

国家科学技术进步奖推荐项目

项目名称：中国区域大气气溶胶卫星遥感关键技术与应用

提名单位：中国科学院

一、 提名单位意见

面向国家生态文明建设、经济发展模式转型，该项目针对大气污染治理和气候变化应对等重大需求，突破了气溶胶及细颗粒物瞬时遥感物理模型和反演关键技术；率先开展了星载气溶胶载荷的软硬件一体化仿真工作，论证发展了我国第一代星载多角度偏振卫星，推动了国产气溶胶卫星监测系统的快速发展；建立了细颗粒物卫星遥感数据处理系统，获得了中国区域长时间序列气溶胶关键参数时空特性数据集，为大气污染监测、预报、治理、评价等提供了重要支撑。

项目成果已在环境监测管理、环境应急响应、重点城市环境空气质量保障、污染源识别与监测、霾天气预报与分析、公众健康危害评估等环保和气象部门的业务工作中得到广泛应用，以技术创新支撑了环境保护和生态文明建设。

项目发表论文多篇，其中 SCI 论文多篇；出版专著和专辑多部；授权国家发明专利多项。相关成果获省部级一等奖 2 项，被中办、国办采用 3 次，获得了国家领导人批阅，为国家环境治理提供了决策支撑。

该项目研究思路和技术路线先进、创新点突出、实用性强。同行专家组鉴定意见认为该项目在我国大气气溶胶遥感技术和应用领域发挥了关键作用，引领了细颗粒污染物遥感方向，支撑了大气污染防治、气候变化应对行动对气溶胶空间监测的重大需求。

提名该项目为国家科学技术进步奖二等奖。

二、项目简介

气溶胶——大气中的悬浮颗粒物，是大气环境和气象、气候的关键影响因子。气溶胶中的细颗粒物（PM_{2.5}）是大气污染治理的重点，卫星遥感手段可在污染监测、预报、治理中发挥重大作用。项目团队针对大气污染卫星遥感面临的中国区域气溶胶特性复杂、细颗粒物遥感难度大等挑战，持续十余年开展气溶胶卫星遥感监测机理、技术、平台和应用方面的联合攻关，系统性地研发了气溶胶遥感理论方法和技术体系，论证发展了第一代国产气溶胶偏振卫星载荷，开展了中国区域气溶胶关键数据集的研制和应用，取得了系列重要科技创新。项目成果支撑了我国大气污染防治行动计划和气候变化评估的实施，取得了重要的社会效益。主要科技创新及技术指标包括：

1. **气溶胶特性遥感方法和中国区域整层大气气溶胶特征模型。**面向气溶胶细颗粒物（PM_{2.5}）空间信息获取的迫切需求，在国际上率先提出了 5 参数细颗粒物遥感机理模型，建立了 PM_{2.5} 遥感链条，比同类模型精度平均提高 11%；针对中国区域气溶胶来源多样、形态复杂的难点，发展了气溶胶颗粒物不规则形状散射卫星信号计算模型，实现了卫星对链状、簇状、椭球形等气溶胶颗粒物散射观测信号的建模。针对中国区域缺乏气溶胶特征模型的瓶颈问题，发展了“光学-物理-辐射-化学”耦合的整层大气气溶胶特征模型，比现有常用模型增加了化学参数维度，模型参数从 18 个扩展到 22 个。

2. **国产先进气溶胶卫星载荷软硬件一体化仿真和论证。**针对我国发展自主气溶胶空间观测系统的迫切需要，突破了面向应用的全链路气溶胶卫星遥感仿真技术，研发了国内首个气溶胶偏振遥感载荷软硬件一体化仿真系统。通过对观测通道、观测角度数、光谱响应函数等多个卫星载荷关键指标进行最优化设计，实现了国产多角度偏振气溶胶载荷与国际同类卫星相比空间分辨率提升 1 倍，应用能力满足大气污染传输通道城市限排等关键应用需求；通过辐射和偏振模型仿真，载荷辐射量化能力提高 4 倍，气溶胶细粒子比数据产品可用率从 22% 大幅提高到 82%。论证的我国第一代星载多角度偏振相机已于 2018 年搭载 GF-5 卫星发射升空。

