



# 盐田港东作业区集装箱码头闸口及 港内交通仿真与评估\*

李琳

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

**摘要:** 针对盐田港东作业区集装箱码头闸口布置及港内交通组织的科学规划问题, 基于 VISSIM 对港区交通进行了仿真与评估研究。在盐田港区实地调研数据的基础上, 采用专业化的交通仿真软件 VISSIM 对闸口和通道设计方案、港内交通组织设计方案进行三维建模和高峰小时仿真, 通过评价指标的定量分析, 验证了设计方案的合理性。该研究为大型化、专业化集装箱码头在设计过程中科学规划闸口布置和优化港内交通组织提供了决策支撑。

**关键词:** 集装箱码头; 闸口布置; 港内交通组织; 仿真与评估

中图分类号: U656.1+35; TP391.9

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)03-0228-09

## Simulation and evaluation for container terminal gate and port traffic in east operation area of Yantian Port

LI Lin

(CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

**Abstract:** In view of the scientific planning for gates layout and port traffic organization of container terminal in the east operation area of Yantian Port, the simulation and evaluation for port area traffic are studied based on VISSIM. On the basis of the field survey data of Yantian Port area, the design plan of gates and gateways and the design plan of port traffic organization are modeled in three-dimension and simulated at peak hour by the specialized traffic simulation software VISSIM. The rationality of design plans are verified by the quantitative analysis of evaluation indicators. The research provides decision supports for the scientific planning of gates layout and the optimization of port traffic organization in the design process of large-scale and specialized container terminals.

**Keywords:** container terminal; gate layout; internal traffic organization of port; simulation and evaluation

进出港闸口是集装箱港区集疏运体系中的重要环节, 是港内外交通组织设计的衔接点, 也是进出港区集卡交汇的关键区域。受船舶到港的不平衡影响, 集卡会出现分时段密集到港的现象, 如果闸口布置不合理, 势必会成为港区交通的瓶颈, 出现闸口通道前集卡排队过长、等待时间过久、进出港道路严重堵塞的现象。而在港内交通中, 集卡在进出堆场的路口存在交叉变道的情况, 如交通组织不合理, 亦会出现集卡排队、路口拥

堵的情况。因此, 对于大型化、专业化集装箱码头, 闸口布置及港内交通组织的合理性将直接影响整个港区的运作效率、竞争力和经济效益。

集装箱码头的港内外交通是动态、复杂的物流服务过程, 其运作受随机因素以及调度策略影响, 很难用数学方法准确地预测出最终效果。随着计算机仿真技术的发展, 在集装箱码头的设计过程中应用专业的仿真软件对港内外交通进行建模、仿真, 定量的评价指标分析以及直观的三维

收稿日期: 2024-09-27

\*基金项目: 国家重点研发计划项目 (2023YFB2604200)

作者简介: 李琳 (1979—), 女, 博士, 高级工程师, 从事港口工程装卸工艺设计与研究工作。

场景呈现已成为科学评估设计方案的有效途径,也是集装箱码头研究领域的热点之一。例如,于越等<sup>[1]</sup>运用仿真优化方法求解集装箱堆场大门系统规划问题;秦天保等<sup>[2]</sup>通过对集装箱码头堆场交叉口车流仿真的研究,提出将离散事件仿真技术与道路通行能力理论相结合、辅助集装箱堆场道路规划的方法;尤悦等<sup>[3]</sup>采用仿真软件对港口集装箱堆场交通流进行模拟,通过控制闸口通道数量的策略探讨路网交通流的变化情况;王施恩<sup>[4]</sup>对洋山四期全自动化集装箱码头港内外道路进行路线方案设计并分配交通量,采用仿真软件进行交通仿真模拟,对整个路网进行仿真评价;唐国磊等<sup>[5]</sup>提出利用集装箱港区生产作业智能体微观交通仿真模型模拟集装箱生产作业流程,以集装箱港口服务水平和集卡日均碳排放成本作为指标,优选低碳型集装箱港区港内道路规划方案;管政霖<sup>[6]</sup>结合现代系统科学理论、交通流理论以及系统仿真技术,对两种常见自动化集装箱码头陆域装卸工艺下的集疏运道路交通问题进行研究分析;张冬亮<sup>[7]</sup>依托先进的交通仿真软件对随机用户平衡分配模型进行研究,提出大窑湾港区道路网交通优化方案;梁辰<sup>[8]</sup>对集装箱港区运营成本、碳排放成本以及土地成本进行系统的分析计算,以计算期内的集装箱港区总成本最小为优化目标,建

立集装箱港区路网结构及交通组织优化模型。

为了科学规划盐田港东作业区集装箱码头的闸口布置、优化港内交通组织,本文采用专业化的交通仿真软件 VISSIM<sup>[9]</sup>对设计方案进行仿真和评估。通过定量的评价指标分析和直观的三维场景呈现,评估设计方案的合理性,旨在为方案决策提供参考依据。

