

青岛沿海地区夏季云凝结核浓度 观测及分析

何 绍 钦*

(国家气象局气象科学研究所)

提 要

对1984年8月份山东半岛南部沿海地区云凝结核浓度观测资料进行了初步分析。结果得出:青岛流亭云凝结核浓度近地层值为 10^3 个/厘米³左右,随高度分布只有少数遵循指数递减规律,从大陆沿半岛南部海域向东方向,云凝结核浓度水平分布逐渐减小,到东端陆地又有所升高,沿海地区云凝结核浓度小于内陆地区。并对云凝结核浓度与气象因子的关系进行了一些初步探讨。

云凝结核(以下简称CCN)的研究,不仅是云物理学基础研究和人工影响暖云雾的基本出发点,而且也是大气化学、环境保护、航空等科学工作者十分关注的问题。国内外不少学者从事过这方面的研究工作^[1-3]。国家气象局气象科学研究所人工影响天气研究所从1983年开始利用大气物理科研飞机先后在北京、吉林、内蒙、陕西、四川、河南湖北等地观测了内陆地区大量的CCN浓度资料,并对其中一部分进行了初步分析^[4]。为了进一步较全面地了解我国CCN浓度分布状况,特别是沿海地区的分布特点,1984年8月份又在山东半岛进行了专门观测。本文仅分析山东半岛南部沿海地区的观测资料,并对该区夏季CCN浓度分布特征进行了一些探讨。

一、资料观测

CCN浓度观测采用美国MEE公司生产的130型云凝结核计数器^[4]。仪器安装在苏制伊尔14型飞机机舱内,取样装置由导相管引出机身附面层外。伊尔14飞机为下单翼双发发动机中小型运输机。机身长22.3米,机高为7.8米,翼展31.7米,最大升限7500米,上

1986年4月26日收到,1987年3月21日收到修改稿

* 参加飞行观测的有王鹏云、刘延刚、王超、赵学鹏、王福志等。本文撰写过程中得到游来光、丰大雄、李子华等同志的指导

升率2—3米/秒, 下滑率2—3米/秒, 最大航速为412千米/小时, 巡航速度340千米/小时, 最大航程为1785千米。观测飞行基地选在青岛郊区流亭机场($36^{\circ}16'N$, $120^{\circ}24'E$)。其西南临胶州湾, 周围为农田、居民区、公路、工厂, 具有沿海城市郊区下垫面的特点。飞行观测空域西起胶县东至半岛东端莫耶岛, 南起青岛近海区北至莱山(见图1)。

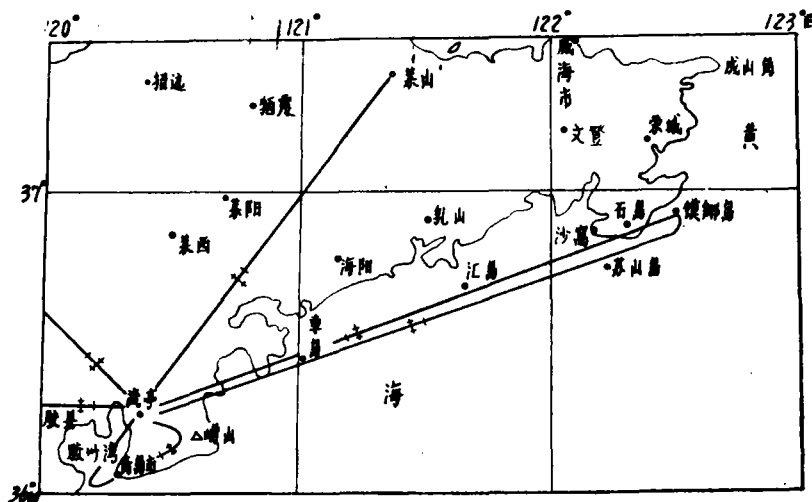


图1 1984年8月山东半岛南部沿海地区CCN浓度飞行观测航线示意图(——+——飞行航线)

