

文章编号:1005-0523(2019)05-0051-08

高铁站高架送客通道交通运行效率分析

艾瑶,黄立,张兵,邓明君,赵远洋

(华东交通大学交通运输与物流学院,江西 南昌 330013)

摘要:以南昌西高铁站高架送客通道设计及管理为例,通过收集进站机动车流量、车辆到达及通过时间等数据,对现有高架送客通道的3种不同设置形式的交通运行效率进行了对比,分析所存在的问题,并提出改进设计思路,结合排队模型进行改进方案效果评估。提出在停车车道明确施化停车位,保障行车车道畅通,同时考虑行人安全通道设计,相比较只是单纯地进行进站区车道划分的情况,具有更好的运行效率。

关键词:高铁站;高架送客通道;排队论;优化设计

中图分类号:U491

文献标志码:A

目前围绕高铁站区域的交通研究,主要从宏观布局上,对其交通可达性、多方式便捷换乘等方面,提出规划设计原则、空间设计方法^[1-2]。对高铁站区域停车问题有关研究,多从静态公共停车场角度,从停车特征、停车需求及规模及交通组织等方面进行了分析^[3-4]。

本文以南昌西高铁站高架通道设计及管理为例,结合实测数据及模型研究,对高架送客通道不同设计及管理模式进行运行效率分析,为提高高铁站机动车进站送客效率、保障进站通道的有序高效利用、提高车站管理水平提供理论依据。

1 南昌西客站高架送客通道设计

南昌西客站高架送客通道进站上坡道长330 m,高架平台停车下客区段长280 m,出站下坡道长300 m。高架送客通道停车下客管理模式分为3个通道模式(见图1),3个通道之间全程均有实物隔离。第1个通道:上坡匝道1个车道,到进站区段分为2个车道,1个临时停车车道,1个行车车道,其间设虚线交通标线分

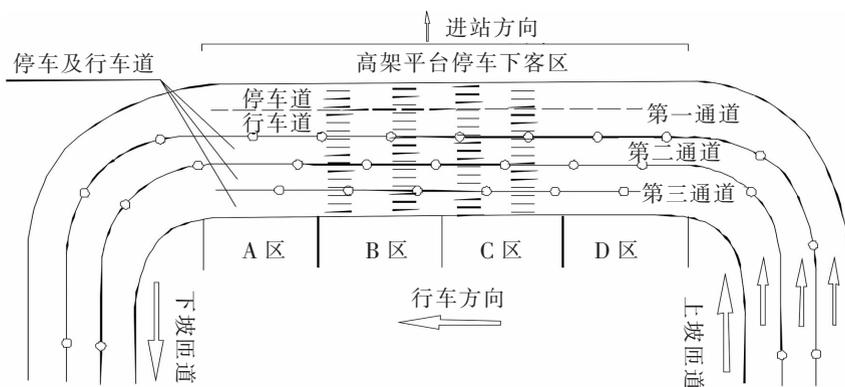


图1 南昌西高铁站高架送客通道现状设计示意图

Fig.1 Elevated passenger entrance passage of Nanchang West High-Speed Railway Station

收稿日期:2019-03-28

基金项目:江西省重点研发计划项目(20161BBG70080);江西省自然科学基金项目(20181BAA208030);江西省教育厅科研项目(GJJ160476)

作者简介:艾瑶(1971—),女,副教授,研究方向为交通运输规划与管理。

隔,下坡匝道又合为1个车道。第二通道:上坡匝道1个车道,进站区段1个车道(兼顾停车及行车),下坡匝道为1个车道。第三通道:上坡匝道1个车道,进站区段分为2个车道(每个车道均兼顾停车和行车),之间实物隔离,下坡匝道又合为1个车道。

2 高架送客通道现状交通运行特征分析

2.1 数据采集

为了解南昌西客站高架送客通道现状交通运行特征,进行了有关交通调查及数据采集。

1) 调查内容:包括南昌西高铁站高架送客通道车流到达量,每辆车到达上坡坡道起点及高架平台进站区首、尾端的时间,高架平台上不同位置处停车数分布以及停车下客时间等交通参数。

