

2025 年度山东省自然科学奖提名公示信息

项目名称	华北平原区域大气复合污染的演变、成因与溯源		
提名者	山东大学	提名等级	二等奖
提名意见	<p>我单位认真严格地审阅了该项目的提名书及全部附件材料，确认该项目符合山东省科学技术奖励规定的提名条件，全部材料真实有效，完成人、完成单位排序无异议，提名书相关栏目均符合填写要求。</p> <p>该项目聚焦于以 PM_{2.5} 和臭氧为代表的区域性大气复合污染问题，立足华北平原地区，通过开展长达二十年的“地面-高山-飞机航测-船载走航”区域立体观测实验，从第一手观测资料出发，发展并利用多种先进的数据分析和数值模拟方法，获得了一系列原创性和前沿性的科研成果。主要科学发现如下：系统阐明了近 20 年来人类活动复杂变化背景下华北平原区域大气环境的长期变化趋势及其成因，查明了区域大气复合污染的多尺度时空分布特征和演变规律；揭示了影响华北平原区域大气雾霾和光化学污染形成的关键化学机制；明确了影响华北平原区域大气复合污染的主要来源及其定量贡献。</p> <p>该项目的研究成果得到了同领域国际同行的广泛引用和认可，有效推动了学科发展，为科学评估人类活动对区域地球大气环境的影响提供了重要依据，为我国和山东省的大气污染控制提供了科学支撑，也有力促进了山东省和香港特别行政区在科学研究和人才培养领域的深度合作。项目完成人政治立场坚定，学风严谨，师德高尚，多年来一直坚守教学与科研一线，培养了众多优秀的科学研究和专业技术人才。</p> <p>提名该项目为 2025 年度山东省自然科学奖二等奖。</p>		
项目简介	<p>空气污染已经成为威胁公众健康和社会可持续发展的主要环境问题。当前，我国正面临以高浓度细颗粒物（PM_{2.5}）和臭氧（O₃）为特征的区域性大气复合污染的挑战。这些问题的演变规律、形成机制及复杂来源，一直是国际大气化学研究的核心科学议题。自 2013 年国务院发布《大气污染防治行动计划》以来，我国加大了对大气污染的科研和治理力度，全国环境空气质量得到显著改善，但 PM_{2.5} 和 O₃ 的浓度距离世界卫生组织的推荐值仍有较大差距。与欧美发达国家相比，我国人为污染排放强度大，大气颗粒物浓度高，污染物在颗粒物表面的非均相和多相化学过程十分活跃，使得大气污染的形成机制更加复杂。然而，由于缺少长期、系统的科学观测（特别是 2013 年以前的研究很少），有关我国区域大气污染长期演变规律及其物理化学机制的科学认识一直存在较大不足。针对这一问题，该项目自 2003 年起在华北平原地区进行了长期的科学观测与实验，围绕区域大气复合污染的长期趋势、时空分布、形成机制和成因来源进行了系统研究，取得了一系列具有重要国际影响的学术成果，主要包括：</p> <ol style="list-style-type: none">通过在泰山和近地面开展长期观测，系统阐明了近 20 年来人类活动复杂变化背景下华北平原区域大气成分（包括主要反应性气体、气溶胶理化性质、破坏臭氧层物质和部分温室气体）的长期变化趋势及其成因，查明了区域大气复合污染的多尺度时空分布特征和演变规律。发现过去 20 年华北区域背景大气臭氧浓度快速上升，大气氧化性显著增强，硝酸盐气溶胶和新粒子成核速率也呈显著升高趋势，定量评估了人为排放和气象条件变化对区域大气环境长期演变的贡献。揭示了影响华北平原区域大气复合污染形成的关键化学机制。发现云雾和气溶胶液相化学对硫酸盐和二次有机气溶胶的形成具有重要贡献；阐明了大气氧化性增强以及二氧化硫大幅减排对硝酸盐气溶胶形成的促进作用及其化学机制；揭示了影响大气氧化性的关键物种 HONO 在		

