

利用 ASTER 数据分析南京城市地表温度分布^{*1}

申双和 赵小艳 杨沈斌 周 强

(南京信息工程大学应用气象学院, 南京 210044)

摘 要

城市环境日益受到人们重视,南京是长江下游人口密集的城市,研究南京市地表温度分布对了解南京市气候,改善生活环境,为城市发展规划提供有效的气象服务具有一定科学意义。该文利用 2002 年 8 月 21 日 10:30 (北京时)ASTER 热红外数据,在 ENVI 软件的支持下,通过劈窗算法反演南京城市地表温度,进一步生成城市地表温度分布等温线图。用同时相 ETM⁺ 数据进行验证,二者十分吻合,说明 ASTER 反演结果可靠。结果表明:南京市存在明显的热岛效应,城市地表温度分布差异大;不同下垫面的地表温度差异明显,城区地表温度总体高于郊区,植被覆盖密集区地表温度低于植被稀疏地,具有较大水域面积和较密植被的城中各大公园形成多个冷岛,长江水体温度最低;随着城市的扩大,新城区热岛效应更加明显。水体和密集植被能显著改善城市环境。

关键词: ASTER; 热红外; 劈窗反演算法; 地表温度场

引 言

随着城市人口的聚集,城市规模不断扩大,城市化和区域城市化愈加明显,使得通过城市地表温度场了解城市热环境及其热效应研究成为当前城市气候与环境最为重要的研究内容之一。研究城市地表温度分布可以揭示城市空间结构和城市规模的发展变化,有助于引导城市可持续发展,提高人们的居住环境质量^[1]。

近年来,国内外通过城市地表温度来了解城市热环境的研究很多,归纳起来,主要有常规定点观测和卫星遥感反演^[2-7]。在利用热红外遥感数据监测城市热环境变化时,直接利用遥感数据计算城市亮温进行分析^[8],但是,亮温(辐射温度)仅是衡量物体温度的一个指标,不代表物体的真实温度,二者差异很大,所以有一定局限性。目前,随着热红外遥感基础理论问题研究的深入和热传感器改进等取得的进展,利用反演的地表真实温度来研究城市热环境变化成为当前研究的主流,人们使用 TM 数据、MODIS 数据等对各大城市热环境(热岛效应)进行研究^[4,7]。ASTER(先进星载热辐射与反射辐射计)热红外数据具有高空间分辨率,在地表温度反演方面

具有很大潜力,适合城市和小区域热环境变化分析,但目前国内利用 ASTER 数据进行城市地表温度反演和城市热环境(热岛效应)尚不多见。

南京素有“火炉”之称,是长江三角洲地区的特大城市之一,城市人口密集,高楼耸立,高能耗企业众多,城市热环境问题日趋严重,已引起众多方面关注。目前,已采用遥感手段对南京市热环境进行研究,如唐伶俐等利用 TM6 数据通过 IHS 彩色变换得到反映南京夏季热岛效应的图像,并作了有关分析^[9],李俊杰等利用 MODIS 遥感数据获取城市亮温图和地表温度进行南京市热环境分析^[8]。但上述遥感数据热红外波段空间分辨率相对较低,尤其是 MODIS 数据,热红外波段空间分辨率仅为 1000 m。本文主要利用高空间分辨率的 ASTER 热红外数据生成南京地表温度场分析热环境的变化,希望能够对南京市地表温度场分布进行初步探讨,为南京城市建设与绿化规划提供参考。

1 数据来源

1.1 研究范围

本研究使用的 ASTER 数据位于 31°42' ~ 32°23'N, 118°24' ~ 119°18'E 之间,是以南京主城区

* 江苏省自然科学基金项目(BK2006227)资助。

2008-07-21 收到,2009-03-06 收到再改稿。

为中心的 $60 \text{ km} \times 60 \text{ km}$ 地域,该区域内有建筑、道路、城市绿地、林地、长江、湖水、河流、作物等多种地表覆盖类型。通过高空间分辨率遥感数据可以较全面地分析各种地物对城市热环境的影响。

