

山东大学

硕士学位论文

2000-2005年山东省大气污染变化特征分析

姓名：刘新玲

申请学位级别：硕士

专业：环境科学

指导教师：李小明

20080421

原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的科研成果。对本文的研究作出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本声明的法律责任由本人承担。

论文作者签名：刘新玲 日期：2008.5.27

关于学位论文使用授权的声明

本人完全了解山东大学有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留或向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅；本人授权山东大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文和汇编本学位论文。

(保密论文在解密后应遵守此规定)

论文作者签名：刘新玲 导师签名：姜山 日期：2008.5.27

摘 要

本文通过对2000-2005年山东省十七地市大气环境污染的变化特征进行了较详细的研究,主要分析了十七地市的2005年的空气质量现状以及2000-2005年大气污染的季节和年际变化,并比较各区域之间以及各城市大气环境污染的差异及其原因。同时分析了影响山东省大气污染变化的主要原因,得出了如下结论:

1. 2005年山东省四个区域空气质量现状:

四大区域中,2005年空气质量最好的是鲁东地区,其次是鲁北地区,鲁西南和鲁中地区的空气质量相对较差。通过分析比较,十七地市中,污染最严重的是济南市,其次是淄博市、菏泽市、青岛市和济宁市。通过对2005年各地市空气质量指数的计算过程中,可以看出 PM_{10} 作为主要污染物的天数占到74%以上,因此 PM_{10} 是山东省的最主要大气污染物。另外,十七地市的重污染日主要出现在1月、2月、11月、12月四个月份,说明对山东省而言,冬季燃煤取暖对空气污染的贡献值最大。另外,也有气候方面的原因:冬季静风和逆温等不利气象条件出现的频率较大,不利于污染物的传输扩散,导致污染物浓度升高,空气质量较差。

2. 2000-2005年山东省四个区域主要大气污染季节变化特征如下:

(1) SO_2 冬季污染最严重,这主要是因为山东省是典型的北方城市,冬季采暖,燃煤量增加,相应的增加了向空气中排放的废气量,加重污染;另外,冬季逆温天气出现的频率较大,不利于污染物的输送扩散,导致污染物浓度高。夏季浓度值较小,主要是因为夏季大气稳定度好,有利于污染物的输送扩散,而且降水量大,起到淋溶作用,从而稀释了浓度。鲁中地区污染最严重,冬季浓度值基本均超过国家二级标准,特别是济南和莱芜污染最严重。

(2) NO_2 浓度季节变化特征不是很明显,冬季浓度值略微高于其它各季,说明山东省 NO_2 污染是冬季燃煤取暖和机动车辆尾气共同作用的结果。

(3) 冬季是 PM_{10} 污染最严重的季节,春季是次污染季节,说明冬季燃煤取暖是造成 PM_{10} 污染严重的最主要原因,其次是气候因素,春季冷空气活跃,风速大、气温回暖解冻,地表裸露,容易引起扬沙或沙尘暴天气,导致 PM_{10} 污染严重。

(4) 四个区域主要大气污染物的季节性变化:鲁东地区大气污染最轻,鲁

中地区污染最严重；空气质量较好的城市是威海、烟台和日照。污染最严重的城市为济南、莱芜、青岛和济宁。

3. 通过以上分析可以看出，2000-2005 年山东省四个区域主要大气污染年际变化特征如下：

(1) 2000-2005 年山东省各城市大气污染物 SO_2 的年均值基本上都符合国家二级标准， NO_2 的年均值符合国家二级标准，且年际变化趋势不明显， PM_{10} 超标的年际和城市较多，其中，济南市 PM_{10} 污染最为严重，年均浓度值远远大于其它城市。

(2) 各区域主要大气污染物年均浓度值在 2005 年明显下降，说明山东省采取大气污染治理措施已经取得明显成效。

(3) 鲁东地区三种主要污染物的年均浓度值较低，2000-2005 年四城市的 SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 的年均浓度值均未超过各自的国家二级标准，四城市的空气质量状况较好。

(3) 济宁、枣庄、滨州、淄博的 SO_2 浓度相对较高，济宁的 NO_2 浓度较高，济南的 PM_{10} 浓度较高。

4. 山东省大气环境质量的变化特征与城市的发展有直接的联系，各城市的经济发展水平、产业结构、特殊地形和气候的差异，使得各个城市的大气环境污染都呈现不同的特点。空气质量的好坏与地形、气象要素和污染源等多种因素密切相关，是各种影响因素共同作用的结果。

关键词：大气污染；空气质量现状；季节变化；年际变化趋势；污染原因分析；污染防治措施

Abstract

The present study investigated variation characteristics of air pollution at 17 cities, Shandong province. The air quality condition at 17 cities in 2005 was mainly analyzed. The seasonal and inter-annual changes of air pollution at 17 cities were also analyzed during 2000-2005. The differences and causes of air pollution among 17 cities were compared. The main causal factors affected air pollution in Shandong province were analyzed. The results showed:

1. The air quality of four regions in Shandong Province in 2005:

The Shandong province was divided into four regions, east region, west region, center region and southwest region. In four regions, the air quality at east region in 2005 is the best, next is west region. The air quality in center and southwest regions was worse in 2005. The cities with the most serious air pollution among 17 cities were Jinan and Zibo city, followed by Zibo, Heze, Qingdao and Jining cities with serious air pollution. PM_{10} is the most important air pollutant in Shandong Province. The days when PM_{10} was as the major pollutant reached over 74% days of one year, based on estimation of the air quality index.

In addition, the heavy air pollution days mainly occurred in January, February, November and December in 17 cities, which showed that heating in winter is the largest contribution to the air pollution in Shandong province. There were some climate reasons. Disadvantage weather conditions such as static wind and inversion air temperature lays occur frequently in winter season, which is not favorable to pollutant diffusion, result in increase of pollutants concentration and demotion of air quality.

2. The seasonal variation of air pollution of four regions in Shandong province during 2000-2005.

(1) SO_2 pollution is the worst in winter, and the main reason is that Shandong Province located in northern part of China. All cities heat by coal in winter, which resulted a rapid increasing of emissions of air pollutants. In addition, inversion air temperature lays occurs frequently in winter, which is not favorable to pollutant

diffusion, and result in an increase of concentration of pollutants. Air pollutants concentrations in summer is lower, which is because atmosphere is stable in summer and conducive to pollutant diffusion, and high precipitation possesses leaching action, thus diluting the pollutants concentration. The air pollution in center region is the most serious. The air pollutants concentrations in winter exceed the level II level of national air quality standard criteria. The air pollution is the most serious in Jinan and Laiwu city.

(2) The seasonal variation of NO_2 was not obvious. The concentration in winter is little higher than in other seasons. Results showed that NO_2 pollution is the result of coal burning and mobile emission in winter.

(3) The concentration of PM_{10} was the highest in winter and lower in summer, which is because coal heating in winter is the main reason. The other reasons included the climatic factor and vegetation, such as wind and air temperature increase, and bare ground surface, which is easy to cause blowing-sand and sandstorm, resulting in PM_{10} pollution.

(4) The seasonal changes of main air pollutants in four regions. The air pollution in east region is the least, in center region is the worst; Air quality is better in Weihai, Yantai and Rizhao cities. The cities with worst air quality were Jinan, Laiwu, Qingdao and Jining.

3. Based on the analysis above, the annual variation of air pollution of four regions in Shandong Province during 2000-2005 are as follows:

(1) In seventeen cities of Shandong province During 2000-2005, the annual average concentrations of SO_2 basically accorded with the level II of national standard criteria; the annual average concentrations of NO_2 accord with the level II of national standard criteria. Annual changing trend of concentrations of NO_2 is not obvious; the annual concentrations of PM_{10} are over level III of national standard in some years and cities. The PM_{10} pollution in Jinan is the most serious, its annual average concentration is higher than other cities

(2) The annual average concentrations of main air pollutants in 2005 decreased obviously, which showed that measures of air pollution control in Shandong Province

have gotten remarkable achievement.

(3) In east region, the annual average concentrations of three main pollutants are lower. The annual average concentrations of SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} in four cities during 2000-2005 did not exceed their respective the level II of national standard criteria, which implied air quality is better.

(4) The concentration of SO_2 in Jining, Zaozhuang, Binzhou, Zibo cities is relatively higher. The concentration of NO_2 in Jining is higher. The concentration of PM_{10} in Jinan is higher.

4. Urban air quality is of the direct relationships with the city development. Economic development level, energy structure, special landform and climate among the cities make different characteristics of air pollution. The combination of the landform, pollution source and meteorological condition should be the very important to the air quality.

Key words: air pollution; air quality; seasonal variation; annual changing trend; analysis of air pollution; pollution prevention measures;

第一章 前言

随着现代城市规模的迅速扩大以及工业、经济的快速发展,城市人口与车辆的迅速增多,伴随而来的城市大气环境污染问题越来越严重,大气质量不断恶化^[1],成为危害人体健康,制约城市发展、危害和谐社会建设方面的主要问题^[2]。空气质量的好坏直接关系到城市居民生活的各个方面,受到人们的普遍关注,因此,对城市大气污染物的变化特征进行研究具有重要的理论和实践意义。

众所周知,20世纪50、60年代,世界上相继发生了许多严重的工业大气污染事件,1930年12月,比利时马斯河谷工业区排放的工业有害废气和粉尘对人体造成综合影响,一周内近60人死亡,市民中心心脏病、肺病患者的死亡率急剧增高,家畜死亡率也大大增高;1948年10月,美国宾夕法尼亚州多诺拉镇的二氧化硫及其氧化物,与大气粉尘结合,使大气产生严重污染,造成5911人发病;1952年12月5-8日,英国伦敦由于冬季燃煤引起烟煤和硫化物的增加,加上特定的气象条件形成煤烟型烟雾,导致短短几天时间4000多人死亡,两个月后又又有8000多人死亡;1953年11月,美国洛杉矶的大量汽车废气在紫外线照射下产生的光化学烟雾,造成许多人眼睛红肿、咽炎、呼吸道疾病恶化乃至思维紊乱、肺水肿。大气污染已经成为世界各国的公害之一^[3],成为全球最为关注的环境问题之一^[4]。因此,开展大气环境质量研究,分析大气污染变化特征以及污染原因,并提出有力的治理措施,具有十分重要的意义以及实用价值。

1.1 研究的目的是和意义

1.1.1 大气污染的概念

大气污染是指大气中污染物或由它转化成的二次污染物的浓度达到有害程度的现象。大气污染物目前已知约有100多种。按其存在状态可以分为两大类,一种是气溶胶状态污染物,另一种是气体状态污染物。气溶胶状态污染物主要有粉尘、烟、雾、降尘、飘尘、悬浮物等;气体状态污染物主要有以二氧化硫为主的硫氧化物,以二氧化氮为主的氮氧化物,以二氧化碳为主的碳氧化物以及碳、氢结合的碳氢化合物。大气中不仅含有无机污染物,而且含有有机污染物,主要

污染物是大气气溶胶、二氧化硫、二氧化氮、一氧化碳、氯气和光化学烟雾，随着人类不断合成新的物质，大气污染的种类和数量也不断增加。

大气污染的形成包括自然因素和人为因素两种，且以后者为主，大气污染的主要来源是工业、生活炉灶和采暖锅炉、交通运输等，影响大气污染范围和强度的因素有污染物的性质（物理和化学），污染源的性质（源强、源高、源内温度、排气速率等），气象条件（风向、风速、温度层结等）地表性质（地形起伏、粗糙度、地面覆盖物等）。防治方法很多，根本途径是改革生产工艺，综合利用，将污染物消灭在生产过程之中；另外，全面规划，合理布局，减少居民稠密区的污染；在高污染区，限制交通流量；选择合适厂址，设计恰当烟囱高度，减少地面污染；在最不利气象条件下，采取措施，控制污染物的排放量。国家已制订《中华人民共和国环境保护法（试行）》，并制订“废气排放标准”，以减轻大气污染，保护人民健康。

大气污染对人体的健康产生严重威胁^[5-6]，主要表现为呼吸道疾病、皮肤病以及神经系统疾病等；对植物可使其生理机制受抑制，生长不良，抗病抗虫能力减弱，甚至死亡；大气污染还能对气候产生不良影响，如降低能见度，减少太阳的辐射（据资料表明，城市太阳辐射强度和此外线强度要分别比农村减少 10~30%和 10~25%）而导致城市佝偻发病率的增加；大气污染物能腐蚀物品，影响产品质量；近十几年来，不少国家发现酸雨，雨雪中酸度增高，使河湖、土壤酸化、鱼类减少甚至灭绝，森林发育受影响，这与大气污染是密切相关的。

1.1.2 研究背景

我国的能源结构以煤炭为主，总悬浮颗粒物或可吸入颗粒物是影响空气质量的主要污染物，部分城市二氧化硫污染比较严重，大部分城市的氮氧化物浓度较低。2006 年中国对 559 个主要城市进行的监测显示，有 37.6%的城市大气质量未达到国家标准，悬浮颗粒物、二氧化物、氮氧化物是主要的污染物^[7]。山东省是我国的燃煤大省，近几年来，山东省的部分城市空气质量有所改善，大气质量恶化趋势有所减缓，但是城市大气污染依然比较严重，引起人们的高度重视。

随着城市化和工业化的迅速发展，大气污染成为一个严重的社会问题，现在大气污染主要来源于工业和冬季燃煤取暖，以煤烟型污染为主，逐年增加的汽车

尾气、建筑工地扬尘和城市垃圾成为新的污染源^[8-9]，使排入大气中的污染物的种类的多元化和复杂化，各种污染物之间相互作用以及污染物与大气的正常成分发生反应，通过太阳辐射引起光化学反应，生成新的污染物，形成了与最初排出的污染物质完全不同性质的大气污染，即二次污染。其中，光化学烟雾已经成为一个严重的问题，主要是由氮氧化合物和碳氢化合物，在紫外线的照射下，经光化学反应产生臭氧和有机过氧硝酸盐类等，形成光化学污染，这将使环境问题更加严峻。

由于我国能源结构的特殊性，煤烟型大气污染尤为严重，大气污染不但威胁到人类健康，而且给农业、林业、渔业等造成了巨大的经济损失^[54-55]，在一定程度上严重制约着经济的可持续发展。据国家环保总局网站消息，国家环保总局和国家统计局联合发布了《中国绿色国民经济核算研究报告 2004》，这是中国第一份经环境污染调整的 GDP 核算研究报告。研究结果表明，2004 年全国因环境污染造成的经济损失为 5118 亿元，占当年 GDP 的 3.05%，其中，大气污染的环境成本为 2198.0 亿元，占总成本的 42.9%；另外，根据北京市统计局和北京市环保局 2007 年联合发布了《北京市 2004 年绿色国民经济核算研究结果》，研究结果表明，大气污染对北京环境造成的经济损失最重。2004 年，北京全市环境污染损失成本为 116.52 亿元，占当年 GDP 的比重为 1.92%，其中大气污染造成的经济损失(包括健康经济损失、农业经济损失和居民家庭清洁费用增加损失)就达到 95.25 亿元，占总污染损失的 81.75%。中国环境科学研究院和清华大学等单位的最新研究成果表明，酸雨污染给我国造成的损失每年超过 1100 亿元，即每排放 1 吨二氧化硫将造成超过 5000 元的损失，大气污染所造成的损失每年约占我国 GDP 的 2%~3%之间。大气环境污染不仅造成严重的经济损失，对人体健康造成严重的威胁，而且对城市的旅游景观环境、投资环境也产生负面影响，

山东省是中国东部沿海的一个重要省份，是沿黄河经济带与环渤海经济区的交汇点、华北地区和华东地区的结合部，在全国经济格局中占有重要地位。另外，山东是全国重要的能源基地之一，胜利油田是中国第二大石油生产基地，中原油田的重要采区也在山东，境内含煤地层面积 5 万平方公里，兖滕矿区是全国十大煤炭基地之一。近几年，随着经济的迅速发展以及城市化步伐的加快，人们也越来越多的认识到环境问题的严峻性，环境问题已经上升为影响经济、制约社

会、涉及政治的敏感问题。山东省是中国二氧化硫排放量最多的省份，近 20 年来连续二氧化硫排放量为全国第一，其中发电厂是第一排放大户，火电行业去年排放了 89.5 万吨，占总量的 58.0%。虽然，2005 年山东省重点开展的燃煤电厂脱硫工作取得了一定的进展，大气质量得到一定改善，但是空气污染还是比较严重，在一定程度上，制约着山东省社会经济的持续健康发展。因此，深入细致的分析山东省的空气质量现状、季节和年际变化特征，研究大气污染物变化的规律，探讨影响大气污染的主要影响因子，为大气污染控制决策及污染防治提供科学依据，同时也可环保行政主管部门环境管理提供科学依据。

