

【交通物流 / Transportation Logistics】

外省籍货车对省域ETC差异化收费的影响分析

闫晟煜¹, 詹振宇¹, 李艳红², 张君翼³

1) 长安大学汽车学院, 陕西西安 710064; 2) 交通运输部科学研究院, 北京 100029;

3) 贵州交建投资有限公司, 贵州贵阳 550001

摘要: 为评估本省域电子不停车收费系统(electronic toll collection, ETC)中货车通行费优惠政策的实施效果, 明确外省籍货车对通行费优惠回流本省企业的影响程度, 运用SQL Server数据库技术处理高速公路联网收费数据, 提出通行费优惠回流比例的计算方法, 并对该算法开展实证研究. 结果表明, 当ETC货车通行费折扣为85%时, 实例省份2019年的通行费优惠回流比例为43.38%, 流出省外的56.62%通行费优惠中, 52.77%是由外省籍货车所造成. 其中, 外省籍6轴货车流失比例为77.29%. 穿越过省车流的行驶里程长且多为重车, 导致通行费优惠额度大, 通行费优惠回流与流失现象集中在2轴、4轴和6轴货车上, 尤以6轴货车占比最大. 研究结果可为高速公路差异化收费政策的精准施行提供可靠的分析依据, 助力降低省域实体经济企业运输成本, 促进运输经济的快速发展.

关键词: 交通运输经济; 政策效果评估; 通行费优惠; 回流比例算法; 外省籍货车; 联网收费数据

中图分类号: U491

文献标志码: A

doi: 10.3724/SP.J.1249.2022.05608

Impact of trucks registered in other provinces on ETC differentiated charging in provincial expressway network

YAN Shengyu¹, ZHAN Zhenyu¹, LI Yanhong², and ZHANG Junyi³

1) School of Automobile, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi Province, P. R. China

2) China Academy of Transportation Sciences, Beijing 100029, P. R. China

3) Guizhou Communications Construction Investment Co. Ltd., Guiyang 550001, Guizhou Province, P. R. China

Abstract: To evaluate the effect of policy on province-wide toll discount for electronic toll collection (ETC) trucks, and to clarify the influence of trucks registered in other provinces on the toll discount flowed back to the local enterprises, we use structured query language server (SQL Server) database technology to process the toll collection data on expressway network, and propose an algorithm of recovery rate for the explanatory variables of toll preference, and verify the feasibility of the algorithm is by a case study. The results show that the recovery rate of the study case is 43.38% when there is an 85% discount on ETC truck toll in 2019, and 52.77% of the 56.62% toll discount outflowed from the case studied is generated by the trucks registered in other provinces according to a conservative estimate. Among them, the proportion of the toll discount of trucks registered in other provinces with 6 axles accounts for 77.29%, which is the root of toll discount loss. Although the traffic number across the province is not

Received: 2021-03-20; **Accepted:** 2021-09-12; **Online (CNKI):** 2022-07-28

Foundation: National Natural Science Foundation of China (52002282); Transportation Strategic Planning Policy Program (2020-23-3); Natural Science Basic Research Program of Shaanxi Province (2021JQ-292); Humanities and Social Sciences Project of Ministry of Education in China (21YJC790137)

Corresponding author: Associate professor YAN Shengyu. E-mail: leo9574@163.com

Citation: YAN Shengyu, ZHAN Zhenyu, LI Yanhong, et al. Impact of trucks registered in other provinces on ETC differentiated charging in provincial expressway network [J]. Journal of Shenzhen University Science and Engineering, 2022, 39(5): 608-614. (in Chinese)



large, the toll discount is rather large owing to the long distance and heavy load. The recovery or loss of toll discount concentrates in the trucks with 2 axles, 4 axles and 6 axles, and trucks with 6 axles accounting for the largest proportion. This paper provides a reliable analysis basis for the accuracy of the differential charging policy on expressway, and promotes the rapid development of transportation economy.

