

# VISUM 模型在无锡市 BRT 线网规划中的应用

汪 洋 陈小鸿

(同济大学交通运输工程学院, 上海 200092)

**摘要** 本文以无锡快速公交(BRT)规划研究为背景,结合实际应用软件,从 VISUM 模型公交客流分配的结构、无锡市现状公交线网客流分配模拟以及无锡市规划年多模式公交线网客流分配模拟等角度,对 VISUM 模型在无锡市 BRT 线网规划中的应用进行分析。

**关键词** 公交线网规划 公交客流分配 巴士快速公交

## The Application of VISUM Modeling Software in the Wuxi Bus Rapid Transit Planning

WANG Yang, CHEN Xiaohong

(School of Transportation Engineering, Tongji University, Shanghai 200092)

**Abstract** Based on Wuxi bus rapid transit planning, the paper discusses the application of the Visum software in the Wuxi bus rapid transit planning. First, the paper analyses the structure of the passenger volume assignment simulation model in the Visum software. Then the passenger volume assignment simulation of Wuxi public transportation network at present and the planning year is further highlighted according the analysis of the results and the precision.

**Key words** public transportation network planning, passenger volume assignment, bus rapid transit

## 1 引言

公交客流分配是公交线网规划的重要组成部分,其分配结果是评价公交线网规划的重要标准。切合实际的公交客流分配模拟是公交线网规划获得成功的重要前提和保证。公交客流分配本身是一件比较复杂、难度较大的工作,但依托计算机仿真技术却能相对容易地实现公交客流分配模拟,同时模拟精度有一定的保障。因此,在目前国内外公交线网规划中,众多的交通仿真软件得到了越来越多的应用。

在无锡市快速公交(BRT)线网规划中,依托德国 PTV 公司开发的 VISUM 宏观交通仿真软件中的公交模块,建立无锡市现状以及规划年公交模型。采用模型中基于线路发车时刻表的分配方法,完成对无锡市现状以及规划年公交模型客流分配较精确完整的系统模拟。客流分配模拟结果最终作为 BRT 线网规划评价的基础。在无锡市 BRT 线网规划过程中,VISUM

---

作者简介:汪洋,男,1982年生,男,安徽望江人,同济大学交通运输工程学院研究生。

软件在客流需求预测、客流分配模拟以及线网规划评价等方面发挥了关键的作用。

## 2 VISUM 软件公交模型结构<sup>[1-2]</sup>

根据公交线网规划的不同层次,公交客流分配一般有三类方法:基于公交系统的分配方法(the transport system-based procedure)、基于公交线路的分配方法(the headway-based procedure)以及基于线路发车时刻表的分配方法(the timetable-based procedure)。其中,基于线路发车时刻表的分配方法考虑实际的公交发车时刻表和站间时刻表,确定每次公交出行的具体出发、到达时间,从而保障了客流分配模拟的精度,最适合于对公交线网进行精确完整的系统模拟和评价。因此,无锡市 BRT 线网规划中采用这种公交客流分配方法,其模型结构如图 1 所示。

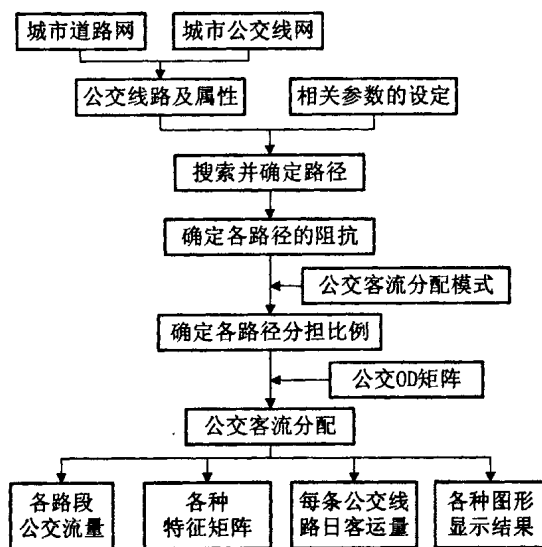


图 1 基于线路发车时刻表的分配方法模型结构图

从图 1 可以看出,基于线路发车时刻表的分配方法在确定了基本交通参数之后,首先需要进行公交出行的路径搜索,然后明确路径阻抗和公交分配模式,进行公交客流分配<sup>[3]</sup>。

