
城市公共自行车使用活动的时空特征研究^{*1}

— 以杭州为例

刘冰 曹娟娟 周于杰 张涵双

提要 为考察公共自行车使用活动的时空特征，首先提出了基于租赁点的若干使用特征指标，界定了时长势力商、租还朝夕比、桩位周转率等指标的概念及其计算方法。进一步利用杭州某一典型工作日的刷卡数据，通过数据挖掘技术，细粒度、全景式地测度了所有租赁点的使用特征，并对城市各类地域的使用状况进行了比较。研究发现，受空间布局和建成环境的影响，租赁点特征指标值存在明显的个体差异，总体上形成了“圈层式”的空间异质结构，即使用量大、潮汐性弱且周转率高的租赁点集中于中心区，而使用量小、潮汐性强和周转率低的租赁点多分布于主城区边缘和外围组团；非景区租赁点的使用时长普遍小于景区，但短时长使用比例并不高，表明公共自行车接驳作用有限。最后，针对租赁点使用冷热不均、绩效水平差异大、接驳功能弱等问题提出了相关建议。

关键词 公共自行车；租赁点；时空特征；细粒度分析；空间结构；杭州

中国分类号 U984

文献标识码 A

DOI 10.16361/j.upf.201603009

文章编号 1000—3363（2016）03—0077—08

作者简介 刘冰，同济大学城市规划系，高密度人居环境生态与节能教育部重点实验室，博士，副教授，博士生导师，liubing1239@tongji.edu.cn

曹娟娟，上海同济城市规划设计研究院交通与地下空间规划设计所，工程师

周于洁，同济大学城市规划系，硕士研究生

张涵双，上海同济城市规划设计研究院交通与地下空间规划设计所，总工程师

¹ * 国家自然科学基金面上项目资助课题“多尺度建成环境下的公共自行车使用特征、行为机制与绿色导向策略”（项目编号：51378360）；高密度人居环境生态与节能教育部重点实验室资助课题

1 背景

公共自行车是绿色、清洁、低费用的交通方式，近年来在世界范围内得到大力发展。我国公共自行车系统发展迅速，至 2014 年末开通运行的城市已达 162 个，公共自行车数量超过世界其他城市的总和（Koala，2015）。公共自行车使用特征是个体时空行为的综合结果，不同地点的公共自行车使用状况差别显著，如使用量的大小、时辰的波动、租还的潮汐、时距分布曲线的陡缓等，这些特征很大程度上体现了城市空间结构的影响。因此，基于租赁点海量运营数据的公共自行车使用特征，可作为细粒度考察城市空间结构对交通活动影响的一个新途径。

目前，国内外学者对公共自行车系统的研究涵盖了经营模式（潘海啸，汤暘，等，2010；Midgley，2011；王伟，魏薇，2013）、布点规划（李黎辉、陈华，等，2009；何流，陈大伟，等，2012；Garcla—Palomares，et al.，2012）、运行效果（黄彬，2010）等诸多方面。上述文献对公共自行车的使用特征虽有涉及，但大多采用人均租用量、车辆周转次数、单次使用时长等总体指标，相对零散不成系统，且鲜有基于租赁点的细粒度分析，不能体现不同租赁点在使用特征上的多种变化以及城市空间布局和建成环境的深刻影响。公共自行车的个体使用行为研究则侧重出行方式选择及其与公交的换乘关系，调查样本量较小，无从考察城市整体空间结构的作用。近来国际上利用大数据分析公共自行车使用活动的研究渐多，如租赁点租还时辰分布模式（vogel et al.，2011）、租赁点使用量影响因素（Tran et al.，2015；wang et al.，2016）、租赁点租还不均衡状况的聚类分析（zhou，2015）等，但以某个单一特征的研究为主，而有些特征尚未形成明晰的表征指标，使得公共自行车使用状况的测度以及空间分析仍缺乏一个整体性的技术框架。

可见，为了研究空间布局和建成环境对公共自行车使用活动的影响、科学评估系统运行效率和服务绩效，建立基于租赁点的使用特征指标和计算方法十分必要。本文以杭州为案例，利用某一工作日的公共自行车刷卡数据对其使用活动特征进行系统性研究。杭州是我国建设时间最早、也是世界上最大的公共自行车系统之一，截至 2015 年 10 月，该市拥有公共自行车 8.41 万辆、租赁点 3354 个，日均租用量达到 31.79 万次（杭州金通公共自行车科技股份有限公司，2015），如图 1 所示。



图1 杭州市历年公共自行车系统发展情况

Fig.1 Development of Hangzhou bicycle-sharing system in recent years

资料来源：笔者自绘。

2 数据来源和研究方法

本文的研究数据来自杭州市公共自行车 2012 年 8 月某星期二的 IC 卡数据，空间范围包括上城、下城、拱墅、江干、西湖、滨江 6 个行政区（江干区北、江干区东、滨江区、西湖区南 4 个分区为外围组团，其他 15 个分区为主城区），用地总面积为 682.6km²。从空间结构上看，该范围涵盖了杭州主城区和江南城、下沙城的一部分，其中既有连片建成区，也有相对独立的功能组团和风景名胜区。通过数据清洗和筛选^①，获得了 2176 个租赁点（图 2）的 23.38 万条有效数据。这些租赁点分布在杭州不同尺度的多个功能地区中，具有覆盖广、规模大、类型多的特点，能够对比分析城市布局结构对公共自行车使用影响的差异。