1.2 ASTER 数据介绍

本研究所使用的遥感数据为 2002 年 8 月 21 日 10:30(北京时,下同)过境的 ASTER 1B 数据。ASTER 是一个拥有 15 个波段的高分辨率传感器^[10],其中有 5 个空间分辨率为 90 m 的热红外波段,分别为第 10 ($8.125 \sim 8.475 \mu\text{m}$)、第 11 ($8.475 \sim 8.825 \mu\text{m}$)、第 12 ($8.925 \sim 9.275 \mu\text{m}$)、第 13 ($10.25 \sim 10.95 \mu\text{m}$) 和第 14 ($10.95 \sim 11.65 \mu\text{m}$) 波段。其中第 13 和第 14 波段数据用于劈窗算法反演地表温度。

2 地表温度反演方法

地表温度是反映土壤-植被-大气系统能量流动和物质交换以及土地资源和环境管理的重要参数,也是反映地区表面能量平衡和温室效应的一个指标^[11]。针对不同卫星携带的传感器特点差异,国内外学者先后提出了一些反演地表温度的算法,如:单窗算法、劈窗(双波段)算法、多波段温度-比辐射率分离方法、多角度温度反演方法和多角度与多通道相结合的方法等等^[12-15]。其中,劈窗算法是目前地表温度反演中最常用的一种方法,其同时考虑了观测角和大气水汽含量变化,结合不同区域地表特征,对大气效应和地表发射率进行修正,该算法精度较高^[16]。

劈窗算法主要是针对 NOAA/AVHRR 的第 4 ($10.5 \sim 11.3 \mu\text{m}$) 和第 5 ($11.5 \sim 12.5 \mu\text{m}$) 热红外波段提出来的^[12],在此基础上,毛克彪等先后提出针对 MODIS 第 31 ($10.78 \sim 11.28 \mu\text{m}$) 和第 32 ($11.77 \sim 12.27 \mu\text{m}$) 热红外波段数据以及针对 ASTER 第 13 ($10.25 \sim 10.95 \mu\text{m}$) 和第 14 波段 ($10.95 \sim 11.65 \mu\text{m}$) 热红外波段数据进行地表温度反演的劈窗算法^[17-18]。本文则利用基于 ASTER 数据的劈窗算法进行南京城市地表温度的反演。

劈窗算法是以地表热辐射传导方程为基础,通过对遥感数据的两个热红外通道建立方程来反演地表温度,由劈窗算法的推导可知,在利用遥感影像进行地表温度反演时,主要是通过遥感影像数据计算出公式中必要的基本参数。图 1 给出了本文在对南京城市地表温度进行反演时的技术流程。

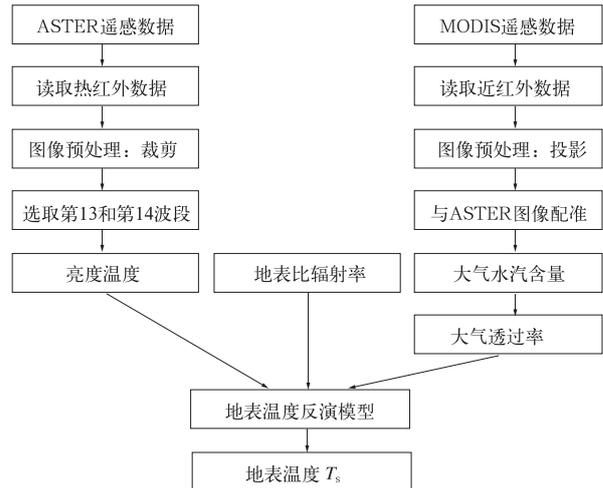


图 1 地表温度反演技术流程

Fig. 1 Process technology of retrieving land surface temperature

2.1 大气透过率 τ 的计算

大气透过率的计算通常使用 6S, MODTRAN, LOWTRAN 等软件,在模拟计算过程中由于实时大气剖面资料难以获取,经常使用标准大气代替,再利用地面资料进行修正。由于天气多变,这种做法的模拟精度较低。在对上空大气透过率的影响中,以大气水汽含量最为显著。所以,通常使用大气水汽含量估计大气透过率。本文使用与 ASTER 数据同颗星的 MODIS 数据来反演大气水汽含量,再根据大气水汽含量与大气透过率之间的关系估算大气透过率。

