



中国环境与发展国际合作委员会
专题政策研究报告

区域空气质量综合控制体系研究

摘要报告

国合会 2012 年年会
2012.12.12-14

项目组成员

项目组中外方组长：

郝吉明，中国工程院院士，清华大学环境学院教授

迈克尔·沃尔什，国际专家，国际清洁交通委员会前董事会主席

项目组中外成员：

贺克斌，清华大学研究生院常务副院长，环境学院教授

杨金田，环境保护部环境规划院副总工，研究员

汤大钢，环境保护部机动车排污监控中心主任，研究员

梅诺夫·德里克，德国梅克伦堡-前波莫瑞州环保署空气污染控制和废物管理处处长

凯瑟琳·威瑟斯彭，国际专家，美国加利福尼亚州空气资源局前局长

马库斯·阿曼，国际应用系统分析研究所项目主任

项目技术支持组：

李 培，环境保护部环境保护对外合作中心副主任

伏晴艳，上海市环境监测中心，总工

王书肖，清华大学环境学院，教授

雷 宇，环境保护部环境规划院大气部，副研究员

宁 淼，环境保护部环境规划院大气部，副研究员

严 刚，环境保护部环境规划院大气部，副研究员

卢旭阳，深圳市人居环境委员会污染防治处，调研员

刘 欢，清华大学环境学院，讲师

协调员：

刘欢，清华大学环境学院，讲师

本文摘要

一、中国的区域大气环境问题突出

当前我国面临着十分严峻的空气污染形势。在传统煤烟型污染问题尚未得到解决的情况下，以 $\text{PM}_{2.5}$ 、 O_3 为特征的区域性复合型空气污染日益突出。 $\text{PM}_{2.5}$ 作为对我国环境空气质量影响最大的污染物之一，表现出 5 个主要污染特征：一是年均浓度绝对值高，在我国东部地区可达 $60\text{-}90\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，高于新修订的国家环境空气质量标准（GB3095-2012）70%-160%；二是由 SO_2 、 NO_x 、VOCs、 NH_3 等气态污染物通过化学反应形成的二次颗粒物在 $\text{PM}_{2.5}$ 中的比例高，在部分区域超过了 60%；三是区域污染特征明显，在东部的京津冀和长三角等区域，超标城市比例超过 80%，且重污染发生体现出同步性；四是重污染过程发生频率高，持续时间长，部分地区 $\text{PM}_{2.5}$ 最高日均浓度超过 GB3095-2012 标准 4 倍以上， $\text{PM}_{2.5}$ 日均浓度全年超标天数可达 40%；五是复合型空气污染的氧化性增强， O_3 超标率逐年增加， O_3 和 $\text{PM}_{2.5}$ 成为共同影响城市空气质量超标的 2 个首要污染物。在长三角地区，高温季节出现 $\text{PM}_{2.5}$ 与 O_3 同步污染的频率可高达 30%。

多种大气污染物的大量排放和集中分布是造成我国区域空气污染的主要原因。近年来，我国的燃煤消费量以每年超过 2 亿吨的速度增长，目前燃煤消费量已超过全球总量的 48%；机动车保有量迅速增长，“十一五”期间从 1.2 亿辆激增到 1.9 亿辆。燃煤量和机动车保有量的高速增长使我国的一次颗粒物、 SO_2 、 NO_x 和 VOCs 的排放量都在 2000 万吨以上，且主要集中在东部地区，造成了京津冀、长三角、珠三角等地的区域空气质量恶化。

严重的空气污染给人民群众的健康造成了严重影响，造成了巨大经济损失。根据世界卫生组织的估算，2008 年由于空气污染造成中国 47 万人过早死亡；世界银行的研究表明，2003 年由于空气污染导致的死亡和疾病给中国带来了 1600 亿元的损失，相当于当年 GDP 的 1.16%。以持续大范围灰霾为特征的重污染过程还在一定程度上引发社会的恐慌心理，对政府公信力造成了极其不良的影响。

二、大气质量达标任务艰巨

GB3095-2012 对我国的环境空气质量提出了更加严格的要求，按此标准进行评价，我国目前至少有 2/3 的城市不能达标。随着我国小康社会的建设和现代化

进程的推进，为满足人民群众从健康出发对空气质量的要求，我国绝大多数城市的空气质量需要在 15~20 年内实现稳定达标，即在 2025 年使全国约 80% 的城市达到标准要求。为此，需要在每个 5 年计划内使全国主要城市的 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 平均浓度降低 10%~15%。

由于 $PM_{2.5}$ 的来源既包括由污染源直接排放的一次颗粒物，又包括由 SO_2 、 NO_x 、VOCs、 NH_3 等气体在大气中转化形成的二次颗粒物，为了达到空气质量改善目标的要求，必须对一次颗粒物和 SO_2 、 NO_x 、VOCs、 NH_3 等二次颗粒物的气态前体物进行持续减排，每个 5 年计划的减排幅度至少要达到 15%。这个减排幅度远高于“十一五”和“十二五”国家总量控制任务的要求。

三、区域大气质量综合控制政策建议

为了确保空气质量达标和大气污染物排放量削减目标的实现，我国需要在法规、管理机制、能力建设、控制措施等多方面进行完善，主要包括以下几点：

1. 加快大气法修订

我国的《大气污染防治法》（以下称《大气法》）于 1987 年制定，并分别于 1995 年和 2000 年进行了修订，在防治空气污染和改善大气质量方面发挥了积极作用。然而自 2000 年以来，我国的空气污染由典型的煤烟型污染向复合型污染转变，快速的工业化、城市化和机动车化造成了空气污染的区域性、复合性和压缩性特征，目前的《大气法》已难以适应新形势下大气污染防治的需求。我国必须要在以下方面对《大气法》进行修订，以对相应的政策措施提供法律支持：

一是把对人体健康有重要影响的 $PM_{2.5}$ 和 O_3 作为我国大气污染防治的核心内容，在继续深化 SO_2 、烟粉尘治理的同时，强化对 NO_x 、VOCs、 NH_3 等形成二次 $PM_{2.5}$ 和 O_3 的重要前体物的排放控制。

二是进一步明确城市政府在其辖区大气质量达标管理中的责任和义务，并对各级政府在大气质量管理方面赋予更多职能。与此同时，针对可进行长距离传输的 SO_2 和 NO_x 等二次 $PM_{2.5}$ 的重要前体物，完善区域总量控制制度，为区域空气污染联防联控机制的建立提供支持。

三是进一步强化对违法行为的处罚，提高不达标的违法成本。提高法律威慑力度，以有效遏制大气违法行为。

四是重视非道路移动源的排放控制，将船舶、飞机、火车以及非道路用机械的废气排放纳入大气法管辖范围，明确环保部在非道路移动源领域内的管理职责。

2. 建立面向大气质量的管理模式，提升大气质量管理能力

自 1970 年我国开始开展大气污染防治开始，管理主要以重点污染源排放强度和主要污染物排放总量为中心，而非环境质量；大气污染物减排目标确定的依据主要是减排的技术和经济潜力，而非人体健康对大气质量的要求；大气质量评价的主要对象是 SO_2 、 NO_2 和 PM_{10} 等三项大气污染物，而非 $\text{PM}_{2.5}$ 和 O_3 这两种对人体健康影响更大的污染物。为了保障广大人民生活的大气环境健康、舒适、安全，我国必须尽快转变大气污染控制思路，把大气质量达标作为管理工作的核心和最终目标，把 $\text{PM}_{2.5}$ 及其相关前体物的“总量减排”作为“质量改善”的重要手段，建立面向空气质量管理模式。

建立面向空气质量管理模式需要以强大的管理能力作为支撑。与欧洲和美国相比，我国面临的空气污染形势更为复杂，管理任务更为艰巨，但是在管理人员数量、机构设施、经费支持和科技支撑等诸多方面都更为薄弱。为了适应空气质量达标和污染物减排对环境管理提出的要求，我国需要在以下方面强化能力建设：

一是参考欧美等国家的大气管理资源配置，在环境保护部设立“空气质量管理司（局）”，参照核安全局的模式设立下属机构，配置相应工作人员（约 1000 人），全面整合相关职能，统筹大气质量管理工作，强化对移动源排放的专业化管理。

二是在京津冀、长三角等区域空气污染严重的典型地区设立区域大气质量管理办公室，统筹区域内的大气质量管理工作。

三是增加在大气质量管理方面的资金投入，并尽快开展和实施“国家清洁空气行动计划”，为定量化和精细化的大气质量管理提供资金和技术支撑，并纳入国家预算。

3. 加快经济发展方式转变，推动污染物持续大幅削减

我国正处于工业化后期，经济发展严重依赖于高能耗、高污染的产业。虽然与 1990 年相比，我国多种大气污染物的单位 GDP 排放强度分别降低了 40%~80%，但这不足以抵消经济高速发展带来的排放量增长。因此，要推动污染物持续大幅度削减、显著改善区域空气质量，必须加快经济发展方式的转变，进一步

