

# 宝鸡市春季PM<sub>2.5</sub>中元素的污染特征及来源解析

闫昕, 樊儒, 黎南希, 王小丫, 周变红\*

宝鸡文理学院地理与环境学院, 陕西省灾害监测与机理模拟重点实验室, 陕西 宝鸡

收稿日期: 2021年9月6日; 录用日期: 2021年10月8日; 发布日期: 2021年10月15日

## 摘要

为了解宝鸡市春季PM<sub>2.5</sub>中元素的污染特征及来源, 于宝鸡文理学院明理楼楼顶进行为期一个月的采样, 对相关数据进行污染特征分析, 并运用主成分分析法对春季元素污染进行来源解析。污染特征分析结果表明, 宝鸡市春季元素平均浓度为42.5 μg/m<sup>3</sup>, 其中Al、Ca、Mg和Na四种元素约占总元素的87.5%, 结合风速条件发现春季元素污染受扬尘影响较大; K、Ti、Mn、Fe、Cu和Zn随着污染加重, 在总元素中的占比随之加大; PM<sub>2.5</sub>中大部分元素浓度的昼夜变化均表现为昼 > 夜, 仅Zn和Pb两种元素表现为夜 > 昼, 所有元素中Zn的变化幅度最大, 约为58%, As的变化幅度最小, 约为5%。主成分分析结果表明, 宝鸡市春季PM<sub>2.5</sub>中元素主要来源于工业和交通的混合源、扬尘和燃烧源。

## 关键词

元素, 宝鸡市, 春季, 来源

# Pollution Characteristics and Source Analysis of PM<sub>2.5</sub> Elements during Spring in Baoji City

Xin Yan, Ru Fan, Nanxi Li, Xiaoya Wang, Bianhong Zhou\*

Shaanxi Key Laboratory of Disaster Monitoring and Mechanism Simulation, College of Geography & Environment, Baoji University of Arts & Sciences, Baoji Shaanxi

Received: Sep. 6<sup>th</sup>, 2021; accepted: Oct. 8<sup>th</sup>, 2021; published: Oct. 15<sup>th</sup>, 2021

\*通讯作者。

文章引用: 闫昕, 樊儒, 黎南希, 王小丫, 周变红. 宝鸡市春季 PM<sub>2.5</sub> 中元素的污染特征及来源解析[J]. 环境保护前沿, 2021, 11(5): 980-986. DOI: 10.12677/aep.2021.115117

## Abstract

In order to understand the pollution characteristics and sources of PM<sub>2.5</sub> elements in Baoji city in spring, samples were taken from the roof of Mingli Building of Baoji University of Arts and Sciences for a period of one month, the pollution characteristics of relevant data were analyzed, and the source of element pollution in spring was analyzed by principal component analysis. The results of pollution characteristics analysis showed that the average concentration of elements in Baoji city in spring was 42.5 μg/m<sup>3</sup>, in which Al, Ca, Mg and Na accounted for the largest proportion, about 87.5% of the total elements. The diurnal variation of most elements in PM<sub>2.5</sub> is day > night, but only Zn and Pb are night > day. Among all elements, the variation range of Zn is the largest, about 58%, and that of As is the smallest, about 5%. The results of principal component analysis showed that PM<sub>2.5</sub> elements in Baoji city in spring mainly came from the mixed sources of industry and traffic, dust and combustion.

## Keywords

Element, Baoji, Spring, Source

Copyright © 2021 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

PM<sub>2.5</sub>是指空气动力学当量直径小于2.5微米的颗粒物, PM<sub>2.5</sub>具有粒径小, 面积大, 活性强等特点, 易吸附空气中的有毒、有害物质, 且在大气中的停留时间长、输送距离远, 因此PM<sub>2.5</sub>对人体健康和大气环境质量的影响较大[1] [2]。PM<sub>2.5</sub>的化学组分中元素占比较小, 但其危害较大, 因此引起国内外学者的广泛关注[3] [4] [5]。