3. **中国区域气溶胶卫星遥感数据集及大气环境和气候变化应用。**开展气溶胶卫星遥感数据规范化处理流程研究，建设气溶胶多源卫星数据反演、质控和检验平台。获得了 27 万余条中国区域整层大气气溶胶基础特性数据集，支持了空气污染预报、地球系统模式研发。获得了中国区域 35 年时空一致性气溶胶光学厚度数据集，评估了中国气溶胶辐射致冷抵消的温室气体增温，支持了气候变化评估、政府气候变化应对行动。研发了中国区域 PM_{2.5} 和雾霾关键参数卫星遥感数据集，支持了空气污染排放源识别、重污染预报应急、全国大气污染损失核算、雾霾健康效应评估等，产生了重要的社会影响和公共效益。

项目发表论文 274 篇，其中 SCI 论文 173 篇。出版专著 3 部、专辑 3 本，授权国家发明专利 12 项。相关成果获省部级一等奖 2 项，被中办、国办采用 3 次，获得了国家领导人批阅，为国家环境治理提供了决策支撑。

三、 客观评价

1. 获奖及成果鉴定

- 获 2013 年度“北京市科技进步奖”一等奖
- 获 2017 年度“新疆维吾尔自治区科学技术进步奖”一等奖
- “面向应用的航天遥感软硬一体化仿真系统技术与应用示范”项目成果鉴定

以薛永祺院士为专家组长的中国遥感应用协会组织的科技成果鉴定结论为：“突破了面向应用的全链路航天遥感图像仿真与评价技术及多种卫星与传感器组网协同分析技术，形成了集五层十五级数据存储与检索、处理工具箱、分布式集群计算、可视化分析于一体的大数据处理工程技术体系及软硬一体化处理平台，取得了创新性成果……填补了我国该领域空白，**打破了国外长久以来的技术封锁。系统技术难度大、集成度高、实用性强**，总体达到了国际领先水平”。

2. 项目验收意见

- 973 计划项目“多尺度气溶胶综合观测和时空分布规律研究”在科技部组织的项目验收评估中获得优秀（国科发基〔2016〕328 号）

“攻克了气溶胶遥感天、空、地观测新技术，发展了新型气溶胶参数反演算法，构建了中国典型气溶胶模型和气溶胶数据集融合算法，制作了稳定可靠的中国区域近 35 年气溶胶光学厚度数据集，系统分析了中国区域近 35 年气溶胶特性的时空变化规律，……**对我国气溶胶的环境评价以及对评估气溶胶的气候变化效应具有十分重大的意义**”。

- 中科院先导科技专项课题“气溶胶时空分布遥感观测”

“发展和改进了考虑地表双向特性的长时间序列气溶胶光学厚度快速算法，……发展了基于星载激光雷达、多角度偏振等先进传感器的气溶胶和云参数反演方法，**解决了传统地面探测手段区域覆盖度低的问题，实现了中国区域的空间覆盖探测**”。

- 国防科技民用专项科研技术项目“我国卫星遥感应用需求和载荷指标综合论证”

“建立了满足我国遥感应用需求的有效载荷指标体系，……提出了有效载荷

的重点发展方向、载荷配置和我国民用航天对地观测体系的建议,成果在航天“十一五”规划和自主卫星研制等工作中得到了成功应用”。

➤ 民用航天“十一五”预研项目“多角度多光谱偏振遥感应用关键技术研究”

“突破了偏振效应检测与定标、气溶胶反演中地气解耦等关键技术,研发了多角度偏振预处理系统,建立了数据集,……**多角度偏振相机项目成果被重大专项高分辨率对地观测系统所采用,并在 GF-5 卫星得到应用**”。

➤ 民用航天“十一五”预研项目“环境一号卫星数据应用研究”

“解决了环境一号卫星数据研究中数据预处理、标准产品、数据质量评价、数据处理系统的关键技术和难点,形成了完整的技术链条,为卫星数据快速转入应用和业务化运行服务奠定基础,**有力支持了我国环境一号卫星应用、高分专项系统的建设与实施**”。

