

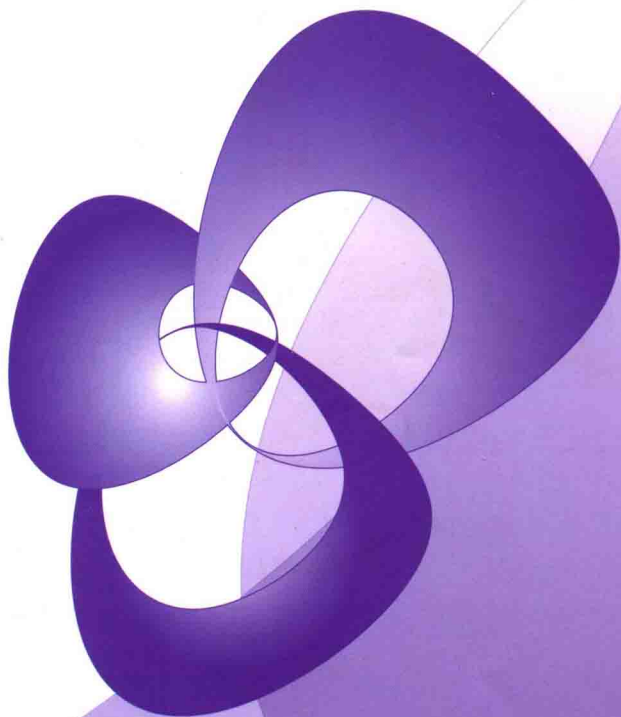
环境与资源博士文库〔第2辑〕



京津冀 都市圈热环境研究

孟丹 宫辉力 李小娟 著

STUDY ON THE THERMAL ENVIRONMENT IN
BEIJING-TIANJIN-HEBEI METROPOLIS CIRCLE



中国环境科学出版社

环境与资源博士文库（第2辑）

京津冀都市圈热环境研究

Study on the Thermal Environment in Beijing-
Tianjin-Hebei Metropolis Circle

孟 丹 宫辉力 李小娟 著

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

京津冀都市圈热环境研究/孟丹等著. —北京: 中国环境科学出版社, 2010.1

(环境与资源博士文库. 第2辑)

ISBN 978-7-80209-941-8

I. ①京… II. ①孟… III. ①城市环境: 热环境—研究—华北地区 IV. ①X21

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第199181号

责任编辑 沈建
责任校对 尹芳
封面设计 玄石至上

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京东城区广渠门内大街16号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
联系电话: 010-67112765 (总编室)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京市联华印刷厂
经 销 各地新华书店
版 次 2010年1月第1版
印 次 2010年1月第1次印刷
开 本 880×1230 1/32
印 张 7.375
字 数 155千字
定 价 80.00元(全套4册)

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

前言

近年来,随着城市规模和城市人口的急剧扩张,城市中原有的下垫面被建筑、不透水面等所替代,以及人为热排放,改变了“土壤—植被—大气界面”之间辐射、水汽和热量等的交换平衡,尤其对于大城市,“城市热岛”现象尤为突出。由于城市热岛现象的存在,强烈地影响着城市景观内的各种物流、能流等生态过程,加剧了城市高温出现的频率和高温灾害,使得城市地区环境质量下降,污染物不易扩散,更易于出现洪涝灾害,对城市生态环境产生严重影响,并由此引起了一系列的城市病和多发性流行病,带来了巨大的经济损失。这一现象作为城市生态环境和城市气候学研究的前沿内容,已引起全世界科学家的广泛关注。因此,快速准确地获取地表温度、深入研究城市热场时空分布规律、驱动因素及其演化机理,对于优化城市规划布局、改善人居环境、丰富相关学科的理论体系都具有重要的理论和现实意义。

作为当前城市气候与环境研究最为重要的研究内容之一,美国、加拿大、日本、西欧等国家和地区积极开展城市热环境及其热岛效应的研究工作,主要从城市热岛的空间形态和结构、

时间演变规律及特征、变化机制及模拟三个方面研究城市热岛效应。我国学者也对我国许多城市,如北京、上海、深圳、广州等发展迅速的单一大城市出现的高强度的城市热岛效应进行了相关研究,对城市一区域尺度的热环境研究也见于长三角、珠三角地区,而与其并称的我国东部三大经济圈之一的“京津冀都市圈”鲜有报道。

