

基于热力重心的广州城市热环境时空变化分析

孙芹芹^{1,2}, 吴志峰^{2,3}, 谭建军²

(1. 厦门大学海洋与环境学院, 福建 厦门 361005; 2. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640; 3. 广东省生态环境与土壤研究所, 广东 广州 510650)

摘要: 城市热环境及其变化与城市发展关系密切, 热力环境的时空变化在一定程度上反映了城市发展的空间变化格局。通过构建热力重心转移距离、热力重心转移角度以及热力重心转移贡献率 3 个指数, 计算 3 个阶段广州市城市热环境的时空变化格局。结果表明, 广州市 1990~2005 年高温地区的热力重心一直向南迁移。城市热力重心的转移路径与城市内部各地区在不同时期的发展及扩张具有一定的关系。

关键词: 地表温度; 卫星遥感; 定量反演; 热力重心; 广州

中图分类号: X16 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2010)04-0620-04

城市热环境通过改变城市生态系统结构和功能, 产生一系列生态效应^[1,2]。利用遥感技术对城市热环境进行描述已引起国内外学者的广泛关注^[3~12]。这些研究对城市热环境的空间分布及其与土地利用类型之间关系均取得较好成果, 但如何整体表达城市热环境的时空变化趋势以及定量分析城市内部不同发展区域对城市热环境的影响仍是当前研究中的薄弱环节。GIS 中的重心模型已经在土地利用/覆盖^[13,14]、人口分布^[15]等领域得到有效应用, 因此, 本文参考重心模型研究方法, 提出热力重心概念, 并构建热力重心转移距离、热力重心转移方向以及热力重心转移贡献率 3 个指数, 研究区域热环境的空间分布格局, 同时定量分析区域热环境时空变化过程及内部各分区对其变化的影响。

1 研究区域

广州市位于珠江三角洲北部, 112°57'~114°3'E、22°26'~23°56'N 之间, 毗邻港澳, 地理位置优越。1990 年以来, 广州城市化进程加快导致城市建设用地迅速扩展^[8], 带来土地利用变化导致城市热岛效应明显, 生态破坏、空气污染等问题突出, 居民健康和城市可持续发展受到严重影响^[16~18]。

本研究选取成像日期分别为 1990 年 10 月 13 日、2000 年 9 月 14 日和 2005 年 11 月 23 日的 Landsat TM/ETM+ 影像, 并使用广州市的行政界

线矢量图对研究区进行截取。因为广州市南北跨度大, 一景遥感影像无法完全覆盖。考虑到影像缺失的地方只是从化市东明镇的小部分, 且当地景观比较单一, 对研究影响不大。因此研究区域为 Landsat TM/ETM+ 122/44 轨道所覆盖的广州市地区。为进一步研究城市内部不同地区的发展与城市热环境之间的关系, 将广州市按照地理位置及行政职能划分为东、西、南、北、中 5 个部分, 依次为增城地区、花都地区、番禺地区、从化地区和中部地区。

2 研究方法

陆地表面温度 (LST) 是研究能量在地面和大气层之间循环转化的重要参数。基于 Landsat TM/ETM+ 的热红外反演地表温度可以很好的描述和揭示城市热环境的分布与转移^[19]。本研究主要采用覃志豪单窗算法对广州市城市发展典型阶段 3 期遥感影像数据进行地表温度的定量反演^[20~22], 对反演得到的地表温度图进行正规化处理得到不同时期城市热力景观分类图。最后通过设计基于热力重心的 3 个热力重心转移指数研究广州市及各地区 1990~2005 年间城市热环境时空变化规律, 其中热力景观重心计算在 ArcGIS 中实现^[23], 基于热力重心的转移指数构建如下:

1) 热力重心转移距离。通过计算不同时期的热力景观重心间的距离, 可以用来研究该时段内

收稿日期: 2009-12-28; 修订日期: 2010-03-11

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40571164) 资助。

作者简介: 孙芹芹 (1983-), 女, 山东潍坊人, 博士后, 主要研究方向为环境遥感与 GIS 应用。E-mail: qqsun@xmu.edu.cn

热力景观类型的空间变化特征。计算公式如下:

$$d = \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2} \quad (1)$$

其中 (x_{i+1}, y_{i+1}) 为在第 $t+1$ 时间的热力景观重心; (x_i, y_i) 是在第 t 时间的热力景观重心。

2) 热力重心转移角度。为更好表示热力景观重心转移的方向, 本研究假定正北方向为 0° , 顺时针旋转 1 圈为 360° , $0 \sim 360^\circ$ 用来表示热力景观重心转移偏离正北方向的角度。热力景观重心转移角度的计算首先采用反正切函数:

$$\theta = \arctan [(x_2 - x_1) / (y_2 - y_1)] \quad (2)$$

由于反正切函数 $y = \arctan x$ 的值为 $(-\pi/2, \pi/2)$, 根据转移角度的定义, 需要将角度的值重新分配到 $0 \sim 360^\circ$ 间。本研究采用条件判别法, 通过计算重心坐标大小, 根据重心坐标位于不同象限情况进行不同的函数运算进而求得真正的转移角度, 条件判别函数如下:

$$\text{If } (x_2 - x_1) > 0 \text{ and } (y_2 - y_1) > 0$$

$$\alpha = \theta$$

Else if

$$(x_2 - x_1) < 0 \text{ and } (y_2 - y_1) > 0$$

$$\alpha = 360 + \theta$$

$$\text{Else } \alpha = 180 + \theta$$

End if

其中 α 单位为 $^\circ$, 条件判别函数的根据为: 正切函数的最小正周期为 180° 。

3) 热力重心转移贡献率。计算各地区的热力景观重心转移距离与热力景观重心转移角度之后, 就可以计算各地区的热力景观重心移动对整体热力景观重心移动的贡献。根据力矩的物理学原理, 本研究提出热力景观重心转移贡献率 C 的计算方法。首先假设广州市某一热力景观重心整体转移路线为 OA , 则转移角度为 $\angle NOA$, 设为 α_0 ; 将某地区的热力景观重心转移路线平行投影到以 O 点为原点的位置, 假设投影后的转移路线为 OB , 转移角度为 $\angle NOB$, 设为 α (图 1), 从点 B 作对 OA 的垂线 BD , OB 对 OA 的贡献为 OD , 且 $OD = OB \times \cos(\alpha_0 - \alpha)$ (3) 则各地区的热力景观重心转移贡献率则为该地区的热力景观重心转移贡献与广州市整体热力景观重心转移贡献的比值:

$$C = [d_i \cos(\alpha_0 - \alpha_i)] / d_0 \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

其中 d_i 为按行政区域划分的第 i 个地区的热力景观重心转移距离; α_0 为整体热力景观重心转移角

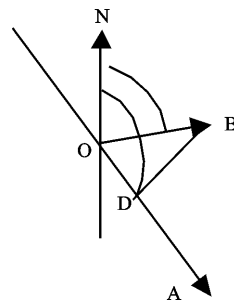


图 1 热转移贡献率计算示意图

Fig. 1 The sketch of thermal diverting contribution

度 α 为各地区热转移角度, d_0 为该地区同一热力转移类型的整体热力景观重心转移距离。当 $90^\circ < |\alpha_0 - \alpha| < 270^\circ$, C 为负贡献; n 为划分区域的个数。

3 结果与讨论

3.1 广州市热环境时空变化分析

为消除遥感时相差异的影响, 本研究采用基于稳健统计的分类方法进行热力景观分类^[24], 以“平均值 $\pm$ 标准差”为阈值将广州市热力景观划分为低温区、常温区和高温区 3 类。分别对 1990、2000、2005 年广州市热力景观的重心进行计算并绘制年际转移路径图发现 (图 2), 广州市 1990 ~ 2005 年的城市高温热力重心的转移方向为一直向南, 说明广州市南部地区城市热岛效应显著, 主要与地理位置优越的南部地区快速的城市发展有关。与此同时, 广州市北部地区冷岛效应增强。热岛、冷岛效应的增强有同步性, 是因为城镇地区快速升温拉大温度之间差距^[25], 导致冷岛效应突出。