Key words: transportation economy; policy evaluation; toll discount; recovery rate algorithm; truck registered in other provinces; networked toll data

2017年8月国务院办公厅印发的《关于进一步推进物流降本增效促进实体经济发展的意见》^[1]中指出,省级人民政府可根据本地区实际,对使用电子不停车收费系统(electronic toll collection, ETC)非现金支付卡,并符合相关要求的货运车辆给予适当通行费优惠.各地方政府积极响应国务院指示,对所有ETC货车驶出高速公路收费站时予以一定通行费优惠.此举初衷是为了降低本省实体经济企业(多为商品生产企业)的运输成本,促进本省经济发展.

外省籍货车是指车辆注册登记地为非本省所辖注册地的货运车辆,半挂列车以牵引车车牌照为准^[2].外省籍货车参与本省域内公路货物运输可补齐本省籍货车运力短板,保障本省货运市场价格稳定和公平,现已成为本省域内货物运输健康发展的重要组成部分^[3].高速公路运营企业是本省企业,也是通行费优惠的出资者,其依靠收取通行费还本付息,由于针对ETC货车的通行费优惠政策不宜区分该货车是外省籍或外省籍,则本省域内执行的这种普惠式政策也会使外省籍货车获益,通行费优惠将部分流出本省域,势必会在优惠力度和外省籍货车参与程度之间产生耦合关系.特别是当相邻两省优惠力度不同且生产同一类型货物时,可能会逐渐降低ETC折扣偏小省份的商品竞争力.

在公路收费策略制定与评价方面,WANG等^[4]基于重卡外部环境成本,提出计重收费策略;MEI等^[5]运用货车对政策的敏感度模型,提出多维度货车运输成本评估模型;CONWAY等^[6]提出货车混合式收费结构下的成本-补偿模型;BUENO等^[7]通过建立二项式logit模型分析群众对公路收费政策的接受程度.在收费政策行为理论方面,HOLGUIN等^[8]分析美国货物运输收费政策的实施条件、适用范围和灵活程度;徐瑛等^[9]提出高速公路公共产品化程度应该更低,对其收取通行费可作为公路体系内的级差效益补偿;唐俊忠等^[10]分析高速公路通行负担的产生机理、表现形式、变化特征、内在成因、衡量指标及合理判断等内容;YING等^[11]评估

了日本高速公路对通勤者采取折扣优惠政策的实施效果;ROMERO等^[12]分析收费公路与城市交通中拥堵缓解措施与收费政策的可接受程度.在收费数据运用方面,OTAKI等^[13]运用按照里程收费的方法,研究了东京都高速公路收费系统变革后的实施效果;KUTSUKAKE等^[14]基于日本全境高速公路的交通条件和用户属性,分析通行费折扣对政策效果评估的影响和对运输经济的刺激程度;ZHANG等^[15]运用分支定界法,定义单一货车满载或非满载状态下的收费问题;ZHAO等^[16]通过挖掘交通流指标特征,提出车流流速与ETC货车收费之间的代表性关系;杨铭等^[17]运用车辆年检平台与高速公路收费数据,推算货车周转量和行驶量,并按车籍比例分割运输量指标;马捷等^[18]基于车型分类数据和VISSIM仿真,提出高速公路车辆分类标准和评价方法.

以上研究大多基于单车运输或收费结构,提出公路收费策略确定、成本补偿及策略评估等模型,或是基于路网本身的商品属性和出行者属性特征,研究收费政策的实施效果,未见考虑外省籍货车广泛参与本省域货物运输,以及外省籍货车对本省域高速公路ETC通行费优惠的占用和回流问题研究,也鲜见采用联网收费大数据分析通行费优惠去向的研究方法.

本研究基于高速公路联网收费数据,通过分析货车省籍、空重车及货车流向等结构特征^[19-20],在不同车籍下,梳理货车车流的通行费优惠回流本省企业的程度,分析外省籍货车对通行费优惠回流效果的影响程度,便于在理想状态下模糊推算通行费优惠回流本省运输企业和实体经济企业的比例,提出本省域ETC货车通行费优惠回流效果的评估方法及相关精准施策建议.

