

文章编号: 1672-8785(2012)01-0038-07

城市人居生态中热的红外小尺度探测方法研究

张 雷^{1,2} 刘济帆¹ 邹武合¹

(1. 中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083 ;

2. 香港中文大学中国城市住宅研究中心, 香港 沙田)

摘 要: 城市热岛效应的多尺度和多层次特性研究已经在地理信息系统和遥感等科学技术领域受到了广泛的关注。城市人居生态系统虽然会受人工热源等因素的干扰, 但仍会呈现一定的周期性和规律性。充分借鉴城市热岛效应研究的方法论, 提出了城市人居生态有机生命体的概念, 并对各种物质与能量交换的开放式复杂生态单元进行了热病症方面的归纳和分析。从人居舒适度的角度分析了热与绿在城市人居环境中的并存及其物理产生过程。通过采用红外小尺度探测人居热环境, 突出了空间的三维与多层性、对象的多目标与非线性等特征。从改善城市人居热环境的角度评估了绿色调控热环境分布与生态作用机理。研究结果表明, 城市人居生态系统的建设与热环境的地理分布之间具有直接的影响关系, 而采用绿色调控是一种操作性很强的技术手段。因此, 相关的创新研究方法及其效果将会在定性描述和定量仿真与实测中得到深入研究。

关键词: 城市人居; 小尺度; 热环境; 红外

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2012.01.006

Analysis of Small-scale Infrared Detection Method of Heat in Urban Habit Society

ZHANG Lei^{1,2}, LIU Ji-fan¹, ZOU Wu-he¹

(1. Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China;

2. The Chinese University of Hong Kong, Hong Kong, China)

Abstract: The multi-scale and multi-level characteristics of urban-heat islands have been paid more attention in the fields of Geographic Information System (GIS) and Remote Sensing (RS) etc. Although the urban habit society can be disturbed by some artificial heat sources, it still exhibits a certain periodicity and regularity. By fully utilizing the methodology used in the study of urban heat-island effect, a concept of the eco-organic life in a urban habit society is proposed and the heat diseases based on material and energy exchange of the open and complex eco-system are summarized and analyzed. The heat and green effect and its physical generation process in an urban habit society are analyzed from the perspective of living comfort. By using a small infrared scale to detect the heat environment in an urban habit society, the features of three-dimension, multi-level, multi-object and non-linearity are highlighted. To improve the heat environment in an urban habit society, the heat environment distribution and ecology controlled by the green function are evaluated. The result shows that the construction of an urban habit society has a direct relationship with the geographic distribution of a heat environment. The green control methodology is an important operable technique. Therefore, the related innovative research and

收稿日期: 2011-12-01

基金项目: 中国科学院上海技术物理研究所创新专项 (Q-ZY-21)

作者简介: 张雷 (1978-), 男, 江苏海门人, 博士, 副研究员, 主要研究方向为空间信息技术。

its effectiveness will be further studied in future qualitative description, quantitative simulation and measurement.

Key words: urban habit society; small-scale; heat environment; infrared

0 引言

我国的城市化进程已经让人们充分享受到政治、经济和文化等方面的物质愉悦,然而城市人口密度的不断增加、生态破坏的此消彼长、侵害健康的环境污染、城市热岛和气候变迁、能源的过度浪费以及城市功能的效率低下等问题将会造成城市发展的病态现象^[1]。如何调整和优化不合理的城市化发展模式?如何有机地、系统地认识和解决城市产业结构失调现象?如何使以低碳绿色为指导思想的城市人居环境得以生机勃勃?面对这些问题,目前的相关研究在深度和广度上均有颇失,使得有关的规划治理对策在一定时期内缺乏有效的科学判据和实践方法。

