

引用格式:Chen Yuan, Liu Hailei, Duan Minzheng, *et al.* Validation of Ozone Product by Satellite OMPS with Sounding Measurements over Beijing[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2020, 35(3): 723-730. [陈源, 刘海磊, 段民征, 等. 利用探空资料验证北京地区OMPS卫星臭氧产品[J]. 遥感技术与应用, 2020, 35(3): 723-730.] doi:10.11873/j.issn.1004-0323.2020.3.0723

利用探空资料验证北京地区OMPS卫星臭氧产品

陈源^{1,2}, 刘海磊¹, 段民征^{1,2,3}, 吕达仁^{1,2,3}, 张金强^{2,3}

(1. 成都信息工程大学 电子工程学院, 四川 成都 610225;

2. 中国科学院大气物理研究所 中层大气和全球环境探测重点实验室, 北京 100029;

3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 臭氧成像廓线仪(Ozone Mapping and Profiler Suite, OMPS)可提供高垂直分辨率的臭氧垂直分布, 能为研究大气臭氧的时空分布提供观测数据。为验证OMPS臭氧产品的精确性, 选取2016~2018年北京地区的臭氧探空资料对OMPS v2.5臭氧廓线及v2.1臭氧总量进行对比分析。对比结果表明: 在北京地区上空OMPS的臭氧垂直分布与臭氧探空资料在平流层中上层有较好一致性, 相对偏差小于10%; 在对流层中上层相对偏差较大, 总体范围在15%~40%, 部分情况超过80%; OMPS平流层臭氧总量与臭氧探空廓线积分的平流层臭氧总量相对偏差较小, 平均偏差小于5%, 均方根误差为18.3 DU, 相关系数达到0.89; 二者对流层臭氧总量平均偏差超过30%, 对流层柱总量相关系数0.62。

关键词: 臭氧廓线; 臭氧探空; 对流层臭氧柱总量; OMPS

中图分类号: P414.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2020)03-0723-08

1 引言

臭氧(O₃)是大气中非常重要的痕量气体^[1], 其中大约90%分布在10~50 km高度的平流层, 其余10%分布在对流层^[2]。它是一种影响对流层—平流层大气动力、热力、辐射以及化学等过程的重要大气成分之一^[3]。臭氧(主要集中在20~30 km)对紫外辐射(波长为0.2~0.29 μm)有强吸收作用, 能有效阻止过多太阳紫外辐射进入对流层到达地面, 是地球生物赖以生存的保护伞; 而在近地表, 臭氧却是一种有害的污染气体, 高浓度臭氧会对人和动物的呼吸系统造成伤害, 并损害植被健康^[4]。另外, 臭氧的强氧化特性对氮、碳、氢等的循环也起重要作用。因此臭氧的垂直分布, 对于了解臭氧在气候和环境研究中所起的作用, 以及环境预测预报等方面都具有重要意义。

气球探空、地基观测和卫星遥感是目前监测臭

氧最普遍的手段。临边观测作为臭氧垂直分布探测的重要手段, 能够通过对大气层切片成像或切片扫描, 获取具有高垂直分辨率的臭氧垂直分布廓线数据^[5-8]。因此, 临边观测受到了越来越多科学工作者的关注^[9-13]。

Ozone Mapping Profiler Suite (OMPS) 是美国 Suomi National Polar-orbiting Partnership (Suomi-NPP) 卫星上搭载的五个仪器之一, 于2011年10月成功上天。OMPS由3部分组成: 星下点探测仪(Nadir Mapper, NM)用于测量全球大约50 km地面分辨率的臭氧总量; 星下点廓线仪(Nadir Profiler, NP)用于测量平流层臭氧垂直廓线; 临边探测仪(Limb Profiler, LP)用于测量平流层下层和对流层的高垂直分辨率的臭氧廓线。这3个仪器分别继承了TOMS、SBUV和航天飞机臭氧临边探测实验/临边臭氧检测实验(The Shuttle Ozone Limb Sound-

收稿日期: 2019-02-01; 修订日期: 2020-04-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(41527806, 41875183)。

作者简介: 陈源(1990—), 女, 四川达州人, 硕士研究生, 主要从事气象探测技术方面的研究。E-mail: 543056906@qq.com

通讯作者: 段民征(1968—), 男, 河北定州人, 研究员, 主要从事大气辐射与遥感方面的研究。E-mail: dmz@mail.iap.ac.cn

ing Experiment / Limb Ozone Retrieval Experiment, SOLSE/LORE) 的观测模式和特点。为验证 OMPS 臭氧观测资料在我国的产品精度和可用性, 本文利用北京地区 2016~2018 年 5 月的臭氧探空资料对 OMPS 的 LP v2.5 臭氧廓线产品及 NM v2.1 的臭氧总量产品进行了详细验证。

