

“十三五”江苏省重点图书出版规划项目

城市中心空间形态研究

杨俊宴/主编



城市中心

风环境与空间形态耦合机理及优化设计

COUPLING MECHANISM BETWEEN
WIND ENVIRONMENT AND
SPACE FORM AND OPTIMIZATION DESIGN IN CITY CENTER

杨俊宴 张 涛 傅秀章 / 著



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

“十三五”江苏省重点图书出版规划项目

城市中心空间形态研究

杨俊宴/主编

城市中心风环境与空间形态 耦合机理及优化设计

杨俊宴 张 涛 傅秀章 著

本书受国家自然科学基金(51378100,51278114,51578128)资助

东南大学出版社

· 南京 ·

内容提要

本书共可分为四个部分的研究内容。第一部分,即第1章和第2章,阐述城市中心区风环境研究的价值与意义,系统总结国内外城市风环境研究的技术演进和方向发展,明确研究内容、方法以及框架,并基于风环境数值模拟和风环境评价的基本方法,构建适用于大尺度城市中心区的风环数值模拟技术和风环境评价策略;第二部分,即第3章至第5章,结合样本案例南京新街口中心区,对其夏季、冬季风环境进行模拟与评价,分析其夏季、冬季行人高度处风环境的基本状况和特征,分别从城市空间形态指标和城市空间形态单元两个角度探讨城市中心区风环境与城市空间形态的相关性,通过空间形态指标与风环境参数的量化耦合分析,得出各项指标因子对行人高度处风速水平的影响关系,进一步基于城市中心区内典型的形态单元,比对不同类型空间形态单元下风环境的差异,分析其特征、问题以及成因;第三部分,即第6章,基于上述研究内容,归纳整理城市空间形态对风环境的影响因素,从规划层面、建筑层面和景观层面三个方面总结城市中心区风环境的优化策略;第四部分,即第7章,结合实际规划项目,阐述不同尺度的规划设计案例中风环境优化策略的应用。

图书在版编目(CIP)数据

城市中心风环境与空间形态耦合机理及优化设计 /
杨俊宴, 张涛, 傅秀章著. — 南京: 东南大学出版社,
2016.10

(城市中心空间形态研究 / 杨俊宴主编)

ISBN 978-7-5641-6769-1

I. ①城… II. ①杨… ②张… ③傅… III. ①风—影
响—城市空间—城市规划—研究 IV. ①TU984.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 232059 号

城市中心风环境与空间形态耦合机理及优化设计

出版发行: 东南大学出版社

社 址: 南京市四牌楼 2 号 邮编: 210096

出 版 人: 江建中

责任编辑: 丁 丁

网 址: <http://www.seupress.com>

电子邮箱: press@seupress.com

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 江苏凤凰数码印务有限公司

开 本: 700mm×1000mm 1/16

印 张: 14.75 彩: 2 面

字 数: 225 千字

版 次: 2016 年 10 月第 1 版

印 次: 2016 年 10 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5641-6769-1

定 价: 58.00 元

本社图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系。电话:025-83791830

丛书序

进入 21 世纪以来,中国的城市化进程不断深化,到了发展转型的中后期。新型城镇化的发展理念引领城市建设向提升城市文化及公共服务等内涵式增长转变,使得城市文化、公共服务及经济活动最为集中的城市中心区成为新型城镇化建设的核心要素之一,而城市中心区科学有序地发展,也成为带动新型城镇化全面深化的关键。在此基础上,近年来国家重大基础设施的建设,特别是高速铁路网络的建设发展及城市内部轨道交通网络的不断发展及完善,促进了新的城市中心类型的出现,进而推动了城市中心公共服务体系的不断演进及完善,大量现代服务业开始在城市中心区形成新的集聚。中心区这些前所未有的发展与变化,吸引了国际社会的广泛关注,也对广大学者从更高、更广的国际视野研究城市中心区的新问题,提出了更多的要求与挑战。

