

doi:10.16055/j.issn.1672-058X.2020.0005.014

重庆市大气污染物分布特征及影响因素分析*

林静怡, 杨宜平

(重庆工商大学 数学与统计学院, 重庆 400067)

摘要:基于重庆市 2014—2018 年的六大气体污染源 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 SO_2 、 CO 、 NO_2 、 O_3 的月均浓度数据以及 AQI(空气质量指数),对污染物的月度变化、季度变化、年度变化特征进行了描述性的分析,再根据收集的 7 个变量数据,运用多元回归分析,建立 AQI 与六大污染物之间的回归方程,运用分位数回归,对主要污染源在各个分位点上的变化进行分析。

关键词:空气质量指数;多元回归分析;分位数回归

中图分类号:X823 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-058X(2020)05-0088-06

0 引言

随着我国经济的高速发展,城市化程度不断得到提高,但环境污染问题却日趋显著,特别是大气污染问题直接影响到国民的身体健康。众多学者对国内大气污染作出了调查研究。如李静萍等^[1]对工业化与城市化进程对空气质量产生的影响进行了研究;梁鑫^[2]在分析主要污染物上同时引入次要污染物,对我国主要城市空气质量进行了评价分析;徐萌^[3]对毕节市大气污染物浓度之间以及大气污染物与气象因子之间的相关性进行了研究;刘晓红^[4]对 29 个省区 2006—2016 年面板数据进行研究,测度了大气污染水平;邢雅婷^[5]采用聚类分析、相关性分析等方法,综合研究呼和浩特城区大气污染物浓度时空变化特征;于英翠等^[6]对 2014—2017 年西安市雾霾天气的时空分布特征以及污染变化趋势进行了分析;王芳龙^[7]利用排放源清单和 HYSPLIT 模型对天水市污染物来源进行了解析。重庆自直辖以来,逐步发展成为经济、金融、科创的

中心。但是,在经济高速发展的同时,也面临着严峻的大气污染问题,引起众多学者对重庆市大气污染作出调查研究。例如陈挚秋等^[8]对 2014 年重庆市大气污染物浓度的变化特征进行了分析,研究气象要素对重庆市大气污染物的影响;贾斌等^[9]采用小波分析、相关性分析研究重庆市大气污染物时序变化规律及气象因素对大气污染物的影响;尹杰等^[10]利用多元回归以及相关分析讨论了重庆市主城区冬季 $PM_{2.5}$ 空间分布模拟。

从上述文献可以看出,当前少有学者从分位数回归的角度研究空气质量的因子分析。本文首先对重庆市空气质量的月度变化、年度变化、季度变化进行了描述性分析,对重庆市大气污染现状达到初步了解,然后运用多元回归和逐步回归,建立空气质量指数与各污染物之间的最优回归方程,找到影响重庆空气质量的主要因素,最后基于分位数回归,分析主要污染物在不同分位点对空气质量的影响特征,给出相关的建议。

参考 2012 年环境保护部新修订的《环境空气质量标准》(GB3095-2012),从空气质量的定义以

收稿日期:2019-09-23;修回日期:2020-01-10.

* 基金项目:国家社会科学基金项目资助(18BTJ035).

作者简介:林静怡(1997—),女,重庆合川人,硕士研究生,从事非参数统计研究.

及影响因素出发,根据可行性、客观性的原则选择数据。为能够更加深入地了解重庆市空气质量指数与六大污染物之间的关系和空气质量指数的主要影响因素,选择了重庆市2014—2018年的六大气体污染源,即可吸入颗粒($PM_{2.5}$)、细微颗粒(PM_{10})、二氧化氮(NO_2)、二氧化硫(SO_2)、一氧化碳(CO)、臭氧(O_3)的月均浓度数据以及空气质量指数。其中空气质量指数为因变量,其余变量均为对空气质量指数产生影响的自变量。数据来源于重庆生态环境监测中心。

1 分布特征分析

为了直观地观测到重庆市空气质量变化的特征,对重庆市2014—2018年的空气污染物按照月度、季度、年度进行划分并绘制相应的分布图。其中以天文因子划分季节,3至5月为春季,6至8月为夏季,9至11月为秋季,12月至次年2月为冬季。

