

文章编号: 1674—8247(2024)06—0057—07

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2024.06.010

基于系统动力学的中速磁浮建设项目投资风险分析研究

李 侠¹ 杨 鑫¹ 魏歆宇² 代 丰³

(1. 西安财经大学, 西安 710100; 2. 北京市政路桥股份有限公司, 北京 100032;

3. 中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘 要:中速磁浮作为新制式城市轨道交通,具有地铁、有轨电车等不具备的优点,在轨道交通中以噪音小而闻名。然而,中速磁浮在我国还处于研究阶段且没有已建成项目,缺乏足够的资料和经验。因此,本文通过文献调研结合中速磁浮的特点建立指标体系,同时对各指标进行赋值并建立因果图和流量存量图,确定各变量的系统动力学方程并对建立的模型进行检验。最后,通过对该模型仿真模拟,得到初始风险水平值和组合风险水平值。结果表明:该模型适用于一定条件下的中速磁浮投资风险分析;采用组合投资策略时,其风险水平会显著提高;在设计投资风险模型时,仅考虑主要风险因素的影响,后续工作中需要更全面地考虑各种风险间的关系。

关键词:中速磁浮;投资风险;系统动力学

中图分类号:F570; F572

文献标志码:A

57

Analysis on Investment Risk of Medium Speed Maglev Construction Project Based on System Dynamics

LI Xia¹ YANG Xin¹ WEI Xinyu² DAI Feng³

(1. Xi'an University of Finance and Economics, Xi'an 710100, China;

2. Beijing Municipal Road & Bridge Co., Ltd., Beijing 100032, China;

3. China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

Abstract: Medium-speed maglev, as a new form of urban rail transit, possesses advantages not found in subways and trams, and is renowned in rail transit for its low noise levels. However, medium-speed maglev is still in the research phase in China, with no completed projects, resulting in a lack of sufficient data and experience. Therefore, this paper established an indicator system through literature research, combined with the characteristics of medium-speed maglev. It assigns values to each indicator, constructs causality diagrams and flow-stock diagrams, determines the system dynamics equations for each variable, and validates the established model. Finally, through simulation of the model, initial risk level values and combined risk level values were obtained. The results indicate that the model is applicable for analyzing investment risks in medium-speed maglev projects under certain conditions; when adopting a portfolio investment strategy, the risk level significantly increases. When designing the investment risk model, only the impacts of major risk factors were considered, and it is necessary to more comprehensively consider the relationships between

收稿日期:2024-01-22

作者简介:李侠(1971-),女,副教授。

引文格式:李侠,杨鑫,魏歆宇,等.基于系统动力学的中速磁浮建设项目投资风险分析研究[J].高速铁路技术,2024,15(6):57-63.

LI Xia, YANG Xin, WEI Xinyu, et al. Analysis on Investment Risk of Medium Speed Maglev Construction Project Based on System Dynamics[J]. High Speed Railway Technology, 2024, 15(6):57-63.

various risks in subsequent work.

Key words: medium-speed maglev; investment risk; system dynamics

近年来,我国实施的交通强国战略,使得城市轨道交通领域备受关注。随着经济社会的进一步发展,国家一些城市的规模和影响力正日益扩大。城市内部功能趋于完善,中心城区与周边郊区在交通便利性等方面得到提升,促进了不同区域内人员和资源流动交换。人们在城市之间的流动不断增加,公共交通方式的需求也日益扩大,而运力较强且便捷性更高的城市轨道交通成为了大多数人的选择。但城市与城市之间一般距离较远,采用地铁或铁路进行连接不但会增加建设成本,还会给沿线居民区带来一定噪声,而中速磁浮既可以达到较高运行速度,还能以较低的噪声运行,拥有较低的建设成本。目前我国没有已建成的中速磁浮线路,缺乏该方面的资料和经验。因此,对于中速磁浮建设项目投资而言,面临一定的风险。

本文先通过文献调研和调查问卷的方法确定影响投资风险的因素;其次,对识别出的影响因素进行赋值,依据系统动力学方法利用 Vensim 软件建立因果关系图和流量存量图并进行仿真分析;最后,根据分析结果提出相应的策略。

