

辽中地区矿业城市环境空气质量变化 及其影响因素分析^{*}

顾康康^{1,2} 刘景双^{1†} 陈 昕³

(1 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130012; 2 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3 吉林省环境工程评估中心, 长春 130051)
(2008 年 4 月 23 日收稿; 2008 年 6 月 10 日收修改稿)

Gu KK, Liu JS, Chen X. Analysis of environmental air quality trends and driving factors of mining cities in central Liaoning, *Journal of the Graduate School of the Chinese Academy of Sciences*, 2009, 26(2): 251 ~ 257

摘 要 辽中地区矿业城市是中国重要的能源生产和重工业基地, 研究其环境空气质量变化及其影响因素有利于改善空气质量恶化的现状, 促进经济、生态协调发展. 利用鞍山、抚顺和本溪的环境空气质量定点监测数据, 采用 Daniel 的趋势检验方法分析了鞍山、抚顺和本溪 2001 ~ 2006 年市区环境空气质量的变化趋势, 并探讨了主要影响因素. 结果表明, 2001 ~ 2006 年, 辽中地区矿业城市市区空气污染较为严重, 月降尘、PM₁₀ 全部年份超标严重, SO₂ 部分年份超标, 属于典型的煤烟型污染. 鞍山市区各类污染物变化不显著, 除 SO₂ 略呈上升趋势, 其余污染物均呈下降趋势; 抚顺市区除 PM₁₀ 呈显著下降趋势 ($p < 0.1$), 其余污染物均呈上升趋势, 其中 NO₂ 呈显著上升趋势 ($p < 0.1$); 本溪市市区各类污染物均呈下降趋势. 空气污染季节和空间差异显著, 冬春季污染程度明显高于夏秋季, 工业区、交通区显著高于居民区、清洁区. 经济增长带来的能源需求压力、环境保护措施的实施, 以及各个市区独特的地理位置和气象条件的相互作用, 是辽中地区矿业城市市区空气环境质量变化的主要影响因子. 因此, 需要改善以煤炭为主的能源消费结构、加强机动车尾气排放管理、合理规划城市布局、从区域整体上提高大气环境容量, 从而改善辽中地区矿业城市环境空气质量.

关键词 环境空气质量, 变化趋势, 能源结构, 影响因素, 矿业城市

中图分类号 X51

20 世纪 80 年代以来, 随着世界人口的城市化、工业的迅猛发展, 空气污染日益成为突出的城市问题之一^[1~3], 空气污染损害人类健康、影响植物生长、损坏建筑物, 给城市居民的生活带来严重影响. 不仅如此, 城市空气质量还与城市经济社会的发展密切相关, 发达国家大多经历了“先污染、后治理”的过程, 城市空气质量也经历了先恶化后改善的过程^[4]. 中国属于发展中国家, 经济高速发展的同时也带来了一定的环境污染问题, 城市空气污染即是重要的环境问题之一. 不同学者从空气污染评价、预测到污染机理等方面, 对中国城市空气污染进行了相关研究, 使得城市空气污染问题日益成为可持续发展研究的重点和热点问题^[5~8]. 然而, 中国以往城市空气污染的研究中对于不同城市的对比研究较少, 尤其是同一类型、不同发展阶段的城市的对比研究更少. 因此, 笔者对辽中地区 3 个不同发展阶段的矿业城市的城市空气污染状况及影响因素进行相关研究, 以揭示矿业城市不同阶段城市空气质量的演变规律.

^{*} 国家重点基础研究发展 973 计划(2004CB418507)资助

[†] 通讯联系人, E-mail: liujingshuang@neigae.ac.cn

辽中地区是中国重要的能源基地,有着丰富的煤、铁、石油等资源,在此基础上发展起来众多依靠矿产采掘、加工的矿业城市,按照沈镛定义的矿业城市标准^[9],辽中地区矿业城市包括鞍山、抚顺、本溪.作为不同类型的矿业城市,抚顺以煤炭采掘为主,发展历史悠久,如今煤炭资源趋于枯竭,工业转型为石油加工,主要资源依靠进口,属于老年矿业城市;鞍山属于钢铁城市,境内铁矿石丰富,采掘业仍较发达,属于中年矿业城市;本溪属于煤铁复合体城市,境内煤炭、铁矿石已到开采末期,面临产业转型,属于中年矿业城市向老年矿业城市过渡阶段.因此,对比研究鞍山、抚顺、本溪城市空气污染状况,分析不同类型矿业城市空气污染的影响因子,不仅可为东北老工业基地矿业城市控制空气污染提供建议,而且为其走可持续发展道路提供决策依据.

