

胡明伟 黄文柯 编著

# 行人交通 仿真方法与技术



清华大学出版社

# 行人交通 仿真方法与技术



胡明伟 黄文柯 编著

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书是系统论述行人交通仿真理论以及基于 AnyLogic 的行人交通仿真方法与技术的专著,综合作者多年研究行人交通仿真的成果,全面深入阐述了运用 AnyLogic 软件构建复杂行人交通仿真模型的方法与技术。全书由三部分组成,第一部分为行人交通仿真的相关理论;第二部分为基于 AnyLogic 的行人交通仿真方法与技术;第三部分为行人交通仿真案例。运用本书的理论和方法,进而综合利用离散事件建模、智能体建模、系统动力学建模和二次开发建立多方式的复杂行人交通模型,能快速可靠地分析、评价和优化综合交通枢纽、地铁站、机场航站楼、大型活动中的人群集散和客流组织,为人群聚集场所和大型活动的设施布局、规划、设计、运营管理、客流组织和应急疏散提供技术支持。

本书可作为交通规划与管理、城市设计等专业科研技术人员的参考书,也可作为交通运输工程学科研究生的参考教材。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

行人交通仿真方法与技术/胡明伟,黄文柯编著. —北京:清华大学出版社,2016  
ISBN 978-7-302-45095-5

I. ①行… II. ①胡… ②黄… III. ①行人—交通系统—系统仿真—研究 IV. ①U491.2-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 227219 号

责任编辑:王宏琴  
封面设计:常雪影  
责任校对:李梅  
责任印制:沈露

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62770175-4278

印 装 者:虎彩印艺股份有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:16.5 插 页:1 字 数:396千字

版 次:2016年12月第1版 印 次:2016年12月第1次印刷

定 价:58.00元

---

产品编号:067871-01

步行是出行最基本的交通方式,随着大运量客运交通系统的建设,人群高密度场所(如综合交通枢纽、地铁车站、高速铁路车站、机场航站楼、商业中心、大型体育比赛场馆等)的客流集散、交通组织、紧急疏散预案制定和评估越来越受到关注,日渐成为交通研究与应用的热点和焦点。不仅如此,行人交通的应用正在延伸到建筑设计、城市规划和城市设计等诸多领域。与机动车交通相比,行人交通领域的研究相对匮乏,其支撑理论、方法和技术相对较少。交通设施的相关规范和标准中虽然提及行人设施,但总的来说比较粗略,缺少系统、量化的分析及评价方法。行人交通仿真既是再现人流的时间和空间变化的模拟技术,也是计算机仿真技术在交通领域的重要应用,能为设施布局、规划、设计、运营管理提供参考,为客流组织和应急疏散方案的制订和评价提供技术支持,提升行人交通设施的通行效率、安全和舒适度。

本书部分成果来自国家自然科学基金项目(No. 50878132)和深圳市科技计划项目(No. SY200806270087A),也融合了作者近10年来运用AnyLogic软件建模的丰富经验。全书从行人交通仿真的基础理论开始,论述如何利用该软件构建各种复杂环境下行人仿真模型的方法和技术。本书对行人交通和行人交通仿真理论进行了系统梳理和总结,使读者能够快速掌握行人库、道路交通库建模,并综合运用离散事件建模、智能体建模、系统动力学建模和二次开发建立多方式的复杂行人交通模型,从而依托AnyLogic强大可靠的建模功能和直观易用的操作界面解决行人交通问题。

全书由三部分组成:第一部分论述了行人交通和行人交通仿真的相关理论;第二部分论述了基于AnyLogic的行人交通仿真方法与技术;第三部分以案例分析的形式,建立了地铁站的行人交通仿真模型和地铁综合交通枢纽行人交通仿真模型。

感谢清华大学出版社的王宏琴老师对本书出版的大力支持和辛苦编校。本书得到深圳大学“中央财政支持地方高校发展专项资金项目——研究生培养模式创新计划”资助,感谢深圳大学研究生院的支持。在编写本书时参考了大量国内外的相关书籍和文献,在此向已列出和未列出文献的作者表示敬意和感谢。感谢北京格瑞纳公司,以及翟素云、陈响、蔡家思等研究生对本书撰写提供的协助。

