

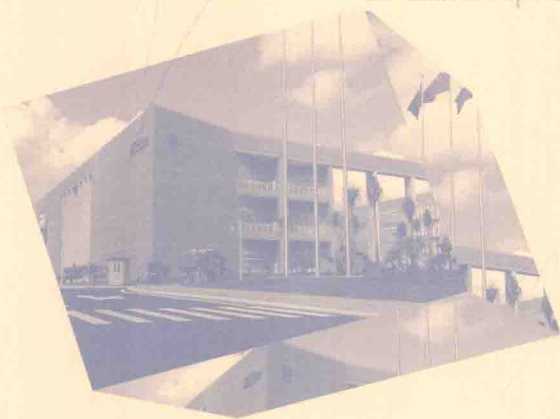


北京师范大学珠海分校学术文库
Beijing Normal University, Zhuhai
Academic Library

胡嘉骢 魏 信 陈声海 著

北京 城市热场时空分布及 景观生态因子研究

Study on the Temporal and Spatial
Distribution of Surface UHI in
Beijing Urban Area and Analysis of
Its Landscape Ecology Factors



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社



北京师范大学珠海分校学术文库

Beijing Normal University, Zhuhai
Academic Library

北京 城市热场时空分布及 景观生态因子研究

胡嘉骢 魏 信 陈声海 著

Study on the Temporal and Spatial
Distribution of Surface UHI in
Beijing Urban Area and Analysis of
Its Landscape Ecology Factors



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

北京城市热场时空分布及景观生态因子研究/胡嘉骢, 魏信, 陈声海著. —北京: 北京师范大学出版社, 2014.1
(北京师范大学珠海分校学术文库)
ISBN 978-7-303-16753-1

I. ①北… II. ①胡…②魏…③陈… III. ①城市热
岛效应—研究—北京市 IV. ①X16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 176510 号

营销中心电话 010-58802181 58805532
北师大出版社高等教育分社网 <http://gaojiao.bnup.com>
电子信箱 gaojiao@bnupg.com

BEIJING CHENGSHI RECHANG SHIKONG JI JINGGUAN
SHENGTAI YINZI YANJIU

出版发行: 北京师范大学出版社 www.bnup.com

北京新街口外大街 19 号

邮政编码: 100875

印刷: 北京京师印务有限公司

经销: 全国新华书店

开本: 170 mm × 240 mm

印张: 14.5

插页: 8

字数: 268 千字

版次: 2014 年 1 月第 1 版

印次: 2014 年 1 月第 1 次印刷

定价: 75.00 元

策划编辑: 毛佳 责任编辑: 毛佳

美术编辑: 王齐云 装帧设计: 王齐云

责任校对: 李茵 责任印制: 陈涛

版权所有 侵权必究

反盗版、侵权举报电话: 010-58800697

北京读者服务部电话: 010-58808104

外埠邮购电话: 010-58808083

本书如有印装质量问题, 请与印制管理部联系调换。

印制管理部电话: 010-58800825

前言

城市化将是中国 21 世纪社会经济变化最重要的特征之一。截至 2012 年年底,中国的城市化水平为 52.6%,预计到 2030 年城市化水平可望达到 65%。随着人口与资源的聚集、城市规模的不断扩大与中小城市的不断涌现,伴之而来的城市土地利用/土地覆盖变化,是中国今后几十年土地景观变化的基本特征。在由农村景观向城市景观转变的过程中,形成了显著的城市生态环境效应。其中,由于农村和城市郊区的土壤、植被及水面等土地覆盖类型逐渐减少,取而代之的是由沥青、水泥及金属等建筑材料组成的不透水面,从而导致地表水分蒸腾减少、径流加速、显热的存储和传输增加及水质恶化等一系列生态环境问题。再加上人口与产业的过度聚集、交通格局的拥堵趋势及社会环境恶化等问题的凸显,使得城市的规划布局、景观生态、能量效率、人类健康及生活质量等均受到了一定的负面影响。因此,在当今建设生态城市与低碳城市的背景下,基于先进的卫星遥感技术,对城市景观格局动态及其生态环境效应的研究已成为当前城市生态学研究的热点。

