

哈尔滨市2015~2019年冬季大气颗粒物污染特征分析

刘彦均

哈尔滨师范大学地理科学学院, 黑龙江 哈尔滨

收稿日期: 2024年10月23日; 录用日期: 2024年12月26日; 发布日期: 2025年1月2日

摘要

本文主要对哈尔滨市主城区大气颗粒物污染特征进行研究, 利用哈尔滨市2015年~2019年冬季大气PM₁₀、PM_{2.5}的浓度监测数据, 用传统统计分析方法对大气颗粒物的时间变化特征进行深入分析。并探讨这些大气颗粒污染物的来源, 并对可能影响特征变化的因素进行分析。结果表明, 哈尔滨市PM_{2.5}污染较严重, PM_{2.5}的浓度以及PM_{2.5}超标率均表现为先减小后增大。其中, 分析月份浓度得出12月的PM₁₀和PM_{2.5}的浓度均值大于1月和2月, 说明1月大气颗粒物污染最严重, 空气质量最差。利用方差分析得到, PM₁₀、PM_{2.5}、AQI的显著性均小于0.05, 有统计学意义, AQI以及PM_{2.5}、PM₁₀差异明显。利用多重比较分析年份得出, 2015年、2017年、2019年之间PM_{2.5}、PM₁₀、AQI差异明显, 利用多重比较分析和方差分析月份得到, 1月与2月, 2月与12月比较, AQI、PM₁₀、PM_{2.5}均小于0.05, 差异性明显。本研究拟通过对哈尔滨大气颗粒物污染特征的研究, 找出哈尔滨市大气颗粒物的时间变化规律。本次研究可为哈尔滨市环保部门为治理环境提供有效地控制可吸入颗粒物的污染决策依据。

关键词

哈尔滨市, 大气颗粒物, 污染特征变化, 方差分析

Analysis on Characteristics of Atmospheric Particulate Matter Pollution in Winter of 2015~2019 in Harbin

YanJun Liu

College of Geographic Sciences, Harbin Normal University, Harbin Heilongjiang

Received: Oct. 23rd, 2024; accepted: Dec. 26th, 2024; published: Jan. 2nd, 2025

Abstract

This paper mainly studies the characteristics of atmospheric particulate matter pollution in the main urban area of Harbin city, and uses the concentration monitoring data of atmospheric PM₁₀ and PM_{2.5} in winter of Harbin city from 2015 to 2019 to conduct an in-depth analysis of the temporal variation characteristics of atmospheric particulate matter by traditional statistical analysis methods. The sources of these air particle pollutants are discussed, and the factors that may affect the characteristic change are analyzed. The results show that the PM_{2.5} pollution is serious in Harbin city, and the PM_{2.5} concentration and PM_{2.5} overstandard rate both decrease first and then increase. Among them, the analysis of monthly concentrations shows that the average concentration of PM₁₀ and PM_{2.5} in December is greater than that in January and February, indicating that the atmospheric particulate matter pollution is the most serious in January and the air quality is the worst. According to the analysis of variance, the significance of PM₁₀, PM_{2.5} and AQI is less than 0.05, which is statistically significant, and the difference between AQI, PM_{2.5} and PM₁₀ is obvious. According to the multiple comparative analysis of years, there were significant differences in PM_{2.5}, PM₁₀ and AQI between 2015, 2017 and 2019. According to the multiple comparative analysis and ANOVA of months, compared with January and February, and February and December, AQI, PM₁₀ and PM_{2.5} were all less than 0.05, and the differences were obvious. This study intends to find out the temporal variation rule of atmospheric particulate matter in Harbin by studying the characteristics of atmospheric particulate matter pollution in Harbin. This study can provide the decision basis for Harbin environmental protection department to effectively control the pollution of inhalable particulate matter.