1 通行费优惠的拆分

外省籍货车驶入本省辖区时,承运货物一般由外省企业生产,运费出资者常为外省企业,货物仅

为到本省销售或再加工,其通行费优惠由本省高速公路运营企业承担;而外省籍货车驶出本省辖区时的承运货物一般由本省实体经济企业生产,则运费出资者常为本省企业,对其通行优惠将会促进运输成本回流本省企业^[21].本省籍货车由外省驶入本省辖区时的承运货物一般非本省企业生产;本省籍货车驶离本省辖区时的承运货物一般由本省企业生产.穿越本省辖区车辆所承运货物均为外省生产;在省内收费站之间行驶的货车车流所承运货物均为本省生产,可能由本省籍或外省籍货车承运.

对ETC货车的通行费优惠包含对外省籍ETC空车进出省、穿越本省及在省内收费站之间行驶优惠.在理想状态下,不同车籍货车的通行费优惠回流本省运输企业和实体经济企业的程度见表1.

表1 不同车籍货车的通行费优惠回流本省企业的程度

Table 1 The extent of return of the preferential tolls for trucks with different vehicle registration to provincial enterprise

货车车流	本省籍		外省籍	
	空车	重车	空车	重车
穿越过省	完全回流	未回流	未回流	未回流
进省	完全回流	部分回流	未回流	未回流
出省	完全回流	完全回流	未回流	完全回流
省内	完全回流	完全回流	未回流	完全回流

由表1可见,外省籍货车多数处于未回流状态.事实上,外省籍货车参与本省域货物运输是常态,不同省域间的货物运输不均衡是我国公路运输的特点.基于2018年广东、江苏、安徽及江西省高速公路收费数据中3轴及3轴以上货车流量数据,在各省份内车流中剔除本省籍货车和其他无关省籍货车后,发现不同省籍货车在不同省份内的运行频次特点,见表2.可见,在江苏省内运输的安徽籍货车流量明显高于在安徽省内运输的江苏籍货车流量;在广东省内运输的江西籍货车流量明显高于在江西省内运输的广东籍货车流量.

表1中本省籍重车进省时的通行费优惠将部分

表2 外省籍货车参与本省域运输的货车流量

Table 2 Trucks registered in other provinces participating in transportation in the province studied veh

本省省份	安徽籍	江苏籍	江西籍	广东籍
安徽省内	—	1 396 800	—	40 400
江苏省内	4 815 800	—	456 800	—
江西省内	—	905 800	—	204 100
广东省内	3 423 200	—	9 354 000	—

流入本省实体经济企业.本省籍货车从外省运输货物进入本省的运输起因包括:①被指派到外省运回原材料,通行费优惠将部分流入本省企业;②该货车与外省商务关系存续,专程为外省运输,通行费优惠将流出本省;③长途运输回程,驾驶员将外省货物顺带捎回,通行费优惠流入本省籍货车驾驶员.可见,只有第①种运输起因的通行费优惠可流入本省运输企业和实体经济企业.然而,不同运营模式的外省籍货车主要包括个体经营货车、运输企业自有货车、挂靠货车及非营运货车,对其通行费优惠将会使部分通行费流出本省.

本省籍货车到外省参与运输时也能享受通行费优惠.但省际间折扣力度及外省籍货车参与程度的不同,会凸显各省高速公路运营企业经营压力之间的差别,折扣力度越大、外省籍货车越多、通行费收取规模越小的省份还贷压力将越突出.

2 回流比例算法

2020年起,全国高速公路收费由“计重收费”改为“货车车型收费”,后续通行费分析以行驶量估计更加准确.为验证通行费优惠效果评估方法,本研究采用计重收费模式下的2019年高速公路收费数据为例展开分析,此时货车通行费按照货车总重、行驶里程及费率来收取^[22].计重收费模式下的高速公路联网收费数据包含货车各轴轴重和总重字段,可通过轴重特性筛选出空车.用于评估通行费优惠回流效果的高速公路联网收费数据关键字段见表3.

