

doi: 10.3969/j.issn.1000-7695.2016.12.045

# 我国雾霾污染的防治建议

——基于伦敦地区治理成效的历史考察

董 锋<sup>1</sup>, 李卓霖<sup>2</sup>, 代远菊<sup>1</sup>

(1. 中国矿业大学管理学院, 江苏徐州 221116;

2. 江苏省工商业联合会 江苏南京 210024)

**摘要:** 通过考察伦敦半世纪的“治雾”历程和成效, 结合其他国家的先进经验, 从政府、企业和民众的角度提出我国防治雾霾的对策建议。

**关键词:** 雾霾; 伦敦; 防治建议

**中图分类号:** F124

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-7695(2016)12-0245-05

## Suggestions of Preventing Haze Pollution in China: A Historical Survey from the London Experience

DONG Feng<sup>1</sup>, LI Zhuolin<sup>2</sup>, DAI Yuanju<sup>1</sup>

(1. Management School, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China;

2. Jiangsu Federation of industry and Commerce, Nanjing 210024, China)

**Abstract:** Based on the analysis on the half century of London city governing haze process and results, and combined with the advanced air pollution control experience and lessons from other countries, this paper made the suggestion that governing the haze weather should be built from the perspective of government, enterprises and human: The government perfects the legislation, adopts constraint and incentive control measures and pays more attention to unite treating of the region. Enterprises promote clearer production and develop circular economy of transformation and upgrading to fulfill public duties. Individuals need to improve environmental consciousness and live a low carbon life.

**Key words:** fog and haze; London; suggestion

2013—2014年,我国从东北到西北,从华北经中原和华东,直至云贵高原,近1/3的国土笼罩在雾霾之下,污染面积达到130万km<sup>2</sup>;74个重点监测城市中有33个空气质量指数大于300以上,指数级别6级,属于严重污染;多个省份平均能见度不足1000m,局部地区不足200m;污染高峰期,全国可吸入颗粒物浓度均值超过了500μg/m<sup>3</sup>(微克/立方米),北京地区PM<sub>2.5</sub>一度达到993μg/m<sup>3</sup>。这场雾霾污染影响范围之广、持续时间之长、浓度水平之高史上罕见,这使得雾霾对能见度、身体健康、大气环境的影响再次成为人们关注的焦点。从历史角度看,雾霾等大气污染是伴随着人类社会工业化的进程而产生的,随着大气环境事件的频发,有关雾霾问题的学术研究不断增多,目前国内外学者在雾霾预报研究、特征分析、引起能见度下降的机理、雾霾成因及治理措施等方面取得了一定进展,一些

国家政府在防控雾霾方面制定了国家标准。

一般看来,雾和霾较难区分,根据《地面气象观测规范》描述:雾是微小水滴或吸湿性质粒雾幕浮游空中,使水平能见度小于1km的现象;霾是大量极细微的干尘粒等均匀地浮游空中,使水平能见度小于10km的空气普遍浑浊现象。1999年Ramanathan et al.在亚洲南上空发现尘霾,命名为亚洲棕色云,我国称为霾天气<sup>[1]</sup>。目前根据相对湿度(RH)来判断轻雾和霾成为国内外大部分研究的共识,但界定二者的相对湿度存在分歧,Doyle et al.研究英国能见度的变化趋势时,去除了RH大于90%的资料<sup>[2]</sup>;吴兑提出了日常观测和预报时识别二者的概念模型<sup>[3]</sup>。目前,雾霾的研究中涉及化学成分分析<sup>[4]</sup>、光学特征分析<sup>[5-6]</sup>、气象条件影响、预报研究<sup>[7]</sup>等多方面。对雾霾天气进行特征分析时一般采用统计和数值模拟的分析方法,在统计分析

