

Analysis of Air Pollution and Meteorological Characteristics in the Chengdu Plain Area

Hong Chen

Chengdu University of Information Technology, CUIT, Chengdu Sichuan
Email: chenhongcuit@outlook.com

Received: Oct. 14th, 2019; accepted: Oct. 30th, 2019; published: Nov. 6th, 2019

Abstract

Based on the meteorological data and the air quality data of Chengdu Plain in the period of 2014 – 2016, the air pollution situation, the ground and the boundary layer meteorological elements of different time scales were analyzed, including season and month. Correlation analysis and significance test were used to explore the correlation between air pollution and meteorological factors. The results show that: 1) The seasonal variation of air pollution in Chengdu plain area was obvious: the heaviest in winter and the lightest in autumn. And Chengdu was the city with the worst air quality, while Mianyang was the best all of the cities. The main pollutants in the plain area of Chengdu were PM₁₀ and PM_{2.5}. 2) In Chengdu plain, the dominant wind direction was NNE and NE. There was larger wind speed, higher ground temperature, more rainfall and sunshine in summer; On the contrary, relative humidity, air pressure and vapor pressure were lower. Ground wind velocity, relative humidity, small wind frequency had no obviously seasonal change. 3) The wind speed, water vapor pressure, precipitation, relative humidity, temperature and the height of atmospheric mixed layer were significantly negative correlated with AQI. The air pressure, atmospheric stratification stability and inversion layer were significantly positive correlated with AQI. And the wind direction had no effect on the spread of pollutants. The correlation was different on different time scales.

Keywords

Pollution Meteorology, Boundary Layer Characteristics, Correlation

成都平原地区空气污染及其气象特征分析

陈 红

成都信息工程大学, 四川 成都
Email: chenhongcuit@outlook.com

收稿日期: 2019年10月14日; 录用日期: 2019年10月30日; 发布日期: 2019年11月6日

摘要

本文采用成都平原地区2014~2016年的气象要素数据及同期空气质量数据,分别从季节和月等不同时间尺度对成都平原地区的空气污染状况、主要污染物,利用相关性分析及其显著性检验的方法探讨空气污染与气象要素之间的相关性。结果表明:1) 成都平原地区空气污染状况具有鲜明的季节变化的特点:冬季最严重,秋季最轻;城市群中成都市的空气污染状况最严重,绵阳的空气状况最好;成都平原地区主要污染物为可吸入颗粒物(PM₁₀)和细颗粒物(PM_{2.5});2) 成都平原地区全年主导风以NNE和NE为主,夏季风速、气温、降水量大,日照时数长,气压、水汽压、相对湿度较小,风速、相对湿度与静小风频率的季节变化不明显;3) 风速、水汽压、降水、相对湿度、温度、混合层高度与AQI呈负相关,气压、大气稳定度、逆温层强度与AQI呈正相关,风向对于污染物的扩散无太大影响。不同时间尺度上的相关性不一样。

关键词

空气污染, 边界层特征, 相关性

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

国际标准化组织(ISO)通常将由于人类活动和自然过程引起某些物质进入大气中,呈现足够的时间,并因此而危害了人体的健康或者环境的现象称为大气污染。我国自改革开放以来,国民经济快速发展、城市化进程加快,加上我国产业能源结构的不合理[1],大气污染在我国已成为常见问题之一。随着国家对西部地区发展的重视,西部地区城市快速发展,这导致了西部城市群区的大气污染日益加重。近年来,雾霾天气在西南地区频繁发生。其中大气污染的产生、增强、减弱又与气象条件息息相关,研究大气污染与气象条件的关系对空气质量的预报提供科学依据意义重大。

如今,空气污染已成为热门问题,并急需解决,许多学者对空气污染的来源、主要污染物、时空分布及其影响因素做了深入的研究。相关研究表明,在一定条件下,空气污染物浓度不仅与污染源排放程度有关,还跟气象条件息息相关,气象条件通过影响污染物的扩散、稀释和输送率等来影响污染物浓度[2]。王式功、李文杰等研究分析了空气污染与气象要素之间的相关性,得出城市环境质量与气象因子之间的密切关系[2] [3] [4];范广洲、颜玉倩等人以一次霾天气过程为研究对象指出了空气污染特征与气象特征的关系[5] [6]。倪长健、周书华对成都地区大气边界层逆温的特征进行了分析[7],邱海涛等研究指出逆温出现频率高、厚度大、强度高、维持时间长将限制大气污染物的稀释和扩散[8];邓利群、钱俊等针对成都市进行了颗粒物污染与气象条件的关系研究[9]。

