

X 荧光分析法测定地表灰尘和空调灰中重金属含量

王鑫 康明铭 刘军 陈秀莲 覃雪

Determination of heavy metal content in dust of earth's surface and dust on air conditioner filter by X-ray fluorescence analysis

Wang Xin Kang Ming-Ming Liu Jun Chen Xiu-Lian Qin Xue

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 67, 013301 (2018) DOI: 10.7498/aps.20171400

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.67.20171400>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2018/V67/I1>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于放射性气体源体积的虚拟源刻度技术

Study on the virtual source calibration technology based on the volume of radioactive gas source

物理学报.2016, 65(6): 062901 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.65.062901>

NO 与 C₂H₂ 的康普顿轮廓研究

Investigation of Compton profiles of NO and C₂H₂

物理学报.2015, 64(15): 153302 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.153302>

积分中值定理在放射性氙样品 γ 谱效率刻度技术中的应用

Application of mean value theorem of integrals in the efficiency calibration technology of radioactive xenon sample

物理学报.2013, 62(16): 162902 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.162902>

基于压缩感知理论的非线性 γ 谱分析方法

A non-linear analysis for gamma-ray spectrum based on compressed sensing

物理学报.2013, 62(11): 112901 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.112901>

X 荧光分析法测定地表灰尘和空调灰中重金属含量

王鑫¹⁾²⁾ 康明铭^{1)2)†} 刘军¹⁾²⁾ 陈秀莲¹⁾²⁾ 覃雪¹⁾²⁾

1) (四川大学物理科学与技术学院, 成都 610064)

2) (辐射物理及技术教育部重点实验室, 成都 610064)

(2017 年 6 月 17 日收到; 2017 年 10 月 14 日收到修改稿)

使用 X 荧光分析法对地表灰尘和空调滤网灰中所含金属元素 (Mn, Fe, Cu, Zn, Pb) 做了定量分析. 结果表明, 5 种元素在空调灰中的含量都大于其在地表灰尘中的含量, 其中 Cu, Zn, Pb 3 种元素在地表灰尘和空调灰中的含量远远大于四川省表层土壤中对应的平均含量. 通过对不同粒径组地表灰尘中重金属含量的分析表明, 地表灰尘中五种元素的含量在测量范围内随灰尘直径的变化规律大致相同.

关键词: 灰尘, X 荧光分析, 重金属含量, 灰尘粒径

PACS: 33.20.Rm, 29.30.Kv, 29.30.-h

DOI: 10.7498/aps.67.20171400

1 引言

由于人口的快速增长和工业化进程的不断加速, 大气污染成为当前城市环境保护所面临的最严峻的问题之一. 大气污染物主要成分为气溶胶状态污染物, 其中悬浮在空气中粒径小于 $100\ \mu\text{m}$ 的颗粒物称为总悬浮颗粒物 (TSP), 粒径小于 $10\ \mu\text{m}$ 的称为可吸入颗粒物 (PM₁₀), 粒径小于 $2.5\ \mu\text{m}$ 的称为可入肺颗粒物 (PM_{2.5})^[1-5]. 本文所研究的地表灰尘粒径小于 $280\ \mu\text{m}$, 质量占比以小于 $65\ \mu\text{m}$ 最多; 而空调滤网灰的直径多数不超过 $30\ \mu\text{m}$, 主要成分直径在 $10\ \mu\text{m}$ 以下^[6]. 这些颗粒物都具有较强的吸附能力, 能吸附各种金属粉尘、病原微生物等^[7]. 而从毒物学和流行病学研究中来看, 有越来越多的证据表明, 颗粒物上附着的有毒金属是它们毒性的主要组成部分^[8,9]. 因此测定其中的有毒金属含量对于评估大气污染程度具有重要意义.

之前国内外对大气污染状况的研究报道多集中于分析 PM_{2.5} 的组成及其对应成分的含量^[10,11], 还有一些研究报道了叶面尘, 地表灰尘中有毒金属的富集情况^[12,13]. 其实地表灰尘与大气

总悬浮颗粒物互为源汇, 地表灰尘可以在一定的外动力条件下再悬浮变成大气总悬浮颗粒物, 而大气总悬浮颗粒物通过一定时间的沉降或结合大气中的水颗粒也可以转化为地表灰尘^[14]. 而关于空调滤网灰中有毒金属含量的研究报道一直比较缺乏. 空调滤网灰直接来源于大气总悬浮颗粒物, 是一段时期、一定区域内大气颗粒物的样本, 因此测量地表灰尘和空调灰中有毒金属的含量一定程度上能反映大气总悬浮颗粒物中有毒金属的含量.

