

Atmospheric Environmental Conditions and Sustainable Development Countermeasures of Zhengzhou City

Lei Liu, Ruiqin Zhang*, Nan Jiang, Zhichao Tan

The College of Chemistry and Molecular Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou
Email: lily826628@126.com, *rqzhang@zzu.edu.cn

Received: Jan. 25th, 2013; revised: Feb. 21st, 2013; accepted: Mar. 2nd, 2013

Copyright © 2013 Lei Liu et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: Based on the statistical data of economic increasement and atmospheric pollution indicators from 2005 to 2011 in Zhengzhou City, the interrelation between per capita GDP and the emissions of Sulfur dioxide, nitrogen oxides, inhalable particulate matter (PM₁₀, PM_{2.5}) and carbon dioxide is analyzed and the simulation model is also established. The result shows that Zhengzhou is still in the industrial period, with the increase of per capita GDP, the emissions of the sulfur dioxide and carbon dioxide have been mitigated partly. But the emissions of nitrogen oxides and inhalable particulate matter are still in the increasing trend in the long term. At last, some suggestions for healthy and harmonious development between the economy and atmospheric environment are put forward in Zhengzhou City.

Keywords: Atmospheric Environment; Per Capita GDP; Environmental Kuznets Curve; AQI; Sustainable Development

郑州市大气环境状况及可持续发展对策

刘 磊, 张瑞芹*, 姜 楠, 谭智超

郑州大学, 化学与分子工程学院, 郑州
Email: lily826628@126.com, *rqzhang@zzu.edu.cn

收稿日期: 2013年1月25日; 修回日期: 2013年2月21日; 录用日期: 2013年3月2日

摘 要: 根据 2005~2011 年郑州市经济发展主要指标和大气环境污染指标的统计数据, 分析了郑州市人均 GDP 与二氧化硫、氮氧化物、可吸入颗粒物(PM₁₀、PM_{2.5})及二氧化碳排放量的相关关系, 并建立了经济发展与大气环境污染之间的模拟模型。结果表明: 郑州市处于工业时期, 随着人均 GDP 的增加, 二氧化硫和二氧化碳的排放得到了一定程度的缓解, 但是氮氧化物和可吸入颗粒物的排放从长期看还处于升高趋势。最后对郑州市经济与大气环境的可持续发展问题进行了探讨, 提出了经济和环境健康协调发展的政策建议。

关键词: 大气环境; 人均 GDP; 环境库兹涅茨曲线; AQI; 可持续发展

1. 引言

随着人均收入的增加, 环境污染由低趋高, 环境恶化程度随经济的增长而加剧; 当经济发展达到一定

*通讯作者。

水平, 到达某个临界点或称“拐点”以后, 随着人均收入的进一步增加, 环境污染又由高趋低, 其环境污染的程度逐渐减缓, 环境质量逐渐得到改善, 这种现象被称为环境库兹涅茨曲线(EKC 曲线)。

近年来,国内外的一些研究学者根据 EKC 曲线,分析了具体地区的经济发展与环境问题^[1-5]。Cole 等^[1]利用 EKC 曲线对美国的研究结果显示,在较高的经济发展阶段,经济增长有助于环境质量状况的改善。李春生等^[2]以河南省矿业城市焦作为例,建立了人均 GDP 与主要环境污染物排放量的模型。胡明秀等^[3]分析了人均 GDP 与工业“三废”污染物排放量之间的相关关系,并建立了两者之间的计量模型。夏永久等^[4]运用“环境库兹涅茨曲线”结合有关计算,划分出兰州市近年来经济增长与环境污染演进阶段过程,为兰州市的环境政策评价提供数量依据。王西琴等^[5]以经济增长与环境污染水平计量模型-环境库兹涅茨曲线为理论基础,分析天津市经济增长与环境污染之间的关系,呈现出“U型+倒U型”的曲线形态。

郑州市是河南省省会,作为中原经济区主要发展城市,随着经济的快速增长,大气环境问题可能会更严重,这将直接影响到郑州的可持续发展,因此研究郑州经济增长与大气环境的相关关系非常重要。

