

# 基于时间序列的汽车分时租赁站点发展模式分类\*

## Classification on Carsharing Station's Development Patterns Based on Time Series Data

涂颖菲 李坤耘 陈小鸿 TU Yingfei, LI Kunyun, CHEN Xiaohong

**摘要** 针对不同区位与建成环境开展汽车分时租赁站点发展模式分析,能够支撑站点布局优化,促进城市土地与空间资源的合理规划使用。利用站点的时间序列数据,结合确定性因素分解、平稳性检验、Mann-Kendall检验以及截面运营评价,判断站点整体发展模式,将其分为A、B、C、D、E共5类。分析上海市分时租赁系统EVCARD站点的发展模式,研究发现站点运营情况总体呈增长趋势,70%的站点发展运营较好。从站点区位来看,超过70%的外围站点及约80%的郊区站点运营趋势为增长型或稳定型,但内环内站点的长期运营状况较差。从建成环境来看,约80%的公园绿地和交通枢纽区域站点表现为增长或稳定型发展,接近50%的行政办公区域站点长期发展较差。

**Abstract** The analysis of car-sharing stations development patterns under different built environment are important for the enterprises and to the society. The former can support the comprehensive evaluation on car-sharing stations, meanwhile, the latter can contribute to the optimization of stations' layout and planning of land resources. Based on the time series data of all stations, this paper proposes a method for classification on car-sharing station's development patterns, using the deterministic factor decomposition, stationarity test and Mann-Kendall test. This paper further analyzes the development patterns of car-sharing system EVCARD stations in Shanghai. Results show that there is a generally growing trend, with 70% of the stations operating well. From the perspective of station's location, more than 70% of the peripheral stations and about 80% of the suburban stations show the growing or stable developing trend, and the developing trends of the inner-ring stations are poor. From the perspective of built environment, about 80% stations locating in the park or transportation area are developing stably or preferably, while nearly 50% stations locating near the administrative area are developing poorly.

**关键词** 时间序列 | 分时租赁 | 站点 | 发展模式 | 建成环境

**Keywords** Time series | Car-sharing | Station | Development patterns | Built environment

文章编号 1673-8985 (2018) 06-0113-05 中图分类号 TU981 文献标志码 A

DOI 10.11982/j. supr. 20180616

### 作者简介

涂颖菲

上海国际汽车城(集团)有限公司

研究员,博士

李坤耘

同济大学道路与交通工程教育部重点实验室

硕士研究生

陈小鸿

同济大学交通运输工程学院

教授,博士生导师

### 0 引言

我国持驾照人口数、私家车保有量与停车位数量三者间存在巨大差异。一方面,持驾照人口数量持续增长使得部分小汽车出行需求无法得到满足。另一方面,城市紧张的空间与利用效率较低的私家车之间的矛盾使得城市必须对小汽车拥有量进行限制,加剧了小汽车使用需求和小汽车拥有量之间的矛盾。随着移动互联网、智能手机普及的和相关技术的突破,分时租赁通过分离车辆使用权和所有权,提高了车辆及车位的使用效率,满足了部分居民私人机动化出行的需求,并逐渐改变了人们

的出行观念。随着分时租赁商业模式的不断推广,分时租赁电动汽车作为绿色环保的新能源交通工具,已成为分时租赁系统的主要发展趋势。目前,分时租赁的主要运营模式包括同地取还(用户只能在同一租赁站点借车和还车)、异地取还(用户可以在某一租赁站点借车,在其他运营租赁站点还车)和自由取还(用户可以在运营区域内的任意停车位借车和还车)。前两个运营模式以站点为基本单元,站点是供需关系发生作用的关键场所。相较于对站点某一个截面时段运营情况的评价,分时租赁站点长期的时序发展情况能够反映站点整体的发