城市景观在物质、能量和结构特征上存在着时空差异,在人类与客观世界进行大量物质和能量的交换过程中,人类消耗大量的物质与能量,产生了大量废弃物和无效热量,形成了城市热环境。人类的能量消耗活动,即热行为,加剧了城市热环境的空间异质性特征。在一系列的城市生态环境效应中,城市热环境作为城市环境能量分布与能量交换的结果,是由城市组成物质的热特性和景观结构共同决定的,是城市化的综合表现。本书以北京市为主要研究区域,基于卫星遥感探测、定量反演及空间建模与分析技术,探索城市热环境的空间与时间演变规律,并按照景观生态学的研究范式,研究与之相关的景观生态因子,突出定量遥感技术的应用,为生态城市的规划与管

理奠定基础。

需要说明的是,本书是在胡嘉骢博士论文、陈声海硕士论文及魏信副教授多年科学研究的基础上,综合了国内外学者最新的研究成果,并在北京师范大学珠海分校科研成果出版支持计划的资助下继续深化形成的。本书首先对城市热岛研究的历史和现状进行了回顾和总结,在详尽了解国内外学者如何利用地面观测资料、卫星遥感及边界层数值模式这三种不同的方法进行城市热岛的形态结构、过程变化及成因分析等研究工作的基础上,充分利用已有数据和仪器,结合地表观测及卫星遥感观测的优点,综合大气热岛和地表城市热岛的研究结果,从而获取北京市城区热场不同时间尺度上的空间变化规律及其相关影响因子。

本书的主要研究内容包括:①对城市热岛研究的历史和现状、城市景观生态及城市通量研究进行了回顾和总结,提出了研究的主要目标、内容、总体框架及技术路线。②概述了研究中使用到的各种数据的来源和使用方法,重点介绍了北京市海淀公园绿地水、热、CO₂ 通量观测实验。③对各种卫星遥感参数结果进行了详细的验证。验证结果表明,这些参数的精度是可靠的,可以应用到城市地表热场的时空变化及其相关影响因子的研究中。④基于 V-I-S 模型,使用线性混合像元分解分类方法进行北京市土地利用/土地覆盖景观格局分析,得到城市下垫面不透水地表和植被景观的空间格局,并分析其历年的变化。⑤利用多个时相 ASTER/TM 卫星遥感反演的地表温度、NDVI(Normalized Difference Vegetation Index, 归一化植被指数)等各种参数,结合地表实测温度日变化数据,从不同的时间尺度分析了北京市城区地表热场的空间变化规律及其相关影响因子。⑥通过选取 2005 年北京市夏季昼、夜 Landsat TM 影像,从三个角度分析了城市热场与城市植被景观之间的相关关系。⑦研究了城市绿地空间景观格局与城市热场的关系。⑧对典型功能小区的热效应进行了评价与分析。⑨进行了行政区热效应的评价与分析。⑩对全书做了总结,并对下一步工作进行了展望。

本书主要内容从选题、构思、布局到实验设计一直得到作者导师朱启疆

教授的悉心指导，并得到北京师范大学地理学与遥感科学学院的诸多老师及同学、师弟、师妹们的大力支持与帮助，在此表示衷心的感谢。在本书的编写过程中，还得到北京师范大学珠海分校空间信息研究所及城市生态与空间信息科研创新团队的大力支持，以及北京师范大学珠海分校不动产学院李波、张博钰同学的帮助。在成书过程中，引用或参考了众多学者的有关著作和论文，尤其是王修信博士的有关研究成果，在此，表示诚挚的谢意！最后，对北京师范大学珠海分校的资助，对审阅书稿的编委和专家们的辛勤工作也表示感谢！

由于本研究领域日新月异，涉及面广，加上作者水平有限，错误之处在所难免，敬请读者批评指正。

胡嘉骢 魏 信 陈声海

2011年4月于珠海

目 录

第 1 章 绪 论	(1)
1.1 研究背景及意义	(1)
1.2 城市热场时空变化研究进展综述	(2)
1.3 城市生态研究进展综述	(10)
1.4 研究区域概况	(18)
1.5 研究目标与主要研究内容	(20)
1.6 研究总体框架及技术路线	(21)
第 2 章 实验仪器、数据及其处理	(24)
2.1 实验仪器	(24)
2.2 实验数据及其处理	(32)
2.3 地面气象、探空数据及其处理	(52)
第 3 章 卫星遥感参数反演及其验证	(57)
3.1 引言	(57)
3.2 ASTER 地表参数反演及其验证	(57)
3.3 ASTER 地表温度产品的验证	(63)
3.4 波谱库数据处理及其应用	(67)
3.5 ETM+/TM 地表参数反演及其验证	(80)
3.6 卫星遥感反演参数的综合验证	(87)
3.7 本章小结	(103)
第 4 章 基于卫星遥感的城市景观空间格局分布	(104)
4.1 基于 V-I-S 模型的混合像元分解景观分析	(104)
4.2 基于决策树方法的北京市城区景观格局分析	(119)

