

一种城市热岛强度的计算方法 ——以合肥市为例

查良松, 王莹莹

安徽师范大学国土资源与旅游学院; GIS 重点实验室, 安徽芜湖 241003

摘要 城市热岛是指城市化过程中城区高空以及近地面大气温度高于城区以外郊区的现象。城市热岛强度是城市热场分布的重要表达手段, 目前, 对专门研究城市热岛强度的计算方法讨论较少。本文利用 Landsat 5 数据, 基于遥感相关理论, 以合肥市为例, 反演出城市地表亮温, 同时引入城市形态分维理论, 使用改进的半径法对合肥市的城市热场状况进行研究, 发现亮温的水平分布在城市建成区与非城市建成区间有突变现象, 并以此分析城市热力场的空间分布, 得到热岛强度计算公式, 从而得出城市热岛强度的表达方式。在城市热岛强度计算过程中, 着重考虑了城市热场分布特征, 克服了在研究城市热岛时寻找郊区气温值的困惑, 这对于城市热岛强度的表达研究具有一定的指导意义。

关键词 城市热岛强度; 遥感; 突变现象

中图分类号 TP75

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2009)20-0076-04

A Calculation Method for Urban Heat Island Intensity: A Case Study on Hefei City

ZHA Liangsong, WANG Yingying

College of Territorial Resources and Tourism; Key Laboratory of GIS, Anhui Normal University, Wuhu 241003, Anhui Province, China

Abstract Urban heat island is a phenomenon related with the fact that the urban upper air temperature is higher than the surrounding area. The intensity of the urban heat island is an important index for the urban heat environment. But there is few studies on the calculation of the urban heat island intensity at present. In this paper, the brightness temperature of the case image in Hefei city is calculated based on the theory of Remote Sensing. The urban construction land is considered at the same time. The spatial distribution of the urban heat environment is analyzed and a calculation formula is obtained by using the fractal theory and the improved radius method. It is shown that there is a jump in the horizontal distribution of the brightness temperature between the urban built-up area and non-built up area. Then the intensity of

the urban heat island is computed. The attention is focused on the spatial distribution features of the urban heat environment. This method avoids the confusion of having to find the temperature in the suburban, and it is an important point in the studies on the intensity of the urban heat island.

Keywords urban heat island intensity; remote sensing; saltation

0 引言

所谓城市热岛, 是指城市化过程中城区高空以及近地面大气温度高于城区以外郊区的现象。随着工业化的发展和城市规模的扩大, 以及城市化进程的加快, 由其引起的城市热岛现象备受关注, 城市热岛效应给人们的健康已带来极大的危害。因此, 引起越来越多的国内外环境和气象工作者在城市热岛研究方面做了大量工作。典型的城市热岛研究主要依靠气象站提供有限的气象观测资料开展, 这种方法很难全面地掌握城市地面热岛的空间分布情况。而遥感以其资料的优势性克服了常规方法的弱点, 得到广泛的应用。周红妹等^[1-4]从城市的绿地数量和分布、人口密度、城市格局、气象因子及时相变化等方面研究了城市热岛效应, Weng 等^[5-8]分析了城市热场分布与土地利用覆被及变化之间的关系。徐函秋等^[4]设计了热岛比例指数, 将城市亮温进行了等级划分, 根据设置的权重、不同温度级别所占的百分比计算出指数值, 用以表征城

收稿日期: 2009-06-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(40771207); 安徽省高校自然科学基金项目(2007jyxm214)

作者简介: 查良松(中国科协所属全国学会个人会员登记号: S110000074M), 教授, 研究方向为模型设计与 GIS 应用、气候变化, 电子信箱: chaliangs@sina.com

市热岛强度。田平等^[9]先用聚类分析将亮温分为 23 类,然后将 23 类亮温数据通过标准化处理得出热岛强度指数,进而分析其与归一化植被指数 (NDVI) 的关系。杨英宝等^[8]构建了城市热岛效应指数 UHI,先以郊区平均地表温度为准,对建成区的温度进行分级,再根据不同温度级别占总面积的百分比等进行计算。王天星等^[10]将亮温按均值标准差法划分为 5 个等级,将温度较高的 2 个等级作为热岛区,温度较低的 3 个等级作为低温区,进而用热岛区的平均温度减去低温区的平均温度作为城市热岛强度。