东南大学建筑学院是较早关注城市中心区规划研究的院校,在学界有一定影响。本丛书主编杨俊宴为东南大学城市中心区研究所所长,通过国际 200 多个城市空间大模型数据库的横向建构和南京中心近 40 年的纵向持续跟踪研究,先后主持了 4 项国家自然科学基金,取得了系列创新的成果。本丛书着眼于未来 10~30 年城市中心研究的前沿动态,包括国际城市中心区的极化现象、空间结构、空间集约利用、中心体系等研究,包含了多项国家级课题内涵,并结合作者重大规划项目的实践,提出中国本土城市化过程中对城市中心的理论与方法体系建构,具有以下几个特点:

1. 对城市中心研究的理论体系具有前沿性。在中国城市化走向中后期深化阶段的特殊时期,大量特大城市、超大城市的紧凑集聚是其主要特征。城市中心的发展承载了这种主要特征,出现大量多核化、极核化的发展态势;同时,中国特有的高密度中心城市也出现了空间品质低下、特色湮灭等问题,而相关的研究在我国规划界的应用尚未全面展开,许多规划工作者都是根据自己实践

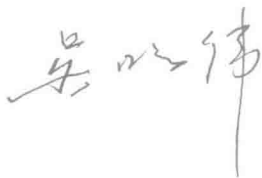
的感性探索来提出解决规划。本丛书依托作者主持的多项国家自然科学基金,住建部、教育部等课题,在多年规划实践积累的基础上,深入城市中心的前沿研究领域,系统地从空间形态角度就如何应对城市中心的这种发展态势,提出中国特色的城市化理论体系。

2. 理论联系实际,具有较强的实用性。城市规划上升为一级学科后,对于其学科核心理论的争论一直是热点问题。本丛书以城市空间形态的视角,紧扣城市规划学科的最核心理论方法,从空间集聚到空间分析方法,更具有全面性,所有技术方法均有切身参加的大量城市中心案例分析为依托,凝练在规划设计实践应用,阐述更深入。

3. 多学科协作的团队力量。本丛书依托多个科研协作团队力量,作者群跨越城市服务产业、空间物理环境、城市交通等交叉学科,具有全面覆盖的特点。主编具有建筑设计、城市规划、人文地理等多重学科背景,也主持了不同类别中心区的规划项目,能够全面把握城市中心未来的发展态势并将其系统解析。

4. 第一手的研究资料和分析方法。本丛书的基础资料完全为杨俊宴工作室近十年来在国内外城市中心区的定量建模数据库,均为第一手空间资料;研究所采用的技术方法很多也为原创性的国家技术发明专利。无论是对于规划设计师、科研工作者、规划管理者还是对于院校学生,都具有极强的吸引力。

城市中心区的研究是一项系统而复杂的工作,涉及城市规划、经济社会、道路交通、景观环境等诸多学科和方面,且各个方面相互影响,相互融合,形成了一个复杂的整体系统,因此具有相当大的研究难度。然而城市中心区又是一个与城市发展及市民生活息息相关的场所,具有非常重要的研究意义及价值。这套丛书沿承了东南大学城市中心区及空间形态的研究特色,在城市中心区理论体系、结构模式、定量研究等方面做出探索与突破,我也希望这套丛书可以为我国城市中心区的深化研究提供一个基础与平台,也期待更多学界人士共同参与其中,为城市中心区的发展,也为中国城市化的道路提供更多科学的指导。



2016.7

前 言

城市是人口和建筑物高度集聚下形成的特殊形态,经济社会的发展和城市化进程的推进,不仅为人类带来了物质财富,同时能源和资源的高强度消耗也在城市空间内形成了有别于自然气候环境和建筑室内物理环境的特殊的城市室外物理环境,或称为“城市微气候”。随着经济水平发展程度的不断攀升以及城市化进程的逐步深化,我国城市正在经历着空间规模快速拓展、建设容量急剧增大的飞速发展时期,剧烈的城市化转变在一定程度上提高了生活水平,但也加重了环境负担,导致城市环境问题日趋严重,生活水平的提高也促使人们对生活质量的要求相应提升,作为与人们关系最为密切的城市空间环境,其舒适性的优劣直接关系到人们生活品质的高低。

城市风环境作为城市微气候的重要内容,对室外环境的舒适性、大气污染物的扩散、热岛效应的消解、人的健康与安全以及建筑节能等方面均具有重要的作用,良好的城市风环境,特别是行人高度处的风环境,能够为城市居民提供更加健康舒适的户外活动平台。城市中心区作为城市中建筑密集、功能重叠以及人口集聚的核心区域,对城市通风的影响和存在的风环境问题更为突出,应对中心区风环境的城市规划响应在创建宜居的城市空间环境的宏观背景下显得尤为迫切。