3.2 各地区不同时期高温重心转移贡献率分析

热力重心转移贡献率计算各地区不同类型热力斑块的时空变化在整体城市热力斑块时空变化中所占的比例。本研究选取各地区高温重心转移贡献率进行计算, 得到高温重心转移贡献指数图 (图 3)。图 3 可以看出, 广州市 1990 ~ 2000 年各地区热转移贡献大小排序依次为: 番禺 > 增城 > 中部 > 从化 > 花都地区, 其中增城、中部、花都地区均为正贡献, 从化、番禺地区为负贡献; 2000 ~ 2005 年, 各地区热转移贡献大小排序为: 增城 > 番禺 > 从化 > 花都 > 中部地区, 其中增城、番禺、花都地区均为正贡献, 从化、中部地区为负贡献。

城市土地利用类型的变化与地表温度关系密切, 其中城市扩张被认为是导致城市热岛效应增强的主要原因, 而水体与林地面积的增加则是缓解

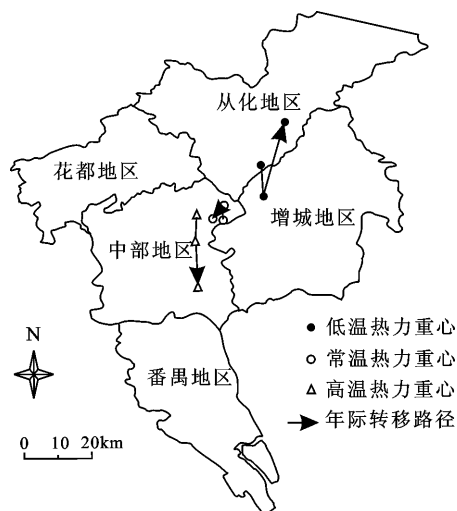


图2 广州市1990~2005年城市热力景观重心转移路径图

Fig. 2 The diversion trace map of each thermal landscape centroid during 1990~2005

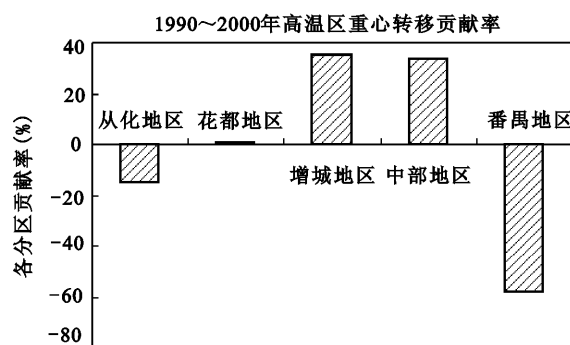
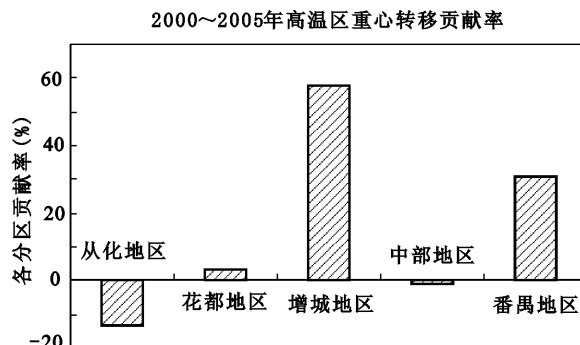


图3 各地区高温重心转移贡献率(1990~2000、2000~2005)

