

# 近 10 年长三角对流层 NO<sub>2</sub> 柱浓度月、季、年遥感监测\*

周春艳\*\* 厉青 王中挺 陈辉 张丽娟

毛慧琴 马鹏飞 张玉环 陈翠红

环境保护部卫星环境应用中心 北京 100094

**摘要** 本文利用 OMI 遥感数据,详细分析了 2005-2014 十年间长三角对流层 NO<sub>2</sub> 柱浓度月、季、年时空变化格局,结果表明:a) 长三角对流层 NO<sub>2</sub> 柱浓度十年柱浓度年均增长率为 1.04%。2011 年最高,为  $1184.07 \times 10^{13} \text{ mole/cm}^2$ 。2010 年较 2005 年上升 20.7%; 2014 年较 2010 年下降 9.1%; b) 长三角对流层 NO<sub>2</sub> 柱浓度呈中间高、北部次之、南部低的趋势。长三角中部的上海、苏州、无锡、常州、镇江和南京等发达或重工业城市为中心的条带状区域是四、五级高浓度中心,浙江大部一直处于一、二级较低浓度水平;c) 对流层 NO<sub>2</sub> 柱浓度月均值呈显著周期性变化,以年为周期。一年中 NO<sub>2</sub> 最低值一般出现在夏季的 7、8 月,最高值一般出现在 1、11、12 月;四季对流层 NO<sub>2</sub> 浓度水平基本为:冬季 > 秋季 > 春季 > 夏季。

**关键词** 对流层 NO<sub>2</sub> OMI 遥感监测 时空变化 影响因素

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<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。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。长三角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<sub>x</sub> 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。遥感技术大尺度宏观性的特点,能够弥补地面监测手段空间及资金上的局限,有力地服务于区域联防联控政策。本文采用对流层 NO<sub>2</sub> 柱浓度及多种统计数据,并与国家实施的环保措施及规划结合,分析了长三角城市群近 10 年的对流层 NO<sub>2</sub> 柱浓度的时空格局变化,深入挖掘环境变化背后的人为影响因素。

## 1 研究区与数据

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 21.07 万平方公里,占国土总面积的 2.19%。人口密度大,国家统计局 2013 年统计显示常住人口达 15,852 万人,约占全国常住人口总数的 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,2013 年生产总值约占全国的 18.8%。

本文所用对流层 NO<sub>2</sub> 柱浓度数据为 2010-2014 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。长三角城市群的统计数据来源于国家统计局数据库 (<http://data.stats.gov.cn/>) 及上海市、江苏省和浙江省统计局。

## 2 结果与分析

为了分析长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

\* 王桥(1957—),男,研究员,主任,博士,主要从事环境遥感研究。

\*\* 作者简介:周春艳(1981—),女,山东临沂人,高工,博士,主要从事大气环境遥感研究。

对 2005 - 2014 年对流层  $\text{NO}_2$  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  $10^{13} \text{ mole/cm}^2$ 。

### 2.1 长三角对流层 $\text{NO}_2$ 柱浓度的月变化

图 1 给出了 2005 - 2014 年长三角的对流层  $\text{NO}_2$  柱浓度月均变化：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，每个周期出现一个大波峰和一个大波谷。一年中  $\text{NO}_2$  最低值一般出现在夏季的 7、8 月，2012 年 7 月达到最小值为  $398.77 \times 10^{13} \text{ mole/cm}^2$ ；最高值一般出现在 1、11、12 月，2011 年 12 月达到最大值为  $2452.96 \times 10^{13} \text{ mole/cm}^2$ 。2008 年 12 月浓度为 10 年来同期最低值，为  $1513.33 \times 10^{13} \text{ mole/cm}^2$ ，这种突变与长三角为迎接奥运盛事实施的治理及减排措施有关。每年 2、3 月份出现小波峰和小波谷，这种变化与中国农历年期间工厂停工排放减少有关。

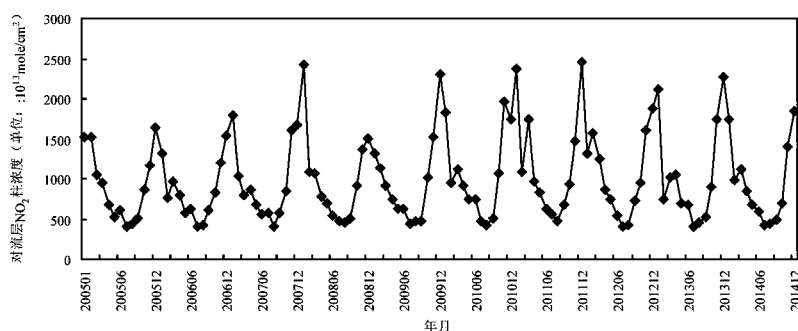


图 1 2005 - 2014 年长三角  $\text{NO}_2$  柱浓度月均值变化趋势 (单位:  $10^{13} \text{ mole/cm}^2$ )

