No. 1 2006 Mar. 2006

# 热红外遥感反演陆地表面温度研究进展

甘甫平<sup>1</sup>,陈伟涛<sup>2</sup>,张绪教<sup>2</sup>,闫柏琨<sup>2</sup>,刘圣伟<sup>1</sup> 杨苏明<sup>1</sup>

(1. 中国国土资源航空物探遥感中心 北京 100083;2. 中国地质大学地球科学与资源学院 北京 100083)

摘要 : 总结了地表绝对发射率信息的提取方法 ; 综述了热红外遥感反演陆面温度的各种方法 ,并指出这些方法的 优缺点、适用性及应用情况 ; 分析了热红外遥感反演陆面温度面临的困难 ; 展望了热红外遥感反演陆面温度的发 展趋势。

关键词:热红外遥感;发射率;陆地表面温度

中图分类号:TP 722.5 文献标识码:A 文章编号:1001-070X(2006)01-0006-06

### 0 引言

陆地表面温度在地 – 气相互作用过程中扮演着 十分重要的角色 是全球变化研究的关键参数 对水 文、生态、环境和生物地球化学等研究有重要意义, 并且在农业气象、热惯量计算等方面也有重要的应 用价值<sup>[1~4]</sup>。热红外遥感具有不破坏地表热力学状 态的特点 因此 用其反演陆面温度早已被科学家重 视,可以从1962 年发射的 TIROS – II 卫星算起。由 于热红外遥感本身较为复杂,如地表发射率的测定、 大气效应订正、温度与发射率的分离以及非同温像 元混合问题等,使得反演陆地表面温度复杂了许多, 同时,也使人们在迈向反演精度达到1K的道路上 艰难了许多。尽管如此,随着热红外遥感基础理论 问题研究的深入和热传感器的改进等,陆面温度的 反演还是取得了很大的进展,并陆续提出了一些反 演陆面温度的算法,如单通道法、分裂窗法及多通道 法<sup>[5~13]</sup>等。本文对地表绝对发射率信息提取方法、 陆面温度反演算法的研究现状及反演面临的困难等 进行较为全面的评述,并展望热红外遥感反演陆温 的发展趋势。

### 1 陆地表面绝对发射率信息提取

截至目前,地表发射率信息提取仍是热红外遥 感反演陆面温度研究的主要内容之一,它对反演精 度的影响很大,是重要的误差源之一。研究表明,发 射率0.01的相对误差,能导致地表温度0.75 K的 误差<sup>[14,15]</sup>,由此引起的误差对反演精度的影响比由 大气影响的两倍还要大<sup>[13]</sup>。因此,人们一直很重视 地表发射率的信息获取工作<sup>[16,17]</sup>,提出了不少方法, 如实验室测量、野外实地测量及空间测量等。陈顺 云、唐新斋等提出了新的实验室或经修正后的野外 现场测定发射率方法,但目前常用的还是空间测量 方法。

(1)利用经验或半经验公式估算地表发射率。 如建立地表发射率和归一化植被指数(NDVI)之间 的统计关系模型<sup>[18,19]</sup>。该模型应用较为广泛<sup>[15,20]</sup>, 但存在两个问题:第一,不同区域地表自然属性的 差异导致该模型不具有普适性;第二,不能解决混 合像元问题。

(2)基于地表覆盖类型的加权混合模型<sup>[17 21]</sup>。 Sobrino 提出,以土壤和植被发射率已知为前提,用 NDVI 对地表分类,并给出地表相对均一、平坦条件 下的发射率估算方法,即

 $\varepsilon_{\lambda} \approx \varepsilon_{v} f_{v} + (1 - f_{v}) \varepsilon_{s}$  (1)

式中  $_{\mathcal{E}_{\lambda}}$  为地表发射率 ;  $_{\mathcal{E}_{\lambda}}$  为植被发射率 ;  $_{f_{\nu}}$  为植被覆盖度 ;  $_{\mathcal{E}_{\lambda}}$  为土壤发射率。文献[ 21 ]针对 TM 数据也提出了一种类似的估算发射率方法 ,即先 确定典型地物发射率 ,然后用 NDVI 确定地物构成比 例 ,从而确定研究区内的地表发射率。

