



移动扫码阅读

田秋莉,杨玉莲,杨昆.北京市 $PM_{2.5}$ 浓度时空变化及与能源消费结构关系研究[J].能源环境保护,2020,34(1):92-97.

TIAN Qiuli, YANG Yulian, YANG Kun. Study on the relationship between spatio-temporal variation of $PM_{2.5}$ concentration and energy consumption structure in Beijing[J]. Energy Environmental Protection, 2020, 34(1): 92-97.

北京市 $PM_{2.5}$ 浓度时空变化及与能源消费结构关系研究

田秋莉^{1,2}, 杨玉莲^{1,2,3}, 杨 昆^{1,2,3}

(1.西部资源环境地理信息技术教育部工程研究中心,云南昆明650500;2.云南师范大学旅游与地理科学学院,云南昆明650500;3.云南师范大学信息学院,云南昆明650500)

摘要:采用NASA反演 $PM_{2.5}$ 浓度遥感影像,结合ArcGIS空间分析、灰色关联和多元线性回归等方法研究了北京市1998—2016年 $PM_{2.5}$ 年均浓度时空变化,分析了北京市能源消费结构特征。利用灰色关联分析方法和SPSS 22.0软件构建了北京市 $PM_{2.5}$ 浓度与能源消费结构之间的多元线性回归方程。结果表明:北京市1998—2016年 $PM_{2.5}$ 年平均浓度呈现波动上升趋势,空间上表现出南高北低,南北差距逐渐减小的特征;北京市能源消费结构中,石油消费总量、一次电力及其它能源消费总量占据较大部分,煤炭消费总量呈逐年递减的趋势;石油消费总量与 $PM_{2.5}$ 浓度之间关联度最大,一次电力及其它能源消费总量与 $PM_{2.5}$ 浓度之间关联度最小;经多元线性分析,构建了北京市 $PM_{2.5}$ 浓度与煤炭消费总量、石油消费总量之间的回归方程。

关键词: $PM_{2.5}$;时空特征;能源消费结构;灰色关联;多元线性回归;北京市

中图分类号:X703

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2020)01-0092-06

Study on the relationship between spatio-temporal variation of $PM_{2.5}$ concentration and energy consumption structure in Beijing

TIAN Qiuli^{1,2}, YANG Yulian^{1,2,3}, YANG Kun^{1,2,3}

(1.The Engineering Research Center of GIS Technology in Western China of Ministry of Education of China, Kunming 650500, China; 2.School of Tourism and Geographical Science, Yunnan Normal University, Kunming 650500, China; 3.School of Information, Yunnan Normal University, Kunming 650500, China)

Abstract: $PM_{2.5}$ concentration remote sensing image was inverted with NASA. ArcGIS spatial analysis method, grey correlation method and multiple linearity regression methods were applied to study the spatio-temporal variation of the average $PM_{2.5}$ concentrations and the characteristics of energy consumption structure in Beijing between 1998 to 2016. Multiple linear regression equations between energy consumption structures and $PM_{2.5}$ were established with the gray correlation analysis method and SPSS 22.0 software. The results show that the average concentration of $PM_{2.5}$ appears a fluctuating upward trend from 1998 to 2016 in Beijing. $PM_{2.5}$ concentration is high in the south area and low in the north area, and the difference is gradually decreasing. In Beijing's energy consumption structure, oil, primary electricity and other energy consumption accounts for a large part. Total coal consumption is decreasing every year. $PM_{2.5}$ concentration is significantly relevant with total oil consumption, but slightly relevant with primary electricity consumption and other energy consumption. The regression equation between Beijing $PM_{2.5}$ concentration and total coal consumption and total oil consumption was established by multivariate linear analysis.