2 数据描述和误差估计

2.1 卫星数据

NM 和 LP 仪器测量方法以及各自反演臭氧的算法各不相同。其中, NM 数据是利用 300~380 nm 波长范围的大气后向散射紫外辐射提取的大气臭氧总量信息, 其空间分辨率为 50 km×50 km。数据算法基于混合朗伯等效反射率(MLER)模型, 用 2 个波长(大多数情况下为 317.5 nm 和 331.2 nm, 高浓度臭氧和高太阳天顶角时选择 331.2 nm 和 360 nm) 中较长波长推导出有效云分数估算云辐射分数, 然后计算臭氧总量。此版本在有效云高度和吸收性气溶胶指数方面较之前版本做出改进, 提高了臭氧总量值计算精度。NM 数据名称以 NMTO3-L2 命名, 数据文件格式以 HDF5 形式提供, 下载地址为 https://snpp-omps.gesdisc.eosdis.nasa.gov/data/SNPP_OMPS_Level2/OMPS_NPP_NMTO3_L2.2; 而 LP 数据是利用 290~1 000 nm 范围的紫外光谱反演的臭氧垂直分布信息, 光谱分辨率 1~30 nm, 空间分辨率为 250 km×125 km, 垂直分辨率 3~4 km。数据算法基于 Rault 和 Loughman 最优估计法, 加入偏差和随机误差估计订正。该版本算法对平流层中上层用紫外波段反演, 对平流层下层和对流层顶层用可见光波段反演。紫外算法选择 302、312 和 322 nm 3 个波长和 353 nm 配对, 利用 55.5 km 处的辐射归一化反演 29.5~52.5 km 的臭氧廓线。可见光算法选择 510、675 和 600 nm 波长组成三通道, 并利用 40.5 km 处的辐射归一化反演从云顶到 37.5 km 的臭氧廓线。在改进了对云高的算法基础上, 生成 1 km 高度间隔的臭氧和高度廓线, 臭氧层中心部分反演的垂直分辨率约为 1.628 km, 低层和高层垂直分辨率降低到 3~4 km。同时此版本还校正了气溶胶带来的影响, 提高了反演精度。NM 数据选取时间为 2012~2018 年, LP 数据选取时间为 2016 年~2018 年 5 月。

OMPS 反演臭氧的结果精度取决于多个因素, 误差的主要原因是仪器观测误差、垂直分辨率差异

造成的数据平滑误差、辐射传输模式输入参数误差、吸收性气溶胶误差以及模式本身的误差^[14]。

2.2 臭氧探空资料

臭氧探空仪分为单池型和双池型。单池型含有一个反应池, 代表产品有 Brewer Mast^[15](BM) 和 KC^[16] 型, 双池型含有正、负两个反应池, 代表产品为 ECC 型^[17-18]。两种类型均利用反应池中电化学反应产生的电信号测量出大气中臭氧浓度^[19], 其中 ECC 型阳极反应池使用饱和 KI 溶液, 阴极反应池使用低浓度 KI 和溴化钾(KBr)溶液^[20]。试验表明, BM 和 KC 探空仪精密密度为 ±10%~15%, ECC 臭氧探空仪的精密密度为 ±5%。ECC 型探空仪比 KC 型探空仪具有更明显的技术优势^[21], 比 BM 型探空仪具有更简练的地面准备操作流程。在 2011 年之前, 中国科学院大气物理研究所(简称 IAP)使用的是 KC 单池型臭氧探空仪^[22], 之后在此基础上研制了精度更高的 ECC 双池型臭氧探空仪。臭氧分压计算公式为:

$$P = 4.307 \cdot 10^{-4} \cdot (I - I_{BG}) \cdot T \cdot t_{100} / (\eta \times \varphi_P) \quad (1)$$

其中: P 为臭氧分压(mPa), I 为电流大小(μA), T 为气泵温度(K), t_{100} 为气泵抽入反应池 100 ml 气体所需时间(s), η 为臭氧转化效率, I_{BG} 为背景电流, φ_P 为气泵抽气效率。IAP 臭氧探空仪臭氧总量与 Brewer 光谱仪测值比值为 0.9~1.1; 使用抽气泵低压泵效系数和 ECC 的背景电流订正后, 有效降低了 IAP 臭氧探空仪在平流层低层与进口仪器测值的差别^[23], 可用于 OMPS 卫星数据的对比验证。

本文臭氧探空资料来自北京探空站点(116.4° E, 39.8° N) 双池型臭氧探空仪, 资料选取的时间为 2016~2018 年 5 月, 探测高度为近地面~33 km, 垂直分辨率为 5~10 m。

3 数据分析方法

3.1 方法

OMPS 既有探测臭氧总量的功能, 又有探测臭氧垂直廓线的优势, 将 NM 数据和 LP 数据联合应用与臭氧探空资料进行对比研究, 同时考虑到卫星和探空二者仪器测量的垂直分辨率的差别, 通过以下步骤检验 OMPS 产品:

(1) 2016~2018 年 5 月臭氧探空和 LP 的廓线对比, 对比高度为 13~33 km。由于 LP 仪器对可见光的探测高度为 13~38 km, 臭氧探空仪有效探测平均高度范围为近地面~33 km, LP 和探空仪之间的

探测高度存在差异,需要统一二者的对比高度。另外两种探测设备的垂直分辨率也不同,臭氧探空的垂直分辨率远远高于LP仪器。在对比二者廓线时,须在同一高度下,将臭氧探空的垂直分辨率调整到与LP的观测分辨率。这里臭氧探空的垂直分辨率取与LP最大差别 ± 1.5 km的高度。

