

北京市海淀区PM₁₀污染特征及其与气象要素的关系

严敏¹ 马姗姗² 冯贵宾¹ 闫巍² 贾志强³ 高猛² 王健²

(1 北京市海淀区气象局, 北京 100080; 2 北京市延庆县气象局, 北京 102100; 3 北京市大兴区气象局, 北京 102600)

摘要: 通过对2006年1月—2009年12月北京市环境保护局海淀区三个子站的空气质量资料和相对应的三个气象站的气象资料分析发现, 海淀区香山、北部新区、万柳三个站的PM₁₀浓度达到空气质量二级以上(不含二级)的天数占全年的30%, 且浓度超标日数春季>冬季>秋季>夏季, 其中以北部新区空气质量二级以上天数最多, 高达125天。PM₁₀浓度峰值主要出现在上午10时和傍晚19时附近。总体上, 各年空气质量二级以上天数以2006年最多, 2009年最少。通过对PM₁₀的浓度与气象要素做相关分析, 发现PM₁₀的浓度随温度、风速、气压、降水量的增高而降低, 随相对湿度的升高而升高, 风向影响较为复杂。

关键词: 大气污染, PM₁₀, 气象要素

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2014.05.007

Research on Characteristics of PM₁₀ Air Pollution and the Relationship Between PM₁₀ and Meteorological Elements in Haidian District, Beijing City

Yan Min¹, Ma Shanshan², Feng Guibin¹, Yan Wei², Jia Zhiqiang³, Gao Meng², Wang Jian²

(1 Haidian Meteorological Service of Beijing City, Beijing 100080 2 Yanqing Meteorological Service of Beijing City, Beijing 102100 3 Daxing Meteorological Service of Beijing City, Beijing 102600)

Abstract: The air quality data and meteorological observational data of the three weather stations of Beijing Municipal Environmental Protection Bureau in Haidian district from Jan 2006 to Dec 2009 were analyzed. The results show that the major air pollution was PM₁₀ and it occurred all over the year. The number of days whose air quality was above Class II standard of air quality (not including Class II standard) was about 30% of the year and it was the minimum in 2006 while it was the maximum in 2009. In terms of the season, the pollution occurred following a spring>winter>autumn>summer order. The period reaching the peak concentration of PM₁₀ was between 10 am and 19 pm. The concentration of PM₁₀ decreased with an increase of the temperature, wind speed, air pressure and precipitation, and increased with an increase in the relative humidity while the influence of the wind direction was complex. Meanwhile, the correlation analysis between concentration of PM₁₀ and the meteorological elements was discussed in this paper, which provided a comprehensive evaluation of air quality of the three weather stations in Haidian district and furnished a basis for the research and control of air pollutants in future.

Keywords: air pollution, PM₁₀, meteorological elements

1 引言

20世纪90年代以来, 伴随着城市化进程的加快, 大气环境污染事件明显增多, 对经济社会发展的影响日益加剧^[1]。污染不仅对人体造成巨大伤害, 也影响生产活动、生活活动和城市景观。目前, 空气污染受到各界的普遍关注, 如何兼顾环境与发展已成为重大

问题^[2]。

2012年之前, 北京市的主要污染物包括PM₁₀、SO₂和NO₂, 首要污染物是PM₁₀。已有许多研究对北京市污染物的污染特征进行了分析, 例如, 有关北京近郊区PM₁₀大于等于四级污染日的年、季及随不同天气类型的变化特征、浓度水平和地域分布特征^[2-3], 北京地区污染的气象条件^[4], 北京市城市大气污染物PM₁₀的污染特征^[5], 北京地区污染物浓度与天气形势或气象要素的关系^[6-11], 等等。一些研究^[2, 6]认为污染物浓度由排放源和天气过程共同决定, 当污染源相对固定