现代城市系统本身的复杂性和有机性已经使得传统意义上的城市可持续发展的理论与方法不能充分地解析系统与子系统间的多层次、多目标和非线性等相互作用规律,而且更难于利用这些规律来优化现代城市系统的结构及其系统调节功能。因此,对现代城市化发展的研究必须摆脱传统理论与观念的束缚,建立全新的城市科学理论与方法,努力提高物质转化与能量利用效率、改善环境质量和实现低碳绿色^[2]。尤其对于城市人居环境这样一个拥有多种功能的有机综合体,无论是从人居硬环境还是从人居软环境的需求来考虑,更为直接的公众意识主要表现为人居舒适度。从居住环境的角度出发,其侧重于住房与社区内部居民生活的完善;从人居环境的角度出发,其侧重于整个城市对居民居住环境的影响。侧重于生态城市和可持续发展能力评价的重点则是城市进一步发展的能力和潜力。因此,对于人居舒适度来讲,它具有间接的支撑作用。多年来,由于城市人居环境的复杂特性,基础性研究到目前还没有产生成熟性的成果,技术支撑显得较为描述定型

化和简单统计化。城市管理者或规划设计师也将面临由以居住面积为考核指标的行政决策方式转变为需要以高技术为支撑手段的专家型绿色决策方式的情形。

1 城市人居生态的“热病症”分析

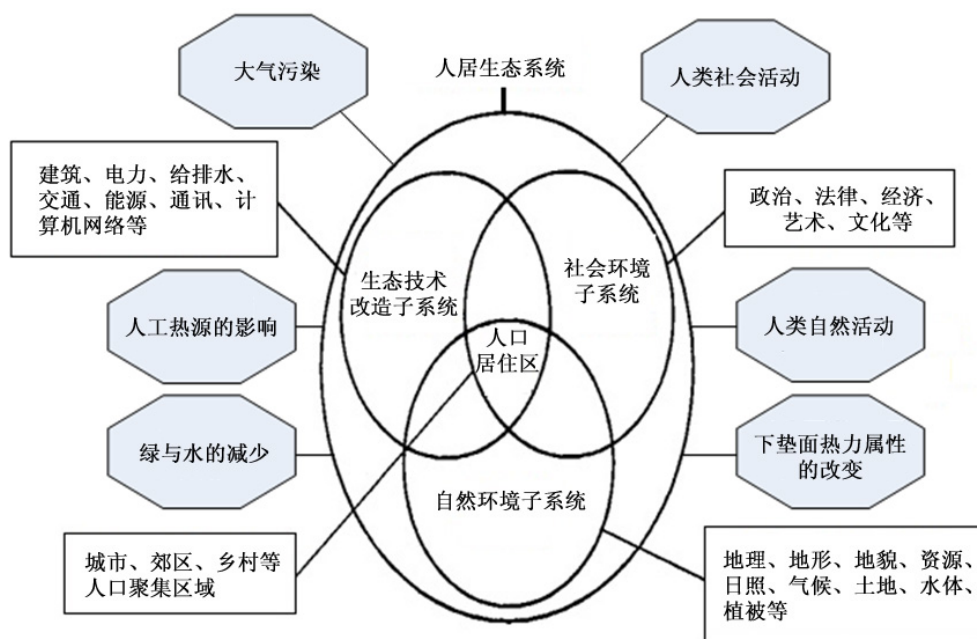
城市人居环境的生态系统主要由城市居民及其周围环境组成。同时,城市人居环境是一个具有多尺度、多植被类型和多基础设施支撑的不断进行能量与物质交换的开放式复杂生态系统。城市热环境是其子系统之一。城市热环境是近年来在研究城市热岛的基础上发展起来的一种概念。温度是其表征因子,但城市热环境绝非单纯的一种温度指标。它与大气污染、生产生活能源的释放、高的建设容积率以及水体与植被的分布状况等多种因素有关,因此它是一个由以上多种因子构成的集合体^[3]。

我国在快速城市化过程中正面临着越来越突出的“城市病”的困扰^[4]。本文将针对城市人居生态的“热病症”现象进行剖析,提出“城市人居生态有机生命体”的概念并建议对其进行系统性的研究和分析;试图建立多学科交叉融合的城市人居生态有机生命体的理论与方法体系,使得人们能够从一个全新的角度来理解城市人居生态中的政治、经济、文化、社会和环境之间的相互作用关系,从而形成城市人居生态研究的一个新的分支,并有力地推动相关学科的交叉发展(如城市规划、城市管理、城市生态、城市地理、交通工程、能源电力、水资源、大气科学和环境科学等)。