(2)2016~2018年5月LP臭氧廓线和臭氧探空廓线积分量对比(以下称平流层臭氧总量的对比),对比高度为13~33 km。

(3)2016~2018年5月,13 km以下的NM臭氧总量与LP廓线积分差值,与同范围臭氧探空廓线积分的对比(以下称对流层臭氧总量的对比)。

(4)用2012~2018年的NM臭氧总量数据分析北京地区臭氧总量时空分布特性。

3.2 数据匹配和数据预处理

为了匹配同一天的卫星数据和臭氧探空数据,选取的LP数据是经过北京地区经纬度最大差别为 $\pm 1.5^\circ$ 且当天北京站点有探空气球施放记录的数

据。由于能与臭氧探空数据匹配到LP数据较少,且考虑到一般情况下,2 d时间以内的臭氧浓度整体变化不会太大,故将LP数据匹配探空数据的时间设置为前后两天。

探空数据由于受天气系统和仪器的影响,部分数据存在明显野点。为使数据具有可比性,采用多元回归法和最近邻点插值法对13~33 km以下的臭氧探空数据做质量控制剔除、平滑和缺测值插值等处理。处理前后的数据如图1(a)和图1(b)所示。图1(a)为探空原始观测数据图,图1(b)为去除野点和补缺后的图,经过处理后数据质量明显提高。

随机挑选LP数据在2016~2018年,北京地区4天的臭氧廓线,如图2所示,红线代表用紫外反演的臭氧廓线,蓝线代表用可见光反演的臭氧廓线。可以看到,可见光和紫外反演廓线重叠高度在29.5~35.5 km,紫外反演的廓线值较可见光偏大,偏差范围在 $\pm 3\%\sim 5\%$,部分结果在32~35 km之间的反演结果一致性较好。

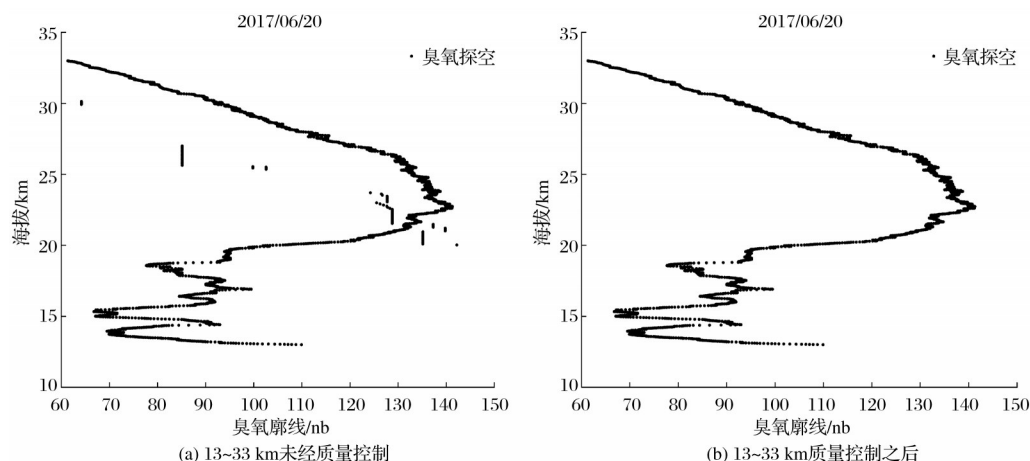


图1 探空数据质量控制前后对比

Fig.1 Ozone profile before and after quality control

LP臭氧廓线的单位为数密度(cm^{-3}),臭氧探空数据廓线的单位为臭氧分压(nb),在进行对比之前还将二者单位统一。臭氧分压换算为数密度公式为:

$$n_i = P \cdot 7.244 \cdot 10^{16} / T \quad (2)$$

其中: n_i 为数密度(单位: cm^{-3}); P 为臭氧分压(单位:Pa); T 为绝对温度(单位:K)。考虑到臭氧探空的抽气效率和放气效率随舱内气压变化(泵消系数),臭氧分压值在各分段气压内进行线性修正,在计算臭氧分压值时应乘以对应系数。

