第 26卷第 11期
2006年 11月

环 境 科 学 学 报
Acta Scientiae Circumstantiae

Vol 26, No. 11
Nov., 2006

张 菊,苗 鸿,欧阳志云,等. 2006. 近 20年北京市城近郊区环境空气质量变化及其影响因素分析[J]. 环境科学学报, 26(11): 1886 - 1892
Zhang J, Miao H, Ouyang Z Y, *et al* 2006. Ambient air quality trends and driving factor analysis since 1980's in Beijing[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 26(11): 1886 - 1892

[免审稿件]责任编辑提示:本刊欢迎广大读者针对免审稿件提出各种意见

近 20年北京市城近郊区环境空气质量变化及其影响因素分析

张 菊,苗 鸿*,欧阳志云,王效科

中国科学院生态环境研究中心系统生态国家重点实验室,北京 100085

收稿日期: 2005-04-30 **录用日期**: 2006-09-27

摘要:利用北京环境空气质量定点监测资料,研究了北京市城近郊区近 20年来环境空气质量的变化趋势及其影响因素.结果表明,从年际变化看,SO_2、降尘、B[a]P浓度显著下降,而 NO_x、CO浓度和 O_3超标情况显著上升,空气污染处于由煤烟型向机动车尾气型转变的过程中,表现出典型的复合污染特征.年内变化显示,采暖期污染比非采暖期严重,尤其 SO_2在采暖期浓度是非采暖期的 5.7倍.从空间分布上看,TSP、降尘、O_3表现为近郊区污染重于城区;SO_2、NO_x、CO表现为城区污染重于近郊区.空气污染源增加的压力与环境保护措施的相互作用是驱动北京市近 20年环境空气质量变化的主要因素.产业结构的变化、重点污染源的整治、能源结构调整、能源的清洁使用、机动车尾气排放标准的提高等对保护环境空气质量起到一定作用.

关键词:环境空气质量;趋势分析;影响因素;SO_2;NO_x;O_3;大气颗粒物;北京

文章编号: 0253-2468(2006)11-1886-07 **中图分类号**: X51 **文献标识码**: A

Ambient air quality trends and driving factor analysis since 1980's in Beijing

ZHANG Ju, MIAO Hong*, OUYANG Zhiyun, WANG Xiaoke

State Key Lab of Systems Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085

Received 30 April 2005; **accepted** 27 September 2006

Abstract: Change of the ambient air quality in the urban and suburb areas of Beijing since 1980's was analyzed. The data was referred from the long-term monitoring stations which were three stations in the urban area and four at the suburb of Beijing. The result showed that, different pollutants had different trends. SO_2 had fluctuant increase before 1998 and then declined. As a whole, it showed a downward tendency in these 20 years. However, NO_x, CO and ozone pollution also increased first then fell, taken 1998 as a watershed. But they had the significant upward tendencies in these two decades. During this period, dustfall and B[a]P continuously declined significantly. TSP, PM_{10} and Pb had no significant trends but reduce a little. The reason of air pollution had changed from coal burning pattern to mixed pattern including both traffic exhaust and coal burning. Seasonally, pollution level was heavier in heating season from November to next March, than that in non-heating season from April to October. For example, SO_2 concentration in heating season was 5.7 times high than that in non-heating season. As to the pollution spatial distribution, TSP, dustfall and ozone pollution were heavier in the suburb, while SO_2, NO_x and CO concentrations were higher in the urban area. The increasing sources caused more pollution these years, while many environmental protection policies implemented to reduce. This interaction was the main driving factor that caused the above change. Improve the energy efficiency, reduce pollution sources, use clean energy and implement advanced environmental standards had contributed to reduce the pollution, especially since 1998.

Keywords: ambient air quality; trend analysis; driving factor; SO_2; NO_x; O_3; airborne particulate; Beijing

1 引言 (Introduction)

空气污染是目前突出的城市环境问题.空气污染危害人类健康,影响植物生长,损坏文物古迹,降低能见度,给城市居民的生活带来严重的不利影响(Englert, 2004; Kan *et al*, 2004).而城市空气质量

基金项目:国家自然科学基金(No. 70573105);中国科学院知识创新课题(No. KZCX3-SW-424)
Supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 70573105) and the Project of Knowledge Innovation of the Chinese Academy of Sciences (No. KZCX3-SW-424)

作者简介:张 菊(1980—),女,硕士研究生; * 通讯作者(责任作者), E-mail: hmiao@rcees.ac.cn
Biography: ZHANG Ju (1980—), female; * **Corresponding author** E-mail: hmiao@rcees.ac.cn

与城市经济社会的发展紧密相关.发达国家大多经历了"先污染、后治理",空气质量先恶化后改善的过程 (羌宁, 2003). Baldasano等 (2003) 对 20世纪 90年代后 200多个发达国家和发展中国家主要城市的空气质量进行了比较、研究,认为目前世界范围内污染物浓度存在下降趋势,其中 SO_2浓度持续下降,NO_2浓度已接近 WHO的标准.目前污染物浓度下降的世界趋势也得益于更多更严格标准的发布.但是在较贫穷的国家和低收入水平的国家里,空气污染物的浓度仍然很高,而且随着这些国家的进一步发展,污染也更加严重.目前亚洲的颗粒物污染比较严重,而臭氧在全部分析点均超标,已成为全球性问题.

