



地球观测与导航技术丛书

城市地表热环境遥感 分析与生态调控

匡文慧 等 著



科学出版社



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

地球观测与导航技术丛书

城市地表热环境遥感分析 与生态调控

匡文慧 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书耦合城市地理学“空间结构理论”和城市气候学“地表能量平衡原理”,提出了等级尺度城市地表结构与热环境调控新理念,揭示了等级城市空间结构与地表热环境之间的互馈机理,自主研发了生态城市模型(EcoCity)。基于遥感地面同步量测解决复杂地表覆盖辐射通量遥感反演“真值”验证及空间尺度推绎问题。构建城市等级结构与生态服务热调节功能影响评价的关键指标,刻画并表征城市内部结构4个尺度(城乡梯度、功能区、覆盖组分、材质构造)与热通量的时空关系,定量区分不透水地表与绿地对地表潜热、显热通量的贡献程度,核定服务于水热调节功能的各功能区不透水地表与绿地组分的调控阈值。研发了城市生态环境监测与应急预警信息平台,提出城市及城市群热岛调控空间规划生态红线指标。本书将深化城市热环境生物地球物理机制的定量化认知,推动城市生态学与空间规划链接与学科发展,对于城市景观规划、热岛调控乃至区域可持续发展评价具有重要参考价值。

本书可供城市生态学、土地利用规划与管理、城市地理学、城市规划学、遥感与GIS等科研领域的研究人员以及政府相关决策人员和高校师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

城市地表热环境遥感分析与生态调控/匡文慧等著. —北京:科学出版社, 2015. 7

(地球观测与导航技术丛书)

ISBN 978-7-03-044753-1

I. ①城… II. ①匡… III. ①城市环境-地表-热环境-环境遥感-研究
②城市环境-地表-热环境-生态环境-研究 IV. ①X21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 124332 号

责任编辑:杨帅英 / 责任校对:赵桂芬

责任印制:肖 兴 / 封面设计:王 浩

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 7 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2015 年 7 月第一次印刷 印张:16

字数:380 000

定价:98.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《地球观测与导航技术丛书》编委会

顾问专家

徐冠华 龚惠兴 童庆禧 刘经南 王家耀
李小文 叶嘉安

主 编

李德仁

副主编

郭华东 龚健雅 周成虎 周建华

编 委 (按姓氏汉语拼音排序)

鲍虎军	陈 戈	陈晓玲	程鹏飞	房建成
龚建华	顾行发	江碧涛	江 凯	景 宁
景贵飞	李传荣	李加洪	李 京	李 明
李增元	李志林	梁顺林	廖小罕	林 琿
林 鹏	刘耀林	卢乃锰	闫国年	孟 波
秦其明	单 杰	施 闯	史文中	吴一戎
徐祥德	许健民	尤 政	郁文贤	张继贤
张良培	周国清	周启鸣		

《地球观测与导航技术丛书》出版说明

地球空间信息科学与生物科学和纳米技术三者被认为是当今世界上最重要、发展最快的三大领域。地球观测与导航技术是获得地球空间信息的重要手段,而与之相关的理论与技术是地球空间信息科学的基础。

随着遥感、地理信息、导航定位等空间技术的快速发展和航天、通信和信息科学的有力支撑,地球观测与导航技术相关领域的研究在国家科研中的地位不断提高。我国科技发展中长期规划将高分辨率对地观测系统与新一代卫星导航定位系统列入国家重大专项;国家有关部门高度重视这一领域的发展,国家发展和改革委员会设立产业化专项支持卫星导航产业的发展;工业和信息化部、科学技术部也启动了多个项目支持技术标准化和产业示范;国家高技术研究发展计划(863 计划)将早期的信息获取与处理技术(308、103)主题,首次设立为“地球观测与导航技术”领域。

目前,“十一五”计划正在积极向前推进,“地球观测与导航技术领域”作为 863 计划领域的第一个五年计划也将进入科研成果的收获期。在这种情况下,把地球观测与导航技术领域相关的创新成果编著成书,集中发布,以整体面貌推出,当具有重要意义。它既能展示 973 计划和 863 计划主题的丰硕成果,又能促进领域内相关成果传播和交流,并指导未来学科的发展,同时也对地球观测与导航技术领域在我国科学界中地位的提升具有重要的促进作用。

