

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2023.03.024

# 建成环境对商业综合体公共自行车运行均衡性的影响

王涛<sup>1</sup>, 戢晓峰<sup>\*2,3</sup>, 普永明<sup>2,3</sup>, 覃文文<sup>2,3</sup>

(1. 重庆市交通规划研究院, 重庆 401120; 2. 昆明理工大学 交通工程学院, 云南 昆明 650504;  
3. 云南省现代物流工程研究中心, 云南 昆明 650504)

**摘要:** 城市商业综合体对公共自行车客流具有极强的吸引力, 且商业综合体公共自行车客流表现出显著的时空不均衡特征。为了解析商业综合体公共自行车运行时空间分布差异成因, 首先结合商业综合体基础信息数据、公共自行车运营数据和建成环境数据, 综合考虑公共自行车运行空间分布均衡性和站点运行均衡性, 构建了公共自行车运行均衡性评价指标体系。然后运用偏最小二乘回归方法构建了运行均衡性影响因素评价模型并分析了建成环境对公共自行车运行均衡性的影响机制。最后以昆明市为例进行了实证分析。结果表明: 昆明市商业综合体公共自行车运行空间分布均衡性工作日优于非工作日, 城市中心区域站点运行均衡性优于市郊; 基于偏最小二乘回归构建的运行均衡性影响因素评价模型对工作日和非工作日解释能力分别为 97.9% 和 87.7%, 交叉有效性分别为 0.863 和 0.652; 建成环境对工作日和非工作日商业综合体公共自行车运行均衡性的作用路径存在差异; 影响工作日商业综合体公共自行车运行均衡性的主要建成环境因子是人行道长度、主干道长度、地铁可达性, 而影响非工作日商业综合体公共自行车运行均衡性的主要建成环境因子则主要是土地利用混合度、主干道长度、人行道长度; 骑行环境是商业综合体公共自行车运行均衡性的主要影响因素。

**关键词:** 交通工程; 公共自行车运行均衡性; 偏最小二乘回归; 建成环境; 商业综合体

中图分类号: U491.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268 (2023) 03-0202-07

## Influence of Built Environment on Operation Equilibrium of Public Bicycles in Commercial Synthesis

WANG Tao<sup>1</sup>, JI Xiao-feng<sup>\*2,3</sup>, PU Yong-ming<sup>2,3</sup>, QIN Wen-wen<sup>2,3</sup>

(1. Chongqing Transport Planning and Research Institute, Chongqing 401120, China;

2. School of Traffic Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming Yunnan 650504, China;

3. Yunnan Modern Logistics Engineering Research Center, Kunming Yunnan 650504, China)

**Abstract:** The urban commercial synthesis has a strong attraction to the public bicycle passenger flow, and the public bicycle passenger flow in the commercial synthesis shows significant spatial-temporal equilibrium. In order to analyze the causes of the difference of spatial-temporal distribution of public bicycles in commercial synthesis, first, combining with the commercial synthesis basic information data, public bicycle operation data and built environment data, comprehensively considering the equilibrium of the public bicycle operation space distribution and the equilibrium of station operation, the evaluation indicator system for the equilibrium of public bicycle operation is established. Then, the evaluation model of the factors affecting the operation equilibrium is built and the influence mechanism of the built environment on the operation equilibrium of public bicycles is analyzed by using the partial least square regression method. Finally, taking

收稿日期: 2021-01-20

基金项目: 云南省科技计划项目 (202004AR040022)

作者简介: 王涛 (1997-), 男, 重庆人, 硕士. (1240070314@qq.com)

\* 通讯作者: 戢晓峰 (1982-), 男, 湖北随州人, 博士, 教授. (yiluxinshi@sina.com)

Kunming for example, the verification analysis is conducted. The result shows that (1) the spatial distribution equilibrium of public bicycle in commercial synthesis on working days is better than that of non-working days in Kunming, and the station operation equilibrium in urban central areas is better than that in suburbs; (2) the explanatory ability of the equilibrium influencing factor evaluation model based on partial least squares regression is 97.9% and 87.7% respectively on working days and non-working days, and the cross effectiveness is 0.863 and 0.652 respectively; (3) the built environment has different effect paths on the equilibrium of public bicycles in the commercial synthesis area on working days and non-working days; (4) the main built environmental factors that affect the equilibrium of public bicycles in commercial synthesis on working days are sidewalk length, main road length, and the accessibility of subway, while the main built environmental factors that affect the equilibrium of public bicycles in commercial synthesis on non-weekdays are mainly land use mixing degree, main road length, and sidewalk length; (5) the cycling environment is the main factor affecting the equilibrium.

