

基于定量遥感技术的城市热岛效应研究

许军强 邢立新 何月

(吉林大学地球探测科学与技术学院, 长春 130026)

摘要: 在全球增暖和高速城市化背景下, 城市热岛效应已成为主导城市气候与环境的要素之一, 给人们生存空间质量的提高带来不良影响。随着遥感定量化步伐的加快, 越来越多的遥感地表参数可以通过遥感数据反演获取, 这为城市热岛研究提供了新的思路与方法。本文以长春市为例, 基于 LandSat7 ETM+影像数据定量反演晴空状态下城市亮度温度、地表反照率和 NDVI, 通过分析亮度温度与地表反照率及 NDVI 的关系, 研究城市热岛效应并提出治理对策。研究表明: 长春市城区热岛效应显著, 热岛中心主要分布在宽城区南部、二道区北部和绿园区西南部, 呈现出多中心分布特征; 城市亮度温度与地表反照率及 NDVI 呈现负相关; 在提高工业热源和能源利用率、减少热量散失和排放的同时, 通过提高城市绿化率和城市表面反照率等方法可以有效缓解城市热岛效应。

关键字: 热岛效应 亮度温度 地表反照率 NDVI

0 引言

城市“热岛”是指城市地区整体或局部温度高于周围地区, 温度较高的城市地区被温度较低的郊区所包围或部分被包围的现象。有研究表明^[1], 城市热岛是由特殊的城市下垫面、大量人为热源和局地大气环流条件造成的, 是城市热环境效应的最突出表现。在全球增暖和高速城市化的背景下, 城市热环境及其热效应已成为主导城市气候与环境的要素之一, 因此, 研究并治理城市热岛效应, 对改善城市生态环境和城市居民的居住环境有重要意义。

城市热岛 (Urban Heat Island) 的概念是由 Manley^[2] (1985) 首次提出的。Rao^[3] (1972) 首次利用热红外遥感数据 ITOS-1 研究城市热岛现象。随着美国陆地卫星的发射成功, 人们采用 TM6 对城市地表温度分布格局、城市热岛强度扩展、城市热岛与城市土地利用及植被覆盖度的关系等进行研究^[4-6]。在目前热岛问题的研究方法来看, 基于定点观测法和数据模型分析法的城市热岛效应研究基本上是点尺度上的或纯概念的研究, 因而对于研究城市热岛的平面布局、内部结构等特征存在着很大困难^[7]。而基于卫星遥感技术的方法, 基本上克服了定点观测法和数据模型分析法的缺陷, 尤其是随着定量遥感技术的快速发展壮大, 越来越多的遥感地表参数已经可以由遥感数据反演获取。本文 ETM 影像数据反演了地表亮度温度、地表反照率及归一化植被指数等遥感地表参量, 通过分析亮度温度与地表反照率及 NDVI 的关系, 研究城市热岛效应及其治理对策。

1 研究区概况及数据源

长春市地处北半球中纬地带, 欧亚次大陆东岸的中国东北松辽平原腹地。长春市气候是东部山地湿润与西部平原半干旱区之间的过渡带, 在全国干湿气候分区中, 地处湿润区向亚干旱区的过渡地带, 属温带大陆性半湿润季风气候。年平均气温 4.8, 最高气温 39.5, 最低气温 -39.8。东部和南部由受长白山地阻挡, 夏季风作用较弱; 西部和北部为平坦的松辽平原, 西伯利亚极地大陆气团畅通无阻, 各季风的影响较大, 帮气候特点是冬季严寒漫长, 春季干旱多风, 夏季温暖短促, 秋季晴朗且温差大。市中心位于东经 125°19', 北纬 43°53'。

城市建成区面积约 150 km²，城市人口达到 200 多万，人口密度约为 14000 人/ km²。

本文所用遥感数据为 2000 年 9 月 18 号获取的长春市 LandSat7 ETM 影像。ETM 共有 8 个波段，可见光、近红外的空间分辨率为 30m，全色波段为 15m，热红外波段为 60m。

