

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2017.03.018

站点客流对公交站点停留时间可靠性的影响

苏荣霖, 赖元文

(福州大学 土木工程学院, 福建 福州 350116)

摘要: 为了提高公交站点停留时间可靠性, 从站点客流入手, 通过理论分析公交站点停留时间的特性, 采用概率测度的方法, 建立了基于上车时间间隔、下车时间间隔和损失时间的公交站点停留时间可靠性模型。选取福州市典型公交站点作为实例, 结合统计分析软件 SPSS 和 PALISADE 检验了指标间的不相关性, 作为指标间相互独立的必要条件。运用统计分析方法定量分析了高峰时段和平峰时段站点客流对站点停留时间可靠性的影响程度。采用可靠性计算公式对各调查站点可靠性进行了计算。研究结果表明: 站点客流的上车时间间隔、下车时间间隔和损失时间对公交站点停留时间可靠性有较大影响。

关键词: 交通工程; 公交站点停留时间可靠性; 概率测度; 站点客流; 上车时间间隔; 下车时间间隔; 损失时间

中图分类号: U492.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268(2017)03-0131-07

Effect of Station Passenger Flow on Bus Dwell Time Reliability

SU Rong-lin, LAI Yuan-wen

(School of Civil Engineering, Fuzhou University, Fuzhou Fujian 350116, China)

Abstract: In order to improve bus dwell time reliability, based on station passenger flow, through theoretical analysing the characteristics of bus station dwell time, by using probability measurement method, the bus dwell time reliability model is based on boarding interval, alighting interval and lost time is established. Taking several typical bus stations in Fuzhou for example, the irrelevance between each characterization index as the requirement of independent of each index is examined by statistical analysis softwares SPSS and PALISADE. The effect of station passenger flow on bus dwell time reliability during peak and off-peak hours is quantitatively analyzed using statistical analysis method. The reliability of each surveyed station is calculated by using reliability calculation formula. The result shows that boarding interval, alighting interval and lost time of station passenger flow can significantly affect the bus dwell time reliability.

Key words: traffic engineering; bus dwell time reliability; probability measurement; station passenger flow; boarding interval; alighting interval; lost time

0 引言

交通拥堵问题已经成为各大城市的普遍现象。城市公共交通的建设与发展是解决交通拥堵的重要途径, 同时对缓解当今能源与环境的巨大压力具有重要作用。在公交系统中, 公交站点停留时间是公交运行时间的重要组成部分, 是影响整个公交系统

可靠性的重要因素。公交站点停留时间主要由开门、乘客上下车、关门 3 部分组成。其中, 乘客上下车时间在整个停站环节中属于相对不可控的因素, 主要受公交站点客流的影响, 是制约整个公交系统运行效率的关键因素。

国内外对站点停留时间的研究始于 20 世纪 70 年代。Kraft 等^[1]研究分析了不同公交车型、不同收

收稿日期: 2016-05-19

基金项目: 福建省自然科学基金项目(2014J05060); 福建省中青年教育科研课题项目(JAT160079)

作者简介: 苏荣霖(1991-), 男, 福建德化人, 硕士研究生。(285356373@qq.com)

费方式对站点停留时间的影响,发现双车门公交的上下车时间小于单车门公交,认为城市间的公交接放乘客时间小于郊区的公交接放乘客时间;Dorbrit等^[2]在研究中分析了车上售票、车票种类对公交行程时间的影响,发现车上售票会影响公交线路的运行时间和可靠性;Lee等^[3]通过分析乘客的上下车特性、站台设计、车型及拥堵效应来评估停留时间;Buchmueller等^[4]基于上下车乘客数,提出了一种计算站点停留时间的模型;Levinson^[5]研究发现一辆公交车的站点停留时间等于该车站乘客数的2.75倍加5s;Rajbhandari等^[6]基于自动客流计数器统计数据,分析了上下车乘客数对站点停留时间的影响,并对站点停留时间进行了估算;Alons等^[7]研究了公交车在拥挤的公交站点延误的影响因素,并建立了基于不同停车泊位数的站点停留时间模型;Zhang等^[8]在分析站点停留时间影响因素的基础上,建立了站点停留时间预测模型;Tirachini^[9]在研究中分析了不同付费方式、不同公交车型和不同年龄乘客对站点停留时间的影响;Sun等^[10]认为乘客上下车的动态过程对提高公交服务可靠性至关重要,并基于乘客行为建立了公交站点时间停留模型;Jiang等^[11]认为公交站点停留时间是影响运行时间和车头时距的主要因素;Rashidi等^[12-13]认为站点停留时间是公交运行时间的重要组成部分,分别运用决策树法、时间序列分析法估计了公交站点停留时间;Xin等^[14]提出了在下游站点基于KNN算法预测公交停留时间的模型。

