

# 北海市城区大气污染物变化特征与地区生产总值的关系

## The Characteristic of Ambient Air Pollution in Beihai and Its Relationship with the Gross Domestic Product

郭梅修, 林薇薇

GUO Mei-xiu, LIN Wei-wei

(广西壮族自治区北海市环境保护科学研究所, 广西北海 536000)

(Beihai Municipal Research Institute of Environmental Protection, Beihai, Guangxi, 536000, China)

**摘要:**利用北海市 2002~2012 年中  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  和  $\text{PM}_{10}$  浓度的监测数据, 分析城区大气污染物的月变化、季节变化、年变化、空间分布以及地区生产总值(GDP)增长对污染物浓度的影响。结果表明:北海城区大气环境质量整体状况较优, 主要污染物  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  和  $\text{PM}_{10}$  污染物浓度具有明显的时空变化, 污染物在时间上呈冬高夏低的季节性变化, 并受季风、降水湿沉降的影响明显; 在空间上, 污染物呈南高北低的区域性变化, 市区及近郊高于远郊。污染物浓度和 GDP 增长关系明显, GDP 增长幅度较污染物增长幅度大, 两者之间存在着显著线性相关关系。北海市第一产业(农林牧渔业)和第三产业(服务业)对污染物排放量贡献大于第二产业(工业及建筑业)。

**关键词:**大气污染物 二氧化氮 二氧化硫 可吸入颗粒物 地区生产总值

中图法分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 1002-7378(2013)04-0239-04

**Abstract:** The characteristic of mensual, trimestral and annual variation and spatial distribution of air pollution, and their relationship with the gross domestic product (GDP) were analyzed based on the concentration of  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  and  $\text{PM}_{10}$  in Beihai city from 2002 to 2012. The results showed that temporal and spatial variances of pollutants were significant. The concentration of pollutants in urban were higher than that in rural area, and the concentration of pollutants in winter seemed significantly higher than that in summer. There were significant association between pollutants and GDP. The impact of GDP from primary and tertiary industry on the pollutants emission was higher than that from secondary industry.

**Key words:** ambient air pollutant,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{PM}_{10}$ , GDP

北海市地处广西壮族自治区南段, 北部湾东岸, 是中国西部地区唯一的沿海开放城市, 也是中国与北部湾经济合作区域的重要城市, 其自然生态环境位居国家环境保护部公布的“全国空气质量最好的 10 个城市”之列<sup>[1]</sup>。2002 至 2012 年, 北海经济建设步伐不断加快, 给大气环境造成了一定的影响,

城区大气环境污染日益严峻。然而, 在这 10 年间, 关于北海市城区大气污染物变化的研究相对较少, 到目前为止, 未见有本市主要污染物时空分布特征、季节变化及日变化规律的系统性报道。

影响北海市城区大气污染的主要污染物有可吸入颗粒物(空气动力学直径小于等于  $10\mu\text{m}$  的大气颗粒物,  $\text{PM}_{10}$ ), 二氧化氮( $\text{NO}_2$ )和二氧化硫( $\text{SO}_2$ )。 $\text{PM}_{10}$  可通过散射和吸收太阳光, 及作为云凝结核改变云雾形成等, 从而影响全球气候<sup>[2]</sup>。同时,  $\text{PM}_{10}$  因其自身复杂的物化特性, 如化学组分、粒径、表面

收稿日期: 2013-08-08

修回日期: 2013-08-20

作者简介: 郭梅修(1973-), 女, 工程师, 主要从事生态环境监测研究。

活性、浓度等,可对人体健康产生负面影响。 $\text{NO}_2$  和  $\text{SO}_2$  是酸雨的主要成分,他们对大气光化学反应的贡献和人体健康的影响是目前关注的热点。本文利用北海市 2002~2012 年大气污染物常规的监测数据,分析主要污染物( $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{SO}_2$  和  $\text{NO}_2$ )浓度的变化规律和时空分布特征,以及区域生产总值(GDP)与大气污染物浓度变化之间的相关关系。为进一步保护北海市良好的空气质量,预测和控制大气污染提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 资料来源

