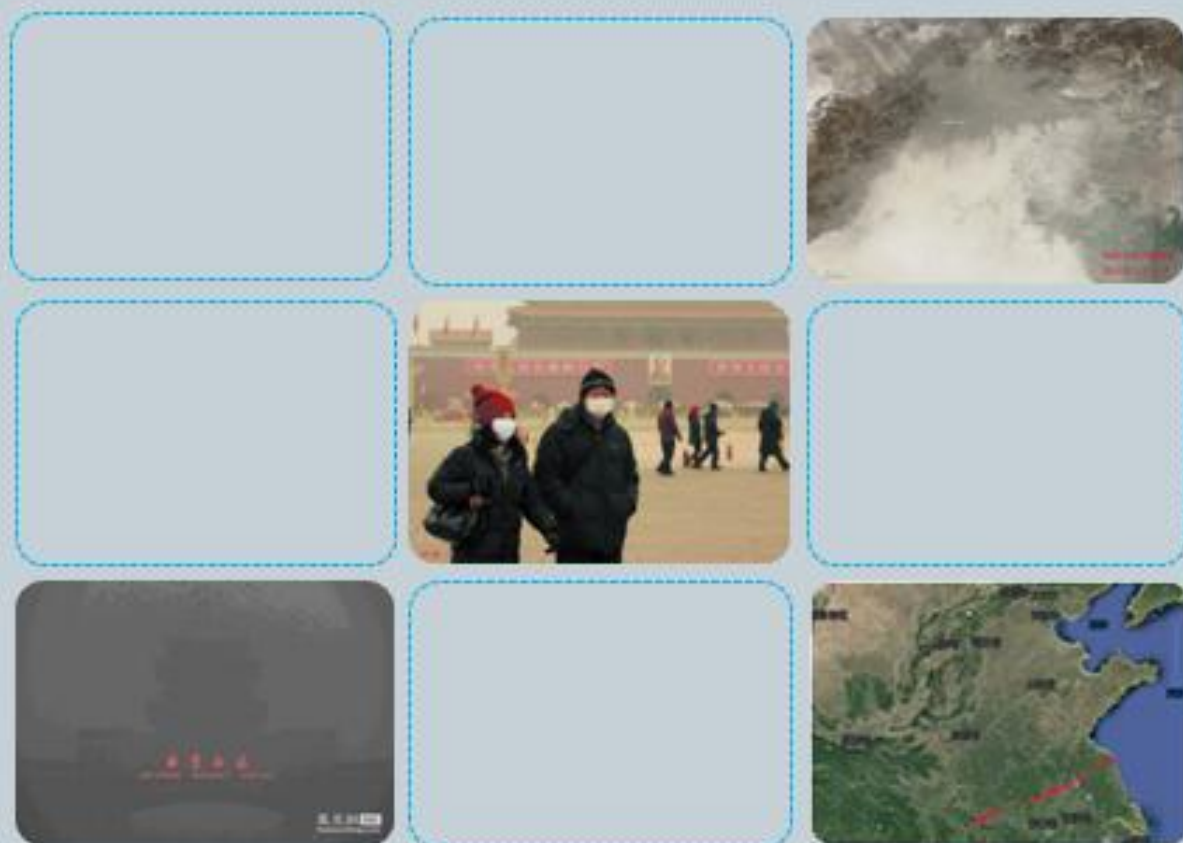


# 我国雾霾治理与研究进展



## 我国雾霾治理与研究进展

(2013年7月)

### 引言

雾霾是工业化过程中排放的PM<sub>2.5</sub>颗粒物增加导致的大气污染。我国是世界上规模最大、工业化发展速度最快的新型经济体。近年来我国不断出现的连片长时间雾霾导致人们呼吸道疾病骤增、重大交通事故频发、航班大面积延误、城市形象受损等若干健康风险和经济损失。在空气质量治理方面，英国用了50年，德国用了30年，日本用了20年，目前我国正经历煤烟型污染向复合型污染的转变时期，成因比这些国家更复杂，治理起来更加困难。调研报告，从空间科技角度梳理解读雾霾现象危害，分析成因和治理经验，提出空间科技支持雾霾治理与研究的建议。

