

## 基于FY3C/MERSI资料分析重庆市气溶胶光学厚度分布\*

杨杰<sup>1</sup>, 王永前<sup>1,2</sup>, 杨世琦<sup>2</sup>, 翟云<sup>1</sup>

(1. 成都信息工程大学 资源环境学院, 成都 610225; 2. 重庆市气象科学研究所, 重庆 401147)

**摘要:**【目的】分析重庆市2014年6月到2015年5月期间气溶胶光学厚度(Aerosol optical thickness, AOT)的空间分布特征。【方法】基于国产极轨气象卫星FY3C/MERSI的气溶胶光学厚度产品得到AOT并用FY3C/MERSI气溶胶光学厚度产品和太阳光度计的实测数据进行对比分析。【结果】对比分析的相关系数为0.64,绝对误差为0.145,均方根误差为0.196。由年平均AOT的空间分布可知,重庆地区AOT分布呈现出东低西高的趋势,其中大巴山七曜山高海拔地区AOT较低,基本上在0~0.3之间,中部地区AOT在0.3~0.5之间,主城、西部地区绝大部分地区AOT在0.5以上,局部在0.6以上。从AOT的时间分布看,1月为高值期,12月、2月次之,5月最低;按季平均AOT来看,重庆市AOT高值期在冬季,秋季、春季AOT次之,夏季AOT最低。【结论】FY3C/MERSI的气溶胶光学厚度产品能较好的反映AOT的空间分布,与实际分布对比相关性高。

**关键词:** FY3C/MERSI; 气溶胶光学厚度; 太阳光度计

**中图分类号:** P421.1

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1672-6693(2018)06-0049-07

气溶胶光学厚度(Aerosol optical thickness, AOT)是大气气溶胶的常用指标<sup>[1]</sup>。传统的气溶胶获取方法主要是通过仪器实时获取大气中的气溶胶,如设置站点实时监测等。但站点数据缺乏空间连续性,无法得到非站点位置上的AOT,不能直观地得出整个空间上AOT的分布特征。卫星遥感数据在时间连续性与空间连续性上都能很好的反映AOT的规律与特征,故而基于卫星遥感数据的气溶胶研究至关重要。目前国内外针对卫星遥感AOT反演展开了大量的研究,Veefkind等人<sup>[2]</sup>基于沿轨道扫描辐射计2(Along track scanning radiometer 2, ATSR-2)和高级高分辨率辐射计(Advanced very high resolution radiometer, AVHRR)对AOT反演方法进行了研究,反演结果与站点CE318测量的AOT间具有良好的相关性;Knapp等人<sup>[3]</sup>基于静止观测的环境系列卫星数据研究AOT的反演算法,用暗像元法建立了地表反射率的空间组合,并采用大气消光系数来矫正地表反射率从而反演出AOT。唐家奎等人<sup>[4]</sup>基于MODIS数据的TERRA和AQUA双星协同反演模型算法(SYN-TAM-Synergy of terra and aqua MODIS)对AOT等大气信息进行了反演和分析,并实现了同时反演地表反射率与AOT,该算法可应用于各种地表反射率类型。

随着国产卫星数据的应用与推广,基于风云卫星数据的研究也逐渐开展起来。风云三号(FY3)为中国第2代极地轨道气象卫星系列,主要实现了三维、定量、全球化、全天候、多光谱的遥感,以满足现代卫星气象业务。风云三号03星(FY3C)经过在轨测试后,与风云三号02星(FY3B)共同组网,进一步加强了中国极轨气象卫星上、下午星联合观测的业务布局,使中国全球观测数据的时间分辨率由12h提升到6h<sup>[5]</sup>。FY3C卫星搭载中分辨率光谱成像仪(Moderate resolution imaging spectroradiometer, MERSI)具有多光谱和高分辨率成像、高时间分辨率等特点,可用于探测大气、陆地、海洋的可见光反射辐射以及热红外发射辐射信息<sup>[6]</sup>,具有2000km宽视场和250m高分辨率结合的特征,它在0.41~12.5μm中共有20个光谱范围的观测波段,其中有5个波段为250m分辨率,15个波段为1km分辨率<sup>[7-8]</sup>。基于暗像元法反演陆地气溶胶需要蓝光、红光、短波红外波段等必要波段,而FY3C/MERSI设有这些波段,故对于FY3C/MERSI卫星遥感数据可基于短波红外波段(2130nm)识别

