天气晴朗。飞机观测 Sc 云层,表明 1900—2500 m CCN 浓度显著减少(图 2)。图 3 表明,石家庄污染地区乡村上空的 CCN 明显高于张家口坝上无污染地区乡村上空,浓度差异达 5 倍以上。

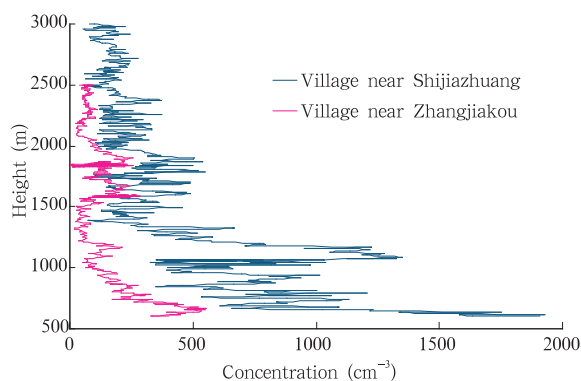


图3 石家庄附近乡村和张家口坝上乡村
上空 CCN 的垂直分布
(2005 年 10 月 7 日, $S=0.3\%$)
Fig. 3 Vertical distributions of CCN over the
villages near Shijiazhuang and Zhangjiakou
(7 October 2005, $S=0.3\%$)

邯郸同样是中国 113 个重点城市中空气污染较为严重的城市之一^[21-22]。2005 年 10 月 17 日在河北中南部的石家庄和邯郸城市上空进行了同架次晴空对比观测。该日 08 时河北 500 hPa 高空受较弱的西北气流控制,地面在张家口北部形成一个稳定

的高压,观测两地均为晴天,但低空空气污染都较重。观测表明(图 4),两城市上空的 CCN 浓度都是随高度递减。除近地面石家庄 CCN 比邯郸稍高外,两城市上空的 CCN 浓度垂直分布无显著差异。

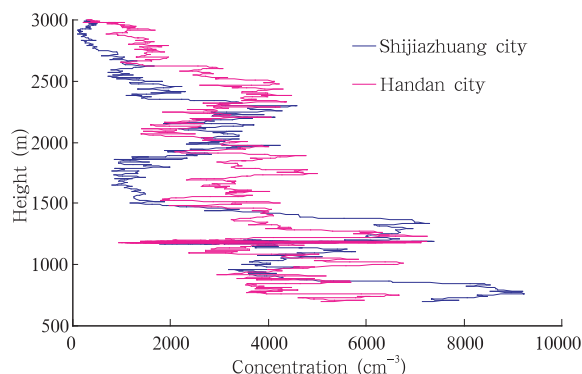


图4 石家庄和邯郸市上空 CCN 的垂直分布
(2005 年 10 月 17 日, $S=0.3\%$)
Fig. 4 Vertical distributions of CCN over
Shijiazhuang City and Handan City
(17 October 2005, $S=0.3\%$)

为研究云内外 CCN 的变化,2005 年 10 月 7 日在张家口地区进行了水平穿越淡积云云簇的观测,云滴浓度根据 PMS(Particle Measuring Systems, 粒子测量系统)FSSP-100ER 探头测得。云内的 CCN 浓度明显减少,表明云中的一部分 CCN 可以活化成为云滴,从而导致云内外 CCN 的显著差异(图 5)。

CCN 的活化谱根据如下公式进行拟合^[25]

$$N = CS^k$$

式中 N 为某一过饱和度下的 CCN 浓度, S 为过饱和度(取百分比的数值表示), C 和 k 为参数。

图 6 为 2005 年 10 月 17 日在邯郸地区 3000 m 高度水平飞行时 $S(0.1\%, 0.3\%$ 和 $0.5\%)$ 循环观测的结果。2006 年 3 月 26 日河北 500 hPa 高空处于偏西气流中,下午地面处于弱高压后部和低压前部,天气为晴到少云。在河北中南部地区 3000 m 高度水平飞行、 S 循环观测 ($0.1\%, 0.2\%, 0.3\%$ 和 0.5%) 所拟合的 CCN 活化谱为(图 7)。

$$N = 1830S^{0.84}$$

图 7 还给出了其他地区 3000 m 高度附近^[26-27]和边界层内^[28]的 CCN 活化谱。北冰洋地区受人为影响较小, C, k 值都很低;阿联酋处于海湾地区,但观测位于工业区上空, k 值不高但 C 值较高;美国佛