综合国内外研究现状可以发现,以往的研究较少考虑公交停留时间在高峰时段和平峰时段的差异性、不同时段站点客流对公交停留时间的影响。但在实际情况下,由于不同时段站点客流、出行群体都是不同的,导致公交车车门打开后到乘客开始上车及乘客上下车的动态过程都是不同的。高峰时段与平峰时段相比,乘客的出行目的比较单一,主要是以上下班及上下学为目的,公交站点客流到达集中,上下车时间变长使得公交车在站点的停留时间相应变长;公交车发车间隔较小,加上车辆运行环境不稳定易产生串车和大间隔到站现象,导致客流集聚现象严重。公交车实际停靠位置与乘客预估的停靠位置之间可能存在一定的偏差,因此当车门打开后,乘客必须经过一段路程才能到达车门口,这段时间必将对公交车的停留时间产生影响^[15]。但是传统的公交停留时间模型并没有定量分析车门打开后到乘客开始上车这段时间和上下车时间受站点

客流的影响程度,缺乏量化分析。

本文根据实际调查数据,对高峰时段和平峰时段的上车时间间隔、下车时间间隔、损失时间的分布规律进行研究,运用SPSS软件对上车时间间隔、下车时间间隔、损失时间与站点客流的相关性进行定量分析,以期更准确地建立公交站点停留时间可靠性模型,将对公交停站时间参数的制订和运输组织精细化管理提供依据。

1 公交站点停留时间界定

将公交车停留涉及的时间段分为4个部分:公交车开门时间 T_o 、接放乘客时间 T_s 、公交车关门时间 T_c 、损失时间 T_l 。因此,公交站点停留时间 D_w 可以表示为:

$$D_w = T_o + T_s + T_c + T_l. \quad (1)$$

本文实际调查的公交车具有独立的上下车门,乘客从前门刷卡、投币依次上车,到站从后门依次下车。乘客上下车可以同时进行,因此,接放乘客时间取乘客上车时间与下车时间的最大值。损失时间分为两种:一种是公交车前门开启时刻到第1位乘客上车时刻的时间与最后1位乘客上车时刻到前门关闭时刻的时间之和 T_l^a ;另一种是公交车后门开启时刻到第1位乘客下车时刻的时间与最后1位乘客下车时刻到后门关闭时刻的时间之和 T_l^b 。于是式(1)可改写为:

$$D_w = T_o + \max(T_n + T_l^a, T_m + T_l^b) + T_c, \quad (2)$$

式中, T_n 为相邻乘客下车时间间隔之和; n 为下车人数; T_m 为相邻乘客上车时间间隔之和; m 为上车人数。

于是 T_n 与 T_m 可表示为:

$$\begin{aligned} T_n &= \sum_{i=1}^{n-1} h_i^a, \\ T_m &= \sum_{j=1}^{m-1} h_j^b, \end{aligned} \quad (3)$$

式中, h_i^a 为第 i 位乘客与第 $i+1$ 位乘客下车时间间隔; h_j^b 为第 j 位乘客与第 $j+1$ 位乘客上车时间间隔。

于是式(2)可改写为:

$$D_w = T_o + \max\left(\sum_{i=1}^{n-1} h_i^a + T_l^a, \sum_{j=1}^{m-1} h_j^b + T_l^b\right) + T_c. \quad (4)$$

