

丽水市大气污染的时空分布特征及与气象要素的相关分析*

吴昊旻^{1,2} 王伟征³ 麻碧华² 姜燕敏²

(1. 南京大学大气科学学院, 江苏 南京 210093; 2. 丽水市气象局, 浙江 丽水 323000;

3. 丽水市环境监测站, 浙江 丽水 323000)

摘要 利用2007—2010年丽水市逐日大气污染物浓度数据和地面气象观测资料,对PM₁₀、SO₂、NO₂3种大气污染物浓度进行了时空分布特征研究,进而探讨了气象要素对大气污染的影响。结果表明:2007—2010年,丽水市主要的3种大气污染物的负荷为PM₁₀>NO₂>SO₂,影响大气环境质量的污染物以PM₁₀为主;总体来说,NO₂的月均浓度基本达到《环境空气质量标准》(GB 3095—1996)一级标准,冬半年(9—12月、1—2月)SO₂的月均浓度仅达到二级标准,而夏半年(3—8月)月均浓度基本达到一级标准,PM₁₀的月均浓度都达到二级标准(0.10 mg/m³);在空间分布上,PM₁₀、NO₂的年均浓度都表现出东向西逐渐减少的特征,而SO₂年均浓度主要体现为南向北递增的特征,3种大气污染物在空间上都表现为在东部缙云、青田等地的污染相对严重,而在西面的遂昌、龙泉等地的污染程度较轻;各种气象要素对大气污染的影响中,除了气压与3种大气污染物的浓度呈极显著正相关外,其他气象要素都表现为负相关,只是影响程度有所差异。气象要素对大气污染的影响不是单一作用的,而是通过多种气象要素相互配合、相互作用、综合反应来产生作用的。

关键词 应用气象学 大气污染 时空分布 气象要素 相关分析

Temporal and spatial distributions of air pollutions in Lishui and their correlation with meteorological elements WU

Haomin^{1,2}, WANG Weizheng³, MA Bihua², JIANG Yanmin². (1. College of Atmospheric Science, Nanjing University, Nanjing Jiangsu 210093; 2. Lishui Meteorological Bureau, Lishui Zhejiang 323000; 3. Lishui Environmental Protection Monitoring Station, Lishui Zhejiang 323000)

Abstract: Using daily air pollutants concentration data and meteorological elements data from 2007 to 2010, the temporal and spatial distribution characteristics of 3 air pollutants (PM₁₀, SO₂, NO₂) and the influence of meteorological conditions on pollutants concentrations were analyzed. The results showed that the pollution load of 3 air pollutants from 2007 to 2010 followed the order of PM₁₀>NO₂>SO₂. PM₁₀ was the primary pollutant which mainly affected the environmental quality of air in Lishui. The monthly average concentration of NO₂ attained the grade I national standards for air quality (GB 3095-1996). Monthly average concentration of SO₂ was lower in summer (from March to August) and higher in winter (September to February of next year), it attained grade I in summer while only met grade II in winter. Monthly average concentration of PM₁₀ conformed to the grade I of GB 3095-1996 (0.10 mg/m³) all year around. On the spatial variation, annual PM₁₀ and NO₂ concentration gradually reduced from East to West, SO₂ increased by "South to North" direction. 3 pollutants were relatively serious in East area of Lishui (such as Jinyun, Qingtian), while slight in West area such as Suichang, Longquan. Various meteorological factors affected air pollutant concentrations. There was a significantly positive correlation between air pollutions and atmospheric pressure, and other meteorological elements were negative correlated with air pollutions in different degree. The influence of meteorological elements on air pollution was not a single action but the reciprocal influence between different meteorological elements and interaction among different factors.

Keywords: Applied meteorology; air pollution; temporal and spatial distribution; meteorological elements; correlation analysis

随着我国经济社会的高速发展,工农业生产、人们生活、交通运输和建筑建设等向大气环境排放了大量的污染物,导致近地层的大气质量不断下

降,对生态环境、经济发展和人类的身体健康造成了不小危害。很多研究者对大气污染问题开展了诸多研究,有的研究分析了大气污染物浓度的时空

第一作者:吴昊旻,男,1980年生,本科,高级工程师,主要从事应用气象及气象电子等相关研究。

* 浙江省丽水市科技计划项目(No. 2010JYB10);丽水市社会科学研究项目(No. LC201020)。

分布特征^[1,2];有的研究分析了大气颗粒污染物与气象要素的相关关系^[3-5];有些研究探讨了空气污染的预报方法^[6-11];还有些研究则统计了天气类型与大气污染物浓度的变化关系^[12-14]。为了建立良好的人类生存环境、提高生活品质、保护人类身体健康,了解气象要素对空气质量的影响作用就显得尤为重要。