**Key words:** traffic engineering; operation equilibrium of public bicycle; partial least squares regression; built environment; commercial synthesis

## 0 引言

土地利用特征是影响公众出行行为的重要因素<sup>[1-2]</sup>,而商业综合体的高密度、高混合度土地利用模式<sup>[3]</sup>对居民日常出行有着潜移默化的影响<sup>[4]</sup>。作为一种重要的出行方式,公共自行车是解决城市交通“最后一公里”问题的有效手段<sup>[5]</sup>,其使用率在商业综合体等高土地利用混合度区域相对更高<sup>[6]</sup>,且大多数短距离骑行者目的地为商业集中区域<sup>[7]</sup>,商业综合体对公共自行车客流表现出极强的吸引力<sup>[8]</sup>。分析商业综合体公共自行车出行行为的影响机制,可以为公共自行车站点空间规划提供参考,对促进城市空间复合利用及改善慢行交通环境具有重要意义。

目前,公共自行车出行行为相关研究已聚焦到地铁站、商业中心等尺度。高志文等<sup>[9]</sup>通过对地铁站域公共自行车使用特征的时空分析,动态全面地展示了地铁站域公共自行车接驳行为的时空分布特征。马欢欢等<sup>[10]</sup>使用GIS空间分析方法发现商业中心区域公共自行车存在明显的错位现象。上述研究均发现在一定的时间范围内某空间单元的公共自行车借出、归还量存在较大差异,但对其成因缺乏必要解析。此外,公共自行车出行行为影响机制相关研究主要关注建成环境对使用强度的影响<sup>[11-13]</sup>,该类研究大多重点关注公共自行车使用频次,对其空间分布差异鲜有涉及,因其借还行为引起的时空不均衡分布需进一步分析。因此,分析建成环境对商业综合体公共自行车运行均衡性的影响机制既能解析商业综合体公共自行车OD空间分布差异成因,

又能拓展公共自行车出行行为影响机制相关研究。

为了系统分析建成环境对商业综合体公共自行车运行均衡性的影响机制,本研究以云南省昆明市为例,结合商业综合体基础信息数据、公共自行车运营数据和建成环境数据,构建商业综合体公共自行车运行均衡性评价指标体系并分析建成环境对其影响机制,以期为公共自行车站点布局优化、城市慢行交通规划与管理提供参考。

## 1 评价指标体系构建

### 1.1 运行均衡性评价指标

城市商业综合体区域公共自行车客流具有显著的时空不均衡特征<sup>[10]</sup>,其运行均衡性可以采用使用强度<sup>[14]</sup>、周转率、流动系数<sup>[15]</sup>等指标表示。在衡量运行均衡性时考虑空间分布均衡性和站点运行均衡性,空间分布均衡性选取使用强度和周转率2个指标,站点运行均衡性选取流动系数指标,各指标定义如表1所示。

表1 运行均衡性评价指标体系

Tab. 1 Operation equilibrium evaluation indicator system

均衡性	指标	描述
空间分布均衡性	使用强度/(次·km <sup>-2</sup> )	使用量与区域面积的比值
	周转率/(次·个 <sup>-1</sup> )	使用量与总桩位数量的比值
站点运行均衡性	流动系数/%	借还量之差与借还量之和的比值

### 1.2 运行均衡性影响因素

为探究运行均衡性的影响因素,结合已有研究<sup>[16-18]</sup>及本研究目标,借鉴TOD理论将商业综合体设定为半径1km的可达范围内<sup>[19]</sup>,以商业综合体质

心为圆心使用 ArcGIS 建立缓冲区, 以缓冲区作为基本研究单元。选取研究单元内密度、多样性、设计、目的地可达性、公共交通可达性和骑行环境 6 类建成环境因子, 构建“5D+E”建成环境指标体系, 各类变量的定义及描述如表 2 所示。

表 2 “5D+E”建成环境指标体系

Tab. 2 “5D+E” built environment indicator system

变量类别	变量	描述
密度	站点密度/(个·km <sup>-2</sup> )	单元内公共自行车站点数量与研究单元占地面积的比值
	建筑密度/%	单元内建筑面积与研究单元占地面积的比值
多样性	土地利用混合度/%	包括单元内住宅、企业等 11 类 POI
设计	商业规模/m <sup>2</sup>	单元内商业面积
	平均桩位数/个	单元内公共自行车站点平均桩位数
目的地可达性	居住可达性/(个·km <sup>-2</sup> )	单元内住宅类 POI 数量与研究单元占地面积的比值
	就业可达性/(个·km <sup>-2</sup> )	单元内公司企业类 POI 数量与研究单元占地面积的比值
	休闲娱乐可达性/(个·km <sup>-2</sup> )	单元内休闲娱乐类 POI 数量与研究单元占地面积的比值
公共交通可达性	地铁可达性/km	商业综合体到最近地铁站点的距离
	公交可达性/个	单元内公交站点数量
骑行环境	主干道/km	单元区内主干道总长度
	次干道/km	单元内次干道总长度
	人行道/km	单元内人行道总长度

