

# 2025 年度教育部科学研究优秀成果奖（自然科学和工程技术）

## 项目提名公示

### 一、项目名称

大气细颗粒物污染溯源与调控机制

### 二、提名单位

清华大学

### 三、项目简介

大气细颗粒物（PM<sub>2.5</sub>）造成的霾污染是我国亟待解决的主要环境问题之一。我国 PM<sub>2.5</sub> 污染呈现爆发式增长特征，其来源成因是国际经典理论难以解释的科学难题，也是我国区域大气环境改善破题的关键基础科学问题。该项目通过理论与方法学创新，在大气细颗粒物污染形成的演化机理、主导来源、调控机制等方向开展了系统研究，取得了一系列具有国际影响力的原创性成果，为空气质量持续改善做出了重要贡献。主要科学发现点如下：

1. 基于长期 PM<sub>2.5</sub> 化学成分连续在线观测及模型-观测对比研究，阐明了华北重霾污染形成的驱动因素与关键化学机制。发现华北秋冬季重霾的主导驱动过程为高湿静稳条件下一次组分快速累积与二次无机组分非均相快速生成；在国际上率先指出重霾期间的化学演化特征主要体现为光化学减弱及非均相化学增强，揭示了我国霾污染区别于伦敦烟雾和洛杉矶烟雾的关键化学机制。

2. 基于自主发展的观测溯源方法，厘清了关键排放源及长距离传输在华北地区 PM<sub>2.5</sub> 污染演化过程中的重要作用。发现秸秆焚烧是华北地区生物质燃烧气溶胶的主导来源，量化了燃煤排放对华北地区重污染过程中有机气溶胶增长的重要贡献；揭示出区域传输是北京 PM<sub>2.5</sub> 浓度爆发式增长的重要驱动力，阐明了长距离输送对不同二次组分演变的异质性贡献。

3. 构建跨学科级联耦合模型，揭示出自然-人为多重要素对 PM<sub>2.5</sub> 污染时空变化的多尺度复合调控机制。定量识别了 2000 年以来我国 PM<sub>2.5</sub> 污染变化的主要调控因子，阐明了能源结构转型和经济结构优化对 PM<sub>2.5</sub> 污染调控的关键作用；揭示了区域减排对 2013–2017 年间北京市 PM<sub>2.5</sub> 污染改善的重要贡献，识别出有效调控 PM<sub>2.5</sub> 污染的主要减排措施。

项目 5 篇代表作发表在《Nature Geoscience》《Atmospheric Chemistry and Physics》等重要学术期刊上，被国际学术界广泛引用和高度评价。研究成果为国家清洁空气行动提供重要科技支撑，推动空气质量快速改善。项目执行期间主要完成人当选中国工程院院士，获何梁何利基金科学与技术进步奖。第一完成人作为团队负责人入选第三批“全国高校黄大年式教师团队”和北京市优秀研究生指导教师团队。

## 四、主要完成人情况

排名	1	姓名	贺克斌	技术职称	教授	工作单位	清华大学	完成单位	清华大学
对本项目重要科学发现的贡献： 主持完成了该项目研究，设计了项目整体研究思路，对全部三个发现点均做出重要贡献。是代表性论文 1 和 2 的通讯作者，代表性论文 3、4、5 的共同作者。发现华北冬季重霾过程中伴随光化学减弱与非均相化学增强，阐明了重霾污染的形成过程与演变机理。提出多模型耦合解析污染调控因子的学术思想，揭示出全国和城市尺度 $PM_{2.5}$ 污染的复合调控机制。									
排名	2	姓名	张强	技术职称	教授	工作单位	清华大学	完成单位	清华大学
对本项目重要科学发现的贡献： 对发现点 2、3 做出重要贡献。是代表性论文 2、4、5 的通讯作者，代表性论文 1 的共同作者。厘清了关键排放源及长距离传输在华北地区 $PM_{2.5}$ 污染演化过程中的重要作用，揭示出自然-人为多重要素对 $PM_{2.5}$ 污染时空变化的多尺度复合调控机制。									
排名	3	姓名	郑光洁	技术职称	助理教授	工作单位	清华大学	完成单位	清华大学
对本项目重要科学发现的贡献： 对发现点 1、2 做出重要贡献。是代表性论文 1 的第一作者。开展了长期 $PM_{2.5}$ 化学成分连续在线观测及观测-模拟比对分析，发现 $PM_{2.5}$ 二次无机组分贡献随区域污染水平升高而显著增加，阐明其变化主因是化学转化率升高。阐明了非均相化学与成霾的正反馈机制，揭示出区域传输是北京 $PM_{2.5}$ 浓度爆发式增长的重要驱动力。									
排名	4	姓名	程远	技术职称	教授	工作单位	哈尔滨工业大学	完成单位	清华大学
对本项目重要科学发现的贡献： 对发现点 2 做出重要贡献。是代表性论文 3 的第一作者、通讯作者，代表论文 1 的共同作者。实现生物质燃烧有机示踪物种快速测量并以此为关键技术手段开展气溶胶化学成分长期连续观测，建立了面向源识别的生物质燃烧颗粒物指纹谱，提升了含碳气溶胶的源识别与源解析水平。									
排名	5	姓名	耿冠楠	技术职称	副研究员	工作单位	清华大学	完成单位	清华大学
对本项目重要科学发现的贡献： 对发现点 3 做出重要贡献。是代表性论文 4 的共同第一作者。研发了耦合排放清单模型、大气化学传输模型、指数分解方法、措施减排效果评估模型的跨学科级联耦合模型，定量识别了经济水平增长、污染末端治理、能源结构转型、经济结构优化等影响我国 $PM_{2.5}$ 污染的主要调控因子。									
排名	6	姓名	李金香	技术职称	教授级高工	工作单位	北京市生态环境监测中心	完成单位	北京市生态环境监测中心
对本项目重要科学发现的贡献： 对发现点 3 做出重要贡献。是代表性论文 5 的共同通讯作者。对跨学科级联耦合模型构建做出重要贡献，提出了气象、周边和本地减排效果解耦思路。构建城市尺度高分辨率大气排放清单编制技术方法，建立基准年和评估年排放清单。整理梳理北京市本地减排政策，为污染调控因子识别提供了准确的基础数据。									
排名	7	姓名	李海雁	技术职称	讲师	工作单位	哈尔滨工业大学（深圳）	完成单位	清华大学

