

# 西安市城市轨道交通与金融业协调发展的 系统动力学研究\*

张琦<sup>1</sup> 黄亚征<sup>2</sup> 陈大鹏<sup>1</sup>

(1. 西安建筑科技大学土木工程学院, 710055, 西安; 2. 中冶华天南京工程技术有限公司, 210019, 南京 // 第一作者, 讲师)

**摘 要** 运用系统动力学方法从宏观和微观两个层面探究城市轨道交通与金融业间协调发展的因果反馈逻辑, 建立两者间协调发展的动力系统及其 SD(系统动力学)模型, 并将西安市的实证数据代入 SD 模型进行仿真验证及预测。研究表明:城市轨道交通与金融业之间存在协调发展的系统动力逻辑;SD 模型适用于城市轨道交通与金融业协调发展的动力系统量化建模;西安市轨道交通与金融业协调发展的未来预期明朗,但同时也面临风险挑战。

**关键词** 城市轨道交通;金融业;协调发展;系统动力学;SD 模型

**中图分类号** F293.30

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2021.06.014

## Study on Coordinated Development between Urban Rail Transit and Financial Industry by System Dynamics in Xi'an

ZHANG Qi, HUANG Yazheng, CHEN Dapeng

**Abstract** System dynamics (SD) methods are employed to establish the feedback logic of coordinated development between urban rail transit and financial industry on both macro and micro level. Dynamical system of coordinated development and its corresponding SD model are put forward, and test data of Xi'an is applied to the SD model for simulative verifications and predictions. The research results show that, a systematic dynamic logic can be set up in the coordination between urban rail transit and financial industry. SD model is suitable for quantitative modeling of the dynamical system of coordinated development. The future expectation of coordinated development between rail transit and financial industry in Xi'an is optimistic, yet risks are faced at the same time.

**Key words** urban rail transit; financial industry; coordinated development; system dynamics; SD model

**First-author's address** School of Civil Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, 710055, Xi'an,

China

## 0 序言

国内外学者对轨道交通的经济功能已进行了较多的研究。文献[1]认为轨道交通能带来很大的潜在经济效益,并确定了其基本影响机制;文献[2]认为城市轨道交通站点的自身区位及其在轨道网络中所处的位置,对其影响范围内的房价变动产生不同幅度的干预;文献[3]应用多层面竞租曲线表征微区位价值和承租能力,并量化分析上海核心城区轨道交通站域的商业空间分布特征。

就金融业与城市轨道交通的关联性而言,文献[4]认为包括金融业在内的生产性服务业,以满足其他生产行业的中间需求为基本特征,其高度专业化的服务贸易则对城市轨道交通提供的出行便利性敏感度较高;文献[5]研究发现,金融发展对交通基础设施的投资效率具有显著的正向影响;文献[6]通过探究城市内部知识密集型服务业的时空格局,揭示出金融企业在区位选择时十分看重所在道路的可达性因素。

综上所述,在过去 10 余年间,国内城市轨道交通经济功能研究的侧重点在于如何带动房地产开发及商业服务业;而在金融业及其上位的生产性服务业研究领域,城市轨道交通则常被看作影响产业布局的单纯区位因子。

事实上,在城市系统视域下城市轨道交通与金融业拥有对等的子系统地位,它们之间不仅是影响与被影响的主从关系,更有条件形成相互协调发展的复杂动力机制[7]。尤其是置身城市产业转型的大背景下,此种协调发展的成败更关乎到城市经济与社会健康可持续发展。鉴于此,本文引入解决

\* 陕西省教育厅科研计划项目(18jk0479);陕西省社会科学基金项目(2018S39)

复杂系统问题的系统动力学(System Dynamics, 简为SD)方法<sup>[8]</sup>,构建城市轨道交通和金融业协调发展的动力系统及SD模型,并通过对西安市轨道交通的实证仿真检验和预测,进一步揭示两者之间的协调发展机制。