3. 国内外公开评价

➤ 细颗粒物遥感机理模型被 30 种期刊引用 70 余次(其中,影响因子 3 以上期刊引用 46 次)。光谱学领域权威期刊 *J. Quant. Spec. Rad. Trans.* 论文评价气溶胶颗粒物不规则形状散射卫星信号计算模型“**much more realistic than the simplified model** (比其他简化模型更真实)”。遥感领域权威期刊 *Rem. Sen. Env.* 论文评价细颗粒物遥感机理模型“**begun to map the dynamic changes in PM_{2.5} concentration across China through the inversion of remote sensing data** (开端了基于遥感反演绘制 PM_{2.5} 动态变化)”。大气环境领域权威期刊 *Atmos. Env.* 论文评价细颗粒物遥感机理模型得到“**widely used, and have played an irreplaceable role in satellite-based estimation of PM_{2.5} concentration** (广泛应用,在卫星估算 PM_{2.5} 浓度中发挥了不可替代的作用)”。

➤ 国际光学工程学会 (SPIE),以 Newsroom 专稿 (10.1117/2.1201008.03160) 形式,关注了中国首台多角度偏振卫星载荷原理样机,推介了本项目开展的气溶胶遥感仿真和论证成果。

➤ 政府间国际组织空间气候变化观测台 SCO (Space Climate Observatory),在其官方网站推介了《中国区域 PM_{2.5} 和雾霾关键参数卫星遥感数据集》,作为中国政府利用空间观测支持全球气候变化应对行动的典范和代表性案例。

➤ 童庆禧院士在《大气气溶胶偏振遥感》序中提到“该书的面世将对我国大气气溶胶偏振遥感的进一步发展和突破,进而为**我国和全球性的气溶胶监测发挥重要的引领作用**,也将为我国研制发射搭载多角度偏振遥感载荷的卫星及其应用提供重要支撑”。

➤ 白春礼院士在《中国可持续发展遥感监测报告》序中指出该报告“对社会各界

客观、全面、准确、系统地认识我国的资源生态环境状况及其演变趋势具有重要意义，……为宏观决策提供科学依据，为服务国家战略需求、促进交叉学科发展、服务国民经济主战场作出创新性贡献”。

四、 推广应用情况、经济效益和社会效益

项目成果在我国环境监测管理、环境应急响应、重点城市环境空气质量保障、污染源识别与监测、霾天气预报与分析等多个国家级和省市环保和气象部门的业务工作中得到广泛应用，提升了大气环境监测业务工作的“天地一体化”水平。在“京津冀”、“长三角”、“珠三角”等重点地区和上海世博会、广州亚运会等重大活动的空气质量保障和重污染天气应对工作中发挥了重要作用。项目成果有效支撑了我国民用航天领域气溶胶卫星系统级设计研发与论证、高分系列卫星气溶胶反演系统的建设，实现了国家高分重大专项 GF-5 卫星载荷多角度偏振相机的工程立项和研制。

项目成果为中国区域气溶胶抵消温室气体增温效应评估、细颗粒物暴露人体健康效应研究、大气污染损失核算、空气质量模式与预报、飞行交通安全等多个气溶胶效应相关前沿和重要应用领域提供了关键数据支撑。项目为国家环境政策评估提供了独立、客观的科学数据集，3次被中办和国办采用，中央办公厅在报习总书记的环保督查情况报告中，明确提到“通过……及中科院遥感与数字地球研究所卫星遥感手段掌握一手资料”，并得到国家领导人批阅。通过《中国可持续发展遥感监测报告》系列绿皮书的形式，持续发布全国6个重点地区、15个重点城市的细颗粒物遥感监测报告，受到社会各界广泛关注。在2017年两会期间，项目成果以“科学治理灰霾，促进绿色发展”为主题与网友进行在线交流，并2次通过“焦点访谈”为社会公众开展科学普及宣传，产生了较大的社会影响。项目成果作为卫星监测中国区域气溶胶环境和气候效应的代表性案例被政府间国际组织空间气候变化观测台（SCO）采用，提升了中国气溶胶卫星遥感在全球气候变化国际舞台的影响力和引领性。