Fig. 1 Monthly average  $\text{NO}_2$  column density change of Yangtze River Delta during 2005 - 2014 (unit:  $10^{13} \text{ mole/cm}^2$ )

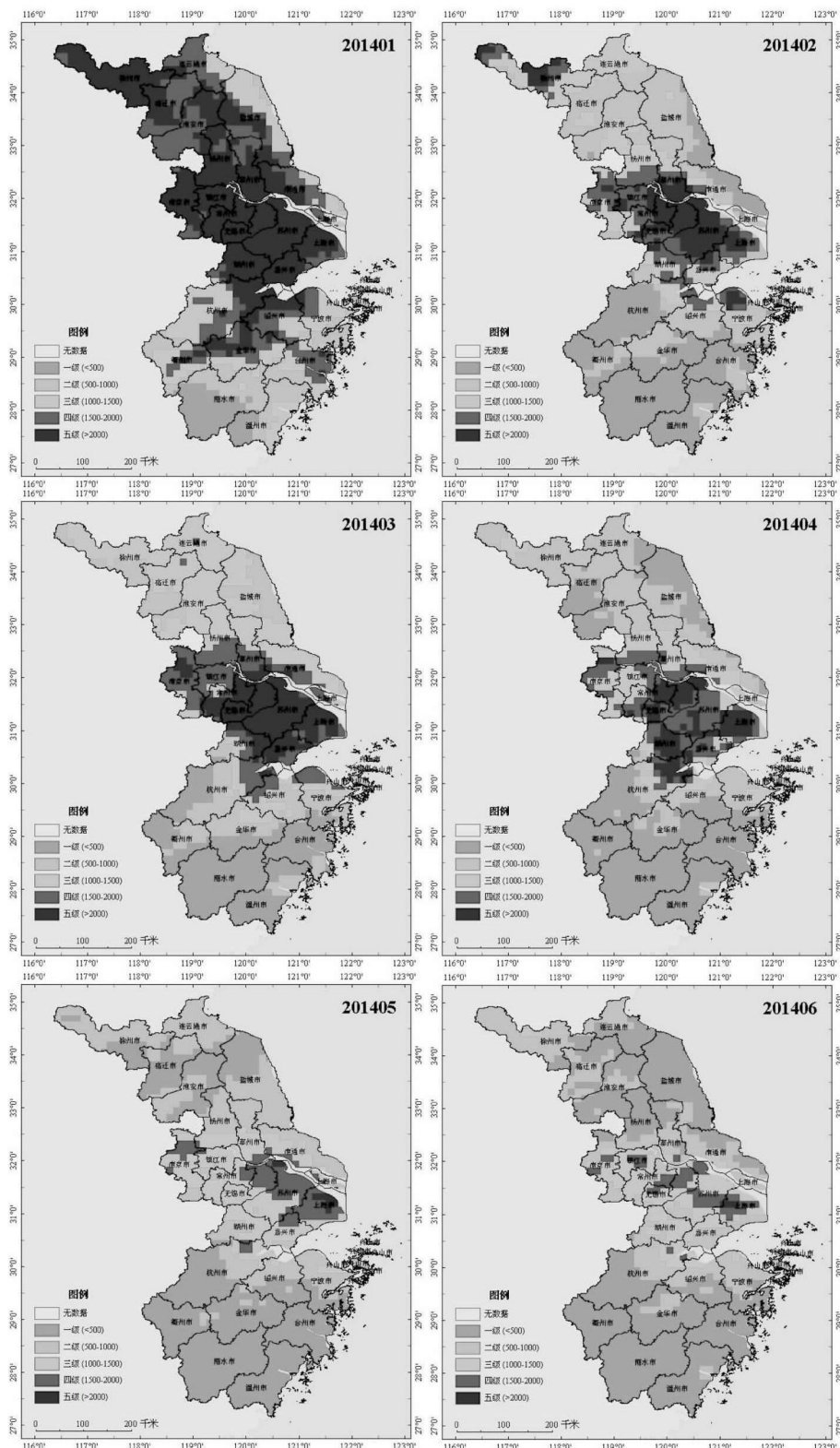
鉴于  $\text{NO}_2$  柱浓度月变化具有显著年度周期性变化，本文仅给出 2014 年的月分布图以反应月度空间变化 (如图 2)。1 月江苏大部、上海及浙江北部均处于四、五级最高的浓度水平，浙江南部丽水及温州浓度水平较低；2 月高浓度区域范围大幅缩小，仅集中长三角中部及徐州北部等市，其他地区浓度水平较低；3 月四、五级高浓度覆盖了长三角中部且范围稍有扩大，北部主要处于三级浓度水平，浙江中南部处于一、二级较低浓度水平；4 - 6 月高浓度区范围逐渐缩小，集中于长三角中部城市的局部区域，其他地区处于一、二级较低浓度水平；7 月整个长三角均处于一、二级低浓度水平；8 - 9 月苏州、杭州及上海局地出现高浓度，其他地区仍处于较低浓度水平；10 月高浓度区范围扩大，分布于长三角中部及徐州局地；11 月高浓度区范围进一步扩大至长三角中北部，南部浓度处于一、二级较低浓度水平；12 月高浓度区范围继续扩大，除杭州西部、衢州、丽水、温州和台州市外的地区均处于高浓度水平。

