



乡土植物在屋顶绿化中的应用配置及生态效益分析

曹海生

杭州新汇东置业有限公司 浙江 杭州 310016

【摘要】：本研究以北京市海淀区某老旧小区 500 m² 平顶屋面为案例，在 200 kg/m² 荷载限值与 15 至 20 cm 浅基质约束下，构建面向屋顶微生境的乡土植物筛选与配置方法，并评估其生态效益。研究以抗逆性、观赏性、生态功能三维指标体系开展层次分析赋权，形成抗逆性 0.5、观赏性 0.2、生态功能 0.3 的权重结构，筛选佛甲草、垂盆草、鸢尾、八宝景天、麦冬等适宜材料，并提出单层草本覆盖、复合群落、雨水花园三类配置模式，配套轻量化基质、滴灌与雨水收集联动、模块化抗风固定等关键技术。运行监测与核算结果显示，案例年碳汇量为 52 kg，夏季屋顶表面温度降低 4.2 ℃，年滞尘量为 11.8 kg/m² · a，雨水滞留率为 65%。综合评估表明，新增昆虫种类 8 种，维护成本降低 25%，居民满意度达 88%。研究表明，乡土植物在浅基质与低维护条件下可形成稳定覆盖与可量化生态服务，为同类型老旧小区屋顶更新提供可移植的技术路径。

【关键词】：乡土植物；屋顶绿化；植物筛选；配置模式；生态效益评估

0 引言

在城市热岛加剧与存量更新背景下，老旧小区平顶屋面成为提升社区生态品质的重要空间，但其常受荷载、基质厚度、防水与维护资源限制，导致绿化成活与长期稳定性不足。乡土植物具备区域适应性强、病虫害管理依赖度低等优势，为低维护屋顶绿化提供了材料基础。本研究结合北京温带季风气候与屋面微生境特征，面向工程约束建立乡土植物筛选、配置与关键技术体系，并以实测与核算评估生态效益，为屋顶绿化的可实施与可推广提供依据。改造前，该案例屋面为裸露混凝土表面，夏季表面温度最高可达 52℃ 以上，雨水径流直接外排，无任何生态调节功能；改造后，屋面转变为连续植被覆盖，形成降温、滞尘、雨洪调蓄等多重生态服务界面。

1 乡土植物在屋顶绿化中的应用基础与案例选取

乡土植物是指在特定区域长期自然演替与人类生产生活共同筛选下形成稳定种群的本地植物资源，其核心特征体现在对区域温度波动、季节性降水差异以及本地土壤理化性质的适配能力较强，且在病虫害防控与补灌频率方面往往表现出较低的管理依赖度。将其引入屋顶绿化体系时，植物材料与屋面微生境之间的匹配关系成为基础性议题，一方面屋顶绿化需要通过植被蒸腾与遮阴过程形成降温效应，并在叶面滞尘与碳固定环节提供生态服务，另一方面平顶屋面常受到结构荷载、基质厚度受限以及日照时长

偏长与风环境干扰的共同约束，从而把植物的抗旱性、耐贫瘠性以及根系尺度控制推至更高优先级。基于温带季风气候下夏季高温高湿、冬季低温干燥且风力扰动显著的城市背景，本研究选取北京市海淀区某老旧小区屋顶绿化项目作为案例，该屋面面积为 500 m²，原结构为平顶混凝土屋面，设计荷载限值为 200 kg/m²，既有排水坡度与防水层条件限制了基质加厚与高大灌木的引入空间。项目实施缘由主要指向缓解社区尺度热岛效应与改善居住视域景观的现实需求，并把生态效益提升 30% 以上设定为总体目标，由此为后续乡土植物筛选与配置策略提供具体约束边界与可操作的研究场景。改造前，该案例屋面为裸露混凝土表面，夏季表面温度最高可达 52℃ 以上，雨水径流直接外排，无任何生态调节功能；改造后，屋面转变为连续植被覆盖，形成降温、滞尘、雨洪调蓄等多重生态服务界面。

