

# 青海瓦里关大气气溶胶元素富集特征及其来源\*

温玉璞 徐晓斌 汤洁 张晓春 赵玉成

(中国气象科学研究院,北京 100081)

(青海省气象局,西宁 810001)

## 提 要

利用中子活化及 PIXE 和可见光灰度仪,对青海瓦里关大气本底基准监测站的大气气溶胶样品进行了测量。通过元素相对浓度、富集因子和主因子分析等数据统计分析,并结合同期的气团后轨迹分布资料,讨论了瓦里关大气气溶胶元素的组成及来源。结果表明,位于青藏高原偏远地区的瓦里关大气气溶胶以土壤及地壳等自然来源为主,因子分析的方差百分数给出瓦里关气溶胶中自然源的贡献率平均在 70% 以上。燃煤、交通及冶炼等人为源也占有一定比例。大气黑碳气溶胶的观测也表明人类活动影响的存在。人为源的影响多与来自东部及河西走廊等经济发达地区的气流有关。

关键词: 大气气溶胶 来源 富集 主因子分析 轨迹

## 引 言

除温室气体外,大气气溶胶是造成地球气候变化最重要的大气成分之一。因人类活动及自然条件的影响,大气气溶胶的浓度及组成均有明显的地域差异。其中清洁地区的大气气溶胶在反映全球大气环境质量和大气污染对气候的影响方面都有重要的意义。偏远地区的气溶胶,国外已有了不少研究成果<sup>[1-3]</sup>,但因缺乏足够的观测资料,国内除少数工作<sup>[4]</sup>外,对我国内陆高原大气背景气溶胶的观测研究仍很不充分。为了了解这一地区大气气溶胶的物理化学特征及人类活动和自然源对其影响的程度,本文利用近年在青海瓦里关大陆基准本底观象台取得的气溶胶观测资料对此做了讨论。

## 1 观测方法及资料来源

利用 KA-200 及 KB-120 气溶胶采样器和美国玛基科学公司提供的可见光灰度仪于 1992~1995 年,在位于我国内陆青藏高原的青海瓦里关山(36°17' N, 100°54' E, 海拔 3814 m),进行了大气气溶胶的采集及测量工作。其中 KA-200 为安得森(Anderson)撞击式多级采样器,采集的气溶胶分为: $>11 \mu$ 、 $7 \sim 11 \mu$ 、 $4.7 \sim 7 \mu$ 、 $3.3 \sim 4.7 \mu$ 、 $2.1 \sim 3.3 \mu$ 、 $1.1 \sim 2.1 \mu$ 、 $0.65 \sim 1.1 \mu$  和  $<0.65 \mu$  8 个粒径。KB-120 则为单级气溶胶(总量)采样器。因当地气溶胶背景值浓度相对较低,为保证有足够的样品量,采样持续时间 KA-200 约为 24 h,KB-120 为 12 h。气溶胶的采集选用价格低,杂质少,捕获率高的国产新华滤膜。为避

\* 本文由科技部 G99-A-07 项目资助。

2000-06-27 收到,2000-08-30 收到修改稿。

免环境条件对测量的干扰,所有滤膜均在恒温、恒湿条件下进行称量,精度为十万分之一( $10^{-5}$ )。空气流量及采样体积均按采样期间的平均气压、气温做了订正。为了说明瓦里关气溶胶的特征及来源,大部分样品是在不受人为源直接影响的偏西风的天气条件下采集的。为便于比较,部分样品则选择受上风方人为源影响较大的偏东风条件下采集的。对所取样品,分别用中子活化(NA)及质子 X 射线荧光(PIXE)分析技术对样品中 40 余种主要元素做了测定。除个别样品元素测定值接近滤膜本底值和采样时风向有明显变化的样品外,可用的分析资料共 82 组。

黑碳气溶胶的测量是根据可见光光强  $I_0$  与透过滤膜的衰减量的对数关系,由其光电流的大小即可方便的计算出黑碳浓度( $\text{ng}/\text{m}^3$ ,  $1\text{ng} = 10^{-9}\text{g}$ )。在本项研究中,1994 年前黑碳测量采用的是手动灰度仪,其后则采用了自动灰度测量仪(AE-6)测得的资料<sup>[5]</sup>。