\* 收稿日期:2018-01-24 修回日期:2018-03-03 网络出版时间:2018-10-25 10:41

资助项目:国家自然科学基金(No. 41471305);重庆市气象局开放基金(No. kfj-201402);四川省教育厅创新团队项目(No. 16TD0024);FY3应用示范项目(No. FY-3(02)-UDS-1. 11. 2);重庆市气象局团队建设项目(ZHCXTD-201826)

第一作者简介:杨杰,男,研究方向为大气遥感,E-mail:313769137@qq.com;通信作者:杨世琦,女,高级工程师,E-mail:yangshiqi1980@sina.com

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20181025.1041.002.html>

暗像元并获取地表反射率,进而进行 AOT 反演分析。Qiang 等人<sup>[8]</sup>基于 FY3C/MERSI 数据对陆地气溶胶进行反演,使用 6S 模式模拟大气辐射传输过程,建立大气参数查找表,利用蓝光波段(470 nm)与短波红外波段(2 130 nm)的线性关系分离出大气信息,通过对大气参数查找表进行插值得到 AOT,得到的 FY3C/MERSI 气溶胶产品空间分辨率为 1 km,比 MODIS 的气溶胶产品分辨率更高,更能反映小范围区域变化情况。

为了推进国产卫星应用与发展,本文基于 FY3C/MERSI 资料分析了重庆市的 AOT 时空分布。目前针对重庆地区的 AOT 研究已有很多,包括利用卫星遥感数据、气象站观测数据或利用大流量采样器获取 AOT 等进行研究,刘灿等人<sup>[9]</sup>基于 MODIS 原始数据,采用暗像元法、6S 模式,以重庆市主城区为例反演重庆市主城区的 AOT;朱彬等人<sup>[10]</sup>基于重庆市冬季的大气气溶胶粒子观测资料,统计并分析了气溶胶粒子的数浓度、质量浓度、谱分布、化学元素组成及其与气象因子的关系;陈金荣等人<sup>[11]</sup>基于 LG-83 型光电粒子计数器,对重庆市沙坪坝气象站的大气气溶胶粒子进行了实时观测,并以此分析了重庆市大气气溶胶粒子的分布特征;Wang 等人<sup>[12]</sup>基于 HJ-1 卫星数据对重庆的 AOT 反演算法进行研究,并与 MODIS 的 AOT 产品进行对比分析。基于风云系列卫星数据产品,借助 AOT 产品数据对重庆地区展开的其他应用研究也有一些,Zeng 等人<sup>[13]</sup>利用 FY3C/MERSI 获取的气溶胶光学厚度产品,对重庆主城区 PM<sub>2.5</sub> 值进行了反演分析。

重庆市东临湖北、湖南,南接贵州,西靠四川,北连陕西,地处长江上游经济带核心地区,是国家历史文化名城,长江上游地区经济中心、金融中心和创新中心,更是全国综合交通枢纽。故而对重庆市的气溶胶时空分布研究极具意义。目前基于国产风云系列 AOT 产品的研究极少;研究成果的时间较为久远,对近几年的研究很少;对年、季、月的时空变化研究较少。本文基于 FY3C/MERSI AOT 产品数据分析重庆市 AOT 分布及其时间变化特征,并利用 CE318 观测数据对其进行相关性分析,讨论 FY3C/MERSI AOT 产品数据的可用性。

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 研究区概况

重庆市经纬度范围在东经 115°17′~110°11′,北纬 28°10′~32°13′之间,北面有大巴山,东面有巫山,东南有武陵山,南有大娄山。重庆市主城区包括了巴南区、北碚区、大渡口区、江北区、九龙坡区、南岸区、沙坪坝区、渝北区和渝中区共 9 个区,主城区的海拔高度大多在 168~400 m 之间;巫溪县东部边缘的界梁山主峰阴条岭海拔为 2 796.8 m,是市内的最高峰;巫山县的长江水面为最低处,海拔为 73.1 m。在重庆市的各个地貌类型中,以丘陵类型的面积最大,占重庆市总面积的 59.4%,山地类型占 30.4%,平坝类型占 10.2%,故而重庆市有“山城”之称<sup>[14]</sup>。流入或流经重庆市的主要江河有长江、乌江、嘉陵江、大宁河涪江、綦江等。长江干流自西向东横贯了整个重庆,流程长度达 665 km,穿越了巫山的 3 个背斜,形成了举世闻名的长江三峡。重庆市的年平均相对湿度为 70%~80%,在中国区域内属于高湿区。年日照时数在 1 000~1 400 h,日照百分率为 25%~35%,是年日照最少的地区之一;冬季和春季的日照更少,仅有全年的 35%左右。