由于行人交通仿真综合性、专业性强,是一门正在迅速发展中的新兴技术,加之作者水平有限,本书疏漏、不足之处在所难免,恳请同行和读者批评指正。

胡明伟 黄文柯

2016年6月于深圳大学

第一章 绪论	1
第一节 行人交通	1
第二节 行人交通仿真	1
第三节 行人交通仿真的应用	5
第四节 行人交通仿真的发展与展望	9
第五节 本书主要内容概述	12
第二章 行人交通流特性	14
第一节 行人交通特征	14
第二节 行人宏观交通参数	16
第三节 行人微观交通特性	20
第三章 行人交通仿真模型及软件	26
第一节 行人交通仿真模型	26
第二节 行人交通仿真软件	35
第四章 基于 AnyLogic 的行人交通仿真	50
第一节 AnyLogic 简介	50
第二节 AnyLogic 优势	51
第三节 AnyLogic 应用	56
第四节 AnyLogic 版本介绍及激活	64
第五节 AnyLogic 界面快览	67
第五章 行人交通仿真建模技术	72
第一节 仿真技术资料准备	72
第二节 构建行人交通仿真模型	75
第三节 结果分析和方案评价	79
第六章 基于 AnyLogic 的仿真环境建模	81
第一节 行人交通系统环境	81
第二节 环境建模中的图形图像操作	91
第三节 行人交通环境建模模块介绍	96
第四节 行人交通环境三维建模	115
第五节 行人交通环境创建案例	122
第七章 基于 AnyLogic 的行人行为建模	126
第一节 行人行为理论	126

第二节	行人行为建模模块	128
第三节	行人行为建模案例	142
第八章	基于 AnyLogic 的分析与评价	148
第一节	行人交通仿真评价指标	148
第二节	评价指标的获取及可视化	159
第三节	数据交换	165
第四节	模型运行中的交互	173
第五节	随机值	176
第九章	基于 AnyLogic 的智能体建模技术	179
第一节	智能体技术概述	179
第二节	智能体在行人交通仿真的应用	180
第三节	AnyLogic 中智能体的创建	181
第四节	AnyLogic 中的智能体属性	183
第五节	AnyLogic 中的智能体行为仿真	187
第十章	地铁站行人交通仿真建模	194
第一节	地铁站行人交通仿真模型的创建(阶段一)	194
第二节	地铁站检票设施的仿真(阶段二)	203
第三节	地铁站售票设施的仿真(阶段三)	207
第四节	地铁站行人密度的分析(阶段四)	210
第五节	地铁站设施布局的影响评价分析(阶段五)	211
第十一章	地铁综合交通枢纽行人交通仿真建模	217
第一节	站台层的下车客流建模(阶段一)	218
第二节	站台层的上车客流建模(阶段二)	226
第三节	三维建模(阶段三)	232
第四节	站厅层的进站客流建模(阶段四)	238
第五节	地铁站站厅层与站台层衔接整合(阶段五)	248
第六节	整体模型的运行(阶段六)	251
参考文献		254

# 绪 论

本章简要介绍了当代行人交通仿真的研究背景,引出行人交通仿真的概念及应用优势,并对其发展现状和未来的发展方向进行了阐述。

## 第一节 行人交通

我国辞海中对“行人”的解释是步行的人或在路上行走的人。而在现代交通运输体系下,人们要完成一次出行,一般需要利用一种或多种交通方式,而不是单纯的步行,故行人的概念超越了辞海所解释的范畴。在现代交通运输体系下,“行人”的定义已扩展为所有利用体力出行的人,包括使用各种街道、交通场站、体育场馆、大型商场、车辆船只等交通设施或设备,且具有一定出行目的的行人。

行人交通是一种基于体力出行的方式。与其他出行方式比较,行人交通具有许多鲜明的特点。其中,最核心的是行人交通的多样性,即在不同环境、不同场所、不同行人等条件下,交通环境中行人的行为活动及对其他行人和外部环境的影响是不一样的。

行人交通是出行活动中必不可少的组成部分,也是短距离出行的主要方式。行人交通研究的应用正在延伸到建筑设计、城市规划和城市设计等诸多领域,例如大型公用建筑(体育赛场馆、机场、火车站和地铁车站等)的步行空间设计、人群高密度聚集场所的紧急疏散预案制定和评估等。

## 第二节 行人交通仿真

### 一、行人交通仿真的概念

行人交通研究的方法可分为实验法、解析法和仿真法三类。由于行人运动行为复杂,影响因素较多,采用试验法和解析法进行研究均有一定的局限性,很难做到全面真实。其中,

实验法主要运用于科学研究,虽然得到的结果真实、可靠,但弊端也十分明显,主要有:将大量的人员集中在某个公共场所内进行专门的实验或疏散演习,同时对所有人的相关属性和运动轨迹进行跟踪记录很困难;且人的行为具有较大的随机性,即使同样的人群在同一场景内,其前后两次的运动行为也会存在差别,需要多次重复才能得到可靠的结果,但反复演练的可操作性较差。因此受限于资金和试验条件,实验法较少应用于实际工程。而解析法是一种量化行人疏散时间的方法,一般通过对正常情况下行人运动的研究和分析得到,它对行人流线和疏散的规划设计以及现状的运营优化起重要作用。仿真法则将解析法和实验法的优点相结合,以运动行为特性数据的采集为基础,探索行人运动的规律,建立行人微观仿真模型,通过离散事件或连续事件的仿真直观且真实地刻画行人的交通行为。