加快单位 GDP 污染物排放强度的下降速度，以抵消 GDP 高速增长对污染减排的负效益。为达到这一目标，亟需利用社会经济发展转型的契机，由发改委、工信部、环保部等部门联合制定积极的政策措施，推进产业结构和布局调整。

一是要通过建立可持续的投资和消费模式，引导产业结构的调整，大力发展第三产业，优化第二产业内部结构，减少各地经济发展对高耗能、高污染重化工业的依赖。

二是要加快淘汰重化工业落后产能，提高产业门槛，使新建、扩建项目在能源消耗与污染排放强度上必须达到国际先进水平；同时大规模推广清洁生产工艺和最佳可行技术。

三是要合理调整产业布局，逐步疏散京津冀、长三角、珠三角等区域型复合大气污染严重地区的重化工业产能。

4、优化能源结构，控制燃煤污染物排放

巨大的能源消费量和以煤为主的能源消费结构是我国长期以来空气污染的最主要来源。我国 SO₂ 排放量的 90%、NO_x 排放量的 67%、烟尘排放量的 70% 和人为源大气汞排放量的 40% 都来自于燃煤。此外，此外我国煤炭消费还存在着空间分布不平衡、消费结构不合理与清洁高效利用水平较低等突出问题，在一定程度上加剧了区域与城市的大气污染。因此，亟需由发改委、环保部等部门共同出台相关政策，优化我国能源结构，调整煤炭消费的布局与结构，逐步提高煤炭利用的清洁化水平，减少燃煤过程中的大气污染物排放量。

一是要大力提高清洁能源和新能源的比例，力争每 5 年使煤炭占我国一次能源的比重降低 3 至 5 个百分点；二是调整能源消费的空间布局，实施区域煤炭消费总量控制，逐步降低京津冀、长三角、珠三角等空气污染严重区域的煤炭消费量；三是要优化煤炭消费结构，促进煤炭消费向电力等使用最佳可行技术的大型燃煤设备转移；四是强调煤炭生命周期全过程的污染控制，推进煤炭的洗选和输配；五是减少民用部门的原煤和生物质燃烧，推广气体能源和型煤。

与此同时，要推进高效脱硫、脱硝、除尘等大气污染控制最佳可行技术的研发和使用，并保证这些技术在燃煤污染源上高效稳定运行，减少污染物排放量。

5. 全面强化移动源污染控制

移动源排放已成为导致中国环境空气质量问题的一个突出因素。在北京和上海等大城市以及东部人口密集区域，移动源对 PM_{2.5} 污染的贡献可高达 20%-25%。

移动源活动的持续快速增长，使得移动源污染控制成为对中国大气质量管理最大的挑战之一，其控制效果在很大程度上决定了我国的区域空气质量是否能得到有效改善，也是关系到公众对政府相关政策和实施满意度提高的重大影响因素。为了有效控制移动源污染，我国需要从移动源管理、车用能源和城市规划等角度，对“油—车—路”系统制定综合政策。

针对“油”，需要授予环境保护部在油品质量方面的管理权，加速实现车用燃料的低硫化和无硫化，同时推进非道路移动源油品的低硫化。针对“车”，一方面要加快制定出台国家移动源污染防治管理条例，严格在用车管理，保证在用车的达标排放；另一方面要加速制定和实施新车排放标准，通过标准的加严推动单车污染物排放水平的降低，在国五标准中加入对加油过程、日常挥发 VOC 的排放控制。针对“路”，要建立全新的城市可持续交通体系，通过发展先进的城市公共交通系统，优化交通管理，减少污染物排放量。

此外，在上海、深圳、广州、南京、宁波等港口城市，船舶排放已成为影响城市空气质量的重要来源之一，针对船舶等非道路移动源，也要加速排放标准、油品标准、管理制度的制定和实施。

目 录

1. 中国面临突出的区域大气环境问题.....	9
1.1 PM _{2.5} 浓度高，污染严重.....	9
1.2 PM _{2.5} 来源复杂，二次颗粒物比重大.....	10
1.3 空气污染区域一体化特征明显	12
1.4 重污染过程发生频率高，超标幅度大	13
1.5 超标污染物由单因子向多因子同时超标转变	13
2. 中国的空气质量改善是长期艰巨的任务.....	14
3. 我国目前的控制措施不足以推动空气质量改善目标的实现.....	16
3.1 进行主要大气污染物排放总量控制	16
3.2 制定并实施更严格的污染物排放标准	17
3.3 进行城市大气环境综合整治	17
3.4 积极探索区域大气污染联防联控机制	18
4. 区域空气质量综合控制政策建议.....	19
4.1 加快大气法修订	19
4.2 完善空气质量管理机制，提升空气质量管理能力	20
4.3 加快经济发展方式转变，推动污染物持续大幅削减	22
4.4 优化能源结构，实现煤炭的高效清洁可持续利用	23
4.5 全面强化移动源污染控制	25

区域空气质量综合控制体系研究

1. 中国面临突出的区域大气环境问题

当前我国面临着十分严峻的空气污染形势。在传统煤烟型污染问题尚未得到解决的情况下，以 $\text{PM}_{2.5}$ 、 O_3 为特征的区域性复合型空气污染日益突出。根据世界卫生组织 2011 年对全球 1082 个城市空气 PM_{10} 年均浓度进行的评价，我国空气质量最好的省会城市海口排名第 808 位，空气质量最差的省会城市排名第 1058 位。根据 2012 年新修订并即将开始实施的《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 进行评价， $\text{PM}_{2.5}$ 将成为对我国环境空气质量达标造成最大影响的污染物。

1.1 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度高，污染严重

从质量浓度看，我国的 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 污染呈现三个基本特征：一是**年均浓度绝对值高**。我国城市大气中 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度处于较高的水平，东部地区年均可达 $60\text{--}90\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，主要工业区可超过 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，普遍远高于国际上一些国家和国际组织已颁布的关于 $\text{PM}_{2.5}$ 的环境质量浓度标准（大部分小于 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）。二是 **$\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 比值持续上升**。根据北京地区的长时间连续观测，在过去的 10 年间， $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 比值呈现上升趋势（如图 1 所示），说明 $\text{PM}_{2.5}$ 对 PM_{10} 的贡献在持续加强。三是**浓度分布呈较强的区域性**。 $\text{PM}_{2.5}$ 的质量浓度随地理位置有较大的变化，北方地区通常要高于南方地区，西部城市通常要高于东部城市；而在各区域中，冬季的浓度通常较高。

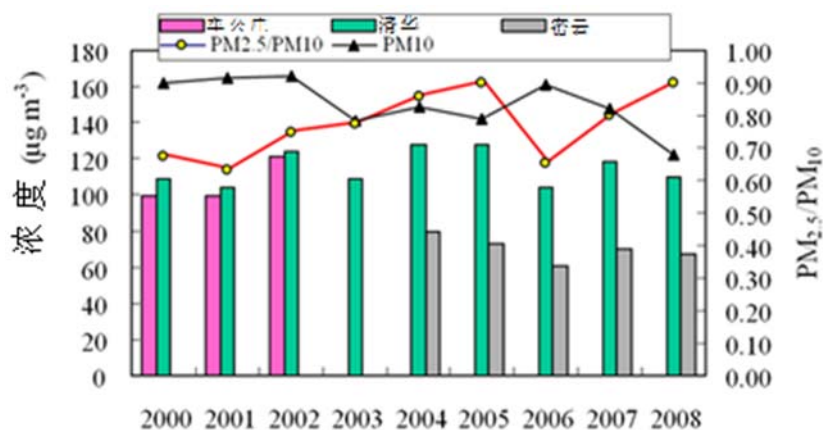


图 1 北京地区 2000-2008 年 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 年均质量浓度以及 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 比值的变化趋势

*北京样品采集站点，车公庄站（CGZ，北京城区站），清华大学校园站（TH），密云站（MY，北京农村站）

摘自：《大气颗粒物与区域复合污染》，贺克斌等编，科学出版社，2011

1.2 PM_{2.5} 来源复杂，二次颗粒物比重大

从 PM_{2.5} 的化学物种构成看，我国不同地区存在较大差异（如图 2 所示），反映出其来源的不同。在全国范围内总体来说，颗粒物中的有机物（particulate organic matter, POM）与由硫酸盐、硝酸盐和铵盐构成的无机盐类（sulfate, nitrate and ammonium salt, SNA）是 PM_{2.5} 的主要成分。这些组分易受到污染源排放时空分布特征（随地理位置和季节而变化）以及大气氧化活性（控制气态污染物向大气颗粒物转化过程）等因素的影响。在我国东部的城市、农村和森林地区，SNA 在 PM_{2.5} 中占主导地位，比例为 40%~57%；POM 的比例为 15%~53%，其中在长白山最低，在乌鲁木齐最高。在北京，POM 与 SNA 的浓度之和占 PM_{2.5} 浓度的 53%。

