

绿色建筑评估体系的发展及其在我国适用性分析

董成¹, 刘平²

¹同济大学经济与管理学院, 上海

²江苏科技大学土木工程与建筑学院, 江苏 镇江

收稿日期: 2025年4月28日; 录用日期: 2025年5月20日; 发布日期: 2025年5月29日

摘要

近年来, 绿色建筑评估体系逐渐发展成熟, 并在全球范围内得到广泛应用。其中, 最为知名且应用最广泛的绿色建筑评估体系是美国的LEED体系。然而, 从中国的实际国情出发, LEED评估体系并不完全适用。因此, 亟需根据中国的具体情况, 构建一套符合国情的绿色建筑评估体系。在构建这一科学合理的评估体系时, 评估指标的选择和权重分配是两个至关重要的因素。

关键词

绿色建筑评估体系, LEED, 评估指标, 权重分配

Analysis of the Development of Green Building Assessment Systems and Their Applicability in China

Cheng Dong¹, Ping Liu²

¹School of Economics and Management, Tongji University, Shanghai

²School of Civil and Architecture, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang Jiangsu

Received: Apr. 28th, 2025; accepted: May 20th, 2025; published: May 29th, 2025

Abstract

In recent years, green building assessment systems have gradually matured and been widely applied globally. Among them, the most well-known and widely used green building assessment system is the LEED system in the United States. However, considering China's actual national conditions,

the LEED assessment system is not entirely applicable. Therefore, it is urgently necessary to construct a green building assessment system that suits China's specific circumstances based on the country's actual situation. When building this scientific and reasonable assessment system, the selection of assessment indicators and the allocation of their weights are two crucial factors.

Keywords

Green Building Assessment System, Leadership in Energy and Environmental Design, Assessment Indicators, Weight Distribution

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在构建高层住宅建筑低碳节能评估体系的过程中,首要任务是明确评估的目的与核心要素。该评估体系旨在对高层住宅建筑的低碳节能效果进行科学、系统、全面的评价,确保建筑在使用过程中能够实现节能减排的既定目标,并提供关于建筑节能及环境效益的定量与定性分析[1][2]。该目标旨在提升建筑能效,同时促进可持续发展,降低碳排放,提高资源利用效率,以及改善居住环境等多方面。因此,评估体系的构建必须综合考虑建筑的能源消耗、碳排放、环境影响、社会效益等多个维度的特征,以确保在不同维度上全面体现建筑的低碳节能性能[3][4]。

为达成既定目标,构建一个高效的评估体系至关重要。该体系不仅需涵盖技术维度的建筑节能与低碳指标,还应融合管理学理论中的框架设计原则。管理学领域内存在诸多评估体系设计框架与方法,如系统理论、决策分析理论以及层次分析法(AHP)等,这些理论为评估体系的层次结构构建、指标选取、权重分配提供了科学的理论支撑[5][6]。利用这些框架,能够构建出一个满足实际应用需求的评估体系,该体系具备以下特征:

科学性:评估体系的构建必须依托于坚实的理论基础,并结合具体实践,确保每一项评估指标及方法均获得充分的数据支持与理论支撑,以客观、公正地反映建筑节能减排效果[7]。

系统性:评估体系应从宏观视角出发,综合考量环境、经济、社会等多方面的影响因素,确保各环节与要素之间实现协同效应。体系内各子系统(例如能源利用、碳排放、环境影响等)之间需具备明确的内在联系,构成一个完整的闭合循环[8]。

可操作性分析:评估体系的构建不仅需依托坚实的理论基础,还应确保其具备高度的可操作性,以便在实际工程应用中得到广泛采纳。评估指标应设计得简洁且明确,计算方法需便于操作执行,同时体系应具备一定的弹性,以适应不同种类高层住宅建筑的评估需求[9][10]。

本研究通过构建一个系统化、科学化且具备高度操作性的评估体系,旨在为建筑设计师、工程师及开发商提供明确且直观的数据支持和决策参考。该体系有助于在建筑设计、施工及运营等关键环节实现节能减排和低碳环保的目标。在设计高层住宅建筑低碳节能评估体系时,必须基于全面的目标考量,融合建筑技术特性与管理学理论框架,构建一个科学且系统的评估体系结构,以支撑各项低碳节能评估指标和方法的实施。通过这种方式,可以促进建筑行业朝着低碳、节能的可持续发展目标迈进。

2. 全球绿色建筑评估体系的发展

在西方国家针对建筑使用后评估(Post Occupancy Evaluation, POE)的研究实践,其起源可以追溯到

1960年代。随着该领域研究广度的持续扩展与深度的不断深化, POE理论体系逐步实现了理论架构的体系化演进。不同国家相继研发出本土化的评价模型, 最终整合为具有多维分析特征的系统工程框架。这一方法论框架在实践应用中主要包含两大核心维度: 其一是建成环境物理参数的硬性项目检测, 其二是使用者行为模式与心理感知的软性评估, 形成了从数据采集到设计反馈的完整循证链条[11][12]。在国际建筑实践前沿领域, 以美英为代表的发达国家已系统化整合后评估机制至建筑全生命周期管理体系, 其演进路径呈现“系统化整合→制度化融入→标准化实施”的三阶段特征。该机制通过涵盖多元建筑类型谱系, 不仅有效消解设计预判的局限性, 更建构起积极的反馈机制。这种基于实证研究的决策机制, 展现出对社会需求演变的动态适配能力, 持续推动建筑性能的精准调适。值得注意的是, 绿色建筑评价系统的演变历程始于20世纪90年代。从评估标准的整合与权重配置视角分析, 这一体系主要经历了三个主要阶段的演进过程。

