

# 大型主题活动客流组织仿真评价及优化研究

Optimizing Massive Pedestrian Traffic Flow during Major Event

张广厚<sup>1</sup>, 赵光华<sup>2</sup>, 陈艳艳<sup>1</sup>, 李平谱<sup>1</sup>

(1. 北京工业大学交通研究中心, 北京 100124; 2. 北京市市政工程设计研究总院, 北京 100082)

Zhang Guanghou<sup>1</sup>, Zhao Guanghua<sup>2</sup>, Chen Yanyan<sup>1</sup>, Li Pingpu<sup>1</sup>

(1. Transportation Research Center, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China; 2. Beijing General Municipal Engineering Design & Research Institute, Beijing 100082, China)

**摘要:** 为量化评价大型主题活动期间行人交通系统规划、设计与管理的合理性, 从实际工程应用出发, 构建以 Legion 行人交通仿真软件为基础的客流组织评价及优化方法。该方法以设施服务水平为主要评价指标, 包含基础数据调查与分析、模型构建与参数标定、仿真结果输出与分析、整体及局部优化等关键步骤。将其应用于第九届中国(北京)国际园林博览会客流组织方案的评价与优化, 通过采取优化措施使园区高密度区域的客流比例从13%降至5%。该方法对于定量评价行人设施规划、设计及不同客流组织方案的实施效果具有良好的适用性。

**Abstract:** In order to quantitatively evaluate effectiveness of pedestrian transportation system planning and design as well as pedestrian traffic control system during the large event, this paper develops an evaluation method based on Legion pedestrian simulation software. Using the facility's level of service as main evaluation indicator, this study has developed and calibrated a pedestrian flow model based on the collected data and simulation results analysis, which can optimize the traffic flow at both aggregated and disaggregated level. This method was used to evaluate the traffic control strategies at the 9th China (Beijing) International Garden Expo, which shows that by optimizing traffic flow, pedestrian volume at the high density Garden Expo area dropped from 13% to 5%. This method proves to be efficient in quantitatively evaluating pedestrian facility's traffic control options.

**关键词:** 交通规划; 大型主题活动; 客流组织; 行人仿真; 评价与优化

**Keywords:** transportation planning; main event; passenger organization; pedestrian simulation; evaluation and optimization

中图分类号: U491.1

文献标识码: A

收稿日期: 2011-09-18

**基金项目:** 北京市科技计划项目“公交城市建设综合技术研究应用与示范”(D101100049410002); 北京工业大学交通工程重点实验室基金“基于多源数据采集的行人仿真参数标定及基础模型重构技术”(JTP-2011-07)

**作者简介:** 张广厚(1983—), 男, 山东枣庄人, 在读博士研究生, 主要研究方向: 行人交通系统评价与行人交通管理。

E-mail: guanghouzhang@emails.bjut.edu.cn

## 0 引言

所谓大型主题活动是指在城市的某个或多个特定地点, 在规定时段内, 按照一定的主题特色构筑大型活动场馆和设施, 举行展览、表演、贸易、旅游、娱乐、体育等活动, 吸引行人、商旅、专业人士参加的大型聚会, 如各类艺术表演节、文化贸易博览会、综合性体育盛会等<sup>[1]</sup>。对客流管理组织方案进行评价与优化对于举办一次成功的大型主题活动至关重要。

行人交通仿真技术作为一种分析工具, 已广泛应用于轨道交通车站、客运交通枢纽的设施规划与设计、客流组织、运营管理等领域<sup>[2-4]</sup>。基于合理的参数标定, 成熟的行人仿真软件不仅能直观展现交通运行状况, 而且可精确记录速度、加速度、坐标等个人交通行为数据, 为量化评价行人交通系统运行状况提供了有力的数据支撑。本文以 Legion 行人交通仿真软件为基础, 结合大型主题活动客流组织与管理的实际需求, 构建基于行人仿真的大型

主题活动客流组织评价及优化方法，并通过实际工程应用验证方法的有效性。

## 1 仿真方案建立

### 1.1 仿真流程

Legion是基于智能体模型的专业行人仿真软件，每个行人作为单独的实体，具备感知、决策、行动和获得环境信息的能力，并通过这种能力进行移动<sup>[5]</sup>。图1给出了基于Legion仿真软件的大型主题活动客流组织测试及优化的流程图，通过模型参数准备和标定、模型建立、结果输出等流程，依据评价指标体系，直观、定量地反映大型主题活动场所或展区的整体客流压力，从而发现客流组织与管理方案的不足，识别关键的瓶颈区域，并针对问题提出相应的优化方案。

