

生物基零碳板材在建筑空间绿色焕新的开发与应用：迈向可持续未来的中国路径

Development and Application of Bio-based Zero-Carbon Panels in the Green Renewal of Architectural Spaces: China's Path to a Sustainable Future

叶赛 | Ye Sail

(上海同秸低碳科技有限公司, 上海 200083)

(1. Shanghai Tongji Low Carbon Technology Co., Ltd., Shanghai 200083)

DOI: <https://doi.org/10.71411/rae-2025-v1i2-985>

摘要: 在全球建筑碳排放（占37%）驱动下，亟需材料革新。针对传统人造板依赖木材与含醛胶黏剂的问题，本研究聚焦生物基零碳板材（BZCPs）的研发与工程化。方案以竹子、秸秆、食品废弃物为原料，采用无醛聚氨酯胶黏剂+纳米功能涂层。以上海同秸公司“同秸零碳板”（竹/麦秸基材融合咖啡渣等城市固废）为案例，展示其在中共一大纪念馆展览的应用，并展望中新天津生态城推广前景。BZCPs在健康安全、减碳及文化价值方面具优势，但也存在结构性局限，提倡与非生物基材料“适材适用”。研究引入“亲生物设计”理念，论证天然材质对心理感知的积极影响。配套RFID溯源、减碳报告与碳普惠机制，推动建材向“动态碳资产”转型。立足中国实践，倡导建立政产学研金协同体系，为全球绿色建筑变革提供可复制的范式与路径。

关键词: 生物基材料；零碳板材；亲生物设计；碳资产管理

Abstract: Driven by global building carbon emissions (accounting for 37%), material innovation is urgently needed. Addressing the issues of traditional man-made boards relying on wood and formaldehyde-containing adhesives, this study focuses on the research and engineering of bio-based zero-carbon panels (BZCPs). The proposed solution uses bamboo, straw, and food waste as raw materials, combined with formaldehyde-free polyurethane adhesives and nano-functional coatings. Taking Shanghai Tongjie Company's "Tongjie Zero-Carbon Panel" (bamboo/wheat straw substrate integrated with coffee trash and other urban solid wastes) as a case, it demonstrates its application in the exhibition of the Site of the First National Congress

作者简介: 叶赛（1980—），男，上海同秸低碳科技有限公司创始人，高级规划师，上海环交所认证碳交易员，研究方向为零碳生物基新材料开发与应用、ESG建筑空间绿色焕新。

of the Communist Party of China and prospects for promotion in the Sino-Singapore Tianjin Eco-City. BZCPs have advantages in health and safety, carbon reduction, and cultural value, but also face structural limitations, advocating for "suitable materials for suitable applications" with non-bio-based materials. The study introduces the concept of "biophilic design", arguing for the positive impact of natural materials on psychological perception. Accompanied by RFID traceability, carbon reduction reports, and Carbon Inclusion mechanisms, it promotes building materials toward transformation into "dynamic carbon assets". Rooted in Chinese practice, it advocates establishing a coordinated system of government, industry, academia, research, and capital to provide replicable models and paths for global green building transformation.

Keywords: Bio-based materials; Zero-carbon panels; Biophilic design; Carbon asset management

1 引言

1.1 背景与挑战

根据联合国环境规划署（UNEP）《2023年全球建筑与施工现状报告》，建筑业每年贡献约12 Gt CO₂当量排放，占全球能源相关碳排放总量的37%，若计入建材生产环节，则占比超过40%^[1]。其中，人造板作为室内装修与家具制造的核心材料，广泛使用脲醛树脂等含甲醛胶黏剂，造成严重的室内空气污染（WHO数据显示全球每年700万人因空气污染早逝）。此外，我国每年消耗木材超过5亿立方米，而森林年净增长量仅为约1亿立方米，供需严重失衡。

与此同时，我国年产约9亿吨农作物秸秆

和近亿吨食品加工残渣（如咖啡渣、果皮、酒糟），大量被焚烧或填埋，既浪费资源又加剧温室气体排放^[2]。如何将这些低值废弃物转化为高附加值绿色建材，成为实现“双循环”发展与“无废城市”建设的关键突破口。

