

文章编号:1001-9014(2005)05-0037-04

利用 RTTOV7 快速辐射传输模式模拟风云二号红外和水汽成像通道辐射率的研究

马刚^{1,2}, 邱崇践¹, 黎光清², 张凤英²

(1. 兰州大学大气科学学院, 甘肃 兰州 730000; 2. 国家卫星气象中心 北京 100081)

摘要:为使 RTTOV7 能模拟 FY2B 红外、水汽通道辐射率,综合 GENLN2 计算的 6 个卫星天顶角的 $600-3000\text{ cm}^{-1}$ 的精确大气透过率,以及这两个通道的光谱响应函数,采用多元线性回归方法计算出适当的透过率系数.利用新的透过率参数,以相同的大气廓线作输入参量,对 FY2B 和 GMS5 的模拟分析表明,RTTOV7 能得到相似的模拟亮温.利用 ECMWF 预报廓线以及新的透过率参数模拟 FY2B 水汽和红外亮温与实际观测的误差对比分析表明该模式能在短时间内以较高的精度模拟该卫星通道的辐射观测.

关键词:快速辐射传输模式;风云二号红外和水汽通道;辐射率;透过率
中图分类号:P407.6 **文献标识码:**A

STUDY OF SIMULATION ON RADIANCE FROM INFRARED AND WATER VAPOR CHANNEL OF FY2B BY A FAST FORWARD MODEL-RTTOV7

MA Gang^{1,2}, QIU Chong-Jian¹, LI Guang-Qing², ZHANG Feng-Ying²

(1. Atmospheric scientific institute of Lanzhou University, Lanzhou 730000, China;
2. National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081, China)

Abstract: In order to simulate the radiance of infrared and water vapor channels of FY2B with RTTOV, a multi-variables linear regression was used to produce transmittances by using spectral response functions of these channels and a precise transmittances database of $600-3000\text{ cm}^{-1}$ generated from GENLN2 at 6 viewing angles. When the same atmospheric profile and the new coefficients were put into RTTOV, simulation of FY2B and GMS showed that similar channel radiances were obtained. The comparative analysis of the deviation between the simulated radiances obtained with the profiles from ECMWF model forecast and the new coefficients for FY2B in RTTOV and the real observation for infrared and water vapor channels of FY2B indicate that the satisfying precise of radiances can be obtained within very short time.

Key words: fast forward model-RTTOV7; infrared and water vapor channel of FY2B; radiance; transmittances

引言

大气透过率模式是卫星遥感辐射传输的核心,在卫星资料处理及应用中起着重要作用.目前,在大气遥感中使用参数化(或解析)透过率模式,称为快速模式.利用典型的大气温湿度廓线以及对应的精确透过率,线性回归模式的透过率系数;再将实时廓线输入计算对应的大气透过率.30多年前,L. M. McMillin 等^[1,2]研究了计算均匀混合气体和可变混

合气体的快速模式.

RTTOV 对给定模式初始参量,沿着卫星观测方向,RTTOV 利用参数化的预报因子与透过率系数将分子辐射吸收和传输机制用线性关系表达.而卫星通道光谱响应函数、不同吸收成分的吸收、传输等都包含在此透过率系数中^[3],这不仅极大的节约了计算时间,也简化了模式的初始输入.随着更多的气象卫星^[4,5]探测器投入使用,新近的 RTTOV 已能模拟多种卫星的红外和微波探测资料.

收稿日期:2005-02-22,修回日期:2005-06-30

基金项目:国家自然科学基金项目的资助(40305003)

作者简介:马刚(1972-),男(回族),北京人,国家卫星气象中心研究所硕士,主要从事气象卫星资料在数值预报模式中同化应用研究.