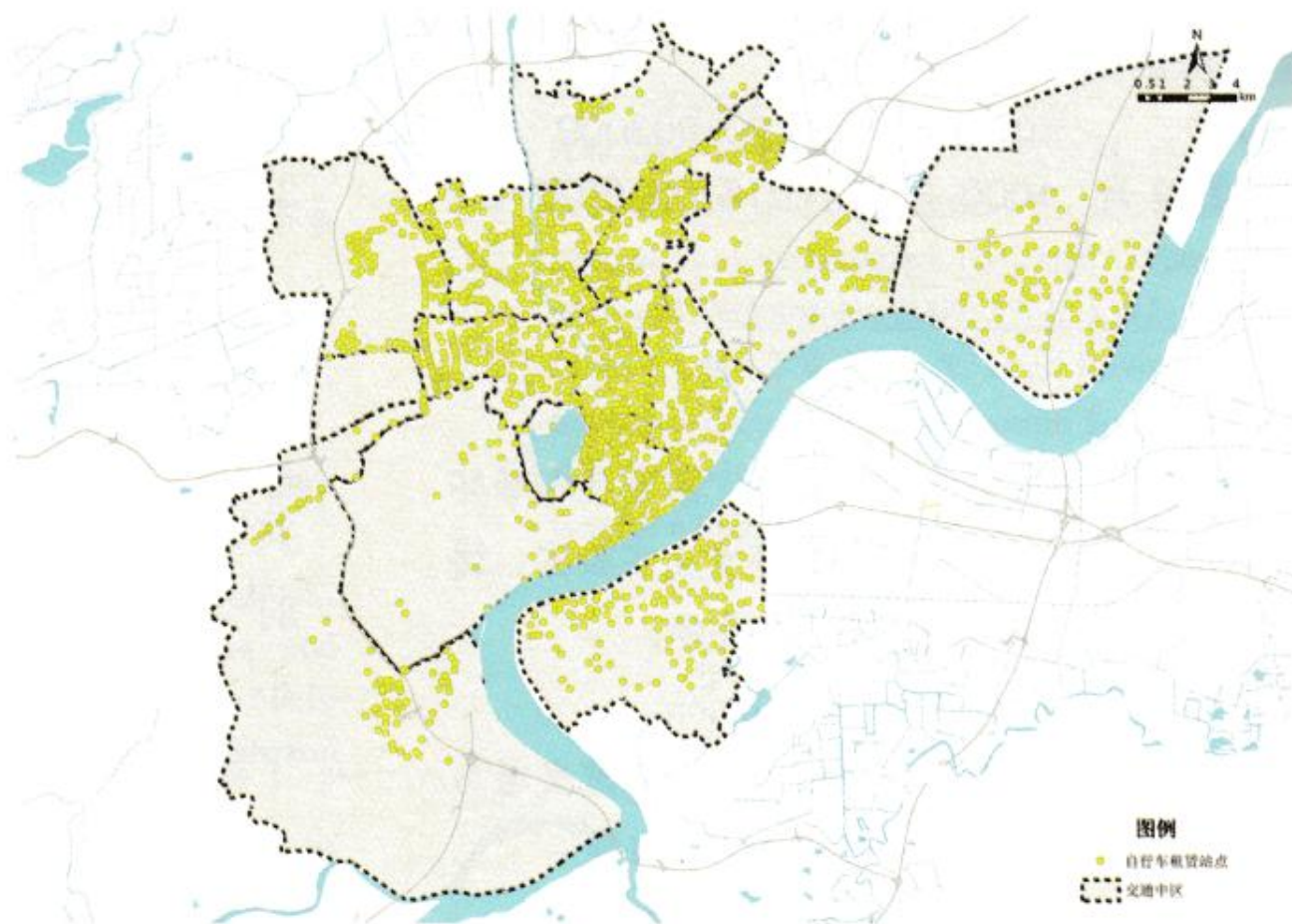


图2 研究区域的公共自行车租赁点分布情况

Fig.2 Layout of bicycle-sharing stations of Hangzhou study area

资料来源：笔者自绘。

本研究的关键方法之一是特征指标的选取和计算。为从实时动态数据中获取公共自行车使用的各种典型特征，必须对不同特征指标的概念和量化方法加以界定。具体地说，有些特征表现为单一数值的形式，如租借量、归还量可通过相应的频次统计获得；有些特征表现为某种分布曲线的形式，如租借或归还时辰分布、使用时长分布等，需将其归为一个或若干个特征指标值来反映曲线的基本形态。通常以早、晚高峰系数表达使用活动在高峰时段的集中程度，而使用时长分布特征指标旨在衡量公共自行车在不同空间尺度的活动情况，本文根据某个特定时长（如 $smin$ 、 $15min$ 、 $30min$ ）的使用量占比^②和由此构建的“时长势力商”指标加以测度。除了直接利用租还使用数据得出的特征指标，针对该系统在高峰时段普遍存在“租不到车（空架）、还不上车（满架）”的问题^③，本文首次提出了潮汐比的特征指标及其计算方法，研究了租赁点的租还潮汐状况，它会直接影响租赁点可用的车辆数、桩位数及其服务水平。此外，还建立了桩位周转率这一综合性的特征指标，它与使用量、使用时长和潮汐比等多种特征相关联，可以反映各个租赁点使用效率的差异。上述特征指标为全面分析基于租赁点的公共自行车使用特征提供了一个基本框架。关键方法之二是指标结果的空间分析。依据上述各个特征指标的计算方法，利用 IC 卡数据对每一个租赁点的各类特征指标进行编程计算，得出相应的指标数值。进一步采用 GIS 软件生成基于租赁点特征指标值的细粒度全局性图景，结合城市布局结构进行空间可视化分析；继而通过不同尺度空间单元的使用特征比较，探讨公共自行车使用特征与多尺度建成环境的关系。

3 杭州公共自行车使用特征分析

3.1 使用量规模

租赁点的使用规模反映了公共自行车使用需求热度的大小。由于各个租赁点的全日租借量与全日归还量大致相当，可选用日租借量、日归还量或者日租还总量中的任何一个指标加以表示。调查期间，杭州的租赁点日租还量最高值为 1960 次，平均值仅为 107 次，标准差达到 234 次，离散程度大。其中，日租还总量 500 次以上、300 - 500 次的租赁点各占 10 % 和 12.5 %；100 - 300 次的租赁点较多，占 35.3 %；100 次以下的租赁点最多，占 41.2 %。如图 3 所示。

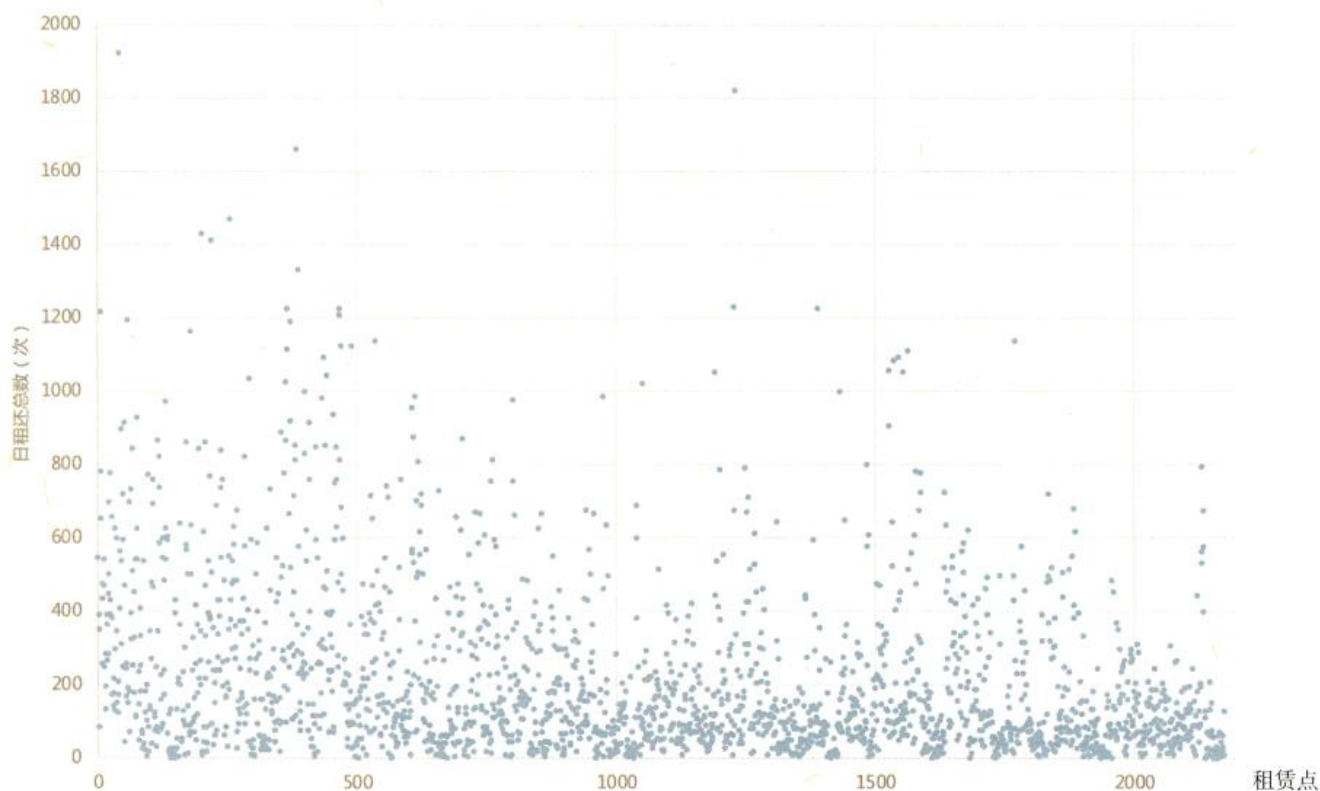


图3 各租赁点的公共自行车日租还总量散点图

Fig.3 Scatter plot of daily pickups and returns of each station

资料来源：笔者自绘。

公共自行车日租还量的空间分布也极不均衡，总体上呈圈层分布，如图 4 所示。使用需求热度最高的区域集中在邻近西湖的中心区（L 城区北部和下城区南部），黄龙、拱墅等地区性中心也相对较高，外围组团的使用量则普遍较低，这与杭州中心集聚的空间结构相吻合。

