doi: 10.6046/gtzyyg.2017.03.21

引用格式:周嘉源,施润和.基于 GIOVANNI 的我国主要城市与西部地区 2000—2014 年气溶胶光学厚度的对比[J].国土资源 遥感,2017,29(3):143-148. (Zhou J Y,Shi R H. A comparative analysis of AOD in main cities and the western region of China from 2000 to 2014 based on GIOVANNI[J]. Remote Sensing for Land and Resources,2017,29(3):143-148.)

基于 GIOVANNI 的我国主要城市与西部地区 2000—2014 年气溶胶光学厚度的对比

周嘉源1. 施润和1,2,3

 (1.华东师范大学地理科学学院,上海 200241;2.华东师范大学地理信息科学教育部重点实验室, 上海 200241;3.华东师范大学、中国科学院遥感与数字地球研究所环境遥感与数据

同化联合实验室,上海 200241)

摘要:遥感方法反演的气溶胶光学厚度(aerosol optical depth, AOD)是开展区域空气质量研究的关键数据源。研究 长时间序列 AOD 需要对 AOD 条带产品进行时空尺度拓展,涉及一系列复杂、专业的数据处理。为了便于非遥感专 业科研工作者准确使用该数据,美国宇航局(NASA)研发了新一代的遥感数据在线分析平台 GIOVANNI(GES – DISC interactive online visualization and analysis infrastructure),但该平台在国内尚未得到广泛应用。本文以北京、上 海、广州与西部地区为研究区,基于多年时间序列变化特征对平台缺失数据进行了插补,进而开展了"北上广"超大 城市地区与西部地区 2000—2014 年的 AOD 月数据的对比分析。研究表明,北京、上海、广州与西部地区相比,AOD 多年平均值显著较高,其中上海最高,北京次之;北京和上海的 AOD 值具有春夏高、秋冬低的季节差异性;虽然 "北上广"近 15 a 来 AOD 年平均值的变化趋势不显著,但上海与广州的 AOD 时间序列存在相似性。

关键词: GIOVANNI; AOD; 大气颗粒物; 遥感

中图法分类号: TP 751.1 文献标志码: A 文章编号: 1001-070X(2017)03-0143-06

0 引言

以可吸入颗粒物为代表的空气污染是当前我国 面临的重要环境问题,尤其在以北京、上海、广州为 核心的京津冀、长三角和珠三角地区,经济发达,人 口密集,对人体健康有严重威胁。可吸入颗粒物的 监测是开展空气治理的前提保障,而传统地面监测 方式存在站点数量少、分布不均、代表性差、历史数 据积累不足等问题,迫切需要发展新的监测方式。

利用卫星遥感技术开展空气污染监测具有空间 覆盖能力强、可周期性重复观测、时间序列长等优 势,能与地基站点监测形成互补。一般来说,主要通 过建立遥感反演的气溶胶光学厚度(aerosol optical depth, AOD)与 PM2.5 或 PM10 等颗粒物浓度之间 的转换关系,来实现对可吸入颗粒物的遥感监测。 AOD 定义为介质的消光系数在垂直方向上的积分, 用作描述气溶胶对光的衰减作用。Chu 等^[1]利用 MODIS Level 2 产品气溶胶光学厚度的数据,研究了 全球、区域和局地大气污染状况,证实了用气溶胶光 学厚度监测大气污染的可行性。Engel - Cox 等^[2] 利用 MODIS 2002 年 3—9 月的 AOD 数据定量分 析,发现卫星遥感资料与地面污染物质量浓度在美 国东部和中西部地区具有较高的相关性,并且指出 卫星数据在区域尺度的空气质量监测方面有重要的 应用潜力。李成才等[3-4]利用暗目标法反演了北京 和香港地区1 km 气溶胶光学厚度,证实高分辨率遥 感产品在研究城市大气污染,尤其是在监测污染源 的宏观分布方面具有潜在的应用价值。由于 AOD 瞬时遥感反演产品,即二级条带产品,受天气状况、 反演算法等多种因素影响,存在严重的时空不连续 性,在实际使用时需要进行复杂的专业处理,影响了 数据产品的应用,尤其是在非遥感专业用户群中的 应用。NASA 研发的 GIOVANNI^[5-6] (GES - DISC

