

X1060426

授予单位代码: 10459

学号或申请号:

密 级: 公 开

郑 州 大 学

硕 士 学 位 论 文

论 文 题 目: 郑州市2001—2004年大气污染状况分析

作 者 姓 名: 高 文 英

学 科 门 类: 医 学

专 业 名 称: ~~预防医学~~ 环境卫生学

导师姓名、职称: 崔留欣 教授 施学忠 教授

2006 年 5 月

郑州市 2001—2004 年大气污染状况分析

硕士学位申请人： 高文英

推 荐 导 师： 崔留欣 教授

施学忠 教授

郑州大学公共卫生学院劳动卫生与环境卫生学教研室

河南 郑州 450052

摘 要

郑州地处中原，是河南省省会，也是全国公路、铁路交通枢纽和重要的商品集散地。1996 年以来，郑州国民生产总值每年以两位数递增，城市面积、人口有了快速扩容，污染物排放量迅速增加。1999 年以前 NO_2 年均浓度超过二级标准， PM_{10} 年均浓度超过三级标准。2000 年实施“一控双达标”环境治理行动，空气质量有了明显的改善。2004 年以来，郑州正在为创建国家环保模范城市而努力。本论文以 2001—2004 年大气污染物排放量、空气质量监测数据为依据，评价大气质量现状，分析大气污染的原因，为郑州创建环保模范城市提供科学依据。

研究目的

通过对郑州市 2001 年—2004 年大气监测数据进行分析，了解郑州市大气环境质量现状、污染物浓度的时间、空间分布及变化的基本特点，探索大气污染物的来源、造成郑州大气污染的原因，借鉴国内外其它城市治理大气污染的经验，提出改善郑州大气环境质量对策。

材料与方法

1 资料来源

本文煤炭消耗量、污染物排放量资料来源于郑州市环保局 2001-2004 年排污申报登记数据和企业统计报表。大气中污染物浓度资料来源于大气质量连续、自动监测系统监测的数据。

2 监测布点情况

郑州市环境空气常规监测点七个, 它们是监测站、郑纺机、烟厂、河医大、银行学校、供水公司、岗李水库(因岗李水库资料不全, 本文未采用该点监测数据)。

3 监测项目

郑州市区所有监测点都采用了自动监测系统, 监测项目为二氧化硫、二氧化氮、可吸入颗粒物。 SO_2 、 NO_2 和 PM_{10} 的监测分别采用了紫外荧光法、化学发光法、 β 射线法。

4 评价标准

本文执行的环境空气质量标准为 GB3095-1996《环境空气质量标准》和空气污染指数法空气质量分级标准。

5 评价方法

根据各监测点的日均值, 计算月均值、年均值。采用单因子污染指数 (P_i)、综合污染指数(P_n)、等标污染负荷系数(F_i)、空气污染指数(API)等进行评价。

6 统计分析方法

将相关的监测数据审核、纠错后录入计算机, 用 Excel 2003 建立数据库, 利用 SAS10.0 统计分析系统对取得的数据资料进行统计处理。描述性研究: 利用统计表、统计图对郑州市 2001-2004 年大气污染物排放情况、环境质量现状的水平、时间变化趋势、地区分布特征进行描述。分析性研究: 用 χ^2 检验分析比较 2001—2004 年年份、季节对空气质量的影响。用秩和检验 (Wilcoxon) 分析 2004 年不同季节大气中 SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 浓度差异是否有统计学意义, 用等级相关 (Spearman) 分析 2004 年 SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 月均浓度相关性。 $\alpha = 0.05$ 作为检验水准。

结果

1 煤炭消耗量及污染物排放量 2001 年—2004 年市区煤炭消耗量起伏不大, SO_2 排放量有小幅度上升, 烟尘排放量、粉尘排放量呈现下降趋势。2004 年市区及郊县煤炭消耗量、污染物排放量相差悬殊, 以市区最高, 其次是巩义、登封、新密, 荥阳、新郑最低。

2 2001—2004 大气质量年度变化 按指数法评价(其综合污染指数 2.26—2.56), 大气污染程度四年间波动变化; 对四年污染率做 χ^2 检验, 2002 年大气污

染程度显著重于 2001, 2003, 2004 年水平, 2001、2003、2004 年大气污染无显著差异; 按年均浓度评价, 空气质量为三级, PM_{10} 年均浓度虽逐年下降, 但四年均超过了二级标准。 SO_2 、 NO_2 年均浓度逐年上升, 2004 年浓度接近二级标准限值。总体上郑州市空气质量不容乐观。

3 空气质量季节性变化 郑州市城区环境空气质量季节特征非常明显。(1) 按污染指数 (API) 分级, 2001—2004 年月污染天数图型呈 U 型, 春冬两季污染率大大高于夏秋; 经 χ^2 检验, 夏季大气质量最好, 与其它三季差异有统计学意义, 冬季大气质量最差与夏季、秋季大气质量差异有统计学意义, 与春季间差异无统计学意义。大气污染按照由重到轻顺序为: 冬季 > 春季 > 秋季 > 夏季。(2) 2004 年四季污染物浓度经秩和检验 (Wilcoxon), 其差异有统计学意义; 市区各监测点污染物月均浓度图型呈 V 型, 春冬月均浓度显著高于夏秋。

4 空气质量空间分布 2004 年郑州各区域除河医大监测点首要污染物为 SO_2 外, 其余各点均以 PM_{10} 为首要污染物。城区各监测点综合污染程度由大到小依次为: 河医大、烟厂、郑纺机、监测站、银行学校、供水公司; 各县市中, 巩义、新密综合污染程度最重, 空气质量为劣三级, 新郑、荥阳的综合污染程度次之, 空气质量属于二级, 登封空气质量最好为一级。

5 污染物间的相关性 对 2004 年污染物月均浓度做等级相关分析, 结果显示 SO_2 与 NO_2 相关系数 (r_s) 为 0.776, $P < 0.005$; SO_2 与 PM_{10} 相关系数 (r_s) 为 0.790, $P < 0.005$; NO_2 与 PM_{10} 相关系数 (r_s) 为 0.580, $P > 0.05$ 。

结论

1 郑州市污染类型 目前郑州市大气污染仍是以煤烟型为主。燃煤对大气中 PM_{10} 、 SO_2 污染起主导作用, 污染物主要来源于工业煤炭的燃烧, 其次来源于以煤为燃料的采暖锅炉、生活炉灶。近几年, 城市交通迅速发展, 机动车的迅猛增加, 对 NO_2 污染起主导作用。2001—2004 年 NO_2 呈现逐年上升趋势, 2004 年年均值为 $0.037mg/m^3$ 接近二级标准限值 ($0.04mg/m^3$), 汽车尾气污染不容忽视。

2 郑州大气污染的原因 郑州市以煤为主的能源消费结构对大气环境产生持久的压力, 居民采暖煤炭消耗量增加、污染物低空排放是冬季空气质量差的重要因素; 机动车尾气污染仅次于燃煤污染, 成为郑州市大气污染的第二大污染源。工业企业污染处理设施停止运行、夏秋季节秸秆焚烧、春天沙尘暴天气、建筑施

工造成的地面扬尘、植被面积较少均是造成 PM_{10} 污染严重的重要因素；收费标准一般大大低于企业治理污染的成本，对企业本身的惩处力度不够，造成企业污染物偷排严重。

3 改善郑州市大气环境质量的对策 (1) 合理调整能源结构，加快以气、电等清洁能源替代煤的工作进度。(2) 大力发展生态工业和循环经济，最大限度地利用进入系统的物质和能量，促进废物资源化，降低污染的排放。(3) 通过对城市工业企业布局的合理调整，减轻城市空气的污染。(4) 进一步推广使用天然气汽车，建立高质高效的公共交通系统，降低汽车尾气的污染。(5) 禁止秸秆燃烧及加强城市绿化，改善生态环境，降低城市大气中的污染物浓度。

关键词：城市大气污染；煤烟型污染；汽车尾气污染；防治对策；

The Analyse With the Air Pollutants in Zhengzhou City in 2001-2004

Master's degree applicant: GAO Wenying

Tutors: CHUI Liuxin

SHI Xuezhong

Department of occupational health and Environmental Hygiene

College of Public Health, Zhengzhou University,

Zhengzhou 450052

ABSTRACT

Zhengzhou city, the Capital of Henan Province, located in the central region of China, is the national pivot of goods by the way of road and railway. Accompanied with the two-digit growth of Zhengzhou's GDP, rapid expansion of urban area and its inhabitants, the emission of pollutants has increased sharply since 1996. Since the implementation of the project, "pollution control and meeting criterion for water and air", the air quality after 2000 is significantly better than that before it. Based on the data monitoring and investigating from 2001 to 2004, the status of current air quality and the cause of air pollution are assessed and analyzed, respectively, to supply the scientific base for building the national model city of environmental protection.

Purpose

By analyzing the air data monitoring from 2001 to 2004, we describe the status and trend of the quality of the air in Zhengzhou city, investigate the resource of air pollutants and the cause of air pollution, and then suggest the strategies to improve the quality of the air in Zhengzhou city with reference to the lessons of other cities in home and abroad.

Materials and Methods

1、Analysis of monitoring and investigating data. We learn the characterized spatial-temporal distribution of the densities of the air pollutants and assess the

current quality of the air in Zhengzhou city by analyzing the monitoring and surveying data of the air pollutants emission in the key investigated enterprises.

2、Distribution of monitored places and pollutants monitoring. Monitored places includes 7 sites and pollutants monitored contain SO_2 , NO_2 and PM_{10} .

3、Analyzing Methods. All monitoring sites in urban area are automatically monitored and analyzed with SO_2 、 NO_2 and PM_{10} by the use of ultra-violet fluorescence, chemical-illuminant, β -ray.

4、Assessing Criterion. Criterion for this paper is the second order Secondary Standard in GB3095-1996 《Ambient air quality standard》 and ranked with the Air Pollution Index.

5、Assessing methods. The air quality in Zhengzhou city is assessed with the single and comprehensive pollution index, air pollution standardized load factor and the Air Pollution Index through transforming the daily average value, into monthly and yearly average value, of every monitoring site.

6、Statistical methods. We create the database with the monitoring data and Excel 2003 and analyze the data with SAS10.0 system. Descriptive Data: we describe the emission of air pollutants, estimate the current level of air quality, and plot the temporal tendency and characterize the spatial distribution, in the period of time between 2001-2004 in Zhengzhou city with statistical tables and graphs. Analytical Data: the impact of seasons and years on the quality of air were estimated with χ^2 Test. The variances of the quarterly and monthly densities of SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} are tested at significant level($\alpha = 0.05$), with Rank sum Test (Wilcoxon) and Spearman Rank Correlation Coefficient respectively.

Results

1 Consumption of Coal and emission of Pollutants: During 2001 to 2004, Consumption of Coal in urban area fluctuated slightly and the emission of SO_2 had a small growth while the emission of smoke and dust decreased. At 2004 differed significantly the Consumption of Coal and emission of Pollutants among the urban area and counties. The highest consumption and emission took place in the urban area,

and the districts in Zhengzhou decreased in the order of Gongyi、Dengfeng、Xinmi、Xingyang and Xinzheng

2、The yearly change of the air quality from 2001-2004. The comprehensive air pollution index varies from 2.26-2.56. According to the chi-square test (χ^2 检验), the air quality in 2002 is significantly worse than that of the other 3 years, and there is no significant difference among 2001、2003、2004; the air quality just reached tertiary standard in GB3095-1996 in the line with the yearly average concentrations of pollutants. Another thing worthy of being noticed is that: although the yearly average concentrations of PM_{10} gradually decreased in past 4 years, they all exceeds the second rank in GB3095-1996; in addition, the yearly average concentrations of SO_2 and NO_2 climbed, and they are close to secondary standard in GB3095-1996 in 2004. As a whole, the quality of air Zhengzhou city is not deserved to be optimistical.

3、The seasonal distribution of the air quality. It is apparent for the seasonally characterized distribution of the air quality in Zhengzhou urban districts. (1) The days of air pollution ranked with API take up U type, and the pollution of the air in Spring and Winter is more serious than that in Summer and Autumn; in the view of chi-square test, the severity of air pollution decreases from Winter、Spring、Autumn and Summer. (2) During 2004 in all districts of Zhengzhou city, the concentrations of pollutants tested with Rank Sum Test (Wilcoxon) differ significantly in 4 quarters, and the monthly concentrations of pollutants, which take up V type, in Spring and Winter are higher than those in Summer and Autumn.

4、The spatial distribution of the air quality. In 2004, the primary source of pollutants came from PM_{10} in all monitoring sites but Henan university of medical science in which site it is SO_2 . The severity of comprehensive pollution in all monitoring sites declined in the order of Henan university of medical science, the factory of cigarette, the factory of textile machinery, the monitoring station, the school of bank, the company of supplying water; The severity of comprehensive pollution in Zhengzhou region decreased from Gongyi and Xinmi, to Xinzheng and Xingyang, to Dengfeng in which the air quality is the best and met the primary standard.

5、The correlation of the pollutants: The analysis of Spearman Rank Correlation for the yearly average concentrations of pollutants in 2004 shows that: the Rank Correlation Coefficients between SO_2 and NO_2 , SO_2 and PM_{10} , NO_2 and PM_{10} are 0.776 ($P < 0.05$), 0.790 ($P < 0.05$) and 0.580 ($P > 0.05$), respectively.

Conclusions:

1、The types of air pollution in Zhengzhou city. Currently, the primary types of air pollution in Zhengzhou city are coal, which is the leading resource of PM_{10} 、 SO_2 in air. They are firstly and secondly from the burning of industrial and civil coal, respectively. Additionally, with the shot development of urban transportation and then the mushroom of automobiles, exhaust from cars is increasingly becoming another ignorable source of pollutants. For example, the yearly concentration of NO_2 increases during 2001-2004 and it reaches tertiary standard in GB3095-1996 in 2004.

2、The causes of air pollution in Zhengzhou city. The continuous pressure on the air environment is from energy consuming structure primarily comprising of coal and the increase of coal-burning by the inhabitants giving off the pollutants at low altitude. The contribution of exhausts from cars to pollution is next to the burning of coal. The main reasons for failure to PM_{10} criterion result from the continual stopping of decontaminating facilities in enterprises, the burning of stalks in autumn, the sandstorms, the sand-dust caused by the construction industries and the deterioration of vegetation. In addition, the charge for pollution is too low, in comparison with the expense of decontaminating, to keep enterprises from polluting.

3、Strategies to improve the quality of the air in Zhengzhou city. (1)Sensibly adjusting the energy structure and speeding up the replacement of coal with the clean energy such as gas and electricity. (2) Building up the ecology industry and the circling economy, taking full advantage of the materials and energy available, decreasing the emission of pollutants while increasing the usage of wastes. (3) Alleviating the air pollution in urban areas by ameliorating the layout of industrial enterprises. (4) Mitigating the pollution of exhaust from cars by furthering the exploitation of gas bus and establishing the high efficient public transportation system. (5) Improving the ecology environment and dropping the harmful gas through

forbidding the burning of the stalks and reinforcing the vegetation in urban areas.

Key words air pollution in city, pollution of coal and smokes, pollution of exhaust from cars, countermeasures.