X 荧光分析法可以确定物质中微量元素的种类和含量, 自 H. 费里德曼 (H. Friedmann) 和 L. S. 伯克斯 (L. S. Birks) 于 1948 年制成第一台波长色散 X 射线荧光分析仪以来, 这项分析技术得到了迅猛发展, 目前已经十分成熟, 是大气颗粒物元素分析中广泛应用的三大分析手段之一. 对比其他光谱分析法 (如原子吸收光谱法 (AAS) 和等离子体发射光谱法 (ICP-AES)), X 荧光分析法具有分析速度快、不破坏样品组成、制样简单、分析元素范围广、结果稳定可靠等优点^[12,15]. 本文使用粉末压片法制作了一系列标准样品和待测样品, 通过推导 X 荧光强度与样品元素含量的关系式来制作标定曲线, 从而测出了地表灰尘和空调灰中 Mn, Fe,

† 通信作者. E-mail: kangmm@ihep.ac.cn

Cu, Zn, Pb 这 5 种元素的含量, 对比之前相关报道用原子吸收光谱法 (AAS) 和等离子体发射光谱法 (ICP-AES) 测定其他区域地表灰尘中这几种元素的含量, 部分元素的测量精度有了提高; 在前人的研究中, 罕见对空调灰中金属元素成分含量的测量分析, 而该样本侧面反映了大气污染情况 (特别是室内污染情况), 本文为此提供了参考. 本文还研究了不同直径灰尘中重金属含量的差异, 可以为估算不同粒径大气总悬浮颗粒物的金属含量提供参考.

2 采样和研究方法

2.1 样品采集和处理

地表灰尘和空调灰样本收集于四川大学望江校区, 该校位于城市中心, 靠近中心商业区. 该区域的空气受到交通排放和来自郊区工业污染物排放的影响较重.

我们于 2017 年 3 月在四川大学望江校区东区体育场外离地 1 m 高的瓷砖上采集了地表灰尘样品, 采集点离地 1 m 是为了有效避免表层土壤带来的影响. 空调灰则收集于空调滤网, 由于长时间未清洗, 滤网上沾有大量的纤维絮状物, 有大量灰尘藏身其中, 用小毛刷慢慢将絮状物刷下并收集. 为了便于分析与测量, 用灰化炉将其灰化. 采样都在至少连续一周不降雨后进行.

使用 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 250 目标准分样筛 (对应的直径大小分别为 280, 180, 150, 125, 106, 95, 85, 76, 65 μm) 将地表灰尘按直径大小分成 9 组, 将这 9 组地表灰尘和空调灰与淀粉以 1 : 2 的比例均匀混合后, 使用粉末压片机在 20 MPa 的压力下保压 1 min, 将其压成直径约 1.5 cm、厚度约 6 mm 的待测样品片.

2.2 研究方法

使用 X 荧光分析法对样品进行定量分析时需要制作标准样品. 将一水硫酸锰 ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)、九水硝酸铁 ($\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$)、五水硫酸铜 ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)、七水硫酸锌 ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 和硝酸铅 ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) 按不同比例与淀粉混合, 使用粉末压片机将其压成与待测样品片相同规格的标准样品片, 分别放入 X 荧光分析仪 (本实验所用为能

量色散型 X 荧光分析仪“天瑞 EDX3600K”) 测出标样中各元素 (Mn, Fe, Cu, Zn, Pb) 特征峰的净计数率.