### 1.2 研究思路与方法

本文使用的数据为国家卫星气象中心风云卫星遥感数据服务网(<http://satellite.nsmc.org.cn/portalsite/default.aspx>)提供的 FY3C/MERSI AOT 产品数据。MERSI 的陆地气溶胶产品反演算法是基于 MERSI 传感器的蓝通道(470 nm)数据、红通道(650 nm)数据、短波红外通道(2 100 nm)数据以及地理定位数据,在云检测、水汽总量、臭氧总量等辅助数据支持下实现的暗像元算法,利用暗像元算法反演得到晴空大气气溶胶光学厚度产品。从该网站下载日产品数据通过图像预处理,利用云掩膜产品去除部分有云数据后,使用 ENVI 软件及 IDL 编程语言进行拼接、投影、研究区提取等处理;卫星产品数据空间分辨率为 1 km,时间分辨率为合成月平均数据、季平均数据、年平均数据等用于分析重庆市气溶胶光学厚度时空变化分析。

实测数据为全自动太阳光度计 CE318 气溶胶监测仪器观测到的 2014 年 5 月 31—2015 年 5 月 16 日的气溶胶光学厚度观测数据。太阳光度计是目前探测大气气溶胶的最常用且有效的监测仪器,利用太阳光度计得到的数据不但可以研究气溶胶的光学特性、对卫星遥感反演的气溶胶产品进行验证,而且可以获得长期、连续、实时的气溶胶观测数据<sup>[15]</sup>。选择相应时间段的 CE318 数据,分别以地面太阳光度计实测 AOT 数据与 MERSI AOT 数据为横纵坐标做出散点图进行精度验证。

## 2 FY3C/MERSI AOT 反演结果精度验证

由太阳光度计 CE318 测得的 AOT 数据为横坐标、FY3C/MERSI AOT 数据为纵坐标得到的散点图(图 1)可知,二者数据的相关性系数达 0.64,具有良好的相关关系。FY3C/MERSI AOT 数据的平均绝对值误差为 0.145,均方根误差为 0.196,数据精度满足需求。

## 3 重庆市 AOT 时空分析

### 3.1 月平均 AOT 分布

由封二彩图 2 和表 1 可看出重庆市 AOT 月平均空间分布特征为:1 月,重庆市 AOT 在 0~1.8 之间,其中主城区绝大部分地区 AOT 较高,在 0.4 以上,个别地区 AOT 在 0.6 以上;中部地区 AOT 在 0.3~0.6 之间,局部地区 AOT 高于 0.6;主城区西部及西南部 AOT 较高,除了个别地区 AOT 在 0.4~0.5 之间,AOT 多数都高于 0.5。2 月,重庆市大巴山、七曜山高海拔地区 AOT 在 0~0.4 之间;主城区 AOT 在 0.4~0.6 之间;西部地区 AOT 较高,大部分地区 AOT 都在 0.6 以上;东北部的梁平、开州、万州部分地区 AOT 超过了 0.6。3 月,重庆市大部分地区 AOT 都在 0~0.5 之间,渝东南大部分地区、渝东北、主城及西部部分地区 AOT 在 0.4 以上,主城区西南部 AOT 更在 0.6 以上。4 月,重庆市渝东北、渝东南大部分地区 AOT 在 0~0.4 之间,西部大部分地区 AOT 在 0.5 以上,中部 AOT 在 0.3~0.6 之间。5 月,重庆市西部地区部分被云覆盖,没有监测值,主城区外的其余地区 AOT 较低,在 0~0.4 之间,主城区西北部 AOT 在 0.6 以上;渝东南、渝东北部分地区 AOT 在 0~0.3 之间。6 月,重庆市 AOT 在 0~1.8 之间,主城区及西南地区 AOT 偏高,在 0.6 以上;中部地区 AOT 在 0.3~0.6 之间;大巴山、七曜山高海拔地区 AOT 在 0~0.4 之间。7 月,重庆市西部和中部地区 AOT 在 0.3~0.6 之间,大巴山和七曜山高海拔地区 AOT 在 0~0.4 之间。8 月,重庆市除主城区及周边地区 AOT 偏高,在 0.4 以上,其余地区 AOT 较低,在 0~0.4 之间。9 月,重庆市西部地区 AOT 在 0~0.4 之间,中部有个别地区 AOT 偏高,在 0.6 以上,东南角地区 AOT 高于 0.6。10 月,重庆市除中部地区 AOT 在 0~0.3 之间外,其他地区 AOT 在 0.3~0.6 之间,潼南县 AOT 在 0.6 以上。11 月,重庆市东北处于 AOT 低值区,AOT 在 0~0.4 之间,其余地区 AOT 在 0.3~0.6 之间,个别区域 AOT 大于 0.6。12 月,重庆市东北、东南部处于 AOT 低值区,AOT 在 0~0.3 之间,主城、中西部地区大部分地区 AOT 高于 0.6。