4 对比结果与结果分析

4.1 廓线对比

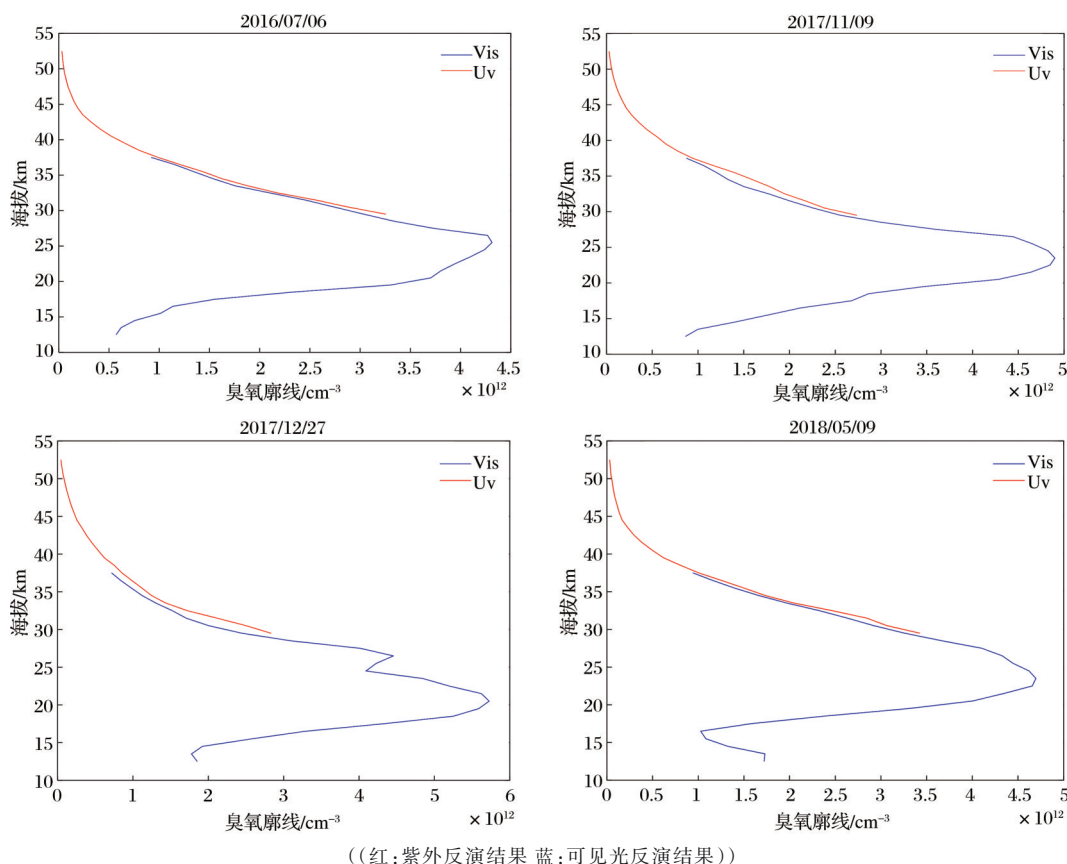
由于探空气球有效施放的频率为一周一次,卫

星经过北京地区的日期较少,故2016~2018年5月二者能匹配数据只有96条。随机挑选出其中4条廓线对比结果如表1,可知这4天,LP臭氧廓线峰值

表1 北京地区4个日期的廓线对比结果

Table 1 Profile contrast result of the 4 days in Beijing area

日期	仪器	廓线峰值/ cm^{-3}	峰值高度/km
20160511	LP	5.3×10^{12}	25
	臭氧探空	4.6×10^{12}	21
20170920	LP	5.0×10^{12}	24
	臭氧探空	4.2×10^{12}	23
20171226	LP	5.6×10^{12}	21
	臭氧探空	4.5×10^{12}	20
20180508	LP	4.7×10^{12}	23
	臭氧探空	4.4×10^{12}	22



((红:紫外反演结果 蓝:可见光反演结果))

图2 2016~2018年LP廓线

Fig.2 LP Profile from 2016 to 2018

均高于臭氧探空。

臭氧探空数据按照LP数据的分辨率,经降低分辨率处理后得到相同垂直分辨率的各个高度对应的臭氧浓度如图3所示,黑色代表降分辨率后臭氧探空的廓线,红色代表OMPS的廓线,二者在分布趋势上表现出较好一致性。其中2016年5月11日和2018年5月8日二者臭氧廓线在达到臭氧浓度峰值以后向上的高度表现出很好的一致性,相对偏差在 $\pm 5\%$ 以内,符合OMPS LP L2 O3 Daily Product文档中提到的“在29.5 km和43.5 km之间LP和微波临边探测仪(Microwave Limb Sounder,MLS)探测的臭氧廓线的平均差值在 $\pm 5\%$ 以内”;低于峰值的高度即平流层中下层(<18 km)偏差较大,偏差结果大于10%,呈现显著的负偏移,符合OMPS LP L2 O3 Daily Product文档中提到的“在中纬度南部($40^\circ\text{S}\sim 60^\circ\text{S}$)平流层下部(<18 km)观测到约10%~30%的负偏移”。出现这种现象的原因可能是人类活动,导致近地层臭氧浓度的变化差异较大。

4.2 平流层臭氧总量对比

将LP廓线和臭氧探空廓线积分后得到平流层臭氧总量,计算二者相关性以及误差。如图4所示,二

者平流层的臭氧总量值范围在180~350 DU之间,其中臭氧探空和LP观测到的最大值分别为341 DU和338 DU,相对偏差为0.88%;最小值分别为185 DU和186 DU,相对偏差为0.54%;探空和LP总量的数值在秋冬季相对偏差较大,最大相对偏差值为14%。总体而言,卫星和探空探测的臭氧总量偏差较小,在5%以内;二者均方根误差值为18.30 DU,标准差值为13.48 DU,相关性较高,达到0.89。

4.3 对流层臭氧总量对比

LP和NM仪器与北京地区的时空匹配后,再要与臭氧探空资料能匹配的数据较少,在已有数据范围内,能匹配到的数据仅14条。对比的对流层臭氧总量结果如表2和图5所示。二者对流层臭氧总量值相对偏差在0~37%,探空臭氧总量高于OMPS臭氧总量,最大差异值达到31 DU;3月臭氧总量都较低,大多数为60 DU左右,其中最大值70 DU,由OMPS观测得到;最小值为25 DU,也是由OMPS观测得到;二者均方根误差值为10.78 DU,标准差值为8.315 8 DU,二者比较相关,相关系数为0.62。对流层臭氧总量的误差主要原因是来自对流层顶高度^[24],OMPS对流层顶高度比探空对流层顶高度

