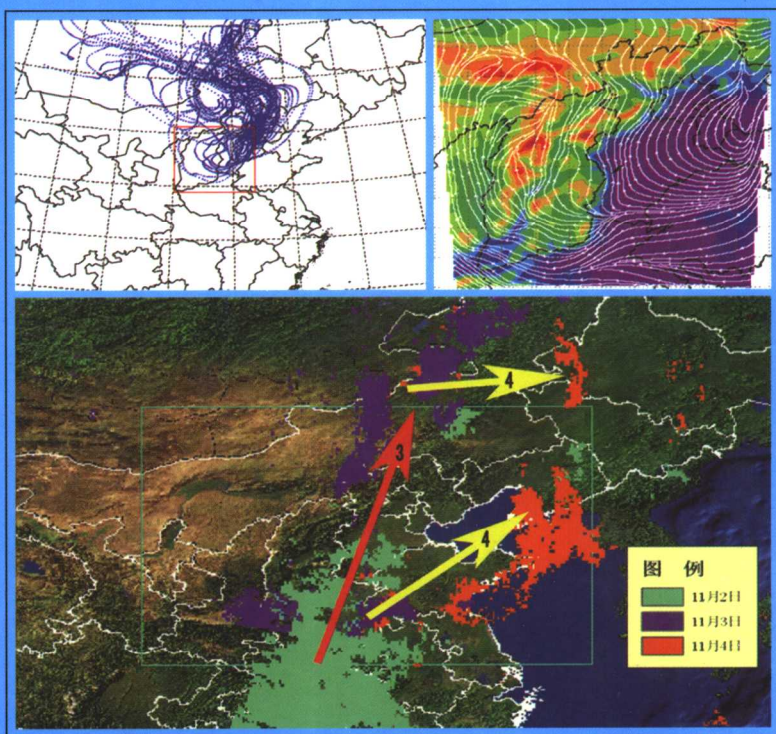


大气污染跨区影响研究

——山西大气污染影响北京的案例分析

牛仁亮 任阵海 等·著



科学出版社
www.sciencepress.com

X510.822.5
N-683

大气污染跨区影响研究

——山西大气污染影响北京的案例分析

牛仁亮 任阵海 等·著

科学出版社
北京

REZ 11

内 容 简 介

人类和生物赖以生存的近地层空气质量好坏,直接影响着人群的身体健康和生活质量。全球性大气污染引发跨区域、跨国界的环境纠纷,已成为国际社会日益关注的焦点。中国也同样存在区域性大气污染问题。

本书是山西省发展和改革委员会资助的“山西省大气污染物中距离输送对北京影响”专项研究的成果总结。全书分为背景篇、方法篇、影响篇和对策篇,共18章,旨在解决经济与环境的协调发展问题,揭示大气污染的跨区域影响,将多种大气环境监测技术和区域大气污染数值模式系统进行有机地结合,定量地研究了山西大气污染对周边地区特别是对北京大气环境质量的影响,提出了区域协同控制对策。

本书可供从事区域规划、环境保护、气象科学研究和教育等方面的宏观决策者、科研人员及高校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

大气污染跨区影响研究:山西大气污染影响北京的案例分析/牛仁亮,任阵海等著. —北京:科学出版社,2006

ISBN 7-03-018033-X

I. 大… II. ①牛…②任… III. 空气污染—环境影响—研究—华北地区 IV. X510.822

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第107600号

责任编辑:李 敏/责任校对:张 琪

责任印制:钱玉芬/封面设计:高海英

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006年10月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2006年10月第一次印刷 印张:17 3/4 插页:8

印数:1—2 500 字数:330 000

定价:100.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈科印〉)

《大气污染跨区影响研究 ——山西大气污染影响北京的案例分析》

研究和写作组成员

主 笔 牛仁亮 任阵海

主要成员 (以姓氏笔画为序)

王树静	牛仁亮	令政策	任阵海
李宝卿	李凌昇	张世英	赵 义
胡永祥	侯殿龙	高庆先	程水源
魏 巍			

其他成员 (以姓氏笔画为序)

