

# 沙尘暴监测、预报和预警综合系统及其应用

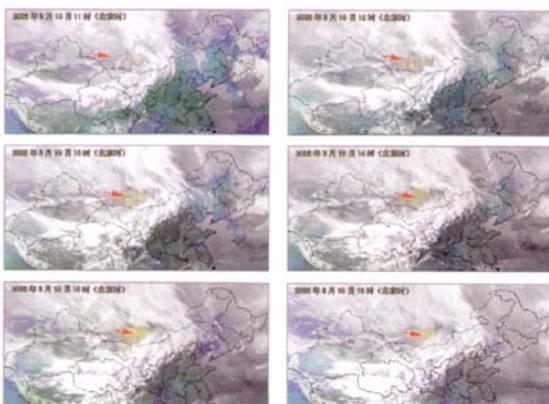
**主要完成单位：**中国科学院大气物理研究所、中国气象局国家卫星气象中心、中国科学院地理科学与资源研究所、中国气象局国家气象中心、香港城市大学  
**主要完成人：**曾庆存、董超华、彭公炳、赵思雄、方宗义、矫梅燕、林朝晖、杨忠东、孙建华、张鹏、张时煌、邵亚平、马岚、胡非、赵琳娜

## 立项背景

我国西北和华北北部地处中纬度干旱、半干旱区气候区，环境对气候变化很敏感。由于该地区植被稀少，地表干燥，土质疏松，土壤风蚀现象十分严重。当强冷锋经过干燥无植被地表时，在强风作用下，就易发生强的沙尘暴。

其实，就长时期的累积效应而言，沙尘天气（沙尘暴）造就了我国的黄土高原和华北平原，形成了中华文明的发生发展条件。但是历史的功绩并不能掩盖它所带来的严重的自然灾害，它常伴随着大风（尤其是强风和阵风）、能见度低（甚至小于百米）、大气污染以及流沙尘土覆盖和掩埋等破坏性现象发生，影响交通、建筑、农林牧业、公共设施和社会活动，以及人们的健康和生活。

“沙尘暴监测、预报和预警综合系统及其应用”利用现代空间遥感技术、数值预报技术和风沙动力学理论、地理信息系统以及计算机技术等，通过多学科的交叉融合，研究沙尘暴的物理和动力学特性以及形成机理，针对沙尘暴天气监测分析、沙尘暴天气数值预报、春季沙尘天气趋势短期气候预测和沙尘暴天气服务与评估等四个方面进行了比较全面系统的研究，成为中国气象局灾害监测、预报、预警业务的重要组成部分。



## 起沙机制的研究

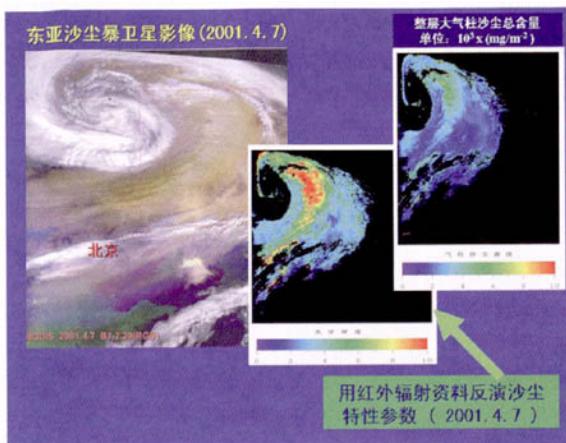
风蚀机理和风沙动力学是计算起沙量的基础，而沙尘的扬起和传输则是沙尘天气中沙尘特性三维时变预告的基础。本项目对此作了重点研究，提出了沙尘起沙的判据，并发展了相应的沙尘起沙方案，建立了起沙通量的动力统计理论模式，成为世界上最新的起沙模式之一。该起沙方案与以往传统的起沙方案中起沙率与地表摩擦速度 $4$ 次方成正比的简单参数关系完全不同，它通过实验室实验和野外观测资料拟合，建立了包含土壤表层粒子在气流中的跃移撞击、聚合和破碎过程的水平沙通量计算方案。该水平沙通量计算方案考虑了不同土壤类型和土壤颗粒之间的紧密程度、然后利用起沙量和沙尘粒子水平跃移沙通量的关系得到起沙量，突出优点是能够概括各种起沙过程，计算任意粒径范围的起沙量，极具普适性，在业务应用的数值模式中，针对东北亚地区沙尘天气中观测到的尘粒粒径分布特征，计算的沙尘粒径范围为 $2\sim125$ 微米。

本项目通过对大气边界层特种观测资料的分析和理论研究，在世界上首次发现和阐明了阵风的相关结构和阵风起沙机理，对国际上流行的未计入阵风作用的起沙理论公式进行了修正，导出新的起沙公式，并已有效地应用到本项目的沙尘天气数值预告模式和业务预报系统中，取得了很好的预报效果。