城市风环境受制于城市内的建筑空间形态,反过来,城市风环境又将强烈地作用于城市建筑空间,影响室内、室外风环境的优劣,以及空气质量和热环境等。基于这一思路,本书以城市规划的视角,针对城市中心区风环境的数值模拟、评价方法以及风环境与城市空间形态的相关性进行研究与探讨,为城市中心区风环境的优化提供可参考的技术方法以及改善策略。

本书包括四个部分的内容。第一部分,即第1章和第2章,首先阐述城市中心区风环境研究的价值与意义,系统总结国内外城市风环境研究的技术演进和方向发展,明确研究内容、方法以及框架;其次基于风环境数值模拟和风环境评价的基本方法,构建适用于大尺度城市中心区的风环数值模拟技术和风环境评价策略;第二部分,即第3章至第5章,结合样本案例南京新街口中心区,对其夏季、冬季风环境进行模拟与评价,分析其夏季、冬季行人高度处风环境的基本状况和特征,分别从城市空间形态指标和城市空间形态单元两个角度探讨城市中心区风环境与城市空间形态的相关性,通过空间形态指标与风环境参数的量化耦合分析,得出各项指标因子对行人高度处风速水平的影响关系,进一步基于城市中心区内典型的单元,比对不同类型空间形态单元下风环境的差异,分析其特征、问题以及成因;第三部分,即第6章,基于上述研究内容,归纳整理城市空间形态对风环境的影响因素,从规划层面、建筑层面和景观层面三个方面总结城市中心区风环境的优化策略;第四部分,即第7章,结合实际规划项目,阐述不同尺度的规划设计案例中风环境优化策略的应用。

本书对城市中心区室外风环境的研究,以期城市规划工作中基于风环境的城市空间优化设计和城市风环境的研究提供可参考的依据。限于作者的学识和科学水平,书中的叙述、引述和介绍难免存在不当或纰漏之处,敬请读者批评指正。

目 录

1 绪论	1
1.1 城市中心区风环境的研究背景	1
1.2 城市风环境研究的技术演进和方向发展	4
1.2.1 城市风环境研究的技术演进	4
1.2.2 城市风环境研究的方向发展	10
1.3 研究范围	17
1.3.1 城市风环境的基本概念与特征	17
1.3.2 城市中心区的边界界定	21
1.3.3 本书风环境研究的限定条件与维度	22
1.4 研究方法与章节构成	23
1.4.1 研究方法	23
1.4.2 章节构成	24
2 城市中心区风环境的模拟方法及评价策略	26
2.1 城市中心区风环境的数值模拟方法	26
2.1.1 大尺度城市风环境数值模拟的基本流程	26
2.1.2 建模区域的确定	28
2.1.3 计算区块的划分	30
2.1.4 模拟参数的设定	33
2.1.5 计算网格的划分	36
2.1.6 模拟结果的生成	38
2.2 城市中心区风环境的评价策略	38
2.2.1 室外风环境评价的相关政策标准	38

2.2.2	常用的室外风环境评价方法	39
2.2.3	本书城市中心区风环境的评价策略	49
2.3	小结	54
3	南京新街口中心区风环境的分布特征分析与评价	55
3.1	南京新街口中心区夏季、冬季的风环境数值模拟	55
3.1.1	研究对象	55
3.1.2	新街口中心区夏季和冬季的风环境数值模拟	56
3.2	夏季行人高度处风环境的空间分布特征分析	59
3.2.1	夏季行人高度处风环境的总体空间分布	59
3.2.2	夏季行人高度处风环境特殊风场的空间分布	62
3.2.3	夏季主要街道行人高度处的风速分布特征	64
3.3	冬季行人高度处风环境的空间分布特征分析	69
3.3.1	冬季行人高度处风环境的总体空间分布	69
3.3.2	冬季主要街道行人高度处的风速分布特征	72
3.4	基于街区单元的夏季行人高度处的风环境评价	75
3.4.1	新街口中心区街区单元的划分及风速测点的设置	75
3.4.2	基于“平均风速”的风环境评价	77
3.4.3	基于“测点舒适风速比率”的风环境评价	81
3.4.4	基于“风速离散度”的风环境评价	83
3.4.5	基于“静风区面积比”的风环境评价	83
3.4.6	基于“强风区面积比”的风环境评价	84
3.5	本章小结	84
4	新街口中心区风环境与空间形态指标的耦合分析	85
4.1	城市风环境与城市空间形态的关联指标	85
4.1.1	城市粗糙度	86
4.1.2	迎风面积比和迎风面积密度	87
4.1.3	建筑密度	89
4.1.4	平均高度	91
4.1.5	容积率	92
4.1.6	围合度	94
4.1.7	错落度	96

