

doi: 10.3969/j.issn.1672-6073.2025.03.003

基于网络层次分析法的城市轨道交通 近期建设项目选择评价模型

赵倩¹, 范雪岩², 田理¹

(1. 成都轨道交通集团有限公司, 成都 610041; 2. 中国地铁工程咨询有限责任公司, 北京 100037)

摘要: 针对大型城市的城市轨道交通建设规划项目比选困难的问题, 基于网络层次分析法构建城市轨道交通近期建设项目选择评价模型。从政策要求和相关利益主体的诉求出发, 提出与城市协调情况、社会影响、建设实施成本效益、建成后交通效果以及网络服务提升情况 5 个评价准则, 进一步细化为 9 项评价指标。以某城市为案例对评价模型进行验证。评价模型的技术路线符合城市轨道交通建设规划项目选择的决策逻辑。评价模型的输入数据均为建设规划阶段可获取的数据, 评价模型的输出结果可直观反映备选项目排序优先级。

关键词: 城市轨道交通; 建设规划; 项目选择; 网络层次分析法

中图分类号: U231

文献标志码: A

文章编号: 1672-6073(2025)03-0020-07

Evaluation Model of Short-term Urban Rail Transit Construction Project Selection Based on Analytic Network Process

ZHAO Qian¹, FAN Xueyan², TIAN Li¹(1. Chengdu Rail Transit Group Co., Ltd., Chengdu 610041;
2. China Metro Engineering Consulting Corporation, Beijing 100037)

Abstract: To address the difficulty in selecting urban rail transit projects in large cities, a model for evaluating the selection of urban rail transit construction projects was constructed based on the analytic network process (ANP). Based on the policy requirements and the demands of relevant stakeholders, five evaluation criteria are proposed: urban coordination, social impact, construction implementation cost-effectiveness, post-construction traffic effects, and network service improvement. These criteria are further refined into nine evaluation indicators. An evaluation model operation platform was constructed, and the evaluation model was verified using a city in Southwest China as a case study. The technical route of the evaluation model conforms to the decision-making logic for selecting urban rail transit construction planning projects. The input data of the evaluation model are all data that can be obtained during the construction planning phase. The output results of the evaluation model can intuitively reflect the priority ranking of the candidate projects.

Keywords: urban rail transit; construction planning; construction project selection; analytic network process (ANP)

收稿日期: 2024-08-02 修回日期: 2025-02-25

第一作者: 赵倩, 女, 硕士, 经济师, 从事城市轨道交通规划设计管理工作, 1249136451@qq.com

通信作者: 范雪岩, 男, 硕士, 工程师, 从事城市轨道交通线网规划及建设规划咨询工作, isiahyx@qq.com

基金项目: 成都轨道交通集团有限公司“十四五”科研项目计划第一期项目(2021年)

引用格式: 赵倩, 范雪岩, 田理. 基于网络层次分析法的城市轨道交通近期建设项目选择评价模型[J]. 都市轨道交通, 2025, 38(3): 20-26.

ZHAO Qian, FAN Xueyan, TIAN Li. Evaluation model of short-term urban rail transit construction project selection based on analytic network process[J]. Urban rapid rail transit, 2025, 38(3): 20-26.

0 引言

城市轨道交通建设周期长、成本高，如何科学选择城市轨道交通建设项目一直是专家学者的研究重点。美国都市交通公共管理局^[1-2]采用成本量化为主的方式对轨道交通项目建设进行评估，形成了定量项目评价规则；GERCEK等^[3]采用层次分析法对备选建设方案进行评价；陈启新^[4]提出城市公共交通线路评价的准则：普遍性、服务的连续性、经济性以及客流均匀性，在我国目前的轨道交通项目规划及建设方案评价中得到广泛应用；成华^[5]参考线网合理规模的确定方法，提出考虑外部性成本的资金控制法匡算轨道交通近期建设规模；郭延永等^[6]、罗望等^[7]构建基于TOPSIS模型的城市轨道交通建设时序确定方法；何肖^[8]利用成本收益分析法对线网修编过程性评价中形成的备选方案进行综合比选；温素华等^[9]利用POI大数据对轨道交通的现状服务效益进行分析，辅助决策线网中各线路的建设时序；陈楷^[10]基于VIKOR算法在规划线网中进行建设时序分析。