Received date: 2005-02-22, revised date: 2005-06-30

1 模式分析

对无散射晴空红外大气辐射传输方程^[6]

$$L^{clr}(v, \theta) = \tau_s(v, \theta) \varepsilon_s(v, \theta) B(v, T_s) + \int_{\tau_s}^1 B(v, T) d\tau + (1 - \varepsilon_s(v, \theta)) \tau_s^2(v, \theta) \int_{\tau_s}^1 \frac{B(v, T)}{\tau^2} d\tau, \quad (1)$$

ε_s 为地表发射率, T 是模式层平均温度, 下标 s 为地表变量. $B(v, T)$ 为 Planck 函数. 对单色大气透过率, 有:

$$\tau(v, T, \theta, p) = \exp[-(q \sec \theta / g)] \int_0^p k(v, T, p') dp', \quad (2)$$

由于卫星通道覆盖多达几十到几百波数的光谱宽度, 通道平均透过率定义为通道光谱范围内单色透过率与通道光谱响应函数的卷积, 即:

$$\bar{\tau}_i(\sigma v) = \int_{\sigma v} \tau_i(v) \phi(v) dv \quad (3)$$

此处, $\phi(v)$ 为光谱区间 σv 内正交化的光谱响应函数. 给定温度 T 作参考变量, 经 δp 扰动后气压层大气透过率的 Taylor 展开^[2]. 由于气压层 j 到大气层顶的大气透过率与相应的光学厚度可以相互转化:

$$\tau_{v,j} = \exp(-|d_{v,j}|) \quad (4)$$

对光学厚度进行多元线性展开^[7], 获得均匀混合气体、水汽和 O_3 的不同通道的等压层光学厚度的线性展开:

$$d_{i,j} = d_{i,j-1} + \sum_{k=1}^K a_{i,j,k} X_{k,j} \quad (5)$$

其中, $a_{i,j,k}$ 为透过率计算系数, $X_{k,j}$ 为预报因子^[3].

2 透过率系数的计算

1) 精确单色透过率的计算

FY2B 红外通道的光谱宽度从 770 cm^{-1} 到约 1000 cm^{-1} , 中心波数为 898 cm^{-1} , 水汽通道的光谱宽度从 1250 cm^{-1} 到 1670 cm^{-1} , 中心波数为 1482 cm^{-1} . 根据 RTTOV7 定义的大气分层, 利用逐线模式 GENLN2 在 $500 - 3000 \text{ cm}^{-1}$ 范围内对均匀混合气体、水汽和 O_3 以及具有全球代表性的 43 条大气温湿廓线和 34 条 O_3 廓线, 计算从 1013.25 hPa 到 0.1 hPa 的 43 个等压面、6 个天顶角 (0° 到 64°) 的精确透过率, 光谱分辨率为 0.25 cm^{-1} .

2) 精确光谱透过率计算

GENLN2 对不同吸收成分计算各自精确的大气透过率. 但实际上每一波数的大气吸收与发射都是由多种吸收成分共同作用的. RTTOV7 将大气吸收成分分为均匀混合气体 (O_2 、 CO_2 、 N_2O 、 CO 、 N_2 等)、水汽和 O_3 . 对受水汽和均匀混合气体共同影响的通道, 有效水汽透过率定义为总透过率与均匀混合气体透过率之比. 同理可得 O_3 的有效透过率. 于是精确光谱透过率可以表示为:

$$\tau_{v,j}^{tot} = \tau_{v,j}^{mix} \frac{\tau_{v,j}^{mix+mv}}{\tau_{v,j}^{mix}} \frac{\tau_{v,j}^{mix+mv+oz}}{\tau_{v,j}^{mix+mv}} \quad (6)$$

其中, τ^{mix} 为均匀混合气体的透过率, τ^{mix+mv} 为均匀混合气体和水汽的光谱透过率, $\tau^{mix+mv+oz}$ 为三中吸收成分的光谱透过率.