4.3 本章小结	(127)
第5章 北京城市热场时空变化及相关因子分析	(128)
5.1 前言	(128)
5.2 北京市城区热场的日变化	(130)
5.3 北京市城区热场的季节变化	(143)
5.4 北京市城区热场的年度变化	(145)
5.5 系统误差分析	(147)
5.6 本章小结	(149)
第6章 城市热场与城市植被景观相关分析	(150)
6.1 植被覆盖度的计算	(150)
6.2 植被覆盖度与地表温度的关系研究	(156)
6.3 植被覆盖对热岛强度的影响	(163)
6.4 城市绿地景观生态度量指标	(164)
6.5 典型小区温度与绿地布局信息的提取	(166)
6.6 绿地布局结构与城市热场的关系研究	(168)
第7章 城市景观格局变化与城市热场效应分析	(171)
7.1 城市景观格局变化研究	(171)
7.2 土地利用/土地覆盖景观格局变化对城市热场的影响	(177)
7.3 城市各功能小区热场效应评价	(185)
7.4 城市行政区热效应评价与分析	(190)
第8章 结论与展望	(198)
8.1 主要工作及结论	(198)
8.2 研究展望	(201)
主要参考文献	(203)

第1章 绪论

1.1 研究背景及意义

城市是人类文明的标志,是一个时代的经济、政治、社会、科学、文化、生态环境发展和变化的焦点和结晶。在城市中存在着各种各样的社会矛盾、人类社会发展和自然界的矛盾。城市及其区域的经济发展与生态环境的对立和统一,是促进城市发展的基本矛盾之一。城市化速度和规模是检验国家社会文明和生产力发达的重要标志之一。据统计,我国2012年的城市化水平已由1990年的26.41%提高到52.6%,预计到2030年将达到65%。但我国城市化迅速发展的实践证明,随着城市人口的迅速增加、城市工业化水平的不断提高、城市数量的不断增加等,城市经济发展和城市生态环境保护之间的矛盾日益复杂尖锐,从而使得解决城市经济发展和城市生态环境保护,即建设生态城市的问题成为当前城市规划与管理的重点。

城市气候是最重要的城市环境要素之一。城市化过程中,城市下垫面性质的改变、空气组成的变化、人为热和人为水汽的影响,在当地纬度、大气环流、海陆位置、地形等区域气候因素作用的基础上,产生城市内部与其附近郊区气候的差异。其中,城市气候呈现出所谓“五岛”特征,即“热岛”、“湿岛”、“干岛”、“雨岛”和“混浊岛”。其中,城市热岛效应是城市气候不同于其以外地域的最明显特征之一。1918年,英国气象学者Howard在《伦敦的气候》一书中,把伦敦市区气温比周围乡村气温高的现象称为“Urban Heat Island”或“Hot-island Effect”,即“城市热岛”或“热岛效应”。这是人类首次对城市热岛效应这一特殊气候现象进行有目的、有文字的记载,也是人类关注和研究城市热岛的开端。其后,各国气象学家对其进行了广泛的研究,国内外大量的研究表明,世界上所有城市,无论规模大小、纬度高低、位于沿海还是内陆以及地形、环境如何,均存在城市热岛效应。城市热岛效应会给人们的健康带来极大的危害。在低纬度和中纬度地区的夏季,城市热岛效应会加快城市高温出现的频率,造成高温灾害;城市热岛效应还会影响城市大气污染物分布特征和局部小气候,导致城区环境综合质量下降;同时,为了减缓城市热岛负面影响所付出的经济消耗也很可观。北京作为中国的首都,是一个拥有超过 $2\,000\times 10^4$ 常住人口的特大城市,也是全国城市化速度最快的城市之一。改革开放的30多年来,北京的人口和城市建成区面积分

别从 1980 年的 904.3×10^4 人和 346 km^2 , 增长为 2012 年的 $2\,069.3 \times 10^4$ 人和 $1\,289.3 \text{ km}^2$, 从而出现了以城市化为主要特征的大规模土地利用/覆盖变化。随着北京城市化的迅速发展, 城市规模不断扩大, 城市楼房向群落化、高层化发展, 以沥青和水泥为主体的城市道路向高架、高速、“宽带”化发展。与此同时, 随着国民经济的快速发展, 工商企业、各种机动车辆的增多及冬季取暖、夏季空调降温的需要, 耗费的能源也日渐增多, 所排放的人为热也迅速增加。这些因素使得北京的城市热岛效应日益显著, 城市热岛的范围也随之不断扩大。