(3)温度发射率分离(Temperature Emissivity Separation)反演方法<sup>[19]</sup>。该法可产生无偏离的、精

收稿日期:2005-07-25;修订日期:2005-12-27

基金项目;于国中资源部百名优秀人才计划 "和国土资源部"十五 "重点科研项目(2002206)共同资助。

确的发射率估算,发射率精度能保证在0.015误差 之内。

显然,方法(1),(2)均没有完全考虑发射率的 变化,势必会对反演结果产生较大误差。目前,对上 述3种方法进行综合评价,尤其对各种地物的适用 性、大气状况的敏感性分析等尚未见报道。

### 2 热红外遥感反演陆地表面温度方法

针对不同传感器热波段设置的特点,国内外专家提出了多种反演陆面温度的方法,归纳起来,主要 有单通道法、分裂窗法及多通道法3类。

2.1 单通道法

利用卫星一个热红外通道的辐射测量值实现温 度反演,主要适用于 TM/ETM<sup>+</sup> 等单个热波段传感 器<sup>[22]</sup>。传统理论上,用该方法要想得出较为精确的 反演结果,必须经过3个步骤:①将图像亮度值转换 为辐射亮度值;②精确的大气订正;③发射率信息 提取。整个过程较为复杂。覃志豪等在正确做出大 气平均作用温度替代性分析的基础上,提出了适用 于 TM 6 数据的方法 简化了单通道法且提高了反演 精度,其绝对精度小于 0.4 K,在参数估计有适度误 差时 精度也在 1.1 K 以内<sup>[23]</sup>; Jimenez – Munoz 等 提出了一种仅需知道大气水气含量的反演方法<sup>24]</sup>; Sobrino J A 等<sup>[22]</sup>通过对上述 3 种方法的对比研究。 认为,尽管覃志豪和Jimenez – Munoz的方法不需要 同步实测数据,但其精度却比传统单通道法的要 高,当发射率均方根误差为0.009时,反演精度小 **∓**1 K<sub>a</sub>

与多通道 NOAA、MODIS 等数据相比,TM/ETM<sup>+</sup> 热波段的空间分辨率较高,并且对地表发射率的敏 感性比分裂窗算法小,因此,对局域地表温度反演来 讲,有着更大的吸引力。

2.2 分裂窗法

分裂窗法最初应用于海面温度的反演 20 世纪 80 年代开始拓展到陆面温度的反演。它主要利用在 一个大气窗口的两个临近的红外通道存在不同的大 气吸收 来消除大气的影响 基于两个亮度温度的线 性组合实现陆温反演。

过去的近 20 多 a 里,人们更多使用的是 AVHRR的4、5 通道来反演陆面温度<sup>[25~27]</sup>,由此发 展了多种分裂窗算法,但其一般形式均可表达为

 $T = T_4 + A(T_4 - T_5) + B$  (2) 式中**行的绑u**面温度;  $T_4, T_5$ 分别为 AVHRR 通 道 4、5 的亮温; 系数 *A*、*B* 取决于大气状况及其它影响通道 4、5 的辐射和透过率的相关因子。

首次将分裂窗法应用于陆温反演的是 Price,他 基于研究区地表特征均一、地表温度一致和大气的 不均一性导致亮温变化的假设,给出了式(2)的简化 公式,其中 *B* = 0 *A* 仅看作为大气状况函数。该法仅 适用于小区域,若大面积应用,会产生较大的误 差<sup>[5,28]</sup>。

为了提高反演精度,从 20 世纪 80 年代中期开始,人们从不同角度对分裂窗法作了修正。如 Becker 等提出了针对天顶角大于 46°区域的局域分裂窗 算法,表达式如下<sup>[28]</sup>