丽水市地处浙闽两省结合部,邻近东南沿海,属于亚热带季风气候,该地以山区为主,植被较多,且城市规模较小,工业发展速度一般,目前还没有大型的重工业发展,空气质量相对较好。但由于该市的龙泉青瓷、青田石雕和遂昌黑陶等支柱产业在生产过程中会产生大量粉尘,因此空气中 PM_{10} 的含量较高。本研究以 2007—2010 年丽水市 15 个环境监测站的逐日环境监测数据和 9 个气象观测站的逐日地面气象观测资料为依据,分析 PM_{10} 、 SO_2 、 NO_2 3 种大气污染物浓度的时空分布特征,从而探讨了气象要素对大气污染的影响。

1 分析方法

1.1 监测资料

本研究采用丽水市环境监测站提供的 9 个县(市)共 15 个环境监测站(站点分布见图 1)2007—2010 年逐日监测的 PM_{10} 、 SO_2 和 NO_2 浓度数据。

气象资料主要为丽水市气象局提供的 9 个县(市)级气象观测站(站点分布见图 1)2007—2010 年逐日的地面观测资料,包括温度、降水、日照、风速、气压和相对湿度等气象要素。



图1 丽水市环境监测站、气象观测站的站点分布
Fig. 1 Location of monitoring sites in Lishui

1.2 分析方法

在采用趋势分析方法对丽水市 PM_{10} 、 SO_2 、 NO_2 3 种大气污染物浓度的时间变化特征进行分析的基础上,运用 SURFER 软件研究了大气污染物浓度的空间分布结构,然后进一步运用 SPSS 软件对大气污染物浓度与各气象要素的相关性进行探究,并通过显著性检验来确定各气象要素对大气污染物浓度变化的影响程度。

2 结果与讨论

2.1 大气污染的时间变化特征

分别对 2007—2010 年丽水市 15 个环境监测站 PM_{10} 、 SO_2 和 NO_2 的日浓度进行逐月平均,并对这 3 种大气污染物的月均浓度(见图 2)进行相关分析。结果表明,3 种大气污染物月均浓度间存在着较高的相关性, PM_{10} 与 SO_2 、 PM_{10} 与 NO_2 、 SO_2 与 NO_2 浓度的相关系数分别达到 0.856、0.863、0.975 ($P < 0.05$),相关性显著。3 种大气污染物的平均污染负荷为 $PM_{10} > NO_2 > SO_2$,污染负荷分别占到 61.9%、21.1%、17.0%,说明影响丽水市空气质量的大气污染物以 PM_{10} 为主,其污染负荷占绝对比例。

由图 2 可见, PM_{10} 、 SO_2 、 NO_2 3 种大气污染物浓度的月变化规律较为相似,夏季(6—8 月,下同)3 者的浓度均较低,冬季(12、1、2 月,下同)均较高,而春(3—5 月,下同)、秋(9—11 月,下同)两季相差不大,春季略高于秋季。其中, PM_{10} 月均浓度在夏季的 7 月出现最低值,仅为 0.044 mg/m^3 ,在冬季的 12 月出现最高值,高达 0.094 mg/m^3 ,是 7 月的 2 倍多。 SO_2 、 NO_2 月均浓度均在夏季的 8 月出现最低值,分别为 0.012 、 0.016 mg/m^3 ,又均在冬季的 1 月出现最高值,分别为 0.032 、 0.036 mg/m^3 。造成这种分布状态的主要原因是夏季太阳辐射强,近地面层热力对流旺盛,空气的扩散条件好,而冬季情况则相反。此外,丽水市夏季常有阴雨或区域性的大暴雨,还经常受到热带气旋的影响^[15-18],降水较为充沛,水汽条件好;而冬季天气干燥,水汽条件差,空气中的污染物难以凝聚。

