

# 2005–2015 年珠三角对流层 NO<sub>2</sub> 柱浓度时空变化遥感监测

周春艳 付卓 马鹏飞 厉青 王中挺 陈辉 毛慧琴 姚延娟

(环境保护部卫星环境应用中心, 北京 100094)

**【摘要】**本文基于 OMI 遥感数据, 详细分析了近十一年间珠三角对流层 NO<sub>2</sub> 柱浓度时空变化格局, 结果表明: (1) 珠三角对流层 NO<sub>2</sub> 柱浓度年均下降率为 4.25%。2015 年浓度最低, 为  $508.83 \times 10^{13} \text{ mole/cm}^2$ ; 2007 年最高, 为  $819.37 \times 10^{13} \text{ mole/cm}^2$ 。2010 年较 2005 年下降 12.11%, 2015 年较 2010 年下降 26.28%; (2) 珠三角对流层 NO<sub>2</sub> 柱浓度分布呈中间高、周边低的趋势。中部的广州、佛山、东莞、中山、深圳市等发达或重工业城市为中心的区域是高浓度中心; 肇庆、惠州、江门和珠海处于一、二级较低浓度水平; (3) 对流层 NO<sub>2</sub> 柱浓度月均值呈显著年度周期性变化, 一年中 NO<sub>2</sub> 最低值一般出现在 6–9 月; 最高值一般出现在 1、2、11、12 月。

**【关键词】**对流层 NO<sub>2</sub>; OMI; 遥感监测; 时空变化; 珠三角

中图分类号: X87 文献标识码: A 文章编号: 1673–288X(2016)05–0033–04

## 1 引言

对流层是各层大气中与人类活动联系最为密切的一层。与平流层相比, 对流层中物种丰富, 天气现象频繁, 大气运动十分活跃, 有利于各物种的混合、传输和转化。对流层大气最显著的特点是化学性质活泼, 而 NO<sub>x</sub>–有机物体系是造成对流层大气这种活泼氧化性的主要原因<sup>[1]</sup>。NO<sub>x</sub> 与氨、水分和其它化合物发生反应形成二次颗粒物, 与挥发性有机化合物发生光化学反应生成臭氧。颗粒物与臭氧可以引起或加重呼吸系统疾病, 降低肺功能, 儿童、老年人、患有哮喘等肺部疾病的人及在户外工作或锻炼的人是不利影响的高风险人群。此外, NO<sub>x</sub> 会引起多种环境问题, 如酸雨、灰霾、光化学污染和水体富营养化等。一氧化氮(NO)和二氧化氮(NO<sub>2</sub>)的总和通常被称为氮氧化物(NO<sub>x</sub>), 其中 NO<sub>2</sub> 浓度对 NO<sub>x</sub> 具有指示性, 故各国环保部门普遍重视 NO<sub>2</sub> 的浓度水平。珠三角是我国经济最具活力的地区, 其环境问题得到国家及民众的广泛关注, 大气环境的监测及治理工作得到前所未有的重视。本文采用遥感技术监测对流层 NO<sub>2</sub> 柱浓度, 分析珠三角城市群近 11 年的对流层 NO<sub>2</sub> 柱浓度的时空格局变化。

## 2 研究区与数据

### 2.1 研究区介绍

珠三角城市群位于广东中南部, 面向中国南海, 包括广州、深圳 2 个副省级城市, 珠海、佛山、中山、东

莞、惠州、江门和肇庆 7 个地级市。区域面积约 5.5 万平方公里, 约占广东全省面积的 30.4%; 2014 年末常住人口约 5763 万人, 约占全国常住人口的 4.2%。珠三角最早由广东省政府在 1994 年确立, 2014 年地区生产总值约 57650 亿元, 约占国民生产总值的 8.4%, 是仅次于长三角、京津冀的中国大陆第三大经济总量的都市经济圈。

