

地铁安检服务时间及其影响因素分析

郑 勋^{a,b}, 李海鹰^a, 陈 旭^{a,b}, 骆泳吉^{a,b}

(北京交通大学 a.轨道交通控制与安全国家重点实验室, b.交通运输学院, 北京 100044)

摘 要:将乘客通过地铁站安检机的过程细分为放包、走行和取包 3 个阶段,采集了北京地铁站安检过程的视频数据并进行统计分析,提取可能影响安检服务时间的 6 个乘客因素和 4 个环境因素,利用逐步回归的方法提取显著性影响因素.研究发现:行李和安检机类型是影响安检服务时间的最主要因素;年龄、性别、前方乘客类型和数量、结伴、使用手机、运动方式也影响安检过程.通过相对误差对模型进行验证,结果表明:建立的回归模型具有较好的适应性,平均相对误差约为 10%.

关键词:城市轨道交通;地铁安检服务时间;多元线性回归模型;影响因素

中图分类号:U231 **文献标志码:**A

Analysis of the service time of security check in subway stations and its influence factors

ZHENG Xun^{a,b}, LI Haiying^a, CHEN Xu^{a,b}, LUO Yongji^{a,b}

(a. State Key Laboratory of Rail Traffic Control and Safety,
b. School of Traffic and Transportation, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: The process of passenger passing security check machine can be divided into three stages being laying down luggage, walking and picking up luggage, respectively. The security check process in Beijing Subway stations is videotaped. Through analyzing the videos, six passenger factors and four environmental factors are extracted, and the significant influencing factors are identified with the step-regression method. It is found that luggage and the type of security check machine are the most important factors. Furthermore, age, gender, type and number of passenger in front, group, using cell phone, and movement mode also affect security process. The proposed model is validated by the relative error. Research results indicate that the proposed regression model has a good adaptability and the mean relative error is about 10%.

Keywords: urban rail transit; service time of security check in subway stations; multiple linear regression model; influencing factors

地铁安检是保障乘客人身安全和地铁运营安全
的重要措施.安检服务是一个较为复杂的过程,包括

行李通过安检机、手检等环节,特殊情况还包括行李
二次安检、乘客试喝液体等情况.此外, 安检机前的

收稿日期:2017-06-26
基金项目:国家重点研发计划(2016YFB1200402)
Foundation item: National Key R&D Plan(2016YFB1200402)
第一作者:郑勋(1987—),男,安徽太和人,博士生.研究方向为交通运输规划与管理. email: xunzheng@bjtu.edu.cn.
通信作者:李海鹰(1966—),女,山西榆次人,教授,博士,博士生导师. email: hyl@bjtu.edu.cn.
引用格式:郑勋, 李海鹰, 陈旭, 等. 地铁安检服务时间及其影响因素分析[J]. 北京交通大学学报, 2018, 42(3): 53—58.
ZHENG Xun, LI Haiying, CHEN Xu, et al. Analysis of the service time of security check in subway stations and its influence factors[J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2018, 42(3): 53—58. (in Chinese)

乘客排队也会影响安检服务时间.因此,分析地铁安检服务时间及其影响因素,能够为合理配置安检设备数量、优化安检设备布局和提高进站效率提供科学依据.

目前研究者已经对地铁或铁路车站安检服务时间及其影响因素展开了一些研究.文献[1]对地铁站安检的通行能力进行研究,将乘客通过安检机的时间划分为行李准备时间、行李传送时间和取回行李时间.文献[2]从微观角度分析了客流组成、携带行李等因素对乘客通过地铁安检机时间的影响.文献[3]把整个安检时间划分为等待时间、被检时间和疏散时间,指出影响被检时间的主要因素为携带大件行李、乘客性别和携带行李数量.文献[4]对客运专线枢纽的安检服务时间分布进行研究,指出安检服务时间与行李数量成正比关系.文献[5]研究了高铁枢纽站的乘客在安检处的达到规律和安检时间.另外,研究者对机场^[6-7]、客运码头^[8]、大型场馆^[9]等环境的安检过程也进行了一些研究.