2. 研究区域概况

2.1. 郑州市经济发展状况及城市化进程

郑州市是河南省的省会,辖 12 个县(市)、区,其中包括 6 个区、5 个县级市、1 个县。2012 年的统计资料^[6]显示:郑州市总面积 7446.2 平方公里,建成区面积 354.7 平方公里;2011 年年末全市总人口达 885.7 万人;全市生产总值 4912.7 亿元,比上年增长 13.2%,分别高于全省、全国 1.5 个和 4 个百分点。规模以上工业增加值完成 2340 亿元,增长 22%。全社会固定资产投资完成 3000 亿元,增长 24.2%。

近年来,经济全球化和区域经济一体化深入发展,国家颁布的《国务院关于支持河南省加快建设中原经济区的指导意见》加快推进了中原经济区新型工业化、城镇化、农业现代化进程,以郑州为代表的中原经济区城市化进程迎来了前所未有的发展机遇^[7]。城市化是一个复杂、系统、全面的转换过程,是社会发展的必然趋势,也是社会进步的一个重要标志。城市化包括经济城市化、产业结构城市化、人口城市化、空间城市化、生活方式城市化以及文明程度城市化等多个方面^[8]。在今后相当长的时期内,城市化将会是郑州经济发展的主要动力及经济增长的中心环节^[7]。

2.2. 郑州市大气环境状况

郑州市气候属北温带大陆性季风气候,具有四季分明、雨热同期、干冷同季的气候特征。全年主导风向 SSE,冬季主导风向 WNW^[9]。2010 年河南省环境公报显示:2010 年郑州市工业废气排放总量为 3165 亿立方米,工业废气排放中 NO_x 排放量 14.5 万吨,SO₂ 11.7 万吨,工业烟尘 4.5 万吨,工业粉尘 3.1 万吨。当年郑州市城区环境空气污染物污染负荷系数为:SO₂ 为 0.34、NO₂ 为 0.22、可吸入颗粒物为 0.44^[10],大气环境主要污染物为可吸入颗粒物。而且,随着经济的持续快速发展,能源消费的不断攀升,郑州市大气环境呈现出以煤烟型污染和机动车尾气的光化学污染共存的复合型污染,使得城市环境空气中细粒子和臭氧浓度不断增高。这对于社会经济的发展造成不利影响,并且严重危害公众健康。在季节分布上呈现冬季污染最重,夏季污染较轻的趋势^[11]。文德振^[12]采用 A-P 值法和多源模型法对郑州市大气环境中 NO₂、SO₂、PM₁₀ 的环境容量进行了计算,结果分别为 12.4755、6.2812、6.3259 万吨/年。可以看出,郑州市 2010 年的大气排污量高于大气环境容量测算的结果,其中,NO₂ 和 SO₂ 排放量分别高于约 16%和 86%。近年来,郑州市空气污染特别是颗粒物污染的加重,灰霾天气频繁发生,已经严重影响到市民的正常生活。郑州市的大气环境污染已经达到相当严重的程度。

大气是生态系统的重要组成部分,也是人类生存不可或缺的元素^[13]。但是随着社会经济的发展,城市化进程加快,城市人口日益膨胀,机动运输的快速发展,使得大气污染日趋加重。因此如何协调郑州市大气环境和经济发展的关系就成了迫在眉睫的问题。

3. 郑州市经济发展与大气环境污染分析模型

3.1. 研究方法

3.1.1. 指标与数据的选取

本文选取人均 GDP 作为郑州市经济发展指标。而空气污染指数(API)和空气质量指数(AQI)相比,AQI 采用的标准更严、污染物指标更多,因此根据 AQI,选取了 SO₂、NO_x 排放量和 PM₁₀、PM_{2.5} 质量浓度作为大气环境指标的典型代表,另外 CO₂ 的排放

