

基于OMI数据的中国NO₂时空分布与人类影响分析

李 龙^{1,2}, 施润和^{1,2*}, 陈圆圆^{1,2}, 徐永明³, 白开旭^{1,2}, 张 颀⁴

(1. 华东师范大学地理信息科学教育部重点实验室, 上海 200241; 2. 华东师范大学环境遥感与数据同化联合实验室, 上海 200241; 3. 南京信息工程大学遥感学院, 南京 210044; 4. 佛山市气象局, 佛山 528000)

摘要:近年来, 空气质量不断恶化, 严重威胁人类身体健康。二氧化氮(NO₂)作为人类排放的重要污染物之一, 实时监测其时空分布及含量, 对空气质量研究及公众安全预警具有重要意义。本研究利用搭载在AURA卫星上的OMI(Ozone Monitoring Instrument)传感器反演获取的2005年1月至2010年12月中国区的NO₂数据, 探究了NO₂的时空分布特征及其人类影响。结果表明: 中国NO₂浓度上升趋势显著, 6年来总NO₂柱浓度(TotNO₂)和对流层柱浓度(TropNO₂)净增值分别为 0.61×10^{15} molec/cm²和 0.63×10^{15} molec/cm², 年均增长率为2.47%和5.69%; 全国绝大部分地区NO₂浓度呈增长趋势, 但增长速率在空间上有所差异, 表现为东部沿海地区大于西部欠发达地区。在全国尺度上, NO₂呈现显著的时空分布差异特征: 空间上, 总体呈东高西低态势; 时间上, 东部地区的NO₂浓度冬季明显高于夏季, 西部地区则相反。最后, 对比分析了TropNO₂/TotNO₂与人类足迹的相关性, 结果显示二者间呈显著相关, 且冬季最大, 夏季最小。同时, 分析发现各地地区生产总值和全国汽车保有量与对流层NO₂间呈较强相关性。表明人类活动和经济发展是导致大气中NO₂增多的主要原因。

关键词: OMI; NO₂; 时空分布; 人类影响

DOI: 10.3724/SP.J.1047.2013.00688

1 引言

氮氧化物(包括NO和NO₂等)是对流层大气中重要的污染气体, 是形成酸雨、酸雾的主要污染物, 是臭氧、PAN等光化学污染物的重要前体物, 对大气和生态环境, 以及人体健康危害严重^[1]。高温燃烧过程(如化石燃料燃烧、生物质燃烧), 闪电和土壤排放等都能产生NO_x, 其中, 人类排放的NO_x约占总排放的2/3^[2]。NO₂已经成为气候变化的一个重要影响因子^[3]。它产生的硝酸盐气溶胶存在着很大的辐射强迫, 据IPCC第四次评估报告: 由NO₂产生的硝酸盐气溶胶在大气层顶的全球平均辐射强迫为 (-0.10 ± 0.10) W/cm², 且呈现增大趋势。因此, 揭示NO₂的时空特征及其对人类影响具有重大意义。

当前, NO₂数据获取来源主要有地基监测、机载观测, 以及卫星反演3类。传统的NO₂地基监测虽然精度较高但在空间覆盖上具有局限性, 机载观测

由于成本昂贵而限制了其应用范围, 卫星遥感以其连续覆盖及易获取性等优势被广泛应用^[4]。NO₂卫星资料主要来自无线电掩星全球臭氧监测(GOMOS), 全球臭氧监测实验(GOME/GOME-2), 大气层制图扫描成像吸收光谱仪(SCIAMACHY)和臭氧监测仪(OMI)传感器, 其中, OMI获取的NO₂数据具有相对较高的质量和时空分辨率。目前, 关于NO₂的研究主要集中在3个方面: (1)采用较成熟的差分吸收光谱技术(DOAS)进行NO₂反演^[6-8]。(2)研究NO₂的时空分布特征^[9-10]。(3)对大气NO₂的形成机制和人类影响开展研究^[13-14]。研究表明, 秸秆燃烧是大气NO₂的重要污染源。然而, 以往研究大多针对NO₂反演方法、时空特征, 或是停留在采用较单一的指标来定性地衡量人类对大气NO₂影响的层面, 而对其形成原因及人类影响的综合研究较少。

人类足迹作为一种集人口压力、土地利用和基

收稿日期: 2013-03-01; 修回日期: 2013-05-22.