路径搜索是该分配方法的关键步骤之一,该分配方法拥有两种模块搜索路径:发散+集中模块和最短路径模块。发散+集中模块最终确定的路径均是阻抗较小、乘客选择较多的路径,但也不仅仅是时间、空间意义上的最佳路径。而最短路径模块最终确定的是时间、空间意义上的最佳路径。

客流分配模式是指 Kirchhoff 模式、Logit 模式、Box-Cox 模式以及 Lohse 模式。Kirchhoff 模式中各路径阻抗的相对比例对分配结果起决定作用;Logit 模式中各路径阻抗绝对差值对分配结果影响更大;Box-Cox 模式综合了 Kirchhoff 模式、Logit 模式的优缺点,通过参数  $\tau$  来控制路径阻抗相对比例与绝对差值对分配结果的影响,它的两种极端情形分别是 Kirchhoff 模式、Logit 模式;Lohse 模式将路径阻抗与最小路径阻抗联系考虑分配。

### 3 无锡市现状公交客流分配分析

#### 3.1 无锡市现状 VISUM 公交模型

基于无锡九龙公共交通股份有限公司提供的资料以及充分、详细的实地调查,运用德国 PTV 公司的 VISUM 宏观交通规划软件建立无锡市现状 VISUM 公交模型。模型研究范围内公交线网主要特征参数如下表所示。

表 1 无锡市现状 VISUM 公交模型特征参数表

特征参数	特征参数数量	特征参数	特征参数数量
布局公交线路的道路长度(km)	414.5	节点	1091
公交线网总长度(km)	1220.2	公交车站	623
研究范围总面积(km <sup>2</sup> )	227	路段	2612
公交线网密度(km/km <sup>2</sup> )	1.83	公交线路	102
公交复线系数	2.94	交通小区	164

#### 3.2 无锡市现状公交运行模拟分析

##### 3.2.1 无锡市现状 VISUM 公交模型模拟结果

模型模拟结果主要包括公交客流分配模拟结果、公交出行模拟结果以及整个公交线网的平均指标。

(1) 公交客流分配模拟结果分析。模型模拟分析范围内每天公交出行总量 538939 人次,仿真日客流总量 688276 乘次,平均换乘率 1.28。无锡市公交出行需求结构模拟结果如图 2 所示。

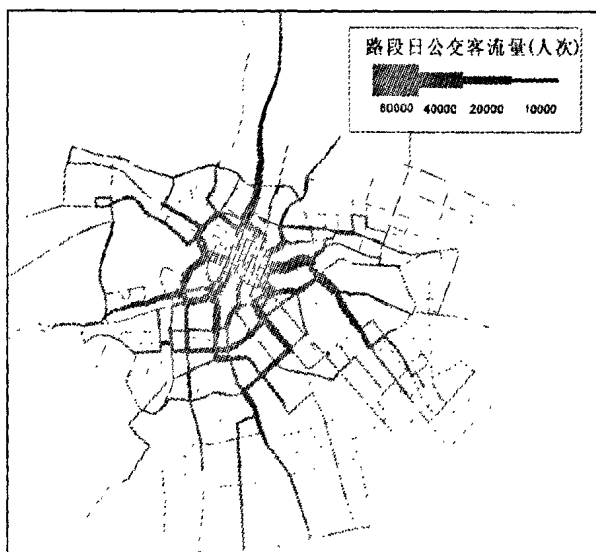


图 2 基于发车时刻表的分配方法模拟的无锡市公交出行需求结构

(2) 公交出行模拟结果分析。表 2 按照换乘情况对公交 OD 进行了分类。从表中可以看出直达 OD 总量占绝大部分,仅有约 1/4 的居民公交出行需换乘一次,一次以上换乘更少。

