文章编号：1003-1421(2026)04-0106-09
引用格式：何静，李启航，李明辉，等. 基于Grey-DEMATEL-AISM的城市轨道交通PPP项目运营期绩效评价研究[J]. 铁道运输与经济，2026，48(4)：106-114.
HE Jing，LI Qihang，LI Minghui，et al. Performance Evaluation of Urban Rail Transit PPP Project during Operation Period Based on Grey-DEMATEL-AISM[J]. Railway Transport and Economy，2026，48(4)：106-114.

基于Grey-DEMATEL-AISM的城市轨道交通PPP项目运营期绩效评价研究

何　静[1]，李启航[1]，李明辉[2]，王冯媛[1]

(1.昆明理工大学 交通工程学院，云南 昆明　650500；2.中铁八局集团有限公司 昆明铁路建设有限公司，云南 昆明　650200)

摘　要：我国城市轨道交通PPP项目大多已完成建设期到运营期的转变，强调以运营为核心、以绩效为导向，促进企业可持续性发展。然而现有研究成果大多以构建评价指标体系为重点，缺乏对影响企业绩效的关键影响因素及其作用机理的研究。通过项目实践，运用Grey-DEMATEL模型以及熵权法，识别出影响城市轨道交通PPP项目的15个重要因素，进行因果分析、重要程度分析以及组合权重计算；并引入博弈对抗思想通过AISM模型对影响因素进行抽取分层，构建多层递阶的对抗解释结构模型，探究因素间的作用路径与关联性并可视化表达；研究表明，项目运营效益、财政绩效风险评价、年度客流增长率、运营管理能力、月度监控报表报送情况是影响企业绩效结果最为突出和关键的因素，以此帮助企业用更少的精力有针对性地加以改进，并为企业整改提出相应的对策建议。

关键词：绩效评价；城市轨道交通；关键影响因素；DEMATEL；AISM
中图分类号：U-9；F572　　**文献标识码**：A　　**DOI**：10.16668/j.cnki.issn.1003-1421.20240816002

Performance Evaluation of Urban Rail Transit PPP Project during Operation Period Based on Grey-DEMATEL-AISM

HE Jing[1]，LI Qihang[1]，LI Minghui[2]，WANG Fengyuan[1]

(1. College of Traffic Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, Yunnan, China; 2. China Railway No.8 Engineering Bureau Group Co., Ltd, Kunming Railway Construction Co., Ltd., Kunming 650200, Yunnan, China)

Abstract: At present, most of the urban rail transit PPP projects in China have completed the transformation from the construction period to the operation period. More emphasis is placed on operation as the core and performance as the guidance to promote the sustainable development of enterprises. However, most of the existing research results focus on the construction of evaluation index system, with a lack of studies on the key influencing factors and the mechanism of enterprise performance. Through project practice, the Grey-DEMATEL model and entropy weight method were employed to identify 15 important factors affecting urban rail transit PPP projects. The causal analysis, importance analysis and combination weight calculation were carried out. The game

收稿日期：2024-08-16　　**修订日期**：2025-11-23
通信作者：李启航(1999—)，男，北京人，昆明理工大学交通工程学院硕士研究生。
基金项目：国家自然科学基金项目(62362044)

confrontation idea was also introduced to extract and stratify the influencing factors through the AISM model. A multi-level hierarchical confrontation interpretation structure model was constructed to explore and visualize the action path and correlation between factors. The research shows that project operation benefit, financial performance risk evaluation, annual passenger flow growth rate, operation management ability and monthly monitoring report submission are the most prominent and key factors affecting enterprise performance results, so as to help enterprises improve with less effort and propose corresponding countermeasures and suggestions for enterprise rectification.

Keywords: Performance Evaluation; Urban Rail Transit; Key Influencing Factor; DEMATEL; AISM

0　引言

城市轨道交通项目政府和社会资本合作(PPP)模式，通过引入第三方社会资本进行投资和运营，以期实现“风险同担、利益共赢”[1]。然而，大多数社会资本方缺乏专业的运营经验，在城市轨道交通PPP项目的运作过程中经常会表现出“重建设、轻运营”导致社会资本长期运营责任的“虚化”问题。2023年11月8日，《关于规范实施政府和社会资本合作新机制的指导意见》(国办函〔2023〕115号)[2]对政府和社会资本合作新机制作了系统规范，并指出原PPP模式在发展运作过程中存在脱离初衷、管理混乱以及增加债务风险等问题，要求加强PPP新机制以运营为核心、绩效为导向的理念，按照规定开展绩效评价，建立更严格的考核机制。然而，项目绩效水平受到多方面因素影响，国内外学者对此也开展了多样化的研究。王银梅等[3]采用模糊综合评价法从财务、利益相关者、内部管理、可持续发展4个维度对城市轨道交通PPP项目进行评价，权衡PPP项目中的参与者利益。王亦虹等[4]运用文献勾选法从建设期和运营期2个角度对影响城市轨道交通绩效的因素进行筛选分析，得出支付便捷性和乘车方式完善是影响绩效结果的关键因素。Kesten等[5]提出以乘客为导向的绩效指标体系，运用转变后的POPIX概念来研究以乘客为导向的绩效监控。Fan等[6]运用神经网络验证了PPP模式在城市轨道交通项目中的适用性和必要性。