\*基金项目:国家自然科学基金项目“城市交通治理现代化理论研究”(编号71734004)资助。

展态势,辅助站点的全面评价。不同区位和建成环境的站点所占用的土地资源不同,对其发展模式的分析能够反映不同区位与建成环境背景下的站点的资源利用率。

现有研究主要集中在对站点运营情况的截面评价分析上,研究者主要通过分析站点的使用强度来评估分时租赁站点的运营效益。站点的使用强度指标一般为站点车辆总使用时长、车辆总使用次数或车辆使用率。STILLWATER<sup>[1]</sup>, CERVERO<sup>[2]</sup>, BURKHARDT<sup>[3]</sup>, CELSOR<sup>[4]</sup>等以站点的车辆月使用总时长作为分时租赁站点评价的指标;DE LORIMIER<sup>[5]</sup>等以车辆使用总时长为评价指标,对魁北克的分时租赁车辆进行研究;KIM<sup>[6]</sup>定义了车辆使用率,利用人工采集的非运营数据,以站点车辆使用率表征站点的使用强度,对纽约分时租赁进行分析。车辆使用率为被使用过的车辆除以总车辆数,而车辆在该日被使用过一次即认为该车辆被使用。王丽敏<sup>[7]</sup>利用层次分析法和模糊综合评价法,以站点的车辆成本、土地成本、管理成本、技术成本、人口密度等为站点评价指标建立站点布局评价模型,但该模型并没有涉及站点长期的运营评价。总体来看,现有研究很少关注分时租赁站点在时间序列上的发展变化,缺乏对站点长期发展模式的分类分析。

本文旨在提出分时租赁站点发展模式分类的方法,从而为全面评价分时租赁站点的发展模式提供科学方法与依据。同时,笔者以上海市分时租赁系统EVCARD为研究对象,分析不同区位与建成环境站点的发展模式与整体资源利用效率差异,从而为合理规划与调整土地资源提供参考依据。

## 1 分时租赁站点发展模式分类方法

笔者构建的分时租赁发展模式分类方法包括5个步骤,其技术框架如图1所示。第1步,采用确定性因素分解方法剔除随机因素干扰,提取站点长期运营发展趋势;第2步,通过ADF检验对各站点长期趋势进行平稳性检验,判断站点发展趋势稳定与否;第3步,通过Mann-Kendall检验,对非稳定站点的增长或降

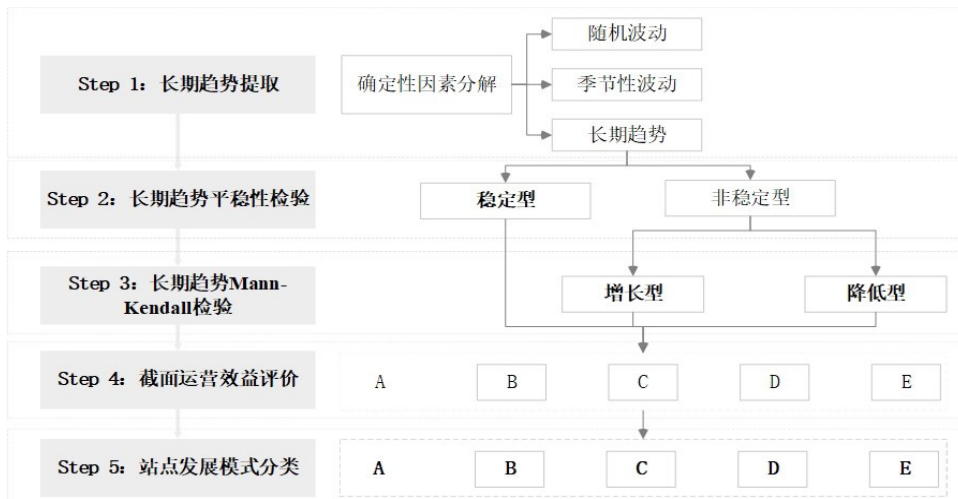


图1 发展模式分类技术框架  
资料来源:笔者自绘。

低趋势进行判定;第4步,对站点近期截面时段的运营情况进行评价,确定站点截面运营效益的高低;第5步,结合站点截面运营效益评价与长期发展趋势类型,综合确定站点的长期运营发展模式,将站点分为A、B、C、D、E共5类。

### 1.1 长期趋势提取

由于站点在运营中可能受到许多噪音的影响(天气、突发事件或大型活动),也可能存在工作日或非工作日的周期波动。为了分析站点运营发展的总体趋势,需要剔除噪音及周期波动的影响。

利用X-11时间序列趋势分解方法<sup>[8]</sup>,对各站点日订单量时序数据进行确定性因素分解。用多次短期中心移动平均消除随机波动、用周期移动平均消除趋势、用交易周期移动平均消除交易日影响<sup>[9]</sup>,对站点日订单量的时序数据进行确定性因素分解,最终提取得到站点运营发展的长期趋势。