丁超美	卫菊红	卫丽萍	马世军
王文春	王会文	王振华	王晓娥
王 萍	王 雁	王景龙	卢士庆
卢淑贤	田 琳	田艳宏	付关正
冯新宇	吕步云	朱凌云	刘大山
刘秀春	刘占贞	刘宏武	刘建晖
刘晓梅	闫世明	杜吴鹏	杨 炯
杨爱琴	李文斌	李吉生	李金环
李明明	李 霆	苏福庆	张文晓

芬德民国红伟昌军亭盛虹宇英
秀怀志晋寿建怀永若照巧
张陆陈周孟郝胡袁康盛韩薛

元煌章升颀民霞温进萍生普兰
补时荣东利海良幕富玉
张张陈罗郑赵胡袁郭梁韩薛

年荣会平婕萍峰智君喜明宇霆记
西秀保二婕春勇君玉丽向宇霆宗
张张陈武周赵郝郝郭梁韩雷魏

健明根平凤静应文明峰娜巨源敏
仁志明树新同智再建娜水
张张陆陈周赵郝段高康鲁程薛

序 一

《国务院关于落实科学发展观加强环境保护的决定》指出，要“努力让人民群众喝上干净的水、呼吸清洁的空气、吃上放心的食物，在良好的环境中生活”。这是构建以人为本和谐社会的重要内容，也是环保工作者义不容辞的责任。第六次全国环保大会强调，关键是加快实现“三个转变”，并明确将污染防治作为环保工作的重中之重。

大气污染防治是整个污染防治的重要内容。近年来，由于粗放型经济增长方式没有发生根本转变，随着能源、原材料工业等的快速发展，我国大气污染物排放总量居高不下，城市空气污染区域性影响趋势加重，有毒有害废气污染治理相对滞后，工业布局与环境容量不匹配矛盾日益突出，大气污染已严重危害到人民群众的身体健康，成为各地投诉的热点之一，影响了经济发展和社会稳定。加快改善大气环境质量显得十分重要和紧迫。

环境是各种要素相互联系、相互依存、相互制约的系统，是一个不可分割的整体，环境问题的解决需要统筹谋划，全面、系统地进行。由于各区域之间、城乡之间经济社会发展不平衡，环境保护的发展水平也不一样，存在于某些地方的局部环境问题，其影响往往是全局性的。例如，西部地区的生态持续恶化，受影响的不仅是西部地区本身，还会波及东部乃至全国；上游地区的企业排污不达标，就很可能污染下游地区；农村地区的环境恶化，使得城市也常难“独善其身”。因此，环保工作一定要树立全国一盘棋的思想，大力加强区域之间、城乡之间的协调配合，统筹兼顾，综合治理，全面推动污染防治和生态保护。

牛仁亮和任阵海等同志所著的《大气污染跨区影响研究——山西大气污染影

大气污染跨区影响研究

——山西大气污染影响北京的案例分析

响北京的案例分析》正是站在全局的高度，以宽广的视野、新颖的路线、科学的方法，在区域大气污染影响方面做了一些有益的探索和尝试。相信该书的出版将对指导区域大气污染防治工作起到积极的借鉴和推动作用。

周增

2006年8月

序

序 二

从1972年斯德哥尔摩人类环境会议之后，随着全球经济的快速增长，环境容量这一公共资源日趋稀缺。严峻的环境状况制约着经济社会的可持续发展，成为全世界日益关注的热点与焦点。

作为我国的能源生产和消耗大省，山西省每年外输煤炭占全国省际净调出量的3/4以上，外送电量为各省市区最多，为全国经济发展提供了强大的能源支撑，作出了历史性贡献。但在能源生产和消耗过程中产生大量的颗粒物、二氧化硫等污染物，炼焦排放大量的苯并芘，使得山西省环境污染与生态破坏问题十分突出，成为全国污染最为严重的省份之一。不仅如此，山西省的大气污染在特殊的地理环境条件下和一定的大气环流背景下，通过中远距离输送会影响到北京地区。也就是说，山西省作为全国重要的能源基地为北京等地提供煤炭、电力等能源支撑的同时，也对这些地区的大气环境造成了相当大的影响。山西省大气环境污染已经成为一个区域性环境问题。

