

菏泽市PM_{2.5}和PM₁₀质量浓度与气象因子的关系分析

郝晓雷¹, 司林静²

¹菏泽市气象局, 山东 菏泽

²泰安市气象局, 山东 泰安

收稿日期: 2026年4月6日; 录用日期: 2026年5月8日; 发布日期: 2026年5月20日

摘要

为系统揭示菏泽市大气颗粒物污染特征及气象驱动机制, 利用菏泽气象站2025年1月~12月逐月环境监测PM_{2.5}和PM₁₀及地面气象观测要素资料, 分析了菏泽市PM_{2.5}和PM₁₀质量浓度的年内变化特征, 并定量解析平均气温、平均风速、降水量、本站气压、日照时数、相对湿度等关键气象因子的影响方向与作用机制。结果表明: 2025年菏泽市PM_{2.5}月均浓度为25.50~60.20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM₁₀为42.83~180.74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 整体呈现冬春季偏高、夏季最低的“U型”变化特征, PM_{2.5}与PM₁₀变化趋势高度一致, 污染来源具有显著同源性。气象因子对颗粒物浓度具有明显调控作用: 颗粒物浓度与平均风速、降水量、日照时数呈负相关, 与本站气压、相对湿度呈正相关; 不同季节各要素的贡献显著不同, 冬季最大风速和降水的影响更大, 春季和秋季平均气温的变化影响更大。

关键词

PM_{2.5}, PM₁₀, 气象因子, 空气质量, 相关性分析

Analysis of the Relationship between PM_{2.5} and PM₁₀ Mass Concentrations and Meteorological Factors in Heze City

Xiaolei Hao¹, Linjing Si²

¹Heze Meteorological Bureau, Heze Shandong

²Tai'an Meteorological Bureau, Tai'an Shandong

Abstract

To systematically reveal the characteristics of atmospheric particulate matter pollution and the meteorological driving mechanisms in Heze City, this study utilized monthly environmental monitoring data of PM_{2.5} and PM₁₀ concentrations, along with surface meteorological observation data from the Heze Meteorological Station from January to December 2025. The intra annual variation characteristics of PM_{2.5} and PM₁₀ mass concentrations in Heze City were analyzed, and the direction and mechanisms of influence of key meteorological factors—including mean temperature, mean wind speed, precipitation, station pressure, sunshine duration, and relative humidity—were quantitatively examined. The results indicate that in 2025, the monthly average concentration of PM_{2.5} in Heze City ranged from 25.50 to 60.20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, and that of PM₁₀ ranged from 42.83 to 180.74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Both exhibited a “U-shaped” seasonal variation pattern, with higher concentrations in winter and spring and the lowest in summer. The variation trends of PM_{2.5} and PM₁₀ were highly consistent, suggesting a significant commonality in pollution sources. Meteorological factors showed a clear regulatory effect on particulate matter concentrations: particulate matter concentrations were significantly negatively correlated with mean wind speed, precipitation, and sunshine duration, and positively correlated with station pressure and relative humidity. The contributions of various meteorological elements differed significantly across seasons, with maximum wind speed and precipitation having a greater influence in winter, while changes in mean temperature had a more pronounced impact in spring and autumn.

Keywords

PM_{2.5}, PM₁₀, Meteorological Factors, Air Quality, Correlation Analysis

Copyright © 2026 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

随着我国生态文明建设持续推进, 大气环境治理取得明显成效, 但大气颗粒物污染仍是影响城市空气质量、人居环境与公众健康的主要问题。PM_{2.5} 和 PM₁₀ 作为环境空气的主要污染物, 来源复杂、影响范围广, 其浓度变化不仅与工业排放、扬尘、机动车、燃煤等污染源密切相关, 还显著受气象条件制约 [1] [2]。在污染源排放相对稳定的前提下, 气象条件是决定污染物扩散、稀释、累积、转化与清除的关键外部因素, 直接决定空气质量优劣。