## 地表特征参数和沙尘定量遥感研究

本项目提出了基于新型卫星遥感器多光谱资料的沙尘暴粒子等效半径、光学厚度和大气柱沙尘总量的同步物理反演算法，实现了沙尘参数昼夜定量自动监测，基本上解决了国际上夜间沙尘（暴）监测难题。该算法软件已被纳入国际应用软件包，为世界各有关国家使用。

本项目基于新型遥感仪器的可见光、近红外和红外分裂窗通道光谱，利用辐射传输模型计算生成了最接近实际地表热辐射特性模拟数据库，也是国内首次计算得到了具有新型



遥感仪器特性和中国地表植被覆盖类型特点的 BECKER 算法模型参数, 开发了中国陆地区域旬合成陆地表面温度等产品运行系统。在反演算法方面, 自主发展了一套两层沙尘大气的红外辐射传输计算模型, 用干沙尘大气条件下卫星红外观测信号处理和沙尘暴特征的敏感性分析。利用正演模型模拟了沙尘暴在红外光谱的高光谱分辨率特征, 为开辟新方法和新数据源监测沙尘暴天气奠定了基础。

## 沙尘暴天气集成数值预报分系统的建立

基于国家防灾减灾的迫切需求, 在风蚀和起沙扬尘的物理动力机理及其参数化研究的基础上, 通过结合动态地理信息系统, 本项目成功地实现了中尺度气象模式与起沙模型、输送模型、地理信息系统和遥感技术的综合集成, 研制出适合于我国的沙尘天气集成数值预报系统。该沙尘天气集成数值预报系统包括动态地理信息系统 (GIS) 数据集、起沙模式前处理模块、包含有陆面过程模式的中尺度气象模式、沙尘起沙模式以及输送模式五个部分, 并实现了起沙模式、输送模式与国家气象中心业务化中尺度天气模式的完全耦合、同步积分, 可定量计算描述沙尘天气的物理量, 主要包括沙尘源地 (沙尘通量)、大气中的沙尘含量 (沙尘浓度)、沙尘的沉降以及沙尘的输送与移动路径等。从而为沙尘暴天气的预测预警提供了模式基础。也为深入地研究沙尘天气发生、发展以及风蚀、起沙、输送机理和沙尘暴综合治理方案提供科学依据。

## 春季沙尘天气趋势短期气候预测分系统

通过结合沙尘暴综合卫星遥感监测结果的分析, 项目组成员系统研究了东亚沙尘暴发生发展的天气、气候学的主要规律, 并对此作了系统和分类的气候统计分析, 提出沙尘暴

的典型概要模型和强弱沙尘事件年的典型春季气候距平模型, 随后在中国科学院大气物理研究所发展的气候系统模式的基础上, 建成了我国春季沙尘天气趋势的跨年度数值气候预测系统, 自 2003 年起, 项目组每年都提供春季沙尘天气趋势的跨年度气候预测结果, 参加国家唯一授权发布气候预测的国家气候中心组织的年度气候预测会商, 为国家发布春季沙尘天气趋势提供依据, 取得了良好的社会和经济效益。有关春季沙尘趋势的预测结果也被国办刊物《昨日要情》所采用, 此外, 该跨年度气候预测系统于 2005 年在总参气象水文中心得到业务化运行, 较好地做出了 2006 年度春季沙尘天气趋势的预报, 提供了很好的军事气象保障。

## 沙尘 (暴) 天气服务与评估

在上述理论和技术创新的基础上, 本项目利用多类多星多仪器遥感数据, 将遥感、计算机、信息处理、GIS、天气分析和预报等多种技术有机地组合在一起, 建立了监测、预报服务与评估平台。

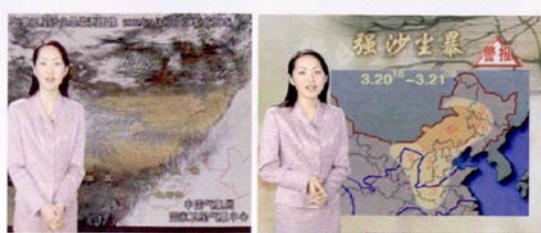
沙尘天气灾害评估与国民经济和社会生活直接相关, 是为国家各相关部门服务的重要项目。本项目针对沙尘天气的灾害评估, 开展了如下两方面的研究工作: 一是开发出及时应用的评估技术系统, 将沙尘暴监测系统所得到的有关沙尘天气的覆盖范围、影响区域以及沙尘暴强度等信息, 与地理信息系统提供的行政区域、土地利用、人口等信息相融合叠加, 制成图和 (数字) 表, 该技术已和卫星监测系统一起提供业务服务; 二是从环境条件、地理、人文和经济状况等出发发展了灾害定量评估 (如经济损失等) 的数字理论, 为各经济或公益事业单位定量评估灾害和风险提供了实用方法。

## 沙尘暴监测预警系统的社会影响

“沙尘暴监测、预报和预警综合系统及其应用”研究体现了将沙尘暴形成机理的研究成果应用于业务运行并形成服务能力这一特点。该系统支持由国家气象中心 (中央气象台) 在 2001 年 3 月首次向社会公众发布沙尘暴监测预警, 引起了社会各界的广泛关注。