总体来说,全年的 NO_2 月均浓度都达到《环境空气质量标准》(GB 3095—1996)一级标准(0.04 mg/m^3),冬半年(9—12 月、1—2 月)的 SO_2 月均浓度达到二级标准(限值 0.06 mg/m^3),而夏半年(3—8 月)月均浓度基本达到一级标准(0.02

mg/m³), 全年的 PM₁₀ 月均浓度都达到二级标准 (0.10 mg/m³)。

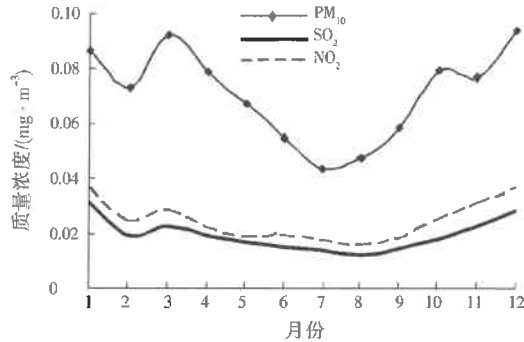


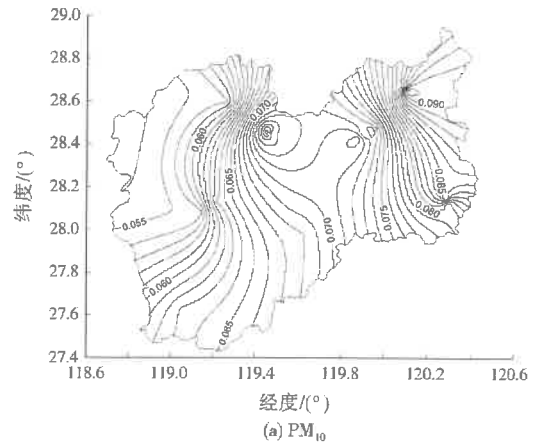
图2 丽水市大气污染物的月均质量浓度变化

Fig. 2 Variation of monthly average concentration of air pollutions in Lishui

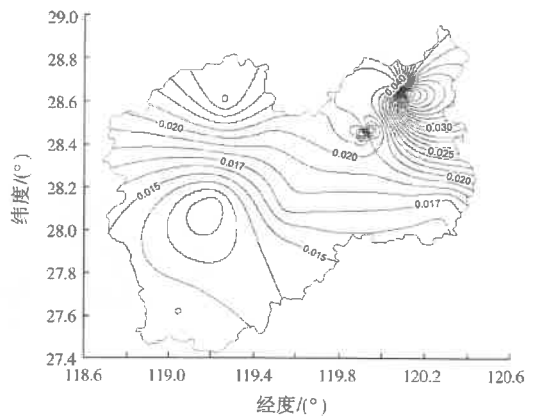
2.2 大气污染的空间分布结构

由图3可见, 2007—2010年丽水市3种大气污染物中 PM₁₀ 与 NO₂ 的年均浓度空间分布较为相似, 但也存在一定差异, 而 SO₂ 的年均浓度空间分布结构与另2种大气污染物相差较大。PM₁₀、NO₂ 的年均浓度都表现出东向西逐渐减少的特征, PM₁₀ 年均浓度的高点出现在丽水市东面的缙云、青田等地, 最高值约达到 0.09 mg/m³, 在该市西北角的遂昌的 PM₁₀ 浓度很低, 大约在 0.05 mg/m³, 而处于该市中间位置的大部分地区为 PM₁₀ 浓度从高到低变化的过渡区域, 浓度相差不大, 约在 0.07 mg/m³ 上下。2007—2010年丽水市的 NO₂ 年均浓度总体较 PM₁₀ 低, 在空间分布上, 其最高值出现在青田 (约达到 0.04 mg/m³), 随后是缙云 (达 0.033 mg/m³), 最低值出现在丽水市西面的龙泉, 只有 0.01 mg/m³ 左右。SO₂ 年均浓度的空间分布主要体现为南向北递增的特征, 低值中心只有1个, 在西面的龙泉, 中心值仅为 0.01 mg/m³ 左右, 而高值中心有多处, 主要分布在缙云和莲都区南部, 最高值则出现在缙云, 达到 0.04 mg/m³。

