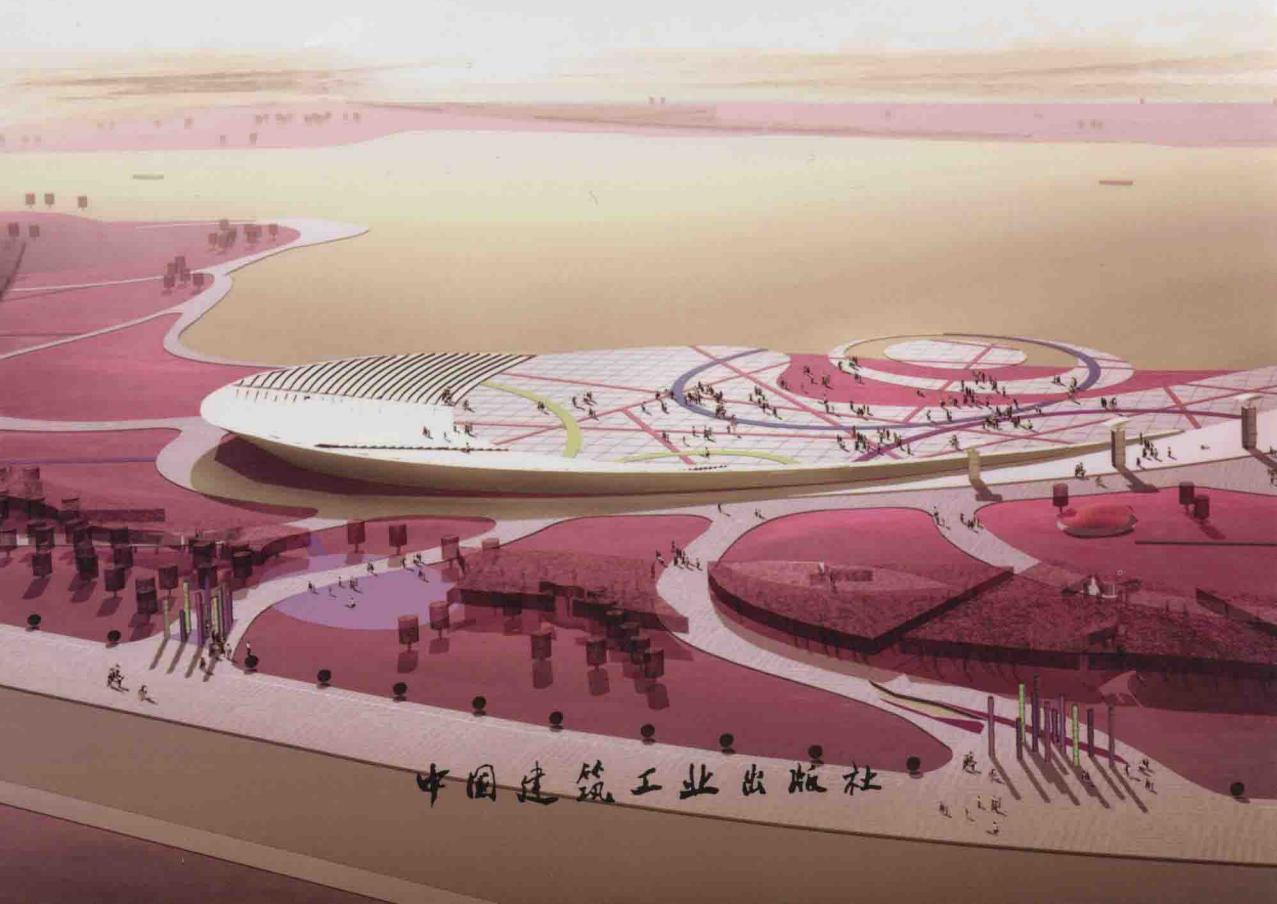


国家自然科学基金面上项目 (51278330)

城市热岛 的形成演化机制与 规划对策

Studies of the Mechanism of the Urban
Heat Island Formation, Evolution
and Planning Strategies

黄焕春 运迎霞 王世臻 著



中国建筑工业出版社

江苏省重点学科—风景园林学 联合支持
江苏省品牌专业—园林专业
国家自然科学基金面上项目 (51278330)

城市热岛的形成 演化机制与规划对策

Studies of the Mechanism of the Urban Heat Island Formation,
Evolution and Planning Strategies

黄焕春 运迎霞 王世臻 著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

城市热岛的形成演化机制与规划对策/黄焕春, 运迎霞,
王世臻著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2016. 3
ISBN 978-7-112-18925-0

I. ①城… II. ①黄… ②运… ③王… III. ①城市
热岛效应-研究 IV. ①X16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 319791 号

城市热岛很大程度上是由于城市空间布局不合理带来的, 这包括城市形态布局、开发强度、绿地水体、硬化地面等因素。本书主要基于 3S 技术和地面观测平台, 运用人工智能、景观生态学、气象学、元胞自动机等理论方法, 研究天津市主城区和中心城区的热岛效应。全书核心内容分为五个部分: 第一部分, 基于 IB 算法反演地表温度和实测气温订正数据, 分析了城市热岛的景观格局特征演变、人体热舒适度受影响的空间格局转移; 第二部分, 通过减弱热岛的城市形态布局参数与响应机制分析, 明确了热岛强度与城市形态面积、离散度、临近度、分维数、形状指数等的作用机制; 第三, 基于实测数据和高分影像数据, 本文重点研究了容积率、建筑密度、绿地率、水体、硬化地面等影响因素的空间尺度敏感性, 以及形成热岛的时空特点和布局的关键参数等; 第四部分, 模拟预测热岛格局空间分布特点, 以及单因素对热岛的空间影响格局, 提出了主城区缓解热岛的规划方案、中心城区则将规划方案; 第五部分提出控制热岛的五个规划对策。

