

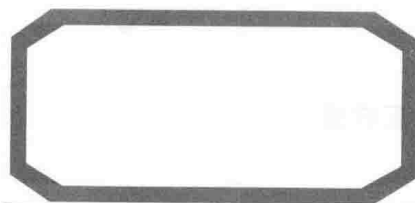


# 微气候适应性城市

## 北京城市街区绿地格局 优化方法

杨鑫 段佳佳//著

中国建筑工业出版社



大学RL ncut研究站学术论文系列

# 微气候适应性城市

北京城市街区绿地格局优化方法

杨 鑫 段佳佳 著



中国建筑工业出版社

## 图书在版编目 ( CIP ) 数据

微气候适应性城市 北京城市街区绿地格局优化方法 / 杨鑫,  
段佳佳著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2017.11

ISBN 978-7-112-21170-8

I. ①微… II. ①杨… ②段… III. ①城市绿地-绿化规划-研究-北京 IV. ①TU985.21

中国版本图书馆CIP数据核字 (2017) 第216063号

本书围绕绿地格局优化对北京城市街区绿地格局的微气候进行了分析研究, 从夏季微气候环境的角度考虑, 对五个街区进行了实测并运用ENVI-MET城市微气候模拟软件进行了验证分析。对三种典型的格局类型的微气候进行模拟, 着重分析其温度、相对湿度、风速。通过对各种格局类型的模拟结果进行分析, 结合横向、纵向的数据与模拟图像对比, 最后结合模拟分析结果归纳出北京城市街区五种绿地格局的微气候环境特征, 针对不同绿地格局提出优化策略。本书适用于城市设计、建筑设计、园林景观设计、环境设计等相关专业从业者及在校师生阅读。

责任编辑: 唐 旭 张 华

责任校对: 李美娜 王 烨

## 微气候适应性城市

北京城市街区绿地格局优化方法

杨 鑫 段佳佳 著

\*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路9号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京锋尚制版有限公司制版

北京方嘉彩色印刷有限责任公司印刷

\*

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 8 $\frac{3}{4}$  字数: 201千字

2018年1月第一版 2018年1月第一次印刷

定价: 68.00元

ISBN 978-7-112-21170-8

(30815)

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 )

持续的城市扩张挑战了人类社会发展和生态保护需求，随之产生的城市生态问题受到关注。城市微气候是人类生存环境、城市生态环境的重要组成部分，适宜的规划与设计是改善微气候环境的基础。本书以城市夏季微气候为切入点，旨在通过梳理相关城市微气候与绿地格局的理论研究，结合北京城市街区绿地格局的调研、归纳整理，并运用城市微气候环境模拟软件ENVI-MET对微气候实测数据进行验证分析，探讨北京城市街区绿地格局对于城市夏季微气候的影响，研究不同的绿地格局类型分别营造的夏季微气候环境特征，最后运用软件模拟的方法提出基于微气候改善的绿地格局优化策略。

通过对北京城市街区的调研，整理归纳出北京城市街区绿地格局的类型与特征，并分析影响其形成的因素，得到五种街区绿地格局类型，即绿化围合型、建筑围合型、平行型、穿插型、混合散布型。实测与模拟表明，在北京的夏季7~8月，在同一时间处于不同绿地格局的各个测量点的温度变化有所差别，建筑围合型绿地受到建筑阴影的影响最大；平行型绿地、绿化围合型绿地对温度的上升有缓释作用；混合散布型绿地受到建筑阴影干扰最少，但温度上升的过程最快；穿插型绿地格局的降温程度优于平行型和绿化围合型。在相对湿度方面，绿化围合型绿地的相对湿度明显高于其他类型；建筑围合型受到建筑阴影、通风效果差的影响，不利于降温增湿；平行型绿地通风效果好，对于场地内的湿度稳定有影响；散布型、穿插型绿地由于绿地分散，不利于增湿。在风速方面，风速和建筑排布关联性强，建筑之间形成了速度相对平稳的峡谷风，建筑两端风速明显提高。

针对平行型、建筑围合型、绿化围合型三种典型绿地格局内部模式变化的模拟结果对比与分析，提出相应的街区绿地格局优化策略。在进行绿地格局的选择上，应选择通风好的绿地类型。建筑围合型的绿地，公共空间处于封闭状态，阻碍了风进入场地，致使场地内部通风效果差，因而造成了活动场地温度

过高、相对湿度低的现象。其次，场地要保证绿化量，绿化对于温湿环境、风环境的调节作用明显；结合夏季主导风向和建筑布局形式，合理设置步行道、铺装场地的位置，保证场地的通风，促进场地内部气流交换；最后，在场地北侧设置水体，水体能够弥补风速提高所流失的湿度，但水体自身也有温湿效应，距离活动场地应有一段距离，这样在调节场地整体微气候环境的同时，能够保证降低水体自身对环境所带来的湿热感。

