

“十二五”期间三大城市群对流层 NO₂ 柱浓度时空变化及对比

周春艳 高彦华 陈辉 厉青 马鹏飞 张丽娟 姚延娟 檀畅

(环境保护部卫星环境应用中心, 北京 100094)

【摘要】本文基于 OMI 对流层 NO₂ 垂直柱浓度产品, 分析了“十二五”期间三大城市群对流层 NO₂ 柱浓度时空变化, 并进行了比较分析。结果表明: (1) 京津冀是浓度最高的城市群, 长三角次之, 珠三角最低。“十二五”规划对氮氧化物排放量的约束性减排指标为下降 10%, 2015 年较 2010 年京津冀、长三角、珠三角分别下降 24.74%、27.73%、26.28%; (2) 三大城市群对流层 NO₂ 柱浓度时空变化特征为: 京津冀呈西北低东南高的趋势, 长三角呈中间高、北部次之、南部低的趋势, 珠三角呈中间高、周边低的趋势; (3) 三大城市群直辖市和地级市的对流层 NO₂ 柱浓度“十二五”均值特征为: 京津冀城市群中, 7 个市处于四、五级高浓度水平, 其中邯郸最高为 2035.71×10¹³ mole/cm²; 长三角城市群中, 6 个市处于四级高浓度水平, 其中苏州市最高为 1827.55×10¹³ mole/cm²; 珠三角城市群中, 4 个市处于三级中浓度水平, 其中佛山市最高为 1158.98×10¹³ mole/cm²。

【关键词】对流层 NO₂; Ozone Monitoring Instrument (OMI); 京津冀; 长三角; 珠三角

中图分类号: X87 文献标识码: A 文章编号: 1673-288X(2016)03-0065-05

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。对流层大气最显著的特点是化学性质活泼, 而 NO_x-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^[1]。NO_x 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。此外, NO_x 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。三大城市群是我国经济最具活力的地区, 随着人口数量持续增长, 工业化、城镇化快速推进, 能源消费总量不断上升, 大量排放的 NO_x 远远超过环境承载能力, 成为影响我国经济发展的重要制约因素。在当前这样的社会现实下, 大气环境的监测及治理工作得到前所未有的重视。本文采用对流层 NO₂ 柱浓度遥感数据, 分析了“十二五”期间三大城市群的对流层 NO₂ 柱浓度的时空变化特征, 并进行了对比分析。

2 研究区与数据

2.1 三大城市群概况

京津冀城市群包括北京市、天津市和河北省, 共辖 2 个直辖市和 11 个地级市。由西北向的燕山-太行山山

系构造向东南逐步过渡为平原, 呈现出西北高东南低的地形特点。区域面积约占国土总面积的 2.3%; 人口密度大, 常住人口占全国常住人口的 8.1%。京津冀是全国主要的高新技术和重工业基地, 地区生产总值约占国民生产总值的 9.7%。

长三角城市群包括上海市、江苏省和浙江省, 共辖 1 个直辖市和 24 个地级市, 区域面积约占国土总面积的 2.2%。人口密度大, 常住人口约占全国常住人口的 11.7%。长三角是中国对外开放的最大地区, 该地区工业基础雄厚、商品经济发达, 水陆交通方便, 是中国最大的外贸出口基地, 地区生产总值约占国民生产总值的 18.8%。

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, 区域面积约占广东全省面积的 30.4%, 常住人口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, 地区生产总值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

该文所用对流层 NO₂ 柱浓度数据为 2010-2015 年 DOMINO version 2.0 OMI 对流层 NO₂ 垂直柱浓度产品, 此产品由荷兰皇家气象研究所反演, 由 TEMIS^[6] 发布,

项目资助: 国家高技术研究发展计划(863 计划)(编号: 2014AA06A508); 国家自然科学基金(编号: 41271349)

作者简介: 周春艳, 博士, 高级工程师, 主要从事大气环境遥感研究

通讯作者: 陈辉, 硕士, 工程师, 主要从事大气环境遥感研究

引用文献格式: 周春艳 等. “十二五”期间三大城市群对流层 NO₂ 柱浓度时空变化及对比 [J]. 环境与可持续发展, 2016, 41(3): 65-69.