## 2 运行均衡性评估方法

根据地理坐标匹配各研究单元内的公共自行车站点, 使用公共自行车运营数据计算商业综合体公共自行车运行均衡性, 以运行均衡性计算结果作为因变量, 以选取的建成环境因子为自变量, 采用偏最小二乘回归模型探究建成环境对商业综合体公共自行车运行均衡性的影响机制。

### 2.1 运行均衡性

#### 2.1.1 空间分布均衡性

借鉴教育学中均衡性的基本理念, 把研究区域划分为若干个研究单元, 采用差异系数从宏观层面衡量教育资源分配的均衡性。以使用强度和周转率作为量化指标, 将衡量教育资源均衡性的差异系数应用于商业综合体公共自行车运行空间分布均衡性评价, 计算公式为:

$$V = \left[ \frac{S}{S-1} \right] \cdot \left[ \frac{1}{\bar{Y}} \cdot \sum_{i=2}^S \sum_{j=1}^{i-1} P_i |Y_i - \bar{Y}| P_j \right], \quad (1)$$

式中,  $V$  为差异系数, 其取值范围为  $[0, 1]$ , 1 表示绝对不均衡, 0 表示绝对均衡;  $S$  为商业综合体数量,  $\left[ \frac{S}{S-1} \right]$  为敏感因子,  $S$  越小, 敏感度越高;  $\bar{Y}$  为量化指标平均值;  $Y_i$  为商业综合体  $i$  的公共自行车运行空间分布均衡性量化指标;  $P_i$  为商业综合体  $i$  公共自行车运行空间分布均衡性量化指标占总体的比值;  $P_j$  为商业综合体  $j$  公共自行车运行空间分布均衡性量化指标占总体的比值;  $i$  和  $j$  为商业综合体编号,  $i=1, 2, \dots, S$ ;  $j=1, 2, \dots, i-1$ 。

#### 2.1.2 站点运行均衡性

采用流动系数表征站点运行均衡性, 以此刻画站点公共自行车的流动趋势, 计算公式为:

$$F_k = \frac{F_b - F_r}{F_b + F_r}, \quad (2)$$

式中,  $F_k$  为公共自行车站点  $k$  的流动系数, 其取值范围为  $[-1, 1]$ , 当  $F_k$  为正值时, 表明该站点公共自行车以借出为主, 负值则表示该站点公共自行车以归还为主;  $k$  为公共自行车站点编号;  $F_b$  为站点  $k$  的借出量;  $F_r$  为站点  $k$  的归还量。

将公共自行车站点匹配所属商业综合体, 计算商业综合体公共自行车运行均衡性, 计算公式为:

$$E_q = \frac{\sum_{k=1}^m |F_k|}{m}, \quad (3)$$

式中,  $E_q$  为商业综合体  $q$  公共自行车运行均衡性, 其取值范围为  $[0, 1]$ , 1 表示绝对不均衡, 0 表示绝对均衡;  $q$  为商业综合体编号;  $m$  为商业综合体  $q$  范围内的公共自行车站点数量。

### 2.2 偏最小二乘回归

考虑到商业综合体数量较少以及变量之间的多重共线性问题, 采用偏最小二乘 (PLS) 回归模型来分析建成环境对商业综合体公共自行车运行均衡性的影响机制。该模型结合了多元线性回归、主成分分析及典型相关分析的优点, 通过数据集构建、主成分提取、算法循环、回归等过程实现建模, 以此解决自变量之间的多重共线性<sup>[20]</sup>、样本数较少<sup>[21]</sup>等问题。在偏最小二乘回归中, 使用变量投影重要性指数来测度自变量对因变量的解释能力, 其计算公式为:

$$VIP_{\beta} = \sqrt{\frac{a}{Rd(G; g_1, g_2, \dots, g_{\sigma})} \sum_{\beta=1}^{\sigma} Rd(G, g_{\beta}) W_{h\beta}^2}, \quad (4)$$

式中,  $VIP_{\beta}$  为自变量  $\beta$  的投影重要性指数, 其取值大于 1 时, 说明自变量对因变量的影响程度很高, 其取值范围为 (0.5, 1) 时, 说明自变量对因变量的影响程度较高, 其取值范围为 (0, 0.5) 时, 说明自变量对因变量的影响程度较低;  $\beta$  为自变量编号;  $a$  为自变量数量;  $Rd(G; g_1, g_2, \dots, g_a)$  为模型累积解释能力;  $Rd(G, g_h)$  为轴  $g_h$  对  $G$  的解释能力;  $\sigma$  为主成分数量;  $W_{h\beta}$  为轴  $W_h$  的第  $\beta$  个分量。

### 3 实证分析

#### 3.1 研究区域与数据采集

##### 3.1.1 研究区域

作为云南省省会, 昆明市总面积 21 473 km<sup>2</sup>, 常住人口 685 万人, 是我国西部地区重要的中心城市之一。在城市化进程中, 昆明市呈现出多中心组团式发展趋势, 城市商业也随之外延, 形成多核发展格局。本研究选取分布大型商业综合体及公共自行车的昆明市主城区(西山区、五华区、官渡区、盘龙区、呈贡区)作为研究区域。

