



生态城乡与绿色建筑研究丛书
湖北省学术著作出版专项资金资助项目
国家自然科学基金面上项目(51778251)
李保峰 主编

Construction Strategies of Micro-climate in Urban Blocks

街区空间微气候营造策略

陈宏 韩梦涛 著

海外借

 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
湖北省学术著作出版专项资金资助项目
国家自然科学基金面上项目(81778281)
李保峰 主编
陈宏 副主编/刘小虎 执行主编

Construction Strategies of Micro-climate in Urban Blocks

街区空间微气候营造策略

陈宏 韩梦涛 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

街区空间微气候营造策略/陈宏,韩梦涛著. —武汉:华中科技大学出版社,2021.12
(生态城乡与绿色建筑研究丛书)

ISBN 978-7-5680-6812-3

I. ①街… II. ①陈… ②韩… III. ①城市道路-城市空间-微气候-研究
IV. ①TU984.11 ②P463.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2021)第 231997 号

街区空间微气候营造策略

陈宏 韩梦涛 著

Jiequ Kongjian Weiqihou Yingzao Celüe

策划编辑:易彩萍

责任编辑:周永华

封面设计:王娜

责任校对:刘竣

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:湖北金港彩印有限公司

开本:710mm×1000mm 1/16

印张:9.5

字数:151千字

版次:2021年12月第1版第1次印刷

定价:128.00元



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

本书得到以下基金项目支持：

滨水街区空间形态与江河风渗透之“量”“效”关联性研究——以长江中下游城市为例（国家自然科学基金面上项目，项目编号：51778251）。

作者简介 | About the Authors

陈 宏

2004 年获日本东京大学建筑学专业工学博士学位，现任华中科技大学建筑与城市规划学院教授，博士生导师。

目前兼任中国绿色建筑与节能委员会委员、住房和城乡建设部绿色建筑评价标识专家委员会委员、中国建筑学会健康人居学术委员会理事、湖北省土木建筑学会理事、湖北省土木建筑学会绿色建筑与节能专业委员会副主任委员。长期致力于绿色建筑设计、气候适应性城市与建筑设计、健康社区与建筑设计、低碳建筑设计等方面的研究与设计实践。

韩梦涛

2019 年获日本东京大学建筑学专业工学博士学位。现任华中科技大学建筑与城市规划学院副研究员、东京大学建筑学博士及博士后研究员、日本学术振兴会特别研究员。主要研究方向为建筑与城市微气候、大气污染物与防灾、绿色建筑节能技术等。

本书主要符号

符号	含义	单位*
D	黑球直径	m
f_{cl}	服装覆盖的人体表面和裸露的人体表面之比	%
G	太阳总辐射照度	W/m^2
h_c	人体表面对流换热系数	$W/(m^2 \cdot K)$
I	湍流强度	%
I_{cl}	人体基本热阻	clo
imp_n	第 n 个表面的显热或潜热影响度	K 或 $^{\circ}C$
M	人体代谢量, 1 met = 58.2 W/m^2	met
MRT	平均辐射温度	K 或 $^{\circ}C$
P_a	水蒸气分压力	Pa
OUT_SET*	室外标准有效温度	$^{\circ}C$
PET	生理等效温度	$^{\circ}C$
PMV	预计平均热感觉指标	kg
Re	雷诺数	—
RH	相对湿度	%
T_a	干球空气温度	K 或 $^{\circ}C$
T_{cl}	服装表面温度	K 或 $^{\circ}C$
T_g	黑球温度	K 或 $^{\circ}C$
T_{nw}	自然湿球温度	K 或 $^{\circ}C$
W	有效机械功率	W/m^2
TKE	湍流动能	m^2/s^2

* 本书所使用的单位主要采用国际单位制(SI)单位。



符号	含义	单位
U	流入风速	m/s
U_0	代表高度 Z_0 处的风速	m/s
UTCI	通用热气候指数	—
V_a	风速(气流速度)	m/s
WBGT	湿球黑球温度	K 或 °C
Z_0	代表高度	m
ϵ	辐射发射率	—
ϵ	湍流耗散率	m^2/s^3
ν	流体(空气)的动黏性系数	m^2/s
γ_i	第 i 个表面的太阳辐射照射比例(日照率)	—
ΔT	温度变化量	K 或 °C