2) 调查时间:城市高铁站平日旅客发送量没有如市内通勤交通那么显著的早晚高峰现象,一般高铁站旅客发送量在下午14:00—16:00相对高一些。调查选择了某工作日下午14:30—15:30时间段,进行了1个小时的集中调查。

3) 调查实施方案:分成两个大组进行不同类别的调查。

第一大组共13人,在每个通道的3个不同位置点(上坡坡道起点、高架平台的首端、高架平台的尾端)安排调查人员,进行每一辆车通过时的时间及车牌号记录。

第二大组8个人,将高架平台全长平均划分为A、B、C、D 4个区(见图1)。4个人每间隔5 min记录一次每个区(含5个车道)正在下客停车的车辆数(不计行驶通过的车数)。4个人随机抽样调查下客停车时间。

调查共收集到689辆车的运行参数,对于平常日高架送客通道现状交通运行具有较好的代表性。

2.2 现状主要运行特征

通过采集数据分析,南昌西客站高架送客通道现状交通运行特征主要表现为:

1) 交通量。高架路3个通道到达车流量分布不均匀,调查时段到达车流量共689 veh/h,其中第一通道381 veh/h,第二通道97 veh/h,第三通道211 veh/h。第一通道距离进站区近,吸引到达车辆相对较高。第一通道在高架平台含2个车道,从靠近进站区的内侧车道到来的车流占53%,从外侧车道到来的车流占47%,89%的车辆从外侧行车道开出,有17.07%的车辆在外侧行车道停车下客,违反行车道不允许停车的管理规定。第三通道在高架平台含2个车道,车流分布较均匀。

2) 车种。高架送客平台到达车流主要是社会车辆、出租车辆,车型绝大部分为小汽车,少部分中型车,没有公交车、旅游车等大型车。

3) 车辆排队时间及系统逗留时间。车辆排队时间指车辆在进入高架平台首端位置之前的排队等候时间。车辆在系统中的逗留时间指排队时间与通过高架平台首尾端时间之和。通过高架平台首尾端时间包括停车下客时间与行驶通过时间。

根据实测数据统计分析,现状各通道车辆平均排队时间及系统逗留时间见表1。

表1 现状高架平台车辆平均排队时间及系统逗留时间

Tab.1 Current average queuing time and time spent on elevated passenger drop-off platform

通道位置	到达车流量/(veh/h)	平均车道流量/(veh/h)	平均排队时间/s	平均停车下客及通过时间/s	平均逗留时间/s
第一通道	381	190.5	98	74	172
第二通道	97	97	39	96	135
第三通道	211	105.5	49	93	142

可以看出,第二通道与第三通道共3个车道,有物理隔离,每个车道到达车流量、进站区段平均下客及通过时间比较接近,车辆在系统中逗留时间比较接近。第一通道到达车流量更高,进站区段平均下客及通过

时间比第二通道、第三通道情况更少,但系统中平均逗留时间更长,主要由于车流量大,在上坡匝道有更长的排队时间。

4) 行人设施。高架平台进站区长 280 m,在其中间段施划了人行过街斑马线四处,相互间隔约 30 m,但实际行人多在下车点直接穿行行车道到进站区,行人与车流冲突点多,斑马线发挥作用不明显。

5) 停车分布。通过调查,高架平台纵向不同进站通道(图 1 中第一通道、第二通道、第三通道)、横向不同区域位置(图 1 中 A,B,C,D 4 个区)下客停车数量分布如表 2 所示。可以看出,高架平台空间上停车分布很不均匀。

表 2 高架平台不同位置停车数比重

Tab.2 Percentage of parking vehicles at different locations on elevated passenger drop-off platform

