引文格式：童魁,马文硕,吴红燕,等. 城市地铁站接驳共享单车调度分级评估研究[J]. 地理空间信息, 2025, 23(12):56-59. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2025.12.012

城市地铁站接驳共享单车调度分级评估研究

童　魁[1]，马文硕[2]，吴红燕[3*]，曹　健[2]
（1. 中铁第四勘察设计院集团有限公司，湖北 武汉 430063；2. 武汉理工大学交通与物流工程学院，湖北 武汉 430063；
3. 文华学院，湖北 武汉 430074）

摘　要：针对城市地铁站接驳共享单车供需失衡的问题，目前共享单车调度研究主要基于单一流量需求指标评价。提出一种城市地铁站接驳共享单车调度分级评估方法，在单车流量和租还比需求分析的基础上，通过改进泰尔指数来量化共享单车出行需求的时间和空间不均衡度，通过层次分析法与熵权法主客观加权构建需求分级综合评价。以厦门市一周内约 1 100 万条上班早高峰共享单车轨迹数据进行实验分析，研究结果表明，融合单车流量、租还比、时空均衡性能较好地捕捉地铁站接驳单车的需求紧迫性，可以为面向城市地铁站接驳的共享单车资源调配和投放决策提供参考。

关键词：共享单车调度；地铁站接驳；分级评估；出行需求；时空均衡性
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2025）12-0056-04

Research on Graded Assessment of Shared Bike Dispatching for Urban Subway Station Connection Areas

TONG Kui[1], MA Wenshuo[2], WU Hongyan[3], CAO Jian[2]
(1. China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., Wuhan 430063, China;
2. School of Transportation and Logistics Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430063, China;
3. Wenhua College, Wuhan 430074, China)

Abstract: To address the issue of supply-demand imbalance in shared bike services at urban subway stations, most existing studies focus solely on a single demand metric, such as bike traffic flow. We proposed a graded assessment method for dispatching shared bikes in subway station connection areas. Based on analyses of bike flow and the rental-return ratio, we introduced an improved Theil index to quantify the spatio-temporal imbalance of shared bike demand. Furthermore, we constructed a comprehensive demand graded index by integrating subjective and objective weights using the analytic hierarchy process and entropy weight method. An empirical study using approximately 11 million morning peak-hour shared bike trajectories collected over one week in Xiamen City, demonstrated the effectiveness of this method. The results show that the integration of bike flow, rental-return ratios, and spatio-temporal balance metrics can better capture the urgency of demand for shared bikes at subway stations, which can provide valuable insights for the optimization of shared bike allocation and deployment strategies in subway station connection areas.

Key words: shared bike dispatching, subway station connection, graded assessment, travel demand, spatio-temporal balance

共享单车从带桩到无桩的发展，其自由度和便利性大大提高，使其成为解决城市“最后一公里”，完善公共交通出行链、提高交通出行效率的重要工具。与此同时，自由度的提升也导致了共享单车被大量有方向、有目的的移动使用，造成供需失衡问题。特别是在工作日早晚高峰，城市地铁站周边陷入无处停车或无车可用的窘境，面向地铁站接驳的共享单车调度方案显得尤为重要。单车流量、租还比作为共享单车出行需求的基本量化指标被广泛应用，近年来相关学者开始研究共享单车的时空分布特征[1-9]。

本文旨在研究城市地铁站接驳共享单车调度分级评估方法。在单车流量、租还比指标的基础上，通过量化共享单车的时空均衡性并综合多指标，提出一种共享单车调度优先级评价方法，为共享单车的资源调配和投放决策提供参考。

1　评价模型构建

本文构建面向地铁站接驳的共享单车调度综合评价模型如图 1 所示。

项目来源：湖北省自然科学基金资助项目（2025AFD764）。
第一作者简介：童魁（1989—），硕士，工程师，研究方向为交通空间分析、精密测量等，E-mail：819494896@qq.com。
通信作者：吴红燕（1991—），硕士，讲师，研究方向为智慧交通系统、交通控制等，E-mail：wuhongyan@whc.edu.cn。