在 X 射线荧光分析中, 测得的净计数率一般并不与待测元素的含量呈线性变化, 这是由于试样内诸元素对原级 X 射线和特征荧光的吸收与其各自质量吸收系数有关. 定义 X 光管产生原级 X 射线的强度为 I_0 , 射入样品的质量吸收系数为 $(\mu/\rho)_{oi}$, 而样品原子退激产生的荧光射出样品的质量吸收系数为 $(\mu/\rho)_k$, 因为二者的波长不同, 所以他们的质量吸收系数并不相同. 如果所激发元素 i 对原级 X 射线的质量吸收系数系数是 $(\mu/\rho)_1$, 其他元素为 $(\mu/\rho)_2$, 而它们对特征 X 射线的质量吸收系数分别为 $(\mu/\rho)_1'$ 和 $(\mu/\rho)_2'$. 当 i 元素在样品中所占的质量百分比为 C_i 时, 可以推出:

$$\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{oi} = C_i \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_1 + (1 - C_i) \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_2. \quad (1)$$

同理,

$$\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_k = C_i \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_1' + (1 - C_i) \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_2'. \quad (2)$$

如图 1, 能量为 E_i , 入射角为 α 的原级 X 射线穿过样品表面经过 x 的距离到达 dx 处被样品吸收而衰减为 (忽略其他损失和散射情况):

$$I_v = I_0 \exp[-\mu_{oi} x \csc(\alpha)]. \quad (3)$$

到达 dx 处的原级 X 射线将与 i 元素 (其摩尔质量为 M_i) 发生相互作用, 而 dx 所在截面 i 元素的原子数目为 (ρ 为样品的密度, N_A 为阿伏伽德罗常数):

$$dN_i = \frac{\rho C_i dx N_A}{M_i}. \quad (4)$$

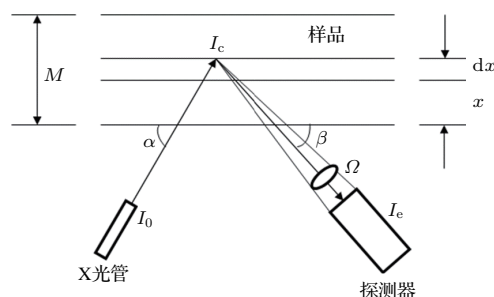


图 1 特征 X 射线激发探测示意图

Fig. 1. A schematic of detecting characteristic X-rays.

样品中的 i 元素与入射 X 射线相互作用发出特征 X 荧光的反应截面为 σ , 那么在 dx 处由于相互作用发出的 X 荧光强度为

$$dI_c = I_v dN_i \sigma. \quad (5)$$

在 dx 处发出的 X 荧光要经过 Ω 立体角穿过试样被与样品成 β 角的探测器探测到, 因此到达探测器的荧光强度 dI_e 为

$$dI_e = \left\{ dI_c \exp[-\mu_k x \csc(\beta)] d\Omega \right\} / (4\pi). \quad (6)$$

联立 (1) 到 (6) 式, 经过 dx 处试样激发到达探测器的 X 荧光强度为

$$dI_e = G_i C_i \exp[-\mu_{oi} x \csc(\alpha) - \mu_k x \csc(\beta)] dx, \quad (7)$$

式中,

$$G_i = I_0 \rho N_A \sigma d\Omega / (4\pi M_i). \quad (8)$$

对厚度 x 从 0 到无限厚 (所谓“无限厚”是指随着试样厚度的增加, 其 X 射线荧光强度不再增加的厚度, 本实验中样品片的厚度已达到无限厚, 因此可以对其进行从 0 到无限厚的积分) 进行积分, 到达探测器的荧光总强度为

$$I_e = \frac{G_i C_i}{\mu_{oi} \csc(\alpha) + \mu_k \csc(\beta)}. \quad (9)$$

将 (9) 式与 (1), (2) 式联立有

$$I_e = p_1 C_i / (p_2 + C_i), \quad (10)$$

式中,

$$p_1 = \frac{G_i}{[(\mu/\rho)_1 - (\mu/\rho)_2] \rho \csc(\alpha) + [(\mu/\rho)'_1 - (\mu/\rho)'_2] \rho \csc(\beta)}, \quad (11)$$

$$p_2 = \frac{(\mu/\rho)_2 \csc(\alpha) + (\mu/\rho)'_2 \csc(\beta)}{[(\mu/\rho)_1 - (\mu/\rho)_2] \rho \csc(\alpha) + [(\mu/\rho)'_1 - (\mu/\rho)'_2] \rho \csc(\beta)}. \quad (12)$$

因为对于结构固定的 X 荧光光谱仪和已知组分的标准样品而言, G_i , $(\mu/\rho)_1$, $(\mu/\rho)_2$, $(\mu/\rho)'_1$, $(\mu/\rho)'_2$, $\csc(\alpha)$, $\csc(\beta)$ 都为常数, 因此 p_1 , p_2 为常数.

