

# 德阳市空气污染物浓度与气象要素关联性分析

赖维肖

四川省德阳市气象局, 四川 德阳

收稿日期: 2022年7月18日; 录用日期: 2022年8月18日; 发布日期: 2022年8月25日

## 摘要

本文利用德阳站地面观测资料, 分析风场等污染气象特征; 利用德阳市污染物浓度资料, 分析各种污染物的时空分布特征和大气污染物浓度超国家环境空气质量标准二级限值状况。运用文献资料法、皮尔森相关系数法、T检验法和线性回归分析法分析大气污染物浓度与气象条件相关性。研究结果表明: 1) 德阳全年主导风向均为北风, 频率为11.8%, 年平均风速和四季平均风速均较小, 未超过1.5 m/s, 平均风速秋冬小, 春夏大; 2) 2015~2021年德阳地区几种污染物中, 超过国家二级标准的天数最多的是PM<sub>2.5</sub>, 逐年为54 d、66 d、65 d、40 d、39 d、32 d、37 d; 3) 除O<sub>3</sub>日均浓度季节变化规律表现为夏高冬低以及SO<sub>2</sub>的季节变化不明显外, 其余污染物日均浓度均为夏低冬高; 4) SO<sub>2</sub>日均浓度与相对湿度、平均气压和风速显著负相关, NO<sub>2</sub>日均浓度与相对湿度、平均气温、风速显著负相关, CO日均浓度与平均气温、平均气压、风速显著负相关, O<sub>3</sub>日均浓度与平均气温显著正相关, 与相对湿度、平均气压、风速显著负相关, PM<sub>2.5</sub>和PM<sub>10</sub>日均浓度均与相对湿度、平均气温、平均气压、风速显著负相关; 5) 空气污染物日均浓度与气象因子日均值的相关性较为显著, 空气污染物月均浓度与气象因子月均值具有一定的相关性, 空气污染物年均浓度与气象因子年均值的相关性不明显。

## 关键词

德阳地区, 空气污染, 气象要素, 相关性

## The Analysis of the Relationship between Air Pollution and Meteorological Factors in Deyang Area

Weixiao Lai

Deyang Meteorological Bureau of Sichuan Province, Deyang Sichuan

Received: Jul. 18<sup>th</sup>, 2022; accepted: Aug. 18<sup>th</sup>, 2022; published: Aug. 25<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

The pollution meteorological characteristics have been revealed, including wind, with the ground observation data of Deyang station. In addition to this, using data of pollution concentration from Deyang Environmental Protection Agency, the pollution characteristics have been analyzed, including spatial and temporal distribution characteristics of contaminants and the days exceeding the Class 2 limit values of the National Ambient Air Quality Standard (NAAQS). Literature review method, Pearson correlation coefficient method, t check method, linear regression analysis method have been applied in the process of whole research. The relationship between specific pollutant and meteorological factors has been studied. The results showed that: 1) The north wind is prevailing in Deyang area all year round with a frequency of 11.3%, with both annual and season average wind speed less than 1.5 m/s. Winter and autumn average wind speed is higher than summer and spring; 2) Among all the contaminants, PM<sub>2.5</sub> is the maximum value in days exceeding the Class 2 limit values of the National Ambient Air Quality Standard (NAAQS), reaching 54 d, 66 d, 65 d, 40 d, 39 d, 32 d, 37 d. 3) O<sub>3</sub> concentration in summer is higher than that in winter, SO<sub>2</sub> concentration varies little and the other concentrations in winter are higher than that in summer; 4) Significant negative correlation exists between SO<sub>2</sub> daily concentration and relative humidity, air pressure, wind speed, NO<sub>2</sub> daily concentration and relative humidity, temperature, wind speed, CO daily concentration and air pressure, temperature, wind speed, O<sub>3</sub> daily concentration and relative humidity, air pressure, wind speed, PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> daily concentration and relative humidity, air pressure, temperature, wind speed. Significant positive correlation exists between O<sub>3</sub> daily concentration and temperature. 5) Correlations between contaminant daily concentration and meteorological factors are more significant than that of monthly and yearly concentration.