进站通道	第一通道	第二通道	第三通道	合计	
停车数所占比重/%	55.3	14.1	30.6	100	
落客区位置	A 区	B 区	C 区	D 区	合计
停车数所占比重/%	4.3	13.3	35.9	46.5	100

2.3 运行现状的主要问题

通过交通运行现状特征分析,可以看出南昌西站高架送客通道交通设计及运行主要存在以下问题:

- 1) 第一个通道在进站区段的行车道存在停车下客现象,影响车辆畅行;
- 2) 乘客下车后步行穿行进站与车流冲突明显,人行过街斑马线设置没有发挥作用;
- 3) 高架平台上车道兼做停车与行车车道,车辆通行受停车阻碍影响大,运行效率不高;
- 4) 高架平台上停车下客相对集中在进站区段的首端部位,存在较严重的空间资源不均衡利用及资源浪费问题。

3 送客通道管理改善设计及效果评估

3.1 改进设计思路

南昌西客站高架送客通道设计及管理运行存在停车秩序较乱、行车道的停车影响车辆通过行驶、进站区段停车空间资源利用不均衡以及下车乘客过街与车流冲突点多等问题,从而影响整个系统运行效率。其中停车分布集中以及停车影响行车是影响运行效率的最主要因素。由此从车道设置及功能调整、停车泊位设置等方面考虑提出以下改进设计思路(见图 2)。

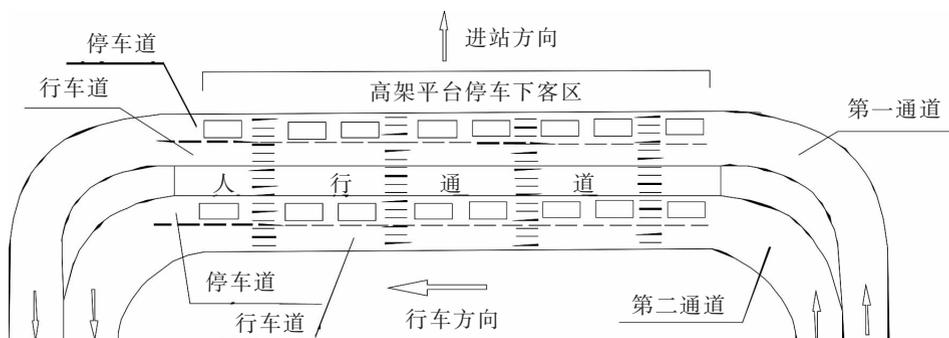


图 2 高架送客平台改进设计示意图

Fig.2 Improved design of elevated passenger entrance platform

将送客通道按并列两个主要通道进行设计。每个主要通道在高架平台停车进站区段设计两个车道,一个为停车下客车道,需施化停车泊位,另一个为行车道,严格禁止停车管理,两车道间施化虚线交通标线。两个主要通道之间增设与通道方向平行的纵向人行通道,配合横向行人过街斑马线,保障行人安全,尽可能减少行人与车流的相互冲突干扰影响。

根据高架通道实际车辆车型组成调查,按中型车平行式停放要求设计停车位,并考虑乘客下车利用车间距进站通行所需空间,按停车位车头距离 15 m 设计停车泊位,由进站区段总长度,每个通道可设计 18 个停车位。

3.2 改进方案的排队模型分析

交通系统中有关加油站、收费站、停车场等设施的规划设计分析以及交叉口交通运行分析等常用到排队理论^[5-7]。高铁站高架送客通道交通运行中也存在排队现象,可将高铁站高架送客通道视为一个排队系统,如图 3 所示。

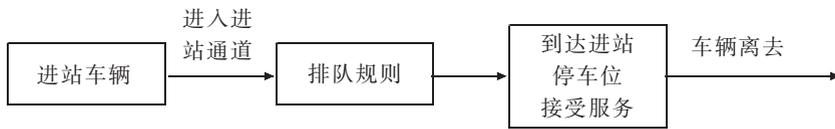


图3 高铁站高架送客通道排队系统

Fig.3 Queuing system of elevated passenger entrance passage at the high-speed railway station