 $T = 1.274 + P(T_4 + T_5)/2 + M(T_4 - T_5)/2$ 

系数  $P = 1 + 0.156 16(1 - \varepsilon)/\varepsilon - 0.482\Delta\varepsilon/\varepsilon^2$ ;  $M = 6.26 + 3.89(1 - \varepsilon)/\varepsilon + 38.33\Delta\varepsilon/\varepsilon^2$ 。

在此基础上, Wan 和 Dozier 推出了一种推广的 分裂窗法<sup>[29]</sup>即

 $T = A_0 + P(T_4 + T_5)/2 + M(T_4 - T_5)/2 \quad (4)$   $\Re B = A_1 + A_2(1 - \varepsilon)/\varepsilon + A_3\Delta\varepsilon/\varepsilon^2 \quad ; M = B_1 + B_2(1 - \varepsilon)/\varepsilon + B_3\Delta\varepsilon/\varepsilon^2_{\circ}$ 

值得提出的是,该方法同时考虑了观测角和大 气水汽含量的变化,是 MODIS 温度产品的官方算法 之一<sup>[30]</sup>。在大多数情况下,上述方法的精度可控制 在1 K 以内<sup>[28,31]</sup>。

除此之外,还有其它的分裂窗算法,主要都是对 大气效应和地表发射率进行修正,以期提高反演精 度<sup>[31]</sup>。就目前来讲,由于热红外大气订正极为复 杂,要想使反演精度提高,可结合不同区域地表特征 的先验知识,以使发射率更为准确,从而达到提高反 演精度的目的。

目前,分裂窗法是应用最广、最成熟的方法,精 度较高。相对而言,它不需要输入大气廓线值。但 是,分裂窗法还不完善,例如只限于晴空大气条件下 的反演,否则需要在分裂窗公式里植入大气总水汽 含量,以求尽可能地消除大气的影响<sup>[31]</sup>;对于混合 像元,只能给出有效平均温度;另外,算法中的系数 对整幅图像是相对固定的,这对较大的研究区域会 产生较大误差<sup>[28]</sup>,并且对发射率信息较为敏感。为 此,常用它反演地表发射率已知或者近灰体(如水体 或植被)的地表<sup>[32]</sup>。

#### 2.3 多通道算法

多通道法旨在利用多光谱数据进行温度和发射 率的同步反演,目前主要有3种方法:昼夜法(Day

(3)

– Night Method )<sup>33~35</sup>]、灰体发射率法( Graybody Emissivity Method)<sup>36</sup>]及温度发射率分离(Temperature Emissivity Separation)法<sup>[37]</sup>。昼夜法是计算同一地 区白天与晚上的独立于温度波谱指数(其中一个波 段位于中红外区,另一个波段位于热红外区),并得 出地表发射率 ,之后用分裂窗算法得出地表温度 ,是 MODIS 温度产品的官方算法之一; 灰体发射率法是 找到一个使两个波段有相等的发射率( $\varepsilon_i = \varepsilon_i$ )的温 度,它只适用于灰体地物,并且对仪器噪声非常敏 感 故应用并不广泛;温度发射率分离法充分吸收 7 NEM( Normalized emissivity method ), RAT( Ratio method )和 MMD( Minimum Maximum Difference )3 种 算法的优点,并做了必要的改进,是 ASTER 温度产 品的官方算法。事实上,它很接近于 MMD 算法,主 要有3个步骤<sup>[33]</sup>:①用 NEM 算法<sup>[38]</sup>估算地表温度 和发射率,并消除大气下行辐射的影响;②用 RAT 算法[39]计算发射率的波段比值,得出发射率谱形的 无偏离估计;③用 MMD 算法<sup>[40]</sup>计算最小发射率 值,进而获取绝对发射率值。

唐世浩等<sup>[41]</sup>将 ALPHA 导出发射率法和 ASTER TES 算法的优势结合在一起,提出基于订正 ALPHA 差值谱的 TES 算法,实现发射率和温度的同时反演。 与现有 TES 算法相比,该算法精度高,并且适用的温 度和下垫面范围宽。但该算法主要适用地表反射的 大气下行辐射可以忽略的场合。