飞行观测时间为8月4日至27日, 在山东半岛南部沿海地区共飞行观测9航次(见表1), 观测日均为晴天。观测项目为流亭机场测站CCN浓度的垂直分布、流亭至莫耶岛航线不同高度的水平分布以及包括青岛市在内的本场空域低层大气中的CCN浓度。为充分利用飞行航次, 采取了本场测站观测与空域和航线观测相结合的飞行方案, 即不论是空域或航线还是转场任务, 每次都利用在本场爬升或通场着陆下降测本场垂直分布资料。沿海区域观测则在本场爬高到1800米, 然后保持高度平飞, 途径崂山湾、车岛、汇岛、沙窝、石岛到达莫耶岛后飞机作标准转弯下降到1500米高度按原航线返回流亭, 在本场通场下滑着陆。共飞行4次(8月9、10、16、17日)测得资料5次(8月9日起飞后不同高度往返测2次)。飞行观测情况见表1。

表1 1984年8月份山东半岛南部沿海地区CCN浓度飞行观测一览表

日期 (月、日)	观测时间 (时分—时分)	起 飞 机 场	着 陆 机 场	飞行最大 高度(米)	观 测 任 务	天 气 形 势 (08时)
8、4	09 ⁴¹ —10 ¹¹	(北京) 良乡	(青岛) 流亭	1800	转场着陆测本场	地面冷锋前, 850hPa槽前西南气流
8、9	14 ¹² —17 ³³	流亭	流亭	1800	测本场及航线 流亭↔莫耶岛	地面太平洋副高影响, 850hPa东南风16米/秒
8、10	09 ³¹ —10 ⁵⁹	流亭	流亭	1800	测本场及航线 流亭↔莫耶岛	地面低压影响, 850hPa 槽前西南气流

续表 1

日期 (月、日)	观测时间 (时分—时分)	起飞 机场	着陆 机场	飞行最大 高度(米)	观测任务	天气形势 (08时)
8、16	11 ²⁰ —12 ⁵⁵	流亭	流亭	4000	测本场及本场空域	地面高压带控制, 850 hPa 东北风6米/秒
8、16	13 ³⁰ —15 ⁰⁴	流亭	流亭	1800	测本场及航线 流亭↔莫耶岛	地面高压带控制, 850 hPa 东北风6米/秒
8、17	14 ⁴¹ —16 ¹⁰	流亭	流亭	1800	测本场及航线 流亭↔莫耶岛	地面台风边缘影响, 850 hPa 槽前东南风4米/秒
8、23	14 ²⁶ —15 ⁰²	(烟台) 莱山	流亭	1500	转场着陆测本场	地面暖锋影响, 850 hPa 东南风4米/秒
8、24	12 ²¹ —13 ²⁴	流亭	流亭	1500	测本场及本场空域	地面冷锋前, 850 hPa 槽后西北风8米/秒
8、27	08 ⁰¹ —08 ²⁷	流亭	(湖北) 宜昌	1800	转场起飞测本场	地面冷锋前, 850 hPa 东北风6米/秒

在飞行中, 除观测CCN浓度外, 机上观测人员还从事时间、飞行高度、航行速度、温度(机载温度计)、天气现象、飞行地标和航迹等观测和记录。

二、山东半岛南部沿海地区CCN浓度分布特征

1. 青岛流亭CCN浓度随高度的分布

内陆地区的大量观测资料表明, 除特例外, 一般CCN浓度随高度增加而减少, 在低层大气(1000—1500米)中特别明显, 而且这种减少呈指数递减规律^[1, 2, 4], 其表达式为

$$N(H) = N_0 e^{-\frac{H}{\alpha}} \quad (1)$$

其中 $N(H)$ 为高度 H 处1厘米³空气中CCN的数目, N_0 为地面附近1厘米³空气中CCN数目, α 为待定系数, 单位为米。

本文将流亭9次垂直分布观测资料作了统计(见表2)。可以看出, 8月份流亭本场地面附近CCN浓度最小值为532个/厘米³, 最大值为1461个/厘米³。拟合方程计算结果, 最小值为630个/厘米³, 最大值为2187个/厘米³, 平均约为10³个/厘米³。按(1)式分析9次垂直分布资料只有6次能拟出方程(相关系数 $r \geq -0.6$ 以上), 实际上只有3次能较好地遵循指数递减规律(相关系数在 -0.79 以上), 只占总次数的1/3。如8月4日一例(见