1.1 月变化分析

从月变化上进行分析, $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 SO_2 、CO、 NO_2 整体呈现出周期性变化,每到一月份就到达峰值,其中 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 浓度整体呈现出U形变化,浓度在一月达到最高,普遍在六月达到最低,后又呈现出缓慢增长的趋势; NO_2 与 SO_2 的浓度也呈现出周期性的缓慢降低再增加的趋势;反之, O_3 则呈现出倒U的趋势,其浓度在一月份和十二月份左右达到最低,在六月左右达到顶峰。据此,可以得出以上6种污染物均呈现出了季节性周期。

1.2 季度变化分析

根据月变化分析考虑到季节特征,将2014—2018年空气质量的数据按照季节汇总,得到 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 SO_2 、CO、 NO_2 在冬季污染较重,在春季污染相对较轻;然而, O_3 则恰恰相反,冬季浓度较低,春、夏、秋季节浓度较高,且夏季达到最高。由于冬季燃煤量较大,耗电量较大,各种大功率电器使用率增高,机动车尾气增加^[11]等原因, $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、CO的污染程度表现为冬季>秋季>春季>夏季;而 O_3 受到前体物和光照季节变化的影响,故在夏季和春季时浓度较高。

1.3 年度变化分析

从年度变化分析,2014—2018年空气质量等级为优的月份数均为0个;2014—2018年空气质量等级为良的月份数分别为8、10、11、10、11个;2014—2018年空气质量等级为轻度污染的月份数分别为3、1、1、2、1个;2014—2018年空气质量等级为中度污染的月份数为1、1、0、0、0个;2014—2018年的空气质量等级中均未出现重度、严重污染。统计5年等级指标发现,从整体上看重庆市空气质量在逐渐变好。具体来说,空气质量等级为良的月份数呈现上升的趋势,这表明重庆市对于治理空气质量的环保意识得到提升,并作出了一系列有成果的举措,使得等级为良的天数得到增加,但同时也需要注意到空气质量等级为优的月份数为0,从侧面反映出重庆政府还需要做出更有成效的举措实现空气质量等级为优的零突破。从2014年来空气质量等级为轻度污染的月份数虽有所下降,但依旧存在一、两个月的轻度污染,重庆政府应实施更有效的措施来缓解轻度、中度污染,有效控制主城范围内建设施工扬尘、道路积尘、工业污染,加强治理城市扬尘、煤烟尘和机动车尾气等城市空气主要污染源。

2 影响因素分析

2.1 基于多元回归分析重庆市空气质量

以重庆市2014—2018年60个月空气质量月均数据作为研究样本,以 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 SO_2 、CO、 NO_2 、 O_3 作为自变量,空气质量AQI作为因变量,建立多元线性回归方程,构造如下模型:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_6 X_6 \quad (1)$$

从表1的回归结果可以得到P值小于0.001,因此得知方程具有显著性,相关系数 $R=0.8928$,说明其相关性非常好。但从参数的显著性来看,上述结论得到第一个解释变量的P值为 $1.52 \times 10^{-5} < 0.001$,第六个解释变量的P值 $3.32 \times 10^{-8} < 0.001$,因此第一个变量和第六个变量显著性非常强,剩下的4个变量的显著性几乎不存在,因此利用所有的变量进行多元回归的效果是不好的,为得到更优的回归方程,考虑采用逐步回归的方法。

表 1 普通最小二乘法对参数估计结果

Table 1 Estimation results of parameters by ordinary least square method

解释变量	估计值	标准误差	T 值	P 值
intercept	-9.176 59	15.291 48	-0.600	0.551
X_1	1.354 56	0.284 39	4.763	1.52e-05(***)
X_2	-0.136 31	0.236 24	-0.577	0.566
X_3	-0.277 62	0.256 13	-1.084	0.283
X_4	15.829 54	12.789 14	1.238	0.221
X_5	-0.058 97	0.206 27	-0.286	0.776
X_6	0.324 87	0.050 28	6.461	3.32e-08(***)
可决系数	0.892 8			
F 检验	73.590 0			<2.2e-16