2 乡土植物在屋顶绿化中的应用配置策略

2.1 适用于屋顶绿化的乡土植物筛选体系

面向北京市海淀区老旧小区平顶屋面的荷载限值与基质厚度约束，乡土植物材料的遴选需要把屋面微生境的高辐射、强风扰动以及基质贫瘠等条件转化为可操作的评价维度，并在景观呈现与生态服务之间建立可比对的决策依据。鉴于乡土植物在区域长期演替背景下形成的环境适配特性，本研究将筛选逻辑组织为抗逆性、观赏性以及生态功能的三维指标体系，其中抗逆性侧重反

映植物在浅薄基质与补灌受限条件下维持生长的能力，子指标由耐旱、耐贫瘠以及抗风构成；观赏性用于回应居民可视化景观改善需求，把花期表现与叶色稳定性纳入评价；生态功能则对应屋顶绿化对城市热环境调节与空气质量改善的服务路径，重点从碳汇潜力与滞尘能力进行刻画。为降低指标之间主观偏好带来的偏差，本研究借助层次分析法对三维指标赋权，形成抗逆性 0.5、观赏性 0.2、生态功能 0.3 的权重结构，使筛选结果更贴近屋面工程约束下的成活稳定性诉求，同时仍保留对景观与生态服务的必要关注。综合评价以加权求和的方式开展，计算公式如下：

$$S = \sum_{i=1}^n (W_i \times S_i)$$

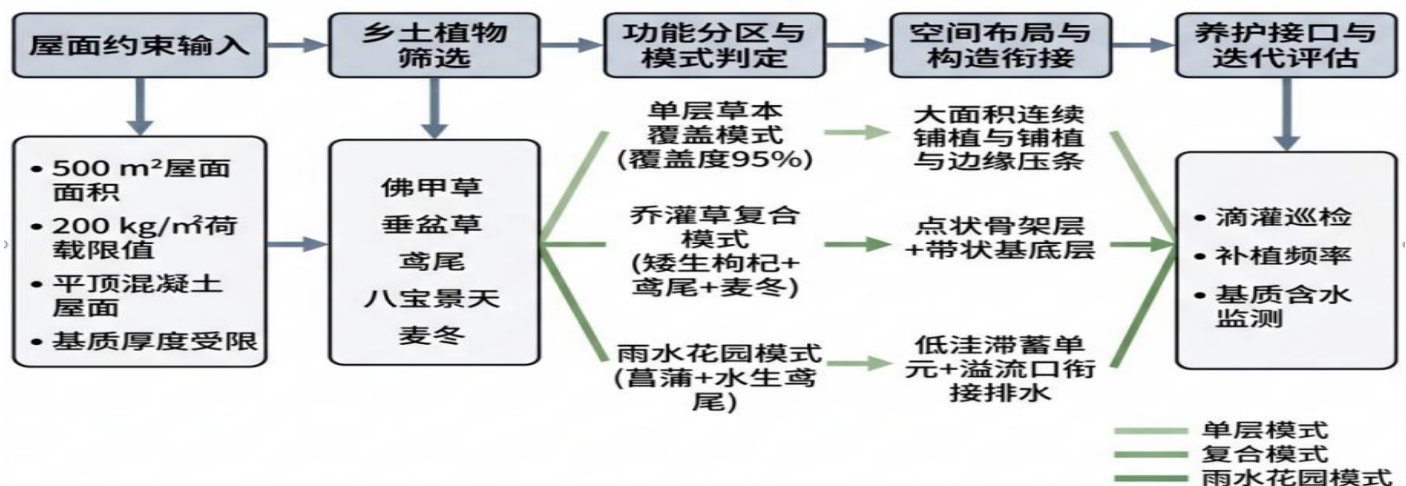
其中， S 表示植物综合评分（无量纲）， W_i 为第 i 项指标权重（无量纲）， S_i 为第 i 项指标得分（无量纲）， n 为指标项数量（无量纲）。

