

# 敦煌地区大气水汽和气溶胶对获取地表温度的影响\*

闵祥军 朱启疆

(北京师范大学资源与环境系 北京 100875)

田庆久

(中国科学院遥感应用研究所 北京 100101)

**摘 要** 大气中的水汽和气溶胶含量是影响热红外波段数据的主要因素。针对敦煌地区,本文首先利用 LOWTRAN-7辐射传输模型对1992年9月25日敦煌市西戈壁的一幅 Landsat-5 TM6 波段的热红外图像数据进行了大气订正,获取了地表辐射温度。进而利用 LOWTRAN-7通过模拟计算研究了该地区大气水汽和气溶胶含量的变化对 TM6 波段地面温度获取结果的影响,给出了对于热红外图像进行大气订正的主要判据。另外,文中还对热红外波段地面比辐射率的影响也进行了简单分析。

**关键词** 大气订正,热红外波段,辐射传输模型,地面比辐射率,温度获取

## 1 引 言

地表温度是研究地—气能量交换的一个重要参数。热红外(8—12 $\mu\text{m}$ )遥感图像数据是研究地表热辐射特性的重要手段(如 AVHRR 4和5以及 TM6)<sup>[1,2]</sup>。由于 NOAA 卫星的高重复率,使得 AVHRR 的热红外图像数据在环境监测方面的应用较为普遍。但 AVHRR 传感器的低空间分辨率(1.1 $\times$ 1.1 $\text{km}^2$ )限制了它在小尺度地面目标方面的应用; Landsat-TM6 的空间分辨率较高(120 $\times$ 120 $\text{m}^2$ ),可应用于小尺度地面温度模式的研究和高空间分辨率温度图像的获取。

在遥感信息传递过程中,不可避免地受到大气的影响。在8—12 $\mu\text{m}$ 热红外光谱区,水汽吸收与气溶胶散射起主要作用。对于晴朗天气(能见度 $>$ 10 $\text{km}$ ),气溶胶的散射影响是很小的;而大气水汽具有很强的时、空变化特性,因而它是热红外波段的主要影响因素。

本文利用 LOWTRAN-7辐射传输模型对1992年9月25日敦煌市西戈壁的一幅 Landsat-5 TM6 波段图像数据进行了大气订正,获取了地表温度。并通过 LOWTRAN-7进行的模拟计算,分析了该地区大气中的水汽、气溶胶以及地面比辐射率对获取目标温度的影响。

## 2 理论依据<sup>[3,4]</sup>

对于 Landsat-5 TM 传感器热红外波段(TM6 波段),利用其标定系数可将图像灰度值(DN)转换为传感器测量到的辐射度  $L_\lambda$ ( $\text{mWcm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ ):

$$L_\lambda = 0.0056322 * DN + 0.1238 \quad (1)$$

再利用普朗克定律,即可得到卫星传感器高度未订正的辐射温度  $T^*$ (K)为:

$$T^* = \frac{K_2}{\ln(K_1/L_\lambda + 1)} \quad (2)$$

对于 Landsat-5 TM6 波段,  $K_1 = 60.776$  ( $\text{mWcm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ ),  $K_2 = 1260.56$ (K)。

在热红外波段(如 TM6: 10.4—12.5 $\mu\text{m}$ ),卫星传感器测量到的总辐射度可表示为:

$$L_\lambda = (\varepsilon_\lambda L_{g\lambda} + R_\lambda L_{\downarrow\lambda}) * \tau_\lambda + L_{\uparrow\lambda} \quad (3)$$

其中,  $\varepsilon_\lambda$  是地面目标比辐射率;  $L_{g\lambda}$  是地表出射辐射度;  $R_\lambda$  是地表目标反射率;  $L_{\downarrow\lambda}$  是大气向下辐射度;  $\tau_\lambda$  是地面—传感器之间大气透过率;  $L_{\uparrow\lambda}$  是大气向上辐射度。

## 3 结果与分析

### 3.1 地表温度获取

考虑到敦煌场地的地理位置(N40° 11.94'

\* 国家自然科学基金资助项目, 项目编号:49571055.

中国科学院安徽光学精密机械研究所朱永豪研究员对本文工作给予大力支持和热情指导, 文中的 Landsat-TM 图像数据是由中国科学院遥感卫星地面站提供的, 在此一并表示衷心感谢!