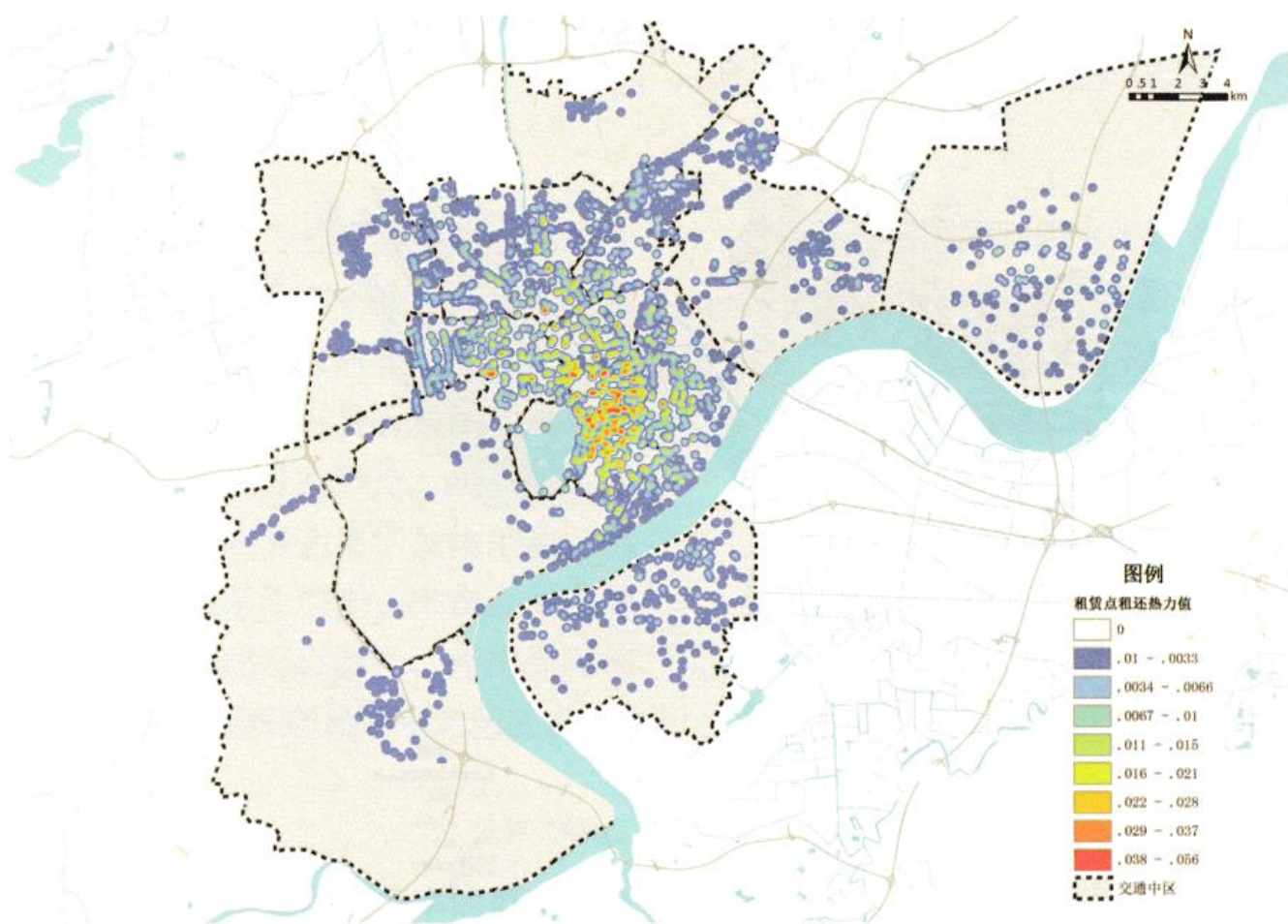


图4 租赁点日租还总量热力分布图

Fig.4 Station-based heat map of daily total pickups and returns

资料来源：笔者自绘。

3.2 高峰时段系数

租赁点使用时辰分布的特征指标可选取租借、归还或租还总量的早晚高峰时段（7：00—9：00 和 17：00—19：00）系数。杭州 6 个行政区的使用时辰分布均呈显著的“双峰”特征，但又存在一定的差别，见图 5。上城区早高峰时段系数约为 21%，滨江区、拱墅区却超过 25%；晚高峰时段系数也是上城区最低（18.55%）、滨江区最高（28.25%），其他区介于中间。

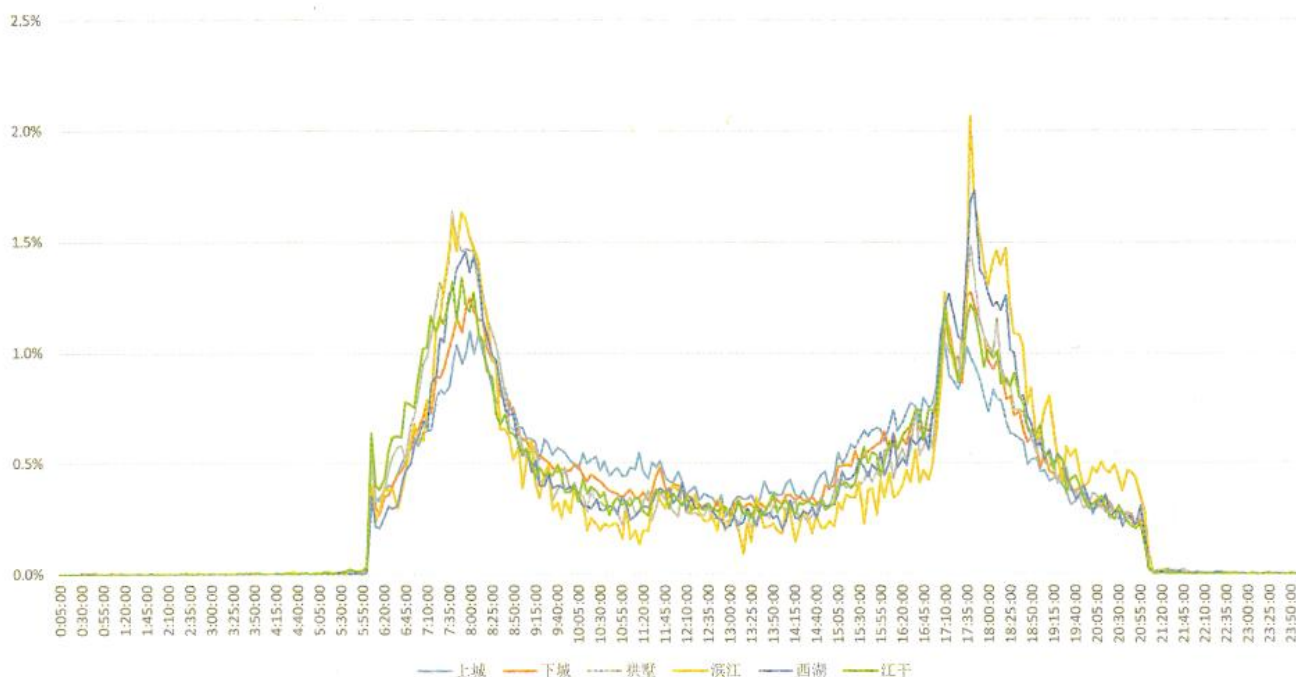


图5 6个行政区的租赁点租车时辰分布图

Fig.5 Temporal distribution of pickups in six districts

资料来源：笔者自绘。

对租赁点早高峰时段系数的可视化分析表明，无论租、还活动，其空间分布具有“内低外高”的特点，如图 6a、图 6b 所示。高峰系数小的租赁点主要位于中心区，各类公共设施汇集于此，促进了车辆的错时使用。高峰系数大的租赁点主要位于西溪北、拱墅北、江干东、滨江区等外围组团，这些地区的工业、高教用地大量集中，功能相对单一，租赁点租、还时间集中的情况突出；并形成了一些以借或还为主的租赁点簇团，它们交错排布，显示了职住分布的影响。