## 1 工程概况

盐田港东作业区集装箱码头工程位于深圳盐田港区规划港界范围内,盐梅路西南,正角嘴西侧,与现盐田港中作业区隔海相望,规划布置 A、B、C 共 3 个地块,见图 1。其中,一期工程位于 A 地块,规划岸线长 1 470 m,布置 3 个 20 万吨级集装箱泊位,陆域功能区主要包括码头前沿作业区、主体自动化集装箱堆场区、普通空箱堆场区、闸口配套区、生产配套区等,港区内主干道采用“三横四纵”的道路网络。码头装卸采用自动化+远程操控作业模式的双小车岸桥,港内水平运输采用自动驾驶集卡,自动化集装箱堆场平行码头前沿线布置,采用双悬臂形式的自动化轨道式集装箱龙门起重机,近期采用“箱区端部掉头”的方式实现自动驾驶集卡与港外集卡的交通隔离,确保作业安全和效率。

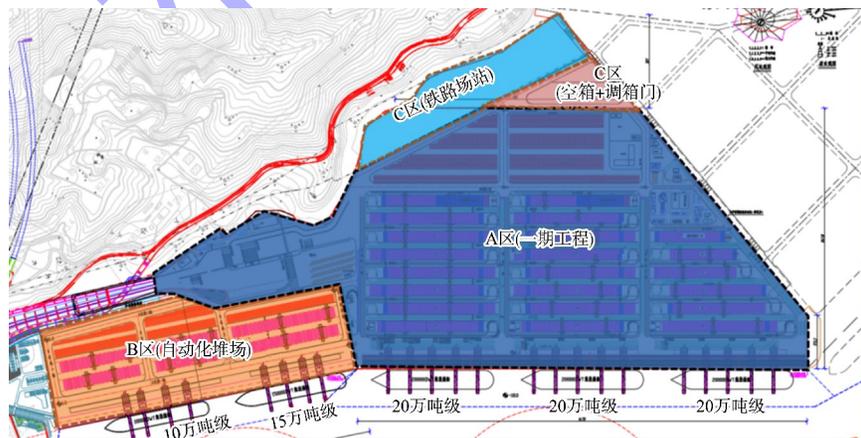


图 1 盐田港东作业区 A、B、C 地块规划布置

Fig. 1 Planning layout of plots A, B and C in east operation area of Yantian Port

## 2 设计方案

### 2.1 港外道路情况

盐田港东立交位于盐龙大道、坪盐通道、进

港路、盐坝高速交汇处,是坪山新区连接市中心区的重要通道,通过匝道连接盐田港东作业区闸口,是港区集疏运的主要通道。

### 2.2 闸口及通道设计方案

盐田港东作业区社会集卡通过盐田港东立交进出港区，上下匝道位于规划的 B 地块后方，具有进入港区缓冲距离短、陆域地利条件复杂等特点。因此，闸口采用进出合一的方式对接盐田港东立交，进港设置二级闸口，出港设置三级闸口，见图 2。

进港闸口方面，第 1 级进港闸口为快速识别不停车闸口，共设置 5 个通道；第 2 级进港闸口与常规进港闸口功能相同，共设置 14 个通道。出港闸口方面，第 1 级出港闸口为快速识别不停车闸口，共设置 5 个通道；第 2 级出港闸口为验箱闸口，共设置 9 个通道；第 3 级出港闸口为海关查验及出港放行闸口，共设置 9 个通道。



图 2 闸口区域平面布置 (单位: m)  
Fig. 2 Plane layout of gate area (unit: m)

### 2.3 港内交通组织设计方案

盐田港东作业区一期工程 A 地块共布置三横四纵的路网。近期与自动驾驶技术水平相适应，港区采取内外集卡分离的交通组织方式，其中东港纵一路、东港纵三路为外集卡车道，东港纵二

路、东港纵四路为内集卡车道，见图 3。堆场上采用轨道式龙门起重机，起重机悬臂两侧分别为内外集卡作业及超越车道。内外集卡分别在堆场两端掉头区完成车辆掉头，见图 4。