### 2.2 数据

本文所用对流层 NO<sub>2</sub> 柱浓度数据为 2005–2015 年 DOMINO version 2.0 OMI 对流层 NO<sub>2</sub> 垂直柱浓度产品, 此产品由荷兰皇家气象研究所反演, 由 TEMIS<sup>[2]</sup> 发布, 空间分辨率为  $0.125^\circ \times 0.125^\circ$ 。2004 年 7 月 15 日美国国家航空航天局发射的 Aura 地球观测系统卫星上搭载了臭氧监测仪 OMI。此传感器由荷兰、芬兰与 NASA 合作制造, 是继 GOME 和 SCIAMACHY 后的新一代大气成分探测传感器, 轨道扫描刈幅为 2600km, 天底空间分辨率是  $13\text{km} \times 24\text{km}$ , 一天覆盖全球一次, 有 3 个通道, 波长覆盖范围为 270~500nm<sup>[3]</sup>。

珠三角城市群的人口、面积、地区生产总值等数据来源于广东省统计年鉴及各市统计年鉴<sup>[4–5]</sup>。

## 3 结果与分析

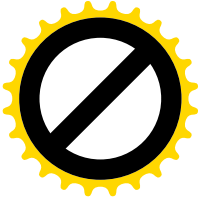
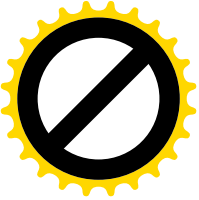
为了分析珠三角城市群及其直辖市和地级市的 NO<sub>2</sub> 月、季、年时空分布及变化情况, 本文对 2005–2015 年对流层 NO<sub>2</sub> 垂直柱浓度进行了如下分级: 一级(<500)、

项目资助: 高分辨率对地观测系统重大专项(编号: 05–Y20A16–9001–15/17); 国家自然科学基金(编号: 41271349)

作者简介: 周春艳, 博士, 高工, 主要从事大气环境遥感研究

通讯简介: 马鹏飞, 博士, 主要从事大气环境遥感研究

引用文献格式: 周春艳 等. 2005–2015 年珠三角对流层 NO<sub>2</sub> 柱浓度时空变化遥感监测 [J]. 环境与可持续发展, 2016, 41(5): 33–36.



二级(500~1000)、三级(1000~1500)、四级(1500~2000)和五级(>2000),单位为 $10^{13}\text{mole}/\text{cm}^2$ 。

### 3.1 珠三角对流层 $\text{NO}_2$ 柱浓度的年变化

由2005–2015年珠三角对流层  $\text{NO}_2$  柱浓度年均变化(如图1)可知:对流层  $\text{NO}_2$  年均柱浓度波动较大,年均下降率为4.25%。2015年浓度最低,为 $508.83 \times 10^{13}\text{mole}/\text{cm}^2$ ;2007年最高,为 $819.37 \times 10^{13}\text{mole}/\text{cm}^2$ 。纵观十一年来  $\text{NO}_2$  的变化,总体呈下降趋势。“十一五”规划关于氮氧化物没有约束性规定,2010年较2005年下降12.11%。“十二五”规划的约束性减排指标为下降10%,2015年较2010年下降26.28%。