### 1.2 模型参数准备

收集、准备行人仿真所需的资料是仿真研究的基础。一般情

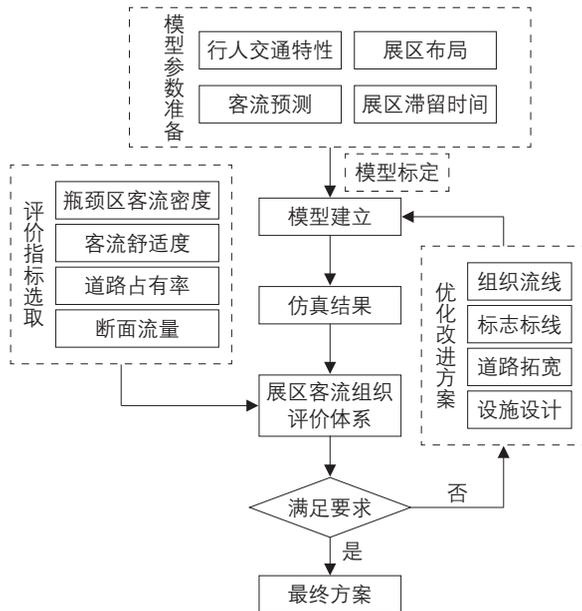


图1 客流组织仿真测试及优化流程图

Fig.1 Flow chart for simulation evaluation and optimization of pedestrian traffic flow

表1 行人仿真建模数据准备

Tab.1 Data preparation for pedestrian simulation modeling

| 数据需求    | 内容                           |
|---------|------------------------------|
| 行人交通特性  | 自由流速度分布、路径选择模型、拥挤反应模型、景区滞留时间 |
| 客流需求    | 客流组成、随时间分布的客流抵离量、客流OD分布      |
| 展区规模与布局 | 开发规模、各展区布局                   |
| 设施布局    | 行人步行设施布局                     |
| 行人流线组织  | 展区开放情况、移动或固定护栏组织、上下楼梯客流组织方式  |

况下，不同类型的大型主题活动所需的场所或展区布局、行人交通特性、客流到达情况等数据会有所不同，需根据实际情况进行调查或预测分析。行人仿真建模数据准备见表1。

### 1.3 评价指标

大型主题活动的客流组织应从安全性、舒适性、效率三方面衡量。安全性是首要考虑的因素：高密度瓶颈区域行人行走缓慢，易产生拥挤，对于某些固定断面，如展区的出入口，其断面流量将影响展区内部的安全性。行人的舒适性及行人设施的利用率也是评价活动场所客流组织方案的重要指标。具体评价指标见表2。其中，客流密度可定量体现不同行人设施或区域的拥挤程度，是判定行人交通系统安全性和舒适性的主要依据。不同行人设施的服务水平分级分析采用国际上广泛采用的Fruiin评价指标标准，该标准以客流密度作为分级依据，见表3<sup>[6]</sup>。运行仿真模型将输出一系列指标值，用于客流组织评价及优化。

## 2 优化措施

利用仿真输出结果，可以测试大型主题活动场所的客流压力，发现客流组织和基础设施等方面的不足，找到可能出现高风险的时间、地点，并据此提出优化方案。具体而言，可从以下几方面提升大型主题活动行人交通系统的服务水平和安全性。

#### 1) 行人设施布局。

通过调整行人交通设施或活动设施布局，减少客流流线冲突。以

“减少冲突点、降低冲突人数”为原则，调整大型主题活动场所内的排队服务设施、游乐设施等可移动设施的位置及客流行进方向，尽可能减少不同行进方向的客流冲突，均衡客流空间分布。

2) 行人设施设计。

通过拓宽设施尺寸或增加设施数量，提高设施的通行能力。针对瓶颈节点，提高设施通行能力可加快行人的疏散速度，但必须与下游设施的通行能力相匹配。另外，通过增加辅助设施提高通行效率。例如，在双向通行的楼梯、通道增加隔离护栏分离不同行进方向的行人；在单向通行且宽度充足的步道、楼梯增设隔离护栏。

