

基于分析法和VISSIM仿真的机场出发层车道边通行能力评估及优化研究

王俊琪, 刘伟波, 熊胜伟, 王惠青, 韩春艳

(山东航空学院 机场学院, 山东 滨州 256600)

摘要: 科学评估机场出发层车道边通行能力, 可提升机场的运行效率和旅客的出行体验。结合分析法和VISSIM仿真, 以济南遥墙国际机场为例, 对其通行能力进行评估和优化研究。首先, 通过实地测量获取该机场车道边交通流参数, 根据车道边通行能力模型计算出当前通行能力值。其次, 基于机场交通流量及道路实测几何数据, 利用VISSIM软件构建仿真模型, 模拟车道边通行能力。结果显示, 分析法和VISSIM仿真所得结果误差在10%以内, 具有可靠性。最后, 针对机场现状, 从车道边限时停车、车道功能分区方面提出优化措施, 并进行仿真验证。结果表明, 优化效果较为明显, 优化后车道边通行能力提升约32.34%。本研究成果可为机场车道边设计与管理提供理论依据和技术支持。

关键词: 分析法; VISSIM仿真; 通行能力; 出发层车道边

中图分类号: U491

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2026)02-0030-05

Research on Evaluation and Optimization of Lane Side Traffic Capacity at Airport Departure Level Based on Analysis Method and VISSIM Simulation

WANG Junqi, LIU Weibo, XIONG Shengwei, WANG Huiqing, HAN Chunyan

(Airport College of Shandong Aeronautical University, Binzhou 256600, China)

Abstract: The scientific evaluation of the lane side traffic capacity at the airport departure level can enhance the operational efficiency of the airport and the travel experience of passengers. Taking the Jinan Yaoqiang International Airport as an example, the research on the evaluation and optimization of its traffic capacity is conducted by combining analytical method with VISSIM simulation. Firstly, the traffic flow parameters of the lane side at the airport are obtained through on-site measurements, and the current traffic capacity value is calculated based on the lane side traffic capacity model. Secondly, a simulation model is built using VISSIM software to simulate the traffic capacity of the lane side according to the traffic volume of the airport and the measured geometric data of the roads. The results demonstrate that the error of the results obtained from the analysis method and VISSIM simulation is within 10%, verifying the reliability of this method. Finally, aiming at the current situation of the airport, the optimization measures are proposed from the aspects such as time-limited parking at the lane side and the functional zoning of lanes, and the simulation verification is conducted. The results reveal that the optimization effect is relatively significant, and the lane side traffic capacity has increased by approximately 32.34% after optimization. The research result can offer a theoretical basis and technical support for the design and management of airport lane side.

Keywords: analytical method; VISSIM simulation; traffic capacity; departure-level curb lane

0 引言

机场出发层车道边是供旅客进出航站楼和车辆

通行停靠的场所。作为航站楼交通组织的核心节点,它承担着旅客集散与车辆周转的重要功能,其通行能力为单位小时内,车道边可以停靠及通过的车辆总数,直接决定旅客出行效率和机场整体运行水平。在航空运输需求持续增长的背景下,日益增加的旅客吞吐量使得车道边面临巨大车流压力,由此引发的通行效率下降问题,不仅影响旅客出行体验,更成为制约机场服务效能提升的瓶颈。在此情况

收稿日期: 2025-08-20

基金项目: 山东省自然科学基金(ZR2020MA103)

作者简介: 王俊琪(2002—),女,硕士在读,从事航空交通运输研究工作。

通信作者: 刘伟波(1980—),男,博士,副教授,从事航空交通运输规划与管理研究工作。电子信箱: liuw@sdu.edu.cn

下,运用科学方法对车道边通行能力进行系统优化显得尤为重要。

当前,评估机场出发层车道边通行能力的方法主要有经验法、分析法和仿真法。

经验法主要基于历史交通流量数据或行业标准经验值,直接估算通行能力。例如,袁蕾^[1]总结归纳其他机场设计经验,以昆明长水机场为例演示计算过程,为新建机场提供技术支持。杨立峰^[2]分析航站区主要交通流程,研究关键设施道路需求预测方法及主要参数,总结航站区道路系统布局基本原则,为大型机场航站区道路规划设计提供有益参考。池磊^[3]根据落客停车数和停车位数量评估通行能力。

