

我国大气环境污染现状及防治措施研究

2012年开始实施的火电厂污染排放新标准大幅下调了氮氧化物、二氧化硫和烟尘的排放限值，针对重点地区制定了更加严格的特别排放限值，增设了汞的排放限值。排放标准的加严无疑将增加火电行业的环保投入，但从环境保护方面来看，新标准的实施将有利于控制电力行业污染物排放，促进我国大气环境质量的改善。

文 / 郝吉明 程真 王书肖

改革开放30多年来经济的高速发展，城市化进程的不断加快，以资源消耗为主的粗放型经济增长方式带来的高强度污染排放，使我国各地区特别是东部经济发达地区各种环境问题集中爆发，大气污染呈现出煤烟型与机动车污染共存的新型大气复合污染，颗粒物为主要污染物，霾和光化学烟雾频繁、二氧化氮浓度居高不下，酸沉降转变为硫酸型和硝酸型的复合污染，区域性的二次性大气污染愈加明显。

严重的大气污染对公众健康、生态环境和社会经济都会产生巨大的威胁与损害，为此，我国环保部门开展了一系列污染控制举措。“十一五”期间，通过全国二氧化硫排放总量控制的实施，超额完成了二氧化硫排放量削减10%的约束性指标。如图1所示，“十一五”期间，全国煤炭消耗总量增加9亿吨，2010年二氧化硫排放总量却比2005年下降14.3%，113个重点城市的年均二氧化硫浓度从0.057毫克/立方米下降为0.042毫克/立方米。

针对首要污染物PM₁₀，通过开展重点行业的烟尘排放控制、城市建筑工地及道路扬尘治理等工作，全国重点城市的空气质量监测结果显示，2001年全

国大部分区域的年均值大于0.13毫克/立方米，到2011年下降为0.07~0.1毫克/立方米，只有少数地区为0.1~0.13毫克/立方米。

此外，北京、上海等特大城市利用举办奥运会、世博会的重要契机，加大加严对大气污染的控制力度，使3项主要污染物浓度得到持续明显改善，如图2所示。

我国大气污染现状

近年来，通过实施一系列的大气环境治理措施，我国大气环境取得了明显改善，但从污染物

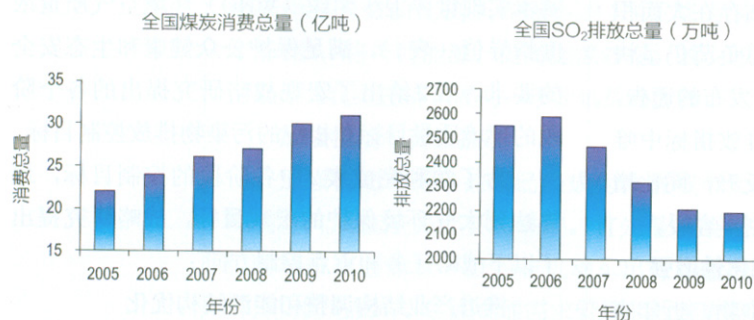


图1 “十一五”期间我国煤炭消费总量和SO₂排放总量

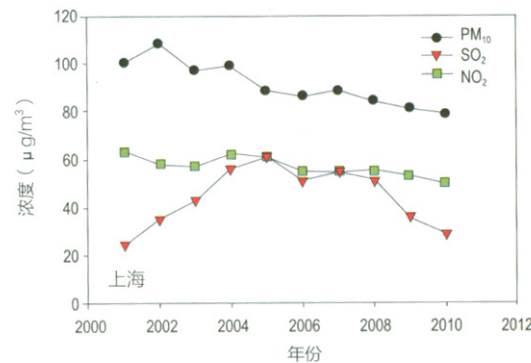
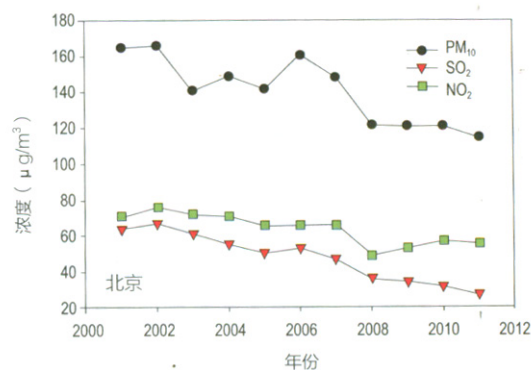


