

# 基于MODTRAN模式的MODIS水汽通道光谱特征 与海上能见度相关特性分析

王骥鹏<sup>1</sup>, 寇彦伟<sup>2</sup>, 沈春<sup>3</sup>, 王霞<sup>1</sup>, 朱尚卿<sup>1</sup>

(1.中国人民解放军61741部队, 北京 100094; 2.中国人民解放军61855部队, 北京 100094;  
3.解放军理工大学气象学院, 江苏 南京 211101)

**摘 要:**海上能见度是重要的海洋环境信息, 为了能够深入有效的开展海上能见度卫星反演方法研究, 本文利用MODTRAN辐射传输模式模拟不同能见度等级下的MODIS水汽通道辐射值, 进行不同能见度等级条件下MODIS水汽通道的光谱特征及其与能见度的相关特性分析研究, 初步得出水汽通道光谱特征与海上能见度的相关性。

**关键词:**海上能见度; MODIS; 水汽通道

**中图分类号:**P715 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-0239(2011)02-0055-05

## 1 引言

气象能见度的高低直接影响到人们的工作、生活以及各类交通活动的正常进行。低能见度的出现更会给人们带来诸多不便和各种危害, 常常是造成交通和飞机起降重大事故的重要原因。探讨和掌握大气能见度的变化特征及主要影响因素, 是大气能见度预测预报的基础, 是保证交通安全、提高人们生活质量和城市减灾, 以及各类交通活动的需要<sup>[1-3]</sup>。

我国领土广阔, 更有广阔的海域, 使用遥感手段获得海洋有关信息已经成为当务之急, 而了解海洋上能见度情况则对于科学研究和遥感业务运作、各种海上作业和交通活动都有着极其重要的现实意义。本文主要通过对MODIS水汽通道光谱特征与海上能见度相关特性分析, 以希望找到可以用于卫星资料反演海上能见度的有效通道。

## 2 MODTRAN辐射传输模式

### 2.1 MODTRAN简介

MODTRAN(中光谱分辨率大气辐射传输模

式)是美国空军地球物理实验室(AFGL)历经25年发展的一种大气辐射模型, 可作为独立的模式进行应用, 也可以加入大的程序中作为子程序或是独立的模块。MODTRAN模式提供了大气模式、气溶胶模式、地面反射类型、几何路径、多次散射、降水情况以及气象视距等主要参数以供用户在使用时方便设定和调试<sup>[4]</sup>。

### 2.2 MODTRAN辐射模拟技术方案

针对本文研究对象的需要, 结合MODIS卫星资料特性及MODTRAN模式特点, 经过试验确定的模拟方案和主要参数设定详见表1。

## 3 能见度的概念及大气光学意义

能见度即所定目标物的能见距离, 是指标准视力的眼睛观察水平方向上, 以天空为背景的黑体目标物, 能从背景上分辨目标物轮廓的最大水平距离。

能见度是气象业务上常规观测项目之一, 是一个比较重要的天气指标, 主要表现为两个方面: 首先, 它是表征气团特性的要素之一, 特别是满足天气学和气候学的需要, 此时以能见度表

表1 MODTRAN辐射模拟技术方案

大气模式	模拟时间	下垫面	边界温度	辐射方式	卫星通道
热带大气	1月	海洋表面	291.2 k	热辐射	红外通道

示大气的光学状态；其次，它是与特定判据或和特殊应用相对应的一种业务性变量。基于气象业务保障上的要求，把它直接表示成能见度的特殊标志或发光体的可视距离。在气象业务常规观测中，能见度主要由五个测定量度量：消光系数(Extinction coefficient)、亮度对比(Luminance contrast)、对比阈值(Contrast threshold)、照度阈值(Illuminance threshold)、透射因数(Transmission factor)<sup>[5]</sup>。

为了更好的提供一系列保障及研究，气象业务上采用的能见度测量应当不受极端气象条件的影响，消除观测者主观因素及昼夜差别的影响，但必须与能见度的直觉概念和普通目标物在正常情况下能看到的距离直接相关，在能见度研究中，采用由 Koschmieder 定义的水平气象视距来代替<sup>[5]</sup>。

水平气象视距定义为与 0.55 μm 波长处大气总消光系数成反比关系，即，

$$V = \frac{1}{\beta} \ln \frac{1}{\varepsilon}$$

(1)

此处 β 是大气分子和气溶胶在 0.55 μm 波长处的总消光系数，ε 是对比度域值，等于 1/50，这个值是以人眼最敏感的波长 0.55 μm (绿光)的视觉域为依据。

其中大气消光即大气对物体的辐射有吸收、散射等物理过程，对物体的辐射强度的衰减作用，可表示为：

$$\beta = \gamma + \alpha$$

(2)