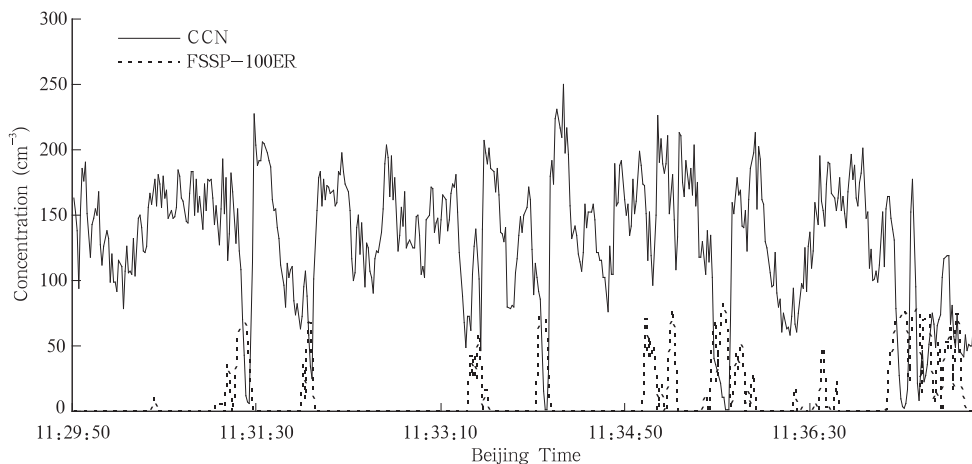


图5 水平穿越淡积云云簇过程中 CCN 的变化(2005 年 10 月 7 日,高度 3000 m, $S=0.3\%$)
Fig. 5 The change of CCN during horizontally penetrating cumulus cluster
(7 October 2005, 3000 m ASL, $S=0.3\%$)

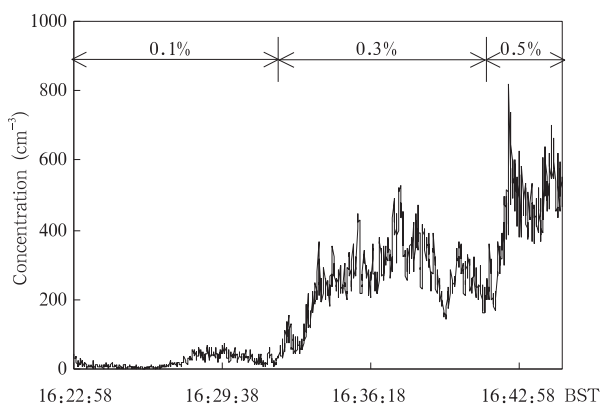


图6 邯郸地区 CCN 的水平变化
(2005 年 10 月 17 日,高度 3000 m, $S=0.1\%$, 0.3% 和 0.5%)
Fig. 6 Horizontal change of CCN at 3000 m ASL over Handan area (17 October 2005, $S=0.1\%$, 0.3% and 0.5%)

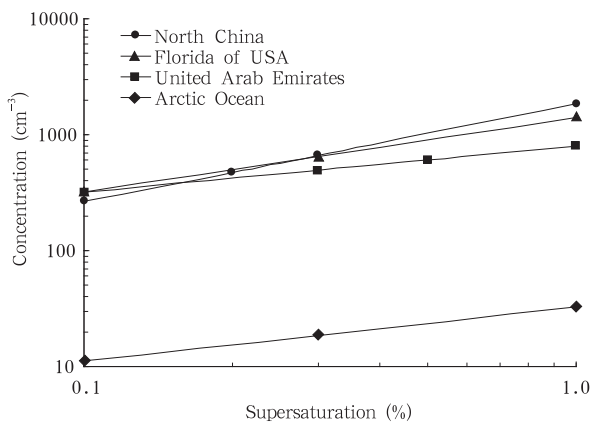


图7 华北地区(2006 年 3 月 26 日)及北冰洋^[26]、阿联酋^[27]、美国佛州^[28]上空 CCN 活化谱
Fig. 7 The CCN spectra over North China (26 March 2006), Arctic Ocean^[26], United Arab Emirates^[27], and Florida of America^[28]

