基于热红外光谱和微波反演地表温度的研究进展

张佳华¹,李 欣¹,姚凤梅^{2,3*},李先华³

1. 中国气象科学研究院遥感与气候信息开放实验室,北京 100081

2. 中国科学院研究生院地球科学院,北京 100049

3. 上海大学空间遥感与空间信息科学研究中心,上海 200072

摘 要 地表温度(LST)是研究地表和大气之间辐射和能量交换以及区域和全球尺度地表物理过程的重要 参数。卫星遥感技术在生态环境、水文、气象、地震、军事的应用研究,以及气候模式的辐射过程描述都需 要获得准确的LST。光谱中的红外和微波对于探测LST发挥重要作用。文章综合分析了热红外波谱和微波 遥感反演LST的研究进展,包括:利用热红外辐射温度表探测LST的方法,晴空条件下星载传感器的红外 通道反演LST的单窗、分裂窗等反演方法,单通道和多通道算法,组分温度的反演方法,单通道多角度法和 多通道多角度法,以及地表发射率 特性研究等。微波可以全天候探测地表,文章分析了被动微波波段遥感 反演LST的方法。并对这些方法的优缺点、适用性及应用前景进行了评述。

关键词 热红外;微波;地表温度;遥感反演;发射率 中图分类号:TP701 文献标识码:A DOI: 10. 3964/j. issn. 1000-0593 (2009) 08-2103-05

引 言

7

光谱包括可见光、近红外、热红外、微波等波谱[1],其 中,近红外已广泛应用于植被、大气研究^[2,3]。而热红外、微 波在探测地表温度(LST)方面发挥着重要的作用。LST 不仅 可以直接估算长波辐射通量,还可以间接估算影响大气、海 洋、陆地的潜热和显热通量,是研究地气系统辐射和能量平 衡,地气相互作用的基本物理量。很多遥感应用如:干旱、 高温、城市热环境、林火、植被、冻土分布、水文、地震、军 事监测,以及全球环流模式(GCM)和区域气候模型(RCM) 的辐射平衡过程都需要提供 LST 时空信息。传感器直接测 得亮度温度(TB),经过大气修正和地表发射率()修正后可 得到LST,但该方法得到的LST 往往误差较大,无法满足一 些监测模型的要求。目前,国内外遥感LST主要利用热红外 (TIR),包括中红外(MIR,3~6µm)和远红外(FIR,6~15 µm)数据,以及被动微波遥感数据(1 mm~1 m)。卫星遥感 LST 反演方法主要分为两类:一类是统计方法,主要是在实 际工作中利用地面定标,根据实测处在卫星传感器过境时的 LST, 来建立图像灰度值和 LST 的回归方程, 求出 LST 图

像。另一类是理论方法,该方法是通过求解辐射传输方程, 来消除大气影响,从而求出LST,如分裂窗法^[4]。本文对目 前遥感反演LST的研究进展和存在的问题进行综述和分析。

1 利用 TIR 技术遥感 LST

1.1 TIR辐射温度表测量 LST

热量通过电磁辐射、热传导和对流在物体之间传输。任 何物体只要温度不为绝对零度时,就会放射出能量。根据斯 蒂芬-玻尔兹曼定律,已知物体发射率,就能通过测量物体发 出的能量计算物体表面温度。手持红外辐射温度表则是利用 该原理制成的^[5]。1975年我国研制第一台红外测温仪以来, 先后研制了包括了多个 TIR 波段在内的多光谱扫描仪,并进 行了相应的 TIR 遥感应用研究,如岩溶区探水、TIR 探矿、 探地热、城市热岛、林火监测等均取得不少成果。由于地表 是非朗伯体,其热辐射具有方向性,随着观测角度的大小和 方向而改变。一般测量 LST 时采用较大的视野角。黄妙芬等 [6]对地表辐射温度的热方向性进行了研究,分别建立了 30°,60 和 90 高度角辐射温度观测值与半球积分值的回归方 程,对LST 进行计算。但是由于手持红外辐射温度表在实际

收稿日期: 2008-06-06, 修订日期: 2008-09-09

基金项目:国家自然科学基金项目(40641003,40771147),"十一五"科技支撑计划课题项目(2006BAD045B04),"863"计划课题项目 (2006AA10Z213)和公益行业项目(GYH Y20070628)资助

