

城市地表形态对热环境的影响 ——以上海市为例

尹昌应, 石忆邵*, 王贺封, 吴 婕

(同济大学测绘与地理信息学院, 上海 200092)

摘要: 基于遥感与 GIS 技术, 利用 Landsat7-ETM+ 影像反演地表温度, 用社会经济统计数据、土地利用现状数据和道路交通网络数据计算城市景观形态参数以表征地表特征, 从行政区(县)、5 km 间距同心环带和局部区块 3 个水平上划分空间单元建立数据样本, 分析城市地表形态对热环境空间分布格局的影响。结果表明: (1) 景观混合度和景观分裂度对地表温度有恒定的负向影响, 区块连通性与地表温度负相关; (2) 景观分裂度对热环境的影响取决于地类属性: 分裂度大的增温地类, 地表增温效应弱; 分裂度大的降温地类, 地表降温效应强; (3) 人口密度和经济密度可对地表温度产生恒定正向影响; (4) 人口密度、建设用地比例和房屋建筑比例是分布在区(县)尺度、同心圆环尺度和典型区块尺度上影响地表热环境最显著的地表形态要素。

关键词: 城市形态; 景观设计; 城市热岛; 地表温度; 土地利用; 地理信息系统

中图分类号: F951 文献标识码: A 文章编号: 1004-8227(2015)01-0097-09

DOI: 10.11870/cjlyzyyhj201501013

高密度城市地表形态是城市人居环境中的重要组成部分, 高密度城市景观规划设计是大城市应对可持续城市化发展要求的前沿热点之一。快速城市化进程中, 城市景观形态随城市人口和经济增长不断发生变化, 导致低空气温下垫面的物理属性发生变化, 影响到城市热环境空间分布格局。城市热环境作为人居环境的一方面, 已受到可持续景观与城市规划、气候、生态地理和地球物理等领域专家广泛关注^[1~4]。

城市热环境研究的主要内容之一是热环境定量反演方法。早期主要通过地面气象观测数据, 运用统计方法对比分析区域温差来完成^[5,6]。由于观测站点配置成本较高, 气象站点分布通常十分有限, 因而在可靠性和空间尺度方面都有局限。为弥补不足, 基于区域边界层气候模式并考虑人工热源分布的数值模拟技术被用来重建地表温度格局^[7~9], 该方法虽具有较好的空间特征, 但空间分辨率较粗糙^[4], 常被用于大都市区以上尺度的城乡温差分析, 很难应用于揭示城市建成区内部的热格局。热红外遥感技术的出现为重建地表热环境提供了新思路,

自 1972 年 Rao^[10] 首次报道利用热红外遥感数据分析城市热岛效应以来, 热红外遥感数据被广泛应用到城市热环境研究中, 成为目前在大尺度上研究城市热岛效应的主要方法^[11~14]。然而, 受较低空间分辨率限制, 基于这类影像的通常仅能获得城市与乡村的温差, 与边界层气候模式相比并无太多改善。具有较高分辨率的 Landsat-TM/ETM+ 和 ASTER 等影像因能获取城市内部热环境细节的优势, 成为近年来广为采用的数据源^[15~18]。

城市热环境领域的另一个主要内容, 是基于遥感和 GIS 技术定量分析城市热环境与环境因素间的相互关系, 这也是该领域当前的研究热点。城市热环境的影响因素非常复杂, 若不考虑大气环流和地形等宏观气候因素, 在局地尺度上主要受下垫面物理特性直接影响, 也受人类活动通过土地利用改变下垫面物理特性和温室气体排放产生的间接作用。围绕这一主题, 研究人员主要从土地利用类型^[19,20]、植被覆盖度^[21,22]、城市化进程中的人口密度^[23]和建成区范围^[24]、不透水面^[25]、社会经济活动^[26]强度等不同角度分析了这些环境要素对城市

收稿日期: 2013-10-20; 修回日期: 2013-11-12

基金项目: 教育部高等学校博士点专项科研基金项目(20110072110053); 国家自然科学基金项目(31170347)

作者简介: 尹昌应(1981~), 男, 博士研究生, 主要研究方向为城市地理信息工程、城市可持续发展。E-mail: changying@hotmail.com

* 通讯作者 E-mail: shiyishao@tongji.edu.cn

热环境的影响。通过文献分析不难发现,现有研究案例多是选择单个环境因素分析其与城市热环境之间的关系,综合分析城市热环境影响因素的研究案例尚不多见;另外,现有研究多是在单个尺度上划分空间单元以建立分析样本,在多种尺度上划分空间分析单元的研究案例也不多见。因此,有必要开展多空间尺度上的系统、综合研究,深化对城市热环境影响因素的认识,为研究热环境变化驱动机制和发展热环境预测模型奠定理论基础。

1 研究区、数据与方法

1.1 研究区概况

上海($E120^{\circ}52' \sim 122^{\circ}12', N30^{\circ}40' \sim 31^{\circ}53'$)位于长江三角洲前沿,东依东海之滨,南临杭州湾,西接江苏、浙江两省,北界黄金水道长江入海口,正当我国南北海岸线的中部,交通便利,地理位置十分优越(如图 1)。全市土地面积约为 $6\,340.5\text{ km}^2$,黄浦江纵贯南北、苏州河横卧东西。在 2011 年国务院正式批复同意撤销黄浦区和卢湾区建制、设立新的黄浦区之前,全市共辖 17 个区、1 个县。全市范围属亚热带季风气候,多年平均气温(1971~2010 年)地区差异小,市区(16.2°C),崇明岛最低(15.4°C),其