成都平原地区是位于青藏高原以东的“死水区”,静小风出现频次较高,相对湿度大于80%,具有明显的“昼阴夜雨”的气候特点[10],大气污染物主要来源于局地污染源,且不易扩散[10]。因此研究成都平原地区空气污染与气象要素之间的关系和一般规律,对防治并改善当地空气污染有重要意义。借鉴前人对京津冀、长江珠三角地区等发达城市对空气污染及其气象特征分析的方法,本文对成都平原地区的空气污染分析和污染气象特征进行分析。分析2014~2016年3年来成都平原地区空气污染特征与气象因素的关系,了解两者之间的联系,为成都平原空气污染的预警预报及污染防治提供理论依据。

2. 数据来源及研究方法

2.1. 资料概况

本文采用的空气污染数据来自四川环境监测总站,数据包括成都、德阳和绵阳3市2014年3月10日~2016年12月31日,以及眉山市和资阳市2015年1月1日~2016年12月31日的逐日空气质量指数(AQI)、首要污染物、空气质量级别和空气质量状况。地面气象要素数据来源于中国气象数据网提供的中国地面气候资料日值数据集,本文采用与空气污染数据同期的成都、德阳、绵阳、眉山和资阳5个站点的数据,该数据集包括气压(hPa)、气温($^{\circ}\text{C}$)、相对湿度(%RH)、风速(m/s)及风向、日照时数(h)、水汽压(hPa)、24小时降水量(mm)等。高空气象要素数据来自学校气象台 Micaps 中的温江站探空资料。

2.2. 研究方法

1) 空气污染特征分析

1、AQI 分析

本文使用四川省环境监测总站 2014~2016 年期间成都平原地区逐日 AQI,根据《环境空气质量指数(AQI)技术规定(试行)》(HJ633-2012)中规定的空气质量指数范围及相应的空气质量级别,统计成都平原地区各质量级别天数和所占比例,并根据 AQI 逐日数据绘制出图,总结分析变化特征。归类出各个污染等级对应的天数,探讨成都平原地区从 2014~2016 年各季节空气污染分布特征和成都平原地区 AQI 的月际变化。

2、首要污染物分析

参与空气质量评价的主要污染物为 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 SO_2 、 O_3 、 NO_2 、 CO 六项。统计数据并得出成都平原地区的首要污染物,具体分析首要污染物的月际变化。

2) 气象特征分析

1、地面要素分析

A、风场、风向、风速分析

统计分析各个站点主导风。风速直接影响大气污染物的扩散稀释能力。统计分析成都平原地区全年风速的季变化和月变化,计算出静小风出现的频率。

B、气温、相对湿度、降水、其他地面气象要素分析

分别对 2014~2016 年成都平原地区的气象要素进行季变化和月变化分析,并分析其与空气污染的关系。由于数据的缺失问题,选择成都市和绵阳市作为成都平原地区的代表城市进行研究分析。

2、边界层要素分析

A、大气稳定度

使用修订的帕斯奎尔大气稳定度分级法(P-T-C 法)进行统计,将 5 个站点的 2014~2016 年的逐日 4 次定时观测资料(总、低云量和风速),以及太阳高度角(h),由表查出太阳辐射等级[11],再由地面风速值及太阳辐射等级,将稳定度状况进行分级,分为 A(强不稳定)、B(不稳定)、C(弱不稳定)、D(中性)、E(较稳定)、F(稳定)和过渡型(A-B、B-C、C-D)九个稳定度见表 3,统计得出地区各大气稳定度出现频率,本文选择 08 时、14 时和 20 时三个时次下大气稳定度数据,由于数据的缺失问题,选择污染最严重的成都市和污染最轻的绵阳市作为成都平原地区的代表城市进行研究分析。

B、混合层高度

大气混合层高度是反映污染物在铅垂方向扩散的重要参数,也是影响大气污染物扩散的主要气象因子之一[12]。根据环评导则提供的混合层高度的计算公式,其表达式为:

当大气稳定度为 A、B、C、D 时:

$$h = a_s \bar{U}_{10} / f \quad (1)$$

当大气稳定度为 E 和 F 时:

$$h = b_s \sqrt{\bar{U}_{10}} / f \quad (2)$$

式中: $f = 2\Omega \sin \varphi$, h 为混合层高度(E、F 时指近地层厚度) m, \bar{U}_{10} 为 10 m 高度处平均风速, 风速大于 6 m/s 时取为 6 m/s, a_s 、 b_s 为混合层系数。当稳定度为 A、B、C 和 D 类时, 四川地区分别取 0.037、0.048、0.031 和 0.022, 当为 E 和 F 类时分别取 1.66、0.7。

C、逆温层

本文使用温江站的第一层逆温层数据(第一层逆温层是指将距地高度最低的逆温层), 计算出逆温层厚度、温差和逆温强度(逆温强度是指每上升 100 m 气温增加的值[13])。分析逆温强度、厚度和温差的季和月的变化特征。