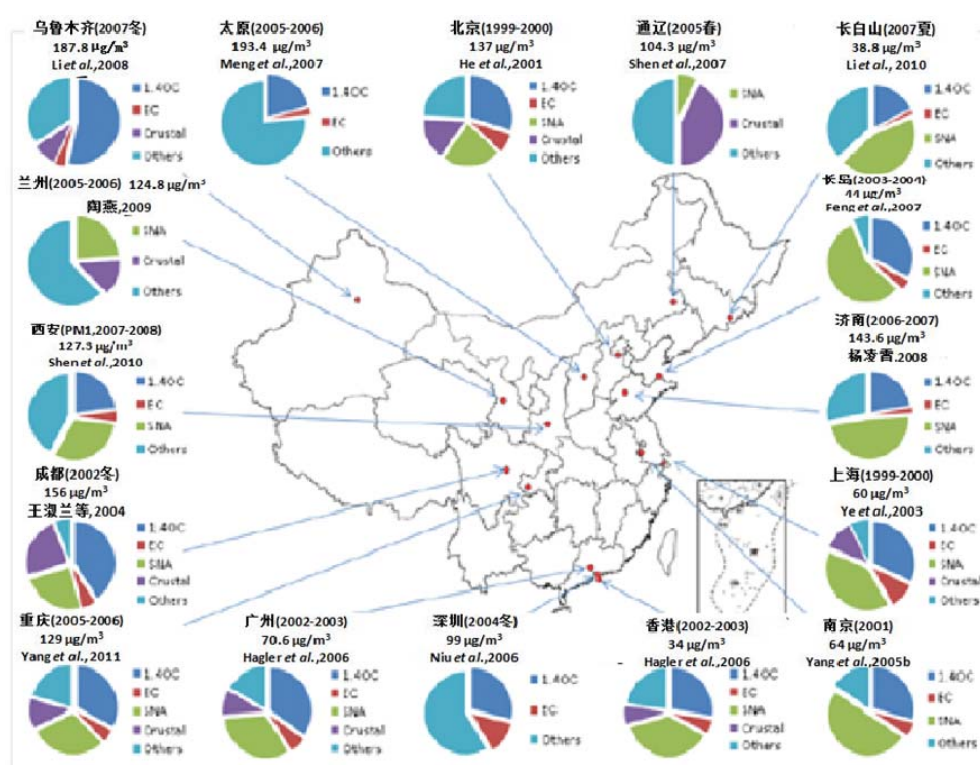


图 2 中国一些城市和区域观测得到的 PM_{2.5} 化学物种构成

OC—有机碳，EC—元素碳，SNA—二次无机气溶胶，Crustal—矿物尘

摘自：《大气颗粒物与区域复合污染》，贺克斌等编，科学出版社，2011

在受沙尘天气影响较大的地区和时期，矿物尘在 PM_{2.5} 组分中可占到较高的比例。值得注意的是，除我国北部因有大片沙漠和干旱的黄土地带而易于受到区域源和（或）本地土壤尘的影响外，沙尘暴还会影响我国中部和西南部。矿物尘的含量高也是我国细颗粒物的化学物种构成不同于发达国家的一个特点。

通过对北京、重庆、广州、上海以及洛杉矶、布里斯班等特大城市的 $\text{PM}_{2.5}$ 主要化学组分进行比较，发现中国不同城市 $\text{PM}_{2.5}$ 中总碳（Total Carbon, TC）与 SNA 的含量相差均不大，差值小于 2%；而洛杉矶的 SNA 在 $\text{PM}_{2.5}$ 中所占的比例较总碳高出 26%，说明碳质组分在洛杉矶这种发达国家特大城市的 $\text{PM}_{2.5}$ 中相对较少。这种现象反映出燃煤过程排放的含碳颗粒物对我国 $\text{PM}_{2.5}$ 污染有很大贡献。上海、深圳 $\text{PM}_{2.5}$ 中元素碳（Element Carbon, EC）所占的比例远高于其它中国城市，反映出大型海港和船运的柴油机排放可能对 EC 具有较高的贡献。

天气系统能够影响颗粒物的区域性传输和转化，其周期性的变化导致 $\text{PM}_{2.5}$ 化学组成也呈现出一定的季节特征。通过对北京市 $\text{PM}_{2.5}$ 实验样本的分析，发现无机组分在 $\text{PM}_{2.5}$ 可鉴别物质的比例都在夏季达到高值。而在 1999-2008 年间，北京市 $\text{PM}_{2.5}$ 中二次颗粒物的成分比例持续增长。从年均结果来看，2002 年 SNA 在 $\text{PM}_{2.5}$ 中所占的比例为 29%，而 2007 年 SNA 在 $\text{PM}_{2.5}$ 中所占的比例已经增至 36%（如图 3 所示）。

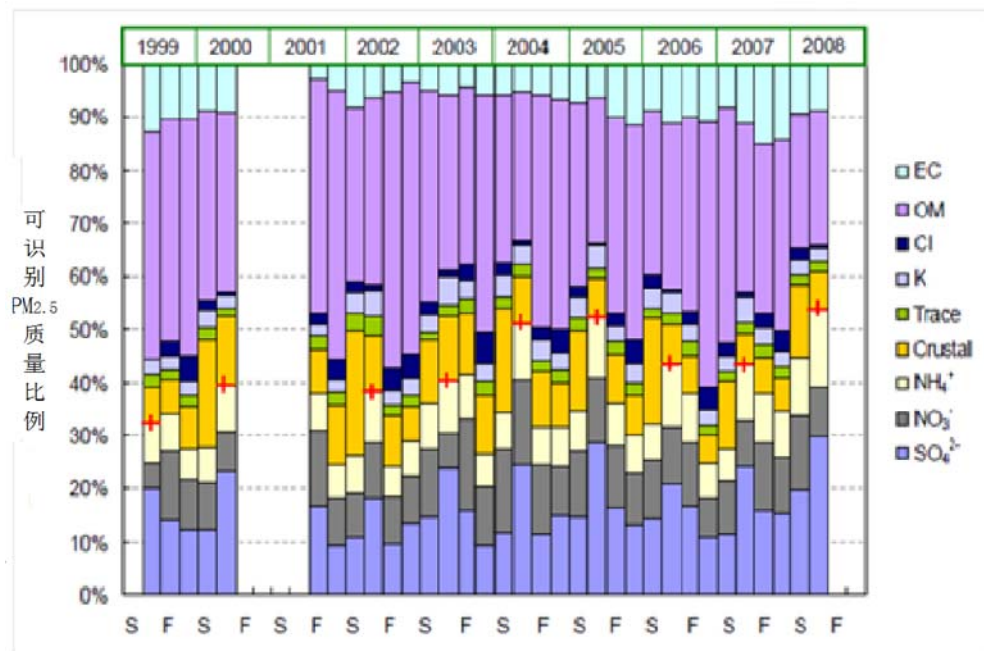


图 3 北京市 1999-2008 年间 $\text{PM}_{2.5}$ 的化学质量平衡

摘自：《大气颗粒物与区域复合污染》，贺克斌等编，科学出版社，2011

此外，通过长期的观测发现，在重污染时段， $\text{PM}_{2.5}$ 中二次颗粒物的比重比平时更高。如图 4 所示，当 $\text{PM}_{2.5}$ 的质量浓度在 $120\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下时，SNA 和二次有机气溶胶（Secondary Organic Aerosol, SOA）等二次组分在 $\text{PM}_{2.5}$ 中所占的比例随 $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度的升高而增加；当 $\text{PM}_{2.5}$ 的质量浓度超过 $120\mu\text{g}/\text{m}^3$ 时，SNA 和 SOA 等二次组分在 $\text{PM}_{2.5}$ 中所占的比例一直维持在较高的水平。说明二次颗