### 1、从雾霾天气到雾霾灾害

上世纪80、90年代，卫星影像中我国北方老工业基地上空会有一层漂浮、难以去除的雾霾(haze)。近几年，我国东部地区经常会出现连片、长时间和高浓度的雾霾，有些城市已经在卫星影像上看不到，雾霾导致重大交通事故、航班延误、人体健康风险显著增加，成为一种新的灾害。雾霾灾害给国家经济、城市发展、居民健康都带来了极大的负面影响，成为我国工业化过程中出现的突出问题。

#### (1) 空气中悬浮颗粒物的来源与影响

空气中对人体直接吸入的悬浮颗粒物主要是PM<sub>2.5</sub>和PM<sub>10</sub>。空气中粒径在PM<sub>2.5</sub>的悬浮颗粒物主要来源于工业生产、机动车和冬季取暖等化石燃料的燃烧排放；空气中PM<sub>10</sub>的悬浮颗粒物主要来源于生态环境退化造成的沙尘暴、城市建筑工地和道路扬尘。

二次污染形成新的大气污染成分包括氧化型有机颗粒物、油烟型有机物、氮富

集有机物和烃类有机颗粒物所占比例为 44%、21%、17%和 18%。

据统计，我国二氧化硫、氮氧化物排放总量都超过 2200 万吨，位居世界第一，工业烟粉尘排放量为 1446.1 万吨；以及冬季燃煤取暖，每年都在越来越多的向大气输送污染颗粒。近年来，一些产能效率低，高排放高污染的工厂和企业转移到西部城镇，造成新的污染。粗放型乡镇企业为了降低环保成本和获取利益违法违规排放。北方大部分地区冬季取暖燃煤，增添了大气污染物排放量。2012 年冬季尤为严重的一次大范围雾霾天气影响了 30 个多个城市，雾霾面积达 130 万平方公里，8 亿以上人口受到影响；2013 年 1 月北京受强霾污染 27 天 PM2.5 严重超标。

雾霾灾害使发生交通事故的概率比平时高，高速公路、机场因能见度不够而临时关闭，航班大面积停飞；交通受阻物流公司的收益减半；连续的雾霾，企业被迫停产以待空气好转；光照不足农作物基本停止生长，蔬菜减产，价格上涨；加上疾病成本估算，雾霾年致我国经济损失可达万亿元。

雾霾灾害导致城市发展的综合竞争力降低。极其严重的大气污染正促使很多外籍人士离开，有能力与有资产的人也宁愿选择移民到空气清新的地方，人才招揽将逐渐遭遇瓶颈。城市软实力被雾霾影响折价未来发展前景堪忧。

## **(2) 大气污染带来巨大健康成本**

据国家发改委统计发布，2013 年初我国发生大范围持续雾霾天气，受影响雾霾区域包括华北平原、黄淮、江淮、江汉、江南、华南北部等地区，受影响面积约占国土面积的 1/4，受影响人口约 6 亿人。

2003 年 7 月 8 日由中国、美国和以色列科学家发表在《美国国家科学院院刊》(PNAS)《大气污染对预期寿命的长期影响:基于中国淮河取暖分界线的证据》。研究发现,长期暴露于污染空气中,总悬浮颗粒物(TSP)每上升 100 微克/立方米,平均预期寿命将缩短 3 年。按照北方地区总悬浮颗粒物的水平,这意味着中国北方 5 亿居民因严重的大气污染平均每人失去 5 年寿命,这项研究有着重要的政策含义,证明了严重的大气污染带来巨大的健康成本。研究论文,通过详细分析 1981 年至 2000 年期间 90 座中国城市的空气质量数据,并将它们与 1991 年至 2000 年期间 145 个地方的死亡数据进行对比,该论文的结论是燃煤供暖导致的大气污染使中国北方平均寿命较南方缩短 5.5 岁。我国由于南北方供暖政策不同,大气污染水平在淮河附近有一个巨大的跳跃。冬季大量燃煤供暖使得淮河北岸空气中的总悬浮颗粒物比南岸高出 200 微克/立方米,同时期人均预期寿命也在淮河南北两岸表现出突变,北