式中，α 为吸收系数，γ 为散射系数，γ 主要取决于大气分子或微粒的半径 a 与被散射光的波长 λ 之间的比值关系，当 a << λ 时，为瑞利散射；当 a >> λ 时，为米氏散射。研究发现，影响大气能见度的气溶胶粒子半径主要集中在 0.9~1.2 μm。

对能见度影响最大的因素除气溶胶以外，就是水汽，其表现在遥感光谱中主要就是较强的水汽吸收通道，它对太阳辐射的削弱主要表现在吸收衰减，而其散射作用则远小于吸收作用。主要的水汽的吸收带有 0.70~1.95 μm，2.5~3.0 μm 和

4.9~8.7 μm。

4 MODIS 水汽通道光谱响应特征分析

本文利用 MODTRAN 模式模拟得到分谱辐射率  $L_\lambda$ ，MODIS 各通道辐射率由式(3)式计算得到：

$$\bar{L} = L_{\lambda_1 - \lambda_2} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_\lambda \varphi_\lambda d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varphi_\lambda d\lambda}$$

(3)

式中  $\varphi_\lambda$  是光谱响应函数，含义为对于 MODIS 某一通道，其波长范围为  $\lambda_1 \sim \lambda_2$ ，通过式(3)可以计算该通道相对波长的平均辐射率  $\bar{L}$ ，记为本文中后续提到的通道辐射率。

本文后续提到的路径热辐射辐射率是指在 MODIS 各通道在辐射路径上水汽所产生的红外辐射相对波长的平均辐射率，同样由式(3)计算得到。

根据能见度的大气光学意义以及太阳辐射传输特点，水汽是对能见度有影响的一个主要因子，水汽对太阳辐射的影响主要是吸收消光作用，而散射作用与之相比很小。

图 1 是 1 月份 MODIS 红外波段通道(ch20~ch25, ch27~ch36)通道辐射率与能见度的关系曲线。在图中，几个大气窗区通道在低能见度情况下，通道辐射率对能见度的变化具有一定的敏感性，且基本上与能见度的变化成负相关。几个水汽吸收通道对能见度的变化没有明显响应，这与水汽通道主要反映的是中高层大气水汽状况，不能反映低层大气中水汽有关。由于模拟的是 1 月份冬季的海上辐射情况，冬季海面温度较低，在能见度较好时，低层水汽含量比较少，卫星接收到的辐射就小；在能见度较低的情况下，低层大气中水汽含量比较大，对卫星接收到的辐射的贡献较大，即能见度减小相对应的通道辐射率变大。