目前国内外学者的研究主要集中在对城市轨道交通PPP项目绩效影响指标的识别及指标体系的构建，但对指标之间的作用机理研究不够充分，缺乏对因素间相互作用的研究。同时，我国尚未形成一套规范、完整和客观的绩效评价指标体系，虽开展了绩效评价，但选取的评价指标繁多复杂，采取的评价标准与指标权重也有所差异。基于此，通过熵权灰色决策实验室法(Grey-DEMATEL)与对抗解释结构模型(AISM)结合建立模型，对影响因素之间的层级关系和因果关系进行研究，明确关键影响因素的层次结构，以及关键影响因素对绩效结果的作用路径，总结提取出影响绩效结果的关键因素。

1　城市轨道交通PPP项目绩效影响因素分析

依据集成主题“城市轨道交通”“PPP”“绩效”等关键词在中国知网、万方数据知识服务平台、Web of Science等文献网站上查阅与检索论文，对文献进行初步识别。随后通过回文定位、引文回溯等方法对文献进行筛选，并以相关度高、被引度高、影响因子高等标准，整合有效文献16篇用于提炼初始绩效影响因素，结合《关于规范实施政府和社会资本合作新机制的指导意见》提出的相关要求，从政府方和社会资本方的角度出发，通过专家访谈对指标选取进行修正，得到样本文献相关因素概念及转译集成如表1所示。

2　研究框架

2.1　Grey-DEMATEL理论

步骤1：利用灰色区间数构建具备强弱特点的灰色关联矩阵。邀请专家对影响因素进行打分，鉴于不同专家的工作年限、项目认知等经验差异，对影响因素之间的认知也存在偏差，因此，分配给每个专家打分的权重也有所不同，形成专家语义变量如表2所示。

步骤2：计算进行灰度处理后的灰色直接影响矩阵$\boldsymbol{Y}$。

$$\boldsymbol{Y}_{ij}^{n}=\frac{\underline{\oplus}\tilde{X}_{ij}^{n}\left(1-\underline{\oplus}\tilde{X}_{ij}^{n}\right)+\left(\bar{\oplus}\tilde{X}_{ij}^{n}\cdot\bar{\oplus}X_{ij}^{n}\right)}{1-\underline{\oplus}\tilde{X}_{ij}^{n}+\bar{\oplus}\tilde{X}_{ij}^{n}} \tag{1}$$

式中：$\boldsymbol{Y}_{ij}^{n}$为经过清晰化处理后的矩阵；n为专家数

表1　样本文献相关因素概念及转译集成

Tab.1　Concept and translation integration table of sample literature related factors

编号	因素	指标含义	来源指标及文献
F1	运营指标完成率	项目运营成功完成的运营计划占总计划的比例	运行图兑现率[7]、列车正点率[8]
F2	年度客流增长率	一年内的客运量相对于上一年客运量的增长比例	客流增长趋势[8]
F3	客运效率	单位能耗完成的载客数和运送里程的乘积	客座利用率[9]
F4	设施设备运行与维护效果	对各类设施设备进行维护确保其有效运行的结果	Acceptable quality of project[10]
F5	财政绩效风险评价	指轨道交通企业在拓宽经营渠道进行业务投融资等财政支出时所采取的财政审核和评估把关过程	严格控制财政支出[11]
F6	项目运营效益	项目通过有效的财务手段所产生的经济价值	成本效益评估[12]、社会资本运营能力[2]
F7	成本预算及控制	指在运营过程中，对项目所需成本进行合理预估和规划，并通过有效措施控制和监控成本的过程	运营成本节约率[13]、Construction & operation cost savings[10]
F8	运营安全效果	指轨道交通企业在运营过程中通过实施各项安全管理措施所取得的安全成效	人员安全意识事故[14]、运营安全事故率[15]
F9	制度体系建设	指轨道交通企业基于特定的管理目标和规范要求，系统性地构建各项制度规章，确保组织运作的有序高效	运营管理能力[16]、管理制度[17]
F10	项目满意度	主要包含社会公众与政府方对于项目的满意度	乘客满意度[18]、政府满意度[19]
F11	客运组织方案及保障	指在项目运营过程中，针对项目运营管理需求，制定合理的组织结构和方案，并提供必要的保障措施	运营方案[20]、轨道交通运营组织方案[21]
F12	运营管理能力	指轨道交通企业管理者和运营团队在规划、组织、控制项目日常运营活动中所具备的能力和技能	运营管理水平[22]、客运组织管理能力[13]、客运组织与服务管理效果[22]
F13	项目合同履约情况	指在项目运营过程中，社会资本方、项目运营方、政府方为了项目能够规范有序运作而应完成的职责	合同履约度[23]、政府履约[14]
F14	社会贡献	指轨道交通企业在运营中对当地社会产生的正向价值	Provide timelier and more convenient service for society[10]、社会效益[23]
F15	月度监控报表报送情况	指轨道交通企业向实施机构(如交通运输局)递送绩效监控报表的情况是否完善，能够体现工作进展计划与实际完成情况	加强项目周期管理[12]、全过程监管[14]

