DOI:10.19789/j.1004-9398.2018.01.009



# 兴隆本底站大气气溶胶中无机元素的粒径分布及来源分析*

李杏茹** 王国安 李 东

(首都师范大学化学系分析测试中心,北京 100048)

**摘 要**

用 ICP-MS 测定 Ca、Na、Mg、Fe、Al 和 K 等 25 种元素的浓度,讨论了这些元素的浓度特征、粒径分布以及来源. 结果表明,兴隆大气气溶胶中无机元素中 Ca、Na、Mg、Fe、Al 和 K 占已测元素总浓度的 96%,所有元素均呈现在秋季具有较高的浓度水平. 粒径分布显示,本研究中所检测的 25 种元素几乎均呈现双模态分布,在 4.7 ~ 5.8 μm 粒径段出现峰值和在 0.43 ~ 0.65 μm 粒径段出现较小的峰值,且以粗粒径段分布为主. 富集因子法分析结果显示,兴隆主要受到地壳源和燃烧源的影响.

**关键词**: 大气气溶胶,水溶性离子,金属元素,粒径分布,来源分析.

**中图分类号**: X131.1

## 0 引 言

大气气溶胶是指由均匀分散在大气中动力学直径在 0.003 ~ 100 μm 范围内的液态和固态微粒形成的相对稳定的悬浮体系[1]. 气溶胶可以作为云、雾的凝结核,它的分布及其化学成分影响和改变着云、雾的光学特性和生命周期,继而间接地影响全球气候[2-5]. 大气气溶胶对人类健康以及人类赖以生存的环境的影响,使其成为了当今大气化学研究中最前沿的领域之一[3,6-7]. 目前,国内对气溶胶污染的研究已从总悬浮颗粒物转向对可吸入颗粒物的研究,进而开展了对大气气溶胶中化学成分的测量和研究[8-10]. 气溶胶中的水溶性离子及各种金属元素都是大气气溶胶中重要的化学组成成分,研究不同区域、不同粒径粒子的浓度及分布特点,是研究大气气溶胶粒子区域污染特征及主要来源的重要途径.

本研究对兴隆地区大气气溶胶中的主要无机元素进行了检测,并分析了其污染特征、粒径分布以及来源.

收稿日期: 2017-05-02

* 中国科学院战略先导科技专项(A)(XDA05100107);北京市教委面上项目(KM201510028007)

**通讯联系人, E-mail: lxrcc@126.com

## 1 材料与方法

### 1.1 样品的采集

兴隆大气本底站观测站(北纬 40.4°,东经 117.6°)位于河北省东北部,北京、天津、唐山、秦皇岛、承德五市的中间位置,距北京市 145 km,天津 170 km,承德市 140 km,唐山市 150 km,是京、津、唐、承四市的近邻. 所以,研究兴隆地区大气气溶胶的组成及浓度变化特征,对进一步了解京津塘这一区域的气溶胶变化和对周边地区的传输作用有着积极的意义.

2011 年 7 月—2012 年 2 月,采用 Andersen 撞击式分级采样器(Andersen,Series 20-800)采集大气气溶胶粒子,流速为 28.3 L/min. 粒子的 50% 切割等效空气粒径(EAD)为 9.0、5.8、4.7、3.3、2.1、1.1、0.65 和 0.45 μm. 通常把空气动力学直径 2.5 μm 作为粗、细粒子的分界. 由于 Andersen 采样器没有 2.5 μm 的切割粒径,本文把空气动力学直径 2.1 μm 作为粗、细粒子的分界,将空气动力学直径小于 1.1 μm 样品称为超细粒子. 样品收集于纤维素聚酯膜. 采样持续时间 48 h,频率每两周一次. 采样后将纤维素聚酯膜装入密封袋中寄回实验室. 置于冰箱(-18 ℃)避光保存至分析.

