

中国七城市环境空气质量现状及其与经济发展的关系

肖俊玲, 刘兴荣, 杨文姣

兰州大学公共卫生学院, 甘肃 兰州 730000

摘要:

[背景] 经济发展中持续的能源消耗上升以及环境恶化加剧会制约经济发展, 使得经济发展质量下降。2012年我国颁布了新的《环境空气质量标准》(GB 3095—2012), 对京津冀等74个城市开展实时空气质量监测并发布空气质量报告。

[目的] 了解2014—2017年中国7个典型城市的空气质量以及主要大气污染物的污染状况, 并分析其与经济发展的关系。

[方法] 采用空气质量等级、空气质量指数(AQI)、主要大气污染物质量浓度(后称“浓度”)描述空气质量, 并与《环境空气质量标准》(GB 3095—2012)进行比较分析。采用各城市AQI代表环境空气质量和年人均国内生产总值(GDP)代表经济发展状况, 建立环境库兹涅茨曲线(EKC)模型来分析空气质量和经济发展的关系。各城市以第一产业、第二产业、第三产业增加值代表其产业结构, 以AQI代表其空气质量, 两者进行灰色关联度分析。

[结果] 七大城市中空气质量最好的是深圳市, 2014—2017年AQI年均值最小, 为54.59。同期, 深圳市空气质量处于优良状态的比例最高, 为95.8%; 处于污染状态的比例最低, 为4.2%。6种主要大气污染物浓度均存在不同程度的超标, 其中以PM_{2.5}和PM₁₀浓度超标最为严重, 7个城市均存在超标, 其中PM_{2.5}浓度超标天数最多的是天津市, 超过二级标准天数达500 d; PM₁₀浓度超标天数最多的是西安市, 454 d超过二级标准。7个城市中, 西安、深圳、南京、天津、重庆、兰州的EKC呈“N型”, 武汉EKC呈“倒N型”。AQI与人均GDP和三大产业增加值均有较高关联度, 且与环境空气质量关联度最大的均为其年人均GDP。

[结论] 七城市主要大气污染物均存在不同程度的超标, 环境空气质量仍有待改善, 环境空气质量与经济状况的EKC呈“N型”或“倒N型”, 并且年人均GDP和产业结构对环境空气质量有着较大的影响。

关键词: 空气质量; 经济发展; 环境; 空气质量指数; PM_{2.5}; 环境库兹涅茨曲线

Status quo of air quality and its relationship with economic development in seven cities of China XIAO Jun-ling, LIU Xing-rong, YANG Wen-jiao (College of Public Health, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract:

[Background] Acceleration in energy consumption and environmental degradation constrains economic development and degrades the quality of economic development. In 2012, China issued a new “Ambient Air Quality Standard” (GB 3095–2012), conducted real-time air quality monitoring, and publicized air quality reports for 74 cities including Beijing, Tianjin, and Hebei.

[Objective] This study is designed to understand the air quality, air pollutant levels, and their relationship with economic development in seven representative cities of China from 2014 to 2017.

[Methods] Air quality was described by air quality grade, air quality index (AQI), and main air pollutant concentrations, and the results were compared with the “Ambient Air Quality Standard” (GB 3095–2012). The relationship between air quality (AQI) and economic development [annual per capita gross domestic product (GDP)] was analyzed by environmental Kuznets curve (EKC). The relationship between industrial structure (added values of the primary, secondary, and tertiary sectors) and air quality AQI was analyzed by grey correlation analysis.

[Results] Shenzhen had the best air quality among the seven cities, with a lowest annual average AQI of 54.59 from 2014 to 2017. The days with good and moderate air quality in Shenzhen

DOI 10.13213/j.cnki.jeom.2019.18724

基金项目

兰州大学中央高校基本科研业务费专项资金资助(lzujbky-2017-it31)

作者简介

肖俊玲(1995—), 女, 硕士生;
E-mail: 1559945622@qq.com

通信作者

刘兴荣, E-mail: liuxr@lzu.edu.cn

利益冲突 无申报

收稿日期 2018-11-01

录用日期 2019-03-12

文章编号 2095-9982(2019)06-0533-07

中图分类号 R122

文献标志码 A

引用

肖俊玲, 刘兴荣, 杨文姣. 中国七城市环境空气质量现状及其与经济发展的关系[J]. 环境与职业医学, 2019, 36(6): 533-539.

本文链接

www.jeom.org/article/cn/10.13213/j.cnki.jeom.2019.18724

Funding

This study was funded.

Correspondence to

LIU Xing-rong, E-mail: liuxr@lzu.edu.cn

Competing interests None declared

Received 2018-11-01

Accepted 2019-03-12

To cite

XIAO Jun-ling, LIU Xing-rong, YANG Wen-jiao. Status quo of air quality and its relationship with economic development in seven cities of China[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2019, 36(6): 533-539.

