

基于 SCIATRAN 模型的 Limb 大气辐射传输模拟

张恭正 陈圣波 王明常 陶玉龙 逢超 郭金海¹

(吉林大学地球探测科学与技术学院, 长春 130026; 中国人民解放军 65015 部队, 大连 116013)

摘要 大气辐射传输模型 SCIATRAN 是一种较新的高光谱分辨率大气辐射传输模型。结合欧洲空间局环境卫星 (ENVISAT-1) 搭载的 SCIAMACHY 传感器在 Limb 观测模式下的相关参数, 利用 SCIATRAN 模型模拟传感器辐射亮度值, 将模拟得到的辐射亮度值与 SCIAMACHY 传感器实测数据的辐射亮度值进行对比, 通过对比发现模拟值辐射亮度曲线总体走向、趋势和分布上与实测值符合较好, 但存在差别。通过对臭氧廓线数据、气溶胶以及地表反照率数值进行调整分别模拟, 经分析得出 SCIATRAN 模型中自带臭氧廓线数据和真实的臭氧廓线数据存在差异是模拟和实测辐射亮度值存在差别的主要原因。

关键词 SCIATRAN 模型 Limb 模式 辐射亮度模拟 影响因素

中图法分类号 P422; **文献标志码** A

随着科学技术的进步, 人类活动对环境的影响越来越大, 尤其工业革命以来煤、石油、天然气等大量的使用, 大气成分发生了较大的变化, 这种变化带来了全球性的影响, 如全球气温升高, 北极臭氧空洞等, 利用遥感观测技术对大气进行全天候大范围的监测成为迫切的要求。大气模拟对于卫星以及其他搭载平台的传感器的发展、优化、校正、检测、应用和相应遥感数据的解译有重要作用^[1]。遥感数据模拟技术可以对新传感器的性能进行模拟研究, 优化遥感传感器系统参数和数据获取方案, 为遥感数据的质量和潜力评估提供模拟仿真资料。

当前, 应用较广泛的大气辐射传输模型有低光谱分辨率的 LOWTRAN、中等光谱分辨率的 MODTRAN 等; 较成熟专门模拟 limb 模式辐射亮度的模拟模型有 LIMBTRAN、CDI、SASKTRAN、CDIPI、SCIATRAN 等。其中大气辐射传输模型 SCIATRAN, 是德国不莱梅大学在 GOMETRAN ++ 基础上开发的高光谱分辨率大气辐射传输模型^[2,3]。它针对星载

被动遥感分光计传感器 SCIAMACHY 和 GOME 设计的, 能够进行快速而准确的模拟, 另外它还可用于地基以及大气中任意高度观测光谱的模拟^[4]。2005 年 A. Rozanov 等人发表论文介绍了 SCIATRAN2.0, 模型在不断的完善, 后来又出现了 SCIATRAN2.X, 2008 年研发了 SCIATRAN3.0, 在计算速度上有很大的提高。在过去几年中, 在许多运用方面, 国内外已发表的多篇论文证实了 SCIATRAN 模型有很大的应用价值。高光谱大气成分观测仪 SCIAMACHY (SCanning Imaging Absorption spectroMeter for Atmospheric Chartography) 利用天底 (Nadir)、临边 (Limb)、和掩星 (Occultation) 等多种观测方式对痕量气体进行观测, 其数据经证明是稳定和可靠的。SCIAMACHY 光谱范围为 240 nm—2 380 nm, 该波段覆盖了多种痕量气体的吸收, 可获得 O₃、O₄、O₂、H₂CO、SO₂、BrO、OCIO、ClO、NO、NO₂、NO₃、H₂O、CO、CO₂、CH₄、N₂O、云以及气溶胶的信息^[4]。另外, 其采用光栅分光设计使得光谱分辨率在整条观测光谱范围内都处于较高的水平。

我国关于 SCIATRAN 模拟反演研究较少, 并且大多针对敏感性因素进行分析, 没有和

2009 年 11 月 24 日收到 国家 863 计划项目 (2006AA12Z102) 资助
第一作者简介: 张恭正 (1982—), 男, 硕士研究生, 研究方向: 遥感与 GIS 方向的研究。E-mail: zhanggz08@mails.jlu.edu.cn。