## 1 城市轨道交通与金融业协调发展的动力系统及SD模型

### 1.1 城市轨道交通与金融业协调发展的动力系统

#### 1.1.1 动力系统的构成及其基本设定

城市轨道交通与金融业协调发展的动力系统由城市轨道交通子系统和金融业子系统所构成。其中,轨道交通子系统的输入输出项分设为城市轨道交通运营企业的支出和收入;金融业子系统的输入输出项分设为城市金融机构的存、贷款总量。

#### 1.1.2 城市轨道交通与金融业协调发展的因果关系

将城市轨道交通和金融业的协调发展分为宏观和微观两个层面进行剖析。在城市(市辖区)尺度上建立宏观协调机制,采用市域统计数据把握全市范围内两者的互推互进态势;在城市轨道交通站点地区内建立微观协调机制,以聚焦两者协调发展的重要点位,从而使研究具有更好的针对性。

##### 1.1.2.1 城市轨道交通的运营促进金融业效益增长

1) 宏观层面。城市轨道交通的运营将拉动兴建道路、管网等市政配套基础设施,并改善常规公交等相关公共服务的水平,从而使金融业获得城市固定资产投资方面更大规模、更多机会的市场。与此同时,城市轨道交通的运营既能提振本地消费者对城市经济及社会发展的信心,又能扩大城市品牌影响力以吸引外来消费者,继而为金融业更好地服务城市消费市场创造机遇条件。活跃的城市投资市场及繁荣的城市消费市场,均可促进金融业现金流量及存款总量的增长。

2) 微观层面。城市轨道交通建成运营后,其站点地区表现出高可达性和出行即时性等突出优势,这种优势直接促使在此工作或生活的人员集中度及流动性大幅提升,从而使得站点地区的个人形式金融需求随之增加。同时,站点地区内频繁的人员活动亦带来零售、租赁、中介等业态的发展,其开设店铺数量的增加、营销业绩的增长、商业繁荣的局面将助力站点地区的企业形式金融需求增加。强

劲的个人金融需求和企业金融需求共同支持了金融业现金流量及存款总量的增长。

根据上述宏观和微观层面城市轨道交通建成运营的作用,金融业存款总量的增长又会支持金融业贷款总量的增长。

##### 1.1.2.2 金融业服务供给的增强促进城市轨道交通收益增长

1) 宏观层面。充足的信贷资金准备和良好的履约信誉是优质金融服务供给的基础,而高水平的金融业服务供给将引领整个城市产业结构向轻量化转型。伴随“退二进三”的产业结构消长,城市出行结构亦会发生显著变化。随着工业企业的货运量减少,而围绕服务业的客运总量持续增加,这使得全职担负客运任务的城市轨道交通获得了更多的承运总量基数。进一步看,轻量化的产业结构为城市创造了更多优质的就业岗位,这些岗位上的从业者十分看重时间价值,大都倾向控制出行时间成本,他们的通勤和商务活动将使城市轨道交通在城市客运结构中的占比进一步上升。故而,城市的第三产业化以及追求时间价值就业岗位的迅猛增长都有力促进了城市轨道交通客源及收益的增长。

2) 微观层面。当银行、保险、证券、信托等不同类型的金融企业集中分布在城市轨道交通站点地区时,它们既可共享交通基础设施以降低自身运行成本,更会基于相互竞争合作而产生金融规模经济,由此形成优质服务供给源。进而言之,集聚在站点地区内的优质金融业服务供给又会进一步引发与之关系密切的其他生产性服务业和消费性服务业等企业同样选择邻轨而居,站点地区内服务业从业者和受众的总量随之成倍膨胀,这将有助于增加票价形式的城市轨道交通收入。另外,金融业邻轨而建还可提升站点地区的房地产区位品牌价值,这将使附属于城市轨道交通站点的建筑物获得更高的广告及租金回报,从而有助于增加票款以外的城市轨道交通收入。综上所述,票价收入增加与附属物业增值也会有效支持城市轨道交通收益的增加。