图 2 是 1 月份 MODIS 红外通道的通道路径热辐射辐射率与能见度的关系曲线。从图中可以看

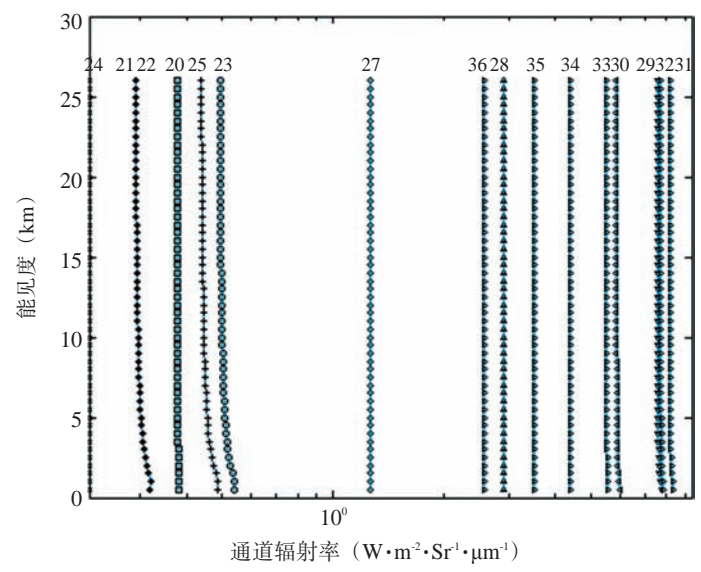


图1 红外通道(20~25,27~36)辐射率与能见度的关系曲线

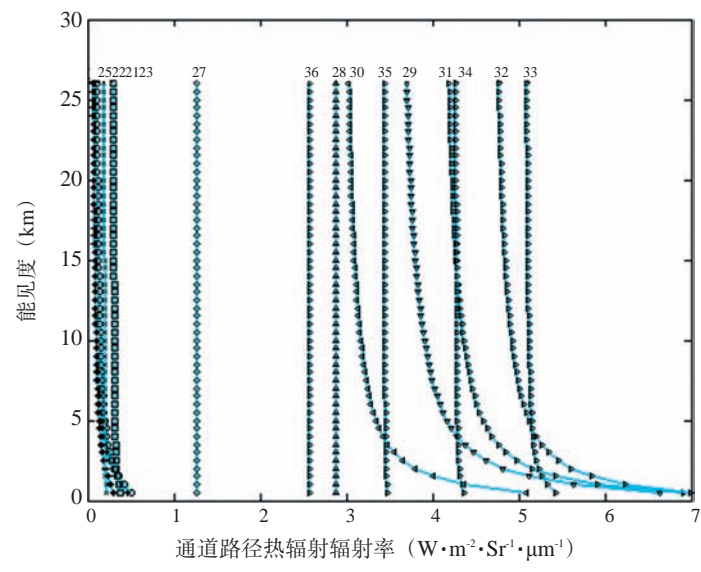


图2 红外通道(2,5~7, 16~19,26)路径热辐射辐射率与能见度的关系曲线

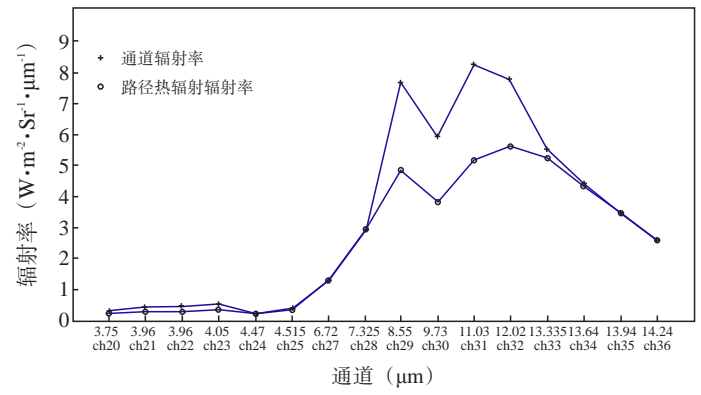


图3 能见度2 km时通道辐射率和路径热辐射辐射率

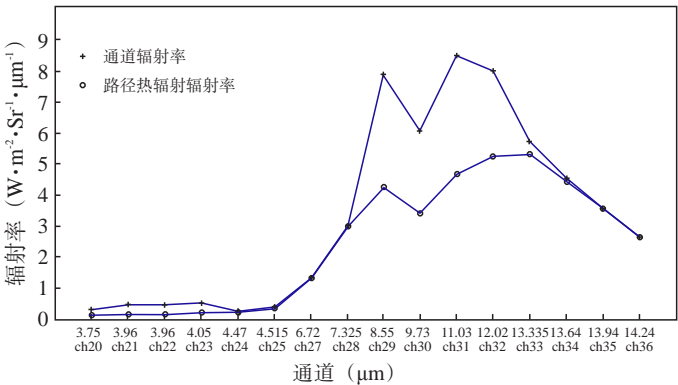


图4 能见度6 km时通道辐射率和路径热辐射辐射率

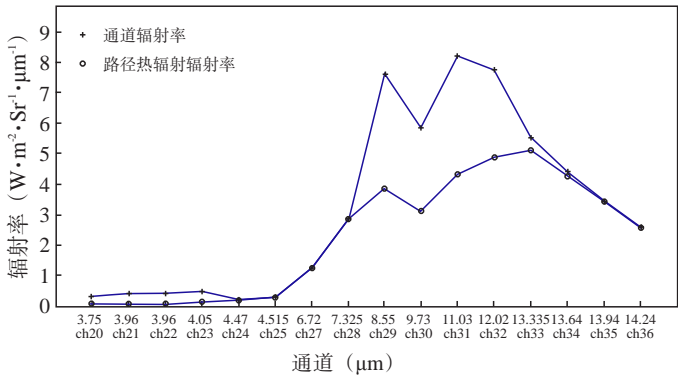


图5 能见度12 km时通道辐射率和路径热辐射辐射率

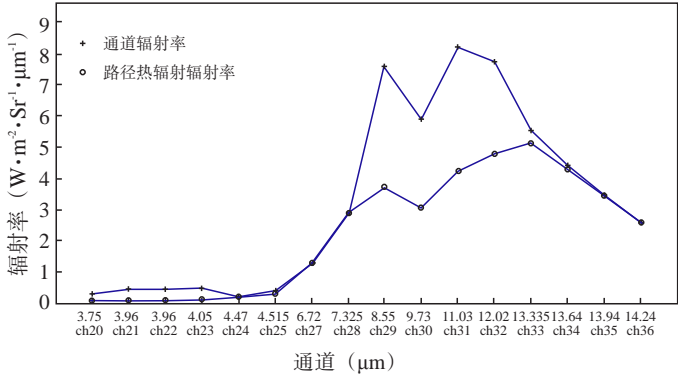


图6 能见度24 km时通道辐射率和路径热辐射辐射率

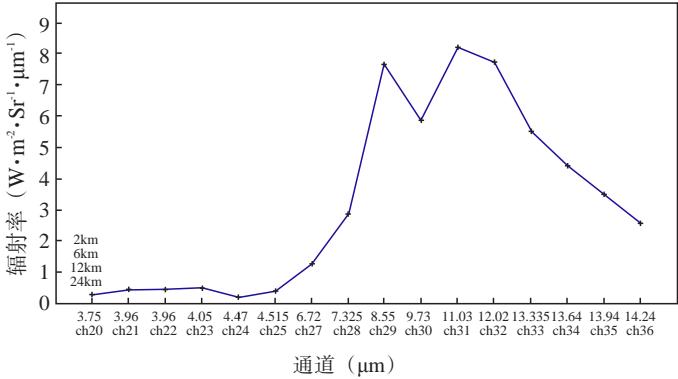


图7 通道辐射率对能见度响应曲线

出, 路径热辐射辐射率和通道辐射率对能见度变化的反映有所差别。

图3给出的是1月份能见度分别在2 km、6 km、12 km和24 km时红外通道通道辐射率和路径热辐射辐射率对比曲线。

从图1和图2可以看到红外波段通道的通道辐射率和路径热辐射辐射率对能见度的敏感性的差异较大的通道是ch20~ch23、ch29~ch32, 而在图3中这几个通道的通道辐射率和路径热辐射辐射率的数值差异也比较大。其中ch20~ch23处于 $3.5\sim 4.1\ \mu\text{m}$ 大气窗区, ch29处于 $8.0\sim 9.2\ \mu\text{m}$ 大气窗区, ch30处于 $9.6\ \mu\text{m}$ 臭氧弱吸收带, ch31和ch32处于 $10.2\sim 12.4\ \mu\text{m}$ 大气窗区, 在这几个通道, 主要是反映低层水汽状况和下垫面性质, 而且在能见度较好时, 下垫面对卫星接收辐射的影响是主要的, 如图5和图6, 能见度大于5 km时, 通道辐射率和路径热辐射辐射率之间的差异就很明显了。