3) 空气污染和气象特征的关系

结合前面两者的分析, 利用 SPSS17.0 分析软件计算 Pearson 相关系数来衡量空气污染与气象要素之间的相关性, 分别阐述地面要素与空气污染的相关性及边界层要素对污染的影响及其相关性。

3. 空气污染特征分析

3.1. AQI 分析

经过数据检查, 排除无效数据后得到有效样本数据成都为 1018 天, 德阳为 1019 天, 绵阳为 1026 天, 眉山为 729 天, 资阳为 726 天。

Table 1. 5 days pollution level days in Chengdu Plain

表 1. 成都平原地区 5 市污染等级天数

站点	总天数	一级	二级	三级	四级	五、六级	污染天数	污染比率
成都	1018	65	560	272	78	43	393	38.61%
德阳	1019	204	548	192	61	14	267	26.20%
绵阳	1026	260	572	157	30	7	194	18.91%
眉山	729	70	406	191	43	19	253	34.71%
资阳	726	114	438	150	19	10	179	24.66%

由表 1 污染天数及污染比率可知, 近几年来 5 市的空气质量状况是成都最差, 其次是眉山、德阳、资阳, 绵阳最优。

对上述数据进一步进行季节分布分析(表 2), 都平原地区 III 级及以上污染日数比率的季节分布情况显示: 绵阳的空气状况最好的季节为夏季(6.16%), 冬季最严重(47.71%)。其他 4 个城市空气状况最好的季节都为秋季, 冬季最严重。总而言之, 成都平原整体呈现秋季空气状况好于其他季节, 夏季次之、冬季最差。

Table 2. Seasonal distribution of pollution days ratios of Class III and above in Chengdu Plain (%)

表 2. 成都平原地区 III 级及以上污染日数比率的季节分布(%)

	成都	德阳	绵阳	眉山	资阳
春	33.46	28.95	19.55	36.41	29.89
夏	23.91	16.67	6.16	23.91	16.3
秋	17.22	13.92	7.69	21.98	7.14
冬	39.91	48.62	47.71	60.56	43.33

对成都平原地区 2014~2016 年(眉山和资阳为 2015~2016 年)有效样本的逐日 AQI 进行统计分析, 可得出 AQI 日变化曲线(图 1、图 2)。

根据图 1、图 2 可知, 空气污染在春冬季节较为严重, 秋夏季节较轻。再对成都平原地区 AQI 进行季和月际变化分析(图 3), 可以看出, 原地区的 AQI 在秋季最低, 冬季最高。成都、德阳、眉山和资阳 4 个城市 AQI 月平均最低的为秋季 3 个月; 月平均最高为冬季 3 个月; 绵阳 AQI 月平均最低的三个月为 8 月、9 月、11 月, 月平均最高的三个月为 1 月, 2 月和 5 月。再一次证实了成都平原地区整体污染最严重的为冬季, 最轻为秋季。

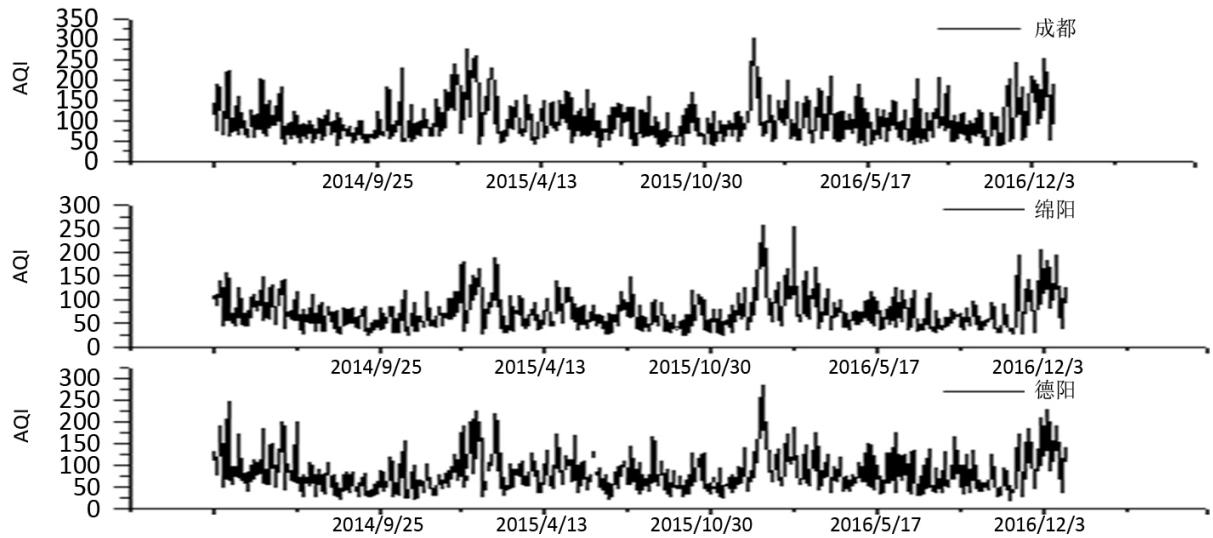


Figure 1. AQI change curve of March 10, 2014 - December 31, 2016, AQI curve of Meishan city and Ziyang city January 1, 2015 - December 31, 2016

