

我国北部地区大气冰核观测的分析研究*

赵剑平 张 濬 王玉璽 陈在华 赖德津**

(中国科学院兰州地球物理研究所)

提 要

1964年3月15日—4月15日分别在兰川、西安、大连三地进行了大气冰核的观测,观测温度为 -20°C ,采用比重1.22—1.24白糖溶液检验冰晶。由观测资料分析得出,我国北部地区春季冰核浓度为 8×10^3 个/米³,最大浓度 10^5 个/米³,冰核浓度的变化具有明显的地区特点,冰核浓度的急剧变化与天气过程有密切联系。

一、前 言

我们在1963年冬季曾在兰州进行了大气冰核的观测,发现冰核浓度的变化与天气过程有密切的联系。分析的结果认为,核暴的形成可能有两种原因。一种是锋面过境造成有利于冰核增加的局地条件;其次认为冰核是气团属性之一,在它移动过程中,携带了所经过地区尘埃质点,再随下沉气流又被带至地面。由于单点观测的限制,很难进一步分析和肯定。为了了解西北地区冰核浓度变化的特征,探讨核暴形成与天气过程的关系,从而研究其源地。同时又根据观测条件,我们选择了兰州、西安、大连于1964年3月—4月进行了不同地点冰核的对比观测。

二、观测与仪器

我们观测工作是在兰州、西安、大连进行的。一方面这三地近于同一纬度,天气过程自西东移,便于分析天气系统对冰核浓度变化的影响。另一方面观测中需要用的干冰,这三地都可以解决。观测时间是从1964年3月15日到4月15日。鉴于冰核浓度的变化剧烈,核暴出现时间短暂(几小时),所以规定各地每天观测十二次,每逢单时进行观测。

观测仪器仍为自制的简易冰核计数器,云室的观测温度为 -20°C ,云室的温度性能及观测方法参见张濬等写的一文¹⁾。

这里我们提一提关于这种仪器的观测误差问题。由于冰核浓度与许多因子有关,如观测的时间、空间、观测时云室温度、过饱和度和检验冰晶的方法、冰晶的计数、云室内壁结霜的影响等。同时也没有标准仪器比较,不可能计算出仪器和观测的误差。但我们按照操作规程,三个仪器在同时、同地进行观测(观测地点设在地面),从统计求出其平均偏差。我们一共作了八次试验,得出平均偏差为30%。浓度大时偏差小,浓度小时偏差大(平均

* 本文于1964年10月18日收到,1964年12月28日收到第一次修改稿。

** 参加此项观测工作的人员有:王万钟、黄德丰、谢原定、叶宗秀、李佑芬、段兆吉和高子毅。

1) 见张濬等:“兰州地区大气冰核观测分析研究”一文(尚未发表)。

偏差过大的其中一种原因,可能是在地面上观测,贴地层冰核浓度不均匀性很强造成的)。这样,在资料处理中采用了统计方法分析得出的结果才有意义。

三、观测结果及初步分析

1. 中国北部的冰核浓度

我们将三地的冰核观测资料与国外的一些资料^[1]作了比较(表 1)。

表 1 混合云室(-20℃)冰核浓度观测结果比较

观测地点	观测时间	观测次数	云室体积 (升)	平均浓度 个/10升	最大浓度 个/10升	观测者
中国兰州	1963, 12	24	10	52	> 900	兰州地球物理所
	1964, 3—4	31	10	111	>1000	
中国西安	1964, 3—4	31	10	61	>1000	兰州地球物理所
中国大连	1964, 3—4	31	10	83	> 700	兰州地球物理所
澳大利亚悉尼	1956, 3—1957, 4	296	10	17	340	Bigg, E. K.
法国克勒蒙菲朗	1957, 1—2	28	6	320	1350	Soulage
法国荷斯高尔	1957, 7—8	50	1 & 10	840	1000	Soulage
美国华盛顿	1958, 1—4	96	10	52	1500	Kline
日本东京	1958, 4—5	14	2	233	680	Isono
	1957, 11	23	2	85	300	Isono
	1959, 4—5	27	2	92	710	Isono