收稿日期: 2013年7月23日; 修回日期: 2013年12月16日
第一作者: 严敏(1961—), Email: 1054104457@qq.com
资助信息: 北京市气象局气象科技研发专项(2010BMBKYZX10)

时, 重污染事件的原因则主要归于天气条件^[3, 12]。

在以上研究中, 由于城市边界层大气污染观测资料时间序列较短, 因此在城市大气污染年、季、月、天的特征分析及其影响因子的研究方面不够充分, 也很难具备代表性。本文利用北京市海淀区环境保护局三个子站2006—2009年长达4年的污染资料, 结合海淀区气象局相应站点与时段的地面站气象资料, 从不同角度对PM₁₀的时空变化特征及其气象影响因子进行了全面系统的分析和研究。本研究一方面对海淀区三站的空气质量情况进行了综合评价, 另一方面也为大气污染物的研究与治理提供了依据, 从而可为大气环境规划、管理、污染防治及城市工业布局、合理的能源政策制定提供参考依据。

2 资料与方法

2.1 空气质量数据与气象资料来源

2006—2009年的空气质量实时监控数据来自于北京市海淀区的空气质量自动监测站(包括香山、北部新区、万柳三个子站的数据)(图1), 监测的项目为大气主要污染物PM₁₀, 其浓度资料取前一天12时至当天12时共24h的平均值, 表示当天的污染物日均浓度, 其中2006—2008年的数据为逐日数据, 2009年数据为逐时数据。地面气象数据来自于2006—2009年地面观测站海淀本站、稻香湖站和香山站, 气象要素包括平均气温、相对湿度、风向、风速、气压和降水量。

2.2 空气污染指数

空气污染指数(API)可用来反映和评价空气质量。该指数分为5级: API≤50, 为I级, 空气质量优; 50<API≤100, 为II级, 空气质量良; 100<API≤200, 为III级, 空气质量为轻度污染; 200<API≤300, 为IV

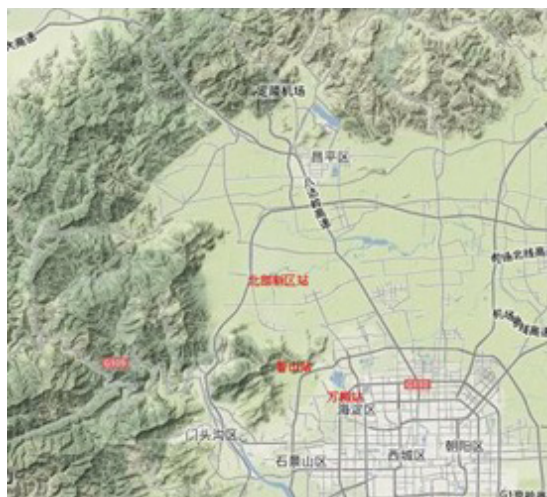


图1 海淀区周边地形示意

级, 空气质量为中度污染; API>300, 为V级, 空气质量为重度污染, 其中达到三级及三级以上污染指数会对人体或环境产生危害^[5]。PM₁₀浓度与污染指数的对应关系见表1。

2.3 方法

本文将统计出主要大气污染物PM₁₀的年、季(3—5月为春季, 6—8月为夏季, 9—11月为秋季, 12月—次年2月为冬季)、月、日(前一日12时—当日12时)的序列图, 对其进行趋势和特征分析, 分析相应的气象要素, 并进行相关分析, 对产生污染的原因进行探索。

3 结果

3.1 不同时间尺度 PM₁₀ 的变化特征分析

3.1.1 年变化特征

2006—2009年海淀区三站(香山站、北部新区站和万柳站)在4年中的PM₁₀的平均状况为: PM₁₀浓度达到空气质量一级天数为60d, 占全年的16.5%; 二级天数为195d, 占全年的53.4%; 三级天数为99d, 占全年的27.1%; 四级天数为6d, 占全年的1.6%; 五级天数为5d, 占全年的1.4%; PM₁₀超标日数(包括三级、四级和五级)占全年的30%。