### 1.2 样品分析

切取 1/2 面积的纤维素聚酯膜放入消解罐中,



(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

依次加入 6 mL $HNO_3$(Merk)、2 mL $H_2O_2$(Merk)和 0.2 mL HF(Merk),采用逐步升温的方法进行微波消解(CEM-MARS),将消解完全的样品定容至 50 mL后使用 ICP/MS(Agilent7500a)进行元素含量分析从而获得 Cu、Pb、Zn、Cd、As、Be、K、Na、Ca、Mg、Al、Mn、Fe、Co、Ni、Cr、Se、V、Mo、Ag、Sb、Ba、Th、U 和 Tl 等 25 种元素的浓度. 其中,取 1/2 面积的空白膜也用相同的消解和分析方法进行处理,以其 3 倍空白膜的标准偏差作为检出限,除个别元素(例如,As 的检测限在 0.1 $g\cdot L^{-1}$)外,其它元素检出限均可达到 0.01 $g\cdot L^{-1}$甚至更低. 仪器标准曲线的 $R$ 值均达到 0.999 以上. 另外,实验过程中每个样品重复测 3 次,根据内标元素的相对标准偏差(RSD)控制仪器的稳定性. 将内标管放进 1 $\mu g\cdot L^{-1}$的内标溶液(Part #5183-4680, Agilent),每次数据采集结束后,检查内标元素($^{45}Sc$,$^{73}Ge$, $^{115}In$, $^{209}Bi$)的 RSD 值,各个 RSD 值小于3%,否则重新采集数据. 各个元素的回收率在 86% ~112%范围内.

## 2 结果与讨论

### 2.1 污染特征及季节变化

所测的 25 种金属元素中,常量元素 Ca、Na、Mg、Fe、Al 和 K 占已测元素总浓度的 96%,其它元素含量相对较低,仅占 4%,但这些元素尤其是一些重金属元素如 Zn、Sb、Pb、Cr 和 Ni 等因其较强的污染特性而受到很大关注. Ca、Na、Mg、Fe、Al、K 和 Zn 是所测 25 种元素中浓度水平较高的 7 种元素,它们的浓度一般在 100 ~ 10 000 $ng/m^3$; 其次为 Sb、Cr、Ba、Se、Cu、Ni、Mn、Pb、V、Mo 和 As,浓度范围为 1 ~ 100 $ng/m^3$; U、Th、Co、Be、Tl、Cd 及 Ag 浓度较低,小于 1 $ng/m^3$. 由图 1 知所测无机元素的浓度顺序为 Ca > Na > Mg > Fe > Al > K > Zn > Sb > Cr > Ba > Se > Cu > Ni > Mn > Pb > V > Mo > As > U > Th > Co > Be > Tl > Cd > Ag.

