

基于K-Means聚类算法的公共机构能耗定额指标模型分析及应用

——以广西某市为例

卢俊宇^{1,2}, 杨天山¹, 袁功林^{1*}

¹广西大学数学与信息科学学院, 广西应用数学中心(广西大学), 广西大学数学一级学科博士后科研流动站, 广西 南宁

²北部湾大学理学院, 广西 钦州

收稿日期: 2025年4月17日; 录用日期: 2025年5月30日; 发布日期: 2025年6月13日

摘要

公共机构能耗定额指标是用于衡量和规范公共机构能源消耗的标准, 通过指导和规范公共机构的能源使用, 提高能源利用效率并降低能源消耗强度。编制公共机构能耗定额标准应遵循科学合理原则, 确保公共机构正常运行的需要, 同时促进节能发展。相比传统的统计方法, 机器学习方法更具灵活性。本文通过机器学习算法中的K-means聚类算法制定能耗定额指标值, 构建适用公共机构的能耗定额计算模型。并利用该计算模型针对广西某市三类公共机构的建筑能耗制定出相关的能耗定额指标值。最后对广西公共机构的节能工作提出相关建议, 以期建立长效机制, 建设节能型、绿色发展型公共机构。

关键词

公共机构, 能耗定额, 聚类分析

Analysis and Application of Energy Consumption Quota Indicator Model for Public Institutions Based on K-Means Clustering Algorithm

—A Case Study of a City in Guangxi

Junyu Lu^{1,2}, Tianshan Yang¹, Gonglin Yuan^{1*}

¹School of Mathematics and Information Science, Guangxi University, Guangxi Center for Applied Mathematics (Guangxi University), Postdoctoral Research Mobile Station for the First-Level Discipline of Mathematics,

*通讯作者。

文章引用: 卢俊宇, 杨天山, 袁功林. 基于 K-Means 聚类算法的公共机构能耗定额指标模型分析及应用[J]. 可持续发展, 2025, 15(6): 32-40. DOI: 10.12677/sd.2025.156158

Guangxi University, Nanning Guangxi

²College of Science, Beibu Gulf University, Qinzhou Guangxi

Received: Apr. 17th, 2025; accepted: May 30th, 2025; published: Jun. 13th, 2025

Abstract

Public institution energy consumption quota indicators are standards used to measure and regulate the energy consumption of public institutions. By guiding and standardizing the energy use of public institutions, these indicators aim to improve energy efficiency and reduce energy consumption intensity. The formulation of energy consumption quota standards for public institutions should adhere to the principle of scientific rationality, ensuring the normal operational needs of public institutions while promoting energy-saving development. Compared to traditional statistical methods, machine learning methods offer greater flexibility. This paper employs the K-means clustering algorithm from machine learning to establish energy consumption quota values and constructs a calculation model of energy consumption quota suitable for public institutions. Using this model, the paper develops relevant energy consumption quota values for the building energy consumption of three types of public institutions in a certain city in Guangxi. Finally, the paper offers suggestions for the energy-saving work of public institutions in Guangxi, with the aim of establishing a long-term mechanism and constructing energy-saving and green development-oriented public institutions.

Keywords

Public Institutions, Energy Consumption Quota, Clustering Analysis

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

公共机构是我国仅次于工业、建筑业和交通业的碳排放大户，其 2019 年二氧化碳排放量占全国总排放的 3.5% [1] [2]，凸显公共机构节能管理的重要性。我国自 2001 年起陆续出台多项政策推进公共机构节能管理工作，从 2008 年《公共机构节能条例》的发布到 2016 年《公共机构节约能源资源“十三五”规划》提出的具体能耗控制目标[3]，政策体系日益完善。党的十九大报告进一步明确通过节约型机关创建等行动推动资源节约以降低能耗[4]。公共机构的节能化管理已成为实现国家节能减排目标的重要举措。