它在 $15.6^{\circ}\text{C} \sim 16.0^{\circ}\text{C}$ 。最热月(7 月)平均气温在 $27.2^{\circ}\text{C} \sim 27.9^{\circ}\text{C}$ 。境内地势由东向西低微倾斜,除西南部有少数丘陵山脉外,其余地势为坦荡低平的平原,平均海拔 4 m 左右。河湖众多,水网密布,境内水域面积约占全市总面积的 11% 。

1.2 研究数据

包括上海市 2009 年行政区划图,上海市及各区县 2009 年社会经济统计年鉴,2009 年土地利用现状数据,2009 年 5 月 22 日无云白天覆盖全市的 Landsat7-ETM+(WRS-2 条带号/行编号: P118/R038 和 P118/R039)^①,2009 年上海市道路交通图。

1.3 研究方法

主要研究方法包括空间分析单元设置,地表热环境的遥感反演,城市景观形态指标计算和不同空间尺度上的样本统计和相关分析。

1.3.1 空间分析单元

从全市行政区(县)、以上海市中心点(上海国际饭店)为圆心的 5 km 多环缓冲区、中心城区黄浦江两岸的典型区块 3 个空间尺度上,建立空间分析单元如图 2 所示。

区(县)尺度上的 18 个分析单元包括中心城区黄浦、卢湾、徐汇、长宁、静安、普陀、闸北、虹口、杨浦 9 个区,郊区闵行、宝山、嘉定、浦东、金山、松江、青浦、奉贤 7 个区和崇明县; 5 km 同心环带尺度上共 14 个分析单元从内到外命名为 $r(5), r(10), \dots, r(x), \dots, r(70)$, x 为环带外圆半径; 区块尺度上 20 个分析单元沿黄浦江(HPR)从北往南排序, HPR 以西以“W+(奇)序数”命名为 $W1, W3, \dots, W17$, HPR 以东以“E+(偶)序数”命名为 $E2, E4, \dots, E22$ 。

1.3.2 地表热环境的遥感反演

地表热环境的遥感反演,需依次经过以下步骤^[4,18,21]:(1)对 Landsat-ETM+ 各波段进行辐射定标得到各波段的辐射亮度;(2)结合影像获取时的日地距离、太阳的天顶角和高度角等参数计算各波段的表观反射率;(3)用第近红外、红外波段的表观反射率推算归一化植被指数(NDVI);(4)用 NDVI 计算比辐射率^[27];(5)利用比辐射率将辐射亮温值转换成地表温度。由于水体和城市地表的人工不透水层,NDVI 计算栅格中存在的大量小于 0.157 的像元,而人工不透水层通常具有较高的反照率和地

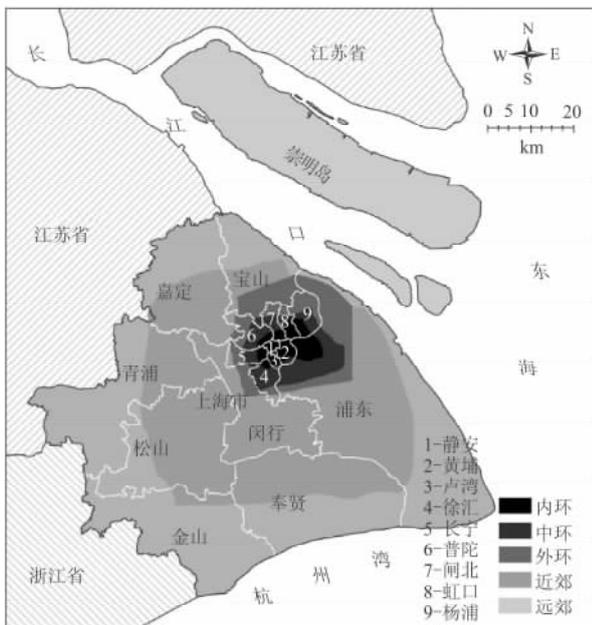


图 1 研究区示意图

Fig. 1 Map of Study Area

① 数据来源:中国科学院计算机网络信息中心国际科学数据服务平台(<http://datamirror.csdb.cn>),已用该平台在线提供的“多影像局部自适应回归分析模型”进行了 SLC-Off 条带修复。