基金项目: 上海市科委世博专项(10DZ0581600); 国家重点基础研究发展计划项目(2010CB951603); 国家自然科学基金项目(41201358)。

作者简介: 李 龙(1988-), 男, 硕士生, 主要从事大气环境遥感研究。E-mail: lilong9996@gmail.com

*通讯作者: 施润和(1979-), 男, 副教授, 硕导, 现从事定量遥感模型与验证研究。E-mail: rhshi@geo.ecnu.edu.cn

基础设施、交通运输等为一体的综合性归一化指标,能客观和全面地反映人类影响的程度及空间分布。本研究采用OMI卫星遥感数据,同时,在揭示中国NO₂时空分布特征的基础上,结合人为因素定量分析人类活动对NO₂时空分布的影响。

2 研究数据与方法

2.1 OMI数据及预处理

研究选用的NO₂数据 OMNO2e 来自搭载于AURA卫星上的臭氧监测仪(OMI)。AURA是一颗太阳同步轨道的近极轨卫星,过境时间一般在当地时间13:40~13:50。其搭载的OMI传感器波长范围是270~500nm,光谱分辨率为0.5nm,空间分辨率范围为13km×24km(星下点)至40km×160km,时间分辨率是1天^[15-17]。本文采用来自NASA官方网站^[18]的OMI三级产品 OMNO2e,其存储格式为HDF-EOS5,文件中包含了对流层NO₂柱浓度(TropNO₂)和总NO₂柱浓度(TotNO₂)数据,空间分辨率为0.25°×0.25°,产品的不确定性约为15%^[19]。

由于OMNO2e的每日NO₂数据存在较严重的数据缺失,为了便于研究,本文运用IDL 8.2对各月有效值天数大于20天的每日NO₂数据进行月平均合成。得到研究区内完整的无数据缺失的月合成图像,作为本研究的最小数据单元。

2.2 人类足迹数据

人类足迹(Human Footprint, HFP)是一种人类影响相对于各生物群落最高影响记录百分比的归一化数据。它是由人口压力(人口密度),人类土地利用和基础设施(城市、NOAA夜间灯光数据、土地覆盖/土地利用),人类涉及(海岸线、公路、铁路、通航河流)这8个全球数据层生成的人类影响指数(Human Influence Index, HII)通过归一化得到的^[20]。具体算法如下:

(1)将反映人类活动的主要数据层,即人口密度、土地利用等8组数据作为输入,结合缓冲区叠加分析,得到综合指数-人类影响指数HII,表1为各数据层的影响指数。

(2)根据世界自然基金会(WWF)的陆地生物群落划分方法将全球划分为15个生物群落^[20],计算陆地及每一群落中HII的最大、最小值,运用公式(1)对HII进行归一化。

表1 数据层不同缓冲区的影响指数

Tab.1 The influence indexes of data layers

变量	级别	II	变量	级别	II
人口密度 (人/km ²)	0~0.5	0	夜间	0	0
	0.6~1.5	1	灯光	1~38	3
	1.6~2.5	2		39~88	6
	2.6~3.5	3		≥89	10
	3.6~4.5	4	通航	<15km	4
	4.6~5.5	5	河流	≥15km	0
	5.6~6.5	6	海岸线	<15km	4
	6.6~7.5	7		≥15km	0
土地覆盖	7.6~8.5	8	城市	城市	10
	8.6~9.5	9		郊外	0
	≥9.5	10	铁路	<2km	8
	城区	10		≥2km	0
	灌溉农业区	8	公路	<2km	8
	雨养农业区	3		2~15km	4
	其他类型	0		≥15km	0

$$Z = \frac{(X - X_{\min}) \times (X_{\max} - X_{\min})}{(Y_{\max} - Y_{\min})} + X_{\min} \quad (1)$$

其中,Z是人类足迹数据值; X_{\min} 是HII在某一生物群落的最小值; X_{\max} 是HII在该生物群落的最大值; Y_{\min} 是陆地HII最小值(0); Y_{\max} 是陆地HII最大值(64); X 是HII输入值。

HFP提供了一个全新的全球陆地范围内人为作用对环境影响分布的地图,可用于自然资源管理、人类与环境相互作用等的研究。该数据集来自哥伦比亚大学和国际野生生物保护学会的国际地球科学信息网络中心(CIESIN)^[21]。

