

基于仿真计算的淮安有轨电车 1 号线运营效益评估*

李君美¹ 沈宙彪² 滕 靖¹ 范宇杰²

(1. 同济大学道路与交通工程教育部重点实验室, 201804, 上海;
2. 上海市城市建设设计研究总院(集团)有限公司, 200125, 上海//第一作者, 高级工程师)

摘 要 提出了一种基于仿真建模的有轨电车运营效益评估方法,并以交通调研的实际数据进行模型校准。分析了仿真建模要点、流程及模型效用。考虑时间节约、能源节约、环境保护、运能提升和沿线土地增值效益,提出了多维度的评估体系及各维度指标的计算方法;讨论了有轨电车对其线路影响范围内社会车辆的影响。确定了有轨电车运营效益定量化评估方法,以淮安有轨电车 1 号线为例验证了该方法的可行性。

关键词 有轨电车;运营效益评估;模型校准

中图分类号 U482.1.09

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.01.029

Evaluation of Huai'an Tram Line 1 Operation Benefits Based on Simulation Calculation

LI Junxian, SHEN Zhoubiao, TENG Jing, FAN Yujie

Abstract A tram operation benefits evaluation method based on simulation and modeling is proposed, and actual data from traffic survey is used to calibrate the model. The main points of simulation modeling, procedure and model utility are discussed. A multi-dimensional evaluation system is established and calculation methods of the corresponding indicators are proposed, considering benefit assessment of time-saving, energy-saving, environmental protection, transportation efficiency improvement and surrounding land value increment. The impact of tram on social traffic within the line influencing area is discussed. Quantitative measurement method of tram operation benefits is decided, taking Huai'an Tram Line 1 as an example to verify the feasibility of the method.

Key words tram; operation benefits evaluation; model calibration

First-author's address Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, 201804, Shanghai, China

近年来,我国有轨电车发展迅速,但目前的诸多已建项目未达到规划效果。表 1 为 2019 年苏州、淮安的有轨电车项目预测客流与实际客流的情况。

表 1 2019 年苏州、淮安有轨电车的预测客流与实际客流对比
Tab. 1 Comparison of predicted and actual passenger volume of Suzhou, Huai'an tram in 2019

线路	日客流量/万人次		客流强度/(万人次/km)	
	规划	实际	规划	实际
苏州高新区有轨电车 1 号线	2.6	0.9	0.14	0.043
淮安有轨电车 1 号线	8.7	2.7	0.43	0.14

有轨电车效益评估工作集中于项目前期,多为公交系统选型评估^[1-2]、选线方案评估^[2]、基于预测数据的局部交通效率影响评估^[3]及安全性评估^[4]等,且涉及维度较为单一^[5],缺乏基于实际数据对有轨电车全部影响范围进行多因素综合评估的系统理论。而通过仿真可以较低代价得到有轨电车各运营阶段数据支持评价。但建模过程中如采用参数存在偏差,可能导致模型与真实不符,因此需阶段性开展实地调研,获取局部数据以标定和校准仿真模型,提高结果可信度。

1 效益评估方法

1.1 初始建模

初步划定有轨电车各站点影响范围,在内部精细划分交通小区,确保各小区有唯一对应站点;在遵守小区划分基本规则的前提下,逐步增加划分面积,以降低分析复杂性;有轨电车线路建模应体现其与市政道路的关系及站点区位;初步调整共线市政道路通行能力,体现不同横断面设计中有轨电车的影响,并进行交通分配。

* 中华人民共和国住房和城乡建设部科学技术计划项目(2018-K2-016)

1.2 模型校准与对比模型搭建

将初始分配结果与实地调研数据进行比对,以校准模型,具体做法如下:

1) 将现状年实际调研的部分流量数据与有轨电车在该处断面流量叠加得到断面交通总流量,经流量反推校正初始 OD(起讫点)矩阵并查找偏差因素。多轮迭代后控制分配流量误差,如果该误差小于一定门限值,则认为结果稳定。

