

城市风景园林小气候研究进展

Research Review on Urban Landscape Micro-climate

庄晓林 / ZHUANG Xiao-lin

段玉侠 / DUAN Yu-xia

金荷仙* / JIN He-xian

摘 要: 近年来,随着公众对人居环境品质的关注与追求,如何在日益恶化的城市环境中营造出宜人的小气候已成为城市规划工作者与风景园林师努力的目标。风景园林对于城市小气候有着直接的影响,在局部气候条件的改善方面起到关键作用。论述了风景园林小气候的概念、评价指标及其研究现状,并在此基础上提出了风景园林小气候在我国研究发展的建议及展望,以期为推动我国的风光园林小气候研究及发展提供参考和借鉴。

关 键 词: 风景园林;城市小气候;园林要素;研究进展

文章编号: 1000-6664(2017)04-0023-06

中图分类号: TU 986

文献标志码: A

收稿日期: 2017-02-15;

修回日期: 2017-02-21

基金项目: 国家自然科学基金重点项目“杭州地区风景园林空间小气候测试及分析”(编号51338007)和浙江农林大学“校发展基金人才启动”项目(编号2014FR080)共同资助

Abstract: Recently, with the public attention and pursuit on the quality of human settlements, how to create a comfortable urban micro-climate in an increasingly deteriorating urban environment has become an important goal for both urban planners and landscape architect. Landscape architecture has a direct impact on the urban micro-climate, and plays a key role in the improvement of the partial climate conditions. This paper discusses the concept, evaluation index and research status of landscape micro-climate and gives some suggestions and prospects of China's research and development, so as to provide reference for promoting its research and development in China.

Key words: landscape architecture; urban micro-climate; landscape factor; research review

城市小气候对于提升城市的生活品质、改善人居环境、促进城市发展等方面有着重要作用,而如何对城市小气候进行合理、恰当的调控已成为当今城市规划建设者不可避免的问题。目前,国内外相关学者已就该领域进行了系统研究,多数学者认为在影响城市小气候的诸多因素中,地形、水体、植物群落和建筑布局等风景园林设计要素起到了重要作用。因此,结合相应的小气候评价指标,探究城市环境中各园林要素对城市小气候的影响显得极为重要。

1 小气候概述

1.1 小气候概念

贝顿(L. J. Batten)认为小气候主要是指从地面到十几米至100m高度空间内的气候^[1]。南兹博格(Landsburg)认为小气候是指地面边界层部分,其温度和湿度受地面植被、土壤和地形影响^[2]。我国学者傅抱璞^[3]则认为,在小范围内因各种局部因素

影响而形成的与大气气候不同的气候特点就是小气候。因此,所谓小气候(micro-climate)就是在具有相同的大气候特点的范围,由于下垫面条件、地形方位等各种因素不一致而在局部地区形成的独特气候状况。

1.2 数据获取

目前小气候的数据获取主要是采用现场实测与计算机数值模拟软件两种方法。现场实测作为小气候领域最为基础和普遍应用的研究方法,不仅有着较强的灵活性与选择性,而且由于可以精准地获取场地的第一手气候资料,因而在小气候预测模型验证上也发挥着重要的作用。根据其观测频率,可将其分为长期定点观测、季节性定点观测与短时定点连续观测3种方法^[4]。

计算机数值模拟是以计算机软件为载体,用数值算法模型来量化的实地气候状况的研究方式^[4]。此法可以作为实测法的补充,在实测条件难以达到、变量要素较难控制等条件下,为小气候研究提供准确且稳定的数值模拟与预测。

* 通信作者(Author for correspondence) E-mail: 2094669836@qq.com

目前,常用的数值模拟软件有RayMan、CFD、ENVI-met等。其中, RayMan主要用于小气候舒适度指标生理等效温度(PET)的计算^[5]; CFD则着重以各种离散化的数学方法, 对小气候中流体力学的各类问题进行数值实验、模拟和分析, 以解决各种实际问题^[6]; ENVI-met能够全面考虑空间布局、地表材质、太阳辐射、植被覆盖等多种因素, 模拟不同空间小气候环境, 并加以预测、分析^[7]。

