文章编号:1005-0523(2022)03-0071-09

收入与票价水平对通勤出行影响的机理研究

杨 舒[1],毛保华[1,2],许 奇[1,2],黄俊生[1],周 琪[1],肖中圣[1]

(1. 北京交通大学综合交通运输大数据应用技术交通运输行业重点实验室,北京 100044;
2. 北京交通大学中国综合交通研究中心,北京 100044)

摘要:居民收入与票价水平的关系直接影响乘客使用地铁的通勤出行行为。根据现有票价对通勤出行影响的研究基础,首先定义了票价水平,然后对北京、广州,天津、武汉,大连、长春进行调查,要求乘客按照日常实际通勤行为回答,通过建立偏最小二乘法结构方程模型(partial least squares structural equation modeling, PLS-SEM)和中介模型,分析不同类型城市票价对通勤出行的影响机理。结果显示:票价合理性会影响知觉价值进而影响出行意向。其中,单次票价对知觉价值的影响依次为新一线城市(0.862),一线城市(0.838),二线城市(0.782)。单次票价通过票价水平即票价可负担性对知觉价值产生影响,票价可负担性在单次票价对知觉价值的影响中起中介效应。中介效应占总影响的比例依次为一线城市(57.3%),新一线城市(45.2%),二线城市(40.2%)。

关键词:交通运输经济;收入;票价水平;PLS-SEM;中介模型;出行行为选择

中图分类号:U491.1 **文献标志码**:A

本文引用格式:杨舒,毛保华,许奇,等. 收入与票价水平对通勤出行影响的机理研究[J]. 华东交通大学学报,2022,39(3):71-79.

Mechanism for Impact of Income and Fare Levels on Commuters Travel

Yang Shu[1], Mao Baohua[1,2], Xu Qi[1,2], Huang Junsheng[1], Zhou Qi[1], Xiao Zhongsheng[1]

(1. Key Laboratory of Transport Industry of Big Data Application Technologies for Comprehensive Transportation, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China; 2. Research Center for China Integrated Transportation, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: The relationship between residents' income and ticket prices directly affects the commuting choice of urban rail transit passengers. According to existing researches on the impact of ticket prices on commuting travel, the level of ticket price is defined firstly. Secondly, based on the investigation of Beijing, Guangzhou, Tianjin, Wuhan, Dalian and Changchun, passengers are required to answer the questions based on daily commuting behavior, and a PLS-SEM model and a mediator model are established to analyze the influence mechanism of ticket prices on commuting travel behavior in different types of cities. The result of study shows the influence mechanism that the rationality of ticket prices affects perceived value and then travel intention. Among them, the effect of ticket price per person on perceived value is new first-tier cities(0.862), first-tier cities(0.838), second-tier cities (0.782). Ticket price per person affects perceived value through the ticket price level, namely the affordability of ticket prices, and the affordability of ticket prices plays a mediating role in the impact of the ticket price per person on perceived value. The mediation effect as a proportion of the total impact is first-tier cities

收稿日期:2021-10-03
基金项目:国家自然科学基金项目(71971021);北京交通大学基本科研业务费科研学术活动项目(2019JBM334)

(57.3%), new first-tier cities(45.2%), second-tier cities(40.2%).

Key words: transportation economics; income; fare level; PLS-SEM; mediation model; travel behavior choice

Citation format: YANG S, MAO B H, XU Q, et al. Mechanism for impact of income and fare levels on commuters travel[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2022, 39(3): 71-79.

地铁通勤客流具有常态化、频率高、相对稳定的特点,客流是评估地铁建设与城市发展的关键指标,识别并量化客流影响因素有利于地铁可持续发展。经济手段会影响通勤出行方式选择,票价是影响乘客通勤出行的重要经济指标[1],票价政策会影响乘客的通勤出行选择。研究票价水平对乘客通勤出行的影响,有助于制定合理的票价政策。

不同收入等级乘客对票价负担能力不同,收入会影响乘客出行方式选择[2]。凯恩斯绝对消费理论认为,消费是由收入唯一决定的,消费与收入有稳定的函数关系。弗里德曼持久收入假说提出收入对居民消费能力影响并不是暂时的,理性消费者会根据持久收入来做消费决策。莫迪利安尼的生命周期假说提出理性消费者在消费前需根据一生的收入来安排支出。根据上述假说,收入决定居民消费,通勤为主要出行方式,根据居民收入来进行通勤研究是必要的。

