

国家科学技术进步奖公示材料

(2019 年度)

一、项目名称

中国雾-霾监测与数值预报关键技术研发及业务系统建立与应用

二、提名者

中国气象局

三、提名意见

雾和霾原本是自然界两种天气现象，但自 1980 年代以来我国雾和霾发生了明显变化，特别是 2013 年之后每年冬季都出现持续性、严重雾-霾事件。我国雾-霾防治、国家大气污染控制宏观决策和重大活动环境气象保障迫切需要认识我国现今雾和霾发生了什么变化、需要观测与数值模拟紧密结合的研究以及数值预报技术支撑。该项目经过 10 多年持续科技攻关在我国现今雾和霾与气溶胶联系与维持机制、雾-霾监测与数值预报方法研究、平台建设与业务化应用方面取得系统性创新，全面突破了我国雾-霾监测和数值预报急需的观测、技术规范、数据质控、数据处理、数值模式、业务数值预报系统建立、产品生成、有针对性的服务等方面关键技术，构建了气溶胶及其紧密联系的雾-霾长期业务观测平台，自主创建了可定量分辨气象因素在 PM 变化中作用的污染气象条件模型及我国雾-霾数值预报系统 CUACE/Haze-fog，并实现在中央气象台业务运行，得到了同行专家和广大用户高度评价，有力支撑了国家雾-霾气象防灾减灾、服务国家大气污染防治宏观决策和重大活动环境气象保障。

项目成果主体业务化运行 6 年以来，科技贡献突出、应用成效显著，系统预报产品在全国雾-霾重点区域中心和省气象局得到广泛应用，带动了我国雾-霾监测与数值预报技术进步与业务发展，为我国雾-霾天气的预报预警提供了有力科技支撑；拓展气象服务领域、支撑雾-霾气象防灾减灾，开创了我国雾-霾数值预报新领域和新局面。

拟提名该项目申报国家科学技术进步奖二等奖。

四、项目简介

雾和霾原本是自然界两种天气现象，都与大气气溶胶有关，近几十年来因人类活动产生大量大气气溶胶污染使我国雾和霾均发生了明显变化，一次区域持续性重雾-霾会影响近一半国土面积、6 亿人的生活，百姓高度关注、政府高度关切。针对国家亟待认识我国现今雾和霾日趋严重的原因、亟需研发观测与数值预报系统等重大需求，经过 10 余年攻关，项目建立了中国气象局雾-霾监测业务体系、揭示了我国现今雾-霾变化与气溶胶污染联系机制，诊断出可在气溶胶污染中定量分辨气象条件作用的污染-气象条件指数，解决了雾-霾数值预报关键科学技术难题，从无到有建立了中国雾-霾数值预报业务系统 CUACE/Haze-fog，并在中央气象台及全国重要区域气象局广泛业务运行，取得良好预报效果，显著推动了行业科技进步、产生明显社会效益，有力支撑国家雾-霾气象防灾减灾、国家大气污染防治宏观决策和重大活动环境气象保障。形成 3 项国标、14 项行标、5 项发明专利、19 项软件著作权，在科学通报、BAMS、Science Advance、ACP、Sci. Rept. 等领域著名期刊发表论文 251 篇，其中 203 篇论文被包括 Nature 及其子刊、Science、Science Advance、PNAS、BAMS、Review of Geophysics 在内的 SCI 期刊他引 5131 次。提交国家决策咨询报告 71 份，其中 17 份获国家领导人批示。代表性论文作为封面文章发表在科学通报和本领域排名第一的 BAMS 上，科学通报论文还获得第四届钱学森城市学生态环境唯一金奖、入选领跑 5000 科学通报 top1% 论文、“中国百篇最具影响国内学术论文”学科 top 1%；首次发表的“全球大气气溶胶化学组成格局及中国各区域分布图”被 IPCC AR5 全图引用，论文入选 ESI 高被引论文、SCI 单篇引用 355 次。预报系统成果连续两次被邀请在“国际空气质量预报会议”做大会特邀报告，主导 WMO 空气质量数值预报及应用先导性项目，雾-霾预报也被写入 WMO GAW 行动计划。成果获 2017 气象科技进步一等奖，主要体现在三个方面：

