

昆明市空气质量的影响因素研究分析及建议

赵雅梅, 黄希芬*

云南师范大学, 云南 昆明

收稿日期: 2022年8月2日; 录用日期: 2022年8月12日; 发布日期: 2022年8月24日

摘要

以昆明市作为云南省空气质量的重点研究对象, 采用多元线性回归对其空气质量进行影响因素和预测分析。结果表明: 昆明市的首要污染物为臭氧和颗粒物, 臭氧的含量持续上升, 成为影响空气质量的重要因素。建议推进产业结构调整, 实施减排工作。昆明市的空气质量呈周期性波动, 空气质量会在春季和冬季持续上升, 夏季和秋季持续下降, 并在季节交替之时产生极值。为进一步提升空气质量, 需要根据不同季节制定相应措施。

关键词

空气质量指数, 向后法, 异方差性检验, 建议

Research Analysis and Suggestions on the Influencing Factors of Air Quality in Kunming

Yamei Zhao, Xifen Huang*

Yunnan Normal University, Kunming Yunnan

Received: Aug. 2nd, 2022; accepted: Aug. 12th, 2022; published: Aug. 24th, 2022

Abstract

Taking Kunming City as the key research object of air quality in Yunnan Province, multiple linear regression was used to analyze the influencing factors and forecasting of its air quality. The results show that the primary pollutants in Kunming are ozone and particulate matter, and the content of ozone continues to rise, becoming an important factor affecting air quality. It is recommended to promote industrial restructuring and implement emission reduction work. The air quality in

*通讯作者。

Kunming fluctuates cyclically. The air quality will continue to rise in spring and winter, and continue to decline in summer and autumn, and it will produce extreme values when the seasons change. In order to further improve air quality, corresponding measures need to be formulated according to different seasons.

Keywords

Air Quality Index, Backward Method, Heteroskedasticity Test, Suggestion

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

习近平在全国生态环境保护大会讲话中强调, 生态文明建设是关系中华民族永续发展的根本大计。良好的空气环境既是人类实践活动的坚实自然基础, 也是人类文明发展不可或缺的重要条件。因此, 研究一个地区的大气环境现状及变化趋势成为环境污染防治的基础手段, 为白云蓝天的重新展现提供先行力量[1] [2]。

随着西南地区经济的发展, 空气污染物结构发生转变, 臭氧和颗粒物成为云南省的首要污染物。臭氧主要来源于氮氧化物和挥发性有机气体的二次污染, 控制工业废气和机动车辆尾气的排放是解决空气污染的重要方式[3] [4]。有效地分析空气环境质量的影响因素, 建立拟合度较好的回归模型, 不仅是评价各时间段内不同地区空气污染的重要方式, 也是预测未来空气质量的必要措施[5] [6] [7]。研究空气质量多元回归模型, 对于保护大气环境、全面建设绿美云南具有十分重要的意义。云南省作为“十四五”期间, 生态文明建设的排头兵, 大气污染防治也是重要一环。基于此, 本文重点对 2014~2020 年昆明市大气环境质量进行建模分析, 为云南省大气污染防治提出相应的建议, 以及有助于云南省经济和环境的协同发展, 并为其他省份提供污染防治的有效经验。

2. 昆明市十三五期间空气环境质量变化趋势分析

为了探究云南省在“十三五”期间的对大气环境污染的治理, 本文选取了昆明市作为省份代表进行研究, 并选择了大气污染物浓度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)作为评价指标。其中所用的大气污染物主要选取了 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 CO 、 SO_2 、 NO_2 和 O_3 , 数据来源中国环境监测总站的昆明市空气质量实时发布平台(观测时间为 2014 年 1 月~2021 年 12 月)。

2.1. 昆明市十三五期间空气环境质量的月变化趋势

昆明市的空气质量指数(AQI)由 2014 年 1 月至今均分布在轻度污染、良好和优秀区间, 在此区间随着时间的变化不断变化, 其中可以看出在“十三五”期间, 昆明市空气质量优秀率基本呈递增趋势, 增长率分别为 16.6%、16.7%、41.7%、58.4%、58.4%、50%。根据三条曲线可以直观的看出, 昆明市在 2~3 月和 11~12 月空气质量指数相对较高。按照月份将昆明市划分为 1~3 月为春季、4~6 月为夏季、7~9 月为秋季、10~12 月为冬季(见图 1)。由上述结果可知冬季和春季空气质量相对较差, 夏季和秋季空气质量相对较好。这是由于昆明市干湿季节分明的城市, 在冬季和夏季气候干燥、少雨, 逆温天气频繁出现, 下层温度低于上层, 导致污染物不易扩散, 在低空积聚造成空气质量变差。