根据表 1 所列资料可以看出,中国北部的冰核浓度比南半球的澳大利亚大了近一个量级,而与北半球各国相比较,比法国的冰核少,甚至亦少一个量级。据 Soulage^[2]的文章所述,荷斯高尔所以有这样的浓度,主要是由于钢铁厂的影响,因此不宜比较。我国的冰核浓度与美国华盛顿及日本东京相差不多,这些地区的纬度也很接近,故可以大致代表北半球该纬度冰核浓度的一般情况。

2. 冰核浓度变化的地区特点

冰核浓度的地区特点是由经常控制观测点气团的特性以及观测点的地面特征、空气扰动等综合影响的结果。我们首先分析了冰核浓度的日变化及日际变化与层结稳定能量的关系(见图 1)。由图中看到,兰州地区冰核浓度变化强烈,并与层结稳定能量呈反相关。在西安地区除几次大的峰值外,日际变化很平缓,冰核浓度变化与层结稳定能量呈正相关,而大连的日际变化却很有规律,几乎每隔 4 或 5 天就有一次峰值出现(因缺少大连探空观测资料,故未作冰核浓度与层结稳定能量的分析)。

我们又将观测期间每天十二次所有观测数据,统计出冰核浓度的频率分布(图 2)。频率分布部分地反映了冰核浓度的地区特点。表 2 给出了频率分布曲线的几个特征值。我们把众数浓度两边占总观测次数 60% 以上的区间定义为众数区间。表中众数浓度和众数区间表示了观测地点最可能出现冰核浓度的多少及变化的均匀程度,众数区间愈小冰核浓度变化愈均匀,众数浓度和平均浓度值相差愈大,可能该地受锋面活动或沙尘暴等激烈天气的影响也愈大。从图 2 中看出,兰州春季众数浓度和平均浓度都很大,众数区间最宽,并与冬季频谱分布呈明显的差别。这说明兰州地区春季冰核多,变化范围大,不均匀性强。西安的频谱分布最窄,平均浓度和众数浓度很接近。大连众数浓度最小,由于观测

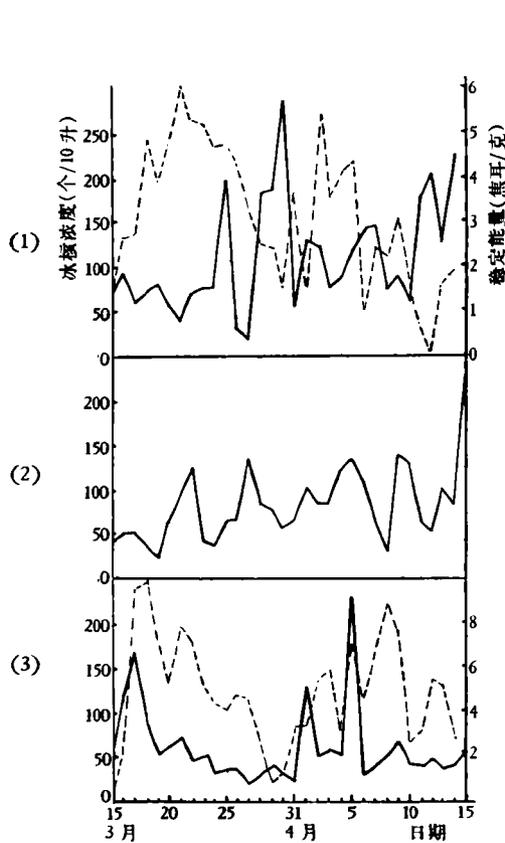


图1 冰核浓度日平均与大气稳定能量之关系

[(1)兰州, (2)大连, (3)西安; 实线为冰核浓度日平均值, 虚线为大气稳定度能量]