空气污染是自然和人为环境条件复杂相互作用的结果.随着工业发展和能源利用的增长,城市空气污染水平迅速升高 (Mayer, 1999). Kahn (1997) 的研究证明,制造业的发展对颗粒物有显著影响.而 Wise等 (2005) 发现气象条件的变化能影响美国西南部 40% ～70%的臭氧变化和 20% ～50%的颗粒物变化.

北京市社会经济发展迅速,1983～2003年 20余年里地区生产总值约增长 20倍,年均增长率约 15%,是美国和日本经济腾飞时期 GDP增长率的约 3.8倍和 1.6倍 (安格斯·麦迪森, 2003).同期北京人口由 954.1 ×10^4人增至 1456.4 ×10^4人,能源总消耗量由 2407.7 ×10^4 t·a^{-1}标准煤增至 4707.5 ×10^4 t·a^{-1}标准煤,机动车保有量增长了 13.9倍,给首都环境质量和生态状况带来较大压力.北京的环境空气质量不仅远远差于欧洲及北美城市,即使与国内大城市相比也相对较差 (黄成等, 2003).因此,研究北京空气污染特征及其影响因素对控制空气污染有重要科学意义.本文利用北京环境空气质量定点监测资料,试图探讨城市发展过程中空气质量变化趋势及其影响因素,以期揭示快速发展的超大城市环境空气的演变规律,并为北京空气污染控制提供科学依据.

2　研究方法 (Methods)

2.1　环境空气监测站布局

北京市城市空间布局从 1980年代中期开始一直依照同心环路思想向外扩展.三、四、五环分别于 1990年代中期、2001年、2003年建成,目前六环路即将全线通车 (王如松等, 2004).二、三、四、五、六环分别距市中心约 3～4km、6km、9km、10～15km、25km.二环以内是以旧城为主构成的城市中心区,是主要的城区.三环以外六环以内,是主要的近郊区.北京市环境空气质量长期定点监测的监测点从城市中心向外环状辐射分布,与北京市城市空间布局相吻合.城区监测点 3个,近郊区监测点 4个,其分布如图 1所示.

