

# Analysis on Influencing Factors of Haze in Beijing, China Based on Entropy Weight Grey Correlation Analysis

Yunyi Wang Yue'er Xu

Henan University, Kaifeng, Henan, 475000, China

## Abstract

The paper addresses the more serious haze problems of today. Taking Beijing, China as an example, four primary and nine secondary indicator factors of traffic factors, climate factors, energy consumption and exhaust emissions were selected, and historical data of each factor and the air quality index of Beijing, China were collected. Due to the large number of indicators and lack of sufficient samples, the gray scale is large, which cannot meet the requirements of the traditional regression model for the number of samples and makes it difficult to perform regression analysis. The paper adopts the entropy-weighted gray correlation analysis to calculate the correlation degree for each factor, and then ranks all factors according to the calculated gray correlation degree. The results of the analysis show that the main factors contributing to the formation of haze in Beijing, China are sulfur dioxide emissions, soot emissions and coal consumption. Finally, based on the results of the analysis, reasonable suggestions were made for haze control.

## Keywords

haze; influencing factors; entropy weighting method; grey correlation analysis

# 基于熵权灰色关联分析的中国北京市雾霾影响因素分析

王云艺 徐约珥

河南大学, 中国 · 河南 开封 475000

## 摘要

论文针对如今较为严重的雾霾问题进行了研究。以中国北京市为例, 选取了交通因素、气候因素、能源消耗和废气排放四个一级指标和九个二级指标因素, 并收集了每种因素与中国北京市空气质量指数的历史数据。由于指标数较多且缺少足够样本, 灰度较大, 无法满足传统回归模型对样本数的要求, 难以进行回归分析。论文采用对数据量要求较小的熵权灰色关联分析对各个因素计算关联度, 然后根据计算得到的灰色关联度大小对所有因素进行排序。分析结果表明, 造成中国北京市雾霾形成的因素主要有二氧化硫排放量、烟粉尘排放量和煤炭消费量等。最后根据分析结果, 为雾霾治理提出合理建议。

## 关键词

雾霾; 影响因素; 熵权法; 灰色关联分析

## 1 研究背景与问题

自 2013 年以来, 在中国大部分地区出现天气异常现象, 雾霾天气逐渐加重, 特别是“京津冀”一带一直存在严重的雾霾问题, 雾霾现已成为中国比较严重的、亟待解决的环境问题。因此, 研究中国的雾霾现状, 对于引起大众的认识和便于提出治理对策都有重要意义。论文对全国各地区的雾霾分布情况进行统计, 并以中国北京市为例, 希望通过定量分析, 找出与雾霾有关的主要影响因素。

## 2 中国北京市雾霾情况

由于中国是自 2013 年开始重视雾霾问题, 并开始关注

空气质量指数的测定, 所以缺少 2013 年以前的空气质量具体数据。根据 2013 年 12 月至 2020 年 5 月的中国北京市每月的空气质量指数 AQI 的数据显示近年来中国北京市的空气质量指数呈现波动下降趋势, 说明整体空气质量正在改善。

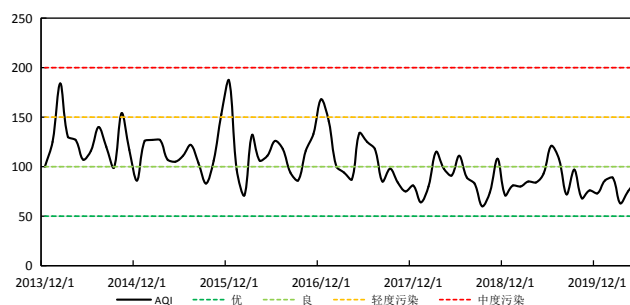


图 1 中国北京市空气质量指数

通过分析可以看出,中国北京市的雾霾天气随季节性变化,秋冬季雾霾较为严重,夏秋季空气质量一般都能达到优良。自2018以后中国北京市的月均空气质量指数均在轻度污染以下,并且空气质量指数的波动趋于稳定,说明近年来针对雾霾的防治措施取得了较好的效果。但是空气质量指数最低月份并没有达到优,且个别月份的空气质量指数仍到达轻度污染,说明还需对雾霾天气加强治理力度。