收稿日期:1997-11-28; 收到修改稿日期:1998-03-02

- N40° 12.062' ; E94° 25.824' - E94° 25.976' ) 和图像获取时间, 大气模式选用 LOWTRAN-7 中的中纬度夏季大气模式。

该地区的气溶胶数据比较缺乏, 根据 1994 年 6 月份在该地区的测量数据及与中国东部地区测量结果的比较<sup>[5]</sup>, 订正过程中我们选用了 LOWTRAN-7 辐射传输模型中的乡村气溶胶类型。另外, 在确定大气透过率、向下和向上大气路径辐射度时还需知道气溶胶含量(即大气能见度)。在本方法中, 我们基于当时获取的 TM1—5 和 7 六个可见、近红外波段的图像自身信息, 采用暗目标扣除技术<sup>[6]</sup>, 获得了当时气溶胶光学厚度(表 1), 对应当时大气能见度约为 65km。

在地表真实温度获取过程中, 由于缺少敦煌地

表 1 TM6 个波段的气溶胶光学厚度

Table 1 Aerosol optical depths for six TM bands

光谱波段	中心波长/ $\mu\text{m}$	气溶胶光学厚度
TM1	0.4863	0.1422
TM2	0.5706	0.0883
TM3	0.6606	0.0557
TM4	0.8382	0.0439
TM5	1.6772	0.0194
TM7	2.2166	0.0138

区的地面比辐射率数据, 但基于该场地属于干沙土型, 因此计算过程中取地面比辐射率  $\epsilon = 0.94$ <sup>[7]</sup>。另外, 目标比辐射率还与观测角有关。但 TM 传感器的视场角较小(约 7.5°), 本文将不考虑它随观测角的变化<sup>[8]</sup>。

图 1(B) 给出了未订正的 TM 传感器高度辐射亮温  $T^*$  和经过大气订正后的地面温度  $T_g$ 。作为比较图 1(A) 还给出  $\epsilon = 1$  时的获取结果。可以看出, 经过大气订正后的地面温度  $T_g$  高于订正前的卫星高度

辐射亮温  $T^*$ 。对于温度较高的地物, 订正后增加较多(约 10K); 而对于低温地物, 订正后增加较少(约 4K)。另外, 由图中给出的结果还可看出, 0.06 的地面目标比辐射率的变化量给获取温度带来的变化约 3—5K。因此, 对于一般自然地物(比辐射率为 0.9—1.0, 温度为 260—330K), 0.01 的比辐射率变化量将给地表温度带来约 0.5—0.8K 的变化, 这与 Francois 和 Ottl 以及 Wukelic 等人给出的结论一致<sup>[1,2]</sup>。

### 3.2 水汽和气溶胶的影响

对于不同大气水汽含量, 我们利用 LOWTRAN-7 模拟计算了地表温度随大气垂直柱水汽含量的变化(图 2)。作为比较, 计算过程中取目标比辐射率分别为 1 和 0.94。由图 2 可以看出, 当水汽含量小于 0.6g/cm<sup>2</sup> 时, 大气中的水汽对本文给出的整个温度范围内(285—325K) 的订正结果影响较小。在这种情况下订正与不订正的温度差值约为 1K 左右。但当水汽含量大于 0.6g/cm<sup>2</sup> 时, 水汽对高温(大于 290K) 地面目标温度的订正结果影响较大; 而对低温地物, 它几乎没有影响。另外, 从图 2 还可看出: 大气水汽影响存在一个临界温度(约为 290K)。在临界温度之下, 水汽的影响很小, 订正与不订正的温度差值约为 1K, 且随着水汽含量的增加, 订正后的地表温度减小。在临界温度之上, 随着水汽含量的增加, 订正后的地表温度增加。例如, 对于高温地物(大于 310K), 最大和最小水汽含量给地表温度带来的变化约 10K。

为了说明大气气溶胶对获取地表温度的影响, 我们选用了中纬度夏季大气模式和乡村气溶胶类型<sup>[5]</sup>, 利用 LOWTRAN-7 计算了地面比辐射率分别为 1 和 0.94 时获取的地表温度随大气能见度的变化情况(图 3)。由图 3 可以看出, 当能见度  $\geq 10\text{km}$  时, 气溶胶对订

