

2014—2016年荆州城区空气质量与气象要素的关系分析

邓艳君^{1,2} 赵卓勋¹ 李玲³ 张伦瑾¹

(1荆州市气象局, 荆州 434020; 2 江汉平原生态气象遥感监测技术协同创新中心, 荆州 434025;

3 荆州市环境保护监测站, 荆州 434000)

摘要: 利用2014年1月1日—2016年12月31日荆州城区逐日空气质量数据和同期地面气象要素逐日观测资料, 分析了荆州城区空气质量状况、变化特征及其与气象要素的相关性。结果表明, 荆州城区优良日数偏少, 但2014—2016年荆州城区空气质量略有改善, 首要污染物为PM_{2.5}; AQI和PM₁₀、PM_{2.5}、SO₂、NO₂、CO的月变化规律一致, 呈V型分布, 冬季空气污染最严重, 夏季空气污染相对较轻, O₃的变化规律则相反, 呈反V型分布; 除O₃外, AQI和其他污染物浓度与前一日AQI、气压呈正相关关系, 与气温、水汽压、湿度、云量、降水、风速呈负相关关系, 据此建立了AQI和各污染物浓度的回归预报方程; 进一步分析了2014年1月严重污染天气的成因, 本地污染物的分布、外地污染物的输入和气象扩散条件是影响空气质量的主要因素。

关键词: AQI, 污染物浓度, 气象要素, 相关分析, 回归方程

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2018.05.010

Correlation Analysis of the Air Quality and the Meteorological Elements in Jingzhou from 2014—2016

Deng Yanjun^{1,2}, Zhao Zhuoxun¹, Li Ling³, Zhang Lunjin¹

(1 Jingzhou Meteorological Bureau, Jingzhou 434020 2 Collaborative Innovation Center of Remote Sensing Technology in Ecological and Meteorological Monitoring in the Jiangnan Plain, Jingzhou 434025

3 Jingzhou Environment Protection Monitoring Station, Jingzhou 434000)

Abstract: The daily air quality data in Jingzhou city from January 1, 2014 - December 31, 2016 and the daily observation data of ground meteorological elements in the same period were used to analyze the air quality status, variation characteristics and the correlation-ships with meteorological elements in Jingzhou. The results show that the air quality in Jingzhou was slightly improved during the period from 2014 to 2016 and less pollution occurred on fine days. The primary pollutant was PM_{2.5}. The monthly AQI, PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂, NO₂, and CO has a 'V' shape variation, while O₃ reverses. The air pollution was the most serious in winter and relatively light in summer. The AQI and the concentration of pollutants except O₃ are positively related to the AQI and air pressure on previous day, and are negatively related to the temperature, aqueous vapor pressure, humidity, cloud amount, precipitation and wind speed. The regressive prediction models of AQI and the concentration of pollutants are established based on the analysis. The cause of a serious weather pollution case in January 2014 is further analyzed: the distribution of local pollutants, the importing pollutants and the meteorological diffusion condition are the main factors affecting the air quality in that month.

Keywords: AQI, pollutant concentration, meteorological element, correlation analysis, regression model

0 引言

随着城市社会经济快速发展, 荆州的工业化、城镇化水平不断提高, 城市空气污染日趋严重, 空气污染、雾霾天气时有发生。近年来, 人们生活水平提高, 人们对生活环境质量的要求也越来越高, 控制

空气污染、改善空气质量的需求越发强烈, 因此对城市空气质量进行全面、客观的认识和评价, 根据本地实际情况准确预测空气污染气象扩散条件, 为环境管理提供决策依据, 预防严重污染事件的发生具有重要意义。

目前, 国内学者对空气质量、大气污染物的时空分布特征、空气污染与气象要素的关系、污染天气空气质量的预报等方面做了大量研究。例如, 建立了城市空气污染数值预报系统(CAPPS)^[1-2], 北京^[3]、广

收稿日期: 2018年5月30日; 修回日期: 2018年7月27日
第一作者: 邓艳君(1988—), Email: 570517642@qq.com
资助信息: 荆州市气象局科技基金支持课题(JZ201705)