在人工景观取代自然景观的城市化过程中, 由于地表覆被材质的变化而导致了地表热辐射、热存储和热传递的一系列改变, 并以城市热岛的形式表现出来。同时, 城市生态系统内人口聚集、能源消耗等生产活动方式所产生的人为热量释放、传输等, 也通过城市热效应表现出来。不论是地表辐射率改变而导致的地表显热与感热传输模式的变化还是人工热量空间配置的变化, 都存在一个最终的热量平衡。表征这种热量平衡的最好指标无疑是环境温度。所以, 对于在城市化过程中迅速改变的城市景观格局的生态过程而言, 城市热岛效应无疑是一个具有代表性的综合体现。而 21 世纪是空间时代和信息时代, 以全球定位系统(Global Positioning System, GPS)、遥感(Remote Sensing, RS)及地理信息系统(Geographic Information System, GIS)为代表的空间信息技术得到飞速发展, 特别是在 GIS 空间分析技术的支撑下, 各种不同时空分辨率的遥感监测数据被广泛应用到资源、环境、灾害、人文、社会等各个领域。定量遥感反演技术与空间信息建模技术的迅速发展使得快速获取定量的城市生态环境信息和客观评价与之相关的城市景观生态因子成为可能。其中, 城市景观的热量特征是通过电磁波辐射形式进行相互作用的, 可被遥感手段直接探测到。

所以, 本书从生态城市规划角度出发, 基于卫星遥感技术, 综合集成定量遥感方法、城市地表通量模型、地理信息系统空间分析及相关知识, 以北京市为主要研究区域, 深入分析城市热场的时空分布与城市景观格局的互动关系, 从而寻求城市化进程中城市内部的人地关系协调与均衡发展策略, 为生态城市的规划与管理提供支持。

1.2 城市热场时空变化研究进展综述

1.2.1 城市热岛的定义及其形成机制

鉴于城市大气的不同层级及各种地表类型, 甚至是亚地表都能够定义热岛, 因此必须区分这些不同类型的热岛及其内在形成机制的差异。除非特别指明, 城市热岛一般是指城市大气与周围郊区环境相比更加温暖这一现象,

也称为大气热岛。我们可以同时在城市冠层(Urban Canopy Layer, UCL)和城市边界层(Urban Boundary Layer, UBL)上定义大气热岛。UCL是城市大气从地表向上延伸至大约建筑物的平均高度处。而UBL则是位于UCL之上,并始终受城市地表影响的部分。UCL热岛主要由在标准气象高度上或绑定在交通工具上的传感器测量得到。UBL热岛则是由更专业的传感器平台,例如高塔、声呐、探空气球或者空基设备测量得到。这些测量都要求有代表性,因此测量仪器相对于周围环境的位置非常重要。同时,大气通量及诸如空气温度等要素的测量都受到湍流或源区的影响,而源区的形状是由传感器高度和大气湍流及其稳定性特征所决定的,因此可由源区模型来估计测量的准确性。在晴天无云、无风的晚上,城市和周围郊区的辐射降温差异最大时,大气热岛的表现最明显。图1-1是典型大气热岛的温度廓线。