2021 年 10 月，广西壮族自治区发布《广西壮族自治区公共机构能耗定额》，为机构运营效率优化提供了科学依据。图 1 显示广西某公共机构 2022 年水电消耗费用较 2019 年减少 50819.13 元。据 2023 年《广西统计年鉴》可知，2022 年广西共有 8276 家类似党政机关，由于全区公共机构能耗数据量大、采集困难，假设 50% 的机构(约 4000 家)参照该机构的节能效果，按照其节省费用的 60% (约 30,000 元/家)实施节能改造，则全区公共机构能耗成本可累计减少约 1.2 亿元。说明能耗定额指标的实施对降低公共机构整体能耗成本具有显著的推动作用，为广西节能低碳发展提供了有力支持。

科学的能耗定额是实现公共机构能耗总量和强度“双控”目标的关键保障。季柳金等[5]基于南京 14 家医院建筑的分项能耗数据，提出了三级医院分项能耗指标定额参考值，为医院建筑用能诊断和分析提供依据；刘永刚等[6]以中小学为例，推导出单位面积和人均能耗的综合对标限值及区域表达式；罗伟等

[7]利用湘潭市 308 栋国家机关办公建筑的实际能耗数据,验证了二次平均法和二次高位平均值作为能耗定额值的合理性;王智远等[8]则基于暖通空调形式及天然气、蒸汽能耗占比,采用五分位法提出了博物馆与图书馆能耗定额引导值与基准值。随着机器学习技术的广泛应用,字学辉[9]结合传统统计与机器学习模型,构建混合能耗定额方法,克服了传统定额方法精度低、适用性差的局限性。这些研究不仅体现了能耗定额制定的科学性,也展示了机器学习在节能管理领域的应用潜力。

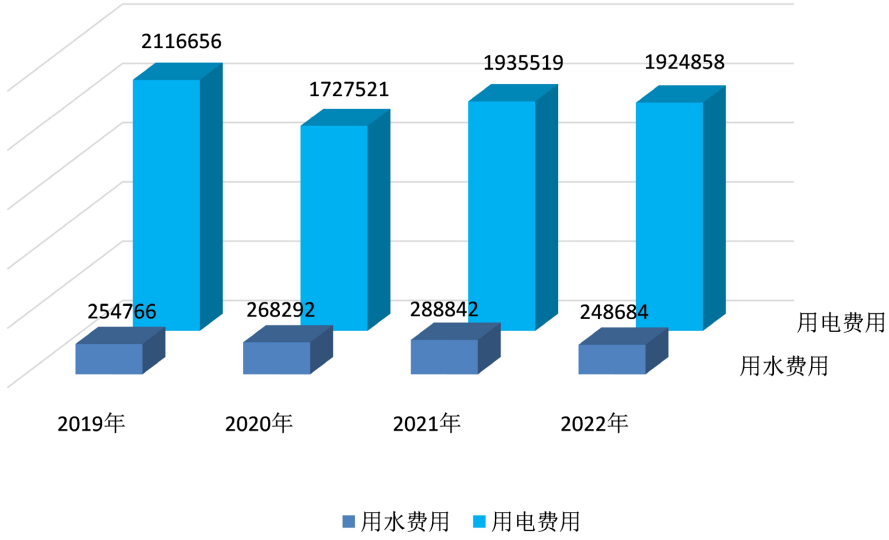


Figure 1. Comparison of water and electricity fees for a public institution from 2019 to 2022 (Unit: yuan)
图 1. 2019~2022 年某公共机构水电费用对比(单位: 元)

本文以广西某市 2018~2019 年市直行政机构、医疗机构、公安机构三类机构能耗数据为基础,将机器学习领域中的 K-means 聚类算法应用于公共机构能耗定额指标模型构建,突破传统统计方法局限,其基于数据驱动特性能自动挖掘能耗数据模式,克服传统方法准确性欠佳、依赖经验假设等问题,提供更客观精准的能耗定额指标制定方法,进而丰富广西能耗定额指标编制方法研究。最后针对公共机构的情况提出优化策略,帮助公共机构提升节能管理水平,有利于节约型公共机构建设。