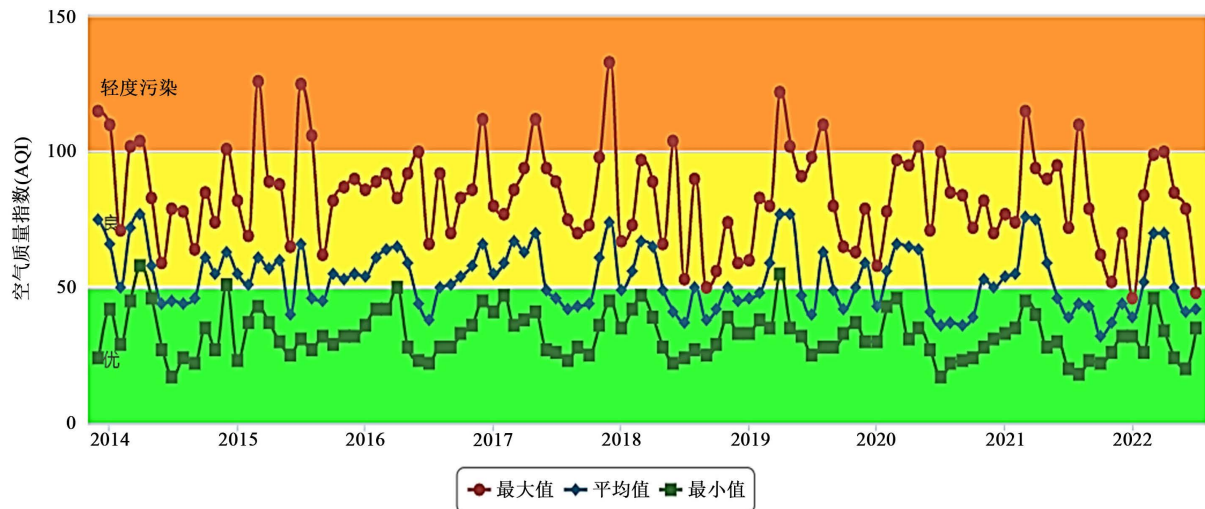


Figure 1. Monthly change trend of air quality index in Kunming

图 1. 昆明市空气质量指数月变化趋势图

2.2. 昆明市十三五期间空气环境质量年标评价

从空气质量结构来看,截至 2020 年,臭氧占空气主要污染物总质量的比重达 55.3%,可吸入颗粒物占比重达到 18.4%,二氧化氮占比重达到 11.4%,细颗粒物占比重达到 10.5%(见图 2)。“十三五”期间,在空气主要污染物中,臭氧的比重保持持续增加趋势,累计增长率达 22.9%;可吸入颗粒物、二氧化硫和一氧化碳比重保持持续下降趋势,累计下降率分别为 19.6%、43.5%和 31.5%;细颗粒物和二氧化氮比重基本保持稳定,直至 2018 年开始有一定的下降趋势。

由此可见,“十三五”期间,昆明市空气质量结构发生改变,臭氧的占比重逐渐上升,可以明显的看出臭氧是昆明市主要空气污染物,占比均超过 50%;可吸入颗粒物、二氧化氮、细颗粒为次要污染物,占比均超过 10%。虽然空气中其他污染物的治理有明显好转,但臭氧作为主要污染物也随之出现。

从四种次要污染物浓度分析来看,“十三五”期间,昆明市的臭氧含量从 2015 年 $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 增加至 2020 年的 $126 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (见图 3)。从图中可以得到,昆明空气中臭氧含量稳步提升。“十三五”时期,昆明市空气质量指数增速没有相对稳定的增长,充分说明臭氧对于空气质量的改进产生了负影响。可吸入颗粒物的浓度从 2015 年 $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 增长至 2017 年的 $58 \mu\text{g}/\text{m}^3$,然后下降至 2020 年的 $42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (见图 3)。总体来说,昆明市可吸入颗粒物含量有一定的下降趋势,平均下降率为 5.24%,由此可见,“十三五”期间,昆明对吸入颗粒的防治有所成效,可在后续政策中,继续沿用或者改进。从图中可以看出,二氧化氮和细颗粒物有相同的变化趋势,从 2015 年至 2018 年两种污染物浓度含量保持上升趋势,然后保持下降趋势。由此可见,“十三五”期间,昆明市对污染物防治措施进行了不断的探索,寻找合适的方法,降低空气中二氧化氮和细颗粒物的含量。

3. 昆明市空气质量影响因素分析

3.1. 综合指标回归分析

选取昆明市 2014 年 1 月至 2021 年 12 月的数据作为研究对象,对变量进行定义(见表 1),利用 R 软件对空气质量的影响因素进行回归分析,图 4 是综合考虑所有变量之间的相关关系。从图中可以出,各自变量之间均呈现不同程度的相关关系,为了进一步了解各变量之间的关系,将模型设定为:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_5 x_5 + \beta_6 x_6 + \varepsilon_i$$
 其中 β_0 为回归常数, β_1, \dots, β_6 为回归系数。