针对PM<sub>2.5</sub>中元素的研究主要集中在省会城市, 对小城市的关注和研究有所欠缺。宝鸡是典型的重工业城市, 截止2020年[6]已经形成了汽车及零部件、钛及钛合金材料两个500亿级; 石油钻采、能源化工、优势装备制造等多个百亿级产业集群, 工业企业等本地排放均会对大气质量产生一定影响。此外, 宝鸡市位于汾渭平原最西部, 南依秦岭, 北靠黄土高原, 西侧被陇山余脉所包围, 形成围椅式地形, 不利于污染物扩散; 加之宝鸡盛行东北风, 易将上风向山西及陕西东部污染传输至本地区, 导致宝鸡市空气质量较差。因此本研究对宝鸡市春季PM<sub>2.5</sub>中元素的污染特征和来源进行分析, 以期为空气污染防治提出科学且合理的理论支撑。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 样品采集

采样点位于文理学院高新校区明理楼楼顶, 距地面约20 m。采样仪器为TH-150C型中流量空气总悬浮微粒采样器(武汉, 天虹), 切割头为PM<sub>2.5</sub>, 流量为100 L/min。采样时间为2021年春季(4.1~4.30), 以昼夜为周期。滤膜采用90 mm石英滤膜, 滤膜采样前处理包括剪裁、烘烤(6 h, 450℃)、恒温(温度为20℃, 湿度为40%, 24 h)和称重(BT125D型, Sartorius集团, 德国); 采集后的样品先恒温再称重, 而后置于冰

箱(3℃)待分析。

## 2.2. 分析方法

### 2.2.1. 仪器分析

使用 Epsilon4 系列(荷兰, 帕纳科)能量色散 X 射线荧光分析仪(ED-XRF)对 Na、K、Mg、Al、Ca、Fe、Zn、Pb、Ba、Se、Sc、As、Cu、Ni、Co、Mn、Ti、V、Sc 等 19 种元素含量进行测定。样品测定之前从数据库中选取目标元素测量谱线并校正, 根据仪器输出的线回归校正模型对样品含量和强度进行回归分析, 建立校准曲线, 求出回归方程斜率。根据目标元素特征峰强度测量值、校准曲线斜率计算元素含量。分析时每 8 个样品中重复检测 1 个样品, 以确保实验准确度。

### 2.2.2. 数据分析

主成分分析是 1933 年霍特林[7]首次提出的统计方法, 其原理是设法将原来变量重新组合成一组新的相互无关的几个综合变量, 同时根据实际需要从中可以取出几个较少的总和变量尽可能多地反映原来变量的信息。通过 SPSS 19.0 软件实现各元素对 PM<sub>2.5</sub> 的贡献率: 将数据进行降维处理, 相关性矩阵中选择显著性水平, 分析选择主成分, 方法选择最大方差法, 输出旋转后的解, 得分保存为变量, 系数显示按照大小排序。