前言

第一章 研究视角 ..... 1

1.1 气候与城市 ..... 2

1.2 街区绿地格局与微气候研究缘起 ..... 3

1.3 微气候视角下的城市街区绿地格局研究 ..... 4

1.4 国内外相关研究概况 ..... 6

第二章 模式解析

——北京城市街区绿地格局分类特征 ..... 11

2.1 北京城市街区绿地格局基础调查 ..... 12

2.2 详解北京典型城市街区绿地格局特征 ..... 14

2.3 北京城市街区绿地格局分类模式 ..... 26

第三章 测量实验

——北京城市街区绿地格局微气候监测 ..... 29

3.1 北京城市环境及气候特征 ..... 30

3.2 测量对象、工具与方法 ..... 32

3.3 永乐西社区夏季微气候实测结果分析 ..... 35

3.4 世纪城社区夏季微气候实测结果分析 ..... 42

3.5 中关村步行街区夏季微气候实测结果分析 ..... 48

3.6 金鱼池社区夏季微气候实测结果分析 ..... 54

3.7 西井社区夏季微气候实测结果分析 ..... 62

|                |    |
|----------------|----|
| 3.8 本章小结 ..... | 69 |
|----------------|----|

## 第四章 模拟验证

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| ——北京城市街区绿地格局微气候数值模拟分析 ..... | 70 |
|-----------------------------|----|

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 4.1 国内外城市微气候数值模拟应用概况 .....   | 71 |
| 4.2 ENVI-MET城市微气候软件 .....    | 72 |
| 4.3 街区绿地微气候数值模拟的实测验证分析 ..... | 74 |
| 4.4 模型精度与校验 .....            | 84 |
| 4.5 本章小结 .....               | 85 |

## 第五章 动态模拟

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| ——北京城市街区五种绿地格局夏季微气候环境特征 ..... | 86 |
|-------------------------------|----|

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 5.1 平行型绿地格局的微气候模拟分析 .....   | 87 |
| 5.2 建筑围合型绿地格局的微气候模拟分析 ..... | 89 |
| 5.3 绿化围合型绿地格局的微气候模拟分析 ..... | 91 |
| 5.4 穿插型绿地格局的微气候模拟分析 .....   | 93 |
| 5.5 混合散布型绿地格局的微气候模拟分析 ..... | 95 |
| 5.6 五种绿地格局夏季微气候环境特征总结 ..... | 97 |

## 第六章 格局优化

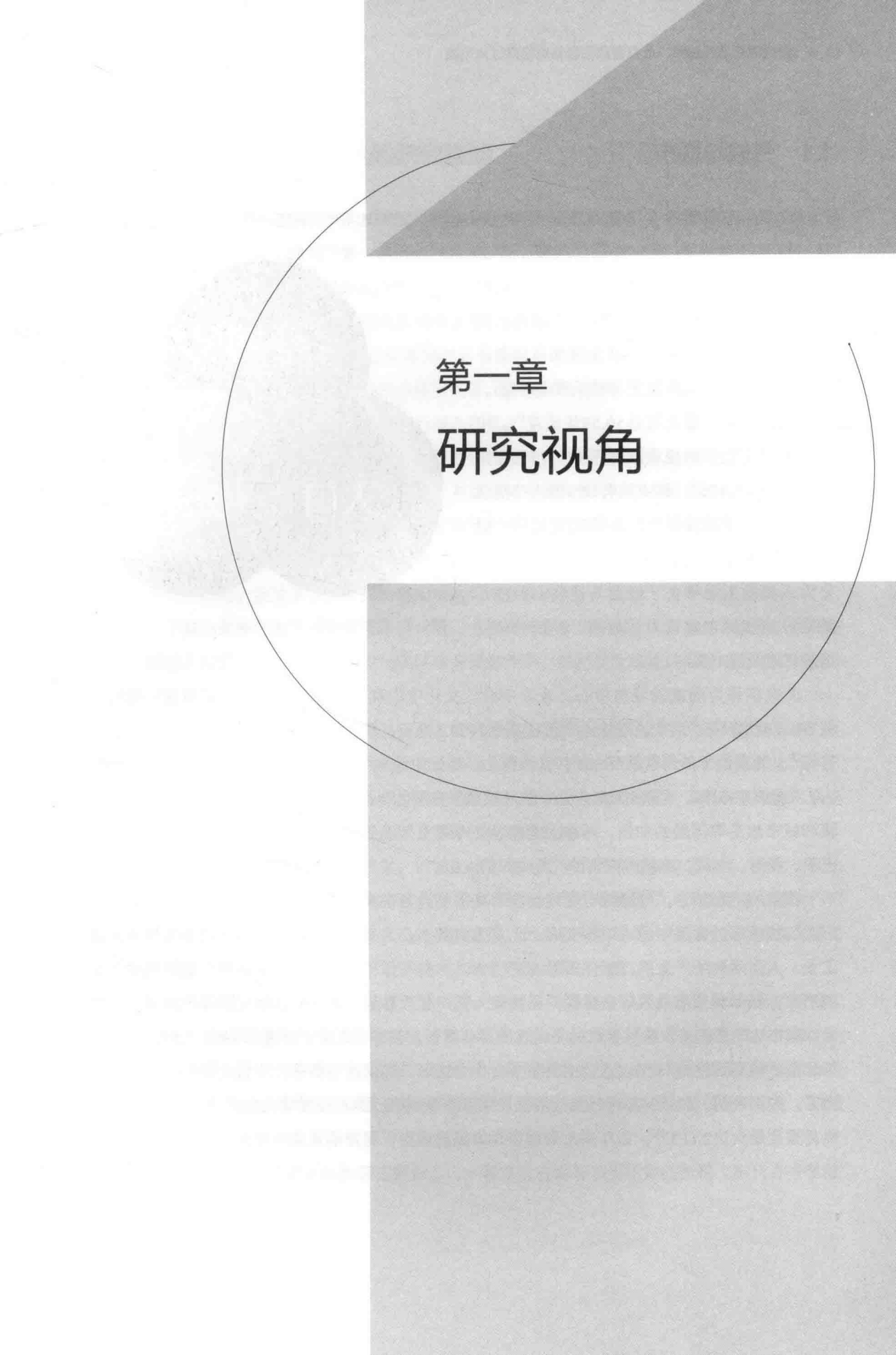
|                               |    |
|-------------------------------|----|
| ——微气候改善视角下的北京城市街区绿地格局建设 ..... | 99 |
|-------------------------------|----|

