

基于熵权-TOPSIS 模型的过江通道规划方案比选研究

杜一川¹, 张海彬¹, 陶秋钢², 梅振宇^{2*}

1. 瑞安市交通运输局, 浙江 瑞安 325200

2. 浙江大学 工程师学院, 浙江 杭州 310058

DOI: 10.61369/TACS.2025140057

摘 要 : 随着城市 " 拥江发展 " 战略的深入推进, 过江通道规划已成为缓解跨江交通瓶颈、优化城市空间结构的关键环节。本文以瑞安市飞云江过江通道规划为研究对象, 构建了基于熵权-TOPSIS 的过江通道方案优选模型。研究选取投资成本、交通分流效果、征拆规模、通航景观影响及服务范围等 5 项关键指标, 对三个备选方案进行量化评价。实证结果表明, 采用 " 甬台温高速差异化收费 + 中期花园 - 从化路隧道 " 的组合方案综合贴近度最高 (0.660)。研究结论可为瑞安市跨江交通设施的科学决策提供理论依据, 同时为同类型河谷城市过江通道规划提供方法借鉴。

关 键 词 : 过江通道; 熵权法; TOPSIS 模型

Research on the Comparison and Selection of River-Crossing Channel Planning Schemes Based on the Entropy Weight-TOPSIS Model

Du Yichuan¹, Zhang Haibin¹, Tao Qiugang², Mei Zhenyu^{2*}

1. Ruian Transportation Bureau, Ruian, Zhejiang 325200

2. College of Engineering, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310058

Abstract : With the in-depth advancement of the urban "river-front development" strategy, river-crossing channel planning has become a key link to alleviate cross-river traffic bottlenecks and optimize urban spatial structure. Taking the planning of the Feiyun River crossing channel in Ruian City as the research object, this paper constructs an optimal selection model for river-crossing channel schemes based on the entropy weight-TOPSIS method. Five key indicators, including investment cost, traffic diversion effect, land acquisition and demolition scale, navigation and landscape impact, and service scope, are selected to conduct quantitative evaluation on three alternative schemes. The empirical results show that the combined scheme of "differential toll collection on Yongtaiwen Expressway + mid-term Huayuan-Conghua Road Tunnel" has the highest comprehensive closeness degree (0.660). The research conclusions can provide a theoretical basis for the scientific decision-making of cross-river transportation facilities in Ruian City, and also offer methodological reference for the planning of river-crossing channels in similar river valley cities.

Keywords : river-crossing channel; entropy weight method; TOPSIS model

引言

随着城市化进程的快速推进, 跨江通道作为连接两岸的核心基础设施, 已成为推动区域经济一体化和可持续发展的战略支柱。这类通道不仅承担着缓解交通瓶颈的功能, 更在促进产业转移、人口流动和资源优化配置方面发挥着不可替代的作用。然而, 在快速城市扩张背景下, 跨江通道往往面临拥堵加剧、环境压力增大和资源分配不均等问题。

目前对跨江通道规划与交通基础设施评价的研究已形成较为成熟的体系。随着多准则决策 (MCDM) 框架的兴起, 研究逐步转向综合评估。近年来, TOPSIS 及其改进方法成为基础设施评价的主流工具, 通过逼近理想解对多方案进行排序。国内研究强调客观赋权的重要性, 杨振琰等^[1] 基于熵权识别城市轨道交通网络节点重要度, 证明了数据驱动方法在提升评价鲁棒性方面的效能。在跨江通道具体领域, 李雯^[2] 基于改进熵权 TOPSIS 评价物流产业竞争力, 揭示了 MCDM 在多准则融合中的应用潜力。国际期刊中, Huang 等^[3] 使用 entropy-TOPSIS 评估城市轨道交通运营绩效, 量化了多维度指标间的差异。

项目信息: 浙江省 " 尖兵 " 领雁 研发攻关计划资助, 项目编号: 2024C0327。

作者简介: 杜一川 (1995—), 男, 汉族, 浙江瑞安人, 本科, 助理工程师, 研究方向: 交通规划。

通讯作者: 梅振宇, Email: meizhenyu@zju.edu.cn

鉴于此,本文针对瑞安市飞云江过江通道拥堵现状,提出原位改造、高速市政化、差异化收费结合隧道三种备选方案,并采用熵权-TOPSIS模型进行客观比选。该模型通过熵权法基于数据信息量确定权重,避免AHP的主观偏差,同时TOPSIS的理想解机制能够有效排序多方案,适用于复杂交通系统的量化分析。