为确定具体排队模型,需要了解车流到达分布规律,排队系统服务时间分布规律特征。

3.2.1 车流到达分布规律

泊松分布是一种统计与概率学里常见到的离散概率分布,常用来描述交通系统中车流到达分布规律,其分布函数为

$$P(X=k) = \frac{(\lambda t)^k e^{-\lambda t}}{k!} \quad (1)$$

式中: $P(X=k)$ 为在间隔时间 t 内到达 k 辆车($k=0,1,2,\dots$)的概率; λ 为单位时间的平均到达率; t 为间隔时间。

南昌西客站高架送客通道车流到达是否符合泊松分布,结合实际调查数据,可进行分布的拟合优度 χ^2 检验。构造 χ^2 统计量如下

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^g \frac{(f_i - F_i)^2}{F_i} \quad (2)$$

式中: g 为样本分组数; f_i 为第 i 组的观测频数; F_i 为第 i 组的理论频数; χ^2 计算如下表3所示。

由表3, $\chi^2=12.139$ 。 χ^2 统计量自由度 $DF=g-1-l$, l 为分布函数中的参数个数($l=1$), $DF=8-1-1=6$ 。取显著性水平 $\alpha=0.05$,由 χ^2 分布的分位数表查出临界值 $\chi_{\alpha}^2=12.596$ 。 $\chi_{\alpha}^2 > \chi^2$,所以可以接受车流到达分布符合泊松分布的假设。

3.2.2 进站区段服务时间分布规律

将车流在进站区段的停车下客及通行过程视为服务过程,假设服务时间 T (停车下客及通过时间)符合负指数分布,则服务时间等于或大于 t 的概率

$$P(T \geq t) = e^{-\mu t} \quad (3)$$

式中 μ 为单位时间内平均服务车辆数。

改进方案的服务过程与现状第一通道情况类似,因此通过对现状进站区段第一通道服务时间的统计分析,判别该服务时间是否符合负指数分布,分布的拟合优度 χ^2 检验计算见表4。

表3 车流到达分布的拟合优度检验计算表
 Tab.3 χ^2 -test for fitting Poisson distribution of arrival flow

1 min 间隔来车数 x_i	观测频数 f_i		泊松分布概率 $P(X=x_i)$	理论频数 F_i		$\frac{(f_i-F_i)^2}{F_i}$
	f_i /次	f_i /次		F_i /次	F_i /次	
0	0		0.001	0.086		
1	0	12	0.009	0.562	6.507	4.636 3
2	3		0.031	1.841		
3	9		0.067	4.019		
4	7	7	0.110	6.581	6.581	0.026 7
5	3	2	0.144	8.621	8.621	3.664 8
6	7	7	0.157	9.411	9.411	0.617 7
7	12	2	0.147	8.806	8.806	1.158 4
8	4	4	0.120	7.210	7.210	1.429 1
9	7	7	0.087	5.247	5.247	0.585 5
10	1		0.057	3.437		
11	3		0.034	2.047		
12	0	8	0.019	1.117	7.607	0.020 3
13	3		0.009	0.563		
14	1		0.004	0.263		
>=15	0		0.003	0.180		
合计	60		1	60	0	12.139

注:1 min 间隔平均来车数 $m=6.55$ 。

表4 服务时间分布的拟合优度检验计算表
 Tab.4 χ^2 -test for fitting Poisson distribution of service time

