

基于多维度模型与智能算法的马拉松赛事规划与运营优化问题的研究

曹宁珊, 朱晋影

沈阳航空航天大学自动化学院, 辽宁 沈阳

收稿日期: 2025年7月28日; 录用日期: 2025年8月21日; 发布日期: 2025年8月27日

摘要

本文以马拉松赛事规划为研究对象, 推动基于数据的科学决策。在赛事时机优化方面, 采用熵权法确定气象因素和城市承载力指标权重, 结合TOPSIS构建综合评价模型, 通过MATLAB和Python进行数据处理, 得出中国主要城市马拉松的最优举办时间、规模及频率组合。在赛道优化设计中, 以西安为例, 运用GIS空间分析和K-Mean聚类方法构建包含住宿容量、路网密度等指标的评价函数; 通过遗传算法筛选起终点组合, 将景区设为必选节点、餐饮设施设为加分节点形成闭环赛道; 进一步采用粒子群算法(PSO)优化赛道遮阴率、交通影响和坡度, 平衡专业竞技标准与参与者体验。为提升赛事吸引力, 通过K-Means聚类划分年龄组别, 利用LightGBM模型预测五年间隔的竞技强度变化, 开发分级纪念品系统和赛前排名模拟工具, 构建成绩-奖励激励机制。研究形成了城市定制化赛事日程量化方案、西安赛道优化方案及年龄组别竞技特征模式, 为马拉松赛事与城市资源融合提供了可操作框架。

关键词

马拉松赛事规划, 熵权法, 聚类分析, 遗传算法, 年龄分组

Research on Marathon Event Planning and Operation Optimization Based on Multi-Dimensional Models and Intelligent Algorithms

Ningshan Cao, Jinying Zhu

School of Automation, Shenyang Aerospace University, Shenyang Liaoning

Received: Jul. 28th, 2025; accepted: Aug. 21st, 2025; published: Aug. 27th, 2025

文章引用: 曹宁珊, 朱晋影. 基于多维度模型与智能算法的马拉松赛事规划与运营优化问题的研究[J]. 应用数学进展, 2025, 14(8): 318-325. DOI: 10.12677/aam.2025.148392

Abstract

In this study, the research object is marathon event planning, enabling data-driven scientific decision-making. For optimal timing selection, the Entropy Weight Method was employed to determine weights for meteorological factors and urban carrying capacity, combined with TOPSIS to construct a comprehensive evaluation model. Using MATLAB and Python for data processing, optimal schedules, scales, and frequencies for marathons across major Chinese cities were derived. In racecourse optimization, taking Xi'an as a case study, GIS spatial analysis and K-Means clustering were used to develop an evaluation function considering accommodation capacity and road network density. Genetic algorithms were applied to select start-finish combinations, with scenic spots designated as mandatory nodes and dining facilities as bonus nodes to form a closed-loop circuit. A Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm was further utilized to balance professional racing standards with participant comfort by optimizing shade coverage, traffic impact, and terrain gradient. To enhance event attractiveness, K-Means clustering segmented participants into age groups, and LightGBM models predicted competition intensity for 5-year intervals. A tiered souvenir system and pre-race ranking simulation tool were developed to create a performance-reward incentive mechanism. The research yields quantifiable plans for city-specific event scheduling, an optimized Xi'an racecourse, and age-group competition patterns, providing a practical framework for integrating marathon events with urban resources.

Keywords

Marathon Event Planning, Entropy Weight Method, Clustering Analysis, Genetic Algorithm, Age Grouping