在此基础上,城市轨道交通收入的不断积累又会反哺下一阶段的城市轨道交通建设及运营支出,成为其资金投入的重要来源。

##### 1.1.3 城市轨道交通与金融业协调发展动力系统的构建

上述双向解析可将城市轨道交通与金融业子系

3) 假设 3:采用忽略系统外其他扰动项的简化边界条件,仅以两个子系统的内嵌因素作为传递协调发展逻辑的中间变量和常量。

基于 SD 模型的假设条件,利用 Vensim PLE 软件将城市轨道交通子系统与金融业子系统的相关变量方程式完整叠合,梳理得到揭示系统协调机制的 SD 流图模型,见图 1。将相关实测数据代入 SD 流图模型后,即可对其协调发展态势进行模拟仿真和预测。



西安是国家中心城市和推进“一带一路”国际合作的关键节点城市。截至2018年底,该市开通运营城市轨道交通线路4条,运营里程共计126 km,其单位里程运营强度现位居全国前列。由于产业

SD 模型使用的市域宏观数据通过直接查阅统计资料获取。其中,城市轨道交通数据来源于 2013—2018 年度《中国城市轨道交通年度统计分析

报告》;金融业及其他相关数据来源于 2013—2018 年度《中国城市统计年鉴》和《西安统计年鉴》。SD 模型使用的站域微观数据通过“面积类比法”对统计数据加以换算得到。具体处理方法为:以站点周围半径为 500 m 的圆形面域确定单个站域面积,再利用当年全部城市轨道交通站点的站域面积与城市建成区面积之比乘以全市建成区的统计数据得到。此外,文献[9]表明,西安市目前的人口和产业空间分布是典型的向心型结构,因此,在计算全部

站域面积时应针对不同城市环路内的站域面积加以系数调节。

如图 1 所涉及的某些原始变量无法从统计资料中直接获得,转而通过寻求替代变量加以解决。

## 2.2 SD 模型仿真与检验

### 2.2.1 直观性测试检验

使用 Vensim PLE 软件,将 2012—2017 年西安市的实证数据代入 SD 模型,对其进行反复仿真训练。测试结果见图 2。

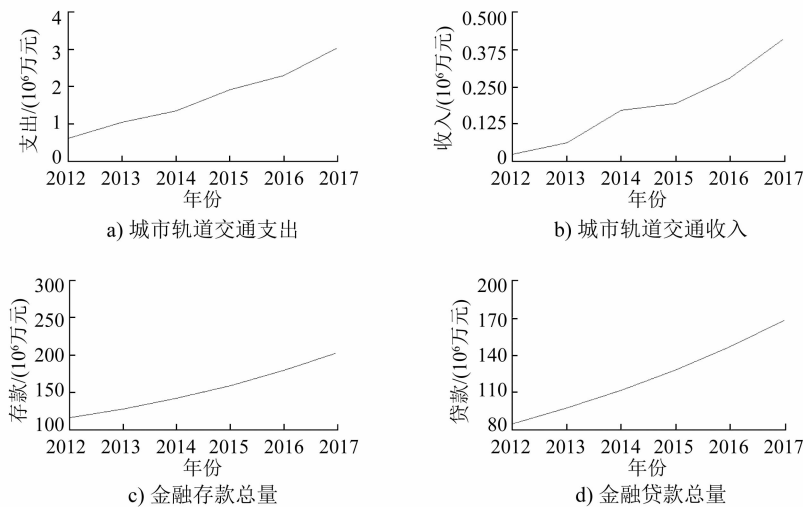


图 2 SD 模型的直观性检验结果

由图 2 可知:

1) 在仿真周期内,西安市轨道交通子系统与金融业子系统的运动轨迹趋同,总体符合 SD 模型所设置的协调发展运动模式预期。

2) 在城市轨道交通子系统内,由于城市轨道交通建设需要大量初始资金,故城市轨道交通支出数额远大于其收入数额;城市轨道交通收入增长迅猛且并非完全连续变化,这与 2012—2017 年间西安市轨道交通出行方式得到快速培育和发展的现实相符,阶段式突变则是因为这 6 年间城市轨道交通里程总基数较小,在此期间新的线路开通投运后会对子系统的总收入产生较大影响。

3) 在金融业子系统内,2012—2017 年间存款和贷款总量均呈平稳增长,且存款规模始终大于贷款规模,这与西安市近年来相对稳健的金融市场格局是一致的。

综上所述,城市轨道交通与金融业协调发展动力系统的 SD 模型可通过直观性检验。

### 2.2.2 有效性测试检验

利用 Vensim PLE 软件对西安市城市轨道交通与金融业的发展进行仿真分析,得到研究时段内历年年末轨道交通支出、轨道交通收入、金融存款总量及金融贷款总量等指标的模拟值。将上述指标的模拟值与真实值进行对比分析得知,其计算误差均在±10%以内。故 SD 模型亦可通过有效性测试检验。

直观性检验和有效性检验均表明:SD 模型适用于西安市城市轨道交通与金融业发展的实证研究,而在仿真周期内该市的轨道交通子系统与金融业子系统则体现了一定的协调发展动力演进。未来将进一步探究这两者的协调发展前景。

## 2.3 SD 模型预测及分析

### 2.3.1 预测基本设置

以国家发展和改革委员会批复的《西安市城市轨道交通第三期建设规划》(以下简为“第三期规划”)为基本依据对西安市城市轨道交通与金融业发展开展预测。第三期规划主要控制指标如下:规划年限为 2018—2024 年,新增线路里程为 280.86

km(含高架线 42.5 km),预测总客运量为 606.5 万人次/d。综合考虑城市轨道交通平均出行距离<sup>[10]</sup>,以及中长期发展背景下前后两个建设周期的时序重合等因素,推定出:截止 2024 年,城市轨道交通支出的控制指标约为 555 亿元,城市轨道交通收入的控制指标约为 190 亿元。

在预测期(2018—2024 年)内,随着西安市轨道交通系统逐步形成,选择城市轨道交通出行行为愈加成为市民的日常习惯,因此轨道交通收入的单位

里程费率将会有所增长。与此同时,受地表高架线路增多、设备利用率提高及运营管理经验增长等多种有利因素的影响,预测期内轨道交通支出的单位里程费率则略有降低。上述增减变化在 SD 模型关于收支调节系数的函数中会做出适应性的修正。

### 2.3.2 预测结果及分析

以 2017 年年末数据作为初始值,同时考虑收入和支出费率等因素的调节,应用经过仿真周期训练的 SD 模型进行预测,可得到如图 3 所示的结果。

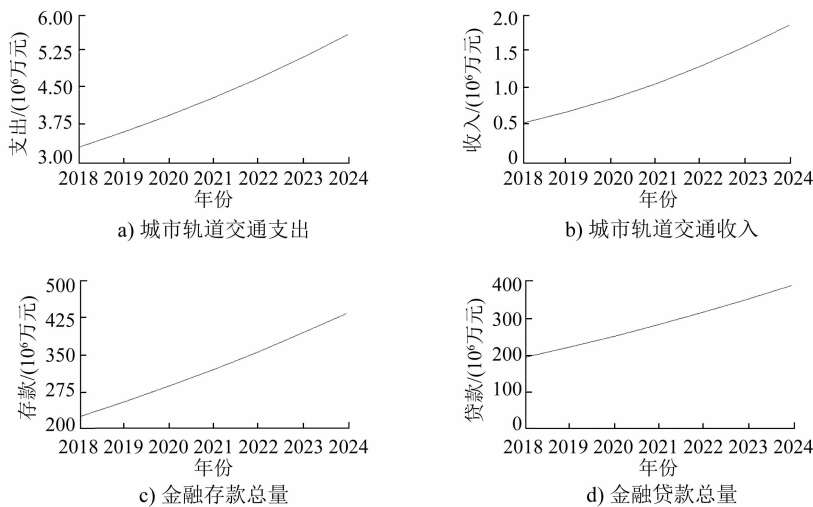


图 3 SD 模型的预测曲线

由图 3 可知:

1) 预测周期延续了仿真周期内的运动轨迹,即西安市轨道交通子系统与金融业子系统在第三期规划时段内保持了协调发展的运动模式。SD 模型得出的预测结果与第三期规划和《西安市“十三五”金融业发展规划》提出目标的误差均控制在  $\pm 8\%$  以内,由此可见,整体预测精度较好。

2) SD 模型预测显示,2024 年西安市轨道交通收支相抵后亏损逾 360 亿元。低票价是公益性交通基础设施的本质属性,故收支亏损是当前发展轨道交通建设项目不可避免的现实<sup>[11]</sup>。当前,包括西安市在内的国内大多数城市的轨道交通建设投资还主要由地方政府举债筹措,此种投资行为如果连续过度亏损,则会使政府负债率接近乃至超过警戒限度,危及公共财政安全。鉴于此,尚须科学谋划西安市轨道交通建设的债务风险防控举措。比如,制定金融机构服务城市轨道交通的专项信贷指引和产品、适当缓(缩)建部分近期建设线路等。

## 3 结语

1) 城市轨道交通与金融业之间存在协调发展的系统动力逻辑。综合对西安市全市范围宏观尺度及站域范围微观尺度的理论梳理,可知城市轨道交通建成运营促进金融业效益增长与金融业服务供给增强促进轨道交通收益增加总是相生相伴,两者协调发展的因果逻辑清晰、可以构成对应的动力系统。

2) SD 模型适用于城市轨道交通与金融业协调发展的动力系统量化建模。运用 Vensim PLE 软件对该动力系统的结构关系进行梳理与叠合,经变量与方程的一系列处理后生成了能准确体现动力系统运行机制的 SD 模型,实现了城市轨道交通与金融业协调发展的定量识别。

3) 西安市轨道交通与金融业协调发展的未来预期虽明朗,但也面临风险挑战。仿真周期(2012—2017 年)和预测周期(2018—2024 年)内的 SD 模型运行结果均表明,西安市轨道交通与金

(下转第 70 页)

$\text{m/s}^2$ , 平稳性指标均小于 2.50, 平稳性等级均达优<sup>[11-12]</sup>。由表 4 可知, 稳定轮倾覆系数和走行轮轮重减载率均随水平轮垂向刚度的增大而减小, 且减小速率逐渐降低; 当水平轮垂向刚度为 1.2 MN/m 时, 前后转向架稳定轮倾覆系数均超过规定最大值 0.8, 说明车辆通过曲线线路的抗倾覆能力不足。

### 3 结语

1) 随着水平轮垂向刚度增大, 车辆通过曲线线路的抗倾覆稳定性增强, 走行轮轮重减载率减小, 有利于车辆运行以及减小走行轮轮胎偏磨;

2) 随着水平轮垂向刚度增大, 车体振动加速度增大, 导致车辆平稳性和乘客乘坐舒适度有所下降, 但各项指标仍处于优级。

建议在满足跨坐式单轨车辆各项曲线通过性能的前提下, 尽量通过减小水平轮垂向刚度来减小车辆运行过程中的轮轨摩擦阻力。

### 参考文献

- [1] 任利惠, 周劲松, 沈钢. 跨坐式独轨车辆动力学模型及仿真[J]. 中国铁道科学, 2004(5): 26.
- [2] ZHONG Y. Analysis of flexible car body of straddle monorail vehicle[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engi-

neering, 2018, 324(1): 012071.