地铁票价水平影响居民出行。目前大多研究以单次票价为核心, 利用效用函数构建广义成本,分析票价对通勤出行的影响[3]。禹丹丹等[4]通过准确测定不同类型乘客出行时间选择对票价变动的敏感度,得出限制票价折扣政策实施效果的因素是折扣截止过早;Naxemi 等[5]使用 Probit 模型评估补贴政策下票价调整对通勤出行时间的影响机理;李雪岩等[6]将出行者社会互动行为与后悔心理引入广义费用函数,得出依据帕累托最优解调整票价,可促进出行选择行为向优势均衡转移。地铁票价应符合居民通勤出行的可负担性[7]。

已有一些针对乘客通勤出行的研究。早期研究假设出行者为理性决策者,聚焦于特征提取及出行方式选择,采用集计模型。随着研究深入,传统分析无法满足需要, 内因变量量化不准确。在计划行为、理性行为、态度-情景-行为等框架下,结构方程弥补了传统方法缺陷, 能描述对通勤出行的影响机理,更恰当合理。

城市规模不同,交通需求结构不同。票价对通勤出行的影响机理有差异。构建覆盖 90%中心城区通勤人口居住与就业分布的椭圆,2020 年北京市通勤空间半径为 40 km,通勤距离为 7.6 km,南宁市通勤空间半径为 21 km,通勤距离为 4.3 km。我国不同城市的居民通勤出行特点差异大[8]。研究主要集中在发达国家城市或我国大城市,对小城市和不同规模城市之间差异性研究相对少。

综上,已有票价对通勤出行的研究大多创建效用函数,难反映乘客的选择偏好。本文以票价可负担性定义票价水平,建立 PLS-SEM 结构方程模型、中介模型,分析不同类型城市票价水平对通勤出行的影响,对比不同城市的差异性并分析原因,给出针对票价政策的建议。

1 模型

1.1 核心概念

票价合理性中的核心概念为票价水平。票价水平是运营企业结合运输距离、计费形式、财税政策等确定的客运价格, 是乘客所需支付的票价的多少,是乘客出行票价成本的高低[9]。票价水平即票价可负担性。可负担性指消费者购买基本商品的能力,即消费者承担生活成本的能力[10]。票价可负担性是乘客能负担得起票价的程度[11]。

不同城市的票价可负担性不同。城市居民收入与票价呈正相关的关系[12]。城市发展越快,人均可支配收入越高。2019 年一线城市北京人均可支配收入为 73 849 元,广州为 65 052 元;新一线城市天津为 46 119 元,武汉为 51 706 元;二线城市大连为 46 468 元,长春为 37 844 元。单次票价收入北京为 4.07 元/人次,广州为 3.26 元/人次,天津为 2.96 元/人次,武汉为 3.17 元/人次, 大连和长春皆为 2.45 元/人次。以北京和长春为例, 北京人次票价约为长春的 1.66 倍,但人均可支配收入约为长春的 1.95 倍,相较而言,北京市地铁票价比长春稍贵一些。收入会

影响乘客对票价的感知，收入与票价的关系在票价研究中至关重要[13]。不同城市的居民收入和票价可负担性不同。票价水平决定乘客对票价的感受[14]。地铁作为城市居民主要的通勤工具，票价可负担性对通勤出行影响的研究十分关键。

本研究模型为 PLS-SEM 模型和中介模型。首先以理性行为理论为基础，用 PLS-SEM 模型验证票价合理性影响知觉价值进而影响出行意向这一机理。为进一步分析，将票价合理性中核心概念票价水平作为中介变量，单次票价为自变量，构建中介模型，探究票价水平与单次票价对知觉价值的影响并分析。具体步骤为通过文献和实际情况设计问卷，随后发放预调研及正式问卷，对正式问卷进行信效度检验，建立 PLS-SEM 模型、中介模型。

1.2　PLS-SEM 模型

1.2.1　研究理论与假设

居民出行方式选择研究以理性行为理论为基础。人们在采取某项行动之前，会理性考虑。该理论认为人的行为是由一系列复杂的心理思考过程决定。个体行为在某种程度上可由行为意向决定。基本假设为人们大部分行为表现是在自己的意志控制下，合乎理性；人们是否采取某项行为的行为意向是该行为发生与否的决定因素。