分析三站2006—2009年PM₁₀浓度达到空气质量五级的平均天数, 发现以万柳站最多, 北部新区站最少, 分别为6d和4d; 四级天数以万柳站最多, 香山站最少, 分别为7d和5d; 三级天数以北部新区站最多, 香山站最少, 分别为115d和81d; 二级天数以万柳站最多, 香山站最少; 一级天数以香山站最多, 万柳站最少。空气质量二级以上天数从多到少为北部新区站>万柳站>香山站, 即空气质量超标日数以北部新区最多, 而空气污染程度以万柳站最重, 中度和重度污染都集中在万柳站。从各年分布来看, 2006—2009年, PM₁₀浓度达到空气质量二级以上天数总体呈逐年递减的趋势, 但三个站的变化趋势各有不同(图2)。

3.1.2 季节变化特征

2006—2009年, 三站各季节PM₁₀浓度达到空气质量二级以上的平均天数呈现出春季>冬季>秋季>

表1 污染指数分级限值

污染指数 (API)	PM ₁₀ 浓度 (μg·m ⁻³)
500	600
400	500
300	420
200	350
100	150
50	50

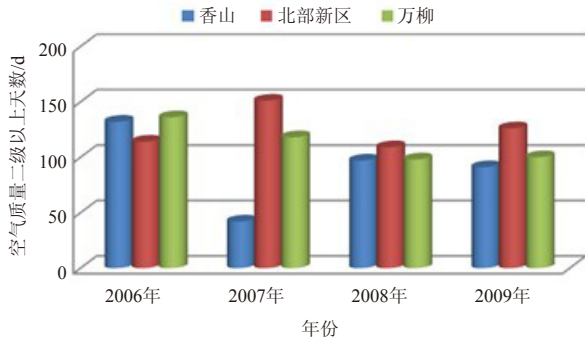


图2 2006—2009年三站PM₁₀浓度达到空气质量二级以上的天数分布

夏季的趋势，所占比例分别为31.8%、29.8%、23.4%和14.6%。万柳和北部新区呈冬季>春季>秋季>夏季，香山地区呈春季>秋季>冬季>夏季，其中北部新区各季节的空气质量二级天数均明显高于香山和万柳。表2给出了三站四季PM₁₀浓度达到空气质量五级、四级和三级的天数分布，可以看出，中度和重度污染大多分布在春季和冬季，以春季最多。

3.1.3 月变化特征

综合2006—2009年三个站点的平均状况，各月之中PM₁₀浓度达到空气质量二级以上天数最多的分别是12月、4月和1月，分布最少的分别是8月、7月和9月。其中，香山站PM₁₀浓度达到空气质量二级以上天数以4月、5月和12月居多，北部新区和万柳站均以12月、4月和1月居多（图3）。

通过对2006—2009年三站各个月份的PM₁₀浓度进行分析，发现万柳站PM₁₀的年平均浓度最大

表2 2006—2009年三站四季PM₁₀浓度达到空气质量五级、四级和三级的天数分布

季节	五级天数 (d)			四级天数 (d)			三级天数 (d)		
	香山	北部新区	万柳	香山	北部新区	万柳	香山	北部新区	万柳
春季	3.8	2.8	3.8	2.5	2.0	2.8	24.3	34.3	28.5
夏季	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	14.3	18.8	14.8
秋季	0.3	0.0	0.5	1.0	0.8	1.0	22.5	26.5	25.5
冬季	1.0	1.3	1.8	1.5	2.8	2.8	19.5	35.8	31.8