1 研究现状

我国在轨道交通领域发展迅速,而在中速磁浮方面没有投入运营的项目,与其有关的建设项目也较少。为此,本文主要通过中国知网和万方数据库进行文献调研,并通过文献计量软件(CiteSpace)对相关文献进行分析得出近年来中速磁浮的研究热点。

从文献分析结果可以得出,近年磁浮领域的主要研究方向,集中在列车相关技术方面,关于磁浮建设项目投资风险的研究较为缺乏。伍卫凡^[1]通过对600 km/h 高速磁浮铁路线路平纵断面参数进行研究,得出高速磁浮铁路线路设计参数建议值。李恒鑫^[2]构建了基于高速磁浮车站列车作业逻辑的适应度函数,设计了高速磁浮车站列车作业径路优化模型。在城市轨道交通的投资风险研究领域,学者们也取得了一定研究成果。陈民章^[3]通过对 PPP 项目风险评价体系的建立进行具体的分析,其中包括风险评价体系的建立方法、风险评价的方法及风险的控制措施。葛泉胜^[4]等通过以风险收益权衡论和价值链视角下的项目全生命周期风险管理为理论基础,建立了 PPP 项目全生命周期的风险防控体系。韩红霞^[5]等通过对城轨 PPP 项目投资风险因素进行定性分析,运用蒙特卡罗模拟与投资风险计量指标,构建了包含基于 VaR

+ CVaR 的投资风险评估模型。黄成名^[6]等对高速磁悬浮和超高速磁悬浮交通的差异进行分析,采用动力学仿真方法对其验证。

上述文献研究主要集中在城市轨道交通 PPP 项目投资风险领域,而对于中速磁浮投资风险相关研究较少,缺少与其他城市或项目的横向对比。因此,在国内并未全面开展对中速磁浮投资风险领域研究,有必要进一步结合其他渠道进行数据资料归集与深入研究。

2 研究方法

2.1 指标体系构建

当前国内中速磁浮研究领域虽然缺乏投资风险控制相关研究,但是城市轨道交通和铁路相关研究较为全面。因此,对于风险识别可通过相关文献调研结合中速磁浮特点的方式进行风险识别。由于该研究仅针对国内中速磁浮建设项目,故无需考虑国际影响因素。通过对城市轨道交通和铁路相关文献调研得出影响轨道交通建设项目投资风险较大的因素,如表1所示。

表1 轨道交通建设项目投资影响因素表

陈民章 ^[3]	姚航 ^[7]	王义强 ^[8]	汪洋 ^[9]	李林卿 ^[10]	齐锡晶 ^[11]
政治因素	经济因素	管理因素	政治因素	经济因素	决策因素
金融因素	技术因素	合同因素	经济因素	政治因素	设计因素
法律因素	市场因素	经济因素	自然因素	建设环境	采购因素
社会因素	政策因素	-	融资因素	设施需求	施工因素
合同因素	-	-	建设因素	自然环境	沟通因素
管理因素	-	-	回购因素	-	-
运营因素	-	-	-	-	-

其次,结合当前我国城市轨道交通建设项目特点和经验,依据现有研究文献和指标体系建立原则,构建中速磁浮建设项目投资风险评价初始指标体系,如表2所示。

最后,采用层次分析法对各影响因素进行赋值,具体计算步骤如下:

(1)对各风险影响因素进行两两打分,并构造判断矩阵:

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ x_{31} & x_{32} & \cdots & x_{3n} \\ x_{41} & x_{42} & \cdots & x_{4n} \end{pmatrix} \quad (1)$$

表 2 初始评价指标体系表

目标层	准则层	指标层
投资风险初始评价指标体系(G)	经济风险(G1)	利率变动(G11)
		通货膨胀(G12)
	融资风险(G2)	贷款方案(G21)
		贷款期限(G22)
		融资结构(G23)
		融资成本(G24)
	技术风险(G3)	新技术占比(G31)
		方案成熟度(G32)
	环境风险(G4)	不可抗力(G41)
		地质条件(G42)
		不利气候条件(G43)
	人的风险(G5)	业主意图(G51)
		工程师经验(G52)
	建设风险(G6)	设计变更(G61)
		施工技术(G62)
		工期延误(G63)
		成本超支(G64)
拆迁进度(G65)		
回购风险(G7)	政府信用(G71)	
	政府财政能力(G72)	
	回购期限(G73)	

