

The Combined Analysis among PM_{2.5}, PM₁₀ as Well as Other Air Pollutants, and the Meteorological Factor

—Based on the Data of Air Quality and Weather Index in Kunming

Peng Yuan*, Lei An

School of Statistics and Mathematics, Yunnan University of Finance and Economics, Kunming Yunnan
Email: *yuanpengyp@sina.com, anlei19890511@126.com

Received: Mar. 12th, 2016; accepted: Mar. 26th, 2016; published: Mar. 31st, 2016

Copyright © 2016 by authors 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

Abstract

With the development of our country economy, the environmental issues appear one after another. Meantime, the urban construction, population growth and the rapid popularization of private cars bring more and more serious influences to the environment of our city and the pressure on air quality is increasing. Therefore, the inhalable particles have become a focus of attention while the people are becoming more and more interested in air quality problems. Based on the real data set of the density of air pollutant and meteorological data belonging to Kunming of 2014, this paper analyzed the seasonal differences in main air pollutants (PM_{2.5} and PM₁₀), other air pollutants, and routine weather elements. Simultaneous equations model has been used to systematically describe the combined impacts among the density of main air pollutants, other air pollutants and meteorological factor.

Keywords

PM_{2.5}, PM₁₀, Air Pollutants, Simultaneous Equations, GMM

PM_{2.5}、PM₁₀与其它空气污染物 及天气因素联合分析

—基于昆明市空气质量和天气指标数据

*通讯作者。

袁鹏*, 安蕾

云南财经大学统计与数学学院, 云南 昆明

Email: *yuanpengyp@sina.com, anlei19890511@126.com

收稿日期: 2016年3月12日; 录用日期: 2016年3月26日; 发布日期: 2016年3月31日

摘要

我国城市经济在与时俱进的同时, 环境问题也与日俱增, 城市建设、人口增长、私车的迅速普及, 给城市环境带来严重的影响, 空气质量所面临的压力也越来越大。而随着人们对空气质量的关心和了解, 可吸入颗粒物已经成为关注的焦点。本文收集到昆明市2014年空气污染物浓度和气象要素指标数据, 较为全面地分析了昆明市主要空气污染物($PM_{2.5}$ 和 PM_{10})的季节特征、天气特征以及与其它空气污染物、地面常规气象要素之间的系统关系。采用联立方程的方法系统地描述了主要空气污染物浓度与其它空气污染物、地面气象要素的联合影响。

关键词

$PM_{2.5}$, PM_{10} , 空气污染物, 联立方程, GMM

1. 引言

作为每时每刻都呼吸着空气的我们, 切身感受着大气的明显变化, 空气质量问题已经刻不容缓。2012年2月29日, 环境保护部公布了新版的《环境空气质量标准》(GB3095-2012), 将三类环境空气功能区并入二类区; 首次设定了细颗粒物和臭氧的平均浓度限值; 对多种空气染污物的浓度限值进行了调整; 同时对数据统计的有效性规定也进行了一定的改动。2013年, “雾霾”成为年度关键词。同年1月, 我国30个省(区、市)被笼罩在4次雾霾过程中, 而在北京, 仅出现了5天无雾霾的天气。雾霾的主要组成部分是二氧化硫、氮氧化物以及可吸入颗粒物, 前两者为气态污染物, 而颗粒物才是加重雾霾天气污染的祸根。

可吸入颗粒物 PM_{10} (空气动力学当量直径小于10微米的颗粒物)是在环境空气中长期飘浮的悬浮微粒。其主要来源有: 在未铺沥青、水泥的路面上行驶的机动车, 材料的破碎碾磨处理过程, 风引起的扬尘等。 PM_{10} 一旦被吸入人体, 就会在呼吸系统中累积, 引发多种疾病。由于 PM_{10} 能在大气中长期漂浮, 易将污染扩大到其它地区, 也给其它污染物提供了化学反应的时间和空间, 因此 PM_{10} 对人体健康和环境质量都具有危害程度深、影响范围广的特点。而其中可入肺颗粒物 $PM_{2.5}$ (空气动力学当量直径小于2.5微米的颗粒物), 不仅能随着人体呼吸进入呼吸道, 而且能够穿透细胞壁进入血液, 严重影响人们的身体健康; 同时由于 $PM_{2.5}$ 粒径微小, 对阳光具有很强的散射作用, 是导致雾霾天气的重要原因, 给人们的经济生活带来危害。

国内外很多学者都踊跃参与到了可吸入颗粒物问题的相关研究当中。韩婧、代志光、李方韬运用单样本K-S非参数检验法对西安市12个空气监测子站监测的 $PM_{2.5}$ 进行了分析, 结果呈现了 $PM_{2.5}$ 浓度的对数正态分布; 通过运用Pearson相关系数法得出 $PM_{2.5}$ 日均值与能见度、净辐射量、平均气温、最高气温、最低气温均有显著负相关性, 与平均湿度、最大湿度、最小湿度有显著正相关性, 与总辐射量、日照时数、气压、露点温度有较弱相关性的结论[1]。沈家芬、张凌等用主成分分析法分析广州市2001~2004