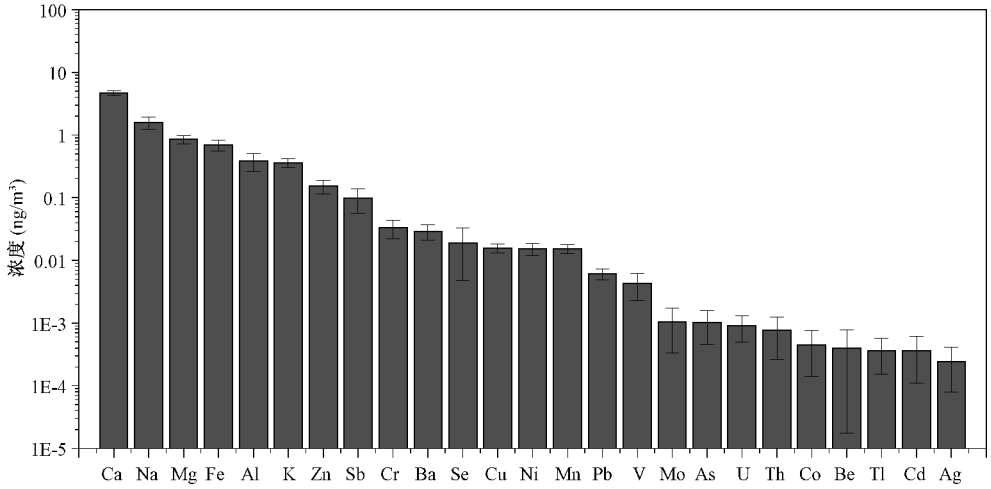



图 1 兴隆 2011 年 TSP 中金属元素的年均浓度

表 1 为兴隆气溶胶 TSP 中金属元素的季节浓度变化值. 由表可知,兴隆大气颗粒物中 Sb 浓度最高值出现在冬季,Cr、Pb、V 则是夏季出现最高值,而 Ca、Na、Mg、Fe、Al、K、Zn、Ba、Se、Cu、Ni、Mn 和 Mo 均为秋季浓度最高. 所有元素均呈现在秋季具有较高的浓度水平,季节性变化趋势略有差异,说明各元素在不同季节所受到的影响不同,这与不同季节排放源的变化有关. Pb 是当今大气重金属中最受关注的重金属[11, 12],我国对 TSP 中 Pb 的含量也做出了相应的规定,即年均应小于 1.0 $\mu g\cdot m^{-3}$,季最高值不得超过 1.5 $\mu g\cdot m^{-3}$,显然兴隆本底站未超过国家标准. 兴隆本底站的 Cu 年均浓度为 15.6 $ng\cdot m^{-3}$,与以往研究的工业城市相比,浓度偏低.

### 2.2 粒径分布特征

图 2 为兴隆 2011 年金属元素夏秋冬三个季节粒径分布图. 由图可以发现,本研究中所检测的 25 种元素几乎均呈现双模态分布,在 4.7 ~5.8 μm 粒径段出现峰值和在 0.43 ~0.65 μm 粒径段出现较小的峰值,且以粗粒径段分布为主. 而 Zn、Fe、Mo、Se 元素及 Ba 元素的夏季以形成三个峰分布的特点,与大多数元素相同的是在 4.7 ~5.8 μm 粒径段出现峰值和在 0.43 ~0.65 μm 粒径段出现较小的峰值,不同的是在 2.1 ~3.3 μm 也出现了均较小的峰值. Co 元素在夏季呈现出三峰的分布特点,秋冬



(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

**表 1　兴隆气溶胶 TSP 中金属元素的季节浓度变化值**

ng/m³

| 列 1 | RSD | max | min | 夏季 | 秋季 | 冬季 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ca | 350.4 | 5 128.1 | 4 098.6 | 4 500.5 | 5 034.1 | 4 362.4 |
| Na | 347.9 | 2 134.6 | 966.6 | 1 123.7 | 1 907.8 | 1 575.7 |
| Mg | 131.9 | 1 023.7 | 669.7 | 700.8 | 950.3 | 854.0 |
| Fe | 136.2 | 941.4 | 434.4 | 627.8 | 803.4 | 613.3 |
| Al | 120.6 | 713.3 | 255.0 | 338.8 | 480.3 | 304.9 |
| K | 63.6 | 504.6 | 260.1 | 314.9 | 397.4 | 352.9 |
| Zn | 37.2 | 217.9 | 104.3 | 126.3 | 174.4 | 147.8 |
| Sb | 41.5 | 151.4 | 31.5 | 43.5 | 99.7 | 139.6 |
| Cr | 10.6 | 60.0 | 16.7 | 45.3 | 25.9 | 31.4 |
| Ba | 7.8 | 44.6 | 11.8 | 27.9 | 33.7 | 12.4 |
| Se | 14.1 | 40.2 | 2.3 | 2.7 | 26.6 | 22.6 |
| Cu | 2.5 | 19.8 | 12.1 | 14.4 | 18.1 | 13.7 |
| Ni | 3.3 | 20.5 | 9.7 | 11.0 | 17.9 | 15.8 |
| Mn | 2.5 | 21.2 | 11.8 | 14.8 | 17.5 | 13.2 |
| Pb | 1.2 | 9.1 | 4.1 | 7.3 | 5.7 | 5.5 |
| V | 2.0 | 10.4 | 2.5 | 6.4 | 3.7 | 3.3 |
| Mo | 0.7 | 2.2 | 0.2 | 0.2 | 1.7 | 0.9 |
| As | 0.6 | 2.4 | 0.2 | 1.0 | 1.1 | 0.7 |
| U | 0.4 | 1.5 | 0.3 | 0.3 | 1.2 | 1.0 |
| Th | 0.5 | 1.4 | 0.0 | 0.1 | 1.2 | 0.8 |
| Co | 0.3 | 0.8 | 0.0 | 0.6 | 0.0 | 0.0 |
| Be | 0.4 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.6 | 0.3 |
| Tl | 0.2 | 0.6 | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 0.3 |
| Cd | 0.3 | 0.8 | 0.0 | 0.2 | 0.5 | 0.4 |
| Ag | 0.2 | 0.6 | 0.0 | 0.1 | 0.3 | 0.2 |