SCIAMACHY 实测数据结合。虽然 SCIATRAN 针对 SCIAMACHY 传感器进行设计,然而,国外的模型和观测资料在中国缺乏验证和修正,对于我国地区的模拟和反演结果还有待商榷^[5,6]。通过 SCIAMACHY 观测参数输入 SCIATRAN 模型,模拟出大气在此观测状态下的大气辐射亮度值,然后将所得的模拟值与 SCIAMACHY 实测值进行分析比较,分析其影响因素。为大气成分反演做准备,也为我国发展 Limb 模式观测辐射亮度信息技术提供参考。

1 SCIATRAN 模型参数结构

SCIATRAN 模型波谱范为 175.44 nm—2 400 nm,光谱分辨率为 0.24 nm—0.5 nm;大气模式有球形大气、伪球形大气和平行平面;模拟输入控制参数主要有观测几何参数、云参数、气溶胶参数、痕量气体参数和地表特性参数等。SCIATRAN 模型与其它模型相比,提供了更细致的云参数和微量气体参数设置,并在地表反照度中引入了双向反射分布函数 BRDF,可以计算辐射亮度值、微量气体分量、压力分量等。参数结构如图 1 所示。

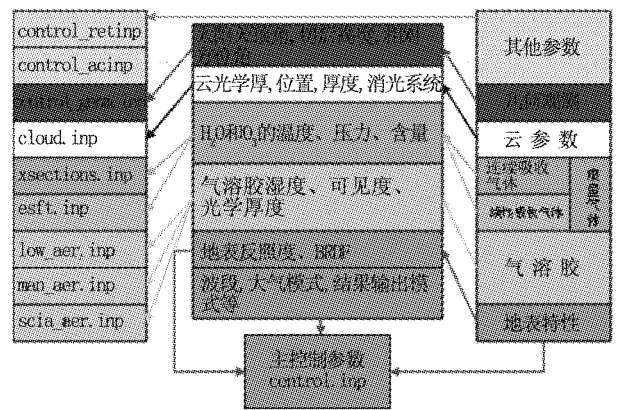


图 1 SCIATRAN 参数结构

2 辐射量度值的模拟

针对搭载在欧洲空间局的 ENVISAT—1 卫星的 SCIAMACHY 传感器 Limb 模式下的辐射亮度值进

行模拟。在用 SCIATRAN 对该传感器辐射亮度模拟时,要将 SCIAMACHY 传感器的观测参数输入模型,这些参数保存在 SCIAMACHY 的 L1b 等数据产品中,该数据可以在欧洲空间局的网站上通过申请后在欧空局下载得到。SCIAMACHY L1b 数据是按轨道存储的,每个轨道的数据约四百兆字节,数据量较大。德国航空宇航中心和不莱梅大学共同支持的网站 SOST 有每个轨道 Nadir、Limb 和 Occultation 观测方式的时间、地理位置和校准等信息,方便用户找到符合自己要求数据。SCIAMACHY L1b 数据的格式是其自行开发的数据格式,主要有如下几个部分:头文件,对卫星和每个时次具体文件情况的总汇介绍;观测数据集,包括天底、临边和掩星观测数据集;辅助数据集,与该文件同步获取的定标信息;全球辅助数据集,适用于全轨的定标数据。欧空局提供了读取该产品数据的软件 EnviView/VISAN 和 BEAT,还提供了 SciaL1C 数据处理软件用来根据用户的需求进行时间、经纬度、观测方式、波段组等进行设定,提取最感兴趣的数据。需注意的是该产品的 L1b 数据不同于其他卫星的 L1b 数据,其它并不是完全校准的数据,需要对数据进行校准和提取^[7]。通过 SciaL1C 完全校准获得 L1c 数据,其数据是按照簇(cluster)为最小存储单元^[7]。现用到的实测数据是经过完全校准的数据。

在用 SCIATRAN 模拟辐射亮度时,需要对模型中的主控文件 control.inp 的辐射传输模型、计算结果类型、辐射传输方程算法、计算结果是否为绝对量度、太阳光谱文件路径、模拟波段信息、狭缝函数半波长、痕量气体选择、线性气体的拟合方法、模拟地区的经纬度和时间、是否由 SCIATRAN 模型自动按照经纬度和时间指定地表反照率、地表高度和 MPI 数据等进行设置。本次模拟设置如表 1。同时还要对几何控制文件 control_geom.inp 进行设置,将 SCIAMACHY 的参数,如卫星的高度、观测时的太阳天顶角、太阳方位角、视线方位角及切点高度等数据在 SCIATRAN 中的几何参数控制文件中进行设定。传感器观测方式为 Limb 模式,观测切点高度从 -3 km 到 90 km 共计三十一个切线高度。

