

水汽吸收和下垫面发射率对晴空大气红外窗区遥感影响的综合分析

巴桑¹, 许丽生^{2*}, 刘海磊², 丁继烈², 邓小波², 刘志红³

(1. 西藏气象局西藏高原大气环境科学研究所, 西藏 拉萨 850000; 2. 成都信息工程学院电子工程系/ 大气探测重点开放实验室, 大气辐射与卫星遥感实验室, 四川 成都 610225; 3. 成都信息工程学院遥感应用研究中心, 四川 成都 610225)

摘要:从数学上探讨了晴空大气红外窗区通道遥感陆面特性水汽吸收和陆面发射率的综合影响。首先, 基于辐射传输方程推导出大气水汽含量和陆面发射率(ε)引起红外窗区通道遥感陆面亮温(T_g)变化的数学表达式, 指出红外辐射在传输过程中水汽吸收衰减的影响主要是引起大气透过率的变化; 分析了在高温高湿和低温干燥等不同地区, 红外窗区通道的大气透过率所受到的不同程度的衰减, 以及水汽吸收衰减和陆面发射率对不同的红外窗区通道的影响。此外, 还建立了一个红外窗区通道遥感陆面温度与地面亮温差 $\Delta T = (T_s - T_{g, i \max})$ 与水汽含量变化 Δq 和陆面发射率 ε 的二元多项式拟合方程, 进一步分析大气水汽含量和陆面发射率对不同的红外窗区通道遥感的影响; 指出红外短波窗区通道不但受太阳辐射污染严重, 而且受陆面发射率变化的影响激烈, 特别是在寒冷干燥的亚北极冬季。最后强调, 为了精确地反演陆面温度, 最好采用热红外窗区通道; 必须考虑大气订正, 特别是在高温高湿区; 同时应该考虑陆面发射率等因子的作用。

关键词:红外窗区通道; 陆面温度遥感; 辐射传输; 水汽吸收; 陆面光谱发射率

中图分类号: P407 文献标识码: A 文章编号: 1672- 0504(2011)02- 0041- 05

0 引言

陆面温度(LST)是研究区域和全球尺度陆地表面物理过程的一个关键参数, 在地球科学等多学科领域中均有重要的应用。与遥感反演洋面温度(SST)相比, LST 的卫星遥感反演要复杂和困难得多, 这是国际上一个具有挑战性的热门研究课题^[1]。从空间遥感 LST 等下垫面信息, 应该选择红外窗区通道。红外窗区通道遥感主要受到大气衰减、地面发射率(LSE)和卫星观测角等因子的影响^[2- 5]。关于大气的影 响, 在红外窗区, 对晴空大气而言主要是水汽吸收衰减。不少学者对下垫面温度的反演(包括洋面和陆面)进行了分析^[3, 6- 8], 但由于陆面的辐射特性(包括 LST 和 LSE 等)与大气错综复杂地耦合和相互作用, 仍需进行深入研究。本文重点分析红外窗区通道遥感 LST 等陆面特性时, 水汽吸收衰减和 LSE 对其综合影响: 首先从理论上推导出水汽吸收和 LSE(ε)对卫星热红外窗区通道遥感陆面亮温变化的数学表达式; 然后分析水汽含量与 LST 的关系, 并通过辐射传输计算, 进一步分析大气水汽含量和地面 ε 对不同的红外窗区通道的综合影响。

1 红外窗区的辐射传输方程

典型的大气红外窗区通道位于 $3.5 \sim 4.2 \mu\text{m}$ 、 $8 \sim 9 \mu\text{m}$ 和 $10 \sim 13 \mu\text{m}$, 前者称为红外短波窗区(W1), 后两者称为红外长波窗区(W2)。大气的两个红外窗区通道在大气顶(TOA)的辐亮度分别由下列两个辐射传输方程表示^[9, 10], 在晚上:

$$I_k^{\text{TOA}} = \varepsilon_k \tau_k(\theta) B_k(T_s) + I_k^{\uparrow}(\theta) + (1 - \varepsilon_k) \tau_k(\theta) I_k^{\downarrow} \quad (1)$$