罗里达州观测的是大陆气团, C 、 k 值比较高; 华北地区污染较重, C 、 k 值也比较高。

4 石家庄市地面 CCN 特征

4.1 CCN 的变化范围

通过对 2005 年 6—8 月地面观测资料的统计, 在同一过饱和度下的 CCN 浓度差异很大。石家庄市夏季 CCN 浓度在 $S=0.1\%$ 、 0.3% 和 0.5% 下的最小值分别为 584、808 和 2431 个/ cm^3 , 最大值分别为 9495、16332 和 21812 个/ cm^3 (表 2)。

表2 石家庄市夏季地面 CCN 在不同 S 下的浓度极值

Table 2 Extreme values of surface CCN concentration at different S in Shijiazhuang summertime

S	最小值(个/ cm^3)	最大值(个/ cm^3)
0.1%	584	9495
0.3%	808	16332
0.5%	2431	21812

4.2 CCN 的日变化

CCN 具有明显的日变化。图 8 和图 9 分别为 7 月 11 日 $S=0.3\%$ 和 7 月 6—7 日 $S=0.1\%$ 时 CCN 的日变化。7 月 11 日 08 时石家庄 500 hPa 高空处于较弱冷涡后部的西北气流中, 地面位于低压后部, 天气晴朗无云。7 月 7 日 08 时石家庄 500 hPa 高空为偏西气流, 地面受河西低压前部的偏南气流控制。由于低压稳定少动, 石家庄的天气状况是晴到少云。从图 8 和图 9 可以看出, CCN 从清晨 6 时以后浓度开始上升, 上午至中午前后达到极大值, 下午一直下降。这种极值变化与 Baumgardner 等^[29] 在污染严

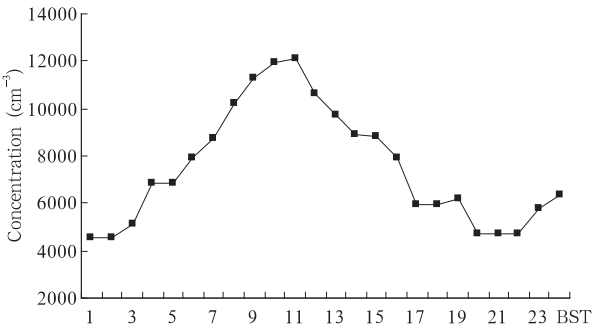


图 8 CCN 的日变化(2005 年 7 月 11 日, $S=0.3\%$)

Fig. 8 Diurnal variations of CCN (11 July 2005, $S=0.3\%$)

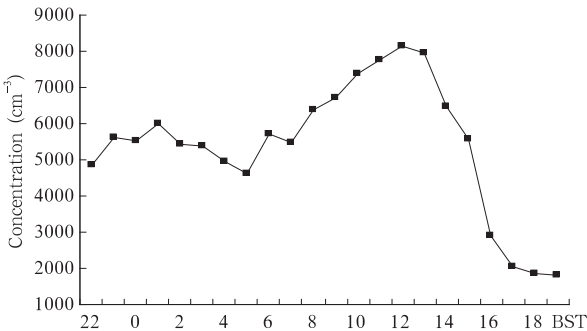


图 9 CCN 的日变化(2005 年 7 月 6—7 日, $S=0.1\%$)

Fig. 9 Same as Fig. 8 but for 6—7 July 2005, $S=0.1\%$

重、人口众多的墨西哥城的观测结果是类似的。原因可能在于上午汽车排放以及光化学产物开始增加所致。

4.3 降水对 CCN 的影响

降水对 CCN 的冲刷作用非常明显。8 月 1 日 15 时晴热天气(CCN 约 8000 个/ cm^3), 16:40 Cb 布满天空(CCN 约 7500 个/ cm^3)。18:27 开始下雷雨, 18:32—18:44 雨强较大, 18:50 降雨结束(图 10)。可见, 降雨初期 CCN 浓度很高。随着降雨的加大, CCN 浓度急剧下降, 由初期的 7000 个/ cm^3 下降至 1800 个/ cm^3 。降雨结束后, CCN 浓度略有上升。8 月 3 日上午晴天, 下午 14:10 至 15:13 有雷