### 2.2 长三角对流层 $\text{NO}_2$ 柱浓度的季变化

图 3 给出了长三角 4 个季节 (冬季: 12、1、2 月; 春季: 3、4、5 月; 夏季: 6、7、8 月; 秋季: 9、10、11 月) 的十年变化趋势。四季对流层  $\text{NO}_2$  浓度水平基本为: 冬季  $>$  秋季  $>$  春季  $>$  夏季。冬季  $\text{NO}_2$  浓度波动剧烈，2006 年下降显著，2011 年达到峰值。秋季波动较小；春季稍有波动，2011 年上升显著达到峰值；夏季浓度较低且平稳。

鉴于  $\text{NO}_2$  柱浓度季变化具有显著年度周期性变化，本文仅给出 2014 年的季分布以反应季度空间变化 (如图 4)。春季长三角中部是四、五级高浓度水平，其他地区浓度较低；夏季除中部局地外的长三角大部分地区处于一、二级水平；秋季高浓度分布范围扩大，中部发达城市局地处于四、五级高浓度水平，北部地区除盐城、宿迁南、南通东地区处于一级水平，其他均处于三级水平，浙江除北部小范围地区外浓度均很低；冬季高浓度范围大幅扩大，只有杭州西部、丽水、

温州和台州西部浓度仍然较低。



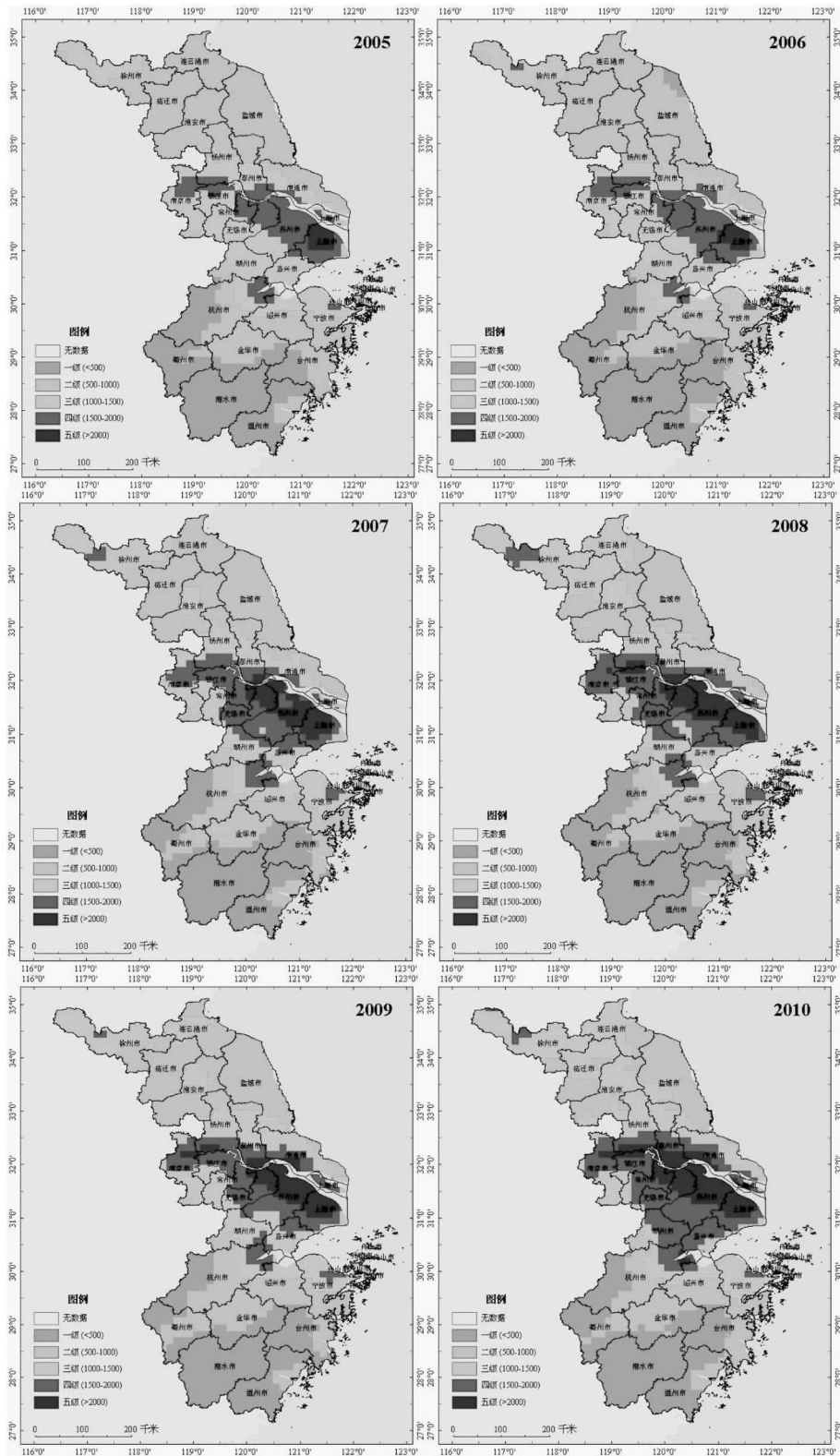


图2 2014年长三角对流层NO<sub>2</sub>月均柱浓度分布图

Fig. 2 Monthly average NO<sub>2</sub> column density distributions of Yangtze River Delta in 2014

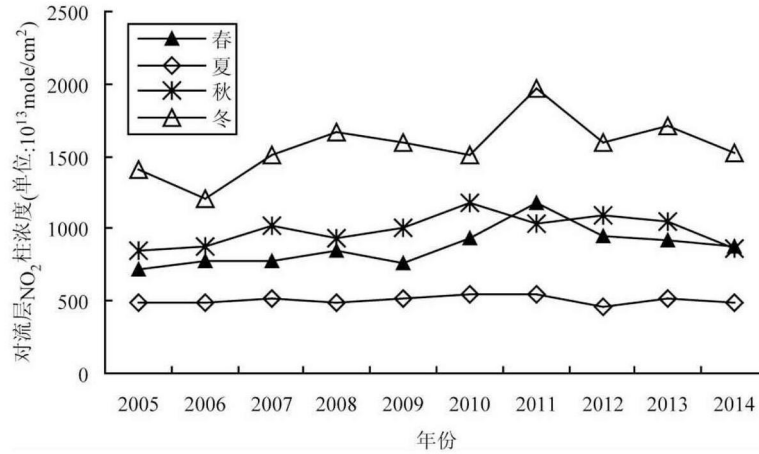


图3 2005 - 2014 年长三角对流层 NO<sub>2</sub> 季节变化特征

Fig. 3 Seasonal average NO<sub>2</sub> density change of provinces of Yangtze River Delta during 2005 - 2014