州^[4]、上海、沈阳等城市开展了城市空气污染浓度的预报,建立了城市空气污染数值预报模式和统计模式,很多学者^[5-9]分析了空气污染与气象要素的相关关系。

2012年上半年,国家规定采用空气质量指数(Air Quality Index, AQI)替代原有的空气污染指数(Air Pollution Index, API)。AQI分级参考新的环境空气质量标准(GB—3095—2012),参与评价的污染物包括二氧化硫(SO₂)、二氧化氮(NO₂)、可吸入颗粒物(PM₁₀)、细颗粒物(PM_{2.5})、臭氧(O₃)和一氧化碳(CO),因此AQI较API监测的污染物指标更多,评价结果更客观。荆州市环保局从2013年8月开始启用新的环境监测设备,市委党校环境监测站从2014年1月1日开始以AQI代替API。本文利用2014—2016年市委党校环境监测站逐日空气质量监测资料,分析荆州城区空气质量AQI及主要污染物的现状和变化特征,进一步讨论空气质量与气象要素之间的关系,以期对荆州城区空气质量预报提供参考。

1 资料与方法

1.1 研究资料

荆州城区2014年1月1日—2016年12月31日空气质量数据来源于荆州市环保局市委党校站常规监测项目日均值数据,包括逐日空气质量指数AQI,细颗粒物(PM_{2.5})、可吸入颗粒物(PM₁₀)、二氧化硫、二氧化氮、臭氧、一氧化碳等6种主要污染物浓度,首要污染物,空气质量类别,以及空气质量等级等数据。同期气象资料来源于湖北省荆州区国家基本气象站日值数据,包括逐日气压(平均、最高、最低)、气温(平均、最高、最低)、平均水汽压、相对湿度(平均、最小)、降水量、平均总云量、平均低云量、平均风速、风向风速(最大、极大)等气象要素。

1.2 研究方法

Pearson相关系数是反映变量之间相关关系密切程度的统计指标,通过两个离差乘积反映两个变量之间的相关程度,着重研究线性的单相关系数。本文利用统计学中常用的Pearson相关系数来衡量AQI、各污染物浓度和气象要素的相关关系。在相关分析的基础上,选取相关性较高的气象要素作为预报因子组,并排除气象要素间的自相关性,分别建立AQI和污染物浓度的线性回归预报方程。

2 结果分析

2.1 空气质量变化特征

2.1.1 空气质量现状

2014年1月—2016年12月荆州城区出现频率最高

的空气质量等级是二级良(图1),占总日数的51%;其次是三级轻度污染,占总日数的28%;中度污染日数占8%,优等级的日数占7%,重度污染日数占5%,严重污染出现的频率最低,仅占1%。

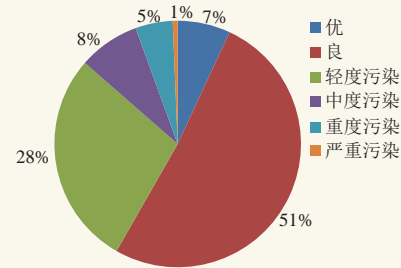


图1 2014年1月—2016年12月荆州城区不同等级空气质量百分比

Fig. 1 Percentage of air quality grades in Jingzhou during the period from January 2014 to December 2016

2014—2016年,荆州城区不同等级空气质量日数(表1)可以看出,这3年间荆州城区空气质量呈上升趋势,优良日数增多,轻度污染以上的污染日数减少,2014年污染日数为175 d,2015和2016年分别为138和139 d,其中重度污染和严重污染日数显著减少,2015和2016年没有出现严重污染。

表1 2014—2016年荆州城区不同等级空气质量日数(单位:d)
Table 1 Days of various air quality grades in Jingzhou from 2014 to 2016

年份	I	II	III	IV	V	VI	污染日数
2014	18	161	106	30	32	7	175
2015	24	203	90	35	13	0	138
2016	33	192	109	22	8	0	139

2014—2016年,荆州城区首要污染物出现频率最高的是PM_{2.5}(表2),共出现565 d,这3年间PM_{2.5}出现频率显著下降;其次是臭氧,出现242 d,2014—2016年首要污染物为臭氧的日数显著增加,2014年仅37 d,2016年增加到130 d,主要出现在4—10月;首要污染物为PM₁₀的天数为208 d,2014—2016年略微下降;首要污染物为NO₂的天数仅在2015年出现5 d,2016年出现4 d,首要污染物中没有SO₂和CO。

表2 2014—2016年首要污染物出现日数(单位:d)
Table 2 Days of primary pollutants occurred in Jingzhou from 2014 to 2016.