(2) 计算标准差,并反映其绝对变异程度:

$$S_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2 - n \bar{x}_j^2}{n-1}}$$

(2)

式中: S_j ——绝对变异程度的值;
 x_{ij} ——第 i 个对象的第 j 个指标的值。

(3) 计算变异系数:

$$v_j = \frac{S_j}{\bar{x}_j}$$

(3)

式中: v_j ——变异系数的值。

(4) 将各系数进行归一化处理,并计算其指标权重:

$$W_j = \frac{v_j}{\sum_{j=1}^n v_j}$$

(4)

式中: W_j ——指标权重的值。

2.2 风险分析

根据已建立的指标体系,对中速磁浮建设项目不同层面风险因素形成的因果关系进行分析,可以得到各层面风险的因果关系图,根据因果关系图构建流量存量图,为下一步进行仿真提供基础,其具体步骤如下:

(1) 建立因果关系图

建立因果关系图,首先需要确定系统内部的各种变量或因素,分析它们之间的因果关系。该步可通过专家访谈、文献调研、数据分析等方法来进行,确定各个变量或因素之间的因果关系后就可以绘制因果关系

图。其中,经济的风险影响在宏观层面上,整个系统的实施是否具有稳定的利率、通货膨胀率是中速磁浮建设项目能否顺利实施的先决条件;融资结构和成本风险是一个重要因素,合理的融资结构能够在降低融资成本的同时控制破产风险;是否具备建设条件、政府支持更是宏观层面需要关注的问题。

(2) 建立流量存量图

首先,需要确定系统中包括存量变量和流量变量在内的各变量。存量变量代表系统中的累积量,如经济风险、融资风险等;流量变量代表系统中的变化率或流动量,如利率、通货膨胀率、贷款期限等。其次,分析各个变量之间的因果关系,确定它们之间的影响和相互作用。该步可以通过专家访谈、文献调研、数据分析等方法实现。通过系统动力学建模软件(Vensim),绘制流量存量图。最后,根据绘制的流量存量图,建立系统动力学模型,模拟系统中各个变量之间的动态关系。

(3) 仿真分析

利用系统动力学进行仿真,可以更好地理解和管理系统中的复杂动态关系,为决策和政策制定提供科学依据。首先需要明确仿真的目标和范围,即要研究和模拟的系统或问题是什么,需要达到什么样的仿真结果。其次,确定模型中各个变量的参数和初始条件,并建立系统动力学方程对模型进行检验,利用系统动力学建模软件(Vensim),对建立的系统动力学模型进行仿真。在仿真过程中,可以调整模型参数和条件,观察系统中各个变量的变化趋势,预测系统发展趋势。最后,根据仿真结果进行分析和优化,识别系统中的关键因素,探索改进方案 and 政策措施。后续可以使用敏感性分析、参数优化、策略模拟等方法进行分析和优化。

3 案例分析

由于当前国内尚未有中速磁浮项目投入实际运营,故选取已投入运营的长沙磁浮快线作为研究对象,该磁浮快线是我国首条完全具备自主知识产权的中低速磁浮交通示范运营线。长沙磁浮快线于 2014 年 5 月开建,连接长沙火车南站与黄花机场,线路长 18.55 km,共设 3 个站,最小曲线半径 100 m,最大坡度 41‰,最高速度 100 km/h,于 2016 年 5 月开通运营^[12]。长沙磁浮快线采用常导短定子磁浮列车,采用 3 节编组的形式,编组型式为 =Mc1-M-Mc2=。

3.1 指标体系构建与赋值

根据文献调研结果,建立该项目的指标体系,由于该项目地处国内,故无需考虑国际因素带来的相关风险。而长沙磁浮快线属于中低速磁浮,故将其作为案

例分析中速磁浮建设项目投资风险时,应考虑技术的影响。因此,可直接利用前文构建的指标体系进行赋值。基于初始指标体系,通过聘请专家小组来确定各指标的权重,专家组由 5 名中速磁浮项目研究专家组成,对 28 项初始指标分别打分,根据综合结果优化和筛选指标体系,确保指标体系的合理性,如表 3 所示。