郑州市 2001—2004 年大气污染状况分析

硕士学位申请人： 高文英

推 荐 导 师： 崔留欣 教授

施学忠 教授

郑州大学公共卫生学院劳动卫生与环境卫生教研室

河南 郑州 450052

前 言

随着城市化进程的加快和大型工业开发区的发展，环境污染物的排放量不断增加，以颗粒污染物、二氧化硫、氮氧化物等为主要污染物的大气环境污染问题日趋严重。已有大量的文献报道^[1-5]，大气污染对广大市民健康造成诸多危害。目前，中国城市空气质量恶化的趋势虽然有所减缓，但整体污染水平仍然严重^[6-9]。2001—2004 年监测的 340 多个城市中，达到国家环境空气质量二级标准的城市仅占 33.4%—41.7%，且空气中二氧化硫和颗粒物超标比例最高。环境保护与经济可持续发展的协调是各国政府面临的一个严峻而又亟待解决的问题。大气污染的防治是建立在正确认识大气环境质量现状的基础上的，因此大气环境质量现状的分析研究是一个重要的课题。

郑州市地处中原，是全国公路、铁路交通枢纽和重要的商品集散地，近 20 年来，工业发展水平迅猛提高。目前辖 7 区 5 市 1 县，其中建成区面积 103km²，约有 5 万家工业企业^[10]，以纺织、机械、煤炭、有色冶金、食品、医药等支柱产业为主。气候属于北温带大陆性季风气候^[11]，全市春、冬两季受自然因素影响，多风少雨，气候干旱，扬尘大；秋季少风，阳光充足，昼夜温差大，易产生逆温天气，污染物垂直和水平均难以充分稀释扩散。郑州市煤炭资源丰富，能源结构以燃煤为主^[12]；由于历史原因，工业布局不尽合理；近几年受大气环流和周边大气环境影响，沙尘暴频繁发生，以上种种因素加重了郑州市大气污染。

郑州市空气污染特征已有不少学者进行了多方面的研究，但由于城市和经济的发展、工业结构及管理模式的改变，大气污染因子及污染特征等都发生了变化。鉴于以上原因，课题以郑州市环境状况公报和郑州市环境质量报告书提供的监测数据

为依据,对2001—2004年大气污染状况进行分析,了解郑州市重点企业污染物排放情况、大气中污染物浓度的年度、季节、空间分布特征,变化基本特点及发展趋势。从而评价郑州大气质量现状、分析造成郑州大气污染的原因,找出环境保护工作中存在的问题,并提出改善郑州大气环境质量的对策,为城市综合发展、污染防治等提供科学依据。

材料与amp;方法

1. 资料来源:

1.1 煤炭消耗量、污染物排放量的资料来源于郑州市环保局2001—2004年排污申报登记数据和企业统计报表。统计方法是:以二氧化硫、烟尘、粉尘排放量占全市工业总排放量的85%,煤炭消耗量占全市工业总消耗量的91%为筛选原则;范围包括郑州市所属的七区、五县(市),行业主要集中在煤炭消耗量大、污染严重的造纸、水泥、冶炼、煤炭、电力、机械、耐火材料等行业,参与统计的重点企业共计790个。

1.2 大气中污染物浓度资料来源于大气质量连续、自动监测系统监测的数据。污染指数(P_i)、综合污染指数(P_n)、污染负荷系数(F_i)、空气污染指数(API)等环境质量指数是在污染物浓度基础上根据公式计算出来的。空气质量污染、优良分类方法是以每日空气污染指数(API)为基础,按照API小于100属于优良,大于100属于污染进行分类。API是中国目前使用的每天向社会上公布的空气质量指数。

2. 监测布点及采样高度

监测点位的布设以具有较好的代表性、能大致反映城市各行政区空气污染水平及变化规律为原则,尽可能分布均匀,采样点高度为3-15米。郑州市区环境空气常规监测点七个(由于岗李水库监测点资料不全,故在表1、表15和图5、图6、图7中只列出了六个监测点的布设和监测结果),其分布^[13]见表1。

表1 郑州市区空气质量监测点布设一览表

监测点名称	代表功能区域	监测频次
监测站	工业区	
郑纺机	工业区	连续自动监测
烟厂	居民区	(实行空气质量
河医大	居民区	日报、预报)
银行学校	居民区	
供水公司	居民区	

3. 监测项目、原理及分析方法

郑州市所有监测点都采用了自动监测系统,开展了SO₂、NO₂和PM₁₀的监测分析,SO₂、NO₂和PM₁₀的监测分别采用^[14]了紫外荧光法、化学发光法、β射线法。

3.1 紫外荧光仪测定SO₂工作原理:紫外灯发出的紫外光(190~230nm)通过214 nm的滤光片,激发SO₂分子使其处于激发态,在SO₂分子从激发态衰减返回基态时产生荧光(240~420),荧光强度由一个带着滤光片的光电倍增管测得。当浓度相对较低时,光电倍增管测得的荧光与浓度呈正比。

3.2 化学发光仪测定NO₂工作原理: NO与O₃的化学发光反应生成激发态的NO₂分子,在返回基态时放出与NO浓度成正比的光,用红敏光电倍增管接收此光即可测得NO浓度。对于总氮氧化物(NO_x=NO+NO₂)的测定,须先将样气中的NO₂转换成NO,即可测得NO_x浓度,两次测定值的差值(NO_x浓度减去NO浓度)即为NO₂浓度。

3.3 Beta射线仪测定PM₁₀工作原理:利用Beta射线衰减量测试采样期间增加的颗粒物质量。环境空气由采样泵吸入采样管,经过滤膜后排出。颗粒物沉淀在采样滤膜上,当β射线通过沉积着颗粒物的滤膜时,β射线能量衰减,通过对衰减量的测定计算出颗粒物的浓度。

4. 评价标准

4.1 污染物浓度执行的标准^[15]为GB3095-1996《环境空气质量标准》的一、二、三级标准 见表2。

表2 环境空气质量评价标准 (单位: mg/m³)

项目	取值时间	一级标准	二级标准	三级标准
二氧化硫	日平均	0.05	0.15	0.25
	年平均	0.02	0.06	0.10
二氧化氮	日平均	0.08	0.08	0.12
	年平均	0.04	0.04	0.08
可吸入颗粒物	日平均	0.05	0.15	0.25
	年平均	0.04	0.10	0.15

4.2 大气环境质量评价采用环境质量指数法^[16-20]

为简明扼要地综合反映大气污染水平, 采用单因子污染指数 (P_i)、综合污染指数 (P_n)、等标污染负荷系数 (F_i)、空气污染指数 (API) 等环境质量指数进行评价。计算公式如下:

$$P_i = \frac{C_i}{S_i} \quad (1)$$

- (1)式中: P_i—评价因子 i 的污染指数;
 C_i—评价因子 i 的年平均浓度值;
 S_i—评价因子 i 的评价标准值;

$$P_n = \sum_{i=1}^n P_i \quad (2)$$

- (2) 式中: P_n—综合污染指数;
 P_i—评价因子 i 的污染指数;
 n—参加综合评价的污染物项数;

$$F_i = \frac{P_i}{P_n} \quad (3)$$

- (3)式中: F_i —i 污染物的等标污染负荷系数;
 P_i—评价因子 i 的污染指数;
 P_n—综合污染指数;

$$I_i = (C_i - C_{i,j})(I_{i,j+1} - I_{i,j}) / (C_{i,j+1} - C_{i,j}) + I_{i,j} \quad (4)$$

- (4)式中： I_i —第 i 种污染物的污染分指数；
 C_i —第 i 种污染物的浓度监测值；
 $I_{i,j}$ —第 i 种污染物 j 转折点的污染分项指数值；
 $I_{i,j+1}$ —第 i 种污染物的 $j+1$ 个转折点的污染分项指数值；
 $C_{i,j}$ —第 j 转折点 i 种污染物的(对应于 $I_{i,j}$)浓度限值；
 $C_{i,j+1}$ —第 $j+1$ 个转折点 i 种污染物的(对应于 $I_{i,j+1}$) 浓度限值。

$$API = \max(I_1, I_2, \dots, I_n) \quad (5)$$

(5)式中： I_i — 污染物 X 的分指数；

n —为分指数的个数

4. 3 空气污染指数分级 见表 3

表 3 空气污染指数法分级

API	0-50	51-100	101-200	201-300	>300
空气质量级别	I	II	III	IV	V
空气质量描述	优	良	轻度污染	中度污染	重度污染

5. 统计分析方法

将相关的监测数据审核、纠错后录入计算机，用 Excel2003 建立数据库，利用 SAS10.0 统计分析系统对取得的数据资料进行统计处理。描述性研究：利用统计表、统计图对郑州市 2001-2004 年大气污染物排放情况、环境质量现状的水平、时间变化趋势、地区分布特征进行描述。分析性研究：用 χ^2 检验分析比较年份、季节对空气质量的影响。用秩和检验 (Wilcoxon) 分析不同季节大气中 SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 浓度有无显著性差异，用等级相关(Spearman)分析 SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 月均浓度相关性。 $\alpha = 0.05$ 作为检验水准。

结 果

1. 2001—2004 年郑州市区及郊县污染物排放情况

郑州市有 5 万家工业企业，本次筛选出重点企业 790 家，行业主要集中在煤炭消耗量大、污染严重的造纸、水泥、冶炼、煤炭、电力、机械、耐火材料等行业，

其污染物排放量占总排放量的85%，煤炭消耗量占全市工业总消耗量的91%。这790家企业煤炭消耗量、污染物排放情况见表4、表5。

表4 2001—2004年市区煤炭消耗量、污染物排放量

年份	煤炭消耗量 (万吨/年)	SO ₂ 排放量 (吨/年)	烟尘排放量 (吨/年)	粉尘排放量 (吨/年)
2001年	454.26	30146	40680	12493
2002年	410.8	25761	36067	12621
2003年	436.9	25530	31663	5899
2004年	439.9	36971	28052	10540

表5 2004年市区及郊县煤炭消耗量、污染物排放量

地区名称	煤炭消耗量 (万吨/年)	SO ₂ 排放量 (吨/年)	烟尘排放量 (吨/年)	粉尘排放量 (吨/年)
市区	439.9	36971	28052	10540
巩义市	258.5	19161	13009	15143
荥阳市	93.0	5009	7375	11604
新密市	136.8	10989	10917	26182
新郑市	66.4	4900	8595	2945
登封市	227.4	17742	14817	11710
合计	1235.1	95625	84136	78724

2. 2001—2004年郑州市大气质量状况

2.1 市区2001年前后污染物年均浓度对比分析 见图1、图2、图3。

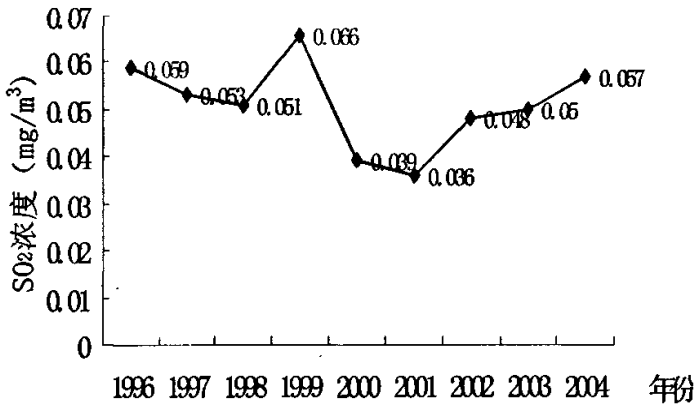


图1 郑州市区2001年前后SO₂年均浓度对比分析

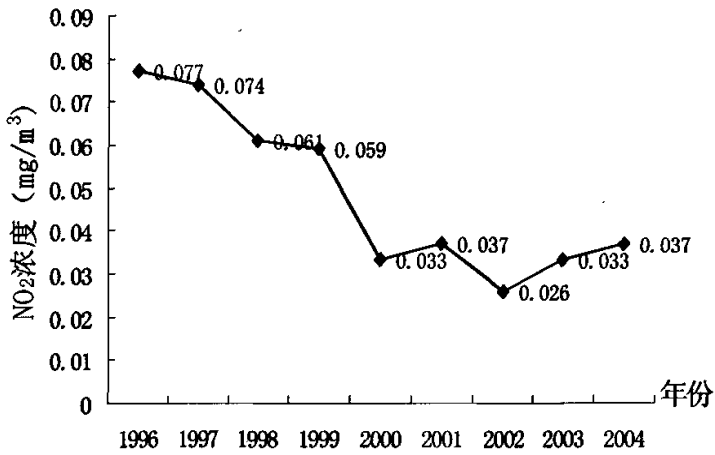


图2 郑州市区2001年前后NO₂年均浓度对比分析

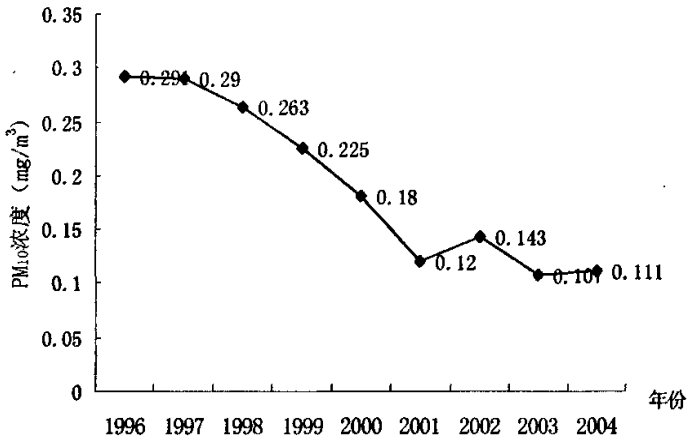


图3 郑州市区2001年前后PM₁₀年均浓度对比分析

由图1、图2、图3可见，2001年以前污染物年均浓度超标严重，2001年以后污染状况达到有效控制。

2.2 2001—2004年污染负荷系数(F_i)、综合污染指数(P_n)评价市区大气质量 见表6。

表6 2001—2004年郑州市区环境空气质量指数法评价大气质量

年份	污染物名称	年均值 (mg/m ³)	相应级别	污染负荷系数(F _i)	综合污染指数(P _n)	首要污染物
2001	SO ₂	0.036	二级	0.27	2.26	PM ₁₀
	NO ₂	0.037	二级	0.2		
	PM ₁₀	0.12	三级	0.53		
2002	SO ₂	0.048	二级	0.31	2.56	PM ₁₀
	NO ₂	0.026	二级	0.13		
	PM ₁₀	0.143	三级	0.56		
2003	SO ₂	0.05	二级	0.36	2.32	PM ₁₀
	NO ₂	0.033	二级	0.18		
	PM ₁₀	0.107	三级	0.46		
2004	SO ₂	0.057	二级	0.38	2.52	PM ₁₀
	NO ₂	0.037	二级	0.18		
	PM ₁₀	0.111	三级	0.44		

2.3 2001—2004年大气污染天数、污染率统计结果 见表7、表8

表7 2001—2004年大气污染天数、污染率

年份	2001	2002	2003	2004
优良天数	288	223	308	298
污染天数*	77	142	57	68
污染率(%)	21.09	38.90	15.62	18.58

*API>100为污染

2001—2004年大气污染率比较： $\chi^2=66.807, P<0.001$ 。

表8 2001—2004年年度间污染率两两比较的 χ^2 检验

对比组	χ^2	P
2001与2002	27.56	0.001
2001与2003	3.656	0.056
2001与2004	0.728	0.394
2002与2003	49.93	0.001
2002与2004	36.871	0.001
2003与2004	1.132	0.287

每次比较的检验水准^[21] $\alpha' = \alpha / K(K-1)$ ，K为比较的组数，按 $\alpha' = 0.0042$ 水准。2002年的大气污染最重，与2001、2003、2004年污染程度的差异有统计学意义；2001、2003、2004年间的大气污染程度的差异无统计学意义。

2.4 2001—2004年大气质量季节性变化 见表9、表10

表9 2001—2004年大气质量季节性变化

季节	春	夏	秋	冬
优良天数	260	340	286	231
污染天数*	108	28	78	130
污染率(%)	29.35	7.61	21.43	36.01

*API>100为污染

注：春季为3—5月，夏季为6—8月，秋季为9—11月，冬季为1、2、12月，

2001—2004年季节间污染率比较： $\chi^2=90.871, P=0.001$

表10 2001—2004年季节间污染率两两比较的 χ^2 检验

对比组	χ^2	P
春与夏	57.725	0.001
春与秋	6.055	0.014
春与冬	3.68	0.055
夏与秋	28.222	0.001
夏与冬	86.596	0.001
秋与冬	18.839	0.001