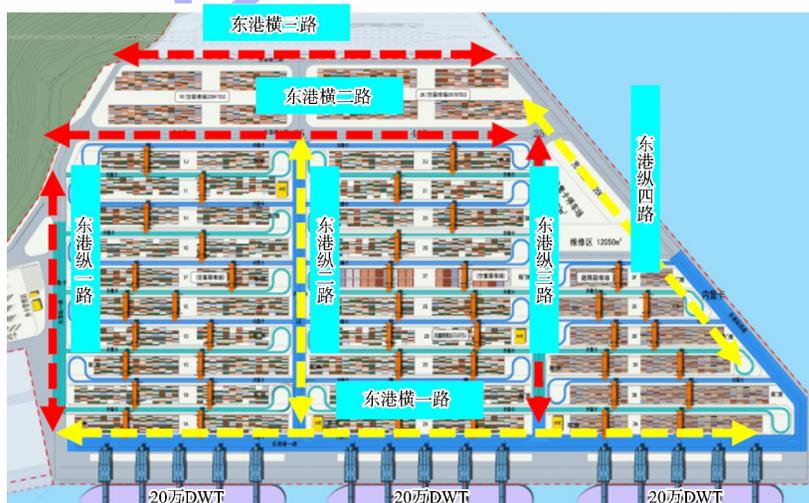


图 3 港区交通  
Fig. 3 Port traffic

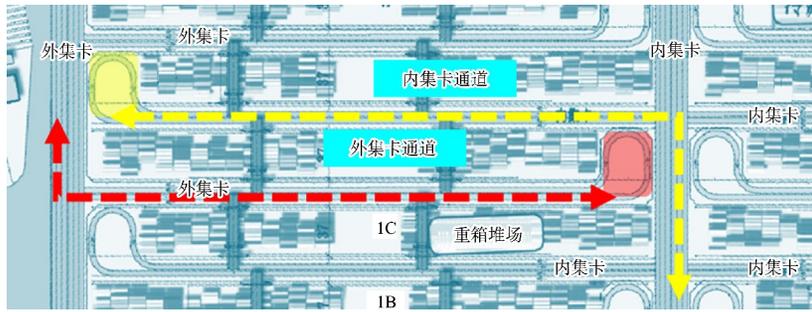


图4 堆场内交通

Fig. 4 Traffic in container yard

### 3 仿真参数

#### 3.1 闸口交通仿真参数

##### 3.1.1 吞吐量规模

盐田港东作业区一期工程 A 地块岸线建设 3 个 20 万吨级泊位，考虑到未来 B 地块岸线再建设 2 个 10 万~15 万吨级泊位的可能性，闸口区域交通按年吞吐量 600 万 TEU 进行仿真。

##### 3.1.2 仿真范围

根据盐田港东作业区闸口及通道设计方案，闸口区域交通仿真的范围为：进港闸口方面，盐港东立交下匝道端部至港区进口端部；出港闸口方面，港区出口端部至盐港东立交上匝道端部。

##### 3.1.3 高峰小时进港、出港的集卡数量

已建盐田港区年吞吐量 1 300 万 TEU，现有闸口历年每月高峰小时的箱量和车量情况见表 1。

表 1 盐田港区现有闸口每月高峰小时的箱量和车量  
Tab.1 Container volume and vehicles at peak hour of each month at existing gates in Yantian Port area

月份	箱量/箱	车量/辆	月份	箱量/箱	车量/辆
1	979	781	7	1 133	795
2	1 021	771	8	1 240	862
3	1 056	731	9	1 432	905
4	1 224	814	10	1 157	757
5	1 269	848	11	1 044	690
6	1 231	836	12	1 135	717

对上述统计数据进行分析，盐田港区的闸口不平衡系数为 1.9，通过闸口的集卡平均载箱量为 1.45 箱/辆。据此测算，年吞吐量 600 万 TEU 的情

况下，盐田港东作业区闸口高峰小时最大集卡数量为 455 辆。闸口区域交通高峰小时进出港的集卡数量均按 455 辆进行仿真。

##### 3.1.4 闸口处理时间

除第 1 级进出港闸口为快速识别不停车闸口外，其余各级闸口均需停车处理，服务时间按正态分布，平均值 40 s，标准差 5 s。

##### 3.1.5 集卡车速

闸口区域各路段集卡车速为 20~25 km/h。快速识别不停车闸口车辆低速通过，车速为 12~15 km/h。

##### 3.1.6 通道选择规则

集卡由较窄的过渡路段转向闸口前较宽路段时，根据当前车道位置就近选取空闲通道进行处理。

##### 3.1.7 车辆排队规则

集卡行驶至某一通道前，若该通道没有空闲且排队较长，而允许变道的范围内有空闲的通道或排队较短的通道，则集卡就近变道至空闲的通道或排队较短的通道进行处理，否则将继续在当前通道排队。

### 3.2 港内交通仿真参数

#### 3.2.1 仿真范围

整个港内集卡在堆箱区至码头区之间采用往返车流组织，其中第 2、3 条箱区的路口交通流最大，为港区内集卡交通最不利的工况。因此，港内交通仿真范围选取第 2、3 条箱区，见图 5。