分析法是以理论模型和数学计算为基础,通过建立通行能力的计算模型,结合交通流理论、排队论等评估车道边车辆通行效率。其核心是分析车道边的几何特征、交通运行规则、车辆行为等因素,构建数学模型以计算最大通行能力。机场车道边通行能力模型计算中,Mahmoud等^[4]提出单车道边停车模型,根据时空轨迹模型计算最大车流量。柳伍生等^[5]采用多服务台排队论评估出发层车道边通行能力。欧阳杰等^[6]利用可接受间隙模型评估单一车流和混合车流下机场车道边通行能力。王茹^[7]改进时空消耗理论模型,对机场车道边容量进行评估。杨方宜等^[8]根据行车道和落客道车辆速度差异改进需求容量模型。柏强等^[9]考虑等待行人穿行和车辆驶出停车位等待汇入行车道延误,改进时空轨迹模型。

仿真法是利用交通仿真软件构建交通环境,模拟车辆和行人交互。张龙财等^[10]基于元胞自动机提出一种改进型离港车道边停车容量仿真模型,结果表明,竖向停车方式可以显著增加车道边停车容量。孙红松等^[11]运用VISSIM仿真评价济南遥墙国际机场规划中的T2航站楼出发层车道边设计的5种布局方案的通行能力和运行效率。郭淑霞等^[12]基于VISSIM仿真搭建枢纽上客区车道边模型,通过不同方案得出各类上客区车道边泊位数的阈值,确定其通行能力。Pallela等^[13]通过VISSIM对十字路口交通量进行预测,研究重型车辆对容量的影响。Boying Lv等^[14]通过VISSIM对小区道路通行能力进行评估,证明改变道路通行规则可增大通行能力。Harris M T等^[15]通过一种细观模拟模型来评估缓解机场路侧交通拥堵政策的有效性。荣建等^[16]利用微观仿真和机器学习对交织区通行能力进行评估。

综上所述,经验法虽简单高效,数据要求低,但

无法精准反映机场交通特性。分析法严谨但假设条件强,无法考虑到所有的影响因素和特征,与实际交通流可能存在偏差。仿真法可复现复杂交通场景,支持多种方案对比,且能直观展示交通流运行状态,但对交通流的具体特征考虑不足。由于车道边交通具有封闭性、高安全要求和空间局限性等特殊约束,因此本文结合分析法与VISSIM仿真,以分析法提供理论支撑,VISSIM仿真验证实际场景,弥补单一方法的局限性,实现理论建模严谨性和微观仿真灵活性的优势互补。

本文采用分析法与VISSIM仿真相结合的研究方法对机场出发层车道边通行能力进行评估。以济南遥墙国际机场为研究对象,首先通过分析法计算车道边通行能力;其次利用VISSIM构建仿真模型,根据误差证明两种方法结合的可靠性;最后提出车道边限时停车与车道功能区相优化结合的综合提升方案,以改善济南遥墙国际机场出发层车道边的通行效率。

1 济南遥墙国际机场布局及调查数据

济南遥墙国际机场出发层车道边为双幅式设计,其结构由中央站台、两侧对称布置的车道边及人行道构成。该车道边系统总长度为272 m,各组成部分尺寸参数如下:单条车道宽3.3 m,中央站台宽5 m,两侧人行道宽均为3 m。车道边采用平行式停靠布局,内侧车道边采用“停车道+停车道+行车道”的三车道布局,外侧车道边采用“停车道+行车道+行车道”的三车道布局。根据航站楼入口的位置和数量,出发层车道边沿行车方向划分5个停车下客区(编号1-5)。图1所示为该机场出发层车道边的具体布局模式。