TES 算法也适用于 MODIS 及 MAIS 等多波段热 红外数据反演陆面温度。值得注意的是,将 ASTER TES 算法应用于不同传感器数据时,应首先考察并 建立与不同传感器相适应的发射率经验关系,并设 法提高大气纠正精度。研究表明<sup>[42]</sup>,TES 反演温度 误差一般小于 1.5 K,发射率误差一般小于 0.015。

### 3 陆地表面组分温度反演

上述陆温反演方法均无法获取像元内的组分温 度。对于复杂目标而言,像元内的组分温度才更有 实用价值,并且现有传感器的热红外通道间高度相 关,不可能获得稳定的高精度解,即使增加通道数也 无济于事<sup>[43]</sup>。与多通道数据相比,多角度信息间的 相关性要低得多<sup>[44]</sup>,因此,一些学者近几年开始研 究利用多角度热红外遥感数据反演地表组分温度。

徐希孺等<sup>[45]</sup>在建立非同温混合像元热辐射方向性模型的基础上,提出了一种利用多角度热红外 遥感模型和透转算法进行混合像元组分属性同步反

演的方法 反演精度有望达到1K内;庄家礼<sup>[46]</sup>等 在连续植被热辐射方向性模型基础上,采用遗传算 法,从模拟和实测的热红外多波段、多角度遥感数据 中同时反演混合像元的组分温度、叶面积指数等多 维参数,为地表组分温度的精确反演提供了一种新 途径。大量试验表明<sup>47〕</sup>,在宽松的先验知识条件 下 利用遗传算法反演组分温度效果非常好。何立 明等<sup>[48,49]</sup>发展了一种利用 ATSR 2 双角观测数据能 够同时进行大气校正和反演地表组分( 植被和土壤 ) 温度的迭代算法。该算法将全球通用二次方 (QUAD)算法用于大气校正 LSF 模型用于计算等效 方向发射率,通过迭代实现同时进行大气校正和反 演地表组分温度的目的,在可接受的范围内,土壤和 植被温度可以被分离开来;另外,在已知传感器通 道响应函数和像元组分比辐射率波段变化的情况 下 ,只要恰当地拟合出黑体温度和其宽波段热辐射 的对应经验关系式,并计算一个通道响应函数加权 平均的比辐射率 ,则从混合像元的宽波段多角度热 红外观测 ,仍可较准确地反演组分温度。

总之,反演物理意义明确、实用价值更大的组分 温度,并且提高其反演精度,仍是当前陆温反演研究 的重点和难点。

### 4 反演陆面温度存在的问题

热红外遥感主要是感应地面物体发射辐射能的 差异 ,尽管其起步并不晚 ,但是取得的进展却落后于 可见光和近红外遥感 ,其主要原因有以下 4 点:

(1)热红外遥感理论基础的复杂性<sup>[50]</sup>。热红外 遥感理论基础是地表热量平衡。在地表热量平衡方 程中,除了辐射通量外,还有大气湍流通量,水汽蒸 发通量等,每一分量的变化均可造成地表温度的变 化。也就是说,引起地表温度变化的不仅仅是太阳 辐射和大气辐射,还有大气湍流和地表性质。因此, 地面温度的波动幅度和远远大于太阳辐射的波动幅 度。这样,要获得具有时间与空间代表性的真实地 表温度就比较困难。

(2)陆地表面发射率的不确定性。地表发射率 与地表组成成分、物理状态以及地形起伏所造成的 实际视角的变化等因素有关,在时间、空间上变化较 大,且随波长变化而变化。在 8~14 μm 波长范围 内,其值可在 0.9~0.99 之间,尽管其绝对值差异不 大,但对陆面温度影响很大,需要精确测定。但是, 热红外传感器空间分辨率普遍较低,陆面一般不匀 质。因此,无论在实验室还是野外,对于测定(特别 是大面积连续测定)与像元尺度相对应的发射率,难 度都很大<sup>[50,51]</sup>。因此,陆地表面发射率的不确定性 成了又一难题。