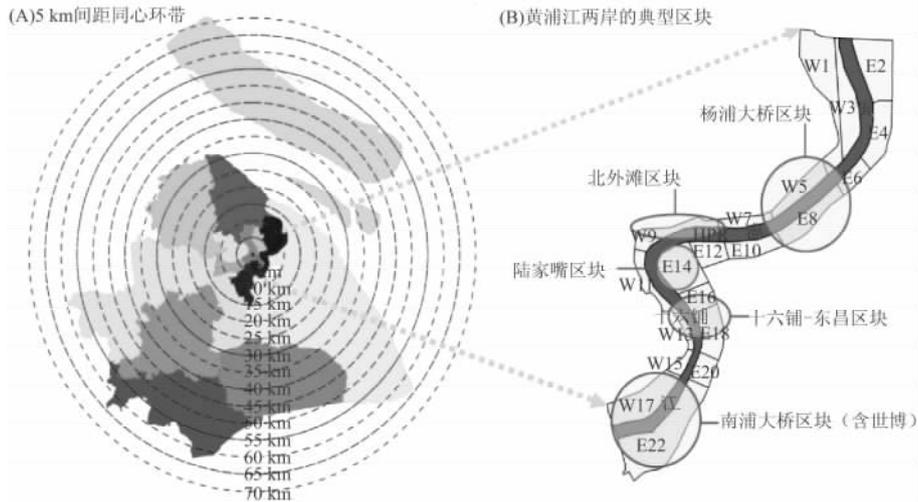


图 2 不同空间尺度上的分析单元示意图

Fig. 2 Schematic of Analysis Units at Different Spatial Level

表温度。因此,参照前人研究成果^[26],将水体和城市不透水层的比辐射率分别定为 0.992 5 和 0.923 0。

1.3.3 城市景观形态指标及计算方法

城市景观形态包括无形形态和有形形态,区(县)尺度上的无形形态用人口密度(人/km²)和经济总量密度(亿元/km²)度量,有形形态指标选取土地景观混合度和土地景观分裂度。首先通过指标分析,判定影响城市热环境的主要指标。然后,为进一步探讨有形形态中的影响因素,因土地是城市景观的主要物质载体,考虑下垫面土地利用情况,从增温和降温角度在区(县)和同心环带尺度上将土地景观分为建设用地、工业用地、农业用地和生态用地四类,通过相关分析识别出主要影响地表热环境的地类。最后,在典型地块水平上将土地景观(主要是建设用地)分为道路广场(包括道路广场用地、铁路用地和未利用地),房屋建筑(包括工业用地、公共建筑用地、仓储库房、在建用地、各式住宅)和公园绿地(包括公园、街道绿地、居住区绿地、生产绿地、防护绿地)3类,分别计算景观混合度和分裂度,识别出影响局部热环境的地表形态要素。景观混合度、景观分裂度等指标的计算方法可参考文献^[28,29],区块连通度的计算方法主要借鉴 Liu 等^[30]的圆形缓冲单元内的道路交点数作为街道连通性的方法,本文将区块连通性定义为:区块内包含的道路交点数除以该区块的占地面积(如图 3)。

1.3.4 遥感地表温度与城市景观形态之间的相互关系诊断

遥感地面温度及城市景观形态指标数据均为连续型离散变量,选择 Pearson 相关分析模型,分别计

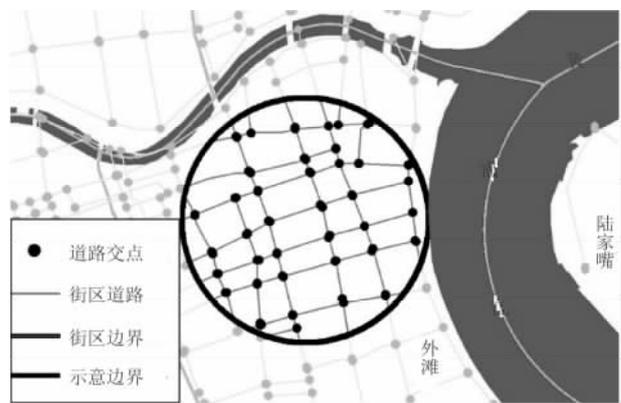


图 3 典型区块上的连通性示意图

Fig. 3 Connectivity of Typical Blocks

算遥感地表温度与不同空间尺度上的形态因子之间的相关系数,诊断遥感地表温度与城市景观形态之间相互关系。

1.3.5 数据处理

主要包括地表温度反演、景观形态参数计算和样本数据提取。地表温度反演利用 ERDAS Imagine 2011 和 ArcGIS Desktop 10.1 软件完成,经由影像几何纠正、波段组合、图像拼接与剪裁和地表温度反演等步骤,得到上海市地表温度场如图 4;城市景观形态方面,主要是利用 Fragstats 4.1 分别计算 3 个空间尺度上的景观形态指标;样本数据提取主要是通过图 4 数据分别以行政单元、等间距同心环带单元和黄浦江两岸的区块单元为统计单位,对地表温度作 Zonal Statistics 分析;街道连通度用 ArcGIS 网络分析模块计算。最后利用 SPSS 17.0 对上述处理获得的数据变量进行描述性统计、正态检验、