季各粒径段浓度均很低,没有明显的粒径分布规律. 在所测的元素中,Zn、Ni、Cd、Ag、V、U、Ba、Be、As、Th 及 Tl 元素均呈现出明显的季节性粒径分布特点. 其中 Zn、Ni、Ag、Cd、Th、U 和 Tl 均呈现秋季粒径段浓度大于夏季和冬季. Zn 元素在春秋冬三个季节都呈现双峰模态,且季节变化趋势为秋季 > 冬季 > 夏季. 而且在秋季 2.1 ~ 3.3 μm 粒径段出现一个较小的峰值,说明秋季在 2.1 ~ 3.3 μm 粒径段浓度有所增加. As 元素的各季节粒径分布趋势与 Zn 元素较为相似,但季节性变化不尽相同,在细粒径段 0.43 ~ 0.65 μm 中,As 季节浓度变化是夏季 > 秋季 > 冬季,而在粗粒径段 4.7 ~ 5.8 μm 与 Zn 元素季节变化较为一致: 秋季 > 冬季 > 夏季,而且在夏季 As 以细粒子分布为主. 说明不同季节的变化对 As 元素在粗细粒径中浓度的贡献不同. K、Be、Se、Sb 及 Mo 在 4.7 ~ 5.8 μm 均出现了尖锐的单峰,说明在此粒径段以上元素有较大贡献. 除此之外,Mo 元素在细粒径段的峰值与其他元素不同,不是在 0.43 ~ 0.65 μm.

Pb 元素也在 0.43 ~ 0.65 μm 及 4.7 ~ 5.8 μm 粒径段出现峰值,但在与多数元素最大峰值出现在 4.7 ~ 5.8 μm 粒径段的秋季或冬季不同, Pb 元素最大峰值出现在 0.43 ~ 0.65 μm 细粒径段,且夏季浓度为最高. V 元素在各粒径段中均出现夏季 > 冬季 > 秋季.

### 2.3　来源分析

元素富集因子是用以表示大气颗粒物中元素的富集程度,判断和评价颗粒物中元素的来源的方法. 1975 年 Duce 等[13] 在研究大西洋以北 30 度的高空物质组成时,应用该法得到了较好的研究成果. 因此研究大气颗粒物中元素的富集程度,以分析、判断人为源与自然源对颗粒物中元素含量的贡献水平,表征颗粒物的来源,是气溶胶解析元素来源的有效手段之一. 并且该法也成功应用于大气降水中元素的来源判断.

为评价人类活动对观测站点大气环境中某一元素的影响,探讨降水中元素的来源和污染程度,本研究以 Al 为参比计算各种元素相对地壳源的富集因子( EF) [13] ,公式如下:

$$EF = \frac{(C_x/C_{Al})_{Sample}}{(C_x/C_{Al})_{Crust}}$$

式中,分子代表样品中待考察元素 x 与参比元素 Al 的比例,分母是地壳中元素 x 与参比元素 Al 的比例. 在这个计算过程中假设地壳是降水中 Al 的唯一来源,地壳元素丰度选择为全球平均值[14]. 考虑到局地土壤和地壳化学成分与全球地壳平均值可能存在一定的差异,一般研究认为 EF 在 1 ~ 10 的元素并没有发生明显污染,可能同时受到自然和人为源的影响; EF 在 10 ~ 100 时表示中度污染,该元素受到来自地壳以外源的影响; EF > 100 表示严重污染,该元素明显受到人类活动的影响[15].