##### 3.1.2 数据采集

为分析建成环境与商业综合体公共自行车运行均衡性之间的关系, 本研究所需的数据主要包括商业综合体基础信息数据、公共自行车运营数据及建成环境数据, 具体内容和采集方式见表 3。其中, 商业综合体基础信息数据主要包括综合体名称、空间位置信息、建筑及商业规模等, 其采集方式考虑以购物中心为出发点, 使用 python 爬取购物中心空间位置信息、建筑及商业规模等基本信息, 根据业态组合及建筑规模对购物中心进行筛选得到 21 个商业综合体。公共自行车运营数据主要基于昆明市公共自行车运营管理有限公司提供, 包含 2019 年 3 月份昆明市所有公共自行车刷卡数据, 具体包含租车卡号、车辆编号、租还车站点、租还车时间等信息, 选取天气状况良好的所有租车记录剔除异常租车数据之后得到 393 099 条骑行数据, 结合百度地图和叮嗒出行 APP 拾取公共自行车站点经纬度。建成环境数据包括 POI 数据、公共交通基础设施数据和道路数据, 主要通过百度地图 API 获取。结合以上数据, 使用 ArcGIS 实现商业综合体及公共自行车站点空间分布可视化, 使用空间连接工具提取商业综合体区域公共自行车站点, 剔除无公共自行车站点的商业综合体和未在商业综合体区域内的公共自行车站点, 最终得到 14 个商业综合体、222 个公共自行车站点。

表 3 数据类型及来源

Tab. 3 Data types and sources

数据类型	详细信息	数据来源
商业综合体基础信息数据	空间位置信息、建筑及商业规模等	python 爬取
公共自行车运营数据	租车卡号、车辆编号、租还车站点、租还车时间、站点经纬度等	昆明市公共自行车运营管理有限公司
建成环境数据	POI 数据、公共交通基础设施数据和道路数据	百度地图 API

#### 3.2 运行均衡性评估结果

为获取商业综合体公共自行车运行空间分布均衡性, 将公共自行车运营数据、站点位置和商业综合体相匹配, 然后分别计算各商业综合体工作日和非工作日公共自行车使用强度和周转率, 根据式 1 分别计算差异系数, 结果见表 4。

表 4 量化指标差异系数

Tab. 4 Diversity factor of quantitative indicator

量化指标	差异系数	
	工作日	非工作日
使用强度	0.54	0.77
周转率	0.42	0.63

根据式 2 分别计算工作日和非工作日公共自行车站点流动系数。根据式 2 计算结果, 取其绝对值的倒数使用 ArcGIS 进行空间三维可视化, 结果如图 2 所示。根据式 3 计算各商业综合体公共自行车运行均衡性, 结果如表 5 所示。

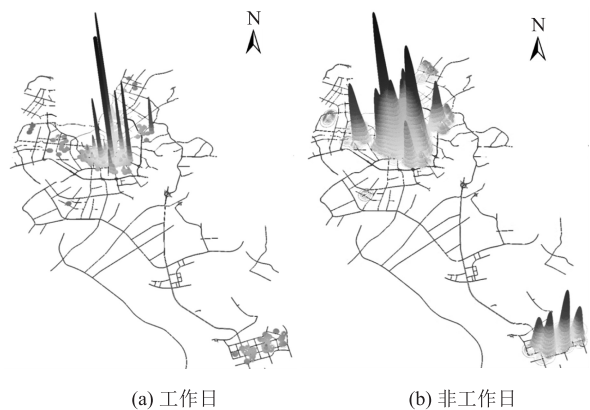


图 2 站点运行均衡性可视化结果

Fig. 2 Visualization result of stations' operation equilibrium

#### 3.3 运行均衡性影响因素

以式 3 计算结果为因变量, 以选取的建成环境因子为自变量 (分别用  $X_1, X_2, \dots, X_{13}$  表示), 探究各自变量对运行均衡性的影响机制。首先绘制  $t_1 -$



$t_2$  椭圆图 (图 3) 判断模型适用性,  $t_1$  和  $t_2$  分别为对自变量数据进行标准化处理之后得到的数据矩阵中的第 1 个和第 2 个成分。根据图 3 可知所有的样本点均位于椭圆内, 且只有少数样本略微偏离, 表明本研究数据适用于偏最小二乘回归。

在确定数据适用的前提下, 绘制  $t_1-u_1$  平面图 (图 4) 判断模型拟合效果,  $u_1$  是指对因变量数据进行标准化处理之后得到的数据矩阵中的第 1 个成分。通过图 4 可知大部分样本点的  $t_1-u_1$  分布呈现线性相关关系, 说明模型拟合效果较好。