Link to this article

www.jeom.org/article/en/10.13213/j.cnki.jeom.2019.18724

accounted for 95.8% of total studied days, and the polluted days accounted for 4.2%. Six main air pollutants in the seven cities exceeded national limits with varying degrees, especially $PM_{2.5}$ and PM_{10} . Among the seven cities, Tianjin had the most days ($n=500$) when $PM_{2.5}$ was unqualified with the Grade 2 level, and Xi'an had the most days ($n=454$) when PM_{10} was unqualified with the Grade 2 level. The EKC results of Xi'an, Shenzhen, Nanjing, Tianjin, Chongqing, and Lanzhou were N-shaped, while the EKC of Wuhan was inverted N-shaped. Both per capita GDP and the added values of the three industries showed strong relationships with AQI, and annual per capita GDP showed the strongest relationship for all the seven cities.

[Conclusion] At present, the ambient air quality of the seven cities needs further improvement as main air pollutants exceed the national standard to different extents. The EKC of ambient air quality and economy is either N-shaped or inverted N-shaped. Annual per capita GDP and industrial structure have great impacts on ambient air quality.

Keywords: air quality; economic development; environment; air quality index; $PM_{2.5}$; environmental Kuznets curve

中国经济发展已由高速增长阶段转变为高质量发展。经济发展中持续上升的能源消耗以及加剧的环境恶化会制约经济发展,使得经济发展质量下降^[1]。中国城市经济的发展很大程度上依赖于能源消耗,以化石燃料为主的能源消费结构是造成城市大气污染的主要原因之一^[2]。《2017年中国生态环境状况公报》显示,2017年全国338个地级及以上城市中,239个城市环境空气质量超标,占70.7%。338个城市发生重度污染2311天次、严重污染802天次,以 $PM_{2.5}$ 为首要污染物的天数占重度及以上污染天数的74.2%。作为中国经济社会发展中具有重要意义的7个大型城市,天津、南京、深圳、西安、武汉、重庆、兰州市,其能源消耗量巨大,也是大气污染较为严重的区域。2012年我国颁布了新的《环境空气质量标准》(GB 3095—2012),新标准增加了细颗粒物($PM_{2.5}$)和臭氧(O_3)浓度限值监测指标,并对京津冀、长三角、珠三角、直辖市、省会城市以及计划单列市等74个城市进行实时空气质量监测并发布空气质量报告。在中国空气质量在线监测平台中,包含完整的空气质量指数(air quality index, AQI)及6项主要大气污染物的监测数值的时间最早为2013年12月,而2018年的数值尚未全部公布,考虑年份的完整性,本研究采用新的环境空气质量标准对2014—2017年间这七大城市的空气质量状况以及主要大气污染物的污染状况及其与经济发展的关系进行分析,为中国大气污染的预防和治理提供重要的实证依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

本次研究中,与空气质量相关的数据来源于中国空气质量在线监测分析平台和中国环境状况公报^[3-4],与经济发展相关的数据来源于各城市的统计年鉴及

国民经济和社会发展统计公报^[5-11],数据时间2014—2017年。

1.2 环境空气质量现状分析方法

采用中国空气质量在线监测分析平台所公布的7个城市的AQI及 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 SO_2 、CO、 NO_2 的日平均浓度和 O_3 8 h平均浓度,计算年平均值。通过空气质量等级的占比情况,AQI、 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 SO_2 、 NO_2 、 O_3 浓度的年均值及变化趋势以及与《环境空气质量标准》(GB 3095—2012)的比较等对空气质量进行现况描述、比较和分析。

1.3 环境空气质量与经济发展关系分析方法

1.3.1 环境库兹涅茨曲线 (environmental Kuznets curve, EKC) EKC是当前分析环境污染和经济发展之间关系的重要工具^[12]。常用的数学模型有二次多项式、三次多项式和对数函数。典型的EKC为“倒U型”,即开始时环境质量会随着人均收入增加而恶化,收入到达一定水平后环境质量又随着收入的增加而改善^[13]。本研究采用各城市AQI代表空气质量,人均国内生产总值(gross domestic product, GDP)代表经济发展状况,建立EKC模型来分析环境空气质量与经济发展的关系。建立的模型如下:

$$\hat{Y} = b_3 X^3 + b_2 X^2 + b_1 X + b_0 + \varepsilon,$$

式中 Y 表示AQI; X 表示人均GDP,元; b_0 、 b_1 、 b_2 、 b_3 为对应系数; ε 为随机误差项。

上述模型可以揭示以下7种环境空气质量和经济发展的关系:当 $b_3=0$, $b_2=0$ 时, $b_1>0$ 为正相关, $b_1<0$ 为负相关, $b_1=0$ 为零相关;当 $b_3=0$ 时, $b_2>0$, $b_1<0$ 为“U型”, $b_2<0$, $b_1>0$ 为“倒U型”;当 $b_3>0$, $b_2<0$, $b_1>0$ 时为“N型”,当 $b_3<0$, $b_2>0$, $b_1<0$ 时“倒N型”。