为了适应中国地球观测与导航技术领域的发展,科学出版社依托有关的知名专家支持,凭借科学出版社在学术出版界的品牌启动了《地球观测与导航技术丛书》。

丛书中每一本书的选择标准要求作者具有深厚的科学研究功底、实践经验,主持或参加 863 计划地球观测与导航技术领域的项目、973 计划相关项目以及其他国家重大相关项目,或者所著图书为其在已有科研或教学成果的基础上高水平的原创性总结,或者是相关领域国外经典专著的翻译。

我们相信,通过丛书编委会和全国地球观测与导航技术领域专家、科学出版社的通力合作,将会有一大批反映我国地球观测与导航技术领域最新研究成果和实践水平的著作面世,成为我国地球空间信息科学中的一个亮点,以推动我国地球空间信息科学的健康和快速发展!

李德仁

2009 年 10 月

序 一

21 世纪,城市化对全球环境变化、气候变化、能源消耗乃至人类健康影响正成为国际社会关注的前沿问题,其中城市土地利用/覆盖变化及其地表热环境是以上国际前沿当中的核心和热点主题。应用现代空间信息科学技术方法,深化城市化对陆地表层生态-大气-社会系统影响机理以及互馈机制研究,为建设弹性、健康和宜居城市提供科学认识和决策支持,实现城市生活空间、生产空间与生态空间的统筹布局与科学管控,对于提高城市生态系统服务水平、改善人居环境乃至实现城市健康和谐发展具有重要意义。

城市景观具有高度动态性、结构复杂性和类型镶嵌等特征,城市内部不透水地表与绿地结构组分对城市生态环境有着截然不同但又相互联系的影响。当前在城市土地利用/覆盖变化研究中,缺乏对城市扩张进程中内部异质性或结构组分的精细刻画,由此也影响了城市地表热收支模拟和生态系统服务评估的可靠性。

城市内部空间结构异质性以及生态环境因素之间互馈机制研究是目前国际研究的热点之一。匡文慧博士带领的研究团队围绕国际前沿提出了城市地表等级结构精细化探测与热环境调控新的理念与解析思路,综合应用遥感地面同步观测实验、定量遥感反演以及耦合模型系统等研发手段,解决了等级尺度城市地表结构组分高精度刻画、城市地表辐射能量遥感地面同步观测与验证、城市地表热环境调控模型发展等一系列科学难题。

在揭示城市等级空间结构与地表热环境之间互馈机理基础上,发现了城市下垫面不透水地表调控城市热环境的“红线”和绿地空间“绿线”的生态阈值。自主研发了 EcoCity 模型以及城市热岛与极端热监测和预警、城市地表水环境监测与应急管理、城市工矿区土壤环境监测与评价系统以及城市大气环境监测与应急预警系统。该研究有助于提升城市规划与生态环境要素之间的衔接和业务应用能力。

纵观全书,从研究理念创新、技术方法到知识的挖掘,该专著取得了如下具有国际领先水平的科研成果。

首先,耦合城市结构组分以及地表辐射能量等要素,揭示了城市地表结构组分与热环境互馈机理,发现了城市地表热环境生态调控阈值,发表的国际高水平系列学术论文得到了国际同行的高度评价。该书部分核心内容发表在 *Chinese Science Bulletin* 作为地理学和遥感领域唯一一篇文章入选 2013 年度发表文章最高引用率 TOP10 文章。