以上研究为乘客通过安检机的过程划分和影响因素分析的研究提供基础,携带行李的数量和大小、年龄、性别等因素对安检服务时间有影响.然而既有研究只考虑乘客因素,很少考虑环境因素以及安检机类型的影响.针对此不足,本文作者对高峰期间携带行李的乘客通过安检机的安检服务时间及其影响因素进行深入研究,暂不考虑行李二次安检、乘客试喝液体等情况.实地采集北京地铁车站安检过程的视频,综合考虑乘客因素、环境因素和安检机类型,采用多元线性回归方法,建立具有一定普遍适应性的安检服务时间的回归模型,并进行显著性影响因素的分析和模型的验证,最后给出提高安检效率的建议.

1 安检服务时间及其影响因素选取

1.1 安检服务时间

在文献[4]的研究中,安检服务时间定义为乘客弯腰准备将行李放置到传送带到提起行李准备离开的时间间隔,记为 T_{check} .本文作者将其细分为放包时间、走行时间和取包时间,分别对应乘客通过安检机的放包、走行和取包 3 个阶段.放包时间为乘客弯腰准备将行李放置到传送带到将行李放置到传送带的时间间隔,记为 T_{lay} ;走行时间为乘客将行李放置到传送带到准备弯腰提取行李的时间间隔,记为 T_{walk} ;取包时间为乘客准备弯腰提取行李到提起行李准备离开的时间间隔,记为 T_{pick} .

1.2 影响因素的选取

北京地铁站常见的安检机有两类,一类是常规

安检机;另一类是为了方便携带大件行李的乘客进行安检的特殊安检机,它的长度和宽度都大于常规安检机,且传送带的高度低于常规安检机.安检服务时间受到乘客因素、环境因素和安检机类型的共同影响.本文选取性别、年龄、身高、行李、结伴、使用手机 6 个乘客因素以及前方乘客类型、前方乘客数量、后方乘客、运动方式 4 个环境因素,具体见表 1.

表 1 影响因素列表

Tab.1 List of influencing factors			
类型	影响因素	描述	变量
乘客因素	性别	女性:1,男性:0(对照组)	β_1
	年龄/岁	青年人: <45	x_1
		中年人: 45~60	x_2
		老年人: >60(对照组)	
	身高/m	<1.55	y_1
		1.55~1.65	y_2
		1.65~1.75	y_3
		>1.75(对照组)	
	行李	两个及以上的行李(不含行李箱)	z_1
		行李箱	z_2
		双肩书包等中型行李	z_3
		手提包、手提袋等小型行李(对照组)	
环境因素	结伴	不结伴:1,结伴:0(对照组)	β_2
	使用手机	不使用手机:1,使用手机:0(参照组)	β_3
	前方乘客类型	乘客放行李时,前方是否有携带行李箱或两个及以上行李的乘客.如果有则赋值为 1,否则赋值为 0(参照组)	β_4
	前方乘客数量	乘客放行李时,前方等待取行李的乘客数量	β_5
	后方乘客	乘客放行李时,后方是否有其他乘客等待安检.如果有赋值为 1;否则赋值为 0(参照组)	β_6
	运动方式	乘客放行李后,是否直接跑到队列前方等待取行李.如果不是赋值为 1;否则,赋值为 0(参照组)	β_7
	安检机因素	安检机类型 常规安检机:1,特殊安检机:0(参照组)	β_8

2 数据采集及提取

2.1 数据采集

2016 年 4 月至 6 月,在四惠东站、宣武门站、动物园站、北京南站四座地铁站进行安检过程的视频采集.四惠东站、宣武门站是换乘车站,早晚高峰客流量较大,故选取早高峰和晚高峰采集视频;动物园站紧邻北京动物园,周末及节假日客流量较大,故在周末对该站进行数据采集.上述 3 个车站安装的是第 1 类常规安检机,安检机长度约为 1 m,传送带高度约为 0.7 m.北京南站是换乘车站,同时连接铁路北京南站,客流组成复杂且客流量较大,在早高峰时间段采集数据.北京南站安装的是第 2 类特殊安检

机,安检机长度约为 1.9 m,传送带高度约为 0.3 m.