从图1中可以看出,在对城市人居生态的研究和分析中,城市人居热病症的主要原因包括人工建筑物引起的下垫面热力属性的改变、人居生活排放的热污染的影响、城市绿地与水体的减少以及城市大气的污染。随着城市化进程的不断深入,各种城市人居热源将会此消彼长。而

在研究方法上,人们仍然关注着城市热岛效应的形成原因、热污染的排放、热力景观及其相关的定性定量分析、模型设计和遥感探测技术等方面^[2]。其中,以热为特征的能量辐射形式与地热波谱(或地物辐射波谱)相结合的热红外遥感技术将最受推崇。国内外对此均已取得初步成就并形成了一系列的技术方法和数学模型,而城市人居环境的生态系统研究依然依赖于航空航天遥感的大尺度分析、统计及其模型或热

图像分析^[5-8]。国内也有研究人员从全方位的角度提出了“城市生命体”的理论和体系。该体系主要阐述了经济、社会、人口、能源、资源和环境等六大驱动力与城市健康之间的动态响应关系和相互作用规律^[1]。该理论系统对于城市人居生态有机生命体的研究具有重要的参考价值,而在分析尺度和人居生态热与绿的研究对象上各有侧重。



2 城市人居生态中的热效应

对城市人居生态有机生命体的系统分析离不开其时空多尺度特性,尤其是热分布及其调控方法论。基于大、中尺度的热岛效应分析及其产生机理除了受天气系统控制之外,热岛空间分布还会受到城市下垫面特征、人为热、大气污染和植被覆盖度等因素的影响。这些因素之间的相互作用也会在较大程度上影响城市人居生态有机生命体的健康状况。而在热调控方法上具有最强实践性的是植被和森林覆盖规划,也就是绿色基盘的热调控效应。绿色基盘在实践时必须考虑景观、防护、碳汇和热通量四大要素^[9]。植被与森林在春夏秋冬有不同季节的变换,

又因树种特性不同分别有常绿、落叶、开花、结果和变叶等不同层次的视觉景观与生态多样性效益。它们对城市人居生态有机生命体的热调控和健康调节具有十分重要的意义。

城市人居生态有机生命体的热病症的主要特征是热效应恶化。在热调控和健康调节上,人们往往采用“绿岛”来拯救“热岛”,并通过在城市人居生态中规划城市绿化、森林公园和郊外植被等方法来削弱热效应和提高舒适度,如图2所示。气候的舒适度决定着城市人居环境的舒适与否,它也是用于评价城市宜居性的重要标准之一。气候舒适度的主要因素包括气温、相对湿度、风速、气压、太阳辐射和降水等^[10-11],其中的每个因素均能表现城市人居生态有机生命

体的健康与否。将“热”作为研究和分析对象,可以较好地把握温度、湿度等因素与人的舒适感受之间直接联系起来。城市人居生态中的温度对舒适度起到了主导作用。温度过高(城市热岛)或者过低(自然或极端条件)对于人居而言均是不舒适的。人居舒适度仅用温度来描述还不完

全正确,因为影响城市人居生态有机体热平衡的因素还有空气相对湿度、风速、气压以及太阳辐射等气象因素。湿度在城市人居生态中也会因与热成对应关系而影响舒适度评价。风的动态作用不可低估,它对人和城市均有温度调控作用。而这些主要因素均需要通过用城市人居