Key Words: PM_{2.5}; Spatio-temporal characteristics; Energy consumption structure; Grey correlation; Multiple linear regression; Beijing

0 前言

PM_{2.5}污染是全球面临的严重环境问题^[1],已有学者研究表明 PM_{2.5}(大气中空气动力学当量直径小于或等于 2.5 微米的细颗粒物)污染会对环境、生态、经济及人体健康产生巨大影响,高浓度 PM_{2.5}不仅会降低大气可见度,还会导致呼吸系统疾病和心血管疾病的发病率增加^[2-4]。能源消费在经济发展中起着重要作用,但也会产生负面的经济外部性,即空气污染问题^[5]。北京是中国的首都,也是我国政治经济文化的发展中心,因自身环境问题累积,能源消费结构不合理、机动车数量日益增剧以及外地高污染传输扩散,北京市受到了严重的空气环境污染,是中国 PM_{2.5}污染最严重的城市之一。对此,北京市政府采取了各种措施来降低 PM_{2.5}的浓度,包括优化能源结构、调整产业结构等,以期解决北京市 PM_{2.5}高污染问题。

最早开始关注能源消费对环境和公共健康的影响可追溯到 20 世纪 80 年代^[5]。李京文提到煤炭消耗将会造成严重的环境污染现象^[6],治理因煤炭消耗产生的污染将会是中国长期关注的问题。魏一鸣、范英等人在中国能源报告《战略与政策研究(2006)》一书中提出中国传统的煤炭能源消耗是空气污染物的主要来源^[7]。现今有很多 PM_{2.5}污染物与能源消费之间的研究,例如 Hueglin C 和 Stone B^[8-9]等人指出消耗煤炭、石油等产生的物质是造成 PM_{2.5}污染的重要原因。周亮、周成虎等^[10]人指出能源消费激增、汽车尾气排放等是导致 PM_{2.5}污染飙升的主要原因。杨昆、杨玉莲等^[11]人则认为 PM_{2.5}污染本质上与能源结构有关。方秀玉^[12]研究了北京市能源消费结构对大气环境的影响,得出燃煤和机动车燃油对北京市 PM_{2.5}浓度影响最大。徐艺武^[13]通过研究京津冀地区能源消费结构与 PM_{2.5}浓度的相关关系构建

了 PM_{2.5}预测模型。总之,众多研究显示能源消费结构会对大气环境质量产生影响,特别是能源消费产生的 PM_{2.5}。

因此,研究对北京市 1998—2016 年 PM_{2.5}变化进行了时空特征分析,在已有数据的基础上,探究了北京市 PM_{2.5}浓度与其能源消费结构之间的关系,以期更好地解释及展现北京市 PM_{2.5}污染和能源消费结构变化历程,并对治理北京市 PM_{2.5}污染提出建议。

1 数据来源

PM_{2.5}浓度遥感影像数据采用 Van Donkelaar 反演得到的 1998—2016 年全球表面 PM_{2.5}浓度数据作为基础数据(<http://earthdata.nasa.gov>)。该数据结合了来自 MODIS、MISR 和 SeaWiFS 卫星仪器的气溶胶产品(AOD),采用 GEOS-Chem 化学传输模型和 GWR 方法反演得到,数据分辨率是 0.01°。经有关学者验证^[14],该 PM_{2.5}卫星遥感影像与实测 PM_{2.5}浓度值相关性(R²)达到 0.817,数据可靠性较高,可应用于环境研究。经提取即可得到北京市 1998—2016 年 PM_{2.5}年平均浓度影像。

北京市能源消费结构数据来自《新中国 60 年统计资料汇编》以及《中国能源统计年鉴》,搜集到的数据包括能源消费总量(万吨标准煤)、煤炭消费总量(万吨)、石油消费总量(万吨)、天然气消费总量(亿立方米)、一次电力及其他能源消费总量。

2 研究方法介绍

2.1 灰色关联分析

灰色关联分析是由邓聚龙教授^[15]首创,应用比较广泛的多因素统计分析方法,它是对动态过程发展态势的量化分析。

2.2 多元线性回归

多元线性回归模型(Multiple Regression Model)是指有多个解释变量的线性回归模型,用于揭示被解释变量与其他多个解释变量之间的线

$$y(x_0(k), x_i(k)) = \frac{\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)| + \zeta \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \zeta \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|} \quad (1)$$

$$y(X_0, X_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n y(x_0(k), x_i(k)) \quad (2)$$

公式中, ζ 称为灰色关联分辨系数, $y(X_0, X_i)$ 称为 X_0 与 X_i 的灰色关联度。

性关系^[16],其数学模型是:

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_1 + \cdots + \hat{\beta}_p x_p \quad (3)$$