式中: $k = i, j$, r (i, j 表示 W2 通道, r 表示 W1 通道), I_k^{TOA} 表示通道在大气顶的辐亮度, $B_k(T_s)$ 是 Planck 函数, T_s 是地面温度, $I_k^{\uparrow}(\theta)$ 是大气向上的程辐射, θ 为卫星观测角, $I_k^{\downarrow}$ 是大气向下的通道辐亮度, τ_k 表示大气透过率, ε_k 表示地面光谱发射率。

在白天, W1 的通道还需考虑对太阳辐射的反射和散射以及向下的太阳漫射辐射的贡献, 故辐射传输方程为:

$$I_k^{\text{TOA}} = \varepsilon_r \tau_r(\theta) B_r(T_s) + I_r^{\uparrow}(\theta) + (1 - \varepsilon_r) \tau_r(\theta) I_r^{\downarrow} + \tau_r(\theta_{\text{sun}}) E_{\text{sun}}^{\text{TOA}} \cos(\theta_{\text{sun}}) ((1 - \varepsilon_r)/\pi) Fr(\theta, \theta_{\text{sun}}, \varphi) \tau_r(\theta) + \tau_r(\theta, \theta_{\text{sun}}, \varphi) E_{\text{sun}}^d(\theta, \theta_{\text{sun}}, \varphi) ((1 - \varepsilon_r)/\pi) Fr(\theta, \theta_{\text{sun}}, \varphi) \tau_r(\theta) + E_{\text{sun}}^s(\theta, \theta_{\text{sun}}, \varphi) \quad (2)$$

式中: $E_{\text{sun}}^{\text{TOA}}$ 是通道 r 在大气顶的太阳光谱辐照度, θ_{sun} 是局地太阳天顶角, $\tau_r(\theta_{\text{sun}})$ 是沿太阳光线的通道透过率, $Fr(\theta, \theta_{\text{sun}}, \varphi)$ 是地面的角因子, φ 是卫星与太

收稿日期: 2010- 07- 13; 修订日期: 2010- 09- 15

基金项目: 风云三号卫星应用系统工程建设项 目(FY3- PGS- 0603); 西藏气象局与成都信息工程学院局校合作项目(西藏自治区气象 局藏气函[2008]144 号)

作者简介: 巴桑(1965-), 女, 副研究员, 主要从事高原大气环境遥感研究。* 通讯作者 E- mail: xulisheng@cuit.edu.cn

阳方位角之差, $E_{\text{sun}}^d(\theta, \theta_{\text{sun}}, \varphi)$ 是太阳向下的漫射辐射, $E_{\text{sun}}^s(\theta, \theta_{\text{sun}}, \varphi)$ 是散射太阳的程辐射。

显然,在白天应用 W1 通道要考虑的物理过程和计算比应用 W2 通道复杂,因为,对于 W2 通道,只需考虑方程(1)。为了考察不同波长的红外窗区通道的特性,用 MODTRAN 4v2.1 对 3 种不同的大气模式进行辐射传输的计算。参考几种典型的传感器,即 FY-3 VIRR、AVHRR、VIIRS(The Visible/Infrared Imager/Radiometer Suite installed on NPOESS (National Polar orbiting Operational Environmental Satellite System))、MODIS 和 ASTER(Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer is an imaging instrument flying on Terra),考虑以下 5 个红外窗区通道: 3.75 μm 、4.005 μm 、8.55 μm 、10.8 μm 和 12 μm 。

2 大气水汽吸收和陆面发射率的影响

2.1 卫星遥感陆面亮温变化的数学表达式

在热红外波段范围内,大气向下的辐射量小于地面本身的辐射,并且地面本身反射的能量也较小,因此可以把地面假定为朗伯面^[11]。如果光谱发射率的变化很小,且传感器的带宽足够小,则在晴空大气条件下,星上传感器接收到的辐亮度可近似地由式(1)表示,并可改写为:

$$I_i - I_i^{-1} = \tau_i [\varepsilon_i B_i(T_s) + (1 - \varepsilon_i) I_i^{-1}] \tag{3}$$