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,轨道扫描幅宽为 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^[7]。

表 1 2014 年三大城市群经济社会基本情况^[2-5]

城市群	面积 / 万平方公里	2014 年末常住人口 / 万人	2014 年地区生产总值 / 亿元
京津冀	21.70	11053	66478.91
长三角	21.07	15894	128829.05
珠三角	5.50	5763	57650.02

3 结果与分析

为了分析三大城市群及其直辖市和地级市的 NO₂ 年、季、月时空分布及变化情况,该文对 2010-2015 年对流层 NO₂ 垂直柱浓度进行了如下分级:一级 (<500)、二级 (500-1000)、三级 (1000-1500)、四级 (1500-2000) 和五级 (>2000),单位为 10^{13}mole/cm^2 。

3.1 三大城市群对流层 NO₂ 柱浓度的年均值对比

分析三大城市群对流层 NO₂ 柱浓度年均变化(如图 1)可知:(1)京津冀是浓度最高的城市群,长三角次之,珠三角最低;(2)2011 年浓度均最高,京津冀为 $1303.36 \times 10^{13} \text{mole/cm}^2$,长三角为 $1184.07 \times 10^{13} \text{mole/cm}^2$,珠三角为 $729.25 \times 10^{13} \text{mole/cm}^2$;(3)“十二五”期间,京津冀 2011 年较 2010 年上升 4.26%,2012-2015 年呈逐年下降趋势,2014、2015 年下降尤为显著,下降率分别为 10.44%、13.41%;长三角 2011 年较 2010 年上升显著,为 13.65%;2012 又显著下降,2013 年有 2.02% 的上升,2014-2015 年持续下降,2015 年下降尤为显著,为 20.50%;珠三角 2011 年较 2010 年上升 5.65%;2012 有显著下降,2013 年有 3.07% 的上升,2014-2015 年持续显著下降,下降率分别为 14.45%、10.66%;(4)“十二五”规划的约束性减排指标为下降 10%,2015 年较 2010 年京津冀、长三角、珠三角分别下降 24.74%、27.73%、26.28%。

3.2 三大城市群对流层 NO₂ 柱浓度的年际时空变化

3.2.1 京津冀对流层 NO₂ 柱浓度的年际时空变化

由京津冀对流层 NO₂ 柱浓度时空变化(如图 2)可知:(1)京津冀 NO₂ 分布呈西北低东南高的趋势。燕山-太行山以北的承德和张家口市均处于一、二级较低浓度水平,北京、天津、唐山、石家庄、邢台和邯郸等发达或重工业城市为中心的区域是 NO₂ 四、五级高浓度中心;(2)NO₂ 高浓度区范围变化显著:2010-2013 年,燕山-太行山以南大部分区域处于四、五级高浓度

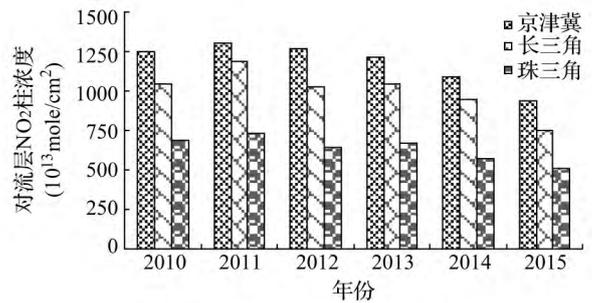


图 1 2010-2015 年三大城市群 NO₂ 柱浓度年均值变化趋势

水平;2014 年高浓度范围较 2013 年大幅缩小,南北两个污染带已经分开,石家庄-邢台-邯郸污染带缩小显著且浓度值降低,北京、天津浓度也有显著变化,唐山高浓度区范围不减反增;2015 年燕山-太行山以南大部分区域处于三级浓度水平,南北两个高浓度污染带较 2014 年均缩小显著且浓度值降低。