1.2 国内外大气环境污染研究现状

1.2.1 国外大气环境研究现状

人类真正认识到大气污染是在十八世纪中叶产业革命之后，蒸汽机的发明与广泛使用，使社会生产力得到迅速发展，煤和石油逐渐上升为主要的能源，燃料燃烧造成的大气污染也随之加剧，20 世纪 30 年代起，欧美工业发达国家相继发生数起震惊世界的大气污染事件，引起全球的普遍关注，发达国家对大气污染源的控制技术方面展开广泛的研究。20 世纪 50 年代，世界经济由战后恢复转入发展时期，西方国家竞相发展经济，工业化和城市化进程加快，经济高速持续增长，但增长的背后却隐藏着破坏和污染环境的巨大危机，特别是在美国洛杉矶由于汽车尾气的排放，使碳氢化合物和氮氧化物的排放量大大增多，导致经常在夏季出现光化学烟雾的事件发生之后，许多学者将研究重点扩展到光化学烟雾的研究，对光化学烟雾的产生机理、治理技术以及预防措施进行大量研究。20 世纪 60 年代，北欧一些国家由于大量燃煤，相继出现了酸雨污染，而且酸雨的污染面积扩散至整个欧洲，引起国际争端，并对当地造成了巨大的经济损失。大气污染物的远距离输送已经使得酸沉降跨越国界，引起全球性关注，酸雨的来源和形成机理是环境酸化控制对策研究中的一个核心问题。为此，学者们通过应用大范围扩散模型和轨迹模型的计算表明，欧洲大部分酸性沉降是由欧洲本身的人为排放源引起的，主要来自大型工业污染区的排放源，而且欧洲还向本底大气中输送了大量的硫化物。20 世纪 70、80 年代，在大气环境污染的研究和治理工作中积累了丰

富的经验之后,一些发达国家开始进行大气污染的综合分析和预报研究,研究的领域逐步扩大,由最初的研究末端污染控制技术扩展至对污染源源头治理、污染起因、污染反应机理等方面研究,并对可能出现的空气污染提前采取措施。英法德三国为首将分散的人才和资金集中起来建立了欧洲中期天气预报中心(ECMWF),并在1979年第一次成功的发布了中期数值预报,20世纪90年代,在欧洲科学与技术研究合作组织的领导下,欧洲相继开展了城市大气污染研究方面的合作。开展了对城市大气污染的综合分析和研究:A.J.S.McGonigle等一些学者通过测量工业、企业的大气污染物的排放量,并建立排放清单,确定主要污染源^[10-14]。Tolga Elbir等^[15]对土耳其Lzmir市主要大气污染物SO₂, PM₁₀, NO_x的排放情况进行研究,指出:SO₂污染主要来源于工业,工业的贡献值约为80%,PM₁₀污染主要来源于人类活动,交通对NO_x污染的贡献非常大。Arto等^[16]主要研究欧洲四个城市颗粒物数量和质量的时空变化,研究结果表明颗粒物的数量浓度值变化较大,不能用某一个位置的数量浓度值来表示城市平均浓度;Indrani和Kumar^[17]研究了印度四个城市颗粒物的变化趋势,分析表明,PM₁₀污染的好转以及TSP污染水平保持稳定,主要原因是对机动车辆尾气排放实行严格的标准和关闭了许多工厂,另外发现,大部分燃烧产生的污染,比如,车辆尾气和工厂排放的颗粒物直径小于10微米,其它的,如建筑扬尘一般都大于10微米;Holland^[18]等研究了1990-1999年美国中西部乡村地区大气中SO₂的浓度变化情况,结果表明火电厂SO₂的排放量大大减少,使空气中的SO₂浓度降低,从而改善空气质量。Hang和Kim^[19]分析了1998-2003年韩国四个不同类型的空气质量监测点SO₂的浓度值,用以评价SO₂的时空分布;Sotiris等^[20]在巴黎中心位置的监测站进行七个月的持续采样,分析了监测点附近空气污染的时空变化规律。另外,为避免突发性的空气污染事件的发生,国外一些学者,通过建立空气质量预报模型,结合现有的气象资料以及污染物的浓度资料,来预测空气中污染物的时空变化规律以及进行空气质量预报和控制^[21-25]。

许多研究结果表明^[26-30],在特定的地理环境条件和一定的大气环流背景的影响下,某一地区的大气污染可以通过中远距离输送并影响其他地区,因此近十几年来,越来越多的人认识到大气污染是一个全球性问题,因此,国际上组织了一些大型的国际合作研究项目,对地区气溶胶和大气污染物的大气污染的源和汇、

洲际输送问题、大气污染物的化学转换、大气污染传输的数值模拟等进行了深入而详细的研究,取得了一系列重要的研究成果^[31-34]。

1.2.2 国内大气环境研究现状

我国工业化的发展比欧美国家晚,环境污染问题的出现也较晚,因此,对环境污染的研究相对滞后。我国的大气污染研究工作开始于1973年的第一次全国环保工作会议^[35]。20世纪80年代之前,主要研究的是影响大气污染物扩散稀释的天气形势和气象条件。80年代以后,一些城市初步开展了城市空气污染试验预测和预报研究工作。进入90年代,我国在城市区域空气污染预报方面取得了较为突出的成绩,王素平^[36]使用灰色系统理论,建立GM(1,1)动态模型,对太原市SO₂浓度进行预测。大连环境监测站利用Kalman滤波方法结合逐步回归建立了预报模型^[37]。金龙等^[38-39]提出了采用主成分分析构造神经网络低维学习矩阵的预报建模方法,研究发现该方法与传统的神经网络预报建模方法及逐步回归预报模型相比泛化能率有明显提高。

随着空气质量预报研究的深入,研究范围逐渐扩展至污染气象学、污染气象参数与污染浓度之间的关系、大气扩散模式等方面。宋艳玲^[40]等对2000-2002年北京市大气污染物SO₂、NO₂、PM₁₀污染特征和气象资料分析,发现污染物浓度与气象因子之间存在明显的相关性;王长科^[41]等研究表明北京市大气中CO₂浓度的日变化强烈、季节变化明显,1995-2000年污染浓度逐渐降低,以及浓度降低的原因是CO₂源稳定;马雁军^[42]等研究了1987-2002年辽宁中部城市群的大气污染物的变化特征,表明大气污染存在着明显的季节变化,冬季污染严重,夏季污染最轻,以及16年来,TSP或PM₁₀,SO₂浓度呈逐年下降趋势,NO₂年际变化不明显;王淑英等较为系统的分析了北京地区PM₁₀污染的时空分布特征及其与地面气象要素的相关关系^[43-44];杜世勇^[45]等开发了济南市空气质量数值预报系统模型,并应用于实践,预报效果较好;刘恩莲^[46]等对济南市空气中颗粒物来源进行解析,并提出防治对策。姜大膀等^[47]的研究表明兰州市区主要大气污染物SO₂、NO₂、PM₁₀浓度与混合层厚度、逆温层发生频率以及低空大气层温度递减率有关。

1.3 主要研究内容

我国城市大气环境质量的特征与城市的发展有直接的联系,各城市的经济发展水平、能源结构、工业布局、地理位置以及气候的差异,使得各个城市的大气环境污染都呈现不同的特点。

主要研究步骤:

1. 结合已有的研究成果以及所使用的数据资料,对山东省十七城市大气环境污染区域进行划分。

2. 对各区域城市大气环境污染特征进行分析,研究 2005 年山东省大气环境质量现状,以及 2000-2005 年山东省大气污染物的季节变化以及年际变化特征,并比较各区域之间区域内以及各城市大气环境污染的差异及其原因。

3. 分析影响各城市大气环境污染现状、季节和年际变化特征的主要原因,并提出相应的建议和治理措施。

本研究在充分了解山东省各城市的大气环境质量现状的基础上,根据大气环境质量管理目标,污染源的排放现状,结合各城市总体规划和经济发展规划,通过研究 2005 年山东省大气环境质量现状,以及 2000-2005 年山东省大气污染物的季节变化以及年际变化特征,并分析影响各城市大气环境污染的季节和年际变化特征的主要原因,并提出相应的治理措施,为有效控制山东省各城市大气环境污染,根本改善各城市的环境空气质量状况,提供可靠的科学依据。因此,本研究具有重要的应用价值,具有明显的社会、生态和环境效益。

另外,受知识水平、分析技术、数据资料等多方面因素的限制,本文还存在许多不完善的地方,有待进一步的完善。

第二章 资料与方法

2.1 监测数据的环境背景

山东省是中国东部沿海的一个重要省份，位于黄河下游，东临渤海、黄海，与朝鲜半岛、日本列岛隔海相望，西北与河北省接壤，西南与河南省交界，南与安徽、江苏省毗邻。山东半岛与辽东半岛相对，环抱着渤海湾。特殊的地理位置，使山东省成为沿黄河经济带与环渤海经济区的交汇点、华北地区和华东地区的结合部，在全国经济格局中占有重要地位。

山东省的地势，中部为隆起的山地，东部和南部为和缓起伏的丘陵区，北部和西北部为平坦的黄河冲积平原，是华北大平原的一部分。山东省的最高点是位于中部的泰山，海拔 1545 米；最低处是位于东北部的黄河三角洲，海拔 2 米至 10 米。山东省地形以平原丘陵为主，平原、盆地约占全省总面积的 63%；山地、丘陵约占 34%；河流、湖泊约占 3%。

山东省总面积 15.7 万平方公里，总人口 9180 万人（截止 2005 年底）。全省共计 17 个地级市，包括：济南市、青岛市、潍坊市、烟台市、威海市、日照市、济宁市、淄博市、泰安市、莱芜市、东营市、枣庄市、菏泽市、聊城市、滨州市、德州市和临沂市，图 2-1 为山东省十七地市位置图。

山东省属于暖温带半湿润季风气候区，受海洋季风影响较大。气候特点为：四季分明，夏季炎热多雨，冬季晴朗干燥，年平均气温 11—14 摄氏度，年平均降水量 500—1100 毫米，呈东南沿海向西北内陆递减。

山东省是全国重要的能源基地之一。胜利油田是中国第二大石油生产基地，中原油田的重要采区也在山东，原油产量占全国 1/3。山东境内含煤地层面积 5 万平方公里，兖滕矿区是全国十大煤炭基地之一。山东电力资源丰富，到 2004 年底，全省发电装机达到 3292 万千瓦，全社会用电量完成 1640 亿千瓦时。截至 2006 年底，全省发电装机总容量达到 5005 万千瓦。

山东省的能源消耗以煤为主，2004 年，全社会能源消费达 15902.2 万吨标煤，其中煤炭消费达 18270 万吨，占总消耗的 82%。山东省能源结构单一，电力供应全部依靠火力发电，其中，发电投入达 8874 万吨，占煤炭消费总量的

48.6%。在火力发电的过程中，只有 40%的煤炭能源转化为了电能，其余的 60% 全部流失。这种对煤炭的高度依赖也造成了山东耗能的激增。

山东省主要的污染特征是煤烟型污染，最近几年，汽车尾气的污染也日益加重。

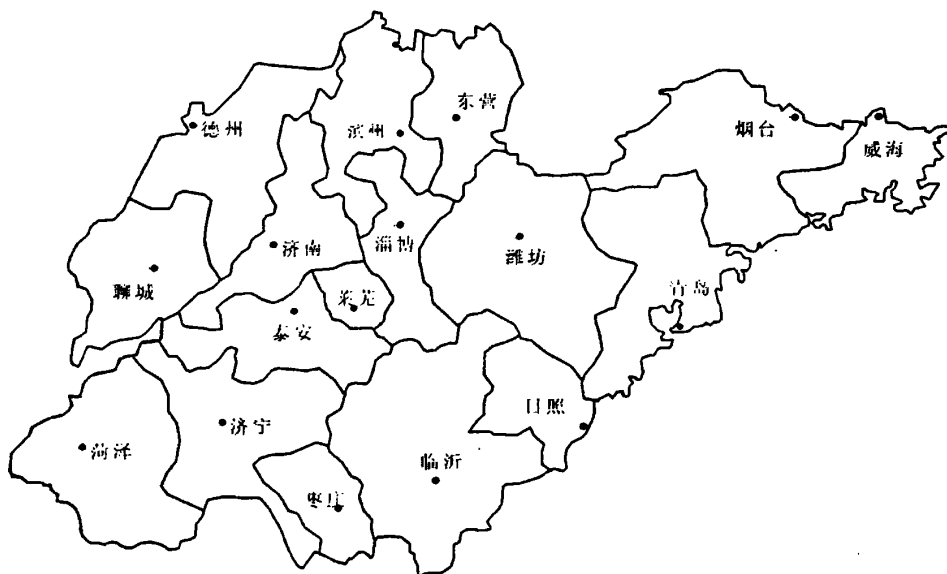


图 2-1 山东省十七地市位置图

2.2 资料介绍

目前，山东省城市大气环境污染的监测工作的重点是 SO_2 , NO_2 , PM_{10} 、TSP 和 O_3 等主要大气污染物，并且依据三种主要大气污染物 SO_2 , NO_2 , PM_{10} 的日均浓度进行城市空气质量等级的预报。山东省 17 地市环境监测站已实现主要大气污染物浓度的逐日自动监测，其监测结果由山东省环境监测站汇总。本文利用山东省环境监测站监测获得的 2000-2005 年全省 17 地市 SO_2 , NO_2 , PM_{10} 的大气浓度资料（部分资料是逐日监测资料，部分资料为月平均数据）来分析 2000-2005 年城市大气污染变化特征。

2.3 环境空气质量标准

进行环境空气质量评价时,为能准确地认识和评价空气质量状况和对环境空气污染进行必要的监督管理,我国陆续制定和颁发了有关环境空气质量标准和空气污染物排放标准。

我国的环境空气质量标准是根据《中华人民共和国环境保护法》和《中华人民共和国大气污染防治法》的规定,为改善环境空气质量,防止生态破坏,创造清洁适宜的环境,保护人体健康而制定的。根据国家环保局于 1996 年颁布了修改后的《环境空气质量标准 (GB3095-1996) 》,标准规定了各项污染物不允许超过的浓度限值,如表 2-1 所示。

表 2-1 各项污染物的浓度限制

污染物名称	取值时间	浓度限值			浓度单位
		一级标准	二级标准	三级标准	
二氧化硫 (SO ₂)	年平均	0.02	0.06	0.10	毫克/立方米 (标准状态)
	日平均	0.05	0.15	0.25	
	1 小时平均	0.15	0.50	0.70	
总悬浮颗粒物 (TSP)	年平均	0.08	0.20	0.30	
	日平均	0.12	0.30	0.50	
可吸入颗粒物 (PM ₁₀)	年平均	0.04	0.10	0.15	
	日平均	0.05	0.15	0.25	
氮氧化物 (NO)	年平均	0.05	0.05	0.10	
	日平均	0.10	0.10	0.15	
	1 小时平均	0.15	0.15	0.30	
二氧化氮 (NO ₂)	年平均	0.04	0.04	0.08	
	日平均	0.08	0.08	0.12	
	1 小时平均	0.12	0.12	0.24	
一氧化碳 (CO)	日平均	4.00	4.00	6.00	
	1 小时平均	10.00	10.00	20.00	
臭氧 (O ₃)	1 小时平均	0.12	0.16	0.20	
铅 (Pb)	季平均	1.50			微克/立方米 (标准状态)
	年平均	1.00			
苯并[a]芘 B[a]P	日平均	0.01			

氟化物	日平均 1 小时平均	7 (1) 20		
氟 (F)	月平均 植物生长季 平均	1.8 (2) 1.2 (2)	3.0 (3) 2.0 (3)	微克/(平方 分米·日)

注：(1) 适用于城市地区；(2) 适用于牧业区和以牧业为主的半农半牧区，蚕桑区；(3) 适用于农业和林业区

其中 2000 年对该标准进行修改，将 NO_2 二级标准的年平均浓度限值改为 0.08mg/m^3 ，日均二级浓度限值改为 0.12mg/m^3 ，小时平均浓度限值改为 0.24mg/m^3 ，臭氧的一级标准的小时平均浓度限值改为 0.16mg/m^3 ，二级标准的小时平均浓度限值改为 0.20mg/m^3 。

2.4 空气质量指数的计算方法

我国空气质量采用了空气污染指数进行评价。空气污染指数(API)是一种反映和评价空气质量的数量尺度方法，就是将常规监测的几种空气污染物浓度简化成为单一的概念性指数数值形式，并分级表征空气污染程度和空气质量状况。根据我国空气污染特点和污染防治重点，目前计入空气污染指数的项目暂定为：二氧化硫、氮氧化物和总悬浮颗粒物。随着环境保护工作的深入和监测技术水平的提高，将调整增加其它污染项目，以便更为客观地反映污染状况。

空气污染指数的计算步骤：

当某种污染物浓度 $C_{i,j} \leq C_i \leq C_{i,j+1}$ 时，其污染分指数

$$I_i = [(C_i - C_{i,j}) / (C_{i,j+1} - C_{i,j})] \times (I_{i,j+1} - I_{i,j}) + I_{i,j}$$

式中： I_i 第 i 种污染物的污染分指数；

C_i ：第 i 种污染物的浓度值；

$I_{i,j}$ ：第 i 种污染物 $j+1$ 转折点的污染分项指数值；

$C_{i,j}$ ：第 j 转折点上 i 种污染物的(对应于 $I_{i,j+1}$)；

$C_{i,j+1}$ ：第 $j+1$ 转折点上 i 种污染物(对应于 $I_{i,j+1}$)浓度值；

各种污染参数的污染分指数都计算出以后，取最大者为该区域或城市的空气污染指数 API， $\text{API} = \max(I_1, I_2, \dots, I_i, \dots, I_n)$ 。