1.3.2 灰色关联度分析 灰色系统理论模型是一种用于研究小样本、贫信息、包含不确定问题的方法。它的基本思路是根据序列曲线几何形状的相似程度来

判断其联系是否紧密,曲线越接近,相应序列之间的关联度就越大,反之就越小^[14]。具体计算步骤如下:①确定反映系统行为特征的参考数列和影响系统行为的比较数列;②对参考数列和比较数列进行无量纲化处理;③求参考数列与比较数列的灰色关联系数;④求关联度。关联度越接近于1,说明关联程度越大。本研究以第一产业、第二产业、第三产业增加值代表各城市相应的产业结构来进行灰色关联度分析,以探究空气质量和产业结构的相关关系。

2 结果

2.1 空气质量现状

2.1.1 空气质量总体情况 图1为7个城市2014—2017年空气质量的总体情况。7个城市的空气质量等级状况存在明显的差异,其中深圳市的空气质量处于优良状态的比例最高,为95.8%;处于污染状态的比例最低,为4.2%。天津市空气质量处于优良状态的比例最低,为55.9%;处于污染状态的比例最高,为44.1%。

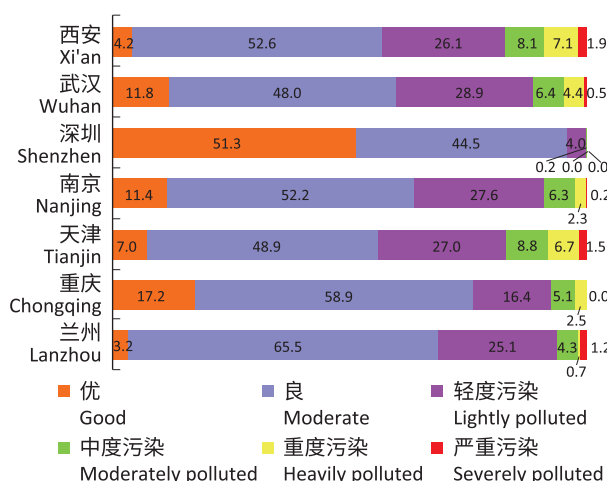


图1 2014—2017年7个城市空气质量等级占比(100%)
Figure 1 Air quality levels in seven cities of China from 2014 to 2017

7个城市AQI的分布情况见图2。由图可知西安市2014—2017年平均AQI年均值最大,为112.08。而同期深圳市平均AQI年均值最小,为54.59。平均AQI年均值从大到小排序依次为:西安市>天津市>武汉市>兰州市>南京市>重庆市>深圳市。其中武汉市、南京市AQI呈现降低的趋势,西安市、天津市、兰州市呈现出先降低后升高的趋势,深圳市则比较平稳,重庆市自2015年降低后也较为平稳。

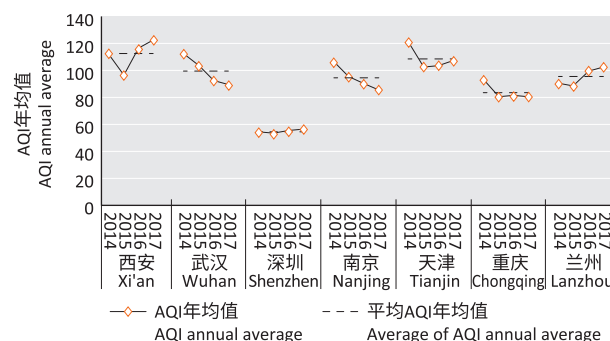


图2 2014—2017年7个城市AQI年均值分布

Figure 2 AQI annual average distribution in seven cities of China from 2014 to 2017

2.1.2 主要大气污染物 2014—2017年各城市主要大气污染物的超标情况见表1。由表可知6种污染物均出现超标,且超标情况在不同的城市存在明显差异。其中超标最普遍的污染物为PM_{2.5}和PM₁₀,7个城市均存在超标,且除深圳市较少有超标外(超标天数分别为19d和1d),其他城市4年间均有较多天数超标;其中PM_{2.5}超标天数最多的是天津市,超过二级标准天数达500d,PM₁₀浓度超标天数最多的是西安市,454d超过二级标准。除天津市存在11d SO₂浓度超标外,其他6个城市SO₂浓度均未存在超标情况。除兰州市存在CO浓度超标145d外,其他城市均很少或没有CO浓度超标。西安市、武汉市、南京市、天津市存在部分NO₂浓度超标,其中天津市NO₂浓度超标天数最多,为143d;其他城市很少或没有NO₂浓度超标。7个城市O₃浓度均存在不同程度的超标,其中超标天数最多的是南京市,227d超过二级标准,最少的是深圳市,41d超过二级标准。