1.2 生物基零碳板材的战略意义

生物基零碳板材是指以可再生生物质为原料，通过低碳工艺制备，在全生命周期内实现净零甚至负碳排放的功能性板材。其核心特征包括：

原料来源非粮、非林，避免“与人争地、与粮争地”；

制造过程低能耗、无毒害化学添加；

使用阶段具备调湿、抗菌、吸附等功能；

报废后可降解或热能回收，形成闭环循环；

全生命周期碳足迹显著低于传统刨花板或中密度纤维板（MDF）。

近年来，欧盟已出台《绿色新政》与《生态设计指令》（ESPR），强制要求新建建筑使用一定比例的低碳/再生材料；美国ASTM也发布了D8353-20《生物基产品碳核算标准》^[3]。相比之下，中国虽在光伏、风电等领域领先，但在绿色建材尤其是生物基复合材料方面仍处于产业化初期。

因此，发展具有中国特色的生物基零碳板材技术体系，不仅是应对气候危机的必然选择，更是抢占未来绿色科技制高点的战略举措。

2 国内外研究进展与技术路线比较

2.1 国外技术发展态势

2.1.1 欧洲：政策驱动下的系统集成创新

德国Fraunhofer研究所开发出基于麦秸

与亚麻纤维的结构用板材，抗弯强度达 35 MPa 以上，并应用于被动房墙体系统^[4]。荷兰公司 Tecnaro 推出 Arboform® 生物塑料板材，采用木质素、纤维素与天然油混合注塑成型，可用于高端家具与内饰件。

瑞典 Kebony 公司则利用生物乙酰化技术处理软木，使其性能媲美热带硬木，广泛用于外立面装饰。北欧国家普遍推行“建筑产品环境声明”(EPD)，推动 BIM+LCA 一体化设计。

2.1.2 北美：市场导向的功能性拓展

美国 NatureBond 公司研发出以稻壳为主要原料的无胶粘合板材，利用高温高压自交联技术实现内结合强度 $\geq 0.6 \text{ MPa}$ ，甲醛释放量未检出。加拿大 FPInnovations 研究中心正在探索竹纤维增强聚乳酸(PLA)复合板材，兼具轻质与阻燃特性。

值得注意的是，美国已启动“Building Health Initiative”，将建材 VOCs、甲醛释放纳入 LEED v5 评分体系，并鼓励使用 Cradle to Cradle Certified™ 材料。

2.1.3 日本：精细化与文化融合路径

日本井田木材株式会社推出“味噌粕板”“清酒糟板”等具有地域饮食文化特色的装饰面板，强调材料的情感连接与场所精神营造。东京大学团队开发出基于柿单宁的天然防腐涂层，替代铜铬砷类有毒防腐剂。

2.2 中国现状与突破方向

尽管我国拥有丰富的生物质资源与庞大的建筑市场需求，但生物基板材长期面临三大瓶颈：

- 原料分散、收集成本高；
- 缺乏高效脱胶与稳定成型工艺；
- 功能性单一，难以满足多样化空间需求。

近年来，中科院、同济大学、南京林业大学等机构取得系列突破：

中科院广州能源所开发出微波辅助热解耦合酶解预处理技术，提升秸秆纤维提取率至 85% 以上；

南京林业大学王飞教授团队研制出大豆蛋白改性胶黏剂，替代脲醛树脂，实现甲醛零释放^[5]；

同济大学李岩课题组积极推动“亲生物设计”(Biophilic Design) 理念在中国建筑领域的本土化应用，倡导将天然材料、自然光环境与生态感知融入城市空间设计^[6]。