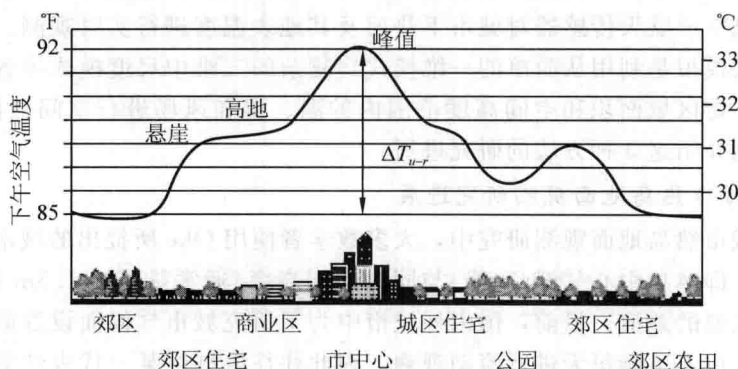


图 1-1 典型大气热岛的温度廓线

由遥感监测到的城市热岛称之为地表城市热岛(Surface Urban Heat Island, SUHI),其实质是传感器所“看到”的热红外上行辐射的空间模式(大多是亮温或仅做了大气纠正的方向辐射温度)。遥感监测的“有效辐射源区”是传感器投影到地表的瞬时视场角(Instantaneous Field of View, IFOV)。该源区由几何特征决定,与大气热岛的源区差别极大。与大气热岛的直接现场测量相比,遥感所得SUHI是间接测量,需要考虑大气的影响及在传感器波长范围内影响辐射发射和反射的地表辐射特性。要得到准确的SUHI,第一步是需要得到亮温;第二步是纠正大气的影(主要是大气透过率及大气路径辐射的影响);第三步是使用由大气辐射传输模型计算所得或直接测量到的大气下行辐射及对地表比辐射率的估计得到方向辐射温度。最后还需要对不在传感器视场内的那部分地表做粗略的纠正,也就是考虑地表三维结构的影响(即墙壁和植被所占城市地表的权重)。如果不进行这些纠正,或者错误地估计了误差,很可能会改变解释的结果(例如SUHI的幅度)或者错误计算导出的物理量(例如地表和空气的湍流通量)。

城市热岛是多种因素综合作用的结果。徐祥德等将其形成原因归纳为以下三个方面：(1)城市下垫面的影响。包括下垫面热物理性质、不透水性及几何形状(即街谷效应和地表粗糙度的增加)对城市热岛的影响。(2)人为热及污染的影响。城市人口生产生活中排放出的热量和废气均对城市近地面层的大气有加热作用。(3)气候条件的影响。地理位置不同的城市表现出不同的城市气候特征。即使同一城市，在不同的天气气候条件下，城市热岛效应也表现不同。

1.2.2 城市热岛研究进展

到目前为止，城市热岛的研究方法主要有地面观测、遥感监测及边界层数值模式模拟3种。地面观测是指以散布在城区和郊区有限的地方气象台、站或地面流动(巡回)观测资料进行城市气温及地表温度的观测。遥感监测则是利用航空或航天传感器对城市下垫面及其地表温度进行实时观测。边界层数值模式模拟是利用从简单的一维模式到复杂的三维中尺度模式等各种数值模式对一定区域面积和空间高度范围内的温、湿和风场进行空间数值模拟。下面分别介绍这3种方法的研究进展。

1. 城市热岛地面观测研究进展

在城市热岛地面观测研究中，大多数学者使用 Oke 所提出的城市热岛强度定义，即热岛中心气温(高峰)与同时间同高度(通常是距地 1.5m 高处)附近郊区气温的差值。目前，国内外城市中为了研究城市气候而设置的气象站点不多，也不可能每天进行流动观测，因此往往取城区某一代表性的观测站与郊区另一具有代表性的观测站的气温资料进行对比，以此来表示热岛强度的变化。

国外学者很早就开始利用地面气象观测资料研究城市热岛效应，这方面文献非常丰富。我国从 20 世纪 80 年代才开始真正起步，但发展较快。国内学者主要利用实测气象数据集中研究不同类型城市城市热岛的时空变化特征及其形成机制。其中，研究得最为充分的是上海和北京两个城市。表 1-1 是对典型文献的总结。

经过多年的发展，通过地面气象观测数据进行城市热岛研究的方法与手段已趋于成熟。大致可分为：(1)对城区和郊区气象站点的数据进行对比。这种方法需要城区站点具有城市的典型特征，郊区站点要靠近城市，且两类站点的气候特征须一致。(2)研究各个气象站点数据的历史序列，分析其随城市扩展的变化趋势。该方法需要对大量数据进行分析，因此发展出了许多特定的数据统计方法。(3)利用安装在交通工具上的传感器对城市和郊区周围的空气温度或地表温度进行实时观测对比。该方法能获取同步的对比观测数据，但需要仔细考虑当时的天气状况，设计合理的流动路线，同时确保数

据的稳定性。前两种方法仍受到城区内气象站点数量及位置的限制,因而空间代表性不足;而后一种方法又无法保证稳定的数据来源。因此,应该将这几种方法联合起来使用。

表 1-1 国内外对城市热岛研究结果的总结(部分来源于 Arnfield)