前 言

中国的城市化进程进入快车道,人口向城市迅速集聚,对城市的能源消耗与环境质量带来了巨大挑战。城市微气候恶化的一个突出表现在于,伴随着城市化的进程,城市热岛效应显著增强。引起城市热岛效应的原因一般被归结为城市空间内建筑物密集、城市下垫面人工化,以及人们的生活和生产活动所产生的大量人为热排放。这些也与当前我国城市化的其他问题密切相关。在现有发展模式下,城市微气候将持续恶化,并加剧城市热岛效应,城市能源消耗也将不断增加,形成恶性循环。

近年来,为了减缓城市热岛效应,城市气候的调节与改善已经引起越来越多的关注,成为城市建设的未来发展趋势。以城市—街区—建筑等不同尺度的空间为对象,通过对城市空间布局、城市土地利用、城市下垫面性质、城市通风与散热、绿地系统、人为热排放等涉及宏观、中观及微观层面的环境因素的控制与调节,分析各种城市微气候调节策略对于改善城市微气候的贡献率,以及在不同空间层面上的相互影响,探索在城市中有针对性及高效的微气候调节技术,从城市—街区—建筑的角度来实现城市与街区微气候的有效调节,提高城市环境品质,顺应城市建设未来发展的要求。

城市微气候的研究领域涵盖广泛,包括城市微气候形成机理(影响因素、城市的热代谢等)、城市形态与城市微气候的相关性等、研究对象的空间尺度及其位置(中尺度、局地尺度、建筑尺度、城市中心区、城市边缘区等)、数值模拟模型(中尺度模型、微尺度模型等),以及城市微气候调节设计的设计方法(优化设计方法、简化的模型等)等。

本书的定位是街区与建筑微气候研究的入门书籍。近年来,随着绿色建筑发展进入快车道,在绿色建筑的环境性能目标导向下,在建筑设计过程中,建筑的环境性能受到广泛关注,也成为建筑创作中必须关注的内容之一。被动式的建筑设计策略对于性能良好的街区与建筑微气候营造具有非



常重要的作用,但是已有的研究表明引起街区与建筑微气候变化的主要原因各不相同,街区的差异性导致微气候调节策略效率也有很大变化。在设计中如何合理选用街区与建筑的微气候调节策略给设计人员带来较大困惑。因此,我们认为很有必要面向国内一线的设计和工程技术人员、广大学生,较为系统地介绍街区的基础知识、街区微气候评价指标、研究方法、街区微气候调节策略等方面的内容。鉴于此,在本书的内容设置上,我们注重内容的实用性与可操作性,衷心希望本书能为包括建筑师、工程师、绿色建筑咨询师在内的建筑行业从业人员,以及广大学生的工作与学习带来一定的帮助。本书也可作为高年级本科生与研究生在相关课程中的教材加以使用。

在本书的编写过程中,部分章节源于作者的已毕业研究生韩干波、辛威、肖姣、潘莹莹、王剑文等同学的硕士学位论文,在此对几位同学通过辛苦努力所取得的优秀成果表示感谢。在本书出版过程中得到了华中科技大学出版社的大力支持,在此深表感谢。

由于街区微气候调节研究涉及范围广泛,我们的理论与知识水平有限,成书时间较为仓促,书中难免存在缺漏及欠妥之处,敬请广大读者批评指正,以便在本书再版时进一步更新与完善。联系邮箱为:chhwh@hust.edu.cn。

