

# 基于聚类分析与需求预测的电力企业仓储网络优化与研究

王 骊, 翁慧颖, 欧阳柳, 李晟玥, 王立果

国网浙江省电力有限公司物资分公司, 浙江 杭州

收稿日期: 2025年11月4日; 录用日期: 2025年12月16日; 发布日期: 2026年1月21日

## 摘 要

本文旨在解决电力企业仓网布局不合理、库存成本高等问题, 并提出一种基于聚类分析与需求预测的优化方法。该方法利用K-means算法对仓库进行空间聚类以生成初步方案, 继而通过标准托盘位当量测算库容, 并建立时间序列预测模型来验证方案的可行性。最后, 运用层次分析法进行多维度评价分析, 形成闭环优化流程。本研究有助于优化电力企业仓网布局, 为降低运营成本、提升服务效率及物资管理科学决策提供支持。

## 关键词

仓网优化, 需求预测, 电力物资, 聚类分析

# Optimization and Research of Power Enterprise Warehouse Network Based on Cluster Analysis and Demand Forecasting

Li Wang, Huiying Weng, Liu Ouyang, Liguang Wang

State Grid Zhejiang Electric Power Co., Ltd., Material Branch, Hangzhou Zhejiang

Received: November 4, 2025; accepted: December 16, 2025; published: January 21, 2026

## Abstract

This paper aims to address issues such as unreasonable warehouse network layouts and high inventory costs in power enterprises, proposing an optimization method based on cluster analysis and demand forecasting. The method employs the K-means algorithm to perform spatial clustering of warehouses, generating a preliminary plan. Subsequently, it calculates storage capacity using Standard Pallet Position Equivalent (SPPE) and establishes a time series forecasting model to

文章引用: 王骊, 翁慧颖, 欧阳柳, 李晟玥, 王立果. 基于聚类分析与需求预测的电力企业仓储网络优化与研究[J]. 可持续发展, 2026, 16(1): 435-443. DOI: 10.12677/sd.2026.161047

validate the plan's feasibility. Finally, a multi-dimensional evaluation analysis is conducted using the Analytic Hierarchy Process (AHP), forming a closed-loop optimization process. This research contributes to optimizing warehouse network layouts for power enterprises, supporting reduced operational costs, enhanced service efficiency, and scientific decision-making in material management.

## Keywords

Warehouse Network Optimization, Demand Forecasting, Electrical Materials, Clustering Analysis

Copyright © 2026 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

近年来,我国电力基础设施建设快速增长,电网投资规模持续扩大,智能电网建设全面提速,为社会经济高质量发展奠定了坚实的能源基础。然而,与之形成反差的是,供应链关键环节——物资仓储网络的自适应与智能化发展相对滞后。仓库布局不合理、服务范围重叠、库存动态适应性弱等问题日益凸显,不仅导致运营成本高企,更深刻制约着电网运营效率与应急抢修响应能力的提升。针对这一瓶颈,本研究致力于构建一套完整的电力企业仓储网络优化算法,旨在为电力企业构建智慧供应链、实现降本增效提供关键的方法论依据与实践路径。

## 2. 理论研究综述

仓储网络规划的核心目标,是在满足响应时间、覆盖率等既定服务水平的前提下,通过确定仓库的数量、地理位置、规模及服务范围,实现总成本的最小化[1]。传统的仓网规划模型多基于运筹学中的选址-分配模型,侧重地理空间和成本角度的数学优化,常存在对历史数据挖掘不足、难以融入复杂现实约束等问题[2]。随着大数据技术的发展,聚类分析作为一种无监督机器学习方法,为传统优化模型提供数据驱动的决策支持,其原理是将一组物理对象,分组为类似对象组成的多个“簇”,使得同一簇内的对象相似度较高,而不同簇间的对象相似度较低[3]。当前在仓储网络规划方面,曹锦晖等人开展仓储网络精益化研究,利用信息化手段明确精益化提升路径[4];李政等人基于SKU函数,构建电力物资仓储网络CXY模型,并求解现有仓储网络改动最少的前提下,资源配置最优的策略方案[5];Wang等人提出了基于不确定性下时间成本的混合整数规划模型,用于解决应急仓库的选址优化问题,综合考虑了时间成本、资源缺乏的惩罚成本、供应商和应急仓库的替代资源来源、不同的运输方式和多种资源类型等因素[6]。