(3)大气效应订正的极大复杂性。热红外传感 器获得的测量值不仅受到地表参数(发射率和温度) 的影响,也受到地表和传感器之间大气结构组成和 温度廓线的影响 因此 陆面目标的大气效应纠正呈 现出极大的复杂性。目前,常用的方法是基于 MODTRAN 辐射传输模型的数值解法,模型的求解 需要输入大气温度廓线、湿度廓线、大气分子含量、 气溶胶参数等大气状态参数 求解误差有两个来源: 大气状态参数误差和模型误差。研究表明[12,52],如 果用地面实测大气参数作为模型输入参数,大气校 正精度较高 因此 主要误差来源为大气状态参数误 差 模型误差可忽略不计。然而,在大多数情况下, 大气参数难以进行地面实测 ,在全球遥感中更是如 此。所以,只能用卫星遥感数据来反演大气参数,但 目前反演精度有限 NOAA 系列及 MODIS 系列卫星 反演的大气温度误差在 ±1 ~ ±2℃之内,大气湿度 相对误差在 ± 20% ~ ± 10% 之内,而且在可以预见 的将来没有提高精度的可能性[51,53]。因此,如何利 用低精度的大气参数进行高精度的大气订正是必须 解决的难题之一。

(4)陆面温度与地表发射率之间的耦合<sup>[8]</sup>。陆 面目标的地表发射率波谱变化显著,用热红外数据 建立陆面温度反演模型时,N个通道对应N个热辐 射传输方程,其中有N个未知的地表发射率和1个 陆面温度,即未知量多于方程数,所以,对于多波段 热遥感数据来讲,方程组总是不闭合的,这样往往构 成一个死循环,给陆温反演带来很大的困难。

5 结语与讨论

(1)热红外遥感反演陆面温度在应用上取得了 显著的成就,但是,它的许多基础理论问题均未很好 地解决,如地表热红外辐射及发射的方向性问题、温 度与比辐射率的分离问题、混合像元比辐射率的尺 度转换与非同温混合像元的分解问题等。基础研究 的不足,制约了应用的进一步发展。因此,其基础理 论研究仍是最重要和最具挑战性的课题。

(2)精确评价大气对数据质量与信息提取结果 的影响并力求较好的大气订正方法仍是重点与难 点。尽管不应教提N等大气订正模型、分裂窗法可以 进行热红外大气订正,但是,其不同区域参数调整精 度仍需提高。

(3)地表发射率信息提取方法很多,但对这些方法的提取精度、大气校正误差敏感性、仪器噪声敏感性及对各种地物的适用性等方面进行综合定量评价还未完成,并且对现有的发射率数据库也需要进行更新,它的前进会加速陆面温度反演的步伐。

近年来,随着神经网络、遗传算法等的不断出 现,如何将其运用到陆面温度反演过程并提高反演 精度,是一个值得关注的问题。另外,新型先进的系 统仍在不断推出,并且是朝着光谱分辨率和空间分 辨率不断提高、定量化精度更高的方向发展,如何利 用热红外高光谱数据进行陆温反演,将是另一个值 得思考的问题。再者,研究利用多角度、多光谱数据 进行混合像元组分温度反演意义重大。最后,对热 红外遥感来说,无论波段、角度多到什么程度,其信 息量总是有限的,因此,将先验知识引入到模型反演 中,并将其合理表达和利用,将是解决反演陆面温度 这个不定解问题的重要思路<sup>[54]</sup>。

热红外遥感当前处在国际遥感科技发展的前 沿,用其反演陆面温度是人们关注的焦点之一。可 以预见,随着研究的不断深入,热红外遥感反演陆面 温度将会取得更大的进展,应用更加广泛。