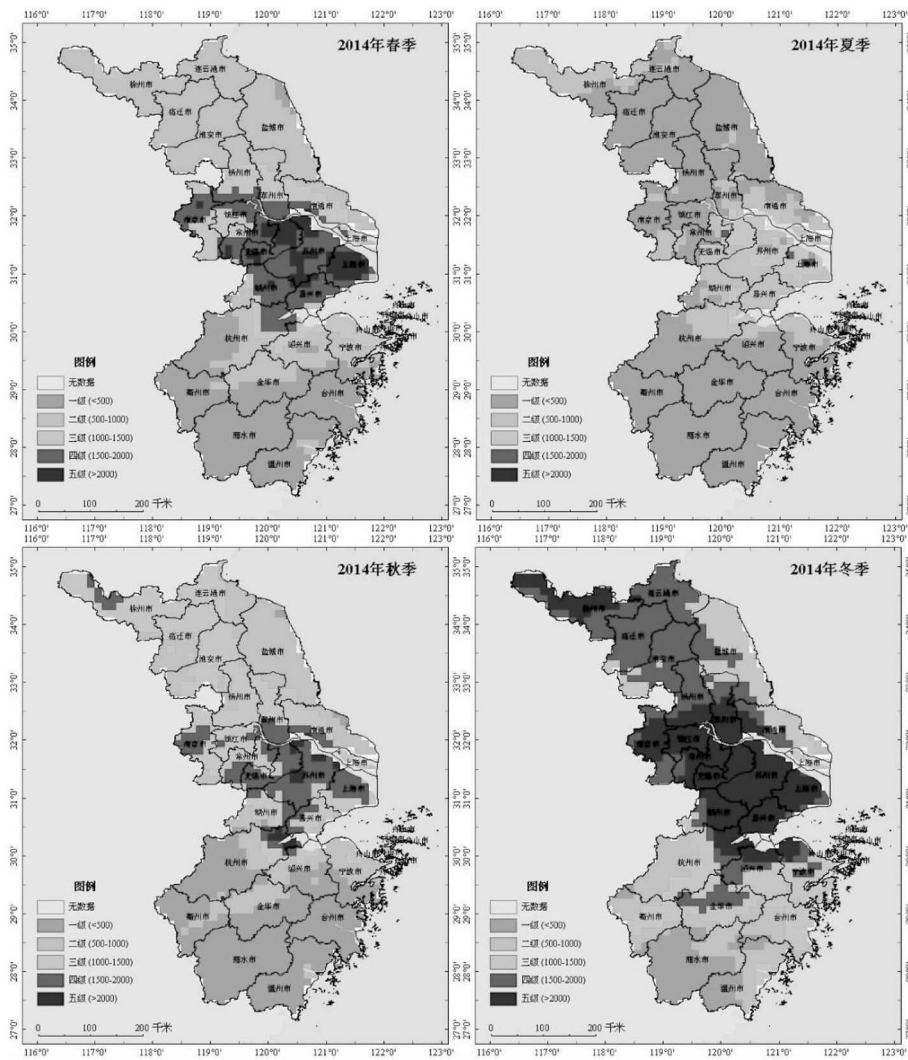


图4 2014 年长三角对流层 NO<sub>2</sub> 季均柱浓度分布图

Fig. 4 Seasonal average NO<sub>2</sub> column density distributions of Yangtze River Delta in 2014

### 2.3 长三角对流层 NO<sub>2</sub> 柱浓度的年变化

由长三角对流层 NO<sub>2</sub> 柱浓度十年年均变化 (如图 5) 可知: 对流层 NO<sub>2</sub> 柱浓度波动较大, 十年柱浓度年均增长率为 1.04%. 2006 年浓度最低, 为  $839.98 \times 10^{13} \text{ mole/cm}^2$ ; 2011 年最高, 为  $1184.07 \times 10^{13} \text{ mole/cm}^2$ . 纵观十年来 NO<sub>2</sub> 的变化, 波动较小, 2011 年 NO<sub>2</sub> 呈显著升高趋势, 2014 年下降显著. “十一五”规划对氮氧化物没有约束性规定, 2010 年较 2005 年上升 20.7%; “十二五”规划的约束性减排指标为下降 10%, 2014 年较 2010 年已下降 9.1%.