收稿日期:2015-09-17,修回日期:2015-11-19

基金项目:国家自然科学基金面上项目“2030年碳排放达峰目标视域下的我国区域碳市场模拟研究”(71573254);江苏省“青蓝工程”中青年学术带头人人才项目

方法应用方面, Schichtel et al. 利用美国 298 个气象观测站的资料分析了 1980—1995 年霾的变化趋势<sup>[8]</sup>, 范新强等利用 PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 等的环境监测数据分析了厦门地区 1953—2008 年的霾变化趋势<sup>[9]</sup>, 赵普生等利用实测的气象要素和天气气象资料分析了京津冀区域 1980—2008 年霾的天气特征<sup>[10]</sup>; 在数值模拟方法应用方面, 刘红年等建立了城市霾的数值预报模式<sup>[11]</sup>, 胡荣章等利用霾与能见度的关系模拟了南京能见度分布及霾天气<sup>[12]</sup>, 陈训来等模拟分析离岸型背景风和海陆风对珠三角地区霾天气的影响<sup>[13]</sup>。此外, 雾霾天气的颗粒物浓度也是研究的重要方面<sup>[14]</sup>, Shooter et al. 通过分析奥克兰冬季 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>2.5-10</sub>、PM<sub>10</sub> 的数据得出容易形成霾的主要原因是静风和机动车尾气等<sup>[15]</sup>。

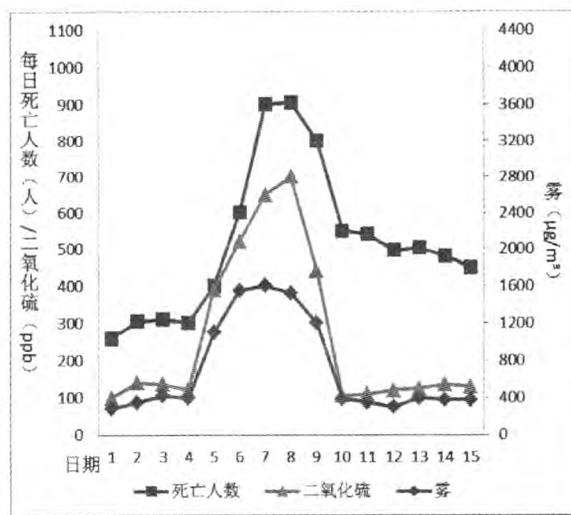
目前我国对雾霾天气的研究还处于起步阶段, 主要集中在长三角、珠三角和京津冀三个城市群区, 但这类研究多是从观测方法、变化特征、能见度影响等大气科学的角度进行探讨, 对于参照其他国家和地区的成功经验, 系统提出防控雾霾的对策建议等方面的研究仍较为缺乏。因此, 本文结合当下的热点问题, 通过探讨英国伦敦雾霾的治理成效与方法, 并参考全球其他国家和地区的成功经验, 提出我国雾霾污染治理的政策建议和实施路径, 为政府防控雾霾提供决策参考和理论依据, 控制或减少雾霾天气所带来的健康与环境的负面影响。

## 1 “雾都”伦敦的雾霾治理及成效

近百年来, 作为“雾都”, 伦敦治理大气污染、建设生态城市有着清晰的足迹, 治理雾霾成效显著。20 世纪 50 年代首先针对烟雾型污染进行分析治理, 80 年代以后针对汽车尾气进行治理, 进入 21 世纪着重对可吸入悬浮颗粒及二氧化氮进行治理, 从立法到制定空气质量策略, 伦敦的治雾目标和治雾步骤清晰明确, 值得我们学习与参考。下面, 本文将详细介绍伦敦治理雾霾的经验与成效。

19 世纪, 伦敦雾就闻名遐迩, 在 1881—1885 年间的 12 月—1 月, 伦敦市中心日照时间不足牛津、剑桥、莫尔伯勒和盖尔得斯通等四个小乡镇的六分之一<sup>[16]</sup>。这种混黄的雾持续了一个多世纪, 成为伦敦标志之一, 在此过程中伦敦发生过多次大规模的烟雾事件, 其中最严重、对健康危害最大的一次在 1952 年 12 月份, 受自然雾气、居民取暖燃煤与工业燃煤排放等多重因素的影响, 大量杂质释放到大气中, 形成一层深 100—200m 的浓雾, 最严重地区有近 48 小时能见度低于 10m。据当时估算, 在浓雾持续的 5 日中, 每一天向大气中排放的污染物烟雾粒子近 1000t、二氧化碳 2000t、盐酸化合物 140t、氟 14t, 还有可以转化为 800t 硫酸的 370t 二氧化硫, 每立方米大气中的二氧化硫达 3800 $\mu\text{g}$ 、烟尘达 4500 $\mu\text{g}$ , PM<sub>10</sub> 最高值达 14000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 是平时的 10 倍, 空气相对湿度 80% 左右<sup>[17]</sup>。图 1 反映了 1952