2 遥感地表参量反演

2.1 亮度温度

TM/ETM+的热红外波段接收的是与地表温度高低相对应的热红外辐射强度。由于地表比辐射率与地表温度的耦合性、大气下行辐射效应（环境幅照度）以及陆面上方气溶胶的局地变化、比辐射率方向性及非同温混合像元的普遍存在，使得准确反演地表真实温度较复杂。而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（1.5m）气温呈现显著线性关系，因此可以用地面辐射温度（亮度温度）来研究城市热岛效应。加之城市区域范围有限，可认为区域水汽状况一致，在晴空无云状态下，可直接用亮温表征城市热场的空间相对分布。研究表明^[8,9]，利用 TM 热红外亮温计算模式，可得到 TM6 图像数值和下垫面像元亮度温度定量关系：

$$L=0.005631DN+0.124 \quad (1)$$

其中，L 为下垫面辐射值（mw·cm⁻²·sr⁻¹·μm⁻¹），DN 为 TM6/ETM6 的图像灰度值。然后，采用普朗克函数计算星上亮度温度

$$T=K_1/Ln(1+K_2/L) \quad (2)$$

其中，T 为亮温（K）；K₁ = 1260.56（K）；K₂ = 60.766（mw·cm⁻²·sr⁻¹·μm⁻¹），亮度温度反演结果如图 1 所示。

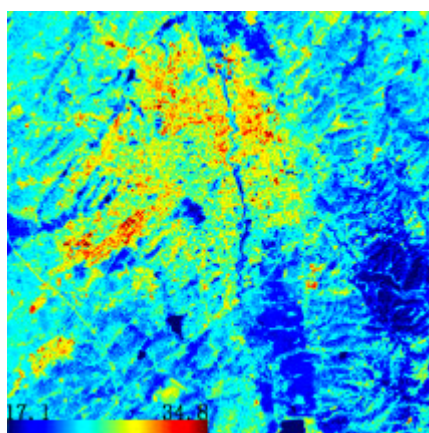


图 1 长春市热岛分布图

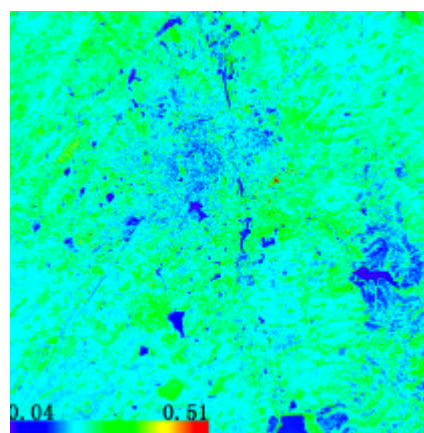


图 2 长春市地表反照率分布图

2.2 地表反照率

地表反照率定义为地球表面反射的太阳辐射通量与入射太阳辐射通量之比，它表征地球表面对太阳辐射的反射能力。Shunlin Liang^[10] 利用大气辐射传输模型通过模拟建立了不同遥感器地表反照率估算的通用公式，其中 LandSat TM 数据的反演公式为：

$$a_{short} = 0.356a_1 + 0.130a_3 + 0.373a_4 + 0.085a_5 + 0.072a_7 - 0.0018 \quad (3)$$

上式适用于不同大气条件和地面条件，反演过程如下：

首先，使用 ERDAS IMAGE8.7 地形纠正功能对 2000 年长春市全波段 ETM+ 遥感影像做地形纠正，以减少地形阴影影响，提高地表反射率的计算精度；

其次, 根据(1)式对各波段做辐射定标, 得到各波段的光谱辐射亮度 L_2 ; 在假设地表为朗伯体的条件下, 利用下式求表观反射率 r_p :

$$r_p = \frac{\rho L_1 d^2}{ESUN_1 \cos q_s} \quad (4)$$

其中 d 为日地平均距离, $ESUN_1$ 为太阳光谱在某波段内的平均辐照度, q_s 为太阳入射天顶角。

最后, 利用大气校正软件 6S 对表观反照率进行校正, 得到各波段的地表反射率; 使用 ENVI4.2 的波段运算模块利用(3)式反演地表反照率。反演结果如图 2 所示。