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 6.1 不同类型绿地格局微气候模拟优化结果分析 .....  | 100 |
| 6.2 不同绿地格局微气候舒适度优化研究 .....     | 105 |
| 6.3 基于夏季微气候改善的街区绿地格局优化建议 ..... | 111 |

|          |     |
|----------|-----|
| 附录 ..... | 115 |
|----------|-----|

|            |     |
|------------|-----|
| 参考文献 ..... | 126 |
|------------|-----|

|          |     |
|----------|-----|
| 后记 ..... | 132 |
|----------|-----|

The background features a minimalist design with a large, thin black circle centered on the page. The circle is partially filled with a light gray, textured pattern. The top-right and bottom-right corners of the page are filled with solid dark gray, creating a high-contrast, modern aesthetic.

# 第一章 研究视角

## 1.1 气候与城市

城市的不断建设会提高城市居民的生活品质，同时也带来弊端，形成不舒适的居住环境，甚至改变一座城市的局部气候。早在1818年，卢克·霍华德所撰写的《伦敦气候》中提到：英国首都伦敦的平均温度大约是在48.50华氏度，在受到人为废热排放量、生活生产需求和人口过密等情况的影响后，致使温度上升，最大可达50.50华氏度<sup>[1]</sup>。中国城市化正处于快速发展过程中，1950年中国人口约为5.45亿，其中只有12%的人口居住在城市，到了20世纪末，人口超过12亿，近36%的人口居住在城市区域<sup>[2]</sup>。尽管快速城市化为人类的生活带去了舒适与便利，但由于基础设施和城市建设方面缓慢，从而带来了诸多环境问题（图1-1）。



图1-1 城市化问题

北京市作为国家的城市中心、政治中心、文化中心和科技创新中心，同时也是一座超大城市。2015年末，北京的常住人口已经高达2170.5万人，早已超过人口规模控制量1800万人的目标<sup>[3]</sup>。北京位于华北平原西北部，背靠燕山，地处山地与平原的过渡带，东北、北、西三面环山，山地约占62%，平原占38%。北京的气候属于典型的半湿润半干旱季风性气候，由于全球变暖和城市热岛等问题的加剧，再加上北京地处冷暖空气的交汇地带，北京夏季降水量增大，而干旱、暴雨、大风、冰雹等灾害性气象也频繁发生。

城市的不断扩容，导致城市规划趋向于高密度高容积率的城市规划，因而导致产生了许多一、二线城市过度集中的人口和交通，北京尤为突出。人类生活的城市空间环境中充斥着大量工业、人为活动所产生的二氧化碳等温室气体，这些气体不仅会导致众多城市灾害性气候问题的产生，例如城市热岛效应、雾霾，还会使人们产生众多城市疾病。20世纪50年代以来，受到全球城市化问题影响，全球城市的平均温度持续增长，较半个世纪之前增长了0.5~5.5℃<sup>[5]</sup>。1989年北京的热岛强度为2.0℃以上，主要集中在中心城区、海淀区中南部、丰台北部和石景山部分地区，数据表明，北京36年来热岛效应呈现强度逐渐增强、面积逐渐增大的趋势，2000~2005年热岛强度最大达2.11℃<sup>[6]</sup>。近年来北京城市地区酷暑难耐，城市病发病率逐渐提高，并且年轻化趋势也在升高。舒适的城市街区环境在北京等一、二线城市显得越发重要。

## 1.2 街区绿地格局与微气候研究缘起

城市街区是构成城市的基本构成单元<sup>[8]</sup>，是人类生活、娱乐、活动的主要场所。城市绿地是城市下垫面中最为接近自然的元素，具有固碳释氧、降温增湿、滞尘减噪以及保护生物多样性等多种生态功能<sup>[1]</sup>。人们对于城市建设用地的功能需求不断增多，绿地如何利用有限的面积影响及改善城市街区微气候，是提高城市绿地在城市生态环境中生态效益的关键问题。随着人们对于居住环境要求的逐步提高，可持续的设计原则也在各个设计领域中得到了体现，但对于绿地的设计，不论是商业街区、居住街区还是混合使用街区，多数从经验和形式的角度出发，对于城市街区绿地格局与夏季微气候的关系并没有进行深入探索。