表1 2014—2017年7个城市6种主要大气污染物超标情况(d)
Table 1 Days with unqualified air by six major air pollutants in seven cities of China from 2014 to 2017

城市 (City)	PM _{2.5} (μg/m ³)	PM ₁₀ (μg/m ³)	SO ₂ (μg/m ³)	CO (mg/m ³)	NO ₂ (μg/m ³)	O ₃ (μg/m ³)
西安 (Xi'an)	376	454	0	14	117	121
武汉 (Wuhan)	440	228	0	0	135	153
深圳 (Shenzhen)	19	1	0	0	5	41
南京 (Nanjing)	321	203	0	0	96	227
天津 (Tianjin)	500	336	11	17	143	163
重庆 (Chongqing)	268	131	0	0	9	82
兰州 (Lanzhou)	234	327	0	145	6	61

[注] PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂和CO的二级日平均浓度限值分别为:75、150、150、80 μg/m³和4 mg/m³, O₃的日最大8h平均浓度限值为160 μg/m³。

[Note] Grade 2 limits for daily average concentrations of PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂, NO₂, and CO are 75, 150, 150, 80 μg/m³, and 4 mg/m³, respectively; the limit for 8h average concentration of O₃ is 160 μg/m³.

图3描绘了7个城市2014—2017年6种主要大气污染物的每年超标天数的变化情况。从图中可以看出,6种主要污染物的年超标天数的变化趋势存在明显差别。除西安市、重庆市、兰州市有上下波动外,其余4个城市的 $PM_{2.5}$ 年超标天数均表现出逐年减少的趋势。其中南京市 $PM_{2.5}$ 超标天数减少幅度最大,从2014年的超标143 d到2017年的37 d,减少了106 d。西安市 PM_{10} 年超标天数上下波动;武汉市、南京市、天津市 PM_{10} 超标天数逐年减少,其中南京市 PM_{10} 超标天数减少幅度最大,从2014年的超标93 d到2017年的18 d,减少了75 d;深圳市4年间仅有2015年有1 d PM_{10} 超标;重庆市 PM_{10} 超标天数先逐年减少后增加;兰州市 PM_{10} 年超标天数则先逐年增加后减少。天津市 SO_2 超标也逐年减少且于2016年达到0超标。西安市 NO_2 年超标天数逐年增加,武汉市、南京市、天津市呈现波动。兰州市 CO 超标天数逐年增加,从2014年的超标6 d到2017年的55 d,增加了49 d;西安市、天津市均稳定于低水平。 O_3 超标天数除武汉市呈现波动和南京市较为平稳外,其余5个城市均有增加的趋势;其中西安市 O_3 增加的幅度最大,从2014年的超标7 d到2017年超标63 d,增加了56 d。

图4分别描绘了7个城市2014—2017年6种主要大气污染物的年均浓度变化情况。从图中可以看出, $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 超标最为严重,除深圳市外其他6个城市均存在超过二级标准的情况,但 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 年

平均浓度均大多表现为逐年下降趋势。其中南京市 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 年平均浓度下降幅度均为最大, $PM_{2.5}$ 年平均浓度从2014年的 $73.79 \mu g/m^3$ 到2017年的 $40.88 \mu g/m^3$,下降了 $32.91 \mu g/m^3$; PM_{10} 年平均浓度从2014年的 $123.70 \mu g/m^3$ 到2017年的 $79.07 \mu g/m^3$,下降了 $44.63 \mu g/m^3$ 。7个城市的 SO_2 、 CO 年平均浓度均在二级标准以下,未超标。除深圳市 NO_2 年均浓度未存在超标外,其他6个城市均存在超标;其中西安市、武汉市、南京市、天津市的 NO_2 年均浓度表现出先下降后上升的趋势,重庆市、兰州市表现为逐年上升的趋势。除深圳市外,其他6个城市 O_3 年均浓度均存在超标情况,并总体波动于二级标准限值水平。