气象资料均取自台站观测结果。瓦里关地理条件及周围环境状况参考文献[6]。

## 2 主要结果

### 2.1 瓦里关地区大气气溶胶的化学组成及浓度分布

瓦里关气溶胶主要由 40 余种元素组成,元素的浓度变化范围如表 1 所示。为了便于比较,还同时给出了上甸子区域本底监测站( $40^{\circ}39' \text{N}$ ,  $117^{\circ}07' \text{E}$ )和西太平洋考察区域( $21^{\circ} \text{N}$ ,  $157^{\circ} \text{E}$ )及加拿大 Alert 基准站<sup>[2-3]</sup>( $82^{\circ}27' \text{N}$ ,  $62^{\circ}37' \text{W}$ )取得的资料。平均而言,瓦里关气溶胶中元素浓度大于  $1\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $1\text{ }\mu\text{g} = 10^3\text{ ng}$ ) 的有 Al、Ca、Fe、K、Mg。小于  $1\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,而大于  $0.1\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$  的有 Cl、Ti、Na。浓度小于  $0.1\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、大于  $0.01\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$  的有 Ba、Br、Mn、Zn。元素浓度在  $0.01$  与  $0.001\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$  之间的有 As、I、La、Rb、Sb、V。元素浓度低于  $0.001\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$  的有 Co、Sc、Se、Sm、Eu、Hf、Lu、Ta、Tb、Th。对大多数地壳元素而言,瓦里关气溶胶元素都要比城市地区的浓度低一个数量级以上<sup>[4]</sup>。无论瓦里关或上甸子,Al、K、Ca、Fe、Mg、Mn、Na、Ti 和 Ba 等地壳元素的含量均要比其它元素大得多,土壤对两地气溶胶的贡献均是主要的,而与海洋气溶胶的组成则有明显的区别。在海洋气溶胶中,随着离大陆距离的增加,陆地的影响明显减小,表现在上述元素含量的减少可达一个数量级以上,而海洋元素如 Cl、Na、Br 等则逐渐高于陆地。除自然源的影响外,瓦里关与其它地区气溶胶组成的最大差别还在于一些与人类活动有关的元素,如主要来自燃烧及交通等人为排放的 As、Br、Se、I、V 和 Zn 等,都明显低于东部地区的上甸子及其它较洁净的地区<sup>[4]</sup>,并略低于国外的区域背景值<sup>[3]</sup>。而与 Alert 全球大气本底基准站相比,瓦里关气溶胶中几乎所有元素的浓度均远远高于前者,可见自然源及人为源对我国内陆高原气溶胶均有一定的影响。

研究<sup>[7,8]</sup>表明,不同粒径的气溶胶粒子的来源是不同的。粒径在  $2\mu$  以上的粗粒子一般多来自局地自然源,而  $2\mu$  以下的细粒子,常与燃烧等人为污染排放有关。由表 2 可看出各元素在瓦里关及上甸子气溶胶粗、细粒子中分布的特征:(1)主要来自土壤的地壳元素 Al、Ba、Ca、Cs、Fe、K、Mg、Mn、Na、Sc、Ti 和 V 等,在两地的粗粒子部分均占有较高的含量。地壳元素在瓦里关气溶胶粗粒子部分的含量百分比约为 70%左右,只有不足 30%的部分含于细粒子中,而北京远郊区的上甸子,地壳元素在粗粒子中的含量百分比约为