主要应用单位情况表

序号	单位名称	应用的技术	应用对象及规模	应用起止时间	单位联系人/电话
1	环境保护部环境监测司	区域环境空气污染监测、秸秆焚烧、沙尘暴监测	支撑了环境监测管理业务，服务于上海世博会、广州亚运会期间区域环境空气质量保障	2010-2012	汪志国 /010-66556816
2	中国环境监测总站	沙尘、灰霾、秸秆焚烧等环境空气卫星遥感关键技术	支撑了环境监测业务工作，提升了环境监测“天地一体化”水平	2011-2014	张迪 /010-84943088
3	环境保护部环	PM _{2.5} 浓度卫星遥感	提供了全国10公里网格PM _{2.5}	2015-	马国霞

	境规划院	反演技术	浓度卫星遥感产品，支撑了全国范围的大气污染损失核算和科学评价	2018	/13810640959
4	环境保护部环境应急与事故调查中心	秸秆焚烧、灰霾等环境遥感监测结果	支撑了应急与事故调查中心环境应急业务工作	2011-2013	刘彬彬 /010-66556992
5	河北省环境监测中心	灰霾、秸秆焚烧、颗粒物等环境空气卫星遥感关键技术	服务于应对京津冀地区空气重污染天气业务工作，提升了河北省“天地一体化”环境监测水平	2011-2013	曹亚明 /18503235257
6	宁波市环境监测中心	气溶胶、灰霾、颗粒物等环境空气卫星遥感关键技术	服务于宁波市空气质量保障业务，提升了“天地一体化”环境监测水平	2009-2013	高占国 /13008972210
7	国家气象中心	霾天气会商材料	服务于霾天气监测业务，在霾天气监测预报业务中发挥重要作用	2013-2015	张碧辉 /18710055668
8	京津冀环境气象预报预警中心	霾天气监测评估资料，卫星大气成分数据处理软件	服务于京津冀霾天气监测评估业务，在霾天气监测和评估业务中发挥了很好的作用	2013-2015	赵茜 /010-68400755
9	中国气象局公共服务中心	高分辨率霾天气监测图	推送到中国天气网的环境气象频道，服务于公众霾天气监测业务	2013-2015	张礼春 /010-58993520
10	上海市城市环境气象中心	卫星大气成分与地球辐射收支服务产品业务化系统	服务于上海地区灰霾监测和气溶胶污染监测与预报，成为主要辅助分析系统，提高了霾预报和空气质量预报业务水平	2012	耿福海 /18918206308
11	中国科学院大学	京津冀区域 PM _{2.5} 卫星遥感数据集	应用于细颗粒物暴露的流行病学研究和大气污染健康危害归因危险度评价，支撑了颗粒物健康效应空间信息评估新途径的建立	2015-2017	梅笑冬 /010-88256415
12	韩国国家环境研究中心	气溶胶光学厚度科学数据集	帮助空气质量模式的同化和预报研究，支撑了卫星数据的验证和模拟预报产品的验证	2017-2018	明智秀 /0082-032-560-7658
13	中国资源卫星应用中心	气溶胶光学厚度反演技术	支撑了 GF-4 卫星气溶胶光学厚度反演软件系统的建立	2016-2017	陆书宁 /13699182509
14	国家卫星海洋应用中心	海洋型气溶胶观测及数据处理技术	支撑了海洋水色卫星波段参数设置、定标和大气校正模型的验证和完善	2014-2015	赵崑 /18601233219
15	中国气象局广州热带海洋气象研究所	卫星大气成分与地球辐射收支服务产品业务化系统	支撑了珠三角地区大气成分的天基监测业务工作	2012	邓雪娇 /020-39456694

