

基于灰色聚类模型的智慧化绿色建筑运行效果评价体系研究

裴文祥

(重庆科创职业学院, 重庆 402160)

摘要 本研究构建了基于灰色聚类模型的智慧化绿色建筑运行效果评价体系, 深入分析了智慧化绿色建筑的内涵与特点, 详细介绍了灰色聚类模型的定义、原理、分类及在建筑领域的应用, 以某新建智慧化绿色办公建筑为实证对象, 采集多维度数据进行分析, 全面确定评价指标, 并建立科学评价模型, 旨在为智慧化绿色建筑运行效果的精准评估提供有效方法, 进而促进建筑行业向可持续、智能化方向发展。

关键词 智慧化绿色建筑; 灰色聚类模型; 运行效果评价; 可持续发展

基金项目: 本文系 2024 年重庆市教委科学技术研究项目《基于灰色聚类模型的智慧化绿色建筑运行效果评价体系研究》(课题编号: KJQN202405418)。

中图分类号: TU201.5

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.19.004

0 引言

基于全球积极倡导可持续发展的背景下, 建筑行业面临着节能减排和提高服务质量的双重挑战。传统建筑模式资源消耗大、环境污染重, 已很难适应时代需求。智慧化绿色建筑结合了绿色理念与先进的信息技术, 为建筑行业转型提供了新路径。但是因为其尚处发展阶段, 缺少成熟有效的运行效果评价体系, 很难准确衡量其实际效益与发展水平。本文运用灰色聚类模型构建科学全面的评价体系, 为智慧化绿色建筑的设计、建设和运营提供决策依据, 促进其在建筑领域的广泛应用。

1 智慧化绿色建筑内涵与特点分析

智慧化绿色建筑是绿色与智慧理念深度融合的结晶。绿色建筑秉持可持续发展观, 贯穿全生命周期, 全力达成节能、节地、节水、节材目标, 大幅减少环境影响, 精心营造健康且与自然相融的空间。其配备高效节能设施, 如外墙保温与节能门窗, 有力削减能耗。在规划布局上合理高效, 重视水资源循环与环保材料运用。智慧建筑凭借现代信息技术对建筑各系统进行智能化整合, 借助传感器和自动化系统, 能精准监测、智能调控设备, 如智能照明可依光线与人员活动自动调光。通过构建信息化管理平台, 汇总建筑运行数据, 助力管理者高效决策, 提升管理效能与用户体验。智慧化绿色建筑集两者所长, 借助智能手段实现能源精

细管理、深度节能, 利用智能运维系统监控设备预警故障, 延长设备寿命, 提升资源利用率。通过智能交互技术为用户打造个性化舒适环境, 促进人与建筑、自然高效互动, 引领建筑行业迈向绿色、智慧新征程。

2 灰色聚类模型概述

2.1 灰色聚类模型的定义与原理

灰色系统理论认为客观世界中存在大量信息部分已知、部分未知的系统, 即灰色系统。在智慧化绿色建筑运行效果评价中因为受到众多复杂因素的影响, 且部分数据很难精确获取或存在不确定性, 符合灰色系统的特征。灰色聚类模型的基本原理是将评价对象依据多个评价指标进行分类。首先, 确定各评价指标的白化权函数, 白化权函数将原始数据映射到不同的评价等级区间, 反映评价对象在各个等级下的隶属程度。然后通过计算各指标的灰色白化权函数值, 结合相应的权重, 得到评价对象的聚类系数。

2.2 灰色聚类模型的分类与应用

灰色聚类模型主要分为灰色关联聚类、灰色统计聚类和灰色变权聚类等类型。灰色关联聚类侧重于分析评价指标之间的关联程度, 通过计算指标间的灰色关联度, 将关联度较高的指标聚为一类, 用于挖掘指标之间的内在联系。灰色统计聚类则是基于统计数据进行聚类分析, 适用于样本数据量较大的情况。它通过对大量样本数据的统计分析, 确定不同评价等级的

界限和聚类中心,进而对评价对象进行分类^[1]。

3 智慧化绿色建筑运行效果评价体系构建

3.1 评价指标的选择与确定

1. 能源利用指标。建筑能耗强度是衡量建筑能源消耗水平的关键指标,通过统计建筑在一定时期内的总能耗与建筑面积的比值来计算,单位为 $\text{kW}\cdot\text{h}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ 。较低的能耗强度表明建筑在能源利用方面更为高效。可再生能源利用率能够反映建筑对太阳能、风能、地热能等可再生能源的利用程度,计算公式为可再生能源使用量占建筑总能源使用量的百分比。