根据理性行为理论，为分析乘客通勤出行受票价影响，提出以下两点假设：

1）乘客对票价合理性的态度对知觉价值有正向影响。

2）乘客的知觉价值对行为意向有正向影响。

出行行为研究根据范围不同可以划分为总体和个体两种。个体选择模型假设出行者是理性决策者。根据研究基础建立“票价合理性-知觉价值-行为意向”的消费者行为模型。

1.2.2　变量及问卷题目

本文建立的出行选择行为模型是从理性行为理论出发，围绕个人决策，在显变量测度方面使用李克特 7 点量表，由于 PLS-SEM 要求问卷题目合理，参考文献研究[9]，具体概念及题目设置如下。

票价合理性包括票价水平和单次票价等题目。票价水平即票价可负担性，对应变量为 B_{TP1}，对应题目设计为“使用地铁通勤出行的票价水平（单次票价/可支配收入）较低”。单次票价对应变量为 B_{TP2}，对应题目设计为“使用地铁通勤出行的单次票价较低”。B_{TP3}~B_{TP4} 对应问卷题目设计为“地铁的票价形式多种多样”“采用不同方式使用地铁通勤出行享有票价优惠”。

知觉价值指消费者对产品或服务质量的整体评估。知觉价值已被证实为消费方式的重要影响因素。根据前人研究，知觉价值即出行者选择不同出行方式的效益与成本之间的比较。知觉价值对应显变量为 V_{P1}~V_{P3}，问卷设计为“使用地铁通勤出行性价比较高”“在现状票价下，地铁提供的通勤出行服务水平较高”“使用地铁通勤的出行体验较好”。

出行者行为意向。出行服务若使出行者满意，出行者会对该服务有正面的行为意向，主要包括正面的评价、愿意向其他消费者推荐该产品或服务、消费者的忠诚度等。消费者权衡利弊后会选择知觉价值高的服务，知觉价值与行为意向显著正相关[15]。出行者行为意向对应显变量为 I_{TB1}~I_{TB3}，问卷题目为“在有其他选择（出租车、私家车、电动自行车等）仍然愿意使用地铁通勤出行”“未来一年，很乐意鼓励他人选择地铁通勤出行”“未来一年，愿意办理交通卡，会优先选择地铁通勤出行”。

1.2.3　模型

PLS-SEM 模型由两部分组成。一部分是描述潜变量和显变量关系的测量模型，另一部分是描述内生变量和外生变量之间因果关系的结构方程模型。

测量模型为

$$\boldsymbol{X}=\boldsymbol{\Lambda}_X\boldsymbol{\zeta}+\boldsymbol{\delta}$$

$$\boldsymbol{Y}=\boldsymbol{\Lambda}_Y\boldsymbol{\eta}+\boldsymbol{\varepsilon}$$

式中：$\boldsymbol{X}$ 为由自变量的测量值构成的向量；$\boldsymbol{\zeta}$ 为由潜在外生变量构成的向量，本文中指的是 B_{TP1}~B_{TP4}，V_{P1}~V_{P3}，I_{TP1}~I_{TP3}；$\boldsymbol{\Lambda}_X$ 为 $\boldsymbol{X}$ 对 $\boldsymbol{\zeta}$ 的回归系数或因子负荷矩阵；$\boldsymbol{\delta}$ 为 $\boldsymbol{X}$ 的观测误差构成的向量；$\boldsymbol{Y}$ 为由因变量的测量值构成的向量，本文在研究票价水平对知觉价值的影响时，票价水平是 $\boldsymbol{X}$，知觉价值是 $\boldsymbol{Y}$；在研究知觉价值对出行意向的影响时，知觉价值是 $\boldsymbol{X}$，出行意向是 $\boldsymbol{Y}$；$\boldsymbol{\eta}$ 为由潜在内生变量构成的向量；$\boldsymbol{\Lambda}_Y$ 为 $\boldsymbol{Y}$ 对 $\boldsymbol{\eta}$ 的回归系数或因子负荷矩阵；$\boldsymbol{\varepsilon}$ 为 $\boldsymbol{Y}$ 的观测误差构成的向量。

结构方程模型为

$$\boldsymbol{\eta}=\boldsymbol{B}\boldsymbol{\eta}+\boldsymbol{\Gamma}\boldsymbol{\xi}+\boldsymbol{\zeta}$$