2.3 社会经济数据

地区生产总值(GRP)指本地区所有常住单位在一定时期内生产活动的最终成果。中国是一个工业大国,工业产值占GRP的比例很大,研究各地GRP与TropNO₂之间的相关关系可以在一定程度上反映由工业所排放的NO₂量。此外,为了研究汽车尾气与TropNO₂的关系,本文还用到了2005~2010年全国民用汽车保有量。GRP与汽车保有量数据均来自中国国家统计局^[22]。

3 中国NO₂时空分布及其特征分析

3.1 中国NO₂的分布

对2005~2010年间中国区域NO₂月均值数据的

处理,得到中国6年的 NO_2 平均值情况。结果显示,2005–2010年间中国 TropNO_2 区域均值为 $2.45 \times 10^{15} \text{molec/cm}^2$,而 TotNO_2 为 $5.18 \times 10^{15} \text{molec/cm}^2$; $\text{TropNO}_2/\text{TotNO}_2$ 为47.30%。6年的 TropNO_2 平均柱浓度空间分布情况如图1所示。

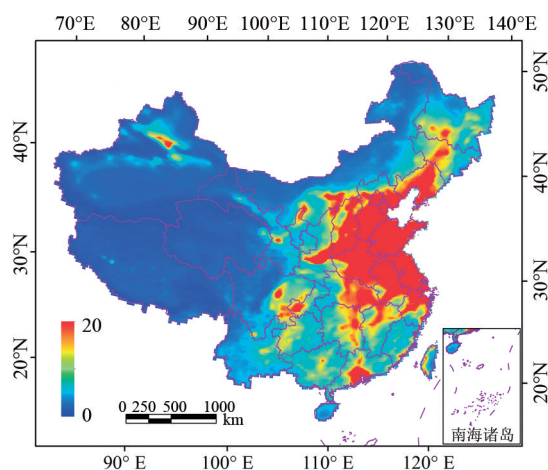


图1 2005–2010年中国对流层 NO_2 平均柱浓度空间分布
($10^{15} \text{molec/cm}^2$)

Fig.1 The spatial distribution of tropospheric NO_2 average column concentration from 2005 to 2010 in China
($10^{15} \text{molec/cm}^2$)

TropNO_2 的空间分布特征为:东部沿海地区的 NO_2 浓度远高于西部欠发达地区(如华北地区 TropNO_2 月均值一般为 $6.00 \sim 15.00 \times 10^{15} \text{molec/cm}^2$,而西藏地区则为 $0.30 \sim 0.80 \times 10^{15} \text{molec/cm}^2$);高值区均分布在华北、江浙沪(特别是长三角)地区、辽宁(特别是辽东半岛)、广东(主要是珠三角);四川、新疆北

部为次高值区,湖南、湖北部分地区的柱浓度也较高;疆南、西藏、青海等区域为低值区。 TotNO_2 与 TropNO_2 的空间分布特征基本一致。

3.2 NO_2 年际变化特征

表2是2005–2010年中国 NO_2 柱浓度区域年均值变化情况。

表2 2005–2010年中国 NO_2 年区域均值($10^{15} \text{molec/cm}^2$)

Tab.2 The annual averages of NO_2 column concentration from 2005 to 2010 in China ($10^{15} \text{molec/cm}^2$)

柱浓度	年份					
	2005	2006	2007	2008	2009	2010
TropNO_2	2.18	2.24	2.51	2.41	2.56	2.80
TotNO_2	4.93	4.86	5.21	5.15	5.38	5.54

2005–2010年间,中国 TropNO_2 年均值从 $2.18 \times 10^{15} \text{molec/cm}^2$ 上升到 $2.80 \times 10^{15} \text{molec/cm}^2$,年均增长率为5.69%; TotNO_2 从 $4.93 \times 10^{15} \text{molec/cm}^2$ 上升到 $5.54 \times 10^{15} \text{molec/cm}^2$,年均增长率为2.47%。 TotNO_2 和 TropNO_2 6年间的净增值分别为 $0.61 \times 10^{15} \text{molec/cm}^2$ 和 $0.63 \times 10^{15} \text{molec/cm}^2$ 。

对于中国不同区域,通过计算各像元2005–2010年 NO_2 的每年均值,获取相应的散点图趋势线斜率的空间分布特征,以反映像元尺度上的 NO_2 年变化特征,其空间分布如图2所示。年均值散点图趋势线的斜率能很好地展现相应地区 NO_2 的变化趋势:斜率的绝对值越大,表明该地区 NO_2 变化越快,反之越慢;斜率为正,表明 NO_2 柱浓度呈上升的趋势,反之则呈下降的趋势。