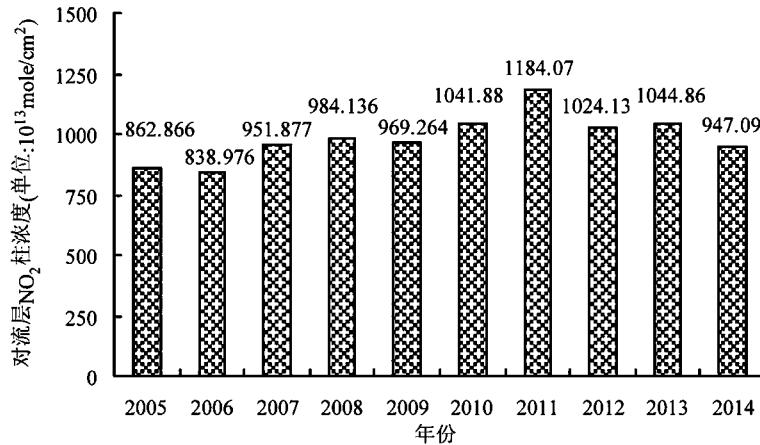


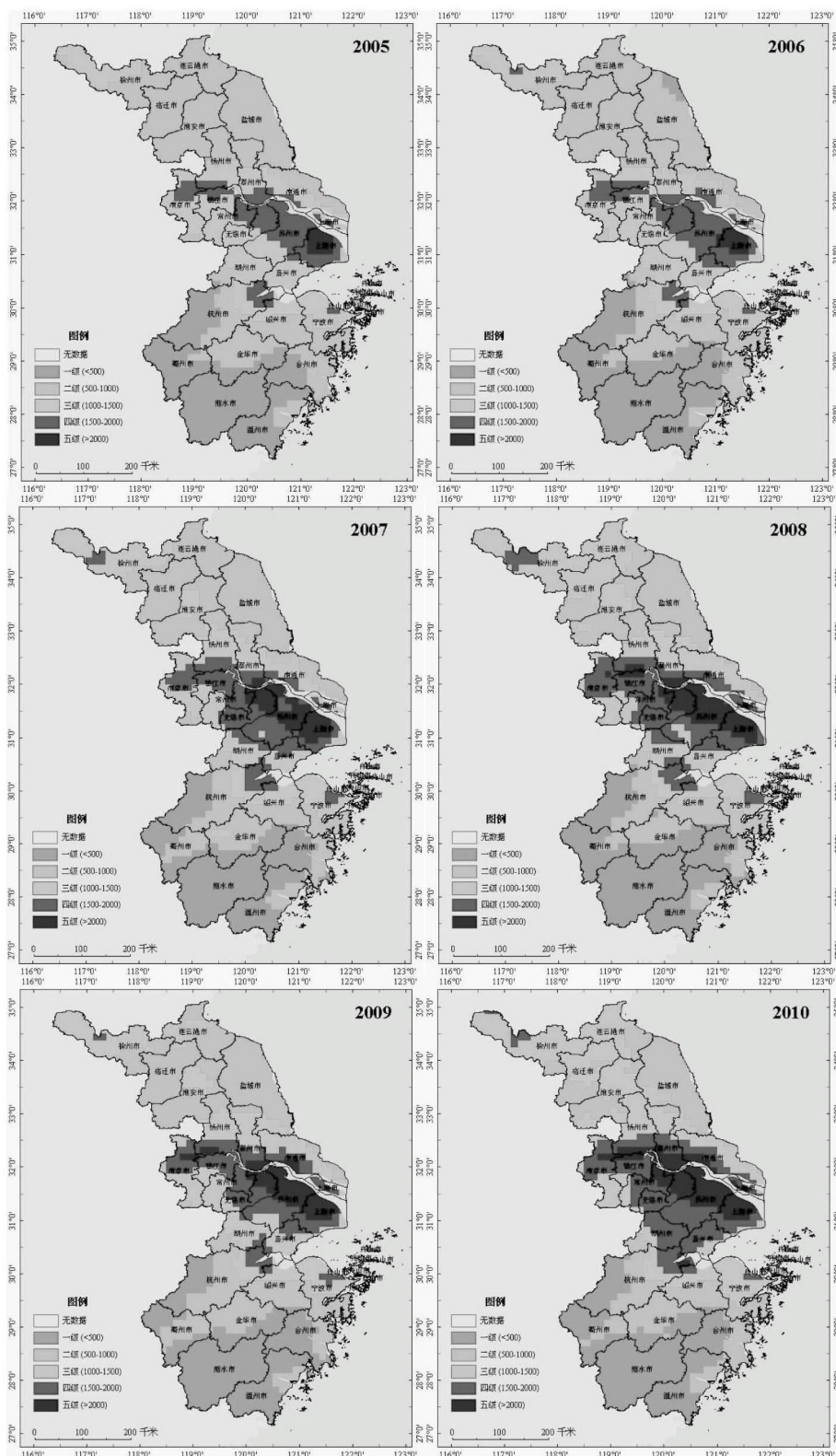
图 5 2005 - 2014 年长三角 NO<sub>2</sub> 柱浓度年均值变化趋势

Fig. 5 Annual average NO<sub>2</sub> column density change of Yangtze River Delta during 2005 - 2014

由长三角对流层 NO<sub>2</sub> 柱浓度十年时空变化 (如图 6) 可知: 1) 长三角 NO<sub>2</sub> 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、镇江和南京等发达或重工业城市为中心的条带状区域是四、五级高浓度中心; 浙江大部一直处于一、二级较低浓度水平; 2) 十年来 NO<sub>2</sub> 高浓度区范围变化显著. 2005 年 NO<sub>2</sub> 高浓度分布范围较小且集中在上海、苏州、无锡、常州北部及南京小范围的区域; 2006 - 2011 年高浓度区范围不断扩大且值逐渐升高, 上海、苏州、无锡、常州、镇江、南京、嘉兴等连接成片, 北部徐州也处于高浓度状态下; 2012 - 2013 年高浓度范围缩小且值降低; 2014 年高浓度区范围进一步缩小, 且浓度值有降低趋势.

### 2.4 长三角直辖市及地级市对流层 NO<sub>2</sub> 柱浓度的时间变化

统计长三角直辖市和地级市的十年年均值 (表 1) 发现: 长三角南部的丽水、温州、衢州和台州 4 市对流层 NO<sub>2</sub> 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; 上海、苏州、无锡、镇江、常州和嘉兴等重工业或发达城市十年均值处于四级高浓度水平, 其中上海十年对流层 NO<sub>2</sub> 柱浓度均值为  $1891.38 \times 10^{13} \text{ mole/cm}^2$ , 是长三角浓度最高的城市; 杭州市十年对流层 NO<sub>2</sub> 柱浓度均值为  $797.51 \times 10^{13} \text{ mole/cm}^2$ , 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  $1486.22 \times 10^{13} \text{ mole/cm}^2$ . 十年间长三角城市群中温州、金华、南通、丽水 4 市的波动较小, 一直处于较低水平; 徐州、苏州、湖州、常州、无锡 5 市增幅较大, 超  $200 \times 10^{13} \text{ mole/cm}^2$ ; 上海、宁波、舟山 3 市减幅较大, 超  $100 \times 10^{13} \text{ mole/cm}^2$ .