表 1 SCIATRAN 模型参数设置表

参数名	赋值	说明
RTM_TYPE	spher_scatt	球形大气散射模型
RTM Mode	wf	辐射亮度值和权函数
RTM_CORE	DOM	离散纵坐标法
Absolute radiance	t	计算绝对辐射值
Filename user provided	‘../../DATA_BASES/	从 L1b 数据提取,
solar spectrum	SPEC -- TRA/solar.dat’	指定太阳光谱文件
Wavelength segment info	1	模拟波段信息
Slit function HWHM	0.12	狭缝函数仪器半波长
Trace gas selection- forward model	t	考虑全部的痕量气体
Wavelength segment info	1	选择表达方式,
	2, 245,281,0.24	和波段范围
Lineabsorber treatment	esft	线性吸收气体
Latitude & longitude	43.19,126.23	切点经纬度
Do specification by geolocation	t	由地理位置指定

3 模拟结果及其与实测值的对比

3.1 模拟结果

模拟选择的波段范围为 245 nm—281 nm,光谱分辨率为 0.24 nm。在波段 245 nm—281 nm,以波长为横坐标,辐射亮度值为纵坐标,31 个切线高度得到 31 条的辐射亮度曲线分布如图 2 所示。总体上,模拟辐射亮度曲线随着切线高度的增加先缓慢上升,然后又随着高度的增加而降低,最后辐射亮度值逐渐接近于 0。

3.2 模拟值与实测值的对比

模拟值与实测值分别得到的 31 条辐射亮度曲线,辐射亮度曲线在总体上包括走向、变化和分布上有较好的符合,并且随着切线高度的变化,辐射亮度有相同的变化,都是随着切线高度的增加先缓慢升高然后逐渐降低。不同的是实测的 31 条辐射亮度曲线之间存在交叉现象,模拟值则不存此现象,这是由于 SCIATRAN 模型大气模拟是对理想状态模拟,而实测值是以切点为中心 960 km 的扫描,在如此大

的范围内大气是不均匀的,另外实测值虽然进行了校准,仍存在系统误差也是造成实测值出现不同切线高度辐射亮度曲线交叉的原因。切线高度为 40 km 的模拟和实测的辐射亮度曲线单独对比,如图 3 所示。实测值总体比模拟值要小,幅度变化也要小,但两者波峰和波谷出现的位置相近。

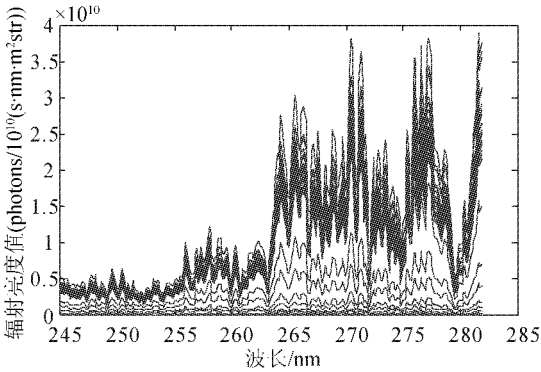


图 2 31 条不同切线高度模拟辐射亮度曲线分布图

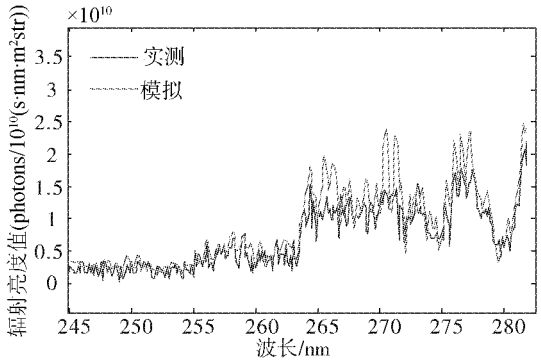


图 3 切线高度为 40 km 实测与模拟
辐射亮度曲线对比图

4 SCIATRAN 模型模拟值影响因素分析

在用 SCIATRAN 模型进行模拟时,模型用到了其自带的臭氧廓线数据,气溶胶以及地表反照率。这些参数实际上是不不断变化的,而模型用到的是按照一般统计规律进行总结出的一般规律,与实际观测是有差距的。通过改变这些参数,可以得到这些因素对模型模拟值的影响,从而找到实测值和模拟值存在差别的原因。