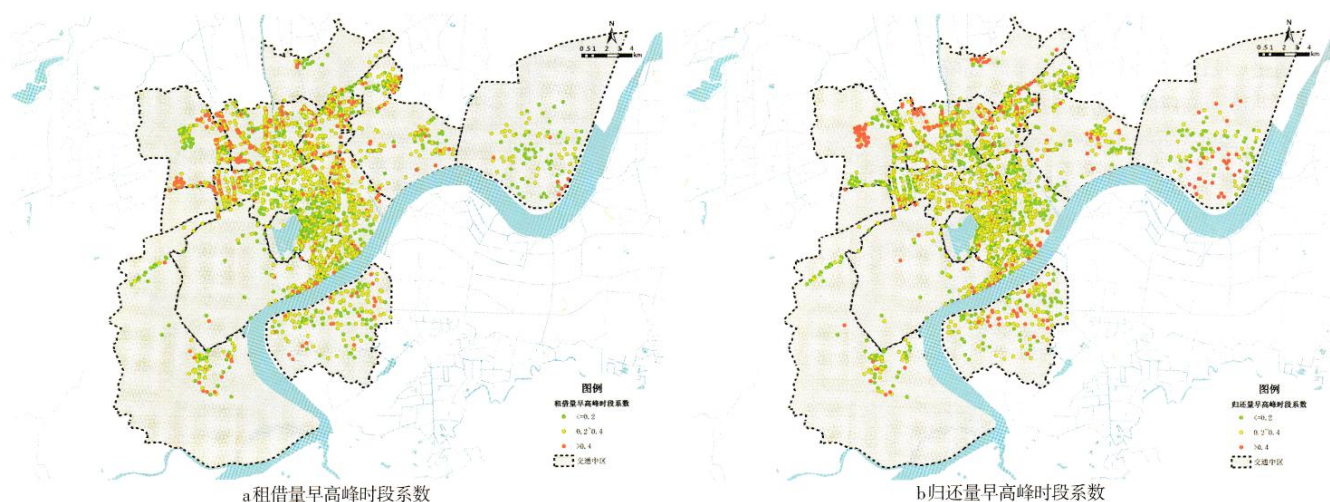


图6 租赁点的租车量、还车量早高峰时段系数空间分布

Fig.6 Morning-peak-hours (7:00-9:00) coefficient of rentals of each station

资料来源：笔者自绘。

3.3 使用时长分布

3.3.1 总体使用时长分布

由图7可知,所有租赁点的总体使用时长分布服从“近多远少”的规律,时长为6—10min的租还量最多,占总量的23%;此后随着时长增加而租还量逐渐减少。从使用时长的累积分布来看,10min(相当于2km)以内的占比达到34.4%,15min(相当于3km)以内的则超过了1/2,说明总体L公共自行车的活动范围以近距离为主。若以10min为公交接驳的上限值^①,时长超过10min的直达使用量约有2/3,加上10min以内的直达量,意味着公共自行车的直达功能远大于“公交最后1公里”的接驳功能。

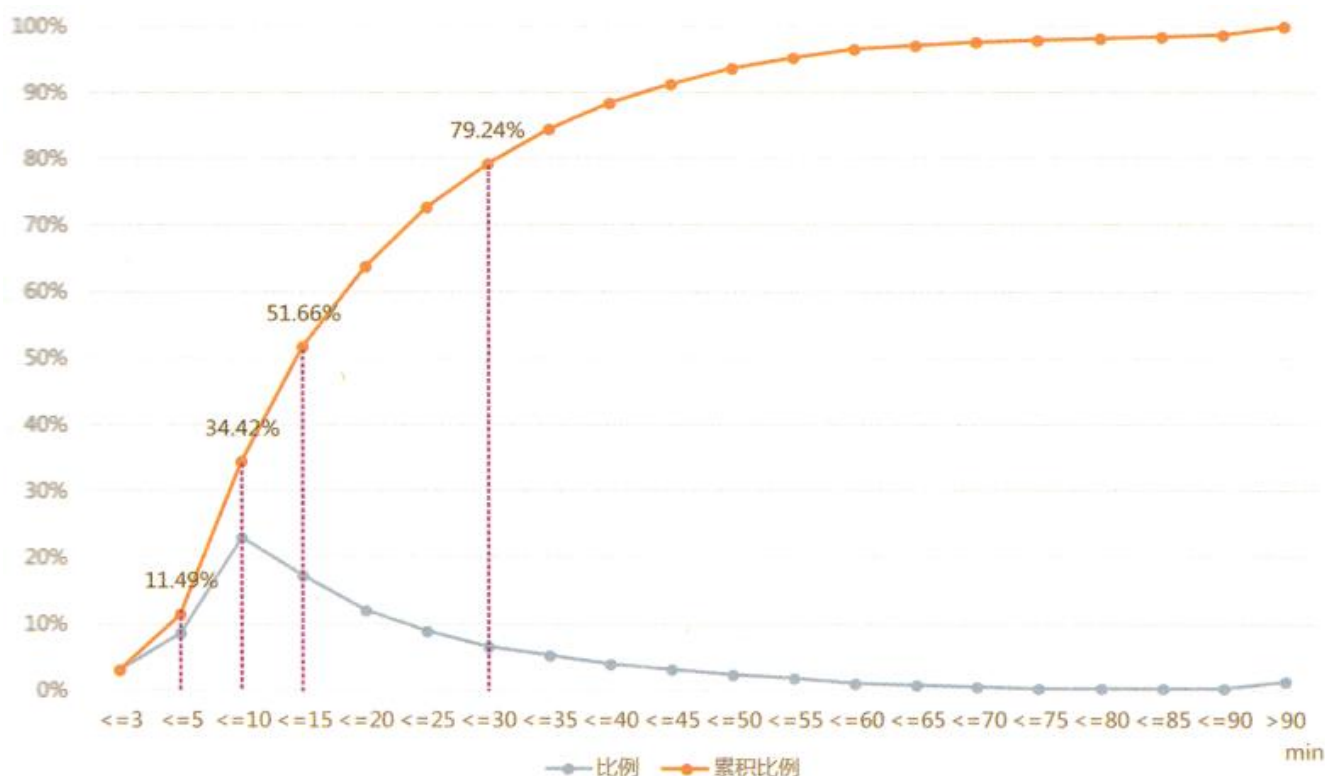


图7 所有租赁点的公共自行车使用时长分布及其累积分布曲线

Fig.7 Rental time length distribution and its cumulative distribution of all stations

资料来源：笔者自绘。

3.3.2 使用时长势力商

从单个租赁点来看,其平均使用时长值在5—55min的较大区间内浮动,大部分介于10—30min的水平,体现了不同租赁点使用时长的个体差异。在空间分布上(图8),主城中心区的租赁点平均使用时长多在15—25min,而主城区边缘和滨江、江干东(下沙)等独立组团的租赁点平均时长多在10—20min,说明这些地区的公共自行车活动尺度较小。对于这一现象可能的解释,一方面是中心区辐射能力强,吸引范围相对较大,另一方面是外围组团的用地规模较小,限制了骑行的活动范围,使得出行距离较近。比较而言,平均时长大于30min的租赁点较少,主要分布在西湖等风景区和外围的非集中建设地区。