## 3. 结果与讨论

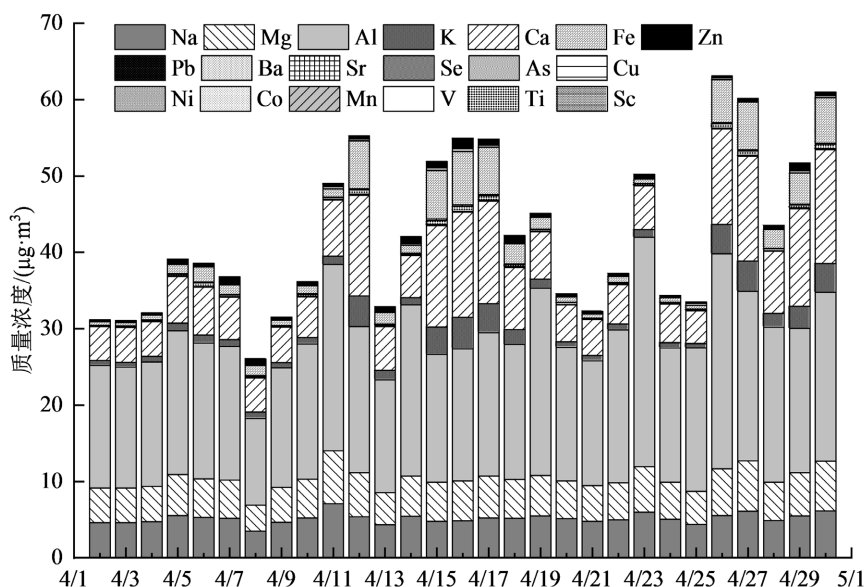
### 3.1. 元素日变化特征

宝鸡市春季元素平均浓度为 42.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 明显小于本市冬季[8]元素污染(95.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 但相对于华北地区的临沂市[9]春季(11.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )、华中地区的新乡市[10]春季(15.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )和华南地区的温州市春季(10.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 宝鸡市春季元素污染水平较高。图 1 为宝鸡市春季各元素的日变化趋势, 可以看出元素在 4 月 26 日浓度最高, 其值为 63.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 4 月 8 日浓度最低, 其值为 26.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。元素中 Al 占比最大, 为总元素的 45%, 其次为 Ca、Mg 和 Na, 其占比分别为 18.2%、12.2%和 12.1%; Al、Ca、Mg 和 Na 四种元素占总元素的 87.5%。又结合采样期间的气象条件(图 2)发现, 风速的两个峰值出现在 4 月 4 日和 4 月 24 日, 对应的总元素浓度偏低; 风速较低(<1.5 m/s)的时段(4 月 11 日~4 月 17 日、4 月 26 日~4 月 30 日), 总元素浓度偏高, 推测宝鸡市春季大气污染受扬尘的影响较大。

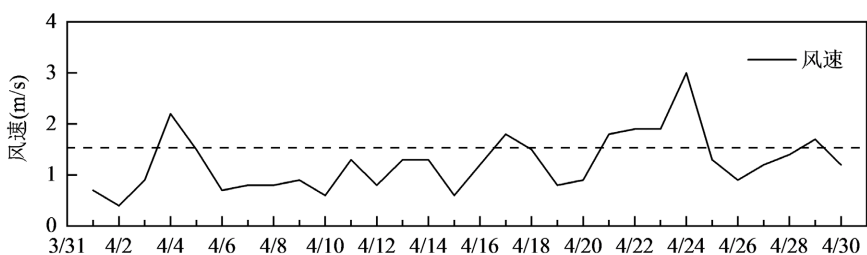
为探讨微量元素的占比变化, 以 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  为界限, 将总元素分为较高浓度(>40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )和较低浓度(40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )。K、Ti、Mn、Fe、Cu 和 Zn 在低浓度中的占比分别为 2.35%、0.49%、0.14%、2.71%、0.30%和 0.73%, 在高浓度的占比分别为 5.06%、0.76%、0.21%、7.53%、0.43%和 0.94%, 表明这些微量元素的浓度同污染程度存在相关性, 污染加重, 以上微量元素占比越高, 这与姚森等[11]得出的结论一致。