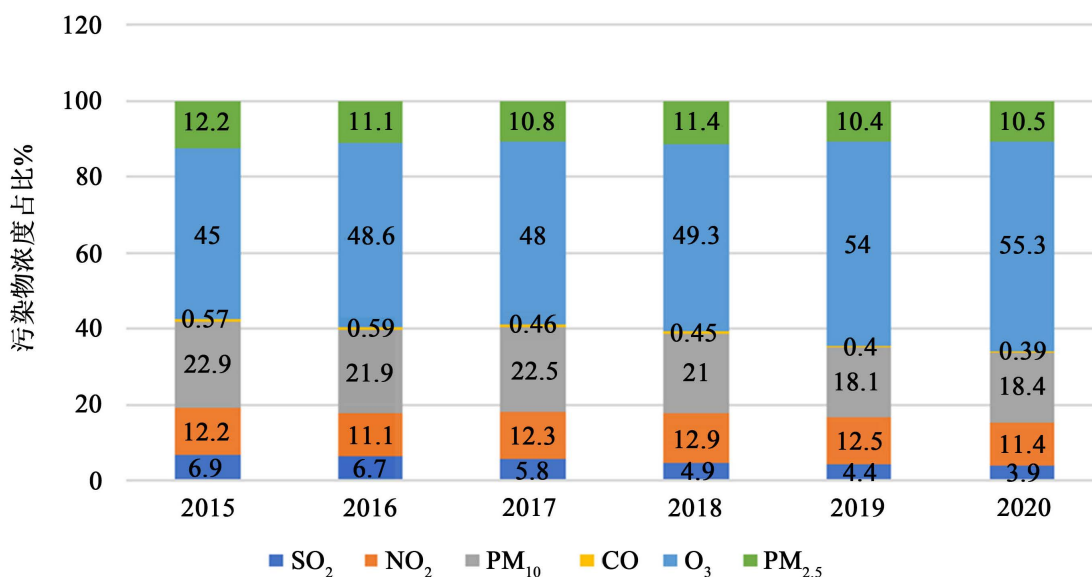


Figure 2. Changes in air quality structure in Kunming during the 13th Five-Year Plan period

图 2. 十三五期间昆明空气质量结构变化

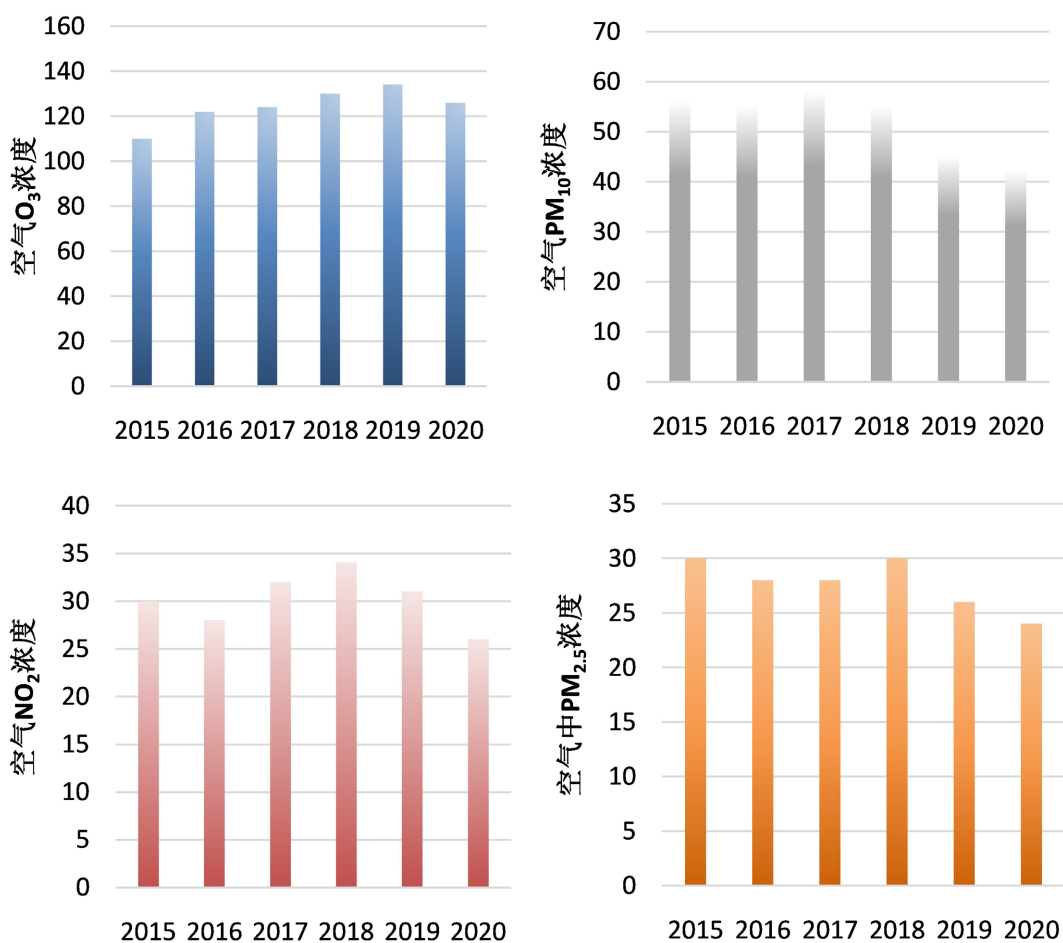


Figure 3. Changes of air substance concentrations in Kunming during the 13th Five-Year Plan period