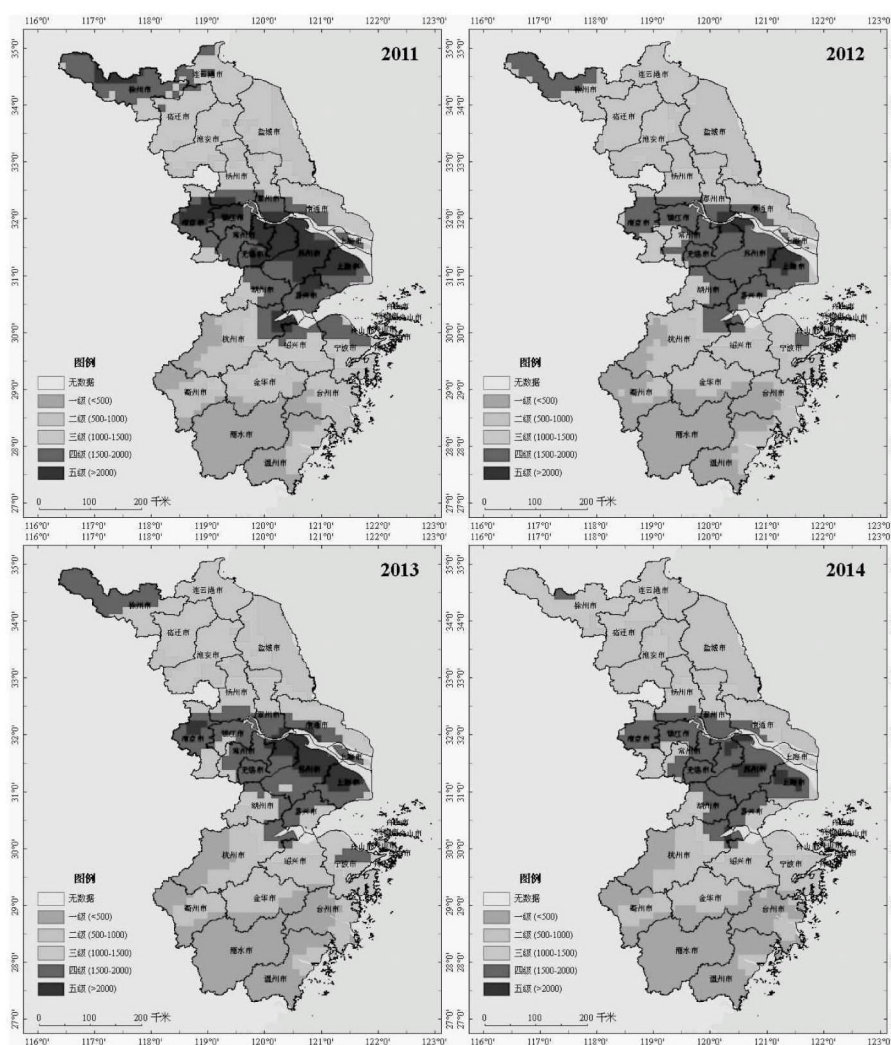


图 6 2005 -2014 年长三角对流层 NO<sub>2</sub> 柱浓度年均变化

Fig. 6 Annual average NO<sub>2</sub> column density distribution during 2005 -2014 of Yangtze River Delta

表 1 2005 -2014 年长三角各市对流层 NO<sub>2</sub> 柱浓度变化 (单位: 10<sup>13</sup> mole/cm<sup>2</sup>)

Tab. 1 The change of annual column NO<sub>2</sub> density for each cities of Yangtze River Delta during 2005 -2014 (unit: 10<sup>13</sup> mole/cm<sup>2</sup>)

	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	均值
丽水市	177.87	161.65	182.08	162.28	203.15	171.60	270.93	230.05	237.29	226.80	202.37
温州市	343.26	304.16	333.77	313.99	331.33	343.71	459.39	404.54	342.90	336.20	351.32
衢州市	351.84	349.62	436.80	358.69	459.38	392.31	589.73	438.27	477.80	460.27	431.47
台州市	500.69	472.15	429.22	426.65	418.67	496.57	640.74	514.54	461.76	447.26	480.82
金华市	569.59	488.41	575.84	486.16	554.22	574.02	811.97	585.05	608.16	596.73	585.01
杭州市	718.38	686.16	773.09	743.53	768.27	847.49	992.03	894.45	750.89	800.82	797.51
盐城市	698.75	607.40	789.41	825.07	859.40	890.09	991.66	877.12	964.34	797.04	830.03
舟山市	898.50	819.33	901.00	958.67	921.33	833.00	940.17	925.17	950.67	754.67	890.25