对于气候变化及低碳城市发展有其深远的影响,也应考虑在内。

与年代久远的数据相比,近期数据对郑州市未来的发展更具指导意义,因此选取 2005~2011 年郑州市经济发展指标^[14]和环境质量指标^[15,16]。

表 1 数据显示,其远远超出了中国的环境空气质量标准(GB3095-2012)。单以 PM₁₀、PM_{2.5} 来比较,环境空气质量标准(GB3095-2012)中 PM₁₀ 年平均二级质量浓度限值为 70 μg/m³、PM_{2.5} 为 35 μg/m³,而表中

PM₁₀ 的数值超出了 60%左右、PM_{2.5} 则超出了 100%。因此有必要对经济发展与大气环境质量的相关关系做进一步的研究。

3.1.2. 模型建立

本文以人均 GDP 为自变量(x),分别以 SO₂、NO_x、CO₂ 排放量和 PM₁₀、PM_{2.5} 质量浓度几个大气环境指标为因变量(y),借助 EXCEL 软件进行 3 次曲线回归模拟。结果见图 1~4。

Table 1. The per capita GDP and the atmospheric environmental pollutants emissions of Zhengzhou City during 2005-2011
表 1. 郑州市 2005~2011 年人均 GDP 与大气环境污染物排放量

年份	人均 GDP ^[14] /元	SO ₂ 排放量 ^[15] /万吨	NO _x 排放量 ^[15] /万吨	CO ₂ 排放量/万吨	PM ₁₀ 质量浓 ^[16] /μg/m ³	PM _{2.5} 质量浓度/μg/m ³
2005	23,320	17.1	-	5510	109	69*
2006	27,956	16.5	11.5	6530	112	71*
2007	34,063	16.2	16.7	7750	108	68*
2008	40,617	14.5	12.9	8790	99	74**
2009	44,237	12.7	12.8	9070	100	78**
2010	47,608	13.3	14.9	10,700	111	79**
2011	56,086	11.69	21.02	8510	104**	80**

注: 1) CO₂ 的计算方法见文献[17]; 2) PM₁₀ 数据来源见文献[16]; 3) *基于 PM_{2.5} 与 PM₁₀ 的比值^[18-22]计算; 4) **两个监测点的实测值。

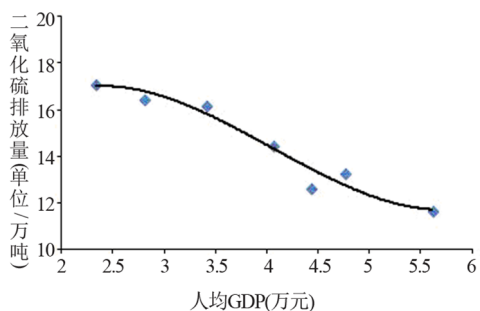


Figure 1. The chart of the relationship between the sulfur dioxide emission and the per capita GDP

图 1. 二氧化硫排放量与人均 GDP 变动曲线

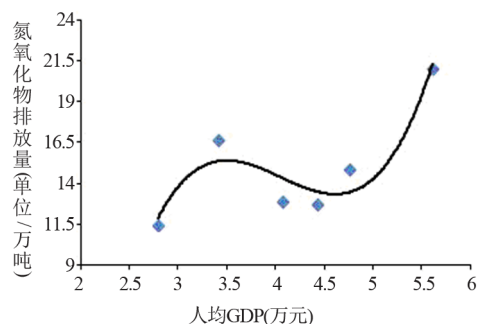


Figure 2. The chart of the relationship between the nitrogen oxide emissions and the per capita GDP

图 2. 氮氧化物排放量与人均 GDP 变动曲线

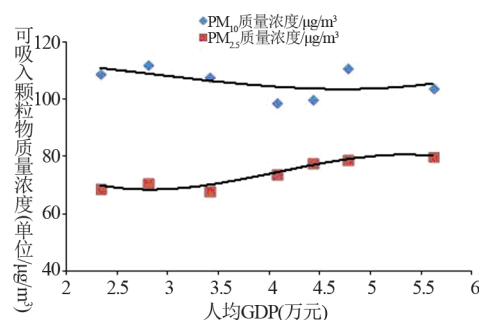


Figure 3. The chart of the relationship between the mass concentration of inhalable particulate matter and the per capita GDP