一、区域发展背景

瑞安市地处浙江省东南沿海,飞云江作为温州市第二大河流,横贯瑞安市域东西,是温瑞平原的“母亲河”,在防洪、排涝、供水、航运等方面发挥着重要作用。



图1 飞云江过江大桥分布图

截至调研期,瑞安核心区段的飞云江大桥和飞云江特大桥日均流量均已突破7万pcu/d,服务水平均降至五级,属于过饱和状态,拥堵形势严峻。

二、评价指标体系与模型构建

(一) 评价指标体系构建

过江通道方案的比选是一个涉及工程技术、经济成本、交通功能及城市环境的多目标决策问题。遵循科学性、系统性和可操作性原则,本文从经济性、功能性、环境性三个维度构建了包含5个关键指标的评价体系,如表1所示。

表1: 过江通道方案评价指标体系

一级指标	二级指标	单位	指标属性	指标说明
经济性	C1 投资成本	亿元	成本型 (-)	工程建安费、征地拆迁费等,越低越优
经济性	C3 拆迁规模	m ²	成本型 (-)	反映实施难度和社会风险,越小越优
功能性	C2 交通分流效果	pcu/d	效益型 (+)	对核心拥堵节点的流量削减值,越大越优
功能性	C5 服务范围与路网均衡性	1-5分	效益型 (+)	专家评分,评价覆盖范围及路网优化作用
环境性	C4 通航与景观影响	1-5分	效益型 (+)	专家评分,评价通航安全及景观风貌影响

(二) 熵权-TOPSIS模型构建

鉴于各评价指标既有定量数据又有定性评分,且单一主观赋权可能存在偏差,本文引入熵权法对指标进行客观赋权,结合TOPSIS方法进行综合排序。模型构建步骤如下:

(1) 决策矩阵构建与标准化

假设有 m 个方案, n 个评价指标,构建初始决策矩阵 $X = (x_{ij})_{m \times n}$ 。为消除量纲影响,对数据进行标准化处理得到矩阵 $Y = (y_{ij})_{m \times n}$ 。对于效益型指标:

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

对于成本型指标:

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

(2) 基于熵权法确定权重

计算第 j 项指标的信息熵 E_j :

$$E_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij} \quad (3)$$

其中 $p_{ij} = y_{ij} / \sum_{i=1}^m y_{ij}$ 。计算各指标的权重 w_j :

$$w_j = \frac{1 - E_j}{n - \sum_{k=1}^n (1 - E_k)} \quad (4)$$

(3) 计算加权规范化矩阵与理想解

构建加权矩阵 $Z = (z_{ij})_{m \times n}$, 其中 $z_{ij} = w_j \times y_{ij}$ 。确定正理想解

Z^+ 和负理想解 Z^- :

$$Z^+ = (\max z_{i1}, \max z_{i2}, \dots, \max z_{in}) \quad (5)$$

$$Z^- = (\min z_{i1}, \min z_{i2}, \dots, \min z_{in}) \quad (6)$$

(4) 计算相对贴近度

计算各方案到正理想解的欧氏距离 D_i^+ 和到负理想解的欧氏距离

D_i^- , 并计算相对贴近度 C_i :

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (7)$$

其中, C_i 值越大,表明方案越接近最优解,方案越优。

三、规划方案设计

针对飞云江大桥-甬台温高速飞云江特大桥段廊道的拥堵问题,本文提出三种具有代表性的规划思路作为备选方案,如表2。

表2: 三种规划方案主要技术经济指标对比

方案	核心措施	投资成本 (亿元)	拆迁规模 (m ²)
A1	原位改造拓宽	17.4	20000
A2	市政化 + 远期隧道	21.9	16033
A3	差异化收费 + 中期隧道	17.7	23560

(一) 原位改造拓宽方案

该方案着眼于挖掘既有设施潜力,核心措施是对老104国道飞云江大桥进行原位扩建。该方案能够充分利用现有桥梁资源,避免新建通道带来的选址难题,然而,飞云江大桥北岸通过老城区,沿线建筑密集,拆迁难度极大,涉及大量居民搬迁和商业补偿,并且原位改造对路网结构的优化作用有限,无法从根本上解决通道布局不均衡的问题。

（二）高速公路市政化利用方案

该方案核心措施是对甬台温高速飞云江特大桥进行市政化改造，通过政府购买服务或资产回购方式，使其承担城市内部过江功能。市政化后，该通道可解决行人和非机动车过江问题，优化南北市政路网连接。然而，甬台温高速飞云江特大桥与飞云江大桥通道间距过密，对拥堵最严重的飞云江大桥分流作用有限。更为重要的是，单纯依靠市政化无法满足远期交通需求，必须在远期叠加建设邮电－云龙路过江隧道，因此总规划成本在三个方案中最高。

（三）差异化收费结合中期隧道方案

该方案采用“软硬结合”的策略，近期通过财政补贴实施甬台温高速差异化收费，引导部分车流改道，缓解近期拥堵；中期重点推进“花园路－从化路”过江隧道的建设。隧道方案能够有效避开地面拆迁难点，服务范围覆盖两岸高密度开发区，能够显著优化路网结构均衡性。但是初始建设投资较大，且隧道运营维护成本高于桥梁。