为评估省域ETC货车差异化收费政策对通行费优惠回流本省企业的成效,定义通行费优惠回流比例 P 为

$$P = \frac{T_a}{T} \quad (1)$$

其中, T 为通行费优惠; T_a 为回流到本省企业的通行费优惠.

$$T = (1 - C_0)WLr = (1 - C_0) \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^4 T_{ijk} \quad (2)$$

其中, C_0 为省域内通行费统一折扣; W 为货车总重; L 为行驶里程; r 为货车通行费率; T_{ijk} 为 T 按照省籍、空重车和车流划分的通行费优惠; $i=1, 2$ 分别为本省籍和外省籍; $j=1, 2$ 分别为空车和重车; $k=1, 2, 3, 4$ 分别为穿越过省、进省、出省及省内车流.

表3 高速公路联网收费数据的关键字段

Table 3 Key fields on toll collection data for toll recycling

字段名称	字符类型	用途
入口收费站代码	Varchar	统计流量、辨别流向
出口收费站代码	Varchar	统计流量、辨别流向
出口时间	Datetime	定义通行费优惠时间点
货车车型	Varchar	定义车辆轴数(或轴型)
总重	Float	定义通行费, 筛选空车
行驶里程	Float	定义通行费, 划分里程等级
车牌号	Varchar	仅提取省籍字符, 区分货车省籍
ETC标识	Varchar	定义货车为ETC或人工半自动收费(manual toll collection, MTC)

按照表1的通行费优惠回流对应关系, T_a 为

$$T_a = (1 - C_0) \left(\sum_{k=1}^4 T_{11k} + CT_{122} + T_{123} + T_{124} + T_{223} + T_{224} \right) \quad (3)$$

其中, C 为本省籍重车进省的通行费优惠回流比例。

本省籍重车从外省运输货物进入本省的3种运输起因中, 被指派到外省运回原材料的货车存在着明显的特征: ①进省与出省的车牌号相同; ②空车出省, 重车进省; ③同一省界收费站进出, 同一省内收费站进出。

假设本省籍重车进省的车流量为 n , 同时满足上述3个条件的通行费优惠 T_0 可通过查询联网收费数据获得。当发货地与本省距离较远时, 发货方将直接派遣外省籍货车送货, 因此, 查询数据时应限制本省籍空车出省后再进省的间隔时间^[23]。分别在东北地区、华东地区及华南地区各选取1个省份, 按照数据特征统计本省籍空车出省后运回原材料进省的间隔时间分布如图1。

由图1可见, 本省籍货车空车出省后基本在3 d内运回原材料进省, 每个省份在3 d内返回的平均车流量比例为94.44%, 因此, 可以将返回时间间隔 ≤ 3 d作为运原材料回省的判断阈值。为保守估计在部分回流情形下本省籍重车进省时的最大回流比例, 需对本省籍重车进省时的通行费 T_0 取最大估计值, 则 C 的最大回流比例 $C_{\max}$ 为

$$C_{\max} = \frac{\max\{T_0\}}{T_{122}} = \frac{\max\{T_0\}}{(1 - C_0)W_{122}L_{122}r} \quad (4)$$

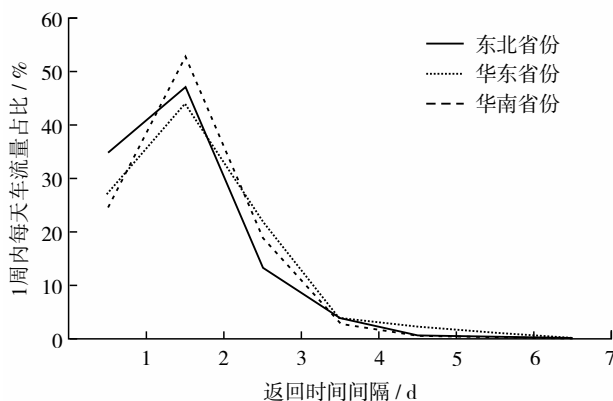


图1 出省后再进省的间隔时间分布

Fig. 1 Distribution of interval between leaving and entering the studied province from northeast provinces (solid line), east China provinces (dotted line) and south China provinces (dashed line).