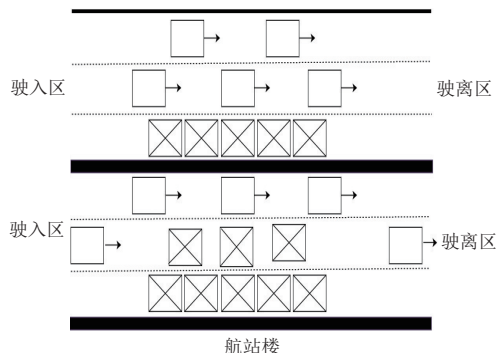


图1 济南遥墙国际机场出发层车道边布局示意图

为获取准确交通数据,采用视频采集法对2025年5月15日到17日的车道边交通流参数进行了实地观

测。具体为在航站楼出发层入口处架设高清摄像设备,选取晚高峰时段(17:00—18:00)进行连续拍摄。后期通过视频解析软件提取和统计交通流量、车型构成、停靠时长等关键参数,获得的基础数据见表1。

表1 车道边参数值

参数	参数值
车流量/(pcu·h ⁻¹)	1 280
最大排队长度/m	50 m
车辆延误/s	24.75 s
私家车占比/%	60%
网约车占比/%	25%
巴士占比/%	15%
车辆平均占用长度	私家车 8 m
	网约车 8 m
	巴士 15 m
车辆平均停靠时间	私家车 60 s
	网约车 31.4 s
	巴士 98.6 s

注:车型折算系数参考《公路工程技术标准》:私家车=1.0,网约车=1.0,巴士=1.5。

2 济南遥墙国际机场车道边通行能力现状评估

2.1 分析法求解车道边通行能力

柏强等改进时空轨迹理论模型评估昆明长水机场出发层车道边的通行能力,如式(1),该模型通过分层计算多车道通行能力(如双幅式内外侧车道),并量化行人穿行延误和车辆汇入延误的影响,并且模型引入有效停车位和车道间干扰系数,可优化车道功能分区设计。实证表明,改进模型误差仅0.38%,显著优于传统方法^[9]。基于济南遥墙国际机场出发层车道边双幅式内外侧车道布局和行人穿行、车流混行的现状,该模型为济南遥墙国际机场出发层车道边通行效率的提升提供了高精度的理论支撑。

$$C=N_{\text{eff}} \frac{T - \frac{L - L_s}{v_1} - \frac{L_s}{v_2}}{t_s + D + t_w + N_{\text{eff}} \frac{\alpha}{v_1}} \quad (1)$$

式中: N_{eff} 为有效停车位; T 为经过多轮停车所用时间,s; L 为车道边长度,m; L_s 为换道距离,m; v_1 为车辆行车道行驶速度,m/s; v_2 为车辆停车道行驶速度,m/s; t_s 为车辆停靠时间,s; t_w 为车辆汇入行车道延误时间,s; α 为车辆平均影响长度,m; D 为行人穿行延误时间,s。

济南遥墙国际机场出发层车道边主要有三种车

型,根据占比和平均停靠时间计算加权平均值为:

$$t_s=60 \times 0.6 + 31.4 \times 0.25 + 98.6 \times 0.15 = 58.64 \text{ s}$$

有效停车位有40个,车道边的运营时间为3 600 s,换道距离为30 m,车辆行车道速度为8 m/s,停车道速度为5 m/s,车辆汇入行车道延误时间为14 s,车辆平均影响长度为10 m,行人穿行延误时间为6 s。三种车型具体参数见表1。经计算,济南遥墙机场出发层车道边通行能力为1 108 pcu/h。

2.2 VISSIM仿真法分析车道边通行能力

2.2.1 路网模型构建

仿真模型的构建主要包括模型构建、增置模型参数、仿真运行阶段和数据输出阶段。其中,模型构建包括路网建模、交通流生成、数据收集与评价指标设置;增置模型参数包括基础道路网络、车道边精细化建模、车辆类型设置和检测器设置。