2. 环境影响指标。碳排放强度能够核算建筑在运行过程中产生的二氧化碳等温室气体排放量与建筑面积的比值,单位为 $\text{kgCO}_2/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ 。它是衡量建筑对气候变化影响的重要指标,较低的碳排放强度意味着建筑更环保。废弃物减排率是通过对比建筑施工和运营过程中实际产生的废弃物量与同类传统建筑的废弃物产生量,计算废弃物减少的比例。废弃物减排率越高,说明建筑在废弃物管理方面做得越好,对环境的影响越小。

3. 智能化水平指标。智能设备覆盖率统计建筑内安装的各类智能设备覆盖的区域面积占建筑总面积的比例。智能设备覆盖率越高表明建筑的智能化程度越高。系统集成度评估建筑内各个智能化系统之间的协同工作能力,通过测试系统之间的数据交互流畅性、控制指令执行准确性等方面来衡量系统集成度,较高的系统集成度能够帮助提高建筑整体运行效率。

4. 用户体验指标。室内环境舒适度,通过问卷收集用户对温度、湿度等方面反馈,设非常满意到非常不满意 5 个等级,对应 5 到 1 分,以平均得分衡量。服务便捷性涵盖智能门禁、停车等系统,同样依问卷用户对反馈的平均满意度衡量。设计综合问卷,包括室内环境、服务便捷性以及建筑外观等,全面收集用户对建筑整体满意度评价,以量化得分呈现。

5. 经济效益指标。建设成本能够统计智慧化绿色建筑从规划设计到施工完成所投入的全部资金,包括土地购置费用、建筑材料费用、设备采购费用以及人工费用等。与同类传统建筑的建设成本进行对比,分析智慧化绿色建筑建设成本的变化情况。运营成本包括建筑运行过程中的能源消耗费用、设备维护保养费用、物业管理费用等。

3.2 评价模型的建立

1. 确定评价等级。将智慧化绿色建筑的运行效果划分为四个等级,分别为优秀、良好、一般、较差。每

个等级设定相应的量化范围,如综合评价得分在 90-100 分之间为优秀,80-89 分为良好,60-79 分为一般,60 分以下为较差。

2. 确定白化权函数。白化权函数可把原始数据转为灰色白化权函数值,以此体现指标在不同评价等级的隶属度。例如建筑能耗强度指标设优秀等级能耗强度 $\leq [X1]$ $\text{kW}\cdot\text{h}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$,良好为 $(X1, X2]$ $\text{kW}\cdot\text{h}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ 等。当能耗强度 $x \leq X1$ 时优秀等级 $f1(x)=1$,其余为 0; $X1 < x \leq X2$ 时,良好等级 $f2(x)=(x-X1)/(X2-X1)$,优秀等级 $f1(x)=(X2-x)/(X2-X1)$,其余为 0,依此构建各等级及指标的白化权函数。

3. 计算聚类系数。依据各指标的灰色白化权函数值与权重,计算评价对象聚类系数。权重用层次分析法(AHP)确定,专家构建判断矩阵,经一致性检验得出。如能源利用指标权重 $w1$,环境影响指标权重 $w2$,某评价对象对应指标灰色白化权函数值为 $a1$ 、 $a2$,其聚类系数 $\gamma=w1\times a1+w2\times a2+\dots+wn\times an$ (n 为指标总数)。

4. 聚类分析。根据计算得到的聚类系数将评价对象归入相应的评价等级,如果聚类系数 γ 在优秀等级对应的范围内,该智慧化绿色建筑的运行效果评价为优秀。如果在良好等级范围内,评价为良好,以此类推^[2]。

4 智慧化绿色建筑运行效果评价体系实证研究

4.1 实证研究对象的选择与介绍

选取某建筑项目作为实证研究对象,该建筑为一栋 15 层的商业写字楼,总建筑面积为 20 000 m^2 。建筑在设计 and 建设过程中充分融入了智慧化和绿色建筑理念,采用了太阳能光伏发电系统,安装了总功率为 500 kW 的光伏板,预计每年可发电 50 万度。配备地源热泵空调系统,利用地下浅层地热资源实现高效供暖和制冷^[3]。

4.2 实证研究与结果分析

1. 数据采集。通过建筑能源管理系统连续记录了该建筑一年(2023 年 1 月 1 日-2023 年 12 月 31 日)的电力、天然气等能源消耗数据。利用环境监测设备实时监测室内温度、湿度、空气质量以及室外噪声等参数,每 15 分钟采集一次数据。收集智能照明系统、智能空调系统等智能化设备的运行时间、控制指令等数据,记录周期为一周。采用问卷调查的方式,对建筑内的 300 名租户进行了调查,问卷内容包括室内环境舒适度以及服务便捷性等方面,共回收有效问卷 270 份^[4]。