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

马拉松赛事规划涉及气象适应性评估、线路优化设计、选手体验提升等复杂问题,科学的模型构建与算法应用是实现赛事与城市资源高效整合的关键。随着我国马拉松赛事从规模化扩张转向内涵式发展,如何平衡赛事专业性、选手舒适度与城市承载能力,成为行业面临的核心挑战。现有研究中,气象适应性评估多基于熵权法与 TOPSIS 法[1]-[3],通过量化温度、湿度、城市交通等指标筛选赛事窗口期[4]。例如,利用熵权法确定各指标权重,结合 TOPSIS 构建综合评估模型,解决赛事时间、规模与城市条件的匹配问题。在赛道设计领域,GIS 空间分析[5]与 K-Means 聚类技术[6]被用于整合住宿容量、路网密度等空间数据,通过遗传算法优化起点-终点组合,并以景点为必经节点构建闭合回路[7]。此外,粒子群优化(PSO)算法[8]被引入多目标优化,通过量化树荫覆盖率、交通影响等指标,平衡赛事专业性与选手体验。选手体验提升方面,K-Means 聚类与 LightGBM 模型成为核心工具[9][10]。通过聚类划分选手年龄群体,利用 LightGBM 预测不同年龄组的竞争激烈程度,设计差异化纪念品体系与赛前模拟排名工具,形成“成绩-权益”联动机制。受多学科优化理论启发,本文针对马拉松赛事规划的关键问题,构建赛事窗口期筛选-赛道多目标优化-年龄分组预测-差异化奖励的全流程模型。通过熵权法、TOPSIS、PSO、遗传算法等智能算法,结合 MATLAB、Python 等工具实现数据驱动决策,旨在为马拉松赛事的可持续发展提供量化支撑与实践路径。

研究将多维度空间分析与智能优化算法结合, 突破传统线路设计的单一目标局限, 并通过年龄分组竞争规律挖掘, 创新选手激励机制, 为赛事规划领域提供新的方法论参考。

2. 城市马拉松赛事规划问题分析

综合考虑气象适宜性、城市承载能力、人口规模及报名热度等核心要素, 筛选中国主要城市的马拉松赛事窗口期、确定比赛时间、赛事规模与频次[11]-[13]。

首先对各指标进行标准化处理, 消除量纲影响。正向指标(如报名热度)采用公式:

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - \min(x_j)}{\max(x_j) - \min(x_j)} \quad (1)$$

成本型指标公式为:

$$x_{ij}^* = \frac{\max(x_j) - x_{ij}}{\max(x_j) - \min(x_j)} \quad (2)$$

其中 x_{ij} 是第 i 个城市的第 j 个指标原始值, x_{ij}^* 是标准化后的值, $\max(x_j)$ 和 $\min(x_j)$ 分别是第 j 个指标的最大值和最小值。然后用熵权法计算第 j 项指标下第 i 个城市指标值的比重 p_{ij} , 公式为:

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}^*}{\sum_{i=1}^n x_{ij}^*}, \quad (3)$$

n 为城市数量。依据比重计算第 j 项指标的信息熵 e_j 公式为:

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln(p_{ij}), \quad k = \frac{1}{\ln(n)}. \quad (4)$$

信息熵 e_j 反映了指标的离散程度, 离散程度越高, 提供的信息量越大。根据信息熵计算指标权重 w_j ,

$$w_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^m (1 - e_j)}, \quad (5)$$

m 为指标数量。权重越大, 该指标在综合评价中的重要性越高。

最后计算每个城市的综合得分 S_i , 公式为:

$$S_i = \sum_{j=1}^m w_j x_{ij}^*. \quad (6)$$

按照综合得分对城市进行排序, 得分越高, 该城市举办马拉松赛事的综合条件越优。

结合数据并运用 MATLAB 和 python 软件编程得到城市马拉松赛事适宜性得分和 Top10 城市综合得分图(图 1 和图 2)。

3. 赛跑路线的选择

在确定城市马拉松赛事的适宜举办时机与规模后, 赛道作为赛事核心载体, 其设计合理性直接影响赛事专业性、参与者体验及城市资源的高效利用。科学的赛道规划需构建多维度优化模型实现系统性设计。本文以西安市为例, 基于密集的城市路网及多样的住宿资源, 探索赛道优化的具体路径, 通过整合空间分析与智能算法, 形成兼顾多方需求的闭环赛道方案, 基于西安市的景点、住宿设施坐标集, 确定赛跑线路[14]。

首先建立评价函数, 设住宿容量权重为 w_1 , 邻近路网密度权重为 w_2 , 且 $w_1 + w_2 = 1$ 。对于候选的起点-终点组合, 住宿容量为 C , 邻近路网密度为 D , 则评价函数