2 国外风景园林小气候研究动态

2.1 小气候舒适度指标研究

小气候舒适度是指人在所处小尺度范围的气候环境中感到满意的状态^[8], 其指标研究已有近百年历史^[9], 经历了由经验模型指标到机理模型指标的发展过程。

2.1.1 经验模型指标

经验模型指标是以人的主观感受或生理反应作为评价依据, 依靠人体在不同环境下感受的统计分析来构建的评价指标。按照其环境适应范围, 又可分为冷环境指标与热环境指标。其中运用较多的冷环境指标主要为风寒指数(WCI)^[10]; 主要的热环境指标有湿球黑球温度(WBGT)^[11]、不舒适指数(DI)^[12]、热指数(HI)与体感温度(AT)^[13]等。虽然经验模型指标的研究开展较早, 且计算简单、易于理解, 但由于这类指标以地区经验与回归分析为基础, 因此运用时会受到气候、地理等因素的限制。

2.1.2 机理模型指标

机理模型指标是以人体热交换机制为基础, 综合考虑环境因素、人体代谢、呼吸散热及服装热阻等各种因素的影响所形成的评价指标。1970年范格尔(Fanger)^[14]提出的热舒适方程, 开创了采用机理模型指标进行舒适度评价的先河。在此基础上, 国外学者相继提出了不同的评价指标, 较为常用的有室外标准有效温度(OUT-SET*)^[15]、预测平均投票数与预测不满意百分比(PMV-PPD)^[14]、生理等效温度(PET)^[16]等。其中, PET由于具有易于理解、适用范围广等优点, 已成为目前最为常用的评价指标。

此外, 在实际的评价过程中, 经常会采用采访、问卷调查等形式来获取一些主观舒适度数据。一方面可以将其与2种模型指标得出的数据进行比较讨论, 发现其差异; 另一方面, 主观舒适度数据可以对指标进行一些补充、修正, 提高评价的准确性。

2.2 小气候类型研究

国外学者对城市气候的研究可以追溯到19世纪初, 1818年出版的《伦敦气候》一书拉开了城市气候的研究序幕。目前, 国外城市小气候的研究主要侧重于城市街道、公园与广场等不同类型场所的探究。部分学者针对不同的土地利用类型^[17-18],

比较不同环境条件下对城市小气候热舒适指标的变化, 并加以分析。

2.2.1 城市街道小气候研究

城市街道通常覆盖1/4以上的城市地区, 是城市重要的组成部分, 其构成形态对城市小气候有着重要作用。珀尔马特(Pearlmutter)等^[19]对城市街道峡谷的小气候参数和总能量平衡展开研究, 结果发现在夏季高温天气的夜晚, 紧凑型街道峡谷存在“冷岛”现象; 反之, 在冬季, 紧凑型街道峡谷则能提供较暖的条件。此后, 珀尔马特等对城市街道峡谷的行人能量交换与其热舒适计算模型展开研究^[20], 结果表明: 在热干旱地区, 紧凑型街道峡谷可以显著提高行人热舒适, 且南北朝向的街道调节效应要强于东西朝向。

埃里克(Erik)等^[21]在热干旱气候地区, 选择2个具有对比性的传统和现代城区的街道进行小气候研究, 结果表明: 与传统城区的街道相比, 现代城区的街道, 易获得更多的太阳辐射与长波辐射, 因而白天升温快, 晚上降温快。安德烈欧(Andreou)探究了街道几何形态、朝向与地表反射率等要素对其小气候热舒适的影响^[22], 发现传统城市聚集区的街道小气候舒适度要高于现代城市聚集区。法齐亚(Fazia)探讨了街道高宽比和走向对城市小气候的形成影响^[23]; 里默(Limor)研究了建筑布局形式与间距对街道小气候的影响^[24], 并指出街道几何形态和走向决定街道被动散热, 而树荫遮蔽很大程度上减缓了街道热效应^[25]。

2.2.2 城市公园小气候研究

城市公园具有产生特定小气候环境的复杂表面结构, 这种特性将影响人体能量平衡与热舒适度。艾曼(Ayman)对城市公园中不同类型的园林空间小气候展开研究^[26], 探讨了园内不同区域的小气候舒适度, 计算出其热感觉投票(TSV)与PET之间的线性关系, 并对公园的设计改进提出了建议与措施。托尔松(Thorsson)等对城市公园小气候与游人行为模式进行了研究, 结果发现: 当园内小气候过热或者过冷时, 游人会通过改变自己的行为模式来适应这种改变^[27]。此外, 研究还发现公园游人的主观耐热性要比理论预测值高, 因此认为公园这种特殊的园林空间, 会在一定程度上提高人们对小气候环境的热期望与满意度。Ca等^[28]研究了夏季城市公园对其周边商业区小气候环境的影响, 发现面积为0.6hm²的公园最多可使商业区的空气温度降低1.5℃; 对处于其下风向的区域, 其影响范围可达1km。

