

停车需求特征指标的潜在特性

李林波, 姜 屿, 邹亚杰, 吴 兵

(同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804)

摘要: 在连续数据条件下, 对停车需求特征指标的稳定性 and 代表性进行考察. 基于连续数据分析的停车需求特征指标的稳定性 and 代表性与传统应用过程中的假设有很大出入, 表明了以往基于经验的随机抽样 and 处理方法存在一定缺陷. 然而, 对停车需求特征指标进行高峰比转换后, 组别差异被有效地抑制. 基于同步统计推断法, 发现各停车需求特征指标的不同分组间均无显著性差异, 说明了在各自的波动范围内, 停车需求特征指标具有稳定性和代表性.

关键词: 城市交通; 停车需求高峰比; 同步统计推断法; 停车需求特征; 潜在特性

中图分类号: U491.1

文献标志码: A

Potential Features of Parking Demand Characteristics

LI Linbo, JIANG Yu, ZOU Yajie, WU Bing

(Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: Under the condition of continuous data, the stability and representativeness of parking demand characteristics index was investigated. The stability and representativeness of parking demand characteristics index based on the continuous data analysis is quite different from the assumptions in the traditional application process. It is shown that there are some defects in the previous empirical random sampling and processing methods. However, the group differences were effectively suppressed after the peak ratio conversion of parking demand characteristics index. By simultaneous statistical inference technique, there is no significant difference between each group among all parking demand characteristics indexes tested, which suggests that the parking demand characteristics index has the stability and representativeness within the fluctuation range of each index.

Key words: urban traffic; peak ratio of parking demand; simultaneous statistical inference technique; parking demand

characteristics; potential features

由于人工采集手段的局限, 传统停车需求特征分析往往以一天的调查数据为样本, 并将由此获得的停车需求特征指标作为停车需求预测、配建指标制定以及停车管理的重要依据^[1-4], 但数据的粒度和广度很难达到研究的深度要求, 因此所获得的停车特征信息比较粗糙. 此外, 在停车需求特征指标的的实际应用中还隐含了两个重要的潜在特性: ①基于样本分析的停车需求特征具有代表性, 但实际上由于调查日期往往是凭经验确定的, 并且无法进行纵向对比, 因此样本的代表性是存疑的; ②基于样本分析的停车需求特征具有稳定性, 即所获得的停车需求特征并不会随着日期的变化而发生显著变化, 在每一个正常工作日都会保持相应的需求特征不变, 然而这种需求特征的稳定性从未得到过验证. 陈峻等^[5]在提出基于时空资源容量的停车设施共享资源匹配方法时, 将片区停车需求时变规律作为前提, 同样李林波等^[6]所建立的综合体停车需求预测三步骤模型, 实际上也蕴含一个停车稳定性的假设条件. 由于对以上两个潜在特性没有进行过验证, 因此不能明确这些假设在多大程度上或是在什么条件下可以成立, 从而限制了相关方法在实际工程项目中的推广应用.

停车需求特征的稳定性与代表性是停车规划与管理的重要应用基础, 值得注意的是, 这里的稳定性概念与有些文献中所谈到的“稳定性”并不一样. 冉江宇等^[7]应用聚类非参数检验方法, 分时段地对一天内停车到达与驶离量及停车时长进行了参数拟合分布检验, 发现检验对象均服从相关参数的分布, 停车需求存在“稳定性”特征. 同样, 文献[8-10]也通过相应的拟合模型说明了停车需求特征“稳定性”的存

收稿日期: 2018-09-03

基金项目: 上海市哲学社会科学规划一般课题(2017BGL029); 国家自然科学基金青年基金(71804127)

第一作者: 李林波(1974—), 男, 副教授, 博士生导师, 工学博士, 主要研究方向为交通规划与管理. E-mail: llinbo@tongji.edu.cn

在. 这些文献中所提到的“稳定性”均是指停车需求特征模型的数据拟合度, 如果拟合度高就代表“稳定”. 然而, 同一停车设施在不同日期的停车需求特征是否相似, 随机选取某一天的数据所获得的停车需求特征能否代表停车需求总体特征, 停车需求特征是否具有季节性差异等问题并没涉及. 随着信息技术的发展, 连续停车数据的获取已经成为可能, 拟在连续数据环境下, 对停车需求特征的稳定性和代表性进行研究, 以促进停车需求分析与管理技术的发展.