表2　专家语义变量

Tab.2　Expert semantic variables

专家灰色语义变量	灰数区间	专家权重语义变量	灰数区间	评价值
没有直接影响/不重要	[0，0]	不重要	[0，0.3]	0
有微弱影响/比较重要	[0，0.25]	比较重要	[0.3，0.5]	1
有中度影响/重要	[0.25，0.5]	重要	[0.4，0.7]	2
有较强影响/很重要	[0.5，0.75]	很重要	[0.5，0.9]	3
有很强影响/非常重要	[0.75，1]	非常重要	[0.7，1]	4

量；$\oplus x$为区间灰数，区间范围为[$\underline{\oplus} x$，$\overline{\oplus} x$]；$\underline{\oplus} \tilde{X}_{ij}^{n}$与$\bar{\oplus} \tilde{X}_{ij}^{n}$分别为经过清晰化处理过后得到的专家打分上、下限；$\otimes X_{ij}^{n}$为第$n$位专家认为城市轨道交通绩效影响因素$i$对$j$的评价值。

整合n位专家对影响因素打分的权重矩阵，即直接影响矩阵$\boldsymbol{M}$。

$$M_{ij} = w_1 M_{ij}^{1} + w_2 M_{ij}^{2} + \ldots + w_n M_{ij}^{n} \tag{2}$$

式中：M_{ij}为权重矩阵第i行第j列的元素；w_i为每位专家打分的权重，$\sum_{i=1}^{n} w_i = 1$。

步骤3：计算综合影响矩阵$\boldsymbol{T}$。

$$\boldsymbol{T} = [s(\min \otimes X_{ij}^{n} + \boldsymbol{Y}_{ij}^{n} \Delta_{\min}^{\max})]\boldsymbol{I} - [s(\min \underline{\otimes} X_{ij}^{n} + \boldsymbol{Y}_{ij}^{n} \Delta_{\min}^{\max})]^{-1} \tag{3}$$

式中：s为归一化系数；$\boldsymbol{I}$为单位矩阵；$\Delta_{\min}^{\max}$为第i个因素对第j个元素的影响程度在区间归一化下的最大和最小差值。

步骤4：计算影响度r_i、被影响度c_i、中心度M_i和原因度N_i与DEMATEL权重W_i。根据上述计算，采用行和累加的计算方式，得到对应的结果r_i和c_i，如公式(4)—(8)所示。

$$r_i = \sum_{j=1}^{n} t_{ij} \qquad i = 1，2，\cdots，n \tag{4}$$

$$c_i = \sum_{j=1}^{n} t_{ij} \qquad i = 1, 2, \cdots, n \tag{5}$$

$$M_i = r_i + c_i \tag{6}$$

$$N_i = r_i - c_i \tag{7}$$

式中：t_{ij}为综合影响矩阵T中第i行第j列的元素；r_i和c_i分别为综合影响矩阵T中第i行影响因素之和以及第i个因素对其他因素直接或间接的影响值。

DEMATEL法的权重W_i为中心度M_i和原因度N_i的几何计算结果。

$$W_i = \frac{\sqrt{M_i^2 + N_i^2}}{\sum_{i=1}^{n}\sqrt{M_i^2 + N_i^2}} \tag{8}$$

步骤5：计算客观综合权重，对评价指标标准化处理，计算各要素信息熵E_i和权重W_j，如公式(9)—(12)所示。

$$y_{ij} = \frac{a_{ij} - \min(a_{ij})}{\max(a_{ij}) - \min(a_{ij})} \tag{9}$$

$$p_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} y_{ij}} \tag{10}$$

$$E_i = -\frac{1}{\ln n}\sum_{i=1}^{n} p_{ij} \ln p_{ij} \tag{11}$$

$$W_j = \frac{1 - E_i}{\sum_{i=1}^{n} E_i} \tag{12}$$

式中：a_{ij}为第i个专家对第j个评价指标的评价值；p_{ij}为在第j个评价指标下，第i个样本的标准化值占比；E_i为第i个指标的信息熵；y_{ij}为经标准化处理的值；W_j为各指标的权重。

步骤6：计算组合权重，通过乘积组合法对得到的2个权重W_i和W_j进行赋权，得到组合权重G_j。

$$G_j = \frac{W_i W_j}{\sum_{i=1}^{n} W_i W_j} \tag{13}$$

2.2　AISM理论

对抗解释结构模型(AISM)是基于传统解释结构模型(ISM)，通过引入博弈对抗思想，在相反的层级抽取规则，析出最简层次的拓扑结构图，能够更明确反映指标层次间关系，其计算步骤如下。

步骤1：计算邻接矩阵$\boldsymbol{A}$。构建决策矩阵$\boldsymbol{D}_{n\times 2}$，通过对决策矩阵$\boldsymbol{D}$取偏序，规则如下：对于矩阵中任意2行$x$，$y$，有负向指标(数值越小越优，计作$p1$，$p2$，$\cdots$，$pm$)$\boldsymbol{d}_{(x,\ p1)} \geqslant \boldsymbol{d}_{(y,\ p1)}$，$\boldsymbol{d}_{(x,\ p2)} \geqslant \boldsymbol{d}_{(y,\ p2)}$，$\cdots$，$\boldsymbol{d}_{(x,\ pm)} \geqslant \boldsymbol{d}_{(y,\ pm)}$，反之则为正向指标，符合规则的，将要素$x$与要素$y$的偏序规则记作：$x \prec y$。由此有

$$\boldsymbol{D} = \left[\boldsymbol{d}_{ij}\right]_{n\times 2} \xrightarrow{\text{偏序规则}} \boldsymbol{A} = \left[a_{ij}\right]_{n\times n} \quad a_{ij} = \begin{cases} 1 & x \prec y \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \tag{14}$$

