

“双碳”目标导向下趵突泉林野建筑环境营造的低碳技术路径与方法

Pathway and Methods for Low-Carbon Technology in Creating a Green Building Envir Baotu Spring Forest Under the Guidance of “Dual Carbon” Goals

张 涛* 史哲伟
ZHANG Tao* SHI Zhewei

(西安建筑科技大学建筑学院, 西安 710055)
(School of Architecture, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an, Shaanxi, China, 710055)

文章编号: 1000-0283(2025)07-0042-07
DOI: 10. 12193 / j. laing. 2025. 07. 0042. 005
中图分类号: TU986
文献标志码: A
收稿日期: 2025-01-25
修回日期: 2025-03-24

摘 要

面对当前“碳达峰、碳中和”的绿色可持续发展目标,以济南趵突泉为研究对象,对传统园林营造的本土低碳技术路径与方法进行系统梳理:通过对园林水景系统、山景系统以及林野种植系统的解析,还原“泺水环流、北山南水、山峦中峙、泉群散布、浓阴密植”的趵突泉山水林野格局,挖掘一套依托于先天自然环境的“第二自然”环境营造系统;在此基础上,聚焦于趵突泉建筑集群的微气候环境构建,分析泺苑的“水岛通廊”微气候环境、李清照纪念馆的“山间泉瀑”微气候环境以及王雪涛纪念馆(沧园)的“平湖秋月”微气候环境,反映出一种建筑与环境相互渗透、紧密呼应的固碳释氧场所效应;据此进一步总结趵突泉景观建设的提质增效途径,即顺应自然的山水生态系统、融合山水的林野绿植系统以及关照环境的景观建筑系统,并从中提炼传统园林营造的低碳技术路径与方法。

关键词

传统园林; 低碳技术路径; 山水林野格局; 第二自然环境系统; 建筑微气候

Abstract

In the context of achieving green sustainable development through “Emission Peak and Carbon Neutrality”, this study focuses on Baotu Spring in Jinan as the research subject. It systematically analyzes the indigenous ecological low-carbon wisdom employed in the creation of its forested and architectural environment. By analyzing the water landscape system, mountain landscape system, and forest planting system, the study reconstructs the spatial pattern of Baotu Spring, characterized by “Circular Flow of the Luoshui River, Northern Mountains and Southern Water, Centralized Mountain Range, Towering Rock Formations and Dense Canopy and Lush Planting”. This reveals a “secondary nature” environmental creation system rooted in the innate natural surroundings. Building upon this foundation, the study focuses on the microclimate environments of architectural clusters within Baotu Spring, analyzing three representative cases: the “Water-island Corridor” microclimate of Luoyuan, the “Mountain stream and Waterfall” microclimate of the Li Qingzhao Memorial Hall and the “Autumn Moon over the Calm Lake” microclimate of the Wang Xuetao Memorial Hall (Cangyuan). These analyses highlight a carbon-sequestration and oxygen-release effect, driven by the mutual integration and dynamic interaction between architecture and its environment. Based on these findings, the study identifies pathways for enhancing the quality and efficiency of Baotu Spring’s landscape construction: adapting to the natural mountain-water ecosystem, integrating forested vegetation systems with the terrain, and incorporating environmental considerations into architectural design. Collectively, these insights summarize the ecological wisdom for low-carbon living embedded in the creation of Baotu Spring’s forested and architectural environment.

Keywords

traditional garden; low-carbon technology path; mountain - water - forest landscape pattern; secondary nature system; architectural microclimate

张 涛
1983年生/男/陕西西安人/博士/副教授/
研究方向为风景园林理论与历史

史哲伟
1997年生/男/山西河津人/在读博士研究生/
研究方向为风景园林理论与历史

*通信作者 (Author for correspondence)
E-mail: 418834708@qq.com

基金项目:

国家自然科学基金项目“低碳导向的健康舒适室内环境控制理论与方法”(编号: 52394223); 教育部人文社会科学基金项目“城市‘八景’型公园的山水风景艺术原理及‘景一园’融合机制与模式”(编号: 24YJAZH227); 陕西省社会科学基金项目“城市‘八景’型公园的‘景一园’融合机制与模式”(编号: 2024J049)

