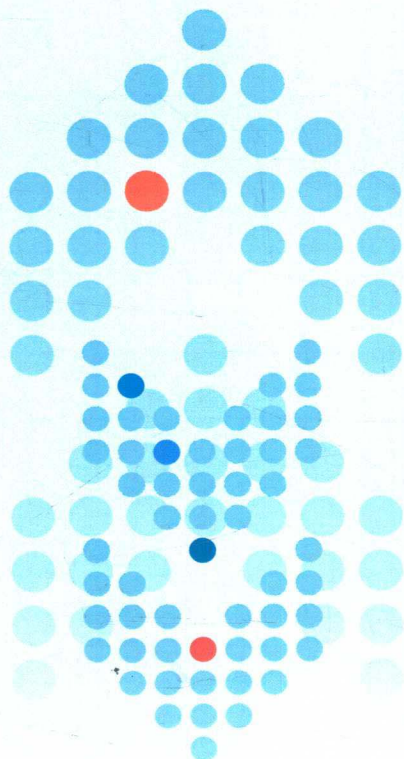




XINXING XINXI JISHU
ZAI DAQI HUANJING ZHILI
ZHONGDE YANJIU YU YINGYONG

新兴信息技术在 大气环境治理中的 研究与应用

胡昊 徐富春 等 / 编著

中国环境出版集团

新兴信息技术在大气环境治理中的 研究与应用

胡 昊 徐富春 等编著

中国环境出版集团·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

新兴信息技术在大气环境治理中的研究与应用/胡昊,
徐富春等编著. —北京: 中国环境出版集团, 2018.1

ISBN 978-7-5111-3823-1

I. ①新… II. ①胡… ②徐… III. ①信息技术—应用—空
气污染—污染防治—研究 IV. ①X51-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 208518 号

出版人 武德凯
责任编辑 孙 莉
责任校对 任 丽
封面设计 岳 帅

出版发行 中国环境出版集团
(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京中献拓方科技发展有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2018 年 1 月第 1 版
印 次 2018 年 1 月第 1 次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 10.75
字 数 180 千字
定 价 45.00 元

【版权所有。未经许可，请勿翻印、转载，违者必究。】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题，请寄回本社更换

序

习近平总书记历来高度重视生态文明建设，在河北、福建、浙江、上海等地工作时就把生态环境保护工作当作重要工作来抓，创造性地提出了“绿水青山就是金山银山”等一系列生态环境保护重要战略思想。

当今社会，随着信息技术的高速发展，信息化正成为推进生态环境治理体系和治理能力现代化的重要手段。近年来，全国生态环境业务专网建成应用，生态环境监测网络建设取得重要进展，生态环境业务信息化深入推进，生态环境信息化标准体系初步建立，信息化支撑生态环境管理发挥了积极作用。尤其是在京津冀及周边地区大气污染防治强化措施调度和重污染天气应急管理、城市黑臭水体整治、全国排污许可证管理、生态环境保护督察、生态环境执法、污染源自动监控等方面取得了显著成效。但总体上看，生态环境信息化水平仍然不高，滞后于生态环境发展要求，尤其是中、东、西部发展不均衡，地市级发展速度较缓，各自为政、缺乏统一规划等问题日益凸显。

《“十三五”国家信息化规划》《促进大数据发展行动纲要》《国务院关于进一步推进“互联网+政务服务”工作的指导意见》《国务院关于促进云计算创新发展培育信息产业新业态的意见》《国务院办公厅关于印发政务信息系统整合共享实施方案的通知》等一系列文件的发布，对实施网络强国战略、实施国家大数据战略以及“互联网+”行动计划、全面推进政务信息整合共享工作做出了全方位部署。

“十三五”是中国全面建成小康社会、实现第一个百年奋斗目标的决胜期，也是生态文明建设和环境保护取得实质性进展的重要机遇期。同时环境治理基础制度的改革对生态文明建设提供了重要的保障，这些工作的落实和实施，都离不

