

基于结构方程模型的城市轨道交通服务质量 影响变量因子分析模型

唐 炜^{1,2} 陈 坚³

(1. 长沙市规划勘测设计研究院, 410007, 长沙; 2. 城市交通大数据与模型仿真技术应用湖南省工程研究中心, 410007, 长沙; 3. 重庆交通大学交通运输学院, 400074, 重庆)

摘 要 [目的] 为进一步精准提升城市轨道交通服务, 需定量提取城市轨道交通服务质量各影响变量, 并分析变量间的内在关系。[方法] 运用探索性因子分析提取了 6 个影响变量公因子, 并引入结构方程理论, 构建了 3 个影响变量验证性因子分析模型, 采用调查数据对模型进行了验证。[结果及结论] 一阶六因子无相关模型无法契合实际数据, 一阶六因子有相关模型和二阶因子模型均可以较好地反映因子间的关系, 而二阶因子模型的拟合优度明显高于一阶六因子有相关模型, 其中绝对适配指数拟合优度平均提高了 4.50%, 增值适配指数拟合优度平均提高了 0.53%, 简约适配指数拟合优度平均提高了 12.73%。二阶因子模型得到了六个因子对服务质量的贡献度。

关键词 城市轨道交通; 服务质量; 影响变量; 结构方程模型; 拟合优度

中图分类号 U442.55

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.08.016

Analysis Model of Urban Rail Transit Service Quality Influencing Variable Factors Based on SEM

TANG Wei^{1,2}, CHEN Jian³

(1. Changsha Planning & Design Survey Research Institute, 410007, Changsha, China; 2. Hunan Engineering Research Center of Urban Transport Data-driven Modeling and Simulation, 410007, Changsha, China; 3. School of Traffic and Transportation, Chongqing Jiaotong University, 400074, Chongqing, China)

Abstract [Objective] Aiming to further enhance urban rail transit service with precision, it is essential to quantitatively extract the influencing variable factors of urban rail transit service quality and analyze the intrinsic relationship between these variables. [Method] Exploratory factor analysis is employed to extract six common influencing factors. SEM (structural equation modeling) is then introduced to construct three confirmatory factor analysis models for the influencing variables. These models are validated using survey data. [Result & Conclu-

sion] The results indicate that the first-order six-factor uncorrelated model does not fit the actual data. Both the first-order six-factor correlated model and the second-order factor model adequately reflect the relationship between factors, while the later shows a significantly higher goodness of fit, with an average goodness of fit increase by 4.50% in absolute fit index, 0.53% in incremental fit index, and 12.73% in parsimonious fit index. The second-order factor model effectively quantifies the contributions of the six factors to service quality.

Key words urban rail transit; service quality; influencing variable; structural equation model; goodness of fit

确定城市轨道交通服务质量的影响变量, 解析变量间的定量关联性, 进而明确城市轨道交通运营中的薄弱环节以进行完善。这对于提高乘客出行体验、改善城市交通具有促进作用。

已有研究中主要采用层次分析法、模糊综合评价法等主观赋权法来对各影响因素进行分析^[1-2], 而对影响变量的内容、数量等, 以及变量间的相互关系缺少定量研究, 导致影响变量本身的合理性解释性不强。本文将结构方程理论引入城市轨道交通服务质量影响变量的提取及验证的研究中, 为揭示城市轨道交通服务质量内在机理提供量化依据。

1 城市轨道交通服务质量潜变量提取

1.1 测量变量选择

结合已有研究^[3-4] 和城市轨道交通服务特点, 确定 20 个服务指标(见表 1)作为分析模型中的测量变量。

1.2 潜变量提取方法

由于衡量服务质量的 20 个测量变量所反映的内在信息可能存在重复, 运用探索性因子法提取公因子(潜变量)作为服务质量影响变量。

表 1 城市轨道交通服务质量指标

Tab.1 Urban rail transit service quality indicators

编号	服务指标	编号	服务指标
1	出发地与轨道站点之间所花时间少	11	车厢内安全应急设施令人放心
2	车站内治安环境好	12	车厢内突发状况应对措施宣传充分
3	车站内导向标识系统清晰明确	13	车厢内电视、广播等设施令人满意
4	站台显示的候车信息清楚、准确	14	车厢内商业广告有吸引力
5	自动售票机数量合理	15	轨道车辆行驶平稳
6	自动售票机操作简单、方便	16	上下车乘客秩序良好
7	车厢内总体干净整洁	17	列车发车间隔合理
8	车厢内空气清新	18	首末班车运营时间合理
9	车厢内空调风力和温度适中	19	轨道交通与其他公交之间换乘方便
10	车厢内座位感觉舒服	20	票价设置合理