方比南方减少五年之多。综合各方面因素，研究报告宣称，长期生活环境中的总悬浮颗粒物浓度每上升 100 微克/立方米，死亡率上升 14%，预期寿命减少三年，且死亡率的上升几乎都是通过增加心肺疾病导致的。这一结果在不同性别、不同年龄的子样本人群中表现是一致稳定的。

## 2、我国大气污染由煤烟型向复合型转变的特点

在我国，传统的煤烟型污染问题尚未解决，新的污染问题又接踵出现，集中爆发，呈现出工业排放、燃煤取暖、机动车尾气、建筑扬尘和沙尘暴等大气污染共存的复合性，明显的光化学烟雾污染和空气悬浮物二次转化以及局地污染和区域污染相结合的格局，如此大规模、综合性的区域大气污染问题与雾霾灾害频发是发达国家未曾遇到过的。

### (1) 雾霾灾害成因的复合性与传输性

我国雾霾灾害形成的复合性主要表象在空气悬浮物的多来源和二次转化。我国是世界上最大、工业化发展速度最快的新兴经济国家，中低端产业推动快速发展导致的煤烟型污染正在向复合性污染转变。发达国家上百年工业化过程中分阶段出现的大气污染问题，在我国集中出现，除了与国外相同的污染源汽车尾气、工业与电厂排放外还包括了：一是沙尘暴、建筑工地、道路交通产生的扬尘等产生的细颗粒物以及居民燃烧排放等；二是经过复杂的化学反应转化生成的二次细颗粒。实验数据表明：在二次污染细颗粒形成过程，氧化型有机颗粒物、油烟型有机物、氮富集有机物和烃类有机颗粒物所占比例为 44%、21%、17%和 18%。

雾霾灾害受气候、地形等影响呈现传输性。我国整个东部地区出现连片、长时间和高浓度的雾霾，受大气环流影响相邻城市间污染传输影响突出，环境背景问题成为出现和影响城市与城市之间大气污染物传输格局的重要因素。据《中国低碳经济发展报告》资料，中国是一个发展中的大国有着 13 亿人口，使得中国的环境问题比其他国家要严重程度深原因更加复杂，治理起来更困难，预计今后中国的环境还要恶化，而要从根本上解决环境问题，消除雾霾重现蓝天可能还需要 20 到 30 年。

### (2) 雾霾灾害形成的气象与地理条件

不利气象条件造成污染物持续累积，雾霾天气发生时，大气扩散条件非常差，污染物排放在低空不断积累。由于雾霾天气的湿度较高，雾滴与细颗粒物两者相互

作用，迅速推进污染形成。

**雾霾灾害形成的气象与地理条件：**一是1月影响我国的冷空气活动较常年偏弱，风速小，中东部大部地区稳定类大气条件出现频率明显偏多，尤其是华北地区高达64.5%，为近10年最高，易造成污染物在近地面层积聚，从而导致雾霾天气多发；二是我国冬季气溶胶背景浓度高，有利于催生雾霾形成；三是雾霾天气会使近地层大气更加稳定，会加剧雾霾发展、加重大气污染。雾霾天气形成既受气象条件的影响，也与大气污染物排放增加有关，建议进一步加大大气环境治理和保护力度，特别是要加强多部门会商联动，完善静稳天气条件下大气污染物应急减排方案，以防范和控制重污染天气的出现。

