

2024 年度北京市科学技术奖提名公示

一、项目名称

大气关键活性氮国产化高精度分析仪研制及源汇机制研究

二、候选单位（含排序）

中国气象科学研究院、中国科学院生态环境研究中心、中国科学院合肥物质科学研究院、中国计量科学研究院

三、候选人（含排序）

张根、刘鹏飞、胡仁志、张成龙、吴海、徐婉筠、谢品华、牟玉静

四、提名意见

大气活性氮包括过氧乙酰基硝酸酯（PAN）、氮氧化物（NO_x）以及有机硝酸盐等含氮化合物，其可靠测量有助于揭示大气复合污染的成因、指导防控对策的制定。我国目前相关测量仪器主要依赖于进口，存在“卡脖子”的风险。针对这一现状，研究团队通过理论创新与多项关键技术攻关，打破了国外对大气关键活性氮在线分析与标校技术的封锁，成功研制了具有自主知识产权的大气 PAN、NO_x 及有机硝酸盐在线分析仪，并建立了大气痕量 NO_x 计量体系，相关技术已应用于多项国家重大科研项目，并成功服务于多地政府及环保部门大气污染治理工作，如参与北京市大兴区大气臭氧污染成因溯源工作，厘清了大兴区夏季光化学污染水平、变化规律及成因，提出了应对措施，为首都空气质量的评估、改善工作提供了有力的支撑，从而为首都建设成国际宜居城市做出了重要的贡献。

提名该项目为北京市科学技术进步奖(社会公益类)一等奖或二等奖。

五、项目简介

大气活性氮包括过氧乙酰基硝酸酯 (PAN)、氮氧化物 (NO_x)以及有机硝酸盐等含氮化合物,其可靠测量有助于揭示大气复合污染的成因、指导防控对策的制定。我国目前相关测量仪器主要依赖于进口,存在“卡脖子”的风险。针对这一现状,研究团队通过攻坚克难,成功研发了具有自主知识产权的大气关键活性氮高精度在线分析仪,探明了我国典型城市大气活性氮的浓度水平、相互转化机制及源汇特征,具体成果如下:

1) 通过自动化控制系统、微型色谱柱箱、半导体温控系统、光化学合成装置等核心部件的研发,研制并优化了大气 PAN 在线检测与标定系统,将测量不确定性从 $\pm 30\%$ 降低至 $\pm 5\%$;在国际上提出了一种基于双通道 PAN 差分法测定大气 NO_x 新理论,通过多项技术创新(如研发螺旋式化学转化装置,实现 NO_x 向 PAN 高效转化 (98.5%);研发国产化电子捕获检测器 (ECD) 信号调节板实现对 PAN 宽范围 (0-200ppbv, 体积比 10^{-9}) 检测,克服了主流技术响应范围窄的弊端),实现了 NO_x 高精度在线检测 (检测限为 5-30pptv, 体积比 10^{-12}),解决了商业化 NO_x 仪器无法精准定量低浓度 NO_x 的难题;通过激光光源调制系统、多通道热解转化装置等核心部件开发,研发了烷基硝酸酯和 NO_2 的同步在线分析技术,检测限 (8.6 和 6.5pptv) 达到国际先进水平;突破了“零气”纯化、纯度测定、气瓶内壁处理等关键技术,建立了我国大气 NO_x 标物计量体系,为上述仪器在 NO_x 量值溯源方面奠定了计量基础。上述技术获国家专利 6 项,国家标准 2 项,被国

内多家单位使用，且应用于多个国家重大科研项目及重大活动空气质量保障。

2) 利用上述仪器，系统研究了我国典型区域大气关键活性氮浓度水平、相互转化机制及源汇特征：发现我国城市和农村大气 PAN、NO_x 的浓度远高于沿海与高原地区，且人为源挥发性有机物（VOCs）均是北京、杭州夏冬季大气 PAN 的主要前体物；证实了大气 NO₂ 在颗粒物表面发生多相反应生成亚硝酸（HONO），并氧化 VOCs 进而加速 PAN 的生成，从机理上揭示了北京市大气 PAN 与 PM_{2.5} 同增“异常现象”的内因；基于观测、实验室模拟及数值模式阐明了大气 NO_x 昼夜的化学转化是北京和华北农村大气 HONO 的重要来源，相关成果已在 Atmos. Chem. Phys.、Environ. Sci. Technol.、npj Clim. Atmos. Sci. 等高水平期刊上发表。

本项目打破了国外对大气关键活性氮在线分析与标校技术的封锁，推动了国产仪器从技术原理的创新、核心部件的研发到科研成果落地的技术进步，相关成果入选 2023 年度“中国生态环境十大科技进展”。

六、主要支撑材料目录

- 1、授权实用新型专利：大气中 PANs 和 CCl₄ 在线气相色谱分析和标定系统 ZL201520719698.2
- 2、授权发明专利：一种大气中痕量氮氧化物检测方法和装置 ZL201910318806.8
- 3、授权发明专利：一种基于腔衰荡光谱技术的有机硝酸盐多通道加热装置 ZL201910044256.5

- 4、授权实用新型专利：高纯气体中氮氧化物的检测装置
ZL202120246963.5
- 5、授权发明专利：铝合金压力气瓶的内壁处理工艺及处理装置
ZL201210489083.6
- 6、授权实用新型专利：快速混合反应装置 ZL202023081073.8
- 7、国家标准：动态体积法制备校准用混合气体，第1部分：校准方法 GB/T 5275.1-2014
- 8、国家标准：动态体积法制备校准用混合气体，第5部分：毛细管校准器 GB/T 5275.5-2014
- 9、论文：Summertime distributions of peroxyacetyl nitrate (PAN) and peroxypropionyl nitrate (PPN) in Beijing: Understanding the sources and major sink of PAN, Atmospheric Environment. 103, 289-296, 2015.
- 10、论文：The abundance and inter-relationship of atmospheric peroxyacetyl nitrate (PAN), peroxypropionyl nitrate (PPN), O₃, and NO_y during the wintertime in Beijing, China, Science of the Total Environment, 718, 137388-137396, 2020.
- 11、论文：Exploring the inconsistent variations in atmospheric primary and secondary pollutants during the 2016 G20 Summit in Hangzhou, China: implications from observations and models, Atmospheric Chemistry and Physics, 20, 5391-5403, 2020.
- 12、论文：Aerosol promotes peroxyacetyl nitrate formation during winter

in the North China Plain, *Environmental Science & Technology*, 55, 3568-3581, 2021.

13、论文: Atmospheric NO_x oxidation as major sources for nitrous acid (HONO), *npj Climate and Atmospheric Science*, 6, 30, 2023.