1 连续数据环境下停车需求特征描述

停车需求特征主要有停车到达与驶离特征、停车时长分布特征以及停车需求时变特征等. 随机选取 2015 年 1 月 5 日至 2015 年 12 月 28 日某高新国际广场停车设施(甲级写字楼和区政务中心, 总面积为 $2.3 \times 10^5 \text{ m}^2$, 有 632 个泊位)自动采集的停车数据进行分析. 对于商务办公场所而言, 停车矛盾主要出现在工作日, 因此在数据处理及筛选过程中, 剔除节假日及中到大雨条件下的数据, 最终获得有效样本共 223 天正常工作日数据, 如表 1 所示.

从图 1 发现, 每日停放量(统计间隔为 1 min)的曲线形状非常相似, 并且各月每日停放量时变曲线

表 1 某高新国际广场停车需求每月有效样本天数
Tab.1 Sample data of parking demand in each month in a High-tech International Plaza

月份	天数	月份	天数	月份	天数	月份	天数
1 月	20	4 月	19	7 月	23	10 月	16
2 月	10	5 月	19	8 月	21	11 月	21
3 月	22	6 月	19	9 月	16	12 月	17

重合度很高, 但是在不同月份时变曲线在大小上呈现显著差异. 利用聚类分析方法对 12 个月的数据, 分 5 组(3~6 月, 1、2、7、8 月, 9、11 月, 10 月, 12 月)进行讨论. 图 1 中, 黑实线代表每组每日停放量时变曲线的特征拟合曲线. 同样, 停车到达与驶离量曲线(统计间隔为 30 min)也出现类似的特征, 线形相似但大小不同, 按聚类分析可以划分为三组(2 月, 1、3~8 月, 9~12 月), 如图 2 和图 3 所示. 显然, 传统上按绝对值来处理的停车到达时变特征和驶离时变特征, 并不存在假设中的稳定性与代表性, 尽管曲线形状呈现出高度的相似性, 但曲线大小随着时间的变化呈现出不同程度的差异. 为了尽量消除外部环境对停车到达时变特征和驶离时变特征的影响, 对该停车设施单位时间内的停放量以及到达与驶离量采用高峰比指标(停车高峰比是指每单位时间内停放量或驶离量与当日最大停放量的比值)进行处理^[6], 发现稳定性和代表性特征开始出现. 此外, 将每日停车时长分布(统计间隔为 30 min)拟合