五、 主要知识产权证明目录

序号	知识产权类别	知识产权具体名称	国家	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人	发明专利有效状态
1	发明专利	无中红外通道传感器的气溶胶光学厚度时空分布反演方法	中国	ZL 2013 1 0505797.6	2017.2.15	第 2384698	中国科学院遥感与数字地球研究所	顾行发、王颖、余涛、程天海、郭红、陈好、吴侯	有效
2	发明专利	一种遥感影像数据管理系统及方法	中国	ZL 2012 1 0119118.7	2016.5.11	第 2064768	中国科学院遥感应用研究所	顾行发、余涛、黄祥志、孟庆岩、李家国、高海亮	有效
3	发明专利	一种双地理经纬网格切分方法	中国	ZL 2013 1 0327411.7	2016.8.10	第 2165138	中国科学院遥感与数字地球研究所	顾行发、余涛、黄祥志、孟庆岩、周珂、郭红	有效
4	发明专利	一种前向散射与透射结合的能见度测量仪及其测量方法	中国	ZL 2012 1 0119223.0	2014.8.13	第 1462941	中国科学院遥感应用研究所	顾行发、陈继平、余涛、赵云红、孟庆岩、高海亮	有效
5	发明专利	HJ-1B B08 的有效波段宽度计算方法及定标方法	中国	ZL 2010 1 0241121.7	2013.8.7	第 1247624	中国科学院遥感应用研究所	顾行发、余涛、李家国、李小英、郭红、赵利民、米晓飞、高海亮	有效

序号	知识产权类别	知识产权具体名称	国家	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人	发明专利有效状态
6	发明专利	基于光线追踪技术的航空遥感成像几何变形仿真方法	中国	ZL 2010 1 0172022.8	2014.6.18	第 1424606	中国科学院遥感应用研究所	顾行发、余涛、臧文乾、郭红、孟庆岩、徐辉	有效
7	发明专利	航天遥感载荷成像几何畸变三维可视化仿真方法	中国	ZL 2010 1 0241104.3	2013.9.18	第 1274187	中国科学院遥感应用研究所	顾行发、余涛、臧文乾、胡新礼、郭红、周珂、赖积保、谢东海	有效
8	专著	大气气溶胶偏振遥感	中国	ISBN 978-7-04-043133-9	2015. 8	第 134417	中国科学院遥感与数字地球研究所	顾行发、程天海、李正强、乔延利	有效
9	专著	中国可持续发展遥感监测报告(2016)	中国	ISBN 978-7-5201-0240-7	2017. 6	第 322377	中国科学院遥感与数字地球研究所	顾行发、李闰榕、徐东华	有效
10	专著	中国可持续发展遥感监测报告(2017)	中国	ISBN 978-7-5201-2725-7	2018. 6	第 097726	中国科学院遥感与数字地球研究所	顾行发、李闰榕、徐东华	有效

六、 主要完成人情况

排序	姓名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目贡献
1	顾行发	副院长	研究员	中国科学院遥感与数字地球研究所	中国科学院遥感与数字地球研究所	项目的主要完成人，全面负责关于机理、技术、方法、系统、应用的气溶胶遥感方案的设计与实施，推动了中国区域卫星遥感技术在气溶胶环境、气候效应评估应用领域的发展。是第 1-3 创新点的主要贡献者。
2	李正强	部门主任	研究员	中国科学院遥感与数字地球研究所	中国科学院遥感与数字地球研究所	负责气溶胶遥感重点关键技术攻关。提出了国际上领先的 5 参数的细颗粒物遥感机理模型；发展了“光学-物理-辐射-化学”耦合特征模型；参与了我国多角度偏振相机设计论证。是第 1-3 创新点的主要贡献者。
3	厉青	部门主任	研究员	生态环境部卫星环境应用中心	环境保护部卫星环境应用中心	承担了国产陆地卫星系列气溶胶产品生产业务，并依托环保部门在全国及重点区域开展大气环境遥感监测示范应用。是第 3 创新点的主要贡献者。
4	张兴赢	处长	研究员	中国气象局国家卫星气象中心	中国气象局国家卫星气象中心	组织承担了气象卫星气溶胶业务监测服务产品的生产，并依托气象部门开展了雾霾天气会商与预报服务等示范应用。是第 3 创新点的主要贡献者。
5	洪津	中心主任	研究员	中国科学院合肥物质科学研究院	中国科学院合肥物质科学研究院	承担了国家高分重大专项 GF-5 卫星多角度偏振相机的工程研制工作。是第 2 创新点的重要贡献者。
6	乔延利	总工	研究员	中国科学院合肥物质科学研究院	中国科学院合肥物质科学研究院	承担了国家高分重大专项 GF-5 卫星多角度偏振相机的论证、设计工作，参加中国区域气溶胶遥感数据集研制。是第 2 创新点的重要贡献者。
7	陈洪滨	副所长	研究员	中国科学院大气物理研究所	中国科学院大气物理研究所	基于卫星遥感数据和模式模拟，评估了我国气溶胶环境气候效应的影响，推动了气溶胶的辐射强迫在全球气候变化领域的应用研究。是第 3 创新点的重要贡献者。