表 2 给出了兴隆 TSP 中金属元素的富集因子变化值,其中 EF 大于 100 的只有 Sb 及 Se,说明 Sb 及 Se 受到严重污染,受到人为源的影响很大. 一般 Se 被认为是受煤炉燃烧、电厂等作业活动的影响较为明显的元素,而 Sb 除此以外还受地壳土壤源的影响[16-18]. 在季节性变化特点上也说明了以上两种元素受到人为因素的影响很大,夏季秋季及冬季中,富集因子的最大值均出现在冬季,且有明显的季节性变化,Sb 和 Se 富集的季节变化趋势均为冬季 > 秋季 > 夏季. 冬季燃煤量的增加会对这两种元素的富集起到明显的作用,加之冬季北方气候干燥易引起风沙、扬尘等天气的形成,所以 Sb 较 Se 元素有更高水平的富集. 据报道,EF 较高的金属一般都是挥发性元素,主要由高温过程产生,如化石燃料燃烧和



(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

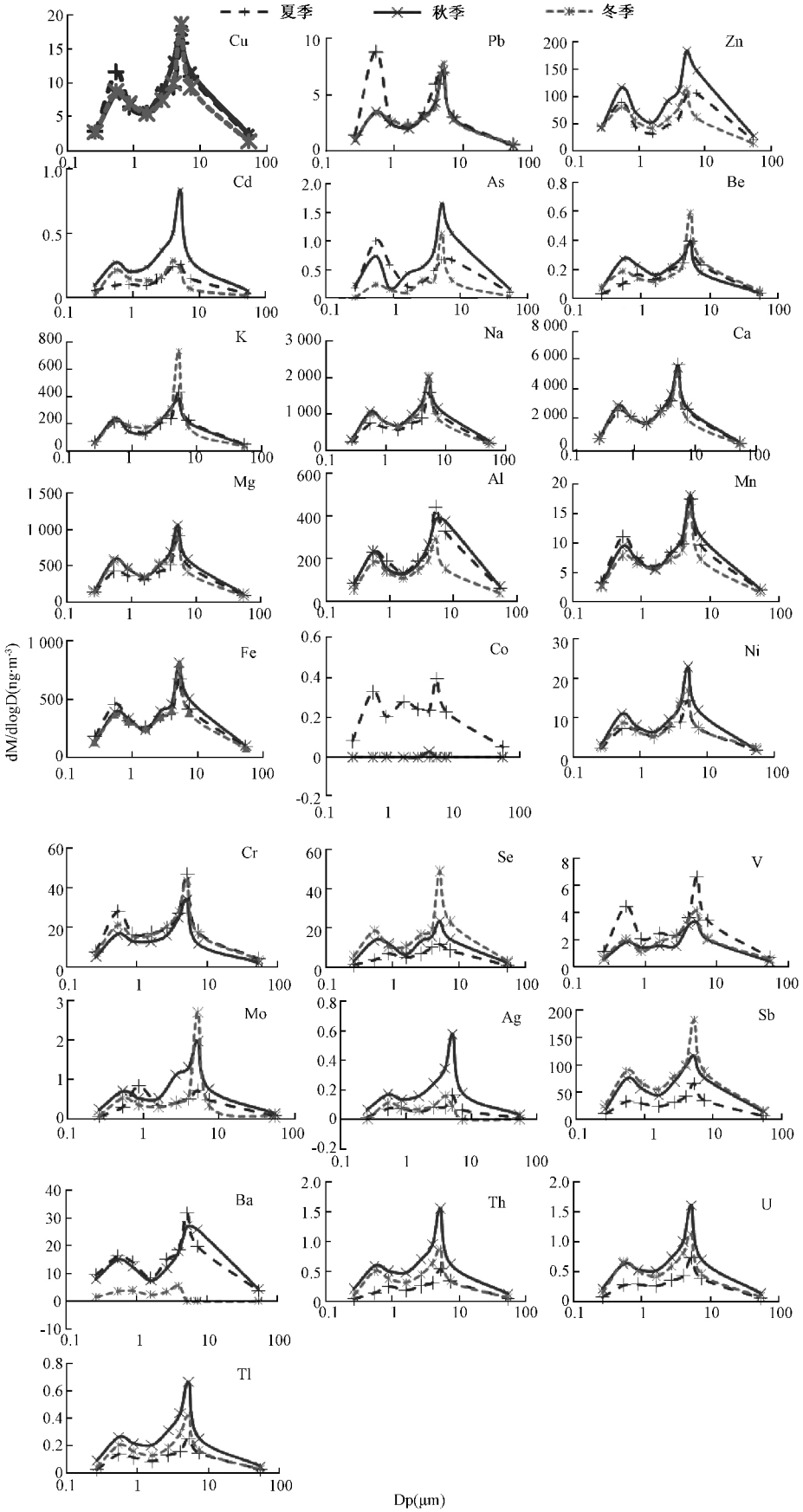



图 2 兴隆 2011 年金属元素不同季节粒径分布图



(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

**表 2　兴隆 TSP 中金属元素的季节性及年均富集因子变化值**

| 元素 | 夏季 | 秋季 | 冬季 |
|---|---|---|---|
| Sb | 52. 84 | 85. 42 | 188. 50 |
| Se | 12. 96 | 91. 09 | 122. 22 |
| Ca | 26. 34 | 20. 79 | 28. 38 |
| Na | 11. 56 | 13. 85 | 18. 02 |
| Mg | 7. 31 | 6. 99 | 9. 90 |
| K | 3. 66 | 3. 26 | 4. 56 |
| Fe | 2. 71 | 2. 45 | 2. 94 |
| Al | 1. 00 | 1. 00 | 1. 00 |