式中：$\boldsymbol{B}$ 为内生潜变量 $\boldsymbol{\eta}$ 的结构系数矩阵，系数矩阵的元素反映了其内生潜变量对某一内生潜变量

的直接作用大小，本研究中的内生潜变量为知觉价值和出行意向；$\boldsymbol{\Gamma}$ 为外生潜变量 $\boldsymbol{\xi}$ 的结构系数矩阵，$\boldsymbol{\Gamma}$ 系数矩阵中的元素反映了外生潜变量 $\boldsymbol{\xi}$ 对内生潜变量 $\boldsymbol{\eta}$ 的直接作用大小，本研究中的外生潜变量为票价水平；$\boldsymbol{\zeta}$ 为模型的误差向量。

1.3 中介模型

中介效应是指在分析 $\boldsymbol{X}$ 对 $\boldsymbol{Y}$ 的影响时，若存在自变量 $\boldsymbol{X}$ 通过影响变量 $\boldsymbol{M}$ 来影响因变量 $\boldsymbol{Y}$，则称 $\boldsymbol{M}$ 为中介变量，该部分影响为中介效应。具体流程如图1所示。

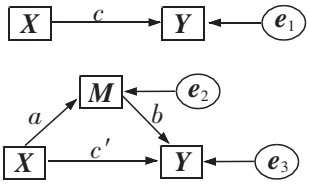

图1 中介模型示意图

Fig.1 Mediation model diagram

$$\begin{cases} \boldsymbol{Y}=c\boldsymbol{X}+\boldsymbol{e}_1 \\ \boldsymbol{M}=a\boldsymbol{X}+\boldsymbol{e}_2 \\ \boldsymbol{Y}=c'\boldsymbol{X}+b\boldsymbol{M}+\boldsymbol{e}_3 \end{cases}$$

式中：c 为 $\boldsymbol{X}$ 对 $\boldsymbol{Y}$ 影响的总效应；a 为 $\boldsymbol{X}$ 对 $\boldsymbol{M}$ 的影响；b 是 $\boldsymbol{M}$ 对 $\boldsymbol{Y}$ 的影响；系数 c' 是在考虑了中介变量 $\boldsymbol{M}$ 的影响后，$\boldsymbol{X}$ 对 $\boldsymbol{Y}$ 影响的直接效应；ab 即为中介效应。用因果逐步回归法检验中介效应。

在PLS-SEM模型的基础上，建立中介模型分析。$\boldsymbol{X}$ 为 B_{TP2}，即“使用地铁通勤出行的单次票价较低”，$\boldsymbol{M}$ 为 B_{TP1}，即“使用地铁通勤出行的票价水平（单次票价/可支配收入）较低”，$\boldsymbol{Y}$ 为知觉价值对应的显变量 V_{P1}，V_{P2}，V_{P3}，分析 $\boldsymbol{X}$ 与 $\boldsymbol{M}$ 和 $\boldsymbol{Y}$ 的关系。

2 数据收集与处理

2.1 数据收集范围

选取一线城市北京、广州，新一线城市天津、武汉，二线城市大连、长春发放问卷。限定使用地铁通勤出行的乘客根据日常实际通勤出行行为作答。

PLS-SEM结构方程建模区别于传统方差建模法，对样本没有分布要求，建议样本数量为80~100[16-18]。本研究使用线上问卷星和线下实地调研，总计发放1 230份问卷，收集有效问卷1 062份，问卷有效率为86.34%。

2.2 数据信效度检验

利用SmartPLS软件检验数据的信效度。信度指结果的观测一致性或可重复性。Cronbach′s Alpha在0.7以上，可信度较高，表明调查结果稳定性较好。效度表示被测对象真正特征的情况。聚合效度包括rho_A、组合信度、平均抽取变异量（AVE）3部分，均在0.8以上，调查能反映实际。