本文选择合肥市为研究区域,把遥感数据作为反演城市热力场的基本信息,将研究城市形态的分维理论引入其中,采用改进的半径法对合肥市的城市热场状况展开研究,以此分析城市热力场的空间分布,同时不根据反演出的亮温图进行亮温等级的分类,而是直接根据遥感图像反演出来的亮温值直接计算出城市热岛强度。

合肥市位于中国中部地区 (31°48'N~31°58'N, 117°11'E~117°22'E), 地处长江淮河之间、江淮分水岭南侧、巢湖西北岸, 淝河之水穿流而过。该区地势西北高、东南低, 地形以平原丘陵为主。属亚热带湿润季风气候, 年平均气温 15.7℃, 年降水量 1 000 mm。截至 2008 年底, 市区总面积 838.52 km², 其中巢湖水面面积 72.93 km², 市区建成区面积为 224 km², 市区常住和流动人口约 200 万, 在城市化和工业化的不断推动下, 合肥市热环境问题日益突出。该市发展速度快、城市范围扩大广的特征代表了中国绝大部分城市发展的共性, 因此, 研究合肥市城市热岛问题具有普遍意义。

1 图像预处理与地面亮温反演

本研究所用的数据为 2007 年 8 月 2 日的一幅 Landsat 5 的 TM 图像 (图 1)。由于卫星姿态、轨道及地球运动等因素的影响, 遥感图像存在难以避免的几何变形。因此, 遥感数据在使用前必须进行预处理。首先对此数据进行几何校正和配准。在几何粗校正之后, 使用 1:50000 地形图, 选择 30 个控制点, 利用二次多项式的方法对图像进行几何精校正 (第六波段除外), 然后利用校正后的图像再对第六波段进行配准, 总误差控制在 0.5 个像元以下。并将各波段图像使用最邻近法进行 30 m 重采样, 使得第六波段与其他波段的空间分辨率相同, 便于进一步研究。

城市热岛研究大多注重的是温度相对强弱的空间分布特点, 且城市下垫面辐射温度与低空 (1.5 m) 气温呈显著线性关系, 因此可以用地面辐射温度, 即亮温研究城市热岛^[4]。

$$L_{\lambda}=0.1238+0.005632156Q_{dn} \quad (1)$$

$$T_6=K_2/L_{\lambda}(1+K_1/L_{\lambda}) \quad (2)$$

式中, L_{λ} 为 TM 传感器所接收到的辐射强度 ($\text{mW} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$); Q_{dn} 为 TM 数据的像元灰度值; T_6 为 TM6 的像元亮温 (K); K_1 和 K_2 为发射前预设的常量, 对于 Landsat 5 的 TM 数据, $K_1=60.776 \text{ mW} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$, $K_2=1260.56 \text{ K}^3$ ^[11]。

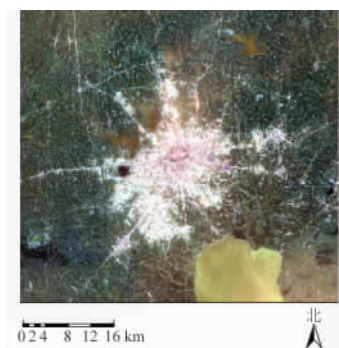


图 1 合肥市遥感图 (2007 年 8 月 2 日)

Fig. 1 The TM image on August 2, 2007 in Hefei

由此, 计算出城市热场分布状况 (图 2), 它反映了通过第六波段所接收到的地面各处热辐射值所对应的地面温度。

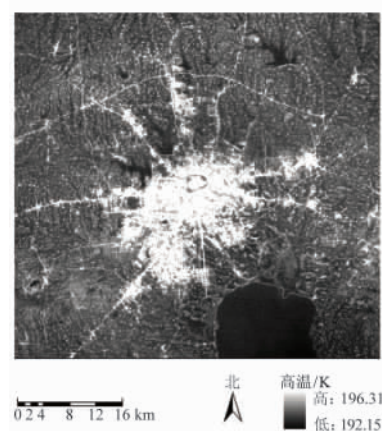


图 2 合肥市地表亮温图

Fig. 2 Spatial distribution of brightness temperature in Hefei

2 城市热场分布

为了集中研究合肥市的热场分布状况, 通常对城市热场分布状况的图像 (图 2) 进行切割。但是城市热岛是一个自然状况, 用行政区划图或其他方法进行剪切, 都会夹杂很多人为因素。因此, 保持完整的自然图像, 首先不进行剪切或分等, 减少人为主观的干扰。