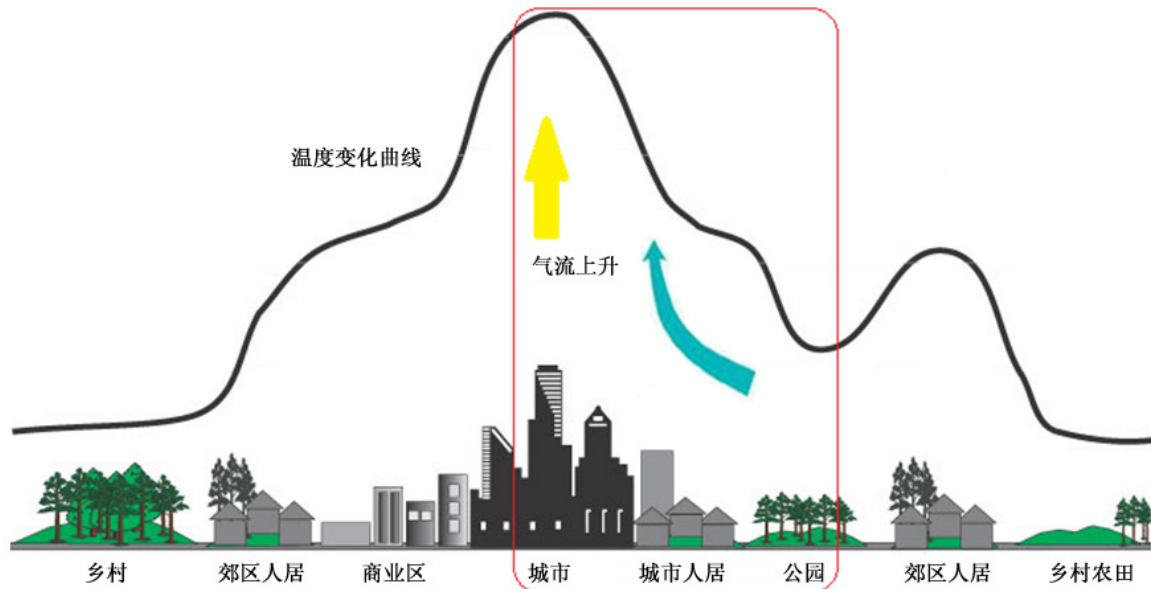


图2 城市人居环境中的温度变化趋势

生态中的“绿”来对“热”进行综合有机调控。

3 城市人居生态中的热环境要素分析

由于城市人居环境及其生态系统在空间尺度上较小,沿用对城市热岛效应的研究方法来分析热及其气候条件的影响反而不具有任何优势。在小尺度的热环境中,人工生态系统及其区域生态效应与热交换活动就显得尤为重要。同样,人居舒适度在人居环境评估中最受关注。城市中的人口变化、交通分布、绿地建设、水体规划、建筑体的热容和人为热排放等各种因素均在这个尺度上被放大成为人居热环境构成的基本要素。城市人居环境也是一个相对稳定的小尺度生态系统。构成的人居热环境具有周期性变化和非周期性变化。其中,周期性变化主要包括日变化、周变化、季节变化和年变化,非周期性变化主要包括城市人居环境的发展与变迁、特殊气候等^[2]。

由于构成城市人居热环境要素的多元性及其相关规律的复杂性,在对人居热环境数据进行采集与分析时需要考虑不同尺度和不同角度的测量难点。其中,如何以小尺度描述城市人居复杂空间结构和不同空间的组成部分,如何分析热辐射场与人居空间结构之间的相互关系及其舒适度评估等问题显得尤为突出,而相关的研究在国内外均处于起步阶段。在城市人居环境中,人工建筑物的表面特性非常复杂(一般包括土壤、水泥、钢铁、砖瓦、沥青、绿化、植被和水体等)。这些表面的热特性与多维空间结构及时间变化之间存在网格化数据关系与统计规律。人们一般是采用地理信息系统、计算机仿真和热红外探测等方法对其进行分析的。通过将计算流体力学(CFD)仿真技术与地理信息系统相结合,可以快速模拟人居系统的空气流动、传热、污染和舒适度等问题,从而较为直观地判

断环境的舒适性。该方法是目前较为常用的小尺度热环境分析方法^[12-13]，但是其模型的精确度仍有待提高。而热红外探测方法在小尺度热环境分析中最为直观，其定量化结果也最为精确，而且还可被归入卫星与航空遥感，组成多尺度热分析。

图 3 所示为以中尺度反映的城市人居建筑群热效应二维分布。它综合、定性地反映了城市下垫面、空间结构与热量动态变化，但对城市人居热环境的小尺度分析与研究仍显得不够细腻。城市人居生态在狭义上主要由人居建筑、绿地和交通路面等组成，但在广义上包括商业区、生活区、交通路面、广场、公园、天桥、绿化和水体等。它一般具有三维空间、多层次、多目标以及非线性等特点^[14]。图 4 所示为城市人