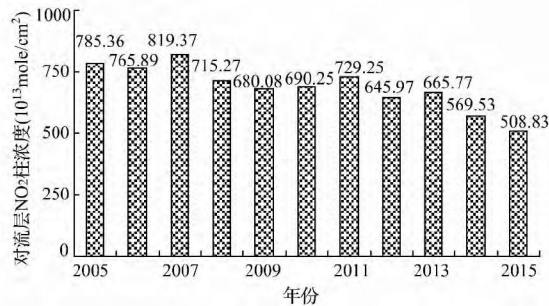


图1 2005–2015年珠三角  
 $\text{NO}_2$  柱浓度年均值变化趋势

由珠三角对流层  $\text{NO}_2$  柱浓度十年时空变化(如图2)可知:(1)珠三角  $\text{NO}_2$  分布呈中间高、周边低的趋势。珠三角中部的发达或重工业城市为中心的区域是高浓度中心;周边的肇庆、惠州、江门和珠海等市处于一、二级较低浓度水平;(2)十年来  $\text{NO}_2$  高浓度区范围变化显著。2006–2007年  $\text{NO}_2$  高浓度分布范围大,集中在珠三角中部的广州、佛山、东莞、中山、深圳等市;2008–2010年高浓度区范围不断缩小且数值逐渐降低,仅出现在佛山、广州和东莞接壤的小范围区域;2011年,三、四级高浓度范围稍有扩大;2012–2013年,四级高浓度范围逐渐缩小至广州、佛山局地;2014–2015年珠三角中部浓度处于三级水平,且范围较前几年显著缩小。

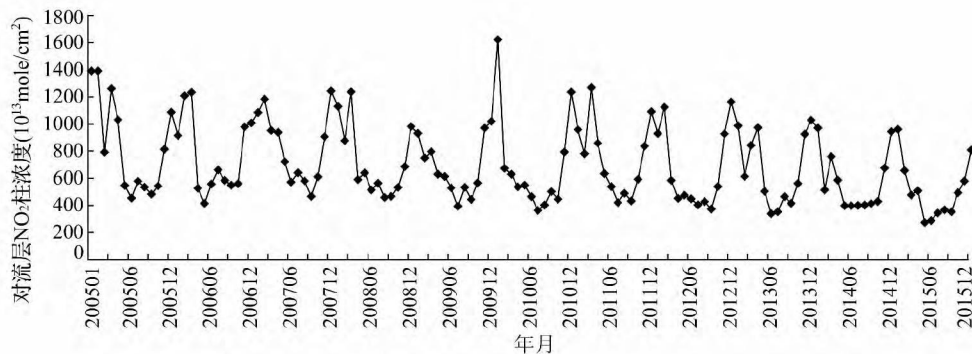


图3 2005–2015年珠三角  $\text{NO}_2$  柱浓度月均值变化趋势(单位:  $10^{13}\text{mole}/\text{cm}^2$ )

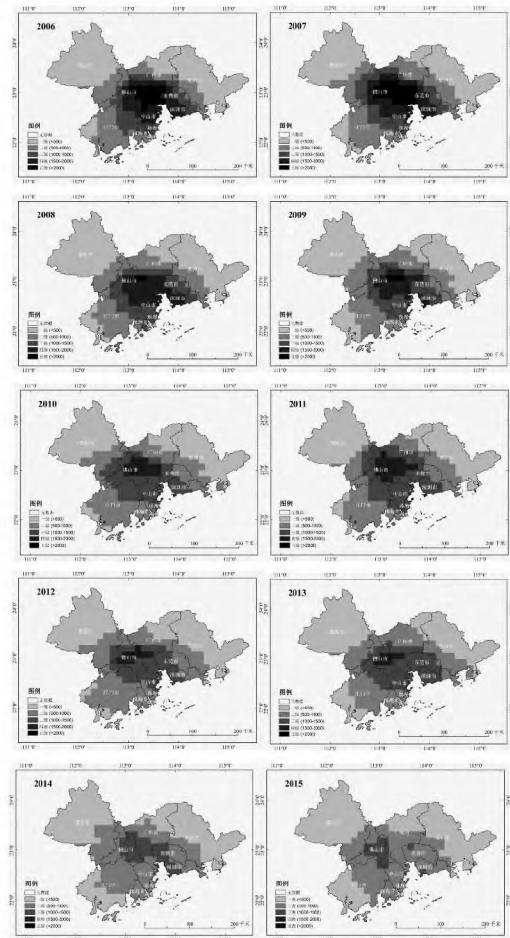
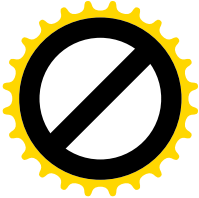
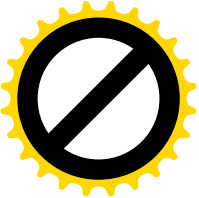