表 5 商业综合体公共自行车运行均衡性

Tab. 5 Operation equilibrium of public bicycles in commercial synthesis

商业综合体名称	和谐广场	西城 COHO	顺城购物中心	柏联广场	同德广场	七彩 Me Town 购物中心	汇都国际
工作日	0.093 3	0.045 7	0.001 1	0.017 6	0.000 6	0.012 5	0.047 0
非工作日	0.061 8	0.166 7	0.000 5	0.009 0	0.013 3	0.0047	0.040 2

商业综合体名称	瑞鼎城购物公园	悦云天地 购物公园	大悦城购物中心	爱琴海购物公园	云路中心 商业广场	昆百大新都会	七彩云南 第壹 MALL
工作日	0.006 3	0.025 7	0.006 4	0.062 2	0.027 0	0.146 6	0.092 5
非工作日	0.009 2	0.057 9	0.007 4	0.137 3	0.018 5	0.111 6	0.080 5

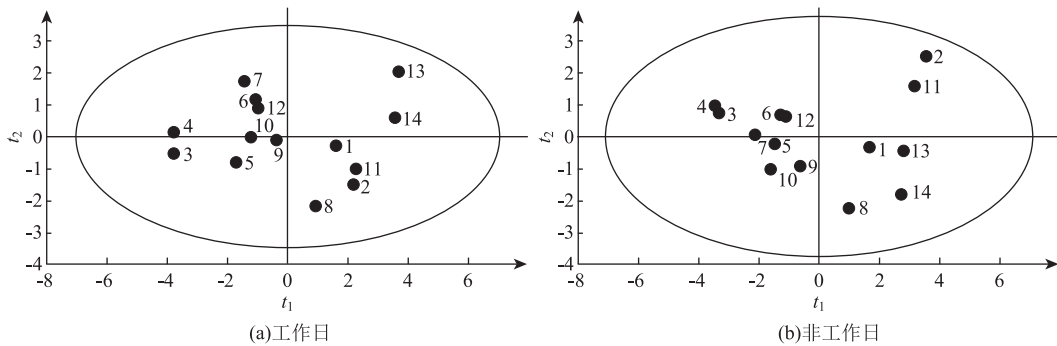


图 3  $t_1-t_2$  椭圆图

Fig. 3  $t_1-t_2$  ellipse diagrams

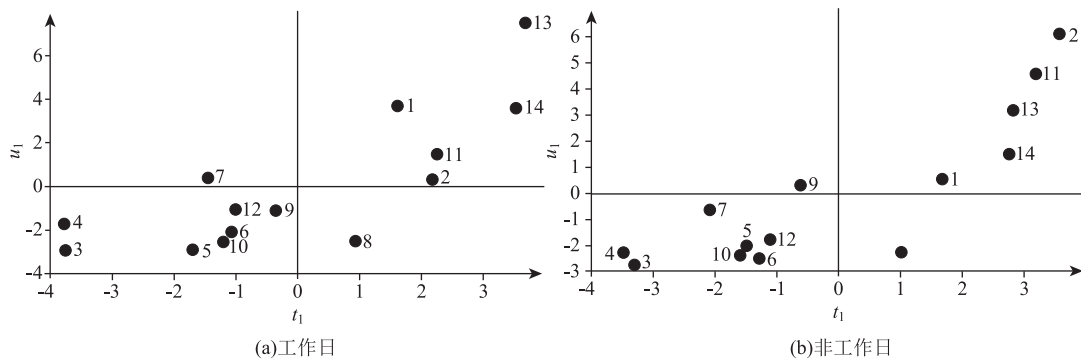


图 4  $t_1-u_1$  平面图

Fig. 4  $t_1-u_1$  plane diagrams

偏最小二乘回归模型以变量累积解释能力  $R^2Y$  和交叉有效性  $Q^2$  评价模型效果 (表 6)。通过表 6 可知模型回归结果较为理想, 根据回归结果绘制回归系数图 (图 5), 以此直观反映各自变量对因变量的影响作用。

由图 5 可知, 在工作日, 建筑密度、商业规模、平均桩位数、居住可达性、就业可达性、公交可达

性和次干道长度与公共自行车运行均衡性呈正相关关系, 其余变量与公共自行车运行均衡性呈负相关

表 6 模型拟合结果

Tab. 6 Model fitting result

	Type	A	N	$R^2X$	$R^2Y$	$Q^2$
工作日	PLS	4	14	0.777	0.979	0.863
非工作日	PLS	2	14	0.627	0.877	0.652