城市热岛变化特征	参考文献
热岛的强度在晚上最大	Adebayo, Schmidlin, Ripley 等, Magee 等
热岛强度随城市/人口规模的增加而增大(上海、北京)	Park, Yamashita 等, Hogan 等, 周淑贞等, 张光智等, 宋艳玲等, 林学椿等, 丁金才等
热岛强度在夏天或每年的暖季最大	Schmidlin, Philandras 等, Morris 等
热岛强度日变化和季节变化明显, 平均热岛强度秋、冬季节较强, 夏季较弱(上海)	周淑贞等, 焦敦基等, 邓莲堂等, 江田汉等
热岛呈多时间、多中心的尺度结构, 由各种尺度的热岛叠加而成(上海、北京)	江田汉等, 张光智等
热岛强度随风速和云量的增加而降低	Ackerman, Kidder 等, Magee 等, Morris 等

2. 城市热岛遥感监测研究进展

1972 年, Rao 首先证实了可以通过分析卫星热红外遥感数据区分出城市, 并使用 ITOS-1 卫星数据制作了美国大西洋中部沿海城市的地面热场分布图。从此以后, 各种传感器平台(卫星、航空和地基)都用来进行地表城市热岛的遥感监测。随着航空及卫星遥感技术的不断进步, 应用遥感同 GIS、GPS 等技术结合的手段来监测和研究城市热岛效应的时空变化及其形成机制, 成为城市热岛效应研究中应用最多、最有效和最直观实时的方法。表 1-2 列举了 20 世纪 80 年代末以来利用遥感研究地表城市热岛的国内外具有代表性的文献。

由表 1-2 可知, 首先, 绝大多数研究使用遥感来监测地表城市热岛的空间结构及其与城市地表特征之间的关系。其中大多数使用 AVHRR 或者 TM 数据, 结合 GIS 及土地利用/土地覆盖数据, 尤其是 NDVI 或植被覆盖来评估亮温或者方向辐射温度的空间模式。少数研究使用航空遥感获取的高空间分辨率热红外影像评估地表城市热岛分布与地表特征或 NDVI 等之间的关系。随着传感器分辨率的提高, 最近也有研究通过结合地表测量及遥感方向辐射温度来生成更能代表城市三维结构的辐射温度。

其次, 有研究利用遥感耦合城市气候模型来研究城市地表能量平衡, 从物理基础上深入理解热岛的生成机制。Hafner 等使用基于大气模型的输出与遥感得到的方向辐射温度之间的回归方程, 模拟短波辐射的地表吸收和 NDVI, 从而进行地表热通量的参数化。

还有研究应用遥感来研究大气城市热岛和地表城市热岛之间的关系。有

些研究结合遥感和地表的同步观测,某些还结合城市大气模型来研究地表温度与空气温度之间的关系,但大多都是经验关系。最近,卫星观测的夜间数据也被用于监测城市和郊区地表温度之间的差异。

表 1-2 利用遥感研究地表城市热岛的国内外文献总结(部分来源于 Voogt 等)

参考文献	平台:传感器	温度模式	研究目标
Balling 等	Sat:AVHRR	亮温	研究地表温度和土地利用之间的关系及其空间模式的日变化
Dousset	Sat:AVHRR	亮温	城区地表温度和空气温度之间的关系
Carnahan 等	Sat:Landsat TM	亮温	城市和郊区升温与降温之间的差异
Dousset	Sat:AVHRR,SPOT	亮温	城市土地利用分类及其与地表温度的关系
Kim	Sat:Landsat TM	亮温	城区地表能量平衡模拟
Stoll 等	航空:地基 IRT	方向辐射温度	不同地表类型地表温度与空气温度的评估
Gallo 等	Sat:AVHRR	亮温	使用 NDVI 来评估城市热岛
Quattrochi 等	航空:TIMS	方向辐射温度	不同城市地表类型白天和晚上的温度
Epperson 等	Sat:AVHRR,DMSP	亮温	用 NDVI 和晚上数据估计城市空气温度差值
Nichol	Sat:Landsat TM	方向辐射温度	与城市形态学有关的地表温度的空间模式
Ben-Dor 等	航空:TIRS	方向辐射温度	同步的城市地表及空气温度热岛分析
Nichol	Sat:Landsat TM	方向辐射温度	用墙壁与遥感温度融合创建城市三维温度
Hafner 等	Sat:AVHRR	亮温	与热惯量和湿度有关的 SUHI 与 UHI 模式
Quattrochi 等	航空:ATLAS	方向辐射温度	使用遥感与 GIS 评估城市热岛
周红妹等	Sat:AVHRR TM	亮温,气温	遥感、GIS 监测热岛分布特征和变化规律
陈云浩	Sat:TM	亮温	热岛空间变化分析
延昊等	Sat:AVHRR	方向辐射温度	热岛与地表反照率和植被指数的关系
程承旗等	Sat:TM	亮温	热岛强度与 NDVI 的关系
李延明等	Sat:TM,IKONOS	亮温	热岛与城市绿色空间演变特征
孙飒梅等	Sat:TM	相对亮温	以相对亮温来表示热岛强度
徐涵秋等	Sat:TM	亮温	用城市热岛比例指数(URI)研究热岛