服务时间	观测频数 f_i	负指数分布概率 P	理论频数 F_i	$\frac{(f_i-F_i)^2}{F_i}$
(0,10]	0	0.127	48.416	48.416
(10,20]	0	0.111	42.263	42.263
(20,30]	0	0.097	36.893	36.893
(30,40]	10	0.085	32.205	15.310
(40,50]	47	0.074	28.112	12.690
(50,60]	51	0.064	24.540	28.531
(60,70]	81	0.056	21.421	165.704
(70,80]	83	0.049	18.699	221.110
(80,90]	43	0.043	16.323	43.599
(90,100]	21	0.037	14.249	3.199
(100,110]	19	0.033	12.438	3.462
(110,120]	9	0.028	10.857	0.318
(120,130]	3	0.025	9.478	4.427
(130,140]	4	0.022	8.273	2.207
(140,150]	3	0.019	7.222	2.468
(150,160]	1	0.017	6.304	4.463
(160,170]	2	0.014	5.503	2.230
>170	4	0.099	37.803	30.226
合计	381	1	381	667.517

注:平均服务时间 $E(T)=73.58$,服务时间方差 $Var(T)=605.16$ 。

由表4, $\chi^2=667.517$ 。 χ^2 统计量自由度 $DF=g-1-l$, l 为分布函数中的参数个数 ($l=1$), $DF=18-1-1=16$ 。取显著性水平 $\alpha=0.05$, 由 χ^2 分布的分位数表查出临界值 $\chi_{\alpha}^2=26.396$ 。 $\chi_{\alpha}^2 < \chi^2$, 所以进站区段停车下客及通过时间不符合负指数分布的假设。同样车辆在进站区段停车下客时间分布(不含通过时间)也不符合负指数分布。进站区段服务时间分布规律可以用一般分布来表示。

3.2.3 排队模型及运行指标

根据现状调查数据进行的车流到达分布规律、服务时间分布规律的分析, 可以将改进方案系统看成是 MIG/K 排队模型, 即车流到达符合泊松分布, 车流在进站区段的停车下客及通行时间(即服务时间)符合一般分布, 有 K 个服务台, 即施化的停车泊位数。

MIG/K 排队模型中, 顾客到达服从参数为 λ 的泊松分布, 服务时间为一般分布 G , 其数学期望为 $E(T)$, 方差为 $Var(T)$ 。对于 MIG/K 模型的系统运行指标目前没有推导出明确的数学表达式, 但 Kimura T 等众多学者对指标的近似公式做了大量研究^[9], 并且研究成果已有广泛应用^[9-11]。其中系统平均排队顾客数的近似公式如下

$$\left\{ \begin{array}{l} L_q \approx \frac{\lambda(Var(T)+[E(T)]^2)}{2E(T)(k-\rho)} \left[1 + \sum_{i=0}^{k-1} \frac{(k-1)!}{i!} \frac{(k-\rho)^i}{\rho^{k-i}} \right]^{-1} \\ \rho = \lambda/\mu = \lambda \cdot E(T) \end{array} \right. \quad (4)$$

式中: L_q 为队列中等待的平均车辆数; λ 为单位时间内平均到达率; μ 为单位时间内车辆离去平均数; ρ 为服务强度。上式成立的条件是 $k > \rho$ 。

根据李太勒公式, 可进一步求出顾客在系统上坡匝道中的平均排队时间 L_s 为

$$L_s = \frac{L_q}{\lambda} \quad (5)$$

顾客在系统中的平均滞留时间 W_s 为

$$W_s = \frac{L_q}{\lambda} + E(T) \quad (6)$$

改进方案设计系统可视为两个并行的 MIG/K 排队系统, 每个 MIG/K 排队系统可设计停车泊位 18 个, 即 $K=18$ 。进站区段停车下客及通过时间为服务时间, 其平均值及方差近似按现状第一通道的调查分析数据, $E(T)=73.58$, $Var(T)=605.16$ 。

取不同到达流量数据 ($\lambda=100\sim 800$ veh/h), 按公式(4)分别计算系统平均排队车辆数 L_q , 结果见图4。可以看出, 当每个通道到达流量低于 700 veh/h, 基本不存在排队现象。