## Keywords

Deyang City, Air Contaminant, Meteorological Factor, Correlation Analysis

Copyright © 2022 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

大气污染指的是碳氧化物、硫氧化物、氮氧化物、碳氢化合物和颗粒污染物等非常规气体和颗粒进入大气中,达到一定的浓度和一定的时间,改变短期和中长期大气成分,危害生态环境和人类健康。生态环境治理是全球的议题,英国伦敦光化学烟雾污染、美国洛杉矶光化学烟雾污染和多诺拉烟雾、马斯河谷烟雾等一系列公害事件,引起了全世界的重视[1]。而目前,我国也面临着十分严峻空气质量问题,处于严重的区域复合污染阶段[2]:能源的利用率低,人口密集,城市化进程迅猛。现在我国的常规监测污染物有6种,分别是SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、CO和O<sub>3</sub>。

国内外的学者在空气污染物浓度与气象要素关联性分析方面做了大量的研究工作。A. de Meij等[3]分别运用WRF和MM5模式模拟意大利波河的污染气象特征,并对二者进行了比对分析。Ulas Im等[4]利用WRF模拟输出了伊斯坦布尔的气象要素,并将其作为CMAQ的初始场资料进一步导出污染物浓度。于洲等对SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、PM<sub>10</sub>、CO、O<sub>3</sub>、PM<sub>2.5</sub>的地理变化、季节变化和日变化做了详细分析[5]。焦利民等人利用2013年京津冀的气象资料、PM<sub>2.5</sub>浓度资料及Landsat8遥感影像,研究得出PM<sub>2.5</sub>浓度上升与

建设用地比例呈现显著正相关，与气压呈现显著负相关。裸地比例、林地比例、温度和 AOD 与 PM<sub>2.5</sub> 的相关性较为复杂[6]。

德阳市属成渝经济圈的重点城市，是中国重大技术装备制造制造业基地，所以应对德阳的环境保护提出更高的要求。本文地面观测资料和污染物浓度资料关于德阳地区边界层的污染气象特征的研究对德阳市环境质量监测、污染物的预报等均有非常重要的意义。

## 2. 资料与计算方法

### 2.1. 研究资料

本文利用德阳市 2013~2021 年共 9 年逐日的地面观测资料。其中包括地面温度、海平面气压、本站气压、气温、露点温度、2 分钟平均风向和风速、相对湿度、降水量每日逐时的地面观测资料。以及德阳市 2015~2021 年逐日逐时的 SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、CO、O<sub>3</sub> 污染物浓度资料。

### 2.2. 方法

风场的研究主要是分析包括地面风向频率、风速在内的等多要素。本文根据气象观测资料中的风场资料，得出地面风向频率、风速的季节变化和年变化的规律特征。分析出促进污染物稀释扩散的有利风场条件，利于空气质量治理及调控[7]。风向频率的概念：风在其中一个方向出现的次数和总观测次数之比[8]。

德阳市空气污染物浓度与气象要素关联性分析主要用多元线性回归方法。多元线性回归模型当中，包含多元解释变量，以表示因变量与自变量之间的线性关系[9]。模型形成之后，再利用统计拟合规则，根据已有的数据样本，对模型之中的每个因子进行估算[10]。Pearson 相关系数是一个统计量，用于描述两个随机变量线性相关性，又称为点相关系数或相关系数，用  $r$  来表示。它也可用作估计两总体相关系数  $\rho$ 。设有  $x_1, x_2, \dots, x_n$  和  $y_1, y_2, \dots, y_n$  两个变量，相关系数的计算公式如下：

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

式中， $x_i$  为变量  $x$  的第  $i$  个值， $y_i$  为变量  $y$  的第  $i$  个值， $\bar{x}$  为  $x$  的平均值， $\bar{y}$  为  $y$  的平均值， $n$  为变量总数。在给定显著性水平下，根据相关系数检验表，对计算出的相关系数进行显著性检验。

## 3. 结果与讨论

### 3.1. 德阳地区污染气象特征研究

#### 3.1.1. 气象特征分析

基于 2013~2021 年地面风频资料可以得出：德阳全年的主导风向为北风，频率为 11.8%，其次为东东北风，频率为 10.7%；夏季以北风为主，频率为 11.0%，次多风为北东北风，频率为 9.9%；冬季以北风为主，频率为 13.1%，次多风为东东北风，频率为 11.7%。总的来说，德阳地区不同时间尺度上的主导风最大频率均未超过 14% (见表 1~3 及图 1)。

