

文章编号: 1672-8785(2013)10-0007-03

地球大气红外辐射特性研究现状

孙延奇¹ 蒋奇材² 范彩平¹

(1. 65041 部队 71 分队, 辽宁 沈阳 110113;

2. 78456 部队, 四川 成都 610066)

摘 要: 简要介绍了国外地球大气红外辐射特性的研究进展。重点从利用国外成熟软件进行计算、基于基础理论开展相关研究以及自主研发大气辐射计算软件等三个方面, 综述了国内在地球大气红外辐射特性方面的研究现状, 并讨论了国内相关领域需要作进一步研究的内容。

关键词: 地球大气; 红外辐射特性; 研究现状

中图分类号: TP319 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2013.10.002

Research Status of Infrared Radiation Characteristics of Earth's Atmosphere

SUN Yan-qi¹, JIANG Qi-cai², FAN Cai-ping¹

(1. Detachment 71 of 65041 Troop, Shenyang 110113, China;

2. 78456 Troop, Chengdu 610066, China)

Abstract: The research advance in infrared radiation characteristics of earth's atmosphere at abroad is presented in brief. Particularly, the domestic research status of infrared radiation characteristics of earth's atmosphere is overviewed in the following three aspects: the calculation with foreign mature software, the related research based on basic theory and the independent research and development of atmospheric infrared radiation calculation software. Finally, the relative content which need to be further studied is discussed.

Key words: earth's atmosphere; infrared radiation characteristics; research status

0 引言

由于地球大气的红外辐射和传输特性对军事和民用领域中的许多应用具有重要影响, 国内外研究人员已经对其进行了深入的理论和实验研究, 并开发出了一些实用的工具软件。本文首先简要介绍国外相关方面的研究现状, 然后从对国外的地球大气辐射计算软件进行汉化和推广应用、根据相关理论独立开展大气辐射特性的实验或建模研究以及研制适合我国大气模

式的地球大气背景红外辐射软件等三个方面介绍国内在地球大气辐射特性方面的研究现状。

1 国外研究现状

国外对地球大气辐射以及红外辐射的大气传输特性的研究较为充分。尤其是作为最早成功发射气象卫星的国家, 美、俄两国在该领域的研究处于领先地位。他们不但拥有大量实验数据, 而且还具有一些实用的地球大气背景红外

收稿日期: 2013-06-27

作者简介: 孙延奇(1984-), 男, 辽宁丹东人, 本科, 主要从事大气辐射特性方面的研究。

E-mail: sunyanqi0314@163.com

辐射计算软件。早在 1967 年,美国 Bartman A L 就根据卫星观测数据给出了地球表面光谱反射特性和角分布特性数据。1969 年,美国航空航天局戈达德空间飞行中心用机载光谱仪测量了晴天以及各种云天条件下的地表反射率。1970 年, Hanel 根据“风雨 4 号”气象卫星测出了沙漠、海洋和南极等地区的红外辐射光谱数据,总结了地球大气的红外辐射规律。1971 年, Robert Lyle 总结了几种影响地球大气发射率的因素,包括地貌、气象条件、太阳高低角和入射太阳光的光谱等^[1]。

在这些前期实验数据的基础上,美国已研制出了一些实用的地球大气背景红外辐射计算软件,其典型代表是国内广泛使用的 LOWTRAN、MODTRAN、SHARC 和 SAMM 四款软件。这四款软件均由美国空军地球物理实验室负责研制。其中, LOWTRAN 是一款低分辨率大气传输计算软件,其光谱分辨率为 20 cm^{-1} ,适用于 $0\sim 30\text{ km}$ 海拔辐射的计算; MODTRAN 的光谱分辨率为 2 cm^{-1} ,它把适用的高度范围扩展到了 $0\sim 60\text{ km}$;这两款软件均适用于大气分子处于局地热力平衡 (Local Thermodynamic Equilibrium, LTE) 状态的情况; SHARC 的光谱分辨率则达到了 2 cm^{-1} ,适用的高度范围为 $50\sim 300\text{ km}$,此时大气分子处于非局地热力平衡状态;而 SAMM 则是为了统一计算低空和高度大气辐射传输而开发的一款中分辨率 (2 cm^{-1}) 大气传输计算软件,它完美地集成了 MODTRAN 和 SHARC 的优点,适用的高度范围可从地球表面到 300 km 的高空^[2]。

2 国内研究现状

国内针对地球大气背景辐射以及大气传输开展了大量理论分析工作,其主要研究体现在以下三个方面:一是对国外的地球大气辐射计算软件进行汉化和推广应用,并利用国外地球大气背景红外辐射软件开展理论研究;二是不依赖成熟软件,根据相关理论独立开展大气辐射特性的实验或建模研究;三是在理论研究的

基础上研制适合我国大气模式的地球大气背景红外辐射软件。

针对国外地球大气辐射计算软件开展汉化、推广以及应用研究的代表性工作如下:中国科学院大气物理研究所^[3]和北京航空航天大学^[4]对 MODTRAN 软件进行了汉化和推广应用;海军航空工程学院对 SHARC 和 SAMM 软件进行了推广^[2];中国科学院大气物理研究所的王普才、吕达仁研究小组于 2004 年分别对晴天和云天 $2.7\text{ }\mu\text{m}$ 和 $4.3\text{ }\mu\text{m}$ 波段的地球大气背景红外辐射信号进行了分析^[5-6];中国科学院安徽光学精密机械研究所的王毅、范伟、饶瑞中研究小组针对典型大气条件下的目标/背景对比度和云的光学特性对目标/背景对比度的影响进行了分析^[7-8];2013 年,南京航空航天大学的马鹤等人基于 MODTRAN 软件计算了红外系统对巡航导弹的探测距离^[9]。