由此,本书针对北京—首都圈地区,利用多源、多时相遥感影像并结合常规气象观测数据,研究城市热岛的大气候、小气候、变尺度效应,综合分析城市化进程中产生的城市热环境及其制约因素,为改善城市生态环境,实现“宜居城市”、“生态城市”、“安全城市”的建设目标提供科学的依据与技术保障。

本书基于本人博士论文修改而成,共分为8章。成文过程得到多位老师及学友的指导与帮助,在此一并表示衷心的感谢!尽管如此,由于笔者水平有限,书中难免有不完善之处,敬请读者批评指正。

本书的出版得到首都师范大学“211工程”重点学科建设项目——首都圈环境过程与数字模拟,城市环境过程与数字模拟国家重点实验室培育基地,以及科技部国际科技合作项目——人类影响下的中国与南非典型区域生态水文变化对比研究(2010DFA92400)、北京市属高等学校人才强教深化计划“高层次人才”项目(PHR20090507)的资助。

目 录

第一章 绪 论.....	1
第一节 城市热环境研究意义.....	1
第二节 国内外研究进展.....	4
第三节 研究内容和方法.....	18
第二章 研究区概况及数据采集.....	21
第一节 研究区概况.....	21
第二节 数据采集及预处理.....	26
第三章 基于常规气象参数的温度变化背景研究.....	32
第一节 基于常规气象数据的北京地区城市热岛研究.....	32
第二节 基于常规气象数据的京津冀都市圈地区 气温变化研究.....	41
第四章 基于多源遥感数据的地表温度反演研究.....	52
第一节 地表温度反演原理与算法.....	52

第二节	基于 Landsat TM/ETM+数据的北京市地表温度 遥感反演研究	56
第三节	基于 MODIS 的京津冀地区地表温度遥感反演 ...	69
第四节	基于 ASTER 卫星北京地区地表温度反演	83
第五章	基于遥感数据的京津冀地区热环境时空演变分析	93
第一节	北京地区热环境时空演变分析	94
第二节	京津冀都市圈热环境时空演变规律研究	101
第三节	热环境的景观格局分析	109
第四节	热环境的尺度效应	132
第六章	不同土地利用类型、植被覆盖及典型城市景观的热 环境效应研究	146
第一节	城市热环境与土地利用/土地覆盖类型的 关系研究	146
第二节	植被指数与地表温度的相关分析	156
第三节	城市公园景观斑块的空间结构及其热 环境效应	161
第四节	城市中道路廊道对热环境的影响	169
第七章	城市热环境的成因机制研究	173
第一节	城市热环境的影响因子与指标体系的建立	173
第二节	地表不透水面及植被盖度的信息提取	178
第三节	城市热环境成因的主成分分析	193
第四节	城市热环境空间回归分析	199

第八章 结论与展望.....	204
第一节 结论.....	204
第二节 研究存在的问题及展望.....	212
参考文献.....	215

第一节 城市热环境研究意义

随着全球城市化和经济快速发展，城市热岛效应日益显著，给城市居民生活和环境带来不利影响。城市热岛效应是指城市地区的气温明显高于周围乡村地区的现象。其主要原因是城市建筑密集、人口集中、大量人为热源排放以及城市下垫面材料（如沥青、混凝土等）的热容量小、反射率低等。城市热岛效应不仅影响城市居民的生活质量，还对城市的气候、能源消耗、空气质量等方面产生深远影响。因此，研究城市热环境对于改善城市气候、降低能源消耗、提高城市可持续发展具有重要意义。

城市热岛效应的研究始于19世纪末。1853年，英国气象学家 Luke Howard 在其著作《伦敦的气候》中首次提出了“城市热岛”的概念。他指出，伦敦市区的气温比周围乡村地区高出约1-2℃。此后，许多学者对城市热岛效应进行了深入研究。20世纪50年代，美国气象学家 John Oke 等人对城市热岛效应进行了定量研究，提出了“城市热岛强度”（Urban Heat Island Intensity, UHII）的概念。UHII是指城市地区与周围乡村地区的气温差值。UHII的大小受多种因素影响，包括城市建筑密度、人口密度、工业活动、交通排放、城市下垫面材料等。

随着城市化的快速发展，城市热岛效应日益严重，给城市居民生活和环境带来不利影响。城市热岛效应不仅影响城市居民的生活质量，还对城市的气候、能源消耗、空气质量等方面产生深远影响。因此，研究城市热环境对于改善城市气候、降低能源消耗、提高城市可持续发展具有重要意义。