2.3 归一化植被指数

利用 NDVI (归一化植被指数) 提取植被信息, NDVI 定义为近红外波段和可见光波段数值之差和这两个波段数值之和的比值。它是植被生长状态和植被覆盖度的最佳指示因子, 常用于指示植被的数量特征 (如盖度、植被类型、叶面积指数等), 以及用于监测植被的季节变化和用于土地覆盖研究。对于 LandSat ETM :

$$NDVI = (Band_4 - Band_3) / (Band_4 + Band_3) \quad (11)$$

NDVI 的值限定在 $[-1, 1]$ 范围内, 在非植被区, 如沙漠、水体的 NDVI 很低或为负值, 一般认为其值小于 0.1 时植被很稀少。

3 结果分析与治理对策

3.1 亮度温度

长春市的热场中心分布特征表明, 长春市城区温度明显比郊区高, 热岛效应较为显著, 但热中心并不在市中心, 而是分布于下垫面性质特殊地区和能耗大、热源强度高的工业区。强热岛集中分布在以下地段:

(1) 宽城区南部: 该区人群拥挤, 车辆繁多, 人为产生的热量, 汽车排放的热量和工厂 (如客车厂、重型车厂、机床厂, 电热厂等) 在生产过程中产生的热量, 极易产生高温。

(2) 二道区北部; 这里地势较低, 温度高, 人口密集, 建筑物多, 建成区密度大于 90%, 且分布着市钢铁总厂、拖拉机厂, 水泥厂等重工企业, 使该区成为长春市最大的热岛分布区。

(3) 绿园西南部: 该区为汽车工业园区, 分布着众多车身厂、底盘厂、锻造公司、模具制造公司及各种改装厂等高能耗工厂, 这些厂房排放的热量使该区形成多个热岛中心。

对亮温反演结果进行统计分析, 结果显示: 城区亮度温度分布较集中, 主要分布在 22.3~29.8 之间, 最高温度为 34.8, 平均温度为 25.2, 低温中心主要分布在公园、水域等水体和植被覆盖密集区, 如南湖公园、动植物公园等地; 郊区亮度温度主要分布在 18.8 ~28.9, 最低温度为 17.3, 平均温度为 23.6。低温中心主要分布在新立城水库、净月潭森林公园等地。

3.2 归一化植被指数

从 NDVI 反演结果可知: 从郊区到城区, NDVI 逐渐减小, 从 0.66 变为-0.31。城区 NDVI 多为负值 (植被覆盖区为正), 郊区的 NDVI 多为正 (水体覆盖区为负) 且变化幅度较大。NDVI 较大的地区分布在长春市东北和东南郊区, 这是由于这些地区水热条件好, 森林较茂密, 植被覆盖度较高。NDVI 与亮度温度的叠合分析表明, 随着 NDVI 的减小, 亮度温度逐渐增高, 这是由于绿地特别是林地, 生长期的蒸腾作用会使气温降低, 也就是说, 提高城市绿化率对缓解城市热岛效应是有利的。

3.3 地表反照率

由地表反照率反演结果可知, 水体、林地和城市建成区的地表反照率较低, 除林地和水

体外；从郊区到城区，地表反照率逐渐减小，从 0.51 变为 0.04。地表反照率和亮温的叠合分析表明：在城市建成区，随着地表反照率的减小，亮度温度逐渐增高，表明城市建筑物表面反照率的强弱直接影响其环境温度的高低。因此，通过在城区建筑物屋顶涂上浅色涂料，垂直墙面上贴上白色墙面砖，地面表层使用白水泥，以增加城市下垫面反照率，无疑可成为减小城市热岛的有效手段之一。

3.4 治理对策

通过以上分析，提出城市热岛效应的治理对策：

(1) 加强城市总体规划，对工业区，商业区和居住区做合理规划。城市总体规划直接影响环境质量的优劣，因此，须根据不同城市环境条件与规划的人口密度以及城市各项用地特征，按照城市的性质、规模及工业构成来处理各项用地之间的关系，创造出个城市生物群体与环境系统之间良好结合条件。