图 2 中颜色较浅的白色、灰色区域表示的是温度较高的地方, 而与之相对应的颜色较深的区域则表示温度较低的区域。可以看出, 合肥市城中央颜色明显比周边地区浅, 说明城市中央温度明显高于其周变地区, 而在城市区域之中, 中北部地区的颜色又略浅于南部地区, 表明城区中北部温度高于南部温度, 经实际调查, 图像中颜色较深的区域分布与水体、植被分布较为一致, 图中线状的亮带是道路所在区域。这表明城市中的水体、公园和绿地的温度较低, 道路的温度较高。整个地区温度最低的区域位于城市东南的巢湖, 且温度分布较均一。

从以上分析及文献[5]~[8]的研究可以看出,城市热岛的分布与城市建成区分布相一致,在此引入城市形态的分维理论,采用改进的半径法对合肥市的城市热场状况进行研究。在 ArcGIS 中通过目视解译提取城市建筑用地矢量图,并获取该面的重心,将该重心作为分析城市热场分布的同心圆环带的中心。通过反复实验,将初始半径 r_1 定为 3 km,此时后圆环面积 S_i 与初始的圆面积 S_1 相等,从而确定出随后的半径值 r_i ,即

$$\begin{cases} r_1=3 \\ S_1=\pi r_1^2=9\pi \\ S_2=\pi r_2^2-\pi r_1^2=\pi r_2^2-9\pi=S_1=9\pi \\ r_2=3\sqrt{2} \\ \vdots \\ r_i=3\sqrt{i} \\ \vdots \end{cases} \quad (3)$$

以第 1 个圆形的面积为标准,使每个圆环内的面积相等。选取圆环的数量与覆盖城市的范围及所关注的部分区域有关。本研究共选取 49 个圆环。圆环示意如图 3,红色线表示环所在的位置,可以看出,随着 i 的增加,圆环之间的距离变小,而这些圆环正好覆盖了该市的城市建成区域,并且还包括了部分郊区城市建成区。

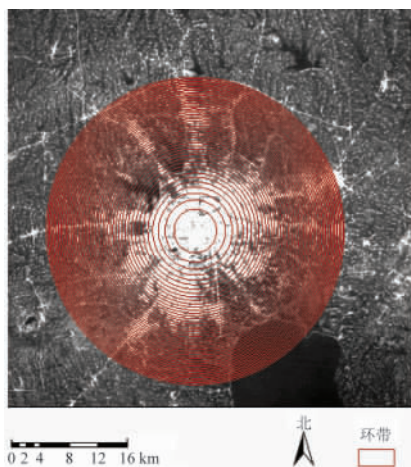


图 3 合肥市地表亮温图及环带选取示意

Fig. 3 Spatial distribution of brightness temperature and positions of the annuluses in Hefei

根据所取的圆环,可以得出每个环中亮温的平均值,图 4 给出了亮温平均值与环数的关系示意。可以看出,温度在第 25 个环的位置附近被明显地分为了两个部分,两者之间有着极明显的界限。图 5 为城市区域与有关环的位置的关系示意图,图中的蓝色部分是城市建成区域,红色部分是环的位置。从图 5 可以看出,第 25 个环以内恰好包括了城市建成区域,25 环以外是郊区非城市建成区域。虽然城市的形状并不规则,与圆环不完全重合,第 25 个圆环中还包括了非城市建成