综上所述，在城市轨道交通建设项目选择方面，目前研究重点集中于从线网评价的角度分析建设时序，或是以经济效益作为轨道交通项目是否应当建设的判断标准，而立足城市轨道交通建设规划的项目选择理论尚未引起研究人员的重视。目前，我国建设规划在实际编制和申报过程中，主要从项目发展的紧迫性、必要性等方面定性地分析项目选择方案。但随着网络复杂度提升以及政策管控精细化，城市轨道交通新建项目选择的难度显著提升，亟待构建一个立足城市轨道交通建设规划项目、科学可实践的项目选择评价体系。

文章分析了影响城市轨道交通近期建设项目选择的相关因素，提出采用网络分析法作为近期建设项目选择评价方法，搭建了轨道交通建设规划项目选择评价技术模型。

1 建设规划项目选择评价方法

1.1 项目后评价差异与项目选择评价

项目后评价是指对已经完成的项目或规划的目的、执行过程、效益、作用和影响所进行的客观分析。而项目选择评价是在项目规划阶段，对待建备选项目进行横向对比的过程。项目选择评价本质是在建设规划阶段，对一系列潜在轨道交通建设项目的建设紧迫程

度进行评价并排序的过程，其特点是立足规划阶段，充分考虑轨道交通项目的内部收益及公共属性，统筹比选确定备选项目的必要性、紧迫性。

1.2 评价方法比较

城市轨道交通建设规划是我国城市轨道交通项目建设过程中的一个特殊规划阶段，由地方相关主管部门组织编制规划，筛选研究近期拟建项目并报国家有关部门审批。充分考虑城市轨道交通建设规划阶段项目选择的实际需求，评价方法应满足以下条件：①能统筹处理量化和非量化指标；②能统筹处理较为复杂且具有一定相关性的评价指标；③评价过程应具有逻辑追溯机制；④评价指标应在建设规划阶段可获取；⑤评价方法应具备可操作性。

评价方法主要有量化评价法、层次分析法、模糊分析法、神经网络分析、网络层次分析法等。各项评价方法的优劣势对比如表1所示。

表1 不同评价方法优劣势对比

Table 1 The strengths and weaknesses of different evaluation methods

方法	优势劣势	项目选择评价适用性
定量分析法	优势：分析过程客观、简明； 劣势：无法分析定性因素	适用性一般。无法考虑政策导向、发展战略等定性因素
层次分析法	优势：综合评价分析； 劣势：评价指标较多时效果不佳，权重具有主观性	适用性低。评价指标较多时评价效果不佳，指标权重相对主观
模糊分析法	优势：改善了层次分析法，在层次结构多、评价指标较多时，指标权重判断更加可靠； 劣势：权重具有主观性	适用性一般。评价指标具有相关性时效果不佳，指标权重相对主观
神经网络分析法	优势：无需事前揭示被解释变量与解释变量间的映射关系； 劣势：依赖大量既有数据进行训练，分析过程中逻辑支撑不足	适用性低。既有项目训练结果不一定适合待建项目评价，且无法追溯评价指标对结果的影响机制
网络层次分析法	优势：改善层次分析法，考虑了影响因素间的反馈，适用于多目标、多影响因素评价； 劣势：指标影响关系及程度判断具有一定主观性	适用性较高。能较好适用于项目选择评价，但需注意指标权重具有一定主观性

经过梳理，网络层次分析法是一种定性定量结合的综合评价方法，可以处理评价指标之间的相关关系，且分析过程具有可追溯逻辑支撑。因此推荐采用网络层次分析法构建城市轨道交通建设规划项目选择评价模型。