2.2 数据提取

采用 Quicktime Player 播放器进行视频逐帧播放,人工识别并统计数据.经整理得四惠东站、宣武门站、动物园站和北京南站的有效数据分别为 504 份、404 份、215 份和 663 份,统计结果见表 2.

通过视频提取影响因素时,结伴对安检的影响比较复杂,本文将其归纳为以下 3 种类型:同伴帮助

放包、取包,以及其他分工合作的类型;家长领着小孩进行安检的类型;同伴之间各自独立进行安检的类型.本文采用乘客之间是否有语言交流或一些肢体行为作为结伴的判断标准.为了能够量化每个乘客的安检过程,对于有分工合作的结伴类型,乘客没有独立的放包时刻和取包时刻,很难对安检服务时间进行量化处理,所以本文不考虑这一类型结伴.

时间指标的描述性统计如表 3 所示.

表 2 模型变量及数据统计
Tab.2 Model variables and statistics

变量	变量值	四惠东站		宣武门站		动物园站		北京南站	
		频数	比例/%	频数	比例/%	频数	比例/%	频数	比例/%
性别	男	197	39.1	147	36.4	54	25.1	336	50.7
	女	307	60.9	257	63.6	161	74.9	327	49.3
年龄	青年人	497	98.6	383	94.8	200	93.0	601	90.6
	中年人	3	0.6	18	4.5	12	5.6	56	8.4
	老年人	4	0.8	3	0.7	3	1.4	6	0.9
身高/m	<1.55	47	9.3	13	3.2	15	7.0	76	11.5
	1.55~1.65	223	44.2	187	46.3	113	52.6	222	33.5
	1.65~1.75	167	33.1	134	33.2	63	29.3	237	35.7
	>1.75	67	13.3	70	17.3	24	11.2	128	19.3
行李	两个及以上行李	33	6.5	46	11.4	65	30.2	77	11.6
	行李箱	11	2.2	5	1.2	4	1.9	41	6.2
	中型行李	175	34.7	101	25.0	55	25.6	236	35.6
	小型行李	285	56.5	252	62.4	91	42.3	309	46.6
结伴	是	7	1.4	27	6.7	46	21.4	60	9.0
	否	497	98.6	377	93.3	169	78.6	603	91.0
使用手机	是	11	2.2	20	5.0	2	0.9	16	2.4
	否	493	97.8	384	95.0	213	99.1	647	97.6
前方乘客类型	普通乘客	336	66.7	259	64.1	46	21.4	317	47.8
	特殊乘客	168	33.3	145	35.9	169	78.6	346	52.2
前方乘客数量/人	0	3	0.6	2	0.5	2	0.9	21	3.2
	1	29	5.8	12	3.0	4	1.9	42	6.3
	2	101	20.0	35	8.7	15	7.0	62	9.4
	3	192	38.1	134	33.2	28	13.0	95	14.3
	4	146	29.0	145	35.9	72	33.5	134	20.2
	5	30	6.0	69	17.1	69	32.1	163	24.6
	>5	3	0.6	7	1.7	25	11.6	146	22.0
后方乘客	有	438	86.9	386	95.5	211	98.1	564	85.1
	没有	66	13.1	18	4.5	4	1.9	99	14.9
运动方式	跑到前方	8	1.6	4	1.0	15	7.0	18	2.7
	正常排队	496	98.4	400	99.0	200	93.0	645	97.3