按照调整后的检验水准 $\alpha'=0.0042$ ，冬季污染率最高，与夏季、秋季的差异有统计学意义，与春季间的差异无统计学意义。夏季污染率最低，与其它三季间的差异有统计学意义。大气污染按照由重到轻顺序为：冬季>春季>秋季>夏季。

2.5 2001—2004年每月污染天数 见图4

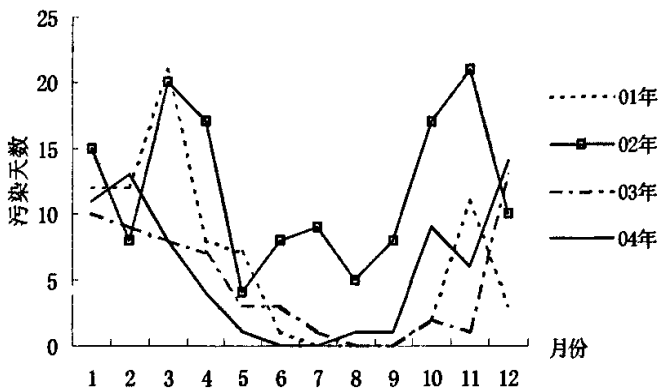


图4 2001—2004年每月污染天数

3. 2004年大气质量状况

3.1 2004年市区四季污染物浓度分布(中位数) 见表11

表 11 2004 年市区四季 SO₂、NO₂ 和 PM₁₀ 浓度 (中位数) 单位: mg/m³

季节	天数 (n)	SO ₂	NO ₂	PM ₁₀
春季	92	0.047	0.030	0.104
夏季	92	0.028	0.026	0.086
秋季	91	0.066	0.047	0.101
冬季	91	0.081	0.041	0.118

3. 2 对 2004 年 SO₂、NO₂ 和 PM₁₀ 四季平均浓度做秩和检验 结果见表 12

表 12 2004 年污染物四季平均浓度秩和检验

污染物	χ^2	P
SO ₂	170.64	0.001
NO ₂	124.17	0.001
PM ₁₀	42.41	0.001

3. 3 2004 年三种污染物的月浓度均值 见表 13

表 13 2004 年三种污染物的月浓度均值 (mg/m³)

月份	SO ₂	NO ₂	PM ₁₀
1	0.08381	0.04052	0.13932
2	0.07717	0.04048	0.13269
3	0.05710	0.03426	0.13503
4	0.04983	0.0317	0.11697
5	0.04065	0.02639	0.08881
6	0.0326	0.02647	0.08487
7	0.02990	0.02694	0.08432
8	0.02884	0.02742	0.09355
9	0.04993	0.04113	0.0986
10	0.06419	0.05435	0.12268
11	0.07977	0.0496	0.10413
12	0.09394	0.04645	0.12597

3.4 2004年三种污染物月均浓度等级相关^[22](Spearman)分析 结果见表14

表14 2004年三种污染物月均浓度等级相关分析

对比组	r_s	P
SO ₂ 与NO ₂	0.7762	0.002 < P < 0.005
SO ₂ 与PM ₁₀	0.7902	0.002 < P < 0.005
NO ₂ 与PM ₁₀	0.5804	0.05 < P < 0.1

3.5 2004年郑州市大气质量空间分布

3.5.1 2004年郑州市区各监测点指数法评价大气质量 见表15

表15 2004年郑州市区各监测点指数法评价大气质量

点位	污染物名称	年均值	相应级别	污染负荷系数 (Fi)	综合污染指数 (Pn)	首要污染物
监测站	SO ₂	0.055	二级	0.365	2.51	PM ₁₀
	NO ₂	0.037	二级	0.184		
	PM ₁₀	0.113	三级	0.45		
郑纺机	SO ₂	0.05	二级	0.325	2.56	PM ₁₀
	NO ₂	0.043	三级	0.21		
	PM ₁₀	0.119	三级	0.465		
河医大	SO ₂	0.069	三级	0.419	2.74	SO ₂
	NO ₂	0.037	二级	0.169		
	PM ₁₀	0.113	三级	0.412		
烟厂	SO ₂	0.059	二级	0.38	2.59	PM ₁₀
	NO ₂	0.041	三级	0.198		
	PM ₁₀	0.109	三级	0.422		
银行学校	SO ₂	0.059	二级	0.395	2.49	PM ₁₀
	NO ₂	0.035	二级	0.176		
	PM ₁₀	0.107	三级	0.43		
供水公司	SO ₂	0.051	二级	0.379	2.25	PM ₁₀
	NO ₂	0.03	二级	0.167		
	PM ₁₀	0.102	三级	0.454		

由表 15 可见，河医大、烟厂污染指数分别为 2.74、2.59，污染最重。除河医大监测点 SO_2 为首要污染物外，其它监测点 PM_{10} 为首要污染物。

3. 5. 2 2004 年市区各监测点污染物月浓度均值 见图 5、图 6、图 7

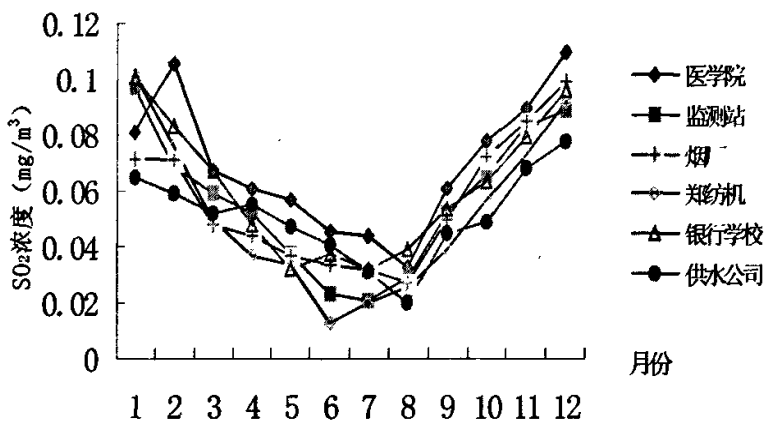


图 5 2004 年市区各监测点 SO_2 月均浓度

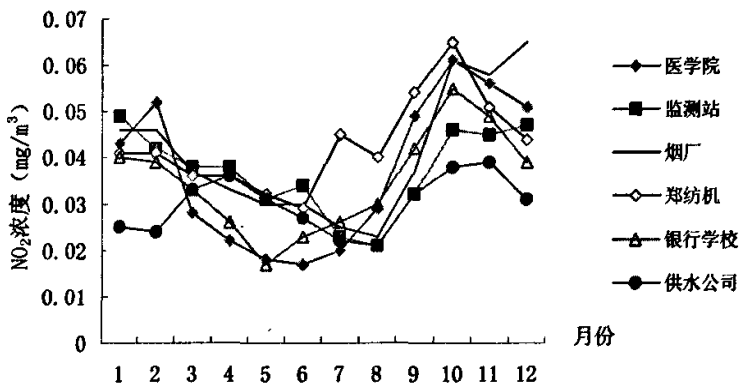


图 6 2004 年市区各监测点 NO_2 月均浓度

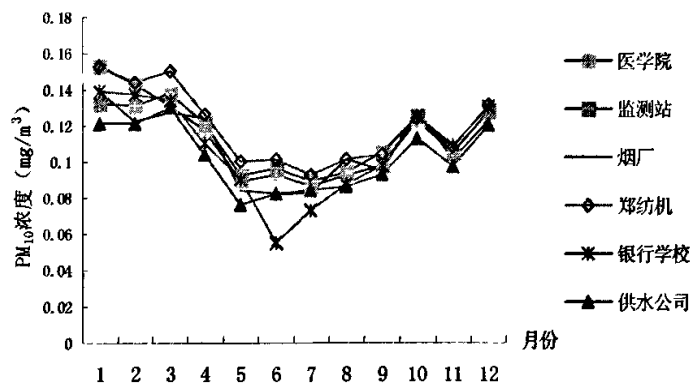


图 7 2004 年市区各监测点 PM₁₀ 月均浓度

3. 5. 3 2004 年郑州市区及郊县（市）综合污染指数(Pn)、污染负荷系数(Fi)评价结果 见表 16

表 16 2004 年郑州市区及郊县（市）评价指数

区域	污染物名称	年均值	相应级别	污染负荷系数 (Fi)	综合污染指数 (Pn)	首要污染物
登封市	SO ₂	0.019	一级	0.364	0.87	PM ₁₀
	NO ₂	0.013	一级	0.187		
	PM ₁₀	0.039	一级	0.449		
新郑市	SO ₂	0.015	一级	0.167	1.5	PM ₁₀
	NO ₂	0.024	一级	0.2		
	PM ₁₀	0.095	二级	0.633		
新密市	SO ₂	0.023	二级	0.166	2.32	PM ₁₀
	NO ₂	0.033	二级	0.178		
	PM ₁₀	0.152	劣三级	0.656		
巩义市	SO ₂	0.069	三级	0.321	3.59	PM ₁₀
	NO ₂	0.035	二级	0.122		
	PM ₁₀	0.2	劣三级	0.558		
荥阳市	SO ₂	0.015	一级	0.226	1.11	PM ₁₀
	NO ₂	0.034	二级	0.385		
	PM ₁₀	0.043	二级	0.389		
市区	SO ₂	0.057	二级	0.377	2.52	PM ₁₀
	NO ₂	0.037	二级	0.183		
	PM ₁₀	0.111	三级	0.44		

由表 16 可见，巩义、新密污染最重，PM₁₀年均浓度为劣三级。2004 年郑州市区及郊县（市）首要污染物均是 PM₁₀。

讨 论

1 污染物排放情况:

1. 1 郑州市大气中 SO₂、PM₁₀主要来自煤炭燃烧

郑州地处中原，是全国公路、铁路交通枢纽和重要的商品集散地。目前约有五万家工业企业，工业结构以重工业为主，属于高耗能综合型工业城市。综合实力 100 强企业，重工业 73 家，主要集中在建材、电力、机械、冶金、煤炭、纺织等煤炭消耗量大、污染重的行业。郑州市 2001 年以来，国民生产总值迅速递增，随着城市化的发展，交通规模不断扩大，能源消耗持续增加，污染物排放量也随着增长。

从本次调查结果可以看出：目前大气主要污染物中， PM_{10} 污染负荷系数最大是首要污染物，郑州市大气污染仍是以煤烟型为主。由图 1、图 2、图 3 可见：1996—2004 年 PM_{10} 浓度呈逐年下降趋势，且 2001 年—2004 年浓度显著下降，但 PM_{10} 浓度属于三级；2004 年新密 PM_{10} 浓度 0.152，属于劣三级，污染严重； SO_2 年均浓度 2000 年污染程度有明显下降，但 2001 年—2004 年 SO_2 浓度呈现逐年上升趋势，2004 年年均浓度达到 $0.057\text{mg}/\text{m}^3$ 接近二级标准限值 ($0.06\text{mg}/\text{m}^3$)，污染有加重趋势。河医大监测点结果显示： SO_2 年均浓度为 $0.069\text{mg}/\text{m}^3$ 属于三级，污染负荷系数最高，是首要污染物。

郑州市主要工业燃料是煤炭，这是颗粒物、二氧化硫排放的主要来源，其次燃煤采暖锅炉、餐饮业炉灶数量多且低空排放是另一类重要污染源。本次重点调查了规模以上工业企业 790 家，其煤炭消耗量占郑州市消耗总量的 91%。表 4 结果显示：2001—2004 年市区煤炭消耗量 410.8 万吨/年—454.26 万吨/年，二氧化硫排放量 25530 吨/年—36971 吨/年，增长幅度不大，总体上处于稳定状态，烟尘排放量 28052 吨/年—40680 吨/年、工业粉尘排放量 10540 吨/年—12493 吨/年，呈逐年下降趋势。表 5 结果显示：辖区各县(市)中，污染物排放量有很大的区域差别，巩义市排放量最高，其次是登封、新密，新郑市排放量最小。针对上述结果，分析其原因如下：近几年郑州市加强煤烟污染控制，逐年分批拆除能耗高，污染重的小燃煤锅炉；大力治理工业污染源，积极推广集中供热，增加天然气、液化气的利用率。因此煤炭消耗量、二氧化硫排放量变化幅度不大，烟尘、粉尘排放量呈逐年下降趋势。

1.2 二氧化氮污染现状值得警惕

由本次调查结果图 2 可见：1996 年至 1999 年 NO_2 年均浓度超过二级标准，2000 年显著下降。然而，2001—2004 年 NO_2 年均浓度呈现逐年上升趋势，2004 年年均值为 $0.037\text{mg}/\text{m}^3$ 接近二级标准限值 ($0.04\text{mg}/\text{m}^3$)。2004 年，郑纺机、烟厂监测点 NO_2 年均浓度分别为 $0.043\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $0.041\text{mg}/\text{m}^3$ ，超过三级标准，污染严重。由此可

见, 二氧化氮污染状况值得警惕。

有资料显示^[23-26]: NO_2 浓度的上升与市区机动车辆逐年增长有密切关系。郑州市机动车尾气污染对 NO_x 的分担率为40%; 2001年—2004年, 郑州市拥有的机动车由12万辆, 迅速上升到近30万辆, 并以每年15%的速度继续增长。据监测, 这些车辆中有将近15%的机动车尾气不达标, 市区的超标车辆近3万辆。新车的不断增长、老旧车辆的缓慢出局, 致使近几年郑州市的机动车污染物排放量有增无减。另外, 郑州近几年高层建筑迅速增加造成通风不畅, 加上城市热岛效应, 污染物难以扩散, 也是大气中 NO_2 污染加重的原因之一。

2 郑州市大气质量年度变化趋势分析

2.1 2001年污染物浓度显著下降

由图1、图2、图3可见: 2001年三种污染物的浓度显著下降, 成为年均浓度变化趋势图的转折点。1998年国务院颁布实施了《建设项目环境保护管理条例》, 郑州实行环保第一审批权制度, 即只有出具环保部门审批的环境评价手续, 才能在工商部门获得营业执照。目前郑州市环保部门通过严把建设项目审批关, 每年把数以千计的违反产业政策、高耗能、污染重的项目拒之门外, 有效促进了产业结构调整。1999—2000年郑州市实施环境“双达标”(即区域内地面水、环境空气质量功能区达标)行动^[27]全市1367家县(市)以上重点排放废气企业全部达标排放, 172家177项省市大气重点污染源限期治理项目达到评定标准, 2001年郑州市环境“双达标”工作顺利通过了国家环保总局的检查验收。全市的污染物排放总量得到大副度消减, 市区空气质量有了明显改善。

2.2 环境质量指数法评价2001—2004年大气质量, 四年间大气质量基本处于稳定状态

用环境质量指数评价大气质量状况的优点是: 大量监测数据经过综合整理, 计算成几个环境质量指数后, 可提纲挈领地表达环境质量, 既综合概括, 又简明扼要。由表6可见: 2001、2002、2003、2004年综合污染指数(P_n)分别是: 2.26、2.56、2.32、2.52。表7也可看出, 2002年污染天数达142天, 污染率为38.9%, 在四年当中最高。对污染率作 χ^2 检验, 2002年与2001、2003、2004年间污染程度的差异有统计学意义($P < 0.001$)。2001、2003、2004年间污染程度的差异无统计学意义, 空气质量处于稳定状态。2002年综合污染指数2.56, 污染最重, 2003年综合污染指

数 2.32 空气质量最好。

一方面,降水量对空气中污染物可以起到冲刷、稀释作用,是影响大气质量的重要因素。有资料显示,2002年降水量604mm,低于多年均值640.9mm,2003年降水量1020.8mm,远远高于其它年份。另一方面,近几年郑州努力创建环保模范城市,采取强有力措施,有效遏制大气质量恶化的趋势。除了2002年因降水量减少污染严重外,2001—2004年空气质量处于稳定状态。