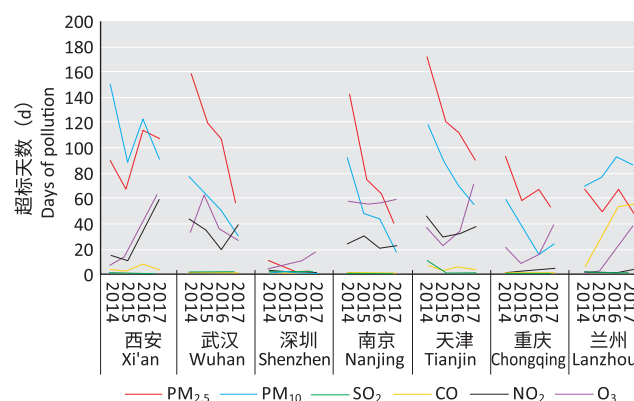


图3 2014—2017年7个城市6种主要污染物年超标天数年变化情况

Figure 3 Changes of days with unqualified air by six major air pollutants in seven cities of China from 2014 to 2017

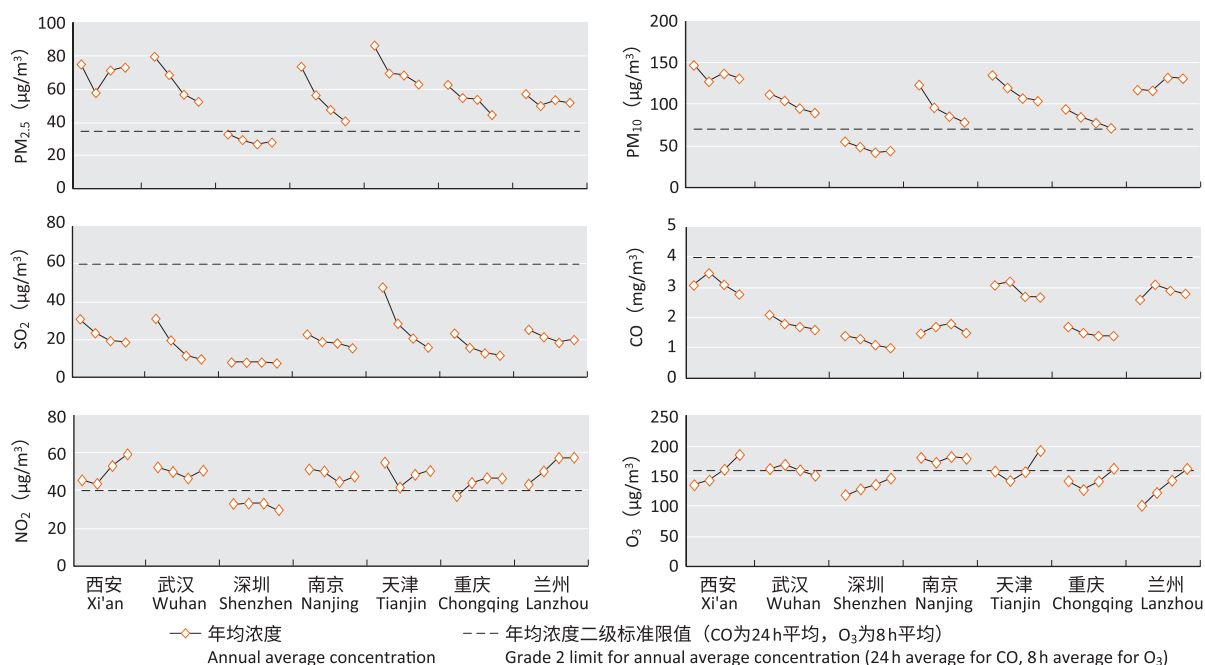


图4 2014—2017年7个城市主要大气污染物年均浓度变化情况

Figure 4 Changes of annual average concentrations of major air pollutants in seven cities of China from 2014 to 2017

2.2 基本经济状况

图5描述了7个城市2014—2017年的人均GDP的增长情况。由图可知,人均GDP最高的是深圳市,最低的是重庆市,各个城市的人均GDP均表现为上升趋势。本研究采用三大产业增加值在生产总值中的比例来反应各个城市的产业结构。图6描绘了三大产业结构增加值构成及变动情况。从图中可以看出各个城市的第一产业增加值基本稳定在低水平状态,第二产业增加值占生产总值的40%左右并且逐渐降低,第三产业增加值比例最大并且逐渐升高。其中,深圳市第一产业增加值最低,重庆市相对较高。武汉市、天津市、重庆市第二产业增加值相对较高。西安市、深圳市、南京市、兰州市第三产业增加值相对较高。

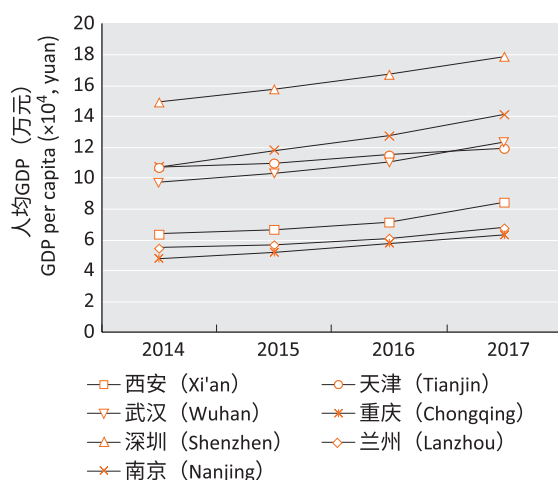


图5 2014—2017年7个城市人均GDP分布
Figure 5 Distribution of GDP per capita in seven cities of China from 2014 to 2017