2) 调研有轨电车部分断面客流量,以此对照检查规划中对有轨电车分担率的估计偏差,并在各站点间分别调整。

3) 收集局部节点延误、有轨电车部分站间行程时间等数据,将这些数据用于阶段计算结果对比,以校准模型。

经校准的模型为现状模型。以该模型 OD 矩阵为准,根据有轨电车实施前的交通工程、信号控制和公交分担情况更新阻抗矩阵和出行结构参数,重新分配得到不实施有轨电车条件下的模型,并将其作为对比模型。

对比上述两个模型的交通分配结果,标记有轨电车实施前后流量有显著差别的路段,重新圈定有轨电车影响范围。

1.3 模型效用

在现状模型基础上,考虑各区经济、人口增长趋势和出行结构变化等因素,调整参数后再次仿真。由仿真结果可知近景年有轨电车载运量变化、周边影响及实施效益。

如远景年不可测因素增加,且距模型校准基年时间长,则模型的可靠性无法保证,仅可用作趋势分析。以后如需进行评估,需阶段性收集实际数据,持续更新模型方可推进。

2 有轨电车综合效益评估体系

2.1 时间节约效益

进出站及在站停留时间增加了有轨电车行程延误,但因站间距较大而影响有限;有轨电车分担了一定交通压力,因此社会交通量下降,路段行程速度将得以提升;配合优先管控策略实施,有轨电车可减少所在通道的社会车辆延误,但对相交道路的通行效率有消极作用。上述效用综合体现为有轨电车的时间节约效益。

T_B 和 T_A 分别为有轨电车开通前后高峰小时社会车辆沿有轨电车路线出行的总行程时间(分上下

行),有:

$$T_k = \sum_{i=0}^{m-1} \left(\frac{l_i}{v_i} + \sum_{j=0}^{n_i} d_{ij} \right) V_i \sigma \quad (1)$$

式中:

k ——取值 A 或 B,分别表示有轨电车实施后和实施前;

m ——有轨电车站设数量;

l_i, v_i, n_i, V_i ——分别为第 i 个站间路段的行程距离、路段小汽车高峰小时的平均速度、交叉口数量和高峰小时社会车辆的交通量;

d_{ij} ——第 i 个站间第 j 个交叉口的峰小时车均延误时间;

σ ——考虑社会交通车型组成计算的高峰小时平均合乘系数。

有轨电车高峰小时的总行程时间 T_t (分上下行)为:

$$T_t = \sum_{i=0}^{m-1} \left(\frac{l_i}{v_{t,i}} + p_i \right) V_{t,i} \quad (2)$$

式中:

$v_{t,i}$ ——高峰小时第 i 个站间路段有轨电车的平均速度;

$V_{t,i}$ ——有轨电车高峰小时断面客流量;

p_i ——考虑第 i 个站间路段两端站点的减速与在站停留的平均时间。

有轨电车也将对非有轨电车沿线路段造成影响,高峰小时这部分总行程时间差值 ΔT_0 为:

$$\Delta T_0 = \left(\sum_{p=0}^q t_{B,p} V_{B,p} - \sum_{p=0}^q t_{A,p} V_{A,p} \right) \sigma \quad (3)$$

式中:

q ——模型中受有轨电车影响的路段数量;

$t_{B,p}, t_{A,p}$ ——高峰小时第 p 个路段在有轨电车开通前、后的行程时间;

$V_{B,p}, V_{A,p}$ ——高峰小时第 p 个路段在有轨电机开通前、后的客流量。

综上,单条有轨电车线路实施前后其高峰小时(分上下行)节约总时间 E_t ^[6]:

$$E_t = (T_B - T_A - T_t + \Delta T_0) \lambda \quad (4)$$

式中:

λ ——项目所在城市的个人单位时间价值, $\lambda = p_{GDP} / (250 \text{ d} \times 8 \text{ h})$ 。其中: p_{GDP} 为某城市年人均国民生产总值(单位:元/人);一年工作日为 250 d,每个工作日工作时间为 8 h。

2.2 能源节约效益

有轨电车能源利用率高,且其能有效分担交通压力,也可减少区域内小汽车出行能耗。其开通前后的各种交通方式的能源消耗总量差值可体现其能源节约效益。

汽车燃油消耗受道路交通状况影响存在一个经济油耗饱和度,饱和度小于该值时车辆自由行驶但有频繁的加减速过程,油耗相对高;饱和度大于该值时车流延误大幅增加,油耗上升^[7]。汽车燃油消耗 F 计算公式为:

$$F=a(Q/C)^2+b(Q/C)+c$$

(5)

式中:

- Q ——各站间路段汽车流量;
- C ——路段车道汽车实际通行能力;
- a, b, c ——拟合参数,按表 2^[8]取值。

表 2 汽车油耗模型回归参数值

Tab.2 Regression parameters of fuel consumption model

参数	快速路	主干路	次干路	支路
a	8.516	7.247	7.639	8.596
b	-7.059	-6.551	-6.843	-6.103
c	8.075	7.342	8.032	8.509

有轨电车车辆运行能耗占总能耗的 50% ~ 70%。实际计算中,确定有轨电车每公里平均用电量时需考虑其选型及维护情况。

综上,单条有轨电车线路开通前后高峰小时运行(分上下行)的能源节约效益 E_f 为:

$$E_f=(F_B-F_A)\eta_f-F_i\eta_e$$

(6)

式中:

- F_B, F_A ——分别为高峰小时有轨电车开通前、后影响范围内社会交通油耗;
- F_i ——有轨电车的耗电量;
- η_f, η_e ——分别为城市燃油价格和电力价格。

2.3 环境保护效益

有轨电车对环境保护有正面作用,满足同样出行需求时,其有害尾气和固体污染物排放量减少。我国常用排放因子方法^[8]计算尾气排放量,不同车型各种污染物排放量与行程速度间存在二次拟合关系:

$$P_{mn}=A_{mn}v_m^2+B_{mn}v_m+C_{mn}$$

(7)

式中:

- P_{mn} —— m 类车每公里行驶里程产生的第 n 类污染物总量;
- A_{mn}, B_{mn}, C_{mn} ——回归参数,按表 3^[9]取值。
- v_m —— m 类车辆行程速度。

表 3 汽车产生污染物模型回归参数取值表

Tab.3 Regression parameters of various contaminator production model

车型	污染物类型	拟合系数		
		A_{mn}	B_{mn}	C_{mn}
小型车	CO	0.016 5	-3.855 0	244.509 0
	NOX	-0.001 4	0.312 8	-8.574 2
	颗粒物	0.000 001 05	0.000 120 00	0.006 300 00
中型车	CO	0.036 9	-5.292 0	262.713 0
	NOX	-0.001 2	0.353 0	-3.800 0
	颗粒物	0.000 105 00	0.010 650 00	0.937 500 00
大型车	CO	0.004 8	-0.747 0	41.073 0
	NOX	0.005 2	-0.453 8	29.798 0
	颗粒物	0.000 150 00	0.023 850 00	1.899 000 00

综上,可针对不同站点间和影响范围内其他路段的交通流量、交通组成及行程速度求解有轨电车的环保效益。

2.4 运能提升效益

为减少有轨电车对社会交通的影响,通常采取如下措施:

- 1) 不占用社会车道,拓宽或压缩分隔带拓宽道路,在路中或路侧布置有轨电车轨道。此时有轨电车对所在道路运能近似于“净提升”,同时由于引入优先措施,其沿线道路延误将进一步减小,但与其相交路段通行能力将下降,可能导致局部拥堵。
- 2) 对无条件实施措施 1 的路段,社会车辆采用单向行驶方案,有轨电车的实施将直接影响路段通行能力。此时有轨电车的运能提升效益需结合线路方案,并综合同向、相交社会道路饱和度变化综合评估。