3 实证分析

3.1 PLS-SEM模型的拟合检验及结果分析

如图2所示，知觉价值、行为意向 R^2 和调整 R^2 的值皆高于0.8，模型与数据适配性良好。

各变量之间的测量关系如表2所示。由下表可知，同一潜变量下不同显变量所对应测量关系的相关系数相差较小，各显变量选取相对合理。

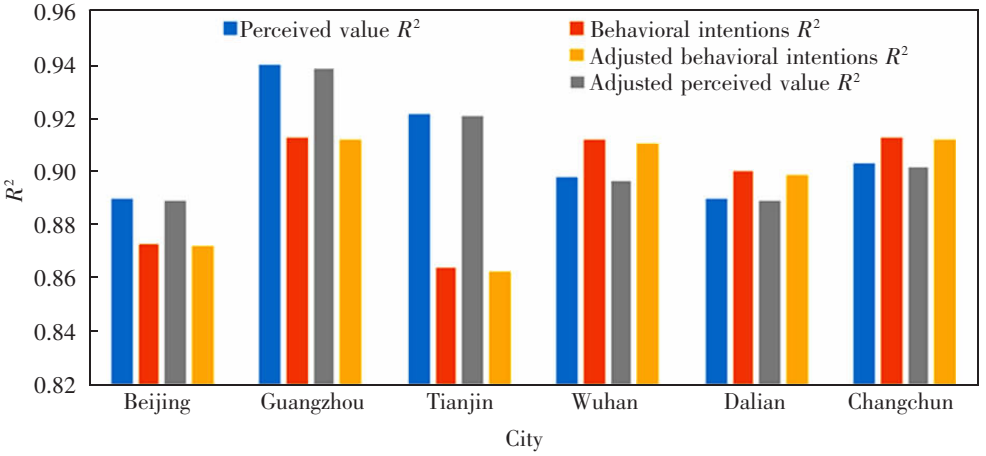

图2 PLS-SEM模型拟合检验

Fig.2 PLS-SEM model fit test

表 2　测量关系之间的相关系数
Tab.2　Correlation coefficient of measurement relationship

Parameter		First-tier cities		New first-tier cities		Second-tier cities	
		Beijing	Guangzhou	Tianjin	Wuhan	Dalian	Changchun
Ticket price rationality	B_{TP1}	0.922	0.949	0.915	0.945	0.890	0.933
	B_{TP2}	0.902	0.923	0.947	0.933	0.921	0.935
	B_{TP3}	0.929	0.955	0.939	0.916	0.912	0.913
	B_{TP4}	0.950	0.953	0.960	0.933	0.940	0.941
Perceived value	V_{P1}	0.938	0.963	0.908	0.951	0.938	0.958
	V_{P2}	0.958	0.933	0.958	0.941	0.945	0.959
	V_{P3}	0.951	0.943	0.952	0.939	0.933	0.952
Travel intention	I_{TB1}	0.934	0.947	0.937	0.951	0.942	0.957
	I_{TB2}	0.943	0.955	0.96	0.957	0.958	0.958
	I_{TB3}	0.962	0.965	0.931	0.967	0.948	0.942

票价合理性影响知觉价值进而影响出行意向,票价合理性与知觉价值之间路径系数的平均值为一线城市 0.956,新一线城市 0.954,二线城市 0.947。城市发展水平越高,票价合理性对知觉价值影响越明显。知觉价值对出行意向之间的路径系数平均值为一线城市 0.946,新一线城市 0.943,二线城市 0.953。城市发展水平提升,知觉价值对出行意向的影响先降低后提高。推测结果与城市整体交通结构相关,随着城市发展,从二线转变为新一线城市,地面公交线网的完善程度、地铁出行支付方式、出行习惯都会影响居民的出行意向,所以知觉价值与行为意向的关系减小,而新一线城市、一线城市大多都推行公交优先政策,地铁线网都相对完善,当城市发展从新一线城市变为一线城市时,知觉价值与行为意向的相关性增大。

3.2　中介模型的拟合检验及结果分析

中介效应模型如图 3 所示,模型拟合效果好。研究范围涉及的各个城市,结果均为部分中介,存在单次票价通过票价水平对知觉价值影响的中介效应和单次票价对知觉价值的总影响,结果如表 3 所示。