排序	姓名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目贡献
8	程天海	无	研究员	中国科学院遥感与数字地球研究所	中国科学院遥感与数字地球研究所	在气溶胶光学遥感机理方面，突破了大气颗粒物不规则形状光学散射计算方法，基于卫星遥感数据开展了中国区域空气质量对可持续发展影响的评估。是第 1、3 创新点的重要贡献者。
9	余涛	无	研究员	中国科学院遥感与数字地球研究所	中国科学院遥感与数字地球研究所	研制了软硬一体化的仿真平台，并对偏振气溶胶载荷的设计指标进行论证和试飞，研发了遥感产品大数据处理平台并在地方开展应用示范。是第 2 创新点的重要贡献者。
10	周春艳	无	正高级工程师	生态环境部卫星环境应用中心	环境保护部卫星环境应用中心	承担了大气气溶胶遥感产品测试、检验，以及京津冀、长三角等地区的遥感监测应用示范任务。是第 3 创新点的重要贡献者。

七、 主要完成单位及创新推广贡献

1. 中国科学院遥感与数字地球研究所

中国科学院遥感与数字地球研究所是本项目的主持单位和主要完成单位。负责项目组织实施和项目技术创新的总体规划。完成中国区域整层大气气溶胶基础特性数据集的研制,并作为中国区域时空一致性气溶胶光学厚度数据集的主要研制单位之一,搭建科学数据集的信息共享平台,提供数据服务。

提出了利于光学手段探测大气气溶胶特性的遥感方法,突破了颗粒物不规则形状散射卫星信号计算模型,构建了细颗粒物光学遥感理论框架。发展了细颗粒物瞬时遥感物理模型,研发了大气气溶胶特性参数卫星遥感系列方法,完成了气溶胶卫星遥感监测方案。率先开展了偏振气溶胶载荷的论证和仿真工作,基于气溶胶多角度偏振遥感机理,提出综合利用辐射信息、偏振信息、多波段、多角度观测探测中国区域气溶胶特性的遥感应用体系。建立细颗粒物卫星遥感监测数据平台,创建了中国大气状况遥感监测系统。基于本项目的技术积累合作开展了大气细颗粒物卫星遥感监测应用示范,并在京津冀、长三角等多个区域开展业务化应用,推动环境改善及可持续发展,取得了显著的社会效益。

2. 生态环境部卫星环境应用中心

生态环境部卫星环境应用中心是本项目的主要完成单位。负责大气气溶胶特性参数卫星遥感、沙尘、灰霾、秸秆焚烧卫星遥感监测应用示范和业务化推广应用。

开展气溶胶卫星遥感数据规范化处理流程研究,参与研制了中国区域 $PM_{2.5}$ 和雾霾关键参数卫星遥感数据集。承担了国产陆地卫星系列的气溶胶产品生产业务,以及雾霾监测产品验证。开展了全国及重点区域的大气环境遥感监测示范,推动了项目成果在我国环境监测管理、环境应急响应、环境空气质量保障、点源污染识别与监测等领域的环保业务化应用,促进气溶胶卫星遥感环保业务的推广和深入开展。