参考文献

- [1] 李小文,汪骏发,王锦地,等. 多角度与热红外对地遥感[M].
  北京,科学出版社 2001.
- [2] Running S W, Justice C, Salomoson V, et al. Terrestrial remote sensing science and algorithms planned for EOS/MODIS[ J ]. Int. J. Remote Sensing, 1994, 15(17) 3587 – 3620.
- [3] Vining R C , Blad B L. Estimation of sensible heat flux from remotely sensed canopy temperatures
  [J]. Geophys. Res. ,1992 , 97 (D17) :18951 18954.
- [4] Caselles V, Sobrino J A. Determination of frosts in orange groves from NOVV – 9 AVHRR data[ J]. Remote sensing Environ., 1989, 29(2):135-146.
- [5] Price J C. Land surface temperature measurements from the split window channels of the NOAA 7/AVHRR[ J ]. Geophys. Res., 1984, 89 7231 – 7237.
- [6] Becker F. The impact of spectral emissivity on the measurement of land surface temperature from a satellite [J]. Int. J. Remote Sens., 1987, 8(10):1509-1522.
- [7] Cooper D I, Asrar G. Evaluating atmospheric correction models for retrieving surface temperatures from the AVHRR over a tall grass prairie J]. Remote Sens. Environ. 1989, 27:93-102.
- [8] Becker F, Li Zhao liang. Towards a Local Split Window Method Over land surface[J]. Int. J. Remote Sensing, 1990, 3:369 -

393.

- [9] Sobrino J A , Coll C , Caselles V. Atmospheric corrections for land surface temperature using AVHRR channel 4 and 5[ J ]. Remote Sensing Environ. ,1991 , 38(1):19-34.
- [10] Prata A J. Land surface temperature derived from the Advanced Very High Radiometer and the Along – Track scanning Radiometer 1[J]. Geophys. Res 1993 98(D9) 1:6689 – 16702.
- [11] Wan Z , Li Zhaoliang. A physics based algorithm for retrieving land surface emissivity and temperature from EOS/MODIS data [J]. IEEE Transaction on Geosciences and Remote Sensing ,1997 , 35(4) 980 – 996.
- [ 12 ] Li Zhaoliang , Becker F , Stoll M P. Evaluation of six methods for extracting relative emissivity spectra from thermal infrared images [ J ]. Remote Sensing of Environment , 1999 , 69 :197 - 214.
- [ 13 ] Shunlin Liang. An optimization algorithm for separating land surface temperature and emissivity from multispectral thermal infrared imagery J. IEEE Transaction on Geosciences and Remote Sensing, 2001 39(2) 264 – 274.
- [ 14 ] Kornfield J , Susskind J. On the effect of surface emissivity on temperature retrievals[ J ]. Monthly weather Review ,1977 , 105 :1605 - 1608.
- [ 15 ] Kerenyi J , Putsay M. Investigation of land surface temperature algorithms using NOAA ANVHRR images[ J ]. Adv. Space Res , 2000 26(17) 1077 – 1080.
- [ 16 ] Becker F , Li Zhao Liang. Surface temperature and emissivity at various scale : definition , measurement and related[ J ]. Remote Sensing Review ,1995 ,12 225 - 253.
- [ 17 ] Sobrino J A, Raissouni N, Li Z. A comparative study of land surface emissivity retrieval from NOAA data[ J ]. Remote Sensing of Environment 2001 75 256 - 266.
- [ 18 ] Van de Griend A A , Owe M. On the relationship between thermal emissivity and the Normalized Difference Vegetation Index for natural surfaces J ]. International Journal of Remote Sensing , 1993 ,14 : 1119 – 1131.
- [ 19 ] Gillespie A R , Rokugawa S , Matsunaga T , et al. A temperature and emissivity separation algorithm for Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflectance Radiometer( ASTER ) images[ J ]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing ,1998 ,36 : 1113 - 1126.
- [ 20 ] Valor E , Caselles V. Mapping land surface emissivity from NDVI : Application to European , African , and South American areas[ J ]. Remote Sensing of Environment , 1996 57 :167 – 184.
- [21] 覃志豪,李文娟,徐斌,等. 陆地卫星 TM 6 波段范围内地表比 辐射率的估计[J]. 国土资源遥感 2004 (3) 28-41.
- [ 22 ] Sobrino J A , Jimenez Munoz J C , Leonardo Paolini. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5[ J ]. Remote Sensing of environment 2004 90 #34 – 440.
- [23] 覃志豪, Zhang Minghua, Amon Karnieli, 等. 用陆地卫星 TM6 数 据演算地表温度的单窗算法 J]. 地理学报 2001 56(4) #56 -466.
- [24] Jimenez Munoz J C , Sobrino J A. A generalized single channel metho和方数据, land surface temperature from remote sensing

data[ J ]. Journal of geophysical research 2003 ,108.