不依赖于成熟软件而独立开展的大气辐射特性建模或实验研究工作主要包括:段民征等人^[10]提出了一种适合于遥感应用的大气辐射传输高精度快速计算方法;中国科学院安徽光学精密机械研究所的李学彬等人通过从 1998 年到 2010 年之间对我国东部典型区域的气溶胶分布进行连续测量,初步建立了我国东部典型地域的气溶胶分布模式;原桂彬、孙晓刚、戴景民课题组^[11-13]针对云层背景的红外辐射特性开展了一系列研究。

研制适合我国大气模式的地球大气背景红外辐射软件的主要工作是,中国科学院安徽光学精密机械研究所的魏合理、饶瑞中研究小组研制了通用大气辐射传输软件 (Combined Atmospheric Radiative Transfer, CART)^[14-16]。该软件的主要功能包括大气水平和斜程光谱透过率计算、散射太阳辐射 (包括单次散射、多次散射以及地表反射) 计算、热辐射 (地表和大气的热辐射) 和太阳直接辐照度等四个部分,其计算精度达到了 1 cm^{-1} 。其中,大气透过率主要考虑的是大气分子的吸收、散射以及大气粒子 (气溶胶) 的吸收与散射作用;大气分子散射根据瑞利散射理论进行计算;大气分子的吸收作用使用基于逐线积分拟合的大气分子吸收的光谱透过率快速计

算方法^[15]; 气溶胶散射的计算结合 MODTRAN 和 OPAC 软件提供的气溶胶混合比和谱分布模式计算得到了比较精确的结果。太阳直接辐照度是使用大气外的太阳光谱乘以大气透过率获得的。散射辐射的计算则是根据分子和气溶胶的散射相函数, 通过计算包括太阳和大气的散射、地表耦合在内的散射辐射完成的。其中, 多次散射使用离散坐标法并结合插值算法完成。大气热辐射则是结合黑体辐射公式和大气透过率计算的。与 LOWTRA 及 MODTRAN 相比, CART 软件计算简单、速度快且能保证一定的精度, 更适用于我国的大气环境, 其存在的问题是尚未包含云层的大气辐射模型。

3 结束语

目前国内在地球大气背景红外辐射的理论计算方面取得了一定的进展, 并开发出了拥有自主知识产权的实用计算软件, 但是对各种天气条件下地球大气背景红外辐射的规律研究得还不够, 尤其是各种云对地球大气背景红外辐射的影响研究还有待于进一步深入。

参考文献

- [1] 姚连兴. 目标和环境的光学特性 [M]. 北京: 中国宇航出版社, 1995.
- [2] 董言治, 周晓东. 大气红外辐射模型与实用算法的研究进展 [J]. 激光与红外, 2003, 33(6): 412-416.
- [3] 吴北婴, 李卫, 陈洪滨. 大气辐射传输实用算法 [M]. 北京: 气象出版社, 1998.
- [4] 刘广达, 江月松. MODTRAN 软件集成环境开发 [J]. 应用光学, 2007, 28(3): 317-320.
- [5] 王普才, 吕达仁, 徐根兴, 等. 2.7 μm 和 4.3 μm 波段地球大气背景红外辐射信号分析 (I 晴天) [J]. 目标与环境特性研究, 2003, 20(4): 15-22.
- [6] 王普才, 吕达仁. 2.7 μm 和 4.3 μm 波段地球大气背景红外辐射信号分析 (II 云天) [J]. 目标与环境特性研究, 2004, 21(1): 26-36.
- [7] 王毅, 范伟, 饶瑞中. 典型大气条件下的目标 - 背景对比度的计算分析 [J]. 激光与红外, 2004, 34(3): 375-378.
- [8] 王毅, 范伟, 陈秀红, 等. 云的光学特性对目标 - 背景对比度的影响分析 [J]. 红外与激光工程, 2005, 34(3): 282-286.
- [9] 马鹤, 吴平, 孙文芳. 基于 MODTRAN 的红外系统对巡航导弹探测距离的估算 [J]. 红外, 2013, 34(3): 26-31.
- [10] 段民征, 吕达仁. 适用于遥感应用的辐射传输高精度快速计算方法 [J]. 遥感学报, 2007, 11(3): 361-366.
- [11] Yuan G, Sun X, Dai J. Modified Gamma Distribution Parameters' Influence on Scattering Signature of Clouds [J]. Journal of Dynamics of Continuous, Discrete and Impulsive System, Series B, 2007, 14(S2): 166-170.
- [12] Yuan G, Sun X, Dai J. An Improved Algorithm of Cloud Multiple Scattering [J]. Chinese Optics Letters, 2006, 4(7): 425-427.
- [13] Yuan G, Sun X, Dai J. An Improved Algorithm for Calculating Cloud Radiation [J]. Journal of Physics, 2005, 13: 297-299.
- [14] Chen X, We H, Yang P, et al. An Efficient Method for Computing Atmospheric Radiances in Clear-sky and Cloudy Conditions [J]. Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer, 2011, 112(1): 109-118.
- [15] 魏合理, 陈秀红, 饶瑞中. 通用大气辐射传输软件 CART 介绍 [J]. 大气与环境光学学报, 2007, 2(6): 446-450.
- [16] Wei H, Chen X, Rao R, et al. A Moderate-spectral-resolution Transmittance Model Based on Fitting the Line-by-line Calculation [J]. Optics Express, 2007, 15(13): 8360-8370.
- [17] 戴聪明, 魏合理, 陈秀红. 通用大气辐射传输软件 (CART) 大气散射辐射计算精度验证 [J]. 红外与激光工程, 2013, 42(6): 1575-1581.