图 3. 可吸入颗粒物质量浓度与人均 GDP 变动曲线

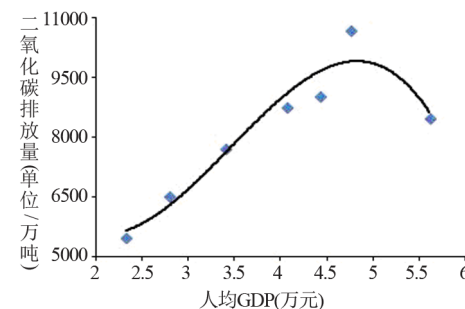


Figure 4. The chart of the relationship between the carbon dioxide emissions and the per capita GDP

图 4. 二氧化碳排放量与人均 GDP 变动曲线

3.2. 模拟结果分析

3.2.1. 二氧化硫与人均 GDP

图 1 中人均 GDP 与 SO₂ 排放量之间的三次曲线趋势模型为:

$$y = 0.294x^3 - 3.574x^2 + 12.081x + 4.5398, R^2 = 0.9556;$$

该曲线处于环境库兹涅茨曲线右侧, 图中显示, 随着人均 GDP 增加, SO₂ 排放量呈明显的下降趋势, 从 2005 年的 17.06 万吨下降到 2011 年的 11.69 万吨, 这主要得益于郑州市采取的一系列 SO₂ 减排措施, 包括拆除或改制市区 10 t 以下燃煤大锅炉, 开展电厂脱硫治理工作等。郑州市能源消费总量呈现出逐年增加趋势, 能源结构以煤炭为主, 但煤炭所占比重逐年下降, 尤其是 2009 年, 二氧化硫排放量比前几年有较大幅度的下降, 环境空气中的二氧化硫浓度随之明显下降。

3.2.2. 氮氧化物与人均 GDP

图 2 中人均 GDP 与 NO_x 排放量之间的三次曲线趋势模型为:

$$y = 2.9886x^3 - 36.363x^2 + 144.7x - 173.74, R^2 = 0.8897;$$

其曲线特征符合环境库兹涅茨曲线, 图中显示, 人均 GDP 在 23,320 元~34,063 元, NO_x 排放量呈升高趋势。随着人均 GDP 的增加, 氮氧化物排放量开始下降, 在人均 GDP 为 40,617 元左右(2008 年前后)时, NO_x 排放量达到最低值。但是, 在人均 GDP 为 47,608 元(2010 年)后, NO_x 的排放量又快速增加, 这与人们生活水平的提高, 私家车拥有量的快速增加有密切的关系。NO_x 若持续增加, 还会加速臭氧和二次气溶胶的形成, 成为光化学污染和灰霾天气的诱发因素^[23]。所以要时刻警惕氮氧化物污染的反弹和波动。

3.2.3. 可吸入颗粒物与人均 GDP

图 3 中人均 GDP 与可吸入颗粒物质量浓度之间的三次曲线趋势模型为:

$$PM_{10} \text{ 与人均 GDP: } y = 0.3737x^3 - 3.1242x^2 + 4.4721x + 112.66, R^2 = 0.2884;$$

$$PM_{2.5} \text{ 与人均 GDP: } y = -1.526x^3 + 18.68x^2 - 68.969x + 148.59, R^2 = 0.9099;$$