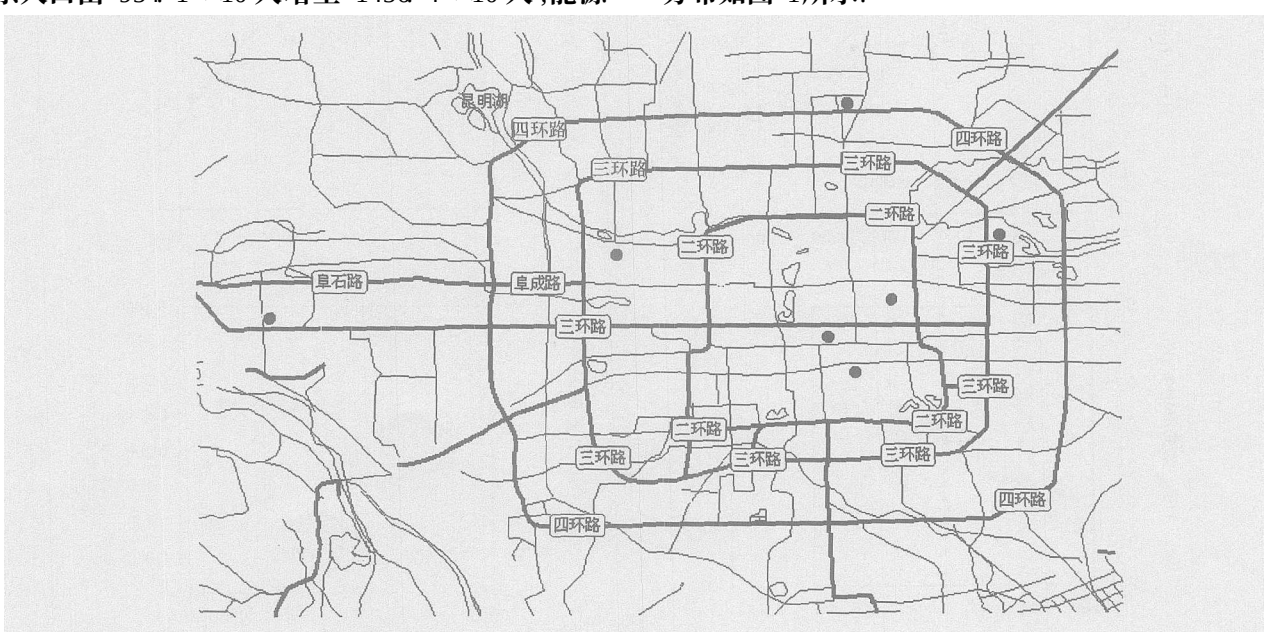


图 1　北京市城近郊区空气质量监测站点示意图

Fig. 1　Air quality monitoring stations in the urban and suburb area of Beijing

2.2 数据来源

本文采用 1983～2003年北京市环境空气质量长期定点监测数据,以 SO_2、NO_x、CO、TSP、PM_{10}、降尘、Pb、B[a]P等污染物浓度及 O_3超标天数等主要项目的各定点之均值进行年际和年内污染分析,并探讨城区与近郊区污染空间差异. 文中所用数据来自 1983～2003年的北京统计年鉴、北京市环境状况公报 (http://www.bjepb.gov.cn/bjhb/tabid/69/MoreModuleID/445/MoreTabID/66/Default.aspx)以及顾家橙的文章 (http://www.sdinfo.net.cn/hjinfo/hjinfo/beijinghb.htm)等.

2.3 分析方法

使用 Daniel趋势检验方法 (又名 Spearman秩相关系数法)分析北京空气污染物的变化趋势及其统计学显著性特征 (曲格平, 2002),公式为:

$$r_s = 1 - \left[6 \sum_{i=1}^{n} (x_i - y_i)^2 \right] / [n^3 - n] \qquad (1)$$

式中, r_s为秩相关系数; n为时间周期数; x_i为年均值从小到大排列的序数; y_i为年先后排列序数.

r_s值的正负分别表示污染的增长和下降,其绝对值的大小表示变化的强度. 将秩相关系数 r_s的绝对值与 Spearman秩相关系数统计表中的临界值 W_p进行比较. 如果 $|r_s| \geq W_p$,则表明变化趋势有显著意义.

根据北京空气污染物浓度总体变化态势,本文用 Daniel趋势检验分别分析各污染物近 20年的总体变化趋势和 1998年前、1998年后的阶段变化.

3 结果 (Results)

3.1 空气污染物的年际变化趋势

根据空气污染物浓度变化特征,北京环境空气污染变化趋势可以分为 2个阶段,即: 1983～1998年,各类污染物浓度总体表现为上升态势,环境空气质量下降; 1998～2003年,各类污染物均呈下降趋势,环境空气质量有所改善.

用 Daniel趋势检验分析各污染物变化趋势,结果表明,不同的污染物表现出不同的演变轨迹 (图 2).

近 20年降尘 ($p < 0.01$)、B[a]P ($p < 0.01$)总体呈显著下降趋势 (图 2a). 特别在 1998年前,其它污染物均呈上升趋势时,只有降尘 ($p < 0.01$)和 B[a]P ($p < 0.05$)显著下降.

SO_2 ($p < 0.05$)呈现先上升,后下降,总体显著下降趋势 (图 2b). 特别是 1998年后,下降趋势显著 ($p < 0.05$).