由图 3 可看出重庆市 AOT 月平均时间变化特征:1 月到 5 月月平均 AOT 逐渐降低,5 月到 6 月有一定上升趋势,6 月到 7 月 AOT 下降,7 月到 12 月 AOT 缓慢上升。其中 1 月为 AOT 最高值点,12 月、2 月次之,5 月 AOT 最低。从天气网上可以找到 5 月和 7 月整月天气都为多云加小雨,连续的小雨使空气中的气溶胶沉淀,故而 AOT 低。秋季大气湿度增加,气溶胶粒子吸湿增长,燃烧排放和逆温现象增加,使秋冬季节 AOT 增加。

### 3.2 季平均 AOT 分布

按照气象标准定义可得,3~5 月为春季,6~8 月为夏季,9~11 月为秋季,12~2 月为冬季。如封二彩图 4 及表 2 所示:春季,重庆市 AOT 在 0~1.8 之间,除了大巴山、七曜山高海拔地区,渝东南部分地区平均 AOT 在 0~0.3 之间,其余地区 AOT 都在 0.3 以上,主城、西部大部分地区 AOT 都在 0.5 以上且有少数地区 AOT 高于 0.6;夏季,重庆市东北和东南地区 AOT 在 0~0.3 之间,主城区小部分地区 AOT 在 0.6 以上,其余地区 AOT 都在 0.3~0.5 之间;秋季,重庆市大巴山地区 AOT 在 0~0.3 之间,除了主城区及东南部分地区 AOT 在 0.6 以上,其余大部分地区 AOT 在 0.3~0.5 之间;

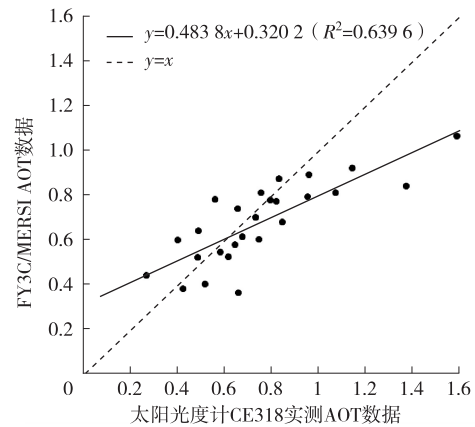


图 1 重庆地区 FY3C/MERSI AOT 与太阳光度计测得的 AOT 的散点图

Fig. 1 The scatter diagram about FY3C/MERSI AOT and sun-photometer AOT in Chongqing

