

# 短距离下小汽车出行向自行车出行转移意向 MIMIC 模型

舒诗楠<sup>1,2</sup>, 边 扬<sup>1</sup>, 荣 建<sup>1</sup>, 李 爽<sup>2</sup>

(1. 北京工业大学城市交通学院, 北京 100124; 2. 北京城市规划设计研究院, 北京 100045)

**摘要:** 为系统研究心理潜在因素与外生因素对短距离下小汽车出行向自行车出行转移意向的影响, 提出了转移意向多指标多原因(multiple indicators and multiple causes, MIMIC)模型. 以计划行为理论为框架拓展潜在因素, 研究外部障碍、个人障碍、骑行态度、骑行偏好、主观规范与转移意向潜在变量间的相互影响关系, 并分析社会人口特征、出行特征、客观环境、小汽车限制措施等外生变量与潜在变量间的因果关系. 结果表明: 通过外部障碍、个人障碍、骑行偏好、骑行态度和主观规范能够有效解释小汽车出行向自行车出行转移意向, 转移意向受到外部障碍、个人障碍、骑行偏好和主观规范的直接影响, 以及外部障碍、主观规范和骑行态度的间接影响; 外生变量对转移意向不产生直接影响, 而是通过其他潜在变量对转移意向产生间接影响; 外部障碍、骑行态度是客观环境与转移意向间的完全中介变量, 骑行态度、骑行偏好是小汽车限制措施与转移意向间的完全中介变量, 说明通过干预措施提升人们对环境的感知至关重要, 通过小汽车限制措施提升态度与偏好是推进转移的重要手段.

**关键词:** 交通工程; 自行车出行; 多指标多原因(multiple indicators and multiple causes, MIMIC)模型; 心理潜在因素; 计划行为理论

中图分类号: U 491.1

文献标志码: A

文章编号: 0254-0037(2019)10-0998-11

doi: 10.11936/bjtxb2018020010

## Transition From Driving to Bicycling in Short-distance Travel Based on MIMIC Model

SHU Shinan<sup>1,2</sup>, BIAN Yang<sup>1</sup>, RONG Jian<sup>1</sup>, LI Shuang<sup>2</sup>

(1. College of Metropolitan Transportation, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China;

2. Beijing Municipal Institute of City Planning and Design, Beijing 100045, China)

**Abstract:** To systematically research the impacts of psychological latent factors and exogenous factors on transition from driving to bicycling in short-distance travel, a multiple indicators and multiple cause model of transition intention was established in this paper. Latent factors based on theory of planned behavior were expanded and the interaction relationships among latent factors such as external barrier, individual barrier, bicycling preference, bicycling attitude and subjective norm and transition intention were analyzed. The causal relationships between latent factors and exogenous factors such as socio-demography, travel characteristic, objective environment and car restriction measure were also analyzed. Results show that bicycling transition intention can be adequately explained by external barrier, individual barrier, bicycling preference, bicycling attitude and subjective norm. External barrier, individual barrier, bicycling preference and subjective norm directly affect transition intention, and

收稿日期: 2018-02-01

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61672067)

作者简介: 舒诗楠(1990—), 男, 博士研究生, 主要从事交通规划、步行与自行车交通方面的研究, E-mail: shushinan@emails.bjut.edu.cn

external barrier, subjective norm and bicycling attitude indirectly affect it. Moreover, exogenous factors have no direct effect on transition intention, but have indirect effect on transition intention by latent factors. Last but not least, external barrier and bicycling attitude are the complete intermediate variable between objective environment and transition intention, and bicycling attitude and bicycling preference are the complete intermediate variable between car restriction measure and transition intention. It indicates that the improvement of perceived environment by using intervening measures is very important. Meanwhile, the improvement of bicycling attitude and preference by implementing car restriction measure is a crucial mean to promoting the transition to bicycling.

**Key words:** traffic engineering; bicycling travel; multiple indicators and multiple causes (MIMIC) model; psychological latent factor; theory of planned behavior

随着社会经济的发展,我国交通出行的机动化水平逐年提高,从自行车王国转变为机动车大国. 2004—2015年,北京市小汽车出行分担率由23%增长到32%,而自行车出行分担率由32%下降到12%<sup>[1]</sup>. 其中,原本适宜自行车的短距离(5 km以下)出行大量转向小汽车出行. 根据北京市居住区出行方式调查数据显示,在短距离出行中小汽车出行占比达16%,高于自行车出行占比15%. 此外,短距离小汽车出行占小汽车出行总量的40%以上<sup>[1]</sup>. 由此可见,促进短距离内小汽车出行向自行车出行回归转移,是缓解交通拥堵、推进节能减排、提高居民生活品质的重要途径. 然而,城市在采取各项措施推进自行车交通发展的同时,并未完全掌握影响出行者向自行车转移的心理要素,对小汽车限制措施与自行车改善措施、硬性措施(设施环境改善等)与柔性措施(宣传推广与营销等)的作用机理并不清楚,导致政策与措施的制定缺乏针对性,效果不明显.

以往的出行方式选择研究多采用传统的效用理论,分析出行者个体特征(性别、年龄、收入等)与出行方式属性(出行距离、时间、费用等)对方式选择的影响<sup>[2-3]</sup>. 决策过程中出行者的心理因素被视为“黑箱”,难以掌握出行者的偏好、态度与认知等潜在因素. 近年来,计划行为理论被广泛应用于出行行为的研究,该理论假设行为意向受到行为态度、主观规范与知觉行为控制3个因素的影响. 景鹏等<sup>[4]</sup>基于计划行为理论构建了通勤出行方式混合选择模型,发现引入潜在变量的选择模型对实证研究具有更高的拟合度. Munoz等<sup>[5]</sup>研究了态度、主观规范、知觉行为控制等潜在变量的结构,发现其对自行车出行具有显著影响. 然而, Ajzen<sup>[6]</sup>最近指出,计划行为理论的假设并非完全充分,可能还存在其他因素对行为意向造成影响. 尤其对于自行车出行,潜在变量造成的影响远大于机动车出行,潜在变量的

类别与组成也更为复杂<sup>[7-8]</sup>. 因此,仅考虑行为态度、主观规范和知觉行为控制,难以准确反映小汽车出行向自行车出行转移的实际行为意向.