仿真是指对真实世界中事物的模仿。仿真是利用仿真模型产生人为模拟系统,其不仅仅是对真实事物或事件的再现,同时还可以帮助研究者低成本、低危险性地模拟已经发生或未发生的事件,并对其特征和规律进行研究,寻求优化或解决方案。在模型仿真过程中,研究者可以观察系统的发展演化,采集相关数据,从而推断出与实际系统有关的运行特征或行为结果,所以说仿真技术是将所研究的问题用数字、实体或两者混合的方式加以模仿的一种信息技术。模型世界如图 1-1 所示。

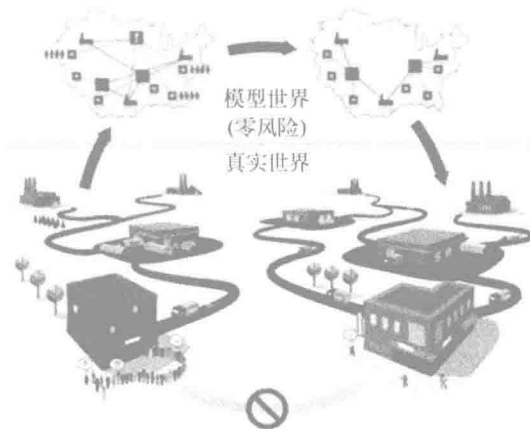


图 1-1 模型世界

仿真按所采用的方法可以分为物理仿真和计算机仿真两种。物理仿真是根据几何相似或物理类比,对真实系统建立物理模型,如风洞试验,是将按比例缩小的飞机模型悬挂在具有亚音速或超音速气流的风洞内,测定飞机的各种气动系数;计算机仿真是运用计算机技术建立系统模型,在计算机平台上反映事件或系统的特征。其综合集成了计算机、网络、图形图像、多媒体、软件工程、信息处理、自动控制等多个高科技领域的知识,广泛地应用在航天、航空、工业生产、环境保护、医学、交通运输、城市规划等多个行业。数字仿真中计算机及相应的程序代码表示实际系统,使之运行时与实际系统在逻辑上具有相同或类似的特性,从而可以用它检验实际系统,修改实际系统的不足之处,或者用于教学演示等,不仅能节省费用和减少不必要的时间,还能减少不必要的风险。

仿真具有不可想象的巨大力量。归纳起来,仿真的作用主要有:①节省费用。仿真试验在计算机上可以重复模拟,所花费的仿真成本远小于实物试验成本。②避免实地试验的



危险性。对于某些危险性大的试验,仿真可以有效地避免实地试验的危险。③优化系统设计。在复杂的真实世界建立之前,可在仿真模型中通过改变结构或调整参数来优化系统设计。④评价系统性能。如在交通安全与事故试验中,再现事故现场;在地铁疏散实验中,再现疏散现场寻求解决方案。⑤提高预测精度。仿真可以预测系统的性能,也可以预测外部作用对系统的影响。⑥帮助训练系统操作人员。利用仿真器对操作人员进行操作训练,如飞机驾驶训练,汽车驾驶训练等。⑦为管理决策和技术决策提供依据。通过仿真可以深化对系统内在规律和外部联系及相互作用的了解,以采取相应的控制和决策,从而科学地控制和管理系统。

行人交通仿真属于计算机仿真,是仿真科学应用于交通领域的分支之一。它是自 20 世纪 90 年代以来,随着计算技术的进步而发展起来的、采用计算机数字模型反映复杂环境下行人行为的交通分析技术和方法。从试验角度看,行人交通仿真是再现人流的时间和空间变化的模拟技术,既是智能交通的一个重要组成部分,也是计算机技术在交通工程领域的一个重要应用。它可以动态地、逼真地仿真行人流以及行人流与其他交通流共存的各种交通现象,重现行人流的时空变化,深入地分析人、车辆、道路以及交通的特征,有效地进行交通设施布局规划、组织与运营管理等方面的研究。

经过 20 多年的发展,行人交通仿真作为一项交通系统实验分析技术,成为交通工程研究人员测试和优化各种行人设施的设计方案,描述复杂环境下行人行为的一种直观、方便、灵活、有效的交通分析工具。目前行人交通仿真已广泛应用于交通场站、交通枢纽、大型公共建筑的规划、设计和运营。如图 1-2 所示,通过行人交通仿真方法和技术,特定环境下的行人行为及其活动可以被真实地模拟出来,从而帮助交通研究人员深入掌握行人流的运行规律。

