



生态城乡与绿色建筑研究丛书
国家自然科学基金重点项目
湖北省学术著作出版专项资金资助项目
李保峰 主编

Study on the Influence of Urban Construction
Land Expansion on Thermal Environment

城市建设用地扩张 对热环境影响研究

李雪松 著



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>



生态城乡与绿色建筑研究丛书
国家自然科学基金重点项目
湖北省学术著作出版专项资金资助项目
李保峰 主编

Study on the Influence of Urban Construction
Land Expansion on Thermal Environment

城市建设用地扩张 对热环境影响研究



李雪松 著



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国·武汉

图书在版编目(CIP)数据

城市建设用地扩张对热环境影响研究/李雪松著. —武汉:华中科技大学出版社, 2018.2

(生态城乡与绿色建筑研究丛书)

ISBN 978-7-5680-3469-2

I. ①城… II. ①李… III. ①城市环境-热环境-研究-中国 IV. ①X321.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 009087 号

城市建设用地扩张对热环境影响研究

李雪松 著

Chengshi Jianshe Yongdi Kuozhang Dui Rehuanjing Yingxiang Yanjiu

策划编辑: 易彩萍

责任编辑: 易彩萍

封面设计: 王 娜

责任校对: 曾 婷

责任监印: 朱 玢

出版发行: 华中科技大学出版社(中国·武汉)

电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

邮编:430223

录 排: 华中科技大学惠友文印中心

印 刷: 武汉市金港彩印有限公司

开 本: 710mm×1000mm 1/16

印 张: 11.25

字 数: 179 千字

版 次: 2018 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

定 价: 128.00 元



华中出版

本书若有印装质量问题, 请向出版社营销中心调换

全国免费服务热线: 400-6679-118 竭诚为您服务

版权所有 侵权必究

内容简介

本书以我国城市化带来的城市扩展对城市微气候影响为线索，以夏热冬冷地区的长江中游气候为背景，针对国家中心城市——武汉市用地现状、2020 年城市用地目标及城市继续发展目标为依据，从气候适应性出发，以城市土地使用性质为研究对象，采用勘查、实测与计算机大数据气象模拟 | 基于城市冠层模型（UCM）的中尺度气象模拟（WRF）| 等研究方法对夏季城市的气候状况进行量化研究。本书将气象学的研究方法渗入城市规划的研究中，以区域大气环境为城市的气候背景，营造出目标城市的气候情景模式，然后再针对城市下垫面的改变（城市土地的不同利用）对整个城市的微气候影响进行研究。



本书得到以下 3 个基金项目支持:

(1) 城市形态与城市微气候耦合机理与控制(国家自然科学基金重点项目,项目号:51538004);

(2) 武汉城市圈用地扩展对区域大气环境影响研究(湖北省自然科学基金项目,项目号:2014CFB593);

(3) 基于 WRF 技术的城市土地利用模式与气候环境关系研究——以武汉市为例(湖北工业大学科研启动基金,项目号:BSQD2016037)。

作者简介 | About the Author

李雪松

女,籍贯辽宁,华中科技大学工学博士,湖北工业大学副教授,主要研究方向为生态城市与城市气候研究。发表近十篇国内外学术期刊论文,参与的项目获得两项省优、部优奖。主持省级科研项目两项,参与国家基金项目一项。

前 言

当今世界正在经历着史上最大的城市增长浪潮,截至 2008 年已有 50% 以上的人口生活在城镇,这使得城市的环境问题愈益突出。从 20 世纪 80 年代起,中国的城市建设步入了一个迅速发展的时代。随着城市化的迅猛发展、区域结构的深刻变革,以及人口容纳能力、建成区面积的增加,城市的形态、特征、资源、环境、生态状况等发生了突变。城市边缘地带由单一模式向着多元化、复杂化、扩大化趋势发展,城市气候条件和空气质量明显变差,热岛效应更加突出。

武汉市是中国夏热冬冷地区中气候特点相当突出的城市,与世界同纬度其他地区相比,城市气候问题尤其尖锐。近 30~40 年来,由于城市的高速发展,城市的空间布局、空间形态及下垫面性质发生了很大的变化。交通负荷越来越重,中心城区及城市边缘区气候条件和环境质量出现明显变差的趋势,这更加剧了建筑的能耗,从而形成了城市大气环境的恶性循环。