针对于此,本文根据自行车出行的特点对计划行为理论进行了扩展,基于短距离出行建立了小汽车出行向自行车出行转移意向多指标多原因(multiple indicators and multiple causes, MIMIC)模型. 通过模型能够判别促进出行转移的心理因素,掌握外生因素、潜在因素对转移意向的影响,为自行车出行改善措施与需求管理策略的制定提供理论支撑.

## 1 计划行为理论拓展

### 1.1 潜在变量

针对以往不足,基于自行车出行的特点对计划行为理论进行了扩展,明确了推进出行转移的潜在变量. 特大城市“以车为主”的城市道路规划加深了人们对自行车的偏见,大尺度、低密度、高架桥、宽马路降低了人们对自行车出行的偏好. 以往研究表明,骑行态度与骑行偏好存在一定的差异,骑行态度指出行者认为自行车作为交通方式的安全、快捷、舒适程度<sup>[8-10]</sup>,而骑行偏好指出行者对自行车出行的直接喜好程度<sup>[11-12]</sup>. Trapp等<sup>[11]</sup>与 Dill等<sup>[9]</sup>研究发现偏好骑车的人明显具有更强的骑行意愿, Yan等<sup>[12]</sup>研究认为对自行车出行抱有积极态度的人并不一定偏好自行车出行. 因此,本文在骑行态度的基础上,加入骑行偏好作为潜在变量. 此外, Nkurunziza等<sup>[13]</sup>的研究表明自行车出行中的知觉行为控制更为复杂,包括感知到的自行车道障碍、自行车停车障碍、配套设施障碍、身体条件等要素,并且外部障碍与个人障碍对自行车出行的影响程度不同. 因此,本文将知觉行为控制细化为外部障碍与个人障碍. 综上所述,潜在变量选取外部障碍、个人障碍、骑行态度、骑行偏好、主观规范与转移意向.

以往已有研究对影响自行车出行的潜在变量之间的相互关系进行了探讨。Willis 等<sup>[14]</sup>以计划行为理论为基础,研究发现态度、主观规范、知觉行为控制对自行车使用意向具有直接影响,并且知觉行为控制对行为态度具有正向影响。Fernandez-Heredia 等<sup>[15]</sup>证明了外部障碍、个人障碍与自行车使用意向之间的显著性关系,并发现将知觉行为控制细分为外部障碍与个人障碍后能提高对自行车使用意向的解释力。Yan 等<sup>[12]</sup>研究发现在骑行态度对自行车使用意向的影响中,骑行偏好起到了中介变量的作用。

## 1.2 理论假设

根据计划行为理论中各变量关系的描述以及以往对于自行车出行行为的相关研究,本文提出4个假设。假设1:外部障碍、个人障碍、骑行态度与主观规范对转移意向有显著正向影响;假设2:外部障

碍、个人障碍、主观规范对骑行态度有显著正向影响;假设3:外部障碍、个人障碍、主观规范对骑行偏好有显著正向影响;假设4:骑行偏好在骑行态度与转移意向之间的关系上起到中介作用。

## 2 数据获取与分析

### 2.1 变量选取

影响自行车出行的要素除心理潜在因素外,还包括出行者社会人口特征、出行特征、设施环境特征、主观认知与交通政策措施等外生因素<sup>[9-10]</sup>。本文考虑外生变量与潜在变量对小汽车出行向自行车出行转移意向的影响,外生变量选取社会人口特征、出行特征、客观环境与小汽车限制措施,潜在变量选取外部障碍、个人障碍、骑行态度、骑行偏好、主观规范与转移意向。所有变量及其定义具体如表1所示。

表1 变量定义  
Table 1 Variable definition

变量类型	变量指标	变量缩写	变量赋值
社会人口特征	性别	$X_{gen}$	0 = 男性, 1 = 女性
	年龄	$X_{age}$	(12, 79)
	收入	$X_{inc}$	1 = 1 500 元以下, 2 = 1 501 ~ 3 000 元, 3 = 3 001 ~ 5 000 元, 4 = 5 001 ~ 8 000 元, 5 = 8 001 ~ 15 000 元, 6 = 15 000 元以上
	学历	$X_{edu}$	1 = 初中及以下, 2 = 高中/职高/中专, 3 = 大专/本科, 4 = 硕士及以上
	家庭儿童数	$X_{chi}$	0 = 没有, 1 = 有
出行特征	出行距离	$X_{dis}$	1 = 1 km 以内, 2 = 1 ~ 2 km, 3 = 2 ~ 3 km, 4 = 3 ~ 4 km, 5 = 4 ~ 5 km
	小汽车可用性	$X_{car}$	0 = 不可用, 1 = 可用
	私人自行车可用性	$X_{bic}$	0 = 不可用, 1 = 可用
客观环境	自行车出行环境	$X_{los}$	1.5 km 区域范围内的自行车出行环境服务水平: 1 = 5 级, 2 = 4 级, 3 = 3 级, 4 = 2 级, 5 = 1 级
	自行车路网密度	$X_{den}$	1.5 km 区域范围内的自行车路网密度
	生活设施可达性	$X_{acc}$	1.5 km 区域范围内生活设施可达性
小汽车限制措施	小汽车限速	$X_{IM1}$	社区周边采取小汽车限速措施后被调查者的转移意愿
	提高停车费	$X_{IM2}$	社区周边提高小汽车停车费后被调查者的转移意愿
	减少停车位	$X_{IM3}$	社区周边减少小汽车停车位后被调查者的转移意愿
	增收拥堵费	$X_{IM4}$	增收小汽车拥堵费后被调查者的转移意愿
潜在变量	外部障碍	$\eta_B$	被调查者对自行车出行的外部障碍
	个人障碍	$\eta_{BI}$	被调查者对自行车出行的个人障碍
	骑行态度	$\eta_A$	被调查者对自行车出行的骑行态度
	骑行偏好	$\eta_{QD}$	被调查者对自行车出行的骑行偏好
	主观规范	$\eta_{SN}$	被调查者对自行车出行的个人障碍
	转移意向	$\eta_{CI}$	被调查者对自行车出行的转移意向