年的空气污染物浓度与同期的气象要素的关系, 还运用典型相关分析方法来分析空气污染物与气象要素两组数据间的关系, 结果表明污染物浓度与气象要素之间存在显著的相关关系, 温度和风速显著影响气态污染物浓度[2]。陈起凤、连语洁等基于台北市区内 6 个观测站的 2006~2012 年小时实测资料, 运用 Pearson 相关系数研究了与其他空气污染物及气象因子的相关关系, 得出的结论是台北市 $PM_{2.5}$ 浓度与 SO_2 、 NO_2 、 CO 的相关性较高, 而与气温、降雨量、相对湿度、小时风速等气象因子的负相关性较低[3]。

昆明是首批中国优秀旅游城市, 旅游业对昆明的经济做出了巨大贡献, 空气质量直接影响着旅游业的发展。研究昆明市空气质量问题既有益于昆明市经济的可持续发展, 也有利于人民生活质量的提高。不少学者就昆明市大气污染物浓度与气象要素的关系进行了探索。毕丽玫、史建武等采用相关分析法分析了各污染物间的相关性及气象参数对污染物浓度变化的影响; NO_2 与 SO_2 、 PM_{10} 、 CO 、 $PM_{2.5}$ 均呈显著正相关; 气象参数对污染物的浓度变化有较大的影响, 对比工作日与非工作日污染物浓度变化表明机动车排放是昆明市主城区大气污染物的主要来源[4]。陈松根据昆明市 2004~2013 年空气自动站监测数据, 对昆明市空气质量, 污染物年际变化、季节变化、空间变化特征进行了研究; 分析了影响昆明市空气质量的地理气象因素、污染排放因素、污染物远程输送因素; 其得到的结论是可吸入颗粒物(PM_{10})是影响昆明空气质量的最主要污染物, 其主要来源于工业粉尘、裸露土地、建筑道路施工及交通运输等[5]。

2. 昆明市空气质量现状分析

2.1. 昆明空气质量基本描述

在对昆明市 362 天¹空气质量的观察中, 有 8 天属轻度污染, 202 天空气质量良好, 152 天空气质量优秀。因此整体上来看, 昆明 2014 年的空气质量较好, 在我国各城市空气质量中处于领先地位。在发生轻度污染的 8 天中, 有 4 次发生 2014 年 1 月, 3 次发生在 2014 年 3 月, 1 次出现在 2014 年 4 月。观察期间, $PM_{2.5}$ 日平均浓度最低为 $8 \mu g/m^3$, 最高达到 $84 \mu g/m^3$, 最高时出现了轻度污染; PM_{10} 日平均浓度最低为 $14 \mu g/m^3$, 最高达到 $154 \mu g/m^3$, 最高时为轻度污染; 一氧化碳、二氧化硫的日平均浓度都保持在优的水平, 而二氧化氮日平均浓度在最差的情况下也维持在了良好的水平。由此可见, 影响昆明空气质量的污染物主要是 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} , 对其进行分析是很有必要的。

由图 1 可以看出, $PM_{2.5}$ 日平均浓度在 2014 年 1 月波动很大, 在全年各月中处于较高水平, 全年 $PM_{2.5}$ 日平均浓度情况最为严重的日期在 1 月; 2 月 $PM_{2.5}$ 浓度较低; 3 月和 4 月的 $PM_{2.5}$ 日平均浓度都相对较高; 4 月底到 9 月底的 $PM_{2.5}$ 日平均浓度持续较低; 10 月 $PM_{2.5}$ 日平均浓度有一定的波动; 11 月到 12 月的 $PM_{2.5}$ 浓度有明显的上升趋势。

图 2 可以看出, PM_{10} 日平均浓度在 2014 年 1 月波动较大, 整体较高; 2 月 PM_{10} 浓度较低; 3 月和 4 月的 PM_{10} 日平均浓度都相对较高, 全年 PM_{10} 日平均浓度最高的日期发生在 3 月; PM_{10} 日平均浓度在 4 月底到 9 月底都保持着较低的日平均浓度; 10 月 PM_{10} 日平均浓度整体较高; PM_{10} 日平均浓度在 11 月到 12 月呈上升趋势。

比较图 1 和图 2 可以看出, $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 的日平均浓度变化趋势类似, 春冬季的 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 日平均浓度要明显高于夏秋季节, $PM_{2.5}$ 与 PM_{10} 的日平均浓度在月份之间存在差异。

2.2. 昆明主要污染物月份关系分析

通过非参数 Kruskal-Wallis 单因素方差分析, 可知 $PM_{2.5}$ 与 PM_{10} 两种污染物日平均浓度在月份间确实是不尽相同的, 某些月份之间存在着明显差异。为了具体看出月份间是否存在明显差异, 本文运用了