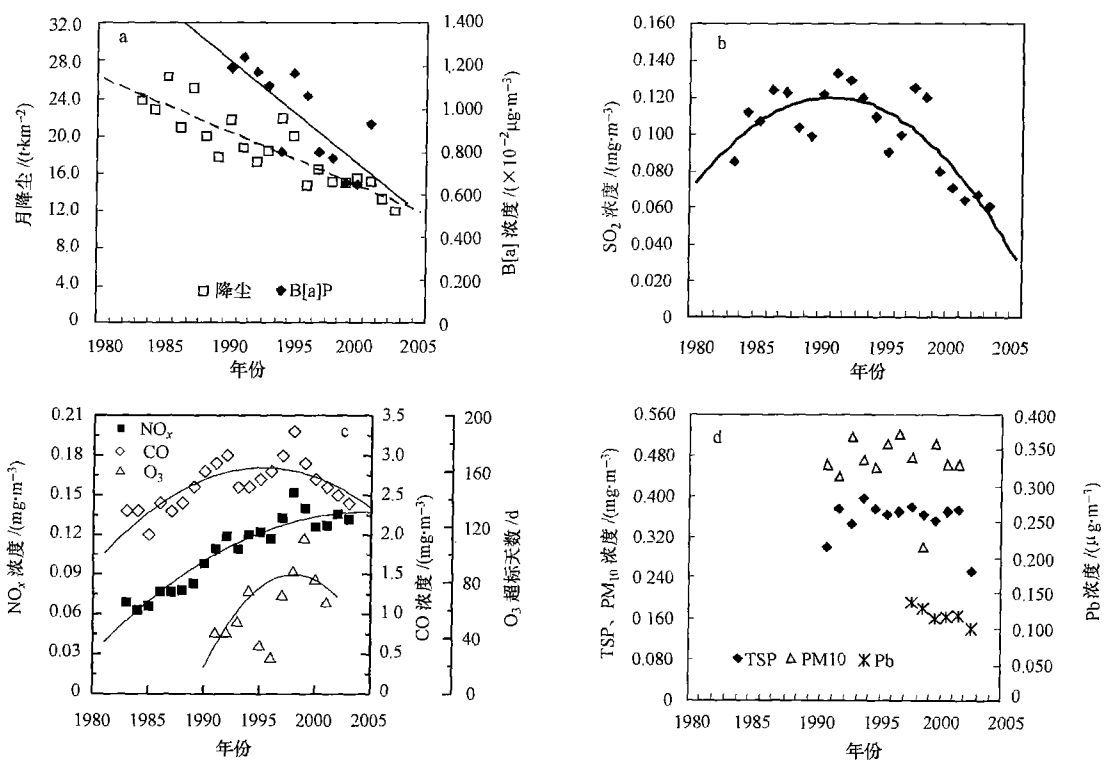


图 2 空气污染物的年际变化趋势

Fig. 2 Annual trends of pollutions

近 20年 NO_x ($p<0.01$)、CO ($p<0.05$)、O_3超标情况 ($p<0.05$)呈现先上升,后下降,总体显著上升趋势 (图 2c). 特别是 1998年前, NO_x ($p<0.01$)、CO ($p<0.01$)显著上升. 1998年后, CO 显著下降 ($p<0.01$).

而 TSP、PM_{10}、Pb均为下降趋势,但趋势不显著 (图 2d).

3.2　空气污染总体特征演变趋势

自 1983年以来,空气中不同污染物浓度表现不同的消长趋势,从而使北京空气污染的总体特征也发生改变. 1984年, NO_x/SO_2的浓度比值为 0.563, SO_2浓度高、污染重,体现煤烟型污染的特征. 近 20年 NO_x/SO_2的比值除个别年份有所波动外,总体表现出快速增加的态势, 2003年达到最高值 2.164, NO_x污染迅速增加 (图 3). 同时,由于 SO_2的浓度自 1998年以来持续下降,但仍在采暖季节普遍超标,因此,北京空气污染总体特征可以认为是处于由煤烟型向汽车尾气型转变的过渡阶段,表现为复合污染特征.

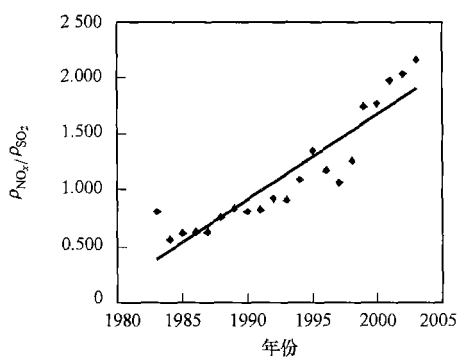


图 3　NO_x与 SO_2比值的年际变化

Fig 3　Annual change of the ratio of NO_x to SO_2

3.3　采暖期和非采暖期空气污染的比较

每年的 11月至次年的 3月是北京的供暖期. 近 20年来,北京市 SO_2、NO_x、CO、TSP、Pb、B[a]P等污染物采暖期平均浓度均显著高于非采暖期平均浓度 ($p<0.01$) (图 4). SO_2的采暖期与非采暖期差异最大,采暖期均值是非采暖期均值的 5.66倍. TSP差异最小,采暖期均值是非采暖期均值的 1.29倍.

3.4　空气污染物的空间变化

近 20年来,北京市 SO_2、NO_x、CO城区平均浓度显著高于近郊区平均浓度 ($p<0.01$),而近郊区 TSP ($p<0.05$)、降尘 ($p<0.01$)、O_3 ($p<0.01$)污染显著高于城区 (图 5). Pb、B[a]P的城区与近郊区间污染差异不显著.