式中: I_i 为星上传感器测得的辐亮度, i 表示通道数。

设 $T_{g,i}$ 表示通道 i 在地面的亮温, $B_i()$ 为 Planck 函数,则从式(3)得^[12]:

$$B_i(T_{g,i}) = \frac{I_i - I_i^{-1}}{\tau_i} \tag{4}$$

由式(3)和式(4)得:

$$B_i(T_{g,i}) \approx \varepsilon_i B_i(T_s) \tag{5}$$

Tonooka 利用天底角的大气程辐射与向下辐射之间的线性和二次函数关系近似估算向下辐射,获得了较好的效果^[12,13]。本文则假定:

$$B_i(T_s) = a_2^i T_s^2 + a_1^i T_s + a_0^i \tag{6}$$

$$B_i(T_{g,i}) = a_2^i T_{g,i}^2 + a_1^i T_{g,i} + a_0^i \tag{7}$$

式中: a_2^i 、 a_1^i 和 a_0^i 为常数,用全球同化资料对 FY-3 W2 的两个窗区通道(通道 4 和 5)的遥感进行回归分析,得 a_2^4 、 a_1^4 和 a_0^4 分别为 0.0006、-0.2135、20.1108; a_2^5 、 a_1^5 和 a_0^5 分别为 0.0004、-0.1412、12.0366。

设陆面为灰体,则:

$$\varepsilon_i^{-1} (a_2^i T_{g,i}^2 + a_1^i T_{g,i} + a_0^i) = A_i \tag{8}$$

由式(5)~式(8)得:

$$a_2^i T_s^2 + a_1^i T_s + a_0^i - A_i = 0 \tag{9}$$

由式(9)得:

$$T_s = -a_1^i / (2a_2^i) \pm [(a_1^i)^2 - 4a_2^i(a_0^i - A_i)]^{1/2} / (2a_2^i) \tag{10}$$

根据 EMC/WVD(扩展的多通道/水汽依赖关系)算法^[7,12],设 $T_{g,i}$ 与水汽的关系为:

$$T_{g,i} = (c_2^i w^2 + c_1^i w + c_0^i) T_i \tag{11}$$

式中: c_2^i 、 c_1^i 和 c_0^i 为常数,对于 FY-3 通道 4: c_2^4 、 c_1^4 和 c_0^4 分别为 4.7448×10^{-5} 、0.0037 和 1.0009; 通道 5: c_2^5 、 c_1^5 和 c_0^5 分别为 -1.8412×10^{-4} 、0.0068 和 1.0014; T_i ($i=4,5$) 为星上传感器测得的亮温。

由式(5)和式(7)可得:

$$(2a_2^i T_{g,i} + a_1^i) \Delta T_{g,i} = \Delta \varepsilon_i B_i(T_s) \tag{12}$$

$$(2a_2^j T_{g,j} + a_1^j) \Delta T_{g,j} = \Delta \varepsilon_j B_j(T_s) \tag{13}$$

由式(12)和式(13)可得:

$$\frac{\Delta T_{g,i}}{\Delta T_{g,j}} = \frac{(2a_2^j T_{g,j} + a_1^j) \Delta \varepsilon_i}{(2a_2^i T_{g,i} + a_1^i) \Delta \varepsilon_j} \tag{14}$$

由式(11)和式(14)可得:

$$\frac{\Delta T_{g,i}}{\Delta T_{g,j}} = \frac{[2a_2^j (c_2^j w^2 + c_1^j w + c_0^j) T_j + a_1^j] \Delta \varepsilon_i}{[2a_2^i (c_2^i w^2 + c_1^i w + c_0^i) T_i + a_1^i] \Delta \varepsilon_j} \tag{15}$$