- [ 25 ] Henrik Steen Andersen. Land surface temperature estimation based on NOAA – AVHRR data during the HAPEX – Sahel experiment
   [ J ]. Journal of Hydrology , 1997 , 188 – 189 88 – 814.
- [ 26 ] Franca G B , Cracknell A P. Retrieval of land and sea surface temperature using NOAA – 9 AVHRR data in northeastern Brazil[ J ]. International Journal of Remote sensing ,1999 ,15 695 –712.
- [27] de Wit A J W, Boogaard H L, van Diepen C A. Using NOAA AVHRR estimates of land surface temperature for regional agrometeorogical modeling[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2004 5(3):187 – 204.
- [28] 俞宏,石汉青.利用分裂窗算法反演陆地表面温度的研究进展
  [J].气象科学 2002 22(4):494-500.
- [29] Coll C , Caselles V , et al. On the atmospheric dependence of the split – window equation for land temperature J]. International Journal of Remote Sensing , 1994 , 15 :105 – 122.
- [ 30 ] Wan Z , Dozier J. A generalized split window algorithm for retrieving land surface temperature from space J ]. IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing ,1996 34 892 – 905.
- [ 31 ] Wan Z , Li Z L. A 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.
- [ 32 ] Shunlin Liang. An optimization algorithm for separating land surface temperature and emissivity from multispectral thermal infrared imagery[ J ]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing , 2001 39( 2 ) 264 – 274.
- [ 33 ] Gillespie A R. Lithologic mapping of silicate rocks using TIMS, in The TIMS Data User 's Workshop[ Z ]. Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA ;JPL Publication 86 – 38, 1985.
- [ 34 ] Gillespie A R , Rokugawa S , Matsunaga T , et al. A temperature and emissivity separation algorithm for Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflectance Radiometer( ASTER ) images[ J ]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing ,1998 ,36 : 1113 - 1126.
- [ 35 ] Barducci A , Pippi I. Temperature and emissivity retrieval from remotely sensed images using the "grey body emissivity " method[ J ]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing ,1996 ,34 : 681 - 695.
- [36]张霞 涨 兵,郑兰芬,等. 航空热红外多光谱数据的地物发射率 谱信息提取模型及其应用研究[J]. 红外与毫米波学报 2000, 19(5)361-365.
- [ 37 ] Gillespie A R , Rokugawa S , Hook S J , et al. Temperature/emissivity separation algorithm theoretical basis document , version2. 4
  [ EB/OL ]. http://asterweb.jpl.nasa.gov/.
- [ 38 ] Gillespie A R. Lithologic mapping of silicate rocks using TIMS[ A ]. The TIMS Data User 's Workshop[ C ]. JPL Publication 86 – 38, 1985.
- [ 39 ] Watson K. Spectral ratio method for measuring emissivity[ J ]. Remote Sens Environ. ,1992 42 :113 - 116.
- [ 40 ] Matsunaga T. A temperature emissivity separation method using an empirical relationship between the mean, the maximum and the

minimum of the thermal infrared emissivity spectrum J ]. Remote Sens. Soc. 1994 14(2) 230 - 241.

- [41] 唐世浩 朱启疆 苏理宏. 基于订正 ALPHA 差值谱的热红外温 度与发射率分离算法 J1. 红外与毫米学报 2005 24(4) 286-290
- [42] Ingram P M, Muse A H. Sensitivity of iterative spectrally smooth temperature/emissivity saparation to algorithmic assumptions and measurement noise[ J ]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 2001 39(10) 2158 - 2167.
- [43] 陈良富 庄家礼 徐希孺. 热红外遥感中通道间信息相关性及其 对陆面温度反演的影响[J]. 科学通报,1999,44(19) 2122 -2127.
- [44]徐希孺 庄家礼 陈良富. 热红外多角度遥感和反演混合像元组 分温度 J].北京大学学报(自然科学版),2000,36(4),555-560.
- [45]徐希孺 陈良富 庄家礼. 基于多角度热红外遥感的混合像元组 分温度演化反演方法 J].中国科学(D辑) 2001 31(1) 81 -88.
- [46] 庄家礼 陈良富 徐希孺. 地表组分温度反演 J]. 北京大学学报 (自然科学版) 2000 36(6) 850-857.