4.1.8 最高高度	100
4.2 街区单元风环境与其空间形态指标的耦合	102
4.2.1 多元线性回归分析法	102
4.2.2 风参数及指标因子的统计	103
4.2.3 多元线性回归耦合分析	104
4.3 小结	106
5 新街口中心区风环境与空间形态单元的耦合分析	108
5.1 新街口中心区空间形态单元的分类原则	108
5.1.1 高、中、低强度的划分	108
5.1.2 形态的分类说明	109
5.2 “高强度”空间形态单元的风环境分析	110
5.2.1 无围合的独立大体量高层建筑单元	110
5.2.2 低围合的线性高层建筑群单元	117
5.2.3 低围合的散点式高层建筑群单元	124
5.2.4 半围合的高层建筑群单元	127
5.2.5 围合式的高层建筑群单元	132
5.3 “中强度”空间形态单元的风环境分析	136
5.3.1 无围合的大体量多层建筑单元	136
5.3.2 低围合的多层及高层建筑群单元	142
5.3.3 半围合的板式高层建筑群单元	147
5.3.4 围合式的多层及高层建筑群单元	151
5.3.5 围合式的多层建筑群单元	157
5.4 “低强度”空间形态单元的风环境分析	161
5.4.1 低围合的多层或低层建筑群单元	161
5.4.2 半围合的行列式多层或低层建筑群单元	164
5.4.3 围合式的低层建筑群单元	166
5.5 小结	168
6 城市中心区风环境的优化策略	169
6.1 规划层面的城市中心区风环境优化策略	171
6.1.1 保护和恢复城市山水格局,构建网络化的城市绿地体系	171
6.1.2 营造城市大通风廊道	171

6.1.3	街道走向与形态控制	174
6.1.4	街区形态控制	177
6.2	建筑层面的城市中心区风环境优化策略	180
6.2.1	建筑的朝向、尺度与形式	180
6.2.2	建筑物的排列	183
6.3	景观层面的城市中心区风环境优化策略	185
6.3.1	绿化与遮阴	185
6.3.2	对强风和冬季寒风的防风措施	187
7	规划设计中的风环境优化设计实践	189
7.1	风环境分析在规划设计中的应用	189
7.1.1	规划研究中风环境条件的获取	189
7.1.2	规划分析中风环境分析的应用	191
7.2	大尺度空间风环境的优化设计	192
7.2.1	京杭运河杭州段案例概况	192
7.2.2	京杭运河杭州段两岸空间风环境的模拟与分析	194
7.3	中尺度空间风环境的优化设计	199
7.3.1	潍坊市白浪河城区中心区域案例概况	199
7.3.2	“蛇城”基于风环境的空间形态优化	200
7.4	小尺度空间风环境的优化设计	203
7.4.1	南京市浦口中心地区局部地段风环境优化设计	203
7.4.2	潍坊市站北商贸区风环境优化设计	206
参考文献		209
外文文献		209
中文书籍		214
中文期刊		214
中文硕博学位论文		216
索引		218
图片索引		218
表格索引		222