第一章 绪 论

第一节 城市热环境研究意义

保护环境与社会经济发展达到双赢是人类永恒的话题。然而汹涌而来的城市化浪潮,使得城市在相对狭小的地域空间内,集中了大量的人口、工业、建筑,必然消耗大量的物质和能量,通常伴随着生态环境的恶化(见表 1-1),如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”(徐祥德、汤绪,2002)。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。1833 年,英国气象学者 Lake 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”,首次提出“城市热岛”和“热岛效应”(Howard, 1833)。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,地形、气候条件,均存在城市热岛效应。

表 1-1 城市化引起的环境变化类型 (Gupta and Asher, 1998)

对象	引起的环境变化
水文	地表径流增加; 洪水复发, 规模变大; 地下水枯竭
地貌	沉积速率加快, 至少有时会这样; 边坡不稳定性; 天然巷道的改变
气候	热岛效应; 气温升高, 云团加厚, 降雨量增加; 湿度减少; 风速减缓
植被	外来物种入侵; 广适性物种普遍; 更多先锋物种和杂草
空气质量	污染增加; 更多固体悬浮颗粒; 气体混合物普遍
水质	用水需求增加; 生活废水; 工业废水污染

目前, 城市热环境被认为是主导城市环境的要素之一 (Oak, 1995), 在危害城市公共健康、空气质量、局地气候、能源消耗等方面产生深远的影响 (Quattrochi, 2000)。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。所以研究城市热岛的成因、强度及其内部热力结构、时空演变规律, 从而对缓解城市热岛效应、规划城市发展、建设环境友好型社会起到重要作用。

从理论意义上讲, 本研究作为城市生态环境和城市气候学研究的前沿内容, 广泛涉及城市环境学、热力学、气象气候学、景观生态学、遥感与空间信息科学和计算机科学等学科领域, 本文所涉及的问题本质上属于“土壤—植被—大气界面”之间辐射、水汽和热量等的相互交换过程。在技术手段上, 遥感技术大大提高了城市地表过程参量化的范围和精度。而在机理研究上, 相关模型的引入则较为准确地反映了“地—气”界面间的内在联系, 为城市热环境预测、模拟、制定缓解措施等实际工作提供理论指导。对于促进学科交叉, 丰富各自学科的理论体系, 深入挖掘新技术、新手段在解决传统问题方面的潜力都

具有重要的推动意义。

本书所研究的京津冀都市圈包括以北京为中心、半径 200 km 以内的天津市、河北省的承德、张家口、保定、唐山、廊坊、沧州、秦皇岛和石家庄。它与长三角、珠三角并称为中国东部三大都市圈。京津冀地区由于行政体制的分割，没有区域范围内合理的生态约束、科学的生态规划和应有的生态补偿，区域环境污染和生态破坏日益严重。2004 年国家发改委主持了京津冀区域经济发展战略研讨会，为解决京津冀区域经济协调发展、资源开发利用、生态建设、环境保护等相关问题决定编制“京津冀都市圈区域规划”。

生态环境方面，京津冀地区已经形成互相影响、互相辐射的态势。京津冀区域的整体协调发展已经引起国家相关部门的高度重视。无论是社会经济的发展、交通体系的构建还是资源开发利用都使得该区域的土地利用/覆盖发生了急剧变化，由此带来一系列的生态环境问题，如城市环境污染、城市热岛效应等。因此，针对京津冀都市圈区域生态环境过程演化，特别是城市化进程加速所引发的城市热岛效应，有重要科学价值与实际意义。近年京津冀都市圈地区城市热岛明显扩大和强化，而城市的发展更强化了热岛效应。目前，对于首都圈较大区域尺度的研究还不够。本文以京津冀都市圈为研究对象，充分考虑城市—区域环境的内在联系，利用多年的城市热红外遥感影像定量反演地表温度并结合 MODIS 地表温度产品及气象观测数据，利用 GIS 空间分析、地统计分析、景观格局分析理论，研究城市热环境的多尺度时空演变趋势及热力景观格局；快速准确获取与城市热环境密切相关的城市地—气界面的多个参量，如植被覆盖度、城市不透水面盖度，并结合社会经济统计数据

及基础地理信息数据,找出影响热环境的主导因子,对热环境的成因机制作了分析。从而为首都圈实现“宜居城市”、“生态城市”、“安全城市”的建设目标及城市和区域的协调发展提供科学的依据与技术保障。