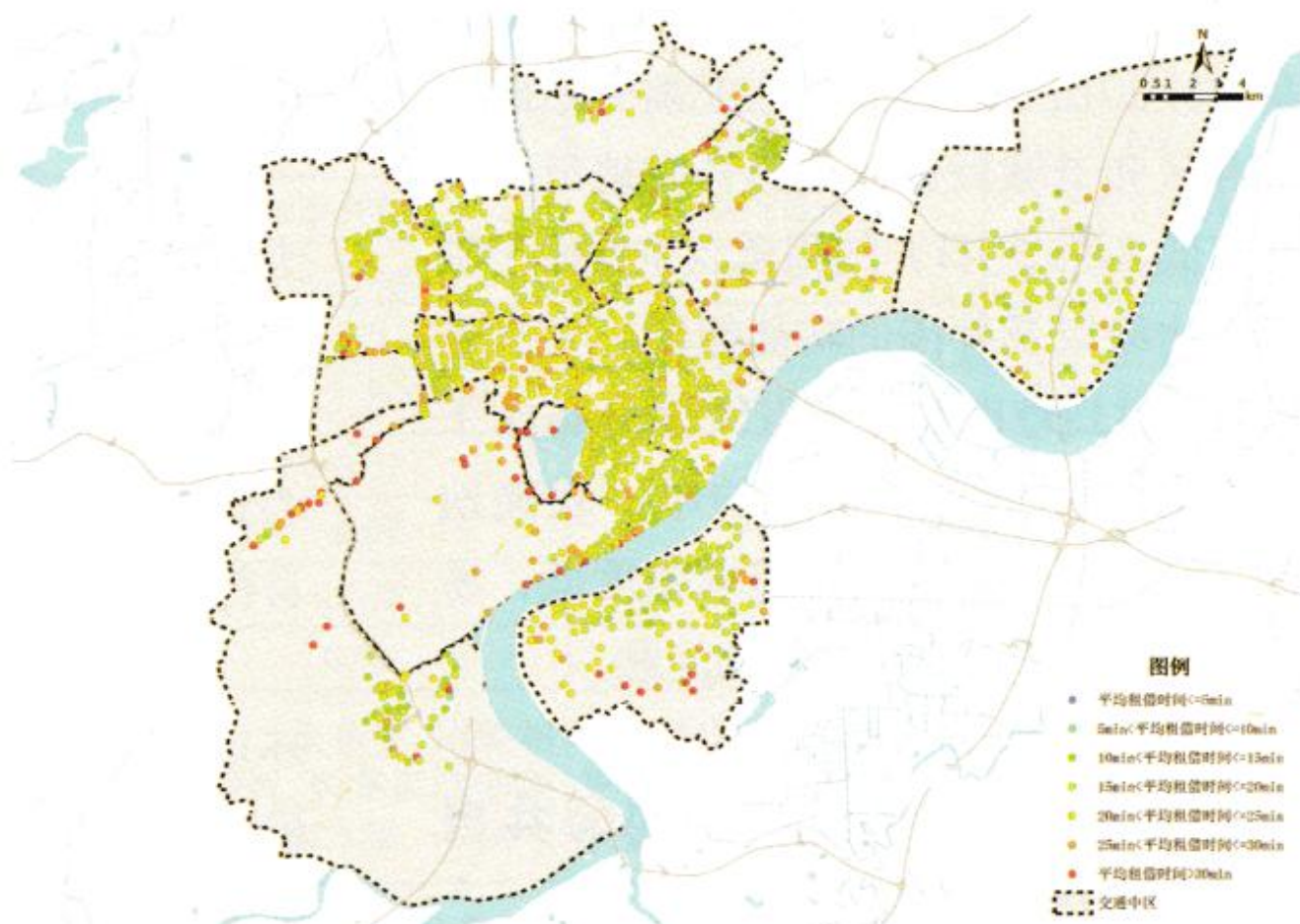


图8 租赁点的平均使用时长空间分布图

Fig.8 Average rental-time-length of each station

资料来源：笔者自绘。

但是，平均时长指标掩盖了时长分布曲线的峰谷大小和偏斜程度等形态特征，无法评价公共自行车在不同空间尺度中的使用状况。本文在区位商概念的基础上，引入了“时长势力商”的特征指标，即每个租赁点特定时长使用量占比与所有租赁点该时长使用量占比之间的比率，来衡量公共自行车使用范围的远近关系；亦可采用特定时长的累积使用量进行计算。以 5022、1053、1004 点为例，其平均时长为 20min 左右，但 5min 以内的势力商分别为 35、0. % 和 1.48（所有租赁点 5min 以内使用量的占比为 11.49 %）。与之对照，2048 点的指标值高达 2.79，而 8017 点仅为 0.17，充分显示了各租赁点在就近使用上的显著差异。除了 5min（1km）邻里尺度，还可以针对街区、片区等空间尺度，计算各租赁点 15min（3km）、30min（6km）时长的势力商指标值。几个租赁点的使用时长分布曲线见图 9，杭州各类地域的时长势力商分析结果见表 1。

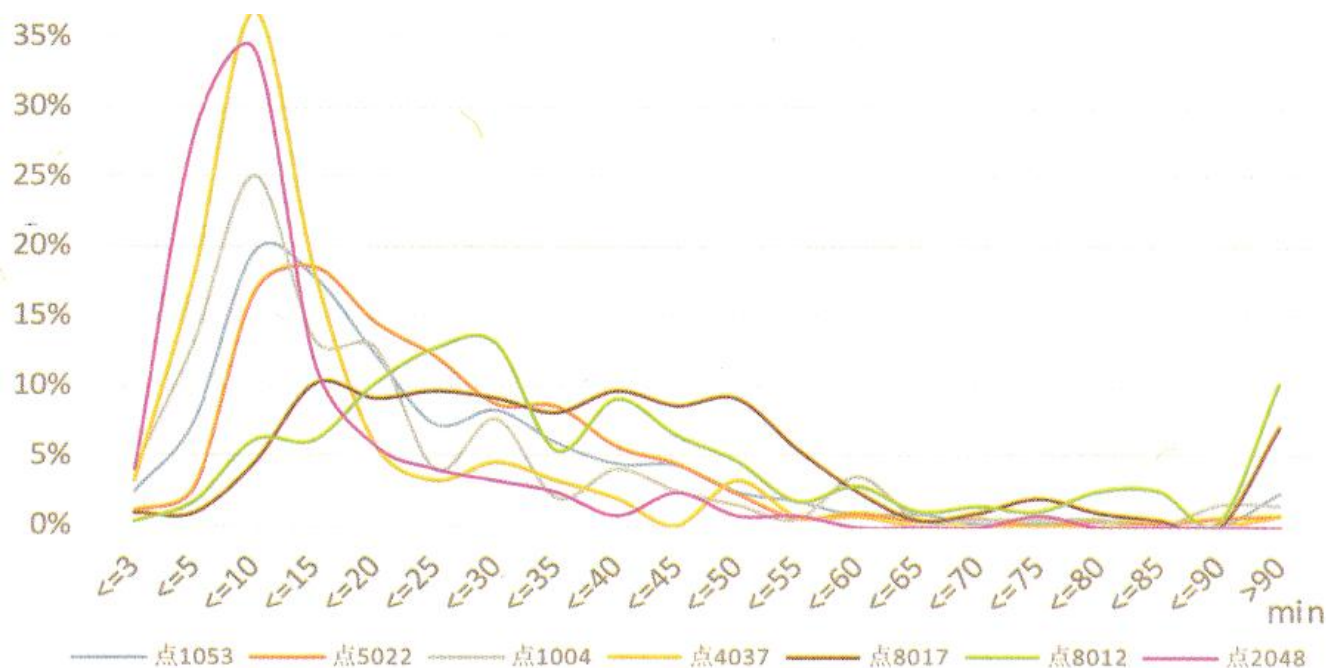


图9 几个租赁点的使用时长分布曲线比较

Fig.9 Comparison of rental-time-length distribution of several stations

资料来源：笔者自绘。

表1 不同地域基于租赁点的公共自行车使用特征比较

Tab.1 Comparison of public bicycle usage features at station-level among different geographical areas

基于租赁点的使用特征指标	主城区								外围区		风景旅游区	
	老城內圈带		老城中圈带		老城外圈带		连绵圈带		独立组团		核心景区	
	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差
日租还总量(次)	408.01	313.31	417.86	267.09	214.41	185.53	104.43	106.21	103.62	89.66	128.26	137.97
租借早高峰系数	0.19	0.10	0.24	0.09	0.32	0.14	0.29	0.18	0.24	0.17	0.20	0.12
归还早高峰系数	0.26	0.10	0.22	0.09	0.20	0.10	0.27	0.18	0.25	0.17	0.26	0.16
5min时长势力商	0.97	0.51	1	0.46	1.03	0.61	1.36	1.09	0.99	0.79	0.48	0.54
15min时长势力商	0.95	0.18	1	0.14	0.98	0.19	1.06	0.31	1.07	0.34	0.64	0.23
30min时长势力商	0.97	0.08	1	0.07	1	0.09	1.02	0.14	1.02	0.16	0.83	0.16
早高峰潮汐比a	-0.14	0.25	0.04	0.19	0.22	0.27	0.05	0.47	-0.01	0.53	-0.12	0.38
早高峰潮汐比b	0.21	0.18	0.12	0.15	0.27	0.23	0.36	0.30	0.43	0.31	0.29	0.27
晚高峰潮汐比a	0.12	0.25	-0.01	0.16	-0.17	0.28	-0.02	0.46	0.03	0.44	0.04	0.27
晚高峰潮汐比b	0.18	0.21	0.10	0.12	0.24	0.22	0.35	0.30	0.34	0.28	0.18	0.21
全天潮汐比a	0.01	0.05	0.01	0.04	0.005	0.06	0.0005	0.14	-0.006	0.12	0.01	0.16
全天潮汐比b	0.03	0.05	0.03	0.04	0.03	0.05	0.08	0.11	0.07	0.10	0.09	0.13
早高峰桩位周转率	2.43	2.22	2.23	1.70	1.02	0.96	0.58	0.61	0.48	0.45	0.85	0.97
晚高峰桩位周转率	1.79	1.56	2.14	1.63	1.38	1.14	0.61	0.69	0.53	0.53	0.69	0.72
日桩位周转率	9.72	7.64	10.09	7.17	4.99	4.39	2.42	2.61	2.01	1.70	3.83	4.94