### 1.2 长期趋势平稳性检验

站点运营情况的序列运营情况的好坏随着时间的变化而变化,站点日有效订单数据构成一个时间序列 $\{X_t\}=\{X_t(i)\}$ ,其中 $X_t(i)$ 表示站点 $i$ 在 $t$ 处的日有效订单情况。根据公式(1)计算各站点长期趋势中日有效订单量的数学期望 $\hat{\mu}_t$ 和方差 $\hat{\sigma}_t^2$ 的估计值。

$$\begin{cases} \hat{\mu}_t = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N X_t \\ \hat{\sigma}_t^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{t=1}^N (X_t - \hat{\mu}_t)^2 \end{cases} \quad (1)$$

其中,  $N$ 为该序列的长度。根据宽平稳随机过程的定义,若均值 $\mu_t$ 和方差 $\sigma_t^2$ 为常数,则 $\{X_t\}$ 是平稳时序。

检查序列平稳性的标准方法是单位根检验。其中ADF检验可以用于检验含有高阶序列相关的序列的单位根<sup>[10]</sup>。本文采用ADF检验判断各个站点的长期趋势是否达到平稳(置信水平取5%)。

### 1.3 长期趋势Mann-Kendall检验

进一步对非稳定站点的日有效订单量进行Mann-Kendall检验<sup>[11-12]</sup>,从而确定站点运营发展处于增长趋势还是降低趋势。根据公式(2)计算衡量趋势大小的指标 $Z$ ,判断各个站点的发展趋势:当 $Z$ 为正值时,表明站点运营发展呈现增长趋势;当 $Z$ 为负值时,表明站点运营发展呈现降低趋势。

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}}, S > 0 \\ 0, S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}}, S < 0 \end{cases} \quad (2)$$

其中,  $S$ 是趋势检验的统计量,  $\text{VAR}(S)$ 为统计量方差。

基于上述步骤,将站点长期发展情况分为增长型、稳定型和降低型,分别代表站点订单量变化呈现增长、稳定和降低趋势。

#### 1.4 截面运营效益评价

从站点的订单量、订单时长、车位周转率和需求满足度几个方面对站点截面运营效益进行评价。各指标的定义如下:①日均取车(还车)订单量:站点取车(还车)订单数;②日均取车(还车)订单时长:与站点相关的取车(还车)订单的总使用时长;③车位周转率:站点内所有车位平均被使用的次数,研究时段内站点订单数与车位数的比值;④需求满足度:站点对用户用车需求的满足程度,即站点已满足需求(取车订单数)与站点周边所有需求的比值。根据站点运营指标的数据分布情况,使用5分位法<sup>[13]</sup>,将上海市分时租赁异地取还站点分成5级:指标数值位于前16%的为5级,位于前16%—37%的为4级,位于前37%—63%的为3级,位于前63%—84%的为2级,位于后16%的为1级。

统计各个站点不同指标,将各等级等间隔赋予5级分数:5级站点赋5分,4级站点赋4分,依此类推。计算6项指标的总得分,分数越高表明站点运营情况越好,根据总分数确定站点的截面效益分类。最终得分为6—10分的站点截面运营效益为E类;11—15分的站点截面运营效益为D类;16—20分的站点截面运营效益为C类;21—25分的站点截面运营效益为B类;26—30分的站点截面运营效益为A类。

#### 1.5 站点发展模式分类

在站点的截面效益评价基础上,结合站点的长期变化趋势类型,得到站点的发展模式分类。其中,长期发展类型为增长型的站点最终运营发展模式在原截面效益评价类型的基础上提高1级;稳定型站点的运营发展模式与原截面效益类型相同;降低型站点的运营发展模式在原截面效益评价类型的基础上降低1级,如图2所示。最终将站点的发展模式分为A、B、C、D、E共5类,站点发展最好的类型为A,最差为E。

## 2 上海EVCARD汽车分时租赁站点发展模式分析

### 2.1 数据来源

以上海纯电动分时租赁汽车系统EVCARD为研究对象,对其站点的发展模式进行分类分析。上海EVCARD是全国最大的汽车分时租赁系统之一。本文以上海市建成超过1年的异地取还模式的1 361个EVCARD站点为研究对象,分析其从2016年10月—2017年10月为期1年的长期运营趋势,并据此对站点的发展模式进行分类。