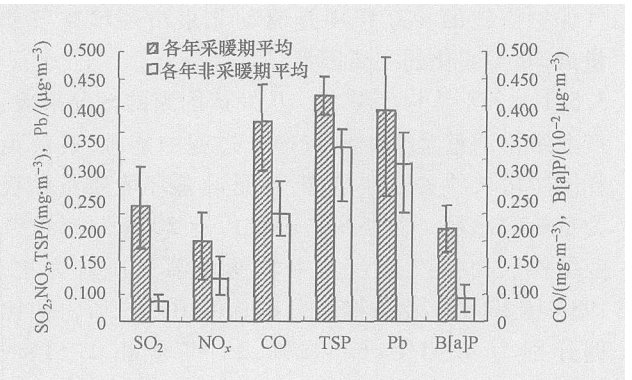


图 4　北京采暖期与非采暖期污染物浓度比较

Fig 4　Comparison of pollutant concentrations between heating and non-heating season in Beijing

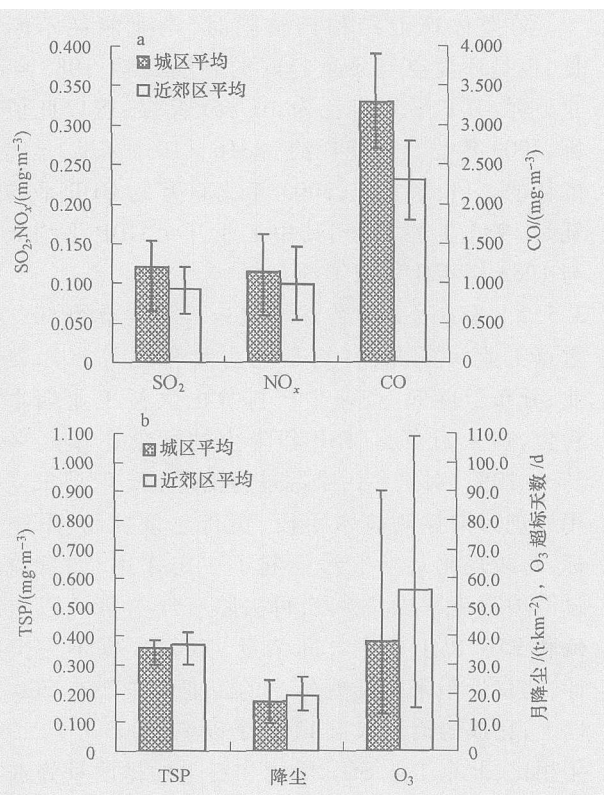


图 5　北京市城区与近郊区污染物比较

Fig 5　Comparison of pollutants between the urban and suburb area of Beijing

3.5　环境空气质量变化的影响因素

自 1983年以来,北京市人口与经济发展迅速,能源使用量与机动车数量高速增长,为环境空气质量带来了巨大压力. 与此同时,北京市也采取了一系列保护环境空气的措施,主要包括产业结构的变化、重点污染源的整治、能源结构调整、能源的清洁使用、机动车尾气排放标准的提高,以及其它生态

环境保护措施等. 空气污染源增加的压力与环境空气保护措施的相互作用是驱动北京市环境空气质量近 20年变化的主要因素.

3.5.1 产业结构的变化 从发达国家的情况来看,产业结构调整是减少经济增长过程中能源、资源消耗同步增长的关键性措施,也是改善环境质量的极为重要的途径 (曲格平, 1998). 近 20年北京市产业结构已由第二产业为主转变为第三产业为主. 1983和 2003年北京地区生产总值中三产所占的比例分别为 4.41%、64.12%、31.47%和 2.61%、35.81%、61.58%. 其中工业的比例由 56.54%降至 28.17%. 产业结构由能耗高、污染重的产业为主转变为能耗低、污染轻的产业为主,是驱动北京环境空气质量好转的因素之一.

在整体产业结构调整同时,产业能耗不断降低,也是环境空气质量趋好的影响因素. 1983年北京万元 GDP平均能耗为 10.46 t标煤,若以此值计算,2003年北京市能耗约 38316 $\times 10^4$ t标煤,是实际能耗的 8倍. 事实上,2003年北京万元 GDP平均能耗是 1983年的 3/25,其中工业万元 GDP平均能耗与 1983年相比削减了约 81%.

3.5.2 重点排放源的综合整治 北京市约 50%的重点工业污染源,特别是电力和化工等重污染企业,分布于近郊. 企业生产排放的大量工业烟尘和粉尘,造成近郊区 TSP和降尘的污染比城区多约 3%～10%. 对这些污染源进行治理、搬迁,要求其使用先进污染控制技术手段,实行总量控制、限制达标,对减轻北京空气污染起了一定作用. 如目前通过锅炉脱硫等技术手段,可去除废气中 90%以上的硫和 95%以上的尘 (邱荣贵, 2004). 据不完全统计,北京近年来搬迁或停产的工业污染源有 200个以上,完成的治理项目 1700个以上. 2003年与 1997年相比,北京工业 SO_2、烟尘和粉尘的排放量分别减少了约 54%、77%和 83%.