从式(4)可以看出,站点停留时间主要受站点客流、上车时间间隔、下车时间间隔、损失时间的影响。

2 站点停留时间可靠性模型

2.1 基本定义及假设

根据系统可靠性理论,定义公交站点停留时间可靠性为公交站点的公交车辆在规定时间内完成服务一定数量乘客的概率。在建立站点停留时间可靠性模型前,对公交线路运行系统做出如下假设:

(1) 公交车辆在各个站点的开关门时间均是可靠的;

(2) 同一条公交线路同一时段在相同公交站点处服务的乘客数大致相同;

(3) 上车时间间隔、下车时间间隔及损失时间是相互独立的。

2.2 表征指标

公交车辆在公交站点的核心功能是服务乘客上下车。表征乘客上下车实际情况的最直观指标为上车时间间隔、下车时间间隔、损失时间。实际上车时间间隔、下车时间间隔及损失时间在期望时间内的概率越大,表征公交车辆服务乘客完成水平越好。3个指标分布的方差越大,相对于均值就越分散,波动性就越大,站点停留时间可靠性就越差;反之,波动性越小,站点停留时间可靠性就越好。

2.3 计算模型

根据公交站点停留时间可靠性的定义,相应的计算方法可以描述为:公交在站点停靠时乘客上车时间间隔、下车时间间隔、损失时间均在期望时间内,并达到一定公交服务水平的概率 P 。可以表示为:

$$R = P(h_j^b \leq \varepsilon_1, h_i^a \leq \varepsilon_2, T_1 \leq \varepsilon_3),$$

$$\text{s. t. } \begin{cases} 0.6 \leq h_j^b \leq 9.6 \\ 0.3 \leq h_i^a \leq 6.2, \\ 0.6 \leq T_1 \leq 13.9 \end{cases} \quad (5)$$

式中, R 为公交站点停留时间可靠性, $0 \leq R \leq 1$,且该值越趋近于1可靠性越高,越趋近于0可靠性越低; ε_1 为乘客上车时间间隔阈值; ε_2 为乘客下车时间间隔阈值; ε_3 为损失时间阈值。

2.4 适用条件

公交站点停留时间可靠性的计算适用于交通条件为日常交通管理条件,不考虑交通事故、恶劣天气的干扰。适用时间包括高峰时段及平峰时段。

2.5 指标阈值

上车时间间隔、下车时间间隔、损失时间阈值是随着公交车型、收费方式而变化的浮动值。考虑

乘客上下车的实际情况进行指标阈值设定。采用数理统计方法,结合福州市公交车辆站点停靠的实际情况,取阈值为福州市实际调查所有样本的85%分位数。本文取 $\varepsilon_1 = 2.21 \text{ s}$, $\varepsilon_2 = 2.09 \text{ s}$, $\varepsilon_3 = 4.67 \text{ s}$ 。

3 实例分析

为分析站点客流对公交站点停留时间可靠性的影响程度,基于同种公交车型及收费方式,在高峰时段(7:00—8:30, 17:30—19:00)和平峰时段(9:00—10:30, 14:30—16:00)分别对福州市的东街口、洪山桥、茶亭公交站点乘客的上下车时间间隔、人数、损失时间进行调查分析。

采用SPSS软件对3个调查公交站点的上车时间间隔、下车时间间隔、损失时间进行相关性分析,计算出两两变量间的皮尔逊(Pearson)相关系数,并对两两变量间的相关性进行双侧显著性检验,所得结果见表1。

表1 上车时间间隔、下车时间间隔、损失时间两两之间的Pearson相关系数

Tab. 1 Pearson correlation coefficient among boarding interval, alighting interval and lost time

类别	Pearson 相关系数	显著性概率
上车时间间隔与下车时间间隔/s	0.057	0.276
上车时间间隔与损失时间/s	0.212	0.162
下车时间间隔与损失时间/s	0.254	0.186

结合Palisade决策分析软件,采用直线、二次、三次、对数、幂、指数等函数对任意两者间的相关关系进行线性与非线性拟合,结果发现拟合效果都不好。因此,综合判定上车时间间隔、下车时间间隔、损失时间两两之间相互独立。