菏泽市位于山东省西南部, 属温带季风气候, 四季分明, 大气扩散条件季节差异突出。作为京津冀大气污染传输通道城市, 菏泽市空气质量受本地排放与区域污染物输送共同影响, 颗粒物污染具有典型北方平原城市特征。目前, 针对菏泽市完整年度 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 与多气象因子耦合关系的系统性研究较少, 基于此, 本文以菏泽市 2025 年逐月监测数据为对象, 开展颗粒物浓度变化规律与气象因子关系研究, 明确主导影响因子与污染形成气象条件, 定量揭示气象驱动机制, 对提升区域污染预报水平、实施精准化防控具有重要现实意义。

2. 数据与方法

研究数据来源于菏泽市地面气象观测站 2025 年连续监测数据集, 包含 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 质量浓度与相关气象要素数据。气象因子数据包括平均气温($^{\circ}C$)、2 分钟平均风速(m/s)、月降水量(mm)、平均本站气压(hPa)、月日照时数(h)、平均相对湿度(%)等要素。污染物指标包括 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} , 且污染物质量浓度精度符合国家环境空气质量监测规范要求。数据具有较高的准确性和较好的代表性[3]。

本文采用多种统计分析方法, 包括时间序列分析法与气象-污染物耦合关系分析法, 通过逐月变化趋势揭示 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 季节分布特征, 结合气象因子变化判断影响方向与作用机制, 识别污染高发期关键气象条件, 为防控策略提供支撑[4]。

3. 结果与分析

3.1. 2025 年菏泽市 $PM_{2.5}$ 与 PM_{10} 时间变化特征

2025 年菏泽市 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 月均浓度呈现显著季节节律, 整体呈冬春季偏高、夏季最低的“U 型”分布(图 1)。 $PM_{2.5}$ 月均浓度最高值出现在 4 月($60.20 \mu g/m^3$), 最低值出现在 6 月($25.50 \mu g/m^3$); PM_{10} 月均浓度最高值出现在 1 月($180.74 \mu g/m^3$), 最低值出现在 7 月($42.83 \mu g/m^3$)。颗粒物浓度从 1 月开始波动下降, 7 月达到全年最低, 之后逐步回升。 $PM_{2.5}$ 与 PM_{10} 变化趋势高度一致, 说明二者来源具有显著同源性, 主要受本地排放与气象条件共同控制。

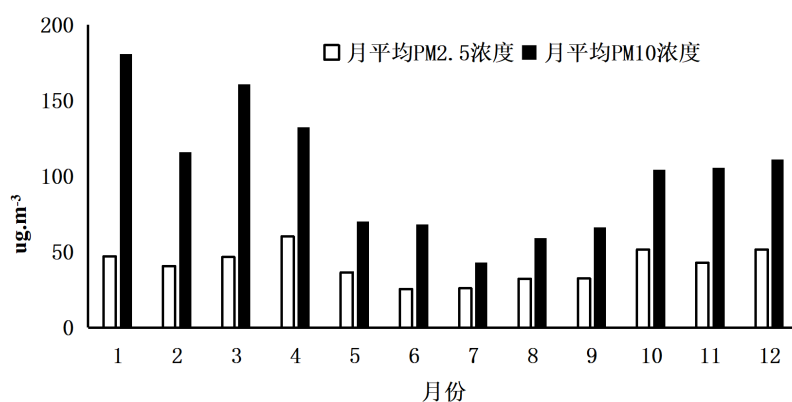


Figure 1. Monthly average concentration variation of $PM_{2.5}$ and PM_{10} in Heze City in 2025
图 1. 2025 年菏泽市 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 月均浓度变化规律

从季节特征来看: 冬季 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度较高可能是由于气温低、采暖排放增加, 大气层结稳定、静稳天气多, 污染物易累积综合影响; 春季风速增大、降水增加, 但受扬尘、沙尘与区域传输影响, 仍维持较高浓度; 夏季气温高、对流旺盛、降水充沛, 大气扩散与湿清除能力最强, 浓度全年最低; 秋季气温下降、风速减小、降水减少, 静稳天气增多, 颗粒物浓度逐步回升[5]。因此, 菏泽市冬季污染严重, 未来应重点加强对冬季颗粒物的治理。