**Table 1.** Frequencies of summer monsoon in Deyang in 2013~2021 (unit: %)

**表 1.** 2013~2021 年德阳夏季风频统计表(单位: %)

风向	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
频率	11.0	9.9	6.9	8.5	6.6	3.9	2.9	2.6	4.7	2.6	6.8	6.5	5.8	4.5	8.4	8.4

**Table 2.** Frequencies of winter wind in Deyang in 2013~2021 (unit: %)

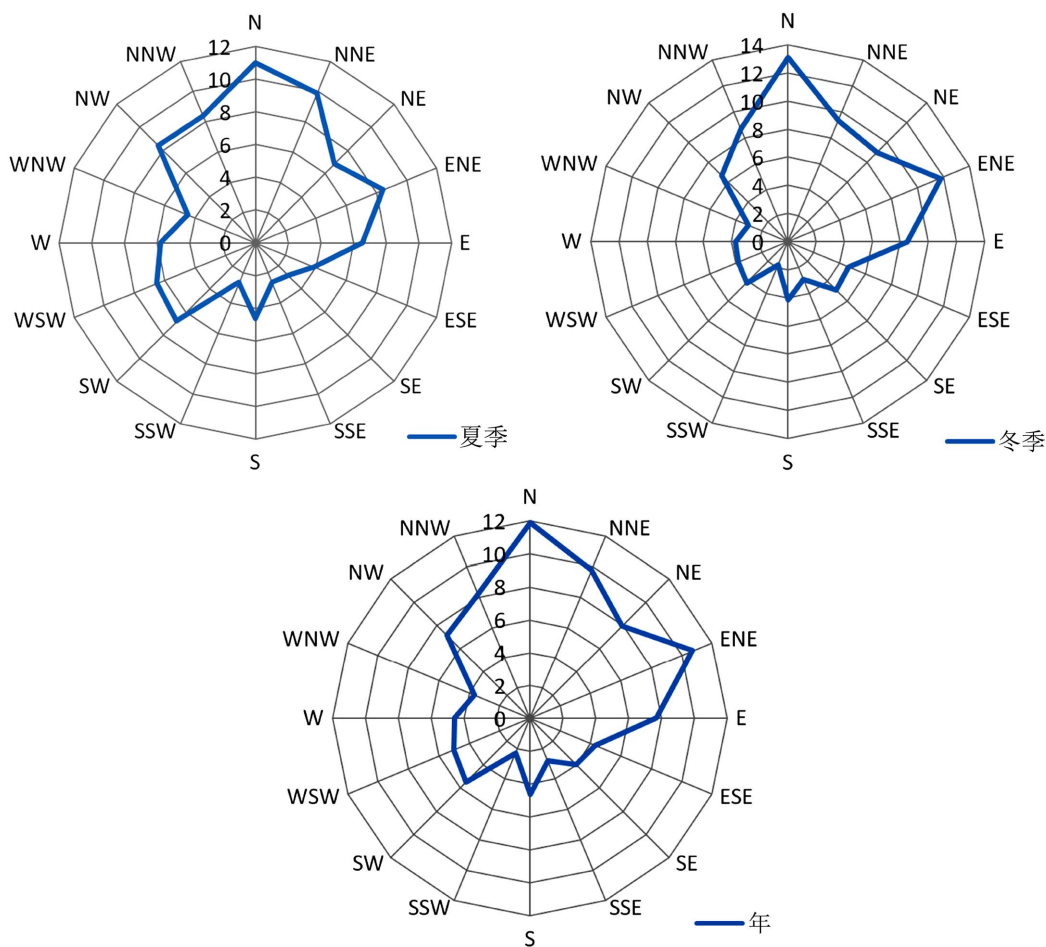
**表 2.** 2013~2021 年德阳冬季风频统计表(单位: %)

风向	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
频率	13.1	9.3	9	11.7	8.5	4.7	4.8	2.9	4.1	1.8	4.2	3.8	3.7	3	6.7	8.7