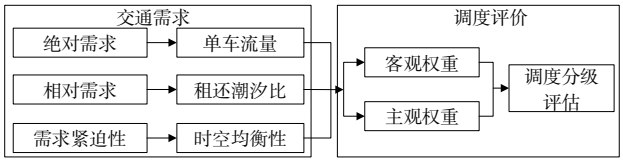


图1　模型框架

2　出行需求量化

2.1　租还比

接驳地铁站的共享单车租还情况直接影响站点周围可用的共享单车数量及其服务水平[10]。本文采用租还比指标来衡量地铁站接驳共享单车的租还比，计算见式（1）。

$$R_i(\Delta t)=\frac{Z_i^{\text{out}}(\Delta t)-Z_i^{\text{in}}(\Delta t)}{Z_i(\Delta t)} \tag{1}$$

式中，$R_i(\Delta t)$ 为地铁站点 i 的接驳范围内共享单车在时间 Δt 内的租还比，其取值为[−1，1]；$Z_i^{\text{out}}(\Delta t)$ 为在时间 Δt 内处在地铁站接驳范围内的租车数量；$Z_i^{\text{in}}(\Delta t)$ 为在时间 Δt 内处在地铁站接驳范围内的还车数量；$Z_i(\Delta t)$ 为租、还车数量的总和。

租还比 $R_i(\Delta t)$ 偏离0值的程度反映了共享单车的供需关系。当 $R_i(\Delta t)$ 为−1时，表明这段时间内订单均为还车，导致地铁站周边积压大量单车，造成“无地还车”的现象。当 $R_i(\Delta t)$ 为1时，表明这段时间内订单均为借车，导致地铁站周边缺少可用的单车，造成“无车可借”的现象。当 $R_i(\Delta t)$ 为0时，地铁站接驳范围内共享单车还车量与租车量相等，即达到了租还平衡的理想状态。

2.2　时空均衡性

基于一种广义均衡性评价工具—泰尔指数（theil index）[11]，以地铁站为组，各组内包含不同时间或空间分布的接驳共享单车量，分析共享单车在某时间段地铁站吸引范围内的时空均衡性。

1）空间不均衡度。共享单车空间不均衡程度本质上是各个扇区内共享单车流量相对于平均流量的偏移程度，地铁站吸引范围内共享单车流的在空间上分布偏移程度越高，其空间不均衡度 T_{space} 越大。基于泰尔指数，将时间 t 内地铁站接驳范围 x 划分为 n 个扇区，计算地铁站接驳共享单车空间分布不均衡程度 T_{space}。每个扇区的偏移量计算值可能为负值，因此取其绝对值。空间不均衡度 T_{space} 计算见式（2）。

$$T_{\text{space}}=\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{F_{x_it}}{F_{xt}}\ln\left(\frac{F_{x_it}}{F_{xt}/n}\right)\right| \tag{2}$$

式中，F_{x_it} 为时间 t 内扇区 x_i 内共享单车流量；F_{xt} 为时间 t 内地铁站周围 x 内共享单车流量。当单车流均匀地分布于地铁站周围的所有 n 个扇区内，则此时 $F_{x_it}=F_{xt}/n$，$T_{\text{space}}=0$，该地铁站周围单车流量在空间上完全均衡。完全的空间均衡是理想情况，现实中一般比较少见。当 $F_{x_it}\neq F_{xt}/n$ 的时候，F_{x_it} 偏离 F_{xt}/n 越远，T_{space} 越大，空间不均衡度越高。

2）时间不均衡度。时间不均衡程度本质上是各个时间段内共享单车出行相对于平均流量的偏移程度，地铁站接驳共享单车在时间上偏移越高，其时间不均衡度 T_{time} 越大。基于泰尔指数，将地铁站接驳范围 x 内的时间 t 划分为 m 个时间段，计算地铁接驳共享单车时间分布不均衡程度 T_{time}。每个时间段的偏移量计算值可能为负值，因此取其绝对值。时间不均衡度 T_{time} 计算见式（3）。

$$T_{\text{time}}=\sum_{j=1}^{m}\left|\frac{F_{xt_j}}{F_{xt}}\ln\left(\frac{F_{xt_j}}{F_{xt}/m}\right)\right| \tag{3}$$