表 3 指标体系表

一级指标	一级指标权重	二级指标	二级指标权重	组合权重
经济风险(G1)	0.362	利率变动(G11)	0.750	0.271
		通货膨胀(G12)	0.250	0.090
融资风险(G2)	0.195	贷款方案(G21)	0.489	0.095
		贷款期限(G22)	0.126	0.025
		融资结构(G23)	0.064	0.013
		融资成本(G24)	0.321	0.063
技术风险(G3)	0.133	新技术占比(G31)	0.833	0.111
		方案成熟度(G32)	0.167	0.022
环境风险(G4)	0.090	不可抗力(G41)	0.481	0.043
		地质条件(G42)	0.405	0.036
		不利气候条件(G43)	0.114	0.010
人的风险(G5)	0.033	业主意图(G51)	0.750	0.025
		工程师经验(G52)	0.250	0.008
建设风险(G6)	0.104	设计变更(G61)	0.344	0.036
		施工技术(G62)	0.161	0.017
		工期延误(G63)	0.075	0.008
		成本超支(G64)	0.344	0.036
		拆迁进度(G65)	0.075	0.008
回购风险(G7)	0.029	政府信用(G71)	0.731	0.061
		政府财政能力(G72)	0.188	0.016
		回购期限(G73)	0.081	0.007

3.2 建立因果关系图

由于项目建设地点位于国内,故可以忽略国际环境因素。因此经济风险影响宏观层面整个系统,是否具有稳定的利率、通货膨胀是中速磁浮项目能否顺利实施的先决条件;自然环境、融资风险和技术风险是一个重要因素,地质条件、不可抗力、不利气候条件、融资方案、融资期限、融资成本及新技术占比等条件的变化也是需要着重考虑的因素;建设风险、人的风险及回购风险的变化也是宏观层面需要关注的问题,如图 1 所示。

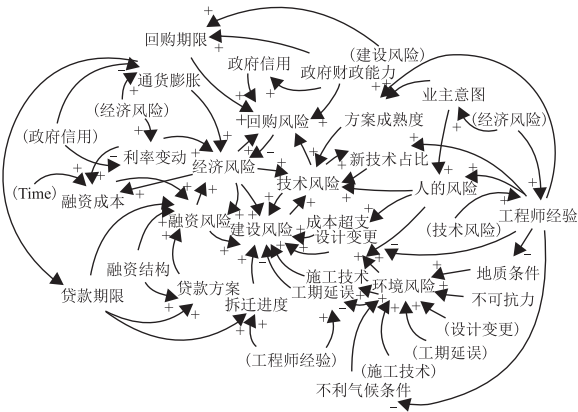


图 1 因果关系图

3.3 建立流量存量图

根据已建立的因果关系图确定各变量之间的逻辑关系,依据项目特点和逻辑关系确定各变量的性质;结合该项目各因素的逻辑关系建立相关系统动力学方程,根据赋值结果对各影响因素进行赋值;最后,建立流量存量图,并对已建立的流量存量图进行优化,如图 2 所示。