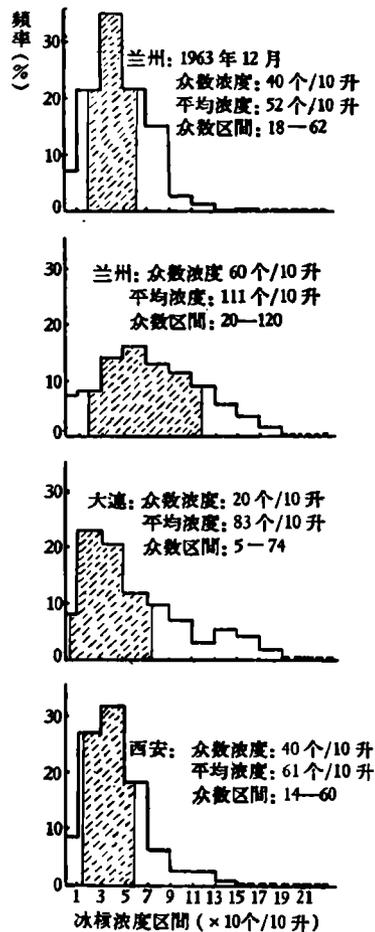


图2 冰核浓度的频率分布

表2 冰核浓度的频率分布特征

地点	时间	众数浓度 个/10升	众数区间 个/10升	总平均浓度 个/10升
兰州	1963, 12	40	18—62	52
	1964, 3—4	62	20—120	111
西安	1964, 3—4	40	14—60	61
大连	1964, 3—4	20	5—74	83

期间锋面活动频繁,核暴相应出现,致使众数区间拉宽,平均浓度远远超过众数浓度。

冰核浓度的平均日变化也具有明显的地区特点。平均日变化在锋面移动、沙暴、降水等天气和晴朗天气下,变化规律是不同的。前者的出现往往伴随着冰核浓度的急剧增减(所谓核暴的形成),淹没了冰核浓度的日变化。这里说的冰核浓度平均日变化就是指静稳日期进行逐时平均。由于锋面移动、沙暴、降水等天气过程与核暴有很密切的关系,因此在这些过程发生的日子,日平均值就大于该地的总平均值,并且多次出现浓度的急增。根据观测资料,我们规定日期取舍的两条标准:(1)日平均值不能大于该地的总平均值。(2)同一天内冰核浓度不能连续多次出现大于核暴浓度值(核暴的冰核浓度比通常的

冰核浓度大 1—2 量级),结果如图 3 所示。由图中看到,(1)各地日变化强烈程度不同,其中大连的日变化最明显,一天出现两个极大值,兰州只有一个极值出现,西安日变化最平缓。(2)各地极值出现时间不同,兰州和大连极大值分别出现在早上 07 和 09 时(大连次极值在 22 时附近),兰州春季极大值又比冬季提前两小时。我们认为:如果冰核部分来源于地面尘埃质点,那末冰核的日变化与地面尘埃特征、空气扰动程度有关。早上逆温层开始消失,空气扰动将地面质点带至近地面层中,造成早上极值的出现。

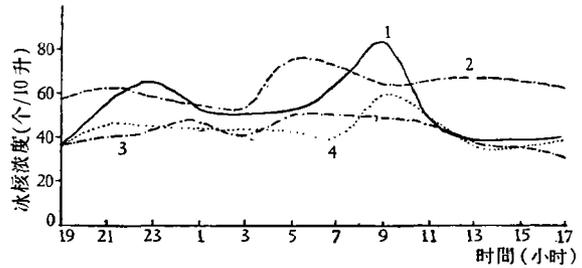


图 3 平均日变化
[1 为大连 3 为西安
2 为兰州 4 为兰州(冬)]