以切线高度设为 40 km 为例,在保持其它参数

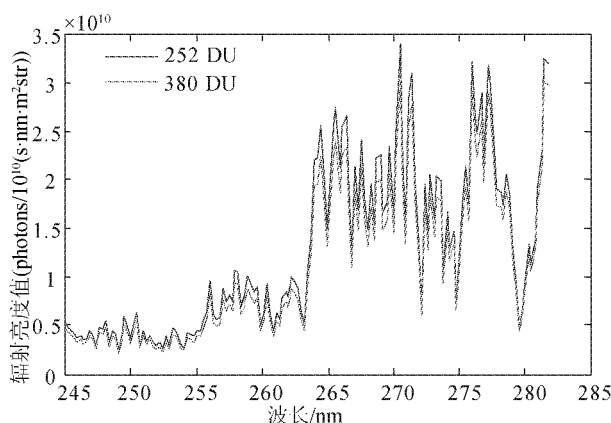


图4 切线高为 40 km 不同臭氧柱总量
模拟辐射亮度曲线对比图

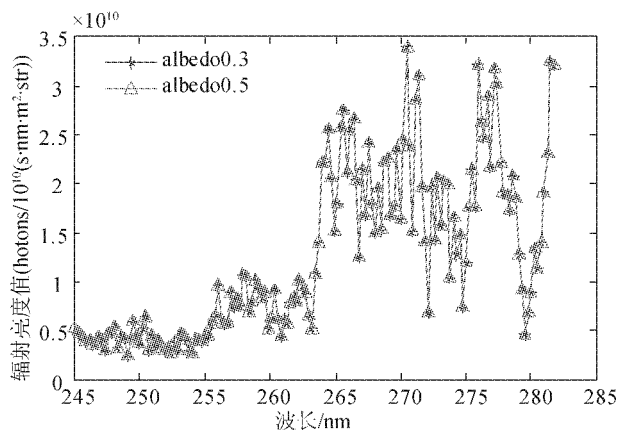


图5 切高为 40 km 不同地表反照率
模拟辐射亮度曲线对比图

不变,并将模型中的臭氧柱状总量调整为 252 DU 和 380 DU 进行模拟,其辐射亮度曲线如图 4 所示。由图可以看出,臭氧柱状总量为 252 DU 的辐射量度值比 380 DU 的辐射值明显要大。这与模拟波段 240 nm—280 nm 是 O_3 的强吸收区波段相符。同样,切线高度设为 40 km,在保持其它参数不变,调整地表反照率 0.3 和 0.5 进行模拟,其辐射亮度曲线如图 5 所示。在所选的波段内,不同地表反照率对辐射亮度基本没有影响^[8]。同样改变气溶胶参数,其他参数不变,在所选的波段内,与改变地表反照率的情况相同,对辐射亮度几乎没有影响。

5 结论

通过结合传感器 SCIAMACHY 观测 Limb 模式的相关参数,用 SCIATRAN 模型模拟出其辐射亮度值,模拟的辐射亮度值接近于实测值,得到的辐射亮度曲线和实测的辐射亮度曲线在总体走向、变化和分布上有较好的吻合,说明模拟的精度较高。本次模拟波段为臭氧的强吸收波段,模拟时没有输入真实的臭氧廓线数据,造成了实测值和模拟值的偏差,说明臭氧对此模拟的影响较大,而模拟波段的气溶胶、地表特性对辐射亮度影响较小。为了进一步提高模拟精度需要加入真实的臭氧廓线数据、气溶胶、地表反照率和云等参数;在对模型进行了大量的验证后,将实测参数输入模型,又反过来可以对 SCIAMACHY 传感器进行检测,这是本次模拟工作需要进一步研究的内容。通过 SCIATRAN 模型对 SCIAMACHY 传感器的实际模拟,具有为我国发展 Limb 模式大气探测传感器设计具有借鉴意义。