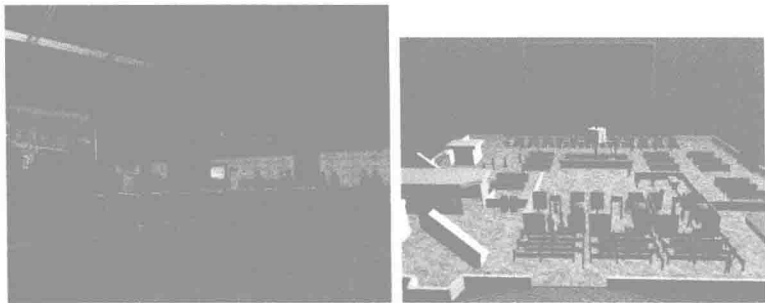


图 1-2 某地铁站和某机场安检的行人交通仿真效果

同时,行人交通仿真系统可以和虚拟现实技术手段结合,能够直观、真实地模拟特定环境下行人的活动情况。特定位置的拥堵情况、服务水平、安全隐患,以及出现紧急情况所采用的应急方案,都可以在计算机上经济、有效且无风险地模拟。

本书给出的定义是:行人交通仿真是计算机仿真在交通工程领域的应用,它是以相似原理、信息技术、系统工程和交通工程领域的基本理论和专业知识为基础,以计算机为工具,利用系统仿真模型模拟特定交通环境下行人的行为及其活动,并采用数字图形的方式对其进行描述,以便更好地把握和控制行人交通系统的一门实用技术。

## 二、行人交通仿真的优势

出行涉及人们生活的方方面面,行人交通仿真作为解决行人交通问题的重要手段,在国内蓬勃发展,并越来越受到重视。目前国内许多大型公共建筑的设计与运营管理已使用行人交通仿真技术,如北京奥运会、广州亚运会、深圳大学生运动会主场馆、北京南站、深圳北站等。相对于传统的解析法和实验法,行人交通仿真具有如下优点以及需要注意的地方。

### (一) 行人交通仿真的优点

#### 1. 经济性

通过调研和试验获取数据,需要花费大量的人力、物力、财力,但得到的数据往往非常有限,有时甚至是无效数据。在这种情况下,可以通过行人交通仿真的方法得到这些数据。

#### 2. 安全性

利用计算机进行行人交通仿真试验,可以有效地避免实地调研和试验(如交通调查)中可能出现的意外伤害。

#### 3. 可重复性

行人交通仿真模型一旦建立,便可无数次地重复仿真试验,降低了随机性对试验结果的干扰。

#### 4. 易用性

仿真方法比以往的方法更容易应用,不需要太多的数学知识建立解析模型。

#### 5. 可控制性

行人交通仿真是通过专业软件构建的,便于设置某些参数,使其限制在一定范围内或某些特定值。例如,人为地固定某些行人交通仿真常用变量,只改变一些变量以考察它们对整个行人交通系统的影响;还可以对一些诸如服务台的个数、几何形状、行人流线等因素进行人为优化,采取特定的组合方案进行模拟,从而对不同方案进行比选、评价等。

#### 6. 可拓展性

利用计算机模拟是对一种设想进行验证,它可以使某些参数(如行人步行速率、人流量等)超出日常实际调查所能得到的范围。利用交通仿真进行模拟预测还可以再现复杂交通环境条件下的人流运行特性,弥补观测数据的不足。

### (二) 行人交通仿真应注意的问题

尽管行人交通仿真技术有许多优点,但它不是一项完美的技术,仍有需要注意的问题。

(1) 行人交通仿真模型需要大量的输入数据,对于某些实际问题,这些数据很难获取,甚至无法获得。

(2) 行人交通仿真模型建成后需进行验证、参数标定,以及有效性检验。若忽视了任何一个步骤,仿真结果将会失实。

(3) 建立行人交通仿真模型不仅需要大量的知识,如交通流理论、概率论、决策论、统计

分析、计算机程序设计等,而且需要对研究和模拟的交通系统有充分的了解,对建模人员要求较高。

(4) 一些仿真软件的使用者简单地输入数据,而对于模型的基本假设和适用条件并不清楚,或将其视为“黑箱”,对其含义并不了解,这将极易导致结果失真。

应当指出,行人交通仿真只是为数众多的交通分析技术中的一个分支。行人交通系统仿真技术对于系统模型有极强的依赖性,而要建立系统模型,就必然要对真实系统进行简化和抽象,引起某种程度的“失真”。事实上,这正是系统仿真技术本身固有的缺陷。对于行人交通这样一个随机的、动态的、复杂的交通系统,这一问题显得尤为突出。因此,当我们面临一个实际行人交通问题时,首先要优先考虑选用其他的交通分析方法,而行人交通仿真技术是最后的选择。也就是说,只有当确认其他方法不足以解决所研究的问题时,才需要进行仿真实验。同时,对仿真输出结果要采取谨慎的态度,应结合其他定性或定量的分析方法,对真实系统的行为做出正确的推断。