开信息化的支撑。2016年,《生态环境大数据建设总体方案》的发布,意味着以大数据、云计算为代表新兴信息技术将在生态环境决策、监管和服务领域发挥更加重要的作用。

为共享近年来生态环境保护领域尤其是大气污染防治领域的信息化建设成果,及时总结新兴信息技术与大气污染防治工作融合的典型应用,我们结合多年来的实践工作经验组织编写了《新兴信息技术在大气环境治理中的研究与应用》一书。本书汇集了近年来部分新兴信息技术的基本概念和应用情况,结合大气污染防治领域的应用实例,试图为新兴信息技术在生态环境领域的应用和发展提供帮助和参考。本书的主要作者均来自于生态环境信息化领域工作一线,书中所涉及的案例也已经在我国大气污染防治工作中得到了应用和检验,可作为新兴信息技术与业务工作融合的重要参考,对生态环境领域的信息化建设具有重要的现实意义。

2017年11月

前言

2013年,“雾霾”成为年度关键词,雾霾发生频率之高、波及面之广、污染程度之重前所未有。2013年1月,4次雾霾过程笼罩30个省(区、市)。有报告显示,中国最大的500个城市中,只有不到1%的城市达到世界卫生组织推荐的空气质量标准,与此同时,世界上空气污染最严重的10个城市有7个在中国。2012年11月召开的中国共产党第十八次全国代表大会,把生态文明建设纳入中国特色社会主义事业“五位一体”的总体布局,要求融入经济建设、政治建设、文化建设、社会建设各方面和全过程,努力建设美丽中国,实现中华民族永续发展。2017年,党的十九大报告提出要牢固树立“社会主义生态文明观”,将建设生态文明提升为“千年大计”,将提供更多“优质生态产品”纳入民生范畴。习近平总书记指出:“我们要建设天蓝、地绿、水清的美丽中国,让老百姓在宜居的环境中享受生活,切实感受到经济发展带来的生态效益。”通俗地讲,天蓝就是要做好大气污染防治工作,解决细颗粒物(PM_{2.5})等大气污染问题。《大气污染防治行动计划》(简称“大气十条”)、《中共中央 国务院关于加快推进生态文明建设的意见》、新修订的《环境保护法》、《大气污染防治法》等一系列政策和法律的出台为我国的大气污染防治工作提供了明确的方向和依据。

近年来,党中央、国务院高度重视信息化工作。2014年2月27日,习近平主持召开中央网络安全和信息化领导小组第一次会议。2016年4月19日,网络安全和信息化工作座谈会在京召开,习近平在会议上发表了“4·19重要讲话”。讲话的主要内容坚持问题导向,聚焦造福人民、网络生态、核心技术、安全发展、企业责任和人才支撑六大问题,核心包括以人民为中心,以强国为要务,以政府为先导,以法律与社会秩序为基础四大方面。

近二十年,信息革命进程持续快速演进,物联网、云计算、大数据、人工智能等技术广泛渗透于经济社会各个领域,不断涌现的新技术、新产品、新服务、新模式乃至新理念,每天都在刷新人类对信息技术涉及的广阔领域和拥有的巨大影响的认知。尤其是在电子政务、电子商务、便民服务等领域,信息化对社会发展的推动取得了显著成效。以“云大物移智”等为代表的新一代信息技术正成为推进生态环境治理体系和治理能力现代化的重要手段。

本书根据我国大气环境治理现状和需求,结合新兴信息技术特点和应用情况,对部分新兴信息技术进行了梳理和分析,并整理和提炼了相关新兴信息技术在大气环境治理方面应用的实例,旨在借此为大气环境治理提供新的视角和思路,以促进信息化技术与环境保护工作的融合,为实现“生态环境质量总体改善”的目标提供有力的科技支撑和实践探索。

本书共十三章,分为两大部分,其中第一至第七章为理论篇,主要介绍我国大气环境治理和新兴信息技术的基本情况,以及大数据、云计算、物联网和移动应用的特征、技术体系等内容;第八至第十三章为实践篇,主要介绍新兴信息技术在我国大气污染治理领域的实践应用。

本书第一至第三章由胡昊编写,第四章由汪泓源编写,第五章、第七章由徐昭远编写,第六章、第十一章由韩季奇编写,第八章、第十三章由何娇编写,第九章、第十二章由张孟奇编写,第十章由杨微编写,尚屹负责全书绘图,徐富春负责统稿定稿工作。

本书在编写过程中参考了许多资料,大都已经是在参考文献中进行了罗列,对于有些确实无法查到来源的资料可能会没有提及,在此一并表示衷心的感谢。由于时间仓促,加之水平有限,书中难免有存在遗漏、错误或不当之处,敬请广大读者及有关人士批评指正。