MODIS 传感器上设计了 5 个波段,其中第 17、第 18、第 19 波段为大气吸收波段,第 2、第 5 波段为大气窗口波段,选择不同的波段组合,可以得出常用的三通道比值法和两通道比值法。本文使用两通道比值法来估算大气水汽含量,其中大气吸收波段选择第 19 波段,大气窗口通道选择第 2 波段,用这两个波段的比值得出第 19 波段的大气透过率^[19]:

$$\tau(19/2) = \rho(19)/\rho(2) \quad (1)$$

式(1)中, τ 表示透过率, ρ 为地表反照率。对于大气透过率与水汽含量的关系,Kaufman 等通过许多模拟计算,给出如下关系表达式^[19]:

$$\tau(19/2) = \exp(\alpha - \beta w^{-1/2}) \quad (2)$$

整理,得

$$w = \left(\frac{\alpha - \ln \tau}{\beta} \right)^2 \quad (3)$$

其中, w 为水汽含量,单位: $\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$; α 及 β 为常量,

对于复杂地表^[19], $\alpha = 0.02, \beta = 0.651$ 。

毛克彪等曾用 MODTRAN 对 ASTER 热红外波段和大气透过率随大气水汽含量的变化进行模拟,进而建立了大气水汽含量和热红外波段大气透过率之间的关系表达式^[18]:

对于第 13 波段:

$$\tau_{13} = 1.02 - 0.104\omega, r^2 = 0.985 \quad (4)$$

对于第 14 波段:

$$\tau_{14} = 1.04 - 0.133\omega, r^2 = 0.9915 \quad (5)$$

从模拟关系式可以看出,大气透过率与大气水汽含量的线性相关系数非常高,因此在获取大气水汽含量后,可以用上面的表达式来近似估计大气透过率。

2.2 地表比辐射率的计算

Salisbury 等^[20]、Sobrino 等^[21]、Labeled 等^[22]分析可知地物在波长 8~14 μm 范围内地表比辐射率变化非常小,因此用劈窗算法反演地表温度时,地表比辐射率可以假定为已知,这样处理对最终反演结果影响不大。根据文献^[23],本文取地表比辐射率 ϵ 为 0.96。

2.3 亮温的计算

亮温是指辐射出与观测物体相等辐射能量的黑体温度,可根据普朗克公式计算得到,ASTER 第 13、第 14 波段亮温根据下式计算^[24]:

$$T_i = \frac{c_2}{\lambda_i \ln(1 + \frac{c_1}{\lambda_i^5 R_i})} \quad (6)$$

式(6)中, λ_i 为第 13、第 14 波段的中心波长,对于 ASTER 第 13、第 14 波段来说,分别取 $\lambda_{13} = 10.6 \mu\text{m}$ 和 $\lambda_{14} = 11.3 \mu\text{m}$ 。 c_1 和 c_2 为第一、第二光谱常量,分别取 $c_1 = 1.19104356 \times 10^{-16} \text{ W} \cdot \text{m}^2$, $c_2 = 1.4387685 \times 10^4 \mu\text{m} \cdot \text{K}$ 。 R_i 为地表在特定波长 λ_i 的热辐射强度,单位: $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$,根据下式可以计算得到^[24]:

$$R_i = k_{\text{gain}} \times D_N + b_{\text{offset}} \quad (7)$$

式(7)中, k_{gain} 为传感器本身的增益, b_{offset} 为传感器本身的偏差, D_N 为遥感图像第 13、第 14 波段的实际保存值。

2.4 地表温度的计算

地表温度反演是在地表热辐射传输方程基础上,通过对遥感数据两个热红外通道建立方程来进行。文中将得到的第 13、第 14 波段的大气透过率、亮度温度和地表比辐射率代入地表温度计算式(8)

中^[18],通过 ENVI 遥感图像处理软件得出研究区的地表温度:

$$T_s = \frac{C_{14}(D_{13} + B_{13}) - C_{13}(D_{14} + B_{14})}{C_{14}A_{13} - C_{13}A_{14}} \quad (8)$$

其中,

$$A_{13} = 0.145236 \times \epsilon_{13} \times \tau_{13},$$

$$B_{13} = 0.145236 \times T_{13} + 33.685 \times \tau_{13} \times \epsilon_{13} - 33.685,$$

$$C_{13} = (1 - \tau_{13}) \times (1 + (1 - \epsilon_{13}) \times \tau_{13}) \times 0.145236,$$

$$D_{13} = (1 - \tau_{13}) \times (1 + (1 - \epsilon_{13}) \times \tau_{13}) \times 33.685,$$

$$A_{14} = 0.13266 \times \epsilon_{14} \times \tau_{14},$$

$$B_{14} = 0.13266 \times T_{14} + 30.273 \times \tau_{14} \times \epsilon_{14} - 30.273,$$

$$C_{14} = (1 - \tau_{14}) \times (1 + (1 - \epsilon_{14}) \times \tau_{14}) \times 0.13266,$$

$$D_{14} = (1 - \tau_{14}) \times (1 + (1 - \epsilon_{14}) \times \tau_{14}) \times 30.273.$$