卫星遥感数据时间同步性好、覆盖范围广的特点能使其克服地面观测数据空间代表性不足的缺点,从而能够研究城市热岛的平面布局及其内部结构,将城市热岛进一步推动至城市热场的研究。遥感反演的地表温度也在从最原始的 DN 值到亮温,再到方向辐射温度直至地表真实温度逐步发展。虽然城市热岛的形成、发展及其空间分布受多种因素的影响,结合 RS 与 GIS 仍能部分揭示城市热场的变化机制及其背后的主要驱动力因子。例如,多数研究结果都表明在天气晴朗、无风或微风的情况下,城市热场空间分布及其发展主要取决于城市格局和下垫面性质(土地利用类型、NDVI、植被覆盖度等)。

但 Voogt 等指出了遥感监测在城市热岛研究中面临的本质问题:(1)受遥感数据空间分辨率及单一角度观测的限制,遥感仅仅能“看”到真实城市表面的一部分,无法研究城市热场的垂直结构。最近发展出的传感器视场模型还无法将遥感与实质城市表面联系起来。(2)遥感所得地表辐射温度与城区一大气交界层实际温度,也就是所谓“地表真实温度”的关系。目前大多数研究,尤其是国内,直接使用亮温进行城市热岛的研究。但亮温同地表真实温度间的差异往往达到 5~6K,因而对热岛幅度的估计造成较大误差,甚至得出错误的结论。城市三维地表辐射的“有效各向异性”、城市地表发射率的不确定性 & 城区大气透过率的空间变化,均对地表真实温度的精确反演有很大影响。同时,城市异常复杂的下垫面也使得很难在卫星过境时刻同步验证地表真实温度。(3)遥感仅仅获取了时间断面信息,难以从机理上分析城市热岛的变化过程和驱动机制。虽然结合 RS 与 GIS,以及相关分析、分形数学、三角形法等数学统计方法,可以建立城市热岛与其各种可能影响因素的定量关系,但这些模型本质上仍基于统计意义的经验关系。(4)地表城市热岛与大气城市热岛间的区别。虽然表 1-2 中有些研究两者之间关系的文献,但绝大多数研究都认为两者有很大的差异。

3. 城市热岛边界层数值模式模拟研究进展

以热力学和动力学为理论基础的边界层数值模式是进行地表能量平衡与温度场时空变化分析的机理模型。随着计算机技术的高速发展,数值模式模拟已成为城市热岛研究的有效手段。Myrup 最早用简单的一维方程对城市热岛进行了模拟。国内的学者也从 20 世纪 80 年代开始通过城市边界层结构的动力、热力特征的研究来评估城市热岛效应。表 1-3 是对其中一些典型模型应用于城市热岛研究的总结。

由表 1-3 可以看出,边界层模式模拟经历了从简单的一维模式到更复杂、更精确的二维,直至三维中尺度模式的发展过程。国内研究虽然起步较晚,但却紧追国外发展步伐,目前已有并驾齐驱的势头。当前国内外研究城市热岛使用最广泛的边界层数值模式是三维中尺度模式,包括 MM5(The

Fifth-Generation NCAR/Penn State Mesoscale Model)、WRF(The Weather Research and Forecasting Model)及 RAMS(Regional Atmospheric Modeling System)等。但在以上模式中并不考虑城市特有的动力和能量特征及其对大气边界层(PBL)的影响,因此需要对中尺度模式进行城市冠层或城市边界层模型的改进,例如 Masson 的 TEB 模型、Dupont 等的 DA-SM2-U 模型及 Kusaka 等的单层模型,这已经成为使用中尺度模式研究城市气候的主要发展方向之一。同时,最近的研究也考虑城市中独有的人为热及复杂地形对城市热岛模拟的影响。国际上在这方面的工作已经取得了一定的进展,但主要集中在中小型城市。因此,在国内,尤其是大都会城市中,如何恰当使用并改进这些模型是当前研究的重要内容。