采用VISSIM仿真模拟时,为确保仿真模型符合实际情况,需详细还原济南遥墙机场出发层车道边实际布局,通过实地勘察获取车道边相关信息,并多次对路网模型进行验证与修正,对比实地测量数据与模型数据,确保与实际情况吻合。路网模型的整体搭建如图2所示。

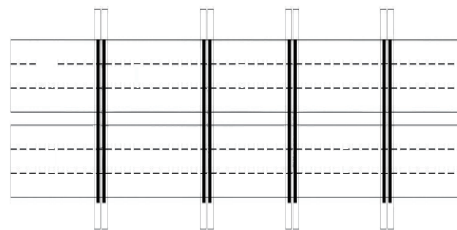


图2 VISSIM仿真

2.2.2 仿真参数标定

交通流参数的设置充分考虑机场车道边规定与实际交通状况。高峰小时车辆为1 280辆,车辆组成中私家车占比60%、网约车占比25%、巴士占比15%;车辆期望速度设置在20~30 km/h,符合该区域车辆的实际行驶速度;在停靠行为建模上,设置临时停车时长,私家车的临时停车时长为120 s±30 s,网约车为90 s±30 s,巴士为300 s±30 s,该时间范围综合考虑了旅客上下车的平均时间及可能出现的延误情况,停车比例设为90%,能够较为真实地模拟车辆的停靠行为。仿真模型如图3所示。

2.2.3 仿真结果分析

利用构建好的VISSIM仿真模型模拟济南遥墙机场出发层车道边交通运行状况,输入数据后,仿真时间设为3 600 s,其中前600 s为预热期,不纳入数据

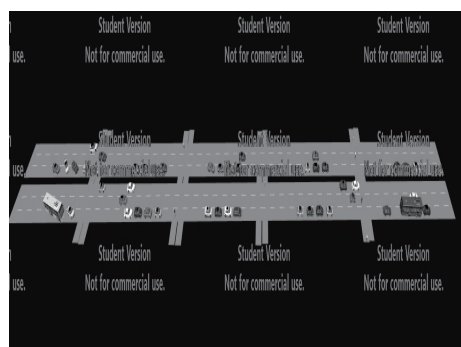


图3 仿真运行状况

统计,每隔 300 s 输出一次结果,设定不同随机种子 10、15、20、25…100 多次运行后取平均值,得出排队长度、车辆延误和通行能力的仿真结果见表 2。

表2 仿真结果

性能指标	排队长度/m	车辆延误/s	通行能力/(pcu·h ⁻¹)
仿真值	51.29	22.62	1 002

图 4 给出了排队长度(实测值,50 m,见表 1)、车辆延误(实测值,24.75 s,见表 1)、通行能力(分析法求得)与仿真值的误差。可以发现,排队长度和车辆延误的仿真结果与实测值较为接近,相对误差较小;通行能力模型与真实的通行能力情况总是有所差别,因此通行能力的仿真结果与分析法求得的通行能力误差稍微大了一些。综上所述,可以发现 VISSIM 仿真能够较为精确地模拟机场车道边的交通运行现状。

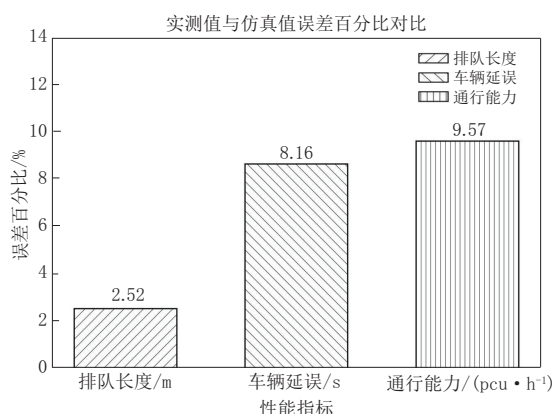


图4 误差分析

3 优化策略与仿真验证

3.1 优化方案实施

根据济南遥墙国际机场出发层车道边现状和仿真结果分析,当前车道边通行效率低主要存在两方面突出问题:一是多类车辆混行干扰严重,私家车、网约车和巴士共用行驶空间,网约车频繁变道接送乘客,私家车为避让延误也持续调整车道致车辆冲

