

铜陵市空气污染物浓度日变化特征的观测分析

张红^{1,2}, 刘桂建¹, 梅建鸣³, 刘慧娟⁴, 薛骅骏¹

(1. 中国科学技术大学地球与空间科学学院, 安徽合肥 230026; 2. 安徽省环境科学研究院, 安徽合肥 230022;
3. 铜陵市环境监测中心站, 安徽铜陵 244000; 4. 安徽省人工影响天气办公室, 安徽合肥 230031)

摘要:选择位于长江南岸的铜陵市为研究区域, 利用2007~2010年空气污染物浓度监测数据与气象要素观测资料, 分析二氧化硫(SO₂)、二氧化氮(NO₂)和可吸入颗粒物(PM₁₀)浓度的日变化特征及其与气象要素之间的关系。结果表明, 铜陵市空气污染物浓度和气象要素的日变化主要有“单峰单谷型”和“双峰双谷型”两种, SO₂和PM₁₀的日变化规律空间差异不显著, NO₂的日变化存在明显空间差异。主要污染源附近的监测点, 浓度日变化规律与气压、相对湿度和气温3个要素日变化之间存在相关性, 而与风速、降水的日变化规律无关。周边无污染排放的监测点, 浓度日变化规律不仅与气压、相对湿度和气温日变化存在显著相关, 还与风速呈反向相关关系。对于周边虽有部分污染源, 但不是区域内的主要污染源的监测点, 浓度日变化与气象要素之间无统一的相关性。

关键词:铜陵市; 空气污染物浓度; 气象要素; 日变化

中图分类号: X511 **文献标识码:** A doi:10.3969/j.issn.0253-2778.2014.08.008

引用格式: Zhang Hong, Liu Guijian, Mei Jianming, et al. Observation study on concentration diurnal variation of atmospheric pollutants in Tongling City[J]. Journal of University of Science and Technology of China, 2014, 44(8): 679-688.

张红, 刘桂建, 梅建鸣, 等. 铜陵市空气污染物浓度日变化特征的观测分析[J]. 中国科学技术大学学报, 2014, 44(8): 679-688.

Observation study on concentration diurnal variation of atmospheric pollutants in Tongling City

ZHANG Hong^{1,2}, LIU Guijian¹, MEI Jianming³, LIU Huijuan⁴, XUE Huaqin¹

(1. School of Earth and Space Science, University of Sciences and Technology of China, Hefei 230026, China;
2. Anhui Institute of Environment Science, Hefei 230022, China;
3. Tongling Environment Observatory, Tongling 244000, China;
4. Anhui Meteorological Information Center, Hefei 230031, China)

Abstract: Using the monitoring data of atmospheric pollution and meteorological data from 2007 to 2010, the concentration diurnal variations of atmospheric pollutants (including SO₂, NO₂ and PM₁₀) in Tongling City were analyzed, and the relationship between the diurnal variations of atmospheric pollutants and meteorological factors was studied. The results show that the diurnal variations of atmospheric pollutant concentrations and meteorological factors can be classified into two types, “single peak and single valley type” and

收稿日期: 2014-01-09; 修回日期: 2014-06-19

基金项目: 环保部环保公益项目(201209006), 安徽省科技攻关项目(1401042008), 安徽省省级环境保护科研项目(2013-001)资助。

作者简介: 张红, 女, 1977年生, 博士生。研究方向: 大气环境研究。E-mail: zhanghongkt@163.com

通讯作者: 刘桂建, 教授/博士。E-mail: lgj@ustc.edu.cn

“double peaks and double valleys type”. There is no spatial variation in SO_2 and PM_{10} , while NO_2 exhibited obvious spatial variation. For areas near the pollution source, pollutant concentration is correlated with atmospheric pressure, relative humidity and temperature, but not with wind speed. For the observation points free from pollutants, the relationship of pollution concentration variation and meteorological factors is similar to the area near the pollution source, and the pollution concentration variation is reversely correlated with wind speed. The other observation points of Tongling City, which are not included in the two, showed little relationship between pollutant concentration variation and meteorological factors.

Key words: Tongling city; concentration of atmospheric pollutant; meteorological factor; diurnal variation

0 引言

空气污染是目前我国大部分城市所面临的一个主要环境问题,空气污染不仅对社会生活造成不良的影响,而且会使得气候发生变化.研究表明,空气污染物会改变大气的水循环,对于农业、水资源、人体健康、城市化等经济社会的许多方面也表现出重要的影响^[1-2].

在众多关于空气污染的研究中,了解空气污染物的时空特征,是其中的一个主要内容.研究表明,城市空气污染物不仅存在空间分布不均匀性^[3],在时间上也存在明显的日变化^[4-5]、季节变化^[6-7]以及逐年变化^[8].气象条件是影响空气污染物时空分布的主要因素之一^[9-10].一方面稳定的大气层结不利于污染物的扩散,从而导致污染物浓度的升高^[11].另一方面,降水和大风又能够清除空气污染物,降低空气污染物的浓度^[12].此外,气象条件也受到空气污染物的影响.不仅诸如大气能见度之类的气象要素受到空气污染物的影响^[13],而且空气污染对气候变化也存在着影响与反馈^[14].

铜陵位于长江中下游平原与皖南山区的交接地带.境内中南部低山、丘陵纵横交结,呈北东向展布.北部为平原,地势低下坦荡,水网密度高,河沟纵横,湖沼广布.复杂的地形地貌使得铜陵污染气象条件不仅具有山区的特点,也具备了沿江城市的特征.此外,铜陵是我国的“古铜都”,境内分布着冶炼厂、火电厂、水泥厂等多种工业企业,造成空气污染的因素多种多样.为了解在多种污染源影响下的地形地貌复杂地区,空气污染物浓度日变化与气象条件之间的关系,我们利用多年的空气污染物浓度监测数据,分析空气污染物浓度的特征以及与气象条件之间的关系,探讨污染物浓度日变化的形成原因及其影响因子.

1 资料来源

所用资料主要包括铜陵市 2007~2010 年环境

空气质量自动监测点的监测数据,以及铜陵市气象台站 2007~2010 年逐小时的气象观测数据.空气质量监测因子包括二氧化硫(SO_2)、二氧化氮(NO_2)和可吸入颗粒物(PM_{10}).其中 NO_2 和 SO_2 监测数据为分钟级的监测结果, PM_{10} 为小时级的监测结果.按照《环境空气质量自动监测技术规范》(HJT193-2005),采用数值平均的方法,将分钟级 NO_2 和 SO_2 监测数据处理成逐小时数据, PM_{10} 监测数据则无需处理.气象数据为逐小时的气温、气压、风速、露点温度、相对湿度等要素的数值.