图 1. 成德绵 3 市 2014 年 3 月 10 日~2016 年 12 月 31 日 AQI 日变化曲线、眉山和资阳市 2015 年 1 月 1 日~2016 年 12 月 31 日 AQI 变化曲线

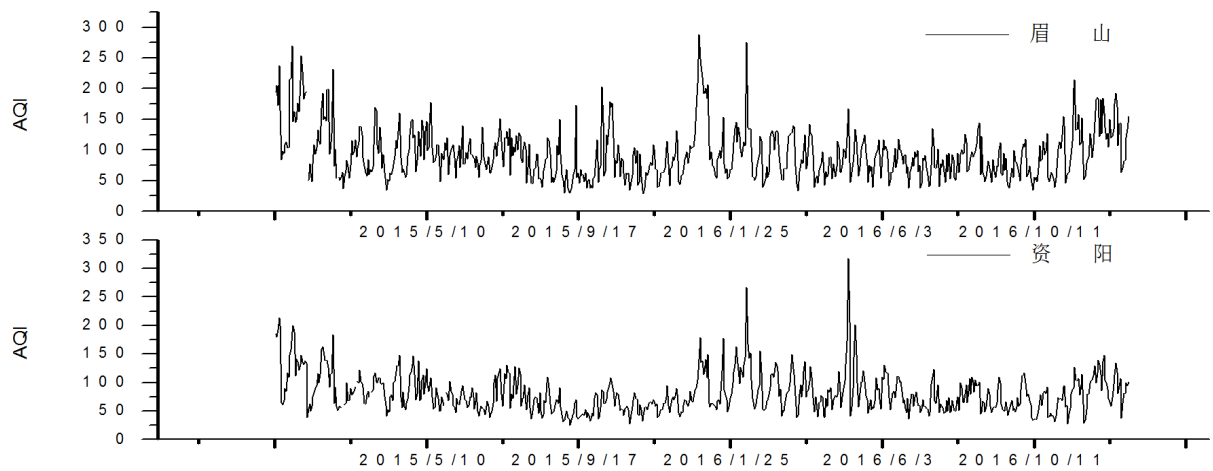


Figure 2. AQI change curve of March 10, 2014 - December 31, 2016, AQI curve of Meishan city and Ziyang city January 1, 2015 - December 31, 2016

图 2. 成德绵 3 市 2014 年 3 月 10 日~2016 年 12 月 31 日 AQI 日变化曲线、眉山和资阳市 2015 年 1 月 1 日~2016 年 12 月 31 日 AQI 变化曲线

根据图 1、图 2 可知, 空气污染在春冬季节较为严重, 秋夏季节较轻。再对成都平原地区 AQI 进行

季和月际变化分析(图 3),可以看出,原地区的 AQI 在秋季最低,冬季最高。成都、德阳、眉山和资阳 4 个城市 AQI 月平均最低的为秋季 3 个月;月平均最高为冬季 3 个月;绵阳 AQI 月平均最低的三个月为 8 月、9 月、11 月,月平均最高的三个月为 1 月,2 月和 5 月。再一次证实了成都平原地区整体污染最严重的为冬季,最轻为秋季。