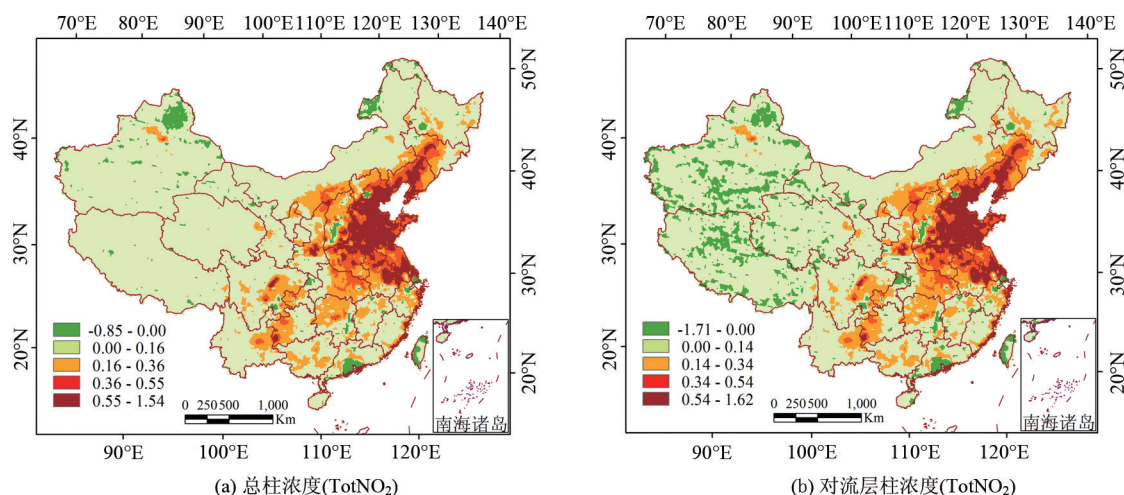


图2 2005–2010年中国 NO_2 像元浓度多年变化趋势的空间分布

Fig.2 The spatial distribution trend of NO_2 from 2005 to 2010 in China on pixel scale

2005–2010 年, 全国绝大部分地区的 TropNO₂ 和 TotNO₂ 呈上升的趋势(图 2 中大部分地区斜率为正)。北京大部分地区、天津、河北、山东、辽宁, 以及江苏、安徽等省市为 NO₂ 增加趋势最快; 四川、湖北等地次之; 台西、珠江三角洲、上海、呼伦贝尔西部、新疆乌鲁木齐的东北方向出现下降的趋势。整体上 TropNO₂ 和 TotNO₂ 增长趋势在空间上分布类似, 大部分地区增长较慢。

3.3 对流层 NO₂ 季节变化特征

根据中国气候特征, 将季节划分为春季 3–5 月、夏季 6–8 月、秋季 9–11 月、冬季 12 月至次年 2 月。通过数据处理, 计算得到 2005–2010 年中国 TropNO₂ 区域季均值($\pm\sigma$), 如图 3。其中, 误差棒是同一季节内各月均值的标准差。

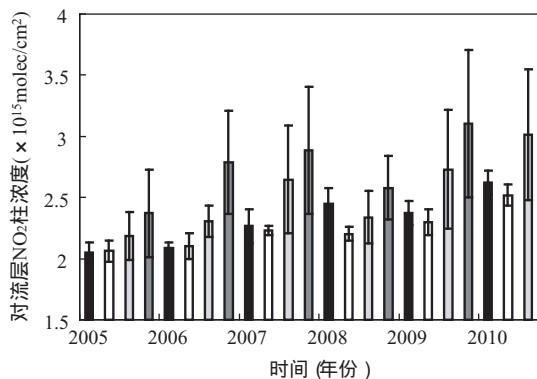


图3 2005–2010 年中国对流层 NO₂ 平均柱浓度季节变化(单位: $10^{15} \text{ molec/cm}^2$)

Fig3. The seasonal average of tropospheric NO₂ column concentration from 2005 to 2010 in China (unit: $10^{15} \text{ molec/cm}^2$)