**Table 3.** The wind frequencies in Deyang in 2013~2021 (unit: %)

**表 3.** 2013~2021 年德阳风频统计表(单位: %)

风向	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
频率	11.8	9.7	7.9	10.7	7.7	4.3	4.0	2.8	4.6	2.3	5.5	5.0	4.6	3.7	7.1	8.3



**Figure 1.** Rose diagram of wind frequencies in Deyang in 2013~2021

**图 1.** 德阳地区 2013~2021 年风频玫瑰图

在研究风频的同时，统计了德阳地区 2013~2021 年共 9 年的平均风速以及四季平均风速，见表 4 和表 5。从中可分析得出，德阳地区年平均风速和四季平均风速均较小，未超过 1.5 m/s；秋季和冬季的平均风速小，春季和夏季的平均风速大，秋季的平均风速最小，春季的平均风速最大，夏季和冬季的平均风速介于二者之间，且夏季大于冬季。静风和小风，无论是年还是季节出现频率皆较高，大于 54%。具体季节分布规律表现为，秋冬两季静风和小风出现的频率最高，在 78%~82%之间，夏季次之，为 65.7%，春季最小，为 54.7%。

**Table 4.** The annual and seasonal mean of wind speed in 2013~2021 (unit: m/s)**表 4.** 2013~2021 年研究区年平均风速和四季平均风速(单位: m/s)

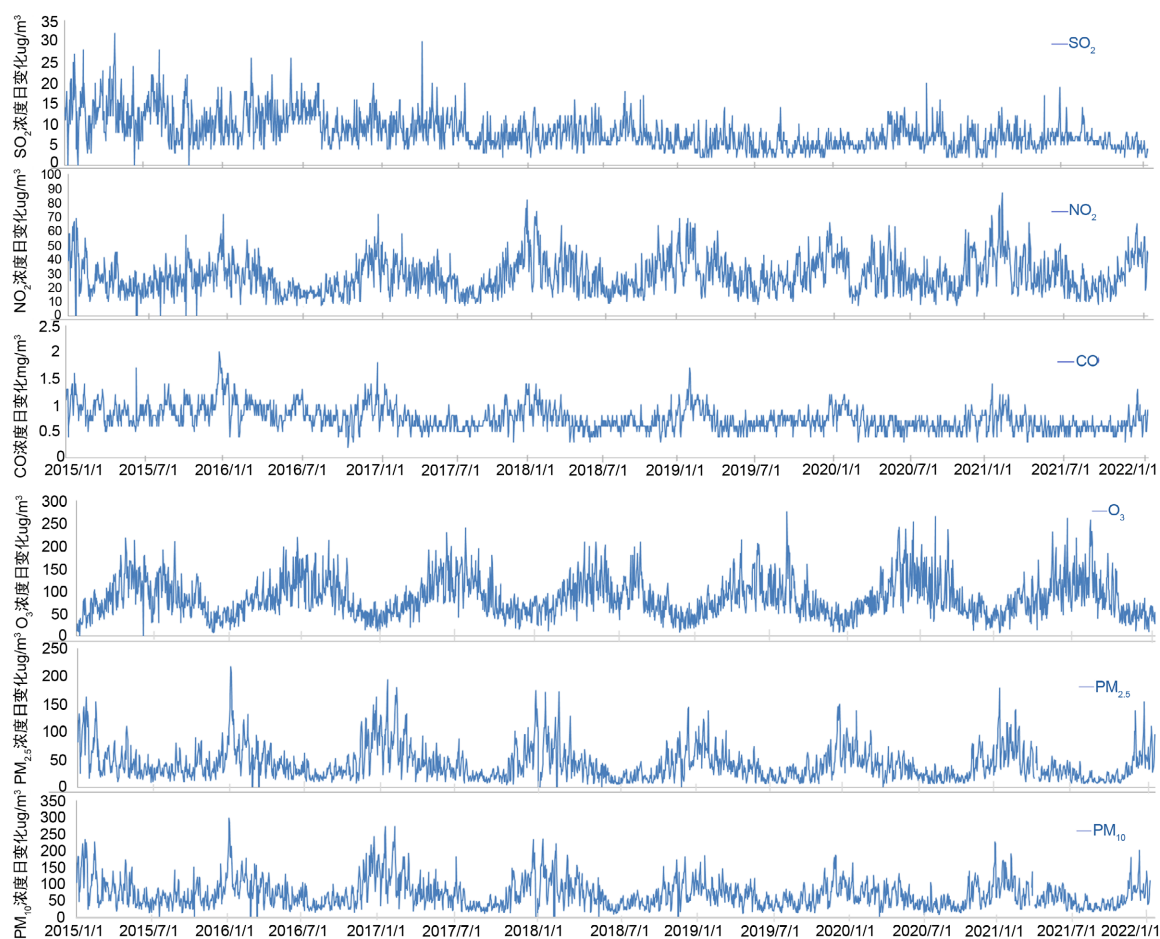
季节	年	春	夏	秋	冬
风速	1.29	1.49	1.35	1.15	1.18