本书编写组

2017年11月

目 录

第一章 大气环境治理工作概述.....	1
一、大气污染的基本概念.....	1
二、大气污染物分类方法.....	2
三、我国大气污染现状.....	4
四、我国大气污染治理历程.....	5
五、我国大气环境管理工作的未来发展和新要求.....	9
第二章 新兴信息技术简述.....	13
一、新兴信息技术产生的背景.....	13
二、新兴信息技术的主要内容及发展情况.....	15
第三章 大数据	20
一、大数据的定义和特征.....	20
二、大数据应用的主要案例.....	22
三、大数据技术体系	23
第四章 云计算	34
一、云计算的定义	35
二、云计算基本特征	36
三、云计算分类	37

四、云计算技术体系	38
第五章 物联网	54
一、物联网起源	54
二、物联网关键技术	55
三、国内外研究发展现状及前景	59
四、物联网应用场景	60
第六章 移动应用	63
一、主要移动操作平台分析	63
二、移动 APP 开发技术分析	66
三、微信小程序开发技术	69
第七章 大气污染监管平台建设	71
一、背景介绍	71
二、总体说明	72
三、项目特点分析	73
四、功能模块的划分	74
五、软件业务流程	76
六、系统技术方案及算法说明	79
七、热点网格精细化筛选及识别	80
第八章 重污染天气应急	93
一、项目背景	93
二、建设现状	93
三、建设目标	94
四、总体架构	95
五、基本处理流程	96
六、专项设计	100

第九章 排污许可管理	108
一、项目背景	108
二、项目目标	109
三、总体设计	109
四、总体业务流程	112
五、主要功能	114
第十章 12369 环保举报管理系统.....	122
一、项目背景	122
二、项目目标	123
三、总体架构	124
四、系统功能	126
五、微信举报主要功能设计.....	128
第十一章 环境监管执法平台.....	132
一、项目背景	132
二、项目目标	132
三、总体设计.....	133
四、总体功能设计	136
第十二章 污染源在线监控系统建设.....	142
一、背景介绍	142
二、技术体系介绍	143
三、新发展介绍	144
第十三章 基于参与感知的空气质量监测系统研究.....	146
一、研究背景	146
二、基本概念	147

三、体系架构 148

四、关键技术 151

五、应用场景 154

结束语 155

参考文献 157

第一章 大气环境治理工作概述

一、大气污染的基本概念

大气是由一定比例的氮、氧、二氧化碳、水蒸气和固体杂质微粒组成的混合物。就干洁空气而言,按体积计算,在标准状态下,氮气(N_2)占 78.08%,氧气(O_2)占 20.94%,氩气(Ar_2)占 0.93%,二氧化碳(CO_2)占 0.03%,而其他气体的体积则是微乎其微的。各种自然变化往往会引起大气成分的变化。例如,火山爆发时有大量的粉尘和二氧化碳等气体喷射到大气中,造成火山喷发地区烟雾弥漫,毒气熏人;雷电等自然原因引起的森林大面积火灾也会增加二氧化碳和烟粒的含量等。一般来说,这种自然变化是局部的、短时间的。

随着现代工业和交通运输业的发展,一些工业企业向大气中持续排放的物质数量越来越多,种类越来越复杂,引起大气成分发生急剧的变化。当大气正常成分之外的物质达到对人类健康、动植物生长以及气象气候产生危害的时候,一般认为是大气受到了污染。人类对环境大气污染问题的认识是逐步深入的。早在 12 世纪,犹太哲学家、科学家摩西·迈蒙尼德(1135—1204 年)就已经关注到了环境问题,他指出城市空气与乡村空气有差别,空气的变化已经对居民的健康产生了影响。到了 13 世纪,由于煤代替木材作燃料,伦敦出现了空气污染问题,但当时并未引起重视。直到 1952 年导致 4 000 人死亡的“伦敦烟雾事件”和 1944 年“洛杉矶光化学烟雾事件”出现后,环境大气污染问题才受到人们重视,大气环境的研究也从此蓬勃地开展起来。“伦敦烟雾事件”使人们注意到对人造成严重危害的不是由煤燃烧直接排放的二氧化硫(SO_2),而是由二氧化硫在大气中经过化学转化而产生的二次污染物硫酸烟雾(气溶胶,气体和细颗粒物的混合物)。“洛杉矶光化学烟雾事件”的研究使人们进一步认识到大气中的一些化学物质