3 结果

3.1 北京市1998—2016年PM_{2.5}浓度时间变化特征

结合时间序列分析得出,北京市1998—2016年PM_{2.5}年平均浓度整体呈现波动上升趋势(图1)。PM_{2.5}年平均浓度由1998年的26.35 μg/m³迅速增加至2006年的51.26 μg/m³,年均增加3.11 μg/m³,明显呈上升趋势;2006年之后基本呈缓慢下降趋势,PM_{2.5}年平均浓度由2007年的48.6 μg/m³下降至2016年的44.84 μg/m³,年均下降0.42 μg/m³,说明自2006年之后,北京市加大了对高污染PM_{2.5}的控制。但北京市年均PM_{2.5}浓度在研究时段内依然呈上升趋势,2016年PM_{2.5}年均浓度是1998年PM_{2.5}年均浓度的1.7倍。其中北京市年均PM_{2.5}浓度最高值出现在2006年,浓度值超过环境空气质量标准规定的年平均二级浓度限值(35 μg/m³)1.46倍;年均浓度最低值出现在1999年,超过环境空气质量标准规定的年平均一级浓度限值(15 μg/m³)1.67倍,数据显示北京市仍是PM_{2.5}污染重灾区。北京市对其高污染现象,也实施了控制空气污染的措施,例如北京清洁空气行动计划(2013—2017),从而限制PM_{2.5}的排放量。

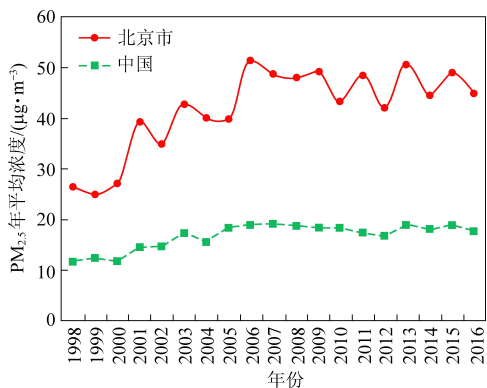


图1 1998—2016年北京市PM_{2.5}年平均浓度变化图

3.2 北京市1998—2016年PM_{2.5}浓度空间变化特征

依据中国2012年发布的《环境空气质量标准(试行)》(GB 3095-2012)中PM_{2.5}年均浓度限值^[17]及北京市PM_{2.5}年平均浓度实际情况,研究将北京市PM_{2.5}年均深度值划分为5个区间,分别是<20、20~35、35~55、55~75及>75(μg/m³)。依据没有指向标和经纬网的地图(上北下南左西右东),图2表明1998—2016年北京市PM_{2.5}年均浓

