

# 聊城首要污染物特征和气象影响因子分析

韩风军<sup>1</sup> 王一秋<sup>2</sup>

1 聊城市气象局 2 聊城市生态环境局

DOI:10.12238/eep.v7i11.2301

**[摘要]** 本文基于聊城市环境信息与监控中心2023年全市空气质量监测数据,对聊城主城区首要污染物的特征和气象影响因子进行统计分析。研究表明:(1) $O_3$ 、 $PM_{2.5}$ 和 $PM_{10}$ 是聊城主城区空气污染的首要污染物。其中 $PM_{2.5}$ 污染时长最长, $PM_{10}$ 次之。(2)污染物日变化特征: $NO_2$ 日浓度呈现夜间高、白天低的变化特征; $O_3$ 日浓度呈现明显的单峰特征; $PM_{2.5}$ 和 $PM_{10}$ 的日浓度趋势一致,均呈现双峰结构特征。(3)污染物相关性分析表明, $PM_{2.5}$ 和 $NO_2$ 有强正相关; $CO$ 和 $SO_2$ 、 $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$ 有强正相关; $O_3$ 和 $NO_2$ 、 $PM_{2.5}$ 有强负相关。(4)气象影响因子分析显示,日最高气温和 $O_3$ 浓度相关性最显著,基于这一发现,建立了日最高气温与 $O_3$ 浓度的线性拟合方程,为 $O_3$ 浓度的预测提供了一种客观的方法。

**[关键词]** 聊城主城区; 首要污染物; 气象影响因子

**中图分类号:** X-652 **文献标识码:** A

## Analysis of the Characteristics of Major Pollutants and Meteorological Impact Factors in Liaocheng

Fengjun Han<sup>1</sup> Yiqiu Wang<sup>2</sup>

1 Liaocheng Meteorological Bureau 2 Liaocheng Ecological Environment Bureau

**[Abstract]** Based on the air quality monitoring data of Liaocheng Environmental Information and Monitoring Center in 2023, this article conducts statistical analysis on the characteristics and meteorological influencing factors of the primary pollutants in the main urban area of Liaocheng. The research results indicate that: (1)  $O_3$ ,  $PM_{2.5}$ , and  $PM_{10}$  are the primary pollutants causing air pollution in the main urban area of Liaocheng. Among them,  $PM_{2.5}$  pollution has the longest duration, followed by  $PM_{10}$ . (2) Daily variation characteristics of pollutants:  $NO_2$  daily concentration shows a trend of high at night and low during the day; The daily concentration of  $O_3$  exhibits a clear unimodal characteristic; The daily concentration trends of  $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$  are consistent, both showing a bimodal structure. (3) The correlation analysis of pollutants shows a strong positive correlation between  $PM_{2.5}$  and  $NO_2$ ; There is a strong positive correlation between  $CO$  and  $SO_2$ ,  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ;  $O_3$  has a strong negative correlation with  $NO_2$  and  $PM_{2.5}$ . (4) The analysis of meteorological influencing factors shows that the correlation between daily maximum temperature and  $O_3$  concentration is the most significant. Based on this finding, a linear fitting equation between daily maximum temperature and  $O_3$  concentration has been established, providing an objective method for predicting  $O_3$  concentration.

**[Key words]** Liaocheng main urban area; Primary pollutant; Meteorological impact factors

## 引言

随着城市化和工业化进程,空气污染问题日益严重,成为制约可持续发展的重要因素<sup>[1]</sup>。空气质量影响城市形象及绿色发展,深入分析聊城主城区空气污染的首要污染物、浓度变化及与气象因素的关系,对制定污染防治策略、改善空气质量至关重要。

研究表明,空气污染与季节变化密切相关,如环渤海三大城市群空气污染呈现显著季节性特征<sup>[2]</sup>。城市空间形态影响空气污染物分布,长三角城市群研究显示 $PM_{2.5}$ 与 $O_3$ 污染存在时空差

异<sup>[3]</sup>。张淼等分析发现,2016至2020年间山东省 $PM_{2.5}$ 浓度下降, $O_3$ 浓度上升,表明首要污染物构成在动态变化<sup>[4]</sup>。蔡乐天研究发现,苏沪14市空气质量指数及主要污染物浓度逐年递减,但地区间差异仍存在<sup>[5]</sup>。

气象条件对空气污染物扩散、转化和沉积有重要影响。江苏淮安地区研究表明,AQI与降水、气温、风速、相对湿度等气象因子负相关,但相关性较弱<sup>[6]</sup>。朱红蕊等研究发现,哈尔滨市AQI与气压正相关,与风速、降水日数负相关,冬季与相对湿度显著正相关<sup>[7]</sup>。郑丽英等<sup>[8]</sup>发现成都夏季 $O_3$ 浓度与高温、低湿、太