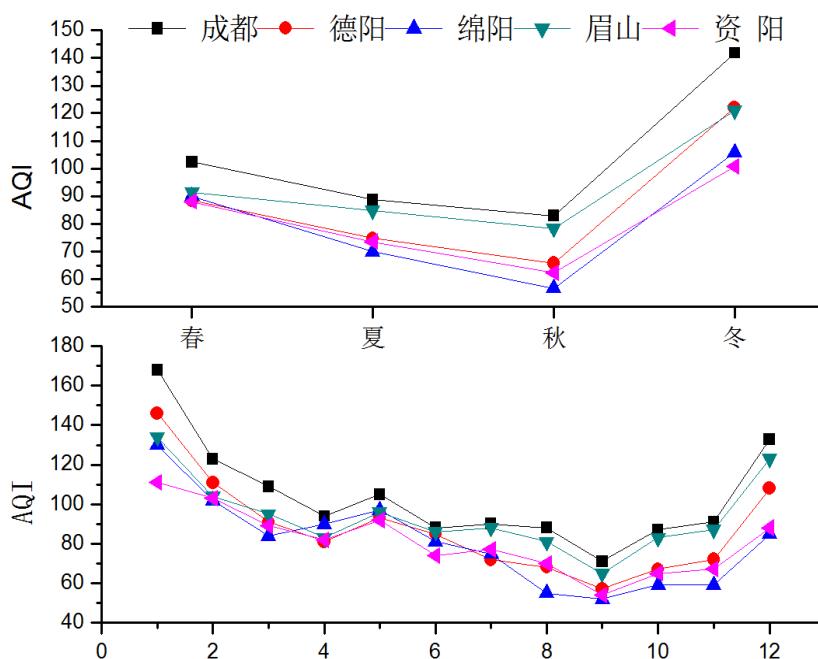
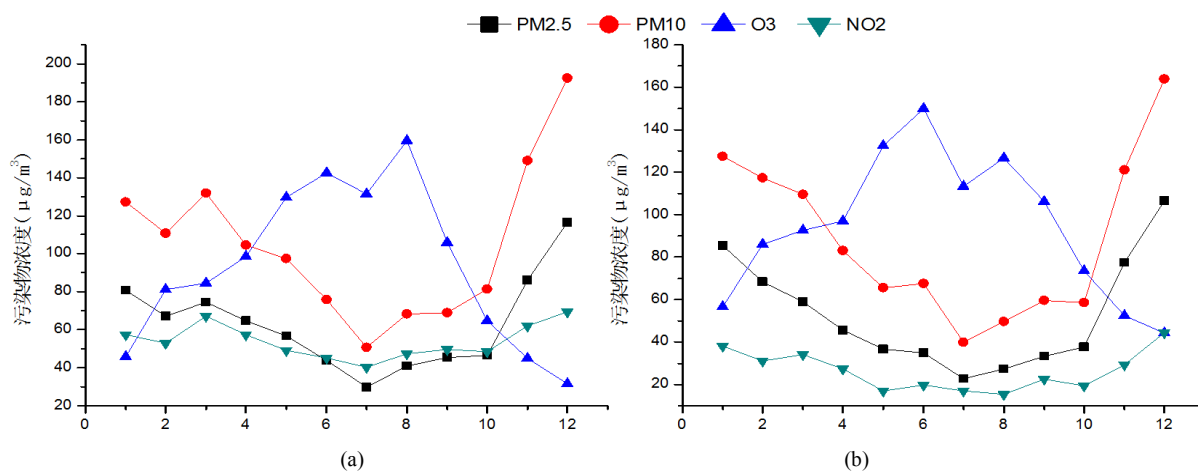


Figure 3. Seasonal variation and monthly variation of AQI in 5 cities of Chengdu Plain
图 3. 成都平原 5 市 AQI 的季节变化和月变化曲线

3.2. 首要污染物分析

通过分析各项污染物浓度的日变化,发现 CO 、 SO_2 全年变化不明显,其余 4 种污染物($\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 O_3 、 NO_2)较突出,对成都平原地区 2016 年全年的 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 O_3 、 NO_2 处理分析,图 4 可知, $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 NO_2 变化趋势大致相同,在夏季浓度最低,尤其是在 7 月;冬季最为严重,浓度最高的月份基本上都在 12 月。而 O_3 则是相反,夏季最高,冬季最低。