2. 能耗定额指标模型

2.1. 能耗定额指标梯度划分与常用方法



Figure 2. Schematic diagram of gradient classification for energy consumption quota indicators
图 2. 能耗定额指标梯度分级示意图

能耗定额指标值分为三个梯度:约束值、基准值和引导值,如图 2 所示。约束值代表了公共机构正常运行的能耗上限,基准值则是在采取一定节能技术措施下的正常运行能耗水平,而引导值是在全面实施高效节能管理后期望达到的能耗目标。公共机构的能耗水平若超过约束值,则反映出其节能水平较低;

能耗位于约束值与基准值之间, 表明节能水平为一般; 能耗在基准值与引导值之间, 则表示节能水平较好; 若能耗低于引导值, 则意味着节能水平达到优秀。研究公共机构能耗定额的核心目标是通过节能管理和改造, 引导机构能耗降至约束值以下, 实现基准值, 并朝着代表高效节能的引导值努力。

常用的能耗定额方法主要有: 技术定额法与统计定额法。统计定额法有平均值法、二次平均法、定额水平法等[10]。平均值法简单易懂, 计算方法直观, 但忽略了数据的分布特征, 可能导致估算结果的不准确, 并且对异常值敏感, 容易受到极端值的影响; 二次平均法考虑了数据的分布特征, 更加准确。通过引入方差来反映数据的离散程度。相对于平均值法, 对异常值的影响较小, 但对数据的要求较高, 需要满足一定的分布假设; 定额水平法考虑了数据的特征和要求, 根据情况结合定额指标进行估算, 可估算结果更加精确, 但需要有丰富的经验和专业知识来选择和使用合适的定额指标。

2.2. 基于 K-Means 聚类算法的能耗定额指标模型

结合传统的统计定额法的优劣, 基于机器学习中的聚类思想, 本文提出适合公共机构能耗定额指标的 K-means 聚类算法。K-means 是一种经典的无监督聚类算法, 其目标是将数据划分为多个聚类, 使得同一簇内的数据点相似度最高, 不同簇之间的差异性最大。该算法快速收敛, 计算效率高, 聚类结果直观易解释。在本文中, K-means 算法用于将广西某市公共机构的能耗数据分为 3 个簇, 对应于约束值、基准值和引导值。为了验证聚类结构的合理性与区分度, 进一步引入了轮廓系数对聚类结果进行评估。轮廓系数衡量的是每个样本在本簇内的紧密程度与其与最近邻簇的距离差异, 其值范围为 $[-1, 1]$, 数值越高代表聚类效果越佳。其具体步骤如下:

步骤一: 输入经过归一化处理、有效性检查与稳定性检查后的广西某市能耗数据集 D , 取聚类簇数为 3。

步骤二: 从数据集中随机选取 3 个样本点作为初始特征点 $\{\mu_1, \mu_2, \mu_3\}$ 。

步骤三: 令 $C_i = \emptyset (1 \leq i \leq 3)$ 为不同分类对应的簇。

步骤四: 计算全部样本点 $x \in D$ 到 3 个特征点之间的距离 $|x - \mu_i|$, 取与某个特对应最短距离的标记作为该点的簇标记, 然后将该点加入相应的簇 C_i 。

步骤五: 计算每一个簇新的特征点 $\mu_i = \frac{1}{|C_i|} \sum_{x \in C_i} x (1 \leq i \leq 3)$, 若相较之下与之前的向量产生变化, 则

需要进行更新, 再将其作为新的特征点, 如果没有变化则输出。最终输出 3 个聚类中心, 将分别对应广西某市公共机构约束值、基准值和引导值。

步骤六: 计算聚类的平均轮廓系数, 用于衡量聚类效果。轮廓系数衡量了样本在所属簇中的紧密度以及与其最近邻簇之间的分离度, 值域为 $[-1, 1]$, 值越高表示聚类结果越合理。