3 结果分析

3.1 南京市地表温度的反演结果分析与验证

3.1.1 地表温度的反演结果分析

图 2 为经上述研究方法计算得到的 2002 年 8

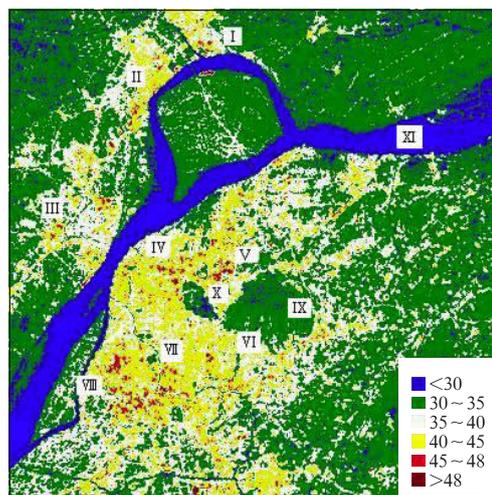


图 2 2002 年 8 月 21 日 10:30 南京地区 ASTER 数据的地表温度反演结果(单位: $^{\circ}\text{C}$)

(所示区域分别为: I—扬子; II—南钢; III—桥北; IV—中央门; V—汽车东站; VI—新街口; VII—中华门; VIII—秦淮河西侧城区; IX—紫金山; X—玄武湖; XI—长江)
Fig. 2 Result of LST retrieved based on ASTER data at 10:30 21 August 2002 in Nanjing area(unit: $^{\circ}\text{C}$)
(the region shown in Fig. 2: I—Yangzi; II—Nangang; III—Qiaobei; IV—Zhongyangmen; V—east bus station; VI—Xinjiekou; VII—Zhonghuaman; VIII—west city of Qinhuai River; IX—Zijin Mountain; X—Xuanwu Lake; XI—Yangtze River)

月 21 日 10:30 南京市地表温度图,该图反映了南京城市地表温度分布状况。从此次反演结果来看,南京市地表温度最高达到 56 °C,最低温度在 23 °C 左右,温差为 33 °C,长江南岸城区、原大厂区和桥北地表温度明显高于其他地区,地表温度值普遍在 40 °C 以上;其中从北向南分布的扬子、南钢、大桥北、中央门、长途汽车东站、新街口、夫子庙、中华门、秦淮河西侧城区以及雨花台地表温度高于 45 °C 的地点较多,呈斑块状特征;地表温度高于 48 °C 的主要集中在中央门、新街口、长途汽车东站和秦淮河西侧城区;紫金山、玄武湖、秦淮河、城内其他湖面和绿化较好的各大公园地表温度相对较低,普遍低于 35 °C,其中紫金山北坡温度较南坡温度低,玄武湖靠近紫金山一侧温度低于靠近中央门一侧。长江水体表面温度均在 30 °C 以下。

3.1.2 地表温度的反演结果验证

从当地气象部门获知:南京当天的平均气温为 27.9 °C,日最高温度 32.2 °C,最低温度 22.9 °C,相对湿度为 76%,平均风速 1.5 m/s,日照时间为 11.9 h,该日获取的 ASTER 和 MODIS 遥感影像质量较高,适合地表温度反演研究。

由于本次获得的 ASTER 影像数据仅包含江苏省气象局小校场气象观测站(32°N,118.6°E)在内,本文仅取该点进行地表温度验证,当日小校场观测站观测到 4 个时次地表温度平均值 02:00 为 22.9 °C,08:00 为 28 °C,14:00 为 38.7 °C,20:00 为 27 °C。研究表明:地表温度的日变化特征满足正弦或余弦曲线,将 4 个时次数据代入正弦曲线方程,计算得到当日 10:30 的观测站处平均地表温度值为 32.8 °C,从 ASTER 数据反演得到的地表温度图中获知在 32°N,118.6°E 像元处的地表温度值为 33.7 °C,实际观测值低于反演值 0.9 °C,从对该观测点的验证说明本文反演的结果具有一定可信度。