式(15)表明,在热红外通道,大气的衰减影响主要来自水汽的吸收(不同的水汽含量)以及陆面发射率的影响。正是因为大气水汽含量和陆面发射率引起热红外窗区通道探测地面亮温的变化,给 LST 的反演带来误差。

2.2 大气水汽影响分析

图 1 揭示了大气水汽含量影响的物理实质,水汽含量最小(0.41244 g/cm^2)的 1 月份,红外窗区通道的大气透过率受到的衰减最小,而水汽含量最大(4.9576 g/cm^2)的 7 月份,大气透过率受到的衰减最严重。所以,晴空大气 LST 反演的误差主要由不同的水汽含量引起大气透过率的变化而造成。

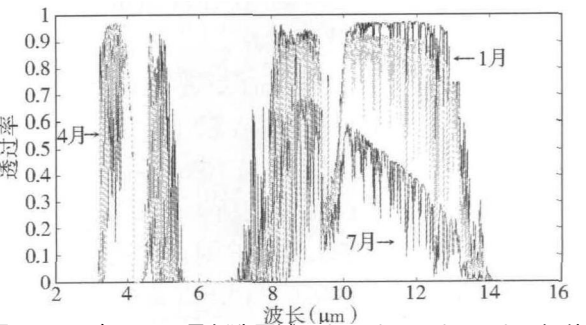
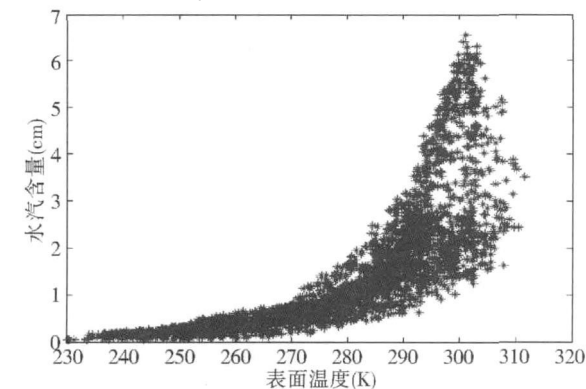


图 1 2007 年 1、4、7 月任选区域(32°~37°N, 112°~117°E)红外谱区 3.0~14.0 μm 月均大气透过率随波长的变化
Fig. 1 Monthly mean atmospheric transmittances change with wavelengths in the infrared spectral region 3.0~14.0 μm in the area (32°~37°N, 112°~117°E) in January, April and July of 2007

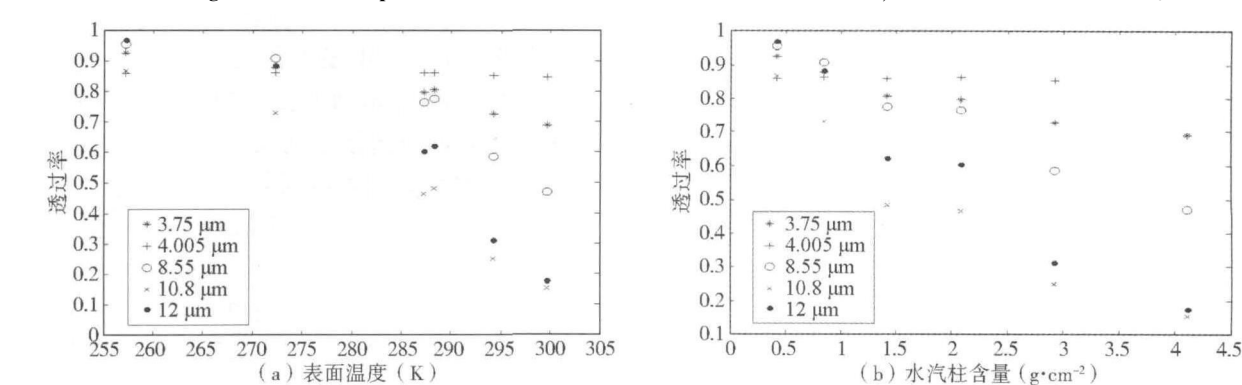
图 2 给出大气水汽含量与地面温度的关系。显然,地面温度较高的地区($T_s > 280 \text{ K}$)大气水汽含量也较高。此外,在低温区,水汽含量分布较集中;在高温区,水汽含量分布较分散、较宽。因此,在高