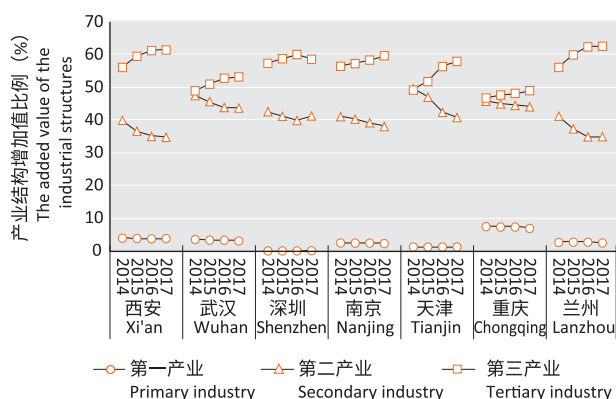


图6 2014—2017年7个城市三大产业结构增加值比例增长情况

Figure 6 Growth of the added values of the three major industrial sectors in seven cities of China from 2014 to 2017

2.3 EKC 评价

EKC曲线拟合结果显示,西安市、深圳市、南京

市、天津市、重庆市、兰州市为“倒N型”,武汉市为“N型”。拟合曲线决定系数为1,拟合度好,拟合结果可以采用。各个城市的转折点和当前所处的阶段有所不同,其中西安市、深圳市、天津市、重庆市、兰州市已经经过了两次转折,南京市还未达到第一个转折点,均正处于经济发展会带来空气质量改善的阶段。武汉市已经经过了两次转折,正处于经济发展会带来环境恶化的阶段。见表2、图7。从图中曲线的转折点和图形走向比较明显的如西安市所见,当前所在的2017年明显位于两个转折点之后,并且此时随着人均GDP的增加AQI会减小,也就是环境质量改善。

表2 7个城市环境库兹涅茨曲线模型拟合结果
Table 2 Model fitting results of environmental Kuznets curve in seven cities of China

城市 City	b_3	b_2	b_1	决定系数 (R^2)	关系类型 Shape
西安 (Xi'an)	-7.00×10^{-11}	1.00×10^{-5}	-1.0687	1	倒N
武汉 (Wuhan)	1.00×10^{-12}	-4.00×10^{-7}	0.0396	1	N
深圳 (Shenzhen)	-7.00×10^{-13}	4.00×10^{-7}	-0.0616	1	倒N
南京 (Nanjing)	-3.00×10^{-13}	1.00×10^{-7}	-0.0196	1	倒N
天津 (Tianjin)	-6.00×10^{-11}	2.00×10^{-5}	-2.4804	1	倒N
重庆 (Chongqing)	-2.00×10^{-11}	3.00×10^{-6}	-0.1936	1	倒N
兰州 (Lanzhou)	-6.00×10^{-11}	1.00×10^{-5}	-0.6426	1	倒N

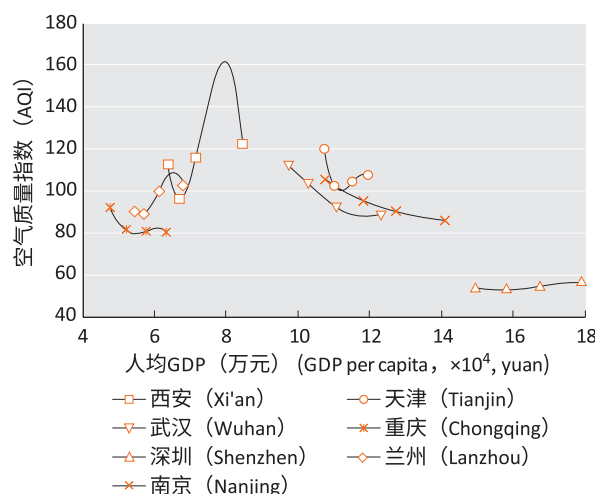


图7 7个城市环境库兹涅茨曲线模型拟合图
Figure 7 Environmental Kuznets curve in seven cities of China

2.4 灰色关联度分析

结果表明,AQI与人均GDP和三大产业增加值均有较高关联度,关联度处于0.7346~0.8334之间,且7个城市与其环境空气质量关联度最大的均为其年人均GDP。见表3。