Fig. 3 The contribution of high-temperature centroid diversion for each area

热岛效应的关键途径^[12,17]。1990~2000年增城地区和中部地区的高温重心转移正贡献最大,主要因为自1990年以来城市大面积改造,城市发展以圈层蔓延模式向外围扩展,但广州市的发展中心仍然集中在中部地区,城市南北两端发展不明显。尤其是南部番禺地区,北接经济发展迅速的天河越秀,南部受珠江南海丰富水系的影响,高温热力重心呈现北移趋势。而到2000~2005年,番禺地区南部划出南沙区重点发展,快速的城市化进程导致大量植被覆盖被侵占,因此番禺区高温热力重心迅速南移,城市南部热岛效应突出。受当时城市扩展特征“南拓、北优、东进、西联”的影响^[26],广州的东部、南部成为城市发展的主要方向,建设用地的增加、人口密度增大等均成为东部热岛效应增强的主要原因。



需要说明的是,根据重心转移贡献率的定义,当各地区的贡献率之和等于1时,才能说明广州市整体热力重心的转移是内部各区综合作用的结果,而本研究结果发现1990~2000年、2000~2005年的高温区重心转移中各区的贡献率指数均<1,说明广州市高温地区热力重心的转移不只受内部分区热力重心变化的影响,还可能与相邻区域(东莞、深圳、香港等)的城市热环境变化有关。

4 结 论

城市热力重心代表了不同热力类型斑块的热量集中点,热力重心的转移则代表该种热力景观斑块类型的空间变化过程。城市热力重心概念的提出可以实现对城市热力景观分布及其变化过程的定量分析。本论文在综合利用GIS、RS技术的基础上,通过构建基于热力重心的“热力重心转移距

离、热力重心转移角度以及热力重心转移贡献率”3个指数对广州市热环境时空变化格局研究发现:广州市1990~2005年高温地区的热力重心表现为一直向南扩展。其中1990~2000年底高温区重心转移过程中,增城、中部地区的热力重心转移正贡献最大,番禺地区的热力重心转移负贡献最大;2000~2005年的高温地区热力重心转移过程中,增城、番禺地区的热力重心转移正贡献最大,中部、从化地区热力重心转移贡献较小且为负贡献。城市热力重心的转移路径与城市内部各地区在不同时期的城市发展模式有一定关系。

参考文献:

- [1] Goward S N. Thermal behavior of urban landscapes and the urban heat island[J]. Physical Geography, 1981, 2(1): 19-33.
- [2] 肖荣波, 欧阳志云, 李伟峰, 等. 城市热岛的生态环境效应[J]. 生态学报, 2005, 25(8): 2055-2060.