通过 K-means 聚类算法将公共机构能耗数据分成 3 个簇, 每个簇的数据显示的公共机构能耗水平具有层次性。提取计算出每个簇的特征点, 这 3 个特征点从小到大排列后视为能耗约束值、基准值、引导值, 可衡量公共机构的能耗水平。基于 K-means 聚类算法的能耗定额指标模型流程图如图 3 所示。

3. 广西某市公共机构能耗定额指标建立

公共机构是指由政府或公共部门设立、管理和运营的组织或机构, 旨在提供公共服务和满足社会需求。这些机构通常负责管理和执行公共事务, 包括但不限于教育、医疗、交通等领域。公共机构可以是政府机关、学校、医院等。它们的主要目标是满足公众的基本需求, 提供各种公共服务, 并保障社会的稳定与发展。

本节结合广西某市(位于桂南)的 2018~2019 年市直行政机构、医疗机构、公安机构三类机构能耗数据建立相关的能耗约束值、基准值、引导值。

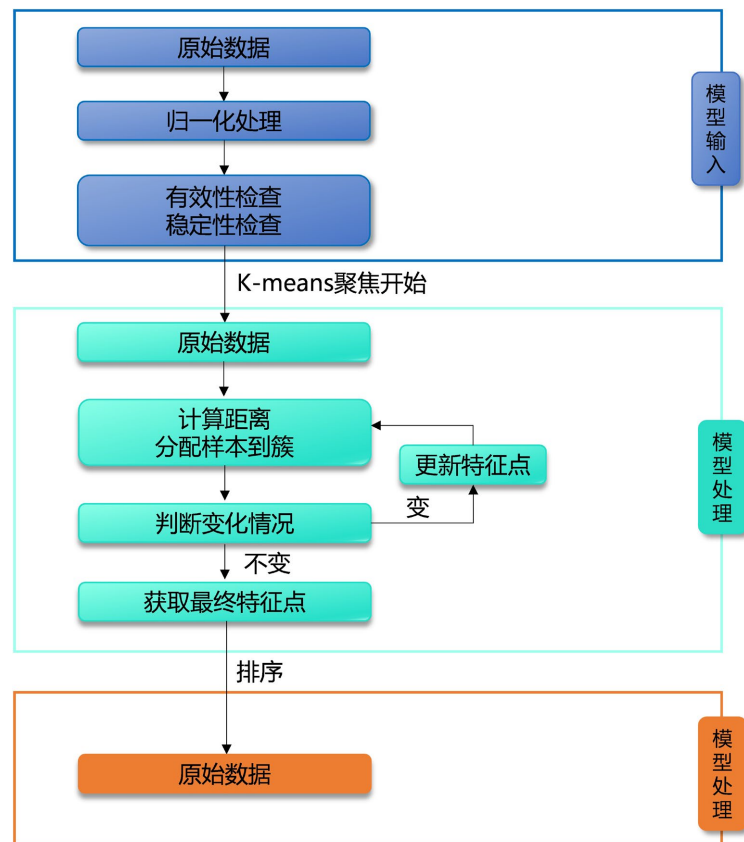


Figure 3. Flowchart of the energy consumption quota indicator model
图 3. 能耗定额指标模型流程图

3.1. 数据归一化处理

公共机构所用能源种类繁多，有原煤、汽油、电能等。不同能源计量单位不同，为方便分析与计算，首先将所有能耗数据进行归一化处理，折算单位为标准煤，常见能源折标准煤系数如下表 1 所示。

Table 1. Reference coefficients for conversion of common energy sources to standard coal
表 1. 常用能源折标准煤参考系数