表1 瓦里关及上甸子气溶胶元素浓度变化范围与其它地区平均值的比较  $\text{ng}/\text{m}^3$ 

元素	瓦里关	上甸子	21°N	Alert	元素	瓦里关	上甸子	21°N	Alert
	大陆站	区域站	157°E	基准站		大陆站	区域站	157°E	基准站
Al	2110 ~ 3410	2240 ~ 5240	37.4	51	Mn	27.5 ~ 52.9	50.9 ~ 100	0.43	0.35
As	0.70 ~ 3.37	5.6 ~ 13.6	-	-	Na	541 ~ 1150	581 ~ 1083	3170	90
Ba	21.3 ~ 45.3	24.2 ~ 41.8	2.4	<0.13	Rb	6.2 ~ 14.9	4.83 ~ 8.4	0.13	-
Br	1.07 ~ 2.67	12.3 ~ 14.8	17.8	<0.25	Sb	0.26 ~ 1.11	1.2 ~ 4.41	0.11	-
Ca	2010 ~ 4280	1310 ~ 3440	199	74	Sc	0.52 ~ 1.4	0.54 ~ 1.26	0.006	-
Cl	436 ~ 867	2300 ~ 6400	5410	<100	Se	0.05 ~ 0.19	2.94 ~ 5.8	0.08	-
Co	0.63 ~ 1.84	0.91 ~ 1.99	0.02	-	Sm	0.19 ~ 0.61	0.24 ~ 0.52	0.005	-
Eu	0.04 ~ 0.15	0.08 ~ 0.14	0.002	-	Tb	0.03 ~ 0.08	0.02 ~ 0.18	0.02	-
Fe	1720 ~ 3910	1190 ~ 2610	303	-	Ti	106 ~ 220	124 ~ 381	-	<0.3
I	0.1 ~ 1.81	6.1 ~ 7.2	4.87	<1	Th	0.56 ~ 1.5	0.66 ~ 1.57	0.007	-
K	1190 ~ 2200	805 ~ 1614	393	<40	V	3.02 ~ 5.88	4.17 ~ 11.1	-	<1
La	1.7 ~ 4.15	1.44 ~ 3.37	0.03	-	Zn	9.5 ~ 26.3	96.1 ~ 198	3.8	2.7
Mg	1430 ~ 3230	880 ~ 1600	481	31					

83%。这可能与瓦里关地区少农业活动及地势较高,扬尘难以到达,使来自风沙和土壤的影响相对减小有关。(2)主要来自人为排放的As、Br、Cl、I、Sb、Se和Zn等污染元素,在瓦里关气溶胶的细粒子部分仍占有一定比例(含量一般在50%以下),但明显低于上甸子细粒子部分的平均含量(约为68%),更大大低于城市气溶胶的平均分布<sup>[7]</sup>(城市地区污染元素在细粒子中平均含量在80%左右)。元素在瓦里关和上甸子气溶胶粗、细粒径上分布的差异,反映了两地气溶胶的来源不尽相同。

## 2.2 瓦里关大气气溶胶元素的富集特征

富集因子(EF)是探讨大气气溶胶中元素富集程度、分析其来源的一种常用方法<sup>[4,8]</sup>。此处若选地壳元素Fe作参比元素,各元素在地壳中的平均丰度值取自B. Mason所给出的资料<sup>[9]</sup>。计算出的瓦里关气溶胶总量中元素的EF平均值如表3所示。

从各元素相对于地壳的EF值可看出,上甸子气溶胶中,Cl、I、As、Sb、Br、Se和Zn等污染元素的EF值远远大于10,表明来自北京市区或其它人为污染源对上甸子气溶胶有明显的影

表2 不同地区各元素含量在气溶胶粗、细粒子中的分布 %

元素	瓦里关		上甸子	
	粗粒子	细粒子	粗粒子	细粒子
Al	78	22	94	6
As	65	35	31	69
Ba	77	23	89	11
Br	55	45	49	51
Ca	75	25	90	10
Cl	61	39	49	51
Cs	79	21	58	42
Fe	82	18	84	16
I	6	94	10	90
K	73	27	57	43
Mg	73	27	93	7
Mn	77	23	66	34
Na	81	19	86	14
Rb	78	22	59	41
Sc	83	17	90	10
Sb	45	55	23	77
Se	38	62	28	72
Ti	80	20	96	4
V	77	23	84	16
Zn	57	43	32	68

响,这些元素基本上反映了我国北方以煤烟型污染为主的特征。而上述元素在

瓦里关气溶胶中也有所富集,其中,部分污染元素的  $EF$  也高于 10,可见来自大陆腹地的人为源对瓦里关背景气溶胶仍有一定的影响。但总体而言,瓦里关元素的  $EF$  值大大低于上甸子。

表 3 瓦里关气溶胶元素  $EF$  的平均值

元素	Al	As	Ba	Br	Ca	Cl	Fe	I	K
瓦里关	0.8	24.8	1.9	15	2.1	15	1.0	30	1.2
上甸子	1.3	136	2.3	158	1.6	1232	1.0	4130	1.3
元素	Mg	Mn	Na	Se	Sb	Se	Ti	V	Zn
瓦里关	1.7	0.9	0.7	1.1	25	61	0.9	0.7	5
上甸子	2.3	2.3	0.8	1.4	2630	2400	1.8	1.5	57