## 2.2 问卷调查与实地调研

问卷数据来源于 2017 年 3 月 24 日至 4 月 12 日开展的问卷调查,调查地点选取位于北京市不同地理位置、涵盖不同客观环境水平的 10 个社区,包括三里河一区、新安中里社区、方舟苑小区等。采用随机抽样、当面询问的方式,分别开展了预调查与正式调查。预调查获取了 212 份问卷,根据预调查结果对问卷进行检验并修正,正式调查获取了 608 份有效问卷。样本量四原则指出,利用结构方程进行多变量研究时样本数应至少为变量的 5~10 倍,因此,正式调查的样本量宜大于 210 份。根据抽样调查理论,计算得到最小样本量为 384 份。由此可见,正式调查的样本量能够满足研究需要。

正式调查问卷包括 4 个部分,涵盖出行者的社会人口特征、出行特征、小汽车限制措施以及潜在变量测量指标。第 1 部分的社会人口特征包括性别、年龄、收入、学历、家庭儿童数。第 2 部分的出行特征包括出行距离、小汽车可用性与私人自行车可用性。第 3 部分的小汽车限制措施包括小汽车限速、提高停车费、减少停车位和增收拥堵费,具体如表 1 所示。第 4 部分的潜在变量包括外部障碍、个人障碍、骑行态度、骑行偏好、主观规范与转移意向,测量按照 Ajzen<sup>[16]</sup>关于构造计划行为理论问卷的基本原则和方法,结合以往自行车出行潜在变量测量的相关研究,形成了本研究的测量量表<sup>[9,11]</sup>。量表均采用 Likert 五级量表的形式,以 1、2、3、4、5 分别代表完全不同意、不同意、说不清、同意、完全同意。测量指标与问题描述如表 2 所示。客观环境数据来源于 2017 年 4 月 24 日至 5 月 12 日开展的实地调研。基于 10 个社区的调研数据测算了社区 1.5 km 区域范围内自行车出行环境服务水平、自行车路网密度与生活设施可达性。自行车出行环境服务水平主要基于方丽雪等<sup>[17]</sup>提出的自行车交通服务品质分级方法进行测算,根据道路设施、交通特征与环境特征三方面因素对路段自行车出行环境进行评价,划分为 5 级服务水平。以区域内 1~3 级服务水平的自行车路段长度占比为指标,得到 10 个社区的自行车出行环境服务水平等级<sup>[18]</sup>。生活设施可达性考虑教育、医疗、购物、餐饮、文娱、金融邮电 6 种不同类型的设施,分别赋予不同权重,并根据区域范围内 6 类设施的数量测算 10 个社区的生活设施可达性<sup>[18]</sup>。

从有效样本的社会人口特征上看,被调查者男性占 51%;年龄以中青年为主,21~30 岁占 36%,31~40 岁占 50%;受教育程度以大专/本科为主,占

50%;月收入以中低等收入为主,5 000 元以下占 46%,5 001~8 000 元占 25%;有儿童的家庭占 53%。样本涵盖了不同社会人口特征的人群,体现了样本的随机性与普适性。从客观环境测算结果上看,10 个社区的自行车路网密度最高的为 9.62 km/km<sup>2</sup>,最低的为 2.84 km/km<sup>2</sup>;生活设施可达性最高的为 376,最低的为 168;自行车出行环境服务水平涵盖 1 级到 5 级。结果表明,10 个社区的客观环境存在差异,并且涵盖了不同水平。

## 2.3 信效度检验

外部障碍、个人障碍、骑行态度、骑行偏好、主观规范、转移意向通过测量多个观测指标,对潜在变量进行主成分因子分析,采用 Cronbach's 信度检测对各变量的整体信度进行检验,利用 KMO (Kaiser-Meyer-Olkin) 测度、Bartlett 球形度检验对变量效度进行检验,结果如表 3 所示。

从表 3 中可以看出,各变量的 Cronbach's  $\alpha$  值均大于 0.8,说明具有较强的内部一致性,测量量表信度较高。各变量的 Bartlett 球形检验统计结果  $P$  值均小于 0.01,说明具有共同因素,各变量的 KMO 值均在 0.8 左右,说明适合做因子分析。

从因子分析结果可以看出,个人障碍、骑行偏好、主观规范、转移意向中特征值大于 1 的主成分因子都唯一,且解释总方差均达到 70% 以上。外部障碍中有 3 个特征值大于 1 的主成分因子,解释总方差为 68%,结合国内外研究成果与外部障碍特征将 3 个因子分别命名为自行车道障碍、自行车停车障碍与共享单车障碍。骑行态度中有 4 个特征值大于 1 的主成分因子,解释总方差为 77%,将 4 个因子分别命名为安全性态度、快捷性态度、舒适性态度与意识。验证性因子分析结果显示 GFI、CFI、AGFI 均大于 0.9, RMSEA 小于 0.08,说明外部障碍与骑行态度的模型拟合程度好,因子构成成立。结果表明测量量表具有良好的效度。

## 3 基础理论

本文采用 MIMIC 模型刻画潜在变量与外生变量对小汽车出行向自行车出行转移意向的影响。MIMIC 模型一方面能够通过严密的结构模型将潜在变量的外生原因和内生指标清楚地表达出来,明确解释变量对潜在变量的影响程度,另一方面这种分析框架能够使正规统计关系检验更加便利。此外, MIMIC 模型不需要以严格的假设和约束条件为前提,能够接受外生变量与内生指标的测量误差,可