年 12 月伦敦冬季烟雾灾难所造成的巨大伤害, 伦敦烟雾事件从 12 月 5 日持续到 12 月 9 日左右, 可以看出在 12 月 5 日开始随着空气中雾污染物和二氧化硫浓度的急速上升, 每日死亡人数出现较大幅度的同步增长趋势, 由原来的 300 人/日暴增至 900 人/日, 12 月 8 日随着雾霾的渐渐扩散、烟雾和二氧化硫浓度逐渐变低, 死亡人数也随之出现较大的下降幅度, 直至 12 月 10 日才恢复较低水平。据统计, 此次大烟雾灾难导致近 1.2 万人死亡, 震惊世界。



数据来源: 根据 www. wikipedia. org (维基百科) 整理而得。

图 1 1952 年 12 月伦敦雾霾所造成的死亡

这场事件使英国人开始反思空气污染造成的苦果, 由此催生了 1956 年世界上第一部大气污染防治法案《清洁空气法》的出台, 开始采取将重工业企业迁往郊区、改造居民燃煤炉灶、设立禁止使用能产生烟雾燃料的无烟区等措施, 从工业生产和居民生活的各个方面抑制和减少雾霾排放; 1968 年, 颁布了一项清洁空气法案, 规定企业要建造高大的烟囱; 1974 年, 出台《空气污染控制法案》, 规定了工业燃料的含硫上限; 随后伦敦政府又出台了诸如《工作场所健康和安全性法》等法规, 严厉处罚将有害气体排入大气的污染企业。经过整治, 伦敦雾霾污染有明显的转好趋势, 平均每年雾日数下降明显: 19 世纪末为 90 日左右, 20 世纪 50 年代末超过 50 日, 1975 年降至 15 日, 1980 年仅为 5 日。

20 世纪 80 年代, 英国汽车工业快速发展, 汽车尾气排放的烟尘微粒成为雾霾天气的主要污染源之一, 各种新污染物如汽车排放的“光化学烟雾”、氮氧化物等也相继出现, 伦敦采取更多的措施积极应对。一是应对汽车尾气排放的“光化学烟雾”等新污染物, 1993 年伦敦政府强制汽车加装催化剂; 1995 年通过《环境法》, 确定污染物控制的指标; 1997 年制定国家空气污染战略, 多部门配合减少排放, 要求空气质量不达标的城市划出质量管理区域进行重点治理; 进入 21 世纪, 伦敦发布了《空气质

量战略草案》，旨在减少交通流量，包括推广清洁能源汽车、减少可吸入颗粒物和氮氧化物的含量等内容。二是设立一个几乎覆盖全城的低碳排放区，对进城车辆征收费用，2003年2月起，开始征收车辆进城费，使得进入伦敦的车辆每天减少近7万辆；2007年，伦敦还公布了更为严厉的“交通2025方案”，计划在20年内将伦敦的私车流量减少9%。三是控制悬浮颗粒，2010年伦敦正式将可吸入悬浮微粒列入全国立法之中，表1为英国可吸入颗粒物的污染指标；2006年制定《关于控制建筑工地扬尘及污染气体排放的指导》，意图有效控制大伦敦地区的交通和施工扬尘；此外，伦敦还将先进科技应用到悬浮颗粒除尘中，研究使用抑制灰尘机来消除道路灰尘，预计在街道使用钙基粘合剂除尘可减少10%—20%的悬浮颗粒PM10，2012年春，伦敦投资90万英镑喷洒这种类似胶水的粘合剂，监测结果称，使用这种除尘方式区域的微粒已下降了14%<sup>[18]</sup>。

表1 英国可吸入颗粒物污染指标（日均值）与对应污染浓度限值

指标级次	指数	微颗粒物	感知程度
低	1—3	<63	几乎感觉不到。
中	4—6	63—94	轻微污染。易感人群可能有感觉，基本上无影响。
高	7—9	95—127	污染较严重。易感人群感觉明显。部分哮喘病人、呼吸道感染病人可能会造成肺部污染。
很高	10	≥128	高程度污染。易感人群感觉加重。患病几率增大，严重可能造成死亡要采取措施降低或避免污染后果。