3) 精确通道透过率的计算

从精确光谱的大气透过率到计算精确的通道大气透过率还须仪器的光谱响应函数. 图 1 为 FY2B 红外和水汽通道的光谱响应函数. 这种成像通道的光谱宽度大, 每个都覆盖了几百个波数, 通道光谱响

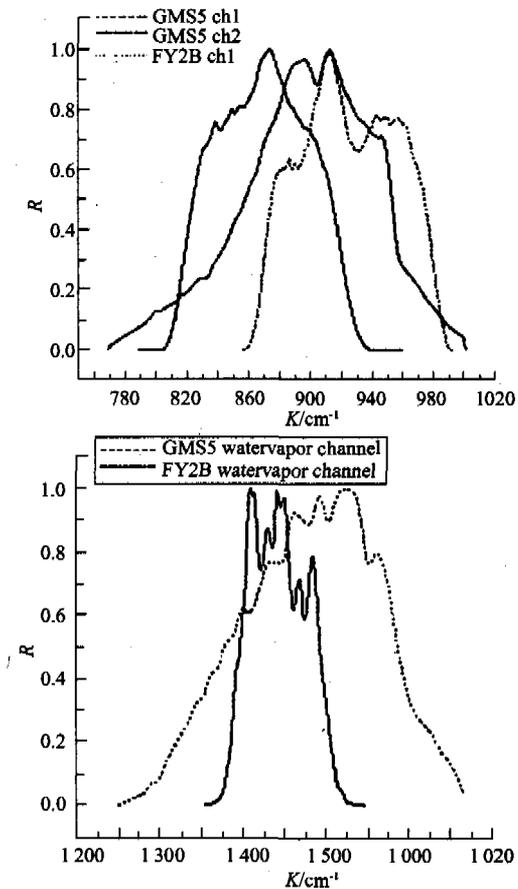


图 1 FY2B 红外和水汽通道与 GMS5 相应通道光谱响应函数 R 的对比
Fig.1 Comparison of the filter function from the infrared and water vapor channels of FY2B to GMS5's

应随波数的变化而变化.因此,需要先用卫星通道的光谱响应函数与精确光谱透过率进行卷积以获得卫星通道透过率式(3).

4) 透过率系数的计算

根据式(5),将通道透过率的表达分为基于吸收成分的透过率系数和依赖于大气垂直状态的预报因子.根据全球气候典型的 43 条大气温湿廓线和 34 条 O_3 廓线确定 6 个卫星天顶角时的预报因子,利用由这些廓线积分的精确大气透过率,并根据式(5)可以计算出回归系数 $a_{i,j,k}$.

3 实验分析

1) 光谱响应函数的对比分析

GMS5 的水汽通道(图 1 右图)的两个峰值分别位于 1410 cm^{-1} 和 1440 cm^{-1} , FY2B 的峰值为 1490 cm^{-1} 和 1520 cm^{-1} . FY2B 红外通道的峰值(895 cm^{-1})位于 GMS5 的两个红外通道(峰值分别为 875 cm^{-1} 和 915 cm^{-1})之间.因此,根据 FY2B 与 GMS5 的这几个通道光谱响应的对应关系,可以通过 RTTOV7 对二者相应通道的模拟资料进行对比分析.

2) 模拟的对比分析

利用 RTTOV7 模拟卫星的通道亮温(表 2),尽管二者光谱宽度与光谱响应不同,但是对应通道(其中 FY2B 的红外通道对应 GMS5 的红外 2 通道)的晴空亮温基本相同.而水汽通道 3K 的差异,分析认为,这种差异主要由于二者通道光谱宽度存在大的差异(FY2B 的水汽通道光谱宽度大于 400 cm^{-1} , GMS5 的水汽通道宽度小于 200 cm^{-1}),以及二者光谱响应的能量峰值位置不同造成的.