图2), 表达式为 $N(H) = 1014 e^{-\frac{H}{\alpha}}$ (个/厘米³), 相关系数 $r = -0.79$ 。从上面分析表明, 沿海地区的青岛流亭CCN浓度随高度的分布只有少数呈指数递减规律, 且不象内陆

表2 1984年8月份青岛流亭 CCN 浓度随高度分布统计表
(过饱和度 $S = 0.5\%$, 下同)

观 测 日 期 (月、日)	各层(米) CCN 平均浓度(个/厘米 ³)							相关 系数 r	N_0 (个/厘米 ³)	α (米)
	地面 附近	地面附近 300	300 600	600 900	900 1200	1200 1500	1500 1800			
8、4	1179	981	660	647	559	514	385	-0.79	1014	1815
8、9	683	747	696	522	573	541	240	-0.60	1096	1011
8、10	880	527	456	447	547	313	586			
(上午) 8、16	541	378	571	536	407	415	925			
(下午) 8、16	740	612	610	493	330	271	150	-0.82	698	1191
8、17	651	613	360	312	251	270	150	-0.64	630	1066
8、23	532	602	517	906	841	854				
8、24	1095	1121	1147	903	472	303		-0.85	2187	638
8、27	1461	1315	747	716	622	635	540	-0.66	1205	1808
平 均	862	766	640	609	511	457	425		1138	

地区明显。这可能与它的地理位置和海洋影响有关。

2. 山东半岛南部沿海地区 CCN 浓度的水平分布

这里指流亭至莫耶岛平飞(1500米层和1800米层)的观测结果。统计5次平飞观测资料(见表3), 同时将1500米高度层的5次观测统计平均值和8月9日的个例一并绘于图3。

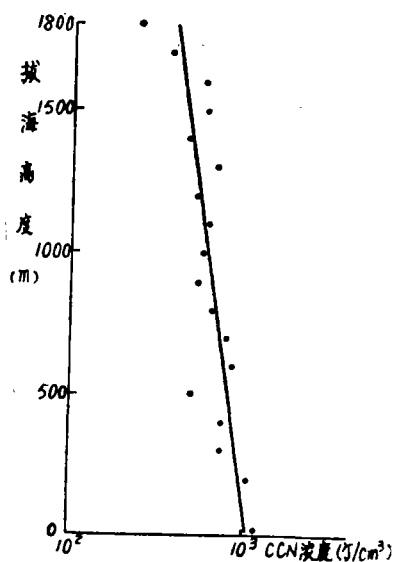


图2 8月4日(09⁴¹—10¹¹)流亭 CCN 浓度的高度分布
(小圆点为实测资料)

表3 山东半岛南部沿海地区不同高度不同地段CCN浓度水平分布统计表

观测高度 (米)	观测次数 (次)	$\bar{N}$ 各段CCN浓度平均值 (个/厘米 ³)		
		大陆海岸段 (流亭—车岛)	海域段 (车岛—石岛)	半岛东端海岸 (莫耶岛)
1500	5	409	256	372
1800	5	378	209	349
$\bar{N}_{1500 \sim 1800}$	5	393	233	361