(2) 提高工业热源和能源的利用率，发展环保型城市公共交通工具。亮温反演结果显示，在工业区及人群拥挤、车辆繁多的地段容易形成热岛中心，因此，可以通过提高工业热源和能源的利用率，使用载客量多，排热量小的公共交通工具，以减少热量的散失和释放。

(3) 提高城市绿化率。城市绿地系统是城市生态的主要标志之一，也是城市生态的核心。研究资料显示，绿化覆盖率每增加一个百分点，夏季最高温度下降 0.1。绿化覆盖率达到 50% 时热岛效应基本上得到治理。因此通过改善城市绿化来弱化城市热岛效应是十分必要的，主要措施如在热岛中心分布地段加大绿化投资，提倡和发展屋顶绿化和垂直绿化，营造城市楔形绿地和防护森等。

(4) 提高城市建筑的反照率和城市的透风性。增加城市下垫面对太阳辐射的反射能力，减少对太阳辐射的吸收，可有效降低地表温度，这一点国外已有不少成功先例。另外，由于城市热岛强度跟建筑物密度及团块状紧凑的布局程度成正比，跟风速的大小成反比。所以在城市的开发建设过程中，尽量拓宽建筑物之间的“建筑间距”，并采用行列式布局或呈星形的分散结构，可增加城市的风速，增加城市的透风性，从而在很大程度上减小城市热岛效应。

4 结论

本文采用定量遥感方法研究城市热岛效应，定量反演长春市亮度温度、地表反照率及 NDVI，分析了地表反照率和 NDVI 对地表温度的统计关系，得到如下结论：

(1) 长春市的热场中心分布特征表明，长春市热岛中心并不在市中心，而是分布于宽城区南部、二道区北部和绿园区西南部，呈现多中心分布特征。

(2) 城市人为放热、汽车排放的热量和工厂在生产过程中产生的热量是引起城市热岛效应的主要原因。在没有人为放热影响的前提下，城市本身的特殊的下垫面结构是引起热岛效应的又一个重要原因。

(3) 长春市亮度温度随着地表反照率和归一化植被指数的增加而降低，因此，在提高工业热源和能源的利用率，减少热量散失和排放的同时，通过提高城市绿化率和城市地表反照率等方法可以在一定程度上缓解城市热岛效应，减少城市热岛效应所带来的危害。

参考文献

- [1] 延昊, 邓莲堂. 利用遥感地表参数分析上海市的热岛效应及治理对策[J]. 热带气象学报 2004, 20(5): 579~585.
- [2] Manley G. On the frequency of snowfall in metropolitan England[J]. Quarterly journal of Royal Meteorological Society, 1985, 84:70~72.

- [3] Rao P K. Remote sensing of urban heat islands from environmental satellite[J]. Bulletin of American Meteorological Society. 1972, 53:647~648.
- [4] Carnahan W H, Larson R C. An analysis of urban heat sink[J]. Remote Sensing of Environment, 1990,33:65~71
- [5] Nichol J E, A Gis-based approach to microclimate monitoring in Singapore 's high-rise housing estates[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1994,60:1225~1232.
- [6] Weng Q H. Estimation of land surface-vegetation abundance relationship for urban heat island studies[J]. Remote Sensing of Environment, 2004,89(4):467~483.
- [7] 胡华浪, 陈云浩, 宫阿都. 城市热岛的遥感研究进展[J]. 国土资源遥感 2005, (3):5~9
- [8] 赵红旭. 昆明市热岛效应卫星监测研究[J]. 国土资源遥感 1999, (4):29~32.
- [9] 张新刚, 周斌, 王珂. 杭州市热岛效应的遥感监测[J]. 科技通报 2004, 20(6):501~505
- [10] Shunlin Liang. Narrowband to broadband conversions of land surface albedo I algorithms [J]. Remote Sensing of Environment, 2000, (76):213~238