利用逐步回归的方法,剔除非显著的变量得到最优的回归方程,去掉变量后的参数估计结果见表 2。

表 2 去掉非显著变量后的参数估计结果

Table 2 Parameter estimation results after removing non-significant variables

解释变量	估计值	标准误差	T 值	P 值
intercept	1.221 14	5.120 25	0.238	0.812
X_1	1.186 93	0.059 17	20.061	<2e-16(***)
X_6	0.283 87	0.035 52	7.993	7.07e-11(***)
可决系数	0.887 6			
F 检验	225.1			<2.2e-16

由表 2 得到, $p\text{-value} < 2.2e-16 < 0.001$,因而可以得知方程具有显著性,相关系数 $R=0.887 6$,其相关性依然很好,整体回归的效果非常好。由 P 值可以看出 X_1 和 X_6 的系数估计值高度显著,由此得到的回归方程为

$$Y = 1.221 1 + 1.186 9X_1 + 0.283 9X_6$$

经过上面的回归方程可以得到: $PM_{2.5}$ 、 O_3 是造成重庆大气污染的主要原因。

2.2 基于分位数回归分析重庆市空气质量

基于多元回归结果,本节考虑选择显著变量 X_1 和 X_6 进行分位数回归,对 9 个分位点进行观察,分别得到不同分位点上的回归系数及其变化趋势,如表 3 和图 1 所示。

表 3 分位数回归模型的参数估计结果

Table 3 Parameter estimation results of quantile regression model

分位点	解释变量	估计值	标准误差	T 值	P 值
0.1	X_1	1.125	0.068	16.440	0.000 0 (***)
	X_6	0.063	0.041	1.520	0.134 1
0.2	X_1	1.112	0.058	19.118	0.000 0 (***)
	X_6	0.090	0.026	3.459	0.001 0 (***)
0.3	X_1	1.147	0.076	15.168	0.000 0 (***)
	X_6	0.113	0.038	2.990	0.004 1 (***)
0.4	X_1	1.146	0.076	15.089	0.000 0 (***)
	X_6	0.145	0.052	2.790	0.007 2 (***)
0.5	X_1	1.214	0.081	14.950	0.000 0 (***)
	X_6	0.209	0.067	3.108	0.002 9 (***)
0.6	X_1	1.220	0.067	18.271	0.000 0 (***)
	X_6	0.265	0.069	3.865	0.000 3 (***)
0.7	X_1	1.229	0.050	24.667	0.000 0 (***)
	X_6	0.296	0.057	5.217	0.000 0 (***)
0.8	X_1	1.225	0.037	33.604	0.000 0 (***)
	X_6	0.330	0.052	6.384	0.000 0 (***)
0.9	X_1	1.207	0.031	36.657	0.000 0 (***)
	X_6	0.386	0.0417	9.2570	0.000 0 (***)

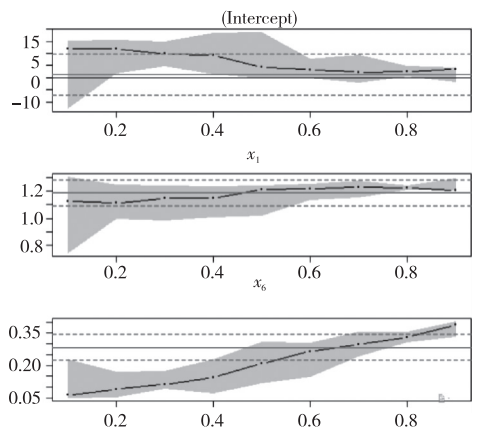


图 1 9 个分位点下系数的估计结果

Fig. 1 Estimation results of coefficients at 9 subsites

(1) 分位数回归与均值回归对比分析。通过对表 2 与表 3 发现,两个自变量的均值回归和中位数回归各项参数的估计值接近,但仍存在区别。在 τ 为 0.5 的条件下,自变量 X_1 分位数回归估计值大于均值回归估计值,均值回归直线和中位数直线并

不重合;当 τ 大于0.5时,自变量分位数回归估计值都大于均值回归估计值,这表明在高分位点上,对 X_1 进行估计时,使用分位数回归所得的估计值大于均值回归所得的估计值。从以上结果可以看出:相比均值回归,分位数回归可以观测到不同分位点上自变量对因变量的影响,分位数回归能更加有效、更加全面地揭示样本的信息。

