

上海市大气环境中 PM_{2.5} 与其他污染物相关性研究^①

李 敏, 何红弟

上海海事大学 物流研究中心, 上海 201306

摘要: 为研究上海市不同地区的 PM_{2.5} 污染水平, 选取徐汇上师大(市区)和浦东川沙(郊区)两个监测点的 PM_{2.5} 为研究对象, 分析其变化特征及与空气中的 PM₁₀, CO, NO₂, SO₂ 和 O₃ 间的相关性. 结果表明: (1) PM_{2.5} 与 PM₁₀ 由于存在形态和成因相似而具有很强的相关性; (2) 在季节分布上, 夏秋季颗粒物浓度低, 冬春两季颗粒物浓度高, 春季颗粒物浓度低于冬季. PM_{2.5} 与 PM₁₀ 在不同季节表现不同, 颗粒物的粒径分布特征在一定程度上与监测点周边的污染源及气象因素有关. (3) 市区和郊区的 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 浓度都呈双峰性变化, PM_{2.5} 与 PM₁₀ 日变化存在相似性. (4) 通过逐步回归建立 PM_{2.5} 的回归模型, 结果表明空气中的 PM_{2.5} 浓度的变化会受到其他污染物的共同作用, 不同区域对 PM_{2.5} 浓度变化贡献大的污染物也有不同.

关 键 词: 上海市; PM_{2.5}; 分布特征; 回归模型

中图分类号: X51

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2018)10-0127-08

近年来, 灰霾天气频发, 环境质量不断恶化, PM_{2.5} 污染成为公众关心的重点问题, 也成为引起上海市环境质量恶化的主要污染物之一^[1]. PM_{2.5} 不仅对环境质量有负面影响, 同时容易进入人体内通过血液循环的方式损害人体健康, 因此减少颗粒物的排放对于人类生活和社会环境都有重要意义^[2-5]. 目前, 世界上大多数国家都制定了 PM_{2.5} 的排放标准, 我国现行的 PM_{2.5} 排放标准是二级, 年均值为 35 μg/m³, 日均值为 75 μg/m³, 上海市 PM_{2.5} 浓度大多数情况下均高于标准值. 为有效控制 PM_{2.5} 扩散造成的影响, 了解 PM_{2.5} 的污染特征及其与空气中的 PM₁₀、CO、NO₂、SO₂ 和 O₃ 之间的相关性对细颗粒物的控制和防治均有重要意义.

为了有效地控制污染物排放提高空气质量, 很多学者对 PM_{2.5} 的污染特征和与其他污染物的相关性进行了大量研究. 黄鹏鸣等^[6]研究南京市空气中 PM_{2.5} 占 PM₁₀ 的比例为 68%, 空气污染以细颗粒物污染为主; 罗岳平等^[7]研究长株潭地区环境空气中 PM_{2.5} 与 O₃ 之间的关系, 得出二者不叠加污染, 夏秋两季应加强 O₃ 污染的防治, 冬季主要预防 PM_{2.5} 污染的结论; 余日新^[8]对比了泉州市区与郊区的 PM_{2.5}、PM₁₀ 污染水平与相关性, 城区颗粒物浓度明显高于郊区, 城区与近郊区的 PM_{2.5} 与 PM₁₀ 具有明显的相关性和月变化特征, 颗粒物最高浓度出现在 1 月, 最低浓度在 2 月和 7 月出现; 王菊等^[9]对长春市空气中 TSP、PM_{2.5} 和 PM₁₀ 进行相关性研究, 三者空气污染中具有相似的变化规律和同源性, 可以通过 TSP 和 PM₁₀ 进一步估算 PM_{2.5} 的浓度; Wang 等^[10]研究了上海市不同功能区 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 的来源, PM₁₀ 和 PM_{2.5} 的浓度在冬季最大, 夏季最低, PM_{2.5} 和 PM₁₀ 受地面扬尘和交通污染影响严重; Zhang 等^[11]对中国深圳地区的 PM_{2.5} 分布和来源进行了分析, 结果表明 PM_{2.5} 是深圳地区的主要污染物, 空气中 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 很高, 郊区的 PM_{2.5}

① 收稿日期: 2018-01-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(11672176); 上海市科委项目(17DZ2280200); 上海海事大学学术新人项目(YXR2017015).

作者简介: 李 敏(1994-), 女, 硕士研究生, 主要从事物流与环境及绿色物流研究.