表3 7个城市空气质量综合指数和经济因素关联度分析
Table 3 Correlation between air quality index and economic factors in seven cities of China

城市 Cities	人均 GDP GDP per capita	第一产业增加值 The value added of primary industry	第二产业增加值 The value added of secondary industry	第三产业增加值 The value added of tertiary industry
西安 Xi'an	0.823 2	0.818 7	0.812 2	0.796 7
武汉 Wuhan	0.813 1	0.807 0	0.799 2	0.788 0
深圳 Shenzhen	0.803 2	0.796 5	0.788 7	0.778 3
南京 Nanjing	0.821 8	0.813 4	0.806 7	0.797 1
天津 Tianjin	0.782 5	0.778 3	0.772 4	0.768 2
重庆 Chongqing	0.780 4	0.766 8	0.750 7	0.734 6
兰州 Lanzhou	0.833 4	0.830 5	0.825 2	0.817 6

3 讨论

本次研究结果表明, 7个城市中空气质量最好的是深圳市, 空气质量等级处于优良状态的比例达95.8%。西安市、天津市空气质量较差, 其中西安市AQI 2014—2017年均值最大, 为112.08。近年来, 武汉市、南京市AQI呈现降低的趋势, 空气质量逐渐变好, 西安市、天津市、兰州市的AQI呈现出先降低后升高的趋势。各城市6种主要大气污染物均存在不同程度的超标, 其中以PM_{2.5}和PM₁₀超标最为严重, 但多数城市的PM_{2.5}和PM₁₀年超标天数和年平均浓度均有逐年下降的趋势。多地区研究结果表明, 当前影响我国环境空气质量最主要的大气污染物依旧是PM_{2.5}和PM₁₀^[15-17]。有研究表明气象因素、地形因素、能源消耗和供暖对空气质量存在重要影响^[18-21]。深圳市临海, 风和降水较多, 有利于大气污染物的扩散和沉降。西安市身居内陆, 降水较少, 不利于大气污染物的沉积。天津市处于华北地区, 地理上两面环山, 不利于大气污染物的扩散。加上西安市和天津市处于北方, 属于冬季集中供暖的城市, 而集中供暖的主要能源依旧是煤炭, 所以大气污染物的产生和排放增加。除自身原因外, 管理部门应加大环境空气质量的监测和治理力度, 方能有效改善环境空气质量。

经济状况中人均GDP最高的是深圳市, 最低的是重庆市, 各个城市的人均GDP均表现为上升趋势。产业结构中, 各个城市的第二产业增加值比例虽有逐年减小趋势, 但仍然占据较大比例。EKC自提出后, 多专家学者对此进行了实证研究, 有的支持“倒U型”, 也

有结论显示呈“N型”“倒N型”线性等, 研究的地区不同、选取指标不同可能会出现不一样的结果^[13, 22-23]。本次研究中, 西安市、深圳市、南京市、天津市、重庆市、兰州市EKC呈“倒N型”, 即开始环境空气质量会随着经济增长而恶化, 随后又会随着经济增长而改善, 之后再次恶化。武汉市EKC呈“N型”, 即开始环境空气质量会随着经济增长而改善, 随后又会随着经济增长而恶化, 之后再次改善。拟合曲线决定系数 R^2 均为1, 可能因为时间轴较短, 数据不充分所致。本次研究结果显示, AQI与人均GDP和三大产业增加值均有较高关联度, 影响各个城市环境空气质量的因素不尽相同, 但7个城市与其环境空气质量关联度最大的均为其年人均GDP。产业增加值对空气质量的影响即反映产业结构对空气质量的影响。目前国内已有许多针对产业结构对空气质量影响的研究, 比如有研究对环保部重点监测城市分别构建产业合理化和高度化指标与空气质量构建联立方程模型, 研究了产业结构优化及其交互作用对城市空气质量的影响, 结果显示产业结构合理化和高度化, 会带来城市空气质量的改善^[24]。针对个别城市或者区域的研究也得到相似的结果。有研究选取北京市2010—2015年各行业能源消费量和废气排放量数据, 进行灰色关联度分析, 发现空气质量的变动不仅与产业结构的能量消费和各行业比例有密切关联, 还与产业结构的空间布局有着很高的相似度^[25]。同样, 本次研究由于AQI数据有限, 故EKC的拟合和灰色相关结果均仅表示这几年的情况。要更好地揭示环境空气质量与经济发展或产业结构的关系有待于增加更多的数据, 加长研究的时间轴, 以进行更深层次的分析。

不论EKC是“N型”还是“倒N型”, 对于经济发展会带来环境空气质量改善的过程, 我们都没有理由认为它会自发发生。因此, 政府层面要制定更严格的环境质量标准并严格贯彻执行, 要健全大气污染防治法并进行严格监督管理。对于产业结构对环境空气质量的影响, 要调整优化产业结构, 推动产业转型升级, 企业要提高其科技创新能力, 发展更清洁的生产技术。实现经济和环境的双赢, 才能实现建设美丽中国的目标。

参考文献

[1] 刘慧媛. 能源、环境与区域经济增长研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2013.