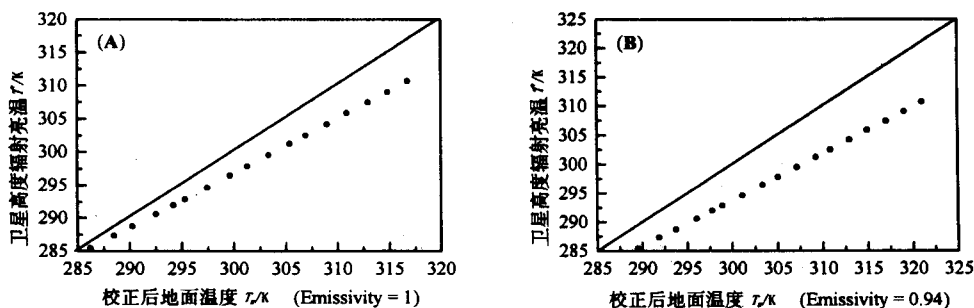


图 1 Landsat-5 TM6 波段校正和未校正温度比较(中纬度夏季大气模式)

(A) 出射率  $\epsilon = 1$ ; (B) 出射率  $\epsilon = 0.94$

Fig.1 Comparison between corrected and uncorrected ground surface temperatures derived from Landsat-5 TM band 6 image data (midlatitude atmospheric model)

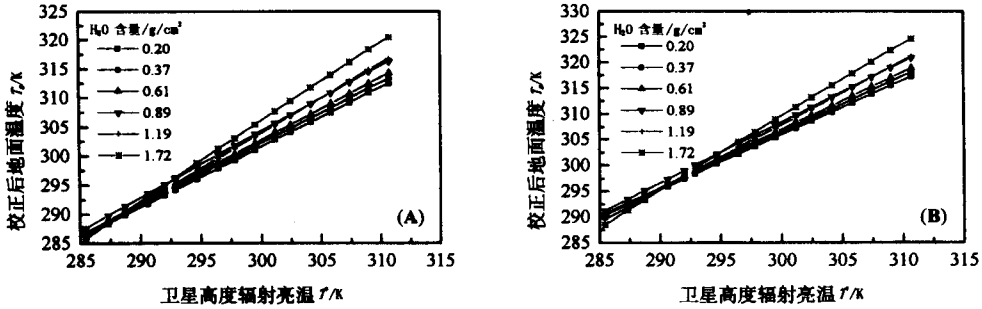


图 2 Landsat-5 TM6 波段地面温度获取结果随大气垂直柱水汽含量的变化

(A) 出射率  $\epsilon=1$ ; (B) 出射率  $\epsilon=0.94$

Fig.2 The dependence of ground surface temperatures derived from Landsat-5 TM band 6 image data upon the column water vapor content

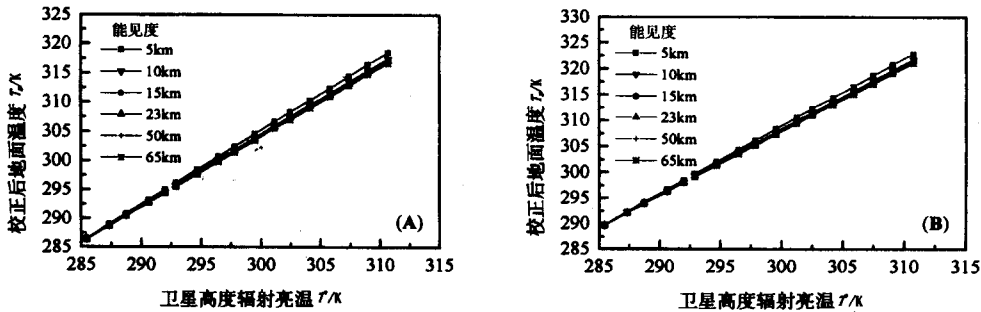


图 3 Landsat-5 TM6 波段地面温度获取结果随大气能见度的变化

(A) 出射率  $\epsilon=1$ ; (B) 出射率  $\epsilon=0.94$

Fig.3 The dependence of ground surface temperatures derived from Landsat-5 TM band 6 image data upon the visibility

正结果影响较小,温度变化仅约为 0.6K。但当大气能见度较差(如 5km)时,对于温度较高的地面目标(大于 290K)气溶胶的影响较大,温度变化约 1K;而对低温目标基本没有影响。

由上述分析结果可以看出,大气中的水汽对地表温度获取结果的影响较大,而气溶胶的影响相对要小得多。考虑到 TM6 波段本身的噪音等效温度误差为 0.5K 的这一事实,因此 0.6K 的温度变化可以说是一个很小的偏差,1K 的变化也不会对温度测量有太大的影响。