**Table 5.** The frequency of annual and seasonal small quiet breeze in 2013~2021**表 5.** 2013~2021 年研究区年和四季静小风出现频率

季节	年	春	夏	秋	冬
风速	70.4%	54.7%	65.7%	82.4%	78.8%

### 3.1.2. 污染物特征分析

图 2 和表 6 反映出, 2015~2021 年德阳地区  $\text{SO}_2$  日均值浓度的变化范围分别为  $0.002\sim 0.032 \text{ mg/m}^3$ , 均未超过国家二级标准( $0.15 \text{ mg/m}^3$ )。由图 2 看出, 2015 年 4 月份  $\text{SO}_2$  浓度日均值出现峰值  $0.032 \text{ mg/m}^3$ , 2017 年 4 月也出现脉冲高点  $0.030 \text{ mg/m}^3$ 。2015~2019 年期间  $\text{SO}_2$  浓度日均值震荡下降, 2018~2019 年保持较低水平, 略有波动但变化不大。进入 2020 年 7 月份后, 其浓度日均值逐渐上升。总体来说, 研究期间,  $\text{SO}_2$  浓度日均值呈现下降趋势。

**Figure 2.** Daily variation of pollutant concentration in Deyang in 2013~2021**图 2.** 德阳地区 2015~2021 年污染物浓度日变化

**Table 6.** The days exceeding the class 2 limit values of the National Ambient Air Quality Standard (NAAQS) in Deyang in 2013~2021**表 6.** 2015~2021 年德阳地区污染物 24 小时平均超国家二级标准天数平均值

站点	项目	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	CO	O <sub>3</sub>	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>
2015	天数(d)	0	0	0	18	54	30
	比例(%)	0	0	0	4.9	14.8	8.2
2016	天数(d)	0	0	0	23	66	35
	比例(%)	0	0	0	6.3	18.0	9.6
2017	天数(d)	0	1	0	28	65	27
	比例(%)	0	0.3	0	7.7	17.8	7.4
2018	天数(d)	0	0	0	20	40	20
	比例(%)	0	0	0	5.5	11.0	5.5
2019	天数(d)	0	0	0	21	39	7
	比例(%)	0	0	0	5.8	10.7	1.9
2020	天数(d)	0	0	0	38	32	5
	比例(%)	0	0	0	10.4	8.7	1.4
2021	天数(d)	0	1	0	24	37	10
	比例(%)	0	0.3	0	6.6	10.1	2.7

2015~2021 年德阳地区 NO<sub>2</sub> 日均值浓度的变化范围分别是 0.007~0.087 mg/m<sup>3</sup>，仅 2017 年及 2021 年出现超过国家二级标准(0.08 mg/m<sup>3</sup>)的情况，天数各为 1 d，占全年天数百分比均为 0.3%。从图 2 可以看出，2015~2021 年 NO<sub>2</sub> 浓度值整体呈现“冬高夏低”的季节分布规律。2021 年 1 月出现极大值 0.087 mg/m<sup>3</sup>。2015~2021 年的年际变化维持较稳定少变的状态，逐年的极值亦相当。