(2) 不同自变量系数估计值的差异分析。在空气质量指数的某个具体分位数水平, $PM_{2.5}$ 和 O_3 对AQI的影响大小都不同。具体来说,在因变量 Y 的不同分位水平上, X_1 和 X_6 的系数都为正数,说明在空气质量的不同分位数水平, $PM_{2.5}$ 和 O_3 对空气质量的影响呈现正相关。从系数的大小来看, X_1 的系数大于 X_6 的系数,从变量的显著性来看, X_1 的系数全部在1%水平上显著, X_6 次之。说明 $PM_{2.5}$ 对空气质量指数的影响大于 O_3 对于空气质量指数的影响。

(3) 同一自变量在回归方程中系数估计值的变动分析。在空气质量指数的每个不同分位数水平, $PM_{2.5}$ 和 O_3 对空气质量的影响水平都是不同的。常数项始终为正,整体随着分位点增大而减小。 X_1 的系数始终为正,整体呈现上升趋势,从显著性上来看, X_1 在所有分位点上均为高度显著,这表明在 $PM_{2.5}$ 浓度高的地方, $PM_{2.5}$ 的增加对空气质量的影响更大,在 $PM_{2.5}$ 低的地方, $PM_{2.5}$ 的增加对空气质量的影响较小。究其原因,在 $PM_{2.5}$ 浓度高的地方,空气中的细颗粒物中富含大量有毒、有害物质并且可以在大气中长时间停留,其输送距离远、影响范围广,对人体和空气质量造成极大影响,在 $PM_{2.5}$ 浓度低的地方,空气中的细微颗粒悬浮量较少,附带的重金属、微生物等有毒有害物质较少,空气更洁净。由于城市化程度的不断提高,使得交通源、工业源、生活源以及城市扬尘等污染物的排放增加 $PM_{2.5}$ 的浓度,加剧大气污染,因此致力于控制各污染源对 $PM_{2.5}$ 的排放会使得空气质量得到极大的改善。 X_6 的系数为正且随着分位数的增大而增大,在高分位点要比低分位点显著,在 O_3 浓度高的地方, O_3 的增加对空气质量的影响更大;在 O_3 低的地方, O_3 的增加对空气质量的影响较小。究其原因,在 O_3 浓度高的地方,臭氧表现为一种对人体和动植物产生严

重危害的污染物,主要是因为其强氧化性和化学活性会使得臭氧与有机物和非有机物产生反应,严重刺激和损害人体深部呼吸道与中枢神经。在 O_3 浓度低的地方,臭氧具有不稳定性,易分解,有洁净空气的作用,经电离后的 O_3 具有一定的杀菌功能,低浓度的 O_3 在一定程度上对人体有好处。由于现代工业的飞速发展,发电厂、石化工业排放中氮氧化物会形成高浓度的臭氧,此时合理控制高浓度 O_3 的形成,对于缓解空气污染效果明显。

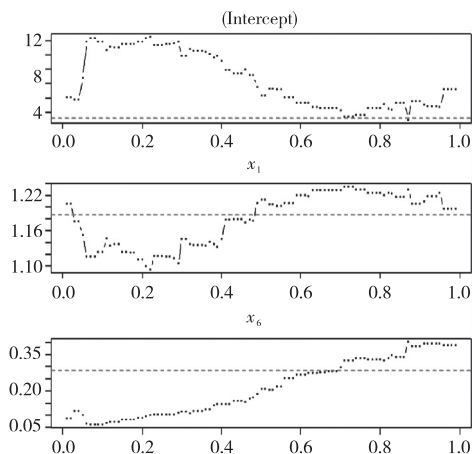


图2 99个分位点下系数的估计图

Fig. 2 Estimation results of coefficients at 99 subsites

进一步,为了更加精准地看到两个变量分位回归分布,因此绘出了99个分位点下系数的估计图。由图2可得到:在因变量 Y 的不同分位数水平下,自变量 X_1 和 X_6 的系数均为正值,说明空气质量指数与 $PM_{2.5}$ 和 O_3 变量之间呈现出正相关;随着因变量 Y 的分位数水平的逐步增加,自变量 X_1 和 X_6 的系数的点估计在变动,并且常数项始终为正,两个自变量在总体上呈现出随分位数的增大而增大的趋势。 X_1 的系数为正,随分位数的增大先缓慢减少再缓慢增加,在分位数为0.2右侧时下降达到最低,之后总体呈现出增加的趋势; X_6 的系数基本随着分位数的增大而增大。这也说明 O_3 、 $PM_{2.5}$ 在高分位点时对空气质量的影响较大,在低分位点较小。