《城市建设用地扩张对热环境影响研究》一书既是对武汉市快速增长状态下气候问题的研究,也是对缓解与改善环境问题的方式的探索。武汉市被长江、汉水分割为两江三地,城市的东南部为高新技术开发区,是城市土地扩张的首选位置,也是城市夏季主导风向的上风方位。为了使研究更具有针对性,我们选择了城市东南部进行城市用地的扩张,以探究城市热环境的变化。模拟研究以武汉市用地现状、《武汉市城市总体规划(2010—2020 年)》《武汉市主城区用地建设强度管理暂行规定》和武汉市多年气象资料为依据,从城市的气候适应性出发,以城市东南部边缘区土地利用特性为研究对象,采用资料收集、城市形态学、勘查与实测、计算机大数据气象模拟、数据整理与比对等研究方法,对武汉市夏季气候的热环境状况进行了深入细致的研究。内容主要包括武汉市夏季气候现状研究、城市东南部边缘区的用地强度变化对城市热环境影响研究、城市东南部用地范围扩张对城市热



环境影响研究、城市东南部通风廊道的不同模式设置对城市热环境影响研究等。本书通过一系列量化数据的比对,揭示城市边缘区扩张与城市热环境的内在关系,探索适宜的城市通风廊道设计策略,为低碳、节能、环保的城市建设提供切实可行的科学依据。

本书共八章,大体涵盖了理论依据、案例研究和策略构建及其他相关内容。

第一章主要介绍了城市气候与城市热环境的基本概念,城市气候学的研究动态,城市气候学的研究对象、任务、内容,以及本书的研究内容和框架。第二章主要介绍了城市气候及热环境的影响要素。第三章介绍了本书所研究的案例城市的基本概况及研究所采用的方法与原理。第四章以实测的方法对武汉市的城市热环境现状进行了研究与分析,并以实测结果验证了基于城市冠层模型的中尺度气象模拟方法的可行性。第五章以现状(2014年)用地为基准,针对2020年城市建设用地目标值的增量,探讨用地强度变化对城市热环境影响。第六章以现状(2014年)用地为基准,针对城市建设用地不断向外扩张的现状,对城市热环境的影响进行研究,探索气温、风向、风速、能量平衡等与下垫面属性的内在关系,揭示城市边缘区下垫面属性特征对城市气候的影响机理。第七章设置了城市边缘区通风廊道的多种模式,通过对几种模式的气象模拟,寻找能够改善城市气候的边缘区通风廊道优化模式和优化布局策略。第八章对本书的研究进行了总结,并提出了展望。

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 城市气候与城市热环境	(1)
第二节 城市气候学的研究动态	(4)
第三节 城市气候学研究对象、任务、内容	(8)
第四节 本书的研究内容和研究框架	(10)
第二章 城市气候及热环境的影响要素	(13)
第一节 日照和辐射及其特征	(13)
第二节 城市风场及其特征	(18)
第三节 湿度与蒸散、雾霾与空气污染	(22)
第四节 城市下垫面与城市热环境	(27)
第三章 目标城市概述与研究方法介绍	(32)
第一节 目标城市概述	(32)
第二节 基本研究方法介绍	(36)
第三节 本书采用的研究方法介绍	(38)
第四章 武汉城市热环境实测现状研究	(50)
第一节 基于实测的武汉市夏季热环境现状研究	(50)
第二节 基于实测的武汉市冬季热环境现状研究	(57)
第三节 两条实测路段冬、夏的热环境状况比较	(63)
第四节 基于实测研究的城市热环境问题总结	(67)
第五节 基于实测的 WRF 模拟验证	(68)
第五章 武汉城市用地强度变化的热环境研究	(72)
第一节 模拟案例设定	(72)
第二节 城市边缘区建设用地强度变化的城市气温状况分析	(75)
第三节 边缘区建设用地强度变化的城市风环境状况分析	(82)