在指标量表构建与赋权框架确定后，将候选乡土植物逐一映射至各子指标得分区间，并把综合评分作为准入与优选依据，以适配屋顶绿化对低维护与高稳定覆盖的现实要求。综合评分结果显示，佛甲草与垂盆草在耐旱与耐贫瘠维度占优，能够在 15 cm 量级基质条件下维持较高覆盖连贯性；鸢尾在季相表达与一定程度的抗风稳定性方面表现较为均衡，适宜承担节点景观的结构性角色；八宝景天兼具多肉型抗旱特征与较好的碳固定潜力，适合在高辐射屋面形成斑块式点景；麦冬在叶色稳定与滞尘方面具有持续性优势，可用于边缘与步行检修带邻近区域的基底铺设。基于上述综合权衡，本研究筛选出佛甲草、垂盆草、鸢尾、八宝景

天、麦冬 5 种适宜植物，作为后续配置模式与关键技术组织的材料基础。

2.2 乡土植物屋顶绿化的配置模式设计

不同屋顶绿化类型对空间结构与维护强度的容忍度存在差异，将筛选出的乡土植物进一步转化为可施工、可维护的群落组合，需要把荷载约束、基质连续性以及功能目标差异纳入同一配置框架。结合 500 m² 平顶屋面以降温和生态效益提升为导向的目标设定，本研究形成 3 类配置模式，其逻辑起点分别指向覆盖稳定性、结构层次与雨洪调蓄的差异化需求。单层草本覆盖模式以佛甲草与垂盆草为主体，把高密度匍匐生长习性转化为连续地表覆盖，以接近 95% 的覆盖度降低基质裸露带来的蒸发损失与风蚀风险，并把屋面维护工作压缩到补灌与局部修补层面；乔灌木复合模式以矮生枸杞作为低矮骨架层，叠加鸢尾的花期节点表达与麦冬的常绿基底，从视觉层次上改善老旧小区俯瞰界面的单调感，同时通过多层叶面积结构延长滞尘路径并增强遮阴效应；雨水花园模式将排水组织与植物配置一并考虑，以菖蒲与水生鸢尾构建耐湿植物带，把屋面径流在局部低洼单元内进行短历时滞蓄与缓释，从而减少峰值外排对原有排水系统的压力。为把上述模式从植物选择推导至空间落位与施工组织，本研究构建了全流程配置路径，涵盖植物匹配、分区布局、边界处理与养护接口等环节，流程关系见图 1。





为对不同模式的生态服务潜力形成可比较的估算口径,本研究引入碳汇量的简化核算表达,把植物群落生物量与碳含量系数建立对应关系,用于在方案阶段对碳固定潜力进行量级判断,计算公式如下:

$$C = \text{生物量} \times 0.45$$

其中, C 表示碳汇量(单位: kg C), 生物量表示植物群落地上与地下部分的干重累积量(单位: kg), 0.45 为碳含量系数(无量纲), 用于表征干生物量中碳元素所占比例。

2.3 乡土植物屋顶绿化的关键技术要点

屋顶绿化在工程可实施性层面往往受制于荷载与防水系统的安全边界,因此关键技术组织需要围绕基质轻量化、供水系统节约化以及抗风固定可靠化来开展。基质方面,本研究把轻质营养土作为主要基质类型来使用,厚度控制在 15 cm 至 20 cm 区间,并把容重约束在不高于 1.2 g/cm^3 ,以适配 200 kg/m^2 的结构荷载限值并为根系留出基本生长空间;结合北京夏季高温高湿与冬季低温干燥的季节反差,基质需同时兼顾保水性与通气性,在案例实施中将基质配比确定为腐叶土、珍珠岩以及蛭石按 5:3:2 进行混合,以降低板结风险并改善浅层基质的持水回弹能力。给排水系统方面,给水采用雨水收集与滴灌联动方案:屋面径流经落水管引入地下储水池(容量 3 m^3),干旱期通过滴灌管网定量补水,不足部分由市政中水补充;排水设置双重保障:基质层下部铺设排水板与 $\phi 50 \text{ mm}$ 排水管,多余水分经原有落水管排入小区雨水管网,雨水花园模式中增设溢流口,确保 24h 内积水不超 5 cm,避免荷载超载。植物固定与抗风处理直接关联屋面安全与群落连续性,本研究把模块化种植盒作为固定载体来使用,通过盒体之间的拼接与边缘锚固抑制强风掀动风险,同时在屋面边缘与出入口等风环境更复杂区域强化防滑落构造,使植物层与基质层在风吸力作用下保持整体稳定。屋面种植剖面构造自下而上依次为:原有混凝土屋面(找平层+防水层)→保护层(无纺布)→排水板(兼蓄水功能)→过滤层→轻质基质层(15~20 cm)→植物层。上述技术要点与植物配置模式相互嵌合,使材料筛选、空间布局与施工构造形成闭环衔接,从而为后续生态效益评估提供可复制的工程基础。