式中，F_{xt_j} 为时间 t_j 内地铁站接驳范围 x 内共享单车流量。当共享单车流均匀地分布在所有的时间 m 个区间内，则此时 $F_{xt_j}=F_{xt}/m$，$T_{\text{time}}=0$，该地铁站周围单车流量在时间上完全均衡。完全的时间均衡都是理想情况，现实中一般比较少见。当 $F_{xt_j}\neq F_{xt}/m$ 的时候，F_{xt_j} 偏离 F_{xt}/m 越远，T_{time} 越大，时间不均衡度越高。

2.3　调度分级评估

在量化单车流量、租还潮汐比、时空均衡性指标的基础上，通过多指标融合评价共享单车调度优先级。针对多指标加权问题，采用熵权法（entropy weight method, EWM）量化各评价指标的重要性，减少主观性对结果的影响。但是，熵权法对于相关性较高的指标计算不准确，如时空均衡性和租还比。因此，本文采用层次分析法与熵权法相结合的主客观综合赋权法来确定各指标的权系数，在保证通用性和决策者可参与性的基础上，结合专家的知识经验与原始数据的真实性，以使赋权更具说服力。

1）层次分析法的关键是如何基于专家经验打分，同时尽可能减少评价主观性。

2）熵权法对于 m 个评价指标与 n 个评价对象，经过正向化后可以构建 $m\times n$ 矩阵 $\boldsymbol{p}_{ij}$。此时对第 i 个指标计算信息熵 e_i，计算见式（4），从而算得各指标

熵权 w_{2i}，计算见式（5）。

$$e_i=-\frac{1}{\ln n}\sum_{j=1}^{n}p_{ij}\ln(p_{ij})(i=1,2,\cdots,m) \tag{4}$$

$$w_{2i}=\frac{1-e_i}{\sum_{i=1}^{m}(1-e_i)} \tag{5}$$

式中，ln 为自然常数；e 为底的对数函数。

针对层次分析法与熵权法权值，通过线性组合计算指标的综合权值，计算见式（6）。

$$w_i=\alpha w_{1i}+(1-\alpha)w_{2i} \tag{6}$$

式中，w_i 为第 i 个指标的综合权值；w_{1i} 为层次分析法第 i 个指标的权重；w_{2i} 为熵权法第 i 个指标的权重；α 为介于0~1之间的参数。

3 实验分析

3.1 数据预处理

本文的实验数据位于福建省厦门市，包括2020年12月21—25日6：00—10：00早高峰期间约1 100万条早高峰共享单车轨迹数据，其来源于“2021数字中国创新大赛”的公开数据集。2020年厦门市共有2条地铁线路，分别为一号线与二号线。剔除共享单车轨迹数据中的异常数据与超过1 h的长时骑行数据，得到129 209条共享单车出行数据。厦门市地铁站进出站口之间的平均距离为70 m，取200 m为每个地铁站的接驳半径，筛选起始点或终止点落在接驳区域内的共享单车为该地铁站的接驳单车，提取接驳单车量高于200的27个地铁站作为本文的研究对象。

3.2 出行需求分析

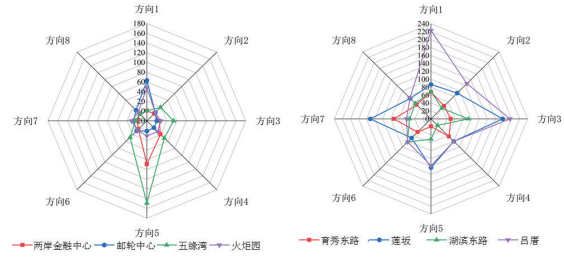
1）租还比分析。利用共享单车OD数据计算每个地铁站点的单车租还比，其结果如表1所示。

表1 厦门市地铁站租还比

地铁站	租还比	地铁站	租还比
海沧行政中心	−0.909	高崎	0.127
蔡塘	−0.333	两岸金融中心	0.157
乌石浦	−0.181	邮轮中心	0.170
江头	−0.174	湖滨中路	0.202
莲花路口	−0.105	建业路	0.211
吕厝	−0.093	古地石	0.213
莲坂	−0.054	镇海路	0.219
体育中心	−0.006	文灶	0.229
五缘湾	0.011	岭兜	0.242
后埔	0.038	将军祠	0.266
中山公园	0.045	塘边	0.282
湖滨东路	0.087	火炬园	0.440
何厝	0.094	软件园二期	0.580
育秀东路	0.118		