为了进一步验证反演结果,采用星下点分辨率为 60 m 的同日上午在南京过境的 ETM⁺ 数据进行同步地表温度反演,图 3 为 ETM⁺ 数据地表温度的反演结果图。对照图 2 和图 3 可以看出,基于两种遥感数据反演的南京市地表温度分布十分吻合,各区域地表温度也基本一致。文中分别基于不同的遥感数据使用劈窗和单窗两种算法对同一地区同步进行地表温度的反演,所得结果具有很好的一致性,进一步说明利用文中基于 ASTER 数据反演得到的地表温度结果进行城市热环境分布分析可行。

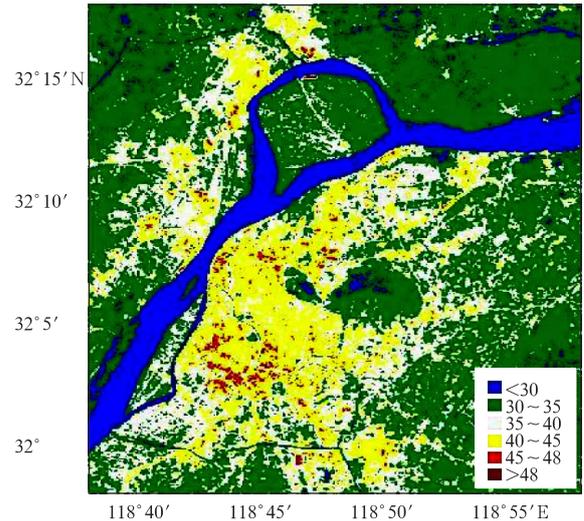


图 3 ETM⁺ 数据的地表温度反演结果(单位: °C)

Fig. 3 Result of LST retrieved based on ETM⁺ data (unit: °C)

3.2 南京城市地表温度分布

为了便于分析南京城市地表温度的分布状况,分别给出了地表温度分布的等值线图(图 4)和热岛效应较强的典型地区地表温度等值线图(图 5)。图 4 显示南京城市地表温度分布具有很大的差异性,城市热岛效应非常明显,在人口密集,高楼众多,下垫面多为水泥和沥青的长江以南城区是高温区,在发展迅速的江北以及包含众多化工和钢铁企业的原大厂区也存在明显热岛效应,地表温度高于周围地

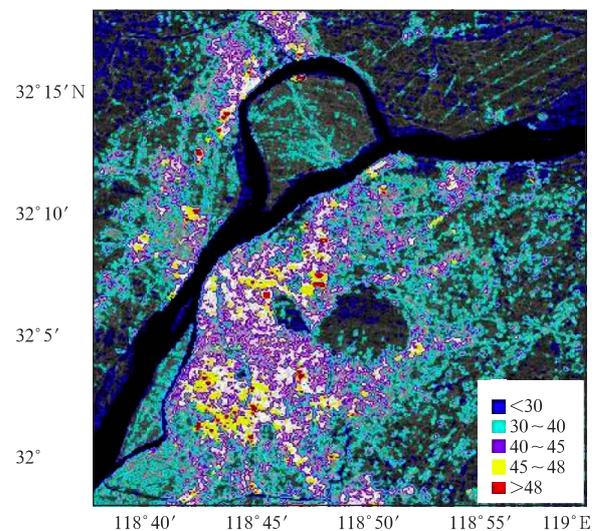


图 4 南京城市地表温度分布等值线图(单位: °C)

Fig. 4 Isothermal figure of distribution of LST over Nanjing(unit: °C)

区。紫金山、玄武湖所在位置形成两个明显的冷岛，长江则是穿越南京城市的一条低温带，另外，在城区内的一些植被较多和有一定水域面积的公园以及老城门洞的地表温度较周围其他地区低，也形成一个个的小冷岛。这些低温地区由于存在水体和大面积的植被在一定程度上改善了南京城市热环境。从图 5 可知，在汽车东站和秦淮河西侧城区地表温度大于 48 °C 的地点较多，这些地区正处于发展时期，大量的楼群、道路被修建，下垫面多为水泥和沥青，含水性低，是导致地表温度偏高的主要原因。在新街口、夫子庙、中央门、中华门地区地表温度也较高，超过 45 °C