3.2. $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度与气象因子的关系

3.2.1. 风速

风速是影响大气水平扩散能力最直接的气象因子。 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 与平均风速呈负相关(图 2): 风速越大, 扩散能力越强, 颗粒物浓度越低; 风速越小, 越易形成静稳累积。年内 4~5 月平均风速较大, 扩散条件最优; 9~10 月平均风速最小(1.6 m/s), 颗粒物浓度明显上升。平均风速 < 2.0 m/s 可作为菏泽市颗粒

物污染风险提升的重要阈值。

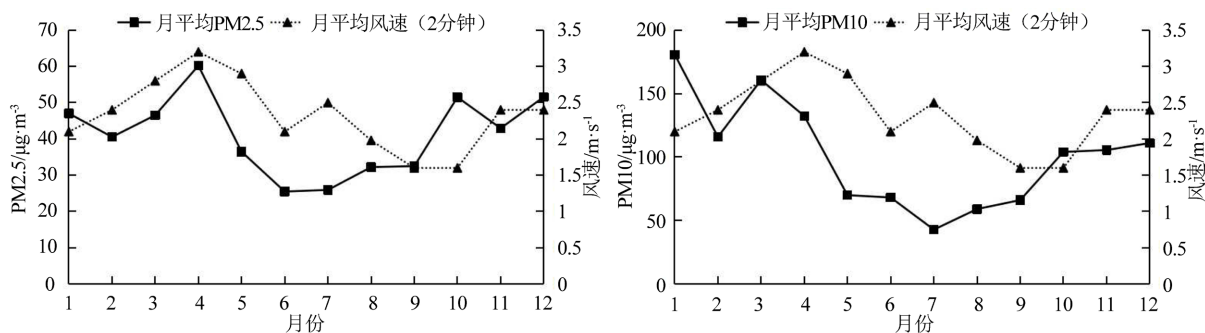


Figure 2. Relationship between PM_{2.5} and PM₁₀ concentrations and monthly average wind speed in Heze City in 2025
图 2. 2025 年菏泽市 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 浓度与月平均风速的关系

3.2.2. 降水量

降水对颗粒物具有显著的清除作用。PM_{2.5}、PM₁₀ 与降水量呈显著负相关(图 3): 降水量越大, 清除效果越强; 持续少雨或无降水, 污染物易持续累积。夏季 7~8 月降水充沛, 颗粒物浓度降至全年最低; 10 月无降水、冬季降水稀少, 污染明显加重。降水是夏季空气质量优良的核心原因。

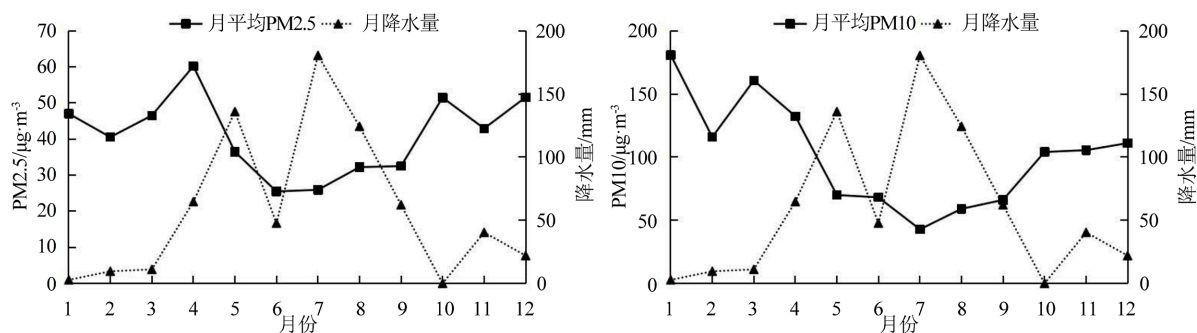


Figure 3. Relationship between PM_{2.5} and PM₁₀ concentrations and monthly precipitation in Heze City in 2025
图 3. 2025 年菏泽市 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 浓度与月降水量的关系

