

一致性特征下综合体停车需求预测方法

李林波¹, 何思远¹, 梁 潇²

(1. 同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804; 2. 代尔夫特理工大学 运输规划系, 代尔夫特 2628 BW)

摘要:基于单一建筑功能停车需求一致性特征的分析,采用停车需求高峰比系数对建筑功能停车需求分布趋势进行分时刻描述,提出了单一建筑功能停车需求预测的影响系数修正模型,并基于共享停车理念建立了综合体停车需求预测三步骤模型,且在实际案例中进行了良好的应用.由于采用了分时刻需求分布预测法,综合体停车需求的预测结果信息较为丰富,也为停车设施后期的精细化管理提供了良好的数据支持.

关键词: 停车需求预测; 一致性特征; 高峰比系数; 综合体泊位共享

中图分类号: U491

文献标志码: A

A Method for Forecasting Parking Demand of Complex Under Consistent Feature

LI Linbo¹, HE Siyuan¹, LIANG Xiao²

(1. Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China; 2. Department of Transport and Planning, Delft University of Technology, Delft 2628 BW, Netherlands)

Abstract: This paper proposes a parking demand forecasting method based on consistent feature in parking demand of buildings with similar functions. First, an “influencing factor correction coefficient method” is established based on the parking demand generation rate of different buildings nowadays. The parking demand generation rate of buildings can be forecast with different functions in the planning year. Secondly, the parking demand peak ratio is used to describe the daily distribution of buildings, and “three-step model of parking demand” is established with the concept of shared parking. Finally, the peak parking demand of complex is achieved. This model is applied to a complex project in Shenyang.

Key words: parking demand forecast; consistent feature; peak ratio; parking space sharing of complex

综合体是由多个不同功能空间优化组合而成的综合建筑物,作为城市更新改造和集约化开发的主要途径得到了广泛应用.然而,综合体在为城市商业发展注入活力的同时,也引发了一系列的问题,如由于停车配建不够造成的路网拥堵,或是由于配建过剩造成的资源浪费,因此,在进行综合体建设时,如何有效地确定其停车场的建设规模成为当务之急.传统停车需求预测方法本质是基于单一建筑配建指标的叠加进行的,由于没有考虑不同类别建筑物之间的相互作用,导致配建的泊位数与实际停车需求有很大的差距.因此,基于泊位共享的停车需求模型开始得到关注.1997年,美国波特兰市最先将停车泊位共享理念应用于实践^[1]. Jiang等^[2]分析了共享停车行为. Kim等^[3]基于车联网移动云系统,使用云计算技术寻找停车空位,实现任意地点泊位共享.冉江宇等^[4]结合交通政策与泊位共享策略制定了中心城区停车泊位需求预测框架.薛行健等^[5]基于停车生成率法,对共享泊位效用进行折减.苏靖等^[6]引入泊位共享效用指数衡量混合用地中各种用地不同停车需求组合下的泊位共享效率.李亚辉^[7]考虑综合体共享泊位规模确定的影响因素,通过调查回归分析建立了多因素综合作用下的共享模型等.值得注意的是,刘洪营等^[8]与肖飞等^[9]所提出的共享停车需求分时刻预测的思路,既充分有效地利用了停车空间资源,又避免了以往停车规模预测时需要通过周转率指标将需求转换成泊位数的繁琐,只是还没有形成成熟的计算方法.实际上,在进行商业综合体停车需求预测时,不仅需要对不同业态建筑目标年的停车需求生成率进行研究,同时也需要了解不同业态建筑所产生的停车需求在一日内的波动情况^[10].因此,本文提出商业综合体停车需求预测的三步骤法^[11]:①目标年停车需求生成率预测;②目标年停车需求分时刻分布预测;③商业综合体共享停车需求规模确定.