颗粒物是造成重污染的主要原因。

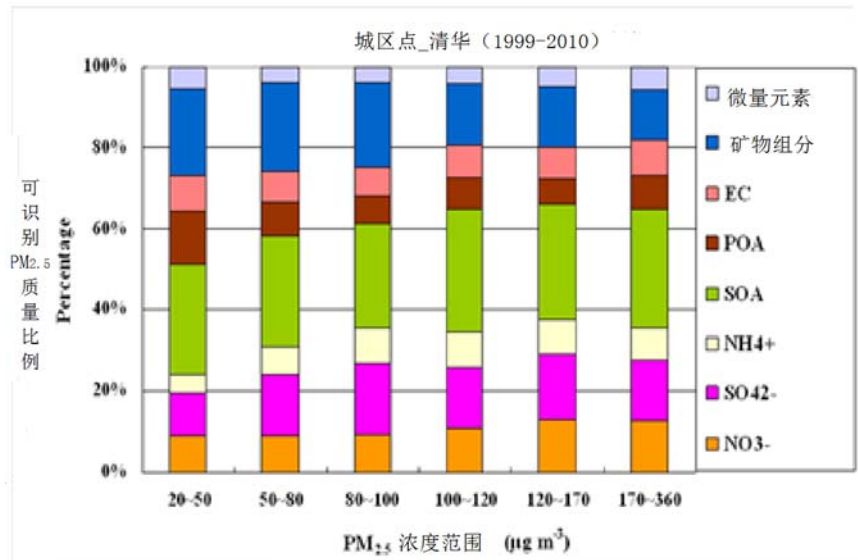


图 4 北京市不同浓度水平 PM_{2.5} 的化学组成

摘自：《大气颗粒物与区域复合污染》，贺克斌等编，科学出版社，2011

1.3 空气污染区域一体化特征明显

高速发展的城市化和区域经济一体化使得我国东部地区空气污染一体化现象日趋明显，各城市的大气污染正逐渐从局地污染向区域污染演变，区域性高污染日益频繁，其中长三角区域的空气污染一体化特征尤其突出。在冬春季节，受内陆污染、北方沙尘和本地不利气象条件等综合影响，区域性雾霾和浮尘影响突出；在初夏深秋季节，秸秆焚烧对区域大气 PM_{2.5} 污染贡献显著，常引发区域性的大范围霾污染，使长三角城市空气质量出现同步变化趋势。

环境空气质量监测数据显示，2011 年上海共出现了 28 个空气污染日。分析这 28 天里上海、南京、苏州、南通、连云港、杭州、嘉兴、宁波 8 个城市的空气质量，发现其中 78.6% 的天数有 4 个以上城市同步出现污染；8 个城市全部超标的天数占 14.3%，上海作为唯一超标城市的情况仅出现 2 天（如表 1 所示）。

表 1 2011 年上海市空气污染日的区域特性

指标	9 个城市	半数以上城市	仅上海超标	上海 API 高于
污染天数	4	22	2	20
百分比	14.3%	78.6%	7.1%	71.4%

1.4 重污染过程发生频率高，超标幅度大

我国城市不仅 PM_{2.5} 等大气污染物的年均浓度高，重污染过程的日均浓度也非常高，且重污染过程频繁发生。以空气质量相对较好的深圳市为例，从上世纪 90 年代起，深圳市灰霾天数急剧增高，目前每年近三分之一天数出现灰霾。2006 年以来，深圳市 O₃ 浓度逐年上升，超标率也不断加大，大气氧化性不断增强。2011 年深圳市 O₃ 最大小时浓度高达 428μg/m³，超过国家二级标准的 1 倍以上，部分站点接近 10%的天数出现 O₃ 最大小时浓度超标。

1.5 超标污染物由单因子向多因子同时超标转变

伴随着 PM_{2.5} 和 O₃ 环境浓度的升高，我国东部地区的环境空气呈现出多污染物共存、相互影响、互为源汇的复合大气污染特征。尤其是在夏季，随着 O₃ 浓度的升高，大气氧化性增强，更加推动了 SO₂、NO_x 等气体转化成硫酸盐、硝酸盐等二次颗粒物，促使 PM_{2.5} 浓度升高，最终造成 O₃ 和 PM_{2.5} 同时超标。图 5 显示了 2011 年上海不同月份 PM_{2.5} 与 O₃ 同步污染的情况，可以发现在 4 月~7 月间，同步污染的频率维持在高值，其中 5 月出现同步污染的频率达到了 39%。可见夏季大气氧化性的增强已成为造成 PM_{2.5} 污染的重要原因。

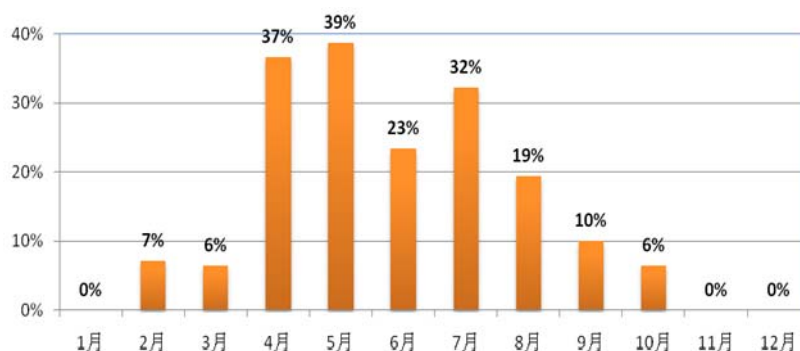


图 5 2011 年上海市 PM_{2.5} 和 O₃ 同时超标率的月度分布

数据来源：上海市环境监测中心空气质量监测数据

多种大气污染物的大量排放和集中分布是造成我国区域空气污染的主要原因。近年来，我国的燃煤消费量以每年超过 2 亿吨的速度增长，目前燃煤消费量已超过全球总量的 48%；机动车保有量迅速增长，“十一五”期间从 1.2 亿辆激增到 1.9 亿辆。燃煤量和机动车保有量的高速增长使我国的一次颗粒物、二氧化硫（SO₂）、氮氧化物（NO_x）和挥发性有机物（VOCs）的年排放量都在 2000 万吨以上，且主要集中在东部地区，造成了京津冀、长三角、珠三角等地的区域空气质量恶化。

严重的空气污染对人民群众的健康产生了严重影响，造成了巨大经济损失。根据世界卫生组织和其他国内外机构的估算，每年由于空气污染致使中国数十万人过早死亡；引发的呼吸系统和心血管系统疾病导致大量的误工、误学损失；夏季高浓度 O₃ 导致农作物减产；严重的酸雨污染不仅危害森林、生态环境，还影响了建筑物的质量和美观。2011 年冬季在北京等城市发生的以持续大范围灰霾为特征的重污染过程还在一定程度上引发社会的恐慌心理，对政府公信力造成了极其不良的影响。

2. 中国的空气质量改善是长期艰巨的任务

虽然我国大多数城市还没有开始开展 PM_{2.5} 的环境监测，但是针对 SO₂、NO₂ 和 PM₁₀ 的环境监测数据表明，我国的城市空气质量与全面小康的要求差距仍然非常巨大。根据我国 333 个地级及以上城市的大气环境监测数据，2010 年我国地级城市的 SO₂、NO₂ 和 PM₁₀ 年平均浓度分别为 35μg/m³、28μg/m³ 和 79μg/m³。根据 2012 年新修订并即将开始实施的《环境空气质量标准》（GB3095-2012），这 333 个地级及以上城市中，不能达到 SO₂、NO₂ 和 PM₁₀ 年平均浓度二级标准的城市数量分别为 18 个、51 个和 201 个。即使不考虑 PM_{2.5} 和 O₃ 污染的问题，也有 216 个城市的空气质量不能达到年平均浓度国家标准，占城市总数的 2/3。

如果依据世界卫生组织 2005 年更新的空气质量指导值来衡量，我国城市目前列入常规监测的三种大气污染物中，NO₂ 和 SO₂ 年平均浓度与世界卫生组织的要求差距不大；而 PM₁₀ 的年平均浓度则与世界卫生组织的要求（20μg/m³）差距甚远，我国 PM₁₀ 年均浓度最低的城市海口也未达到这一要求，而全国城市的平均 PM₁₀ 年均浓度比其高出 3 倍。我国现在针对 PM_{2.5} 监测的数据还相对缺乏，但是根据国内外开展研究的经验数据，大气中 PM_{2.5} 的质量浓度约为 PM₁₀ 质量浓度的 50%~60%，由此判断，我国大气环境中 PM_{2.5} 的质量浓度至少也比世界卫生组织的指导值高出 3 倍。以 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 为代表的大气颗粒物污染将是我国相当长一段时期内面临的最主要的大气环境问题。

随着我国小康社会的建设和现代化进程的推进，人民群众对环境空气质量的

要求日益提高。我国 2012 年修订的《环境空气质量标准》（GB3095-2012）参考了世界卫生组织对空气质量标准的建议，加严了 PM_{10} 的限值要求，并把 $\text{PM}_{2.5}$ 纳入指标体系，使针对 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 的标准与世界卫生组织推荐的第一阶段空气质量改善目标值接轨。为了满足人民群众对环境空气质量日益提高的要求，我国绝大多数城市需要在 15~20 年内使环境空气质量稳定达到标准要求；在 2025 年左右，全国空气质量达标的城市应达到 80% 左右。由于我国城市目前 PM_{10} 的达标率约为 40%（如图 6 所示），这意味着在“十二五”到“十四五”的 3 个五年中，需要将我国城市的 PM_{10} 年均浓度达标率提高 40 个百分点。