综合上述分析,对于我国北部春季冰核浓度的地区特点得出以下三点结论。

(1) 兰州地区冰核浓度大,变化剧烈,不均匀性强,并与层结稳定能量(即空气扰动的强弱)呈反相关。与 1963 年冬季观测资料比较来看,具有显著的季节变化特点。由此推想,兰州处于黄土高原上,地面尘埃质点可能成为良好的活性冰核,所以在空气扰动增强时,冰核浓度就明显的增加。

(2) 西安地区冰核浓度小,变化均匀,与大气稳定度呈正相关。西安虽然也处于黄土高原上,可是冰核浓度变化与兰州相差很大,这可能是由于西安观测点周围地面被冬小麦覆盖,阻止地面质点带至上空造成的。

(3) 大连观测点冰核少,与天气过程的关系最清楚。气团和锋面周期性地经过大连,“核暴”也相应地周期出现。

3. 冰核浓度变化与天气的关系

大气冰核浓度的分布及变化和其它一些大气物理量一样,与天气系统(如高、低压、锋面等)、天气现象(如大风、扬沙、雨、雾等)有密切的关系。一旦有某一个天气系统移来时,冰核浓度总会有相应的变化。在激烈的天气情况下,冰核浓度往往可增加几倍——一个量级(有时甚至达两个量级),即出现“核暴”。

(1) 高压系统内部冰核浓度分布

我们把冰核浓度看作是气团的一个属性,认为它在高压系统内有一定的水平分布。在 3—4 月份的观测期间,有 10 次大小高压系统通过大连观测点(因兰州、西安两地高压系统均不完整,无法分析)。其中有的是高压中心通过,有的是偏离中心不远,如果将大连的观测数据化时间为空间坐标,就可得到穿过高压中心或中心附近某一条轨线上冰核浓度的水平分布。由于高压系统有大有小,为了便于统计分析,将高压系统通过观测点的整个时间等分为 20

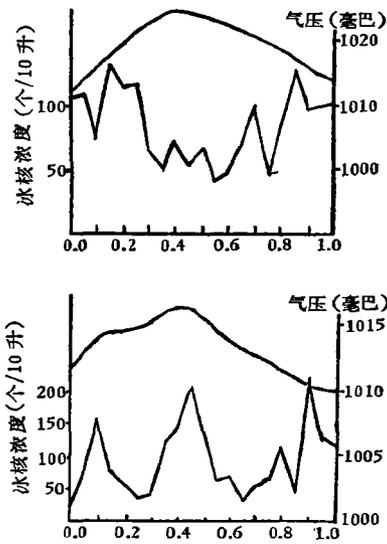


图 4 气团内部冰核的水平分布

个时段(即把高压中心轴线 20 等分),每一等分点上冰核浓度取其相邻观测值的平均值或正好是该点的观测值。由这样分别统计结果可知,高压内部冰核分布是不均匀的(图 4),它基本上可以分为两种类型。1)高压中心冰核比较小,且变化不大,而高压边缘冰核相当多,即所谓“U”型。这种情况有 7 个例子。2)除高压边缘的冰核有峰值外,在高压中心亦有一个峰值,即所谓“W”型,它有 3 个例子。

上述两种冰核分布类型的共同特点是高压边缘冰核浓度高。因为高压边缘往往是两个不同性质气团的交界处,是锋面活动的区域,天气现象变化和地面空气扰动均很强烈,把大量的尘埃质点带至近地层,造成高压系统两头高的分布特征。而高压中心为辐射下沉气流,层结稳定,是晴朗的好天气,故冰核变化小。至于高压中心出现峰值的三个例子,可能和黄土高原尘暴发生有关,这一点后面还要讨论。

(2) 锋面活动对冰核浓度的影响及锋区附近冰核浓度分布的特征

在张滢等一文¹⁾中已明确的指出,冰核浓度峰值的出现与锋面活动有明显的关系,即在锋面过境时,冰核浓度往往会突然增加 1—2 个量级,这种急增形式我们统称核暴。在这次观测期间,大连有 10 次锋面过境就有 9 次出现核暴。西安共有 6 次核暴,其中 4 次在锋面上。兰州 11 次大的核暴中,有 7 次受到锋面的影响。初步统计的结果列于表 3。