### 3.2. 元素昼夜变化

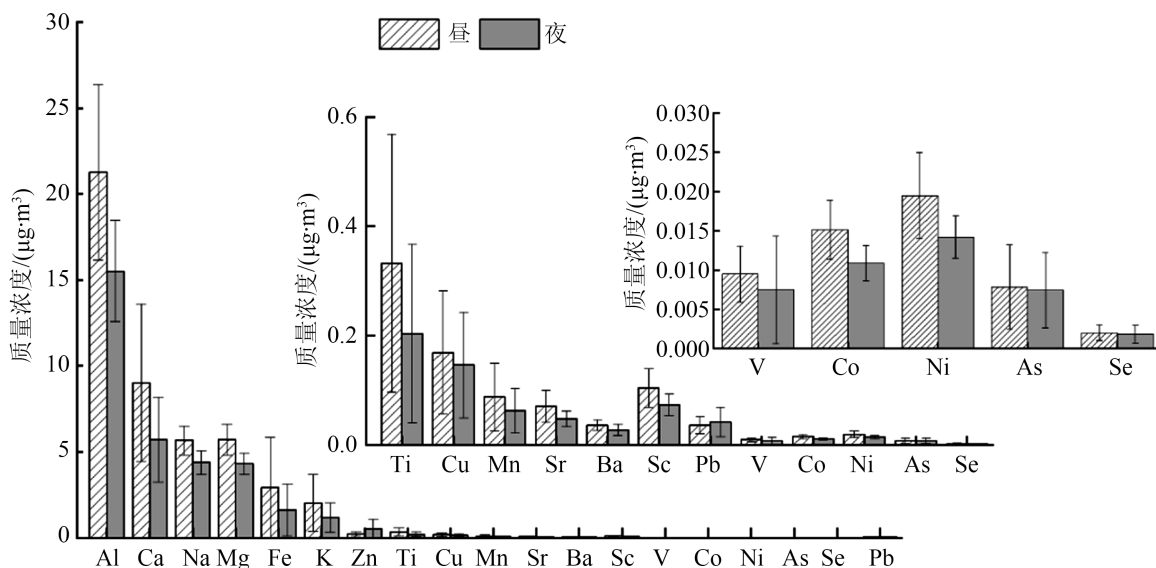
元素的昼间浓度在 26.6~72.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  之间, 夜间浓度在 24.9~50.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  之间, 就大致范围来看, 宝鸡市昼间浓度明显高于夜间, 表明昼间污染较夜间严重。图 3 为宝鸡市元素昼夜变化趋势图, 可以看出不同元素的昼夜分布有所不同。大部分元素浓度均表现为昼 > 夜, 仅 Zn 和 Pb 表现为夜 > 昼。Zn 既可作为锌业加工的指示物[12], 也可表征机动车轮胎磨损[13] [14], 但多数企业夜间不工作, 可排除锌业来源; Pb 受汽车尾气影响[15], 因此推测夜间受交通排放影响较大, 可能与夜间大型拉土车运行有关。所有元素中 Zn 的变化幅度最大, 昼夜间变幅约为 58%, 其次为 Fe 和 K, 变幅分别为 45%和 41%; As 的变化幅度最小, 变幅为 5%, 其次 Se 的变幅为 8%。



**Figure 1.** Diurnal variation trend of elements in Baoji city in spring  
**图 1.** 宝鸡市春季元素的日变化趋势



**Figure 2.** Variation of wind speed in Baoji city in spring  
**图 2.** 宝鸡市春季风速变化



**Figure 3.** Diurnal variation trend of elements in Baoji city in spring  
**图 3.** 宝鸡市春季元素的昼夜变化趋势

### 3.3. 来源解析

为了解宝鸡市春季 PM<sub>2.5</sub> 中元素的来源, 运用 SPSS 软件对 19 种元素进行主成分分析, 得出结果如表 1 所示。最大方差旋转后主要得到三个因子, 因子 1 贡献率为 49.2%, 其中 Fe、K、Mn、Ca、Sc、Sr、Ti、Co、Ni 和 Cu 的载荷最高, 均大于 0.8, 其中 Fe 标志着黑色金属冶炼, Mn 既表征工艺粉尘的元素, 也是无铅汽油中的防爆剂的主要原料[10] [16]; Ni 主要来源于燃油, 也受机动车排放影响[17]; Ca 通常用于机动车的润滑剂; Cu 既是表征冶金的元素, 也是交通排放的特征元素[18], 因此推断因子 1 为工业和交通的混合源。因子 2 中 Na、Mg 和 Al 的载荷最高, 其中 Mg 主要来源于建筑粉尘[19], Al 是地壳元素的重要组成部分[15], 因此推断因子 2 为扬尘源。因子 3 中 Pb、As、Se 和 V 的载荷较高, 其中 Pb、As 和 Se 主要源于煤炭燃烧[20] [21], 燃油燃烧过程主要产生 V [22], 因此推断该因子为燃烧源。综上所述, 宝鸡市春季 PM<sub>2.5</sub> 中元素主要来源于工业和交通的混合源、扬尘和燃烧源。

