

# 基于模糊综合评价的公共机构节能评估模型研究

——以广西某公共机构为例

熊懿松, 杨国曼, 张云飞\*, 张道科

广西壮族自治区机关事务管理局五象机关办公区服务中心, 广西 南宁

收稿日期: 2025年5月27日; 录用日期: 2025年6月28日; 发布日期: 2025年7月9日

## 摘要

本文针对公共机构节能管理问题, 构建了一种基于模糊综合评价法的节能评估模型。模型从能源消耗和能源费用两个维度出发, 建立了包括单位建筑面积、单位人数及单位车辆能源消耗在内的多层次指标体系, 并以2019至2022年广西某公共机构的实际数据为基础, 计算出各项能源强度指标。通过归一化处理消除不同指标间的量纲差异, 采用熵权法客观赋权, 并将归一化值直接作为隶属度构建隶属矩阵。最终, 利用加权求和方法得出各年度的综合节能得分。研究结果显示某公共机构的能源效率正逐步改善。该模型为公共机构的节能管理提供了科学的量化评价方法和决策支持。

## 关键词

节能评估, 模糊综合评价, 公共机构, 能源强度

# Research on an Energy-Saving Assessment Model for Public Institutions Based on Fuzzy Comprehensive Evaluation

—A Case Study of a Public Institution in Guangxi

Yisong Xiong, Guoman Yang, Yunfei Zhang\*, Daoke Zhang

Construction & Maintenance Division, Service Center of the Wuxiang Administrative Office Area, Government Offices Administration Bureau of the Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning Guangxi

Received: May 27<sup>th</sup>, 2025; accepted: Jun. 28<sup>th</sup>, 2025; published: Jul. 9<sup>th</sup>, 2025

\*通讯作者。

文章引用: 熊懿松, 杨国曼, 张云飞, 张道科. 基于模糊综合评价的公共机构节能评估模型研究[J]. 可持续发展, 2025, 15(7): 8-15. DOI: 10.12677/sd.2025.157179

## Abstract

To address the challenges of energy-saving management in public institutions, this paper constructs an energy-saving assessment model based on the fuzzy comprehensive evaluation method. Starting from two dimensions—Energy consumption and energy expenditure—A multi-level indicator system is established that includes energy use per unit floor area, per capita, and per vehicle. Using the actual data from 2019 to 2022 for a public institution in Guangxi, the various energy-intensity indicators are calculated. The data are normalized to eliminate dimensional differences, objective weights are assigned with the entropy weighting method, and the normalized values are directly adopted as membership degrees to form the membership matrix. Finally, a weighted summation yields the comprehensive energy-saving score for each year. The results show that the institution's energy efficiency has been gradually improving. The proposed model provides a scientific, quantitative evaluation approach and decision support for energy-saving management in public institutions.

## Keywords

Energy-Saving Assessment, Fuzzy Comprehensive Evaluation, Public Institution, Energy Intensity

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

在全球气候变化日益加剧的背景下，节能减排已成为各国共同面临的紧迫任务。作为世界上最大的发展中国家，中国在实现“双碳”目标方面承担着重要责任。公共机构作为国家治理体系和社会服务体系的重要组成部分，其能源消耗规模大、碳排放强度高，已成为除工业、建筑业和交通运输业之外的重要排放源。据相关研究数据显示，2019年我国公共机构的二氧化碳排放量占全国总排放量的3.5% [1][2]，这一比例充分揭示了公共机构在能源消耗中的关键地位，也凸显了加强其节能管理工作的迫切性。公共机构的能源使用主要集中于办公建筑、设备运行和公务用车等领域，其能源利用效率的提升不仅有助于降低单位运行成本，还对推动全社会节能降碳、实现资源节约型社会建设具有重要意义。作为公共服务的主体，公共机构应在节能减排方面率先垂范，通过优化能源管理流程、推广节能技术和设备、强化能效评估等措施，发挥引领示范作用。

近年来，我国不断加强公共机构节能管理体系建设。2008年，《公共机构节能条例》的颁布，从法律层面确立了公共机构节能工作的基本框架[3]。此后，《“十三五”公共机构节约能源资源规划》等政策文件进一步明确了能耗控制的目标与任务，提出了更加细化的管理措施与技术路径[4]。党的十九大报告更是将节能工作上升至国家战略层面，提出通过“节约型机关”创建行动，推动资源集约化利用，全面提升公共机构能源管理水平。这些政策不仅为公共机构节能管理提供了制度保障，也为实际操作提供了具体指导。然而，从实际执行层面来看，当前公共机构节能管理仍面临诸多挑战：能效评估体系不健全、数据标准缺乏统一、评价方法缺乏系统性和客观性等问题依然存在。传统的能耗评价方法往往依赖单一指标或主观判断，难以全面反映能源使用状况及节能成效，亟需一种科学、系统、可量化的综合评价方法。