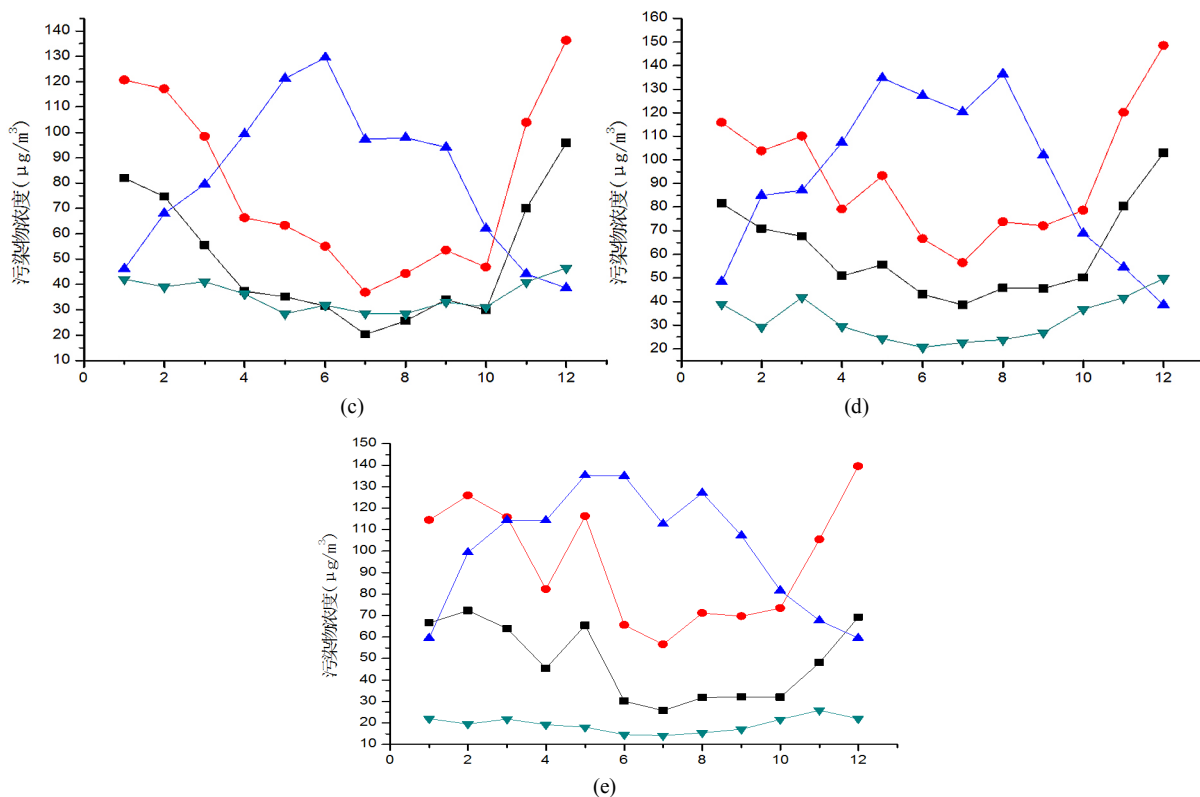


Figure 4. Characteristics of monthly variation of main pollutant concentrations in Chengdu Plain in 2016
图 4. 2016 年成都平原地区主要污染物浓度月际变化特征

分析各级污染天气的首要污染物，发现中、重度污染的首要污染物仍以可吸入颗粒物(PM₁₀)和细颗粒物(PM_{2.5})为主。统计结果表明首要污染物为可吸入颗粒物(PM₁₀)和细颗粒物(PM_{2.5})时所有天数和占污染样本日数比例为：占成都污染日总数的 62.75%；占德阳污染日总数的 67.36%；占绵阳污染日总数的 70.50%；占眉山污染日总数的 75.15%；占资阳污染日总数的 65.0%。因此，可吸入性颗粒物(PM₁₀)和细颗粒物(PM_{2.5})是成都平原地区大气污染的最主要污染物。再对 5 市 2016 年 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 的浓度变化具体分析(图 5)，可知两者的浓度变化与季节相关：冬季最高，夏季最低，月平均最高在 12 月，最低在 7 月。结合图 4 可知夏季 O₃ 浓度较高导致 AQI 较高，使得夏季 AQI 不是最低，出现秋季污染最轻的状况。

4. 空气污染和气象特征的关系

4.1. 地面气象要素与 AQI 的关系

通过对已选空气污染样本数据(AQI)和气象要素在月份尺度和日尺度求取平均值，利用 SPSS17.0 中的相关分析，得到表 3 和表 4。

表 3 中数据分析结果显示：

成都的月均 AQI 与气压呈显著正相关，相关系数为 0.56，与水汽压、降水、温度呈显著负相关，相关系数分别为-0.714，-0.51，-0.669。绵阳的月均 AQI 与气压呈显著正相关，相关系数为 0.507，与风速、相对湿度、降水、温度呈显著负相关，相关系数分别为-0.453、-0.645、-0.368、-0.676。

表 4 中数据分析结果显示：成都的 AQI 与日均气压和日照时数呈显著正相关，与风速、气温、水汽压、相对湿度、降水量呈显著负相关，与风向不相关。绵阳的 AQI 与日均气压和日照时数呈显著正相关，与风速、气温、水汽压、相对湿度、降水量呈显著负相关，与风向不相关。

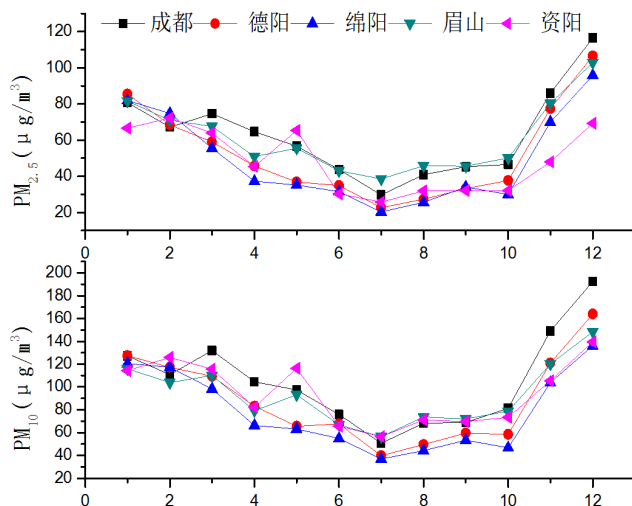


Figure 5. Monthly average curve of PM_{2.5} and PM₁₀ in Chengdu Plain in 2016

图 5. 2016 年成都平原地区 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 月均变化曲线

Table 3. Correlation between AQI and meteorological elements on monthly mean scale