图2 2006–2015年珠三角对流层  $\text{NO}_2$  柱浓度年均变化

### 3.2 珠三角对流层 $\text{NO}_2$ 柱浓度的月变化

2005–2015年珠三角的对流层  $\text{NO}_2$  柱浓度月均特征为(图3):对流层  $\text{NO}_2$  柱浓度月均值呈显著周期性变化,以年为周期。一年中  $\text{NO}_2$  最低值一般出现在6–9月,2015年5月达到最小值为 $274.45 \times 10^{13}\text{mole}/\text{cm}^2$ ;最高值一般出现在1、2、11、12月,2010年1月达到最大值为 $1622.96 \times 10^{13}\text{mole}/\text{cm}^2$ 。





鉴于 NO<sub>2</sub> 柱浓度月均值具有显著年度周期性变化, 本文仅给出 2015 年的月分布图以反应月度空间变化(如图 4)。1 月珠三角中部的佛山、江门、广州、中山、东莞、深圳和珠海连接大范围处于四、五级高浓度水平; 2 月高浓度区域范围大幅缩小, 仅出现于佛山、中山市局地, 其他地区浓度水平较低; 3 月数据不全, 佛山及广州局地出现四、五级高浓度; 4 月高浓度区域范围很

小, 仅出现在广州局地, 其他大范围区域浓度水平较低; 5–8 月整个珠三角均处于一、二级较低低浓度水平; 9 月仅佛山小范围区域出现三级水平, 其他均处于一、二级低浓度水平; 10–12 月, 高浓度范围逐渐扩大, 程度逐渐加强, 12 月高浓度区域大幅扩大, 珠三角中部大范围地区均处于四五级高浓度水平。

