

# Analysis on the Characteristics of a Heavy Air Pollution Process in Handan, China in Winter

Jianwu Li Luling Shen\* Hang Ruan Xiaolong Li Jing Xia

Wuhan Tianhong Environmental Protection Industry Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430075, China

## Abstract

Taking the heavy pollution weather process in Handan City, China from January 5 to 9, 2019 as the research goal, the characteristics and causes of the heavy pollution process in Handan city are analyzed by using pollutant concentration monitoring data and meteorological observation data, and using characteristic radar charts, correlation analysis, and statistical methods. The results showed that two days of the heavy pollution development and maintenance stage were heavy pollution ( $AQI > 200$ ), and the highest value of  $PM_{2.5}$  reached  $316 \mu g/m^3$ . Unfavorable meteorological condition had significant effects on the pollutants concentration, it was mainly due to weak winds, high humidity, and low temperatures, which led to weak atmospheric diffusion ability; The ratio of  $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$  during this severe pollution period ranges from 46% to 68%, which showed that the primary pollutant was  $PM_{2.5}$  in Handan City. The characteristic radar chart shows that the pollution characteristics of this time have changed from specific industrial emissions and partial dust pollution at 10:00 on the 6th to partial coal-fired pollution at 10:00 on the 9th. This pollution is mainly coal-fired, motor vehicle exhaust, sand dust and specific industrial emission sources.

## Keywords

pollution characteristic; characteristic radar chart; meteorological condition; Handan

# 中国邯郸市冬季一次空气重污染过程特征分析

李建武 沈陆岭\* 阮航 李小龙 夏晶

武汉天虹环保产业股份有限公司, 中国·湖北 武汉 430075

## 摘要

将中国邯郸市2019年1月5日~9日此次重污染天气过程作为研讨目标,利用污染物浓度监测数据和气象观测资料,采用特征雷达图、相关性分析、统计学方法分析邯郸市此次空气重污染过程特征及成因。结果表明:此次重污染发展和维持阶段中有2d是重度污染( $AQI > 200$ ),  $PM_{2.5}$ 最高值达到 $316 \mu g/m^3$ ;不利的气象条件对污染物浓度影响显著,不利的气象条件主要由小风速、湿度高、湿度低导致大气扩散能力较弱;该污染严重时段 $PM_{2.5}$ 占 $PM_{10}$ 的百分比范围为46%~68%,说明邯郸市的首要污染物为 $PM_{2.5}$ ,特征雷达图表明此次污染特征由6日10:00的受特定工业排放及偏沙尘型污染转变为9日10:00的偏燃煤型污染,此次污染主要以燃煤、机动车尾气、沙尘、特定工业排放源为主。

## 关键词

重污染过程特征;特征雷达图;气象条件;邯郸

## 1 引言

中国研究者对重污染天气的污染特征及成因分析做了大量的研究,李博等对青岛市城阳区2015年12月19~26日以 $PM_{2.5}$ 为首要污染物的重污染天气污染特征及成因进行了分析,主要探讨了气象因素与 $PM_{2.5}$ 之间的关系以及对青岛市城阳区造成此次重污染的潜在源区。从上述研究及其他相关研究对重污染天气的探讨分析中可以得出造成重污染天

气的成因一般有两个条件:一是外来污染源及本地污染源传输导致,二是气象条件。

中国邯郸市地处河北省的最南端,位于河北、山东、河南、山西四个排放大省的交汇处,邯郸市的大气污染主要是以煤炭、钢铁为主的高能耗、高污染的重工业排放导致的,近年来邯郸市的大气污染程度日益加剧,根据2018年和2019年生态环境部公布的全国168个重点城市的空气质量污染状况和排名中,邯郸市分别位列空气质量相对较差的20个城市中的第8名和第4名。表明邯郸市的空气质量状况在不断恶化,空气污染严重。因此,通过研究邯郸市的一次重污染天气的污染特征及成因,主要是拟对此次重污染过程的 $PM_{2.5}$ 污染特征及其成因进行分析,为未来邯郸市的重