年份	NO ₂	O ₃	PM ₁₀	PM _{2.5}
2014	0	37	82	224
2015	5	75	55	212
2016	4	130	71	129
合计	9	242	208	565

2.1.2 空气质量和污染物的月变化

由AQI和6种污染物浓度月变化(图2)可知,

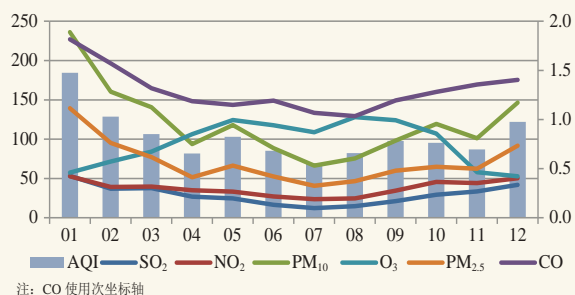


图2 2014—2016年荆州城区AQI和污染物浓度月变化
Fig. 2 Monthly variation of AQI and pollutant concentration in Jingzhou from 2014 to 2016

PM₁₀、PM_{2.5}和AQI的变化规律一致，呈V型分布，高值区在12—3月，其中峰值出现在1月，1月为全年空气质量最差的月份，AQI为128.6，PM₁₀高达236.2、PM_{2.5}为139.4，2月、12月PM₁₀、PM_{2.5}和AQI出现第二和第三高值；低值区出现在7—8月，7月出现最低值，7月为全年空气质量最好的月份，AQI为69.4，PM₁₀为66.4、PM_{2.5}为40.7，5月、9—10月出现阶段性的峰值。SO₂和NO₂的变化规律比较一致，1—3月两者浓度比较接近，4—12月NO₂浓度均高于SO₂，NO₂浓度高值出现在10—1月，低值出现在6—8月，SO₂高值出现在12—3月，低值出现在6—8月。CO浓度值域范围较小，在1.03~1.82，7—8月出现低值，浓度为1.03~1.07，1—2月出现高值，浓度为1.57~1.82。O₃

的变化规律与AQI和其他5种污染物的变化规律相反，呈反V型分布，低值区在11—1月，高值区在8—9月。

2.2 气象条件对空气质量的影响

2.2.1 AQI、污染物浓度与气象要素相关性

首先初选具有明确物理意义的常规地面观测资料：当日（日平均、日最高、日最低）气压、气压日较差、当日（日平均、日最高、日最低）气温、气温日较差、日平均水汽压、日平均和日最小相对湿度、当日日平均总云量和低云量、当日日降水量、当日（日平均、日最大、日极大）风速、日日照时数，以及前一日AQI共19个因子，利用Pearson相关系数分析AQI和6种污染物浓度与气象要素的相关性。

由表3可知，AQI和6种污染物浓度与19种初选因子的相关分析，除AQI与日日照时数、NO₂与日日照时数、O₃与日极大风速、CO与日最小相对湿度没通过显著性检验，PM₁₀与日日照时数、O₃与日最大风速只通过 $\alpha=0.05$ 水平的显著性检验外，其他均通过了 $\alpha=0.01$ 水平的显著性检验。

AQI及各污染物浓度，除O₃外，与前一日AQI呈正相关关系，AQI与前一日AQI相关系数高达0.73，说明空气质量具有延续性，受前期空气质量影响作用较大，空气质量有一个由好变差的污染物累积过程，也有一个由差转好的污染物稀释过程。

表3 2014—2016年荆州城区AQI及6种污染物浓度与气象要素的相关系数

Table 3 Correlation coefficient between AQI, concentrations of 6 pollutants and meteorological elements in Jingzhou from 2014 to 2016