雨。17:30 阴天, 18:50 阴转晴, 19:23 晴。从图 11 可以看出, 雨后的 CCN 浓度为 2000—3000 个/ cm^3 。而全日晴天的 8 月 4 日在同一时刻的 CCN 浓度比 3 日高, 变化范围为 3000—3500 个/ cm^3 。

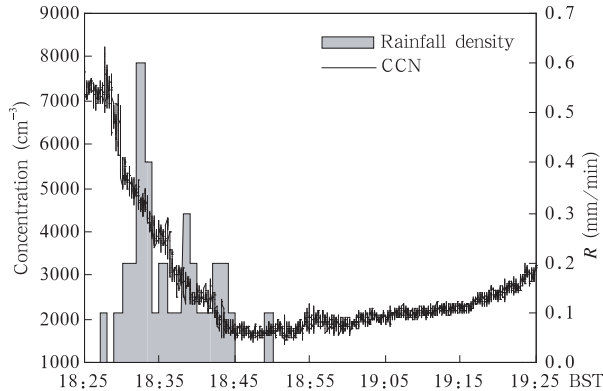


图 10 CCN 随时间的变化(2005 年 8 月 1 日, $S=0.2\%$)

Fig. 10 Temporal evolution of CCN (1 August 2005, $S=0.2\%$)

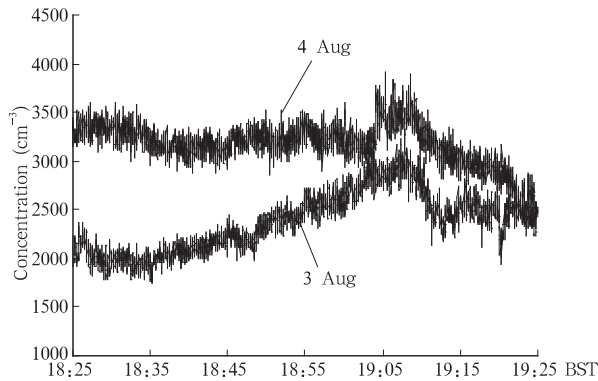


图 11 CCN 随时间的变化
(2005 年 8 月 3 日和 4 日, $S=0.2\%$)

Fig. 11 Same as Fig. 10, but for 3 and 4 August 2005

4.4 活化谱

利用 $N=CS^k$ 对几次观测的 CCN 活化谱进行了拟合, 表 3 给出了地面 CCN 特征参数。图 12 为 8 月 8 日一次观测的 CCN 活化谱。作为对比, 图中还给出了银川机场^[16]、乌鲁木齐^[30]和美国南部城

表 3 石家庄夏季地面 CCN 特征参数

Table 3 Characteristic parameters for surface CCN in Shijiazhuang summertime

日期	天气状况	最小浓度(个/ cm^3)				最大浓度(个/ cm^3)				C (个/ cm^3)	k
		0.1%	0.2%	0.3%	0.5%	0.1%	0.2%	0.3%	0.5%		
6 月 25—26 日	小雨	890		2168	2984	2620		5136	7681	8276	0.69
7 月 6 日	晴, 高温	3080		7641	10606	9495		16332	21812	24969	0.65
7 月 22 日	雷雨	949	2403	3308	3787	3945	4978	6190	8302	8860	0.63
7 月 25—26 日	晴	2463	5159	7373	10846	6830	9972	12345	15304	21748	0.73
8 月 8 日	晴, 台风外围	1860	3931	5401	7294	3584	5899	8127	10739	15517	0.73

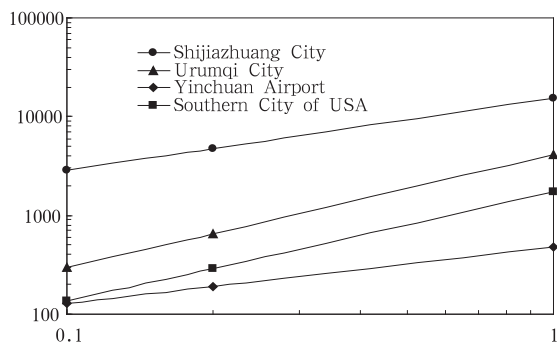


图 12 石家庄市(2005 年 8 月 8 日)及银川机场^[16]、
乌鲁木齐^[30]、美国南部城市^[31]地面 CCN 活化谱
Fig. 12 Surface CCN spectra for Shijiazhuang City
(8 Aug 2005), Yinchuan Airport^[16], Urumqi^[30],
and Southern city of USA^[31]