突风险上升及交通流持续性破坏;二是临时停靠区管理失衡,部分车辆长时间占用泊位等待旅客上车,高峰时段滞留现象加剧,直接阻塞后续车辆通行形成循环。

单一解决多类车辆混行干扰或临时停靠区管理失衡,难以优化车道边的通行效率。因此,针对问题提出方案一为限时停车管理,方案二为车道功能分区优化,方案三为两者结合的双维度方案,从“时间管控”和“空间规划”共同优化,提升通行效率。方案细节如下:调整车辆停靠时间参数,私家车临时停车时长设为 $90\text{ s} \pm 30\text{ s}$,网约车设为 $60\text{ s} \pm 30\text{ s}$,巴士设为 $150\text{ s} \pm 30\text{ s}$,优化车辆停靠时间管理,如图 5 所示设置车辆的停车时间(私家车)。

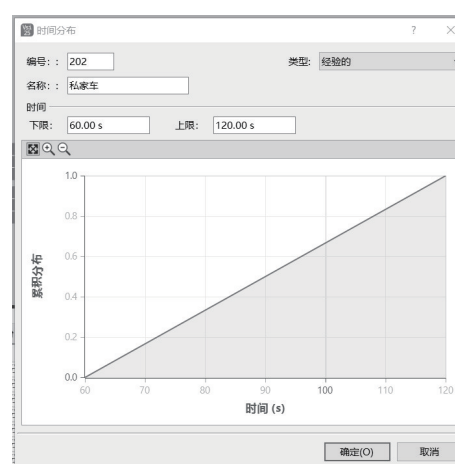


图5 时间设置

通过车辆输入在起点设置不同车辆类型的交通量(见表 3),对车道边功能分区进行精细划化,根据车辆类型和旅客需求,将内车道边设置为私家车专用停靠区,外车道边设置为网约车和巴士停靠区,避免混行冲突,如图 6 所示。两者结合,功能分区减少变道冲突,限时管理进一步压缩无效停靠,实现车道边时空资源的高效利用,提高整体通行效率。

表3 车道边交通量

路段	交通量/辆	车辆构成
内侧车道边	768.0	私家车
外侧车道边	512.0	网约车、巴士

3.2 仿真结果对比

三个优化方案分别仿真运行 20 次,取平均值,并与优化前进行对比,结果见表 4。

通过三个优化方案数据对比,可发现方案一“时间管控”优于方案二“空间规划”,限时停车管理通过强制性时间约束,实现停车位资源的最大化利用和最高速周转,从而在单位时间内服务更多车辆,而分

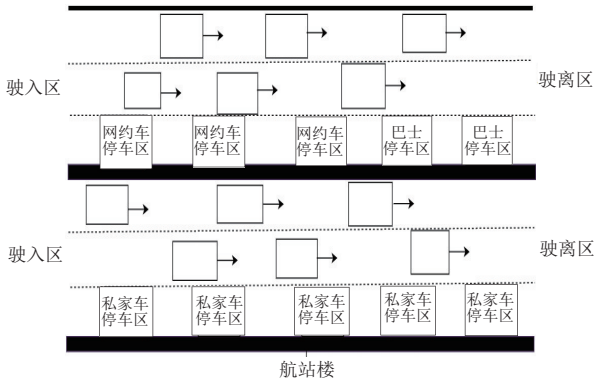


图6 停车分区优化

表4 优化结果对比

项目	通行能力/(pcu·h ⁻¹)	排队长度/m	车辆延误/s
优化前	1 002	51.29	22.62
方案一	1 038	34.7	11.23
方案二	1 025	38.46	15.55
方案三	1 326	30.53	6.77