【作者简介】李建武(1979-),男,中国湖北武汉人,本科,工程师,从事大气监测及大气污染防治研究。

【通讯作者】沈陆岭(1985-),男,中国河南尉氏人,从事环境工程研究。

污染天气预警预报及治理提供科学依据。

近年来,对邯郸市的大气污染相关的研究也较多,研究者是从各方面分析研究大气污染,赵淑婷等研究分析邯郸市2013—2019年气象因素对 $\text{PM}_{2.5}$ - $\text{O}_3$ 复合污染的影响以及 $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{O}_3$ 两种污染因子之间的相互影响,鲜少有人研究分析邯郸市的重污染天气污染特征及成因。研究表明,污染气象成因和污染物的特征分析对本地污染的影响较大,研究本地污染气象成因和污染物的特征分析对本地区的污染治理有重要意义。

因此,论文通过结合邯郸市本地气象条件以及特征雷达图分析了邯郸市2019年1月5~9日的重污染的形成过程及其特征,以期为未来邯郸市的大气污染治理提供科学依据。

## 2 材料与方法

### 2.1 数据来源

本研究所使用的2019年1月5~9日重污染时段的邯郸市大气污染物监测数据来源于上海市青悦开放环境数据中心(<http://data.epmap.org/air/nations>),所用到的大气污染物监测数据主要是 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{PM}_{2.5}$ ,本研究所用的气象数据是来自慧聚环境提供的气温、相对湿度、风速这些常规的气象参数,

### 2.2 特征雷达图

为了扣除浓度差异对污染特征的影响,为了更好地进行多种污染物的特征分析,于是本研究采用特征雷达图来进行多种污染物的分析,一般根据经验,绘制特征雷达图的因子一般选择5个因子,分别为 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、粗颗粒物,其中 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{CO}$ 和粗颗粒物主要来自一次污染源, $\text{PM}_{2.5}$ 既有一次来源也有二次来源<sup>[1]</sup>。根据绘制的每个污染时段的特征雷达图,来判别该污染时段属于哪种污染类型,一般从绘制的特征雷达图中可以判断出的污染类型分别为偏二次型、偏沙尘型、偏烟花型、偏钢铁型、偏机动车型、偏扬尘型、偏燃煤型。具体判断所得类型还应根据实际情况来定。

## 3 结果与分析

### 3.1 重污染形成过程及其特征分析

从图1、图2及图3中具体分析此次重污染形成过程及其特征,具体分析如下:2019年1月5日邯郸市 AQI 为88,为良,当天空气质量良好,但在1月5日之后,1月6日—8日时邯郸市的空气质量状况从轻度污染逐渐变成中度污染最终达到重度污染,1月8日以后到1月9日邯郸市空气质量状况又逐渐趋于良好,具体污染过程分为4个时段:

第1个时段:1月6日0:00—1月6日10:00,此时

段 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度从 $58\mu\text{g}/\text{m}^3$ 上升至 $139\mu\text{g}/\text{m}^3$ , $\text{PM}_{10}$ 浓度从 $118\mu\text{g}/\text{m}^3$ 上升至 $248\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,在1月6日10:00,AQI达到185,此时污染等级为中度污染,这时对应的风速较低 $1\text{m}/\text{s}$ ,低风速不利于污染物的扩散,表明不利的气象条件也会导致空气污染程度加剧。

第2个时段:1月6日11:00—1月7日7:00,此时段紧接着1月6日10:00之后,根据气象条件显示,风速增大,气温升高,湿度降低,这些气象条件均利于空气中污染物的扩散,导致 $\text{PM}_{2.5}$ 和 $\text{PM}_{10}$ 浓度和AQI均有小幅下降,直到1月6日下午16:00, $\text{PM}_{2.5}$ 和 $\text{PM}_{10}$ 浓度开始上升, $\text{PM}_{2.5}$ 浓度从 $61\mu\text{g}/\text{m}^3$ 上升至 $192\mu\text{g}/\text{m}^3$ , $\text{PM}_{10}$ 浓度从 $132\mu\text{g}/\text{m}^3$ 上升至 $292\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,在1月7日7:00,AQI达到242,此时污染等级为重度污染<sup>[2]</sup>。此段时间对应的气象条件为空气湿度不断上升,气温不断下降,风速也在逐渐降低,所有气象参数均在1月7日7:00达到顶峰,高温、低温及低风速均属于不利的气象条件,均会导致颗粒物浓度偏高及重度污染的空气质量状况。