Potchter等在地中海沿岸地区, 对不同植被种植设计的公园夏季小气候及其舒适度进行研究^[29], 发现植被以高大乔木为主、冠幅大的公园小气候舒适度最高; 而以草坪覆盖为主, 兼有少量小乔木的公园小气候舒适度最差。Nasir等对湿热地区的公园人体舒适度与其活动偏好与强度之间的关系展开研究^[30], 发现二者之间存在显著相关性。

2.2.3 城市广场小气候研究

城市广场作为市民使用频率较高的场所之一,其空间使用率与小气候息息相关。撒迦利亚(Zacharias)对广场小气候与其空间使用率之间的定量关系展开研究^[31]。结果发现:小气候要素中对广场空间使用率影响较大的是温度与光照,二者影响率均为12%;而非气象因素中,地点与时间影响较大,分别占到38%与7%。尼科洛普卢(Nikolopoulou)等^[32]探究了不同小气候对广场空间使用与功能的影响,计算了广场的空间使用率与各小气候参数之间的回归方程,发现空气温度与太阳辐射是影响其空间使用的主导因素。埃利亚松(Eliasson)^[33]对包括广场在内的4种户外公共场所的空间使用与其小气候因子之间的关系进行了回归分析,结果表明太阳辐射、风速与温度对行人的空间使用与行为评价有着重要的影响。

Kariminia等探究了广场的景观属性对其小气候的影响,并对其小气候的热状况与户外空间的使用展开研究,结果发现:与其他小气候要素相比,游客对气温改变的敏感性最高;而较强的空气流动与水汽蒸发,对游客的热舒适有着显著的改善效应^[34-35]。Lenzholzer对广场不同的空间形式与其小气候状况展开了研究,通过绘制“小气候感知图”——将广场使用者对其不同区域的小气候要素感受表示在平面图上,直观地显示了广场不同区域的小气候状况^[36-38]。

3 国内风景园林小气候研究动态

中国古人对地形、气候、文化及住宅形式之间深刻的关系,有着独到的理解和重视,大到国家的都城、聚落选址,小到建筑体系的营造、基地的控制和构造处理等,皆依据一定的风水理念,以调节风和太阳辐射等气候因子,营造良好的局部小气候环境^[39]。目前,相较于国外而言,我国学者对城市小气候的相关研究起步较晚,但研究进展相对较快,这主要得益于中国幅员辽阔、国土面积绵延数千千米,不同地形地貌造就了多种气候类型,为不同大气候背景下的城市小气候研究提供了较为丰富的研究类型。

3.1 不同气候区域小气候研究

2014年,曾煜朗指出,当前我国的城市气候在趋同的城市建设与居民生产生活方式的双重影响下越来越具有相似性^[40],这一现实使得国内学者对不同区域的城市小气候进行研究时,不得不格外关注其地理位置,重视源于区域气候特征的大气候背景。目前,在不同区域的大气候背景下,城市小气候研究大致可分为3类:夏热冬冷地区(华东、华中,华北部分地区)、湿热或炎热地区(西南、华南地区)和寒冷或严寒地区(西北、东北地区)。

3.1.1 夏热冬冷气候区小气候研究

李保峰等在基于节能及气候适应性的城市设计策略基础上,

较早地开展了夏热冬冷地区的住宅及办公建筑的气候适应性研究,探讨了该地区建筑适应气候的设计方法;此后将研究重点逐步由建筑尺度转向城市尺度,探究城市形态与城市微气候耦合机理与控制,寻找城市小气候与其形态之间的关系^[41-43]。刘滨谊、张德顺等对上海地区的城市广场类建筑密集区、街道及滨水区类带状空间和城市居住类街区等在内的园林空间进行实测分析,对这3类城市风景园林小气候空间单元的适应性设计理论和方法进行了系统研究,并在此基础上,提出相关的设计建议与改进措施^[44-46]。董芦笛、刘晖等对西安城市小气候进行了研究,探讨了不同园林要素的小气候效应,提出了适应性设计理论与方法^[47-51]。

3.1.2 湿热气候区小气候研究

董靓、陈睿智等对湿热气候区的景区微气候舒适度评价与游憩行为进行了研究,建立了相应的微气候舒适度评价等级,并对游憩行为与微气候舒适度阈值相关性进行了探讨^[52-54];孟庆林对“湿热地区城市微气候调节与设计”和“湿热地区城市微气候环境现代实验方法与应用基础”等课题展开研究,着重对建筑物理方面的热环境及建筑节能技术展开探讨,也涉及建筑隔热、遮阳、通风等效应对室外热环境的影响^[55-58]。