3 乡土植物屋顶绿化的生态效益分析与评估

3.1 乡土植物屋顶绿化的生态效益量化分析

围绕北京市海淀区 500 m^2 平屋顶面的工程约束与功能目标,本研究将生态效益量化界定为可在社区尺度被持续追踪的关键指标,并把实地监测与参数化核算相结合以形成统一口径。监测周期覆盖项目运行后的连续 6 个月,观测对象包含植被层、基质层以及屋面径流过程,碳汇量则在群落生物量估算框架下进行年度外推,以降低短期波动对年度判断的干扰。结果表明,案例屋顶绿化的年碳汇量为 52 kg。该数据的详细来源为:在项目运行 6 个月后(生长季末期),于绿化屋面设置 4 个 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 样方,分别收割地上部分并采集 0~15 cm 根系, 65°C 烘干至恒重,测得平均生物量干重为 2.89 kg/m^2 。全屋面 500 m^2 总生物量干重约 1445 kg,按碳含量系数 0.45 折算得碳存量 650 kg C。考虑到乡土植物以多年生宿根为主,年净碳汇量采用生长季前后生物量差值法:2024 年 5 月(生长季初)与 10 月(生长季末)分别取样,平均净增干物质 0.231 kg/m^2 ,年净增量 115.5 kg,乘以 0.45 得 52.0 kg C。

该数值由乡土植物群落在浅基质条件下形成的稳定叶面积与根系更新共同支撑,反映出以佛甲草、垂盆草、八宝景天为主的低维护群落仍具备可观的碳固定贡献。热环境调节效益集中体现为夏季屋顶表面温度的衰减幅度。为获取准确温度变化数据,在绿化屋面设置 3 个测温点(分别位于中心、边缘及西南角),同时在相邻未改造混凝土屋面设置 2 个对照测温点。采用 Fluke 红外测温仪,于 2024 年 7 月连续晴热日(如 7 月 15 日 14:00)进行测量,绿化屋面平均表面温度为 38.5°C ,对照屋面平均表面温度为 42.7°C ,温差为 4.2°C ;夜间 22:00 绿化屋面表面温度 28.3°C ,对照屋面 31.1°C ,温差 2.8°C 。其作用路径与植被遮阴削弱短波辐射吸收以及蒸腾带走潜热密切相关,同时也与基质含水量在降雨后短期回升所带来的热容量变化有关。空气质量相关服务以滞尘量进行表征,基于叶面沉降采样与单位面积折算,年滞尘量达到 11.8 kg/m^2 ,说明以麦冬等叶片结构相对稳定的材料形成的近地表粗糙度界面能够延长颗粒物的沉降路径,并把屋面风场中的再悬浮风险控制较低水平。雨洪调蓄效益通过对降雨事件前后径流量的对比加以刻画,屋顶雨水滞留率为 65%,该指标与 15 cm 至 20 cm 浅基质的孔隙储水能力以及雨水花园局部低洼单元的短历时滞蓄过程相关,使径流峰值外排得到削减并对既有排水系统形成一定缓冲。为把上述指标在同一语境下进行归纳,案例项目的量化结果汇总如表 1 所示。