初选因子	AQI	SO ₂	NO ₂	PM ₁₀	CO	O ₃	PM _{2.5}
前一日AQI	0.730**	0.372**	0.352**	0.716**	0.531**	-0.087**	0.741**
日平均气压	0.267**	0.532**	0.475**	0.338**	0.234**	-0.466**	0.333**
日最高气压	0.269**	0.543**	0.477**	0.344**	0.241**	-0.468**	0.335**
日最低气压	0.269**	0.530**	0.489**	0.335**	0.239**	-0.466**	0.336**
气压日较差	0.093**	0.243**	0.106**	0.155**	0.094**	-0.170**	0.111**
日平均气温	-0.304**	-0.524**	-0.431**	-0.377**	-0.349**	0.628**	-0.398**
日最高气温	-0.252**	-0.425**	-0.340**	-0.322**	-0.305**	0.701**	-0.355**
日最低气温	-0.333**	-0.596**	-0.493**	-0.404**	-0.366**	0.535**	-0.413**
气温日较差	0.157**	0.346**	0.317**	0.150**	0.103**	0.498**	0.085**
日平均水汽压	-0.332**	-0.578**	-0.493**	-0.407**	-0.319**	0.477**	-0.396**
日平均相对湿度	-0.188**	-0.331**	-0.217**	-0.203**	0.090**	-0.339**	-0.102**
日最小相对湿度	-0.232**	-0.454**	-0.396**	-0.252**	-0.019	-0.444**	-0.146**
日平均总云量	-0.101**	-0.249**	-0.216**	-0.080**	-0.075*	-0.354**	-0.041
日平均低云量	-0.316**	-0.368**	-0.333**	-0.326**	-0.195**	-0.156**	-0.300**
日降水量	-0.218**	-0.269**	-0.239**	-0.210**	-0.124**	-0.135**	-0.189**
日平均风速	-0.202**	-0.372**	-0.554**	-0.221**	-0.215**	-0.127**	-0.195**
日最大风速	-0.236**	-0.327**	-0.522**	-0.236**	-0.261**	-0.061*	-0.241**
日极大风速	-0.254**	-0.342**	-0.508**	-0.259**	-0.277**	-0.040	-0.266**
日日照时数	-0.0208	0.096**	0.0554	-0.078*	-0.095**	0.565**	-0.127**

注：*为通过了 $\alpha=0.05$ 水平的显著性检验；**为通过了 $\alpha=0.01$ 水平的显著性检验。

AQI及各污染物浓度,除O₃外,均与气压呈正相关关系,综合比较,日最高气压相关系数具有微弱优势。气压对AQI和5种污染物浓度有负作用,气压越高越不利于空气质量的提高和污染物浓度的下降,反之,气压越低,空气质量越好,污染物浓度越低,这是由于低压系统控制下,底层空气辐合上升,近地面的污染物随空气上升到高空,有利于近地面污染物的稀释和扩散;当高压系统控制时大气稳定,不利于污染物向高空扩散,滞留在近地面层,导致空气质量变差,污染物浓度升高^[8]。

AQI及各污染物浓度,除O₃外,均与气温呈负相关关系;但AQI和6种污染物浓度均与气温日较差呈正相关关系;AQI及各污染物浓度与(日平均、日最高、日最低)气温的相关系数明显大于气温日较差,O₃与日最高气温相关性最好,AQI及其他污染物浓度均与日最低气温的相关性最好。气温对空气质量有正作用,气温越高,空气质量越好,这是由于近地面气温较高时大气垂直对流作用加强,越有利于污染物向上输送,污染物浓度越低,空气质量就越好;当气温低时,情况则相反^[10]。

水汽压和相对湿度是表征空气湿度的两个物理量。AQI及各污染物浓度,除O₃外,均与日平均水汽压呈负相关关系。AQI及各污染物浓度,除CO外,均与日平均相对湿度呈负相关关系,CO与湿度的相关性较差,AQI及其他5种污染物浓度,与日最小相对湿度的相关性要优于日平均相对湿度。

AQI及各污染物浓度,与云量呈负相关关系,云量越多,空气质量越好,除O₃外,AQI及各污染物浓度与日平均低云量的相关性要优于日平均总云量。

AQI及各污染物浓度与日降水量均呈负相关关

系。分析其原因,降水对污染物具有清除作用,降水可以溶解或与有些污染物起化学反应,降水还可以把颗粒物带到地面。通常,雨滴可兼并粒径大于2 μm的气溶胶粒子,降雨对各污染物的影响不一,对PM₁₀的影响最大,SO₂次之,NO₂最小^[11]。

AQI及各污染物浓度,除O₃外,与风速均呈负相关关系,O₃与风速的相关性较差,AQI、PM₁₀、CO、PM_{2.5}与日极大风速的相关性最好,SO₂和NO₂与日平均风速的相关性最好。分析原因,风速越大,大气扩散条件越好,污染物扩散能力越强,空气质量越好;相反,风速小,大气扩散能力差,容易造成污染物的堆积,污染物浓度升高,空气质量就差。

O₃与日照时数的相关性较好,AQI及其他5种各污染物浓度与日照时数的相关性均较差。

O₃与AQI和其他5种污染物浓度的特征不一致,O₃与气温、日照时数、水汽压有显著的正相关关系,与气压、相对湿度有明显的负相关关系,与日降水、风速的关系不大,主要是由于形成原因不同,O₃主要与大气光化学反应有关,在太阳辐射强,日照时间长,云量少,高温低湿条件时,O₃浓度升高。