3.1.3 寒冷气候区小气候研究

冷红等对基于UCL微气候改善的寒地城市住区公共开放空间优化及控制规划技术方面进行了研究,分析了东北严寒地区的气候因素对于城市建成环境、居民行为方式和身心健康等各方面影响,并在此基础上提出宜居的寒地城市环境建设发展的科学理念^[59-61];徐苏宁等做了有关应对气候变化的寒地城市基础设施规划研究,从寒地城市水通道景观与为应对降雪天气下的城市道路设施规划设计等方面,对其基础设施建设的问题进行了探讨^[62-63]。

3.2 风景园林要素对城市小气候的影响

城市小气候的直接影响因子主要包括空气温度、相对湿度、太阳辐射和风向风速等,因此要营造出一个宜人的小气候环境,则需要综合考虑这些气候要素,通过对地形、水体、植物、建筑等造园要素的处理,达到实现城市宜居小气候的目的。

3.2.1 地形对城市小气候的影响

地形即地表的综合形态,它包括地貌和地质状况。由于不同朝向的坡地上获得的热量和水分不同,因此地形对小气候的影响主要表现在太阳辐射分布不一致和地形对气流的作用2个方面^[64]。李兴荣等^[65]人应用自动观测站资料,对深圳城市、海洋、丘陵、山地4种不同地形的小气候区气温、湿度及舒适度特征的分析表明,各小气候区气温、相对湿度存在显著差异,其最小值、最大值、平均值及日变化存在明显不同。徐小东^[66]通过分析地形对城市环境的影响机理,指出地形对太阳辐射、

温湿状态及城市风环境皆有影响。刘贵利^[67]研究了3种不同地形共生的生态特点,对温度、湿度、日照等微气候环境特征进行了表述。从城市规划的角度来说,大地形和特大地形对其选址、规划布局和总体设计方面的影响是不容忽视的,但就风景园林学的层面而言,我们通常更关注中、小地形对城市环境的影响。在园林设计中,局部小地形是构成园林的骨架,是人类活动的基础,因此在场址整理时,我们可以充分利用小地形或营造小地形以达到调控局部小气候的目的。

3.2.2 水体对城市小气候的影响

相较于局部小地形的气候调节能力,水体对城市小气候的调节作用更为显著,大到城市湖泊、河流、湿地,小到池塘、喷泉等,皆对局部小气候有重要影响。杨凯等^[68]比较了上海市中心城区6处不同类型的城市河流及水体在不同季节上、下风向的温湿特征及人体舒适度效应,表明水体面积是影响其小气候效应的重要因素,同时还发现“水绿”复合生态系统有利于河流水体小气候效应的发挥,并且喷泉等人工设施能够强化水体的小气候效应。陆婉明等运用CFD软件模拟水体对居住小区局地气候的调节作用,发现水体有增湿和调节风速的作用,7.5%面积占有率的水体能很好地改善20m²区域内气候^[69]。

崔丽娟等^[70]通过对水平方向上温、湿度和负氧离子浓度变化的测定,对北京城市湿地小气候效应的时空变化特征进行了研究,结果表明:湿地对城市局部环境具有明显的降温、增湿和增负氧离子浓度的作用,且距离水体越近小气候效应越强;湖泊湿地对局部环境的降温和增湿效果比河流湿地的降温增湿效应更加明显,两者相差大约1℃和5%左右。张伟等^[71]通过对西湖及其周边城区各季节不同气象要素的对比观测,对城市湿地的局地小气候调节效应进行了研究,发现西湖具有明显的冷岛、湿岛和风岛效应,其小气候调节效应具有明显的季节和昼夜差异。张琳等^[72]以城市滨水带为研究对象,通过现场实测与数字模拟技术相结合的方法,探求水体、驳岸等城市滨水带风景园林设计要素与空气温度、热辐射等小气候物理因子之间的影响关系。

3.2.3 植物群落对城市小气候的影响

植物是园林设计中的重要组成部分,出于其自身的蒸腾作用与叶片阻滞等原因,植被对周边环境的温度与风速有着很大程度的影响。鲍淳松等^[73]进行了园林绿化对城市小气候的影响研究,结果表明:植被绿化能使气温降低0.7℃、最高可降2.3℃,相对湿度提高4%、最高可达15%;不同植物类型降温作用有所差别,乔木降温作用大于草坪。晏海^[74]以北京奥林匹克森林公园为例,研究了城市公园内不同树木群落、不同下垫面组成的空气温湿度差异、变化规律及其对公园微尺度热环境的影响,揭示了局地尺度上城市气温与植被覆盖关系的时空变化。此外,公园绿地边界宽度对城市小气候亦有不同程度的影