鉴于2008年首都北京将举办奥运会，此期间北京大气环境质量的好坏关系重大，研究如何降低山西省大气污染对北京的影响显得非常紧迫和重要。牛仁亮、任阵海等同志所著《大气污染跨区影响研究——山西大气污染影响北京的案例分析》针对这一问题进行了有益的探讨。

纵观全书，除了上面谈到的具有非常强的现实意义之外，它还具有了以下几个鲜明特点：

一是前瞻性。20世纪80年代，美国、欧洲等发达国家和地区从理论层面对跨边界（国界、洲界）的区域性大气污染输送进行了研究，开发出跨国界大范

大气污染跨区影响研究

——山西大气污染影响北京的案例分析

围空气污染信息和模拟系统 (RAINS)、国家酸雨沉降评价计划 (NAPAP)、沉降模式 (RADM) 等。在这些理论的指导下,上述发达国家在制定本国污染源防治对策的同时,广泛地开展了国际间缔约行动,实施了相应的大气污染协同控制措施,取得了良好效果。但我国这方面的研究尚属空白。该书充分吸收国外的研究成果,研究山西与北京区域大气污染,是中国第一部研究区域之间污染影响的著作。

二是科学性。该书运用了当代世界最领先的技术方法,将多种监测技术和创新的区域环境污染特征数值模式系统进行了有机结合,定量地研究山西省大气污染对该省及周边地区大气环境质量的影响。首创性地采用卫星遥感、激光雷达探测、大气颗粒物源解析等技术手段对山西省大气污染进行了立体综合监测,筛选出适合山西省区复杂地形的高分辨率大气模式 (ARPS),模拟研究了山西—北京的大气环境背景场,提出山西省大气污染物影响北京空气质量的四条输送通道,选择国际领先的第三代空气质量模式系统 (Models-3),给出山西省大气污染物对北京影响的定量数值计算结果。

三是实践性。该书在综合分析研究的基础上,提出了山西省大气污染控制目标,分为长期控制目标、近期控制目标和北京奥运期间控制目标;考虑到山西省经济社会发展、能源生产和消耗的实际情况,制定了大气污染物削减方案,包括削减总量、行业与区域削减目标;为实现这些目标,提出了一系列操作性较强的措施建议。与此同时,提出了为确保北京 2008 年奥运会的成功举办,考虑大气污染是个区域性问题的,制定北京市大气污染物控制对策时应统筹考虑周边地区对其影响,并建议北京制定大气污染总体控制方案时应充分考虑山西省大气污染物的排放和治理,开展协同治理。书中针对目前简单地以行政区划为单位治理污染的固有传统模式的弊端,建议国家有关部门从政策层面加以创新。这些建议有着很强的针对性,对制定科学合理的区域协同治理污染对策具有很好的参考价值。



环境污染治理是一项长期、复杂的系统工程，一方面需要在理论上不断探索创新；另一方面更需要将一些已经取得的理论成果付诸实践，并作出坚持不懈的努力。尽管该书提出的一些政策建议还需在实践中不断完善、不断改进，但无疑将会推动山西省新型能源基地建设和首都北京污染治理。这在举国上下贯彻落实科学发展观的今天，是非常必要的。作为一名曾经长期工作在环境保护战线的老人，我非常高兴看到这样一本书，并十分愿意向读者推荐这本书。

是为序。

2006年8月



导 言

人类赖以生存的近地层空气质量好坏，直接影响着人们的身体健康和生活质量。有害物质进入大气后，会对人类产生危害，这种危害称为“大气污染”。它具有局地性与区域性特征。全球性大气污染引发跨区域、跨国界的环境纠纷，已成为国际社会日益关注的焦点。

北极圈内大面积检测到酸雨（酸雪），这是欧洲工业区排放的大气酸性物质随高空气流远距离输送造成的跨区域环境影响。酸雨引起的“美加争端”长期以来一直是美国与加拿大外交关系的焦点之一。20世纪80年代，美国、欧洲均开展了跨边界（国界、洲界）的区域性大气污染输送研究，开发出跨国界大范围空气污染信息和模拟系统、国家酸雨沉降评价计划沉降模式等。美国与加拿大之间在影响评价大气模式、政策的制定与实施、发生源、经费、技术评价、法律、制度等方面达成治理酸雨的合作意向，欧洲各国在制定国内污染源防治对策的同时，也广泛开展国际缔约行动，实施了相应的大气污染协同控制措施。

