

广州快速公交线路客流特征和换乘效率研究^{*}

何佳利, 靳文舟, 叶钦海

(华南理工大学 土木与交通学院, 广东 广州 510640)

摘要: 以广州快速公交(BRT)系统公交线路为研究对象,选择客流时间分布特征、站台集散量、车辆满载率、平均乘距、方向不均衡系数及免费换乘率等指标对客流特征进行计算分析,并针对广州 BRT 系统半开放、半封闭的特性讨论免费换乘问题,提出了基于 IC 卡信息匹配乘客出行起讫点的方法,通过获取乘客选择换乘路径信息优化 BRT 系统运营组织及线路运力配置计划,提升运营管理水平,同时为免费换乘补贴提供决策支持。

关键词: 城市交通;快速公交(BRT);客流特征;换乘效率

中图分类号: U491.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2017)01-0022-05

随着城市的快速发展,机动车出行日益增加,造成城区道路不堪重负。为了缓解日益增长的居民出行需求与有限的道路资源之间的矛盾,发展公共交通系统必不可少。

快速公交(BRT)系统是介于快速轨道交通与常规公交之间的新型公共客运系统,它既具有轨道交通的封闭专用运营的快速特性,又具有常规公交灵活便利的快捷特性。

1 广州 BRT 系统

广州 BRT 系统与全封闭式的普通 BRT 系统不一样,其是半开放、半封闭的灵活式的 BRT 通道走廊,BRT 车辆可自由进出走廊。

由于广州 BRT 通道走廊的特殊性,广州 BRT 公交客流的出行特征与普通 BRT 公交和常规公交不同。从广州 BRT 线路出行的起讫点来分,广州 BRT 系统的线路出行可分为 4 种类型(见图 1)。

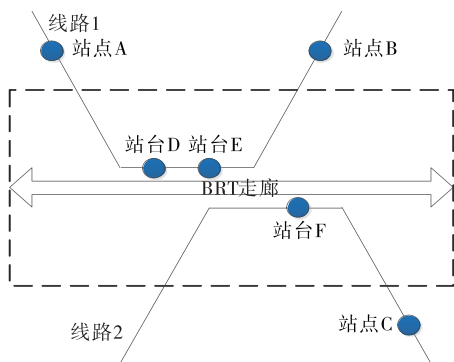


图 1 广州 BRT 系统示意图

(1) 普通站点—普通站点。乘客出行的起讫点都位于 BRT 系统的普通站点。包括两种出行情况:经过 BRT 系统的通道走廊,但没有在通道内上下车(站点 A 至站点 B);在 BRT 走廊内经过 1 次以上免费换乘(站点 A 至站点 C)。

(2) 普通站点—BRT 站点。乘客出行的起讫点分别位于 BRT 系统的普通站点和 BRT 站点。上车站点位于 BRT 走廊外,下车站点位于 BRT 走廊内,包括一条线路直达出行和换乘出行(站点 A 至站点 D、站点 A 至站点 F)。

(3) BRT 站点—普通站点。乘客出行的起讫点分别位于 BRT 系统的 BRT 站点和普通站点。上车站点位于 BRT 走廊内,下车站点位于 BRT 走廊外,包括一条线路直达出行(站点 D 至站点 B)和换乘出行(站点 D 至站点 C)。

(4) BRT 站点—BRT 站点。乘客出行的起讫点都位于 BRT 系统的走廊通道内,包括一条线路直达出行(站点 D 至站点 E)和换乘出行(站点 D 至站点 F)。不过广州 B1 等线路贯穿整个 BRT 走廊,这种出行类型需换乘的情况较少,可认为基本不存在换乘行为。

2 广州 BRT 公交客流出行特征

公交客流出行特征分析指标主要分为客流相关指标和客流空间分布指标。客流相关指标包括客流量指标(站点客流量、线路客流量和客流方向不均衡系数等)和客流换乘统计指标(平均换乘系数和换乘

^{*} 基金项目:国家自然科学基金资助项目(61174188)

率等)。客流空间分布指标主要是指乘客出行 OD 矩阵。

2.1 广州 BRT 系统总体客流情况

如图 2 所示,除 2 月份外,广州 BRT 系统其他各月的日均客流量基本能达到 70 万人次/d。2 月份的日均客流量为全年的低谷,大大低于其余各月的客流量,这是因为春节假期的到来,大部分企业和单位都处于放假状态,广州市的外来务工人员回乡过年,出行需求因此受到影响。这可从侧面反映出广州市人力资源市场的结构。