图 3. 十三五期间昆明空气物质浓度变化

Table 1. Variable definition of influencing factors
表 1. 影响因素的变量定义

| 符号 | y | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | x_6 |
|----|-----------------|------------------------|-------------------------|--------------|--------------------|--------------------|-----------------|
| 定义 | 空气质量指数 (AQI) | 细微颗粒 ($PM_{2.5}$) | 可吸入颗粒物 (PM_{10}) | 一氧化碳 (CO) | 二氧化硫 (SO_2) | 二氧化氮 (NO_2) | 臭氧 (O_3) |

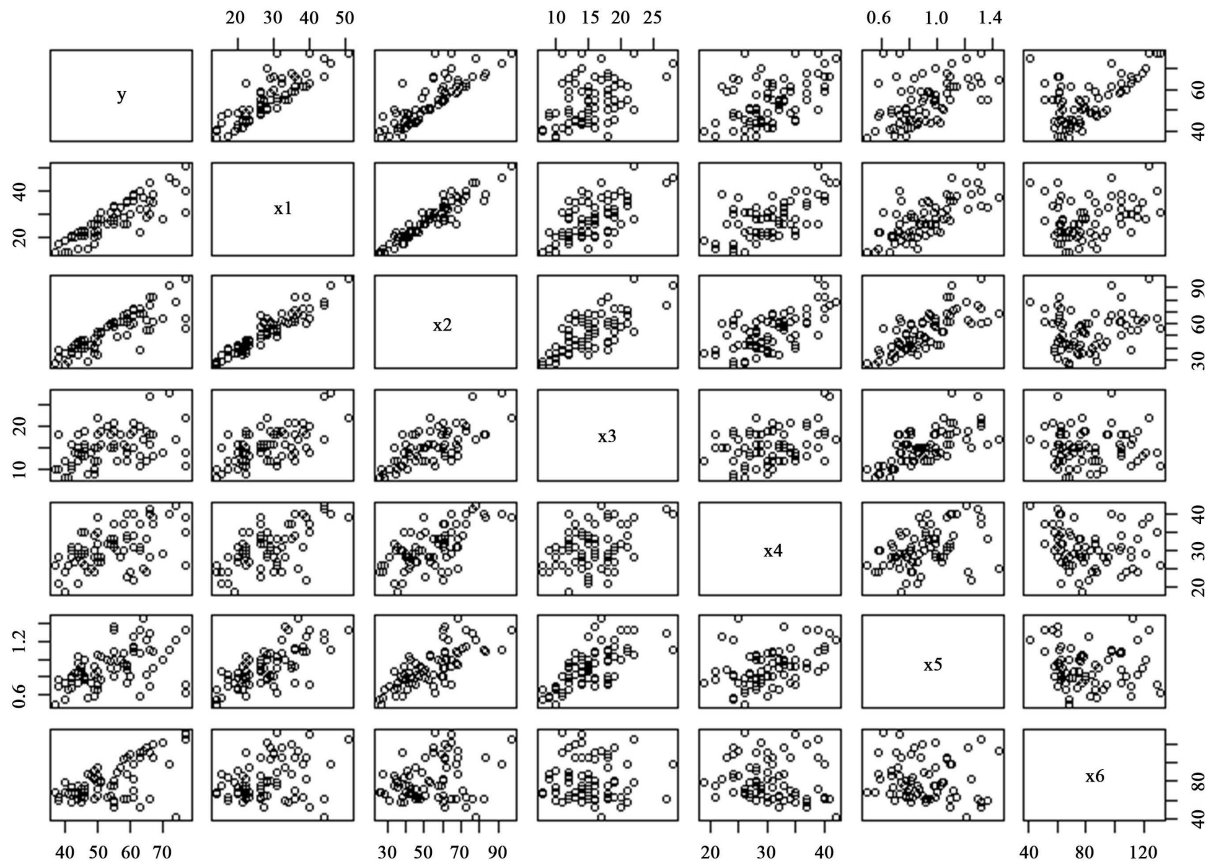


Figure 4. Correlation matrix scatter plot
图 4. 相关矩阵散点图

3.2. 最小二乘回归估计参数

利用最小二乘回归估计模型的参数, 根据表 2 可以看出, 此时模型的可决系数 $R^2 = 0.8866$, 修正的可决系数 $\bar{R}^2 = 0.8761$, F 值为 84.67, 模型拟合效果较好, 但是也可以看出解释变量 x_2 、 x_5 不显著, 这表明二氧化硫和二氧化氮之间可能存在严重的多重共线性。