Keywords

Harbin, Atmospheric Particulate Matter, Changes in Pollution Characteristics, Analysis of Variance

Copyright © 2025 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. 绪论

1.1. 研究背景

随着城市化的加快,空气污染和室内等公共场所等污染对人们的健康构成重大威胁,在当前社会中对污染物的检测越来越强。在此背景下,专项“大气污染控制原因与技术研究”深入开展,为我国大气污染治理做出了巨大贡献。2018年2月11日,中国21世纪议程管理中心在北京组织了2017年“大气污染控制原因与技术研究”实施方案评估指标审查和示范活动。目前,中国提出的绿色发展,本质上是发展方式的转变,是系统协调经济发展和生态环境保护的一种发展模式。同时,环境经济政策是绿色发展的重要内容 and 一种核心手段,是让人们提高保护环境意识、促进可持续发展的政策工具。由于能源和产业结构的不合理,哈尔滨的环境污染问题越来越严重,特别是空气污染状况[1]。

1.2. 研究目的及意义

1.2.1. 研究目的

随着城市化、工业化的飞速发展,城市环境受到了不同程度的污染,劣质的空气质量已经成为威胁城市居民健康生存和城市社会可持续发展的重要挑战[1]。哈尔滨市独特的地理条件,导致哈尔滨市冬季

漫长,在冬季人类大量燃煤、取暖以及汽车排放尾气,加上大风天气会引起地面扬尘,使这些污染物和扬尘进入到大气,最终它们都会以颗粒物形式存在于大气。而这些颗粒物可以通过呼吸系统进入人体肺部,最终对人体产生危害。本文主要对哈尔滨市主城区大气颗粒物污染特征进行研究。大气颗粒物主要包括了 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 。利用传统统计分析方法对大气颗粒物的时间变化特征进行深入分析。

1.2.2. 研究意义

本研究拟通过对哈尔滨大气颗粒物污染特征的研究,找出哈尔滨市大气颗粒物的时间变化规律。本次研究可为哈尔滨市环保部门为治理环境提供有效地控制可吸入颗粒物的污染决策依据。

1.3. 研究内容及数据来源

1.3.1. 研究内容

由于哈尔滨市纬度高,冬季气温低,集中供暖期长的特点,哈尔滨市冬季大气颗粒态污染较为严重。为此本研究通过收集哈尔滨市 2015~2019 年冬季大气颗粒物 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 的浓度数据,明确其时间变化规律,利用传统统计学方法分析颗粒物在各年间及各月份间的差异,通过比值法判别大气颗粒物的来源,并对其变化特征进行可能的影响因素分析,最终提出相关建议。

1.3.2. 数据来源

2015 年冬季到 2019 年冬季的 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、AQI 的浓度监测数值均来自于 $PM_{2.5}$ 真空气网空气质量在线监测平台,导入 EXCEL 表中进行传统统计学分析和 SPSS 中的方差分析、多重比较以及相关性分析。

1.4. 研究区概况

哈尔滨市在中国最寒冷的地方—东北,这座城市被松花江环绕,为哈尔滨市的发展提供了良好的条件。哈尔滨位于中国最冷的东北地区,人们都认为它是欧亚大陆大桥一颗璀璨耀眼的明珠,是连接欧亚大陆大桥和空中走廊的重要工具,哈大、滨水、滨州、滨北、拉滨五条铁路代表着哈尔滨市与世界的连接。

松花江黄金水道可以直接到达俄罗斯。太平国际机场年旅客为 200 多万人次,可以为 110 多个家庭办理客货联运业务。

哈尔滨的气候有四个重要季节,漫长的冬季和炎热的夏季。春天和秋天,海平面变化迅速,气温上升迅速。这是哈尔滨短暂的温度上升,时间较短。哈尔滨春季气温恢复迅速,降雨量少,气候干燥多变,温度变化大。几个月之间的温度变化很大,通常在 8 到 10℃ 左右。春天多风,是一年中大风天气最多的季节。夏天气候温暖,雨水充足,同一季节有光和热水;温度差别小,7 月份是最炎热的月份,平均气温为 23.0℃。夏天是下雨最多但降雨强度很小,平均有 1~2 天的暴雨,暴雨强大是罕见的。秋天的天气又冷又暖和。秋季之后,降雨量显著减少,但比春季的雨水多得多;在春季之后,风速更高,风向主要来自南方。冬季气温非常低,1 月平均最低气温为零下 24 摄氏度,极端最低气温出现在根河,为零下 38 摄氏度;降雨量少,气候寒冷干燥,但有时会有暴风雪;在冬季,西南风占主导地位,风很小。