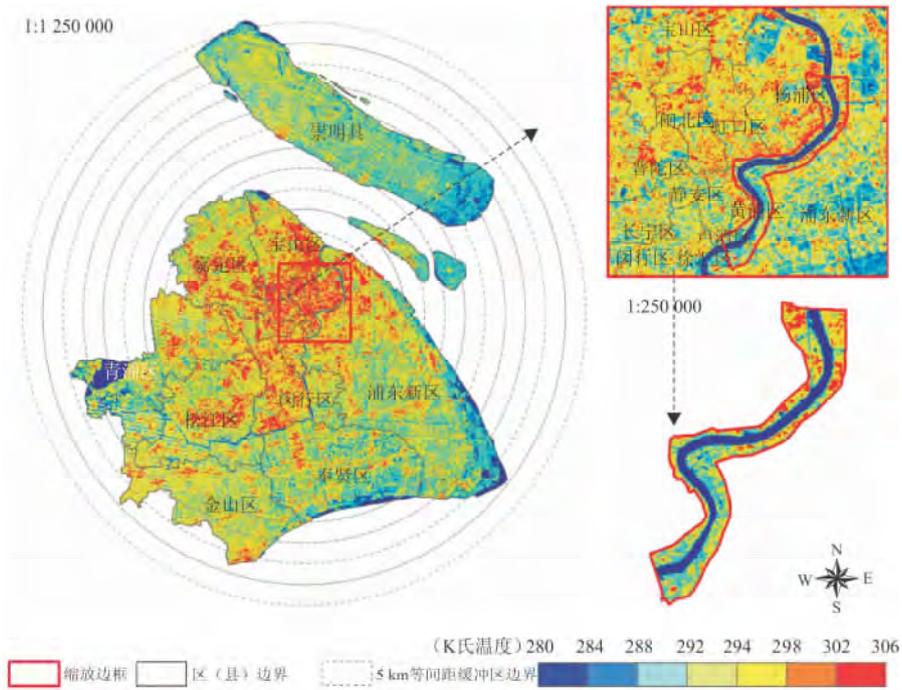


图 4 利用 Landsat-ETM+6H 波段反演的上海市地表温度场

Fig. 4 Land Surface Temperature of Shanghai Inversed by Using Landsat-ETM+6H Band

独立性检验和相关分析。

2 结果与分析

2.1 城市景观形态与遥感地表温度的梯度特征

行政区(县)尺度上的指标统计曲线如图 5,从

市中心黄浦区到远郊崇明县,人口和经济密度总体上呈顺时针螺旋式下降。中心城区人口和经济密度均明显高于郊区(县),黄浦区人口和经济密度最高,分别达 4.29 万人/ km^2 和 60.99 亿元/ km^2 ;崇明县人口和经济密度最低,分别为 600 人/ km^2 和 0.14 亿元/ km^2 。城市景观形态方面,郊区(县)的土地景

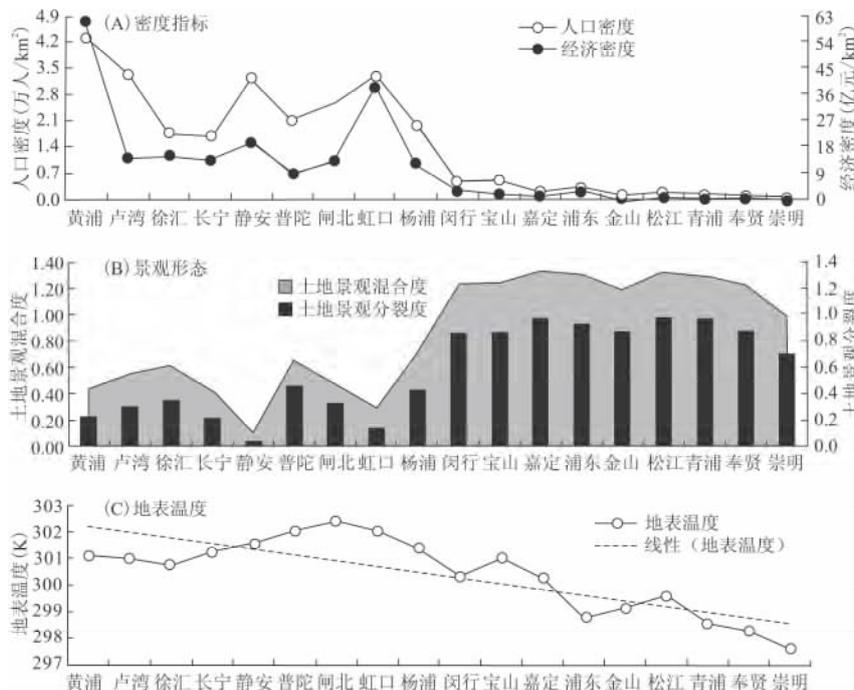


图 5 行政区(县)单元上的地表温度和城市景观形态差异

Fig. 5 Differences Between Surface Temperature and Urban Form at Administrative District (County) Level

观混合度和土地景观分裂度均显著高于中心城区,从内城到郊外呈“二级阶梯”形状;位于“第一阶梯”的静安区取值最低,分别为 0.097 5 和 0.036 0;“第二阶梯”各区(县)数值相当。

5 km 同心环带尺度上的指标曲线如图 6。景观形态从内到外呈 M 型梯度格局,从环带 r(5)到 r(25)的景观混合度和景观分裂度逐渐增加,r(25)

到 r(40)基本持平,经过 r(45)处一个明显的鞍点后从 r(60)开始逐渐减少。土地利用类型构成方面,农业用地比例从内到外呈波动式增加,建设用地由内到外呈阶梯式逐级减少,中心城区的生态用地比例较低,工业用地大部分分布在距中心点 15~35 km 的范围内,其余环带除崇明县最低(1.29%)外的比例相当。