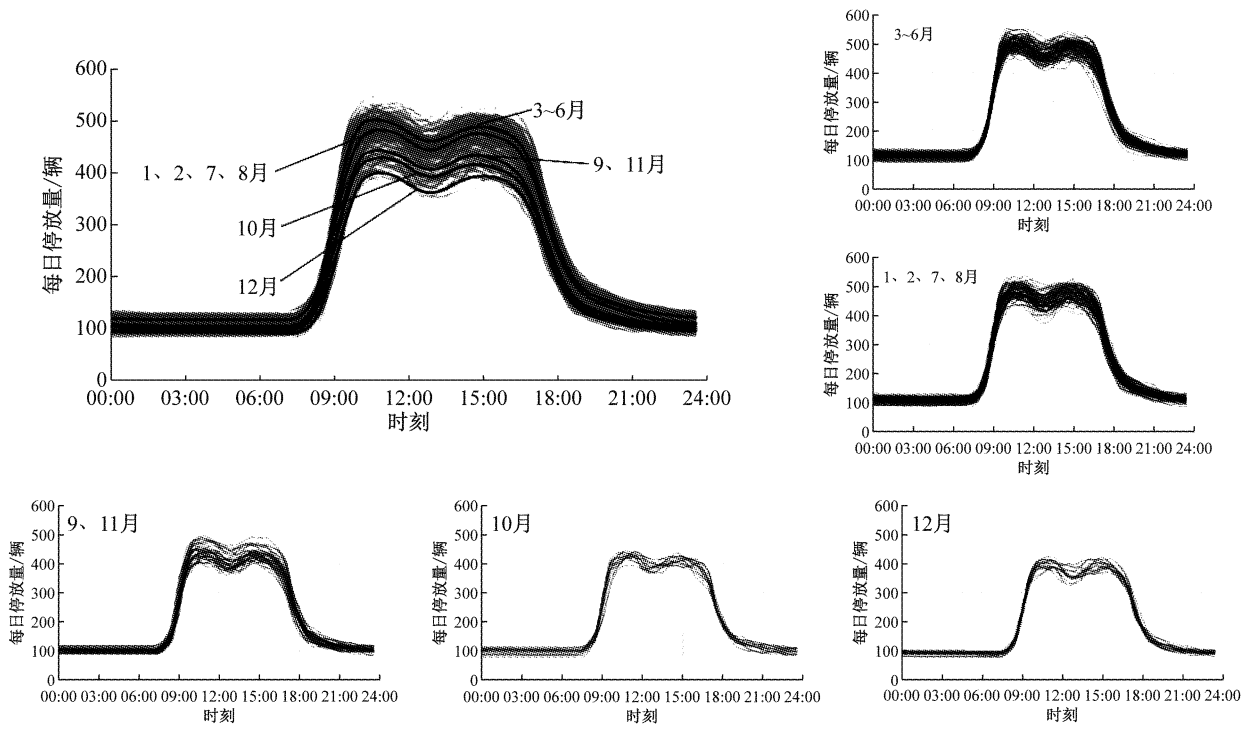


图 1 某高新国际广场每日停放量时变曲线
Fig.1 Time-varying curves of daily parking demand in a High-tech International Plaza

成平滑曲线后,曲线间也呈现出极度相似的特性,振幅较小且比较稳定(见图4)。

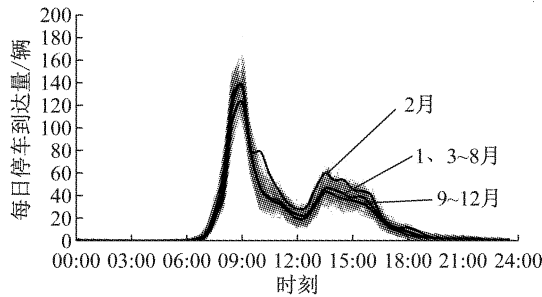


图2 某高新国际广场停车设施每日停车到达量时变曲线
Fig. 2 Arrival time-varying curves of daily parking demand in a High-tech International Plaza

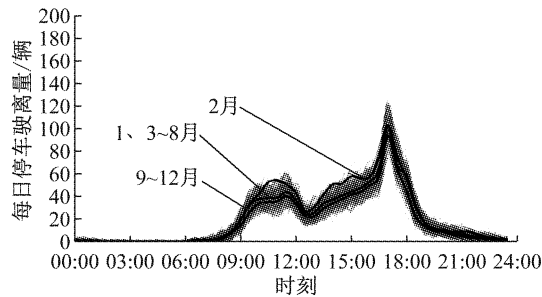


图3 某高新国际广场停车设施每日停车驶离量时变曲线
Fig. 3 Departure time-varying curves of daily parking demand in a High-tech International Plaza

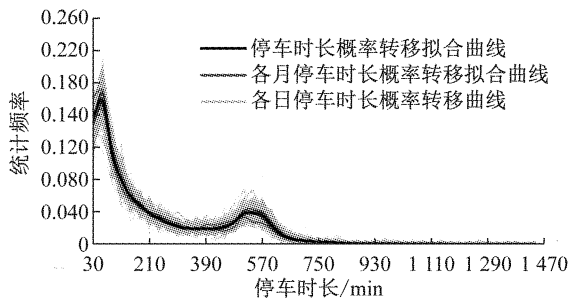


图4 某高新国际广场停车设施每日停车时长分布曲线
Fig. 4 Duration distribution curves of daily parking demand in a High-tech International Plaza