| Ag | 0. 19 | 0. 82 | 0. 74 |
| Zn | 0. 44 | 0. 43 | 0. 57 |
| Cd | 0. 19 | 0. 43 | 0. 48 |

熔炼,同时这些元素也易与中小粒子结合从而更易使得污染性金属在区域内进行传输; 相反, EF 较低的金属的蒸汽压较低,大部分均存在于粗粒子中,一般来自土壤以及海盐等,或者由火山爆发等引起[16, 19]. 在兴隆本底站富集因子在 1 ~30 之间的还有 Ca、Na、Mg、K、Fe 和 Al,本研究中富集因子以 Al 元素在地壳中的分布浓度作为参比,所以 Al 元素 EF 为 1. 其他 Ca、Mg、Fe 元素均是地壳中的典型元素,Na 主要是海盐的主要影响,其中 Ca 和 Na 的富集因子已经超过 10,说明它们不仅受到地壳海盐等自然源的影响,同时也受到人为源的影响,也呈现出冬季 > 秋季 > 夏季,这与冬季相对湿度较低,降水量较小,大气的清除作用较弱有关. 除以上有明显富集作用的元素外,兴隆 TSP 中还出现了少量的 Ag、Zn 和 Cd 元素的富集,EF 均小于 1,说明受人为影响较小. 总体上兴隆主要受到地壳源和燃烧源的影响. 其他 14 种元素均未见富集,说明兴隆背景站未受到冶金等工业的影响,交通源也不是影响兴隆地区污染的主要来源.

表 3 给出了兴隆部分元素的各粒径段的富集因子变化值,从表中可以发现除 Zn 元素在 < 0. 43 μm 和 0. 43 ~ 0. 65 μm 细粒径段出现相对较高的富集外,其它元素均在 2. 1 ~ 3. 3 μm 粒径段有较高的富集,以粗粒径段的富集为主. Ca 元素各个粒径的 EF 相对其它地壳元素比较大, EF 都大于 10. 这可能是建筑尘的贡献,建筑尘主要是在风力和机械力作用下产生的粗粒子. Na 元素的 EF 均大于 10,主要是土壤风沙尘和人为污染源的贡献. 富集因子的数值大小出现类似正态分布的特点,中间粒径段的富集因子较大,粒径继续增大或者减小,富集因子都有减小的趋势.