2.3 年均浓度评价 2001—2004年大气质量,大气污染形势依然严峻

按年均浓度评价空气质量为三级,2001年至2004年 PM_{10} 浓度虽呈现逐年下降趋势,但也超过了二级标准; SO_2 年均浓度逐年上升,2004年浓度达到 $0.057mg/m^3$ 接近二级标准限值($0.06mg/m^3$)。 NO_2 也有逐年上升趋势,2004年年均值达到 $0.037mg/m^3$ 接近二级标准限值($0.04mg/m^3$)。总体上郑州市空气质量不容乐观。对2004年三种污染物月均浓度做等级相关分析,由表14可见: SO_2 与 NO_2 、 SO_2 与 PM_{10} 月均浓度相关性有统计学意义($P<0.005$)。煤炭、石油燃料中含有硫元素,在燃烧的过程中可排放出 SO_2 ;同时,空气中的氮气参与化学反应,排出 NO_2 ;煤炭中的灰分也是颗粒物的重要来源。石油燃料燃烧时排出的颗粒物浓度小, NO_2 与 PM_{10} 相关性无统计学意义($P>0.05$)。郑州市能源消耗以煤炭为主, PM_{10} 、 SO_2 污染主要来自工业燃煤锅炉和冬季采暖锅炉、燃煤炉灶排放出的烟尘、 SO_2 及工业企业产生的粉尘^[28-29]。几年来政府虽然下大力气取缔燃煤大灶,拆除小的燃煤锅炉,受利益的趋动,已拆除的燃煤炉灶、锅炉反弹现象严重。市郊及市内建筑施工产生的二次扬尘、春季北方沙尘暴天气的影响、郊区焚烧秸秆,加重了郑州市环境空气污染^[30-36]。郑州市2001—2004年 NO_2 浓度的上升与市区机动车辆逐年增长有密切关系。

3 环境大气主要污染物季节性特征分析

郑州市城区环境空气质量季节特征非常明显。(1)按污染指数(API)分级,2001—2004年月污染天数图型呈U型,春冬污染天数大大高于夏秋;经 X^2 检验,夏季大气污染程度最轻,与其它三季差异有统计学意义,冬季污染程度最重与夏季、秋季有显著性差异,与春季间无显著性差异。大气污染程度按照由重到轻顺序为:冬季>春季>秋季>夏季。(2)2004年四季污染物浓度差异显著,城区各监测点污染物月均浓度图型呈V型,春冬月均浓度显著高于夏秋。

3.1 PM₁₀污染以冬季最重、春秋季节次之，夏季最轻。主要原因：

一是郑州集中供热普及率较低，集中供热面积1160万平方米，仅达到市区住户面积的23%，另有5000万平方米缺口没有采用集中供热。冬季许多单位小锅炉反弹，居民家庭燃煤取暖增加，燃煤污染排放量高于其它季节，另一方面，当大气层处于不稳定结构时，会促使湍流运动的发展，大气扩散稀释能力加强，反之则减弱大气的扩散稀释能力^[37]。郑州冬季大气层结构很稳定，变压小，地面为静风或微风，常形成逆温，该期间降雨量减小，这样的大气条件不利于污染物垂直和水平方向的扩散。

二是春季常受到北方沙尘暴天气的影响，无雨的大风易带来沙尘天气，浓度值处于较高污染水平；另一方面，当风速大于2米/秒时^[38-39]，污染物浓度值与风速呈正相关。春季气候干燥，植被覆盖较差，大风较多，地面扬尘随风而起，也是春季PM₁₀污染较重的原因之一。

三是夏秋季节秸秆焚烧，PM₁₀浓度明显上升。秸秆焚烧不仅是一个环保问题，更重要的是一个资源综合利用转化问题，目前对秸秆综合利用技术已进行大量研究^[40]，如秸秆栽培平菇技术、沼气发酵、加工成新型快餐盒等，但这些技术还没有广泛推广普及。由于全市秸秆综合利用率还很低，秸秆焚烧始终是一个潜在的隐患，稍有监管不力，焚烧现象就会发生。在夏季，气温高，容易形成对流和降水，夏季降水占全年降水量的60%—70%，从而有利于PM₁₀的扩散和清除，空气质量良好；秋季郑州少风、阳光充足，昼夜温差大，易产生逆温天气，污染物纵向和横向均难以充分稀释扩散，地面污染物累积增加，使11月份颗粒物污染加重。

3.2 SO₂以冬季污染最重，其次是秋季和春季，夏季最轻。

原因有二，一是采暖期燃煤量增大导致SO₂排放量增加。郑州集中供热普及率较低，冬季许多单位、居民家庭燃煤取暖，燃煤污染物排放量高于其它季节。二是冬季的气象条件，不利于SO₂污染物扩散；而夏季气象条件有利于SO₂的扩散和清除。

3.3 NO₂污染的季节变化相对平缓，峰值出现在秋季和冬季。机动车尾气的排放是NO₂的重要污染源，汽车尾气的排放受季节性影响不大，在污染源相对稳定的前提下，环境气象条件的变化直接影响着污染物的输送扩散。秋季和冬季出现的峰值主要是因为秋、冬两季污染物不易扩散。

4 环境大气主要污染物区域分布

4.1 市区内居民区大气质量状况

由表 15 可见,市区各监测点综合污染指数范围为 2.25—2.74,综合污染指数由大到小依次为:河医大、烟厂、郑纺机、监测站、银行学校、供水公司。根据污染负荷系数分析结果可知,2004年市区各监测点除河医大首要污染物为 SO_2 外,其余各监测点均以 PM_{10} 为首要污染物。

按所代表功能区域分类,代表居民区的河医大、烟厂监测点的污染程度(它们的综合污染指数分别是 2.74、2.59)比代表工业区的市监测站、郑纺机(综合污染指数分别是 2.51、2.56)严重。在城区监测点,河医大污染最重, SO_2 年均浓度属于三级,污染负荷系数最高,是首要污染物,这是因为郑州第一钢厂在其西北方向,郑州又多西北风,是造成 SO_2 污染严重的主要原因。郑州柴油机厂、郑州锅炉厂、郑州水工机械厂就分布在居民区以内。烟厂紧邻汽车南站,火车站就在其西北二公里以内,机动车密度在郑州可算是最高,烟厂的 SO_2 、 NO_2 年均浓度分别为 $0.059\text{mg}/\text{m}^3$ (接近二级标准 $0.06\text{mg}/\text{m}$)、 $0.041\text{mg}/\text{m}^3$ (超过三级标准),污染程度较重。郑州塑料制板有限公司、郑州日产汽车有限公司、金星集团、沙隆达郑州农药有限公司等就分布在烟厂所代表的居民区,是 PM_{10} 的重要污染源。郑州工业区、居民区混杂是居民区大气污染的重要原因。郑纺机监测点 PM_{10} 、 NO_2 年均浓度分别为 $0.119\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $0.043\text{mg}/\text{m}^3$ (超过三级)大于其它监测点。南阳路长途站,市瓷厂就在郑纺机西北方向,南部有市恒泰铝合金厂、郑州第一钢厂、宇祥电力工程公司等污染严重的企业密集。银行学校位于居民区,周围分布的主要是各类学校、机关,居住小区;而供水公司周围基本是农田、村庄,没有大的污染源,因此这二个监测点大气质量最好。郑州市工业企业分布于居民区,工业布局不合理是造成大气污染的重要原因。

4.2 郊县(市)污染状况及原因分析

由表 5、表 16、可见,郑州各郊县(市)煤炭消耗量、烟尘、粉尘排放量相差悬殊。巩义、登封、新密污染物排放量最大,荥阳、新郑污染物排放量最小,最高的与最低的相差 3—4 倍;巩义综合污染指数是 3.59, SO_2 年均浓度 $0.069\text{mg}/\text{m}^3$ 属于三级, PM_{10} 年均浓度 $0.152\text{mg}/\text{m}^3$ 属于劣三级,新密的综合污染指数是 2.32,空气质量为劣三级,新郑、荥阳的综合污染指数分别是 1.5、

1.11, 空气质量属于二级, 登封综合污染指数为 0.87, 空气质量最好为一级。

大气质量与污染物排放量、工业结构有很大相关性。这一点从不同区域的工业结构、企业规模、环境生态的对比分析中不难找到原因。有资料显示^[41-43]: 登封的工业结构与巩义、新密一样属于资源型、污染型。巩义市以民营经济为主, 工业结构性污染严重, 生态环境较差, 2003 年绿化覆盖率仅为 8.3%, 人均公共绿地 3.65 平方米; 煤炭、耐火材料、造纸、建材是新密市四大支柱产业, 属于粗放型经济增长模式。登封^[44]是以煤炭、电力、铝及铝制品、耐材、磨料磨具等为主导的污染型工业产业体系, 但是, 该市采取科学管理模式, 将具有共性、互补性的产业和企业向同一区域集中, 初步走出了一条“煤变电、电变铝、铝变制品、废渣变水泥”的生态工业和循环经济^[45-49]发展之路。可见采取生态工业和循环经济发展模式是登封市大气环境质量优良的重要原因。另一方面^[50], 登封是一座具有山水园林特色的旅游城市, 2003 年拥有各种绿地 316 公顷, 绿化率达到 31.6%, 人均公共绿地 10.72 平方米。树木可通过叶片滤清吸收大气中的有害物质^[51-55]。由此可以看出, 较高的城市绿化率, 是登封市大气质量优良的另一个重要原因。

5 大气环境污染的原因

通过对郑州市现阶段空气质量年度变化和季节、空间分布特征的分析, 污染治理效果的评价, 可以发现郑州市大气环境污染的原因主要有以下几个方面。

5.1 以煤为主的能源消费结构是大气污染的主要原因。

据统计^[56-57], SO_2 的 87%、 NO_x 的 67%、烟尘的 60%来自煤的燃烧。大量的煤炭燃烧所致环境污染已经成为郑州市可持续发展必须考虑的重大环境问题。在各产业的煤炭消费构成中, 工业消费的煤炭占煤炭消耗总量的 90%。郑州的工业主要集中在重工业, 工业产业结构不尽合理, 较为集中的行业是: 建材, 食品, 电力, 机械, 冶金, 化学、煤炭、纺织等煤炭消耗量大的重污染行业。

郑州集中供热普及率较低, 集中供热面积 1160 万平方米, 仅为市区住房面积的 23%, 另有 5000 万平方米缺口没有采取集中供热。在非集中供热区域, 冬季许多单位自建小锅炉; 居民家庭燃煤取暖增加, 市区每年居民用煤达 20 万吨, 采暖小煤炉数量多, 污染物低空排放, 燃煤污染物排放量高于其它季节。工业燃煤、冬季采暖、燃煤炉灶排放的烟尘是煤烟型污染的主要来源。

由于近两年关停小煤矿, 郑州热电厂等燃煤大户出现煤炭供应紧张, 煤质根本

无法得到保证，煤灰分高达 30—40%，远远大于规定的低于 18% 标准。而且因煤质不好多次造成静电除尘设备运行不正常、不断出现烟囱冒黑烟现象。

另外，几年来各级政府下大力气拆除燃煤大锅炉，有很多学校、部队、铁路单位，拆除难度大，进度缓慢。郑州煤炭资源丰富，价格低廉，受利益的趋动，已拆除的燃煤炉灶、锅炉反弹现象严重。例如，经过环境“双达标”工作的开展，市区主要道路饮食服务业燃煤大灶基本全部得到取缔，1 吨以下燃煤小锅炉取缔了 1200 余台，并改用了清洁燃料。但由于各种原因，均不同程度存在反弹现象，燃煤大灶基本全部回潮。

5.2 由于城市机动车迅速增加，石油燃料消耗的增加和交通运输的发展，机动车尾气污染是仅次于煤炭污染的重要原因。

不同学者从不同角度对汽车尾气中的污染物类型及对人体的危害进行了研究^[58-63]结果显示： PM_{10} 、 SO_2 、 NO_2 浓度与车流量及离交通主干道的距离有很大相关性，机动车尾气管排放的大部分颗粒物粒径很小，主要由细颗粒物组成，这部分颗粒物可以深入人体肺泡内部，其环境浓度的增加将显著影响人体的肺功能并导致其它呼吸系统疾病的发生。机动车排放的污染物对交通干线附近区域的大气环境质量有着决定性影响。笔者走访郑州市环保局、郑州市车管所了解到：2000 年，郑州市拥有机动车 12 万辆，2004 年拥有近 30 万辆，每天新增 200-500 辆。2005 年机动车保有量约 40 多万辆，仅市区就超过 20 万辆，并以每年高于 15% 的速度继续增长。据监测，这些车辆中有将近 15% 的车尾气不达标，市区的超标车辆近 3 万辆。新车的不断增长、老旧车辆的缓慢出局，致使近几年郑州市的机动车污染物排放量有增无减。据研究，郑州市机动车对 NO_x 的分担率为 40%。烟厂紧邻汽车南站，火车站就在其西北二公里以内，机动车密度在郑州可算是最高， NO_2 年均浓度达到 0.041 mg/m^3 ，污染程度超过三级标准。南阳路长途站，在郑纺机西北方向二公里以内，郑纺机 PM_{10} 、 NO_2 年均浓度分别达到 0.119 mg/m^3 、 0.043 mg/m^3 ，超过二级标准，在城市环境中汽车尾气污染不容忽视。

5.3 郑州市工业布局不合理加重了大气污染程度。

城市规划是做好城市环保工作、实施可持续发展的重要前提。由于历史原因，郑州一些污染严重工业企业处于城市中心地带，或主导风向上游区，如：沙隆达郑州农药有限公司、郑州新力电力有限公司、中铝集团郑州铝业股份有限公司，郑州

一钢厂、市恒泰铝合金厂、宇祥电力工程公司处于郑州中心地带。郑州市的主导风向为西北风，在郑州的西北部地区建有市火力电厂、郑州兴隆电厂，每年燃煤近200万吨，占市区燃煤量的一半左右，污染物排放对市区环境空气质量的影响举足轻重，特别是刮西北风时对市区影响更大。河医大、烟厂作为代表居民区监测点，污染程度重于代表工业区的监测站、郑纺机监测点，工业区、居民区混杂交错加重了居民区大气污染程度。银行学校位于居民区，周围分布的主要是各类学校、机关，居住小区；而供水公司周围基本是农田、村庄，没有污染物排放，因此这二个监测点空气质量最好。郑州市工业企业分布于居民区，工业布局不合理是造成大气污染的重要原因。

5.4 污染治理难度大，污染处理设施停止运行、污染物偷排常有发生，是大气污染的原因之一。

首先，市内大部分企业还处于末端治理阶段，投入多，运行成本高、治理难度大，只有环境效益，没有经济效益，对污染治理存有对立态度，污染处理设施停止运行、偷排漏排常有发生。加上大部分企业还没有安装在线监测仪，对其排放的污染总量难有客观、定量的衡量，执法依据不充分，管理稍加放松便会发生污染反弹。其次^[64]，目前的污染治理是点源达标治理，推行主要污染物达标排放，虽然单个污染源浓度达标排放，但是，全市工业污染排放总量仍然很大，因此实施总量控制势在必行。第三，收费标准一般大大低于企业治理污染的成本，使得收费手段难以奏效。第四，由于收费打入生产成本，所收费用基本是从企业向国家缴纳的税中减量核减的，因而，对企业本身的刺激力度不够。

可见，加强循环经济、工业园区建设，实现废物资源化，是治理大气污染的必然选择。

5.5 秸秆焚烧、二次扬尘是郑州市PM₁₀污染严重的不可忽视的影响因素。

秸秆焚烧不仅是一个环保问题，更重要的是一个资源综合利用转化问题。目前秸秆综合利用技术已被进行大量研究，如秸秆栽培平菇技术、沼气发酵、加工成新型快餐盒等，但还没有推广普及。在播种时，秸秆处理需要大量的时间和精力，目前农民外出打工成为大的潮流，于是，秸秆焚烧成为首选。夏、秋季节，虽然政府采取种种措施杜绝秸秆焚烧，由于全市秸秆综合利用率还很低，秸秆焚烧始终是一个潜在的隐患，稍有监管疏忽，焚烧现象就会发生。