1 综合体停车需求共享模型构建

综合体停车场作为配建停车场,主要服务于各主体建筑功能的停车需求,包括自身的停车需求以及吸引外来车辆的停车需求,因此,其停车需求受到自身及外界诸多因素的影响,如城市机动车保有量、建筑功能类型、建筑功能面积、建筑区位以及交通方式分担比例等。现阶段停车需求预测模型主要分为3类:基于类型分析法的停车生成率模型、基于相关分析法的多元回归模型和以停车需求与机动车出行关系为核心的出行吸引模型^[12]。其中停车生成率模型表达了不同类型的土地利用会产生不同类型、不同特征、不同强度的停车需求,对于综合体而言,不同建筑功能形态恰好体现了土地利用的多元性和互补性特征。因此,利用停车生成率模型,可以从综合体的建筑构成特征角度出发进行共享型停车需求预测^[9,13]。所建立的基于共享理念的综合体停车需求预测模型如下:

$$P = \max P_j = \max \left(\sum_{i=1}^n R_{ij} L_i \right) \quad (1)$$

式中: P 为目标年商业综合体共享型高峰停车需求量,车位; P_j 为目标年商业综合体 j 时刻的共享型停车需求量,车位; R_{ij} 为目标年商业综合体 i 类建筑业态 j 时刻停车需求生成率, 10^{-4} 车位 $\cdot (\text{m}^2)^{-1}$; L_i 为目标年商业综合体 i 类建筑业态的建筑面积, m^2 。

2 各建筑功能停车需求生成率预测

停车需求生成率即为单位面积所产生的全日停车需求。在对各建筑功能停车需求生成率进行预测时,可参照传统停车需求预测模型的思路与方法进行处理。然而,由于综合体停车需求预测隐含了单一建筑形态之间的共享理念,综合已有停车预测模型的利弊,本文提出较为简便的影响因素修正系数模型。

影响因素修正系数模型的根本思想,是以现有停车需求生成率为基准,量化各主要影响因素对停车需求生成率的影响,对目标年停车需求生成率进行修正。一般可以选取机动车保有量、主体建筑所在区位条件和私家车出行分担比例3个因素作为综合体外在停车主要影响因素^[11],其中机动车保有量与停车需求生成率呈正相关;随着主体建筑所在区位的区位优势的增加,停车需求生成率也将出现一定

程度的增长;在城市的各方式交通出行总量中,因交通环境的改变(如公交系统改善),私家车分担比例的增加或减少将导致停车需求生成率的增加或减少。基于此,单一建筑功能停车需求生成率的影响因素修正系数模型如下:

$$R_i = \alpha \beta \gamma r_i \quad (2)$$

式中: R_i 为目标年综合体 i 类建筑业态高峰停车需求生成率, 10^{-4} 车位 $\cdot (\text{m}^2)^{-1}$; α 为目标年机动车保有量修正系数,为目标年预测机动车保有量与现状保有量的比值; β 为目标年主体建筑所在区位优势修正系数,为目标年建筑所在区位势与现状建筑所在区位势的比值,可以参考文献^[14]进行计算; γ 为目标年私家车分担比例修正系数,为目标年预测私家车分担比例与现状分担比例的比值; r_i 为现状 i 类建筑业态高峰停车需求生成率, 10^{-4} 车位 $\cdot (\text{m}^2)^{-1}$,必要时也可以用配建指标代替。

3 一致性特征下停车需求分时刻分布函数

停车需求分时刻分布是进行停车需求分时刻预测的基础。实际上,由于停车需求量受建筑物规模、气候、成熟度等因素的影响,不同业态的停车需求分时刻分布曲线因建筑物的不同而各有差异,在应用时有诸多不便。因此,本文试图根据样本数据来分析不同业态停车需求分时刻分布曲线的一般规律,从而提出停车需求高峰比指标:即某一时刻停车需求量与全日高峰时刻需求量之比,用来表征停车需求的分时刻变化趋势。

在停车调查分析中,发现在相同区域条件下,相同建筑类型的停车需求分布曲线具有相似性特征。本文将这种横向空间比较的相似性称之为一致性特征,主要是与停车需求时变分布的纵向时间比较相似性即稳定性特征进行区分。在进行停车需求预测时所采用的类比法实际上就是基于停车需求分布一致性特征的假设,尽管应用广泛,却并没有得到进一步的验证。本文在沈阳市太原街商圈选取6处商业业态建筑(中兴百货、新世界百货、潮汇百货等)和6处办公业态建筑(铁西广场片区的鲁尔大厦、第一商厦、海润国际等)为研究对象,通过人工记录车辆牌照法,获取4种状态(商业业态工作日、商业业态非工作日、办公业态工作日、办公业态非工作日)下的6组停车需求全日分布情况,对停车需求分布的一致性特征进行验证。停车需求分布情况如图1~4所