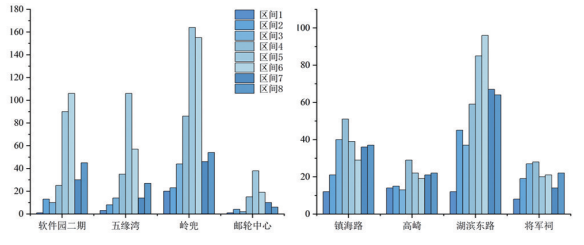
2）通过分析租还比数据，负向偏离0值的地铁站周围共享单车用户的目的多为使用共享单车抵达此地换乘地铁。如最典型的海沧行政中心地铁站，作为连接岛内与岛外的关键地铁枢纽，该站点周围遍布大量居民区，且这些小区距离地铁站直线距离1 km以上，早高峰期间上班族和学生通常选择骑行共享单车抵达地铁站换乘。江头地铁站周围也是小区众多，其中吕岭花园因为行人出入口与地铁站处在相反方向，即使该小区与地铁站直线距离很近，大多数有换乘需求的居民仍选择共享单车出行；正向偏离0值的地铁站功能性与负向偏离地铁站相反，多为乘客的终点站，在乘客到达后大多选择使用共享单车抵达学校、公司等。如软件园二期地铁站，该地铁站周围企业林立，几乎都是科技园区，大量上班族乘坐地铁抵达该地铁站后换乘共享单车前往公司上班。

时空均衡性分析。根据时空均衡性量化方法，对厦门市地铁站接驳共享单车进行时空均衡性分析。将每1个地铁站的吸引区域均分为 i（$i=8$）个扇区，每个扇区角度为45°；将早高峰6：00~10：00均分为 j（$j=8$）个时间区间，每个时间区间为30 min。从时间和空间2个角度对单车流的时空均衡性进行评价。空间不均衡指数分别最高和最低的4个地铁站8个方向单车流量雷达图如图2所示。空间不均衡指数较高的地铁站都出现在某一个方向或者某几个方向上车流量远高于其余方向情况。空间不均衡指数较低的地铁站单车流量空间分布总体上较为均衡。时间不均衡指数最高的4个地铁站和最低的4个地铁站的8个时间区间单车流量柱状图如图3所示。



a 空间不均衡程度最高地铁站 b 空间不均衡程度最低地铁站

图2 空间均衡性分析



a 时间不均衡程度最高地铁站 b 时间不均衡程度最低地铁站

图3 时间不均衡性分析

时间不均衡指数较高的地铁站都出现了在某1个时间区间或者某几个时间区间内车流量远高于其余区

间的情况，导致其时间不均衡性指数的上升。以软件园二期为例，该地铁站周围地物使用状况几乎全部以软件园区为主，在早高峰期间大量的上班族由地铁站出发前往办公区域进行工作，这将导致在这个时间段内单车的大量使用，造成时间上的不平衡。对于时间不均衡性较低的地铁站，以将军祠为例，该地铁站附近存在多片居民区、办公区与多所学校，土地利用较为复杂综合，其针对出行时间的需求也是相比软件园二期地物较为单一、工作时间固定的区域更为灵活复杂。

3.3　调度优先级评价

根据原始数据建立层次结构，专家基于实际情况确定统一打分标准，构建判断矩阵和权重计算。结合层次分析法与熵权法的主客观综合赋权法确定权重，如表2所示。将每个地铁站在所有指标上相应的得分基于主客观分析权值整合计算，得到所有地铁站接驳共享单车的调度分级得分如图4所示。

表2　各评价指标权重

指标	单车流量	租还比	空间不均衡度	时间不均衡度
层次分析法 w_1	0.386	0.080	0.105	0.181
熵权法 w_2	0.250	0.248	0.191	0.130
总权重 w	0.318	0.164	0.148	0.155