- [2] 高彩艳, 连素琴, 牛书文, 等. 中国西部三城市工业能源消费与大气污染现状 [J]. 兰州大学学报 (自然科学版), 2014, 50 (2): 240-244.
- [3] 中华人民共和国生态环境部. 2017 中国生态环境状况公报 [EB/OL]. [2018-10-10]. <http://www.mee.gov.cn/hjzl/zghjzkqb/lnzghjzkqb/>.
- [4] 中国空气质量在线监测分析平台历史数据. 空气质量历史数据查询 [EB/OL]. [2018-10-10]. <https://www.aqistudy.cn/historydata/>.
- [5] 西安市统计局. 2018 西安统计年鉴 [EB/OL]. [2018-10-10]. http://tjj.xa.gov.cn/ptl/def/def/index_923_6528_ci_trid_4417083.html.
- [6] 武汉市统计局. 2017 年武汉市国民经济和社会发展统计公报 [EB/OL]. [2018-10-10]. <http://tjj.wuhan.gov.cn/details.aspx?id=3957>.
- [7] 深圳市统计局. 深圳统计年鉴 2018 [EB/OL]. [2018-10-10]. <http://tjj.sz.gov.cn/>.
- [8] 南京市统计局. 南京市 2017 年国民经济和社会发展统计公报 [1] [EB/OL]. [2018-10-10]. <http://tjj.nanjing.gov.cn/>.
- [9] 天津市统计局. 2017 年天津市国民经济和社会发展统计公报 [EB/OL]. [2018-10-10]. http://stats.tj.gov.cn/Category_44/Index.aspx.
- [10] 重庆市统计局. 2017 年重庆市国民经济和社会发展统计公报 [EB/OL]. [2018-10-10]. <http://www.cqjtj.gov.cn/>.
- [11] 兰州市统计局. 2017 年兰州市国民经济和社会发展统计公报 [EB/OL]. [2018-10-10]. <http://tjj.lanzhou.gov.cn/>.
- [12] 张文杰. 江苏省经济增长与环境质量关系研究 [D]. 南京: 南京大学, 2018.
- [13] 罗岚, 邓玲. 我国各省环境库兹涅茨曲线地区分布研究 [J]. 统计与决策, 2012 (10): 99-101.
- [14] 尹春华, 顾培亮. 我国产业结构的调整与能源消费的灰色关联分析 [J]. 天津大学学报, 2003, 36 (1): 104-107.
- [15] 邱天韵. 成都市空气污染成因及对策探析 [J]. 新西部, 2017 (11): 21-22, 42.
- [16] 张金谱, 梁桂雄, 冯彪, 等. 广州市 2016 年空气质量预报效果评估 [J]. 广州环境科学, 2017, 32 (2): 1-4.
- [17] 张存厚, 李福胜, 朝鲁门, 等. 呼和浩特市空气质量状况及与气象因子相关性分析 [J]. 干旱区资源与环境, 2018, 32 (2): 87-93.
- [18] 潘琳. 基于灰色系统的空气质量变化及影响因子分析 [D]. 天津: 天津大学, 2012.
- [19] 罗琳. 我国 31 个省会城市空气质量指数的分布特征及其与气象因素的关系 [D]. 重庆: 重庆医科大学, 2017.
- [20] 蔡怡静, 李太平. 城市空气质量影响因素的实证分析 [J]. 环境保护与循环经济, 2015, 35 (2): 65-68, 71.
- [21] 肖悦, 田永中, 许文轩, 等. 中国城市大气污染特征及社会经济影响分析 [J]. 生态环境学报, 2018, 27 (3): 518-526.
- [22] 李瑞娥, 张海军. 中国环境库兹涅茨曲线的变化特征 (1981—2004) [J]. 西安交通大学学报 (社会科学版), 2008, 28 (4): 35-43.
- [23] 虞依娜, 陈丽丽. 中国环境库兹涅茨曲线研究进展 [J]. 生态环境学报, 2012, 21 (12): 2018-2023.
- [24] 孙坤鑫, 钟茂初. 环境规制、产业结构优化与城市空气质量 [J]. 中南财经政法大学学报, 2017 (6): 63-72, 159.
- [25] 张帅. 北京市产业结构调整与空气质量变动的关联研究 [D]. 北京: 首都经济贸易大学, 2017.

(英文编辑: 汪源; 编辑: 陈非儿, 丁瑾瑜; 校对: 王晓宇)