温区和炎热的季节, 反演 LST 的误差较大, 大气订正显得更加重要。



注: 用 NOAA IPO (Integrated Program Office) 2 415 组数据绘出, 详见 <http://www.ipnoaa.gov>。

图 2 大气水汽含量与地面温度的关系
Fig. 2 Atmospheric total column water vapor change with surface temperature



注: 地面发射率 ϵ 取 0.98。 (a) 中从左到右水汽含量分别是: $0.42 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$ 、 $0.85 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$ 、 $2.08 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$ 、 $1.42 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$ 、 $2.92 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$ 和 $4.11 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$; 对应的地面温度分别是: 257.2 K、272.2 K、287.2 K、288.2 K、294.2 K 和 299.7 K。当 ϵ 分别为 0.95 和 0.93 时, 均有类似的结果。

图 3 不同红外窗区通道的透过率随地面温度和大气柱水汽含量的变化

Fig. 3 The transmittances of different IR window channels change with surface temperature and total column water vapor

2.3 水汽含量和陆面发射率影响的综合分析

方程 (15) 给出水汽吸收和陆面发射率对热红外窗区通道亮温变化影响的数学表达式。笔者进一步综合分析水汽吸收和陆面发射率对不同的红外窗区通道遥感时陆面温度与地面亮温差 $\Delta T = (T_s - T_{g, \max})$ 的影响。设模式大气水汽含量的扰动量为 q , 可建立温差 $\Delta T = (T_s - T_{g, \max})$ 与 Δq 和 ϵ 的二元多项式拟合方程:

$$f(x, y) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij} (x - \bar{x})^{i-1} (y - \bar{y})^{j-1} \quad (16)$$

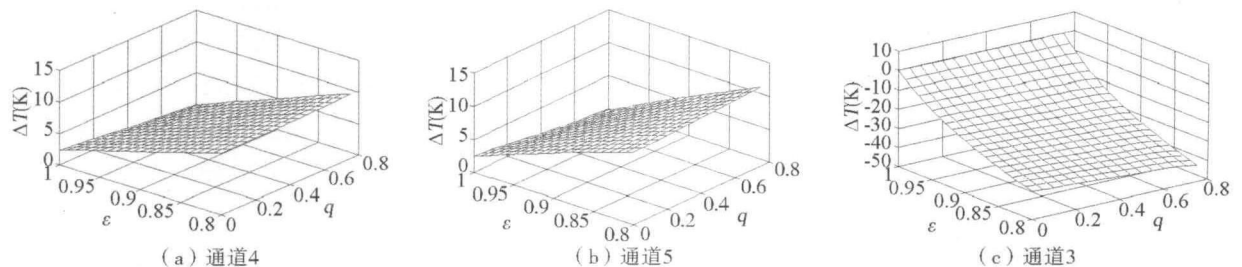


图 4 热带大气陆面温度与 FY-3 3 个红外窗区通道探测的地面亮温差 ΔT 随大气水汽扰动量 q 和陆面发射率 ϵ 的变化
Fig. 4 The temperature differences between LST and the brightness temperature of the FY-3 three IR window channels change (ΔT) with the perturbations of water vapor q (negative) and land surface emissivity ϵ in tropical atmosphere

由于大气水汽含量与地面温度关系密切, 本文进一步考察 W1 和 W2 的 5 个红外窗区通道的透过率随陆面温度和水汽含量的变化。如图 3a 所示, 在高温地区 (285~ 310 K), W2 窗区的 3 个通道 (特别是 10.8 μm 和 12 μm) 的透过率随温度升高显著减少, 其数值多小于 0.8; 而 W1 窗区 4.005 μm 的透过率比较稳定, 随地面温度变化较小, 均在 0.8 以上。图 3b 表示 5 个红外窗区通道的透过率随大气柱水汽含量 (PW) 变化的情况, 有相似的结果, 从而进一步证实了图 3a 所揭示的事实。