能源名称	平均低位发热量	折标准煤系数
原煤	20,908 kJ/kg (5000 kcal/kg)	0.7143 kgce/kg
燃料油	41,816 kJ/kg (10,000 kcal/kg)	1.4286 kgce/kg
汽油	43,070 kJ/kg (10,300 kcal/kg)	1.4714 kgce/kg
柴油	42,652 kJ/kg (10,200 kcal/kg)	1.4571 kgce/kg
液化石油气	50,179 kJ/kg (12,000 kcal/kg)	1.7143 kgce/kg
气田天然气	35,544 kJ/m ³ (8500 kcal/m ³)	1.2143 kgce/m ³
管道煤气	14,853 kJ/m ³ (3550 kcal/m ³)	0.5074 kgce/m ³
热力(当量值)	—	0.03412 kgce/MJ
电力(当量值)	3600 kJ/(kWh) [860 kcal/(kW·h)]	0.1229 kgce/(kW·h)
蒸汽(低压)	3763 MJ/t (900 Mcal/t)	0.1286 kgce/kg

公共机构的能耗根据用途分为交通能耗和建筑能耗。由于某公共机构的机关特性，机构的日常活动多在办公建筑，故基本用能集中于建筑用能，本文设立的能耗指标为建筑人均能耗。计算公式如下：

$$E_{avg} = \frac{E_{total}}{P} \quad (1)$$

式中：

E_{avg} ——人均综合能耗，单位为千克标准煤每平方米每年，kgce/(per·a)；

E_{total} ——年综合能耗，单位为千克标准煤每年，kgce/a；

P ——总用能人数，单位为人，per。

3.2. 有效性检查与稳定性检查

有效性检查是可以排除非法或无效的数据，从而增强数据的可靠性。单一公共机构用能特点类似，所以每年能耗水平应该处于一个大致的范围。在数据处理中，若个体能耗数据与总体平均值的差值大于总体样本标准差的 2 倍，则视该个体能耗数据为无效数据。

稳定性检查实际上就是异常值检测：可以帮助我们识别异常值，即与其他数据点相比显著偏离的数据。通过检测异常值，我们可以排除可能导致错误结果或偏差的数据点。具体步骤为：

- 1) 对样本数据进行初筛，将诸如空白数据等明显错误的样本数据删除。
- 2) 计算剩下样本中的平均值，然后计算相对误差 ε

$$\varepsilon = \left| \frac{E_i - E_a}{E_a} \right| \quad (2)$$

其中， E_i 为公共机构能耗值， E_a 为平均值。

对广西某市能耗数据进行有效性检查与稳定性检查后得出，市直行政机构 170 条能耗数据可筛选出 151 条合适数据；医疗机构 25 条数据可筛选出 21 条合适数据；从公安机构 8 条数据可筛选出 7 条数据。

3.3. K-Means 聚类算法处理与结果

结合广西某市市直行政机构、医疗机构、公安机构三类机构能耗数据，在环境为 2.30 GHz CPU 和 8.00 GB 内存 Windows 10 运行系统下通过 Matlab 软件运行 K-means 聚类算法，结果如下表 2、表 3 所示。

Table 2. Table of per capita energy consumption quota for public institutions of a city

表 2. 某市公共机构人均能耗定额表

机构类型	约束值	基准值	引导值
行政机构(市直)	361.7	184.6	69.1
医疗机构(三级医院)	464.6	235.4	109.4
公安机构	596.1	218.6	174.5

Table 3. Table of average silhouette coefficients

表 3. 平均轮廓系数表

机构类型	平均轮廓系数
行政机构(市直)	0.81
医疗机构(三级医院)	0.78
公安机构	0.86

基于机器学习中的聚类思想所提出的计算模型计算得出的定额值显示出某市相关公共机构能耗水平的层次性,可作为某市衡量能耗水平的参考。结合表 2 能耗定额指标,广西某市行政机构高于人均能耗指标约束值的单位占比 11.9%,低于人均能耗引导值的单位占比 26.4%;医疗机构高于人均能耗指标约束值的单位占比 16.7%,低于人均能耗引导值的单位占比 25%;公安机构高于人均能耗指标约束值的单位占比 14.2%,低于人均能耗引导值的单位占比为零。广西某市行政机构能耗管理整体表现良好,三类机构仅有不到 15%的单位超出能耗约束值,虽然公安机构全部单位的能耗均在引导值以下,但从工作性质出发,公安机构各方面能源消耗大,要想达到理想水平需要更加精细有效的节能管理。