**表 3　兴隆各粒径段元素富集因子变化值**

| 元素 | < 0. 43 | 0. 43 ~ 0. 65 | 0. 65 ~ 1. 1 | 1. 1 ~ 2. 1 | 2. 1 ~ 3. 3 | 3. 3 ~ 4. 7 | 4. 7 ~ 5. 8 | 5. 8 ~ 9. 0 | > 9. 0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sb | 90. 94 | 113. 33 | 119. 65 | 123. 99 | 133. 33 | 131. 38 | 115. 59 | 81. 71 | 76. 73 |
| Se | 60. 40 | 78. 76 | 96. 96 | 87. 52 | 106. 85 | 104. 80 | 101. 06 | 73. 27 | 52. 83 |
| Ca | 21. 71 | 25. 83 | 27. 54 | 29. 44 | 30. 55 | 29. 34 | 28. 65 | 17. 24 | 17. 14 |
| Na | 11. 89 | 14. 47 | 15. 93 | 17. 57 | 17. 44 | 16. 09 | 16. 61 | 11. 72 | 12. 36 |
| Mg | 6. 75 | 8. 38 | 9. 23 | 9. 48 | 9. 79 | 8. 81 | 8. 80 | 5. 95 | 6. 15 |
| K | 3. 14 | 3. 99 | 3. 96 | 4. 30 | 4. 88 | 4. 46 | 4. 75 | 2. 64 | 2. 77 |
| Fe | 2. 85 | 2. 73 | 2. 85 | 2. 87 | 3. 12 | 2. 59 | 2. 84 | 2. 07 | 2. 33 |
| Al | 1. 00 | 1. 00 | 1. 00 | 1. 00 | 1. 00 | 1. 00 | 1. 00 | 1. 00 | 1. 00 |
| Ag | 0. 51 | 0. 63 | 0. 71 | 0. 91 | 1. 01 | 0. 91 | 0. 95 | 0. 37 | 0. 34 |
| Zn | 0. 67 | 0. 53 | 0. 41 | 0. 40 | 0. 46 | 0. 41 | 0. 42 | 0. 43 | 0. 44 |
| Cd | 0. 34 | 0. 35 | 0. 38 | 0. 51 | 0. 56 | 0. 57 | 0. 51 | 0. 25 | 0. 24 |

## 3　结　论

通过对兴隆大气气溶胶中 Ca、Na、Mg、Fe、Al 和 K 等 25 种元素的测定,结果表明 Ca、Na、Mg、Fe、Al 和 K 占已测元素总浓度的 96%. 季节变化分析显示,兴隆大气颗粒物中 Ca、Na、Mg、Fe、Al、K、Zn、Ba、Se、Cu、Ni、Mn 和 Mo 均为秋季浓度最高. 本研究中所检测的 25 种元素几乎均呈现双模态分布,在 4. 7 ~ 5. 8 μm 粒径段出现峰值和在 0. 43 ~ 0. 65 μm 粒径段出现较小的峰值,且以粗粒径段分布为主. 富集因子法分析结果显示,兴隆主要受到地壳源和燃烧源的影响,未受到冶金等工业的影响,交通源也不是影响兴隆地区污染的主要来源.



(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

## 参 考 文 献


[1] 唐孝炎，张远航，邵敏，等. 大气环境化学(第二版) [M]. 北京: 高等教育出版社，2006.

[2] 王明星，张仁健. 大气气溶胶研究的前沿问题 [J]. 气候与环境研究. 2001，6(1)：119－124.

[3] 任丽新，游荣高，吕位秀，等. 城市大气气溶胶的物理化学特性及其对人体健康的影响 [J]. 气候与环境研究，1999，4(1)：67－73.

[4] 彭艳梅，钟玉婷，何清. 大气气溶胶细粒子研究进展 [J]. 沙漠与绿洲气象，2013，7(1)：69－74.

[5] Kan H，Chen R，Tong S. Ambient air pollution，climate change，and population health in China [J]. Environment International，2012，42(1)：10－19.

[6] Seinfeld J H，Pandis S N，Seinfeld J H，et al. Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change [J]. Environment: Science and Policy for Sustainable Development，1998，51(7)：88－90.

[7] 刘菁，张建强，吴香尧，等. 成都市十里店地区大气气溶胶元素组成及来源解析 [J]. 成都理工大学学报: 自然科学版，2006，33(1)：99－102.