2015~2021 年德阳地区 CO 日均值浓度的变化范围是 0.2~2 mg/m<sup>3</sup>。CO 的国家二级标准为 4 mg/m<sup>3</sup>，研究期间德阳地区未出现超标情况。2015 年 12 月份 CO 浓度日均值出现峰值 2 mg/m<sup>3</sup>。CO 浓度值的季节分布规律表现为：冬季高，夏季低，12~2 月浓度值处于全年最高水平，全年其余时段浓度值均较小。且研究期间 CO 浓度日均值整体波动幅度小。

2015~2021 年德阳地区 O<sub>3</sub> 日均值浓度的变化范围是 0.008~0.276 mg/m<sup>3</sup>，超过国家二级标准(0.16mg/m<sup>3</sup>)的天数分别为 18 d、23 d、28 d、20 d、21 d、38 d、24 d，占全年天数百分比分别为 4.9%、6.3%、7.7%、5.5%、5.8%、10.4%、6.6%。O<sub>3</sub> 浓度日最大 8 小时均值出现在 2019 年 8 月，为 0.276 mg/m<sup>3</sup>。与其余污染物有所区别的是 CO 浓度值的季节分布规律表现为：夏季高，冬季低，O<sub>3</sub> 浓度日最大 8 小时均值的大值区分布在 6~8 月。研究期间，日均值浓度呈现逐渐上升的趋势，2019 年后每年的极值维持较高的水平，德阳地区 O<sub>3</sub> 污染状况不容忽视。

2015~2021 年德阳地区 PM<sub>2.5</sub> 日均值浓度的变化范围是 0.004~0.217 mg/m<sup>3</sup>。超过国家二级标准(0.075 mg/m<sup>3</sup>)的天数为 54 d、66 d、65 d、40 d、39 d、32 d、37 d，超标率为 14.8%、18.0%、17.8%、11.0%、10.7%、8.7%、10.1%，除 2020 年外，其余年份居于所有污染物超标日之首。PM<sub>2.5</sub> 浓度日均最大值出现在 2015 年 12 月，为 0.217 mg/m<sup>3</sup>。冬季日均值浓度为高值区，夏季日均值浓度为低值区，波动振幅大，显现出多峰值特点。在所有的污染物中，德阳地区 PM<sub>2.5</sub> 的污染状况相对突出。

2015~2021 年德阳地区 PM<sub>10</sub> 日均值浓度的变化范围是 0.007~0.298 mg/m<sup>3</sup>。超过国家二级标准(0.15 mg/m<sup>3</sup>)的天数为 30 d、35 d、27 d、20 d、7 d、5 d、10 d，超标率为 8.2%、9.6%、7.4%、5.5%、1.9%、

1.4%、2.7%。从图 2 可以看出, 冬季 PM<sub>10</sub> 的日均浓度值居高不下, 2015 年 12 月出现了极大值 0.298 mg/m<sup>3</sup>, 其余季节为低值时段。整体来看, 研究期间, 德阳地区 PM<sub>10</sub> 浓度值呈现下降趋势, 尤其是 2019 年后有显著降低。

### 3.2. 空气污染物与气象因子相关性

#### 3.2.1. 空气污染物日均浓度与气象因子相关性

研究空气污染物日均浓度与气象因子相关性, 如表 7, SO<sub>2</sub> 与平均气温和降水量正相关, 这基本上异于其余污染物与上述气象因子的相关性, SO<sub>2</sub> 与相对湿度、平均气压和风速均呈显著负相关; NO<sub>2</sub> 与相对湿度、平均气温、风速显著负相关, 与平均气压、降水量相关性不明显; CO 与降水量负相关, 而与平均气温、平均气压、风速均呈显著负相关, 与相对湿度相关性不明显; O<sub>3</sub> 与平均气温有显著正相关关系, 与相对湿度、平均气压、风速有显著负相关关系, 与降水量相关性不明显; PM<sub>2.5</sub> 与降水量呈负相关, 与相对湿度、平均气温、平均气压、风速呈显著负相关; PM<sub>10</sub> 与降水量呈现负相关, 与相对湿度、平均气温、平均气压、风速呈显著负相关。

**Table 7.** The correlation coefficient between daily average pollutant concentration and meteorological factors in Deyang in 2015~2021

