

绿色建筑评价中装配式结构材料可回收性的实际表现评估

盖宋词

天津天华北方建筑设计有限公司 天津 300000

【摘要】：绿色建筑评价中，装配式结构材料可回收性评估是衡量建筑可持续性的关键。当前评价体系存在维度缺失、理论与实践错位、数据失真等问题，制约了评价的科学性与落地性。本文全面审视评估的现实困境，深入剖析材料本体特性、施工流程及指标设定对回收效能的核心影响，并从材料选型、全周期管控、指标体系修正及实操范式构建等维度提出优化路径，形成可落地的评估方案。研究旨在提升装配式结构材料可回收性的评估质量，完善绿色建筑评价体系，推动建筑全生命周期绿色化与高质量发展。

【关键词】：绿色建筑评价；装配式结构材料；可回收性；评估优化；实操范式

DOI:10.12417/2811-0536.26.08.042

引言

绿色建筑是推动建筑产业低碳转型、实现可持续发展的核心路径。装配式结构因高效、环保的优势，成为绿色建筑的主流形式，其材料可回收性直接关系到建筑全生命周期的绿色效能。当前，绿色建筑评价体系中装配式结构材料可回收性的评估仍存在诸多短板，未能充分衔接工程实际，导致评价结果难以发挥有效的导向作用。基于此，本文聚焦装配式结构材料可回收性的实际表现，审视现有评估困境，解析关键影响因素，探索优化路径与实操范式，以期完善绿色建筑评价体系、提升装配式建筑可持续性提供理论与实践支撑。

1 绿色建筑评价中装配式结构材料可回收性的现实审视

(1) 装配式结构材料可回收性的评价维度缺失：当前绿色建筑评价体系中，装配式结构材料可回收性的评估角度存在明显空白，尚未构建起覆盖材料全生命周期且契合工程实践的完整评价体系。现有评价指标侧重材料生产环节的环保特质，对施工期间材料损耗后的回收潜力、服役到期后拆解的实操性及回收效能缺乏细致考量，也未界定预制混凝土、钢结构、预制墙板等不同品类装配式材料的可回收性评价规范。评价过程中仅粗略划分材料回收与否，未深入细化回收难度、回收利用效率、回收后二次应用价值等核心方面，亦未结合装配式结构的连接形式、施工技术 etc 工程实际特征设置适配性评价指标，使得评价结果难以真实呈现装配式结构材料可回收性的实际状况，无法为绿色建筑装配式结构的可持续发展提供可靠指引。

(2) 绿色建筑评价体系与材料回收实践的错位：绿色建筑评价体系对装配式结构材料可回收性的考核主要集中于设计阶段的选材合规性，缺乏对施工、运维与拆除阶段实际回收流程的有效衔接，造成指标设

定与工程落地间存在断层^[1]。评价标准多以材料种类、再生成分比例作为判定依据，忽略了节点构造可拆卸性、现场拆解难度、回收产业链成熟度等关键实践因素，致使部分符合评级要求的装配式材料在实际拆除中难以高效回收。行业内缺乏统一的回收认定标准与价值核算机制，评价结果无法真实反映材料循环利用的实际效益，加之回收端技术不成熟、市场化运作不足，进一步削弱了评价体系引导材料绿色化应用的导向作用，理论评价与工程实践间的协同性始终未能有效建立。

(3) 可回收性实际表现评估的数据失真成因：装配式结构材料可回收性评估数据失真，多源于现场回收工况与理论测算标准的脱节，实际拆解过程中构件破损率、材料混杂程度等关键指标未被完整纳入统计体系。部分评价体系仅依据材料出厂属性判定可回收比例，忽略节点连接方式、后浇混凝土包裹、预埋件锈蚀等工程实际因素对回收效率的影响，导致理论可回收率与现场真实值存在明显偏差。回收环节的分类记录缺乏统一规范，不同施工单位对可回收与废弃材料的界定标准不一，加之拆解过程缺乏全程溯源监测，使得回收量、纯度及再利用效率等数据难以精准核算。部分项目为满足绿色建筑评级要求，人为优化数据填报内容，未真实反映材料破碎损耗、运输损耗及再生处理损耗，进一步加剧评估结果与实际表现的背离，最终造成可回收性评价失去客观参考价值。

2 装配式结构材料可回收性的关键影响要素解析

(1) 材料本体特性对回收效能的内在制约：装配式结构材料的物理及化学特性直接决定全生命周期内回收效能与再利用价值，构成制约回收效果的核心内在要素，见图1。不同材质的基体强度、耐蚀能力、热稳定水平及界面结合特性存在明显差别，金属类构件虽具备较强的熔融再生能力，但合金成分复杂会显