在此背景下，以上海同桔低碳为代表的新企业开始尝试将科研成果工程化落地，走出一条“废弃物资源化—功能化板材—空间价值重塑—碳资产变现”的全链条创新路径。

3 “同桔零碳板”技术体系与创新架构

3.1 核心技术原理

“同桔零碳板”是以竹材、麦桔等非粮、非木生物质为主基材，掺入咖啡渣、葡萄酒渣、薄荷提取物等功能性废料，经干燥、施胶、铺装、热压成型而成的多孔复合板材。其关键技术突破如下：

技术模块	创新点
原料配方	竹纤维 / 麦桔占比 70%-80%，辅以 20%-30% 城市有机固废 (如咖啡渣)
胶黏系统	采用异氰酸酯类胶黏剂 (MDI)，实现完全无醛释放
成型工艺	多段梯度热压控制，减少开裂变形，提高尺寸稳定性
表面处理	独家纳米陶瓷涂层 ($\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$ 复合)，具备耐污、耐磨、抗菌等功能

该板材已通过 CE 认证，关键力学性能优于国家标准 GB/T 4897-2015 (见表 1)。

3.2 “1+N”创意定制矩阵：从标准化到个性化

不同于传统板材“一刀切”的生产模式，“同桔零碳板”提出“1+N”产品架构：

“1”为核心基材：竹基 / 麦桔基零碳板，确保基础力学与环保性能；

“N”为功能添加剂：咖啡渣（除味）、葡萄酒渣（天然色素）、薄荷（抑菌）、椰壳（耐磨）等。

每种组合对应特定应用场景与文化语境，例如：

咖啡渣板 → 办公空间、博物馆休息区 → 提升嗅觉舒适度；

葡萄酒渣染色板 → 餐厅、文创商店 → 营造酒庄美学氛围；

薄荷板 → 医院、学校、养老院 → 改善空气质量与心理感知。

此模式契合国家发改委《“十四五”循环经济发展规划》中关于“推动城市废弃物资源化利用”的战略部署^[7]，亦响应 ISO 22095:2021《循环经济原则与框架》对材料多功能性的要求。

4 在建筑空间绿色焕新的应用实践

4.1 应用定位：从“拆旧建新”到“有机更新”

传统建筑改造常采取“拆除—重建”模式，产生巨量建筑垃圾(我国年均超 15 亿吨)。而“绿色焕新”强调在保留原有结构与空间记忆的基础上，通过新材料、新技术实现性能升级与美学再生。“同桔零碳板”正为此提供理想载体。

4.1.1 中共一大纪念馆展陈更新项目 (2025 年 4 月)

该项目首次将“同桔零碳板”应用于国家级红色文化场馆，为红色教育基地注入绿色基因。具体实施情况如下：

展头制作：采用麦桔基零碳板材，制成主题标识墙及信息导视系统；

功能诉求：确保参观者密集区域的空气质量安全，体现生态文明时代背景下的红色传承；

表 1：“同桔零碳板”与传统板材性能对比

检测项目	国际标准	传统刨花板	中密度板 (MDF)	同桔零碳板
内结合强度 (MPa)	≥ 0.4	0.40	0.60	0.73
静曲强度 (MPa)	≥ 13	15	20	23.9
弹性模量 (MPa)	≥ 1900	2500	2400	2980
24h 吸水膨胀率 (%)	≤ 14.0	12.5	13.8	8.8
甲醛释放量	$\leq 0.124 \text{ mg/m}^3$	0.124	0.124	未检出

数据来源：实验室检测报告 (2024)