责任编辑: 杨 杰

责任设计: 李志立

责任校对: 陈晶晶 姜小莲

城市热岛的形成演化机制与规划对策

Studies of the Mechanism of the Urban Heat Island Formation,
Evolution and Planning Strategies

黄焕春 运迎霞 王世臻 著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

廊坊市海涛印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 9 字数: 222 千字

2016 年 3 月第一版 2016 年 3 月第一次印刷

定价: 35.00 元

ISBN 978-7-112-18925-0

(28191)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前言

随着我国城镇化的迅速发展，城市建成区不断扩张，单个城市的面积不断扩大，大中小城市都在追求高层化，大城市更是成为钢筋混凝土的森林。与此相伴随的是城市热岛不断加剧。2008 年我开始有了做热岛研究的想法，后来 2012 年论证的国家自科项目批复，使我有现实的条件开始研究，并在后来取得了以下成果。恰逢 2013 年夏季，全国各大城市相继爆出持续高温事件——路面“烤熟生鱼”、高温中暑患病死亡、多地城市屡屡突破高温极限……，让我感到研究的巨大意义。近些年的气候大会更是增添了研究的重要性，我国面临的碳减排压力越来越大，目前碳排放主要来源于城市，其中一部分来源于城市热岛。

本书是我自 2008 年对热岛研究的一个初步成果，既有对未来科研、工作、生活的思索和憧憬，更有对以往的回顾、总结、反思与提升。这些年的学术研究中，要感谢我的导师运迎霞先生为热岛科研提供的很好平台，她常以敏锐的学术眼光和务实的科研态度，带我领略“道”和“术”的高下之分，使我能立足地理、历史、环境等学科成就于城市规划，使我的研究工作更接地气，探索天人合一的城乡规划思想与理论方法。

本书的出版，要特别感谢王良桂院长、王世臻支持参与。感谢李青、江梦诗、黄蕾对书稿的校对与帮助。感谢中国气象局郝翠、天津市气象局的韩素芹和朱玉强两位老师的帮助。感谢南开大学的李洪远老师，及其李兰兰、熊善高等研究生的支持与帮助。感谢河南金明源信息技术有限公司的软件工程师李留柱的技术支持与指导。感谢师弟袁欣、于伟巍的帮助。同时，感谢天津市规划局的郑鑫和天津市规划院的蒋寅提供的资料支持。

在热岛研究过程中，要特别感谢我的家人，感谢我已故的母亲和年迈的父亲，感谢孩子给我带来的快乐。

最后，感谢阅读本书的读者，欢迎提出宝贵建议。

2015 年 10 月于南林

目 录

第一章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究内容与意义	2
1.2.1 研究内容	2
1.2.2 研究意义	3
1.3 国内外研究进展	3
1.3.1 城市热岛效应的概念	3
1.3.2 城市热岛效应的观测研究进展	4
1.3.3 城市热岛效应的模拟预测研究进展	6
1.3.4 城市热岛减弱与规划应用研究进展	7
1.3.5 研究趋势与不足	8
第二章 研究方法 with 理论	9
2.1 人工智能 (AI)	9
2.1.1 人工智能定义	9
2.1.2 人工智能的发展	10
2.1.3 人工智能的原理与方法	11
2.2 元胞自动机方法 (CA)	11
2.2.1 CA 的产生	12
2.2.2 CA 形式语言的定义	12
2.2.3 CA 的构成	12
2.2.4 城市 CA 的研究进展	13
2.3 景观生态学理论方法	15
2.3.1 景观生态学的概念	15
2.3.2 景观生态学的发展	16
2.3.3 景观生态学的理论基础	16
2.3.4 景观生态学的核心: 格局、过程与尺度	18
2.4 地理信息系统	19
2.5 遥感理论与方法	20
2.6 研究技术路线	22
第三章 研究区概况 with 数据处理	23
3.1 研究区概况	23

3.1.1	研究区范围	23
3.1.2	自然地理概况	23
3.1.3	城市建设概况	25
3.1.4	社会经济概况	26
3.2	数据采集和处理	28
3.2.1	实测数据的采集	28
3.2.2	遥感数据的收集与处理	33
3.3	地表温度反演	36
3.3.1	计算亮度温度	36
3.3.2	计算植被指数	37
3.3.3	计算植被覆盖度	37
3.3.4	计算比辐射率	37
3.3.5	计算地表温度	38
第四章	城市热岛效应的时空演变特征	39
4.1	热岛强度定义与划分方法	39
4.1.1	热岛强度定义与计算方法	39
4.1.2	基于人体热舒适度的热岛强度划分方法	40
4.1.3	热岛强度及对热舒适度的影响划分结果	41
4.2	热岛及其对热舒适度的景观、格局、过程评价	42
4.2.1	景观格局评价指数选取	42
4.2.2	景观格局过程评价分析	43
4.2.3	景观格局评价结果	47
4.3	热舒适度受影响区的转移矩阵分析	47
4.3.1	转移矩阵理论	47
4.3.2	热舒适度受影响区转移矩阵分析	48
4.3.3	空间转移分析结果	55
4.4	小结	55
第五章	减弱热岛的城市形态布局关键参数与响应机制	57
5.1	研究方法	57
5.1.1	热岛强度的双指标定义	57
5.1.2	城市形态提取方法	58
5.1.3	城市形态布局的测度指标	58
5.2	城市形态总面积与热岛强度	60
5.2.1	城市形态总面积与最高热岛升温	60
5.2.2	城市形态总面积与热岛升温总量	60
5.2.3	响应机制分析	61
5.3	城市形态离散度、临近度与热岛强度	61
5.3.1	离散度、临近度与最高热岛升温	61