表 2 现状公交出行换乘情况模拟结果表

OD 总量	直达 OD 总量	一次换乘 OD 总量	两次换乘 OD 总量	两次以上换 OD 总量
538 939	397 495	133 968	7 059	417
100%	73.8%	24.8%	1.3%	0.1%

### (3) 线网平均指标模拟情况分析

无锡市现状 VISUM 公交模型模拟的线网主要平均指标如表 3 所示。

表 3 现状公交线网主要指标模拟结果表

评价指标	指标值	评价指标	指标值
一次乘车平均骑行距离(km)	5.35	一次出行平均车内距离(km)	6.8
一次乘车平均骑行时间(min)	16.8	一次出行平均车内时间(min)	21.3
一次乘车平均骑行速度(km/h)	19.1	一次出行平均骑行速度(km/h)	19.1
平均换乘等待时间(min)	1.9		

### 3.2.2 无锡市现状 VISUM 公交模型模拟精度分析

对无锡市现状 VISUM 公交模型模拟精度分析主要通过对比模型仿真得到的结果和实际情况,采用相对误差法和 GEH 校核法,从公交线网精度、主要公交走廊精度、关键公交线路精度以及公交线路精度等角度进行分析。

(1) 公交线网精度分析。模型模拟分析范围内所有公交线路仿真日客流量 688 984 乘次,实际日客流量 693 244 乘次,相对误差 0.6%,GEH 值 5.1;同时,所有公交线路日客流量绝对误差总和为 84 735 乘次,占实际日客流量的 12.2%。从整个公交线网层面分析,模型模拟结果满足精度要求。

(2) 主要公交客流走廊精度分析。公交客流分配模拟经验表明,全线网的精度控制在 30%以内基本符合要求,但可以对主要公交客流走廊进行进一步的拟合。同时,对主要公交客流走廊的精确模拟可作为下一步 BRT 线路工程设计的依据。无锡市主要公交客流走廊的模拟结果如表 4 所示。

表 4 主要公交客流走廊模拟结果表

公交客流走廊名称	太湖大道	青祁路	盛岸路	凤翔路	江海路	锡澄路	锡沪路	学前东路	清扬路	平均值
相对误差(%)	2.3	3.4	1.3	0.9	2.3	22.5	7.7	10.1	3.7	6.0
绝对误差值与实际日客流量之比(%)	5.5	3.4	6.5	9.0	5.1	25.4	8.5	11.2	5.6	8.9
GEH 值	5.4	6.6	3.1	15.6	5.1	43.9	9.4	34.3	11.5	15.0

从表 4 可看出,主要公交客流走廊拟合情况良好。从相对误差角度分析,基本控制在 10%以内,平均值仅为 6.0%;从绝对误差角度分析,绝对误差值与实际日客流量之比平均仅

为 8.9%，低于分析所有公交线路时的 12.2%；从 GEH 分析方法考虑，GEH 平均值控制在 15.0。三种分析方法的结果均表明，主要公交客流走廊的模拟符合精度要求。

(3) 关键公交线路精度分析。无锡市日客流量大于 7000 人次的 36 条关键公交线路，线路数量仅占 33.6%，但日客流量达到 49.7 万人次，占公交客流总量的 71.7%。有必要对这些关键线路模拟情况进行精度分析，具体分析结果如表 5 所示。

表 5 关键公交线路客流量分析结果表

关键公交线路类型(日客流量)	7000~10000	10000~20000	20000 以上	合计
线路数量	10	21	5	36
线路实际日客流量	96822	269834	130094	496750
模型仿真日客流量	98796	295721	92034	486551
相对误差( $\delta$ )	2%	9.6%	29.3%	2.1%

从表 5 可以看出，36 条关键公交线路仿真日客流量 48.7 万人次，相对误差仅为 2.1%，其中，日客流量 7000~10000、10000~20000 的关键公交线路相对误差分别为 2%，9.6%，模拟情况很好。日客流量 20000 以上的关键公交线路相对误差达到 29.3%，模拟情况一般，但考虑到仅有 5 条这样的线路，依然可以接受。从关键公交线路的角度分析表明模型是可靠的。