注：所用胶黏剂为芳香族异氰酸酯 (pMDI)，不参与水解反应，确保长期稳定性且无游离甲醛释放。

环保成效：单个项目节省木材 3 m³，相当于保护森林 4.5 m³；累计减碳约 12 吨，相当于约 682 棵树木一年的吸收量。

该试点虽规模有限，但具有标志性意义，验证了生物基零碳板材在高标准公共空间中的可行性与接受度。

4.1.2 即将开展的应用示范：中新天津生态城

目前，“同桔零碳板”正计划在中新天津生态城开展大规模应用示范，涵盖以下场景：

商业办公墙面饰面；

学校教室隔断系统；

文旅空间展陈家具。

项目拟采用“设计院+BIM 建模+制造商协同下单”模式，探索从样板间走向规模化落地的路径。届时将同步接入天津市碳普惠平台，实现减碳量实时计量与资产转化。

4.2 空间类型适配性分析与材料对比（表 2）

5 亲生物设计视角下的材料选择逻辑

5.1 什么是“亲生物设计”？

“亲生物设计”(Biophilic Design)由 E.O. Wilson 提出，指在建筑环境中引入自然元素，以满足人类与生俱来的亲近自然的心理需求。Stephen Kellert 将其归纳为三大维度：直接体验自然、间接体验自然、空间与场所体验。

研究表明，在办公空间中增加天然材质使用，可使员工专注力提升 15%，压力水平下降 26% (Terrapin Bright Green, 2014)^[8]；医院病房采用木质内饰，患者止痛药用量减少 22% (Ulrich et al., 2008)^[9]。

5.2 生物基 vs 非生物基板材的适用性比较 (表 3)

5.3 协同使用建议：适材适用，各尽其能

理想的绿色空间不应片面追求“全生物基”，而应基于功能分区进行理性配置：

高频接触区（如桌面、扶手、儿童活动区）

→ 优先选用生物基板材，强化健康与情感价值；

高磨损区（如走廊墙面、电梯门套）→ 采用金属或 HPL 覆面，保障耐久性；

展示与叙事区（如展墙、导视系统）→ 使用“1+N”定制板，传递文化与可持续理念；

隐蔽工程区（如龙骨、背板）→ 可选用再生钢材或其他高性能材料。

唯有如此，才能实现生态责任、用户体验与经济可行性的三重平衡。

6 数字化赋能与碳资产金融化机制

6.1 RFID 溯源与减碳可视化

每张“同桔零碳板”带 RFID 标签，记录：

原料产地与配比；

生产批次与能耗；

全生命周期碳足迹。

项目竣工后，扫码即可获取《减碳报告》，内容包含：

总减碳量（单位：吨 CO₂e）；

表 2

建筑类型	核心诉求	推荐板材类型	减碳量估算 (kg/m ²)	功能优势
历史文化场馆	庄重感、耐久性、低维护	葡萄酒渣染色板		天然着色、防潮稳定
医疗康养空间	抑菌、清新、心理安抚	薄荷板		挥发薄荷醇、降低焦虑情绪
教育办公空间	健康安全、激发创造力	咖啡渣板 / 椰壳板	3.8	吸附异味、触感丰富
商业文旅空间	文化叙事、视觉冲击	剑麻板 / 核桃壳板		独特肌理、讲好地方故事

注：本减碳量指“相对于传统 MDF 板材的碳足迹差值”，基于生命周期评价 (LCA) 方法测算，涵盖原料获取、生产制造及报废处理等阶段。其中主要减排贡献来自木材替代（避免森林碳库损失）和农业 / 城市有机废弃物资源化利用。

表 3

维度	生物基零碳板材	非生物基板材（如 HPL、金属、玻璃）
健康安全性	√ 无醛释放，部分具抑菌 / 调湿功能	× 高密度贴面可能释放 VOCs
情感连接	√ 具备天然纹理、气味、温润触感	！ 冷感强，易造成疏离感
减碳潜力	√ 全生命周期碳足迹低，部分可达负碳	× 生产能耗高，隐含碳大
结构性能	！ 适用于非承重墙、家具、饰面层	√ 可用于高强度、高频使用场景
耐久性	！ 潮湿环境下需配合防潮处理	√ 耐磨、耐刮、抗老化
成本	√ 原材料成本低，规模化生产成熟，价格稳定	√ 规模化生产成熟，价格稳定

等效植树数量；
碳普惠积分预估值；
可下载 PDF 版电子证书。
此举符合 SBTi（科学碳目标倡议）对价值链透明度的要求，也为 ESG 信息披露提供可信数据源。