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况



图 1 辽中地区矿业城市区位图

辽中地区矿业城市包括鞍山、抚顺和本溪,面积 28955km²,占辽宁省总面积的 19.63%.其中,抚顺、本溪全部,鞍山东部地区属于辽东山地丘陵地带,鞍山其他地区属于辽河平原地带.该区域为暖温带大陆性季风气候,年均温 7 ~ 10℃,年均降雨量 650 ~ 900mm,无霜期 130 ~ 170d.地表径流比较丰富,共有大中小河流 200 余条,大型河流包括外辽河、浑河、太子河、富尔江、辉发河、清河等,分别属于辽河水系和鸭绿江水系,各河流均为汇入干流后注入渤海和黄海的外流河.矿产资源丰富,矿产种类齐全,是国内外少有的矿产资源富集区之一.森林覆盖率较高,鞍山达到 48%,抚顺为 64.5%,本溪为 69.1%(图 1).2006 年,该地区人口达到 728.4 × 10⁴ 人,占辽宁省 17.05%,GDP 为 1994.14 × 10⁸ 元,占辽宁省 21.54%.第一、二、三产业产值比为 5.74:54.96:39.30,主导产业为石油加工、钢铁冶炼、建材生产和机械制造.

1.2 研究方法

本文使用 Daniel 的趋势检验方法^[10]来分析鞍山、抚顺和本溪 2001 ~ 2006 年市区环境空气质量的变化趋势及其统计学显著性特征,公式为

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

式中, r 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.其中, r 值的正负表示污染物浓度的增长和下降,其绝对值的大小表示变化的强度,与 Spearman 秩相关系数统计表中的临界值 W_p 进行比较.如果 $|r| \geq W_p$,则表明变化趋势有显著意义.

1.3 数据来源

本文采用鞍山、抚顺和本溪 2001 ~ 2006 年环境质量报告书的环境空气质量长期定点监测数据,以 SO₂、NO₂、CO、PM₁₀、月降尘等污染物浓度为评价指标,分析鞍山、抚顺和本溪市环境空气质量时空变化差异.具体数据来源于《鞍山市环境质量报告书(2001 ~ 2005 年度)》、《鞍山市环境质量报告书 2006》、《抚顺市环境质量报告书(2001 ~ 2005 年度)》、《抚顺市环境质量报告书 2006》、《本溪市环境质量报告书(2001 ~ 2005 年度)》、《本溪市环境质量报告书 2006》.

2 结果与讨论

2.1 环境空气质量评价

SO₂、NO₂、CO、PM₁₀评价标准依据《环境空气质量标准》(GB3095—1996)中Ⅱ级标准,自然降尘评价标准依据辽宁省环保局规定标准(表 1)。2001~2006 年,辽中地区矿业城市市区月降尘、PM₁₀全部年份均超标,SO₂ 部分年份超标。其中,鞍山市区月降尘超标 1.78~3.30 倍,PM₁₀ 超标 0.17~0.47 倍,SO₂ 除 2002 年达标外,其余年份超标 0.03~0.47 倍;抚顺市区月降尘超标 1.95~3.23 倍,PM₁₀ 超标 0.15~1.05 倍,SO₂ 仅 2005 年超标 0.07 倍;本溪市区月降尘超标 1.75~2.56 倍,PM₁₀ 超标 0.10~0.75 倍,SO₂ 仅 2001 年和 2002 年超标 0.18 倍和 0.13 倍。可以看出,2001~2006 年,辽中地区矿业城市市区空气污染较为严重,月降尘、PM₁₀全部年份超标严重,SO₂ 部分年份超标,属于典型的煤烟型污染。3 个城市煤炭消费量占能源消费总量的比例超过 65%,这是该地区空气污染呈现煤烟型污染的主要原因。因此,若要改变该地区煤烟型污染的现状,首先要改变目前的能源消费结构,增加清洁能源使用的比例,加强对煤炭消费带来的空气污染物的治理。

表 1 环境空气质量标准

	SO ₂ /(mg/m ³)	NO ₂ /(mg/m ³)	CO/(mg/m ³)	PM ₁₀ /(mg/m ³)	月降尘/(t/km ²)
标准	0.06	0.08	4.00	0.10	8.00

