

## 北京市城区北部大气气态汞的特征分析\*

狄一安<sup>1</sup> 杨俊杰<sup>1\*\*</sup> 马志强<sup>2</sup> 张乐坚<sup>3</sup> 于跃<sup>1</sup> 任立军<sup>1</sup> 郭婧<sup>1</sup> 邵伟珂<sup>4</sup>

(1. 国家环境分析测试中心, 北京, 100029; 2. 中国气象局北京城市气象研究所, 北京, 100089;  
3. 中国气象局气象探测中心, 北京, 100081; 4. 北京普立泰科仪器有限公司, 北京, 102208)

汞具有持久性、易迁移性和高度的生物富集性, 毒性很强, 环境中任何形式的汞均可在一定条件下转化为剧毒的甲基汞. 汞已被联合国环境规划署列为全球性污染物, 具有跨国污染的属性, 已成为全球广泛关注的环境污染物之一. 作为环境中汞的重要传输通道, 大气在全球汞的生物地球化学循环中起着极其重要的作用. 气态单质汞是大气汞的主要存在形式, 约占大气汞的90%以上<sup>[1]</sup>.

北京作为我国的首都, 是我国政治、经济、文化的中心, 随着近30年来北京市社会经济迅速发展, 人口迅速膨胀, 能源消耗和汽车保有量逐年增加, 给首都环境质量和生态状况带来较大压力. 针对北京大气汞的研究较少, 缺乏系统的连续观测研究, 缺乏与其它污染物及气象因子的同步观测. 为了解决以上问题, 于2011年11月对北京市城区北部大气气态汞、二氧化硫及气象因子进行同步连续观测, 以获得大气气态汞的浓度变化特征及其影响因素.

### 1 材料与方法

(1) 观测地点: 北京市北四环内的国家环境分析测试中心院内(116°26'E, 39°59'N), 采样点进气口据地面高度约10 m, 周围5 km以内为30—60 m高度的建筑群, 周围环境可基本代表大城市的典型环境.

(2) 仪器: 大气气态汞观测采用Lumex RA 915M自动测汞仪, 二氧化硫观测所用仪器为用澳大利亚Ecotech公司的98XX系列仪器EC9850, 气象因子观测采用华创CAWS600B型自动气象站.

(3) 观测时间: 2011年11月1日0:00—28日23:00.

### 2 结果与讨论

#### 2.1 北京城区北部大气气态汞的浓度水平

表1为北京市城区北部2011年11月大气气态汞浓度水平, 从表1可以看出, 观测期间, 北京城区北部大气气态汞浓度范围为0.9—24.9 ng·m<sup>-3</sup>, 平均值为6.5 ng·m<sup>-3</sup>, 标准差为3.4 ng·m<sup>-3</sup>. 北京市城区北部大气气态汞浓度水平高于背景点的浓度水平, 分别是长白山、瓦里关山背景点浓度的1.8倍和3.3倍, 但远低于300 ng·m<sup>-3</sup>的国家居民区大气汞允许标准. 与我国其它城市比较, 高于上海和宁波的大气气态汞浓度水平, 分别是其的2.4倍和1.9倍; 低于贵阳、重庆和长春大气气态汞浓度水平, 分别是其的0.7倍、0.9倍和0.4倍. 与国外Reno和Tuscaloosa两个城市相比, 本研究大气气态汞浓度分别是其的2.8倍和1.6倍, 说明北京城区北部大气气态汞浓度水平高于国外城市, 这是由于我国能源消费主要以煤炭为主所致.

与1998年北京城区观测相比, 本研究大气气态汞浓度略低, 是其浓度值的0.8倍. 煤炭燃烧是大气汞的主要来源, 近年来北京市不断减少城区内煤炭的燃烧量, 这可能是造成大气气态汞浓度较1998年降低的原因. 除了贵阳外, 表1中所列北方城市北京、长春大气气态汞浓度水平是上海、重庆、宁波南方城市的2.6倍, 说明北方城市采暖季煤炭使用量的增加可能是导致大气气态汞升高的原因.

#### 2.2 北京城区北部大气气态汞的日变化特征

北京市城区北部大气气态汞浓度在0:00最高, 其值为7.3 ng·m<sup>-3</sup>, 在16:00最低, 其值为5.9 ng·m<sup>-3</sup>, 白天平均浓度为6.3 ng·m<sup>-3</sup>, 夜晚平均浓度为6.7 ng·m<sup>-3</sup>, 夜晚浓度略高于白天. 温度、气压、风速和相对湿度在白天平均值分别为8.6℃、102.1 kPa、1.6 m·s<sup>-1</sup>和52.5; 在夜晚的平均值分别为5.3℃、102.1 kPa、1.1 m·s<sup>-1</sup>和70.4. 温度、风速白天分别是夜晚的1.6倍和1.5倍, 相对湿度夜晚是白天的1.3倍, 说明白天由于太阳辐射的增强, 气温升高, 大气边界层乱流和湍流活动加剧, 风速升高, 混合层厚度增加, 有利于大气气态汞的稀释扩散, 夜晚地面由于向外辐射而冷却, 使近地面空气的温度自下而上逐渐降低, 但由于下面的空气温度下降较快, 从而形成逆温, 大气稳定度增大, 风速下降, 相对湿度增加, 混合层厚度减小, 导致大气气态汞浓度的增加.

2012年3月19日收稿.

\* 国家自然科学基金项目(41105092, 41105089); 环保公益性行业科研专项(201009037, 2012209015); 北京市自然科学基金资助项目(8121002)资助.