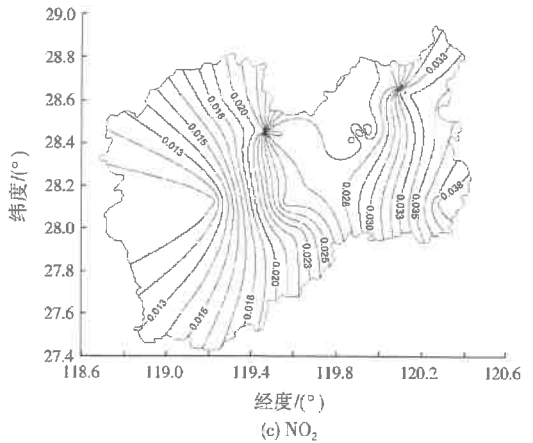
根据以上的大气污染物的空间分布特征分析可知, 2007—2010年丽水市3种大气污染物在空间上都表现为在东部缙云、青田等地的污染相对严重, 而在西面的遂昌、龙泉等地的污染程度较轻。结合丽水市经济发展的实际情况可知, 丽水市东部的缙云、青田的经济相对比较发达, 工农业生产和人类的活动造成了大气污染物浓度偏高, 而西面的遂昌、龙泉和庆元等地区, 经济水平相对较低, 以农业生产为主, 故大气污染物浓度相对偏低。



(a) PM₁₀



(b) SO₂



(c) NO₂

图3 丽水市大气污染物年均质量浓度的空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of annual average concentration of air pollutions in Lishui

注: 大气污染物单位均为 mg/m³。

2.3 气象要素与大气污染时空分布特征的相关性分析

2.3.1 气压

表1是丽水市大气污染物浓度与各种气象要素的相关系数。从表1可看出, 气压与 PM₁₀、SO₂、NO₂ 3种大气污染物浓度都呈显著正相关关系, 相关系数均高达 0.9 左右, 相关性极显著 ($P < 0.01$)。

丽水市夏季气候主要受副热带高压控制,同时多热带气旋的影响,而冬季多受冷高压系统影响。在低压系统控制下,内部气流垂直上升运动频繁,风速较大,有利于污染物稀释和扩散;而当高压系统控制时,内部的气流下沉,容易造成大气污染物的沉积,导致大气污染物浓度升高。

表1 丽水市大气污染物浓度与各种气象要素的相关系数¹⁾
Table 1 Correlation coefficient of meteorological elements and air pollutions in Lishui

气象要素	PM ₁₀	SO ₂	NO ₂
气压	0.889 **	0.900 **	0.924 **
气温	-0.891 **	-0.922 **	-0.914 **
水汽压	-0.927 **	-0.885 **	-0.878 **
蒸发量	-0.858 **	-0.847 **	-0.868 **
日照	-0.727 **	-0.633 *	-0.630 *
云量	-0.371	-0.483	-0.546
降水量	-0.596 *	-0.673 *	-0.746 **
雨日	-0.385	-0.453	-0.556
平均相对湿度	-0.146	0.018	0.129
最小相对湿度	-0.784 **	-0.691 *	-0.607 *
平均风速	0.009	-0.098	-0.206
最大风速	-0.677 *	-0.495	-0.541
极大风速	-0.732 **	-0.585 *	-0.628 *

注:1)“*”、“**”分别为显著、极显著相关。

2.3.2 气温

由表1可见,气温与PM₁₀、SO₂、NO₂3种大气污染物的浓度有较明显的负相关,相关系数分别为-0.891、-0.922、-0.914,相关性极显著。地面温度较高时,大气的层结稳定度越低,近地层对流越旺盛,有利于大气的垂直运动,从而促使大气污染物向上输送,使近地层污染物浓度降低;而当地面温度较低时,情况则相反。

2.3.3 水汽压

水汽压是空气中水汽的分压强,大气中水汽的含量虽然不多,但它却是大气中极其活跃的成分。由表1可见,水汽压与3种大气污染物的浓度呈较明显的负相关关系,相关性极显著。如果大气中的水汽较多,水汽压就大,有利于大气污染物的凝聚,大气污染物浓度就低;相反,当水汽压较低时,大气污染物浓度就高。

2.3.4 蒸发量

由表1可见,蒸发量与3种大气污染物的浓度也表现为极显著的负相关。蒸发量较大时,空气中的水汽含量就高,有利于大气污染物凝聚,大气污染物浓度就低;而蒸发量较小时,空气相对干燥,大气污染物容易积聚。