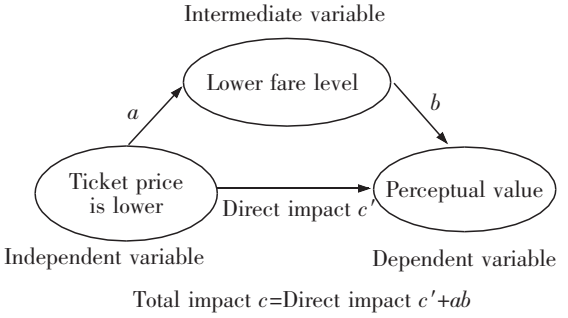

图 3　中介效应模型
Fig.3　Mediation effect model

表3 中介模型结果
Tab.3 Mediation model result

Cities		Dependent variable	Total effect c	Mediating effect ab	Proportion of mediating effect(ab/c)/%
First-tier cities	Beijing	V_{P1}	0.722	0.444	61.50
		V_{P2}	0.800	0.409	51.13
		V_{P3}	0.730	0.427	58.49
	Guangzhou	V_{P1}	0.941	0.448	47.61
		V_{P2}	0.835	0.539	64.55
		V_{P3}	0.998	0.605	60.62
New first-tier cities	Tianjin	V_{P1}	0.793	0.291	36.70
		V_{P2}	0.858	0.350	40.79
		V_{P3}	0.886	0.360	40.63
	Wuhan	V_{P1}	0.802	0.495	61.72
		V_{P2}	0.951	0.322	33.86
		V_{P3}	0.879	0.508	57.79
Second-tier cities	Dalian	V_{P1}	0.690	0.256	37.10
		V_{P2}	0.703	0.217	30.87
		V_{P3}	0.680	0.179	26.32
	Changchun	V_{P1}	0.819	0.461	56.29
		V_{P2}	0.864	0.392	45.37
		V_{P3}	0.936	0.424	45.30

由表4所示,单次票价对知觉价值的影响为新一线城市>一线城市>二线城市,中介效应占总影响的比重为一线城市>新一线城市>二线城市。城市发展水平提升，单次票价对知觉价值的总影响先增大后减小;单次票价通过票价水平进而影响知觉价值这一中介效应占总影响的比例一直增大。

单次票价对知觉价值影响的变化与城市发展、地铁建设及运营水平有关。城市发展水平提升,从二线城市跃升为新一线城市,一般情况下,我国城市地铁线网尚未完善,建设与运营初具规模。居民使用地铁通勤的便利性及出行意愿提升,单次票价对知觉价值的影响变大。当城市进一步发展,从新一线城市跃升为一线城市，地铁呈现网络化运营,成为居民主要通勤工具,服务水平对乘客的需求弹性高于票价[19],同时,票制、优惠票价政策是否完善也会影响乘客的知觉价值,单次票价对知觉价值的影响减小。

中介效应占总影响比例随社会发展的变化与票价性质相关。地铁票价有公益性。票价水平影响居民对社会福利的感知[20]。由二线城市变为新一线城市再变为一线城市,城市快速发展,居民收入更多,产生更多财政收入,价格规制更加完善,确保通勤者在票价上享有相对公平的待遇。单次票价通过票价水平的中介效应占总影响比例更大。

表 4　不同类型城市中介模型结果
Tab.4　Mediation model results for different types of cities

Cities		Average value of total effect *c*	Average value of mediating effect *ab*	Average value of mediating effect proportion
First-tier cities	Beijing, Guangzhou	0.838	0.479	0.572
New first-tier cities	Tianjin, Wuhan	0.862	0.388	0.450
Second-tier cities	Dalian, Changchun	0.782	0.322	0.412

基于本文研究，可对我国票价政策进行讨论。目前我国票价调整政策与票价水平关系较小。北京、深圳票价调整政策与运营成本相关，收入只作为限定。新加坡[21]、中国香港[22]的公交票价调整政策中将收入作为调整公式中的变量。国外大城市交通机构都采用与收入有关的票价政策对客流量进行调整。我国城市的地铁票价政策需要进行优化，需从收入与票价水平的关系分析票价。票价调整遵循“比价合理”原则。票价调整过程新老线路票价同网同价。但从现实出发，新建设的线路大部分通过郊区，承担输送主要的通勤者这一任务。郊区居民收入低于中心城区。相同票价调整对低收入者生活影响更大，这不公平。不同地铁线路收支情况不同，票价情况应具体分析。长距离和短距离的线路定价应有区别，亏损线路和盈利线路的定价也应有区别。不同地铁的建设运营阶段不同，应根据发展不同阶段更改票价调整幅度中收入所占的比重。

从目前票价优惠政策看，国外对低收入群体相关政策较多。比如纽约公平票价项目、新加坡低收入者交通卡、东京通勤票。我国仅有针对学生、老年人的票价优惠，票价优惠政策单一，地铁通勤者作为服务的主要使用者及城市纳税人，缺少相应票价优惠政策。结合本研究内容，对我国地铁票价的优惠政策给出以下建议。

完善票价结构，推广不同形式的优惠票价。在计程票制、单一票制基础上完善票价结构，应结合实际需求制订相应的票制票价，确定不同优惠形式。不同收入等级乘客每月通勤出行次数、出行时间及距离不同，为更好满足个体差异，可设置根据通勤出行次数不同的多乘优惠、根据通勤出行时间不同的错峰票价优惠、考虑运距长短的出行优惠。

制定可实施性强的票价优惠方案。优惠票价政策的可实施性是评价票价是否合理的重要因素。新方案在实施中可能会面临问题。如何准确确定针对不同收入人群的优惠是关键点。不同收入等级的分界线应根据统计年鉴、出行调查、公开意见征求综合确定，同时应根据实际，定期结合 GDP、CPI、小汽车保有量等社会发展指标调整。