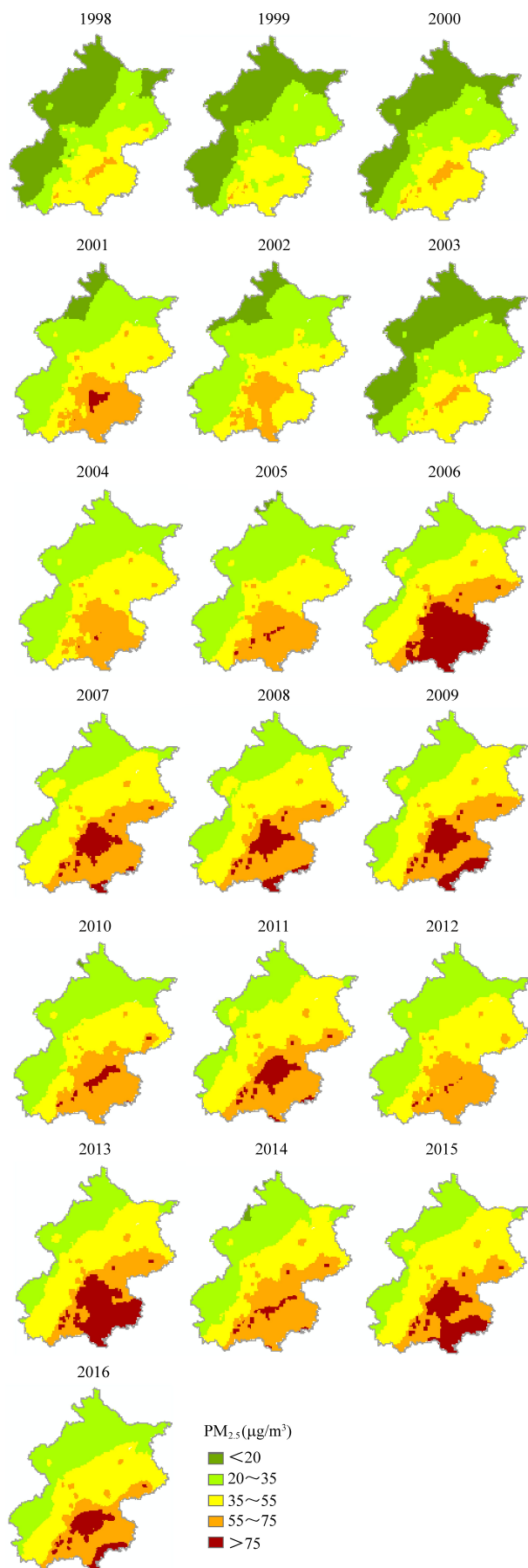


图2 北京市1998—2016年PM_{2.5}年平均浓度空间变化

度整体上呈现南部高北部低的空间变化特征,但南北浓度差距逐年减小,污染较严重的区域多集中分布在北京市的东南部,污染区域面积也呈现增长趋势。对于北京市来说,PM_{2.5}治理仍是大气污染防治重点,降低 PM_{2.5} 浓度,使污染面积进一步减少,是北京市治理 PM_{2.5} 污染的最终目的。

3.3 北京市 1998—2016 年能源消费结构变化特征

在研究过程中,存在北京市石油消费总量数据缺失情况,为了使研究更好地进行下去,采用拟合方法求取缺失年份数据。由表 1 可知,北京市石油消费总量拟合相关性系数最大的函数类型是指数函数,拟合出该指数函数公式为: $y = 892.31e^{0.0595x}$ ($x = 1, \dots, 19$),进而绘出北京市能源消费总量及与其构成之间组合图。组合图显示,北京市煤炭消费总量已经得到较大的控制,已从 1998 年的 2 798.95 万吨下降到了 2016 年的 847.28 万吨。同时,天然气消费总量、石油消费总量及一次电力及其他能源消费总量的使用有较明显的提升情况,尤其是一次电力及其他能源的消费总量从 1998 年的 0.8% 上升到 2016 年的 43.47%,消费总量提升了 5 倍多,反映出北京市加大了一次电力及其他能源消费总量的使用力度。1998—2016 年,北京市积极调整了以煤炭为主的能源消费构成,石油的消耗总量确有较明显的提升,1998 年石油消费总量为 930.32 万吨,2016 年消费总量达到了 2 926.13 万吨,19 年内总量提升了 3 倍多。总体来看,目前北京市能源消费结构的主力数据是石油和一次电力及其他能源,煤炭用量的大幅度递减是形势所趋。但天然气用量目前仍不乐观,不过相较于 1998 年来说,也已有了小幅度提升。

表 1 北京市石油消费总量趋势线函数 R^2 (相关性系数)

函数类型	R^2 (相关性系数)
线性	0.924 3
指数	0.929 0
多项式	0.925 2
幂	0.851 4
对数	0.768 5

3.4 灰色关联分析

关联度值在 0—1 之间,值越接近 1,表明分析的二者之间的发展趋势越接近。北京市 PM_{2.5} 浓度与能源消费结构关联系数曲线显示煤炭消

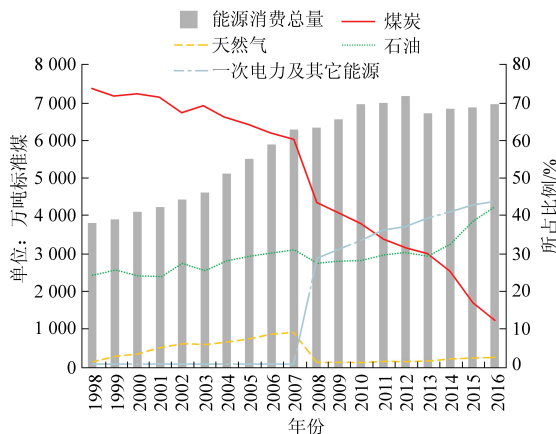


图 3 北京市 1998—2016 年能源消费结构变化图

费总量与石油消费总量与 PM_{2.5} 浓度的关联系数全部都接近于 1,天然气消费总量部分与 PM_{2.5} 浓度的关联系数接近于 1,而一次电力及其它能源整体来看与 PM_{2.5} 浓度的关联系数呈现逐年递减的变化。从关联系数可以看出,在治理 PM_{2.5} 污染过程中,加强清洁能源使用力度,积极改变能源消费结构,扩大新技术使用,减少传统能源消费使用总量,将会有助于缓解北京市 PM_{2.5} 污染的进一步扩大。