- [3] 杜子学, 左长永. 走行轮垂向刚度对跨座式单轨车辆曲线通过性能的影响[J]. 机车电传动, 2013(3): 40.
- [4] GODA K, NISHIGAITO T, HIRAIISHI M, et al. A curving simulation for a monorail car[C]//IEEE. Railroad Conference, Proceedings of the 2000 ASME/IEEE Joint. IEEE, 2000.
- [5] 梁志华. 跨座式单轨车辆动力学性能评价指标体系研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2015.
- [6] 张健全, 黄运华, 李芾, 等. 跨坐式单轨车导向轮稳定轮预压力研究[J]. 铁道机车车辆, 2011(3): 48.
- [7] 文孝霞, 杜子学, 左长永, 等. 曲线工况下跨座式单轨走行轮侧偏刚度对轮胎磨损的影响[J]. 交通运输工程学报, 2014(2): 41.
- [8] 黄运华, 丁军君. 跨座式单轨车曲线通过性能评价指标研究[J]. 电力机车与城轨车辆, 2013(2): 1.
- [9] 任利惠, 季元进. 跨坐式单轨车辆的临界侧滚角[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2017(11): 1681.
- [10] 李燕阳, 舒逢春. 跨座式单轨抗倾覆性能与临界侧滚角分析[J]. 铁路技术创新, 2018(6): 18.
- [11] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 铁道车辆动力学性能评定和试验鉴定规范: GB/T 5599—1985[S]. 北京: 商务印书馆, 1985.
- [12] 中华人民共和国铁道部. 铁道机车动力学性能试验鉴定方法及评定标准: TB/T 2360—1993[S]. 北京: 中国铁道出版社, 1993.

(收稿日期: 2019-05-28)

(上接第 64 页)

融业间存在协调发展的系统运动轨迹特征。但为修建城市轨道交通而形成的过高地方政府债务可能会成为危及两者协调发展的关键风险点, 因此, 需对其加以政策干预并及时化解。

### 参考文献

- [1] CHATMAN D G, NOLAND R B. Do public transport improvements increase agglomeration economics? A review of literature and an agenda for research[J]. Transport Reviews, 2011(6): 725.
- [2] 武倩楠, 叶霞飞. 城市轨道交通可达性提高和住宅价格增值关系[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2016(6): 899.
- [3] 袁铭. 上海核心城区轨道交通车站站域商业空间分布特征与影响因素分析[J]. 城市轨道交通研究, 2018(7): 1.
- [4] COFFEY W J. The geographies of producer services[J]. Urban Geography, 2000, 21(2): 170.
- [5] 姚雪松, 李明. 金融发展对交通基础设施投资效率影响的实

证分析[J]. 铁道运输与经济, 2018(11): 1.

- [6] 周麟, 沈体雁, 于瀚辰, 等. 城市内部知识密集型服务业的时空格局研究——以保定市为例[J]. 城市发展研究, 2016(11): 1.
- [7] 周耀东, 张佳仪. 城市轨道交通经济效应实证研究——以北京市为例[J]. 城市问题, 2013(10): 58.
- [8] 刘英, 云俊, 李明伟. 基于系统动力学的城市轨道交通经济效益分析——以上海轨道交通为例[J]. 数学的实践与认识, 2016(19): 126.
- [9] 张琦, 丁昕, 王秋平. 基于 POI 的西安市轨道交通站域生产性服务业空间分布特征[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 2021(2): 67.
- [10] 贺康康, 任刚. 基于 AFC 数据的新建轨道交通系统出行距离分布特性研究[J]. 交通运输工程与信息学报, 2018(3): 46.
- [11] 雷强. 城市轨道交通产业投资基金及融资方案评价研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2012.

(收稿日期: 2019-09-12)