可以通过光化学作用转变成另一种或多种对环境产生更大影响的物质,例如,光化学烟雾即是由大气中氮氧化物(NO_x)和挥发性有机物(VOCs)在太阳紫外光作用下发生光化学反应而生成的二次污染物。更深入地研究发现大气中存在着多种自由基($\text{OH}\cdot$ 、 $\text{HO}_2\cdot$ 、 $\text{RO}_2\cdot$ 等),它们是大气中重要活性组分,并参与大气中各种化学和光化学反应,从而导致大气中各种物质的一系列化学变化。这些事实说明大气中不是只有扩散、迁移等物理过程,而是自始至终充满了化学过程。这些过程改变了原来大气组分的性状,改变了环境大气的质量,对生态和人体健康产生不良影响;更由于物理过程的作用将改变后的大气输送到四周和更远的地方,以致局部的环境问题扩展成为区域的甚至全球的环境问题。

按照国际标准化组织(ISO)的定义,大气污染是指由于人类活动或自然过程引起某些物质进入大气中,呈现出足够的浓度,达到足够的时间,并因此危害了人体的舒适、健康和福利或环境污染的现象。人类活动包括生活活动与生产活动,如烹饪、取暖、交通、化工等。自然过程,一般包括山林火灾、火山运动、岩石风化以及空气运动等。由于自然环境具备生态平衡自动恢复功能,自然过程产生的大气污染,可以经过一定的物理、化学和生物作用循环后逐渐清除,达到自净的效果。我们当前讨论的大气污染,可以说主要是由于人类的活动造成的。

二、大气污染物分类方法

人类的生活活动、生产活动会产生一些污染物,自然过程中也会形成一些污染物,这些污染物排放到大气中去,会对人类和环境产生一定的危害,这些污染物统称为大气污染物。

按照不同的标准和方法,可将大气污染物分为很多种。下面主要按照“存在形态”和“大气化学反应次序”两种分类方式来介绍大气污染物。

第一种分类,按照污染物存在形态的不同,可将大气污染物分为气体污染物和气溶胶污染物:

1. 气体污染物。顾名思义,即为气体状态的污染物,在大气中以气体分子的状态存在,通常是无机气体。
2. 气溶胶污染物。气溶胶是指大气中的固体或液体小微粒较为均匀、较为稳定地

悬浮在气体介质中所形成的一种气体分散体系。气溶胶污染物,即是固体或者液体状态的颗粒状的污染物悬浮在空气中形成的污染气体。

气溶胶中悬浮的颗粒物,可根据其大小分为:①细颗粒物,即 $PM_{2.5}$,是指空气中粒径小于或等于 $2.5\ \mu m$ 的颗粒物。②可吸入颗粒物,即 PM_{10} ,是指空气中粒径小于或等于 $10\ \mu m$ 的颗粒物。③总悬浮微粒,即 TSP,是指空气中粒径小于或等于 $100\ \mu m$ 的所有颗粒物。不同粒径大小的颗粒状污染物,分散并保持悬浮在大气中,即形成了气溶胶污染物。

气溶胶污染物按照其来源和物理性质,可分为以下几种:

1) 粉尘。粉尘一般由机械物理过程(可能是人类活动中对固体物体的切割、破碎、淹没等过程,也可能是自然过程中的土壤、岩石风化等情况)产生。粉尘都是较小的固体粒子,其形状往往是不太规则,粒径为 $1\sim 200\ \mu m$ 不等。粉尘于一定时间之内可在大气中保持悬浮状态,受到重力吸引作用会发生沉降。

2) 烟。烟一般在燃烧过程中产生,由于燃料不完全燃烧产生,通常包括不完全燃烧的炭粒、燃烧物熔融挥发后的冷凝物、无法参加燃烧反应的无机成分等。烟的主要来源为冶金过程或化学燃烧过程。烟的粒径在 $0.01\sim 1\ \mu m$,一般能够较长时间地存在于空气中。

3) 雾。雾是空气中凝结的液体微滴的总称。雾的产生一般是由于液体的物理喷化、蒸汽的凝结及某些化学反应而形成,根据雾滴成分的不同,可有水雾、酸雾、碱雾或油雾等。

根据大气污染物在大气化学反应中的生成次序,又可将其分成一次污染物和二次污染物。

(1) 一次污染物。一次污染物是从污染源直接排放到大气中的污染物质,如二氧化硫、二氧化氮、颗粒物等。一次污染物,又根据它们的化学稳定性,分为反应物和非反应物。反应物化学性质较活泼,在大气中常与其他物质发生反应,或者作为其他化学反应的催化剂。非反应物则化学性质比较稳定,不发生反应或与其他物质之间反应速度缓慢。