2.3.5 日照

由表1可见,日照与3种大气污染物的浓度均

呈负相关。其中,日照与PM₁₀浓度的负相关最为明显,相关系数达到-0.727,相关性极显著;而与SO₂和NO₂的相关系数分别为-0.633、-0.630,相关性显著。日照较强时,地面温度升高较快,从而带动近地层的对流运动,有利于大气污染物向上输送,促使地面的大气污染物浓度降低;日照较弱时,情况则相反。

2.3.6 云量

由表1可见,云量和3种大气污染物的浓度都呈负相关,但相关性均不显著,可见云量对大气污染的影响并不明显。其中,云量与NO₂的负相关相对较大,与PM₁₀的相关性最小。云量对大气污染物浓度的影响体现在正反2个方面,主要看哪一方面起主导作用:(1)当天空云量多时,低层上升气流强,且常伴随降水现象发生,可导致大气污染物浓度降低;(2)当云量少、太阳辐射强时,气温就高,热力对流就强,大气的扩散条件良好。

2.3.7 降水量

由表1可见,降水量和雨日对3种大气污染物浓度的影响不一,都呈负相关。其中,对NO₂的影响最大(降水量与NO₂浓度的相关性极显著),其次是SO₂、PM₁₀。雨日对大气污染的影响相对降水量较弱。结合图2可知,在降水较少的冬半年(9月至次年2月),3种大气污染物的浓度均相对较高,而在夏半年的梅汛期和台汛期,降水较为充沛,对大气污染物有很好的稀释作用,降水不断地将大气中的微粒挟带、溶解或冲刷下来,使大气污染物浓度有所降低^[19,20]。

2.3.8 相对湿度

由表1可见,平均相对湿度和大气污染物浓度的相关性较差,它与SO₂、NO₂浓度呈微弱的正相关,而与PM₁₀有一定的负相关;但最小相对湿度对大气污染的影响较高,它与3种大气污染物的浓度呈显著或极显著负相关。由于湿度的增加,空气中的水汽含量升高,特别是降水的时候,空气比较潮湿,水汽对大气污染物有较好的吸附作用,进而使悬浮颗粒物沉降到地面,使得大气污染物浓度降低。但要排除一种情况,就是当雾天出现时,虽然空气湿度大,却容易出现污染严重的天气,这是因为此时常伴有逆温现象,大气层结稳定,污染物附着在水汽中,不易扩散。

2.3.9 风速

丽水市常年平均风速较小,为1.3 m/s。由表1可见,平均风速对大气污染的影响也较小,它与

SO₂、NO₂浓度呈较不明显的负相关,还与PM₁₀浓度呈不明显弱的正相关。随着风速的增大,它对大气污染物扩散能力的影响也越来越明显。因此,最大风速与极大风速对大气污染的影响均明显增强,其中最大风速与PM₁₀浓度相关性显著,而极大风速与3种大气污染物的浓度相关性为显著或极显著。

风速对大气污染的影响主要体现在其稀释作用。风速越大,稀释大气污染物的能力越强,并且污染物能被迅速吹到下风向。相反,风速较小时,大气的扩散能力降低,容易造成局地大气污染物的堆积。

2.3.10 各种气象要素对大气污染的综合影响

以上的分析表明,除了气压与大气污染呈极显著正相关外,其他气象要素与大气污染都表现为负相关,只是影响程度有所差异。其中气温、水汽压、蒸发量、日照、降水量、最小相对湿度和极大风速对大气污染有着显著的影响,而云量、雨日、平均相对湿度、平均风速和最大风速则表现出轻微的影响。

此外,气象要素对大气污染的影响不是单一作用的,而是通过多种气象要素相互配合、相互作用、综合反应来产生作用的。比如冬季,在冷高压控制下,气压升高,温度走低、云量偏少、相对湿度较小、风速不大、降水偏少、蒸发减弱、空气中水汽含量降低,空气对流运动不强,导致大气污染物在边界层内沉积,浓度升高。相反,夏季多受低压系统活动影响,气压下降,温度、相对湿度、风速加大、降水增多,在多种气象要素的综合作用下,大气污染物浓度相对下降。