数据来源：www.londonair.org.uk（伦敦市空气质量平台）。

经过长达半个世纪的治理，伦敦基本实现了“云开雾散”，摘掉了“雾都”的帽子，今日的伦敦已成为一座绿色花园城市，城市面积的1/3都被花园、绿地和森林覆盖。图2反映了伦敦半世纪治雾的成果：从整体看，1950—2000年伦敦空气中的二氧化硫、雾污染物曲线呈现大幅度的下降趋势，雾



数据来源：AEA Technology Environment 2002。

图2 伦敦治理雾霾成果图

霾污染物浓度由半世纪前的每立方近300μg降低到几十μg，二氧化硫由每立方400μg降低到几十μg；从局部看，自1956年通过《清洁空气法》后，伦敦花费20余年的时间才使得空气中雾霾和二氧化硫的浓度呈现较为稳定的低水平，治雾之路经历了一个漫长的过程<sup>[19-20]</sup>。

表2显示了20世纪伦敦地区雾霾污染的主要指标PM10（颗粒物在空气动力学当量直径≤10μm）和年均雾日天数的变化：年平均PM10由19世纪末的300μg/m<sup>3</sup>增长到20世纪50年代的3000μg/m<sup>3</sup>（1952年12月高峰值达到14000μg/m<sup>3</sup>），经过半个世纪的治理，PM10均值低于30μg/m<sup>3</sup>；年均雾日数由19世纪末的3个月左右，降到20世纪50年代的50余天，经过治理，在1980年达到最少日数仅为5天，现在年均雾日数一般低于10天。当然，现在的伦敦与很多国际大都市一样，雾霾污染仍然存在，仍需继续进行监测防控，仍要历经漫长的治理过程。

表2 伦敦雾霾指标世纪变化一览表

时期	20世纪初	20世纪50年代	21世纪	极值
微颗粒物PM10 (μg/m <sup>3</sup> )	>300	3000	≤30	14000 (, 最高值 1952年12月)
年均雾日数(天)	≈90	≈50	<10	5 (最低天数, 1980年)

数据来源：根据www.wikipedia.org（维基百科）整理而得。

## 2 其他国家和地区治理雾霾先进经验简述

在工业化进程中，主要发达国家无一例外都受到过污染问题的困扰，大气污染事故频发，如美国“光化学烟雾”等，欧洲的德国、比利时、亚洲的日本、东南亚国家也都发生过类似较为严重的空气污染现象。通过阅读大量的文献资料，研究欧洲、美洲（美国）、亚洲（日本、东南亚国家）等较早采取措施治理雾霾国家的经验，可以看出各国防治雾霾主要有以下几种措施：一是立法提高监测标准，改善空气质量。国外治雾成功的国家，几乎都制定了空气清洁的法案或空气质量标准，并不断进行完善，如美国1955年国会就通过了《空气污染管制法》；日本1986年制定《大气污染防治法》；欧盟的德国、比利时等国也早已制定相关的空气质量标准，2005年欧盟对可吸入颗粒物（PM10）上限作出严格限制，规定空气中PM10年均浓度不得高于40μg/m<sup>3</sup>，日均浓度超过50μg/m<sup>3</sup>的天数不得超过35天。二是进行科学规划，严格执法。尤其是针对汽车尾气致霾这一问题，通过控制汽车尾气来抑制污染物的排放。如欧洲部分地区提高征收交通费、鼓励购买新能源汽车、推广公共交通和绿色交通；日本东京要求汽车加装过滤器（2003年），使用白毛巾测验汽车尾气排放，如毛巾变黑则禁止汽车进入市区等；菲律宾号召用手机检举排放超标车辆等。三是加大监控力度，公开监测信息。美国环保署专

门针对PM<sub>2.5</sub>含量的标准进行检测, 严密监控、实时公开, 环保署的官网及时更新测得的空气质量指数, 更新频率快至每小时一次; 英国的“London air”是伦敦政府的公开空气测量信息的官方网站, 民众可使用手机实时查看本地的大气状况。