郑州地处黄河滩南岸,土质沙化,植被覆盖较差,气候干燥,大风扬沙天气频发,春季常受到北方沙尘暴的影响,地面扬尘随风而起,城市 PM_{10} 污染严重。另一方面,随着城市规模的不断扩大,建设的飞速发展,各种工地越来越多,很多建筑工地没有采取任何必要的防尘措施,建筑扬尘随处可见,所占比例越来越大,扬尘随风而起,大大加重了城市空气污染。

6 郑州市大气环境可持续发展对策

6.1 加强环保立法执法与城市生态规划

6.1.1 对违法企业加大处罚力度。

企业的环境污染是一种故意行为,只有在污染行为能为企业带来某种利益或好处,并且这种利益或好处至少要大于企业为之付出的全部成本时,这种行为才会发生。以收费制度为例,收费标准一般大大低于超标排污的收益,也低于企业治理污染的成本,因此使得收费手段难以奏效。另外,由于收费打入生产成本,所收费用基本是从企业向国家缴纳的税中等量核减的,因而,对企业本身的刺激力度不够。郑州要根据“不能使违法者从其违法行为中得到好处的原则”设计法律责任,加重处罚力度。

6.1.2 生态城市规划是城市环境质量改善的关键环节

由于历史原因,郑州市的工业布局不太合理,是空气污染加重的影响因素。好的规划是做好城市环保工作、实施可持续发展的重要前提。对于由于历史原因位于居民区的重污染企业应该实行搬迁、重组。工业企业的选址应按照环境资源的承载能力和容量要求,因地制宜地按照生态学中的“共生”原理,通过企业之间以及工业、居民与生态系统之间的物质、能量的输入和输出进行产业结构优化,实现物质、能量的综合平衡。要提高城市环境保护规划的地位,对城市的重大开发活动,生产力布局、资源配置,应以城市环境保护规划为指导,把它作为制定城市发展规划和经济发展计划的基础,做到以人为本,统筹协调。

6.1.3 风沙源生态治理、城市绿化是治理 PM_{10} 污染的有效措施。

郑州应在三环以外、环城高速以内、黄河滩区,建设郑州市风沙源生态治理工程。以“西抓水保东治沙,城市周围森林化”的基本思路,打造三道绿色屏障。第一道屏障是在城市远郊、黄河滩区,以湿地保护、滩地利用、标准堤防护林建设为主,密盖沙源。结合黄河大堤标准化建设,在堤内高标准建设200米至300米宽的

防浪林, 堤外建设 200 米至 300 米宽的防堤林。第二道绿色屏障以水保工程生态园建设为主, 封锁沙源。结合黄河游览区、桃花峪风景区绿化建设, 建成生态带、观光带、旅游带、经济带, 封锁沙源。第三道绿色屏障在城市近郊以郑州市三环路、四环路为主, 建立路、河、渠防护林带, 挡住风沙。

6.2 加强技术研发, 促进污染物减量化和资源化

6.2.1 合理调整能源结构

今后应从改善能源结构入手, 从根本上减少煤炭和汽车尾气污染。郑州煤炭资源丰富, 价格比较便宜, 有多座燃煤火电厂和热电厂, 发展燃煤热电联产、扩大集中供热范围是郑州且切实可行的治理污染手段。充分利用“西气东输”向郑州供气的有利条件, 扩大管道燃气的供应范围, 加快以气、电等清洁能源替代煤的工作进度。使用天然气汽车在目前经济技术条件下是切实可行的, 在汽车能源结构调整方面, 应该积极推广使用压缩天然气, 液化天然气, 乙醇汽油。另外, 公共交通可大幅降低尾气排放量, 建立高质高效的公共交通系统, 是提高城市公交分担率, 改善城市空气质量的根本性措施之一。

6.2.2 大力发展生态工业和循环经济

郑州市工业产业结构中, 建材、电力、机械、冶金, 煤炭等煤炭消耗量大的重污染行业所占比重大, 污染物的削减依靠各个企业单独治理难度极大, 因此发展循环经济, 污染废物资源化成为郑州市治理大气污染的必由之路。循环经济的思想是通过企业间的工业代谢和共存关系, 形成生态工业园区。一家企业的废弃物或副产品成为另一个企业的原料, 建立工业衍生和代谢生态关系, 实现物质能量的闭合式循环, 最大限度地消解长期以来环境与发展之间的根本对立冲突。如果政府部门能为循环经济搭建平台, 科学制定发展规划, 给予政策支持, 则污染治理事半功倍。另一方面, 取缔采用落后生产工艺的企业, 以高新技术改造传统产业, 推进产业结构优化升级。

秸秆焚烧不仅是一个环保问题, 更重要的是一个废物资源化问题。目前对秸秆综合利用技术已进行大量研究, 但还没有推广普及。政府应在加强秸秆禁焚的同时, 积极开发研究秸秆综合利用技术, 扶持发展秸秆综合利用规模化工程, 把秸秆变成广大农民实实在在的经济收入, 激发广大农民综合利用秸秆的自觉性和主动性。这不仅从根本上解决秸秆焚烧污染问题, 也是实现废物资源化, 走出一条利用循环经

济理论治理环境污染的可持续发展之路。

结 论

1 郑州市污染类型：目前郑州市大气污染仍是以煤烟型为主，燃煤对大气中 PM_{10} 、 SO_2 污染起主导作用，污染物主要来源于工业煤炭的燃烧，其次来源于以煤为燃料的采暖锅炉、生活炉灶。近几年，城市交通迅速发展，机动车的迅猛增加，对 NO_2 污染起主导作用。2001—2004年 NO_2 呈现逐年上升趋势，2004年均值为 $0.037mg/m^3$ 接近二级标准限值 $0.04mg/m^3$ ，汽车尾气污染不容忽视。

2 2001—2004年污染特征。2002年污染最重，2001、2003、2004年大气质量无显著差异；郑州市城区环境空气质量季节特征非常明显，春冬污染天数大大高于夏秋；郑州污染以可吸入颗粒物最为严重。 PM_{10} 年均浓度逐年下降，但是，四年均超过了二级标准。 SO_2 、 NO_2 年均浓度逐年上升，2004年浓度接近二级标准限值，总体上郑州市空气质量不容乐观。

3 郑州大气污染的原因：郑州市以煤为主的能源消费结构将对大气环境产生持久的压力，居民采暖煤炭消耗量增加、污染物低空排放是冬季大气污染严重的重要因素；机动车尾气污染仅次于燃煤污染，成为我市大气污染的第二大的污染源。工业企业污染处理设施停止运行现象严重，夏秋季节秸秆焚烧、沙尘暴天气的影响、建筑施工造成的地面扬尘、植被较差，是 PM_{10} 污染严重的重要影响因素；收费标准一般大大低于企业治理污染的成本，对企业本身的刺激力度不够，造成企业污染物偷排严重。

4 改善郑州市大气环境质量的对策：（1）合理调整能源结构，加快以气、电等清洁能源替代煤的工作进度。（2）大力发展生态工业和循环经济，最大限度地利用进入系统的物质和能量，促进废物资源化。（3）通过对城市工业企业布局的合理调整，减轻城市空气的污染。（4）进一步推广使用天然气汽车，建立高质高效的公共交通系统，降低汽车尾气的污染。（5）禁止秸秆燃烧及加强城市绿化，改善生态环境，不断降低污染物排放，提高和优化城市的环境容量。

参 考 文 献

- 1 Panyacosit L. A review of particulate matter and health: focus on developing countries [R]. Laxengurg, Austria:IIASA.2000
- 2 Koch M. Airborne fine particulates in the environment: a review of health effect studies, monitoring data and emission inventories[R]. Laxengurg.Austria:IIASA.2000
- 3 Pope CA 3rd, Burnett RT, Thun MJ, et al. Lung cancer, monary mortality, and long-term exposure to fine particulation. JAMA, 2002, 287(9): 1132-1141
- 4 Laden F, Neas L, Dockery D, et. al. Association of Fine Particulate Mater from Diferent Sources With Daily Mortality in Six U.S. Cities. Environ Health Perspect, 2000,108(10): 941-947
- 5 火忠礼, 徐效清. 呼和浩特市 2001-2003 年大气污染状况监测分析. 职业与健康, 2004, (8): 77
- 6 国家环保总局. 2001 年中国环境状况公报. 国家环保局网. 2002 (因特网资料 <http://www.sepa.gov.cn>)
- 7 国家环保总局. 2002 年中国环境状况公报. 国家环保局网. 2003 (因特网资料 <http://www.sepa.gov.cn>)
- 8 国家环保总局. 2003 年中国环境状况公报. 国家环保局网站. 2004 (因特网资料 <http://www.sepa.gov.cn>)
- 9 国家环保总局. 2004 年中国环境状况公报. 国家环保局网站. 2005 (因特网资料 <http://www.sepa.gov.cn>)
- 10 admin. 郑州市工业企业(集团)100 强. (因特网资料 <http://www.zzmie.com>)
- 11 郑州市环境保护局. 2002 年郑州市环境状况公报. 郑州环境, 2003: 31
- 12 王郁平, 和兵, 晁红霞等. 郑州市城区“八五”—“九五”期间环境空气污染特征及变化趋势分析. 河南科学, 2004, (2): 270
- 13 侯亚明. 郑州市城区环境空气污染特征分析. 河南科学, 2004, (2): 273
- 14 国家环境保护总局. 空气和废气监测分析方法. 北京: 中国社会科学出版社, 2003: 257-259
- 15 GB3095-1996. 环境空气质量标准. 大气环境标准手册, 1996

- 16 文林潜. 空气污染指数与健康. 安全与健康, 2005: 4
- 17 雷孝恩, 张美根, 韩志伟, 等. 大气污染数值预报基础和模式[M]. 北京: 气象出版社, 1998: 6-7
- 18 陈学敏, 杨克敌, 衡正昌等. 环境卫生学. 北京: 人民卫生出版社, 2003, 314 -320
- 19 韩福敏. 安徽省城市空气质量状况与评价. 黑龙江环境通报, 2001 (4): 55
- 20 吴邦灿, 费龙, 现代环境监测技术[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1999: 327
- 21 胡良平, 代炼忠, 郭秀花等. 现代统计学与SAS应用. 北京: 军事医学科学出版社, 2000, (1): 189
- 22 杨树勤. 卫生统计学. 北京: 人民卫生出版社, 1992, (3): 110-111
- 23 宁海文, 吴息. 西宁市大气污染时空变化特征及其与气象条件关系. 陕西气象, 2005, (2): 19
- 24 贺克斌, 余学春, 陆永祺, 等. 城市大气污染物来源特征. 城市环境与城市生态. 2003, (6): 269
- 25 卢晓明, 孙中党. 汽车尾气排放现状调查分析与对策. 郑州环境, 2002, (10): 18
- 26 王令. 城市机动车尾气污染危害与对策. 郑州环境, 2002, (9): 19
- 27 邵丽华. 敢立潮头勇争先 立足环境求发展. 郑州环境(“六.五”世界环境日特刊). 2003: 11-18
- 28 刘益民. 奎屯市空气质量变化趋势及改善途径分析. 干旱环境监测, 2004, (4): 227
- 29 郑州环境保护局. 郑州市区环境空气质量状况通报. 郑州环境, 2002, (11): 4-5
- 30 包娜仁. 大连市近三十年环境变化及可持续发展对策. 中国环境监测, 2004, (3): 55-56
- 31 汪新. 兰州市环境质量现状及防治对策分析. 甘肃科技, 2005, (2): 16
- 32 徐东群, 张文丽, 王焱, 等. 大气颗粒物污染特征研究. 中国预防医学杂志, 2004, (1): 7-9
- 33 宋宇, 唐孝炎. 北京市大气细颗粒物的来源分析. 环境科学, 2002, (6): 11-16

- 34 王改英. 阳泉市城市空气质量污染特征分析与防治对策研究. 山西能源与节能, 2004, (1): 28
- 35 张国勋, 陈超, 王成臣. 气象因素对杭州城市空气质量的影响. 干旱环境监测, 2003, (3): 148
- 36 鲁然英, 田良, 刘铁军等. 沙尘天气对我国城市环境空气质量的影响. 甘肃科技, 2005 (2): 1-2
- 37 蒋维楣, 曹文俊, 蒋瑞宾. 空气污染气象学教程[M]. 北京: 气象出版社, 1993
- 38 孙向田, 王霞, 司瑶冰, 等. 气象条件变化对呼市地区大气污染的影响. 内蒙古环境保护, 2005, (1): 23
- 39 申占营, 熊杰伟, 陈东. 市区 PM₁₀污染状况及相关气象条件分析. 河南气象, 2005, (1): 29
- 40 朱爽, 王斌. 加强秸秆禁焚监督 搞好综合利用开发. 可再生能源, 2003, (5): 51-57
- 41 佚名. 巩义市招商引资项目. 2005. 口岸网(www.po28.com)
- 42 巩义市人民政府. 创建园林城市, 建设绿色家园. 2003(www.gongyi.gov.cn)
- 43 政研科. 新密市经济发展情况汇报. 2005. (www.xinmi.org.cn)
- 44 登封市宣传部. 经济发展改革大潮涌, 百业竞风流. 2004(www.ha.xinhuanet.com)
- 45 张凯. 发展循环经济是迈向生态文明的必由之路. 环境保护, 2003, (5): 4
- 46 黄海峰, 曹燕辉, 徐明. 构建循环经济体系的系统经济学分析. 环境保护, 2005, (8): 71
- 47 卢兵友, 赵景柱. 生态产业园区: 可持续发展的一种理想模式. 环境科学, 2001, (2): 5
- 48 王辉, 郑详飞, 刘飞. 不同行为主体在发展循环经济中的努力途径. 环境保护. 2005, (1): 56
- 49 郑迎飞, 赵旭. 我国企业的环保战略选择——绿色供应链管理. 环境保护, 2002, (6): 42
- 50 登封市委宣传部. 登封市概况. 2004. (www.sshaolin.com)
- 51 黄枢. 城市绿化建设的目标应是改善生态环境. 环境保护, 2002, (7): 23
- 52 江洪, 刘典伟, 张万萍, 等. 城市森林公园与山水园林城市建设[J]. 世界科

- 技研究与发展, 2002, 22(增刊): 67-80
- 53 Dwer J F. Assessing the benefits and cost of the urban forest[J]. *Journal of Arboriculture*, 1992, 18(5): 227-233
- 54 周晓峰. 中国森林与生态环境[M]. 北京: 中国林业出版社, 1999: 23-25
- 55 陈景玲, 王谦, 高俊红, 等. 城市绿化及环境效应研究. *河南科学*, 2005, (3): 465
- 56 周新. 中国的能源消费和改善大气环境质量的战略分析. *环境保护*, 2003, (7): 47
- 57 Xuchang Xu, changhe chen, Haiyin Qi, Rong He, Changfu You, Guangming Xiang. Development of coal combustion pollution control for SO₂ and NO_x in china[J]. *Fuel Processing Technology*, 2000, 62: 153~160
- 58 吴昊, 周林波, 王越. 哈尔滨市空气污染物中机动车及其他源排放分担率的研究. *环境保护*, 2003, (11): 51
- 59 Janssen N A H, Van Mansom D F M, Van Der Jagt K, Harssema H, Hoek G. Mass concentration and elemental composition of airborne particulate matter at street and background locations. *Atmospheric Environment*, 1997, 31(8): 1185~1193
- 60 Horvath H, Habenreich T A, Kreiner I, Norek C. Temporal and spatial variations of the Vienna aerosol. *Science of Total Environment*, 1989, 83: 127~159
- 61 Hitchins J, Morawska L, Wolff R, Gilbert D. Concentrations of submicrometre particles from vehicle emission near a major road. *Atmospheric Environment*, 2000, 34(1): 51~59
- 62 Nitta H, Sato T, Nakai S, Maeda K, Aoki S, Ono M. Respiratory health associated with exposure to automobile exhaust. I. Results of cross-sectional studies in 1979, 1982, and 1983. *Archives of Environmental Health*, 1993, 48: 53~58
- 63 Osterlee A, Drijver M, Lebret E, Brunekreef B. Chronic respiratory symptoms in children and adults living along streets with high traffic density. *Occupational and Environmental Medicine*, 1996, 53: 241~247
- 64 郭青, 师建立, 沈爱英. 总量控制势在必行. *郑州环境*, 2002, (11): 11