### 2.2 长期发展趋势

考虑到站点发展的阶段性,截面时段内站点的运营情况不足以完全代表站点的成熟度以及整体运营情况,因此需要研究站点的长期发展趋势。本文基于X-11时间序列趋势分解方法,利用Python时间序列分析工具包,对各站点在分析时段内的时序数据进行确定性因素分解,提取出站点运营特征的长期发展趋势。剔除白噪音和周期性干扰后,可获得各站点的长期趋势发展时序。在此基础上,采用ADF统计量对各站点的长期运营趋势数据进行单位根检验,设定置信水平为5%,当ADF值小于-2.875时,认为站点发展已达到稳定,否则表明站点未达到稳定发展状态。据此,将站点的长期趋势归为平稳与非稳定2大类。根据Mann-Kendall趋势检验原理,计算各站点趋势判断指标Z判断增长或降低趋势,最终得到站点长期运营趋势类型占比(图3)。

其中,稳定型站点占总站点数的19%,增长型站点占总站点数的59%,降低型站点占总站点数的22%。总体来说,随着站点建成并投入运营,系统整体运营效益呈现增长趋势,约78%的站点呈现稳定或增长发展趋势。

### 2.3 截面效益评价

站点在近期一段时间内的运营效益称为站点的截面效益,能够反映站点当前的运营现状,可结合站点长期发展趋势对站点的整体运

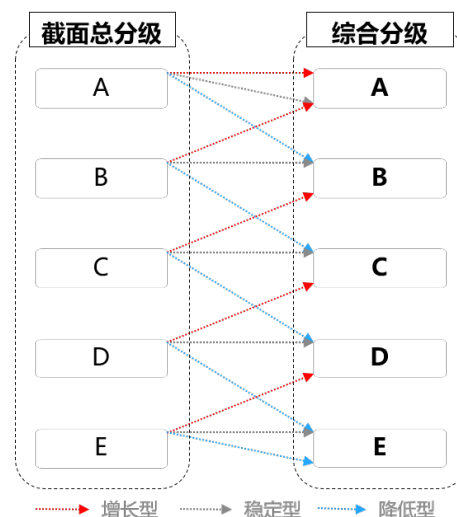


图2 发展模式分类示意图  
资料来源:笔者自绘。

营情况进行说明。通过评价站点的订单量、订单时长、车位周转率和需求满足度,对站点截面运营效益进行评价,从而实现从截面效益的总体评价(图4)。上海EVCARD站点中占比最高的站点为C类站点,超过60%的站点截面效益表现良好(即当站点截面效益为A、B或C类)。总的来说,上海EVCARD分时租赁系统的整体截面运营效益较好。

### 2.4 发展模式分类

站点发展模式分类是指基于站点的长期发展趋势和短期截面运营效益评价,将站点运营情况进行综合分类。通过结合站点自建成以来的发展成熟度以及站点当下的运营现状,对站点的综合发展状态予以评估。在原1 361个站点的截面运营评价的基础上,结合站点长期变化趋势,对比站点发展模式类型和截面运营评价类型的占比(图5)。

在截面运营评价中运营较好的A类与B类站点占比47.6%,而在站点发展模式分类中比例提升至55.6%,说明系统整体运营效益呈现增长趋势,发展态势良好;在截面运营评价中和站点发展模式分类中运营较坏的D类与E类站点占比基本保持不变,约26%的站点不管从截面运营还是长期发展来看都处于低效益状态,需要重点关注改善。