表 1 案例项目乡土植物屋顶绿化生态效益量化结果表

指标类别	指标名称	量化结果	计量单位	监测或核算周期	主要数据来源与口径说明
碳汇效益	年碳汇量	52	kg/a	6个月监测基础上年尺度折算	以植物群落生物量估算为基础，结合乡土草本与宿根材料生长季累积特征进行年度外推
热环境效益	夏季屋顶温度降低幅度	4.2	℃	连续晴热时段观测	对比绿化屋面与未绿化对照屋面同一时段表面温度，取差值的代表性均值
空气质量效益	年滞尘量	11.8	kg/m ² ·a	6个月监测基础上年尺度折算	借助叶面沉降采样与单位面积折算形成年化指标，反映植被层颗粒物截留能力
雨洪调蓄效益	雨水滞留率	65	%	多场次降雨过程统计	对比降雨量与外排径流量，按事件尺度汇总后取稳定区间的代表值

3.2 乡土植物屋顶绿化的综合效果评估

在量化指标之外，综合评估更强调把生态过程、运行成本以及居民感知纳入同一评价框架，以检验乡土植物屋顶绿化在老旧小区改造语境下的整体适配性。生态层面的增益通过生境复杂度的变化得到体现，项目运行后记录到新增昆虫种类 8 种，新增类群主要与屋面由裸露硬质界面转向连续植被覆盖后形成的取食与隐蔽空间有关，并且与鸢尾等节点植物带来的花期资源供给存在关联，从而使屋顶空间在社区尺度上呈现出更明确的微生境补丁属性。经济层面的比较聚焦于全寿命周期中的日常养护支出，乡土植物配置下的维护成本较非乡土植物方案降低 25%，其差异主要来源于补灌频率与病虫害处理次数的下降，以及模块化种植盒便于局部更替而减少整片翻修的作业量，进而使有限物业资源能够把工作重心转向关键节点巡检与排水维护。社会层面的效果以居民满意度进行表征，满意度为 88%，该结果与夏季屋面降温带来的顶层居住舒适度改善、俯瞰景观由单一灰色界面转为具有季相变化的绿色景观面相关，同时也反映出乡土植物较少出现大面

积枯败所带来的视觉稳定性更易被居民接受。综合以上生态、经济与社会维度的结果可以看出，在 200 kg/m² 荷载限值与浅基质条件并存的工程边界下，乡土植物凭借较高环境适配性与较低维护依赖度，使屋顶绿化在热环境调节、空气质量改善以及雨洪削峰方面形成可量化贡献，并在运行阶段呈现出较好的成本可控性与公众认可度，为北京市同类型老旧小区平屋顶面更新提供了可移植的配置思路与推广依据。

4 结束语

本研究在荷载与浅基质双重约束下，形成以三维指标与权重结构为核心的乡土植物筛选方法，并将材料选择转化为覆盖型、复合型与雨水花园型配置模式及配套构造技术。案例结果表明，乡土植物屋顶绿化可在降温、滞尘、碳固定与雨洪调蓄方面形成稳定贡献，同时提升生物多样性并降低维护成本。通过改造前后对比以及详细的测温、给排水设计、碳汇核算和剖面构造补充，本研究的工程可复制性得到进一步增强。该方法可为北京及相近气候区老旧小区屋顶更新提供可操作的配置思路与工程参考。

参考文献

[1]刘妍君,纪丹丹,孟莹,范德祥,邓永成.武汉市花园式屋顶绿化植物的配置与养护研究[J].湖北林业科技,2025,54(03):59-67.

[2]宿炳林.乡村特色植物在农村园林营造中的应用策略[J].新农民,2024,(36):94-96.

[3]邢强,赵斌,胡永红,杨君,秦俊,刘何铭,王红兵,周鹏.华东地区两种典型立体绿化植物根系性状特征及对新型土壤基质的响应[J].植物生态学报,2025,49(09):1498-1514.

[4]李宁.小微型景观植物在垂直绿化中的适应性及观赏效果评价[J].分子植物育种,2025,23(12):4175-4180.

[5]王军校.城市小空间绿化设计中的微型植物品种选择与生态价值[J].分子植物育种,2025,23(20):6973-6978.

作者简介：曹海生（1978—），男，汉族，本科，研究方向为园林。