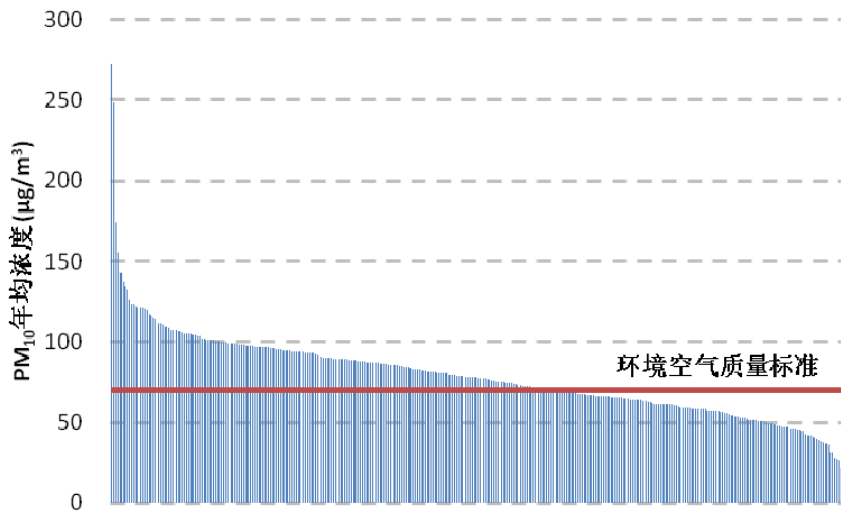


图 6 2010 年我国 333 个城市 PM_{10} 年均浓度及其与环境空气质量标准的差距

数据来源：中国国家环境监测中心空气质量监测数据

为了达到这一目标，需要在**每个 5 年计划内使全国主要城市的 PM_{10} 平均浓度降低 10% 以上**（如表 2 所示）。根据已有的 $\text{PM}_{2.5}$ 监测数据，我国城市 PM_{10} 中 $\text{PM}_{2.5}$ 的比例大多超过 50%，这意味着我国城市 $\text{PM}_{2.5}$ 超标的形势比 PM_{10} 更为严峻。为了在 2025 年左右实现全国城市 $\text{PM}_{2.5}$ 年均浓度达标率 80% 的目标，在未来的每个 5 年计划内，**全国主要城市 $\text{PM}_{2.5}$ 平均浓度的降低幅度至少需要达到 13%。**

表 2 不同情景下全国城市 PM₁₀ 年均浓度达标率

	2010	2015	2020	2025
PM ₁₀ 浓度每 5 年降低 10%	40%	50%	63%	77%
PM _{2.5} 浓度每 5 年降低 13% ¹	27%	44%	60%	79%

注 1: 我国绝大多数城市尚无 PM_{2.5} 监测数据, 这里是假设 PM_{2.5} 在 PM₁₀ 中质量浓度的比值为 0.55, 进行保守估算得到的结果。

PM_{2.5} 来源非常复杂, 既包括由污染源直接排放的一次颗粒物, 又包括由 SO₂、NO_x、VOCs、NH₃ 等气体在大气中转化形成的二次颗粒物。对于我国大部分城市, 尤其是东部空气污染较为严重的城市而言, PM_{2.5} 污染的控制难度大于 PM₁₀。由于天然源的影响以及二次颗粒物形成过程中的非线性特征, 必须**保证在每个 5 年计划内, 使一次颗粒物和二次颗粒物的前体物排放量总体减少 15% 以上**, 才有可能达到 PM_{2.5} 环境浓度降低 13% 的目标, 进而在 2025 年前后使我国空气质量达标的城市增加到 80% 左右。

3. 我国目前的控制措施不足以推动空气质量改善目标的实现

多年以来, 我国针对大气污染实施了多项控制措施, 有力地推动了大气污染防治工作。尤其是“十一五”以来, 通过实施富有创新性的政策措施, 首次实现了全国 SO₂ 排放总量的下降, 并使我国城市环境空气中的 SO₂ 和 PM₁₀ 浓度显著下降, 城市空气质量得以改善。这些措施主要包括:

3.1 进行主要大气污染物排放总量控制。在《中华人民共和国大气污染防治法》的基础上, 我国划定了“两控区”, 并开始实施 SO₂ 排放总量控制。“十一五”期间, 我国把 SO₂ 排放总量控制作为约束性指标, 采取了脱硫优惠电价、“上大压小”、限期淘汰、“区域限批”等一系列政策措施, 实施了工程减排、结构减排和管理减排, 取得了显著成效。从 2005 年到 2010 年, 全国火电机组脱硫比例由 14% 提高到 86%, 累计关停小火电装机容量 7683 万千瓦, 淘汰落后炼铁产能 1.2 亿吨、炼钢产能 0.72 亿吨、水泥产能 3.7 亿吨; SO₂ 排放总量下降了 14.29%, 超额完成“十一五”减排目标。在此基础上, 我国在“十二五”期间继续把 SO₂ 排放总量减少 8% 作为约束性指标, 并把 NO_x 排放总量减少 10% 纳入总量减排指标要求。

表 3 我国主要大气污染物固定排放源的排放标准

控制对象	标准编号	实施、修编年份
电厂锅炉	GB13223	1991, 1996, 2003, 2011
工业锅炉	GB13271	1983, 1991, 1999
炼焦过程	GB16171	1996, 2012
钢铁生产过程	GB28662-GB28666	2012
水泥生产过程	GB4915	1985, 1996, 2004

3.2 制定并实施更严格的污染物排放标准。大气污染物排放标准是我国对大气污染物排放源进行管理的重要法律依据。针对我国大气污染物排放贡献最大的几类固定源，我国从上世纪 80 年代就开始制定和实施各类排放标准，随着对污染控制要求的提高，排放标准也逐渐加严（如表 3 所示）。其中对电厂锅炉等的排放标准已经与国际先进控制水平接轨。我国对于移动源的排放标准也快速推进。从 1999 年开始实施轻型车“国 I”阶段标准开始，目前我国的排放标准已推进到“国 IV”阶段，覆盖范围包括了轻型车、重型车、摩托车和非道路移动机械等。

3.3 进行城市大气环境综合整治。全国各城市通过实行“退二进三”¹政策，搬迁改造了一大批重污染企业，优化了城市产业布局；通过城市清洁能源改造，发展热电联产和集中供热，淘汰了一批燃煤小锅炉；京津冀、长三角、珠三角等区域启动了加油站油气回收治理工作，减少了油气挥发排放的 VOCs。城市大气环境综合整治工作取得了积极成效，2010 年全国地级及以上城市 SO₂ 和 PM₁₀ 的年均浓度分别为 35μg/m³ 和 81μg/m³，比 2005 年分别下降了 24.0%和 14.8%；按照当时的《环境空气质量标准》（GB3095-1996）评价，全国空气质量达到二级以上标准的城市比例从 2005 年的 52%提高到了 2010 年的 83%（如图 7 所示）。

¹ “退二进三”通常指在产业结构调整中，缩小第二产业比重，提高第三产业比重。国办发[2001]98 号文中把“调整城市市区用地结构，减少工业企业用地比重，提高服务业用地比重”也称为“退二进三”。

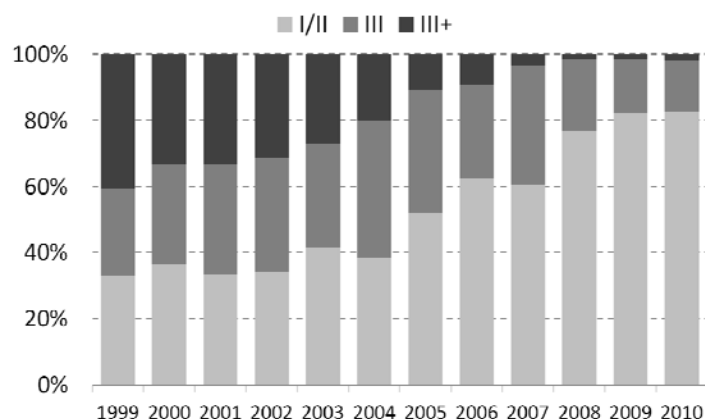


图 7 1999 至 2010 年我国城市空气质量达到一级和二级标准（I/II）、达到三级标准（III）和劣于三级标准（III+）的城市比例

数据来源：中国环境保护部？数据来源不明，是网站还是？

3.4 积极探索区域大气污染联防联控机制。为保障北京奥运会、上海世博会和广州亚运会的空气质量，华北六省（区、市）、长三角三省（市）和珠三角地区打破行政界限，成立领导小组，签署环境保护合作协议，编制实施空气质量保障方案，实施省际联合、部门联动，齐抓共管、密切配合，全面开展 SO_2 、 NO_x 、颗粒物和 VOCs 的综合控制，统一环境执法监管，统一发布环境信息，形成强大的治污合力，取得积极成效，保证了活动期间主办城市环境空气质量优良，并为我国进一步开展区域大气污染联防联控工作积累了有益经验。