### 3 中国北京市雾霾影响因素筛选

论文通过阅读中全球相关文献和查找其他相关资料,初步确定了雾霾污染影响因素的指标评价体系。

#### 3.1 交通因素

居民生活中很多情况下会使用私家车进行出行。2019年,中国北京市机动车保有量为636.5万辆,比上年末增加28.1万辆。其中民用汽车590.8万辆,增加16.2万辆。机动车的尾气是雾霾颗粒组成的最主要的成分,最新的数据显示,中国北京雾霾颗粒中机动车尾气占22.2%,燃煤占16.7%,扬尘占16.3%,工业占15.7%,可见机动车数量的增加对中国北京市雾霾的形成有较大的影响。

#### 3.2 气候因素

气候条件在霾的发生、发展、消散等多个环节中都有重要作用。温度、气压、风力、湿度等气象条件都跟霾或多或少有关,同时雾霾还受到气候变化的影响。近年来全球气候变暖,影响中国的大气层状态无波动,冷空气较暖,季风环流低,风速不大,静风在水平层面的积累日益重叠,悬浮在大气中的微粒不能向外输送扩散,也不能稀释减少,在城区和近周边近郊持续不断蓄积增多。

#### 3.3 能源消耗

尤其是化石能源的使用雾霾的形成有巨大贡献。对于SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、烟粉尘、一次PM<sub>2.5</sub>和Hg等主要的大气污染物,煤炭直接燃烧以及和煤炭使用直接相关的行业都贡献了超过一半的排放量,煤炭直接燃烧对于SO<sub>2</sub>的贡献接近80%,是几种污染物中直接燃烧贡献率最高的。汽油和柴油只要燃烧不充分,排放物就会混有黑碳,即使汽车原地不动,只要发动机怠速空转其黑碳排放量也在PM<sub>2.5</sub>的组成成份中占3%~5%,甚至能达到12%,从而造成视觉可见度降低<sup>[1]</sup>。

### 3.4 废气排放

霾是由空气中的灰尘、硫酸、硝酸、有机碳氢化合物等粒子组成的。它也能使大气浑浊,视野模糊并导致能见度恶化。雾霾主要由二氧化硫、氮氧化物和可吸入颗粒物这三项组成,前两者为气态污染物,最后一项颗粒物才是加重雾霾天气污染的主要原因,它们与雾气结合在一起,让天空瞬间变得阴沉灰暗<sup>[2]</sup>。

基于以上分析,论文从交通因素、气候因素、能源消耗和废气排放这四个方面筛选了共9种影响雾霾形成的主要因素作为论文的研究重点,分别为民用汽车拥有量(单位:万辆)、年降雨量(单位:mm)、平均气温(单位:℃)、煤炭消费量(单位:万吨)、城市液化石油气供气总量(单位:万吨)、汽油消费量(单位:万吨)、二氧化硫排放量(单位:万吨)、氮氧化物排放量(单位:万吨)与烟粉尘排放量(单位:万吨),如下图所示:

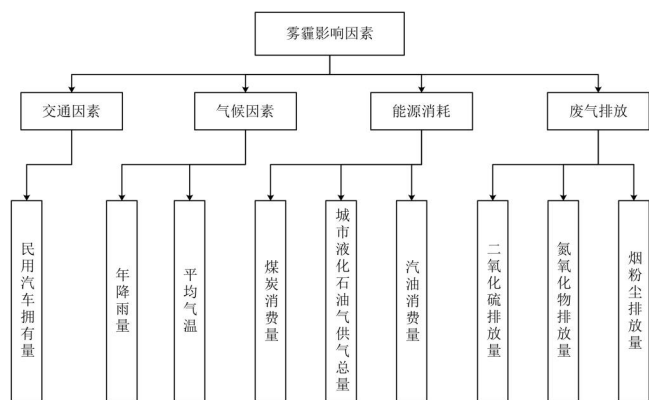


图2 雾霾主要影响因素

## 4 构建中国北京市雾霾影响因素分析模型

### 4.1 熵权法确定权重

Step1: 判断Z中是否存在负数,假如存在的话,需要对X使用另一种标准化方法,对矩阵X进行一次标准化得到 $\tilde{Z}$ 矩阵,其标准化的公式为:

$$\tilde{Z}_{ij} = \frac{x_{ij} - \min\{x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj}\}}{\max\{x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj}\} - \min\{x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj}\}} \quad (1)$$