第四节	典型区块(采样点: H_1 、 H_2)各案例热环境状况比较	(84)
第五节	城市中心区至边缘区温度变化分析	(91)
第六节	本章小结	(94)
第六章	边缘区建设用地扩张的城市热环境影响研究	(96)
第一节	模拟案例介绍	(96)
第二节	边缘区建筑用地扩张的城市气温场状况分析	(98)
第三节	边缘区建筑用地扩张的城市风环境状况分析	(104)
第四节	采样点 H_1 、 H_2 各案例热环境状况比较	(105)
第五节	城市中心区至边缘区温度变化比较	(111)
第六节	城市下垫面变化区全天能量平衡日变化曲线比较	(114)
第七节	本章小结	(117)
第七章	城市边缘区通风廊道模式对城市热环境影响	(119)
第一节	城市通风廊道概述	(119)
第二节	模拟案例设定	(120)
第三节	通风廊道各模式的气温状况比较	(126)
第四节	通风廊道各模式的风环境比较	(138)
第五节	总结与策略	(141)
第八章	结论与展望	(143)
第一节	结论	(143)
第二节	创新点	(145)
第三节	未来与展望	(146)
附录	关于 WRF 模式中耦合城市冠层模型 UCM 之概述	(148)
参考文献		(165)

第一章 绪 论

第一节 城市气候与城市热环境

城市的产生和发展是一个历史的过程,是人类文明发展进程中在适应自然、改造自然的基础上形成的聚集地。城市气候是指大都市特有且与周围郊区有异的各种气候条件,是由城市下垫面以及人类活动的影响而形成的局地气候特征。

所谓城市是“城”与“市”的组合。《吴越春秋》中有言“筑城以卫君,造廓以守民,此城廓之始也”,意思是说修筑城堡用来保卫君主,建造城墙用来守护百姓。《周易·系辞下》中有“日中为市,致天下之民,聚天下之货,交易而退,各得其所”,其意是指以太阳在天空中央的位置时作为交易的时间,召集区域范围内的百姓,聚集区域内的货物,各自交易、各取所需。现代城市规划学《城市规划基本术语标准》(GB/T 50280—1998)中定义:城市是以非农业和非农业人口聚集为主要特征的居民点。包括按国家行政建制设立的市和镇。城市的出现是人类走向成熟和文明的标志,也是人类群居生活的高级形式。城市化区域有着非城市化区域不具备的特殊性:第一,它是非农业人口高密度聚居的区域;第二,它是高强度的经济活动地区;第三,它具有特殊性质的下垫面。这些特殊的性质导致了城市气候的特殊性。

气候是大气物理特征的长期平均状态,是该时段各种天气过程的综合表现。气象要素(温度、降水、风力)的各种统计量(均值、极值、概率等)是表述气候的基本依据^①。地面和大气的热能均源自于太阳辐射,就整个地球来看,地面热量的收支差额为零,但由于太阳辐射在地球表面分布的差异,不

^① <http://baike.sogou.com/v58981.htm?fromTitle=气候>



同地面所接收的热量存在差异,且地球表面的气候具有纬度分布的特征,故气候有明显的地域性特征。我们将全球气候大致划分为 12 个类型,如表 1-1 所示。

表 1-1 世界气候类型

气候类型	分布区域	气候特点
热带雨林气候	热带	全年高温多雨
热带沙漠气候	热带	全年高温少雨
热带草原气候	热带	全年高温,分干湿两季
热带季风气候	热带	全年高温,分旱雨两季
亚热带季风气候	热带	夏季高温多雨,冬季低温少雨
地中海气候	温带	夏季炎热少雨,冬季温和多雨
温带海洋性气候	温带	冬暖夏凉,年温差小, 年降水量季节分布均匀
温带大陆性气候	温带	降水较少,年温差大,冬季严寒,夏季酷热
温带季风气候	温带	夏季高温多雨,冬季寒冷干燥
高原山地气候	山地	从山麓到山顶垂直变化
极地苔原气候	寒带	冬长而冷,夏短而凉
极地冰原气候	寒带	全年严寒