3 结论与建议

通过3种方法对重庆市2014—2018年60个月的空气质量进行了分析,得到以下结论:

从月份上来看, $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 浓度整体呈现U形

变化,浓度在一月达到最高,普遍在六月达到最低,后又呈现出缓慢增长的趋势; NO_2 与 SO_2 的浓度呈现出周期性的缓慢降低再增加的趋势;反之, O_3 则呈现出倒U的趋势。从季节上看, $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 SO_2 、 CO 、 NO_2 、 O_3 在冬季污染较重,在春季污染相对较轻;然而, O_3 则恰恰相反,冬季浓度较低,春、夏、秋季节浓度较高,且夏季达到最高。从整体上看,重庆市空气质量在逐渐变好,空气质量等级为良的月份数呈现上升的趋势,这表明重庆市对于治理空气质量的环保意识得到提升,并作出一系列有成果的举措,使得良天数得到增加。

由多元线性回归得到结论: $\text{PM}_{2.5}$ 和 O_3 对空气质量影响显著。系数显示 O_3 、 $\text{PM}_{2.5}$ 对空气质量产生正向的影响,且利用最小二乘估计法进行估计得到 $\text{PM}_{2.5}$ 和 O_3 显著性非常强,剩下的4个变量的显著性几乎不存在,因此利用所有变量进行多元回归的效果是不好的。回归系数方程中除去第一个变量和第六个变量外,其他变量都没有通过显著性检验,因此考虑采用逐步回归的方法,在逐步剔除非显著变量后得到结论: $\text{PM}_{2.5}$ 和 O_3 是影响重庆市空气质量的主要原因。

由分位数回归得到结论: $\text{PM}_{2.5}$ 对空气质量指数的影响大于 O_3 对于空气质量指数的影响,故 $\text{PM}_{2.5}$ 对空气质量指数的影响最显著。 $\text{PM}_{2.5}$ 、 O_3 在高分位点时对空气质量的影响较大,在低分位点较小。

由以上的回归模型可以看出,对重庆市进行空气治理主要是控制重庆市 $\text{PM}_{2.5}$ 和 O_3 的浓度,给出以下建议:

重庆政府还需要投入更多的资金来加强对环境的保护,尤其是对于城市扬尘、工业排放的治理。要从根本上治理环境污染问题,一旦发现环境治理不合格的企业必须给予严惩,并对其进行政治教育防止再犯。除了严惩以外,政府还需要建立一套可行、有效的环境治理方案,加强对大气污染的监控,加强各类环境保护项目的管理等。重庆市在经济高速发展的同时,也应积极学习其他地区关于改善环境的优良措施,例如加强公共卫生的干预力度等。

人民大众增强自身的环保意识也非常重要,市政府要积极弘扬生态环保、建立生态环保的价值

观,让人们做到绿色出行,减少大功率电器的使用等,让工厂做到排放治理过的废气污水,让城市扬尘得到降尘。

参考文献(References):