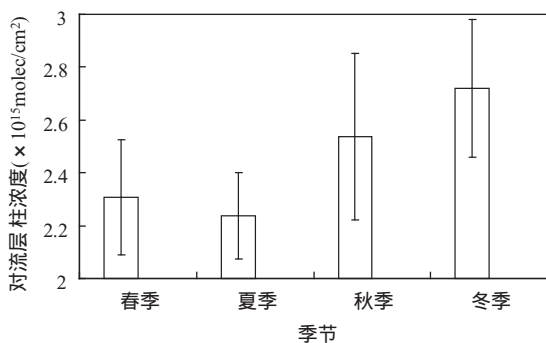


图4 2005–2010 年中国对流层 NO₂ 年内季节变化(单位: $10^{15} \text{ molec/cm}^2$)

Fig.4 The seasonal variation of tropospheric NO₂ from 2005 to 2010 in China (unit: $10^{15} \text{ molec/cm}^2$)

总体上, 中国区域 TropNO₂ 季节性变化表现为:

冬季>秋季>春季>夏季, 但在 2005、2008 年有所不同: 2005 年为冬季>秋季>夏季>春季, 2008 年为冬季>春季>秋季>夏季。就 6 年平均水平来说, TropNO₂ 春季为 $2.31 \times 10^{15} \text{ molec/cm}^2$, 夏季为 $2.24 \times 10^{15} \text{ molec/cm}^2$, 秋季为 $2.54 \times 10^{15} \text{ molec/cm}^2$, 冬季为 $2.72 \times 10^{15} \text{ molec/cm}^2$ 。图 4 为 2005–2010 年中国 NO₂ 年内季节变化规律, 误差棒是不同年相同季节季均值的标准差。

4 人类活动对 NO₂ 的影响分析

4.1 人类足迹与 NO₂ 关系

对人类足迹的原始数据进行格式与坐标转换等处理, 得到了其在中国区域的空间分布(图 5)。人类足迹的生成考虑到了人口压力、土地利用和基础设施、交通运输等因子, 基本涵盖了体现人类活动的各个方面。

图 5 可以看出, 人类活动的空间特征表现为: 东部地区远比西部地区活跃, 特别是江苏、上海、山东、湖北等地; 而西藏、新疆等地人类活动较弱。对比发现, 中国 NO₂ 空间分布与人类足迹的分布特征极其相似, 特别是 TropNO₂/TotNO₂ (图 6)。TropNO₂/TotNO₂ 的大小与人类影响程度大小之间存在显著正相关关系。华北、江浙沪地区, 辽宁, 广东, 四川, 疆北地区, 以及华中部分地区为 NO₂ 人为排放高值区, 而西藏, 青海等西部地区 NO₂ 的人为排放明显低于这些地区。足见, 中国 NO₂ 与人类活动关系密切, 人类活动是导致 NO₂ 浓度增高的主要原因。

中国 TropNO₂/TotNO₂ 区域均值为 0.36, 标准差为 0.21 (占均值 56.67%), 众数为 0.20。这表明: 中国区域的 TropNO₂/TotNO₂ 空间变化很大, 不同地区的 NO₂ 浓度受人类影响程度差异显著。而东部高值区的 TropNO₂/TotNO₂ 很大。事实证明: 东部地区最大值约为 0.91, 是污染较少的西部地区的几倍、全国平均的 2.53 倍。这与 NO₂ 污染源的分布及其排放量有关。

此外, 本研究通过数据处理得到 2005–2010 年 TropNO₂/TotNO₂ 年内季节空间分布图, 获得了各季 TropNO₂/TotNO₂ 空间分布图与相同空间分辨率下人类足迹图的相关关系(样本像元数: 56 166 对)。结果表明, 中国大气 NO₂ 与人类活动影响的密切程度的季节性特征表现为冬季>秋季>春季>夏季, 其