¹ 本文采用昆明市 2014 年全年每天的空气质量监测数据、天气信息和气象指标值数据, 空气质量监测数据、天气信息来自天气后报网站, 而气象指标值数据出自气象网站 Weather Forecast & Reports。2014 年 1 月 23 日、2014 年 8 月 8 日和 2014 年 8 月 22 日在网站没有公布空气质量监测数据, 故对这三天做删失处理。

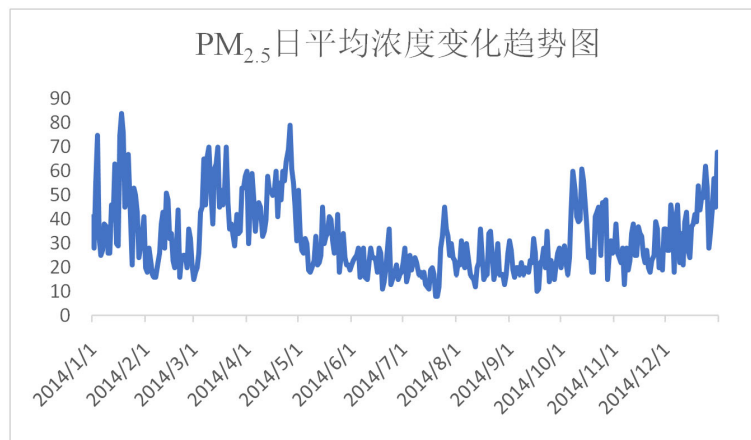


Figure 1. PM_{2.5} daily average concentration change trend chart
图 1. PM_{2.5} 日平均浓度变化趋势图

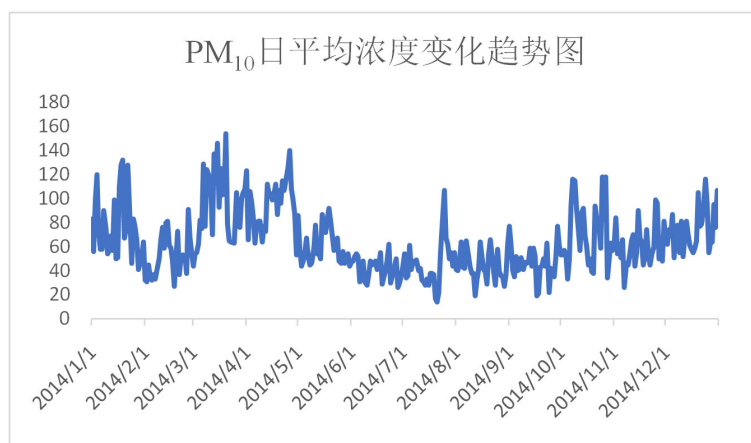


Figure 2. PM₁₀ daily average concentration change trend chart
图 2. PM₁₀ 日平均浓度变化趋势图

Dunn 多重比较的方法。由多重比较结果可知, 1月与12月、2月与11月、10月与11月的PM_{2.5}日平均浓度相近, 6、7、8、9月两两之间的PM_{2.5}日平均浓度差异不明显, 其它情形则存在着显著差异; 而PM₁₀日平均浓度在6月与8月、1月与12月、5月与11月差异较小, 而在7月与8、9月有相近的浓度, 其它情形显著明显。

观察PM_{2.5}和PM₁₀日平均浓度在月份间的非参数Kruskal-Wallis单因素方差分析结果, 发现春季和冬季、夏季和秋季的PM_{2.5}和PM₁₀日平均浓度相近, 说明昆明PM_{2.5}和PM₁₀的日平均浓度具有时节效应。

3. PM_{2.5}和PM₁₀日平均浓度影响因素分析

引起PM_{2.5}和PM₁₀日平均浓度变化的因素很多, 如天气因素、人类活动、其它空气污染物浓度等等。本文期望通过联立方程的方法建立可吸入颗粒物浓度与天气因素以及其它空气污染物浓度的模型, 以探究它们之间的关系。

3.1. 影响因素分析

1) 天气因素的影响

在昆明市362天的天气数据中, 有45种天气情况。其中103天为晴天, 53天多云, 52天为阵雨,

22 天为晴转多云天气, 13 天出现多云转晴, 14 天天气为多云转阵雨, 10 天天气多云转小雨等。本文就出现 10 次及以上频次的主要天气所在日的 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 日平均浓度情况进行非参数 Kruskal-Wallis 单因素方差分析得到 P 值分别为 1.544×10^{-10} , 7.145×10^{-12} , 都拒绝了原假设, 由此可知 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 的日平均浓度会因为天气情况的不同而有所不同。