表 1 利用 RTTOV7 和热带大气廓线对 FY2B 与 GMS5 相应通道的正演模拟

Table 1 Simulated brightness temperature to channels of FY2B and GMS5 with RTTOV7 and tropical profile

		Ch 1	Ch 2	Ch 3
晴空大气亮温(K)	Fy2b VISSR	293.9		251.72
	GMS5 IMAGER	294.59	293.35	254.51

3) FY2B 红外、水汽通道对吸收成分的敏感性分析

试验使用典型热带大气廓线;敏感性试验考虑 RTTOV7 三种吸收成分的变化对 FY2B 红外和水汽通道亮温的影响.由于温度变化直接反映均匀混合气体的状态,因此可采用温度、水汽和 O_3 扰动廓线进行计算,其中温度扰动廓线为 -1 K ;水汽和 O_3 扰动为基本状态廓线的 -1% .

图 3 为 FY2B 两个通道对温度、水汽和 O_3 的敏感性分析.由图可见,所有通道对温度都是敏感的,在所有等压面上亮温偏差从 0.08 到 0.13 K ,而水汽扰动导致的亮温变化最大为 0.013 K 左右.相比之下,通道对水汽比对温度的敏感度几乎小一个量级. O_3 的扰动对亮温影响约为 $1 \times 10^{-6}\text{ K}$.与前两种吸收成分相比, O_3 廓线的精确与否对这两个通道的模拟精度没有大的影响.

4) FY2B 红外观测资料的模拟

图 3(左图)为 2001 年 10 月 20 日 00UTC FY2B 观测的亮温分布,右图为利用 RTTOV7 和该时刻 ECMWF 分析场模拟值与实际观测的偏差.在大部分区域的模拟亮温与实际值的偏差都分布在较小范围内.但在沙漠等地形上二者具有较大的偏差.对模式的分析认为,这些偏差较大的主要是由于 RT-

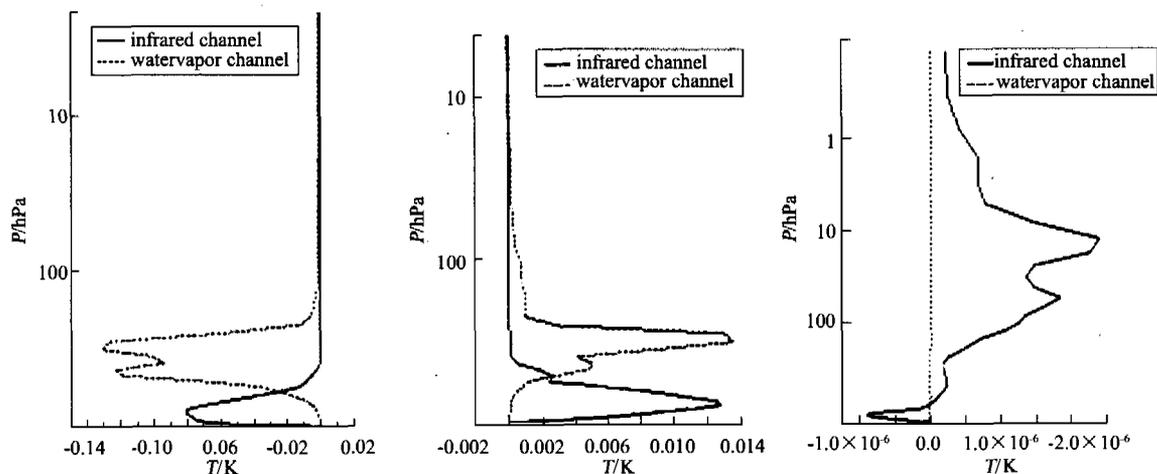


图 2 FY2B 红外和水汽通对均匀混合气体、水汽和 O_3 的敏感性分析

Fig. 2 Sensitivity to the infrared and water vapor channel of FY2B for mixed gas, water vapor and ozone