5.3.2	离散度、临近度与热岛升温总量	61
5.3.3	响应机制分析	62
5.4	斑块面积、周长面积比与热岛强度	63
5.4.1	斑块面积、周长面积比与最高热岛升温	63
5.4.2	面积、周长面积比与热岛升温总量	63
5.4.3	响应机制分析	64
5.5	城市形态分维数与热岛强度	64
5.5.1	分维数与最高热岛升温	65
5.5.2	斑块分维数与热岛升温总量	65
5.5.3	响应机制分析	65
5.6	小结	66
第六章	城市热岛形成的单因素机制与关键参数分析	67
6.1	基本概念	67
6.1.1	理论依据与算法基础	67
6.1.2	核容积率的概念	68
6.1.3	核建筑密度的概念	69
6.1.4	核绿地率的概念	70
6.1.5	核硬面率的概念	70
6.1.6	核水面率的概念	71
6.2	研究方法	72
6.2.1	尺度敏感性的理论依据	72
6.2.2	气温热岛强度计算	73
6.2.3	主成分分析的基本原理方法	75
6.3	建筑空间布局与热岛强度	76
6.3.1	建筑空间布局与热岛强度初步分析	76
6.3.2	建筑空间布局的尺度敏感性分析	77
6.3.3	建筑空间布局对日间热岛的影响变化分析	78
6.3.4	建筑布局对平均热岛强度的影响分析	80
6.3.5	影响机制分析	82
6.4	绿地空间布局与热岛效应	83
6.4.1	核绿地率与热岛强度的尺度敏感性	83
6.4.2	核绿地率对热岛强度的日间影响变化分析	84
6.4.3	核绿地率与平均热岛强度	85
6.4.4	影响机制分析	86
6.5	水体空间布局与热岛效应	87
6.5.1	水体与降温趋势	87
6.5.2	水面降低热岛距离衰减与降温数值分析	88
6.5.3	核水面率的降温尺度敏感性	91
6.5.4	核水面率对热岛日间变化影响	92

6.5.5 核水面率与平均热岛强度·····	93
6.5.6 水体缓解热岛机制·····	94
6.6 硬化地面布局与热岛效应·····	95
6.6.1 尺度敏感性·····	95
6.6.2 核硬面率对日间热岛的影响变化·····	95
6.6.3 核硬面率与平均热岛强度·····	97
6.6.4 机制分析·····	97
6.7 热岛影响因素的主成分分析·····	98
6.7.1 主成分分析的计算·····	98
6.7.2 结果分析·····	99
6.8 小结·····	100
第七章 城市空间格局优化方案与规划对策·····	102
7.1 现状单因素热岛影响模拟·····	102
7.1.1 建筑空间布局的热岛影响模拟·····	102
7.1.2 绿地的降温空间格局模拟·····	104
7.1.3 水体的降温空间格局模拟·····	104
7.1.4 硬化地面的热岛模拟·····	107
7.2 减弱热岛的空间格局优化方案·····	109
7.2.1 热岛强度控制标准·····	109
7.2.2 城市热岛温度图综合叠加分析·····	110
7.2.3 减弱城市热岛的规划方案·····	111
7.3 控制热岛的规划对策·····	116
7.3.1 基于容积率的热岛防控预警策略·····	116
7.3.2 基于建筑密度的热岛防控预警策略·····	117
7.3.3 基于水体的热岛降温策略·····	118
7.3.4 基于绿地的热岛降温策略·····	118
7.3.5 基于硬化地面的热岛防控预警策略·····	119
7.4 小结·····	119
第八章 结论·····	121
参考文献·····	124

第一章 绪 论

1.1 研究背景

近年来,随着全球气候变暖和我国城市化的快速发展,城市热岛问题越来越严重,人们最直接的感受是天气“越来越热”。截至 2013 年 7 月 30 日,新华网从上海市疾控中心获悉,2013 年夏天连续高温,中暑患者明显增加,非职业性中暑死亡患者已有 10 余人,其中室内中暑患者占三成以上^[1]。2013 年 8 月 16 日,河南商报记者携带温度表,进行实地测量数据显示,郑州市内多地温度突破 45℃,14 时商报楼前广场达 51℃、郑州火车站 47℃、绿城广场 45℃、花园路农业路口 48℃、如意湖边 46℃^[2]。