2 停车需求特征稳定性检验方法

停车需求特征稳定性主要体现在停车需求特征曲线线形波动的相似性和对应时刻停车需求变化幅度的有限性上。因此,该问题转化为对一系列时间序列数据的相似性分析,即对不同日期的停车需求特征时变曲线族拟合出一条合适的曲线,并检验出其统计有效性。一般的统计检验如非参数检验、 χ^2 检验或 t -检验,针对的是1组或2组无序的随机数,而此

处针对的是多组有对应关系的随机数序列,因此根据问题的特征,采用同步统计推断法来进行停车需求特征稳定性检验^[11]。

2.1 同步统计推断法原理

同步统计推断方法的建立基于以下两个假设:①假设1,预测是无偏的;②假设2,模型误差足够小。为了解决样本中的相关性和自相关性,以上两个假设的检验将在“组均值处理”的基础上进行。

设 X_i 为预测模型的预测结果值, Y_i 为实际观测值,则残差 $Z_i = X_i - Y_i, i = 1, 2, \dots, n$ 。此时, Z 可能是非独立分布的。因此,需要对数据进行分组,如下所示:

组1: Z_1, Z_2, \dots, Z_m

组2: $Z_{m+1}, Z_{m+2}, \dots, Z_{2m}$

\vdots

组 b : $Z_{(b-1)m+1}, Z_{(b-1)m+2}, \dots, Z_{bm}$

其中, m 是每组的大小, b 是分组后的组数。如果 m 足够大,则组均值分布近似于正态分布,即 $\bar{Z}_{1m}, \bar{Z}_{2m}, \dots, \bar{Z}_{bm} \approx N(E(\bar{Z}_{1m}), \text{var}(\bar{Z}_{1m}))$ 。组均值 μ 的估计值

为 $\bar{Z}_n, \bar{Z}_n = \frac{1}{b} \sum_{i=1}^b \bar{Z}_{im}$,组均值方差 σ^2 的估计量则为

$\hat{V}_B, \hat{V}_B = \frac{m}{b-1} \sum_{i=1}^b (\bar{Z}_{im} - \bar{Z}_n)^2$ 。因此, $\frac{\bar{Z}_n - \mu}{\sqrt{\hat{V}_B/n}} \approx$

$t(b-1)$,即服从自由度为 $(b-1)$ 的 t 分布,组均值的置信区间为 $\mu \in \bar{Z}_n \pm t_{\frac{\alpha}{2}, b-1} \sqrt{\hat{V}_B/n}$ 。当 m 趋于无穷大而 b 为定值时,其置信区间的覆盖范围趋近于 $(1-\alpha)$;相反,为了使作为方差 σ^2 的估计量 \hat{V}_B 的均方误差最小,则需要 b 远远大于 m 。研究表明,为了获得更好的置信区间覆盖范围,组均值的分组一般要大于30组。

2.2 同步统计推断法求解

在“组均值处理”后,获得了近似独立分布的 $\bar{Z} = \{\bar{Z}_{1m}, \bar{Z}_{2m}, \dots, \bar{Z}_{bm}\}$,并且同步假设被重新定义为:

①假设1, $\mu_z = 0$;②假设2, $\sigma_z^2 \leq \epsilon$ 。 μ_z 和 σ_z^2 是残差组均值处理过程中的均值与方差, ϵ 值由推断值的最大允许波动范围计算获得(根据具体问题进行设定)。对于假设1的检验,使用 t -检验。如果 $|t_0| > t_{\frac{\alpha}{2}, b-1}$,原假设就被拒绝;反之,没有充足的证据证明残差均值不等于零,则停车需求特征具有稳定性。对于假设2的检验,需要使用卡方检验。如果 $\chi_0^2 > \chi_{\alpha, b-1}^2$,原假设就被拒绝;反之,如果没有充足的证据证明残差均值的方差大于等于 ϵ ,就说明某一停车需求序列可以作为其他停车需求序列的有效代表,并且为了使之