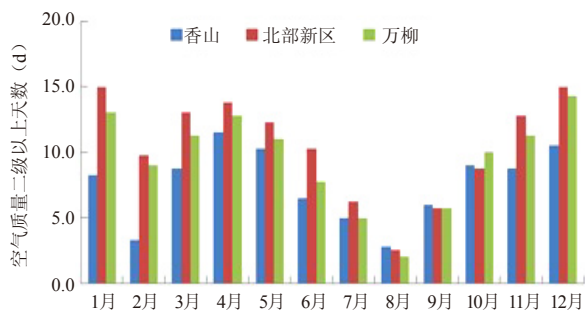


图3 2006—2009年三站各月PM₁₀浓度达到空气质量二级以上的天数分布

(142 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)，北部新区站次之(140 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)，香山站最小(127 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)。三个站各个月份的浓度变化趋势是一致的，均是在12月达到最高，1月、3—5月的PM₁₀平均浓度也较高，7—10月的PM₁₀平均浓度相对较低。

3.1.4 四季逐时变化特征

以2009年为例，对三站PM₁₀超标日的逐时浓度按季节进行计算，发现PM₁₀浓度在春季、夏季、秋季和冬季的平均值分别为335、181、335和201 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ，以春、秋季比较高。四季PM₁₀浓度变化趋势基本一致：春季在10时和20时达到峰值，在7时达到谷值；夏季在15时和23时达到峰值，5时达到谷值；秋季在19时达到峰值，7时达到谷值；冬季在10时和23时达到峰值，7时达到谷值（图4）。总体上，各个季节的波峰都在18—23时附近和上午10时附近，谷值在上午7时附近。这一方面受逆温影响，另一方面也受上下班的车流高峰影响。

将三站PM₁₀污染达到中度和重度污染的日分为工作日（周一至周五）和节假日（周六、周日及法定节日），发现节假日的PM₁₀浓度略高于工作日，时间变化特征大概一致（图5）。这主要是由于节假日人类活动相对频繁，车辆不限号，污染相对严重一些。

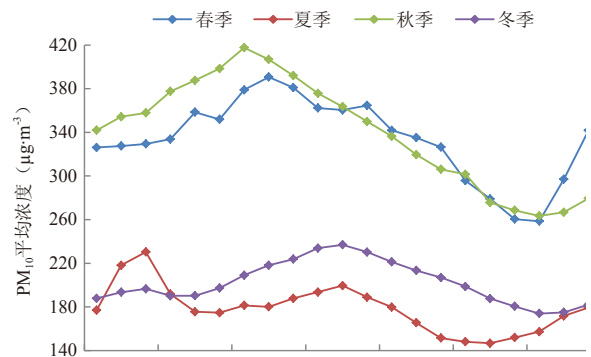


图4 2009年三站空气质量三级的PM₁₀平均浓度逐时变化

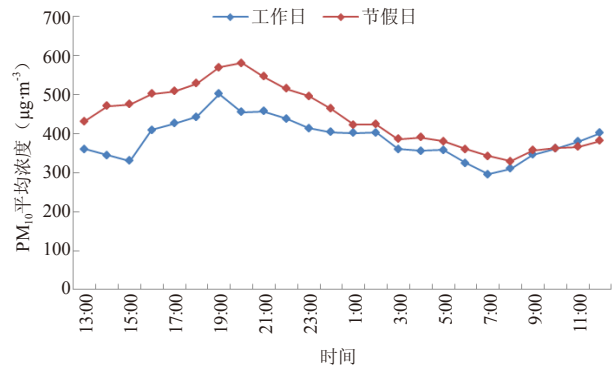


图5 2009年三站空气质量为中度 and 重度污染的工作日和节假日的PM₁₀平均浓度逐时变化

3.2 污染物浓度与气象要素的关系分析

3.2.1 温度

以往研究认为，大气污染物浓度与温度成反比^[9]。一方面由于随着气温升高，大气对流层内垂直对流运动增强，使污染源排放到大气中的污染输送到远方，从而加速了颗粒物的扩散；另一方面，温度降低，需要燃煤供暖（11月15日—次年3月15日），使得PM₁₀等排放增加^[1, 13-14]。