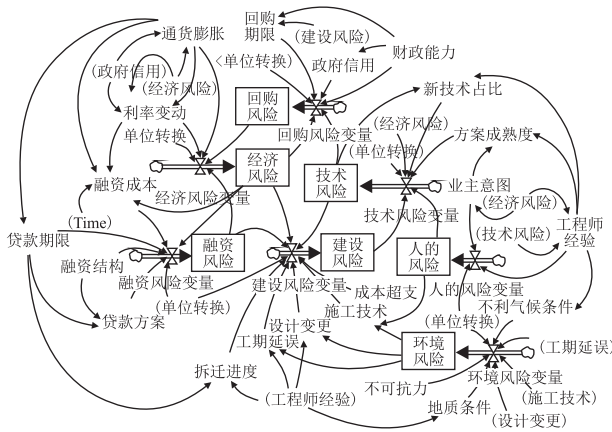


图 2 流量存量图

3.4 系统动力学方程

采用系统动力学 Vensim 软件中的仿真程序进行数值仿真模拟分析,取 Initial Time = 0, Final Time =

24, Time Step = 1, Unit for Time = Month。由于该模型主要用于研究中速磁浮建设项目在不同月份下的投资风险变化情况,故需考虑单位的一致性。因为风险量单位使用 dmnl,而时间单位使用月,故将速率变量部分引入系数 1(m),并将其作为单位转换变量来解决单位不一致的问题。其中部分方程式如下:①经济风险变化量 = $(0.75 \times \text{利率变动} + 0.25 \times \text{通货膨胀} + 0.29 \times \text{回购风险} + 0.195 \times \text{融资风险}) / \text{单位转换}(\text{dmnl})$;②回购风险变化量 = $(0.081 \times \text{回购期限} + 0.133 \times \text{技术风险} + 0.731 \times \text{政府信用} + 0.362 \times \text{经济风险} + 0.188 \times \text{财政能力}) / \text{单位转换}(\text{dmnl})$;③技术风险变化量 = $(0.029 \times \text{人的风险} + 0.077 \times \text{建设风险} + 0.833 \times \text{新技术占比} + 0.167 \times \text{方案成熟度} + 0.326 \times \text{经济风险}) / \text{单位转换}(\text{dmnl})$;④建设风险变化量 = $(0.075 \times \text{工期延误} + 0.344 \times \text{成本超支} + 0.077 \times \text{技术风险} + 0.075 \times \text{拆迁进度} + 0.161 \times \text{施工技术} + 0.098 \times \text{融资风险} + 0.344 \times \text{设计变更} + 0.362 \times \text{经济风险}) / \text{单位转换}(\text{dmnl})$;⑤环境风险变化量 = $(0.114 \times \text{不利气候条件} + 0.481 \times \text{不可抗力} + 0.405 \times \text{地质条件} + 0.344 \times \text{设计变更} + 0.161 \times \text{施工技术} + 0.075 \times \text{工期延误}) / \text{单位转换}(\text{dmnl})$;⑥融资风险变化量 = $(0.409 \times \text{经济风险} + 0.321 \times \text{融资成本} + 0.064 \times \text{融资结构} + 0.489 \times \text{贷款方案} + 0.126 \times \text{贷款期限}) / \text{单位转换}(\text{dmnl})$;⑦人的风险变化量 = $(0.75 \times \text{业主意图} + 0.25 \times \text{工程师经验}) / \text{单位转换}$ 。

3.5 模型检验

为实现中速磁浮建设项目投资风险的仿真模拟,需要对已建立的模型进行有效性检验。首先在 Vensim 软件对该模型进行检验,检查模型是否能够成功运行,如果模型运行报错,则说明该模型仍存在问题需要进行修改。结果表明该模型能够成功运行,如图 3 所示。

其次,针对中速磁浮建设项目投资风险的一级指标展开有效性分析。经过分析各一级指标风险水平从高到低依次为:经济风险、融资风险、技术风险、建设风险、环境风险、人的风险和回购风险。除几项风险增长较慢外,其余风险整体呈快速上升趋势。所以,该中速磁浮建设项目投资风险模型对各一级指标风险水平变化的模拟结果符合实际,在一定程度上验证了模型的有效性。

最后,模型中各变量都有相应单位,而各等式须在量纲上保持一致。量纲一致性检验是评判系统动力学模型中数学公式左边量纲和右边量纲是否保持一致的检验方法。通过对该中速磁浮建设项目投资风险模型进行量纲一致性检验,结果表明该模型量纲保持一致。

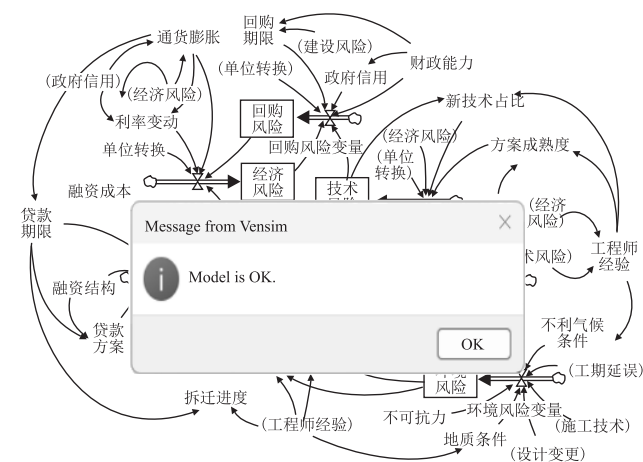


图3 模型运行检验图

4 仿真结果

4.1 初始风险水平

经过分析,对该模型初始状态下中速磁浮项目投资风险水平的变化进行模拟。结果显示,整体风险水平呈上升趋势,最高可达 6 111.808 dmnl,如图 4 所示。在建设前期,投资风险增长较慢;随着建设的深入,各项投资风险之间的交互影响日益显著,导致风险增长速率明显升高,大幅增加了投资控制难度。为更准确模拟项目投资风险,在建模时需重视风险之间的系统性影响。