作者简介:张佳华, 1966年生, 中国气象科学研究院研究员 e-mail: zhangjh @cams.cma.gov.cn *通讯联系人 e-mail: yaofm @gucas.ac.cn

应用中是单点测值,不适合进行连续观测,而在实际操作 中,需要将对LST的遥感的研究从"点"扩展到"面"上,因 此,该方法有很大局限性。

1.2 卫星传感器的热红外通道反演 LST

卫星红外传感器测量的是可以转化成大气顶亮度温度的 辐射能,如果传感器被设计成在大气几乎透明(如,10.5~ 12.5μm)的一部分光谱段工作,获取LST并不困难。但事实 上,大气并非全部透明,从而产生大气影响。且当地表不是 黑体或灰体时,地表发射率 几乎是未知的^[7]。若可以精确 进行大气修正和地表发射率反演订正,利用卫星就可获取 LST时空分布。目前普遍采用的方法可为三大类:单通道 法,"分裂窗 法和多通道法。

1.2.1 单通道法

2104

单通道法是利用卫星传感器上单独一个 TIR 通道(一般 选在大气窗口内)获得的辐射能,借助于无线电探空或卫星 遥感确定大气廓线数据(温度、湿度、压力),结合辐射方程 来修正大气和发射率影响,从而得出LST^[8]。该法用于 TM/ ETM 等单个 TIR 波段的传感器。其中如大气校正法。在这 种算法中,通常是根据 TM 数据算出 NDVI,利用 Van(自然 地表)经验公式来估算地表发射率,然后进行计算^[9]。由于 该算法需提供较精确的实时大气剖面数据进行大气模拟,而 这些数据对于大多数研究区而言难以获得,因此限制了该算 法的广泛使用^[10]。

覃志豪等(2001)针对 TM6 数据提出了单窗算法(singlewindow algorithm, SWA)如下^[11-13]

$$T_{s} = \frac{1}{C} [a(1 - C - D) + C + D]T + DT]$$

$$[b(1 - C - D] + C + D]T_{sensor} - DT_a]$$
 (1)
 $C =$ (2)

$$D = 1(1 -)[1 + (1 -)]$$
(3)

其中: *a* = 67.355351, *b* = 0.458606, 是大气透过率, *T*_{sensor} 是星上亮度温度, *T*_a为大气平均作用温度,并由下式 给出

$$T_{\rm a} = 16.\ 011\ 0\ +\ 0.\ 926\ 21\ T_{\rm 0} \tag{4}$$

其中 T₀ 是近地层大气温度。Jimener Munoz 等(2003)对只有 一个红外通道的传感器提出了普适性单通道算法^[14]。该方 法仅需知道大气水汽含量即可反演 LST,即对普朗克函数在 某个温度值 T₀ 附近作一阶泰勒级数展开,得到^[8,14]

$$\left\{ \frac{c_{0}L}{T_{c}^{2}} \left[\frac{4}{c_{1}}L + \frac{1}{c_{1}} \right] \right\}^{-1}$$
(6)

$$= L + T_{\rm c} \tag{7}$$

式中, *L*为卫星传感器接收到的红外辐射亮度, 由三部分组成

$$L = B(T_s) + (1 -) L_{atm} + L_{atm}$$
 (8)

其中 *B(Ts)* 表示经大气削弱后被传感器接受的地表热辐射,(1-) *L*_{atm} 表示大气下行辐射经地表反射后再被大气削弱,最终被传感器接收的那部分能量,*L*_{atm} 表示大气上行辐射,为大气在 TIR 波段的透过率,*B(Ts)* 为普朗克黑体辐射亮度。是有效波长,对于 TM6是 11.457 μm。α 和 α 为

辐射常数, 分别是 1. 191 043 56 ×10⁸ W ⋅m⁻² ⋅Sr⁻¹µm⁴ 和 1. 438 768 5 ×10⁴ µmK; 大气参数 1, 2和 3 是总大气水汽 含量 W(g ⋅cm⁻²)的函数, 可针对下面 TM6 所建立的方程 获得

- $_{1} = 0.147 \ 14W^{2} 0.155 \ 83W + 1.123 \ 4$ (9)
- $_2 = -1.183 \ 6W^2 0.376 \ 07W 0.528 \ 94$ (10)
- $_{3} = -0.04554W^{2} + 1.8719W 0.39071$ (11)

