

基于风热环境优化的 湿热地区城市设计要素评价研究

——以广州白云新城为例

张雅妮 黄甥柑 殷实 肖毅强

提 要 随着城市高密度空间的迅速增加,湿热地区的环境问题日趋严重。鉴于常规城市设计的物理环境舒适度评价多针对微环境与部分城市空间形态要素之间关系,为了建立更加系统全面的评价方法以优化湿热地区的风热环境,研究拓展常规物理环境要素,将湿热地区与风热环境紧密关联的多个指标纳入评价体系,从“基础层、空间层、活动层”展开定性评价与定量模拟,建立“城市设计要素系统评价——要素网络微气候模拟——综合评价”的系统评价方法;以广州白云新城城市设计为例,结合微气候预测模拟实证,研究有利于优化城市风热环境的评价方法,作为城市设计优化和决策的理论依据。

关键词 城市设计;要素;风热环境;微气候模拟;评价;广州

A Study of Urban Design Assessment in Hot and Humid Area Based on Optimization of Wind and Thermal Environment: The Case Study of Baiyun New Town, Guangzhou

ZHANG Yani, HUANG Shenggan, YIN Shi, XIAO Yiqiang

Abstract: As urban density grows rapidly, environmental issues have become increasingly prioritized, especially in hot and humid areas. It is necessary to find a comprehensive approach to urban design assessment, given that the conventional method is mainly concerned with issues at the micro level. This study expands the spectrum of conventional assessment elements, incorporates multiple indicators into the assessment framework, adopts a mixed analysis that combines qualitative and quantitative methods at the basic level, the spatial level and the activity level and develops a comprehensive assessment framework from evaluation of the urban design elements to the simulation of microclimate and to the comprehensive assessment. Finally, taking the Baiyun New Town as an example, the study explores through microclimate simulation the assessment method in terms of optimizing the wind and thermal environment. As a theoretical basis for urban design optimization and decision-making, the research will contribute to the creation of ecologically livable urban environment.

Keywords: urban design; elements; wind and thermal environment; microclimate simulation; assessment framework; Guangzhou

中图分类号 TU984 文献标识码 A
DOI 10.16361/j.upf.201903014
文章编号 1000-3363(2019)03-0109-10

作者简介

张雅妮,华南理工大学建筑学院博士生,广州市城市规划勘测设计研究院政府规划编制部,副主任,高级工程师,
56879416@qq.com

黄甥柑,广州市城市规划勘测设计研究院,硕士,助理规划师

殷实,华南理工大学建筑学院,博士研究生
肖毅强,华南理工大学建筑学院副院长,亚热带建筑科学国家重点实验室建筑设计科学实验中心主任,教授,博导,通讯作者, xiaoyqgz@163.com

随着城市环境问题日趋严重和公众对高品质城市空间需求的增长,创建宜居的城市空间成为了当今城市建设和发展的重要主题。而城市设计是城市建设的前瞻性、决策性工作,是创建宜居城市空间的重要保障。因而,探讨科学的、导向宜居感知的城市设计评价方法尤为必要。当前的城市设计分析评价主要有视觉、认知、功能等导向的评价方法(牛强,等,2017;钮心毅,等,2013;李俊利,1996)。其中,在功能导向方面,针对物理环境舒适度的评价受到国内外广泛重视,主要集中在中小尺度的街区层面分析微环境与城市空间形态之间的关系(邬尚霖,等,2015;Toparlar, 2015; Blocken, et al, 2012)。此评价属跨学科的研究,尚未系统性规范城市设计中的物理环境要素,建立与之紧密结合的评价体系,并与当前城市设计工作体系紧密对接。

根据我国建筑气候区域划定,岭南地区属于湿热的“夏热冬暖”地区^①,是当前城镇化、人口密度增速最快的地区之一,通风散热难度大,城市热岛问题严重加剧,“通风、散热”是最适合湿热地区的被动式设计策略,可以极大地改善城市的热舒适环境(任超,等,2014)。研究湿热地区的风热环境优化的城市设计评价方法对于评价基于风热环境的城市设计要素优化具有典型意义。本文以广州白云新城城市设计为例展开

研究，建立在城市设计工作中优化城市风热环境的评价机制。

1 “要素导向”的评价优化

1.1 拓展物理环境要素

当前针对城市物理环境舒适度的评价大多针对城市街区尺度展开，关注容积率、建筑密度等街道尺度的部分形态学和物理环境指标。而物理环境舒适度是受到城市自然因素和人工环境因素共同作用下形成的结果，城市空间格局与自然要素之间的关系、建筑空间形态、步行街区等都对空气流动、得热散热产生直接作用，且对城市冠层、街道峡层的风、热环境产生不同影响。城市设计要素，作为城市设计工作最典型的设计对象，很大程度上直接影响了上述物理环境的制定。城市设计要素的具体分类尚未形成统一规范，但总体上包括美国学者 Shirvani (Shirvani, 1981) 教授提出的八个方面要素：土地使用^②、建筑形态及其组合、开放空间、步行街区、交通与停车、支持活动、标志、保存与维护等，其中前四类与城市物理环境最为密切相关。因此研究以此为基础，根据湿热地区通风、散热的物理环境设计目标，从以下层面进行拓展（表1）：

（1）基础层：自然资源利用^②

城市自然资源环境的保护利用是影响地区微气候的基础物理环境要素，具体包括自然格局呼应、自然冷源保护、绿地水体比例等3方面。应最大程度利用城市自然格局，将“山、水、地形”视为立体多元的系统，将其分解为山峰、山谷、水、陆等多项要素，结合城市形态要素进行融合设计（张雅妮，等，2018a）；湿热地区的自然环境特点包括河涌、湖泊、丘陵、山地等，属于城市的天然冷源^③，其对于微气候的调节作用最为显著，有利于显著降低风温，应对其应予以最大程度的保留并组织其系统利用；且应在满足城市功能需求的前提下，最大化提高绿地、水体占的总体用地比例。

（2）空间层：建筑形态及其组合、开放空间

在建筑形态及其组合方面，从城市空间的立体、平面组合方式上分别拓展2方面的要素：迎风面的粗糙度（urban roughness）^④、建筑组团形式。当自然风通过城市上空时，高低不同的空间导致了风的径流出现复杂的状态，加之城市各垂直界面对风的作用使得风在城市街道层峡中产生了湍流（丁沃沃，等，2012），由此，要重点关注主要迎风面的

粗糙度^④；建筑组团形式是主要的空间影响要素，街区组团空间形态与通风散热效果具有显著关系；此外，在街区组团内的常用多项形态指标进行细化评价，如：天空开阔度（SVF）^⑤、街道高宽比（H/W）、街区密度等。

此外，开放空间作为城市设计特定的设计对象，分为主要开放空间和次要开放空间。开放空间是城市的“绿楔”和“呼吸”空间，要重点考虑“风道”（李鹏，等，2006）的组织。尤其针对湿热地区，要注意耦合夏季主要风向与开放空间的关系，将公共活动的空间与“风道”进行联合组织。