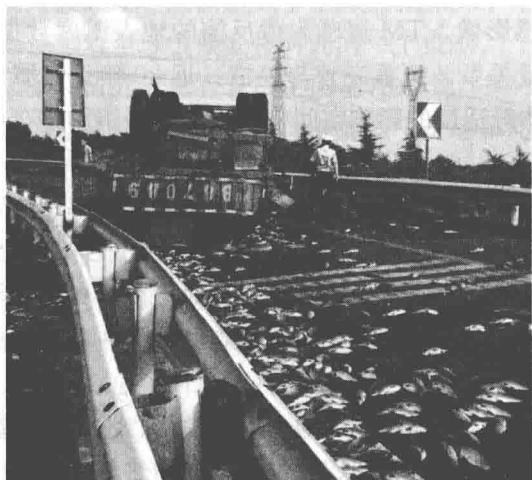


图 1-1 江苏镇江路面烤熟活鱼

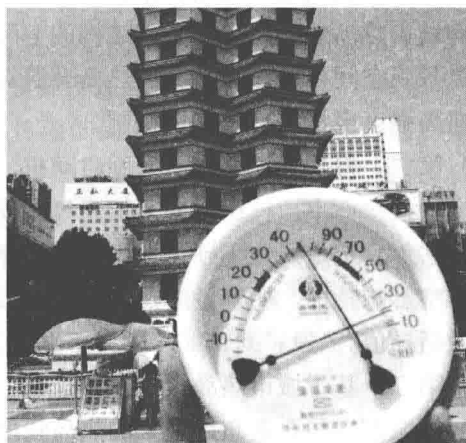


图 1-2 郑州二七塔附近 45℃

2013 年各地频繁曝出的高温,并非夏季正常温度,而是复合叠加了城市热岛升温后的温度。城市热岛的加剧与城市扩张密切相关,1982~2011 年,全国建成区面积由 7862.1km² 扩张到 43603.2km²,扩张 5.55 倍,年均增速 5.78%^[3]。大中小城市的建设都在追求高层化,小高层在小县城成为常态,大城市更是成为钢筋混凝土的森林。与此相伴,近年来我国城市热岛效应强度尤为严重^[4],2010 年重庆市热岛强度接近 10℃^[5],2007 年乌鲁木齐的最大热岛强度也在 8℃ 以上^[6],早在 2001 年上海市热岛强度也在 6.8℃ 以上^{[7][8][9][10]}。

从 1992 年的《联合国气候变化公约》到 1997 年的《京都议定书》,再由“巴里路线

图”到“哥本哈根世界气候大会”，全球变暖和碳排放的世界关注度越来越高。各地城市热岛的面积比例和强度迅速上升，与世界城市化进程的不断加快息息相关，这导致了城市能源消耗增加、污染加重、人与生物的病变死亡或衰退等问题日益突出，直接威胁城市可持续发展^{[11][12][13][14]}。哥本哈根气候大会以来，我国面临的碳减排压力越来越大，并可能由此受到发达国家贸易制裁。目前中国碳排放量已居世界第二，主要碳排放来源于城市，其中部分来源于城市热岛效应。

城市热岛效应很大程度上是由于城市空间布局不合理带来的，这包括城市形态布局、开发强度、绿地水体、硬化地面等因素^{[15][16]}。而这些影响因素和城市热岛正是城市规划与城市地理学所研究内容^{[17][18]}，因此开展城市热岛效应的交叉学科基础性研究迫在眉睫，注重热岛景观格局与人体舒适度、城市空间结构组成要素的单因素关系研究，以及削弱热岛的城市空间布局规划策略研究。

1.2 研究内容与意义

1.2.1 研究内容

第一，利用地面实测数据、高分辨率遥感影像、TM 遥感影像反演的地表温度数据，研究城市热岛效应与城市空间结构的空间定量关系。侧重完善与搞清：近 20 年天津城市热岛景观空间格局演化特征、热岛升温对人体舒适度的影响空间格局演变、城市形态布局与热岛强度定量关系与作用机制。

第二，根据人工智能、元胞自动机、景观生态学等基本思想，提出了核容积率、核硬面率、核水面率、核绿地率、核建筑密度的概念思想。通过空间统计学、现代地理学等数学方法等，定量研究了硬化地面、容积率、绿地率、水体等影响因素，对城市热岛的贡献和时空影响特征，明确各影响因素的降温机制，同时还明确了热岛规划调控的一系列关键参数指导值。

第三，基于城市热岛模拟预测预警信息系统，模拟预测绿地、硬化地面、水体、建筑布局等城市空间要素布局带来的热岛强度。系统具有对容积率和硬化地面的热岛升温进行空间预警的功能，还具备对绿地水体规划布局降温指导功能。为探索低热城市空间结构模式，为城市空间结构和规划方案的优化调整提供科学指导。

第四，根据城市热岛的单因素影响分析结果、热岛升温预警和降温空间，利用城市热岛模拟预测预警信息系统，对天津市主城区和中心城区提出减弱热岛的规划布局优化方案。方案包括宏观区域降温和微观中心城区的降温，其中中心城区分为高、中、低三个不同的降温规划方案。

第五，根据热岛影响因素的研究结果，提出控制热岛的多个规划对策：对容积率、硬化地面的热岛增强，分三级预警，并给出相应的预警参数。对绿地、水体降温布局，也给出了相应的规划设计参考值。

1.2.2 研究意义

本研究具有重大的科学技术意义,因为其研究成果可快速应用于规划实践中,在科学技术转化为现实生产力方面具有较大科学意义。由于我国纬度跨度大、地形变化大、海洋与内陆气候差别大等,城市热岛分布规律特征各异^[19]。将城市热岛研究成果初步应用于城市规划,仍需进一步完善基础性研究,应加速处于起步阶段的城市规划、地理学、环境等学科的综合研究。探索构建减缓热岛效应的规划量化指标调控体系,将丰富和发展城乡规划一级学科的理论知识体系,推动规划学科本身的科学化进程。研究成果有利于以科学的知识引导未来城市建设与发展、绿地水体布局、城市形态布局和土地开发强度等,从而直接影响规划后的城市热岛的空间格局和热岛强度。

本研究通过运用先进的遥感(RS)、地理信息系统(GIS)和数值模拟预测技术,开展城市空间结构与热岛效应的基础性研究,得出了热岛效应的规划影响指标参数体系。利用城市热岛模拟预测预警信息系统,模拟预测不同城市空间要素的布局带来的热岛影响。不仅有利于我国城市的长远发展,还有利于城市热环境质量的改善,同时也可对我国城市规划与建设提供直接的应用支持。城市热岛的减弱,使城市的光化学污染减弱,使城市中灰尘微粒与有毒有害气体等空气中的杂质上升量减少,同时降低中暑、肠胃疾病、冠心病等病的发病率^{[20][21][22][23]}。本项目有利于优化城市人居环境,减少夏季酷暑时间和夏季空调开放时间,从而达到节能减排的效果。它将增加我国在全球气候变化大会谈判的筹码,也是对全球气候变化研究的一个贡献。