我国目前采用的空气污染指数 (API) 分为五个等级，API 值小于等于 50，

说明空气质量为优，相当于国家空气质量一级标准，符合自然保护区、风景名胜区和其它需要特殊保护地区的空气质量要求；API 值大于 50 且小于等于 100，表明空气质量良好，相当于达到国家质量二级标准；API 值大于 100 且小于等于 200，表明空气质量为轻度污染，相当于国家空气质量三级标准；API 值大于 200 表明空气质量差，称之为中度污染，为国家空气质量四级标准；API 大于 300 表明空气质量极差，已严重污染。表 2-1 是空气质量个级别对人体健康的影响

图 2-1 空气质量级别及相应对人体健康的影响

空气质 量级别	空气质量 描述	对健康的影响	对应空气质量应用范围
I	优	可正常活动	自然保护区、风景名胜区和其 他需要特殊保护的地区
II	良	可正常活动	为城镇规划中确定的居住区、商业交 通居民混合区、文化区、一般工业区和农村地区
III	轻度污染	长期接触，易感人群症状有轻度加重，健康人群出现刺激症状	特定工业区
IV	中度污染	一点时间接触后，心脏病和肺病患者症状显著加剧。运动耐受力显著降低，健康人群中普遍出现症状	
V	重度污染	健康人明显强烈症状，降低运动耐受力，提前出现某些疾病	

第三章 山东省大气污染物的时空变化特征分析

山东的地形，中部突起，为鲁中南山地丘陵区；东部半岛大都是起伏和缓的波状丘陵区；西部、北部是黄河冲积而成的鲁北平原区，是华北大平原的一部分。因此，为了便于分析^[48]，将山东省划分为四大区域：鲁东（威海、青岛、烟台、日照）、鲁北（东营、滨州、德州、聊城）、鲁中（济南、淄博、莱芜、泰安、潍坊）、鲁西、南（菏泽、济宁、枣庄、临沂）

3.1 2005 年山东省空气质量现状

空气质量以空气污染指数（Air Pollution Index，简称 API）为分级标准：一级标准（ $API \leq 50$ ），二级标准（ $50 < API \leq 100$ ），三级标准（ $100 < API \leq 200$ ），四级及以上标准（ $API > 200$ ）。

表 3-1 2005 年山东省空气污染指数各级别的日数统计(天)

地区	城市	一级	二级	三级及以上	地区	城市	一级	二级	三级及以上
鲁东	烟台	110	254	1	鲁西南	济宁	69	271	25
	威海	162	203	0		菏泽	43	269	53
	青岛	32	299	34		枣庄	45	310	10
	日照	197	168	0		临沂	58	287	20
	均值	125	231	9		均值	54	284	27
鲁中	济南	7	255	103	鲁北	东营	30	322	13
	淄博	17	289	59		滨州	58	296	11
	莱芜	17	333	15		德州	81	267	17
	泰安	45	315	5		聊城	20	322	23
	潍坊	36	315	14					
	均值	25	301	39		均值	47	302	16

根据以上分级标准，通过对 2005 年山东省十七地市空气污染指数的统计，得到结果如示，由表可以得出：

鲁东地区:

四个沿海城市空气质量较好,威海、日照全年空气质量指数全部达标,烟台的空气质量指数达到三级的只有1天,青岛的空气质量相对稍差,三级及以上天数为34天,占总天数的9.3%,日照空气质量最好,空气质量指数为一级的总天数的54%。相对于其他三个城市而言,青岛市空气质量较差的主要原因是,近几年来,青岛市城市化和工业化迅速发展,城市规模不断扩大,人口增多,工业发展迅速,能源消耗量大,向空气中排放的污染物相应的增加,导致空气质量较差。

鲁中地区:

2005年济南市空气质量达到一级标准的天数为7天,占总天数的2%,空气质量标准达到二级标准的天数为255天,占总天数的70%,也就是说适宜和比较适宜人类活动的天数占总天数的72%。空气质量标准达到三级级以上标准的天数为103天,占总数的28%,其中,空气质量达到四级及以上标准的天数为13天,占总数的3.5%。虽然济南市大气污染依然比较严重,但是,相对于2004年济南市的空气质量,空气质量大有好转。2004年济南市空气质量达到一级标准的天数为12天,占总天数的3%,空气质量标准达到二级标准的天数为199天,占总天数的55%,空气良好率为58%。空气质量标准达到三级标准的天数为122天,占总数的33%,空气质量达到四级及以上标准的天数为33天,占总数的9%。另外,2005年济南市空气污染指数大于等于三级的污染日主要出现在3月、4月、11月、12月,共出现70天,平均每月为28天,其中4月污染日最多,日数为24天,占月总数的77.4%。

淄博空气质量达到一级标准的天数为17天,占总天数的4.6%;达到二级标准的天数为289天,占总天数的79%,也就是说空气质量良好率为83.6%,空气质量较好,三级及以上的污染日主要发生在1月、11月、12月,这主要与采暖季燃煤量增加有关,其中11、12月份三级及以上污染日最多,各达到13天。

莱芜,全年大部分空气质量较好,空气质量指数主要集中在二级标准,为333天,占总天数的91%。

泰安空气质量达到一级标准的天数为45天,占总天数的12%,达到二级标准的天数为315天,占总天数的86%,三级及以上标准的天数为5天,占总天数的2%,空气质量状况非常好。

潍坊市空气质量达标的天气为 351, 占总天数的 96%, 空气质量较好。

通过以上分析可以看出, 鲁中地区五城市的大气环境质量, 泰安市空气质量状况最好, 空气质量良好率为 98%, 潍坊和莱芜次之, 济南市空气质量最差, 良好率仅为 72%, 而且出现四级及以上重污染日天数较多, 四级及以上的重污染日也出现在 3 月、4 月、11 月、12 月, 3、4 月空气质量较差的主要原因是我国北方气旋活动频繁、大风天数多、冷暖空气十分活跃、降水稀少、土地荒漠化严重, 导致春季风沙天气较多, PM_{10} 增加。另外, 山东省市典型的北方城市, 冬季燃煤取暖使用煤量显著增加, 再加上济南市人口密集、工业发达, 重工业较多, 导致向空气中释放的污染物浓度增加, 空气质量变差。

鲁西南地区:

2005 年鲁西南地区四城市空气质量较好, 其中枣庄空气质量最好, 空气良好率为 97%, 其次是临沂和济宁, 济宁空气质量达标的天数为 340 天, 空气质量良好率为 93%, 三级及以上标准的天数为 25 天, 重污染日主要发生在 1 月、2 月; 临沂市空气质量良好率为 95%; 菏泽市空气质量较差, 三级及以上天数 53 天, 占总数的 15%。

鲁北地区:

2005 年鲁北四城市空气质量较好, 空气良好率达到 94% 以上。滨州大气质量较好, 聊城较差。

2005 年山东省四个区域空气质量现状的分析比较:

四个区域中, 空气质量最好的是鲁东地区, 其次是鲁北地区, 鲁西南和鲁中地区的空气质量较差。相比较而言, 十七地市中, 污染最严重的是济南市, 其次是淄博市、菏泽市、青岛市和济宁市。通过对 2005 年各地市空气质量指数的计算过程中, 可以看出 PM_{10} 是主要污染物的天数占到 74% 以上, PM_{10} 是山东省的最主要大气污染物。另外, 十七地市的重污染日主要出现在 1 月、2 月、11 月、12 月四个月份, 说明对山东省而言, 冬季燃煤取暖对空气污染的贡献值最大。另外, 也有气候方面的原因: 冬季静风和逆温等不利气象条件出现的频率较大, 不利于污染物的传输扩散, 导致污染物浓度升高, 空气质量较差。

3.2 2000-2005 年山东省大气污染物季节变化特征分析

山东省属于暖温带季风气候，气候有着明显的季节变化特征，空气质量也随着气候和季节有着明显的不同。

鲁东地区：

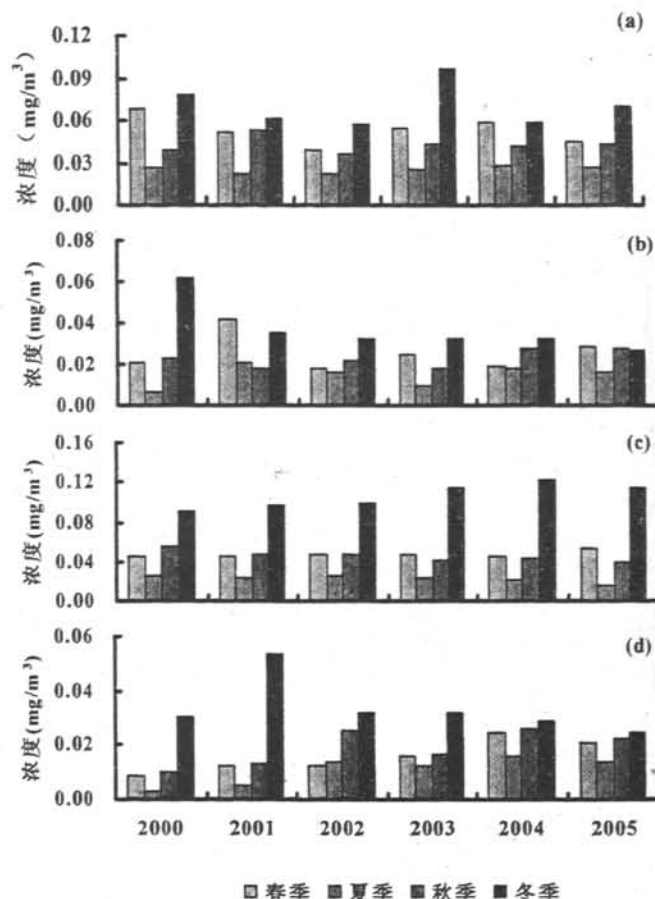


图 3-1 2000-2005 年山东省鲁东四城市的 SO₂ 季节变化特征

(a) 烟台, (b) 威海, (c) 青岛, (d) 日照

图 3-1 是 2000-2005 年山东省鲁东四城市 SO₂ 的季节变化特征，由图可以明显看出，2000-2005 年四城市的 SO₂ 浓度值冬季最大，其中，2004 年青岛市 SO₂ 冬季浓度值最大，为 0.122mg/m³，是国家二级标准(0.06mg/m³)的 2 倍；位于第二位的是烟台市，2003 年烟台市 SO₂ 冬季浓度值为 0.097 mg/m³，是国家二级标

准的 1.6 倍，2000-2005 年四城市的 SO_2 浓度值夏季最小，空气质量状况最好，而且全部符合国家二级标准。

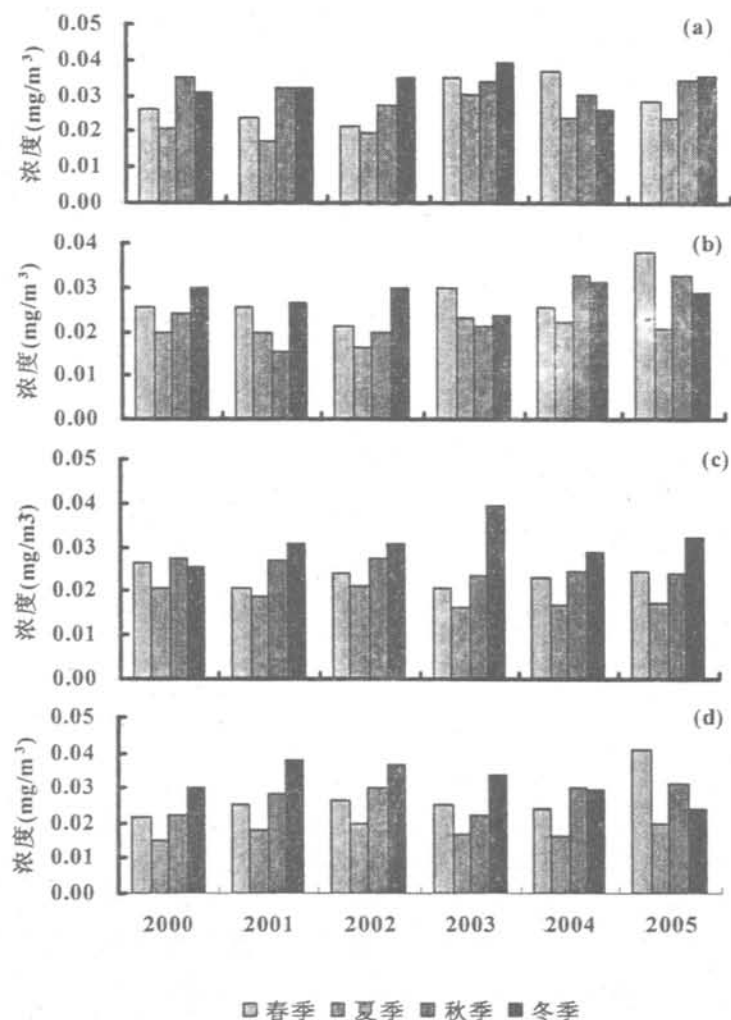


图 3-2 2000-2005 年山东省鲁东四城市的 NO_2 季节变化特征

(a) 烟台, (b) 威海, (c) 青岛, (d) 日照

图 3-2 是 2000-2005 年山东省鲁东四城市 NO_2 的季节变化特征，由图可以看出，2000-2005 年四城市 NO_2 的季节变化不是很明显，说明 NO_2 污染主要是机动车辆尾气造成的，冬季燃煤取暖对 NO_2 污染的贡献值很小。由图可以看出，2000-2005 年四城市 NO_2 的浓度值均符合国家二级标准，空气质量状况良好，未对人类的活造成影响。

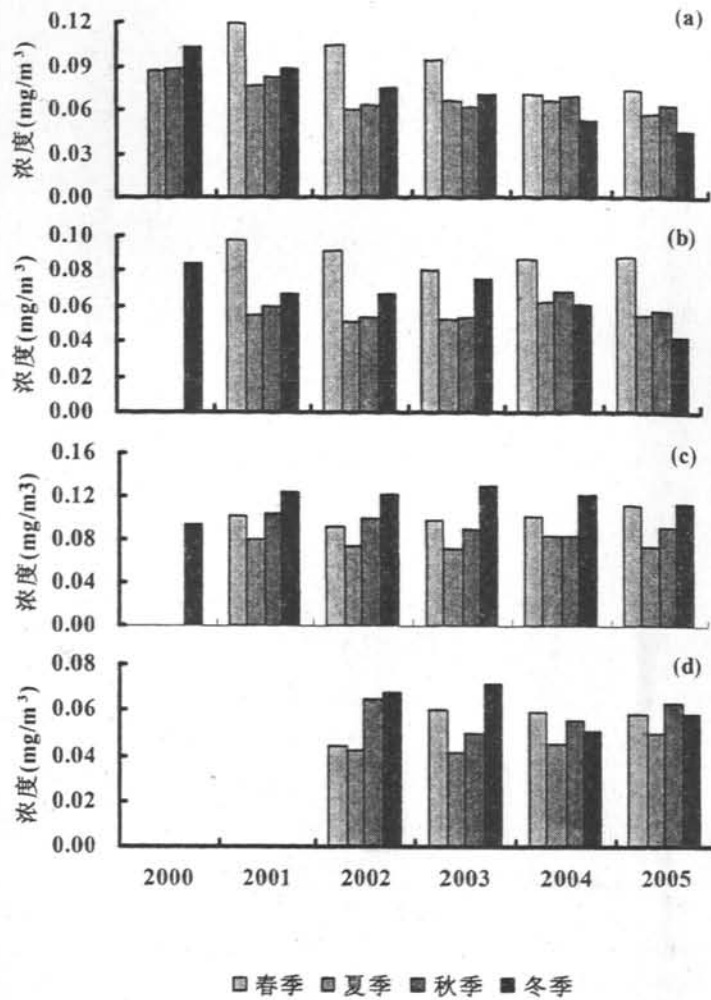


图 3-3 2000-2005 年山东省鲁东四城市的 PM_{10} 季节变化特征
(a) 烟台, (b) 威海, (c) 青岛, (d) 日照

图 3-3 是 2000-2005 年山东省鲁东四城市 PM_{10} 的季节变化特征, 其中 2000 年四城市数据不全, 2001 年日照市数据不全。由图可以看出, 2001-2005 年烟台、威海两城市的 PM_{10} 污染, 春季最为严重, 除了 2001 年烟台 PM_{10} 的浓度超过国家二级标准(0.1 mg/m^3), 其他均符合国家二级标准, 污染并不是很严重。2001-2005 年青岛市的 PM_{10} 污染, 冬季浓度值最大, 全部超过国家二级标准, 污染情况非常严重, 其中 2003 年污染最严重, 浓度值为 0.130 mg/m^3 , 是国家二级标准 1.3 倍, 说明冬季燃煤取暖是造成青岛市 PM_{10} 污染的最主要原因, 另外, 春季是次污染季节, 2005 年春季 PM_{10} 浓度值最大, 为 0.113 mg/m^3 , 超过国家