其中, W_{122} 为本省籍重车进省的车货总重; L_{122} 为本省籍重车进省后的行驶里程。

实际回流比例将会小于理想状态结果。通行费优惠未必完全回流实体经济企业, 是因为多数本省籍货车以挂靠省内运输企业的形式从事运输业务, 运输企业常与实体经济企业签订为期1 a的承运合同^[24]。当通行费优惠政策出现时, 本省实体经济企业可能终止与本省运输企业之间的承运合同或修订运价, 直接获得通行费优惠; 也可能不变动合同, 此时通行费优惠将流入本省运输企业, 也有些运输企业为驾驶员提供包干运费。所以, 流回本省后的通行费优惠分支流向可能是本省的实体经济企业、运输企业和驾驶员。

3 实例验证与分析

我国中部某省份执行省域内85%的ETC货车通行费优惠政策, 该省位处于南北交通要道, 外省籍货车进出频繁^[25]。提取该省2019年高速公路ETC货车联网收费数据, 运用省界收费站编码区分进省、出省车流, 划分货车省籍和空重车后得到该省份完成ETC货车通行费优惠 $T = 19.26$ 亿元, 按照车流、省籍及空重车拆分的结果见表4。

由表1和表4可见, 累加完全回流比例为42.29%。 T_{11k} 比例偏小; T_{21k} 比例小于 T_{11k} 比例; T_{12k} 比例与 T_{22k} 比例基本持平。穿越车流的 T_{221} 比例明显高于其他车流的 T_{12k} 比例($k \neq 1$), 表明外省籍重车占比偏高, 这是由于外省籍货车在本省域内的穿行

表4 不同车流下ETC货车通行费优惠比例
Table 4 Proportion of the ETC truck toll discount with different traffic flows %

货车车流	本省籍		外省籍		合计
	空车	重车	空车	重车	
穿越过省	0.25	18.66	0.58	19.79	39.27
进省	0.73	9.24	0.64	6.96	17.57
出省	0.82	8.63	0.67	6.72	16.84
省内	4.25	9.51	1.18	11.38	26.32
小计	6.05	46.04	3.07	44.85	100.00

运输距离长且常为重载货车所引起。

图2为不同货车车流下,外省籍ETC货车的空车比、车流量比例分别与其运输距离的关系。可见,外省籍ETC货车的运输距离大于200 km时该省域内穿越过省的外省籍ETC货车车流量比例明显高于其他车流,进省车流与出省车流比例基本维持在10%~20%;穿越过省的外省籍ETC货车空车比例明显低于其他车流,与省内车流的趋势基本一致。4种车流均体现了运输距离越长,空车比例越短的规律。

