

基于TM影像的地表温度遥感反演研究——以兰州市区为例

李京忠^{1,2}, 殷学勇, 蔡清华, 王洪明

(1. 西北大学城市与资源学系, 陕西西安710069; 2. 许昌学院城市与环境学院, 河南许昌461000)

摘要 以兰州地区为例, 利用TM数据对地区的地表温度进行了反演。

关键词 地表温度; 反演; 比辐射率

中图分类号 S127 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2008)18-07805-03

Land Surface Temperature Retrieval Based on TM Remote Sensing Image in Lanzhou

LI Jing-zhong et al (Department of Urban and Resource Sciences, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069)

Abstract The land surface temperature was an important indicator in the research on the environment of land surface. The information on the land surface temperature at wide range could be obtained by means of the thermal infrared remote sensing. And compared with the traditional method, it was rapid, convenient, wide range and information consecutive. The thermal infrared remote sensing data using ground temperature inversion had been widely used. The TM data of the surface temperature inversion was used in Lanzhou area.

Key words Surface temperature; Inversion; Emissivity

陆地表面温度(Land Surface Temperature, LST) 是一个重要的地球物理参数, 它在地气间物质与能量的交换过程中起着重要的作用, 是区域和全球尺度地表物理过程中的一个关键参数, 广泛应用于气候学、水文学、生态学等的研究。用卫星遥感数据提取海洋温度(Sea Surface Temperature, SST) 的研究已较为成熟, 可以在全球范围内达到1 K的精度。但是, 由于陆地表面比海洋表面复杂得多, 导致陆地表面温度反演的精度较低, 陆地表面温度反演成了一个亟待解决的科学难题^[1]。目前, 针对卫星影像的温度反演算法较多, 其中基于多个热红外通道的分裂窗算法较为成熟, 且精度较高^[2]。从TM5数据中演算地表温度通常通过大气校正法。覃志豪等^[3]根据地表热辐射传导方程, 推导出一个简单易行并且精度较高的演算方法, 把大气和地表的影晌直接包括在演算公式中, 该算法需要用地表辐射率、大气透射率和大气平均温度3个参数进行地表温度的演算, 地表温度演算精度 $< 0.4 \text{ K}$ ^[4]。

1 研究方法

1.1 数据来源 研究数据为中国科学院中国遥感卫星地面站存档卫星遥感数据资料, 所用影像为兰州市区2000年7月25日Landsat TM5影像, 根据实际需要做了相应的裁剪, 并利用地形图对影像进行几何精确纠正, 平均误差在0.5像元以内。

1.2 辐射定标 由于地表热辐射在其传导过程中受到大气和辐射面的多重影响, TM传感器所观测到的热辐射强度(已转化为相对应的灰度值)不再是单纯的地表热辐射强度, 因而不能直观地表示地表的热辐射和温度变化, 从而使直接使用TM5的原数值(灰度值或亮度温度)来进行区域分析所得到的结论存在很大程度上的偏差^[5]。一般得到的TM数据是以灰度值(DN值)来表示, DN(Digital Number)值在0和255之间, 数值越大, 亮度越大。对于TM5, 亮度越大, 表示地表热辐射强度越大, 温度越高, 反之亦然。从TM5数据中求算亮度温度的过程包括把DN值转化为相应的热辐射强度值, 然后根据热辐射强度推算所对应的亮度温度。陆地卫星遥

感器TM在设计制造时已考虑到把所接收到的辐射强度转化为相对应的DN值问题。因此, 对于TM数据, 所接收到的辐射强度与其DN值关系如下:

$$\text{Radiance} = \text{Gain} \times \text{DN} + \text{Offset} \quad (1)$$

$$\text{Radiance} = (L_{\text{max}} - L_{\text{min}}) / 255 \times \text{DN} + L_{\text{min}} \quad (2)$$