在未来几年，以上措施的绝大部分还将继续在我国的大气污染防治中起到重要作用，然而，仅仅依靠以上措施，并不足以使我国一次颗粒物和二次颗粒物的前体物排放量在每个 5 年计划内减少 15% 以上，进而实现空气质量改善的目标。首先，我国的大气污染治理法规基础尚显薄弱，对大气污染治理政策措施的支持不够；其次，我国大气污染综合控制的能力建设全方面滞后，从国家到地方，从固定源污染控制到移动源污染控制，从政策制定到管理实践，人力投入和科学支撑都非常缺乏，无法形成一套完整的管理体系，更无法应对压缩型、复合型特征突出的区域大气污染；第三，在未来相当长一段时间，我国的工业化、城市化和机动车化进程仍将继续，燃煤年消费量将持续增长并超过 40 亿吨，每年的新增轻型汽油车将保持在 1500 万辆以上，我国的大气污染物削减必须在消化发展带来新增排放量的基础上，进一步大幅削减存量，压力巨大；第四，我国对燃煤和机动车污染的控制水平还非常低，目前主要还是依赖末端治理，缺少系统性、综合性的高效控制措施。

综合以上分析，为了确保我国空气质量改善目标的实现，我国需要在法规、管理机制、能力建设、控制措施等多方面进行完善。本研究总结了美国和欧洲的

空气质量管理经验，结合我国控制实践，针对我国的区域空气质量综合控制提出了 5 条政策建议。

4. 区域空气质量综合控制政策建议

4.1 加快大气法修订

我国的《大气污染防治法》（以下称《大气法》）于 1987 年制定。随着大气污染工作开展的进程，我国分别于 1995 年和 2000 年对《大气法》进行了修订，并在此基础上制定和实施了一系列的法律和规章，推动大气污染防治。多年以来，《大气法》对于减少大气污染物排放、防治大气污染、保护人民群众健康、促进经济和社会可持续发展发挥了重要作用。然而自 2000 年以来，我国的大气污染特征有了巨大变化，由典型的煤烟型污染向复合型污染转变。具体而言，在引起大气污染的主要污染物方面，由以 SO_2 和 PM_{10} 为主转变为以 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 和 O_3 及其各种前体物为主；在污染的影响范围方面，由以城市污染为主转变为覆盖多个城市的区域污染为主；在主要污染源方面，由以燃煤污染为主转变为燃煤源、移动源和工业过程源的综合污染。目前，我国快速的工业化、城市化和机动车化进程造成了空气污染的区域性、复合性和压缩性特征，而现行《大气法》已难以适应新形势下大气污染防治的需求。我国必须在以下方面对《大气法》进行修订，以对相应的政策措施提供法律支持：

一是把对人体健康有重要影响的 $\text{PM}_{2.5}$ 和 O_3 作为我国大气污染防治的核心内容。由于 SO_2 、 NO_x 、 VOCs 、 NH_3 等污染物经化学反应形成的二次细颗粒物占我国空气中 $\text{PM}_{2.5}$ 的 50% 以上， NO_x 和 VOCs 更是 O_3 形成的主要反应物，因此，《大气法》中必须强调对多污染物排放的综合控制。需要在继续深化 SO_2 、烟粉尘治理的同时，强化对 NO_x 、 VOCs 、 NH_3 等形成二次 $\text{PM}_{2.5}$ 和 O_3 的重要前体物的排放控制；针对这些污染物的主要来源，在继续深化工业污染治理的同时，突出抓好中小锅炉、扬尘、餐饮油烟、装修喷涂等面源污染，以及机动车等移动源污染防治工作。

二是把空气质量改善作为大气环境管理的核心内容。进一步明确政府在其辖区空气质量达标管理中的责任和义务，并对各级政府在大气质量管理方面赋予更多职能。建立城市空气质量达标管理的技术路线，根据不同城市空气质量现状与达标的差距，规定不同的达标期限，并针对其整个达标过程提出分阶段目标和重点工作内容；明确环境空气质量不达标的后果，对于不能按期达标的城市政府依法进行惩罚。

三是完善区域空气污染联防联控机制，解决大气污染物跨行政边界传输的问题。针对细颗粒物和臭氧不达标的现象，要求新增项目（包括固定源和移动源）都必须采用可获得的最优技术。借鉴欧洲和美国经验，针对 SO_2 、 NO_x 、VOCs 等能进行长距离传输、影响区域空气质量的污染物，通过完善区域总量控制制度，由环境保护部基于污染物的区域影响确定排放总量控制目标并分配至各行政区，减少区域内上风向大气污染物排放对下风向空气质量的影响，并通过区域大气污染联防联控机制保障其目标的实现。

四是进一步强化对违法行为的处罚，提高大气环境违法成本。首先要加大违法行为处罚力度，现行《大气法》中对于大气污染物排放主体超标排放、环境空气质量不达标、数据弄虚作假等行为的处罚标准过低，导致违法成本远低于守法成本，不利于推动大气污染防治工作的进行；其次要细化限期治理条款，并将限期治理决定权授予各级政府环境保护行政主管部门；此外，需要降低执法成本，加大执法力度，细化环境监管人员的法律责任，使违法主体受到相应处罚。

五是重视非道路移动源的排放控制。将船舶、飞机、火车以及非道路用机械的废气排放纳入大气法管辖范围，明确环保部在非道路移动源领域内的管理职责。

4.2 完善空气质量管理机制，提升空气质量管理能力

自上世纪 70 年代我国开展大气污染防治开始，管理主要以重点污染源排放强度和主要污染物排放总量为中心，而非环境质量；大气污染物减排目标确定的依据主要是减排的技术和经济潜力，而非人体健康对大气质量的要求；大气质量评价的主要对象是 SO_2 、 NO_2 和 PM_{10} 等三项大气污染物，而非 $\text{PM}_{2.5}$ 和 O_3 这两种对人体健康影响更大的污染物。为了保障广大人民生活的大气环境健康、舒适、安全，我国必须尽快转变大气污染控制思路，把大气质量达标作为管理工作的核心和最终目标，把 $\text{PM}_{2.5}$ 及其相关前体物的“总量减排”作为“质量改善”的重要手段。这样的空气质量管理模式需要以完善的管理机制和强大的管理能力作为支撑。与欧洲和美国相比，我国面临的空气污染形势更为复杂，管理任务更为艰巨，但是在管理人员数量、机构设施、经费支持和科技支撑等诸多方面都更为薄弱。为了适应空气质量达标和污染物减排对环境管理提出的要求，我国需要在以下方面强化机制和能力建设：

一是参考欧美等国家的大气管理体系，配置相应资源。我国的大气管理职能分散于环保部的多个业务部门，包括总量司、污防司、规划司、监测司、科技司等等。由于各业务部门间在管理职责方面存在交叉，对整个大气管理工作无法进

行高效协调；同时，大气管理工作在各司中仅仅由一个处（或者更少）的人员负责，资源投入相当有限，即使是直接负责空气质量管理污染防治司大气处，也仅有 4 人的编制。与之相对，美国负责大气管理方面的“大气与辐射办公室”是美国联邦环保署的 11 个中央机构之一，由环保署助理署长直接领导，下辖 4 个司级机构，分别管理规划和标准、国家大气计划、移动源污染防治和室内污染防治，管理人员的数量高达 1400 人。在这样的管理架构下，美国的大气管理工作既能够高效统一地进行协调，又能对每一项具体工作进行细化，明确分工，各司其职，为推动其大气管理的能力提高奠定了体制基础和人员基础。与美国类似，欧洲国家在大气管理方面，也大多是由一个机构进行统一协调，并针对具体的精细化管理工作配置人力。为了提高我国大气管理的能力，以达到定量化和精细化管理的要求，我国需要全面整合和大气管理相关的职能和资源，参考我国药品监督管理、水资源管理以及核安全管理的模式，在环保部设立专门的大气管理机构，统筹大气质量管理工作；同时需要大幅增加直接进行管理和对管理提供技术支撑的人力资源，为实现大气质量定量化和精细化管理奠定基础。

二是在京津冀、长三角等区域空气污染严重的典型地区，完善区域大气污染联防联控管理机制，统筹区域内大气质量管理工作。当前，我国实行以属地管理为主的环境管理体制，导致环境行政主管部门只对本级政府负责，不利于解决区域空气污染问题；同时，与国家大气管理人员相比，地方从事大气污染防治的管理和技术人员更加缺乏。与此相对，美国联邦环保署下设的十个区域办公室都有专门负责大气污染项目的工作人员与所在管辖区的州政府部门合作，在统筹区域空气管理工作的同时，帮助地方培养了一批领导型人才和具有空气管理专业能力的专家型人才，加强了解决区域大气环境问题的能力。我国需要在京津冀、长三角、珠三角等区域空气污染严重的典型地区设立专门机构，负责统筹区域内的大气质量管理工作。通过组织联席会议，建立统一协调的区域联防联控工作机制；加强区域环境执法监管，建立区域大气环境联合执法监管机制；实施区域会商，建立重大项目环境影响评价会商机制；促进信息交流，建立区域环境信息共享机制；实施区域联动，建立区域大气污染预警应急机制。在实现区域大气污染防治工作“统一规划、统一监测、统一监管、统一评估、统一协调”的同时，加强城市机构能力建设，重点城市设立大气环境质量综合管理部门和机动车污染管理执法部门，形成国家、区域、城市三级大气污染管理体系。