根据相互独立变量的概率计算定理,可将站点停留时间可靠性计算模型改写为:

$$R = P(h_j^b \leq \varepsilon_1) \cdot P(h_i^a \leq \varepsilon_2) \cdot P(T_1 \leq \varepsilon_3). \quad (6)$$

3.1 上车时间间隔

在高峰时段、平峰时段分别测得上车时间间隔有效样本573个和552个。分析数据得到高峰时段和平峰时段的上车时间间隔频率分布图(图1)以及上车时间间隔的特征值表(表2)。

由于实际调查的是同种型号公交车,高峰时段与平峰时段的频率分布具有相似性。分析发现,高峰时段的标准差是0.62,小于平峰时段的0.85。这说明高峰时段的频率分布比较均匀,聚集在1.75 s附近,平峰时段则相对分散。乘客上车的最短时间

表 2 上车时间间隔的特征值表
Tab. 2 Characteristics of boarding interval

类别	总体	高峰时段	平峰时段
平均值/s	1.82	1.73	1.91
上车时间间隔/s 标准差/s	0.76	0.62	0.85
协方差	0.42	0.36	0.45

隔在 0.6 ~ 1 s, 并不是 Sun 等^[10]在研究中得出的 0 ~ 0.5 s, 主要是因为调查的公交车型前门不能容纳两位乘客同时上车。乘客平均上车间隔在高峰时段是 1.73 s, 而在平峰时段是 1.91 s, 说明高峰时段乘客上车的速度比平峰快, 主要是由于: 一是高峰时段的乘客大多是经常乘坐公交的, 乘客熟悉公交线路和乘坐过程, 会事先拿出公交卡或准备零钱; 平峰时段更多的是偶尔乘坐公交的或一些年老的乘客或一些游客, 这些乘客不熟悉公交线路, 更有可能在上车前问司机关于线路站点的问题。二是高峰时段乘坐同一辆公交车的人数比平峰时段多, 发现同一公交同一站点平均上车时间间隔随上车人数的增加而减少。

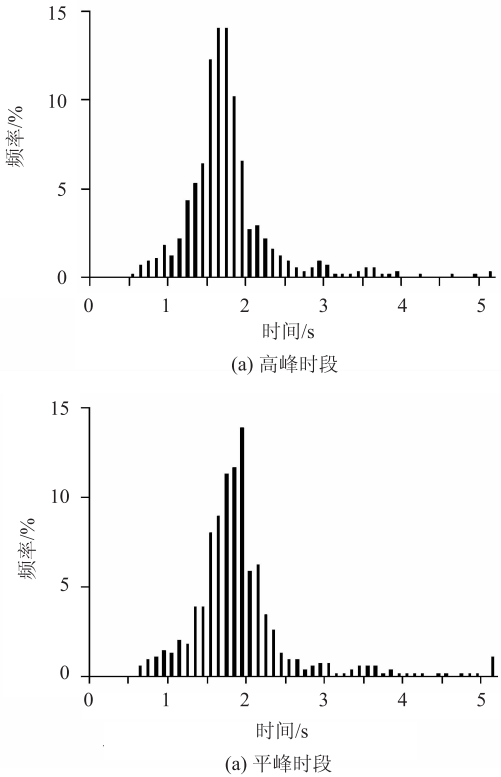


图 1 上车时间间隔变化频率图
Fig. 1 Frequency distributions of boarding interval

利用 SPSS 软件对上车人数和平均上车时间间隔进行相关性分析, 如图 2 所示。结果表明, 上车人数 x 与平均上车时间间隔 y 呈极显著负相关 (显著

性水平 $p < 0.01$), 拟合度 $R^2 = 0.8672$, 相关系数 $r = -0.931$, 其间的线性回归方程为 $y = -0.0519x + 2.6374$, 说明上车人数对平均上车时间间隔影响显著, 平均上车时间间隔随着上车人数增加而显著减少。