著增加分选与提纯难度。混凝土类预制构件经水化反应形成稳定胶凝结构,破碎与骨料分离环节能耗偏高、粉尘污染突出。复合材料与复合连接件因多材质紧密结合,拆解时易产生材料破损,难以实现完整分离分级,部分高分子材料还存在降解周期久、再生工艺受限等问题。材料密度、硬度、粘结形式及耐老化特性,本质上影响拆解难度、分选精度与再生利用水平,也是绿色建筑评价中衡量可回收性的重要基础。



图1 材料本体特性对回收效能的制约逻辑关系图

(2) 装配式施工流程对材料回收的显性损耗：装配式施工流程对材料回收的显性损耗集中体现在构件生产、现场装配与后期拆解等全链条环节中，预制构件在工厂标准化生产阶段需经过切割、钻孔、焊接等多道工序，加工过程中产生的边角余料多为不规则形态，部分材料因尺寸偏差或强度受损难以直接回收再利用。现场装配作业时，构件吊装、拼接与校正过程易出现磕碰、划伤甚至局部破损，混凝土、钢材等主材在临时固定与节点连接处理中会产生额外切割损耗，连接件与密封材料多为一次性耗材，拆除后难以分离回收。后期维护与改造阶段，构件拆拆往往伴随强制性切割与破坏性拆除，回收材料完整性大幅下降，同时施工扬尘、建筑垃圾混杂堆放也会加剧材料污染与损耗，直接降低装配式结构材料整体回收利用率与再生价值。

(3) 评价指标设定对回收实际的隐性偏差：绿色建筑评价体系中针对装配式结构材料可回收性的指标设定，多以理论回收率、材料类型占比等静态数据为核心依据，与现场实际回收工况存在明显偏差。指标往往侧重材料初始设计阶段的可循环潜力，忽略拆除过程中的损耗、破碎率以及现场分拣效率等动态因素，导致计算数值普遍高于工程实际。部分评价标准未区分不同连接方式、构件尺寸与加固形式对拆解回收的影响，统一采用固定系数核算，难以反映复杂工程场景下的真实表现^[2]。对再生材料再利用等级、市场接纳度与经济可行性的考量不足，使得指标偏向技术层

面的理想假设，无法全面映射回收产业链中的实际瓶颈，这种偏差直接弱化了评价结果对提升装配式结构材料实际可回收效益的指导作用。

3 装配式结构材料可回收性评估的优化策略构建

(1) 适配回收需求的装配式材料选型准则：适配回收需求的装配式材料选型需紧密结合绿色建筑评价体系中可回收性指标要求，从材料固有属性、拆解便捷性与循环利用价值等维度建立系统化准则。在材料类别选择上优先纳入钢材、铝合金等金属构件以及高性能再生混凝土、可降解复合材料等具备高回收率与成熟回收产业链的品类，规避难以分离、降解周期长或回收处理成本过高的复合型材料。同时结合构件连接方式优化材料选型，选用适配干式连接、无强力粘接与少胶少焊的材料体系，降低后期拆解过程中对材料本体的损伤，保障回收后材料性能完整性^[3]。选型过程中同步考量材料回收后的再加工特性，确保材料经拆解清理后可直接进入再生加工环节，减少改性处理工序，兼顾材料强度、耐久性与回收经济性，使材料从生产、应用到退役回收全生命周期均符合装配式建筑高效循环的发展要求，为绿色建筑可回收性评价提供稳定可靠的基础支撑。

(2) 施工全周期材料回收的精细化管理管控路径：施工全周期材料回收精细化管理管控需贯穿施工准备、现场施工、竣工收尾及后期运维全过程，以材料可回收性为核心构建全流程闭环管控体系。施工准备阶段结合装配式结构设计，明确各类材料回收属性、标准与存储要求，对预制构件分类编码，标注材料成分、规格及回收优先级，规划专用回收存放区并配备防护设施，减少存储不当导致的损耗与污染。现场施工阶段严控构件安装精度，降低施工损耗，对切割、拼接废料实时分类收集，经专用设备转运至指定区域并做好记录，实现动态管控。竣工收尾阶段全面清点剩余预制构件与连接件，优先用于后续工程，合格材料纳入回收体系，不可直接利用材料经无害化处理后再加工回收。后期运维阶段建立完整回收台账，定期检测评估材料状况，确定合理回收节点与处置方式，确保材料在生命期末端高效规范回收，有效提升整体回收利用率。

(3) 绿色建筑评价指标体系的针对性修正：绿色建筑评价指标体系的针对性修正需紧密结合装配式结构材料可回收性的实际应用场景，打破原有指标笼统化、普适性过强的局限，将材料拆解难度、再生纯度、回收能耗及循环利用率等量化参数纳入核心评价维度。针对不同结构类型的装配式构件，细化可回收性评分权重，对钢结构、预制混凝土、复合板材等分别