2.5 周边土地增值效益

多项研究通过特征价格模型计算大容量公交站点影响范围内住宅价格变化,发现其涨幅受站点客流量、是否换乘站和站点区位等多因素影响^[10],且该影响有时间效应^[11]。

我国香港,美国圣地亚哥、旧金山等城市的数据显示,大容量公交站点辐射范围内的商业和办公用地价值均呈上升趋势,部分商业地产价格上浮达 338%。现有文献针对有轨电车站点周边地产价值的研究较少,参考文献[10-11]数据可初步判定站点辐射范围内用地将升值,上升空间随城市发展特征和站点区位不同存在差别。因此,评估时可考虑此因素,分阶段考察站点周边土地价值变动规律,为后续其他线路规划建设提供参考。

3 淮安现代有轨电车 1 号线效益评估

3.1 项目概况

淮安现代有轨电车号线(以下简称“1 号线”)于 2015 年通车运营。在 2018 年底运营初期结束之际,以仿真为主要手段开展综合效益后评估。实地调研了 1 号线沿线 6 个交叉口流量,并在早晚高峰跟车调研 1 号线各站间断面流量及上下客情况,用于校准仿真模型。

3.2 建模过程

按淮安城市组团和居住片区划分,考虑远期轨道交通线网规划、行政区划边界和用地同质性因素,将淮安中心城区划分为 91 个内部小区和 5 个外部小区。初步建模后根据调研数据进行模型校准,完成现状模型和对比模型。由两者对比可知,1 号线明显影响的市政道路分布于 45 个小区。以这些小区作为影响范围开展评价。

3.3 基础仿真结果

将该线北向南(下行)方向途经的 23 个车站依次编号为 1~23,计算站间距和累积站间距。基于仿真结果的有轨电车实施前后的道路通行情况见表 4。高峰时段 1 号线站间平均速度见表 5。

表 4 基于仿真结果的有轨电车实施前后的道路通行情况
Tab.4 Traffic status before and after launch of tram based on simulation results

车站 编号	饱和度				行程速度/(km/h)			
	实施 有轨电车		不实施 有轨电车		实施 有轨电车		不实施 有轨电车	
	上行	下行	上行	下行	上行	下行	上行	下行
1	-	-	-	-	-	-	-	-
2	0.81	0.50	0.68	0.44	27	38	33	41
3	0.58	0.37	0.36	0.28	38	41	43	46
4	1.02	0.62	0.74	0.50	19	35	30	38
5	0.45	0.32	0.30	0.29	40	44	46	46
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
20	0.25	0.21	0.17	0.15	47	49	50	52
21	0.18	0.33	0.12	0.35	50	44	53	44
22	0.14	0.13	0.11	0.12	52	53	54	53
23	0.16	0.12	0.16	0.13	51	53	51	53

从模型中分离出 1 号线影响范围内所有非有轨电车沿线路段统一编号计算这些路段的通行情况,结果见表 6。根据表 4~6 的结果,计算 1 号线运行参数及其开通前后对沿线市政道路和其他路段的影响,结果如表 7 所示。

表 5 高峰时段 1 号线站间平均速度

Tab.5 Average velocity of line 1 during peak hour
单位:km/h

车站编号	上行平均速度	下行平均速度
1	-	-
2	12.47	14.68
3	23.48	22.94
4	14.10	17.80
5	20.89	18.99
⋮	⋮	⋮
20	25.86	24.74
21	33.72	25.42
22	33.85	31.84
23	33.05	30.39