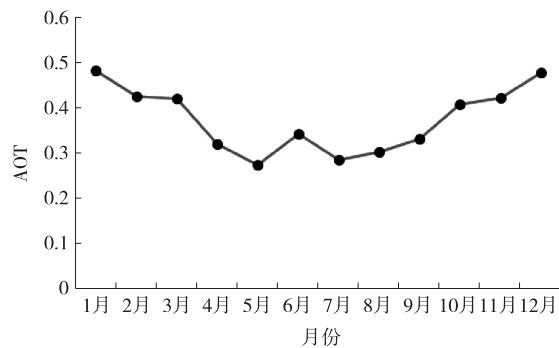


图 3 重庆市月平均 AOT 趋势线

Fig. 3 The Monthly average AOT trend line in Chongqing

表 1 重庆市各区县月平均 AOT

Tab. 1 The monthly average AOT in all districts of Chongqing

区县	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
主城区	0.56	0.59	0.51	0.43	0.39	0.53	0.45	0.44	0.45	0.43	0.49	0.59
城口县	0.18	0.33	0.29	0.11	0.14	0.16	0.14	0.25	0.38	0.35	0.30	0.46
巫溪县	0.27	0.32	0.38	0.12	0.17	0.18	0.12	0.21	0.34	0.33	0.35	0.53
开县	0.40	0.42	0.37	0.23	0.22	0.27	0.26	0.30	0.42	0.44	0.40	0.40
巫山县	0.37	0.30	0.34	0.11	0.15	0.22	0.15	0.16	0.30	0.31	0.36	0.52
云阳县	0.40	0.42	0.38	0.18	0.21	0.30	0.26	0.24	0.28	0.29	0.35	0.44
奉节县	0.39	0.26	0.37	0.15	0.17	0.24	0.17	0.21	0.22	0.35	0.35	0.39
万州区	0.44	0.60	0.35	0.36	0.23	0.35	0.36	0.25	0.28	0.35	0.41	0.47
梁平县	0.47	0.45	0.39	0.35	0.25	0.38	0.42	0.30	0.32	0.50	0.46	0.43
忠县	0.48	0.46	0.36	0.31	0.29	0.41	0.40	0.36	0.25	0.36	0.40	0.49
石柱土家族自治县	0.40	0.31	0.32	0.49	0.23	0.23	0.17	0.25	0.24	0.40	0.39	0.37
垫江县	0.46	0.42	0.36	0.29	0.26	0.44	0.40	0.32	0.23	0.47	0.42	0.43
潼南县	0.55	0.68	0.53	0.54	0.81	0.48	0.34	0.28	0.39	0.68	0.52	0.60
合川区	0.51	0.62	0.54	0.50	0.52	0.52	0.46	0.44	0.68	0.54	0.52	0.49
丰都县	0.42	0.34	0.31	0.28	0.25	0.32	0.31	0.31	0.22	0.33	0.35	0.52
长寿区	0.51	0.49	0.42	0.34	0.26	0.50	0.47	0.36	0.21	0.50	0.44	0.59
铜梁县	0.56	0.64	0.50	0.54	0.67	0.54	0.33	0.42	0.31	0.44	0.51	0.57
涪陵区	0.47	0.42	0.35	0.30	0.28	0.41	0.40	0.34	0.23	0.36	0.41	0.58
璧山县	0.60	0.66	0.50	0.52	0.55	0.58	0.36	0.45	0.24	0.45	0.54	0.52
黔江区	0.57	0.31	0.48	0.27	0.29	0.27	0.19	0.26	0.36	0.48	0.44	0.43
大足县	0.51	0.60	0.51	0.60	0.70	0.54	0.35	0.38	0.33	0.47	0.44	0.59
彭水苗族土家族自治县	0.46	0.28	0.50	0.36	0.32	0.25	0.22	0.28	0.34	0.46	0.47	0.42
荣昌县	0.52	0.67	0.54	0.58	0.60	0.59	0.24	0.34	0.50	0.39	0.41	0.55
武隆县	0.45	0.34	0.47	0.33	0.31	0.21	0.26	0.29	0.24	0.41	0.39	0.41
永川区	0.60	0.70	0.56	0.54	0.48	0.64	0.31	0.36	0.36	0.42	0.49	0.54
南川区	0.45	0.35	0.43	0.33	0.24	0.27	0.30	0.36	0.22	0.37	0.45	0.53
江津区	0.61	0.60	0.50	0.45	0.34	0.58	0.43	0.45	0.23	0.40	0.42	0.53
酉阳土家族苗族自治县	0.78	0.32	0.51	0.29	0.25	0.23	0.19	0.23	0.44	0.46	0.49	0.37
綦江县	0.64	0.44	0.32	0.31	0.24	0.38	0.37	0.41	0.24	0.33	0.40	0.57
秀山土家族苗族自治县	0.32	0.29	0.41	0.35	0.28	0.27	0.22	0.25	0.32	0.52	0.49	0.35

冬季,重庆市主城区及西部地区 AOT 在 0.5 以上,局部超过了 0.6,渝东南、渝东北大部分地区 AOT 在 0~0.4 之间。整个重庆市季平均 AOT 在冬季最高,在秋季、春季次之,在夏季最低。重庆市主城区 AOT 较其他区县偏高,主要是由于重庆市作为山地区域的典型城市,主城区三面环山,处于丘陵低山带,长江、嘉陵江穿城而过,山水交汇,下垫面极为复杂,秋冬季节存在逆温过程,严重影响气溶胶扩散<sup>[16]</sup>。主城区 AOT 在秋冬季节比在春秋季节偏高,而夏季伴随季风时常有强降雨过程,对污染物具有一定的冲刷作用,明显降低了污染物的消光作用;随着秋季大气湿度增加,气溶胶粒子吸湿增长,周边生物质燃烧排放,逆温现象增加,使得秋冬季节 AOT 持续增加<sup>[17]</sup>。