3 结论与讨论

(1) 2007—2010年,丽水市主要的3种大气污染物的负荷为PM₁₀>NO₂>SO₂,影响大气环境质量的污染物以PM₁₀为主。3种大气污染物浓度的月变化规律较为相似,夏季3者的浓度均较低,冬季均较高。总体来说,全年的NO₂月均浓度都达到GB 3095—1996一级标准;冬半年的SO₂月均浓度达到二级标准,而夏半年的月均浓度基本达到一级标准;全年的PM₁₀月均浓度都达到二级标准。

(2) 在空间分布上,2007—2010年丽水市PM₁₀、NO₂的年均浓度都表现出东向西逐渐减少的特征,而SO₂年均浓度主要体现为南向北递增的特征。3种大气污染物在空间上都表现为在东部缙云、青田等地的污染相对严重,而在西面的遂昌、龙泉等地的污染程度较轻。

(3) 各种气象要素对大气污染的影响中,除了

气压与3种大气污染物的浓度呈极显著正相关外,其他气象要素都表现为负相关,只是影响程度有所差异。其中气温、水汽压、蒸发量、日照、降水量、最小相对湿度和极大风速对大气污染有着显著的影响,而云量、雨日、平均相对湿度、平均风速和最大风速则表现出轻微的影响。气象要素对大气污染的影响不是单一作用的,而是通过多种气象要素相互配合、相互作用、综合反应来产生作用的。

参考文献:

- [1] 谢松元,凌良新,陈文锋.潮州市大气污染物与气象要素的关系[J].广东气象,2010,32(5):36-38.
- [2] 冯宏芳,隋平,邱丽霞.福州市污染物浓度时空分布及影响因素分析[J].气象科技,2003,31(6):37-41.
- [3] 孙向明,彭勇刚.深圳市近年空气质量与气象条件的关系[J].广东气象,2005,27(3):1-3.
- [4] 陈碧辉,李跃清.成都市大气颗粒污染物与气象要素的关系[J].城市环境与城市生态,2006,19(3):18-24.
- [5] 罗森波,罗秋红,谢炯光,等.广州市大气污染与气象条件关系的统计分析[J].热带气象学报,2006,22(6):567-573.
- [6] 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[J].热带气象学报,2006,22(6):574-581.
- [7] 王迎春,孟燕军,赵习方.北京市空气污染业务预报方法[J].气象科技,2001(4):42-46.
- [8] 尚可政,王式功,杨德保.兰州城区冬季空气污染预报方法研究[J].兰州大学学报:自然科学版,1998,34(4):165-170.
- [9] 洪钟祥,胡非.大气污染预测的理论和方法研究进展[J].气候与环境,1999,44(3):226-230.
- [10] 龚强,白乐生,杨洪斌.空气污染潜势指数预报方法[J].辽宁气象,1999(3):46-50.
- [11] 朱红芳,王东勇.合肥市空气质量预报方法[J].气象,2002,28(5):40-43.
- [12] 周亚军,熊亚丽,肖伟军,等.广州空气污染指数特征及其与地面气压型的关系[J].热带气象学报,2005,21(1):93-99.
- [13] 李琼,李福娇,叶燕翔,等.珠江三角洲地区天气类型与污染潜势及污染浓度的关系[J].热带气象学报,1999,15(4):363-369.
- [14] 孟燕军,程丛兰.影响北京大气污染物变化的地面天气形势分析[J].气象,2002,28(4):44.
- [15] 吴昊旻,杨凌敏,姜燕敏.浙江省夏秋季降水量时空分布特征及趋势演变规律[J].中国农业气象,2011,32(3):326-330.
- [16] 薛根元,周镇铨,李庆祥,等.浙江省梅汛期降水与洪涝灾害的长期变化[J].自然灾害学报,2004,13(5):69-74.
- [17] 吴昊旻,姜燕敏,茅军念.丽水汛期降水多时间尺度演变特征[J].暴雨灾害,2010,29(2):176-180.
- [18] 吴昊旻,姜燕敏,强玉华.浙江丽水市降水特征多时间尺度周期变化规律的探究[J].干旱气象,2012,30(1):34-38.
- [19] 蒋维楣,曹文俊,蒋瑞宾.空气污染气象学教程[M].北京:气象出版社,1993.
- [20] 唐孝炎.大气环境化学[M].北京:高等教育出版社,1990:169.

编辑:卜岩枫 (修改稿收到日期:2012-04-01)