北京西北郊气溶胶的物理化学特性

杨绍晋　钱琴芳　倪　骏　　曲绍厚　李玉英　周明煜
（中国科学院高能物理研究所，北京）　（中国科学院大气物理研究所，北京）

气溶胶是重要的大气污染物之一．气溶胶的不同来源和复杂的形成过程使得它的成份及其含量有很大差异．气溶胶本身可能是有害的，因其所含的某些元素和成份，可能有致癌作用或会引起心血管等疾病；它也可能是其它污染物的反应床或运载体．因此气溶胶的成份及其含量已成为评价大气质量的一个重要指标．所以在某一地区对气溶胶的化学组成及其物理化学特性进行分析研究是很有必要的．

一、观测方法与仪器

从1979年10月到1980年9月，我们在中关村高能物理研究所大楼顶上设一固定采样点，选择比较平稳的天气过程，每月进行5次采样（其中11月采样9次，12月采样12次）．1980年4、7、11月分别进行一次为期2天的连续采样，每天采样的开始时间分别为6时、12时、17时和22时．另外，在1980年11月7、8和19日在大气物理研究所320米气象铁塔8、200和320米上进行采样，上述采样时间每次都为4小时左右．

气溶胶的采样是用KB-120型大气采样器进行的，该仪器在采样时，能使空气从60—70升/分的流速通过直径为30毫米的国产新华滤纸（相当于Whatman-41滤纸），它的收集效率为98%，有效面积为7.07厘米^2．气溶胶中的化学组分是用仪器中子活化分析测定的．

二、结果与讨论

气溶胶的采样是选择平稳、小风的天气情况下进行的．因为这时人类活动所引起的大气污染比较明显，对讨论大气污染问题更有代表性．图1为气溶胶月平均浓度的年变化情况．从图1可以看出，气溶胶的浓度的季节变化十分明显，在冬季取暖期气溶胶的平均浓度一般比非取暖期月份的要高．北京冬季取暖的燃料主要是煤，这说明燃煤对本地区大气污染的贡献占相当比重．12个月中，只有4、5两个月气溶胶浓度没有超过国家规定标准150微克/米^3（日平均最高允许浓度），其余10个月都超过国家规定标准，而其中尤以12月份为最严重，是国家标准的4.8倍．全年平均浓度为300微克/米^3，超过国家规定标准一倍．

用中子活化分析测得了气溶胶中的27种元素，这些元素的浓度在不同季节中也有明显的变化（图略）．除了元素Sb和Ta以外，其它元素的浓度都是12月份最高．这种变化趋势与气溶胶浓度变化规律是一致的．为了判别气溶胶中元素的来源，我们计算了元素的富集因子F_0[1]

$$F_0 = \frac{C_{e,air}/C_{Sc,air}}{C_{c,Cr}/C_{Sc,Cr}},$$

本文1982年1月4日收到．

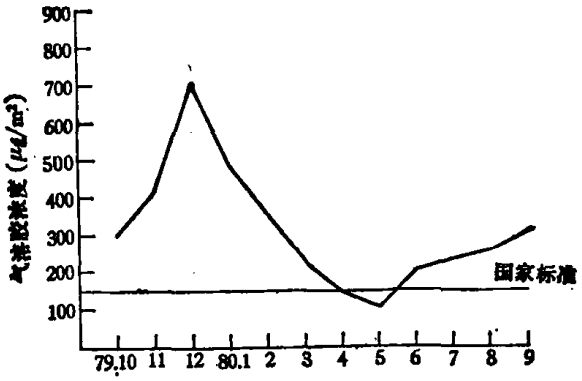


图 1　气溶胶浓度的年变化

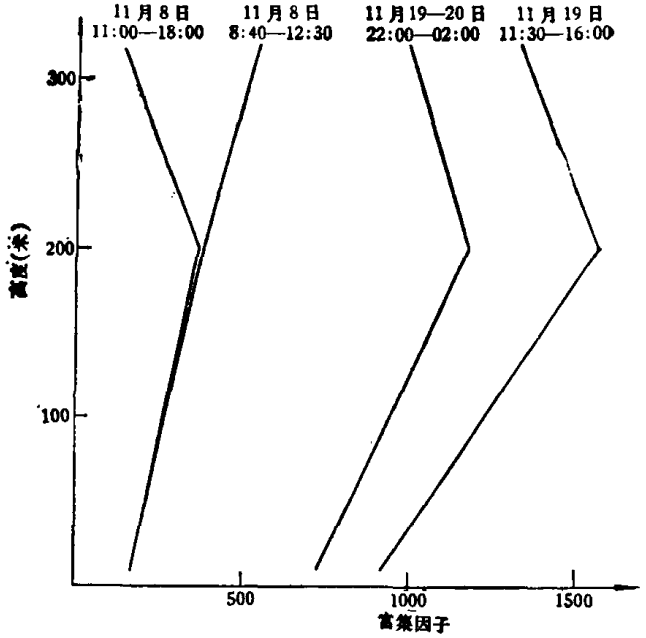


图 2　元素 Sb 的富集因子随高度变化

其中 $C_{e,air}$ 和 $C_{Sc,air}$ 分别为气溶胶中某元素和 Sc 的浓度，$C_{e,Cr}$ 和 $C_{Sc,Cr}$ 分别为地壳中元素和 Sc 的浓度.