综述

城市大气污染控制对策研究

综述 高文英

审校 崔留欣 教授

施学忠 教授

郑州大学公共卫生学院劳动卫生与环境卫生学教研室

河南 郑州 450052

随着国民经济的快速增长和社会全面进步,中国城市化进程加快,城市在国民经济和社会发展中占有举足轻重的地位。目前,中国工业总产值的 50%、国内生产总值的 70%、国家税收的 80%、第三产业增加值的 85%、高等教育和科研力量 90% 以上集中在城市,未来的 10~20 年间将是中国城市发展的最快时期。到 2020 年,中国的城市化水平将由 36% 提高到 50%,城市人口将由 4.6 亿提高到 7.4 亿。然而,中国城市在飞速发展的同时,城市环境也面临着巨大压力。目前,中国城市空气质量恶化的趋势有所减缓,部分城市空气质量有所改善,但整体污染水平仍然较严重。因此,解决好城市的环境保护和可持续发展问题已迫切地摆在我们的面前^[1]。

中国政府一贯将城市作为环境保护工作的重点。大气污染治理从最初的锅炉改造、消烟除尘、污染物的净化处理到污染综合防治阶段,治理模式发生了巨大的变化,部分城市空气质量有了较大程度改善。目前,我国已经把工业污染防治与城市基础设施建设有机结合起来,由单纯治理向调整产业结构和城市布局转变。城市环境保护逐步确立了以人为本的指导思想,城市环境综合整治正向着城市生态建设与环境质量全面改善的新阶段迈进。在今后的一段时间里,中国城市环境保护的基本思路是:以促进人与自然的和谐发展方向,以创造良好的人居环境为中心,在新的城市化高潮中,结合产业结构和城市规划布局的调整,进一步加强城市环境基础设施建设,全面改善城市环境质量,从而提升城市可持续发展的综合实力。

一、2001—2004 年全国城市空气质量状况^[2]

2001 年—2004 年达到国家环境空气质量二级标准(居住区标准)的城市,占 33.4—38.6%;空气质量为三级的城市占 31.5—41.2%;劣三级的城市占 20.2—33.2%。

空气质量达标城市的人口占统计城市人口的 26.3—36.4%。人口超过百万的特大型、超大型城市，空气中主要污染物二氧化硫和颗粒物超标比例最高。颗粒物仍是影响空气质量的首要污染物，46.8—64.1%的城市颗粒物超过二级标准。颗粒物污染较重的城市主要分布在山西、内蒙古、辽宁、河南、湖南、四川及西北各省。19.4—25.7%城市二氧化硫年均浓度超过二级标准，超标率逐年升高，二氧化硫污染严重的城市主要分布在山西、河北、河南、湖南、湖北、云南、内蒙古、甘肃、贵州、广西、四川、重庆等省、自治区、直辖市。所有统计城市的二氧化氮均达到二级标准，但北京、广州、深圳、上海、重庆等大城市二氧化氮浓度相对较高。

二、大气污染的特征和污染物的来源

1、中国以煤为主的能源结构决定了中国大气污染特征是煤烟型污染^[3]

煤燃烧产生的污染将对大气环境质量产生持久的压力。据统计，SO₂的 87%、NO_x的 67%、烟尘的 60%来自煤的燃烧^[4]。中国的 SO₂排放量居世界第一位，我国有一半以上的北方城市及 1/3 以上的南方城市受到了 SO₂浓度超标的威胁^[5]。而在各产业的煤炭消费构成中，工业消费的煤炭占煤炭消耗总量的 90%；其次是生活消费占 7%；农业及第三产业的消费量很小，分别占 1%和 2%。煤炭的环境污染已经成为我国可持续发展必须考虑的重大环境问题^[6]。

2、机动车尾气污染日趋严重，在很多城市将逐渐取代煤烟型污染^[7]

近年来，由于城市机动车迅速增加，机动车尾气污染也日趋严重，汽车废气中主要成分有一氧化碳、氮化物、烃类和铅化合物。有些大城市机动车排放的污染物已占大气污染物的一半以上，面临光化学烟雾的威胁^[8]。有人测定在交通污染区，最高污染指数出现于车流量最高处，同时，在城市车流量大的闹市区的地衣含硫量比城市其它地方高，城市中心近主干道处，在 0.32~1.0 μm PM_{2.5} 中的 S 含量最大^[9]。据研究，机动车排放的氮氧化物浓度随着市中心向城市边缘扩散呈递减趋势^[10]，城市机动车颗粒物的排放主要包括尾气管排放、轮胎磨损、刹车磨损、道路二次扬尘等^[11]。特别是尾气管排放和道路扬尘的协同作用，使得城市交通密集区域不论是粗颗粒的浓度还是细粒子的浓度都显著高于城市区域的平均浓度^[12-13]，机动车尾气管排放的大部分颗粒物粒径很小，主要是亚微米级的粒子^[14]。由于这部分颗粒物可以深入人体肺泡内部，其环境浓度的增加将显著影响人体的肺功能并导致其它呼吸系统疾病的发生^[15-16]。可见汽车尾气污染危害巨大，必须采取有力措施控制汽车尾气

污染。

三、生态城市规划是城市环境质量改善的关键环节

要把保护环境和发展循环经济作为城市规划的重要依据,好的规划是做好城市环保工作、实施可持续发展战略的重要前提。生态城市规划是实施生态环境与城市协调发展的有效手段,探讨改善城市的结构和功能,提出合理的区域开发战略以及相应的土地资源利用、生态建设和环境保护措施,从整体效益上,促进人口、经济、资源、环境关系的相互协调,并创造出一个人类得以舒适、和谐地生活与工作的环境。它包括确定生态环境保护区,搞好园林绿化布局、环境污染防治规划、资源利用保护规划^[17]。

城市规划的指导思想是:全面从城市的经济、社会生态环境各个方面进行综合研究;以人为本制定战略性的、能指导和控制生态城市建设与发展;它必须具备科学性、综合性、预见性和可操作性;充分体现城市可持续发展的思想,做到真正意义上的综合全局;强调专家论证的科学性和独立性,以避免“拍脑袋工程”、“政绩工程”。建立公众参与的正确渠道,以提高公共决策的正确性,代表市民的最大利益和生态建设的社会公平^[18]。

生态城市规划应重点考虑以下问题:

1、城市的产业结构决定了城市的职能和性质以及城市的基本活动方向、内容、形式及空间分布。因地制宜地按照生态学中的“共生”原理,通过企业之间以及工业、居民与生态系统之间的物质、能量的输入和输出,进行产业结构优化,实现物质、能量的综合平衡。

2、要提高城市环境保护规划的地位,把它作为制定城市环境保护发展规划和经济发展计划的基础,并做到以人为本,统筹协调^[19],积极引导各类城镇的合理布局和协调发展。

3、规划环评是城市规划的重要组成部分。2003年9月1日开始实施《中华人民共和国环境影响评价法》,规划环境影响评价的对象是在政策法规制定之后,项目实施之前,对有关规划对环境产生的影响及应采取控制污染的措施进行科学评价,它把环境因素纳入到国民经济与社会发展的综合决策之中,按照环境资源的承载能力和容量要求,对城市的重大开发活动,生产力布局、资源配置,提出更科学合理的建议^[20]。

四、加强城市绿化，改善城市生态环境

城市环境质量的根本改善，不仅需要逐步减少污染，更重要的是需要不断提高和优化城市的环境容量。这就要求加强城市生态建设，走城市建设与生态建设相统一、城市发展与生态环境容量相协调的城市化道路。城市森林是人类文明发展的必然、是城市化发展的需要，也是人与自然和谐共存、创造美好家园的基础，成为当代城市发展与建设的热点^[21]。

1、城市森林的提出

60年代中期，北美一些科学家根据城市出现的弊端，提出在城区和郊区发展森林，将森林引入城市。1962年，“城市森林”这个名词第一次出现在美国肯尼迪政府户外娱乐资源调查报告中^[22]，1965年，加拿大多伦多大学提出了“城市森林”这一概念^[23]，1979年法国出版的《森林与城市》一书中指出：应把城市绿化空间看成是不可缺少的城市设施。1990年，日本提出了在全国建设10座森林城市的构想。

我国城市森林建设的试点始于1988年。吉林省长春市率先开展城市森林建设，并列入全国绿化委员会组织建设的国家森林城市建设试点之一。随后，安徽合肥、辽宁阜新、湖南娄底市相继开展了城市森林建设试点，广东省10多个城市先后制定并实施了城市森林建设规划。1994年4月全国绿化委员会第18次全体会议上指出“21世纪的城市绿化，要向园林化、城市一体化方向发展。要特别注重城市大环境的绿化，努力建设大型环城林带，发展森林城”由此可见森林式绿化模式已被世界各地城市决策层领导所重视。

2、城市森林式绿化的必然性

城市首先是人类集中居住的地方，城市绿化是人类的生理需求和心理需求。联合国生物圈生态与环境组织提出：首都城市的绿色环境要求达到人均 60m^2 ，才是最佳的居住环境。国内外生态学界一致认为，城市环境中，森林绿化面积只有占30%以上，才能有效地改善城市环境质量，绿地面积达50%以上方为最佳居住环境。

3、城市森林的含义

城市森林是森林的一种特殊类型。我国有多位学者给城市森林下过定义，从不同方面各有侧重。综合看来，城市森林应是以乔木为主体的乔木-灌木-草坪复合结构，面积大于 0.5km^2 ，林木树冠覆盖度在10%~30%以上，具有明显的生态价值和人文景观价值，并对周围的环境产生重要影响的各种生物综合体。狭义的城市森林

指在城市内成片的或环城带状的乔木。

4、城市森林生态环境功能

森林能够吸收城市大气中含有的有害气体和细菌。城市大气污染物中，对居民健康威胁最大的，主要有可吸入颗粒物、二氧化硫、二氧化氮、苯并芘、氟化氢等。树木可通过叶片滤清和吸收大气中的有害物质。据对某市的调查，林区空气含菌量仅为该市居民区的 3.35%。一株成熟的树木每年可吸收约 25kg 颗粒物。美国吐克逊 (Tucson) 市所种植的 50 万株树木每年可吸收大气悬浮颗粒物 6500 吨，全市森林减少颗粒物的潜在经济价值达 150 万美元^[24]；每公顷柳杉林每年吸收 720kgSO₂。

城市森林还有减缓风速、吸尘作用。树高 10 至 20 倍范围内可使风速降低 50%，庞大的叶面、柔毛和粗糙的干皮还可吸附大量的飘尘，净化城市空气。乔木-灌木-草坪复合结构的吸尘效果更加明显，减尘率可达 60.0% 以上。

5、城市森林比城市草坪绿化效益高

乔灌木的叶面积与占地面积比为：60:1~70:1，而草坪的叶面积与占地面积比仅为 20:1~30:1。有研究表明，城镇居民一人呼出的 CO₂ 需要 10m² 乔灌木吸收，对草坪来说则需要 40m²。我国人口密度大，在人均绿化面积少的情况下立体种植乔木-灌木-草坪更加经济有效。再有，城市森林的养护费比草坪的低，在相同面积下，树木的养护费用不及草坪的 1/10。

6、国内外城市森林发展迅速

城市森林学说，引导了世界城市林业的发展，并逐步形成了市区、郊区与道路网络一体化的现代化城市绿化建设理论。

美国城市森林覆盖率平均已达 27%，最高的为 55%。占全国人口 3/4 的城市居民，平均每人拥有树木 17 株。据美国科研部门研究，若要显著地改善城市生态环境，全市林木（即树冠）覆盖率平均须有 40%，其中：郊区 50%，商业中心区 15%，居民区与商业外围区 25%；1989 年，英国政府决定从英格兰开始，把造林重点从边远地区转移到城市周围，开展社区造林，把英格兰的森林覆盖率提高到 30%，12 年来已取得较大进展。此外，1990 年日本政府也提出了在全国建设 10 座森林城市的计划，正在实施中。

在我国，深圳市林木覆盖率已达到 46%，人均公共绿地面积 37m²，2000 年成为我国第一个获达国际“花园城市”称号的城市；近年来，大连、长春、厦门、杭州、

贵阳、景德镇、马鞍山等城市，都以建设“森林城市”或“生态园林城市”为目标，加快绿化建设。

五、建立生态产业园区，促进废物资源化

自从人类认识到传统发展模式的种种弊端之后，推行可持续发展战略已经成为了全社会广泛的共识。可持续发展概念已经成为一个跨世纪政治、经济、技术、文化和社会发展的行动纲领，成为向传统生产方式、价值观念和科学方法挑战的一场生态革命^[25]。经过多年的探索研究，生态产业园区建设成为中国可持续发展的代表性模式之一。

1、生态产业园区的内容

生态产业园区是在生态学、生态经济学、产业生态学和系统工程理论指导下，将在一定地理区域内的多种具有不同生产目的的产业，按照物质循环和产业共生原理组织起来，构成一个从摇篮到坟墓利用资源的具有完整生命周期的产业链和产业网，以最大限度地降低对生态环境的负面影响，求得多产业综合发展的产业集团。该园区内的各种产业，不受产业生产方式和行政边界的限制，在原料供应、产品分配和信息技术等方面，共同享有同等权力，以获得共同发展的机会。它不仅是传统生产方式向产业化发展过程中的必然选择，也体现了现代化发展对生产的现实要求。清洁生产虽然具有多方面优势，但也有不少“瓶颈”。如内部改善到一定程度时，进一步削减污染往往需要很大的投入。如果和区域内其它企业联合，就可能使甲所产生的废物成为乙的原料，逐步形成一种环状利用结构——工业共生网络，从而降低成本、节省投入，使大家都获得更大的环境、经济、社会效益。这恰恰是循环经济理念所倡导拓展的必然方向。20世纪80-90年代，发达国家开始依据循环经济理念和工业生态学原理探讨生态工业园区的建设，日本、丹麦、美国、加拿大等国都在进行有益尝试。我国1999年开始启动生态工业园示范项目，建立了第一个国家级贵港生态工业园示范区。目前已有广东南海、山东鲁北等被列为国家生态工业园区试点^[26]。

2、生态产业园区建设的保证措施

产业生态学思想的根本是要求将原处于分离状态的各种组分进行有效组合，一个企业可以获得其他企业产生的废弃物或多余的能量作为资源，同时，其他企业也可以利用本企业产生的废弃物或多余的能量。但这种匹配往往很难实现，为了保证

该项工程的顺利进行, 必须制定一些切实可行的保证措施。

首先, 搭建信息平台促进生态产业园区的发展。具备高效处理能力的信息系统和网络系统的建设, 将为生态产业园区的建设提供强有力的保障。生态园区中废物的回收、交换和再利用是一个巨大的社会工程, 需要宏观、微观多层次的资源循环利用的信息系统。因为只有广泛收集并发布信息, 才能使供需双方迅速建立起联系通道, 从而使废物得到有效回收和利用, 资源得到及时更新与循环^[27]。

其次, 要加强对生态园区建设的研究力度。深入研究生态产业园区的内涵、其中产业组分的构成方式、园区的运行机制和管理特征, 以及生态产业园区发展可能带来的社会、经济、生态效益。特别是要研究如何实现对原本处于分离状态的各组分的合理耦合, 如何协调各组分之间的利益分配, 以及园区的建设规模和发展方向等。