### 3 防控雾霾的对策建议

结合伦敦半世纪的治雾历程和其他国家、地区的治雾经验, 结合雾霾现象的我国“特色”, 本文提出防控雾霾的相关政策建议。

#### 3.1 发挥政府主导性作用

随着社会工业化进程加快而产生的雾霾污染, 仅依靠企业和个人的自觉行为进行有效的防控是不够的, 也是不可能的, 应对持续不散的雾霾, 政府必须发挥主导作用, 完善立法、严格执法、加强监督和引导。

3.1.1 完善立法, 科学规划。目前, 雾霾污染的重灾区如北京、河北、江苏等地都采取了许多力度较大的防控措施, 如关停搬迁工厂、改造燃煤锅炉、启动应急预案、鼓励公交出行、提倡少放鞭炮等, 但成效微乎其微。究其原因, 传统粗放型的发展方式、以煤为主的传统能源结构、日益增多的机动车尾气排放, 以及区域间大气环流所造成的污染转移和二次污染, 使得个体区域难以独善其身。因此, 要从根本上减少大气污染物的产生, 完善立法、科学规划、建立长效机制成为有效治理污染的关键。一是整合和完善现有的大气污染防治法律, 尽快拟定类似美英等发达国家的《清洁空气法》, 包括主要管理制度、激励措施和法律责任等, 在制度上加强保障。要对大气污染排放监控、排污许可申请审批、机动车数量控制、尾气排放监控、有毒有害物质监控、信息发布公开等制度不断加以完善, 同时要明确和强化法律责任, 对违规违法排放污水、废气、废物等行为加大惩处力度, 彻底杜绝“守法成本高、违法成本低”的缺陷。二是开展科学研究, 强化规划指导, 完善相关标准。建议在进行科学、系统、深入研究后, 制定我国城市空气质量规划, 划出空气质量管理区域, 提出空气质量指标和在规定期限内城市建设的空气质量目标, 实施严格的大气污染物排放限值; 同时建立或提高相关空气环境标准, 当前我国《环境空气质量标准》中新增设的PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>的浓度值仅与国际最低标准接轨且2016年才开始执行, 在制定标准和执行时间上都与国际标准有一定差距; 又如我国较多地区使用的油品含硫量国三标准, 与欧盟国家使用的欧五标准相差15倍之多, 以上这些问题均反映我国应尽快建立或提高相关标准。

3.1.2 运用政策杠杆, 约束与激励并举。工业化进程和城市化进程的加快, 使得工业污染和交通污染成为当前我国发生雾霾现象的“罪魁祸首”, 这既与企业排放有害气体以及城市消费能源结构有关,

也与机动车用油质量和排气效率有关, 因此政府需要运用政策杠杆, 多手段、多举措开展雾霾防控工程。一是加快国家产业结构调整步伐, 推进产业结构和布局调整, 不断优化产业结构, 减少工业污染。对于污染大、耗能高的“三高”工业项目坚决不予审批, 从源头上把好关; 对于国家明确规定予以淘汰的相关产业要加大执法力度, 坚决予以关闭, 国家不鼓励或限制发展的产能, 要逐步予以淘汰; 对于使用煤炭、石油等传统能源的企业, 鼓励企业开展清洁生产、改用清洁能源, 给予一定的奖励引导; 通过优惠政策和奖励措施, 增加企业对传统能源进行二次回收利用, 提高使用风能、核能、太阳能等新能源的积极性。二是采用激励与约束并举的经济手段减少机动车排放污染。可以通过加快推进燃油品质与排放标准实施进度, 提升车用燃油清洁化水平; 采用机动车限行、控制车牌发放数量、提高停车费用等行政手段, 增加机动车尤其是私家车使用成本, 减少机动车辆的使用; 增加公交汽车、地铁、公共自行车等公共交通设施的建设, 给予电动汽车、新能源汽车购置优惠和补贴, 减少机动车的使用。通过这些政策的制定实施, 采用约束和激励并举的行政、经济调节手段, 全面提高雾霾天气的控制水平。