多重共线性是由于解释变量之间存在高度相关性, 使得建立出的模型与经济意义不相符, 可能导致预测出现严重偏差。根据相关系数大于 0.7, 判定各变量之间存在共线性。利用 R 软件对各变量的相关系数矩阵进行分析, 得出 x_1 和 x_2 、 x_1 和 x_5 、 x_2 和 x_5 之间的相关系数分别为 0.9352827、0.71206187、0.74103625。变量 x_1 和 x_2 分别为可吸入颗粒物和细微颗粒物, 二者均为颗粒物, 可能会存在一定的包含关系, 并且由图 4 可以看出, 两者之间存在正相关; 变量 x_5 为二氧化氮, 由于环境空气中的颗粒物一部分由硫氧化物、氮氧化物及其他化合物相互作用形成, 二氧化氮的浓度自然会对空气中的颗粒物的浓度造成影响, 并且由图 4 可以看出, 两者之间的关系为正相关。

Table 2. Simulate the output of the regression equation
表 2. 模拟回归方程的输出结果

| Variable | Estimate | Std. Error | t-value | Pr (> t) |
|----------|----------|------------|---------|-----------|
| C | 14.05747 | 5.08231 | 2.766 | 0.007381 |
| X1 | 0.44238 | 0.15504 | 2.853 | 0.005798 |
| X2 | 0.33645 | 0.09170 | 3.669 | 0.000493 |
| X3 | -0.38935 | 0.16303 | -2.388 | 0.019846 |
| X4 | 0.1378 | 0.13132 | 1.050 | 0.297591 |
| X5 | -2.44699 | 3.57997 | -0.684 | 0.496706 |
| X6 | 0.17148 | 0.02944 | 5.825 | 1.93e-07 |

Residual standard error: 3.593 on 65 degrees of freedom; Multiple R-squared: 0.8866, Adjusted R-squared: 0.8761; F-statistic: 84.67 on 6 and 65 DF, p-value: < 2.2e-16.

3.3. 向后法自变量选择

向后法是通过 R 软件提供的“最优”回归方程的计算函数 step()来解决此问题, 根据表 3 可以看出, 此模型剔除变量 x_5 , 模型的可决系数 $R^2 = 0.8858$, 修正的可决系数 $\bar{R}^2 = 0.8771$, F 值为 102.3, 这说明选择变量 x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 、 x_6 构造的模型的拟合效果有所提升。由此得到, “最优”的回归方程为: $y = 12.08489 + 0.4165x_1 + 0.31673x_2 - 0.40197x_3 + 0.16800x_4 + 0.18125x_6$ 。

从上述结果可以看出, 影响空气质量的主要因素的排序为: 臭氧 > 可吸入颗粒物 > 细微颗粒物 > 一氧化碳 > 二氧化硫。由此可见, 臭氧的浓度逐渐增大, 逐渐取代传统污染物成为首要或超标污染物, 这主要是因为工业生产和机动车等移动源排放的氮氧化物, 工业源、生活源排放的挥发性有机物, 以及温度、湿度、风速等。

Table 3. Backward regression results
表 3. 向后法回归结果

| Variable | Estimate | Std. Error | t-value | Pr (> t) |
|----------|----------|------------|---------|-----------|
| C | 12.08489 | 4.16655 | 2.900 | 0.005057 |
| X1 | 0.41650 | 0.14974 | 2.781 | 0.007046 |
| X2 | 0.31673 | 0.08670 | 3.653 | 0.000514 |
| X3 | -0.40197 | 0.16133 | -2.492 | 0.015235 |
| X4 | 0.16800 | 0.12321 | 1.364 | 0.177342 |
| X6 | 0.18125 | 0.02563 | 7.072 | 1.2e-09 |

Residual standard error: 3.578 on 66 degrees of freedom; Multiple R-squared: 0.8858, Adjusted R-squared: 0.8771; F-statistic: 102.3 on 5 and 66 DF, p-value: < 2.2e-16.

3.4. 异方差性检验

为了保证模型参数的估计量具有良好的统计性质, 需要对模型进行异方差检验。通过绘制标准化残差的散点图, 来确定模型的异方差性, 检验是否存在异方差。由图 5 可以看出, 残差图从左到右逐渐散开, 误差项有明显的异方差性, 并且误差随着 x 的增加而增加。

将 2014~2019 年昆明市空气质量数据通过 EViews 软件, 利用 White 检验进一步来确定模型是否存在异方差性。根据得到的 White 检验带有交叉乘积项的检验结果(见附表 1), 可以得出, 模型的可决系数 $R^2 = 0.632185$, 在显著性水平为 5% 的情况下, 由于 $\chi_{0.05}^2(20) = 31.41 < n \cdot R^2 = 45.504$, 模型存在异方差。