成立,需要 b 的取值尽可能大于 m 。

3 停车需求特征稳定性检验

对某高新国际广场 223 天停车样本数据(见表 1)进行停车需求高峰比时变特征稳定性检验。为有效分析工作时间段停车需求高峰比时变特征,选取每天早 8 点至晚 19 点的停车数据,并利用 Matlab 曲线拟合工具箱中的平滑样条对各日停车需求高峰比时变曲线进行拟合,拟合结果如图 5 中黑实线所示。

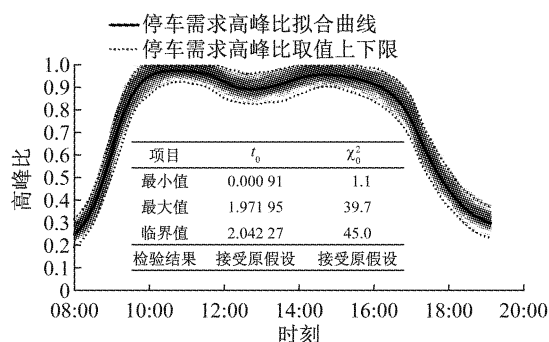


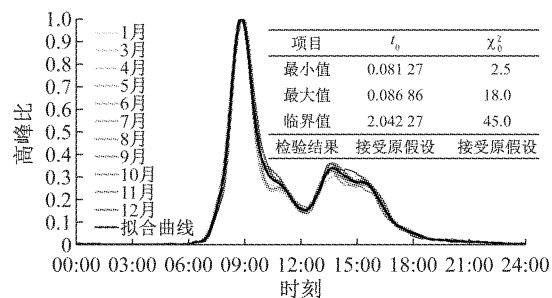
图 5 某高新国际广场停车需求高峰比时变曲线拟合

Fig. 5 Time-varying fitting curve of parking demand peak ratio in a High-tech International Plaza

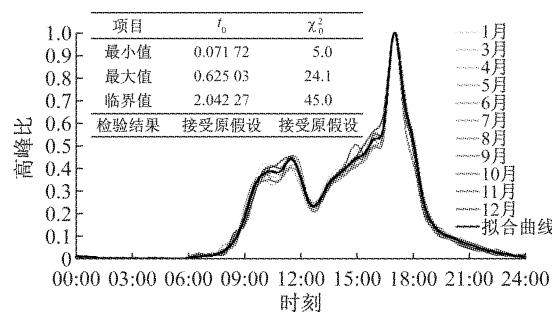
根据同步统计推断法的要求,给出最大允许波动值为停车设施泊位数的 5%,并在停车需求时变特征稳定性的验证上采用 m 为 21、 b 为 32 的分组处理。因此,需要分析的样本数据量为 672 个,时段为 8:00 至 19:00,临界值 $t_{0.025,31}$ 与 $\chi^2_{0.05,31}$ 分别为 2.042 27 和 45.0。经检验,所有 t_0 和 χ^2_0 值均小于临界值(限于篇幅,图 5 仅给出全年 t_0 和 χ^2_0 值的变化范围),不能拒绝原假设,说明了该停车设施每日停车需求高峰比时变曲线在停车容量 5% 的振幅范围内具有稳定性特征。

停车到达与驶离量高峰比特征的统计间隔为 30 min,一天内可得到的特征数据均为 48 个,采用 Matlab 曲线拟合工具箱中的平滑样条对全天 48 个数据进行拟合,以 5 min 间隔进行数据提取,最终得到样本数量为 288 个。在对停车到达和驶离量高峰比特征稳定性的验证上采用 m 为 9、 b 为 32 的分组处理,并将到达与驶离量高峰比最大允许波动范围分别定义为全天停车驶入与驶出总量高峰比的 1%。以各月的拟合结果为例,如图 6a、b 所示。除春节期间 2 月份以外(到达: $t_0=1.078\ 10 < 2.042\ 27$, $\chi^2_0=73.9 > 45.0$;驶离: $t_0=0.571\ 17 < 2.042\ 27$, $\chi^2_0=$