表2 潜在变量测量指标  
Table 2 Measurement index of latent variable

潜在变量	因子	测量指标	问题描述	测量指标均值	因子均值	
外部障碍	自行车道障碍	BL1	社区周边的自行车道不够多	3.37	3.45	
		BL2	社区周边的自行车道不够安全	3.40		
		BL3	住区周边的自行车道被小汽车严重侵占	3.59		
	自行车停车障碍	BP1	社区周边很难发现自行车存车架/划线停车位/停车场	3.23		
		BP2	社区周边的自行车存车架/划线停车位/停车场不够多	3.38		
		BP3	社区周边的自行车存车架/划线停车位/停车场缺少专人看管,自行车容易被盗	3.43		
		BS1	共享单车/公共自行车数量少,需步行较远才能找到车	3.60		
	共享单车障碍	BS2	高峰时间经常无法及时找到共享单车/无法及时租还公共自行车	3.75		3.61
		BS3	共享单车/公共自行车车辆损坏严重	3.49		
		BS4	共享单车/公共自行车设备故障严重,扫码/刷卡后租不上车	3.59		
个人障碍	BI1	我不擅长骑自行车,骑车技术不好	2.19	2.20		
	BI2	我的身体条件不适合骑自行车出行	2.02			
	BI3	对我来说转移到自行车出行不切实际	2.39			
骑行态度	安全性态度	AS1	骑自行车出行容易发生交通事故	2.98	3.29	
		AS2	夜晚骑自行车出行不安全	3.52		
		AS3	恶劣天气骑自行车出行不安全	3.89		
	快捷性态度	AQ1	骑自行车出行灵活,可以随时出发	3.22		
		AQ2	骑自行车出行方便,可以“门到门”直接到达目的地	3.45		
		AQ3	骑自行车出行快捷,节约时间,避免拥堵	3.22		
	舒适性态度	AC1	自行车出行的绿化环境舒适	3.71		3.55
		AC2	自行车出行的交通环境舒适	3.49		
		AC3	自行车出行的空气环境舒适	3.45		
		AW1	骑自行车出行有利于环保	4.16		
意识	AW2	骑自行车出行有益于健康	4.14	4.11		
	AW3	骑自行车出行节约金钱	4.03			
	骑行偏好	AD1	我喜欢骑自行车出行	3.77	3.73	
AD2		骑自行车出行比其他交通方式好	3.75			
AD3		骑自行车出行让我很满意	3.77			
AD4		骑自行车出行能满足我的日常出行需求	3.66			
主观规范	SN1	亲朋好友认为我在短距离内应该转移到自行车出行	3.90	3.84		
	SN2	亲朋好友在短距离内经常骑自行车出行	3.82			
	SN3	我会因为亲朋好友在短距离内骑自行车出行而转移到自行车出行	3.79			
转移意向	CI1	我愿意在短距离内转移到自行车出行	3.72	3.73		
	CI2	我会鼓励亲朋好友在短距离内转移到自行车出行	3.79			
	CI3	即使有了小汽车,我依旧愿意在短距离内骑自行车出行	3.67			

表 3 信效度检验结果  
Table 3 Inspection result of reliability and validity

变量	主成分因子分析		$\alpha$	KMO	Bartlett 球形度 检验值	$P$
	解释总方差/%	特征值				
外部障碍	68.21	3.79	0.81	0.81	2 211.03	0.00
		1.96				
个人障碍	72.66	1.07	0.81	0.80	1 096.35	0.00
		2.18				
骑行态度	77.41	4.96	0.84	0.84	4 045.98	0.00
		1.85				
		1.44				
		1.04				
骑行偏好	74.18	2.97	0.88	0.82	1 375.05	0.00
主观规范	73.62	2.95	0.88	0.82	1 296.14	0.00
转移意向	78.26	2.35	0.86	0.79	1 366.63	0.00

以处理潜在变量和多个内生指标,因此,该模型比其他间接测度方法更加灵活,包含了其他的间接测度方法. MIMIC 模型在本质上是结构方程模型的一种形式,通常由结构方程和测量方程 2 部分组成,模型的矩阵形式表示如下:

$$\eta = \Gamma x + \zeta \quad (1)$$

$$y = \Lambda \eta + \varepsilon \quad (2)$$

式中: $\eta$  为潜在变量向量; $x$  为外生变量向量; $y$  为潜在变量的可观测指标变量向量; $\Gamma$  和  $\Lambda$  为待估计的参数矩阵; $\zeta$  和  $\varepsilon$  为测量误差.

将式(1)带入式(2)中可得到

$$y = \Lambda(\Gamma x + \zeta) + \varepsilon = \Pi x + v \quad (3)$$

$$\Pi = \Lambda \Gamma, v = \Lambda \zeta + \varepsilon \quad (4)$$

假设  $\zeta$  和  $\varepsilon$  相互独立且均服从于正态分布,则有  $E(\zeta \varepsilon') = 0, E(\zeta^2) = \delta^2, E(\varepsilon \varepsilon') = \Theta^2, \Theta^2$  为关于  $v$  的下三角矩阵,则可得到包含未知参数  $\theta$  的协方差矩阵公式

$$\Sigma(\theta) = E(vv') = \delta^2 \Lambda \Lambda' + \Theta^2 \quad (5)$$

通过可观测变量的样本值可以计算总体协方差矩阵  $\Sigma$ ,令  $\Sigma = \Sigma(\theta)$ ,就能够估计出各个参数.

在转移意向 MIMIC 模型的多指标部分,相当于对各潜在变量进行验证性因子分析. 多原因模型可表示为

$$\begin{aligned} \eta_{li} = & \gamma_{l1} X_{gen_i} + \gamma_{l2} X_{age_i} + \gamma_{l3} X_{inc_i} + \gamma_{l4} X_{edu_i} + \\ & \gamma_{l5} X_{chi_i} + \gamma_{l6} X_{dis_i} + \gamma_{l7} X_{ear_i} + \gamma_{l8} X_{bic_i} + \\ & \gamma_{l9} X_{los_i} + \gamma_{l10} X_{den_i} + \gamma_{l11} X_{acc_i} + \gamma_{l12} X_{IM1_i} + \\ & \gamma_{l13} X_{IM2_i} + \gamma_{l14} X_{IM3_i} + \gamma_{l15} X_{IM4_i} \end{aligned} \quad (6)$$

式中: $l$  为潜在变量,包括外部障碍、个人障碍、骑行

态度、骑行偏好、主观规范、转移意向; $\gamma$  为待估计的参数; $i$  为观测的个体.

转移意向 MIMIC 模型的总体结构框架如图 1 所示,包含关于可观测外生变量,构成拓展计划行为理论的潜在变量以及用来测量潜在变量的可观测测量指标. 模型假设社会人口特征、出行特征、客观环境与小汽车限制措施影响潜在变量,反映这些元素的潜在变量又对被观测者问题有所解释. 其中潜在变量间的结构方程、潜在变量的测量方程能够反映潜在变量之间的内在影响关系. 加入外生变量与潜在变量间的结构方程能够反映外生变量对各潜在变量是否存在影响与影响的程度.