表 6 1 号线影响范围内非有轨电车沿线路段通行情况

Tab.6 Traffic condition of non-tram section within impact range of line 1

路段 编号	行程速度/(km/h)				高峰小时车流量/(pcu/h)			
	不实施 有轨电车		实施 有轨电车		不实施 有轨电车		实施 有轨电车	
	上行	下行	上行	下行	上行	下行	上行	下行
1	28	33	24	36	2 340	1 710	2 610	1 845
2	27	28	23	23	2 160	2 070	2 295	2 205
3	26	28	25	28	1 600	1 200	1 760	1 200
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
592	52	52	52	54	480	480	480	420
593	25	26	26	26	308	252	224	252
594	20	22	21	24	896	700	868	616

表 7 1 号线实施前后对市政道路影响情况

Tab.7 Impact on municipal roadways before and after launch of line 1

对比 主体	对比内容	项目实施前	项目实施前	备注
有轨 电车 沿线 路段	高峰平均饱和度	0.38(上行) 0.33(下行)	0.29(上行) 0.26(下行)	各站间改善程度有区别;1 号线有效缓解,所在通道拥堵
	社会交通行程 速度/(km/h)	39(上行) 45(下行)	44(上行) 48(下行)	
	行程时间/min	44.95(上行) 37.85(下行)	39.69(上行) 34.39(下行)	
非有轨 电车沿 线路段	高峰平均 饱和度	0.37	0.36	与线路交叉 路段饱和度 上升明显
1 号线	单程运行 时间/min		48.85(上行) 45.39(下行)	已考虑停靠 与交叉口延 误,部分站点 间速度达 40 km/h 以上
	单程平均行程 速度/(km/h)		24.88(上行) 26.77(下行)	

3.4 效益评估

3.4.1 时间节约效益

基于表 4 计算,由式(3)可得 1 号线实施后站间总节约行程时间。1 号线有效提升了社会交通效率,大部分站点间行程时间减少。沿线市政道路高峰小时上下行分别节约总行程时间为 6 471 min 和

278 min;影响范围内其他路段交通效率变化不一致,与有轨电车线路相交路段通行效率明显下降,负面效应较大,但综合仍为正向作用;非有轨电车沿线市政道路总节约行程时间为 1 384 min。淮安市 2018 年 GDP 为 3 601 亿元,常住人口为 492.5 万人,以此作为参数,由式(4)可得高峰小时可节约时间成本为 49 884 元。以每年 500 个高峰小时计,1 号线每年高峰小时节约时间总成本为 2 477.7 万元。

3.4.2 能源效益

基于表 4 和表 5,由式(5)可得:1 号线开通后高峰小时上下行总油耗分别从 3 679 L 和 1 779 L 降至 1 953 L 和 1 088 L;影响范围内其他路段社会车辆油耗总和从 10 422 L 降至 8 670 L。但其中与有轨电车线路相交道路社会车辆的油耗呈上升趋势。

1 号线运行初期用电约为 2.2 kWh/km,全程 20.07 km,高峰小时发车间隔不超过 15 min,高峰小时上下行用电量均可按 270 kWh 计算。参考江苏省油价 7.56 元/L、电价 0.854 1 元/(kW/h),由式(6)可得高峰小时 1 号线沿线上下行能耗分别节约 14 366 元和 6 535 元,其他路段高峰小时节约总能耗合计为 30 329 元。以每年 500 个高峰小时计算,高峰小时 1 号线每年节约能源成本为 1 516 万元;沿线出行高峰小时上下行方向油耗成本降幅为 0.16 元/(人·h)和 0.06 元/(人·h)。

3.4.3 环保效益

基于表 4 和表 5,由式(7)可得:1 号线分别减少高峰小时沿途社会车辆 CO、氮氧化物和固体颗粒物排放量为 5.32 t/h、0.005 t/h 和 139 t/h;高峰小时上下行沿线污染物排放量分别从 7.31 t 和 4.25 t 降至 3.86 t 和 2.33 t,其他路段高峰小时污染物排放量从 11.01 t 降至 9.97 t。以每年 500 个高峰小时计,1 号线通车后高峰小时每年减少污染物排放量 3 205 t。