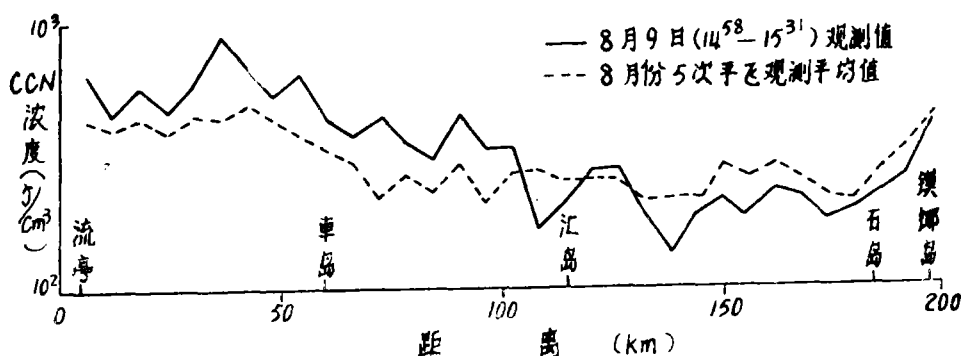


图3 山东半岛南部沿海地区CCN浓度水平分布

从表3、图3清楚表明：流亭至车岛CCN浓度高，而过车岛进入海域区后CCN浓度变小，到半岛东端海岸上空又有所升高，不论是8月9日的个例，还是5次观测平均值都表现出这一分布特征。这可能与海陆位置 and 不同性质下垫面影响有关，因为在低层大气中CCN浓度水平分布受下垫面影响是很大的。在大陆海岸段，有城市、工厂、居民区的影响，大陆核浓度本身就高，人为地方性核也多；而海域段核浓度本身就小于陆地；半岛东端虽是海岸，但三面临海，受海洋影响较大，另人口稀少人为的地方性核也少，虽然这里的CCN浓度值比海域高，但仍然低于大陆海岸段。

3. 逆温层与CCN浓度分布的关系

大气中的逆温层会影响CCN浓度随高度分布呈指数递减的规律。从图4看出，CCN浓度随高度分布并不遵循指数递减规律。最大值不是出现在地面附近，而是出现在逆温层底部1750米处，其值为1206个/厘米³，穿过逆温层到其顶部(2100米)处又降低到160个/厘米³。这是因为大气中的逆温层对湍流交换、上升运动有抑制作用，阻挡了CCN的垂直输送，在逆温层下形成了一个高浓度累积区。与文献[1]有类似结果。

4. 沿海地区与内陆地区CCN浓度分布的比较

在青岛流亭的观测中，因种种原因和条件限制，不可能同时对沿海地区和内陆地区进行对比观测。故只能选取季节相同、天气条件类似、地理纬度相近的距海洋较远的内陆，郑州东郊机场(34°45'N, 113°46'E)与之对比。表4为郑州东郊机场1983年9月

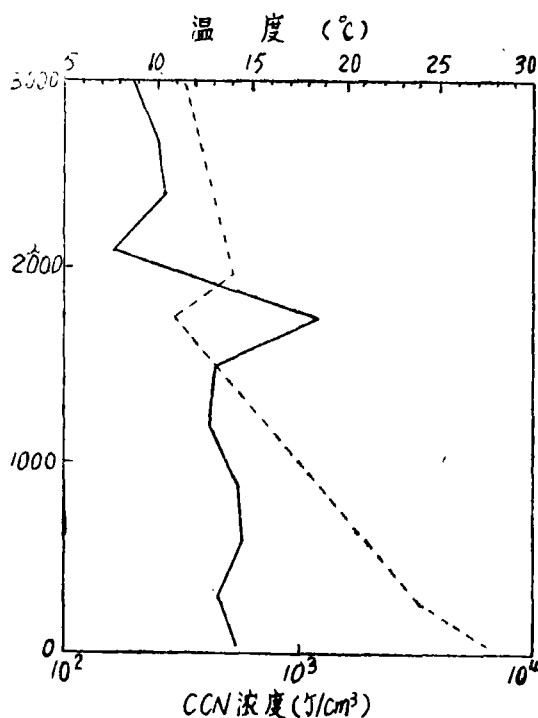


图4 8月16日上午(11²⁰—12²⁰)流亭CCN浓度随高度分布(实线); 虚线: 飞行时(12时)青岛探空温度曲线
2日*和流亭1984年8月16日及24日的观测资料的比较。