3) 客流流线组织。

大型活动场所内部道路多且复杂，对于瓶颈区域或道路利用率不均衡的区域，可修改交通组织路线，引导和分散客流路径选择，充分利用场地道路资源，合理安排客流空间分布。

4) 客流引导标志系统。

依据活动场所布局，完善客流引导标志系统，减少因标志不清而产生的客流徘徊行为，提高客流行进的流畅性。同时，考虑高峰期间的客流分布情况，在关键位置设置人工引导岗，在关键区域进行人为的监督和疏导，以均衡活动场所内的客流时空分布，确保安全。

若上述优化措施仍不能满足大型主题活动期间客流安全性、舒适性的要求，可适当限制客流

进入量和活动规模，做到合理安排、统筹兼顾。

### 3 实例分析

北京园博园作为第九届中国国际园林博览会的举办地，位于永定河以西地区，北临莲石西路，西至鹰山公园西墙，东临永定河新右堤，南到规划梅市口路，西南接京周公路新线(射击场路)。园区总占地面积 267 hm<sup>2</sup>，展区总面积 35.44

表 2 评价指标体系  
Tab.2 Evaluation index system

| 安全性          | 舒适性    | 效率      |
|--------------|--------|---------|
| 最大或平均客流密度    | 平均步行距离 | 行人空间占用率 |
| 断面最大流量       | 最大步行距离 | 行人流率    |
| 瓶颈地段客流密度时间分布 | 绕行系数   | 道路利用均衡性 |

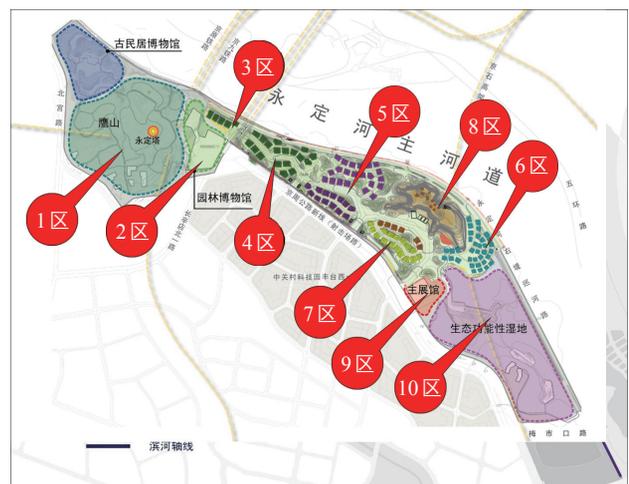
表 3 行人设施服务水平分级标准

Tab.3 Threshold of pedestrian facilities level of service 人·m<sup>2</sup>

| 服务水平 | 适用区域       |              |            |
|------|------------|--------------|------------|
|      | 步行通道       | 楼梯、自动扶梯      | 等待区        |
| A    | <0.31      | <0.54        | < 0.83     |
| B    | 0.31~<0.43 | 0.54~<0.72   | 0.83~<1.08 |
| C    | 0.43~<0.72 | 0.72~<0.1.08 | 1.08~<1.54 |
| D    | 0.72~<1.08 | 1.08~<1.54   | 1.54~<3.59 |
| E    | 1.08~<2.17 | 1.54~<2.69   | 3.59~<5.38 |
| F    | ≥ 2.17     | ≥ 2.69       | ≥ 5.38     |



a 园区出入口



b 各展区位置

图 2 北京园博园园区出入口及展区分布图

Fig.2 Layout of access and exhibition zones in Beijing Garden Expo area

hm<sup>2</sup>, 有效参观面积 12.4 hm<sup>2</sup>。

### 3.1 初始模型搭建

将10个展区和6个出入口依次编号为1~10号展区、3~7号门及专用门, 如图2所示。借鉴历届园博会、上海世博会、顺义花博会等大型主题活

动的客流需求总量及客流量变化趋势, 采用定量与定性相结合的方法, 预测园博会客流总量为600万人次、高峰日客流量为12万人次。表4为各出入口及展区高峰时段的预测客流量, 其中假定行人至少游览2 h才会离开展区, 因此, 各出入口在2 h的仿真时长内均无行人离开。