所用资料包括:(1)老环保局、海滩公园和莫屋 3 个空气质量自动监测站于 2002~2007 年每年 1~12 月,2008 年 1~3 月的每日实时  $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{NO}_2$  和  $\text{SO}_2$  的监测浓度。(2)2008 年 3~12 月,2009~2012 年每年 1~12 月,污染物数据取自北海市环境监测中心站在新环保局、海滩公园和工业园区 3 个空气质量自动监测站的每日实时  $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{NO}_2$  和  $\text{SO}_2$  的监测浓度。(3)2011~2012 年 1~12 月,污染物数据取自“清洁对照点”牛尾岭水库每日实时  $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{NO}_2$  和  $\text{SO}_2$  的监测浓度。(4)2002~2012 年北海市 GDP 及北部湾经济合作区(含南宁、北海、钦州和防城港)GDP 数据来自文献[3]。

### 1.2 统计模型

污染物浓度和 GDP 变化趋势使用 Spearman 秩相关系数进行分析,污染物浓度与 GDP 及各产业产值之间的关系采用线性回归模型进行分析。所有统计分析均在统计软件 STATA 10.0(StataCorp, College Station, TX, USA)中进行。

## 2 结果与分析

### 2.1 北海城区 $\text{NO}_2$ 、 $\text{SO}_2$ 和 $\text{PM}_{10}$ 浓度月变化及季节变化特征

通过分析北海市 2002~2012 年大气环境质量监测结果(图 1)可知, $\text{NO}_2$  和  $\text{SO}_2$  浓度的月均值变化趋势平稳,各月浓度差别不大,平均浓度分别在  $8.07\sim 12.67\mu\text{g}/\text{m}^3$  和  $5.61\sim 10.89\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,均达到国家一级标准<sup>[4]</sup>; $\text{PM}_{10}$  浓度的月均值最高值出现在 12 月,次高值出现在 1 月,最低值出现在 7 月,呈“山谷型”变化,其他月平均浓度在  $30\sim 60\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。表 1 结果显示, $\text{PM}_{10}$  浓度具有明显的季节性变化特征, $\text{NO}_2$  和  $\text{SO}_2$  各季节之间浓度差异不显著,但仍表现出一定的季节性变化趋势。这 3 种污染物污染

程度均以第一、二季度污染较轻,第三、四季度污染较重,即冬季最高,秋季次之,春夏污染浓度较低。

由于北海市全年无采暖期和非采暖期,季节性差异不大,因此污染物浓度的季节性差异主要原因,可能是由于北海地处亚热带海洋性季风气候区,4~9 月受偏南季风影响,降雨量约占全年降雨量的 84%<sup>[5]</sup>,因而夏季的高温高湿及降水对污染物的物理去除和化学转化作用明显。而冬季低温干燥,降雨量少,逆温条件限制了污染物的扩散和转化;同时,由于冬季偏北季风的影响,风向由大陆吹往海洋,该季节北海城区局地污染物浓度还受到内陆污染物长距离输送的影响,因此冬季污染物浓度高于其他季节。