研究表明,不同粒径组成的气溶胶粒子,其性质、来源和元素的富集程度都有很大区别,Cl、I、As、Sb、Br、Zn 和 Au 等这些主要来自人为源的元素多在细粒径上富集,而主要来自地壳的元素则与之相反。为了解人类活动对瓦里关气溶胶组成的影响,图 1 给出了 4 组(a、b、c、d)偏东至偏北风向条件下瓦里关气溶胶元素  $EF$  值随粒径的分布,其中 As、Cl、Br、I、Sb 和 Zn 等元素的  $EF$  值在细粒径上均有升高的趋势,而细粒子大多来自人为源的中远距离输送。据此,我们认为瓦里关气溶胶的人为污染元素可能主要受来自东部人为排放的影响。但总体而言,人为源对瓦里关气溶胶的贡献仍大大低于东部清洁地区<sup>[10]</sup>。需指出的是瓦里关气溶胶中,Au 的  $EF$  明显偏高,其主峰也在细粒子上。而地壳元

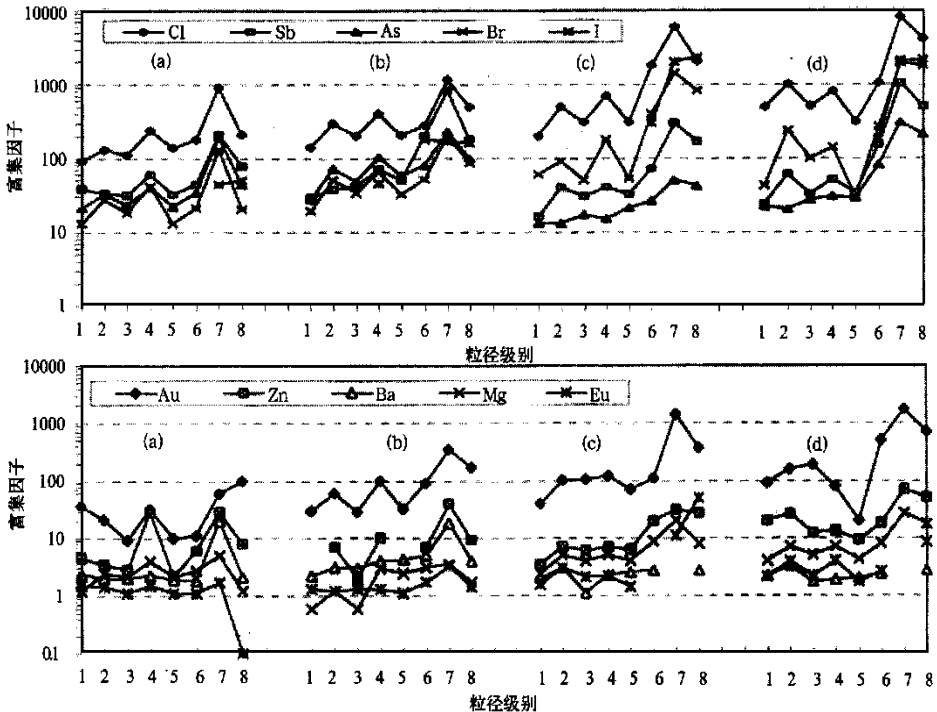


图 1 偏东北气流条件下瓦里关气溶胶元素富集因子的粒径分布

(粒径范围:1 为  $>11 \mu$ ; 2 为  $7 \sim 11 \mu$ ; 3 为  $4.7 \sim 7 \mu$ ; 4 为  $3.3 \sim 4.7 \mu$ ;

5 为  $2.1 \sim 3.3 \mu$ ; 6 为  $1.1 \sim 2.1 \mu$ ; 7 为  $0.65 \sim 1.1 \mu$ ; 8 为  $<0.65 \mu$ )

