

大气辐射传输模型及 MODTRAN 中透过率计算

毛克彪^{1,2,3}, 覃志豪^{1,2,3}

(1. 农业部资源遥感与数字农业重点实验室, 北京 100081; 2. 中国科学院遥感所, 北京 100101;
3. 南京大学国际地球系统科学研究所, 江苏 南京 210093)

摘要:在用遥感影像反演地面参数时,即使天气晴朗,也要受大气、气溶胶、云的影响。因此大气校正成为提高反演精度的主要因素之一,文中在介绍大气传输的概念模型的基础上,对遥感影像的大气校正方程和参数做了介绍,同时介绍了怎样用 MODTRAN 获取这些参数,并做了具体分析

关键词:辐射传输,透过率,MODTRAN 模型

中图分类号:P 224 文献标识码:A 文章编号:1672-5867(2004)04-0001-03

The Transmission Model of Atmospheric Radiation and the Computation of Transmittance of MODTRAN

MAO Ke-biao^{1,2,3}, QIN Zhi-hao^{1,2,3}

(1. The Key Laboratory of Remote Sensing and Digital Agriculture, Chinese Ministry of the Agriculture, Beijing 100081, China;
2. Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;
3. Institute for International Earth System, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: When using the remote sensing images to reverse the land parameters, the results may be influenced by the atmosphere, aerosol and clouds etc. even if in the sunshine. Therefore the atmospheric corrections serve as one main factor for raising the accuracy of the reversion. This paper introduces the equations and parameters of the atmospheric corrections for remote sensing images on the basis of introducing the conceptual model of the atmospheric transmission, and at the same time describes how to use the MODTRAN to get these parameters, and concrete analyses are finally made.

Key words: radiative transmission; transmittance; MODTRAN model

0 引言

遥感影像的校正主要有两个:一个是几何校正;另一个是大气校正。相对而言,几何校正要容易一些,因为影响几何的因素相对容易确定。相反,大气校正是个很复杂的问题。由于影响大气的因素不确定,例如,大气、气溶胶、云、风、水汽以及海拔等,使得校正的过程中很多变量实时测定很困难,从而使得大气校正变得较复杂。在有些遥感应用研究中,一般忽略大气校正这一步骤。但是随着遥感研究的深入,如地表分类、温度、湿度的反演、土壤湿度的反演就需要做大气校正,否则分类、反演的精度就会大打折扣。

在遥感影像信息中,除了地物将能量反射到传感器外,还包括地物环境散射、反射、大气的散射和

反射。针对这些影响因素,许多研究人员在这方面做了很多研究,做了许多大气模型来模拟大气的这种过程,例如,LOWTRAN、MODTRAN、HITRAN、6S等。通过实测资料分析得出结论:用模型得到的各种参数在误差允许范围内可以接受^[1]。为了更好地应用这些大气模型,本文介绍了大气的概念模型、遥感影像大气校正方程和需要获取的参数,以及怎样用 MODTRAN3 获取这些参数并做了具体的分析。

1 大气辐射传输理论概念模型

大气校正主要是针对两个不同的波段范围进行:一个是以太阳光谱为主的可见光波段;另一个主要是以地面热辐射为主的热红外波段。

对于可见光波段,信息的传递过程描述如图 1

所示^[2],针对这一过程,不同的研究者表达的形式有所差别,但主要思想基本相同,这里采用 Matthew Hanson 的表达法,如下式所示^[3]:

$$L_{s\lambda} = [E_{s\lambda} + E_{ds\lambda} + E_{bs\lambda}] \frac{r(\lambda)}{\pi} \tau(\lambda) + L_{us\lambda}$$

式中 $E_{s\lambda}$ 表示地表直接辐照度, $E_{ds\lambda}$ 为向下辐照度, $E_{bs\lambda}$ 为背景散射辐照度, $L_{us\lambda}$ 为向上的辐射亮度, $r(\lambda)$ 表示波长函数, $\tau(\lambda)$ 表示透过率, $L_{s\lambda}$ 为传感器接受的辐射亮度。

地面热辐射可以描述为如图 2 所示^[2],这部分与第一部分最主要的区别在于不受太阳的影响,理想状态下,只要有温度的物体,都辐射长波。针对图中过程,用下面表达式描述^[2]:

$$L_{e\lambda} = \varepsilon(\lambda) L_{T\lambda} + [E_{de\lambda} + E_{be\lambda}] \frac{r(\lambda)}{\pi} \tau(\lambda) + L_{ue\lambda}$$

$\varepsilon(\lambda)$ 表示目标发射率, $E_{de\lambda}$ 和 $E_{be\lambda}$ 分别为大气和背景达到目标的辐照度。 $L_{ue\lambda}$ 为大气向上的辐射亮度。

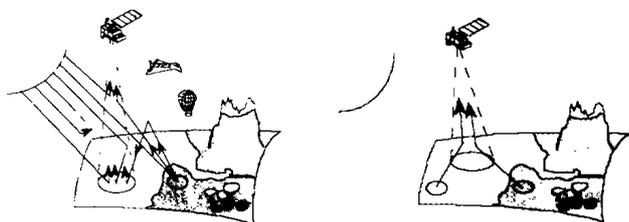


图 1 太阳光谱能量辐射传输图 Fig.1 The radiation transmission diagram of solar spectrum energy
图 2 长波辐射能量传输图 Fig.2 Transmission diagram of long wave radiative energy