孟宪红等对金塔绿洲进行 LST 反演时,对上述大气校 正法、单窗算法和 Jimenez-Munoz 等的普适性单通道算法三 种方法进行了比较后发现,大气校正法对绿洲 LST 反演精 度最高,而单通道法对沙漠点 LST 反演效果最好^[15]。张兆 明等利用 TM 数据反演北京 LST 时,表明单通道和单窗算 法都具有较高精度,对于覆盖类型较均一的地表,误差在 2 K以内。对于水体,用单通道算法反演的精度在 1 K以 内^[16]。

1.2.2 "分裂窗"法(split-window techniques, SWT)

SWT 算法是采用大气窗区吸收特征不同的两个临近波 段的辐射量进行大气修正。该模式首先由 Anding 和 Kauth (1970)提出^[17],由 Prabhakara 等(1974)发展成为现在的经 典形式^[18]。SWT 算法由红外通道的线性组合构成,解决了 因大气效应影响 LST 的伪订正。最初 SWT 较好应用在海表 温度(SST)上,但直接将它用在陆面时,误差可达到 6 K。这 是由于 SWT 用在海表时的假设不适合陆地表面。对于 NO-AA-AV HRR 其"分裂窗 '表达式为^[19]

$$T_{\rm s} = aT_4 + bT_5 + d \tag{12}$$

其中 T_4 和 T_5 分别为 NOAA-AVHRR 第 4(10.8 µm)、第 5 (11.9 µm)通道的亮温, *a*, *b*, *d* 为经验系数, 取决于地表发 射率和大气状况。此外 SWT 也可以用下式表达, 和(12)式 类似, 但应用了 3 个通道

$$T_{\rm s} = a_0 + a_3 T_3 + a_1 T_4 + a_2 T_5 \tag{13}$$

T的下标表示 AV HRR的红外通道, a₀, a₁, a₂, a₃为经 验系数, 取决于地表发射率和大气状况。使用通道 3 要注意 的是, 在夜晚可以直接使用, 而在白天则需要将反射部分考 虑进去。此外, 双向反射率在约为 3.7 μm 的通道还无法获 知, 它明显地增大了误差。

1.2.3 多通道算法(multi-channels algorithm, MCA)

多通道算法主要是利用多光谱数据进行 LST 和发射率 的同步反演,目前较为广泛应用在 MODIS 和 ASTER 温度 产品算法当中。MODIS 的算法中的白天/夜间 LST 算法就 是通过计算某一地区白天与晚上的独立于温度波谱指数,从 而得出地表发射率,然后利用"分裂窗 '算法得出 LST。Wan 和Li(1997)利用 MODIS 的 7 个,即 20,22,23 的 MIR 通 道,29,31~33 的 FIR 通道白天和夜间两次观测资料同时反 演地表温度和通道平均比辐射率,而不需要高精度的大气温 度和水汽廓线^[20]。此算法主要用统计回归方法和最小二乘 法求解。白天/夜间 LST 算法的误差主要来自白天/夜间 MODIS 资料对的配准误差。

ASTER的LST算法主要采用多通道-温度发射率算法 TES(temperature emissivity separation)^[21]。TES充分结合了 NEM(normalized emissivity method), RAT(ratio method)和 ASTER 相对于 AVHRR 和 MODIS 来说,具有较高的 空间分辨率;而对于 TM/ ETM 来说,则具有更多的 TIR 波 段和更高的光谱分辨率,能够提供较丰富的地表信息,这些 特点可以帮助提高温度反演的精度。但是由于目前计算模型 建立的不完善,如 ASTER 本身在 TIR 波段的地面分辨率较 低,目前采取的计算公式也有很多局限性,都使得反演结果 不如人意,这就需要将更多的精力投入到其中。

1.2.4 单通道多角度法和多通道多角度法

随着反演LST研究的深入,出现了利用 ERS-ATSR(european remote sensing along-track scanning radiometer)传感 器反演LST 的单通道多角度法和多通道多角度法。单通道 多角度法和多通道多角度法都是通过通道在不同角度下所获 得的物体亮温的线性组合来消除大气的影响,假设大气吸收体的相对光学物理特性在不同的观测角度下保持不变,且大 气的透过率仅随角度的变化而变化。单通道多角度法目前还 局限于 SST 的反演,在进行地表组分温度的反演研究时,多 通道多角度法被用来分解同一像元内的组分温度^[22]。