示,每一条曲线代表某一类型建筑在工作日或非工作日的停车需求分布情况。

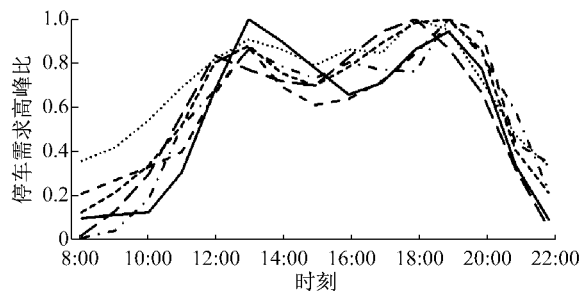


图 1 6 处商业建筑工作日停车需求分时刻分布

Fig.1 Parking demand distribution of commercial buildings on weekdays

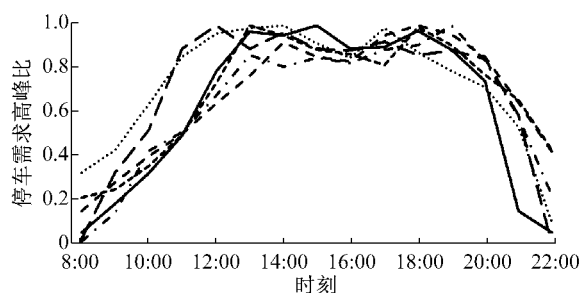


图 2 6 处商业建筑非工作日停车需求分时刻分布

Fig.2 Parking demand distribution of commercial buildings on weekend

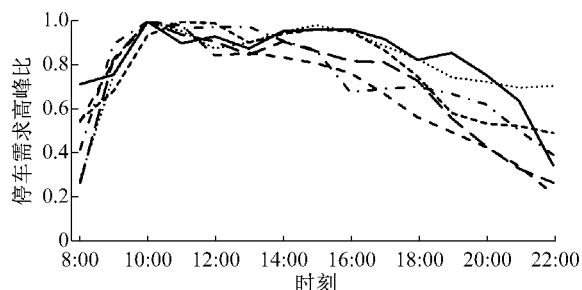


图 3 6 处办公建筑工作日停车需求分时刻分布

Fig.3 Parking demand distribution of office buildings on weekdays

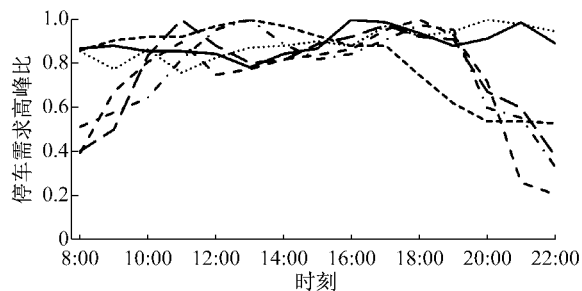


图 4 6 处办公建筑非工作日停车需求分时刻分布

Fig.4 Parking demand distribution of office buildings on weekend

根据现有停车需求分时刻分布状况可以看出,虽然同一业态工作日与非工作日出现日高峰的时刻存在差异,但其总体趋势的分布情况较为相似.可采用曲线拟合的方法探究其内在的规律性.由于在对未来停车需求分时刻分布状况进行预测时,希望得到停车场全日不同时刻的需求相对于高峰需求的波动情况,因此在进行曲线拟合时,仅需获得不同时刻下的拟合值即可,无需利用拟合结果获得函数自变量与因变量的物理意义,因此,选用非参数拟合法对停车需求分时刻分布进行拟合及预测^[15].在对停车需求分时刻分布进行非参数曲线拟合前,需要对 4 种类型(商业业态工作日、商业业态非工作日、办公业态工作日、办公业态非工作日)的数据进行预处理.由于本次调查的样本量较少,选取算术平均数法来获得每类数据的集中趋势.非参数拟合法主要通过插值法来实现^[15],包括线性内插法、最近邻内插法、分段三次艾尔米特内插法、平滑样条内插法等.通过试验比较,发现平滑样条曲线具有连续、曲率变化均匀的特点^[16],最接近停车需求的分时刻分布形态,因此,利用 MATLAB 中的平滑样条曲线对停车需求分布情况进行拟合^[17],以小时为分割时段,获得每隔 1 h 的停车需求高峰比拟合值,拟合曲线见图 5~8.