市^[31]的地面 CCN 活化谱。银川机场观测点附近人类污染源很少, C 、 k 值不高; 美国佛罗里达州南部城市 Immokalee 工业和交通污染较少, 主要受大陆气团影响, C 值不高而 k 值较高; 乌鲁木齐市因污染物较多, C 、 k 值比较高。石家庄市由于污染严重, k 值较高而 C 值明显高于其他地区。

5 结 论

(1) 中国于 1983—1985 年和 1994—1995 年利用 MEE-130 曾开展过 CCN 的观测研究。该仪器存在着非连续气流采样有间隔时间(30 s 以上, 导致观测资料不连续)、粒子增长时间长、浓度标定困难等缺陷。本文使用的连续气流纵向热梯度 CCN 仪克服了上述缺陷, 计数频率为 1 Hz, 尤其适宜飞机观测。

(2) 华北地区 CCN 的分布与地面源地密切相关, 污染地区的 CCN 浓度明显高于无污染地区。飞机垂直观测和水平观测结果显示云内 CCN 比云外显著减少, 表明云对 CCN 具有消耗作用。

(3) Twomey 等^[6]曾研究不同地域的 CCN 活化谱, 海洋上空的典型 k 值为 0.5, 大陆比海洋高, 典型值为 0.7; 大陆上的 C 值较大, 显著高于海洋。本文得到活化谱参数 C 值明显较大(大于 1000), k 值较高(约 0.7), 表明华北地区 CCN 具有大陆性特征。

(4) 从观测的数据看, 石家庄夏季地面的 CCN 浓度较高, 这可能与石家庄严重的污染状况有关。这种影响是局部的还是迁移的, CCN 变化趋势是增加的还是减少的亦或是不变的, 还需进行季节变化、年际变化、地域变化和空地变化等多方面深入和长

期的研究。

(5) 由于 CCN 与气溶胶成分和大小有关, 因此在将来的工作中结合有关气体成分采样的大气化学分析和气溶胶、污染物颗粒等方面的研究以期对 CCN 有更全面的理解是非常必要的。

致谢: 本文得到了马培民、毛节泰和秦瑜等先生的热情指导, 天气分析得到了李云川研究员的帮助, 在此深表谢意。

参考文献

- [1] Twomey S. In *Inadvertent Climate Modification* // Wilson C L, W H Matthews. Report of the Study of Man's Impact on Climate. Cambridge MA: MIT Press, 1971: 229 pp
- [2] Twomey S, Piepgrass M, Wolfe T L. An assessment of the impact of pollution on global cloud albedo. *Tellus*, 1984, 36B: 356-366
- [3] Platnick S E, Twomey S. Determining the susceptibility of cloud albedo to changes in droplet concentration with the advanced very high resolution radiometer. *J Appl Meteor*, 1994, 33: 334-347
- [4] Albrecht B A. Aerosols, cloud microphysics, and fractional cloudiness. *Science*, 1989, 245: 1227-1230
- [5] Twomey S, Squires P. The influence of cloud nucleus population on the microstructure and stability of convective clouds. *Tellus*, 1959, 11: 408-411
- [6] Twomey S, Wojciechowski T A. Observations of the geographical variation of cloud nuclei. *J Atmos Sci*, 1969, 26: 684-688
- [7] Hudson J G. Cloud condensation nuclei. *J Appl Meteor*, 1993, 32: 596-607
- [8] Mitchell D L. Evolution of snow-size spectra predicted by the growth processes of diffusion, aggregation and riming. Preprints, Conf. on Cloud Physics, San Francisco, AMS, 1990: 270-277
- [9] Graf H-F, Nuber F J, Rosenfeld D. The possible effect of biomass burning on local precipitation and global climate. 13th International Conference on Clouds and Precipitation, Reno, USA, 2000: 882-885
- [10] WMO. Report of the WMO International Workshop on Hygroscopic Seeding: Experimental Results, Physical Processes and Research Needs. Geneva, 2000
- [11] Penner J E, Charlson R J, Hales J M, et al. Quantifying and minimizing uncertainty of climate forcing by anthropogenic aerosols. U S Department of Energy, 1993
- [12] Snider J R, Brenguier J. Cloud condensation nuclei and cloud droplet measurements during ACE-2. *Tellus*, 2000, 52B: 828-842
- [13] Hitznerberger R, Giebl H, Berner A, et al. Measurements of CCN-concentrations in the European alpine aerosol using a