上述分析表明, 水汽吸收衰减对不同的红外窗区通道大气透过率变化的影响不同, 短波窗区通道受大气柱水汽含量 (或陆面温度) 变化的影响比长波窗区通道所受影响要小, 特别是 4.005 μm 通道。

式中: x 表示 q , y 表示 ϵ 。对热带大气模式, FY-3 红外窗区通道 Ch3、Ch4 和 Ch5 遥感探测拟合的结果如图 4 所示。

设大气柱水汽含量为 PW_0 , 图 4 的水汽扰动量 q 为负值, 则扰动后的水汽含量 $PW = (1 - q) PW_0$ 。图 4 表明, 大气水汽含量和 ϵ 的变化对 FY-3 红外窗区通道遥感 LST 的影响很大。对 W2 窗区通道 4、5, 当 ϵ 接近 1 时, 随着水汽含量增加 (q 的绝对值减少), 温差 ΔT 增大, 特别是对通道 5, 差别更大。另

一方面,随着 ε 的减少, ΔT 迅速增大。而且图 4 进一步表明, W1 窗区通道 3 与 W2 窗区通道 4、5 最大的不同在于,对通道 3 几乎所有 ΔT 都是负值;随着 ε 的减少, ΔT 负值迅速增加。因此,与通道 4、5 的情况相比,通道 3 的 ΔT 随 ε 呈现“反相”变化。此外,陆面 ε 的变化对 ΔT 的影响比水汽含量变化的影响要大得多。因此,水汽含量和 LSE 对红外窗区通道遥感陆面温度的影响很复杂。

对中纬度夏季和亚北极冬季模式大气的情况进行计算,结果与上述热带模式大气的情况相似,并具有以下特点:1) 随着大气水汽含量的增加和 LSE 的减少, W2 窗区通道 4、5 的 ΔT 在水汽含量最丰富的热带最大,在水汽含量很少的亚北极冬季最小;2) 在亚北极冬季, W1 窗区通道 3 的 ΔT 随 ε 的减少向负值迅速增大的程度更严重,如当 ε 减到接近 0.8 时, ΔT 可达到 -100 K,即 T_s 与 $T_{g, i \max}$ 差别很大。这表明,红外短波窗区通道受地面发射率变化的影响要激烈得多,特别是在干燥寒冷的亚北极冬季。

上述结果综合反映了地面温度、大气水汽含量和陆面发射率等因子对不同的红外窗区通道遥感复杂的影响。

2.4 讨论

文献[14]讨论了太阳辐射对 AVHRR 红外窗区通道遥感的影响,笔者的研究也表明,陆面对太阳短波辐射的反射曲线与其发射的红外长波辐射曲线相交于 $\lambda = 3.8 \mu\text{m}$ 处。因此,如式(2)所示,在白天, W1 窗区通道的辐射特性不但受到大气水汽、气溶胶、陆面温度和陆面发射率的影响,还受到太阳短波辐射的影响,这些因子的综合作用,使 W1 窗区通道的行为与 W2 窗区通道的行为具有很大的差异。而波长位于 $8.0 \sim 14.0 \mu\text{m}$ 的 W2 窗区,气溶胶的影响和太阳短波辐射的污染则很弱。

此外,陆面向上的辐射还与卫星观测角 θ 有关,这使得精确地描述陆面与卫星传感器之间的辐射传输进一步复杂化^[15, 4]。因为与洋面不同,陆面的物质构成、几何特性以及光谱发射率等均具有高度的变异性,并随着卫星观测角的增大而产生显著的变化,如 LSE 会随着卫星观测角而产生变化,倾斜的观测角导致信号减弱^[16]或信号变异^[17]。再者,大气光程长也随卫星观测角而变化, θ 角偏离 0° 太大,水汽分子对辐射的吸收衰减和气溶胶的影响都会增大。因此,为了更好地理解陆面与大气的相互作用,更精确地反演 LST 和 LSE 等特性,考察陆面辐射场随卫星观测角的变化很重要。