灰色关联度结果显示,北京市 PM_{2.5} 浓度与能源消费结构数据的关联度值都超过了 0.5,其中煤炭消费总量 (X_1)、石油消费总量 (X_2)、天然气消费总量 (X_3) 与 PM_{2.5} 浓度值的关联度均超过 0.95,说明这些能源消费数据与 PM_{2.5} 浓度之间发展趋势相接近程度较大。由此,结合先进技术手段,合理调控能源消费结构,加大清洁能源使用力度,相应控制煤炭消费和石油消费使用量的继续增加,从源头出发,找出主要哪个行业或者部门大面积范围使用,从而出台针对性的有效政策,是使 PM_{2.5} 浓度进一步降低的可行之路。

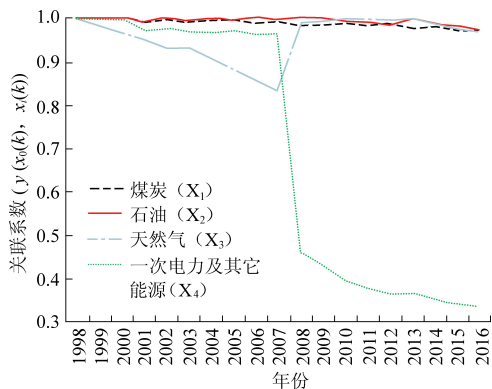


图 4 北京市 PM_{2.5} 浓度与能源消费结构关联系数曲线

表2 北京市 $\text{PM}_{2.5}$ 与能源消费结构关联度

X_{0i}	X_{01}	X_{02}	X_{03}	X_{04}
$y(X_0, X_i)$	0.987 2	0.993 2	0.953 5	0.695 2

3.5 多元线性回归分析

北京市 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度与能源消费结构数据灰色关联分析结果显示,石油消费总量(X_2)、煤炭消费总量(X_1)、天然气消费总量(X_3)和一次电力及其它能源消费总量(X_4)与 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度关联度都很大。研究同时结合 SPSS 22.0 相关分析,经过多元线性回归逐步分析,最终确定北京市 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度与其能源消费结构中的煤炭消费总量(X_1)、石油消费总量(X_2)之间的多元线性回归方程:

$$Y_{\text{PM}_{2.5}} = -1.624 + 0.068X_1 + 0.188X_2 \quad (6)$$

该多元线性回归方程 R^2 (相关性系数) 为 0.624,同时公式(6)中,煤炭消费总量(X_1)和石油消费总量(X_2)及回归方程自身均通过显著性检验 ($\text{Sig} < 0.05$)。经检验,公式计算出的北京市 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度值与影像 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度值有些许出入,可能是由于模型中变量太少的原因导致。但该公式仍能在 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度无法确定时借助煤炭消费总量和石油消费总量说明部分问题。

4 结论

文章研究了北京市 1998—2016 年 $\text{PM}_{2.5}$ 年平均浓度的时空变化,对北京市能源消费结构变化特征进行了分析,借助灰色关联分析方法和 SPSS 22.0 软件,构建了北京市 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度与能源消费结构之间简单多元线性回归方程。研究结果显示:

(1)北京市 1998—2016 年 $\text{PM}_{2.5}$ 年平均浓度呈波动上升趋势;空间上表现出南部污染高于北部的特征,且污染区域主要分布在北京市的东南部。

(2)北京市能源消费结构显示,目前石油消费总量和一次电力及其它能源消费总量占据较大比例,煤炭消费总量在 1998—2016 年呈现每年递减的趋势,天然气消费总量因费用问题使用力度仍不大,有待更进一步的解决。

(3)灰色关联分析显示石油消费总量与 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度之间关联度最大,说明二者发展趋势极度类似,不相上下,互为影响。一次电力及其它能源消费总量与 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度的关联度最小,说明二者发展