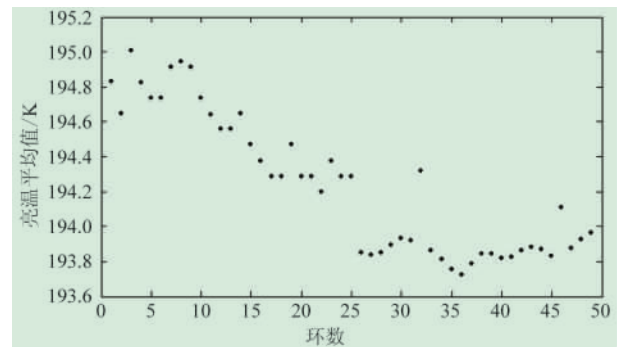


图 4 环数与各环中亮温平均值的散点图

Fig. 4 Relationship between the numbers of the annuluses and the brightness temperature

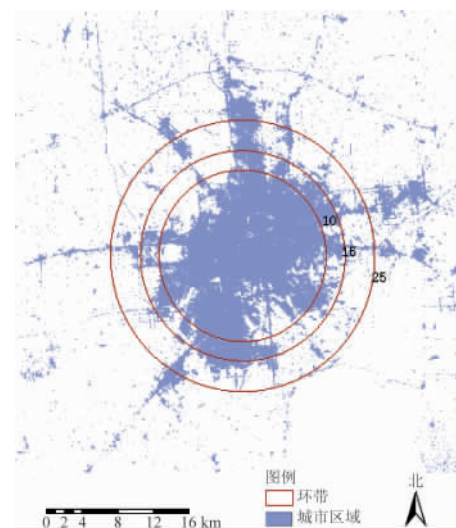


图 5 城市区域与第 10、15 和 25 环的位置

Fig. 5 Positions of the 10th, 15th and 25th annuluses

区的部分,但不影响第 25 个环位置是城市建成区域和郊区非城市建成地域的分界线,这种综合因素表明,一个城市热岛影响范围主要由城市下垫面综合影响所致。合肥市区热岛现象明显,市区和市郊的温度水平分布呈现出较大差异或称温度水平突变现象。

3 合肥市夏季城市热岛强度

经典的城市热岛强度定义是指中心城区与郊区的气温差。但是很多大城市在发展过程中,为减缓城市热岛效应,建设了大量水上公园或绿化草地等。从图 3 和图 5 可以看出,高温部分在第 15 环的位置被分为两个部分,亮温在 194.5 K 以上为较高温区,以下为较低温区,同时,较高温部分在第 10 个环的位置又被分为高温和次高温两个部分,分界亮温是 194.7 K。10 环以内正是城市中心区所在,10~15 环之间是靠近城市的外围地区,但这种城市温度效应影响,一直延续到第 25 环,第 26 环以外的地区才是明显的郊区位置。因此整



个热场被分为高温区、次高温区、较低温区、低温区。而高温区和低温区分界之处就是城市热岛的分界线。分界线以内是城市热岛区域,以外是郊区区域。由此表明,本文方法克服了人们在研究城市热岛时寻找郊区气温值的困惑。在城市化进程中,现在通常的郊区也是大量的城市建成区,城市效应明显。要找出城市热岛的具体分界线,确定郊区的温度,求出城市热岛强度,用通常固定的郊区气象观测资料去解决,很难有说服力。

根据以上分析,可以得出分辨热岛内外亮温的界限,从而判断出受城市热岛影响的具体位置。然后,计算出城市热岛内的平均亮温 T_h ,热岛外的平均亮温 T_l ,得出城市热岛强度 I 为

$$I = T_h - T_l \quad (4)$$

在本研究中,第 25 环是一个明显的界线,计算出亮温高于 194.2 K 的区域为城市热岛影响的区域,亮温低于 194.2 K 的区域为郊区。所以在 ArcGIS 中选出亮温高于 194.2 K 的区域,并统计出此区域的平均温度 T_h 为 194.575 9 K。再选出亮度低于 194.2 K 的区域,统计出此区域的平均温度 T_l 为 193.877 5 K,得出城市热岛强度 I 为 0.698。同理,在第 10 环以内的高温区, T_h 为 194.827 K, T_l 仍为 193.877 5 K, I 为 0.949。

4 结论

本文根据合肥市遥感影像反演出城市地表亮温图,在幅影像中通过目视解译的方法提取城市建筑用地,找出城市建成区的重心,并以此为同心圆环的圆心,画出面积相等的 49 个同心圆环,计算出每个环中的平均亮温,作出图表。结论如下。