表 3. AQI 与气象要素在月平均尺度上的相关性

		平均 风速	日照 时数	平均本 站气压	平均相 对湿度	平均水汽压	降水量	平均 温度	最大 风速	
AQI	Pearson 相关系数	-0.285	-0.177	0.560**	-0.206	-0.714*	-0.510**	-0.669**	-0.047	成都 月平均
	显著性(双侧)	0.09	0.358	0.000	0.227	0.000	0.005	0.000	0.807	
	N	36	29	36	36	29	29	36	29	
AQI	Pearson 相关系数	-0.453**	-0.023	0.507**	-0.645**	-0.312	-0.368*	-0.676**	-0.328	绵阳 月平均
	显著性(双侧)	0.006	0.908	0.005	0.000	0.099	0.049	0.000	0.082	
	N	36	29	29	29	29	29	36	29	

注：“**”表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关，“*”表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

Table 4. Correlation of meteorological elements with AQI on daily average scale

表 4. 气象要素在日均尺度上与 AQI 的相关性

		平均 风速	最大 风速	最大风速的 风向	日照 时数	平均本 站气压	平均 气温	平均水汽压	平均相 对湿度	降水量	
AQI	Pearson 相关系数	-0.304**	-0.271**	-0.036	0.133**	0.082*	-0.226**	-0.263**	-0.130**	-0.245**	成都
	显著性(双侧)	0.000	0.000	0.315	0.000	0.019	0.000	0.000	0.000	0.000	
	N	804	773	773	804	804	804	804	804	714	
AQI	Pearson 相关系数	-0.284**	-0.252**	0.154**	0.183**	0.174**	-0.256**	-0.344**	-0.235**	-0.195**	绵阳
	显著性(双侧)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	N	812	812	812	812	812	812	812	812	717	

注：“**”表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关，“*”表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

4.2. 边界层要素与空气污染的关系

4.2.1. 大气稳定度与 AQI 的关系

以 2014~2016 年 08 时的大气稳定度数据和每日 AQI 数据, 得到可用共样本 935 天, 达到 III 级及其

以上的样本数为 361, 根据不同稳定度下污染比率(图 6), 在大气稳定度为不稳定类时(B, C), 污染比率是 13.3%, 中性和不稳定类时(D, E)的污染比率是 86.7%, 中性时的污染比率最高。结合前面的空气污染分析和大气稳定度分析可知: 大气稳定度对污染物的扩散有影响, 当大气稳定度越高, 污染越容易发生, 当大气层结处于不稳定状态时, 风和湍流扩散作用较强故不易污染。

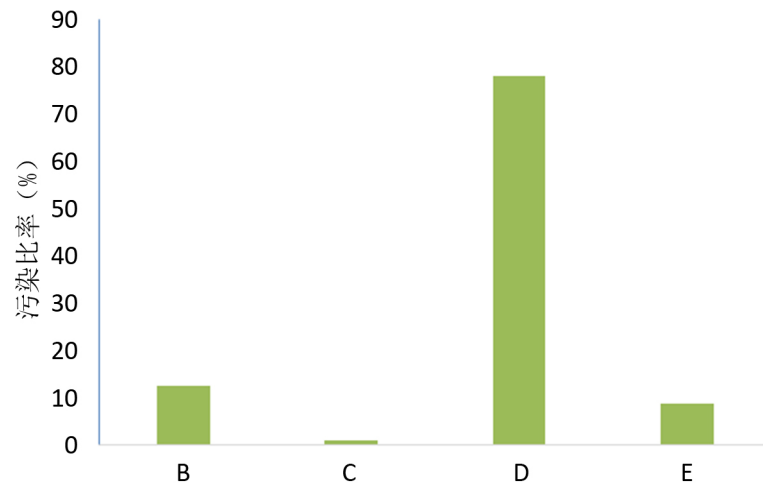


Figure 6. Pollution ratio at 08:00
图 6. 08 时稳定度下的污染比率

4.2.2. 混合层高度与 AQI 的关系

选取 2014~2016 年逐日 08 时混合层数据, 用 SPSS 软件分析混合层高度和 AQI 的相关性, 从表 5 数据结果显示:

Table 5. Correlation between AQI and mixed layer height
表 5. AQI 与混合层高度的相关性

		混合层高度	
AQI	Pearson 相关系数	-0.254	
	显著性(双侧)	0.135	成都 08 时月平均
	N	36	
AQI	Pearson 相关系数	-0.185**	
	显著性(双侧)	0	成都 08 时日平均
	N	937	

注: “**”表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关, “*”表示在 0.05 水平(双侧)上显著。