2 影响变量的关系模型构建

2.1 模型假设

为定量描述测量指标与影响变量间的关系,以及各影响变量间的相互作用,先对各变量间的关系进行以下假设。

模型 1:一阶因子无相关模型。其假设 p 个影响变量彼此之间没有共变关系。

模型 2:一阶因子有相关模型。假设 p 个影响变量间存在共变关系,且这种关系是两两相互的,解除限制条件影响变量的相关性。

模型 3:二阶因子模型。假设存在一个更高一阶的构念“服务质量”,可以解释一阶 p 个影响变量间的相关关系。

2.2 模型检验

模型检验包括整体适配度和内在结构适配度,而整体适配度主要从绝对适配指标、增值适配指标、简约适配指标三大指标进行检验。评价指标见表 2。

3 实例分析

以重庆市城市轨道交通乘客为调查对象,在初始问卷预调查数据信度和效度检验基础上,优化题项后得到最终问卷。2021 年 1 月 2 日在重庆轨道交通 1 号线和 3 号线共发放调查问卷 660 份,剔除异常样本后,最终得到有效问卷 576 份,问卷有效率 87.27%。

3.1 样本数据分析

根据调查统计结果,男、女性人数分别占 54.5%、45.5%;19 岁到 35 岁的人数占比 65.89%,

表 2 模型整体适配度评价指标及标准

Tab.2 Model overall fitness evaluation index and standard

指标类别	指标名称	模型成立的适配标准
绝对适配指标	GFI(适配度指数)	>0.90
	AGFI(调整后适配度指数)	>0.90
	RMR(残差均方和平方根)	<0.05
	RMSEA(渐进残差均方和平方根)	<0.05
增值适配指标	NFI(基准适配指数)	>0.90
	RFI(相对适配指数)	>0.90
	IFI(增值适配指数)	>0.90
	CFI(比较适配指数)	>0.90
简约适配指标	PGFI(简约后适配指数)	>0.50
	PNFI(简约后基准适配指数)	>0.50
	χ^2/f	<3.00

注: χ^2 为卡方统计量; f 为自由度。

18 岁以下占比 6.57%,36 岁到 55 岁占比 21.57%,55 岁以上占比 5.97%;学生占比 37.66%,公务员、事业单位及企业人员占比 52.83%,其他职业占比 9.51%。

3.2 潜变量提取

对样本数据进行 KMO(Kaiser Meyer Olkin)和 Bartlett 球形检验,结果表明数据信度较好,可以进行探索性因子分析。

提取特征值大于 1 的因子,共得到 6 个公因子,即提取了 6 个潜变量,累积解释方差 70.652%。采用最大方差旋转法得到旋转后的因子载荷矩阵见表 3,各指标的载荷均大于 0.5。根据各因子包含的指标,将 6 个公因子依次命名为方便性、安全性、快