本文研究成果有着广泛的应用前景。第一,为城市空间结构的合理布局提供科学依据,为总体规划、控制性详细规划中土地布局、确定开发强度提供参考标准,为城市提供低热舒适的居住环境;第二,给城市规划学科开展热岛的研究提供前沿与开创性的积累,该成果同时可丰富规划学科的理论知识体系,从而推动城乡规划学科的科学化进程;第三,成果也为我国制定减弱热岛效应的相关规范提供研究基础,为我国开展专项热环境规划提供研究基础。第四,通过城市热岛模拟预测预警信息系统,为城市规划方案的优化提出科学合理的意见,也为城市规划方案的优选提供一个评价标准。第五,当今气候危机下,该研究成果对增加我国在气候大会的谈判筹码、赢得国家与城市间气候贸易大战的主动权意义重大。

1.3 国内外研究进展

1.3.1 城市热岛效应的概念

1833年,英国人霍华德(Howard)首次在科学杂志《伦敦气候》中提出城市热岛效应,指出伦敦市中心气温比周围乡村高。随后的180年西方各国就开展了广泛的关于城市热岛的研究。国外对城市热岛的研究,很早就开始利用地面气象观测的资料,所以这个方面的文献也是层出不穷。

一般把城市热岛 (urban heat island, UHI), 定义为城市比周围农村温度高的现象。美国气象学会则定义为, 一个有闭合等温线的相对温暖的区域, 该区域常见于城镇或者是有人为干扰的区域^[24]。城市热岛的定义指出了其空间范围, 但热岛效应是随时间和地理空间位置的变化而变化的。热岛效应研究, 按对象分别是地表温度和近地面大气温度两种。从研究时间上看, 有长时期的变化研究, 也有年变化研究, 还有日变化研究。研究范围有从宏观的上百平方公里到微观的几十平方米。不同空间、不同的时间、不同层次, 热岛效应都有不同的特点, 因此研究开始必须明确这三个问题。本研究宏观热岛效应, 分析从 1992~2011 年天津市主城区的热岛格局演变, 微观角度分析中心城区夏季日间热岛变化的影响因素。

1.3.2 城市热岛效应的观测研究进展

1.3.2.1 城市热岛效应的地面观测研究进展

早期研究城市热岛, 主要以地面气象站的长期观测记录为基础, 在统计与分析之后总结出热岛的时间变化特征规律。Morris、Magee、Kazimierz 和 Krzysztof 等, 基于实测气象数据, 分别对澳大利亚的墨尔本、美国的费尔班克斯、波兰的罗兹进行了研究, 得出城市热岛强度与云量、风速密切相关, 晴朗无风的夜间热岛强度最高^{[25][26][27]}。经过 Gedzelman、Kim、Baik 等人的研究发现: 内陆和沿海城市热岛结构存在很大差异, 沿海城市的热岛强度较弱、时间存在推迟的现象, 海陆风环流是其主要原因^{[28][29]}。

我国的城市化进程从 20 世纪 80 年代开始有了明显的加快, 2013 年城市化率超过 53%, 伴随的热岛影响不容忽视。而城市化对城市台站观测气温的影响, 则是缓慢、均匀的过程, 没有突变点, 这就为气温的检验和订正带来了困难, 给城市热岛的长期变化研究带来困难^[30]。2008 年, Hua Ma 对 1961~2000 年全国的 191 对城乡气象站所统计的逐日最低、最高以及平均气温资料进行分析后, 得出了中国城市热岛在时空上的分布特征——热岛强度与城市人口成正比; 冬季热岛强度最大, 春夏季内陆城市强于沿海城市, 而秋冬季则相反^[31]。张健等根据 1960~2006 年北京地区 20 个气象观测的逐日气温资料, 利用突变分析、线性倾向估计、小波分析等方法, 对北京地区的城市热岛状况进行了分析^[32]。朱家其、汤绪等, 基于上海城郊的气象站点的资料, 分析了上海市的城市热岛特征和城乡气温变化特点^[33]。

近年来, 有学者采用流动观测法。1951 年, Sundborg 首先在瑞典东南部的乌普萨拉市的热岛测试中使用^[34]。OkeMaxwel 于 1975 年在加拿大的渥太华市做了十分全面的系统流动观测, 进而公布出较为完整的原始的测试资料, 成为具有较大参考价值的流动观测典型案例^[35]。2001 年, JanosZoltan 使用流动观测的方法, 研究了城市建成区地表与近地面空气温度之间的关联^[36]。2009 年, Chen Anthony 使用流动观测方法, 调查研究了美国沙漠城市菲尼克斯冬季的热岛特征^[37]。鉴于连续性流动观测过程中误差, 2009 年日本学者 Masaki Minako 提出了减小误差的方法^[38]。我国城市热岛研究中, 流动观测法亦有开展^{[39][40][41][42]}。流动观测所收集的数据同步性存在很大问题, 一段时间内温度场会出现不确定性影响。