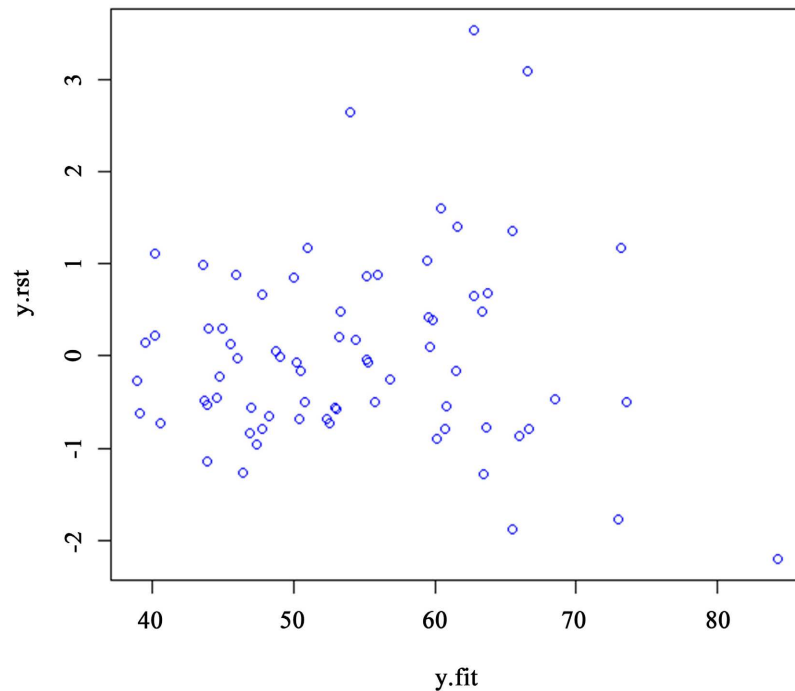


Figure 5. Standardized residual scatter plot
图 5. 标准化残差散点图

3.5. 加权最小二乘法消除异方差

选择权重为 “ $1/abs(e1) * x1$ ”, 接着对模型进行 White 检验, 得到带有交叉乘积项的检验结果(见附表 2)可以得出, 模型的可决系数 $R^2 = 0.388648$ 。在显著性水平为 5% 的情况下, $\chi_{0.05}^2(21) = 32.67 > n \cdot R^2 = 27.99$, 可见此方法对模型进行调整后, 已消除异方差。根据表 4 可以看出, 选择调整后的作为“最优模型”: $y = 12.8225 + 0.397951x_1 + 0.325390x_2 - 0.441111x_3 + 0.166147x_4 + 0.180135x_6$ 。相比较原模型而言, 此模型的各变量的参数发生了变化, 拟合效果也有所提升。

Table 4. Adjusted White regression results
表 4. 调整后的 White 回归结果

| Variable | Estimate | Std. Error | t-value | Pr (> t) |
|----------|-----------|------------|-----------|-----------|
| C | 12.82225 | 0.860958 | 14.89300 | 0.0000 |
| X1 | 0.397951 | 0.049129 | 8.100042 | 0.0000 |
| X2 | 0.325390 | 0.028611 | 11.37297 | 0.0000 |
| X3 | -0.441111 | 0.042522 | -10.37367 | 0.0000 |
| X4 | 0.166147 | 0.018166 | 9.145813 | 0.0000 |
| X6 | 0.180135 | 0.006046 | 29.79430 | 0.0000 |

Multiple R-squared: 0.991415, Adjusted R-squared: 0.990764; F-statistic: 1524.311 on 5 and 66 DF, p-value: < 2.2e-16.

上述分析表明: 除去二氧化氮之外, 剩余变量之间存在较为明显的线性关系, 对模型进行自变量选择, 并克服各变量之间的异方差性之后, 所建立的模型拟合效果较好。可以通过此模型对“十四五”期间昆明市的空气质量进行预测, 提出建设性的意见对昆明的空气污染进行有效的防治。

4. 昆明市十四五期间大气环境质量变化预测分析

选择 2014~2021 年数据对昆明市大气环境质量进行分析, 由图 6 可以看出, 昆明市空气质量在 2014~2021 年虽然整体呈下降趋势, 但一直处于连续波动的状态。2021 年空气质量波动较大, 由此可以看出, “十四五”初期, 空气污染的防治有所下降, 污染物急剧上升, 其中细微颗粒、可吸入颗粒物和臭氧的浓度逐渐升高, 随之开始下降。此外, 从 2021 年 10 月开始, 空气质量开始升高, 将保持不断增高, 直至 2021 年 12 月结束。

从图 6 可以看出, 昆明市的空气质量指数具有很强的周期性, 每年 2~4 月和 9~10 月空气质量会持续上升, 4~6 月和 10~11 月会持续下降, 并且在 3 或 4 月产生当年段空气质量的极大值, 6 或 7 月产生极小值。由此可以预测, 在“十四五”期间, 昆明市空气质量整体呈下降趋势, 并一直处于波动状态, 空气质量会在每年春季和冬季持续上升, 并且会在春夏季交替之时产生极大值; 夏季和秋季空气质量会持续下降, 并且夏秋季交替之时产生极小值。