3.1.3 积极构建区域性的联防联控机制。尽管相关各省根据本省的实际制定了相关的雾霾治理目标, 但对于区域大气污染防治而言, 空气质量的改善不是各省目标进行简单相加就可以实现的, 相反, 区域间大气环流带来的污染转移产生的二次污染使得区域空气质量仍然难以改善。因此, 在防控雾霾天气时, 要充分考虑到区域联防联控的因素, 根据雾霾污染的区域状况, 积极构建区域性的联防联控形成统一的防治目标。美国在治理大气污染时采取区域环境管理框架方法, 打破州的界限, 依据地理和社会经济将全国划分成十个大的地理区域协调开展工作。参照美国经验在我国重点区域如京津冀、长三角、珠三角等“三区十群”开展区域性的治理活动, 各区域根据辖区内雾霾天气特征, 共同推动统一的目标, 制定统一的环境评价标准, 分享数据、联动治理, 防止污染转移和二次污染。

#### 3.2 企业和个人发挥积极性, 提高责任意识

防治雾霾、促进空气清洁是典型的涉及所有人的公共事务, 在政府发挥主导性作用的同时, 企业和个人更应意识到“同呼吸, 共责任”的事实, 自觉实现绿色低碳生产、生活方式转型。

3.2.1 企业履行公共义务, 转变发展方式。企业要提高责任意识、履行公共义务, 牺牲部分经济利益, 坚持循环经济、低碳经济的发展方向, 以能源资源高效利用为核心, 以产品单耗和污染物浓度控制为重点, 将节能环保与产业结构调整、技术进步、经营管理有机结合, 形成以“节约资源、保护环境”为重点的产业结构和生产方式。一是积极加快技术

改造和转型提升。加大技术改造和资金投入，引进国内外先进的生产技术、排放监控技术及清洁生产技术，从源头减少排放、消除污染；实施技术更新和转型提升，提高企业工艺技术和装备水平，开发新技术、新产品，积极向产业链下游和价值链高端延伸，构建绿色生态产业链，提高资源利用价值。二是积极发展循环经济和开展清洁生产。企业生产要积极从“工业链”向“生态链”转变，加大煤、石油等能源资源的梯级开发利用，在内部构建“三废”尤其是废气废水的多级小循环或大循环，形成多产品、多链条的梯次生态网状工业，努力将废弃物“变废为宝”；开展持续清洁生产，积极采用各种清洁技术对传统能源进行清洁化利用，对不得不排放的污染物进行脱硫、脱氮、除尘等无害化处理，不断提高可再生资源、天然气等清洁能源的利用比重，控制煤炭等传统能源的消耗总量，减少化石能源的大气排放<sup>[21]</sup>。

3.2.2 个人强化环保意识，转变生活方式。驱之难散的雾霾与个人生命健康息息相关，更是与个人的生活习惯密不可分，优美环境的塑造需要公众的共同参与，提高环保意识、积极配合社会、共同参与环境治理，人人行动起来自觉减排。一是自觉践行减少污染排放的文明行为。降低使用私家车出行频率，选择公共交通工具等绿色出行方式；减少或尽量不使用空调、冰箱等高耗能家电；少吃路边烧烤摊；农村居民减少或尽量不燃烧秸秆等，从细节入手、从点滴做起，自觉降低碳排放。二是积极充当环境问题监督员。积极参与空气清洁活动，监督企业、个人的排污行为及行政人员的履职情况，积极反映企业的违规排污、渣土车“跑冒滴漏”、建筑工地扬尘等污染环境的行为，人人承担一份社会责任，使污染排放违法行为无可乘之机。三是积极为治理雾霾工作建言献策。发挥主人翁精神，积极为政府、相关单位减少污染物排放建言献策，提出可行的合理化建议。

#### 4 结语

通过对伦敦半个世纪以来治理雾霾的措施及成效进行分析，可以看出伦敦治理雾霾采取的是立法规划与执法引导相结合的方式，且要经过长期的治理才能渐显成效。借鉴伦敦和其他一些国家的先进治霾经验，本文最终从政府和企业、个人的角度提出防控雾霾的对策建议，即政府不断完善立法，并要善于采用约束与激励并举的调节手段，同时要更加重视进行区域性的联防联控；企业履行公共义务，积极转型提升，走清洁生产的循环经济之路；个人提高意识，发挥主人翁精神，行动起来自觉践行低碳环保的生活方式。