104.3 > 45.0),其他各月到达与驶离量的停车需求高峰比特征均满足稳定性条件,说明该停车设施的日常停车需求高峰比的到达与驶离量特征具有稳定性。同样,对于停车时长特征曲线来说,采用与停车到达与驶离量高峰比特征相同的数据处理和分组方式,定义停车时长分布比例的最大允许波动范围为 1%,检验结果如图 7 所示,表明该停车设施的车辆停车时长分布具有稳定性。



a 停车到达量高峰比分布曲线



b 停车驶离量高峰比分布曲线

图 6 某高新国际广场停车到达与驶离量高峰比时变曲线拟合

Fig. 6 Time-varying fitting curve of parking demand peak ratio of arrival and departure in each month in a High-tech International Plaza

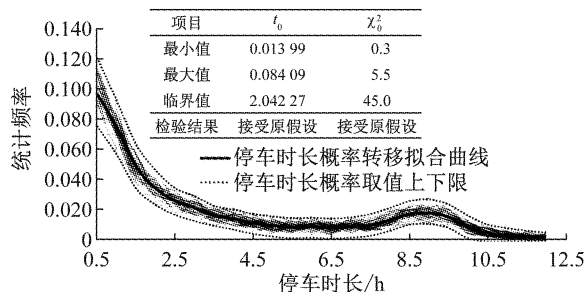


图 7 某高新国际广场每月停车时长分布曲线拟合

Fig. 7 Duration distribution fitting curve in each month in a High-tech International Plaza

4 停车需求特征稳定性比较

为进一步验证其他类型停车设施的停车需求特

征是否也存在稳定性,随机选取新华医院、某人民医院和某高铁站东广场的停车库在2015年7月的自动停车数据,剔除非工作日和恶劣天气等非正常日数据后,获得分析天数分别为20、17、22,对各自停车需求时变曲线和停车时长分布的稳定性特征进行验证。

某新华医院属于三级综合医院,有425个车位,数据量约为3.6万个;某人民医院属于三级综合医院,有422个车位,数据量约为3.5万个;某高铁站建筑面积为 $1 \times 10^5 \text{ m}^2$,是京沪高速铁路五个始发站之一,东广场停车库有1163个停车位,数据量约为2.1万个。对这些数据样本进行验证,所有 t_0 和 χ_0^2 值均小于临界值,表明这些停车设施的停车需求高峰比时变特征和停车时长分布均具有稳定性(见图8a、b,图9a、b,图10a、b)。同样,对停车需求高峰比时变曲线和驶离与到达量高峰比曲线进行验证可以获得相同的效果。

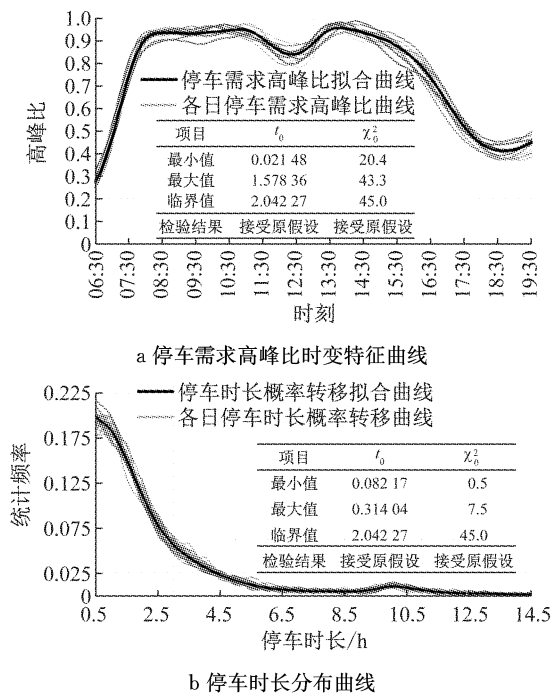


图8 新华医院停车稳定性特征检验结果

Fig.8 Test results of parking stability in Xinhua Hospital

5 结语

通过对不同业态停车设施连续停车数据的分析,在外部条件相对稳定的情况下,即停车设施周边没有发生显著性用地开发时,停车设施的停车需求高峰比时变曲线、停车时长分布特征和到达与驶离