模糊综合评价法因其在处理多因素、多层次复杂系统评价中的优势,近年来被广泛应用于节能领域。针对污水处理厂运行中的高能耗问题,田新[5]提出自动化技术支持下实施节能降耗的方法。该方法包括明确污水处理厂的评价指标集合、评价等级集合、模糊关系矩阵以及能耗分析因素权重,以获取运行过程中各部分的能源消耗情况。林林[6]在构建了评价指标体系的基础上,运用模糊数学中的模糊模式识别理论推导出节能省地型住宅经济性能的模糊综合评价模型,并进行实证研究。研究表明该评价模型不仅能够分析评价对象的综合经济性能,还能识别影响整体经济效益的关键因素。郭东[7]研究建立了基于多层次模糊综合评估方法的配电网节能潜力评价模型,实现了对配电网整体节能潜力的系统性、多维度发掘。不仅如此,模糊综合评价方法近年来在风险评估与绩效评估等领域得到了广泛应用[8][9]。该方法通过建立隶属度函数、确定指标权重、构建评价矩阵等步骤,能够有效融合各类能耗数据,实现多维信息的系统整合与综合判定,具有较强的理论适用性与实践可行性。

基于此,本文以广西某公共机构 2019 年至 2022 年间的能源消耗数据为研究对象,构建包括单位建筑面积、单位人口、单位车辆等维度在内的综合能效评价指标体系,并采用模糊综合评价模型进行系统评估。全面反映能源使用效率的变化趋势。本文研究不仅为公共机构节能管理提供了科学的评价工具,也为推动政策落实与管理优化提供了理论依据和实践参考。

## 2. 模糊综合评价模型

### 2.1. 指标体系

在建立模糊综合评价模型时,需要先明确评价对象所涉及的具体指标体系。基于对能源使用和经济支出的综合考虑,下表按照“能源消耗类”和“能源费用类”两大维度,将相关数据进行细化和量化,便于后续的归一化处理、权重分配以及模糊隶属度计算。各指标既可反映建筑规模与用能人数的影响,也能体现车辆数量对汽油消耗和费用的贡献,为多角度、多层次的节能评估提供基础数据支撑。具体指标设计如下表 1 所示:

**Table 1.** Evaluation metrics table  
**表 1.** 评价指标表

类别	指标
能源消耗类	1、单位建筑面积电耗(kWh/m <sup>2</sup> ) = 总电耗/建筑面积
	2、单位建筑面积水耗(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ) = 总水耗/建筑面积
	3、单位建筑面积天然气消耗(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ) = 天然气消耗/建筑面积
	4、单位人数电耗(kWh/人) = 总电耗/用能人数
	5、单位人数水耗(m <sup>3</sup> /人) = 总水耗/用能人数
	6、单位人数天然气消耗(m <sup>3</sup> /人) = 天然气消耗/用能人数
	7、单位车辆汽油消耗(L/车) = 汽油消耗/车辆数
能源费用类	8、单位建筑面积电费(元/m <sup>2</sup> ) = 用电费用/建筑面积
	9、单位建筑面积水费(元/m <sup>2</sup> ) = 用水费用/建筑面积
	10、单位建筑面积天然气费(元/m <sup>2</sup> ) = 用气费用/建筑面积
	11、单位车辆汽油费(元/车) = 汽油费用/车辆数
	12、单位人数电费(元/人) = 用电费用/用能人数
	13、单位人数水费(元/人) = 用水费用/用能人数
	14、单位人数天然气费(元/人) = 用气费用/用能人数

结合广西某公共机构提供的数据汇总计算各指标值如下表 2:

**Table 2.** Indicator values from 2019 to 2022  
**表 2.** 2019~2022 年各指标值

指标	2019	2020	2021	2022
单位建筑面积电耗(kWh/m <sup>2</sup> )	62.78	55.93	47.00	45.80
单位建筑面积水耗(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	1.70	1.80	1.52	1.31
单位建筑面积天然气消耗(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	0.126	0.131	0.135	0.183
单位人数电耗(kWh/人)	6621.71	6269.57	5219.05	5086.16
单位人数水耗(m <sup>3</sup> /人)	179.76	201.19	169.18	145.66
单位人数天然气消耗(m <sup>3</sup> /人)	13.27	14.70	15.00	20.36
单位车辆汽油消耗(L/车)	2022.21	1769.21	1618.77	1805.94
单位建筑面积电费(元/m <sup>2</sup> )	42.33	34.55	30.52	30.36
单位建筑面积水费(元/m <sup>2</sup> )	5.10	5.37	4.56	3.92
单位建筑面积天然气费(元/m <sup>2</sup> )	0.545	0.545	0.555	0.847
单位车辆汽油费(元/车)	15355.47	11816.24	12428.80	16952.26
单位人数电费(元/人)	4465.53	3873.36	3389.70	3371.20
单位人数水费(元/人)	537.49	601.55	505.85	435.53
单位人数天然气费(元/人)	57.47	61.07	61.64	94.04

在本节能评价模型中,为了使得各指标在统一尺度下进行比较和综合评价,我们通过归一化处理,将所有原始指标值转换为 0 到 1 之间的数值,其中归一化后的值越高,则代表原始数据越低,意味着节能效果越佳。归一化公式定义如下:

$$X'_{ij} = \frac{\max(X_j) - x_{ij}}{\max(X_j) - \min(X_j)}$$

其中,  $x_{ij}$  为第  $i$  年第  $j$  个指标值,  $\max(X_j)$  和  $\min(X_j)$  为第  $j$  个指标的最大值和最小值。采用该公式处理后,每个指标值都在 0 到 1 之间。此过程中,若某一指标在某年的原始值接近该指标的最小值,则归一化后接近 1,表明该年在这一指标上表现较好;反之,若原始值接近最大值,则归一化后较低,表示该年节能效果相对较差。这种方法不仅消除了不同指标之间量纲和量级的差异,而且使得后续权重计算、模糊隶属度构造和综合评价步骤更加直观和合理。

完成归一化处理后,我们得到了一个统一尺度下的归一化矩阵,这个矩阵不仅消除了不同指标之间的量纲和数值范围差异,也为后续的权重计算提供了可靠的数据基础。接下来,我们通过熵权法来计算各指标的信息熵。熵值反映了各指标数据的离散程度,是确定客观权重的重要依据。计算各指标的比例  $P_{ij}$  及熵值  $e_j$  的公式如下:

### (1) 计算比例 $P_{ij}$ 的公式

$$P_{ij} = \frac{X'_{ij}}{\sum_{i=1}^m X'_{ij}}, \quad m = 4$$

其中:

$X'_{ij}$  表示第  $i$  年第  $j$  个指标的归一化值。

$m = 4$  表示共有 4 个年份(2019, 2020, 2021, 2022)。

$\sum_{i=1}^m X'_{ij}$  为第  $j$  个指标所有年份归一化值的总和。

## (2) 计算熵值 $e_j$ 的公式

$$e_j = -\frac{1}{\ln(m)} \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln(P_{ij})$$

其中:

$\ln(m)$  是自然对数, 如  $m = 4$  时  $\ln(4) \approx 1.386$ 。

若  $P_{ij} = 0$ , 则约定  $P_{ij} \ln(P_{ij}) = 0$ 。

通过上述公式计算所有指标的  $P_{ij}$  和  $e_j$  结果如下:

$$P_{ij} = \begin{pmatrix} 0.000 & 0.173 & 0.398 & 0.429 \\ 0.115 & 0.000 & 0.322 & 0.563 \\ 0.363 & 0.331 & 0.306 & 0.000 \\ 0.000 & 0.107 & 0.425 & 0.468 \\ 0.197 & 0.000 & 0.294 & 0.509 \\ 0.391 & 0.312 & 0.297 & 0.000 \\ 0.000 & 0.290 & 0.462 & 0.248 \\ 0.000 & 0.247 & 0.374 & 0.379 \\ 0.107 & 0.000 & 0.320 & 0.573 \\ 0.337 & 0.337 & 0.326 & 0.000 \\ 0.143 & 0.459 & 0.398 & 0.000 \\ 0.000 & 0.214 & 0.389 & 0.396 \\ 0.197 & 0.000 & 0.294 & 0.509 \\ 0.360 & 0.321 & 0.319 & 0.000 \end{pmatrix}$$

$$e_j = (0.745, 0.677, 0.792, 0.691, 0.739, 0.787, 0.766, 0.780, 0.665, 0.792, 0.724, 0.768, 0.739, 0.791)$$