浓度低于市区，西部地区颗粒物浓度均高于东部地区。

本文对上海市 $\text{PM}_{2.5}$ 的污染行为及其与 PM_{10} 、 CO 、 NO_2 、 SO_2 和 O_3 的相关性进行研究，利用主成分分析和污染物间相关系数分析空气中污染物之间的相关性，利用逐步回归的方法建立 $\text{PM}_{2.5}$ 与 PM_{10} 、 CO 、 NO_2 、 SO_2 和 O_3 的回归模型，进一步研究 PM_{10} 、 CO 、 NO_2 、 SO_2 和 O_3 对 $\text{PM}_{2.5}$ 的影响，为明确不同区域的污染物污染行为和变化特征，从源头上控制 $\text{PM}_{2.5}$ 的排放以改善空气质量提出科学可行的治理方案提供依据。

1 数据来源和研究方法

1.1 数据来源

选取徐汇上师大和浦东川沙两个监测点分别代表市区和郊区，研究不同的时间和空间市区和郊区大气中污染物 $\text{PM}_{2.5}$ 的行为特征、区域分布特征，分析 $\text{PM}_{2.5}$ 和其他污染物之间的相关性。在本研究中所使用的数据是徐汇上师大和浦东川沙监测站自 2014 年 4 月 14 日至 2015 年 3 月 24 日 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 CO 、 NO_2 、 SO_2 和 O_3 的每小时原始污染数据。

1.2 主成分分析(PCA)

一般来说，利用主成分分析的方法时，第一主成分解释了样本数据大部分的方差，第一个占有比例最大就是主要成分^[12]。为了更好阐明主成分中每个原始变量的影响，会使用一些其它的算法如方差极大旋转算法，通常是利用因子载荷表示每个变量的贡献到一个特定的成分。方差极大旋转法只能最大限度地确保每个变量与某一个主成分相关性最强而与其他成分之间的相关性几乎接近于零^[13]。本文中使用的的方法是优化空间模式并删除污染物之间可能隐含的多重共线性。

主成分分析的主要结果是因子载荷，它能够反映变量对特定主成分的贡献率是多少，以及一个变量与另一个变量的相似度^[14]。变量的载荷越高，说明该变量对某特定成分的贡献越大。本文利用 SPSS 19 对空气中的 6 种污染物进行了主成分分析(PCA)。

1.3 逐步回归

逐步回归是通过引入多个自变量，根据它们对因变量的贡献来不断剔除自变量，建立最佳回归模型^[15]。在每次剔除掉某个自变量后，都需要进行一次 F 检验和 t 检验，以确保保留的自变量对因变量有很大的贡献^[16]，逐步回归的优点是可以通过连续过滤有效地消除具有多重共线性的变量。

逐步回归的基本模型为

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta_n X_n + \epsilon \tag{1}$$

其中， Y 是因变量(输出值)， $X_1 \cdots X_n$ 是自变量(输入值)， β_0 是常系数， $\beta_1 \cdots \beta_n$ 是回归系数， ϵ 是均值为 0 方差为 $\sigma^2 (\sigma > 0)$ 的随机变量。本文以 matlab 为分析工具建立分析空气中 PM_{10} 、 CO 、 NO_2 、 SO_2 和 O_3 对 $\text{PM}_{2.5}$ 的逐步回归模型。

2 结果与讨论

2.1 $\text{PM}_{2.5}$ 全年污染水平

对全年的 $\text{PM}_{2.5}$ 有效数据进行整理，分析徐汇上师大和浦东川沙两个功能区的 $\text{PM}_{2.5}$ 污染水平如表 1



图 1 监测点分布图

所示^[17]. 表中两个监测站点均出现颗粒物浓度超标的情况, 徐汇上师大和浦东川沙的 PM_{2.5} 年平均浓度分别为 55.66 ± 42.36 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 和 47.54 ± 42.51 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), 变异系数分别为 89% 和 76%, 浦东川沙地区 PM_{2.5} 浓度及变异系数均小于徐汇上师大, 徐汇上师大和浦东川沙地区的 PM_{2.5} 污染超标率分别为 25% 和 20%, 结合以上数据可见徐汇上师大地区的 PM_{2.5} 污染情况较浦东川沙地区严重, 其原因可能与市区频繁的车流量和人流量以及繁华商业区有关. 为改进市区的污染状况, 建议控制车流量和减少商业区污染物的排放.