城市降尘颗粒物和海洋大气中的非均相生成机制。

(3) 明确了影响华北平原区域大气复合污染的主要来源及其定量贡献。揭示了以往研究所忽视的活性含氮化合物、卤素化合物和含氧挥发性有机物的关键来源；量化了油气开采对我国区域大气氧化性和大气污染的重要影响；构建了全球首个海洋航运 HONO 排放清单。

项目的研究成果得到了国内外同行的高度认可，5 篇代表性论文据 Web of Science 统计已被他引 702 次，被包括多篇《Nature》等顶级期刊论文广泛引用，有力推动了国际大气环境化学的相关研究。研究成果被联合国政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 和国际全球大气化学计划 (IGAC) 用于全球气候和环境长期变化趋势的科学评估。项目组深度参与了国家和山东省的大气污染防治工作，为近年来环境空气质量持续改善提供了科技支撑。

代表性论文专著目录

序号	论文（专著）名称	刊名（出版社）	Doi/ISBN	发表时间	作者（按刊物发表顺序）	通讯作者（含共同）	第一作者（含共同）
1	Significant increase of summertime ozone at Mount Tai in Central Eastern China	Atmospheric Chemistry and Physics	10.5194/acp-16-10637-2016	2016/08/26	Sun Lei, Xue Likun, Wang Tao, Gao Jian, Ding Aijun, Cooper Owen, Lin Meiyun, Xu Pengju, Wang Zhe, Wang Xinfeng, Wen Liang, Zhu Yanhong, Chen Tianshu, Yang Lingxiao, Wang Yan, Chen Jianmin, Wang Wenxing	薛丽坤	孙雷
2	Summertime fine particulate nitrate pollution in the North China Plain: Increasing trends, formation mechanisms and implications for control policy	Atmospheric Chemistry and Physics	10.5194/acp-18-11261-2018	2018/08/13	Wen Liang, Xue Likun, Wang Xinfeng, Xu Caihong, Chen Tianshu, Yang Lingxiao, Wang Tao, Zhang Qingzhu, Wang Wenxing	薛丽坤	文亮
3	Persistent Heavy Winter Nitrate Pollution Driven by Increased Photochemical Oxidants in Northern China	Environmental Science & Technology	10.1021/acs.est.9b07248	2020/04/07	Fu Xiao, Wang Tao, Gao Jian, Wang Peng, Liu Yiming, Wang Shuxiao, Zhao Bin, Xue Likun	王韬	付晓
4	The secondary formation of inorganic aerosols in the droplet mode through heterogeneous aqueous reactions under haze conditions	Atmospheric Environment	10.1016/j.atmosenv.2012.09.029	2012/12	Wang Xinfeng, Wang Wenxing, Yang Lingxiao, Gao Xiaomei, Nie Wei, Yu Yangchun, Xu Pengju, Zhou Yang, Wang Zhe	王文兴	王新锋
5	Sources apportionment of PM _{2.5} in a background site in the North China Plain	Science of the Total Environment	10.1016/j.scitotenv.2015.09.123	2016/01/15	Yao Lan, Yang Lingxiao, Yuan Qi, Yan Chao, Dong Can, Meng Chuanping, Sui Xiao, Yang Fei,	杨凌霄	姚兰