表 3 时间指标的描述性统计

Tab.3 Descriptive statistics of time indices

车站	T_{lay}		T_{walk}		T_{pick}		T_{check}	
	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差
四惠东站	1.090	0.968	8.115	1.116	1.107	0.931	10.312	1.704
宣武门站	1.416	0.746	6.756	0.946	1.221	0.905	9.394	1.480
动物园站	1.803	1.381	7.613	1.755	1.912	1.405	11.328	2.528
北京南站	1.306	0.993	10.677	1.621	1.836	1.131	13.818	2.164

不同类型的安检机相比,北京南站的走行时间和安检服务时间都明显大于其他 3 个车站,这说明

乘客通过特殊安检机的时间通常大于通过常规安检机的时间;相同类型的安检机相比,动物园站的安检

服务时间大于四惠东站和宣武门站,这主要是乘客出行目的差异造成的.早晚高峰阶段,四惠东站和宣武门站主要是通勤客流,乘客走行和安检的速度相对较快,而周末动物园站主要是休闲客流,且带小孩的比例较高,走行和安检速度相对较慢.

3 模型建立与结果分析

多元线性回归分析具有方法简单,对变量之间关系解释能力强的优点,在众多领域有着广泛的应用^[10-11].本文利用多元线性回归的方法建立具有一定普遍适用性的模型,提取出显著性影响因素,并对模型进行验证,最后提出相应的建议.

3.1 模型建立

多元线性回归模型的形式化描述如下

$$T = \alpha_0 + \sum_{i=1}^m \alpha_i X_i + \epsilon \tag{1}$$

表 4 显著性影响因素列表

Tab.4 List of significant influencing factors

时间指标	影响因素										
	性别	年龄	身高	行李	结伴	使用手机	前方乘客类型	前方乘客数量	后方乘客	运动方式	安检机类型
T_{lay}				✓					✓		✓
T_{walk}				✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
T_{pick}		✓	✓	✓		✓		✓			✓
T_{check}	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓

系被自变量解释的比例,该回归模型的 R^2 为 0.649,整 R^2 为 0.645,说明约有 64.9%的安检服务时间的变化可以用模型解释,回归结果与原数据拟合程度较好;Durbin-Watson 检验值为 1.540,说明模型的残差间相互独立;标准估计的误差为1.592 50.

安检服务时间的回归模型的方差分析见表 5,其中:回归方程的显著性检验统计量 F 值为 174.217,显著性水平 Sig.值为 0,表明自变量与因变量之间有着显著的线性关系,该回归方程具有显著意义.

表 5 方差分析
Tab.5 Variance analysis

模型	平方和	自由度	均方
回归	6 627.347	15	441.823
残差	3 580.896	1 412	2.536
总计	10 208.244	1 427	—

安检服务时间的回归模型的回归系数显著性检验见表 6,标准回归系数可以用来判断自变量对因变量影响的强弱,标准回归系数越大,对因变量的影响作用就越大. t 值为对回归参数的显著性检验值.

通过表 6 可知,行李和安检机类型这两个自变量的标准回归系数的绝对值都大于 0.1,而且显著大

式中: T 为因变量; α_0 为常数项; $X_i (i = 1, 2, \cdots, m)$ 为第 i 个自变量的特征值; α_i 为回归系数; ϵ 为误差项的随机变量.

将 4 个地铁站采集的数据随机分成:训练组.用于模型参数的标定;验证组,用于模型参数的检验.训练组和验证组的数据选取比例为 4:1.采用统计分析软件 SPSS 20.0,将身高、年龄、行李 3 个自变量采用进入的方法,剩下 8 个自变量通过逐步的方法加入多元线性回归模型中,并对模型的参数进行标定.模型变量的选择根据显著性水平 Sig.确定.如果 Sig.<0.05 说明该变量对模型有影响,应将其纳入模型中;反之,应予以剔除.最终得到 3 个阶段时间及安检服务时间的显著性影响因素,具体如表 4 所示.

