

**摘要** 在城市铁路客运站换乘评价指标体系研究的基础上,利用离散仿真软件 **Arena** 建立了换乘仿真模型,开发了旅客生成、信息服务、通道、楼梯、连接设施、检票等功能模块。以汉口火车站为例,建立了仿真模型。通过现状仿真实验,得出换乘水平等级为 **D**。提出汉口火车站换乘改造方案。通过对改造方案的仿真实验,得出换乘水平为 **B**,表明改造方案有助于提高换乘水平。

**关键词** 铁路客运站;换乘;评价;仿真

城市轨道交通客运站是城市内外交通衔接的重要结点,其换乘系统的合理设计,可以提高旅客换乘效率,缩短换乘时间,加快客流的疏散,使客运站甚至是整个城市交通运转更为顺畅。文献[1]对旅客换乘交通方式的选择进行了研究,文献[2]提出了基于 **PUSH** 概念的换乘信息诱导方法,文献[3]和[4]对换乘评价体系进行了研究,文献[5-7]对换乘衔接进行了评价研究。本文在城市铁路客运站换乘评价指标体系研究的基础上,结合离散仿真软件 **Arena** 建立了换乘仿真模型,用计算机模拟仿真的方法对城市轨道交通客运站换乘系统进行评价,可以为城市轨道交通客运站换乘系统的建设或改善提供帮助。

### 1 城市轨道交通客运站换乘评价指标体系

城市轨道交通客运站是对外交通和市内交通的衔接点,集合了多种交通方式,是一个复杂的系统。对铁路客运站换乘系统的评价可以从换乘的便捷性、通畅性和舒适性 3 个方面来分析。

1) 换乘便捷性。旅客在枢纽内进行换乘时,换乘时间越短,表示换乘越便捷,反之则表示换乘越不便捷。换乘的便捷性是评价换乘系统的一个重要指标。便捷的换乘有利于旅客快速方便地疏散到达目的地。反映换乘便捷性的指标有最大换乘时间和平均换乘时间。

2) 换乘通畅性。旅客在换乘过程中,如果换乘不通畅,势必影响客运站客流的及时疏散,给客运站的稳定运转带来影响。换乘的通畅性是反映换乘过程中旅客换乘的通畅程度,与客运站内部换乘系统的几何设计和服务设施有关,比如通道的几何设计,检票口的检票速度等。反映换乘通畅性的指标有检票口最大排队长度,通道人均占用面积。

3) 换乘舒适性。换乘舒适性是反映旅客换乘过程的舒适程度。铁路旅客通常携带有行李,如果行李较大较沉,旅客在换乘过程遇到楼梯时,移动就会不方便、不舒适。自动扶梯和垂直升降电梯的应用可以改善这种状况,能提高换乘的舒适性。反映换乘舒适性的指标为自动化楼梯在所有楼梯中所占的比例。

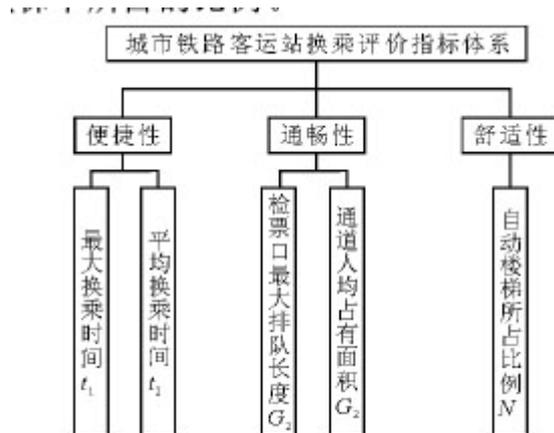


图 1 城市轨道交通客运站换乘评价指标体系

借助国内外有关文献及资料,结合我国铁路客运站实际情况,拟定评估指标值分级范围表,如表 1 所列。

指标可分为越大越优型和越小越优型 2 种,记越大越优型指标集为 **H1**,越小越优型指标集为 **H2**。若指标 **i** 的值 **zi** 处于表 1 所列某区间内,并假设该区间的临界最大值为 **Rmax**,临界最小值为 **Rmin**,且对应的评价等级区间的临界最大值为 **Lmax**,临界最小值为 **Lmin**,则 **zi** 对应的评价指数 **Ii** 可由式(2)得到。



$$M = \begin{cases} R_{\max} - z_i, z_i \in H_1 \\ z_i - R_{\min}, z_i \in H_2 \end{cases} \quad (1)$$

$$I_i = L_{\max} - M \times \frac{L_{\max} - L_{\min}}{R_{\max} - R_{\min}} \quad (2)$$