其次,应用遥感地面同步观测与定量模型反演,实现了城市地表结构及辐射热通量的精细化量测,研发了耦合模型和应用系统,这些研究成果为城市生态学、景观生态学,特别

是景观与城市规划在理论与实践上取得新的重大突破奠定了重要基础。

谨此,向作者在城市景观生态领域取得的国际前瞻性成果给予充分肯定,并诚恳地向国际和国内同行推荐这本力作。

象伟宁

Wei-Ning Xiang, PhD

Professor of Geography and Earth Sciences

University of North Carolina at Charlotte, NC 28223 USA

Co-Editor-in-Chief

Landscape and Urban Planning

2015 年 5 月 8 日

序 二

由国际科学理事会和国际社会科学理事会发起的“未来地球(future earth)”研究战略框架,强调对全球可持续发展的理论和方法支持,其针对的挑战之一是通过城市环境改善和资源足迹消耗方式的改革创新,塑造和构建健康、弹性、高效的都市。进入 21 世纪,伴随着我国快速城市化和工业化,国家提出新型城镇化建设规划,强调提升城镇化质量,优化空间格局,推进生态文明建设。天蓝地绿是宜居城市不可或缺的要害。如何合理利用有限的土地资源,实现城市生活空间、生产空间、服务空间与生态空间的统筹布局,对于提高城市生态服务功能以及改善人居环境具有重要意义。

在全球城市化和全球气候变化背景下,城市土地利用/覆盖变化及其对地表热环境效应逐渐成为土地利用/覆盖变化、城市生态学、城市规划等多学科交叉的重要命题。城市土地利用/覆盖变化具有高度动态性、结构复杂性和类型镶嵌等特征,其高精度信息探测与模拟对于城市规划管理、城市气候模拟、城市生态效应评估等相关研究具有重要意义。

作者提出了城市土地利用/覆盖变化等级结构精细化探测与地表热环境调控新的理念和解析思路。在《城市土地利用时空信息数字重建、分析与模拟》一书的基础上,围绕城市地表热环境及调控机制深入开展研究,取得了一系列令人耳目一新的创新性进展:

第一,发展了高分辨率遥感城市等级结构及地表组分探测模型,实现了城市土地利用/覆盖变化结构组分高精度探测,揭示了多尺度城市土地利用/覆盖变化特征及驱动机制。

第二,揭示了城市等级空间结构与地表辐射能量平衡互馈机制,定量评价了等级城市内部结构,包括城乡梯度/功能区/覆盖组分/材质构造等,对地表潜热、显热通量影响的时空关系,核定了服务于城市地表热环境的各功能区不透水地表与绿地组分调控阈值。

第三,提出了城市地表热环境调控的新思路,自主发展了 EcoCity V1.0 模型,研发了城市生态环境监测与应急预警信息平台,实现了城市规划管理指标与生态环境要素之间有效衔接,提高了模型系统的业务应用能力。

该书体现了城市地理学、城市生态学、气候学、定量遥感、地理信息系统等多学科交叉的特点,在观测实验设计、机理分析、模型发展、系统研发等方面取得了原创性成果。对于促进土地系统科学和城市生态学的发展具有重要意义,在城市规划管理和城市生态环境治理等方面具有较强的实用性。研究成果不仅受到该领域国际同行专家高度认可,而且

得到国内主要科技媒体的广泛关注。且匡文慧博士被 *Chinese Science Bulletin* 期刊授予优秀作者,发表文章荣获 2013 年度最高引用率 TOP10 文章。为此,谨对作者取得的学术成绩表示祝贺,并推荐给读者。



中国科学院地理科学与资源研究所 研究员

2015 年 3 月 13 日

前 言

重大应用需求与地学知识的融合为遥感事业腾飞插上了一双隐形的翅膀。面向地理信息工程的应用实践不断地推动着遥感向着高时间、高空间分辨率以及定量化方向发展。地学知识参与其中的遥感影像解读有助于提高遥感图像识别的精度以及空间数据的挖掘能力,为各级用户提供更高质量的遥感专题产品和行业定制服务。低碳、绿色、生态与智慧城市的发展离不开城市规划以及生态调控理念的创新,更需要人文地理学、城市生态学、城市气候学、遥感科学及地球信息科学等多学科综合集成和地学知识的参与。

新型城镇化、生态文明与城市健康发展是当今世界现代化进程中面临的重要课题。21 世纪处于社会经济现代化加速发展的重要时期,也处于城镇化转型发展的关键时期。随着城市连绵式扩张和人口向心集聚,受全球气候变暖和区域增温多重作用影响,部分特大城市极端高温频发,城市热岛和大气环境污染加剧,甚至被称为城市进入“烟熏和烧烤阶段”。全面提升国家城市化质量与品质,建设集低碳、绿色、生态与智慧城市于一体的创新型城市,是城市持续健康发展的核心要素。进入 21 世纪,全球超过 6 亿人口居住在城市,人与环境和谐发展的宜居城市建设是保障人类幸福安康的基准。自 1833 年 Lake Howard 首次对城市中心温度高于郊区温度的现象进行文字记载以来,城市热岛效应成为制约城市发展的永恒主题和生态环境领域关注的焦点问题。