3 结论

本文研究了晴空大气红外窗区通道遥感时水汽吸收和陆面发射率的综合影响。1) 从理论上指出了红外窗区遥感陆面温度的主要误差来源,分析了辐射在传输过程中水汽吸收衰减的影响主要引起大气透过率的变化。并指出,在晴空大气条件下,在高温 ($T_s = 285 \sim 310 \text{ K}$) 和水汽含量丰富的地区,红外窗区的大气透过率受到严重的衰减;而在低温和水汽含量很少的地区,大气透过率受到水汽吸收衰减的影响要少得多。2) 分析了水汽吸收衰减对不同的红外窗区通道的影响有很大的不同:在高温区,通道 $4.005 \mu\text{m}$ 和 $3.75 \mu\text{m}$ 的大气透过率随地面温度的变化较小,特别是 $4.005 \mu\text{m}$ 通道的透过率几乎不受大气水汽含量 PW 变化的影响。但是,热红外窗区通道的温差 ΔT 随 PW 的变化为正,且比较稳定;而 $3.75 \mu\text{m}$ 和 $4.005 \mu\text{m}$ 通道, ΔT 为负值,且随着地面 ε 的减少, ΔT 向负值迅速增大,反映了红外短波窗区通道的亮温受太阳短波辐射的影响严重;而热红外窗区通道遥感几乎不受太阳短波辐射的污染。3) 综合考察了大气水汽扰动量 q 和陆面发射率 ε 对红外窗区通道遥感的影响,指出热红外窗区通道的 ΔT 随 ε 的减少而增大;对同一种 ε 炎热潮湿的热带的 ΔT 最大,干燥寒冷的亚北极冬季的 ΔT 最小;而红外短波窗区通道 3 的 ΔT 随 q 和 ε 变化的形式与热红外窗区通道(Ch4 和 Ch5)的变化形式相反,随着 ε 变化,几乎所有的 ΔT 都为负值;随着 ε 的减少,亚北极冬季的 ΔT 向负值迅速增大。因此,红外短波窗区通道不但受太阳辐射污染严重,而且受 ε 变化的影响激烈,特别是在寒冷干燥的亚北极冬季。4) 指出卫星观测角对红外窗区通道遥感 LST 等特性会产生影响,特别是 θ 角大时。

上述结果综合反映了大气水汽含量、陆面温度、陆面发射率和卫星观测角等因子以及不同的纬度地区和不同的气候带等对不同的红外窗区(短波和长波窗区)通道遥感具有复杂的影响。因此,在用红外窗区通道对 LST 等陆面特性的遥感反演中,必须很好地考虑这些影响,以进行大气订正。

参考文献:

- [1] 许丽生,刘海磊,丁继烈,等.陆面温度卫星遥感的一些基本问题[J].地理与地理信息科学,2009,25(增刊):1-3.
- [2] OTLLE C, STOLL M. Effect of atmospheric absorption and surface emissivity on the determination of land temperature from infrared satellite data[J]. International Journal of Remote Sensing,