在进行定量分析制作标定曲线时, 可以根据金属元素化合物与淀粉的不同混合比例来计算出标样中该金属元素的含量 (该元素在样品中的质量占比即 C_i), 再利用 X 荧光分析仪测出样品中该金属元素的荧光信号强度 (即 I_e), 再根据推导出的 (10) 式来拟合标准样品得到标定曲线, 从而通过测量待测样品的净计数率利用标定曲线反推出其中某金属元素的含量.

2.3 灰尘中金属元素含量与灰尘粒径的关系

文献 [16—21] 研究了气相元素迁移富集到颗粒相的理论模型, 并根据对元素富集的理论研究, 提出了颗粒物中痕量元素含量与颗粒物粒径关系的表达式:

$$C_i \propto k_i D^n, \quad (13)$$

式中 k_i 是比例系数, C_i 为痕量元素 i 在不同粒径颗粒物下的含量, D 为颗粒物的粒径, n 为分布指数. 本文通过测量得到了四川大学望江校区这一区域不同粒径灰尘颗粒中重金属含量的数值, 通过 (13)

式拟合得到分布指数 n , 并且通过分析不同元素分布指数的规律, 可进一步估算不同粒径大气总悬浮颗粒物中有毒金属含量.

3 结果与讨论

3.1 标定曲线

利用 X 荧光分析仪测出每组标准样品中各元素特征峰的净计数率, 再根据该元素金属化合物与淀粉的混合比例计算标准样品中各元素的含量, 按 (10) 式拟合得到不同元素的标定曲线 (图 2). 标定曲线制作完成后, 按相同的实验操作对每种金属元素又重新配置了三组检验样品 (已知检验样品中该金属元素的含量, 且此含量数量级上与待测灰尘样品相同). 对比标定曲线求出的理论 X 荧光强度与 X 荧光分析仪实测检验样品 X 荧光强度, 两者差别小于 10% (标定曲线由于做的范围宽, 其本身的随机误差多大于 10%, 可以从误差带和本文最后给出的结果误差看出来), 两者的相对误差小于本文测量的最终误差, 因此标定曲线是可靠的. 观察图 2 还发现 Fe 元素标定曲线的误差较大, 主要是因为用来配制 Fe 元素标样的九水硝酸铁有强烈的吸水性, 在空气中潮解而易黏连, 压制标准样品片时不会定量损失一部分.