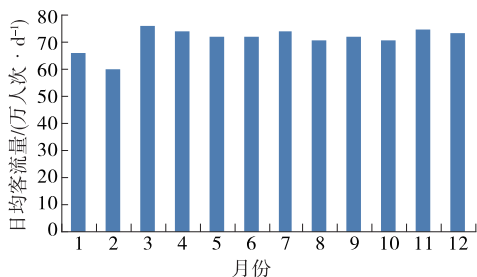


图 2 广州 BRT 系统各月日均客流量情况

2.2 广州 BRT 站台客流时间分布特征

2.2.1 BRT 站台工作日客流时间分布特征

如图 3 所示,工作日广州 BRT 的 26 个站点西行客流量最多的是早高峰 7:00—9:00 时段,而东行客流量最多的是晚高峰 18:00—20:00 时段,这从侧面反映出广州居民“东居西班”的特性,BRT 系统的客流特征表现出早上从东往西进城上班、晚上从西返东居住的潮汐特征。值得注意的是,西行早高峰的客流量高于东行晚高峰,这反映出乘客早上集中上班、晚上分散下班的客流需求特性,早高峰广州 BRT 系统的压力高于晚高峰。

2.2.2 BRT 站点非工作日客流时间分布特征

如图 4 所示,非工作日西行下车客流量呈现整体平缓的特征,西行进城方向客流整体较平均且客流量不高;非工作日东行方向客流高峰为 18:00—20:00 时段。

2.3 广州 BRT 站点客流集散量

图 5 为工作日与非工作日北站点(西行)和南站点(东行)一天的客流集散量统计。从中可看出:工作日与非工作日客流集散量居前列的站点有体育中心、岗顶、棠下和车陂站,一方面是因为这些地段比较繁荣,另一方面是因为这些站可以与地铁接驳。

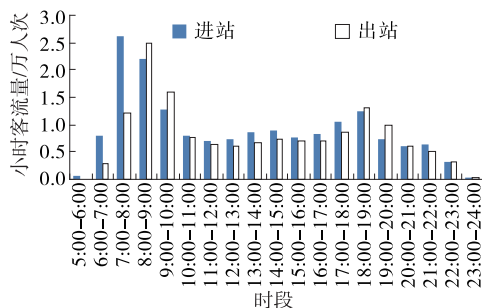
2.4 广州 BRT 线路高峰客流特征

2.4.1 高峰满载率

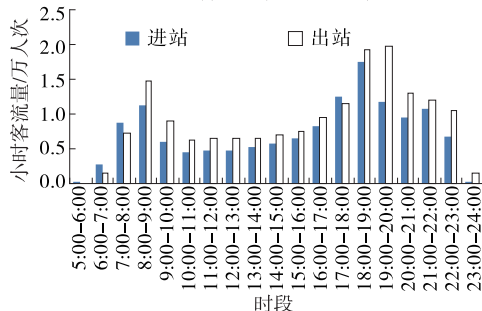
高峰满载率是指高峰期公交线路最大断面客流

量与车辆核载人数之比。它可衡量车辆利用程度,也可作为线路高峰期发班频率优化的参考。其计算公式为:

$$\text{高峰满载率} = \frac{\text{最大断面客流量}}{\text{车辆核载人数}} \times 100\%$$

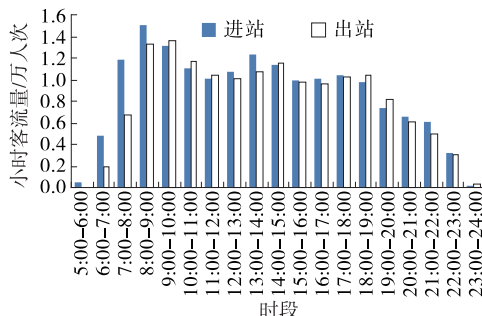


(a) 西行(东往西方向)

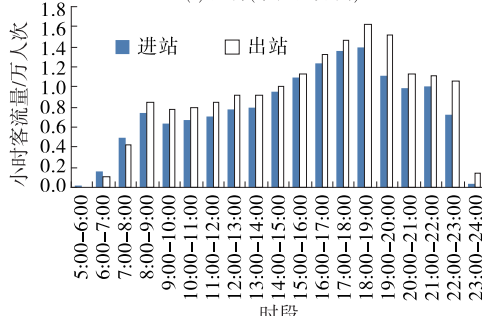


(b) 东行(西往东方向)