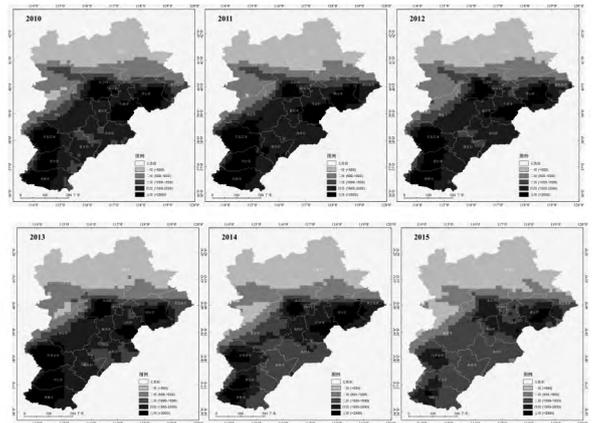


图 2 2010-2015 年京津冀对流层 NO₂ 柱浓度年均分布变化

3.2.2 长三角对流层 NO₂ 柱浓度的年际时空变化

由长三角对流层 NO₂ 柱浓度时空变化(如图 3)可知:(1)长三角 NO₂ 分布呈中间高、北部次之、南部低的趋势。长三角中部的上海、苏州、无锡、常州、镇江和南京等城市为中心的条带状区域是四、五级高浓度中心;浙江中南部一直处于一、二级较低浓度水平;(2)NO₂ 高浓度区年际范围变化显著:2010-2014 年,长三角中部大范围地区处于四、五级高浓度水平,北部徐州市也处于高浓度水平;2015 年高浓度范围大幅缩小,只有上海、苏州、无锡小范围地区仍处于高浓度水平,长三角南部为一级浓度水平,北部为二级较低浓度水平,中部大致为三级浓度水平。

3.2.3 珠三角对流层 NO₂ 柱浓度的年际时空变化

由珠三角对流层 NO₂ 柱浓度时空变化(如图 4)可知:(1)珠三角 NO₂ 分布呈中间高、周边低的趋势。珠

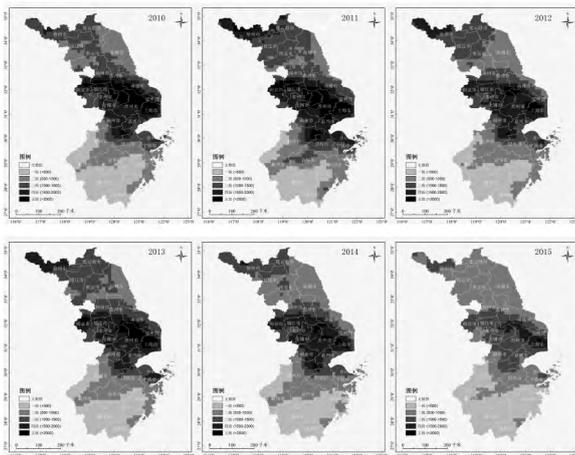


图3 2010–2015年长三角对流层 NO₂ 柱浓度年均分布变化

三角中部的佛山、广州市等发达城市为中心的区域是四、五级高浓度中心；肇庆、惠州、江门处于一、二级较低浓度水平；(2) NO₂ 高浓度区范围变化显著：2010–2011年高浓度区覆盖佛山、广州和东莞接壤的小范围区域；2012–2013年，四、五级高浓度范围逐渐缩小至佛山、广州接壤处小范围区域；2014–2015年，珠三角已经没有了四、五级高浓度出现。

3.3 三大城市群直辖市及地级市对流层 NO₂ 柱浓度的统计分析

统计京津冀 13 个直辖市和地级市的“十二五”均值(表 2)发现：承德和张家口对流层 NO₂ 柱浓度处于一

级水平，其中承德一直是京津冀浓度最低的城市；邯郸、石家庄、邢台、唐山、天津、廊坊、衡水等重工业城市处于四、五级高浓度水平，其中“十二五”邯郸对流层 NO₂ 柱浓度均值为 $2035.71 \times 10^{13} \text{ mole/cm}^2$ ，是京津冀浓度最高的城市；北京市“十二五”对流层 NO₂ 柱浓度均值为 $1263.78 \times 10^{13} \text{ mole/cm}^2$ ，仅高于承德、张家口。“十二五”期间京津冀城市群各市的对流层 NO₂ 柱浓度均有下降趋势，邯郸、张家口、邢台、石家庄四市下降幅度大于 30%，其中邯郸最高为 33.89%；北京、沧州、天津、衡水、保定五市下降幅度大于 20% 小于 30%；秦皇岛下降幅度最小为 9.39%。