二级标准，其他年份均符合过家家二级标准。2002-2005 年日照市 PM_{10} 污染季节变化不是很明显，而且浓度均符合国家二级标准。

通过以上分析可以看出，2000-2005 年鲁东四城市的 SO_2 季节性污染，冬季浓度值最大，青岛市的污染情况最严重；夏季 SO_2 污染最轻。 NO_2 的季节浓度全部符合国家二级标准，未形成污染，而且季节变化特征不明显。 PM_{10} 的季节性污染对于威海市和烟台市而言，春季污染最严重；青岛市则是冬季最严重，春季是次污染季节；日照季节变化特征不是很明显。

鲁西南地区：

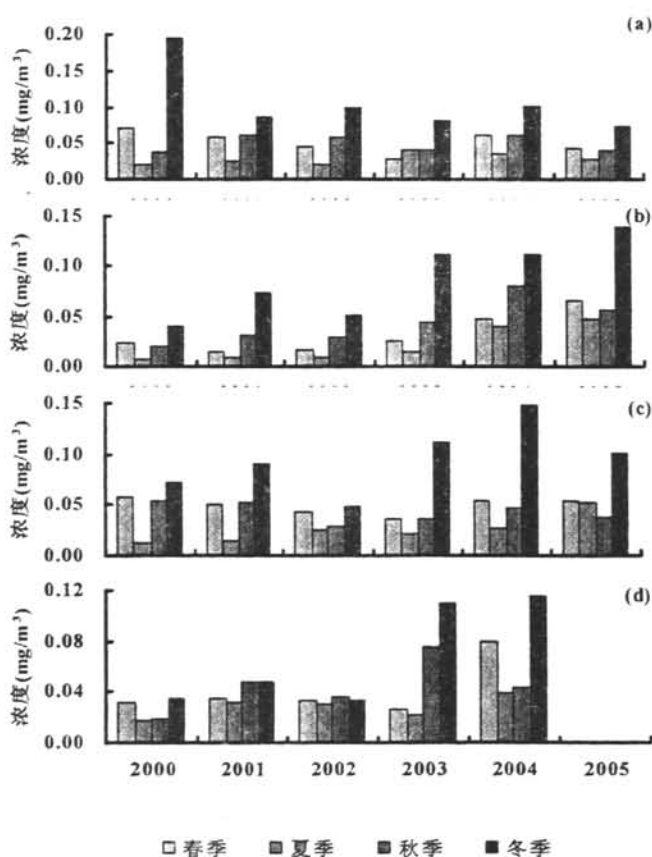


图 3-4 2000-2005 年山东省鲁西南四城市的 SO_2 季节变化特征

(a) 济宁, (b) 菏泽, (c) 枣庄, (d) 临沂

图 3-4 是 2000-2005 年山东省鲁西南四城市 SO_2 的季节变化特征，其中，临沂市 2005 年四季的数据不全，由图可以明显看出，2000-2005 年四城市的 SO_2 浓度值冬季明显高于其它三个季节，而且除济宁外，其他三城市的 SO_2 冬季浓度值呈逐年上升的趋势，2003-2005 年的冬季值远远高于其它年份。其中，济宁市

2000-2005 年冬季 SO_2 浓度值全部超过国家二级标准($0.06\text{mg}/\text{m}^3$), 2000 年济宁市 SO_2 冬季浓度值最大, 为 $0.196\text{mg}/\text{m}^3$, 是国家二级标准的 3.3 倍, SO_2 污染非常严重, 2001-2005 年冬季浓度值相差很小, 2005 年冬季值最小, 为 $0.06\text{mg}/\text{m}^3$; 位于第二位的是枣庄市, 2004 年枣庄市 SO_2 冬季浓度值为 $0.148\text{mg}/\text{m}^3$, 是国家二级标准的 2.5 倍, 相对于 2004 年, 2005 年冬季值下降, 为 $0.1\text{mg}/\text{m}^3$; 菏泽市 2005 年冬季值达到最大值, 为 $0.140\text{mg}/\text{m}^3$, 是国家二级标准的 2.3 倍; 临沂是 2004 年冬季值最大, 为 $0.115\text{mg}/\text{m}^3$, 是国家二级标准的 1.9 倍。2000-2005 年四城市夏季的 SO_2 浓度值最小, 空气质量状况最好, 而且全部符合国家二级标准。

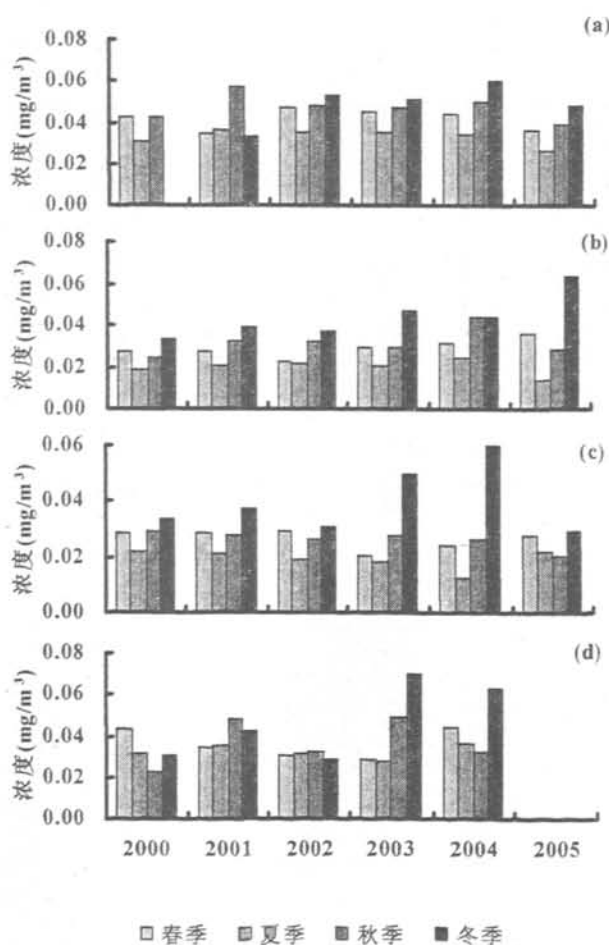


图 3-5 2000-2005 年山东省鲁西南四城市的 NO_2 季节变化特征

(a) 济宁, (b) 菏泽, (c) 枣庄, (d) 临沂

图 3-5 是 2000-2005 年山东省鲁西南四城市 NO_2 的季节变化特征, 其中, 济宁 2000 年冬季数据不全, 临沂 2005 年数据不全。由图可以看出, 2000-2005 年

鲁西南四城市的 NO_2 浓度, 总体是冬季值略微高于其它季节, 夏季值相对较小。济宁市在 2004 年冬季 NO_2 浓度值最大, 为 0.06 mg/m^3 , 2001 年冬季值最小; 2000-2005 年 NO_2 的季节变化不是很明显; 菏泽和枣庄在 2000-2005 年的冬季值略微高于其它季节, 这说明冬季燃煤对这两个城市的 NO_2 污染起主要作用, 夏季值最小, 均符合国家二级标准; 临沂市在 2003 年冬季 NO_2 浓度值最大, 为 0.07 mg/m^3 。

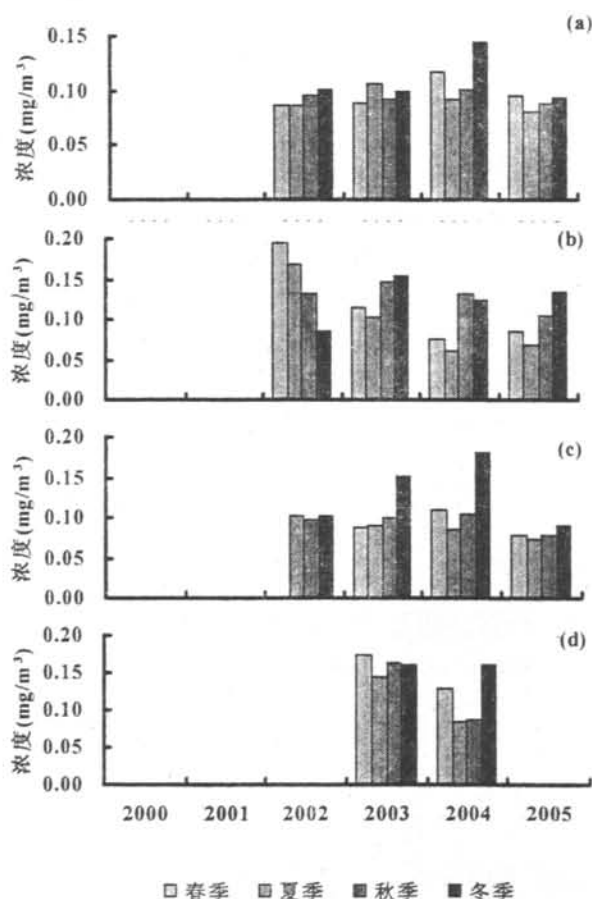


图 3-6 2000-2005 年山东省鲁西南四城市的 PM_{10} 季节变化特征

(a) 济宁, (b) 菏泽, (c) 枣庄, (d) 临沂

图 3-6 是 2000-2005 年山东省鲁西南四城市 PM_{10} 的季节变化特征, 其中 2000、2001 年四城市数据不全, 2002 年枣庄市数据不全, 以及 2002 年、2005 年临沂市数据不全。由图可以看出, 济宁市在 2004 年 PM_{10} 污染比较严重, 春季和冬季的 PM_{10} 浓度均超过国家二级标准(0.1 mg/m^3), 冬季值达到 0.144 mg/m^3 。菏泽市在 2002-2005 年的 PM_{10} 污染浓度无明显的变化规律, 其中 2002 年春季污

染最严重, 达到 0.2 mg/m^3 , 是国家二级标准 2 倍, 这说明气候是影响菏泽市 PM_{10} 污染浓度变化的最主要原因。枣庄在 2002-2005 年的 PM_{10} 污染浓度值冬季大于其它三季, 说明冬季燃煤取暖对枣庄市 PM_{10} 污染的贡献值较大, 其中, 其中 2004 年冬季污染最严重, 达到 0.18 mg/m^3 , 是国家二级标准 1.8 倍。临沂在 2004 年春季污染最严重, 浓度达到 0.175 mg/m^3 。总体而言, 2000-2005 年四城市的 PM_{10} 污染夏季值最小, 空气质量最好。

通过以上分析可以看出, 总体而言, 2000-2005 年鲁西南四城市的 SO_2 污染冬季浓度值明显高于其它三季, 而且是呈逐年上升的趋势, 济宁、枣庄污染较严重; SO_2 污染夏季浓度值较小。 NO_2 浓度季节变化特征相对较弱, 冬季值略微高于其它季节, 说明 NO_2 污染主要是燃煤取暖和机动车辆尾气共同作用的结果; 夏季值相对较小。 PM_{10} 的季节性污染, 济宁和枣庄, 冬季浓度值明显大于其它三季, 菏泽和临沂, 春季值相对较大。

鲁中地区:

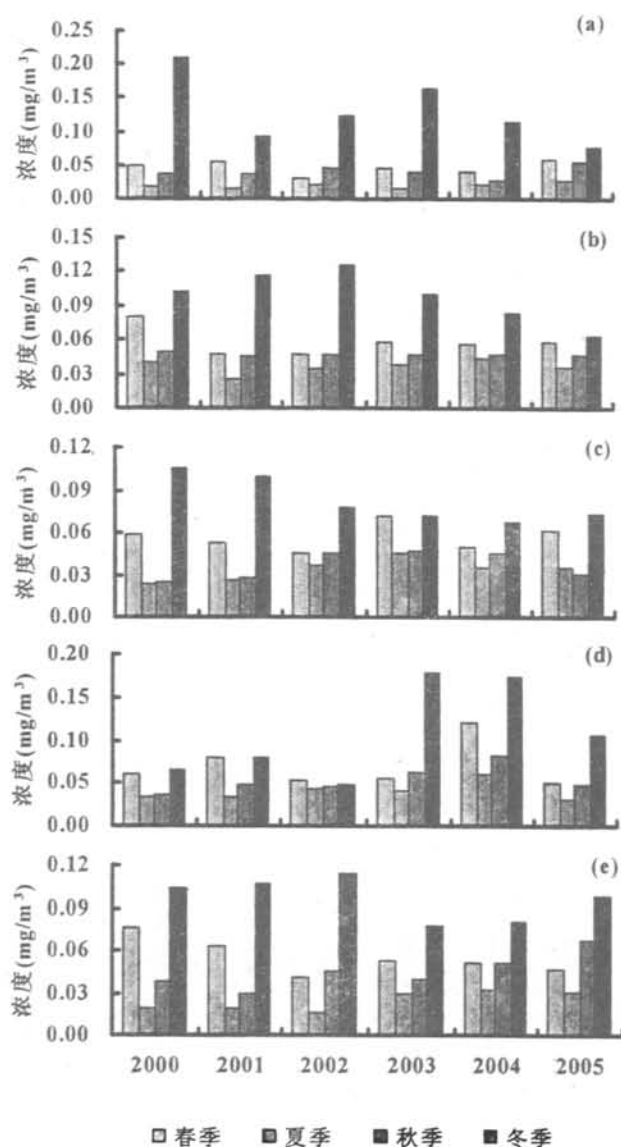


图 3-7 2000-2005 年山东省鲁中四城市的 SO_2 季节变化特征

(a) 济南, (b) 淄博, (c) 泰安, (d) 莱芜, (e) 潍坊

图 3-7 是 2000-2005 年山东省鲁中四城市 SO_2 的季节变化特征, 由图可以明显看出, 2000-2005 年四城市的 SO_2 浓度值冬季远远大于其它三季, 其中, 只有莱芜市在 2002 年冬季的 SO_2 浓度值符合国家二级标准($0.06 \text{ mg}/\text{m}^3$), 其余四城市在 2000-2005 年冬季 SO_2 浓度值全部超过国家二级标准, 由此可以看出, 鲁中地区冬季 SO_2 污染十分严重, 必须引起高度重视。其中, 2000 年济南市 SO_2 冬季浓度值最大, 为 $0.21 \text{ mg}/\text{m}^3$, 是国家二级标准的 3.5 倍, 2003 年冬季值居于第二位, 2005 年冬季值最小, 为 $0.07 \text{ mg}/\text{m}^3$; 莱芜市在 2003 年 SO_2 冬季浓度值为 0.18

mg/m^3 ，是国家二级标准的 3 倍，2002 年冬季值最小，为 $0.05 \text{ mg}/\text{m}^3$ ；淄博市 2000-2005 年 SO_2 冬季值呈先上升后下降的趋势，2002 年冬季值最大为 $0.127 \text{ mg}/\text{m}^3$ ，2005 年冬季值最小，为 $0.065 \text{ mg}/\text{m}^3$ ，接近国家二级标准；泰安市 2000-2005 年 SO_2 冬季浓度值呈下降趋势，2002-2005 年下降趋势缓慢，2000 年冬季值最大，为 $0.105 \text{ mg}/\text{m}^3$ ，2004 年冬季值最小，为 $0.068 \text{ mg}/\text{m}^3$ ；潍坊市 2002 年冬季值最大，为 $0.115 \text{ mg}/\text{m}^3$ 。2000-2005 年五城市的 SO_2 浓度值夏季最小。空气质量状况最好，而且全部符合国家二级标准。

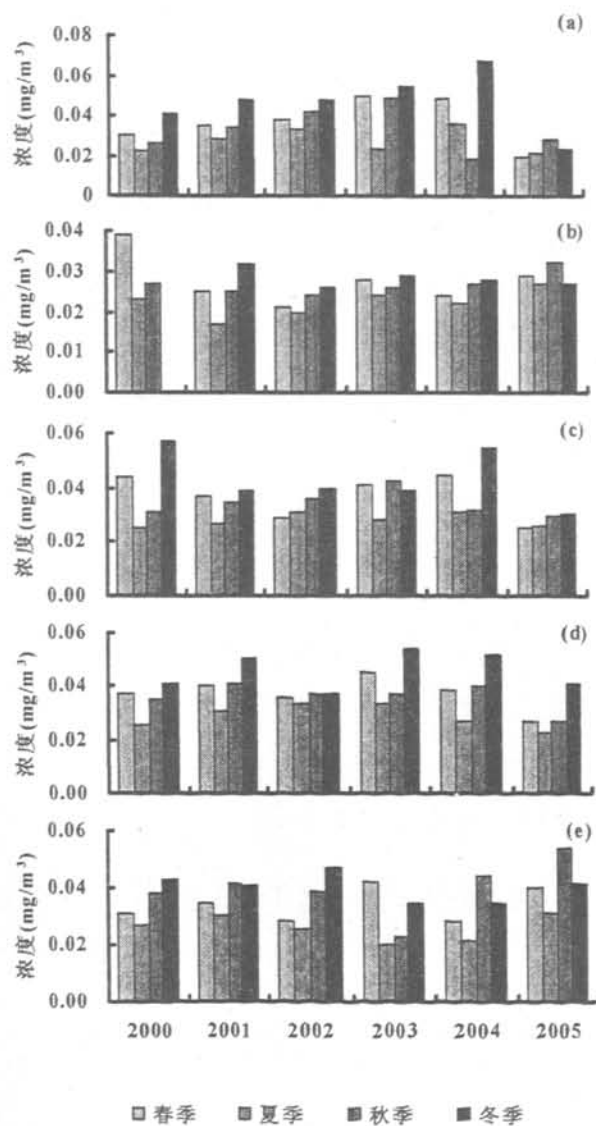


图 3-8 2000-2005 年山东省鲁中五城市的 NO_2 季节变化特征

(a) 济南, (b) 淄博, (c) 泰安, (d) 莱芜, (e) 潍坊

图 3-8 是 2000-2005 年山东省鲁中五城市 NO_2 的季节变化特征, 其中, 2000 年淄博市冬季值不全, 由图可以看出, 济南市在 2000-2004 年 NO_2 浓度值冬季最大, 均超过国家二级标准(0.04 mg/m^3), 春季值第二, 夏季值最小, 在 2005 年秋季值最大, 春季值最小; 淄博市空气质量较好, 2000-2005 年均未超过国家二级标准, 在 2000 年的春季值最大, 在 2002-2004 年的冬季值最大, 夏季值最小, 2005 年秋季值最大; 泰安市除了在 2003 年的秋季值最大外, 其余各年份的冬季值最大; 莱芜市 2000-2005 年冬季值最大, 而且除 2002 年冬季外, 均超过国家二级标准; 潍坊市除 2000 年和 2002 年冬季值最大外, 2003 年春季值较大, 其他三年的秋季值最大。