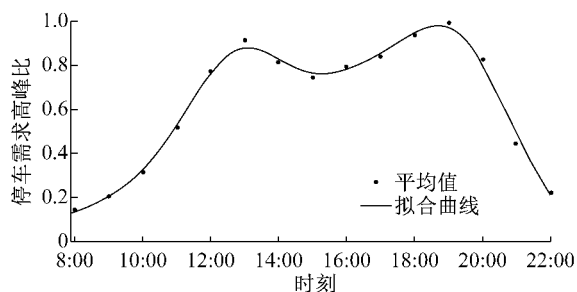


图 5 商业建筑工作日停车需求分时刻分布拟合曲线

Fig.5 Fitting-curve of daily parking demand of a commercial building on weekdays

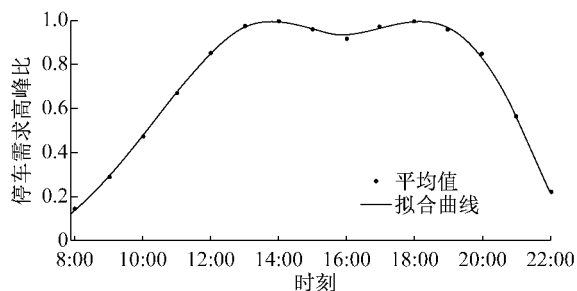


图 6 商业建筑非工作日停车需求分时刻分布拟合曲线

Fig.6 Fitting-curve of daily parking demand of a commercial building on weekend

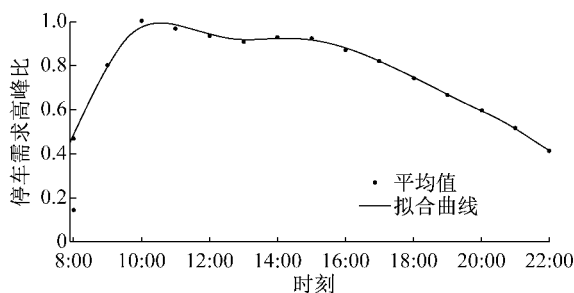


图7 办公建筑工作日停车需求分时刻分布拟合曲线

Fig.7 Fitting-curve of daily parking demand of an office building on weekdays

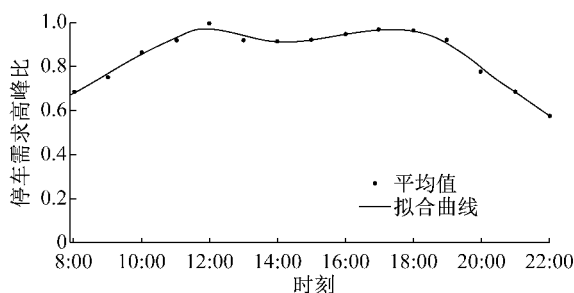


图8 办公建筑非工作日停车需求分时刻分布拟合曲线

Fig.8 Fitting-curve of daily parking demand of an office building on weekend

获得停车需求分时刻分布拟合曲线后,为判定曲线是否能有效反映观测数据的变化趋势,需进行曲线拟合优度检验.各曲线拟合优度检验值 R^2 如表1所示.

4组拟合曲线都具有较高的检验值,曲线拟合精度较高,可以认为同一城市拥有相似区位、相当规模、相同用地功能的建筑停车需求分布情况存在着一致性特征.同时,根据一些学者的研究,同一类型

表1 曲线拟合优度检验值

Tab.1 Curve fitting goodness test value

类型	R^2
商业工作日	0.988
商业非工作日	0.998
办公工作日	0.993
办公非工作日	0.980

的停车场设施其停车需求分布情况也存在着稳定性特征^[18-20].因此,在对综合体进行停车需求预测时,可以选取综合体周边性质相似、规模相当的多个单一用地功能建筑物作为调查对象,在进行曲线拟合后,获得全日不同时刻下的停车需求高峰比.根据停车需求的一致性特征与稳定性特征,认为功能建筑的停车需求趋势是不会发生显著变化的,因此,可以以此作为综合体类似建筑功能规划年的停车需求分布函数.