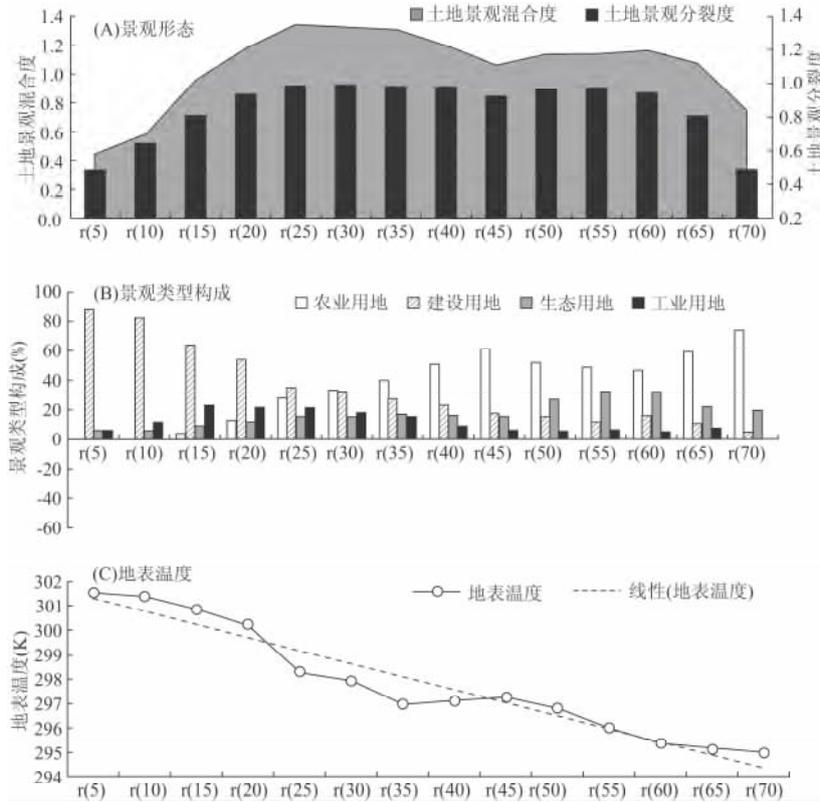


图 6 5 km 同心环带尺度上的地表温度和城市景观形态差异

Fig. 6 Differences Between Surface Temperature and Urban Landscape Form at 5 km Concentric Annulus Level

黄浦江沿岸典型区块尺度上的统计曲线如图 7 所示。道路广场用地和公园绿地是黄浦江两岸主要的用地类型,用地比例沿黄浦江从北往南呈“先增后减”近似抛物线变化,其余类型呈随机变化。杨浦大桥地区 E6 区块的道路广场用地比例最高,陆家嘴地区 E14 区块具有最高比例的房屋建筑用地。

2.2 城市景观形态与遥感地表温度的相关性分析

表 1 是对地表温度和景观参数在不同尺度上的描述性统计。因 5 km 间距同心环带尺度上的工业用地分裂度的标准差为 0.001 0 接近于 0,将其剔除,其余变量经检验均服从或近似服从正态分布。

表 2 是区(县)尺度上的相关分析结果,人口密度是在区县尺度上影响热环境格局最主要的因素。人口密度和经济密度分别与遥感地表温度呈强正相

关表明人口密度或经济密度较高的区(县)通常具有较高的平均地表温度,人口密度比经济密度可能更容易导致地表升温。土地景观混合度和土地景观分裂度与平均地表温度呈极强负相关,表明土地利用类型较多的区(县)地表温度较低,土地利用景观越破碎的区(县)地表温度越低。土地景观混合度和土地景观分裂度与地表温度呈强负相关,表明土地利用类型越多或土地景观越破碎的区(县)地表温度越低,反之亦然。

表 3 是平均地表温度在 5 km 同心环带尺度上分别与工业用地比例等 8 项指标之间的相关分析结果,建设用地比例是影响地表温度最强的地表形态要素,生态用地比例次之。从用地类型构成上看,建设用地比例在 0.01 水平上与平均地表温度极强正相

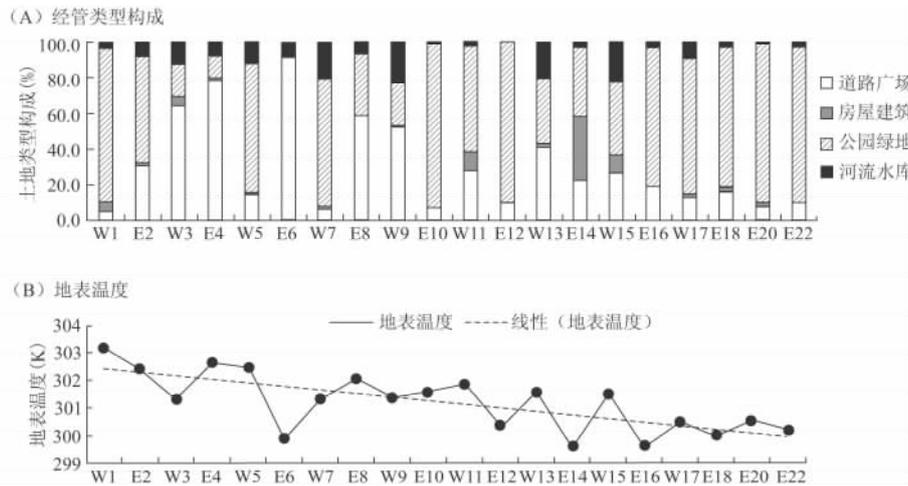


图 7 黄浦江两岸典型区块尺度上的地表温度和城市景观形态差异

Fig. 7 Differences Between Surface Temperature and Urban Landscape Form at Typical Street Block Level

表 1 遥感地表温度和城市景观形态数据的描述性统计

Tab. 1 Descriptive Statistics of Remote Sensed Surface Temperature Data and Urban Landscape