图 3-9 是 2000-2005 年山东省鲁中五城市 PM_{10} 的季节变化特征, 其中 2000 年五城市数据不全, 2001 年泰安、莱芜、潍坊数据不全, 2002 年莱芜、潍坊数据不全, 2003 年莱芜数据不全。由图可以看出, 济南市 2001-2004 年四季的 PM_{10} 都非常严重, 除 2004 年秋季 PM_{10} 浓度接近国家二级标准外, 其它各年各季均超过国家二级标准, 其中冬季污染最严重, 均超过国家二级标准, 济南市 2004 年 PM_{10} 浓度值冬季最大, 为 0.2 mg/m^3 , 春季为次污染季节, 2001-2005 年均超过国家二级标准, 2001 年春季值最大, 为 0.199 mg/m^3 , 是国家二级标准的 1.99 倍; 淄博市 2001-2002 年冬季浓度值最大, 春季次之, 且两季浓度值均超过国家二级标准, 2003 年冬季之最大, 为 0.15 mg/m^3 ; 泰安市除 2005 年冬季外, 其他年份的冬季值均超过国家二级标准; 莱芜的冬季的空气质量较好, 均未超过国家二级标准, 且季节变化不是很明显; 潍坊市除 2002 年冬季外, 其他年份的冬季值均未超过国家二级标准。

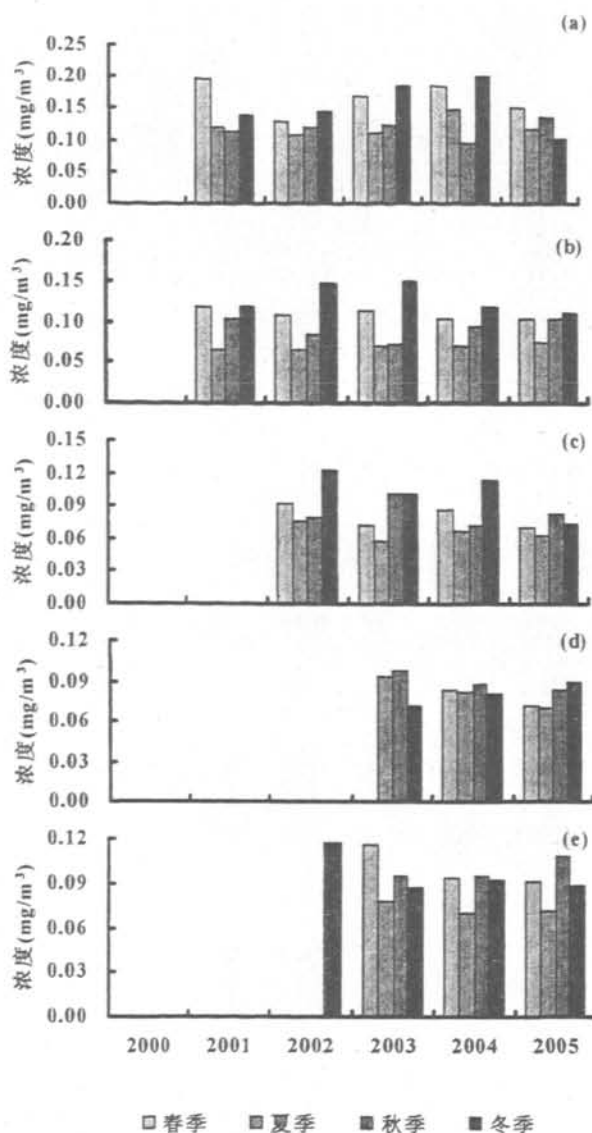


图 3-9 2000-2005 年山东省鲁中五城市的 PM_{10} 季节变化特征

(a) 济南, (b) 淄博, (c) 泰安, (d) 莱芜, (e) 潍坊

通过以上分析可以看出,2000-2005 年鲁中地区五城市的 SO_2 污染非常严重,除了莱芜在 2002 年冬季浓度值符合国家二级标准,其它城市的各年际的冬季浓度值全部超标,必须引起高度重视,其中更以济南市和莱芜市的冬季浓度值最大;五城市夏季的空气质量最好,全部符合国家二级标准。 NO_2 污染冬季浓度值最大,济南市 NO_2 冬季浓度值全部超过国家二级标准;淄博市 NO_2 浓度较小,2000-2005 年冬季值均达标。五城市的 PM_{10} 污染,冬季是最严重的季节,春季是次污染季节,其中,济南和淄博两城市的 PM_{10} 污染在冬季和春季浓度值均超过国家二级

标准，污染情况非常严重；泰安、莱芜和潍坊的冬季浓度值相对较小，除个别年份外，基本都符合国家二级标准。

鲁北地区：

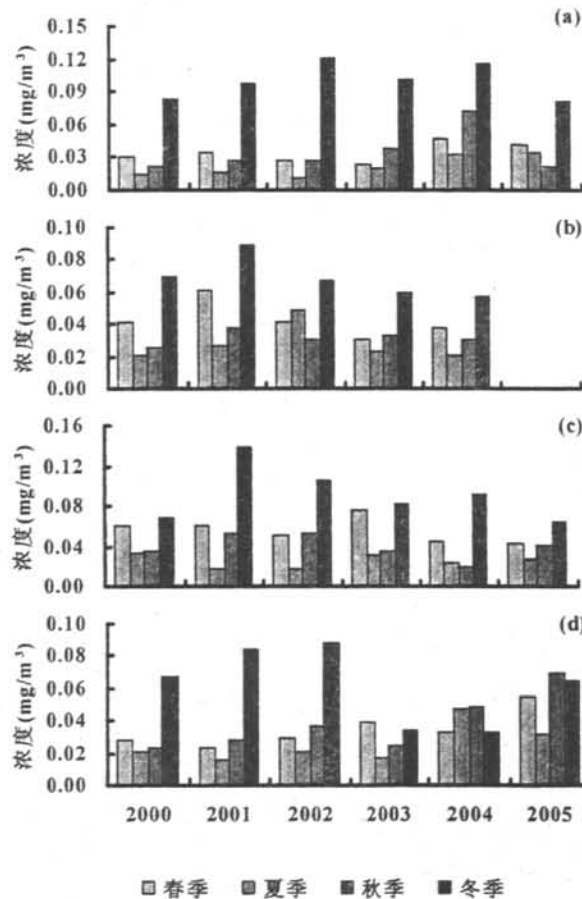


图 3-10 2000-2005 年山东省鲁北四城市的 SO₂ 季节变化特征

(a) 德州(b) 东营, (c) 滨州, (d) 聊城

图 3-10 是 2000-2005 年山东省鲁北四城市 SO₂ 的季节变化特征，其中，东营市 2005 年的数据不全。由图可以明显看出，除了聊城 2003-2005 年冬季的 SO₂ 浓度值不是最大外，其它三城市在 2000-2005 年的 SO₂ 浓度值冬季均大于其它三季。其中，德州和滨州在 2000-2005 年的冬季 SO₂ 浓度值均超过国家二级标准 (0.06mg/m³)，2001 年滨州市 SO₂ 冬季浓度值最大，为 0.138mg/m³，是国家二级标准的 2.3 倍；位于第二位的是德州市，2003 年德州市 SO₂ 冬季浓度值为 0.121mg/m³，是国家二级标准的 2 倍，2000-2005 年四城市的 SO₂ 浓度值夏季最小。空气质量状况最好，而且全部符合国家二级标准。

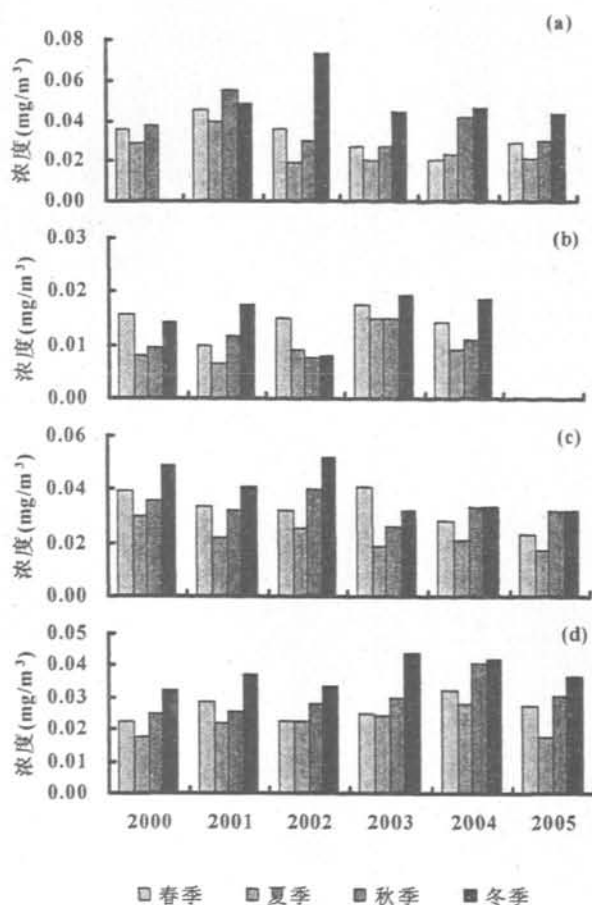
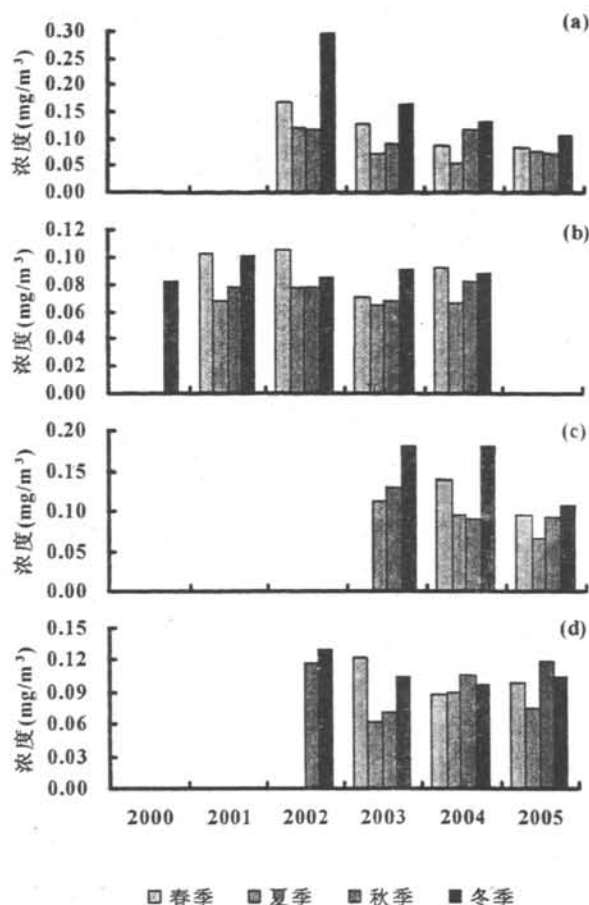


图 3-11 2000-2005 年山东省鲁北四城市的 NO_2 季节变化特征

(a) 德州 (b) 东营, (c) 滨州, (d) 聊城

图 3-11 是 2000-2005 年山东省鲁北四城市 NO_2 的季节变化特征, 其中, 2000 年济南市冬季数据不全, 2005 年东营市数据不全。由图可以看出, 德州市在 2000-2005 年 NO_2 浓度值冬季最大, 且均超过国家二级标准, 夏季值最小; 东营市除了在 2002 年的春季值最大外, 其它年份冬季值最大, 夏季值最小; 滨州和聊城在 2002-2005 年的冬季值最大, 夏季值最小;


 图 3-12 2000-2005 年山东省鲁北四城市的 PM_{10} 季节变化特征

(a) 德州 (b) 东营 (c) 滨州 (d) 聊城

图 3-12 是 2000-2005 年山东省鲁北四城市 PM_{10} 的季节变化特征, 其中, 德州 2000、2001 年数据不全, 东营 2000、2005 年数据不全, 滨州 2000-2003 年数据不全, 聊城 2000-2002 年数据不全。由图可以看出, 德州和滨州两城市的 PM_{10} 污染冬季最为严重。其中德州市 2002-2005 年的 PM_{10} 污染呈逐年下降的趋势, 2002 年冬季浓度值最大, 达到 0.298 mg/m^3 , 是国家二级标准 2.98 倍, 2005 年浓度最小, 为 0.107 mg/m^3 ; 滨州市 2003 年冬季浓度值位于第二, 达到 0.180 mg/m^3 , 是国家二级标准 1.8 倍。春季是次污染季节, 德州污染最严重, 且春季值呈逐年下降的趋势, 2002 年春季达到最大值, 为 0.167 mg/m^3 , 是国家二级标准的 1.67 倍, 2005 年春季值最小, 为 0.083 mg/m^3 ; 东营和聊城季节变化特征不是很明显。

通过以上分析可以看出, 2000-2005 年鲁北地区的 SO_2 污染冬季最严重, 以德州和滨州为首, 两城市冬季 SO_2 浓度值均超过国家二级标准; 夏季值最小, 空

气质量最好，均达标。 NO_2 污染冬季浓度值最大，夏季值最小。德州、滨州的 PM_{10} 污染冬季最严重，东营和聊城季节变化特征不是很明显，德州市的 PM_{10} 污染春季和冬季污染相对比较严重，且处于逐年下降的趋势。

山东省四个区域主要大气污染物季节变化特征的分析比较：

通过以上分析，可以看出，2000-2005 年山东省四个区域主要大气污染季节变化特征如下：

(1) SO_2 冬季污染最严重，主要原因是山东省能源结构以煤为主，是典型的煤烟型污染，山东省冬季长达 4 个月的取暖期，主要的能源是煤炭，导致煤炭的用量大幅度增加，燃料结构不合理并直接使用低效燃烧煤炭、主要工业能源为燃料煤、燃料油和电三大类，工业能源的用煤量比例过大，并且使用的煤，大部分为高硫煤，含硫量在 05.%以上，再加上耗煤量逐年增加，这就更加加重了二氧化硫的排放量。另外，冬季不利气象条件出现的频率较大，不利于污染物的输送扩散，导致污染物浓度高。夏季浓度值较小，主要是因为夏季是山东省燃料消耗的低值期，又正好是多雨季节，降水量大，起到淋溶作用，而且夏季大气稳定度好，有利于污染物的输送扩散，使污染物的浓度明显偏低。鲁中地区污染最严重，冬季浓度值基本均超过国家二级标准，特别是济南和莱芜污染最严重。

(2) NO_2 浓度季节变化特征不是很明显，冬季浓度值略微高于其它各季，说明山东省 NO_2 污染是冬季燃煤取暖和机动车辆尾气共同作用的结果。

(3) 冬季是 PM_{10} 污染最严重的季节，春季是次污染季节，说明冬季燃煤取暖是造成 PM_{10} 污染严重的最主要原因，其次是气候因素，春季冷空气活跃，风速大气温回暖解冻，地表裸露，很容易引起扬沙或沙尘暴天气，导致 PM_{10} 污染严重。

(4) 四个区域主要大气污染物的季节性污染：鲁东地区大气污染最轻，鲁中地区污染最严重；空气质量较好的城市是威海、烟台和日照。污染最严重的城市为济南、莱芜、青岛和济宁。