1.3 网络层次分析典型结构

网络层次分析法首先将系统元素划分为两类：第一类称为准则层，准则均被认为是彼此独立的，且只受目标元素支配；第二类为指标层，由所有受控制层支配的元素组成，元素之间互相依存、互相支配，元素和层次间内部不独立，如图 1 所示。

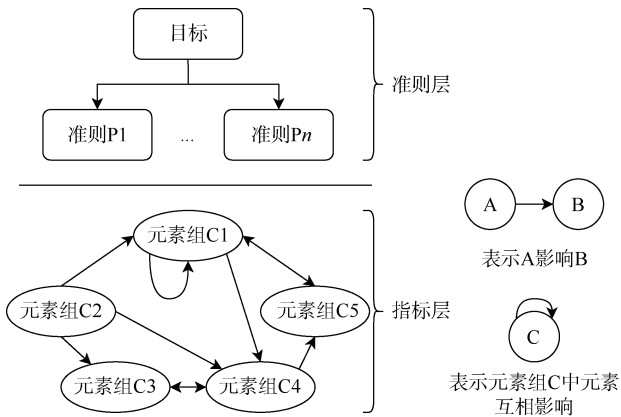


图 1 网络层次分析法典型结构模型

Figure 1 The structural model of the analytic network process

2 评价指标的确定

根据网络分析法评价指标的构建要求，需要分三步构建评价体系：第一步为构建准则层；第二步为构建具体指标层；第三步为确定评价指标影响关系。其中，准则层是评价模型的不同分析维度，指标层是准则层下可测度、可观察的具体指标。

2.1 构建评价模型准则层

城市轨道交通作为城市基础设施，在规划、建设及运营管理过程中与多个群体具有利益相关性。同时，城市轨道交通的公益属性决定了其建设规划具有政策导向性。在确定项目选择评价模型准则层时，要考虑利益相关主体的诉求及国家政策的要求。

2.1.1 利益相关主体视角

城市轨道交通规划、建设及运营管理等过程中与政府、建设主体、运营主体、乘客、城市居民等多个主要群体具有相关利益关系。其中，地方政府主要关注轨道交通对城市发展的支撑；建设主体重点聚焦城市轨道交通建设过程；运营

主体重点聚焦城市轨道交通建成后的运营维持；乘客重点关注在轨道交通建成后的交通效果和乘坐体验；城市居民重点关注轨道交通对自身带来的潜在的正面、负面影响。

2.1.2 政策及审批要求视角

国家相关政策^[11-12]对建设规划项目选择提出了明确要求：应与城市空间发展战略匹配；应与城市实际交通需求相匹配；应具有综合开发效益；客流效果良好；与城市交通枢纽形成良好衔接；应确保建设方案合理可行等。此外，我国现行的建设规划审批体系可分为主报告、环境影响评价、社会稳定性影响评价 3 条纵向脉络，分别重点考量项目的经济及功能性、环境影响程度、社会舆论影响程度。

从国家相关政策、审批要求以及利益相关主体的综合视角梳理，可将建设规划项目选择评价模型准则层归纳为城市协调、社会影响、建设实施效益、交通效果、网络服务 5 个层面，如图 2 所示。