第3个时段:1月7日8:00—1月8日10:00,在1月7日7:00污染物浓度和AQI达到顶峰后又开始下降,污染等级从重度污染变成中度污染,直到1月7日19:00污染物浓度和AQI又开始上升, $\text{PM}_{2.5}$ 浓度从 $128\mu\text{g}/\text{m}^3$ 上升至 $214\mu\text{g}/\text{m}^3$ , $\text{PM}_{10}$ 浓度从 $215\mu\text{g}/\text{m}^3$ 上升至 $316\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,污染等级从中度污染又变成重度污染,对应的气象条件同第2个污染时段相似,这里就不再做赘述。

第4个时段:1月8日11:00—1月9日23:00,从1月8日10:00以后污染物浓度和AQI开始下降至常态水平然后逐渐平缓, $\text{PM}_{2.5}$ 浓度从高值 $214\mu\text{g}/\text{m}^3$ 降至 $48\mu\text{g}/\text{m}^3$ , $\text{PM}_{10}$ 浓度从高值 $316\mu\text{g}/\text{m}^3$ 降至 $94\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,空气质量逐渐改善,污染等级从重度污染变成良,此段时间对应的气象条件为空气湿度、气温、风速均在较低水平波动,偶有突升,这些气象条件均对污染物有清洁作用,经过大气自动清洁过程后空气质量由重度污染变成良,此次污染过程结束。

将上述提及的4段污染过程划分为发展阶段(1月6日0:00—1月7日7:00)、维持阶段(1月7日8:00—1月8日10:00)、消退阶段(1月8日11:00—1月9日23:00),此次污染过程其中第2个时段和第3个时段为污染严重时段(发展阶段后期和维持阶段),该污染严重时段的 $\text{PM}_{2.5}$ 占 $\text{PM}_{10}$ 的百分比范围为46%~68%,说明邯郸市此次重污染天气主要以细颗粒物为主,其中细颗粒物对大气污染的贡献比粗颗粒物大。根据以上污染过程的分析,可知第2个时段和第3个时段的重度污染时期与不利的气象条件有很大关系,结合图4此次污染过程的风玫瑰图,从图4中可以看出污染期间主导风向主要是东南风,而且风速达到3~4m/s,说明

此次污染过程不仅受本地源的影响还受到来自东南方向的污染源的影响。

邯郸市此次重污染过程有2个明显的特征：①空气质量状况波动大，1月6日10点为中度污染，在6日10点之后，空气质量状况就缓慢下降成良，1月6日16:00以后，空气质量又迅速上升为重度污染，1月6日这天的空气质量状况波动大。②风速小、高温、低温这些不利的气象条件均有助于重污染天气的形成。

### 3.2 特征雷达图和相关性分析

利用监测资料得到的5种污染因子（ $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{PM}_{2.5}$ 和 $\text{PM}_{10}$ ）绘制历史特征雷达图来分析此次重污染过程污染变化特征。1月5日的空气污染程度比1月6日—1月8日的空气污染程度轻，根据5日8:00特征雷达图显示，其中的 $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{PM}_{10}$ 以及 $\text{CO}$ 的特征值均超出上限，表明污染特征受特定工业排放及偏沙尘型污染的影响显著，属偏综合型污染，6日10:00到8日7:00，空气污染程度经历了一次从中度污染—轻度污染—重度污染—中度污染—重度污染过程后，历史特征雷达图（图5）显示此时段 $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{PM}_{10}$ 以及 $\text{CO}$ 的特征值均超出上限，污染特征受特定工业排放及偏沙尘型污染的影响显著，属偏综合型污染，表明邯郸市空气严重污染时段主要是受特定工业排放及偏沙尘型污染的影响，9日10:00以后，空气污染程度从重度污染变成良，污染特征类型发生明显变化，历史特征雷达图显示仅 $\text{SO}_2$ 的特征值超出上限<sup>[3]</sup>。表明污染特征主要受燃煤排放的影响显著，此次污染过程，污染特征类型从明显的特定工业排放及偏沙尘型污染特征转变成偏燃煤排放型污染特征。