一、研究气溶胶及雾-霾监测理论与实验技术，阐明中国大气气溶胶化学和光学特性时空分布、变化及其在全球的位置，揭示我国现今雾-霾变化与气溶胶污染联系机制，形成以气溶胶数浓度、化学和关键辐射特性、能见度为主要指标的中国气象局雾-霾监测业务体系，于 2006 年实现业务运行，显著推动了行业雾-霾监测技术进步。

二、解决雾-霾数值预报关键技术难题，自主建立具有分 12 档、在线、双向反馈特点的中国雾-霾数值预报系统 (CUACE/Haze-fog)，该系统不仅能预报 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 和 PM_1 、还能预报出其紧密联系的雾-霾变化，使国家从无到有建立了雾-霾客观、定量预报系统，实现在中央气象台业务运行，取得良好预报效果，广泛应用产生显著社会效益。该系统在国际上最早实现了雾-霾业务数值预报，有力提升了我国雾-霾监测预报的国际地位，为国家雾-霾天气的客观定量预报和预警提供了有力的科技支撑。

三、研发定量分辨气象条件在气溶胶污染中贡献的 PLAM 指数模型，并进一步解决了雾-霾预报服务中气象因素贡献等难题，拓展预报系统使其具备按任意比例嵌套的精细化和长期化（7 天定量及 9-10 天的形势，月-季尺度趋势）预报、预测能力。服务国家“大气十条”中期和终期评估，还为支撑国家重大活动环境气象保障、雾-霾气象防灾减灾、大气污染防治宏观决策做出重要贡献。

五、客观评价

(一) 研究成果被国内外同行大量引用和评价情况:

阐明了中国大气气溶胶化学和光学特性时空分布、长期变化及其在全球的位置; 分辨出我国霾的 9 大分区及排放的主导作用、污染形成中二次气溶胶变化及其形成云雾能力; 提出现今我国雾-霾成因及其与气溶胶污染联系机制。率先在科学通报发表“我国雾-霾成因”封面文章, 并获得第四届城市学“生态环境”平台唯一钱学森金奖(总候选文章 1711 篇,“生态环境平台”仅评出 1 个金奖), 此文还入选领跑 5000 科学通报 top1% 论文、“中国百篇最具影响国内学术论文”学科 top 1%; 有关定量分辨气象条件在气溶胶污染中贡献的 PLAM 指数模型及其在奥运空气质量改善中气象条件作用的成果作为封面文章在 BAMS 上发表(该刊物在国际气象和遥感学界 9 种 SCI 学术刊物中排名第一)(附件 25); 首次发表的“全球大气气溶胶化学组成格局及中国各区域分布图”被 IPCC AR5 全图引用, 论文入选 ESI 高被引论文、SCI 单篇引用 355 次; 有关气溶胶输送模型有效溯源雾-霾过程中污染来源的成果被 PNAS 文章引用; 建立的中国气象局气溶胶关键光学-辐射特性观测网络, 是全球可提供小时分辨率观测数据的重要观测网络之一, 可准确获得亚洲区域气溶胶光学特性, 从时间和空间尺度丰富了对中国区域气溶胶分布和变化的科学认知。项目成果在科学通报、BAMS、Science Advance、ACP、Sci. Rept. 等著名杂志发表论文 251 篇, 其中 203 篇论文, 被包括 Nature 及其子刊、Science、Science Advance、PNAS、BAMS、Review of Geophysics 在内的 SCI 期刊他引 5131 次。

(二) 技术成果取得的标准、专利、著作权、形成的观测网; 模式技术突破和广泛应用获得国内外同行和国际组织认可程度:

观测技术方面的成果支撑了建立中国气象局统一技术标准、观测规范和质控方法的雾-霾监测业务观测体系, 于 2006 年整体系完成了设计布局分区、规划、选址、观测仪器比对、选型、观测、建立维护维修系统、编制运行月报, 形成了对全国雾-霾状况的近实时把握和对气溶胶影响辐射平衡的关键光学特性和化学特性长期变化的业务观测。整个监测体系形成的系统观测技术标准、测技术手册和质量控制方法获得 3 项国家标准、14 项行业标准、5 项国家发明专利、19 项软件著作权, 在全国 219 个省会、地区和县级城市广泛应用, 明显提高了我国气象行业雾-霾监测、观测、数据上传和分类共享的规范性和适用性, 推动了我国雾-霾长期、网络化、业务观测技术进步。