2.2.2 建立 AQI 和污染物浓度的回归预报方程

根据上述分析,从预选因子组中选择前一日AQI、气压、气温、水汽压、云量、降水量、风速、日照时数等8类因子作为备选因子,根据相关系数大小,并排除气象要素间的自相关性,分别建立AQI和污染物浓度的线性回归预报方程(表4)。从表4可以看出,各回归方程显著,除CO回归方程复相关系数略低,其他方程的复相关系数均大于0.73,方程均通过显著性检验,可以认为选出的气象因子对AQI及各污染物的影响显著,该方程组的结论值得参考。

表4 AQI及6种污染物浓度的回归预报方程

Table 4 Regressive prediction model for AQI and concentrations of 6 pollutants

预报值	回归方程	复相关系数
AQI	$790.76 + 0.67X_1 - 0.7X_{2b} - 1.02X_{3a} - 0.26X_4 - 1.63X_{5a} - 0.48X_6 - 3.1X_{7b}$	0.773
SO ₂	$128.16 + 0.06X_1 - 0.07X_{2b} - 0.84X_{3a} - 0.38X_4 - 1.01X_{5a} - 0.16X_6 - 6.5X_{7a}$	0.734
NO ₂	$-35.92 + 0.05X_1 + 0.1X_{2a} + 0.13X_{3a} - 0.79X_4 - 0.48X_{5a} - 0.05X_6 - 8.99X_{7a}$	0.766
PM ₁₀	$737.05 + 0.88X_1 - 0.63X_{2b} - 1.02X_{3a} - 1.16X_4 - 2.42X_{5a} - 0.52X_6 - 4.94X_{7b}$	0.776
CO	$18.71 + 0.004X_1 - 0.017X_{2b} - 0.039X_{3a} + 0.1X_4 - 0.004X_{5a} - 0.002X_6 - 0.033X_{7b}$	0.641
O ₃	$-151.01 + 0.06X_1 + 0.14X_{2b} + 6.31X_{3b} - 3.39X_4 + 1.75X_{5b} + 0.08X_6 - 2.51X_{7a} + 2.77X_8$	0.8
PM _{2.5}	$564.95 + 0.54X_1 - 0.5X_{2a} - 1.73X_{3a} + 0.36X_4 - 1.09X_{5a} - 0.27X_6 - 2.95X_{7b}$	0.796

注: X₁为前一日AQI; X_{2a}为日最低气温; X_{2b}为日最高气温; X_{3a}为日最低气温; X_{3b}为日最高气温; X₄为日平均水汽压; X_{5a}为日平均低云量; X_{5b}为日平均总云量; X₆为日降水量; X_{7a}为日平均风速; X_{7b}为日极大风速; X₈为日照时数。

2.2.3 验证 AQI 回归预报方程

利用2017年逐日地面气象要素观测资料计算AQI,得到空气质量等级,以此来验证AQI回归预报方程的精度(表5),可以看出AQI预报方程准确预报

空气质量等级占72%,偏大一个等级占16.9%,偏大两个等级占0.3%,偏小一个等级占9.2%,偏小2个等级占1.6%,在实际业务中,可以为空气污染气象扩散条件预报提供参考。

表5 AQI回归预报方程验证误差(单位:%)
Table 5 The hit rate (%) by the regressive prediction model for AQI

偏大2	偏大1	正确	偏小1	偏小2
0.3	16.9	72	9.2	1.6

3 典型污染天气过程成因分析

2015和2016年没有出现严重污染日,2014年出现7 d严重污染,1月严重污染日数达到6 d,5月19日出现严重污染。2014年1月除去15日没有资料,出现严重污染日数6 d,分别出现在7日、14日、17日、27日、28日、31日,重度污染日数16 d,中度污染日数5 d,轻度污染日数3 d,没有空气质量优良的天数。本文对2014年1月空气污染成因进行分析。

2014年1月荆州站气温异常偏高,冷空气活动弱,月平均气温排历史第二位;降水偏少,雨日数偏少,只有三次弱降水天气过程;日照时数异常偏多。图3为2014年1月AQI、回归方程计算AQI与同期气象要素的变化图(其中最高气压=日最高气压-1010 hPa),可以看出模型计算的AQI一定程度上能够反映实际AQI的变化规律,但是时间上有滞后,并且模型计算的AQI峰值要小于实际AQI。影响2014年1月空气污染过程的主要气象因子为降水、风速、风向。6—7日受弱冷空气影响、北风加大,北方污染物在本地迅速累积,空气质量变差,8日风力加大,气象扩散条件较好,加上7日雨水冲刷作用,空气质量有一定改善,10—11日降水过程结束后,空气质量进一步提高,14—19日天气晴好,风速较小,大气静稳,气象扩散条件较差,空气污染比较严重,22—24日风力加大,且吹南风,空气质量得到一定改善,此后空气质量维持在较差水平,28—29日出现降水后,空气质量略有改善,但仍处于严重污染。