三是增加在大气质量管理方面的资金投入，尽快开展和实施“国家清洁空气行动计划”，并纳入国家预算。我国“十一五”期间环保投资约占 GDP 的 1.35%，低于发达国家水平；长期以来，相对于水环境保护、重金属污染控制、生态保护等领域，我国在大气污染防治方面的投入也偏少。这直接致使我国大气管理能力建设投入不足，支持定量化和精细化管理的数据和科学研究非常缺乏。在资金方面，中央应设立大气污染防治专项资金，加强大气污染防治专业管理人员和技术

人员的引进，增强科研能力和基础管理能力建设；同时建立投资主体多元化和投资方式多样化的投入机制，采取“以奖代补”、“以奖促治”等方式，引导和鼓励地方政府与企业主动投资治理大气污染。在科学技术方面，应尽快开展一批国家级的专项研究，在我国不同区域大气污染的产生机理、来源解析、防治路径等重大科学问题上取得突破。

4.3 加快经济发展方式转变，推动污染物持续大幅削减

美国和欧洲的经验表明，其空气质量的改善是伴随着经济发展模式的转变实现的。近 30 年来，欧洲和美国等后工业化地区的重化工业比重持续降低，使得工业过程的大气污染物排放量逐渐减少。而我国目前正处于工业化后期，经济发展严重依赖于高能耗、高污染的行业。虽然与 1990 年相比，我国多种大气污染物的单位 GDP 排放强度分别降低了 40%~80%，但是由于在经济高速发展过程中，重化工业迅速增长，我国的 SO₂ 和 NO_x 等大气污染物排放量仍然增加了 1~3 倍。尤其是 2000 年以来，我国粗钢产量增长了 4 倍，水泥产量增长了 2 倍（如表 4 所示）；到 2010 年，我国京津冀地区的粗钢产量和长三角地区的水泥产量分别为美国全国的 1.9 倍和 4.3 倍。为了在保持经济平稳高速增长的同时大幅削减大气污染物的排放量，必须使大气污染物的单位 GDP 排放强度以比过去 20 年更快的速度下降，以抵消 GDP 高速增长对污染减排的负效益。

表 4 我国 2000 和 2010 年的钢铁和水泥产量（亿吨）

	1990	2000	2010	2010 年占全球产量的百分比
粗钢	0.66	1.29	6.27	44%
水泥	2.10	5.97	18.68	60%

为达到这一目标，我国政府亟需利用社会经济发展转型这一契机，由发改委、工信部、环保部等部门联合制定积极的政策措施，推进产业结构调整，减少重化工业造成的大量排放；并调整产业布局，逐步疏散重化工业集中、大气污染严重地区的产能。这主要包括：

- 在国家宏观经济结构层面，通过建立可持续的投资和消费模式，减少各地经济发展对重化工业的依赖。在提高第三产业和高附加值工业比重的同时，降低高耗能、高污染产业的发展速度。根据对我国经济发展的预测，未来 15~20 年，我国的国民经济还将保持平稳较快发展，城市化进程将进一步加快，产业的重化工业化特征仍将非常明显。我国需要大力推动战略性新兴产业的

发展，通过有区别的经济政策引导投资和消费模式向可持续转变。同时充分利用行业性的污染物排放总量或能源消费总量控制制度形成倒逼机制，力争使钢铁、水泥等重化产业的产量在“十三五”达到峰值并开始下降。

- **在污染产业自身发展层面，提高技术水平，在提升行业产值的同时降低总体能耗和大气污染物排放量。**一方面要提高产业门槛，强化节能、环保、安全等指标约束，依法严格实施节能评估审查和环境影响评价，并强化建设用地审查，严格贷款审批；另一方面，通过淘汰火电、钢铁、建材等重污染行业的落后产能，提高这些行业的整体技术水平，从而促进其产业优化，减少大气污染的排放。在提高准入门槛和推动落后产能淘汰的过程中，贯穿始终的是推动清洁生产技术和污染物排放控制的最佳可用技术在全行业中的普及和高效使用，如降低挥发性原辅料在涂装、清洗工艺中的使用等，同时延长产业链，通过增加精加工的高附加值产品比例，在重化工业企业自身发展的同时降低污染物排放量。
- **在产业布局层面，要逐步疏散京津冀、长三角、珠三角等区域型复合大气污染严重地区的重化工业产能。**京津冀、长三角、珠三角等区域的经济社会发展总体水平较高，其中部分城市和地区已经或者正在由工业化后期转入后工业化阶段。这些城市和地区有的已经或者正在形成条件，通过重化工业产能的疏散和能源结构的大幅调整，降低本地多种大气污染物排放量，为降低这些地区的大气污染物排放强度创造有利条件。在产能疏散时，需要对转移的产能提出严格的技术和环境要求，必须满足准入标准的限制条件，且不会影响产能承接地空气质量改善目标的实现。

4.4 优化能源结构，实现煤炭的高效清洁可持续利用

煤炭是我国重要的基础能源。2000 年以后，我国煤炭消费量迅速增长，在 10 年间从 14 亿吨增加到 31 亿吨；到 2010 年，中国的煤炭消费量已占全球煤炭消费总量的 48.2%。与天然气等清洁能源相比，煤炭使用过程中的 SO_2 、颗粒物、重金属、 CO_2 等各种大气污染物排放量都更高。而由于资源禀赋的限制，我国的能源结构以煤为主，从上世纪 80 年代以来，煤炭占我国一次能源消费量的比重一直在 70%左右，远高于其他国家 20%左右的比例。以煤为主的能源结构是我国大气污染物大量排放的重要原因，我国 SO_2 排放量的 90%、 NO_x 排放量的 67%、烟尘排放量的 70%和人为源大气汞排放量的 40%都来自于燃煤；我国煤炭消费强度也与区域大气污染，尤其是 $\text{PM}_{2.5}$ 污染在空间分布上有很强的一致性（如图 8 所示）。因此，大幅降低燃煤过程的大气污染物排放量，是改善我国，尤其是东部重污染区域环境空气质量的必要条件。

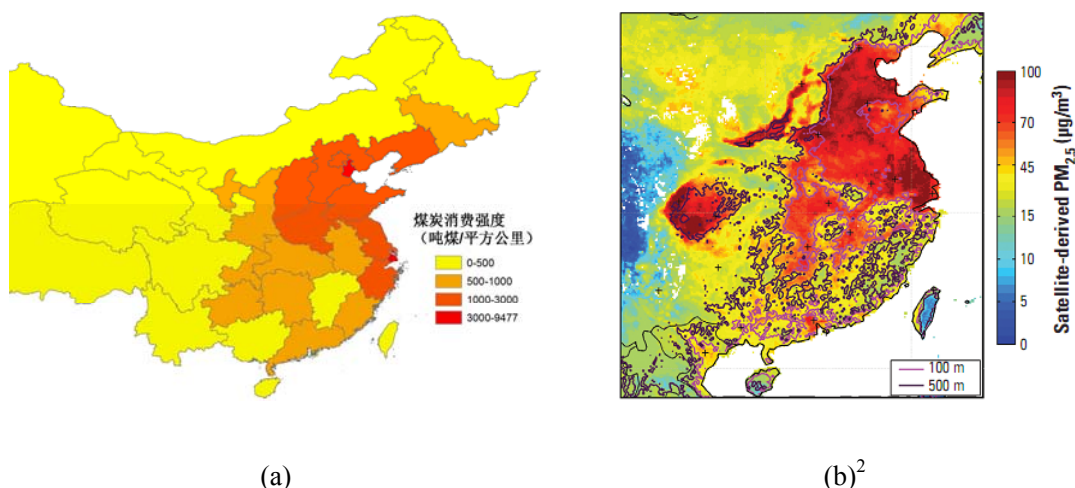


图 8 我国东部地区的 $PM_{2.5}$ 污染更为严重 (b)，与煤炭消费强度 (a) 的空间分布一致

数据来源：2011 中国能源统计年鉴，中国统计出版社，2012；van Donkelaar et al., 2010. Global Estimates of Ambient Fine Particulate Matter Concentrations from Satellite-Based Aerosol Optical Depth: Development and Application, *Environmental Health Perspectives*, 118 (6): 847-855

能源资源禀赋的特点决定了在未来相当长一段时期内，我国以煤为主的能源结构特点不会改变，只有实现煤炭的清洁高效可持续利用，才能为控制燃煤过程的大气污染物排放量提供先决条件。建议由发改委、环保部等部门共同出台相关政策，对我国的能源系统进行优化，在推动我国能源结构由煤向气等清洁能源转变的同时，实施煤炭清洁高效可持续利用战略，推动相关技术进步。主要政策包括：

- **优化能源结构，降低煤炭占我国一次能源的比重。**在近期大力增加天然气的供应量，发展核能；在中远期大力发展风能、太阳能、生物质能等可再生能源，力争使煤炭占我国一次能源的比重每五年降低 3 至 5 个百分点。
- **控制区域煤炭消费总量，优化煤炭消费的空间分布。**在北京、上海等煤炭消费强度大、工业化基本完成的区域，减少煤炭消费量；在东部其他地区控制煤炭消费的增长速度。逐步降低京津冀、长三角、珠三角等空气污染严重区域的煤炭消费量。

² 范·东克莱尔 等, 2010. 基于气溶胶光学厚度卫星观测的全球细颗粒物环境浓度估算：发展和应用, *环境健康观点*, 118 (6): 847-855.