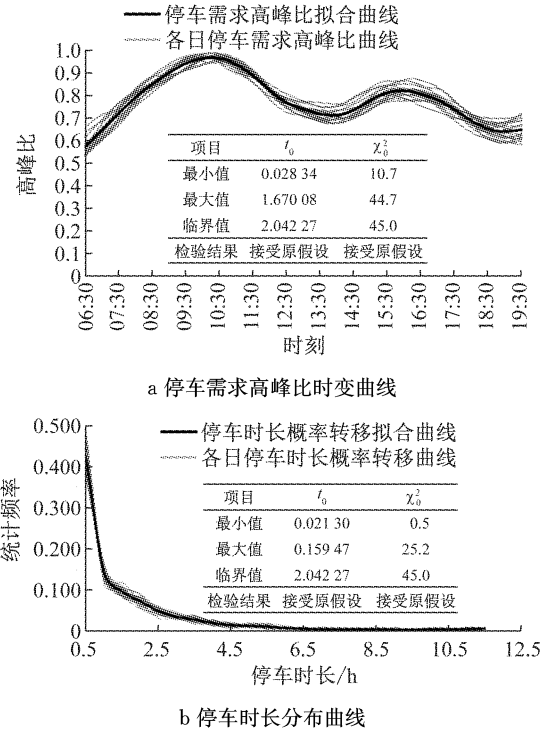


图9 某人民医院停车稳定性特征检验结果

Fig.9 Test results of parking stability in a Renmin Hospital

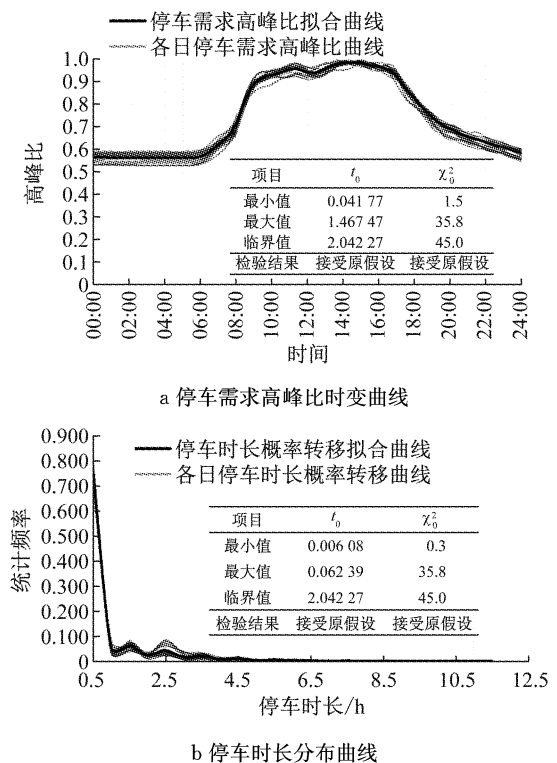


图10 某高铁站东广场停车稳定性特征检验结果

Fig.10 Test results of parking stability in a high-speed railway station

量高峰比特征指标均具有稳定性,即在不同的正常工作日,三大特征指标的变化曲线呈现出高度相似

性,因此对于某一天的数据而言就具有了代表性的特征.该研究结果对停车规划过程中的需求预测提供了重要的依据,也为停车泊位功能的精细划分、投资收益的确定性分析和停车费用的制定等提供量化依据.