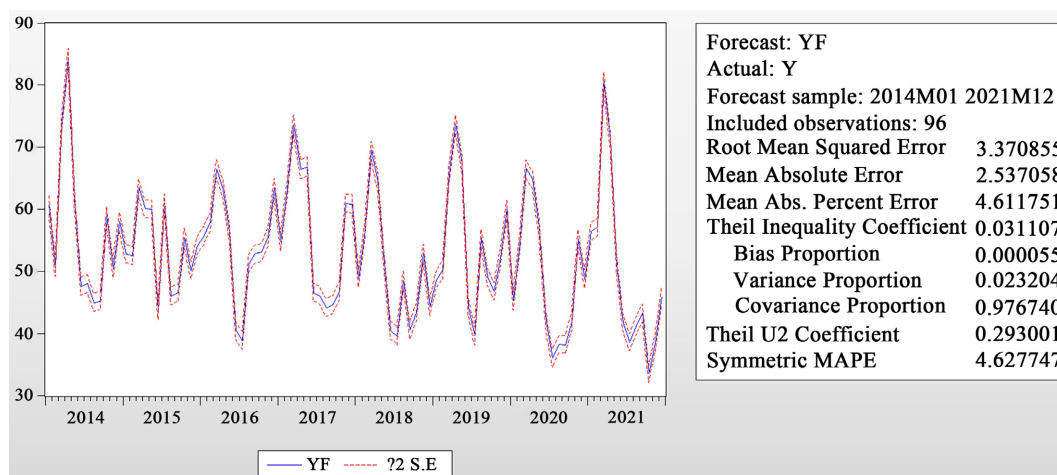


Figure 6. Air quality index forecast change trend

图 6. 空气质量指数预测变化趋势

5. 结论及建议

通过对昆明市 2014~2021 年空气质量数据的分析, 得到昆明市的主要污染物为臭氧、可吸入颗粒物和细微颗粒, 可为昆明市对未来防治空气污染提供先行措施。尤其是在空气质量指数呈周期性波动的情况下, 不同季节使用相对应的防治措施, 昆明市的空气质量会有较大的改善。在此基础上, 提出如下建议:

一是进一步控制并减少空气中臭氧的含量。部分臭氧是由氮氧化物和挥发性有机物形成, 光照、温度、湿度和风速等都是形成臭氧的重要条件。在不同区域内通过产业、能源及交通运输等结构调整, 全面推进氮氧化物和挥发性有机物的减排工作; 同时, 需要完善各地区挥发性有机气体监测系统, 来更好地指导臭氧的治理。

二是进一步控制并减少空气中颗粒物的含量。颗粒物主要来源于工业粉尘、交通工具尾气、建筑施

工及地表植被疏松引起的土地沙化。应加强城市绿化管理, 结合垂直绿化方式, 增加城市绿化率; 应提高施工地的监管力度, 采取洒水、搭建围栏等措施, 减少空气中颗粒物的浓度; 应提倡低碳出行、提高对绿色新能源的使用, 减少各类尾气造成的空气污染。

三是针对不同季节形成不同措施。昆明市位处西南云贵高原的中部, 南部临近滇池, 三面环山, 是鲜明的亚热带-高原山地季风气候。在已有的大气污染防治措施基础上, 需要根据不同季节制定对应措施, 尤其是在春冬季, 加强对干燥季节颗粒物的控制, 减少森林计划烧除、开垦烧荒等外源污染的影响。

参考文献

- [1] 赵其国, 黄国勤, 马艳芹. 中国生态环境状况与生态文明建设[J]. 生态学报, 2016, 36(19): 6328-6335.
- [2] 黄守宏. 生态文明建设是关乎中华民族永续发展的根本大计[N]. 人民日报, 2021-12-14(009).
- [3] 《云南省生态文明建设排头兵规划(2021~2025年)》[N]. 云南日报, 2022-06-07(004).
- [4] 许可, 王亮. 地面臭氧浓度中长期监测及臭氧污染整治研究[J]. 能源与环保, 2022, 44(6): 41-46.
- [5] 崔上书, 杨炼, 李婷. 基于主成分分析及多元线性回归的空气质量预测算法研究[J]. 科技与创新, 2022(6): 97-100.
- [6] 刘锋, 银利, 张星. 半参数回归模型在空气质量指数分析和预测中的应用[J]. 数学理论与应用, 2013, 33(4): 94-98.
- [7] 孟丽丽, 王怡. 基于逐步回归法的天津市大气 PM_{10} 浓度预报模型及其应用[J]. 绿色科技, 2018(6): 69-72.