（3）活动层：步行街区

步行街区属于人活动的承载空间，其中与风热环境关联的要素包含以下3方面：自然条件、下垫面材质、遮荫程度。步行街区应选址于距离自然冷源比较接近的区域，或者避免集中布置于“静小风”街区；步行街区的下垫面也是决定人体舒适度的重要指标之一；遮荫条件也是湿热地区的重要风热关联要素。如笔者在广州市荔枝湾涌的改造前后实测和模拟对比中发现，乔木及建筑遮荫对人体热舒适度（PET）有显著影响，乔木覆盖郁闭度最大化是湿热地区步行街区设计的关键要素（张雅妮，等，2018b）。

表1 基于物理环境的城市设计要素拓展
Tab.1 Expansion of urban design elements based on physical environment

层级	要素	分类导向	细化要素
基础层	自然资源利用	空间格局	自然格局呼应
		土地格局	自然冷源保护
		土地使用	绿地水体比例
空间层	建筑及其形态组合	立体组合	迎风面粗糙度
		平面组合	建筑组团形式
		街区指标	街区尺度形态指标：天空开阔度（SVF）、街道高宽比（H/W）、街区密度、建筑朝向等
		开放空间	主要开放空间与走廊耦合、绿地与冷源布置等 次要开放空间绿地、下垫面布置、风向的关系等
活动层	步行街区	区位条件	自然条件
		布置条件	下垫面材质
		遮荫条件	遮荫程度

资料来源：作者自绘。

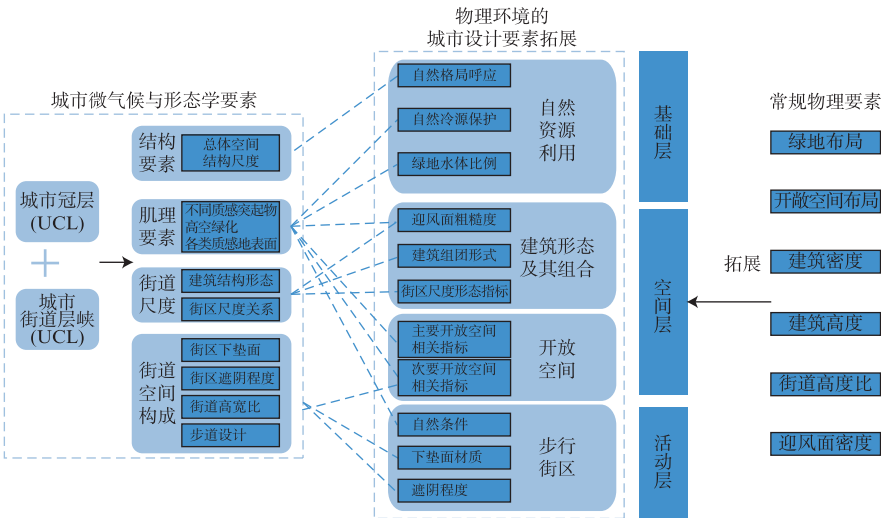


图1 要素拓展与微气候的关系

Fig.1 Relationship between elemental expansion and micro-climate
资料来源：作者自绘。

1.2 “要素系统评价+要素网络微气候模拟”的双向评价

紧扣城市设计拓展要素，超越常规的简单定性评价或微气候模拟的方法，采用“要素系统评价+要素网络微气候模拟”的双导向评价模式（图2），通过对各层次指标的评估来推导最终评价。主要流程如下：①要素系统评价：对于拓展后的城市设计要素进行分类评判、筛选，分别进行定性评价，制定评价标准，分别对要素进行打分，综合判定其对风热环境影响的优劣。②要素网络微气候模拟：采用微气候仿真模拟，建立针对城市设计要素的网络分析选点的科学评价方法，进行模拟分析比较。

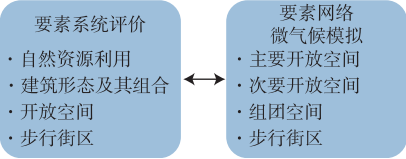


图2 “要素系统评价+要素网络微气候模拟”的双向评价模式
Fig.2 Bilateral evaluation model based on "element system evaluation and elemental network using microclimate simulation"
资料来源：作者自绘。

1.3 评价尺度

在城市规划领域，为了研究城市空间对气候环境的影响，不同学者对气候系统的尺度进行了划分。参考Orlanski (Orlanski, 1975)的天气系统尺度划分，将城市热环境的研究尺度划分为区域尺度、城市尺度、街区尺度和地块尺度4级。其中，2km²—20km²的街区尺度对应控制性详细规划、城市设计等。文章重点关注街区尺度的风热环境与城市设计要素的关联。

2 评价过程

按照风热环境优化下的“要素系统评价+要素网络微气候模拟+综合评价”三个步骤，分别进行评价（图3）。

2.1 要素系统评价

2.1.1 评价方法

评价采用当前国内外学者对于城市

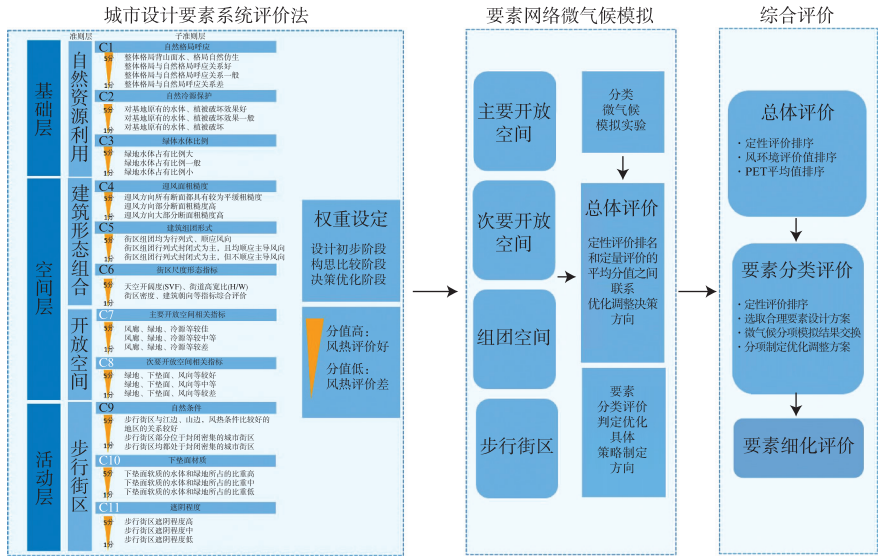


图3 评价过程
Fig.3 Evaluation process
资料来源：作者自绘。

表2 各设计阶段权重设定表

Tab.2 Weight for assessment elements at different design stages

要素	细化要素	设计前期	构思比较	决策优化
自然资源利用	自然格局呼应	30%—50%	20%—30%	20%—30%
	自然冷源保护			
	绿地水体比例			
建筑及其形态组合	迎风面粗糙度	20%—30%	30%—50%	20%—30%
	建筑组团形式			
	街区尺度形态指标：天空开闭度、街道高宽比、街区密度、建筑朝向等			
开放空间	主要开放空间与风廊耦合、绿地与冷源布置等	20%—30%	30%—50%	20%—30%
	次要开放空间绿地、下垫面布置、风向的关系等			
步行街区	自然条件	0	0—10%	20%—30%
	下垫面材质			
	遮阴程度			