- newly developed static thermal diffusion counter. AIP Conference Proceedings, 2000, 534(1): 861-864
- [14] 游来光, 马培民, 胡志晋. 北方层状云人工降水试验研究. 气象科技, 2002, 30 (Suppl): 19-63
- [15] 王鹏云, 何绍钦, 赵学鹏等. 对流层中下层云凝结核浓度的观测和初步分析//气象科学技术集刊(9). 北京:气象出版社, 1989:11-21
- [16] 牛生杰, 安夏兰, 陈跃. 贺兰山地区云凝结核浓度的测量及分析//宁夏气象科学研究所编. 宁夏气象科技文选. 银川:宁夏人民出版社, 1998:167-171
- [17] 任国玉, 郭军, 徐铭志等. 近 50 年中国地面气候变化基本特征. 气象学报, 2005, 63(6): 942-956
- [18] 陈隆勋, 周秀骥, 李维亮等. 中国近八十年来气候变化特征及其形成机制. 气象学报, 2004, 62(5): 634-646
- [19] 王京丽, 谢庄, 张远航等. 北京市大气细粒子的质量浓度特征研究. 气象学报, 2004, 62(1): 104-111
- [20] 吴兑, 毕雪岩, 邓雪娇等. 珠江三角洲大气灰霾导致能见度下降问题研究. 气象学报, 2006, 64(4): 510-518
- [21] 国家环境保护总局. 2003 年国家环境保护重点城市环境管理和综合整治年度报告. 2004. <http://www.sepa.gov.cn>
- [22] 国家环境保护总局. 2004 年城市环境管理和综合整治年度报告. 2005. [Http://www.sepa.gov.cn](http://www.sepa.gov.cn)
- [23] Roberts G C, Nenes A. A continuous-flow streamwise thermal-gradient CCN chamber for atmospheric measurements. Aeros Sci Tech, 2005, 39:206-221
- [24] Roberts G, Mauger G, Hadley O, et al. North America and Asian aerosols over the eastern Pacific Ocean and their role in regulating cloud condensation nuclei. J Geophys Res, D13205, doi:10.1029/2005JD006661
- [25] Twomey S. The nuclei of natural cloud formation, Part II: The supersaturation in natural clouds and the variation of cloud droplet concentration. Geofis Pura Appl, 1959, 43: 243-249
- [26] Hegg D A, Ferek R J, Hobbs P V. Cloud condensation nuclei over the Arctic Ocean in early spring. J Appl Meteor, 1995, 34: 2076-2082
- [27] Salazar V, Brientjes R T, Breed D, et al. Aerosol-cloud interactions in the United Arab Emirates. 5th Conference on Atmospheric Chemistry: Gases, Aerosols, and Clouds. Long Beach, California, AMS, 2003
- [28] Yum S S, Hudson J G. Cloud condensation nuclei and cloud microphysics measurements from six aircraft field experiments. International Workshop on Next Generation NWP Model. Seoul, Republic of Korea, 2001
- [29] Baumgardner D, Raga G, Muhlia A. Evidence for the formation of CCN by photochemical processes in Mexico City. Atmos Env, 2004, 38(3): 357-367
- [30] Chen Wankui, Yan Caifan. Observation results of CCN during winter in Xinjiang. Papers submitted to the fifth WMO Scientific Conference on Weather Modification and Applied Cloud Physics. Beijing, 1989, WMO/TD No.269: 407-410
- [31] Sax R I, Hudson J G. Continentality of the South Florida summertime CCN aerosol. J Atmos Sci, 1981, 38: 1467-1479