铜陵市一共 4 个空气自动监测点,每个自动监测点代表了不同功能分区.其中,第四中学代表居住区,公路局代表商业区,第九中学代表工业区,污水厂代表绿化区.铜陵市土地利用规划图及环境空气质量自动监测点分布如图 1 所示.

2 资料分析

2.1 浓度日变化特征分析

2.1.1 SO_2 浓度

SO_2 浓度的日变化如图 2 所示.从图中可以看出 4 个监测点的 SO_2 浓度具有相似的日变化规律,均为“单峰单谷型”的日变化,峰值出现在 10:00(当地时间,下同),谷值出现在 18:00.另外,4 个监测点的监测结果显示, SO_2 浓度变化幅度与平均浓度之间有着较好的对应关系,即平均浓度高,变化幅度大,平均浓度低,变化幅度小.

对于不同的监测点而言, SO_2 浓度数值之间存在一定的差异,主要表现为:①平均浓度以第九中学最高,为 0.0699 mg/m^3 ;而污水处理厂最低,为 0.0491 mg/m^3 .②夜里 21:00 到次日 7:00 第九中学的浓度最高,而在上午 8:00 到夜里 20:00 这个时间段内,第四中学的浓度最高.③上午 6:00 到夜里 20:00 污水厂的浓度最低;而在夜里 21:00 到次日 5:00 公路局的浓度最低.④第九中学的变化幅度(最大值和

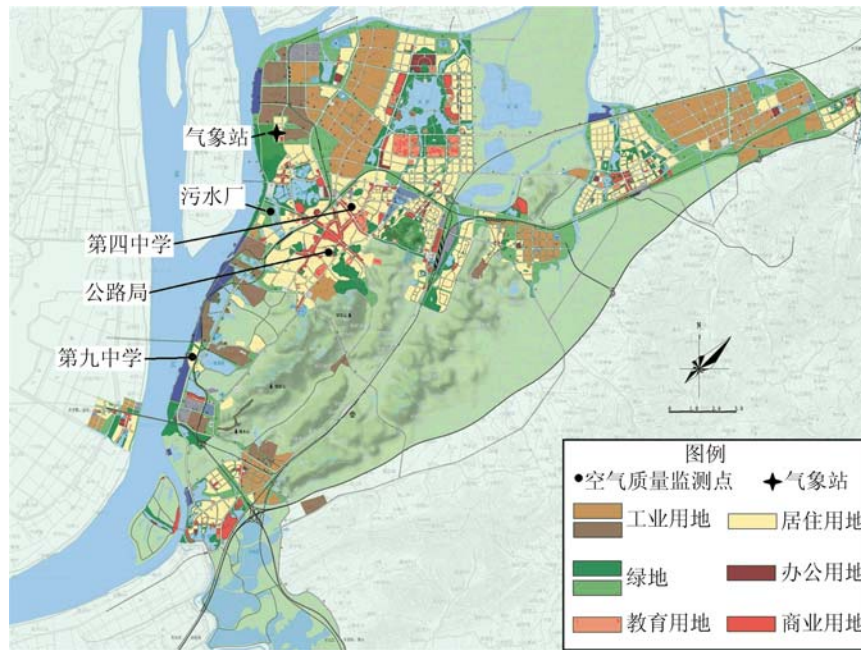


图 1 铜陵市土地利用规划图及空气质量监测点分布图

Fig. 1 The positions of atmospheric pollution monitoring stations and meteorological station

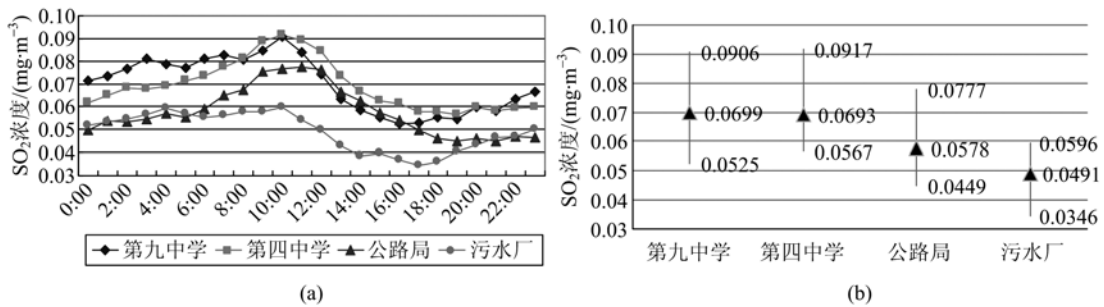


图 2 SO₂ 浓度的日变化(a)以及平均值、最大值和最小值(b)

Fig. 2 Daily variations (a) and the average, maximum and minimum (b) of SO₂ concentration

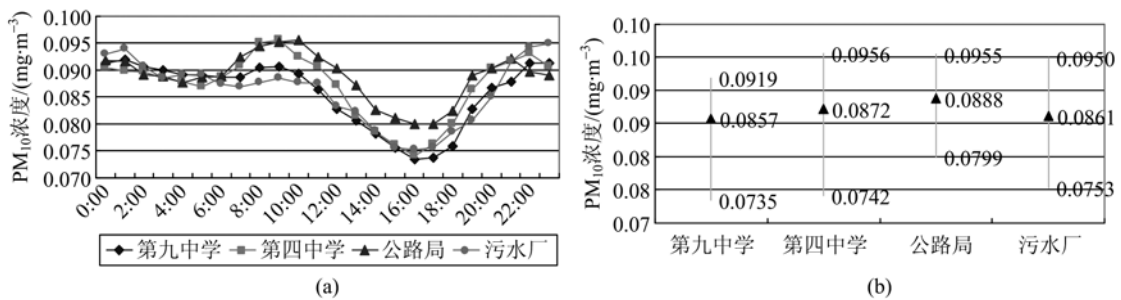


图 3 PM₁₀ 浓度的日变化(a)以及平均值、最大值和最小值(b)

Fig. 3 Daily variations (a) and the average, maximum and minimum (b) of PM₁₀ concentration

最小值之间的差异)最大,而污水厂的变化幅度最小.