安检服务时间回归模型的拟合情况 R 为 0.806,决定系数 R^2 表示因变量的变异中能够通过回归关

于其他自变量的标准回归系数,说明行李和安检机类型这两个因素对安检服务时间的影响最大.此外,性别、年龄、结伴、使用手机、前方乘客类型和数量、运动方式等影响因素满足 Sig.检验,但是标准回归系数的绝对值均小于 0.1,说明它们对安检服务时间的影响作用较小.

表 6 回归系数及显著性检验
Tab.6 Regression coefficients and the test of significance

模型	非标准化系数		标准系数 试用版	t	Sig.
	B	标准误差			
(常量)	15.993	0.644	—	24.848	0
y_1	0.363	0.215	0.038	1.693	0.091
y_2	0.152	0.160	0.028	0.948	0.343
y_3	0.131	0.134	0.023	0.982	0.326
x_1	−1.148	0.485	−0.098	−2.367	0.018
x_2	−1.062	0.520	−0.085	−2.043	0.041
z_1	2.388	0.135	0.292	17.705	0
z_2	5.294	0.239	0.360	22.144	0
z_3	0.153	0.098	0.027	1.555	0.120
β_8	−3.245	0.093	−0.586	−34.739	0
β_4	0.455	0.088	0.085	5.185	0
β_7	−1.312	0.257	−0.081	−5.109	0
β_3	−0.670	0.198	−0.054	−3.375	0.001
β_5	0.095	0.031	0.051	3.038	0.002
β_2	−0.482	0.191	−0.040	−2.531	0.011
β_1	−0.271	0.122	−0.050	−2.227	0.026

表 7 中, B 值表示回归系数, 根据 B 值可以得到安检服务时间的回归模型为

$$\begin{aligned} T_{\text{check}} = & 15.993 - 1.148x_1 - 1.062x_2 + 2.388z_1 + \\ & 5.294z_2 + 0.153z_3 - 0.271\beta_1 - 0.482\beta_2 - \\ & 0.67\beta_3 + 0.455\beta_4 + 0.095\beta_5 - 1.312\beta_7 - 3.245\beta_8 \end{aligned}$$

(2)

3.2 影响因素分析

结合表 4 至表 6, 对安检服务时间的影响因素分析如下:

1) 对安检服务时间影响最为显著的因素是行李和安检机类型. 携带行李箱或两个及以上行李的乘客, 放包时间、取包时间以及安检服务时间都会显著增加; 携带小型行李和中型行李的乘客之间没有显著差异, 这与既有研究成果一致^[3]. 乘客通过特殊安检机的时间显著大于通过常规安检机的时间, 这是由安检机自身特点决定的.

2) 性别、年龄、结伴、使用手机、前方乘客类型和数量、运动方式等因素对安检服务时间有较小的影响. 随着年龄的增加, 取包时间也会增加, 进而导致安检服务时间的增加; 结伴通常会增加安检时间, 尤其是在带小孩的情况下; 玩手机或打电话会增加安检服务时间; 如果乘客放行李后没有排队, 而是直接跑到队列前方取行李, 安检服务时间会减少.

3) 身高和后方乘客对安检服务时间没有显著的

影响.

3.3 模型验证

将建立的回归模型对验证组进行预测, 并通过计算预测值与实际值的相对误差(RE)和平均相对误差(MRE)的方法来检验模型参数标定的效果. RE 和 MRE 的计算公式为

$$RE = \frac{x_i - \hat{x}_i}{\hat{x}_i} \times 100\%$$

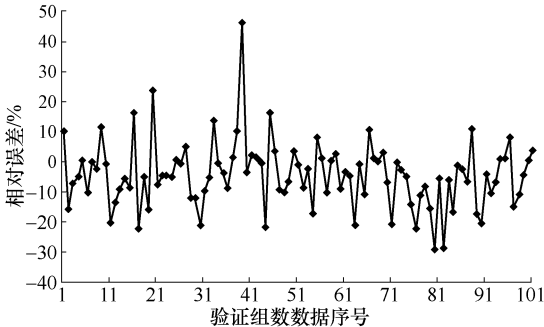
(3)

$$MRE = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{x_i - \hat{x}_i}{\hat{x}_i} \right|}{n} \times 100\%$$