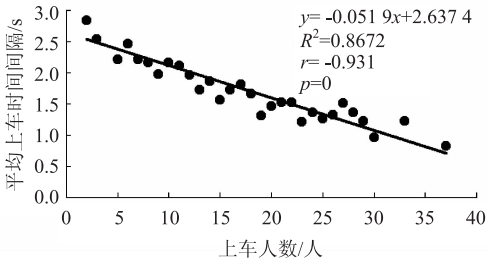


图 2 平均上车时间间隔随上车人数增加变化趋势图
Fig. 2 Average boarding interval varying with number of boarding passengers

根据调查数据, 可以计算出 3 个公交站点上车时间间隔在时间阈值内的概率 $P(h_j^b \leq \varepsilon_1)$, 见表 3。上车时间间隔在时间阈值内的概率越小, 说明乘客上车时间超出期望时间越多, 导致乘客总上车时间变长, 对站点停留时间可靠性的影响越大。

表 3 各站点上车时间间隔百分比
Tab. 3 Percentage of boarding interval at each station

站点名称	高峰时段	平峰时段
东街口	0.866	0.831
洪山桥	0.859	0.854
茶亭	0.861	0.851

3.2 下车时间间隔

高峰时段、平峰时段分别测得下车时间间隔有效样本 512 个、506 个。分析数据得到高峰时段和平峰时段的下车时间间隔频率分布图 (图 3) 以及下车时间间隔特征值表 (表 4)。

表 4 下车时间间隔的特征值表
Tab. 4 Characteristics of alighting interval

类别	总体	高峰时段	平峰时段
平均值/s	1.56	1.58	1.53
下车时间间隔/s 标准差/s	0.67	0.69	0.65
协方差	0.43	0.44	0.42

由于实际调查的是同种型号公交车, 高峰时段与平峰时段的频率分布具有相似性。分析发现, 高峰时段的标准差是 0.69 s, 大于平峰时段的 0.65 s, 说明高峰时段的频率分布比平峰时段分散, 但差别不大; 乘客下车的最短时间间隔在 0 ~ 0.5 s, 且高峰时段下车时间间隔在这段区间比平峰时段多, 说

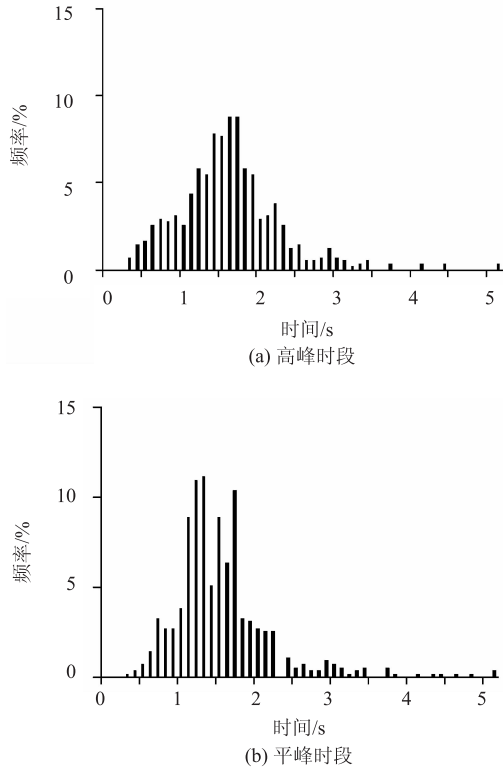


图3 下车时间间隔变化频率图

Fig.3 Frequency distributions of alighting interval

明调查的公交车型后门能容纳两个乘客同时下车，且高峰时段乘客由于赶时间去上班、上学等，更急于下车；乘客平均下车间隔在高峰时段是 1.58 s，而在平峰时段是 1.53 s，说明平峰时段乘客下车的速度比高峰时段快，主要是由于高峰时段公交车上的乘客人数大多是多于平峰时段，导致高峰时段车上站立乘客与下车乘客之间的相互作用远大于平峰时段，降低了下车速度；总的下车平均时间是 1.56 s，小于总的平均上车时间 1.82 s，说明下车速度比上车速度快，主要是由于下车乘客可以提前到后门等候下车，且下车过程不用刷卡、投币。