2.2 空气污染物的年际变化趋势

从图 2、表 2 可以看出,2001~2006 年,辽中地区矿业城市市区各种污染物变化趋势差异明显,鞍山市区各类污染物变化不显著,除 SO₂ 略呈上升趋势,其余污染物均呈下降趋势;抚顺市区除 PM₁₀ 呈显著下降趋势($p < 0.1$),其余污染物均呈上升趋势,其中 NO₂ 呈显著上升趋势($p < 0.1$);本溪市区各类污染物均呈下降趋势,其中 SO₂、月降尘呈极显著下降趋势($p < 0.01$),CO、PM₁₀呈显著下降趋势($p < 0.1$)。总体而言,2001~2006 年,鞍山市区空气污染物变化不显著,除 SO₂ 略呈上升趋势,其余污染物均呈下降趋势,空气质量总体上略有改善;抚顺市区仅 PM₁₀显著下降,超标污染物月降尘和 SO₂ 均呈上升趋势,空气质量有进一步下降趋势;本溪市区空气污染物均呈下降趋势,超标污染物月降尘、PM₁₀ 和 SO₂ 下降趋势显著,空气质量改善显著。

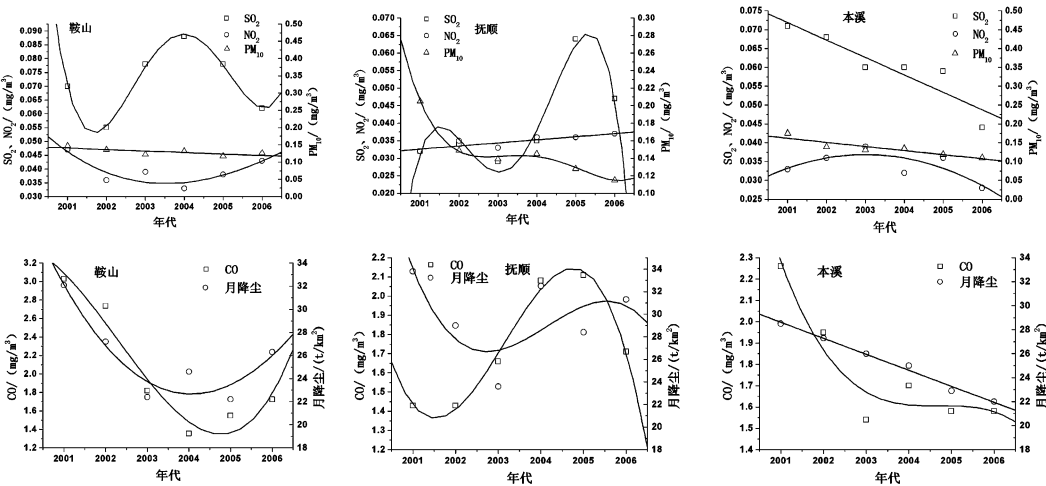


图 2 辽中地区矿业城市市区大气污染物年际变化趋势

表 2 辽中地区矿业城市市区大气污染物变化趋势检验

	SO ₂	NO ₂	CO	PM ₁₀	月降尘
$r(\text{鞍山})$	0.26	-0.14	-0.77	-0.71	-0.60
$r(\text{抚顺})$	0.72	0.94	0.83	-0.94	0.26
$r(\text{本溪})$	-1.00	-0.49	-0.94	-0.94	-1.00

2.3 空气污染物的季节变化趋势

通过对 2001 ~ 2006 年辽中地区矿业城市市区不同季节的平均污染物浓度分析(图 3),可以看出,辽中地区矿业城市市区空气污染物的季节变化差异显著,由于冬季和春季属于采暖期,能源消耗高于非采暖期的夏季和秋季,污染物平均浓度冬季和春季显著高于夏季和秋季($p < 0.01$).其中,鞍山市区 SO₂ 的季节差异最大,冬季是夏季的 7.33 倍,PM₁₀的季节差异最小,冬季是夏季的 1.43 倍;抚顺市区 SO₂ 的季节差异最大,冬季是夏季的 4.88 倍,NO₂ 的季节差异最小,冬季是夏季的 1.72 倍;本溪市区 CO 的季节差异最大,冬季是夏季的 3.33 倍,NO₂ 的季节差异最小,冬季是夏季的 1.72 倍.3 个城市市区月降尘和 PM₁₀冬春季污染较重,这既与矿业城市的燃煤有关,也与该地区的地理环境、天气气候有关,该地区冬春季的大风天气,加重了空气中的颗粒物污染,使得空气中的颗粒物浓度比其他季节高.