表 1 PM_{2.5} 污染数据统计表

监测站	PM _{2.5}				
	均值/ $(\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3})$	标准差/ $(\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3})$	变异系数	超标天数	超标率/%
徐汇上师大	55.66	42.36	89	85	25
浦东川沙	47.54	42.51	76	68	20

2.2 污染物主成分分析

表 2 是徐汇上师大和浦东川沙监测站对 PM_{2.5}、PM₁₀、CO、NO₂、SO₂ 和 O₃ 6 种污染物进行主成分分析的结果. 根据下表可以看出, 徐汇上师大的 4 个主成分总共解释了 82.95% 的方差, 浦东川沙的 4 个主成分总共解释了 85.14% 的方差. 对于徐汇上师大, 第一主成分主要贡献于 PM_{2.5} 和 PM₁₀, 第二主成分对 O₃ 有重要贡献, 第三主成分对 CO 有重要贡献, 第四主成分对 SO₂ 贡献最大. 对于浦东川沙而言, 第一主成分也是主要解释了 PM_{2.5} 和 PM₁₀, 第二、三、四主成分都有各自对应的解释对象. 根据主成分分析的结果, 笔者得出在 6 种污染物中, PM_{2.5} 和 PM₁₀ 具有最强的相关性, 这和它们相似的形成原因和存在形态有重要关系.

表 2 徐汇上师大和浦东川沙主成分分析结果

	徐汇上师大				浦东川沙			
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC1	PC2	PC3	PC4
PM _{2.5}	0.82	-0.01	0.33	0.31	0.87	0.25	-0.10	0.28
PM ₁₀	0.88	0.03	0.23	0.28	0.89	0.26	-0.04	0.23
CO	0.35	-0.12	0.86	0.25	0.42	0.34	-0.14	0.80
NO ₂	0.32	-0.32	0.26	0.20	0.41	0.23	-0.36	0.25
SO ₂	0.39	-0.09	0.25	0.87	0.30	0.91	-0.06	0.24
O ₃	0.03	0.98	-0.08	-0.06	-0.05	-0.05	0.98	-0.09
特征值	3.72	1.16	0.40	0.38	3.85	1.04	0.52	0.28
方差/%	30.42	17.95	17.40	17.18	32.86	18.73	18.66	14.89
累计方差/%	30.42	48.37	65.77	82.95	32.86	51.59	70.25	85.14

2.3 PM_{2.5} 与 PM₁₀ 相关性分析

根据主成分分析的结果, 两个监测站的 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 均由第一个主成解释, 所以 PM_{2.5} 与 PM₁₀ 的相关性较其他污染物强. 因此, 以下对 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 的污染浓度变化特征进行分析.

2.3.1 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 浓度月变化

图 2 展示了市区和郊区 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 的月变化情况, 3、4、5 月为春季, 6、7、8 月为夏季, 9、10、11 月为秋季, 12、1、2 月为冬季. 根据图形变化情况, 可以得出全年市区和郊区的 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 呈现 U 形变化趋势, 即夏秋季颗粒物浓度低, 冬春两季颗粒物浓度高. 呈现这种季节性变化与上海市的气象因素有关, 夏秋季上海盛行东南风, 受海上清洁空气影响, 颗粒物易分解和扩散, 颗粒物浓度低, 冬季上海盛行西北风, 冷空气带来内陆污染团从而颗粒物浓度上升^[1]. 春天植物开始生长, 一方面降低了风速阻碍颗粒物的扩散, 另一方面植物叶面吸收颗粒物, 对降低颗粒物浓度有积极作用, 从而出现春季颗粒物浓度低于冬季的现象^[6].

$PM_{2.5}/PM_{10}$ 也是衡量颗粒物污染水平和特征的重要指标. 从图 2 可以看出, $PM_{2.5}/PM_{10}$ 在不同季节的波动性较大, 不同季节颗粒物粒径分布特征存在差异^[18]. 各区域的 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 在 50%~90%之间, $PM_{2.5}$ 占 PM_{10} 的比例很高, 主要污染物为 $PM_{2.5}$, 这与陈林等人对重庆地区的研究结果相似^[19]. 对比市区和郊区的 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 变化情况, 冬春两季该比率较夏秋季高, 北方地区取暖产生的颗粒物随盛行的西北风扩散到上海, 造成空气中细颗粒物浓度升高^[20]. 市区 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 的最高值出现在 7 月份为 85%, 与空气中高的 $PM_{2.5}$ 浓度及大量车流量和夏季二次粒子生成有关; 郊区 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 最高值为 88%出现在 6 月份, 高温会促进空气中的大颗粒物分解^[21]. 研究表明: 颗粒物的粒径分布特征在一定程度上与监测点周边的污染源及气象因素有关.