本书以城市夏季微气候为切入点，旨在通过梳理相关城市微气候与绿地格局的理论研究，结合北京城市街区绿地格局的调研、归纳整理，并运用城市微气候环境模拟软件ENVI-MET对微气候实测数据进行验证分析，探讨北京城市街区绿地格局对于城市夏季微气候的影响，研究不同的绿地格局类型分别营造的夏季微气候环境特征，最后运用软件模拟的方法提出基于微气候改善的绿地格局优化策略。经过本书的研究希望能够达到以下目的：

（1）了解北京城市街区的微气候环境状况，主要研究夏季热环境、风环境总体状况。在此基础上，探讨北京城市街区绿地在这种气候环境背景条件下，如何优化绿地的设计从而形成舒适的夏季微气候环境。

（2）了解北京城市街区绿地格局的特点，分析不同类型绿地格局形成的原因及影响因素，并对北京城市街区绿地格局进行类型划分，在此基础上进行ENVI-MET城市微气候数值模拟。

（3）通过对各种绿地格局类型的城市微气候数值模拟，结合实测温度、湿度等夏季微气候环境数据，科学验证总结不同绿地格局类型夏季微气候环境的特征。

（4）目前城市环境污染越来越严重，对特大城市绿化环境的要求也就越来越高，同时也就出现了众多设计问题，诸如像绿地结构的不合理、乔灌木比例不均衡等<sup>[84]</sup>，绿地生态功能的作用受到这些问题的影响，进而削弱了其生态作用的发挥。因此在有限的绿化空间内，如何结合城市街区的绿地格局并改善夏季微气候的营造成为本研究的重点解决问题。

通过对不同街区绿地格局的夏季微气候实测，得到不同绿地格局在北京夏季7~8月的温度、湿度、风速、太阳辐射等气候因素的变化特征，从而提出街区绿地对夏季微气候影响的作用机理，推动相关理论研究的发展。结合ENVI-MET城市微气候数值模拟的方法能够更科学地控制变量，直观地表达绿地格局与气候因素变化的相互关系。实测与模拟相结合，能够相互印证，打破单一方法研究的局限性，保证了实测与模拟结论规律的可靠性。

1.3 微气候视角下的城市街区绿地格局研究

1.3.1 城市街区绿地

街区这一词一般被认为是一个舶来词汇，是从英文的“block”直接翻译过来的<sup>[27]</sup>，本书对于城市街区的界定是街区是由城市道路、绿化、河流等边界划分的城市范围，具有一定的轮廓范围，就是组成城市与居民生活的基本单元<sup>[8][12]</sup>。城市街区绿地则是在街区内具有一定面域的绿化地块。

1.3.2 街区微气候

气候是由作用于一个区域范围内的太阳辐射、大气环流和地理环境长期作用的结果，是大气物理性能在长时间内显示出的环境特征。世界气象组织（WMO）规定，通过气象参数数据的统计分析确定一个区域内的气候特性的最短统计时间时长是30年<sup>[13]</sup>。按照大气统计平均状态的影响和空间尺度，可将气候分为大气候和微气候两大类。大气候指的是较大地区范围内各地所具有的带有共性特点的气候状况，微气候指的是小范围内因受各种局部因素的影响而形成的和大气候特点不同的气候，把介于微气候和地区气候中间的气候称为中气候（表1-1）<sup>[1][13]</sup>。

| 气候空间尺度表 |          |          | 表1-1  |
|---------|----------|----------|-------|
| 气候类型    | 气候的空间尺度  |          | 时间范围  |
|         | 水平范围（km） | 竖向范围（km） |       |
| 大气候     | 2000     | 3~10     | 1~6个月 |
| 中气候     | 500~1000 | 1~3      | 1~6个月 |
| 局地气候    | 1~10     | 0.01~1   | 1~6个月 |
| 微气候     | 0.1~1    | 0.01     | 24小时  |

微气候（Microclimate）是指由下垫面的某些构造特征所引起的近地面大气中和上层土壤中的小范围气候<sup>[14]</sup>。L. J. Batten认为微气候的范围主要是指从地面到10~100m高度空间内的气候<sup>[14]</sup>，而这一层级正是人们生活和植物生长的尺度范围。城市微气候是包括温度、水、大气、光和热等气象要素的气候环境，是众多物种包括人类生存的主要空间，城市微气候的变化会对人类的生活、生产等行为产生深远的影响<sup>[15]</sup>（图1-2）。

无论是建筑学者、景观设计师还是气候学专家，在关注城市气候及其影响因素时，阐明影响城市气候的维度涉及水平和垂直两个空间尺度。水平方向上，扬·盖尔将城市区域划分为三种气