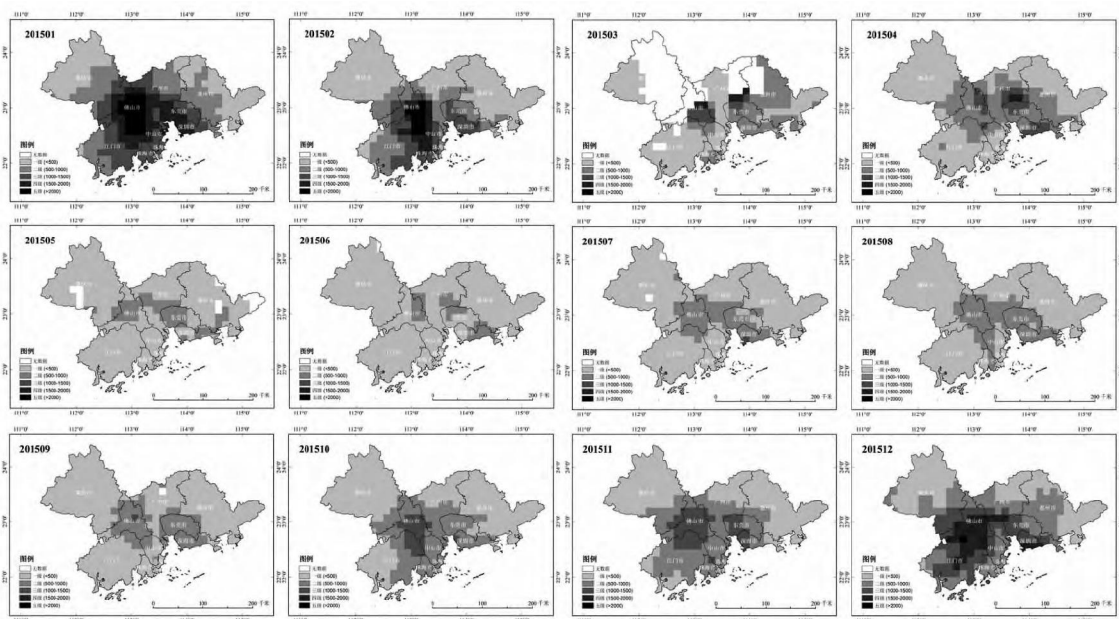


图 4 2015 年珠三角对流层 NO<sub>2</sub> 月均柱浓度分布图

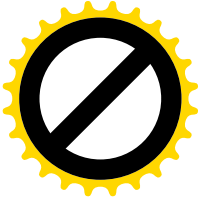
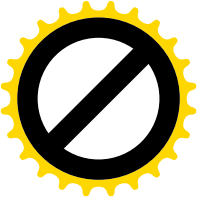
### 3.3 珠三角直辖市及地级市对流层 NO<sub>2</sub> 柱浓度的时间变化

统计 2005–2015 年珠三角直辖市和地级市的年均值(表 1)发现: 肇庆和惠州市对流层 NO<sub>2</sub> 柱浓度处于一级水平; 佛山市、东莞市、中山市、深圳市等重工业或发

达城市处于三级水平。“十二五”较“十一五”均值, 珠三角城市群中仅惠州有 7.29% 的上升, 其他 8 市均有不同程度下降, 其中中山、东莞、深圳、佛山和珠海 5 市减幅较大, 超  $200 \times 10^{13} \text{ mole/cm}^2$ 。

表 1 2005–2015 年珠三角各市对流层 NO<sub>2</sub> 柱浓度变化(单位:  $10^{13} \text{ mole/cm}^2$ )

	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	“十一五” 均值	“十二五” 均值
肇庆市	376.82	340.67	447.34	341.94	355.76	453.96	400.85	419.12	370.78	366.66	322.18	387.94	375.92
惠州市	336.42	355.63	380.13	387.42	374.12	373.43	408.93	394.27	435.90	396.51	371.46	374.15	401.41
江门市	900.64	888.13	808.04	834.40	709.77	789.19	821.09	707.66	696.04	583.55	558.96	805.91	673.46
珠海市	1121.70	1068.50	934.30	1112.40	915.80	871.80	992.80	774.20	813.80	678.00	616.10	980.56	774.98
广州市	1081.80	1044.73	1184.40	893.93	963.10	820.73	1007.20	791.98	871.33	738.25	564.30	981.38	794.61
深圳市	1489.40	1536.00	1522.90	1405.20	1225.50	1056.20	1154.70	1004.10	1155.50	938.00	875.70	1349.16	1025.60
中山市	1769.56	1737.22	1588.33	1530.56	1310.67	1193.78	1363.44	1091.11	1177.22	877.67	707.78	1472.11	1043.44
东莞市	1667.47	1632.67	1686.60	1374.60	1268.87	1145.13	1187.00	1038.27	1252.87	942.27	815.53	1421.57	1047.19
佛山市	1508.41	1444.77	1719.77	1333.36	1295.68	1391.73	1419.68	1249.77	1195.41	969.68	960.36	1437.06	1158.98



#### 4 结 论

(1) 珠三角对流层  $\text{NO}_2$  柱浓度年均变化特征为: 对流层  $\text{NO}_2$  柱浓度波动较大, 年均下降率为 4.25%。2015 年浓度最低, 为  $508.83 \times 10^{13} \text{ mole/cm}^2$ ; 2007 年最高, 为  $819.37 \times 10^{13} \text{ mole/cm}^2$ 。纵观十一年来  $\text{NO}_2$  的变化, 总体呈下降趋势。“十一五”规划对氮氧化物没有约束性规定, 2010 年较 2005 年下降 12.11%; “十二五”规划的约束性减排指标为下降 10%, 2015 年较 2010 年下降 26.28%。