中国同样存在区域性大气污染问题。为迎接建国50年庆典，北京市政府1999年曾投入大量的人力、物力和资金，采取了严格的大气污染控制措施（包括使用洁净煤、取缔无组织面源污染、控制汽车尾气排放、限制大中型工业企业排污等），但国庆期间北京大气仍出现中度污染和重度污染情况，空气质量未得到根本改善。其实，这是在特殊气象背景条件下外来大气污染物输送引发的区域污染现象。显然，由于城市大气环境问题不仅是一个局地问题，还是一个区域性問題，要改善某个城市大气环境质量仅仅依靠其自身的努力是难以实现的，必须考虑区域间的输送和影响。但是我国大气污染治理的现状是以各省、区、市为单元的局地控制，未考虑省际大气污染物传输与迁移转化特征，这种本位的、局部

大气污染跨区影响研究

——山西大气污染影响北京的案例分析

的防治思路往往事倍功半，达不到预期效果。大气污染控制不能仅局限于单独的行政区，而应以更宽的视野、在更大的范围内揭示污染成因，制定科学合理的协同控制对策和治理方案，采取区域协同控制战略。

2008年北京将举办第29届夏季奥运会，其大气环境质量的好坏，直接关系到北京奥运会能否成功举办。北京市政府为了减少大气环境污染，采取了种种措施。最近5年的环境监测资料表明，北京空气中 PM_{10} 的浓度有所下降，但近5年的八九月间，也就是将召开奥运会和残疾人奥运会的时间段，空气中 PM_{10} 浓度分别为 $110 \sim 140 \mu\text{g}/\text{m}^3$ （8月）和 $120 \sim 150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ （9月），空气质量仍远低于国外发达城市和已经开过奥运会的城市。

邻近北京市的山西省作为我国能源、冶金、煤化工产业基地，为全国的经济发展提供了大量的原煤、焦炭和电力等战略能源，在整个国民经济持续稳定发展中作出了重要贡献。但由于产业结构不合理、环保基础设施落后以及不利的地形和气象条件，随着煤炭、炼焦、火电、钢铁、化工、建材等高污染、高耗能行业的快速增长，山西省生态破坏和环境污染问题非常突出，环境质量严重恶化。山西省环境监测中心站1986~2005年度《山西省环境质量报告书》显示，多年来山西省主要城市的TSP、 SO_2 浓度年均日均值均超过国家环境空气质量标准中的二级标准限值，颗粒物和 SO_2 单位面积承载的污染负荷高出全国平均水平上百个百分点。

山西省和北京市同处于西风带，两地相距约500km。山西位于北京的上风方，其地势比北京高700~800m。山西省产生的大气污染物通过中远距离输送影响着周边地区。根据2000年和2004年探测资料的普查结果，山西每年西南风发生频率占全年天数的45%，达到165天，月频率是13.8天。在奥运会和残疾人奥运会期间的八九月，西南风发生频率分别为10.5天和12.3天，相对处于西风带下风向的北京无疑将受到山西大气污染物的影响。北京将在2008年举办第29届夏季奥运会，其空气质量能否满足绿色奥运的要求、山西排放的大气污染物对

北京的空气质量是否有影响及程度有多大、影响途径和气象条件是什么等，促使我们萌发了开展大气污染跨区域影响研究的想法。为揭示山西主要大气污染物对北京的贡献率（特别是奥运期间），并有针对性地提出区域大气污染协同防治对策，我约同中国工程院任阵海院士，于2003年冬组织有关方面专家开展了“山西省大气污染物中距离输送对北京的影响”专项课题研究。

研究总体思路是：指出山西省大气污染物对北京大气环境质量影响的输送通道，在通过卫星、激光及地面观测对山西省大气环境进行立体综合监测分析的基础上，研究、筛选适用于山西省区域性复杂地形（包括盆地）大气环境规律的高分辨率大气扩散模式，采用大规模并行计算技术，建立山西中远距离污染物输送的数值模拟系统，给出山西省污染物对北京环境影响的定量数值计算结果。基于本课题的分析研究成果，实施山西省在2008年“北京奥运”期间大气污染控制应急方案，将山西省纳入“北京市大气污染总体控制方案”，可以减轻山西省局部地区大气污染物排放对北京2008年奥运会期间大气环境的影响。