然而，由于地形、季节和局地小气候的影响，PM₁₀浓度与温度的关系也是复杂的。通过对三站气温与PM₁₀浓度做相关分析（表3）表明：在春季和夏季，三站均呈现出显著的正相关，即随着温度升高，PM₁₀浓度也在增加；在秋季，香山站的PM₁₀浓度与气温无显著相关，而北部新区站和万柳站则呈现出负相关；在冬季，香山站呈现出极显著的正相关，北部新区站为极显著的负相关，万柳站的温度同PM₁₀浓度无显著相关。

3.2.2 相对湿度

当相对湿度 $\leq 90\%$ 时，大气中PM₁₀浓度与相对湿度呈显著的正相关，这是由于相对湿度大，有利于大气中的气体转化成为粒子。另外，由于相对湿度的增加，大气颗粒物由于吸湿使得本身所含的液体量增加，大粒子数量增多，因而使得空气中PM₁₀的质量浓度增加^[3, 15]。

通过对2006—2009年三站四季的污染物浓度和相对湿度做散点图，发现污染物浓度较高的点都分布在相对湿度较大的区域，尤其是在相对湿度为50%~95%的区间，这种现象在秋、冬季节很明显，特别是冬季。但是当相对湿度 $> 90\%$ 时，水汽则极可能凝结并形成降雨，此时污染物浓度又会明显下降，这种现象在夏季最常出现（图6）。

对三站各季节PM₁₀浓度与相对湿度进行相关分析，发现：在春季、秋季、冬季PM₁₀浓度与相对湿度呈显著正相关，且冬季的相关系数高于春、秋季，而在夏季则无显著相关，这也充分表明了相对湿度的增大（降水较多的夏季除外）有利于PM₁₀的形成与浓度增加（表4）。

通过对三个站点的年均相对湿度进行分析，发现北部新区 $>$ 万柳 $>$ 香山，分别为58%、55%和53%，

表3 三站各个季节PM₁₀浓度同气温的Pearson相关系数

	春季	夏季	秋季	冬季
香山站	0.154**	0.110**	0.032	0.058**
北部新区站	0.079**	0.154**	-0.083**	-0.112**
万柳站	0.100**	0.046*	-0.049*	0.004

注：* 在 0.05 水平（双侧）上显著，** 在 0.01 水平（双侧）上显著，下同

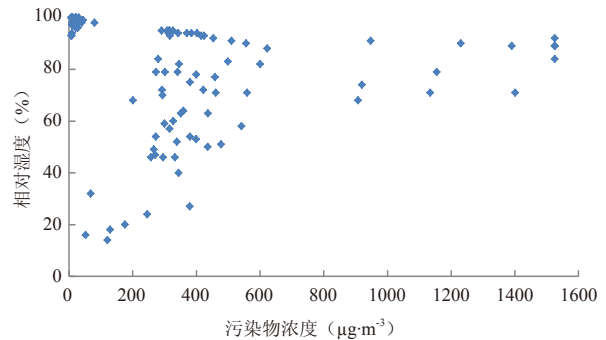


图6 北京市海淀区污染物浓度与相对湿度的散点图

这可能也是北部新区站空气质量超标日数高于万柳和香山的一个重要因素。

3.2.3 气压

根据表5，可以看出，除夏季外，其他季节的气压与污染物浓度大体呈负相关趋势，即本站气压越高，越有利于污染物扩散，使浓度降低。

3.2.4 风速

大气低层风速影响着污染物的传输及扩散过程，长时间的微风或静风则会抑制污染物的扩散，使近地面层的污染物成倍地增加。在本研究中，大气污染物的浓度与2/10min平均风速、最大风速和极大风速都有着显著的负相关关系，尤其是秋季和冬季，不过，在夏季相关性并不显著。需要指出的是，当风速过大时，地表的沙尘会被风带入空中，使得颗粒物质量浓度增大，特别是PM₁₀的质量浓度，这个时候风速就与PM₁₀浓度表现出一种正相关性^[16]。