捷性、趣味性、舒适性、经济性,即为城市轨道交通服务质量影响变量。

表 3 旋转后的因子载荷矩阵

Tab.3 Factor loading matrix after rotation

测量变量	方便性(TC)	安全性(SE)	快捷性(FA)	趣味性(IN)	舒适性(CD)	经济性(EC)
TC4	0.740	-0.006	0.135	0.042	0.321	0.253
TC3	0.708	0.070	-0.025	0.108	0.353	0.111
TC1	0.690	0.230	0.314	0.109	-0.179	0.106
TC2	0.621	0.445	0.309	-0.068	0.088	-0.034
TC5	0.573	0.248	0.106	0.229	0.016	0.231
SE3	0.381	0.777	0.037	0.084	-0.067	0.040
SE1	-0.047	0.742	0.100	0.092	0.263	0.306
SE2	0.179	0.736	0.292	0.210	0.120	-0.055
SE4	0.153	0.671	0.226	0.101	0.378	-0.049
FA1	0.002	0.278	0.724	-0.006	-0.168	0.146
FA3	0.248	0.189	0.687	0.127	0.353	-0.092
FA2	0.283	0.086	0.679	0.261	0.193	0.095
FA4	0.147	0.049	0.529	0.491	0.258	0.189
IN2	0.051	0.127	0.101	0.909	0.013	0.211
IN1	0.207	0.201	0.144	0.795	0.195	-0.236
CO1	0.012	0.255	0.016	0.185	0.745	0.319
CO2	0.391	0.110	0.176	0.263	0.635	-0.078
CO3	0.218	0.285	0.269	-0.211	0.548	0.377
EC1	0.202	-0.003	-0.019	0.133	0.088	0.807
EC2	0.260	0.148	0.379	-0.112	0.207	0.654

3.3 关系模型拟合与参数估计

运用 3 个假设模型(一阶六因子无相关模型,一阶六因子有相关模型,二阶因子模型)对数据进行拟合,得到 3 个模型的整体适配度检验结果见表 4。

1) 模型 1:一阶六因子无相关模型。各指标均未达标,说明该模型无法与实际数据相适配。其参数标准化估计值见图 1。各影响变量的因子荷载均大于 0.5,说明所有测量指标基本能够反映影响变量的构成,但各影响变量间无共变关系的模型不能契合实际数据,故无法接受该模型。

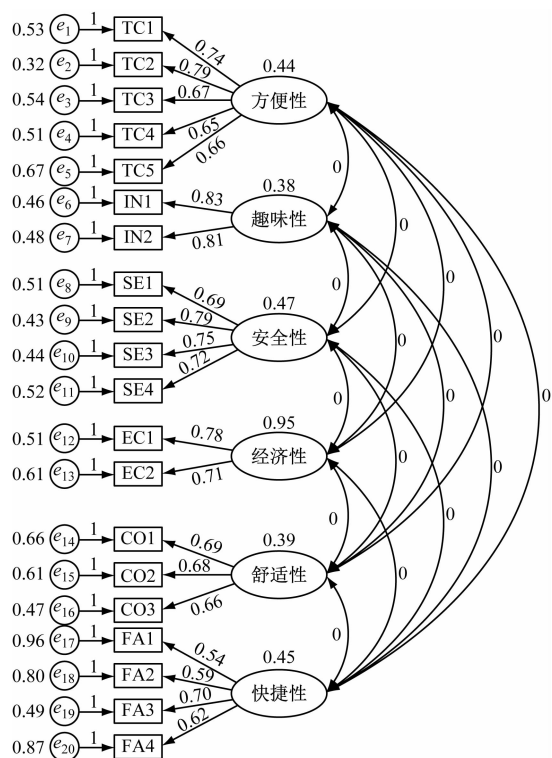
2) 模型 2:一阶六因子有相关模型。各指标均达标,说明该模型可以与实际数据相适配。其参数标准化估计值见图 2。各影响变量的因子荷载均大于 0.5,说明所有测量指标基本能够反映影响变量的构成,且 6 个公因子存在共变关系情况的模型较好地契合了数据,故可接受该模型。各影响变量间的相关性均大于 0.5,达到了二阶成立的必要条件,

表 4 假设模型的整体适配度检验结果

Tab.4 Test results of the overall fitness of hypothetical models

指标类别	指标	模型成立的 适配标准	适配度检验结果		
			模型 1	模型 2	模型 3
绝对适配 指标	GFI	>0.90	0.597	0.924	0.929
	AGFI	>0.90	0.683	0.907	0.908
	RMR	<0.05	0.072	0.042	0.039
	RMSEA	<0.05	0.152	0.049	0.044
增值适配 指标	NFI	>0.90	0.728	0.921	0.926
	RFI	>0.90	0.836	0.901	0.904
	IFI	>0.90	0.642	0.951	0.957
	CFI	>0.90	0.675	0.951	0.957
简约适配 指标	PGFI	>0.50	0.463	0.534	0.642
	PNFI	>0.50	0.481	0.581	0.707
	χ^2/f	<3.00	9.444	2.497	2.272