比较多，超过 48 °C 的地点较汽车东站和秦淮河西侧城区所占面积少一些，这些地区形成高温与人口密集、高楼众多、下垫面多为水泥和沥青有关，但是由于这些老城区树木较多且高大，对缓解周围热环境起到了一定的作用^[25]。扬子、南钢地区由于化工和钢铁企业的存在，释放大量的热能，地表温度也较其周围地区偏高，其值较长江南岸城区低，这主要与周围农田、树木较多，下垫面含水性较高有关。另外，南京城内各大公园以及南京老城门洞形成一个个小冷岛，其地表温度较周围地区可以偏低 5 °C 之多，这些地区是南京人夏季解暑、纳凉的好去处。

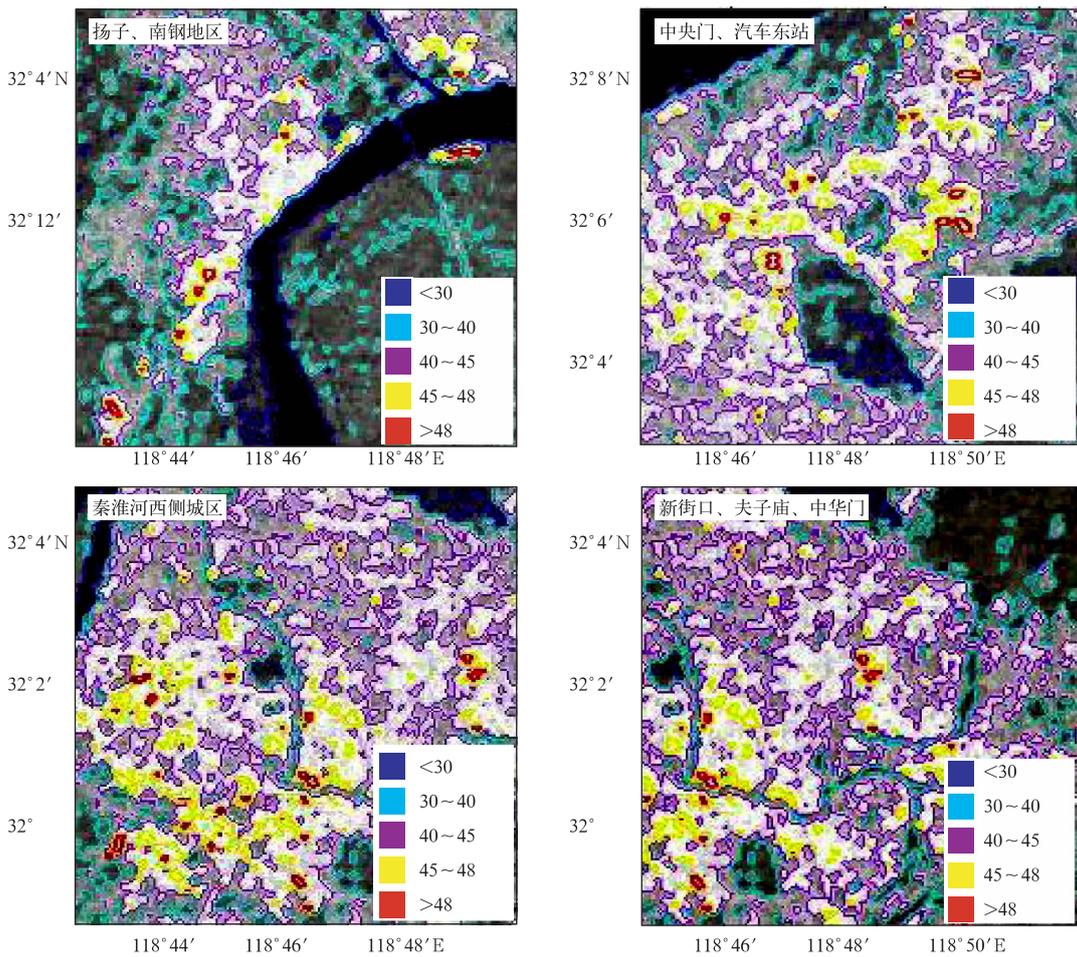


图 5 典型地区地表温度等值线图(单位: °C)

Fig. 5 Isothermal figure of LST over typical region(unit: °C)