1) 得到受城市热岛影响的温度分界线,将界限内的平均温度减去界限外的平均温度,从而得出城市热岛强度。也可用城市任一高温区的平均温度减去界限(第 25 环)外的平均温度,得出城市热岛强度。

2) 一个城市的温度水平空间分布,并非是城市中心高、周围低的热岛概念,而是由于不同的下垫面对辐射的反映,综合形成的结果。因此,在城市建设中,合理设置绿化带、街心公园等生态设施,可以减缓城市热岛效应对人的生活影响。

3) 合肥市城市热岛强度较强,并且随着城市发展向西南方向扩展,热岛面积也在增大。因此本方法不但可以加深对城市热岛效应的认识,也能为制定更加合理的缓解城市热岛效应决策服务。

4) 将属性值与空间数据相结合,判断出城市热岛中的平均温度,从而得出城市的热岛强度或平均热岛强度,并没有将反演的温度进行初步的处理,或者是用 GIS 软件的功能直接分类,这样得出的热岛平均温度值较为客观。克服了通常

将反演出来的亮温或地表温度进行数学方法处理以及再做分类、采取属性值去定义空间中热岛范围的方法的缺点。

由于合肥市城市形状基本为圆状,因此可以使用同心圆环的方法进行热岛强度的计算。而对于长条状的城市,此种方法计算城市热岛并不适用,还有待今后继续研究。

参考文献 (References)

- [1] 周红妹, 周成虎, 葛伟强, 等. 基于遥感和 GIS 的城市热场分布规律研究[J]. 地理学报, 2001, 56(2): 189-197.
Zhou Hongmei, Zhou Chenghu, Ge Weiqiang, et al. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56(2): 189-197.
- [2] 周红妹, 丁金才, 徐一鸣, 等. 城市热岛效应与绿地分布的关系监测和评估[J]. 上海农业学报, 2002, 18(2): 83-88.
Zhou Hongmei, Ding Jincan, Xu Yiming, et al. *Acta Agriculture Shanghai*, 2002, 18(2): 83-88.
- [3] 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[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
Chen Yunhao, Li Jing, Li Xiaobing. *The remotes sensing analysis of urban thermal environment*[M]. Beijing: Science Press, 2003.
- [4] 徐函秋, 陈本清. 不同时相的遥感热红外图像在研究城市热岛变化中的处理方法[J]. 遥感技术与应用, 2003, 18(3): 129-132.
Xu Hanqiu, Chen Benqing. *Remote Sensing Technology and Application*, 2003, 18(3): 129-132.
- [5] Weng Q. A remote sensing-GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta China [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2001, 22(10): 1999-2014.
- [6] Weng Q, Yang S H. Managing the adverse thermal effects of urban development in a densely populated Chinese city [J]. *Journal of Environmental Management*, 2004, 70(2): 145-146.
- [7] Li Jiahong. Study of relation between land-cover conditions and temperature based on Landsat/TM Data [J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 1998, 13(1): 18-28.
- [8] 杨英宝, 苏伟忠, 江南, 等. 南京市热岛效应变化时空特征及其与土地利用变化的关系[J]. 地理研究, 2007, 26(5): 877-886.
Yang Yingbao, Su Weizhong, Jiang Nan, et al. *Geographical Research*, 2007, 26(5): 877-886.
- [9] 田平, 田光明, 王飞儿, 等. 基于 TM 影像的城是热岛效应和植被覆盖指数关系研究[J]. 科技通报, 2006, 22(5): 708-713.
Tian Ping, Tian Guangming, Wang Fei'er, et al. *Bulletin of Science and Technology*, 2006, 22(5): 708-713.
- [10] 王天星, 陈松林, 马娅, 等. 亮温与地表温度表征的城市热岛尺度效应对比研究[J]. 地理与地理信息科学, 2007, 23(6): 73-77.
Wang Tianxing, Chen Songlin, Ma Ya, et al. *Temperature, Geography and Geo-Information Science*, 2007, 23(6): 73-77.
- [11] 覃志豪, Zhang Minghua, Arnon 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): 456-466.
Qin Zhihao, Zhang Minghua, Arnon Karnieli, et al. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56(4): 456-466.

(责任编辑 吴晓丽)