在数值预报方面, 突破雾-霾数值预报关键技术, 自主建立具有分 12 档、在线、双向反馈特点的中国雾-霾数值预报系统 CUACE/Haze-fog。该系统在 2008 年奥运会期间首次应用, 并参与了 2009 年国庆阅兵环境气象保障, 准确预报出十月一日早晨能见度会明显转好的重要雾-霾天气转折。2012 年 9 月该系统移植到国家气象中心、在 2013 年我国出现大范围、持续性雾-霾事件之前, 在中央气象台开始了雾-霾的客观、定量预报, 取得良好的预报效果, 被评价为“中国气象科学研究院研发的中国雾-霾数值预报系统在预报业务中发挥了重要作用”、“对于雾-霾发生、发展和消散阶段的时间点具有较好的把握能力, 得到了业务预报人员的一致认可”, 2013 年中国气象局向全国下发该系统数值预报产品, 指导全国的雾-霾预报; 与同时代国际流行的 CMAQ 系统(离线、单向)、WRF-Chem(气溶胶分模块不分档)模式系统相比, 该系统特点是分档(气溶胶粒子被分为 12 档, 具备研究气溶胶活化为云雾凝结核、开展气溶胶-云雾预报的模式基础)、在线(气溶胶及其前体气体通过大气化学过程在线相互影响)、双向(大气污染物与气象条件双向耦合, 并开发了多组份气溶胶通过辐射与气象条件的双向反馈方案, 为预报大气污染-天气相互作用提供了模式基础); 预报产品广泛应用到包括中央气象台在内的雾-霾预报和防灾减灾

灾业务的第一线，包括：整系统移植到中央气象台、北京等 11 个地方气象部门，在业务应用中获得了肯定，评价对当地雾-霾预报起到了较好的指导作用。项目牵头实施了世界气象组织未来空气质量预报和化学天气数值预报先导性项目(WMO GURME Pilot Project)，有力提升了我国雾-霾监测预报的国际地位。有关开展雾-霾预报的建议被写入 WMO GAW 的行动计划中。有关成果连续两次被邀请在第二届和第三届国际空气质量预报大会做大会特邀报告。从多侧面全面介绍该系统及其应用的系列文章在本领域顶尖学术期刊 Atmospheric Chemistry and Physics 和 Geoscientific Model Development 的联合专刊上发表。

(三) 服务国家决策和重大活动环境气象保障方面获得的表彰和奖励情况：

以项目关键技术为应用基础的雾-霾防灾减灾工作受到有关政府部门多次表彰。项目主要成果及其衍生应用支撑了国家雾-霾气象防灾减灾、服务国家大气污染防治宏观决策和重大活动环境气象保障。2017 年项目荣获气象科学技术进步一等奖，先后多次为国家领导人准备雾-霾机制理解和预报方面的材料，并在一些国家政策性重要会议中汇报和发言；相关研究成果经过提炼总结，在 2008-2015 年间共上报国家决策咨询报告 71 份，其中 17 份材料获得了国家领导人的批示，在服务国家重大决策方面发挥了实质性贡献和作用；主笔工程院“大气十条”中期和终期评估报告中有关定量评估气象条件作用章节，并在后续环保部每季度评估业务中应用。技术成果还支撑了多项重大活动的环境气象服务保障，包括 2008 年北京奥运会、2009 年国庆 60 周年、APEC、抗战 70 周年阅兵和 G20 等重大活动，08 奥运空气质量保障研究获奥运专家贡献奖和集体特别贡献奖。参与抗战 70 周年服务保障还获得北京市委感谢。

项目成果在第三方评价中获得由郝吉明院士作为组长、主要由工程院院士组成的成果评价专家组的一致认可(评分达到优秀)，被评价为：“总体达到国际先进水平，其中自主建立的中国雾-霾数值预报系统达到国际领先水平”。