2 大气校正的主要参数及计算方法

大气透过率是遥感影像大气校正的主要参数。针对某一高度某种大气成分的大气透过率计算的通用公式为:

$$\tau_k = e^{-m_k C_k z}$$

m_k 表示大气成分的数密度, C_k 表示消光系数, z 表示高度。将每一层的透过率乘起来,就是总透过率,如下式:

$$\tau_{i\lambda} = \prod_k \tau_{ik}$$

i 代表层, k 代表某种大气成分。

具体的计算方法有很多,本节介绍的是 Rodgers 和 Walshaw 的带模式方法,简称 R - W 带模式方法。R - W 带模式方法对大气透过率的计算采用的是 Goody 统计带模式计算,设吸收线位置随机分布,线强取指数分布,线型取 Lorentz 型,从而谱带的透过率与光谱参数、吸收物质含量的关系式^[3]如下:

$$\bar{\tau}_{\lambda}(u) = \exp\left[-\frac{\bar{S}u}{D}\left(1 + \frac{\bar{S}u}{D}\right)^{-\frac{1}{2}}\right]$$

在这方面已经做过大量的实验,其中的光谱参数都已测定并汇编,式子中的光谱参数可以直接参

照谱线汇编资料^[4]。运用 MODTRAN 模式进行卫星资料的大气影响校正是很有必要的,在用 MODTRAN 求取大气参数时,不需要确切地知道云、气溶胶的详细情况^[5]。如果知道云和气溶胶的类别,就可求得大气总的透过率并用于大气校正(如图 3 所示)。

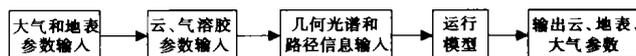


图 3 运用 MODTRAN 求云、气溶胶、地表参数
Fig.3 Cloud, aerosol and land parameters capture by using MODTRAN

3 透过率计算过程

MODTRAN3 是在 LOWTRAN 基础上改进的,具有更高的分辨率,到达了 2 cm^{-1} ,对辐射传输的几何路径、气溶胶模式以及透过率模式提供了更多选择,而且引入了多次散射计算方法,使得精度得以提高。从而对大气、气溶胶、云以及遥感影像大气校正研究分析提供了有力的帮助。本文针对我国中纬度地区进行分析,热红外波段 $8 \sim 12 \mu\text{m}$ 的透过率进行计算分析。

3.1 大气资料输入

MODTRAN3 界面提供了各种模式大气模型参数的选择输入。模式大气主要分为水平大气参数、热带大气、中纬度夏、冬季大气、极地夏、冬季大气以及美国标准大气等。大气路径选择包括水平、斜、垂直等。计算时主要需要考虑的大气成分有:水汽、臭氧、甲烷、氮化物、碳氧化物的剖面资料、计算模式等。这里选择中纬度夏季模式大气,执行模式为计算透过率,其他默认中纬度夏季参数。

3.2 气溶胶资料输入

当大气中的气溶胶含量达到一定的程度时,它对辐射传输的影响很大。MODTRAN 大气模型中考虑到这一点,在输入气溶胶参数时将气溶胶分为对流层和平流层气溶胶,同时考虑季节变化的影响,对不同模式运用及不同模型进行修正。如果选择中纬度冬季、极地冬季模式大气,就用秋冬模型进行修正;选择热带、中纬度夏季、极地夏季和美国标准模式大气以及用户输入气溶胶参数,则采用春夏模型修正。同时考虑风速对气溶胶的影响。另外,还考虑降雨量及海拔高度的影响。对流层有 9 种模式气溶胶可选取,平流层有 8 种模式气溶胶可供选择。当然用户还可以选取自己的气溶胶参数数据,也可采用省缺形式给出的模式气溶胶,还可以将气溶胶消光系数转换为等效液态水含量形式。对不同类型气溶胶化学成分、谱分布及折射指数受湿度的影响等,具体可参考文献^{[5][6]},本文气溶

胶模式输入为城市气溶胶,可见度为 23 km。选择春夏季节模式多按此模式进行修正,选择天气为无云和雨。

3.3 几何信息和光谱信息输入

在进行辐射传输模式计算时,要考虑辐射流方向上的单次或多次散射,因此几何路径的选取也是很重要的。根据不同要求,可选择水平路径、两高度间的倾斜路径和射线倾斜路径以及路径长度和路径倾斜度等。同时要求用户给出所求位置的地理经纬度、海拔高度等。对太阳天顶角、方位角、地球半径和所求波谱段范围的选取也要考虑,散射过程还有单次散射和多次散射可供选择。由于 MODTRAN 模式在短波波谱上分辨率较高,而短波区有几十万条吸收谱线,因此计算结果随波数起伏较大,可以采用软件中为模式提供一种平滑功能使计算结果相对平滑,便于进一步分析研究。本文初始高度为 33 km,最后高度为地面 0 km,路径长 44 km,计算波长范围为 8 ~ 14 μm 。

