

遥感劈窗技术在城市地表温度研究中的应用*

潘贤章¹ 曾志远² 史学正¹

(1 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

(2 南京师范大学, 南京 210092)

URBAN LAND SURFACE TEMPERATURE RETRIEVAL BASED ON SPLIT-WINDOW TECHNOLOGY

Pan Xian-zhang¹ Zeng Zhi-yuan² Shi Xue-zheng¹

(1 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

(2 Nanjing Normal University, Nanjing 210092, China)

关键词 地表温度, 劈窗技术, 发射率

中图分类号 P423.7, X87

地表温度是农业生态环境研究中的一个重要参量。监测地表温度对适时播种、因土施肥等农业生产活动具有重要的指导意义,对研究城市热岛效应也非常关键。本文利用气象卫星 AVHRR 数据,运用劈窗技术反演方法提取地表温度,为大范围实时监测地表温度提供新的技术途径。

1 劈窗技术原理

传统地表温度获取主要采用水银温度计测量法,方法简单但易受微地形影响,且监测范围小^[1];后来采用红外测温,实现远距离非接触式监测,精度也有所提高。近 20 多年来,由于遥感技术的发展,气象卫星监测地表温度方法得到了广泛应用。但由于受大气影响,气象卫星不能直接获取真实地表温度,需要对大气影响进行辐射订正。早期采用亮温与局部实测温度进行回归的方法^[2],后来气象部门通过实测方法获取大气资料进行辐射订正,但该方法较为复杂,所以人们一直在寻找简单可行的消除大气影响的方法。

Anding 和 Kauth 在 1970 年提出一种新方法认为,虽然两个相近波段大气透过率不同,但它们之间具有一定的数量关系,运用数学方法可以消除大气对辐射的影响。这个原理经 Prahakara 等定型之后^[3],演化成为现在比较成熟的劈窗(Split-window)技术法。劈窗技术法先是应用于海面温度提取中,有些研究结果显示能达到 0.2 K 的精度。但是劈窗技术应用于陆面温度提取结果不理想,早期研究认为误差会达到 6 K。此后经 Price 等不断完善^[4],至 80 年代中后期,Becker^[5,6]又将劈窗技术法作了重新推论,使得该方法和公式已经成为这方面研究的经典方法。该研究认为,地面温度 T_s 可以表示为两个热红外波段在大气顶层亮温的线性组合,即:

$$T_s = a_0 + a_1 T_{10.8} + a_2 T_{11.9} \quad (1)$$

其中, T_s 为地表温度, a_0 、 a_1 、 a_2 为常数,且 $a_1 + a_2 = 1$, $T_{10.8}$ 和 $T_{11.9}$ 分别为 NOAA 卫星 AVHRR 第 4 和第 5 波段的亮温值,且

* 中国科学院南京土壤研究所所长基金(ISSDF0007) 和国家重点基础研究发展规划“973”项目(G1999011810) 课题资助

收稿日期:2002-03-21; 收到修改稿日期:2003-03-10

$$a_0 = 1.274$$

$$a_1 = 3.63 + 2.068(1 - \bar{\epsilon}) / \bar{\epsilon} + 18.924\Delta\epsilon / \bar{\epsilon}^2 \quad (2)$$

$$a_2 = -2.63 - 1.912(1 - \bar{\epsilon}) / \bar{\epsilon} - 19.406\Delta\epsilon / \bar{\epsilon}^2 \quad (3)$$

其中, $\bar{\epsilon} = (\epsilon_{10.8} + \epsilon_{11.9}) / 2$, $\epsilon_{10.8}$ 和 $\epsilon_{11.9}$ 分别为 NOAA 卫星第 4 和第 5 波段发射率, $\Delta\epsilon$ 为二者之差。

后来很多学者又对劈窗技术进行改进。Kerr 等分解每个像元温度为裸土和植被,再按照裸土和植被比例求算整个像元温度,该方法可以获得 0.6 K 的精度^[7]。陈良富等^[8]和柳钦火等^[9]也提出了一种新的改进劈窗技术方法,并在甘肃黑河地区进行了验证,据结果显示,其精度比其它方法有所提高。本文主要基于 Becker 方法,兼取其它方法的优点对兴国县城区地表温度进行了反演研究。

2 劈窗技术应用实例

2.1 研究区概况

兴国县位于江西赣州地区,总面积 3 200 多 km²,年均气温 19℃,一月份平均气温 7.2℃,7 月份平均气温 29.3℃,年降水量 1 539 mm。县城城区位于东经 115°20′,北纬 26°20′。从影响地表发射率的因素出发,我们将兴国城区地表分为混凝土表面(路面、屋顶、墙壁)、林木、公园及草地、裸土地。据测算,兴国县县城大约绿色植被占 15%,混凝土表面占 65%,裸露土面占 10%,水面(横贯县城的河流和池塘)占 10%。

2.2 研究方法和步骤

2.2.1 数据预处理和研究区域位置确定 首先对原始数据进行预处理,生成高对比度图像用于定位。再依照特殊地物以及 TM 图像来辅助定位,寻找水库和河流的拐角,依据它们与兴国城区的相对位置来比较精确地确定城区位置和范围。在此基础上分别提取历次原始温度数据中相应像元的 AVHRR 第 4 和第 5 波段的亮温值。