从表 1-1 中可知,全球气候可分为 12 个类型:热带雨林气候、热带沙漠气候、热带草原气候、热带季风气候、亚热带季风气候、地中海气候、温带海洋性气候、温带大陆性气候、温带季风气候、高原山地气候、极地苔原气候和极地冰原气候。我们也可按尺度将气候分为大气候(全球性和大区域的气候——热带雨林气候、地中海气候、极地气候、高原气候等),中气候(较小自然区域的气候——森林气候、城市气候、山地气候以及湖泊气候等),小气候



(贴地气层和小范围特殊地形下的气候,如一个山头或一个谷地等)。气候变化是指气候平均状态统计学意义上的巨大改变或者持续较长一段时间(典型的为30年或更长)的气候变动。气候变化不但包括平均值的变化,还包括变率的变化。然而《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC)中所说的气候变化是指“经过相当一段时间的观察,在自然气候变化之外由人类活动直接或间接地改变全球大气组成所导致的气候改变”。《联合国气候变化框架公约》指出气候变化主要表现为三方面:全球气候变暖、酸雨、臭氧层破坏。其中全球气候变暖是人类目前最迫切需要解决的问题,关乎人类的未来。气候变化的原因既有自然因素,也有人为因素。在人为因素方面,主要是工业革命以来,人类活动、经济活动引起温室效应增强,从而导致全球气候变暖。全球科学家达成共识,认为气候变化90%以上可能是人类自己的责任,人类今日所作的决定和选择,会影响气候变化的走向。

城市气候是在区域气候的背景下,经过城市化后,在人类活动影响下而形成的一种局地气候。在生产水平低下的农耕时代,城市与自然环境基本保持着和谐共生的状态,城市气候未表现出明显的特殊性。但工业革命后,城市工业的发展速度及扩张的规模促使原有的城市空间结构解体,改变甚至破坏了原本的自然条件。城市下垫面自然条件的改变、人为热的释放以及大气污染,成为城市气候产生变化的根本原因。城市内部的风、光、热等方面的特性都发生了巨大的改变,表现出以下几个特征:城市气温较郊区高;白天湿度低,形成“干岛”,夜晚湿度大,形成“湿岛”;城市下垫面粗糙度大,风速小;气压比郊区低,易形成热岛环流;城市上空烟尘杂质较多,太阳辐射弱;烟尘粒子的作用明显,雾日较多,能见度差;大气中具有较多的凝结核,导致降水增多,降雪变少。奥克(T. R. Oke)对这种有别于近郊区的特殊局域气候进行了生动的描述(见图1-1):从地面至城市建筑物屋顶的部分,被称为“城市覆盖层”,其气候变化受人类活动的影响最大。从建筑物屋顶至积云层中部,被称为“城市边界层”,它受城市大气质量和屋顶的热力和动力影响,与城市覆盖层间存在物质交换和能量交换,并受区域气候因子的影响。在城市的下风方向,有受到城市影响的“城市尾羽层”。“城市尾羽层”之下为“乡村边界层”。由奥克的模型我们可以看出,城市气候应以区域气



候为背景,重点关注“城市覆盖层”“城市边界层”和“城市尾羽层”的局地气候。

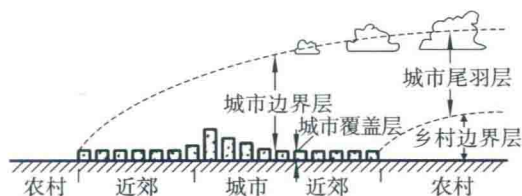


图 1-1 城市分层示意图

城市热环境是指在太阳辐射的作用下,由城市中气温、湿度、气流速度等物理因素构成的影响人们体感与生活健康的环境,是城市气候大框架下的一个枝节,城市热环境的突出特点主要表现为城市热岛。本书主要关注城市覆盖层内的气温变化,风速、风向变化,热岛强度变化,乃至在太阳辐射作用下,城市下垫面衡量得失问题,后文中将对此详细描述。

适宜的气候和城市热环境是城市人们生活、工作的重要条件。20 世纪 50 年代,希腊学者道萨迪亚斯就提出了人居环境科学的概念,吴良镛先生率先在国内引入了人居环境科学的理论。如何在现有的全球工业化、信息化大环境下,尽可能地营造适宜人们生存的城市气候环境,是我们科学工作者的使命。城市气候、城市规划工作者应尽力积累大量的观测数据,分析城市气候的特征,研究城市气候形成的过程和机制,研究人类活动与城市气候间的相互影响,预测城市气候的变化趋势,探讨改善城市气候条件的有效途径。总之,城市气候对全球气候的影响将日益突显,城市规划学与城市气候学研究的有机结合,从理论上和实际应用上都将具有重要意义。