3.3 2000-2005 年山东省主要大气污染物年际变化特征分析

鲁东地区：

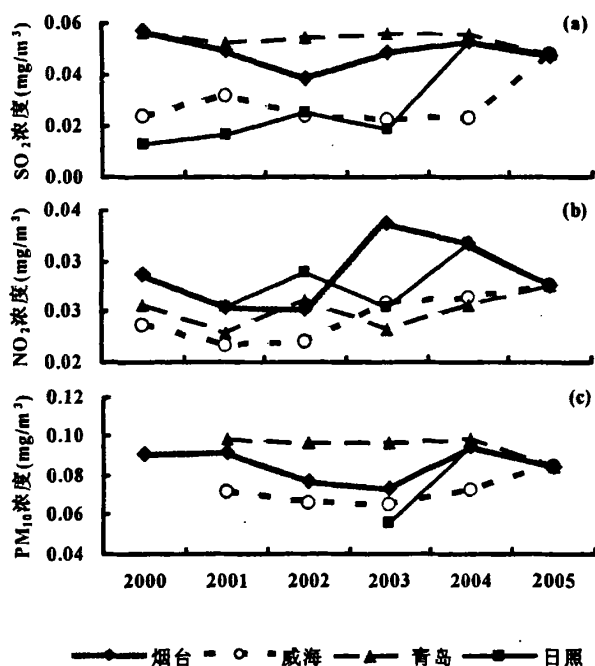


图 3-13 2000-2005 年鲁东四城市主要大气污染物浓度的年际变化

 (a) SO₂, (b) NO₂, (c) PM₁₀

图 3-13 是 2000-2005 年鲁东四城市主要大气污染物浓度的年际变化, 其中, 日照在 2000 年的 NO₂ 数据不全, 在 2000-2002 年的 PM₁₀ 数据不全, 威海、青岛在 2000 年的 PM₁₀ 数据不全。

烟台市 SO₂ 污染 2000 年最严重, 为 0.057 mg/m³, 未超过国家二级标准 (0.06 mg/m³), 2002 年空气质量最好, 为 0.039 mg/m³, 2000-2002 年呈下降趋势, 2003 年开始趋于上升趋势; 威海 SO₂ 污染 2005 年较差, 年均浓度值为 0.048 mg/m³, 2000-2004 年 SO₂ 浓度没有明显的变化趋势; 青岛市 SO₂ 浓度没有明显变化趋势, 浓度基本保持在 0.05 mg/m³; 日照市 SO₂ 浓度在 2004 年迅速升高, 年均浓度值为 0.053 mg/m³, 2005 年略有下降。总体而言, 2000-2005 年沿海四城市 SO₂ 年均浓度值均符合国家二级标准, 空气质量较好。

2001-2005 年沿海四城市 NO₂ 的污染情况接近, 在 0.02-0.03 mg/m³ 之间, 均超过国家二级标准 (0.04 mg/m³), 空气质量较好, 浓度值变化趋势不明显。

烟台市 PM_{10} 污染先呈下降趋势, 2003 年以后开始逐渐上升, 2004 年污染物浓度最大, 达到 0.095 mg/m^3 ; 威海的 PM_{10} 浓度 2003 年以后呈缓慢上升趋势, 2005 年达到最大值, 为 0.084 mg/m^3 ; 日照的 PM_{10} 污染在 2004 年浓度值较大, 达到 0.095 mg/m^3 ; 相对于烟台、威海、日照, 2001-2005 年青岛市的 PM_{10} 污染比较严重, 每年的年均值都接近于 0.1 mg/m^3 (国家二级标准), 污染变化趋势不明显。

通过以上分析可以看出, 威海和日照的空气质量状况相对较好, SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 污染的浓度值较低, 青岛的空气质量状况相对较差, 特别是 PM_{10} 污染较严重; 整体而言, 2000-2005 年四城市的 SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 的年均浓度值均未超过各自的国家二级标准, 四城市的空气质量状况较好, 较适合人类的生存。

鲁中地区:

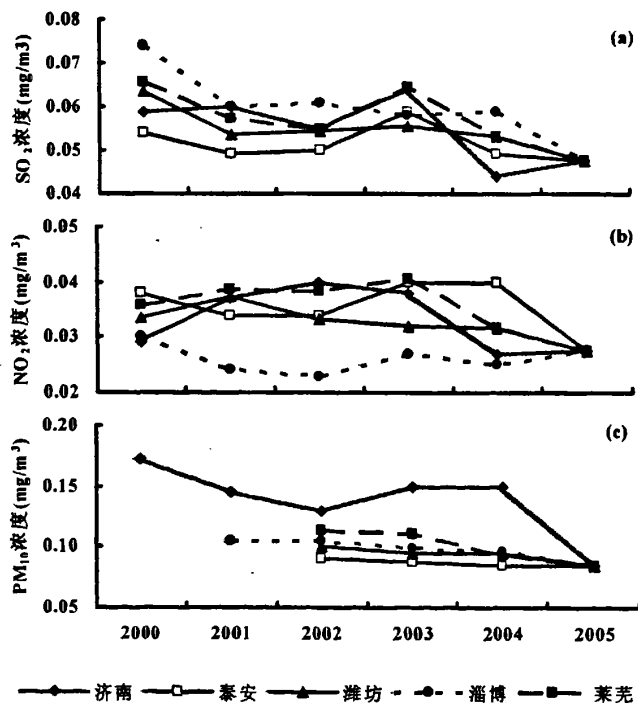


图 3-14 2000-2005 年鲁中五城市主要大气污染物浓度的年际变化

(a) SO_2 , (b) NO_2 , (c) PM_{10}

图 3-14 是 2000-2005 年鲁中五城市主要大气污染物浓度的年际变化, 其中, 泰安、潍坊和聊城在 2000 年和 2001 年 PM_{10} 数据不全, 淄博在 2000 年 PM_{10} 数

据不全。由图 4 可以看出, 鲁中地区五城市 SO_2 浓度总体上呈逐年下降的趋势, 2001-2005 年下降趋势较小。济南市 SO_2 污染 2003 年最严重, 为 $0.064\text{mg}/\text{m}^3$, 略微超过国家二级标准 ($0.06\text{mg}/\text{m}^3$), 其它年份均符合国家二级标准; 淄博 SO_2 污染 2000 年最严重, 年均浓度值为 $0.074\text{mg}/\text{m}^3$, 其他四年均接近国家二级标准, 2001-2004 年浓度值变化不明显, 2005 年浓度值下降, 为 $0.048\text{mg}/\text{m}^3$; 泰安 SO_2 污染 2003 年最严重, 年均浓度值为 $0.059\text{mg}/\text{m}^3$, 五年的年均浓度值均符合国家二级标准; 潍坊 SO_2 污染 2000 年最严重, 略为超过国家二级标准, 2000-2005 年呈逐年下降的趋势; 莱芜 SO_2 污染 2000 年最严重, 略为超过国家二级标准。

鲁中五城市 2000-2005 年 NO_2 污染年均浓度值均符合国家二级标准, 且年均浓度变化幅度较小, 年际变化趋势不明显, 其中, 淄博市空气中的 NO_2 浓度值远远小于其他城市。济南市 NO_2 污染在 2000-2005 年的变化趋势为先上升后下降; 淄博市 NO_2 各年年均浓度值变化很小且各年年均值均小于其他城市; 泰安 NO_2 的年均值在 2002 年后略有上升, 在 2004 年开始下降, 2005 年达到最小值; 莱芜 NO_2 年均值 2003 年开始下降, 2005 年达到最小值; 潍坊年均浓度值变化幅度很小。

济南市 PM_{10} 污染最为严重, 2000-2005 年年均浓度值远远大于其它城市, 济南 2000 年最严重, 年均浓度值为 $0.173\text{mg}/\text{m}^3$, 是国家二级标准的 1.73 倍, 2005 年年均浓度值最小, 为 $0.084\text{mg}/\text{m}^3$, 其它五年均超过国家二级标准; 泰安、潍坊、淄博和莱芜的 PM_{10} 年际变化趋势不明显。

通过以上分析可以看出, 2000-2005 年鲁中地区五城市的 SO_2 的年均浓度总体上呈逐年下降的趋势, 2001-2005 年下降趋势不明显, 而且年均浓度值基本上都符合国家二级标准。 NO_2 的年均浓度值均符合国家二级标准, 且年际变化趋势不明显, 其中淄博市的 NO_2 的年均浓度明显小于其他各城市。济南市 PM_{10} 污染最为严重, 2000-2005 年年均浓度值远远大于其它城市, 泰安、潍坊、淄博和莱芜的 PM_{10} 年际变化趋势不明显。

鲁西南地区:

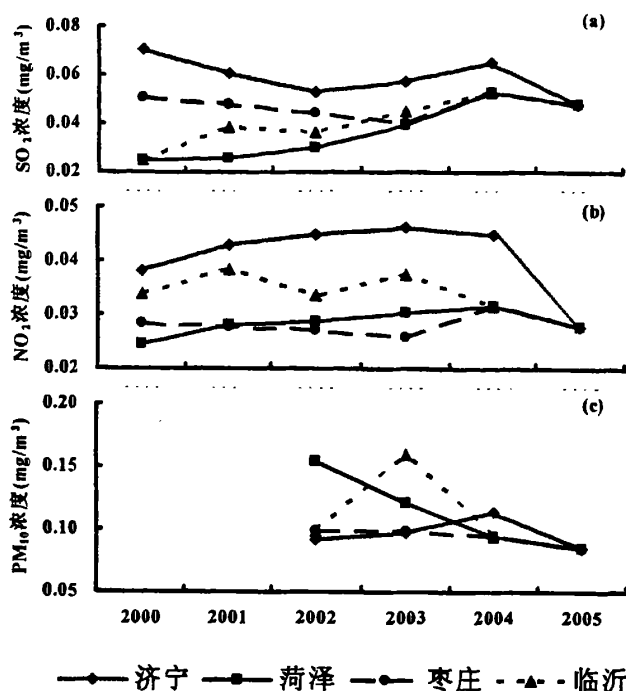


图 3-15 2000-2005 年鲁西南四城市主要大气污染物浓度的年际变化

(a) SO₂, (b) NO₂, (c) PM₁₀

图 3-15 是 2000-2005 年鲁西南四城市主要大气污染物浓度的年际变化，其中 2000 和 2001 年四城市 PM₁₀ 数据不全，2005 年临沂数据不全。

由图可以看出，除济宁市 SO₂ 的年均浓度值在 2000 年和 2004 年超标外，其他各城市年均浓度值均符合过家家二级标准，且济宁市 SO₂ 的年均浓度值明显高于其它城市，菏泽的浓度值偏低；菏泽和临沂的年均值呈逐年上升的趋势；济宁、菏泽和枣庄在 2005 年的年均值明显下降。

2000-2005 年四城市 NO₂ 年均浓度值均符合国家二级标准，年际变化趋势较小，2005 年的年均值明显下降；菏泽市的 NO₂ 的各年的年均值明显高于其他各市，临沂次之。

除了 2005 年济宁、菏泽和枣庄的 PM₁₀ 年均值达标，其他均超过国家二级标准，2005 年污染浓度有所下降；菏泽年均浓度值呈逐年下降趋势；济宁和枣庄年际变化趋势不明显。

通过以上分析可以看出，2000-2005 年鲁西南地区四城市的 SO₂ 的年均浓度，

除济宁市在 2000 年和 2004 年年均值超标外, 其他各城市年均浓度值均符合国家家二级标准, 菏泽和临沂的年均值呈逐年上升的趋势; 济宁、菏泽和枣庄在 2005 年的年均值明显下降。 NO_2 年均浓度值均符合国家二级标准, 年际变化趋势较小, 2005 年的年均值明显下降。除了 2005 年济宁、菏泽和枣庄的 PM_{10} 年均值达标, 其他均超过国家二级标准, 2005 年污染浓度有所下降。

鲁北地区:

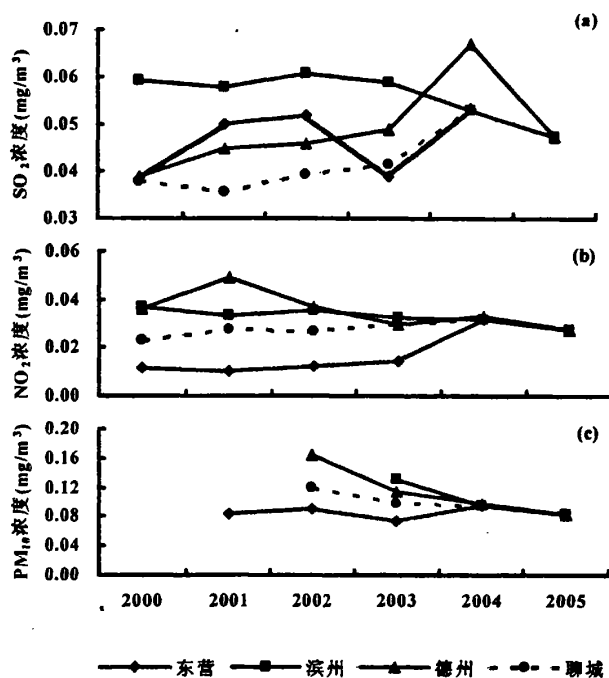


图 3-16 2000-2005 年鲁北四城市主要大气污染物浓度的年际变化

(a) SO_2 , (b) NO_2 , (c) PM_{10}

图 3-16 是 2000-2005 年鲁北四城市主要大气污染物浓度的年际变化, 其中 2000 和 2001 年四城市 PM_{10} 数据不全, 2005 年东营数据不全, 2002 年滨州 PM_{10} 数据不全。

由图可以看出, 除 2004 年德州市 SO_2 的年均浓度值超标外, 其他各城市年均浓度值均符合国家二级标准; 2000-2005 年滨州的 SO_2 年均浓度值呈逐年下降的趋势, 其中 2000-2003 年变化趋势不明显, 且滨州市的 SO_2 年均值明显高于其它城市; 德州的 SO_2 年均浓度值在 2000-2004 年呈逐年上升的趋势, 2004 年达

到最大值, 为 0.067 mg/m^3 , 2005 年急剧下降; 东营 2004 年 SO_2 年均值最大, 为 0.053 mg/m^3 ; 聊城的 SO_2 年均值呈小幅度逐年上升的趋势。

除 2001 年德州市 NO_2 的年均浓度值超标外, 其他各城市年均浓度值均符合国家二级标准; 四城市的 NO_2 的年均浓度值相差不大, 且年际变化幅度很小, 其中, 东营市的年均浓度值略小于其他各市。

德州市的 PM_{10} 浓度呈逐年下降的趋势, 2002 年年均值最大为 0.165 mg/m^3 , 2005 年最小, 为 0.084 mg/m^3 , 其它各城市年际变化趋势不明显。东营市的年均浓度值略小于其他各市。

通过以上分析可以看出, 鲁北地区四城市的 SO_2 年均浓度值基本上均符合国家二级标准, 空气质量状况较好, 其中滨州的 SO_2 年均浓度值呈逐年下降的趋势, 且明显高于其它城市; 德州、东营和聊城在 2000-2004 年呈逐年上升的趋势, 2005 年浓度明显下降。四城市的 NO_2 的年均浓度值相差不大, 且年际变化幅度很小, 年均浓度值基本均符合国家二级标准。德州市的 PM_{10} 浓度呈逐年下降的趋势, 其它各城市年际变化趋势不明显。

山东省四个区域主要大气污染物年际变化特征的分析比较:

通过以上分析, 可以看出, 2000-2005 年山东省四个区域主要大气污染年际变化特征如下:

(1) 2000-2005 年各城市大气污染物 SO_2 的年均值基本上都符合国家二级标准, NO_2 的年均值符合国家二级标准, 且年际变化趋势不明显, PM_{10} 超标的年份和城市较多, 其中, 济南市 PM_{10} 污染最为严重, 年均浓度值远远大于其它城市

(2) 各区域主要大气污染物年均浓度值在 2005 年明显下降。

(3) 鲁东地区三种主要污染物的年均浓度值较低, 2000-2005 年四城市的 SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 的年均浓度值均未超过各自的国家二级标准, 四城市的空气质量状况较好。

(3) 济宁、枣庄、滨州、淄博的 SO_2 浓度相对较高, 济宁的 NO_2 浓度较高, 济南的 PM_{10} 浓度较高。

第四章 污染原因分析

城市的经济发展水平、能源结构、地理位置和气候的差异,使得各个城市的大气环境污染都呈现不同的特点。城市空气质量状况与多种因素相关,其主要的影响因素有:污染源位置和排放强度、地面气象条件、特殊地形等方面,大气污染变化状况是多种因素共同作用的结果。

4.1 污染源方面

大气环境污染是一个及其复杂的大气物理和化学工程,与污染源、地形条件、气象条件和大气污染物之间的化学反应和转化都有密切的关系,其中污染排放源对于城市大气污染具有决定性的作用。

4.1.1 主要大气污染物的来源

从能源消耗种类来看,煤的燃烧、汽车移动源是重要的污染排放源。从行业分布来看,工业排放是污染排放的重要源。 SO_2 的排放主要来源于煤的燃烧,以煤和石油为原料的火电行业、工业锅炉、垃圾焚烧炉、生活取暖、钢铁行业、造纸行业、冶金和化工行业等对 SO_2 的排放都有一定的贡献,其中,火电行业是 SO_2 排放的主要来源。山东省的能源结构以燃煤为主,高能耗、高物耗、污染重的粗放型经济增长方式没有得到根本转变,对能源的需求量持续增加。据山东省有关方面的统计,从2004年起山东的能源消耗总量首次超过生产总量,由能源输出大省转变成了能源净输入省,并成为全国第二大能耗省份。因此,能源消费的超常规增长和火电行业的快速发展是导致 SO_2 排放量增加的主要原因。 NO_2 主要来源于以煤、石油和天然气为燃料的火力发电厂、工业锅炉、垃圾焚烧炉以及汽车尾气排放量的增加^[50],山东经济发展迅速,人民生活水平高,汽车移动源数量多,火电、冶金、水泥及化工等工业发达,能源消耗巨大,导致山东省的 NO_2 排放量和排放强度都很大。 PM_{10} 的排放主要来源于以煤和石油为燃料的燃烧、生活取暖、柴油发动机、露天采矿、秸秆燃烧、汽车移动源、交通扬尘、裸露地面扬尘、建筑施工扬尘、风沙尘及工业生产过程的排放。