3.2.3. 气温

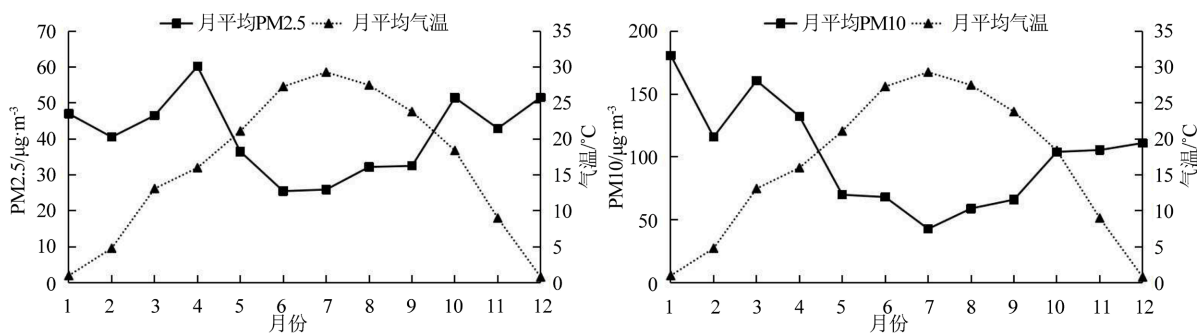


Figure 4. Relationship between PM_{2.5} and PM₁₀ concentrations and monthly average temperature in Heze City in 2025
图 4. 2025 年菏泽市 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 浓度与月平均气温的关系

PM_{2.5}、PM₁₀ 的质量浓度与温度之间呈显著负相关(图 4), 气温通过改变大气边界层高度、垂直对流

强度、冬季采暖排放量影响颗粒物, 表现为低温高污染、高温低污染的季节规律。冬季当温度较低时, 采暖排放增加导致细颗粒物增加, 降水偏少、风速降低以及大气层结构的稳定, 污染物难以扩散, 浓度显著偏高; 夏季当温度较高时, 地面温度高于高空温度, 地面空气上升, 污染物被带到高空分散, 导致空气颗粒物浓度降低[6]。

3.2.4. 气压

气压是判断大气稳定度的重要指标。PM_{2.5}、PM₁₀与平均本站气压呈正相关(图 5): 气压高低对颗粒物质量浓度的影响与大气环流形式有关。冬季气压偏高, 周边气流下沉, 抑制 PM_{2.5}和 PM₁₀向上运动, 导致颗粒物堆积, 污染高发; 夏季气压偏低, 低压系统对流活跃, 大气对流活动增强, 为污染物扩散创造良好条件, 空气质量最优[7]。

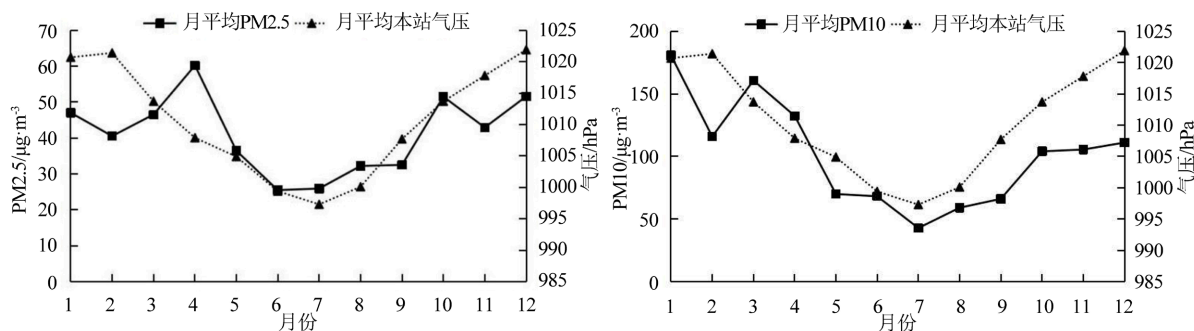


Figure 5. Relationship between PM_{2.5} and PM₁₀ concentrations and monthly average air pressure in Heze City in 2025