- 1993, 14: 2025– 2037.
- [3] PRATA A, CASELLES J, COLL J. et al. Thermal remote sensing of the land surface from satellite: Current status and future prospects[J]. Remote Sensing Reviews, 1995, 12: 175– 224.
- [4] WAN Z, DOZIER J. A generalized split window algorithm for retrieving land surface emperature from space[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1996, 34: 892– 905.
- [5] PALLUCONI F, HOOVER G, ALLEY R, et al. An Atmospheric Correction Method for ASTER Thermal Radiometry over Land, ASTER Standard Data Product AST09, " Level 2 Radiance TIR, Land_Leaving"[R]. Revision 3, 1999.
- [6] SOBRINO J A, LI Z L, STOLL M P, et al. Improvements in the split window technique for land surface temperature determination[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1994, 32: 243– 253.
- [7] FRANCOIS C, OTTLE C. Atmospheric correction in the thermal infrared: Global and water vapor dependent split-window algorithm applications to ATSR and AVHRR data [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1996, 34: 457 – 469.
- [8] FAYSASH D A, SMITH E A. Simultaneous retrieval of diurnal to seasonal surface temperatures and emissivities over SGP ARM CART site using GOES split window[J]. Applied Meteorology, 2000, 39: 971– 982.
- [9] GOODY R M, YUNG Y L. Atmospheric Radiation: Theoretical Basis[M]. USA: Oxford University Press, 1995.
- [10] OTLLE C, STOLL M. Effect of atmospheric absorption and surface emissivity on the determination of land temperature from infrared satellite data[J]. International Journal of Remote Sensing, 1993, 14: 2025– 2037.
- [11] WAN Z, LI Z. Physics-based algorithm for retrieving land surface emissivity and temperature from EOS/MODIS data[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1997, 35: 980– 996.
- [12] TONOOKA H. Accurate atmospheric correction of ASTER thermal infrared imagery using the water vapor scaling method[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2005, 43: 2778– 2792.
- [13] TONOOKA H. An atmospheric correction algorithm for thermal infrared multispectral data over land——A water vapor scaling method[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2001, 39: 682– 692.
- [14] CAO C, WEINREB M, SULLIVAN J. Solar contamination effects on the infrared channels of the advanced very high resolution radiometer (AVHRR)[J]. Geophysical Research, 2001, 106: 33463– 33469.
- [15] CASELLES V, RUBIO E, COLL C, et al. Thermal band selection for the PRISM instrument. 3. optimal band configurations[J]. Geophysical Research, 1998, 103: 17057– 17067.
- [16] SOBRINO J A, CU ENCA J. Angular variation of thermal infrared emissivity for some natural surfaces from experimental measurements[J]. Applied Optics, 1999, 38: 3931– 3936.
- [17] LABED J, STOLL M P. Angular variation of land surface spectral emissivity in the thermal infrared, laboratory investigations on bare soils[J]. International Journal of Remote Sensing, 1991, 12: 2299– 2310.

Synthetic Analysis of the Effects of Water Vapor Absorption in Clear Sky and Land Surface Emissivity on IR Window Soundings

BASANG¹, XU Li- sheng², LIU Hai- lei², DING Ji- lie², DENG Xiao- bo², LIU Zhi- hong³

(1. Tibet Plateau Atmospheric Research Institute, Tibet Weather Bureau, Lhasa 850000; 2. Atmospheric Radiation & Satellite Remote Sensing Lab, College of Atmospheric Sounding, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225;

3. Applied Remote Sensing Research Center, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

Abstract: In this paper the synthetic effects of water vapor absorption and land surface emissivity (LSE) on IR window soundings of land surface temperature (LST) in clear sky condition are investigated mathematically. The formula of the change of brightness temperature caused by atmospheric water vapor content and LSE is derived from radiative transfer theory at first. Then, the different attenuation of the transmittances for different IR window channels in various regions, such as the regions under high temperature with high humidity and low temperature with dry condition, is analyzed. In addition, a fitting formula of a polynomial with two variables for the LST and surface brightness temperature difference $\Delta T = (T_s - T_{g,i \max})$ changed with water vapor content and LSE is set up. The complex effects of atmospheric water vapor content and LSE in three atmospheric models on the temperature difference ΔT for different IR window channels are further synthetically studied. Finally, the effect of satellite observation angle on the LST remote sensing is briefly discussed. The results emphasize that for retrieval of LST accurately the thermal IR window channels should be used and atmospheric correction must be carried out, especially in hot and humidity regions. And the LSE effects are important and should be considered simultaneously.

Key words: IR window channels; remote sensing of land surface temperature; radiative transfer; water vapor absorption; land surface spectral emissivity