(2) 珠三角对流层  $\text{NO}_2$  柱浓度时空变化特征为: 珠三角  $\text{NO}_2$  分布呈中间高、周边低的趋势。珠三角中部的发达或重工业城市为中心的区域是高浓度中心; 肇庆、惠州、江门和珠海处于一、二级较低浓度水平; 十年来  $\text{NO}_2$  高浓度区范围变化显著, 其中 2014–2015 年珠三角

中部浓度最高处于三级水平, 其中 2015 年三级面积显著缩小。

(3) 对流层  $\text{NO}_2$  柱浓度月均值呈显著年度周期性变化, 一年中  $\text{NO}_2$  最低值一般出现在 6–9 月, 2015 年 5 月达到最小值为  $274.45 \times 10^{13} \text{ mole/cm}^2$ ; 最高值一般出现在 1、2、11、12 月, 2010 年 1 月达到最大值为  $1622.96 \times 10^{13} \text{ mole/cm}^2$ 。

#### 参考文献:

- [1] 唐孝炎, 张远航, 邵敏. 大气环境化学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 214.
- [2] <http://www.temis.nl/airpollution/NO2.html>
- [3] OMI Team. Ozone Monitoring Instrument (OMI) Data User's Guide (OMI-DUG-5.0) [R]. 2012.
- [4] 广东省统计局. 广东省统计年鉴各市地区生产总值 [DB/OL]. [2016-4-12] <http://www.gdstats.gov.cn/tjnj/2015/directory/content.html 02-15>.
- [5] 广东省统计局. 广东省统计年鉴各市年末常住人口数 [DB/OL]. [2016-4-12] <http://www.gdstats.gov.cn/tjnj/2015/directory/content.html 03-05>.

### Spatio-temporal Change of Tropospheric $\text{NO}_2$ Column Density over Pearl River Delta from 2005 to 2015

ZHOU Chunyan FU Zhuo MA Pengfei LI Qing WANG Zhongting CHEN Hui MAO Huiqin YAO Yanjuan

(Satellite Environmental Center, Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, Beijing 100094)

**Abstract:** Based on satellite derived  $\text{NO}_2$  column data from OMI, we analysed the characteristics of spatial and temporal distribution of tropospheric  $\text{NO}_2$  column density over Pearl River Delta from 2005 to 2015. Results demonstrate: (1) Tropospheric  $\text{NO}_2$  column density decreased at the annual rate of 4.25%, with the lowest column density  $508.83 \times 10^{13} \text{ mole/cm}^2$  in the year 2015, and with the highest column density  $819.37 \times 10^{13} \text{ mole/cm}^2$  in the year 2007; it declined 12.11% compared with 2005 in 2010 and declined 26.28% compared with 2010 in 2015; (2) Tropospheric  $\text{NO}_2$  column density is high in the middle and low in the surrounding of Pearl River Delta; (3) The monthly mean value of tropospheric  $\text{NO}_2$  column density has significant cyclical change for years. The monthly mean value of June to September is usually low, and that of November to February is usually high.

**Keywords:** Tropospheric  $\text{NO}_2$  column density; OMI; satellite remote sensing monitoring; spatial-temporal change; Pearl River Delta

### 《环境与可持续发展》2016 年学术影响因子 位列全国收录 68 种环境科学类期刊第九名

据知网 2016 年 9 月刚刚发布的《中国学术期刊影响因子年报(自然科学与工程技术(2016 版))》, 我刊期刊综合影响因子为 1.339, 位列全国环境科学类期刊第 9 名, 复合影响因子为 1.626, 位于全国环境科学类期刊第 11 名。另据知网发布的《2015 年发行与传播统计报告》: 我刊机构用户总计近 5000 个, 遍布于 11 个国家和地区, 如美国国会图书馆、代顿 ITS 公司、美国海军军事学院、法国国防部、牛津大学、韩国最高法院、韩国最高检察院、日本国会图书馆、新加坡国家图书馆、伊士曼化学公司、陶氏化学、NSD 生物技术咨询、南澳大利亚大学等国外机构, 我刊已成为国际平台上展示我国环保成就和研究成果的重要窗口。