式中：$x \prec y$表示y的评价对象优于x的评价对象；$\boldsymbol{d}_{ij}$为影响因素中心度M_i和原因度N_i构建的二维矩阵；a_{ij}为邻接矩阵A中的元素，用来判别因素的优劣结果。

步骤2：计算可达矩阵$\boldsymbol{R}$。基于上述得到的邻接矩阵$\boldsymbol{A}$，将其加上单位矩阵$\boldsymbol{I}$得到相乘矩阵$\boldsymbol{B} = (\boldsymbol{A} + \boldsymbol{I})$，而后将矩阵$\boldsymbol{B}$自身进行多次逻辑乘运算(连乘或幂乘)，持续到计算结果不变后，得到可达矩阵$\boldsymbol{R}$。

$$\boldsymbol{R} = (\boldsymbol{A} + \boldsymbol{I})^{n+1} = \boldsymbol{A} + \boldsymbol{I} \neq (\boldsymbol{A} + \boldsymbol{I})^{n-1} \tag{15}$$

步骤3：计算一般性骨架矩阵$\boldsymbol{S}$。对可达矩阵$\boldsymbol{R}$进行缩点缩边运算，再以最简菊花链替代回路要素，求得一般性骨架矩阵$\boldsymbol{S}$。

$$\boldsymbol{S} = \boldsymbol{R} - (\boldsymbol{R} - \boldsymbol{I})^2 - \boldsymbol{I} \tag{16}$$

最终，通过对抗抽取方式得到UP/DOWN型要素的层级分布，Grey-DEMATEL-AISM模型流程框架如图1所示。

3　实例分析

依托项目研究，以昆明市轨道交通4号线为对象展开论述。昆明市轨道交通4号线于2020年9月23日开通初期载客运营，是财政部公示的第二批次国家级PPP示范项目之一，根据网上查阅该项目的历年绩效评价得分结果来看，项目尚处于运营初期，还存在一些运营工作的不足。本研究依托此项目，采取Grey-DEMATLE-AISM主客观评价结合的方式展开研究。

3.1　Grey-DEMATEL部分

采用德尔菲调查法邀请10位长期从事城市轨道交通PPP项目的专家对影响因素进行评价，考虑到不同专家在经验上的差异，因此赋予每位专家的打分权重也有所不同[24]，专家打分赋权表如表3所示。