课题研究内容包括：山西省近地面大气污染分析；山西省大气污染源强测算；激光雷达垂直探测研究；大气颗粒物的化学特性分析；山西地区气溶胶源及污染物输送的卫星遥感分析；污染物输送的模式计算；区域协同控制战略等。

课题首创性地采用卫星遥感、激光雷达探测和大气颗粒物源解析等技术手段对山西省大气污染进行了立体综合监测，筛选出了适合山西省区域性复杂地形的高分辨率大气扩散模式（ARPS），模拟研究了山西—北京的大气环境背景场，指出山西省大气污染物影响北京空气质量的四条输送通道；选择国际领先的第三代空气质量模式系统（Models-3），给出了山西省大气污染物对北京影响的定量数值计算结果。

课题研究结果表明，山西省的大气污染在相当大程度上对北京市造成影响。在山西省对北京市大气污染影响较为严重的时段，山西污染物对北京大气中 PM_{10} 浓度的贡献率最大为53%， SO_2 浓度的贡献率最大为55%；2002~2004年8

大气污染跨区影响研究

——山西大气污染影响北京的案例分析

月份北京总共有接近 1/3 的天数受山西大气污染影响，山西大气污染物对北京大气中 SO_2 浓度的平均贡献率为 12%， PM_{10} 浓度的平均贡献率为 18%。在一定的天气条件下，仅山西的大气污染对北京市 PM_{10} 浓度的跨区域贡献就可超过 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 这一绿色奥运承诺指标。由此可见，北京市在针对奥运会提出的大气污染防治方案中，必须考虑山西的污染影响，开展区域间互相影响研究，进行协同治理。站在以人为本、构建和谐社会的科学发展观高度来看，北京和山西的污染治理不仅应针对奥运期间的几十天，更应从全面改善该区域空气质量方面进行通盘考虑。鉴于大气污染区域间影响是一个常年存在的现象，研究制定并全面实施“北京—山西治污一体化”方案，不仅将减轻山西省大气污染对北京 2008 年奥运期间空气质量的影响，也将长期缓解北京未来建设为现代化国际大都市的环境压力，更会提高该区域人民群众的生存环境质量。

2005 年 8 月，山西省政府组织了对本课题研究成果的评审。该成果得到了陶诗言院士、陈述彭院士、王文兴院士、徐寿波院士和刘昌明院士等国内知名专家组成的评审委员会的高度评价。评审委员会认为：课题着力于解决经济与环境的协调发展问题，将多种监测技术和区域环境污染特征数值模式系统进行了有机结合，定量地研究了山西大气污染对本省及周边地区大气环境质量的影响；课题组依据严格的调查、分析程序，给出山西地区高分辨率污染源清单，为山西省及有关部门的对策研究及实施提供了可靠的依据；课题提出的协同控制对策，具有高度务实性、科学性和可操作性；课题取得的主要成果不仅为山西省治理大气污染提供了决策依据，同时也为长期改善北京大气环境质量、确保成功举办 2008 年奥运会提供了科学方法；课题研究技术手段先进、结论合理可信，达到国际先进水平。

课题研究成果也受到了国家发展和改革委员会、国家环境保护总局、北京市科学技术委员会、北京市环境保护局等部门以及北京市政府的高度重视。

在课题研究过程中，认识到区域大气污染协同治理的重要性，我们又组织开

展了区域大气污染协同控制战略研究。在课题研究的基础上，广泛收集了国内外最新的研究成果与技术资料，通过文献分析和进一步研究，完成了本书。全书分为背景篇、方法篇、影响篇和对策篇，共4篇18章。

背景篇包括第1~5章。简要介绍了大气污染及其相关的基本知识，提出了跨区域大气污染的问题，回顾了山西省及其周边地区空气质量现状，并对其演变趋势进行了分析。在认真调查的基础上，重点对山西大气污染源的构成和特征进行了详细的分析，给出了山西及周边地区大气污染源清单。最后对山西大气污染的成因从社会经济、技术水平、产业结构、法律法规和管理机制等方面进行了探讨。