素 Ba、Mg 的 EF 值在瓦里关部分样品的细粒子中明显偏高,表明这些元素除自然源外可能还有来自人为影响的痕迹。类似情况在主因子分析结果中也有所反映。

2.3 瓦里关气溶胶来源的主因子分析

在气溶胶元素浓度资料的统计分析中,因子分析法已有了较为广泛的应用<sup>[3,4]</sup>。为了定量研究各种源对瓦里关气溶胶的相对贡献,本文利用 KB-120 总颗粒物样品 21 套,每套分析元素 41 个,其数据矩阵为 21 × 41。用文献[11]中的公式计算,求得变量的因子及因子负载矩阵列于表 4 和表 5。此处取矩阵本征值大于或等于 1 为入选标准,可给出对瓦里关气溶胶有主要贡献的 4 个主因子(表 5)。由累计的方差百分率得知,它们总共可解释 94% 的方差贡献率。第一个因子显然代表的是来自土壤的排放源。除个别污染元素或挥发性元素外,第一因子中,负载最大的均是 Al、Fe、Ge、Sc、Mn 等典型的地壳元素,其贡献率约在 70% ~ 80% 左右。第二个主因子中,负载最大的是 Cl、Au、Mg、V,其中 Cl 有很高的负载。Au 在第二因子上有较高的负载,其富集因子明显偏高,在图 1 中,Au 的主峰也出现在细粒径上。所以瓦里关地区气溶胶中的 Cl、Au 主要还是来自挥发性的污染源。元素 V 的主要负载虽在自然源上,第二因子的 V 表明它也可以来自人为污染源(如运输或重油燃烧)。元素 Mg 的负载几乎为第一和第二因子所分担,它来自土壤是可理解的,但它同时还来源于一个不十分清楚的人为源。从第二因子元素的性质看,它可能是一个与黄金及其它金属开采

表 4 瓦里关 KB 120 气溶胶颗粒物主因子分析的本征值及贡献率

因子	本征值	贡献百分率(%)	累计贡献百分率(%)
1	31.6825	77.27	77.27
2	2.8439	6.94	84.21
3	2.3472	5.72	89.54
4	1.7606	4.29	94.23

表 5 瓦里关 KB 120 气溶胶数据的主因子负载

元素	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4	元素	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4
La	0.949				sr	0.915			
Ce	0.946				Ta	0.971			
Nd	0.930				Th	0.946			
Sm	0.957				U	0.921			
Eu	0.931				W	0.884			
Tb	0.964				Zn	0.543			0.544
As	0.752			0.555	Zr	0.902			
Au		0.537		0.700	Al	0.821			
Ba	0.949				Ca	0.742			
Br				0.900	Cl		0.842		
Co	0.953				I			0.573	
Cr	0.943				Mg	0.657	0.698		
Cs	0.941				Mn	0.877			
Fe	0.951				Ti	0.850			
K	0.859				V	0.803	0.538		
Na	0.857				Si	0.820			
Rb	0.961				S			0.946	
Sb	0.629		0.455		Pb	0.759			
Sc	0.955				贡献率	77.3%	6.9%	5.7%	4.3%
Se			0.827						

和冶炼有关的污染源。第三个因子负载最大的是典型的挥发性元素 S、Se、I 和 Sb, 这一项显然代表的是一个与燃烧(很可能是燃煤)有关的污染源。第四因子所代表的源尚难以具体确定, 不过这些元素皆有人为污染的痕迹, 它应是一个仍不十分清楚的污染源。

安德森分级采样资料的主因子分析也有类似结果。分级样品共有 40 个, 每个样品测定了 33 种元素, 因而主因子分析数据矩阵为  $40 \times 33$ 。按矩阵本征值大于或等于 1 为因子入选标准, 共确定 5 个主因子, 它们对方差的总贡献率为 88%。与总颗粒物因子分析相近, 第一因子为土壤源, 其贡献率约在 70% 左右。其它 4 个因子中 As、Sb、Ba、Cl、Br、I、Zn 和 Au 均有较高的贡献, 分别代表了包括燃烧及冶炼等 4 类不完全相同的人为污染源。但有些源还不能确认是来自哪类行业的排放, 如地壳元素 Ba、Mg、Eu 和 Mo, 除主要存在于土壤源外, 在这 4 个因子中也有一定的贡献。在图 1 中, 它们的 EF 值总体虽不高, 但在细粒子部分却有升高的趋势。气溶胶样品的主因子分析均表明, 自然源对瓦里关气溶胶的贡献是最主要的, 人为污染源的影响平均占 20%~30%。