说明这 6 个影响变量之间有可能存在另一个更高阶的共同因素。



注: $e_1 - e_{20}$ 为误差, 余类同。

图 1 模型 1 各参数标准化估计值

Fig. 1 Standardized estimation value of model 1 each parameter

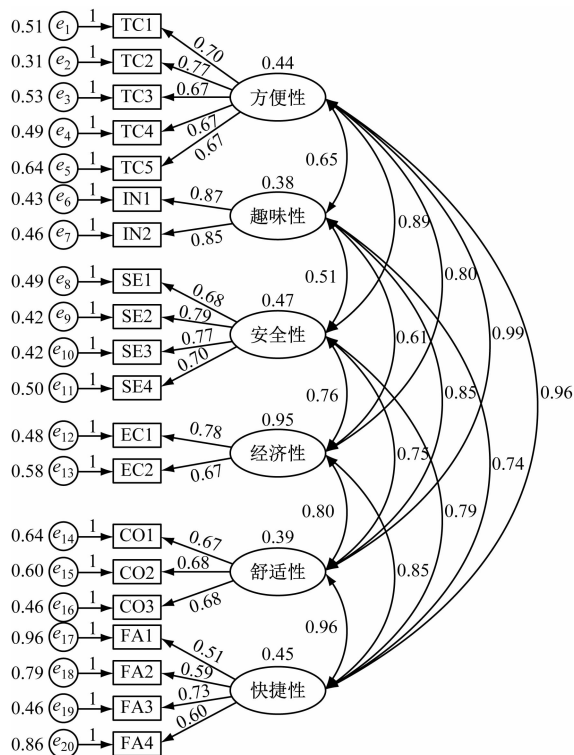


图 2 模型 2 各参数标准化估计值

Fig. 2 Standardized estimation value of model 2 each parameter

3) 模型 3: 二阶因子模型。二阶因子模型各项适配指标均达到了标准, 说明该模型可以与实际数据相适配。模型各参数标准化估计值见图 3。模型 3 各路径的 T 检验的结果见表 5, 各路径的 t 值 (T 检验的统计量值) 均大于 1.96, 且标准化路径系数均大于 0.5, 达到了显著性水平, 说明该模型可以较好地契合实际数据, 故以接受该模型。根据二阶模型的标准化路径系数, 可以得到各潜变量在服务质量中的影响程度。在构成服务质量的 6 个影响因素中, 舒适性 (0.973)、方便性 (0.957)、快捷性 (0.942)、经济性 (0.876)、安全性 (0.850)、趣味性 (0.675) 的贡献度依次递减。

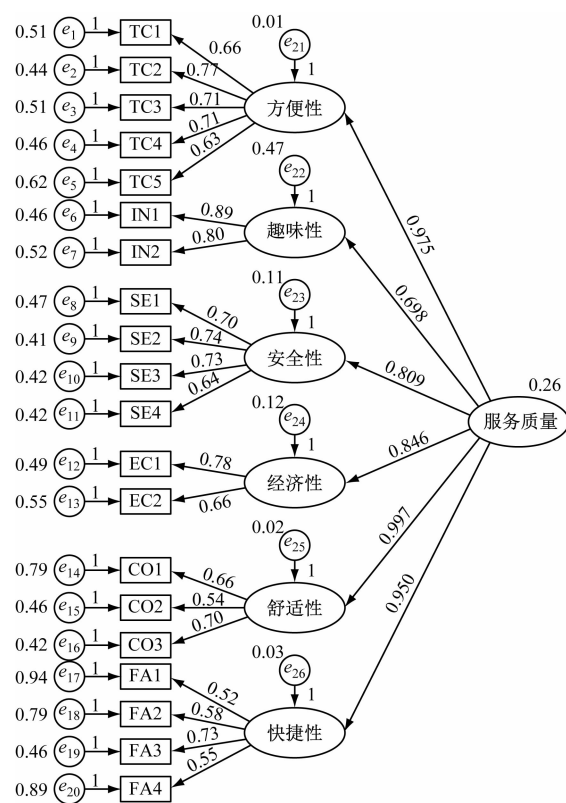


图 3 模型 3 各参数标准化估计值

Fig. 3 Standardized estimation value of model 3 each parameter

表 5 服务质量二阶模型各路径 t 值

Tab. 5 Service quality t value of each path of second-order model

路径	t 值	路径	t 值
趣味性→服务质量	8.851	安全性→服务质量	8.864
舒适性→服务质量	10.022	快捷性→服务质量	6.504
方便性→服务质量	9.378	经济性→服务质量	8.968

