

基于 TOPSIS—BP 神经网络模型的北方城市空气质量综合分析

杜文博, 路金金, 张嘉芮, 黄武涛

华北理工大学 河北唐山

【摘要】为贯彻落实“双碳”政策,推动绿色发展,针对改善空气质量这一问题,以北京、天津、石家庄等北方城市为研究区,基于华顿研究院中国百强城市排行榜指标体系,结合中国空气质量指数和封闭式问卷调查数据,将2023年各城市资金要素投入、人力要素投入、管理要素投入作为输入,空气质量指标作为输出,建立BP神经网络模型,分析投入要素与空气质量之间的关系,采用熵权法确定指标权重,基于TOPSIS法建立综合评价模型,根据评价结果,进而对政府提出改进空气质量的建议。

【关键词】双碳; TOPSIS—BP神经网络模型; 熵权法; 空气质量

【基金项目】2024年省级大学生创新创业训练计划项目,项目编号:S202410081043

【收稿日期】2025年2月15日

【出刊日期】2025年3月31日

【DOI】10.12208/j.sdr.20250033

Comprehensive analysis of air quality in northern cities based on TOPSIS-BP neural network model

Wenbo Du, Jinjin Lu, Jiarui Zhang, Wutao Huang

North China University of Science and Technology, Tangshan, Hebei

【Abstract】In order to implement the "dual carbon" policy and promote green development, in order to improve air quality, taking Beijing, Tianjin, Shijiazhuang and other northern cities as the study area, based on the index system of Wharton Research Institute's ranking of China's top 100 cities, combined with China's air quality index and closed-end questionnaire survey data, the investment of capital elements, human factors and management factors in 2023 was taken as input, and air quality indicators were used as outputs to establish a BP neural network model. The relationship between input factors and air quality was analyzed, the entropy weight method was used to determine the index weight, and a comprehensive evaluation model was established based on the TOPSIS method, and then suggestions for improving air quality were put forward to the government according to the evaluation results.

【Keywords】Dual carbon; TOPSIS-BP neural network model; Entropy weight method; Air quality

1 背景

空气质量综合分析是环境科学研究的重要方向之一,国际国内均给予高度关注。

国际上在空气质量研究中采用了系统化和标准化的方法,如AQI指数分级和颗粒物为主要污染物的选择^[1],这些方法有助于统一评估标准和结果。此外,国外在空气质量研究中形成了多元合作机制^[2],包括政府机构、研究机构、非营利组织等多方参与,这种合作模式提高了研究的广度和深度。尽管有些地区和国家的空气质量有所改善,但全球范围内仍有大量人口呼吸着不健康的空气。这表明资源分配存在不均衡的问题,特别是在资源不足的地方。虽然世界卫生组织发布了《全球空气质量指导值》,但

各国在实施这些指导值时面临诸多挑战,如政策执行力度不足、资金投入有限等。

综上所述,国外在空气质量研究方面具有系统化、标准化和多元合作的优点,但也面临资源分配不均、依赖燃烧能源和政策执行难度等问题。

国内政府高度重视空气质量改善,出台了《空气质量持续改善行动计划》^[3],旨在到2025年全国地级及以上城市PM_{2.5}浓度比2020年下降10%,重度及以上污染天数比率控制在1%以内;氮氧化物和VOCs排放总量分别下降10%以上。而关于空气质量的研究则涵盖了政策制定、地方行动计划、空气质量预测、研究与评估、技术进步等多个方面,显示出一个系统性、多维度的研究和治理框架。这些努力

表明, 中国在改善空气质量方面取得了一定的成效, 然而, 北方地区受产业结构、能源消费等因素影响, 空气质量改善仍面临严峻挑战。

因此, 本文基于华顿研究院中国百强城市排行榜指标体系, 结合中国空气质量指数和封闭式问卷调查数据, 建立BP神经网络($GA-BP$)、熵权TOPSIS评价模型, 对北方城市的环境空气质量进行综合分析。

2 数据来源与预处理

本文采用华顿经济研究院的城市评价指标体系, 并参考其2022年中国百强城市排行榜、《中国统计年鉴》2022的数据。其中评价指标体系中的硬经济指标、软经济指标、空气质量指标为一级指标。