2.1.2 PM₁₀ 浓度

从 PM₁₀ 浓度的日变化曲线(图 3)来看,除污水厂外,其他 3 个监测点的 PM₁₀ 浓度日变化规律趋势相似,为双峰双谷型.两个波峰分别出现在 10:00~

11:00 和 20:00~次日 01:00;两个波谷出现在 03:00~06:00 以及 14:00~18:00.另外,在公路局监测到的 PM₁₀ 浓度在夜间 22:00~23:00 出现了一个弱的波谷.对于污水厂来说,为单峰单谷型,23:00 浓度最高,16:00 浓度最低.

PM₁₀ 浓度值的空间差异不显著,公路局的日平均浓度最高,污水处理厂的日平均浓度最低.对于浓度日变化幅度来说,公路局的最小,其余 3 个监测点的变化幅度相当.

2.1.3 NO₂ 浓度

不同监测点的 NO₂ 浓度表现出了不同的日变化特征(图 4).其中,第九中学和污水厂的 NO₂ 浓度呈现出“单峰单谷型”的变化特征,NO₂ 的浓度峰值出现在 21:00~22:00,谷值出现在 12:00~15:00.第四中学和公路局为“双峰双谷型”.两个峰值分别出现在 07:00~10:00 和 19:00~20:00,而两个谷值主要出现在 05:00~06:00 和 13:00~14:00.

4 个监测点的 NO₂ 浓度值(图 4)存在明显的差异.第九中学平均浓度最高,达到了 0.032 9 mg/m³,第四中学平均浓度最低,仅为 0.023 9 mg/m³.对于浓度变化幅度来说,第九中学和污水厂的变化幅度较小,而第四中学和公路局的变化幅度较大.其中,公路局 NO₂ 浓度的变化幅度最大,达到 0.013 2 mg/m³,是污水厂浓度变化幅度(0.003 1 g/m³)的 4 倍.

从以上分析可以看出,铜陵市的空气污染物浓度存在着明显的时间变化和空间差异.主要体现为:①不论何种污染物均出现白天浓度降低,而夜间浓度升高的变化规律.②第九中学是 SO₂ 和 NO₂ 平均浓度最高的点,而 PM₁₀ 平均浓度最高的监测点则是公路局.③不同站点间,PM₁₀ 浓度数值差异最小,即 PM₁₀ 浓度的空间差异最小.④不同监测点的 SO₂ 浓度日变化的规律最为相近,而 NO₂ 浓度日变化则出现了两种不同的规律.

对于空气污染物浓度的日变化规律,其形成原因主要有:

(I) 规律性的生产活动和日常生活会在一天的特点时段内排放大量的污染物,从而导致污染物浓度升高.例如,上下班高峰期汽车尾气的大量排

放,导致 NO₂ 浓度升高^[17].

(II) 在阳光的照射下 NO₂ 发生化学转化,使得 NO₂ 浓度减小^[18],从而导致日出以后 NO₂ 浓度有所降低.

(III) 气象条件影响:白天气温升高,湍流活动加强,大气扩散能力增强,污染物浓度降低;夜间边界层稳定,不利于污染物扩散,污染物浓度升高^[17].

污染物浓度的空间差异原因分析如下:

(I) SO₂ 浓度与城市居民生活和工业企业这一类的局地污染物排放有关^[15-16],铜陵排放 SO₂ 的工业企业主要有冶炼厂和火电厂,第九中学周围工业企业排放的 SO₂ 是造成该测点浓度最高的主要原因.另外,铜陵市的主导风向为东北—西南走向(见图 1),而第四中学和公路局恰好位于第九中学所处工业区的东北方(吹西南风时的下风方),工业企业所排放 SO₂ 向下风方的输送,是造成第四中学和公路局 SO₂ 浓度偏高的主要原因之一.

(II) 第九中学位于工业区,周围有大量排放氮氧化物的工业企业,如铜陵电厂、铜陵海螺水泥.由于工业生产活动也是 NO₂ 的主要排放源之一,因此,第九中学周围企业排放的氮氧化物是造成该点 NO₂ 浓度持续偏高且日变化较小的主要原因.第四中学位于文化区,周边不存在大量排放源,也就使得该监测点的 NO₂ 浓度最低.对于变化幅度最大的公路局而言,由于该点位于商业区,因此受汽车尾气排放氮氧化物影响较大,这是造成 NO₂ 浓度日变化幅度大的主要原因,当车流量达到高峰时,NO₂ 浓度高,车流量小时,NO₂ 浓度低.对于污水厂来说,虽然其周边无工业和大量的公路,但距离长江较近,长江航运燃油是这一区域 NO₂ 的主要来源之一.另外,由于 NO₂ 的排放源并不像 SO₂ 的污染源一样主要位于主导风向的轴线上,而是分散地分布在地,因此沿主导风向输送的特征不明显.

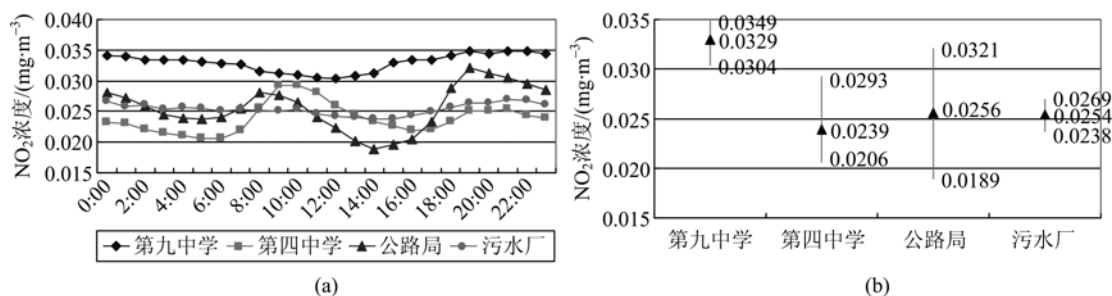


图 4 NO₂ 浓度的日变化(a)以及平均值、最大值和最小值(b)

Fig. 4 Daily variations (a) and the average, maximum and minimum (b) of NO₂ concentration

(III) 第四中学和公路局的 PM_{10} 日均浓度要高于第九中学和污水厂. 从地理位置上看, 第四中学和公路局处在市中心区域, 而第九中学和污水厂处在长江岸边的市郊. 地形地貌差异引起的风速、气温差异是造成这一空间分布差异的主要原因.