阳辐射相关,表明气象因素对空气质量影响复杂,需考虑当地气象特征。本研究聚焦于聊城主城区,分析空气质量监测数据,明确首要污染物种类、浓度变化及其与气象因素的关系,为空气质量预报及改善措施提供科学依据。

## 1 数据来源与研究方法

### 1.1 数据来源

本研究数据源自聊城市环境信息与监控中心2023年主城区6个空气质量监测站的逐小时监测,涵盖PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>和CO六种污染物。剔除故障数据后,共获8701个样本。

### 1.2 研究方法

本研究采用统计分析法,对六种主要空气污染物的各项监测指标进行分析,探究首要污染物的变化特征。数据分析遵循《环境空气质量标准》、《环境空气质量指数(AQI)技术规定(试行)》中的相关要求。

## 2 首要污染物特征

### 2.1 首要污染物时长分析

对8701个逐时空气污染数据进行分析,计算2023年逐时AQI,结果显示:SO<sub>2</sub>和CO作为首要污染物的时长为0小时;NO<sub>2</sub>作为首要污染物的时长为3小时,污染时长非常短;PM<sub>10</sub>作为首要污染物的时长为4624小时,占比53.1%,是污染时长最长、污染百分比最高的首要污染物;PM<sub>2.5</sub>作为首要污染物的时长为2509小时,占比28.8%,排名第二;O<sub>3</sub>作为首要污染物的时长为1384小时,占比15.9%,排名第三。

组合污染物分析显示,PM<sub>10</sub>和PM<sub>2.5</sub>、O<sub>3</sub>和PM<sub>10</sub>、O<sub>3</sub>和PM<sub>2.5</sub>、O<sub>3</sub>及PM<sub>10</sub>和PM<sub>2.5</sub>作为首要污染物的时长和占比均较低,表明这些污染物很少同时成为首要污染物。

### 2.2 首要污染物月季分布特征

PM<sub>10</sub>作为首要污染物,在全年12个月内均有出现,其污染时长在春季(3月至5月)达到最高峰值,特别是在4月高达610小时。PM<sub>10</sub>的污染时长在7月至9月期间降至最低,9月达到全年最低点275小时。

PM<sub>2.5</sub>作为颗粒物污染的组成部分,在全年均有作为首要污染物的记录。其污染时长在冬季(12月至次年2月)达到最高,特别是在12月污染时长达到479小时。从3月开始,PM<sub>2.5</sub>的污染时长逐渐减少,至6月达到全年最低值15小时。此后,从7月至11月PM<sub>2.5</sub>的污染时长再次呈现逐步上升的趋势。

O<sub>3</sub>作为首要污染物时间主要集中在6月至9月,这期间O<sub>3</sub>的污染时长显著增加,7月达到全年最高值384小时。9月至次年5月,O<sub>3</sub>的污染时长较少,特别是在冬季(12月至次年2月),O<sub>3</sub>均不是首要污染物。

## 3 污染物浓度日变化特征

计算聊城市2023年六种污染物浓度的逐小时数据年度平均值,得到六种污染物逐小时的浓度变化数据(图1),分析各污染物的日变化特征。

SO<sub>2</sub>浓度在一天中变化不大,整体维持在较低水平,波动范围在8.0 μg/m<sup>3</sup>至12.2 μg/m<sup>3</sup>之间。浓度的峰值出现在09至12

时,11时和12时的浓度分别为12.0 μg/m<sup>3</sup>和11.0 μg/m<sup>3</sup>。

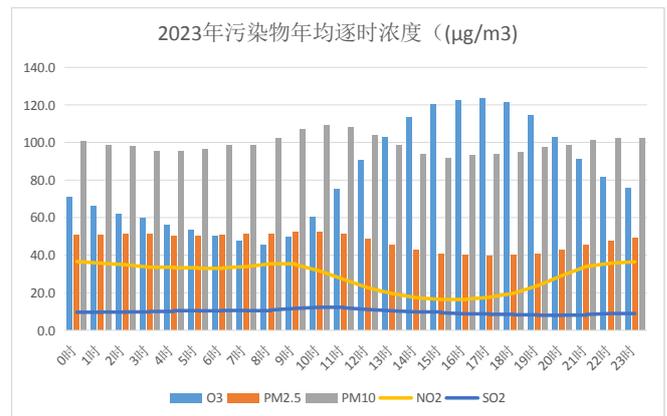


图1 2023年污染物日均逐时浓度(μg/m<sup>3</sup>)

NO<sub>2</sub>日浓度呈夜间高、白天低特征,早晨9时开始下降,15时达最低(16.4 μg/m<sup>3</sup>),之后回升,00时达最高(36.6 μg/m<sup>3</sup>)。