1 绪 论

1.1 城市中心区风环境的研究背景

经济社会的发展和城市化进程的推进,不仅为人类带来了物质财富,同时也在一定程度上恶化了城市生存环境,导致城市环境问题日趋严重。同时,随着生活水平的不断提高,人们对生活质量的要求也相应提升,作为与人们关系最为密切的城市空间环境,其舒适性的优劣直接关系到人们生活品质的高低。创建宜居的城市空间环境逐渐成为了当今建筑、城市规划学科的主题,城市风环境等微气候研究也逐渐成为了学科关注的热点。城市风环境作为城市微气候的重要要素,对大气污染物的扩散、热岛效应的消解、开放空间热/风舒适度的感知、高层建筑的风安全均具有重要的作用,对城市综合的气候环境起着不容忽视的作用。良好的城市风环境,特别是行人高度处的风环境,能够为城市居民提供更加健康舒适的户外活动平台。因此,应对气候变化的城市规划响应在当下显得尤为迫切,但是我国并没有相关的法律法规来监管约束城市风环境的优劣,对于城市风环境的研究也远不及城市规划建设的速度。城市风环境的研究对于城市发展以及城市规划工作都具有重要意义。

1) “高密度、高强度、高高度”——城市集约化立体化发展的趋势

基于土地集约利用、城市集约化立体化发展的理念,城市发展倡导一个高密度、混合功能的城市形态(Breheny, 1993),在城市中注入更多新鲜的血液来吸引人们从城郊返回城市中,来抑制城市的无序蔓延,同时通过高效的生活方式来节约时间和能源,提供良好的生活质量。对于中国的城市来说,由于突出

的人口与土地资源之间的矛盾等发展条件的限制,集约化立体化的城市形态也似乎成为了城市发展的必然选择。

城市中心区相对于其他城市区域更是以“高密度、高强度、高高度”为主要特征,是城市空间形态变化最为剧烈的区域。但中心区内高密度、高强度的开发模式下,高层建筑不断增加,导致中心区内形成了大区域的高层建筑的集聚。大区域的高层建筑群,大大增加了地表的粗糙度,将直接影响城市冠层的气流运动,加剧了近地面处湍流运动的复杂性,使建筑周边形成下冲流、角流、尾流等,使局部气流加速或减速,形成强风区、静风区、涡流区等风环境特征区域,给人的安全、健康、舒适,以及室外工作、活动带来不利的影响。因此,基于良好风环境目标下的中心区空间形态的研究就显得尤为重要。

2) 快速城市化下的城市气候与环境问题

城市作为人类活动、资源消耗和废物产生的集中地,现代城市的建设会大大改变城市气候,甚至会形成不舒适、不卫生的居住环境,直接影响城市居民的生活质量,导致城市通风、采光不良,热岛效应显著,空气污染,环境卫生不佳等问题。目前全球城市化速度在规模上和强度上是前所未有的,为发展中国家的城市建设提供了一个难得的契机。随着中国城市化程度的深化,至 2025 年中国人口将超过 14 亿,其中 8.51 亿将居住在城市,剧烈的城市化转变在一定程度上提高了生活水平,但也将加重环境负担。高密度的人口集聚促使中国城市不断向高密度城市发展,如何建造健康的城市环境,应对种种城市问题,是未来中国城市发展所面临的巨大挑战。城市通风作为城市居民生活最基本的问题,如何在城市规划与设计提供解决方案来应对城市中易出现的风环境问题,是城市健康发展的迫切需求。

3) 城市风环境对人的健康舒适的重要性

城市风环境对人的健康舒适的影响主要体现在风机械舒适性、热舒适性及对空气污染的消减三个方面。

风机械舒适性是用来描述人在户外活动中由于风速过大所感受到风压迫而产生的不舒适感,具体表现在当风速较大时,正常行走会稍感困难或者衣帽被吹起、无法撑伞等,而当风速过大时,则可能会使人难以平衡走路甚至被吹倒或者吹落广告牌等建筑构件,使人的生命财产安全受到威胁,就会产生风害、风

安全的问题。

人的热舒适性方面,近年来我国南方很多城市都出现了大范围的高温天气,持续时间长、覆盖范围广、强度大、影响重,部分地区高温持续的时间和强度都突破了历史记录。持续的高温会影响正常的生活工作、损害健康,甚至危及生命,尤其是夏季户外公共空间的热舒适度,极大地影响着人们从事户外活动的积极性。在局部城市热环境当中,近地面风的大小是影响人热舒适性的重要要素之一^①,在城市夏季炎热的气候条件下,城市公共空间中应尽量避免产生大面积的静风区,应通过调整城市空间形态来使区域风速在大部分时间内处于一定范围内,以缓减夏季户外的炎热,提高热舒适性。