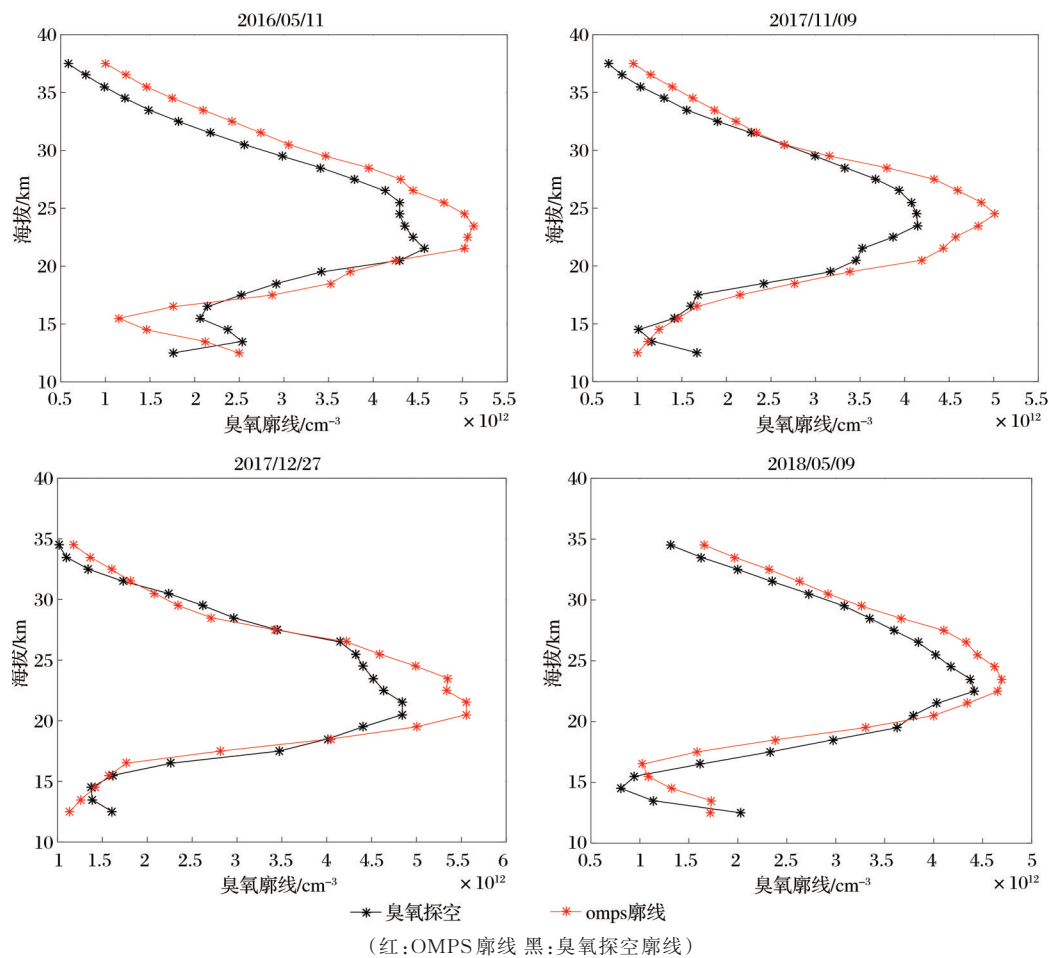


图 3 卫星臭氧廓线与臭氧探空对比

Fig.3 Ozone profile from OMPS and sounding

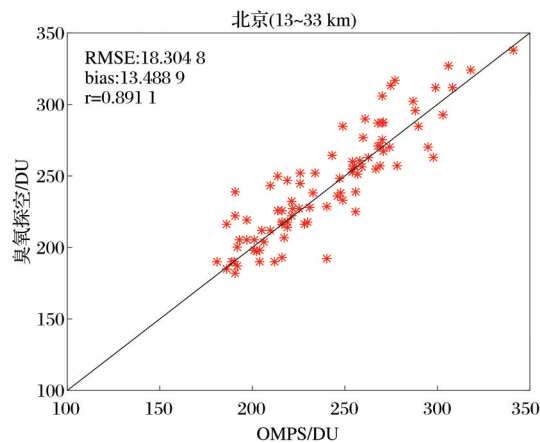


图 4 臭氧平流层总量相关性分析

Fig.4 Correlation of total amount of ozone in stratosphere between sounding and OMPS

大气压强平均高出 3~4 hpa, 加上 LP 仪器在可见光波长杂散光矫正中的残差, 导致 OMPS 和臭氧探空积分出的臭氧总量差异较大。

4.4 OMPS 臭氧时空分布特性分析

用 NM 臭氧总量数据绘制北京地区 2012~

表 2 对流层臭氧总量对比结果(相对偏差)

Table 2 the result of comparisons of total ozone in troposphere (relative deviation)

日期	探空臭氧总量	OMPS 总量	偏差	OMPS 相对偏差
20160112	64	64	0	0.00%
20160224	71	67	-4	-5.97%
20160503	60	68	8	11.76%
20170125	47	47	0	0.00%
20170314	66	48	-18	-37.50%
20170517	56	59	3	5.08%
20170607	71	58	-13	-22.41%
20170704	66	65	-1	-1.54%
20170906	56	73	17	23.29%
20171024	38	41	3	7.32%
20171227	52	51	-1	-1.96%
20180213	64	62	-2	-3.23%
20180418	66	53	-13	-24.53%
20180508	70	57	-13	-22.81%