#### 2.4 瓦里关黑碳气溶胶的浓度水平

黑碳气溶胶是含碳有机物高温燃烧的产物, 它不能由大气中已有的前体物反应生成。除自然界的森林或草原火灾等自然源外, 黑碳气溶胶绝大部分来自燃油或燃煤等所造成的人为污染, 通常可将它视为受人为污染影响程度的示踪物。为了了解人为污染对瓦里关的影响, 1991~1995 年在现场先后利用美国玛基科学公司提供的手动及自动黑碳测量仪, 对瓦里关黑碳气溶胶进行了定期测量。从所得到的黑碳平均浓度来看(图 2), 瓦里关多年平均的黑碳浓度约为  $135 \text{ ng/m}^3$ , 月平均最高值  $330 \text{ ng/m}^3$ , 最低值  $70 \text{ ng/m}^3$ 。可见位于内陆高原的瓦里关黑碳气溶胶的总体水平, 明显高于国外同一类型台站的平均值<sup>[2, 12]</sup>(Cape Grim 为  $15 \text{ ng/m}^3$ , Alert 约为  $70 \text{ ng/m}^3$ )。而偏远的农村地区一般为  $50 \sim 500 \text{ ng/m}^3$ , 北京市区冬天取暖季节黑碳平均浓度<sup>[13]</sup>可达  $10^4 \text{ ng/m}^3$  以上。结果表明, 瓦里关气溶胶在一定程度上也存在燃烧等人为污染源的影响。图 3 是利用 AE-6 自动灰度测量仪在瓦里关测得的黑碳气溶胶日平均浓度的连续变化。不难看到逐日浓度的变化幅度是相当明显的, 高低相差最大可达 10 倍以上。已有的统计结果<sup>[5]</sup>表明, 瓦里关较高的黑碳气溶胶浓度多和地面伴有 NNE-NE 及相近风向的天气过程有关。考虑到黑碳粒子在大气中有较长的停留时间, 为了解瓦里关气溶胶与气团来向的关系, 由加拿大大气环境局(AES)提供的 1995 年 1 月瓦里关 600 hPa 等压面 5 天后退轨迹资料(瓦里关地面平均

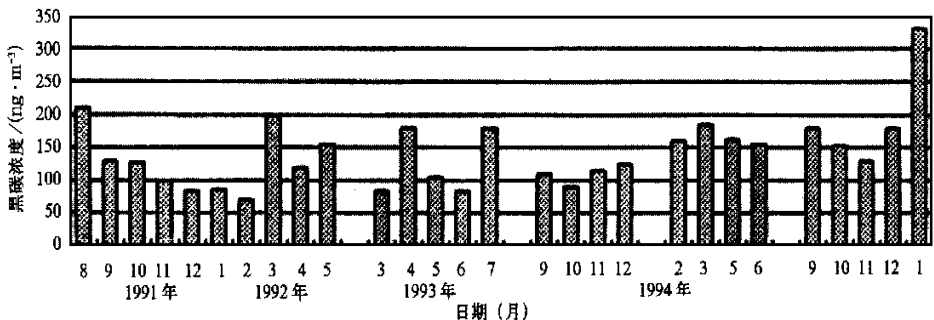


图 2 1991~1995 年瓦里关黑碳气溶胶月平均浓度分布

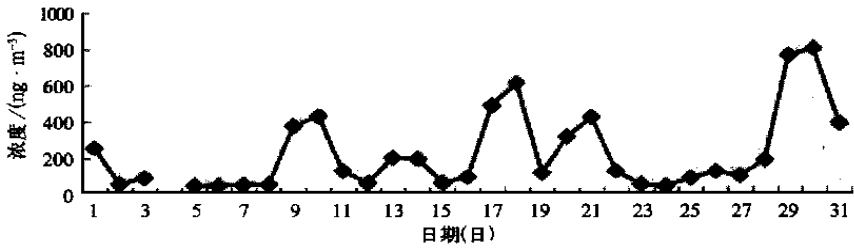


图3 1995年1月瓦里关黑碳气溶胶日平均浓度

气压约为 630 hPa)对此做了讨论。图 4 给出了与图 3 高浓度出现日期相对应的轨迹分布,其中以 1 月 10、18、21 日和 30 日较为典型,较高的日平均浓度多与流经河西走廊及青海东部等工业发达和人口聚集区的气流有关。而 1 月 3 日和 24 日较低的日平均浓度则与当日来自瓦里关西部及西南部荒漠高原的气流相对应。可见瓦里关黑碳气溶胶的来源与上游的大气环境质量状况有密切的关系。