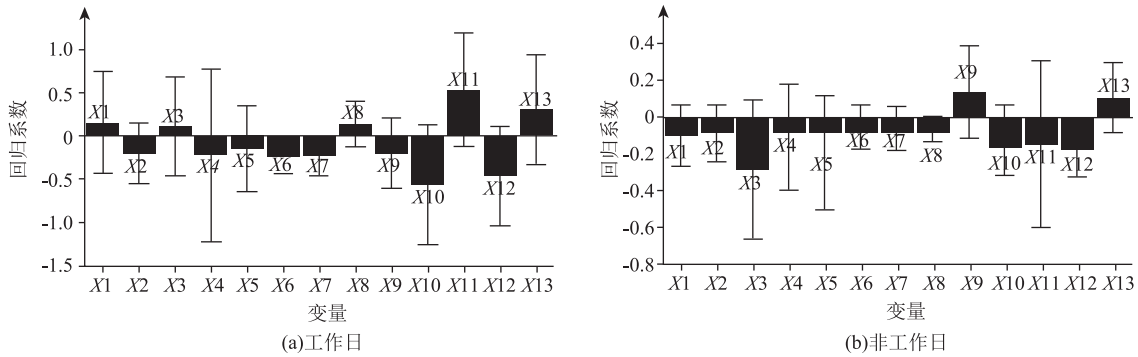


图 5 回归系数图

Fig. 5 Figures of regression coefficient

关系; 在非工作日, 公共自行车运行均衡性仅与人行道长度负相关, 与其余变量均为正相关关系。

为衡量各自变量对因变量的解释能力, 根据式 4 计算各自变量的 VIP 值 (表 7), 并进一步对各自变量进行分析。

表 7 各自变量 VIP 值

Tab. 7 VIP values of independent variables

变量	VIP 值	
	工作日	非工作日
站点密度	0.85	1.00
建筑密度	0.95	1.07
土地利用混合度	0.92	1.24
商业规模	0.69	0.46
平均桩位数	0.39	0.80
就业可达性	1.12	1.16
休闲娱乐可达性	1.07	1.08
地铁可达性	1.13	1.08
公交可达性	0.74	0.97
主干道	1.22	1.19
次干道	1.08	0.76
人行道	1.37	1.17

由表 7 可知:

(1) 在工作日, 就业可达性、休闲娱乐可达性、地铁可达性、主干道长度、次干道长度和人行道长度是运行均衡性的主要影响因素; 站点密度、建筑密度、土地利用混合度、商业规模、公交可达性是运行均衡性的重要影响因素; 平均桩位数对运行均衡性影响程度最低。

(2) 在非工作日, 站点密度、建筑密度、土地利用混合度、就业可达性、休闲娱乐可达性、地铁可达性、主干道长度和人行道长度是运行均衡性的主要影响因素; 平均桩位数、公交可达性和次干道长度是运行均衡性的重要影响因素; 商业规模对运行均衡性影响程度最低。

### 4 结论

本研究以昆明市为例, 结合商业综合体基础信息数据和公共自行车运营数据, 采用差异系数和流动系数分别量化商业综合体公共自行车运行空间分布均衡性和站点运行均衡性, 结合建成环境数据, 使用偏最小二乘回归方法分析建成环境对公共自行车运行均衡性的影响机制。研究发现:

(1) 昆明市商业综合体公共自行车运行均衡性在空间分布上存在较大差异且工作日差异更大。偏最小二乘回归模型对工作日和非工作日运行均衡性影响因素解释能力分别为 97.9% 和 87.7%, 交叉有效性分别为 0.863 和 0.652。

(2) 在工作日和非工作日, 对均衡性影响程度较高的建成环境因子分别是人行道长度、主干道长度、地铁可达性和土地利用混合度、主干道长度、人行道长度, 由此可见在本研究构建的建成环境指标体系中的骑行环境是影响商业综合体公共自行车运行均衡性的主要因素。

(3) 建成环境对工作日与非工作日公共自行车运行均衡性的影响机制差异较大, 与工作日公共自行车运行均衡性负相关的站点密度、土地利用混合度、休闲娱乐可达性、地铁可达性和主干道长度在非工作日均转变为正相关。

(4) 本研究主要选取使用强度、周转率和流动系数作为公共自行车运行均衡性评价指标, 暂未考虑人工调度的影响, 下一步可量化人工调度情况以丰富运行均衡性评价指标体系。

### 参考文献:

### References:

[1] LIU Z W, DENG W, JI Y J. Influence of Land Use Characteristics and Trip Attributes on Commuting Mode