Step2: 计算第j项影响因素下第i个样本所占的比重,并将其看作相对熵计算中用到的概率。

经过上一步处理得到的非负矩阵为:

$$\tilde{Z} = \begin{bmatrix} \tilde{Z}_{11} & \tilde{Z}_{12} & \cdots & \tilde{Z}_{1m} \\ \tilde{Z}_{21} & \tilde{Z}_{22} & \cdots & \tilde{Z}_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{Z}_{n1} & \tilde{Z}_{n2} & \cdots & \tilde{Z}_{nm} \end{bmatrix}$$

我们计算概率矩阵 P，其中 P 中每个元素  $p_{ij}$  的计算公式如下：

$$p_{ij} = \frac{\tilde{Z}_{ij}}{\sum_{i=1}^n \tilde{Z}_{ij}} \quad (2)$$

容易验证： $\sum_{i=1}^n p_{ij} = 1$ ，即保证了每一个指标所对应的概率合为 1。

Step3：计算每个指标的信息熵，并计算信息效用值，并归一化得到每个指标的熵权。

对于第 j 个指标而言，其信息熵的计算公式为：

$$e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln(p_{ij}) \quad (3)$$

信息效用值： $d_j = 1 - e_j$

将所有任务的信息效用值进行归一化，就能得到每个指标的对应的熵权：

$$w_j = d_j / \sum_{j=1}^m d_j (j = 1, 2, \dots, m) \quad (4)$$

Step4：得到权重向量

$$W = (w_1, w_2, \dots, w_m) \quad (5)$$

## 4.2 灰色关联分析

灰色关联模型基本思想是根据序列曲线几何形状判断其联系是否紧密，曲线越接近，相应的关联度越大，否则越小。灰色关联分析方法弥补了采用数理统计方法做系统分析所导致的缺憾，它对样本量的多少和样本有无规律都同样适用，而且计算量小十分方便，更不会出现量化结果与定性分析结果不符的情况。

Step1：确定分析数列

母序列：反映系统行为特征的数据序列，这里为动力煤价格，记为  $x_0$

子序列：影响系统行为的因素组成的数据序列，这里为

上述 9 个影响因素，记为  $(x_1, x_2, \dots, x_9)$ 。

Step2：数据预处理

为了消除量纲影响，缩小变量范围，对母序列和子序列中的每个指标进行预处理。求出每个指标的均值，再用该指标中的每个元素除以其均值，得到标准化数据：

$$\hat{x}_i = \frac{n \times x_i}{\sum_{j=1}^n x_i(j)}, i = 0, 1, \dots, 9 \quad (6)$$

其中  $x_i$  为列向量， $n$  为每个指标所含的样本个数。

Step3：计算子序列中各个指标与母序列的关联系数

两极最小差： $a = \min_i \min_j |\hat{x}_0(j) - \hat{x}_i(j)|$

两极最大差： $b = \max_i \max_j |\hat{x}_0(j) - \hat{x}_i(j)|$

关联系数的计算式为：

$$\gamma(\hat{x}_0(j), \hat{x}_i(j)) = \frac{a + \rho b}{|\hat{x}_0(j) - \hat{x}_i(j)| + \rho b} \quad (7)$$

其中， $\rho$  为分辨系数，一般取 0.5。

( $i = 1, 2, \dots, n$   $j = 1, 2, \dots, m$ )

Step4：计算灰色关联度

定义  $\hat{x}_0$  和  $\hat{x}_i$  的灰色关联度为：

$$\gamma(\hat{x}_0, \hat{x}_j) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \gamma(\hat{x}_0(j), \hat{x}_j(j)) \quad (8)$$

计算所有指标与参考序列之间的关联系数可以得到灰色关联系数矩阵：

Step5：计算加权关联度 R

$$R = (w_1 \gamma(\hat{x}_0, \hat{x}_1), w_2 \gamma(\hat{x}_0, \hat{x}_2), \dots, w_m \gamma(\hat{x}_0, \hat{x}_m)) \quad (9)$$

## 4.3 模型求解

### 4.3.1 数据收集

通过中国北京市统计年鉴和中国国家数据网站等渠道，论文收集了 2013 至 2019 年的各个影响因素的历史数据如表 1 所示。

### 4.3.2 计算结果

利用上文的熵权法计算权重的计算步骤，可以得到各影响因素的权重，结合灰色关联系数，可以得到所有影响因素的加权关联度，同时对加权关联度的大小进行排序，得到如表 2 所示的结果。