PM₁₀、PM_{2.5} 的曲线特征都符合环境库兹涅茨曲

线。图中显示, PM₁₀ 的质量浓度在 2007 年时出现了一个拐点, 有下降的趋势。产生这种现象的原因是, 可吸入颗粒物主要来源于工业、交通、电力、其他生产和生活活动以及天然源排放的一次粒子(大部分为 PM₁₀)。虽然郑州市正处在飞速发展时期, 但是工业带来的颗粒物污染引起了人们的重视, 对其排放量进行了控制, 所以有好转的趋势。随着人均 GDP 的提高, 生活质量水平的提高, 汽车尾气排放的氮氧化物增多, 以及空气中氨、二氧化硫等, 形成了硝酸盐、氨盐、硫酸盐等成分组成的气溶胶。这些气溶胶与前面提到的一次粒子相互作用形成了更细小的颗粒物(PM_{2.5})。图中 PM_{2.5} 的质量浓度基本上却是持续上升的, 而 PM_{2.5} 质量浓度的上升会造成大气环境二次污染, 出现灰霾天气。使室外能见度低, 很容易造成交通事故, 而且对人体健康危害很大。更重要的是, 大气灰霾与气候变化有着密切的关系^[24,25]。进入 21 世纪以来, 郑州市灰霾天气的发生已出现大幅增长的趋势, 灰霾的发生天数已达 100 天以上, 开始出现中重度霾天气, 重度霾天气发生在 1~3 天不等^[26]。不仅仅是郑州, 全国很多城市都出现了严重的大气灰霾。大气污染正在发生转型, 向二次污染发展^[27]。

3.2.4. 二氧化碳与人均 GDP

图 4 中人均 GDP 与二氧化碳排放量之间的三次曲线趋势模型为:

$$y = -424.7x^3 + 4404.2x^2 - 12,839x + 17,034, R^2 = 0.9329;$$

该曲线符合环境库兹涅茨曲线, 图中显示, 郑州市人均 GDP 在 2332 元~47,608 元之间, CO₂ 的排放量呈现出快速的生长。当人均 GDP 达到 47,608 元以后, CO₂ 排放量呈现出较为显著的“拐点”, 这与近年来大力倡导以低碳排放量为主要特征的“低碳经济”政策是密切相关的。在目前郑州市所处的经济发展阶段, 要保持经济的较高增长, 再加上以煤炭为主的能源结构, 耗费大量含碳资源是不可避免的。因此需要在理论及实践中更好地发展“低碳经济”, 促进郑州市经济增长的同时减少碳排放量, 确保经济与环境的协调发展。

4. 郑州市大气环境可持续发展对策

大气污染源可分为自然源和人为污染源, 而其中

人为污染源是大气污染的主要来源。人为污染源是由于人类的生产和生活等活动所造成的，重点包括工业企业排放的废气、机动车尾气以及生活废气。基于重点污染源，可以采取以下几个方面来控制 and 进一步解决郑州市大气污染问题。

4.1. 加强能源结构的调整，提高能源利用的效率，大力开展节能工作

目前大气污染物主要来自化石燃料的燃烧。因此，第一，应进一步改善能源结构，积极开发生物质能、太阳能等新能源。第二，进一步提高能源利用率，减少污染物的排放量。第三，要大力开展节能工作，更新和改造落后的技术和设施，转变过去那种单纯末端污染控制的方法，实行生产过程中的污染控制，发展清洁生产和清洁技术，这是减少工业废气排放量的根本途径。

4.2. 调整产业结构，继续进行工业布局调整

加快产业结构调整，大力发展第三产业。2011年郑州市三次产业结构比例 2.7:59.0:38.3，这和另一个中部城市武汉的产业结构比例(2.9:48.2:48.9)相比，高耗能的第二产业比重偏大，而第三产业比重则偏小。因此，结合郑州市的情况，应该积极发展食品工业，高新技术产业，服装产业，推动生物、新材料、新能源等先导产业发展。另一方面，郑州市的许多重点工业企业目前仍处于城市中心地带，从大气环境的角度分析，未来城市新建区域地域广、扩散条件好，环境容量相对较高，因此应将工业发展的重心移到城市新建区域。一般来说，工业和企业的厂址必须处于该城市主导风向的下风向；同时厂址应选在空气流畅，利于废气扩散和稀释的地方；最后厂址要与居民区保持一定的距离^[28]。按照“企业向园区集中”的思路，市区的搬迁改造企业、新建大中型项目主要安排在郑东新区、郑州高新区等现代化工业园区。逐步形成组团式区域产业框架，提高产业集中度，实现污染集中治理。