由此, 我们已计算出各指标在四个年份下的比例, 并进一步求得了各指标的信息熵。信息熵用于衡量数据的离散程度, 其值越低, 说明该指标的数据越集中, 信息含量越高; 反之, 熵值越高则意味着数据分布越分散, 信息价值相对较低。

在此基础上, 我们将进一步利用信息熵来确定各指标的客观权重。权重的计算在模糊综合评价中占据至关重要的地位, 它能确保在后续评价过程中, 每个指标根据其信息有效性与离散程度, 获得合理而客观的赋权。接下来, 我们将详细介绍基于信息熵法计算各指标权重的具体步骤。权重  $w_j$  的计算公式如下:

$$w_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^n (1 - e_j)}, \quad n = 14$$

其中:

$e_j$  表示第  $j$  个指标的熵值。

$n = 14$  表示共有 14 个指标。

$\sum_{j=1}^n (1 - e_j)$  为所有指标熵值差的总和。

通过上述公式计算出指标向量如下：

$$\omega_j = (0.072, 0.091, 0.059, 0.087, 0.074, 0.060, 0.066, 0.062, 0.095, 0.059, 0.078, 0.065, 0.074, 0.059)$$

## 2.2. 模糊综合评价得分

在模糊综合评价中，隶属矩阵是用来表示评价对象在不同指标上对评价等级的隶属程度。通过构造隶属矩阵，我们能够定量刻画每个指标的“优劣”程度，为后续的综合分析和评分奠定基础。在一般的模糊评价中，若原始数据尚未满足“越大越优”或“越小越优”的统一要求，往往需要额外设计非线性函数映射原始值到隶属度。在 2.2 节中已对原始指标进行处理，使得数值越大代表指标越优，同时将其压缩到  $[0, 1]$  区间，由此每个指标值就可以被直接视为隶属度。将所有年度和所有指标的隶属度值  $\mu_{ij}$  排列成矩阵形式，即可得到最终的隶属矩阵  $R$ ：

$$R = \begin{bmatrix} \mu_{11} & \mu_{12} & \cdots & \mu_{1j} \\ \mu_{21} & \mu_{22} & \cdots & \mu_{2j} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mu_{i1} & \mu_{i2} & \cdots & \mu_{ij} \end{bmatrix}$$

其中， $i$  表示评价年份数， $j$  表示指标数。在本文模型中，由于隶属度值  $\mu_{ij}$  与归一化值  $X'_{ij}$  相同，可直接将归一化矩阵中的元素视为隶属度，从而构建隶属矩阵如下：

$$R = \begin{pmatrix} 0.000 & 0.404 & 0.930 & 1.000 \\ 0.204 & 0.000 & 0.571 & 1.000 \\ 1.000 & 0.912 & 0.842 & 0.000 \\ 0.000 & 0.229 & 0.910 & 1.000 \\ 0.386 & 0.000 & 0.577 & 1.000 \\ 1.000 & 0.799 & 0.760 & 0.000 \\ 0.000 & 0.627 & 1.000 & 0.536 \\ 0.000 & 0.651 & 0.985 & 1.000 \\ 0.186 & 0.000 & 0.559 & 1.000 \\ 1.000 & 1.000 & 0.967 & 0.000 \\ 0.311 & 1.000 & 0.868 & 0.000 \\ 0.000 & 0.541 & 0.983 & 1.000 \\ 0.386 & 0.000 & 0.577 & 1.000 \\ 1.000 & 0.890 & 0.885 & 0.000 \end{pmatrix}$$

模糊综合评价中综合得分计算公式如下：

$$S_i = \sum_{j=1}^{14} w_j \cdot R_{ij}$$

其中：

$S_i$  表示第  $i$  年 ( $i = 1, 2, 3, 4$  分别对应 2019、2020、2021、2022) 的综合得分。

$w_j$  表示第  $j$  个指标的权重，反映指标在综合评价中的重要性，权重通过熵权法计算得出。

$R_{ij}$  表示第  $i$  年第  $j$  个指标的隶属度, 反映该指标在该年份的相对效率, 隶属度取值为  $X'_{ij} \in [0,1]$ 。  
 $j = 1, 2, \dots, 14$  表示 14 个指标。

通过前文的讨论, 我们已经得到了各指标的权重向量和隶属矩阵, 依据上述方法计算得到各年份的模糊综合评价得分, 如下表所示:

**Table 3.** Fuzzy comprehensive evaluation scores by year  
**表 3.** 各年份模糊综合评价得分

年份	2019	2020	2021	2022
得分	0.315	0.457	0.801	0.655

表 3 呈现了 2019~2022 年的模糊综合评价得分, 分别为 0.315、0.457、0.801 和 0.655。从整体趋势观察, 得分表现出显著的波动特征, 其中 2021 年的得分达到 0.801, 显著高于前后年份, 形成异常值。经深入分析, 该异常值与多重特殊外部因素的叠加影响密切相关。

对于 2021 年得分异常偏高的现象, 需要结合广西本地实际情况加以深入分析。2021 年, 广西受新冠疫情反复影响, 多个地市公共机构启动了分批次错峰办公和居家办公政策, 部分办公场所人员大幅减少, 甚至出现临时关闭或只保留必要岗位运转的情况。这导致单位建筑面积和单位人数的能耗或费用均出现明显下降, 进而在评价模型中反映为能源效率的“异常提升”。除此之外, 2021 年正值国家和广西壮族自治区政府大力推进“双碳”战略, 广西出台了《广西壮族自治区“十四五”公共机构节约能源资源工作规划》相关政策[10], 推动公共机构节能改造和能耗定额管理, 部分单位实施了中央空调分区控制、照明智能化改造等措施, 有效提升了建筑能效水平。因此, 2021 年得分偏高, 既有疫情导致的实际用能需求下降, 也有政策推动和管理优化的叠加影响。

在排除 2021 年这一特殊年份后, 观察 2019、2020 和 2022 三年的得分变化, 分别为 0.315、0.457 和 0.655, 呈现出整体改善的趋势。2022 年虽然得分较 2021 年略有回落, 但依然显著高于 2019 和 2020 年。这说明在疫情影响逐步减弱后, 通过持续推进建筑节能改造、优化运行管理、推广高效节能技术等措施, 建筑能源利用效率依然得到明显提升。得分提高反映出单位建筑面积和单位人数的能耗或费用均呈下降趋势, 说明节能管理成效逐步显现, 建筑能效水平有望进一步提升。

### 3. 结语

在全球气候变化加剧和“双碳”目标不断推进的背景下, 公共机构的能源管理和节能减排显得尤为迫切。本文基于实际数据构建了多维评价指标体系, 并利用模糊综合评价模型对 2019 至 2022 年广西某公共机构的能源使用效率进行了量化分析。研究结果不仅揭示了各指标在能源消耗与费用方面的表现和差异, 也反映出外部环境对能源数据的影响。总体来看, 尽管存在一定的异常波动, 但剔除外部干扰后, 公共机构的能源效率呈现逐步改善的趋势。这一成果为公共机构进一步优化能源管理、推广节能技术和制定科学的节能政策提供了有力的决策支持。

### 参考文献

- [1] 赵月娥, 张晓民. 碳达峰、碳中和背景下中国公共机构绿色低碳发展研究——基于图书馆视角[J]. 宏观经济研究, 2021(7): 137-145.
- [2] 赵峰涛. 公共机构要为碳达峰碳中和作更大贡献[N]. 学习时报, 2021-06-21(001).
- [3] 关于印发公共机构节约能源资源“十三五”规划的通知[J]. 石油和化工节能, 2016(4): 6-10.
- [4] 国会合“绿色转型与可持续社会治理专题政策研究”课题组, 任勇, 罗姆松, 范必, 张建宇, 俞海, 陈刚. 绿色消

- 
- 费在推动高质量发展中的作用[J]. 中国环境管理, 2020, 12(1): 24-30.
- [5] 田新. 污水处理厂节能降耗技术应用研究[J]. 能源与环保, 2022, 44(4): 189-194.
- [6] 林林. 节能省地型住宅经济性能模糊综合评价方法研究[J]. 绿色环保建材, 2018(8): 67-68.
- [7] 郭东, 王佩成, 李亚, 等. 基于多层次模糊评估的配电网节能潜力综合评价方法[J]. 陕西电力, 2015, 43(1): 66-70+93.
- [8] 斯彩英. 基于模糊综合评判的内河水陆交通安全风险评估模型构建——以杭州钱塘江为例[J]. 浙江交通职业技术学院学报, 2024, 25(4): 57-63+69.
- [9] 谢梅花, 贺之梦. 基于 AHP 与模糊综合评价的企业绩效审计评价体系研究[J]. 贵阳学院学报(自然科学版), 2024, 19(4): 88-94.
- [10] 人民日报客户端广西频道. 广西发布《“十四五”公共机构节约能源资源工作规划》[EB/OL]. <https://sdxw.iqilu.com/share/Y50yMS04MjgyNzUz.html>, 2021-09-18.