在物资需求预测方面,电力物资需求预测受投资周期性、季节性、用电负荷、突发故障等综合影响,时间序列特征复杂[7]。司志坚等人结合了移动平均法、指数平滑法、线性回归法,给出适合电力企业物资管理的分析模型,并提出可持续优化的方法[8];蒲俊霞等人利用灰色预测模型以及BP神经网络进行需求预测,并探讨了库存优化策略[9];郭红静等人从电力负荷预测的角度出发,构建基于贝叶斯-自回归积分移动平均模型,以在控制成本的同时确保预测精度,为物资预测提供了新视角[10];Tang等人提出基于深度学习算法的物资需求预测模型,对销售需求预测数据、物料库存信息和物料属性信息进行分析,通过分析,预测误差较低,能够实现减少供应短缺或过剩的情况[11];Octaviani等人使用XGBoost算法进行预测,用于判断物资全生命周期的需求情况[12]。

综上所述,国内外学者在仓储网络优化与需求预测等领域的研究成果为本研究奠定了坚实的理论与方法基础。然而,现有研究主要集中在通用物流等领域,针对电力物资特性的仓网优化研究有待加强,特别是利用聚类分析处理电力设施地理位置与服务需求耦合关系的研究尚未深入。此外,预测结果与仓网库容规划的动态反馈验证机制亦有待探索。因此,本研究旨在针对上述不足展开探索,以期形成一套科学、系统且对电力企业仓网规划实践具有指导意义的方法论。

### 3. 基于聚类分析的电力企业仓储网络优化

#### 3.1. 数据处理

本研究所需数据(仓库经纬度坐标)来源于地理信息系统(GIS),并获取各库的服务范围。对获取的数据进行预处理,利用地理编码 API 补全存在缺失的数据,或依据业务逻辑将其剔除。

为消除量纲影响,后续用于聚类的特征进行 Z-score 标准化处理。公式如下:

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (1)$$

其中,  $x$  为原始特征值,  $\mu$  为该特征值样本均值,  $\sigma$  为该特征的样本标准差。

#### 3.2. 聚类算法与物资库整合方案

##### 3.2.1. 聚类特征选取

特征变量的选取直接关系到聚类分析的准确性,本研究构建一个融合地理与业务信息的特征向量,包括地理坐标(经度、纬度),平均服务距离以及总需求权重。

##### 3.2.2. 聚类算法选择与参数确定

在聚类算法选择方面,除 K-means 外, DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise)等密度聚类算法也可用于空间数据划分。DBSCAN 能够自动识别噪声点并适应任意形状的簇结构,但其性能高度依赖于邻域半径(eps)和最小样本数等参数的设定,在实际应用中容易因参数敏感而导致结果不稳定。相比之下, K-means 算法原理直观、计算效率高,尤其适用于样本规模较大、簇形状近似球形的场景。本研究的目标是识别具有明确中心、规模可控的区域仓储集群,且通过手肘法可客观确定最佳簇数,与业务预期相吻合。因此,综合考量算法适用性、可解释性与业务匹配度,本研究选择 K-means 作为核心聚类方法。该算法通过迭代计算,寻找簇内样本到其质心之和最小的划分方案,目标是最小化簇内误差平方和(SSE),目标函数为:

$$SSE = \sum_{i=1}^K \sum_{x \in C_i} \|x - \mu_i\|^2 \quad (2)$$

其中,  $K$  为预设的簇数,  $C_i$  代表第  $i$  个簇,  $\mu_i$  是簇  $C_i$  的质心,  $x$  是簇内的样本点。

关于最佳簇数  $K$  的确定,采用手肘法确定最优簇数,计算不同  $K$  值对应的 SSE,选择 SSE 下降幅度出现明显拐点的对应  $K$  值作为最佳聚类数目。

#### 3.3. 结果分析

##### 3.3.1. 聚类结果分析与“撤并留”决策

1) 簇内分析:每一个簇代表一个潜在的区域储存中心,计算每个簇的簇心坐标,该簇心可作为该区域新中心仓的理想选址参考。

2) “合并”与“保留”决策:针对每一个簇,计算簇内仓库到簇质心的加权距离,选择距离质心最近、且基础设施条件最优的物资库对其保留并进行升级,其余则列入合并清单。

3) “撤销”决策：对于规模极小、且到其所属簇质心距离异常遥远的边缘物资库，可被视为事实上可以消除的点，直接纳入撤销清单。

### 3.3.2. 优化方案分析

基于经纬度、服务距离等特征，利用 K-means 聚类得到仓网优化结果，通过分析，将现有的仓网分为 10 个簇(Cluster 1 至 Cluster 10)，并且得出簇心(Cluster center)，即为新建或改造的库仓坐标，如图 1 所示。