图 3 广州 BRT 系统工作日各时段客流情况



(a) 西行(东往西方向)



(b) 东行(西往东方向)

图 4 广州 BRT 系统非工作日各时段客流情况

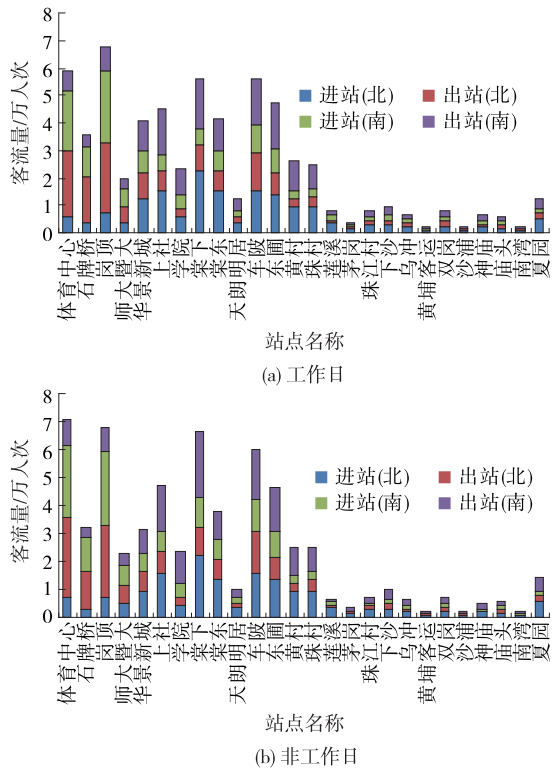


图5 广州BRT系统站点客流集散量

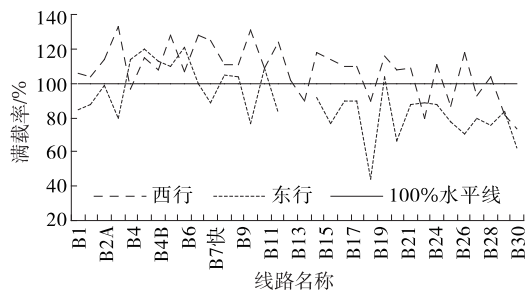


图6 广州BRT线路平均最高满载率

图6为广州BRT线路早高峰满载率情况。从中可看出:大部分BRT线路早高峰的平均最高满载率超过100%,其中B4A、B4B、B5、B6、B7、B8、B9、B11、B20 9条线路的西行、东行最高满载率均超过100%;B3西行方向满载率最高,达到132.50%;早高峰平均最高满载率超过100%的线路中,西行方向远多于东行方向,说明广州BRT系统早高峰西行客流需求大;同一条线路中,早高峰西行方向的平均最高满载率一般高于东行方向,除B4、B4A、B4B、B6和B30外,其他线路西行方向最高满载率均高于其东行方向,说明同一条线路早高峰西行方向的旅客运输压力大于东行方向。

2.4.2 平均乘距

平均乘距是指某条公交线路平均每位乘客乘行

的距离。它一般与线路的走向、里程和所经之处的产业布局有关,可反映早高峰客流特征规律。其计算公式为:

$$\text{平均乘距} = \frac{\sum (\text{站间乘客人数} \times \text{站间距})}{\text{线路总长度}}$$

图7为广州BRT线路早高峰平均乘距情况。从中可看出:同一条线路中,早高峰西行方向的平均乘距一般大于东行方向。一般而言,早高峰通勤出行主要是从较偏远地区往市区方向集中,但部分线路走向、所经产业布局略有差异,因而结果会有所差异,个别线路东行方向的平均乘距大于西行方向。西行和东行方向平均乘距差异较大的有B1、B5、B6、B10、B11、B15、B19、B25、B27、B28 10条线路。