2.2.2 劈窗技术中发射率的确定 劈窗技术中最关键的参数是地物发射率。根据已掌握的资料,城市中各种类型地表发射率大都比较接近,尤其是道路、墙壁、屋顶等都在 0.90 以上,街道两旁的人行道树木发射率也比较高,甚至高于道路和屋顶。由于城区地面非常不均匀,其发射率与均匀表面的发射率不同^[1],因此我们采用非均匀地面发射率求算方法来获取(具体方法参见文献[1])。利用这个方法,结合兴国县城区覆被状况和前人有关发射率的实测数据,获得城区地表第 4 波段发射率 $\epsilon_{10.8}$ 为 0.974。我们又运用 C. Coll 方法先估计第 4 和第 5 波段的发射率差值^[10]。在晴朗天空下,亦即空气湿度较小的情况下,利用空气湿度和亮温资料,采用 Coll 方法中相应的经验图,查算第 4 和第 5 波段发射率的差值,得到 $\Delta\epsilon$ 平均值为 0.022。由此我们得到了劈窗技术中两个最重要的参数 $\epsilon_{10.8}$ 和 $\epsilon_{11.9}$,其中 $\epsilon_{10.8} = 0.974$, $\epsilon_{11.9} = 0.952$ 。在此基础上利用式(2)和式(3)分别求取 a_1 和 a_2 ,再利用式(1)对兴国县 1993 年 33 个晴

天地表温度进行求算。

3 结果与讨论

3.1 城市地表反演温度的精度检验

由于实测城区地表温度非常困难,本研究不直接使用实测地表温度来检验反演温度精度,而是与实测气温进行相关分析来进行相对的精度评判。从图 1 可以看出,反演的城市温度与实测气温在总体趋势上非常一致,相关系数 0.98,达到 0.01 水平上的显著相关,而原始第 4 和第 5 波段亮温与气温相关系数分别为 0.94 和 0.90。反演地表温度与气温之相关系数高于原始亮温与气温之间的相关系数,表明本研究结果比单波段亮温统计方法求算的温度精度有所提高。

3.2 地表反演温度与气温之间数量关系

分析结果显示,反演地表温度与实测气温间线性关系为: $y = 1.04x + 3.2$,其中, y 为反演的地表温度,

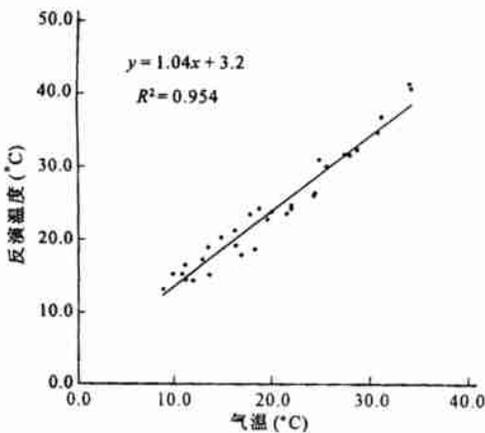


图 1 地表反演温度与实测气温之间的关系

x 为实测气温, 单位都是 $^{\circ}\text{C}$ 。由此可见, 城市地表温度与气温的差值在 $3\sim 4^{\circ}\text{C}$ 左右, 这个差值可能比有些裸地地面实测温度要小一些^[1]。据分析, 主要是因城市下垫面复杂性引起的。

城区与单一地表差异非常大, 既有混凝土表面, 也有林木、草地和水体, 不可忽略的还有建筑物的阴影等, 由于各种类型地物发射率差异较大, 各种地物综合起来的地表温度肯定比裸地等单一表面的要低。同时由于建筑物的立体特征, 墙体接收的能量还与墙体内部进行交换, 结果也有效降低了墙面的温度, 而这种城区下垫面的立体效应在自然地表状况下一般很小。综上所述, 本方法反演的温度实际上是城区综合地表温度。

3.3 研究展望

本研究受限于条件不能获取实际地表温度和发射率, 也不能提供城区的温度分布图, 但是提供了一个新的研究城市地表温度的方法, 通过实地温度监测以及发射率监测可以不断地改进本方法。本研究虽然是在城区进行, 但是研究方法可以很方便地移植到土壤温度研究中, 配合土壤表面发射率的测定, 运用气象卫星数据可以实现实时监测大范围农田地表温度, 真正用于指导农业生产。

参考文献

1. 张仁华. 试验遥感模型及地面基础. 北京: 科学出版社, 1996
2. 刘兴文, 冯勇进. 应用热惯量编制土壤水分图及土壤水分探测效果. 土壤学报, 1987, 24(3): 272~ 280
3. Prahakara C, Dalu G. Estimation of sea surface temperature from remote sensing in the 11 and 13 μm windows region. J. Geophys. Res., 1974, 79: 5 039~ 5 044
4. Price J C. Land surface temperature measurements from the split window channels of the NOAA 7 Advanced Very High Resolution Radiometer. J. Geophys. Res., 1984, 89 (D5): 7 231~ 7 237
5. Becker F. Absolute sea surface temperature measurements by remote sensing and atmospheric corrections differential radiometry. In: Vemberg F J. Processes in Marine Remote Sensing. Columbia: University of South Carolina Press, 1982. 151~ 174
6. Becker F, Li Z L. Towards a local split window method over land surfaces. Int. J. Remote Sens., 1990, 11(3): 369~ 393
7. Kerr Y H, Lagourde J P, Imbemon J. Accurate land surface temperature retrieval from AVHRR data with use of an improved split window algorithm. Remote Sens. Environ., 1992, 41: 197~ 209
8. 陈良富, 徐希孺. 陆面温度反演的新进展. 国土资源遥感, 1999, 3: 47~ 50
9. 柳钦火, 徐希孺, 徐家宜. 遥测地表温度与比辐射率的迭代反演方法—理论推导与数值模拟. 遥感学报, 1998, 2(1): 1~ 9
10. Coll C, Caselles V, Schmugge J T. Estimation of land surface emissivity differences in the split-window channels of AVHRR. Remote Sens. Environ., 1994, 48: 127~ 134