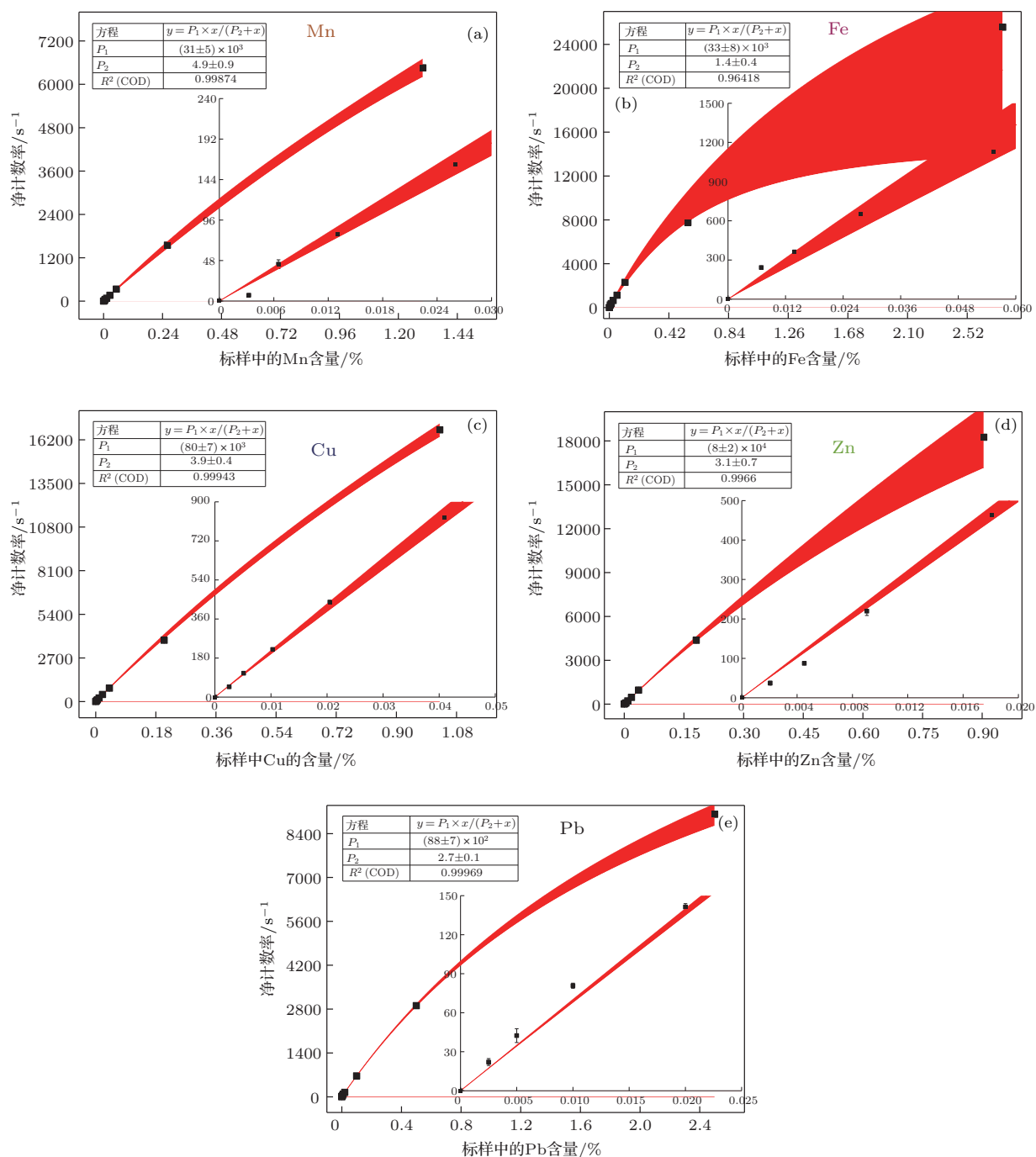


图2 各元素的标定曲线(图中红色区域为95%置信带, 插图为曲线左下角区域的放大) (a) Mn元素的标定曲线; (b) Fe元素的标定曲线; (c) Cu元素的标定曲线; (d) Zn元素的标定曲线; (e) Pb元素的标定曲线

Fig. 2. The calibration curves of kinds of elements (the red region is a 95% confidence level band, and the smaller one in each plot is an enlarged image of the lower left end of the curve): (a) The calibration curve of Mn; (b) the calibration curve of Fe; (c) the calibration curve of Cu; (d) the calibration curve of Zn; (e) the calibration curve of Pb.

3.2 地表灰尘和空调灰中金属含量

在相同的实验条件下测出待测样品的净计数率, 根据标定曲线能得出灰尘中5种元素的含量, 待测样品误差由标定误差决定(本工作忽略配制样品过程中产生的误差, 标定数据点的误差仅为探测

器计数的统计误差, 该误差为本实验的主要误差). 地表灰尘和空调灰中Mn, Fe, Cu, Zn, Pb的含量以及四川省表层土壤中相应元素的含量对比^[22]如表1所列, 观察表1可得出以下结论: 就均值而言, 空调灰中5种金属元素的含量都超过地表灰尘中的含量, 这是因为空调灰的直径更小, 比表面积更

大, 吸附金属元素的能力更强; 另外可以看到地表灰尘和空调灰中的 Mn 和 Fe 元素含量低于四川省表层土壤背景值, 而 Cu, Zn, Pb 三种元素含量则正好相反, 特别是空调灰中 Zn 和 Pb 的含量分别为 1200 mg/kg 和 520 mg/kg, 它们都十倍于四川省表层土壤的背景值 (表层土壤中对应 Zn 和 Pb 的含量分别为 86.5 mg/kg 和 30.0 mg/kg), 由其富集因子和地累积指数^[23]来看, 它们主要是人为源, 并且其重金属污染水平很高。

3.3 金属元素含量随灰尘粒径的变化规律

根据 (13) 式拟合出金属元素含量随灰尘粒径变化的关系, 见图 3. 观察图 3 可知, 除去总含量的差别 (比例系数 k_i), 地表灰尘中 5 种元素的含量随灰尘直径的变化规律大致相同 (本文未将空调灰与地表灰尘一起拟合, 因为空调灰的粒径没有确定,

而且处理样品的方式也不相同), 即分布指数 n 对这五种元素没有显著差别 (表 2). 将五种元素的分布指数 n 值取平均给出推荐值为 $n = -0.43 \pm 0.06$.