本书首先围绕理念是否可行?问题解决途径如何?如何服务规划应用?提出 3 个假设,其一是城市热岛加剧是否与下垫面结构显著相关,城市热环境调控除节能减排以外,城市功能区以及内部不透水比例的调控是否可以有效缓解城市热岛;其二是高分辨率遥感、观测实验、定量模型的发展以及区位理论集成是否可以提供科学研究范式和问题解决的途径;其三是是否可以设计一套可操作的指标体系、模型和系统服务于城市规划和区域可持续发展以缓解城市热岛。作者 2010 年获得了国家自然科学基金青年基金“京津唐都市圈近 30 年城市不透水表面增长的生态水文效应研究(40901224)”,2013 年获得国家自然科学基金项目面上项目“北京城市不透水地表/绿地格局对城市生态系统服务热调节功能影响(41371408)”资助。期间持续开展了城市地表温度、反照率、辐射四分量以及热通量涡度相关观测实验,实现了 Landsat TM/MODIS 遥感定量反演参数本地化和算法优化,研发了多源数据和地学知识参与的城市功能区分类、不透水地表和绿地组分时空信息提取技术手段,发展了具有自主知识产权的 EcoCity 模型。研发了水环境、大气环境等应急监测与预警信息平台,空间区位理论与生物地球物理机制的耦合,城市生态学与空间规划的链接,城市生态环境常规管理与应急管理的集成,对于城市景观规划、热岛调控、应急管理乃至区域可持续发展具有重要的应用价值。

本书部分成果“一种高分辨率遥感的多功能城市用地空间信息生成方法”2013 年获得国家发明专利 1 项,相关研究在 *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *Landscape Ecology*, *Landscape and Urban Planning*, *Chinese Science Bulletin*, *Journal*

of *Geographical Sciences* 等期刊发表论文 30 余篇,取得软件注册权 4 项,4 份咨询报告被国务院办公厅、中共中央办公厅采纳。研发成果在国家环境保护、国家测绘地理信息、城市规划部门以及地震应急方面取得良好应用效果。研发工作进展也证明了研究团队具有全面开展国家或全球重点城市生态环境监测评估与生态调控科技支撑业务化运行能力,进一步提升定量遥感、城市地理、城市规划领域在科技服务(STS)中的创新能力。

全书由匡文慧总体设计与统稿,迟文峰、陆灯盛、刘越、张弛、杜国明、窦银银、香宝、王刚、崔耀平、潘涛、张树深、徐凌、刘美、杨天荣、刘爱琳、高成凤、肖桐、马书明、张稼乐、孙乌仁图雅、春香、李全峰、陈国清、孟凡浩、陈郁和刘阁参与部分技术研发和专著编写工作。感谢硕士以及博士生导师张树文研究员、博士后合作导师刘纪远研究员和邵全琴研究员给予的指导。感谢张仁华研究员、邬建国教授、陈军教授、田汉勤教授、象伟宁教授、梁涛研究员给予的指导。本书获得国家出版基金的资助,在此表示感谢。感谢给予支持和帮助的领导、老师、同事与同学。

本书前期研究与出版也得到了国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2013AA122802)、国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2014CB954302; 2010CB950900)、国家科技支撑计划项目(2012BAJ15B02)和国家水域污染控制与治理科技重大专项(2014ZX07201.012)的支持。本书的英文版本 *Remote Sensing of Thermal Environment and Ecological Regulations in Cities* 将由科学出版社合作伙伴 Springer 出版。

本书撰写过程中参阅了大量的文献,主要观点均做了引用标注,若有疏漏,在此表示歉意。由于作者专业水平与写作能力有限,书中若有不妥之处,敬请批评指正!