作为绿色建筑评估体系代际演进的首个范式阶段, 以美国LEED(能源与环境设计先锋, Leadership in Energy and Environmental Design)为代表的初代评估范式, 其方法论本质可归结为“线性累加模型”[13][14], 这种简化的结构主义评估路径虽奠定了基准化评估的基础框架, 却也暴露了忽视指标间生态关联性的理论局限; 以国际协作研发的GBTTool(建筑物环境性能评估系统)为典型代表的第二代方法论体系, 其范式突破集中体现于“分层赋权模型”的建构, 通过引入层次分析法(AHP)实现评估指标的结构化重组, 运用德尔菲法进行动态权重配置, 最终形成具备参数敏感性的综合评估函数, 不仅实现了从线性叠加到非线性耦合的方法论跃迁, 更是提升了评估体系在跨地域适用性与多尺度延展性方面的理论潜能。在第三代评价框架中, 以日本建筑环境效能综合评价体系(CASBEE)为代表, 相较于前代评估方法有了显著突破, 该体系创新性地提出了“建筑环境效能”这一核心指标, 其具体内涵是通过量化“建筑环境品质与性能(Quality, Q)”与“建筑外部环境负荷(Load, L)”之间的比例关系来衡量的, 如公式(1)所示[15]。

$$BEE = \frac{Q}{L} \quad (1)$$

式中: BEE为建筑环境效率, 无量纲; Q为建筑环境质量与性能, 无量纲; L为建筑外部环境负荷, 无量纲。近期, 在与国际先进评估体系的深入交流中, 我们观察到这些发达国家已将后期评估机制有机融入绿色建筑发展体系。这种将前期设计与后期评估相结合的模式, 不仅完善了评估体系, 更有效促进了绿色建筑从规划设计到实际运营效果的全面提升, 实现了理论与实践的有机统一[16]。以美国LEED v4评估系统为例, 其创新性地引入了智能化评级机制[17]。该系统将智能监测模块嵌入建筑设施中, 可对能源使用效率、用水量、固废管理、交通出行模式及使用者满意度等核心参数进行持续追踪与数据采集, 并基于这些实时信息生成建筑可持续性表现的量化评估结果。该创新机制显著提升了可持续措施成效评估的效率, 有效缩短了认证周期, 从而形成正向激励机制, 推动管理主体不断优化运营策略并实施效能提升方案; 此外, 该体系具备将绿色建筑的经济与环境效益可视化呈现的功能, 有助于提升公众对可持续建筑理念的认同度, 进而推动更多利益相关方积极参与绿色建筑的开发与应用。作为全球范围内最早建立的绿色建筑评价标准, 英国的BREEAM体系[18][19]在持续优化与完善的过程中, 使用后评估(POE)机制已被系统性地纳入现行评价标准框架。现行评估系统专门设置了使用后评估考核模块, 明确要求项目在运营满12个月时必须开展使用后评估工作。该项评估涵盖设计方案实施效果、施工质量达标程度、多维度使用者体验反馈以及可持续性表现等核心要素的全面分析, 同时建立优秀实践案例的推广机制。

3. 美国LEED认证项目发展情况

在国际舞台上, 众多发达国家和地区已经建立了各自的绿色建筑评价体系。这些评价体系各具特色, 其中英国的BREEAM体系被认为是最早的绿色建筑评估标准, 美国的LEED体系在商业应用上取得了

显著成功, 加拿大的 GBTool 体系则以其国际化程度高而著称, 而日本的 CASBEE 体系则被认为在科学性方面更为突出。本文将以美国的 LEED 体系为例, 探讨其绿色建筑评估体系的发展历程。

3.1. LEED 认证项目本土发展情况

基于各州人均认证面积统计数据, 2012~2018 年间美国各州可持续发展水平呈现显著差异。研究数据显示, 位列前十的行政区划虽存在年度波动, 但领先区域普遍建立了完善的可持续发展政策体系。其中, 伊利诺伊、马萨诸塞、马里兰、弗吉尼亚、加利福尼亚和纽约等六个州连续七年保持前十的领先地位, 展现出较强的可持续发展能力。相比之下, 科罗拉多、明尼苏达和德克萨斯等州虽多次进入前十序列, 但其排名波动性较大, 可持续发展稳定性相对不足[1]。具体数据可参见图 1。

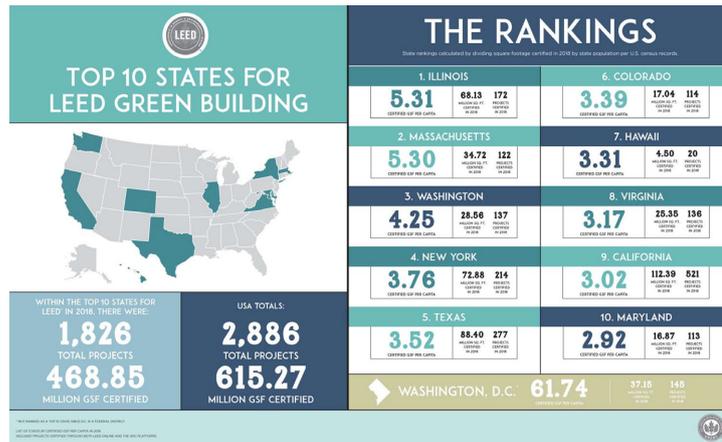


Figure 1. The distribution of the top 10 LEED certified states in the United States in 2018
图 1. 2018 年 LEED 认证美国排名前十的州分布情况

在 2012~2018 年内, 美国领先区域(前十位)的认证建筑规模呈现稳定增长态势, 其认证总面积维持在 2100 万~2930 万平方米区间。截至 2018 统计年度, 该数值实现突破性增长, 较前期提升约 48.6%, 达到 4355 万平方米。从项目数量维度分析, 年认证项目基本稳定在 1500~1800 个区间, 但 2017 年受政策调整影响, 申报量出现明显回落, 降至 1399 个, 同比下降约 22.8%。然而, 2018 年申请数量回升至 1826 项, 如图 2 所示。