利用 SPSS 对下车人数和平均下车时间间隔进行相关性分析，如图 4 所示。结果表明，下车人数 x 与平均上车时间间隔 y 呈极显著负相关 ($p < 0.01$)，拟合度 $R^2 = 0.875\ 3$ ，相关系数 $r = -0.936$ ，其间的线性回归方程为 $y = -0.055\ 1x + 2.513$ ，说明上车人数对平均上车时间间隔影响显著，平均下车时间间隔随着下车人数增加而显著减少。

根据调查数据，可以计算出 3 个公交站点下车时间间隔在时间阈值内的概率 $P(h_i^a \leq \varepsilon_2)$ ，见表 5。下车时间间隔在时间阈值内的概率越小，说明乘客下车时间超出期望时间越多，导致乘客总下车时间

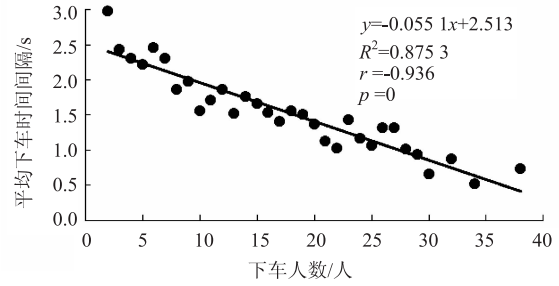


图4 平均下车时间间隔随下车人数增加变化趋势图

Fig.4 Average alighting interval varying with number of alighting passengers

变长，对站点停留时间可靠性的影响越大。

表5 各站点下车时间间隔百分比（单位：%）

Tab.5 Percentage of alighting interval at each station (unit: %)

站点名称	高峰时段	平峰时段
东街口	82.4	86.7
洪山桥	80.6	95.3
茶亭	82.1	91.2

3.3 损失时间

高峰时段、平峰时段分别测得损失时间有效样本 395 个和 399 个。分析数据得到高峰时段和平峰时段的损失时间频率分布图（图 5）以及损失时间的特征值表（表 6）。

表6 损失时间的特征值表

Tab.6 Characteristics of lost time

类别	总体	高峰时段	平峰时段
平均值/s	3.15	3.55	2.75
损失时间/s 标准差/s	1.85	1.83	1.88
协方差	0.6	0.52	0.67

由于实际调查的是同种型号公交车，高峰时段与平峰时段的频率分布具有相似性。分析发现，高峰时段的标准差是 1.83 s，小于平峰时段的 1.88 s，说明高峰时段的频率分布比平峰时段集中，但差别不大；两个时段损失时间的最小值都是在 0.6 ~ 1 s，说明公交停留时刚好停在乘客期望的停留位置；平均损失时间在高峰时段是 3.55 s，而在平峰时段是 2.75 s，主要是由于高峰时段公交站台上的乘客人数远多于平峰时段，导致高峰时段站台候车乘客与准备上车乘客之间的相互作用远大于平峰时段，降低了乘客从候车位置到公交车前面的速度。