按式(5), 式(6)分别计算系统平均排队时间 L_s 及系统中逗留时间 W_s , 结果见表5。

由表5可以看出, 到达流量低于 700 veh/h, 车辆在系统中的逗留时间主要表现在高架平台进站区段的下客停车及通行时间, 排队时间非常小。当到达流量达到 800 veh/h, 车辆在系统中的逗留时间还是以高架平台进站区段的下客停车及通行时间为主, 但上坡匝道位置处的排队等候时间也将占到总时间的 17%。

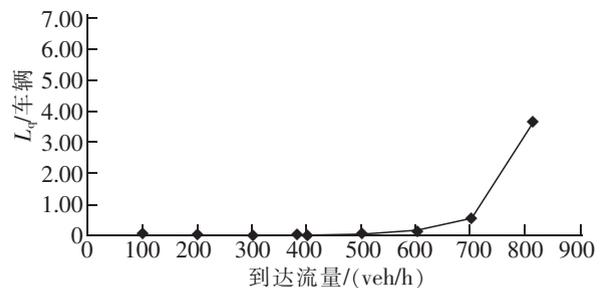


图4 不同到达流量下排队系统平均排队车辆数
Fig.4 Average number of queuing vehicles under different arrival flows

表5 不同到达流量下排队系统平均排队时间及系统逗留时间

Tab.5 Average queuing time and time spent on the system with different arrival flows

时间	到达流量/(veh/h)								
	100	200	300	381	400	500	600	700	800
L_s / s	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.10	0.64	2.96	14.90
W_s / s	73.58	73.58	73.58	73.59	73.59	73.68	74.22	76.54	88.48

3.3 改进方案效果评估

将改进方案运行指标与现状进行对比,见图5,图6。

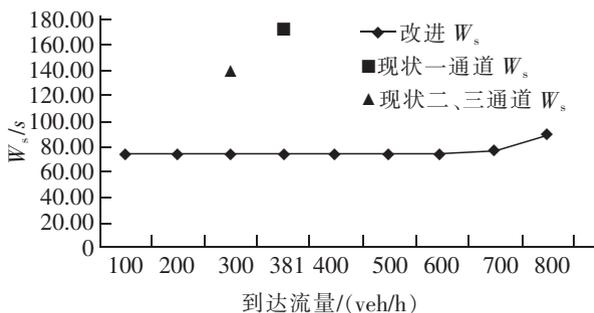


图5 系统逗留时间对比

Fig.5 Comparison of system stay time

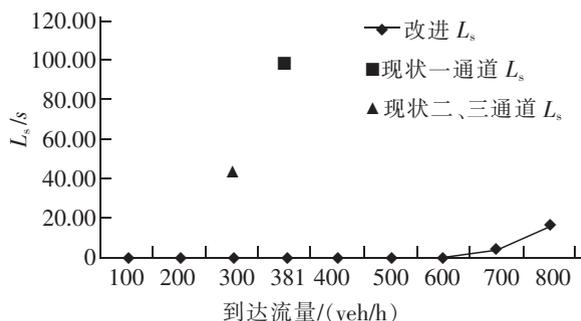


图6 排队时间对比

Fig.6 Comparison of average queuing time

可以看出现状第一通道如按改进方案设计,在同样到达车流情况下(381 veh/h),车辆在系统中逗留时间可由172 s下降到73.59 s。现状第二、第三通道如按改进方案设计,在同样到达车流情况下(308 veh/h),车辆在系统中逗留时间可由139 s下降到73.58 s。以排队系统逗留时间为交通运行效率的评价指标,在平常日交通条件下,南昌高架通道交通改进设计后其交通运行效率可提高47%~57%。

通过以上分析可以看出,通过对南昌西高架进站通道的合理优化设计以后,使得进站系统的平均排队以及车辆在系统中的平均停留时间在保证进站通道合理利用的情况下有较大幅度的下降,能够有效提高进站通道的运行效率。另外,在两个进站通道中间设立了专门的行人通道,减少了行人随意跨越通道对车辆通行的影响,有效减少进出站车辆和进站旅客之间的冲突,既保证了行人通行的安全,也可减少车辆在系统中的通行服务时间,还可进一步提高进站通道的交通运行效率。