哈尔滨的市区、双城和呼兰是平原和低洼地区,东部 10 个县(城市)是山区和丘陵地区。东南方是张广岭,北边被小兴安岭山区围绕,中间经过松花江,山势不高,流域丰富,平原宽阔。

2. 大气颗粒物污染特征分析

2.1. 大气颗粒物污染特征分析以年份为节点

2.1.1. 平均浓度分析

哈尔滨市大气颗粒物的冬季日均质量浓度统计表(见表 1 和图 1),由表 1 可得,2015 年冬季至 2019 年冬季 $PM_{2.5}$ 平均质量浓度依次为 103.41、96.57、77.5、78.21、102.84 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM_{10} 平均质量浓度依次为

133.16、118.41、96.38、97.84、112.69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，AQI 平均数值为 134.73、126.77、104.08、105.13、134.13，其中， PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 的平均质量浓度超过《环境空气质量标准》(GB3095-2012)中 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 的年均质量浓度二级标准的限值(70、35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) [2] [3]，AQI 对人体无害的标准数值范围为 0~100，而哈尔滨市 2015-2019 年冬季的平均 AQI 均大于标准数值。根据(GB3095-2012)中 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 的日均质量浓度二级标准的限值(150、75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) [2] [3]，2015 年冬季~2019 年冬季 $\text{PM}_{2.5}$ 的超标率为 58%、53%、42%、34%、48%，AQI 的超标率与 $\text{PM}_{2.5}$ 的超标率相同， PM_{10} 的超标率分别为 29%、26%、11%、15%、28%，其中， $\text{PM}_{2.5}$ 、AQI、 PM_{10} 的平均浓度和超标率均表现为先减小后增大的趋势。 PM_{10} 与 $\text{PM}_{2.5}$ 的超标率相比， PM_{10} 的超标率均小于 $\text{PM}_{2.5}$ ，说明哈尔滨市的冬季大气颗粒物污染主要为 $\text{PM}_{2.5}$ 污染，而对于 PM_{10} 的污染源(如道路扬尘、建筑灰尘等)控制较好。2016 年、2017 年冬季与 2015 冬季相比， $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度有所下降，说明哈尔滨市的环境保护措施和相关政策起到了一定的作用，对 $\text{PM}_{2.5}$ 污染源(如重污染工厂、燃煤、采暖、生物质燃烧、机动车尾气排放等)控制较好，而 2018 年、2019 年与 2017 年相比， $\text{PM}_{2.5}$ 逐步上升，说明哈尔滨市大气颗粒物污染加重，主要是因为供暖需求变大，临近城市焚烧秸秆，气候影响等因素。2017 年的 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 平均质量浓度、AQI 数值以及超标率均为近几年最低值。

Table 1. Annual average concentration quality table

表 1. 年份平均浓度质量表

| 年份 | | AQI | $\text{PM}_{2.5}$ | PM_{10} |
|----------|-----|--------|-------------------|------------------|
| 2015 年冬季 | 平均值 | 134.73 | 103.41 | 133.16 |
| | 超标率 | 58 | 58 | 29 |
| 2016 年冬季 | 平均值 | 126.77 | 96.57 | 118.41 |
| | 超标率 | 53 | 53 | 26 |
| 2017 年冬季 | 平均值 | 104.08 | 77.5 | 96.38 |
| | 超标率 | 42 | 42 | 11 |
| 2018 年冬季 | 平均值 | 105.13 | 78.21 | 97.84 |
| | 超标率 | 34 | 34 | 15 |
| 2019 年冬季 | 平均值 | 134.13 | 102.84 | 112.69 |
| | 超标率 | 48 | 48 | 28 |
| 总计 | 平均值 | 121.03 | 91.75 | 111.75 |