图2 北京和上海主要污染物历年年均浓度变化

氮氧化物不仅直接对人体健康产生危害,同时也是造成臭氧污染、二次颗粒物和酸雨的重要前体物。

浓度的绝对值及未来面临的压力来看,我国的大气污染依然形势严峻,主要体现在以下方面:

大部分城市的PM₁₀浓度仍然维持高值

2011年,全国55.8%的重点城市PM₁₀浓度为0.07~0.1毫克/立方米,19.7%的重点城市浓度大于0.1毫克/立方米,以最新修订的《环境空气质量标准》进行评价,绝大部分城市属于二级超标,西南部和南部少数城市能够二级达标,一级达标的城市不到2%。必须指出,经过多年对一次排放颗粒物的大幅治理,细颗粒物在PM₁₀中所占比例将愈来愈高,这无疑将进一步加大颗粒物污染控制工作的难度。

霾污染问题日益突出

霾原为气象学名称,但近年来我国区域性霾污染天气日益严重,以PM_{2.5}为代表的细颗粒是其主要成因。环保部灰霾试点监测的结果表明,2010年各试点城市发生灰霾天数占全年天数的比例为20.5%~52.3%,且在近几年呈上升趋势。针对PM_{2.5},综合发表文献的科学研究数据,北方城市PM_{2.5}年均浓度为0.08~0.1毫克/立方米,南方城市为0.04~0.07毫克/立方米。上海、南京等地2006—2010年连续观测结果表明:PM_{2.5}整体呈上升或持平趋势。由于约50%左右的PM_{2.5}来自气态污染物的化学转化,组分构成复杂,污染来源广泛,对颗粒物污染控制提出了新的更高的要求。

许多城市环境大气的二氧化氮浓度不降反升

氮氧化物不仅直接对人体健康产生危害,同时也是造成臭氧污染、二次颗粒物和酸雨的重要前体物。新的《环境空气质量标准》将二氧化氮二级标准年日均值从0.08毫克/立方米修订为0.04毫克/立方米,全国许多大城市和经济发达地区的二氧化氮将处于超标状态(图3)。卫星观测资料表明,我国东部地区和珠江三角洲存在大面积的二氧化氮污染,且大气二氧化氮总负荷仍呈快速增长的趋势。根据环境保护部最新发布的通告,2011年上半年全国4个主要污染物排放指标中唯独氮氧化物排放总量同期相比不降反升,同比增加6.17%,氮氧化物的排放控制显得刻不容缓。

臭氧污染超标频繁,大气总体氧化性增强

臭氧是光化学烟雾的代表性污染物,近年来我国许多城市机动车保有量激增,导致氮氧化物

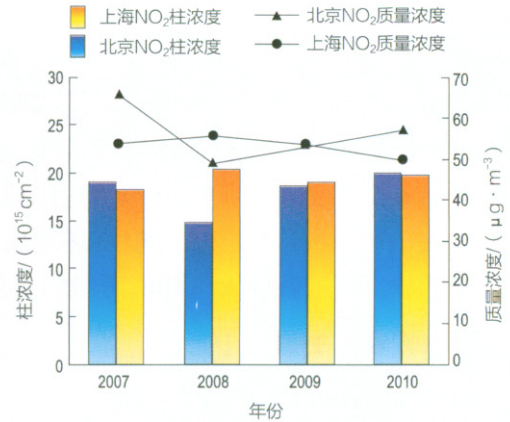


图3 北京和上海近年来NO₂柱浓度和质量浓度变化(2007—2010)