4 数据分析

将模型运行后的输出数据 modout1 导入 EXCEL 表中进行分析,分析过程如图 4 ~ 图 7 所示。

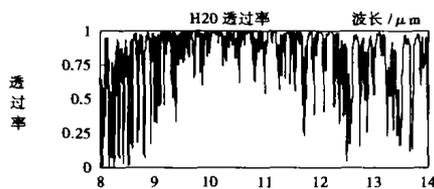


图 4 水的透过率
Fig. 4 Transmittance of water

图 4 可以看出其波谱分辨率比较高,水汽的吸收谱线很多,同时,随波长起伏很大。因此为了便于分析,需要对曲线进行平滑。

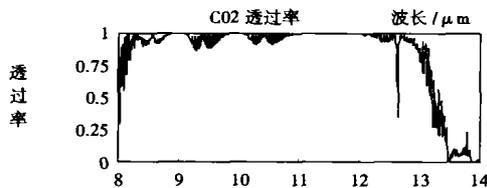


图 5 二氧化碳的透过率
Fig. 5 Transmittance of CO₂

图 5 说明二氧化碳随波长增加,吸收增加,特别是在波长大于 13 μm 后,透过率明显减小。

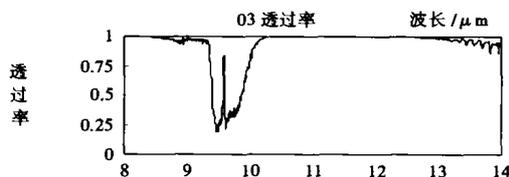


图 6 臭氧透过率
Fig. 6 Transmittance of ozone

从图 6 中的数据看出,臭氧在 9 ~ 10 μm 吸收比较强,而在其他波段透过率几乎为 1。

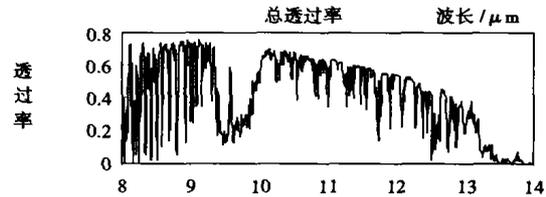


图 7 总透过率图
Fig. 7 Total transmittance

图 7 为总透过率图,总的透过率由公式 $\tau_{ik} = \prod \tau_{ik}$ 算出。从图 7 中可以看出,吸收起伏比较大,有的波段影响也就比较大。所以我们在进行卫星影像分析时,需要考虑这些吸收情况,针对不同波段进行大气校正。利用 MODTRAN 求透过率后的遥感影像大气校正公式为:

$$B(T) = \varepsilon\tau B(T_s) + (1 - \varepsilon)B_{atm,\lambda}^{\downarrow}\tau + B_{atm,\lambda}^{\uparrow}$$

式中 $B(T)$ 为星上辐射率, $B(T_s)$ 是地面辐射率, $B_{atm,\lambda}^{\downarrow}$ 为大气向下的辐射率, $B_{atm,\lambda}^{\uparrow}$ 为大气向上辐射率, ε 为反射率, τ 为透过率。做大气校正,就是要消除上式中右边的第二和第三项,这两项都可以用 MODTRAN 模拟出来,然后解方程就可以求出地面的辐射率,继而反演出地表温度。

5 结语

随着遥感应应用研究的深入,大气校正已经成为不可忽视的部分。本文对大气辐射传输模型的概念模型进行了介绍并用 MODTRAN 中的大气模型对中纬度地区的热红外波段透过率进行了模拟计算,模拟结果分析表明:大气对辐射通量的传输影响,在不同波段中的影响不一样,有些波段范围的影响比较大。为了提高遥感应用的精度,在遥感应应用研究中需要根据实际情况进行大气校正。

参考文献:

- [1] 傅炳珊,陈渭民,马丽. 利用 MODTRAN3 计算我国太阳直接辐射和散射辐射[J]. 南京气象学院学报, 2001, 24(1): 51 - 58.
- [2] Vermote E., Tanré D., Deuzé J. L., Herman M., and Morcrette J. J., Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum (6S), 6S User Guide Version 2, July 1997, 5 - 8.
- [3] Matthew Hanson, atmospheric modeling using MODTRAN [D], 2003. 2, Pp1 - 10. <http://www.omnium-gatherum.org>
- [4] 刘长盛,刘文保. 大气辐射传输学[M]. 南京:南京大学出版社,1990,5: 207 - 209.
- [5] 文军,王介民,何淑杰,辐射传输 PCMod Win 程序及应用前景评述[J]. 遥感技术与应用, 1997, 12(4): 46 - 52.
- [6] PCMod Win Manual. Ontar Corporation, North Andover, MA 01845, USA, May, 1995.

作者简介:

毛克彪(1977 -),男,湖南沅江人,博士生,主要从事热红外,微波遥感,空间数据挖掘及 GIS 应用等方面的研究。