2018 年的臭氧总量时空分布, 如图 6 所示, 2012~2018 年北京平均臭氧含量值为 333 DU; 其中在

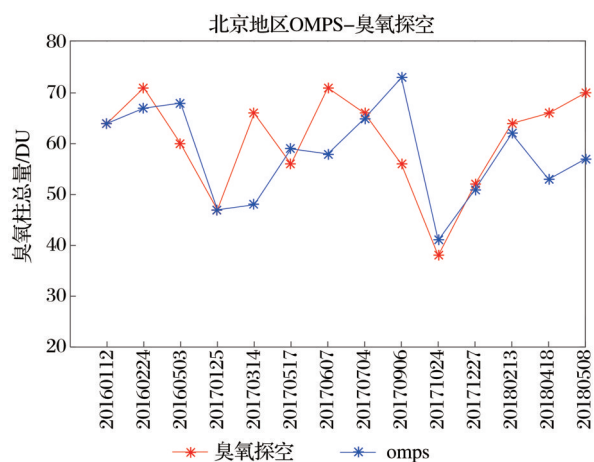


图5 近地面~13 km 臭氧总量相关性分析

Fig.5 Correlation of O_3 amount from surface to 13 km

2012~2015年前半段逐年上升,2015~2017年后半段逐年下降。近几年臭氧总量最大值出现在2013年2月,超过450 DU,最小值出现在2017年9月,低于250 DU。整体而言,北京地区的臭氧总量低值在夏季变化不明显,冬季起伏较大,特别是2013、2014

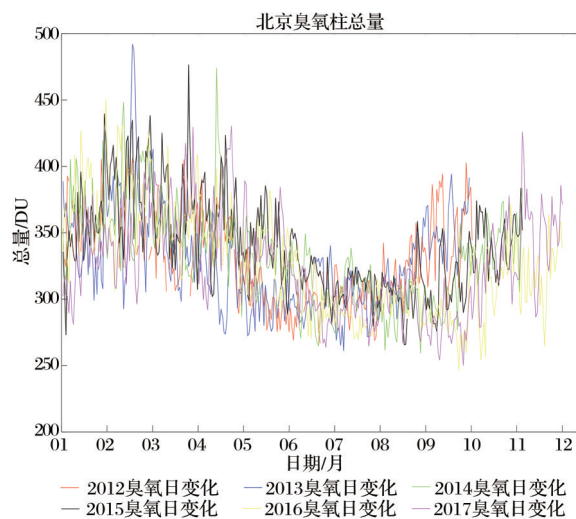


图6 OMPS资料北京地区臭氧柱总量日变化

Fig.6 Daily variation of total column amount of ozone over Beijing from OMPS

和2015年高值异常突出,2017年11月初臭氧总量也相对较高。

图7以2016年为例,中国4个城市的臭氧总量

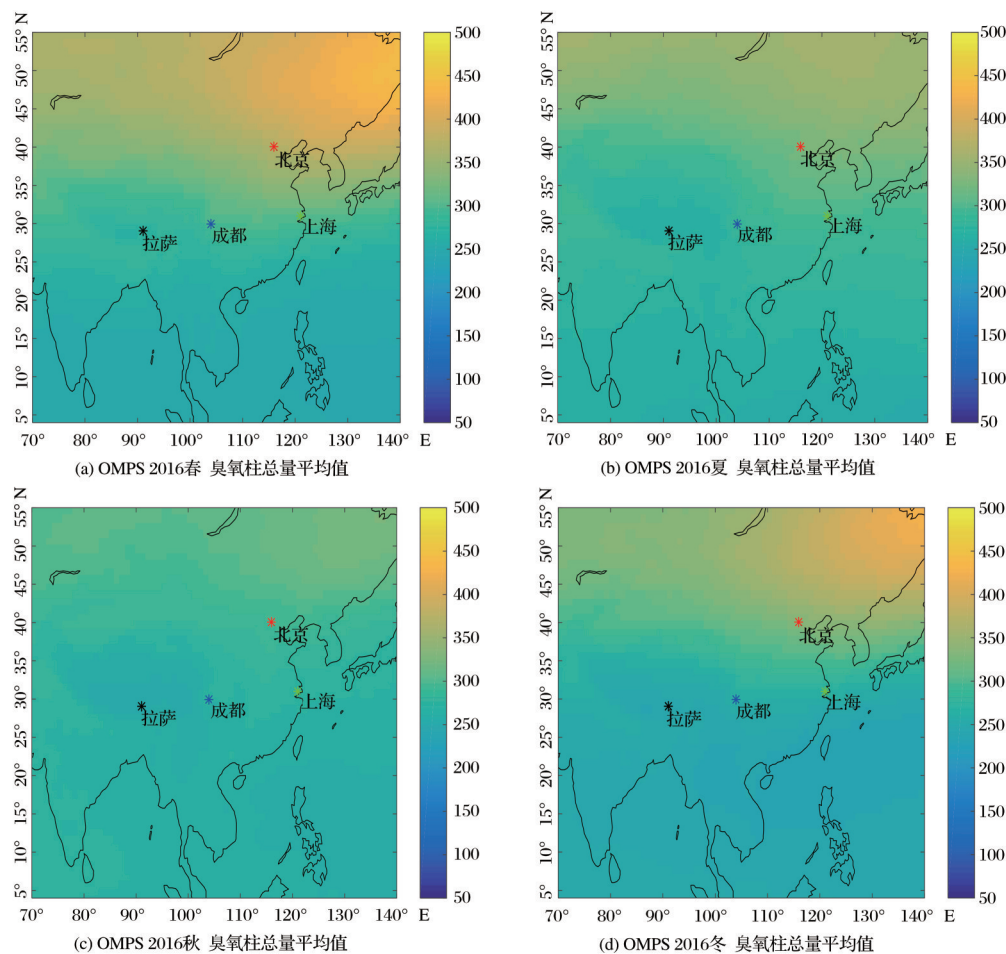


图7 2016年北京OMPS臭氧柱总量季平均变化图

Fig.7 Seasonal mean variation of total ozone column by OMPS over Beijing in 2016

随季节变化图,可以较为直观地看出4个地区臭氧总量:既有典型的季节变化,其表现为春冬季节含量较高,夏季含量较低,造成夏季臭氧低值的原因可能是夏季南亚高压东西震荡的结果;又有较为明显的纬度分布差异,其表现为在纬度最低的拉萨臭氧含量最少,在纬度最高的北京臭氧含量也最多。