表4 青岛流亭与郑州东郊低空层CCN浓度分布比较

观测地点	观测时间 (年、月、日、时分)	各层(米)CCN平均浓度(个/厘米 ³)				天气形势(08时)
		N ₀	地面附近 500	500 1000	1000 1500	
郑州东郊	1983.9.2.11 ¹¹ —12 ²⁰	16900	15692	12062	6196	本场受高压控制,晴天, 地面西北风1—2米/秒, 700hPa 西北风6米/秒, 500 hPa 西北偏西风 12 米/秒
	1983.9.2.13 ⁰⁸ —13 ¹⁹	5217	6680	4171	719	
	$\bar{N}$ 郑州东郊	10509	11186	8117	3458	
青岛流亭	1984.8.16.11 ²⁰ —12 ⁰⁰	541	457	502	424	本场高压控制,晴天, 地面西北风5米/秒,700 hPa 西北风6米/秒,500 hPa 西南偏西风 10 米/ 秒
	1984.8.16.13 ³⁰ —13 ⁴¹	740	559	467	279	
	1984.8.24.12 ²¹ —13 ²⁰	1095	1226	789	378	地面冷锋前,晴天, 700 hPa 西风14米/秒, 500 hPa 西南偏南风21米/秒
	$\bar{N}$ 青岛流亭	792	747	586	360	
郑州东郊/青岛流亭		14.0	15.0	14.0	10.0	

* 大气物理科研飞机转场经郑州机场, 起飞和着陆的观测资料

从表4可看出:这两个地方的低层大气中CCN浓度差异很大,郑州东郊比青岛流亭要大1个量级。造成这种明显差异的主要原因是由两地海陆地理位置不同所致。郑州东郊地处大陆腹地,夏季干热,为典型大陆性气候,属于核高浓度地区^[2]。郑州又是大工业城市,地方性核也较多。而青岛流亭位于沿海地区,受海洋气候影响,空气湿润,所以核少^[2]。就是测值较高的8月24日也低于郑州东郊。

三、CCN浓度与某些气象因子的关系

云、降水和风向等不仅影响CCN浓度值,也影响它的分布^[1,2]。

1. CCN浓度与云的关系

在实际飞行观测中发现,当飞机入云时,云内CCN浓度值较云外显著减少。例如8月9日流亭本场的观测就是一例(见图5)。飞行观测时低空有淡积云和碎积云,云底高为400米,云顶高为650米左右。14时11分起飞后在高度200米处测值为1100个/厘米³,在300米处为460个/厘米³,而在450米高度入云后测得CCN浓度仅为32个/厘米³,当出云后500米处测值为750个/厘米³,在600米高度再次穿入云顶测值为115个/厘米³,再出云顶(700米)处测值为590个/厘米³。造成这种云内外CCN浓度值的差异,不仅是在云滴形成时要消耗一定数量云凝结核,而且在云滴形成后还有相当一部分核要通过云中湍流、布朗扩散等过程同云滴产生凝并,为云滴所俘获。因此云内CCN浓度小于云外的值。

2. CCN浓度与风向的关系

从表1、表2看出,CCN浓度大小与测区当时盛行风向关系密切。对比8月24日和17日的观测资料(见图6)。图6中的CCN浓度,地面及上空为北风、西北风和西风的24日比地面及上空为东北风、东南风和西南风的17日要高。因为盛行风向常表征不同性质气团的影响,实质上是标志核源的不同。北风和西北风是从大陆来的风,受大陆性气团影响,核源是大陆,所以CCN浓度高;东北风和东南风是海洋上吹来的风,核源是海洋,所以CCN浓度低于大陆核源的值^[1,2]。比特尔, M. 观测表明,瑞士大陆气团的核平均浓度比海洋气团多30%^[1]。

3. 降水与CCN浓度的关系

在观测中没有降水日资料,这里只将观测前有降水影响的8月4日和连续晴天的27日两天资料加以对比。这两天的天气形势都是地面冷锋前影响,观测时间也都在上午。8月4日前的2、3两日青岛24小时降水量分别为4毫米、20毫米,邻近站也有降水。但8