AQI 与 08 时混合层高度在月平均尺度上呈显著负相关, 相关系数为-0.185, 在日尺度上不相关。

4.2.3. 逆温层与 AQI 的关系

采用逆温层物理量和 AQI 数据, 用 SPSS 分析其相关性得到表 6, 由表 6 数据结果显示: AQI 的月均值与逆温层强度呈显著正相关, 相关系数为 0.573。AQI 与 08 时的逆温层温差呈显著正相关, 相关系数为 0.122。

Table 6. Correlation between AQI and inversion layer
表 6. AQI 与逆温层的相关性

		逆温层厚度	逆温层强度	温差	
AQI	Pearson 相关系数	0.250	0.573**	-0.279	
	显著性(双侧)	0.141	0.000	0.099	成都月平均
	N	36	36	36	
AQI	Pearson 相关系数	0.041	0.039	0.122**	
	显著性(双侧)	0.215	0.237	0.000	成都 08 时
	N	900	900	900	

注：“**”表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关，“*”表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

5. 结论

综上所述，本文主要结论包括以下几个方面：

1) 统计结果分析表明，成都平原地区空气污染状况以成都最为严重，眉山 > 德阳 > 资阳 > 绵阳，整体的空气污染状况呈现明显的季节变化特点，冬季污染最严重，秋季最轻。成都平原地区的首要污染物为可吸入颗粒物(PM₁₀)和细颗粒物(PM_{2.5})，夏季颗粒物浓度最低，但因 O₃ 浓度在夏季达到最高，空气污染加剧，使得空气污染状况最好的季节不是夏季而是秋季。

2) 气象要素与空气污染的关系：风速、水汽压、降水、相对湿度、温度、混合层高度与 AQI 呈负相关，气压、大气稳定度、逆温层强度与 AQI 呈正相关，风向对于污染物的扩散无显著影响。不同时间尺度上的相关性不一样，日照时数和风速在月均尺度上与 AQI 不相关，而在日均尺度上相关。

基金项目

成都信息工程大学本科教学工程项目(BKJX2019007, BKJX2019013, BKJX2019042, BKJX2019056, BKJX2019062, BKJX2019081, BKJX2019089, BKJX2019120 和 JY2018012)支持。

参考文献

- [1] 黄毅梅, 邓丰, 李静. 浅谈我国大气污染现状治理[J]. 广东轻工业职业技术学院学报, 2014, 13(2): 11-14.
- [2] 张珺, 王式功, 张文宗, 宋晓辉, 薛敏. 河北南部空气污染特征及其气象条件分析[J]. 东北农业大学学报, 2015, 46(3): 87-94.
- [3] 李文杰, 张时煌, 高庆先, 赵凌美, 周兆媛. 京津石三市空气污染指数(API)的时空分布特征及其与气象要素的关系[J]. 资源科学, 2012, 34(8): 1392-1400.
- [4] 曲晓黎, 付桂琴, 贾俊妹, 等. 2005-2009 年石家庄市空气质量分布特征及其气象条件的关系[J]. 气象与环境学报, 2011, 27(3): 29-32.
- [5] 唐宜西, 张小玲, 熊亚军, 范广州, 等. 北京一次持续霾天气过程气象特征分析[J]. 气象与环境学报, 2013, 29(5): 12-19.
- [6] 颜玉倩, 朱克云, 张杰, 等. 成都地区春季一次持续性灰霾天气过程特征及预测[J]. 气象与环境学报, 2016, 32(1): 33-39.
- [7] 周书华, 倪长健, 刘培川. 成都地区大气边界层逆温特征分析[J]. 气象与环境学报, 2015, 31(2): 108-111.
- [8] 邱海涛, 徐桂梅. 呼和浩特市区低空逆温特征分析[J]. 内蒙古气象, 2003(3): 25-26.
- [9] 邓利群, 钱骏, 廖瑞雪, 佟洪金. 2009 年 8 月-9 月成都市颗粒物污染及其与气象条件的关系[J]. 中国环境科学, 2012, 32(8): 1443-1438.
- [10] 史凯, 刘春琼, 吴生虎. 基于 DCCA 方法的成都市市区与周边城镇大气污染长程相关性分析[J]. 长江流域资源

与环境, 2014, 23(11): 23-28.

- [11] 孙冉, 王成都, 刘国东. 2014 年成都市 PM_{2.5}污染及其与气象要素的关系[J]. 环境工程, 2015(S1).
- [12] 杨静, 李霞, 李秦, 等. 乌鲁木齐近 30a 大气稳定性和混合层高度变化特征及与空气污染的关系[J]. 干旱区地理, 2011, 34(1): 47-752.
- [13] 程水源, 席德力, 张宝宁, 郝瑞霞, 等. 大气混合层高度的确定与计算方法研究[J]. 中国环境科学, 1997, 17(6): 512-516.