

我国中东部 PM_{2.5} 卫星遥感监测及业务化运行方法研究^{*}

完成单位：环境保护部卫星环境应用中心

项目主要完成人：毛慧琴 厉青 陈辉 王中挺 张玉环 周春艳

DOI:10.3772/j.issn.1009-5659.2016.19.024

目前随着工业化与城市化进程的高速推进，我国中东部地区大气污染状况愈加严峻，呈现出煤烟型与氧化型污染共存、局地污染与区域污染相叠加、污染物之间相互耦合的复合型大气污染。我国政府高度重视大气环境污染的综合防治，为了加强大气污染防治力度，改善我国环境空气质量，2013年9月国家出台了《大气污染防治行动计划》，并提出了具体的指标：到2017年，全国地级及以上城市可吸入颗粒物浓度比2012年下降10%以上，优良天数逐年提高；京津冀、长三角、珠三角等区域细颗粒物浓度分别下降25%、20%、15%左右；2014年7月国家有关部门联合《大气污染防治行动计划实施情况考核办法（试行）实施细则》，明确将细颗粒物 PM_{2.5} 作为年度考核指标。由此可见，监测和定量评估细颗粒物 PM_{2.5} 时空分布是我国环境保护中长期科技发展的重要战略需求。

本研究针对我国中东部地区的大气细颗粒物 PM_{2.5} 污染状况和区域环境空气质量监测业务化应用的迫切需要，充分利用我国中东部地区 PM_{2.5} 地面常规监测、理化特征强化观测、卫星遥感监测以及空气质量数值模式，开展 PM_{2.5} 卫星遥感监测分区、参量订正以及近地面 PM_{2.5} 浓度反演等关键技术研究，建立先进的满足业务化运行的 PM_{2.5} 卫星遥感监测原型系统及示范应用，为我国环境空气质量改善及区域大气污染联防联控提供技术支持。

1 PM_{2.5} 卫星监测分区方法研究

由于我国不同区域或不同季节的气溶胶理化特性、

垂直分布与粒子的吸湿增长特性差异较大，因此需要建立一套 PM_{2.5} 卫星遥感监测分区方法。本研究通过收集和分析我国中东部 PM_{2.5} 大气物理、化学特征“地—空—天”强化观测及地面常规监测数据，获取 PM_{2.5} 质量浓度、粒径谱分布、化学组成、光学特性及相对湿度和能见度等气象要素等时空分布信息，并结合高分辨率空气质量模式模拟的结果，提取时空连续的 PM_{2.5} 各组分浓度、AOD 等特征参量空间分布及垂直廓线信息，构建了我国中东部地区 PM_{2.5} 特征数据库，获取中东部地区 PM_{2.5} 污染特征、光学特性及垂直分布规律，构建了颗粒物吸湿性增长特性与颗粒物粒径谱、化学组分、光学特征的关系；采用自然正交函数（EOF）、奇异值分解（SVD）、聚类分析等分区分析方法，分别开展四类分区技术研究：①基于地面监测网观测数据的分区技术，②基于地基光学遥感和卫星数据的分区技术研究，③基于区域大气模式的分区技术研究，④综合分区技术，提出中东部地区面向 PM_{2.5} 卫星监测的动态分区监测方案。

2 中东部地区 PM_{2.5} 卫星监测关键参量订正技术研究

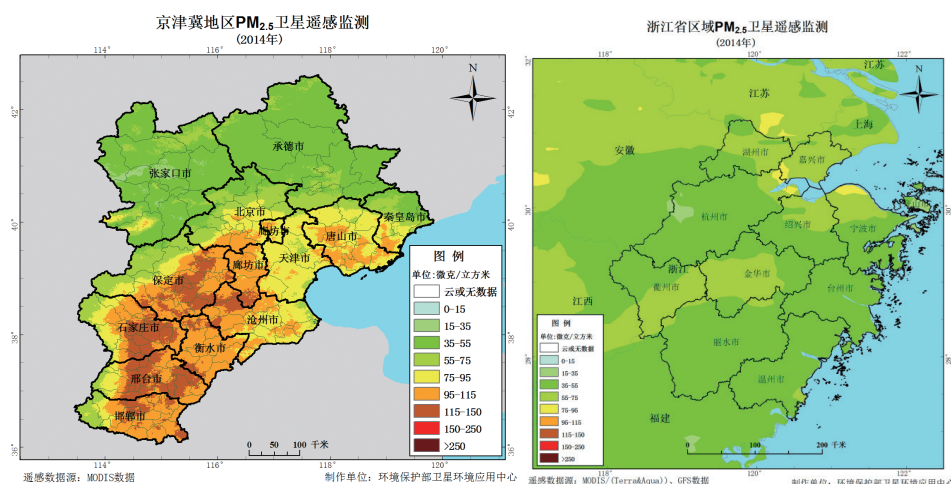
中东部地区卫星遥感反演监测 PM_{2.5} 需要重点解决难题是城市区域气溶胶卫星遥感反演精度较差，同时由于观测资料的限制，难以定量描述细颗粒物各类成份的垂直分布及其吸湿增长和光学消光特性。本研究中东部地区 PM_{2.5} 卫星监测关键参量订正技术建立了一套城市地区 AOD 集成反演方法，首先利用多源卫星改进高分辨率区域 AOD 反演，然后建立基于数值模拟—卫星反演—地基观测的动态反馈气溶胶光学厚度反演订正方法，进而实现我国中东部地区高精度的气溶胶参量反演。