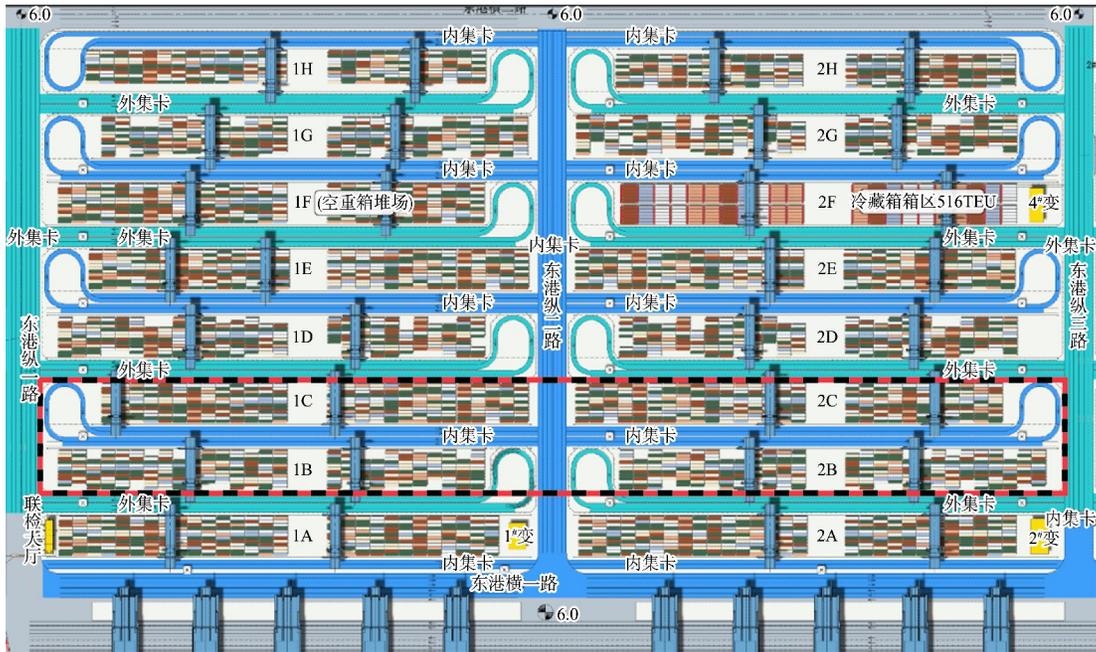


图 5 港内交通仿真范围

Fig. 5 Simulation scope of internal port traffic

### 3.2.2 高峰小时输入内集卡的数量

根据码头装卸箱量、集装箱折标系数、20 ft 箱和 40 ft 箱的装车箱型比例等因素进行测算，高峰小时由码头向堆场驶入的内集卡数量为 483 辆/h。同时，根据堆场装卸箱量、装车箱型比例等因素进行测算，高峰小时进入第 2、3 条箱区单边的内集卡数量为 72 辆/h，两边共 144 辆/h。