(4) 公交线路精度分析。在模型满足以上精度要求的前提下，对每条公交线路进行误差分析能够更加准确的了解模型的模拟精度。模型分析范围内公交线路模拟结果分析采用相对误差法和 GEH 校核法，结果如表 6、表 7 所示。

表 6 公交线路客流量相对误差分析结果表

相对误差( $\delta$ )	公交线路数量(条)	比例(%)	实际日客流量(人)	比例(%)
$\delta < 10\%$	66	65%	452217	65%
$10\% < \delta < 20\%$	20	19%	145941	21%
$20\% < \delta < 30\%$	6	6%	55973	8%
$30\% < \delta < 50\%$	7	7%	34984	5%
$\delta > 50\%$	3	3%	4129	1%
合计	102	100%	693244	100%

从表 6 可以看出，无论是从公交线路数量还是从实际日客流量分析，相对误差 < 10% 都占到了 65%。84% 的公交线路、86% 的实际日客流量相对误差在 20% 以内，仅有 3% 的公交线路、1% 的实际日客流量相对误差大于 50%。这表明利用相对误差的方法分析，公交线路日客流量模拟结果满足精度要求。模型比较真实的反映了无锡市现状公交线网。

表 7 公交线路客流量 GEH 值分析结果表

GEH 值	公交线路数量	比例	实际日客流量(人)	比例
GEH < 5	49	48%	243753	35%
5 < GEH < 10	31	30%	210635	31%
10 < GEH < 20	11	11%	95873	13%
GEH > 20	11	11%	142983	21%
合计	102	100%	693244	100%

从表 7 可以看出,78%的公交线路、66%的实际日客流量的 GEH 值小于 10,仅有 11%的公交线路、21%的实际日客流量的 GEH 值大于 20。这说明利用 GEH 值的方法分析,公交线路日客流量模拟结果能够满足精度要求,模型是可信的。

综合对公交线网、主要公交客流走廊、关键公交线路以及公交线路的精度分析结果,可以看出本次规划建立的无锡市现状 VISUM 公交模型能够比较真实地模拟无锡市现状公交的运行情况,模拟得到的结果满足精度要求、真实、可靠。同时,模型确定的相关参数可以作为无锡市规划年公交模型参数的确定依据。

## 4 无锡市现状公交线路调整

现状公交线路调整是国内 BRT 系统规划的一个重要内容,然而无论是已经建成的北京、杭州 BRT,还是国内其他正在规划的 BRT 系统,对此并没有予以足够的重视。尽管公交线路整合存在经营者部门利益问题,实际操作困难,但从整合公交资源,降低公交服务的社会成本方面来看,在规划 BRT 线网时,公交线路调整必须予以足够的重视<sup>[4]</sup>。

现状公交线路调整是结合 BRT 线路规划,以实现 BRT 网络与常规公交网络整体优化为目的,并非仅以无锡市常规公交线网的优化为目的,具体线路调整方式主要有:

- (1) 切断一部分与 BRT 产生竞争的线路;
- (2) 撤销与 BRT 直接形成竞争的线路;
- (3) 局部调整线路避免与 BRT 形成竞争;
- (4) 设置接驳线路为 BRT 提供驳运客流。

基于初步设计的 5 条 BRT 线路、站点,对现状公交线路进行调整,共切断 4 条线路、撤销 9 条线路,局部调整 1 条线路、增加 1 条接驳线路。

## 5 无锡市规划年公交客流分配分析

### 5.1 无锡市规划年 VISUM 公交模型

由于研究偏重于模型技术在实际工程项目中的应用,这里使用现状 OD 进行分析,来评价 BRT 线网。在无锡市现状 VISUM 公交模型的基础上,增加 BRT 线路、站点以及接驳线路、输入现有公交线路的调整结果,同时假定常规公交线路其他特性保持不变,对无锡市现状 VISUM 公交模型的参数进行微调,最终得到无锡市规划年 VISUM 公交模型。BRT 线路以及接驳 1 号线的运营参数如表 8 所示。