F_0 的计算值列于表 1. 从表 1 可看出，气溶胶中许多元素相对浓度非常接近于其在地壳中的相对浓度如 Fe、Co、Cr、Hf、Rb、CS、Ba、U、Th 及稀土元素的 F_0 值都接近于 1，大部分元素的 F_0 值均小于 10，只有 Se、Sb、As、Br、W 等元素的 F_0 值大于 10. 富集因子小于 10 或接近于 1 的元素，主要是由土壤或岩石风化的尘埃被风刮入大气所引起的；而富集因子大于 10 的元素，可以确定它们并不是来自地壳物质，而是与人类活动造成的污染有关.

另外我们用煤中的元素平均含量来计算富集因子. 计算结果表明，那些相对于地壳物质其富集因子大于 10 的元素，相对于煤则普遍都降低，有些已接近于 1. 说明这些元素在气溶胶中有富集主要与燃煤造成的污染有关. 但元素 As 相对于煤的富集因子还未降到 10 以下，这表明，除燃煤以外，看来还存在其它污染源.

从表 1 还可看出，6—10 月份亲气元素 Se、Sb、As、Br、W 的富集因子有时较取暖期还高. 其原因是气溶胶中的亲气元素一般富集在小颗粒上，而 Sc、Fe 等亲石元素（非挥发性元素）是富集在大颗粒上. 取暖期北京各地区都大量燃煤取暖，所以此时期采集的气溶胶样品主要是附近地区排放的颗粒物. 元素的相对浓度变化不大，而非取暖期采集的气溶胶样品中还有一部分是从其它地区输送来的. 由于中关村地处北京市区的西北方向，在 6、7、8 月北京偏南风较多，因而城区排放的大气颗粒污染物就在随偏南风，向偏北方向输送时，气溶胶中的大颗粒物沿途逐步沉降，而富集亲气元素的小颗粒物则输送的较远，因而亲气元素的富集因子在夏季就有可能高于冬季.

表 2 给出北京西北郊地区与美、英、法、德等国大城市气溶胶中各元素浓度的比较. 从表中可看出，北京西北郊地区气溶胶中大部分元素浓度都较高，这说明本地区大气污染状况是值得关注的. 但是 Br 的浓度却比国外浓度低，其原因是 Br 除了燃煤的贡献外，主要是汽车废气所致. 由于我国城市所用机动车辆与国外相比少的多，因此气溶胶中 Br 的浓度相应就低. 这也说明气溶胶化学组成的差异能反应出地区大气污染的某些特征.

表 1　气溶胶中各元素的富集因子

元素＼日期	79.10	79.11	79.12	80.1	80.2	80.3	80.4	80.5	80.6	80.7	80.8	80.9
Se	179	210	341	243	366	367	207	189	391	542	283	267
Sb	902	230	160	39	70	125	138	73	430	680	820	260
AS	27	33	42	32	44	39	23	34	50	73	69	38
Br	10	12	37	9	33	18	7	11	19	37	11	11
W	18	15	13	12	17	32	11	14	25	25	17	13
Ga	2.6	3.8	6.0	6.3	9.0	8.3	1.9	3.4	3.7	3.0	3.7	2.8
Ba	1.5	1.6	1.4	1.4	1.4	1.2	1.5	1.4	1.6	2.6	1.1	2.0
Cr	2.1	1.7	1.0	0.9	1.0	1.3	1.0	1.1	1.5	2.0	1.4	2.3
Hf	1.6	1.8	1.9	2.6	2.8	2.4	3.6	1.8	1.9	1.7	1.5	1.8
Fe	0.9	0.8	0.6	0.6	0.7	0.7	0.9	0.9	0.9	—	0.8	1.1
Co	2.2	2.3	2.2	2.3	2.1	2.3	1.7	1.8	2.4	2.3	2.2	2.3
La	0.7	0.8	0.9	0.9	1.2	1.1	0.9	0.9	1.0	0.9	0.9	1.0
Sm	0.9	0.9	1.0	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0	1.1	0.8	1.0	1.0
Eu	1.2	1.2	1.0	1.5	1.0	1.1	—	0.8	1.2	0.9	1.0	1.2
Ce	1.0	1.0	1.1	1.2	1.4	1.3	1.1	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0
Yb	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	0.9	0.8	0.6	1.4	1.1	1.4	1.4
Tb	—	—	—	—	0.9	1.8	1.8	1.2	1.4	3.3	1.3	1.8
Lu	0.6	0.7	0.7	0.9	1.2	1.1	1.1	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7
Rb	0.8	0.7	0.5	0.6	0.4	0.5	1.0	0.5	0.7	0.6	0.7	0.6
Cs	2.7	2.5	2.1	1.6	1.8	2.0	2.5	2.4	2.8	2.7	2.0	2.0
Na	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
K	0.6	0.5	0.4	0.3	0.4	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6
U	1.0	1.2	2.0	2.0	2.4	1.9	1.2	1.3	1.8	1.6	1.1	1.3
Th	1.3	1.4	1.6	1.8	1.8	1.6	1.3	1.3	1.5	1.3	1.4	1.4
Nd	2.2	1.8	1.5	2.3	1.6	4.3	—	4.3	2.8	6.3	2.2	3.5
Ta	—	—	0.6	—	0.5	0.3	—	0.3	0.2	0.5	0.3	0.4