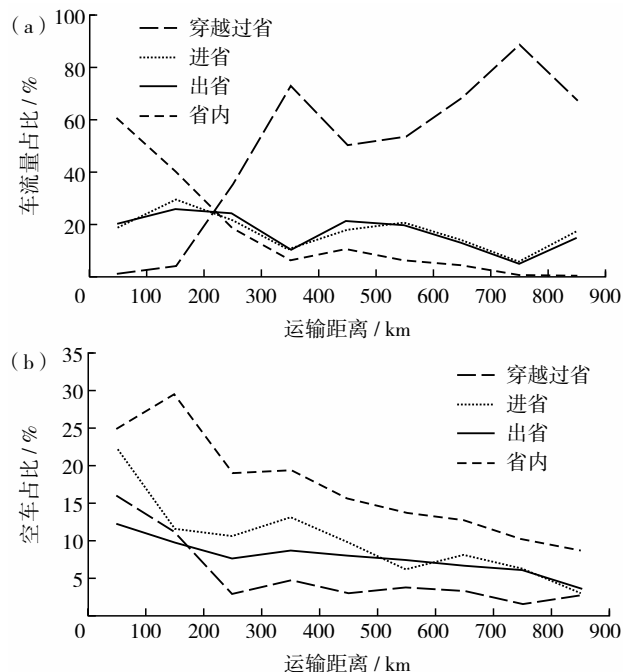


图2 不同外省籍ETC货车车流的运输距离与(a)空车比和(b)车流量的关系

Fig. 2 (a) Vacant ratio and (b) traffic flow with distance of ETC truck registered in other provinces. The referred trucks passed through (longer-dashed line), entered (dotted line), exited (solid line) and gone within (shorter-dashed line) the studied province.

ETC货车总通行费优惠了15%,查询联网收费数据库后,通过通行费核算得到 $T_{122} = 1.78$ 亿元;本省籍货车到外省运回货物时,按照3 d返回的判断阈值,通过查询数据库得到 T_0 的最大值为0.21亿元。根据式(4)得到本省籍重车的 $C_{\max} = 11.80\%$,在此基础上,乘以本省籍重车进省的总回流比例9.24%,则本省籍重车进省时的回流比例为1.09%。因此,该省份ETC货车通行费优惠的回流比例为43.38%,保守估计有56.62%流出本省,流出本省的通行费优惠中外省籍货车占52.77%。

可见,对于外省籍货车参与本省域货物运输程度偏高的省份,外省籍货车较大程度地享受到了本省域ETC通行费优惠政策,而真正回流到本省的通行费优惠比例并不高。为掌握通行费优惠流向的货车车型分布,按照货车车型划分的通行费优惠回流结果见表5。可见,通行费优惠的回流与流失集中于2轴、4轴及6轴货车;回流比例和流失比例的分

表5 按照货车车型划分的通行费优惠回流比例

Table 5 Toll discount proportion of the trucks classified by axle-type %

轴数	轴型	本省籍		外省籍	
		回流比例	流失比例	回流比例	流失比例
2轴		15.81	4.74	15.08	5.91
3轴		8.10	3.19	5.88	4.68
4轴		11.13	9.53	11.26	9.55
5轴		2.29	2.37	2.03	2.57
6轴		20.94	25.77	22.41	24.51
6轴		41.73	54.40	43.34	52.78

布不同,所有回流的ETC货车通行费优惠中6轴货车占比为64.21%,而所有流失的ETC货车通行费优惠中6轴货车占比为78.73%,所有2轴货车的回流比例均明显高于流失比例。结合外省籍货车在总通行费优惠流失中占比52.77%,则外省籍6轴货车流失比例为77.29%。

本省籍货车在外省域通行时也能享受ETC通行费优惠政策,但两省之间折扣优惠力度、货车流量、运输车型及货车流向存在差异,导致本省企业的物流成本回流比例存在差别。两省之间ETC通行费优惠差异较大且长时间执行后,可能会影响货运市场秩序、货物销售网络分布和商品竞争力。因此,建议全国范围内采用统一的ETC货车通行费折扣标准,按照行驶里程跨省域调控优惠力度,某一省域内不宜采取针对本省籍货车或外省籍货车的区别对待政策。

结 语

通过分析高速公路联网收费数据,提出省域ETC货车通行费优惠回流到本省运输企业和实体经济企业的比例算法,分析外省籍货车对本省货运经济的贡献及对通行费优惠回流本省企业的影响程度。高速公路联网收费数据是分析差异化收费政策执行效果的优质资源,可为支撑政策实施效果评价提供可靠的分析依据;外省籍货车参与本省域内货物运输是普遍存在的现象,尤其是6轴半挂货车,其促进了货运市场的价格公平,以及运输业态的健康发展,制定普惠式政策时也应关注外省籍货车对本省货运的影响。