有互为影响的趋势。从侧面说明北京市可以通过大力发展清洁能源来达到治理 $\text{PM}_{2.5}$ 污染的目的。

(4)经过 SPSS 22.0 逐步线性分析,剔除了没有通过显著性检验的天然气消费总量和一次电力及其它能源消费总量,留下了与 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度关联度最高的煤炭消费总量和石油消费总量。虽然模型计算出的结果存在误差,但该模型能说明部分问题,具有一定的借鉴意义。

北京是我国的首都,地处我国核心发展区,北京市 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度值不仅仅是本地常年累积的结果,也有从其他高污染区域扩散过来的情况,因此对于北京市来说,继续深化区域联防联控工作是必要的。北京市传统以化石能源为主的消费形式在短期内不会有太大的改变,但过度使用化石能源带来的污染势必愈演愈烈。因此合理消费能源,控制煤炭和石油消费量,加大清洁能源使用力度,高浓度 $\text{PM}_{2.5}$ 污染在一定程度上将会得到遏制。所以北京市要积极调整并优化能源消费结构,从而实现治理北京市 $\text{PM}_{2.5}$ 污染的目标。

参考文献

- [1] Ahmed F, Shah M H, Shaheen N. Diurnal and nocturnal variations of trace metals in urban atmospheric particulate matter from Islamabad, Pakistan [J]. Environmental Earth Sciences, 2014, 71 (2): 817-826.
- [2] Yan D, Lei Y, Shi Y, et al. Evolution of the spatiotemporal pattern of $\text{PM}_{2.5}$ concentrations in China-A case study from the Beijing-Tianjin-Hebei region [J]. Atmospheric Environment, 2018, 183: 225-233.
- [3] Du Y, Xu X, Chu M, et al. Air particulate matter and cardiovascular disease: the epidemiological, biomedical and clinical evidence [J]. J Thorac Dis, 2016, 8 (1): E8-E19.
- [4] Tsai S S, Chiu H F, Liou S H, et al. Short-Term effects of fine particulate air pollution on hospital admissions for respiratory diseases: a case-crossover study in a tropical city [J]. Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A, 2014, 77 (18): 1091-1101.
- [5] Li L, Lei Y, Wu S, et al. Evaluation of future energy consumption on $\text{PM}_{2.5}$, emissions and public health economic loss in Beijing [J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 187: 1115-1128.
- [6] 李京文. 我国能源发展与环境问题 [J]. 数量经济技术经济研究, 1995 (12): 3-14.
- [7] 魏一鸣, 范英, 韩智勇, 等. 中国能源报告 (2006): 战略与政策研究 [M]. 科学出版社, 2006.
- [8] Stone B. Urban sprawl and airquality in large US cities [J]. Journal of Environmental Management, 2008, 86 (4): 688-

- 698.
- [9] Hueglin C, Gehrig R, Baltensperger U, et al. Chemical characterisation of PM_{2.5}, PM₁₀ and coarse particles at urban, near-city and rural sites in Switzerland [J]. *Atmospheric Environment*, 2005, 39 (4): 637-651.
- [10] 周亮, 周成虎, 杨帆, 等. 2000-2011 年中国 PM_{2.5} 时空演化特征及驱动因素解析 [J]. *地理学报*, 2017 (11): 161-174.
- [11] 杨昆, 杨玉莲, 朱彦辉, 等. 中国 PM_{2.5} 污染与社会经济的空间关系及成因 [J]. *地理研究*, 2016, 35 (6): 1051-1060.
- [12] 方秀玉. 优化能源消费结构改善空气质量——从大气污染治理角度看北京市能源消费结构调整 [J]. *节能与环保*, 2013 (6): 52-54.
- [13] 徐艺武. 京津冀地区 PM_{2.5} 与能源消费结构的相关关系研究及其网络服务系统的实现 [D]. 昆明: 云南师范大学, 2017: 22-28.
- [14] De L, Jian X, Dong Y, et al. Spatio-temporal variation and influence factors of PM_{2.5} concentration in China from 1998 to 2014 [J]. *Atmospheric Pollution Research*, 2017, 8 (6): 1151-1159.
- [15] 邓聚龙. 灰色系统理论教程 [M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1990: 53-63.
- [16] 冯岩松. SPSS 22.0 统计分析应用教程 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2015: 245-247.
- [17] GB 3095-2012, 环境空气质量标准 [S]. 2012.