1.3.2.2 城市热岛效应遥感监测研究进展

近 20 年, 国外学者在城市的地表温度定量研究中主要使用的是卫星遥感技术。瑞尔

(Rao) 在 1972 年第一次提出应用 TIROS-1 卫星遥感影像的热波段反演地表温度, 从而辨别城市地域, 并用这种方法观测了太平洋中部海岸城市的地表温度类型。卡玛翰、拉撒运用 Landsat TM 影像对城区的地表温度特征进行研究, 发现城市地域比乡村地表温度更低^[43]。李琪锡运用遥感卫星影像, 对韩国首尔以及它邻近的卫星城市进行了热岛研究^[44]。Gallo 等使用卫星遥感数据, 对美国 Seattle 城 WA 区进行研究, 从而得出该区域归一化植被指数 (NDVI) 和地表辐射的温度呈反比关系^[45]。在 1997 年, 环境保护署 (EPA) 和美国航空航天局 (NASA) 发起了 “Urban Heat Island Pilot Project” 计划, 选择盐湖城、洛杉矶以及萨克拉门托和芝加哥等城市, 主要通过地面观测和遥感技术来实现, 研究与治理夏季城市热岛工作; 随后加拿大也同时制定出缓解多伦多市热岛的 “Cool Toronto Project” 计划; 而同时在西欧与日本也积极的开展了类似于城市热岛的研究方面工作^[46]。Shobhakar Dhakal 等人, 研究了东京市的建筑物所产生的热源对城市热岛的影响^[47]。Francisco Sanchez de la Flor 等在建立城市的小气候模型基础上, 研究了城市热岛和周围建筑性能之间的关系^[48]。Shuko Hamada 经过三年的观测研究, 对日本名古屋的绿地降温效果进行了分析研究, 结果表明其具有季节变化和日变化的特点^[49]。值得注意的是该研究与国内已有研究成果存在矛盾不一致的地方, 这一点在其他国外文献也偶有所见。Imhoff ML 等运用遥感对美国大陆的生物群落的城市热岛效应进行研究, 得出城市热岛的振幅与城市规模的增加相关, 在城市大多数生物群落的具有季节不对称性^[50]。Mackey Christopher W 等以芝加哥为例, 利用 landsat 遥感影像研究了城市规模对城市热岛效应的降低效果^[51]。Camilloni I, Barrucand M 等以阿根廷首都布宜诺斯艾利斯为例, 根据长期的气象温度记录, 研究了城市热岛效应的年变化和季节变化^[52]。Lee 和 Levermore 运用改进方案和天气发生器对城市热岛的影响进行模拟, 模拟时间至 2050 年, 内容涉及建筑墙体材料等^[53]。

目前我国研究城市热岛效应的学者已越来越多, 并出现了一大批有很强代表性的基础研究成果。比如周淑贞等人使用气象卫星对热场和下垫面结构的关系进行研究, 并在此基础上建立了相应的回归方程^[54]。覃志豪等使用 landsat TM6 波段, 研究了地面温度反演, 提出了能够反演真实温度的单窗算法^[55]。周红妹等使用 RS、GIS 与绿地统计资料, 建立了动态监测与空间分析模型, 然后对城市热力分布特征与绿色植被的作用机理进行综合分析^[56]。陈云浩等在对热场结构信息的定量研究中引入分形理论, 对城市的热环境结构与其演变特征进行了分析, 针对城市热环境的结构特征构建出三种不同的分形计算模型^[57]。张伟捷等初步探讨了暖通空调系统使用和热岛效应的关系, 对改进建筑能耗系统与节能环保方面有重要的指导意义^{[58][59]}。徐涵秋等用不同时相的热红外图像对厦门城市热岛效应的时空变化特征^[60]进行了定量地研究。王惠想等人研究了建筑物的空调能耗与城市热岛效应之间的相关关系^[61]。彭少麟等以城市的合理布局和改善环境状况为主旨, 分析了城市绿地变化、城市规模变化以及其空间布局特征和城市热岛效应及其相关关系^[62]。韦海东对兰州市城市热岛强度的年代变化进行了分析, 并进行了灰色预测^[63]。窦浩洋, 张晶晶等研究珠江三角洲城市热岛效应的空间分布, 热岛和冷岛出现的频率等规律^[64]。罗小波, 陈丹等, 利用 MODIS 数据反演大气透射率、地表温度, 并用热场变异指数进一步分析重庆的热岛空间分布特征, 进而对 NDVI 与 NDBI 对热岛效应的影响进行了分析^[65]。黄初冬, 陈前虎, 彭卫兵, 李英豪, 傅嘉等, 运用 Landsat TM/ETM+ 和 Terra AS—

TER 遥感数据,研究了杭州市热岛效应与城市用地的功能布局的关系^[66]。麦健华,罗乃兴,赖文锋等,使用新一代的中尺度数值模式 WRF 和其耦合的单层城市冠层模型(UCM),通过三个模拟试验研究了下垫面改变以及引入人为热源对珠三角热岛效应的影响^[67]。

1.3.3 城市热岛效应的模拟预测研究进展

近年来,计算机科学技术的快速发展,为城市热岛的数值模拟提供了可能。这就为实验观察结果的后期分析,城市热岛的空间格局模拟预测提供了基础平台。同时,很好地弥补实测布点的缺失^[68],也使热岛研究得到了深化。

数值模式发展直接影响热岛的模拟预测。从维数发展角度看,数值模式经历了一维到多维的发展历程^[69]。1969年,Myrup 首先使用简单的一维模式对城市热岛进行模拟^[70]。20世纪70年代,Delage 和 Taylor^[71]、Bomstein^[72]先后利用二维模式模拟了 UHI 对城市风场及边界层结构的影响。1986年,中国学者叶卓佳和关虹,使用非定常非线性二维数值模式,研究了夜间气流流经城市热岛上空,所引起的温度场、风场、热岛环流的变化等^[73]。1976年,Vukovich、Dunn Crissman 等^[74],以美国圣路易斯城市为例,第一次使用原始方程静力学的三维模式,细致研究热岛对环境流场的影响。随后,利用三维模式研究城市热岛便广泛开展。20世纪90年代,Kimura、Takahashi、Saitoh 等,使用三维度力学模式,对东京的城市热岛进行研究,经过了模拟预测分析与敏感性试验后,最终明确了土地利用与人为排热对热岛强度的贡献率^{[75][76]}。桑建国等,使用三维热岛环流理论模式,得出了城市热岛环流的理论模式,分析了温度场与流场的三维结构,研究了大气条件诸如风速、湍流扩散系数、Ragleigh 摩擦等的影响^[77]。