### 3.3 年平均 AOT 分布

如封二彩图 5 和表 3 所示,重庆市年平均 AOT 在 0~1.8 之间,均值为 0.38,呈现出东低西高的趋势,其中 AOT 在城口县、巫溪县、巫山县、奉节县地区较低,基本上在 0~0.3 之间,中部地区 AOT 在 0.3~0.5 之间,主



表 2 重庆市各区县季平均 AOT

Tab. 2 The seasonal average AOT in all districts of Chongqing

区县	春季	夏季	秋季	冬季	区县	春季	夏季	秋季	冬季
主城区	0.44	0.47	0.46	0.58	长寿区	0.34	0.44	0.38	0.53
城口县	0.18	0.18	0.34	0.32	铜梁县	0.53	0.43	0.42	0.59
巫溪县	0.22	0.17	0.34	0.38	涪陵区	0.31	0.39	0.33	0.49
开县	0.27	0.28	0.42	0.40	璧山县	0.52	0.47	0.41	0.59
巫山县	0.20	0.18	0.32	0.40	黔江区	0.35	0.24	0.43	0.44
云阳县	0.26	0.27	0.31	0.42	大足县	0.56	0.42	0.41	0.57
奉节县	0.23	0.20	0.31	0.35	彭水苗族土家族自治县	0.39	0.25	0.42	0.39
万州区	0.31	0.32	0.34	0.50	荣昌县	0.56	0.39	0.43	0.58
梁平县	0.33	0.37	0.42	0.45	武隆县	0.37	0.25	0.35	0.40
忠县	0.32	0.39	0.34	0.48	永川区	0.53	0.44	0.42	0.61
石柱土家族自治县	0.34	0.22	0.34	0.36	南川区	0.33	0.31	0.35	0.44
垫江县	0.30	0.39	0.38	0.44	江津区	0.43	0.50	0.35	0.58
潼南县	0.58	0.37	0.53	0.61	酉阳土家族苗族自治县	0.35	0.22	0.46	0.48
合川区	0.52	0.47	0.58	0.54	綦江县	0.29	0.39	0.32	0.53
丰都县	0.28	0.31	0.30	0.43	秀山土家族苗族自治县	0.38	0.25	0.54	0.45

城区、西部地区的大部分地区 AOT 在 0.5~0.6,且其中部分地区 AOT 在 0.6 以上。重庆市大巴山和七曜山地区为自然生态区,AOT 较低,主城区及周边地区为重庆市人口集中的都市区,人口密集,火车站、飞机场等交通枢纽都坐落于主城区,各种工厂也在主城区落脚,导致污染气体排放量大,AOT 最高。主城区周边的发展区人口密度仅次与主城区,AOT 比东部的生态区 AOT 高。

表 3 重庆市各区县年平均 AOT

Tab. 3 The yearly average AOT in all districts of Chongqing

区县	年平均 AOT	区县	年平均 AOT	区县	年平均 AOT
主城区	0.49	石柱土家族自治县	0.32	大足县	0.49
城口县	0.26	垫江县	0.38	彭水苗族土家族自治县	0.36
巫溪县	0.28	潼南县	0.52	荣昌县	0.49
开县	0.34	合川区	0.53	武隆县	0.34
巫山县	0.28	丰都县	0.33	永川区	0.50
云阳县	0.31	长寿区	0.42	南川区	0.36
奉节县	0.27	铜梁县	0.49	江津区	0.46
万州区	0.37	涪陵区	0.38	酉阳土家族苗族自治县	0.38
梁平县	0.39	璧山县	0.50	綦江县	0.39
忠县	0.38	黔江区	0.36	秀山土家族苗族自治县	0.41

## 4 结论

利用 FY3C 卫星的 MERSI AOT 产品分析重庆市 AOT 的时空分布特征,主要结论如下:

1) 利用重庆市气象局的站点资料,得到与 FY3C/MERSI AOT 产品在时间与空间匹配的样本点 27 组数据,两者相关性系数达 0.64,具有良好的相关性。FY3C/MERSI AOT 数据的平均绝对值误差为 0.145,均方根