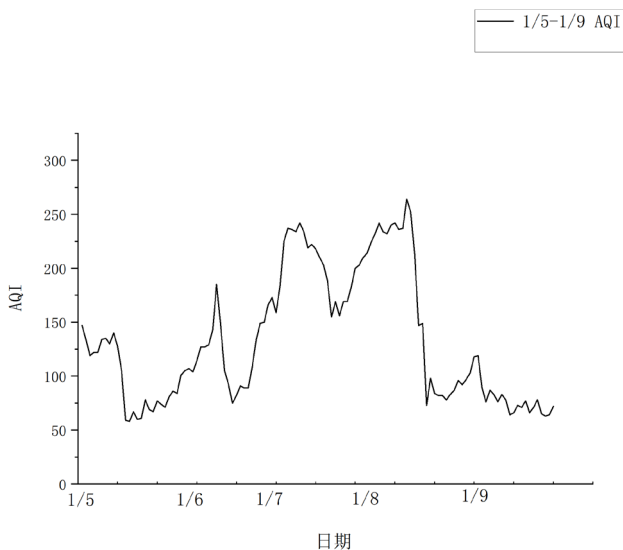


图1 邯郸市1月5日—9日AQI小时变化趋势及 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 小时变化趋势

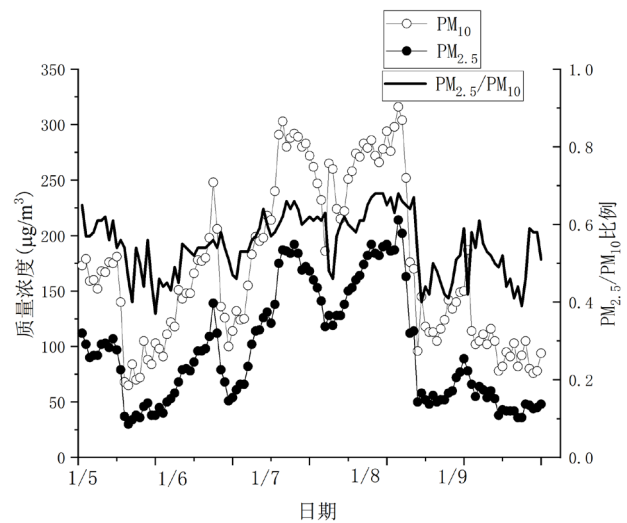


图2 邯郸市1月5日—9日 $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{PM}_{10}$ 小时变化趋势