- **改善我国煤炭消费结构，促进煤炭消费向使用最佳可行技术的电力等大型燃煤设备转移**，减少煤炭在工业和民用部门的终端消费。力争在 2020 年和 2030 年，使电力部门的煤炭消费在全社会煤炭消费量的比重增长至 60%和 65%。
- **强调煤炭生命周期全过程的污染控制，推进煤炭的洗选和输配**。力争在 2030 年以前把我国的煤炭洗选比提高到 70%以上，与国际水平接轨。
- **大力推进民用部门燃料清洁化进程**。减少民用部门的原煤和生物质直接燃烧，推广气体能源和型煤。

除此之外，我国作为世界上煤炭消费量最大的国家，必须开发并使用全球最佳的燃煤污染控制技术，在煤炭使用的清洁化水平上逐渐达到全球领先。通过严格的排放标准和准入措施，推进高效脱硫、脱硝、除尘等大气污染控制最佳可行技术的研发和使用，并保证这些技术在燃煤污染源上高效稳定运行，减少污染物排放量。

4.5 全面强化移动源污染控制

移动源排放已成为导致中国环境空气质量问题的一个突出因素。在北京和上海等大城市以及东部人口密集区域，移动源对 PM_{2.5} 污染的贡献可高达 20%-25%；由于汽油车数量激增、二阶段油气回收推进缓慢且实施效果难以保证、汽油的夏季蒸气压规定相对宽松等因素，汽油车油气大量挥发成为导致大城市 O₃ 超标的重要原因。移动源污染控制已经成为对中国大气质量管理最大的挑战之一，其控制效果在很大程度上决定了我国的区域空气质量是否能得到有效改善，也是关系到公众对政府相关政策和实施满意度提高的重大影响因素。目前，不管是发达国家还是发展中国家，移动源污染防治都正面临着前所未有的挑战，受到非常高度的重视。各国都在积极总结经验教训，探索更加科学合理和高效的移动源污染控制方案。我国已成为世界上最大的汽车市场，机动车数量迅速增加，导致拥堵趋于严重，污染物排放难以得到有效控制，对高度密集居住的城市居民的健康构成了长期危害。为有效控制移动源污染，我国需要从移动源管理、车用能源和城市规划等角度，对“油—车—路”系统制定综合政策。

针对“油”，要提前实现车用燃料的低硫化和无硫化。现代移动源排放高效净化处理技术的应用，对燃用的汽油和柴油类燃料的品质有严格要求，其中最基本的是燃料达到低硫（硫份低于 50ppm）要求，最好实现无硫（硫份低于 10ppm）。在车用汽柴油的低硫化和无硫化推进方面，我国在过去的 10 年中只有北京和上海等少数城市有所进展。低硫化和无硫化推进的迟缓直接导致了更加严格的机动车排放标准推迟实施，使得环境空气质量改善目标难以实现。研究表明，如果低

硫化和无硫化正常推进，重型柴油车“国Ⅳ”排放标准按时（而非推迟 30 个月）实施，排放的颗粒物会比“国Ⅲ”标准降低约 80%，NO_x 会降低约 30%。这种排放的差异将会导致 5 至 10 年以上的长期环境空气污染影响。事实上，我国的大型炼厂已经具备了相当的生产低硫和无硫汽柴油的能力，适当的价格和经济鼓励政策将会在短期内有效地实现低硫和无硫燃料的市场供应，这将对我国移动源污染治理和环境空气质量改善起到实质性的作用。因此，建议中国政府特别给予车用燃料低硫和无硫化以高度注意，授予环境保护部在油品质量方面的管理权，明确时间和目标，迅速制定有效政策，快速实现车用燃料的低硫化和无硫化，同时推进非道路移动源油品的低硫化。

针对“车”，要加速制定和实施全方位的排放标准。国际经验表明，完善的排放标准是实现移动源污染防治的基本法规条件。目前，中国的机动车排放标准体系已经初步完善，并在过去的 10 余年中起到了较长期影响的作用，但与发达国家相比，在限值的严格程度、覆盖的范围和实施监管的合理性方面仍有差距，需要进一步完善。诸如铁路、水运、农用和工程机械、发电、小型通用机械等内燃机的排放标准，以及油气挥发的排放标准方面还存在许多需要完善的内容。因此，政府相关部门要加速制定和实施全方位的内燃机排放标准，应当组织各类相关人员参与这些排放标准的制定和完善，充分吸收包括内燃机工程、环保、汽车等各界的意见建议，尽可能考虑世界上最先进和合理的技术要求，并尽早发布实施。通过先进、严格的标准，积极推进近零排放（P-ZEV）直至零排放（ZEV）发动机和车辆技术的创新和发展，并对目前标准尚未涵盖的排放过程（如汽油加油过程的 VOCs 排放）提出控制要求。建议中国政府坚持在燃料条件许可的情况下尽早实施尽可能严格全面的排放标准，重点区域城市可在 2015 年前对城市行驶的柴油新车实施“国Ⅴ”排放标准，要求加装主动再生式柴油颗粒过滤器（DPF）；对轻型汽油新车强制实施“国Ⅴ”阶段的全部排放控制技术要求，包括控制加油过程挥发排放的车载油气回收系统（ORVR）；对具备治理条件的在用柴油车实施鼓励性的自愿改造项目。

针对“路”，要建立全新的城市可持续交通体系。发达国家的许多经验教训表明，建立城市可持续的交通体系对交通污染控制而言至关重要。需要在交通系统中，强调城市公共交通发展设计、自行车和步行道路设计、静态交通管理等理念，设计低排放区和零排放区、绿色客货运输、交通调峰等管理手段，建立有特点的全新城市交通发展体系。建议大气污染控制重点区域城市在 2013 年内划定低排放区、零排放区并制定相应管理措施，重点削减划定区内公交车和出租车的排放，并实行对高排放私人汽车的错峰和限行管理。

此外，在上海、深圳、广州、南京、宁波等港口城市，船舶已成为影响空气质量的重要污染源，但在目前的管理体制下地方政府无法对其开展有效监管。环

保部与交通部应建立船舶污染控制合作机制，明确地方环保与交通部门的管理职责，划定长三角及珠三角区域船舶硫排放控制区并实施严格管制，积极开展码头船舶岸电设施建设。对施工机械、农用机械、火车等其他非道路移动源，环保部门也要加速排放标准、油品标准、管理制度的制定和实施。

致 谢

在相关政府部门的关心支持和中国环境与发展国际合作委员会的资助下，项目工作组整合中外专家资源，经过一年的工作和努力，以长三角地区和深圳市作为案例，基于空气质量改善特别是 $PM_{2.5}$ 达标的目标，对我国空气质量改善的发展战略进行了系统研究，提出了区域空气质量综合控制的政策建议。

特别感谢中国环境保护部李干杰副部长、污染防治司赵华林司长、总量控制司刘炳江司长，以及污防司、总量司等的大力支持，感谢领导多次参加项目讨论，提出重要的指导意见。

研究组在上海调研期间，获得了上海环保局张全局长、上海市环境监测中心等领导的大力支持，在此表示感谢。

研究组在美国交流学习控制经验期间，美国环保局、加州空气资源局以及南海岸空气质量管理局为我们安排了多场细致全面的报告，悉心解答研究组提出的问题，并提供重要的参考资料。在此，对美国环保局、加州空气资源局以及南海岸空气质量管理局的许多朋友、同事的大力支持表示感谢。

研究过程中，我们力求做到科学、先进、实用，也希望相关的研究结果和结论能为国家和地方相关政府部门今后的决策提供有益的参考。在此，研究组全体成员向所有关心和支持本课题的领导、专家和朋友表示感谢。

（本报告由“区域空气质量综合控制体系”专题研究项目组提供）