注：1. 早、晚高峰指早、晚高峰时段。2. 时长势力商分别采用各租赁点租借车辆5min、15min、30min时长累积比例计算。3. 潮汐比a采用实际指标值，各租赁点数值有正负，地域平均值会因正负相抵而使租赁点潮汐水平被低估，但可以反映地域内部总体的租还平衡状况；潮汐比b采用实际指标值的绝对值，其平均值能够反映各地域内租赁点的潮汐状况，但不分租、还潮汐方向。

3.4 租还潮汐比

本文采用“租还潮汐比”特征指标来反映各租赁点公共自行车租借、归还活动的均衡性。计算公式为：

$$R = (Q_{租} - Q_{还}) / (Q_{租} + Q_{还}) \quad R \in [-1, 1]$$

R：某租赁点在某一时段内的租还潮汐比

$Q_{租}$ ：某租赁点在某一时段内的租借量

$Q_{还}$ ：某租赁点在时段某一内的归还量

对于一个租赁点来说，潮汐比的绝对值大小表示潮汐程度，正负表示以租或还为主。在某一时段内，当全部使用量为租车时，会出现空架现象，这时 R 值为 1；反过来，当全部使用量为还车时，会出现满架现象，这时 R 值为 -1 两种情况均会导致租赁点的不可用，降低系统的服务水平。而当租借量和归还量相等时，R 值为 0，租还之间均衡程度最高，租赁点能够始终保持可租可还的理想状态。考虑杭州租赁点的锁止器数量和周转率等因素，将 R 值在 $[-0.1, 0.1]$ 区间的租赁点定义为平衡点^⑤，R 值在 $(-0.1, 1]$ 区间的租赁点定义为以租出为主的租借点，R 值在 $[-1, -0.1)$ 的租赁点定义为以还人为主的归还点。经计算，所有租赁点全天和早、晚高峰时段约潮汐比平均值分别为 0.002、0.034 和 -0.012，说明全天各租赁点基本平衡，而早高峰潮汐现象最为突出。该时段平衡点数量占 30.28%，低于晚高峰 6 个百分点，且租借点的比例较归还点高出 10%；晚高峰反之，归还点的比例较租借点高出 5%。

租赁点高峰时段潮汐比的空间分布直接映射了杭州的用地结构，如图 10 所示。在主城区，其分布具有明显的圈带特征：“租还平衡区”位于上城区及下城区南部的中圈带，是居住、办公等混合功能区；“早还晚借潮汐区”位于紧邻西湖的内圈带，以办公、商业功能为主；“早借晚还潮汐区”位于外圈带，以居住和配套服务为主。在下沙、滨江等独立组团以及主城区外缘的连绵圈带，高峰时段租借点和归还点具有数量相当、空间交错且钟摆往复的特点，虽然租、还量在这些地域内部达到了总体平衡，但单个租赁点的潮汐性强，平衡点所占的比例较低。由此可以看出，外围新建地区的功能复合程度明显弱于老城区。

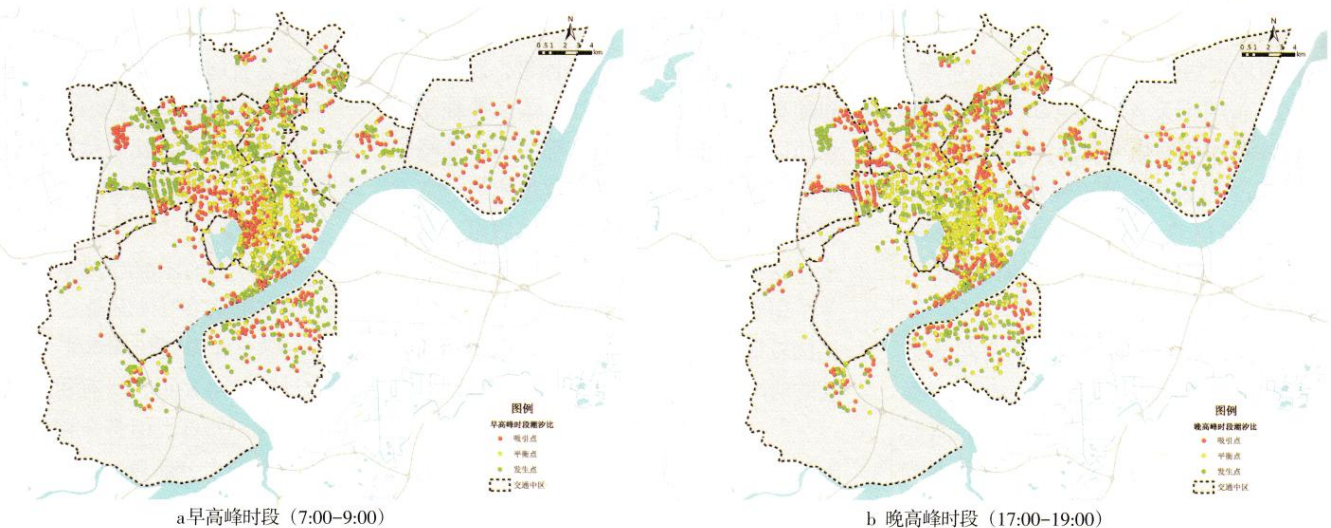


图 10 租赁点的租还潮汐比空间分布图
Fig.10 Pickup-return tidal ratio of each station
资料来源：笔者自绘。

3.5 桩位周转率

公共自行车桩位周转率的概念类似于停车泊位周转率，表示租赁点在某一时段内锁止器被重复使用的次数，反映了租赁点设施的利用水平。本研究以某一时段内还车数量（初始在架车数不计）与桩位数量之比表示周转率，通常以天来计^⑥。其计算公式为：

$$\alpha = Q_{\text{还}} / N_{\text{桩}}$$

α ：某租赁点的日桩位周转率

$Q_{\text{还}}$ ：某租赁点的日归还量

$N_{\text{桩}}$ ：某租赁点的锁止器数量

计算结果显示，所有租赁点的平均周转率为 5 次/日，但各个租赁点的桩位周转率差别十分显著，最高的达到 50.7 次/日，同时有一定数量的租赁点低于 1 次 /日。

租赁点桩位周转率的空间分布特征与使用量、潮汐比的分布基本一致，呈现高度不均衡（图 11）。具体表现为：周转率高（> 20 次/日）的租赁点占 2.94%，它们主要位于老城的市级商业区，少量散布于一些地区商业中心，说明这些地点的公共自行车活动强度大，使用频繁，系统运行效率高；周转率次高（5 — 20 次/日）的区域包括毗邻西湖的商务区和老城周边的成熟开发地带；周转率低（≤5 次/日）的租赁点主要位于主城区边缘以及外围的功能组团，尤其是周转率≤1 次/日的租赁点大多分布在工业、高校用地集中布局的单一功能地区，公共自行车的使用需求强度低，易产生设施闲置、系统低效的问题。