2.2 日变化规律的季节差异

从春、夏、秋、冬 4 个季节 SO_2 浓度的日变化来看(图 5), 只有污水厂的日变化规律与季节有关. 对于污水厂而言, 春、夏两季 SO_2 浓度日变化规律相

同, 均表现为白天浓度低, 夜间浓度高的特征; 冬季 SO_2 浓度较高且日变化较小, 虽然也存在白天浓度降低现象, 但浓度降低的幅度较小. 秋季 SO_2 浓度日变化中最显著的特征是, 7:00 开始 SO_2 浓度迅速增大, 到 10:00 左右达到峰值, 而后又迅速降低; 14:00 以后浓度降低的速度变缓, 18:00 浓度达到一天中的最低值, 随后浓度开始缓慢上升.

对于 PM_{10} 而言, 不同季节的浓度日变化规律相同(图 6), 秋季浓度最高, 冬季次之, 夏季的浓度最低.

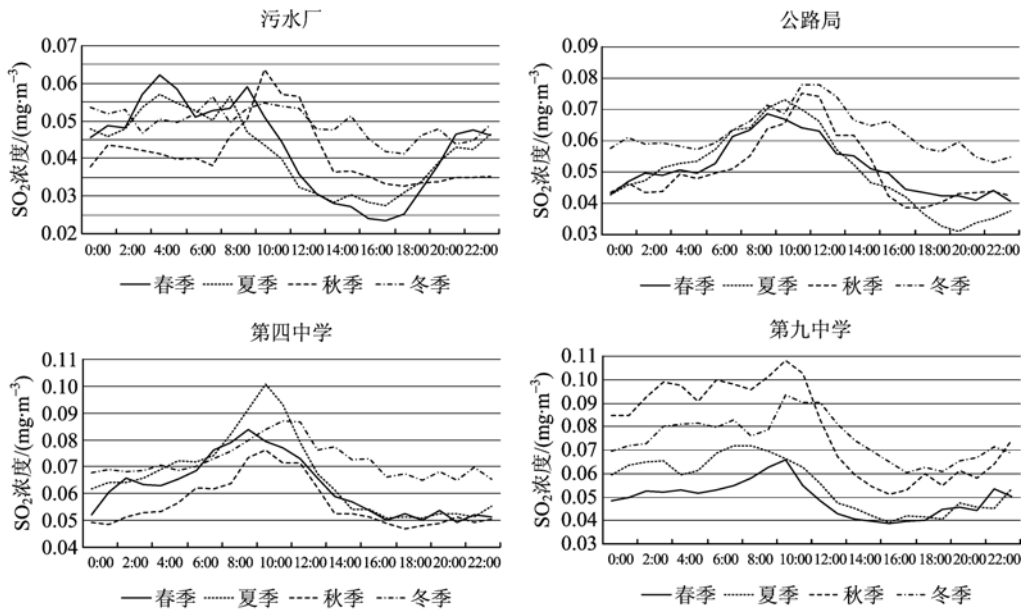


图 5 不同季节的 SO_2 浓度日变化

Fig. 5 Daily variations of SO_2 concentration in different seasons

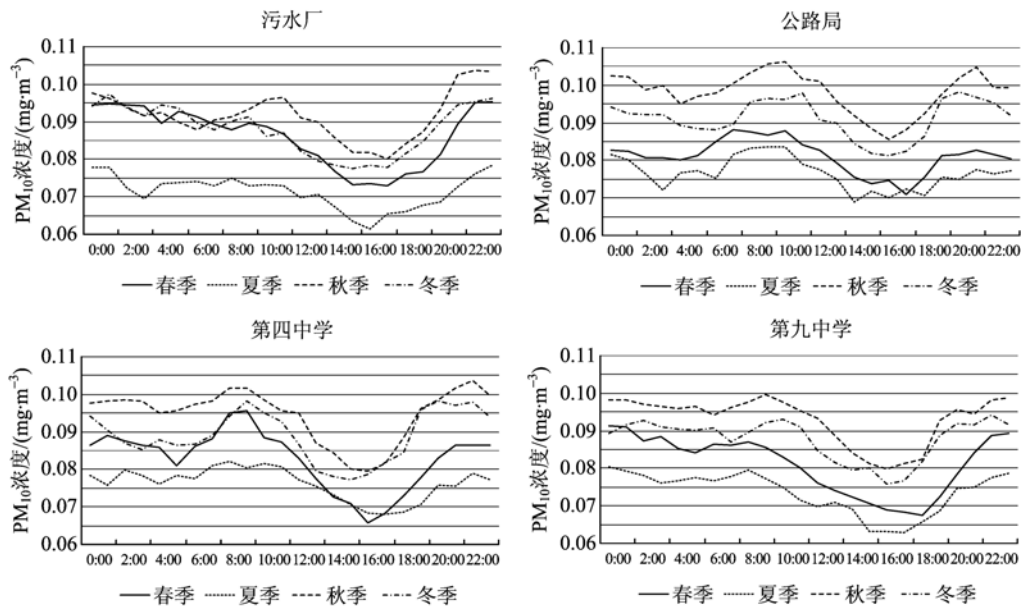


图 6 不同季节的 PM_{10} 浓度日变化

Fig. 6 Daily variations of PM_{10} concentration in different seasons

在 4 个监测点中,只有污水厂的 NO_2 浓度日变化规律表现出季节性差异(图 7). 主要表现为,除夏季外,12:00~16:00 为 NO_2 浓度最低的时段,浓度最高值出现在 21:00~22:00;而在夏季, NO_2 浓度最高值出现在 17:00 左右,最低值出现在 1:00 左右.

从以上分析来看,除污水厂外,其他监测点的空气污染物浓度日变化规律并不存在明显的季节差异,所不同的仅仅是浓度的数值及其变化的幅度. 对于污水厂来说, PM_{10} 浓度日变化规律的季节差异不明显,只有 SO_2 和 NO_2 这两种污染物浓度的日变化

特征出现了季节性的差异,主要表现为:秋冬季节的 SO_2 浓度日变化规律与春夏季不同;夏季 NO_2 浓度日变化规律与其他季节不同. 污水厂处在城市绿化区中,四周无固定的污染排放源,污染排放源与该测点之间大气输送条件的季节型变化,是导致浓度日变化出现季节差异的主要原因.