3. 中国气象局国家卫星气象中心

中国气象局国家卫星气象中心是本项目的主要完成单位。负责解决中国区域气溶胶光学厚度数据集时空一致性问题,并提供科学数据集的共享服务以及气象部门的业务化应用推广。

作为中国区域时空一致性气溶胶光学厚度数据集的研制单位之一,通过单一遥感器和多遥感器统一化辐射定标技术解决长时间序列、多遥感器辐射级观测数据的一致性问题。研制了稳定可靠的 0.1°分辨率的中国区域 1982-2011 气溶胶光学厚度数据集;基于重定标的 FY3 数据,制作完成 FY3/MERSI 5 年全球气溶胶气候产品数据集;利用改进的 MODIS 双星协同算法生产亚洲区域 10km 分辨率气溶胶光学厚度数据集,支持了气象、环保领域的应用。

4. 中国科学院合肥物质科学研究院

中国科学院合肥物质科学研究院是本项目的主要完成单位。负责我国第一代星载多角度偏振相机的硬件设计,实现了自主气溶胶空间监测载荷技术的突破。研发了星载多角度偏振相机数据预处理系统并建立了测试数据集。

突破了大气顶偏振辐射监测与定标等关键技术。研制了 CCD 偏振成像探测装置,采用旋转轮成像方式使多角度偏振相机结构紧凑、体积小、重量轻、功耗低,适于载荷空间受限的卫星平台。同时,由于入瞳信号能量损失少,噪声抑制水平高等特点,在大区域、快速重访、高精度的气溶胶空间信息获取方面具有独特优势。星载多角度偏振相机被国家重大专项高分辨率对地观测系统所采用,在 GF-5 卫星得到应用。

5. 中国科学院大气物理研究所

中国科学院大气物理研究所是本项目的主要完成单位,负责基于中国区域时空一致性气溶胶科学数据集进行中国气溶胶气候效应评估,开展了气溶胶辐射强迫和气候效应模式技术攻关。

基于观测建立气溶胶辐射强迫参数化方法,采用气候模式开展气溶胶辐射强迫敏感性研究,系统评估了多成分气溶胶对东亚气候环境的影响。给出了中国区域气溶胶辐射强迫的时空分布特征;评估了气溶胶辐射模拟中的不确定性,基于多种气候模式结果综合给出了改革开放以来中国区域气溶胶辐射强迫的变化趋势,评估了中国气溶胶辐射致冷抵消的温室气体增温,支持了气候变化评估、政府气候变化应对行动。

八、 完成人合作关系说明

第 1 完成人顾行发,为气溶胶遥感学科带头人。与第 2、7 完成人合作,主持并承担了 973 项目“多尺度气溶胶综合观测和时空分布规律研究”;与第 2、5、6、8、9 完成人合作,开展了大气气溶胶卫星遥感机理模型和技术系统的联合攻关;与第 3、4、10 完成人合作,推动了我国自主气溶胶卫星监测系统在大气环

境监测和气候效应评估领域的应用发展；与第 2、6、8 完成人合作完成《大气气溶胶偏振遥感》专著。

第 2 完成人李正强，负责气溶胶遥感重点关键技术攻关。与第 1、3、10 完成人合作，承担了 973 项目课题“中国及全球重点区域气溶胶微观特性研究”；与第 1、3、4、5、8 合作突破了从空间尺度观测全国气溶胶及细颗粒物污染的系列关键技术；与第 1、5、6、9 完成人合作论证光学偏振载荷技术指标，并进行数据应用；与第 1、6、7 完成人合作获得中国气溶胶特性数据集，并深入分析了气溶胶对大气环境、污染气体探测精度以及气候效应影响评估等。

第 3 完成人厉青，与第 1、2、10 完成人合作，研究了气溶胶细颗粒物的动态遥感监测技术，以环境卫星为数据源对中国区域气溶胶模型进行测试、分析和评价；依托环保业务平台，推动了气溶胶卫星遥感数据产品在环境监测管理、环境应急响应、重点城市环境空气质量保障等方面的成果应用。

第 4 完成人张兴赢，与第 2 完成人合作，研究卫星紫外吸收性气溶胶指数产品在雾霾监测中的应用，依托气象业务系统平台，对本项目的气象卫星的雾霾监测和辐射收支产品进行测试、分析和评价，并将数据推广到气象各部门用户，为雾霾气象会商、气象公共预报服务、气候效应评估等应用提供支持。