居热环境单元。以热特性为研究对象的热环境单元是狭义上的城市人居生态系统。系统中大量的建筑物和道路构成以砖石、水泥和沥青等材料为主的下垫层。这些材料的热容量和导热率比自然界中的下垫层的大得多，但前者对太阳光的反射率低，吸收率大。在白天，城市人居环境中下垫层的表面温度远远高于气温。在夜间，城市人居环境中的下垫层主要通过长波热辐射使近地面大气层的温度上升。在对城市热岛效应的研究中均需考虑这些热的产生因素，而对城市人居环境的小尺度研究一方面需要分析系统中各个要素的热源贡献及其三维层次化分布特征，另一方面还需要分析热密度与绿色生态的作用机理。

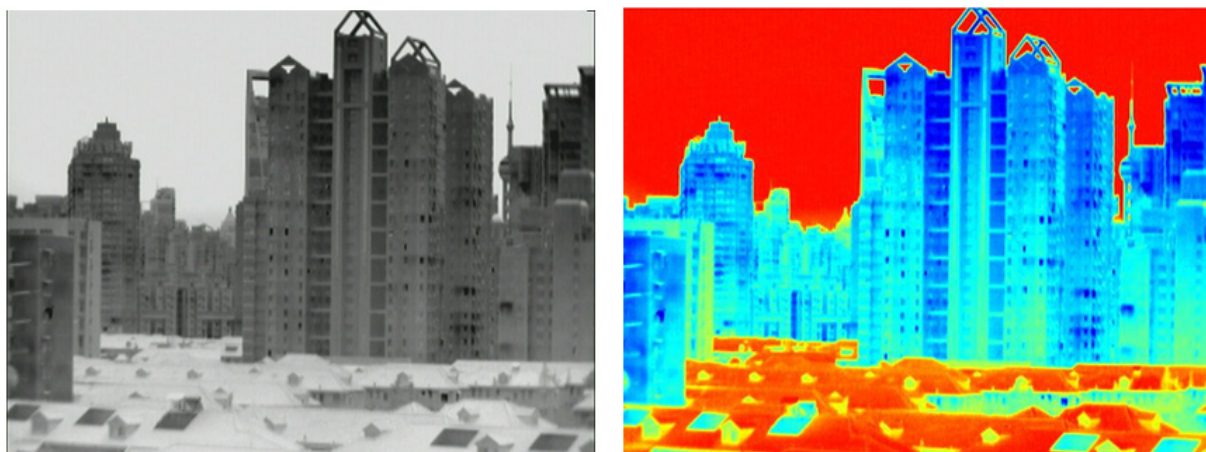


图 3 2011 年 1 月上海某区域的城市建筑群及其热效应的示意图

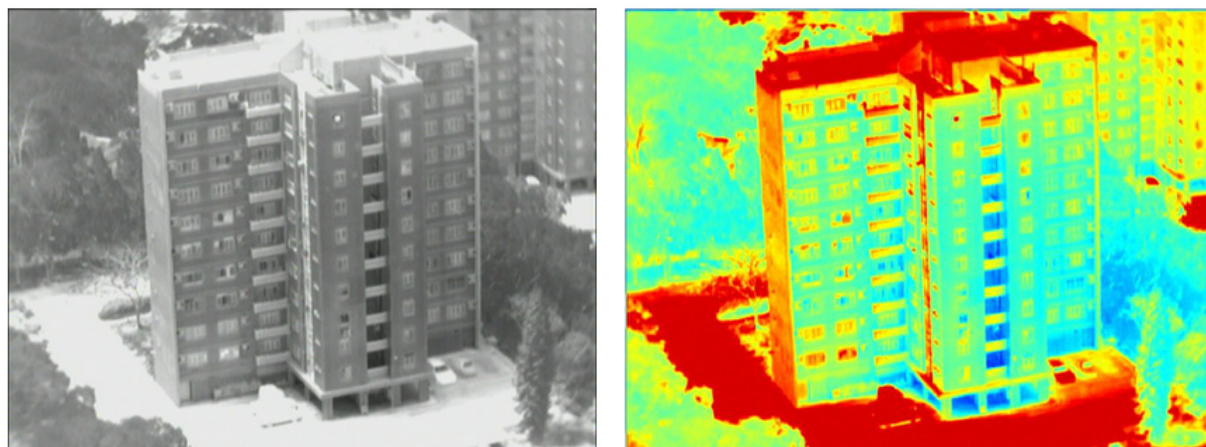


图 4 城市人居环境及其红外图像的对比图

4 城市人居生态中的热调控方法

判断热岛效应的强弱应该是去衡量城市与乡村或郊区之间的温差所形成的城市小气候状况。该状况的优劣评估用于城市人居热环境还有待于人们作进一步的科学界定。城市人居生态有机生命体概念的提出针对城市人居热环境的系统分析及其热病症调控应该更符合人居舒适性。城市绿色的规划与建设对人居热病症的调控作用主要表现在景观、防护、碳汇和热通量上,而在人居舒适度评估方面则需要优先考虑热通量。有文献表明,城市植被、水体以及湿地可有效减缓城市的环境压力,减轻热岛效应,并促使城市生态系统良性循环,而且对城市人居生态建设与热病症缓解同样具有积极的调控作