2.3 不同年份中日变化规律的差异

4 个监测点的 SO_2 浓度日变化规律在 2007~2012 年间未出现明显的变化(图 8). 但是,公路局、第四中学和第九中学这 3 个监测点的 SO_2 浓度值

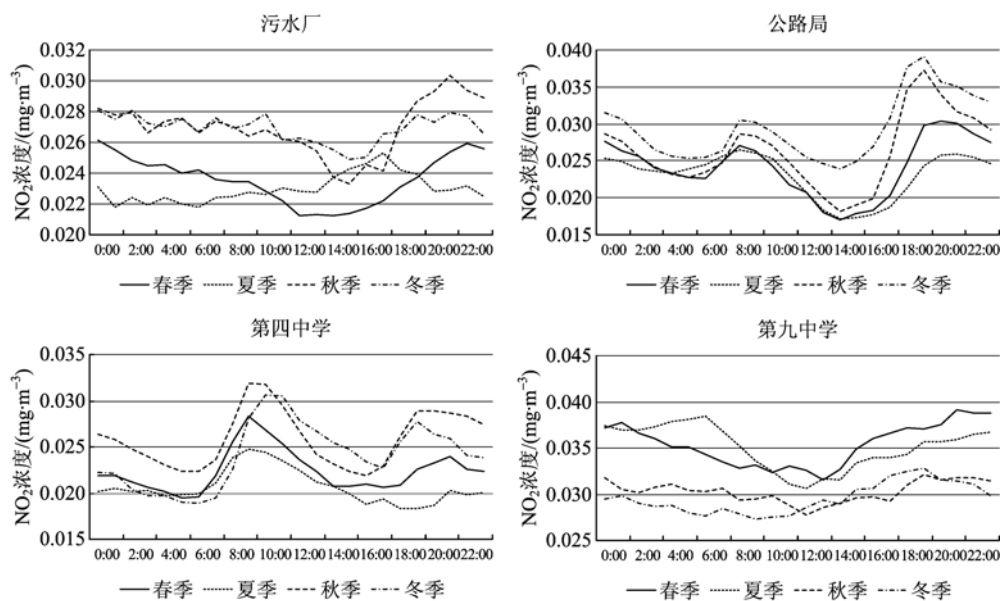


图 7 不同季节的 NO_2 浓度日变化

Fig. 7 Daily variations of NO_2 concentration in different seasons

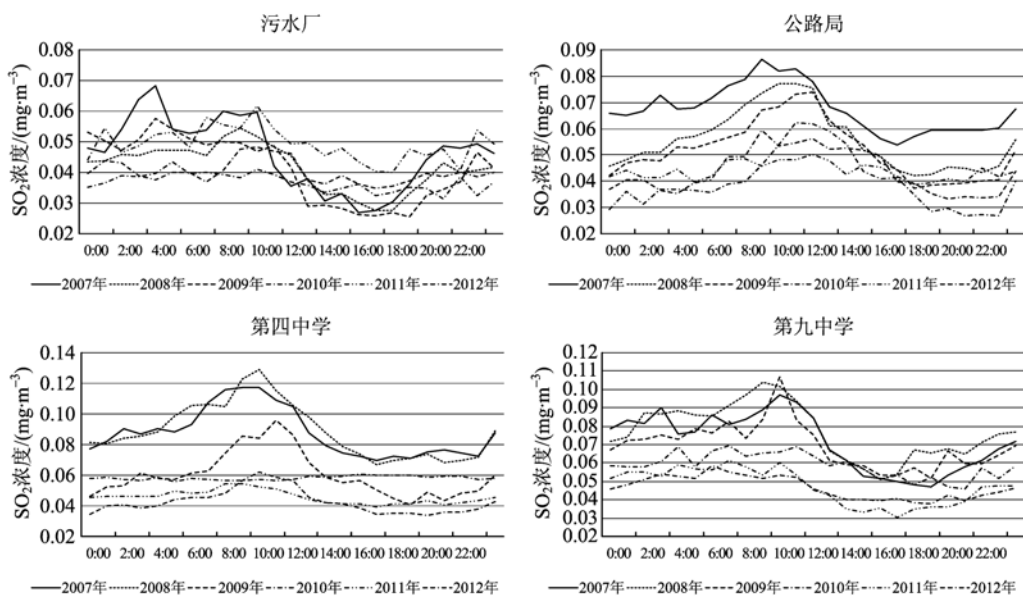


图 8 不同年份的 SO_2 浓度日变化

Fig. 8 Daily variations of SO_2 concentration in different years

有逐年降低的趋势. 由于工业企业脱硫效率的不断升高, SO₂ 的排放量逐年减小, 也使排放源附近及下风方监测点(公路局、第四中学和第九中学)的浓度值出现逐年降低的特征.

逐年的 PM₁₀ 浓度日变化规律如图 9 所示. 只有第四中学的 PM₁₀ 浓度日变化规律不存在年份间差异, 而其他 3 个监测点的 PM₁₀ 浓度日变化都在 2012 年出现了与其他年份不同的规律, 主要表现

为, 2012 年为双峰双谷型, 其余年份为单峰单谷型. 另外, 在除污水厂外的监测站点, 2012 年是 PM₁₀ 浓度最低的年份.

图 10 是逐年 NO₂ 浓度日变化规律. 其中, 公路局的 NO₂ 日变化规律在 2007~2012 年间未发生明显的改变, 表明该区域 NO₂ 的主要排放源未发生改变, 仍然为汽车尾气. 污水厂、第四中学和第九中学的 NO₂ 浓度日变化规律都出现了不同程度的改变.