六、应用情况和效果

序号	单位名称	应用的技术	应用对象及规模	应用起止时间
1	国家气象中心	全国雾-霾数值预报系统	该系统每天为中央气象台、中国气象局环境气象中心、各地气象业务单位提供雾、霾、能见度、空气质量等数值预报产品。	2012年9月至今
2	国家气象中心	华北地区雾-霾数值预报系统	针对我国雾-霾最严重的华北地区，以CUACE为基础开发的区域精细化预报模式。应用于APEC、北京世锦赛和抗战胜利70周年阅兵等气象保障。	2014年1月至今
3	新疆气象局	新疆雾-霾数值预报系统	每天为新疆气象台及各地州气象台提供雾、霾和大气扩散条件等预报产品。	2013年11月至今
4	浙江省气象局	浙江雾-霾数值预报系统	每天为浙江省气象台及各地市气象台提供雾、霾和大气扩散条件等数值预报产品。同时也输出华东地区主要城市预报。	2013年9月至今
5	辽宁省气象局	东北雾-霾数值预报系统	每天为辽宁及东北地区气象业务台站、内蒙古东四旗气象台提供雾、霾和大气扩散条件等数值预报产品。	2014年5月至今
6	黑龙江气象局	黑龙江雾-霾数值预报系统	每天为哈尔滨气象台、黑龙江省气象台及其他地市气象台提供雾、霾和大气扩散条件等数值预报产品。	2014年9月至今
7	北京气候中心	华北雾-霾中期预报模式	用于华北区域中长期雾-霾趋势预报。	2015年6月至今
8	河南省气象局	华中雾-霾数值预报系统	每天提供河南省及华中地区的雾、霾和大气扩散条件等数值预报产品。	2015年4月至今
9	广东省气象局	华南雾-霾数值预报系统	每天提供广东省及华南地区的雾、霾和大气扩散条件等数值预报产品。	2016年4月至今
10	重庆市气象局	重庆雾-霾数值预报系统	每天提供重庆及西南地区的雾、霾和大气扩散条件等数值预报产品。	2016年4月至今
11	四川省气象局	西南雾-霾数值预报系统	每天提供四川境内及西南地区的雾、霾、和大气扩散条	2016年4月至今

			件等数值预报产品。	
12	上海市气象局	华东雾-霾数值 预报系统	每天提供上海及华东地区的 雾、霾、和大气扩散条件等 数值预报产品。	2016 年 9 月 至今

七、主要知识产权和标准规范等目录（不超过 10 件）

知识产权（标准）类别	知识产权（标准）具体名称	国家（地区）	授权号（标准编号）	授权（标准发布）日期	证书编号（标准批准发布部门）	权利人（标准起草单位）	发明人（标准起草人）	发明专利（标准）有效状态
论文	我国雾-霾成因及其治理的思考	中国	科学通报	2013 年 04 月 09 日	58(13): 1178-1187	中国气象科学研究院等	张小曳等	其他有效的知识产权
计算机软件著作权	大气成分观测与服务中心数据质量控制软件 V1.0	中国	2007S RBJ03 08	2007 年 3 月 15 日	BJ7280	中国气象科学研究院	张晓春等	其他有效的知识产权
发明专利	一种单颗粒采样器	中国	ZL201 110146 407.1	2013 年 3 月 20 日	1156210	山东大学	李卫军等	有效专利
标准	气象探测环境保护规范-大气本底站	中国	GB 31224-2014	2014 年 9 月 30 日	质监总局、国家标委会	中国气象局气象探测中心等	张晓春等	其他有效的知识产权
论文	Changes of Atmospheric composition and optical properties over Beijing – 2008 Olympic Monitoring Campaign	美国	Bulletin of the American Meteorological Society	2009 年 06 月 01 日	90(11): 1633-1651	中国气象科学研究院	张小曳等	其他有效的知识产权
软件著作权	数据共享平台软件 V1.0	中国	2008S RBJ09 33	2008 年 4 月 21 日	BJ11239	中国气象科学研究院	张晓春	其他有效的知识产权
论文	Towards the improvements of simulating the chemical and optical properties of Chinese aerosols using and online coupled model – CUACE/Aero	欧洲	Tellus	2012 年 05 月 31 日	64: 1-20	中国气象科学研究院	周春红等	其他有效的知识产权
软件著作权	空气质量预报检验软件[简称: AQFVS] V1.0	中国	2010S RBJ63 25	2010 年 12 月 25 日	BJ31706	中国气象科学研究院	王亚强	其他有效的知识产权
论文	Atmospheric aerosol compositions in China: spatial/temporal variability, chemical signature, regional haze	欧洲	Atmospheric Chemistry and Physics	2012 年 01 月 17 日	12(2): 779-799	中国气象科学研究院	张小曳等	其他有效的知识产权

	distribution and Comparisons with global aerosols							
软件著作权	大气成分观测与服务中心大气成分观测站网显示系统 V1.0[简称: DQCFXS]	中国	2007S RBJ09 75	2007年5月30日	BJ7947	中国气象科学研究院	张晓春	其他有效的知识产权