对空气污染的消减方面,城市化进程带来的城市空气环境的污染,尤其是中国很多城市所面临的雾霾问题,不仅会降低能见度,影响人们的日常出行,而且直接导致环境空气质量的下降,严重危害人们的身体健康。其中 PM_{2.5} 由于粒径小且富含大量的有毒、有害物质且在大气中停留时间长、输送距离远,因而对人体健康影响更大,将会引起呼吸系统、心血管系统、神经系统的疾病甚至致癌^②。城市雾霾的形成不仅仅是城市生活生产、汽车尾气排放等污染源单方面所导致的,同时城市静风、无风以及涡流等风环境问题也导致污染物不能够迅速地扩散,形成高浓度的污染,严重影响局部地区的空间质量。同时,2003 年我国爆发的 SARS(严重急性呼吸道综合症)也使人们开始重视通过城市设计来优化区域空间的通风效益,以达到抑制类似疾病传播的目的。

综合来看,风环境对于城市公共空间的舒适性以及人的健康具有重要的意义,城市内部的通风透气是提高城市空间品质和人们生活质量的迫切需求。

4) 城市中心区风环境研究的缺失

迄今为止的城市风环境研究在研究的尺度上基本呈现了两端分布的状态,多数为宏观尺度或小尺度的研究。宏观尺度上主要表现在研究城市下垫面性质与形态对城市局地风环境的影响,以此来形成宏观的城市规划引导与优

^① ASHRAE. ASHRAE Handbook of Fundamentals[M]. Mar Lin Book Company, 1974

^② 李文娟,等. 霾污染及其对人体健康的影响[C]//第 31 届中国气象学会年会 S11 第三届城市气象论坛——城市与环境气象,2014

化设计措施,诸如城市气候图、城市气候规划建议图^①、城市通风道、城市“风墙效应”^②以及城市空气污染的消解等相关内容。而在小尺度上,研究对象则多集中在中高层建筑群体规划布局的室外风环境模拟研究,高层建筑室外风环境特性的研究,以及城市街道峡谷内风环境特征的研究上,尺度一般在居住区、局部的商业商务高层建筑群规模内。

而对于城市中心区这样成片的高密高容区域风环境的研究相对较少。随着我国城市的发展,城市中心区的集聚形态特征会愈加显著,作为城市公共活动的核心区域,其风环境的状况是不容忽视的,基于现有的宏观尺度和小尺度的风环境研究均难以全面真实地来反映。

鉴于此,选择城市中心区风环境研究这一课题,并以南京新街口中心区为例,通过计算机数值模拟的技术手段,对新街口中心区夏季、冬季风环境的状况和分布特征进行分析与评价,同时,从规划的角度,将中心区空间形态与风环境进行耦合分析,分析总结其相关性以及改善城市中心区风环境的优化策略。

1.2 城市风环境研究的技术演进和方向发展

1.2.1 城市风环境研究的技术演进

城市风环境的分析技术源于对城市气候的研究。最早于1807年,英国化学家 Luke Howard 对伦敦城市热岛效应进行了观测研究,之后世界上许多国家陆续开始了城市气候的研究。至今,在建筑与城市规划领域,越来越重视对城市微气候的评价,已经发展到研究城市微气候的各个因素,通过实测或者利用计算机进行数值模拟和数学建模分析,研究与实际设计工作紧密联系。从城市风环境研究方法的角度来看,其技术演进大致可以分为实地测试、物理模拟以及计算机数值模拟三个阶段(表1-1)。这三个阶段在时间维度上并没有形成

① 任超,吴恩融.城市环境气候图——可持续城市规划辅助信息系统工具[M].北京:中国建筑工业出版社,2012

② Man Sing Wong, Janet Nichol, Edward Ng. A study of the “wall effect” caused by proliferation of high-rise buildings using GIS techniques[J]. Landscape and Urban Planning, 2011(102):245-253

明显的技术断代,主要是由于世界各地开始城市风环境研究的年代存在差异,同时各方法在不同尺度上以及不同研究内容中应用的便捷性与实用性也不同,三种研究方法在现今的研究当中均都有所体现。