^{*} 环保公益性行业科研专项（201309011）。

毛慧琴（1974年~）女，高级工程师，博士，主要从事空气质量模拟预测研究。

厉青（1970年~）女，研究员，博士，主要从事大气遥感研究。通讯作者。E-mail: li.qing@mep.gov.cn。

本研究多源卫星数据包括 MODIS 数据、HJ-1 CCD、GF-CCD 等卫星遥感数据,集成的反演算法包括:基于可见光波段反射率比值统计关系 AOD 反演算法、基于 MODIS 地表反射率产品的环境卫星 AOD 反演算法、基于 BRDF 和大气化学模式的卫星反演 AOD 算法、多时相协同 AOD 反演算法、多源卫星数据的多时相、多角度、多尺度城市 AOD 反演算法、基于 HJ-1 数据反演陆地气溶胶的深蓝算法、基于 GF-CCD 数据反演 AOD 的暗目标法等。在这些反演算法获取高精度 AOD 的基础上,进一步建立气溶胶光学厚度实时反馈订正方法,基于高分辨率区域大气化学模式 NAQPMS 及其地基观测、卫星 AOD 同化系统,在前期充分评估、改进的基础上,以 AOD 地基观测为基准,实现卫星 AOD 反演关键参数及 AOD 的动态反馈、循环订正。同时开发了基于气象模式和空气质量模式的卫星遥感反演 $PM_{2.5}$ 关键参数高精度模拟系统,为高精度 $PM_{2.5}$ 的遥感反演提供相对湿度、边界层高度、气溶胶化学组分、粒径谱分布、消光系数的垂直分布等关键参数。



京津冀地区(左)和浙江省(右)2014年 $PM_{2.5}$ 年均浓度分布图

3 中东部地区 $PM_{2.5}$ 高精度卫星反演研究

卫星遥感反演近地面 $PM_{2.5}$ 浓度本质上就是要实现由卫星观测及精度订正后的 AOD 到近地面 $PM_{2.5}$ 的转化,构建 $PM_{2.5}$ 与 AOD 之间的统计模型。本研究基于分区结果并结合大气模式数据获取的气象参数以及气溶胶化学组分、粒径谱分布、消光系数等 $PM_{2.5}$ 特征参数,构建了三种方法实现卫星遥感 AOD 到近地面的转换。具体包括:①在不同的子区域不同季节对卫星反演的 AOD 实现动态垂直订正与湿度订正方法,在此基础

上,结合多种气象参数、地理信息建立 AOD- $PM_{2.5}$ 多元统计回归模型和地理加权回归模型;②基于综合分区结果,考虑风、压、温、湿、大气边界层高度、地表反照率等气象资料气象要素的影响,利用 LM-BP 优化多层前馈人工神经网络、离散小波变换、支持向量机、随机森林等方法建立卫星 AOD 与 $PM_{2.5}$ 的非线性相关模型;③ AOD- $PM_{2.5}$ 相关模型进行综合验证与适用性评价,建立以这两类 AOD- $PM_{2.5}$ 相关模型为基础的 $PM_{2.5}$ 卫星监测集成反演方法;④以卫星观测 AOD 作为主要的同化资料,以先进的多尺度大气模式为平台,采用集合卡曼滤波方法,发展中东部地区 $PM_{2.5}$ 卫星资料的时空填充方法,以生产时空连续的产品。

4 中东部地区 $PM_{2.5}$ 卫星遥感监测原型系统研发及应用示范

为初步实现 $PM_{2.5}$ 遥感监测的业务能力,本研究开发了我国中东部地区 $PM_{2.5}$ 遥感监测原型系统,该系统采用客户端/服务器结构,客户端由多台工作站组成,用于部署系统的客户端,负责遥感监测业务产品生产;服务端是数据库服务器和磁盘阵列,数据库服务器用于部署服务端数据库,并且定期对数据库进行备份,磁盘阵列用于对遥感产品的结果进行存储。系统运行的软件环境包括 Windows 操作系统、.NetFramework 平台、ArcEngineRuntime、Word、Oracle 等。该系统由 6 个子系统组成:综合

分区子系统、AOD 反演子系统、PM 反演子系统、专题图制作子系统、简报输出子系统及辅助操作子系统等。

中东部地区 $PM_{2.5}$ 遥感监测原型系统的建立,有效地整合了地面 $PM_{2.5}$ 地基观测数据、气象数据、地基遥感数据以及多源卫星数据、空气质量数值预报系统、动态分区方法、AOD 反演及高精度订正方法、 $PM_{2.5}$ 遥感反演统计模型构建以及标准化模板出图、报告生成等功能,并以京津冀地区和浙江省作为示范区,实现 $PM_{2.5}$ 卫星遥感监测业务化生产(示例产品如图所示),为示范区的大气污染防治提供及时有效的科技支撑。^[CSTA]