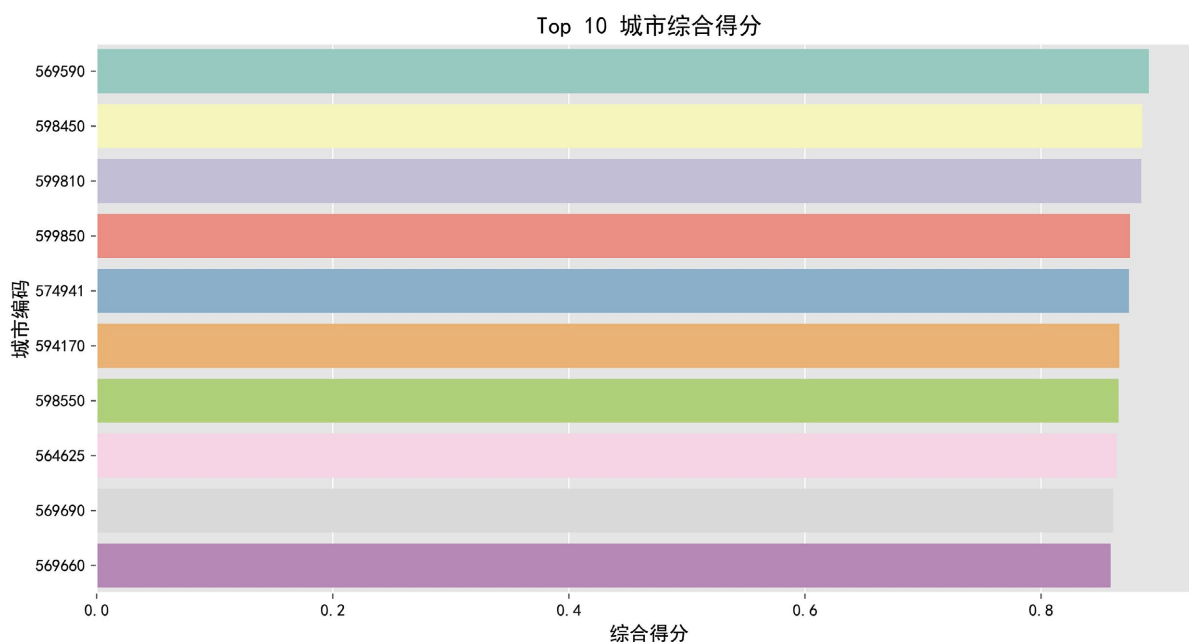


Figure 1. Top 10 cities by comprehensive score

图 1. Top 10 城市综合得分

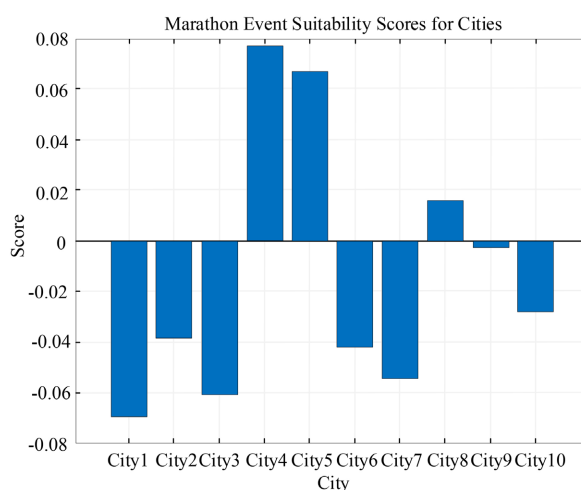


Figure 2. Suitability scores for city marathon events

图 2. 城市马拉松赛事适宜性得分

$$E = w_1 \times \frac{C}{C_{\max}} + w_2 \times \frac{D}{D_{\max}}, \quad (7)$$

其中 $C_{\max}$ 为所有候选组合中住宿容量的最大值, $D_{\max}$ 为所有候选组合中邻近路网密度的最大值。然后建立目标优化模型筛选赛跑线路, 目标函数为

$$\max E = w_1 \times \frac{C}{C_{\max}} + w_2 \times \frac{D}{D_{\max}}, \quad (8)$$

考虑住宿和交通约束条件, 起点 3000 米内住宿容量 ≥ 3000 人, 起、终点毗邻轨道交通站点。接着以餐饮设施增益为目标函数建立模型, 设赛跑线路经过的节点序列为 $N = (n_1, n_2, \dots, n_m)$, 其中 n_i 为景点或餐