表 3 核暴与天气过程关系的初步统计

地 点	核暴次数	受锋面影响次数	受尘暴影响次数	其 它
兰 州	11	7	1	3
西 安	6	4	2	0
大 连	14	9	4	1

大连观测点的冰核浓度变化和锋面活动的关系最明显,我们仔细的分析了每次锋面到达大连时冰核浓度的变化。首先从天气图上计算了观测期间大连附近冷锋平均移动速度,进行坐标转换,再根据大连冰核观测资料,消去正常天气情况下冰核浓度的日变化,得到了纯系锋面活动引起的净增加量,9 次平均的结果,做出了在冷锋移动方向上锋区及其附近冰核浓度分布图(图 5 下面的曲线)。图 5 上部是冷锋的模式图^[3]。可以看出,在锋前 300 公里的地方,冰核浓度就开始受到锋面的影响,快进入锋区时,冰核迅速增加,在锋区内,冰核达到最高峰。从天气学可知,锋区正是大风区,扰动能量很强,将地面质点带入近地层。另外,锋面并不是固定质点组成的物质面,而是不断的有层层的锋前新鲜空气卷进来^[4],地面扰动起的物质就容易集中在锋区内。特别是当锋面移动过程中经过冰核来源较充沛的地区,这种作用更为显著,冰核在锋区集中更多,故形成了锋区及其附近冰核分

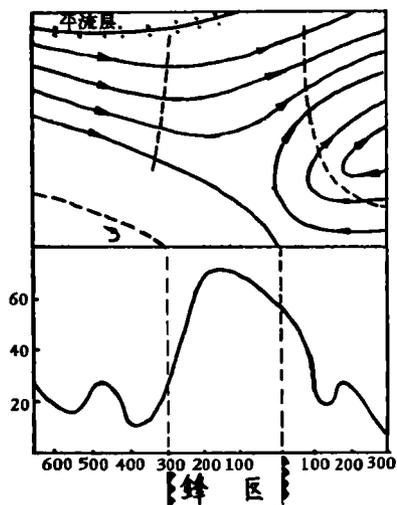


图 5 冷锋区和锋面附近冰核浓度的分布

1) 见第 416 页脚注。

布的特征。

(3) “尘暴”与“核暴”的关系

从观测资料中发现,核暴的形成除了受锋面影响外,与黄土高原上发生的尘暴(扬沙)也有一定的关系。大连的观测资料看得格外明显,我们将尘暴发生区和高空 700 毫巴迹线图配合分析,当 700 毫巴轨迹经过尘暴区到达大连时,在大连就观测到核暴。如 1964 年 3 月 30 日、4 月 3 日、10 日,黄土高原上发生尘暴,700 毫巴轨迹分别如图 6 中 I, II, III, 相应的在 3 月 31 日、4 月 4 日、12 日在大连观测到核暴。冰核浓度比平均值增加 1—2 个量级。相反地,我们从大连观测到冰核浓度低值日期,反推其空气质点轨迹,发现空气来自不同的方向,有的来自我国东北大兴安岭(3 月 23 日图 6 中 3)、有的来自蒙古高原(3 月 25 日、4 月 7 日图 6 中 2)、也有的从我国长江中游经华北平原、渤海海面到达大连(3 月 23 日图 6 中 1)。尽管这些天在黄土高原上仍有尘暴发生,700 毫巴空气质点轨迹都未经过该区,所以大连没有观测到核暴。