通过公式(1)—(13)根据10位专家打分得到的结果进行运算赋权等处理后，得到城市轨道交通PPP项目绩效结果影响因素的关键程度如表4所示。

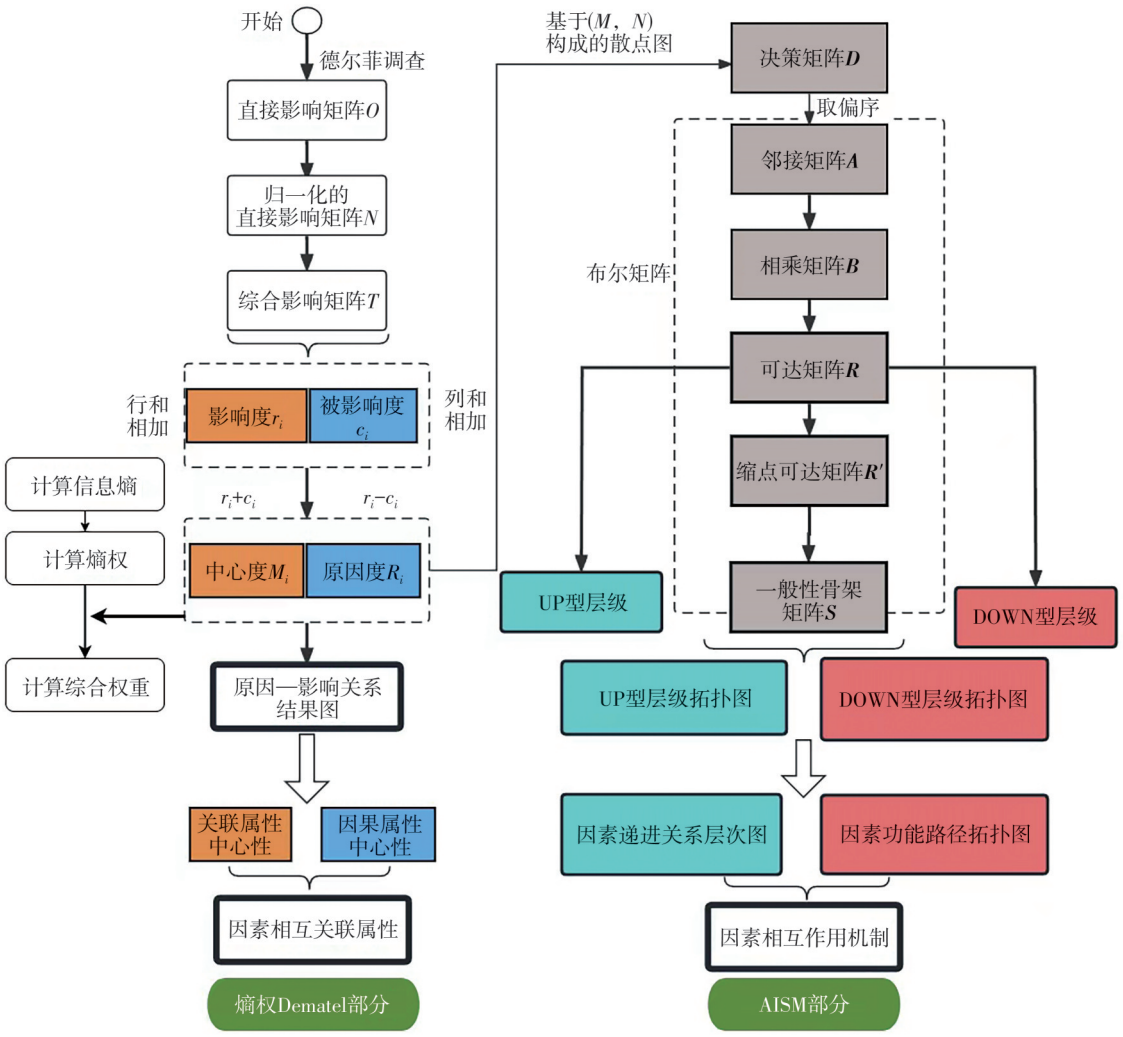

图1　Grey-DEMATEL-AISM模型流程框架

Fig.1　Grey-DEMATEL-AISM model process framework

表3　专家打分赋权表

Tab.3　Expert scoring weighting

单位性质	工作年限/a	人数	专家评价语义权重
城市轨道交通科研咨询单位	11~15	3	[0.7，1]
城市轨道交通科研咨询单位	6~10	1	[0.4，0.7]
城市轨道交通PPP项目公司	11~15	2	[0.5，0.9]
政府实施机构	2~5	2	[0.3，0.5]
高等院校	6~10	2	[0.4，0.7]

3.2　AISM部分

基于上述计算得到的中心度M_i和原因度的绝对值$|N_i|$构建决策矩阵D，对D取偏序运算后求得邻接矩阵A。而后，经过公式(14)—(15)的逻辑运算最终求得可达矩阵R如表5所示。

按照结果和原因优先的原则构建抽取集合，得到UP型DOWN型要素层级分布，抽取分层结果如表6所示。

运用公式(16)对计算结果进行缩点、缩边运算、菊花链代替后，求得一般性骨架矩阵，并依据结果绘制UP-DOWN型拓扑层级结构模型如图2所示。

3.3　Grey-DEMATEL分析结果

（1）中心度分析。中心度由大到小排序，前5位分别为项目运营效益(F6)、运营管理能力(F12)、财政绩效风险评价(F5)、月度监控报表报送情况(F15)、运营安全效果(F8)。轨道交通项目具有公益性特点，依靠票务运营收入难以弥补运营维护成本，因此更多依赖于项目公司自身的投融资管理，以此来获得额外的非客运服务收益，补足运营收益。

（2）原因度分析。排在前5位的原因因素分别为财政绩效风险评价(F5)、月度监控报表报送情况

表4　城市轨道交通PPP项目绩效结果影响因素的关键程度

Tab.4　Criticality of influencing factors of urban rail transit PPP project performance results

影响因素	影响度	被影响度	中心度	原因度	DEMATLE权重	熵权法权重	组合权重	排序	因素属性
运营指标完成率F1	0.805	1.096	1.901	−0.292	0.065	0.074	0.078	6	结果
年度客流增长率F2	0.860	1.399	2.259	−0.540	0.078	0.099	0.125	1	结果
客运效率F3	0.775	0.827	1.603	−0.052	0.054	0.102	0.089	3	结果
设施设备运行与维护效果F4	0.770	0.979	1.748	−0.209	0.059	0.065	0.062	8	结果
财政绩效风险评价F5	1.932	0.780	2.712	1.152	0.099	0.030	0.048	12	原因
项目运营效益F6	2.040	2.009	4.049	0.031	0.097	0.031	0.049	11	原因
成本预算及控制F7	1.359	0.971	2.330	0.388	0.079	0.057	0.073	7	原因
运营安全效果F8	1.507	1.116	2.623	0.390	0.089	0.053	0.076	5	原因
制度体系建设F9	0.864	0.797	1.661	0.067	0.056	0.059	0.053	10	原因
项目满意度F10	0.500	1.818	2.318	−1.317	0.054	0.062	0.054	9	结果
客运组织方案及保障F11	0.876	0.985	1.860	−0.109	0.060	0.118	0.114	2	结果
运营管理能力F12	1.915	1.657	3.573	0.258	0.054	0.028	0.024	15	原因
项目合同履约情况F13	0.425	1.363	1.787	−0.938	0.032	0.091	0.047	13	结果
社会贡献F14	0.924	0.516	1.441	0.408	0.030	0.087	0.042	14	原因
月度监控报表报送情况F15	1.727	0.966	2.693	0.762	0.094	0.044	0.067	4	原因