O<sub>3</sub>浓度日变化显著,08时起由45.4 μg/m<sup>3</sup>逐渐升至17时峰值123.2 μg/m<sup>3</sup>,后渐降至谷值,12-21时平均浓度较高,为110.2 μg/m<sup>3</sup>,这主要是由于太阳辐射增强和光化学反应活跃导致的。

CO日浓度08-12时略升至0.7mg/m<sup>3</sup>并保持,13时至次日07时稳定回落至0.6mg/m<sup>3</sup>,午后至夜间浓度较低且稳定。

PM<sub>10</sub>日浓度在91.4-109.2 μg/m<sup>3</sup>间变化,呈双峰特征:上午08-12时达首峰109.2 μg/m<sup>3</sup>,晚上21-00时达次峰102.4 μg/m<sup>3</sup>。

PM<sub>2.5</sub>浓度早06时起逐渐上升,10时达最高水平(52.5 μg/m<sup>3</sup>),后渐降,16时至最低(40.0 μg/m<sup>3</sup>),再逐渐上升,20-23时达较高水平(42.7-48.9 μg/m<sup>3</sup>),夜间至凌晨维持高浓度。

## 4 污染物相关性分析

对六种主要大气污染物进行皮尔逊相关性分析,并计算各污染物之间的相关性。

表1 污染物相关系数表

| 污染物类别                                  | SO <sub>2</sub> (μg/m <sup>3</sup> ) | NO <sub>2</sub> (μg/m <sup>3</sup> ) | PM <sub>10</sub> (μg/m <sup>3</sup> ) | PM <sub>2.5</sub> (μg/m <sup>3</sup> ) | CO (mg/m <sup>3</sup> ) | O <sub>3</sub> (μg/m <sup>3</sup> ) |
|--|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|--|-------------------------|-------------------------------------|
| SO <sub>2</sub> (μg/m <sup>3</sup> )   | 1                                    | 0.267                                | 0.621**                               | 0.758**                                | 0.804**                 | -0.649**                            |
| NO <sub>2</sub> (μg/m <sup>3</sup> )   | 0.267                                | 1                                    | 0.503*                                | 0.810**                                | 0.654**                 | -0.859**                            |
| PM <sub>10</sub> (μg/m <sup>3</sup> )  | 0.621**                              | .503*                                | 1                                     | 0.643**                                | 0.888**                 | -0.498*                             |
| PM <sub>2.5</sub> (μg/m <sup>3</sup> ) | 0.758**                              | 0.810**                              | 0.643**                               | 1                                      | 0.869**                 | -0.952**                            |
| CO (mg/m <sup>3</sup> )                | 0.804**                              | 0.654**                              | 0.888**                               | 0.869**                                | 1                       | -0.767**                            |
| O <sub>3</sub> (μg/m <sup>3</sup> )    | -0.649**                             | -0.859**                             | -0.498*                               | -0.952**                               | -0.767**                | 1                                   |

\*\*在0.01级别(双尾),相关性显著。

\*在0.05级别(双尾),相关性显著。

表1显示,SO<sub>2</sub>与NO<sub>2</sub>相关性不显著,与PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、CO正相关,与O<sub>3</sub>负相关,SO<sub>2</sub>浓度增加时O<sub>3</sub>可能减少。

NO<sub>2</sub>与PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、CO正相关,与PM<sub>2.5</sub>相关性尤强(0.810);与

$O_3$ 强负相关(-0.859),因 $NO_2$ 为 $O_3$ 前体物,但在高 $NO_x$ 、低太阳辐射等条件下,两者反应使 $O_3$ 浓度降低。

$PM_{10}$ 与 $PM_{2.5}$ 、CO显著正相关,相关性系数分别为0.643、0.888;与 $O_3$ 中等程度负相关,相关性系数为-0.498。

$PM_{2.5}$ 与CO显著正相关(0.869),与 $O_3$ 非常强负相关(-0.952),体现了颗粒物与气体污染物间的复杂关系及对气象条件的敏感性。

CO与 $O_3$ 显著负相关(-0.767),这是由于 $O_3$ 和CO参与一系列复杂的化学反应,在高CO浓度的条件下,OH等反应活性物被消耗,抑制了 $O_3$ 的生成。

## 5 气象因素对污染物的影响

分析平均气温、最高/最低气温、极大风速、日照时数、平均相对湿度、日最高气压等气象因子与六种污染物间的相关性,探究气象对污染物的影响。

研究表明,气温与 $SO_2$ 、 $NO_2$ 、 $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$ 、CO负相关且显著,随气温升高,这些污染物浓度降低。日最高气压与这些污染物正相关,与 $O_3$ 最大浓度负相关。极大风速、日照时数、平均相对湿度与部分污染物有弱相关性,但因相关系数低,不进行量化统计。