表4 客流分布预测  
Tab.4 Passenger flow distribution prediction

| 客流OD | 1区    | 2区    | 3区    | 4区    | 5区    | 6区    | 7区    | 8区    | 9区    | 10区   | 汇总     |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1区   | 0     | 68    | 21    | 16    | 4     | 2     | 2     | 34    | 23    | 0     | 170    |
| 2区   | 629   | 0     | 720   | 214   | 62    | 24    | 20    | 357   | 250   | 3     | 2 280  |
| 3区   | 86    | 532   | 0     | 494   | 103   | 30    | 30    | 279   | 194   | 2     | 1 750  |
| 4区   | 50    | 158   | 494   | 0     | 426   | 50    | 50    | 299   | 221   | 30    | 1 780  |
| 5区   | 12    | 48    | 71    | 196   | 0     | 166   | 166   | 281   | 250   | 31    | 1 220  |
| 6区   | 7     | 42    | 48    | 57    | 188   | 0     | 193   | 303   | 296   | 46    | 1 180  |
| 7区   | 1     | 6     | 7     | 8     | 28    | 28    | 0     | 43    | 42    | 7     | 170    |
| 8区   | 63    | 283   | 330   | 390   | 490   | 1 327 | 1 256 | 0     | 1 803 | 199   | 6 140  |
| 9区   | 45    | 348   | 381   | 481   | 1 767 | 1 872 | 1 767 | 2 514 | 0     | 246   | 9 420  |
| 10区  | 0     | 0     | 0     | 2     | 6     | 33    | 33    | 50    | 44    | 0     | 170    |
| 3号门  | 360   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 360    |
| 专用门  | 0     | 1 440 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1 440  |
| 4号门  | 0     | 0     | 1 265 | 2 340 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 3 605  |
| 5号门  | 0     | 0     | 0     | 1 535 | 299   | 0     | 0     | 1 766 | 0     | 0     | 3 600  |
| 6号门  | 0     | 0     | 0     | 0     | 543   | 568   | 154   | 3 209 | 926   | 0     | 5 400  |
| 7号门  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1 045 | 284   | 0     | 1 703 | 568   | 3 600  |
| 汇总   | 1 253 | 2 926 | 3 338 | 5 733 | 3 916 | 5 145 | 3 956 | 9 135 | 5 752 | 1 131 | 42 285 |

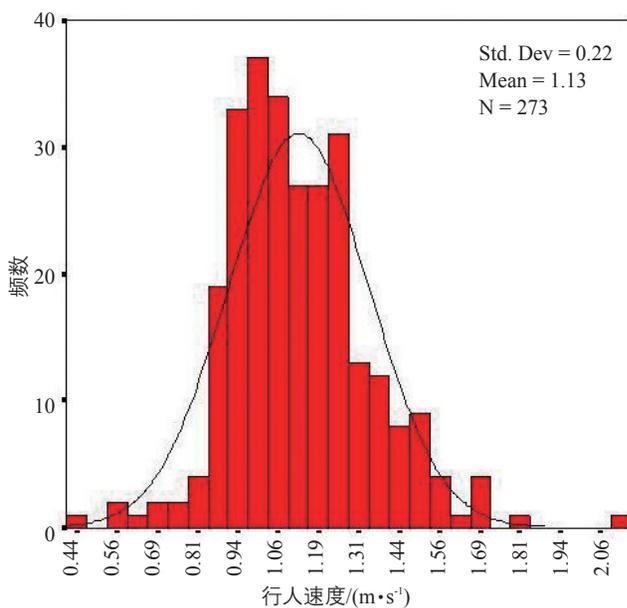


图3 室外空地行人速度分布

Fig.3 Pedestrian speed distribution on outdoor open space

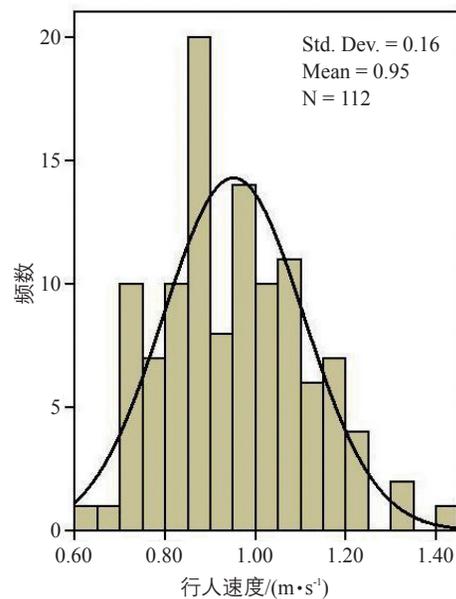


图4 室内通道行人速度分布

Fig.4 Speed distribution at indoor passageway

速度是反映行人交通特性的重要指标，对行人自由流速度的研究是行人交通特性研究的重要组成部分，也是行人交通仿真模型参数标定的关键工作。参考已有研究成果<sup>[7]</sup>，结合大型活动场所的设施特点，在适当的外部条件下(天气晴朗、无风或者微风、人体舒适温度、单衣等)，以中青年行人的自由流速度为基准，得到室外空地和室内通道的行人速度分布，见图3和图4。