四、实证分析

基于相关工程可行性研究数据，构建包含三个备选方案的原始决策矩阵。为确保比选的公平性，各方案均采用“达到既定远期规划目标”的总投资额进行核算。各方案的具体量化数据如表3所示。

为确保评价口径一致，方案 A2 采用了包含远期隧道建设的全生命周期成本，修正了其“低成本”的表象。基于 2045 年供需预测模型，得到各方案预测分流值。征拆规模数据来源于工程可行性研究估算。对于定性指标，依据前述评分标准进行量化。

表 3: 瑞安市飞云江过江通道规划方案评价原始数据矩阵

指标代码	指标名称	优化方向	方案 A1(原位改造)	方案 A2(市政化 + 远期隧道)	方案 A3(差异化收费 + 隧道)
C1	规划总投资 (亿元)	Min	17.4	21.9	17.7
C2	交通分流能力 (pcu/d)	Max	15000	8000	32000
C3	征拆建筑面积 (m ²)	Min	20000	16033	23560
C4	通航与景观影响 (1-5)	Max	3	5	5
C5	服务范围评分 (1-5)	Max	4	3	5

（一）熵权计算结果

对数据进行归一化处理，并采用熵权法计算各指标的客观权重，如表 4 所示。

计算结果显示，交通分流能力 (C2) 的权重最高，达 24.45%，表明各方案在该指标上的差异度最大，是影响决策的核心因子。

表 4: 指标熵值与权重计算结果

指标	信息熵值 (E _j)	差异系数 (E _j)	客观权重 (W _j)
C1 投资成本	0.824	0.176	0.1759
C2 分流能力	0.755	0.245	0.2445

指标	信息熵值 (E _j)	差异系数 (E _j)	客观权重 (W _j)
C3 征拆规模	0.796	0.204	0.2039
C4 通航影响	0.824	0.176	0.1756
C5 服务范围	0.800	0.200	0.2001

（二）TOPSIS 综合评价结果

各方案的欧氏距离及相对贴近度计算结果如表 5 所示。从整体排序来看，方案 A3 优势较为明显。该方案在兼顾各项指标的均衡性方面表现最优，最接近系统的理想状态。

表 5: 方案综合评价结果

方案	正理想解距离 (D _i ⁺)	负理想解距离 (D _i ⁻)	相对贴近度 (C _i)	最终排序
A3(差异化 + 隧道)	0.063	0.122	0.660	1
A1(原位改造)	0.108	0.088	0.450	2
A2(市政化利用)	0.115	0.085	0.427	3

（三）结果讨论与深度分析

本研究的 TOPSIS 评价结果验证了方案 A3（差异化收费 + 中期隧道）作为最优解的合理性。熵权法识别出交通分流能力是区分度最高的指标，权重最高，而方案 A3 恰在此核心指标上展现出对其他方案的压倒性优势。尽管其征拆规模略大，但在巨大的功能效益面前，这一劣势被有效稀释。这种“功能效益主导、环境效益加持”的特征，使其成为破解飞云江过江瓶颈的最优路径。

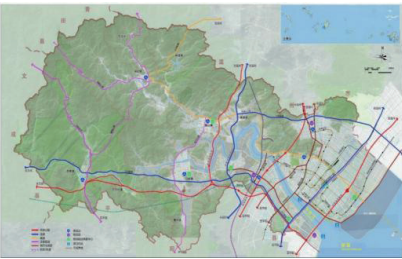


图 2 瑞安市域综合交通规划图 (2017-2035)

五、结语

本文建议瑞安市相关部门采纳方案 A3 作为实施路径，并采取分阶段推进策略。近期应优先落实甬台温高速瑞安段的差异化收费补贴政策，利用财政杠杆快速引导过境交通向高速分流，以较低的经济成本缓解飞云江大桥的近期通行压力。中期则应加快推进花园路－从化路过江隧道的前期立项与工程设计，鉴于隧道工程对两岸接线要求较高，建议同步优化北岸花园路与南岸从化路的网格化道路衔接，确保通道建成后能迅速发挥效能。

参考文献

[1] 杨振琰, 黄文成, 法慧妍, 等. 基于 Kolmogorov 熵权的城市轨道交通网络节点重要度识别算法 [J]. 交通运输工程与信息学报, 2024, 22(01): 139-149.

[2] 李雯. 基于改进熵权 TOPSIS 的合肥物流产业竞争力评价 [J]. 科技和产业, 2023, 23(19): 80-84.

[3] Huang W, Shuai B, Sun Y, et al. Using entropy-TOPSIS method to evaluate urban rail transit system operation performance: The China case [J]. Transportation Research Part A, 2018, 111: 292-303.