气温与 $O_3$ 八小时滑动平均最大浓度正相关,最高气温相关性尤高(0.816)。线性方程 $y=35.95+3.31x$ 描述了最高气温(x)与 $O_3$ 浓度(y)的关系:最高气温 $0^\circ C$ 时, $O_3$ 浓度约 $35.95 \mu g/m^3$ ;最高气温每升 $1^\circ C$ , $O_3$ 浓度增 $3.31 \mu g/m^3$ 。 $R^2=0.666$ ,表明模型解释了66.6%的数据变异性。此方程可预测未来8小时 $O_3$ 浓度。

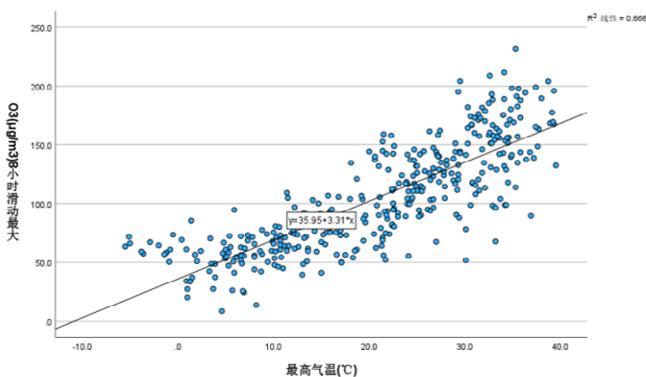


图2 最高气温与 $O_3$ 浓度散点图

## 6 结论

(1) 首要污染物特征:聊城主城区空气污染的首要污染物为

$PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 和 $O_3$ 。其中 $PM_{2.5}$ 污染时长最长,占比最高, $PM_{10}$ 次之, $O_3$ 第三。 $PM_{10}$ 和 $PM_{2.5}$ 作为首要污染物全年可发生。 $PM_{10}$ 污染主要集中在春季; $PM_{2.5}$ 主要集中在冬季; $O_3$ 污染主要集中在6月至9月,夏季尤为显著。

(2) 污染物日变化特征:CO和 $SO_2$ 日浓度变化较小; $NO_2$ 日浓度呈现夜间高、白天低的变化特征; $O_3$ 日浓度呈现明显的单峰特征(12至21时 $O_3$ 浓度最高); $PM_{2.5}$ 和 $PM_{10}$ 的日浓度趋势一致,均呈现双峰结构特征。

(3) 污染物相关性:研究发现, $PM_{2.5}$ 和 $NO_2$ 有强正相关;CO和 $SO_2$ 、 $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$ 有强正相关; $O_3$ 和 $NO_2$ 、 $PM_{2.5}$ 有强负相关,这揭示了不同污染物之间相互作用和影响的复杂性。

(4) 气象因子对污染物的影响:气温和平均气压对六种污染物浓度均有影响。特别日最高气温和 $O_3$ 浓度相关性最显著,相关系数达0.816。基于这一强相关性,建立了日最高气温与 $O_3$ 浓度的线性拟合方程,为 $O_3$ 浓度的预测提供了一种客观的方法。

## [参考文献]

- [1]张莹.我国典型城市空气污染特征及其健康影响和预报研究[D].兰州大学,2016.
- [2]樊欣怡,廉丽姝,王猛.环渤海城市群空气污染特征及其与气象要素的关系[J].大气与环境光学学报,2022,17(5):15.
- [3]叶深,王鹏,黄祎,等.长三角城市群城市空间形态对 $PM_{2.5}$ 与 $O_3$ 污染空间异质性特征的影响研究[J].生态环境学报,2023,32(10):1771-1784.
- [4]张森,丁椿,孟赫.山东省环境空气中 $PM_{2.5}$ 与 $O_3$ 的复合污染特征与时空变化趋势[J].环境科学研究,2023,36(02):246-259.
- [5]蔡乐天.苏沪14市空气质量状况及宿迁市VOCs特征研究[D].南京信息工程大学,2021.
- [6]吴序鹏,刘端阳,谢真珍,等.江苏淮安地区大气污染变化特征及其与气象条件的关系[J].气象与环境科学,2018,41(1):8.
- [7]朱红蕊,刘赫男,张洪玲,等.哈尔滨市空气质量特征及其与气象要素的关系[J].气象与环境学报,2019,35(1):6.
- [8]郑丽英,许婷婷,陈志安,等.成都市夏季臭氧污染特征及影响因素[J].气象与环境学报,2019(5):78-84.

## 作者简介:

韩风军(1977--),女,汉族,聊城人,本科,高级工程师,从事的研究方向:短期天气气候预测。