4 结果与讨论

本文利用 ASTER 传感器空间分辨率为 90 m × 90 m 的热红外遥感数据反演了 2002 年 8 月 21 日

南京城市地表温度，生成了南京城市地表温度分布图，很好地解释了南京城市热环境的总体特征和影响因素，通过分析，可以得出结论如下：

1) 使用 ASTER 和 ETM⁺ 数据对南京城市地表温度进行同步反演，二者所得结果基本吻合，说明

文中基于 ASTER 数据使用的反演方法具有可行性;同时利用当日南京某一气象观测点的实测值进行该点验证,二者温度相差 0.9°C ,误差在反演精度范围内,进一步说明利用文中反演结果了解城市热环境可行。

2) 从地表温度的等值线图可以看出,南京城市地表温度分布差异性大,城市热岛问题严重,人口密集、建筑物众多、水泥沥青路面较多、重化工业和钢铁企业居多的地区是属于高温源地带;在城区生态环境好、植被覆盖率高、湖水面积较大地区以及老城门洞地带形成了被周围热环境包围的一个个冷岛;长江是贯穿南京城市的一条低温带,这些低温地区周围的热岛强度明显减弱。

3) 在城市建设过程中,合理的绿化可以减弱热岛效应,在南京秦淮河西侧城区和汽车东站地区由于绿化效果较差,其地面高温地区较南京老城区偏多。从紫金山和玄武湖两个地点来看,紫金山北坡温度低于南坡,玄武湖靠近紫金山的湖面温度低于靠近中央门附近的,这说明植被覆盖可以改善周围的热环境。

研究表明,使用高分辨率遥感数据对城市地表温度分布和影响因子进行研究,可以对城市发展建设以及城市生态环境规划提供一定的参考依据。当然,城市热环境会随着时间不断发生变化,还有待使用更多的遥感数据进行研究。另外,文中使用很窄波段反演得出的地表温度会与真实地表温度存在一定差异,这种差异大小有待于更多地面同步观测数据的验证;热辐射本身存在的方向性和地面的异质性使地表温度的反演成为一个复杂的问题,所以本研究还有待进一步完善。同时由于没有对南京各处高温源地区所处的环境进行详细考察,所以导致局部高温的原因还有待进一步验证分析。

致谢:感谢江苏省农业科学院农业资源与环境研究所农业遥感项目组提供的 ETM⁺ 验证影像。

参 考 文 献

- [1] 陈云浩,李京,李晓兵.城市空间热环境遥感分析——格局、过程、模拟与影响.北京:科学出版社,2003.
- [2] 郑祚芳,范水勇,王迎春.城市热岛效应对北京夏季高温的影响.应用气象学报,2006,17(增刊):48-53.
- [3] 宋艳玲,张尚印.北京市近40年城市热岛效应研究.中国生态农业学报,2003,11(4):126-129.
- [4] 何全军,吴志军,张月维.利用MODIS热红外数据进行广州市夏季热场分析.遥感技术与应用,2005,20(5):501-505.
- [5] 张光智,徐祥德,王继志,等.北京及其周边地区城市尺度热岛特征及其演变.应用气象学报,2002,13(特刊):43-49.
- [6] 李延明,张济和,古润泽.北京城市绿化与热岛效应的关系研究.中国园林,2004(1):72-75.
- [7] 宫阿都,李京,王晓娣,等.北京城市热岛环境时空变化规律研究.地理与地理信息科学,2005,21(6):15-18.
- [8] 李俊杰,何隆华,陈杰.南京城市热场的卫星遥感分析.长江流域资源与环境,2005,14(6):760-763.
- [9] 唐伶俐,陈刚,戴昌达.南京市热岛效应的卫星遥感.国土资源遥感,1993,(2):6-9.
- [10] 程博,刘少峰.TERRA卫星ASTER数据的特点与应用.华东地质学院学报,2003,1(26):15-17.
- [11] 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.气象科学,2002,22(4):494-450.
- [12] Price J C. Land surface temperature measurements from the split window channels of the NOAA 7/AVHRR. *J Geophys Res*, 1984,79:5039-5044.
- [13] Becker F. The impact of spectral emissivity on the measurement of land surface temperature from a satellite. *Int J Remote Sens*, 1987,8(10):1509-1522
- [14] Cooper D, Asrar G. Evaluating atmospheric correction models for retrieving surface temperatures from the AVHRR over a tall grass prairie. *Remote Sens Environ*, 1989,27:93-102.
- [15] Backer F, Liang Lizhao. Towards a local split window method over land surface. *Int J Remote Sens*, 1990,11:369-393.
- [16] 杨俊泉,黄承标,莫伟华,等.陆面温度劈窗算法的试算对比与应用.广西大学学报(自然科学版),2004,29(增刊):80-85.
- [17] 毛克彪,覃志豪,施建成,等.针对MODIS影像的劈窗算法研究.武汉大学学报(信息科学版),2005,30(8):703-707.
- [18] 毛克彪,唐华俊,陈仲新,等.一个从ASTER数据中反演地表温度的劈窗算法.遥感信息,2006,(5):7-11.
- [19] Kaufman Y J, Gao B C. Remote sensing of water vapor in the near IR from EOS/MODIS. *IEEE Transactions on Geo science and Remote Sensing*, 1992,30:871-884.
- [20] Salisbury J W, D'Aria D M. Emissivity of terrestrial materials in the 8—14 mm atmospheric window. *Remote Sens Environ*, 1992,42:83-106.
- [21] Sobrino J A, Raissouni N, Li Z L. A comparative study of land surface emissivity retrieval from NOAA data. *Remote Sens Environ*, 2001,75:256-266.
- [22] Labed J, Stoll M P. Spatial variability of land surface emissivity in the thermal infrared band: Spectral signature and effective surface temperature. *Remote Sens Environ*, 1991,38:1-17.
- [23] 高懋芳,覃志豪.中国MODIS地表温度产品验证.国土资源遥感,2006,(3):15-18.
- [24] 叶柯,覃志豪.基于MODIS数据的南京市夏季城市热岛分析遥感技术与应用,2006,21(5):426-431.
- [25] 佟华,刘辉志,李延明,等.北京夏季城市热岛现状及楔形绿地规划对缓解城市热岛的作用.应用气象学报,2005,16(3):357-366.