3.5.3 能源结构的变化与能源的清洁使用 在有组织排放中,90%的 SO_2和 80%的颗粒物由燃煤排放. 北京长期以煤为主要能源,特别采暖期用煤量是非采暖期的 2倍左右 (戴和武等, 1997),导致煤烟型污染比较严重,影响全年空气污染物浓度平均值水平. SO_2浓度近 20年的采暖期均值是非采暖期均值的 5.66倍. 而据估算,相同产热量下燃用煤炭与燃用清洁能源天然气所排放的 SO_2之比约为 119∶1,排放颗粒物之比约为 615∶1 (曲格平, 1998). 调整能源结构中煤炭的比例,以清洁能源替代煤炭,对减轻空气污染有重要作用. 近年来北京能源结构有所调整,按折合为标煤计算,原煤消耗量占能源总消耗量的比例由 2000年的 36.65%降至 2003年的 32.74%,天然气消耗的比例由 3.14%升至 5.47%. 同期 SO_2年均浓度由 0.071 mg·m^{-3}降至 0.061mg·m^{-3}, 1998～2003年间天然气供应量与 SO_2年均浓度间有显著相关关系 (图 6, $r=0.9522$, $p<0.05$).

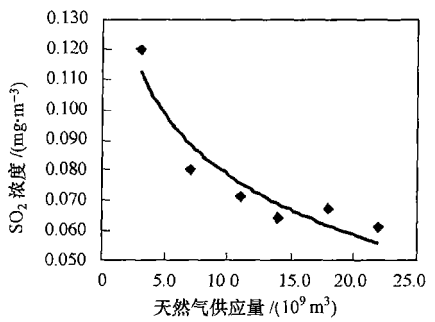


图 6 天然气供应量与 SO_2浓度关系

Fig 6 Relationship between natural gas supply and SO_2

由于能源结构很难短时间内大幅变化,因此,目前在调整结构的同时注意清洁有效地利用煤炭也是有利于提高环境空气质量的因素之一. 北京市政府 1998年颁布的《低硫优质煤及制品标准》明确要求采暖用煤含硫量小于 0.5%,与华北地区商品煤平均硫分 0.92% (戴和武等, 1997)相比,燃用相同量的煤将减少近一半的 SO_2排放. 1998～2002年北京低硫优质煤使用量与 SO_2年均浓度间有显著相关关系 (图 7, $r=0.9547$, $p<0.05$).

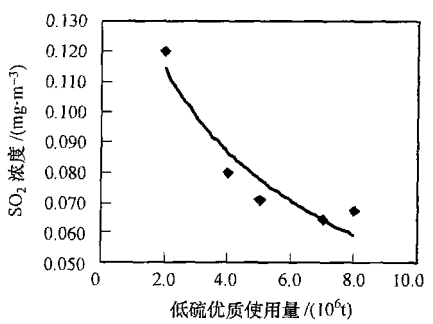


图 7 低硫优质煤使用量与 SO_2浓度关系

Fig 7 Relationship between low-sulfur coal usage and SO_2

3.5.4 机动车尾气的控制 北京市机动车保有量由 1983年的 13.4 $\times 10^4$辆增至 2003年超过 $\times 10^6$

辆,平均年递增约 15%. 1987～2002年间机动车保有量与 NO_x浓度有显著相关关系 (图 8, $r=0.8067$, $p<0.01$). 污染源的大量增加是导致空气质量下降的重要影响因素.

提高机动车尾气排放标准对污染源增加产生的压力起到了一定制衡作用. 1999年起北京执行相当于欧洲 90年代初机动车排放标准的《北京市轻型汽车排气污染排放标准》,新增轻型汽车 NO_x排放减少了 80% (金东星, 1998). 以标准实施后的 2003年与标准实施前的 1998年相比,北京市大气中 NO_x平均浓度下降了约 13%.