作 者

2021年10月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 街区的空间尺度	(2)
第二节 街区微气候的研究尺度	(4)
第三节 本书构成	(5)
第二章 街区空间微气候的组成要素及影响因子	(6)
第一节 街区微气候环境的组成要素	(6)
第二节 街区微气候热舒适评价指标	(9)
第三节 街区微气候的影响因子分析	(15)
第三章 街区空间微气候的研究手法	(31)
第一节 微气候实测	(32)
第二节 缩尺模型风洞实验	(41)
第三节 微气候数值模拟	(43)
第四节 基于热舒适的微气候调查研究及样本分析	(53)
第四章 基于城市气候图的滨江街区微气候营造策略 ——武汉市滨江街区改造	(60)
第一节 城市气候图系统	(61)
第二节 基于气候图的街区微气候营造案例:武汉市滨江街区 改造	(65)
第五章 基于居民行为的居住区更新与热环境营造策略 ——武汉市居住区室外热舒适改造	(81)
第一节 居民行为与人体对热环境的适应性调整	(81)
第二节 基于人员行为的室外热舒适分析手法	(84)
第三节 武汉市居住区夏季人员热适应行为与空间特征	(88)
第四节 热适应角度定义的公共空间类型及优化策略	(105)



第六章 基于微改造的传统街区空间更新与微气候营造策略	
——武汉市旧汉口租界区里份微改造	(116)
第一节 旧汉口租界区的里份空间环境现状及居民的行为活动	(117)
第二节 传统街区微气候营造策略	(120)
第三节 营造案例:旧汉口租界区某里份微改造与微气候营造 ..	(132)

第一章 绪 论

据相关统计,地球上现在有超过一半的人口居住在城市,到 2030 年的时候,将有超过 60%的人成为城市居住者^①。我国城市化进程已进入快车道,2020 年末,中国城市化率超过了 60%。过去半个世纪的快速城市化不仅给城市带来了大量的移民,也改变了城市的能源消耗量及气候环境。

城市气候恶化的一个突出表现在于,伴随着城市化的进程,城市热岛现象显著增强。引起这一现象的原因一般被归结为城市建筑物密集、城市下垫面人工化及人们的生活和生产活动所产生的大量人为热排放。这些都与当前我国城市化导致的问题密切相关。在现有发展模式下,城市气候将持续恶化,并加剧城市热岛效应及增加城市能源消耗,形成恶性循环。目前与建筑相关的能耗已占全社会总能耗的 46.7%。

在城市中,街区是最为重要的活动场所,也是人们所接触到的最常见的室外空间。城市的建成区,尤其是城市中心区,高土地价值导致其普遍具有“三高”(高密度、高容积率及高楼层)特征,使得城市下垫面严重人工化,密集的公共建筑及高层住宅排放了大量人工热,导致街区热岛效应严重,街区空间的热舒适状况迅速恶化。同时,街区居民活动聚集,增大的交通流量成为街区的重要污染源。有研究表明,由城市高密度化引起的城市自净能力下降是导致空气污染日益严重的原因之一^②。因此,街区建筑密集化发展及交通污染排放的增加,也导致了街区空气质量明显下降,影响居民的身体健康。

街区微气候的形成除了受到宏观的气候因素影响,还受到街区空间形

^① The United Nations Human Settlements Programme, *State of the world's cities 2008/2009: harmonious cities*, 2012.

^② 王宝民,柯咏东,桑建国. 城市街谷大气环境研究进展[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2005, 41(1): 146-153.



态的影响,从而形成了特有的局地气候。相关研究表明,街区空间的形态影响城市内部的自然通风及太阳辐射等,与城市热岛效应的形成密切相关^①。进一步的研究表明,街区空间形态与街区微气候特征的关系是由在街区空间形态及空间界面的影响下,构成街区空间内部热平衡的各项热量传递的特点所决定的。

在城市化迅速发展的背景下,我国城市,尤其是大中城市的规模不断扩大,“三高”特征将更加明显。在经济利益与环境利益博弈的过程中,天平往往向经济利益方向严重倾斜。但是,近年来城市环境恶化,尤其是城市热岛效应与雾霾引起的环境、健康及社会问题使得我们不得不重新重视经济利益与环境利益的平衡发展。因此,研究街区微气候的特征、规律及营造手法对提高城市环境质量和促进城市整体节能与可持续发展具有极其重要的意义。