#### 4.4 结果分析

根据加权关联度的计算结果可以看出，二氧化硫排放量、烟粉尘排放量、煤炭消费量与中国北京市空气质量指数的关联度较大，说明这三种影响因素是造成中国北京市雾霾的主要因素。

由上文数据可以看出，二氧化硫排放量、烟粉尘排放量、煤炭消费量和 AQI 近几年来都呈现逐渐下降的趋势，说明中国北京市的空气质量指数下降与二氧化硫排放量、烟粉尘排放量、煤炭消费量的减少有关。根据近三年的京津冀地区废气排放量调查统计显示，二氧化硫、氮氧化物和烟雾灰尘的排放量在逐年减少，说明京津冀地区在控制、治理雾霾方面取得了明显的效果。而这主要得益于新的治理举措，即中国北京 - 天津 - 河北地区协同治理。同时，中国北京市在 2017 年发布了《能源发展“十三五”规划》及《可再生能源发展“十三五”规划》，在能源消费总量和强度方面，规划提出，到 2020 年把能源消费总量控制在 50 亿吨标准煤以内。在能源结构调整方面，规划明确，“十三五”时期非化石能源消费比重提高到 15% 以上，天然气消费比重力争达到 10%，煤

炭消费比重降低到 58% 以下<sup>[9]</sup>。可见在以上措施的实施下，中国北京市的雾霾情况得到了较好的改善。

### 5 雾霾防治措施

#### 5.1 控制污染源排放

根据上文的分析，二氧化硫排放量、烟粉尘排放量对 AQI 的加权关联度最高，燃煤废气等污染气体的排放是中国北京市雾霾的主要来源。因此，加强对大气污染物排放的监测和管理十分重要。只有逐渐减少对高耗能、高污染的产业的投入，对重型工业等进行结构整合和优化，才能不断促进新型产业的进步，有效提高生态环境的质量。

#### 5.2 严格控制汽车尾气排放量

随着人们的生活质量不断提高，出行的条件也逐渐得到改善，私家车出行已经成为人们出行的主要方式，但是汽车排放的尾气对大气环境具有非常严重的影响，为了有效减少大气污染、改善环境，应该对汽车排放尾气进行有效的控制。可以对汽车燃油进行一定的改进，不断研发和改进燃油的成分，尽量利用清洁能源代替旧式的燃油，使汽车排放尾气的

表 1 2013-2019 年中国北京市的各影响因素数据

时间	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013
AQI	86.5	87.0	102.3	113.2	121.5	125.4	128.5
民用汽车拥有量	589.5	574.0	563.1	547.4	533.8	530.8	517.1
二氧化硫排放量	19290.0	19683.7	20085.4	33210.0	71171.7	78906.0	87041.6
氮氧化物排放量	135973.1	140178.5	144513.9	96119.4	137627.1	150955.1	166329.1
烟粉尘排放量	15485.0	28152.5	20423.7	34535.4	49386.6	57372.5	59286.0
城市液化石油气供气总量	46.6	48.1	49.2	50.0	57.6	54.6	47.3
煤炭消费量	814.0	839.2	856.3	847.6	1165.2	1736.5	2019.2
汽油消费量	504.1	494.2	479.8	470.4	462.8	440.6	423.6
年降雨量	511.1	575.5	620.6	680.6	583.0	439.0	501.0
平均气温	12.5	11.9	12.6	12.1	12.2	14.1	11.3

表 2 各影响因素的加权关联度

雾霾影响因素	熵权法权重	灰色关联度	加权关联度	排序
二氧化硫排放量	0.485321	0.444538	0.215743	1
烟粉尘排放量	0.258319	0.603391	0.155867	2
煤炭消费量	0.184265	0.634413	0.116900	3
氮氧化物排放量	0.028714	0.740853	0.021272	4
年降雨量	0.023910	0.660495	0.015793	5
城市液化石油气供气总量	0.007323	0.812843	0.005952	6
平均气温	0.005442	0.764113	0.004158	7
汽油消费量	0.004220	0.694094	0.002929	8
民用汽车拥有量	0.002486	0.697966	0.001735	9

清洁度得到提升<sup>[4]</sup>。

### 5.3 优化能源结构

由于煤炭消费量与空气质量指数的关联度较高,因此能源结构的优化调整具有很大的意义。中国的能源消费中,煤炭、石油等高碳能源消费占比巨大,能源消费结构以煤为主,能源总量在不断增长。在此种情况下,要优化调整中国的能源结构,就要对能源消费总量进行严格控制,可以依靠改进科技,提高生产效能,使高碳能源的消费比重最大限度的降低。

### 5.4 倡导绿色生活方式

通过加强宣传与学校教育,增强公民的环保意识,提倡低碳环保出行,有效减少空驶车辆的能耗与尾气的排放,提倡绿色交通出行理念<sup>[5]</sup>,可通过采用步行、自行车,公交车与地铁等出行方式减少空气污染。促进城市的绿色规划,积极增加城市中的绿化面积,在道路与高架周围设置绿化带,有效地对有害气体进行过滤。

## 6 结语

### 6.1 主要结果

通过对中国北京市雾霾现状的分析,发现中国北京市的雾霾情况正在逐年好转,空气质量指数的变化有明显季节性特征。普遍表现为秋冬季雾霾情况较为严重,夏秋两季空气质量一般可以达到优良<sup>[6]</sup>。自2013年以来中国北京市空气质量指数逐年下降,论文通过构建雾霾影响因素的评价模型,分析了中国北京市雾霾情况好转的主要原因,为今后的雾霾治理工作提供参考。

首先,经过对雾霾成因的分析,从四个方面选取了9种影响雾霾形成的主要因素<sup>[7]</sup>。以中国北京市2013年至2019年的历史数据为依据,使用熵权法确定了9种影响因素各自的权重。其次,空气质量指数AQI为参考序列,9种雾霾影响因素为比较序列,计算了每种影响因素的关联度,结合熵权法计算的权值,得到了最后的加权关联度。最后,分析结果显示,9种影响因素依照关联度大小的排序为:二氧化硫排放量、烟粉尘排放量、煤炭消费量、氮氧化物排放量、年

降雨量、城市液化石油气供气总量、平均气温、汽油消费量和民用汽车拥有量。其中,二氧化硫的关联度最大,主要与工业废气的排放有关;烟粉尘排放量位于第二,其主要来源有汽车尾气排放和工业生成污染。煤炭消费量反应了中国北京市的能源消耗量与能源结构<sup>[8]</sup>。

### 6.2 不足和改进

由于影响中国北京市雾霾形成的因素有很多,论文的观点有一定的局限性。例如,根据文献查阅的结果,汽车尾气在中国北京市的雾霾形成中占据重要地位,然而计算结果显示民用汽车拥有量与空气质量指数的关联度最低;经过调查认证,中国近年来的机动车数量虽然持续上升,但污染物排放总量却在逐年下降,说明机动车数量并不是影响雾霾形成的主要因素。今后可在选取指标方面进行更深入、更全面的讨论;另外,论文仅仅分析中国北京市雾霾的时间分布的大致情况,且并没有对空间分布情况进行讨论,今后的研究可进一步分析中国北京市雾霾的空间分布和时间分布特征。

### 参考文献

- [1] 李树梅. 浅析雾霾危害与防治进展 [J]. 中国城乡企业卫生, 2020(04):54-57.
- [2] 杨德菊, 李曼. 大气雾霾危害及防治 [J]. 绿色环保建材, 2017(04):245.
- [3] 王霞. 基于改进灰色关联度的郑州市雾霾影响因素分析 [J]. 数学的实践与认识, 2020(01):143-153.
- [4] 刘斌, 胡天蓉, 吕凌伟. 京津冀地区协作性雾霾治理的经验与反思 [J]. 中国环境管理干部学院学报, 2018(06):8-11.
- [5] 牛禄青. 雾霾治理与能源结构调整 [J]. 新经济导刊, 2017(03):36-41.
- [6] 南钰, 宋瑞卿, 陈鹏, 等. 基于改进熵权-灰色关联法的配电网可靠性影响因素分析 [J]. 电力系统保护与控制, 2019(24):101-107.
- [7] 朱志泉. 探索环境工程中大气污染的治理措施 [J]. 居舍, 2020(13):61.
- [8] 刘祎芳, 杨育聪, 季曦. 京津冀PM<sub>2.5</sub>问题的环境-经济-社会系统分析 [J]. 科学决策, 2020(03):68-92.