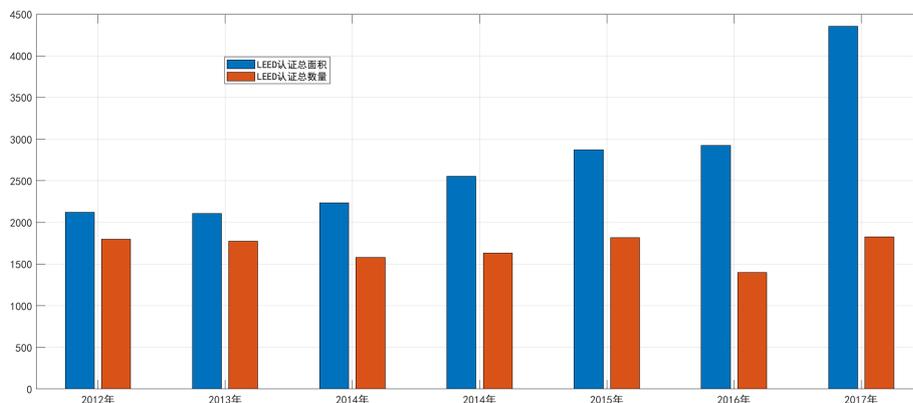


Figure 2. LEED Certification in the top 10 states in the United States from 2012 to 2018
图 2. 2012~2018 年 LEED 认证美国排名前十的州的认证情况

在 2012 年至 2018 年期间, 加利福尼亚州提交的认证项目数量居于首位, 七年间累计达到 3898 项, 平均每年的申请量大约在 500 至 600 项之间。其中, 2017 年的申请数量最低, 为 475 项; 而 2016 年则达到峰值, 为 632 项。在区域可持续发展表现方面, 纽约州以 1544 个累计认证项目的成绩位居次席, 其年均申报量维持在 220 个以上。同期数据显示, 伊利诺伊州和弗吉尼亚州分别完成了 1120 个和 1044 个项目的认证工作。进一步分析表明, 其他表现突出的行政区年均认证量多集中于 100~150 个区间, 而部分区域的年认证规模则未能突破 100 个关口, 详细分布情况可参见图 3 的统计结果。

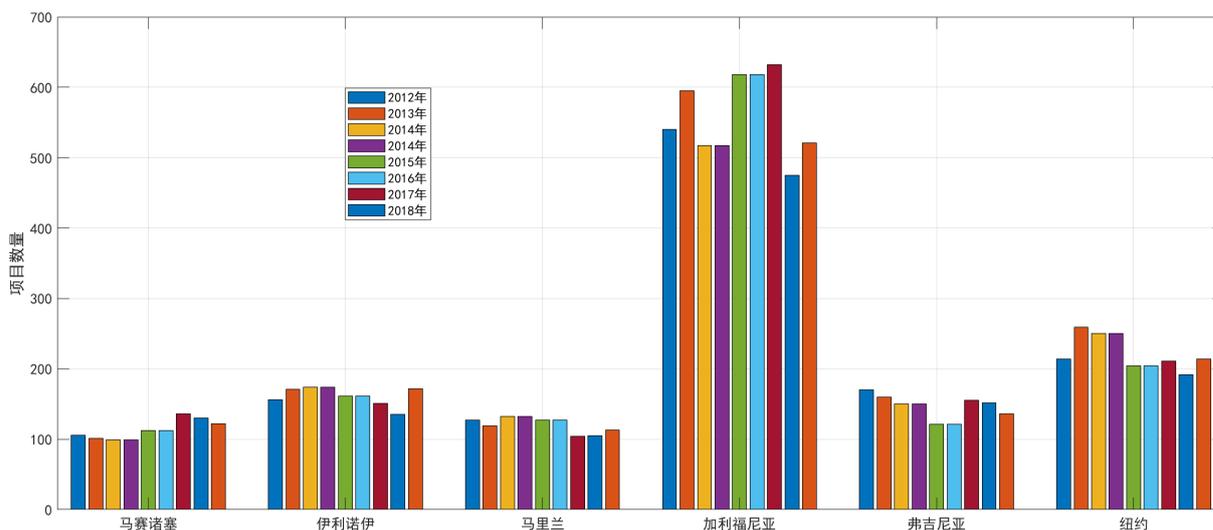


Figure 3. Number of applications from the top US LEED certification states from 2012 to 2018

图 3. 2012~2018 年美国 LEED 认证排名靠前的州申请数量情况

3.2. LEED 认证项目全球发展情况

截至 2018 年度末的统计数据显示, LEED 评估系统作为市场化驱动的绿色建筑评价机制, 已在全球范围内获得广泛应用。该系统累计认证项目规模突破两万个, 其中北美地区占据主导地位, 认证量达 13,500 个, 市场占比 61.2%; 国际区域认证规模为 8500 个, 市场占有率为 38.8%, 呈现出持续增长态势 [20]。

LEED 认证体系的全球化布局日益显著, 其项目申报量保持稳定增长。自 2016 年起, 美国绿色建筑委员会建立了完善的认证数据发布机制, 将全球划分为八个主要市场板块: 包括北美板块(涵盖美加两国)、拉丁美洲板块(含哥伦比亚)、欧盟板块、非洲板块、中东与北非板块、南亚板块、东亚板块以及环太平洋板块。根据图 4 的统计数据显示, 北美地区在 LEED 认证申请方面占据绝对优势, 东亚地区位列第二, 其中中国的认证申请规模和项目数量表现尤为突出。欧洲联盟区域排名第三, 德国在该区域的认证活动中表现最为活跃。值得注意的是, 英国建筑市场主要采用其本土开发的 BREEAM 评估体系, 这在一定程度上影响了 LEED 认证在该地区的市场占有率。