### 3.2.3 路口交通设置

根据内集卡交通组织情况设置路口交通方向，见图 6。

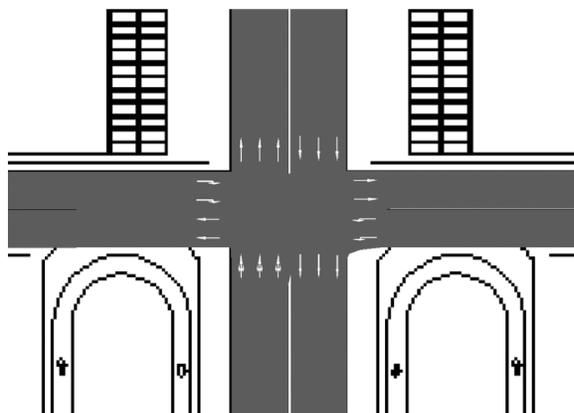


图 6 路口交通方向设置

Fig. 6 Setting of traffic direction at intersection

### 3.2.4 内集卡车速

各道路内集卡车速为 20~25 km/h。

### 3.2.5 路口冲突规则

直行优先，大半径转弯让小半径转弯。

## 4 仿真建模

### 4.1 闸口区域交通仿真建模

基于专业交通仿真软件 VISSIM 输入仿真参数，构建闸口交通的仿真模型，见图 7。

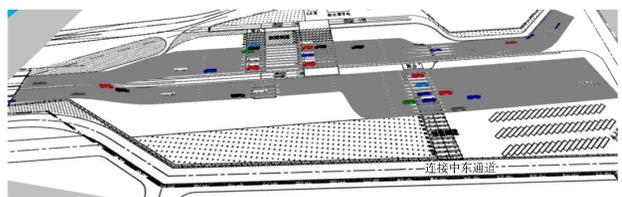


图 7 闸口交通仿真模型

Fig. 7 Simulation model of gate traffic

### 4.2 港内交通仿真建模

基于专业交通仿真软件 VISSIM 输入仿真参数，构建内集卡进出路口交通流最大的第 2、3 条箱区的仿真模型，见图 8。

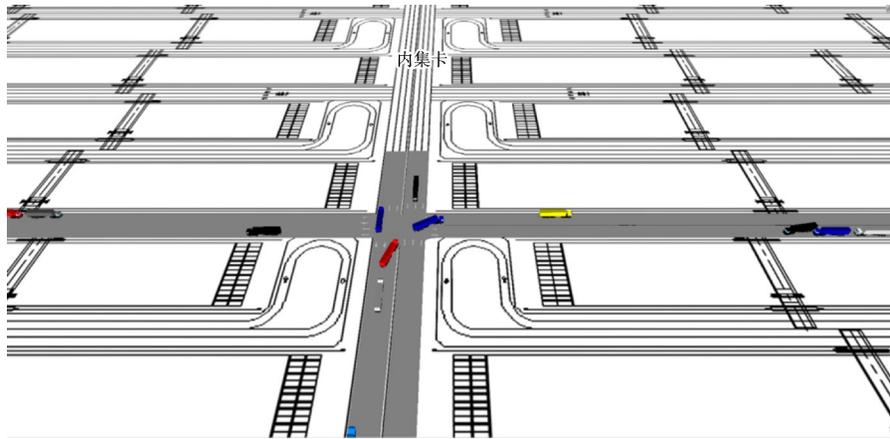


图8 港内交通仿真模型 (第2、3条箱区)

Fig. 8 Simulation model of internal port traffic (second and third container areas)

## 5 评价指标

### 5.1 闸口区域交通仿真的评价指标

#### 5.1.1 闸口的评价指标

对闸口区域交通仿真模型进行高峰小时模拟, 获得高峰小时工况下闸口及闸口区域路段的评价指标。

1) 闸口车流量是指在一定时间内进出闸口通道的集卡车辆数, 一定程度上可以反映出闸口的繁忙程度。各级闸口的高峰小时单通道平均车流量见图9。

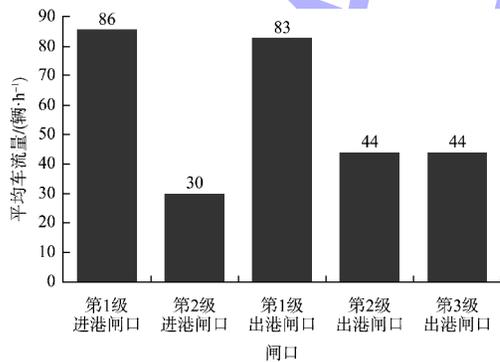


图9 各级闸口高峰小时单通道平均车流量

Fig. 9 Average vehicle flow of a single channel at peak hour of each level of gates

2) 闸口通道利用率是指在一定时间内闸口通道被使用的时间与该段总时间的比值, 一定程度上可以反映出闸口通道资源利用的情况。各级闸口的高峰小时单通道平均利用率见图10。

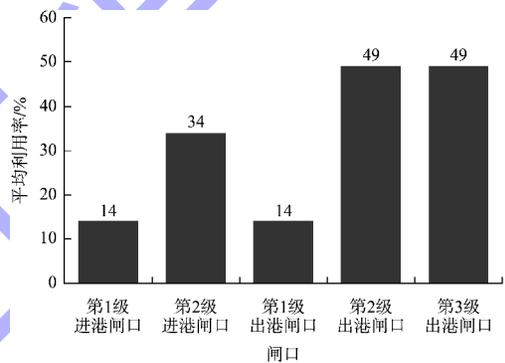
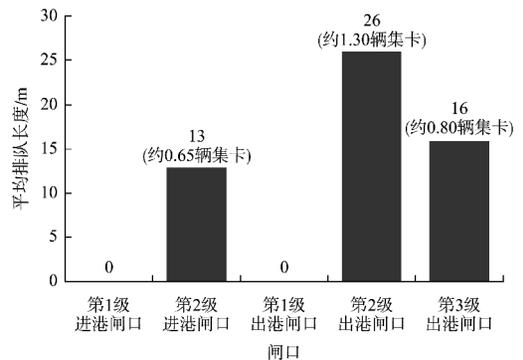


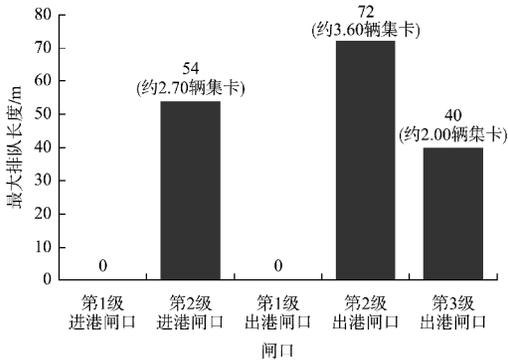
图10 各级闸口高峰小时单通道平均利用率

Fig. 10 Average utilization rate of a single channel at peak hour of each level of gates