表 8 BRT 线路与接驳线路运营参数表<sup>[5]</sup>

线路名称	运营时间	发车间隔(min)
1 号线	05:30—22:00	5
2 号线	06:00—21:00	5
3 号线	06:00—21:00	5
4 号线	06:00—21:00	5
5 号线	05:30—22:00	5
接驳 1 号线	05:30—22:00	5

## 5.2 无锡市规划年公交运营模拟结果

与无锡市现状 VISUM 公交模型模拟结果分析一样,规划年年模型模拟结果主要包括公交客流模拟结果、公交出行模拟结果以及整个公交线网的平均指标。

### 5.2.1 公交客流分配模拟结果分析

模型模拟规划年分析范围内仿真日客流总量为 710790 乘次,平均换乘率 1.32,相比现状均略有增加,这主要是因为 BRT 投入运营后会导致更多换乘。模拟结果表明,规划年 BRT 投入运营后,在公交出行总量相同的情况下,公交日客流量相对现状增加 2 万多人次,平均换乘率略有提高。同时每位乘客平均乘行时间节省 2.8min,占现状平均乘行时间的 16.7%。这表明 BRT 的运营会导致公交日客流量增加、居民出行平均乘行时间明显缩短。同时,居民对换乘带来的出行时间节省的敏感性会增强。这从一个侧面说明整个公交系统对居民出行的吸引力必然会增加,居民出行将会更多的选择公交。

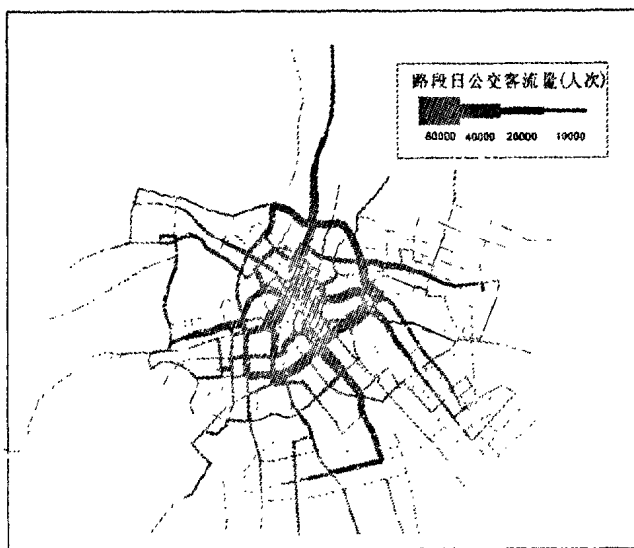


图 3 基于发车时刻表的分配方法模拟的无锡市规划年公交出行路网分布结构

对比图 2, BRT 线网规划实施后,无锡市居民公交出行在路网上的分布结构将发生一定的变化。公交出行将向规划实施 BRT 的道路上集中,其中尤以太湖大道最为明显。

规划年年 BRT 投入运营后,常规公交线路与 BRT 线路特性如表 9 所示。

表 9 2015 年常规公交、BRT 线路特性表

公交线路	仿真日客流量(乘次)	百分比(%)	平均乘距(km)	平均乘行时间(min)
常规公交线路	470150	66	4.66	14.5
BRT 线路	240640	34	6.09	12.9
合计	710790	100	5.15	14.0

表 10 中数据表明, BRT 线路将承担 1/3 的公交客流。公交线路调整后的常规公交线路仿真日客流量为 470150 乘次,而调整前这些公交线路实际日客流总量为 538958 乘次。这表明在公交出行总量不变的前提下,规划年常规公交的服务水平将由于线路实际客流量的减少而较现状有所提高。从另一个角度看,在保持常规公交服务水平时,规划年公交出行总量肯定

会增加。综合来说,BRT投入运营有利于改善公交的形象、提高公交的服务水平以及提升公交的竞争力。同时,常规公交线路、BRT线路乘客平均乘行距离和平均乘行时间表明两者在公共交通一体化系统中功能分工明确。常规公交承担中短距离的出行,保持公共交通的出行便利;BRT承担中长距离的客流,保证快速、大容量。常规公交线路与BRT线路的协调发展有利于提高公共交通服务的可靠性与竞争能力。