目前,国内对于城市可持续发展与气候环境、能源资源的研究主要集中于城市的大尺度层面,如城市热岛效应等,或者小尺度层面,如室内空调环境等,并取得了很多重要的研究成果。但以城市街区为研究对象展开的工作相对较少,同时研究方向相对较窄,如聚焦于一个街区的风环境或街道冠层内的通风及空气污染等。对城市街区整体微气候环境的营造,仍缺乏系统的理论研究和设计策略。

因此,本书以夏热冬冷地区的城市街区为研究对象,试图对街区尺度微气候的特征性状、组成要素、影响因子及营造手法予以探讨,并辅以相关研究案例,对具体的营造手法及其应用进行说明。

第一节 街区的空间尺度

若要对街区微气候进行研究,首先需要界定街区的空间尺度大小。就空间视角而言,气候根据影响范围不同,可以划分为多个尺度(图 1-1)。

^① OKE T R. The distinction between canopy and boundary-layer urban heat islands[J]. Atmosphere, 1976, 14(4): 268-277.



Allard 等^①对水平空间的尺度做出了定义。宏观尺度覆盖数百千米甚至更广范围,又称区域尺度。典型案例为《民用建筑设计统一标准》(GB 50352—2019)中建筑气候分区的一个气候区,如夏热冬冷气候区、严寒气候区等均可以看作宏观尺度下的一个区域。中观尺度通常覆盖数十千米乃至数百千米的范围,如一个城市的气候。微观尺度的直径从数十米、数百米到数千米不等,如一个或几个具有近似功能的相邻街区。而更小范围的建筑尺度领域,包括了建筑及其周边街道、组团或街区。本书主要研究城市街区范围,通常覆盖直径为 0.1~50 km。

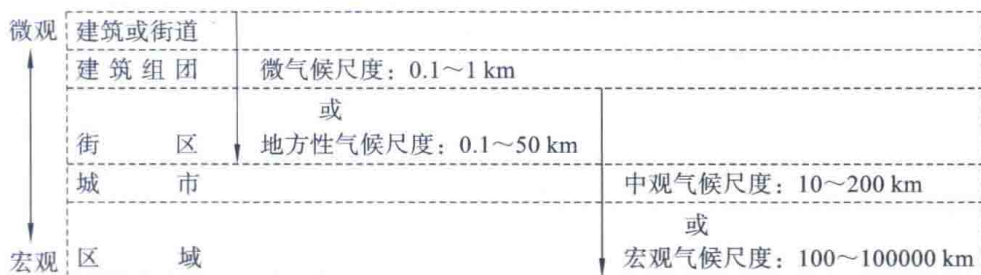


图 1-1 气候尺度和城市形态尺度分类

(图片来源:根据 Oke^② 和黄媛^③等的文献修改绘制)

Brown 等^④指出,在气候设计中,城市街区尺度通常容易被建筑师和城乡规划师忽略。建筑师通常关注 100 m 以下的单体或数栋建筑尺度。而城乡规划师通常关注数千米以上范围的城市形态(即中观尺度)。Oke^⑤指出,

① ALLARD F, SANTAMOURIS M. Natural ventilation in buildings; a design handbook[M]. London: Earthscan Publications Ltd., 1998.

② OKE T R, JOHNSON G T, STEYN D G, et al. Simulation of surface urban heat islands under "ideal" conditions at night part 2: diagnosis of causation[J]. Boundary-Layer Meteorology, 1991, 56(4): 339-358.

③ 黄媛. 夏热冬冷地区基于节能的气候适应性街区城市设计方法论研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2010.

④ BROWN G Z, DEKAY M. Sun, wind & light: architectural design strategies[M]. 2nd ed. New York: Wiley, 2001.

⑤ OKE T R. Street design and urban canopy layer climate[J]. Energy and Buildings, 1988, 11(1-3): 103-113.