近年来,随着CO₂等温室气体的超量排放,人类居住环境受到严重威胁,控制CO₂排放量,提升人居环境的固碳、汇碳潜力已势在必行^[1]。面对当下绿色建筑技术的巨大发展潜力,济南趵突泉则展现出另一种针对传统建筑环境的生态低碳的技术路径与方法。趵突泉历史悠久,文化积淀深厚,位居济南七十二名泉之冠,占地面积约158亩。园中依托趵突泉泉群系统,修建有泺源堂、观澜亭、泉水自然地址博物馆、尚志堂、李清照纪念堂、李苦禅纪念馆等大量建筑集群(图1),虽然园林建筑规模庞大、建筑密度较高,却山环水绕、浓阴蔽日,展现出优越的生态环境质量和低碳、固碳效益,尤其构建了一套具有自我调适、自我净化和自我保护能力的因地制宜的自然生态系统^[2],塑造了不同建筑的微气候环境^[3],在固碳释氧、水土保持、空气净化、湿度平衡、降低热岛效应、减少噪音等多方面表现出积极的生态作用^[4],对现代人居环境的绿色低碳与可持续发展具有重要的启示意义。

1 趵突泉生境营造的山水林野格局

趵突泉公园中虽然建筑颇多,但庞大的建筑集群并非直接陈展于平旷的开阔场地,而是首先基于趵突泉泉群系统及其地质地貌条件来展开设计的。园林地势整体上北高南低,北部为台地区,南部为名泉集区。由于地下水遇到岩浆岩的阻挡而无法流通,岩浆岩表面的粘土层又使地下水无法自由流出地面,这就使泉水凭着巨大压力从地下裂缝中涌出水面,形成泉眼。这些大大小小的10余处泉眼,如趵突泉、金线泉、皇华泉、柳絮泉、卧牛泉、漱玉泉、马跑泉、无忧泉、湛露泉、满井泉、登州泉、望水泉、石湾泉等,共同构成了趵突泉泉群系统。它们一同汇入泺水,形成一套完整贯通的园林水系,而后分别沿着园林东、西两侧向北部延伸,由此衍生为一条贯穿南北的葫芦形水环,最终从北端流出园林,再向北汇集五龙潭的泉水后流入大明湖。

1.1 园林水景系统

基于优越的泉群景观环境,园林进一步展开了丰富多样的水景营造形式。比如利用西侧的狭长水道,开掘出一条新的水路,进而营造出浮于湖上的一片水岛;又在王雪涛纪念馆北侧,汇聚形成了一片较大规模的水面,打造出枫溪绝景;还有李清照纪念馆北侧,结合漱玉泉开挖的濯缨池,瀑布倾泻、水光潋滟,堪称佳胜。此外,还有泺苑门前的溪流、园林西南角的白龙湾、白雪楼前借石湾泉打造的湖景、



图1 趵突泉建筑系统
Fig. 1 Baotu Spring architectural system

利用趵突泉形成的方池、马跑泉缔造的山涧、满井泉围合的水潭……可谓形式多样,精彩纷呈,集河、湖、池、涧、溪、瀑、潭、湾等多种水景景象于一体,构建了园林的水景系统(图2)。

1.2 园林山景系统

由于园林北部地势较高,营造者刻意设置了两组山峦,位居园林中心,耸峙于名泉区北侧,成为地质博物馆和李清照纪念馆的基址所在。这两组山峦积土成势、叠石赋形,蔚为壮观。其设计善于处理“土形”,在谋划山地交通流线的同时,形成高低错落的山峦“雏形”,并进一步结合叠石、植物、水体、建筑等多种景观要素,赋予土山以特有的立面和景象,构建了名泉集区北侧的山林野趣之意象。除了这两组结合地势的园林“主山”,趵突泉中还有大量散布的山景,多以叠石、置石手法为主。它们有的处于园林入口,成为涉门成趣的障景,有的散布于泉景内外,与泉群系统共同组织限定园林空间,还有的则



图2 趵突泉水景系统
Fig. 2 Baotu Spring water scenic system

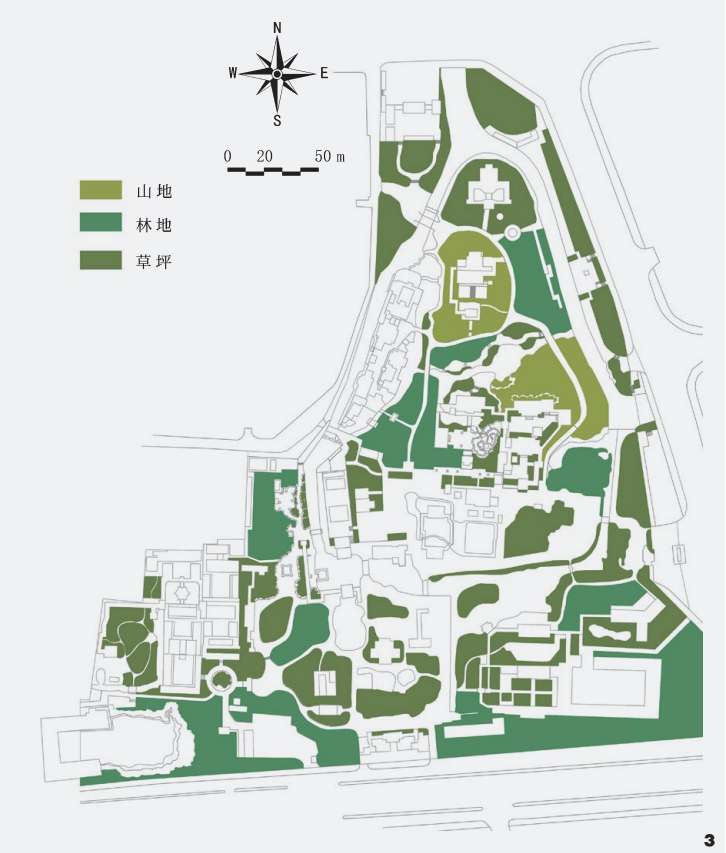


图3 趵突泉绿地系统
Fig. 3 Baotu Spring green space system

矗立于建筑院落之中，成为院内的观景对象。最著名的即是李清照纪念馆内的瀑布山，叠石成峰，山顶筑亭，流水散漫而下，院中小桥流水，环境宜人。总之，趵突泉园林中的山体大小不一、形式多样，与泉群系统相互渗透，共同构成了山水相依的景观体系。

1.3 园林的林野种植系统

趵突泉中，园林绿化规模庞大，绿地所占比例高达40% (图3)，但种植形式鲜少出现大面积草坪，以林区景观、山野景观、珍奇古木景观及局部点景形式为主：(1) 林区景观汇集大面积的乔木和常绿树种，如万

竹园中的竹林和五三纪念堂周边的纪念林。(2) 山野景观是围绕山水环境点染的乔灌木种植。此类绿地景观所占比重最大，设计特色也最为突出，是园林营造的点睛之笔。常常利用不同树种的景象特质，并将其置于特定的山水环境之胜处，结合叠石、土丘以形成虬枝拂地的松岭、柳絮飘摇的湖岸、竹阴掩映的溪谷、古柏林立的山坪等。(3) 珍奇古木景观则以独特的植物形态，分布于广场、院落等处，以奇显胜。这些不同的植物要素以不同形式被有机组织起来，营造出点状、线状、群簇状、满铺状、缠挂状、孤立状的自然组合样态，使人仿佛置身于真正的山林

野趣之中。
由此可见，趵突泉园林是围绕着一套复杂的山水生态系统^[5]和林野自然环境来展开设计的，并利用其自然条件，进一步打造了一种场地中特有的“第二自然”环境，最终形成了“泺水环流、北山南水、山峦中峙、泉群散布、浓阴密植”的山水林野格局，成为园林建筑集群选址择位的自然屏障和低碳依托^[6]。基于此种格局的构建，其低碳效应表现在以下几个方面：(1) 园林由此构建了一个由植物、地形、土壤、水体等要素综合凝成的碳库，进一步提升了建筑的碳汇效益；(2) 因地制宜、顺应地势展开营造，利用先

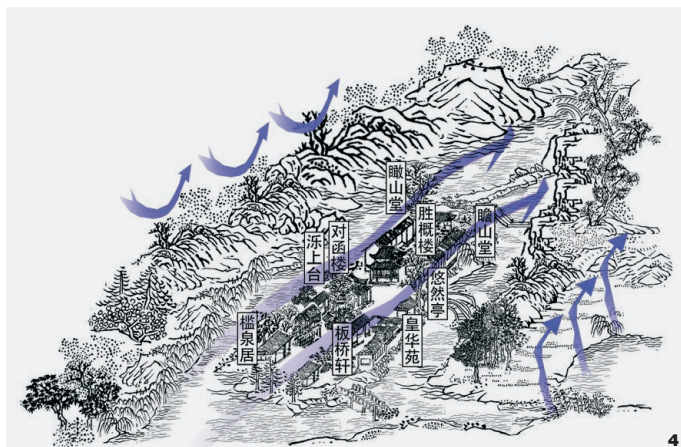


图4 泺苑微气候环境
Fig. 4 Microclimate environment of Luoyuan



图5 李清照纪念馆微气候环境
Fig. 5 Microclimate environment of Li Qingzhao Memorial Hall

天潜在条件筑山、理水，极大节约了建设成本，减少了营造过程中的建筑碳排；(3) 山水环境的构建，有利于蒸腾作用降温，减少城市热岛效应，甚至影响局部小气候，间接影响能源消耗，成为控制碳排放的有力自然路径。

2 趵突泉建筑集群的微气候环境营造

2.1 泺苑——“水岛通廊”微气候环境

泺苑位于趵突泉园林的西北部，长约100 m，占地面积2 300 m²，是一条展现济南泉水历史街区风貌的水街。泺苑建筑集群呈南北走势，其夹峙在两条水路之间的狭长水岛上，泺水从建筑东、西两侧，由南向北蜿蜒流过，形成了水汽蒸腾的湿润的空气场^[7]。泺苑建筑东侧是地质博物馆所在的山峦，西侧则紧邻园林边界的高墙，这就使建筑坐落于一条南北贯穿的“山谷”通道中，在保有良好湿度和温度的同时，构建了典型的风道场所与“狭管”效应，促进了CO₂等温室气体的消散^[8]。泺苑入口处的设计也很考究，正门直对两水交汇的水口，营造了门前对景的

湖池，引导游人经水上汀步入苑。东侧有峰峦叠嶂，西侧则浓阴密布，形成了相对封闭的小气候环境，正可谓“堂开淑气侵人，门引春流到泽”。此外，沿南北走势的三组院落，也不时将两侧泉水引入院中，并结合挑台、亭阁、汀步等设计，与水景达成良好的融合与呼应。总之，泺苑建筑集群的选址不是随机的，而是在有意识地回应泉水地貌特征的过程中，塑造了生态低碳、优美宜人的“水岛通廊”的小气候环境(图4)。

2.2 李清照纪念馆——“山间泉瀑”微气候环境

李清照纪念馆位于园林中心的高台之上，坐落于漱玉泉畔，占地面积约4 000 m²，可分为东侧的展区院落和西侧的易安居院落。两组院落东、西并联为一体，皆坐北朝南、四周曲廊，回环错落，变化有致。其中东院的东侧曲廊间，设有“叠翠轩”。轩内东墙开辟景窗，以收摄周边山水胜景。西廊南端接“溪亭”，亭旁有“洗钵泉”。东院以南经过一条竹林幽径，可达后院“静治堂”；西院易安

居由飞厅、游廊、方亭、石桥等组成，院中清泉挂瀑、小桥流水、假山堆叠、秀石玲珑、亭阁耸立，并配置各种名贵花木，松竹相映，堪称佳胜。纪念馆置身于山坪高地之上，其北面濒临漱玉泉、濯缨池，建筑结合水岸的叠石与种植设计，不仅形成了丰富的山水立面，更塑造了湿润凉爽的微气候环境。建筑南面则据靠在高大的土石山上，山中有马跑泉蜿蜒流淌，乔、灌、草各类植物林立山中，不时有湿润的凉风袭过。在这样一个生态质量优越、山环水绕的小气候环境中，纪念馆不仅据山面水，更通过院落设置、亭阁点染来积极主动地迎合环境，引泉入院，叠石筑山，有意识地打造一种内外贯通、山水渗透、气候通达的建筑环境，最大限度地“山间泉瀑”引入建筑中(图5)，在降低碳排放的同时，以达成固碳释氧的最佳效益^[9]。

2.3 王雪涛纪念馆(沧园)——“平湖秋月”微气候环境

王雪涛纪念馆又名沧园，是趵突泉园内的园中园，占地面积约2 500 m²。建筑分为

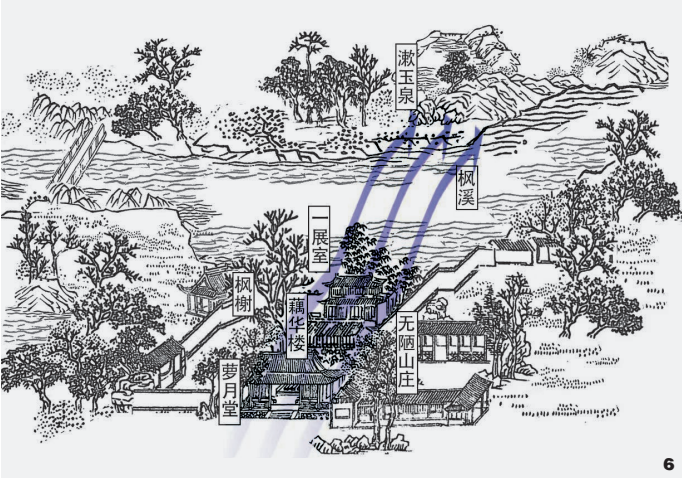
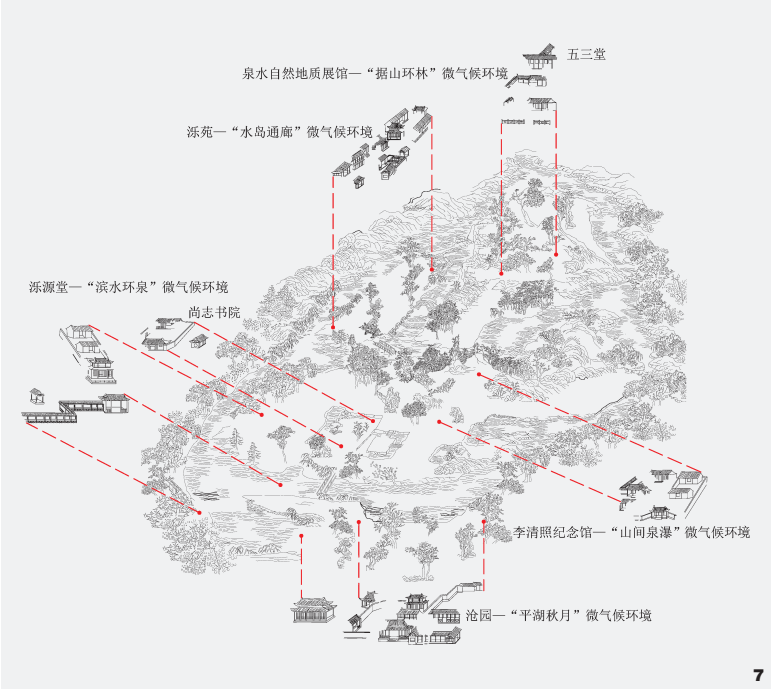


图6 沧园微气候环境
Fig. 6 Microclimate environment of Cangyuan

图7 趵突泉建筑小气候环境
Fig. 7 Microclimate environment of Baotu Spring buildings



东、西两组院落，偏西院落中，沿中轴线分别设有“无陋山庄”“梦日堂”“瓦壶斋”三个展厅，每厅皆有外廊环绕，园周又通过曲廊相围合。院内遍植翠竹，竹下溪泉蜿蜒流淌，泉水两岸多置山石，并种植青松、蜡梅，营造出绿阴浓郁的水院。纪念馆北侧设有一处宽广的平台，正对其北面的枫溪，是欣赏溪泉胜景的绝佳场所。枫溪水系呈东、西走势，沿岸山石层叠、参差错落，夹岸植垂柳，溪上栽荷莲。溪水从趵突泉、白云泉、登州泉、望水泉流入，然后穿过假山密林，向北流入泺水。枫溪上还建有一水岛，名“月岛”，与东端曲桥遥相呼应。纪念馆与枫溪南北一体、紧密呼应，通过游廊直伸向水岸，并设置水榭（“枫榭”）挑于溪上，正对水上“月岛”。每当晴空夜月，银波潋滟，可观“枫溪秋月”之佳景（图6）。可见，枫溪虽然不在纪念馆内，却是组织建筑空间的

重要依托，是设置建筑和院落轴线的定位基准，其不仅形成了立足于建筑的景色深远的风景透视线，更塑造了建筑中轴上的风道效应^[10]，促进了碳热量的消散，构建了内外环境一体、湿润凉爽的小气候环境。

此外，趵突泉园林中的其他建筑集群，都在一定程度上与周边环境紧密融合，有意识地塑造建筑的微气候环境（图7）。例如置于高台之上的泉水自然地质博物馆，沿泺水和一系列溪泉设置的泺源堂，依托白云泉、望水泉设置的李苦禅纪念馆，等等。这一建筑环境营造方略，具有重要的生态低碳价值，极大促进了建筑的固碳释氧效益^[11]。首先，微气候环境通过局部温度、湿度和风速等条件的改变，降低了城市热岛效应，增强了自然通风，进而减少了空调设备的能耗，从而达到建筑的低碳目标；其次，小气候环境中的植被、湿地、土壤、水体等要素，共

同构成了建筑的碳库，间接增强了碳汇能力；最后，微气候环境氛围的经营，极大影响着建筑的布局，并将人们从室内引向室外，改变了人们的栖居方式，在优化建筑采光、通风条件的同时，减少了人居对高能耗设备的依赖。

3 低碳导向下趵突泉景观提质增效途径及其特征

3.1 顺应自然的山水生态系统

趵突泉园林营造充分利用先天的泉群自然环境及其地形地貌条件，因地制宜、适地适景地营造出有别于先天自然的“第二自然系统”，不仅打造出建筑所依存的山水景观胜地，更遵循生态化的景观处理方式，通过泉、溪、潭、瀑等水体景观营造和山、丘、台、洞等山体景观营造，构建了建筑的微气候环境基址，实现了雨水收集、防洪排涝、

固碳释氧、通风换气、调节空气湿度与温度、改善区域小气候、净化空气、减少声光污染、吸尘降噪等一系列的生态作用^[12]，即通过针对自然山水的生态设计方略，使得与之相关的生态要素被有机联系和组织起来，在尊重原有自然环境及其地形构造、地表肌理的基础上，构建了一个更为高效的建筑所在的“小生态圈”，即达成了“让自然做功”^[13]的生态低碳的设计策略。

3.2 融合山水的林野绿植系统

植物是生态碳循环中的关键环节和汇集处^[14]。在趵突泉园林中，优越的山水环境为植被创造了良好的生存空间和气候条件，更有利于展现植物群落的立体化层次。(1)园中多选取本地植被，尤以槐、柳等乔木居多，这些树木成活率较高，固碳效果较好，后期维护成本相对较低，且比灌木和地被植物更多地释放氧气，和减少CO₂排放^[15]。(2)结合乔、灌、草等不同种植形式的复层结构，形成稳定的植物群落^[16]，并展现出不同植物形态基于孤植、群植、铺植、散植条件下的特有的景象特征，进而共同组织塑造了丰富的山林野趣之意象，在增加种群多样性的同时，更极大地提高了植物的固碳释氧效益，具有保持水土、净化空气、缓解热岛效应、减少噪声、防风固沙、改善微气候环境等多方面的显著作用。(3)园中植物景观一经形成，后期不需要过多维护和干预，降低了管理过程中的碳排放。总之，趵突泉园林营造，在植物选择、种植方式、维护管理等多方面，均体现出良好的固碳减排效益。

3.3 关照环境的景观建筑系统

趵突泉园林中虽然建筑占地规模较大，但每组建筑集群都在不同程度上与山水林野

环境紧密关联，强调建筑的韧性、适应性、景观性及其环境特征。即通过建筑的精心选址和巧妙分布，使其与周边山水林野一同构建整体性的小气候环境，并以低能耗模式满足不同建筑场所通风、保暖、保湿等多方面的物理环境需求^[17]。建筑本身亦是通透虚怀的，通过内院、平台、游廊、檐下等大量过渡空间，结合亭阁景观建筑设计，在建筑室内、外空间之间，塑造了一套半室内、半室外的过渡空间，与室外环境达成密切关照。这一过渡空间作为建筑内部空间的有效延伸，既可以容纳人的游赏活动，又为自然山水气候引入室内提供了过渡和缓冲，最终实现了建筑与环境的内外贯通、山水渗透、气候一体的生态低碳效益。

4 传统园林建筑环境营造的低碳技术路径

作为传统园林营造的典型案例，趵突泉景观的低碳智慧，不仅体现在山水、林野绿植和景观建筑的物质环境经营上，更反映了先贤在面对和处理人与自然关系过程中，所积累的一系列的园居经验，由此形成了相址择位思想、山水林野格局、建筑小气候经营等传统园林营造的低碳技术路径，主要表现在以下5个方面：

(1) 巧借自然、适地适景的生态选址。传统园林立足于宏观的城市山水环境选址，在充分审视和发掘场地自然生态条件的基础上，巧妙利用地势、山泉、林野等国土空间的有利资源，融合特定人居功能布列建筑，以达成建筑碳排放与自然碳汇的空间耦合，在建筑节能减排的基础上，最大限度地实现其碳汇效益^[18]。这种巧借自然、适地适景的生态选址观，对城市低碳化发展具有重要启示。

(2) “第二自然环境”的营造。传统园

林中，虽然建筑密度和占地规模较大，却并不是孤立的建筑集群，而是在一个经过人工精心打造的生态低碳的活态自然环境中衍生的。相对于先天的、非人工的自然环境，这种“第二自然环境系统”的营造，成为建筑景观低碳化提质增效的重要依托和生态屏障。

(3) 建筑微气候环境的塑造。基于园林整体的自然生态系统营造，每一组建筑集群的选址择位都不是随机的，而是在充分审视和发掘微观地势条件及其环境特征的前提下，因地制宜地精心安排和布置，进而达成建筑与环境的耦合同构。这些建筑或居高孤峙、或据谷环水、或架泉挑台，由此形成了每一组建筑特有的微气候环境，最终汇集形成园林建筑集群整体的生态低碳场所效应。

(4) 低碳景观建筑的提质增效路径。园中建筑均以呼应和回应自然环境作为规划设计的第一要务，并通过院、廊、台、阁、亭这些极具渗透性的建筑组织方式，结合地势、山水、植物群落的经营，在户外自然环境与建筑内部空间之间，又塑造了一个介于二者的观游层次，使得建筑成为彰显山水环境特质、融合自然气候条件的人工媒介，进而形成了绿色宜居建筑的生态低碳效益和环境景观特征。

(5) 不局限于低碳的景观综合效益展现。尽管趵突泉建筑环境表现出良好的低碳效益，但园林并不是以低碳作为营造的唯一目的和终极目标，其建设起始于对良好自然生态环境的尊重和审视，并结合地势、因地制宜地营造出特定的山水景象，同时结合人居功能赋予山水环境以独特的文化内涵，最终展现出集生态低碳效益、景观效益、文化效益于一体的多元价值特色，从本质上反映

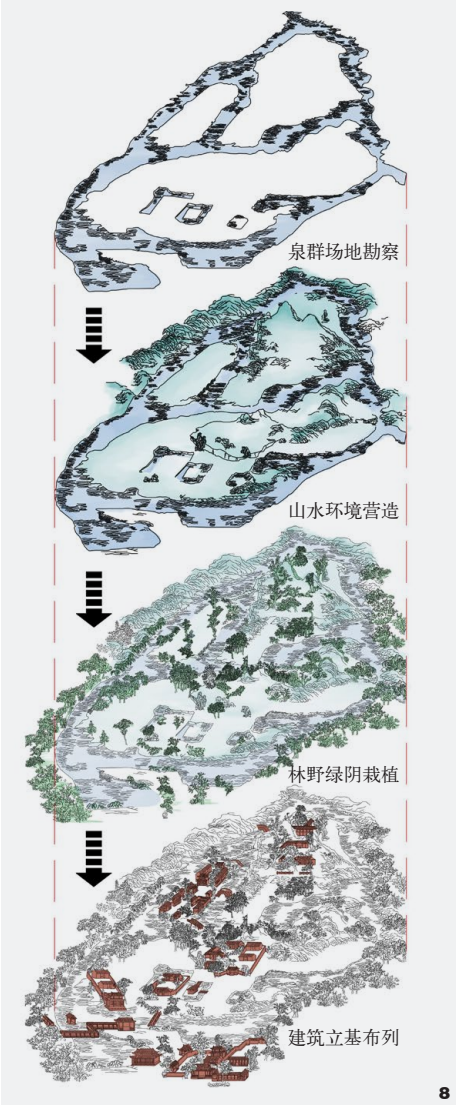


图8 趵突泉低碳环境营造技术路径
Fig. 8 Technological path for creating a low carbon environment in Baotu Spring

出“人与天调，而后美生”的本土环境伦理和人居智慧，这是塑造低碳景观技术路径的内在驱动力（图8，图9）。

5 结语

趵突泉林野建筑环境营造反映出一种有别于西方视野的传统园林营造的低碳技术路径与方法，在积极认识、精心发掘和主动选

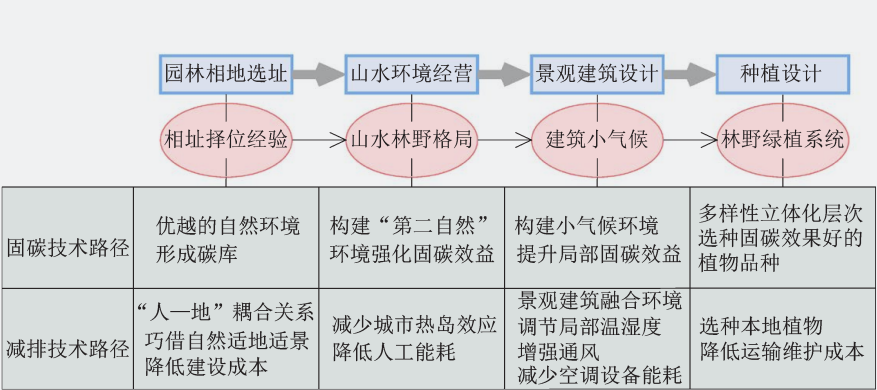


图9 园林固碳减排技术路径
Fig. 9 Technological path for carbon sequestration and emission reduction in gardens

择特定自然环境的基础上，有意识地打造出一套区别于先天的“第二自然环境系统”，构建了因地制宜的山水林野格局，并据此营造与环境紧密融合、相互渗透的绿色低碳的景观建筑体系，形成了每一组建筑集群特有的微气候环境，实现了“本于自然、高于自然”的生态低碳价值。秉承本土特有的生态低碳营建智慧，用心审察建筑环境的“在地”自然特征，并积极回应建筑与自然的耦合呼应关系，以构建高效率的固碳释氧园林环境，对当下绿色建筑的低碳发展具有重要的启示意义。

注：文中图片均由作者绘制。

参考文献

[1] 洪志超, 苏利阳. 国外城市碳中和策略及对我国的启示[J]. 环境保护, 2021, 49(16): 68-71.
[2] 刘晖, 许博文, 陈宇. 城市生境及其植物群落设计: 西北半干旱区生境营造研究[J]. 风景园林, 2020, 27(04): 36-41.
[3] 刘晖, 曹翔, 陈宇. 城市绿色空间生境样方构成与形态要素: 以西安为例[J]. 风景园林, 2021, 28(06): 70-75.
[4] 王洪成. 探索城市生态修复的低碳园林途径[J]. 风景园林, 2017, 24(11): 80-85.

[5] 朱敏. 西安浐灞生态区城市绿地空间植被碳储量估算研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2020.
[6] 李倬, 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(05): 45-51.
[7] 王晶懋, 王一凡, 张涛, 等. 城市街区单元绿地空间格局与植物群落碳汇效益优化研究[J]. 风景园林, 2024, 31(06): 37-45.
[8] 邱希阳. 基于低碳理念下的城市绿地设计研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2011.
[9] 陈自新. 北京城市园林绿化生态效益的研究(2)[J]. 中国园林, 1998(02): 49-52.
[10] 王晶懋, 范李一璇, 韩都, 等. “双碳”目标下的西安地区绿地植物碳汇矩阵量化与配置模式研究[J]. 中国园林, 2023, 39(02): 108-113.
[11] 倪阳, 罗建河, 江立敏, 等. 当代校园绿色低碳设计[J]. 当代校园绿色低碳设计, 2024(09): 6-12.
[12] 殷利华, 杭天, 徐亚如. 武汉园博园蓝绿空间碳汇绩效研究[J]. 南方建筑, 2020(03): 41-48.
[13] 姚科. 西安市域绿地碳汇效益影响因素研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2021.
[14] 董延梅. 杭州花港观鱼公园57种园林树木固碳效益测算及应用研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2013.
[15] 姚正阳. 西安城市绿地地上碳储量估算研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2015.
[16] 冀媛媛, 罗杰威, 王婷. 建立城市绿地植物固碳量计算系统对于营造低碳景观的意义[J]. 中国园林, 2016, 32(08): 31-35.
[17] 王敏, 石乔莎. 城市高密度地区绿色碳汇效能评价指标体系及实证研究——以上海市黄浦区为例[J]. 中国园林, 2016, 32(08): 18-24.
[18] 王敏, 石乔莎. 城市绿色碳汇效能影响因素及优化研究[J]. 中国城市林业, 2015, 13(04): 1-5.