北京、石家庄城市独特的“避风港”式地理形态也是导致大气污染物不易扩散形成雾霾的因素。例如石家庄城市三面环山，地势西高东低，西部山区平均海拔500~700米，东部平原平均海拔30~70米，呈“避风港”式地形，大气扩散条件比较差，加剧了市区的大气污染。

### 3、治理大气污染的成功经验

对大气污染的治理，英国用了50年，德国用了30年，日本用了20年，美国在治理光化学烟雾也有成功经验，我国大气污染的突出问题是雾霾灾害。

#### (1) 国外治理大气污染的经验

国外治理大气污染提高空气质量的经验是，出现大气污染重大事件，通过监测研究发现主要来源，通过立法、严格的管理和技术革新，控制和减少导致大气污染的工业排放、燃煤取暖、机动车尾气以及建筑扬尘等污染源。

英国“伦敦烟雾事件”是历史上20世纪十大环境公害事件之一，两个月内12000人死于呼吸系统疾病，更有无数人罹患支气管炎、冠心病、肺结核乃至癌症。反思大气污染造成的苦果，英国政府颁布了《清洁空气法案》，大规模改造城市居民的传统炉灶，减少煤炭用量；发电厂和重工业抑制；对各种废气排放进行严格管制。在交通污染取代工业污染成为首要威胁后，又实施优先发展公共交通网络、抑制私车发展等措施。经过50多年的治理，伦敦终于重现蓝天白云。

德国大气污染治理主要采取了严格和详尽的法律管制措施。联邦与地方制定相

关法律法规有 8000 多部，除此之外还实施欧盟的 400 多个相关法规。如果出现严重污染各部门依法采取行动，一是对部分车辆实施禁行，在污染严重区禁止所有车辆行驶；二是限制或关闭大型锅炉和工业设备；三是限制城市内的建筑工地施工；此外还要避免燃料木头焚烧垃圾等行为。

二战后，日本专注发展经济，忽视环境保护，环境污染极其严重，大气污染产生的主要来源是发电、工业生产、汽车尾气排放残留物。伴随高速的经济增长，不断恶化的环境使日本民众深受其害，从民众开始自下而上推动促进环境保护的发展。为了控制造成大气污染主要来源，建立了由 14 个观测站构成的覆盖全国的网络，到 2004 年，日本已经建立了 1487 个二氧化硫监测站、1880 个氮氧化物监测站、1193 个光化学氧化剂监测站、1910 个颗粒物 (PM) 监测站和 401 个一氧化碳监测站。制定了严格的大气污染控制的法律，1968 年颁布《大气污染控制法》，使用环保汽车的补助制度和积极开发新能源。

美国 1950 年出现洛杉矶光化学烟雾事件，在该污染事件中，共有 800 余人丧生。调查表明，石油挥发物（碳氢化合物）和二氧化氮，在强烈的阳光紫外线照射下，会产生一种有刺鼻性的有机化合物，这个过程被称为光化学反应，其产物就是含剧毒的光化学烟雾。

## **(2) 我国整治大气污染的成功经验**

我国现阶段大气污染的突出问题是雾霾灾害。在整治大气污染方面我国也有成功的经验，2008 年北京主办奥运会为了实现“蓝天达标”的承诺，累计投入了 1200 亿元人民币，重点控制大气污染源：包括工业排放、燃煤取暖、机动车尾气以及建筑扬尘等。为此，采取了关闭北京和周边污染工厂和建筑工地以及绿色覆盖。如首钢的 5 座高炉中有 4 座被关闭，1100 多家制造厂停工，1.63 万个燃煤锅炉改用清洁燃料，北京实行私家车单双号限行交通法规，围绕奥林匹克公园周边 7 年种植树木 2200 多万株。在奥运会举办的 16 天内北京市共有 10 个一级天，实现了绿色奥运的目标。