1.3 TOA 计算 该研究采用基于6S (Second Simulation of Satellite Signal in the Solar Spectrum) 模型和大气-地表BRDF耦合效应的大气校正方法计算目标物真实辐射亮度和反射率^[6]。根据6S模型的要求, 首先对遥感数据进行辐射订正, 然后计算大气顶部反射率, 最后基于6S模型推导地表的真实反射率, 并消除地-气耦合效应。利用公式(3)可以计算地物在大气外的顶部光谱反射率。

$$\rho = \frac{L \cdot d^2}{E_{\text{sun}} \cdot \cos(\theta_s)} \quad (3)$$

式中, L 是某个波段光谱辐射亮度, d 为日地天文单位距离, E_{sun} 为波段 λ 处的平均大气外太阳辐照度(单位为 $\text{W}(\text{m}^2 \cdot \mu\text{m})$), θ_s 为太阳天顶角(Zenith)。计算儒略日为207, 通过简单线性插值可知日地平均距离为1.015 465。通过查阅存档记录, 发现卫星景中心太阳高度角为 56.1° , 转换成高度角为 33.9° , 即0.591 7弧度。通过建模计算大气顶层光谱反射率TOA图见图1。

1.4 大气纠正 定量遥感反演研究必须从传感器所接收到的大气-陆地混合信号中提取出地表目标物体的贡献部分, 消除所观察目标的非相关信息。学者们试图通过大气校正方法提取目标物的真实反射率, 提出了直方图均衡化、黑暗目标法、固定目标法、对比减少法、LUT(Look Up Table)方法、6S模型等方法。上述方法大部分建立在某种特殊的理想条件下, 其实用性受到一定限制。6S模型建立在辐射传输理论基础之上, 模型应用范围广, 不受研究区特点及目标类型等的影响^[6]。

研究区域的中心位置为 $100.839 7 \text{ E}$, $36.153 34 \text{ N}$ 。景中心太阳方位角为 107.4° , 景中心太阳高度角为 56.1° 。景影像的获取时间为02:42。在6S模型中需要输入传感器类型、成像年月日和经纬度、气溶胶浓度、辐射条件、观测波段、海拔高度和TOA反射率等参数, 查阅相关资料, 该经纬度范围内

的平均海拔取1 500 m。通过6S 利用中纬度夏季标准大气模式、大陆性气溶胶分布模式, BRDF 模型采用 Rojean 的模型, 其中的3 个系数分别取0.243、0.073、0.642。通过以上参数对研究区TM 影像的第1、2、3、4 波段进行了大气纠正。