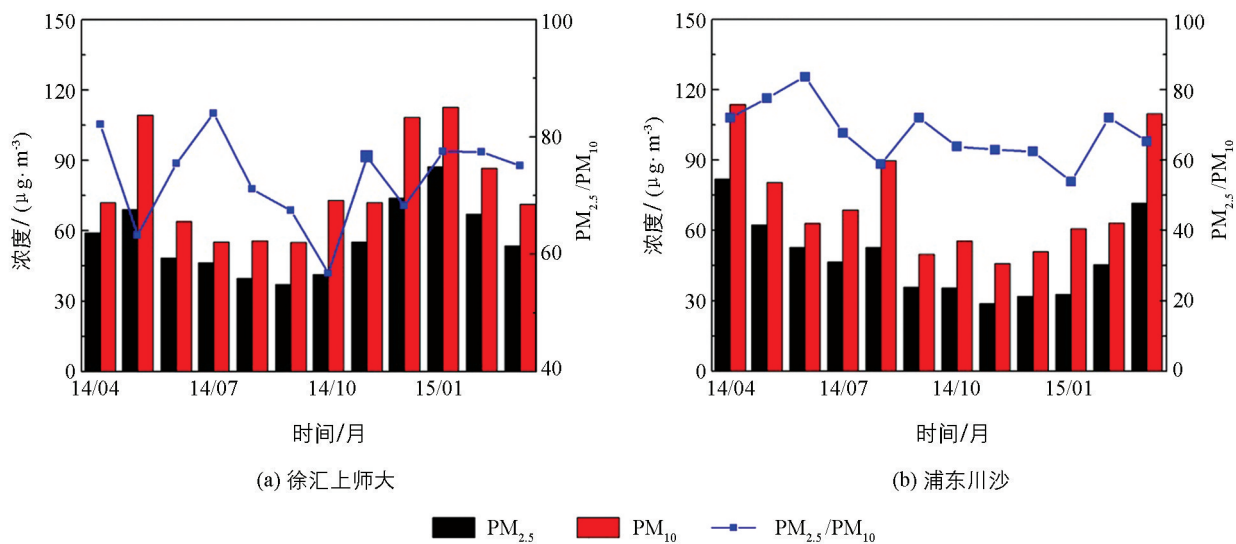


图 2 市区与郊区颗粒物及 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 月变化图

2.3.2 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度日变化

图 3 给出了徐汇上师大和浦东川沙 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度的日变化情况. 从图中可以看出郊区 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 的日平均浓度均比市区低, 但两个区域的颗粒物都呈现双峰型的变化趋势, 在早上(8:00—10:00)和晚上(18:00—21:00)达峰值, 由于这段时间人类活动增多, 以及车流量和商业活动的共同作用导致污染物排放增多从而引起颗粒物浓度上升. 晚间(22:00—5:00)进入休息时段, 外界活动减少, 气温降低引起颗粒物沉降, 空气中 $PM_{2.5}$ 浓度降低. 中午(11:00—16:00)气温升高, 颗粒物开始扩散造成浓度降低.

分析两个地区的 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 的日变化情况, 市区和郊区的 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 日变化存在相似性, 即一天中峰值都出现在早晨 4:00—7:00, 最低值则在晚间出现. 早晨时段温度低, 空气中的粗颗粒物受低温影响凝聚沉降, 同时人类日常活动开始, 居民做饭及车流量排放的细小污染物增多, 细颗粒物浓度上升, 占 PM_{10} 的比重加大. 川沙地区的 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 在下午时段 16:00—19:00 达到最低, 而徐汇地区的 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 在晚间 17:00—23:00 达到最低. 川沙地区和徐汇地区的 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 最低值均在晚间出现, 相比白天时段 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 值更低, 分析其原因为晚上的地面温度低于空气温度, 温度翻转导致稳定的大气条件阻止垂直气流, 有利于粗颗粒物的沉积和细颗粒物的积聚.

2.3.3 $PM_{2.5}$ 浓度的预测

表 3 为 $PM_{2.5}$ 与 PM_{10} 、CO、NO₂、SO₂ 和 O₃ 之间的相关关系. $PM_{2.5}$ 与 O₃ 之间成负相关关系, 这是由于 O₃ 与空气中的 $PM_{2.5}$ 有拮抗反应, 能通过光化学反应消耗空气中的 $PM_{2.5}$ ^[7]. 而 $PM_{2.5}$ 与 PM_{10} 、CO、NO₂ 和 SO₂ 之间则呈明显的正相关关系, 说明这 5 种污染物对 $PM_{2.5}$ 浓度的增加有促进作用. 在 6 种污染物中, $PM_{2.5}$ 与 PM_{10} 的相关系数最高, 徐汇上师大为 0.90, 浦东川沙为 0.91, 主要原因为 $PM_{2.5}$ 是 PM_{10} 的组成部分, 两者都以颗粒物形态存在, 且形成原因相似, 导致它们间的相关系数较 $PM_{2.5}$ 与其他污染物高.