资料来源：作者自绘。

设计方案常用的主观的定性评估法，即先根据评价对象的具体要求选定若干个评价项目，再制订出评价标准，对城市设计的各类要素进行权重赋值，专家按此评价标准给出各项目的评价分值。根据城市设计不同阶段评价的目的，进行权重设定：①设计前期阶段：加大自然资源利用要素的权重比例；②构思比较阶段：侧重空间要素权重设定，注重不同空间设计方案对于通风散热的引导；③决策优化阶段：平均分配各类要素权重，重点在于校验不同要素对风热环境优化的支撑作用（表2）。

2.1.2 评价内容

①自然资源利用评价：分析空间布局是否符合背山面水、自然生态等利于通风散热的原则，判断有无对于自然冷源要素进行合理保护利用，并且根据绿地与水体的总体比例关系，进行分类定性打分评价；②建筑形态及其组合评价：根据夏季迎风面的方向，划定主要剖面分析其粗糙度并选取平均值，评价其对于城市冠层风流动的影响，判定自然风流动的顺畅程度；针对湿热地区结果表明，绿地、点式高层、行列式多层、大体量公共建筑、围合式高层、高密度中高层、带裙楼高层等7种类型和顺序依

次对通风散热的结果, 以此分别判定各街区组团的空间组合方式是否有利于风热条件的优化; 在以上评价基础上, 针对街区尺度的建筑朝向、天空开阔度(SVF) 等进行评判, 最后进行分类统计和定性评价打分; ③开放空间评价: 针对主要、次要开放空间2个层级, 分别判定其与夏季主导风向的耦合的一致性, 分析其绿地、下垫面等情况, 进行分别评判打分; ④步行街区评价: 对步行街区进行2个层级分类, 分别判定其与夏季主导风向的一致性、下垫面处理的方式以及乔木覆盖率和闭郁度, 进行定性评价打分。

2.2 要素网络微气候模拟

2.2.1 模拟方法

针对湿热地区特点, 选用 ENVI-MET 软件进行模拟实验, 便于同时实现风、热耦合计算及热环境比较。通过对比风环境、人体热舒适温度的方法对环境舒适度进行综合性评价, 选用由霍庇(Höppe) 在慕尼黑人体热量平衡模型(Munich energy balance model for individuals, MEMI)基础上提出的生理等效温度PET (physiological equivalent temperature) (Hoppe P, 1999)。该指标不仅充分考虑了主要的气象参数、人为活动与衣着, 还包括了人的个体的参数对舒适度的影响, 并且皮肤温度等均由模型计算所得 (Lin, et al, 2008)。PET 直接使用摄氏度(℃) 作为单位, 便于直观比较。Lin and Matzarakis (Lin, et al, 2008) 对台湾地区人群进行研究, 定义亚洲湿热地区的PET舒适区间值为26℃—30℃。本文参照该标准热环境结果进行模拟实验, 重点在于比较PET的相对值高低。

2.2.2 要素网络选点和模拟实验

采用针对城市设计要素制定的网络选点模式, 紧扣空间设计结构, 分别位于主要开放空间、次要开放空间、各类型组团空间、步行街区等不同位置进行分类选点, 进行微气候模拟实验。

2.3 综合评价

将上述评价结果进行以下对比分析:

2.3.1 总体评价

将要素系统评价的分值顺序与要素网络微气候模拟的PET值和风速的平均数据进行综合判断, 查看两个结果之间的对应关系, 确定总体优化策略。

2.3.2 要素分类评价

通过对4类要素的评价分值分别校核其合理程度, 并结合微气候模拟评价结果, 推导各要素优化的策略制定 (图4)。

①自然资源评价: 将自然资源利用的要素评价结果与微气候模拟的各项校验的结果进行比较, 判断是否自然资源评分高的方案各项指标和舒适度相应更优; ②空间形态评价: 分别将空间形态各项指标的评价与微气候网络校验模拟的结果对应比较, 分别将迎风面粗糙度、主要开放空间、次要开放空间的要素评价得分与微气候模拟结果相比对, 选取优化结果的策略方向, 并判断空间形态调整的具体位置和方式。在此基础上确定空间形态基本格局, 再分别针对天空开阔度 (SVF)、街道高宽比(H/W)、街区密度、建筑朝向等详细指标分类评价; ③步行街区评价: 通过步行街区评价打分与其模拟结果进行对比, 优选步行街区布置方法和路线, 并且针对步行街区的选址、下垫面材质、

遮荫方式等具体内容制定优化策略。

2.3.3 要素细化评价

待以上2个评价阶段确定优选方案后, 针对优选方案的空间特征选取的模拟点的微气候模拟结果进行细化比选, 重点比对空间结构特征中的开放空间、组团内部、步行街区的选点不同的评价结果, 进行校验分析。

3 案例研究

3.1 背景介绍

白云新城位于广州市白云山西侧, 原为旧白云机场用地 (2005 年关闭), 研究范围东至白云山西侧山麓, 南至机场快速路, 西邻跑道西侧, 北至黄石东路, 总面积2.79km²。该地区是典型的湿热城市地区, 周边紧邻集中成片的城乡结合部建成区, 建筑密度高, 风、热条件较差, 亟待改善。2004年至今白云新城建设过程中历经了多轮城市设计方案 (图5), 选取不同阶段的3个方案进行评价研究。3个方案的毛容积率均为1.0左右, 总建设量均为2 800 000m²左右, 基本特征分别如下: 方案1为基于原机场跑道的南北轴线的空间关系形成传统的南北轴线型布局; 方案2为网络状结构