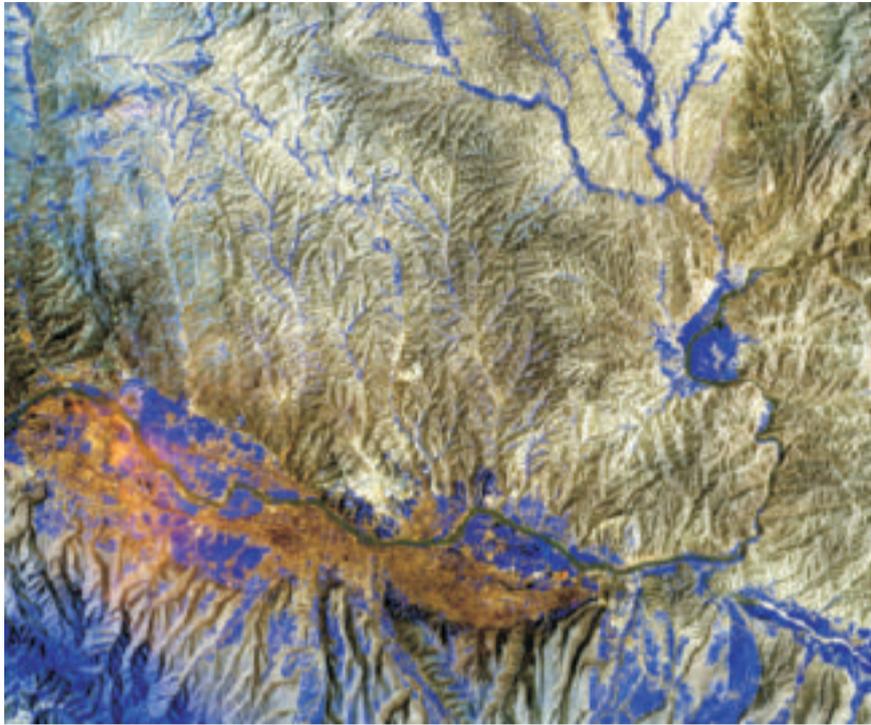


图1 光谱反射率TOA

Fig.1 Spectral reflectance TOA

1.5 归一化植被指数(NDMI) 利用大气纠正后的地表真实反射率, 计算研究区的植被指数分布^[7], 公式如下:

$$NDM = \frac{4^- - 3}{4^+ + 3} \quad (4)$$

1.6 比辐射率(Emissivity) 计算 对于只有一个热通道的传感器, 一般通过以下2 种方式获取比辐射率: 通过分类图像, 对每一个类别赋予相应的比辐射率值, 但是由于分类误差的存在, 有些像元并非单一地物类型, 导致计算的比辐射率存在较大的误差。先计算 NDM, 然后由 NDM 获取比辐射率。根据 NDM 来获取地表比辐射的方法也很多, 该研究采用了 Van 的经验公式求得自然地表的比辐射率^[8]:

$$= 1.0094 + 0.047 \ln(NDM) \quad (5)$$

需要注意的是 Van 经验公式是在自然地表上总结出来的, 所采用的 NDM 值在0.157~0.727。如果 NDM 值超过了这个范围, 比辐射率就很难再满足这个经验公式。水体的 NDM 值小于0, 显然不适用这个公式。因此先对研究区中的水体信息进行提取, 为水体的比辐射率赋值为0.9925。其中 NDM 小于0.157 的像元假定它们的比辐射率为0.923。对于 NDM 大于0.727 的地面假定它们的比辐射率为0.994。

1.7 温度反演 卫星热红外遥感探测大气顶层的辐射, 运用普朗克方程可以从大气顶层辐射得出大气顶层的亮度温度。大气顶层辐射包括3 部分: 地表发射辐射; 大气上行辐射; 天空下行辐射。

$$L = [L(T_s) + (1 - \tau) L_{atm}] + L_{atm} \quad (6)$$

其中: T_s 为地表真实温度, $L(T_s)$ 表示温度为 T_s 的黑体在热红外波段的辐射亮度, L_{atm} 表示大气向下辐射亮度, L_{atm} 表示大气向上辐射亮度, τ 为大气在热红外波段的透过率。由于大气的影 响, 传感器接收到的辐射亮度一般小于地表亮度, 不同地表之间的温度差别也比较小。目前基本得到接受的且广泛使用的是多通道的分窗算法, 这种方法是利用2 个或多个通道之间大气吸收和发射热红外辐射的差异来消除

大气的影 响, 但对于 TM 数据, 这种方法不适用。通过模拟大气对辐射传输的影响可以为计算大气效应提供了一种有效的方法^[9]。由于没有卫星过境时的同步气象数据, 不能较好地模拟当时的大气状况。参考中纬度夏季标准大气剖面, 模拟得到各个大气参数, L_{atm} 为 $1.68 W(m^2 \cdot \mu m \cdot Sr)$, L_{atm} 为 $1.74 W(m^2 \cdot \mu m \cdot Sr)$, τ 为 0.77。

$$L(T_s) = \frac{(L - L_{atm})}{1 - \tau} + L_{atm} \quad (7)$$

代入以上数据, 其中 Landsat TM6 中心波长取值为 $11.457 \mu m$, 反解 Planck 函数即可获取地表真实温度, 也可以采用如下的简化公式:

$$T_x = \frac{1260.56}{\ln\left(\frac{607.76}{L(T_s)} + 1\right)} \quad (8)$$

通过以上公式即可获取研究区真实的地表温度, 研究区地表温度分布如图2 所示。

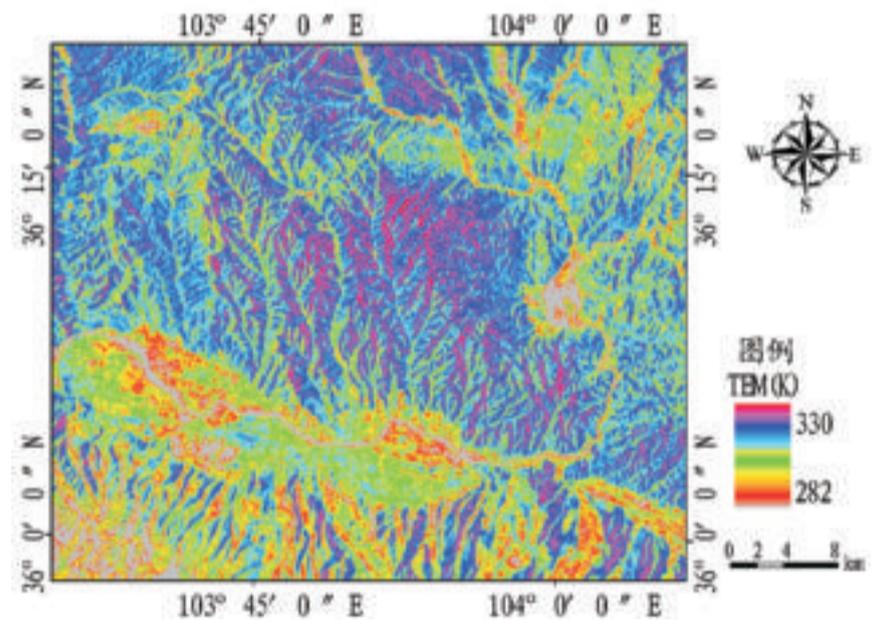


图2 地表温度分布

Fig.2 Distribution of land surface temperature

2 结果与分析

2.1 典型地物的 NDM 数值分布 在研究区 NDM 分布图中选择典型地物作为样本, 观察典型地物的 NDM 分布特征, 计算得到表1。对比样本点上不同地物类型的平均 NDM 植被分布如图3 所示。

表1 典型地物的 NDM 值

Table 1 NDM value of typical surface features

类型 Type	最小值 Minimum value	最大值 Maximum value	平均值 Mean	标准偏差 Standard deviation	样本数 Number of samples
耕地 Farmland	0.646 439	0.984 894	0.870 650	0.072 356	1 530
水系 Water system	-1	-1	-1	-1	1 717
阴影 Shadow	-1	-1	-1	-1	1 438
裸土1 Bareland 1	-0.058 253	0.178 223	0.091 047	0.029 610	1 258
水边林地 Woodland around water	0.650 033	0.984 405	0.859 960	0.072 406	1 004
城镇 Town	-1	0.260 906	-0.710 409	0.299 138	1 837
裸土2 Bareland 2	-1	0.155 018	-0.157 257	0.300 088	3 035
林地 Woodland	0.664 254	0.981 175	0.809 584	0.038 095	2 000

植被指数是用来定量描述地表植被的覆盖率及其生物量的重要指标, 常用于测量地表植被的数量和活力。根据地物光谱反射率的差异作比值运算可以突出图像中植被的特

征、提取植被类别、估算绿色生物量、叶面积指数、光合有效辐射的吸收比例和植被覆盖率等,它也是当前地表比辐射率估算的必要参数,因此植被指数的反演结果直接影响到地表温度。从研究区的归一化植被指数可以看出,7月份研究区的耕地和林地生长较为茂密,NDM 平均值在0.8 以上,而城镇和裸土的 NDM 的均值在0 左右,基本上符合实际状况,水系和阴影处的 NDM 数值均为-1,究其原因是因为原数据在4 波段上的 DN 值均为0,所以导致 NDM 在水系和阴影处的估算可能会有所误差。