### 第三节 行人交通仿真的应用

行人交通仿真是计算机仿真在交通工程领域的应用,目的是建立一种虚拟行人交通的计算机模型,在该模型基础上利用计算机技术再现复杂的行人行为现象,并对这些现象进行解释、分析,找出问题的症结,从而评价整个方案的优劣和规划设计的合理性等。通过对人流的仿真研究,可以得到人流状态随时间与空间的变化、分布规律及其在交通控制变量间的关系,在交通系统及其各组成部分的分析和评价中发挥重要作用。

行人模型通常可以模拟众多的场景,根据场景的特点一般可分为道路行人交通仿真模型、交通场站行人交通仿真模型和大型赛事行人交通仿真模型,如图 1-3 所示。



图 1-3 行人交通仿真主要应用场景

#### 一、道路行人交通仿真

城市道路交通系统由行人、非机动车和机动车三个重要部分组成。对行人、非机动车和机动车交通进行仿真,可以研究大型集散场地的行人特性、行人过街时与非机动车和机动车的相互作用机理以及其他交通特性,这对解决一些交通问题非常有效。道路行人交通仿真主要指的是模拟发生在道路系统中的出行活动,包括行人在道路交通环境中与道路交通设施设备发生的各种行为的模拟,如图 1-4 所示。模拟的位置主要有人行道、人行横道、交叉口、人行立交、步行街等地面道路交通。

通常情况下,处在道路交通系统中的行人密度一般较小,人流的时空分布较离散且均



图 1-4 道路行人交通仿真示意模型

匀,可以说道路系统中的行人更趋向于随机状态,且行人运行的方向、活动及行为都比较简单。但道路系统中的行人、非机动车和机动车,常常在交叉口争夺道路空间,所以如果对行人、非机动车和机动车缺乏了解,就不能妥善解决三者之间的交通问题,势必严重干扰道路运行,导致交通秩序混乱。因此,道路行人交通系统研究的重点是人车冲突问题,即以道路行人交通行为为基础,通过道路设施设备规划设计及运营管理,合理引导和组织行人交通,最大限度地减少事故概率。

## 二、交通场站行人交通仿真

场站行人交通可以分为场站外围行人交通和场站内部行人交通两部分。交通场站行人交通仿真是指对行人在各类交通场站或枢纽中的交通和服务设施、场站交通环境中的行为进行仿真模拟。其位置包括各类车站、港口、机场以及大型城市客运交通枢纽等半封闭环境。

交通场站行人交通系统是客流集散的场所,因此,处在场站系统中的行人较多,交通流量较大,大量客流在短时间积聚和消散,客流的时空不均衡性较突出。由于不同行人的出行目的及方向不同,行人表现出的运行速度、方向、活动等行为不同,造成群体行为复杂的特性。例如,一方面,场站中购票人群、候车人群、乘降人群的行为完全不同;另一方面,由于场站中的行人交通往往与各种交通方式之间互为衔接关系,并且受场站内各种设施布局、作业流程、人群流线的影响,群体行为会呈现一定的规律性,如客流随着时刻表规定的列车到达情况规律性地产生和消散,所有旅客在车站中的基本进出站流程相同。因此,场站行人交通系统研究的可以称为是弱可控交通流,其核心问题是通过对场站或枢纽的设施设计和运营管理、运输组织的综合优化实现场站内行人集散的安全以及集散能力的最大化。

图 1-5 是行人交通仿真在城市轨道交通多线换乘枢纽的应用。换乘枢纽往往落脚于城市发展重要的节点,是大规模客流集散场所,在轨道交通网络乃至整个客运交通体系中具有重要的地位和作用。然而枢纽内换乘、乘降客流量大且组成复杂,有较强的聚集作用,特别是在高峰时期易形成大量的客流阻塞和停滞,导致枢纽设施服务水平和行人通行能力的急剧下降。因此,枢纽内行人交通设施设计和组织规划方案至关重要,而行人交通仿真可以作为枢纽设计阶段的一种重要辅助技术手段。图 1-6 为火车站场站密度图。