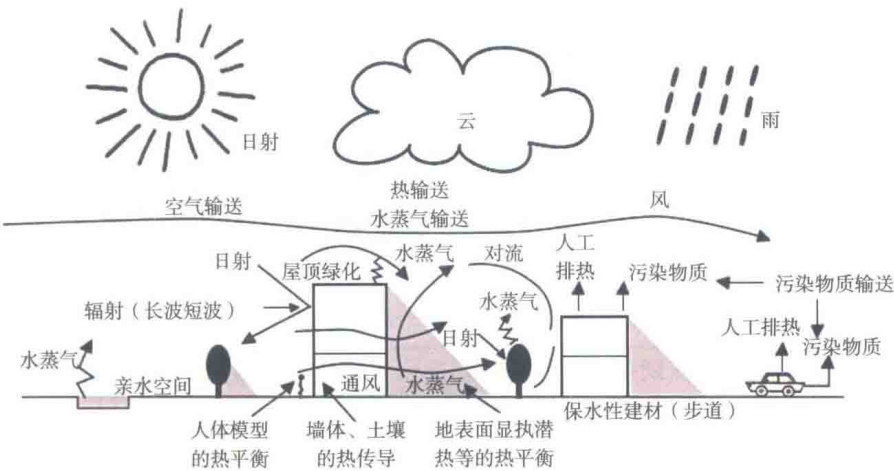


图1-2 微气候空间尺度<sup>[13]</sup>

候尺度，关注建筑物、树、道路、街道等设计元素对气候的影响；关注地形对气候影响的地方尺度；关注整个城市地区的天气和气候的宏观尺度<sup>[16][17]</sup>。垂直方向上，Oke T R根据气温、湿度条件与周边空间的差异，将城市大气环境分为城市冠层（其气候变化受到周边建筑表层材料影响）和城市边界层。城市冠层指从地面到建筑物屋顶的大气，其边界范围随建筑高度的不同而变化<sup>[18]</sup>，也就是说空间布局上的差别对气候具有影响。

Ooka总结了城市气候的相关尺度，从人的个体尺度到整个城市区域<sup>[18]</sup>，本书所研究的空间范围是在城市冠层，研究尺度为街区尺度的范围，该层面会具有城市空间布局变化下的夏季微气候环境特征（图1-3）。

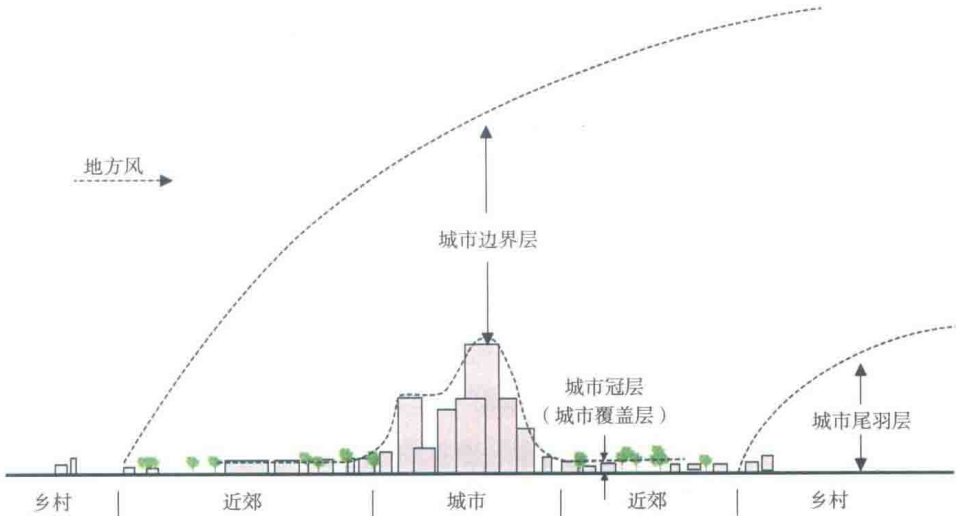


图1-3 街区尺度范围<sup>[16]</sup>

### 1.3.3 街区绿地格局

城市绿地作为城市复杂生态系统中一个重要的因素,不仅是人们生活、娱乐、休闲的场所,也是体现城市生物多样性的一个标志。景观设计中的各个要素所构成的景观格局对生态系统的平衡、优化环境和改善城市微气候等方面均有不同程度的影响,对城市微气候的调节具有重要的影响关联<sup>[19]</sup>。

城市绿地格局是指在城市全部绿地范围内由各个部分组成的稳定结合的一种空间表现形式,不同面积、形态、构成的斑块则在很大程度上影响和改善着绿地结构<sup>[20]</sup>。街区绿地格局可以看作是在城市绿地格局的基础上,街区尺度范围内的各个斑块、基质和廊道所构成的绿地结构。这里所说的绿地格局指的不仅是平面布局上,还有垂直空间。对于北京等超大城市来说,该尺度上的绿地格局优化研究对改善城市微气候有着重要作用<sup>[21][22]</sup>。

## 1.4 国内外相关研究概况

### 1.4.1 城市街区及类型

苏伟忠、王发曾、杨英宝在城市开放空间的空间结构研究中提到,根据英国的特莫在伦敦长期规划研究总结出六种开放空间模式(图1-4),分别是:单一的中心空间、分散的空间、不同等级规模的空间、典型的绿地绿带空间、相互连接的公园体系、可供城市步行空间的网络<sup>[23][24]</sup>。

邵大伟在其《城市开放空间格局演变、机制及优化》中所归纳到开放空间还可以按照城市空间形态、用地类型和人类影响程度来划分类型。开放空间的分类可以分为点状开放空间、带状开放空间、块状开放空间、网络状开放空间(图1-5)。点状开放空间主要是一些小型开放空间,比如面积较小的广场、街头绿地等;带状空间可以归纳为带状公园、沿河绿带、道路绿地、环湖绿地等形式的绿地;块状开放空间是指城市广场、公园等面积较大的空间形式;网络状开放空间是指由各类空间相互连接起来的形式<sup>[25]</sup>。