1.2.5 组分LST反演

LST 与 SST 的不同之处在于, 陆面通常是混合像元, 而 海面相对比较均一, 所以在利用"分裂窗"等算法反演 LST 时, 很难达到反演精度小于1 K的目的, 而且在实际应用中, 真正有实用价值的量是组分温度。一般在进行组分温度的反 演时, 需两类假设: 一是在研究对象为不同覆盖度植被时, 将植被及下垫面土壤确立为两个独立组分, 并假设均为同 温、均一的面, 各组分热辐射能与混合像元的热辐射能之间 呈线性关系, 这种假设忽略了组分的三维结构等非线性因 素。另一种是假设地表为朗伯体, 大气各向同性, 利用多波 段信息来提取组分温度。其一般表达式为^[23]

$$L_{i} = \int_{\substack{k=1 \\ N}} f_{ki \ k} B \ (T_{k})$$
(14)
$$\int_{\substack{k=1 \\ k=1}} f_{ki} = 1$$
(15)

式中: L_i 为第 波段第 i 像元的地表辐射亮度值; N为基本 组分的数目; f_k 为第 i 像元第 k 个基本组分所占的分量值; k为第 k 个基本组分所在 波段的发射率值; $B(T_k)$ 为第 k个基本组分所在 波段的地表黑体辐射亮度值; T_k 为第 k 个 基本组分的 LST 值。庄家礼等^[24]利用遗传算法反演多角度 组分温度,所得结果比传统方法优化得到的结果更加稳定。

1.3 地表发射率特性研究

物体在温度 T时, 波长 处的辐射出射度 $M_s(T,)$ 与同 温、同波长下的黑体辐射出射度 $M_b(T,)$ 的比值, 称为发 射率 (T,),或比辐射率。从前面的算法中可以看到,大气 透过率和地物发射率直接决定 LST 反演精度。MODIS 的近 红外波段适宜于反演大气水汽含量,而大气透过率主要从 MODIS 的近红外波段数据反演得到大气水汽含量,并进而 根据水汽含量与大气透过率的关系来进行估算。通常的做法 是利用 MODTRAN, 6S 和 LOWTRAN 等大气模拟软件模 拟大气透过率与大气水汽含量之间的关系。反演地表真实温 度,需要加强地表发射率的研究。一种方法是利用光谱比值 方法确定发射率,另一种是利用两个温度方法测定发射率。 有的利用" 分裂窗 "技术结合已知地表发射率而修正温度系 数,也取得对LST 较高的订正精度。还有利用多波段 TIR 信息采用模式法、热对数剩余法、加权比值法等提取发射 率。LST反演(包括发射率的研究)仍然是遥感辐射特性研究 的重要内容。对于只有一个 TIR 通道的传感器,一般通过以 下两种方式获取发射率: 通过分类图像,对每一个类别赋 予相应的发射率值。但是由于分类误差的存在,有些像元并 非单一地表类型,导致计算的发射率存在较大的误差。 先 计算 NDVI, 然后由 NDVI 获取发射率。而在遥感实验场测 定发射率的方法有黑体筒法,非封闭法和光谱红外反射发射 仪法。

2 微波遥感反演LST

一般晴空条件下可利用红外数据反演LST。然而 TIR 波段受大气和云的影响很大,被动微波则受其影响很小,而 且微波遥感LST 可以全天时、全天候进行,反演得到几十 km分辨率的高精度LST 参数。当地表覆盖类型已知时,不 需要任何吸收、散射和地表发射率等地表先验知识,就可以 从多频、多极化数据中反演得到LST 参数。随着 SMMR, SSM/I,AMSR-E等辐射计升空,被动微波遥感反演LST 的研究逐渐增多。目前被动微波反演LST 的算法归纳为统 计模型和物理模型两类^[25]。统计模型根据数理统计分析,将 多通道卫星获得的亮温数据与实际测量的LST 数据进行多 元回归,从而得到反演LST 的一个简单线性公式。对于每一 种地表类型来说,根据地表实测数据分析LST 与不同频率 和极化组合亮温的相关关系。如利用 FY-3 微波成像仪,找 出LST 最为敏感的通道组合,建立回归方程。