- Choice: A Case of Nanjing [J]. Journal of Southeast University, 2014, 30 (1): 107-112.
- [2] 董小楠, 闫章存, 赵怀明, 等. 基于时空约束的出行方式选择行为分析 [J]. 公路交通科技, 2020, 37 (9): 104-112.  
DONG Xiao-nan, YAN Zhang-cun, ZHAO Huai-ming, et al. Analysis on Travel Mode Choice Behavior Based on Spatial-temporal Constraint [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2020, 37 (9): 104-112.
- [3] 刘文. 基于城市视角下的地铁站域商业综合体研究 [D]. 南京: 东南大学, 2016.  
LIU Wen. Study on Commercial Complex at Subway Station Based on Urban Perspective [D]. Nanjing: Southeast University, 2016.
- [4] 胡继华, 黄泽, 程智锋. 公交乘客在商业中心区购物的时空效用变化分析 [J]. 重庆交通大学学报 (自然科学版), 2015, 34 (6): 101-110.  
HU Ji-hua, HUANG Ze, CHENG Zhi-feng. Analysis on Space-time Benefit Change of Bus Passengers' Shopping in Commercial Center [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science Edition), 2015, 34 (6): 101-110.
- [5] LIU Z L, JIA X D, CHENG W. Solving the Last Mile Problem: Ensure the Success of Public Bicycle System in Beijing [J]. Procedia - Social and Behavioral Science, 2012, 43: 73-78.
- [6] TRAN T D, OVTRACHT N D, D'ARCIER B F. Modeling Bike Sharing System Using Built Environment Factors [J]. Procedia CIRP, 2015, 30: 293-298.
- [7] WANG X, LINDSEY G, SCHONER J E, et al. Modeling Bike Share Station Activity: Effects of Nearby Businesses and Jobs on Trips to and from Stations [J]. Journal of Urban Planning and Development, 2015, 142 (1): 40-51.
- [8] 唐炉亮, 陈西, 杨雪, 等. 基于城市用地的公共自行车骑行量建模 [J]. 交通运输工程学报, 2018, 18 (1): 150-158.  
TANG Lu-liang, CHEN Xi, YANG Xue, et al. Public Bicycle Usage Modeling Based on Urban Land Use [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2018, 18 (1): 150-158.
- [9] 高志文, 张学东, 徐志洁, 等. 一种城市公共自行车接驳地铁出行的时空可视化分析方法 [J]. 测绘通报, 2020 (3): 48-55.  
GAO Zhi-wen, ZHANG Xue-dong, XU Zhi-Jie, et al. A Space-time Visualization Analysis Method for Urban Public Bicycles Connecting to the Subway [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2020 (3): 48-55.
- [10] 马欢欢, 周年兴, 谢引引, 等. 商业中心区公共自行车慢行行为空间模式研究: 以南京市新街口为例 [J]. 现代城市研究, 2019 (6): 16-23.  
MA Huan-huan, ZHOU Nian-xing, XIE Yin-yin, et al. Research on the Spatial Pattern of Slow-moving Behavior of Public Bicycles in Commercial Central District: A Case Study of Xinjiekou in Nanjing [J]. Modern Urban Research, 2019 (6): 16-23.
- [11] ZHAO D, ONG G P, WANG W, et al. Effect of Built Environment on Shared Bicycle Reallocation: A Case Study on Nanjing, China [J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2019, 128: 73-88.
- [12] 林培楠, 徐媛, 杨家文. 轨道交通车站周边建成环境对骑行的影响: 基于深圳市 ofo 数据的实证研究 [J]. 城市交通, 2020, 18 (1): 83-94, 58.  
LIN Yu-nan, XU Yuan, YANG Jia-wen. Built Environment on Linking Bicycle to Rail Transit: Case Study Based on ofo Data in Shenzhen [J]. Urban Transport of China, 2020, 18 (1): 83-94, 58.
- [13] 曹小曙, 罗依. 中国大陆城市建成环境与共享单车配置的关系 [J]. 中山大学学报 (自然科学版), 2020, 59 (1): 77-85.  
CAO Xiao-shu, LUO Yi. Relationship between Built Environment and Bikeshare Allocation in the Mainland of China [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2020, 59 (1): 77-85.
- [14] 曹小曙, 闵家楠, 黄晓燕. 降雨和空气污染对城市居民公共自行车使用的影响研究: 以西安市为例 [J]. 人文地理, 2019, 34 (1): 151-158.  
CAO Xiao-shu, MIN Jia-nan, HUANG Xiao-yan. The Influence of Rainfall and Air Pollution on Public Bicycle Usage: A Case Study of Xi'an [J]. Human Geography, 2019, 34 (1): 151-158.
- [15] 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.  
WANG Jia-chuan, OUYANG Song-shou. Disequilibrium of Bicycle-sharing in Rail Transit Station Areas in Beijing [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2019, 19 (1): 214-221.
- [16] 孙艺玲, 仝德, 曹超. 城市建成环境对公共自行车使用的影响机制研究: 以深圳市南山区为例 [J]. 北京大学学报 (自然科学版), 2018, 54 (6): 1325-1331.  
SUN Yi-ling, TONG De, CAO Chao. How Urban Built Environment Affects the Use of Public Bicycles: A Case Study of Nanshan District of Shenzhen [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2018, 54 (6): 1325-1331.
- [17] 罗桑扎西, 甄峰, 尹秋怡. 城市公共自行车使用与建成环境的关系研究: 以南京市桥北片区为例 [J]. 地理科学, 2018, 38 (3): 332-341.