1. 本项目建成集遥感探测技术、地理信息系统和数值天气和气候预报模式技术与服务应用于一体的我国沙尘暴监测、预报、预警和影响评估的综合业务系统, 实现了全国范围内沙尘暴的实时监测、预报和预警服务。

2. 发展了新的统计动力学起沙方案、风沙数值预报模式, 实现了数值天气预报模式、风沙模式和动态地理信息系统的综合集成, 研制出适合我国的、实时业务化运行的沙尘天气集成数值预报系统。



3、揭示了沙尘暴发生发展的天气学和气候学规律，提出沙尘暴的典型模型；建成我国春季沙尘天气趋势的动力气候预测系统及统计预报方法；提出沙尘灾害评估的数学理论和方法。

4、提出利用昼夜多光谱信息反演沙尘粒子半径、光学厚度和气柱沙尘总量的方法；建立空间遥感和地面观测相结合的沙尘暴光学厚度的统计算法；实现了沙尘参数的昼夜定量自动监测；提出了适合中国区域特点的，且与沙尘暴发生密切相关的陆表特征卫星遥感反演方法。

5、研制大气边界层特种监测仪器和设备，并用于沙尘天气监测；揭示风蚀和起沙扬尘的物理动力机理，首次提出阵风起沙理论，并用于数值预报模式。

沙尘暴天气数值预报模式投入使用后，在我国北方地区防灾减灾方面发挥了重大的作用。2006年4月9—11日，甘肃地区出现了一次区域性大风沙尘暴天气过程，酒泉、兰州等13个省级测站观测到沙尘暴，最大风速达32.0m/s（马鬃山），部分观测站最小能见度只有100米（高台、民勤、酒泉市肃州区）。当地政府根据中央气象台和甘肃省气象局发布的沙尘暴预报、预警信息，通知相关部门采取措施，最大程度地减少了地方经济损失，没有造成人员伤亡，避免了1993年5月5日甘肃金昌市发生的强沙尘暴所造成的死亡85人、伤264人、失踪31人，总经济损失超过5.4亿元的类似情况。现在，“沙尘暴监测、预报和预警综合系统及其应用”已在国家级业务中心运行和应用，并为许多国家、省市和业务部门应用，在沙尘暴预测中发挥着巨大的作用。

## 风云气象风云人

1999年初，以曾庆存院士为首的项目攻关组开始进行“沙尘暴监测、预报和预警综合系统及其应用”研究，充分发挥多学科联合攻关的优势，通过8年多的潜心研究和技术开发，建成了沙尘暴监测、预报和预警综合系统。他们在年复一年的科研工作中，废寝忘食、殚精竭虑，为这一造福于民的项目奉献出了自己的血汗和智慧。

项目首席科学家曾庆存院士是我国著名的气象学家，1956年毕业于北京大学物理系，1961年在苏联科学院应用

地球物理研究所获数理学副博士学位。历任中科院大气物理研究所研究员、所长，大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室主任，世界气候研究计划中国委员会主席，中国气象学会理事长，中国科协副主席，八五期间国家基础性研究重大关键项目——气候动力学和气候预测理论研究的首席科学家。60年代初他最早提出原始方程求解方法，首创了半隐式差分方法，后又构造了隐式带灵活参数的完全能量守恒格式；系统研究大气运动的地转适应过程和演变过程，证明了这两种运动阶段的可分性；建立了球面大气旋转适应过程的理论；发展了波包动力学理论，该理论和他另一项关于连续谱的理论深刻说明扰动和基流相互作用的机理。系统地研究了计算地球流体力学中稳定计算格式的构造问题，在大气、海洋、环境科学中得到广泛应用；他在卫星气象、大气遥感、气候动力学和预测理论研究中也很有贡献。他是我国最早研究卫星气象者之一，发展了大气遥感理论，提出了“最佳信息层”概念和可靠的通道的选择方法等。在他的领导和亲自参与下，建成了我国第一个动力学短期气候预测系统，在世界上第一个作出跨季度降水预测，现在我国作准业务使用。他对灾害性天气及预告也倾注了很大的精力，如本沙尘暴项目、酷暑热浪天气等。

项目负责人董超华研究员是卫星气象专家，她见证和参与了我国卫星气象事业从创建、发展到壮大的各个发展阶段。

曾主持完成多项重点科研课题，例如：“区域卫星大气探测资料处理软件系统”、863“高光谱和微波遥感监测农作物水分研究”、973“卫星云参数观测和遥感反演”、“高光谱红外大气探测仪器技术指标研究”和“卫星遥感反演理论和方法研究”等。在国内外高级刊物上发表科技论文40余篇，多篇被SCI收录，合作著、编科技专著4部。她现任我国风云三号极地轨道气象卫星地面系统工程总设计师。1992年她获国家“中青年有突出贡献专家”奖，享受政府特殊津贴。■