饮设施节点。目标函数为 $\max G = \sum_{i=1}^m g(n_i)$, 其中 $g(n_i)$ 为节点 n_i 的增益值, 若 n_i 为餐饮设施节点, 则 $g(n_i) = 0.2$, 否则 $g(n_i) = 0$ 。用遗传算法求解筛选赛跑线路模型, 结合评价函数

$$E = w_1 \times \frac{C}{C_{\max}} + w_2 \times \frac{D}{D_{\max}} \quad (9)$$

路径总长度以及约束惩罚项来定义个体适应度。适应度函数公式为

$$F = \sum_{i \in V} S y_i - \lambda \sum_{(i,j) \in E} w_{ij} x_{ij} - P \quad (10)$$

其中 P 为违反约束的惩罚值。

结合数据并运用 MATLAB 软件编程得到西安市住宿集群图和地标, 住宿, 餐馆和地铁站可视化图 (图 3 和图 4)。

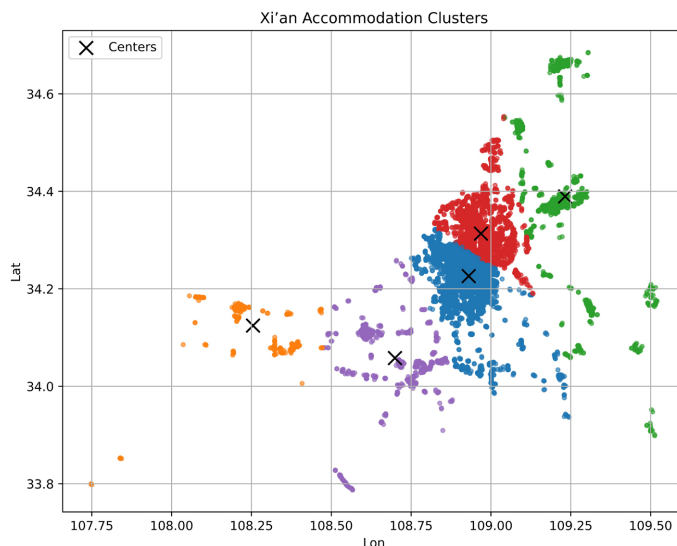


Figure 3. Accommodation clusters map of Xi'an

图 3. 西安市住宿集群图

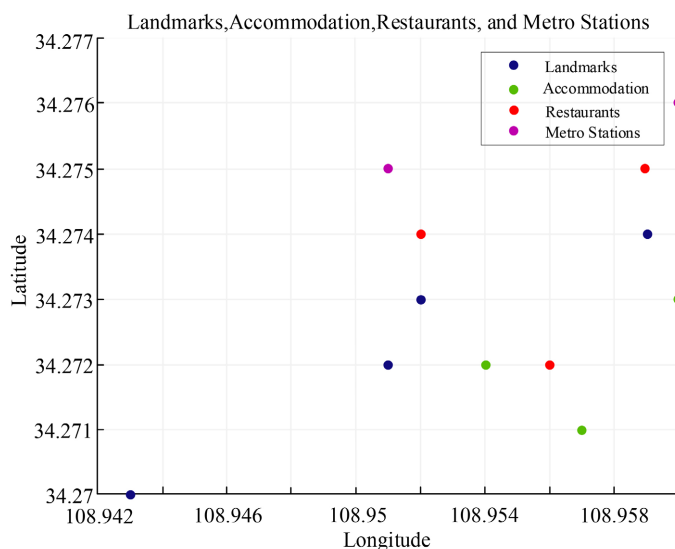


Figure 4. Visualization of accommodations, restaurants and subway stations

图 4. 住宿, 餐馆和地铁站可视化图

综上, 综合规划模型和遗传算法优化, 得到增益最高路线为最佳路线, 该路线满足了基本距离以及餐饮、住宿设施和地铁交通的要求。

4. 马拉松纪念品与奖励设计

赛道的科学规划为赛事顺利开展奠定了基础, 而富有吸引力的纪念品体系与合理的奖励机制则是提升选手参与热情、增强赛事影响力的关键。通过精准对接不同群体的需求, 结合选手竞技特征设计差异化激励方案, 既能激发专业选手的竞技潜能, 也能提升大众参与者的体验感与归属感。本文从选手群体细分入手, 构建基于竞技特征的分级奖励模型, 并制定合理的奖励方案。