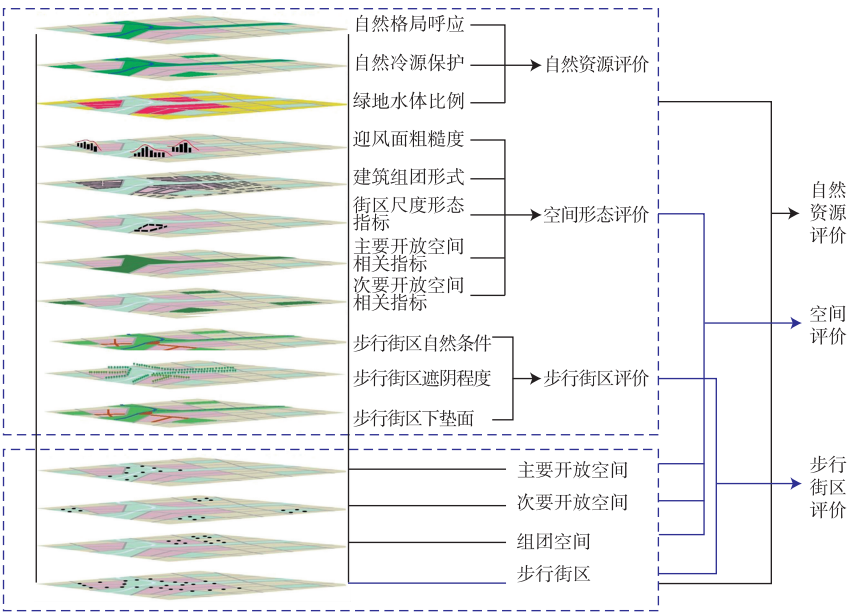


图4 要素分类评价示意图

Fig.4 Schematic diagram of factor classification evaluation
资料来源: 作者自绘。

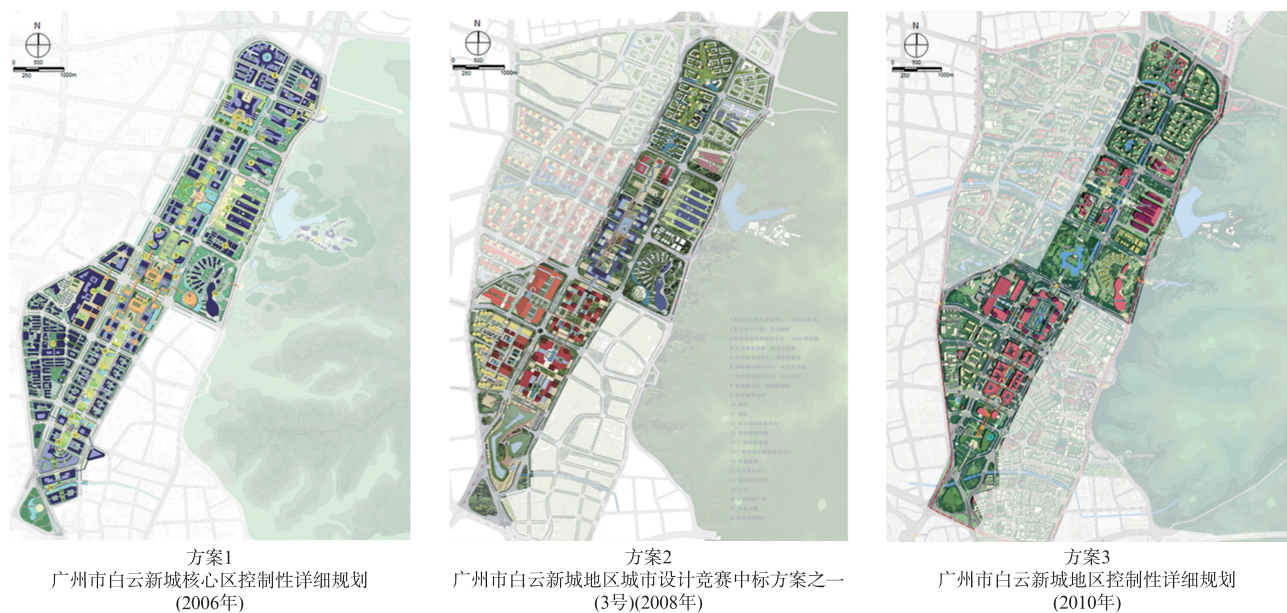


图5 3版白云新城的设计方案
Fig.5 The three different design version of Baiyun New Town
资料来源：广州市城市规划勘测设计研究院项目组。

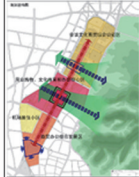
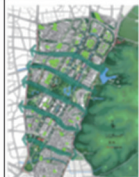
	自然格局呼应	自然冷源保护	绿地水体比例
方案1	 特点：南北轴线公园，两个点状开敞空间，网络式空间密集，开敞空间点状布局 评分：3分	 特点：对基地原有水体保留，局部结合城市广场水体放大 评分：3分	 特点：中央带状与点状绿地占比较小，85%以上为建设用地 评分：2分
方案2	 特点：密集网络式开敞空间，多条带状绿地 评分：2分	 特点：对原有水体大部分保留方式，但南部没有预留 评分：2分	 特点：80%以上为建设用地 评分：3分
方案3	 特点：三个大型公园，局部南北向轴线绿地，多条东西向绿廊。大开大合的格局，与山体绿化关系较好 评分：4分	 特点：对原有水体采用大部分保留方式，并且中间部分进行放大 评分：3分	 特点：中央带状与点状绿地占比较大，70%以上为建设用地 评分：4.5分

图6 自然资源利用评价过程
Fig.6 Evaluation process of natural resource utilization
资料来源：作者自绘。

	迎风面粗糙度	建筑组团形式
方案1	 特点：C剖面粗糙度最高，E剖面粗糙度最低，整体粗糙度中等 评分：3分	 特点：以高密度中低层建筑和大体量公共建筑为主，整体的建筑密度中等 评分：3分
方案2	 特点：D剖面粗糙度最高，A剖面粗糙度最低，整体粗糙度中等 评分：3分	 特点：以高密度中低层建筑为主，整体的建筑密度偏高 评分：3分
方案3	 特点：D剖面粗糙度最高，E剖面粗糙度最低，整体粗糙度较低 评分：4分	 特点：各类型建筑比例均等，开闢地的比例最高，整体的建筑密度偏低 评分：4.5分

图7 建筑形态及其组合评价过程
Fig.7 Evaluation process of architectural forms and their combination
资料来源：作者自绘。

的密集型布局结构；方案3采用“北高——中高——南低”的大开大合的空间布局。

3.2 要素系统评价

3.2.1 自然资源利用

在自然资源利用方面，重点判断3个方案的空间格局与白云山的呼应程度，

优先采用大开大合的自然仿生的空间布局，有利于生态环境的呼应以及山风的引入；由于研究范围有自西向东的河涌环绕基地流过，评价判断方案中是否对河涌进行了保护，有无利用其作为城市开放空间的冷源；在土地利用规划中计算绿地、水体的大致占比，最后对以上3个方面分别进行定性打分评价（图6）。

3.2.2 建筑形态及其组合评价

在建筑形态及其组合评价方面，以广州夏季盛行风向东南风为基础，在主要来风的白云山山谷处分别选取A—E等5个典型断面，判定其迎风面粗糙度；依照湿热地区街区组团的通风散热的优劣顺序分别为绿地、点式高层、行列式多层、大体量公共建筑、围合式高

	主要开放空间相关指标		次要开放空间相关指标	
方案1		特点：广场绿地、南北轴线的草地为主的轴线公园，缺乏东西向主要开放空间，与风向耦合性一般，且绿地、冷源布置较少 评分：3分		特点：较均匀分布 评分：3分
方案2		特点：广场绿地、南北轴线的草地为主，东西向绿地为辅的轴线公园，核心空间不突出，绿地、冷源布置较少 评分：3.5分		特点：南北分布不均，南部较为缺乏 评分：3分
方案3		特点：开敞空间主要集中在核心区以及南部，核心开敞空间较大，且与山体呼应，与风向耦合性较好，湖泊和植被较多 评分：4分		特点：主要位于核心区周围 评分：3分