3.4.4 运能提升效益

根据 1 号线选线及沿途社会交通组织情况,1 号线周边双向通行路段无须调整为单行。除和平路、交通路需由双四车道调整为双二车道导致其通行能力下降之外,其他市政道路运能均得到提升。1 号线列车为 5 模块编制,列车定员为 300 人,单车最大运能为 7 200 人/h,考虑各站间路段断面设计及合乘系数,折算有轨电车对市政道路的运能提升比例如表 8 所示。

表 8 1 号线沿线道路运能提升情况

Tab. 8 Capacity improvement of the roads along line 1

路段	交通路	和平路	翔宇大道 (宁连公路以北/以南)	楚州大道 南段
提升比例/%	-50.00	-50.00	66.67/88.89	133.33

与有轨电车线路主要相交道路在实施有轨电车后服务水平变化情况如表 9。

表 9 与有轨电车线路主要相交道路高峰小时饱和度变化情况
Tab. 9 Saturation variation situation of main roads intersecting with tram route

分类	高峰小时饱和度						
	淮海 东路	珠海 路	深圳 路/天 津路	汕头 路	枚皋 路	城西 北路	楚州 大道 北段
不实施有轨电车	0.35	0.46	0.21/0.47	0.26	0.44	0.37	0.54
实施有轨电车	0.39	0.69	0.40/0.76	0.46	0.60	0.65	0.66

1 号线通车后,交通路、和平路运能下降,沿线其他路段的运能则有大幅提升。与之相交路段的饱和度上升明显。由此可见,尽管在有轨电车影响范围内各项效益均有所提升,但受有轨电车优先策略影响,与其相交路段通行效率下降明显,部分服务水平甚至下降两级,前文所述时间成本、能源和污染物排放等效益在这部分路段均显示为负值,各项效益分布不均匀。

3.4.5 其他效益

1) 提升周边土地价值。1 号线设站选择考虑了未来城市商务和行政中心布局,这些地方将聚集大量客流。以深圳路站为例,POI(兴趣点)数据显示,目前其 1 km 影响半径内有 12 个住宅小区、24 个办公集中区及 500 余个商铺(图 1),周边土地升值空间较大。

2) 缓解远期通道拥堵。根据规划,至 2030 年,淮安将新开通 3 条轨道交通线路和 3 条有轨电车线路,共同构成公共交通骨干网。按照《淮安市城市总体规划(2008—2030 年)》中对用地情况及出行结构的预测,对不开通任何轨道交通或有轨电车线路、仅开通轨道交通线路以及同时开通所有线路这 3 种情况下的路网整体服务水平进行了趋势预测:第 1 种情况下,淮安部分主要通道饱和度达到 0.6 以上,核心区域东部出现严重拥堵;第 2 种情况下,有轨道交通线路经过的路段及其周边与其相交道路的流量出现下降,但情况 1 下的拥堵点仍然存在;情况 3 考虑了有轨电车线路的作用,因其靠近拥堵点有设站,有效缓解了片区拥堵问题,该区域道路

饱和度普遍下降 0.1~0.2。

此外,仿真结果显示,规划阶段对 1 号线客流量等各项指标的预测值均偏大。此现象在其他有轨电车项目的城市中也较常见,多为对沿线交通吸引力或公交分担率估计过高所致。在其他线路建设前期,需参考已建成线路的后评估资料,重新调整各项规划参数校正估值,以期获得更准确的估计结果。

4 结语

1) 有轨电车运营效果评估应综合线路本身和社会车辆运行情况,从多维度展开。以仿真配合实际数据校准并配合已有计算方法,对有轨电车项目的时间、能源节约,环保和运能提升等方面效益进行综合评估是可行的。