表5　可达矩阵*R*

Tab.5　Reachable matrix ***R***

因素	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15
F1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
F4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F5	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1
F6	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0
F7	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0
F8	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0
F9	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0
F10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
F11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
F12	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0
F13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
F14	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0
F15	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1

表6　抽取分层结果

Tab.6　Extraction and stratification results

层级	结果优先：UP型	原因优先：DOWN型
第1层	F1，F2，F4，F10，F11，F13	F10
第2层	F3	F1，F2，F3，F4，F13
第3层	F6，F7，F12	F6，F7，F11，F12
第4层	F8，F9，F14，F15	F15
第5层	F5	F5，F8，F9，F14

(F15)、社会贡献(F14)、运营安全效果(F8)、成本预算及控制(F7)。意味着项目运营方需要从这5项因素入手，有针对性地加强项目管理能力。结合中心度结果分析，轨道交通企业要想提高财政绩效，发挥运营积极性弥补财政缺口，在进行投融资过程中一定要做好事前风险评估，对财政资金使用做好规划。

（3）组合权重分析。组合权重排在前5位的分别为年度客流增长率(F2)、客运组织方案及保障(F11)、客运效率(F3)、月度监控报表报送情况(F15)、运营安全效果(F8)。项目运营过程中整体重要性偏高。

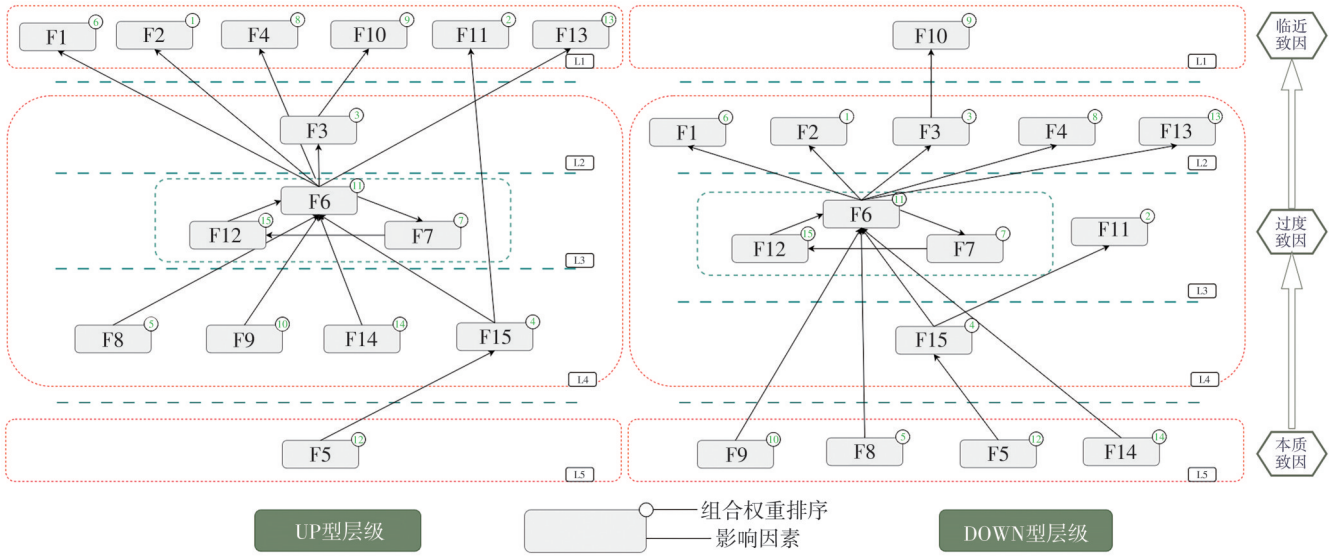

图2　UP-DOWN型拓扑层级结构模型

Fig.2　UP-DOWN topology hierarchical structure model

对于轨道交通企业而言，维持良好可持续的运营无疑是企业的生命线，作为公共基础设施项目，除了为乘客提供便捷舒适安全的出行服务外，维系客流拓宽运营渠道也是项目得以成功的关键，以大规模的客流作为基础，提高客票收入，在车站及沿途商业开发和广告活动宣传时，才能带来更显著的效果。

3.4　AISM分析结果

（1）回路分析。系统内2个及以上的因素间存在直接相互影响的一组关系称作回路(强连接性)，该组回路内的因素互为因果，用循环箭头表示。在图2中，项目效益(F6)、成本预算控制(F7)以及运营管理能力(F12)3个因素组成了1个回路系统，彼此之间具有强关联性，在项目运作过程宜对其进行一体化管理，强化因素间联动效果，发现问题及时整改并形成闭环，确保项目安全平稳运行，提升绩效水平。

（2）关键路径分析。贯穿整个系统的几条重要路径分别为F5→F15→F6→F3→F10；F9→F6→F3→F10；F8→F6→F3→F10；F5→F6→F3→F10；F14→F6→F3→F10；它们均从本质致因层过渡最终影响临近致因层，其中，位于底端的财政绩效风险评价(F5)、运营安全效果(F8)、制度体系建设(F9)、社会贡献(F14)具有较强的驱动作用，它们的成效间接影响项目满意度(F10)，并直接反映在项目绩效的结果上。