根据每个站点得分基于分层设色可视化，其中得分大于40的站点用红色表示，得分位于30~40之间的用蓝色表示，得分低于30的用绿色表示。观察一号线和二号线地铁站地图分布，发现调度优先级较高的地铁站主要集中在东部地区，而调度优先级较低的地铁站主要集中在厦门市的中部和西部地区。其中岭兜、软件园二期、何厝3个地铁站调度优先级得分较高，其原因是它们周围不仅分布着如厦门软件园、厦门国际银行总部等公司企业聚集地，也分布着福建省厦门双十中学思明分校、厦门第二实验小学展城校区等学校，在高峰期间大量上班族和学生在这些地铁站换乘共享单车前往工作或上学地点。同时，这3个地铁站周围几乎不存在小区等居住用地，只有抵达车站换乘单车的客流，极少有抵达车站换乘地铁的客流，出现了显著的租还比。另外，由于前往公司和学校的城市居民大多集中早高峰段内抵达工作或上学地点，这也导致接驳地铁站的共享单车时间不均衡性较高。

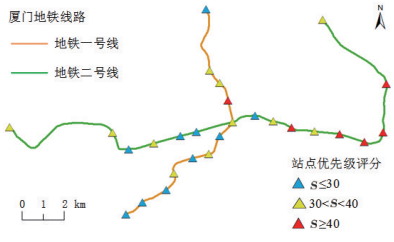


图4　厦门市地铁站优先级评分图

4　结　语

本文以厦门市早高峰地铁站接驳共享单车的轨迹数据为例，研究地铁站接驳共享单车的调度优先级评估方法。综合单车流量、租还比、时空均衡性的GIS空间分析，采用层次分析法与熵权法相结合的综合赋权法来确定各指标的权系数，结合通用性和决策者可参与性，使优先级评价更具说服力。未来，将进一步考虑城市交通的复杂性[12-13]，研究共享单车的高效调度决策问题。

参考文献

[1] 秦红富,谈树成,施祷奇,等. 基于GIS的昆明市区共享单车运维资源分配研究[J]. 地理空间信息,2022,20(10):45-48

[2] 高 楹,宋 辞,郭思慧,等. 接驳地铁站的共享单车源汇时空特征及其影响因素[J]. 地球信息科学学报,2021,23(1):155-170

[3] 付学梅,隽志才. 时间维度下上海市共享单车骑行模式研究[J]. 交通运输系统工程与信息,2020,20(3):219-226

[4] 姜 晓,白璐斌,楼夏寅,等.基于多尺度时空聚类的共享单车潮汐特征挖掘与需求预测研究[J]. 地球信息科学学报,2022,24(6):1 047-1 060

[5] 于二泽,周继彪. 城市公共自行车租还不均衡的时空特征与影响因素[J]. 交通运输工程与信息学报,2023,21(2):141-159

[6] 王家川,欧阳松寿. 北京市轨道交通站点周边区域共享自行车运行不均衡性研究[J]. 交通运输系统工程与信息,2019,19(1):214-221

[7] 崔树强,朱佩娟,张美芳,等. 城市建成环境对共享单车使用空间分布的影响:以长沙市为例[J]. 西南大学学报(自然科学版),2020,42(6):89-99

[8] 张 芳,陈彬,汤杨华,等. 基于兴趣点聚类的无桩共享单车时空模式分析[J]. 系统仿真学报,2019,31(12):2 829-2 836

[9] 成 骋,陈文栋,马洪生,等. 基于Leiden算法的共享单车活动社区识别方法:南京案例分析[J]. 交通信息与安全,2023,41(2):103-111

[10] 邝嘉恒,邬群勇. 接驳地铁站的共享单车时空均衡性分析与吸引区域优化[J]. 地球信息科学学报,2022,24(7):1 337-1 348

[11] 王婧颖,蔡忠亮,曹文春,等. 基于“POIOD”矩阵的共享单车出行特征分析[J]. 地理空间信息,2019,17(5):102-107

[12] Cai X, Gu X, Silm S, et al. Differences in Bike-sharing Usage and Its Associations with Station-surrounding Characteristics: A Multi-group Analysis Using Machine Learning Techniques[J]. Journal of Transport Geography, 2025, 125: 104 201

[13] 曹婧,李荣锋,王亚,等. 基于城市拼装视角的共享单车理论解释:以广州市中心城区为例[J]. 地理科学,2025,45(2):364-375