肖亮在《城市街区尺度研究》中提到空间是由建筑实体围合而成,而我们所研究街区的构成元素,就是街区内所有建筑实体的构成。因此街区建筑实体组合的方式主要有以下五种,分别是:密排式、行列式、周边式、点群式、混合式<sup>[8]</sup>(图1-6)。

刘术国在他所研究的大连典型城市街谷热环境与形态设计中就引用了20世纪70年代英国剑桥大学对英国城市所做的城市建筑空间几何形态归纳进行了研究,这一形态特征成为欧洲等典型城市在研究城市开放空间特征的基本原型<sup>[25]</sup>(图1-7)。

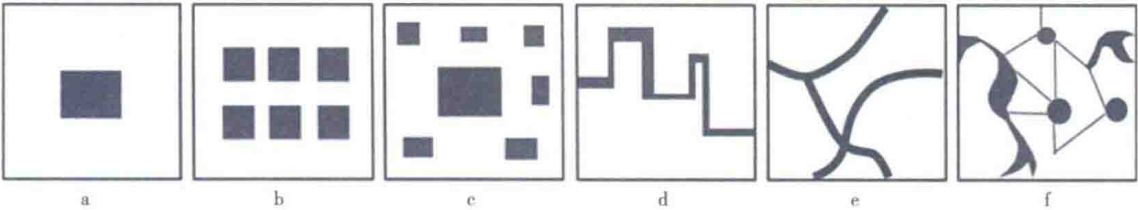


图1-4 开放空间模式<sup>[87]</sup>

a. 单一中心空间 b. 分散空间 c. 不同等级规模的空间 d. 典型绿地绿带空间 e. 相互连接公园体系 f. 城市步行空间网络

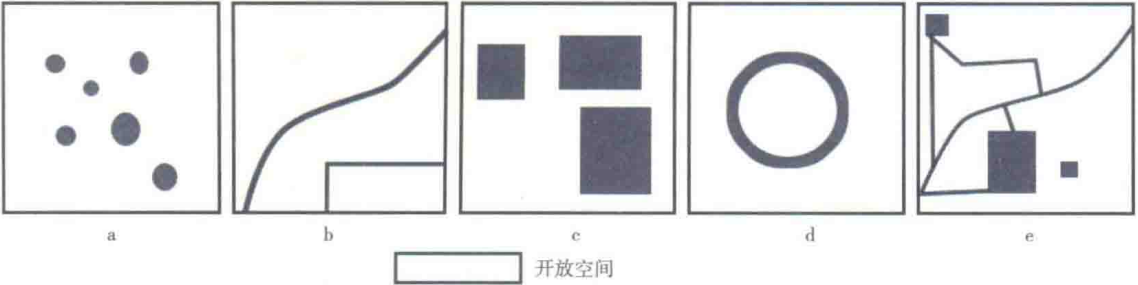


图1-5 开放空间在城市中的形态类型<sup>[25]</sup>

a. 点状开放空间 b. 带状开放空间 c. 块状开放空间 d. 块状开放空间 e. 网状开放空间

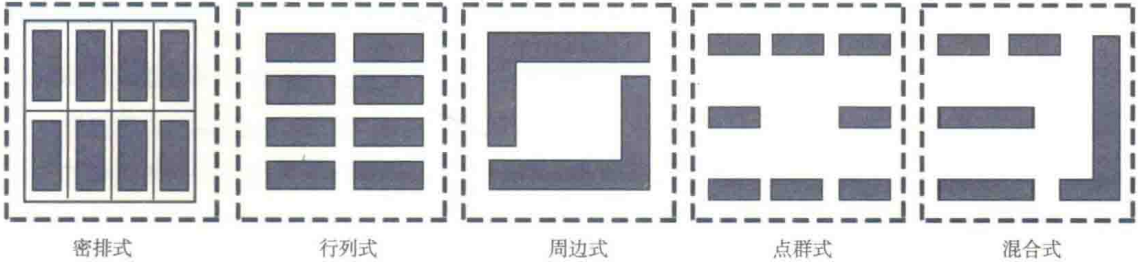


图1-6 街区建筑实体组合方式<sup>[8]</sup>

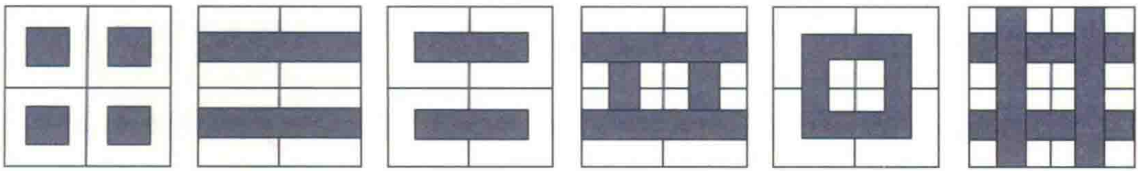


图1-7 城市建筑几何形态<sup>[25]</sup>

王振在其博士论文《夏热冬冷地区基于城市微气候的街区层峡气候适应性设计策略研究》中则明确归纳总结出了城市街区内的基本布局大致分为四种类型，分别是：行列式、围合式、点式与混合式<sup>[26]</sup>（图1-8）。王卫红则在《城市型居住街区空间布局研究》中归纳出城市开放空间的三种典型空间结构类型，分别是带状连接式布局、中心放射式布局、网格状街区式布局<sup>[27]</sup>。通过对上述文章内所提到的城市开放空间布局形态与街区布局形态的归纳总结，对之后北京城市街区绿地格局的分类具有参考性意义。