**表 7.** 2015~2021 年德阳地区污染物日均浓度与气象要素的相关系数

污染物	相对湿度	平均气温	平均气压	降水量	风速
SO <sub>2</sub>	-0.017**	0.001*	-0.001**	0.001*	-0.026**
NO <sub>2</sub>	-0.021**	-0.008**	-0.001	-0.001	-0.099**
CO	0.000	-0.002**	-0.001**	-8.489E-5*	-0.017**
O <sub>3</sub>	-0.181**	0.032**	-0.005**	-0.001	-0.067**
PM <sub>2.5</sub>	-0.036**	-0.032**	-0.013**	-0.001*	-0.198**
PM <sub>10</sub>	-0.095**	-0.038**	-0.015**	-0.002*	-0.271**

\*\* : 在  $p \leq 0.01$  水平(双侧)上显著相关;

\* : 在  $p \leq 0.05$  水平(双侧)上显著相关。

#### 3.2.2. 空气污染物月均浓度与气象因子相关性

由表 8 分析空气污染物月均浓度与气象因子相关性, 可以得到, SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub> 与所研究的气象要素的相关性均不明显; CO 与平均气温呈现负相关关系, 与其余气象要素的相关性不明显; O<sub>3</sub> 与相对湿度有负相关关系, 与平均气温有显著正相关关系, 与平均气压、降水量和风速相关性不明显; PM<sub>2.5</sub> 与风速呈负相关, 与平均气温呈显著负相关, 与相对湿度、平均气压和降水量的相关性不明显; PM<sub>10</sub> 与平均气温呈负相关, 与其余气象要素的相关性不明显。

**Table 8.** The correlation coefficient between monthly average pollutant concentration and meteorological factors in Deyang in 2015~2021

**表 8.** 2015~2021 年德阳地区污染物月均浓度与气象要素的相关系数

污染物	相对湿度	平均气温	平均气压	降水量	风速
SO <sub>2</sub>	-0.002	-0.002	-0.003	0.000	0.023
NO <sub>2</sub>	0.029	-0.015	-0.012	-0.008	-0.046
CO	-0.009	-0.005*	-0.003	0.003	-0.060
O <sub>3</sub>	-0.324*	0.041**	-0.006	0.009	0.211

Continued

PM <sub>2.5</sub>	-0.176	-0.037**	-0.017	0.011	-0.676*
PM <sub>10</sub>	-0.241	-0.041*	-0.017	0.006	-0.702

\*\*：在  $p \leq 0.01$  水平(双侧)上显著相关；\*：在  $p \leq 0.05$  水平(双侧)上显著相关。

### 3.2.3. 空气污染物年均浓度与气象因子相关性

分析空气污染物年均浓度与气象因子相关性，如表 9，结果表明，SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CO、O<sub>3</sub>、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub> 的年均浓度值与所研究的气象要素的年均值的相关性均不明显。

**Table 9.** The correlation coefficient between yearly average pollutant concentration and meteorological factors in Deyang in 2015~2021

**表 9.** 2015~2021 年德阳地区污染物年均浓度与气象要素的相关系数

污染物	相对湿度	平均气温	平均气压	降水量	风速
SO <sub>2</sub>	0.032	0.137	-0.012	0.013	-0.052
NO <sub>2</sub>	-0.049	-0.148	0.008	-0.007	-0.112
CO	0.010	0.057	-0.013	-0.002	0.004
O <sub>3</sub>	-0.231	-0.268	0.055	-0.036	0.365
PM <sub>2.5</sub>	0.083	0.238	0.039	0.012	-0.073
PM <sub>10</sub>	0.207	0.425	0.025	0.044	-0.157