由于北京地区污染源的排放高度各不相同，有居民生活用煤的低空排放以及工厂和取暖锅炉的高烟囱排放；而影响大气气溶胶输送和扩散的气象因子在不同高度也是不同的．所以气溶胶的浓度及其化学成分随高度分布的规律是很复杂的．从 11 月份取暖前后，在 320 米铁塔上的观测资料来看，在非取暖期，白天时气溶胶浓度基本上是随高度降低．在取暖期，气溶胶浓度的垂直分布则不是单调的随高度而下降，有时 320 米高度上的浓度反比 200 米高度上的高(图略)．

此外，我们计算了不同高度上气溶胶中所含元素的富集因子 F_0．元素 As、Br、Sb、Se、W 的 F_0 值明显大于 10，在高层的富集因子比低层高，其它元素的富集因子 F_0 都小于 10．而且随高度没有明显的变化．为了简略，图 2 只给出 Sb 的富集因子随高度的分布图 (As、Br、Se 的 F_0 值随高度分布大致类同，图略)．从图 2 可看出，高层 (320 和 200 米) Sb 的 F_0 值一般来说要比低层的高．

元素 Sb 是一种亲气元素，它主要富集在气溶胶的小颗粒上，因而很容易随着垂直气流被携带到较高的层次．例如 11 月 8 日上午随着地面接受太阳辐射而增温，在低层大气出现明显不隐定层结，细小颗粒的气溶胶可上升到较高的高度，因而 Sb 的 F_0 值随高度呈线性增长．11 月 8 日下午大气层结逐渐趋于稳定，后来甚至在低层出现逆温，抑止了气溶胶的垂直交换，

表 2　世界各大城市气溶胶中痕量元素浓度(ng/m³)

元素	芝加哥	多伦多	汉堡	巴黎	英国7城市	中关村(冬季)	中关村(夏季)
Al	2175	2100			143—580		
As	12	12			2.0—19.3	15.7	12.4
Ba						204	158
Br	83	290	30.5	433	13—102	16.4	6.8
Ca	7000	5300			<50—550	24300	40000
Cd			26.8	19.5	<5—18		
Ce	13				0.16—0.54	21	13.2
Co	2.6	1.0	2.2	6.67	0.19—4.8	6.7	4.1
Cr	11.3	26	4.6	15.1	1—14	21.2	17.3
Cu	1150	330			18—55		
Cs					0.11—0.51	1.4	1.1
Fu	0.135					0.4	0.22
Ee	13800	2200	1041	3500	160—549	6000	5640
Ga	1.3					25.6	8.3
Hf						1.6	1.1
Hg	4.8	5	0.17	11.2	0.05—0.24		
K	1415	870				3000	2690
La	5.9	2.4			<0.3	10	6.8
Lu						0.12	0.08
Na	455	650	224	1823	400—1620	1320	1251
Rb					<0.3	16.7	13.7
Sb	25	6.9	5.1	50.8	0.46—4.5	10	11.8
Sc	3.1	0.27	0.5	0.7	0.05—0.17	3.5	2.3
Se	3.8				0.4—2.5	6.6	4.3
Sm	0.41	0.33	0.24	0.42		1.7	1.0
Ta						0.21	0.18
Th	1.3				0.04—0.13	4.4	2.5
U						1.6	0.8
W	5.8				<0.3	5.3	3.6
Yb						0.6	0.6

所以在高层 320 米高度上 Sb 的 F_0 值有所下降.

在不同高度上，元素 Sb 在取暖期(11 月 19 日) F_0 值明显的高于非取暖期的 F_0 值. 11 月 19 日两次资料表明,在 200 米高度上 Sb 的 F_0 值比 320 米和 8 米的都高. 在取暖期，北京地区大部分锅炉烟囱都在几十米到一百米高度,由于排放烟气的动力和热力抬升作用,实际的排放高度可能大多在一百米左右.从气象观测可看到，11 月 19 日是小风天气,在 13 时,200 米以下，大气层结接近中性，200 米以上是弱稳定条件，11 月 20 日 01 时，200 米以下是一逆温层. 200 米以上,大气层结也是稳定的. 这类气象条件不利于气溶胶的垂直扩散,这时如果在相当于塔层中层高度上大量排放烟尘，它们是比较容易维持在这个高度附近. 因而亲气元素 Sb 的 F_0 值在 200 米高度上在合适气象条件下出现极大值是完全可以理解的. 上述资料说明气溶胶中的元素浓度随高度分布的规律是很复杂的,为了深入了解它的规律,有待进一步研究.

参　考　文　献

[1] Gordon, G. E., Zoller, W. H. & Glandney, E. S., *Proc. Symp. Univ. of Missouri*, Columbia, 1974, 167.