在 LEED 认证的申请中, 除美国本土外, 中国在海外国家中以 321.62 万平方米的申请面积位居首位, 2017 年增至 438.11 万平方米, 2018 年进一步增长至 639.43 万平方米, 显示出年增长率为 30%~40%。在区域认证规模方面, 加拿大位居第二梯队, 该国认证面积从 319.48 万平方米稳步增长至 434.86 万平方米, 其中 2017 年达到 378.75 万平方米, 年均增长率维持在 15%~18% 的区间。在 LEED 认证的海外申请面积中, 印度和巴西分别位列第三和第四, 2018 年申请面积分别达到 230.48 万平方米和 155.51 万平方米, 具体数据如图 5 所示。



Figure 4. LEED Certified regional development Overview in 2018
图 4. 2018 年 LEED 认证区域发展概况

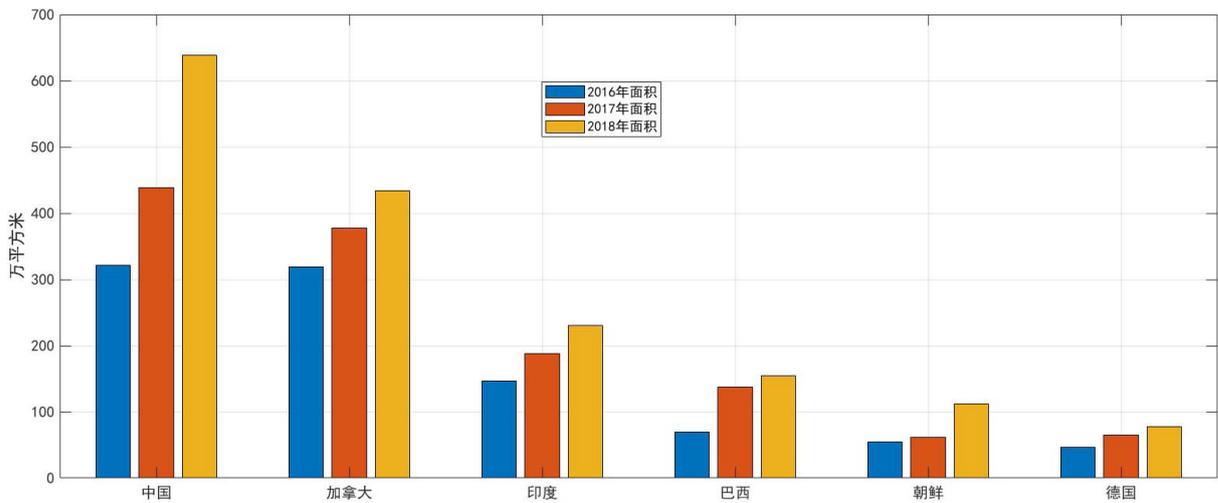


Figure 5. 2016~2018 LEED certified foreign countries in the United States application area
图 5. 2016~2018 年 LEED 认证美国海外国家申请面积情况

在 LEED 认证的申请项目中, 除美国本土外, 加拿大以 2016 年的 2586 项、2017 年的 2970 项和 2018 年的 3254 项, 连续三年位居申请项目数量最多的海外国家, 年均增长约 300 至 400 项。中国市场表现突出, 位居第二。具体数据显示, 2016 年申报量为 931 个, 2017 年增长至 1211 个, 增幅达 30.1%; 至 2018 年末, 累计参与项目突破 1494 个。同期, 南亚地区的印度和南美地区的巴西分别以 899 个和 531 个的认证规模位列第三、四位, 如图 6 所示。

4. LEED 认证在中国绿色建筑适配性的讨论

随着我国建筑行业的快速发展, 其带来的环境外部性问题日益凸显。为应对这一挑战, 我国于 2006 年首次颁布了《绿色建筑评价标准》GB/T 50378 (简称“国标”), 并于 2014 年完成首次修订。该标准

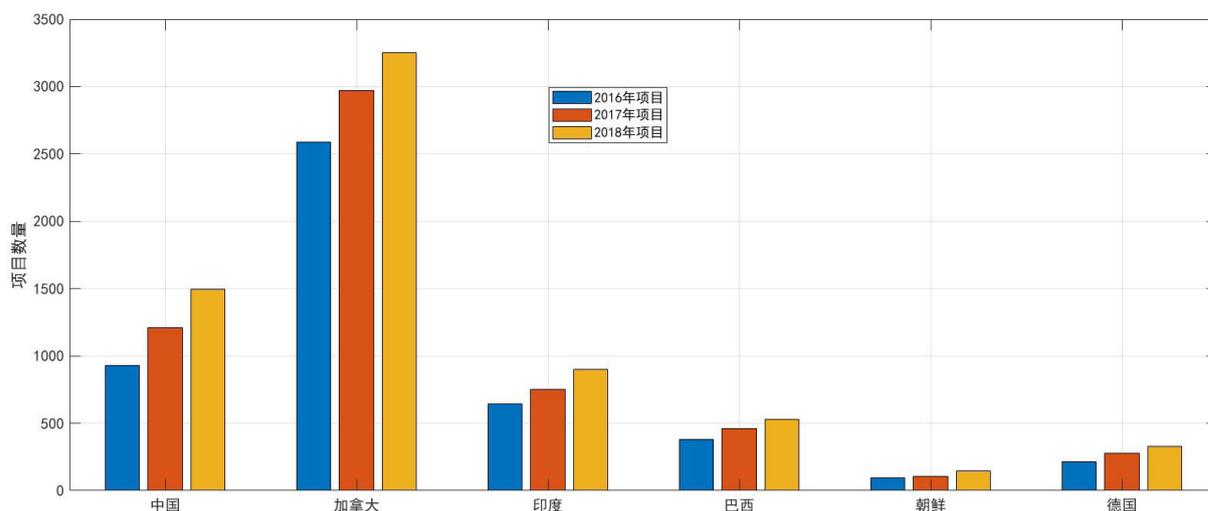


Figure 6. The number of LEED certification projects applied by overseas countries in the United States in 2016~2018
图 6. 2016~2018 年 LEED 认证美国海外国家申请项目数量情况