用。城市人居环境中的绿色植被可通过蒸发作用从环境中吸收大量热量,从而降低环境中的空气温度和增加空气湿度。同时,绿色植被可以大量吸收空气中的二氧化碳,抑制温室效应。另外,绿色植被还能滞留大气中的粉尘,减少城市大气中的总悬浮颗粒物的浓度。当绿色覆盖面积占城市人居环境总面积的 30 % 时,绿色植被对热病症可起到较明显的削弱作用。相反,如果绿色植被减少,则会明显恶化城市人居生态的热病症以及整个城市的热岛效应。因此,加强城市人居生态的绿化工作,合理规划乔、灌、草的比率,就可以有效调控城市人居的小气候和改善城市下垫面的热属性(其效果见图 5)。

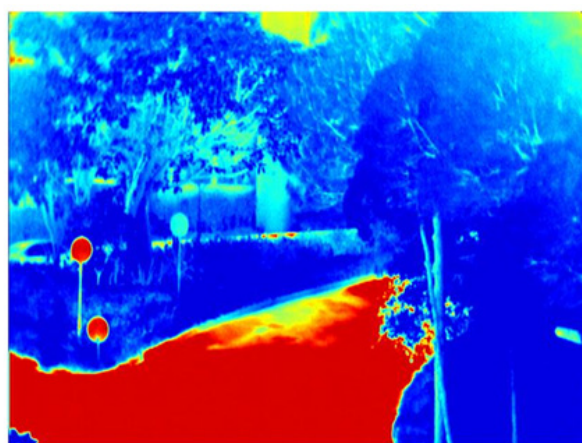


图 5 城市人居生态中绿色植被对热病症的调控效果的示意图

在城市人居生态中,人的物质交换和能量利用是形成热病症的一个动态因素。因此,需要对人居住宅所使用的空调器进行控制,并需要提高建筑物的隔热质量,以减少人工热量排放;应将煤气改为天然气,以提高能源的利用率;建筑物的外观装修应尽量采用淡颜色,以增加热辐射的反射^[15-16]。在绿化城市人居及其周边环境方面,需要选择高效、美观的绿化形式。例如,屋顶绿化、墙壁垂直绿化以及水景设置可以有效地降低城市人居环境的热病症。同时,加强居住区的绿化管理和保证绿化规划用地;在规划和建设公路、立交、楼宇走廊和街道等温室气体排放较为密集的地区时,需要营造绿色通风系统,

把新鲜空气引进城市居住区,以改善小气候;消除城市人居环境中的裸地和施工等原因引起的扬尘;增加城市人居生态中的水系建设,以局部调节温度和湿度;采用透水性强的柏油铺设公路,通过储存雨水来降低路面温度;规划和建设居住区的林荫大道,使其成为城市人居环境中的带状绿色通道,逐步使绿色植被作为隔离带的主体起到降温调控作用。