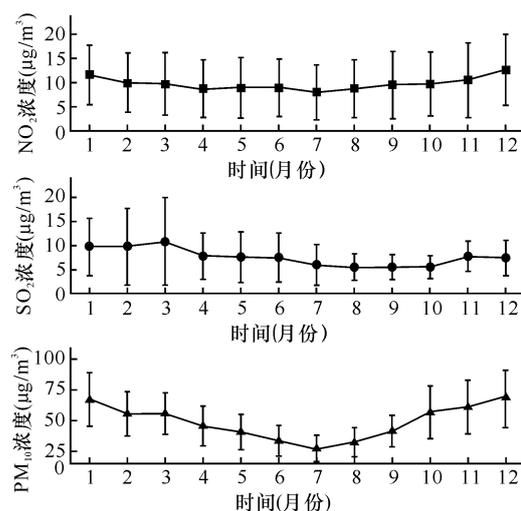


图 1  $\text{NO}_2$ 、 $\text{SO}_2$  和  $\text{PM}_{10}$  月平均浓度变化趋势

■:  $\text{NO}_2$ ; ●:  $\text{SO}_2$ ; ▲:  $\text{PM}_{10}$ 。

表 1  $\text{NO}_2$ 、 $\text{SO}_2$  和  $\text{PM}_{10}$  平均浓度的季节分布

季节	$\text{NO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		$\text{SO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		$\text{PM}_{10}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
	平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	平均值	标准偏差
春季	9.89	6.11	13.17	7.42	46.82	17.94
夏季	8.95	5.64	11.40	6.53	29.28	10.95
秋季	10.79	7.30	13.34	7.42	53.40	22.44
冬季	12.25	6.77	14.99	8.72	64.04	22.46

### 2.2 北海城区 $\text{NO}_2$ 、 $\text{SO}_2$ 和 $\text{PM}_{10}$ 浓度空间分布特征

图 2 中海滩公园监测点位于一类功能区,新环保局和工业园区监测点位于二类功能区,牛尾岭水库监测点属于清洁对照点,各站点的排列顺序按照其在地图上由南向北的地理位置排布。图 2 结果显示,对  $\text{NO}_2$ 、 $\text{SO}_2$  和  $\text{PM}_{10}$  浓度空间分布而言,清洁对照点浓度和其他站点浓度相比处于最低值( $\text{PM}_{10}$  在 7 月和 10 月的浓度均值除外),处于一类功能区(海滩公园)和二类功能区(新环保局和工业园区)的

监测站点浓度总体偏高。如果不考虑工业园区监测点对  $\text{NO}_2$  和  $\text{SO}_2$  的贡献,则总体而言,污染物浓度的空间分布呈南高北低的趋势。由于工业园区存在化工机械类污染企业,排放的污染物总量较高,而由图 2 可知,该监测点  $\text{NO}_2$  和  $\text{SO}_2$  月平均浓度变化相对平稳,随季节变化不明显,即受与季节变化相关联的气象因素(风向、气温、气压)影响较小。由此可推断,污染物在空间上的长距离输送对工业园区监测点的贡献小于局地源排放。

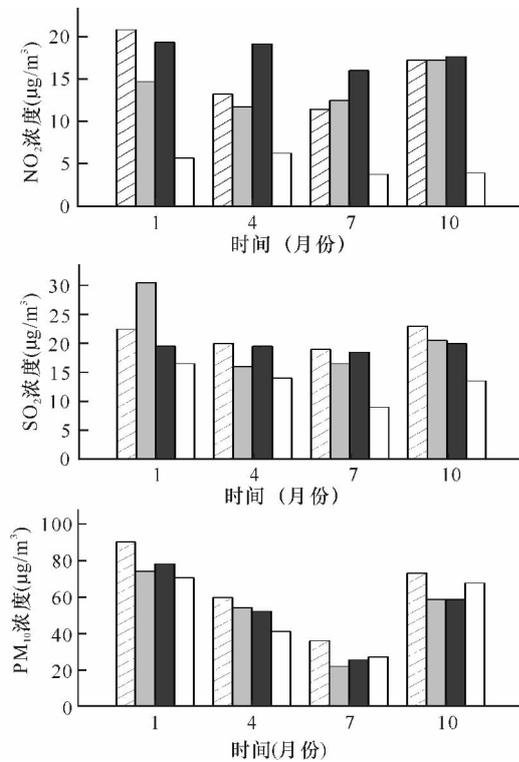


图 2 2011~2012 年  $\text{NO}_2$ 、 $\text{SO}_2$  和  $\text{PM}_{10}$  季节中月(1, 4, 7, 10 月)月平均浓度变化区域分布

▨: 海滩公园; ▤: 新环保局; ■: 工业园; □: 牛尾岭。

海滩公园监测点毗邻大海,在海洋及海岸区域,大气中的颗粒物来源主要是海盐,其次为陆域污染源和海洋生物活动释放物的氧化产物。由于除工业园区外,北海城区并无明显的局地源排放,因此与其他站点监测数据相比,其  $\text{PM}_{10}$  浓度所呈现出的高值表明出该站点受大气中的海盐颗粒物影响较大。