响,随着绿地边界宽度的增加,温度、可吸入颗粒物会有所降低,湿度、负氧离子浓度反之升高^[75]。

城市林带可以提高秋、冬季林内的最低温,尤其是冬季中午林带内的最低温;降低夏季林内的最高温,明显增加林内的相对湿度,同时有降低背风面林缘和区域风速的作用^[76]。城市森林冠层在削减太阳辐射、高温滞后与改善舒适度方面具有显著的作用^[77],并且天然森林群落在遮阴、降温增湿等调节小气候因子变化幅度及改善气候舒适度方面优于人工森林群落^[78]。

3.2.4 建筑布局对城市小气候的影响

建筑是城市空间的主要组成部分,也是园林环境营造中不可忽视的一部分,其本质上就是人类适应气候环境条件的自然产物^[79]。在园林的气候设计中,建筑主要起到遮挡太阳辐射与阻挡、引导气流的作用,它对环境的影响主要体现在建筑形式、空间布局及材料特性上。

城市开敞空间的规划与使用在很大程度上取决于其周围建筑物的阴影范围。左力^[80]结合不同气候地区具体建筑实例的分析,论证了建筑外部空间形态组合方式、建筑平面及剖面形状的变化、遮蔽物等对其外部空间微气候的影响。伍未^[81]立足于重庆地区,分别从总体布局、空间形态、构造技术3个层面对适应气候的建筑设计策略进行了论述。

谢振宇^[82]等以高层建筑周围风环境形成机理为依据,归纳了高层建筑对室外风环境的不利影响,结合计算机模拟,提出了削弱“边角强风”、化解“迎风面涡旋”、减小“建筑物风影区”等改善建筑底部人行水平面风环境的高层建筑形态设计评价依据和可操作的优化策略。区燕琼通过实际观测和计算机数值模拟手段的结合,研究了居住小区夏季各种常见墙面材料类型对室外热环境的影响,结果发现:与灰色水刷石粗糙墙面相比,白色马赛克墙面对室外环境有更强的增温作用^[83]。

4 结论与展望

目前,国内学者对小气候及其舒适度研究的关注度日渐上升,尤其是风景园林设计在营造城市宜居环境、改善局部小气候等方面更是受到重点关注。虽然发展势头良好,但仍旧存在一些问题,未来需要在以下几个方面取得进展与突破。

1)深化城市小气候与风景园林要素之间的研究。

近年来,随着遥感技术、数字化模型的发展与应用,小气候研究逐渐从定性描述朝着定量分析的方向前进。但由于我国小气候研究起步较晚,使得研究虽已经进入定量阶段,但还不够深入。目前的多数研究仅停留在某些设计要素的改变对小气候因子的定量影响,而对于二者之间的影响与作用机制还不够深入,缺乏表明二者具体关联的一元以及多元回归方程。

2)完善现有的舒适度评价指标。

目前我国的舒适度评价指标仍以经验模型与机理模型指标

为主,但这些指标多是从国外引进,其提出的气候背景、适用范围等均与我国有较大差异。因此,在对这些指标进行选择使用前,要结合地区的气候状况、人种特征、行为习惯等方面,对其进行大量的数据统计与调查,运用统计分析的方法,对其准确性进行校验与修正,不断完善以形成适合本地特色的评价指标。

3)建立适合风景园林的评价体系与标准。

采用舒适指数对气候的舒适性进行评价的观念已被各国学者普遍接受并广泛应用。但当牵扯到园林环境的时候,情况则会复杂许多。单纯的舒适度指标对复杂多变的园林环境而言,过于笼统与模糊,即使其小气候舒适度相同,但由于园林空间的复杂性以及不同人群对其使用需求的差异性,其所表达的舒适程度仍可能存在差异。因此,建立适合风景园林特色的小气候评价体系与标准,将是未来一段时间所需要解决的问题。

参考文献:

- [1] 王祥荣.生态与环境:城市可持续发展与生态环境调控新论[M].南京:东南大学出版社,2004.
- [2] Pag J K. Application of building climatology to the problems of housing and building for human settlements[C]//Annual Meeting of World Meteorological Organization. Geneva, Switzerland, 1976.
- [3] 傅抱璞.小气候学[M].北京:气象出版社,1994.
- [4] 张慧文,张德顺.城市滨水带小气候研究现状及前景分析[C]//中国风景园林学会2014年会论文集.北京:中国建筑工业出版社,2014:497-499.
- [5] Gulyás Á, Unger J, Matzarakis A. Assessment of the Microclimatic and Human Comfort Conditions in a Complex Urban Environment: Modelling and Measurements[J]. *Building and Environment*, 2006(12): 1713-1722.
- [6] Ono T, Murakami S, Ooka R, et al. Numerical and Experimental Study on Convective Heat Transfer of the Human body in the Outdoor Environment[J]. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 2008(10): 1719-1732.
- [7] Krüger E L, Minella F O, Rasia F. Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Brazil[J]. *Building and Environment*, 2011, 46(3): 621-634.
- [8] 陈睿智,董靓.国外微气候舒适度研究简述及启示[J]. *中国园林*, 2009, 25(11): 81-83.
- [9] Blazejczyk K, Epstein Y, Jendritzky G, et al. Comparison of UTCI to selected thermal indices[J]. *International Journal of Biometeorology*, 2012, 56: 515-535.
- [10] Siple P, Passel C F. Measurements of dry atmospheric cooling in subfreezing temperatures[J]. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 1945, 89: 177-199.
- [11] Yaglou C P, Minard D. Control of heat casualties at military training centers[J]. *American Medical Association Archives of Industrial Health*, 1957, 16: 302-316.
- [12] Thorn E C. The discomfort index[J]. *Weatherwise*, 1959, 12: 57-60.
- [13] Steadman R G. The assessment of sultriness. Part I: A temperature-humidity index based on human physiology and clothing science[J]. *Journal of Applied Meteorology*, 1979, 18: 861-873.
- [14] Fanger P O. *Thermal Comfort. Analysis and Application in Environment Engineering*[M]. Copenhagen: Danish Technical Press, 1970.
- [15] Pickup J, de Dear R. An outdoor thermal comfort index(OUT_SET*): Part 1: The model and its assumptions[C]//de Dear R, Potter J, eds. *Proceedings of 15th International Congress of Biometeorology and International Conference on Urban Climatology*. Sydney, Macquarie University, 1999: 279-283.
- [16] Höpfe P. *Die Energiebilanz des Menschen*[D]. München: University of München, 1984.
- [17] Shudo H, Sugiyama J, Yokoo N, et al. A study on temperature distribution influenced by various land uses[J]. *Energy and Buildings*, 1997, 26: 199-205.
- [18] Emmanuel R. *An Urban Approach to Climate-Sensitive Design: Strategies For the Tropics*[M]. London and New York: Spon Pres, 2005.
- [19] Pearlmutter D, Bitan A, Berliner P. Microclimatic analysis of compact urban canyons in an arid zone[J]. *Atmospheric Environment*, 1999, 33: 4143-4150.
- [20] Pearlmutter D, Berliner P, Shaviv E. Integrated modeling of pedestrian energy exchange and thermal comfort in urban street canyons[J]. *Build Environment*, 2007, 42(6): 2396-2409.
- [21] Erik J, Karin G, Hans R. Street canyon microclimate in traditional and modern neighborhoods in a hot dry climate—a case study in Fez, Morocco[C]//The 18th Conference on Passive and Low Energy Architecture. Brazil, Florianopolis, 2001: 1-5.
- [22] Andreou E. Thermal comfort in outdoor spaces and urban canyon microclimate[J]. *Renew Energy*, 2013, 55: 182-188.
- [23] Ali-Toudert F, Mayer H. Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate[J]. *Building and Environment*, 2006, 41(2): 94-108.
- [24] Shashua-Bar L, Tzamir Y, Hoffman M. Thermal effects of building geometry and spacing on the urban canopy layer microclimate in a hot-humid climate in summer[J]. *International Journal of Climatology*, 2004, 24(13): 1729-1742.
- [25] Shashua-Bar L, Hoffman M. Geometry and orientation aspects in passive cooling of canyon streets with trees[J]. *Energy and Buildings*, 2003, 35: 61-68.
- [26] Mahmoud A.H.A. Analysis of the microclimatic and human comfort conditions in an urban park in hot and arid regions[J]. *Building and Environment*, 2011, 46(12): 2641-2656.
- [27] Thorsson S, Lindqvist M, Lindqvist S. Thermal bioclimatic conditions and patterns of behaviour in an urban park in Goteborg, Sweden[J]. *International Journal of Biometeorology*, 2004, 48(3): 149-156.
- [28] Ca V T, Asaeda T, Abu E M. Reductions in air conditioning energy caused by a nearby park[J]. *Energy and Buildings*, 1998(1): 83-92.
- [29] Potchter O, Cohen P, Bitan A. Climatic Behavior of Various Urban Parks During Hot and Humid Summer in the Mediterranean City of Tel Aviv, Israel[J]. *International Journal of Biometeorology*, 2006, 26(12): 1695-1711.
- [30] Nasira R A, Ahmad S S, Ahmed A Z. Physical Activity and Human Comfort Correlation in an Urban Park in Hot and Humid Conditions[C]//Asia Pacific International Conference on Environment-Behaviour Studies, London, UK, 2013: 598-609.
- [31] Zacharias J, Stathopoulos T, Wu H. Microclimate and downtown open space activity[J]. *Environment and*

