

陈睿山,陈丹,王云.风景园林应对气候变化的创新路径[J].华中农业大学学报,2023,42(4):23-31.
DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2023.04.004

风景园林应对气候变化的创新路径

陈睿山,陈丹,王云

上海交通大学设计学院,上海 200240

摘要 当前气候变化导致的自然灾害增加以及国家碳达峰碳中和目标为风景园林发展带来了历史机遇,但风景园林在我国气候变化应对中的话语权仍显不足。为提升风景园林在应对气候变化中的学科地位,厘清风景园林在气候变化应对领域的责任和担当,探索风景园林气候设计的创新路径,本研究在综合分析国内外气候变化应对相关文献和政策措施的基础上,从气候变化的减缓和适应两个方面,考察了风景园林能够做出重要贡献的领域。结果显示,风景园林应该面向气候变化适应、灾害治理、碳达峰碳中和等国家需求,加强多学科的交叉融合,一方面通过气候积极性设计在城乡人居环境中固碳增汇、降低碳排放,另一方面通过景观规划设计适应气候变化,降低灾害风险,增强城乡韧性。风景园林气候设计的创新路径包括:标准化定向、空间化定量转向、生态完整性取向、多尺度面向以及教学改革创新。从以上结果可以看出,风景园林在应对气候变化中大有可为,气候设计的创新探索可推动风景园林学科范式转型和创新,并为应对气候变化提供中国方案。

关键词 气候变化;减缓和适应;碳达峰碳中和;学科交叉;风景园林

中图分类号 TU986; P467 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2023)04-0023-09

气候变化是当今时代最为紧迫和复杂的挑战之一。根据联合国政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)第6次评估报告,气候变化的规模及多方面现象是几个世纪来前所未有的。至少到21世纪中期,全球地表温度将持续上升^[1]。除非未来几十年内全球大幅减少温室气体的排放,否则21世纪升温将超过1.5℃^[2]。气候变化已经影响到全球每个区域,导致极端高温和强降水的频率和强度、强热带气旋比例以及早涝事件的严重程度增加^[3]。应对气候变化是各学科共同的任务,也是国家重大需求,为学科发展带来了新的机遇和挑战。

风景园林是综合运用科学和艺术的手段,研究、规划、设计、管理自然和建成环境的应用科学,其目的是协调人与自然关系,保护和恢复自然生态环境,营造健康优美的人居环境^[4]。风景园林一直与时代和国家需求密切相关。21世纪是环境和风景园林设计师的世纪,风景园林在塑造21世纪的世界中扮演着核心作用。气候变化对风景园林规划设计带来了巨大的影响,风景园林可为气候变化诸多问题提供

解决方案^[5]。不断加剧的高温热浪、干旱洪涝等自然灾害对人居环境产生了重大影响,需要用风景园林的视角和方法来降低影响^[6-7];而要降低甚至逆转气候变化的趋势,更需要国土空间规划、风景园林设计中采用绿色低碳的方式,降低区域碳排放、增加碳汇,进而减缓气候变化的速度。沈清基等^[8]提出了“设计气候效应”概念,强调了设计对气候变化的重要性。设计气候效应指人类的各种设计经实施后对气候的状况、质量及演化等产生的综合影响,即设计及实施带来的从宏观到微观的气候变化,这种影响可能是正向的,也可能是负向的。2020年9月,习近平总书记提出碳达峰碳中和(简称“双碳”)目标。自作出这一庄严承诺以来,“双碳”目标已成为我国重大战略。风景园林需要把握国家应对气候变化带来的机遇,积极服务“双碳”战略,在气候变化的适应和减缓方面两手发力,通过跨学科合作,推动理论与设计创新,应对气候变化重大挑战,培养具有国际视野和气候行动能力、拥有设计思维、可开展多学科融合研究的高层次风景园林人才^[9]。

本文拟从气候变化的适应和减缓两方面分析风

收稿日期:2022-11-28

基金项目:教育部新农科研究与改革实践项目(2020255);国家社科基金重大项目(20ZDA085)

陈睿山, E-mail: rschen@sjtu.edu.cn

通信作者:王云, E-mail: wangyun03@sjtu.edu.cn

景园林的机遇,并从学科交叉融合的视角探索学科新的增长点,对国内外相关方向进行全景式扫描,旨在探索风景园林气候设计潜在的发展方向和领域。

1 气候变化的适应、减缓与风景园林的机遇

1.1 气候变化的适应与减缓策略

应对气候变化有减缓和适应两大策略^[10]。减缓是通过调整能源、资源、工业等社会经济系统和自然生态系统,减少CO₂排放,增加碳汇,以稳定和降低大气中CO₂浓度,减缓气候变化。适应是指通过识别与管理经济社会系统和自然生态系统中的气候变化风险,采取调整措施趋利避害,以降低不利影响和潜在风险。气候变化影响在不同区域差异很大,有效的适应行动能够降低气候变化的不利影响,对区域安全和可持续发展具有现实迫切性^[11]。

当前“双碳”目标即是从气候变化减缓的角度考虑的。碳达峰是指二氧化碳排放量达到历史最高值,达峰之后进入逐步下降阶段。碳中和是指二氧化碳的排放量与二氧化碳的去除量相互抵消,也称净零排放。实现碳中和,不仅要求降低各部门的碳排放水平,还要采取植树造林和负碳排放技术等抵消碳排放^[12-13]。“双碳”目标考虑更多的是未来的安全,而面对当前不断增加的极端灾害事件,如洪涝、热浪、海平面上升、风暴潮、干旱、火灾等,需要积极采取工程适应措施和社会经济适应措施,降低灾害损失,实现人居环境的安全^[14-15]。2022年6月,生态环境部与其他十多个部委共同发布了《国家适应气候变化战略2035》,提出要系统化全域推进海绵城市建设,根据海平面变化情况调整沿海城市相关防护设施的设计要求,提高重要基础设施防灾减灾水平、提升其适应气候变化的能力;并列举了一系列韧性建设工程。通过这些适应措施,可有效降低自然灾害的损失。《国家适应气候变化战略2035》还指出提升基础设施气候韧性、增加相关投入可带来经济效益和社会效益并规避未来损失,平均每投资1元,未来30 a共计可产生2~20元的收益(https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk03/202206/t20220613_985261.html)。有一些途径还可以同时起到气候变化的适应与减缓的双重作用,如绿化造林、社区治理等,具体的措施如图1所示。

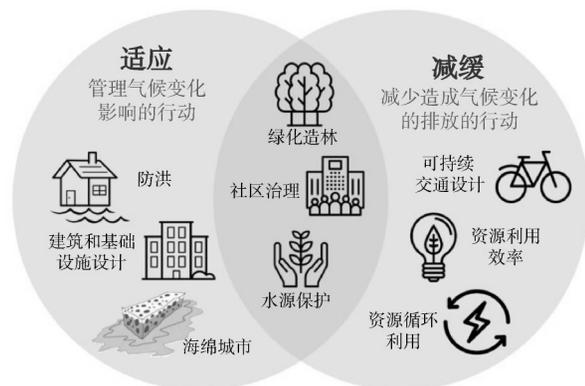


图1 气候变化的适应与减缓途径^[16]

Fig. 1 Adaptation and mitigation approaches to climate change^[16]

1.2 风景园林设计应对气候变化的具体措施与工具

风景园林师有责任和担当通过设计应对气候变化带来的各种灾难性后果^[17]。同时,风景园林也能够具体的景观设计中,通过多种途径降低碳排放,增加碳汇,为“双碳”目标做出贡献。刘长松^[18]指出了风景园林在应对城市气候变化中的三大功能定位,分别是气候灾害防护功能、绿色基础设施功能与碳汇功能。在具体的园林设计方面,有学者也指出耐热、抗旱园林植物的选择及培育关系风景园林的生命力^[6]。李惊等^[19]总结了风景园林参与碳中和设计的三大方面55项具体领域:在直接减源方面,通过减少园林绿地的全生命周期碳足迹,实现项目自身的节能减排;在增加碳汇方面,围绕园林植物、土壤、水体三大要素,增强园林绿地本身的碳捕获能力;在间接减源方面,园林绿地可以引导居民开展低碳生活,降低城市能耗,间接实现碳减排。

国外风景园林学者开发了一系列算法、计算机模型和可视化工具来辅助气候设计。Ackerman等^[20]综述了风景园林设计中应用的计算机模型和可视化工具,如利用地理信息系统软件、三维模拟和动画软件来模拟洪水淹没、海平面上升以及侵蚀和沉积过程;利用建筑信息模型(BIM)、流体动力学模型以及建筑能耗模拟软件EnergyPlus来模拟热岛效应。Portman等^[21]分析了虚拟现实技术在建筑、风景园林和环境规划中的应用。另外,一些设计公司也开发了相关模型来辅助气候设计,如Kieran Timberlake公司为量化建筑材料对环境的影响而开发的Tally,可以用来开展建筑的生命周期评估;CallisonRTKL公司的CLIMATESCOUT应用程序可以

用交互的方式来生成给定气候条件下可持续建筑的设计方案^[22]。国外还开发了用来支持低碳园林设计相关的软件,如Pathfinder碳计算工具以及Cartegraph智能公园管理软件等^[19]。

1.3 风景园林的跨学科融合路径

当前理论科学发展已从独立学科进入“大学科”时代(图2),交叉学科已成为知识、技术与创新的新型组织载体^[23]。美国科学院提出了融合科学这一范式,推动基础学科、人文社科与应用科学之间的交叉融合^[24]。我国自然科学基金委员会也设立了交叉科

学部,以促进复杂科学问题的多学科协同攻关。2021年习近平总书记在清华大学考察时提出“新工科、新医科、新农科、新文科”的建设思路,指出要将推进“四新”建设放在构建一流大学的体系中,用好学科交叉融合的“催化剂”,对现有学科专业体系进行调整升级、瞄准科技前沿和关键领域、加快培养紧缺人才^[25]。风景园林与地理学、生态学、社会学、历史学、美学、管理学等学科具有密切的联系,在应对气候变化方面,风景园林因其跨学科特性而具有广阔的用武之地。



图2 从单一学科到学科交叉融合视角^[26]

Fig. 2 From disciplinary to cross-disciplinary perspective^[26]

风景园林在适应和减缓气候变化带来的挑战方面,已被证明可提供多种路径^[27]。一方面,在学科交叉融合视野下,风景园林愈发关注气候变化、环境退化、社会公平这种极具交叉性的研究热点,学习借鉴交叉学科的研究视角和方法,提升学科包容度与整合力,拓展风景园林研究的深度和广度。另一方面,在参与多学科交叉研究过程中,风景园林也深切关注自身的有效输出和贡献,发掘风景园林学在 multidisciplinary research 中的作用,从而提高解决气候变化实际问题的能力^[28]。

风景园林与我国生态文明建设和“双碳”战略等密切相关。党的二十大报告中指出,我们要推进美丽中国建设,坚持山水林田湖草沙“生命共同体”的一体化保护和系统治理,应对气候变化,协同推进降碳、减污、扩绿、增长,推进生态优先、节约集约、绿色低碳发展。风景园林学科需要把握历史机遇,主动担当,为我国当前面临的气候变化和生态退化等问题做出积极贡献。

2 风景园林气候设计的创新路径

风景园林气候设计需要通过风景园林与地理学、生态学、美学、社会学、管理学和历史学等的多学科交叉,从标准化定向、空间化定量转向、生态完整

性取向、多尺度面向和教学改革5个方面,采用自然为基础的解决方案,应对气候变化带来的多种不利影响,减缓气候变化的速度,走向人与自然的和谐共生(图3)。

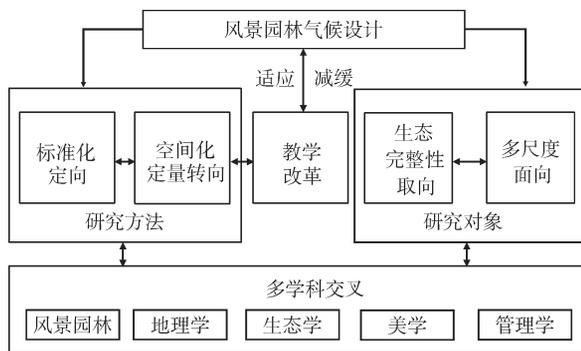


图3 风景园林气候设计的创新路径

Fig. 3 The innovative approach of climate design in landscape architecture

2.1 风景园林气候设计的标准化定向

气候设计需要建立一系列标准体系。我国较为重视碳中和的标准建设,以期提升国家在此领域的话语权。2021年9月,国务院发布了《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》(http://www.gov.cn/zhengce/2021-10/24/content_5644613.htm),提升城乡建设绿色低碳发展质

量是其中重要内容。2021年10月,国务院进一步发布了《国家标准化发展纲要》(http://www.gov.cn/zhengce/2021-10/10/content_5641727.htm),提出要完善绿色发展标准化保障,建立健全“双碳”标准,持续优化生态系统建设和保护标准。2022年10月,国家市场监督管理总局等九部门联合下发了《建立健全碳达峰碳中和标准计量体系实施方案》,从碳排放基础通用标准、重点领域碳减排标准、加快布局碳清除标准和市场化机制标准方面提出了具体的安排(https://gkml.samr.gov.cn/nsjg/jls/202210/t20221031_351180.html)。风景园林在国家标准体系建设中也具有重要的地位,如公园碳汇的评价标准、碳中和景观的设计标准、植物的碳汇评价标准等。气候变化适应设计中,还包括减少热岛效应、绿色雨水基础设施建设、生物多样性保护、海平面上升影响应对等的设计标准。这些标准一方面将为应对气候变化提供切实可行的参考,另一方面还将提高我国在气候设计标准领域的话语权。

2.2 风景园林气候设计的空间化定量转向

风景园林是景观美学和生态学等的有机结合。当前需要加强风景园林学科空间化定量研究与模拟预测在气候设计中的应用。“空间化”是指风景园林设计师通过关键制图策略性地显示“数据”来构建知识的能力。大数据、无人机、云计算的发展为风景园林的量化带来了机遇。在适应气候变化带来的极端灾害方面,风景园林师需要与气象学、气候学结合,根据未来气候变化背景下极端灾害的强度和频率来设计基础设施和景观,从而抵御灾害风险。如沿江沿海地区通过景观或公园设计来降低风暴潮或洪涝灾害影响^[29]。普林斯顿大学的风风景园林大师 Nordenson 院士等^[30]在纽约的韧性城市设计中,与该校土木工程学院的气象水文和灾害专家合作,对未来气候变化背景下纽约应对海平面上升、极端风暴潮等做了系列研究和设计工作。美国康奈尔大学的风风景园林系通过探索性的学生课程设计,研究形成气候变化适应设计策略框架,包括洪泛区、低影响发展、韧性种植与生态韧性、景观连通性与减缓城市热岛效应等,其现任系主任 Cerra^[31]开展了诸多气候适应性和城市生态设计方面的工作,设计了一系列社区中心花园和城市滨水公园,如哈德逊河沿岸的滨水公园项目。

在减缓气候变化方面,风景园林规划设计也需要计算不同景观布局的碳排放或碳汇潜力,以及不

同材料选择所造成的碳排放量差别,从而增加碳汇、降低碳排放量。哈佛大学资深教授 Martha 呼吁风景园林界要为逆转全球变暖做出积极贡献,提出风景园林师通过气候积极设计(climate positive design)引领气候行动。Martha 教授 2019 年在上海交通大学的演讲中,提出建筑师、设计师、规划师的工作不仅仅是设计环境,更应当认识到未来到底会如何发展,因为只有了解问题才能去解决问题,对一些人们真正关心的问题提出可持续的解决方案(<https://designschool.sjtu.edu.cn/international/cf19d6366086e5daf5911768b5c4c3d3/detail/5f7fdcf7a4f2592c6e97ab7c>)。Martha 教授在接受采访中还指出风景园林师应该在大气脱碳、街道绿地设计、节水储水、气候正义、减碳增汇生态系统服务提升等行动中发挥领导作用,这个万亿级的新兴市场需要去开拓^[32]。气候积极设计开发了一些简易工具计算风景园林碳足迹,量化园林建设过程中的碳排放,以便有针对性地降低碳排放^[33-34]。

更广泛来讲,风景园林规划设计还要结合人类行为心理和文化遗产等,探索更加友好的景观设计模式。已有研究利用眼动仪等来分析人群对不同景观的喜好,这类工具和方法的使用增强了风景园林设计的科学性。而在营造人与生物多样性和谐共生的景观方面,风景园林设计师也利用定点观测、红外相机等对生物的生长、活动规律等进行分析,有效提升对过程、影响等的认识。风景园林规划设计是科学与艺术的结合,在遵循美学原则的同时,增强其科学性,对提升景观的价值和持续性具有重要的作用。当前已经有一些工具、模型被开发出来,如洪涝灾害的模拟模型、碳排放的计算模型等,但如何在风景园林规划设计中加以科学应用与创新,有待深入研究。

2.3 风景园林气候设计的生态完整性取向

2007年,党的十七大报告提出要建设生态文明,强调人与自然环境的和谐共生。当前,生态文明已经成为我国国家战略,是我国五位一体总体布局中重要的方面,也是实现美丽中国的重要途径。2022年党的二十大报告中进一步强调,要推动绿色发展,促进人与自然和谐共生。风景园林承载着生态文明建设的重要任务,在生态环境保护和人居环境建设中发挥着不可替代的作用。

风景园林设计要尊重自然。在湿润炎热的两河流域,古巴比伦人在庭院的连廊上修建花园,以抵挡阳光曝晒和暴雨袭击^[17]。美国著名地理学家 Sau-

er^[35]将人类对环境的这种适应形成的景观称为文化景观。1969年, Mcharg等^[36]提出了“设计尊重自然”的理念,把风景园林设计与生态完美地融合起来,开辟了生态化风景园林设计的科学时代,促进了生态设计的产生。生态学思想的引入,导致了风景园林设计思想和方法的重大转变,也改变了风景园林的形象。黄志新^[37]提出了风景园林与生态学理念结合的4种设计模式,即生态保护性设计、生态恢复性设计、生态功能性设计和生态展示性设计,这4种设计均要求尊重自然规律。谢菲尔德大学景观学院 Alizadeh等^[38]提出设计师要针对他所在的城市,充分分析和预测未来环境变化趋势,在世界范围内寻找气候类型可供参照的城市进行对标,进而确定景观与植物设计的远期目标和方向。

生境设计在保护本土生物多样性、建立栖息地间连通性、应对环境变化、开展环境教育、提升生态系统服务和改善人类福祉方面具有重要价值^[39]。在生物生境多样性设计实践中,需要了解当地的生态现状,发现场地中值得保护的内容。对退化生态系统的修复要了解生态系统的演化过程,明确适用于该场地的植物物种和需要修复的生态过程,以增加生物多样性和生态系统功能为目标,在最大程度上利用本土植物丰富动植物群落,避免选用入侵物种,防范物种入侵^[40]。丰富的植被结构是吸引野生动物,提升场地生物多样性的重要因素,要平衡物种丰富度、功能多样性、空间复杂性和多种植物组合带来的视觉复杂性,构建由多样化植物形态构成的多层次组合,建构具有兼容性、长期稳定的植物组合,缓解气候变化的影响^[41]。各个尺度的规划设计要尽量避免对现状生态系统的干扰,多借助自然的力量来恢复,重塑自然过程是增加生物多样性最安全的方法^[42]。

近年来,风景园林设计师也逐渐考虑生态系统所提供的产品和服务。风景园林设计不仅要考虑生态系统的调节功能、支撑功能,还要考虑其文化与美学功能^[43-45]。面对城市化过程中不透水面增加、排水不畅所致日益加剧的洪涝灾害,海绵城市及以自然为基础的解决方案等理念也被风景园林设计所重视^[46-47]。而伴随城市人群生活质量的提高、城市产业转型等,郊野公园、再野化也逐步得到重视,以创造回归自然的游憩方式^[48]。

2.4 风景园林气候设计的多尺度面向

风景园林与生态的密切结合也拓展了风景园林

设计所关注的尺度。气候变化的适应与减缓需要风景园林在不同的尺度上设计人与自然和谐的景观生态格局。当前,风景园林学科所关注的对象,已经从传统的园艺、小花园、公园等小尺度扩展到国家公园建设、国土空间优化等宏观尺度。风景园林学科在传统园林、城市绿化、大地景观规划等层次上都有一定的话语权(图4)。

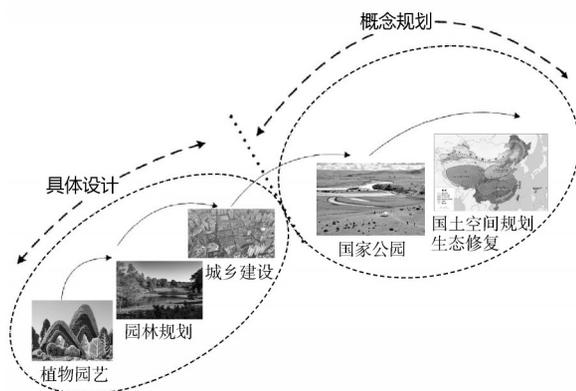


图4 风景园林的多尺度面向

Fig. 4 Multi-scale perspective in landscape architecture

风景园林贯穿基础研究和应用研究,既有生态、地理、美学、社会学等学科的基础理论,也有农学、工学等学科扎实的应用基础,在应对从生态修复到气候变化的众多问题中具有天然的优势。当前的“双碳行动”即涉及从景观规划设计到国土空间规划与生态保护与修复等多个尺度的工作。在宏观尺度上,国土空间的规划、国家生态修复重大工程的布局、陆域与海域之间统筹都需要既考虑大地景观的格局,也需要提升其生态系统功能。在中观尺度上,城乡空间布局优化与蓝绿空间协调、海绵城市建设、城市更新行动、村庄自然景观和乡村生境的营造及“生态、生产、生活”三生空间的合理布局等,均需要在景观风貌与其功能方面同时发力,降低碳排放,增加碳汇,营造低碳高效的城乡环境。在微观尺度上,公园绿地的布局、园林植物的配置、建设材料的选择等,可同时为气候变化的减缓和适应做出贡献。

2.5 风景园林应对气候变化的教学改革

国外著名院校的风景园林学科近年来已经对气候变化有了深切关注,在其课程安排中涉及了气候变化的应对^[49]。哈佛大学设计学院在其使命中就提到推进研究和创新设计以应对当前的气候变化,其主页上所展示的多个项目与气候变化相关。在其课程中,有多门课程直接以气候变化为对象,如 Climate by Design、Confronting Climate Change、Lost

and Alternative Nature: Vertical Mapping of Urban Subterrains for Climate Change Mitigation 以及 Ecosystem Restoration 等。Martha 教授在哈佛大学设计学院创立了气候变化工作组,并于2020年开始为学生开设气候变化课程。而普林斯顿大学、康奈尔大学等高校在其课程体系中也加入了气候变化相关的课程,开展气候变化方面的人才培养与设计实践,相关案例可为我国风景园林学科的教学改革提供借鉴。

我国教育部于2021年印发了《高等学校碳中和科技创新行动计划》,提出要发挥高校基础研究深厚和学科交叉融合的优势,构建高校碳中和和科技创新体系和人才培养体系,提升科技创新能力和创新人才培养水平,为加快营造绿色低碳生活、提升生态碳汇能力、加强应对气候变化国际合作等提供科技支撑和人才保障,扎实推进生态文明建设,确保如期实现“双碳”目标(http://www.moe.gov.cn/srcsite/A16/moe_784/202107/t20210728_547451.html)。2022年,教育部进一步印发了《加强碳达峰碳中和高等教育人才培养体系建设工作方案》,指出要加强绿色低碳教育,推动专业转型升级,加快急需紧缺人才培养,加强师资队伍建设和推进国际交流与合作,为实现“双碳”目标提供坚强的人才保障和智力支持(http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/202205/t20220506_625229.html)。这对风景园林学科提出了新的要求。但“双碳”目标应该是风景园林设计的最低目标,风景园林可以在气候变化应对方面做出更多的贡献。

当前我国风景园林发展面临一些挑战。2022年9月13日,国务院学位委员会、教育部印发了《研究生教育学科专业目录(2022年)》和《研究生教育学科专业目录管理办法》。新版目录中08工学中取消了风景园林学(0834)一级学科,新增风景园林(0862)专业学位,可授予博士、硕士专业学位;同时09农学中也删除了风景园林(0953)专业学位。这对风景园林的硕士、博士学术学位招生等会有一些影响。在此背景下,风景园林要把握学科交叉发展的机会,与08工学中建筑学(0813)一级学科和14交叉学科中设计学(1403)一级学科更紧密结合,如上海交通大学的风景园林系就在设计学院,与建筑系、设计系充分交叉融合。计算机技术、大数据方法的应用,也为风景园林理论研究和实践应用带来了多学科交叉的路径。日益加剧的气候变化和极端事件要求风景园林

要有更宽广的视野,积极参与到气候变化减缓和适应的实践当中。这就需要在我国风景园林课程设计中,加入气候变化相关的课程内容,如气候变化的基础理论与模拟方法,碳中和设计、气候变化影响的评估与适应性设计、智慧景观与生态设计等。

3 结论与展望

本研究考察了气候变化为风景园林带来的机遇与挑战,指出气候变化的减缓和适应需要风景园林做出积极贡献,特别是在“双碳”目标以及我国城市面临越来越频繁的城市看海、高温热浪等极端天气事件背景下,风景园林需要与其他学科交叉融合,应对气候变化带来的诸多问题。针对当前风景园林面临的挑战,从构建气候积极设计的标准体系和技术体系,兼顾科学与艺术的定量与定性特征,促进风景园林设计中的生态完整性、面向微观到宏观的多个尺度和将气候设计纳入大学教育中推动教学改革5个方面,提出了风景园林气候设计的创新路径,以期推动风景园林的学科发展,并为应对气候变化做出学科贡献。

哈佛大学设计学院执行院长 Niall 教授指出,19世纪是工程师的世纪,20世纪是建筑师的世纪,21世纪是环境和景观园林设计师的世纪。风景园林设计师需要勇于担当,积极参与到气候变化风险应对和“双碳”绿色转型中。我国风景园林发展要突破传统领域,紧密结合国家气候变化应对与生态文明建设的需求,开展多学科交叉融合,以提升学科在应对气候变化领域的贡献和话语权。

参考文献 References

- [1] MASSON-DELMOTTE V, ZHAI P, PIRANI A, et al. Climate change 2021: the physical science basis. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change[R]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2021: 1-41.
- [2] HOEGH-GULDBERG O, JACOB D, TAYLOR M, et al. The human imperative of stabilizing global climate change at 1.5 °C[J/OL]. Science, 2019, 365(6459): eaaw6974[2022-11-28].<https://doi.org/10.1126/science.aaw6974>.
- [3] ZHOU T J. New physical science behind climate change: what does IPCC AR6 tell us? [J/OL]. Innovation cambridge (mass.), 2021, 2(4): 100173[2022-11-28].<https://doi.org/10.1016/j.xinn.2021.100173>.
- [4] 陈徵文. 风景园林相关法律法规体系化整理研究:以湖南省

- 为例[D].长沙:中南林业科技大学,2018.CHEN Z W.Study on systematic arrangement of laws and regulations related to landscape architecture: taking Hunan Province as an example [D].Changsha: Central South University of Forestry & Technology, 2018 (in Chinese with English abstract).
- [5] 玛莎·施瓦茨,伊迪丝·卡茨,李致,等.设计师的地球工程“工具箱”:危机给予风景园林师扭转、修复和再生地球气候的机会[J].风景园林,2020,27(12):10-25.SCHWARTZ M, KATZ E, LI Z, et al.The designer's geoenvironmental toolkit: crisis creates opportunities for landscape architects to reverse, repair and regenerate the earth's climate[J].Landscape architecture, 2020, 27(12): 10-25 (in Chinese with English abstract).
- [6] 包满珠.全球气候变化背景下风景园林的角色与使命[J].中国园林,2009,25(2):4-8.BAO M Z.The role and mission of landscape architecture under the background of global climate change[J].Chinese landscape architecture, 2009, 25(2): 4-8 (in Chinese with English abstract).
- [7] VOLK M, NETTLES B B, HANSEN G. Educating future landscape professionals about climate change and climate-wise design: current status, priorities, and information needs [J]. Landscape research, 2022, 47(2): 227-243.
- [8] 沈清基,洪治中,安纳.论设计气候效应:兼论气候变化下的设计应对策略[J].风景园林,2020,27(12):26-31.SHEN Q J, HONG Z Z, AN N.Climate effect of design: on design strategy for coping with climate change[J].Landscape architecture, 2020, 27(12): 26-31 (in Chinese with English abstract).
- [9] 杨锐,钟乐,赵智聪.在大变局中研发风景园林学的新引擎[J].中国园林,2021,37(11):14-17.YANG R, ZHONG L, ZHAO Z C.Developing a new engine of landscape architecture in the great change[J].Chinese landscape architecture, 2021, 37(11): 14-17 (in Chinese).
- [10] VIJAYAVENKATARAMAN S, INIYAN S, GOIC R.A review of climate change, mitigation and adaptation[J].Renewable and sustainable energy reviews, 2012, 16(1): 878-897.
- [11] PÖRTNER H O, ROBERTS D C, ADAMS H. et al. Climate change 2022: impacts, adaptation and vulnerability [R]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2022: 3-33.
- [12] ZHAO X, MA X W, CHEN B Y, et al. Challenges toward carbon neutrality in China: strategies and countermeasures [J/OL]. Resources, conservation and recycling, 2022, 176: 105959 [2022-11-28]. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105959>.
- [13] LIU Z, DENG Z, HE G, et al. Challenges and opportunities for carbon neutrality in China [J]. Nature reviews earth & environment, 2022, 3(2): 141-155.
- [14] ROGGEMA R. Swarming landscapes: the art of designing for climate adaptation [M]. Dordrecht, Netherlands: Springer, 2012.
- [15] MERTENS E. Resilient city: landscape architecture for climate change [M]. Basel: Birkhäuser, 2022.
- [16] ICLEI Canada. Climate change adaptation and risk management strategy [Z/OL]. Retrieved from <https://cvrd.ca/DocumentCenter/View/100254/2021-01-18-CVRD-Climate-Change-Adaptation-and-Risk-Management-Strategy> (2022-10-21).
- [17] 赵彩君,傅凡.气候变化:当代风景园林面临的挑战与变革机遇[J].中国园林,2009,25(2):1-3.ZHAO C J, FU F.Climate change: the challenge and transformation opportunity for contemporary landscape architecture [J]. Chinese landscape architecture, 2009, 25(2): 1-3 (in Chinese with English abstract).
- [18] 刘长松.气候变化背景下风景园林的功能定位及应对策略[J].风景园林,2020,27(12):75-79.LIU C S.Functional orientation and countermeasures of landscape architecture under the background of climate change [J]. Landscape architecture, 2020, 27(12): 75-79 (in Chinese with English abstract).
- [19] 李惊,吴佳鸣,汪文清.碳中和目标下的风景园林规划设计策略[J].风景园林,2022,29(5):45-51.LI L, WU J M, WANG W Q. Landscape planning and design strategies under carbon neutrality goal [J]. Landscape architecture, 2022, 29(5): 45-51 (in Chinese with English abstract).
- [20] ACKERMAN A, CAVE J, LIN C, et al. Computational modeling for climate change: simulating and visualizing a resilient landscape architecture design approach [J]. International journal of architectural computing, 2019, 17(2): 125-147.
- [21] PORTMAN M E, NATAPOV A, FISHER-GEWIRTZMAN D. To go where no man has gone before: virtual reality in architecture, landscape architecture and environmental planning [J]. Computers, environment and urban systems, 2015, 54: 376-384.
- [22] WALSH N P. Meet the architects designing software to fight climate change [Z/OL]. <https://archinect.com/features/article/150267080/meet-the-architects-designing-software-to-fight-climate-change> (2022-10-21).
- [23] 熊巨华,高阳,吴浩,等.国家自然科学基金视角下地理科学融合发展路径探索[J].地理学报,2022,77(8):1839-1850. XIONG J H, GAO Y, WU H, et al. Exploring the integrative development paths of geographic sciences from the perspective of National Natural Science Foundation of China [J]. Acta geographica sinica, 2022, 77(8): 1839-1850 (in Chinese with English abstract).
- [24] MCNUTT M K. Civilization-saving science for the twenty-first century [J]. Annual review of earth and planetary sciences, 2022, 50: 1-12.
- [25] 吴岩.勇立潮头,赋能未来:以新工科建设领跑高等教育变革[J].高等工程教育研究,2020(2):1-5.WU Y. Brave the tide and empower the future: the reform of higher education led by emerging engineering education [J]. Research in higher education of engineering, 2020(2): 1-5 (in Chinese with English abstract).
- [26] GOHAR F, MASCHMEYER P, MFARREJ B, et al. Driving

- medical innovation through interdisciplinarity: unique opportunities and challenges[J/OL]. *Frontiers in medicine*, 2019, 6: 35 [2022-11-28]. <https://doi.org/10.3389/fmed.2019.00035>.
- [27] 刘文平,陈倩,黄子秋.21世纪以来风景园林国际研究热点与未来挑战[J]. *风景园林*, 2020, 27(11): 75-81. LIU W P, CHEN Q, HUANG Z Q. International research focuses and future challenges of landscape architecture in the 21st century [J]. *Landscape architecture*, 2020, 27(11): 75-81 (in Chinese with English abstract).
- [28] 铁铮. 风景园林教育需要多学科交叉融合[Z/OL]. 中国风景园林网. <http://chla.com.cn/html/2007-08/1237.html> (2022-10-21). TIE Z. Landscape architecture education needs interdisciplinary integration [Z/OL]. Website of China Landscape Architecture. <http://chla.com.cn/html/2007-08/1237.html> (2022-10-21).
- [29] 陈崇贤,刘京一. 气候变化影响下国外沿海城市应对海平面上升的景观策略与启示[J]. *风景园林*, 2020, 27(12): 32-37. CHEN C X, LIU J Y. Landscape strategies and enlightenment of foreign coastal cities to cope with sea level rise under impact of climate change [J]. *Landscape architecture*, 2020, 27(12): 32-37 (in Chinese with English abstract).
- [30] NORDENSON C S, NORDENSON G, CHAPMAN J. Structures of coastal resilience[M]. St. Louis: Island Press, 2018.
- [31] CERRA J F. Inland adaptation: developing a studio model for climate-adaptive design as a framework for design practice [J]. *Landscape journal*, 2016, 35(1): 37-56.
- [32] 莫非. 从行路者到引路者: 玛莎·施瓦茨的设计教学、实践与研究哲思[J]. *风景园林*, 2020, 27(6): 54-62. MO F. From walkers to guides: Martha Schwartz's philosophy of design education, practice and research [J]. *Landscape architecture*, 2020, 27(6): 54-62 (in Chinese with English abstract).
- [33] CORTESÃO J, LENZHOLZER S, MÜLDER J, et al. Visual guidelines for climate-responsive urban design[J/OL]. *Sustainable cities and society*, 2020, 60: 102245 [2022-11-28]. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102245>.
- [34] JORDAN A J, MOORE B. Policy feedback in a changing climate[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2020.
- [35] SAUER C O. The morphology of landscape [M]. Berkeley: University of California Press, 1925.
- [36] MCHARG I L, MUMFORD L. Design with nature [M]. New York: American Museum of Natural History, 1969.
- [37] 黄志新. 生态学理论与风景园林设计理念: 试论生态思想在风景园林实践中的应用[D]. 北京: 北京林业大学, 2004. HUANG Z X. Ecological theory and landscape architecture design idea: on the application of ecological thought in landscape architecture practice [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2004 (in Chinese with English abstract).
- [38] ALIZADEH B, HITCHMOUGH J. A review of urban landscape adaptation to the challenge of climate change [J]. *International journal of climate change strategies and management*, 2019, 11(2): 178-194.
- [39] 曹宇,王嘉怡,李国煜. 国土空间生态修复: 概念思辨与理论认知[J]. *中国土地科学*, 2019, 33(7): 1-10. CAO Y, WANG J Y, LI G Y. Ecological restoration for territorial space: basic concepts and foundations [J]. *China land science*, 2019, 33(7): 1-10 (in Chinese with English abstract).
- [40] 俞孔坚. 生态文明理念下美丽城市的规划设计与建设[J]. *人民论坛·学术前沿*, 2020(4): 18-36. YU K J. Designing and building a beautiful city with the vision of ecological civilization [J]. *Frontiers*, 2020(4): 18-36 (in Chinese with English abstract).
- [41] 托马斯·雷纳. 生态种植势在必行: 创建功能性的系统, 而非程式化的生态[J]. *景观设计学*, 2021, 9(1): 112-119. RAINER T. Ecological planting imperative: functional systems, not stylized ecologies [J]. *Landscape architecture frontiers*, 2021, 9(1): 112-119 (in Chinese with English abstract).
- [42] 俞孔坚. 气候适应和韧性[J]. *景观设计学(中英文)*, 2021, 9(6): 5-7, 4. YU K J. Climate adaptation and resilience [J]. *Landscape architecture frontiers*, 2021, 9(6): 5-7, 4 (in Chinese with English abstract).
- [43] HAAREN C, LOVETT A, ALBERT C. Landscape planning with ecosystem services [M]. Dordrecht, Netherlands: Springer, 2019.
- [44] WINDHAGER S, STEINER F, SIMMONS M T, et al. Toward ecosystem services as a basis for design [J]. *Landscape journal*, 2010, 29(2): 107-123.
- [45] 申佳可,王云才. 生态系统服务制图单元如何更好地支持风景园林规划设计? [J]. *风景园林*, 2020, 27(12): 85-91. SHEN J K, WANG Y C. How can ecosystem services mapping units better support landscape planning and design? [J]. *Landscape architecture*, 2020, 27(12): 85-91 (in Chinese with English abstract).
- [46] FRANTZESKAKI N. Seven lessons for planning nature-based solutions in cities [J]. *Environmental science & policy*, 2019, 93: 101-111.
- [47] PAULEIT S, ZÖLCH T, HANSEN R, et al. Nature-based solutions and climate change: four shades of green [M]. Cham: Springer, 2017: 29-49.
- [48] OWENS M, WOLCH J. Rewilding cities [M] // PETTORELLI N, DURANT S M, DU TOIT J T. Rewilding. Cambridge: Cambridge University Press, 2019: 280-302.
- [49] LENZHOLZER S, BROWN R D. Climate-responsive landscape architecture design education [J]. *Journal of cleaner production*, 2013, 61: 89-99.

Innovative approaches to address climate change in landscape architecture

CHEN Ruishan, CHEN Dan, WANG Yun

School of Design, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China

Abstract The increasing natural disasters caused by climate change and the national carbon peak and carbon neutrality target have brought historical opportunities for the development of landscape architecture, but the voice of landscape architecture in China's response to climate change is still insufficient. In order to enhance the significance of landscape architecture in coping with climate change, clarify its responsibilities and responsibilities in this field, and explore the innovative approaches of landscape architecture in climate design, this study, based on a comprehensive analysis of relevant domestic and foreign literature and policy measures on coping with climate change, examines the fields that landscape architecture can contribute to from two aspects of climate change mitigation and adaptation. The results show that landscape architecture needs to meet national needs such as climate change adaptation, disaster management, and carbon peak and carbon neutrality, etc., and strengthen multi-disciplinary integration. On the one hand, carbon sequestration and sink increase in urban and rural living environment and carbon emission reduction should be achieved through climate positive design. On the other hand, it also needs to adapt to climate change through landscape planning and design, reduce disaster risk, and enhance urban and rural resilience. The innovative approaches of landscape architecture in climate design include standardization direction, spatial quantitative transformation, ecological integrity orientation, multi-scale observation and implementation, and educational reform and innovation. The above results show that landscape architecture has great potential in coping with climate change. The innovative exploration of climate design can promote the paradigm transformation and innovative development of landscape architecture disciplines and provide Chinese solutions to climate change.

Keywords climate change; mitigation and adaptation; carbon peak and carbon neutrality; cross-discipline; landscape architecture

(责任编辑:边书京)