数据变量	N	极小值	极大值	均值	标准差
行政区(县)尺度					
平均温度	18	297.53	302.37	300.37	1.429 3
土地景观混合度	18	0.097 5	1.324 0	0.847 8	0.417 4
土地景观分裂度	18	0.036 0	0.974 7	0.581 5	0.334 1
人口密度	18	0.06	4.29	1.47	1.408 8
经济密度	18	0.14	60.99	11.67	15.745 3
5 km 间距同心环带尺度					
平均温度	14	294.96	301.53	297.84	2.305 3
土地景观混合度	14	0.442 8	1.342 7	1.046 7	0.275 3
土地景观分裂度	14	0.485 2	0.989 9	0.850 6	0.182 2
农业用地比例	14	0.00	74.29	36.61	24.323 8
建设用地比例	14	4.86	88.27	34.60	27.193 7
生态用地比例	14	5.32	32.67	17.56	8.678 5
工业用地比例	14	1.29	23.33	11.23	7.337 1
农业用地分裂度	14	0.494 4	1.000 0	0.935 8	0.135 9
建设用地分裂度	14	0.488 4	0.999 9	0.918 6	0.161 0
生态用地分裂度	14	0.985 6	0.999 8	0.997 1	0.004 0
工业用地分裂度	14	0.997 1	1.000 0	0.999 2	0.001 0
黄浦江两岸典型区块尺度					
平均温度	20	299.62	303.16	301.21	1.054 5
街道连通性	20	1	59	13	13.384 6
道路广场比例	20	5.64	91.44	30.31	25.796 0
房屋建筑比例	20	0.00	35.73	3.91	8.043 0
公园绿地比例	20	0.00	91.35	57.00	29.136 0
河道水面比例	20	0.00	22.96	8.78	7.536 2

表 2 行政区(县)尺度上的相关分析

Tab. 2 Correlation Analysis at Administrative District (County) Level

项目	人口密度	经济密度	土地景观混合度	土地景观分裂度
相关系数	0.755 ^a	0.527 ^b	-0.718 ^a	-0.720 ^a
显著性(双侧)	0.000	0.025	0.001	0.001

注:a.在 0.01 水平(双侧)上显著相关;b.在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

表 3 同心环带尺度上的相关分析

Tab. 3 Correlation Analysis at 5 km Concentric Annulus Level

变量	相关性	显著性(双侧)
工业用地比例	0.544 ^b	0.044
生态用地比例	-0.842 ^a	0.000
农业用地比例	-0.944 ^a	0.000
建设用地比例	0.967 ^a	0.000
土地景观混合度	-0.458	0.100
土地景观分裂度	-0.298	0.301
生态用地分裂度	0.549 ^b	0.042
农业用地分裂度	0.536 ^b	0.048
建设用地分裂度	-0.802 ^a	0.001

注:a.在 0.01 水平(双侧)上显著相关;b.在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

关;工业用地在 0.05 水平上与平均地表温度中度正相关;生态用地和农业用地在 0.01 水平上与平均地表温度极强负相关。表明大规模建设用地可导致地表温度高升,因为建设用地由于对热辐射具有极强的反射能力,工业用地一方面通过地表反射使地表升温,同时也通过废弃排放对地表热环境产生影响。景观类型分裂度方面,增温地类的分裂度与平均地表温度呈强负相关,降温地类与平均地表温度呈中度正相关,说明破碎的增温地类也可减弱地表的升温效应,破碎的降温地类可增强地表的降温效应。此外,景观分裂度和混合度与平均地表温度呈不显著的弱负相关和弱负相关,表明景观分裂度和混合度可能对地表热环境有一定负向影响。

表 4 是遥感地表温度在黄浦江两岸区块尺度上分别与街道连通度等 4 项形态指标之间的相关分析结果。可见相关性都很微弱,也不具有很强的显著性,仅能大致分析该尺度上可能存在的关系,房屋建

筑比例是影响地表温度最强烈的形态要素。

表 4 黄浦江两岸典型区块尺度上的相关分析

Tab. 4 Correlation Analysis at Typical Street Blocks Level

项目	街道连通度	道路广场比例	房屋建筑比例	公园绿地比例
Pearson 相关性	-0.050	0.100	-0.242	-0.094
显著性(双侧)	0.834	0.675	0.305	0.694

3 结论与讨论

基于遥感和 GIS 技术反演上海市的地表热环境,并从社会经济密度格局与地表景观形态特征两方面选取定量指标,在 3 个不同的空间尺度上分析了城市热环境与地表形态的相互关系。主要得出以下结论:

(1)高人口密度和高经济密度可使地表环境局部升温

在人口密度和土地经济密度高的区域,人们活动所需能源消耗量大,城市建成区扩展导致的建设用地面积增加^[31],和工业生产和汽车尾气排放等原因导致的温室气体排放,加之土地利用强度较高,都将影响城市地表热环境的分布格局,导致地表环境温度升高。

(2)景观尺度上的混合度和分裂度与地表温度正相关

多种土地利用类型混合而成的镶嵌体,可能对热辐射产生漫反射,使得部分热量被植被、水体等降温地类吸收,从而使地面降温^[32~34]。同时,不同地类间的分割边界会增加景观分裂度,景观分裂度与热环境的关系进一步印证了景观混合度对地表环境的影响。