设定差异化判定标准,避免单一指标覆盖不全导致的评估偏差。同步补充材料回收工艺适配性、回收产业链成熟度等关联指标,将现场拆解可行性与后期资源化处理效率纳入评分依据,同时衔接绿色建筑全生命周期评价逻辑,把可回收性表现与建材环保等级、碳减排贡献度联动赋值,确保修正后的指标体系能够真实反映材料回收价值,精准匹配装配式建筑在绿色建造环节的实际需求,为项目评审提供更具实操性的判定依据。

4 装配式结构材料可回收性评估的实操范式

(1) 全流程可回收性评估框架的搭建逻辑:装配式结构材料可回收性评估框架以绿色建筑评价体系核心指标为依据,以材料全生命周期为主线,统筹设计选型、生产加工、施工装配、运营维护与拆除回收各阶段,构建统一评估维度,实现各环节可回收特征的量化识别^[4]。构建过程结合装配式混凝土构件、钢结构型材、预制围护板材等典型材料的物理与拆解特性,选取材料纯度、拆解难度、再生利用率、回收能耗等关键评价因子,通过层级化指标划分精准刻画材料可回收潜力。框架同时衔接绿色建筑资源利用相关条款、行业回收技术规范与工程实践要求,兼顾科学性与可操作性,规避单一阶段评估带来的偏差,可适配不同装配率建筑的各类材料,为后续可回收性实测、数据采集及等级判定提供坚实的逻辑基础与实施路径。

(2) 实际项目中评估范式的落地应用流程:实操范式的启动阶段聚焦于建立材料溯源与拆解规划的双轨机制。依据《钢结构建筑钢材回收率达九成》的行业数据,操作人员需在施工准备期利用 BIM 模型对预制构件进行编码登记,特别针对钢结构构件建立包含化学成分、连接节点类型的“材料身份证”。进入拆除或改造阶段时,需严格执行“先分离后拆除”的流程,使用手持式光谱仪对现场回收钢材进行材质复验,剔除已发生疲劳损伤或锈蚀超标的构件。以北京亦庄蓝领公寓项目为例,其实际操作中通过采用螺栓连接替代焊接工艺,使得 90%的预制模块能够在不破坏板

材的情况下完成拆解,实现了模块的整装迁移。随后进入分级评估环节,将回收材料区分为“可直接复用的梁柱”与“需重熔的废钢”两类,前者直接进入二手构件库,后者则返回冶炼流程,从而达成高达 90% 以上的材料循环利用率。

(3) 评估范式在不同场景下的适配性验证:结合绿色建筑评价体系实际应用,装配式结构材料可回收性评估范式需面向住宅、公共、工业等建筑类型开展适配性验证,系统梳理不同建筑在结构形式、材料选用、使用周期及拆除条件上的差异,明确评估指标权重与判定标准的调整依据。在高层装配式住宅中,重点验证预制混凝土构件、钢筋及连接件的回收拆解效率与再生利用率,结合施工与运维数据修正材料损耗系数;在大型公共建筑中,侧重校验钢结构、组合型材及模块化围护材料的评估流程,适配大跨度结构与复杂节点的拆解特点^[5]。同时针对既有建筑改造与新建项目,分别验证范式在存量材料追溯、全生命周期碳排放核算方面的适用性,结合区域建材回收产业配套条件优化评估边界与参数取值,保障该范式在绿色建筑星级评定、项目验收及可持续性分析中具备稳定适用性与实操性。

5 结语

装配式结构材料可回收性的实际表现,是衡量绿色建筑可持续性的核心标尺,其评估质量直接影响绿色建筑评价体系的科学性与落地性。当前,可回收性评价仍面临维度缺失、理论与实践错位、数据失真等现实困境,而材料本体特性、施工流程及评价指标设定是影响回收效能的关键因素。优化材料选型、强化施工全周期精细化管控、修正评价指标体系,构建适配实际场景的评估范式,是破解现有难题的关键路径。未来需持续推动评价体系与工程实践深度协同,完善回收产业链配套,让可回收性评估真正发挥导向作用,助力装配式建筑实现全生命周期绿色闭环,推动绿色建筑产业高质量发展。

参考文献:

- [1] 方寅.碳中和环境下绿色建筑材料的回收利用实践[J].石材,2025,(08):174-176.
- [2] 刘璞.装配式建筑对绿色建筑性能影响的分析与评价[J].陶瓷,2025,(07):188-190.
- [3] 胡纯星.绿色建筑材料在装配式结构中的施工应用方法分析[J].工程技术研究,2024,9(20):123-125.
- [4] 林发言.绿色建筑材料在装配式结构中的应用探究[J].新城建科技,2024,33(08):40-42.
- [5] 蔺文玺.绿色建筑材料在装配式结构中的应用探究[J].居舍,2024,(12):74-76.