4.1.2 山东省的能源结构及消耗

山东省统计局 2005 年发布的一份统计报告：山东省能源消耗总量在 2004 年首次超越了生产总量。也就是说，山东省成为了能源净输入省。这份报告称，2004 年，山东能源消费总量在经过多年持续、快速增长之后，首次超过生产总量。全社会能源消费达 15902.2 万吨标煤，是生产总量的 1.1 倍，比上年增长 21.3%，成为仅次于河北的全国第二大能耗省。

而山东省能源结构单一，一次能源消费中煤炭和原油占 98%以上，可再生能源开发利用的水平还比较低，电力供应全部依靠火力发电。2004 年，山东省煤炭消费达 18270 万吨，比上年增长了 20.5%。其中，发电投入达 8874 万吨，占煤炭消费总量的 48.6%，增长了 22.1%，在火力发电的过程中，只有 40%的煤炭能源转化为了电能，其余的 60%全部流失。这种对煤炭的高度依赖也造成了山东耗能的激增。

另外，山东的工业是主要耗能产业。在能源消费总量中，工业消费占 84.2%。工业中，耗能大头又在制造业，煤炭的 51%、焦炭的 99.1%、汽油的 75.5%、柴油的 64.6%、燃料油的 97.8%、电力的 76.3%，都集中在了制造业上。在制造业中，高能耗传统行业的能源消费比重进一步提高，这成为促使能耗总量上升的重要因素。

《山东省人民政府关于发展循环经济建设资源节约型社会的意见》这样表述：“我省资源型、初加工型工业比重较高，在重工业中，采掘业、原材料工业所占比重超过 60%，在轻工业中，以农产品为原料的占 70%以上。资源利用方式总体上仍然是粗放型的，能源、资源的过度消耗带来严重的环境污染，继续沿用传统的经济发展模式，不仅资源难以为继，而且环境不堪重负。”能源的大量消耗相应的导致排入大气中的污染物增多，大气环境空气质量差，给环境造成很大的压力。

二氧化硫是大气中的主要污染物，山东省二氧化硫排放量全国第一，其中电厂是第一排放大户，火电行业去年排放了 89.5 万吨，占总量的 58.0%。2005 年初国家环保总局通报了全国 46 家未启动脱硫项目的火电厂名单，其中山东省有 9 家，是未启动项目数量最多的省份。

2004 年全省二氧化硫排放总量 182.1 万吨，比上年下降 0.8%。其中，工业

二氧化硫排放量 154.4 万吨，占二氧化硫排放总量的 84.8%；生活二氧化硫排放量 27.7 万吨，占二氧化硫排放总量的 15.2%。在工业二氧化硫排放量中，电力、蒸汽、热水的生产和供应业排放量最大，为 91.2 万吨，占工业二氧化硫排放量的 61.0%。其中火电行业 89.5 万吨，占了绝大多数。

通过第三章的分析可以看出，鲁中、鲁西南地区为山东省的一个污染高排放区，代表性城市为：鲁中地区的济南、淄博、莱芜和鲁西南地区的济宁、枣庄。

鲁中地区：

作为老工业城市，济南市重工业比重偏高，城市化程度高，人口密集，汽车移动源数量多，相应的电力、采暖等生活需求大，煤、石油、天然气等能源的消耗需求巨大。济南市以煤为主的能源消费结构带来了严重的环境污染，属于典型的煤烟型污染，资源消耗型经济的快速发展带来了大气严重污染、生态平衡破坏等一系列的环境问题。济南市污染源从行业分布情况看，黑色金属冶炼及压延工业和电力、煤气及水的产生和供应业及非金属矿物制造业是排放工业废气的主要行业，废气排放量占全市排放总量的 83%左右，二氧化硫排放量最大的是电力、煤气行业，占全市总排放量的 60%左右。济南钢铁集团、黄台电厂等大型企业对于济南市污染排放贡献很大，据统计^[49]，济钢集团对 2003 年济南市的排放贡献为 NO₂: 2.5%，SO₂: 19%，PM₁₀: 1.4%。

淄博地区重工业非常发达，境内有很多大型企业，如齐鲁石化公司、山东铝厂、傅山热电厂等，以及建材、陶瓷、冶金等大量高污染行业，使淄博的污染排放了极高。据统计^[49]，2003 年淄博地区的污染排放总量为 NO₂:12.3 万吨，SO₂:24.1 万吨，PM₁₀:12.1 万吨。其中，齐鲁石化公司的生产规模非常大，生产项目包括：原油加工、乙烯生产、，尿素、合成橡胶、合成树脂、合成纤维、烧碱、炼油催化剂、各种有机化工产品等等，高生产量同时也导致向大气中排放大量的污染物。

莱芜是一个以钢铁业为主的工业城市，钢铁产量大，能源消耗大，相应的污染排放强度很大，据统计^[49]，钢铁业对 2003 年莱芜市的排放贡献为 NO₂: 34%，SO₂: 45%，PM₁₀: 11%，其中，莱芜钢铁集团对 2003 年莱芜市的排放贡献为 NO₂: 21%，SO₂: 44%，PM₁₀: 7%。

另外，济南、淄博和莱芜的汽车移动源的数量也较多，对大气污染的贡献也较大。

鲁西南地区:

济宁和枣庄位于兖州煤矿周围,依靠着丰富的煤矿资源,两地区的重工业非常发达,是山东省重要的能源基地。高污染企业如:邹县发电厂、鲁西南水泥有限责任公司、薛城振兴焦化有限公司等等,济宁是国家的煤炭和能源基地,境内运行和在建的火力发电厂共 48 家,总装机容量 8760 兆瓦,占全省的 1/6,是山东二氧化硫排放的“重灾区”;工业结构以重工业为主,钢铁、电力、冶金、化工和水泥是重要的支柱产业,也是重污染源。枣庄市山东省重要的水泥生产基地,全市拥有立窑水泥生产企业 75 家,年产量达到 2600 万吨,占全省总产量的四分之一,每年向大气排放烟尘量 60 余万吨。枣庄市大气污染主要是粉尘污染,而立窑水泥是主要的污染源,水泥粉尘的大量排放严重影响了城市的大气环境质量,给人民群众的身体健康带来了严重的危害。

由以上分析可以看出,由于人口、资源、环境以及经济、科技等因素的制约,鲁中和鲁西南地区是高污染排放区,主要原因是能源结构单一,高能耗行业较多,能源消费以煤炭为主,能源利用率低,单位产值能耗较高,大量燃煤排放的 SO_2 , NO_2 和 PM_{10} 造成极大的环境压力。

4.2 发展模式的局限性

在传统的发展模式下,功能分区不合理,工业区和居民区混杂在一起,造成居民区的大气污染。城市生态环境差,植被覆盖率低,地面裸露容易产生扬尘,林木覆盖率低,空气自净能力弱,影响大气质量状况。近几年,随着城市化进程的开展,城市施工建设相继展开,旧城区改造,新城区建设,道路修整扩宽等施工建设持续不断,造成严重的扬尘污染。

经济发展远未从根本上摆脱粗放型增长方式,能源结构以煤炭为主、产业结构和城市布局不合理、技术和管理水平相对落后等问题难以在短时间内得到解决,结构性污染仍很严重。

对可持续发展战略认识不够全面和统一,环境与发展的综合协调机制尚不完善,部门、行业、企业强调自身发展,忽视整体发展需要,造成资源的浪费和环境污染。

以济南市为例,从旧城市演变过来不合理的工业布局是造成空气污染的重要

因素。区域主导风上风向分布着的水泥、冶金、电力和机械等大型工业企业，这些企业的大气污染尚未得到根本治理。城市密集的中小企业，交通区、商业区、居住区等交织在一起，功能区混杂的局面尚未有根本的改观，建筑密度过大，人口稠密亦是污染因素之一。

近年来，济南处于经济的高速发展时期城市人口膨胀，交通规模扩大，能源消耗增加，大型新城和片区及工农业开发区和大学园区的发展等使济南市环境问题比较突出，增多的道路交通扩建工程、旧城市改造、经济开发区建设，以及居住小区、商业小区等大规模工程建设，增加了扬尘的污染。大气污染已经成为制约城市可持续发展的重要因素，直接影响人们的生活质量的提高和人们的身体健康，城市快速发展与空气质量持续改善目标的矛盾仍较突出^[51]。

4.3 地面气象条件

城市的大气环境质量主要由两方面决定：一是污染源的排放强度及分布状况，二是大气对污染物的稀释、扩散能力。污染源的状况在一定的时间范围内和地理环境下是相对稳定的，但是由于不同的气象条件对污染物的稀释、扩散能力不同，导致同一污染源排放所造成的大气污染物浓度也会相差较大，的气象条件下，因此研究气象条件对大气污染的影响具有重要意义^[52]。

影响大气污染的气象因素主要有：

1. 气象动力因素

主要是指风和湍流，它们对污染物在大气中的稀释和扩散起着决定性作用。

风包括风向和风速，风向与污染物的关系主要表现在风对污染物的水平输送上，所以风向决定了污染区的方位总是在污染源的下风向，风速是大气扩散能力的重要指标，他决定大气稀释和扩散的快慢和程度，是影响空气污染的重要条件。一般来说，风速越大，单位时间内空气污染物被输送的距离越远，大气中污染物的浓度就越小，风速越小，特别是在小风和静风时，更加不利于污染物的输送扩散，使得大量污染物堆积，造成局部大气污染。

湍流，是大气的不规则运动。风速时大时小，具有阵性的特点，在主导风向上也会出现上下左右不规则的阵性搅动，这就是大气湍流。污染物在风的作用下向下风方向飘移并扩散、稀释，同时，在湍流作用下向周围逐渐扩散，我们看到

从烟囱中排出的烟云在向下风方向飘移时，烟云很容易被湍涡拆开或撕裂变形，使烟团很快扩散。

2. 气象热力因素

主要指大气的温度层结和大气稳定度。

大气层结是指大气垂向的气温分布状况，气温的垂直分布决定着大气的稳定度，大气的稳定程度又影响着湍流的强度，是影响大气污染的一个重要因素。

在对流层内气温分布的规律是随着高度的增加，气温递减，空气上层冷下层暖；因此，大气在垂直方向不稳定时对流作用显著，能使污染物在垂直方向上扩散稀释。在近地的低层大气，有时出现气温分布与标准大气情况下的气温分布相反，即气温随高度的增加而增加的温度递增情况，称为逆温。逆温层的出现，使近地低层大气上部热、下部冷，大气稳定，不能发生对流作用，使大气污染物不能在垂直方向扩散稀释，同时，对流层底层的逆温层使扩散减弱，对污染物起到了顶盖作用，有利于污染物的积累。因而容易造成大气污染。

大气稳定度是大气垂直扩散能力的主要指标，当大气处于不稳定状态时，会促使湍流运动发展，使大气稀释扩散能力加强，有利于污染物的垂直扩散，反之当大气处于稳定状态时，会抑制湍流发展，不利于大气低层污染物的扩散。

第三，大气污染与降水有关。自然降雨、降雪对大气污染物能起到淋融和冲刷作用。在雨雪作用下，大气中的一些污染气体能够溶解在水中，降低空气中污染气体的浓度，较大的雨雪对空气污染物粉尘颗粒也起着有效的清除作用。

从季节变化角度来看，由于冬季北方降水较少，气候干燥，刮风天气较少，光照较弱，日照时间短，逆温层较厚，且温度较低，大气对流不活跃等不利于空气中污染物质扩散的因素较多。夏季由于太阳辐射很强，大气对流活动旺盛，逆温层的生成存在时间缩短，且降雨天气较多，降雨量很大，对污染物质清除作用明显，使空气污染程度相对减轻。

通过分析可以看出，冬季大气污染程度比夏季严重，表明了冬季燃煤取暖对于大气污染具有决定性的作用，但是冬季大气污染物日均浓度的欺负波动则反映了天气形势对大气污染的影响作用，可见污染排放源决定了大气的平均质量状况，而天气形势的变化则会导致大气污染物浓度上下波动。

4.4 特殊地形

地形或地面状况复杂的地区,会形成局部地区的热力环流,如山区的山谷风,滨海地区的海陆风,以及城市的热岛效应等,都会对该地区的大气污染状况产生影响。烟气运行时,碰到高的丘陵和山地,在迎风面会发生下沉作用,引起附近地区的污染。烟气如越过丘陵,在背风面出现涡流,污染物聚集,也会形成严重污染。在山间谷地和盆地地区,烟气不易扩散,常在谷地和坡地上回旋。特别在背风坡,气流作螺旋运动,污染物最易聚集,浓度就更高。夜间,由于谷底平静,冷空气下沉,暖空气上升,易出现逆温,整个谷地在逆温层覆盖下,烟云弥漫,经久不散,易形成严重污染。位于沿海和沿湖的城市,白天烟气随着海风和湖风运行,在陆地上易形成“污染带”。

济南、济宁、德州、淄博、泰安位于山东省中西部,是典型的内陆城市。济南市地势南高北低,三面环山,由此引起的山风对局地环流有着重要的影响,不利于污染物的扩散。南部山区生态环境脆弱,林地植被覆盖率低,植被发育较差;北部黄河河滩泥沙,土质松散,遇大风地面易起风沙扬尘,城市下垫面土壤风沙尘和二次扬尘均是大气颗粒物的主要来源;淄博处于鲁中山地和华北平原的过渡地带,地形较为复杂,南部为中低山区,中部为丘陵区,北部为平原区,地势南高北低形成一个南部为封闭高地,东西两翼迭岩耸立,中部低陷并向北倾伏的箕状盆地,泰安地属鲁中山区,地貌主要为山地和丘陵,海拔较高,两地的特殊的地形均不利于污染物的扩散,污染比较严重。

4.5 其他方面原因

1) 环境意识薄弱.对可持续发展战略认识不足。大气环境是人类赖以生存的不可替代资源,大气环境资源的破坏是一种不可逆的过程,恢复良好的大气环境质量要比采取措施从根本上防治大气污染付出更多的经济代价。但这种观念长期以来并没有被一些部门和一些地区充分的理解和认识。他们只考虑近期的、局部的经济发展需要,在制订一些综合的经济政策、产业政策以及城市建设发展规划中缺乏对保护大气环境的考虑,往往以牺牲环境为代价换取经济的快速发展,形成了盲目扩大生产规模、重复建设、技术装备水平低、能源资源浪费大、乡镇

企业无序发展、劣质煤炭流通失控等状况。

2) 工业发展的起点低,基础工业整体水平提高较慢,技术改造难度大,污染欠账多。工业技术和装备水平落后,资源、能源消耗高。但由于工业的整体改造受到资金的限制,迟迟不能进行整体改造和市的污染治理,相当一批技术装备落后的工业企业长期在生产中排放大量的污染物,造成严重污染。在推行清洁煤炭政策、改善能源结构的措施如煤炭洗选加工、燃煤脱硫、使用清洁能源等方面的投资力度太弱,远远不能满足需要。

3) 缺乏实用的治理技术。在大气污染治理技术和设备的研制、开发、推广和使用方面,虽然做了不少工作,但与大气污染控制的需求差距还较大。比较薄弱的领域是洁净煤技术;冶金、化工、建材等行业的工业窑炉和生产设施排放污染的治理技术;机动车机内净化技术等。实用技术的缺乏直接影响了大气污染治理的进程和效果。

第五章 措施与建议

为了改善山东省的空气质量，大气污染工作建议采取以下措施：

1、优化能源结构，提高能源效率，降低能耗

大气中污染物的浓度均与能源结构和能源消耗密切相关，以燃煤为主的能源结构是造成山东省大气污染的主要原因。山东省能源结构单一，一次能源消费中煤炭和原油占 98%以上，可再生能源开发利用的水平还比较低，因此加大新能源和可再生能源在一次能源消费结构中所占的比例，应作为能源结构调整的重点。同时加紧研究和开辟其他新的能源，如太阳能、氢燃料、地热等

山东省通过加快新能源和可再生能源开发利用，改善能源结构、降低能耗。计划到2010年，全省新能源开发利用总量达到1000万吨标准煤，清洁优质的可再生能源在一次能源消费结构中的比例由目前的不足1%提高到5%。在经济发展和资源环境的矛盾日趋尖锐的形势下，通过发展新能源和可再生能源改善能源结构成为山东的必然选择。

煤炭在山东省能源结构中均占据十分重要的地位。并且煤炭是影响目前和未来的环境质量，尤其是大气环境质量的主要原因之一，因此煤炭的清洁利用战略仍然是能源战略不可忽视的重要内容之一，一方面应该鼓励煤炭洗选加工、型煤加工和煤液化，提高煤炭转换成电、热的比重；另一方面应该理顺能源差价，切实执行优质优价，并对煤炭清洁利用采取特殊的扶持政策。