图 5. 2025 年菏泽市 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 浓度与月平均气压的关系

3.2.5. 日照时数

PM_{2.5}、PM₁₀与日照时数呈负相关(图 6): 日照充足代表天气晴朗、辐射强、对流条件好, 利于污染物扩散; 日照偏少多对应阴雨、雾霾、静稳天气, 颗粒物易累积。

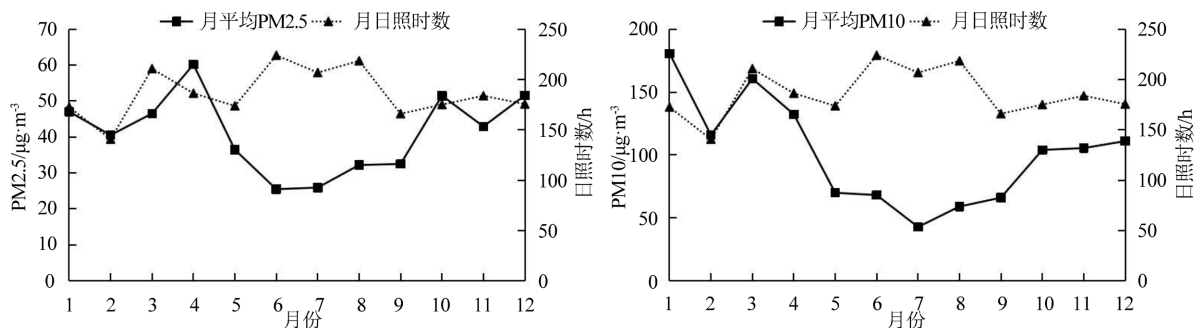


Figure 6. Relationship between PM_{2.5} and PM₁₀ concentrations and monthly sunshine hours in Heze City in 2025

图 6. 2025 年菏泽市 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 浓度与月日照时数的关系

3.2.6. 相对湿度

PM_{2.5}、PM₁₀与相对湿度大部分时段呈负相关, 个别时段呈正相关关系(图 7), 空气相对湿度随时间呈先降低后升高再降低的复杂变化趋势, 而 PM_{2.5}浓度与空气相对湿度并无明显规律[8]。4~10月随着相对湿度的增加, PM_{2.5}、PM₁₀的浓度逐渐降低, 高湿环境促进颗粒物吸湿增长与二次气溶胶生成, 提升颗粒物质量浓度; 低湿时段以干尘粒为主。秋末冬初高湿少雨静稳组合, 极易导致颗粒物快速累积, PM_{2.5}、

PM₁₀ 浓度随着相对湿度增加而升高。

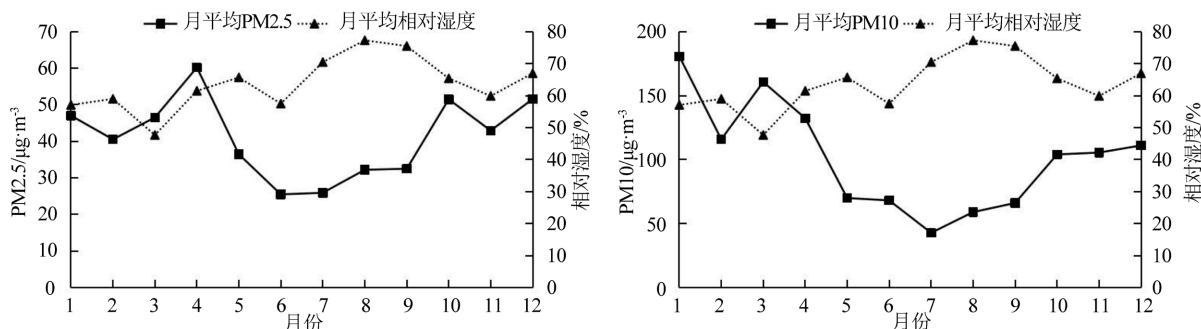


Figure 7. Relationship between PM_{2.5} and PM₁₀ concentrations and monthly average relative humidity in Heze City in 2025
图 7. 2025 年菏泽市 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 浓度与月平均相对湿度的关系

