

• 微量物质在环境中的迁移及影响 •

## 贵州省民用燃煤的大气汞排放特征

李仲根<sup>1</sup>, 冯新斌<sup>1</sup>, 李广辉<sup>1</sup>, 张艳哲<sup>2</sup>, 王学锋<sup>2</sup>, 李启立<sup>2</sup>

1. 中国科学院 地球化学研究所 环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002;

2. 中国地质大学(武汉) 地球科学学院, 武汉 430074

燃煤已是当今大气汞污染的一个重要源头, 联合国环境规划署(UNEP)在2002年、2008年及2013年三次发布的全球汞排放评估报告中, 均指明燃煤在大气汞排放中的重要地位。我国是煤炭生产及消耗大国, 除了大量的煤炭被用于燃煤电厂、工业锅炉和炼焦厂等大型工业活动以外, 还有相当数量的煤炭被用于居民的日常取暖、做饭等活动。对于民用燃煤的汞排放及相关环境、健康影响, 以前做的研究工作还很少。贵州是我国南方煤炭储量最多的省份, 又是高原山区和经济欠发达地区, 民用燃煤现象相当普遍, 上世纪九十年代以来, 每年用于民用生活的煤炭消耗量在700万吨到1110万吨之间, 年人均生活消费200~300千克标准煤, 远高于全国70~150千克标准煤的平均水平。由于煤炭的大量使用, 不但造成贵州省区域大气汞含量及降雨汞含量升高, 还导致了贵州历史上多个城市出现严重的酸雨现象。近年来, 由于对小锅炉及小火电的关停取缔, 以及对燃煤电厂、工业锅炉污染控制措施的加强, 区域酸雨现象已得到明显改善。但是对于民用燃煤采取的污染控制措施不多。

针对贵州省的民用燃煤汞排放问题, 本研究开展了两方面的研究工作, 第一部分在贵州省省会贵阳市采集了27户居民家中的煤炭及相应产生的煤渣, 利用质量平衡原理, 研究了汞的释放因子; 第二部分, 对来自贵州省4个地点的煤炭及蜂窝煤样品, 研究其在民用燃煤条件下排放的烟气中汞的含量及形态, 计算不同形态汞的释放率。结合两部分结果, 估算了贵州省每年通过民用燃煤向大气的汞排放量。

贵阳市居民使用的煤炭, 主要来自市区周边的煤矿、以及金沙和大方等临近产煤的大县。本研究中,

块煤的汞含量范围为14~1050 ng/g ( $N=26$ ), 平均值 $378 \pm 300$  ng/g, 燃烧后的底渣汞含量0~18 ng/g, 平均值 $4 \pm 5$  ng/g; 蜂窝煤的汞含量为172 ng/g ( $N=1$ ), 底渣汞含量为1 ng/g。燃料灰分含量为: 块煤 $19.3 \pm 7.7\%$ ; 蜂窝煤47.9%。块煤和蜂窝煤燃烧后产生的飞灰极少, 绝大部分灰分都保留在底渣中。因此, 块煤和蜂窝煤在民用燃烧条件下的汞平均释放率分别为99.62%和99.81%, 残留在底渣中的汞比例小于0.4%。本研究得出的汞的大气释放比例, 远高于前人(释放率83%)的结果, 暗示以前的研究低估了这一燃煤方式的汞排放量。

对产自贵州省贵阳市、兴仁县、金沙县和德江县三地的块煤及水城市的蜂窝煤, 利用安大略(OH)方法测定了其产生的烟气中总汞的含量及不同形态汞的含量。结果表明, 燃煤烟气的总汞含量(HgT)范围为5.4~18.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 其中零价汞( $\text{Hg}^0$ )、二价汞( $\text{Hg}^{2+}$ )和颗粒态汞(HgP)的平均比例分别为91.2%、7.6%和1.2%, 燃煤烟气中汞主要以 $\text{Hg}^0$ 存在, 这可能和烟气在排气管中较短的停留时间有关。燃煤烟气中总汞的含量与燃料中汞的含量呈极显著正相关关系( $p < 0.01$ ), 燃煤烟气中的零价汞和总汞也是极显著相关。研究进一步验证了燃料中的汞近乎100%释放进入大气。结合贵州省的民用燃煤量, 估算了贵州省上世纪九十年代以来每年通过这一燃煤途径释放进入大气的汞为1.2~2.3 t, 由于释放的汞近90%为具有较长大气居留时间的零价汞, 因而影响的范围也将是广泛的。

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(2013CB430001)、国家自然科学基金(41003007)和贵州省科学技术基金(黔科合J字[2008]2246号)联合资助