运用多重比较可知多云转晴与多云转小雨、晴转多云、晴天天气的 $PM_{2.5}$ 日平均浓度差别较小, 多云转小雨与晴转多云、晴天天气有着相近的 $PM_{2.5}$ 日平均浓度, 其它天气情形的 $PM_{2.5}$ 日平均浓度则有明显的差距。同样由 PM_{10} 浓度在不同天气下的多重比较结果可以看出, 多云转晴、多云转小雨、晴天这三种天气下的 PM_{10} 日平均浓度相差不大, 晴转多云天气、多云转晴、多云转小雨天气的 PM_{10} 日平均浓度差距较小, 小雨天气和小雨转阵雨天气的 PM_{10} 日平均浓度差异不显著, 其它天气情况下 PM_{10} 浓度差异明显。

通过以上分析可知, 天气情况确实是 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 日平均浓度变化的一个重要因素。然而天气情况又是由各种复杂的气象特征组成的, 我们希望通过一些具体的气象指标来实现对天气情况的更准确描述, 本文从 weather underground 网站找到了昆明市 2014 年每天的平均气温、平均露点、平均风速、平均相对湿度和平均能见度这些指标。

2) 其它空气污染物的影响

$PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 中部分来自于直接排放的污染源, 比如烟囱与车辆。其它则是由空气中氮氧化物、硫氧化物、挥发性有机化合物及其它化合物互相作用形成的细小颗粒物, 它们的化学和物理组成依气候、地点、一年中的季节不同而变化很大。可见 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 日平均浓度与其它空气污染物(一氧化碳、二氧化硫、二氧化氮)的浓度也有着密切联系。

3.2. 联立方程

联立方程模型就是由两个或两个以上的相互关联的单一方程所构成的系统。在联立方程模型中, 其描述的系统有多少个因果关系, 对应就有多少个方程, 每个单一方程都描述了变量间的一个因果关系。由于联立方程涉及的变量和阐述的关系较多, 所以能够较为全面地反映系统的内在运作规律。本文引入联合方程模型, 希望通过该方法来有效地把握可吸入颗粒物、可入肺颗粒物浓度与其它空气污染物浓度、天气指标值之间的系统关系。

由前人总结的理论经验可知, $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 的浓度受其它空气污染物浓度和气象因素影响, 同时某些气象因素的变化又在一定程度上会受到 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度的影响。前文的分析说明昆明市 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 的浓度存在时节效应, 且 2014 年的气象指标也呈现出春冬季节相似、夏秋季节相近的特点。因此, 下文在构建联立方程模型时, 分成春冬季节和夏秋季节分别讨论。

1) 春冬季节联立方程的建立

春冬季节联立方程模型主要设定有 4 个方程, 11 个变量, 包括个 7 外生变量和 4 个内生变量。四个方程为: 第一, 可入肺颗粒物($PM_{2.5}$)日平均浓度方程; 第二, 可吸入颗粒物(PM_{10})日平均浓度方程; 第三, 露点方程; 第四, 能见度方程。由此构建的联立方程如下:

$$\begin{cases} PM_{2.5} = \alpha_1 \times CO + \alpha_2 \times SO_2 + \alpha_3 \times NO_2 + \alpha_4 \times AL + \alpha_5 \times V + \alpha_6 \times WIND + \alpha_7 \times AT + \varepsilon_1 & (1) \\ PM_{10} = \beta_1 \times CO + \beta_2 \times NO_2 + \beta_3 \times AL + \beta_4 \times WIND + \beta_5 \times V + \beta_6 \times AT + \varepsilon_2 & (2) \\ AL = \delta_1 \times AW + \delta_2 \times AT + \varepsilon_3 & (3) \\ V = \eta_1 + \eta_2 \times PM_{2.5} + \eta_3 \times AW + \eta_4 \times AT + \varepsilon_4 & (4) \end{cases}$$

模型中变量的说明如下:

a) 内生变量。 $PM_{2.5}$ 为每天可入肺颗粒日平均浓度; PM_{10} 为每天可吸入颗粒日平均浓度; AL 为每天

平均露点; V 为每天平均能见度。

b) 外生变量。CO 为每天一氧化碳日平均浓度; SO_2 为每天二氧化硫日平均浓度; NO_2 为每天二氧化氮日平均浓度; AW 为每天平均相对湿度; AT 为每天平均气温; WIND 为每天平均风速。

2) 春冬季节联立方程模型的结果分析

利用 Eviews 软件, 使用系统估计方法中的广义矩法(GMM)进行参数估计, 结果如下:

a) $PM_{2.5}$ 日平均浓度方程

$$PM_{2.5} = 16.11642 \times CO - 0.236755 \times SO_2 + 0.868227 \times NO_2 - 1.782573 \times AL - 0.778769 \times V - 0.324781 \times WIND + 1.280955 \times AT + [AR(1) = 0.389785]$$

$$t = (5.937949) \quad (-3.428329) \quad (7.914738) \quad (-11.41005) \quad (-8.883744) \quad (-4.377217) \quad (7.096893) \quad (6.661124)$$

$$R^2 = 0.82705 \quad Adjusted R^2 = 0.820012 \quad DW = 1.964029$$

由 $PM_{2.5}$ 与 PM_{10} 的定义可知, 它们是部分与整体的关系。虽然两者之间的相关程度很高, 但 $PM_{2.5}$ 日平均浓度方程没有引入 PM_{10} , 原因在于为避免多重共线性而导致其它变量不显著的情况。由方程的拟合优度及调整后拟合优度可知, 该方程拟合效果较好, 方程能够解释可入肺颗粒物浓度的 82% 以上的信息。DW 值在 2 附近, 故可知利用 AR(1)模型已经对方程中残差自相关问题进行了调解, 且系数都是高度显著的, 因此整体来看, 方程较优。