误差为 0.196。说明国产卫星 FY3 系列 AOT 产品可用性极高。

2) 重庆地区 AOT 分布特征从空间上来说,呈现出东低西高的趋势,其中大巴山、七曜山高海拔地区 AOT 较低,基本上在 0~0.3 之间,中部地区 AOT 在 0.3~0.5 之间,主城、西部地区绝大部分地区 AOT 在 0.5 以上,局部在 0.6 以上。

3) AOT 月变化趋势为:1 月到 5 月重庆市 AOT 逐步下降,5 月到 6 月 AOT 上升,6 月到 7 月 AOT 下降,7 月到 12 月 AOT 缓慢增长到最高值。其中 1 月为 AOT 最高峰,12 月、2 月次之,5 月 AOT 最低。

4) AOT 季节变化特征为:AOT 在冬季最高,在秋季、春季次之,在夏季最低。重庆市主城区 AOT 较其他区县偏高,主要是由于重庆市作为山地区域的典型城市,主城区三面环山严重影响气溶胶扩散。

5) 利用 FY-3C/MERSI AOT 数据产品对重庆区域进行研究是可行的,且方法简便。但由于重庆地区复杂的下垫面分布情况、土壤类型、多变的天气状况、大气条件的复杂性、传感器自身误差等条件对重庆地区 AOT 分析的影响有待进一步研究。于此同时,也希望国产卫星在算法等上进一步优化,让精度更高。

### 参考文献:

- [1] XIA X, CHEN H, LI Z, et al. Significant reduction of surface solar irradiance induced by aerosols in a suburban region in northeastern China[J]. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 2007, 112(D22): 6531-6540.
- [2] VEEFKIND J P, LEEUW G D, DURKEE P A, et al. Aerosol optical depth retrieval using ATSR-2 and AVHRR data during TARFOX[J]. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 1999, 104(D2): 2253-2260.
- [3] KNAPP K R, HAAR T H V, KAUFMAN Y J. Aerosol optical depth retrieval from GOES-8: Uncertainty study and retrieval validation over south America[J]. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 2002, 107(D7): 2-12.
- [4] 唐家奎, 薛勇, 虞统, 等. MODIS 陆地气溶胶遥感反演—利用 TERRA 和 AQUA 双星 MODIS 数据协同反演算法[J]. *中国科学*, 2005, 35(5): 474-481.
- TANG J K, XUE Y, YU T, et al. Inversion of MODIS land aerosol remote sensing—TERRA and AQUA dual star MODIS data cooperative inversion algorithm[J]. *Science China*, 2005, 35(5): 474-481.
- [5] 云影. 风云三号 C 星—新一代极轨气象卫星风云三号首颗业务星[J]. *卫星应用*, 2014(1): 73.
- YUN Y. FY3C—the first service star of the new generation of polar orbiting meteorological satellite[J]. *Satellite Application*, 2014(1): 73.
- [6] 赵春雷, 李二杰, 吴国明. FY-3A MERSI 数据在森林火灾监测中的应用[C]//中国气象学会. 第 28 届中国气象学会年会—S2 风云卫星定量应用与数值. 北京: 中国气象学会, 2011: 6.
- ZHAO C L, LI E J, WU G M. Application of FY-3A MERSI data in forest fire monitoring[C]//Chinese Meteorological Society. The 28th annual conference of the Chinese meteorological society—quantitative application and numerical analysis of S2 FY meteorological satellite. Beijing: Chinese Meteorological Society, 2011: 6.
- [7] 杨何群, 周红妹, 尹球, 等. FY-3 气象卫星 MERSI 数据快速预处理的 IDL 实现[J]. *遥感技术与应用*, 2012, 27(4): 566-574.
- YANG H Q, ZHOU H M, YIN Q, et al. Fast pre-processing of MERSI data on FY-3 meteorological satellite using IDL[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2012, 27(4): 566-574.
- [8] QIANG G E, HU Y Q, ZHANG L, et al. Retrieval of aerosol over land surface from FY-3C/MERSI with DDV algorithm[J]. *Remote Sensing Information*, 2017, 32(3): 34-38.
- [9] 刘灿. 基于 MODIS 数据的气溶胶光学厚度反演研究—以重庆主城区为例[D]. 重庆: 重庆师范大学, 2014.
- LIU C. Aerosol optical thickness retrieval based on MODIS data: a case study of metropolitan area of Chongqing[D]. Chongqing: Chongqing Normal University, 2014.
- [10] 朱彬, 马力, 杨军, 等. 重庆冬季大气气溶胶的物理、化学特征[J]. *南京气象学院学报*, 2006, 29(5): 662-668.
- ZHU B, MA L, YANG J, et al. Physical and Chemical Properties of Winter Aerosol Particles in Chongqing[J]. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*, 2006, 29(5): 662-668.
- [11] 陈金荣, 周文贤. 重庆市区大气气溶胶粒子的时空分布和物理特性[J]. *气象科学*, 1992, 12(4): 436-444.
- CHEN J R, ZHOU W X. Atmospheric aerosol time-space distribution and its physical characteristics at Chongqing city[J]. *Scientia Meteorologica Sinica*, 1992, 12(4): 436-444.
- [12] WANG Z W, YANG S Q, ZENG Q L, et al. Retrieval of aerosol optical depth for Chongqing using the HJ-1 satellite data[J]. *Journal of Meteorological Research*, 2017, 31(3): 586-596.
- [13] ZENG Q L, WANG Z F, TAO J H, et al. Estimation of ground-level PM<sub>2.5</sub> concentrations in the major urban areas of Chongqing by using FY-3C/MERSI[J]. *Atmosphere*, 2017, 9(1): 3.
- [14] 陈昇琪. 重庆地貌特征与国土整治[J]. *地理学与国土研*