附录

Table S1. White test results

附表 1. White 检验结果

| Variable | Estimate | Std. Error | t-value | Pr (> t) |
|--------------------|-----------|-----------------------|-----------|-----------|
| C | 27.04466 | 175.9025 | 0.153748 | 0.8784 |
| X1 ² | -0.110573 | 0.199299 | -0.554810 | 0.5814 |
| X1*X2 | 0.289404 | 0.215308 | 1.344139 | 0.1849 |
| X1*X3 | -0.338914 | 0.301625 | -1.123628 | 0.2664 |
| X1*X4 | -0.232366 | 0.232549 | -0.999213 | 0.3224 |
| X1*X6 | -0.044353 | 0.039873 | -1.112343 | 0.2712 |
| X1 | 6.776101 | 7.249776 | 0.934663 | 0.3544 |
| X2 ² | -0.062041 | 0.074980 | -0.827436 | 0.4118 |
| X2*X3 | -0.068328 | 0.223471 | -0.305757 | 0.7610 |
| X2*X4 | 0.138883 | 0.187077 | 0.742384 | 0.4613 |
| X2*X6 | -0.012555 | 0.029427 | -0.426653 | 0.6714 |
| X2 | -4.001684 | 5.751358 | -0.695781 | 0.4897 |
| X3 ² | 0.086175 | 0.265767 | 0.324250 | 0.7471 |
| X3*X4 | 0.371117 | 0.349468 | 1.061948 | 0.2933 |
| X3*X6 | 0.044668 | 0.072411 | 0.616876 | 0.5401 |
| X3 | -4.729345 | 12.04327 | -0.392696 | 0.6962 |
| X4 ² | -0.143504 | 0.116760 | -1.229052 | 0.2247 |
| X4*X6 | -0.027806 | 0.044096 | -0.630572 | 0.5311 |
| X4 | 4.784077 | 8.236844 | 0.580814 | 0.5639 |
| X6 ² | 0.023550 | 0.007464 | 3.155170 | 0.0027 |
| X6 | -1.455804 | 2.161876 | -0.673399 | 0.5037 |
| R-squared | 0.632185 | Mean dependent var | | 11.73660 |
| Adjusted R-squared | 0.487944 | S.D. dependent var | | 22.22738 |
| S.E. of regression | 15.90548 | Akaike info criterion | | 8.609698 |
| Sum squared resid | 12902.20 | Schwarz criterion | | 9.273725 |
| Log likelihood | -288.9491 | Hannan-Quinn criter. | | 8.874049 |
| F-statistic | 4.382839 | Durbin-Watson stat | | 2.419165 |
| Prob (F-statistic) | 0.000010 | | | |

Table S2. Weighted least squares adjusted white test results

附表 2. 加权最小二乘调整后的 white 检验结果

| Variable | Estimate | Std. Error | t-value | Pr (> t) |
|-----------------------------------|-----------|------------|-----------|-----------|
| C | 0.587542 | 0.062978 | 9.329386 | 0.0000 |
| X1 ² *WGT ² | 0.054024 | 0.033835 | 1.596676 | 0.1166 |
| X1*X2*WGT ² | -0.071383 | 0.034349 | -2.078160 | 0.0428 |
| X1*X3*WGT ² | 0.053695 | 0.027579 | 1.946919 | 0.0572 |

Continued

| | | | | |
|--------------------|-----------|-----------------------|-----------|----------|
| X1*X4*WGT^2 | 0.041006 | 0.026167 | 1.567110 | 0.1234 |
| X1*X6*WGT^2 | -0.007149 | 0.006180 | -1.156815 | 0.2528 |
| X1*WGT^2 | -0.605869 | 1.074304 | -0.563964 | 0.5753 |
| X2^2*WGT^2 | 0.023984 | 0.009906 | 2.421245 | 0.0191 |
| X2*X3*WGT^2 | -0.021224 | 0.019723 | -1.076128 | 0.2870 |
| X2*X4*WGT^2 | -0.027118 | 0.022346 | -1.213571 | 0.2306 |
| X2*X6*WGT^2 | 0.003000 | 0.003723 | 0.805850 | 0.4241 |
| X2*WGT^2 | 0.281665 | 0.727778 | 0.387020 | 0.7004 |
| X3^2*WGT^2 | -0.028712 | 0.026035 | -1.102822 | 0.2754 |
| X3*X4*WGT^2 | -0.001905 | 0.039959 | -0.047677 | 0.9622 |
| X3*X6*WGT^2 | -0.001783 | 0.004228 | -0.421783 | 0.6750 |
| X3*WGT^2 | 0.868533 | 1.301637 | 0.667262 | 0.5077 |
| X4^2*WGT^2 | 0.009955 | 0.014598 | 0.681920 | 0.4984 |
| X4*X6*WGT^2 | 0.004948 | 0.003697 | 1.338402 | 0.1868 |
| X4*WGT^2 | -0.669746 | 1.103309 | -0.607034 | 0.5466 |
| X6^2*WGT^2 | -2.88E-05 | 0.000710 | -0.040598 | 0.9678 |
| X6*WGT^2 | -0.070195 | 0.120809 | -0.581040 | 0.5638 |
| WGT^2 | 5.840271 | 15.81518 | 0.369283 | 0.7135 |
| R-squared | 0.388648 | Mean dependent var | | 0.581352 |
| Adjusted R-squared | 0.131880 | S.D. dependent var | | 0.429371 |
| S.E. of regression | 0.400057 | Akaike info criterion | | 1.252050 |
| Sum squared resid | 8.002295 | Schwarz criterion | | 1.947698 |
| Log likelihood | -23.07381 | Hannan-Quinn criter. | | 1.528990 |
| F-statistic | 1.513616 | Durbin-Watson stat | | 1.451958 |
| Prob (F-statistic) | 0.115545 | | | |