Case Study of LST Distribution in Nanjing Based on ASTER Data

Shen Shuanghe Zhao Xiaoyan Yang Shenbin Zhou Qiang

(*Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044*)

Abstract

Urban Environment has attracted ever more attention at present. Nanjing is a densely-populated city in lower-reaches of the Yangtze River. Knowledge of land surface temperature distribution in Nanjing can help people understand urban climatic condition, especially urban thermal environment, improve the habitat and make scientific layout for urban development. In order to understand the land surface temperature distribution of the city, with the aid of ASTER thermal infrared data and split-window algorithm, its land surface temperature (LST) is retrieved under the support of ENVI software and then land surface temperature field is established. Comparing ASTER LST with ETM⁺ LST, the results are very accordant. Comparison between ASTER LST and actual measurement data in meteorological station results in a difference of 0.9°C, it is within the range of permissible error, indicating that LST from ASTER is reliable. Results show that there is obvious heat island effect on Nanjing city, the land surface temperature in urban is higher than in suburbs, and there are many cold islands in the urban parks with the larger water bodies and thick plants. The land surface temperature of different space has great discrepancies; The maximal temperature is 56°C, the minimum temperature is 23°C, with a difference of 33°C. There is notable difference in surface temperature among different land uses; The surface temperature is the highest in the regions of asphalt concrete surface in the sun; it is higher in sparse vegetation regions than in dense vegetation cover regions; it is higher in sparse human regions than in dense human regions; the minimum temperature is found over the Yangtze River. On the whole, the surface temperature is higher in the south of Yangtze River, Dachang and Qiaobei than other regions, where it is generally more than 40°C. LST exceed 45°C in some districts, including Dachang, Nangang, Qiaobei, Zhongyangmen, east bus station, Xinjiekou, Fuzimiao, Zhonghuamen, the west of Qinhuai River and Yuhuatai, showing characteristics of fleck. The regions where LST exceed 48°C concentrate in Zhongyangmen, Xinjiekou, east bus station, and west of Qinhuai River. The temperature is lower than 35°C in Zijin Mountain, Xuanwu Lake, Qinhuai River and some urban parks with the larger water bodies and thick plants and LST of Yangtze River is under 30°C. With the expansion of city, the heat island effect is even more remarkable in the newly urbanized regions, but the water and the highly dense vegetation in urban help mitigate the thermal effect.

Key words: ASTER; thermal infrared; split-window inversion algorithm; land surface temperature field