匡文慧

2014 年 10 月 30 日

于中国科学院地理科学与资源研究所

目 录

《地球观测与导航技术丛书》出版说明

序一

序二

前言

第一章 城市生态调控新理念与理论基础	1
第一节 城市生态调控新理念与研究范式	1
一、城市空间结构与生态服务热调节功能的链接与重要性	1
二、城市内部不透水地表与绿地组分及空间规划新理念	2
三、城市地表热通量的定量模式、遥感反演与观测实验	4
四、从城市热岛到热调节服务功能研究发展趋势	5
第二节 关键问题与研究内容	6
一、关键问题	7
二、研究内容	8
第三节 地理区位理论和地表能量平衡原理	11
一、地理区位理论及其拓展	11
二、地表辐射能量平衡理论	13
第四节 城市热岛效应成因与量测	15
一、城市热岛成因机制	15
二、城市热岛量测方法	17
第二章 城市地表结构与热环境量测方法	19
第一节 城市生态服务等级尺度地表结构原理	19
第二节 城市土地利用与功能区遥感信息生成	22
一、城市土地利用变化监测方法	23
二、城市功能区制图方法	24
三、遥感验证与精度评价	27
第三节 城市不透水地表覆盖信息提取	29
一、基于 Landsat TM 的城市不透水地表信息提取	30
二、基于 MODIS 的区域不透水地表遥感反演	33
三、遥感验证与精度分析	34
第四节 地表过程遥感地面同步观测实验	37
一、地表温度同步观测实验	37
二、涡度相关实验观测	39
三、城市气象观测资料	41

第五节 城市地表过程定量遥感反演模型	41
一、城市地表温度遥感反演	41
二、地表湍流辐射遥感反演	44
三、基于 PCACA 模型的地表热通量分割方法	49
第三章 生态城市 EcoCity 模型发展	52
第一节 EcoCity 模型原理与功能	52
一、模型结构与框架	52
二、模型基本原理	52
三、模型功能模块设计	53
第二节 模型算法与参数化方案	54
一、模型参数输入输出	54
二、模型参数化与算法	56
三、空间尺度推绎方法	65
第三节 模型运行环境与用户界面	68
一、模型运行环境	68
二、系统用户界面	70
第四章 城市土地利用格局及覆盖组分时空分析	73
第一节 中国城市与工矿用地扩张时空特征	73
一、中国城市与工矿用地面积变化分析	74
二、中国城市与工矿用地区域差异分析	75
三、中国城市与工矿用地类型转换分析	75
四、中国城市与工矿用地扩张的驱动因素分析	77
第二节 不透水地表格局变化时空特征分析	80
一、中国不透水地表增长格局以及时空特征分析	80
二、城市群不透水地表时空格局分析	86
第三节 中国与美国城市内部结构时空特征比较	91
一、中国与美国城市土地覆盖结构特征分析	92
二、中国与美国城市土地覆盖结构变化过程分析	95
三、中国与美国城市功能区土地覆盖差异特征	97
第四节 城市等级尺度地表结构时空特征分析	101
一、城市等级尺度功能区划分	101
二、不同功能区地表结构时空特征分析	104
第五章 城市地表辐射和热通量时空特征分析	109
第一节 城市地表温度遥感与实验观测分析	109
一、城市地表温度遥感分析	109
二、城市构造对地表温度影响观测分析	112
三、地表温度差异影响因素分析	116
第二节 城市地表辐射通量时空特征分析	121