#### 4 转移意向 MIMIC 模型

为检验潜在变量间的内在联系,探索外生变量与潜在变量间的因果关系,本文构建了转移意向 MIMIC 模型. 利用 AMOS20.0 对模型进行标定,经过多次修正得到拟合度最高的模型如图 2 所示,其中椭圆形代表潜在变量,矩形代表观察变量,箭头上的数字表示 2 个变量间的路径系数. 模型检验结果显示如下:

$$\chi^2/df = 1.16 < 2.0$$

$$GFI = 0.91 > 0.90$$

$$CFI = 0.97 > 0.90$$

$$AGFI = 0.91 > 0.90$$

$$RMSEA = 0.02 < 0.08$$

模型的各项适配度均达到标准要求,说明模型与观测数据的拟合度较高.

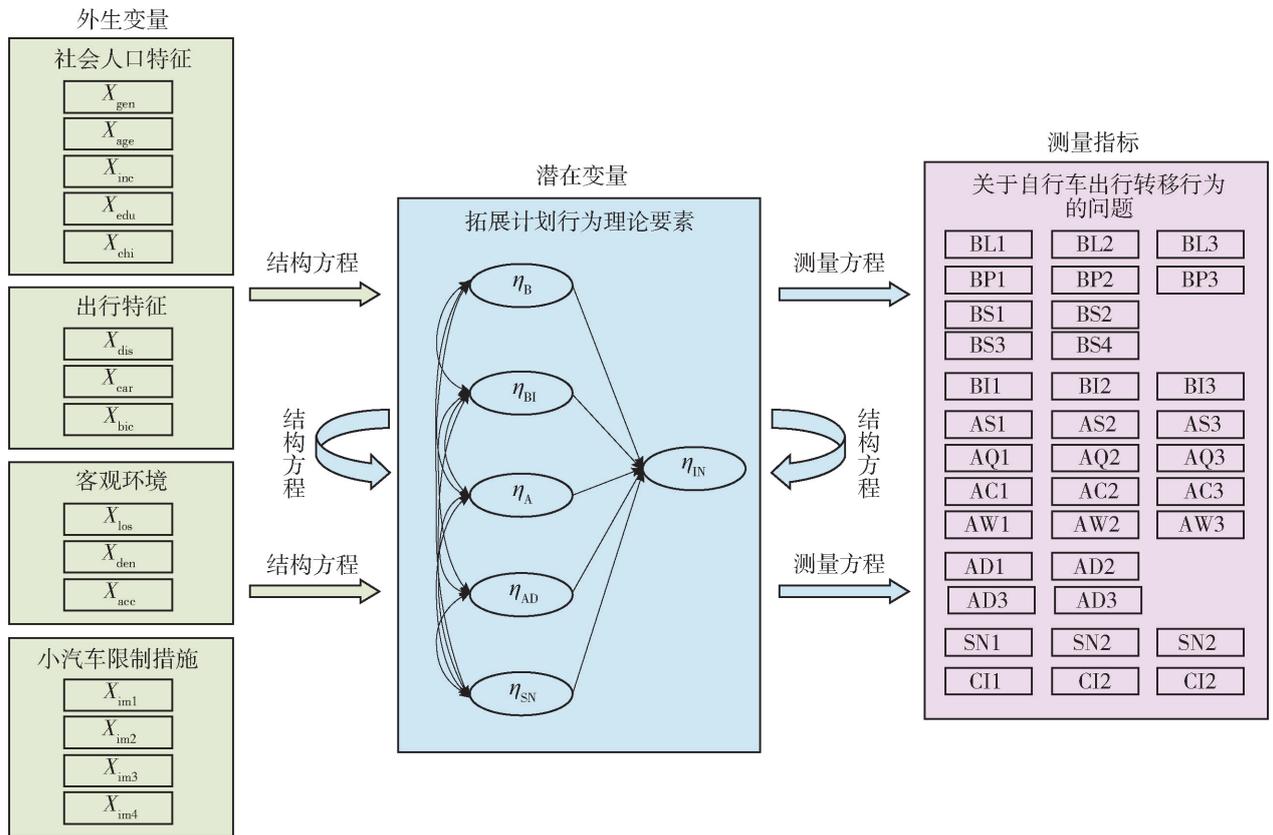


图1 MIMIC模型框架

Fig.1 Frame of MIMIC model

#### 4.1 潜在变量之间的关系

根据转移意向 MIMIC 模型,可以得到潜在变量之间的路径关系,如图3所示。

从图3可以发现,并非所有其他潜在变量都对转移意向具有直接影响,潜在变量之间存在着直接效应和间接效应。直接效应指的是某变量对另一变量具有直接影响,没有中介变量。间接效应指的是某变量通过中介变量对另一变量产生间接影响。根据各潜在变量间的路径系数,得到潜在变量之间的直接效应、间接效应与总效应,结果如表4所示。

从图3与表4可以看出:

1) 构建的转移意向 MIMIC 模型解释了自行车出行转移意向 73% 的方差,说明通过外部障碍、个人障碍、骑行态度、骑行偏好、主观规范能够较好地解释小汽车出行向自行车出行转移意向。外部障碍与个人障碍对转移意向的影响路径不同,其他潜在变量对骑行态度与骑行偏好的影响程度不同,验证了将知觉行为控制细化成外部障碍与个人障碍以及引入骑行偏好的必要性。

2) 骑行态度受到外部障碍与主观规范直接影响,部分验证了假设2。外部障碍对骑行态度具有

表4 潜在变量之间的效应估计结果

Table 4 Calibration results of latent variable effect

潜在变量之间的关系	直接效应	间接效应	总效应
骑行态度 ← 外部障碍	-0.49		-0.49
骑行态度 ← 主观规范	0.54		0.54
骑行偏好 ← 骑行态度	0.67		0.67
骑行偏好 ← 主观规范	0.33	0.36	0.69
骑行偏好 ← 外部障碍		-0.33	-0.33
转移意向 ← 外部障碍	-0.33	-0.13	-0.46
转移意向 ← 个人障碍	-0.21		-0.21
转移意向 ← 主观规范	0.18	0.27	0.46
转移意向 ← 骑行偏好	0.40		0.40
转移意向 ← 骑行态度		0.27	0.27