本研究仅分析了回流到本省运输企业和实体经济企业的总通行费优惠,未具体分析通行费优惠分别回流到本省运输企业和实体经济企业的比例,若实现该目标,算法将更复杂且需经过调查求证;下一步将对此开展研究,揭示ETC货车通行费优惠的实际去向。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(52002282); 交通运输战略规划政策资助项目(2020-23-3); 陕西省自然科学基金基础研究计划资助项目(2021JQ-292); 教育部人文社会科学研究资助项目(21YJC790137)

作者简介: 闫晟煜(1987—), 长安大学副教授、博士。研究方向: 公路运输规划。E-mail: leo9574@163.com

引 文: 闫晟煜, 詹振宇, 李艳红, 等. 外省籍货车对省域ETC差异化收费的影响分析[J]. 深圳大学学报理工版, 2022, 39(5): 608-614.

参考文献 / References:

- [1] 中国仓储与配送协会. 中国仓储业蓝皮书(2018)[M]. 北京: 机械工业出版社, 2018: 151-156.
China Association of Warehousing and Distribution. China warehousing industry blue book [M]. Beijing: China Machine Press, 2018: 151-156. (in Chinese)
- [2] 陈荫三, 肖润谋, 闫晟煜, 等. 2019中国高速公路运输量统计调查分析报告[M]. 北京: 人民交通出版社, 2020: 12-22.
CHEN Yinsan, XIAO Runmou, YAN Shengyu, et al. Statistics and analysis report of freeway of China in 2019 [M]. Beijing: China Communication Press, 2020: 12-22. (in Chinese)
- [3] 闫晟煜, 肖润谋. 基于收费数据的高速公路运输量指标特征[J]. 交通运输工程学报, 2018, 18(6): 112-120.
YAN Shengyu, XIAO Runmou. Index characteristics of expressway transportation volume based on toll collection data [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2018, 18(6): 112-120. (in Chinese)
- [4] WANG Jian, HU Xiaowei, LI Cuixia. Optimization of the freeway truck toll by weight policy including external environmental costs [J]. Journal of Cleaner Production, 2003, 184(5): 220-226.
- [5] MEI Qinfen, HUSSEIN M, HOROWITZ A J. Establishing values of time for freight trucks for better understanding of impact of toll policies [J]. Transportation Research Record, 2013, 50(2344): 135-143.
- [6] CONWAY A, WALTON C M. Analysis and cost-recovery optimization methodology for a fixed-class truck tolling structure [J]. Transportation Research Record, 2008, 45(2066): 90-97.
- [7] BUENO P C, GOMEZ V, VASSALLO J M. Seeking factors to increase the public's acceptability of road-pricing schemes: case study in Spain [J]. Transportation Research Record, 2013, 50(2606): 9-17.
- [8] HOLGUIN V J, CETIN M, XIA S. A comparative analysis of US toll policy [J]. Transportation Research Part A, 2006, 40(10): 852-871.
- [9] 徐瑛, 虞明远. 基于差异化公共性的公路收费问题解析[J]. 公路交通科技, 2012, 29(4): 149-152.
XU Ying, YU Mingyuan. Analysis of road tolling based on differential publicity [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2012, 29(4): 149-152. (in Chinese)
- [10] 唐俊忠. 高速公路通行负担分析理论与方法[D]. 西