- Transportation Research Interdisciplinary Perspectives, 2020, 7: 100174.
- [27] RAPP J, TACHELLA J, ALTMANN Y, et al. Advances in Single-photon Lidar for Autonomous Vehicles: Working Principles, Challenges, and Recent Advances [J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2020, 37 (4): 62-71.
- [28] GEIGER A, LENZ P, STILLER C, et al. Vision Meets Robotics: The Kitti Dataset [J]. International Journal of Robotics Research, 2013, 32 (11): 1231-1237.
- [29] SHINZATO P Y, DOS SANTOS T C, ROSERO L A, et al. Carina Dataset: An Emerging-country Urban Scenario Benchmark for Road Detection Systems [C] //2016 IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC). Rio de Janeiro: IEEE, 2016: 41-46.
- [30] RATEKE T, JUSTEN K A, VON WANGENHEIM A. Road Surface Classification with Images Captured from Low-cost Camera-road Traversing Knowledge (RTK) Dataset [J]. Revista de Informática Teórica e Aplicada, 2019, 26 (3): 50-64.
- [31] 王晓华, 赵志雄. 结合伽马变换和小波变换的PCA人脸识别算法 [J]. 计算机工程与应用, 2016, 52 (5): 190-193.  
WANG Xiao-hua, ZHAO Zhi-xiong. PCA Face Recognition Algorithm Combined with Gamma Transform and Wavelet Transform [J]. Computer Engineering and Applications, 2016, 52 (5): 190-193.
- [32] LECUN Y, BENGIO Y, HINTON G. Deep Learning [J]. Nature, 2015, 521: 436-444.
- [33] AYINDE B O, ZURADA J M. Deep Learning of Constrained Autoencoders for Enhanced Understanding of Data [J]. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 2018, 29 (9): 3969-3979.
- [34] MOHAMED A, DAHL G E, HINTON G. Acoustic Modeling Using Deep Belief Networks [J]. IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, 2012, 20 (1): 14-22.
- [35] SZEGEDY C, LIU W, JIA Y, et al. Going Deeper with Convolutions [C] //Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Boston: IEEE, 2015: 1-9.
- [36] SIMONYAN K, ZISSERMAN A. Very Deep Convolutional Networks for Large-scale Image Recognition [R]. [S.l.]: arXiv Preprint, 2015.
- [37] JIA S J, WANG P, JIA P Y, et al. Research on Data Augmentation for Image Classification Based on Convolution Neural Networks [C] //2017 Chinese Automation Congress (CAC). Jinan: IEEE, 2017: 4165-4170.
- [38] RADFORD A, METZ L, CHINTALA S. Unsupervised Representation Learning with Deep Convolutional Generative Adversarial Networks [R]. [S.l.]: arXiv Preprint, 2015.
- [39] IOFFE S, SZEGEDY C. Batch Normalization: Accelerating Deep Network Training by Reducing Internal Covariate Shift [C] // Proceedings of 32nd International Conference on Machine Learning, Lille: JMLR, 2015: 448-456.
- [40] PAN S J, YANG Q. A Survey on Transfer Learning [J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2009, 22 (10): 1345-1359.

(上接第208页)

- LUO Sang-zha-xi, ZHEN Feng, YIN Qiu-yi. How Built Environment Influence Public Bicycle Usage: Evidence from the Bicycle Sharing System in Qiaobei Area, Nanjing [J]. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38 (3): 332-341.
- [18] 李敏迪. 车辆供给和距离效应对公共自行车借车行为影响 [J]. 公路交通科技, 2017, 34 (2): 121-128.  
LI Min-di. Effect of Bike Supply and Distance Effect on Behavior of Borrowing Public Bikes [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2017, 34 (2): 121-128.
- [19] 王宇沁, 吴娇蓉. 城市综合体对社区居民出行行为影响研究 [J]. 交通运输系统工程与信息, 2019, 19 (3): 182-187.  
WANG Yu-qin, WU Jiao-rong. Impact of Urban Complex on Community Residents' Travel Behavior [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2019, 19 (3): 182-187.
- [20] 李红梅, 吴喜之, 王涛. 基于纵向数据与多重共线性数据的神经网络与传统方法比较 [J]. 统计与决策, 2020, 36 (9): 22-25.  
LI Hong-mei, WU Xi-zhi, WANG Tao. Comparisons of Neural Networks and Traditional Methods Based on Longitudinal Data and Multicollinearity Data [J]. Statistics & Decision, 2020, 36 (9): 22-25.
- [21] 李聪颖, 邵壮壮, 封少帅, 等. 自行车骑行者生理、心理与综合符合感知模型 [J]. 交通运输工程学报, 2020, 20 (1): 181-191.  
LI Cong-ying, SHAO Zhuang-zhuang, FENG Shao-shuai, et al. Physiology, Psychology and Comprehensive Loading Perception Models of Cyclists [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2020, 20 (1): 181-191.