4　结论与建议

4.1　结论

（1）研究构建城市轨道交通PPP项目绩效影响因素的指标评价体系，并通过熵权Grey-DEMATEL-AISM模型完成了实证分析。结果表明，该模型整合了主客观评价优势，在显著削减打分主观性的同时，精准刻画了各绩效影响因素间的影响强度及作用机理，更多考虑到了指标因素间的相互联系与传递；通过逆向抽取方式构建了对抗层级拓扑图，确定了绩效影响因素的内在关联与层级结构，最终明确了关键影响因素与一般影响因素的划分边界。该结论为企业靶向改进绩效水平、优化绩效管理提供科学可操作的决策依据。

（2）通过建模分析与计算，对指标体系中的15个影响因素之间的作用关系进行了研究，结果得出，财政绩效风险评价(F5)、运营安全效果(F8)、制度体系建设(F9)、社会贡献(F14)的影响驱动性较强，项目运营效益(F6)、运营管理能力(F12)是系统中最为重要的关键性因素，企业可以从这些方面有针对性地加以改进，以期高效提高绩效水平。

（3）从研究结果来看，对于新规下PPP项目的绩效评价实施，将侧重于2个方面：一是强调项目运营环节的可持续，轨道交通企业应按期向实施机构报送运营状况并开展绩效评价进行运营监管，确保

向公众提供的运营服务稳定可靠；二是要激励轨道交通企业通过降本增效、投资创新等提高运营收益，在确保投资稳定可行的前提下，推动可持续运营。

4.2　建议

为了促进城市轨道交通PPP项目健全规范运行，提高绩效水平，依据前述研究结果，提出以下建议。

（1）加强运营监管，做好履约管理。项目参与各方应按照特许经营协议的要求，定期开展绩效监控和绩效评价工作。同时，积极梳理在PPP项目合作中应履行的义务与职责，协调整合资源。社会资本方应定期向政府报送资金使用情况，确保财政使用的透明性和合规性，并积极配合进行绩效检查。政府方应加强对项目的指导监督，并设定明确的绩效目标并与轨道交通企业的奖惩挂钩，以此来激励实现“按效付费”。

（2）充分发挥企业财务管理能动性，多渠道提升非客运服务收益。对于轨道交通企业而言，一方面要建立健全财务管理制度体系，完善预算管理、财政资金、费用管理等各项财务管理计划及制度，另一方面要探索创新融资模式，提高非客运收益。此外，还可通过轨道交通TOD模式进行商业开发，拓宽资源渠道，利用地上地下的车站空间进行商业租赁、商业开发及广告投放等多样化措施来弥补运营收益。

参考文献：

[1] 盛　迪. 国内城市轨道交通PPP项目分析及可持续发展建议[J]. 城市轨道交通研究，2022，25(S1)：1-5，21.
SHENG Di. PPP Project Analysis for Urban Rail Transit in China and Suggestions for Sustainable Development[J]. Urban Mass Transit，2022，25(S1)：1-5，21.

[2] 国务院办公厅. 国务院办公厅转发国家发展改革委、财政部《关于规范实施政府和社会资本合作新机制的指导意见》的通知[EB/OL]. (2023-11-08)[2025-02-10]https：//www. gov. cn/zhengce/content/202311/c ontent_6914161. htm.

[3] 王银梅，翟晓琳. 城市轨道交通PPP项目绩效评价研究[J]. 财政监督，2022(12)：5-15.

[4] 王亦虹，连枭楠. 基于公众参与的城市轨道交通项目绩效评价指标体系构建[J]. 城市轨道交通研究，2023，26(8)：114-118，122.
WANG Yihong，LIAN Xiaonan. Performance Evaluation Indicator System Establishment for Urban Rail Transit Projects Based on Public Participation[J]. Urban Mass Transit，2023，26(8)：114-118，122.

[5] KESTEN A S，ÖĞÜT K S. A New Passenger Oriented Performance Measurement Framework for Public Rail Transportation Systems[J]. Promet Traffic & Transportation，2014，26(4)：299-311.

[6] FAN W Z，SONG J M，CHEN L M，et al. Retracted Intelligent Performance Evaluation of Urban Subway PPP Project Based on Deep Neural Network Model[J]. Computational Intelligence and Neuroscience，2022(1)：1536881.

[7] 夏江云. 城市轨道交通列车晚点成因分析及对策[J]. 城市轨道交通研究，2023，26(1)：218-222.
XIA Jiangyun. Delay Cause Analysis of Urban Rail Transit Train and Countermeasures[J]. Urban Mass Transit，2023，26(1)：218-222.

[8] 范博松，邵春福. 城市轨道交通突发事件风险等级判别方法[J]. 吉林大学学报(工学版)，2024，54(2)：427-435.
FAN Bosong，SHAO Chunfu. Urban Rail Transit Emergency Risk Level Identification Method[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition)，2024，54(2)：427-435.

[9] 王一哲，邱昱植，王子甲. 基于奇异值分解的城轨网络关键站点识别及其演变研究[J]. 都市快轨交通，2024，37(4)：46-51.
WANG Zizhe，QIU Yuzhi，WANG Zijia，et al. Identification and Evolution of Key Stations in Urban Rail Networks Using Singular Value Decomposition[J]. Urban Rapid Rail Transit，2024，37(4)：46-51.