图8 开放空间评价过程

Fig.8 Evaluation process of open space
资料来源：作者自绘。

	自然条件	下垫面材质	遮阴程度
方案1	 特点：带状街心公园、广场绿地、地铁上盖街广场；但缺乏东西向步行空间； 评分：3分	 特点：基本为广场空间以及宽度为60米的带状公园 评分：3分	 特点：广场空间和公园均匀分布，遮阴程度较好 评分：3.5分
方案2	 特点：带状街心公园、大型建筑组团之广场绿地；但缺乏主要的步行空间 评分：2.5分	 特点：基本为广场空间以及带状建筑之间的公共空间 评分：2.5分	 特点：广场空间为主，植被较少，遮阴程度较差 评分：2.5分
方案3	 特点：三个自然的大型公园步行街区，大量为风热环境较好的生态型公园； 评分：4.5分	 特点：大量为风热环境较好的生态型公园，包含水体和大量植被 评分：4.5分	 特点：主要为大量植被的生态型公园等步行空间，遮阴程度好 评分：4分

图9 步行街区评价过程

Fig.9 Evaluation process of pedestrian block
资料来源：作者自绘。

层、高密度中高层、带裙楼高层等种类型 and 顺序，进行分类判定评分；最后进行定性打分统计评价（考虑到研究针对街区层面整体方案设计，天空开阔度（SVF）等具体形态指标不在本案考虑）（图7）。

3.2.3 开放空间评价

分别针对3个方案的主要开放空间、次要开放空间2个层级，将其与夏季主导风的方向进行验证、校核，判定符合夏季主导风向标准的大体比例，判定开放空间体系的针对通风散热合理程度，并进行定性打分评价（图8）。

3.2.4 步行街区评价

将3个方案步行街区的空间进行分类分级，分别判定其与主要冷源白云山以及河涌水体的远近关系、风向的耦合的一致性、下垫面处理的方式、乔木灌木设置的方式等，对其进行打分评价（图9）。

3.2.5 评价计算与结果

按照2.1.1章节中的第（3）类权重设定进行评价，参照表2将各个权重进行均衡分布，四方面要素各取占比为25%，重在探索要素设定与风热环境模拟结果

之间规律。从计算结果来看（表3），方案3得分最高（3.97分），其次为方案1（2.95分）和方案2（2.77分），即3个方案的风热环境优劣程度分别为：方案3>方案1>方案2，且方案3的优势比较明显，方案2与方案3之间的分值差距较小。

3.3 要素网络微气候模拟

3.3.1 边界条件与选点模式

模拟区域取10 000m × 10 000m × 760m，建筑周边区域的网格精度取15m × 15m，总网格数为700多万个，仅将白云山、大型城市公园或宽度达50m以上的绿化隔离带定义为绿地（图10）。建立基于要素网络的选点模式，分别选取三类测点（图11）：A类（1—4）为次要开放空间，B类（5—8）为主要开放空间、C类（9—12）为街区组团内部（考虑到研究尺度较大，步行街区与开放空间系统基本重合，因此进行统一模拟统计）。选取全天最热的时段12:00—14:00，进行人体舒适度PET、风速模拟的模拟实验。

3.3.2 模拟结果

按照上述边界条件设定，进行人体舒适度PET、风速的模拟实验，结果如

表3 要素系统评价结果

Tab.3 Results of element evaluation

评价分类	准则层		子准则层		方案1	方案2	方案3	
			指标	权重				
定性评价	1	自然资源利用	1	自然格局呼应	0.083	3	2	4
			2	自然冷源保护	0.083	3	2	3
			3	绿地水体比例	0.083	2	3	4.5
		折算分				0.66	0.58	0.95
	2	建筑形态组合	4	迎风面粗糙度	0.125	3	3	4
			5	建筑组团形式	0.125	3	3	4.5
			折算分				0.75	0.75
	3	开放空间	6	主要开放空间相关指标	0.125	3	3.5	4
			7	次要开放空间相关指标	0.125	3	3	3
			折算分				0.75	0.81
	4	步行街区	8	自然条件	0.083	3	2.5	4.5
			9	下垫面材质	0.083	3	2.5	4.5
			10	遮阴程度	0.083	3.5	2.5	4
			折算分				0.79	0.62
折算分					2.95	2.77	3.97	

资料来源：作者自绘。

下图示(图12、图13、图14):

风环境:分别将3个方案的12个测点的风速进行求和计算,结果显示:方案1(2.2m/s)<方案2(2.56m/s)<方案3(2.71m/s)。明显可见,方案3的整体风环境较为舒适,方案3的整体风速比方案1高出23%,比方案2高出5.8%。

人体舒适度PET:将12个测点的实验数值进行求和计算,结果显示:方案1(135.71℃)<方案3(136.23℃)<方案2(137.37℃)。方案2模拟人体舒适度PET结果最差,其次分别为方案3、方案1,方案2的数值比方案1高出1.1℃以上,但是方案1、方案3之间结果差异较小。

3.4 综合评价

3.4.1 总体评价

(1) 对比分析

从上述两个阶段评价结果的排名来看,结果基本完全一致,均为方案1<方案2<方案3,尤其方案3的风速结果的优势最为明显;要素系统评价与微气候模拟网络校验的人体PET模拟的结果大体一致,均为方案2的PET舒适度最低,方案3、方案1的分数差异较小,要素系统评价与微气候模拟网络校验不完全吻合。

(2) 要素系统

鉴于以上2个评价阶段的结论大体

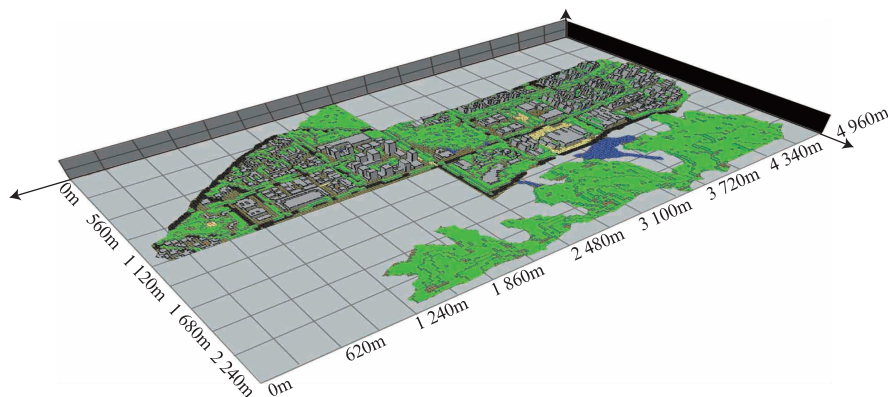


图10 物理模型示意图

Fig.10 Schematic diagram of physical model

资料来源:作者自绘。

一致,3个方案的风、热环境优劣程度分别为方案1<方案2<方案3,可见研究建立的要素系统评价方法具有一定科学性和可行性,可作为分析城市设计风热环境评价的基本框架。

(3) 要素系统与风、热环境的关联度

城市设计要素按照风热优化的原则进行设计,其与风环境的模拟结果关联度较为密切,要素评价分数越高,模拟结果中的风速将随之更高;在人体舒适度PET方面,两者之间具备一定关联度,但由于模拟结果与城市空间局部微环境有关,有待根据要素进行进一步校验。