区停车会不可避免地产生部分车位的闲置等待,因此整体通行能力低于时间管控。方案三两者结合车道边通行能力提升32.34%,排队长度下降了40.48%,车辆延误下降了70.07%,既保证高通行能力,又增加秩序性,保证通行效率高效提升,充分验证了共同优化的有效性,为机场车道边通行能力提升提供了有力支持。

4 结 论

本文以济南遥墙国际机场为例,结合分析法和VISSIM仿真对机场车道边通行能力展开研究。结果表明,VISSIM仿真能够准确模拟机场车道边的交通运行状况,为提升通行能力提供科学的分析工具。通过对现状问题进行分析,明确车辆混行干扰、停靠时间过长等是导致车道边交通拥堵的主要原因。针对这些问题提出的车道边功能分区优化和车辆停靠时间管理相结合的优化方案,经过仿真验证可提升车道边通行能力。通行能力的提升有效缓解了交通拥堵,提高了车道边资源利用率,但该优化方案需增加管理成本,未来可研究动态分区。本研究成果为

济南遥墙国际机场的出发层车道边通行能力提升提供切实可行的方案,同时也为其他同类机场车道边通行能力提升提供了有益的参考和借鉴。

参考文献:

- [1] 袁蕾. 机场航站区陆侧交通系统设计方法[J]. 市政技术, 2017, 35(5): 29-31.
- [2] 杨立峰. 大型机场航站区陆侧道路交通组织与规划研究[J]. 交通与运输(学术版), 2018(1): 1-5.
- [3] 池磊. 大型枢纽机场出发车道边运行特征及通行能力分析[J]. 时代汽车, 2019(9): 26-27.
- [4] Mahmoud S. Parizi John P. Braaksma, M. Optimum Design of Airport Enplaning Curbside Areas[J]. Journal of Transportation Engineering, 1994, 120(4): 536-551.
- [5] 柳伍生, 周和平. 机场陆侧出发层车道边通行能力分析[J]. 交通科学与工程, 2010, 26(2): 98-102.
- [6] 欧阳杰, 王茹. 基于可接受间隙理论的机场出发层车道边容量评估[J]. 科学技术与工程, 2015, 15(29): 193-198.
- [7] 王茹. 基于时空消耗理论的多航站楼机场车道边容量评估[J]. 交通运输研究, 2016, 2(2): 53-58.
- [8] 杨方宜, 李铁柱. 大型综合客运枢纽送站坪的车辆延误[J]. 中国公路学报, 2018, 31(9): 138-149.
- [9] 柏强, 江瑛, 李毅帆, 等. 基于改进时空轨迹理论的机场出发层车道边通行能力评估方法研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2023, 23(4): 228-236.
- [10] 张龙财, 刘斌, 徐健平, 等. 基于元胞自动机的航站楼离港车道边停车容量评估研究[J]. 信息技术, 2024(4): 70-75.
- [11] 孙红松, 焦伟杰, 孔维麟. 机场陆侧出发车道边布局方案[J]. 交通科技与经济, 2023, 25(2): 48-54.
- [12] 郭淑霞, 吴海俊, 陶涛, 等. 枢纽上客区车道边泊位设置与通行能力研究[J]. 交通工程, 2020, 20(1): 46-51.
- [13] Pallela S S, Kota B R. Simulation-Based Capacity and Delay Analysis of Unsignalized Intersections in Mixed Traffic Conditions[J]. Journal of The Institution of Engineers (India): Series A, 2025, (prepublish): 1-15.
- [14] Boying Lv, Guozhi Li, Tianlong Wang, et al. Traffic Evaluation Model of the Opening Road in Residential area based on VISSIM simulation [J]. International Journal of Communications and Networks, 2020.
- [15] Harris M T, Nourinejad M, Roorda J M. A Mesoscopic Simulation Model for Airport Curbside Management[J]. Journal of Advanced Transportation, 2017: 1-19.
- [16] 荣建, 吴培佳, 高亚聪, 等. 融合仿真与机器学习的交织区通行能力协同估计方法[J]. 交通运输系统工程与信息, 2025, 25(4): 206-218; 240.