通信作者方数据和(1979-),男,博士,副教授,主要从事定量遥感研究。Email: rhshi@ geo. ecnu. edu. cn。

收稿日期: 2015-07-24;修订日期: 2015-11-20

基金项目:国家重点研发计划项目"主要恶性肿瘤发病相关的大数据获取、挖掘及利用研究"(编号:2016YFC1302602)、上海市卫计委 重点学科建设项目"环境卫生与劳动卫生学"(编号:15GWZK0201)和上海市科委项目"暴雨灾害时空多源数据集成与分析 研究"(编号:15dz1207805)共同资助。

第一作者:周嘉源(1994-),女,本科生,主要从事遥感应用研究。Email: znana_99@163.com。

interactive online visualization and analysis infrastructure, GIOVANNI)平台是一个基于 Web 服务和工作 流的数据可视化与分析在线系统,可以在浏览器中 通过简便的操作完成复杂的数据处理工作。Acker 等^[7]基于 GIOVANNI 平台以天气与流感的联系为 例开展了地域性空间公共卫生领域的研究与应用; Zubko 等^[8]开展了基于 GIOVANNI 平台的 MODIS Terra 和 Aqua 每日气溶胶数据的融合和插补方法的 研究; Prados 等^[9]介绍了由 GIOVANNI 平台取得的 遥感数据的入口、可视化和互操作性;赵洁心等^[10] 基于 GIOVANNI 对江浙沪地区的 AOD 时空格局进 行了分析,并同时验证了利用 GIOVANNI 数据资源 进行分析的可行性。总体来说,GIOVANNI 平台在 国外空气质量等研究中得到了广泛应用,但在国内 尚未普及。

本文利用 GIOVANNI 平台, 开展了 2000—2014 年 15 a间, 北京、上海、广州 3 个典型特大城市地区 与西部非城市地区的 AOD 对比分析, 探索该平台长 时间序列数据在我国不同地区的应用。

1 研究区概况与数据源

1.1 研究区概况

京津冀、长三角和珠三角地区是我国3个重要 的城市群,经济发达,人口集中,近年来深受雾霾等 大气颗粒物污染的影响。本研究在这3个城市群中 选取代表性城市,即北京、上海和广州作为研究区, 结合所采用的遥感数据产品空间分辨率,其经纬度 范围分别设置为:北京 E115°~118°,N39°~42°; 上海 E120°~123°,N30°~32°;广州 E112°~115°, N22°~24°。选取青海省西北部 5°×5°的较大范围 (E90°~95°,N35°~40°)为研究区,该区深处西部 中心腹地,受城市影响较小。

1.2 数据源

GIOVANNI 交互式在线可视化和分析基础平台 由美国宇航局(NASA) Goddard 地球科学数据和信 息服务中心设计和开发,为气象、水文、生态及地质 等诸多领域用户提供了基于网络服务的卫星遥感数 据获取、处理、分析与可视化工具,以其简单、快速和 良好的人机交互功能吸引了大量用户。该平台一方 面可以为用户省去数据传输和在本地计算机上进行 数据处理的时间,另一方面可以避免不恰当的处理 方法而引入的误差。GIOVANNI 平台网址为 giovanni. sci. gsfc. nasa. gov/giovanni。

对于 AOD 数据, GIOVANNI 平台可以提供多种 卫星遥感传感器的 AOD 数据产品(表1)。本研究 采用时间序列最长的 Terra/MODIS AOD 月产品,其 空间分辨率为1°×1°,采用的反演算法为深蓝算法, 其科学数据集名称为 deep blue aerosol optical depth at 0.55 microns for land (corrected): mean monthly。