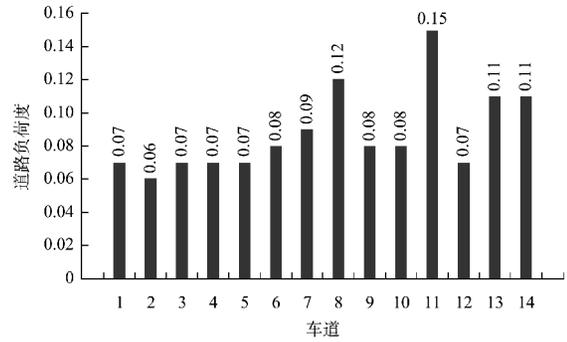
3) 闸口排队长度是指在一定的时间内集卡在闸口通道处排队等候服务的队列长度, 一定程度上可以反映出闸口的拥堵程度。各闸口的高峰小时单通道平均和最大排队长度见图11。其中, 括号内的集卡数量按平均20 m折算(集卡车长+安全距离)。



a) 平均排队长度



b) 最大排队长度

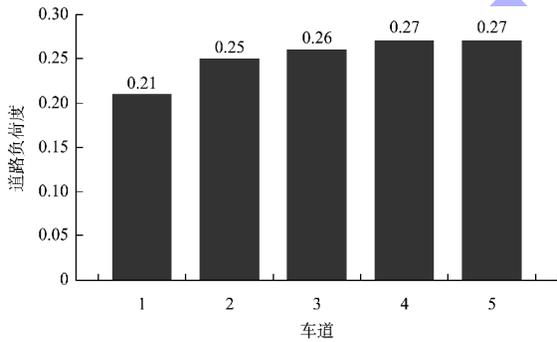


c) 第1级进港闸口至第2级进港闸口第2段道路

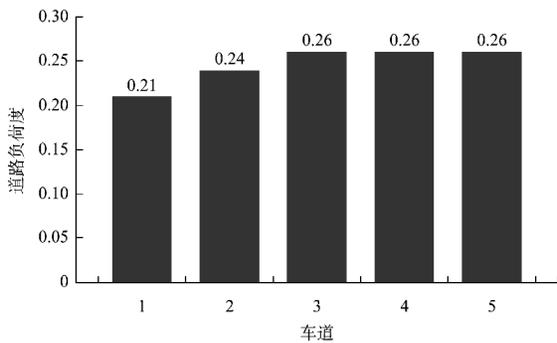
图 11 各级闸口高峰小时单通道排队长度  
Fig. 11 Queuing length of a single channel at peak hour of each level of gates

### 5.1.2 闸口区域道路的评价指标

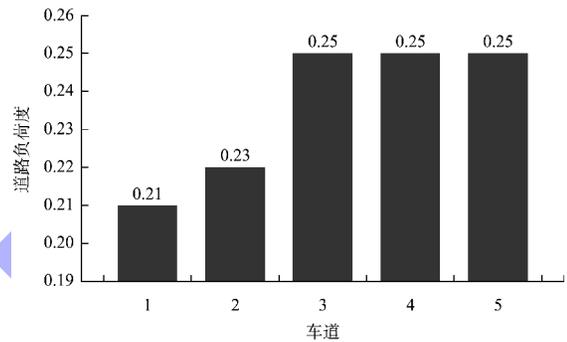
闸口区域路段的评价指标也在一定程度上反映了闸口繁忙程度和拥堵程度。道路负荷度为最大交通量  $V$  与基准通行能力  $C$  之比, 是反映道路服务水平的重要指标之一。高峰小时闸口区域各路段的道路负荷度参照 CJJ 37—2012(2016 年版)《城市道路工程设计规范》<sup>[10]</sup> 和 JTG B01—2014《公路工程技术标准》<sup>[11]</sup> 相关规定和实际情况进行取值, 各级闸口之间路段的高峰小时道路负荷度见图 12。