第二节 城市气候学的研究动态

发达国家城市发展起步较早,国外学者对城市气候和城市热环境问题的提出和研究开展得也较早。1818 年出版的《伦敦气候》(*The Climate of London*)一书被世界公认为第一部关于城市气候的著作,且其在 1820 年和 1833 年陆续得到补充修订、再版,受到普遍的重视。霍华德第一次创立了



“城市雾”一词,提出了一个观点:伦敦城市中心区的气温高于郊区,而且城市比郊区暖的现象在夜间最显著,白天城市气温有时反而比郊区低。后来,英国的拉谢尔(F. A. Russel)、法国科学家瑞纳(E. Renou)、安戈(A. Angot)、德国科学家威特威尔(W. C. Wittwer)、赫尔曼(G. Hellman),也分别对伦敦、巴黎、慕尼黑和柏林等城市进行了研究。到20世纪,随着城市的发展,越来越多的城市气候问题暴露出来,人们也越来越关注这方面的研究。德国人克拉策(A. Kratzer)的《城市气候》(*The Climate of Cities*)一书作为世界上第一部通论性城市气候论著,不单阐述了城市气候的特征和现象,还进一步研究了该现象产生的原因。这部著作在1956年再版时引用文献达533篇,可见城市气候已引起当时科学家的关注。19世纪至20世纪40年代期间,从事该领域研究的主要是英、法、德、奥及北美地区的研究者。

第二次世界大战之后,城市发展的规模与速度进入了一个新的阶段,全球气候变暖和空气污染问题愈渐突出。1968年,联合国世界气象组织气候学委员会在比利时首都布鲁塞尔召开了第一次国际性的“城市气候和建筑气候学讨论会”,呼吁全世界的气候学者广泛开展相关研究。1969—1970年,美国的有关高等学校和研究机构拟定了为期5年(1971—1975年)的METROMEX大规模城市气象观测计划(Metropolitan Meteorological Experiment),多项成果在美国《应用气象》(*Journal of Applied Meteorology*)杂志上发表,这标志着城市气候研究的新发展。由钱德勒(T. J. Chandler)编辑、世界气象组织出版的《城市气候文献目录选编》,其中就选录了180篇气候研究成果;奥克评述了1968—1973年发表的《城市气候文献目录选编》,在钱德勒之后又搜集了377篇论文;1979年,奥克编辑出版了1973—1976年发表的《城市气候文献集》,此文献集比1973年又增加了434篇论文。1981年8月,汉堡国际气象与大气物理学会(International Association of Meteorology and Atmospheric Physics)第三次科学大会刊印的论文摘要有765篇之多,涉及的区域涵盖了欧、美、亚、非各大洲的发达与不发达城市,理论研究的深度与广度也有了很大的提升,采用的技术达到了当时最先进的水平,如人造卫星观测、飞机上的红外辐射仪、激光雷达、摄影经纬仪等。其中奥克的研究最有影响力,他通过对大量观测数据的采集



得出结论:城市热岛形成的根本原因是城市下垫面,后者独特的物理性质造成了其不同于自然下垫面的能量分布。兰兹伯格(H. E. Landsberg)探讨了城市下垫面对辐射和能量平衡的影响,指出城市与郊区能量平衡差异的物理基础导致了城市热岛的形成,即相较于乡村和郊区,城市地区蒸发、冷却能力低,热存储能力高,这显著减弱了夜间的降温速率,导致热岛的形成。书中兰兹伯格还就澳大利亚地区有关城市气候的论著进行了统计,相关论著达 554 篇(部)之多。他认为人们对气候问题如此关注,与世界人口越来越向城市集中、城市气候在人类活动的影响下有恶化的倾向密切相关。20 世纪末期和 21 世纪初期,有关城市气候和热环境的研究,更是以多种方式、从各个方面展开。维克多·奥戈亚(Victor Olgyay)在《设计结合气候:建筑地方主义的生物气候研究》(*Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*)一书中对自然、气候和城市、景观、建筑之间关系进行了整体研究,提出“生物气候地方主义”的设计理论,注重研究气候、地域和人体生物感觉之间的关系。玛尔塔(J. N. Marta)等人在《通过对街谷热环境进行数值分析,以改善城市设计和气候条件》(*Numerical Analysis of the Street Canyon Thermal Conductance to Improve Urban Design and Climate*)中,以数值模拟的方式研究了空气在街谷中的流动对城市热环境的作用。日本通过实测、数值模拟等方法对将海风、河川风引入城市来改善城市热环境这一措施进行了研究。随着科学技术的进步,各种新的研究方法如雨后春笋,层出不穷。