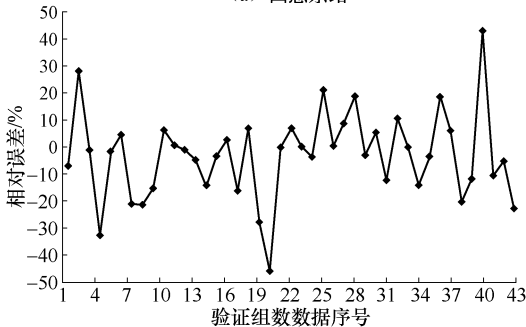
(4)

式中: x_i ($x = 1, 2, \dots, n$) 为第 i 个乘客通过回归模型得出的预测值; \hat{x}_i 为第 i 个乘客对应的实际值.

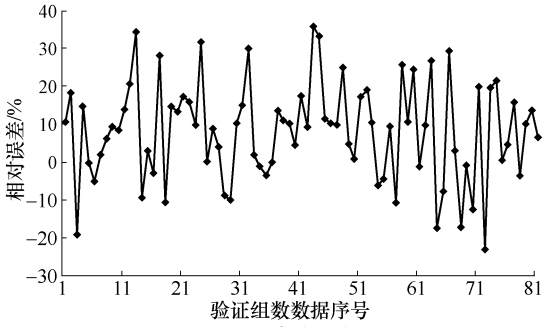
将验证组的数据代入到式(2)得到预测值, 之后根据式(4)计算得到平均相对误差为 10.45%. 为了进一步验证模型的有效性, 将四惠东站、宣武门站、动物园站和北京南站的验证组数据分别代入回归模型, 计算得到每个车站的相对误差和平均相对误差. 4 个车站的相对误差如图 1 所示, 大多数验证组数据的相对误差为 $-20\% \sim 20\%$, 4 个车站的平均相对误差分别为 8.86%、12.58%、11.85% 和 9.90%, 说明预测结果较为理想, 从而验证了安检服务时间的回归模型具有一定的普遍适用性.



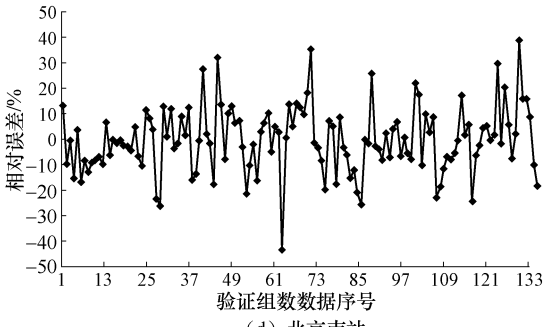
(a) 四惠东站



(c) 动物园站



(b) 宣武门站



(d) 北京南站

图 1 相对误差

Fig.1 Relative errors

3.4 提高安检效率的建议

1) 考虑到安检机类型对安检服务时间影响最为

显著, 建议不同类型的车站配置不同类型的安检机. 对于大多数乘客携带中小型行李的车站, 配置普通

安检机;对于大多数乘客携带大型行李的车站,以特殊安检机为主,同时适当配置普通安检机,加快携带中小型行李的乘客通过安检机的速度。

2)考虑到行李的数量和类型对于安检服务时间的影响显著,建议携带多个行李的乘客将多个行李的带子尽可能的缠一起,当成一个较大的行李进行安检,加快取放行李的速度。

3)考虑到玩手机或打电话会影响安检服务时间,建议乘客尽可能的能专心进行安检。此外,引导乘客主动配合安检,避免携带的行李忘记安检;到达安检机之前尽量提前取下行李,做好放行李的准备;从安检机取下行李后,尽可能快速通过安检疏散区域。