进入21世纪后,中尺度的数值模式发展对城市热岛研究有相当大的促进作用。当前国内外的常用中尺度模式大体为:MM5、WRF、RAMS。应用较多的是 MM5 模式。刘玉彻、王连仲等利用 MM5 模式模拟沈阳城区与郊区热岛效应,结果显示温度场模拟结果和观测结果基本一致;风场越稳定,热岛强度越强;越不稳定,热岛强度越弱^[78]。王腾蛟也采用 MM5 模式,通过实际观测数值,模拟了河谷城市兰州热岛效应数值^[79]。桑建国、恪华、陈仲良,以 MM5 为基础建立出分辨率是 500m 的城市边界层方面的能量平衡模式,进而成功地模拟出香港复杂地形下的边界层特点^[80]。Trusilova、Jung、Churkina 等,利用 PSU-NCAR 的中尺度模式 MM5,模拟了城市化对欧洲气候的影响^[81]。

1992年,Oke 首先提出了城市冠层概念,它是指由地面到建筑物顶的大气层,其与建筑物密度、高度、建筑材料、几何形状、绿化面积与形状、街道宽度和走向等密切相关。目前,城市的冠层模式已达到数十种^[82],一部分已耦合到中尺度的数值模式当中,并已取得了相对较好的模拟结果,如 MM5/WRF 城市冠层模块 UCM (Urban Canopy Model)^[83]。Freitas、Rozoff、Cotton 等,使用 RAMS-TEB 模式研究圣保罗城市冠层,并发现这个地区有山谷风、海陆风以及城市的热岛环流,三者同时还具有十分明显的耦合效应^[84]。李泽椿、李晓莉、毕宝贵等,使用耦合的 MM5-UCM 模式,对北京城市化作用、周边的地形和城市化发展等进行了一系列的数值模拟试验^[85]。刘京,朱岳梅等,利用数值计算方法研究建筑内部气候与城市局地气候之间的能量及物质传递关系,但模型需要在宏观层面给予完善^[86]。

近年来,随着元胞自动机与人工智能技术的发展,也有学者进行了有意义的尝试。贡璐利用神经网络的 CA 模型,简化模拟和预测复杂的城市热岛空间变化过程,模拟了乌鲁木齐市的城乡建设用地温度景观^[87]。冯小刚采用克拉克大学 IDRISI 软件自带的 UHI-CA-Markov 模型,模拟预测西安市城市热岛效应,提出西安市的热岛区、强热岛区均呈小幅减少,常温区、绿岛区呈略微增加、强绿岛区不变^[88]。韦春竹采用元胞自动机模型,基于神经网络和遗传算法规则,模拟了广州市的土地覆盖变化,进而模拟了城市扩张影响下的城市热岛效应^[89]。

总之,无论是数值模式、城市冠层、元胞自动机,现有的研究都是基于较大尺度,最小细化网格在 $500\text{m} \times 500\text{m}$ 网格尺度^[90],而现有的元胞自动机模型也是在 120m 尺度,多是基于 NDBI、DNVI 等指数,无法与城市实现真实的对接,也很难与实际规划设计项目的指标相衔接,更谈不上实际广泛应用了。

1.3.4 城市热岛减弱与规划应用研究进展

国内外学者,对热岛分布规律、形成机制、缓解减弱措施等均做了详细的研究。早在 20 世纪七八十年代, Sodha 和 Govind^[91]、Jai 和 Rao^[92],通过实验研究了屋顶水池、屋顶流水、喷雾冷却等的降温制冷作用。后来, Rosenfield 和 Akbari^[93]、Takebayashi H 和 Moriyama M^[94]继续深化研究,通过利用绿地、铺装和屋顶色彩的反射率,对城市热岛进行削减。赵可新^[95]、刘宏成、肖敏^[96]等,主张增加立体绿化、城市合理布局、增加水面和浅色建筑立面等,以此使热岛效应得到削减和控制。而对热岛削弱研究最多的就是,通过增加绿化和植被来进行降温。不同的研究、不同的地区降温作用不一致,现有研究表明绿地最大降温在 $1.3 \sim 2^\circ\text{C}$ ^[97]。Giridharan 等研究了香港三个住宅区的热岛强度,得出最小热岛强度发生在小区内部为 0.4°C ,最大热岛强度发生在小区之间为 1.5°C ^[98]。

目前西方学者对城市热岛效应的研究,已融入具体的城市规划建设之中,在德国已有专项的规划^[99]。在城市建设、规划与设计的过程中,他们为消除城市热岛,采用生态设计与施工的理念,因而取得了很好的成就。尤其是西方的发达国家,如美国、加拿大、日本、新加坡和欧洲等很多国家与地区,他们在城市建设中都规定必须使城市的绿化面积达到一定的比例等,以此来改善城市的环境质量并缓解城市的热岛效应。为了消除城市热岛,这些国家还通过飞机航拍与卫星遥感技术获得的精细资料,对城市热岛的进展与诱因进行研究,从而在最大程度上减少城市热岛效应对社会经济生活与人们身心健康的危害。

总体看来,城市规划对城市热岛的研究目前并不多。受城市热岛基础性研究不足的影响,在城市规划过程中对城市热岛减弱措施研究也相当较少,大多是一些泛泛的论述、缺乏具体的操作,对绿地、风道等具体空间布局缺乏定量的科学依据,更缺乏详细的用地类型布局参数和开发强度对热环境的改变量大小的研究。目前仅有李延明对北京市绿化量和热岛效应强度关系做了定量的分析,得出结论为:当一个区域的绿化覆盖率达到 30%,其热岛强度就开始明显减弱^[100];而当达到 50% 时,热岛现象的缓解会极其明显。季节的不同和绿化树种的不同对热岛降温的作用也不尽相同。严平等对合肥绿地的降温作用进行研究,最终发现草地和林地树木的冠层可调节底层及其绿地上方气层温度,绿地的降温效果和树木的种类以及季节有关,所以在夏季,绿地有十分显著的降温效应^[101]。张小丽,李磊等对深圳市夏季城市热岛的影响进行了数值模拟研究,研究主要针对的是当前城市热