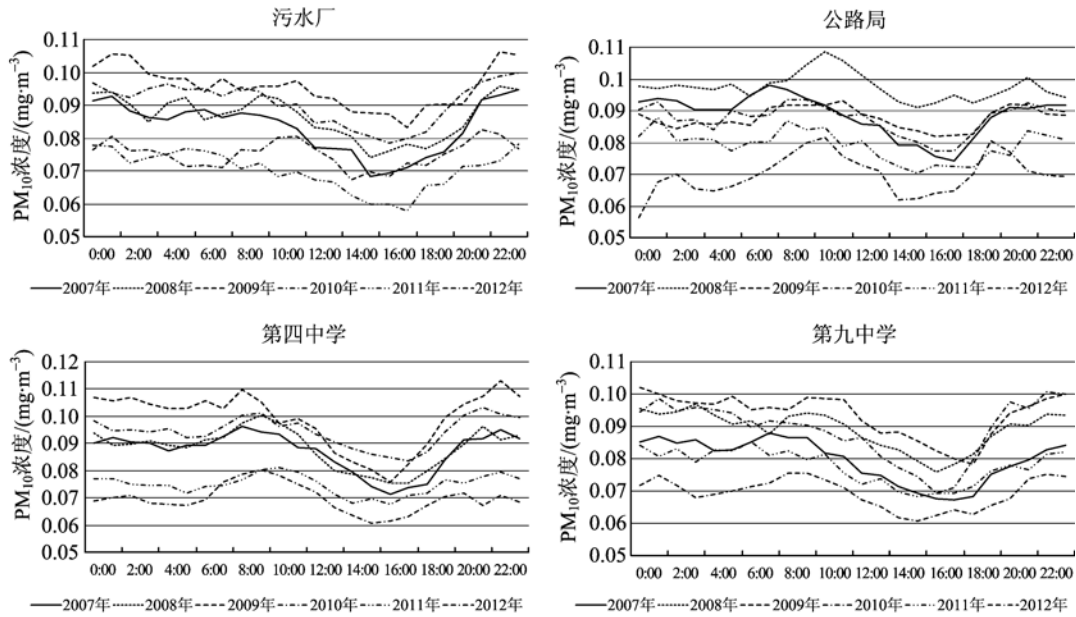


图 9 不同年份的 PM₁₀ 浓度日变化

Fig. 9 Daily variations of PM₁₀ concentration in different years

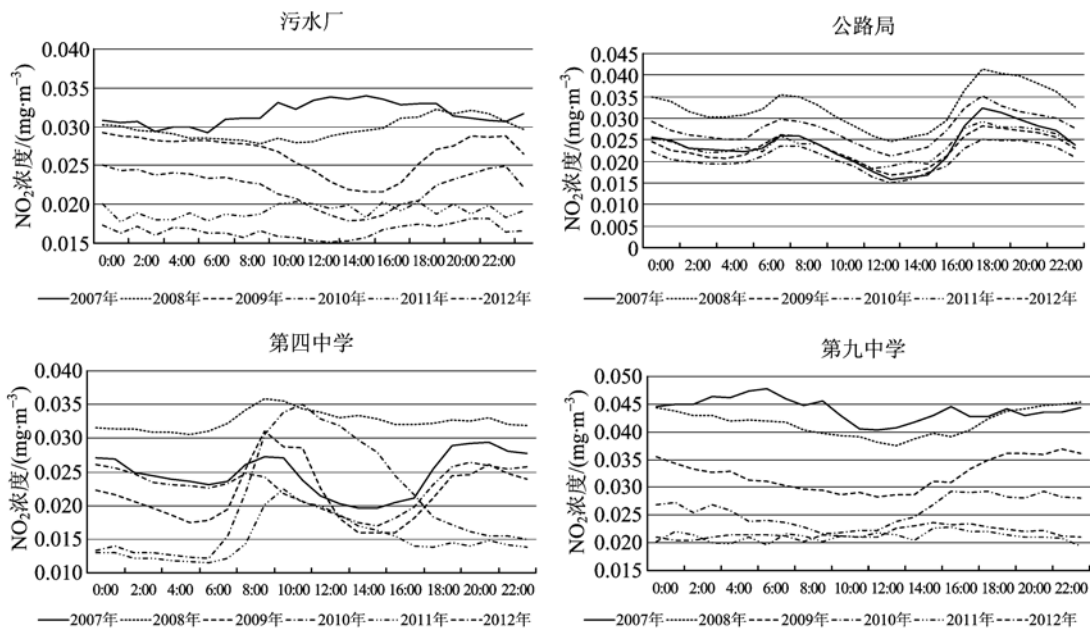


图 10 不同年份的 NO₂ 浓度日变化

Fig. 10 Daily variations of NO₂ concentration in different years

其中,污水厂出现了单峰型(2007年、2008年)、单谷型(2009年、2012年)两种显著日变化,以及NO₂浓度值在一天中近乎不变的恒值型(2010年、2011年).第四中学的NO₂浓度有单峰型(2008年、2010年、2011年)和双峰型(2007年、2009年、2012年)两种日变化,这两种日变化规律交替出现.2007~2010年第九中学的NO₂浓度日变化为单谷型,且日变化幅度在逐年减小;2011年以后为近乎不变的恒值型,一天中浓度的最大值也未超过0.024 mg/m³,与2007~2010年日变化最低值相近.从NO₂浓度年均值来看,2007~2010年为下降趋势,而2010年以后又出现升高的趋势.由于汽车尾气是NO₂的主要来源之一,2007~2010年的下降趋势主要因工业企业脱硝率的升高;而2010年以后浓度的升高,则由车辆增多导致的NO₂排放量增加而引起.NO₂的来源由工业排放为主逐渐转变为以汽车尾气污染为主.

气象要素日变化规律(图略)不存在明显的逐年变化,因此,不同年份之间浓度日变化规律的差异与气象要素无关.另外,对于同一种污染物而言,日变化规律在不同年份表现出来的差异也与地理位置有关:公路局的NO₂浓度日变化规律并不存在逐年的变化,而其他监测点的日变化规律则存在年份之间的差异.综合而言,人为影响是造成浓度日变化规律在不同年份表现出差异的主要原因.

2.4 气象条件对日变化的影响分析

计算4个监测点SO₂、NO₂和PM₁₀浓度日变化与风速、露点温度、气压、降水、相对湿度以及气温等气象要素日变化之间的相关系数,结果如表1所示.从计算结果来看,空气污染物浓度的日变化与气象要素日变化之间存在复杂的相互关系.

首先,不同类型污染物与气象要素之间的相关性存在较大差异.PM₁₀浓度日变化与气象因子日变化的关系最好,SO₂次之,NO₂最差.这主要是因为空气中SO₂和NO₂的浓度主要受到局地污染源的影响,而PM₁₀则是一个区域性的污染物,受气象条件的影响较大.这与Cristina等^[15]对意大利塔兰托市空气污染物的研究结果相一致.其次,同一种污染物的日变化规律,在不同的监测点与之具有显著相关性的气象要素也不一样.