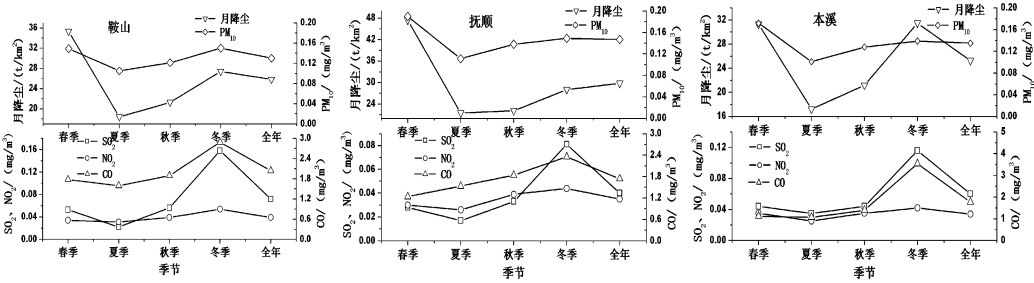


图 3 辽中地区矿业城市市区大气污染物季节变化趋势

2.4 空气污染物的空间变化

由图 4 可以看出,不同功能区空气污染物浓度差异显著,SO₂、PM₁₀和月降尘的平均浓度工业区、交通区显著高于居民区、清洁区($p < 0.01$).其中,鞍山市区 SO₂、PM₁₀和月降尘的平均浓度均表现为工业区 > 交通区 > 居民区 > 清洁区,SO₂、PM₁₀的平均浓度除清洁区达到《环境空气质量标准》(GB3095—1996)中 II 级标准,其他功能区均未达标,月降尘的平均浓度在 4 个功能区中均未达标;抚顺市区 SO₂、PM₁₀的平均浓度均表现为工业区 > 居民区 > 交通区 > 清洁区,月降尘的平均浓度均表现为工业区 > 交通区 > 居民区 > 清洁区,SO₂ 的平均浓度在 4 个功能区中均达标,PM₁₀和月降尘的平均浓度在 4 个功能区中均未达标;本溪市区 SO₂、PM₁₀和月降尘的平均浓度均表现为交通区 > 工业区 > 居民区 > 清洁区,SO₂、PM₁₀ 的平均浓度除清洁区达标,其他功能区均未达标,月降尘的平均浓度在 4 个功能区中均未达标.

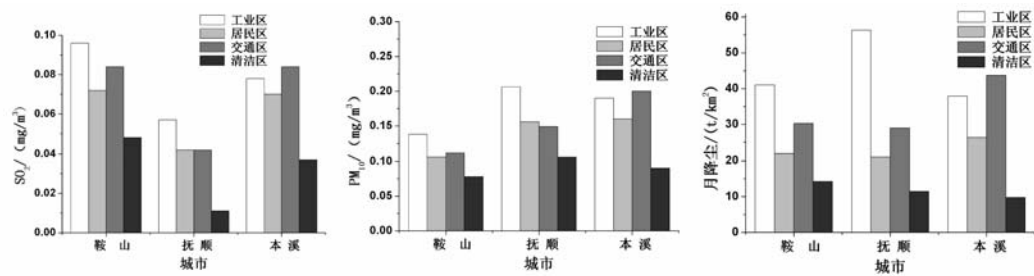


图 4 辽中地区矿业城市市区大气污染物空间分布

3 环境空气质量变化的影响因素

2001~2006年,辽中地区矿业城市市区人口与经济发展迅速,能源使用量和机动车数量高速增长,给环境空气质量带来巨大压力.同时,鞍山、抚顺和本溪为有效改善环境空气质量,采取了一系列环境保护措施.可以说,经济增长带来的能源需求压力、环境保护措施的实施,以及各个市区独特的地理位置和气象条件的相互作用,是辽中地区矿业城市市区空气环境质量变化的主要影响因子.

3.1 产业结构与能源结构

2001~2006年,辽中地区矿业城市第二产业产值占GDP比重较高,鞍山保持在55%,抚顺从60.1%下降到55.5%,本溪则从51.3%上升到60.3%.而制造业是辽中地区矿业城市工业的主要支柱产业,其比重平均达到90%以上.其中,黑色金属冶炼及压延加工业、石油加工、炼焦及核燃料加工业、非金属矿物制品业是制造业的主导产业,其工业总产值比重达到75%以上,能源消耗比重达到90%以上,空气污染物排放量比重达到70%以上.由此可见,以“高能耗、高物耗、高污染”的重工业为主导产业的产业结构,是辽中地区矿业城市空气污染的主要原因之一.