- [1] 李静萍,周景博.工业化与城市化对中国城市空气质量影响路径差异的研究[J].统计研究,2017,34(4):50—58
LI J P, ZHOU J B. A Study on the Impact Paths of Industrialization and Urbanization on Urban Air Quality in China[J]. Statistical Research, 2017, 34(4): 50—58 (in Chinese)
- [2] 梁鑫,谢佳利,邵延会.国内主要城市空气质量统计分析[J].数理统计与管理,2009,28(3):550—554
LIANG X, XIE J L, SHAO Y H. The Statistical Analysis of Air Quality of Domestic Main Cities[J]. Application of Statistics and Management, 2009, 28(3): 550—554 (in Chinese)
- [3] 徐萌,张春鑫,徐林,等.毕节市区大气污染特征及影响因素分析[J].安全与环境工程,2018,25(5):64—71
XU M, ZHANG C X, XU L, et al. Pollution Characteristics and Influence Factors of Atmospheric Pollutants in Bijie City[J]. Safety and Environmental Engineering, 2018, 25(5): 64—71 (in Chinese)
- [4] 刘晓红.地方保护支出对大气污染治理的影响研究[J].价格理论与实践,2019(3):126—129
LIU X H. Study on the Impact of Environmental Protection Expenditure on Air Pollution Control[J]. Price: Theory & Practice, 2019(3): 126—129 (in Chinese)
- [5] 邢雅婷,王帅,赵玲.呼和浩特城区大气污染物浓度变化特征分析[J].环境化学,2019,38(5):1139—1149
XIN Y T, WANG S, ZHAO L. Variation Characteristics of Atmospheric Pollutants in the Urban Area of Hohhot[J]. Environmental Chemistry, 2019, 38(5): 1139—1149 (in Chinese)
- [6] 于英翠,李利敏,左亚杰,等.西安市大气污染物时空分布特征及其趋势评估[J].环境工程,2018,3(10):165—169
YU Y C, LI L M, ZUO Y J, et al. Temporal and Spatial Distribution and Pollution Tendency Assessment of Atmospheric Pollutant in Xi'an City[J]. Environmental Engineering, 2018, 3(10): 165—169 (in Chinese)

- [7] 王芳龙,李忠勤,尤晓妮,等. 2015—2017年天水市大气污染物变化特征及来源分析[J]. 环境科学学报, 2018,38(12):4592—4604
WANG F L, LI Z Q, YOU X N, et al. Variation Characteristics and Source Analysis of Atmospheric Pollutants in Tianshui from 2015 to 2017 [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2018, 38(12):4592—4604 (in Chinese)
- [8] 陈攀秋,王建力,杨平恒. 2014年重庆市大气污染物浓度变化特征及其与气象条件的关系[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2016,38(10):147—153
CHEN Z Q, WANG J L, YANG P H. Variation Characteristics of Atmospheric Pollutants Concentration in the Urban Area of Chongqing in 2014 and The Relationship with Meteorological Conditions [J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2016, 38(10):147—153 (in Chinese)
- [9] 贾斌. 重庆市垫江县大气污染物浓度变化特征[J]. 环境与健康杂志, 2017,34(5):451—455
JIA B. Variation Characteristics of Air Pollutant in Dianjiang County, Chongqing [J]. Journal of Environment and Health, 2017, 34(5):451—455 (in Chinese)
- [10] 尹杰,刘春霞,李月臣,等. 重庆市主城区冬季PM_{2.5}空间分布模拟[J]. 环境污染与防治, 2018, 40(12):1352—1358
YI J, LIU C X, LI Y C, et al. Simulation of PM_{2.5} Spatial Distribution in Winter in the main Urban Area of Chongqing [J]. Environmental Pollution & Control, 2018, 40(12):1352—1358 (in Chinese)
- [11] 刘成伦,杜嫻. 重庆市机动车尾气对大气环境的影响分析及减缓措施[J]. 环境污染与预防, 2005(7):54—57
LIU C L, DU X. Effect of Vehicle Gas on Air Pollution and Its Abatement Measures in Chongqing [J]. Environmental Pollution & Control, 2005(7):54—57 (in Chinese)

Analysis of Air Pollutants Distribution Characteristics and Influencing Factors in Chongqing

LIN Jing-yi, YANG Yi-ping

(School of Mathematics and Statistics, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China)

Abstract: Based on the monthly average data of PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂, CO, NO₂, O₃ and AQI (air quality index) in Chongqing from 2014 to 2018, this paper used descriptive analysis to analyze the characteristics of monthly, quarterly and annual change in pollutants, then, according to the data of seven variables collected, used multiple regression analysis to establish the regression equation between AQI and the six pollutants, and used quantile regression to analyze variation of main pollution sources at each quantile.

Key words: AQI; multiple regression analysis; quantile regression

责任编辑:李翠薇

引用本文/Cite this paper:

林静怡,杨宜平. 重庆市大气污染物分布特征及影响因素分析[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2020,37(5):88—93
LIN J Y, YANG Y P. Analysis of Air Pollutants Distribution Characteristics and Influencing Factors in Chongqing [J]. Journal of Chongqing Technology and Business University (Natural Science Edition), 2020, 37(5):88—93