以上分析表明,空气污染物浓度变化与气象条件之间的关系,也因地点和污染物种类而不同.即污

染物浓度日变化与气象要素日变化之间的关系与污染物类型、监测点位置有关.根据监测点所处功能区中污染物源分布的情况,将监测点分为污染排放型、扩散输送型和复合影响型3种.其中,污染排放型是指对于某种污染物而言,铜陵市的主要排放源位于此类监测点附近,监测点的污染物主要来源于铜陵市主要污染源的直接排放.扩散输送型是指监测点周边不存在某种污染物的排放源,铜陵市主要污染源所排放污染物的扩散和输送是此类监测点污染物的主要来源.而复合型是指监测点周边虽然存在某种污染物排放源,但不是铜陵市最为主要的排放源,污染物兼有直接排放和扩散输送两个方面的来源.结合各污染物主要来源以及各监测点所代表的功能区现状,按照污染物类型的不同来对4个监测点进行分类,结果如表1所示.

从表1中可以看出,对于扩散输送型,污染物浓度的日变化与气象条件之间的关系最为密切,同时与风速、气压、相对湿度和气温这4个气象要素的日变化之间具有显著的相关.污染排放型监测点的浓度日变化与气象要素变化之间关系要比扩散输送型差,但也同时与气压、相对湿度和气温这3个气象要素的日变化之间具有显著的相关.对于复合影响型监测点来说,由于受到多方面的影响,因此浓度日变化与气象要素日变化之间的关系最差,不存在明显的规律性.此外,对于复合影响型的监测点,还出现了与污染物扩散、输送理论相悖的相关性,主要表现为公路局SO₂浓度日变化与风速间呈正相关,即风速增大,浓度升高.考虑到风速为气象站所观测的信息,因此主要代表区域的平均状态.对于风而言,由于公路局位于商业区,密集的城市建筑会使得风向、风速发生改变,因此气象站观测到的风与这个监测点的实际风之间存在差异,这也是出现SO₂浓度日变化与气象要素之间出现正相关的主要原因.

综合而言,对于点源排放为主的污染物(SO₂, PM₁₀),在排放源周边,浓度变化主要受到污染排放的影响.在周边无污染源的区域,SO₂, PM₁₀和NO₂浓度的日变化与气象要素之间的关系最为密切.而对于移动式的排放源(NO₂),由于监测点同时受到本地排放和周边扩散、输送的影响,因此浓度日变化与气象要素之间的相关性变得模糊且多变.

表 1 不同污染物浓度日变化与气象要素日变化的相关系数
 Tab. 1 Correlation coefficient of SO₂, NO₂ and PM₁₀ concentration daily variations
 with meteorological factor daily variations

			风速	气压	降水	相对湿度	气温
SO ₂	第九中学	Pearson 相关性	-0.193	0.805**	0.255	0.666**	-0.634**
	(污染排放型)	显著性(双侧)	0.365	0	0.23	0	0.001
	第四中学	Pearson 相关性	0.363	0.732**	0.507*	0.153	-0.111
	(复合影响型)	显著性(双侧)	0.082	0	0.012	0.475	0.607
	公路局	Pearson 相关性	0.589**	0.571**	0.551**	-0.085	0.129
	(复合影响型)	显著性(双侧)	0.002	0.004	0.005	0.694	0.547
PM ₁₀	污水处理	Pearson 相关性	-0.415*	0.793**	0.117	0.815**	-0.790**
	(扩散输送型)	显著性(双侧)	0.044	0	0.587	0	0
	第九中学	Pearson 相关性	-0.693**	0.778**	-0.242	0.862**	-0.853**
	(扩散输送型)	显著性(双侧)	0	0	0.255	0	0
	第四中学	Pearson 相关性	-0.565**	0.895**	-0.101	0.730**	-0.718**
	(扩散输送型)	显著性(双侧)	0.004	0	0.637	0	0
NO ₂	公路局	Pearson 相关性	-0.373	0.938**	0.032	0.610**	-0.591**
	(污染排放型)	显著性(双侧)	0.073	0	0.881	0.002	0.002
	污水处理	Pearson 相关性	-0.704**	0.697**	-0.381	0.780**	-0.777**
	(扩散输送型)	显著性(双侧)	0	0	0.066	0	0
	第九中学	Pearson 相关性	-0.717**	-0.392	-0.494*	0.253	-0.297
	(复合影响型)	显著性(双侧)	0	0.058	0.014	0.232	0.159
NO ₂	第四中学	Pearson 相关性	0.355	0.628**	0.229	-0.245	0.266
	(复合影响型)	显著性(双侧)	0.089	0.001	0.283	0.248	0.209
	公路局	Pearson 相关性	-0.688**	0.361	-0.262	0.425*	-0.447*
	(复合影响型)	显著性(双侧)	0	0.083	0.216	0.038	0.029
	污水处理	Pearson 相关性	-0.857**	0.242	-0.432*	0.562**	-0.590**
	(复合影响型)	显著性(双侧)	0	0.255	0.035	0.004	0.002

【注】 ** 在 0.01 水平(双侧)上显著相关. * 在 0.05 水平(双侧)上显著相关.

3 结论

利用 2007~2010 年铜陵市 4 个空气监测点 PM₁₀, NO₂, SO₂ 浓度的监测资料, 以及气象站所观测到的气象信息, 对铜陵市空气污染物的特征进行分析, 得出以下结论:

(I) 铜陵市 3 种空气污染物浓度存在“白天变化显著、夜间变化平缓”的特征. 大体上可以分为“单峰单谷型”和“双峰双谷”两大类.

(II) 浓度日变化存在空间差异, 污染源分布情况以及不同地区地形地貌的差异是引起日变化空间差异的主要原因.

(III) 浓度日变化规律的逐年变化与气象条件无关, 主要受人文活动的影响. 其中, 工业脱硫效率的提高, 是使得 SO₂ 浓度出现逐年变化的主要原因之一. 而脱硝效率的提高, 则是导致 NO₂ 的主要污染源从工业企业逐渐转变为汽车尾气的主要因素之一.

(IV) 主要污染源附近的监测点(污染排放型), 浓度日变化规律与气压、相对湿度和气温 3 个要素

日变化之间存在相关性, 而与风速、降水的日变化规律无关. 周边无污染物排放的监测点(扩散输送型), 浓度日变化规律不仅与气压、相对湿度和气温日变化存在显著相关, 还与风速呈反向相关关系. 对于周边虽有部分污染源, 但不是区域内的主要污染源的监测点(复合影响型), 浓度日变化与气象要素之间无统一的相关关系.