(3)类型尺度上的用地类型比例和分裂度共同制约地表温度变化

建设用地和工业用地等对地表热环境有增温贡献的景观类型,但其增温强度与类型的分裂度有关;相同比例情况下,分裂度大的类型增温强度小;分裂度小的类型增温强度大。生态用地、农业用地等对地表热环境有降温影响的景观类型,其降温强度与类型的分裂度有关;相同比例情况下,分裂度大的类型降温贡献大;反之,分裂度小的类型降温强度小。

(4)房屋建筑用地和街区连通性对地表温度可能产生负向影响

尽管房屋建筑用地以具有高反照率的水泥表面为主,理论上应与地表温度呈正相关,但实际分析结

果不然,这或许和房屋建筑周边的地表覆被情况和建筑群的楼层高度等因素相关。有研究表明,上海高层建筑的高度、密度与地表温度呈负相关,高层建筑数量与地表温度间不存在必然关系,合理的高层建筑布局有利于减缓城市热效应^[36]。地表建筑高度和密度主要地决定了城市地表粗糙度,地表粗糙度对流经城市表面的风速风力产生阻碍和削减作用;尽管高地表粗糙度因此成为导致热岛效应的外部因素之一,但合理的街区布局(例如:街区主干道与盛行风向一致、增加建筑物周边的绿色植物吸收温室气体等)仍有助于新鲜空气在城市内部流通,使新陈空气及时得以循环代谢从而降低环境温度。

综上所述,人口密度、建设用地比例和房屋建筑比例是分布在区(县)尺度、同心圆环尺度和典型区块尺度上影响地表热环境最显著的地表形态要素。可以认为:城市人口密度主要地决定了城市热环境的宏观分布格局;在人口密度相当的范围内,地表热环境分布格局主要受到建设用地比例影响;在建设用地比例相当的情况下,住房建设用地比例是影响局部地表热环境格局的主要景观因素。

参考文献:

- [1] CUI L, SHI J. Urbanization and its environmental effects in Shanghai[J]. China Urban Climate, 2012, 2(2): 1-15.
- [2] KATO S, YAMAGUCHI Y. Analysis of urban heat-island effect using ASTER and ETM+ Data; Separation of anthropogenic heat discharge and nature heat radiation from sensible heat flux[J]. Remote Sensing of Environment, 2005, 99(1-2): 44-54.
- [3] WONG N, JUSUF S K, TAN C L. Integrated urban microclimate assessment method as a sustainable urban development and urban design tool[J]. Landscape and Urban Planning, 2011, 100(4): 386-389.
- [4] 岳文泽,徐丽华,徐建华. 20 世纪 90 年代上海市热环境变化及其社会经济驱动力[J]. 生态学报, 2010, 30(1): 155-164.
- [5] 陈沈斌,潘莉卿. 城市化对北京平均气温的影响[J]. 地理学报, 1997, 52(1): 27-36.
- [6] 桑建国,张治坤,张伯寅. 热岛环流的动力学分析[J]. 气象学报, 2000, 58(3): 321-327.
- [7] FANG X, JIANG W, MIAO S, et al. The multi-scale numerical modeling system for the research on the relationship between urban planning and meteorological environment[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2004, 21(1): 103-112.
- [8] BEST M J. Representing urban areas within operational numerical weather prediction models[J]. Boundary Layer Meteorology, 2005, 114(1): 91-109.
- [9] 何晓凤,蒋维楹,陈燕,等. 人为热源对城市边界层结构影响