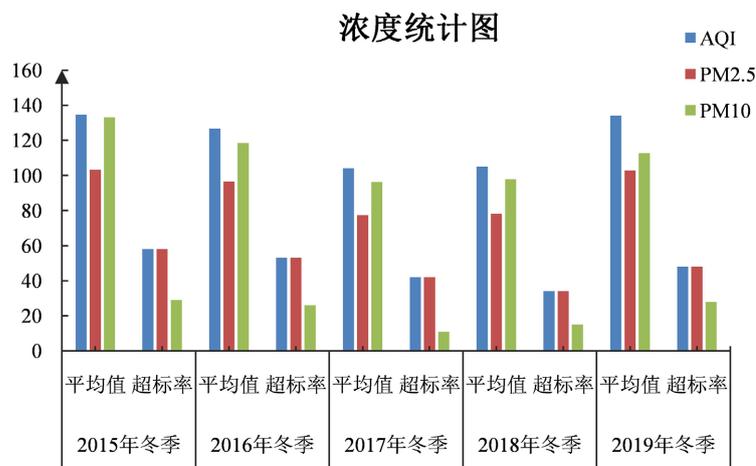


Figure 1. Concentration statistical chart

图 1. 浓度统计图

2.1.2. 方差分析

哈尔滨市大气颗粒物方差分析见(表 2 和图 2), 2015 年冬季-2019 年冬季的 AQI、PM_{2.5}、PM₁₀ 的 F 分别为 4.103、4.080、4.966, 显著性分别为 0.003、0.003、0.001, 其中 PM₁₀、PM_{2.5}、AQI 的显著性小于 0.05, 且 F 值表现为 PM₁₀>AQI>PM_{2.5}, 说明哈尔滨市这几年来 AQI 和 PM_{2.5} 变化较小, 而 PM_{2.5}、AQI 显著性小于 PM₁₀, 说明哈尔滨市近几年来 PM₁₀ 差异明显, 与平均质量浓度分析结果一致, 哈尔滨市大气颗粒物污染主要是 PM_{2.5} 污染。主要来源为冬季供暖和汽车排放尾气。

Table 2. Annual ANOVA table

表 2. 年份方差分析表

| | | ANOVA | | | | |
|-------------------|----|-------------|-----|-----------|-------|-------|
| | | 平方和 | 自由度 | 均方 | F | 显著性 |
| AQI | 组间 | 84258.176 | 4 | 21064.544 | 4.103 | 0.003 |
| | 组内 | 2294653.505 | 447 | 5133.453 | | |
| | 总计 | 2378911.681 | 451 | | | |
| PM _{2.5} | 组间 | 60407.669 | 4 | 15101.917 | 4.08 | 0.003 |
| | 组内 | 1654562.072 | 447 | 3701.481 | | |
| | 总计 | 1714969.741 | 451 | | | |
| PM ₁₀ | 组间 | 84476.569 | 4 | 21119.142 | 4.966 | 0.001 |
| | 组内 | 1900856.679 | 447 | 4252.476 | | |
| | 总计 | 1985333.248 | 451 | | | |

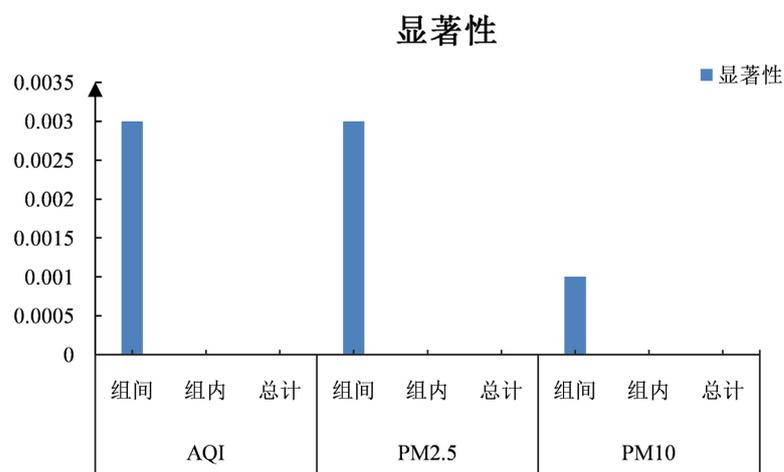


Figure 2. ANOVA bar chart

图 2. 方差分析柱状图

2.1.3. 多重比较分析

哈尔滨市大气颗粒物多重比较(见图 3), 2015 年冬季与各年冬季 AQI 比较, 显著性为依次为 0.999、0.019、0.09、1, 2016 年冬季与各年冬季 AQI 比较, 显著性依次为 0.999、0.14、0.388、0.999, 2017 年冬季与各年冬季 AQI 比较, 显著性依次为 0.019、0.14、1.00、0.028, 2018 年冬季与各年冬季 AQI 比较, 显著性依次为 0.09、0.388、1.00、0.115, 2019 年冬季与各年冬季 AQI 比较, 显著性依次为 1.00、0.999、