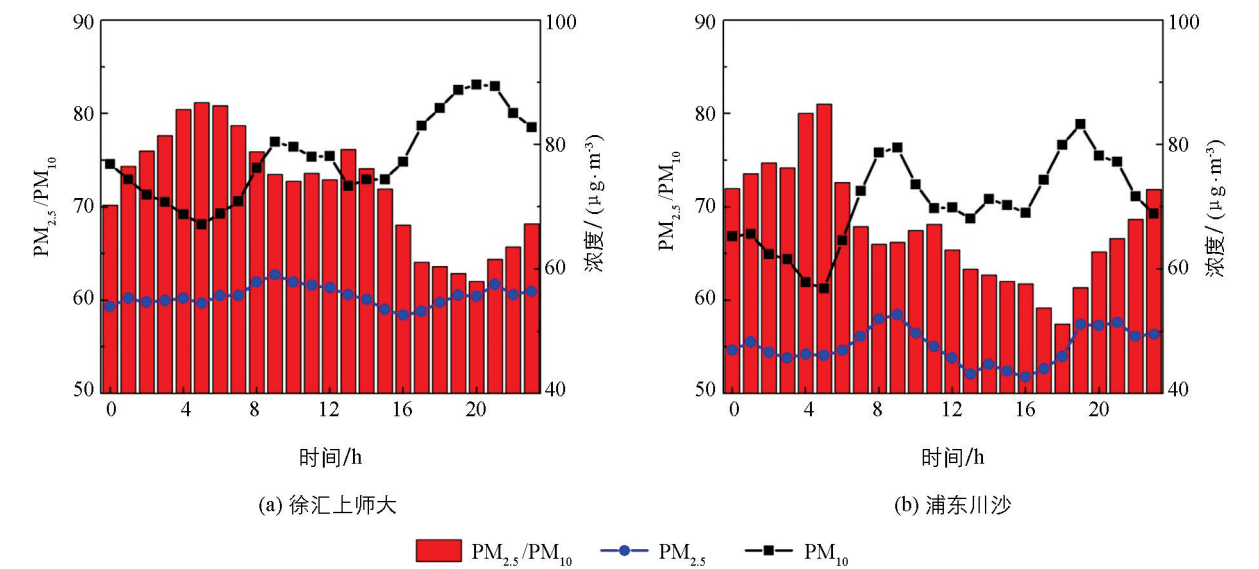


图 3 颗粒物浓度日变化图

表 3 污染物相关系数表

	徐汇上师大污染物相关系数						浦东川沙污染物相关系数					
	PM _{2.5}	PM ₁₀	CO	NO ₂	SO ₂	O ₃	PM _{2.5}	PM ₁₀	CO	NO ₂	SO ₂	O ₃
PM _{2.5}	1.00	0.90	0.70	0.60	0.71	−0.08	1.00	0.91	0.74	0.69	0.59	−0.22
PM ₁₀		1.00	0.63	0.59	0.68	−0.02		1.00	0.70	0.67	0.60	−0.15
CO			1.00	0.62	0.62	−0.24			1.00	0.67	0.67	−0.28
NO ₂				1.00	0.54	−0.49				1.00	0.53	−0.54
SO ₂					1.00	−0.18					1.00	−0.16
O ₃						1.00						1.00

注: (1) 样本数 $n=8\ 280$; (2) * * 在 0.01 水平(双侧)上显著相关.

相关系数结果表明, PM_{2.5}与空气中其他污染物间存在相关性, 为分析其他污染物是如何影响 PM_{2.5} 的, 利用逐步回归的方法对 PM_{2.5} 浓度进行预测. 以 PM₁₀、SO₂、CO、NO₂ 和 O₃ 为输入变量, PM_{2.5} 为输出变量, 并以相关系数(R)和均方根误差(RMSE)为评价参数对回归模型进行评估. 相关系数(R)越大, 均方根误差(RMSE)越小说明预测结果更准确, 相应污染物对 PM_{2.5} 浓度的影响亦越大. 在利用逐步回归的方法建立回归模型时, 为保证所建模型的准确性, 前期将原始数据进行处理, 选取 3/4 的数据作为训练数据, 1/4 的数据作为预测数据^[22].

利用逐步回归的方法分别对徐汇上师大和浦东川沙建立回归模型如下:
徐汇上师大:

$$PM_{2.5} = 0.53 * PM_{10} + 20.51 * CO + 0.39 * SO_2 - 14.11$$

$R = 0.92$

(2)

浦东川沙:

$$PM_{2.5} = 0.59 * PM_{10} + 12.80 * CO + 0.15 * NO_2 - 0.01 * O_3 - 9.64$$

$R = 0.92$

(3)

从回归模型可以看出两个区域影响 PM_{2.5} 浓度的污染物也有差别. 对于徐汇上师大地区, PM₁₀、CO 和 SO₂ 是回归模型中的主要自变量; 而在浦东川沙地区, PM₁₀、CO、NO₂ 和 O₃ 是影响 PM_{2.5} 的主要自变量. 为了验证所建的回归模型的可靠性, 笔者对该模型计算所得的预测值与两地区 PM_{2.5} 的真实值进行了拟合, 结果如图 4 和图 5 所示.