### 4 结 论

由本文的分析结果,我们可得出如下几点结论:

(1) 对于敦煌场地,在能见度 >10km 和低水汽含量(水汽含量 < 0.6g/cm<sup>2</sup>)的晴朗天气条件下,对于精确标定的传感器热红外波段图像数据,不进行

大气订正也可获取较为精确的地面目标表面温度,由此带来的温度偏差仅在 1K 之内。相反,则必须进行大气订正。

(2) 大气水汽对获取地表温度的影响还取决于大气和地表的温度对比度。如果边界层大气温度高于目标表面温度(即出现逆温层),就会使地表温度随大气水汽含量的增加而减小。

(3) 对于陆地表面,热红外波段的地面比辐射率对获取地表真实温度的影响较大。对于一般的地物(比辐射率为 0.9—1.0,地面温度为 260—330K),0.01 的目标比辐射率的变化量将会给获取的目标表面温度带来 0.5—0.8K 的变化。

### 参 考 文 献

- 1 Francois, C., Otl, C. Atmospheric corrections in the thermal infrared: Global and water vapor dependent splitwindow algorithms—Applications to ATSR and AVHRR data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1996, 34(2):

- 457—470.
- 2 Wukelic, G.E., Gibbons, D.E., Martucci, L.M., Foote, H.P. Radiometric calibration of Landsat Thematic Mapper thermal band. *Remote Sensing of Environment*, 1989, 28:339—347.
  - 3 Clark, B. P. New Look-up Tables. EOSAT Landsat Technical Notes. 1986, (1):2—8.
  - 4 National Aeronautics and Space Administration. Thematic Mapper Design Through Flight Evaluation, Final Report (revised): Santa Barbara Research Center RPT 41741, NASA Contract NAS5-24200, 12/1984.
  - 5 闵祥军, 朱永豪. 敦煌地区大气气溶胶对卫星传感器辐射校正的影响. *遥感技术与应用*, 1996, 11: 14—21.
  - 6 Chavez, P.S., Jr. Atmospheric, solar and MTF corrections for ERTS digital imagery. In Proceedings of the American Society of Photogrammetry, Fall Technical Meeting, Phoenix, AZ, 1975, 69.

- 7 Rao, P.K. 编著, 许建民等译. 气象卫星——系统、资料及其在环境中的应用. 气象出版社, 1994, 33.
- 8 Masuda, K., Takashima, Takayama, Y. Emissivity of pure and sea waters for the model sea surface in the infrared window regions. *Remote Sensing of Environment*. 1988, 24: 313—329.

### 作者简介

闵祥军,男,1968年2月出生。1994年9月在中国科学院安徽光学精密机械研究所获光学硕士学位,1997年9月又在院所获博士学位。硕士和博士期间主要研究大气对辐射传输的影响以及中国遥感卫星辐射场校正和遥感数据定量化应用。现在北京师范大学资源与环境科学系做博士后,主要从事热红外波段遥感定量信息获取和林火方面的研究工作。发表论文4篇。

## Effects of Atmospheric Water Vapor and Aerosol on Retrievals of Land Surface Temperature in Dunhuang Site

Min Xiangjun Zhu Qijiang

(Department of Resource and Environment Science, Beijing Normal University Beijing 100875)

Tian Qingjiu

(Institute of Remote Sensing Application, Chinese Academy of Sciences Beijing 100101)

**Abstract** Radiometric calibration of satellite-acquired data (visible, near-infrared and thermal infrared) is essential for quantitative scientific studies, as well as for a variety of quantitative applications. In the spectral region of thermal infrared, the effects of atmospheric water vapor and aerosols on the retrievals of surface temperature are the two primary factors. From Landsat-5 TM6 image data acquired at Dunhuang site on September 25 1995, we made adjustments for atmospheric effects and derived the land surface temperatures using the spectrally corrected LOWTRAN-7 code. Using LOWTRAN-7 code, we also analyse the effects of atmospheric water vapor and aerosols on the retrieved surface temperatures by simulative calculations. Finally, we provided an explanation for what kinds of atmospheric conditions, even without considering the foreknown influence of the atmosphere, properly calibrated thermal infrared data can provide accurate remote temperature measurements, and determined under what meteorologic conditions, making corrections for atmospheric effects is in need. This paper, at the end, also discussed the emissivity effects on the derived surface temperature.

**Key words** Atmospheric correction, Thermal infrared, Radiative transfer model, Surface emissivity, Temperature retrieval.