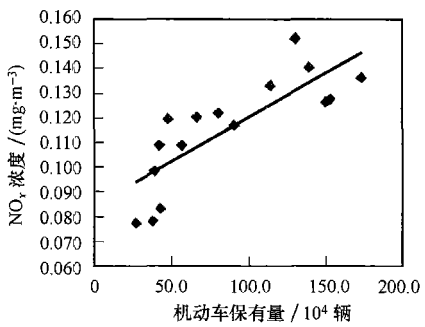


图 8　北京市大气中 NO_x与机动车保有量关系

Fig 8　Relationship between quantity of vehicles and NO_x concentration

3.5.5　其它　颗粒物是目前北京市首要污染物. 特别 PM_{10}和 $PM_{2.5}$等小颗粒物浓度高且下降趋势不显著,存在二次污染现象 (王京丽等, 2004). 除人为污染源增多外,颗粒物受自然因素影响较大. 约 20%左右的颗粒物源于土壤风沙等自然类型源 (张晶等, 1998). 北京在夏季降水多有利于改善空气质量的自然因素影响下,颗粒物浓度比年均值低约 20%～30%. 冬春季不利自然条件下,如北京采暖期约一半时间气象条件稳定、春季气候干燥多境内外风沙、冬春季植被覆盖较差等,颗粒物浓度比年均值高约 10%～30%. 2000～2002年,计入沙尘天气影响与不计入相比, PM_{10}年均质量浓度提高约 0.015 mg·m^{-3} (邱启鸿, 2004). 自然条件和人为污染的交错影响,使颗粒物污染的规律表现复杂. 如 1994年是北京近 20年来降水最丰沛的一年 (813.2mm),但由于西北三环大面积施工,以及春季多风沙天气,导致 TSP年平均浓度反而达 0.395mg·m^{-3},为近年最高. 如何有效控制颗粒物污染有待深入研究.

O_3超标情况近年来逐渐突出. 除气温高、相对湿度小、光照充足、风速较小等必要气象条件外 (Aneja *et al*, 2000; 段欲晓等, 2001),北京 O_3污染的地区分布特征还与地方性气候变化有关 (北京市地方志编纂委员会. 2003). 北京常在中午前后风向由北转南,光化学反应生成的 O_3易被西北郊的监测点监测到,呈现郊区 O_3污染比城区严重的趋势. 机动车排放的大量 NO_x、CO、CH化合物等是产生 O_3的前体物 (Sillman, 1999),近年发现 VOCs对 O_3形成也有影响 (Stein *et al*, 2005; Lin *et al*, 2005). O_3的形成机理与控制对策尚需进一步研究.

4　结论 (Conclusions)

1)北京环境空气污染变化趋势分为 2阶段: 1983～1998年总体环境空气质量下降; 1998～2003年环境空气质量有所改善. 年际变化显示, SO_2、降尘、B[a]P浓度显著下降,而 NO_x、CO浓度和 O_3超标情况显著上升,空气污染处于由煤烟型向机动车尾气型转变的过程中,表现出典型的复合污染特征. 年内变化显示,采暖期污染比非采暖期严重,尤其 SO_2采暖期浓度是非采暖期的 5.7倍. 从空间分布上看, TSP、降尘、O_3表现为近郊区污染重于城区; SO_2、NO_x、CO表现为城区污染重于近郊区.

2)空气污染源增加的压力与环境空气保护措施的相互作用是驱动北京市环境空气质量近 20年变化的主要因素. 产业结构的变化、重点污染源的整治、能源结构调整、能源的清洁使用、机动车尾气排放标准的提高等对保护环境空气质量起到一定作用.

3)颗粒物、O_3等成为目前主要污染物,对其来源、形成机理、控制对策等的研究有待加强.

责任作者简介:苗　鸿 (1965—),女,中国科学院生态环境研究中心副研究员. 主要从事生态评价和环境管理研究.

References:

Aneja V P, Adams A A, Arya S P. 2000. An observational based analysis of ozone trends and production for urban areas in North Carolina [J]. Chemosphere - Global Change Science, 2: 157—165

Baldasano J M, Valera E, Jiménez P. 2003. Air quality data from large cities [J]. The Science of the Total Environment, 307: 141—165

Beijing Annals Compilation Committee. 2003. Beijing annals · municipal administration volume · environmental protection annals [M]. Beijing: Beijing Press (in Chinese)

Dai H W, Xie K Y, Wang W L. 1997. Control of sulfur pollution from coal combustion and determination of price ratio of total sulfur in steam coal [J]. Clean Coal Technology, 3(1): 13—17 (in

Chinese)

Duan Y X, Xu X F, Zhang X L. 2001. Pollution character of surface ozone and its meteorological condition in Beijing [J]. Meteorological Science and Technology, 29(4): 15—18 (in Chinese)

Englert N. 2004. Fine particles and human health—a review of epidemiological studies [J]. Toxicology Letters, 149: 235—242.