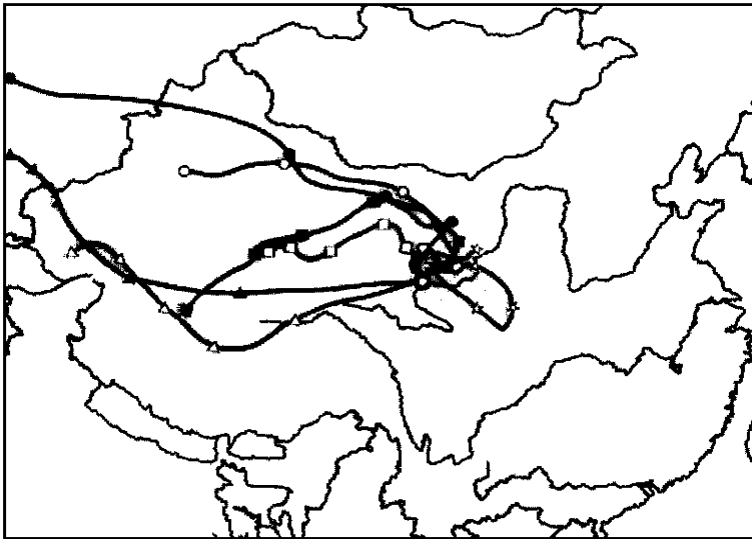


图4 1995年1月不同日期瓦里关600 hPa(0000 UTC)5日后退气流轨迹分布

(○:1日; △:3日; ●:10日; ☆:18日; ■:21日;  
▲:24日; □:30日,符号○为瓦里关站址)

### 3 结 论

通过对瓦里关大气气溶胶的测量及分析,可以认为:

(1) 瓦里关大气气溶胶的组成以 Al、K、Ca、Fe、Mg 等地壳元素为主,其质量平均浓度要比其它元素大得多。就大多数元素而言,瓦里关气溶胶元素浓度比城市地区约低一个

数量级以上。内陆气溶胶的组成与海洋有明显的区别,在海洋气溶胶中地壳元素的含量平均减小一个数量级以上,而 Br、Cl、Na 等则高于陆地。瓦里关气溶胶中 Cl、Mg、K 含量相对偏高可能与高原内陆湖泊及局地盐化工产业有关。

(2) 瓦里关气溶胶中,人为污染源元素 As、Br、Se、I 和 Zn 平均含量明显低于上甸子和国内、外的区域背景值。但瓦里关作为大陆基准站受局地自然源及人为源影响的程度则高于全球背景值。

(3) 瓦里关气溶胶元素浓度随粒径的分布表明,污染元素在细粒子中仍占有一定比例,平均为 51%。上甸子为 69%,而城市地区平均在 80%左右。地壳元素在各地气溶胶的细粒子部分也有一定含量。

(4) 瓦里关气溶胶中与燃煤有关的污染元素 Cl、I、As、Br 和 Se 等有一定的富集度。元素 EF 值的粒径分布则表明背景气溶胶中来自人为源的元素在细粒径上有一定的富集。部分地壳元素 Mg、Ba 等的 EF 值在细粒子部分也有升高的趋势,表明瓦里关细粒子气溶胶除了一般的燃煤外还有其它的人为来源。但总体而言,大陆腹地人类活动对瓦里关的影响仍大大低于东部清洁地区。

(5) 因子分析表明,人为源对瓦里关气溶胶的影响,按贡献大小可能分别来自冶炼、燃烧和交通等行业的排放,但因子分析也分离出一些微弱而又与人为活动有关的源,其中有些源所代表的行业及分布尚不十分清楚,有待进一步鉴别。但瓦里关黑碳气溶胶浓度变化与气团轨迹的分析初步表明,人为源的影响主要来自青海东部或河西走廊等经济发达地区。