2.2 评价模型指标层

2.2.1 城市协调层

城市协调层面主要的评价指标有 3 项。

1) 城市空间战略匹配性，即城轨交通线路走向与现阶段城市重点发展策略的契合程度。该指标为定性指标，由专家根据城市发展策略评价打分得出，评分依据如表 2 所示。

2) 线路新增人口岗位覆盖，指线路两侧 1 000 m 范围内覆盖的居住人口与就业岗位密度，通过手机信

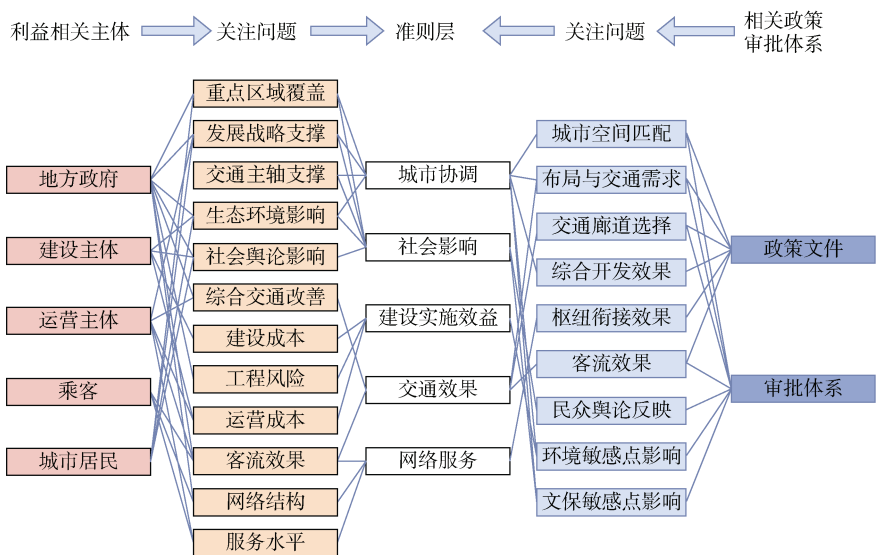


图 2 评价模型准则层

Figure 2 The cluster of the evaluation model

表2 城市空间战略匹配性评分依据

Table 2 Scoring basis for urban space strategy matching

分值	评价	评分依据
0.8~1	较优	线路支撑核心组团且位于骨干廊道,或线路为多层次网络中关键快线
0.6~0.8	良好	线路支撑重点发展组团且位于骨干廊道
0.4~0.6	中等	线路位于非骨干廊道但可支撑重点发展组团
0~0.4	差	线路位于非骨干廊道,未能支撑重点发展组团

令数据处理得到,该指标为定量指标。为保证模型精准性,备选项目应选择同一时段、同一运营商的手机信令数据,且应根据人口统计数据数据进行校核。

3) 线路对文保环境影响,即城市轨道交通线路对城市自然景观、城市生态环境、城市文物古迹的影响程度。该指标为定性指标,评分依据如表3所示。

表3 线路对文保环境影响评分依据

Table 3 Scoring basis for environmental impact

分值	评价	评分依据
0.8~1	影响极低	对陆域水体、生态环境保护区、文物保护单位等环境敏感单位基本无影响
0.6~0.8	影响较低	涉及3处以内陆域水体、生态环境保护区、文物保护单位等,影响可控
0.4~0.6	影响中等	涉及3处及以上陆域水体、生态环境保护区、文物保护单位等,影响可控
0~0.4	影响较大	对1处以上敏感单位存在较大直接影响

2.2.2 社会影响层

社会影响层设置1项评价指标,即民众对轨道交通支持程度。该指标为定性指标,由专家根据舆情及民众意见进行评分,评分依据如表4所示。

表4 民众对轨道交通支持程度评分依据

Table 4 Scoring basis for public support

分值	评价	评分依据
0.9~1	支持程度高	社会舆情正面,群众对项目建设整体意愿及需求较为强烈
0.5~0.9	支持程度较高	社会舆情正面,群众对项目建设整体呈现支持态度
0.5	支持程度中性	线路无较大的正面或负面社会舆情影响,整体舆情偏中性
0.1~0.5	支持程度较低	社会舆情负面,群众对项目建设整体呈现反对态度
0~0.1	支持程度低	社会舆情负面,群众对项目建设整体意愿较为抵触,呈现非常反对态度

2.2.3 建设实施效益层

建设实施效益层设置1项评价指标,即单位线路长度建设运营开发净成本。该指标为定量指标,通过建设规划投融资估算得到。

2.2.4 交通效果层

交通效果层设置2项评价指标,该指标均为定量指标,通过建设规划客流预测得到。

1) 线路客流密度,其为城市轨道交通线路客运周转量与该线路长度之比。

2) 线路出行方向一致性,其为线路两侧1 km 范围覆盖的出行 OD 总量与线路长度之比。

2.2.5 网络服务层面

网络服务层设置2项评价指标:

1) 多层次网络结构功能完善,即线路建成后多层次网络的衔接改善。该指标为定量指标,以单位线路长度所衔接的重大交通枢纽的数量表示。

2) 单位线路长度换乘量。该项指标反映线路在网络中与其他线路的交互情况,为定量指标。

综上所述,经过梳理分析筛选形成5项准则层及9项具体评价指标,如表5所示。

表5 评价指标梳理

Table 5 Combing of evaluation indicators

序号	准则层	指标层	指标类型	数据来源
Z1	城市协调	城市空间战略匹配性	定性	专家评分
Z2		线路新增人口岗位密度	定量	手机信令数据
Z3		线路对文保环境影响	定性	专家评分
Z4	社会影响	民众对轨道交通支持程度	定性	舆情评估、专家评分
Z5	建设实施效益	单位线路长度建设运营开发净成本	定量	投融资估算
Z6	交通效果	线路客流密度	定量	客流预测
Z7		线路出行方向一致性	定量	客流预测
Z8	网络服务	多层次网络完善	定量	公开统计资料
Z9		单位线路长度的换乘量	定量	客流预测

2.3 评价指标影响关系

网络层次分析法的重要特点是梳理评价指标之间的影响关系,并通过评价指标彼此的影响关系和影响程度计算各个评价指标在整个评价体系中的权重。

将评价指标两两对比,逐一分析某一评价指标变化是否会对其他评价指标产生影响,评价模型中评价指标之间的影响关系如表6所示。

3 项目选择评价模型

轨道交通建设规划项目选择评价模型可分为输入模块、网络层次分析模块和输出模块3部分。

3.1 输入模块

输入模块实现从项目库中自动化逐一输入项目的

评价指标参数并进行数据核验。

表 6 评价指标影响关系分析

Table 6 The impact relationship of evaluation indicators

	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9
Z1		√	√	√	√	√	√	√	
Z2	√		√	√	√	√	√		
Z3				√	√				
Z4		√	√		√				
Z5	√	√	√	√		√	√	√	√
Z6		√		√	√			√	
Z7		√		√	√	√			
Z8	√			√	√	√	√		
Z9				√	√	√	√		

注：表中顶部 Z1~Z9 为受影响指标，左列 Z1~Z9 为可能引起顶部指标变动的因素指标。√表示所在行因素的变化会引起所在列因素的变化。

3.1.1 输入建设规划备选项目的指标评分

定量指标在获取数据后利用最小最大归一化法对将定量指标数值映射至 0 到 1 区间。定性指标的评分应由专家小组严格按评价标准进行打分，取专家小组的平均值作为输入评分。

3.1.2 评价指标间影响程度

不同城市的轨道交通发展阶段及社会经济情况不同，评价指标间影响程度存在差异。需要由熟悉该城市发展特征的专家小组依据该城市的实际情况，按表 6 的评价指标影响关系进一步打分确定评价指标彼此间的影响程度。采用两两优势度比较法，具体打分流程如下：

1) 构建优势度对比矩阵。根据表 6 逐一梳理每个评价指标在不同准则层的影响指标并按准则层分别构建优势度对比矩阵，利用 1~9 赋分法判断定量两两因素的重要度。例如 Z4 指标在城市协调准则层中受 Z1、Z2、Z3 影响，则构建 Z4 指标在城市协调层中的 3×3 优势度对比矩阵。若矩阵中元素 a_{ij} 为 1 表示 $i、j$ 元素对 Z4 的影响程度基本一致，若矩阵中元素 a_{ij} 为 9 表示 i 元素对 Z4 的影响程度远大于 j 元素对 Z4 的影响程度。