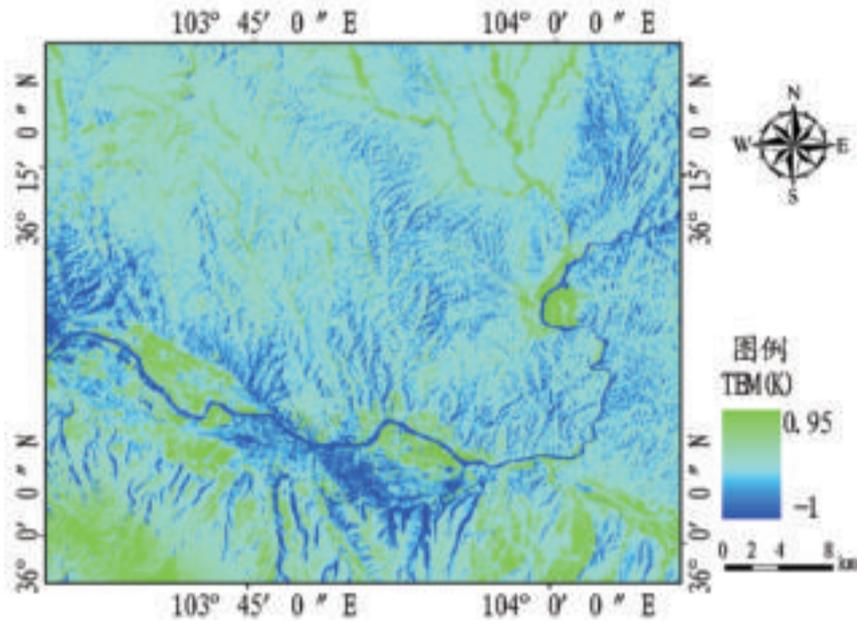


图3 NDM 空间分布

Fig.3 NDM spatial distribution

2.2 温度分布分析 从温度分布图中可以看出,整个研究区在卫星过境时刻的陆地表面温度在282 ~ 330 K,即9 ~ 57 °C,其中整条黄河和部分阴影地区的温度较低,只有10 °C左右,整个居民地地区温度较高,平均温度在30 °C左右。在市区表现出了明显的热岛效应,七里河地区地表温度明显高于

(上接第7669 页)

李、毛核木和西洋丁香高生长高峰期,8 月高生长速度减缓,9 月初以后逐渐停止生长。高生长突出,生长量较大的树种是美国沙枣,它的高生长持续到10 月初,地径生长主要集中在7 月末至8 月末。

3 讨论

(1) 通过对引种区与原产地生态因子关联度分析与比较,结果表明,呼和浩特市南部与北京、辽宁开原和美国西部的关联度都较高,引种成功的可能性较大,但引种区较原产地气温偏低、降雨偏少,土壤偏碱性等生态条件的不同会为引种成功带来一些障碍。为此,需要加强人工措施,如,营建防护林、搭遮荫棚和防风障,秋季减少灌水、追肥,促进苗木适时木质化,防止或减少冻害等,以达到成功驯化、引种之目的。

(2) 3 年林期试验结果表明,从美国引种的银水牛角等24 个树种基本适应引入区的气候、土壤等条件,生长茁壮、茂盛。部分树种已开花结实,并产生了下一代,引种初步成功。各科属的不同树种生长量差异显著,适应性和抗逆性不同,并筛选出一些表现突出、独具特色的优良树种。如,观赏性较强的西洋丁香,生长优势明显、观花观果期早的鞑靼忍冬,适应性和抗逆性强、速生、生态价值较高的银水牛角和美国沙枣等。