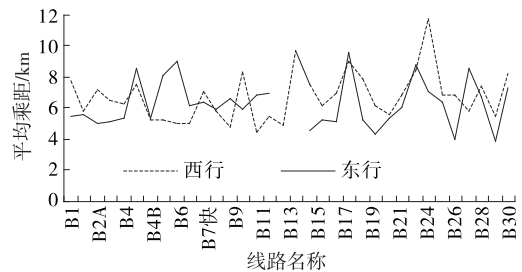


图7 广州BRT线路平均乘距

2.4.3 客流方向不均衡系数

客流方向不均衡系数是指在不同时段内公交线路两个不同方向客流的差异性。其计算公式为:

$$\text{方向不均衡系数} = \frac{\max(\text{上行客流量}, \text{下行客流量})}{\text{两个方向平均客流量}}$$

图8为广州BRT线路早高峰客流方向不均衡系数情况。从中可看出:同一条线路中,早高峰西行方向的总客流一般大于东行方向,但客流较平均。大部分线路双向客流较平均,上下行客流差异不大,客流方向不均衡系数略大于1。方向不均衡系数大于1.20的线路只有B5、B15、B18、B19、B27、B31,其潮汐性客流较明显。

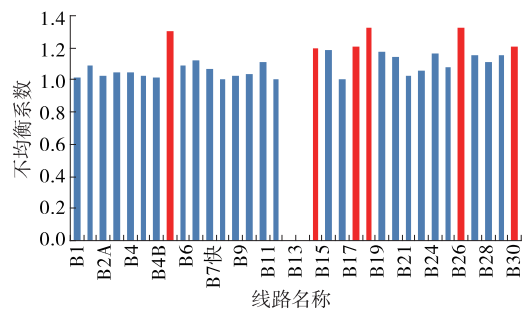


图8 广州BRT线路早高峰客流方向不均衡系数

3 广州 BRT 系统换乘效率研究

3.1 广州 BRT 系统免费换乘率

免费换乘率是反映 BRT 系统通道内部乘客免费换乘的比例,直接反映 BRT 对该区域的惠民情况。其计算公式为:

$$\text{免费换乘率} = \frac{\text{免费换乘量}}{\text{BRT 系统客流量}} \times 100\%$$

免费换乘量通过调查各站下车人数和出站人数计算得出。图 9 为抽样调查所得 2015 年广州 BRT 系统免费换乘率。

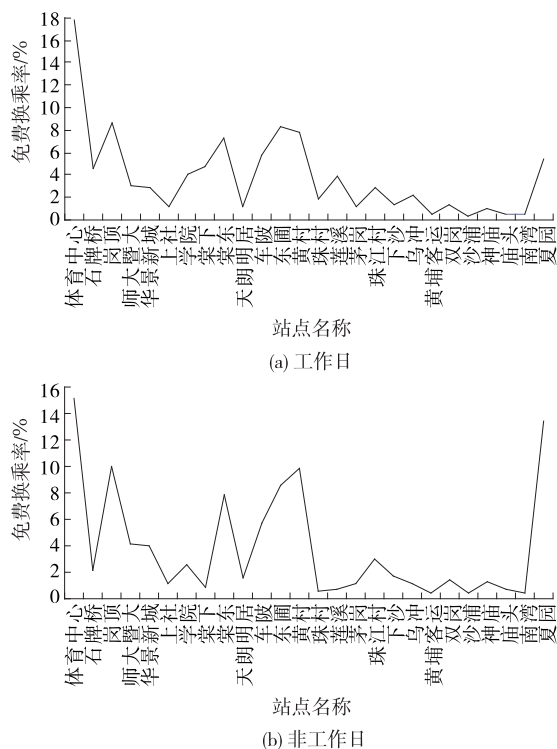


图 9 广州 BRT 系统各站点免费换乘率

从图 9 可以看出:2015 年,工作日和非工作日广州 BRT 系统平均免费换乘率分别为 21.57%、20.97%。以 2015 年的工作日与非工作日时间为权重,计算得出全年平均免费换乘率为 21.33%,即全年 BRT 通道内平均 100 个乘客中有 21 人享受免费换乘的优惠。工作日 BRT 系统内体育中心、岗顶、棠东、东圃镇、黄村及夏园 6 个站点的免费换乘量相对较多,约占总换乘量的 55%。非工作日 BRT 系统内免费换乘量也是这 6 个站点最多,约占总换乘量的 64%。不同的是,非工作日夏园的换乘客流仅次于体育中心,占总换乘量的 13%,主要是因为非工作日往返郊区与市中心进行休闲娱乐活动的客流