显著负向影响,主观规范对骑行态度具有显著正向影响,说明出行者的骑行态度受到感知环境障碍、社会期望与认同的影响。

3) 骑行偏好受骑行态度、主观规范直接影响,同时受主观规范、外部障碍的间接影响,部分验证了假设3。从总效应值上看,骑行态度与主观规范

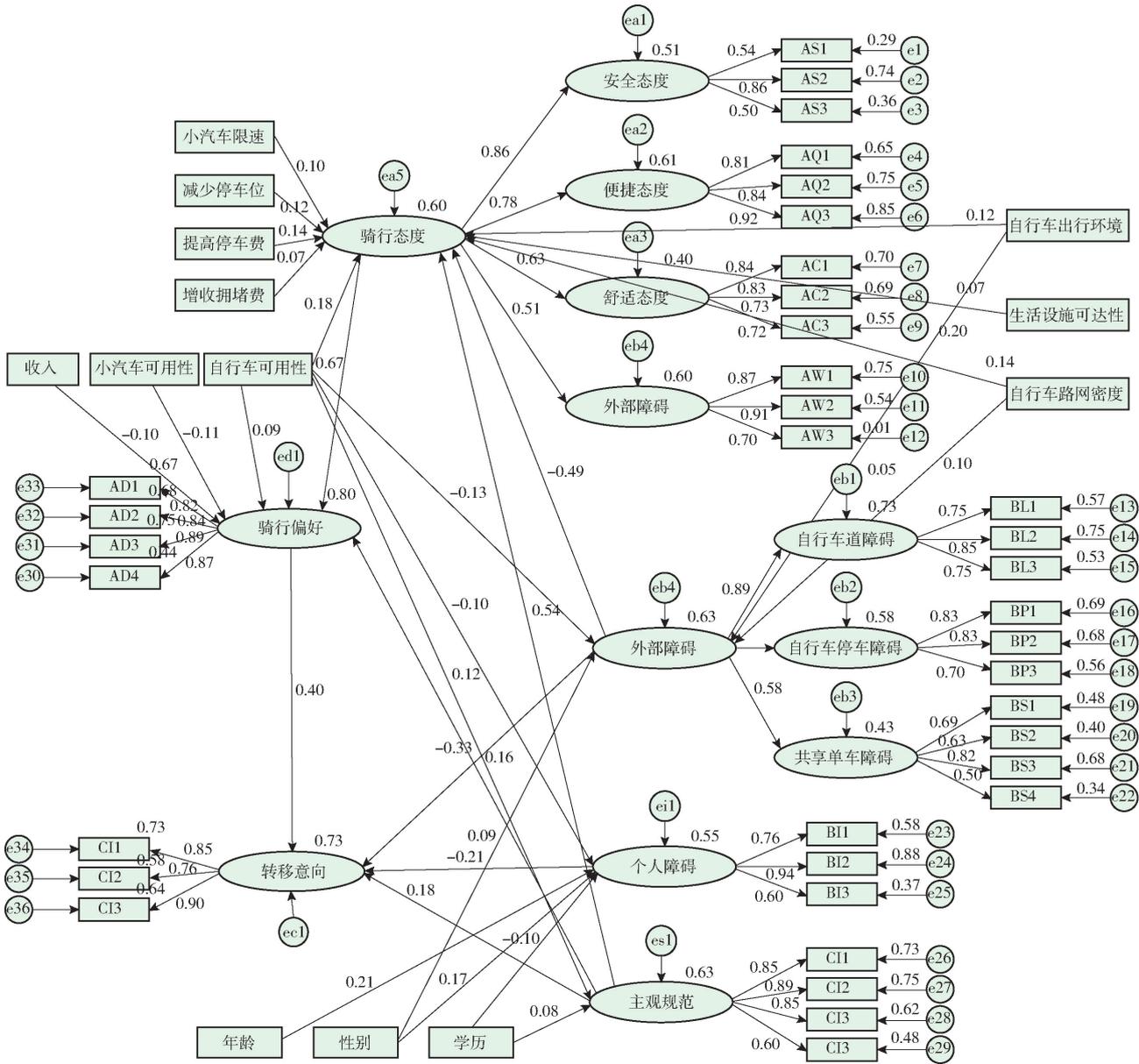


图 2 转移意向 MIMIC 模型

Fig. 2 MIMIC model of transition intention

对骑行偏好的影响更为显著,分别为 0.67 与 0.69,说明提高出行者对自行车出行的感知益处及有效的自行车出行社会营销有助于提升人们对自行车出行的喜好程度。

4) 转移意向受外部障碍、个人障碍、主观规范与骑行偏好的直接影响,同时受外部障碍和骑行态度的间接影响,其中骑行偏好是骑行态度与转移意向的中介变量,验证了假设 1 与假设 4。从总效应值上看,外部障碍、主观规范对转移意向的影响最显著,分别为 -0.46 与 0.46,说明通过自行车出行环境的改善减少感知到的外部障碍是提升转移意向的重要手段,同时社会倡导与支持也是不容忽视的。

骑行偏好的影响也较为显著,总效应值为 0.40,说明有必要开展自行车出行宣传与骑行体验活动等,降低出行者对自行车出行的偏见,提升其对自行车出行的喜好程度。

#### 4.2 外生变量与潜在变量之间的关系

根据转移意向 MIMIC 模型,可以得到外生变量与潜在变量之间的路径关系,如图 4 所示。

表 5 列出的是模型标定的外生变量对潜在变量影响的路径系数,括号中为 *T* 值。表中列出的是对各潜在变量影响显著的外生变量的参数估计结果,只有在 95% 置信水平下具有统计学意义的变量被列出。

从图 4 与表 5 可以看出:

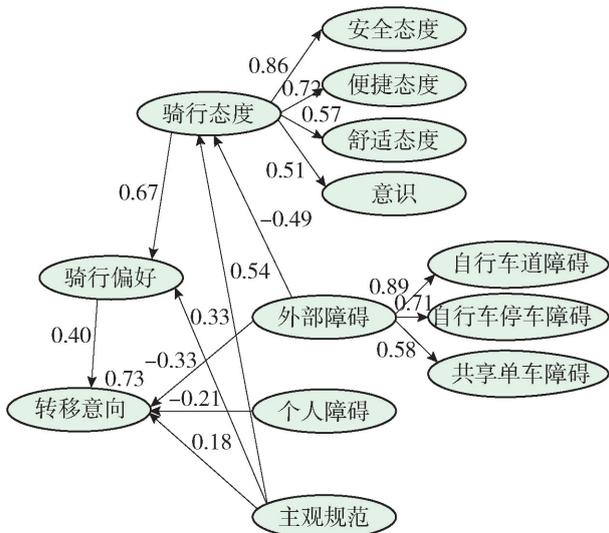


图3 潜在变量之间的路径关系

Fig. 3 Path relationship of latent factors

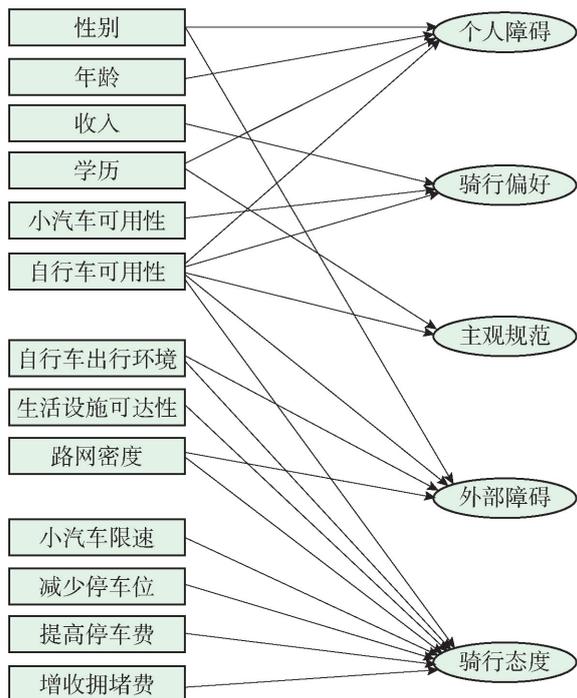


图4 外生变量与潜在变量之间的路径关系

Fig. 4 Path relationship of latent factors and exogenous factors

1) 外生变量不对转移意向产生直接影响,而是通过骑行态度、骑行偏好、个人障碍、外部障碍与主观规范对转移意向产生间接影响. 家庭儿童数与出行距离对潜在变量没有显著影响,说明在短距离出行尺度下,更细化的出行距离差异不会影响出行者转移到自行车出行的意向.

2) 社会人口特征与出行特征中的不同外生变

量影响着不同的潜在变量. 自行车可用性对骑行态度具有正向影响,说明拥有自行车的出行者感知到的自行车出行安全、快捷、舒适性更高. 收入、小汽车可用性对骑行偏好具有负向影响,说明高收入人群不喜欢采用自行车出行,这部分出行者习惯采用小汽车出行,对自行车出行存在一定的偏见. 性别、年龄对个人障碍具有正向影响,学历、自行车可用性对个人障碍具有负向影响,原因是女性、老年人的骑车技术与身体条件相对较差. 从外部障碍上看,性别对其具有正向影响,自行车可用性对其具有负向影响,女性感知的外部障碍更强,一定程度上是因为女性对设施环境的要求更高<sup>[19]</sup>. 从主观规范上看,学历、自行车可用性对其具有正向影响.

3) 客观环境中的3个变量对骑行态度均存在显著正向影响,说明提高自行车路网密度、改善自行车出行环境与生活设施可达性能够有效提升人们对自行车友好的感知. 自行车路网密度与自行车出行环境对外部障碍具有显著负向影响,说明客观环境的改善有利于减少出行者感知到的外部环境障碍.

4) 小汽车限制措施对骑行态度存在显著正向影响,说明出行者对自行车出行的感知与评估并非完全取决于自行车交通系统自身的服务水平,而是通过自行车交通系统与小汽车交通系统的服务水平的对比得到的. 在社区周边适当采取小汽车限制措施增加小汽车出行的障碍,能够有效提升出行者对自行车出行益处的感知,提高对自行车出行的积极态度.

结合潜在变量之间的关系分析、外生变量与潜在变量之间的关系分析可以发现,干预措施的有效组合对于推进小汽车出行向自行车出行的转移更具效果. 首先,客观环境不直接影响转移意向,而是通过感知外部障碍、骑行态度间接影响转移意向,说明即使人们居住在自行车友好的社区,如果他们并没有感知到自行车友好、对骑行态度消极依旧不会转移到自行车出行. 因此,干预措施需要兼顾硬性措施与柔性措施,改善客观环境是推进转移的基础,提升感知环境与态度更是推进转移的关键,可基于社区开展自行车出行宣传与营销. 其次,改善客观环境与采取小汽车限制措施对于提升骑行态度均具有显著影响,说明对于推进小汽车出行向自行车出行的转移,自行车改善措施与小汽车限制措施都是不容忽视的.

表5 综合结构模型参数估计结果

Table 5 Calibration results of integrated structural model

外生变量	骑行态度	骑行偏好	个人障碍	外部障碍	主观规范
社会人口特征	性别		0.168 <sup>②</sup> (4.051)	0.086 <sup>①</sup> (1.991)	
	年龄		0.214 <sup>②</sup> (5.109)		
	收入		-0.096 <sup>①</sup> (-1.982)		
	学历		-0.104 <sup>①</sup> (-2.541)		0.078 <sup>①</sup> (1.960)
出行特征	小汽车可用性		-0.106 <sup>②</sup> (-3.252)		
	自行车可用性	0.181 <sup>①</sup> (1.964)		-0.103 <sup>①</sup> (-2.514)	-0.130 <sup>②</sup> (-3.000)
客观环境	自行车路网密度	0.139 <sup>②</sup> (3.727)			-0.104 <sup>①</sup> (-1.961)
	自行车出行环境	0.122 <sup>②</sup> (3.281)			-0.201 <sup>②</sup> (-4.865)
	生活设施可达性	0.074 <sup>①</sup> (1.963)			
小汽车限制措施	小汽车限速	0.098 <sup>①</sup> (2.301)			
	减少停车位	0.118 <sup>①</sup> (2.782)			
	提高停车费	0.136 <sup>②</sup> (3.048)			
	增收拥堵费	0.066 <sup>①</sup> (1.966)			

注:①  $P < 0.05$ ; ②  $P < 0.01$ .