第二节 国内外研究进展

一、城市热岛效应与热环境的概念和内涵

城市热岛效应(Urban Heat Island Effect, UHI)是指由于城市地表的改变及人类活动引起同期城市中的气温和地表温度(LST)明显高于外围郊区的现象。在温度的空间分布上,城市犹如一个温暖的岛屿,所以被形象地称为城市热岛效应。19世纪初期,英国气象学者 Lake Howard 在对伦敦城区和郊区的气温进行同时间的对比观测后,首次发现了这种城区气温比其四周郊区气温高的现象(Howard, 1833)。

热环境是指与热有关的、影响人类生存和发展的各种外部因素组成的一个物理条件的总体。在城市环境中,考虑到传热有三种方式,传导、对流和辐射(包括太阳辐射),再加上影响热平衡的水蒸气的潜热输送,借鉴气候系统的概念,城市热环境应该是以空气温度和下垫面表面温度为核心表征,包括太阳辐射、人为产热、大气状况和下垫面状况等共同作用下的一个影响人及人类活动的物理系统。

热环境与城市热岛效应既有区别,又有联系。其共同点都是以空气温度和下垫面表面温度为表征,区别在于热环境直接以温度高低为衡量指标,而城市热岛效应更强调城区与郊区之

间的温度差。

近年来,全球城市化进程不断加快,由其引发的城市扩展而产生的温度变化,已引起全世界和我国科学家的广泛关注。对城市大气的不同层以及各种地表类型,甚至是亚地表都能够定义热岛 (Voogt, 1997),因此必须区分这些不同类型的热岛及其内在机制的差异。最初的城市热岛是指气温的城乡差异,随着遥感技术的发展和热红外遥感对地表热环境的研究,城市热岛的概念延伸到从地表到高空不同的空间层次。

城市热岛是一种城市公害,不仅加剧了城市高温出现的频率和高温灾害,影响着城市生态系统的物流、能流,改变城市生态系统结构和功能 (Quattrochi, 2000)。而且由于热岛环流的存在,使得污染物不易扩散,使得城市地区环境质量下降,危害人体健康,更易于出现洪涝灾害,因此带来了巨大的经济损失。美国航空航天局 (NASA) 和环保局 (EPA) 在 1997 年共同发起的“Urban Heat Island Pilot Project”计划,利用地面观测和遥感技术开展了针对夏季城市热岛的研究与治理工作。加拿大也启动了旨在缓解多伦多城市热岛效应的“Cool Toronto Project”计划。日本、西欧也在积极开展类似的研究工作,可见城市热环境及热岛效应已成为当前城市气候与环境研究中最为核心的研究内容之一。

二、城市热环境监测的主要方法研究进展

到目前为止,城市热环境监测方法主要有地面观测、遥感监测、边界层数值模式模拟及遥感结合边界层模型四种。每种方法有各自的优缺点,总结见表 1-2 (宫阿都, 2005)。每种方法在获取陆面温度上难以兼顾时空连续性及从物理过程层次上

揭示热环境形成机制，但是有其各自特点，针对不同研究内容有其适用性。以下分别对前三种方法的研究进展作一介绍。

表 1-2 陆面温度不同获取方法比较（宫阿都，2005）

方法	优点	缺点
气象观测	时间上连续（过程）	空间上不连续（点信息）
遥感反演	空间上连续（面信息）	时间上不连续（瞬间）
边界层模型	时间上连续，描述物理过程	输入参数不确定
遥感结合边界层模型	描述时空上的变化过程	输入参数仍不够确定

（一）城市热环境地面观测研究进展

利用气象观测数据研究城市热环境的传统观测方法，主要通过对比分析城市与周围乡村地区气象站获得的历年气象数据，或利用布点观测或者汽车流动观测某条路线上的气象资料，得到城市热环境的现状、分布、动态和强度。

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，这方面文献层出不穷。我国从 20 世纪 80 年代开始真正起步，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 1-3 是对典型文献的总结。

这种方法的最大缺点是气象站点有限，只能获取个别点信息，不能完全掌握城市热环境的空间分布信息。但其优点也很明显，即在气象观测点上可以获得连续的气象观测资料，可以掌握观测点热环境在时间上的变化规律。（宫阿都，2005）