致谢 感谢 Alexei Rozanov 在 SCIATRAN 模型的参数设定方面给予的帮助。

参 考 文 献

- 1 Wiest L, Borner A, Reulke R, *et al.* Sensor: a tool for the simulation of hyperspectral remote sensing system. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2001; 55:299—312
- 2 Buchwitz M. User's Guide for the Radiative Transfer Program GOMETRAN++/SCIATRAN. Bremen; IUP University of Bremen, 1999
- 3 Kaiser J W. Atmospheric parameter retrieval from UV-vis-NIR Limb scattering measurements. Bremen; University of Bremen, 2001
- 4 Institute of Remote Sensing University of Bremen, Germany. User's Guide for the Software Package SCIATRAN (Radiative Transfer Model and Retrieval Algorithm) Version 2.2. Bremen; Institute of Remote Sensing University of Bremen, 2007; 7—60
- 5 齐 瑾, 张 鹏, 张文建, 等. 基于 SCIATRAN 模型的二氧化氮 DOAS 反演敏感性试验. *气象学报*, 2008; 66(3):396—404
- 6 齐 瑾. 利用 SCIAMACHY/ENVISAT 资料开展中国区域 NO_2 反演研究. 北京: 中国气象科学研究院, 2007

(下转第 1513 页)

- 3 张宝龙. 橡胶与橡胶制品生产技术、工艺流程及质量检测实务全书. 北京:金版电子出版公司,2003
- 4 丁国芳,石耀刚,张长生,等. 丁基橡胶阻尼材料阻尼行为的研究. 功能材料,2004;2233—2236
- 5 何显儒,王 煦,黄光速. 氯化丁基橡胶复合阻尼材料的制备及表征. 西南石油大学学报,2007;29(6):134—137
- 6 《工程材料使用手册》编辑委员会. 工程材料实用手册. 北京:中国标准出版社,2002

Investigation on the Damping Characteristics of the Embedded Co-cured Composite Damping Structures

LI Xuan, LIANG Sen, WU Ning-jing¹, CHANG Yuan-yuan

(School of Mechanical Engineering, Qingdao Technological University, Qingdao 266033, P. R. China;

Key Laboratory of Rubber-Plastics of Ministry of Education, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266042, P. R. China)

[Abstract] In this paper, IIR rubber was used as the main component of visco-elastic damping material. Then, the damping layer of specimen was made of the damping material by mold molding. With epoxy glass fabric prepreg, according to the cure curves, some specimens of embedded co-cured composite structure were obtained. Finally, the damping characteristics of them were tested. Test results show that by adding a thin damping layer, the damping of structure is increased nearly without being stiffness changed. However, by adding a thick damping layer, the change of stiffness of the component is significant. With increases of the thickness of damping layer, the rate of the increases of damping gradually is reduced. Therefore, it is inappropriate to improve the damping characteristic of the structure by increasing the thickness of the damping layer of the embedded co-cured composite damping structures.

[Key words] co-cured damping structures damping composite material

(上接第 1509 页)

- 7 Spurr R J D. ENVISAT-1 SCIAMACHY Level 1c to 2 Off-line Processing Algorithm Theoretical Basis Document, Tech. Report DLR IMF-AP, ENV-ATB-SAO-SCI-2200-0003 (Issue 2), 2000
- 8 金丽华. 大气 Limb 辐射亮度模拟及其敏感性分析. 长春:吉林大学, 2009

SCIATRAN Based Limb Atmospheric Radiative Transfer Simulation

ZHANG Gong-zheng, CHEN Sheng-bo, WANG Ming-chang,

TAO Yu-long, PANG Chao, GUO Jin-hai¹

(College of Geoexploration Science and Technology, Jilin University, Changchun 130026, P. R. China; PLA Troop 65015¹, Dalian 116013, P. R. China)

[Abstract] Atmospheric radiative transmission model, SCIATRAN is later high-spectral resolution atmospheric radiative transmission model. Its main control file parameters and its geo-control file parameters to simulate the value of the radiation intensity of the SCIAMACHY on European Space Agency environment satellite ENVISAT-1 are simply introduced it, and up set. Comparisons between the simulated spectral curve and the spectral curve measured by SCIAMACHY are made, the reasons of existent difference are analyzed, and the problems that should pay attention to are summed up in using this mode. By changing the parameters *i. e.* ozone profiles, aerosol and surface albedo lonely in each simulation, differences between the simulated and the surveyed are caused mainly by the difference between the ozone profile in the model and the real ozone profile.

[Key words] SCIATRAN Limb model radiance simulation influence factors