\*\* 通讯联系人, E-mail: yyj800308@163.com

表 1 北京市城区北部 2011 年 11 月大气气态汞浓度水平( $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$ )

观测点位置	观测点类型	观测时间	浓度(平均值 $\pm$ 标准差)
北京 <sup>[2]</sup>	城市	1998 年 2 月 16—20 日	$7.9 \pm 2.6$
贵阳 <sup>[3]</sup>	城市	2001 年 11 月—2002 年 11 月	$9.7 \pm 10.2$
上海 <sup>[4]</sup>	城市	2009 年 8—9 月	$2.7 \pm 1.7$
重庆 <sup>[5]</sup>	城市	2006 年 8 月—2007 年 9 月	$6.74 \pm 0.37$
长春 <sup>[6]</sup>	城市	1999 年 7 月—2000 年 1 月	18.4
宁波 <sup>[7]</sup>	城市	2007 年 10 月—2008 年 1 月	$3.39 \pm 1.29$
Reno <sup>[8]</sup>	城市	2002 年—2005 年	$2.3 \pm 0.4$
Tuscaloosa <sup>[9]</sup>	城市	2002, 2003 年夏季	$4.05 \pm 1.28$
长白山 <sup>[10]</sup>	背景点	2005 年 8 月—2006 年 7 月	$3.58 \pm 1.78$
瓦里关山 <sup>[11]</sup>	背景点	2007 年 9 月—2008 年 8 月	$1.98 \pm 0.98$
本研究	城市	2011 年 11 月	$6.5 \pm 3.4$

### 2.3 北京城区北部大气气态汞的时间变化特征

大气气态汞与二氧化硫小时均值浓度的变化趋势相似,相关系数  $r=0.279$ ,通过 0.01 的置信度检验,呈显著的正相关.化石燃料燃烧是二氧化硫的主要来源,其中煤炭的燃烧是大气气态汞的主要来源之一.11 月 15 日北京城区开始集中供暖,值得关注的是北京采暖季前后大气中二氧化硫浓度分别是  $5.4 \times 10^{-9}$  和  $22.5 \times 10^{-9}$ ,采暖后是采暖前的 4.2 倍;与之相对应的采暖前后大气气态汞的浓度分别为  $6.7 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$  和  $6.3 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ ,并未出现明显变化.研究结果说明,除燃煤外北京城区北部大气气态汞浓度还受到其它因素的影响.2011 年,北京城区取消燃煤供暖,采用燃油和天然气供暖也是造成此现象可能的原因.

气象因子是影响大气污染物迁移扩散的重要条件.大气气态汞与风速的相关系数  $r=-0.496$ ,通过 0.01 的置信度检验,呈显著的负相关;与相对湿度相关系数  $r=0.608$ ,通过 0.01 的置信度检验,呈显著的正相关.风速的增加有利于大气气态汞的稀释扩散,高相对湿度常受静稳天气系统的影响出现,易造成大气污染物的累积.

### 3 结论

(1)北京城区北部大气气态汞浓度水平高于全球背景值和国外城市观测值,表明北京城区大气环境已受到一定程度的汞污染.

(2)北京市城区北部大气气态汞浓度日变化呈现明显的城市特征,夜晚浓度水平高于白天,这主要由城市在夜晚和白天的边界层状况不同所致.

(3)气象因子分析表明,大气气态汞与风速呈显著的负相关,与相对湿度呈显著的正相关.

**关键词:** 大气气态汞, 二氧化硫, 气象因子.

### 参 考 文 献

- [1] Schroeder W H, Munthe J. Atmospheric mercury-an overview [J]. Atmospheric Environment, 1998, 32(5): 809-22
- [2] Liu S L, Nadim F, Perkins C, et al. Atmospheric mercury monitoring survey in Beijing, China [J]. Chemosphere, 2002, 48: 97-107
- [3] Fu X W, Feng X B, Qiu G L, et al. Speciated atmospheric mercury and its potential source in Guiyang, China [J]. Atmospheric Environment, 2011, 45(25): 4205-4212
- [4] Friedli H R, Arellano A F, Geng F, et al. Measurements of atmospheric mercury in Shanghai during September 2009 [J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2011, 11: 3781-3788
- [5] Yang Y K, Chen H, Wang D Y. Spatial and temporal distribution of gaseous elemental mercury in Chongqing, China [J]. Environmental Monitoring Assessment, 2009, 156: 479-489
- [6] Fang F M, Wang Q C, Li J F. Urban environmental mercury in Changchun, a metropolitan city in Northeastern China: source, cycle, and fate [J]. Science of Total Environment, 2004, 330: 159-170
- [7] Nguyen D L, Kim J Y, Shim S G, et al. Ground and shipboard measurements of atmospheric gaseous elemental mercury over the Yellow Sea region during 2007-2008 [J]. Atmospheric Environment, 2011, 45: 253-260
- [8] Jelena S K, Seth L, Mae S G. Seasonal and diel variation of atmospheric mercury concentrations in the Reno (Nevada, USA) airshed [J]. Atmospheric Environment, 2007, 41: 6662-6672
- [9] Mark C G, Derek G W, Steve B, et al. Atmospheric speciation of mercury in two contrasting Southeastern US airsheds [J]. Atmospheric Environment, 2005, 39: 4947-4958
- [10] Wan Q, Feng X B, Julia L, et al. Atmospheric mercury in Changbai Mountain area, northeastern China-Part I: the seasonal distribution pattern of total gaseous mercury and its potential sources [J]. Environment Research, 2009, 109: 201-206
- [11] Fu X W, Feng X B, Liang P, et al. Temporal trend and sources of speciated atmospheric mercury at Waliguan GAW station northwestern China [J]. Atmospheric Chemistry and Physics Discussion, 2011, 11: 1-37