通过对2006—2009年三站四季的污染物浓度和风速做相关分析，发现三站四季PM₁₀浓度与风速（2min平均风速和极大风速）均呈现显著负相关（表6）。

3.2.5 风向

北京城市污染过程与南部或东南部为主的周边城市排放源污染显著相关，即北京周边向南开口的“马蹄型”地形可能导致南部周边城市排放源远距离输送的污染“滞留”或动力扩散效应，形成北京与南部周边地区污染源的特殊南—北向带状相关影响域^[9]。

表4 三站各个季节PM₁₀浓度与相对湿度的相关系数

	春季	夏季	秋季	冬季
香山站	0.101**	-0.007	0.108**	0.240**
北部新区站	0.154**	-0.055	0.072**	0.321**
万柳站	0.114**	0.018	0.194**	0.302**

表5 三站各个季节PM₁₀浓度与气压的相关系数

	春季	夏季	秋季	冬季
香山站	-0.354**	0.043*	-0.202**	-0.279**
北部新区站	-0.310**	0.055**	-0.101**	-0.227**
万柳站	-0.344**	0.065**	-0.127**	-0.254**

表6 三站各个季节PM₁₀浓度与2min平均风速和极大风速的相关系数

站点	要素	春季	夏季	秋季	冬季
香山站	2min平均风速	-0.056**	0.009	-0.148**	-0.099**
	极大风速	-0.128**	-0.044*	-0.208**	-0.102**
北部新区站	2min平均风速	-0.062**	-0.065**	-0.164**	-0.214**
	极大风速	-0.134**	-0.036	-0.184**	-0.224**
万柳站	2min平均风速	-0.102**	-0.054*	-0.196**	-0.175**
	极大风速	-0.141**	-0.079**	-0.234**	-0.212**

表7 三站各个季节污染物浓度与降水量的相关系数

	春季	夏季	秋季	冬季
香山站	-0.069**	-0.009*	-0.055*	0.038
北部新区站	-0.034	-0.055**	-0.048*	—
万柳站	-0.033	-0.064**	-0.019	—

注：“—”表示冬季无降水。

总体上，风向对污染物浓度的影响很复杂，在不同的站点和不同的季节，风向对污染物浓度的影响也是不同的。通过对海淀区三站空气质量为四级和五级时的风向的统计发现：风向大多是白天北（东北、西北风）转南（东南、西南）风，夜间南（东南、西南）转北（东北、西北）风，在方向转换为南风时，会将南、西南和东南部的污染物输送到海淀区，使污染物沉积。因此，海淀区虽不是污染源产生区，却深受南—北向带状相关影响域传输而来的污染物影响。

3.2.6 降水量

降水量与大气污染物浓度呈负相关，这是因为降水能够冲刷大气中的污染物^[3]，通过对PM₁₀浓度与降水量的相关分析发现，整体两者在春、夏、秋季呈负相关，在冬季相关性不显著。在不同的站点，这种相关性有时并不显著，如春季除在香山站两者呈极显著负相关外，另外两个站的相关不显著，在秋季万柳站的两者负相关不明显（表7）。

4 结论和讨论

4.1 结论

2006—2009年，海淀区香山站、北部新区站和万柳站空气质量超标（三级、四级和五级）天数占全年的30%，空气质量达标天数（一级和二级）占全年的70%。空气质量四级和五级天数分布为：万柳站>香山站>北部新区站，三级天数为北部新区站>万柳站>香山站。PM₁₀浓度达到空气质量二级以上天数在香山站和北部新区站呈逐年波动下降趋势，万柳站呈逐年递减的趋势。二级以上天数最多的月份是12月，最少的是8月。