- 的数值模拟研究[J]. 地球物理学报, 2007, 50(1): 74-82.
- [10] RAO P K. Remote sensing of urban "heat islands" from an environmental satellite[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1972, 53(4): 647-648.
- [11] GALLO K P, OWEN T W. Assessment of urban heat island: A multi sensor perspective for the Dallas-Ft. Worth, USA region[J]. Geocarto International, 1998, 13(4): 35-41.
- [12] KERAMITSOGLU I, KIRANOUDIS C T, CERIOLO G, et al. Identification and analysis of urban surface temperature patterns in Greater Athens, Greece, using MODIS imagery[J]. Remote Sensing of Environment, 2011, 115(12): 3080-3090.
- [13] 李俊杰, 何隆华, 陈杰. 南京城市热场的卫星遥感分析[J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14(6): 760-763.
- [14] 但尚铭, 安海锋, 但玻, 等. 基于 AVHRR 和 DEM 的重庆城市热岛效应分析[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(7): 680-685.
- [15] WENG Q. A remote sensing-GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in Zhujiang Delta, China[J]. International Journal of Remote Sensing, 2001, 22(10), 1999-2014.
- [16] XIAN G, CRANE M. An analysis of urban thermal characteristics and associated land cover in Tampa Bay and Las Vegas using Landsat satellite data[J]. Remote Sensing of Environment, 2006, 104(2): 147-156.
- [17] KATO S, LIU C, SUN C, et al. Comparison of surface heat balance in three cities in Taiwan using Terra ASTER and Formosat-2 RSI data[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2012, 18(5): 263-273.
- [18] 徐丽华, 岳文泽, 徐建华. 城市热场剖面的分形维数计算及其意义研究以上海中心城区为例[J]. 长江流域资源与环境, 2007, 16(3): 384-390.
- [19] 杨续超, 张镜铨, 刘林山, 等. 中国地表气温变化对土地利用/覆被类型的敏感性[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2009, 39(5): 638-646.
- [20] 王芳, 葛全胜. 根据卫星观测的城市用地变化估算中国 1980~2009 年城市热岛效应[J]. 科学通报, 2012, 57(11): 951-958.
- [21] 武佳卫, 徐建华, 谈文琦. 上海城市热场与植被覆盖的关系研究[J]. 遥感技术与应用, 2007, 22(1): 26-30.
- [22] 李成范, 刘岗, 周廷刚, 等. 基于定量遥感技术的重庆市热岛效应[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(1): 60-65.
- [23] 梁益同, 陈正洪, 夏智宏. 基于 RS 和 GIS 的武汉城市热岛效应年代演变及其机理分析[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(8): 914-918.
- [24] 季崇萍, 刘伟东, 轩春怡. 北京城市化进程对城市热岛的影响研究[J]. 地球物理学报, 2006, 49(1): 69-77.
- [25] YUAN F, BAUER M E. Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery[J]. Remote Sensing of Environment, 2007, 106(3): 375-386.
- [26] 岳文泽, 徐建华. 上海市人类活动对热环境的影响[J]. 地理学报, 2008, 63(3): 247-256.
- [27] VAN DE GRIEND A A, OWE M. On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for nature surfaces[J]. International Journal of Remote Sensing, 1993, 14(6): 1119-1131.
- [28] FRANK L, MARTIN M, SCHMID T. Obesity relationships with community design, physical activity, and time spent in cars[J]. American Journal of Preventive Medicine, 2004(2): 87-96.
- [29] JAEGER J A G. Landscape division, splitting index, and effective mesh size, new measures of landscape fragmentation[J]. Landscape Ecology, 2000, 15(2): 115-130.
- [30] LIU C, SHEN Q. An empirical analysis of the influence of urban form on household travel and energy consumption[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2011, 35(5): 347-357.
- [31] 谢志清, 杜银, 曾燕, 等. 长江三角洲城市带扩展对区域温度变化的影响[J]. 地理学报, 2007, 62(7): 717-727.
- [32] SUN R, CHEN L. How can urban water bodies be designed for climate adaptation? [J]. Landscape and Urban Planning, 2012, 105(1-2): 27-33.
- [33] BOWLER D E, BUYUNG A L, KNIGHT T M, et al. Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence[J]. Landscape and Urban Planning, 2010, 97(3), 147-155.
- [34] RIZWAN A M, DENNIS L Y C, LIU C. A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island [J]. Journal of Environmental Sciences, China, 2008, 20(1): 120-128.
- [35] NG E, CHEN L, WANG Y, et al. A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong[J]. Building and Environment, 2012, 47(1): 256-271.
- [36] 芮建勋. 上海市高层建筑的城市热力景观效应研究[J]. 地理与地理信息科学, 2007, 23(1): 104-108.

IMPACTS OF URBAN LANDSCAPE FORM ON THERMAL ENVIRONMENT AT MULTI-SPATIAL LEVELS

YIN Chang-ying, SHI Yi-shao, WANG He-feng, WU Jie

(College of Surveying and Geo-informatics, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: During rapid urbanization, urban thermal environment as an important aspect of human's living environment has attracted wide attentions in the fields of sustainable urban planning and landscape designing, climate change, geography, etc. Over the past few decades, research methods of urban thermal environment have transitioned from the statistics of the meteorological observation data, regional climate mode, to analysis based on remote sensing technology; the spatial level also gradually changed from the large scope from urban-rural area to urban internal space, analysis topic has turned from urban thermal environment pattern to the driving factors of urban internal thermal environment. However, urban thermal environment fields are still subject to spatial resolution of remote sensing images and limited by the shortage of surface parameters. Most previous researches on this field analyzed the problem only on one spatial scale, and the multi-scale features of the correlation are scientific issues with insufficient discussion and confidential conclusion. We selected Shanghai as an case study to analyze the correlation between land surface thermal environment (STE) and urban landscape form (ULF). We used Landsat7 ETM+ images to retrieve urban land surface temperature; socio-economic statistics data, land use maps and urban traffic network maps were used for characterizing urban landscape features; and there are three spatial statistic levels in this study, such as administrative district (county) level, 5 km concentric rings level and street blocks level. We employed ERDAS Imagine software to process remote sensing images, used ArcGIS software for spatial data management, and used Fragstats software to calculate urban landscape parameters. The results showed that: (1) the impact of ULF on STE had a certain scale-relative dependence, the correlation between ULF and STE at different level presented the same direction but different numeric degree; (2) population density and economic density had a positive and constant effect on land surface temperature (LST); (3) both landscape mixture and landscape division had constant negative effects on LST, the correlation between block connectivity and LST was negative; (4) the impact strength of landscape division on thermal environment was dependent on landscape attribute; the higher division that warming class had, the lower strength land surface warming effect was; the higher division that cooling class had, the more strength land surface cooling effect was; (5) urban population density, the developed land proportion and housing land proportion were produced the most significant effect on urban thermal environment scale at district/county level, concentric ring level and typical blocks level, respectively. It can be concluded that: urban population density mainly determines the macro distribution pattern of urban thermal environment; in the belt of population density, the distribution pattern of urban thermal environment is mainly affected by the proportion of developed land; and housing land proportion is the landscape factor that effects local land surface thermal environment pattern when the proportion of developed land are comparative.

Key words: urban pattern; landscape design; urban heat island; land surface temperature; land use; geographical information systems