## **4、空间观测技术在治理与研究雾霾灾害中的支撑作用**

我国雾霾灾害表现在连片、长时间和高浓度，及成因的复合型、复杂性；受地

理条件和大气环流作用导致不同污染类型城市间悬浮颗粒物的传输与混合；以上这些特征决定了空间观测技术在治理雾霾灾害中可以发挥重要作用。利用遥感遥测、GIS 与空间分析数据库等技术可以直观反映和描述大气污染状态与雾霾灾害的分布、变化和迁移。

### **(1) 空间观测技术的监管作用**

空天地一体化空间观测对工业排放、燃煤取暖、机动车尾气、建筑扬尘和沙尘暴等大气污染源进行监管形成监管数据链，为决策提供信息支撑。我国已经启动了 2012 年科技部和环保部部署实施《蓝天科技工程“十二五”专项规划》，完善与构建我国大气污染与雾霾灾害源的天空地一体化监测网络。按《2013 年国务院发布《整治大气污染的十条措施》，治理和管控大气污染与雾霾的要求，重点监测收集对工业排放、燃煤取暖、机动车尾气、建筑扬尘和沙尘暴等大气污染源数据，形成雾霾灾害形成数据链和可持续协同技术运行体系，为政府决策和制定提高空气质量标准提供信息支撑。

### **(2) 雾霾灾害悬浮颗粒物的传输机制研究**

我国雾霾灾害的迁移也呈现出区域性和城市之间的传输性，深入研究传输机制是利用空间观测技术支撑雾霾灾害监测的关键环节。根据最新研究结果：我国自南向北，空气中的总悬浮颗粒物浓度在跨越淮河时有统计上显著的跳跃。而且，这一结果在控制了除供暖政策外的其他众多可能影响因素后仍然稳健。同时心肺系统疾病导致的死亡率在淮河北岸比淮河南岸显著增加，死亡率发生跃升的地理位置与总悬浮颗粒物浓度跃升位置吻合。

北京、石家庄和保定等相邻城市间受大气环流作用总悬浮颗粒物传输交叉影响现象比较突出。据北京观测结果 PM<sub>2.5</sub> 除了本地排放以外，还有浮颗粒物是随着气流从周边区域输入到北京上空的，如当从石家庄和保定等大气污染严重的城市传输总悬浮颗粒物到北京上空时，北京的 PM<sub>2.5</sub> 浓度观测结果就会出现峰值。因此，需要利用空间观测技术对我国雾霾灾害的区域性和城市之间传输迁移监测，深入研究传输机制改善区域整体大气环境质量。

### **(3) 雾霾灾害中不同悬浮颗粒复合机理研究**

监控雾霾灾害主要悬浮颗粒污染物的浓度、转化过程模型的理论构架，支持研发新的悬浮颗粒物光化学和二次污染传感器。通过深入开展实验主要悬浮颗粒污染物光化学和二次浓度、转化过程实验，探求光化学和二次转化模型，建立理论构架，其中包括氧化型有机颗粒物、油烟型有机物、氮富集有机物和烃类有机颗粒物所占比例。在此基础上研究探测悬浮颗粒污染物光化学和二次浓度的光学特征和探测机制，研发新传感器。为建立常规监测、趋势监测到支持光化学烟雾、气溶胶形成和连接人体健康与大气污染研究的全方位的立体空气质量监测网络提供理论与技术支持。

## 结语

为了治理大气污染与雾霾灾害提高空气质量国家重点投入和采取了重要应对措施。2012年科技部和环保部部署实施《蓝天科技工程“十二五”专项规划》，2013年国务院发布《整治大气污染的十条措施》，随着这些规划和措施的逐步落实；中国科学院部署战略性先导科技专项“大气灰霾追因与控制”，2013年清华大学成立“大气复合污染来源与控制”国家重点实验室。随着这些规划和监管措施法规的贯彻落实，随着针对雾霾悬浮颗粒光化学与复合性机理研究、不同类型城市之间输入机制相关研究的深入。我国大气质量将逐步得到改善，雾霾灾害将得到控制，重现蓝天白云，实现美丽中国的梦想。

## 主要参考文献（略）

（作者：马建文 肖函 王化）