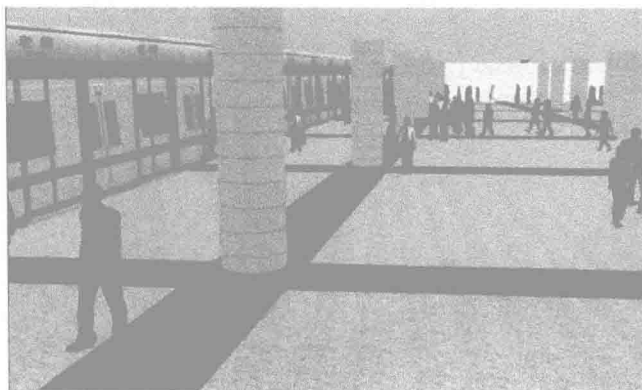


图 1-5 交通场站行人交通仿真

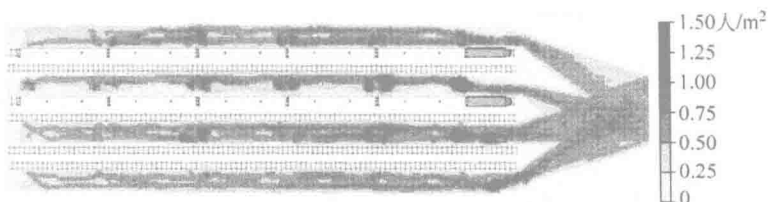


图 1-6 火车站场站密度图

### 三、大型活动行人交通仿真

大型活动行人交通仿真是指模拟行人在参加大型活动时产生的流动,包括行人的到达、进场、参与活动以及活动结束后离场。根据该系统中行人活动主要发生的场所分析,其位置主要包括大型集会、大型体育场馆、公共娱乐场所、集贸市场、大型商场、超市、宗教活动区等大量人群聚集的场所。因为活动场所有大量人员聚集,并且通常属于封闭系统,大客流在短时间内集中聚集和疏散,客流量巨大,行人出行目的、活动和行为简单,但运动方向因人而异,表现较为混杂,与其他交通方式之间关系较弱。

大型活动行人交通系统的研究重点是人员疏散问题。其中,狭义的大型活动主要是指具有预先确定的举办时间、地点,同时规模较大、参与人数众多的社会公共活动。根据活动性质可分为赛事活动和游览活动,包括:①体育赛事活动;②演唱会、音乐会等文艺表演活动;③国庆、花会、庙会等庆典活动;④大型国际会议、人才招聘会等会议活动;⑤传统节日如春节、劳动节等节日活动;⑥灯会、游园等宴会活动。

图 1-7 所示是行人交通仿真在大型活动中的应用,即模拟第 26 届世界大学生运动会开幕式行人散场运作状况,并分析了散场期间行人疏散时间、疏散密度、步行设施的通行能力以及服务水平,从而检验开幕式散场交通组织方案的合理性。