- 究, 1987, 3(2):25-28.
- CHEN S Q. Landform features and land renovation in Chongqing[J]. Geography and Territorial Research, 1987, 3(2):25-28.
- [15] 任宜勇, 李霞, 吕鸣, 等. CE318 太阳光度计观测资料应用前景及其解读[J]. 气象科技, 2006, 34(3):349-352.
- REN Y Y, LI X, Lü M, et al. Application prospect of measurement by sun photometer CE318 and retrieval methodology[J]. Meteorological Science and Technology, 2006, 34(3):349-352.
- [16] 刘敏, 许丽萍, 余家燕, 等. 重庆主城区秋冬季逆温对空气质量影响的观测分析[J]. 环境工程学报, 2014, 8(8):3367-3372.
- LIU M, XU L P, YU J Y, et al. Analysis of the influence of inversion on air quality in Chongqing urban area during autumn and winter[J]. Chinese Journal of Environment Engineering, 2014, 8(8):3367-3372.
- [17] 刘芮伶, 李礼, 余家燕, 等. 重庆市城区大气气溶胶光学厚度的在线测量及特征研究[J]. 环境科学学报, 2014, 34(4):819-825.
- LIU R L, LI L, YU J Y, et al. On-line measurements and characteristic analysis of aerosol optical depth in the atmosphere of urban Chongqing[J]. Journal of Environmental Sciences, 2014, 34(4):819-825.

## Resources, Environment and Ecology in Three Gorges Area

### Analysis of Aerosol Optical Thickness in Chongqing Based on FY3C/MERSI Data

YANG Jie<sup>1</sup>, WANG Yongqian<sup>1,2</sup>, YANG Shiqi<sup>2</sup>, ZHAI Yun<sup>1</sup>

(1. Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225;

2. Chongqing Institute of Meteorological Sciences, Chongqing 401147, China)

**Abstract:** [Purposes] Analysis of Spatial Distribution Characteristics of Aerosol Optical Thickness (AOT) in Chongqing from June 2014 to May 2015. [Methods] AOT is obtained based on the aerosol optical depth product of a domestic polar orbiting meteorological satellite FY3C / MERSI. And the comparative analysis of the FY3C / MERSI aerosol optical thickness products and the measured data of the sun-photometer was carried out. [Findings] The correlation coefficient between the MERSI AOT product and the sun-photometer was 0.64, the absolute error was 0.145, and the root mean square error was 0.196. From the perspective of spatial distribution of annual average AOT, AOT showing a trend of low east-west high. Among them, the Daba Mountains and Qiyao Mountain, between 0 and 0.3, are relatively low in the high-altitude areas. The central region between 0.3~0.5. The main city, the vast majority of the western region in more than 0.5, some areas above 0.6. According to the time distribution of AOT, January is the high value period, followed by December and February, and the lowest in May. According to the season, the winter season is the AOT high season, followed by the autumn and spring, the lowest in summer. [Conclusions] The aerosol optical thickness of FY3C / MERSI products can well reflect the spatial distribution of AOT, which is highly correlated with the actual distribution.

**Keywords:** FY3C / MERSI; aerosol optical depth; the sun-photometer

(责任编辑 许 甲)