(2) 二次污染物。二次污染物是由一次污染物中的反应物在大气中与其他成分相互作用,经过一系列化学反应或者光化学反应,生成新的大气污染物。二次污染物的物理、化学性质与一次污染物完全不同,而且其毒性一般会变得更强。例如,二氧化硫转变成

硫酸气溶胶, 二氧化氮转变成硝酸气溶胶, 以及碳氢化合物 (HC) 和氮氧化物 (NO_x) 等一次污染物在阳光 (紫外光) 作用下发生光化学反应生成光化学烟雾等。二次污染物的形成机制往往比较复杂, 产生的污染和毒性也比一次污染物要严重。

三、我国大气污染现状

2013 年, 中国大部分地区遭遇史上最严重的雾霾天气, 全国平均雾霾天数达到 29.9 天, 涉及 25 个省份中的 100 多个大中型城市, 是 1961 年以来大气污染最严重的一年。根据《2013 年中国环境状况公报》中显示, 2013 年京津冀、长三角、珠三角等重点区域及直辖市、省会城市和计划单列市共 74 个城市按照新标准开展监测, 依据《环境空气质量标准》(GB 3095—2012) 对 SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 年均值, CO 日均值和 O_3 日最大 8 小时均值进行评价, 74 个城市中仅海口、舟山和拉萨 3 个城市空气质量达标, 占 4.1%; 超标城市比例为 95.9%。74 个城市平均达标天数比例为 60.5%, 平均超标天数比例为 39.5%。京津冀和珠三角区域所有城市均未达标, 长三角区域仅舟山 6 项污染物指标全部达标。中国气象局基于能见度的观测结果表明, 2013 年全国平均霾日数为 35.9 天, 比 2012 年增加 18.3 天, 为 1961 年以来最多。中东部地区雾和霾天气多发, 华北中南部至江南北部的大部分地区雾和霾日数范围为 50~100 天, 部分地区超过 100 天。

环境保护部基于空气质量的监测结果表明, 2013 年 1 月和 12 月, 中国中东部地区发生了 2 次较大范围区域性灰霾污染。两次灰霾污染过程均呈现出污染范围广、持续时间长、污染程度严重、污染物浓度累积迅速等特点, 且污染过程中首要污染物均以 $\text{PM}_{2.5}$ 为主。其中, 1 月的灰霾污染过程接连出现 17 天, 造成 74 个城市发生 677 天次的重度及以上污染天气, 其中重度污染 477 天次, 严重污染 200 天次。污染较重的区域主要为京津冀及周边地区, 特别是河北南部地区, 石家庄、邢台等为污染最重城市。12 月 1—9 日, 中东部地区集中发生了严重的灰霾污染过程, 造成 74 个城市发生 271 天次的重度及以上污染天气, 其中重度污染 160 天次, 严重污染 111 天次。污染较重的区域主要为长三角区域、京津冀及周边地区和东北部分地区, 长三角区域为污染最重地区。

2014 年 2 月的城市空气环境质量统计数据显示, 全国 74 个大中城市的平均环境空气质量达标天数比例超过 60%, 在污染程度上, 轻度、中度、重度的城市比例分别为

20.3%、7.2%和 8.3%，严重污染城市比例为 3.9%。其中，北京、天津、河北等地区的 13 个大中城市中，达标的城市占 31.5%，超标的城市占 68.5%，重度污染的城市占 22.6%，严重污染的城市占 19.3%。

2016 年，全国 338 个地级及以上城市（以下简称 338 城市）中，有 84 个城市环境空气质量达标，占全部城市数的 24.9%；254 个城市环境空气质量超标，占 75.1%。338 城市平均优良天数比例为 78.8%，比 2015 年上升 2.1 个百分点；平均超标天数比例为 21.2%。8 个城市的优良天数比例为 100%，169 个城市的优良天数比例为 80%~100%，137 个城市的优良天数比例为 50%~80%，24 个城市的优良天数比例低于 50%。338 城市发生重度污染 2 464 天次、严重污染 784 天次，以 $\text{PM}_{2.5}$ 为首要污染物的天数占重度及以上污染天数的 80.3%，以 PM_{10} 为首要污染物的占 20.4%。