行人交通仿真模型不仅应用场景十分广泛,还可以应用于同一场景下的不同阶段,如图 1-8 所示。

在项目评估的初级阶段,可辅助进行人群运动研究、人群模拟及管理措施、重要场馆容量分析、系统容量评估、网络运能一体化、运能调整等工作,以此评估一个设施的能力,在规

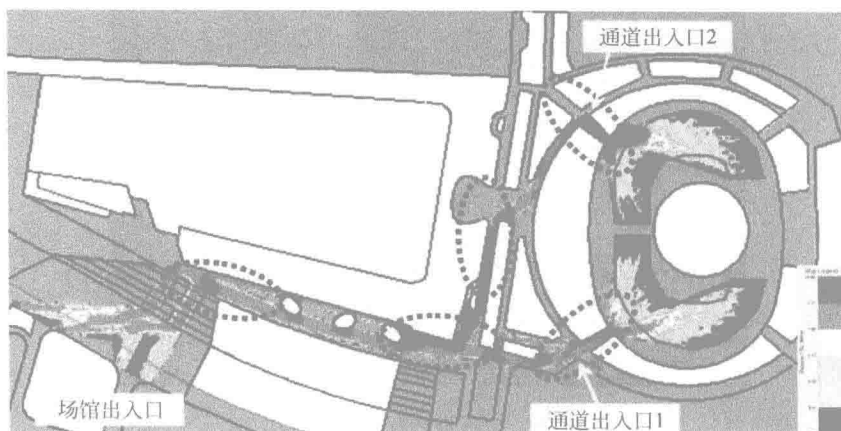


图 1-7 大型活动行人交通仿真

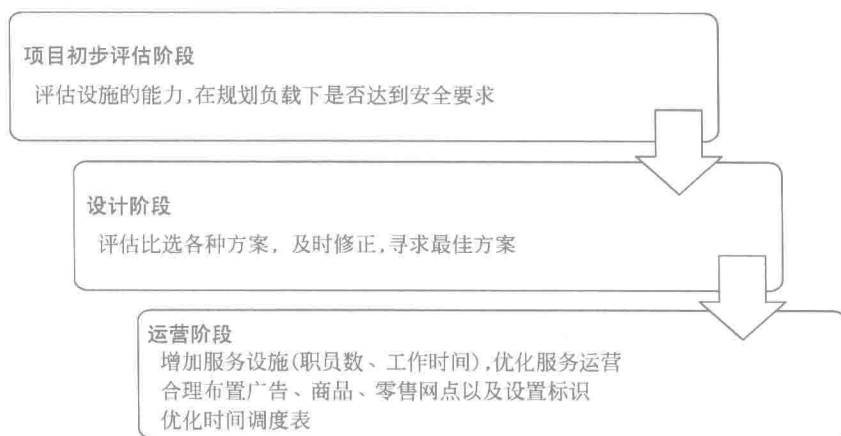


图 1-8 行人交通仿真技术应用于同一场景的不同阶段

划负载下是否能达到安全要求；在新设施的设计阶段，可辅助进行设施优化设计、一体化综合设计、设计校核及验证、空间布局规划、安全及应急疏散评估、出入口规划及布置等工作，此外，还可用于比选备选方案，及时修订，寻求最佳方案；在建设期间，可辅助进行商业机会分析、评估应急应变能力、预防控制风险、人流疏导措施、排队管理、时间评估及运营方案比选等工作；在操作设备的运行维护工作中，可辅助进行交通模式整合、意外事故防范、临时运营措施、售票机布置评估、出入口闸机布置评估等工作；在运行调度上，应用行人模型可增加吞吐量，优化排队队列，优化服务运营（职员数、工作时间），分配标识，优化时间调度表（如列车时刻列表）等。

根据行人交通仿真特点，构建行人交通仿真模型，可对行人交通设施规划、管理、组织方案的实施效果进行分析，进而根据测试以及评估的结果提出相应的优化建议。利用仿真系统不仅可以减少交通组织以及规划方案的盲目性，降低密集行人交通风险，还可以减少实际演练的费用。

## 第四节 行人交通仿真的发展与展望

### 一、行人交通仿真的发展

20世纪50年代,国外学者开始研究行人交通流的理论。Hankin和Wright于1958年调查了伦敦地铁通道的行人流,建立了单方向行人流的速度、密度和流量之间的关系,对行人理论进行了初步的阐述。Carstens和Ring等对行人交通流进行了更进一步的研究,但是采用的处理方法具有一定的经验性。Henderson于20世纪70年代初首次提出采用流体力学模型对行人交通进行分析;Fruin于1972年出版经典著作*Pedestrian Planning and Design*,详细研究了行人流的速度、流量、密度及行人占有空间等特性要素及其相互关系,并将公路交通理论中的“服务水平”(Level of Service)概念引入人群运动的研究。吸引了众多学者对宏观交通特性展开大量的研究。在此基础上,Helbing于90年代提出了目前行人交通仿真商业软件应用较广的社会力模型。美国《道路通行能力手册2000》(HCM 2000)将行人占用空间和行人流量作为服务水平的衡量指标,给出了行进行人和排队等待行人的服务水平标准,研究了行人在相对自由条件下的聚集状态及形成队列的交通行为。

行人交通仿真系统作为交通仿真系统的子系统,相对于其他领域仿真系统的研究起步较晚。对行人交通仿真的研究始于20世纪80年代,人们开始用数学模型描述行人,描述行人的宏观统计特性。90年代计算机技术迅速发展,人们描述复杂系统的能力也逐渐增强,从微观层面上为描述行人交通提供了强有力的支撑,逐渐出现了一系列的交通模型,如流体力学模型、元胞自动机模型(Cellular Automata Model),社会力模型(Social Force Model)、基于智能体的模型(Agent Based Model)等。行人行为模型是进行不同时空尺度的交通仿真的算法核心,是联系现实行人和行人交通仿真的桥梁。经过多年的发展,行人交通仿真模型越来越多,根据其抽象的程度分为以下三类:第一类为宏观模型,即把行人模拟为连续流动介质;第二类为中观模型,介于微观和宏观之间;第三类为微观模型,将行人视为具有一定行为的个体,将个体的行为汇总而得到人群的交通行为,属于当前的主流模型。

国外行人研究的概况如表1-1所示。

表 1-1 国外行人研究分类和概况

研究方法	具体模型	主要贡献者
现象分析		Fruin, 1971 Henderson, 1971 Roddin, 1981 Pauls, 1987 Helbing, 1992 Daamen, Hoogendoorn, 1998 G. Keith. Still, 2000 Kardi Teknomo, 2002

续表

研究方法	具体模型	主要贡献者
宏观模型	气体动力学模型	Henderson, 1971—1974 Helbing, 1998 Hoogendoorn & Bovy, 2000
	流模型	Bradley, 1993; Hughes, 2000
	排队网络模型	Watts, 1987; Lovas, 1994 Thompson & Marchant, 1995
微观模型	基于“力”的模型	Okazaki, Matsushita, 1985 Helbing, Farkas, Molnar, 1999 Kardi Teknomo, 2002
	元胞自动机模型	Gipps & Marksjo, 1985 Blue & Adler, 1997, 2000, 2001 Muramatsu, Tajima & Nagatani, 1999 Ansgar Kirchner, et al., 2003
	离散选择模型	Hoogendoorn, Bovy, 2000 Tobias Kretz, 2007 G. Antonini, M. Bierlaire, M. Weber, 2006
	其他模型	G. Keith. Still, 2000 C. Gloor, L. Mauron, K. Nagel, 2002