参考文献(References)

- [1] Ding Yihui, Li Qiaoping, Liu Yanju, et al. Atmospheric aerosols, air pollution and climate change [J]. Meteorological Monthly, 2009, 35(3): 3-14.
丁一汇, 李巧萍, 柳艳菊, 等. 空气污染与气候变化[J]. 气象, 2009, 35(3): 3-14.
- [2] Shi Huading, Gao Qingxian, Zhang Shihuang, et al. Research review of impacts and feedback of air pollution on climate change [J]. Research of Environmental Sciences, 2012, 25(9): 974-980.
师华定, 高庆先, 张时煌, 等. 空气污染对气候变化影响与反馈的研究评述[J]. 环境科学研究, 2012, 25(9):

- 974-980.
- [3] Liu Yonghong, Yu Zhi, Huang Yanling, et al. Characteristic analysis on uneven distribution of air pollution in cities [J]. *Environmental Monitoring in CHINA*, 2011, 27(3):93-96.
刘永红,余志,黄艳玲,等. 城市空气污染分布不均匀特征分析[J]. *中国环境监测*, 2011, 27(3): 93-96.
- [4] Zhang Xinmin, Chai Fahe, Wang Shulan, et al. Characteristics of air pollution in Shenyang City, China [J]. *CHINA Environmental Science*, 2006, 26(6): 650-652.
张新民,柴发合,王淑兰,等. 沈阳市空气污染特征[J]. *中国环境科学*, 2006, 26(6):650-652.
- [5] Uzan L, Alpert P. The coastal boundary layer and air pollution: A high temporal resolution analysis in the east Mediterranean Coast [J]. *The Open Atmospheric Science Journal*, 2012, 6: 9-18; doi: 10.2174/1874282301206010009.
- [6] Liu Luning, Shen Yuxuan, Xin Jinyuan, et al. Variation of atmospheric pollutants in Qinhuangdao City [J]. *Environmental Science*, 2013, 34(6): 2 089-2 097.
刘鲁宁,申雨璇,辛金元,等. 秦皇岛大气污染物浓度变化特征[J]. *环境科学*, 2013, 34(6): 2 089-2 097.
- [7] Guttikunda S K, Gurjar B R. Role of meteorology in seasonality of air pollution in megacity Delhi, India [J]. *Environ Monit Assess*, 2012, 184:3 199-3 211.
- [8] Wang Haipeng, Zhang Bin, Liu Zuhan, et al. Wavelet analysis of air pollution index changes in Lanzhou during the last decade [J]. *ACTA Scientiae Circumstantiae*, 2011, 31(5): 1 070-1 076.
王海鹏,张斌,刘祖涵,等. 2011. 基于小波变换的兰州市近十年空气污染指数变化[J]. *环境科学学报*, 2011, 31(5): 1 070-1 076.
- [9] Feng Hongfang, Sui Ping, Qiu Lixia. Temporal and spatial distributions and influencing factor analysis of air pollutant concentrations in Fuzhou [J]. *Meteorological Science and Technology*, 2003, 31(6): 356-360.
冯宏芳,隋平,邱丽霞. 福州市污染物浓度时空分布及影响因子分析[J]. *气象科技*, 2003, 31(6): 356-360.
- [10] Ji Zhongping, Luo Senbo, Kuang Jianxin, et al. Variation characteristics and prediction of air pollution in Guangzhou [J]. *Journal of Tropical Meteorology*, 2006, 22(6): 574-581.
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.
- [11] Cao Wenjun, Zhu Wen. Calculating methods of the atmospheric stability parameters and comparison of some stability classification schemes [J]. *China Environmental Science*, 1990, 10(2): 142-147.
曹文俊,朱汶. 大气稳定度参数的计算方法及几种稳定度分类方法的对比研究[J]. *中国环境科学*, 1990, 10(2):142-147.
- [12] Li Xiaofei, Zhang Mingjun, Wang Shengjie, et al. Variation characteristics and influencing factors of air pollution index in China [J]. *Chinese Journal of Environmental Science*, 2012, 33(6): 1 936-1 943.
李小飞,张明军,王圣杰,等. 中国空气污染指数变化特征及影响因素分析[J]. *环境科学*, 2012, 33(6):1 936-1 943.
- [13] Yao Qing, Zhang Changchun, Fan Wenyan, et al. Correlation of horizontal visibility and air pollution concentration in winter in Tianjin [J]. *Meteorological Science and Technology*, 2010, 38(6): 704-708.
姚青,张长春,樊文雁,等. 天津冬季大气能见度与空气污染的相互关系[J]. *气象科技*, 2010, 38(6):704-708.
- [14] Shi Huading, Gao Qingxian, Zhang Shihuang, et al. Research review of impacts and feedback of air pollution on climate change [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2012, 25(9): 974-980.
师华定,高庆先,张时煌,等. 空气污染对气候变化影响与反馈的研究评述[J]. *环境科学研究*, 2012, 25(9): 974-980.
- [15] Mangia C, Gianicolo EAL, Bruni A, et al. Spatial variability of air pollutants in the city of Taranto, Italy and its potential impact on exposure assessment [J]. *Environ Monit Assess*, 2013, 185:1 719-1 735.
- [16] Oettl D, Almbauer R A, Sturm P J, et al. Dispersion modelling of air pollution caused by road traffic using a Markov Chain-Monte Carlo model [J]. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 2003, 17: 58-75.
- [17] Niu Yuwen, Gu Junqiang, Pu Jingjiao, et al. The pollutant characteristics of SO₂ and NO_x in Yangtze River Delta background region [J]. *Environmental Chemistry*, 2009, 28(4):590-593.
牛彧文,顾骏强,浦静姣,等. 长三角区域背景地区 SO₂ 和 NO_x 本底特征[J]. *环境化学*, 2009, 28(4):590-593.
- [18] Shan Wenpo, Yin Yongquan, Du Shiyong, et al. Ozone pollution, influence factors and their correlation at urban area in summer [J]. *Environmental Science*, 2006, 27(7): 1 276-1 281.
单文坡,殷永泉,杜世勇,等. 夏季城市大气 O₃ 浓度影响因素及其相关关系[J]. *环境科学*, 2006, 27(7): 1 276-1 281.