6.2 碳价值转化机制构想

尽管当前尚未实现金融工具落地，但同桔低碳已规划三大碳变现通道：

工具名称	构想实现方式	价值定位
焕新贷直通车	未来联合银行开发以减碳量为抵押的绿色信贷产品	ESG 价值前置变现，缓解资金压力
补贴代办服务	建立政策数据库，自动匹配并代申报地方补贴	提高申报效率，缩短周期
碳收益小钱包	当减碳量满 1 吨时，自动打包挂牌至地方环交所交易	实现碎片化碳资产持续收益

上述机制将在中新天津生态城项目中逐步试点推进。

7 政策建议与未来发展展望

7.1 构建“政产学研用”协同生态

建议由住建部牵头，联合生态环境部、农业农村部设立“生物基绿色建材重大专项”，重点支持：

建立全国统一的生物基材料碳核算方法学；
将零碳板材纳入《绿色建筑评价标准》(GB/T 50378) 加分项 [10]；
推动政府采购优先选用通过 Cradle to Cradle 或 EPD 认证的产品；
鼓励保险公司开发“绿色建材质量责任险”。

7.2 技术前瞻：迈向负碳与智能化

未来发展方向包括：

负碳板材：结合直接空气捕集 (DAC) 技术，

在板材中嵌入矿化 CO₂ 的微胶囊，实现“越用越减碳”；

智能响应材料：开发温湿度感应变色、光调控制透光率的动态饰面板；

AI 驱动定制平台：用户上传空间照片，AI 推荐最优板材组合与排版方案；

区块链碳账本：实现碳资产跨区域、跨界流通与互认。

for Sustainable Products Regulation (ESPR) [S]. COM(2022) 129 final, 2022.

[4] 报告：Fraunhofer IBP. Development of Straw-Based Structural Panels for Passive Houses[R]. Technical Report No. FRA-IBP-2022-09, 2022.

[5] 期刊：Wang F, Zhang Y, Li J, et al. Soy protein-based adhesives for wood composites: A review[J]. Industrial Crops and Products, 2022, 184: 115021.

[6] 期刊：Li Y, Liu X, Zhao M, et al. Biophilic design in urban interiors: Effects on occupant well-being[J]. Building and Environment, 2021, 203: 108092.

[7] 政策：国家发展改革委.“十四五”循环经济发展规划 [Z]. 发改环资〔2021〕969 号, 2021.

[8] 报告：Terrapin Bright Green. 14 Patterns of Biophilic Design[R]. New York, 2014.

[9] 期刊：Ulrich R S. View through a window may influence recovery from surgery[J]. Science, 1984, 224(4647): 420-421.

[10] 标准：住房和城乡建设部. 绿色建筑评价标准 (GB/T 50378—2019) [S]. 北京：中国建筑工业出版社，2019.

致谢：感谢秸秆制板专家王步宁先生在原材料处理与成型工艺方面的专业指导；感谢负碳工程专家李雪松研究员在碳足迹核算与 CCUS 技术融合方向的深度交流。两位专家的专业支持为本研究提供了坚实的技术基础。

8 结论

生物基零碳板材不仅是材料科学的进步，更是建筑文明演进的重要标志。它打破了“环保 = 牺牲性能”的旧有认知，证明可持续性可以与美学、功能、经济性并存。

以上海同桔低碳为代表的中国企业，正在走出一条“以废弃物为起点、以文化为灵魂、以数字为纽带、以金融为引擎”的独特创新路径。这一模式不仅适用于中国广大的存量建筑更新需求，更可输出至“一带一路”沿线国家，助力全球南方实现低碳跃迁。

我们呼吁更多建筑师、开发商、政策制定者加入这场静默却深刻的革命——让每一平方米的空间焕新，都成为地球呼吸的一部分。

参考文献：

- [1] 报告：UNEP. Global Status Report for Buildings and Construction 2023[R]. Nairobi: United Nations Environment Programme, 2023.
- [2] 期刊：Zhang H, Wang S, Chen J, et al. Life cycle assessment of wheat straw particleboard compared with conventional wood-based panels[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 278: 123934.
- [3] 标准：European Commission. Ecodesign