### 2.3 污染物年变化及其与 GDP 等社会经济要素关系分析

由图 3 可以看出,北海市  $\text{NO}_2$ 、 $\text{SO}_2$  和  $\text{PM}_{10}$  在 2002~2007 年变化趋势较为平缓,2008 年后,污染物浓度逐年显著上升,到 2011 年各污染物浓度达到峰值,其中  $\text{NO}_2$  浓度达到  $19.63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $\text{SO}_2$  浓度达到  $23.11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $\text{PM}_{10}$  浓度为  $60.56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。在

北海市经济高速发展的近 10 年间,  $\text{NO}_2$  的年平均浓度皆低于国家一级标准规定值  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $\text{SO}_2$  年平均浓度除 2011 年外亦低于国家一级标准规定值  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $\text{PM}_{10}$  年平均浓度值介于国家标准 1~2 级 ( $40\sim70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )。

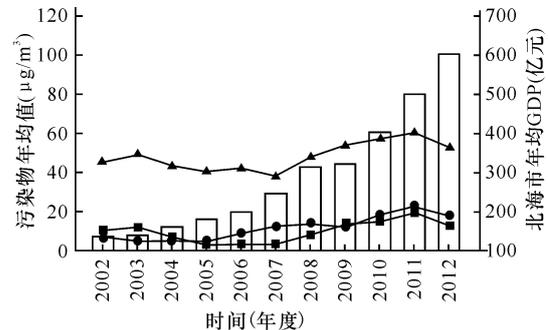


图 3 2002~2012 年北海市  $\text{NO}_2$ 、 $\text{SO}_2$  和  $\text{PM}_{10}$  浓度年平均均值及年均 GDP 时间序列变化

■:  $\text{NO}_2$ ; ●:  $\text{SO}_2$ ; ▲:  $\text{PM}_{10}$ ; □: GDP。

表 2 结果显示,2002~2012 年北海市 GDP 呈显著上升趋势,除总 GDP 外,第一产业(农林牧渔业),第二产业(工业及建筑业)和第三产业(服务业)也呈现出显著上升的变化趋势。这期间,北海市污染物浓度虽然也呈增长趋势,但其随时间的增长幅度小于 GDP 增长幅度。

对 GDP 与  $\text{NO}_2$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{PM}_{10}$  之间分别进行线性拟合,模型的复相关系数依次为 0.40、0.82 和 0.51,经统计学检验,  $P$  值均小于 0.05,说明所建立的模型具有统计学意义。由相关性分析结果可知,2002~2012 年, GDP 与污染物排放浓度之间存在极其显著的相关关系,北海市 GDP 每增加 1 亿元,  $\text{NO}_2$  年平均浓度将增加  $0.022 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $\text{SO}_2$  年平均浓度将增加  $0.036 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $\text{PM}_{10}$  年平均浓度将增加  $0.033 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。其中,第一产业产值与这 3 种主要污染物的相关性最强,其次为第三产业;第二产业与污染物之间的相关性最弱,其与  $\text{NO}_2$  之间的相关关系甚至不具有统计显著性。这表明北海市第二产业产值的大气污染物排放量小于其他产业产值的大气污染物排放量。就产业结构的能源需求角度而言,第二产业相比第一和第三产业对煤炭和石油等能源的需求要大得多,因此如果第二产业占区域产业体系比重大的话,则污染物排放量应较大。然而,北海城区的支柱产业为旅游产业,高新技术产业,海洋产业和现代农业产业,第二产业以低碳经济产业为主,这可视为第二产业与大气污染物浓度之间相关性较弱的原因之一。