[10] YUAN J，ZENG A Y，SKIBNIEWSKI M J，et al. Selection of Performance Objectives and Key Performance Indicators in Public-Private Partnership Projects to Achieve Value for Money[J]. Construction Management and Economics，2009，27(3)：253-270.

[11] 韦小泉. 城市轨道交通PPP项目经济效益分析[J]. 铁道工程学报，2023，40(7)：105-110.
WEI Xiaoquan. Economic Benefit Analysis of Urban Rail Transit PPP Project[J]. Journal of Railway Engineering Society，2023，40(7)：105-110.

[12] 孙　帅，张继旭，陈　鑫. 城市轨道交通PPP项目运营期绩效评价指标体系构建[J]. 建设科技，2019(21)：31-34，38.
SUN Shuai，ZHANG Jixu，CHEN Xin. Construction of

Performance Evaluation Index System of PPP Project of Urban Rail Transit in Operating Period[J]. Construction Science and Technology，2019(21)：31-34，38.

[13] 惠昌武，许得杰，巩　亮，等. 基于主成分分析法的城市轨道交通运营安全评价指标体系研究[J]. 都市快轨交通，2024，37(2)：131-138.
HUI Changwu，XU Dejie，GONG Liang，et al. Urban Rail Operation Safety Evaluation Index System Based on Principal Component Analysis Method[J]. Urban Rapid Rail Transit，2024，37(2)：131-138.

[14] 秦　韬，张云宁，欧阳红祥. 城市轨道交通项目可持续性绩效影响因素研究[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版)，2018，40(6)：644-648.
QIN Tao，ZHANG Yunning，OUYANG Hongxiang. Research on Influencing Factors of Sustainability Performance of Urban Rail Transit Project[J]. Journal of Wuhan University of Technology (Information & Management Engineering)，2018，40(6)：644-648.

[15] 刘向阳，周新军. 铁路建设项目绩效评价指标体系研究[J]. 铁道科学与工程学报，2023，20(8)：3105-3117.
LIU Xiangyang，ZHOU Xinjun. Research on Performance Evaluation Index System of Railway Construction Project[J]. Journal of Railway Science and Engineering，2023，20(8)：3105-3117.

[16] 何　静，张夕阳，李延欢，等. 基于乘客需求的城市轨道交通服务质量评价研究[J]. 城市轨道交通研究，2024，27(4)：67-73，79.
HE Jing，ZHANG Xiyang，LI Yanhuan，et al. Research on Urban Rail Transit Service Quality Evaluation Based on Passenger Demand[J]. Urban Mass Transit，2024，27(4)：67-73，79.

[17] 王秀萍，季聿阳，陶雨吟. 基于平衡记分卡的轨道交通PPP项目绩效评价体系研究[J]. 建筑经济，2020，41(2)：44-49.
WANG Xiuping，JI Yuyang，TAO Yuyin. Research on Performance Evaluation of Rail Transit PPP Project Based on BSC[J]. Construction Economy，2020，41(2)：44-49.

[18] 潘昭宇. 基于双碳目标的都市圈轨道交通规划技术体系优化研究[J]. 铁道运输与经济，2024，46(4)：201-208.
PAN Zhaoyu. Optimization of Urban Rail Transit Planning Technology System in Metropolitan Areas Based on Carbon Peaking and Carbon Neutrality Goals[J]. Railway Transport and Economy，2024，46(4)：201-208.

[19] 谭　彬. 都市圈轨道交通多阶段交路一体化编制研究[J]. 铁道学报，2024，46(2)：22-29.
TAN Bin. Research on Integrated Multi-Stage Routing Planning of Rail Transit in Metropolitan Areas[J]. Journal of the China Railway Society，2024，46(2)：22-29.

[20] 王贝贝，赵子玉. 城市轨道交通运营管理评价研究[J]. 科技与创新，2023(14)：155-157，161.

[21] 史富文. 城市轨道交通PPP项目绩效评价指标体系研究[J]. 工程建设标准化，2020(6)：76-82.
SHI Fuwen. Research on Performance Evaluation Index System of Urban Rail Transit PPP Project[J]. Standardization of Engineering Construction，2020(6)：76-82.

[22] 李　娟. PPP轨道交通项目绩效付费机制研究[J]. 工程造价管理，2020(4)：29-33.
LI Juan. Research on Performance Payment Mechanism of PPP Rail Transit Project[J]. Engineering Cost Management，2020(4)：29-33.

[23] 林新宇，毕凤阳，刘长喜，等. 基于组合权重的城市轨道交通项目效益评价[J]. 交通科技与经济，2024，26(1)：64-71.
LIN Xinyu，BI Fengyang，LIU Changxi，et al. Benefit Evaluation Method of Urban Rail Transit Project Based on Combination Weight[J]. Technology & Economy in Areas of Communications，2024，26(1)：64-71.

[24] 王振宇，周炳丞，谢新连，等. 基于云模型的船舶建造项目后评价[J]. 上海海事大学学报，2023，44(1)：95-103.
WANG Zhenyu，ZHOU Bingcheng，XIE Xinlian，et al. Post-Evaluation on Shipbuilding Projects Based on Cloud Model[J]. Journal of Shanghai Maritime University，2023，44(1)：95-103.

(责任编辑　刘宁馨)