4.3. 制定财税激励政策，鼓励企业自愿节能减排

对节能项目或产品实行税收减免、贷款优惠等激励措施，是促进节能的重要政策手段。国外促进工业

节能主要有税收和财政政策两方面。如：征收排污税(NO_x 、 SO_2 、 CO_2)，财政方面给予税收津贴和免税等等。但是，目前，国内这方面的政策还比较少。因此，需要尽快研究出台促进工业节能的财税激励政策。如节能项目优先立项、节能贷款实行低息或贴息，引进节能设备与技术减免关税等。从行政上限制高耗能工艺和企业发展、淘汰低效的耗能设备、企业实行能耗考核制度^[29]。

4.4. 深入开展环境综合整治工作

加大植树造林力度，加强城市绿化，有选择地选择截留粉尘、吸收有害气体能力强且耐寒的绿化树种和草种。建设城市外围防护林带，以缓冲尘污染对城市环境的影响。此外，应建立有效的城市空气质量监控系统^[30]，严格控制大气污染物的排放。特别需要注意 O_3 的浓度变化，虽然低浓度的 O_3 可消毒，但超标的 O_3 会对人和动植物造成严重的危害。

4.5. 控制机动车排污量，大力发展公共交通，倡导低碳出行

近年来，机动车保有量急剧增长。就郑州而言，民用汽车由 2004 年底的 15.7221 万辆增长到 2011 年底 124.0337 万辆^[14]，汽车尾气污染加重了城市环境空气的恶化。因此，第一，应降低小汽车的出行比例。第二，建立高架桥，加大地面道路面积，防止过快增长对城市交通造成压力。这是因为汽车怠速与正常行驶时排放量差别很大，这样也起到了控制汽车排污量的作用。第三，优先发展公共交通，建设公交专用道，完善公交主干网络；加快轨道交通、BRT 系统和智能交通管理系统的建设步伐。第四，大力倡导低碳出行，建设城市公共自行车交通系统，为自行车出行提供良好环境。

4.6. 加强立法、执法与全民参与

实现郑州市的可持续发展，必须将大气指标放在法律的高度，制定切实可行的防治方案，如郑州市大气污染防治规划等。另外，进一步加大环境宣传力度，充分发挥环保自愿者的作用，定期向社会发布环境污染信息，高度树立起人们的环境保护意识，从而使广大人民切实参与到城市大气环境保护行动中来，努力

做到全民共同治理大气环境污染。

5. 结论

实施郑州大气环境污染控制的可持续发展战略是一个综合的、复杂的、全方位的系统工程,它不仅涉及到前面所提及政府各级各类部门、技术部门、科研部门、管理部门等等,而且还要建立环保信息网络和坚持公众参与,以及环境法制宣传教育,采取各种不同的形式,组织跨部门协调合作逐步深入到城市环境保护规划与监督管理中。坚决不能走“先污染,后治理”的路子,要提高对环境问题严重性的认识,把握好经济与环境的关系,在郑州市快速发展经济的同时,切实保护好大气环境。

参考文献 (References)