建立以票价水平为基础的亏损评估机制。合理的亏损补贴机制能够保证票价优惠的政策可持续实行，两者相辅相成。目前补贴方式多且复杂，其中包括 ABO 模式、亏多少补多少、固定利润补贴方式等，合理补贴的前提是准确识别政策性亏损，从票价水平角度入手设置补贴的方式更可满足地铁公益性，更能精准补贴乘客，也更能符合不同交通方式的比价关系，提升运营企业积极性。

4　结论

本文对北京、广州、天津、武汉、大连、长春进行调查，建立 PLS-SEM 模型和中介模型分析票价水平对乘客使用地铁通勤的影响，结论如下。

1）票价合理性影响知觉价值，进而影响出行意向。

2）不同城市的票价合理性影响知觉价值，进而影响行为意向的程度不同。通过 PLS-SEM 模型发现，票价合理性对知觉价值的影响程度为一线城市>新一线城市>二线城市。知觉价值对行为意向的影响程度为新一线城市<一线城市<二线城市。随着城市发展水平提升，票价合理性与乘客知觉价值的相关关系增大。另一方面，乘客感知到的服务水平与行为意向的正相关关系先降低后提升，这与城市整体的交通结构相关。

3）不同城市单次票价对知觉价值的影响不同。通过中介模型发现，单次票价对知觉价值的影响程度为新一线城市>一线城市>二线城市。城市发展加快，单次票价对知觉价值影响先提高后降低，原因在于，随着城市发展，乘客使用地铁通勤出行的频

率增加,地铁为主要通勤工具,乘客对票价的关注度提升。随着城市进一步发展,此部分影响减小,主要原因是地铁建设与运营逐渐完善,地铁成为主要通勤工具。

4)不同城市的单次票价对知觉价值影响不同。通过中介模型发现,中介效应为单次票价通过票价水平即票价可负担性影响知觉价值。中介效应占总影响的比例为一线城市>新一线城市>二线城市。城市发展水平提升,中介效应占总影响的比例逐渐提升。随着城市发展加快,票价水平对知觉价值的影响提升。

参考文献:

[1] 翁剑成,涂强,林鹏飞,等. 票价调整对公交出行者出行选择的影响分析[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2017,41(3):419-424.
WENG J C,TU Q,LIN P F,et al. Analysis of the impact of fare adjustment on the travel choice of public transport travelers[J]. Journal of Wuhan University of Technology (Transportation Science and Engineering Edition),2017,41(3):419-424.

[2] 侯云仙,杨善奇. 交通方式选择与旅客时间价值研究——以北京-太原客运通道为例[J]. 北京交通大学学报(社会科学版),2016,15(2):80-88.
HOU Y X,YANG S Q. Study on transportation mode choice and time value of passengers—Take Beijing-Taiyuan passenger corridor as an example [J]. Journal of Beijing Jiaotong University(Social Science Edition),2016,15(2):80-88.

[3] PAULLEY N,BALCOMBE R,MACKETT R,et al. The demand for public transport:The effects of fares, quality of service,income and car ownership[J]. Transport Policy,2006,13(4):295-306.

[4] 禹丹丹,姚向明,徐会杰,等. 峰前折扣票价下轨道交通乘客出发时间弹性[J]. 交通运输系统工程与信息,2019,19(5):156-162.
YU D D,YAO X M,XU H J,et al. Rail transit passenger departure time elasticity under pre-peak discount fares[J]. Transportation System Engineering and Information,2019,19(5):156-162.

[5] NAXEMI A,AZHDAR R,FESHARI M,et al. Effect of changes fare on commuter's behavior change, a case study of tehran subway[J]. Journal of Research in Economic Modeling,2017,7(26):89-110.

[6] 李雪岩,祝歆,李静. 城市公交线网差异化计程票价多目标优化[J]. 交通运输系统工程与信息,2020,20(5):148-155.
LI X Y,ZHU X,LI J. Multi-objective optimization of differentiated fare counting for urban bus line networks[J]. Transportation System Engineering and Information,2020,20(5):148-155.

[7] 吴珂琪. 城市轨道交通定价及补贴策略研究[D].北京:北京交通大学,2016.
WU K Q. Research on urban rail transit pricing and subsidy strategy[D]. Beijing:Beijing Jiaotong University,2016.