表 3 展示了广西某市三类公共机构在 K-means 聚类分析中所得的平均轮廓系数值。其中,公安机构的轮廓系数最高,达 0.86,表明其聚类结果内部一致性强、类间区分显著,说明该类机构能耗特征相对集中、结构清晰;行政机构(市直)的平均轮廓系数为 0.81,同样表现出良好的聚类效果;而医疗机构(三级医院)的轮廓系数为 0.78,虽略低于其他两类,但仍远高于 0.5 的合理性阈值,聚类结构依然具有较强的可区分性和解释性。总体来看,三类机构的平均轮廓系数均在 0.75 以上,说明通过 K-means 聚类算法对各类公共机构能耗水平进行梯度划分具有高度的聚类质量与应用价值,进一步验证了本文模型在公共机构能耗分级评估中的可行性与有效性。

《广西壮族自治区公共机构能耗定额》中能耗定额值显示如下表 4 所示。

Table 4. Table of energy consumption quota for public institutions in the autonomous region
表 4. 自治区公共机构能耗定额表

机构类型	约束值	基准值	引导值
行政机构(市直)	331.4	170.4	91.3
医疗机构(三级医院)	394.4	247.9	159.4
公安机构	483.2	298.3	175.8

对于 2021 年 10 月 31 日正式实施的广西壮族自治区机关事务管理局组织制定的《广西壮族自治区公共机构能耗定额》进行比较发现,虽然由于数据量与计算方法的差别,某市能耗定额值与自治区标准定额值有一定差异。但广西某市三类引导值均低于自治区标准引导值,说明广西某市在节能降耗方面可能取得了较为明显的成效,能耗水平低于自治区划定的标准。从宏观角度来看,是该市政府实现能源消费总量控制目标,积极推动节能减排的一个积极信号。

4. 节能对策研究

1) 完善公共机构节能管理组织架构

为提升公共机构节能管理水平,应由各级机关事务管理局牵头设立节能专项工作机构,内部划分为能耗监控、能耗审核、能效评估与奖惩等小组,分别负责数据采集与监测、项目评估与审查、绩效评价与激励机制实施,做到分工明确、协同高效。同时,应制定节能管理工作规范,明确各小组职责与工作流程,通过定期培训提升能源管理人员专业能力,并构建与水务、环保、财政、科技等部门的联动机制,增强政策协同与资源整合能力。此外,还应引入媒体、公众及节能协会等社会力量参与监督,形成全方位、多层次的节能管理体系,确保节能责任落到实处、措施切实可行。

2) 引进合同能源管理模式

在对某市公共机构办公建筑能耗分析中,我们发现部分机构能耗较高,但受限于资金和技术,难以大规模实施节能技术改造。为此,合同能源管理作为一种有效的解决方案,可加速推进节能改造进程。该模式首先由节能服务公司对用能单位进行全面能源审计,并根据审计结果制定包含节能措施和预期效

果的节能项目。节能服务公司负责筹集资金、采购设备、安装及施工管理，不要求公共机构承担实施过程中的任何风险。项目完成后，节能服务公司继续监测节能效果，确保达到合同约定的目标。公共机构则根据实际节能效果，按合同比例从节省的能源费用中向节能服务公司支付节能收益。这种模式无需公共机构前期投入大量资金，有效降低了技术风险和财务负担，值得推广。