和挥发性有机物浓度迅速上升,高浓度的臭氧超标频繁出现,京津冀地区、长三角和珠三角地区已呈现区域性光化学污染。

大气环境管理目标及防治措施

经历了30多年经济的快速发展之后,面对当前严峻的大气环境污染形势,中国工程院和原国家环保总局于2007年启动了“中国环境宏观战略研究”,系统回顾了我国30多年的环保工作历程,认真总结了我国环境保护工作的经验和教训,提出了环境保护的战略思想、方针、目标、任务和措施。2010年发布的研究成果被公认为是当前及今后一段时间环境保护工作的指南性文件。

针对我国大气环境管理的战略目标,环境宏观战略研究基于保护人体健康、生态安全,促进技术进步和实施区域控制等原则,结合世界卫生组织环境空气质量的的目标值和指导值,给出了规划年的大气环境保护的总体目标:到2050年,通过大气污染综合防治,大幅度降低环境空气中各种污染物的浓度,城市和重点地区的大气环境质量得到明显改善,全面达到国家空气质量标准,基本实现世界卫生组织(WHO)环境空气质量浓度指导值(表1),满足保护公众健康和生态安全的要求。表2给出了宏观战略研究提出的各个阶段的环境质量目标和相应的污染物排放控制目标。

为了顺利完成表2中各阶段的控制目标,最终达到大气环境保护的宏观目标,战略研究提出了以下战略任务和重点控制方向:

推进产业结构调整 and 能源结构优化

推进产业结构调整 and 能源结构优化是减少各

表1 世界卫生组织 (WHO) 各阶段环境空气质量的的目标值及指导值

阶段	PM ₁₀		PM _{2.5}		O ₃	NO ₂		SO ₂	
	年均	日均	年均	日均	8小时平均	年平均	小时平均	小时平均	10分钟平均
I	70	150	35	75	160	-	-	125	-
II	50	100	25	50	-	-	-	50	-
III	30	75	15	37.5	-	-	-	-	-
指导值	20	50	10	25	100	40	200	20	500

表2 各阶段质量目标和排放控制目标

阶段	质量目标	控制目标
2020年	95%以上城市达到国家二级标准；经济发达城市达到WHO阶段II标准；酸沉降临界负荷面积较2005年下降50%。	SO ₂ 排放量较2005年降低30%；NO _x 排放量较2010年降低10%；PM ₁₀ 排放量较2005年降低20%；VOC保持和NO _x 的控制同步。
2030年	80%以上城市达到WHO阶段III标准；酸沉降临界负荷面积较2005年下降80%。	SO ₂ 排放量较2005年降低50%；NO _x 排放量较2010年降低20%；PM ₁₀ 排放量较2005年降低30%；VOC保持和NO _x 的控制同步。
2050年	基本实现WHO设定的指导值。	SO ₂ 排放量较2005年降低60%；NO _x 排放量较2005年降低40%；PM ₁₀ 排放量较2005年降低50%；VOC保持和NO _x 的控制同步。

种大气污染物排放的根本措施，从源头上降低大气污染物排放应成为我国大气污染控制政策的优先选择。具体分为：通过制定持续性的能源强度目标，调整经济和产业结构，降低企业万元产值能耗和污染物排放；建立区域污染物总量或者能源消耗总量控制制度，促进经济发达地区能源价格优化和能源清洁化进程；改变以煤为主的能源战略，尽早实现能源结构转型。

发展清洁能源，调整能源消费布局，提高能源效率

积极推动能源需求总量控制，建立区域煤炭消费总量控制制度；积极发展洁净煤技术，提倡煤的洁净燃烧，大力调整能源结构，增加新能源和清洁能源的比重，努力将2030年的煤炭消费量控制在30亿吨标煤以内，调整终端用能结构，增加电力、天然气等清洁能源的比重，使我国终端煤炭消费占终端能源消费的比例从2005年的47%下降为2030年的25%，将节约能源、提高能源效率、减少环境污染作为我国经济发展的一项长远战略方针。