虽然使用边界层模式能够方便地模拟各种条件下的城区及其周围郊区温、湿、风场的时空变化,从而研究城市热岛,但以下因素限制了它的使用:(1)城市边界层严重复杂、非均匀的下垫面造成了 M-O 相似理论的局限,导致地气之间物质、能量、动量交换与均匀下垫面假设差异明显,使得目前缺乏明确的城市边界层理论概念模型。(2)有限的城市气象观测资料使得模式初试场资料难以获取,城市边界层的多尺度复杂性也对模式空间分辨率提出了更高的要求。(3)更关键的是模式结果难以检验。

表 1-3 利用边界层数值模式模拟城市热岛的国内外文献总结

参考文献	年份	模式类型	研究目标及主要特点
Myrup	1969	一维模型	最早的一维地表能量平衡模型,假定城区为“混凝土平板”
Tapper	1981	一维模型	加入了多层土壤扩散方程及人为热通量项,但未考虑平流
边海等	1988	一维模式	加入了平流传输及人为热源项,模拟夜间城市热岛
Oke 等	1991	一维 SHIM 模型	首次加入了“城市峡谷”效应对地表能量平衡的影响,考虑了建筑物的热通量及“城市峡谷”内红外辐射项的单次反射
孙旭东等	1994	一维模式	评估城市人为热的增加对未来热岛强度的影响
Vukovich	1973	二维模型	二维线性化模型,模拟热岛环流,在模型中指定了部分参数
Bornstein	1975	二维模型 URBMET	双层、二维、流体静力学、Boussinesq、旋涡边界层模型,主要模拟气流通过温暖、粗糙的城市地区时的变化
叶卓佳等	1986	二维模式	模拟城市热岛及环流发展演变
李兴生等	1990	二维模式	研究了倾斜地形对城市热岛的影响

续表

参考文献	年份	模式类型	研究目标及主要特点
Yoshikado	1992	三维模型	使用了不同的粗糙长度和冷却速率来描述城市的影响, 主要研究东京城市热岛环流与海风之间的相互影响
杨梅学等	1998	三维模式	模拟兰州市城关区复杂地形下的城市热岛效应
Taha	1999	中尺度模型	在 CSUMM 模型基础上, 耦合 OHM 热存储模型, 模拟热岛强度
桑建国等	2000	三维模式	求得热岛环流的理论模式, 并分析温度场和流场的三维结构
Zehnder 等	2002	中尺度模型 MM5	对 MM5 模型进行简单修正, 改进模拟菲尼克斯市热岛的性能
Rozoff 等	2003	中尺度模型	在 RAMS 模型基础上, 耦合 TEB 城市冠层模型, 模拟热岛对城市降雨、雷暴的影响
Kusaka 等	2003	中尺度模型	在 WRF 模型基础上, 耦合一个简单的单层城市冠层模型及 LSM 模型, 模拟休斯敦地区的热岛
李维亮等	2003	中尺度模型 MM5	模拟长三角地区海(湖)陆风、城市热岛等小尺度天气现象
杨玉华等	2003	中尺度模型 MM5	模拟北京冬季的热岛
陈燕等	2004	三维模式	模拟杭州地区的城市热岛现象
佟华等	2005	中尺度模型 MM5	研究楔形绿地规划对缓解城市热岛的作用
佟华等	2005	中尺度模型 MM5	在 MM5 中耦合城市边界层模型, 模拟香港在复杂地形条件下的热岛、海风及污染扩散

4. 未来的研究发展方向

随着新一代空气温湿探头价格的下降, 通过在城区内布置大规模的空气温湿度实测网络来获取稳定可靠且更具空间代表性的数据是当前利用地面观测数据进行城市热岛研究的最新动向。但国外类似的研究大多应用在欧美中、小型城市, 对于国内北京、上海这种大都会城市, 还难以长期实施。目前可以结合气象站点的长期观测、典型时间段内的流动观测及典型空间区域上的实测网络来获取更有代表性的资料。

当前新一代的 ASTER 传感器具有更高的分辨率及精度, 结合与卫星像元尺度耦合的测量仪器——大孔径闪烁仪 (Large Aperture Scintillometer, LAS) 及新的能测量地表混合像元比辐射率的仪器, 可以得到更精确的地表能量及辐射温度, 从而进一步推动地表城市热岛的研究。而对遥感监测城市热岛的整体研究而言, 未来必须在以下三个关键领域取得进展: (1) 为用遥