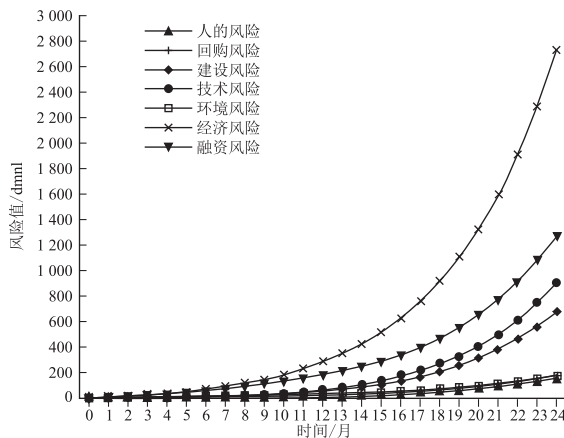


图4 初始风险水平图

4.2 多情景风险水平

在项目实际建设过程中,投资风险主要以多情景的形式出现,故需对风险因素进行组合。情景一:当经济环境恶化,导致融资成本的风险值上升 20;政府出台相关措施提高财政支出能力,财政能力风险值下降 20;由于在建设期间建立了不可抗力应急预案机制,能尽可能降低该项风险,不可抗力风险值下降 10,可以得到整个项目的风险水平为 5 568.381 dmnl,如图 5

所示。

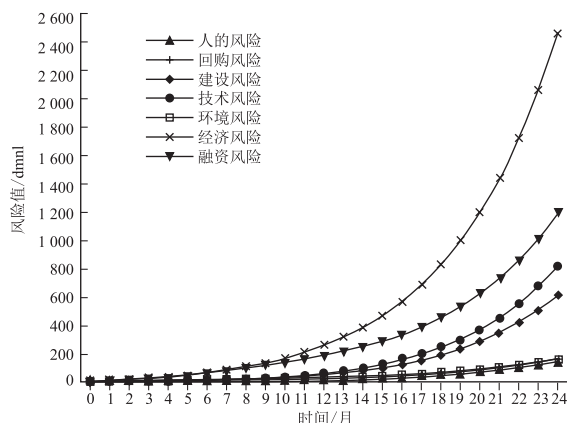


图5 情景一图

情景二:当经济环境好转,融资成本风险值下降20;政府出台相关措施提高财政支出能力,财政能力风险值下降20;在建设期间未建立不可抗力应急预警机制,不可抗力风险值上升10,整个项目的风险水平为5 005.154 dmnl,如图6所示。

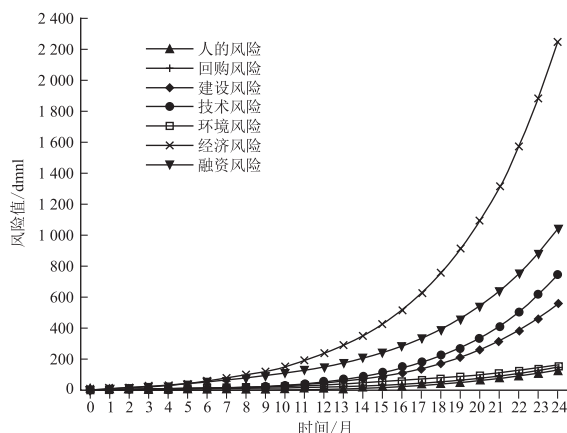


图6 情景二图

5 结论

本文基于系统动力学的方法,通过风险因素反馈模型反映了风险系统高阶次、动态性的特性,建立了中速磁浮项目投资风险评估模型,以长沙磁浮快线项目为例进行模拟仿真,得到主要结论如下:

(1) 本文设计的模型能够模拟一定条件下中速磁浮建设项目投资风险的变化趋势,并为项目建设提供参考。

(2) 从分析结果来看,当采用风险组合策略时,中速磁浮建设项目投资风险水平显著提高。因此,需要加强对组合风险的应对措施。

(3) 在设计投资风险模型时,主要考虑影响较大的因素。因此,在后续研究中应尽量全面考虑风险间

的关系,提升模型在分析中速磁浮建设项目投资风险的完善程度。

准确对投资风险进行分析是整个中速磁浮建设项目实现投资可控的前提,也是项目成功实施的保障。首先,在决策阶段需选取合适的贷款方案和融资结构。中速磁浮建设项目对资金需求大且项目建设周期较长,导致项目融资难度大,所以,合理的融资结构对项目成功至关重要。其次,优先选择成熟度高的方案。因为项目极具新颖性,首次采用较多新技术可能会导致项目实施难度大且难以达到预期目标,进而导致项目投资失败。最后,尽可能选择技术水平高的施工单位。中速磁浮技术本身仍在发展阶段,施工过程中难免会遇到新的技术问题,而技术水平高的施工单位解决问题能力较强,有利于保障项目的质量和顺利推进。

本文所采用的风险识别方法易受到主观因素的影响,因此,本文的研究方法仅适用于一定条件下的中速磁浮建设项目投资风险分析。未来,可以在投资风险识别的方法上进一步提高,采用更为客观的识别方法,以此提高对类似项目的投资风险分析水平。

参考文献:

- [1] 伍卫凡. 600 km/h 高速磁浮线路参数研究[J]. 高速铁路技术, 2024, 15(1): 7-12, 16.
WU Weifan. Study on Track Parameters of 600 km/h High-speed Maglev[J]. High Speed Railway Technology, 2024, 15(1): 7-12, 16.
- [2] 李恒鑫. 高速磁浮车站客运列车作业方案优化研究[J]. 高速铁路技术, 2023, 14(4): 89-94, 114.
LI Hengxin. A Study on Optimization of Passenger Train Operation Scheme in High-speed Maglev Station[J]. High Speed Railway Technology, 2023, 14(4): 89-94, 114.
- [3] 陈民章. 城市轨道交通 PPP 项目投资风险评价的研究[J]. 全国流通经济, 2017(18): 60-61.
CHEN Minzhang. Research on Investment Risk Assessment of PPP Project in Urban Rail Transit[J]. China Circulation Economy, 2017(18): 60-61.
- [4] 葛泉胜, 唐旭南, 李洁, 等. 轨道交通 PPP 项目全生命周期风险防控体系建设[J]. 国企管理, 2018, 5(14): 30-42.
GE Quansheng, TANG Xunan, LI Jie, et al. Construction of the Full Life Cycle Risk Prevention and Control System of Rail Transit PPP Project[J]. State-owned Enterprise Management, 2018, 5(14): 30-42.
- [5] 韩红霞, 刘松, 崔武文. 基于 Monte-Carlo 的城轨 PPP 项目投资风险评估[J]. 土木工程与管理学报, 2020, 37(1): 75-81.
HAN Hongxia, LIU Song, CUI Wuwen. Investment Risk Assessment of Urban Rail PPP Project Based on Monte-Carlo[J]. Journal of Civil Engineering and Management, 2020, 37(1): 75-81.
- [6] 黄成名, 鲍慧明, 张继鹏, 等. 高速及超高速磁悬浮线路平面设计参数研究[J]. 高速铁路技术, 2024, 15(1): 17-22, 28.