建立了涵盖居住建筑和公共建筑的双维度评价框架, 创新性地采用了设计 - 运营双阶段认证机制, 每个阶段均设有独立的认证标识体系。在设计评价阶段, 评价工作始于施工图设计文件审查通过后, 所获认证标识的有效期为 24 个月。运营评价阶段则要求建筑项目在完成竣工验收并实际运行 12 个月后方可申请, 由专业评估机构基于建筑实际运行数据进行多维度评估。值得注意的是, 运营评价在原有指标体系基础上, 新增了施工过程管控和运营维护管理两大考核模块。该评价体系采用分项指标评分与权重系数相结合的综合计分方法。具体而言, 当项目总评分分别达到 50 分、60 分、80 分(且各分项得分均 ≥ 40 分)时, 可相应获得一星级、二星级和三星级绿色建筑认证等级。这种分级认证机制既保证了评价的科学性, 又为建筑项目的持续改进提供了明确的目标导向。同时, 我国住房和城乡建设部已着手制定《绿色办公建筑评价标准》《绿色工业建筑评价标准》等专项标准, 以完善不同类型建筑的评估体系。同时, 各地住建部门结合区域特点, 在国家标准框架下制定了更具地方适应性的评价标准, 充分考虑了当地资源禀赋、气候条件、经济发展水平和文化特征等因素。这一系列举措标志着我国绿色建筑评价标准体系正在向多层次、多维度、系统化的方向持续完善[21]。

我国现行的绿色建筑评价体系虽然涵盖了建筑全生命周期的一般性指标, 并针对设计、施工、使用等特定阶段设置了专项指标, 但仍存在明显的局限性。该体系尚未建立起覆盖规划设计、绿色施工和运营使用等完整阶段的综合评价机制, 在评估方法上缺乏定性分析与定量测算的有机结合, 同时也未能将理论评估与实际检测数据进行有效整合。由于缺乏科学的权重分配系统, 导致无法通过系统化的计算方法得出综合评价总分, 这在一定程度上影响了评估结果的准确性和全面性[22]。

面对全球生态环境恶化和资源短缺的双重挑战, 建筑领域的可持续发展评价机制逐步建立并推广。当前, 多个发达国家已构建了具有本土特色的绿色建筑评估系统。在这些评估系统中, 美国 LEED 体系凭借其完善的评价框架和广泛的国际影响力, 确立了行业标杆地位。该体系创新性地采用了全生命周期评估方法, 将建筑项目的规划设计、施工建造和运营使用等阶段纳入统一评价框架, 实现了对建筑可持续性能的系统化评估[23]。LEED 评估系统采用多维度的技术评价框架, 将生态建筑技术体系划分为五个核心模块。该体系通过建立标准化的量化评价指标体系, 将各评估维度进一步分解为可操作的具体指标项, 并配以相应的权重系数和评分标准, 从而实现对生态建筑性能的等级化评定。

LEED 评价体系相较于其余体系具有明显优势: 1) 采用了第三方机构的认证体制, 提升了体系的信

誉度和权威性; 2) 评定标准专业化, 评定范围已形成完整的链条; 3) 体系结构简洁明了, 便于理解和实施评估; 4) 该体系已发展成为全球各国制定绿色建筑标准及可持续性评估框架的重要参考范例。

LEED 评估系统在众多绿色建筑评价体系中展现出显著的竞争优势, 主要体现在以下四个方面: 首先, 其创新性地引入了第三方认证机制, 通过客观公正的评估流程, 有效提升了体系的公信力和市场认可度; 其次, 建立了专业化的评价标准体系, 实现了从规划设计到运营维护的全生命周期覆盖, 形成了完整的评估链条; 再次, 其模块化的体系结构设计简洁清晰, 既便于专业人员理解执行, 也利于评估对象进行技术优化; 最后, 作为国际公认的绿色建筑评估标杆, LEED 体系已成为各国制定本土化绿色建筑标准和可持续性评估框架的重要参考依据。然而, 该体系也具有一定的局限性, 特别是在建筑全生命周期环境影响评估方面尚未建立完整的评价机制, 该体系在环境性能评定环节过于依赖简单的打分制度, 未能将定性分析与定量测算有机结合, 这种单一的评价方式难以全面、准确地反映建筑环境的实际性能表现[24], 并且未通过权重系统综合得出总分等。

根据美国绿色建筑委员会(USGBC) 2018 年 10 月 24 日发布的数据显示, 中国已超越其他国家和地区, 成为美国本土以外 LEED 认证规模最大的市场。统计表明, 我国累计完成 LEED 注册的建筑项目已达 3750 个, 认证总面积突破 2.3 亿平方米。然而, 这一表面繁荣的数字背后, 实际上暴露出我国在绿色建筑发展过程中存在的深层次认知偏差和实践误区。为了发展真正意义上的绿色建筑, 中国并不适宜直接采用 LEED 认证体系。我国应当基于本国的实际情况, 构建一套体系完备的绿色建筑评价的标准[25]。