#### 参考文献：

- [1] RAMANATAAN V, CRUTZEN P J, MITRA A P, et al. The India ocean experiment and the Asian brown cloud [J]. *Indian Academy of Sciences*, 2002, 83 (8): 947-955
- [2] DOYLE M, DORLING S. Visibility trends in the UK 1950-1997 [J]. *Atmos Environ*, 2002 (36): 3161-3172
- [3] 吴兑. 灰霾天气的形成与演化 [J]. *环境科学与技术*, 2011, 34 (3): 157-161
- [4] LEE K H, KIM Y J, KIM M J. Characteristics of aerosol observed during two severe haze events over Korea in June and October 2004 [J]. *Atmos Environ*, 2006, 40 (27): 5146-5155
- [5] HENRY R C. A field study of visual perception of complex natural targets through atmospheric haze by naive observers [J]. *Atmos Environ*, 2006, 40 (27): 5251-5261
- [6] NOH Y M, MILLER D, SHIN D H, et al. Optical and microphysical properties of severe haze and smoke aerosol measured by integrated remote sensing techniques in Gwangju, Korea [J]. *Atmos Environ*, 2009, 43 (4): 879-888
- [7] FIELD R D, WANG Y H, ROSWINLARTI O, et al. A drought-based predictor of recent haze events in western Indonesia [J]. *Atmos Environ*, 2004, 38 (13): 1869-1878
- [8] SCHICHTEL B A, HUSAR R B, FALKE S R, et al. Haze trends over the United States, 1980-1995 [J]. *Atmos Environ*, 2001, 35 (30): 5205-5210
- [9] 范新强, 孙照渤. 1953-2008年厦门地区的灰霾天气特征 [J]. *大气科学学报*, 2009, 32 (5): 604-609
- [10] 赵普生, 徐晓峰, 孟伟, 等. 京津冀区域霾天气特征 [J]. *中国环境科学*, 2012, 32 (1): 31-36
- [11] 刘红年, 胡荣章, 张美根. 城市灰霾数值预报模式的建立与应用 [J]. *环境科学研究*, 2009, 22 (6): 631-636
- [12] 胡荣章, 刘红年, 张美根, 等. 南京地区大气灰霾的数值模拟 [J]. *环境科学学报*, 2009, 29 (4): 808-814
- [13] 陈训来, 冯业荣, 范绍佳, 等. 离岸型背景风和海陆风对珠江三角洲地区灰霾天气的影响 [J]. *大气科学*, 2008, 32 (3): 530-542
- [14] SENARATNE I, SHOOTER D. Elemental composition in source identification of brown haze in Auckland, New Zealand [J]. *Atmos Environ*, 2004 (38): 3049-3059
- [15] SHOOTER D, UHLE M E, WANG H, et al. Characterization of New Zealand atmospheric aerosols using compound specific isotope ratios [J]. *Journal of Aerosol Science*, 2000, 31 (1): 327
- [16] CLAPP B W. An Environmental History of Britain since the Industrial Revolution, Longman Publishin, New York, 1994, 14
- [17] JOHN G. Urban Air Conservation [J]. *Bulletin of the Atomic Scientists*, 1961, 11: 376
- [18] 余志乔, 陆伟芳. 现代大伦敦的空气污染成因与治理——基于生态城市视野的历史考察 [J]. *城市观察*, 2012 (6): 21-32
- [19] 50 Years on: The Struggle for Air Quality in London Since the Great Smog of December 1952 [M]. Greater London Authority, 2002
- [20] 王大干. 中英空气污染指数比较 [J]. *洁净与空调技术*, 2012, 3 (1): 44-46
- [21] 刘文玲, 王灿, SPAARGAREN G, MOL ARTHUR P J. 中国的低碳转型与生态现代化 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2012, 22 (9): 15-19

作者简介：董锋（1978—），男，安徽亳州人，副教授，管理学博士，主要研究方向为资源与环境政策；李卓霖（1988—），女，江苏徐州人，硕士，主要研究方向为低碳经济；代远菊（1992—），女，重庆人，硕士生，主要研究方向为低碳经济。