- [47] 庄家礼 徐希孺. 遗传算法在组分温度反演中的应用[J]. 国土 资源遥感 2000 (1) 28-33.
- [48] 何立明, 阎广建, 王锦地, 等. 利用 ATSR 2数据提取地表组分温 度 J]. 遥感学报 2002 6(3):161-167.
- [49] 何立明 阎广建 王 华 等. 从宽波段热红外图像反演组分温度 的相关问题讨论——通道响应函数和比辐射率波段变化的影 响[J]. 遥感学报 2005 9(3) 234-241.
- [50]张仁华.对于定量热红外遥感的一些思考[J].国土资源遥感, 1999 (1) 1 - 6.
- [51]徐希孺 柳钦火 陈家宜. 遥感陆面温度[J].北京大学学报(自 然科学版),1998,34(2-3)248-253.
- [ 52 ] Sabine C , Realmuto V J , Taranik J V. Quantitative estimation of granitoid composition from thermal infrared multispectral scanner ( TIMS ) data , Desolation Wilderness , northern Sierra Nevada , California[ J ]. Journal of Geophysical Research ,1994 ,99( B3 ): 4261 - 4271.
- [53] 闫柏琨, 王润生, 甘甫平, 等. 热红外遥感岩矿信息提取研究进 展 J]. 地球科学进展 2005 20(9):73-83.
- [54] 李小文,王锦地,胡宝新,等. 先验知识在遥感反演中的作用 [J].中国科学(D辑),1998 28(1),67-72.

## THE PROGRESS IN THE STUDY OF THERMAL INFRARED REMOTE SENSING FOR RETRIEVING LAND SURFACE TEMPERATURE

GAN Fu - ping<sup>1</sup>, CHEN Wei - tao<sup>2</sup>, ZHANG Xu - jiao<sup>2</sup>, YAN Bo - kun<sup>2</sup>, LIU Sheng - wei<sup>1</sup>, YANG Su - ming<sup>1</sup> (1. China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China ;2. China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract : Thermal infrared remote sensing is one of the focuses in remote sensing investigations all over the world, and the retrieving of land surface temperature is an important research field. This paper has analyzed the difficulties in the inversion process and summed up several methods for estimating ground absolute emissivity. Three inversion methods and their main merits and shortcomings, their application fields and conditions are described, and the future development trends as well as the key points in the inversion of land surface temperature are also dealt with in the end of this paper.

Key words : Thermal infrared remote sensing ; Emissivity ; Land surface temperature 第一作者简介:甘甫平(1971-)男,博士后,高级工程师,主要从事遥感技术方法与地学应用、遥感信息模型研究。

(责任编辑: 刁淑娟)

£\*\*\*\*\*\*  洱 海

洱海是一高原淡水湖泊 水面海拔 1 972 m 左右 北起洱源县江尾乡 南止于大理市下关镇 形如一弯新月 南北长 41.5 km , 东西宽 3~9 km 周长 116 km 面积 251 km<sup>2</sup>。洱海属澜沧江水系 北有弥苴河和弥茨河注入 ,东南汇波罗江 ,西纳苍山十八溪 水 水源丰富 汇水面积 2 565 km<sup>2</sup> ,平均容水量为 28.2 亿 m<sup>3</sup> ,平均水深 10.5 m ,最深处达 20.5 m ,湖水从西洱河流出 ,与漾江 汇合注入澜沧江。

洱海西面有点苍山横列如屏,东面有玉案山环绕衬托,空间环境极为优美 ",水光万顷开天境,山色四时环翠屏 " 素有"银