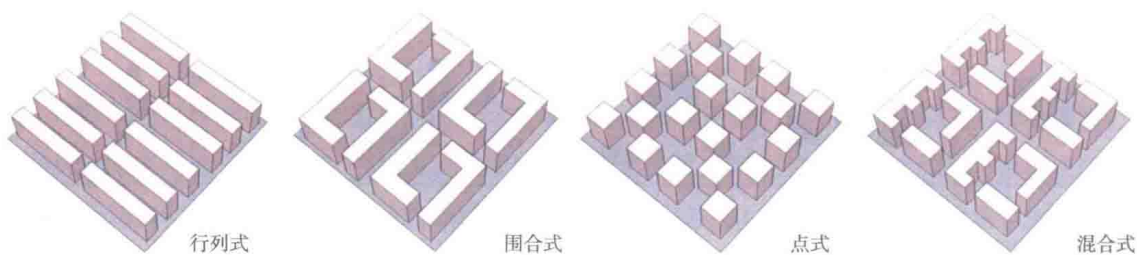


图1-8 城市街区内基本布局类型<sup>[26]</sup>

1.4.2 绿地格局与微气候相关研究

绿地格局是指不同形态特征的景观元素，在一定空间范围内的类型、数目及空间分布和配置，不同的绿地格局是各种景观生态过程中不同尺度上作用的结果<sup>[28]</sup>。城市绿地是研究城市绿地景观结构和功能的基础，而不同的绿地格局对景观的作用、功能差别很大，因而对于绿地格局的量化研究有助于对城市景观格局优劣进行评估<sup>[29]</sup>。目前对于城市景观格局的研究多集中在指数研究、结合GIS或ENVI等地理信息技术所做的可达性、连通性研究。

目前对于绿地减缓热岛效应的相关研究显示，例如Givoni所研究的以色列海法的Biniamin公园对其外围20~50m之间的空气温度具有明显的冷却作用，也就是说绿地的面积越大，对温度的影响作用越明显，这说明公园绿地对城市热岛现象具有缓解作用<sup>[30]</sup>。Jauregui在对墨西哥城的Chapultepee公园进行了绿地减缓热岛效应的研究中同样发现，公园在半径2km之内的空气温度影响明显<sup>[30]</sup>，由此我们看到城市绿地斑块对于空气温度的升高具有缓释作用，即绿地斑块面积越大，效果越好。

城市绿地微气候的相关研究可总结为针对不同尺度的研究<sup>[89]</sup>，包括宏观尺度的城市区域景观格局气候变化研究；中观尺度的城市片区内微气候研究；微观尺度的绿地植被水体等微气候调节作用研究。

宏观层面的城市绿地结构与微气候研究：由于近年来遥感反演地表参数的技术已经相对成熟，为研究较大范围绿地结构与微气候环境提供了有利的技术支持。岳文泽、钱乐祥等人通过遥感和GIS空间分析的方法研究发现，陆地表面温度和植被指数具有明显的相关性<sup>[31][32]</sup>。Simon、Jeffrey等人也得出相似结论。蔺银鼎等人利用绿地生态场原理研究了城市绿地空间结构的微气候差异<sup>[34]</sup>。徐丽等人研究了城市绿地景观格局指数与微气候之间的关联<sup>[35]</sup>。刘艳红等人利用计算机流体力学（CFD）数值模型的方法研究了城市绿地结构与城市热环境效应的关系<sup>[36]</sup>。冯海霞、程好好等人分别使用TM 遥感影像研究了城市绿地的降温效应。中观尺度的城市绿地微气候研究广泛，主要针对不同类型绿地研究。国内学者蔺银鼎、李建龙等人对城市绿地的微气候调节作用研究成果显著<sup>[37]</sup>。绝大部分研究都是基于传统实地观测方法对多个采样点进行同步采样，进而研究

绿地特征参数与绿地微气候环境效应的关系。刘滨谊、曹丹等人研究了不同类型的城市开放空间微气候环境与人体舒适度情况,并对上海不同类型的开放空间进行了基础调研和比较<sup>[38]</sup>。

除此之外,关于城市绿地定点研究也取得了大量成果。Wong N等人拍摄了新加坡国立大学的卫星图片,并对其进行实测数据,再结合计算机模拟等方法研究了绿化对微气候的影响<sup>[39]</sup>。在首尔CBD的一个公园, Lee SH等人研究了公园绿地对CBD街区的微气候环境影响,结合选取的固定测量点,对比流动测量点数据的方法发现其对街区的影响受到不同尺度景观要素的影响<sup>[40]</sup>。Chen Y等人发现公园绿地具有明显的降温作用,于是分别测量了新加坡武吉巴督天然公园和金文泰森林公园及其周边的空气温度与湿度,比较其变化特征<sup>[41]</sup>。