滞留时间直接影响模型的标定，不同展区行人的滞留时间不同。通过对各展区的主题特色设置，预测得到各展区行人滞留时间，见表5。

### 3.2 仿真结果分析及优化措施

依据行人交通流特性、客流需求预测、园区设施布局及客流组织方案等基础数据，构建北京园博园行人交通仿真模型，运行仿真模型得到仿真结果，见图5和图6。承担园区内部及不同展区之间客流压力的一级路、二级路及现有设施基本能够满足高峰期间的客流需求，但部分区域仍存在下述问题：

1) 存在7处客流密度较高(D级以下服务水平，下同)的瓶颈区，主要位于宽度较窄、客流量较大的道路及部分展区的出入口或进出展区的二级路上，见图7。高密度区域的存在给行人安全性及园区交通的整体运行效率带来了很大影响，必须采取适当的措施降低瓶颈区域的客流密度。

局部瓶颈点出现原因不同，采取的改进措施也不同。对于通行能力过低且存在拓宽可能的瓶

颈区，可通过适当的拓宽提高通行能力。例如瓶颈1，由于该条道路是展区1连通其他展区的唯一通道，现有通行能力不能满足客流需求，经多次测试并考虑实际的工程可行性，建议将瓶颈1的道路宽度由1 m扩宽到2.2 m，如图8a所示。对于因客流集中且存在分流可能性的瓶颈区，可进行合理的分流，减轻瓶颈区的客流压力。例如，鉴于大量客流集中利用瓶颈4的入口进入展区8，建议此处增设分流标志或人工引导员，引导行人由其他入口进入展区8，如图8b所示。

2) 道路利用率不均衡，一级路的客流密度远大于二级路，易产生安全隐患。可采取的改进措施是：在园区内主要道路相交处增设分流标志或人工引导员，将一级路的客流分流到二级路。例如，通过在一级路设置分流标志或人工引导员，将去往展区6的客流分流至二级路，同时针对展

表5 各展区行人滞留时间  
Tab.5 Visiting time at each exhibition hall min

| 展区编号 | 平均时间 | 最小时间 | 最大时间 |
|------|------|------|------|
| 1    | 20   | 15   | 25   |
| 2    | 36   | 31   | 41   |
| 3    | 58   | 50   | 66   |
| 4    | 108  | 100  | 116  |
| 5    | 21   | 15   | 27   |
| 6    | 22   | 17   | 27   |
| 7    | 6    | 4    | 8    |
| 8    | 124  | 115  | 133  |
| 9    | 36   | 30   | 42   |
| 10   | 15   | 10   | 20   |