首先建立聚类分析模型, 选手聚类以年龄、历史平均成绩、参赛频率为特征[15][16], 运用 K-Means 算法经多次试验确定最优聚类数; 赛事聚类以规模、举办季节、平均成绩为特征, 同样采用 K-Means 算法分为大型专业赛事、中型特色赛事、小型趣味赛事。然后针对预测年龄分组竞争激烈程度和优化奖励方案建立两个 LightGBM 回归模型, 若模型性能达到预期, 即可用于预测年龄分组竞争激烈程度或优化奖励方案; 若性能不佳, 则进一步调整模型参数或重新进行数据预处理, 再次训练模型, 直至达到满意效果。

结合数据运用 MATLAB 和 Python 软件编程得到奖励分配图、被奖励选手年龄分布图和不同年龄平均成绩变化图。通过 K-Means 聚类划分选手群体(如年轻精英组、资深爱好者组、休闲参与组), 并依据 LightGBM 模型预测的年龄分组竞争激烈程度[17]来设计合适的奖励体系(图 5)。

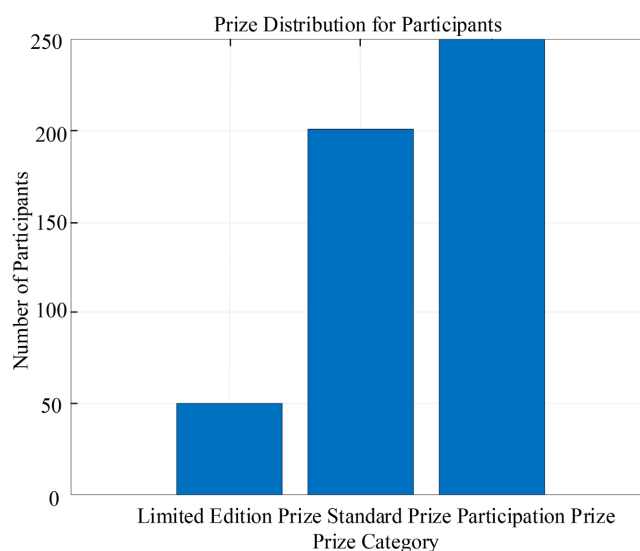


Figure 5. Reward allocation diagram

图 5. 奖励分配图

筛选出获得限量版和标准版奖励的选手(成绩前 50%), 统计其年龄分布。奖励分布与年龄结构匹配, 验证了“年龄分组 + 成绩排名”机制的合理性, 可进一步优化高龄组奖励规则以提升包容性。LightGBM 模型通过年龄、历史成绩等特征预测竞争激烈程度, 高龄组成绩波动较大(标准差高), 证明其竞争激烈度更高, 需差异化设置奖励规则(图 6 和图 7)。

综上分析, 纪念品设计原则为打造具备纪念价值的收藏品, 涵盖奖杯、奖牌、T 恤等。依据参赛者成绩与排名, 设置差异化奖品: 成绩排名前 10%的选手: 可获限量版纪念品; 成绩排名前 50%的选手: 能得标准版纪念品; 其余参赛者: 将获参与奖。