[8] 住建部城市交通基础设施监测与治理实验室. 2020年度全国主要城市通勤监测报告[R]. 北京:住建部城市交通基础设施监测与治理实验室,2020.
URBAN TRAFFIC INFRASTRUCTURE MONITORING AND MANAGEMENT LABORATORY OF THE MINISTRY OF HOUSING AND URBAN RURAL DEVELOPMENT. 2020 commute monitoring report of major cities in China[R]. Beijing: Urban Traffic Infrastructure Monitoring and Management Laboratory of the Ministry of Housing and Urban Rural Development,2020.

[9] 陈坚. 出行行为与公交定价理论及应用研究[D]. 成都:西南交通大学,2012.
CHEN J. Research on travel behavior and transit pricing theory and application[D]. Chengdu:Southwest Jiaotong University,2012.

[10] HULCHANSKI D. The concept of housing affordability:Six contemporary uses of the housing expenditure-to-income ratio[J]. Housing Studies,1995,10(4):471-491.

[11] THE WORLD BANK GROUP. Affordability of public transport in developing countries[R].Washington,D.C.:The World Bank Group,2005.

[12] 魏心亿,马燕妮,计笑天,等. 城市公共交通票价改革研究——基于北京等主要城市的综合比较与数量分析[J]. 价格理论与实践,2014(4):52-55.
WEI X Y,MA Y N,JI X T,et al. Research on urban public transport fare reform--A comprehensive comparison and quantitative analysis based on Beijing and other major cities[J]. Price Theory and Practice,2014(4):52-55.

[13] 刘琦,耿铭君,李宝国. 深圳市公交票价水平评估及改善对策研究[J]. 价值工程,2017,36(22):9-11.
LIU Q,GENG M J,LI B G. Research on the assessment of public transport fare level and improvement countermeasures in Shenzhen[J]. Value Engineering,2017,36(22):9-11.

[14] 杨舒,毛保华,许奇,等. 票价水平对地铁乘客通勤出行的影响[J]. 科学技术与工程,2021,21(23):10068-10073.
YANG S,MAO B H,XU Q,et al. The impact of fare level

on commuting trips of subway passengers[J]. Science, Technology and Engineering, 2021, 21(23): 10068–10073.

[15] DAS S, PANDIT D. Determination of level-of-service scale values for quantitative bus transit service attributes based on user perception[J]. Transportmetrica A: Transport Science, 2015, 11(1): 1–21.

[16] CHIN W W, NEWSTED P R. Newsted Structural Equation Modeling Analysis With Small Samples Using Partial Least Squares[M]. London: International Educational and Professional Publisher, 1999.

[17] EFRON B. Bootstrap methods: Another look at the jackknife[J]. The Annals of Statistics, 1979, 7(1): 1–26.

[18] HUO Y B. Analysis and comparison of the path modeling principles between LISREL and PLS[J]. Statistics, 2006(1): 19–21.

[19] 柴适. 国外对公交调价的思考与建议[J]. 城市公用事业, 2016(1): 63–65.
CHAI S. Foreign thoughts and suggestions on public transport fare adjustment[J]. Urban Utilities, 2016(1): 63–65.

[20] WANG Z J, CHEN F, WANG B, et al. Passengers′ response to transit fare change: An expost appraisal using smart card data[J]. Transportation, 2018, 45(5): 1559–1578.

[21] 许飒，张玉清，杜云柯. 城市公交票价调节机制设计研究[J]. 交通标准化, 2016, 2(3): 23–29.
XU Z, ZHANG Y Q, DU Y K. Research on the design of urban bus fare regulation mechanism[J]. Traffic standardization, 2016, 2(3): 23–29.

[22] 湛世坤，李洪波. 香港公交运输管理及收费政策研究[J]. 港澳价格信息, 2010(8): 14–18.
ZHAN S K, LI H B. A study of bus transportation management and fare policies in Hong Kong[J]. Hong Kong and Macao Price Information, 2010(8): 14–18.

第一作者：杨舒(1997—)，女，硕士研究生。研究方向为交通运输规划与管理，交通运输经济。E-mail：19120934@bjtu.edu.cn。

通信作者：毛保华(1963—)，男，博士，教授。北京交通大学中国综合交通研究中心执行主任，博士生导师。研究方向为交通运输规划与管理，交通政策、运输组织理论与方法等。1993 年博士毕业于北方交通大学。E-mail：bhmao@bjtu.edu.cn。

(责任编辑：吴海燕　姜红贵)