

化石燃烧源水汽是导致关中地区冬季空气质量恶化的影响因素之一

邢 萌^{1,2}, 曹军骥^{1,2}, 刘卫国^{1,2}, 李国辉^{1,2}, 王启元^{1,2}

1. 中国科学院地球环境研究所 黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710061

2. 中科院第四纪科学与全球变化卓越创新中心, 西安 710061

雾霾天气是我国近年来面临的严峻环境问题之一, 它的频繁发生严重影响我国居民的日常生活和身心健康。众所周知, $PM_{2.5}$ (空气动力学当量直径小于等于 $2.5\ \mu m$ 的颗粒物, 直径还不到头发丝粗细的 $1/20$) 是造成空气污染的一个重要因素。它的来源非常复杂, 包括一次排放和二次形成颗粒物。由氮氧化物 (NO_x)、二氧化硫 (SO_2) 和挥发性有机组分 (VOCs) 等前体物反应生成的二次颗粒物 (如硝酸盐、硫酸盐、二次有机物) 是 $PM_{2.5}$ 的重要组成成分。大量研究表明, 由水汽作为媒介的液相化学反应是二次气溶胶生成的重要途径。水汽含量的升高将加速硫酸盐、硝酸盐及二次有机物的生成, 导致雾霾过程持续和进一步恶化。

一般而言, 大气低对流层中的水汽主要来自大气传输和地表蒸发蒸腾作用的贡献。但是, 人类燃烧天然气、石油、煤等化石燃料也产生水汽, 即燃烧源水汽。尽管化石燃料燃烧产生的水汽在大气总水汽中的占比很小, 一般在全球大气水收支中可以忽略不计, 但是, 其在局地地区 (如人口密集的大城市), 特别是大气传输条件不好的时间段, 燃烧源水汽对大气水汽的贡献可能会明显升高。然而, 定量燃烧源水汽在大气水汽中的贡献以及其对 $PM_{2.5}$ 浓度升高的作用是目前学术界的一个难点。化石燃烧源产生的水汽可能导致其氢、氧同位素比值呈现出一组区别于自然源水汽的特征, 从而可用于水汽来源溯源。鉴于此, 中科院地球环境研究所、南京大学和路易斯州立大学的研究人员, 通过在西安市收集的 3 个采暖季的大气水汽同位素组成及相关大气化学观测数据, 结合 WRF-Chem 模型, 分离出了关中地区冬季雾霾过程中, 化石燃烧源水汽在大气水汽中的占比及其对大气 $PM_{2.5}$ 浓度的贡献。

结果显示: 在关中重雾霾天气, 大气水汽氢氧同位素的组成确实显现出化石燃烧源水汽的贡献, 平均值为 6.2%。利用大气化学 WRF-Chem 模型, 研究人员又进一步定量了化石燃烧源水汽对大气 $PM_{2.5}$ 浓度的贡献。对关中典型重污染天气的模拟结果表明: 化石燃烧源水汽的平均贡献占关中地区大气总 $PM_{2.5}$ 的 2.8%, 占人为源 $PM_{2.5}$ 的 5.1%。考虑到在产生同等热量前提下, 燃烧天然气生成的水汽质量是烧煤生成水汽的近 3 倍, 研究人员建议在大范围实施煤改气工程时应考虑化石燃烧源水汽排放引起 $PM_{2.5}$ 增加这一负面影响, 尤其是在一些对相对湿度比较敏感的气象条件下。在条件成熟时, 未来仍需考虑电能或清洁能源的使用。

该项研究成果以 “Vapor isotopic evidence for the worsening of winter air quality by anthropogenic combustion-derived water” 为题于 2020 年 12 月 14 日发表在美国科学院院刊 (PNAS) 上 (论文链接: <https://www.pnas.org/content/117/52/33005/>)。该研究受到了中科院 B 类战略性先导科技专项、大气重污染成因与治理攻关项目、国家大气研究计划等项目的资助。

(邢 萌, xingmeng@ieecas.cn, DOI: 10.7515/JEE203009)