4 结论

本文结合南昌西高铁站高架送客通道交通运行效率进行了调研分析,主要结论有以下几点:

- 1) 高架平台上停车不规范,停车下客相对集中在进站区段的首端部位,高架平台空间资源没有得到充分利用,这是目前高铁站高架送客通道交通运行效率较低的最主要影响因素。
- 2) 通过调研数据统计分析,高铁站高架送客通道交通运行适合用 $M/G/K$ 排队系统进行交通运行效率分析。
- 3) 在高架平台上明确施化停车道的停车泊位,保障行车车道畅通,相比较只是单纯地进行进站区车道划分的情况,具有更好的交通运行效率。用排队理论的系统逗留时间为评价指标,在平常日交通条件下,南昌高架通道如改进设计其交通运行效率预计可提高47%~57%。
- 4) 在高架平台设置纵向人行通道,可有效缓解车辆和进站旅客之间的冲突,保证行人通行安全,还可进一步提高进站通道的交通运行效率,但其量化分析还需进一步研究。
- 5) 对于春运等特别高峰时期的交通运行特征及运行效率分析还需进一步调研分析。

参考文献:

- [1] 王万鑫. 铁路客站综合交通规划研究[J]. 物流工程与管理, 2013, 35(3): 143-145.
- [2] 叶玉玲, 陈俊晶, 刘小亚. 高铁站与市内交通换乘衔接选择研究[J]. 城市轨道交通研究, 2017, 20(11): 45-49.
- [3] 宋谷长. 高铁站配套停车场停车特征及利用率估算模型研究[J]. 道路交通与安全, 2016, 16(2): 11-14.

- [4] 杨茜,张天伟,王扬. 铁路客运站配套停车场泊位数量计算模型[J]. 铁道运输与经济,2012,34(1):19-21.
- [5] 魏中华,王琳,邱实. 基于排队论的枢纽内出租车上客区服务台优化[J]. 公路交通科技(应用技术版),2017(10):306-308.
- [6] 闫寒,李霞,崔洪军. 基于排队论的服务区加油区合理用地规模计算[J]. 科学技术与工程,2017(28):155-158.
- [7] 李东岳,焦朋朋,王红霖. 基于排队论的公交站台优化设计[J]. 综合运输,2017(4):77-81.
- [8] KIMURA T. Diffusion approximation for an M/G/m queue[J]. Operations Research,1983,31(2):304-321.
- [9] 张维戈,陈连福,黄晟,等. M/G/K 排队模型在电动出租汽车充电排队系统中的应用[J],电网技术,2015,39(3):724-729.
- [10] 梁希泉,韩玉群,荆禄旭. 基于优先级的 M/G/K 模型的眼科病床安排研究[J]. 科学技术与工程,2012,12(20):4976-4979.
- [11] 王江楠,贾旭杰. 随机服务系统理论 M/M/C 和 M/G/K 模型的实例应用[J]. 河南科学,2010,28(9):1089-1093.

Analysis on Traffic Operation Efficiency of Elevated Passenger Entrance Passage at High-Speed Railway Station

Ai Yao, Huang Li, Zhang Bing, Deng Mingjun, Zhao Yuanyang

(School of Transportation and Logistics, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: Taking the design and management of the elevated passenger entrance passage of Nanchang West High-Speed Railway Station as an example, this paper compares and analyzes the traffic efficiency of three different passageways of the present elevated passenger passage by collecting the data of the flow, arrival and passing time of vehicles etc. Based on present problems analysis, the paper proposes the idea of improving the design, and evaluates the effectiveness of the improved scheme using the queuing model. The paper puts forward that the improved scheme with the parking space set explicitly in the parking lanes, the driving lanes not affected by parking, and the pedestrian safe passage considered, has better operating efficiency than the situation of simply dividing lanes on elevated entrance platform.

Key words: high-speed railway station; elevated passenger passage; queuing theory; improved design