较多,而夏园作为广州东边 BRT 系统的起、终点站,是大多数客流中转的站点。

根据各站点免费换乘量比例,可得出换乘需求大的站点,可结合各线路上下车人数调查情况,作为调整短线、区间线班次的依据。

3.2 基于 IC 卡数据匹配乘客换乘信息

通过调查各站下车人数和出站人数只能得到总的免费换乘人数,不能获取乘客换乘线路的信息。可基于 BRT 乘客 IC 卡数据识别出行起讫点,并根据 Logit 模型得到乘客换乘路径的选择概率。

广州 BRT 系统采用半开放、半封闭的管理模式,乘客可在 BRT 走廊内任意免费换乘。乘客在 BRT 走廊内发生的免费换乘主要有以下类型:

(1) 普通站点到 BRT 站点无直达线路,乘客至少换乘 1 次。由于 B1 等线路贯穿整个 BRT 走廊站点,大部分情况下这种类型只需 1 次换乘即可,但存在少部分因车辆拥挤等原因选择 2 次换乘的情况。

(2) BRT 站点到普通站点无直达线路,与上一种类型相似,大部分情况下乘客只需换乘 1 次,存在少部分 2 次换乘。

(3) 普通站点到普通站点无直达线路,根据上车站点的 BRT 线路与下车站点的 BRT 线路是否存在共同的 BRT 站点交集的情况来判断换乘次数,若有交集,则需 1 次换乘;若无交集,则需 2 次换乘。

考虑到直达性和出行时间因素,以上出行类型有 3 次及 3 次以上换乘的选择概率小,不予以考虑。如图 10 所示,根据 IC 卡刷卡数据可识别乘客是否在 BRT 走廊内有过免费换乘行为。

3.3 Logit 模型

在确定某位乘客在 BRT 系统的起讫点后,根据随机效用理论,换乘行为选择模型为:

$$P_j = \frac{\exp(-bV_j)}{\sum_{j=1}^J \exp(-bV_j)}$$

式中: P_j 为第 j 种换乘行为被选择概率; b 为参数; V_j 为可观测因素构成的效用确定项。

由于广州 BRT 系统免费换乘的特性,这里不考虑出行费用的影响。采用出行时间、舒适度和直达性构建换乘行为选择效用函数如下:

$$V_i = \theta_1 t_i^0 + \theta_2 t_i^1 + C + \sigma$$

式中: θ_1 、 θ_2 为各因素参数; t_j^0 为车辆运行时间; t_j^1 为候车和换乘时间之和; C 为舒适度罚因子; σ 为直达性罚因子。

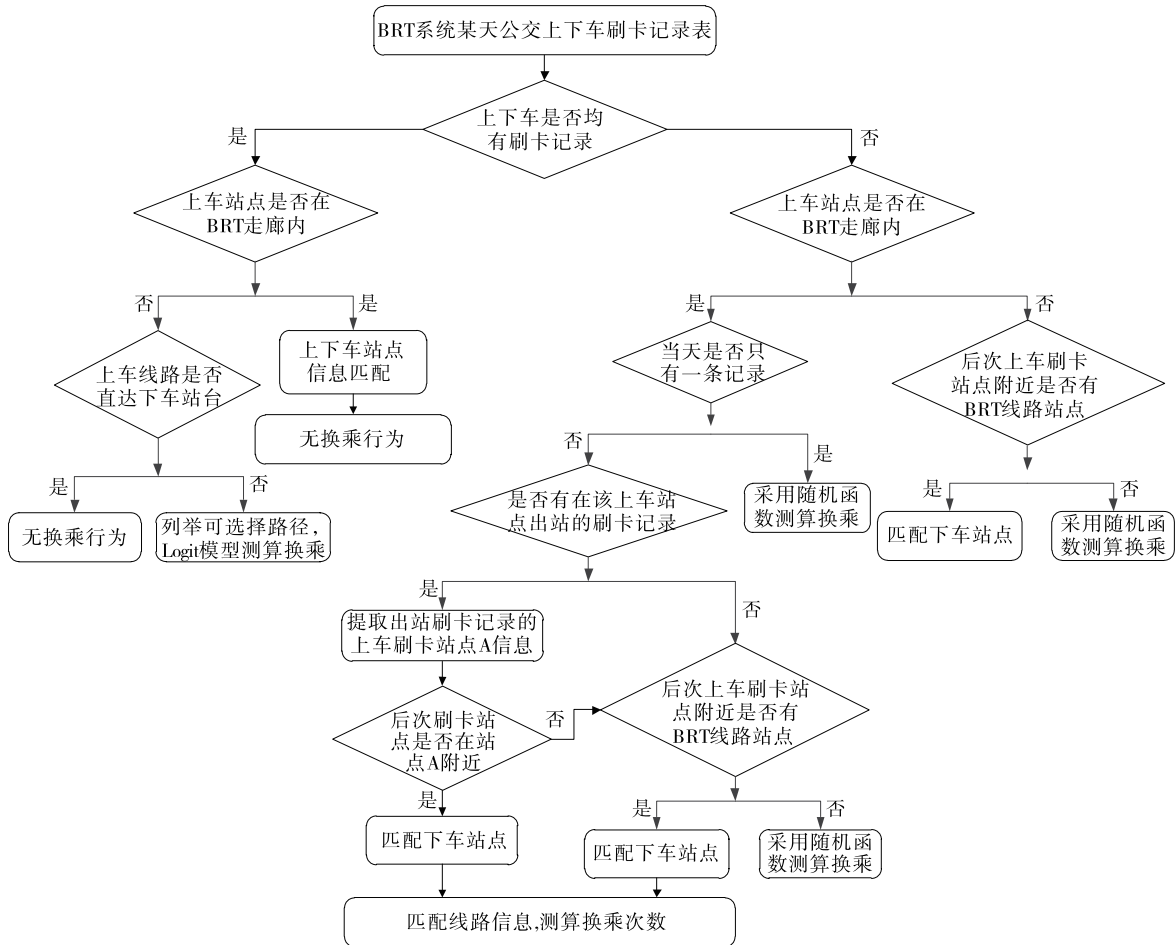


图 10 基于 IC 卡数据匹配乘客信息流程

采集数据样本,采用最大似然估计法标定以上未知参数,并计算出不同起讫点乘客选择换乘路径的概率,最终得到 BRT 系统乘客换乘信息。

3.4 两种方法对比及各自优缺点

通过计算各站下车人数和出站人数之差得到免费换乘人次的方法较简单、直接、精确,数据获得较容易。但获得各站点的下车人数需要调查大量数据,人力、物力耗费较多,而且只能获得总的换乘量,不能获得各线路的换乘信息。

基于 IC 卡数据匹配换乘信息的方法则是先推导出乘客在 BRT 系统出行的起讫点,再根据 Logit 模型得到换乘路径选择概率。该方法针对的是一天的 IC 卡数据,不能精确获得某些出行的完整信息,存在误差。

4 结语

研究 BRT 系统公交线路客流特征及免费换乘情况,可为进一步优化 BRT 线路运营组织及免费换

乘补贴提供决策支持。该文对广州 BRT 系统的客流特征和客流需求进行研究,计算分析各线路高峰客流分布规律、车辆满载率、平均乘距、方向不平衡系数及换乘率等客流特征指标,进一步优化调整线路运力配置及营运调度计划,提升运营管理水平。针对广州 BRT 系统半开放、半封闭的特性讨论免费换乘问题,提出了基于 IC 卡刷卡数据匹配换乘信息的方法。下一步研究可针对乘客多日的出行数据完善匹配方法,得到乘客的出行规律,提高匹配精度。

参考文献:

- [1] 冯志达,邵学恒,朱兴琳.乌鲁木齐市快速公交客流分布特征研究[J].公路与汽运,2014(5).
- [2] 黄练,唐小淋,林钰龙,等.基于一卡通数据的公交客流时空特征分析:以深圳为例[J].中国高新技术企业,2016(17).
- [3] 周嘉男,何丹恒,罗霞.基于 Logit 模型的路径选择及交通流分配[J].大连交通大学学报,2013,34(1).

(下转第 36 页)

表3 某市城市路网平均负荷度计算结果

道路类型	系数 α	因子 k, N	平均负荷度
快速路	0.50	$k=1.5$ $N=2$	0.542
主干路	0.85		
次干路	0.65		
支路	0.40		

从图2可知:只有城市中心区处于拥堵状态,主干路负荷度高于0.75的路段为6条,干道拥堵里程约占总里程的5%。说明该市路网处于较低负荷水平,交通运行状态较好,符合服务水平评价结论。