综上所述,在研究对象上,宏观城市尺度下的气候研究是过去研究的重点范围。而近年来,研究重点已从城市区域热环境转为局部热环境。研究方法在宏观尺度上主要是气候区遥感技术、GIS平台技术相结合等,对尺度较小的研究主要采用定点测量、计算机数值模拟方法。关于城市绿地微气候中观尺度的研究更多关注不同类型绿地的微气候影响,但缺少对街区尺度绿地格局参数对微气候调节作用的深入研究。绿地格局参数与微气候关联的研究,关注城市街区尺度内的绿地分布、绿地结构、绿地构成和绿地功能等,与宏观层面研究相比能够更具体地得到绿地改造方案。

### 1.4.3 ENVI-MET与微气候模拟相关研究

国际上关于室外微气候模拟的相关研究早在20世纪70年代就已经开始。20世纪70年代美国就有学者利用计算机模拟技术<sup>[42]</sup>、CFD技术对城市室外微气候、风环境<sup>[43]</sup>进行了研究比较;美国卡耐基梅隆大学建筑性能研究中心、德国弗莱堡大学均进行了室外热环境的计算机数值模拟,并与实测相对比研究<sup>[44]</sup>;悉尼大学建筑与环境学院的Trevo Lee等人、新南威尔士大学的可持续建筑环境中心,都研究了在改善建筑能源有效运用上改善城市设计环境的研究<sup>[45]</sup>;日本东京大学对城市环境的资源保护方面的做了相关的模拟实测研究<sup>[46]</sup>;新加坡国立大学N.HONG等则通过CFD技术模拟改变城市街道和建筑群几何尺度对城市热岛效应的影响<sup>[47]</sup>。

热环境的模拟也根据研究范围划分为不同尺度的模拟。包括城市(中尺度)模拟和街区、建筑尺度的模拟<sup>[48]</sup>。20世纪80年代初期,模拟热环境的尺度从大区域因素逐渐向研究城市内部因素发展,但由于信息技术发展有限,不能完全模拟出环境的所有条件,空气流动、地表水汽流通等作为可以模拟的选项。发展至20世纪90年代,计算机模拟技术发展更加细致和全面,便出现了众多可以应用于各种环境模拟的模型,比如CTTC(Cluster Thermal Time Constant)模型,该模型能够模拟计算环境中的空气温度,从建筑物自身的温度能效时间来排除外部干扰<sup>[48]</sup>。对每一次温度进行叠加分析,最后得到太阳辐射对建筑热能的影响。Bruse运用ENVI-MET模型,提出不同下垫面对热环境的影响,分析了不同尺度下下垫面与空气热湿交换作用,以及不同尺度下的环

境因素对热环境的影响。Murakami等在传统方法上对计算空气湍流的模型进行了修正补充,采用蒙特卡洛法来计算太阳辐射。Chen Q Y 等在设计建筑室外环境的时候,运用CFD计算机对建筑外围的风速进行模拟,因而在设计过程中着重考虑了风速、风向对热环境的影响<sup>[49]</sup>。

近年来,随着开放街区政策的提出,已有学者开始将关注点转移至高密度小区微气候环境营造上,并结合计算机模拟技术在规划设计中结合项目应用,优化设计。Yang等集合实测数据和模拟数据对比验证软件在湿热环境下的准确性,并举例说明利用该方法研究不同下垫面对微气候环境的影响来论证<sup>[50]</sup>。Yahia等通过比较两种街道界面形式对城市热环境的影响,发现不同的界面、景观要素对改善城市夏冬两季的热环境确实产生了作用。对于小区规划设计,汪光焘等人通过对比不同方案模拟结果得到温度、风速、污染物浓度分布等对方案进行评分,最终优化设计<sup>[89]</sup>。Lahme等则在ENVI-MET中在未设置准确的嵌套网格下,对其进行一定区域内的温度实测与模拟值比较,结果显示该软件在这种情况下仍具备一定的可靠性<sup>[50]</sup>。

目前国内学者还将ENVI-MET软件应用于研究绿地布局以及构成元素在不同空间形态下对微气候、建筑能耗的影响。例如,宋培豪在对学校两块不同绿地布局进行研究中发现,不同绿地布局下集中式绿地在降温、通风方面优于分散式绿地<sup>[13]</sup>,并结合ENVI-MET证明了该理论。绿地降温效应同样在Vanessa的研究中得到了验证,但他认为在微观尺度上,植物对小气候的影响比较明显,但对于宏观的城市尺度上改变不大<sup>[51]</sup>。还有学者研究了屋顶绿化对建筑耗能、人口密集方面的降温作用,例如秦文翠就研究了设置屋顶绿化后对住宅区微气候环境特征的影响,比较在街区尺度上不同建筑空间形态对温度、湿度、风速的影响作用。还有学者则认为不同的绿化模式降温效果不同,高于20m的屋顶绿化效果更为显著<sup>[10]</sup>。

目前主流的模拟软件主要是ENVI-MET城市微气候模拟软件、CFD基于流体力学模拟软件,在国内外研究领域中都得到了广泛应用。而ENVI-MET不同于CFD软件的优势在于其可以模拟较完整的植物模型,还可以实现对城市风环境的模拟并设定不同类型的污染源,不过在本书研究中未将污染源列入考虑范围,主要探讨绿地格局对城市街区绿地夏季微气候的影响,根据上述研究可以认为ENVI-MET的模拟对绿地格局方面的研究具有一定的可靠性。