- [3] Streutker D. Satellite – measured growth of the urban heat island of Houston ,Texas[J]. Remote Sensing of Environment 2003 **85** (3): 282 – 289.
- [4] 徐希孺, 柳钦火, 陈家宜. 遥感地面温度[J]. 北京大学学报 (自然科学版), 1998, **34**(2~3): 248 ~ 253.
- [5] 张新乐, 张树文, 李 颖, 等. 基于遥感影像的哈尔滨市城市热环境变化[J]. 干旱区地理 2009 **32**(2): 310 ~ 315.
- [6] 岳文泽, 徐丽华. 城市土地利用类型及格局的热环境效应研究——以上海市中心城区为例[J]. 地理科学 2007 **27**(2): 243 ~ 248.
- [7] 苏伟忠, 杨英宝, 杨桂山. 南京市热场分布特征及其与土地利用/覆被关系研究[J]. 地理科学 2005 **25**(6): 697 ~ 703.
- [8] 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 ~ 196.
- [9] Weng Q. Fractal analysis of satellite – detected urban heat island effect [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing , 2003 **69**(5): 555 – 566.
- [10] 陈云浩, 李晓兵, 史培军, 等. 上海城市热环境的空间格局分析[J]. 地理科学 2002 **22**(3): 317 ~ 322.
- [11] 徐涵秋, 陈本清. 不同时相遥感热红外图像在研究城市热岛变化中处理方法[J]. 遥感技术与应用 2003 **18**(3): 129 ~ 133.
- [12] 刘 宇, 匡耀求, 吴志峰, 等. 不同土地利用类型对城市地表温度的影响——以广东东莞为例[J]. 地理科学 2006 **26**(5): 597 ~ 601.
- [13] 李月臣, 刘春霞. 北方 13 省土地利用/覆盖动态变化分析[J]. 地理科学 2007 **27**(1): 45 ~ 52.
- [14] Taylor J C, Brewer T R, Bind A C. Monitoring landscape change in the national parks of England and Wales using aerial photo interpretation and GIS [J]. International Journal of Remote Sensing 2000 **21**(13): 2737 – 2752.
- [15] Martin D. Mapping Population Data from Zone Centroid Locations [J]. Transactions of the Institute of British Geographers , 1989 , **14**(1): 90 – 97.
- [16] 陈颖彪, 周倩仪, 陈健飞. 近 30 年广州市土地覆被变化时空特征分析[J]. 地理科学 2009 **29**(3): 368 ~ 374.
- [17] 钱乐祥, 丁圣彦. 珠江三角洲土地覆盖变化对地表温度的影响[J]. 地理学报 2005 **60**(5): 761 ~ 770.
- [18] 江学顶, 夏北成. 珠江三角洲城市群热环境空间格局动态[J]. 生态学报 2007 **27**(4): 1461 ~ 1470.
- [19] Carnahan W H, Larson R C. An analysis of an urban heat sink [J]. Remote Sensing of Environment 1990 **33**(1): 65 – 71.
- [20] 覃志豪, Zhang M, Karnieli A, 等. 用陆地卫星 TM6 数据演算地表温度单窗算法[J]. 地理学报 2001 **56**(4): 456 ~ 466.
- [21] Landsat Project Science Office. Landsat7 Science Data User's Handbook [EB/OL]. URL: http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook_toc.html.
- [22] 覃志豪, 李文娟, Zhang M, 等. 单窗算法的大气参数估计方法[J]. 国土资源遥感 2003 **2**(56): 37 ~ 43.
- [23] Bourke P. Calculating the area and centroid of a polygon [EB/OL]. URL: <http://local.wasp.uwa.edu.au/~pbourke/geometry/polyarea/>.
- [24] 张金区. 珠江三角洲地区地表热环境的遥感探测及时空演化研究[D]. 中国科学院广州地球化学研究所博士学位论文, 2006: 48 ~ 49.
- [25] 邓玉娇, 匡耀求, 黄宁生, 等. 温室效应增强背景下城市热环境变化的遥感分析——以广东省东莞市为例[J]. 地理科学 2008 **28**(6): 814 ~ 819.
- [26] 方中权. 广州市白云区的发展与空间控制研究[J]. 地理科学 2005 **25**(2): 155 ~ 160.

Spatio-temporal Changes of Urban Thermal Environment with Thermal Centroid in Guangzhou

SUN Qin-qin^{1 2}, WU Zhi-feng^{2 3}, TAN Jian-jun²

(1. College of Oceanography and Environmental Science, Xiamen University, Xiamen, Fujian 361005;

2. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, Guangdong 510640;

3. Guangdong Institute of Eco-environment and Soil Sciences, Guangzhou, Guangdong 510650)

Abstract: The distribution and evolution of urban thermal environment are influenced by urban development. In this study, the concept of "thermal centroid" was given to describe the distribution of urban thermal environment in Guangzhou, and three indices about it were created, including thermal diversion distance, thermal diversion direction as well as thermal diversion contribution. It was showed that, the high-temperature thermal centroid transferred to the south of Guangzhou from 1990 to 2005. During 1990 – 2000, Panyu District made the greatest negative contribution to the transfer, but the positive contribution was made by Panyu District during 2000 – 2005.

Key words: land surface temperature; remote sensing; quantitative retrieval; thermal centroid; Guangzhou