其他地区,可能和该区分布大量的工业场地有关。裸露的地表吸收热量较快,裸石、水泥材质、土壤等都是不良导体,吸收的太阳辐射都用在加热很薄的陆地表面,传导到土壤下层的热量很少。因而,在卫星过境时,温度上升较快,相对于周围的林地和耕地,地表温度较高。山体阴坡和阳坡、山谷和山脊的温度亦差异明显,阳面坡地温度明显高于阴面。不同方位上温度的差异主要是由于辐射的差异而引起的。凡是接受太阳辐射多的坡地,其温度一般也高,反之较低。但是由于获取实时大气剖面数据很难, L_{atm} 和 L_{atm} 是用标准大气剖面数据代替实时大气剖面数据进行模拟估计,地表温度反演的误差往往较大,因此反演结果有待实地解译和实测数据的验证。

参考文献

- [1] 张兆明,何国金,肖荣波,等.利用TM6 数据反演陆地表面温度新算法研究[J].遥感技术与应用,2005,20(6):547-550.
- [2] 甘甫平,陈伟涛,张绪教,等.热红外遥感反演陆地表面温度研究进展[J].国土资源遥感,2006(1):6-11.
- [3] 覃志豪,LI WJ,ZHANG MH,等.单窗算法的大气参数估计方法[J].国土资源遥感,2002,23(1):33-35.
- [4] 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):494-450.
- [5] QIN Z,KARNELI A,BERLINER P.A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region[J].International Journal of Remote Sensing,2001,22(18):3719-3746.
- [6] 阿布都瓦斯提·吾拉木,秦其明,朱黎江.基于6S 模型的可见光、近红外遥感数据的大气校正[J].北京大学学报:自然科学版,2004,40(4):611-618.
- [7] 赵英时.遥感应应用分析原理与方法[M].北京:科学出版社,2003:374-375.
- [8] VAN DE GIEND A A,OWE M.On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surface [J].International Journal of Remote Sensing,1993,14(6):1119-1131.
- [9] 李净.基于Landsat-5TM 估算地表温度[J].遥感技术与应用,2006,21(4):322-326.

参考文献

- [1] 潘志刚,游应天.中国主要外来树种引种栽培[M].北京:北京科学技术出版社,1994.
- [2] 胡卫民.紫叶矮樱引种试验初报[J].江苏林业科技,2002,29(4):25-26.
- [3] 张日清.美国山核桃引种栽培区划研究[J].中南林学院学报,2001,21(2):1-5.
- [4] 代家泽.美国加州李在楚雄地区的引种及丰产栽培技术[J].云南林业科技,2001(2):45-48.
- [5] 张文越.4 个意大利扁桃品种在山东泰安引种试验[J].中国果树,2001(5):14-15.
- [6] 宋伟,迟东明.三色堇引种栽培试验[J].安徽农业科学,2007,35(32):10283-10284.
- [7] 孙敏红,赵思东,谭文霞,等.4 个早熟砂梨引种筛选研究[J].安徽农业科学,2007,35(36):11809-11810,11817.
- [8] 韩九皋,唐伟斌.太平花的引种与栽培技术[J].安徽农业科学,2007,35(7):1932.
- [9] 禹明甫.国内外杨树引种与速生抗逆性的选择[J].安徽农业科学,2007,35(7):2007-2009.
- [10] 惠毓坤,张法琴.北方盐碱地区引种大叶女贞试验[J].安徽农业科学,2007,35(9):2598-2599.
- [11] 蒋细旺.丰花月季的引种试验报告[J].安徽农业科学,2006,34(14):3351,3353.
- [12] 金立敏,蔡曾煜,吕文涛.常绿大花萱草的引种及栽培技术研究[J].安徽农业科学,2007,35(12):3544,3579.
- [13] 周建,李佑武.翠冠等4 个梨品种的引种及比较试验[J].安徽农业科学,2006,34(15):3664-3665.
- [14] 方莉.细叶雷竹引种栽培技术[J].安徽农业科学,2006,34(17):4290.
- [15] 丁增成,唐菲,王艳,等.加拿大红叶紫荆的引种试验报告[J].安徽农业科学,2008,36(16):6747-6748,6794.