我国城市气候的研究起步较晚,谢克宽将德国学者克拉策的专著 *The Climate of Cities* 译为中文版《城市气候》,这是我国最早介绍城市气候的书。1980 年夏,中国气象学会气候学术会议发布了《关于城市与气候的若干问题》的专题报告,呼吁我国学者积极开展城市气候的研究。1982 年 9 月,中国地理学会召开了我国第一次城市气候学术会议,会议共收到城市气候论文 47 篇,研究地区涉及北京、上海、南京、广州等 23 座城市。内容包括城市气候总特征和城市气候要素,如温度、湿度、光照、降水、大气等。这次会议除交流有关城市气候研究成果外,还对今后开展我国城市气候的研究工作问题进行了讨论。1985 年,周淑贞、张超等人对上海城市热岛现象进行了



分析总结,出版了我国第一本专门论述城市气候的著作,这就是《城市气候学导论》。1986年,周淑贞发表了《开展低纬度城市气候研究刍议》一文,对开展低纬度城市气候研究的必要性和迫切性、中纬度城市气候学规律能否转用于低纬度城市,以及低纬度城市气候与城市规划三个问题,作了一些刍议。1987年,周淑贞、吴林发表的《上海下垫面温度与城市热岛——气象卫星在城市气候研究中的应用之一》一文指出:城市内部下垫面温度差异与人口密度、建筑物密度、工厂密集区以及水域温度特征有关,通过对接近同步的卫星下垫面温度资料与实测气温资料的对比分析,发现白天城市下垫面增温速率比郊区快,而气温的增温率相差不大,因此白天当下垫面温度热岛十分显著时,气温热岛并不一定显著,甚至完全不存在。与此同时,白天城市下垫面的增温引起的能量下传和储存,却为夜间城市热岛的形成奠定了能量基础。范天锡、潘钟跃以卫星遥感的方法研究了北京城市的热岛问题。张景哲、刘启明利用北京市区30个观测点测得的气温记录和航测的市区下垫面资料,采用多元回归和逐步回归的方法,对城市气温与下垫面结构的关系进行了分析,结果表明:城市气温和城市下垫面结构中绿地、建筑物、水域三要素的相关程度,随着季节和昼夜的变化而变化。绿地的降温作用以夏季白天为最明显,建筑群的增温作用以冬季夜间为最明显。而且,城市内的小面积水体对其周围的气温并没有明显的调剂作用。2000年,《城市规划》期刊上发表了题为《中国的地理学与城市规划》的文章,该文章谈到,芜湖市在城市规划工作中对该市的城市气候进行了实地观测,发现城市中较大面积的湖泊水面对降低其周围的气温具有重要的作用,这些数据为城市必须保留足够的水面提供了科学的依据。文章中还提到,在我国传统的城市规划布局中,往往根据风玫瑰图,按主导风向的原则布置工业区和居住区的相对位置,但在季风气候区和丘陵地带的工业区不适宜此项定式。因此,我国东部地区工业区宜布置在全年最小风频的上风向,而在静风、逆温频率高的地区,不宜将有害工业布置在市区或城市的边缘,这类工业应布置在城市的远郊。以上建议被规划部门采纳,并编入与城市规划原理相关的教科书中。由此可看出,城市规划、气象与地理学领域已经开始多学科的融合,展开了对城市气候的研究。接下来的几年里,冷红、冯娴慧、徐小东、顾朝林等学