0.028、0.115。2015年冬季与各年冬季PM_{2.5}比较,显著性为依次为0.999、0.02、0.104、1,2016年冬季与各年冬季PM_{2.5}比较,显著性为依次为0.999、0.129、0.4、0.999,2017年冬季与各年冬季PM_{2.5}比较,显著性为依次为0.02、0.129、1、0.023,2018年冬季与各年冬季PM_{2.5}比较,显著性为依次为0.104、0.4、1、0.115,2019年冬季与各年冬季PM_{2.5}比较,显著性为依次为1、0.999、0.023、0.115,2015年冬季与各年冬季PM₁₀比较,显著性依次为0.887、0.002、0.009、0.511,2016年冬季与各年冬季PM₁₀比较,显著性依次为0.887、0.108、0.276、1,2017年冬季与各年冬季PM₁₀比较,显著性为依次为0.002、0.108、1、0.418,2018年冬季与各年冬季PM₁₀比较,显著性为依次为0.009、0.276、1、0.693,2019年冬季与各年冬季PM₁₀比较,显著性为依次为0.511、1、0.418、0.693,经多重比较分析,2015年、2017年、2019年之间PM_{2.5}、PM₁₀、AQI差异明显,而其他年份之间比较无明显差异,而2015年与2017年、2017年与2019年间AQI、PM_{2.5}、PM₁₀显著性小于0.05,有明显差异,与方差分析和平均质量浓度分析结果一致,哈尔滨市冬季大气颗粒物质量浓度呈现先减小后增大的趋势,且PM₁₀的显著性小于PM_{2.5}和AQI的显著性,哈尔滨市冬季大气颗粒物污染主要为PM_{2.5}污染。