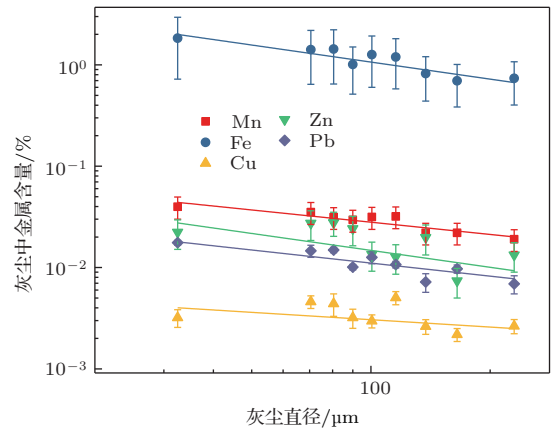


图 3 地表灰尘中金属含量随粒径的变化

Fig. 3. The contents of the metal elements in the surface dust varies with the size of the particle.

表 1 地表灰尘和空调灰金属元素测量值和土壤背景值的对比

Table 1. The comparison of the metal elements in the dust and in the topsoil in Sichuan Province.

金属元素	地表灰尘	空调灰	四川省表层土壤背景值	文献中不同区域地表灰尘数据
Mn(mg/kg)	$(2.9 \pm 0.7) \times 10^2$	$(5 \pm 1) \times 10^2$	657 ± 98.9	527 ± 87 [24]
Fe(mg/kg)	$(1.2 \pm 0.6) \times 10^4$	$(3 \pm 2) \times 10^4$	$(3.3 \pm 0.8) \times 10^4$	24060 ± 9106 [24]
Cu(mg/kg)	$(3.4 \pm 0.6) \times 10$	$(1.7 \pm 0.2) \times 10^2$	31.1 ± 9.18	28.61 ± 9.45 [25]
Zn(mg/kg)	$(1.9 \pm 0.6) \times 10^2$	$(1.2 \pm 0.4) \times 10^3$	86.5 ± 28.36	113.18 ± 40.19 [25]
Pb(mg/kg)	$(1.2 \pm 0.1) \times 10^2$	$(5.2 \pm 0.3) \times 10^2$	30.0 ± 12.15	65.72 ± 33.34 [25]

表 2 五种元素比例系数和分布指数的拟合值

Table 2. Kinds of the elements' fitting values of the proportion coefficients and the distribution index.

方程	$C_i \propto k_i D^n$				
元素	Mn	Fe	Cu	Zn	Pb
k_i	0.18 ± 0.05	14 ± 6	0.009 ± 0.007	0.2 ± 0.2	0.08 ± 0.03
n	-0.40 ± 0.06	-0.5 ± 0.1	-0.2 ± 0.2	-0.6 ± 0.2	-0.43 ± 0.09

4 结 论

我们于 2017 年 3 月在四川大学望江校区东区体育场外离地 1 m 高的瓷砖上采集了地表灰尘样品, 并在四川大学望江校区采集了空调滤网灰样品. 利用 X 荧光分析法测出了地表灰尘和空调灰中 Mn, Fe, Cu, Zn, Pb 五种元素的含量, 对比之前测量地表灰尘中重金属含量的报道, 部分元素的测量

精度有了提高 (见表 1 中 Cu 元素和 Pb 元素); 另外还测出了空调灰中这五种元素的含量, 此类样本亦可反映空气污染情况, 特别是室内空气, 空调灰中五种元素含量的相关数据未见前人报道, 本文结果为此提供了参考.