5 结 语

本文利用北京臭氧探空站点2016~2018年共96条廓线资料,分析验证了OMPS臭氧垂直廓线、平流层臭氧总量、对流层臭氧总量,通过降低臭氧探空廓线分辨率的方法减少不同分辨率数据对比时产生的数据平滑误差,得到的主要结论如下:

(1)臭氧垂直廓线对比结果表明:OMPS资料与臭氧探空资料在北京地区的相对偏差在平流层中下层较小,在对流层中上层增大。

(2)OMPS平流层臭氧总量与臭氧探空总量的一致性较好,其中春冬季相对偏差较大,OMPS最大相对偏差值为14%;夏秋季相对偏差较小,OMPS最小相对偏差值为0;总体偏差在5%以内;二者均方根误差值为18.30 DU,标准差值为13.48 DU,相关性较高,达到0.89。OMPS平流层臭氧总量资料可以用于研究我国北京地区臭氧的季节变化规律。

(3)OMPS对流层臭氧总量与臭氧探空总量一致性较好,探空臭氧总量略高于OMPS臭氧总量,最大差异值达到31 DU;3月臭氧总量都较低大多数为60 DU左右,其中最大值70 DU,最小值为25 DU;二者均方根误差值为10.76 DU,标准差值为8.32 DU,二者相关系数为0.62。

总体而言,北京地区的OMPS臭氧资料与探空臭氧资料对比,二者有较好的一致性,该资料适用于分析北京地区20~30 km臭氧的垂直结构及水平分布。但是在近地面~对流层和平流层上层,二者仍有较大差异,未来对卫星臭氧反演方法的提高还需进一步加强。

参考文献(Reference):

- [1] Zhang Yan, Wang Weihei, Zhang Xingying. Satellite Remote Sensing Monitoring of Total Atmospheric Ozone Distribution and Change [J]. Science & Technology Review, 2015, 33(17): 23-23. [张艳, 王维和, 张兴赢. 卫星遥感监测大气臭氧总量分布和变化[J]. 科技导报, 2015, 33(17): 23-23.]
- [2] Du Pingjun, Zhu Yuxia, Liu Rui, *et al.* Analysis on Spatio-temporal Characteristics of Total Column Ozone over China based on OMI Product[J]. Environmental Monitoring in China, 2014, 30(2): 191-191. [杜平君, 朱玉霞, 刘锐, 等. 基于OMI数据的中国臭氧总量时空分布特征[J]. 中国环境监测, 2014, 30(2): 191-191.]
- [3] Gong Qiang, Wang Hongyu, Wang Panxing, *et al.* Variation Features of Atmospheric Total Ozone over Northeast China in Recent 6 Years and Their Relations with Temperature [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2004, 27(1): 113-120. [龚强, 汪宏宇, 王盘兴, 等. 近6 a东北地区大气臭氧总量变化特征及其与气温的关系[J]. 南京气象学院学报, 2004, 27(1): 113-120.]
- [4] Du Junping, Zhu Yuxia, Liu Rui, *et al.* Analysis on Spatio-temporal Characteristics of Total Column Ozone over China based on OMI Product[J]. Environmental Monitoring in China, 2014, 30(2): 191-196. [杜君平, 朱玉霞, 刘锐, 等. 基于OMI数据的中国臭氧总量时空分布特征[J]. 中国环境监测, 2014, 30(2): 191-196.]
- [5] Didier R, Robert L. Stratospheric and Upper Tropospheric Aerosol Retrieval from Limb Scatter Signals[C]//Proc. SPIE 6745, Remote Sensing of Clouds and the Atmosphere XII, Florence, 2007: 1-12.
- [6] Aruga T, Heath D F. Determination of Vertical Ozone Distribution by Using Spacecraft Measurements Using Limb Scatter Technique[J]. Applied Optics, 1982, 21(16): 3047-3054.
- [7] Herman B M, Flittner D E, McPeters R D, *et al.* Monitoring Atmospheric Ozone from Space Limb Scatter Measurements [C]// Proc. SPIE 2582, Atmospheric Sensing and Modeling II, Paris, 1995: 88-99.
- [8] Rohen G J, Savigny C V, Kaiser J W, *et al.* Ozone Profile Retrieval from Limb Scatter Measurements in the HARTLEY Bands: Further Retrieval Details and Profile Comparisons[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2008, 8: 2509-2517.
- [9] Flittner D E, Hilsenrath E, Janz S J, *et al.* Retrievals from the Limb Ozone Retrieval Experiment on STS107[C]// Proc. SPIE 5542, Earth Observing Systems IX, Denver, 2004: 215-226.
- [10] David E F, Scott J J, Ernest H, *et al.* Stray Light Characterization of the Limb Ozone Retrieval Experiment [C]//Proc. SPIE 5526, Optical Systems Degradation, Contamination, and Stray Light: Effects, Measurements, and Control, Denver, 2004: 220-227.
- [11] McPeters R D, Janz S, Hilsenrath E, *et al.* The Retrieval of Ozone Profiles from Limb Scatter Measurements: Results from the Shuttle Ozone Limb Sounding Experiment[J]. Geophysical Research Letters, 2000, 27(17): 2597-2600.
- [12] Rault D, Loughman R. Stratospheric and Upper Tropospheric Aerosol Retrieval from Limb Scatter Signals [C] // Proc. SPIE 6745, Remote Sensing of Clouds and the Atmosphere XII, Florence, 2007: 1-12.
- [13] McLinden C A, Haley C S. Odin/OSIRIS Observations of Stratospheric NO₃ Through Sunrise and Sunset [J]. Atmospheric Chemistry and Physics Discussion, 2008, 8: 5901-5917.
- [14] Cai Zhaonan, Wang Yong, Liu Yi, *et al.* Validation of GOME Ozone Profiles and Tropospheric Column Ozone with Ozone Sonde over China[J]. Journal of Applied Meteorology