**Table 1.** Principal component matrix after rotation of maximum variance

**表 1.** 最大方差旋转后的主成分矩阵

	PCA1	PCA2	PCA3
Fe	0.990	0.027	0.023
K	0.983	0.104	-0.027
Mn	0.980	-0.018	0.158
Ca	0.971	0.180	-0.019
Sc	0.957	0.273	0.015
Sr	0.950	0.260	-0.043
Ti	0.937	0.106	0.235
Co	0.856	0.425	-0.042
Ni	0.812	0.446	0.083
Cu	0.763	0.162	0.015
Zn	0.463	-0.336	0.410
Na	0.232	0.921	0.166
Al	0.155	0.854	0.035
Mg	0.497	0.846	0.083
Ba	0.021	0.447	-0.202
Pb	0.03	-0.317	0.914
As	0.078	0.082	0.858
Se	-0.397	0.04	0.707
V	0.351	0.217	0.639
贡献率/%	49.179	17.717	14.816
累积贡献率/%	49.179	66.896	81.712

### 4. 结论

1) 宝鸡市春季元素平均浓度为 42.5 μg/m<sup>3</sup>, 其中 Al、Ca、Mg 和 Na 四种元素占总元素的 87.5%, 结合风速条件发现春季元素污染受扬尘影响较大; K、Ti、Mn、Fe、Cu 和 Zn 随着污染加重, 在总元素中的占比随之加大。

2) 元素的昼间浓度在 26.6~72.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  之间, 夜间浓度在 24.9~50.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  之间, 就大致范围来看, 宝鸡市昼间浓度明显高于夜间, 表明昼间污染较夜间严重。PM<sub>2.5</sub> 中大部分元素浓度均表现为昼 > 夜, 仅 Zn 和 Pb 表现为夜 > 昼。所有元素中 Zn 的变化幅度最大, 昼夜间变幅约为 58%, As 的变化幅度最小, 变幅为 5%。