设指标  $i$  对应的权重为  $w_i$ , 则综合评价指数  $I$  可由公式(3)得到。

$$I = \sum_i w_i I_i \quad (3)$$

最后,根据所得到的综合评价指数  $I$  所对应的评价等级、分级区间来确定综合评价等级。

表 1 评价指数值分级范围表

指标值 $z_i$	权重	等级				
		A	B	C	D	E
		(0.8, 1.0]	(0.6, 0.8]	(0.4, 0.6]	(0.2, 0.4]	[0, 0.2]
$t_1/\text{min}$	0.2	(0, 3]	(3, 6]	(6, 10]	(10, 15]	(15, 90)
$t_2/\text{min}$	0.4	(0, 2]	(2, 4]	(4, 7]	(7, 10]	(10, 60)
$G_1/\text{人}$	0.2	(0, 5]	(5, 10]	(10, 15]	(15, 20]	(20, 200)
$G_2/\text{m}^2$	0.1	(10, 100]	(5, 10]	(2, 5]	(1, 2]	(0, 1]
$N$	0.1	(0.9, 1]	(0.6, 0.9]	(0.4, 0.6]	(0.2, 0.4]	[0, 0.2]

## 2 基于 Arena 建立仿真模型

Arena 仿真软件是美国 System Modeling 公司于 1993 年开始研制开发的新一代可视化通用交互集成仿真环境[8]。采用面向对象的建模思想,可以利用 Arena 软件搭建所研究系统中的各个独立单元模块,然后根据需要任意组装各个模块形成整体。因此,模块化的仿真设计具有通用性,适合不同情况的同类型系统。

### 2.1 元素分析

仿真系统的组成部分可称之为元素,元素即现实系统中的各个组成部分,同时也是仿真模型的组成部分。如旅客、换乘信息服务传播设施、通道、楼梯、检票口等均是模型的元素。

### 2.2 输入及输出参数

对于本次研究仿真建模而言,输入参数大多是不同属性旅客所占的比例、枢纽的内部结构尺寸、诱导标志等设施对旅客移动速度的影响、检票服务时间等。而输出参数则是评价中最关心的换乘时间,换乘距离和排队人数等。

### 2.3 功能模块开发

仿真系统在建立过程中,一般是将所研究的系统拆分为若干部分,然后对每个部分单独设计,建立模块,最后将模块组装起来,形成整体模型,这就是模块化的建模思想。本次仿真研究建立的模型中共包含了 5 个功能模块,分别为旅客生成模块、信息服务模块、通道模块、楼梯模块以及检票模块。这 5 个模块按流程进行组合,形成整体化的模型。

## 3 以汉口火车站为例进行仿真评价

汉口火车站是典型的站外平面式换乘,汉口站改造方案已经通过政府批准,预计将在 2009 年底完成,届时地铁将纳入到汉口火车站换乘一体化之中。目前汉口火车站主要的换乘交通方式是出租车、公共汽车、私人及社会车辆、长途汽车等。

### 3.1 现状评价

汉口火车站离站换乘系统主要组成部分包括 4 个站台、地下换乘通道、连接站台与地下换乘通道的楼梯及检票口等。



根据汉口火车站现状旅客换乘基本流程(见图 2)建立了仿真模型,模型中的旅客生成模块示意图如图 3 所示。将调查采集到的现状输入参数输入仿真模型并运行仿真程序,所得结果如表 2 所列:

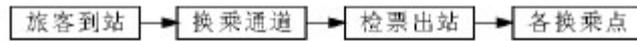


图 2 汉口火车站现状旅客换乘基本流程图

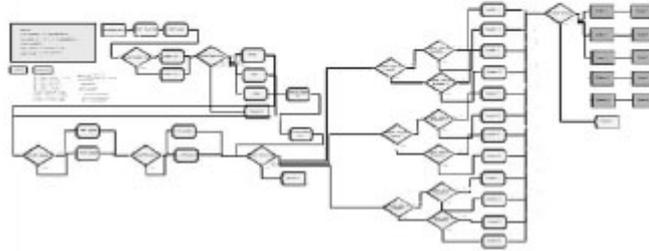


图 3 仿真模型旅客生成模块示意图

表 2 汉口站现状换乘水平仿真评价表

评价指标	评价等级	评价指数	综合评价指数	综合评价等级
$t_1$	C	0.415	0.368 3	D
$t_2$	C	0.493		
$G_1$	E	0.176		
$G_2$	C	0.529		
$N$	E	0		