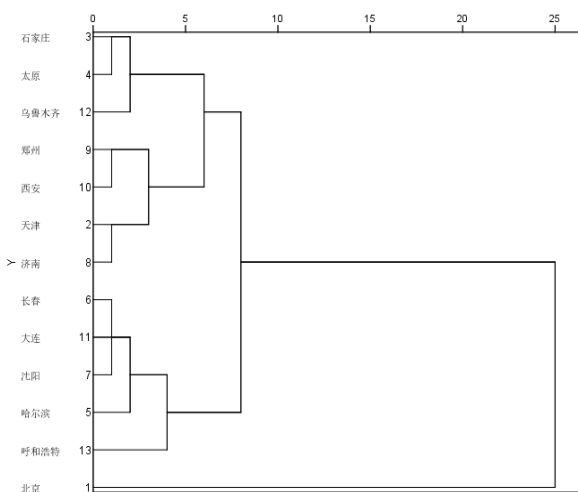


图1 谱系聚类图

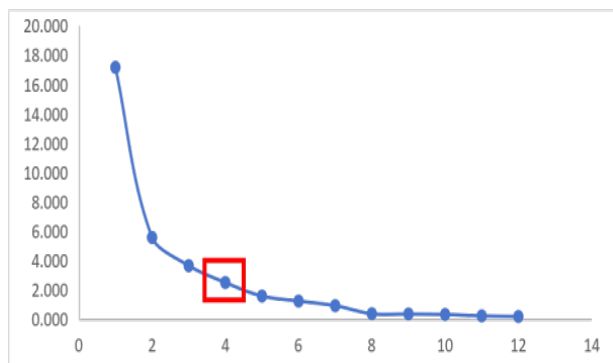


图2 肘部法则图

在得到谱系聚类图^[4]之后, 采用肘部法则确定聚类数目, 从spss中导出聚合系数, 并从大到小排序, 得到肘部法则图。

3 模型建立及训练

3.1 遗传算法优化的BP神经网络

遗传算法优化的BP神经网络是一种用于空气质量综合分析的模型, 可以运用遗传算法对BP神经网络的参数进行优化^[5], 以提高模型在预测任务中的准确程度。

本文采用了基于投入-产出理论的智慧城市建设决策分析方法研究^[6]的指标体系, 从中国统计年鉴2022收集数据。将2022年各城市资金要素投入、人力要素投入、管理要素投入作为神经网络的输入, 空气质量指标作为输出, 训练遗传算法优化的BP神经网络。

$$\min_{\omega, b \in \Omega} f(\omega, b) = \sum_{i=1}^n |d_i - o_i(\omega, b)| \quad (1)$$

$$fitness = \frac{1}{\min_{\omega, b \in \Omega} f(\omega, b)} \quad (2)$$

$$N = input * hidden + hidden * output + hidden + output \quad (3)$$

$$a'_k = (1 - r)a_k + rb_k \quad (4)$$

$$b'_k = (1 - r)b_k + ra_k \quad (5)$$

$$a'_k = \begin{cases} a_k + (a_{max} - a_k) * r_1 \left(1 - \frac{G}{G_{max}}\right)^2 & r_2 > 0.5 \\ a_k + (a_{max} - a_k) * r_1 \left(1 - \frac{G}{G_{max}}\right)^2 & r_2 \leq 0.5 \end{cases} \quad (6)$$

3.2 评价指标

采用均方误差、均方根误差、平均绝对误差、平均绝对百分比误差, 具体公式如下:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2 \quad (7)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2} \quad (8)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\hat{y}_i - y_i| \quad (9)$$

$$MAPE = \frac{100\%}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{\hat{y}_i - y_i}{y_i} \right| \quad (10)$$

图中真实值为原始数据, BP预测值和GABP预测值为利用算法计算后得出的值, 从图3中明显看出 $GA-BP$ 预测值优于BP预测值, 并且与原数据更加贴合真实值。

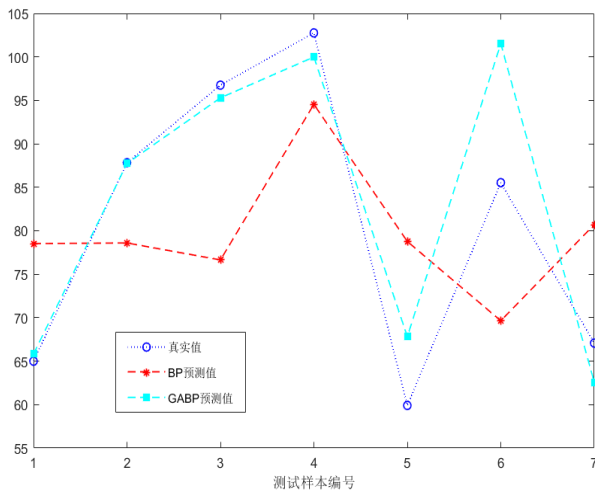


图3 原网络与优化后的网络对比

表1 优化后网络误差对比

	标准的BP神经网络	遗传优化的BP神经网络
mae	14.2076	4.792
mse	219.0896	49.8684
rmse	14.8017	7.0618
mape	18.6397%	6.3147%