3) 宝鸡市春季 PM<sub>2.5</sub> 中元素主要来源于工业和交通的混合源、扬尘和燃烧源。

## 基金项目

宝鸡文理学院大学生创新创业训练计划项目(2015dc47)。

## 参考文献

- [1] 唐大镜, 常会云, 张莹, 等. 2017-2019 年石家庄市 PM<sub>2.5</sub> 中重金属污染及健康风险评估[J]. 现代预防医学, 2021, 48(7): 1177-1180+1197.
- [2] 李文静, 张美云, 万博宇, 等. 北京市朝阳区大气 PM<sub>2.5</sub> 中重金属对居民健康影响的风险评估[J]. 现代预防医学, 2021, 48(3): 416-419.
- [3] 程凯, 常运华, 旷雅琼, 等. 上海市 PM<sub>2.5</sub> 中重金属元素对 COVID-19 控制的高频响应[J]. 环境科学, 2021, 42(8): 3644-3651.
- [4] Suzuki, Y., Matsunaga, K. and Yamashita, Y. (2021) Assignment of PM<sub>2.5</sub> Sources in Western Japan by Non-Negative Matrix Factorization of Concentration-Weighted Trajectories of GED-ICP-MS/MS Element Concentrations. *Environmental Pollution*, **270**, Article ID: 116054. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116054>
- [5] Xu, H.M., He, K.L., Feng, R., et al. (2020) Metallic Elements and Pb Isotopes in PM<sub>2.5</sub> in Three Chinese Typical Megacities: Spatial Distribution and Source Apportionment. *Environmental Science: Processes & Impacts*, **22**, 1718-1730. <https://doi.org/10.1039/D0EM00174K>
- [6] 潇湘晨报. 宝鸡已形成西北地区除省会城市外行业覆盖最齐全的工业体系[DB/OL]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1699537495718082518&wfr=spider&for=pc>, 2021-9-27.
- [7] Hotelling, H. (1933) Analysis of a Complex of Statistical Variables into Principal Components. *Journal of Educational Psychology*, **24**, 417-441. <https://doi.org/10.1037/h0071325>
- [8] 周变红, 王锦, 曹夏, 等. 宝鸡市冬季 PM<sub>2.5</sub> 中元素污染特征及健康风险评估[J]. 生态毒理学报, 2020, 15(4): 299-311.
- [9] 陆平, 赵雪艳, 殷宝辉, 等. 临沂市 PM<sub>2.5</sub> 和 PM<sub>10</sub> 中元素分布特征及来源解析[J]. 环境科学, 2020, 41(5): 2036.
- [10] 刘桓嘉, 贾梦珂, 刘永丽, 等. 新乡市大气 PM<sub>2.5</sub> 载带金属元素季节分布来源特征与健康风险[J]. 环境科学, 2021, 42(9): 4140-4150. <https://doi.org/10.13227/j.hjx.202102032>
- [11] 姚森, 王乾恒, 薛妍, 等. 郑州市冬季大气 PM<sub>2.5</sub> 金属元素来源及健康风险评估[J]. 环境科学, 2021, 42(8): 1-10.
- [12] 张红菊, 张富兵, 白宇峰. 镀锌加工成本分析与控制[J]. 湖南有色金属, 2020, 36(5): 28-30+36.
- [13] 赵晓亮, 岳阳霞, 许端平, 等. 阜新市秋冬季节 PM<sub>2.5</sub> 中无机元素污染特征及来源[J]. 中国环境科学, 2020, 40(10): 4247-4258.
- [14] 陈晖, 卫雅琦, 尚晓娜, 等. 华北农村地区冬季细颗粒物中元素组分的特征及来源[J/OL]. 中国环境科学, 2021: 1-17. <https://doi.org/10.19674/j.cnki.issn1000-6923.20210517.004>, 2021-05-17
- [15] 任万辉, 李云丹, 苏枫枫, 等. 沈阳市大气 PM<sub>2.5</sub> 中重金属污染特征、来源解析及健康风险评估[J]. 环境化学, 2021, 40(4): 1029-1037.
- [16] 赵清, 李杏茹, 王国选, 等. 运城秋冬季大气细粒子化学组成特征及来源解析[J]. 环境科学, 2021, 42(4): 1626-1635.
- [17] 周安琪, 刘建伟, 周旭, 等. 北京大气 PM<sub>2.5</sub> 载带金属浓度、来源及健康风险的城郊差异[J]. 环境科学, 2021, 42(6): 2595-2603.
- [18] 靳朝喜. 洛阳市大气 PM<sub>2.5</sub> 中重金属元素特征来源及潜在生态风险评估[J]. 环保科技, 2020, 26(6): 11-15.
- [19] 邓林俐, 张凯山, 殷子渊, 等. 基于 PMF 模型的 PM<sub>2.5</sub> 中金属元素污染及来源的区域特征分析[J]. 环境科学, 2020, 41(12): 5276-5287.
- [20] 吴志远, 张丽娜, 夏天翔, 等. 基于土壤重金属及 PAHs 来源的人体健康风险定量评价: 以北京某工业污染场地

为例[J]. 环境科学, 2020, 41(9): 4180-4196.

- [21] 徐静, 李杏茹, 张兰, 等. 北京城郊  $PM_{2.5}$  中金属元素的污染特征及潜在生态风险评价[J]. 环境科学, 2019, 40(6): 2501-2509.
- [22] 李旭东, 黄磊. 武汉市城区  $PM_{2.5}$  重金属元素源解析变化[J]. 湖北工业大学学报, 2021, 36(4): 74-78+90.