方法篇由第6~10章组成。通篇系统介绍了国际先进的地基激光雷达和空基卫星遥感系统及其观测方法、各类大气污染源排放的测算方法、污染物化学分析装置和最新的大气污染扩散输送数值模拟系统。

影响篇包括第11~15章。第11章在分析山西省109个气象台站近30年整编资料的基础上，揭示了山西省盛行风分布的气候特征、边界层气象特征、边界层污染物输送特征、山西高原及其周边地区各类尺度的大气污染物输送和汇聚特征，摸清了山西复杂地形条件下大气污染物影响北京的四条输送通道；第12章利用激光雷达技术对山西典型地区典型时段大气污染物的垂直结构进行了探测，揭示出大气污染物的垂直分布特征；第13章通过收集和分析美国国家航空航天局(NASA)MODIS遥感影像资料，对山西及华北地区范围内大气光学厚度、整层大气柱气溶胶质量浓度、气溶胶类型进行了反演，利用卫星遥感技术结合地面气象观测分析，明确提出山西大气污染物在一定的天气背景下会对北京产生影响；第14章建立高质量的区域环境污染数值模式系统，综合考虑了污染物的平流、扩散、干沉降、湿沉降以及各污染物之间的化学反应和二次转化过程，模拟结果与地面监测资料和激光雷达垂直观测资料进行对比验证，设计了多种情景进行模拟，定量分析了典型天气过程和各季节(1、4、7、8、9、10月)山西大气污染对北京的影响；第15章在太原和大同两地选择典型时段进行颗粒物源解析，通

大气污染跨区影响研究

——山西大气污染影响北京的案例分析

通过分析两地区大气污染物的化学组成、计算两地区富集因子，揭示了污染物中主要化学成分的来源，并与北京源解析结果进行了对比分析。

对策篇包括第 16 ~ 18 章。在介绍发达国家有关区域大气污染防治经验的基础上，针对山西大气污染的成因，提出建立“政府主导、市场推进、法律规范、政策扶持、科技支撑、公众参与”的运行机制，落实节能降耗、减污增效和末位淘汰的区域循环经济政策，以实现山西主要大气污染物总量控制目标，并从技术、经济和管理方面提出了大气污染防治对策与保障措施。基于区域协同控制战略，提出了改善山西及北京大气环境质量的预警机制和应急预案的基本架构。

本书内容和整体安排主要来源于“山西省大气污染物中距离输送对北京影响”研究课题。在此对参与课题研究的中国环境科学研究院、山西省气象科学研究所、山西省环境信息中心、山西省环境监测中心站、北京工业大学、中国科学院大气物理研究所等单位及所有参与研究的人员表示衷心感谢，同时对在课题研究和书稿撰写过程中提供支持和帮助的山西省政府办公厅、山西省发展和改革委员会、山西省环境保护局、山西省气象局表示感谢。

值本书出版之际，特别感谢国家环保总局周生贤局长和我国资深环保专家曲格平先生在百忙之中为本书作序。

大气污染跨区域影响问题属大气环境科学前沿领域，协同控制机制也还处于探索阶段。需要指出的是，由于本书研究内容广泛，涉及多个学科领域，资料来源和统计口径有所不同（基础数据均来源于国家和山西省的统计年鉴及环境质量公报），基础研究工作也较薄弱，可借鉴参考的资料十分有限，书中错误之处在所难免，敬请各位读者批评指正。

2006 年 7 月

目 录

序一

序二

导言

背 景 篇

第1章 绪论	3
1.1 大气污染	3
1.2 大气边界层	4
1.3 大气污染物扩散	6
1.4 大气气溶胶特征	9
1.5 大气污染跨区域影响	12
第2章 研究区域概况	20
2.1 自然环境	20
2.2 社会环境	22
2.3 能源结构	24
第3章 山西大气环境质量现状及演变	28
3.1 山西大气环境质量现状	28
3.2 山西大气环境质量演变	32
3.3 山西主要城市大气环境质量在全国排位	34
第4章 山西大气污染源状况	35
4.1 大气污染源分类	35