5 结论

现代城市化进程使得城市人居生态受到巨大的挑战,大尺度热岛效应和中小尺度热环境的控制显得尤为困难。高新技术虽然日新月异,但

就城市人居生态的复杂性和有机性而言仍需依照多层次、多目标、非线性等相互作用规律来研究小尺度、时空连续的城市人居有机生命体。城市人居生态的规划与建设注重小尺度绿色植被对热效应的调控, 在实践层面上要求它对小气候起到生态调节作用。人居舒适度的评估往往也就是针对人居环境中的温度、湿度、风速、气压和太阳辐射等可简单定量的指标作定性化描述。因此具体的人居生态小气候作用规律以及热效应的小尺度调控仍然是一个需要从广度和深度上探索的研究课题。

本文摆脱传统的大尺度热岛效应理论和城市建设的政策性束缚, 试图将城市人居生态中最为突出的热环境问题放大到一个需要建立有机生命体概念的实践性科学方法论中来。通过引入热红外技术探索人居生态中自然与人为生产活动中的物质转化与能量利用情况, 实现环境质量的提升和低碳绿色。对城市人居环境这样一个拥有多种功能的有机综合体, 更应该在规划前进行充分调研并在建设后对人居舒适度软硬件的公众满意度作出评估。热红外技术对热环境中的温度场分布具有直接的探测效果, 无疑是一种有效的探测技术手段。绿色植被在城市人居生态中的景观、防护、碳汇和热通量四大作用越来越受到重视, 但仍需体现科学性和实践性。因此, 城市人居有机生命体的小尺度热环境及其绿色调控具有更重要的辩证关系与生态实践指导意义。

6 致谢

感谢中国科学院上海技术物理研究所和香港中文大学中国城市住宅研究中心联合团队参与研讨和交流。

参考文献

- [1] 现代城市“病”的系统识别理论与生态调控机理 [M/OL]. <http://www.urban973.org/00/task00.asp>, 2011.
- [2] 田国良. 热红外遥感 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [3] 王翠云, 王太春, 元炳成, 等. 城市热环境研究进展 [J]. 甘肃科技, 2009, 25(23): 91-94.
- [4] 吕斌. “城市病”是城市发展必须要付出的代价 [J]. 周末, 2010, 12(10): 3.
- [5] 陈云浩, 宫阿都, 李京. 基于地表辐射亮温标准化的城市热环境遥感研究 —— 以上海市为例 [J]. 中国矿业大学学报, 2006, 35(4): 462-467.
- [6] 岳文泽, 徐建华, 徐丽华. 基于遥感影像的城市土地利用生态环境效应研究 —— 以城市热环境和植被指数为例 [J]. 生态学报, 2006, 26(5): 1450-1460.
- [7] 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): 317-323.
- [8] 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.
- [9] 邹经宇, 赵明君. 三山绿色基盘初步调研 [R]. 香港中文大学中国城市住宅研究中心, 2011.
- [10] 彭少麟, 周凯, 叶有华, 等. 城市热岛效应研究进展 [J]. 生态环境, 2005, 14(4): 524-529.
- [11] Oak T R. The Heat Island of the Urban Boundary Layer: Characteristics, Causes and Effects [M]. Norwell: Kluwer Academic Publishers, 1995.
- [12] Blocken B, Stathopoulos T, Carmeliet J. CFD in Urban Aerodynamics: Wind Speed Conditions in Passages Between Parallel Buildings [C]. ASCE, 2006, 188: 111-116.
- [13] Anon B. CFD Analysis Assists in Optimization of Displacement-ventilation System: All Problems Eliminated with A Single Set of Changes [J]. HVAC Heating, Piping, Air Conditioning Engineering, 2005, 77(5): 239-246.
- [14] 高芬. 武汉城区规划改造中的城市热环境研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2007.
- [15] Hiroo Tarumi, Shuji Fujii, Naohisa Ito. Conversion of Exhaust Heat to Latent Heat for the Management of the Thermal Environment in Urban Areas [J]. Energy and Buildings, 1991, 15(4): 609-616.
- [16] Shobhakar Dhakal, Keisuke Hanaki. Improvement of Urban Thermal Environment by Managing Heat Discharge Sources and Surface Modification in Tokyo [J]. Energy and Buildings, 2002, 26(7): 13-23.