随着计算机技术不断进步和发展,各类应用不同行人模型的行人交通仿真软件于 20 世纪末在国外得到了广泛地开发和应用。行人交通仿真商业软件是快速建模的有效工具,且经过这些年的发展其种类和功能也逐渐丰富,如 Legion、AnyLogic、SimWalk、STEPS、Nomad、SimPed、Pedroute/Paxport、Simulex、Micro-PedSim、Exodus、EvacSim、Evacnet 等。上述软件大部分是基于行人微观模型(如社会力模型、元胞自动机模型)开发的,大多数都可以模拟人群的疏散,而能模拟正常人流和疏散人流的微观仿真软件相对较少,主要有 AnyLogic、Legion、Viswalk、SimWalk 和 STEPS。这些软件在使用场景方面各有侧重,在二维或三维显示上各有特色,在行人交通组织、规划、行人设施设计等领域得到了广泛应用。

通过计算机仿真手段,各国已开展了大型活动场地(奥运会场馆、各类型足球赛场)及公共场所(公交车站、地铁车站及枢纽,大型飞机、船舶,大型建筑)等地点的行人交通仿真研究工作,分析行人的行为和交通流特性,进行各类型方案的测试。作为其中的优秀代表,Legion 软件广泛用于铁路、地铁车站、场馆、机场、重大活动场所等人流聚集区域的步行人流模拟。该软件曾在 2000 年悉尼奥运会、2004 年雅典奥运会、2006 年德国世界杯、2008 年北京奥运会、伦敦 2012 年申奥以及纽约地铁规划等项目中得到应用。但是综合考虑软件的仿真效果、软件购置成本、技术水平、建模便捷性等,AnyLogic 越来越受到重视,构建的模型也多种多样,主要集中在地铁站仿真、交通枢纽仿真、多方式仿真和高层建筑物人群疏散等。

另外,国内部分研究机构也自行开发行人交通仿真软件,如中国建筑科学研究院承担的国家“863”课题“城市轨道交通综合交通枢纽数值仿真系统研究”,开发了我国自主创新的第一个城市轨道交通综合交通枢纽仿真原型系统,是基于自主三维图形平台 PKPM 3D 开发的,该系统能实现包括交通枢纽设施三维建模、仿真计算、动画录制等一系列功能,并能计算枢纽中行



人交通换乘距离和换乘时间以及交通流量等关键数据,以辅助设计人员进行枢纽设计。

## 二、行人交通仿真的展望

近年来,行人交通基础理论的不断深入研究和计算机软硬件技术的迅速发展,为交通仿真技术的不断提高和应用系统的进一步开发研究提供了巨大的动力。今后,行人交通仿真将朝着以下方向发展。

### (一) 应用领域不断扩大

行人交通仿真的应用规模和范围将逐步扩大,研究对象将从局部或一种设施的应用发展为综合多种设施的网络仿真系统。目前国内外在该领域开发的模型大多局限于交通流理论,随着仿真方法的进一步成熟,其在运输工程领域将会得到越来越广泛的应用。

### (二) 多方式交通

交通系统由人、车、路、交通设施及所处环境所组成,出行者行为的复杂多样性导致了城市交通系统是一个复杂大系统,系统内各组成要素的行为和状态及其相互之间的作用规律受到多维随机因素的影响,经验模型或数学分析模型往往难以对其进行准确描述,难以进行各种方案比较,这就使得寻找最优解决方案变得非常困难。而基于计算机模拟技术的交通仿真系统就自然成为进行交通分析与评价的一种有效技术手段,在计算机上再现交通流状态的时空变化特性,获得行人交通流、车辆交通流、轨道交通流等分布规律及各交通变量之间的关系,并为复杂交通环境下的各种交通管理方案进行评价和比选,为指导道路交通规划、交通场站接驳设计和大型活动的行人疏散线路设计的制定提供技术支持和依据。

### (三) 虚拟现实

行人交通仿真和虚拟现实的结合,使得模型朝着三维、动画、多媒体的方向发展,仿真结果的表现形式将更加形象、逼真和丰富化,而且允许用户创建和体验虚拟世界的行人交通系统,融入多元信息整合的交互式三维动态实景。以地铁站为例,在投入使用前,利用三维虚拟仿真技术模拟列车运行时的状态、设施设备运行情况及周边环境情况,检查车站运营;还可以利用计算机更改班次的数据,观测列车因数据变化而受到的联动影响,有效地规避列车正式投入使用后的风险,如因班次过少导致站内滞留的行人流量过大,或者班次过多导致相关资源的浪费,同时也提高相关工作人员应对突发情况的处理能力。

### (四) 室内导航

传统的室内导航是指让置身于建筑物内的行人仍能利用精确的定位功能确定自己的位置并找到想去的地方,可以使用室内导航轻松找到一些大型建筑的指定场所,如卫生间、ATM机或指定商家等。而随着行人交通仿真的发展,可实现与室内导航的结合,实现更高级的功能,如在确定目的地的情况下动态推荐较舒适(评价指标可为行人空间占有量等)的行走路径。