统计长三角直辖市和地级市的“十二五”均值(表 3)发现：长三角南部的丽水、温州、衢州和台州 4 市对流层 NO₂ 柱浓度处于一级水平，其中丽水一直是长三角浓度最低的城市；苏州、无锡、上海、常州、镇江和嘉兴等重工业或发达城市均值处于四级高浓度水平，其中“十二五”苏州市对流层 NO₂ 柱浓度均值为 $1827.55 \times 10^{13} \text{ mole/cm}^2$ ，是长三角浓度最高的城市；上海市均值为 $1709.73 \times 10^{13} \text{ mole/cm}^2$ ，是长三角浓度第三高的城市；杭州市均值为 $818.81 \times 10^{13} \text{ mole/cm}^2$ ，仅高于丽水、温州、衢州、台州和金华 5 市；南京市浓度水平第七高，为 $1497.66 \times 10^{13} \text{ mole/cm}^2$ 。“十二五”期间长三角城市群各市对流层 NO₂ 柱浓度除丽水市上升 28.67% 外，其他各市均有不同程度的下降，下降幅度大于 30% 的有 14 个市，其中湖州市降幅最大为 36%；衢州、温州、舟山降幅较小。

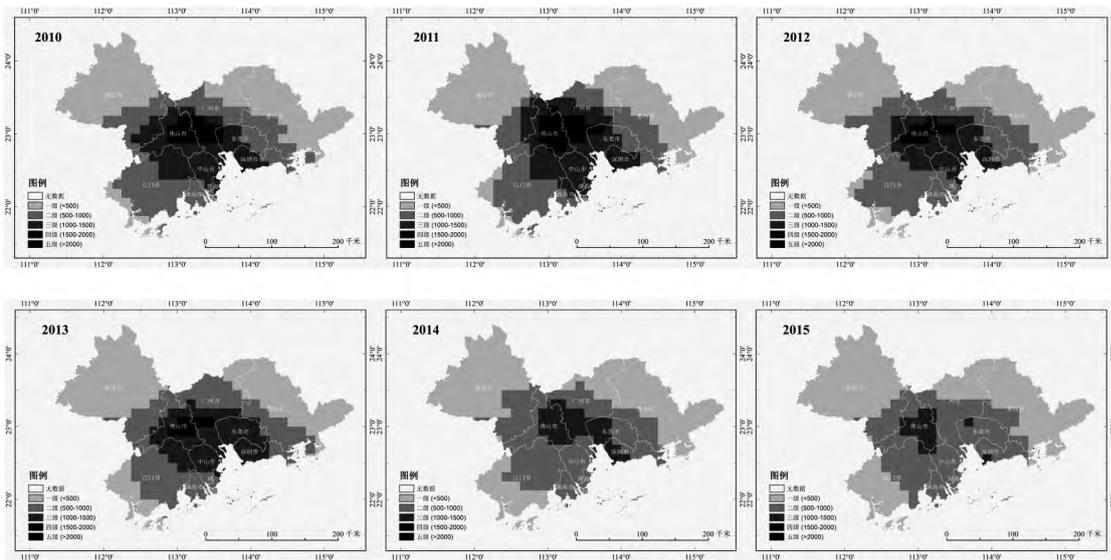


图4 2010–2015年珠三角对流层 NO₂ 柱浓度年均分布变化

表2 2011-2015年京津冀各市对流层NO₂柱浓度变化(单位: 10¹³mole/cm²)

	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	“十二五”均值	比率(2015/2010)
承德	363.44	308.02	386.44	294.45	309.81	309.02	321.55	-14.97%
张家口	500.07	493.49	519.98	391.68	374.77	333.81	422.75	-33.25%
北京	1490.61	1269.02	1422.86	1300.92	1222.75	1103.36	1263.78	-25.98%
秦皇岛	1246.17	1419.46	1325.12	1190.46	1401.19	1129.12	1293.07	-9.39%
保定	1379.68	1469.91	1413.95	1440.14	1152.68	1074.67	1310.27	-22.11%
沧州	1588.86	1703.87	1681.90	1499.56	1390.34	1189.20	1492.97	-25.15%
衡水	1550.98	1817.18	1660.46	1597.89	1340.86	1200.91	1523.46	-22.57%
廊坊	1810.68	1851.86	1880.41	1728.05	1675.07	1495.68	1726.21	-17.40%
天津	2066.64	2069.32	1900.79	1812.41	1882.07	1547.29	1842.38	-25.13%
唐山	1929.68	1956.73	1865.20	1774.14	1962.78	1654.45	1842.66	-14.26%
邢台	1964.18	2160.76	2000.06	2114.03	1661.49	1328.83	1853.03	-32.35%
石家庄	1986.39	2306.54	2046.15	2195.71	1669.17	1390.13	1921.54	-30.02%
邯郸	2186.82	2425.84	2175.23	2389.71	1742.06	1445.72	2035.71	-33.89%