表 1 GIOVANNI 平台提供的 AOD 数据产品列表 Tab. 1 List of AOD products available in GIOVANNI

| 数据产品 | 空间分辨率/(°) | 时间范围 |
|----------------------------|------------------|--------------------------------|
| MODIS Terra and Aqua AOD | 1 × 1 | 2000 年至今(Terra),2002 年至今(Aqua) |
| OMI AOD and Absorption AOD | 1×1和0.25×0.25 | 2004 年至今 |
| MISR Terra AOD | 0.5×0.5 | 2000 年至今 |
| ENVISAT – MERIS AOD | 1×1 | 2002—2007 年 |
| GOCART Speciated AOD | 2×2.5 | 2000—2007 年 |
| | | |

2 研究方法

2.1 数据完整性分析

对基于 GIOVANNI 平台取得的源数据(图1)进



行完整性分析,发现北京、上海和广州3地AOD数据都较完整,仅广州地区的数值存在3个月份的缺失。而西部地区数据缺失情况较为严重,尤其在2004—2007年期间,每年缺失5~7个AOD月值, 需要进行适当的插补。



万方数据

图 1-1 4个研究区 AOD 月值数据的时间序列 Fig.1-1 Time series of monthly averaged AOD in the 4 research areas



Fig. 1-2 Time series of monthly averaged AOD in the 4 research areas

2.2 统计、线性拟合与相关分析

对 GIOVANNI 平台提供的研究区 2000 年 3 月—2015 年 2 月的 AOD 月值进行多年平均值、多 年最大值、多年最小值及分季节统计分析;对 AOD 的年平均值线性拟合,并进行分析;对北京、上海、 广州和西北地区 AOD 的月值序列进行相关分析,观 察城市与非城市地区在 AOD 上体现出的差异性。

3 结果与分析

3.1 缺失值的插补方法

由于利用遥感方法目前只能反演晴空条件下的 AOD 数据,且反演算法成功与否还受到下垫面因素 的影响,导致西部地区因存在连续若干个月的数据 缺失情况,无法用相邻月份插值方法进行直接插补。 本文以西部地区为例,根据数据完整年份的时间序 列数据,计算得出 AOD 各个月份间的多年平均变化 率(表 2),再根据缺失年份内的已有数据,推算出缺 失月份的 AOD 值。

| 表 2 | 西部地区 AOD 平均月变化率 |
|--------|--------------------------------|
| Tab. 2 | Averaged monthly change of AOI |
| | in the western area |

| 月份 | 平均变化率 | 月份 | 平均变化率 |
|-------|-----------|---------|-----------|
| 1—2月 | 0.075 45 | 7—8月 | -0.021 79 |
| 2—3 月 | 0.175 19 | 8—9月 | -0.020 36 |
| 3—4 月 | 0.131 19 | 9—10月 | 0.106 19 |
| 4—5月 | -0.201 79 | 10—11 月 | 0.031 18 |
| 5—6月 | -0.137 40 | 11—12月 | -0.066 14 |
| 6—7月 | -0.087 85 | 12—翌年1月 | 0.016 14 |

3.2 统计结果与分析

对 2000—2014 年 4 个研究区 AOD 时间序列数 据,在年、季、月 3 个时间周期中进行统计分析(图 2)。



图 2 4 个研究区 AOD 年平均值数据

Fig. 2 Time series of yearly averaged AOD in the 4 research areas

北京:多年平均值为 0.56,最大年均值差为 0.18。多年最大月值为 1.379,出现时间在 2008 年 6 月。多年最小月值为 0.131,出现时间在 2014 年 12 月。全年 AOD 最大值多出现于夏季,夏季平均 值在 0.82 附近,春、冬季次之,秋季最小,秋季平均 值在 0.43 附近,有明显的季节差异性存在。多年年 内最大月值差为 1.12。

上海: 多年平均值为 0.70, 最大年均值差为 0.57。多年最大月值为 2.155, 出现时间在 2012 年 6 月。多年最小月值为 0.100, 出现时间在 2000 年 7 月。全年 AOD 最大值多出现于夏季, 夏季平均值在 0.81 附近, 春数4季次之, 秋季最小, 秋季平均值在