2) 一致性检验。优势度对比矩阵均应通过一致性检验。判断指标 CI 计算式为

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

式中， λ_{\max} 为优势度对比矩阵最大特征根； n 为优势度对比矩阵的阶数。一致性指标 CI 与该阶数的平均随机

一致性指标 RI 的比值记为 CR ， $CR < 0.1$ 时一般可认为通过检验。平均随机一致性指标如表 7 所示。

表 7 平均随机一致性指标

Table 7 Average random consistency index

阶数	1	2	3	4	5	6	7
RI	0	0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35

3) 构建初始判断矩阵。计算优势度对比矩阵的归一化特征向量，组成初始判断矩阵，矩阵中的 i 行 j 列元素为第 i 项指标对第 j 项指标的影响特征值。将初始判断矩阵输入模型。

3.2 网络层次分析模块

实现各项目综合评分的快速计算，主要包括 2 部分计算内容：

1) 求解评价指标权重。将初始判断矩阵归一化，对矩阵每列进行归一化处理使得每列元素之和为 1，得到加权矩阵。将加权矩阵求解极限，得到列向量即为影响因素的权重向量。网络层次分析具有较成熟的求解过程及方法^[13]，具体求解过程不再赘述。

2) 计算各线路的评分。利用输入模块中的指标评分以及评价指标权重，逐一计算各项目综合评分。

3.3 输出模块

实现 2 项输出功能：①评分输出，依据项目综合评分对备选项目进行排序，输出各项项目的综合评分；②评分可视化，绘制项目指标评分热力图，可辅助使用者直观地分析各项目各项评价指标的评分情况。

4 案例研究

4.1 项目背景

以某城市近期建设规划编制为例，截至 2023 年底，该市形成“环+放射”的城市轨道交通网络。经梳理，该市轨道交通网络还存在如下主要问题：①客流需求内高外低，核心区存在供给缺口；②轴向线路长距离平行，缺少切向衔接，市域快线未与轨道交通快线搭接；③部分运营保障设施难以满足需求。在此背景下，提出“老城核心提质，网络功能补强，重点区域覆盖，四网融合提升”的新一期建设规划项目选择评价原则。

4.2 评价模型应用

4.2.1 备选项目评分输入

根据该市线网规划，在建项目建成后尚未实施的线路(区段)共有 30 个。进一步对 30 个项目筛选，得

到符合政策申报条件、工程方案可行性较高的线路(区段)共有 18 个。将备选项目库中各线路各项评价指标评分数值输入评价模型, 备选项目基本情况如表 8 所示。

表 8 备选项目基本情况(节选)

Table 8 Basic information on alternative projects (excerpts)

序号	项目名称	覆盖区域	功能概况
1	2号线三期	中心城西北片区	缓解既有拥堵
2	4号线四期	中心城西片区	带动外围片区发展
3	5号线三期	新区	支撑特定功能区开发
4	6号线四期	中心城西北片区	外围片区改善提升
5	8号线三期	中心城西片区	外围片区改善提升
6	9号线二期	10~15 km 圈层	改善网络结构, 带动圈层发展

4.2.2 评价指标影响关系输入

结合该市国土空间总体规划、近期城市建设重点以及新一期建设规划项目选择原则, 对本案例的评价指标间影响因素权重进行研判分析, 经过专家组讨论, 最终计算得到网络层次分析法权重。评价指标数据来源及评价指标最终计算权重如表 9 所示。

表 9 西南某城市网络层次分析法权重参数

Table 9 Analytic network process weighting parameters in the southwest city case

指标	数据来源	权重
Z1	根据国土空间规划、城市近期发展规划, 由专家组评分后取平均值	0.159 445
Z2	根据手机信令数据处理, 利用 2023 年 3 月联通公司 250 m×250 m 栅格数据扩样得到	0.198 256
Z3	根据建设规划环境影响评价专题、历史文化名城保护专题, 由专家组评分后取平均值	0.022 524
Z4	根据建设规划社稳评价专题、人大代表意见, 由专家组评分后取平均值	0.107 547
Z5	根据建设规划投融资专题计算	0.168 447
Z6	根据建设规划客流预测专题计算	0.088 175
Z7	根据建设规划客流预测专题计算	0.109 259
Z8	根据城市轨道交通公开资料得到	0.058 505
Z9	根据建设规划客流预测专题计算	0.087 842