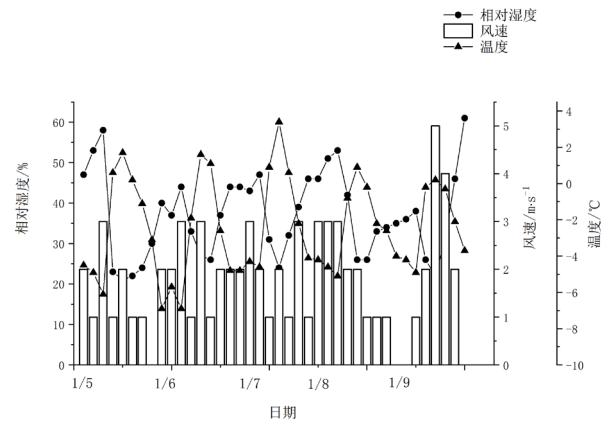


图3 邯郸市1月5日—9日相对湿度、温度及风速小时变化趋势

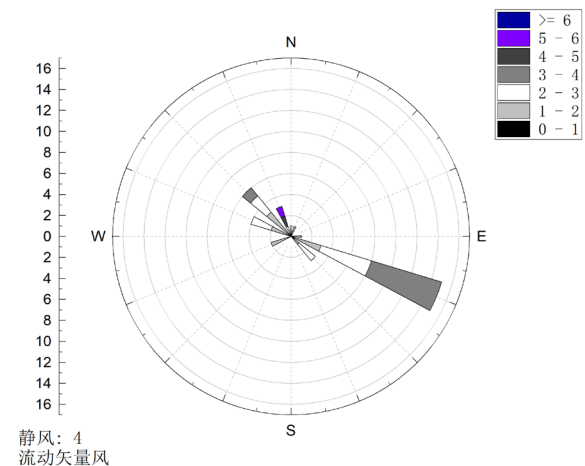


图4 邯郸市1月5日—1月9日风玫瑰图

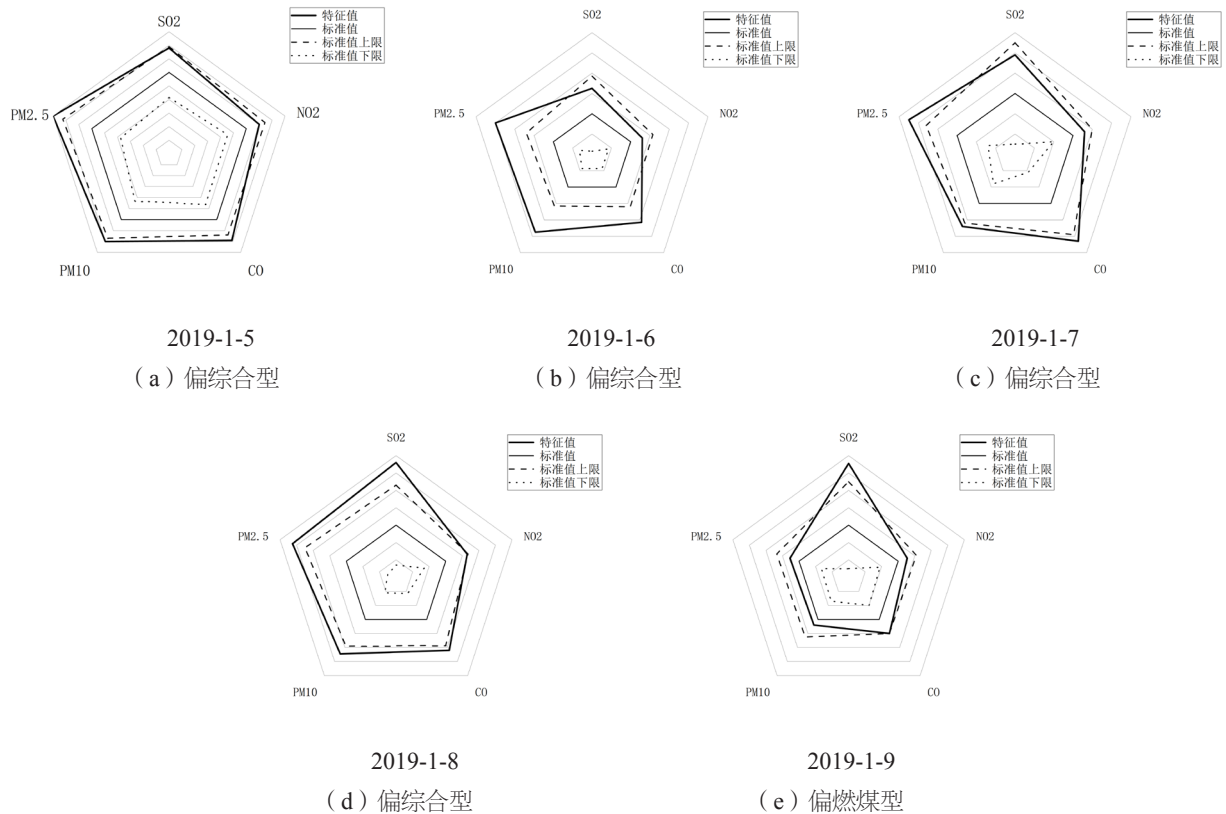


图5 邯郸市历史特征雷达图

从污染物间的相关性(表1)中可以看出污染期间 $PM_{2.5}$ 与 $SO_2$ 、 $NO_2$ 、CO以及 $PM_{10}$ 的相关性分别为0.835、0.898、0.964和0.981,从这些数据中可以得出 $PM_{2.5}$ 与 $SO_2$ 、 $NO_2$ 、CO以及 $PM_{10}$ 的相关性较强, $PM_{2.5}$ 尤其是与CO和 $PM_{10}$ 的相关性最强, $PM_{2.5}$ 主要是受到CO和 $PM_{10}$ 的排放源影响多一些,间接受到 $SO_2$ 和 $NO_2$ 这两种 $PM_{2.5}$ 的前

体物的排放源的影响,因此,此次污染过程主要以燃煤、机动车尾气、特定工业排放源、沙尘为主。

#### 4 结论

①以邯郸市2019年1月5~9日一次空气重污染过程为研究对象,此次空气污染期间,AQI、 $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 呈“锯齿状”。在此期间,空气质量等级为重度污染时,对应的

表1 六项不同污染物因子之间的相关性

|            | $SO_2$  | $NO_2$  | CO      | $PM_{2.5}$ | $PM_{10}$ |
|------------|---------|---------|---------|------------|-----------|
| $SO_2$     | 1       | 0.833** | 0.842** | 0.835**    | 0.828**   |
| $NO_2$     | 0.833** | 1       | 0.850** | 0.898**    | 0.900**   |
| CO         | 0.842** | 0.850** | 1       | 0.964**    | 0.948**   |
| $PM_{2.5}$ | 0.835** | 0.898** | 0.964** | 1          | 0.981**   |
| $PM_{10}$  | 0.828** | 0.900** | 0.948** | 0.981**    | 1         |