作为全球最大的发展中国家，中国也是全球大气污染最严重的国家之一。2014 年中国社科院发布的《全球环境竞争力报告（2013）》显示，中国在全球 133 个国家中生态环境竞争力排名第 124 位。其中，空气质量列倒数第 2 位。在反映空气污染程度的 3 项关键指标上， $\text{PM}_{2.5}$ 排名第 130 位、 NO_x 排名第 132 位、 CO_2 排放量排名第 131 位。

四、我国大气污染治理历程

中国最早的关于大气污染治理政策是 1956 年出台的《关于防止厂矿企业中矽尘危害的决定》。但真正开始实施大气污染治理政策是 20 世纪 70 年代，至今大致可以分为五个阶段。

（一）起步阶段

20 世纪 70—80 年代是中国大气污染治理政策的起步阶段。以 1973 年的第一次全国环境保护会议为标志。这一时期采取的主要措施包括：1973 年发布《工业“三废”排放标准》，规定了一些大气污染物排放限值；先后实行了“老三项制度”，即“三同时”制度、排污收费制度和环境影响评价制度；1987 年制定《大气污染防治法》，规定了大气污染物排放总量控制和许可证制度、污染物排放超标违法制度、排污收费制度、防治特定污染源等办法（特定污染源包括煤炭燃烧、机动车船等的尾气排放、各种烟尘、有毒气体和刺鼻臭味等）；再把资源的综合利用和企业生产技术升级相统一，防止和治理工

业带来的污染；改变城市中各种能源消费的方式和节约、合理使用能源，减少因煤炭燃烧和烟雾带来的污染；经过改变企业与工业布局的方式，对污染企业实行转型升级。

本阶段，大气污染治理以改造锅炉、消除烟尘、控制大气点源为主，起到了一定作用，但整体污染治理水平、绩效不高。截至 20 世纪 70 年代末，大部分工厂没有采取相应消除烟尘措施，导致大量有害气体和烟尘未经处理就排入大气；同时，20 世纪 70—80 年代大中型项目“三同时”的执行率为 18%，1977—1979 年均在 40% 上下；1979 年为 44%，1989 年为 99%。

环保投资占国民生产总值的比例从 0.51% 上升到 0.74%，1987 年该比例为 0.77%。造成这种情况的原因包括四个方面：第一，根本原因是 20 世纪 70 年代国家贯彻的发展战略是重工业优先及衍生出来的经济制度是计划经济和粗放型的增长模式；第二，环境保护制度不健全、治理经验不足；第三，中央和地方协调不够，管理松懈，导致政策执行力不足；第四，环保投资不足。

（二）发展阶段

20 世纪 90 年代，经济发展走上正轨，能源消费量剧增，大气污染问题越来越严重，特别是二氧化硫污染，在我国西南和华南地区造成了区域性酸雨污染。这一时期，采取的主要措施包括：《大气污染防治法》于 1995 年进行了第一次修订，将 SO_2 、酸雨纳入其中；国务院于 1998 年 1 月批复 SO_2 和酸雨控制区划分方案，同时制订了 SO_2 和酸雨的治理目标；发展排污交易制度，在包头、开封、柳州、太原、平顶山和贵阳 6 个城市进行了“大气排污交易”试点；1999 年，与美国合作开展“运用市场机制减少 SO_2 排放的研究”。

本阶段，大气污染防治工作实现了从末端治理向全过程控制、从分散向集中治理和从单一浓度控制向浓度与总量控制相结合的转变，政策实施绩效显著提高。同时，在很大程度上提升了针对工业废气治理水平。在消烟除尘率上，1991 年燃烧过程中废气排放已经达到 85%，1999 年提升到 90.4%，生产工艺过程和燃烧过程中的废气净化率已经提高到 82.6%；全国环境影响报告执行率从 1992 年的 61% 提高到 2001 年的 97%；环保投资占 GNP 比例 1999 年突破 1%。但相比同时期经济发展水平，大气污染治理绩效仍不容乐观。其原因有三个：第一，缺少战略目标和要求；第二，政府重发展而轻环保，环保部门权威性不足；第三，重治理而轻预防。环保投资长期不足、效益不高即是其表现之一。