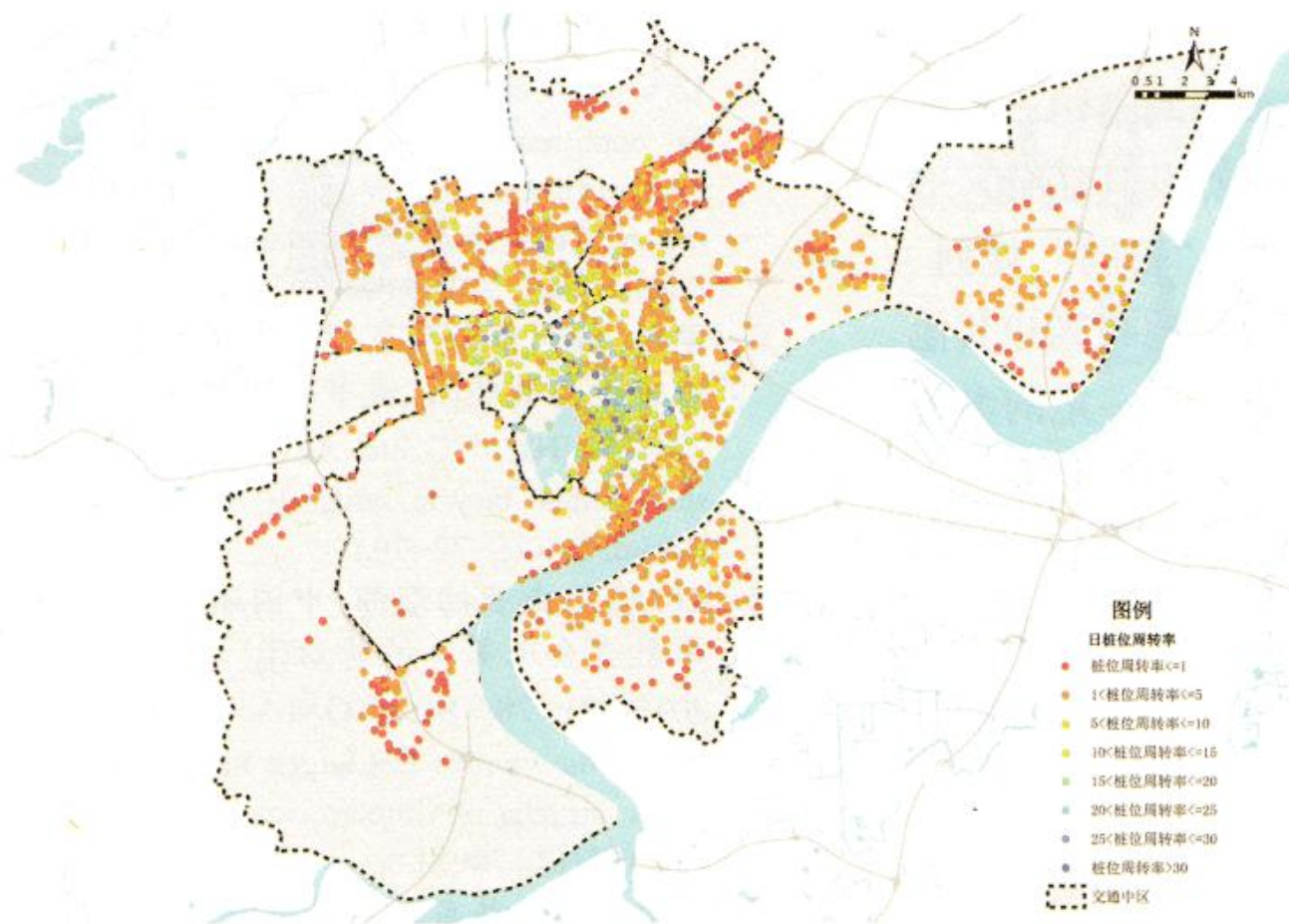


图11 租赁点的日桩位周转率空间分布图

Fig.11 Daily dock turnover rate of each station

资料来源：笔者自绘。

4 不同类型地域空间的公共自行车使用特征比较

4.1 地域空间类型划分及特征指标统计

从上述单项特征指标的 GIS 可视化结果来看，公共自行车使用活动具有明显的空间分异特点。为了进行分区比较，在上述分析基础上，考虑区位、用地布局、交通小区和行政边界等因素，以西湖为位置参照，将研究范围划分为六大地域：主城区分为老城圈带（又分为内圈带、中圈带、外圈带）和连绵圈带；外围区包括下沙、滨江等独立功能组团，风景旅游区主要指西湖西侧的中心景区，如图 12 所示。各类地域的公共自行车使用特征统计结果见表 1。

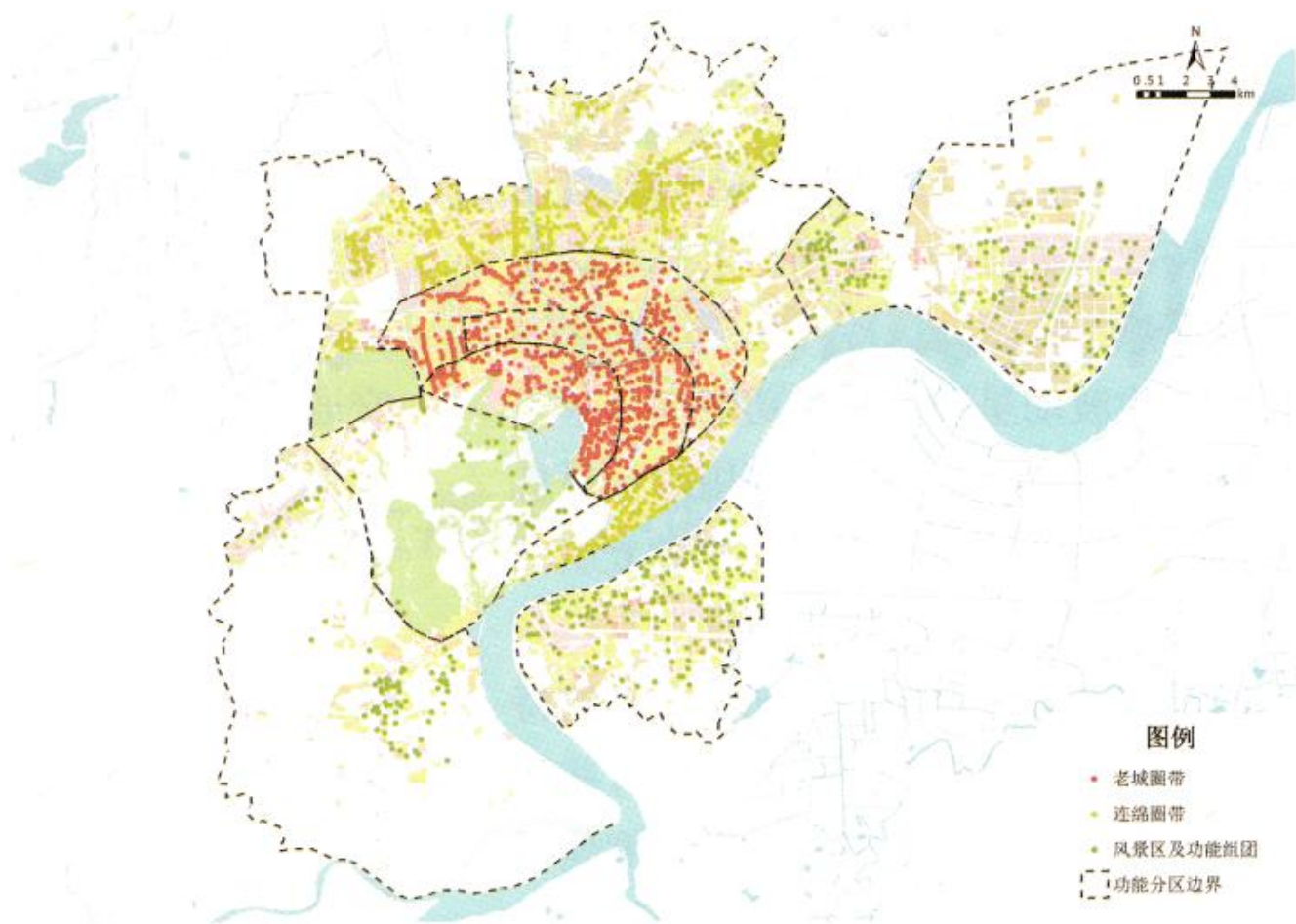


图12 针对公共自行车使用特征比较的地域划分

Fig.12 Geographical division for comparison of public bicycle usage features at station-level