4.2.3 评价模型输出

根据网络层次分析得出的评价指标权重以及各线路的评价指标评分数值, 可计算各项目的综合评分。经与该市实际建设规划申报项目分析进行对比, 评价模型得出的排序结果与该领域专家一致认可的建设紧迫程度基本吻合, 充分契合了项目选择原则。说明评价模型能在既有网络规模大、建设目标综合多样、备

选项目多的背景条件下, 较好地判断备选项目的重要程度。评价模型输出的评分可视化如图 3 所示。

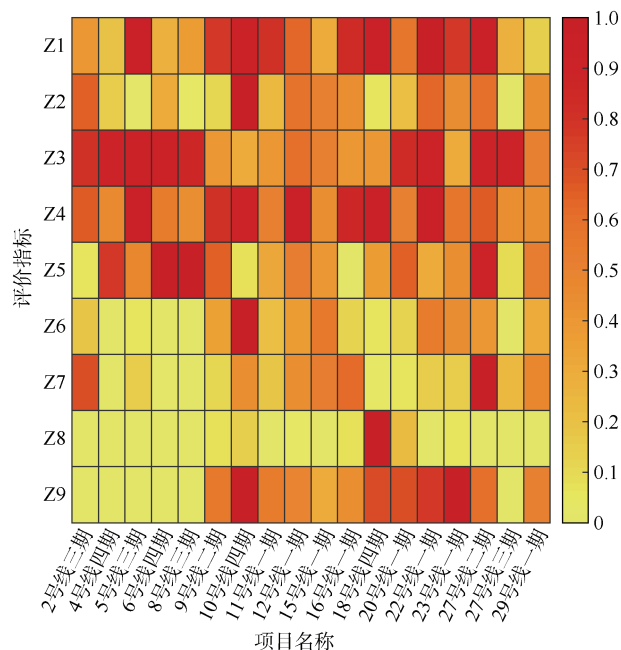


图 3 某城市备选项目评分情况可视化示意

Figure 3 Visualization of the scores in the southwest city case

4.2.4 评价结果分析

根据评价模型结果, 评分较高的项目具有以下共同点: ①项目匹配城市近期发展重点, 线路可以较稳定的土地开发支撑, 有持续增长的客流预期; ②项目周边具有成熟的人口岗位基础; ③项目具有补齐网络功能短板或强化交通主轴的功能; ④有较强的民众支持意愿。

评分中等的线路普遍存在以下一个或多个问题: ①线路较长, 线路的一部分位于待开发区域, 整体功能效果不突出; ②线路与既有线路走向重合、功能定位相近; ③线路对网络改善提升的贡献度一般。对于较长的线路, 建议对线路进行合理分期, 优先建设客流效益较高的区段, 后续择机进行延伸; 对于与既有线路走向重合及网络功能提升一般的线路, 建议结合城市国土空间规划, 从线网规划层面调整优化线站位及线路功能。

评分较低的线路具有以下共同点: ①线路周边人口岗位密度较低; ②线路对网络结构改善提升贡献度较低; ③线路周边土地开发强度较低。对于评分较低的线路, 建议待周边土地开发相对成熟后再考虑建设实施, 同时结合实际客流情况合理确定系统制式及敷设方式。

5 结论与展望

5.1 研究结论

1) 从国家相关政策、建设规划审批要求以及利益相关主体的综合视角进行分析,城市轨道交通项目建设的紧迫程度可从与城市协调情况、社会影响、建设实施成本效益、建成后交通效果、网络服务提升情况5个维度展开评价。