依据《绿色建筑评价标准 GB/T 50378》, 我国将建筑的“绿色度”划分为三个等级: 三星级、二星级、一星级, 其中星级越高, 代表绿色度越显著。LEED 绿色建筑认证体系则将建筑分为四个等级: 白金级、金级、银级、通过级。鉴于 LEED 通过级的得分率要求较低, 故其白金级等同于我国的三星级, 金级等同于我国的二星级, 银级等同于我国的一星级。进一步分析, 多数美国 LEED 认证建筑若置于中国, 其能耗水平将被归类为高能耗建筑。根据中美两国建筑能耗的实证研究数据表明, 美国绿色建筑的能源消耗强度显著高于中国同类建筑, 其单位面积能耗达到中国的 2.5~3 倍。进一步分析显示, 美国普通建筑的能耗强度是中国城镇建筑的 3 倍, 而人均建筑能耗更是达到中国的 10 倍水平。这一数据意味着, 即使达到美国节能 25% 标准的建筑, 其单位面积能耗仍相当于中国建筑的 2~3 倍。

我国《绿色建筑评价标准 GB/T 50378》采用三级评价体系, 将建筑绿色性能划分为三星级、二星级和一星级。相比之下, LEED 认证体系采用四级评价机制, 包括白金级、金级、银级和通过级。由于 LEED 通过级的认证门槛相对较低, 其白金级、金级和银级可分别对应我国的三星级、二星级和一星级标准。深入研究表明, 若将美国 LEED 认证建筑置于中国评价体系下, 其能耗表现大多难以达标。实证数据显示, 美国绿色建筑的能源消耗强度显著高于中国同类建筑, 其单位面积能耗约为中国的 2.5~3 倍。进一步对比分析发现, 美国普通建筑的能耗强度是中国城镇建筑的 3 倍, 而人均建筑能耗更是达到中国的 10 倍。这意味着, 即使达到美国节能 25% 标准的建筑, 其单位面积能耗仍相当于中国建筑的 2~3 倍水平。这一现象反映出两国在建筑节能标准、用能习惯和气候条件等方面存在显著差异。由此可见, 按照中国现行的能耗标准, LEED 认证建筑在大多数情况下仍属于高能耗建筑范畴。这一现象反映出两国在建筑能耗基准、节能标准以及用能模式等方面存在显著差异。

在指标的科学性和严谨性方面, LEED 评价体系存在缺陷: 其评价标准未设置短板限制, 仅以总得分作为认证依据。即便在节能等关键领域得分较低, 只要总分达标, 仍可获得认证。相比之下, 该标准在节能效率、土地利用、水资源利用、材料资源、室内环境质量以及运营管理六大核心维度均设立了 40 分的单项控制指标, 避免了单一维度得分过高而其他维度存在明显缺陷的情况。

LEED 评估系统在节能评价方面存在显著争议, 主要体现在其参考建筑模型的设定上, 该模型采用了多项在中国建筑实践中已被证明能效较低的技术方案。这些技术方案虽然在美国建筑领域普遍应用,

但其高能耗特性与可持续发展理念存在明显冲突。更为关键的是, LEED 参考模型过度强调建筑舒适度的提升, 而忽视了由此带来的能源消耗代价, 这种评价导向与绿色低碳建筑的核心原则存在本质性矛盾。

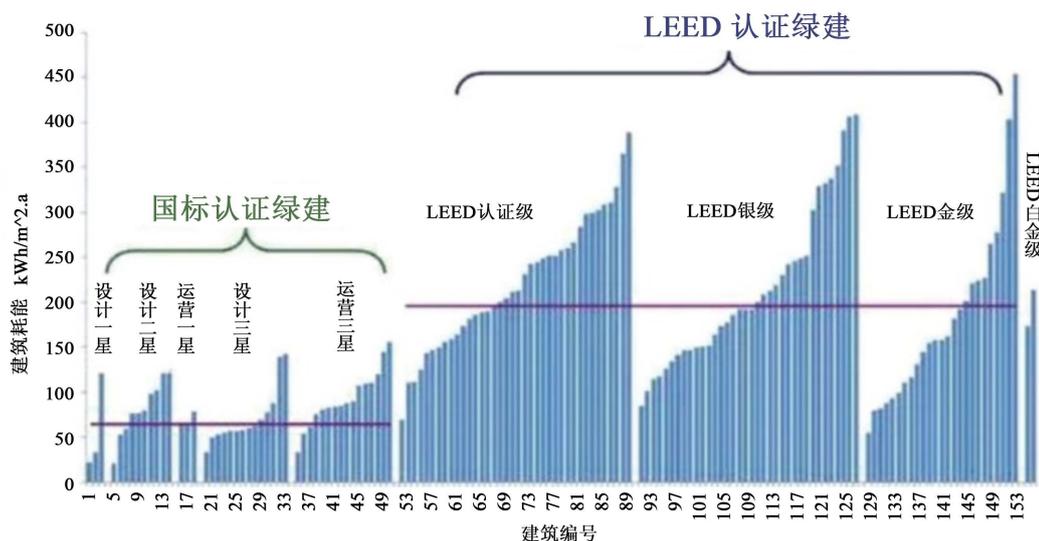


Figure 7. Comparison of the actual energy consumption of green labeled buildings in China and LEED labeled buildings in the United States

图 7. 中国绿色标识建筑的实际能耗与美国 LEED 标识建筑的实际能耗对比

LEED 评价体系在适应性方面存在明显局限性: 其一, 采用固定权重和简单加和的评分机制, 缺乏动态调整的灵活性; 其二, 其权重设置完全基于美国国情, 未能充分考虑中国特殊的地理条件和资源分布特征。我国作为幅员辽阔的大国, 横跨多个气候带, 不同区域在气候条件、资源禀赋和用能需求等方面存在差异。这种单一化的评价框架难以准确反映我国不同气候区和资源分布区域的个性化需求, 导致评价结果与实际节能效果之间存在偏差, 其与美国绿色建筑评价标准对于能耗的对比见图 7 所示。