0.56 附近,有明显的季节差异性存在。多年年内最 大月值差为1.89。

广州: 多年平均值为 0.55, 最大年均值差为 0.52。多年最大月值为 1.235, 出现时间在 2014 年 4 月。多年最小月值为 0.067, 出现时间在 2003 年 7 月。全年 AOD 最大值多出现于春季, 春季平均值在 0.56 附近, 夏、冬季次之, 秋季最小, 秋季平均值在 0.54 附近。不同于北京和上海, 全年 AOD 值的季 节变化较小, 四季的值都较接近。多年年内最大月 值差为 0.99。

西部地区:多年平均值为0.31,最大年均值差 为0.32。多年最大月值为1.172,出现时间在2001 年4月。多年最小月值为0.051,出现时间在2005年11月。全年AOD最大值多出现于春季,春季平均值在0.54附近,夏、冬季次之,秋季最小,秋季平均值在0.21附近,有明显的季节差异性存在。多年年内最大月值差为0.95。

总体来看,相比较于"北上广"3地,西部地区的 AOD 多年平均值0.31 明显较低,相差在0.24~0. 39之间,体现出城市地区与非城市地区的显著差 异。对比"北上广"3地,上海的多年平均值最高,北 京其次,广州最低。在此需要指出,虽然 AOD 在数 值上呈现上述特点,但遥感反演的 AOD 并不能准确 反映一个地区的空气污染程度,还需要进行标高、湿 度订正等修正,才能与近地层可吸入颗粒物建立较 为稳定的关系;同时,"北上广"的大气颗粒物来源 复杂,使得 AOD 与大气颗粒物之间的相关性是不稳定的。在季节尺度上,北京和上海的 AOD 值都具有明显的季节差异性且季节差异相似,都是春夏较大,秋冬较小;而广州的 AOD 值的季节分布较平稳。上述特点与关佳欣等^[11]对 AOD 在我国中、东部主要地区的分布和变化研究结论一致。

3.3 城市地区 AOD 年均值的线性拟合

图 3 虚线为"北上广" 3 地以 2000—2014 年为 一个周期的 AOD 年平均值的线性拟合。可以看到, 3 地拟合线总体呈现上升,其中北京的变化程度最 小,拟合线斜率为 0.005 57; 广州次之,拟合线斜率 为 0.011 28; 上海最大,拟合线斜率为 0.016 2。上 海和广州在 2004—2007 年都出现了较高值。



图 3 北京、上海、广州 AOD 年平均值的线性拟合



分别以 2000—2004 年、2005—2009 年和 2010—2014年35 a 对三地 AOD 进行线性拟合, 拟 合线如图 3 实线所示, 拟合线变化率见表 3。

表 3 北京、上海和广州 3 地 AOD 的 5 a 线性拟合变化率

Tab. 3 5 – year change of linear fitting AOD in Beijing, Shanghai and Guangzhou

| 地区 | 2000—2004 年 | 2005—2009 年 | 2010—2014 年 |
|----|-------------|-------------|-------------|
| 北京 | 0.010 43 | -0.005 95 | -0.031 65 |
| 上海 | 0.108 96 | -0.061 19 | 0.034 06 |
| 广州 | 0.111 78 | -0.065 10 | 0.033 04 |

北京:2000—2004年,AOD 年平均值拟合线呈 缓慢上升;2005—2009年,呈缓慢下降;2010— 2014年,呈现下降。

上海:3 地中拟合线的变化幅度最为明显。 2000—2004年,AOD年平均值呈明显上升;2005— 2009年,呈明显下降;2010—2014年,呈现上升。

广州: 2000—2004年, AOD 年平均值拟合线呈 明显上升; 2005—2009年, 呈明显下降; 2010— 2014年, 呈现上升。

综合3地,可以看出2000—2004年是AOD年 平均值拟合线的共同上升段;2005—2009年是共同 的下降段万克教据2014年,虽然上海和广州AOD平 均值呈现上升,但上升程度明显低于 2000—2004 年。