第 5 完成人洪津，与第 1、2、6 完成人合作，全程参与了气溶胶偏振载荷的论证和研发工作，负责我国第一代偏振气溶胶载荷——多角度偏振相机的工程研发任务，完成了多角度偏振相机载荷的波段设置、多角度、空间分辨率等优化设计和配置。

第 6 完成人乔延利，与第 1、2、5、8、9 完成人合作研究，组织开展了针对环境大气的多角度偏振设备研制工作，参与论证了我国大气气溶胶机载和星载遥感技术，其中多角度偏振相机列入国家高分重大专项 GF-5 号卫星。

第 7 完成人陈洪滨，与第 1、2 完成人合作，承担了 973 项目课题“气溶胶对气候影响的模拟和评估研究”，系统性地开展气溶胶辐射强迫和气候效应模式模拟研究。利用项目本地化的气溶胶模型及长时间序列的气溶胶卫星遥感数据资料，定量评估了多种气溶胶类型的辐射强迫值及其变化特征。

第 8 完成人程天海，与第 1、2、9 完成人合作，发展大气气溶胶特性参数卫星遥感模型和方法，突破了颗粒物不规则形状光学散射计算方法；与第 1、2、6、9 完成人合作，完成了多角度偏振相机的航飞论证与数据分析工作；与第 1、9 完成人合作，基于卫星遥感技术对近三年来的中国空气环境质量进行评估。

第 9 完成人余涛，与第 1、2、6、8 完成人合作，开展了星载气溶胶载荷的软硬件一体化仿真研究，特别是开展了偏振气溶胶载荷的仿真工作，突破了偏振

效应检测与定标等关键技术；与第 1、2 完成人合作深入推动遥感产品真实性检验场、站、网系统工作与地方应用示范。

第 10 完成人周春艳,与第 1、2、3 完成人合作,开展了气溶胶建模、气溶胶模型测试及验证,实现了全国、京津冀城市群等大尺度气溶胶遥感动态监测,编制遥感监测报告,并与环保各部门进行对接、沟通并反馈,有力促进了项目成果在大气环境领域应用的深入推广。

完成人合作的主要成果包括论文、专著、发明专利等。

完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者	合作时间	合作成果	证明材料	备注
1	专著合著	顾行发/1 程天海/2 李正强/3 乔延利/4	2006	《大气气溶胶偏振遥感》	专著	共 4 位贡献人
2	共同立项、论文合著	顾行发/1 李正强/2 陈洪滨/4	2014	多尺度综合观测中国区域气溶胶时空分布	任务书、论文	共 3 位贡献人
3	共同知识产权	顾行发/1 余涛/3 程天海/4	2013	无中红外通道传感器的气溶胶光学厚度时空分布反演方法	发明专利	共 3 位贡献人
4	论文合著	李正强/1 洪津/5	2016	Remote sensing of atmospheric particulate mass of dry PM _{2.5} near the ground: Method validation using ground-based measurements	论文	共 2 位贡献人
5	论文合著	顾行发/1 程天海/2 李正强/4 余涛/5 乔延利/7	2010	Aerosol retrieval over cities using an airborne directional polarimetric camera	论文	共 5 位贡献人
6	论文合著	李正强/1 顾行发/8 乔延利/14	2018	Comprehensive study of optical, physical, chemical, and radiative properties of total columnar atmospheric aerosols over china	论文	共 3 位贡献人

7	论文 合著	李正强/2 张兴赢/3	2015	A new ground-based differential absorption sun photometer for measuring atmospheric columnar CO ₂ and preliminary applications	论文	共 2 位 贡献人
8	论文 合著	厉青/5 李正强/6	2016	基于光谱与几何匹配的 GOCI 与 MODIS 交叉辐射定标	论文	共 2 位 贡献人
9	论文 合著	陈洪滨/4 李正强/7	2008	Evaluation of PARASOL aerosol retrieval over North East Asia	论文	共 2 位 贡献人
10	论文 合著	李正强/3 周春艳/9	2017	Regional transport of anthropogenic pollution and dust aerosols in spring to Tianjin — A coastal megacity in China	论文	共 2 位 贡献人