

基于全生命周期的城市滨水空间更新低碳设计研究 ——以四川省仪陇县嘉陵江为例

Research on Low-carbon Renewal Design of Urban Waterfront Space
Based on the Whole Life Cycle: Taking the Jialing River in Yilong County,
Sichuan Province as an Example

宋 雁* 杨 骏
SONG Yan* YANG Jun

(杭州园林设计院股份有限公司, 杭州 310030)
(Hangzhou Landscape Architecture Design Institute Co., Ltd., HangZhou, ZheJiang, China, 310030)

文章编号: 1000-0283(2023)12-0058-07
DOI: 10. 12193 / j. laing. 2023. 12. 0058. 007
中图分类号: TU986
文献标志码: A
收稿日期: 2023-09-05
修回日期: 2023-11-02

摘 要
“双碳”目标引领下,从全生命周期的视角探索园林景观的低碳设计方法成为中国新时期城市公共空间更新的重要议题。从景观材料的生产、建造、日常使用和维护、废弃拆除4个阶段分析园林景观主要碳排要素,甄别设计影响要素,构建包含“竖向、水系、绿化、路径、材料、建筑、照明、给排水”8类要素和“堤内、堤外”两个维度的城市滨水空间更新的低碳设计技术框架,以四川省仪陇县嘉陵江江滩湿地及滨河绿地改造为例,立足项目实践,进一步提出细致可操作的低碳更新设计方法,并分析实施效果。研究旨在探索通过精细化的设计控制实现园林景观全生命周期减碳,对同类型项目的低碳建设实践有积极的借鉴意义。

关键词
全生命周期; 园林景观更新; 低碳设计; 城市滨水空间

Abstract
Under the guidance of the goal of “double carbon”, exploring the low-carbon design method of landscape architecture from the perspective of the whole life cycle has become an essential issue for the renewal of urban public space in China. This paper analyzes the main carbon emission factors of landscape architecture from four stages of landscape material production, construction, daily use, and maintenance, as well as abandonment and demolition, identifies the design influencing factors, and builds a carbon reduction technical framework for urban waterfront space renewal design that includes eight elements of “vertical, water, greening, path, materials, lighting, water supply, and drainage” and two dimensions of “inside and outside levees”. Taking the Jialing River wetland and riverside green space transformation in Yilong County, Sichuan Province, as an example, based on the project practice, proposed a detailed and operable low-carbon renewal design method and analyzed the implementation effect. The study aims to explore the realization of carbon reduction in the whole life cycle of landscape through refined design control, which provides a positive reference significance for the low-carbon construction practice of similar projects.

Keywords
whole life cycle; landscape renewal; low-carbon design; urban waterfront space

宋 雁
1978年生/女/吉林通化人/硕士/正高级工程师/集团总规划师/研究方向为风景园林规划设计、生态修复、低碳设计

杨 骏
1990年生/男/重庆人/硕士/高级工程师/所长/研究方向为风景园林规划设计、生态修复、低碳设计

*通信作者 (Author for correspondence)
E-mail: 157084579@qq.com

在“双碳”目标与高质量发展的双重导向下,城市更新成为影响中国“双碳”进程,推动城市高质量发展的关键性变量因素^[1],其中蓝绿空间的更新是极为重要的议题。城市滨水蓝绿空间,以其规模及绿量大、系统连通性好、区位佳等特征,往往是城市最重

要的碳汇空间^[2]。如何通过更加精细化的设计控制减少其更新过程中的碳排放,对于整体蓝绿空间实现全生命周期更优的碳汇效果具有重要的实践意义。文章通过详细分析城市滨水空间更新低碳设计影响控制要素,基于设计实践流程构建城市滨水空间更新的低

碳设计技术框架，用以指导具体工程实践，更好实现该类项目的全生命周期减碳目标。

1 城市滨水空间全生命周期低碳设计影响要素

全生命周期评估是在产品的生产过程中，从原料的取得、制造、使用与废弃等阶段，评估其产生的环境冲击^[3]。作为一种评价方法，其主要被用来衡量某一过程或产品（货物或服务）在其从原材料到被废弃的过程中造成的环境负荷。全生命周期评估从1990年起就已经被用于建筑部门，建筑的全生命周期包括建筑材料的生产阶段、建造阶段、日常使用和维护阶段，以及废弃拆除4个阶段^[4]。园林景观营建作为人类建造活动之一，与建筑建造具有相似性^[5]。本文参照建筑全生命周期，将园林景观全生命周期分为景观材料的生产阶段、建造阶段、日常使用和维护、废弃拆除4个阶段。

1.1 园林景观全生命周期与低碳设计的相关研究

近年来在“双碳”目标的引领下，关于城市绿地的碳汇效能、园林绿地全生命周期的碳排放量化、减源途径等研究议题日趋多元和深入。王敏、石乔莎^[6]研究了城市绿色碳汇效能的影响因素及优化途径，提出可通过增加三维绿量、甄选植物种类、改善群落结构、营造适宜小气候及优化养护管理等策略提高城市绿色碳汇效能。李惊等^[7]提出碳中和目标下较为宏观的风景园林规划设计策略，总结了园林绿地直接减源的设计措施和作用机理，主要包括尊重场地条件减少过度设计、利用现有材料和工程构造、制定景观维护的全流程管理规范等。冀媛媛等^[8]以天津某居住区为例，量化分析了景观全生命周期的碳

源和碳汇情况，总结出景观材料阶段和景观维护阶段的碳源是居住区碳源的主要来源，景观维护的碳排占全生命周期总碳排的35.57%（以50年计算）。黄柳菁等^[9]以广州市道路绿地、公园绿地的7个研究区域为例，进行了碳足迹核算和评估，总结出城市绿地地上部分的碳库主要影响因素包括植物群落结构、乔木生长速率、乔木种植密度、功能分区等，土壤是城市绿地的主要碳库，而城市绿地的碳排放主要来自建造施工和管理养护，施工产生的碳排放量占总碳排的71%~98%。

梳理相关研究成果发现，不同类型、不同场地条件的项目其具体情况和面对的低碳设计问题是非常复杂多样的，碳汇的方法较为一致，但其碳排放的主要阶段和具体来源均存在较大差异。本文将聚焦城市滨水空间更新项目，总结该类项目全生命周期的更新低碳设计要素及流程方法。

1.2 城市滨水空间全生命周期低碳设计要素分析

基于生产、建造、日常使用和维护、废弃拆除4个阶段，根据更新类项目的实施内容特征，精细化分析各阶段内容的低碳设计影响要素（表1）。

生产阶段主要考虑各类园林景观材料在制造过程中的碳排放。通常在更新类项目中，大量使用的材料主要是铺装、游览服务设施、园林家具和小品以及基础设施更新所用到的各类主材。在设计影响要素方面，主要体现为低碳、耐久、环保材料的选用，尽量选用天然材料，减少机械加工工序^[10-11]。

在建造阶段，更新类项目主要内容通常为梳理优化植物景观、补充完善各类服务设施、更新优化道路铺装和老旧基础设施、适当点缀园林景观小品。在设计影响要素方面，

主要是合理选择苗木品种和产地、规格，减少土方挖填，应用本土建材和预制建材、构筑物，以减少建材运输^[12]及现场高能耗、低效率的机械施工，并优化整合施工工序，强化施工质量，从而延长使用寿命^[13]。在基础设施方面，视条件可充分应用无需供电的太阳能风能灯具，并对各类管线进行综合化精细设计，减少管线和管沟施工。

在日常使用和维护方面，主要考虑通过设计减少后期日常养护和更新维修作业，通过合理选择苗木品种，减少肥料和杀虫剂的使用；减少人工浇灌；减少造型、整形植物的使用；合理布局垃圾收集、清运系统；建筑节能设计，使用智能化喷灌和照明系统，选用耐久的硬质景观材料和各类管材，合理设计易损节点构造减少维修更换来实现^[14]。对于城市滨水空间中涉及滨水滩地的部分，还应特别考虑合理梳理、设计江滩植被，沟通滩地内水系、修复驳岸，并考虑园路系统的顺畅平整耐冲刷，减少洪水时拦挂垃圾和淤泥，便于清理。

对于在可预见时期内不会发生的废弃拆除阶段，主要考虑各种材料、设施的可回收利用，降低在废弃拆除阶段的碳排放。

综合上述分析，为便于设计应用，可将滨水空间全生命周期的低碳设计要素总结为如下8项：竖向、水系、绿化、路径、材料、建筑、照明、给排水。各要素的具体低碳设计内容见表2。

2 研究案例概况与低碳设计技术框架

2.1 案例概况

四川省仪陇县是开国元勋朱德的故里，县城于2005年迁至嘉陵江畔的新政镇，场地位于县城城东组团的滨江带，全长约5 km，总面积约61 hm²。场地被防洪堤分为堤脚内

表1 城市滨水空间更新低碳设计影响要素分析表
Tab. 1 Analysis of factors Influencing low carbon design in urban waterfront space renewal

阶段/要素 Stage/factors	主要碳排要素 Main carbon emission factors	低碳设计影响要素 Factors affecting low-carbon design
生产阶段	各类硬景、建筑、基础设施等使用材料	材料类型 (包括石材、木材等碳排放相对较低的天然材料, 人造石材、钢材、混凝土等碳排放相对较高的人工材料), 铺装材料的面层样式 (机械加工程度), 以及本土材料、环保管材的选用
建造阶段	场地清理与土方整理	竖向设计尊重场地原有地形, 尽量减少土方挖填与外运
	苗木运输与栽植	苗木品种 (产地选择)、规格, 种植群落适宜的集中度 ^[15]
	苗木修剪、灌溉与施肥施药	苗木品种适应项目场地气候和土壤、粗放型管理; 科学合理的群落搭配, 尽量不使用整形类、造型类植物
	水系梳理及驳岸修复	适度设计、减少土方挖填、利用本土材料及工法修复驳岸
	各类建构物、场地道路、设施的材料运输与施工	建材本土化、低碳环保预制建构物物的使用、合理的铺装材料尺寸、管线综合精细化综合设计、太阳能风能灯具的应用
日常使用和维护	植物灌溉、施肥、农药、修剪	苗木品种适应项目场地气候和土壤、粗放型管理; 智能自动喷灌系统的应用; 科学合理的群落搭配, 尽量不使用整形类、造型类植物
	绿化补植	苗木选用适应项目场地气候和土壤、少病害、粗放型管理以及长寿树种
	江滩清理与垃圾清运	江滩植被品种与分布, 江滩内水流畅度与驳岸牢固度, 园路系统顺畅平整耐冲刷, 合理的后勤管护通道体系, 合理的垃圾桶布点
	设施损坏及道路铺装的翻新更换	设施的耐久性主材选择, 易损节点构造、工艺的耐久性
	建筑、室外照明等能耗	各项节能设计、清洁能源及智能控制系统的使用
废弃拆除	—	可循环利用材料的选用

表2 城市滨水空间更新低碳设计要素及低碳设计内容表
Tab. 2 Low carbon design factors and content for urban waterfront space renewal

低碳设计要素 Low carbon design factors	主要低碳设计内容 Main low-carbon design content	空间维度 Spatial dimension
竖向设计	竖向设计 (适度设计、减少土方挖填)	堤外、堤内
水系设计	合理梳理江滩内水系, 利用本土材料修复驳岸	堤外
绿化设计	苗木品种 (产地选择、适应项目场地气候和土壤、萌生力强、适应粗放型管理、长寿树种)	堤外、堤内
	苗木规格适度	堤内
	科学合理的群落搭配, 种植群落适宜的集中度	堤内
	苗木形态要求 (尽量不使用整形类、造型类植物)	堤内
路径设计	园路、场地系统顺畅, 平整耐冲刷	堤外
材料选择	天然材料、环保材料、可重复利用材料、预制建材的选用, 合理的材料尺寸	堤外、堤内
建筑设计	各项节能设计	堤内
照明设计	太阳能风能灯具、节能灯具的应用	堤内
	智能化照明控制	堤内
给排水设计	智能自动喷灌系统的应用	堤内

的江滩湿地与堤顶至滨江道路间的滨河绿地两部分, 是县城人流量最大、辐射面最广的绿色公共空间。

在早期忽视水文影响的设计建设模式下, 江滩湿地公园内的园路、场地被洪水损毁严

重, 杂木丛生、坑塘淤塞, 处于荒芜状态, 每年汛期结束挂满垃圾的泥滩地, 极大增加了清理和管护工作量。江滩地中还存在的非法采砂场、堆场, 不仅影响行洪安全, 频繁作业还导致滩地岸线多处坍塌, 水土流失严重。

多处雨污混流排放口通过滩地直排嘉陵江, 造成水污染。堤顶绿化带受早期规则构图设计理念的影响, 空间布局较规则呆板, 加之常年管理养护不到位, 如今绿化带郁闭阴暗, 对植被生长造成影响, 且“滨江不见江”。

在活动空间和功能使用方面, 堤顶的滨河绿地以游步道散步为主, 除朱德雕像广场有一处活动场地外, 其他铺装场地或零散破碎、或郁闭阴暗, 难以满足居民活动需求, 且缺乏休憩设施、功能照明和卫生设施。滩地公园尽管荒芜, 且存在安全隐患, 但因场地较平整且“见山见水”, 仍有大量居民搭设便道进入, 这反映出当地居民强烈的亲水和活动需求。

2.2 低碳设计技术框架

在满足原定设计目标的前提下, 进一步总结低碳设计技术措施, 并形成技术框架, 不仅可以实现投资、养护节约, 更能够为园

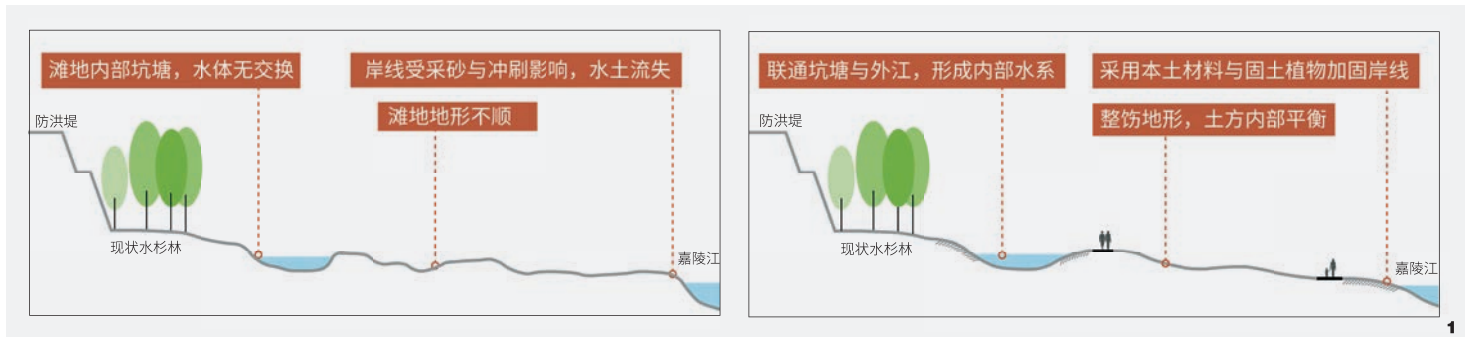


图1 滩地竖向设计模式图
Fig. 1 Vertical design pattern diagram of beach land

林景观更新类项目的低碳化设计做出流程方法探索。根据前述影响要素分析，基于初步方案对各项工程内容进行了数量匡算，得出本项目的主要碳排阶段为建造阶段和使用维护阶段，结合本项目以堤顶绿化提升、滩地修复及园路场地更新为主要内容，只有极少量新增构筑物，其更新低碳设计主要技术措施框架包括5大方面：

(1) 竖向与水系设计。充分尊重场地原有地形地貌进行适度设计，在保障排水要求和景观效果的同时，尽量减少土方挖填，利用地形自然排水。沟通内水系，并合理设计水系形态及河道竖向形态，修复驳岸，利用自然水体流动提升水体自净力，抗洪水冲击。(2) 绿化设计。选择本土适应性强、少虫害、宜粗放管理的植物品种，尽量选择长寿树种，不使用或少使用人工草坪。合理配置植物群落，形成自然和谐的共生关系，减少农药、化肥和杀虫剂的使用。在保障景观效果的同时，合理选择苗木规格，减少运输碳排放和种植阶段的养护作业，提高植物成活率。(3) 道路铺装设计。尽量选择本土、天然耐久的铺装材料，适度减少面层效果的机械加工；合理选择铺装材料尺寸和厚度，尽量减少机械辅助施工；合理设置道路宽度、转弯半径，以便养护作业及垃圾清运车辆的便捷

通行。(4) 照明设计。适度设计，并采用低能耗灯具和智能化照明控制系统，降低日常能耗。(5) 给排水设计。采用智能化喷灌系统，合理利用中水和河水。根据技术措施框架优化方案后，再次对整体方案效果进行检查和措施校对，避免过度偏重低碳设计而影响实际景观效果和使用功能。

3 城市滨水空间更新低碳设计与实施效果分析

本文研究案例是仪陇县城最为重要的滨水绿色公共空间，经过多年营建，堤顶的绿化空间格局已基本稳定，堤坝外的滩地因水位变化影响损毁较严重。根据场地特征和前述减碳技术框架，主要从滩地的地形与水系梳理、堤坝内外不同竖向空间的绿化更新、道路与铺装、基础设施4个主要影响该项目碳排放的方面来落实具体低碳设计手段。项目实施完成后取得了良好的实际效果，实现了优美的景观效果、实用的滨水空间与景观全生命周期低碳的良好平衡。

3.1 地形与水系

堤下江滩地受嘉陵江水位季节性变动影响，在每年汛期均被不同程度淹没，滩地的修复与再利用以行洪安全为前提，合理整饬

地形、联通内水系、修复驳岸，提升场地应对洪涝的能力。土方实现场地内平衡，严格遵守相关要求和低碳设计原则，不在滩地内增加土方，也无外运土方(图1)。

多年的洪水冲刷已在滩地内形成数个相互独立的大小坑塘，汛期后存水至枯水期干涸。改造将各个坑塘与嘉陵江相联通形成常年有水的内部水系，在高水位时得以流动交换，利用自然流动提高自净力，减少富营养化，汛期增加蓄滞洪能力并成为更加顺畅的行洪通道(图2)。城市雨水口的来水首先进入内部水系滞留净化后进入嘉陵江，削减初期雨水污染。

滩地岸线在洪水冲刷与采砂的扰动下已不稳定，本次改造取缔了采砂场并对场址进行生态修复(图3)，针对不同的冲刷强度采用不同的本土材料进行岸线加固：对冲刷严重的嘉陵江岸线增设格宾石笼；内水系易冲刷缓坡增加加筋麦草垫并种植固土植被，以解决滩地退化和水土流失问题并构建起可呼吸的生态江岸。

3.2 植物种植设计

改造前对场地内植物群落中胸径 $\geq 10\text{cm}$ 的乔木的种类、胸径、长势进行了详尽的摸底调查与测绘，根据滩地行洪安全、设计目

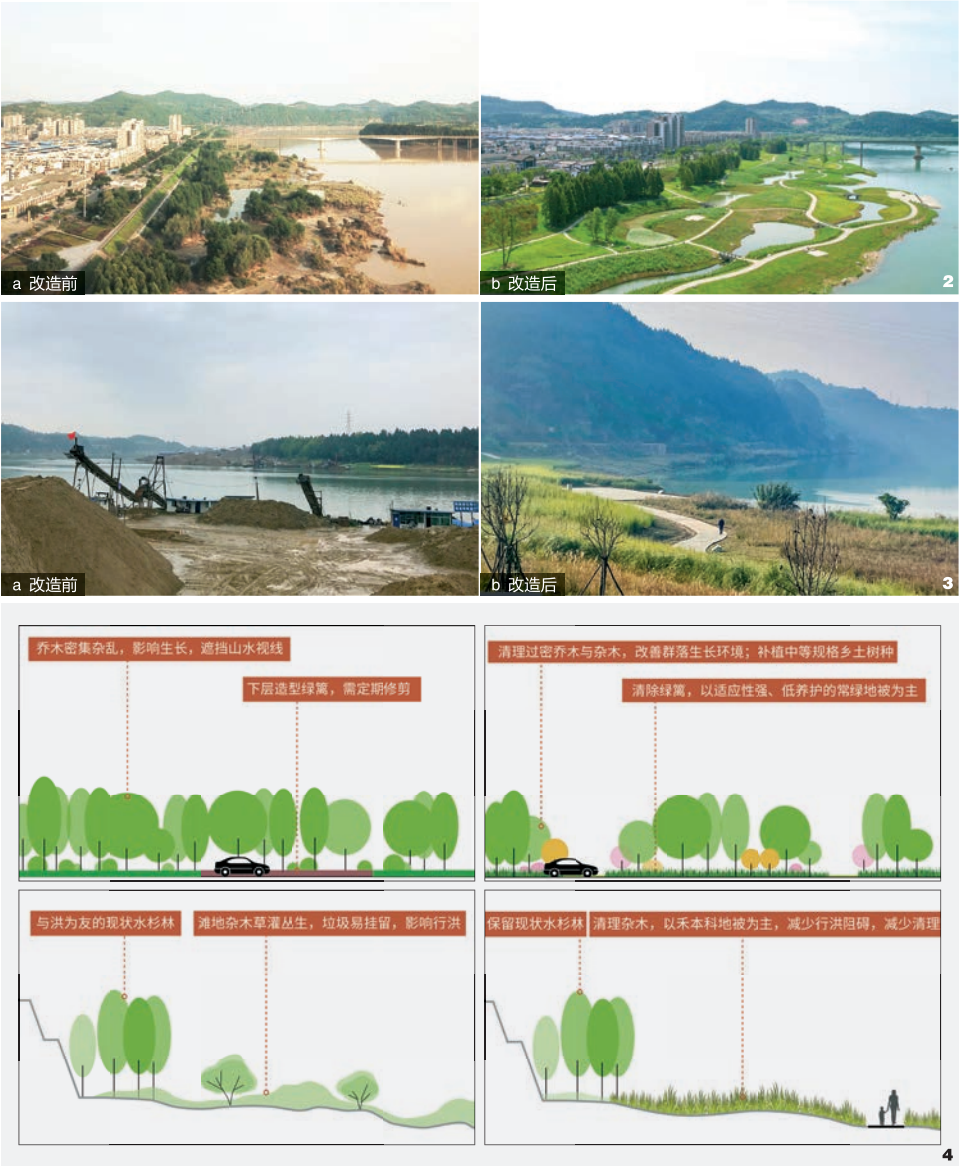


图2 滩地内水系连通与岸线稳固
Fig. 2 Water system connectivity and shoreline stability in the beach area

图3 滩地内采砂场生态修复
Fig. 3 Ecological restoration of sand mining sites in the beach area

图4 绿化更新设计模式图(堤内滨江绿化带、堤外滩地)
Fig. 4 Greening update design mode diagram

标、保留价值等因素进行综合评估, 并将其划分为原址保留、场内利用、清理迁出三个类型(图4)。重点保留堤上滨江绿带长势良好的大乔木和滩地内多年生长稳定与洪为友的水杉林。通过评估群落生长状况和分析主视点与对景点, 对影响群落共生、过于密集

杂乱、且遮挡山水视线通廊的中下层植物进行疏剪, 修剪分枝点过低乔木, 改善植物生长环境, 并引自然江景入城。堤顶绿化带去除原有需修建的造型绿篱, 以适应性强、低养护的常绿地被为主(图5)。补植的乔木主要选择中等规格的本土树种, 对硬质防洪堤

采用植生袋进行绿化。

堤下江滩地植物营造以嘉陵江中段野草丰美的自然滩地景观为原型进行地域特色的再现, 种植以高适应、低维护的禾本科植物为主, 搭配菊科混播地被, 植物空间允许野草的自由生长, 不使用人工草坪。清除影响行洪的杂木, 适度将疯长的芦苇地优化为地被区, 提高土壤碳汇, 减少洪水时的阻碍, 利于后期清理。在原有采砂场运用根系多、抗拉强度大、固土能力极强的香根草及其他禾本科植物实现固土和滩地生态修复(图6)。

3.3 道路体系与铺装场地

道路体系的优化采取“化繁为简, 纵向连通”的策略, 将原有几何化的繁琐路径选取主线进行线型优化, 结合主要人流点增加城—堤—滩的纵向联系, 增强整体联系与畅通可达性(图7); 采用耐久的本地石材更换维修破损铺装; 活动空间的重构以“化零为整, 设施更新, 高效利用”为策略, 堤顶绿化带依托主要形态整合原有零碎空间, 合理补充功能设施, 形成多处口袋活动空间; 精细化的微更新改造有效减少了投资和人工建设量, 并达到了联通畅达、提高空间及设施使用率的目标; 原本消极杂乱的桥下空间也被梳理为晴雨两用的活动空间。

滩地空间的利用以满足行洪安全为前提, 回应居民对滩地可游的强烈需求(图8)。以“修复为主、适当进入”为基本导向, 滩地内不增加阻洪建筑构筑物、乔灌木, 通过设置简洁贯通的园路体系形成可淹没、抗冲击的亲水观江空间。主材以耐久的花岗岩石材为主, 面层采用自然面或人工粗凿(本土传统工艺), 更好应对四川潮湿的气候特征和滩地水文特征, 减少维护更新, 利于清洁。

3.4 基础设施

堤顶滨江绿化带采用自动喷灌系统减少人工机械浇灌，滩地内采用高适应性植物无需人工浇灌养护。采用智能照明控制系统，保障安全、适度照明。

3.5 实施效果评估

本项目完成后，虽还未有碳排放相关数据的计算和监测，但通过多次项目回访和实地踏勘，可以看到低碳设计的各项内容都得到了较好的落实和良好的实施效果。

在堤外江滩空间中，线型顺畅、岸线稳固的内水系，便于洪水期快速导流滩地内洪水，依据地形布置的简洁、耐水湿的滩地植被稳固了江滩地，有效减少了水土流失，也因此大大降低了维护修复工程量；平整顺畅的整体地形、路径，极大减少了对淹没时杂物、淤泥的阻拦，坚固平整的江滩步道十分便于清洁，大大减少了以往的清理和绿化修剪工作。在施工过程中基本实现土方平衡，使用本土石材和各类建材，有效减少建造过程中的机械运输等碳排放。

堤身的绿化不但美化了景观效果，更减少了硬质堤身对阳光的反射，增强了水保能力，改善了小环境气候。堤顶空间中，不再使用整形植物，梳理过于郁闭的空间，极大改善了植物的生长环境，也大量减少了修剪养护工作量。合理补植规格适宜的本土乔木树种，达到尽量减少运输阶段碳排放和较好的初期绿化效果的平衡。顺畅的游赏空间和路径不但为市民提供了舒适优美、便于使用的休闲环境，也为垃圾收运、养护等提供了顺畅的路径，减少了各类养护工作的能耗。自动喷灌系统的使用、合理简洁的功能性照明和适度的服务设施设计，保障了使用需求，也减少了各类过度能耗。

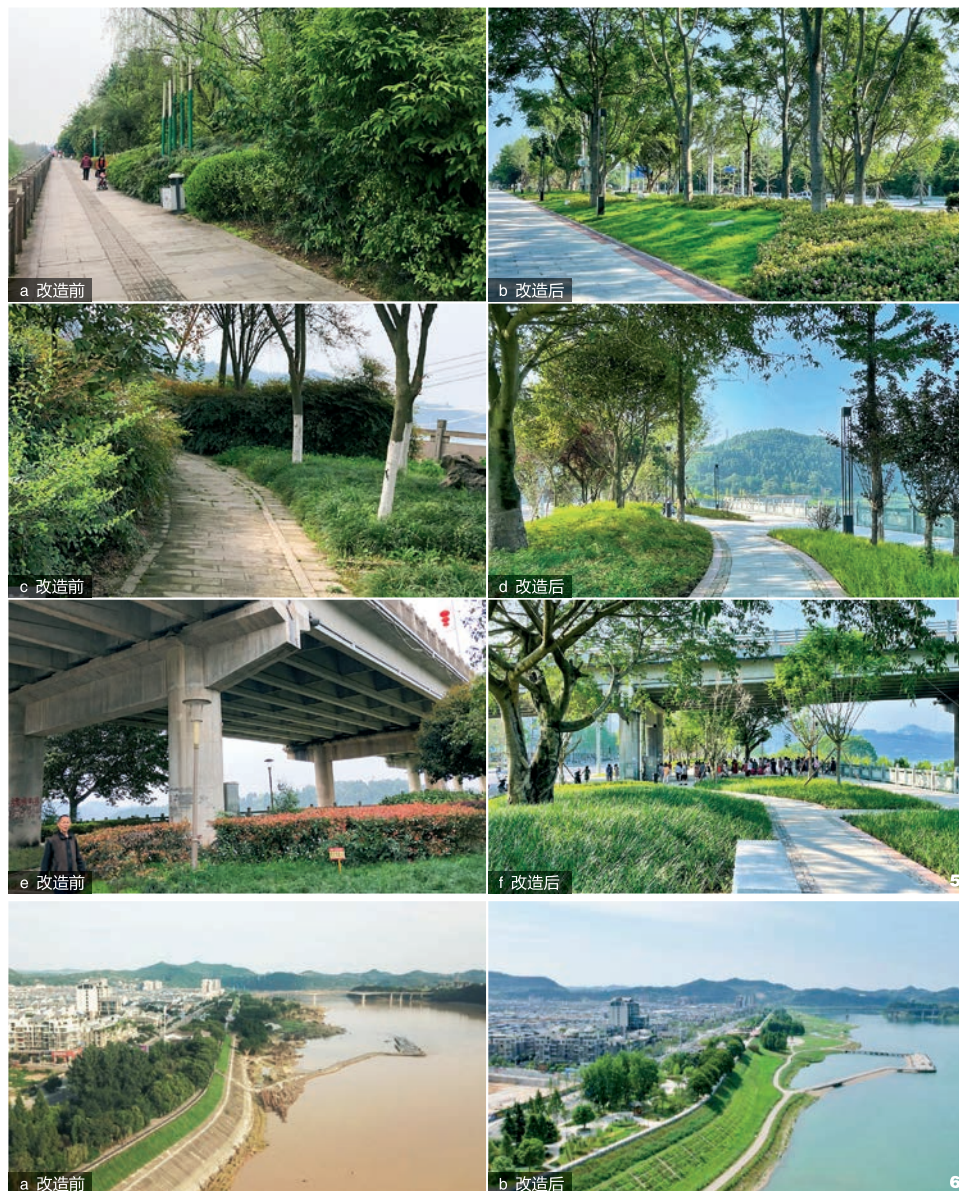


图5 绿化改造效果
Fig. 5 Greening transformation effect

图6 堤顶滨江绿化带梳理与堤身绿化效果
Fig. 6 Renovation of green belt on embankment top and greening effect of embankment body

4 结语

本文分析了滨水空间更新项目的全过程碳排要素、低碳设计影响要素、低碳设计内容及设计方法流程，基于案例项目总结出堤内、堤外两个空间维度中“竖向、水系、绿化、路径、材料、建筑、照明、给排水”8

项低碳设计要素及其具体内容，初步构建了全过程低碳设计流程方法：基于生产、建造、日常使用和维护、废弃拆除4个阶段，精细化分析项目各阶段的低碳设计影响要素→基于初步方案对各项工程内容进行数量匡算→判断该项目主要碳排阶段及碳排要素→构建



图7 路径优化模式图与实施效果
Fig. 7 Path optimization mode diagram and implement effect

图8 水文安全下可游赏的滩地空间
Fig. 8 Tourist beach space under hydrological safety

针对项目的具体低碳设计技术措施框架→校对技术措施, 避免过于偏重低碳设计影响实际景观效果及使用功能。

通过该流程方法可有效控制和降低项目全生命周期的碳排放, 对同类项目的全过程低碳设计起到积极的示范和启发意义。同时, 不同区域、不同类型的项目, 其主要碳

排阶段和低碳设计要素差异是较为明显的, 比如城市街区类更新, 涉及到的更多是硬质景观和活动设施的更新建造, 在设计过程中形成的空间、路径对小环境微气候、人的活动产生的碳排都会有较大影响, 其低碳设计的影响要素和方法也有待深入研究。此外, 对更新项目完成后该地块碳排放的定量计算

和建成使用后的长期碳排放监测、反馈验证等众多议题有待未来持续研究。WU

注: 图2-b, 图6-b, 图8由陈建国拍摄; 其余图表均由作者绘制。

参考文献

- [1] 周剑峰, 古叶恒, 肖时禹. “双碳”目标下的高质量城市更新框架构建——基于湖南常德的城市更新实践[J]. 规划师, 2022, 38(9): 96-101.
- [2] 钱芳. 基于碳循环理论的城市滨水区景观规划设计[C]// 国务院学位委员会办公室, 教育部学位管理与研究生教育司. 2009年全国博士生学术论坛(建筑学)论文集. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
- [3] ISO/DIS. Environmental Management-Life Cycle Assessment-Part: Principles and Framework[S]. 1997.
- [4] 冀媛媛, 罗杰威. 景观全生命周期日常使用和维护阶段碳排放影响因素研究[J]. 风景园林, 2016(9): 121-126.
- [5] 于萍, 陈效述, 任放. 中国住宅生命周期碳排放研究[C]// 住房和城乡建设部, 中国城市住宅研究中心. 第九届中国城市住宅研讨会论文集. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011: 541-546.
- [6] 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.
- [7] 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(05): 45-51.
- [8] 冀媛媛, 罗杰威, 王婷, 等. 基于低碳理念的景观全生命周期碳源和碳汇量化探究——以天津仕林苑居住区为例[J]. 中国园林, 2020, 36(8): 68-74.
- [9] 黄柳菁, 张颖, 邓一荣, 等. 城市绿地的碳足迹核算和评估——以广州市为例[J]. 林业资源管理, 2017, 4(2): 65-73.
- [10] 李芸, 李静, 张浪. 低碳园林的营建原则与方法[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(17): 10524-10525.
- [11] 杨瑞卿, 肖扬, 姜华. 低碳园林的特征及评价研究[J]. 广东农业科学, 2013, 40(9): 50-52.
- [12] 钟乐, 王伟峰, 龚鹏, 等. 风景园林建设中“低碳理念”的实践途径[J]. 江西科学, 2015, 33(03): 396-401.
- [13] 肖丽莉. 探索低碳技术在园林施工中的应用[J]. 低碳世界, 2021, 11(6): 115-116.
- [14] 赵兵, 张金光, 刘瀚洋, 等. 园林铺装花岗石碳排放量的测度[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2016, 40(4): 101-106.
- [15] 滕明君, 周志翔, 岳辉, 等. 低碳园林的生态学途径[J]. 中国园林, 2012, 28(4): 40-43.