2) 后评估应随线路开通时间推移,阶段性开展实地调研,持续修正模型,以保障模型效用。

3) 大容量公交系统规划阶段常因资料不完备、不可预测因素多导致参数误差较大,应积极对已建有轨电车线路展开后评估,反馈校正规划参数,为后续线路建设提供参考。

参考文献

- [1] 崔亚南. 现代有轨电车应用模式及区域适用性评价研究[D]. 北京:北京交通大学,2012.
CUI Ya'nan. Study of the application mode and regional applicability evaluation of modern trams[D]. Beijing:Beijing Jiaotong University,2012.
- [2] 张翔. 现代有轨电车适用性及其线网方案优选研究[D]. 北京:北京交通大学,2016.
ZHANG Xiang. Study on the applicability modern tramcar and the optimization of its network planning[D]. Beijing:Beijing Jiaotong University,2016.
- [3] 吴胜权,王贵国,王艳荣,等. 基于 VISSIM 仿真系统的有轨电车线路对城市道路交叉口影响评价方法研究[J]. 中国铁路,2014(5):51.
WU Shengquan,WANG Guiguo,WANG Yanrong,et al. Study on evaluation method of tram line impact on urban road intersections based on VISSIM simulation system[J]. China Railway,2014(5):51.
- [4] 杨泞辉,叶茂,吴爱民,等. 现代有轨电车安全运行的危险源识别与风险评估[J]. 现代交通技术,2017(14):75.
YANG Ninghui,YE Mao,WU Aimin,et al. Hazard identifica-

tion and risk assessment of modern trams safe running[J]. Modern Transportation Technology,2017(14):75.

- [5] 杨阳. 基于 LCA 理论下有轨电车全寿命周期环境影响评价[D]. 南京:东南大学,2015.
YANG Yang. The environmental impact of the urban tram based on life cycle assessment theory—a case study of tram Line 1 in Suzhou[D]. Nanjing:Southeast University,2015.
- [6] 童文聪,缪芳. 公交专用车道设置综合效益评估——以京通快速路为例[J]. 城市交通,2014(6):63.
TONG Wencong,MIAO Fang. Evaluation on comprehensive benefits of exclusive bus lane setting:taking Jingtong expressway as an example[J]. Urban Transport of China,2014(6):63.
- [7] 冯雨芹,冷军强,张亚平,等. 城市道路路段燃油经济性评价模型[J]. 华南理工大学学报(自然科学版),2011(8):104.
FENG Yuqin,LENG Junqiang,Zhang Yaping,et al. Evaluation model of fuel economy of urban road section[J]. Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition),2011(8):104.
- [8] 中华人民共和国交通部. 公路建设项目环境影响评价规范:JTGB 03—2006[S]. 北京:人民交通出版社,2006.
Ministry of Transport of the People's Republic of China. Specifications for environmental impact assessment of highways:JTGB03—2006[S]. Beijing:China Communications Press Co., Ltd.,2006.
- [9] 王晓宁,张宏智,付亚君. 机动车尾气排放量计算方法研究[J]. 公路交通技术,2016(1):130.
WANG Xiaoning,ZHANG Hongzhi,FU Yajun. Research on computing method for amount of emission of motor vehicle exhaust[J]. Technology of Highway and Transport,2016(1):130.
- [10] 陈美玲. 城市轨道交通对沿线商业地产价值的影响研究——以西安市地铁为例[D]. 西安:长安大学,2017.
CHEN Meiling. Study on impact of urban rail transit on the value of the commercial estate—case study of Xi'an Urban Rail Transit Lines[D]. Xi'an:Chang'an University,2017.
- [11] 孟乐. 城市轨道交通对沿线房地产的价值影响研究[D]. 西安:长安大学,2017.
MENG Le. Research on the impact of urban rail transit on the value of real estate along the line[D]. Xi'an:Chang'an University,2017.
- [12] 王芬. 轨道交通对周边住宅价格的时空效应研究——基于 SDID 模型[D]. 杭州:浙江大学,2018.
WANG Fen. SDID-based spatial-temporal effects of rail transit on surrounding housing price[D]. Hangzhou:Zhejiang University,2018.

(收稿日期:2020-02-19)