- [1] M. A. Cole, A. J. Rayner and J. M. Bate. The environmental kuznets curves. *Environment and Development Economics*, 1997, 2(4): 401-406.
- [2] 李春生, 李哲, 李建国. 河南省矿业城市环境库兹涅茨曲线分析——以焦作为例[J]. *河南大学学报(自然科学版)*, 2006, 36(2): 54-57.
- [3] 胡明秀, 胡辉, 王立兵. 武汉市工业“三废”污染状况计量模型研究——基于环境库兹涅茨曲线(EKC)特征[J]. *长江流域资源与环境*, 2005, 14(4): 470-474.
- [4] 夏永久, 陈兴鹏, 李娜. 西北河谷型城市环境政策评价研究——以兰州市为例[J]. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2006, 42(2): 1-5.
- [5] 王西琴, 李芬. 天津市经济增长与环境污染水平关系[J]. *地理研究*, 2005, 24(6): 834-842.
- [6] 郑州市统计局. 郑州市统计年鉴 2012[M]. 北京: 中国统计出版社, 2012.
- [7] 陈巧云. 中原经济区城市化进程问题研究——以郑州市城市化进程为例[J]. *河南社会科学*, 2012, 2(20): 104-106.
- [8] 欧名豪, 李武艳, 刘向南等. 城市化内涵探讨[J]. *南京农业大学学报(社会科学版)*, 2002, 2(4): 13-21.
- [9] 孙中党, 赵勇. 郑州大气氮氧化物污染与灰色分析[J]. *重庆环境科学*, 2003, 25(1): 52-55.
- [10] 裴丽娟, 樊瑞强, 程晓川. 郑州市城区大气环境质量污染特征及其原因分析[J]. *科技资讯*, 2012, 11: 136.
- [11] 王晓云. 郑州市地面灰尘重金属季节变化及健康风险分析[D]. 河南大学, 2011.
- [12] 文德振. 郑州市大气环境容量核定技术研究[J]. *河南科学*, 2008, 26(6): 735-738.
- [13] 唐孝炎, 李金龙, 粟欣等. 大气环境化学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1996.
- [14] 河南省统计局. 河南省统计年鉴 2012[M]. 北京: 中国统计出版社, 2012.
- [15] 河南省环境保护厅. 河南省环境统计 2005-2011[URL], 2005-2011. <http://www.hnep.gov.cn/tabid/538/Default.aspx>
- [16] 杨书中, 杨春丽, 郑明凯. 郑州市大气可吸入颗粒物浓度变化的小波分析[J]. *中原工学院学报*, 2011, 22(4): 17-21.
- [17] 胡鞍钢. 考虑环境因素的省级技术效率排名[J]. *经济学(季刊)*, 2008, 7(3): 933-960.
- [18] 吴兑, 廖碧婷, 吴晟等. 2010 年广州亚运会期间灰霾天气分析[J]. *环境科学学报*, 2012, 32(3): 521-527.
- [19] 孙俊玲, 刘大锰, 扬雪. 北京市海淀区大气颗粒物污染水平及其影响因素[J]. *资源与产业*, 2009, 11(1): 67-100.
- [20] W. J. Parkhurst, R. L. Tanner, F. P. Weatherford, et al. Historic PM_{2.5}/PM₁₀ concentrations in the southeastern United States: potential implications of the revised particulate matter standard. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 1999, 49(9): 1060-1067.
- [21] 黄鹂鸣, 王格慧, 王荟等. 南京市空气中颗粒物 PM₁₀、PM_{2.5} 污染水平[J]. *中国环境科学*, 2002, 22(4): 334-337.
- [22] 蔡慧, 林树生, 吴敬波等. 淮安市区大气中颗粒物 PM₁₀、PM_{2.5} 污染水平[J]. *环境研究与监测*, 2009, 3: 25-27.
- [23] 杜让, 朱留财. 氮氧化物污染防治的国外经验与国内应对措施[J]. *环境保护与循环经济*, 2011, 4: 6-9.
- [24] 孙家仁, 许振成, 刘煜等. 气候变化对环境空气质量影响的研究进展[J]. *气候与环境研究*, 2011, 6(16): 805-814.
- [25] 张蓬勃, 姜爱军, 孙佳丽等. 江苏秋季霾的年代际变化特征及其影响因素分析[J]. *气候变化研究进展*, 2012, 8(3): 205-212.
- [26] 徐艺斐. 郑州市灰霾与 PM_{2.5} 污染水平及火电排放源对大气环境的影响分析[D]. 郑州大学, 2012.
- [27] 郝吉明, 程真, 王书肖. 我国大气环境污染现状及防治措施研究[J]. *环境保护*, 2012, 9: 17-20.
- [28] 平措. 我国城市大气污染现状及综合防治对策[J]. *环境科学与管理*, 2006, 1: 18-21.
- [29] 刘虹. 中外工业节能政策对比分析[J]. *中国石油和化工*, 2006, 2: 23-26.
- [30] 于小俸, 杨春玲, 周隽婕. 城市空气环境质量变化趋势及控制措施——以常德市为例[J]. *湖南城市学院学报(自然科学版)*, 2005, 14(3): 27-29.