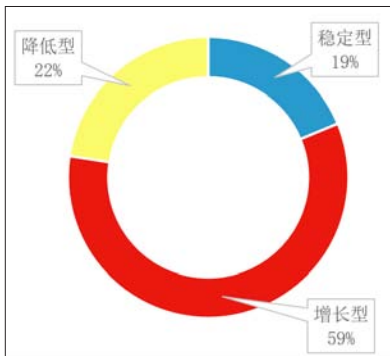


图3 上海EVCARD长期运营趋势  
资料来源:笔者自绘。

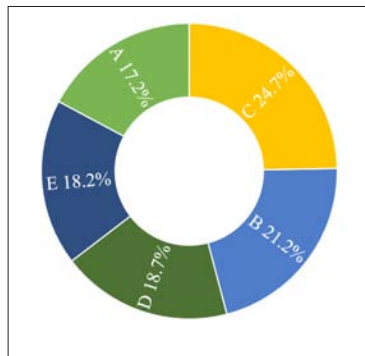


图4 上海EVCARD截面效益评价  
资料来源:笔者自绘。

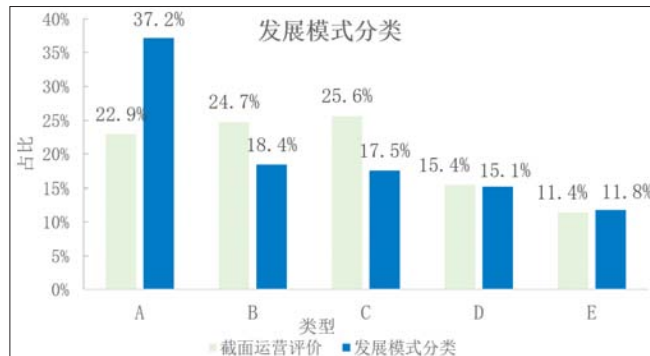


图5 上海EVCARD发展模式分类与截面运营评价类型对比  
资料来源:笔者自绘。

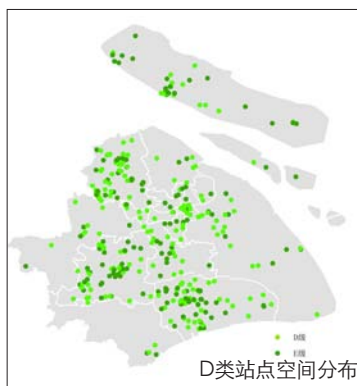
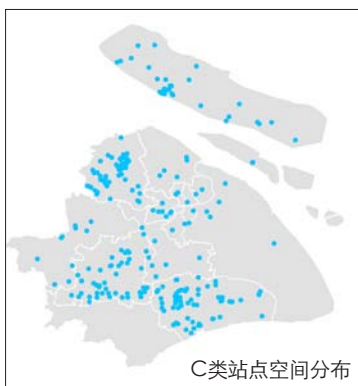
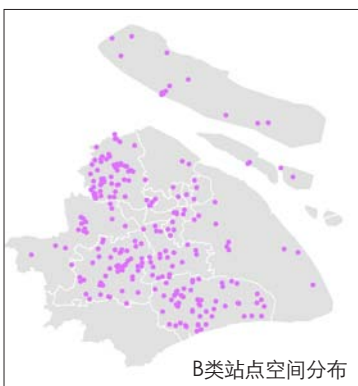
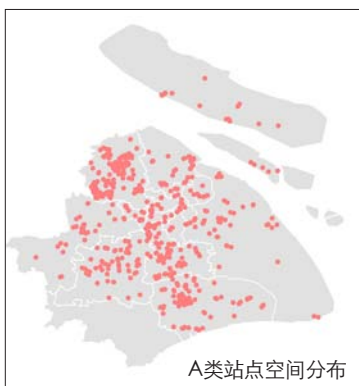


图6 上海EVCARD不同发展模式站点空间分布  
资料来源:笔者自绘。

### 3 分析结果讨论

#### 3.1 总体空间分布特征

对不同发展模式的站点的空间分布进行分析,寻找同一类型站点在空间分布中的共性与差异特征(图6)。发展较好(A、B类)的站点集中于安亭镇、嘉定新城附近以及奉贤上师大附近。而发展一般的C类站点分布于外围区域,发展较差的站点分布较零散,无明显聚集状态。上海EVCARD兴起于嘉定区安亭镇,随后逐渐在嘉定区以及上海市普及,并受到了大量大学生和中等收入人群的广泛接受。在这些区域,站点建成时间长,用户认可度高,故站点的发展运营情况较好。