3.4.2 分类要素评价

(1) 自然资源利用评价

方案3的自然资源利用要素方面得分最高为0.95分,该方案大开大合的格局与白云山的山体绿化互相呼应,对基地原有的水体和植被保留利用较好,绿地水体所占的面积比重也相对较高,因此总体评价最佳;其余2个方案空间形态较为密集,与自然山体欠缺联系,建设用地的比重也比方案3高;对比查看微气候模拟中,方案3中12个测点的风速、人体舒适度PET结果也明显最为舒适。

(2) 空间形态评价

● 建筑形态及其组合

在建筑形态及其组合方面的迎风面粗糙度评价方面,3个方案得分结果接近,仅方案3略佳,得分为4分,主要



图11 网络选点示意图

Fig.11 Schematic diagram of network selection

资料来源:作者自绘。

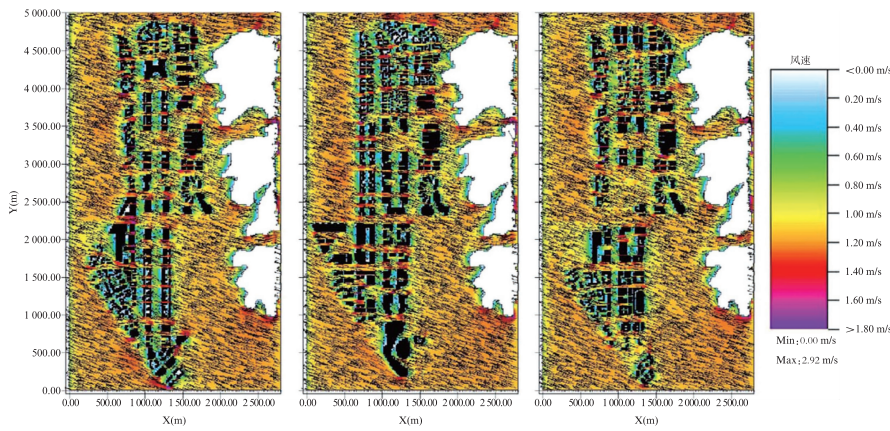


图 12 风环境模拟结果
Fig.12 Simulation results of wind environment
资料来源：作者自绘。

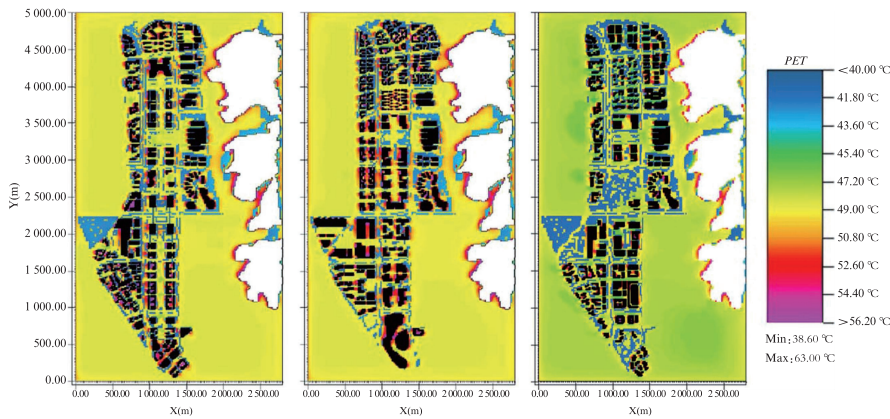


图 13 人体舒适度 (PET) 模拟结果
Fig.13 Simulation results of physiological equivalent temperature
资料来源：作者自绘。

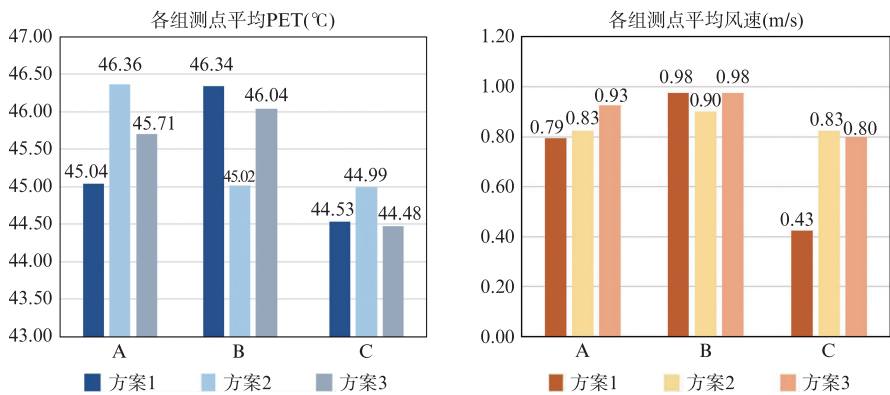


图 14 12个测点的平均PET(°C)和风速 (m/s)
Fig.14 Average PET (°C) and wind speed (m/s) for 12 selected points
资料来源：作者自绘。

由于方案3在建筑组团形式方面，开闢绿地、点式高层等利于通风散热的形式较多，因此建筑空间形态方面评价最佳，得分为4.5分，而方案2的密集组织空间比较多；对比查看微气候模拟，方

案3组团内模拟结果也是舒适的，且组团内模拟结果为平均PET44.48℃，风速为0.8m/s。且方案2平均PET高达44.99℃，高出其他2个方案1.5℃以上，与其较为密集的组团布局有关。

● 开放空间

在开放空间评价方面，方案3的主要开放空间比方案2、方案1的面积大，与山体能形成更好的呼应，因此方案3的开放空间体系评价最高为4分，但3个方案的次要开放空间评分基本一致；对比查看微气候模拟校验结果，主要开放空间的模拟结果中，方案1、方案3的风速最大，但方案2的PET最低，控制在45.02℃，比方案1、3低1℃以上，在次要开放空间方面，与要素系统评价结果一致，方案3风速仍然是最佳的，且PET结果也较为舒适，但方案2的舒适度较差，平均PET高达46.36℃，比另外两个方案高0.6℃以上。

针对以上情况，将3个方案的模拟结果进行进一步比对（图15），发现方案2的主要开放空间虽然周围建筑密集，但是由于高层密集造成遮阴程度较好，所以舒适度反而更佳。此外方案2的次要开放空间的用地材质基本为硬质铺装，造成了PET较高，舒适度较差的结果。

3.4.3 要素细化评价

以方案3为例，分别选取A、B、C类共12个点的风环境模拟结果和PET结果进行要素细化评价（图16）。从人体PET模拟结果来看：A类次要开放空间的测点2 PET最高，测点3 PET最低，相差近1℃，测点3方案最密集的高层区之中；B类主要开放空间中，测点3 PET最低，位于临湖的大型公园中；以C类组团内部的评价结果来看，测点1的PET最低；从风环境模拟结果来看：A类次要开放空间的测点2、测点4风速最大；B类主要开放空间测点2风速最大；C类组团空间内模拟结果中，风速大小的结果为点1>点2>点3，即为点式高层>多层>密集围合高层。