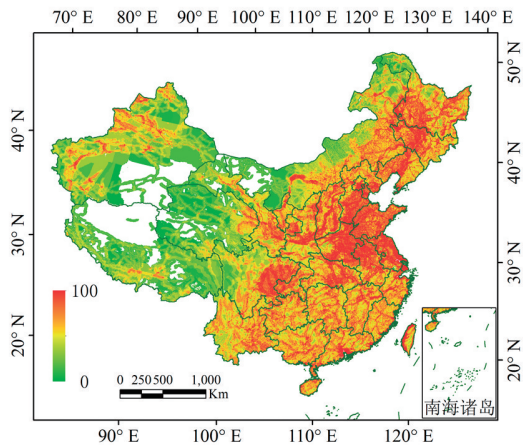


图5 中国区域的人类足迹指数
Fig.5 The human footprint index of China

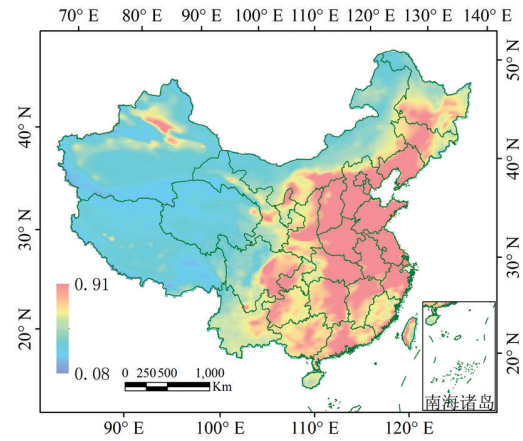


图6 2005–2010年中国 TropNO₂/TotNO₂平均空间分布
Fig.6 The average spatial distribution of TropNO₂/TotNO₂ from 2005 to 2010

中冬季的 TropNO₂/TotNO₂与人类足迹相关系数为0.59,夏季为0.48,均为显著相关。冬季NO₂较高主

要是由于冬季燃煤取暖等排放较多的NO₂,且空气对流较弱不利于NO₂扩散。综上所述,TropNO₂/TotNO₂的空间分布特征很好地反映了人类活动对NO₂浓度的影响。

4.2 地区生产总值与 TropNO₂关系

作为导致 TropNO₂增多的重要因素,地区生产总值能够反映当地工业生产活动所带来的NO₂污染。本研究分析了2005–2010年全国各省(市)的 TropNO₂年均值与地区生产总值(GRP)之间的关系(表3)。

其中,台湾缺数据,在此不作分析。结果表明,大部分省市的 TropNO₂与 GRP 呈显著相关关系。30%的省市 TropNO₂与 GRP 的线性相关系数大于0.90,63.33%的省市大于0.80,而只有20%的省市小于0.70。TropNO₂与 GRP 的线性相关系数在辽宁省最大,为0.97,可在一定程度上说明辽宁的 TropNO₂主要是由工业排放造成的。而上海、广东则呈现负相关,证明了工业排放的减少,表明在生产过程中,决策部门和企业应该注重产业结构和生产效率的完善与优化。韩向娣等^[23]也得出了 GRP 与能够反映人类活动的夜间灯光数据之间存在着明显的线性相关关系。因此,GRP 与 TropNO₂的相关系数可以作为NO₂环境评价指标来衡量经济发展中的NO₂环境代价。

4.3 汽车保有量与对流层 NO₂的相关性

当今,NO₂的人为污染来源很多,包括汽车尾气、工业排放、飞机及轮船排放、农业烧荒等。随着近年来,中国经济的飞速发展,机动车拥有量也在

表3 2005–2010年中国 TropNO₂年均值与 GRP 的相关系数

Tab.3 The correlation coefficient between annual averages of TropNO₂ and GRP from 2005 to 2010 in China

地区	相关系数	地区	相关系数	地区	相关系数
辽宁	0.97	四川(含重庆)	0.88	西藏	0.73
青海	0.93	福建	0.88	云南	0.73
吉林	0.93	湖北	0.87	新疆	0.73
内蒙古	0.93	江苏	0.86	江西	0.71
甘肃	0.92	安徽	0.85	山西	0.68
贵州	0.91	宁夏	0.83	浙江	0.66
广西	0.90	陕西	0.81	北京	0.50
山东	0.90	河南	0.81	海南	0.47
天津	0.90	湖南	0.80	上海	-0.20
河北	0.89	黑龙江	0.77	广东	-0.45

大幅增高^[10]。本文根据中国国家统计局的全民用汽车保有量年变化及 TropNO₂ 年变化特征, 分析了 2005–2010 年间两者的相关关系。全国 TropNO₂ 的上升与汽车保有量的增加呈显著的正相关关系, 相关系数为 0.95, 通过了 95% 置信水平的显著度检验。可见, NO₂ 浓度的增加与汽车数量的增加存在密切联系, 这也进一步证实汽车尾气也是 NO₂ 主要污染源之一。