(6) 瓦里关气溶胶最主要的影响来自土壤等自然源的排放,其贡献率约为 70%~80%,气溶胶的组成及来源基本上反映了瓦里关大陆大气背景环境的特征。

## 参 考 文 献

- 1 IPCC. Radiative Forcing of Climate Change 1995. Cambridge University Press, 1996. 103 ~ 131.
- 2 Environment Canada, Atmospheric Environment Service. Canadian Baseline Program Summary of Progress to 1998. Atmospheric Environment Service, Toronto, Ontario, Canada. 1999. 2-32 ~ 33, 2-64 ~ 67.
- 3 Hopper J F, Barrie L A. Regional and background aerosol trace elemental composition observed in eastern Canada. *Tellus*, 1988, 40B: 446 ~ 462.
- 4 王明星. 大气化学(第二版). 北京:气象出版社, 1999. 194 ~ 214.
- 5 汤洁, 温玉璞, 周凌琦等. 中国西部大气清洁地区黑碳气溶胶的观测研究. *应用气象学报*, 1999, 10(2): 161 ~ 170.
- 6 Tang Jie, Wen Yupu, Zhou Xiuji, et al. China global atmosphere watch baseline observatory and its measurement program. *CAMS Annual Report 1994 - 1995*, 1996, 59 ~ 67.
- 7 杨绍晋, 陈冰如, 杨亦男. 中子活化分析在大气环境中的应用. 见:中国科学院高能物理研究所中子活化分析实验室编. 中子活化分析在环境学、生物学和地学中的应用. 北京:原子能出版社, 1992. 91 ~ 124.
- 8 章澄昌, 周文贤. 大气气溶胶教程. 北京:气象出版社, 1995. 50 ~ 58.
- 9 Mason B. Principles of Geochemistry. New York: John Wiley & Sons, 1966.
- 10 徐晓斌, 杨东贞, 温玉璞, 等. 北京地区夏季背景气溶胶的特征. *气象学报*, 1992, 50(3): 308 ~ 319.
- 11 于崇文. 数学地质的方法与应用. 北京:地质出版社, 1980.
- 12 Bureau of Meteorology and CSIRO Atmospheric Research. Baseline' 96. Baseline Atmospheric Program, Australia, 1996. Published by the Bureau of Meteorology and CSIRO Atmospheric Research, Melbourne. 1996. 129.
- 13 苏维翰, 张秋彭, 宋文质, 等. 燃煤地区大气气溶胶烟尘的研究. *环境化学*, 1985, 专辑(3月): 134 ~ 136.



## ENRICHMENT CHARACTERISTICS AND ORIGIN OF ATMOSPHERIC AEROSOL ELEMENTS AT MT. WALIGUAN

Wen Yupu Xu Xiaobin Tang Jie

(*Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081*)

Zhao Yucheng Zhang Xiaochun

(*Qinghai Meteorological Bureau, Xining 810001*)

### Abstract

Samples of atmospheric aerosol were collected at Mt. Waliguan (CGAWBO/GAW). The filter samples were analyzed by NAA (neutron activation analysis), PIXE (proton induced x-ray emission). The concentrations of 42 trace elements combined with the measurements of black carbon were determined. Based on the statistical analysis of element concentrations, enrichment factors and the principal factor analysis, combined with the corresponding back trajectory, the elemental compositions and the sources of aerosol over Waliguan are discussed. The results indicate that the natural sources identified as major contributors to the aerosol over Mt. Waliguan are the soil and crust. The factor analysis shows that the contributing rate of these sources accounts for approximately 70% or more of the aerosol. However, anthropogenic origins, such as coal burning, automobile and industrial emissions form a certain proportion of aerosol. The measurement results of the black carbon at Waliguan indicate that there exist influences from human activities. It is estimated that the pollutants mainly come from the more developed areas in the Qinghai Province and the Hexi Corridor. Both local influences, such as the elements of soil in the adjoining area, and long-range transport of aerosols can affect, in varying degrees, the composition of the background aerosol over Mt. Waliguan.

**Key words:** Atmospheric aerosol Origin Enrichment factor Principal factor analysis  
Back trajectory