岛和城市建设宏观区域性质^[102]。十一五期间中规院,以计算机对城市规划环境影响评价进行研究,尽管内容涉及温度,但依然无法提供有效规划布局指导和模拟预测软件,城市热岛研究仍需进一步的深入。朱岳梅、叶祖达,对北京某生态城规划项目的方案进行了城市热气候影响评价^[103]。

对比国内外研究,我国学者多是一些综述性的措施和建议,而对热岛效应的机制因素等的定量研究较少,而对热岛削减和增加的最佳关键参数相当匮乏。

1.3.5 研究趋势与不足

总体看来,国内热岛效应的基础性研究在增多,手段越来越先进,研究是主要偏重热岛效应的现象和特征,而对减弱城市热岛的具体定量研究较少,从城市建筑空间布局、硬化地面、绿地、水体等角度进行定量研究的更是罕见。相关研究的绝大部分属于基础性研究,主要集中地理学和气象学科,以应用性研究为导向的基础性研究很少,而地理学与城市规划学科相结合的基础交叉性研究更是甚少。就研究的手段与方法来讲:传统的气象观测数据,由于气象站点数量有限,仅仅可以获取个别的站点信息,并不能够完整的掌握城市热岛在空间上的分布信息,也不能研究空间分布规律、影响因素等;现有的国际先进软件 FLUENT、PHOENICS 等,存在模拟精度不高,不能模拟大范围城市温度,不能用于城市热环境的研究等问题;模型的研究方法同样存在很多问题,获取参数的方法以及精度同样会给模型结果带来影响;遥感方法的应用最为广泛的,它在研究过程中发挥着十分重要的作用,这种方法主要是通过遥感影像反演温度,但此种方法又需要实测数据的补充与辅助。

纵观城市形态与城市热岛的研究方法,大多是基于反演地表温度采用拉样线的方法进行数据分析,但是需要注意的是城市形态是以空间异质性的形式存在的,样线所经过地区的地物类型不一,采样数据具有较大的变化,因而也就在数据采样方面对准确测算城市热岛的景观格局产生重大影响。以长时间序列气候资料为基础的,城市热岛研究要求数据资料是以均一的,气候资料只反映气候实际变化的气象记录。但目前实测站位置的迁移,周围环境的变化、观测仪器和观测方法的更新,平均值计算方法等,都可能使观测序列发生改变,从而破坏了资料的均一性^{[104][105][106]}。这些甚至严重影响了短期热岛效应的研究,使得郊区温度难以确定,计算热岛强度公式需要根据实际情况不断修正。

第二章 研究方法 with 理论

2.1 人工智能 (AI)

2.1.1 人工智能定义

人工智能 (Artificial intelligent, AI) 是一门交叉性很强的学科, 它综合了控制论、计算机、信息论、心理学、哲学等, 是研究如何构造智能机器或者智能系统, 使其具有感知力、思维能力、学习和行为能力。因此人工智能也叫机器智能。

关于人工智能目前没有一个明确的定义, 不同的学者给出了不同的定义。Minsky 认为人工智能是利用机器, 来完成涉及人类智能任务的一门学科^[107]。Jockson 的人工智能定义是, 用机器来实现人类智能的一种能力^[108]。也有的定义从实现人工智能过程的角度, 例如: Shirai 和 Tsujiii 认为人工智能的研究目的是使计算机能够代替人类执行一些显著的智能活动^[109]; Solman 的人工智能定义是, 研究人类智能性质、理解与复制人类智能所需要的原理和机制^[110]; Winiston 将人工智能定义为, 一种能够实现感知、推理和识别的计算方法^[111]。

从广义上讲人工智能, 是关于人造物的智能行为; 从狭义上讲, 人工智能是计算机科学的一个重要分支, 是一门研究、开发、模拟、扩展、延伸人类智能的方法、理论、应用的系统科学, 智能信息计算理论与技术的建立是其主要任务, 设计可展现某些近似于人类智能行为的计算机系统^[112]。可以用于研究人工智能的主要物质手段和实现人工智能技术的机器就是计算机, 人工智能的发展历史是和计算机科学与技术的发展历史紧密相连的。虽然人工智能被划分到了计算机科学的分支, 但是它的研究范畴比较广泛, 除了计算机科学外, 还涉及信息论和控制论、生物学与自动化、仿生心理学以及哲学、数理逻辑等很多门类学科。

关于人工智能的概念存在着许多的争论, 有弱人工智能学派与强人工智能学派两种不同的观点。而强人工智能认为机器能够思维, 人类可以制造出能够进行真正推理和解决问题的智能机器, 这样的机器被认为是具有知觉的、有意识的; 电脑可以模拟替代人脑的思维活动, 这样的人工智能就完全等同于人类智能。弱人工智能的观点认为机器不能思维, 人类不可能制造出能够进行真正推理和解决问题的智能机器。人类制造出来的机器只是表面看起来像智能机器, 但不会有真正的自我意识, 仅实现了与人类智能相似的某种结果^{[113][114]}。

人工智能最早定义, 是 1956 年在达特茅斯会议 John McCarthy 提出的, 他认为人工智能就是要让机器的行为看起来像人所表现出的智能行为一样。这属于弱人工智能学派观