2、以污染物排放总量控制为核心，综合治理大气环境污染

山东省根据国家下达的污染物排放总量控制计划，制定污染物排放总量控制实施方案，确定了污染物的控制目标和管理措施，推进全省主要污染物总量控制工作的深入开展，加强治污排减的监督管理，保证全省污染物削减任务的顺利完成。对试生产期间污染物排放不能达标或达不到总量控制要求，不能按期通过验收的，坚决予以停产治理；对未按要求将“十一五”总量指标和削减任务分解落实到具体排污单位和项目，以及不落实国家和省有关总量减排管理规定，存在总量指标管理混乱、未经批准超期试生产现象的地区或企业，予以通报；对未按计划完成年度主要污染物总量削减任务、未按期实施 ZF“总量减排责任书”和省

重点污染治理计划项目的地区或企业，实行“企业限批”或“区域限批”。

3、贯彻可持续发展的战略，调整与优化产业结构

山东经济正处于高速增长和产业结构快速变动时期，通过产业结构的调整与优化来实现山东经济的可持续发展是一项紧迫的任务^[53]。按照可持续发展的要求，优化调整产业结构，发展高新技术产业，限制高耗能行业，用先进技术和清洁生产技术提升传统产业，重点发展低耗、高效产品；加速以高新技术产业为主的新兴主导产业的发展，进一步推动经济增长方式由粗放型向集约型转变，建立适合本省特点的经济体系，促进经济持续、快速、健康的发展

4、加强建筑施工管理，削减扬尘污染

近几年，随着城市化进程的开展，城市施工建设相继展开，旧城区改造，新城区建设，道路修整扩宽等施工建设持续不断，造成严重的扬尘污染。另外，城市生态环境差，植被覆盖率低，地面裸露容易产生扬尘，林木资源贫乏，空气自净能力弱，影响大气质量状况。

5、控制机动车的增长，减少交通废气污染

随着机动车辆数量的剧增，空气污染由煤烟型向煤炭-石油混合型发展，增加了污染控制的难度。减少交通废气污染，一方面在于改进发动机的燃烧设计和提高汽油的燃烧质量，使油得到充分的燃烧，积极推广使用清洁燃料，使机动车用油尽早向高标号、无铅化和优质化发展，从而减少有害废气^[56]。另一方面，严格控制机动车的数量，这是控制机动车排放污染的重要措施。

第六章 结 论

本文通过对 2000-2005 年山东省十七地市大气环境污染的变化特征进行了较详细的研究, 主要分析了十七地市的 2005 年的空气质量现状以及 2000-2005 年大气污染的季节和年际变化, 同时分析影响山东省大气污染变化的主要原因, 得出了如下结论:

1、2005 年山东省四个区域空气质量现状:

四大区域中, 2005 年空气质量最好的是鲁东地区, 其次是鲁北地区, 鲁西南和鲁中地区的空气质量较差。相比较而言, 十七地市中, 污染最严重的是济南市, 其次是淄博市、菏泽市、青岛市和济宁市。通过对 2005 年各地市空气质量指数的计算过程中, 可以看出 PM_{10} 是主要污染物的天数占到 74% 以上, PM_{10} 是山东省的最主要大气污染物。另外, 十七地市的重污染日主要出现在 1 月、2 月、11 月、12 月四个月份, 说明对山东省而言, 冬季燃煤取暖对空气污染的贡献值最大。另外, 也有气候方面的原因: 冬季静风和逆温等不利气象条件出现的频率较大, 不利于污染物的传输扩散, 导致污染物浓度升高, 空气质量较差。

2、2000-2005 年山东省四个区域主要大气污染季节变化特征如下:

(1) SO_2 冬季污染最严重, 这主要是因为山东省是典型的北方城市, 冬季采暖, 燃煤量增加, 相应的增加了向空气中排放的废气量, 加重污染; 另外, 冬季逆温天气出现的频率较大, 不利于污染物的输送扩散, 导致污染物浓度高。夏季浓度值较小, 主要是因为夏季大气稳定度好, 有利于污染物的输送扩散, 而且降水量大, 起到淋溶作用, 从而稀释了浓度。鲁中地区污染最严重, 冬季浓度值基本均超过国家二级标准, 特别是济南和莱芜污染最严重。

(2) NO_2 浓度季节变化特征不是很明显, 冬季浓度值略微高于其它各季, 说明山东省 NO_2 污染是冬季燃煤取暖和机动车辆尾气共同作用的结果。

(3) 冬季是 PM_{10} 污染最严重的季节, 春季是次污染季节, 说明冬季燃煤取暖是造成 PM_{10} 污染严重的最主要原因, 其次是气候因素, 春季冷空气活跃, 风速大气温回暖解冻, 地表裸露, 很容易引起扬沙或沙尘暴天气, 导致 PM_{10} 污染严重。

(4) 四个区域主要大气污染物的季节性污染: 鲁东地区大气污染最轻, 鲁

中地区污染最严重；空气质量较好的城市是威海、烟台和日照。污染最严重的城市为济南、莱芜、青岛和济宁。

3. 通过以上分析可以看出，2000-2005 年山东省四个区域主要大气污染年际变化特征如下：

(1) 2000-2005 年各城市大气污染物 SO_2 的年均值基本上都符合国家二级标准， NO_2 的年均值符合国家二级标准，且年际变化趋势不明显， PM_{10} 超标的年际和城市较多，其中，济南市 PM_{10} 污染最为严重，年均浓度值远远大于其它城市

(2) 各区域主要大气污染物年均浓度值在 2005 年明显下降，说明山东省采取大气污染治理措施已经取得明显成效。

(3) 鲁东地区三种主要污染物的年均浓度值较低，2000-2005 年四城市的 SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 的年均浓度值均未超过各自的国家二级标准，四城市的空气质量状况普遍较好。

(3) 济宁、枣庄、滨州、淄博的 SO_2 浓度相对较高，济宁的 NO_2 浓度较高，济南的 PM_{10} 浓度较高。

4. 山东省大气环境质量的变化特征与城市的发展有直接的联系，各城市的经济发展水平、能源结构、特殊地形和气候的差异，使得各个城市的大气环境污染都呈现不同的特点。空气质量的好坏与地形、气象要素和污染源等多种因素相关，是各种影响因素共同作用的结果。

参考文献

- [1] Helmut Mayer. Air pollution in cities [J]. Atmospheric Environment. 1999, 33:4029-4037.
- [2] 卢广平.东北大学博士学位论文:城市空气质量控制应用技术研究
- [3] 吴兑, 邓雪娇. 环境气象学与特种气象预报[M], 北京:气象出版社, 2001: 279-286.
- [4] 宁海文.南京信息工程大学硕士论文:西安市大气污染气象条件分析及空气质量预报方法研究
- [5] Schwartz J. Particular air pollution and chronic respiratory diseases [J]. Environ. Res. 1993,62(1):7-13
- [6] 魏复盛,胡伟,滕思江,等.空气污染与儿童呼吸系统患病率的相关分析[J].中国环境科学, 2000,20(3):2 20-224
- [7] 何友江.南京信息工程大学硕士论文:2002 年我国城市大气环境污染的区域性特征研究, 2005 年
- [8] 程继夏,边耀璋,汽车发展对城市环境的影响及环境保护对策,长安大学学报(自然科学版),2002(4): 103-105
- [9] 谢绍东,张远航,唐孝炎,我国城市地区机动车污染现状及趋势,环境科学研究, 2000(4) : 22 -26
- [10] A.J.S.McGonigle, C.L.Thomson, V.I.Tsanev, C.Oppenheimer, A simple technique for measuring power station SO₂ and NO₂ emissions, Atmospheric Environment, 2004(38): 21-25
- [11] M. Shekar Reddy, Chandra Venkataraman, Inventory of aerosol and sulphur dioxide emissions from India: I -Fossil fuel combustion, Atmospheric Environment,2002 (6): 677-697
- [12] M. Shekar Reddy, Chandra Venkataraman, Inventory of aerosol and sulphur dioxide emissions from India: II-biomass combustion, Atmospheric Environment, 2002, (36): 699-712
- [13] K.Oravisjarvi, K.L.Timonen, T.Wiikinkoski, A.R.Ruuskanen, Source

- contribution to PM_{2.5} particles in the urban air of a town situated close to a steel works, *Atmospheric Environment*, 2003 (37): 1013-1022
- [14] Lester Alfonso, G.BRaga, Estimating the impact of natural and anthropogenic emissions on cloud chemistry, *Atmospheric Research*, 2002(62): 3 3-55
- [15] Arto Puustinen, Kaarle Hameri, et al. Spatial variation of particle number and mass over four European cities. *Atmospheric Environment*. 2007, ()
- [16] Tolga Elbir, Aysen Muezzinoglu, Estimation of emission strengths of primary air pollutants in the city of Izmir, Turkey. *Atmospheric Environment*, 2004(38), 1851-1857
- [17] Indrani Gupta, Rakesh Kumar. Trends of particulate matter in four cities in India. *Atmospheric Environment*. 2006, 40:2552-2566
- [18] David M.Holland, Petruta Caragea, Richard L.Smith, Regional trends in rural sulfur concentrations, *Atmospheric Environment*, 2004(38), 1673-1684
- [19] Hang Thi Nguyen, Ki-Hyun Kim. Evaluation of SO₂ pollution levels between four different types of air quality monitoring stations. *Atmospheric Environment*. 2006, 40:7066-7081
- [20] Sotiris Vardoulakis, Norbert Gonzalez-Flesca. Spatial variability of air pollution in the vicinity of a permanent monitoring station in central Paris. *Atmospheric Environment*. 2005, 39:2725-2736
- [21] Yilmaz Yildirim, Nuhi Demircioglu, Mehmet Kobya, Mahmut Bayramoglu, A Mathematical modeling of sulphur dioxide pollution in Erzurum City, *Environment Pollution*, 2002(118), 411-17
- [22] Anu Kousa, Jaakko Kukkonen, Ari Karppinen, Paivi Aamio, A model for evaluating the population exposure to ambient air pollution in an urban area, *Atmospheric Environment*, 2002 (36):2109-2119
- [23] Aron D.Jazcilevich, Agustin R.Garcia., L.Gerardo Ruiz-Suarez, A modeling study of air pollution moderation through land-use change in the Valley of Mexico, *Atmospheric Environment*, 2002(36):2297-2307
- [24] Adam Hadley, Ralf Toumi, A simple model which predicts some non-linear features between atmospheric sulphur and sulphur emissions, *Environment*

Pollution,2002(19):365- 374

[25] SA. Abdul-Wahab, S.M. Al-Alwi, Assessment and prediction of tropospheric ozone concentration levels using artificial neural networks, *Environment Modeling and Software*,2002 (17):219-228

[26]徐祥德, 周丽, 周秀骥, 颜鹏, 翁永辉等, 城市环境大气中污染过程周边源影响域. *中国科学, D 辑*, 2004,34(10): 958-966.

[27] 张志刚, 高庆先, 韩雪琴, 郑晓军.中国华北区域城市间污染物输送研究. *环境科学研究* , 2004,17 (1):1 4-20

[28] 任阵海, 万本太, 苏福庆, 高庆先, 张志刚, 洪钟祥, 胡非, 程水源.当前我国大气环境质量的几个特征[J]. *环境科学研究*, 2004,17(1):1-6

[29] Oke TR. The energetic basis of the urban heat island: *Quart J Roy Meteor Soc*, 1982, 108:1-24.

[30] Hanna S. R., Ramsdell J. V., Cramer H. E. Urban Gaussian diffusion parameters. *Modeling the Urban Boundary Layer*. Boston: Amer Meteor Soc, 1987: 337-379.

[31] Hajime Akimoto, Hitoshi Mukai, Masataka Nishikawa, Kentaro Murano, Long-range transport of ozone in the East Asian Pacific rim region, *Journal of Geophysical research*,1996(101):1999-2010

[32]S.C.Alfaro, L.Gomes, J.L.Rajot, S.Lafon, A.Gaudichet. Chemical and optical characterization of aerosols measured in spring 2002 at the ACE-Asia supersite,Zhenbeitai, China, *Journal of Geophysical Research*, 2003(108): 8641-8650

[33] Roya Baherini, Jose L. Jimenez, Jian Wang, Richard C. Flagan. Aircraft-based aerosol size and composition measurements during ACE-Asia using an Aerodyne aerosol mall spectrometer, *Journal of geophysical research*, 2003(108):8645-8667

[34]DaleAllen, Kenneth Pichering, Michael Fox-Rabinovitz, Evaluation of pollutant out flow and CO sourced during TRACE-P using model-calculated, aircraft-based, and Measurements of Pollution in the Troposphere(MOPITT)-derived CO concentrations, *Journal of Geophysical Research*,2004(109): 1029-1038

[35] 张书余, 城市环境气象预报技术[M]. 北京:气象出版社, 2002

[36] 王素平, 太原市大气污染物浓度预测方法研究[J]. *山西大学学报(自然科学*

版), 2004, 27(3):303-305.

[37] 周势俊, 宋煌, 吴士杰. Kalman滤波法在城市空气污染预报中的应用[J].

中国环境监测, 2000, 16(4):50-52

[38] 金龙, 陈宁, 林振山, 基于人工神经网络的集成预报方法研究和比较[J].

气象学报, 1999, 57(4):198-207

[39] 金龙, 况雪源, 黄海洪, 等, 人工神经网络预报模型的过拟合研究[J]. 气象学报, 2004, 62(1):62-69

[40] 宋艳玲, 郑水红, 柳艳菊, 等. 2000~2002 年北京市城市大气污染特征分析[J]. 应用气象学报. 2005, 16(增刊): 116-121

[41] 王长科, 王跃思, 刘广仁. 北京城市大气 CO₂ 浓度变化特征及其影响因素[J]. 环境科学. 2003, 24(4):13-17

[42] 马雁军, 崔劲松, 刘晓梅, 等. 1987-2002 年辽宁中部城市群大气污染物变化特征分析. 高原气象[J]. 2005, 24(3):428-434.

[43] 王淑英, 张小玲. 北京城区 PM₁₀ 污染的气象特征[J]. 应用气象学报. 2002, 13(特刊): 177-184

[44] 赵越, 潘钧, 张红远, 等. 北京地区大气中可吸入颗粒物的污染现状分析[J]. 环境科学研究. 2004, 17(1):67-69

[45] 杜世勇, 谭晓哲, 田勇, 等. 济南市空气质量数值预报研究[J]. 环境科学研究. 2002, 15(4):20-23

[46] 刘恩莲, 闫怀忠. 济南市空气中颗粒物来源与防治对策[J]. 中国环境监测. 2005, 21(2):84-87

[47] 姜大膀, 王式功, 郎咸梅, 等. 兰州市区低空大气温度层结特征及其与空气污染的关系[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2005, 41(3):14-17

[48] 邹树峰, 薛德强, 陈艳春, 郑世芳. 不同气象业务对山东省区域划分[J]. 山东气象, 2001, 3(21):20-22

[49] 赵斌. 中国气象科学研究院硕士毕业论文: 华北地区大气污染源排放状况研究.

[50] 王明星. 大气化学(第二版)[M]. 北京: 气象出版社, 1999: 340-342.

[51] 杜世勇, 李大秋, 田勇, 解玉忠, 付新华. 济南市大气环境容量测算在调整

- 城市规划布局中的应用[C].全国城市大气环境容量核定基数研讨会论文集
- [52] 林肇信.大气污染控制工程[M].北京:高等教育出版社,1996
- [53] 王向阳.山东产业结构调整及其可持续发展[J].山东社会科学,2005,(4):75-78
- [54] 李江,梁文寿.兰州市大气污染经济损失初步估算[J].甘肃科技,2005,21(9):15-17
- [55] 郭婧,王文兴,海热提·涂尔逊.广州市酸沉降对材料破坏的经济损失估算[J].城市环境与城市生态;2004,17(3):15-17
- [56] 徐莲.北京工业大学硕士研究生毕业论文:北京市大气环境污染物污染变化规律研究

致 谢

论文是在李小明老师的悉心指导下完成的，导师朴实的工作作风，严谨的治学态度，宽厚的待人方式，给我留下了深刻的印象，跟老师的每一次交流，都给我很大的启迪。老师对我的悉心指导使我的科研能力得到很大的提高，老师的教诲使我终生受益。感谢李老师。

感谢山东省环保局的王晓明师兄对我的支持和帮助！

感谢环境学院 210 实验室的全体同学对我的热情帮助！

感谢我的家人对我学习的支持和所做的牺牲！

再一次衷心的感谢所有关心和帮助我的老师和同学，正是在他们的大力支持下和关心帮助下使我终于完成了学业。

攻读学位期间的学术论文发表情况

刘新玲，王晓明，李小明. 2000-2005 年山东东部沿海城市大气污染变化特征分析（已经被《山东大学学报理学版》接受）

刘新玲，王晓明，李小明. 2000-2005 年山东中西部五城市大气污染变化特征分析（已经被《科学技术与工程》接受）