LEED 评估系统在商业方面存在偏差, 其评价机制倾向于推动高成本技术方案的应用。该体系的得分条款过度聚焦于机械控制系统的应用, 而对被动式设计策略的考量不足。这种以技术复杂度和成本投入为导向的评价机制, 不仅增加了建筑项目的初期投资, 也可能导致过度技术化倾向, 与绿色建筑追求经济性和环境效益平衡的初衷相背离。

通过深入分析可知, 中美两国在经济发展水平、资源禀赋条件、气候环境特征等方面存在本质性差异, 这直接导致 LEED 评估体系与我国绿色建筑标准在指标体系构建、评价方法选择、能耗基准设定等关键维度上存在显著区别。这些差异使得部分获得高等级 LEED 认证的建筑项目, 若按照我国国家标准进行评估, 可能难以达到相应的绿色建筑要求, 我国不宜直接采用 LEED 认证体系。因此, 为推动我国绿色建筑的健康发展, 建立符合国情的评价体系至关重要。

5. 评估体系的构建

在构建科学合理的低碳节能评估体系过程中, 评估指标的筛选占据着核心地位。恰当的指标筛选对于确保评估体系的精确性和完整性至关重要, 能够科学地揭示建筑物的低碳节能性能。为保证评估结果的科学性和客观性, 指标的筛选必须综合考量环境、经济和社会等多方面因素。这些因素不仅对低碳建筑的实际表现产生直接影响, 而且确保了评估体系的多维度覆盖。通过综合考量环境、经济和社会因素, 并结合科学的权重分配方法, 低碳节能评估体系能够全面、客观地反映建筑的低碳节能水平。恰当的评

估指标筛选和权重分配不仅有助于准确评价建筑的节能效果, 还能够为政策制定者、建筑设计师、开发商等提供有效的决策支持。同时, 随着建筑技术的不断进步和绿色建筑标准的持续完善, 评估体系中的指标和权重也应当根据实际情况进行动态调整。

5.1. 层次分析法(AHP)

层次分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)作为一种融合了定性分析与定量计算的特征权重确定方法, 其核心理念在于通过构建层次结构模型, 明确目标、准则与子准则之间的相互关系, 并依据专家的主观判断进行权重分配。

实施步骤如下: 1) 构建层次结构: 首先, 将低碳节能评估体系细分为多个层次。顶层设定为总体目标(例如低碳节能建筑的评估), 次级层次为关键评估领域(如环境影响、能源消耗、经济效益、社会效益等), 而更下层则细化为具体评估指标(如碳排放量、能源效率、成本效益等)。2) 构建判断矩阵: 专家依据评估指标间的相对重要性, 通过两两比较进行打分, 形成判断矩阵。在此过程中, 专家可采用 1~9 标度法(例如, 1 代表两个指标同等重要, 9 代表一个指标比另一个指标重要 9 倍)来量化比较结果。3) 计算权重: 通过数学方法(如特征根法或近似法)对判断矩阵进行处理, 以求得各评估指标的权重。通常, 这一过程涉及求解矩阵的特征值和特征向量, 从而确定各指标的相对重要性。

该方法的优缺点如下: 1) 优点: 能够有效地整合专家的经验与知识, 特别适用于主观因素较多的决策领域; 对于复杂的决策问题, 层次分析法能够处理多层次和多指标间的相互作用。2) 缺点: 该方法依赖于大量专家的参与, 专家判断的主观性可能对结果的准确性造成影响。在评估指标数量较多时, 判断矩阵的构建与计算可能变得较为繁复, 并且容易出现一致性问题(即判断矩阵内的对比结果存在不一致性)。

5.2. 熵权法

熵权法是一种基于信息熵的客观加权方法, 广泛用于数据充分、指标间关系较为独立的评估场景。其核心思想是通过计算各个评估指标的信息熵值来反映信息的多少, 从而确定指标的权重。

具体步骤: 1) 标准化数据: 目前主流的标准化方法主要包括以下两种: 极差标准化法, 通过线性变换将数据映射到[0, 1]区间; Z-score 标准化法, 通过标准差标准化将数据转换为均值为 0、标准差为 1 的标准正态分布。2) 计算信息熵: 通过计算标准化后数据的熵值, 熵值越低, 表示该指标的数据分布越集中, 信息量越大, 权重应越高。熵值计算公式如下:

$$H_j = -k \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln(p_{ij}) \quad (2)$$

其中, p_{ij} 表示第 i 个样本在第 j 个指标上的归一化值, k 为常数, 用于确保熵值为正数。熵值反映了每个指标的信息不确定性。3) 计算权重: 根据熵值反向计算权重, 信息熵越小的指标, 其权重越大。具体计算公式为

$$w_j = \frac{H_j^{\max} - H_j}{\sum_{j=1}^m (H_j^{\max} - H_j)} \quad (3)$$

其中, H_j^{\max} 为指标的最大熵值。

优缺点: 1) 优点: 不依赖主观判断, 能够客观反映数据中各指标的重要性, 尤其适用于数据较为充分的情况。能有效处理大量数据, 且计算过程相对简单。2) 缺点: 需要充足的数据支持, 若数据不足, 熵权法可能会导致偏差。无法充分考虑专家的经验 and 专业知识, 可能忽略一些主观因素。