表3 2011-2015年长三角各市对流层NO₂柱浓度变化(单位: 10¹³mole/cm²)

	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	“十二五”均值	比率(2015/2010)
丽水	171.60	270.93	230.05	237.29	226.80	220.80	237.17	28.67%
温州	342.34	458.89	403.09	341.40	335.63	310.87	369.97	-9.19%
衢州	392.31	589.73	438.27	477.80	460.27	354.38	464.09	-9.67%
台州	496.57	640.74	514.54	461.76	447.26	344.09	481.68	-30.71%
金华	574.02	811.97	585.05	608.16	596.73	453.54	611.09	-20.99%
杭州	862.12	1007.68	905.34	766.34	813.37	601.33	818.81	-30.25%
舟山	809.50	932.13	888.88	915.50	735.13	746.50	843.63	-7.78%
盐城	886.52	986.94	873.73	960.52	792.58	640.80	850.91	-27.72%
绍兴	935.45	1280.55	983.60	897.34	878.23	654.23	938.79	-30.06%
淮安	1010.55	1053.84	1008.78	1040.47	946.73	742.02	958.37	-26.57%
宁波	1108.05	1305.62	1084.71	1130.24	838.43	734.05	1018.61	-33.75%
宿迁	1010.42	1256.37	1132.12	1136.69	976.88	788.35	1058.08	-21.98%
连云港	1039.46	1365.63	1248.63	1231.46	1011.96	853.54	1142.24	-17.89%
扬州	1437.36	1340.69	1219.71	1267.21	1188.76	994.90	1202.26	-30.78%
南通	1564.19	1340.26	1230.65	1444.72	1116.12	1035.74	1233.50	-33.78%
湖州	1470.74	1536.82	1353.47	1239.88	1361.32	941.21	1286.54	-36.00%
泰州	1614.60	1476.00	1313.80	1412.29	1340.31	1033.94	1315.27	-35.96%
徐州	1254.30	1714.58	1479.34	1578.57	1212.43	994.12	1395.81	-20.74%
南京	1537.23	1801.18	1523.64	1649.34	1441.00	1073.14	1497.66	-30.19%
嘉兴	1593.92	1909.16	1548.12	1528.36	1493.56	1082.96	1512.43	-32.06%
镇江	1799.68	1941.64	1618.59	1614.32	1603.59	1216.77	1598.98	-32.39%
常州	1734.23	1874.42	1642.27	1689.92	1670.19	1164.85	1608.33	-32.83%
上海	2008.02	1877.54	1725.44	1862.23	1583.08	1500.38	1709.73	-25.28%
无锡	1993.93	2174.10	1785.59	1879.14	1829.66	1339.52	1801.60	-32.82%
苏州	2063.44	2160.89	1833.45	1909.02	1845.87	1388.51	1827.55	-32.71%

统计珠三角直辖市和地级市的“十二五”均值(表4)发现:肇庆和惠州市对流层NO₂柱浓度处于一级水平;佛山、中山、东莞、深圳等重工业或发达城市处于三级中浓度水平,其中佛山市“十二五”对流层NO₂

柱浓度均值为 1158.98×10^{13} mole/cm²,是珠三角浓度最高的城市;广州市“十二五”对流层NO₂柱浓度均值为 794.61×10^{13} mole/cm²,仅高于肇庆、惠州、江门和珠海4市。“十二五”期间珠三角城市群中各市均有不

同程度的下降,其中下降幅度大于30%的有3个市,中山市降幅最大为40.71%;惠州市降幅较小。

表4 2011–2015年珠三角各市对流层 NO₂ 柱浓度变化(单位: 10¹³ mole/cm²)