5 结论

本研究利用 2005 年 1 月至 2010 年 12 月 OMI 反演获取的 NO₂ 卫星数据, 分析了中国区 NO₂ 时空分布特征及其人类影响, 结果表明:

(1) 中国区域 TropNO₂ 和 TotNO₂ 总体上呈显著上升的趋势, 但受人类影响较少的西藏等地区的 NO₂ 增长缓慢, 而广东、上海等地由于 NO₂ 的人为排放较少呈现负增长。TropNO₂ 季节变化规律明显: 冬季最大, 夏季最小。这主要是由于冬季燃烧取暖排放的 NO_x 显著增加, 并且冬季气温降低导致大气对流减弱、NO₂ 寿命变长。

(2) TropNO₂、TotNO₂ 浓度及其增长速率、TropNO₂/TotNO₂ 高值区均主要分布在发达的东部沿海地区, 低值区为西部欠发达地区。华北、江浙沪等地为典型高值区, 而西藏为典型低值区。

(3) TropNO₂、TotNO₂ 及 TropNO₂/TotNO₂ 的空间分布特征与人类足迹具有很好的一致性。TropNO₂/TotNO₂ 与人类足迹在季节上呈显著相关, 相关性在冬季最高, 夏季最低。且在空间上呈现出东部沿海地区大于西部欠发达地区的特征, 与人类足迹的空间分布一致。因此, 人类活动是 NO₂ 浓度变化的主导因子, TropNO₂/TotNO₂ 可以用来衡量人类对大气 NO₂ 影响的程度。此外, 全国 TropNO₂ 与 GRP、汽车保有量的变化也存在着显著的相关性, 证明工业排放和汽车尾气也是 NO₂ 的主要污染源。

参考文献:

- [1] 秦瑜, 赵春生. 大气化学基础[M]. 北京: 气象出版社, 2003, 73-76.
- [2] IPCC. Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[R]. New York: Cambridge University Press, 2007.
- [3] 肖钟湧, 江洪, 程苗苗. 利用 OMI 遥感数据研究中国区域大气 NO₂[J]. 环境科学学报, 2011, 31(10): 2080-2090.
- [4] Wenig M. Satellite measurement of long-term global tropospheric trace gas distributions and source strengths-algorithm development and data analysis[D]. Heidelberg: University of Heidelberg, 2001.
- [5] 黄鹤, 姚青, 张文煜, 等. 天津夏季底层大气 O₃ 和 NO₂ 浓度的垂直分布[J]. 环境科学研究, 2009, 22(3): 315-320.
- [6] 王萍, 陈洪滨, 吕达仁. 地基曙暮光光谱观测反演平流层 O₃ 和 NO₂ 柱含量[J]. 大气科学, 2003, 27(6): 1067-1076.
- [7] 肖韶荣, 王亚吉. 基于太阳光谱的 NO₂ 浓度反演方法[J]. 应用光学, 2011, 32(3): 472-476.
- [8] 杨素娜, 王珊珊, 王焯如, 等. 利用被动 DOAS 和主动 DOAS 研究城市大气 NO₂ 污染[J]. 复旦学报(自然科学版), 2011, 50(2): 199-205.
- [9] 王跃启, 江洪, 张秀英, 等. 基于 OMI 卫星遥感数据的中国对流层 NO₂ 时空分布[J]. 环境科学研究, 2009, 22(8): 932-937.
- [10] 陈姗姗, 束炯, 徐建中. 中国若干典型城市对流层 NO₂ 时空分布特征[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(12): 1484-1490.
- [11] 肖钟湧, 江洪. 四川盆地大气 NO₂ 特征研究[J]. 中国环境科学, 2011, 31(11): 1782-1788.
- [12] 程苗苗, 江洪, 陈健, 等. 2005-2009 年浙江省不同土地类型上空对流层 NO₂ 变化特征[J]. 生态学报, 2011, 31(5): 1249-1259.
- [13] 岳捷, 林云萍, 邓兆泽, 等. 利用卫星数据和全球大气化学传输模式研究中国东部大城市对流层 NO₂ 季节变化原因[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2009, 45(3): 431-438.
- [14] 陶金花, 王子峰, 韩冬, 等. 华北地区秸秆禁烧前后的 NO₂ 卫星遥感监测分析[J]. 中国环境科学, 2009, 29(10): 1016-1020.
- [15] Boersma K F, Eskes H J, Veefkind J P, *et al.* Near-real time retrieval of tropospheric NO₂ from OMI[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2007, 7(8): 2103-2118.
- [16] Levelt P F, van den Oord G H J, Dobber M R, *et al.* The ozone monitoring instrument[J]. Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2006, 44(5): 1093-1101.
- [17] Wenig M O, Cede A M, Bucsela E J, *et al.* Validation of OMI tropospheric NO₂ column densities using direct-Sun mode Brewer measurements at NASA Goddard Space Flight Center[J]. Journal of Geophysical Research, 2008, 113: D16S45.
- [18] NASA 官方网站. <http://mirador.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/mirador/presentNavigation.pl?tree=project#OMI>. [2011-12-21]
- [19] Celarier E A, Brinksma E J, Gleason J F, *et al.* Validation of Ozone Monitoring Instrument nitrogen dioxide col-