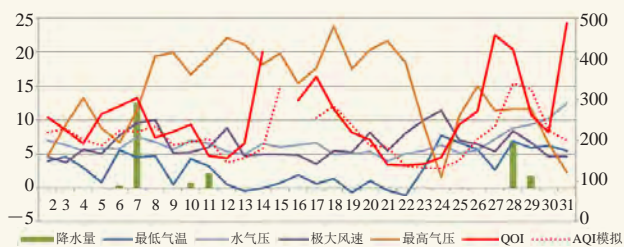


图3 2014年1月AQI与同期气象要素变化(AQI使用次坐标轴)
Fig. 3 Variations of AQI and meteorological elements in January 2014

4 结果与讨论

1) 荆州城区空气质量较差,优良日数偏少,但2014—2016年空气质量略有改善,冬季空气污染最严

重,夏季空气污染相对较轻。影响荆州城区空气质量的主要污染物是PM_{2.5},2016年下降较明显,其次是O₃,2014—2016年增长很快,到2016年增长到130 d,与首要污染物为PM_{2.5}的天数129 d持平,O₃和PM_{2.5}为2016年最主要的污染物。

2) AQI和PM₁₀、PM_{2.5}、SO₂、NO₂、CO的变化规律一致,呈V型分布,高值区在冬季,低值区在夏季;O₃的变化规律与AQI和其他5种污染物的变化规律相反,呈反V型分布,低值区在11—1月,高值区在8—9月。

3) AQI、PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂、CO与前一日AQI、气压呈正相关关系,与气温、水汽压、湿度、云量、降水、风速呈负相关关系。O₃与AQI和其他5种污染物浓度的特征不一致,O₃与气温、日照时数、水汽压有显著的正相关关系,与气压、相对湿度有明显的负相关关系,与日降水、风速的关系不大。

4) 建立了AQI和各污染物浓度的回归预报方程,方程组复相关系数较高,精度较好,回归系数均通过显著性检验,方程组的结论值得参考,利用2017年地面气象要素观测资料和AQI验证了AQI预报方程的误差,可以为空气污染气象扩散条件预报提供参考。

5) 影响空气质量的因素很多,主要有本地污染源的分布和强度、外地污染物输入和气象扩散条件等,多种因素共同导致了2014年1月的重污染过程。

参考文献

- 朱蓉. 中国气象科学研究院开发的污染预报CAPPS模式已推广到各重点城市及国家气象中心业务(试)运行. 应用气象学报, 2001, 12(3): 367-367.
- 朱蓉, 徐大海, 孟燕君, 等. 城市空气污染数值预报系统CAPPS及其应用. 应用气象学报, 2001, 12(3): 267-278.
- 王迎春, 孟燕军, 赵习方. 北京市空气污染业务预报方法. 气象科技, 2001, 29(1): 42-46.
- 纪忠萍, 罗森波, 邝建新, 等. 广州市空气污染的变化特征及预报. 热带气象学报, 2006, 22(6): 574-581.
- 严晓瑜, 蔡晓辉, 刘玉兰, 等. 银川市大气污染物浓度变化特征及其与气象条件的关系. 气象与环境学报, 2015, 31(2): 21-30.
- 白雪, 张翠艳, 纪源, 等. 锦州市空气质量变化特征及其与气象条件关系. 气象与环境学报, 2016, 32(2): 52-58.
- 黄菊梅, 周慧, 张驰成, 等. 岳阳城区空气污染的变化特征及气象影响因素. 气象科技, 2015, 43(5): 932-938.
- 郑美秀, 周学鸣. 厦门空气污染指数与地面气象要素的关系分析. 气象与环境学报, 2010, 26(3): 53-57.
- 郭勇涛, 余峰, 王式功, 等. 兰州市空气质量状况及与常规气象条件的关系. 干旱区资源与环境, 2011, 25(11): 100-105.
- 林俊, 刘卫, 李燕, 等. 大气气溶胶粒径分布特征与气象条件的关系分析. 气象与环境学报, 2009, 25(1): 1-5.
- 唐永顺. 应用气候学. 北京: 科学出版社, 2004.