2) 评价模型利用建设规划阶段可获取的数据,评价输出结果可直观反映备选项目排序优先级。经案例验证,评价模型可以较好地体现近期建设项目选择思路。

3) 案例中评分较高线路的共同特征是覆盖较高的人口岗位、能够补齐既有网络功能短板;评分较低线路的共同特征是位于外围区域、覆盖人口岗位偏低。案例分析表明,在一定规模的存量网络背景下,建设规划项目选择中应优先考虑可改善提升既有网络功能的线路,重点关注线路的人口岗位覆盖情况,并应审慎考虑与既有线路定位相近、位于重点发展区域边缘的线路。

5.2 展望

1) 提高建设规划项目分期分段的合理性。建设规划项目分段是评价模型的输入条件,分期分段方案对参评项目的指标数据有明显的影响,项目分期的合理与否对评价结果有着重要影响。

2) 受限于数据获取成本及方案可实践性,评价模型是对线路进行横向比选。随着未来数据获取及计算方法的提升,可考虑对近期建设项目的线路组合方案进行比选。

参考文献

[1] UMTA. Major urban mass transportation investments[R]. Washington: UTMA, 1976.

[2] UMTA. Urban mass transportation major investments policy[R]. Washington: UMTA, 1984.

[3] GERÇEK H, KARPAK B, KILİNCASLAN T. A multiple criteria approach for the evaluation of the rail transit networks in Istanbul[J]. Transportation, 2004, 31(2): 203-228.

[4] 陈启新. 城市公共交通线路网的规划与评价[J]. 城市公共交通, 2000(6): 18-19.
CHEN Qixin. Planning and evaluation of urban public transport network[J]. Urban public transport, 2000(6): 18-19.

[5] 成华. 城市轨道交通近期建设时序研究[D]. 成都: 西

南交通大学, 2010.

CHENG Hua. Study on the recent construction timing of urban rail transit[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2010.

- [6] 郭延永, 刘攀, 吴瑶. 基于累计前景理论的城市轨道交通建设时序[J]. 交通运输系统工程与信息, 2013, 13(4): 29-35.
GUO Yanyong, LIU Pan, WU Yao. Construction sequence of urban rail transit system based on cumulative prospect theory[J]. Journal of transportation systems engineering and information technology, 2013, 13(4): 29-35.
- [7] 罗望, 陈国强, 覃裔. 基于 TOPSIS-GRA 模型的轨道交通线网评价[J]. 综合运输, 2021, 43(7): 67-73.
LUO Wang, CHEN Guoqiang, QIN Yu. Evaluation of urban rail transit network based on TOPSIS-GRA model[J]. China transportation review, 2021, 43(7): 67-73.
- [8] 何肖. 城市轨道交通修编线网评价方法研究[D]. 上海: 同济大学, 2021.
HE Xiao. Research on Evaluation Method of Urban Rail Transit Modified Network[D]. Shanghai: Tongji University, 2021.
- [9] 温素华, 冯若潇. POI 大数据在城市轨道交通建设时序选择中的应用[J]. 综合运输, 2023, 45(6): 13-17.
WEN Suhua, FENG Ruoxiao. Application of POI big data in timing selection of urban rail transit construction[J]. China transportation review, 2023, 45(6): 13-17.
- [10] 陈楷. 基于 VIKOR 算法的城市轨道交通项目建设时序确定方法研究[D]. 石家庄: 石家庄铁道大学, 2022.
CHEN Kai. Research on the method of determining the construction time sequence of urban rail transit projects based on VIKOR algorithm[D]. Shijiazhuang: Shijiazhuang Tiedao University, 2022.
- [11] 国务院办公厅. 关于进一步加强城市轨道交通规划建设管理的意见[Z]. 北京: 国务院办公厅, 2018.
- [12] 国家发展和改革委员会, 住房城乡建设部. 关于印发《“十四五”城市轨道交通规划建设实施方案》的通知[Z]. 北京: 国家发展和改革委员会, 2021.
- [13] THOMAS L. Saaty. 网络层次分析法原理及其应用: 基于利益、机会、成本及风险的决策方法[M]. 鞠彦兵, 刘建昌译. 北京: 北京理工大学出版社, 2015.

(编辑: 傅依萱)