表 1-1 城市风环境研究方法

研究方法	研究阶段	优 势	劣 势
实地测试	1930 年代起,不连续	测量简单,准确收集一手资料	测试环境难以控制,长期数据观测较难
物理模拟	1960 年代起,不连续	相对前者更加便于实际操作	实验设备要求高,费用高,耗时较长
计算机数值模拟	1990 年代至今,较为连续	实际操作应用广泛,成本低,计算结果更直观详细	大尺度模拟相对较复杂,现有软件未能与 ArcGis 形成对接

* 资料来源:作者绘制

1) 实地测试法

城市风环境的实地测试始于对城市热岛效应的研究。1930 年代,欧洲的研究者们通过观测发现了城市夜间存在由市郊向市中心辐合的风场,该风场即为热岛环流。此后一直到 1950 年代,欧美国家都广泛采用移动观测技术来描述城市风、温的状况,得出了城市热岛的空间分布图。

随着对单独的城市风环境特性研究的展开,1970 年代开始逐渐将实地测试法应用到单体建筑及建筑群风环境特征的研究当中。其中较早的是 1975 年 Wiren B G^① 对连接两个单体建筑的过道中心线上的平均风速的实测研究,该研究还停留在简单形体和简单排列的基础阶段。接着,1985 年 Stathopoulos T^② 等人对不同高度和不同风向下的建筑物过道的风速进行了实测研究,通过分析发现了其风场的湍流分布特征。1986 年,Shuzo M 等人为了评估东京市区某高层建筑周围的风环境状况,在其建筑周围布置观测点,并长期监测其风环

① Wiren B G. A wind tunnel study of wind velocities in passages between and through buildings [C]//Proceedings of the 4th International Conference on Wind Effects on Buildings and Structures, (Heathrow 1975), 1975: 465-475

② Stathopoulos T, Storms R. Wind environmental conditions in passages between buildings [J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 1986, 24(1): 19-31

境状况,对高层建筑的周边风场特征进行了基础研究^①。

1995年,To和Lam^②通过设置在建筑物行人高度处的光纤探针来得到了水平风速和风向角的统计记录,对不同风向下,成排高层建筑物周边行人高度处的风环境进行了评估。2008年日本学者Tetsu K、Masao M、Yoshihide T^③等则进一步研究了住宅小区建筑密度、布局与其风速的相关关系,以日本的22个不同密度、容积率的住宅区为研究案例,对16个风向下行人高度处的风速进行采集,利用风速比和风频分布图,比较了低层、多层、高层住区的风环境的差异。

由于城市风环境受气象条件和实际地理环境影响而很难控制,容易受到监测技术手段的限制,而且长期观测数据具有一定的困难,因此很难应用到更大规模的城市风环境研究当中,因而现今城市风环境研究中往往把实地测试法测得的风速资料作为实际研究中风环境参数的参考。

2) 物理模拟法

城市风环境的物理模拟法主要是指边界层风洞实验方法,结合常规气象资料来模拟研究城市风环境。其测量方法主要可以分为两种,一为“点”的测量,即对实验对象的模拟流场特性进行逐点测量、分析;二为“面”的测量,即对模拟流场的分布特征提供整体性和连续性信息。前者主要通过压力探针和全向风速计测量,后者则通过油纹红外线热感应图像以及刷蚀技术来描绘相对风速大小的区域和轮廓^④。从1960年代起,风洞实验逐渐被引入到城市风环境的研究当中,使得对建筑周边气流运动的准确模拟成为可能,为风环境的研究提供了新的技术方法,陆续得到了广泛的应用。

① Shuzo M, Yoshiteru I, Yasushige M. Study on acceptable criteria for assessing wind environment at ground level based on resident' diaries[J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 1986, 24(1): 1-18

② To A P, Lam K M. Evaluation of Pedestrian-level wind environment around a row of tall buildings using a quartile-level wind speed descriptor [J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 1995, 54\55: 527-541

③ Tetsu K, Masao M, Yoshihide T, et al. Wind tunnel tests on the relationship between building density and pedestrian-level wind velocity: Development of guidelines for realizing a acceptable wind environment in residential neighborhoods [J]. Building and Environment, 2008, 43(10): 1699-1708

④ 王宝民,刘辉志,桑建国,等.北京商务中心风环境风洞实验研究[J].气候与环境研究,2005, 9(4): 631-640