① 空气污染物的影响

从空气污染物之间的影响来看, $PM_{2.5}$ 与 CO、 NO_2 的日平均浓度是同方向变动的, 而 SO_2 则与 $PM_{2.5}$ 的日平均浓度呈反向变动。

引起 $PM_{2.5}$ 与 CO、 NO_2 的日平均浓度同增减的原因可能在于: 一、人类活动向大气排放的颗粒物过程可以产生大量的 2.5 μm 的同时还排放大量的 SO_2 、 NO_x 、HC 等气体, 例如燃烧石化燃料、荒漠化土地、焚烧农作物秸秆、森林火灾及工农业生产过程等; 二、硫和氮的氧化物可以转化形成 $PM_{2.5}$, 有研究表明, 在城市空气环境中, 直接排放的 $PM_{2.5}$ 量比氮氧化物、二氧化硫和挥发性有机物等气态前体物转化产生的 $PM_{2.5}$ 量要低, 后者是 $PM_{2.5}$ 污染的主要来源。值得一提的是, 方程中 SO_2 的系数是负的, $PM_{2.5}$ 步入人们的视野不久, 人们对 SO_2 的预防和整治意识比其更强; 在人为因素的强力干预和硫、氮的氧化物转化为 $PM_{2.5}$ 现象普遍发生的情况下, 很可能出现 SO_2 下降而 $PM_{2.5}$ 上升的情形。从观测到的数据所呈现的规律来看, CO 日平均浓度每增加 1 mg/m^3 , $PM_{2.5}$ 日平均浓度会增加 16.11642 $\mu g/m^3$; NO_2 日平均浓度增加 1 $\mu g/m^3$, $PM_{2.5}$ 日平均浓度会增加 0.868227 $\mu g/m^3$ 。

② 天气因素的影响

从春冬天气因素对 $PM_{2.5}$ 日平均浓度的影响来看, 露点、能见度、风速对 $PM_{2.5}$ 日平均浓度都有反方向作用, 而平均温度则表现出了正向影响。

露点, 气象学中是指在固定气压之下, 空气中所含的气态水达到饱和而凝结成液态水所需要降至的温度。透过露点可以知道空气中的水汽含量, 因而露点是一项绝对湿度的指标, 该指标值越高空气中水汽含量就越高。春冬季节昆明空气干燥, 大气中水汽含量低, 这时日平均露点越低, 则空气水汽越少, 越不利于细颗粒物在云层内被水汽吸附, 因而形成云和雨滴的凝结核的难度加大, 造成降雨的机率越少, 颗粒物被雨水冲刷清除的概率愈低, 因而 $PM_{2.5}$ 的日平均浓度就要越高。

能见度作为一个气象指标, 同时也是一种天气现象, 其是由多种因素导致的, 考虑到引起能见度变动的因素, 能见度可以作为一个复合指标来产生对 $PM_{2.5}$ 的影响。日平均能见度越高, 说明大气的透明度越好, 此时 $PM_{2.5}$ 日平均浓度则越低。

颗粒物在风的作用下能传输到整个城市; 大气层的水平方向上的稀释、扩散作用会随着风速的增加而增强, 因而污染物浓度会降低; 当达到一定程度时, 扬尘作用会因为地表颗粒物被吹起而显得十分明显。从昆明的具体情况来看, 春冬季节风速相对较大, 风速对 $PM_{2.5}$ 日平均浓度起负向作用。风速越大,

颗粒物越容易扩散, 颗粒物浓度将越低; 反之, 则扩散能力越低, 易于颗粒物的局部地区堆积, 使 $PM_{2.5}$ 日平均浓度增高, 造成污染。

春冬季节夜晚温度较低, 此时如果平均温度越高, 则说明白天温度越高, 这样昼夜温差就越大, 越容易在夜晚或早上形成贴地逆温层。大气层上部有着较高的温度, 近地面则有着较低的温度。此时, 大气层停滞, 地面风力微弱, 导致近地面颗粒物聚集, 从而导致其浓度较高。

b) PM_{10} 日平均浓度方程

$$PM_{10} = 12.82602 \times CO + 1.684869 \times NO_2 - 3.169558 \times AL - 0.423161 \times WIND + 2.825852 \times AT - 1.444423 \times V + [AR(1) = 0.366293]$$

$$t = (2.726619) \quad (12.37278) \quad (-11.25911) \quad (-2.793314) \quad (9.007628) \quad (-11.17793) \quad (7.534572)$$

$$R^2 = 0.845937 \quad Adjusted R^2 = 0.840594 \quad DW = 2.185401$$

PM_{10} 日平均浓度方程拟合效果较好, 方程能够解释可入肺颗粒物日平均浓度的 84% 以上的信息; 利用 AR(1) 模型使得 DW 值接近 2, 经过调整后的方程不存在残差自相关问题; 方程各个系数都是高度显著的, 因此方程较优。