4 案例分析

沈阳世贸五里河中心项目坐落于五里河体育场原址,地处沈阳市二环以内,是沈阳市具有代表性的集商业与办公于一体的综合体,距离太原街商圈和铁西广场约3~4 km,处在同一区位,其商业业态建筑面积为127 310 m²,办公业态建筑面积为277 075 m²,项目地下2层至4层为配建停车场.

4.1 目标年综合体高峰停车需求生成率

根据相关背景资料,机动车保有量趋势函数是: $y=7\ 609.6x^2+64\ 167x+301\ 986$,根据公式(2),至目标年2018年,综合体停车需求的影响因素修正系数及高峰停车生成率如表2所示.

表2 影响因素修正系数和高峰停车需求生成率

Tab.2 Adjustment coefficients of influencing factors and peak parking demand generation rate

建筑业态	类别	现状高峰停车生成率/ (10 ⁻⁴ 车位·(m ²) ⁻¹)	机动车保有量修正系数	区位优势修正系数	私家车分担比例修正系数	目标年高峰停车生成率/ (10 ⁻⁴ 车位·(m ²) ⁻¹)
商业	工作日	25.43	2.38	1.0	0.95	57.497
	非工作日	31.74	2.38	1.0	0.95	71.764
办公	工作日	22.46	2.38	1.1	0.95	55.860
	非工作日	10.59	2.38	1.1	0.95	26.338

4.2 目标年综合体停车需求分时刻分布函数

根据区位条件与建筑业态分析,基于停车需求的一致性与稳定性特征,在近期预测中采用太原商圈的6处商业业态建筑和铁西广场的6处办公业态建筑的停车需求高峰比分布函数分别作为综合体商业和办公业态的目标年停车需求分时刻分布函数,曲线拟合后的分布情况如图5~8所示.因高峰时刻停车需求高峰比为1,但拟合曲线的最大值点不一定

是1,所以还需分时刻对拟合值进行归一化处理.各时刻停车需求高峰比如表3所示.

4.3 目标年综合体共享停车需求量预测

在获得综合体各建筑功能目标年高峰停车生成率以及停车需求高峰比分时刻分布函数后,可以获得各建筑功能相应的停车需求分时刻分布情况,并根据式(1)对综合体共享停车需求量进行预测.具体情况如表4与表5所示.

表 3 商业与办公业态停车需求高峰比归一化结果
Tab.3 Normalized results of commercial and office parking demand peak ratio

时刻	停车需求高峰比			
	商业		办公	
	工作日	非工作日	工作日	非工作日
8:00	0.139	0.135	0.489	0.700
9:00	0.209	0.293	0.799	0.787
10:00	0.333	0.476	0.979	0.883
11:00	0.542	0.673	0.990	0.960
12:00	0.778	0.854	0.946	0.999
13:00	0.896	0.970	0.922	0.964
14:00	0.844	0.995	0.930	0.942
15:00	0.778	0.963	0.922	0.949
16:00	0.797	0.939	0.880	0.974
17:00	0.871	0.971	0.823	0.997
18:00	0.967	1.000	0.749	0.993
19:00	0.990	0.970	0.671	0.933
20:00	0.817	0.836	0.597	0.816
21:00	0.495	0.567	0.515	0.703
22:00	0.212	0.225	0.416	0.593

表 4 目标年工作日综合体停车需求量
Tab.4 Parking demand of complex on weekdays in the planning year