主要完成人情况

位次	姓名	工作单位	完成单位	对本项目贡献
1	薛丽坤	山东大学	山东大学	组织开展了华北平原“地面-高山-飞机航测-船载走航”立体观测实验，发展大气化学模型并揭示区域大气复合污染的化学机制，阐明了油气开采、船舶排放等污染源对区域大气污染的定量贡献。对科学发现点一、二、三有重要贡献，是代表性论文 1、2 的通讯作者，代表性论文 3 的合作作者。
2	王 韬	香港理工大学	香港理工大学	在北京、泰山等典型站点开展加强外场观测，利用区域大气化学模式研究揭示了臭氧和二次气溶胶的生成机制。对科学发现点一、二有重要贡献，是代表性论文 3 的通讯作者，代表性论文 1、2 的合作作者。
3	王文兴	山东大学	山东大学	建设了泰山和济南大气环境观测站，组织开展了山东省大气 PM _{2.5} 污染特征、形成机制和来源解析研究。对科学发现点一、二、三有重要贡献，是代表性论文 4 的通讯作者，代表性论文 1、2、5 的合作作者。
4	杨凌霄	山东大学	山东大学	参与了项目在济南、泰山和青岛的外场观测，开展了区域大气 PM _{2.5} 来源解析研究，阐明了影响区域大气 PM _{2.5} 的主要来源及其定量贡献。对科学发现点一、三有重要贡献，是代表性论文 5 的通讯作者，是代表性论文 1、2、4 的合作作者。
5	王新锋	山东大学	山东大学	参与了项目组织的“地面-高山-飞机航测”立体观测实验，揭示了液相和非均相化学过程对二次气溶胶生成的重要贡献和作用机制，阐明了有机含氮气溶胶的主要来源。对科学发现点一、二有重要贡献，是代表性论文 4 的第一作者，代表性论文 1、2 的合作作者。
6	付 晓	清华大学深圳国际研究生院	香港理工大学	揭示了影响大气氧化性和二次气溶胶生成的关键化学机制，解析了硝酸盐气溶胶的生成机制和化学收支，发现大气氧化性的持续增强加快了 NO _x 向硝酸盐的转化机制。对科学发现点二具有重要贡献，是代表性论文 3 的第一作者。
7	文 亮	中国环境科学研究院	山东大学	参与了项目在泰山、济南、德州等地的外场观测，揭示了二氧化硫减排对硝酸盐气溶胶生成的促进作用及化学机制。对科学发现点一、二有重要贡献，是代表性论文 2 的第一作者，代表性论文 1 的合作作者。
8	孙 雷	齐鲁工业大学	山东大学	分析了泰山的长期观测资料，发现了臭氧的长期增长趋势并揭示其原因，建立了海洋航运 HONO 排放清单并评估其影响。对科学发现点一、三有重要贡献，是代表性论文 1 的第一作者。
9	姚 兰	上海师范大学	山东大学	参与了项目在济南、泰山、德州等地的外场观测，揭示了影响华北地区大气 PM _{2.5} 的主要来源及其定量贡献。对科学发现点三具有重要贡献，是代表性论文 5 的第一作者。

主要完成单位情况

山东大学：项目研究的牵头单位，建立了泰山、济南、青岛三个大气环境综合观测研究站，组织开展了华北平原“地面-高山-飞机航测-船载走航”区域立体观测实验，深入研究了山东省大气 PM_{2.5} 污染的时空分布规律、化学转化机制、主要来源以及控制策略建议，并深度参与了国家和山东省的大气复合污染防治实践。山东大学是项目第 1、3、4、5 完成人的工作单位，且项目第 1、4、5、7、8、9 完成人均曾在此攻读博士学位。山东大学对项目的科学发现一、二、三均做出了重要贡献，并且是代表性论文 1、2、4、5 的第一完成单位和代表性论文 3 的

合作完成单位。

香港理工大学：香港理工大学全程参与了该项目的研究工作。在国家重点基础研究发展计划（973 计划）支持下，在华北平原组织开展了“地面-高山-飞机航测”立体观测实验，并参与了山东大学在山东省组织的综合观测研究，利用区域大气化学传输模式研究揭示了区域大气氧化性、臭氧和二次气溶胶的相关化学机制。香港理工大学是项目第 2 完成人的工作单位，且第 1 完成人曾于 2007-2015 年间在此进行联合培养和博士后研究，第 5、6、9 完成人也均在此进行联合培养或博士后研究。香港理工大学对项目科学发现一、二做出了重要贡献，是代表性论文 3 的第一完成单位和代表性论文 1、2 的合作完成单位。