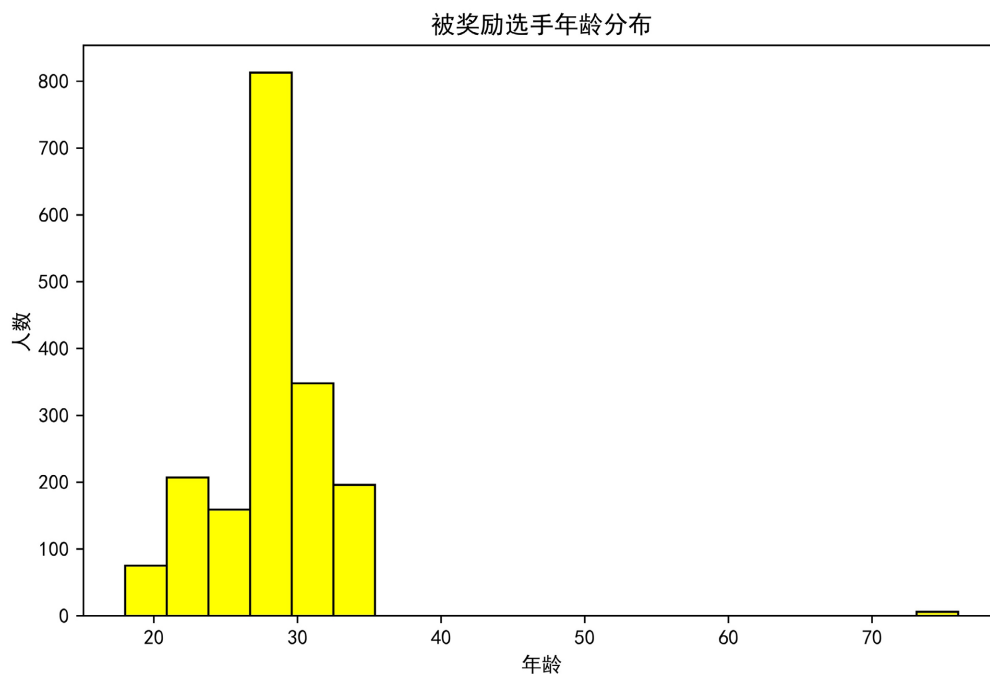


Figure 6. Age distribution of awarded players

图 6. 被奖励选手年龄分布图

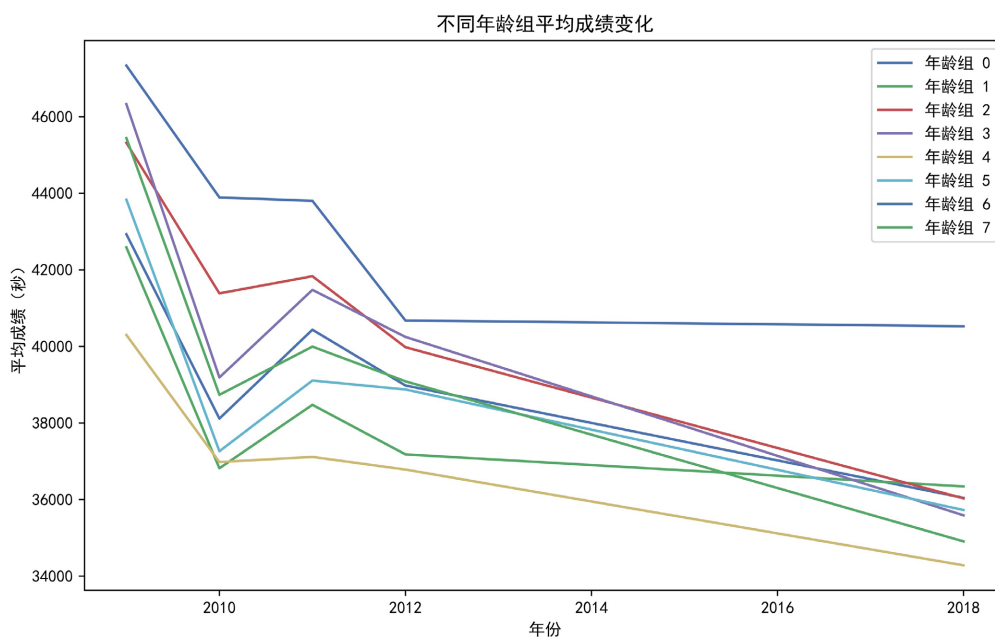


Figure 7. Average score variation by age group

图 7. 不同年龄平均成绩变化图

5. 结论

本研究构建多维度模型与智能算法体系, 解决马拉松赛事规划关键问题, 通过熵权法和 TOPSIS 法筛选城市赛事窗口期, 借助 GIS 空间分析、遗传算法优化西安赛道, 利用 K-Means 聚类算法和 LightGBM 模型设计分级奖励体系, 得出各城市规划方案, 为赛事与城市资源整合提供量化支撑。