利用 SPSS 软件对站点候车总人数和平均损失时间进行相关性分析，如图 6 所示。结果表明，站点

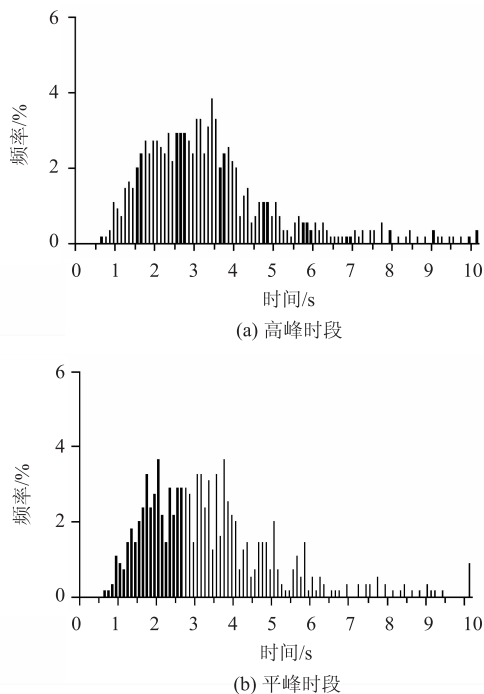


图 5 损失时间变化频率图

Fig. 5 Frequency distributions of lost time

候车总人数 x 与平均损失时间 y 呈极显著正相关 ($p < 0.01$), 拟合度 $R^2 = 0.7998$, 相关系数 $r = 0.894$, 其间的线性回归方程为 $y = 0.0648x + 1.229$, 说明站点候车总人数对损失时间影响显著, 平均损失时间随着站点候车总人数的增加而显著增加。主要原因是候车乘客准备上车及下车乘客准备下车时会与站点处的候车乘客相互干扰。随着候车总人数的增加, 相互干扰增大, 上车乘客无法及时上车, 下车乘客无法及时走离公交车门, 导致损失时间增加, 从而增加公交车停留时间。

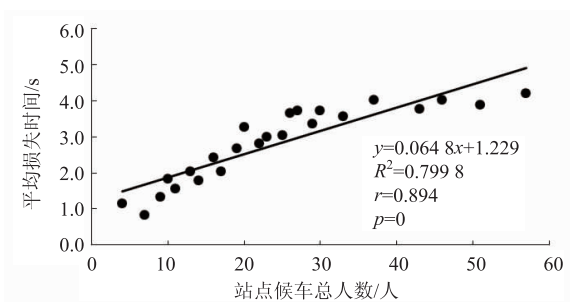


图 6 平均损失时间随站点候车总人数增加变化趋势图

Fig. 6 Average lost time varying with total number of passengers waiting at a station

根据调查数据, 计算得出 3 个公交站点损失时间在时间阈值内的概率 $P(T_i \leq \varepsilon_3)$, 见表 7。损失时间在时间阈值内的概率越小, 说明在该站点班次

公交损失时间超出期望时间越多, 导致公交车在站点的停留时间变长, 对站点停留时间可靠性的影响越大。

表 7 各站点损失时间百分比 (单位: %)

Tab. 7 Percentage of lost time at each station (unit: %)

站点名称	高峰时段	平峰时段
东街口	83.4	86.5
洪山桥	82.2	92.9
茶亭	81.3	87.9

3.4 站点停留时间可靠性计算

将数据代入式 (6) 中, 计算得出各调查站点的停留时间可靠性, 如表 8 所示。

表 8 各站点停留时间可靠性

Tab. 8 Dwell time reliability at each station

站点名称	高峰时段	平峰时段
东街口	0.595	0.623
洪山桥	0.569	0.756
茶亭	0.574	0.682

可以看出, 平峰时段站点停留时间可靠性优于高峰时段。随着站点客流量的增加, 可靠性降低。东街口、洪山桥和茶亭是较多乘客换乘及目标站点, 客流集聚现象突出, 高峰时段比平峰时段更加明显, 导致公交车在站点停留时间更长, 站点停留时间可靠性变小, 这与可靠性计算结果吻合。

4 结论

本文从站点客流角度对公交站点停留时间的特性进行分析, 发现停留时间的多变性主要来源于乘客上下车动态过程的变化。运用统计分析方法确定了上车时间间隔、下车时间间隔、损失时间指标阈值, 采用概率测度的方法建立了公交停留时间可靠性模型。基于福州典型公交站点调查数据, 通过 SPSS 软件和 Palisade 统计分析软件对上车时间间隔与下车时间间隔、上车时间间隔与损失时间、下车时间间隔与损失时间进行了独立性检验。结果表明, 各指标间相互独立。运用 SPSS 软件进行上车时间间隔、下车时间间隔及损失时间与站点客流的相关性分析, 研究它们的分布规律, 使不确定问题定量化。采用可靠性计算公式对各调查站点可靠性进行了计算, 结果表明所提出计算方法具有可行性与合理性。

参考文献:

References:

- [1] KRAFT W H, BERGEN T F. Evaluation of Passenger

- Service Times for Street Transit Systems [J]. Transportation Research Record, 1974, 505: 13–20.
- [2] DORBRITZ R, LUTHI M, WEIDMANN U A, et al. Effects of Onboard Ticket Sales on Public Transport Reliability [J]. Transportation Research Record, 2009, 2110: 112–119.
- [3] LEE Y, DAAMEN W, WIGGENRAAD P. Boarding and Alighting Behavior of Public Transport Passengers [C]//86th Annual Meeting of the Transportation Research Board. Washington, D. C.: Transportation Research Board, 2007: 1–14.
- [4] BUCHMUELLER S, WEIDMANN U, NASH A. Development of a Dwell Time Calculation Model for Timetable Planning [C]//11th International Conference on Computer System Design and Operation in the Railway and Other Transit Systems. Southampton: WIT Press, 2008: 525–534.
- [5] LEVINSON H S. Analyzing Transit Travel Time Performance [J]. Transportation Research Record, 1983, 915: 1–6.
- [6] RAJBHANDARI R, CHIEN S I, DANIEL J R. Estimation of Bus Dwell Times With Automatic Passenger Counter Information [J]. Transportation Research Record, 2003, 1841: 120–127.
- [7] ALONSO B, MOURA J L, IBEAS A, et al. Analytical Model for Calibrating Delay at Congested Bus Stops [J]. Transportation Planning & Technology, 2013, 36 (6): 520–528.
- [8] ZHANG C, TENG J. Bus Dwell Time Estimation and Prediction; A Study Case in Shanghai, China [J]. Procedia – Social and Behavioral Sciences, 2013, 96: 1329–1340.
- [9] TIRACHINI A. Bus Dwell Time: the Effect of Different Fare Collection Systems, Bus Floor Level and Age of Passengers [J]. Transportmetrica A: Transport Science, 2013, 9 (1): 28–49.
- [10] SUN L, TIRACHINI A, AXHAUSEN K W, et al. Models of Bus Boarding and Alighting Dynamics [J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2014, 69: 447–460.
- [11] JIANG X, YANG X. Regression-based Models for Bus Dwell Time [C]//International Conference on Intelligent Transportation Systems. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2014: 2858–2863.
- [12] RASHIDI S, RANJITKAR P, HADAS Y. Modeling Bus Dwell Time with Decision Tree-based Methods [J]. Transportation Research Record, 2014, 2418: 74–83.
- [13] RASHIDI S, RANJITKAR P. Estimation of Bus Dwell Time Using Univariate Time Series Models [J]. Journal of Advanced Transportation, 2015, 49 (1): 139–152.
- [14] XIN J, CHEN S. Bus Dwell Time Prediction Based on KNN [J]. Procedia Engineering, 2016, 137: 283–288.
- [15] 孙磊磊. 基于停靠时间的城市公共交通网络均衡客流分配模型研究 [D]. 西安: 长安大学, 2013.
- SUN Lei-lei. Research on Urban Public Transportation Network Equilibrium Flow Assignment Model of Based on Bus Dwell Time [D]. Xi'an: Chang'an University, 2013.

(上接第124页)

- [10] 孙超, 王波, 张云龙, 等. 基于一种交通状态系数的城市路网交通状态评价研究 [J]. 公路交通科技, 2011, 28 (5): 113–120.
- SUN Chao, WANG Bo, ZHANG Yun-long, et al. Research on Urban Traffic Network State Evaluation Based on a Traffic Network State Coefficient [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2011, 28 (5): 113–120.
- [11] 沈兵. 南坪商圈交通组织优化研究 [D]. 重庆: 重庆交通大学, 2013.
- SHEN Bing. Study of Optimization of Traffic Organization in Nanping Business Circles [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2013.
- [12] 徐程, 陈晓明. 交通流速度–密度模型特性分析 [J]. 公路交通科技, 2014, 31 (2): 114–120.
- XU Cheng, CHEN Xiao-ming. Analysis of Characteristics of Traffic Flow Speed-density Relation Model [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2014, 31 (2): 114–120.
- [13] 吴薇薇, 宁宣熙. 城市街道网单行道改造方案的评估 [J]. 系统工程理论与实践, 2009, 29 (7): 153–159.
- WU Wei-wei, NING Xuan-xi. Evaluation of the Reconstructing Scheme Making Streets One-way [J]. Systems Engineering – Theory & Practice, 2009, 29 (7): 153–159.