物理LST反演模型则是建立在辐射传输模型之上,其 物理意义明确,反演LST时不受时空限制,且统计模型获得 的LST还可为物理模型提供参考信息。目前求解的方法主 要有:基于发射率调整的算法,基于极化发射率关系的反演 算法,基于两阶段的反演算法,基于两邻近通道的反演算 法,基于简化了的辐射传输方程的地表参数联合反演算法、 基于多时相的反演算法、神经网络算法等。这些算法是不同 研究者在不同地域、时间假设的情况下采取的方法,目前还 不具有大范围的代表性。

3 遥感反演 LST 存在问题与展望

目前,LSI反演主要利用 TIR 和被动微波遥感数据。其 中利用 TIR 遥感LST的算法被广泛采用,但热红外算法本 身存在局限性,如在多云条件下受大气和水汽影响较大。而 微波遥感虽然不受大气影响,在特例中反演出的LST比红 外遥感精度高,但是由于目前关于微波遥感LST的研究较 少,目前还没有一个能在较大范围内广泛使用的反演算法; 同时与热红外一样,使用辐射传输方程来求解LST和地表 发射率,地表发射率测定时要求同时测定LST,反之亦然。 这使得从空间同时测定这两个参数非常困难。毛克彪等^[26] 利用 MODIS-LST 产品和 AMSR 不同通道之间的亮度温度, 建立了LST 的反演方程,精度提高了很多,为今后综合利用 不同的传感器提供了依据。由于在LST 反演过程中,大气订 正、地表发射率订正、红外和微波方向反射、非同温像元、 下垫面特征和地形影响带来了一系列误差,因此遥感 LST 反演还有待于深入研究^[27]。利用主动热红外辐射源-红外激 光雷达是推动热红外遥感发展的新思路,在空间分辨率和信 息源的信息量方面将会得到突破性的发展,反演 LST 的能 力也将大幅度提高。

参考文献

- [1] CHEN Shurpeng(陈述彭). Remote Sensing Dictionary(遥感大词典). Beijing: Science Press(北京:科学出版社), 1990. 31.
- [2] ZHANG Xin, GUO Jia, NI Li-jun, et al (张 鑫, 郭 佳, 倪力军, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis (光谱学与光谱分析), 2007, 27(12): 2437.
- [3] DENGLun-hua, GAO Xiao-ming, CAO Zhen-song, et al(邓伦华, 高晓明, 曹振松, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与 光谱分析), 2007, 27(11): 2186.
- [4] PU Jing-juan, DONG Wei-dong, GUAN Yam ning, et al (濮静娟, 董卫东, 关燕宁, 等). Journal of Remote Sensing(遥感学报), 1997, 1
 (4): 290.
- [5] LI Wei, ZHANG Hong sheng, KANG Ling et al (李 薇,张宏升,康 凌,等). Meteorological, Hydrological and Marine Instruments (气象水文仪器), 2003, 3: 13.
- [6] HUANG Miao-feng, XING Xurfeng, LIU Surhong, et al (黄妙芬, 邢旭峰, 刘素红, 等). Arid Land Geography(干旱区地理), 2005, 28 (4): 541.
- [7] Becket F, Li ZL. Remote Sens. Rev., 1995, 12: 225.
- [8] Sobrino J A, Jimenez-Munoz J C, Paolini L. Remote Sensing of Environment, 2004, 90(4): 434.
- [9] GONG A-du, JIANG Zhang-yan, LI Jing, et al (宮阿都, 江樟焰, 李 京, 等). Remote Sensing Information (遥感信息), 2005, 79(3): 18.
- [10] DING Feng, XU Han-qiu(丁 凤, 徐涵秋). Geo-Information Science(地球信息科学), 2006, 8(3): 125.
- [11] Qin, Z H, Karnieli A, Berliner P. Int. J. Remote Sensing, 2001, 22(18): 3719.
- [12] QIN Zhi-hao, LI Wen-juan, XU Bin, et al (覃志豪,李文娟,徐 斌,等). Remote Sensing for Land & Resources (国土资源遥感), 2004, 3: 28.
- [13] Dash P, Gottsche F M, Olesen F S, et al. International Journal of Remote Sensing, 2002, 23(13): 2563.
- [14] Jimenez-Munoz J C, Sobrino J A. Journal of Geophysical Research, 2003, 108 (D22): 4688.
- [15] MENG Xian-hong, L Ü Shi-hua, ZHANG Yu, et al (孟宪红, 吕世华, 张 宇, 等). Plateau Meteorology(高原气象), 2005, 24(5): 721.
- [16] ZHANG Zhao-ming, HE Guo-jin, XIAO Rong-bo, et al(张兆明,何国金,肖荣波,等). Remote Sensing Technology and Application(遥 感技术与应用), 2005, 20(6): 547.
- [17] Anding D, Kauth R. Remote Sensing Environ., 1970, 1: 217.
- [18] Prabhakara C, Dalu G, Kunde V G. Journal Geophys. Res., 1974, 79: 5039.
- [19] Price J C. J. Geophys. Res., 1984, 89: 7231.
- [20] Wan Z M, Li Z L. IEEE Transactions Geoscience Remote Sensing, 1997, 35: 980.
- [21] Gillespie A, Rokugawa S, Matsunaga T, et al. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1998, 36: 1113.
- [22] XU Xi-ru, ZHUANGJia-li, CHEN Liangfu, et al(徐希孺, 庄家礼, 陈良富, 等). Acta Scientiaram Naturalium Universitatis Pekinensis (北京大学学报,自然科学版), 2000, 36(4): 555.
- [23] SONG Xiao-ning, ZHAO Ying-shi(宋小宁,赵英时). Journal of China University of Mining & Technology(中国矿业大学学报), 2004, 33(4): 406.
- [24] ZHUANGJia-li, CHEN Liang-fu, XU Xi-ru(庄家礼,陈良富,徐希孺). Journal of Remote Sensing(遥感学报), 2001, 5(1): 1.
- [25] JIA Yuan-yuan, LI Zhao-liang(贾媛媛, 李召良). Progress in Geography(地理科学进展), 2006, 25(3): 96.
- [26] MAO Kerbiao, SHIJian-cheng, LI Zhao-liang, et al (毛克彪, 施建成, 李召良, 等). Remote Sensing for Land & Resources (国土资源遥感), 2005, (3): 14.
- [27] ZHANGJia-hua, XU Xiang-de, YAN Xiao-dong, et al(张佳华,徐祥德,延晓冬,等). Journal of Applied Meteorological Science(应用气象学报), 2003, 14(6): 745.