### 5.2.2 公交出行模拟结果分析

模型仿真得到的2015年公交出行模拟情况与现状模拟情况对比如表10所示。对比现状公交出行情况,2015年直达公交出行总量减少约12000人次,一次换乘公交出行总量增加近2000人次,两次以上换乘公交出行总量变化不大,而两次换乘公交出行总量约增加10000人次。换乘日客流量的增加主要是由于两次换乘公交出行总量增加而导致。而增加的两次换乘公交出行的路径主要是常规公交—BRT线路—常规公交模式。这必然导致整个公交线网的公交出行时间较现状减小,公交服务水平明显提高。

表 10 规划年与现状公交出行模拟情况对比表

年份	现状		2015年	
	OD量(人次)	百分比	OD量(人次)	百分比
直达OD	397495	73.8%	385476	71.5%
一次换乘OD	133968	24.8%	135878	25.2%
两次换乘OD	7059	1.3%	16782	3.1%
两次以上换乘OD	417	0.1%	803	0.2%
合计	538939	100%	538939	100%

### 5.2.3 线网平均指标模拟情况分析

无锡市规划年VISUM公交模型模拟的线网主要平均指标与现状情况对比如表11所示。

表 11 2015年与现状公交线网平均指标模拟情况对比表

评价指标	指标值	
	现状	规划年
一次乘车平均乘行距离(km)	5.35	5.15
一次乘车平均乘行时间(min)	16.8	14.0
一次乘车平均乘行速度(km/h)	19.1	22.1
一次公交出行平均车内距离(km)	6.8	6.8
一次公交出行平均车内时间(min)	21.3	18.6
一次公交出行平均公交乘行速度(km/h)	19.1	22.1
平均换乘等待时间(min)	1.9	2.0

仿真结果表明,规划年BRT投入运营后,居民一次乘车平均乘行距离略有减少,但一次乘车平均乘行时间减少2.8min,约占现状的17%,相应的一次乘车平均乘行速度从19.1km/h增加到22.1km/h。

一次公交出行平均车内乘行距离变化不大,但平均车内时间减少2.7min。2015年一次公交出行平均公交乘行速度达到22.1km/h,比现状提高了15.2%。乘客换乘一次平均等待



时间变化不大。

BRT投入运营后,线网公交出行全天总时间将减少 28 389h,节省时间效果比较明显。同时,BRT线路承担的公交出行相比现状,出行时间减少 36%,可见 BRT 投入运营,对于这部分公交出行的效益非常明显。

## 6 结语

交通仿真规划软件在实际的工程项目中的应用是越来越广泛。但目前交通仿真规划软件的应用中也存在着一些问题,特别严重的问题是在将软件应用到实际项目之前并没有对软件内部模型构造、参数设置、能够发挥的功能认识不清楚。同时,对于仿真结果没有一个合适的校核方法。这些问题都限制了交通仿真规划软件在实际工程项目中所发挥的作用。

本文对 VISUM 软件在无锡市 BRT 线网规划中的实际应用进行了回顾,对 VISUM 软件在公交客流分配模拟与线网规划方案评价方面的作用进行了比较具体的分析。同时,在模型模拟结果精度分析中,引入线路日客流量作为校核的指数,利用相对误差法和 GEH 校核法,从公交线网、关键公交走廊、关键公交线路、所有公交线路日客流量模拟结果精度分析的角度,完成了交通仿真规划软件模拟结果校核。这对于交通仿真规划软件在实际中的应用有借鉴意义。

### 参考文献

- [1] PTV. VISUM User Manual Version 7. 5. December 2004.
- [2] PTV. VISUM User Manual Version 9. 2. April 2001.
- [3] 陈小鸿,汪洋,黄肇义. 公交客流分配模拟技术方法探讨[J]. 上海理工大学学报,2005,(增刊):100-105.
- [4] 陈小鸿,黄肇义,汪洋. 无锡市快速公交体系研究[R]. 上海:同济大学交通运输工程学院,2006.
- [5] 陈小鸿,黄肇义,汪洋,等. 无锡市快速公交线网规划研究[R]. 上海:同济大学交通运输工程学院,2005.