表 1-3 国内外对城市热环境研究结果的总结

参考文献	研究区	城市热环境变化特征
Adebayo (1987), Schmidlin (1989), Ripley et al. (1996), Magee et al. (1999), 刘熙明 (2006), 李兴荣 (2007)	伊巴丹, 托莱多, 萨斯卡通, 北京	热岛的强度在晚上最大; 白天城市热岛相对夜间不明显; 02:00 时热岛最强, 14:00 时热岛最弱
Morris et al. (2001), 王郁 (2006)	墨尔本, 北京	热岛强度在夏天或每年的暖季中间最大
周淑贞等 (1990), 江田汉等 (2004)	上海	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
Park (1986), Yamashita et al. (1986), Hogan et al. (1998), 宋艳玲等 (2003), 林学椿等 (2005), 丁金才等 (2002), 李兴荣 (2006), 季崇萍 (2006)	首尔, 多摩河流域 (日本), 上海, 北京	热岛强度随城市/人口规模的增加而增大
Ackerman (1985), Kidder et al. (1995)	芝加哥	热岛强度随风速和云量的增加而降低
江田汉等 (2004)	上海、北京	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
李兴荣 (2006)	北京	夜间, 气温与地表温度呈正相关; 白天, 这些相关相对夜间来说不那么明显

(二) 城市热环境遥感监测研究进展

传统地面气象观测方法的的城市热环境研究基本上是点尺度上的或纯概念的研究, 以点带面, 很难真实和有效地扩展到面上, 因而对于研究城市热环境的平面布局、内部结构等特征存在着很大困难。而通过遥感手段获取影像资料来研究城市热环

境,具有时间同步性好、覆盖范围广的特点,基本克服了传统方法的缺陷。随着当前多波段、多角度、高分辨率、重访周期短等特点的卫星遥感技术的发展完善,它在城市热环境研究中发挥着越来越重要的作用。Rao (1972) 首次利用卫星遥感手段研究了城市热岛效应,此后,很多学者广泛使用各种平台的传感器数据,包括航天、航空和地面的数据,开展有关城市热环境的研究工作。目前,常用的卫星热红外遥感信息源如表 1-4 所示。

利用遥感技术研究城市热环境首要解决的就是地表温度反演。用卫星遥感数据来反演地表温度已有很长的历史,最早可以追溯到 20 世纪 60 年代初期所发射的 TIROS-II (Wark et al., 1962)。对地表温度反演经历了从地表亮温,地表混合像元平均温度到地表组分温度三个阶段。早期,热红外数据未经过大气辐射校正,可以得到地表辐射亮温,地表亮温虽不是地表真实温度,但能反映地表热环境的分布状况。然而地表亮温与地表真实温度可有几度差别,迫切需要获取地表真实温度。随着 NOAA/AVHRR 以及 MODIS 数据的广泛应用,科研工作者利用各种对大气辐射传输方程的近似和假设,提出了多种地表温度反演算法。根据所选波段的不同可分为以下几种:只用一个热红外通道的单窗算法 (Qin et al., 2001)、单通道算法 (Jiménez-Munoz and Sobrino, 2003),利用 2 个热红外通道的劈窗算法 (覃志豪等, 2001) 和利用多个热红外通道的多通道反演方法 (Gillespie et al., 1998) 及多角度算法等。

表 1-4 城市热环境研究的主要遥感数据源及其特征

平台/传感器	通道	光谱 范围/ μm	时相分 辨率/d	空间分 辨率/m	地温反演常 用算法	适用范围	优点	缺点
NOAA/AVHRR	4	10.5~11.3	0.5	1 100	劈窗算法	宏观热环境 动态监测	观测时相多, 范围 广, 观测周期及观测 时间短, 能长期观 测, 资料同步性好, 价格低廉	分辨率低
	5	11.5~12.5						
TERRA/MODIS	31	10.78~11.28	1	1 000	改进的劈窗 算法	宏观热环境 动态监测	相当 NOAA 的后继 传感器, 但其空间分 辨率等有了进一步提 高	分辨率较低
	32	11.77~12.17						
TERRA/ASTER	10	8.125~8.475	16	90	温度比辐射 率分离算法	研究地表特征 场分布特征 与下垫面覆 盖类型 城区 分布格局之 间的关系	可见光及热红外通道 同源, 数据分辨率 高, 有多个热红外通 道	发射时间较 晚, 没有存 档数据, 数 据昂贵, 获 取不易, 周 期较长
	11	8.475~8.825						
	12	8.935~9.275						
	13	10.25~10.95						
	14	10.95~11.65						