第三, 国家应从宏观上进一步调整产业发展政策, 以适应产业发展的需要。例如, 如何消除本位主义, 加强产业间的联合; 对实行组合产业, 如何给予一定的优惠政策; 如何从单一主导产业发展, 向支持产业园区的发展过渡等。

总之, 生态园区的建设和推广, 必将大大带动整个社会可持续发展的进程^[28]。

六、改变以煤为主的能源消费结构

能源是经济、社会发展和人民生活水平提高的重要物质基础, 但低效的能源消费和不良的能源消费结构又将带来严重环境污染问题。从长远看, 以煤为主的能源消费结构将对大气环境产生持久的压力。

今后, 我国必须改变目前的能源消费状况, 提高能源效率, 充分利用和开发水能资源和核能资源以及风能、太阳能等清洁可再生的能源, 确保我国实现、全面、协调和可持续发展^[29-31]。为了应对中长期能源消费总量增长对大气环境质量的挑战, 除了应从技术上加强对提高能源效率和污染防治的研究外, 极其重要的是, 还应在产业结构调整和环境管理战略选择上向高产值、低污染、低能耗的产业倾斜, 以便达到改善我国空气环境质量的目标。根据各产业的不同情况, 应实行分类管理, 制定不同的环境管理战略, 引导产业结构向低污染的方向发展, 是从战略上促使经济与环境“双赢”的最优选择^[32]。

1 鼓励低污染高产值工业

低污染高产值工业在产业结构中的比例增加将有利于实现环境与经济“双赢”。

因此在环境管理战略上, 应利用环境政策鼓励这些产业扩大生产规模和产品出口。在分配大气污染物排放总量时, 应优先考虑这些产业, 并给予足够的排污权, 以便促进这些产业的扩大。

2 限制高污染低产值工业

高污染低产值工业的特征是以牺牲大气环境为代价换取较低的经济产值。对这些产业, 应通过环境管理手段严格限制其发展。具体环境策略可以采用提高环境标准(例如采用有关国际标准)、限制对其排污总量的分配和限制发放排污许可证等, 迫使这些产业要么向其它产业转移, 要么被淘汰。对这部分产品的国内需求, 可以通过有关贸易政策鼓励相应产品的进口来满足。

3 重点治理污染严重的国家支柱产业

这些产业的特征是它既是国民经济发展的支柱, 也是环境的破坏者。对于这些产业, 国家应在末端治理技术方面开展重点攻关。这些产业的污染治理技术和清洁生产是我国环保产业发展的重点领域, 也是环保投资的重点。

七、积极推动环境认证制度的实施^[33]

参加环境认证一方面有利于消费者环境意识的提高, 为消费者提供可靠的绿色标志产品来选择; 另一方面, 有利于企业扩大关于环境标志、绿色产品、清洁生产等概念的宣传, 提高企业绿色意识, 鼓励企业自觉向 ISO14000 和国际环境标志靠拢, 并给予人力、物力、财力、技术、信息上的必要支持。

1、实施环境标志制度

环境标志又称绿色标志, 它是一种产品证明性商标, 表明该产品不仅质量合格, 而且从产品原材料的采掘到最终废弃物的处置, 整个生命周期过程均符合特定的环境保护要求, 对生态环境和人类健康无害。目前已有 20 多个发达国家和 10 多个发展中国家或地区实行了环境标志制度。它是本国商品取得通向国际市场的通行证。因此我国环境保护及有关部门要向企业宣传环境标志的意义, 通报中国主要出口市场上通行的环境标志, 鼓励企业进行认证以帮助企业树立环境保护形象, 打开国际市场。

2、积极推广 ISO14000 认证制度^[34]

ISO14000 系列标准是一套管理性质的标准, 贯彻实施这套标准是我国借鉴国际经验, 提高我国企业的管理水平, 缩短管理差距的一个机遇。进行 ISO14000 认证

有着重要的意义。对于企业来说，可以提高企业的总体管理水平，提高环境影响的控制水平，节约原料和能源消耗，改进成本控制，提高企业形象，开拓产品市场；对于行业来说，ISO14000 将对不能达到行业标准的部门产生巨大的压力，同时也给符合环境要求的新行业提供机会；对国家来说，ISO14000 会影响国际贸易，如果一个国家不能跟上 ISO14000 的要求，这个国家的企业要到其它国家去发展就会越来越困难，企业竞争力下降，那么发展机会就会被其它国家夺得。因此要进一步推进 ISO14000 在中国的贯彻实施，促进企业参加环境管理体系审核和认证。

3、推行清洁生产，开发绿色产品

清洁生产的基本思想是从生态经济的整体出发，对物质转化的全过程不断采取战略性的综合预防措施，提高物料和能源的利用，减少废物产生和排放。清洁生产的引入开创了预防污染的新阶段，改变了传统的被动、滞后的先污染、后治理的污染控制模式，强调在生产过程中提高资源、能源的利用率，减少污染物的产生量，降低对环境的影响^[35]。企业通过合理定位产品，优化生产过程，革新生产工艺等实现节能、降耗、减污，并最终实现清洁生产^[36]。

八、控制汽车尾气污染

1. 机动车尾气中的主要污染物有 SO_2 、 NO_x 、TSP、等^[37-40]。在城市环境中 SO_2 的主要来源之一是汽车燃料的燃烧，尤其是以柴油为燃料的机动车运行过程产生的尾气。根据植物含硫量与大气 SO_2 的相关性，已有人成功地将植物硫累积量作为大气 SO_2 的指示剂^[41-42]；机动车排放氮氧化物浓度随着市中心向城市边缘扩散呈递减趋势，重点控制区氮氧化物分担率达到 47.1%，机动车排放的氮氧化物对交通干线附近区域的大气环境质量有着决定性的影响，因此，交通干线附近区域环境质量的改善主要取决于大幅度地降低机动车排放的污染物^[10]。对不同污染源、不同区域的污染控制手段进行效果评价，以 NO_x 为例，控制措施的优先次序为：机动车控制>茶炉大灶控制措施>中小工业锅炉及采暖锅炉控制措施>电厂锅炉控制措施^[43]；机动车排放的废气如 SO_x 、 NO_x 和挥发性的有机化合物在大气中可转化形成二次颗粒物^[44]，它主要由细颗粒物组成^[45]，这部分颗粒物可以深入人体肺泡内部，其环境浓度的增加将显著影响人体的肺功能并导致呼吸系统疾病的发生。

2 控制汽车尾气污染的措施

2.1 建立高质高效的公共交通系统，提高城市公交分担率

我国城市人口密度高、可用地有限是区别于国外城市的最基本特征，从提高道路利用率，降低运输成本及环保指标来看，公交理所当然地也是我国城市首选的交通方式。从总体上来说，我国许多大城市、特大城市已陆续加入到公交优先的大趋势中。但目前我国城市公交在城市交通总量中的分担率来看，上海最高为 36%，深圳 25%，郑州最低，只有 3%；其他城市在 10%~20%左右。国外大部分城市的公交分担率在 40%~60%之间。2003 年 1 月建设部公布了《关于加快公用行业市场化进程的意见》，明确要求加快市政公用行业市场化进程，鼓励社会资金、国外资本采取独资、合资、合作等多种形式参与市政公用设施建设，形成多元化投资结构。公交也在其列。市场化改革有利于资源优化配置、建立高效便捷的交通网络，降低公交管理成本，提高公交分担率^[46]。

2.2 发展清洁汽车，开发替代燃烧

我国从“八五”期间就进行了甲醇燃料汽车、压缩天然气汽车和液化天然气汽车的研究项目并取得阶段成果。1999 年国家科技部实施了“空气净化工程——清洁汽车行动”，先后在上海、北京、天津、重庆等 12 个城市开展了清洁汽车推广工作，累计改装了各种压缩天然气汽车和液化天然气汽车 11 万辆，建设相应的加气站 100 多座^[47]。乙醇、裂解油、碱性植物油等生物液体燃料，可以作为清洁燃料直接替代汽油、柴油等动力燃料。在汽油中加入 10%的酒精，可提高汽车的辛烷值，改善内燃机效率。目前各国相继开发“零”排放的电动汽车和排放污染低的汽车，其中主要有电动汽车、混合动力汽车、乙醇燃料汽车、氢燃料汽车等。

2.3 调整汽车税费政策

不同产品的税费政策在用户购车中起导向作用，对汽车结构产生重大影响。为改善汽车消费环境，鼓励环保轿车进入家庭，应尽快出台全国统一的汽车消费政策。实施燃油税，鼓励使用安全、节能、环保的经济型车。同时，汽车产品的优惠政策应向经济型、节能环保型汽车倾斜，鼓励和引导汽车生产企业开发具有节能、环保特点的小功率经济型轿车。在适当时机开始征收汽车排放污染治理税，鼓励汽车企业积极利用高新技术，围绕新能源、新材料、新工艺以及节能、环保等领域，开发研制各种新车型。鼓励清洁汽车发展，限制高污染汽车的使用，加速超标汽车的淘汰，最大限度地控制汽车排污，改善城市大气环境质量^[48]。

九、建立绿色技术支撑体系是大气质量改善的重要保障

防治环境污染，一靠政策，二靠管理，三靠技术。随着环境管理的加强，技术落后、环境投资不足及效益低下等矛盾日益突出。显而易见，在落后的技术基础上控制环境污染的发展，进而改善环境质量是非常困难的，而且环保投入的效益也必须通过科技进步才能实现^[49]。90年代，我国环境保护的最薄弱环节正在由环境管理向“环保投资”和“环境科技”转变^[50]。为此，《我国环境与发展十大对策》等一系列重要文件都已提出：“解决环境与发展问题，根本出路在于依靠科技进步”，推动科技进步是21世纪中国环境政策的理论基石和实践支撑。就目前情况来看，我国依靠科技进步控制污染所占的比重还比较小，发挥科技进步的作用还有很大的潜力^[51]。

环境保护必须充分发挥科学技术的作用，以高新技术为基础，开发建立绿色技术支撑体系。绿色技术支撑体系包括作用于消除污染物的污染治理技术，进行废物再利用的废物资源化技术和无废少废的清洁生产技术^[52]：(1)污染治理技术。即传统意义上的环境工程技术，通过建设废弃物净化装置来实现有毒有害废弃物的净化处理，如汽车尾气控制和煤烟脱硫等大气污染防治技术等。(2)废物利用技术。通过这些技术实现产业废弃物和生活废弃物的资源化处理。目前比较重要的废弃物利用技术有废纸加工再生产技术、废玻璃加工再生技术、废塑料转化为汽油和柴油技术、有机垃圾制复合肥技术、秸秆转化成沼气、加工成快餐合技术，废电池等有害废弃物回收利用技术等。(3)清洁生产技术。联合国环境署对清洁生产的定义^[53]：清洁生产，是预防环境战略持续应用于生产过程、产品和服务中，以期增加生态效率和减少对人类和环境的风险。对生产过程，要求节约原材料和能源，淘汰有毒有害材料，削减所有废物的数量和毒性。对产品，要求减少从原材料到产品最终处置的全周期的不利影响。这是用来进行无废少废的生产技术，通过这些技术实现生产过程的零排放和制造产品的绿色化。

科学技术是第一生产力，环境科技创新是解决错综复杂的环境问题的根基，这不仅包括治理技术的研发，还包括基础科学研究、环境规划和标准的制定，以及法律法规和政策的研究等。环境保护要转变末端治理的思维和行为模式，发展绿色生产力，走生态工业和循环经济之路^[54]。建立绿色支撑技术体系需要政府、科研机构、企业的共同努力。政府要通过颁布与环境政策和环境标准配套的技术政策来引导和规范产业的发展。据《文汇报》报导，同济大学土木工程学院经过两年多的科技攻

关，研制成功了用废弃混凝土重新铺路、建房技术。用原上海江湾机场跑道的废弃混凝土在学校门口铺建一条 20 米长，6 米宽的“再生路”，经过一年多大小车辆的碾压试验，发现该再生混凝土的综合指标与普通混凝土媲美，诸如保温、隔热和隔声等性能则更胜一筹。这项技术如能推广开来，今后的市政工地不再需要大量水泥、石子，只需将开挖马路产生的废渣就地加工成再生混凝土，就可重新铺上路面，如此每年不仅可以挽救近千顷青山，还能节省数以亿计的建筑垃圾处理费^[55]。

十、企业环境污染行为的根本动因

随着可持续发展理论的研究，环境保护问题日益受到关注，学术界也从不同的角度对环境污染问题进行了研究，包括环境治理技术研究^[56]、企业内部环境管理手段研究^[57-58]和环境管理控制的经济手段研究^[59-61]，为了使这些技术、管理和经济手段真正得以落实，为了进一步探讨控制企业环境污染行为的有效可行的政策，现在分析一下企业污染行为的根本动因。

企业的环境污染是一种故意行为。只有在污染行为能为企业带来某种利益或好处，并且这种利益或好处至少要大于企业为之付出的全部成本时，这种行为才会发生。我国目前对企业环境管理的行为实施了不少经济措施，主要包括：收费制度（指排污收费）、排污权贸易（指由政府向污染企业发放排污许可证，污染企业根据该证向特定的地点排放特定数量的污染物）、环境目标责任制、总量控制等。这些措施从经济方面在一定程度上起到控制环境污染行为的发生，但是力度不大。以收费制度为例，收费标准一般大大低于超标排污的收益，也低于企业治理污染的成本，因此使得收费手段难以奏效。另外，由于收费打入生产成本，所以就国有企业界而言，所收费用基本是从企业向国家缴纳的税中减量核减的，因而，对企业本身的刺激力度不够。

针对企业环境污染行为的原因，提出控制环境污染行为的政策建议^[62]：

1、扩大监督主体的范围。一个非常可行的途径是实行环境污染的受害人、环境污染的周围见证人和政府部门共同治理的模式。企业环境污染行为一般是无法避免企业周围人群的察觉的，将监督主体范围扩大到这些群体，增强对监督主体的激励力度。

2、激励约束制度应立足于市场经济法则，真正体现“污染者负担”和“谁开发谁保护，谁破坏谁恢复，谁利用谁补偿”的原则。应当使惩罚的力度大于企业治理

环境的成本，同时，增大查处后新闻媒体的曝光、道德舆论的压力给企业经营者带来的道德、心理成本，培养全社会的环境意识，从而增强企业环境意识和社会责任感。

3、对国有企业，政府应当调整对企业考核指标的权重。应当把防污、治污及环境管理方面的多种指标纳入考核企业经营业绩及其他方面状况的指标体系中，加大环境指标所占比重，突出环保指标的重要性。改变过去那种单纯或主要考核企业经济效益指标的状况，调动企业各相关主体的积极性，建立在可持续发展背景下的科学的企业业绩考评体系。通过有效的监督，加大激励和约束的力度。

十一、改善环境违法成本低状况^[63]

目前的立法现状是，难于对环境违法者处于很高的罚款数额，这不仅与环境立法的指导思想有关，也与有些行政处罚的规定不完善有关。例如，《中华人民共和国行政处罚法》第 24 条规定“对当事人的同一个违法行为，不得给予二次以上罚款的行政处罚。”也就是人们所说的“一事不再罚原则”。但该法却没有规定什么是“一个违法行为”，即什么是“一事”。是违法一天构成一个违法行为，还是违法十天、一个月或者一年构成一个违法行为？在环境行政执法中经常出现这种情况：环保部门发现企业违法，依法给予责令改正和罚款处罚，但几天后或者一个月后再去检查，违法企业丝毫未改，照样违法，如果环保部门再给予处罚，违法企业就认为环保部门违反了一事不再罚的原则，诉讼到法院，法院也往往支持企业。因为违法主体、违法地点、使用的设施、排放的污染物、造成的后果等都是同一个。这样，环保部门对企业处罚以后就不能进行第二次处罚。