\*\*：在  $p \leq 0.01$  水平(双侧)上显著相关；\*：在  $p \leq 0.05$  水平(双侧)上显著相关。

### 3.2.4. 空气污染物均浓度与气象因子相关性的短期、中期和长期对比

空气污染物日均浓度与气象因子日均值的相关性较为显著，SO<sub>2</sub> 日均浓度与 2 个气象要素相关，与其余 3 个气象要素显著相关；NO<sub>2</sub> 日均浓度与 3 个气象要素具显著相关性；CO 日均浓度与 1 个气象要素相关，与 3 个气象要素显著相关；O<sub>3</sub> 日均浓度与 4 个气象要素显著相关；PM<sub>2.5</sub> 日均浓度与 1 个气象要素相关，与其余 4 个气象要素显著相关；PM<sub>10</sub> 日均浓度与 1 个气象要素相关，与其余 4 个气象要素显著相关。空气污染物月均浓度与气象因子月均值具有一定的相关性，其中 CO 与 1 个气象要素相关，O<sub>3</sub> 与 1 个气象要素显著相关，PM<sub>2.5</sub> 与 1 个气象要素相关，与 1 个气象要素显著相关，PM<sub>10</sub> 与 1 个气象要素相关。空气污染物年均浓度与气象因子年均值具的相关性均不明显。由此可见，空气污染物日均浓度与气象因子日均值的相关性最显著，短期变化的对应性最佳。

## 4. 结论

本文利用德阳站地面观测资料，分析风场等污染气象特征；利用德阳市污染物浓度资料，分析各种污染物的时空分布特征和大气污染物浓度超国家环境空气质量标准二级限值状况。运用文献资料法、皮尔森相关系数法、T 检验法和线性回归分析法分析大气污染物浓度与气象条件相关性。研究结果表明：

- 1) 德阳全年的主导风向为北风，频率分别为 11.8%，年平均风速和四季平均风速均较小，未超过 1.5 m/s，平均风速秋冬小，春夏大；
- 2) 2015~2021 年德阳地区几种污染物中，超过国家二级标准的天数最多的是 PM<sub>2.5</sub>，逐年为 54 d、66 d、65 d、40 d、39 d、32 d、37 d；



3) 除 O<sub>3</sub> 日均浓度季节变化规律表现为夏高冬低以及 SO<sub>2</sub> 的季节变化不明显外, 其余污染物日均浓度均为夏低冬高;

4) SO<sub>2</sub> 日均浓度与相对湿度、平均气压和风速显著负相关, NO<sub>2</sub> 日均浓度与相对湿度、平均气温、风速显著负相关, CO 日均浓度与平均气温、平均气压、风速显著负相关, O<sub>3</sub> 日均浓度与平均气温显著正相关, 与相对湿度、平均气压、风速显著负相关, PM<sub>2.5</sub> 和 PM<sub>10</sub> 日均浓度均与相对湿度、平均气温、平均气压、风速显著负相关;

5) 空气污染物日均浓度与气象因子日均值的相关性较为显著, 空气污染物月均浓度与气象因子月均值具有一定的相关性, 空气污染物年均浓度与气象因子年均值的相关性不明显。

## 参考文献

- [1] 毛文永, 文建平. 全球环境问题与对策[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1993.
- [2] 朱彤, 尚静, 赵德峰. 大气复污染及灰霾形成中非均相化学过程的作用[J]. 中国科学, 2010, 40(12): 1731-1740.
- [3] De Meij, A., Gzella, A., Cuvelier, C., *et al.* (2009) The Impact of MM5 and WRF Meteorology over Complex Terrain on CHIMERE Model Calculations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, **9**, 6611-6632. <https://doi.org/10.5194/acp-9-6611-2009>
- [4] Im, U., Markakis, K., Unal, A., *et al.* (2010) Study of a Winter PM Episode in Istanbul Using the High Resolution WRF/CMAQ Modeling System. *Atmospheric Environment*, **44**, 3085-3094. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.05.036>
- [5] 于洲. 杭州市大气污染物浓度时空变化特征分析[M]. 南京: 南京信息工程大学, 2016.
- [6] 焦利民. GAM 的区域 PM<sub>2.5</sub> 浓度影响因子识别及关联关系分析[J]. 环境科学与技术, 2015, 38(12): 123-128, 198.
- [7] 汤海波. 菏泽市气象因子与空气质量相关性研究与应用[J]. 中国环境监测, 2006, 22(5): 75-78.
- [8] 李云生. 城市区域大气环境容量总量控制技术指南[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2005.
- [9] 向迎春, 张丽莹, 高飞, 曾念, 钱若芷. 重庆万州二氧化硫浓度和气象条件关系分析[J]. 农业灾害研究, 2014, 4(2): 42-44, 47.
- [10] 黄菊梅. 岳阳市区空气质量变化特征及气象条件预报[J]. 环境科学与技术, 2016, 39(6): 168-173.