时刻	商业		办公		综合体
	生成率/ (10^{-4} 车位· (m^2) $^{-1}$)	需求量/ 车位	生成率/ (10^{-4} 车位· (m^2) $^{-1}$)	需求量/ 车位	
8:00	7.99	102	27.32	757	859
9:00	12.02	153	44.63	1 237	1 390
10:00	19.15	244	54.69	1 515	1 759
11:00	31.16	397	55.30	1 532	1 929
12:00	44.73	569	52.84	1 464	2 033
13:00	51.52	656	51.50	1 427	2 083
14:00	48.53	618	51.95	1 439	2 057
15:00	44.73	569	51.50	1 427	1 996
16:00	45.83	583	49.16	1 362	1 945
17:00	50.08	638	45.97	1 274	1 912
18:00	55.60	708	41.84	1 159	1 867
19:00	56.92	725	37.48	1 038	1 763
20:00	46.98	598	33.35	924	1 522
21:00	28.46	362	28.77	797	1 159
22:00	12.19	155	23.24	644	799

不考虑共享的目标年综合体停车需求以及考虑共享的目标年停车需求对比如表 6 所示. 由表 6 可知,该综合体的停车需求预测值最终为 2 083,相比传统的停车需求预测节省了 174 个泊位. 进一步分析发现,该综合体的办公业态建筑面积约为商业业态的两倍,停车需求较大程度上受到办公业态的影响. 此外,基于分时刻预测的停车需求分布也为后续的停车精细化管理提供了必要的技术支持.

表 5 目标年非工作日综合体停车需求量
Tab.5 Parking demand of complex on weekend in the planning year

时刻	商业		办公		综合体
	生成率/ (10^{-4} 车位· (m^2) $^{-1}$)	需求量/ 车位	生成率/ (10^{-4} 车位· (m^2) $^{-1}$)	需求量/ 车位	
8:00	9.69	123	18.44	511	634
9:00	21.03	268	20.73	574	842
10:00	34.16	435	23.26	644	1 079
11:00	48.30	615	25.28	700	1 315
12:00	61.29	780	26.31	729	1 509
13:00	69.61	886	25.39	703	1 589
14:00	71.41	909	24.81	687	1 596
15:00	69.11	880	24.99	692	1 572
16:00	67.39	858	25.65	711	1 569
17:00	69.68	887	26.26	728	1 615
18:00	71.76	914	26.15	725	1 639
19:00	69.61	886	24.57	681	1 567
20:00	59.99	764	21.49	595	1 359
21:00	40.69	518	18.52	513	1 031
22:00	16.15	206	15.62	433	639

表 6 商业综合体共享型停车需求总量及非共享型停车需求总量
Tab.6 Parking demand of complex in two cases

类型	停车需求/车位				
	商业	办公	传统预测模型	共享预测模型	节省泊位数/车位
工作日	725	1 532	2 257	2 083	174
非工作日	914	729	1 643	1 639	4

5 结语

针对停车需求一致性特征的分析,提出采用停车需求的高峰比系数来刻画某一业态停车需求分布的趋势,避免了单一功能建筑具体特性的影响,在此基础上建立了成熟的基于停车需求时刻分布的综合体共享停车需求预测三步骤模型及实用的计算方法,并在案例分析中进行了应用.

停车受城市社会、经济、交通、政策等多方面的影响,限于篇幅,本文仅选取了 3 个主要因素,在实际的应用过程中可以给予更多的考虑以提高停车需求生成率的预测精度. 人们的出行不仅与工作有关,还受到天气、季节等多方面的影响,如何选择具有代表性的样本,关系到停车设施停车需求分布的稳定性特征是否可靠,同时,实例部分停车需求预测结果并没有得到实际运营数据的检验,是需要继续进行研究与验证的问题.

参考文献:

- [1] STIN H S, RESHA J. Shared parking handbook[R]. Oregon: Stein Engineering, 1997.
- [2] JIANG Y, PENG B, DAI L, *et al.* Parking demand forecasting of urban comprehensive development blocks involving shared parking and location conditions[C]//International Conference on Transportation Engineering. Chengdu: American Society of Civil Engineering, ASCE, 2011: 829-834.
- [3] KIM O T T, TRI N D, NGUYEN V D, *et al.* A shared parking model in vehicular network using fog and cloud environment [C]//Network Operations and Management Symposium. [S. l.]: IEEE, 2015: 321-326.
- [4] 冉江宇,过秀成,陈永茂. 中心城区机动车停车泊位需求预测框架[J]. 城市交通, 2009, 7(6): 59.
RAN Jiangyu, GUO Xiucheng, CHEN Yongmao. Central city urban vehicle parking demand forecasting framework [J]. Urban Transport of China, 2009, 7(6): 59.
- [5] 薛行健,欧心泉,晏克非. 基于泊位共享的新城区停车需求预测[J]. 城市交通, 2010, 8(5): 52.
XUE Xingjian, OU Xinquan, YAN Kefei. Prediction of parking demand in new urban area based on berth sharing[J]. Urban Transport of China, 2010, 8(5): 52.
- [6] 苏靖,关宏志,秦焕美. 基于泊位共享效用的混合用地停车需求比例研究[J]. 城市交通, 2013, 11(3): 42.
SU Jing, GUAN Hongzhi, QIN Huanmei. Study on the proportion of parking demand for mixed land based on berth sharing utility [J]. Urban Transport of China, 2013, 11(3): 42.
- [7] 李亚辉. 基于泊位共享的城市综合体停车需求预测方法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2016.
LI Yahui. Research on forecasting method of parking demand for urban complex based on berth sharing[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2016.
- [8] 刘洪营,马荣国,梁国华. 城市商住综合体停车规模确定方法[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2009, 29(5): 95.
LIU Hongying, MA Rongguo, LIANG Guohua. The method of determining the parking scale of urban complex[J]. Journal of Changan University (Natural Science), 2009, 29(5): 95.
- [9] 肖飞,张利学,晏克非. 基于泊位共享的停车需求预测[J]. 城市交通, 2009, 7(3): 73.
XIAO Fei, ZHANG Lixue, YAN Kefei. A parking demand forecasting model given parking space sharing [J]. Urban Transport of China, 2009, 7(3): 73.
- [10] 陈永茂,过秀成,冉江宇. 城市建筑物配建停车设施对外共享的可行性研究[J]. 现代城市研究, 2010(1): 21.
CHEN Yongmao, GUO Xiucheng, RAN Jiangyu. The shared parking feasibility of appertaining parking facilities to the building in cities[J]. Modern Urban Research, 2010(1): 21.
- [11] 梁潇. 基于泊位共享的商业综合体停车系统若干问题研究[D]. 上海: 同济大学, 2014.
LIANG Xiao. Research on the parking system of commercial complex given parking space sharing [D]. Shanghai: Tongji University, 2014.
- [12] 李娅莉. 城市中心区停车设施供需问题研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2008.
LI Yali. Study on supply and demand of parking facilities in urban central district [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2008.
- [13] GAO Hongliang, ZHU Xun. Free and shared parking: new ideas on construction and management of parking facilities in old city of Zhenhai[J]. China City Planning Review, 2010, 19(4): 40.
- [14] 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.* The parking construction method based on the function of berth and the condition of location[J]. Journal of China Highway, 2010, 23(1): 111.
- [15] 同济大学计算数学教研室. 现代数值计算[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2009.
Department of Computational Mathematic, Tongji University. Modern numerical computation[M]. Beijing: Posts & Telecom Press, 2009.
- [16] 王晓原,杨新月. 基于三次样条非参数拟合的驾驶行为仿真模型[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(9): 2691.
WANG Xiaoyuan, YANG Xinyue. Driving behavior simulation model based on cubic spline nonparametric fitting[J]. Journal of System Simulation, 2006, 18(9): 2691.
- [17] 胡庆婉. 使用MATLAB曲线拟合工具箱做曲线拟合[J]. 电脑知识与技术, 2010, 6(21): 5822.
HU Qingwan. Curve fitting using MATLAB curve fitting toolbox[J]. Computer Knowledge and Technology, 2010, 6(21): 5822.
- [18] THOMPSON R G, YOUNG W. Determining the parking need and traffic generation of shopping facilities[J]. Tetrahedron Asymmetry, 1989, 5(10): 1899.
- [19] WONG B S C, TONG C O, LAM W C H, *et al.* Development of parking demand models in Hongkong[J]. Journal of Urban Planning & Development, 2000, 126(2): 55.
- [20] TONG C O, WONG S C, LEUNG B S Y. Estimation of parking accumulation profiles from survey data [J]. Transportation, 2004, 31(2): 183.