在有组织排放中,90%的 SO_2 和80%的颗粒物由燃煤排放,而辽中地区矿业城市能源结构以煤炭为主,2006年鞍山、抚顺和本溪煤炭消费总量分别达到 $876.91 \times 10^4 \text{t}$ 、 $979.82 \times 10^4 \text{t}$ 、 $609.92 \times 10^4 \text{t}$,平均占能源消费总量的65%以上.通过空气污染物年际变化分析表明,鞍山市区空气污染物变化不显著,空气质量总体上略有改善;抚顺市区空气质量有进一步下降趋势;本溪市区空气污染物均呈下降趋势,空气质量改善显著.由此可见,煤炭消费总量的大小是造成辽中地区矿业城市市区空气质量差异的主要原因.因此,控制煤炭消费总量,进行煤炭脱硫处理,加强煤炭燃烧产生的污染物治理,将是辽中地区矿业城市改善市区空气质量的首要途径.

3.2 机动车尾气排放

相关研究表明,机动车保有量与 NO_x 浓度有着显著的相关关系^[11],机动车污染源的增加是导致空气环境质量下降的重要因素.随着人口和经济的快速发展,辽中地区矿业城市机动车数量快速增长,年均增长率达到10.3%.为了降低汽车尾气排放对大气环境带来的污染,辽中地区矿业城市相继实施了《机动车污染防治办法》,汽车尾气达标率达到85%以上.利用SPSS11.5软件中的相关分析,来分析2001~2006年辽中地区矿业城市市区 NO_2 浓度与汽车尾气达标率相关性,相关系数达到 $-0.832(p < 0.05)$,表明机动车尾气排放治理的加强,有利于空气质量的好转.

3.3 环境空气保护措施

为了有效改善环境空气质量,辽中地区矿业城市采取了一系列环境空气保护措施.其中,鞍山“十五”期间完成环保投资 82.33×10^8 元,通过实施一系列重点工业污染治理工程, SO_2 、烟尘和工业粉尘的排放量比“九五”末期平均消减15%.加强汽车尾气管理,汽车尾气检验达标率由82.4%提高到94.4%,有效地降低了机动车增加对环境空气质量的压力.抚顺继续开展了望花工业区的大气污染整治,对重点污染源进行治理和搬迁,通过烟气脱硫改造工程每年减少 $\text{SO}_2 1.0 \times 10^4 \text{t}$.本溪通过重点污染源治理,2005年工业烟尘、粉尘和 SO_2 比2000年分别下降了8.7%、22.0%和8.1%.天然气、电力等清洁能源使用量逐年上升,燃料煤消耗量逐年下降,2005年单位GDP能耗 $1.12 \text{t}/10^4$ 元,相比2001年下降了55%,环境空气质量得到明显改善.

3.4 城市布局与气象条件

城市布局直接影响环境空气质量的变化,鞍山市最大的空气污染源鞍钢厂位于城区西北部,在冬季正处于主要城区的上风向,厂区内众多的、高度集中的排放筒排放的污染物对城区的环境空气质量影响显著.抚顺市区三面为低山丘陵,东西长,南北窄,当受东风气流控制时,污染物易堆积,造成西部区域污染严重.本溪的盆地地形,不利于污染物的扩散,尤其冬季污染严重.另外,不同的气象条件对空气污染物的扩散产生不同的影响,降水量、风向、逆温对环境空气的影响较大.其中,降水量与降尘量负相关

显著,即降水量越大降尘量越小,而春季降水量减少明显,加上气候干燥、沙尘暴频繁等因素,导致辽中地区矿业城市市区春季降尘污染严重。

4 结论

2001~2006年,辽中地区矿业城市市区空气污染较为严重,月降尘、 PM_{10} 全部年份超标严重, SO_2 部分年份超标,属于典型的煤烟型污染。因此,辽中地区矿业城市应改善能源消费结构,降低煤炭消费占能源总消费的比例,对煤炭的含硫量和灰分进行严格的控制,对于现有的电厂和锅炉实施安置脱硫净化装置。另外,提高市内绿化率,对城区周围堆积尾矿进行复垦,防止二次扬尘,从而改变该地区煤烟型空气污染的现状。

辽中地区矿业城市市区空气污染季节和空间差异显著,冬春季污染程度明显高于夏秋季,工业区、交通区显著高于居民区、清洁区。因此,对燃煤锅炉要提高除尘、脱硫的治理效率,同时对机动车尾气排放也要做到切实管理和控制,这样才能在冬春季燃煤量显著增大的条件下,对各项污染物做到总量控制。另外,合理规划城市布局,防止工业区和居民区混杂在一起,甚至有的居民区在工业区的下风向,从而改善城市不同功能区空气质量。