4. 结论与讨论

2025 年菏泽市 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 浓度以及气象因子关系分析发现, 菏泽市 PM_{2.5}、PM₁₀ 变化规律与我国北方平原城市基本一致, PM_{2.5} 月均浓度为 25.50~60.20 μg/m³, PM₁₀ 为 42.83~180.74 μg/m³, 年内呈冬春季高、夏季低的“U 型”变化, PM_{2.5} 峰值出现在 4 月, PM₁₀ 峰值出现在 1 月, 夏季浓度最低。平均风速、降水量、日照时数与颗粒物浓度呈负相关, 能够抑制污染, 为污染清除因子; 平均本站气压、平均相对湿度与颗粒物浓度呈正相关, 能够促进颗粒物浓度积累, 为污染累积因子; 气温表现为低温高污染、高温低污染, 起季节调控作用。菏泽市颗粒物污染高发期为 10 月~次年 4 月, 为颗粒物污染防治重点时段。研究结果可为区域空气质量预报预警、污染源精细化管控及大气污染联防联控提供科学依据与数据支撑。

为控制 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 污染, 可以采取以下控制措施。一是优化城市通风廊道, 在进行城市规划时应充分考虑气象条件的影响, 及时开展大气污染气象条件评估及大气环境容量调查与评价, 提升城市污染物扩散能力[9]。二是积极参与区域大气污染协同治理, 加强跨城市污染传输应对, 重点防范春季沙尘、冬季区域性污染影响。三是持续加强施工扬尘、道路扬尘、工业废气、机动车尾气与散煤燃烧管控, 从源头降低污染物排放, 减轻不利气象条件下的污染暴发风险[10]。这对于菏泽市 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 污染控制尤为重要。

参考文献

- [1] 王朋朋, 薛思嘉, 谭国明, 等. 承德市 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 浓度分布特征及与气象因子关系的研究[J]. 内蒙古气象, 2024(1): 17-24.
- [2] 高昆, 王金香, 张萌. 大同市 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 浓度变化特征及其与气象因子的关系[J]. 山西大同大学学报(自然科学版), 2023, 39(6): 75-80.
- [3] 高岩. 基于气象因子的沙园站 PM_{2.5} 质量浓度变化特征研究[J]. 中国资源综合利用, 2026, 44(1): 195-198.
- [4] 高振翔, 叶剑, 周红根, 等. 江苏省 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 时空变化特征及其与气象因子的关系[J]. 环境科学与技术, 2020, 43(7): 51-58.
- [5] 李杨, 刘永和, 王西岳, 等. 焦作市 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 时空变化特征及其与气象因子的关系[J]. 环境工程, 2022, 40(9): 44-53.
- [6] 赵佳伦, 周士锋, 雷雅凯, 等. 洛阳城区 PM₁₀、PM_{2.5} 质量浓度时空变化特征及其与气象因子的关系[J]. 湖北农业科学, 2021, 60(20): 35-42.
- [7] 王祎嶝, 王真祥. 上海市 PM_{2.5} 浓度变化特征及其气象因子分析[J]. 干旱区地理, 2018, 41(5): 1088-1096.

- [8] 黄婷, 杨慧, 左忠, 等. 宁夏酿酒葡萄种植区 $PM_{2.5}$ 时空分布特征及其与气象因子的关系[J]. 中国农业气象, 2025, 46(12): 1697-1707.
- [9] 刘劲宏, 姚宜斌, 桑吉章. $PM_{2.5}$ 对地表温度的影响及其应用[J]. 大地测量与地球动力学, 2019, 39(5): 502-505.
- [10] 阳锐, 谢琰, 胡雨凤, 等. 宜宾市 $PM_{2.5}$ 演变特征及其气象影响因子研究[J]. 中国资源综合利用, 2024, 42(10): 188-192.