由此可见：①要素与PET。高层建筑的遮荫对于各个层级开放空间的PET起了决定性作用，此外，大型开放空间的水体、植被对人体PET的改善作用也非常大；②要素与风环境。组团内通风和PET的模拟结果确实如同要素系统评价中的设定，即为点式高层>多层>密集围合高层，要注重进行各个组团空间形式搭配，以获得更加优良的风环境。

3.4.4 讨论与建议

综合上述三个评价阶段结果（表4），进行以下总结和讨论：

（1）要素系统评价基本科学合理

研究从4个方面城市设计要素进行拓展所建立的要素系统评价基本合理，可作为城市设计方案的风热环境评价的基本框架体系，并有待针对设计不同阶段进行要素的分类、权重、指标等进一步地细化研究。

（2）要素系统与风环境的强关联性

研究结果显示，风环境模拟结果与要素系统评价显示了高度一致性，两者具有较强的关联度，且大量更为微观层面的研究结果也验证了此点，良好的通风环境对于城市的舒适性及居民健康都有重要的关联性（Ren, et al, 2018）。下一步有待针对风环境与各项城市设计要素的关联进行校验，即加强与丘陵、水域等自然环境要素的关联度研究。

（3）要素系统与PET

PET结果形成影响因素相对较多，下垫面、高层遮荫等都会造成结果的显著变化，应重视采用遮阴、下垫面改善等多样化手段对其进行优化，通过管控要素的关联性实现城市公共空间的优化（Yin, et al, 2019）。

（4）方案3优化建议

集中针对通风廊道与开放空间进行进一步耦合，加强导入白云山、现状水体等冷源；针对开放空间体系、建筑形体搭配的不同组合进行模拟实验，寻求更加合理搭配；针对开放空间的下垫面、建筑围合以及遮荫方式进行进一步比选和优化。

4 结语

综上，该评价方法紧扣“要素导向”，针对湿热地区气候条件，在“基础层、空间层、活动层”展开评价，系统建立“要素系统评价+要素网络微气候模拟+综合评价”的评价方法。以白云新城城市设计为例，针对3个层面、4大要素、10项指标的要素进行评价，利用自然格局、冷源利用、迎风面粗糙度等评价指标，重点针对通风廊道、散热、下垫面

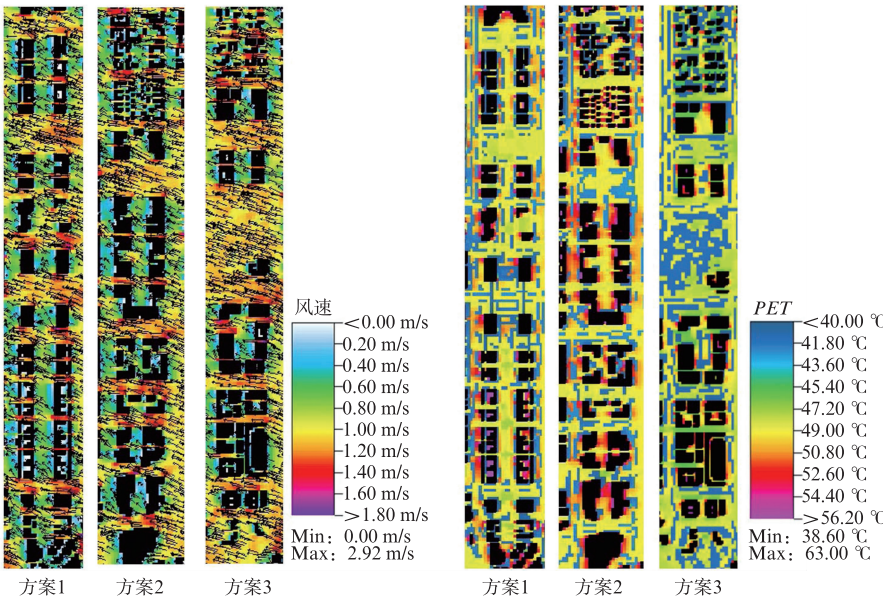


图15 主要开放空间的风环境和PET实验模拟结果
Fig.15 Simulation results of wind environment and PET at locations of main open spaces
资料来源：作者自绘。

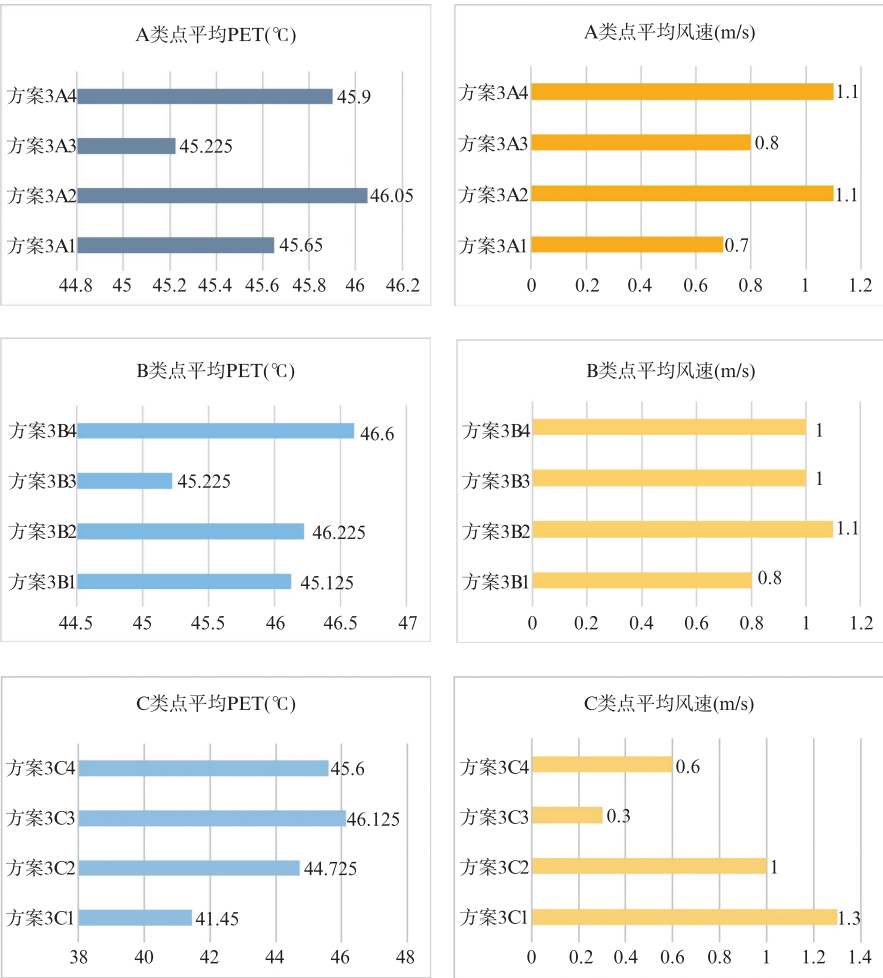


图16 方案3风环境和PET模拟结果
Fig.16 Simulation results of wind environment and PET for Proposal 3
资料来源：作者自绘。