2. 评价指标计算。该建筑全年总能耗为 180 万度电,折合标准煤 220.5 吨,建筑能耗强度为 90 $\text{kW}\cdot\text{h}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ 。太阳能光伏发电量占总用电量的 28%,可再生能源利用

率达到 28%。地源热泵空调系统的能效比达到 4.8，高于同类传统空调系统。根据能源消耗数据，核算出该建筑的碳排放强度为 105 kgCO₂/(m²·a)。与同类传统建筑相比，该建筑在施工和运营过程中的废弃物减排率达到 35%。雨水收集系统每年收集雨水 600 m³，雨水收集利用率为 22%；节水器具使用率达到 98%（详情见表 1 所示）。

表 1 各项评价指标计算结果汇总

评价指标类别	具体指标	计算结果
能源利用	能耗强度	90 kW·h/(m ² ·a)
	可再生能源利用率	28%
	系统运行效率	地源热泵能效比 4.8
环境影响	碳排放强度	105 kgCO ₂ /(m ² ·a)
	废弃物减排率	35%
	水资源利用	雨水收集 22%、节水器具 98%
智能化水平	设备覆盖率	照明 85%、空调 92%
	系统集成度	88%
	智能控制	照明节能 32%
用户体验	环境舒适度	4.2 分（满分 5 分）
	服务便捷性	4.0 分（满分 5 分）
	满意度	4.1 分（满分 5 分）
经济效益	建设成本	1.5 亿（+12% 传统）
	运营成本	年省 120 万（-18% 传统）
	投资回收期	约 7.5 年

3. 智能化水平指标。智能照明系统覆盖了建筑内 85% 的办公区域，智能空调系统覆盖了 92% 的区域，智能设备覆盖率较高。通过对智能化系统之间信息交互的测试，系统集成度达到 88%，各系统能够较好地协同工作。以智能照明系统为例，与传统手动控制相比，智能控制可降低照明能耗 32%^[5]。

4. 用户体验指标。根据问卷调查结果，计算出室内环境舒适度平均得分为 4.2 分（满分 5 分）。租户对智能门禁系统、智能停车系统和远程服务的满意度平均得分为 4.0 分（满分 5 分）。综合各项调查结果，用户满意度平均得分为 4.1 分（满分 5 分）。

5. 经济效益指标。该智慧化绿色建筑的建设成本

为 1.5 亿元，比同类传统建筑增加了 12%。通过能源管理系统优化和设备维护策略调整，运营成本比传统建筑降低了 18%，每年可节约运营成本 120 万元。考虑到节能收益和设备维护成本降低等因素，投资回收期约为 7.5 年。

4.3 灰色聚类评价

将计算得到的评价指标值代入灰色聚类模型计算聚类系数并进行聚类分析。结果显示，该智慧化绿色办公建筑的运行效果评价等级为良好，各指标在不同评价等级下的隶属程度较为合理，与实际情况相符。

4.4 结果分析与建议

通过对实证研究结果的分析，发现该建筑在能源利用和智能化水平方面表现较好，但在用户体验和环境影响方面仍有提高空间。例如：部分用户反映室内某些区域的温度调节不够精准，影响舒适度；建筑废弃物的分类处理和回收利用还需进一步加强。针对这些问题提出相应的改进建议，如优化智能空调系统的控制策略，提高温度调节的准确性，加强对建筑废弃物管理的宣传和监督完善废弃物分类回收设施等^[6]。

5 结束语

本研究成功构建了基于灰色聚类模型的智慧化绿色建筑运行效果评价体系，经实证研究验证该体系的科学性与实用性。通过明确智慧化绿色建筑内涵，梳理灰色聚类模型原理，确定多维度评价指标并建立模型，实现对建筑运行效果的量化评估。但研究仍存在局限，日后可进一步拓展评价指标，融入新兴技术指标，提高模型适应性。

参考文献：

[1] 陈洁.绿色建筑视角下的建筑工程管理技术[J].城市建设理论研究(电子版),2025(07):55-57.
[2] 李安峰,翁小舒.基于可再生能源利用的绿色建筑节能体系构建与分析[J].中国建筑金属结构,2025,24(03):152-154.
[3] 马鑫.新型绿色节能建筑工程技术的应用[J].产业与科技论坛,2024,23(24):48-49.
[4] 蒋鹏.“双碳”目标下绿色建筑建造智慧管理模式研究[J].绿色建造与智能建筑,2024(12):8-10.
[5] 潘哲.打造天津智慧住建综合服务平台助推智慧工地创新发展[J].中国建设信息化,2024(22):9-13.
[6] 张占莲,李善玉,苏志刚.基于能耗控制的绿色建筑节能探索实践:以银川建发悠阅城购物中心为例[J].建设科技,2024(21):42-45.