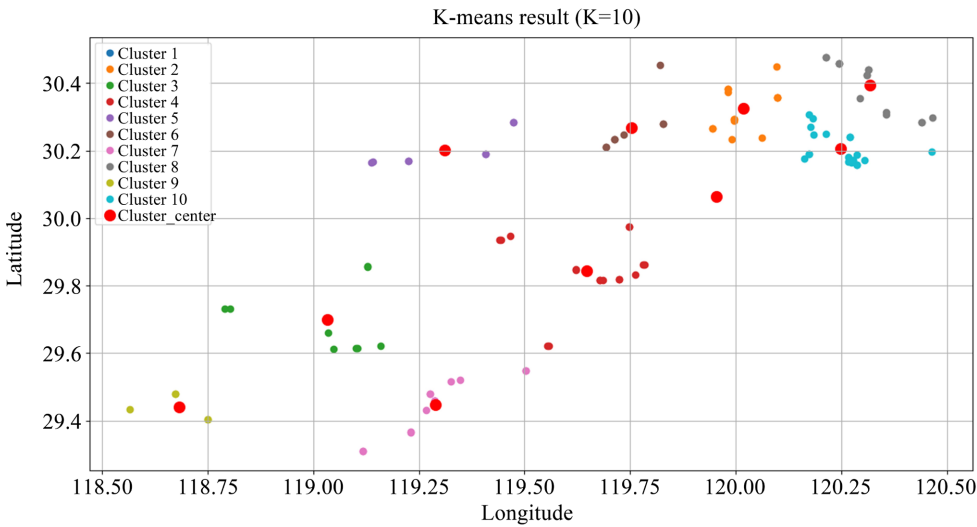


Figure 1. Warehouse network optimization results based on K-means clustering analysis  
图 1. 基于 K-means 聚类分析的仓网优化结果

聚类效果分析表明，不同簇的规模存在一定的差异，簇内数量较多的表明这些区域原有的仓储布局较为紧密，反之规模较小的簇可能对应远或需求较弱的区域。通过分析平均簇内距离和最大半径，能够发现簇内结构紧凑，说明聚类结果在空间维度具有较高的内聚性[13]。

## 4. 基于需求预测的库容测算与方案验证

### 4.1. 库容当量测算

仓网规划不仅要考虑仓库的地理位置，还需评估其库容能力。鉴于电力物资品类繁多、尺寸规格差异巨大，建立统一的库容度量标准是实现科学库容管理与横向对比的前提。

#### 4.1.1. 标准货位/托盘位当量测量法

本研究引入标准托盘位当量(Standard Pallet Position Equivalent, SPPE)作为库容的基本计量单位。一个 SPPE 定义为：可存放一个托盘尺寸为 1200 mm × 1000 mm × 150 mm 的容量单元。不同场景的库容计算如下：

- 1) 立库：1 个立库货位 = 1 个 SPPE；
- 2) 平库：

$$Total_{SPPE} = \frac{S_e}{S_{SPPE}} \times N \quad (3)$$

其中，总当量为  $Total_{SPPE}$ ， $S_e$  是平库有效存储面积(扣除通道、柱子等)， $S_{SPPE}$  是标准托盘位的面积， $N$  是考虑安全的允许堆码层数。

3) 货架:

$$Total_{SPPE} = \sum L_{SPPE} \quad (4)$$

其中,  $L_{SPPE}$  为货架每层可放入标准托盘位当量的数量。

#### 4.1.2. 库容水平测算

基于上述方法, 可计算仓库的理论库容  $C_{static}$ , 即最大物理储存容量, 其值为立库、平库、货架三种存储场景下 SPPE 的总和:

$$C_{static} = \sum Total_{SPPE} \quad (5)$$

#### 4.1.3. 物资数据转化

为了更精准分析具体的物资与托盘之间的关系, 需要将物资转化成托盘数据, 能够明确一个物资需要多少个标准托盘位当量进行存放, 实现物资与货位的度量标准统一, 具体公式如下:

$$MSPPE_i = \begin{cases} \min\left(\left\lceil \frac{L_i}{120} \right\rceil \cdot \left\lceil \frac{W_i}{100} \right\rceil, \left\lceil \frac{L_i}{100} \right\rceil \cdot \left\lceil \frac{W_i}{120} \right\rceil\right), & L_i \cdot W_i > 6000 \\ \frac{L_i \cdot W_i}{12000}, & L_i \cdot W_i < 6000 \end{cases} \quad (6)$$