而美国就不是这样。美国的法律实行的是“以日计罚”和“以件计罚”。也就是当一个违法行为被处罚后，如果违法者不加改正，以后的每一天都构成一个独立的违法行为，或者每生产一件违法的产品都构成一个独立的违法行为，可以再次给予处罚。美国环境保护局对杜邦公司处以总额高达 3 亿美元的罚款就是按日计罚计算的。从 1981 年 6 月至 1997 年 1 月 30 日杜邦公司每天被罚款 2.5 万美元，从 1997 年 1 月 30 日至 2001 年 3 月每天被罚款 2.75 万美元。这样高的违法成本，企业肯定就不会轻易以身试法。

要改变环境违法成本过低的状况，从法制方面看，需注意以下四点：1、需要改变立法的指导思想，不要再把环境立法作为促进经济发展的立法，而要把环境立法

作为保障环境、经济和社会可持续发展的立法；不应要求环境保护与经济发展相协调，而应要求经济发展与环境的可持续利用相协调。2、需要立法者转变观念，任何违法者，不管是公有企业还是私有企业，只要违法，就是对社会主义法律秩序的破坏，就应当受到应有的惩罚：一个违法企业垮掉了，会有更多合法企业被建立，经济照样会发展。3、要根据“不能使违法者从其违法行为中得到好处的原则”设计法律责任及其处罚力度。可以借鉴“以日计罚”的制度，该罚多少就罚多少，不应人为地作出最高限额规定。4、需要执法机关严格执法，使违法者的每一个环境违法行为都受到应有的处罚。

十二、税收政策促进环境保护

世界各国的实践表明，在环境资源保护中运用经济手段，特别是实施环境资源税，相对于行政法规等传统手段而言，代价低、效率高、成效好，不仅有利于持久地保护环境资源，有利于技术创新，而且还有利于持久地解决社会问题，促进经济发展。

1 设置环境资源税的意义^[64]

环境资源税（亦称绿色税）是对有害环境资源的产品征收的费用，目的在于通过提高有害原料成本，鼓励生产者和消费者使用对环境资源更为安全的产品。设置环境资源税种，扩大环境资源税收所占比重，除了具有相应的筹资功能外，既可以为经济单位创造平等竞争的环境，又能抑制资源浪费、提高资源利用效率、减少污染物的排放量，从而对改善环境资源有显著的刺激作用。同时，通过对新兴的环保节能产业、技术密集型产业的税收鼓励和对资源密集型产业的税收制约，不但可以推动资源配置和产业结构的合理化，还能够节约资源、减少污染、保护环境、促进可持续发展。

1.1 环境税的实施会为技术革新和降低污染提供刺激^[65]

在公平竞争的市场上，市场价格机制会推动企业界开展技术创新，引导和激励企业使用符合环保要求的能源设备和技术，进行清洁生产。如果使用污染削减技术的成本低于企业因污染而承担的纳税负担，就会推动企业加强对治污领域里的科技研究与应用。因此，环保税的刺激作用就在于引导企业采用先进的环保技术和设备，把污染削减到最低水平。

1.2 征收环境税可增加政府的财政收入

环保税具有较大的作用——有效提高政府的财政收入。环境保护作为比较典型的公共产品主要由政府来提供,而税收则是政府提高公共产品供给效率的重要途径,这也体现了国家在环境资源配置中的重要地位,环境税收的一些收入可能被用来支付该项税收的管理、监测和强制执行成本,同时,政府还必须从税收收入中筹集资金,建立保护环境所需要的专项基金,这笔基金将占环境税收收入的绝大部分,其中包括对削减排污或清洁生产的企业给予相应的补贴或奖励。

2 促进环境保护的税收对策

2.1 开征环境保护税^[66]

开征环境保护税的目的就是为实现特定的环保目标,通过强化纳税人的环保行为,引导企业和个人放弃或收敛破坏环境的生产活动和消费行为;同时筹集环保资金,用于环境与资源的保护,为国家的可持续发展提供资金支持。在环境保护的税率设计上,应根据污染物的特点实行差别税率,对环境危害程度大的污染物及其有害成分的税率应高于对环境危害程度小的污染物及其成分的税率。根据“专款专用”的原则,环境保护税收入应当作为政府的专项基金,全部用于环境保护方面的开支,并加强对其用途的审计监督,防止被挤占挪用。

2.2 建立“绿色关税”体系

绿色关税一般包括出口税和进口税。出口税的主要对象是国内资源(原材料、初级产品及半成品)。进口税是对一些污染环境、影响生态环境的进口产品课以进口附加税,或者限制、禁止其进口,甚至对其进行贸易制裁,以强制出口国履行国际环境公约规定的义务。建立绿色关税的目的,可以有效保护可能用竭的国内资源;改善我国的出口结构,鼓励高附加值的技术密集型产品出口;提高进口的质量,减少污染产品的进口;建立对外贸易的“绿色壁垒”;增加环境保护资金。

2.3 制定激励机制

对利用“三废”的生产行业和产品进行减免税;对生产环保产品的产业给予政策倾斜,对无铅汽油可实行较低税率,对达到高排放指标(欧 III)的小汽车可以实行一定的优惠;对从事环保科学技术和成果推广进行支持,对单位及个人给予环保投资、捐赠予以退税或所得税税前扣除等;实施清洁生产技术开发和技术转让所得收入可按国家有关规定享受减免税优惠;对技改项目国内不能生产而直接用于生产的进口设备、仪器和技术资料,免征关税和进口环节增值税;对清洁生产中的资源

综合利用、节能降耗等项目投资，按零税率计征固定资产投资调节税；企业研究开发清洁生产新产品、新技术、新工艺所发生的各项费用可以计入管理费用。对于企业用于环境保护的投资实行税率抵扣。对从事资源综合利用的企业给予全免税的优待遇。

参 考 文 献

- 1 张力威. 中国城市的可持续发展. 环境保护, 2003, (1): 41
- 2 国家环境保护总局. 2004 中国环境状态公报. 环境保护, 2005, (6): 17-18
- 3 周新. 中国的能源消费和改善大气环境质量的战略分析. 环境保护, 2003, (7): 47
- 4 Xuchang Xu, changhe Chen, Haiyin Qi, RongHe, Changfu You, Guangming Xiang. Development of coal combustion pollution control for SO₂ and NO_x in china[J].Fuel Processing Technology,2000,62:153~160
- 5 郑博福, 邓红兵, 严岩等. 我国未来能源消费及其对环境的影响分析. 环境科学, 2005, (3): 26
- 6 周大地. 2020 中国可持续能源情景[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2003. 5~6
- 7 李寒娥, 李秉滔, 郁梦德. 交通污染区城市绿化植物硫含量分布. 生态环境, 2005, 14(3): 325
- 8 刘志全, 禹军, 徐顺清. 我国环境污染对健康危害的现状及其对策研究. 环境保护, 2005, (4): 31
- 9 CARRERAS H A,GUDINO G L, PIGNATA M L.Comparative biomonitoring of atmospheric quality in five zones of Cordoba city(Argentina) employing the transplanted lichen uslea sp.[J].Environmental Pollution,1998,103(2-3):317-325
- 10 吴昊, 周林波, 王越. 哈尔滨市空气污染物中机动车及其他源排放分担率的研究. 环境保护, 2003, (11): 51
- 11 Lamoree D P,Turner J R.PM emissions emanating from limited-access highways. Journal of the Air &Waste Management Association,1999,49(Special issue):85~94
- 12 Janssen N A H, Van Mansom D F M, Van Der Jagt K, Harssema H, Hoek G. Mass concentration and elemental composition of airborne particulate matter at street and background locations.Atmospheric Environment,1997,31(8):1185~1193
- 13 Horvath Habenreich T A, Kreiner I, Norek C. Temporal and spatial variations of the Vienna aerosol. Science of Total Environment, 1989,83:127~159
- 14 Hitchins J, Morawska L, Wolff R, Gilbert D. Concentrations of submicrometre

- particles from vehicle emission near a major road. *Atmospheric Environment*, 2000,34(1): 51~59
- 15 Nitta H, Sato T, Nakai S, Maeda K, Aoki S, Ono M. Respiratory health associated with exposure to automobile exhaust. I. Results of cross-sectional studies in 1979,1982, and 1983. *Achives of Environmental Health*, 1993, 48: 53~58
- 16 Oosterlee A, Drijver M, Lebret E, Brunekreef B. Chronic respiratory symptoms in children-and adults living along streets with high traffic density.-*Occupational and Environmental Medicine*, 1996, 53: 241~247
- 17 林道辉, 沈学优, 刘亚儿. 环境与经济协调发展理论研究进展. *环境污染与防治*, 2002, (2): 122
- 18 李子君. 中国如何进行生态城市建设. *环境保护*, 2002, (10): 29
- 19 解振华. 积极推进新时期城市环境保护工作. *环境保护*, 2005, (6): 8
- 20 潘岳. 战略环境影响评价与可持续发展. *环境保护*, 2005, (9) : 12
- 21 阎志平, 秦素玲, 侯桂英. 城市森林发展的战略研究. *河南农业大学学报*, 2005, (1): 44
- 22 Gordon A Bradley. *Urban Landscapes: Integrating Multidisciplinary perspectives* [M]. Washington: University of Washington Press , 1995, 25~100
- 23 Miller W R. *Urban forestry*. Prentice Hall [M]. Englewood Cliffs, 1988. 12~13
- 24 Dwyer J F. Assessing the benefits and costs of the urban forest [J]. *Journal of Arboriculture*, 1992, 18(5): 227~233
- 25 王如松. 可持续发展的生态学思考. 赵景柱等主编. 社会-经济-自然复合生态系统可持续发展研究. 北京: 中国环境科学出版社, 1999. 1~32
- 26 张凯. 发展循环经济是迈向生态文明的必由之路. *环境保护*, 2003, (5): 4
- 27 黄海峰, 曹燕辉, 徐明. 构建循环经济体系的系统经济学分析. *环境保护*, 2005, (8) : 71
- 28 卢兵友, 赵景柱. 生态产业园区: 可持续发展的一种理想模式. *环境科学*, 2001, (2) : 5
- 29 Ni Weidou, Thomas B Johansson. Energy for sustainable development in China [J]. *Energy Policy*, 2004, 32: 1225~1229
- 30 Wei Lu, Yitai Ma. Image of energy Consumption of well off society in China [J].

- Energy Conversion and Management, 2004, 45: 1357~1367
- 31 Eric Martinot. Word band energy projects in China: influences on environmental protection [J].Energy Policy, 2001, 29:581~594
- 32 周新. 中国的能源消费和改善大气环境质量的战略分析. 环境保护, 2003, (7) : 51
- 33 明正东, 何鹏程. 浅析现行环境法体系的问题及对策. 中国环境科学, 2002, (1) : 95
- 34 中国认证人员国家注册组织委员会. ISO14000 环境管理体系国家注册审核员基础知识通用教程[M]. 北京: 中国计量出版社, 2000. 13
- 35 朱慎林, 赵毅红, 周中平, 清洁生产导论. 北京: 化学工业出版社, 2001
- 36 史捍民. 企业清洁生产实施指南. 北京: 化学工业出版社, 1997
- 37 刘成伦, 杜娴. 重庆市机动车尾气对大气环境的影响分析及减缓措施. 环境污染与防治, 2005, (7): 524
- 38 ELBIR T, MUEZZINOGLU A. Estimation of emission strengths of primary air pollutants in the city of Izmir, Turkey [J]. Atmospheric Environment, 2004,38(13): 1851-1857
- 39 GONZALEZ C M, PIGNATA M L, ORELLANNA L. Application of redundancy analysis for the detection of chemical response patterns to air pollution in lichen[J]. The Science of the Total Environment, 2003, 312(1-3): 245-253
- 40 LIN M D, LIN Y C. The application of GIS to air quality analysis in Taichung City, Taiwan, ROC[J]. Environmental Modelling and software, 2002, 17(1): 11-19
- 41 OHTONEN R, MARKKOLA A M. Total sulfur content in the humus layer of urban polluted forest soils [J]. Water, Air and Soil Pollution, 1989,44(1-2): 135-141
- 42 HEBE A C, MARTHA S C, MARIA L P. Differences in responses to urban air pollutants by ligustrum lucidum ait. And Ligustrum lucidum Ait.F. tricolor (Rehd.) Rehd [J]. Environmental Pollution, 1996, 93(2): 211-218
- 43 袁敬, 傅立新, 余学春. 北京市控制大气污染四期紧急措施环境有效性分析. 环境科学, 2002, (3): 13
- 44 吕建炎, 李定凯. 可吸入颗粒物研究现状及发展综述. 环境保护科学, 2005,

(128): 5

- 45 吴焯, 郝吉明, 李伟. 应用 PART5 模式计算机动车尾气的颗粒物排放. 环境科学, 2002, (1): 10
- 46 张敬一, 陈德昌. 城市可持续发展与交通工具选用关系的思考. 环境保护, 2003, (12):48
- 47 顾树华, 张希良. 城市交通的可持续发展与能源问题. 环境保护, 2003, (1): 55
- 48 欧训民, 张希良, 胡小军. 中国绿色汽车发展的促动环境探讨. 环境保护, 2003, (1): 58
- 49 盛学良, 任炳相, 朱德明. 环境保护科技进步贡献率的测算方法及预测研究. 环境污染与防治, 2003, (6) : 366
- 50 曲格平. 转变环保科技管理方向是当务之急. 中国环境报. (第一版). 1991-06-27
- 51 曲格平. 夺取有中国特色环境保护事业的新胜利. 环境工作通讯, 1993, (1): 2~4
- 52 诸大建. 循环经济理论与全面小康社会. 同济大学学报(社会科学版), 2003 , (3): 107~112
- 53 段宁. 清洁生产、生态工业和循环经济. 环境科学研究, 2001, (6) : 1~8
- 54 宋瑞祥. 明确指导方针、建立市场化机制, 推进环境保护与经济建设双赢. 环境污染与防治, 2002, (1) : 2
- 55 王辉, 郑祥民, 刘飞. 不同行为主体在发展循环经济中的努力途径. 环境保护, 2005, (1) : 60
- 56 陈琨, 姚中杰. 清洁生产: 工业企业推动可持续发展的关键. 中国人口、资源与环境, 1998, (1): 91-93
- 57 杨邦家. 试论企业内部环境管理. 重庆环境科学, 1994, (1): 50-52
- 58 沈德富, 沈德琪. 论企业环境管理. 中国环境监测, 1990, (2): 35-39
- 59 吕燕, 杨发明. 环境激励工具的比较研究. 环境导报, 1997, (2): 8-11
- 60 楼瑾. 环境污染的经济学分析. 财经科学, 1997, (5): 17-20
- 61 曹利军, 王华东. 市场经济体制下的企业环境行为及调控. 环境导报, 1995, (4): 1-3

- 62 张正堂, 陶学禹. 企业环境污染行为的经济学研究. 环境污染与防治, 2002, (6): 327-328
- 63 王灿发. 环境违法成本低之原因和改变途径探讨. 环境保护, 2005, (9) : 34
- 64 刘助仁. 国外环境资源税收政策及对中国的启示. 环境保护, 2003, (11): 55
- 65 贾爱玲. 环境管理中引入绿色税制的构想. 环境保护, 2002, (10) : 13
- 66 谢永清. 促进循环经济发展的税收对策. 环境保护, 2005, (3): 55

致 谢

- ◇ 我首先要衷心地感谢我的推荐导师崔留新教授、施学忠教授，三年来的精心指导和辛勤培养，他们渊博的学识、严谨求实的治学精神以及谦虚务实的做人原则使我受益匪浅。
- ◇ 衷心感谢市监测站范相阁主任给予的巨大帮助和悉心指导，他热心助人，乐观向上的生活态度，将永远激励着我不断进步。
- ◇ 衷心感谢研究生院、公共卫生学院各位老师的教育和培养。
- ◇ 衷心感谢单位领导和同事对我的支持和帮助。
- ◇ 衷心感谢关心、支持、帮助我的其它老师、同学。
- ◇ 衷心感谢我的家人对我的支持，使我有更多的时间和精力完成学业。
- ◇ 最后，再一次衷心感谢所有关心和帮助我的人们！