多重比较分析

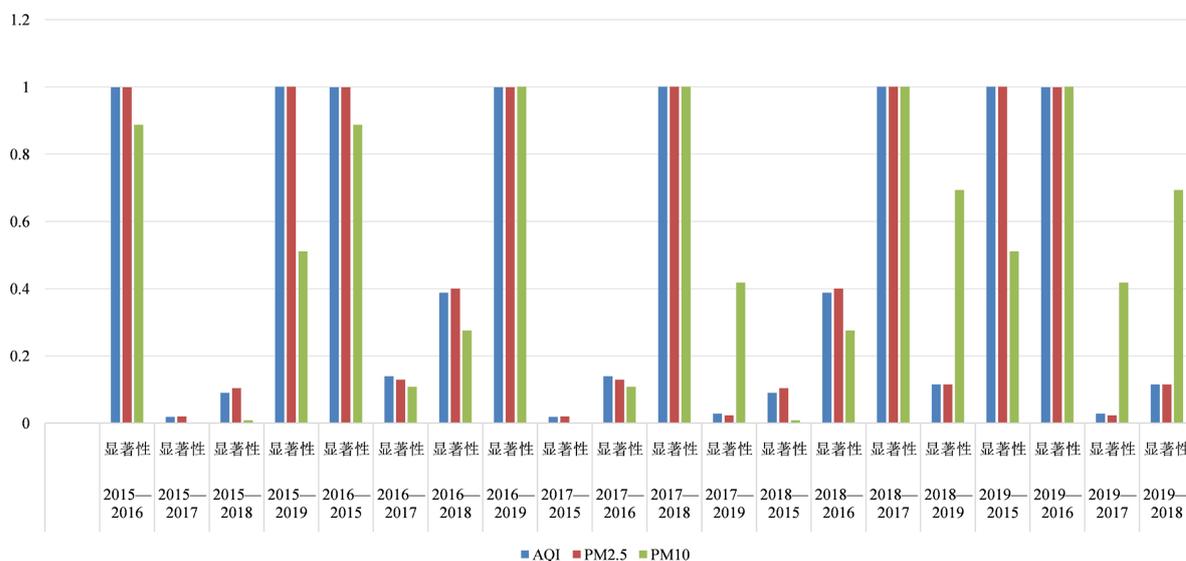


Figure 3. Multiple comparison bar chart
图 3. 多重比较柱状图

2.2. 大气颗粒物污染特征分析以月份为节点

2.2.1. 平均浓度分析

哈尔滨市大气颗粒物的12月至2月日均质量浓度统计表(见表3和图4),由表3可得,12月至1月PM_{2.5}平均质量浓度依次为91.61、107.17、75.08 μg/m³,PM₁₀平均质量浓度依次为114.41、127.43、91.73 μg/m³,AQI平均数值为120.62、139.98、100.78,其中,PM_{2.5}的平均质量浓度远超《环境空气质量标准》(GB3095-2012)中PM_{2.5}的日均质量浓度二级标准的限值(75 μg/m³) [2] [3],PM₁₀的平均质量浓度未超过《环境空气质量标准》(GB3095-2012)中PM₁₀的日均质量浓度二级标准的限值(150 μg/m³) [4] [5],AQI对人体无害的标准数值范围为0~100,而哈尔滨市12月至1月的平均AQI均大于标准数值,2月数值近似等于100,说明2月总体空气质量较好。根据(GB3095-2012)中PM_{2.5}和PM₁₀的日均质量浓度二级标准的限值(150、75 μg/m³) [2] [3],12月至1月PM_{2.5}的超标率为49%、56%、34%,PM₁₀的超标率21%、32%、

12%。AQI 超标率与 $PM_{2.5}$ 超标率相等，其中，12 月~2 月的质量浓度比较和超标率比较， $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、AQI 均表现为一月份最大，二月份最小，说明哈尔滨市冬季近几年一月大气颗粒物污染最严重，二月污染较少。12 月至 1 月 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 质量浓度上升，AQI 数值上升，三者超标率也上升，说明哈尔滨市的供暖以及汽车排放尾气对哈尔滨市大气颗粒物污染影响严重，1 月至 2 月， $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 质量浓度下降，AQI 数值下降，三者超标率也下降，说明环境保护措施起到了一定的作用，对 $PM_{2.5}$ 污染源(如重污染工厂、燃煤、采暖、生物质燃烧、机动车尾气排放等)控制较好，而 $PM_{2.5}$ 超标率基本稳定在 12%左右，说明哈尔滨市供暖问题和汽车尾气所产生的 $PM_{2.5}$ 得到了妥善处理[4]。

Table 3. Monthly average concentration quality
表 3. 月份平均质量浓度

| 月份 | | AQI | $PM_{2.5}$ | PM_{10} |
|----|------|--------|------------|-----------|
| 1 | 平均值 | 139.98 | 107.17 | 127.43 |
| | 标准偏差 | 75.885 | 64.415 | 65.942 |
| 2 | 平均值 | 100.78 | 75.08 | 91.73 |
| | 标准偏差 | 58.684 | 50.048 | 48.441 |
| 12 | 平均值 | 120.62 | 91.61 | 114.41 |
| | 标准偏差 | 76.133 | 64.792 | 75.968 |
| 总计 | 平均值 | 121.03 | 91.75 | 111.75 |
| | 标准偏差 | 72.627 | 61.665 | 66.348 |