八、主要完成人情况

张小曳，第一完成人，中国气象科学研究院研究员。自 2000 年代初期开始，组建中国气象局大气成分中心，发起并组织了中国大气气溶胶与雾和霾联系的观测与数值模拟紧密结合研究和业务系统发展工作，指导并参与项目组成员的相关研究，主持设计建立了中国气象局气溶胶及其密切联系的雾-霾长期监测业务体系，主持建立气象条件与 PM 浓度变化间定量联系指数模型、研发雾-霾数值预报关键技术、建立中国雾-霾数值预报系统，揭示中国气溶胶化学和光学特性及其与雾-霾形成与维持机制。是代表性论文 1、2、3、8 的第一作者；主持 2007、2008 年北京奥运空气质量预评估和奥运空气质量保障等重大活动环境气象保障，主笔或参与完成多项决策服务报告。对本项目主要科技创新点一、二、三均有重要贡献。

王亚强，第二完成人，中国气象科学研究院研究员。在中国气象局气溶胶及其紧密联系的雾-霾长期监测业务体系建设和雾-霾数值预报集成方面发挥了核心骨干作用，较早发表了 PM₁₀、PM_{2.5}、PM₁ 的长期多站点观测结果，加深了对我国不同粒径气溶胶分布变化特征及其与气象因素关系的科学认识；开发了气团轨迹统计分析软件 TrajStat，该软件在国内外大气环境领域被广泛应用于大气污染源区分析上；开发了排放源处理系统及模式检验系统用于雾-霾数值预报系统；开发了多项大气成分观测数据质量控制、分析、显示软件。对本项目主要科技创新点一、二、三均有重要贡献。是代表性论文 4 的第一作者。

周春红，第三完成人，中国气象科学研究院研究员。在中国气象局雾-霾数值预报系统 CUACE/Haze-fog 框架建立过程中发挥了核心骨干作用。先后完成 CUACE 与气象模式 MM5 的在线系统的建立，气溶胶湍流和大尺度输送方案开发，气溶胶模式本地化以及升级完善和评估，CUACE/Haze-fog 54 公里版本业务移植以及业务化工作，完成了 CUACE 系统中气溶胶、云和降水相互作用关系的建立。对本项目主要科技创新点二有重要贡献。是代表性论文 5 和 10 的第一作者。

刘洪利，第四完成人，中国气象科学研究院副研究员。在中国气象局雾-霾数值预报系统 CUACE/Haze-fog 建立过程中发挥了核心骨干作用。主要负责 CUACE/Fog-Haze 中的大气化学模块构建、预报产品制作模块开发、业务运行流程设计。在 15km 分辨率版本中负责开发 CUACE 离线套网格运行技术，使 CUACE 具备了精细化（最高 3km 3km 水平分辨率）和长期化（7 天定量预报，月-季尺度趋势预报）的预报能力，还具体负责了十余项 CUACE 模式技术推广工作。对本项目主要科技创新点二、三有重要贡献。

王宏，第五完成人，中国气象科学研究院副研究员。在中国气象局雾-霾数值预报系统 CUACE/Haze-fog 建立过程中发挥了核心骨干作用。负责双向反馈关键技术开发，实现了气溶胶-辐射-边界层-动力双向反馈机制在雾-霾（能见度）数值预报系统中完全在线计算；发表了“我国重雾-霾期间气溶胶和边界层相互作用机制”论文，定量计算和评估了重霾发生时，气溶胶对边界层和霾过程的反馈机制；多种边界层方案针对京津冀及其紧邻周边地区重度霾污染事件 PM_{2.5} 模拟影响的研究，提出“极弱湍流”的计算普遍“偏强”，是导致目前空气质量模式对中国重度霾污染期间 PM_{2.5} 峰值（特别是白天）模拟不足的主要原因。对本项目主要科技创新点二有重要贡献。是代表性论文 6 的第一作者。