注: \*\*表示在0.05水平上显著,\*表示在0.01水平上显著。

PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub> 达到最大浓度为 214 μg/m<sup>3</sup>、316 μg/m<sup>3</sup>，重污染期间，PM<sub>2.5</sub> 在 PM<sub>10</sub> 中占比为 46%~68%，说明此次空气污染期间主要以细颗粒物污染物为主，此次重污染期间对应的不利气象条件湿度高、温度低、风速小、无降水导致大气的扩散能力较弱，造成污染物局地累积，也为此次 2d 重污染天气的维持提供了有利条件。

②从特征雷达图来看此次重污染特征，此次污染特征由 5 日 8:00 及 6 日 10:00—8 日 7:00 的受特定工业排放及偏沙尘型污染转变为 9 日 10:00 的偏燃煤型污染，而且从 PM<sub>2.5</sub> 与 SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CO、PM<sub>10</sub> 的相关性来看，PM<sub>2.5</sub> 与 CO、PM<sub>10</sub> 的相关性最强，这也对应了重污染期间的污染特征是受特定工业排放及偏沙尘型污染，其次是 SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub> 与

PM<sub>2.5</sub> 的相关性较强，从特征雷达图和污染物之间的相关性得知此次重污染过程主要以燃煤、机动车尾气、特定工业排放源、沙尘为主。

### 参考文献

- [1] 李博,杨凡,李秀镇,等.2015年青岛城阳一次持续污染过程中PM<sub>2.5</sub>污染特征及潜在污染源区分析[J].气象与环境科学,2020,43(2):79-86.
- [2] Liu X G, Li J, Qu Y, et al. Formation and evolution mechanism of regional haze: a case study in the megacity Beijing, China[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2013,13(9):4501-4514.
- [3] 赵淑婷,王丽涛,齐孟姚,等.邯郸市PM<sub>2.5</sub>-O<sub>3</sub>复合污染特征及相互影响[J].环境科学学报,2021,41(6):2250-2261.