3) 开发创新技术支持的公共机构能耗管理智慧平台

为促进某市公共机构节能管理水平的提升，开发一套公共机构能耗管理智慧平台势在必行。该平台能够实时监测和精准收集能耗数据，便于远程监控和控制，提升管理效率。随着人工智能技术的广泛应用，“AI + 公共机构节能”已成为节能工作的发展趋势。基于 AI 技术的能耗管理智慧平台，不仅能自动处理能耗数据，还能在发现某公共机构能耗异常时自动拦截并标记提醒，同时具备能耗数据的自动分析和预测功能。平台特别注重用户界面设计，确保易用性和直观性，使能源管理人员能够轻松访问分析报告、监控实时数据、接收警报并执行能源管理任务，从而实现精准监控和成本节约。因此，开发创新技术支持的公共机构能耗管理智慧平台将显著提高公共机构节能工作的现代化和智能化水平。

4) 开展公共机构能耗定额管理

某市通过实施公共机构能耗定额管理，旨在实现能源消耗总量和强度的双重控制。根据《广西壮族自治区公共机构能耗定额》标准，各公共机构需致力于降低单位面积能耗和人均综合能耗。对于能耗超出约束值的机构，下一年度能耗定额指标需调整，确保至少降低一定比例。对于能耗在约束值与基准值之间的机构，采取相同措施设定次年定额；而能耗低于基准值的机构，其年度能耗定额指标则保持不变。此外，建立激励机制，如节能奖励或表彰，以激励公共机构积极参与节能管理。在《广西壮族自治区公共机构能耗定额》的指导下，各机构应结合实际情况，加强能耗定额管理研究，确保达成管理目标。

5) 加大节能资金保障和节能技术投入

将节能资金纳入年度财政预算，并重点用于支持公共机构开展能耗监测设备配置、照明与空调系统节能改造等项目，推动光伏发电系统与建筑一体化设计、绿色屋顶及 LED 智能照明等新技术的示范应用，同时建设配电自动控制系统、能效分析平台与能耗可视化终端，提升智能化管理水平。对于老旧设施，可设立专项技术更新基金，推动节能改造，减少因设备老化造成的能源浪费。此外，应建立节能技术入库制度，对经过验证的节能产品与服务企业进行备案与定期评估，形成高效、可靠的技术资源库，提高财政资金投入的精准性和使用效益。

5. 结论

本文引入 K-means 聚类算法构建能耗定额指标模型。利用广西某市三类机构能耗数据，经归一化、有效性与稳定性检查等预处理，运用 K-means 算法计算出能耗定额指标值，且该市三类引导值低于自治区标准，说明节能成效显著。进而提出完善节能管理组织架构、引进合同能源管理模式、开发智慧平台、开展定额管理、加大资金和技术投入等节能对策，为公共机构节能管理提供科学依据与实践指导，助力实现节能目标。

基金项目

本文受广西科技基地和人才专项(桂科 AD22080047)和国家自然科学基金(11661009)的资助。

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] 本刊讯. 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] 国合会“绿色转型与可持续社会治理专题政策研究”课题组. 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] 季柳金, 高兴欢, 姚鹏, 等. 南京三级医院分项能耗定额指标研究与应用[J]. 建筑节能(中英文), 2024, 52(4): 84-87+118.
- [6] 刘永刚, 王中原, 季柳金, 等. 单位面积能耗与人均能耗综合对标方法研究与案例分析[J]. 建筑节能(中英文), 2024, 52(3): 142-145.
- [7] 罗伟, 李小华, 曾智, 等. 基于二次平均法的湘潭市机关办公建筑能耗定额研究[J]. 建筑节能(中英文), 2023, 51(9): 96-102.
- [8] 王智远, 黄凯, 刘奕彪, 等. 江苏省场馆类公共机构能耗定额研究[J]. 建筑节能(中英文), 2022, 50(3): 141-144.
- [9] 字学辉. 基于数据驱动的公共机构能耗定额方法研究[D]: [硕士学位论文]. 广州: 华南理工大学, 2020.
- [10] 程远佳, 黄荣, 但倩誉, 等. 湖北省公共机构能耗定额系列标准解读[J]. 中国标准化, 2023(4): 126-128+133.