对本项目重要科学发现的贡献： 对发现点 2 做出重要贡献。是代表性论文 2 的第一作者。通过开展 PM <sub>2.5</sub> 化学组分连续在线观测，揭示了华北平原冬季重霾污染的关键来源与演化机制，发现燃煤和生物质燃烧是推动华北平原冬季重霾污染形成的重要来源，指出长距离输送在不同二次组分污染演变中的关键作用。									
排名	8	姓名	程静	技术职称	其他职称	工作单位	斯坦福大学	完成单位	清华大学
对本项目重要科学发现的贡献： 对发现点 3 做出重要贡献。是代表性论文 5 的第一作者。阐明了 2013 年以来清洁空气行动计划对北京 PM <sub>2.5</sub> 浓度下降的主导作用，逐一量化了气象因素、本地排放、区域传输及各项污染治理措施的相对贡献。									
排名	9	姓名	郑逸璇	技术职称	副研究员	工作单位	生态环境部环境规划院	完成单位	清华大学
对本项目重要科学发现的贡献： 对发现点 3 做出重要贡献。是代表性论文 4 的共同第一作者，代表作 5 的共同作者。参与跨学科级联耦合模型构建，阐明了能源结构转型和经济结构优化对 PM <sub>2.5</sub> 污染调控的关键作用。									
排名	10	姓名	段凤魁	技术职称	副研究员	工作单位	清华大学	完成单位	清华大学
对本项目重要科学发现的贡献： 对发现点 1、2 做出重要贡献，是代表性论文 1、3 的共同作者。为长期 PM <sub>2.5</sub> 化学成分连续在线观测的开展提供了指导，梳理了 PM <sub>2.5</sub> 组分的变化规律，为解释北京重霾污染的形成过程提供了可靠的观测数据保障及模型比对基准。									
排名	11	姓名	孙峰	技术职称	教授级高工	工作单位	北京市生态环境监测中心	完成单位	北京市生态环境监测中心
对本项目重要科学发现的贡献： 对发现点 3 做出重要贡献，是代表性论文 5 的共同作者。梳理北京及周边大气污染治理措施，发现本地及区域减排主导了 2013-2017 年间北京空气质量的改善，燃煤锅炉整治、民用燃料清洁化、产业结构调整是最有效的本地减排措施。									

## 五、主要完成单位

1. 清华大学
2. 北京市生态环境监测中心

## 六、代表性论文目录

序号	论文(著作)名称	刊名/出版社	作者
1	Exploring the severe winter haze in Beijing: the impact of synoptic weather, regional transport and heterogeneous reactions	Atmospheric Chemistry and Physics	郑光洁, 段凤魁, 苏杭, 马永亮, 程远, 郑博, 张强, 黄涛, Takashi Kimoto, 常迪, Ulrich Pöschl, 程雅芳, 贺克斌
2	Wintertime aerosol chemistry and haze evolution in an extremely polluted city of the North China Plain: significant contribution from coal and biomass combustion	Atmospheric Chemistry and Physics	李海雁, 张琦, 张强, 陈春榕, 王丽涛, 魏哲, 周珊, Caroline Parworth, 郑博, Francesco Canonaco, André S. H. Prévôt, 陈平, 张红亮, Timothy J. Wallington, 贺克斌
3	Biomass burning contribution to Beijing aerosol	Atmospheric Chemistry and Physics	程远, G. Engling, 贺克斌, 段凤魁, 马永亮, 杜祯宇, 刘久萌, 郑玫, R. J. Weber
4	Drivers of PM <sub>2.5</sub> air pollution deaths in China 2002–2017	Nature Geoscience	耿冠楠, 郑逸璇, 张强, 薛涛, 赵红艳, 同丹, 郑博, 李萌, 刘菲, 洪朝鹏, 贺克斌, Steven J. Davis
5	Dominant role of emission reduction in PM <sub>2.5</sub> air quality improvement in Beijing during 2013–2017: a model-based decomposition analysis	Atmospheric Chemistry and Physics	程静, 栗京平, 崔彤, 李翔, 董欣, 孙峰, 杨妍妍, 同丹, 郑逸璇, 李言顺, 李金香, 张强, 贺克斌