表2 北海市污染物及地区生产总值 GDP(含第一,二,三产业产值)2002~2012年变化趋势统计及相关关系

项目	秩相关系数	变化趋势	每亿元 GDP 增加, 污染物升高浓度( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 95% 置信区间)			
			总 GDP	第一产业	第二产业	第三产业
$\text{NO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	0.53	不显著	0.022* (0.0016~0.042)	0.16* (0.035~0.28)	0.061 (-0.0022~0.12)	0.10* (0.026~0.17)
$\text{SO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	0.91*	显著上升	0.036* (0.023~0.048)	0.23* (0.18~0.29)	0.10* (0.083~0.13)	0.14* (0.11~0.18)
$\text{PM}_{10}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	0.66*	显著上升	0.033* (0.0086~0.058)	0.24* (0.096~0.38)	0.097* (0.023~0.17)	0.15* (0.063~0.23)
总 GDP(亿元)	0.95*	显著上升				
第一产业产值(亿元)	0.94*	显著上升				
第二产业产值(亿元)	0.96*	显著上升				
第三产业产值(亿元)	0.94*	显著上升				

\*  $P < 0.05$ , 显著性检验。

城市空气质量的变化是自然环境和人类活动共同作用的结果, 社会经济因素的变化, 如 GDP 的飞速增长对城市空气质量起着重要作用。多个城市在探讨大气污染物浓度水平与经济发展指标关系时, 发现 GDP 与大气污染物时空变化之间存在很好的相关关系, 社会经济发展水平对大气污染物的时空动态变化存在一定影响<sup>[6~8]</sup>。这些研究与本研究在对大气污染物与 GDP 关系的初步探讨所得结论一致。这也符合文献<sup>[9]</sup>的观点: 目前我国绝大部分地区经济增长会对环境造成巨大压力。

### 3 结论

利用北海市 2002~2012 年  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  和  $\text{PM}_{10}$  浓度的监测数据, 分析城区大气污染物的时空变化以及 GDP 增长对污染物浓度的影响。结果表明:

(1) 北海城区大气环境质量整体状况较优, 能满足功能区的空气质量要求。 $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  和  $\text{PM}_{10}$  污染物浓度具有明显的季节性变化, 冬季污染物浓度最高, 夏季污染物浓度最低。污染物浓度受气候因素如季风、降水湿沉降的影响明显。

(2) 从城市分布情况而言, 污染物浓度呈南高北低分布, 市区及近郊高于远郊。海岸区域因受海盐颗粒物影响,  $\text{PM}_{10}$  浓度较高。

(3) 在目前的产业结构下, GDP 和各污染物浓度之间存在显著的线性相关关系。第一产业产值与污染物浓度的相关性最强, 第二产业与污染物之间的相关性最弱。

### 参考文献:

- [1] 北海市人民政府. 北海概况[EB/OL]. (2013-09-17). <http://www.beihai.gov.cn/21/city.htm>.
- [2] Haywood J, Boucher O. Estimates of the direct and indirect radiative forcing due to tropospheric aerosols: A review[J]. *Reviews of Geophysics*, 2000, 38(4): 513-543.
- [3] 广西壮族自治区统计局. 2002 年至 2012 年广西统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2012.
- [4] 环境保护部, 国家质量监督检验检疫总局. GB3095—2012 环境空气质量标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2012.
- [5] 北海市地方志编纂委员会. 北海市志[EB/OL]. (2011-12-17). [http://www.beihai.gov.cn/11725/2011\\_12\\_17/11725\\_257682\\_1324133355719.html](http://www.beihai.gov.cn/11725/2011_12_17/11725_257682_1324133355719.html).
- [6] 王希波, 马安青, 安兴琴, 等. 兰州市主要大气污染物浓度季节变化时空特征分析[J]. *中国环境监测*, 2007, 23(4): 61-65.
- [7] 张金锁, 柳梦琦, 赵京, 等. 榆林市工业 GDP 与环境污染相关性的实证分析[J]. *西安科技大学学报*, 2009, 29(3): 287-292.
- [8] 李茜, 宋金平, 张建辉, 等. 中国城市化对环境空气质量影响的演化规律研究[J]. *环境科学学报*, 2013, 33(9): 2402-2411.
- [9] 夏庆澍, 兰天. 中国经济增长与环境污染关系的实证性研究[J]. *企业导报*, 2011, 1: 17-18.

(责任编辑: 尹 闯)