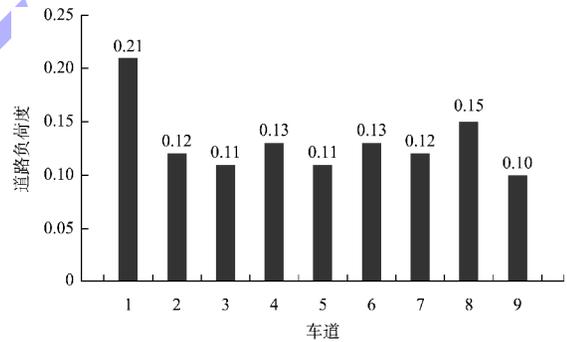
a) 盐港东立交下匝道端部至第1级进港闸口路段



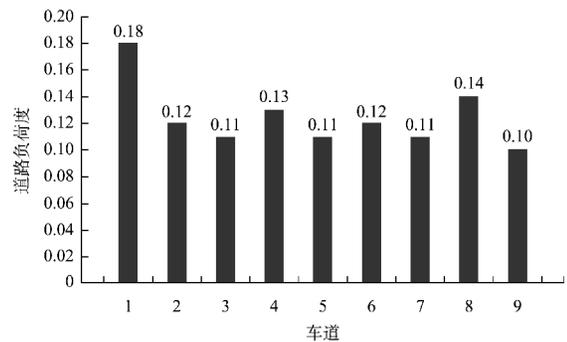
b) 第1级进港闸口至第2级进港闸口第1段道路



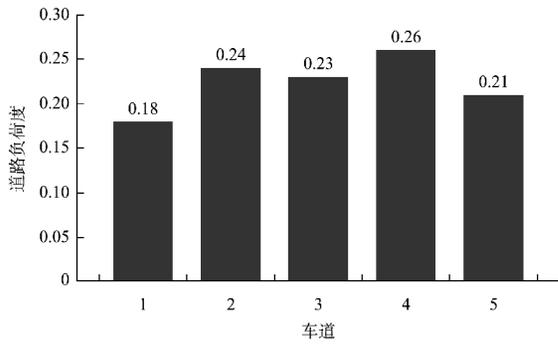
d) 港区出口端部至第1级出港闸口路段



e) 第1级出港闸口至第2级出港闸口路段



f) 第3级出港闸口至盐港东立交上匝道端部第1段道路



g) 第3级出港闸口至盐港东立交上匝道端部第2段道路

图 12 高峰小时道路负荷度

Fig. 12 Road load degree at peak hour

图 12 中同一路段的车道数发生变化时，该路段按不同车道数分段进行评价；第 2、3 级出港闸口位置较为接近，其之间的路段不进行评价。

### 5.2 港内交通的评价指标

为了定量评估路口交叉变道对交通带来的影响，在交通流最大的第 2、3 条箱区路口设置 4 个排队计数器(图 13)，进行高峰小时模拟，获得高峰小时工况下进出堆场的内集卡在路口交叉变道时的平均排队长度和最大排队长度，见图 14。其中，括号内的集卡数量按平均 20 m 折算(集卡车长+安全距离)。

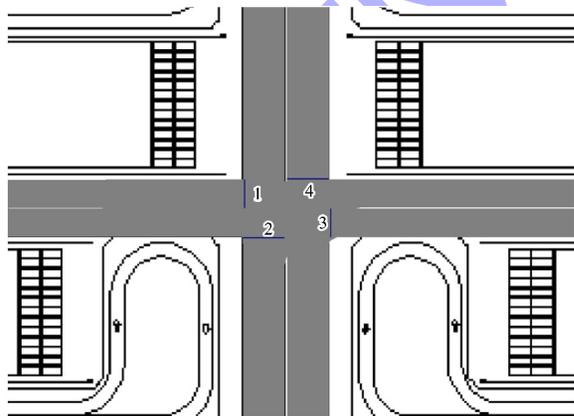
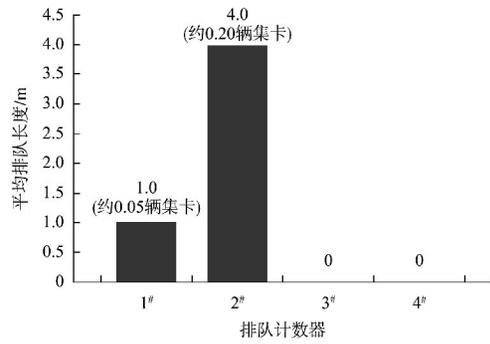
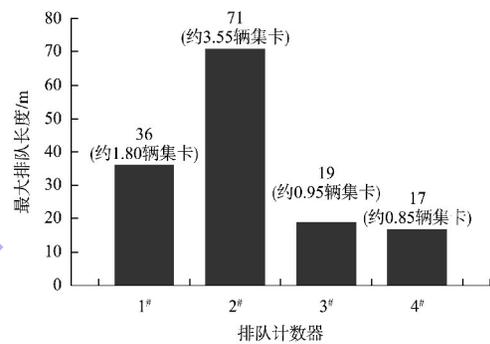


图 13 队列计数器设置

Fig. 13 Queue counter settings



a) 平均排队长度



b) 最大排队长度

图 14 高峰小时进出堆场路口车辆排队长度

Fig. 14 Queuing length of vehicle at intersection of entering and leaving container yard at peak hour