其中,  $MSPPE_i$  表示第  $i$  个物资转化后对应的标准托盘当量数据,  $\lceil \cdot \rceil$  表示向上取整,  $L_i$  为第  $i$  个物资的长,  $W_i$  为第  $i$  个物资的宽。

### 4.2. 电力物资需求预测模型的构建

#### 4.2.1. 历史库存数据预处理

获取 ERP 或 WMS 系统各仓库历年的月度库存数据, 并进行预处理, 包括处理缺失值与异常值, 并利用差分运算将非平稳时间序列转化为平稳序列。

#### 4.2.2. 构建时间序列预测模型

在时间序列预测模型中, ARIMA 家族还包括非季节性 ARIMA、季节性 ARIMA (SARIMA) 以及引入外生变量的 ARIMAX 等变体。非季节性 ARIMA 模型适用于无明显周期波动的序列, 而电力物资需求常受季节性用电负荷、投资计划周期等因素影响, 呈现出稳定的季节性波动特征。SARIMA 通过引入季节性差分与季节性自回归移动平均项, 能够有效捕捉并建模此类周期性规律。虽然 ETS (指数平滑) 或 Prophet 等模型也可处理季节性数据, 但 SARIMA 在理论成熟度、参数可解释性与电力行业应用基础方面更具优势。因此, 为准确反映电力物资需求的复合时间特征, 本研究选用 SARIMA 作为预测模型, 其表达式如下 [14]:

$$SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_s \quad (7)$$

其中,  $p, d, q$  分别为非季节性部分的自回归阶数、差分阶数、移动平均阶数,  $P, D, Q$  分别为季节性部分的对应阶数,  $s$  为季节周期。

#### 4.2.3. 模型训练与结果分析

将数据集按时间顺序划分为训练集、验证集和测试集。利用训练集拟合不同参数的 SARIMA 模型, 最终模型的选择遵循在验证集上综合表现最优, 通常使用均方根误差来进行判断, 经过训练, 库存金额模型拟合和预测结果如图 2 所示:

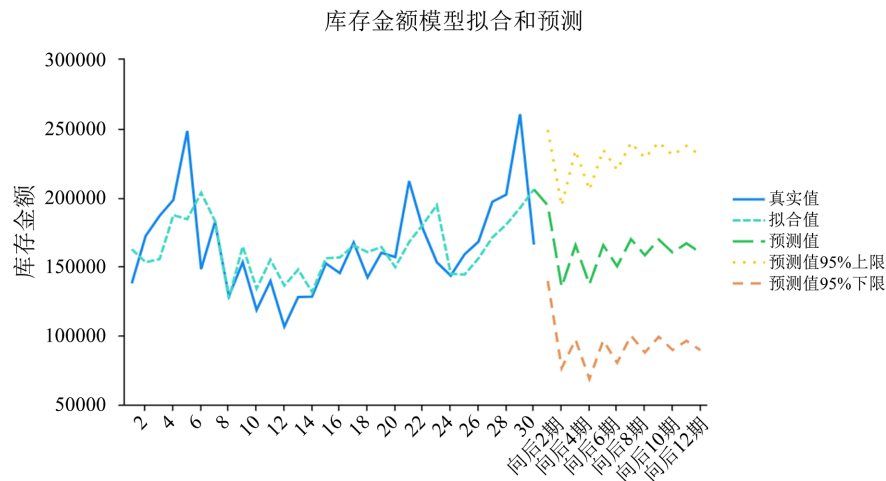


Figure 2. Model fitting results for inventory value  
图 2. 库存金额模型拟合结果

### 4.3. 方案可行性验证与反馈修正

为验证优化方案的可行性与实用性，需判断各仓库的预测需求是否超出其物理库容。若所有仓库在任何时间点均能满足需求，则证明前述仓网优化方案可行，既能实现布局优化，又可满足未来库存需求。若存在任一仓库在某个时间点出现库容不足，则表明原方案不可行，需进行修正。此时，应将库容预警信息作为约束条件，反馈给前述的聚类分析环节进行迭代优化与布局调整，直至所有仓库均能满足预测需求为止，具体流程如图 3 所示：