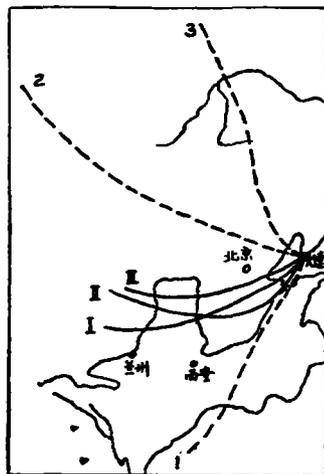


图 6 700 毫巴空气质点轨迹

处于黄土高原上的兰州、西安两地,当尘暴发生时,黄土尘埃弥漫,但并不一定在当时出现核暴,往往相隔一天后,天气晴朗,才发现有核暴。

我们认为:地面扬起大量的黄土尘埃,在当时当地不一定是良好的活性冰核,随着气流的携带,经过长时间的高空的低温高湿处理,可能变成活性更强的冰核。这样就解释了大连观测点尘暴与核暴的关系,以及在黄土高原尘暴发生后 1—2 天才反映出冰核浓度增加的原因。

四、冰核源地问题

西北地区冰核来源问题,在张澍等一文¹⁾中已进行了初步分析。现在根据三地观测分析认为:冰核来源于地面尘埃质点。分析中看到,在锋面等激烈天气经过观测点,引起强烈的局地扰动时,地面质点带至近地层造成冰核物质的增加。再从大连、西安、兰州的核暴和尘暴分析中,说明了黄土高原上扬沙经过高空处理后也可能成为良好的活性冰核,对于这点,我们将要在冷云室实验中进行验证。

五、小 结

从兰州、西安、大连三地观测资料的分析,可以得出下列几个结论。

(1) 中国北部春季冰核的平均浓度为 8×10^3 个/米³,最大浓度大于 10^5 个/米³。

(2) 冰核浓度变化有明显的地区特点,兰州地区冰核浓度大,不均匀性强。西安地区冰核浓度变化平缓,只有在强烈的天气影响下才有核暴形成。大连局地冰核少,核暴的出现与天气过程有密切联系,有 4 或 5 天的周期性。

1) 见第 416 页脚注。

(3) 冰核浓度的变化与天气系统、天气现象有着密切的关系。高压中心轴线上冰核浓度的分布呈现两种类型：即“U”和“W”型。在两个气团交界处——经常是锋面活动区，产生大量的冰核，形成了锋区及其附近冰核分布特征。此外，我们也看到黄土高原上发生的“尘暴”，与“核暴”也有一定的关系。

致谢：本文承蒙高由霖先生指导，大连水产专科学校、西安观象台提供了便利的观测条件，在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] Bigg, E. K., Summary of Measurement of Ice-Nuclei Concentrations. *Bull. de Obser. du puy de Dome*, 1960, No. 3, pl.
- [2] Soulage, Origins, Concentrations and Meteorological Importance of Atmospheric Freezing Nuclei, *Nubila*, 1961, No. 1.
- [3] Robert, D. Elliott, California Storm Characteristics and Weather Modification. *J. Met.*, 15 (1958), 6, 486—493.
- [4] 顾贇潮等, 气象学报, 29 (1958年), 44—55.

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАБЛЮДЕНИЙ НАД АТМОСФЕРНЫМИ ЛЕДЯНЫМИ ЯДРАМИ НА СЕВЕРНОЙ ТЕРРИТОРИИ КИТАЯ

Чжан-Мя и др.

(Ланьчжоуский институт геофизики АН Китая)

Резюме

С 15 марта до 15 апреля 1964 года на трех пунктах в горах Ланьчжоу, Сиань и Дальний отдельно проведены наблюдения над атмосферными ледяными ядром льда. Температура наблюдения принята -20°C . При помощи сахарного раствора с удельным весом 1,22—1,24 проверены кристаллы. Из анализа полученных данных показано, что на северной нашей стране средняя концентрация ледяного ядра составляет примерно $8 \times 10^3/\text{м}^3$, максимальная концентрация больше $10^5/\text{м}^3$, изменение концентрации ледяного ядра имеет явную местную особенность, крутое изменение концентрации ледяного ядра тесно связано с синоптическими процессами.