① 空气污染物的影响

从空气污染物之间的影响来看, PM_{10} 与 CO 、 NO_2 是同方向变动的, 即它们有同增减的趋势。从观测到的数据所呈现的规律来看, CO 日平均浓度每增加 $1 \mu g/m^3$, PM_{10} 日平均浓度会增加 $12.82602 \mu g/m^3$; NO_2 日平均浓度每增加 $1 \mu g/m^3$, PM_{10} 日平均浓度会增加 $1.684869 \mu g/m^3$ 。与同一时间的 $PM_{2.5}$ 浓度模型不同的是, PM_{10} 与 SO_2 之间的关系不显著, 其原因很可能在于大气中多种相互作用已经找不出 PM_{10} 与 SO_2 之间的明确关系。

② 天气因素的影响

从春冬季天气因素对 PM_{10} 浓度的影响来看, 平均露点、平均风速、平均能见度对 PM_{10} 的日平均浓度都有反方向作用, 而日平均温度则表现出了正向影响。日平均露点、日平均能见度、日平均风速和日平均温度对 PM_{10} 日平均浓度的影响与它们对 $PM_{2.5}$ 日平均浓度的影响类似。

c) 平均露点方程

$$AL = 0.181237 \times AW + 0.620922 \times AT + [AR(1) = 0.997028]$$

$$t = (14.83567) \quad (16.32746) \quad (370.9767)$$

$$R^2 = 0.969939 \quad Adjusted R^2 = 0.969599 \quad DW = 2.449335$$

平均露点方程拟合效果较好, 方程能够解释平均露点的 96% 以上的信息。DW 值与 2 的差值不大, 成功解决了方程的残差自相关问题。变量对应系数都是显著的。综合来看, 方程很好。

空气的平均露点随着日平均温度的升高而升高, 也伴随着空气的相对湿度的增加而增加。空气温度越高, 其平均露点越高, 空气湿度越大其平均露点也越高。

d) 平均能见度方程

$$V = 42.08536 - 0.188814 \times PM_{2.5} - 0.28317 \times AW - 0.29426 \times AT + [AR(1) = 0.383279]$$

$$t = (19.67017) \quad (-12.18517) \quad (-17.0101) \quad (-4.943028) \quad (5.395926)$$

$$R^2 = 0.718914 \quad Adjusted R^2 = 0.712489 \quad DW = 2.101994$$

方程能够解释平均能见度的 71% 以上的信息。利用 AR(1) 模型已经调解了方程中残差自相关问题, 方程系数都显著。大气范围非常广泛, 影响能见度的因素繁多, 模型的拟合优度效果还是不错的。

平均能见度受 $PM_{2.5}$ 日平均浓度、平均相对湿度和平均温度的负向影响。显然当空气中 $PM_{2.5}$ 的日平均浓度越高时, 大气的能见度越低; 而平均相对湿度越高, 空气中水分含量越高, 大气透明度则会越低,

故平均能见度也越低。由前文知, 春冬季节平均温度越高, 昼夜温差越大, 通过对大气结构造成影响, 形成逆温层越容易, 空气对流越不畅通, 因而使得平均能见度越低。

3) 夏秋季联立方程的建立

类似春冬季联立方程, 夏秋季联立方程也包含四个方程: 可入肺颗粒物($PM_{2.5}$)日平均浓度方程, 可吸入颗粒物(PM_{10})日平均浓度方程, 露点方程, 能见度方程。如下:

$$\begin{cases} PM_{2.5} = \alpha_1 \times CO + \alpha_2 \times SO_2 + \alpha_3 \times NO_2 + \alpha_4 \times AL + \alpha_5 \times AT + \alpha_6 \times V + \varepsilon_1 & (1) \\ PM_{10} = \beta_1 \times CO + \beta_2 \times NO_2 + \beta_3 \times AL + \beta_4 \times AW + \beta_5 \times V + \beta_6 \times AT + \varepsilon_2 & (2) \\ AL = \delta_1 \times AW + \delta_2 \times AT + \varepsilon_3 & (3) \\ V = \eta_1 + \eta_2 \times PM_{2.5} + \eta_3 \times AW + \varepsilon_4 & (4) \end{cases}$$