5.3. 结合 AHP 与熵权法

结合层次分析法(AHP)与熵权法, 能够综合专家的主观判断与客观数据的优势, 从而提升权重分配的

合理性与评估结果的精确度。

操作流程: 首先, 应用层次分析法(AHP)确定各主要评估领域的初步权重, 例如环境影响、能源消耗、经济效益、社会效益等。随后, 采用熵权法对权重进行精细化处理: 在主要领域权重确定的基础上, 通过熵权法进一步分析各评估指标的权重。此步骤涉及对具体数据的分析, 以调整各指标权重, 确保权重分配既包含专家的主观判断, 又反映实际数据的客观性。

优势分析: 1) 综合分析能力: 该方法融合了专家经验与实际数据, 能够全面考量多方面因素。2) 提升精确度与公正性: 数据支持有助于降低单纯依赖专家判断可能产生的偏差, 并在数据不足时避免过度依赖定性分析。

通过上述方法, 低碳节能评估体系的权重分配能更精确地体现各项指标的实际重要性, 确保评估结果的公正性和可靠性。

6. 总结

1) 作为商业领域内最为成功的绿色建筑评估体系, LEED 在全球范围内, 包括中国, 均获得了广泛的认可。然而, 从中国特定的国情出发, LEED 与国内标准在指标设定、评价方法以及能耗基准等方面存在显著差异。基于此, 若以中国国家标准为评价基准, 欲真正推动绿色建筑的发展, 采用 LEED 认证体系并不适宜。

2) 在构建低碳节能评估体系的过程中, 评估指标的恰当选择与权重的合理分配是确保评估体系科学性和合理性的关键因素。科学的评估体系权重分配方法主要包括层次分析法(AHP)和熵权法。通过将 AHP 与熵权法相结合, 可以综合考虑专家的主观判断与客观数据的优势, 从而进一步提升权重分配的合理性以及评估结果的精确度。

参考文献

- [1] 张彧, 唐献超, 董佳欣. LEED 绿色建筑评价体系在美国的新发展及其实践案例[J]. 中外建筑, 2019(10): 41-45.
- [2] 舒畅. 绿色建筑全生命周期增量成本与增量效益分析评价[J]. 中国轮胎资源综合利用, 2024(11): 51-53.
- [3] 孙光洁. LEED 建筑的增量成本收益分析[J]. 建材与装饰, 2018(17): 149-150.
- [4] 中国绿色建筑持续增长, LEED 认证项目已超 7000 个[J]. 上海国资, 2024(3): 98-99.
- [5] 魏凯杰. LEED 认证在商用项目中的应用研究[J]. 科技创新与生产力, 2023, 44(6): 38-40.
- [6] 吴宁. 高层建筑玻璃幕墙外雨水循环回用设计及效益研究[D]: [硕士学位论文]. 广州: 华南理工大学, 2023
- [7] 张宇, 邱国林. 绿色建筑特点及评价指标体系研究[J]. 陶瓷, 2023(7): 114-116, 139.
- [8] 郭庆军, 卢天麒, 赵鑫. 绿色建筑全生命周期绩效评价指标体系构建[C]//2018 国际绿色建筑与建筑节能大会论文集. 北京: 中国城市出版社, 2018: 198-201.
- [9] 杨刚, 马腾, 辜鑫, 等. 绿色建筑材料在现代建筑装饰中的应用与评价[J]. 中国建筑装饰装修, 2024(21): 102-104.
- [10] 魏雄猛. 绿色建筑评价标准的坡地厂房节地方案设计[J]. 江苏建材, 2024(6): 81-82.
- [11] 兰江巍. 西安市海绵城市建设的使用后评价(POE)及优化设计研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安建筑科技大学, 2024
- [12] 姚明辰, 崔建国, 张峰. 基于组合赋权和 TOPSIS 的 LID 设施多目标优化布局[J]. 人民黄河, 2023, 45(9): 136-140, 146.
- [13] 吴轩. 基于 LEED 认证的绿色建筑工程管理实践与挑战分析[J]. 新城建科技, 2024, 33(8): 181-183.
- [14] Dekkiche, H. and Taileb, A. (2016) The Importance of Integrating LCA into the LEED Rating System. *Procedia Engineering*, 145, 844-851. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.110>
- [15] 李宏军, 宋凌, 张颖, 等. 适合我国国情的绿色建筑运营后评估标准研究与应用分析[J]. 建筑科学, 2020, 36(8): 131-136, 151.

- [16] 何甲元. 绿色建筑评估体系下的公共建筑设计模式优化[J]. 绿色建造与智能建筑, 2025(2): 30-32.
- [17] 陈刚义, 王镜博, 郑建国, 等. LEED V4 与《绿色建筑评价标准》的对比研究[J]. 工程建设与设计, 2024(15): 27-29.
- [18] 侃大山. 全球八大绿色建筑评估体系概览[J]. 智能建筑电气技术, 2014, 8(6): 127.
- [19] 朱文莉, 朱玲. 生态学理论在建成环境评价体系中的融合与应用——BREEAM 英国策略性生态框架研究[J]. 西部人居环境学刊, 2024, 39(2): 58-63.
- [20] 郭夏清. 绿色商场建筑技术策略浅析——以美国 LEED 认证项目为例[J]. 中外建筑, 2020(10): 94-96.
- [21] 白朝勤, 刘丰军. 新版《绿色建筑评价标准》在绿色建筑中的应用[J]. 中华建设, 2018(10): 64-65.
- [22] 徐青. 浅析 LEED 与《绿色建筑评价标准》在节水方面的应用[J]. 绿色建筑, 2023, 15(3): 12-15.
- [23] 廖奇云, 王道宪. 超高层建筑全寿命周期环境影响评价体系研究[J]. 工程研究-跨学科视野中的工程, 2012, 4(3): 270-276.
- [24] 张元端. 新形势下中国房地产开发十大理念[J]. 建设科技, 2007(14): 60-61, 63.
- [25] 张婧. 中美绿色建筑评价标准与认证模式的演进研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安建筑科技大学, 2021.