通过表 2 可知汉口站离站换乘仿真评价等级为 D 级,换乘的通畅性和舒适性等级较低,系统的主要瓶颈在于检票口及自动扶梯数量。旅客换乘其他交通方式前必须先出站然后才能前往换乘点,换乘通道聚集了大量旅客,检票口通行能力有限,排队检票的人数越来越多,影响了整体换乘的流畅性,增加了旅客的换乘时间。

### 3.2 改造方案

改造方案的重点在于构建立体换乘系统,根据所选择换乘交通方式的不同,对旅客进行预先分流,让旅客经由不同的专项通道出站,这种出站方式不但解决了单一换乘通道存在的拥挤等问题,同时还能快速引导旅客前往换乘地点。

根据改造方案旅客离站换乘流程重新建立仿真模型,将改造方案的输入参数输入至仿真模型并运行,所得结果如表 3 所示:

通过表 3 可知改造后的汉口站离站换乘仿真评价等级为 B 级,各项评价指标及评价等级均有所提高,仿真结果表明改造方案对于提高换乘水平是有效的。



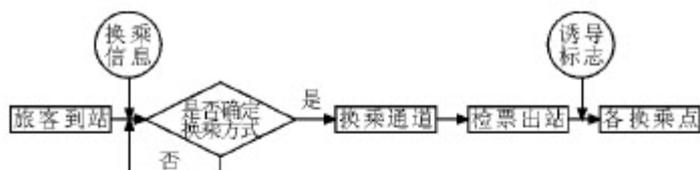


图 4 改造方案旅客离站换乘流程图

根据改造方案旅客离站换乘流程重新建立仿真模型,将改造方案的输入参数输入至仿真模型并运行,所得结果如表 3 所示:

表 3 改造方案换乘水平仿真评价表

评价指标	评价等级	评价指数	综合评价指数	综合评价等级
$t_1$	C	0.59	0.711	B
$t_2$	B	0.787		
$G_1$	C	0.56	0.664	B
$G_2$	B	0.664		
$N$	A	1		

#### 4 结束语

城市铁路客运站换乘系统是复杂的多级排队系统,传统的评价方法通常采用数学公式推算,不但计算难度大,而且结果不甚理想。计算机仿真综合考虑各种因素相互之间的交叉影响,并且利用仿真手段可以对不同方案进行仿真模拟,这是现实中无法或很难办到的。本文利用离散仿真软件 Arena 开发了一套简化的城市铁路客运换乘评价仿真模型,仿真结果表明该模型有一定的实用性,可为铁路客运站换乘评价提供帮助。

#### 参考文献

- [1] Xu Liangjie, He Dan, Zhao Yueping. Research on model of traffic mode choices in urban railway passenger hub based on combined RP/SP data[C]. Management Track within WiCOM: 2008 International Symposium on Information Systems & Management (ISM2008), Dalian, China: Dalian University of Technology, 2008
- [2] 徐良杰,李兆康,凌 镭,等.基于 PUSH 的铁路客运站离站换乘诱导信息分层研究[J].武汉理工大学学报,2008(9):104-107
- [3] 刘小明,沈龙利,杨孝宽.城市客运枢纽综合评价指标体系研究[J].中国公路学报,1995,8(1):97-102
- [4] 覃 煜,晏克非,赵 童.城市综合客运交通体系中的换乘研究[J].长沙交通学院学报,2000,16(2):67-72
- [5] 张发才.铁路客运与城市交通运营组织衔接研究[D].南京:东南大学,2006
- [6] 李 锐.以城市客运站为主的交通枢纽换乘研究[D].北京:北京交通大学,2008
- [7] 徐良杰,李兆康,王淑琴.城市铁路客运站交通衔接评价方法与模型[J].武汉理工大学学报,2008(8):105-108
- [8] Kelton W D. Simulation with arena[M]. The McGraw-Hill Companies, 2002