各季节空气质量二级以上天数总体呈春季>冬季>秋季>夏季，所占比例分别为31.8%、29.8%、

23.4%和14.6%。四级和五级天数主要出现在万柳，三级天数主要出现在北部新区。污染浓度在每日大致出现两个波峰，出现在18—23时附近和上午10时附近，污染物浓度在节假日高于工作日。

污染物浓度与气象要素有很大的关系，其中大气污染物浓度与温度、地面气压、风速、降水量呈负相关，同相对湿度和逆温层厚度呈正相关。北京污染源排放大多聚集在东南—南—西南方向，白天北（东北、西北风）转南（东南、西南）风，夜间南转北风时，会将南、西南和东南部的污染物输送到海淀区，使污染物沉积。

4.2 讨论

鉴于污染资料是北京市国控点资料，而气象资料是北京市地面站资料，两者的测站不是完全一致的。因此，在分析过程中，可能会有一定的影响。

本研究仅讨论了北京市大气污染物短期变化的影响因子，污染物浓度的长期变化除了受到气候条件的影响，更主要的会受到污染源排放的影响。而本文是在假使污染源固定的前提下做的分析，并没有对其他因素做量化的计算，这尚需进一步的研究。

参考文献

- 李扬. 2000—2007年中国重点城市PM₁₀的时空变化特征. 干旱区资源与环境, 2009, 23(9): 51-54.
- 赵越, 潘钧, 张红远, 等. 北京地区大气中可吸入颗粒物的污染现状分析. 环境科学研究, 2004, 17(1): 67-69.
- 王淑英, 张小玲. 北京地区2000年PM₁₀的大气污染年变化特征. 应用气象学报, 2002, 13(特刊): 177-184.
- 段欲晓, 徐晓峰. 北京地区SO₂污染气象条件分析. 城市气象服务科学讨论会学术论文. 北京: 中国气象学会, 2001.
- 宋艳玲, 郑水红, 柳艳菊, 等. 2000—2002年北京市城市大气污染特征分析. 应用气象学报, 2005, 16(B03): 116-122.
- 王莉莉, 王跃思, 王迎红, 等. 北京夏末秋初不同天气形势对大气污染物浓度的影响. 中国环境科学, 2010, 30(7): 924-930.
- 张小玲, 刘建忠, 徐晓峰. 北京春季一次持续浮尘和污染天气过程分析. 气象科技, 2004, 32(6): 420-424.
- 孟燕军, 程从兰. 影响北京大气污染物变化的地面天气形势分析. 气象, 2002, 28(4): 42-47.
- 徐祥德, 丁国安, 周丽, 等. 北京地区冬季大气污染动力-化学过程区域性三维结构特征. 科学通报, 2003, 48(1): 1-6.
- 任阵海, 苏福庆, 陈朝晖, 等. 夏秋季节天气系统对边界层内大气中PM₁₀浓度分布和演变过程的影响. 大气科学, 2008, 32(4): 741-751.
- 隋珂珂, 王自发, 杨军, 等. 北京PM₁₀持续污染及与常规气象要素的关系. 环境科学研究, 2007, 20(6): 77-82.
- 吴兑, 邓雪娇. 环境气象学与特种气象预报. 北京: 气象出版社, 2001.
- 王京丽, 谢庄, 张远航, 等. 北京市大气细粒子的质量浓度特征研究. 气象学报, 2004, 62(1): 104-110.
- 陈雷华, 余晔, 陈晋北, 等. 2001—2007年兰州市主要大气污染物污染特征分析. 高原气象, 2010, 29(6): 1627-1633.
- 车瑞俊, 刘大猛, 袁杨森. 北京冬季大气颗粒物污染水平和影响因素研究. 中国科学院研究生院学报, 2007, 24(5): 556-563.
- 王珩, 于金莲. 大气中PM₁₀浓度的影响因素及其污染变化特征分析. 上海师范大学学报(自然科学版), 2004, 33(3): 98-102.