表4 分类要素评价过程

Tab.4 Evaluation process of classified elements

		要素系统评价		PET(℃)	风速(m/s)	比较结果
自然 资源利用		方案1	0.66	135.71	2.2	基本吻合
		方案2	0.58	137.37	2.56	
		方案3	0.95	136.23	2.71	
空 间 形 态	建筑形态 及其组合	方案1	0.75	44.53	0.43	完全吻合
		方案2	0.75	44.99	0.83	
		方案3	1.06	44.48	0.80	
	开放 空间	方案1	0.75	45.69	0.86	基本吻合
		方案2	0.81	45.69	0.87	
		方案3	0.88	45.88	0.96	

资料来源：作者整理。

等关键内容进行定性评价。采用要素网络微气候模拟实验，将科学模拟实验与城市设计要素进行结合，形成直观的城市设计微气候模拟评价方法。最终采用“总体评价——要素分类评价——要素细化评价”的方式进行总结，并针对不同要素制定分类优化策略。研究表明，该评价方法更为全面地覆盖了城市设计与风热环境的紧密关联的各项要素，直观地反映了评价结果的系统性。该方法还紧密结合当前我国城市设计编制的特点，有利于推进优化当前城市设计工作体系。

此外，城市设计评价中多样化要素的拓展有待进行进一步校验，并需通过大量案例进行实证研究，研究城市设计方法的关联响应。当然，基于风热环境优化的城市设计评价仅仅是建立城市宜居环境的方法体系之一，有待将其与生态景观、低碳规划等整合为统一的工作平台。

注释

- ① “湿热地区”指在我国《建筑气候区划标准(GB50178—93)》中的Ⅳ夏热冬暖地区(广东、广西等地区)，该区长夏无冬，温高湿重，气温年较差和日较差均小；雨量丰沛，多热带风暴和台风袭击，易有大风暴雨天气；太阳高度角大，日照较小，太阳辐射强烈。
- ② 研究在Shirvani(Shirvani, 1981)提出的“土地使用”基础上进行修订，注重城市设计领域的设计研究对象，故将其修订为“自然资源利用”。
- ③ “天然冷源”指的是在自然界中存在的可以直接用来作为空调制冷、消除热量的资源。文中的“天然冷源”指的是能降低城市气

温的天然水系、山体和绿地等。

- ④ 粗糙度(urban roughness)：迎风面的粗糙度概念引自空气动力学，表征了城市冠层中各点风速与城市建筑形态的关系。
- ⑤ “天空开阔度”，即“sky view factor”，缩写为SVF，常规定义为城市上空在人的视野范围内被建筑围合的封闭程度。

参考文献(References)

[1] BLOCKEN B, JANSSEN W D, VAN HOOFF T. CFD simulation for pedestrian wind comfort and wind safety in Urban areas: general decision framework and case study for the Eindhoven University campus[J]. Environmental Modelling & Software, 2012, 30: 15–34.

[2] 丁沃沃, 胡友培, 窦平平. 城市形态与城市微气候的关联性研究[J]. 建筑学报, 2012(7): 16–21. (DING Wowo, HU Youpei, DOU Pingping. Study on the relationship between urban form and urban microclimate[J]. Architectural Journal, 2012(7): 16–21.)

[3] HOPPE P. The physiological equivalent temperature—a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment[J]. International Journal of Biometeorology, 1999, 43(2): 71–75.

[4] 李俊利. 都市设计中天际线之量化研究[D]. 台南: 国立成功大学硕士学位论文, 1996. (LI Junli. A Quantitative study of skyline in urban design[D]. Tainan: The Dissertation for Master Degree of National Cheng Kung University, 1996.)

[5] 李鹏, 余庄. 基于气候调节的城市通风道探析[J]. 自然资源学报, 2006(6): 991–997. (LI Kun, YU Zhuang. Analysis of urban ventilation road based on climate regulation[J]. Journal of Natural Resources, 2006(6): 991–997.)

[6] LIN T P, MATZARAKIS A, LIU Y W. Outdoor thermal comfort acceptable range and campus microclimate in hot-humid region[C]//5th Japan-German meeting on urban climatology, 2008: 247.

[7] 牛强, 郑金明, 夏源. 城市设计定量分析方法研究概述[J]. 国际城市规划, 2017, 32(6): 61–68. (NIU Qiang, ZHANG Jinming, XIA Yuan. Overview of research on quantitative analysis methods of urban design[J]. Urban Planning In-

ternational, 2017, 32(6): 61–68.)

[8] 钮心毅, 李凯克. 基于视觉影响的城市天际线定量分析方法[J]. 城市规划学刊, 2013(3): 99–105. (NIU Xinyi, LI Kaik. Quantitative analysis method of urban skyline based on visual influence[J]. Urban Planning Forum, 2013(3): 99–105.)

[9] ORLANSKI I. A rational subdivision of scales for atmospheric processes[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1975, 56(5): 527–530.

[10] REN C, YANG R, CHENG C, et al. Creating breathing cities by adopting urban ventilation assessment and wind corridor plan—the implementation in Chinese cities[J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2018, 182: 170–188.

[11] 任超, 袁超, 何正军, 等. 城市通风廊道研究及其规划应用[J]. 城市规划学刊, 2014(3): 52–60. (REN Chao, YUAN Chao, HE Zhengjun, et al. Urban ventilation corridor research and its planning application[J]. Urban Planning Forums, 2014(3): 52–60.)

[12] SHIRVANI H. The urban design process[M]. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1981.

[13] TOPARLAR Y, BLOCKEN B, VOS P, et al. CFD simulation and validation of urban microclimate: a case study for BergpolderZuid, rotterdam[J]. Building and Environment, 2015, 83: 79–90.

[14] YIN S, LANG W, XIAO Y, et al. Correlative impact of shading strategies and configurations design on pedestrian-level thermal comfort in traditional shophouse neighbourhoods, southern China[J]. Sustainability, 2019, 11(5): 1355.

[15] 郭尚霖, 孙一民. 城市设计要素对热岛效应的影响分析——广州地区案例研究[J]. 建筑学报, 2015(10): 79–82. (WU Shanglin, SUN Yimin. Analysis of the influence of urban design elements on the heat island effect—a case study of Guangzhou area[J]. Architectural Journal, 2015(10): 79–82.)

[16] 张雅妮, 曾小洲, 肖毅强. 基于风热环境优化的“山·城共构”城市设计初探——以广州白云新城为例[J]. 城市规划, 2018, 42(12): 116–124. (ZHANG Yani, ZENG Xiaozhou, XIAO Yiqiang. Preliminary study on urban design of “mountain and city co-construction” based on optimization of wind-heat environment—taking Guangzhou Baiyun new town as an example[J]. City Planning Review, 2018, 42(12): 116–124.)

[17] 张雅妮, 殷实, 肖毅强. 气候适应性视角下的河道空间城市设计评价和策略研究——以广州市荔枝涌改造一期工程为例[J]. 西部人居环境学刊, 2018, 33(3): 73–79. (ZHANG Yani, YIN Shi, XIAO Yiqiang. River channel urban design evaluation and strategy research from the perspective of climate adaptability—taking the first phase project of Lizhiwanyong reconstruction in Guangzhou as an example[J]. Human Settlements Forum in West China, 2018, 33(3): 73–79.)

修回: 2019-04