层峡街道是组成城市街区尺度形态最基本的几何要素；Ratti 等^①则深入解释称，城市街区可以看作由向两个方向延伸的街道及各种基本型所组成。因此，我们吸纳城市形态的基本型和街道作为研究的基本尺度。本书不讨论各种形态的建筑的具体组成或者室内空间尺度，因为这个尺度更多与建筑设计策略相关联，而非城市街区微气候设计策略。

第二节 街区微气候的研究尺度

从垂直角度看，Oke 等^②对城市大气按高度进行了分类。从地表向上延伸 2~3 km 的范围通常被称为大气边界层 (atmospheric boundary layer)。在大气边界层内，由于空气的上下对流循环，地表附近的自然要素（如山体、水体、植被等），以及人类的建筑、生产等活动将会对气候、大气的性状等造成极大影响。而在大气边界层之上的自由大气 (free atmosphere) 则被宏观尺度的变化过程所影响，主要表现出水平方向的空气对流，因此对地表附近的变化反应比较迟钝。

在街区尺度内，城市微气候主要作为大气边界层中近地区的粗糙子层 (roughness sublayer) 及城市冠层 (urban canopy layer, 也称城市覆盖层) 被我们所了解。粗糙子层是大气边界层的底层区域，其高度定义为地面到大概五倍平均建筑高度。在这个区域中，街区要素及人类活动对微气候会产生决定性的影响。城市冠层是从地表到建筑顶部的垂直区域，高度为建（构）筑物等的高度。城市冠层是人类活动频繁，能量、动量和水交换与转化的场所，也是街区微气候在垂直高度上的主要研究对象。

街区结构是一个具有不均一性且粗糙的表面，它导致了所有气候要素的时空变化，微气候现象发生在这个有限的空间中。本书所研究的是街区空间微气候的营造策略。

① RATTI C, RAYDAN D, STEEMERS K. Building form and environmental performance: archetypes, analysis and an arid climate[J]. *Energy and Buildings*, 2003, 35(1): 49-59.

② OKE T R, MILLS G, CHRISTEN A, et al. *Urban climates*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2017.



第三节 本书构成

本书由六章构成,主体部分主要为第二章至第六章。其中,第二章和第三章为基础理论,介绍了街区微气候的基本知识。第四章至第六章为案例分析,从多种角度介绍了街区微气候营造策略的具体应用。

第二章介绍了街区空间微气候的组成要素、评价指标及相关的影响因子。第三章介绍了街区空间微气候的主要研究手法,包括微气候实测、缩尺模型风洞实验、计算机数值模拟及实地调查研究,并引入相关案例介绍了研究手法的基本应用流程。第四章运用城市气候图这一工具研究了街区微气候的现状与改造手法。第五章运用基于人员行为问卷调查研究的方法,提出了居住区更新与微气候营造策略。第六章以专题的形式介绍了历史及保护街区的微气候营造手法。

第二章 街区空间微气候的组成要素及影响因子

街区空间微气候研究是城市室外环境研究的重要组成部分,它以室外空气及辐射、建筑及表皮、地面及植被、人工排热等为研究对象,涉及空气温度、空气湿度、下垫面温度、太阳辐射、气流速度等参数。城市街区空间微气候的研究根据不同的研究目的,又可以从不同的角度进行。从理论上说,室外微气候有着自身的特点,它决定了微气候环境不能由单体建筑本身所决定,而是受到周围建筑和环境的影响。因此,实际意义上的室外热环境研究的对象应该是建筑群及其附属构件。只有在建筑群中才能体现室外热环境的各种影响因素。

为了提出针对街区空间微气候的有效营造策略,首先,需要了解有关街区尺度下微气候的组成及影响要素的基础知识。因此,作为基础理论部分,本章首先简要介绍街区微气候的研究内容和组成要素,包括微气候要素和环境要素。其次,本章将介绍几种适用于街区微气候的常用热舒适评价指标,包括单一指标和复合指标,并介绍各种指标的优缺点及在街区微气候中的适用范围。最后,本章将对城市中常见的两种建筑形式——点式建筑和板式建筑形成的理想街区进行分析,并利用室外热环境影响度指标对街区微环境进行分析,找出不同街区形态下各影响因子对微环境的作用程度。

本章介绍的微气候评价指标、影响因子将作为后续章节的基础内容,本书将基于此展开分析,提出改善室外热环境的城市设计策略。

第一节 街区微气候环境的组成要素

街区微气候环境是街区物理环境的重要组成部分。我们认为,街区微