根据以上分析结果, 模型 2 和模型 3 都可以与

实际数据适配。进一步对比两个模型的适配指标结果发现,模型 3 的各项指标均比模型 2 更优,其中绝对适配指标拟合优度平均提高了 4.50%,增值适配指标拟合优度平均提高了 0.53%,简约适配指标拟合优度平均提高了 12.73%。

3.4 模型因子信度与效度评估

对模型 2 和模型 3 进行信度和效度评估,各影响变量的建构信度和平均方差抽取量计算结果见表 6。

表 6 模型的信度与效度评估结果

Tab.6 Model reliability and validity evaluation results

潜变量	CR(建构信度)		AVE(平均方差抽取量)	
	模型 2	模型 3	模型 2	模型 3
趣味性	0.715	0.728	0.520	0.516
舒适性	0.848	0.846	0.519	0.624
方便性	0.724	0.769	0.542	0.539
安全性	0.855	0.872	0.568	0.571
快捷性	0.841	0.858	0.607	0.621
经济性	0.804	0.791	0.602	0.597

两个模型的各影响变量建构信度均大于 0.6,说明各影响变量均具有较高的内部一致性;同时,两个模型的各影响变量平均方差抽取量均大于 0.5,说明两模型的测量指标均能有效反映其对应的影响变量。

4 结语

1) 6 个公因子之间存在显著的共变关系,一阶六因子无相关模型无法契合数据,而一阶六因子有相关模型和二阶因子模型均可以反映其内部结构,

其中二阶因子模型比一阶六因子模型具有更高的拟合优度。

2) 二阶因子模型得到了城市轨道交通服务质量各影响因素的贡献度,通过贡献度可以找到乘客感知服务质量的薄弱环节,从而针对性地提高城市轨道交通服务质量。

参考文献

- [1] EBOLI L, MAZZULLA G. Relationships between rail passengers' satisfaction and service quality: a framework for identifying key service factors[J]. Public Transport, 2015, 7(2): 185.
- [2] 何天健,柏赞,蔡浩,等.城市轨道交通系统的运营服务可靠性研究[J].交通运输系统工程与信息,2015,15(6):1. HE Tianjian,BAI Yun, CAI Hao, et al. Service reliability of urban rail systems[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2015, 15(6): 1.
- [3] 尹聪聪,蒲琪,李素莹.基于乘客感知的城市轨道交通客运服务质量评价指标研究[J].城市轨道交通研究,2014,17(6):78. YIN Congcong, PU Qi, LI Suying. On the evaluation index of service quality on urban rail transit based on passenger perception[J]. Urban Mass Transit, 2014, 17(6): 78.
- [4] 向兵,孙有望.城市轨道交通乘客服务水平评价方法研究[J].城市轨道交通研究,2008,11(9):15. XIANG Bing, SUN Youwang. An evaluation index system of passenger service of URT[J]. Urban Mass Transit, 2008, 11(9):15.

· 收稿日期:2022-04-13 修回日期:2022-11-13 出版日期:2024-08-10

Received:2022-04-13 Revised:2022-11-13 Published:2024-08-10

· 通信作者:唐炜,工程师,tang312wei@163.com

· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议

© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

敬请关注《城市轨道交通研究》微信视频号

《城市轨道交通研究》微信视频号聚焦轨道交通行业内的热点问题、焦点问题,以及新技术、新成果,邀请相关专业领域内的专家学者及高级管理人员以视频方式解读和评述,是您及时获知行业资讯、深度了解轨道交通各专业领域的最佳平台。您还可以通过该平台查阅往期论文、查询稿件进度、开具论文录用通知书。敬请关注。