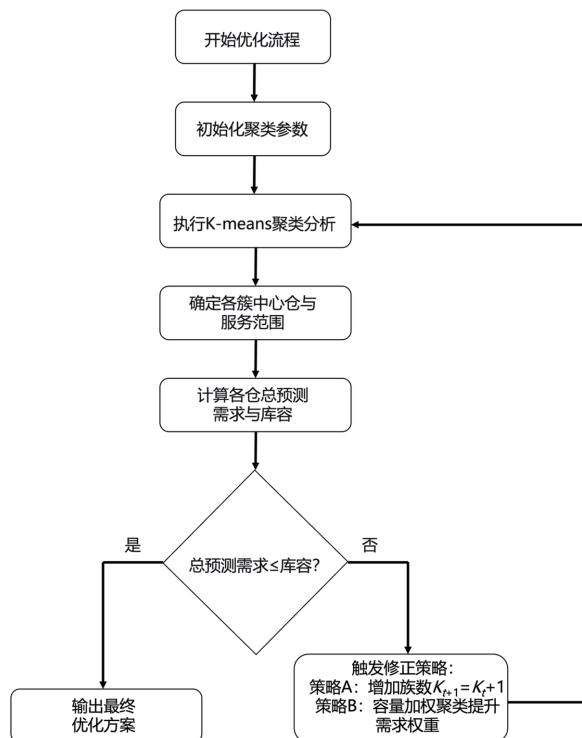


Figure 3. Iterative optimization flowchart  
图 3. 迭代优化流程图



## 5. 多维度优化方案综合评价

科学的仓网优化方案不仅需要实现布局上的合理性，更需要从多维度综合评估其整体的效益。因此利用层次分析法，构建一个涵盖经济性、效率性与可靠性的多维度评价指标体系，对前文提出的优化方案进行系统、客观的评价，为决策提供依据。

### 5.1. 评价指标体系构建

结合电力物资特性，以明确库仓网络优化综合评价为目标层，经济性、运营效率、服务可靠性为准则层，并搭建 8 个可量化的指标层，如表 1 所示。

**Table 1.** Multi-dimensional evaluation system for warehouse network optimization

**表 1.** 仓网优化多维度评价体系

目标层(A)	准则层(B)	指标层(C)
库仓网络优化综合评价	经济性	仓库租金( $C_1$ )
		配送运输成本( $C_2$ )
		综合运营成本( $C_3$ )
	运营效率	平均配送响应时间( $C_4$ )
		库容利用率( $C_5$ )
		库存周转率( $C_6$ )
	服务可靠性	服务覆盖率( $C_7$ )
		库存需求满足率( $C_8$ )

### 5.2. 权重指标计算

对同一准则下的各指标进行两两比较，构造判断矩阵，其判断矩阵形式如下：

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (8)$$

其中， $A$  为比较判别矩阵， $a_{ij}$  表示指标  $i$  相对于  $j$  的重要程度，且满足  $a_{ij} > 0$ ， $a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}}$ ， $a_{ii} = 1$ 。计算判断矩阵的特征向量和特征根，对向量进行量纲统一化处理，得到各层级指标的权重向量[15]： $W = [W_1, W_2, \dots, W_n]^T$ 。

为了进行一致性检验，本文采用和积法计算权重向量，并完成一致性检验，一致性指标  $CI$  和一致性比率  $CR$  的表达式如下：

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (9)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (10)$$

其中， $\lambda_{\max}$  为最大特征值， $RI$  为随机一次性指标。

### 5.3. 综合评价

由于各指标量纲和物理意义不同,需要对方案的指标数据进行归一化处理,对于效益型指标和成本型指标分别采用以下公式:

效益型指标:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_j)}{\max(x_j) - \min(x_j)} \quad (11)$$