综上所述,线性拟合的结果一定程度上反映了 近15 a 来北京、上海和广州 3 地 AOD 年平均值的 变化情况,但作为趋势分析,结果并不显著。

3.4 AOD 时间序列的相关分析

对 AOD 时间序列数据进行相关分析,结果如表 4 所示,上海与广州的 AOD 序列的相关系数最高, 通过 α = 0.10 的显著性检验,而与北京并不相似,这 主要因为与北京相比,处于长三角的上海与珠三角 的广州具有相似的海陆位置,受海陆风影响,两地颗 粒物扩散条件具有一定的相似性。但由于影响 AOD 的因素众多,4 个研究区的时间序列并未出现 显著的高相关,反映出各地 AOD 的变化呈现较鲜明 的本地特征。

表4 4个研究区 AOD 时间序列的相关系数

Tab. 4Correlation coefficients of time seriesAOD in the 4 research areas

| 研究区 | 北京 | 上海 | 广州 | 西部地区 |
|------|----|---------|---------|---------|
| 北京 | 1 | 0.241 4 | 0.129 4 | 0.062 6 |
| 上海 | | 1 | 0.448 9 | 0.1907 |
| 广州 | | | 1 | 0.258 7 |
| 西部地区 | | | | 1 |

4 结论

1) GIOVANNI 平台不仅具有传统的遥感数据共 享功能,其特有的在线数据处理与分析功能可以显 著减小科研人员花费大量时间和精力开展繁杂的数 据下载与处理工作,并能确保数据处理的规范性,提 高了科学研究的工作效率,使非遥感专业人士也能 较为轻松地使用遥感数据与产品。但由于光学遥感 受大气环境的影响,以及遥感反演算法本身的不足, 使得该平台提供的数据在开展研究前仍可能需要进 一步的处理。数据完整性分析及缺失值插补是应用 GIOVANNI 平台数据源开展时间序列研究与应用的 必要预处理之一。

2)本文利用 GIOVANNI 平台提供的 2000— 2014年 Terra/MODIS 反演的时间序列 AOD 月值数 据开展了北上广城市地区与西部非城市地区 AOD 对比分析,一方面证实了该平台 AOD 数据在我国遥 感空气质量研究与应用领域的可用性,另一方面也 反映出东部主要城市地区与西部非城市地区长时间 序列 AOD 之间的差异。AOD 作为大气光学参数并 不能直接反映空气质量状况,还需进行标高、湿度等 订正处理和建立与可吸入颗粒物之间的转换关系。

参考文献(References):

- Chu D A, Kaufman Y J, Zibordi G, et al. Global monitoring of air pollution over land from the earth observing system – terra moderate resolution imaging Spectroradiometer (MODIS) [J]. Journal of Geophysical Research, 2003, 108 (D21): 4661, doi: 10. 129/ 2002JD003179.
- [2] Engel Cox J A, Holloman C H, Coutant B W, et al. Qualitative and quantitative evaluation of MODIS satellite sensor data for regional and urban scale air quality[J]. Atmospheric Environment, 2004,38(16):2495-2509.
- [3] 李成才,刘启汉,毛节泰,等.利用 MODIS 卫星和激光雷达遥 感资料研究香港地区的一次大气气溶胶污染[J].应用气象学 报,2004,15(6):641-650.

Li C C, Liu Q H, Mao J T, et al. An aerosol pollution episode in Hong Kong with remote sensing products of MODIS and LIDAR [J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2004, 15(6):641 - 650.