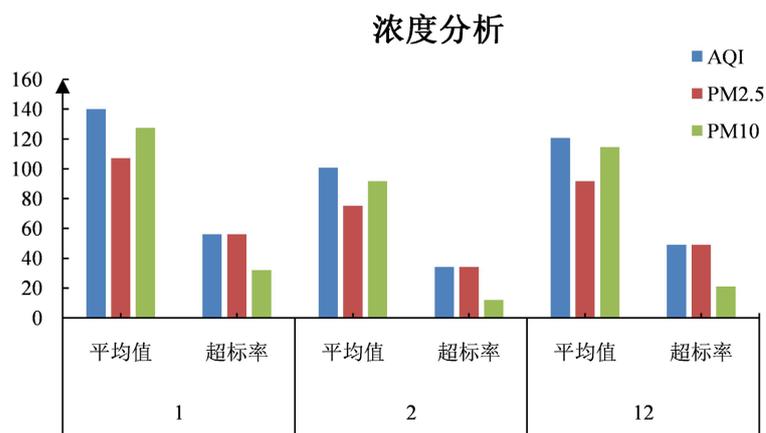


Figure 4. Monthly concentration bar chart
图 4. 月份浓度柱状图

2.2.2. 方差分析

哈尔滨市大气颗粒物按照月份的方差分析(见表 4)，12 月至 1 月的 AQI、 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 的 F 分别为 11.29、10.451、11.417，显著性分别为 0.00、0.00、0.00，其中 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、AQI 的显著性小于 0.05，且 F 值相差较小的，说明 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 方差不齐，差异性显著，有统计学意义，说明哈尔滨市大气颗粒物污染在月份之间差异性明显，而 AQI 显著性小于 0.05，F 值也与 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 相差较小，说明哈尔滨市月份之间的空气质量差异明显，与质量浓度分析结果一致，月份之间差异性较大，主要是由于冬季供暖和汽车排放尾气造成[4]。

Table 4. Analysis of variance table
表 4. 方差分析表

| | | ANOVA | | | | |
|-------------------|----|-------------|-----|-----------|--------|-----|
| | | 平方和 | 自由度 | 均方 | F | 显著性 |
| AQI | 组间 | 113909.965 | 2 | 56954.983 | 11.29 | 0 |
| | 组内 | 2265001.716 | 449 | 5044.547 | | |
| | 总计 | 2378911.681 | 451 | | | |
| PM _{2.5} | 组间 | 76286.342 | 2 | 38143.171 | 10.451 | 0 |
| | 组内 | 1638683.399 | 449 | 3649.629 | | |
| | 总计 | 1714969.741 | 451 | | | |
| PM ₁₀ | 组间 | 96082.126 | 2 | 48041.063 | 11.417 | 0 |
| | 组内 | 1889251.121 | 449 | 4207.686 | | |
| | 总计 | 1985333.248 | 451 | | | |

2.2.3. 多重比较分析

哈尔滨市大气颗粒物多重比较分析(见图 5), 1 月与各月 AQI 比较, 显著性为依次为 0.00、0.075, 2 月与各月 AQI 比较, 显著性依次为 0.00、0.036, 12 月与各月 AQI 比较, 显著性依次为 0.075、0.036。1 月与各月 PM_{2.5} 比较, 显著性为依次为 0、0.101, 2 月与各月 PM_{2.5} 比较, 显著性为依次为 0、0.042, 12 月与各月 PM_{2.5} 比较, 显著性为依次为 0.101、0.042。1 月与各月 PM₁₀ 比较, 显著性依次为 0、0.291, 2 月与各月 PM₁₀ 比较, 显著性依次为 0、0.007, 12 月与各月 PM₁₀ 比较, 显著性依次为 0.291、0.007。经多重比较分析得, 1 月与 2 月, 2 月与 12 月比较, AQI、PM₁₀、PM_{2.5} 均小于 0.05, 差异性明显, 与平均质量浓度分析和方差分析结果一致, 哈尔滨市冬季大气颗粒物污染主要集中在 1 月, 哈尔滨市冬季空气质量最好的时候在 2 月, 哈尔滨市冬季大气颗粒物污染差异明显。哈尔滨市冬季大气颗粒物污染差异明显主要是由于供暖和汽车排放尾气导致[5]。