一、城市地表辐射通量时空格局分析	121
二、城乡地表辐射通量差异分析	126
第三节 城市地表热通量时空差异分析	128
一、城市地表热通量的空间特征分析	128
二、城乡梯度地表热通量差异分析	131
三、城市不同组分地表覆盖类型的热通量差异分析	132
第四节 不透水地表和公共绿地热通量差异分析	134
一、地表通量观测数据采集与处理	134
二、不透水地表和公共绿地辐射通量特征的观测分析	134
第五节 城市绿地生态服务功能调控阈值	142
一、城市绿地生态调控阈值界定	142
二、城市公园对城市热岛降温作用分析	146
第六章 城市热环境生态调控途径与景观规划	152
第一节 城市地表热环境调控途径	152
一、城市内部功能结构规划与布局	152
二、城市内部不透水地表组分调控	154
三、城市内部生态绿地组分调控	156
第二节 城市人居环境综合评价	158
一、城市人居环境评价方法与原则	158
二、城市人居环境宜居宜业评价	158
第三节 城市群生态廊道景观规划设计	167
第四节 城市公共绿地建设与规划指标	175
一、城市公共绿地空间格局分析	175
二、城市公共绿地生态规划控制指标	177
第七章 城市生态环境监测与应急预案平台	179
第一节 城市生态环境监测预警平台功能模块	179
一、用户需求分析	179
二、系统功能模块设计	179
第二节 城市热岛及极端热环境监测与预警系统	180
一、城市地表热环境监测方法	180
二、系统构架与模块设计	181
三、极端高温事件遥感监测与预警	182
四、系统功能与用户界面设计	182
第三节 城市地表水环境监测与应急管理系统	185
一、系统模块与结构框架	185
二、系统逻辑结构	186
三、系统数据库设计	187
四、地表水环境污染事件应急管理	192

五、系统用户界面	200
第四节 城市工矿区土壤环境监测与评价系统	201
一、系统模块与用户界面	201
二、土壤污染评价与空间分析	202
三、土壤重金属污染的城市规划规避机制	207
第五节 城市大气环境监测与应急预警系统	209
一、系统功能与结构框架	209
二、系统应急体系与业务流程	210
三、软件模块与用户界面	215
参考文献	219
索引	237
作者简介	239

第一章 城市生态调控新理念与理论基础

第一节 城市生态调控新理念与研究范式

城市生态服务功能直接影响城市人居环境和人类安康(human well-being)。在当前乡村人口不断向城市集聚、城市快速向外扩张,加之全球环境变化加速(温度升高、洪水及热浪频发)的影响下,城市生态服务功能正面临着前所未有的挑战。城市不透水地表(impervious surface area, ISA)与绿地空间(green space)作为城市土地利用/覆盖结构特征的重要组合模式,会对地表辐射与能量的分配产生截然相反的作用,进而对城市热岛、大气环境及局地气候产生重要影响,从而对城市生态服务热调节功能产生决定性作用。

在现代城市发展过程中,如何通过调控城市建筑红线(不透水地表面积比例)和生态绿线(绿地)、蓝线(水域),实现城市空间结构布局中商业和工业等产业用地、住宅用地以及生态绿地的有机组合,使有限的城市空间发挥调节局地气候、改善人居环境、减缓城市污染的作用,营造良好生态环境,仍有待于城市规划科学、城市土地利用科学、景观可持续性科学、城市生态学、城市气候学等自然和社会科学链接协同解答。

一、城市空间结构与生态服务热调节功能的链接与重要性

城市空间结构历来是人文地理学关注的焦点问题。16 世纪英国学者摩尔(More)提出了乌托邦式的城市建设模式,19 世纪末,英国科学家霍华德(Howard)提出田园城市(garden city)思想,强调公共绿地布局与生态城市建设的理念,对现代城市规划思想起到了重要的启蒙作用。从城市内部不同功能区到相应的不透水地表、生态绿地土地覆盖状态,再到城市建筑、道路、广场等类型,其不同等级结构组合与城市人为热源、潜热、显热等热通量之间具有直接关系,由此衍生两个关键的科学命题:①针对不同规模城市,城市内部两种主导覆盖类型格局和组分对空间热场热通量特征影响机制及生态服务热调节功能定量贡献程度如何? ②针对城市生活、生产、服务和生态空间,什么样的土地覆盖组分有利于减缓城市热岛强度,改善城市生态系统服务功能?