The Progress in Retrieving Land Surface Temperature Based on Thermal Infrared and Microwave Remote Sensing Technologies

ZHANGJia-hua¹, LI Xin¹, YAO Feng-mei^{2, 3 *}, LI Xian-hua³

- 1. Laboratory for Remote Sensing and Climate Information Sciences, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China
- 2. College of Geoscience, the Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China
- 3. Research Center of Remote Sensing and Spatial Information Science, Shanghai University, Shanghai 200072, China

Abstract Land surface temperature (LST) is an important parameter in the study on the exchange of substance and energy between land surface and air for the land surface physics process at regional and global scales. Many applications of satellites remotely sensed data must provide exact and quantificational LST, such as drought, high temperature, forest fire, earthquake, hydrology and the vegetation monitor, and the models of global circulation and regional climate also need LST as input parameter. Therefore, the retrieval of LST using remote sensing technology becomes one of the key tasks in quantificational remote sensing study. Normally, in the spectrum bands, the thermal infrared (TIR, $3-15 \ \mu m$) and microwave bands (1 mm 1 m) are important for retrieval of the LST. In the present paper, firstly, several methods for estimating the LST on the basis of thermal infrared (TIR) remote sensing were synthetically reviewed, i.e., the LST measured with an ground-base infrared thermometer, the LST retrieval from mono-window algorithm (MWA), single-channel algorithm (SCA), split-window techniques (SWT) and multichannels algorithm(MCA), single-channel & multi-angle algorithm and multi-channels algorithm & multi - angle algorithm, and retrieval method of land surface component temperature using thermal infrared remotely sensed satellite observation. Secondly, the study status of land surface emissivity () was presented. Thirdly, in order to retrieve LST for all weather conditions, microwave remotely sensed data, instead of thermal infrared data, have been developed recently, and the LST retrieval method from passive microwave remotely sensed data was also introduced. Finally, the main merits and shortcomings of different kinds of LST retrieval methods were discussed, respectively.

Keywords TIR; Microwave; Land surface temperature (LST); Remote sensing retrieval; Emissivity

(Received Jun. 6, 2008; accepted Sep. 9, 2008)

* Corresponding author