成本型指标:

$$r_{ij} = \frac{\max(x_j) - x_{ij}}{\max(x_j) - \min(x_j)} \quad (12)$$

其中,  $x_{ij}$  是方案  $i$  在指标  $j$  上的原始值,  $\max(x_j)$  和  $\min(x_j)$  是指标  $j$  在现状方案与优化方案中的最大值和最小值。

完成数据归一化处理后,进行综合得分( $S$ )计算,计算公式如下:

$$S = \sum_{j=1}^n w_j \times r_j \quad (13)$$

通过分析优化前后的方案综合得分,来确定最终的方案,明确方案不仅在单一维度上有所改善,更在经济性、运营效率和服务可靠性上实现全面、均衡的提升。

## 6. 研究结论

本研究构建的基于聚类分析与需求预测的电力企业仓网优化模型,为电网物资管理破解了全省范围物资库“布在哪、存多少、如何调”的核心决策难题。该模型不仅显著提升了仓网布局的科学性与库存控制的精确性,更从根本上增强了物资供应的响应速度与可靠性,降低整体运营成本,为电力企业的精益化与智能化管理提供了系统性解决方案。其形成的“规划-预测-验证-评价”闭环方法论,不仅适用于电力行业,也可为能源、装备制造等同样依赖高效仓储网络的重资产行业提供参考,形成了一套可复制的管理范式。

## 基金项目

电网仓储网络优化与库存水平相关模型研究,项目编号:5211WF250002。

## 参考文献

- [1] 郭志成,李康,李静,等.基于仿真软件的仓储网络优化设计研究[J].科技与创新,2024(14):167-169.
- [2] 王佩东.S 电力公司仓库规模预测与网络优化研究[D]:[硕士学位论文].西安:西安理工大学,2025.
- [3] 谈婷婷,王静.基于 K-means 与 BP 神经网络的库存需求预测研究——以车载智能终端企业为例[J].物流工程与管理,2025,47(3):17-22.
- [4] 曹锦晖,朱晓俊,顾钟天.地市供电企业仓储网络精益优化路径研究[J].企业改革与管理,2024(3):144-146.
- [5] 李政,李乐萌,孙宏志.大型电力企业物资仓储网络优化模型研究[J].价值工程,2024,43(23):51-54.
- [6] Wang, B.C., Qian, Q.Y., Gao, J.J., Tan, Z.Y. and Zhou, Y. (2021) The Optimization of Warehouse Location and Resources Distribution for Emergency Rescue under Uncertainty. *Advanced Engineering Informatics*, **48**, Article ID: 101278. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101278>
- [7] 孙杨.S 电力公司仓储网络优化研究[D]:[硕士学位论文].北京:北京交通大学,2022.



- 
- [8] 司志坚, 毛辉. 电力物资库存需求定额预测模型的研究[J]. 中国管理信息化, 2023, 26(23): 105-109.
- [9] 蒲俊霞. 基于大数据的电厂物资需求预测与库存管理探析[J]. 中国科技投资, 2024(31): 134-136.
- [10] 郭红静, 冯知海, 宋超, 等. 基于贝叶斯 ARIMA 的短期负荷预测[J]. 云南电业, 2025(8): 5-9, 16.
- [11] Tang, Z. and Ge, Y. (2021) CNN Model Optimization and Intelligent Balance Model for Material Demand Forecast. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, **13**, 978-986.  
<https://doi.org/10.1007/s13198-021-01157-0>
- [12] Octaviani, E., Masudin, I., Khoidir, A. and Restuputri, D.P. (2025) Material Flow Analysis for Demand Forecasting and Lifetime-Based Inflow in Indonesia's Plastic Bag Supply Chain. *Logistics*, **9**, Article 105.  
<https://doi.org/10.3390/logistics9030105>
- [13] 陈荟冰, 胡蕾, 张启灵, 等. 基于 K-means-云模型的输水隧洞安全评价方法及应用[J/OL]. 中国农村水利水电: 1-18. <https://link.cnki.net/urlid/42.1419.TV.20250812.1125.032>, 2025-09-24.
- [14] 楚本嘉, 颜鸿宇, 李建波. 基于 Tucker 分解和季节性自回归移动平均模型的出租车出行需求预测[J]. 青岛大学学报(自然科学版), 2025, 38(3): 50-56.
- [15] 吴敏, 张郁, 曹袁. 基于层次分析法的城市轨道交通信号系统状态评估方法[J]. 城市轨道交通研究, 2025, 28(9): 202-206, 212.