遥感监测表明,中国与美国相比较而言,美国城市内部不透水地表面积所占比例平均为 40%~50%(森林与不透水比率约 1.4 : 1),而中国城市不透水地表面积比例估算约占 66%(Nowak and Greenfield, 2012; Kuang et al., 2013)。研究表明,森林覆盖率和绿地面积对生态服务热调节功能具有决定性作用,每增加 10% 的绿地,城市热辐射将减少 2℃,当绿地斑块面积大于 5km²,地表辐射温度急剧下降(应天玉等, 2010)。中国城市不透水地表面积所占比例过高、绿地面积不够集中,较大程度上影响其热调节功能。当前城市生态绿地服务功能评价更多以市场价格和相关价值进行估算,缺乏针对特定类型城市功能分区、不同生态绿地组分对地表辐射能量平衡以及热调节功能影响定量关系的认识,极大

地限制了城市规划与建设的应用性。

为有效缓解城市热岛现象,核定服务于热岛效应局地气候热调节服务功能目标的功能区不透水地表与绿地组分的调控阈值,并提出城市合理布局模式以及适应城市生态服务功能的“等级层次”的城市土地覆盖调控模式。实现城市空间结构与城市生态服务功能研究的有效链接,是通向“人文地理学”与“生态/气候学”的桥梁,对于城市生态规划与管理具有重要的理论和现实意义。

二、城市内部不透水地表与绿地组分及空间规划新理念

由于城市景观结构具有高度的复杂性和多尺度特征,城市不透水地表和绿地组分为城市空间结构的重要组成部分,直接影响着城市生态系统服务功能。城市不透水地表(urban impervious surface,UIS)是反映人类活动强度和评价城市人工建设用地增长的重要指标,对于评价城市生态系统健康与人居环境质量具有重要的理论与现实意义。城市不透水地表是城市发展建设产生的一种地表水不能直接渗透到土壤的人工地貌特征,包括城市中的道路、广场、停车场、建筑屋顶等。不透水地表的生长通过改变地表辐射能量平衡,从而增强局地气温及产生热岛效应(Oke,1989;Heisler and Brazel,2010;Klok et al.,2012),进而影响居民的舒适性和健康状况,以及污染物排放等。美国地质调查局(USGS)与美国国家海洋和大气管理局(NOAA)基于夜间灯光指数(DMSP/OLS)发展了第一个全球 1km 建设用地不透水地表(constructed impervious surface)数据集,表明中国具有全球面积最大的不透水地表,美国、印度、日本、中国和欧洲国家流域生态系统由于不透水地表增长受到了不同程度的毁坏(Elvidge et al.,2007)。Ridd(1995)构建了基于遥感信息的 V-I-S (vegetation-impervious surface-soil)概念模型,该模型将城市土地覆盖分为绿地植被、不透水地表与裸土,该模型的建立对解决混合像元问题、提高不透水地表信息提取的精度具有重要作用。基于此方法验证的不透水地表面积精度达到 83%(Ward et al.,2000)。Wu 等(2003)运用 LSMA(linear spectral mixture analysis)模型并结合 V-I-S 模型,将城市土地覆盖的混合像元分解为不透水地表(高反射率地表、低反射率地表)、植被、裸土 3 种类型,获取了美国哥伦布市(Columbus)亚像元不透水地表分布信息。Lu 和 Weng(2009)运用 LSMA 模型和 V-I-S 模型将中尺度空间分辨率影像混合像元成功分解。Hu 和 Weng(2011)提出基于对象的模糊分类方法,基于 IKONOS 影像提取了美国印第安纳波利斯(Indianapolis)居民区及中心商业区的不透水地表,居民地和中心商业区提取精度分别达到 95%和 92%。基于夜间灯光指数(DMSP/OLS)与中国土地利用/覆盖变化信息融合监测不透水地表增长,中国范围以及京津唐城市群 21 世纪初城市不透水地表呈现高速增长特征,中国城市不透水地表平均比例约为 66%(Kuang,2012a;2013)。通过 Google Earth 航空影像解译,表明美国城市不透水覆盖比例平均为 43%(Nowak and Greenfield,2012)。1984~2010 年的 27 年间,美国大都市巴尔的摩(Baltimore)不透水地表面积从 881km²增长到 1176km²(Sexton et al.,2013)。我国学者逐渐意识到城市不透水地表分布对生态环境影响的重要性,进而对北京、上海、福州等城市不透水地表开展相关研究(陈爽等,2006;岳文泽和吴次芳,2007;周纪等,2007;Li et al.,2011a;Kuang,2012a,b;Kuang et al.,2013)。