加强机动车污染控制

加强机动车污染控制已经成为改善城市大气环境空气质量至关重要的举措。首先是发展可持续的城市交通体系，提倡非机动车出行，包括坚持公交优先战略、加强交通需求管理和改善道路通行条件等；严格新车排放标准限值，提高车辆排放

控制水平，缩短我国新车排放标准的实施进度与欧美间的差距，降低燃料含硫量，保障车用油品质量，满足新车排放标准对油品质量的更高要求；完善在用车管理体系，加强在用车污染控制；加强柴油车污染控制，合理发展清洁柴油车车辆，重视清洁能源汽车研发，鼓励替代能源多渠道发展。

深化二氧化硫排放控制

提升煤炭品质，减少二氧化硫排放，实施分区域、分行业排放控制，对电力、冶金、有色、化工和建材行业专门出台行业性污染控制政策；进一步完善和落实火电脱硫政策，加强对工业锅炉、其他工业行业以及生活面源致酸物质排放的控制。

坚定实施氮氧化物排放总量控制

以达标控制为基础，在重点行业推进总量控制，严格控制火电厂和机动车的氮氧化物排放。国家“十二五”规划已将氮氧化物排放总量作为减排约束性指标，规定2015年重点行业和重点地区氮氧化物排放总量比2010年减少10%。