[8] Zheng M，Wan T S M，Fang M，et al. Characterization of the non-volatile organic compounds in the aerosols of Hong Kong—identification，abundance and origin [J]. Atmospheric Environment，1997，31(2)：227－237.

[9] Lee K H，Wong M S，Kim K，et al. Analytical approach to estimating aerosol extinction and visibility from satellite observations [J]. Atmospheric Environment，2014，91：127－136.

[10] He L Y，Hu M，Huang X F，et al. Chemical characterization of fine particles from on-road vehicles in the Wutong tunnel in Shenzhen，China [J]. Chemosphere，2006，62(10)：1565－1573.

[11] Wang X，Sato T，Xing B. Size distribution and anthropogenic sources apportionment of airborne trace metals in Kanazawa，Japan [J]. Chemosphere，2006，65(11)：2440－2448.

[12] Allen A G，Nemitz E，Shi J P，et al. Size distributions of trace metals in atmospheric aerosols in the United Kingdom [J]. Atmospheric Environment，2001，35(27)：4581－4591.

[13] Duce R A，Hoffman G L，Zoller W H. Atmospheric trace metals at remote northern and southern hemisphere sites: pollution or natural? [J]. Science，1975，187(4171)：59－61.

[14] Taylor S R. Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta，1964，28(8)：1273－1285.

[15] Kyllönen K，Karlsson V，Ruoho-Airola T. Trace element deposition and trends during a ten year period in Finland [J]. Science of the total environment，2009，407(7)：2260－2269.

[16] Anatolaki C，Tsitouridou R. Relationship between acidity and ionic composition of wet precipitation: a two years study at an urban site，Thessaloniki，Greece [J]. Atmospheric Research，2009，92(1)：100－113.

[17] Kaneyasu N，Yoshikado H，Mizuno T，et al. Chemical forms and sources of extremely high nitrate and chloride in winter aerosol pollution in the Kanto Plain of Japan [J]. Atmospheric Environment，1999，33(11)：1745－1756.

[18] 王珉，胡敏. 青岛沿海地区大气气溶胶浓度与主要无机化学组成 [J]. 环境科学，2001，22(1)：6－9.

[19] Wang X，Sato T，Xing B，et al. Source identification，size distribution and indicator screening of airborne trace metals in Kanazawa，Japan [J]. Journal of Aerosol Science，2005，36(2)：197－210.




(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

# Particle Size Distribution and Source Analysis of Inorganic Elements in Atmospheric Aerosol in Xinglong Base Station

Li Xingru　Wang Guoan　Li Dong

( Department of Chemistry, Capital Normal University, Beijing　100048)

**Abstract**

The concentrations of 25 elements such as Ca, Na, Mg, Fe, Al and K were determined by ICP-MS, and the concentration characteristics, particle size distribution and source of these elements were discussed. The results show that Ca, Na, Mg, Fe, Al and K in inorganic elements in the aerated aerosol are 96% of the total concentration of the measured elements, and all the elements show a high concentration level in the autumn. The particle size distribution shows that the 25 kinds of elements detected in this study show almost double-mode distribution, peaks apeared in the 4.7 ~ 5.8 μm grain size and small peak in the 0.43 ~ 0.65 μm particle size. The results of enrichment factor analysis show that Xinglong is mainly affected by crustal source and combustion source.

**Key words**: atmospheric aerosol, water-soluble ion, metal element, particle size distribution, source analysis.

( 上接第 44 页)

# Van de Graaff Static Generator: An Example of the Application of Electrostatic Theory Knowledge

Zhang Lixin

( Nantong Normal College Rugao Campus, Rugao Jiangsu　226500)

**Abstract**

This paper expounds the working principle of the Van de Graaff generator for demonstration experiments. It includes friction electrification, tip discharge, charge self-excitation, the electric field and electric potential distribution of the metal shell. It discusses the basic principle of accelerating charged particles in Van de Graaff generator and introduces the method of eliminating the common faults of Van de Graaff generator.

**Key words**: Van de Graaff generator, friction electrification, tip discharge, charge self-excitation system.



(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net