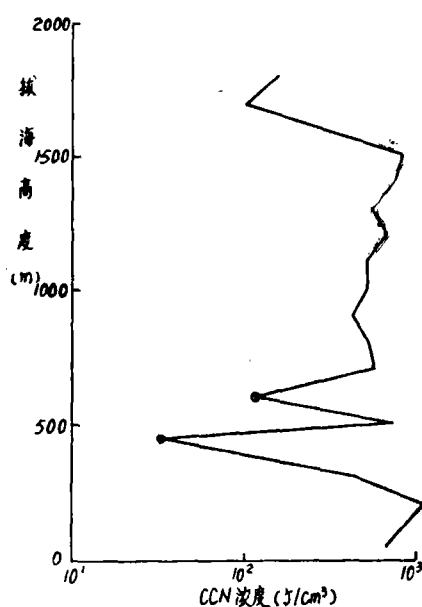


图5 流亭8月9日CCN浓度随高度分布
(○为云中观测点)

月27日前几天本场及邻站均无降水。按表2列出的资料计算,雨后晴天的8月4日(虽然降水作用已不明显)与连续晴天的8月27日相比 地面附近CCN浓度值仍减少19%,在1800

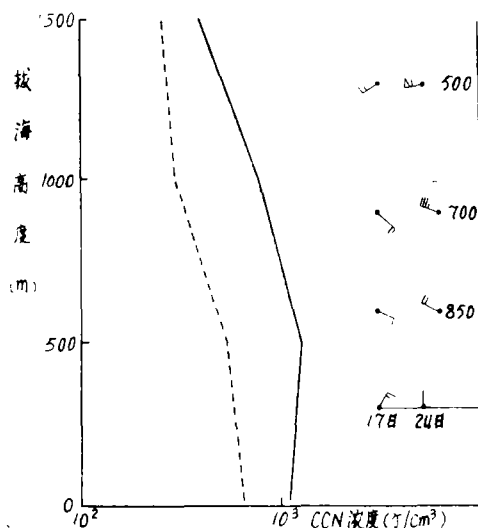


图6 青岛流亭不同风向对CCN浓度的影响
(——8月24日---8月17日)

米以下大气层中平均减少17.5%。这是由于降水冲刷了大气中的气溶胶粒子,使CCN的浓度相应降低。

四、结 论

1. 青岛流亭8月份地面附近CCN浓度测值,最小为532个/厘米³,最大为1461个/厘米³;拟合方程计算平均值为10³个/厘米³左右;其在低层大气中随高度分布只有少数遵循指数递减规律,且不如内陆地区明显。

2. 从青岛流亭向东经半岛南部海域至莫耶岛,CCN浓度大陆海岸段高于海域区。

3. 沿海地区青岛流亭比内陆地区的郑州东郊CCN浓度小1个量级左右。

4. 大气中逆温层的出现破坏了CCN浓度随高度分布的指数递减规律。

5. CCN浓度与气象因子有一定的关系:云内的值小于云外的值;本场盛行西北风时的CCN浓度值高于盛行东南风时的值;雨后晴天的浓度值小于连续晴天的值。

参 考 文 献

- [1] 格拉波夫斯基, P. H., 周梦麟译, 大气中的凝结核, 45—60, 科学出版社, 1959.
- [2] 邹进上、刘长盛、刘文保, 大气物理学基础, 66—73, 气象出版社, 1982.
- [3] 梅森, B. J., 中国科学院大气所译, 云物理学, 52—55, 科学出版社, 1978.
- [4] 王鹏云、何绍钦等, 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, 1985, 9, 11—20.

CLOUD CONDENSATION NUCLEI CONCENTRATION OVER QINGDAO AREA IN SUMMER

He Shaoqin*

ABSTRACT

Air craft observations of cloud condensation nuclei (CCN) were carried out over Qingdao area along the Shandong coast in August, 1984. The main results are presented herewith. The CCN concentration near the ground level is found to be about 10^3 cm^{-3} , decreasing with height exponentially. The concentration tends to decrease gradually from inland to the sea coast across the peninsula and is higher in the morning than in the afternoon as a whole. The relationship between the distribution of CCN and related meteorological factors is roughly examined.

* Affiliated with the Research Institute of Meteorological Science, State Weather Administration