## 5 结论

1) 根据自行车出行心理对计划行为理论进行拓展,将知觉行为控制细分为外部障碍与个人障碍,引入骑行偏好,结合骑行态度、主观规范能够全面和有效地解释短距离下小汽车出行向自行车出行转移的意向,有助于掌握出行者的转移决策过程. 分析潜在变量之间的关系能够发现,转移意向受到外部障碍、个人障碍、主观规范与骑行偏好的直接影响,以及外部障碍、主观规范和骑行态度的间接影响. 外部障碍、主观规范与骑行偏好作用于转移意向的总效应更高.

2) 分析外生变量与潜在变量之间的关系能够发现,外生变量对转移意向不产生直接影响,而是以其他潜在变量作为中介变量对转移意向产生间接影

响. 不同外生变量影响的潜在变量不同,客观环境对骑行态度与外部障碍具有显著影响,小汽车限制措施对骑行态度具有显著正向影响,女性、高龄人群个人障碍更高,高收入、拥有小汽车的人群骑行偏好更低.

3) 外部障碍、骑行态度是客观环境与转移意向间的中介变量,因此,仅以改善客观环境作为基础是不够的,通过干预措施提升人们对环境的感知更为关键. 客观环境与小汽车限制措施对骑行态度均具有显著正向影响,说明推进小汽车出行向自行车出行的转移需要统筹自行车改善措施与小汽车限制措施,兼顾硬性措施(设施环境改善等)与柔性措施(宣传推广与营销等).

4) 本研究在计划行为理论框架下引入了更多符合自行车出行的心理因素,在今后的研究中,可以

考虑与社会认知理论、生态概念理论等进行融合,进而更准确地解释小汽车出行向自行车出行转移意向。

### 参考文献:

- [1] 温慧敏, 刘阳, 杜华兵, 等. 2016 北京市交通发展年度报告[R]. 北京: 北京交通发展研究院, 2016.  
WEN H M, LIU Y, DU H B, et al. 2016 Beijing transport annual report [R]. Beijing: Beijing Transport Institute, 2016.
- [2] TRAIN K. A validation test of a disaggregate mode choice model [J]. *Transportation Research*, 1978, 12(3): 167-174.
- [3] 朱玮, 庞玉琦, 王德. 自行车出行行为和决策研究进展[J]. *国际城市规划*, 2013, 28(1): 50-55.  
ZHU W, PANG Y Q, WANG D. Progress of research on bicycle travel behavior and decisions [J]. *Urban Planning International*, 2013, 28(1): 50-55.
- [4] 景鹏, 隽志才, 查奇芬. 考虑心理潜变量的出行方式选择行为模型[J]. *中国公路学报*, 2014, 27(11): 84-92.  
JING P, JUAN Z C, ZHA Q F. Incorporating psychological latent variables into travel mode choice model [J]. *China Journal of Highway and Transport*, 2014, 27(11): 84-92.
- [5] MUNOZ B, MONZON A, LOPEZ E. Transition to a cyclable city: latent variables affecting bicycle commuting [J]. *Transportation Research Part A*, 2016, 84: 4-17.
- [6] AJZEN I. The theory of planned behaviour: reactions and reflections [J]. *Psychology and Health*, 2011, 26(9): 1113-1127.
- [7] PETRITSCH T A, LANDIS B W, HUANG H F, et al. Sidepath safety model: bicycle sidepath design factors affecting crash rates [J]. *Transportation Research Record*, 2006, 1982(1): 194-201.
- [8] 李志斌, 杨晨, 王伟, 等. 基于出行态度的自行车通勤出行市场划分[J]. *东南大学学报(自然科学版)*, 2012, 42(4): 784-789.  
LI Z B, YANG C, WANG W, et al. Bicycle commuting market segmentation analysis using attitudinal factors [J]. *Journal of Southeast University (Natural Science Edition)*, 2012, 42(4): 784-789.
- [9] DILL J, VOROS K. Factors affecting bicycling demand: initial survey findings from the portland region [J]. *Transportation Research Record*, 2007, 2031(2031): 9-17.
- [10] 孙祥龙, 陆建. 基于结构方程的拥挤收费公众可接受性模型[J]. *哈尔滨工业大学学报*, 2012, 44(12): 140-144.  
SUN X L, LU J. Public acceptability model of congestion pricing based on structural equation model [J]. *Journal of Harbin University*, 2012, 44(12): 140-144.
- [11] TRAPP G S, GILESCORTI B, CHRISTIAN H E, et al. On your bike! a cross-sectional study of the individual, social and environmental correlates of cycling to school [J]. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 2011, 8(1): 123-133.
- [12] YAN X, HANDY S L, MOKHTARIAN P L. Factors associated with proportions and miles of bicycling for transportation and recreation in six small US cities [J]. *Transportation Research Part D*, 2010, 15(2): 73-81.
- [13] NKURUNZIZA A, ZUIDGEEST M, BRUSSEL M, et al. Examining the potential for modal change: motivators and barriers for bicycle commuting in Dar-es-Salaam [J]. *Transport Policy*, 2012, 24(9): 249-259.
- [14] WILLIS D P, MANAUGH K, GENEIDY A. Cycling under influence: summarizing the influence of perceptions, attitudes, habits and social environments on cycling for transportation [J]. *International Journal of Sustainable Transportation*, 2015, 9(8): 565-579.
- [15] FERNANDEZ-HEREDIA A, JARA-DIAZ S, MONZON A. Modelling bicycle use intention: the role of perceptions [J]. *Transportation*, 2016, 43: 1-23.
- [16] AJZEN I. Constructing a theory of planned behavior questionnaire [J]. Unpublished Manuscript Retrieved, 2006(7): 861-871.
- [17] 方丽雪, 陈小鸿, 叶建红. 自行车交通服务品质分级方法[J]. *同济大学学报(自然科学版)*, 2016, 44(10): 1573-1578.  
FANG L X, CHEN X H, YE J H. Model of classification criteria about quality of service for bicycle lanes [J]. *Journal of Tongji University (Natural Science)*, 2016, 44(10): 1573-1578.
- [18] MA L, DILL J, MOHR C. The objective versus the perceived environment: what matters for bicycle? [J]. *Transportation*, 2014, 41: 1135-1152.
- [19] THIGPEN C G, DRILLER B K, HANDY S L. Using a stages of change approach to explore opportunities for increasing bicycle commuting [J]. *Transportation Research Part D*, 2015, 39: 44-55.

(责任编辑 梁洁)