图7是1月份MODIS红外波段通道的通道辐射率对能见度的响应曲线, 表明不同能见度下MODIS红外波段通道的通道辐射率的变化。

从图1可以看出大部分红外波段通道的通道辐射率对能见度的敏感性很弱, 这说明水汽对卫星接收辐射的贡献是比较微弱的。综合图1和图7, ch21、ch22、ch31和ch32对能见度的变化有一定的反映。这几个通道能够反映较低大气层中的水汽状况, 主要以水汽的吸收和放出辐射为主。但可以发现其敏感性在能见度较好的情况下变的很差。由于低能见度多与低云大雾情况相联系, 因此在低能见度情况下, 海面上的低层大气中水汽含量比较高, 其红外辐射也较强, 且随着高度的

增加辐射减弱, 这样卫星接收到的辐射的变化就比较明显, 而当能见度较好时, 大气中水汽较少, 辐射变化不明显, 不能很好地反映能见度的变化情况。

## 5 小结

(1) 通过光谱特征分析, 发现大部分MODIS红外通道对能见度具有很弱的敏感性, 这是由于水汽主要是起到辐射吸收作用, 对卫星所能接收到的辐射的贡献是比较微弱的;

(2) 通过以上对MODIS水汽通道光谱特征与海上能见度相关性分析和研究, 可以表明MODIS红外波段的各个通道中, ch20~ch23、ch31和ch32六个通道的通道辐射率和路径热辐射辐射率对能见度变化的反映较好, 能够反映较低大气层中的水汽状况, 主要以水汽的吸收和放出辐射为主, 在下一步研究中可以用于海上能见度反演通道。

## 参考文献:

- [1] 濮江平.对比法测量气象能见度的理论分析[J].气象科学,1999,9(3):293-297.
- [2] 曾书儿,王改利.能见度的观测及其仪器[J].应用气象学报,1999,5(2):207-212.
- [3] 濮江平,胡宗刚,魏阳春等.能见度自动观测系统性能对比及分析[J].气象科学,2002,3(1):60-70.
- [4] Anderson G P and Berk A. MODTRAN4:Radiative transfer modeling for remote sensing, in algorithms for multispectral, hyperspectral, and ultraspectral imagery VI[J].Proceedings of SPIE, 2000,4049:176-183.
- [5] 周秀骥,陶善昌,姚克亚.高等大气物理学[M].北京:气象出版社,1991:901-910.