Behavior, 2001, 33: 296-315.

[32] Nikolopoulou M, Lykoudis S. Use of outdoor spaces and microclimate in a Mediterranean urban area[J]. *Building and Environment*, 2007, 42(10): 3691-3707.

[33] Eliasson I, Knez I, Westerberg U, et al. Climate and behaviour in a Nordic city[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2007, 82: 72-84.

[34] Kariminia S, Ahmad SS. Dependence of Visitors' Thermal Sensations on Built Environments at an Urban Square[J]. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2013, 85(8): 523-534.

[35] Kariminia S, Ahmad SS, Ibrahim N. Landscape attributes, microclimate and thermal comfort of an urban square in moderate and dry climate[J]. *Advanced Materials Research*, 2013, 610(12): 3780-3784.

[36] Lenzholzer S. Microclimate perception analysis through cognitive mapping[C]//PLEA 2008-25th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Dublin, 2008.

[37] Lenzholzer S, Koh J. Immersed in microclimatic space: Microclimate experience and perception of spatial configurations in Dutch squares[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2010, 95(01): 1-15.

[38] Lenzholzer S. Research and design for thermal comfort in Dutch urban squares[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2012, 64(7): 39-48.

[39] 柏春.城市气候设计:城市空间形态气候合理性实现的途径[M].北京:中国建筑工业出版社, 2009.

[40] 曾煜朗.步行街道微气候舒适度与使用状况研究[D].成都:西南交通大学, 2014.

[41] 邓扬波.夏热冬冷地区高层办公建筑的气候适应性研究[D].武汉:华中科技大学, 2004.

[42] 林白云山.夏热冬冷地区高层住宅气候适应性设计策略研究[D].武汉:华中科技大学, 2007.

[43] 王振.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[D].武汉:华中科技大学, 2008.

[44] 刘滨谊, 张德顺, 张琳, 等.上海城市开敞空间小气候适应性设计基础调查研究[J].中国园林, 2014, 30(12): 17-22.

[45] 刘滨谊, 梅歆, 匡纬.上海城市居住区风景园林空间小气候要素与人群行为关系测析[J].中国园林, 2016, 32(1): 5-9.

[46] 刘滨谊, 林俊.城市滨水带环境小气候与空间断面关系研究:以上海苏州河滨水带为例[J].中国园林, 2015, 31(6): 46-54.

[47] 董芦笛, 李梦柯, 樊亚妮.基于“生物气候场效应”的城市户外生活空间气候适应性设计方法[J].中国园林, 2014, 30(12): 23-26.

[48] 肖博.植物小气候效应的建筑设计应用[D].西安:西安建筑科技大学, 2015.

[49] 陈茗.西安城市户外公共空间水体小气候效应实测分析:以环绕慈恩寺地段为例[D].西安:西安建筑科技大学, 2015.

[50] 齐璐.园林小气候设计理论基础研究[D].西安:西安建筑科技大学, 2013.

[51] 李梦柯.西安城市户外公共空间植物小气候效应及其设计应用初探[D].西安:西安建筑科技大学, 2014.

[52] 陈睿智.湿热地区旅游景区微气候舒适度研究[D].成都:西南交通大学, 2013.

[53] 陈睿智, 董靓.湿热气候区风景园林微气候舒适度评价研究[J].建筑科学, 2013(8): 28-33.

[54] 陈睿智, 董靓.基于游憩行为的湿热地区景区夏季微气候舒适度阈值研究:以成都杜甫草为例[J].中国园林, 2015, 31(8): 55-59.

[55] 刘晓晖.透水砖地面对居住小区热环境影响的研究[D].广州:华南理工大学, 2012.