- umns[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2008, 113: D15S15.
- [20] Sanderson E W, Jaiteh M, Levy M A, *et al.* The human footprint and the last of the wild[J]. *BioScience*, 2002, 52(10): 891-904.
- [21] CIESIN. <http://sedac.ciesin.columbia.edu/data/set/wildar-eas-v1-human-footprint-geographic>. [2012-6-22]
- [22] 中国国家统计局. <http://www.stats.gov.cn/>. 2012-02-22.
- [23] 韩向娣, 周艺, 王世新, 等. 夜间灯光遥感数据的GDP空间化处理方法[J]. *地球信息科学学报*, 2012, 14(1): 128-136.

Spatio-temporal Characteristics of NO₂ in China and the Anthropogenic Influences Analysis Based on OMI Data

LI Long^{1,2}, SHI Runhe^{1,2*}, CHEN Yuanyuan^{1,2}, XU Yongming³, BAI Kaixu^{1,2} and ZHANG Jie⁴

(1. *Key Laboratory of Geographic Information Science, Ministry of Education, East China Normal University, Shanghai 200241, China*; 2. *Joint Laboratory for Environmental Remote Sensing and Data Assimilation, ECNU and CEODE, Shanghai 200241, China*; 3. *College of Remote Sensing, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China*; 4. *Foshan Bureau of Meteorology, Foshan 528000, China*)

Abstract: Recently, the air quality is deteriorating continuously, do serious harm to human health. As one of the major primary pollutants produced by human activities, real-time monitoring of the spatio-temporal characteristics of NO₂ and its content can make a big difference to the air quality studies and public safety warning. This research studied the OMNO₂e data between January 2005 and December 2010 from the Ozone Monitoring Instrument and the human society factors in China, explored the spatio-temporal characteristics of NO₂ in China and the anthropogenic influences on it. The results showed that: the average NO₂ column concentration in China has a significant upward trend from 2005 to 2010, the total column concentration in the atmosphere increased by $0.61 \times 10^{15} \text{ molec/cm}^2$, with an average annual growth rate of 2.47%; while the tropospheric column concentration increased by $0.63 \times 10^{15} \text{ molec/cm}^2$, with an average annual growth rate of 5.69%. The NO₂ column concentration in most areas of China increased rapidly, and the growth rate in eastern China was much greater than the less developed regions in western China. The spatial distribution of NO₂ in China also shows a significant difference. In general, it presents the characteristic of higher in the east than that in the west. Besides, NO₂ column concentration in winter was significantly higher than that in summer in eastern China, but in western, the highest value appears in summer. We also studied the relationship between every season's spatial distribution of TropNO₂/TotNO₂ and the human footprint. The result showed a good consistency between them: the correlation coefficients between TropNO₂/TotNO₂ and human footprint is maximum in winter, about 0.59; and its minimum value appears in summer, about 0.48. And the number of samples is 56166×2 , indicated that the influences from human activities were maximal in winter and minimum in summer. The correlation coefficients between car ownership and TropNO₂, gross regional production and TropNO₂ had also been calculated. We found that the coefficient between car ownership and TropNO₂ is 0.95, with a significance test at 95 percentile of confidence level, and the correlation between gross regional production and TropNO₂ also very strong. The increasing of NO₂ in China has remarkable relevance with human activities and social economic development.

Key words: OMI; NO₂; spatio-temporal distribution; anthropogenic influences

*Corresponding author: SHI Runhe, E-mail: rhshi@geo.ecnu.edu.cn