#### 3.2 站点的区位特性

按照上海的区位特征,将位于所有分析站点分为:中心区站点(站点位于上海内环以内)、外围区站点(站点位于上海内环与外环之间)以及郊区站点(站点位于上海外环以外)。

探究不同交通区位条件下站点的长期发展趋势和整体发展模式差异(图7-图8)。

超过70%的外围区站点以及约80%的郊区站点呈现增长型或稳定型发展,仅有不到60%的中心区站点运营发展呈现稳定或增长趋势,由于中心区具有密集的公共交通服务,其交通便利性和交通服务可获得性好,受到中心区发达且快速发展的公交服务影响,中心区分时租赁站点长期发展趋势一般,主要呈现下降趋势,因此超过40%的中心区站点发展模式为D或E类。接近50%的外围区站点为A类,对外围区的用户来说,一方面他们的公共交通服务的可获得性较差,更多依赖于小汽车出行,与中心区用户相比外围区用户有更大概率选择汽车分时租赁;另一方面外围区用户的出行距离较长,对于以出行时间计费汽车分时租赁而言,站点单次对应的订单收益更高。

#### 3.3 与建成环境的关系

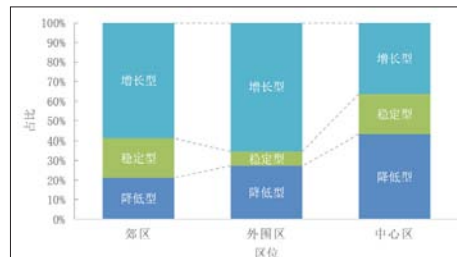


图7 上海EVCARD长期发展类型与空间区位关系  
资料来源:笔者自绘。

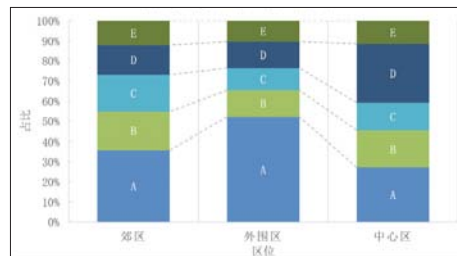


图8 上海EVCARD站点发展模式与空间区位关系  
资料来源:笔者自绘。

上海EVCARD站点的建成环境包括:风景名胜类、公园绿地类、行政办公类、交通枢纽类、教育科研类、商务类、商业类、文化体育类、

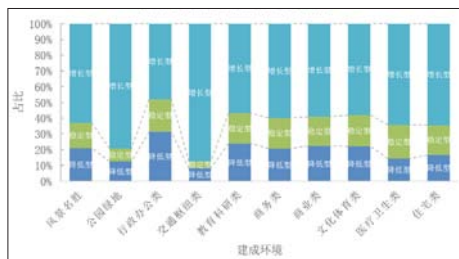


图9 上海EVCARD长期发展类型与建成环境关系  
资料来源:笔者自绘。

医疗卫生类和住宅类。分析不同建成环境类型的站点的发展模式差异,探究不同建成环境区域与站点长期发展趋势和发展模式的关系(图9-图10)。

约80%的公园绿地类站点以及超过80%的交通枢纽类站点表现为增长型或稳定型,行政办公类站点则多表现为降低型。同时,交通枢纽类、公园绿地类、文化体育类站点运营发展表现较好,尤其是交通枢纽类区域的站点中超过90%的站点为长期发展模式较好的A、B或C类。行政办公类站点的运营表现较差,接近50%的行政办公类站点长期发展模式为表现较差的D类或E类。

#### 4 结论与展望

本文结合时间序列分析方法中的确定性因素分解、平稳性检验、Mann-Kendall检验与截面运营效益评价,提出对分时租赁站点长期发展模式进行分类的方法。基于提出的站点发展模式分类方法,分析了上海汽车分时租赁系统EVCARD站点的发展模式类型,并具体探讨了不同区位与建成环境类型的站点的发展模式。研究发现:

(1) 上海EVCARD站点总体呈现增长趋势,发展模式较好的A、B、C类站点占比超过70%。这些站点主要集中在安亭镇、嘉定新城以及奉贤上海师范大学附近。发展表现较差的D类与E类站点分布较零散,无明显聚集状态。

(2) 从站点区位来看,超过70%的外围区站点以及约80%的郊区站点呈现增长型或稳定型发展,而仅有60%的中心区站点呈现稳定或增长型。约有40%的中心区站点发展模式为