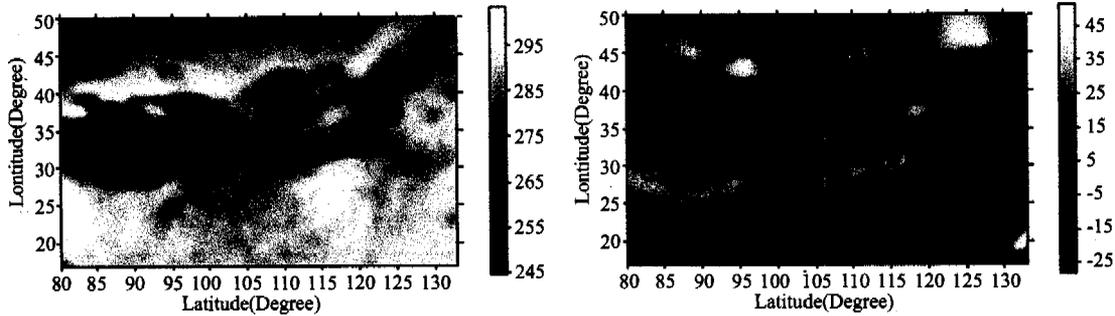


图3 FY2B 红外通道实际观测(左图)和 RTTOV7 模拟(右图)的比较

Fig.3 Simulated brightness temperature from RTTOV7 for the infrared channel (right) and the observations from FY2B (left)

TOV7 模式中地表面发射率采用简单的参数化模块(需详细参数才能精确确定)。

4 结论

通过分析透过率的数值近似分析指出, RTTOV7 是建立在对连续的核函数进行多元线性多项式展开基础上的. 将核函数分为与实际大气状态相关的预报因子和与大气吸收、放射等相关的透过率系数, 并加入经验或敏感的订正因子. 依据逐线模式提供的精确大气透过率、具有代表性的大气廓线以及卫星通道的光谱响应函数, 采用多元线性回归方法确定大气透过率系数, 使 RTTOV7 能根据实际廓线正演不同卫星的通道亮温。

对 FY2B 与 GMS5 红外和水汽通道的分析表明, 由于二者光谱性能基本相当, 模式的正演模拟也基本一致. 利用热带大气廓线的模拟表明, FY2B 两个通道对温度的变化更为敏感, 对 O_3 的变化几乎没有影响. 利用实际卫星观测和模拟亮温进行对比: RTTOV7 对晴空模拟结果较好, 但由于模式地表发射率参数化方案粗糙, 使在特定地形上模拟偏差较大。

REFERENCES

[1] McMillin L, Fleming H E, Atmospheric transmittance of an

absorbing gas; a computationally fast and accurate transmittance model for absorbing gases with constant mixing ratios in inhomogeneous atmospheres [J], *Appl. Opt.*, 1976, **15** (2): 358—363.

[2] McMillin L, Fleming H E, Hill M L. Atmospheric transmittance of an absorbing gas. 3: a computationally fast and accurate transmittance model for absorbing gases with variable mixing ratios [J], *Appl. Opt.*, 1979, **18** (10): 1600—1606.

[3] Saunders R, Matricardi M, Brunel P. An improved fast radiative transfer model for assimilation of satellite observations [J]. *QJRM*, 1999b, **125**: 1407—1425.

[4] YANG Zhong-Dong, DU Song-Yan, QIU Hong, et al. Research on the algorithm of cross calibration about irrms aboard on chers [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (杨忠东, 谷松岩, 邱红, 等. 中巴地球资源一号卫星红外多光谱扫描仪交叉定标方法研究, *红外与毫米波学报*), 2003, **22** (4): 281—285.

[5] QI Cheng-Li; DONG Chao-Hua; ZHANG Wen-Jian, et al. Atmospheric transmittance calculation of infrared spectral radiometer to be onboard FY-3A meteorological satellite [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (漆成莉, 董超华, 张文建, 等. 风云三号(A)气象卫星红外分光计大气透射率计算试验, *红外与毫米波学报*), 2005, **24**(3): 203—206.

[6] Saunders R, Matricardi M. A fast forward model for ATOVS (RTATOV) [R]. Austria, Technical Processings of the Ninth International TOVS Study Conference, February, 1997: 20—26.

[7] Eyre J R, Woolf H M. Transmittance of atmospheric gases in the microwavw region: a fast model [J], *Appl. Opt.*, 1988, **27** (15): 3244—3249.