- 安: 长安大学, 2013.
- TANG Junzhong. Research on analysis theory and method of highway travel burden [D]. Xi'an: Chang'an University, 2013. (in Chinese)
- [11] YING Jiangqian, ANDO R. On the effects of central Japan expressway's commuter toll discount policy in Nagoya area [J]. *Tshinghua Science and Technology*, 2007, 12(2): 151-157.
- [12] ROMERO F, GOMEZ J, PAEZ A, et al. Toll roads vs. public transportation: a study on the acceptance of congestion-calming measures in Madrid [J]. *Transportation Research Part A*, 2020, 142(11): 319-342.
- [13] OTAKI I, IMANISHI Y, MIYATAKE K, et al. Effects of the change of toll system on social surplus: a case study of distance-based toll in Tokyo Metropolitan Expressway [J]. *Transportation Research Procedia*, 2017, 25(7): 2923-2933.
- [14] KUTSUKAKE T, MOHIRI Y, OKA H, et al. Analysis of toll discounts on nationwide expressway in Japan [J]. *Transportation Research Procedia*, 2017, 48(3): 2511-2526.
- [15] ZHANG Zizhen, QIN Hu, ZHU Wenbin, et al. The single vehicle routing problem with toll-by-weight scheme: a branch-and-bound approach [J]. *European Journal of Operational Research*, 2012, 220(1): 295-304.
- [16] ZHAO Nale, QI Tongyan, YU Lei, et al. A practical method for estimating traffic flow characteristic parameters of tolled expressway using toll data [J]. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2014, 138(7): 632-640.
- [17] 杨铭, 秦华容, 陈荫三. 区域公路货物周转量结构分析与推算方法[J]. *交通运输工程学报*, 2011, 11(5): 93-100.
- YANG Ming, QIN Huarong, CHEN Yinsan. Structure analysis and calculation method of freight turnover for regional highway [J]. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 2011, 11(5): 93-100. (in Chinese)
- [18] 马捷, 李津, 程琳. 客货分离道路系统的车辆分类标准和评价方法[J]. *深圳大学学报理工版*, 2015, 35(5): 524-531.
- MA Jie, LI Jin, CHENG Lin. Vehicle classification and evaluation method of separating trucks from passenger vehicles [J]. *Journal of Shenzhen University Science and Engineering*, 2015, 35(5): 524-531. (in Chinese)
- [19] U. S. Department of Transportation, Bureau of Transportation Statistics. National transportation statistics annual report [R]. Washington D C, USA: Department of Transportation, Bureau of Transportation Statistics, 2016.
- [20] 闫晟煜, 肖润谋. 基于收费数据的高速公路事故影响区域判定[J]. *公路交通科技*, 2013, 30(8): 134-139.
- YAN Shengyu, XIAO Runmou. Decision of affected area of freeway accidents based on toll collection data [J]. *Journal of Highway and Transportation Research and Development*, 2013, 30(8): 134-139. (in Chinese)
- [21] 李玉涛, 马德隆, 乔婧, 等. 我国收费公路制度改革的基本原则探讨[J]. *价格理论与实践*, 2019, 38(7): 52-56.
- LI Yutao, MA Delong, QIAO Jing, et al. Analysis on the reform of toll highway system [J]. *Price: Theory & Practice*, 2019, 38(7): 52-56. (in Chinese)
- [22] 边超, 崔洪军, 刘召伟. 收费公路费率与不同货类货车流量关系的灵敏度分析[J]. *公路交通科技*, 2018, 35(2): 152-158.
- BIAN Chao, CUI Hongjun, LIU Zhaowei. Analysis on sensitivity of relationship between toll rate and traffic volumes of different goods [J]. *Journal of Highway and Transportation Research and Development*, 2018, 35(2): 152-158. (in Chinese)
- [23] 朱向雷. 载货汽车空载行驶性能研究[D]. 西安: 长安大学, 2007.
- ZHU Xianglei. Study on the running performance of no-load auto truck [D]. Xi'an: Chang'an University, 2007. (in Chinese)
- [24] 魏娟. 道路货物运输中间性组织模式与效益研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2011.
- WEI Juan. Research on road freight transport intermediate organization model and benefit [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2011. (in Chinese)
- [25] 吕安平. 收费减免政策对高速公路运营影响分析研究[D]. 西安: 长安大学, 2018.
- LV Anping. Analysis and study on the impact of toll reduction policy on expressway operation [D]. Xi'an: Chang'an University, 2018. (in Chinese)

【中文责编: 方圆; 英文责编: 淡紫】