参考文献

- [1] Han, Q., Chen, L., Tang, X., Weng, T., Yang, G., Zhang, B., *et al.* (2025) Research on TOPSIS Multi-Indicator Evaluation Model Based on Entropy Weight Method for C2N Site Selection. *Annals of Nuclear Energy*, **221**, Article ID: 111566. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2025.111566>
- [2] Ampountolas, A. and AlGharbi, S. (2025) An Innovative Hybrid LightGBM-BPNN Model for Enhanced Commodity Forecasting Accuracy. *Finance Research Open*, **1**, Article ID: 100004. <https://doi.org/10.1016/j.finr.2025.100004>
- [3] 卫其励, 张璐. Citywalk 路线选择与城市街道环境特征的关系[J]. 上海建材, 2024(5): 1-5.
- [4] 翟玉胜, 卜冠翔. 基于熵权 TOPSIS 模型的贵州省特色农业发展水平评价及障碍度研究[J]. 云南农业大学学报(社会科学), 2025, 19(4): 59-67.
- [5] Taqi, M., Norboo, J. and Gyatso, T. (2025) Land Use & Land Cover Dynamics in Kargil Town, Ladakh, India: A Geospatial Analysis Using Remote Sensing & GIS. *Journal of Geography, Environment and Earth Science International*, **29**, 102-117. <https://doi.org/10.9734/jgeesi/2025/v29i4881>
- [6] Tissaoui, K., Boubaker, S., Saud Alghassab, W., Zaghdoudi, T. and Azibi, J. (2022) A Hybrid Particle Swarm Optimization to Forecast Implied Volatility Risk. *Computers, Materials & Continua*, **73**, 4291-4309. <https://doi.org/10.32604/cmc.2022.028830>
- [7] Işık, H. and Kılıç, M.B. (2025) Evaluation of Genetic Algorithm Alternatives for Wind Speed Modeling Using Grey Relational Analysis. *Journal of Engineering and Applied Science*, **72**, Article No. 50. <https://doi.org/10.1186/s44147-025-00616-w>
- [8] 高玉健, 刘洁, 蒋倩, 等. 公路交通规划与城市空间格局演变关系研究[J]. 交通节能与环保, 2025, 21(3): 43-46.
- [9] He, N. and Ding, R. (2025) A Dual-Method Approach Integrating Dynamic QCA and LightGBM-SHAP Algorithms to Uncover the Configuration Paths and Key Drivers of Water Resource Green Efficiency in China. *Ecological Indicators*, **175**, Article ID: 113540. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.113540>
- [10] Kazi, A., Chauhan, A., Thomas, S. and Jariwala, S. (2025) Using K-Means Clustering to Predict the Relationship between Pollen Count, Air Quality Index, and Asthma-Related Emergency Department Visits. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, **155**, AB150. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2024.12.479>
- [11] Kawano, K., Oda, R., Inagaki, A. and Nakayoshi, M. (2020) Evaluation of Human Thermal Comfort along a Marathon Course in Tokyo Metropolis. *Sola*, **16**, 192-197. <https://doi.org/10.2151/sola.2020-033>
- [12] Hirabayashi, S., Abe, T., Imamura, F. and Morioka, C. (2018) Development of a Distributed Modeling Framework to Estimate Thermal Comfort along 2020 Tokyo Olympic Marathon Course. *Atmosphere*, **9**, Article No. 210. <https://doi.org/10.3390/atmos9060210>
- [13] 何佳, 周湘贞. 大型体育赛事的社会经济效益分析——以城市马拉松为例[J]. 贵阳学院学报(自然科学版), 2021, 16(2): 56-61.
- [14] 潘磊. 我国城市马拉松赛事运营模式研究[D]: [博士学位论文]. 武汉: 武汉体育学院, 2019.
- [15] 李新旺. 影响马拉松大众精英运动员成绩因素的质性研究[D]: [硕士学位论文]. 福州: 福建师范大学, 2022.
- [16] 杨春蕾. 高水平女子马拉松运动员比赛中分段成绩的研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津师范大学, 2018.
- [17] 左晨旭. 马拉松大众跑者体育素养评价指标体系研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林体育学院, 2024.