- [4] 李成才,毛节泰,刘启汉,等. MODIS 卫星遥感气溶胶产品在北 京市大气污染研究中的应用[J].中国科学 D 辑(地球科学), 2005,35(S1):177-186.
 Li C C, Mao J T, Lau A K H, et al. Application of MODIS satellite products to the air pollution research in Beijing [J]. Science in China Series D Earth Sciences, 2005,48(S2):209-219.
- [5] Berrick S W, Leptoukh G, Farley J D, et al. Giovanni: A web service workflow based data visualization and analysis system [J].
 IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2009, 47 (1):106 113.
- [6] 王旻燕. 地球科学数据分析处理和可视化系统 GIOVANNI
 [J]. 应用气象学报,2008,19(1):125 127.
 Wang M Y. Earth science data analysis and visualization infrastructure GIOVANNI[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2008,19(1):125 127.
- [7] Acker J, Soebiyanto R, Kiang R, et al. Use of the NASA Giovanni data system for geospatial public health research: Example of weather – influenza connection [J]. ISPRS International Journal of Geo – Information, 2014, 3(4):1372 – 1386.
- [8] Zubko V, Leptoukh G G, Gopalan A. Study of data merging and interpolation methods for use in an interactive online analysis system; MODIS terra and aqua daily aerosol case[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2010, 48 (12):4219 – 4235.
- [9] Prados A I, Leptoukh G, Lynnes C, et al. Access, visualization, and interoperability of air quality remote sensing data sets via the Giovanni online tool[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2010, 3(3):359 - 370.
- [10] 赵洁心,黄聪聪,冯 琴,等. 基于 GIOVANNI 的江浙沪地区 AOD 时空格局分析[C]//2014 中国环境科学学会学术年会. 成都:中国环境科学学会,2014.
 Zhao J X, Huang C C, Feng Q, et al. Spatiotemporal pattern research on AOD in Jiangsu – Zhejiang – Shanghai area based on

GIOVANNI[C]//2014 Academic Annual Meeting of Chinese Society for Environmental Sciences. Chengdu; Chinese Society for Environmental Sciences, 2014.

[11]关佳欣,李成才.我国中、东部主要地区气溶胶光学厚度的分布和变化[J].北京大学学报:自然科学版,2010,46(2):185-191.

Guan J X, Li C C. Spatial distributions and changes of aerosol optical depth over Eastern and Central China [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis,2010,46(2):185-191.

A comparative analysis of AOD in main cities and the western region of China from 2000 to 2014 based on GIOVANNI

ZHOU Jiayuan¹, SHI Runhe^{1,2,3}

(1. School Of Geographic Sciences, East China Normal University, Shanghai 200241, China; 2. Key Laboratory of Geographic Information Science, Ministry of Education, East China Normal University, Shanghai 200241, China; 3. Joint Laboratory for Environmental Remote Sensing and Data Assimilation, ECNU and CEODE, Shanghai 200241, China)

Abstract Retrieved is of aerosol optical depth (AOD) is the key data sources to carry out the study of regional air

quality. The study of a long – time series of AOD needs the temporal spread and spatial expansion of AOD stripe products, involving a series of complex and professional data processing. In order to help the non – remote sensing professional researchers to correctly use the data, NASA has developed a web service workflow – based data visualization and analysis system – GIOVANNI, but this system has not yet been widely used in China. In this paper, choosing Beijing, Shanghai, Guangzhou and the western region of China as the study areas, the authors interpolated the missing data based on the variation characteristics of multi – year time series. On such a basis, the authors carried out a comparative analysis of the monthly values of AOD in main cities and the western region of China from 2000 to 2014 based on GIOVANNI. The results show that, compared with things in the western region, the averages of multi – year values of AOD in Beijing, Shanghai and Guangzhou were significantly higher, of which Shanghai was the highest, followed by Beijing. AOD in Beijing and Shanghai had significant seasonal differences, and exhibited the high levels in spring and summer and the low levels in autumn and winter. Although the averages of annual values of AOD in Beijing, Shanghai and Guangzhou showed anon significant trend from 2000 to 2014, the time series of AOD in Shanghai and Guangzhou had similarity.

Keywords: GIOVANNI; AOD; atmospheric particles; remote sensing

(责任编辑:邢 宇)