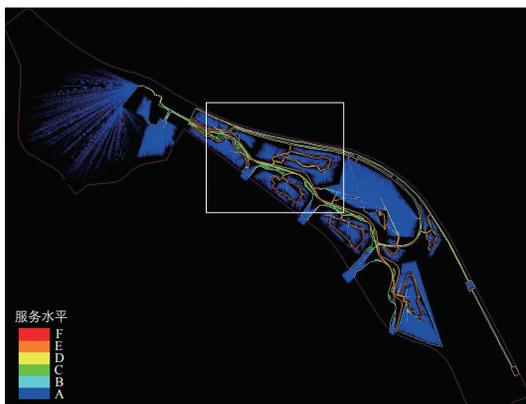


图5 整体最大客流密度分布图

Fig.5 Maximum pedestrian flow density distribution over entire area

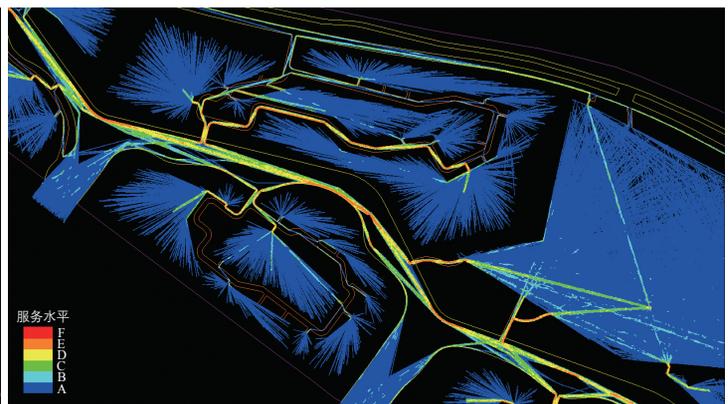


图6 局部最大客流密度分布图

Fig.6 Maximum pedestrian flow density distribution at local area

区6周边二级路环绕的特点,尽可能将客流均布于环线,如图8c所示。

### 3.3 优化结果分析

利用已构建的行人仿真模型对优化措施进行仿真测试,得到优化后的客流密度分布,见图9。整个园区一级路上,D级以上服务水平的客流比例由原来的86%上升到95%,增加近10%,而处于高密度区域的客流比例从13%降至5%。因此,优化方案明显提升了整体客流服务水平。瓶颈区的客流服务水平也得到了有效提升,表6列出了7

个瓶颈区客流比例的变化,可以看出,优化方案有效降低了瓶颈区的客流量。

### 4 结语

本文从实际工程应用出发,以行人仿真建模为基础构建了大型主题活动场所的行人交通系统评价及优化方法,为分析客流压力对大型主题活动场所的冲击,同时为制定科学合理的设施规划及客流管理与组织方案提供了依据。但大型主题活动形式多样、行人交通特征差异性大,为提高行人仿真模型的精度,未来还需要对不同类型主题活动的行人交通流特性开展进一步研究。

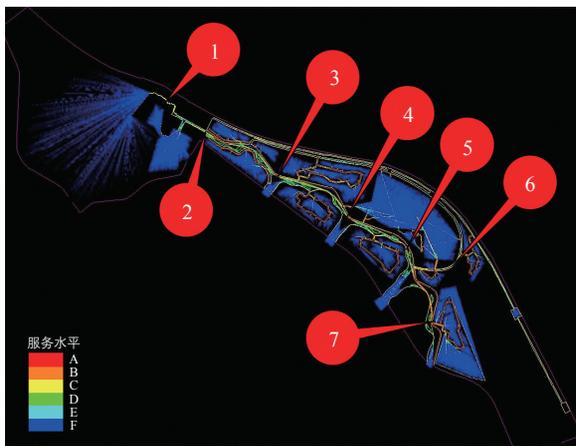


图7 瓶颈区域分布

Fig.7 Distribution of bottleneck areas

表6 瓶颈区客流比例变化  
Tab.6 The pedestrian flow variation at bottleneck areas %

| 编号 | 优化前 | 优化后 | 变化率    |
|----|-----|-----|--------|
| 1  | 35  | 26  | -25.71 |
| 2  | 36  | 12  | -66.66 |
| 3  | 35  | 23  | -34.43 |
| 4  | 80  | 41  | -48.75 |
| 5  | 67  | 24  | -64.21 |
| 6  | 54  | 27  | -50.00 |
| 7  | 42  | 12  | -86.20 |