4 结 论

本文在实证分析的基础上,综合考虑乘客、环境以及安检机类型的影响,利用多元线性回归方法建立了地铁车站安检机服务时间模型,确定了安检服务时间的显著性影响因素。结果表明:行李和安检机类型是影响安检服务时间的最重要因素,携带行李箱或两个及以上行李的乘客,放包时间、取包时间以及安检服务时间都会显著增加,通过特殊安检机的安检服务时间显著大于通过常规安检机的安检服务时间;年龄、性别、前方乘客类型和数量、结伴、使用手机、运动方式对安检过程也有一定影响。建立的回归模型的预测能力较高,平均相对误差在 10%左右。

本文的研究为车站内安检机的合理配置提供了科学依据,但还存在一些不足之处。一方面,人工的数据提取会造成一定的偏差;另一方面,没有考虑自变量和因变量之间的非线性关系。在后续的研究中,将进一步细化上述研究。

参考文献(References):

- [1] 翟向荣. 城市轨道交通车站设备通行能力匹配性研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2012.
ZHAI Xiangrong. Research on matching of carrying capacity of facilities for urban rail transit station[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2012. (in Chinese)
- [2] 刘俊伯. 高速铁路与城市轨道交通换乘设施通过能力匹配研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2014.
LIU Junbo. The research on capacity matching for transfer facilities between high-speed railway and urban rail transit[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2014. (in Chinese)
- [3] 陈鹏, 张璋, 胡啸峰, 等. 影响城市轨道交通安检速度的乘客特征分析[J]. 城市轨道交通研究, 2016, 19(5):

5—9.

CHEN Peng, ZHANG Zhang, HU Xiaofeng, et al. Analysis of passenger behaviors impacting on subway station security test[J]. Urban Mass Transit, 2016, 19(5): 5—9. (in Chinese)

- [4] 高春霞. 基于 MAS 的客运专线交通枢纽行人交通微观仿真研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2012.
GAO Chunxia. Research on MAS based pedestrians traffic micro-simulation system in traffic hub of PDL [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2012. (in Chinese)
- [5] 周侃. 高铁客运枢纽换乘行为分析与设施配置方法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2013.
ZHOU Kan. Analysis of transfer behavior and research on transfer facility configuration in high-speed railway passenger transport hub[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2013. (in Chinese)
- [6] LEE A J, JACOBSON S H. The impact of aviation checkpoint queues on optimizing security screening effectiveness [J]. Reliability Engineering & System Safety, 2011, 96(8): 900—911.
- [7] MCLAY L A, LEE A J, JACOBSON S H. Risk-based policies for airport security checkpoint screening [J]. Transportation Science, 2010, 44(3): 333—349.
- [8] POPA A, STRER J. Analysis of passenger and vehicle flows with microscopic simulations as a result of security checks at ferry terminals [J]. Transportation Research Procedia, 2016, 14: 1384—1393.
- [9] 徐瑞华, 李璇, 高鹏. 上海世博会主入口广场客流集散仿真研究[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2010, 38(11): 1599—1604.
XU Ruihua, LI Xuan, GAO Peng. Pedestrian flow simulation study at main entrance square of Shanghai World Expo Park[J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2010, 38(11): 1599—1604. (in Chinese)
- [10] 程轶平. 基于多元线性回归的线性系统状态空间辨识算法[J]. 北京交通大学学报, 2014, 38(2): 13—17.
CHENG Yiping. A state-space identification algorithm for linear systems based on multivariate linear regression[J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2014, 38(2): 13—17. (in Chinese)
- [11] 高振海, 吴涛, 赵会. 车辆虚拟跟随避撞中驾驶人制动时刻模型[J]. 吉林大学学报(工学版), 2014, 44(5): 1233—1239.
GAO Zhenhai, WU Tao, ZHAO Hui. Model of driver's braking moment in virtual car following collision avoidance scenes[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2014, 44(5): 1233—1239. (in Chinese)