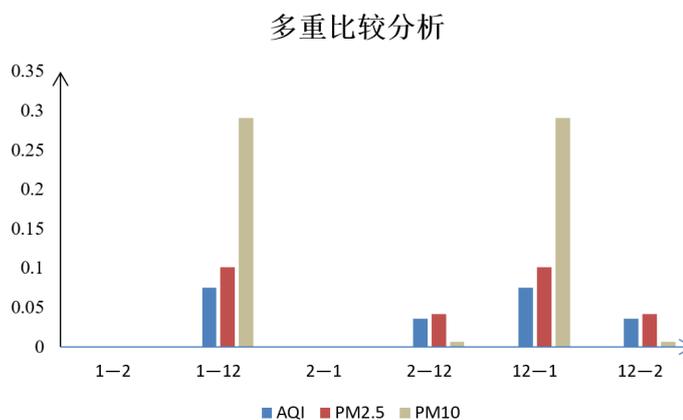


Figure 5. Multiple comparative analysis

图 5. 多重比较分析

3. 治理措施

从源头处理, PM_{2.5} 的来源主要是工厂污染、汽车排放尾气、冬季供暖秸秆燃烧等。我们可以借鉴欧

美国家,进行综合治理,改造我们现有的设备,更新我们的防尘技术,对工业生产造成的粉尘污染进行严格控制,在严格控制工厂生产造成的污染时,同时也要出台相关政策,加强对粉尘的管理[6][7]。我们更要控制汽车尾气的排放,提倡绿色环保出行,制定相关政策,控制汽车排放标准。积极宣传低碳环保的出行方式,向市民大力宣传公交车、共享单车等低碳环保的出行方式。哈尔滨独特的地理位置,让我们冬季不得不进行供暖。这方面我们要积极淘汰燃煤锅炉,对这些锅炉进行大力改造,对淘汰范围进行扩展,由市区向农村扩展,加大淘汰的速度和力度,并且在淘汰时向市民普及环境知识。对于燃煤锅炉淘汰地区,进行集中供热,逐步扩大集中供热范围。对于秸秆燃烧,我们要进行综合利用处理,使秸秆成为肥料、原料、饲料,让秸秆的作用发挥到最大。并且要实时检测天气情况和空气质量,实时巡逻,从根源上制止这种行为。

4. 结论

哈尔滨市 $PM_{2.5}$ 污染较严重, $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 的平均质量浓度以及 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 超标率,及 AQI 的数值均表现为先减小后增大。2016 年、2017 年冬季与 2015 冬季相比, $PM_{2.5}$ 质量浓度有所下降,说明哈尔滨市的环境保护措施和相关政策起到了一定的作用,对 $PM_{2.5}$ 污染源(如重污染工厂、燃煤、采暖、生物质燃烧、机动车尾气排放等)控制较好[8],而 2018 年、2019 年与 2017 年相比, $PM_{2.5}$ 逐步上升,说明哈尔滨市大气颗粒物污染加重,主要是因为供暖需求变大,临近城市焚烧秸秆,气候影响等因素。2017 年的 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 平均质量浓度、AQI 数值以及超标率均为近几年最低值。

分析月份浓度得出 1 月的 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 的浓度均值以及 AQI 数值均大于 12 月和 2 月,说明 1 月大气颗粒物污染最严重,空气质量最差。2 月 AQI 平均值约等于 100,说明 2 月份空气质量最好,污染最小。

利用方差分析得到, PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 、AQI 的显著性均小于 0.05,有统计学意义, AQI 以及 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 差异明显。说明哈尔滨市冬季颗粒物污染主要与哈尔滨市供暖原因有关。利用多重比较分析年份得出,2015 年、2017 年、2019 年之间 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、AQI 差异明显,符合平均质量浓度分析结果,先减小后增大。利用多重比较分析和方差分析月份得到,1 月与 2 月,2 月与 12 月比较, AQI、 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 均小于 0.05,差异性明显。符合月份平均质量浓度分析结果,1 月最大,2 月最小。

参考文献

- [1] 孙欢欢,倪长健,崔蕾,等.成都市大气颗粒物污染特征及与气象因子的关联性分析[J].环境污染与防治,2016,38(5):55-60.
- [2] 环境保护部.GB3095-2012 环境空气质量标准[S].北京:中国环境科学出版社,2012.
- [3] 王玮,汤大钢,刘红杰,等.中国 $PM_{2.5}$ 污染状况和污染特征的研究[J].环境科学研究,2000(1):1-5.
- [4] 朱易,胡衡生,张新英,等.南宁市大气颗粒物 TSP、 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 污染水平研究[J].环境污染与防治,2004(3):176-178,242.
- [5] 王敬,毕晓辉,冯银厂,等.乌鲁木齐市重污染期间 $PM_{2.5}$ 污染特征与来源解析[J].环境科学研究,2014,27(2):113-119.
- [6] 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.
- [7] 孟昭阳,张怀德,蒋晓明,等.太原地区冬春季 $PM_{2.5}$ 污染特征及影响因素[J].中国科学院研究生院学报,2007,24(5):648-656.
- [8] 王新,聂燕,陈红,等.兰州城区大气 $PM_{2.5}$ 污染特征及来源解析[J].环境科学,2016,37(5):1619-1628.