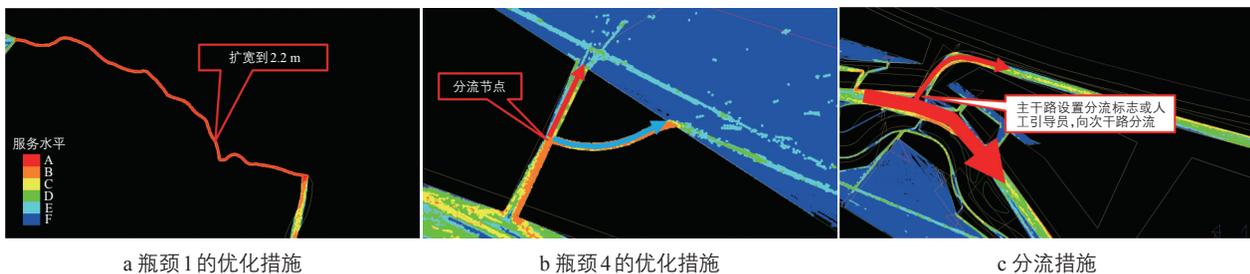


图8 部分瓶颈区域的优化措施

Fig.8 Optimization measures for some bottleneck areas

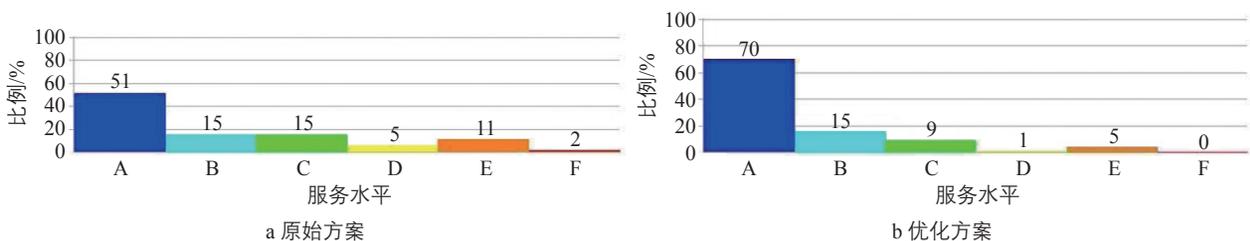


图9 优化前后客流密度分布对比

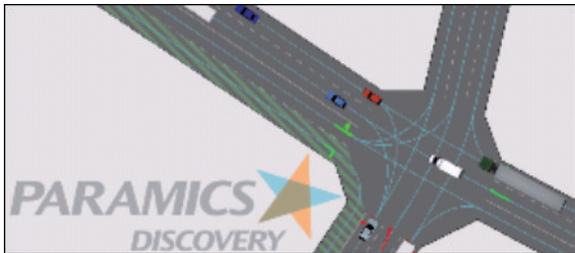
Fig.9 Distribution of pedestrian flow density before and after optimization

## 参考文献：

## References:

- [1] Catherwood D W, Van Kirk R L, Ernst G Y. The Complete Guide to Special Event Management: Business Insights, Financial Advice, and Successful Strategies from Ernst & Young, Advisors to the Olympics, The Emmy Awards, and the PGA Tour [M]. Chichester: John Wiley & Sons, 1992.
- [2] Zhang Guanghou, Chen Yanyan, Wu Decang, et al. Study on Pedestrian Traffic Characteristics of Transfer Hubs in Beijing[C/CD] // Transportation Research Board. Proceedings of 89th Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington DC: TRB, 2010.
- [3] 苗晓娟. 基于乘客集散动态仿真的城市轨道交通枢纽评价研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2008.  
Miao Xiaojuan. Study on the Evaluation of Metro-hub Based on the Dynamic Simulation of Passenger[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2008.
- [4] 胡明伟, 史其信. 城市轨道交通车站客流组织的仿真和评价[J]. 交通信息与安全, 2009, 27(3): 39-42.  
Hu Mingwei, Shi Qixin. Simulation and Evaluation of Passenger Flow Organization in Urban Rail Transit[J]. Journal of Transportation Information and Safety, 2009, 27(3): 39-42.
- [5] Nicole Ronald, Leon Sterling, Michael Kirley. An Agent-based Approach to Modeling Pedestrian Behaviour[J]. I. J. of Simulation, 2007, 8(1): 25-38.
- [6] Fruin J. Pedestrian and Planning Design[M]. New York: Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, 1971.
- [7] 史建港. 大型活动行人交通特性研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2007.  
Shi Jianguang. Research on Pedestrian Traffic Characteristics in Special Events[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2007.

## 英国 SIAS 公司微观仿真免费学习软件



英国 SIAS 公司从事 S-Paramics 软件研究和开发已有 20 余年历史, 并于 1997 年实现软件商业化。作为英国公认的微观仿真实论、软件开发和实际应用的权威机构, SIAS 公司始终处于该领域规范制定和技术实践的前沿, 并通过 ISO 9001: 2000 TickIT 质量认证。由于在交通模型领域的突出贡献, 公司被授予了苏格兰信息技术奖(1994 年)和美国计算机世界 Smithsonian 奖(1995 年)。

为推动微观仿真的学习和应用, SIAS 公司于 2011 年 5 月推出免费学习软件, 供广大交通爱好

者、学生及技术人员学习使用。用户可以亲身体验创建路网, 添加各种类型交叉口, 添加交通量和公共交通, 在 3D 状态下观看模型、修改模型并观看其效果, 生成统计数据等。通过学习, 用户能够了解微观仿真的基本原理, 并在实践中加以应用。

有关软件索取的详细信息, 可以访问 S-Paramics 中国网站: <http://www.sparamics.cn>。

电子邮件: [info@sparamics.cn](mailto:info@sparamics.cn)。