- cal Science, 2009, 20(3): 338-339.[蔡兆男,王永,刘毅,等. 利用探空资料验证 GOME 卫星臭氧数据[J]. 应用气象学报, 2009, 20(3): 338-339.]
- [15] Zhang Jinqiang, Xuan Yuejian, Liu Mingyuan, et al. Atmospheric Ozone: Technical Specifications and Comparisons[J]. Advances in Meteorological Science and Technology, 2015, 5(4): 37-37.[张金强,宣越健,刘明远,等. 大气臭氧探空仪:技术指标及对比分析[J]. 气象科技进展, 2015, 5(4): 36-36.]
- [16] Rault D F, Loughman R P. The OMPS Limb Profiler Environmental Data Record Algorithm Theoretical Basis Document and Expected Performance [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2013, 51(5): 2505-2527.
- [17] Komhyr W D. Electrochemical Concentration Cells for Gas Analysis[J]. Annals of Geophysics, 1969, 25: 203-210.
- [18] Komhyr W D. Development of an ECC Ozone Sonde[R]. NOAA Technical Report ERL 200-APCL 18, 1971.
- [19] Zheng Xiangdong, Xuan Yuejian, Tian Hongmin, et al. Performance Tests and Outdoor Comparison Observations of Domestic Remade ECC Ozone Sonde[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2018, 29(2): 461-461.[郑向东,宣越健,田宏民,等. 国产 ECC 型 O₃探空仪性能测试及室外比对观测[J]. 应用气象学报, 2018, 29(2): 461-461.]
- [20] Zhang Jinqiang, Xuan Yuejian, Liu Mingyuan, et al. Atmospheric Ozone: Technical Specifications and Comparisons[J]. Advances in Meteorological Science and Technology, 2015, 5(4): 37-37.[张金强,宣越健,刘明远,等. 大气臭氧探空仪:技术指标及对比分析[J]. 气象科技进展, 2015, 5(4): 37-37.]
- [21] Zheng Xiangdong, Li Wei. Quality Analysis of Domestic Remade Ozone Sonde Observation Data [J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2005, 16(5): 608-618.[郑向东,李伟. 国产臭氧探空仪观测数据质量分析[J]. 应用气象学报, 2005, 16(5): 608-618.]
- [22] Kobayashi J, Toyama Y. On Various Methods of Measuring the Vertical Distribution of Atmospheric Ozone (III)-Carbon Iodine-type Chemical Ozone Sonde [J]. Papers in Meteorology and Geophysics, 1966, 17: 113-126.
- [23] Zheng Xiangdong, Xuan Yuejian, Tian Hongmin, et al. Performance Tests and Outdoor Comparison Observations of Domestic Remade ECC Ozone Sonde[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2018, 29(2): 460-473.[郑向东,宣越健,田宏民,等. 国产 ECC 型 O₃探空仪性能测试及室外比对观测[J]. 应用气象学报, 2018, 29(2): 460-473.]
- [24] Cai Zhaonan, Wang Yong, Liu Yi, et al. Validation of GOME Ozone Profiles and Tropospheric Column Ozone with Ozone Sonde over China[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2009, 20(3): 341-342.[蔡兆男,王永,刘毅,等. 利用探空资料验证 GOME 卫星臭氧数据[J]. 应用气象学报, 2009, 20(3): 341-342.]

Validation of Ozone Product by Satellite OMPS with Sounding Measurements over Beijing

Chen Yuan^{1,2}, Liu Hailei¹, Duan Minzheng^{1,2,3}, Lü Daren^{1,2,3}, Zhang Jinqiang^{2,3}

(1.College of Electronic Engineering, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China;

2.Key Laboratory of Middle Atmosphere and Global Environment Observation, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;

3.University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Ozone Mapping and Profiler Suites (OMPS) provide vertical distributions of ozone with high vertical resolutions. They can also provide data for studying the temporal and spatial distribution of ozone in atmosphere. To verify the accuracy of OMPS ozone products, the ozone sounding data from 2016 to 2018 in Beijing were selected, comparing the OMPS v2.5 ozone profile with the total amount of v2.1 ozone profile. The results show that the vertical distributions of ozone in OMPS over Beijing are in good agreement with the ozone sounding data in the upper stratosphere, the relative deviation is less than 10%. The relative deviation in the upper stratosphere is in the range of 15%~40% and 80% in some cases; the relative deviation between the total ozone in OMPS stratosphere and the total ozone in the stratosphere integrated by the ozone sounding profile is little and the average deviation is less than 5%, the root mean square error is 18.3 DU, and the correlation coefficient is 0.89. The average deviation of total tropospheric ozone is more than 30%, and the correlation coefficient of total tropospheric column is 0.62.

Key words: Ozone profile; Ozone sounding; Total column ozone in troposphere; OMPS