续表

	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	均值
绍兴市	892.84	815.58	941.11	828.02	832.71	910.44	1257.29	965.47	873.62	858.07	917.52
淮安市	815.05	755.44	924.59	983.03	938.70	1010.55	1053.84	1008.78	1040.47	946.73	947.72
宿迁市	818.10	789.69	898.69	1034.94	925.98	1010.42	1256.37	1132.12	1136.69	976.88	997.99
连云港市	852.04	832.54	920.50	1026.76	959.39	1039.46	1365.63	1248.63	1231.46	1011.96	1048.84
宁波市	1025.05	978.33	1116.49	1056.87	1015.49	1098.58	1294.44	1078.82	1121.62	824.55	1061.02
扬州市	1107.74	1050.90	1271.95	1318.07	1366.36	1437.36	1340.69	1219.71	1267.21	1188.76	1256.88
南通市	1067.90	1102.43	1129.16	1359.12	1424.24	1545.76	1318.12	1218.67	1432.43	1111.67	1270.95
湖州市	1092.41	1056.82	1242.38	1249.68	1170.56	1470.74	1536.82	1353.47	1239.88	1361.32	1277.41
徐州市	1009.85	1069.61	1171.30	1304.12	1136.21	1254.30	1714.58	1479.34	1578.57	1212.43	1293.03
泰州市	1147.88	1066.26	1312.56	1394.18	1413.15	1587.35	1454.15	1292.91	1391.38	1323.68	1338.35
南京市	1276.84	1293.32	1363.57	1507.34	1468.73	1537.23	1801.18	1523.64	1649.34	1441.00	1486.22
嘉兴市	1361.79	1408.21	1521.54	1463.25	1472.67	1603.33	1917.25	1559.13	1533.21	1506.21	1534.66
常州市	1390.38	1340.62	1569.23	1659.04	1520.77	1734.23	1874.42	1642.27	1689.92	1670.19	1609.11
镇江市	1453.73	1416.86	1613.14	1808.91	1598.68	1799.68	1941.64	1618.59	1614.32	1603.59	1646.91
无锡市	1504.62	1585.59	1857.28	1913.31	1827.93	1993.93	2174.10	1785.59	1879.14	1829.66	1835.11
苏州市	1590.33	1673.24	1916.80	1911.06	1916.53	2049.84	2174.47	1827.27	1896.33	1855.22	1881.11
上海市	1840.30	1832.63	1920.43	2123.13	1984.68	2008.32	1908.68	1770.38	1887.75	1637.45	1891.38

#### 4 结论

a) 近10年长三角对流层NO<sub>2</sub>柱浓度时间变化特征为：十年柱浓度年均增长率为1.04%。2006年浓度最低，为 $839.98 \times 10^{13} \text{ mole/cm}^2$ ；2011年最高，为 $1184.07 \times 10^{13} \text{ mole/cm}^2$ 。十年来NO<sub>2</sub>柱浓度的波动较小，2011年NO<sub>2</sub>显著升高，2014年显著下降。“十一五”规划对氮氧化物没有约束性规定，2010年较2005年上升20.7%；“十二五”规划的约束性减排指标为下降10%，2014年较2010年下降9.1%。

b) 近10年长三角对流层NO<sub>2</sub>柱浓度空间变化特征为：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、镇江和南京等发达或重工业城市为中心的条带状区域是四、五级高浓度中心，浙江大部一直处于一、二级较低浓度水平。2005年NO<sub>2</sub>高浓度分布范围较小且集中在上海、苏州、无锡、常州北部及南京小范围的区域；2006-2011年高浓度区范围不断扩大且值逐渐升高，上海、苏州、无锡、常州、镇江、南京、嘉兴等连接成片，北部徐州也处于高浓度状态下；2012-2013年高浓度范围缩小且值降低；2014年高浓度区范围进一步缩小，且浓度值有降低趋势。

c) 对流层NO<sub>2</sub>柱浓度月均值呈显著周期性变化，以年为周期。一年中NO<sub>2</sub>最低值一般出现在夏季的7、8月，最高值一般出现在1、11、12月；四季对流层NO<sub>2</sub>浓度水平基本为：冬季 > 秋季 > 春季 > 夏季。

### 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>