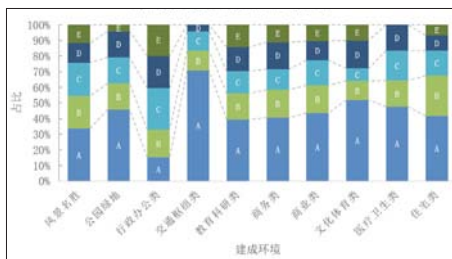


图10 上海EVCARD站点发展模式与建成环境关系  
资料来源:笔者自绘。

表现较差的D或E类。

(3) 从建成环境来看,约80%的公园绿地类站点以及超过80%的交通枢纽类站点表现为增长型或稳定型发展,这类站点的整体发展模式较好。尤其是交通枢纽类区域的站点,有超过90%的站点为长期发展模式较好的A、B或C类。相反,约30%的行政办公类站点表现为降低型,接近50%的行政办公类站点长期发展模式为表现较差的D类或E类。

结合对上海EVCARD长期发展模式的分析,外围区和郊区汽车分时租赁站点的长期运营表现与土地资源利用效果较好;交通枢纽类与公园绿地附近的站点明显优于行政办公区域的站点。因此在考虑分时租赁站点的布局或者对土地资源进行配置时,可以重点考虑外围区与郊区以及交通枢纽区域与公园绿地区域,尽量规避行政办公区域的布点。

本文提出的方法能够判断站点长期发展的稳定、增长或降低趋势,能够综合站点的长期发展趋势和截面运营情况完成对分时租赁站点发展模式的分类。方法具有有效性,能够为分时租赁企业对已建站点的长期发展评价提供方法支撑,有利于全面评价站点的运营效益。对不同区位与建成环境站点发展模式的分析能够为站点的布局优化和土地资源的合理规划利用提供科学依据。

#### 参考文献 References

- [1] STILLWATER T, MOKHTARIAN, PATRICIA L, et al. Carsharing and the built environment: geographic information system-based study of one U.S. operator[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2009(2110): 27-33.
- [2] CERVERO R. City carshare: first-year travel demand impacts[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2003 (1839): 159-166.
- [3] JON E B, ADAM M. Who is attracted to carsharing? [J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2006 (1986): 98-105.
- [4] CELSOR C. Where does car-sharing work? using GIS to assess market potential[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2007(1992): 61-69.
- [5] ALEXANDREDE L, AHMEDM E. Understanding the factors affecting vehicle usage and availability in carsharing networks: a case study of communauto carsharing system from Montréal, Canada[J]. International Journal of Sustainable Transportation, 2013, 7(1): 35-51.
- [6] KYEONGSU K. Can carsharing meet the mobility needs for the low-income neighborhoods? Lessons from carsharing usage patterns in New York City[J]. Transportation Research Part A, 2015(77):249-260.
- [7] 王丽敏. 基于AHP和模糊综合评价法在共享汽车站点选址的研究[J]. 江苏科技信息, 2013 (7): 60-62. WANG Limin. Research on the location selection of car-sharing stations based on AHP and fuzzy comprehensive evaluation method[J]. Jiangsu Science and Technology Information, 2013(7): 60-62.
- [8] 薄邦元. 季节调整X—11方法简介[J]. 预测, 1988 (6): 11-15. BO Bangyuan. Introduction to seasonal adjustment X-11 method[J]. Forecasting, 1988(6): 11-15.
- [9] 权凌,周纪,李明松,等. 基于时间序列建模的城市热岛时间尺度成分分离方法与应用[J]. 地球科学进展, 2014, 29 (6): 723-733. QUAN Ling, ZHOU Ji, LI Mingsong, et al. A method for separating temporal components of the urban heat island based on time series modeling and its application[J]. Advances in Earth Science, 2014, 29(6): 723-733.
- [10] 陈昭. 时序非平稳性ADF检验法的理论与应用[J]. 广州大学学报(自然科学版), 2008 (5): 5-10. CHEN Zhao. ADF test for non-stationary time series: theory and application[J]. Journal of Guangzhou University (Natural Science Edition), 2008(5): 5-10.
- [11] MANN H B. Nonparametric tests against trend[J]. Econometrica, 1945(13):245-259.
- [12] KENDALL M G. Rank correlation methods[M]. London: Charles Griffin Company, 1975.
- [13] 徐静. 山西省电力公司同业对标评价与分析子系统的设计与开发[D]. 北京: 华北电力大学, 2017. XU Jing. The design and development on evaluation and analysis system of benchmarking for state grid Shanxi electric power company[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2017.