通过遗传算法优化的BP神经网络预测更为精准。从表1可以看到,本文所选的误差指标都有所减小。

3.3 熵权TOPSIS评价模型

熵权法是一种客观、可操作的赋权方法,可全面反映数据隐含信息,提高指标分辨程度和差异性。而TOPSIS是一种多目标决策问题的综合评价方法,以距离作为决策依据,计算方案与理想解之间的距离,确定方案的优劣程度。该方法通过计算加权欧氏距离来对各方案进行排序^[7]。

$$Y_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_i)}{\max(x_i) - \min(x_i)} \quad (11)$$

$$E_j = -\ln(n)^{-1} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij} \quad (12)$$

$$W_i = \frac{1 - E_i}{k - \sum E_i} \quad (13)$$

$$Q_i^Z = \sqrt{\sum_{j=1}^n (e_{ij} - e_j^Z)^2}, i = 1, 2, \dots, m \quad (14)$$

$$Q_i^n = \sqrt{\sum_{j=1}^n (e_{ij} - e_j^n)^2}, i = 1, 2, \dots, m \quad (15)$$

$$I = \frac{Q^n}{Q^n + Q^Z} \quad (16)$$

3.4 模型输出

将数据代入熵权TOPSIS模型中,得出各城市环保执行能力排名。

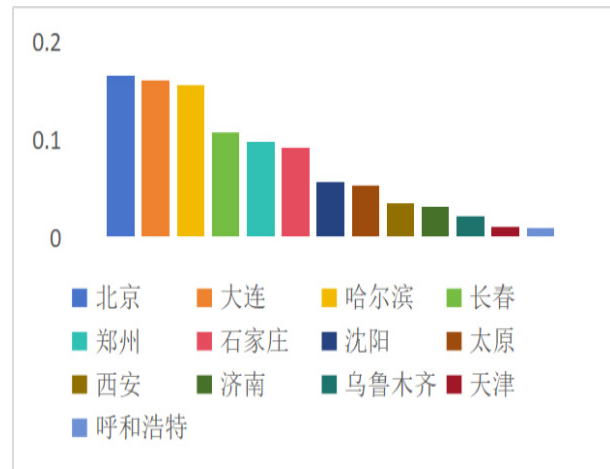


图4 政府环保执行力评分及排名

综上所述,我们首先采用层次聚类分析将城市分为四类,并分析了各类城市的特征和包含的城市。

接着采用遗传算法优化的BP神经网络模型,从资金要素投入、人力要素投入、管理要素投入三个角度,预测了不同投入方案下各城市的空气质量指标。

最后,建立熵权TOPSIS评价模型对各城市环保力执行能力进行评分和排名。该研究结果有助于政府和环保管理部门识别并采取针对性措施来改善空气质量。

4 方案制定

对于第一类城市:北京。北京市的经济条件相对于其他城市有着巨大差距,而且年均空气质量良好,本文认为北京市保持当前的现状,并不需要在投入力度上做出巨大的改变。北京市政府执行能力在所选北方城市中排名第一,值得其他政府借鉴与学习。

对于第二类城市:沈阳、长春、哈尔滨、大连、呼和浩特。第二类经济条件相较其他类别城市较差,而且空气质量也接近良好。本文认为这类城市无需加大有关空气治理的投入,本身经济条件较差,如果盲目加大有关环保的投入,会导致不可预测的后果^[8]。城市本身的空气质量处于领先地位,保持现有

情况即可。第二类城市执行能力层次不齐, 并不能从政府执行力这一角度进行分析。

对于第三类城市: 太原、石家庄、乌鲁木齐。经济条件一般, 但空气质量堪忧, 空气质量经常处于轻度污染及以上。第三类城市具备一定的经济条件进行环保投入的工作, 而且空气质量亟待改善。