4) 夏秋季节联立方程模型的结果分析

利用 Eviews 软件, 使用系统估计方法中的广义矩法对联合方程模型的参数进行估计, 结果如下:

a) $PM_{2.5}$ 日平均浓度方程

$$PM_{2.5} = 4.956985 \times CO - 0.174144 \times SO_2 + 0.856097 \times NO_2 - 1.917806 \times AL + 1.748631 \times AT - 0.890487 \times V + [AR(1) = 0.225528]$$

$$t = (2.918804) \quad (-4.160985) \quad (15.56822) \quad (-16.98859) \quad (11.15654) \quad (-8.078327) \quad (4.100418)$$

$$R^2 = 0.835877 \quad Adjusted R^2 = 0.830185 \quad DW = 1.770066$$

方程的拟合优度及调整后拟合优度都在 83% 以上, 可入肺颗粒物浓度方程拟合效果较好。由 DW 值可知方程不存在自相关问题, 各个系数检验都是高度显著的。因此总体上, 方程较优。

① 空气污染物的影响

从夏秋季空气污染物相互之间的影响来看, $PM_{2.5}$ 与 CO 、 NO_2 是同方向变动的, 即它们有同增减的趋势, 与 SO_2 是反方向变动的。从方程的系数来看, CO 日平均浓度增加 1 mg/m^3 , $PM_{2.5}$ 日平均浓度会增加 $4.956985 \text{ } \mu\text{g/m}^3$; NO_2 日平均浓度增加 $1 \text{ } \mu\text{g/m}^3$, $PM_{2.5}$ 日平均浓度会增加 $0.856097 \text{ } \mu\text{g/m}^3$; SO_2 日平均浓度增加 $1 \text{ } \mu\text{g/m}^3$, $PM_{2.5}$ 日平均浓度可能减少 $0.174144 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ 。

② 天气因素的影响

从夏秋季天气因素对 $PM_{2.5}$ 日平均浓度的影响来看, 平均露点、平均能见度对 $PM_{2.5}$ 日平均浓度都有反方向作用, 而平均温度对 $PM_{2.5}$ 日平均浓度有正方向作用。夏秋季与春冬季 $PM_{2.5}$ 日平均浓度模型差异不大, 但由于夏秋季节昆明风速较小, 故风速变量对夏秋季节的 $PM_{2.5}$ 日平均浓度影响不大。

b) PM_{10} 日平均浓度方程

$$PM_{10} = 13.0698 \times CO + 1.609751 \times NO_2 - 1.612838 \times AL - 0.333937 \times AW - 0.898277 \times V + 2.449644 \times AT + [AR(1) = 0.28367]$$

$$t = (4.908661) \quad (18.84621) \quad (-6.009696) \quad (-9.167001) \quad (-5.817494) \quad (9.80447) \quad (5.479777)$$

$$R^2 = 0.884519 \quad Adjusted R^2 = 0.880514 \quad DW = 1.824133$$

可吸入颗粒物浓度方程拟合效果较好, 方程能够解释可吸入颗粒物日平均浓度的 88% 以上的信息; DW 值在 2 附近, 利用 AR(1)模型已经调解了方程中残差自相关问题, 且系数都是显著的; 说明方程较优。

① 空气污染物的影响

从空气污染物相互之间的影响来看, PM_{10} 与 CO 、 NO_2 有同增减的趋势。从方程的系数来看, CO 日平均浓度每增加 1 mg/m^3 , PM_{10} 日平均浓度会增加 $13.0698 \text{ } \mu\text{g/m}^3$; NO_2 日平均浓度每增加 $1 \text{ } \mu\text{g/m}^3$, PM_{10} 日平均浓度会增加 $1.609751 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ 。

② 天气因素的影响

从夏秋季节天气因素对 PM_{10} 浓度的影响来看, 露点、相对湿度、能见度对 PM_{10} 的日平均浓度都有

反向作用, 平均温度对 PM_{10} 日平均浓度有正向作用。露点、能见度和温度对 PM_{10} 的影响类似于它们对 $PM_{2.5}$ 的影响。与夏秋季 $PM_{2.5}$ 日平均浓度方程不同的是, 夏秋季 PM_{10} 日平均浓度受到相对湿度的显著影响, 昆明夏秋季节降雨充沛, 相对湿度越大, 形成降雨的可能性越高, 降雨对空气中 PM_{10} 有非常明显的消除效果, 可见相对湿度越大, PM_{10} 浓度越低; 夏秋季节的风速对 PM_{10} 影响较小。

c) 露点方程

$$AL = 0.171977 \times AW + 0.565716 \times AT + [AR(1) = 0.996175]$$

$$t = (24.84202) \quad (15.34116) \quad (333.1207)$$

$$R^2 = 0.968082 \quad \text{Adjusted } R^2 = 0.967721 \quad DW = 2.255816$$

露点方程能够解释因变量的 96% 以上的信息, 拟合效果很好。DW 为 2.255816, 说明 AR(1) 模型已经消除了方程中残差自相关问题, 而方程又有显著的系数。因此整体来看, 方程较优。夏秋季露点方程与春冬季露点方程结构没有变化, 仅有系数上的小变动。