由表 1 中数据可知, 空调灰中五种元素的含量都大于其在地表灰尘中的含量, 这是因为空调灰的直径小, 其吸附金属微粒的能力强, 而对比 5 种元素在四川省表层土壤的背景值, 发现地表灰尘和空

调灰中的Mn, Fe 元素含量低于土壤背景值, 而Cu, Zn, Pb则恰好相反, 其中空调灰中的Zn, Pb含量都超过土壤背景值十倍以上, 这表明四川大学望江校区在三月大气总悬浮颗粒物中Cu, Zn, Pb元素含量较高. 根据相关报道, 这三种元素的可能来源为交通排放、矿石开采、冶炼加工、燃煤排放和钢铁生产等, 同时有越来越多的证据表明, 日益增加的机动车数量是导致大气中有毒元素含量过高的罪魁祸首[7,13–15,26].

本文还利用气相元素迁移富集到颗粒相的理论模型, 给出了分布指数的推荐值 $n = -0.43 \pm 0.06$, 利用此值和(13)式可以大致估算一定直径范围内(32.5–230 μm)不同粒径大气总悬浮颗粒物的金属含量.

参考文献

- [1] Li Y Y, Chang M, Ding S S, Wang S W, Ni D, Hu H T 2017 *J. Environ. Manage.* **196** 16
- [2] Wang Q Q, Ma Y L, Tan J H, Yang F M, Wei L F, Duan J C, He K B 2014 *China Environ. Sci.* **34** 2204 (in Chinese) [王晴晴, 马永亮, 谭吉华, 杨复沫, 韦莲芳, 段菁春, 贺克斌 2014 中国环境科学 **34** 2204]
- [3] Liu Y M, Hong Y Y, Fan Q, Wang X M, Chan P W, Chen X Y, Lai A Q, Wang M J, Chen X L 2017 *Sci. Total Environ.* **596–597** 194
- [4] Uni D, Katra I 2017 *Sci. Total Environ.* **598** 984
- [5] Wang J, Li N, Fang C S 2009 *Environ. Monitor. China* **25** 19 (in Chinese) [王菊, 李娜, 房春生 2009 中国环境监测 **25** 19]
- [6] Zhang J 2007 *M. S. Dissertation* (Xi'an: Xi'an University of Architecture and technology) (in Chinese) [张景 2007 硕士学位论文 (西安: 西安建筑科技大学)]
- [7] Zhou S G, Zou H F, Dong X, Lin X N, Chen Z 2017 *Asian J. Ecotoxicol.* **12** 277 (in Chinese) [周燊港, 邹海凤, 董炯, 林香男, 陈卓 2017 生态毒理学报 **12** 277]
- [8] Li M, Yu X W, Kang H, Xie Z Q, Zhang P F 2017 *Atmospheric* **8** 1
- [9] Li L J, Wen Y P, Peng L, Bai H L, Liu F X, Shi M X 2014 *Environ. Sci.* **12** 4431 (in Chinese) [李丽娟, 温彦平, 彭林, 白慧玲, 刘凤娟, 史美鲜 2014 环境科学 **12** 4431]
- [10] Tan J H, Lei M, Zhou X M, Duan J C, Li Y, Hu J N, He K B 2017 *Sci. Total Environ.* **601** 1743
- [11] Ledoux F, Kfoury A, Delmaire G, Roussel G, El Zein A, Courcot D 2017 *Chemosphere* **181** 713
- [12] Bilo F, Borgese L, Dalipi R, Zacco A, Federici S, Masperi M, Leonesio P, Bontempi E, Depero L E 2017 *Chemosphere* **178** 504
- [13] Dai S D, Ma K M, Bao L, Zhang T, Zhang D 2013 *Acta Sci. Circumst.* **33** 154 (in Chinese) [戴斯迪, 马克明, 宝乐, 张田, 张地 2013 环境科学学报 **33** 154]
- [14] Zhang Y X, Wang J, Qin F X, Zhang H 2012 *Acta Sci. Circumst.* **32** 204 (in Chinese) [张一修, 王济, 秦樊鑫, 张浩 2012 环境科学学报 **32** 204]
- [15] Wang G X, Li D, Hou X, Zhou L L 2013 *Nucl. Electron. Detect. Technol.* **33** 763 (in Chinese) [王广西, 李丹, 侯鑫, 周丽丽 2013 核电子学与探测技术 **33** 763]
- [16] Wang H, Song Q, Yao Q, Chen C H 2008 *Proc. Chin. Soc. Electr. Eng.* **28** 1 (in Chinese) [王瑋, 宋嵩, 姚强, 陈昌和 2008 中国电机工程学报 **28** 1]
- [17] Linak W P, Wendt J O L 1993 *Prog. Energy Combust. Sci.* **19** 145
- [18] Bool L E, Helble J J 1995 *Energy Fuels* **9** 5
- [19] Niksa S, Helble J J, Fujiware N 2001 *Environ. Sci. Technol.* **35** 3701
- [20] Zhou Y Q, An Z Y, Liu Y K, Chen C H 2013 *J. Tsinghua Univ: Nat. Sci. Ed.* **53** 323 (in Chinese) [嵇玉群, 安忠义, 刘玉坤, 陈昌和 2013 清华大学学报 (自然科学版) **53** 323]
- [21] Seinfeld J H, Pandis S N 1998 *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change* (New York: John Wiley & Sons) p1360
- [22] CAEPI, Environmental Monitoring of China 1990 *Background Values of Soil Elements in China* (Beijing: China Environmental Science Press) p87 (in Chinese) [国家环境保护局, 中国环境监测总站 1990 中国土壤元素背景值 (北京: 中国环境科学出版社) 第87页]
- [23] Hasan A B, Kabir S, Reza A H M S, Zaman M N, Ahsan A, Rashid M 2013 *J. Geochem. Explor.* **125** 130
- [24] Elio P, Chiara R, Franco A M 2017 *Sci. Total Environ.* **601–602** 89
- [25] Han D Y, Cen K, Gong Q J 2004 *Res. Environ. Sci.* **17** 10 (in Chinese) [韩东昱, 岑况, 龚庆杰 2004 环境科学研究 **17** 10]
- [26] Li H M, Wu H F, Wang Q G, Yang M, Li F Y, Sun Y X, Qian X, Wang J H, Wang C 2017 *Atmosph. Res.* **183** 142