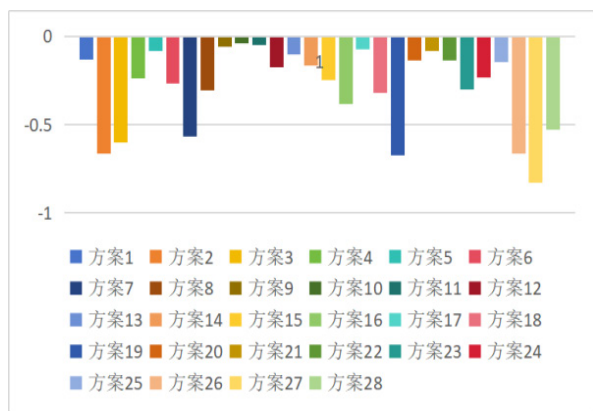


图5 不同方案下太原市空气质量改善情况

对于第四类城市: 天津、济南、郑州、西安。经济条件较好, 空气质量很多处在轻度污染状态, 所以这类城市具备较好的条件去改善空气质量, 并且空气质量亟待改善。

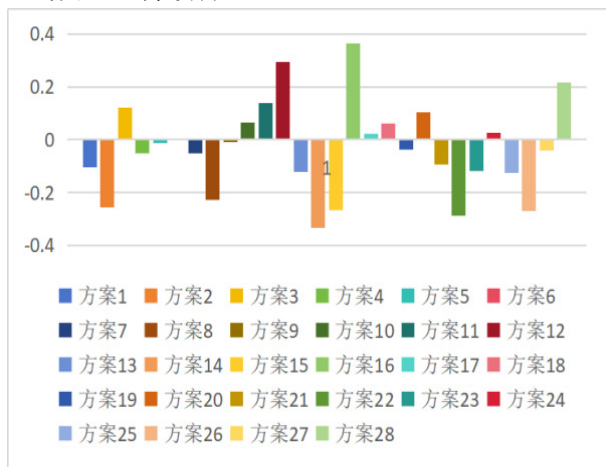


图6 不同方案下天津市空气质量改善情况

5 结论

本文基于华顿研究院中国百强城市排行榜指标体系, 结合中国空气质量指数和封闭式问卷调查数据, 采用了多种算法和模型, 包括层次聚类算法、遗传算法优化的BP神经网络模型、熵权TOPSIS评价模型等针对不同类别城市提出改善方案。

对于第一类城市北京等, 建议保持当前现状,

维持良好空气质量; 对于第二类城市沈阳、长春、哈尔滨、大连、呼和浩特, 建议保持城市空气质量稳定, 不需加大环保投入力度。对于第三类城市太原、石家庄、乌鲁木齐, 建议采取适当的环保投入工作, 提升空气质量。对于第四类城市天津、济南、郑州、西安, 建议加大管理要素投入, 在谨慎提高人力、资金和管理要素的投入下, 以达到改善空气质量的目的。

本研究的结果对于城市环保决策提供了一定的参考价值, 同时也为未来类似研究提供了一种有效的方法和思路。

参考文献

- [1] 杨英东. 基于深度自注意力网络的空气质量检测方法研究[D]. 华北电力大学(北京), 2022.
- [2] 宋丽. 多元共治视角下内江市大气污染治理问题与对策研究[D]. 西南大学, 2024.
- [3] 万庆, 罗翔, 潘方杰等. 中国城市群空气质量时空演化及收敛趋势[J]. 地理科学, 2022, 42(11): 1943-1953.
- [4] 姚雪倩, 李云祯, 徐友, 等. 基于熵权法和聚类分析法的成都市空气质量综合评价[J]. 环境保护科学, 2017, 43(01): 100-104.
- [5] 牛玉霞. 基于遗传算法和BP神经网络的空气质量预测模型研究[J]. 软件, 2017, 38(12): 49-53.
- [6] 张海峰, 黄文金, 顾颖等. 基于投入-产出理论的智慧城市建设决策分析方法研究[J]. 中国工程咨询, 2022, No.268 (09): 49-54.
- [7] 郭三党, 李倩, 荆亚倩. 基于改进TOPSIS法的城市空气质量综合评价[J]. 河南科学, 2021, 39(11): 1842-1849.
- [8] Ronald C. Cohen. Thoughts on air quality when the world is electrified[J]. National Science Review, 2022, 9(09): 138.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS