

# 基于碳汇核算的低碳景观绩效评价方法

蔡卓林 魏柯<sup>(通讯作者)</sup>

四川大学, 四川成都, 610021;

**摘要:** 景观工程的碳汇效益评估需要建立可量化的技术方法。本文以植物碳汇为研究对象, 采用同化量法作为核心核算手段, 提出适用于景观设计的低碳绩效评价方法。文章首先梳理植物碳汇的三种核算方法及其适用条件, 重点阐述基于叶面积和光合速率的同化量法计算流程, 其次构建包含碳汇总量、单位面积碳汇效率、碳汇与碳排比值的三级评价指标, 最后给出了具体的操作流程。该方法已在具体景观项目中完成验证并对低碳景观设计有积极的借鉴意义。

**关键词:** 植物碳汇; 同化量法; 叶面积计算; 绩效评价; 低碳景观

**DOI:** 10.69979/3029-2727.26.02.079

景观工程在建设和运营过程中会产生碳排放, 同时场地内的植物通过光合作用形成碳汇, 如何准确计算景观项目所产生的碳汇量并与碳排放进行比较, 才能对景观项目整体的环境绩效作出评估。现阶段并没有针对景观设计领域的碳汇量化标准<sup>[1]</sup>, 大多数项目仅限于概略性描述, 不能用于环境效益评价。植物碳汇的核算方法主要有三种, 本文以同化量法为基础, 结合俞慧珍和叶年山提出的径-高树冠绿量方程<sup>[2]</sup>, 建立从外业测量到碳汇计算的完整流程。构建低碳景观绩效评价指标体系, 并明确各指标计算方法及赋值标准, 为景观设计者和工程负责人提供可操作的技术支持手段, 助力“双碳”目标的实现<sup>[3]</sup>。

## 1 植物碳汇研究原理与方法模型

### 1.1 植物碳汇的基本原理

植物固碳就是指植物吸收大气中二氧化碳并将其转化成有机物的过程, 在植物叶片中<sup>[4]</sup>, 叶绿素利用阳光将二氧化碳和水合成为碳水化合物, 同时释放氧气。而固定下来的碳则以生物量的形式贮存在植物的根茎叶中, 其中一部分则会通过凋落物的方式进入土壤形成土壤有机碳。植物碳汇是自然界最直接的固碳方式, 不需要其他能源投入并且维护成本较低。

### 1.2 碳汇的计算模型

植物碳汇过程, 采用同化量法(或称光合速率法), 即植物叶面积乘以单位叶面积碳汇量。其中叶面积计算方法采用俞慧珍和叶年山的径-高树冠绿量方程<sup>[2]</sup>, 为消除测量过程中偶然误差的影响, 在西北、东南两个点位

上用测高仪测株高 $I_1$ 、 $I_2$ , 根据树高 $I_z=(I_1+I_2)/2$ , 求出平均树高 $I_z$ 。再用测高仪测出冠下高 $I_g$ , 根据 $I_i=I_z-I_g$ , 求出冠高 $I_i$ 。取树冠任意对角点, 测其间距。重复3次, 分别测得 $M_1$ 、 $M_2$ 、 $M_3$ 。根据 $M=(M_1+M_2+M_3)/3$ , 计算得到平均冠幅 $M$ 。具体计算公式如下:

$$C_{\text{tbg}} = \sum_{i=1}^n Y_i \times RY_i \times MF_i \quad (1)$$

$$Y_i = \exp(0.6031 + 0.2375 \times I_i + 0.6906 \times M_i - 0.0123 \times S_i) + 0.1824 \quad (2)$$

$$S_i = \frac{\pi \times I_i \times (I_i + M_i)}{2} \quad (3)$$

式中:  $Y_i$ 为植物的叶面积量,  $\text{m}^2$ ;  $RY_i$ 为植物的单位叶面积年碳汇量,  $\text{kgCO}_2\text{e} \cdot \text{m}^{-2}$ ;  $MF_i$ 植物的数量, 株;  $I_i$ 为植物平均冠高,  $\text{m}$ ;  $M_i$ 为植物平均冠幅,  $\text{m}$ ;  $S_i$ 为植物的表面积,  $\text{m}^2$ 。

## 2 碳汇绩效评价指标构建与研究过程

### 2.1 植物碳汇绩效评价的模型构建

为保证对低碳景观项目进行全方位、客观公正地评价, 推动景观设计从定性的表达到定量决策的发展, 本文建立包含不同层级指标的绩效评价体系, 以弥补之前仅仅关注碳量总量这一单一方面的研究缺陷, 通过引入“能力—效率—平衡”的全维度视角来研究低碳景观中最为关注的三个核心问题——固碳多少、效率如何、效益孰优

该体系建立在资源禀赋到输出效益间的序列关系基础上。碳汇能力是最基础的要素, 其以项目碳汇量为基础并以数值方式表达, 其核心指标“碳汇总量”直接源于本文的核算模型, 而“结构占比”与“单位面积效

率”则进一步揭示了碳汇的构成合理性及空间集约度。其次，“碳排强度”补充了全生命周期的考量，用“建造期强度”及“运营期强度”两个指标反映从材料生产、施工及养护管理全过程产生的碳排放成本，这是评估真

实环境代价的关键。最终，“净碳平衡”维度对前两者进行综合，通过“碳汇碳排比”这一核心判据，直接回答项目在生命周期内是否为净碳汇这一根本问题；“碳偿还期”则从时间维度揭示了环境效益的回报速率。

表 1 碳汇绩效评价指标体系

准则层 (一级指标)	指标层 (二级指标)	计算公式/说明	单位	性质	指标层 内权重	对总目 标权重
碳汇能力	碳汇总量	$\sum$ (各植物碳汇量)	KgCO <sub>2</sub> e/年	负向	0.40	0.12
	乔木碳汇贡献率	$(C_{\text{乔木}}/C_{\text{total}}) \times 100\%$	%	正向	0.30	0.09
	单位面积碳汇效率	$C_{\text{total}}/\text{项目总面积}$	KgCO <sub>2</sub> e/(ha·年)	负向	0.30	0.09
碳排放强度	建造期碳排强度	建造总碳排放/项目总面积	KgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	负向	0.60	0.12
	运营期年碳排放强度	年运营碳排放/项目总面积	KgCO <sub>2</sub> e/(m <sup>2</sup> ·年)	负向	0.40	0.08
净碳平衡	碳汇碳排比	$C_{\text{total}}/\text{项目总面积}$	无量纲	正向	0.70	0.28
	碳偿还期	建造总碳排放/ $C_{\text{total}}$	年	正向	0.30	0.12
生态增效(可选)	群落结构碳汇优势度	项目 $E_{\text{area}}$ /本地草坪基准 $E_{\text{area}}$	倍数	正向	0.60	0.06
	多肉植物比例	$(\text{乡土植物碳汇量}/C_{\text{total}}) \times 100\%$	%	正向	0.40	0.04

## 2.2 研究过程

### 2.2.1 评价准备与基础资料收集

首先，明确评价范围与对象，编制项目植物清单并按乔木、灌木、草本分类。收集项目总体规划图，确定各类植物的空间位置与设计株数，作为外业参照。同时，

通过文献调研获取与项目地气候条件相近的各植物单位叶面积年固碳量参数<sup>[5]</sup>，为后续计算提供本地化基础数据。根据植物类型制定差异化的测量方案：乔灌木采用全查法；对分布均匀、数量较大的草本植被，采用系统抽样法，在每类草本种植区内至少设置3个1m×1m的样方进行测定。

表 2 植物数据收集方法

类型	方法	内容
乔木	全查法	空间位置与设计株数
灌木	全查法+系统抽样法	独株采用全查法、面积型采用抽样法
草本	系统抽样法	每类草本种植区内至少设置3个1m×1m的样方进行测定

### 2.2.2 调查与数据获取

依据方案开展实地测量。对于乔灌木，使用激光测高仪在相互垂直的两个方向测量株高，取其均值；测量冠下高后，计算得到冠高。采用卷尺测量三条不同方向

的冠幅直径，取其平均值作为平均冠幅。对草本样方，记录样方内物种组成，并在样方内均匀选取5个点测量草本植株高度<sup>[6]</sup>，计算平均高度。所有测量数据现场记录，并对每株样本或样方进行编号拍照存档。

表 3 案例数据统计表

指标	乔木层	灌木层	草本层	项目整体/基准
数量/面积	487	762	38,500	总面积: 9.86ha
平均冠幅(m)	5.12	1.18	/	建造总碳排放: 478.3tCO <sub>2</sub> e
平均株高(m)	7.95	1.48	0.32	年运营碳排放: 18.7tCO <sub>2</sub> e/年
平均覆盖度(%)	29.6	24.8	41.2	乡土植物碳汇: 71.2tCO <sub>2</sub> e/年
平均叶面积指数	2.48	1.19	0.82	本地草本碳汇效率: 1.93tCO <sub>2</sub> e/(ha·年)
年碳汇量 (tCO <sub>2</sub> e/年)	78.4	14.6	4.9	碳汇总量: 97.9tCO <sub>2</sub> e

## 3 计算结果与分析

### 3.1 计算结果

经过对外业数据进行处理，根据叶面积计算模型和测得的冠高、冠幅计算单株叶面积。然后，将这个结果与本地化单位叶面积固碳量参数相结合，以确定每个植

物年度的固碳量，然后将这些加总得到整个项目的碳汇总量，并将该总量与通过材料清单和能耗统计获得的项目生命周期碳排放数据一同输入到绩效评价模型当中，

在系统中自动生成不同层级的评价指标，如碳汇总量、单位面积效率、碳汇/碳排比等。从而完成从基础数据到综合绩效的定量化评价。

表 4 案例计算结果表

准则层（一级指标）	指标层（二级指标）	单位	基准值	实际值	标准化值	指标得分
碳汇能力	碳汇总量	KgCO <sub>2</sub> e/年	10,000	8,427	0.8427	0.1011
	乔木碳汇贡献率	%	0.85	80.00	0.9412	0.0847
	单位面积碳汇效率	KgCO <sub>2</sub> e/（ha·年）	8,000	7,023	0.8779	0.0790
碳排放强度	建造期碳排放强度	KgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	3.50	4.33	0.8083	0.0970
	运营期年碳排放强度	KgCO <sub>2</sub> e/（m <sup>2</sup> ·年）	0.15	0.16	0.9375	0.0750
净碳平衡	碳汇碳排比	/	5.00	4.53	0.9060	0.2537
	碳偿还期	年	5.00	6.17	0.8104	0.0972
生态增效（可选）	群落结构碳汇优势度	倍数	1.50	1.4	0.9333	0.0560
	多肉植物比例	%	0.80	75	0.9375	0.0375
综合得分						0.8812

### 3.2 结果分析

根据前文构建的指标体系与权重，“绿景家园”项目的综合绩效指数为 0.8812（满分 1.0）。此结果表明，该项目整体上达到了良好的低碳景观绩效水平，尤其在运营阶段的净碳效益方面表现突出，但在部分环节仍有明确的优化空间。具体总结如下：

（1）显著的净碳汇效应：项目运营期的碳汇碳排比（R=4.53）表现优异，表明其年度碳移除量远高于运营维护产生的碳排放，是典型的“气候友好型”景观。这验证了通过科学的植物配置与低碳养护，居住区绿地能够成为城市的有效碳汇。

（2）优化的碳汇结构与效率：乔木碳汇贡献率高达 80%，符合高碳汇植物优先的生态设计原则；单位面积碳汇效率（7,023KgCO<sub>2</sub>e/ha·年）超过本地草坪基准，群落结构碳汇优势度达到 1.40，量化证明了“乔-灌-草”复层结构相比单一草坪在固碳效率上的显著优势（提升 40%）。

（3）良好的生态适应性：乡土植物比例达 75%，有利于降低养护成本、增强群落稳定性，并促进生物多样性，体现了基于自然解决方案的设计理念。

（4）建造期碳成本偏高：建造期碳排强度（4.33KgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>）是主要扣分项，导致碳偿还期（T=6.17年）长于理想目标（5年）。这表明项目的“先天碳足迹”较大，材料生产与施工阶段的碳排放是影响全生命周期净效益的关键制约因素。

（5）运营碳强度有小幅优化空间：运营期碳排强

度（0.16KgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>·年）虽已较低，但未达到最优基准，反映出在灌溉、修剪等日常养护的能耗与精细化管理上仍有提升潜力。

### 4 总结

本文的研究价值体现在构建了一套完整的、可量化的低碳景观绩效评价方法体系，并用“绿景家园”的实证分析验证了所提方法的可行性和有效性。研究表明：基于同化量法的碳汇精准核算，结合“碳汇能力-碳排放强度-净碳平衡-生态增效”的多维度指标体系，可以系统地、客观地评价景观项目实施后环境绩效的好坏。

科学的植物配置与低碳养护管理能显著提升植被城市固碳效应；但由于建设过程中的先天碳足迹导致项目整体无法获得更高效益。因此，后期低碳景观优化应以全生命周期碳管理为前提：即在设计前期，采用更加可再生的再循环材料及优化种植布局以提高固碳能力；在建造环节中推广装配式施工以降低建筑碳排放；在运营阶段通过智能手段实现精准高效低能耗养护。

综上所述，本方法体系不仅为景观项目的低碳绩效“精准画像”，更能“诊断病因、开具处方”，为设计优化、施工管理和行业标准制定提供了可靠的量化工具，对推动景观行业向可测量、可核查的低碳化发展具有积极的实践意义。

### 参考文献

[1]张桂莲,仲启铨,张浪.面向碳中和的城市园林绿化碳汇能力建设研究[J].风景园林,2022,29(5):12-16.

- [2]张艳丽,费世民,李智勇,等.成都市沙河主要绿化树种固碳释氧和降温增湿效益[J].生态学报,2013,33(12):3878-3887.
- [3]王宝强,陈琦,张艺宣,等.生态—经济社会系统耦合视角下苏州市碳汇绩效评估与对策建议[J].长江流域资源与环境,2025,34(11):2433-2444.
- [4]贾国栋,张龙齐,余新晓.生态修复的固碳机制,实现途径及碳中和对策[J].水土保持通报,2022,42(5):393-397.
- [5]钱璟,沈思栋,范舒欣,等.北京市30种常用园林绿化树种固碳能力评价[J].风景园林,2025,32(1):41-48.
- [6]方精云,王襄平,沈泽昊,等.植物群落清查的主要内容,方法和技术规范[J].生物多样性,2009,17(6):533-548.
- 作者简介:蔡卓林(2000-),男,汉,学历:硕士,研究方向:低碳。
- 通讯作者:魏柯(1974-),男,汉,学历:博士,职称:副教授,研究方向:民族聚落。