Determination of heavy metal content in dust of earth's surface and dust on air conditioner filter by X-ray fluorescence analysis

Wang Xin¹⁾²⁾ Kang Ming-Ming^{1)2)†} Liu Jun¹⁾²⁾ Chen Xiu-Lian¹⁾²⁾ Qin Xue¹⁾²⁾

1) (College of Physical Science and Technology, Sichuan University, Chengdu 610064, China)

2) (Key Laboratory of Radiation Physics and Technology of Ministry of Education, Sichuan University, Chengdu 610064, China)

(Received 17 June 2017; revised manuscript received 14 October 2017)

Abstract

The dust of earth's surface and the dust on air conditioner filters reflect a certain area of air pollution in a period of time. In the present study, we investigate the dust collected from the Wangjiang campus of Sichuan University on March, 2017. The dust is divided into 9 groups according to their diameters. The dust is made into the samples by mixing the dust and analytically pure starch at a ratio of 1 : 2, and pressing it into slices of 1.5 cm in radius and 6 mm in thickness through using a powder compressor. Likewise, the salts ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$), are also made into standard samples of different elements (Mn, Fe, Cu, Zn, and Pb). X-ray fluorescence analyzer is used to measure the element content in each of the samples according to calibration curves measured from the standard samples. The results show that the content of each element in the earth's surface dust is lower than that in the dust on the air conditioner filter. The values of Cu, Zn, and Pb content in the dust are higher than the average content of the topsoil in Sichuan Province, China. These elements possibly originate from motor vehicle exhaust.

Based on the theoretical model for the gaseous elements to change into the fine particulate matter, the change of the trace element content with the particle size can be expressed as $C_i \propto k_i D^n$, where C_i is the content of the metal element i in the dust, k_i is a scale factor, D is the diameter of the dust particle, and n is the distribution index. From the results it is concluded that the distribution indexes corresponding to various elements are approximately the same in the size range of interest to us (32.5–230 μm). A recommended value of n is -0.43 ± 0.06 .

Keywords: dust, X-ray fluorescence analysis, heavy metal content, diameter size

PACS: 33.20.Rm, 29.30.Kv, 29.30.-h

DOI: 10.7498/aps.67.20171400

† Corresponding author. E-mail: kangmm@ihep.ac.cn