[56] 廖小琴.室外热环境分析中下垫面等效太阳辐射吸收系数的研究[D].广州:华南理工大学, 2013.

[57] 刘静.室外环境遮阳对居住区热环境的影响研究[D].广州:华南理工大学, 2012.

[58] 孟庆林, 王频, 李琼.城市热环境评价方法[J].中国园林, 2014, 30(12): 13-16.

[59] 王吉勇.哈尔滨市城市广场气候设计[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2008.

[60] 孙禹.哈尔滨中央大街步行街气候环境规划对策研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2010.

[61] 冷红, 马彦红.应用微气候热舒适分区的街道空间形态初探[J].哈尔滨工业大学学报, 2015(6): 63-68.

[62] 曹竞文.寒地城市水通道景观规划设计研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2013.

[63] 张璐.应对降雪天气的城市道路及其设施规划设计研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2010.

[64] 李名松, 王怀武, 谢迎春.石家庄山区水热条件遥感调查研究[J].国土资源遥感, 2001(1): 9-14.

[65] 李兴荣, 张小丽, 隋高林, 等.深圳夏季典型晴天不同小气候区温湿及舒适度特征[J].气象, 2010, 36(10): 62-66.

[66] 徐小东, 徐宁.地形对城市环境的影响及其规划设计应对策略[J].建筑学报, 2008(1): 25.

[67] 刘贵利.城市生态规划理论与方法[M].南京:东南大学出版社, 2002.

[68] 杨凯, 唐敏, 刘源, 等.上海中心城区河流及水体周边小气候效应分析[J].华东师范大学学报:自然科学版, 2004(3): 105-114.

[69] 陆婉明, 汪新, 周浩超.数值模拟水体对居住小区局地气候调节作用[J].建筑科学, 2015(8): 101-107.

[70] 崔丽娟, 康晓明, 赵欣胜, 等.北京典型城市湿地小气候效应时空变化特征[J].生态学杂志, 2015, 34(1): 212-218.

[71] 张伟, 朱玉碧, 陈锋.城市湿地局地小气候调节效应研究:以杭州西湖为例[J].西南大学学报:自然科学版, 2016, 38(4): 116-123.

[72] 张琳, 刘滨谊, 林俊.城市滨水带风景园林小气候适应性设计初探[J].中国城市林业, 2014(4): 36-39.

[73] 鲍淳松, 楼建华, 曾新宇, 等.杭州城市绿化对小气候的影响[J].浙江大学学报:农业与生命科学版, 2001, 27(4): 415-418.

[74] 晏海.城市公园绿地小气候环境效应及其影响因

子研究[D].北京:北京林业大学, 2014.

[75] 卢薪升, 黄玥怡, 段佳佳, 等.北京城市公园边界空间宽度对小气候环境的调节作用研究[J].现代园艺, 2016, 23(4): 3-5.

[76] 陈佳瀛.城市森林小气候效应的研究[D].上海:华东师范大学, 2006.

[77] 邵永昌, 庄家尧, 李二焱, 等.城市森林冠层对小气候调节作用[J].生态学杂志, 2015(6): 1532-1539.

[78] 华超, 张明如, 张建国, 等.千岛湖姥山林场森林群落下层小气候特征与气候舒适度研究[J].内蒙古农业大学学报:自然科学版, 2011(1): 138-143.

[79] 孙洪波, 石铁矛, 郭洪华.微气候建筑设计方法综述[J].沈阳建筑工程学院学报, 2000(3): 171-175.

[80] 左力.适应气候的建筑设计策略及方法研究[D].重庆:重庆大学, 2003.

[81] 伍未.适应气候的建筑设计策略初探[D].重庆:重庆大学, 2009.

[82] 谢振宇, 杨訥.改善室外风环境的高层建筑形态优化设计策略[J].建筑学报, 2013(2): 76-81.

[83] 区燕琼.建筑外墙面热辐射性能对室外温度场的影响[D].广州:华南理工大学, 2010.

(编辑/王媛媛)

作者简介:

庄晓林/1992年生/男/山东日照人/浙江农林大学风景园林与建筑学院风景园林学在读硕士研究生/研究方向为城市小气候(临安 311300)

段玉侠/1993年生/女/安徽阜阳人/浙江农林大学风景园林与建筑学院风景园林学在读硕士研究生/研究方向为城市小气候(临安 311300)

金荷仙/1964年生/女/浙江东阳人/博士/浙江农林大学风景园林与建筑学院教授/研究方向为康复花园、寺庙园林、植物景观规划设计/本刊社长、常务副主编(北京 100037)