## 6 分析评估

### 6.1 闸口区域交通分析评估

#### 6.1.1 闸口

根据车流量及利用率的仿真结果，闸口方案中，需停车服务闸口的高峰小时单通道平均车流量为 30~44 辆，高峰小时单通道平均利用率为 34%~49%，两者均处于较高水平，说明需停车服务闸口的各车道都得到了充分利用，较为繁忙。

根据排队长度的仿真结果，闸口方案中，需停车服务闸口的高峰小时单通道平均排队长度不超过 0.65~1.30 辆集卡，高峰小时单通道最大排队长度不超过 2.00~3.60 辆集卡，排队长度均较短，说明需停车服务闸口总体上不拥堵。

### 6.1.2 闸口区域路段

负荷度( $V/C$ )越高代表道路服务水平越差,反之,说明服务水平越好。参考《城市道路工程设计规范》和《公路工程技术标准》相关条文的道路服务水平:一级, $V/C < 0.30$ ;二级, $0.30 \leq V/C < 0.55$ ;三级, $0.55 \leq V/C < 0.77$ ;四级, $0.77 \leq V/C < 1.00$ 。其中服务水平等级一级属于自由流,交通状况极好;服务水平等级二、三级,均属于自由稳定流,交通状况良好;服务水平等级四级则可能发生拥堵。

闸口方案中,闸口区域各路段的 $V/C$ 为0.06~0.27,服务水平等级范围都处于一级,说明交通状况良好,车辆交通流可以保持稳定流状态,通行顺畅。

### 6.2 港内交通分析评估

根据对路口交通流最大的第2、3条箱区的交通仿真结果,港内交通方案中,内集卡在路口交叉变道时的平均排队长度不超过0.20辆内集卡,最大排队长度不超过3.55辆内集卡,排队长度较短,说明港内交通组织总体上不拥堵,较为顺畅。其中,2#排队计数器处的最大排队长度最长,主要受该处3个方向的交叉变道的影响。

## 7 结语

1) 采用VISSIM对闸口及通道设计方案、港内交通组织设计方案进行三维建模和高峰小时仿真,能够直观地反映出闸口区域和港内道路在高峰小时工况下的交通情况。

2) 通过评价指标的定量分析,能够从数值上客观地评价闸口区域和港内道路在高峰小时工况下的繁忙程度和拥堵程度,验证设计方案的合理性,为方案决策提供参考依据。

### 参考文献:

[1] 于越,金淳,霍琳.基于仿真优化的集装箱堆场大门系统规划研究[J].系统仿真学报,2007,19(13):3080-3084.

- YU Y, JIN C, HUO L. Optimal planning on gate system of container yard based on simulation optimization method[J]. Journal of system simulation, 2007, 19(13): 3080-3084.
- [2] 秦天保,刘兰辉,沙梅.集装箱码头堆场道路交叉口车流仿真研究[J].系统仿真学报,2014,26(2):430-434.
- QIN T B, LIU L H, SHA M. Research on road intersection simulation of container terminal yard[J]. Journal of system simulation, 2014, 26(2): 430-434.
- [3] 尤悦,何红弟.基于VISSIM仿真的港口集装箱堆场交通流研究[J].计算机应用与软件,2018,35(11):61-65,93.
- YOU Y, HE H D. Traffic flow of port container yard based on VISSIM simulation[J]. Computer applications and software, 2018, 35(11): 61-65, 93.
- [4] 王施恩.洋山四期全自动化集装箱码头交通组织[J].水运工程,2016(9):35-39,70.
- WANG S E. Traffic organization for fully automated container port of Yangshan Phase IV[J]. Port & waterway engineering, 2016(9): 35-39, 70.
- [5] 唐国磊,李翔,赵晓艺,等.低碳型集装箱港区港内道路规划方案优选[J].水运工程,2019(5):54-59.
- TANG G L, LI X, ZHAO X Y, et al. Optimization of road planning schemes for low-carbon container terminals[J]. Port & waterway engineering, 2019(5): 54-59.
- [6] 管政霖.自动化集装箱码头陆域集疏运装卸工艺与交通问题研究[D].武汉:武汉理工大学,2018.
- GUAN Z L. Research on handling technologies and transportation problems of the collecting and dispatching system of the automated container terminal[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2018.
- [7] 张冬亮.大窑湾南岸集装箱港区道路及交通组织优化[D].大连:大连海事大学,2012.
- ZHANG D L. Roads and traffic organization optimization of South Dayaowan Container Port [D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2012.
- [8] 梁辰.集装箱港区路网结构及交通组织优化研究[D].大连:大连理工大学,2018.
- LIANG C. Simulation-based optimization of road network and traffic organization in container terminals[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2018.