OBSERVATIONS OF CLOUD CONDENSATION NUCLEI IN NORTH CHINA

Shi Lixin^{1,2} Duan Ying^{1,2}

1 Weather Modification Office of Hebei Province, Shijiazhuang 050021

2 Ecological Environment Surveillance Lab of Hebei Province, Shijiazhuang 050021

Abstract

Using a DMT (Droplet Measurement Technologies) continuous flow streamwise thermal gradient cloud condensation nuclei (CCN) counter mounted on a Cheyenne III A aircraft, aircraft measurements of CCN in about 20 flights over North China were conducted in the autumn of 2005 and spring of 2006. According to the design for aircraft observation, the method of spiral ascent and descent in the troposphere was used in the vertical measurement of CCN, and some certain levels were chosen for horizontal measurement. The vertical distributions of CCN concentrations show that CCN particles most concentrated in the low level of the troposphere and the CCN concentration decreased with height, suggesting that the main source of CCN is from ground surface. This result is consistent with previous studies in 1983—1985 in China where a static thermal gradient CCN counter were employed. The comparison of vertical observations between polluted rural areas near Shijiazhuang and non-polluted rural areas in Zhangjiakou shows

that the former's CCN concentration was about five times the latter's, but over two polluted cities, Shijiazhuang and Handan, there wasn't notable difference. The horizontal measurements from experiments penetrating the cumulus clouds shows the apparent decrease of CCN in clouds, confirming that cloud has a definite depletion effect on CCN particles due to the scavenging of cloud droplets. The surface measurements of CCN in Shijiazhuang City were made from June to August in 2005. The statistical results of CCN measurements show the great difference in concentration at the same supersaturation (S) in Shijiazhuang summertime. The minimum concentrations were 584 cm^{-3} , 808 cm^{-3} and 2431 cm^{-3} , and the maximum concentrations 9495 cm^{-3} , 16332 cm^{-3} and 21812 cm^{-3} at $S=0.1\%$, 0.3% , and 0.5% respectively. The CCN had a distinctive diurnal cycle, i. e. it began to increase from 06:00 BST, and reached the maximum till about noon, then generally decreased throughout the afternoon. The reason might be related to the onset of emissions from vehicular traffic in the morning followed by the photochemical products of secondary organics that condense on the primary particles. The precipitation had an obvious scavenging effect on CCN particles, and with the increase of rain rate, the CCN concentrations decreased more quickly. The high surface CCN concentrations in Shijiazhuang city should be related first to the serious air pollution and next to anthropogenic resources.

According to the expression $N=CS^k$, the CCN spectra can be derived. The fitted spectra parameters C (more than 1000) and k (about 0.7) show the continental characteristic of CCN in North China.

Key words: North China, CCN, Observation.

阅读文献的工具书 撰写论文的好帮手

《英汉汉英大气科学词汇》出版

近年来,大气科学发展迅速,新词语层出不穷。为了促进大气科学、地球科学研究和科技交流,气象出版社组织有关专家,历时5年,完成了《英汉汉英大气科学词汇》的编写工作。此书经多位专家审阅,10余次修改书稿,终于在2007年7月出版面世。中国气象科学研究院名誉院长周秀骥院士欣然为《英汉汉英大气科学词汇》作序,并向广大读者热情推荐此书。

《英汉汉英大气科学词汇》收词3万余条,是在1987年版《英汉大气科学词汇》的基础上,参考了国内外近年出版的多种词书和全国科学技术名词审定委员会公布的有关气象、农业、海洋、地球物理、地理、地质、天文、物理、化学、数学、电子、计算机等学科的规范术语,以及与气象学相关的各种专著以及专门的气象学词汇编纂而成。

全书分英汉和汉英两部分,书后还附有关于云的分类、风力等级划分标准、热带气旋命名以及大气科学SCI期刊、大气科学有关科技单位等英文译名的8个附录。

《英汉汉英大气科学词汇》可作为从事气象、农业、海洋、地球物理、地理、地球科学的工作者以及有关的大专院校师生查阅文献、撰写英文论文等的工具书和参考书。此书为大32开,884页,精装本,定价:75.00元。

(周诗健,李太宇供稿)