张晓春，第六完成人，中国气象局气象探测中心研究员。在中国气象局气溶胶及其密切联系的雾-霾长期监测业务体系建立中发挥了核心骨干作用，负责站网运行、技术支撑与保障，在确保全网观测数据连续、准确、可比等方面做出重要贡献。提出并设计开发了数据采集-传输-监视-质量控制等软件，实现了站网观测数据的实时上传和全网监视；建立了主要颗粒物观测设备的标校技术方法并开展相关业务；在多项观测技术手册、应用软件、国家和行业标准编写中发挥了核心骨干作用，并在业务中使用。对本项目主要科技创新点一有重要贡献。

胡江凯，第七完成人，国家气象中心高级工程师。是中国雾-霾数值预报系统（CUACE/Haze-fog）业务化应用工作核心成员，负责组织该系统业务运行设计，在将此模式系统移植到国家气象中心业务运行平台中发挥了重要作用，建立业务流程实现产品全国下发；推动业务产品改进与升级，对该系统正式成为国家级雾-霾数值预报业务系统做出重要贡献。对本项目主要科技创新点二有重要贡献。

车慧正，第八完成人，中国气象科学研究院研究员。阐明中国大气气溶胶光学特性时空分布，系统揭示了中国大气气溶胶辐射特性长期变化趋势，在中国气象局气溶胶及其密切联系的雾-霾长期监测业务体系建立过程中发挥了核心骨干作用。对本项目主要科技创新点一有重要贡献。是代表性论文 7 的第一作者。

李卫军，第九完成人，浙江大学教授。在本项成果涉及的气溶胶及其密切联系的雾-霾实验方面发挥了重要作用。承担该项目气溶胶单颗粒和混合状况研究，这方面的研究对于认识雾-霾

与天气的相互作用非常关键。主要使用不同类电镜手段和飞机观察气溶胶单颗粒的形貌特征、成分及混合状态，为雾-霾模式模拟提供基础数据支撑；在此期间还承担气溶胶单颗粒样品样品器及其附属产品仪器研发，目前已经把气溶胶单颗粒的发明专利技术应用于实践并产品商业化。对本项目主要科技创新点一有重要贡献。

邢佳，第十完成人，清华大学副教授。在中国雾-霾数值预报系统（CUACE/Haze-fog）排放源清单基础数据、大气污染物排放的时空分布与源谱特征分析，以及排放源清单建立的技术方法等方面起到了重要作用，对本项目主要科技创新点二有重要贡献。

九、主要完成单位情况

中国气象科学研究院，第一完成单位。作为此项成果的主持单位，中国气象科学研究院组织设计了中国气象局大气成分观测站网，主持编写了大量大气成分观测标准、规范，以及数据质量控制、分析处理的软件系统，建立了中国气象局气溶胶及其密切联系的雾-霾长期监测业务体系。通过站网长期观测数据分析研究及气溶胶形成、变化过程的观测研究，阐明了中国大气气溶胶化学和光学特性时空分布、长期变化及其在全球的位置，并揭示了我国雾-霾成因及其与气溶胶污染的联系机制。建立了气象条件与PM浓度变化间定量联系指数模型，主持研发雾-霾数值预报中的关键技术，自主研发了中国雾-霾数值预报系统(CUACE/Haze-fog)，并积极推广我国雾-霾数值预报的业务应用，先后在中央气象台和多个区域中心、省气象局得到广泛应用，为我国雾-霾天气预报预警提供了有力的科技支撑。和国家气象中心合作在国家重大活动环境气象保障中发挥了重要作用，完成多项决策服务报告，获得国家领导人多次批示或两办及部委采用，在支撑雾-霾气象灾害防治，服务国家大气污染防治宏观决策和重大活动环境气象保障收到良好的效果。

国家气象中心，第二完成单位。作为国家级雾-霾预报预警单位，积极开展雾-霾数值预报系统的移植和业务化应用，成功组织将数值模式预报系统移植到业务运行平台。组织开展了雾-霾数值预报系统的应用测试及业务对接、模式预报产品后处理、及图形化预报产品开发和应用程序设计。进行了模式预报性能分析，开展了主要气象预报要素及环境预报要素的检验、评估并提出了改进建议。建立了业务流程实现产品全国下发，推动了业务产品改进与升级。对发挥此数值预报系统在我国传统预报中的作用，推动数值预报产品改进与升级发挥了重要作用。和中国气象科学研究院紧密合作，在历次国家重大活动中进行了环境气象保障，取得了良好的效果，并在雾-霾相关决策服务材料编写方面发挥了重要作用。