鞍山、抚顺、本溪作为辽中城市群的重要组成部分,其空气污染是城市群相互作用的结果。相关研究表明^[12],沈阳的常年主导风向为偏南风,其中SSW的频率最高,为14.6%,抚顺正好处于沈阳主导风的下方,受到沈阳大气污染物的影响。因此,辽中地区矿业城市空气污染治理不能仅考虑本地区,应该考虑整个辽中城市群的大气环境容量,从而达到区域整体的空气质量改善。

参考文献

- [1] Mayer H. Air pollution in cities. *Atmospheric Environment*, 1999, 33: 4029~4037
- [2] Kan HD, Chen BH. Particulate air pollution in urban areas of Shanghai, China: health-based economic assessment. *Science of the Total Environment*, 2004, 322: 71~79
- [3] Anthony L, Barry S, Antony B, *et al.* Reducing the healthcare costs of urban air pollution: the South African experience. *Journal of Environmental Management*, 2007, 84: 27~37
- [4] 姜宁.城市空气质量管理与控制.北京:科学出版社,2003
- [5] 王荟,王格慧,高士祥.南京市大气颗粒物春季污染的特征.中国环境科学,2003,23(1): 55~59
- [6] 车瑞俊,刘大锰,袁杨森.北京冬季大气颗粒物污染水平和影响因素研究.中国科学院研究生院学报,2007,24(5): 556~563
- [7] 邱启鸿.沙尘天气对北京市空气质量的影响及其预测预报.环境科学研究,2004,17(1): 56~58
- [8] 徐祥德,丁国安,卞林根.北京城市大气环境污染机理与调控原理.应用气象学报,2006,17(6): 815~828
- [9] 沈镭.新亚欧大陆桥沿线矿业城市发展与矿业扶贫初探.宁夏大学学报(自然科学版),1997,20(2): 90~102
- [10] 曲格平.中华环境保护基金会编.中国环境保护工作全书.北京:中国环境科学出版社,2002
- [11] 张菊,苗鸿,欧阳志云,等.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.环境科学学报,2006,26(11): 1886~1892
- [12] 马雁军,崔劲松,刘晓梅,等.1987~2002年辽宁省中部城市群大气污染物变化特征分析.高原气象,2005,24(3): 428~435

Analysis of environmental air quality trends and driving factors
of mining cities in central Liaoning

GU Kang-Kang^{1, 2} LIU Jing-Shuang¹ CHEN Xin³

(1 Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, China;

2 Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3 Appaisal Center of Environment Engineering of Jilin Province, Changchun 130051, China)

Abstract Since the mining cities in central Liaoning region are important energy production and heavy industry base in China, the research on their air quality trends and driving factors will improve the status of air quality deterioration and prompt the balanced development between economy and ecosystem. Based on the data of air quality from the long-term monitoring stations in Anshan, Fushun and Benxi, the air quality trends and driving factors of mining cities in central Liaoning during 2001 and 2006 were analyzed by Daniel’s trend test method. Results showed that: from 2001 to 2006, the urban air pollution was serious in the mining cities of central Liaoning. Based on the II standard in “The standard of environmental air quality” (GB3095-1996), the dust each month and PM₁₀ exceeded the standard all the years, the SO₂ exceeded the standard in part years, so they showed a coal smoke pollution typically. The change of various pollutants in Anshan was not clear, while the SO₂ concentration increased, and the other pollutants showed a downward trend; the PM₁₀ concentration in Fushun showed a downward trend significantly($p < 0.1$), and the other pollutants showed an upward trend, the NO₂ increased significantly ($p < 0.1$); the various pollutants in Benxi showed a downward trend. The spatial-seasonal differentiation of air pollution was significant, the pollution concentration in winter and spring was higher than that in summer and autumn, and the pollution concentration in industry and traffic areas were significantly higher than that in residential and clean areas. The main driving factors of the environmental air quality trends of the mining cities in central Liaoning region were energy demand pressures, environmental protection measures, urban unique geographical location and weather conditions. Therefor, in order to improve the air quality of the mining cities in central Liaoning region, we should improve the energy consumption structure, strengthen motor vehicle emissions management, make a rational urban layout, increase the capacity of the atmospheric environment including all the cities in central Liaoning region.

Key words environmental air quality, change trend, energy structure, driving factor, mining cities