值得注意的是,各停车设施的停车需求和到达与驶离量时变曲线并不存在假设中的稳定性特征,而是根据月份不同具有聚类特征.这说明,以某类停车设施某一天的停车需求数据获得的停车需求特征指标作为该类停车设施代表性的特征指标的做法存在着很大的问题,只有经过高峰比转换后,停车需求和到达与驶离量高峰比时变曲线才出现默认假设中的稳定性特征.该发现可为停车需求分时刻预测提供充分的科学依据,在对未来建设项目进行停车需求预测时,可以选用功能类型相同的建筑的停车需求高峰比时变曲线进行类比,结合停车需求生成率指标或预测结果,即可获得新建项目分时刻的停车需求预测规模,为停车的精细化管理方案制定提供可靠的量化支撑.同样,由于凭经验的随机抽样数据并不能很好地反映停车需求的实际状态,在进行停车需求规模预测和生成率指标制定时,在缺乏连续数据的情况下,应该选取停车需求最大的组别作为停车需求的抽样表征,因此停车需求的聚类分析为停车抽样调查日期的选定也提供了一定的参考依据,如本文研究表明,在某高新国际广场所在区域对商务办公场所进行停车抽样调查时,采用 3~6 月的数据是比较合理的.

参考文献:

- [1] CALISKAN M, BARTHELS A, SCHEUERMANN B, *et al.* Predicting parking lot occupancy in vehicular Ad Hoc networks [C]// O'MAHONY D, COWSAR L. 2007 IEEE 65th Vehicular Technology Conference. Dublin: IEEE, 2007: 277-281.
- [2] 李林波,王曼,董治,等.基于泊位功能和区位条件的停车配建方法[J].中国公路学报,2010,23(1):111.
LI Linbo, WANG Man, DONG Zhi, *et al.* Method of parking index based on parking function and location conditions[J]. China Journal of Highway and Transport, 2010, 23(1): 111.
- [3] XU B, WOLFON O, YANG J, *et al.* Real-time street parking availability estimation[C]// O'CONNER L. 2013 IEEE 14th International Conference on Mobile Data Management. Milan: IEEE, 2013: 16-25.
- [4] 马辉,王建军,张素丽,等.城市居住区停车配建标准研究[J].中国公路学报,2013,26(3):164.
MA Hui, WANG Jianjun, ZHANG Suli, *et al.* Study of accessory parking standard for urban residential area[J]. China Journal of Highway and Transport, 2013, 26(3): 164.
- [5] 陈峻,王斌,张楚.基于时空容量的配建停车资源共享匹配方法[J].中国公路学报,2018,31(3):96.
CHEN Jun, WANG Bin, ZHANG Chu. Parking resource sharing and matching methods for appertaining parking facilities based on space-time capacity[J]. China Journal of Highway and Transport, 2018, 31(3): 96.
- [6] 李林波,何思远,梁潇.一致性特征下综合体停车需求预测方法[J].同济大学学报:自然科学版,2018,46(3):340.
LI Linbo, HE Siyuan, LIANG Xiao. A method for forecasting parking demand of complex under consistent feature [J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2018, 46(3): 340.
- [7] 冉江宇,过秀成,陈永茂,等.基于聚类非参数检验的动态停车需求分布特征[J].东南大学学报:自然科学版,2011,41(4):871.
RAN Jiangyu, GUO Xiucheng, CHEN Yongmao, *et al.* Dynamic parking demand distribution character based on clustering non-parameter tests [J]. Journal of Southeast University: Natural Science Edition, 2011, 41(4): 871.
- [8] CAO J, MENENDEZ M, WARAICH R. Impacts of the urban parking system on cruising traffic and policy development: the case of Zurich downtown area, Switzerland [J]. Transportation, 2017(1):1.
- [9] RAJABIOUN T, IOANNOU P A. On-street and off-street parking availability prediction using multivariate spatiotemporal models[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2015, 16(5): 2913.
- [10] CHEN N, WANG L, JIA L, *et al.* Parking survey made efficient in intelligent parking systems [J]. Procedia Engineering, 2016, 137: 487.
- [11] NI D, LEONARD J D. Systematic approach for validating traffic simulation models [J]. Journal of Transportation Research Record, 2004, 1876(1876): 20.