d) 能见度方程

$$V = 31.01664 - 0.153603 \times PM_{2.5} - 0.215762 \times AW + [AR(1) = 0.376755]$$

$$t = (17.81734) (-9.89681) \quad (-11.66574) \quad (4.190899)$$

$$R^2 = 0.706855 \quad \text{Adjusted } R^2 = 0.701859 \quad DW = 1.799123$$

能见度方程能够解释可入肺颗粒物浓度的 70% 以上的信息。由 DW 检验知方程残差不存在自相关问题, 且方程系数都是显著的。由于大气范围广泛, 而影响能见度的因素又非常繁多, 建立的模型的拟合优度效果还是不错的。

夏秋季能见度方程与春冬季能见度方程的区别在于, 夏秋季能见度方程没有引入平均温度变量, 原因在于夏秋季温度相对稳定, 趋于相对较高的温度水平, 对能见度影响不明显。

4. 结论

由上文的分析, 可以得出如下结论:

昆明的主要污染物为 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} , 这两种污染物日平均浓度在 2014 年各月中表现出一定的异同性, 大致表现为春季和冬季相近, 夏季和秋季接近。在不同的天气情况下, $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 的日平均浓度也有所不同。

$PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 日平均浓度与 CO 、 NO_2 的日平均浓度是同方向变动的, 而 SO_2 与 $PM_{2.5}$ 的日平均浓度呈反向变动。由于之前人们对于 SO_2 的关注比较多, 对 SO_2 的防治工作已经做得比较到位, 而 $PM_{2.5}$ 的危害还没有引起足够的重视; 而目前 $PM_{2.5}$ 对大气的影响已经对人们的生活造成了严重影响。我们在进行大气污染防治工作时, 须从源头抓起, 减少空气污染物相互之间的作用量, 避免大气系统的整体恶化。 SO_2 与 $PM_{2.5}$ 的日平均浓度的关系已经给出很好的启示, 只要人们给予足够的重视和行动, 势必会改变空气污染物共同增加的恶性势头。但是我们在进行具体的空气污染治理过程中, 应该全面考虑, 综合整治, 不能顾此失彼。

平均露点、平均能见度对 $PM_{2.5}$ 日平均浓度都有反方向作用。通过春冬、夏秋季节 $PM_{2.5}$ 浓度方程的对比, 发现夏秋季节风速对 $PM_{2.5}$ 日平均浓度的影响不显著, 原因在于夏秋季节风速整体较小且波动也不大。平均露点、平均风速、平均能见度对 PM_{10} 的日平均浓度都有反方向作用, 而日平均温度则表现出了正向影响。通过春冬、夏秋季节 PM_{10} 浓度方程的对比, 发现夏秋季节相对湿度对 PM_{10} 日平均浓度影响明显, 原因在于昆明市夏秋季节相对湿度大而使得雨水充足; 而风速对 PM_{10} 日平均浓度的影响不显著, 原因在于夏秋季节风速一直都较小。空气的露点主要受温度和相对湿度的影响。平均能见度受 $PM_{2.5}$ 日平

均浓度、平均相对湿度的负向影响。尽管天气因素很难控制, 然而找出天气指标与可吸入颗粒物的相互关系, 有利于更好地避免空气污染的发生。充分利用天气预报系统, 准确有效地控制污染物来源, 从而防止雾霾对人们生产、生活造成恶劣危害。

综合来看, $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 的日平均浓度会受到天气要素的影响, 同时其又会影响天气要素的变化。大气作为一个综合的系统, 我们在某一方面掉以轻心时, 可能整个大气系统都在恶化。因此, 我们应该在高度关注 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 防治的同时, 不放松对 SO_2 、 NO_2 、 CO 等污染物的监控。

参考文献 (References)

- [1] 韩婧, 代志光, 李方韬. 西安市灰霾天气下 $PM_{2.5}$ 浓度与气象条件分析[J]. 环境污染与防治, 2014, 36(2): 52-56.
- [2] 沈家芬, 张凌, 莫测辉, 冯建军. 广州市空气污染物和气象要素的主成分与典型相关分析[J]. 生态环境, 2006, 15(5): 1018-1023.
- [3] 陈起凤, 连语洁, 叶惠中, 王玉纯. 2006~2012年台北市 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 变化趋势与相关分析[J]. 环境保护前沿, 2014, 4(4): 128-135.
- [4] 毕丽玫, 史建武, 刘意, 邓昊, 盛涛. 昆明城区 $PM_{2.5}$ 与常规大气污染物及气象因素的相关分析[C]//中国环境科学学会学术年会, 中国环境科学学会年会论文集, 2013: 4499-4505.
- [5] 陈松. 昆明市主城区近年空气质量变化趋势与成因分析[J]. 环境科学导刊, 2014, 33(5): 72-76.