强化一次颗粒物排放控制

加大水泥行业和钢铁行业的颗粒物污染治理力度，在电厂和工业锅炉安装高效除尘装置，控制道路扬尘、秸秆焚烧等无组织颗粒排放，恢复生态以降低沙尘暴的影响。

适时启动挥发性有机物排放控制

建立健全挥发性有机物的控制法规和标准体系，重点加强对工业有机废气、工业溶剂使用过程、机动车和加油站的挥发性有机物和装修涂料、干洗业等民用挥发性有机物的控制。

加强区域复合大气污染控制

加快加强区域复合大气污染控制战略研究，构建科学的空气质量标准和目标体系，制定多污染物综合控制方案，逐步建立区域协调机制和管理模式。

逐步开展有毒有害大气污染物排放控制

加强大气汞污染基础研究和能力建设，开发推广大气汞污染治理技术，减少人为大气汞排放，逐步建立健全我国汞污染防治监管体系。

火电行业大气污染防治意义重大

火电厂规模未来将继续扩大

截至2010年底，我国火电装机容量已达到7.1

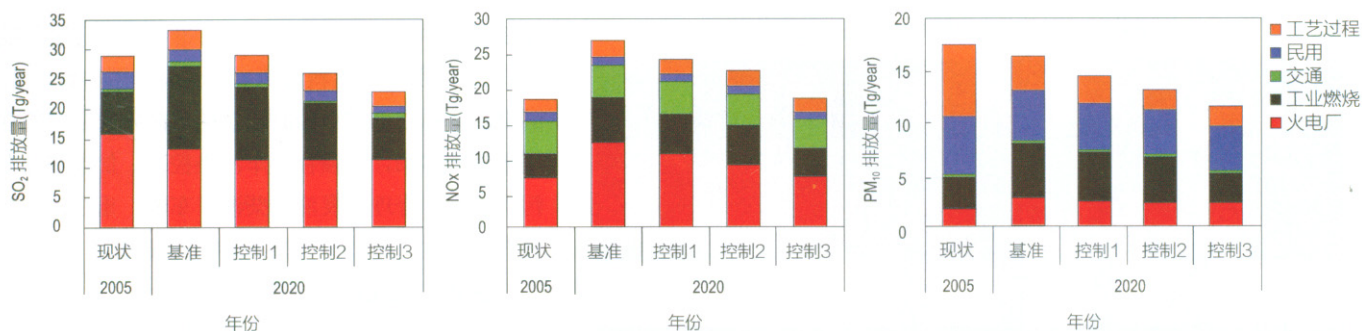


图4 不同情景下全国大气污染排放构成

亿千瓦，位列世界第二位，较2005年累计净增容量3.2亿千瓦，年均增长12.64%，平均每年净增容量6366万千瓦。更为严峻的是，根据电力行业“十二五”规划预测，到2015年火电装机容量将增加到9.3亿千瓦，届时我国将成为名副其实的世界第一火电大国，如此庞大且处于增长期的火电厂规模，对污染物持续减排带来前所未有的挑战。

火电厂空间分布高度集中

我国现有火电厂的分布很不均衡，目前，我国70%的燃煤电厂分布于东中部负荷中心。2010年底，东部地区火电装机达到3.2亿千瓦，约占全国的50%，长江沿岸平均每30千米就建有一座发电厂，南京到镇江段电厂平均间隔仅10千米。

火电厂污染排放和浓度贡献比例高

我国火电厂规模的持续扩大，必将带来高负荷的污染物排放，加上空间分布的高度密集，导致我国东部地区污染排放强度远高于其他地区，火电厂对环境污染的贡献举足轻重。

图4列举了关于火电厂污染排放分担的研究结果。基于2005年的基准情景以及2020年的多种控制情景，火电厂排放的二氧化硫的分担率为40%左右，氮氧化物的分担率为45%左右，PM₁₀的分担率较低，为20%左右。

利用空气质量模型，基于不同的排放控制情景，可以定量评估火电厂污染排放对空气质量浓度的贡献。利用CMAQ模型模拟得出的火电厂污染排放对空气污染浓度的贡献率表明，对二氧化硫的浓度贡献以东北、中南和西南地区最为明显，氮氧化物则是东北和华北地区火电厂的贡献较高；火电厂对PM₁₀的浓度贡献最低，高值贡献区主要集中在中南和西南地区的火电厂。必须指出，对于像PM_{2.5}这种二次转化比例更高的污染物，火电

厂的控制效益会更显著，因为它不仅削减了一次直接排放的PM_{2.5}，也大幅削减了作为PM_{2.5}气态前体物的二氧化硫和氮氧化物的排放量，因而也会显著降低PM_{2.5}中硫酸盐和硝酸盐组分的浓度。此外，削减火电厂污染排放对降低硫氮沉降和酸雨污染程度也有明显的效果。

综上所述，在我国大气污染防治进入新阶段后，为了实现我国宏观战略所制定的环境空气质量目标，必须对重点污染源排放采取更严格、涉及面更广的排放控制。在各类重点污染源中，火电厂因为其排放基数大、排放的污染物种类多，对空气质量影响大，必然成为控制对象的重中之重。

2012年开始实施的火电厂污染排放新标准大幅下调了氮氧化物、二氧化硫和烟尘的排放限值，针对重点地区制定了更加严格的特别排放限值，增设了汞的排放限值。排放标准的加严无疑将增加火电行业的环保投入，但是，从环境保护方面来看，新标准的实施将有利于控制电力行业污染物排放，进一步加大大气污染防治工作力度，促进我国大气环境质量的改善。相关统计数据显示，实施新的火电厂排放标准后，到2015年，电力行业氮氧化物排放量较2009年可减少580万吨，二氧化硫排放量较2009年可减少618万吨。此外，由于新标准增加了汞的排放限值，因此，新标准的实施对电力行业颗粒物和汞等污染物将有明显的减排效果。从长远来看，火电厂排放标准的加严所获得的环境收益将远大于给企业带来的成本损失。①B

【基金项目：环保公益性行业科研专项（201009001）】
（郝吉明系清华大学环境系教授、博士生导师、中国工程院院士；程真，清华大学环境学院；王书肖系清华大学环境学院教授）