	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	“十二五”均值	比率(2015/2010)
肇庆	453.96	400.85	419.12	370.78	366.66	322.18	375.92	-29.03%
惠州	373.43	408.93	394.27	435.90	396.51	371.46	401.41	-0.53%
江门	789.19	821.09	707.66	696.04	583.55	558.96	673.46	-29.17%
珠海	871.80	992.80	774.20	813.80	678.00	616.10	774.98	-29.33%
广州	820.73	1007.20	791.98	871.33	738.25	564.30	794.61	-31.24%
深圳	1056.20	1154.70	1004.10	1155.50	938.00	875.70	1025.60	-17.09%
中山	1193.78	1363.44	1091.11	1177.22	877.67	707.78	1043.44	-40.71%
东莞	1145.13	1187.00	1038.27	1252.87	942.27	815.53	1047.19	-28.78%
佛山	1391.73	1419.68	1249.77	1195.41	969.68	960.36	1158.98	-30.99%

4 结 论

(1) 京津冀是浓度最高的城市群,长三角次之,珠三角最低。“十二五”规划氮氧化物排放量的约束性减排指标为下降10%,2015年较2010年京津冀、长三角、珠三角分别下降24.74%、27.73%、26.28%。

(2) 京津冀对流层 NO₂ 柱浓度时空变化特征为: NO₂ 分布呈西北低东南高的趋势。燕山-太行山以北的承德和张家口市均处于一、二级较低浓度水平,其中承德一直是京津冀浓度最低的城市;邯郸、石家庄、邢台、唐山、天津、廊坊、衡水等重工业城市处于四、五级高浓度水平,其中“十二五”邯郸对流层 NO₂ 柱浓度均值为 2035.71×10¹³ mole/cm²,是京津冀浓度最高的城市;北京市“十二五”对流层 NO₂ 柱浓度均值为 1263.78×10¹³ mole/cm²,仅高于承德、张家口。

(2) 长三角对流层 NO₂ 柱浓度时空变化特征为: NO₂ 分布呈中间高、北部次之、南部低的趋势。长三角南部的丽水、温州、衢州和台州4市对流层 NO₂ 柱浓度处于一级水平,其中丽水一直是长三角浓度最低的城市;苏州、无锡、上海、常州、镇江和嘉兴等重工业或

发达城市均值处于四级高浓度水平,其中“十二五”苏州市对流层 NO₂ 柱浓度均值为 1827.55×10¹³ mole/cm²,是长三角浓度最高的城市。

(3) 珠三角对流层 NO₂ 柱浓度时空变化特征为: NO₂ 分布呈中间高、周边低的趋势。肇庆和惠州市对流层 NO₂ 柱浓度处于一级水平;佛山市、中山市、东莞市、深圳市等重工业或发达城市处于三级中浓度水平,其中佛山市“十二五”对流层 NO₂ 柱浓度均值为 1158.98×10¹³ mole/cm²,是珠三角浓度最高的城市。

参考文献:

- [1] 唐孝炎,张远航,邵敏. 大气环境化学 [M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 2006: 214.
- [2] 中华人民共和国国家统计局. 全国各省市地区生产总值 [DB/OL]. [2016-4-12]. <http://data.stats.gov.cn/index>.
- [3] 中华人民共和国国家统计局. 全国各省市年末常住人口 [DB/OL]. [2016-4-12]. <http://data.stats.gov.cn/index>.
- [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>.
- [6] KNMI. Tropospheric NO₂ from satellites [DB/OL]. The Netherlands: KNMI, 2015 [2015-11-16], <http://www.temis.nl/airpollution/NO2.html>.
- [7] OMI TEAM. Ozone Monitoring Instrument (OMI) data user's guide (OMI-DUG-5.0) [R]. USA: NASA, 2012: 8.

Spatio-temporal Change and Comparison of Tropospheric NO₂ Column Density over the Three Urban Agglomerations during the Period of “Twelfth Five-year”

ZHOU Chunyan GAO Yanhua CHEN Hui LI Qing MA Pengfei ZHANG Lijuan YAO Yanjuan TAN Chang
(Satellite Environmental Center, Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, Beijing 100094)

Abstract: Based on satellite derived NO₂ column data from OMI, we analysed and compared the characteristics of spatio-temporal distribution of tropospheric NO₂ column density over the three urban agglomerations during the Period of “Twelfth Five-year”.

Keywords: Tropospheric NO₂ column density; Ozone Monitoring Instrument (OMI); Beijing-Tianjin-Hebei Region; Yangtze River Delta; Pearl River Delta