两图中, 图(a)为训练数据拟合图, 图(b)为预测数据拟合图. 在图中, PM_{2.5} 真实值与预测值呈显著正相关关系, 说明利用其他污染物的浓度预测 PM_{2.5} 的浓度变化是可行的. 根据下图, 徐汇上师大和浦东川沙的 PM_{2.5} 真实值与预测值建立的模型系数为 0.92, 徐汇上师大的实际拟合线与理想拟合线的角度差相对浦

东川沙较小,说明该模型在徐汇上师大处的预测准确性更好.

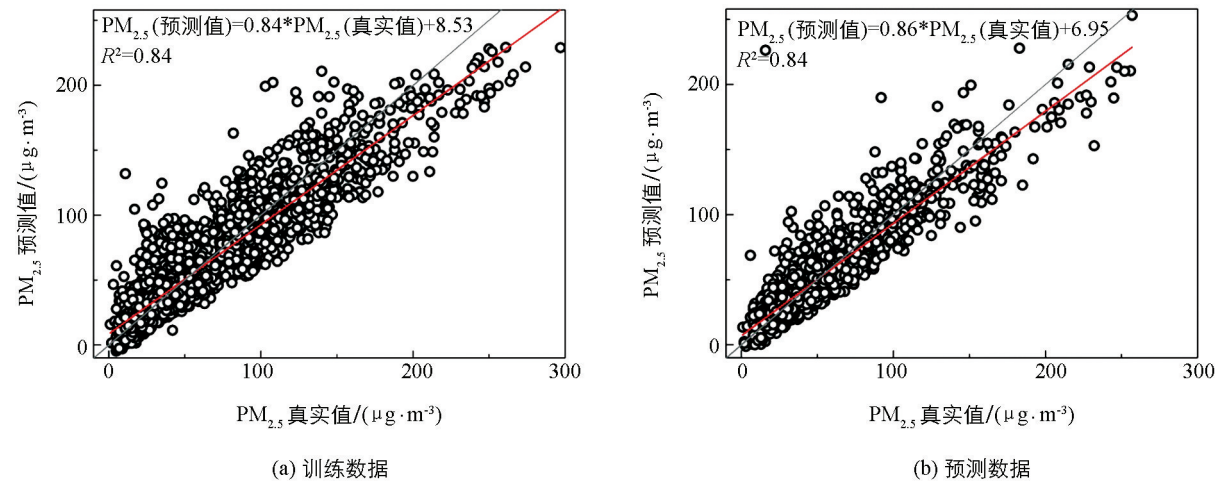


图 4 徐汇上师大 $\text{PM}_{2.5}$ 真实值与预测值拟合图

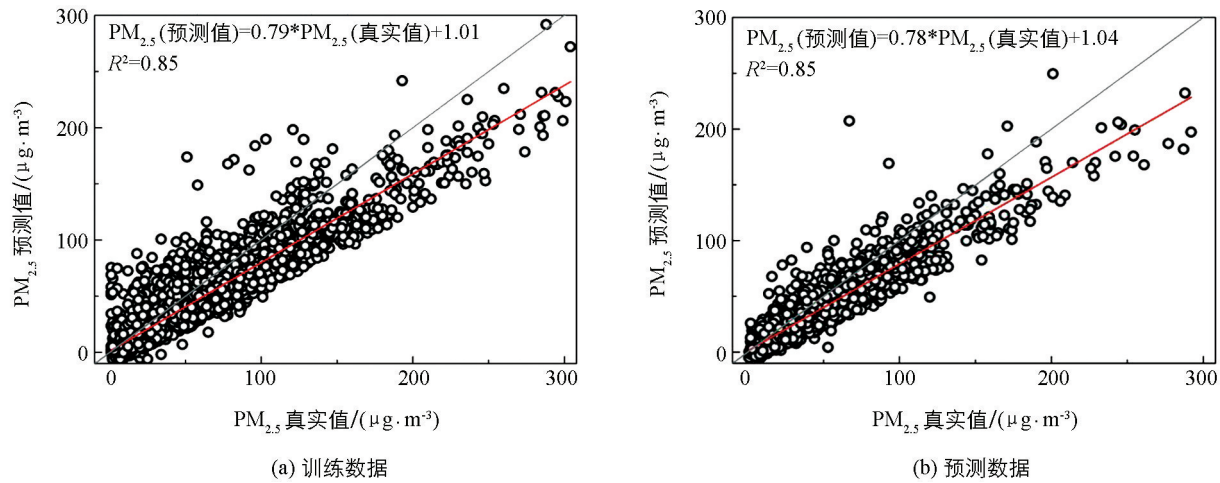


图 5 浦东川沙 $\text{PM}_{2.5}$ 真实值与预测值拟合图

利用相关系数 R 和均方根误差 RMSE 对模型(1)(2)进行分析,结果如表 4 所示.从表中看出,徐汇上师大和浦东川沙地区使用训练数据和预测数据所得出的模型 R 均为 0.92,训练数据 RMSE 分别为 16.44 和 18.62,预测数据 RMSE 分别为 16.68 和 19.10,预测数据的 RMSE 均大于训练数据 RMSE .浦东川沙地区 RMSE 均高于徐汇上师大地区,同样说明徐汇上师大地区利用逐步回归的准确性高于浦东川沙地区.

表 4 模型参数评价表

	训练数据		预测数据	
	R	RMSE	R	RMSE
徐汇上师大	0.92	16.44	0.92	16.68
浦东川沙	0.92	18.62	0.92	19.10

根据以上建立的回归模型和参数评估,说明空气中的其他污染物对 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度的变化都有贡献,不同区域其他污染物对 $\text{PM}_{2.5}$ 的影响也有差别.

3 结 论

本文分析上海市市区和郊区的 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度与大气中的其他污染物之间的相关关系,得出以下结论:
1) 本文利用主成分分析研究 6 种污染物的相关性,结果表明汇上师大与浦东川沙地区的 $\text{PM}_{2.5}$ 与