3 结语

受限于以往评价对于路网的定性分析,交通管理者较难对路网负荷水平进行准确定量分析。该文结合城市路网的构成特性和内部联系,从系统最优的角度出发,提出路网平均负荷度的概念及标准,并通过实例进行了验证。验证结果表明平均负荷度评价方法能准确评价路网运行状态。通过该方法,管理者可更加直观地判断路网整体运行状态,根据不同负荷度对路网进行不同程度的交通管控,远期路网的负荷度水平则可为城市路网规划提供依据。

参考文献:

- [1] Caliper公司. TransCAD交通需求模型手册[Z]. 普林斯顿: Caliper公司, 2006.
- [2] 美国交通研究委员会. 美国道路通行能力手册2000版[M]. 任福田, 译. 北京: 人民交通出版社, 2007.
- [3] 代澹川, 钟永艳. 基于TransCAD交通分配结果的城市片区路网规划方案评价研究[J]. 交通科技, 2009(增刊)

(上接第26页)

- [4] 刘颖杰, 靳文舟, 康凯. 基于IC信息和概率理论的公交OD反推方法[J]. 公路与汽运, 2010(3).
- [5] 陈云朵. 广州市BRT运营调度方案评价及交通流特性研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2011.
- [6] 梁枫明. 基于IC卡信息的公交客流出行特征分析系统研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2011.
- [7] 柳波. 基于可靠性的快速公交线路调度优化研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2014.
- [8] 吴建. Logit模型在常规公交系统中的应用[A]. 中国城市规划年会论文集[C]. 2008.
- [9] 靳佳. 基于IC卡的北京市公交出行特征分析[D]. 北京: 首都师范大学, 2013.
- [10] 孙启鹏, 朱磊, 陈波. 基于动态广义费用的客运通道交

2).

- [4] 全永燊, 郭继孚, 温慧敏, 等. 城市道路网运行实时动态评价理论和技术研究[J]. 中国工程科学, 2011, 13(1).
- [5] 绍源, 宋家骅. 大城市交通拥堵管理策略与方法: 以深圳市为例[J]. 城市交通, 2010, 8(6).
- [6] 全永燊, 孙明正. 中国大城市交通发展值得注意的几个倾向[J]. 城市交通, 2011, 9(2).
- [7] 郭佳宁. 基于改进容量模型的路网服务水平确定方法[J]. 公路交通科技, 2013, 30(4).
- [8] 廖涌泉, 孙晓亮, 贾利民, 等. 基于道路负荷度的北京市快速路交通状态评价[J]. 物流技术, 2012, 31(3).
- [9] 张海城, 邱欣, 沈翔. 基于微观评价指标的城市道路交通拥堵评价研究[J]. 城市道桥与防洪, 2011(8).
- [10] 刘拥华, 孙静怡, 熊坚. 信号管制交叉口负荷度计算及其服务水平分析[J]. 昆明理工大学学报: 理工版, 2004, 29(2).
- [11] 常贵智. 城市道路交通拥堵判定研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2007.
- [12] 杜进有, 杨远祥, 李宗平. 城市道路网饱和度模型及其应用[J]. 公路交通科技, 2006, 23(3).
- [13] 马健霄, 吕志英, 王大明. 城市道路通行能力分析 with 改善技术[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2001, 25(2).
- [14] 全永燊, 郭继孚, 温慧敏, 等. 城市道路网运行实时动态评价理论和技术研究[J]. 中国工程科学, 2011, 13(1).
- [15] 王园园. 一种考虑拥堵和排队影响的静态交通分配方法[A]. 中国城市交通规划2011年年会暨第25次学术研讨会论文集[C]. 2014.
- [16] CJJ 37—2012, 城市道路工程设计规范[S].

收稿日期: 2016-07-26

通方式选择Logit模型[J]. 交通运输系统工程与信息, 2013, 13(4).

- [11] 冯志达, 邵学恒, 朱兴琳. 乌鲁木齐市快速公交客流分布特征研究[J]. 公路与汽运, 2014(5).
- [12] 罗磊. 基于IC卡信息的公交客流空间分布特征分析方法研究[D]. 南京: 东南大学, 2009.
- [13] 易婷, 陈小鸿, 张勇平, 等. 上海市地铁站点客流换乘特征分析[J]. 忻州师范学院学报, 2004, 20(2).
- [14] 梁枫明. 基于IC卡信息的公交客流出行特征分析系统研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2011.
- [15] 夏胜国. 公交枢纽客流特征分析及行人路径交通分配研究[D]. 上海: 同济大学, 2008.

收稿日期: 2016-07-18