- HUANG Chengming, BAO Huiming, ZHANG Jipeng, et al. Study on Planar Design Parameters for High-speed and Ultra-high-speed Maglev Lines[J]. High Speed Railway Technology, 2024, 15(1): 17-22, 28.
- [7] 姚航. 城市轨道交通 PPP 项目超投资风险与对策[J]. 智能城市, 2020, 6(7): 182-183.
- YAO Hang. Risk and Countermeasures of Over-investment in PPP Project of Urban Rail Transit[J]. Intelligent City, 2020, 6(7): 182-183.
- [8] 王义强. 工程总承包模式下铁路建设项目投资管理研究[J]. 铁路工程技术与经济, 2022, 37(3): 60-62.
- WANG Yiqiang. Research on Railway Construction Project Investment Management under EPC Mode[J]. Railway Engineering Technology and Economy, 2022, 37(3): 60-62.
- [9] 汪洋, 张威, 李亚东. 城市轨道交通 BT 项目投资风险评价方法探究[J]. 项目管理技术, 2016, 14(2): 27-31.
- WANG Yang, ZHANG Wei, LI Yadong. Research on Investment Risk Evaluation Method of BT Project in Urban Rail Transit[J]. Project Management Technology, 2016, 14(2): 27-31.
- [10] 李林卿, 吕敏, 刘艳华, 等. “一带一路”沿线基础设施投资风险评估[J]. 综合运输, 2024, 46(2): 3-10.
- LI Linqing, LU Min, LIU Yanhua, et al. Infrastructure Investment Risk Assessment along the “Belt and Road” [J]. Integrated Transportation, 2024, 46(2): 3-10.
- [11] 齐锡晶, 赵磊, 张铂洋. 基于 SD 的建设项目工程进度风险分析与仿真[J]. 建筑经济, 2022, 43(S1): 376-383.
- QI Xijing, ZHAO Lei, Zhang Baifeng. Risk Analysis and Simulation of Construction Projects Based on SD [J]. Construction Economy, 2022, 43(S1): 376-383.
- [12] 佟来生. 长沙磁浮快线列车概述[J]. 电力机车与城轨车辆, 2020, 43(4): 1-5.
- TONG Laisheng. Summary of Changsha Maglev Express Train [J]. Electric Locomotives & Mass Transit Vehicles, 2020, 43(4): 1-5.

(上接第 56 页)

- [19] 张玉娇. 中运量城市轨道交通系统及其在我国的适用性研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2020.
- ZHANG Yujiao. Study on Urban Rail Transit System with Medium Volume and Its Applicability in China[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2020.
- [20] 郑丽杰. 都市圈轨道交通互联互通实施条件及开行方案研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2020.
- ZHENG Lijie. Study on Implementation Conditions and Operation Scheme of Rail Transit Interconnection in Metropolitan Area[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2020.
- [21] 徐攀. 江苏省多层次轨道交通国际对标研究[J]. 现代城市轨道交通, 2020(2): 95-99.
- XU Pan. Research on the International Bench-marking of Multilevel Rail Transit in Jiangsu Province [J]. Modern Urban Transit, 2020(2): 95-99.
- [22] 王家乐. 多层次多制式轨道交通要点探究[J]. 铁道标准设计, 2019, 63(5): 31-36.
- WANG Jiale. Discussion on Key Points of Multi-level and Multi-standard Rail Transit[J]. Railway Standard Design, 2019, 63(5): 31-36.
- [23] 张凌翔. 城市轨道交通运营风险分析与评价研究[D]. 南京: 东南大学, 2018.
- ZHANG Lingxiang. Risk Analysis and Evaluation of Urban Rail Transit Operation[D]. Nanjing: Southeast University, 2018.
- [24] 杨珂. 都市圈多层次轨道交通系统规划研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2017.
- YANG Ke. Study on the Planning of Multi-level Rail Transit System in Metropolitan Area[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2017.
- [25] 吴小萍. 可持续发展战略指导下的轨道交通规划与评价方法研究[D]. 长沙: 中南大学, 2003.
- WU Xiaoping. Research on Planning and Evaluation method of Rail Transit under the Guidance of Sustainable Development Strategy[D]. Changsha: Central South University, 2003.
- [26] 任冲, 胡晓丹. 重庆都市圈轨道交通网络化规划: 市域(郊)铁路发展战略研究[J]. 高速铁路技术, 2023, 14(6): 68-71.
- REN Chong, HU Xiaodan. Rail Transit Network Planning of Chongqing Metropolitan Area—A Study on the Development Strategy of Suburban Railways[J]. High Speed Railway Technology, 2023, 14(6): 68-71.
- [27] 林建平. 铁路 GSM-R 系统国际互联互通技术方案研究[J]. 高速铁路技术, 2023, 14(3): 6-10.
- LIN Jianping. A Study on International Interoperability Technical Scheme of Railway GSM-R System[J]. High Speed Railway Technology, 2023, 14(3): 6-10.
- [28] 李剑飞. 基于深度学习的轨道交通客流检测方法研究[D]. 南昌: 华东交通大学, 2021.
- LI Jianfei. Research on Passenger Flow Detection Method of Rail Transit based on Deep Learning[D]. Nanchang: East China Jiaotong University, 2021.