PM_{10} 均是由第一主成分解释的, 说明 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 存在强相关关系, 这与它们的表现形态和成因有关。

2) 基于主成分分析的结果, 对 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 的月变化和日变化特征进行分析. 结果表明在季节分布上 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 具有相同变化趋势, 均表现为: 夏秋季浓度低, 冬春浓度高. 但 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 则呈现出夏冬季节高, 春秋季节低的特征. 分析后得到颗粒物的粒径分布特征在一定程度上与监测点周边的污染源及气象因素有关. 市区和郊区的 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度的日变化都呈双峰性, 在早上 (8:00—10:00) 和晚间 (18:00—21:00) 达到峰值. $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 的日变化范围在 50%~90%, 说明空气中 $\text{PM}_{2.5}$ 为首要污染物。

3) 根据污染物之间的相关系数, $\text{PM}_{2.5}$ 与 PM_{10} 、 NO_2 、 SO_2 、 CO 之间存在显著正相关关系, 与 O_3 之间存在负相关关系. 基于大气中污染物之间的相关性, 利用逐步回归的方法建立模型分析 PM_{10} 、 NO_2 、 SO_2 、 CO 、 O_3 对 $\text{PM}_{2.5}$ 的影响, 结果表明大气中 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度的变化会受到其他污染物的共同作用, 不同区域影响 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度变化的污染物也有所区别。

参考文献:

- [1] 陈杨欢, 王杨君, 张苗云, 等. 上海市大气 $\text{PM}_{2.5}$ 时空分布特征 [J]. 环境工程学报, 2017, 11(6): 3671—3677.
- [2] 李晓红, 程慧波, 王莉娜. 兰州市大气颗粒物污染特征分析 [J]. 中国环境监测, 2014, 30(3): 43—46.
- [3] 于 瑾, 姜 伟, 马兴冠, 等. 大气颗粒物时空分布特征及影响因素 [J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2013, 29(6): 1140—1146.
- [4] FANG Ming, CHAN C K, YAO Xiao-hong. Managing Air Quality in a Rapidly Developing Nation: China [J]. Atmospheric Environment, 2009, 43(1): 79—86.
- [5] 陈可雅, 肖 卿, 熊万明, 等. 重庆都市功能核心区和都市功能拓展区环境空气质量比较——以沙坪坝区为例 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2016, 38(10): 154—160.
- [6] 黄鹂鸣, 王格慧, 王 荟, 等. 南京市空气中颗粒物 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 污染水平 [J]. 中国环境科学, 2002, 22(4): 334—337.
- [7] 罗岳平, 刘孟佳, 甘 杰, 等. 长株潭城市环境中 $\text{PM}_{2.5}$ 和 O_3 质量浓度的相关性研究 [J]. 安全与环境学报, 2015, 15(4): 313—317.
- [8] 余日新. 泉州城区与近郊区 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 时空分布及其相关性研究 [J]. 化学工程与装备, 2016(10): 263—264.
- [9] 王 菊, 李 娜, 房春生. 以长春为例研究环境空气中 TSP、 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 的相关性 [J]. 中国环境监测, 2009, 25(2): 19—21+59.
- [10] WANG Jun, HU Zi-mei, CHEN Yuan-yuan, et al. Contamination Characteristics and Possible Sources of PM_{10} and $\text{PM}_{2.5}$ in Different Functional Areas of Shanghai, China [J]. Atmospheric Environment, 2013, 68(4): 221—229.
- [11] ZHANG Feng-ying, LI Xiao-jian, ZHOU Lei, et al. Spatiotemporal Patterns of Particulate Matter (PM) and Associations Between PM and Mortality in Shenzhen, China [J]. BMC Public Health, 2016, 16(3): 1—11.
- [12] SIV S, FG M, MCM A F, et al. Multiple Linear Regression and Artificial Neural Networks Based on Principal Components to Predict Ozone Concentrations [J]. Environmental Modelling and Software, 2007, 22(1): 97—103.
- [13] M S, N V, A P. Principal Component and Canonical Correlation Analysis for Examining Air Pollution and Meteorological Data [J]. Atmospheric Environment, 1998, 32(6): 1087—1095.
- [14] LU Wei-zhen, HE Hong-di, DONG Li-yun. Performance Assessment of Air Quality Monitoring Networks Using Principal Component Analysis and Cluster Analysis [J]. Building and Environment, 2011, 46(3): 577—583.
- [15] NILTEN, AT SELICI. Investigating the Impacts of Some Meteorological Parameters on Air Pollution in Balikesir, Turkey [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2008, 140(1—3): 267—277.
- [16] 张景阳, 潘光友. 多元线性回归与 BP 神经网络预测模型对比与应用研究 [J]. 昆明理工大学学报, 2013, 38(6): 61—67.
- [17] 王红果, 张建平, 王 勇. 华北城市 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 污染水平及两者相关性研究 [J]. 河南城建学院学报, 2014, 23(6): 64—67.
- [18] HASHEMINASSAB S, DAHER N, SAFFARI A, et al. Spatial and Temporal Variability of Sources of Ambient Fine

- Particulate Matter ($\text{PM}_{2.5}$) in California [J]. *Atmospheric Chemistry Physics*, 2014, 14(22): 12085–12097.
- [19] 陈 林, 熊万明, 李 杰, 等. 重庆市沙坪坝区环境空气 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 相关性分析 [J]. *西南师范大学学报(自然科学版)*, 2017, 42(11): 137–143.
- [20] 杨复沫, 贺克斌, 马永亮, 等. 北京 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度的变化特征及其与 PM_{10} 、TSP 的关系 [J]. *中国环境科学*, 2002, 22(6): 506–510.
- [21] 陈 刚, 刘佳媛, 皇甫延琦, 等. 合肥城区 PM_{10} 及 $\text{PM}_{2.5}$ 季节污染特征及来源解析 [J]. *中国环境科学*, 2016, 36(7): 1938–1946.
- [22] HE Hong-di, LU Wei-zhen, XUE Y. Prediction of Particulate Matter at Street Level Using Artificial Neural Networks Coupling with Chaotic Particle Swarm Optimization Algorithm [J]. *Building and Environment*, 2014, 78(4): 111–117.

Correlations of $\text{PM}_{2.5}$ with Other Pollutants in the Atmosphere of Shanghai

LI Min, HE Hong-di

Logistics Research Center, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China

Abstract: In order to investigate the pollution level of $\text{PM}_{2.5}$ in different areas of Shanghai, Shanghai Normal University at Xuhui District (an urban area) and Chuansha Town at Pudong New Area (a suburban area) were chosen as the study areas to analyze the characteristics of $\text{PM}_{2.5}$ and the correlation of $\text{PM}_{2.5}$ with PM_{10} , CO , NO_2 , SO_2 and O_3 . A significant correlation was shown to exist between $\text{PM}_{2.5}$ and PM_{10} due to their similarities in shape and origin. In the seasonal distribution, the concentration of the particulates was lower in summer and autumn than in winter and spring. $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ had different behaviors in different seasons, and the size distribution characteristics of the particulates were related to the pollution sources and meteorological factors around the monitoring stations. The concentrations of $\text{PM}_{2.5}$ and PM_{10} in the urban and the suburban areas showed a bimodal change and $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ showed a similar pattern in its daily change. A regression model of $\text{PM}_{2.5}$ was established by stepwise regression, and the results showed that the change of $\text{PM}_{2.5}$ concentration was co-affected by other pollutants. The pollutants which were the major contributors to $\text{PM}_{2.5}$ concentration were different in different areas of Shanghai.

Key words: $\text{PM}_{2.5}$; distribution characteristic; regression model; Shanghai

责任编辑 汤振金