中国气象局气象探测中心，第三完成单位。负责大气成分监测网站的运行维护和技术保障，提出并设计开发了数据采集-传输-监视-质量控制等系列软件，实现了站网观测数据的实时上传和全网监视，保障了数据观测质量。建立了主要颗粒物观测设备的标校技术方法并开展了相关业务。在多项观测技术手册、应用软件、国家和行业标准编写中发挥了重要作用。在确保中国气象局气溶胶及其密切联系的雾-霾长期观测数据连续、准确、可比等方面做出了重要贡献。并为我国气溶胶时空变化特征、雾-霾机制等科学研究以及雾-霾监测相关决策服务材料提供了有力的数据支撑。

浙江大学，第四完成单位。在本项成果涉及的气溶胶及其密切联系的雾-霾实验方面发挥了重要作用。承担该项目气溶胶单颗粒和混合状况研究，主要使用不同类电镜手段观察气溶胶单颗粒的形貌特征、成分及混合状态，为雾-霾模式模拟提供基础数据支撑。在此期间还承担气溶胶单颗粒样品样品器及其附属产品仪器研发，取得了5项发明专利，包括：一种单颗粒采样器、一种飞机外挂式大气气溶胶缓冲式导流罩、一种半自动单颗粒采样器、一种自控温加热及吸收挥发性气溶胶的处理装置、一种小型机载反推流云滴采样装置及其工作方法。目前已经把气溶胶单颗粒的发明专利技术应用于实践并产品商业化。

清华大学，第五完成单位。在本项成果涉及的雾-霾数值预报系统研发方面发挥了重要作用。承担该项目中雾-霾数值预报系统排放源清单基础数据提供及数据转化，并在清单更新后及时为数值模式构建最新的排放源清单。分析了各类大气污染物排放的时空分布与源谱特征。在排放源清单的时间分配、空间分配、排放高度分配、排放物种分配等模式清单建立的技术方法方面起到了重要作用。

十、完成人合作关系说明

该项目主要完成人共 10 人，其中张小曳、王亚强、周春红、刘洪利、王宏、车慧正共 6 人来自中国气象科学研究院，是气科院气溶胶与天气气候相互作用及环境影响创新团队的主要成员，张小曳与王亚强、周春红、刘洪利、王宏、车慧正这些团队骨干都有长期、紧密的合作研究，并有大量共同合作的论文发表；张晓春来自中国气象局气象探测中心，也曾是完成人团队的主要成员；胡江凯来自国家气象中心，与完成人团队在雾-霾数值预报系统在国家气象中心的移植和在中央气象台的业务应用有很紧密的合作；李卫军来自浙江大学地球科学学院，是完成人主持的两项 973 项目的核心骨干，在气溶胶混合特性、单颗粒和飞机采样等关键方面与任务团队形成了互补的合作研发；邢佳来自清华大学环境学院，在雾-霾数值预报模式排放源清单方面与气科院气溶胶团队有密切合作研发。

主要完成人自 2000 年代初期开始，组建中国气象局大气成分中心，并通过主持两项国家“973”计划项目：“中国大气气溶胶及其气候效应”、“气溶胶-云-辐射反馈过程及其与亚洲季风相互作用的研究”，一项国家科技基础条件平台项目课题：“国家大气成分本底观测研究台站体系建设”，一项气象关键技术集成与应用重点项目：“中国雾-霾数值预报系统的业务应用与测试”，发起并组织了中国大气气溶胶与雾和霾联系各项观测与数值模拟紧密结合的研究和业务系统发展工作，指导并参与项目组成员的相关研究，主持设计建立了中国气象局气溶胶及其密切联系的雾-霾长期监测业务体系，主持建立气象条件与 PM 浓度变化间定量联系指数模型、研发雾-霾数值预报关键技术、建立中国雾-霾数值预报系统(CUACE/Haze-fog)；阐明中国大气气溶胶化学和光学特性时空分布、长期变化及其在全球的位置，并提出现今我国雾-霾成因及其与气溶胶污染联系机制。通过与国家气象中心、国家气象探测中心长期业务合作，以及与气科院报奖团队同事、浙江大学地球科学学院、清华大学环境学院同事的长期科研合作，作为第一（通讯）作者或联合作者合作产出包括论文、著作、软件著作权、科技奖励和标准规范等。