Huang C, Wang B Y, Chen C H, *et al* 2003. Comparative study on air quality of Shanghai and other worldwide cities [J]. Energy Research and Information, 19(3): 165—171 (in Chinese)

Jin D X. 1998. Problems and solutions of traffic exhaust pollution in Beijing [J]. Beijing City Planning & Construction Review, (6): 28—30 (in Chinese)

Kahn M E. 1997. Particulate pollution trends in the United States [J]. Regional Science and Urban Economics, 27: 87—107

Kan H D, Chen B H. 2004. Particulate air pollution in urban areas of Shanghai, China: health—based economic assessment [J]. Science of the Total Environment, 322: 71—79

Lin C J, Ho T C, Chu H W, *et al* 2005. Sensitivity analysis of ground—level ozone concentration to emission changes in two urban regions of southeast Texas [J]. Journal of Environmental Management, 75: 315—323

Luo Y P. 1999. An optimization study on measures of air pollution control in Beijing [J]. Environmental Protection, (9): 26—28 (in Chinese)

Maddison A. 2003. The world economy: a millennial perspective [M]. Beijing: Peking University Press, 259 (in Chinese)

Mayer H. 1999. Air pollution in cities [J]. Atmospheric Environment, 33: 4029—4037

Qiang N. 2003. Urban air quality control and management [M]. Beijing: Science Press (in Chinese)

Qiu Q H. 2004. Influence of sand weather on air quality of Beijing and its forecast [J]. Research of Environmental Sciences, 17(1): 56—58 (in Chinese)

Qiu R G. 2004. Air quality in Beijing and desulfuration technology [J]. Energy conservation and Environmental Protection, (1): 20—23 (in Chinese)

Qu G P. 1998. Adjust industry and energy structure to solve air pollution in Beijing [J]. Energy Policy Reseach, (1): 10—13 (in Chinese)

Qu G P. China Environmental Protection Foundation. 2002. The complete volume of Chinese environmental protection work [M]. Beijing: China Environmental Science Press (in Chinese)

Sillman S. 1999. The relation between ozone, NO_x and hydrocarbons in urban and polluted rural environments [J]. Atmospheric Environment, 33: 1821—1845

Stein A F, Mantilla E, Millán M M. 2005. Using measured and modeled indicators to assess ozone-NO_x-VOC sensitivity in a western Mediterranean coastal environment [J]. Atmospheric Environment, 39: 7167—7180

Wang J L, Xie Z, Zhang Y H, *et al* 2004. The research on the mass concentration characteristics of fine particles in Beijing [J]. Acta Meteorologica Sinica, 62(1): 104—111 (in Chinese)

Wang R S, Wu Q, Bao L S. 2004. Problems and patterns of ecoscape construction in Beijing [J]. Urban Planning Forum, (5): 37—43 (in Chinese)

Wise E K, Comrie A C. 2005. Meteorologically adjusted urban air quality trends in the Southwestern United States [J]. Atmospheric Environment, 39: 2969—2980

Zhang J, Chen Z L, Wang W. 1998. Source apportionment on fine particles in atmosphere in Beijing [J]. Acta Scientiae Circumstanaiae, 18(1): 62—67 (in Chinese)

中文参考文献:

安格斯·麦迪森. 2003. **世界经济千年史** [M]. **北京**: **北京大学出版社**

北京市地方志编纂委员会. 2003. **北京志·市政卷·环境保护志** [M]. **北京**: **北京出版社**

戴和武, **谢可玉**, **王伟藜**. 1997. **控制燃煤硫污染与动力煤全硫比价划分** [J]. **洁净煤技术**, 3(1): 13—17

段欲晓, **徐晓峰**, **张小玲**. 2001. **北京地面** O_3**污染特征及气象条件分析** [J]. **气象科技**, 29(4): 15—18

黄 成, **王冰妍**, **陈长虹**, **等**. 2003. **上海市大气质量与国内外城市的比较研究** [J]. **能源研究与信息**, 19(3): 165—171

金东星. 1998. **症结与对策**: **有关治理北京汽车尾气污染的话题** [J] **北京规划建设**, (6): 28—30

罗宜平. 1999. **北京大气污染治理措施优化研究** [J]. **环境保护**, (9): 26—28

羌 宁. 2003. **城市空气质量管理与控制** [M]. **北京**: **科学出版社**

邱启鸿. 2004. **沙尘天气对北京市空气质量的影响及其预测预报** [J]. **环境科学研究**, 17(1): 56—58

邱荣贵. 2004. **北京大气环境质量与脱硫技术** [J]. **节能与环保**, (1): 20—23

曲格平. 1998. **全面调整产业与能源结构有效解决北京大气污染** [J]. **能源政策研究**, (1): 10—13

曲格平. **中华环境保护基金会编**. 2002. **中国环境保护工作全书** [M]. **北京**: **中国环境科学出版社**

王京丽, **谢 庄**, **张远航**, **等**. 2004. **北京市大气细粒子的质量浓度特征研究** [J]. **气象学报**, 62(1): 104—111

王如松, **吴 琼**, **包陆森**. 2004. **北京景观生态建设的问题与模式** [J]. **城市规划汇刊**, (5): 37—43

张 晶, **陈宗良**, **王 玮**. 1998. **北京市大气小颗粒物的污染源解析** [J]. **环境科学学报**, 18(1): 62—67