资料来源：笔者自绘。

进一步对各地域的空间结构和建成环境特征进行分析，主要包括用地规模、租赁点密度、与市中心和其他地域的空间距离、用地构成、开发特征等因素，具体见表 2。

表2 不同地域的建成环境特征比较
Tab.2 Comparison of built environment characteristics among different geographical areas

建成环境特征分析		主城区				外围区	风景旅游区
		老城內圈带	老城中圈带	老城外圈带	连绵圈带	独立组团	中心景区
用地面积		25.62km ²	26.41km ²	44.47km ²	174.56km ²	354.98km ²	56.55km ²
建成区面积		13.39km ²	19.74km ²	31.28km ²	80.03km ²	86.94km ²	4.79km ²
租赁点密度		22.3个/km ²	17.6个/km ²	11.0个/km ²	9.5个/km ²	4.4个/km ²	7.9(0.7)个/km ²
与市中心平均距离		2.09km	1.76km	4.16km	7.30km	14.25km	6.20km
与其他地域中心的平均距离		9.03km	9.14km	9.6km	11.67km	38.31km	11.00km
主体用地功能		办公	居住	居住	其他(工业仓储)	其他(工业仓储)	其他(教育科研)
各类用地功能的位势关系	居住	-0.65	1.11	1.39	-0.31	-1.02	-0.51
	商业	1.70	-0.24	-0.13	-0.02	-1.42	0.11
	办公	1.87	0.24	-0.47	-0.07	-0.86	-0.70
	其他	-0.45	-0.93	-1.04	0.30	1.56	0.58
主要开发特征		紧邻西湖,办公、商业占主导地位,旅游服务功能集中	居住功能较强,且有一定规模的办公用地,复合程度较高	以居住为主导,配有商业服务设施,但办公及其他功能较弱	偏重工业功能,用地相对均衡;风景区和非集建区穿插分布	工业和文教用地占主导,配套有大型居住区,职住总体平衡	拥有大型风景区,有小规模的文教功能

注: 1.主体用地功能是指在某一地域建成区内用地面积占比最高的一类用地。2.租赁点密度一般以建成区面积计算,仅风景旅游区同时按用地面积做了计算,以()表示。3.市中心以龙翔桥为坐落点。4.不同地域内各类用地功能的位势关系采用其标准分数进行比较,以此判别各地域的主导用地功能。标准分数是以标准差为单位衡量一组数据中某一数值与平均数之间的偏差情况,是反映个体在群体中相对位置的量数。计算公式: $z=(x-\mu)/\sigma$ 。z为特定地域内某类用地比例的标准分数;x为特定地域内某类用地的比例;μ为所有地域内某类用地比例的平均值;σ为所有地域内某类用地比例的标准差。计算中未含防护绿地和风景区用地。

4 . 2 不同地域空间的公共自行车使用特征比较

杭州具有主城区圈层扩展和外围组团分散建设相结合、建成区与风景区相结合的空间结构模式,由此塑造了各类地域特有的公共自行车使用特征。(1) 老城中圈带和內圈带

是使用需求量和桩位周转率最高的区域,其租赁点平均日租还量为 400 次,是其他地域的 2 — 4 倍;日桩位周转率为 10 ,是其他地域的 2 — 5 倍。尤其发现,中圈带的高峰潮汐比(绝对值)平均值最低,表明复合开发地区的非通勤使用促进了租赁点租还平衡;內圈带由于办公设施集中,其通勤潮汐较中圈层更加明显,但仍好于其他地域。

(2) 老城外圈带和连绵圈带

“早借晚还”的跨地域潮汐联系强,其租借量的早高峰系数最大。连绵圈带为边缘蔓延地区,与其他地域间的距离超出自行车活动范围,表现为邻里尺度的 5min 时长势力商最大,达到 1 . 36 ;早高峰系数高且高峰潮汐比最大;使用需求则接近最低,仅为外圈层的一半。

(3) 外围独立组团

租还总体平衡,显示出独立组团的典型性。由于工业区、大学城等用地集中布置,职住功能分区明显,加之缺乏高级的公共中心,导致该地域租赁点平均的租还量最小、桩位周转率最低、早高峰潮汐比最大,这些与连绵圈带十分类似。

(4) 风景旅游区

该低于旅游功能突出,5min、15min、30min 的时长实力商均最小,说明活动范围明显大于其他地域。租赁点的平均租还量、桩位周转率均高于连面圈带和独立组团。

然而,各种特征指标的地域差异性并不相同。使用量、周转率具有由內而外逐级变化的规律,使用时长则主要表现为建成区和风景区、连绵区和非连绵区之间的区别。非风景区类的各地域 30min 时长势力商平均为 0. 97~1.02,差距不大,说明 30 分

钟可以作为公共自行车适宜活动范围的一般衡量标准。在连绵成片的老城内、中、外圈带，5min、15min 势力商基本接近，中圈层的就近使用比例没有随复合功能增强而提高，显现了跨地域联系的影响；而空间活动上相对独立的外围组团和连绵圈带，近距离使用则更多。

5 结论与建议

公共自行车使用的时空间特征很大程度上由用地布局和建成环境所决定，是对城市结构的一种映射。本文提出了时长势力商、租还潮汐比、桩位周转率等特征指标概念，对公共自行车使用特征进行了细粒度分析，弥补了现有研究的不足。杭州案例的主要发现和建议有：

其一，租赁点 3km 以内的使用量占据一半以上，充分说明公共自行车在短途活动中的优势。据此应在 3km 内就近安排日常公共服务设施和活动机会。

其二，公共自行车的使用大多数超出了公交的接驳范围，表明二者的竞争关系明显强于互补关系^⑦。今后需进一步考察公共自行车与不同类型公交的关系，尤其要加强与轨道交通、BRT 等公交走廊的整合。

其三，城市空间结构对各类地域的使用特征影响显著，使用需求呈现“中心地区热、边缘地区冷”的圈层分布态势；潮汐波动呈现“复合功能高、单一功能低”的差异化特点；使用时长呈现“日常活动短，休闲活动长”、“独立组团短、连片地域长”的典型对比。

其四，各个地域内不同租赁点的特征指标数值有不同程度的波动，有些指标的变异系数大，反映了微观尺度建成环境对单个租赁点使用特征的重要作用，也说明优化建成环境是改善公共自行车系统运行的一个关键。后续研究需要找出公共自行车使用特征差异与建成环境要素的定量关系，以更好地解释差异的成因，为规划改善提供充分的依据。

其五，在外围地区，租还量低、潮汐性强、周转率低的租赁点数量多，严重制约了系统的整体效率和服务水平。可见，外围区不宜照搬中心区的规划模式，不同条件的城市亦是如此。在个体非机动车发达的中小城市，公共自行车的潜在需求小，大规模建设易造成浪费；在公交不发达的城市，公共自行车对提升公交吸引力的作用也会十分有限。因此，应结合各地实际情况，合理确定公共自行车的发展定位，而不盲从其“绿色交通”的标签。

其六，公共自行车的使用特征也可直接反映城市空间结构的问题。尽管杭州实施了空间疏解策略，但公共自行车使用量的高度集中表明城市的核心功能仍集聚在主城；外围组团规模虽大，但公共自行车活动强度低，说明地区的吸引力不足，对主城圈层扩张的抑制作用显得有限。因此，如何完善城市功能布局 and 综合交通体系，有效促进多中心的空间模式，值得进一步反思。此外，新建地区虽然总体上达到了一定的职住平衡，但自行车潮汐现象明显，其背后的单一功能用地集中而缺乏小尺度复合开发的问题也应引起注意。

总之，作为一种新型的交通服务方式，我国公共自行车系统得到了快速发展，同时也面临着一些突出矛盾。利用公共自行车时空间特征的细粒度分析方法，能够紧密结合城市空间结构，精准地找到问题显著的租赁点及其症结，适用于公共自行车系统的“靶向”规划、建设与管理，对于城市用地布局和其他交通系统的规划及评估也有一定的参考价值。

感谢杭州市公共自行车交通服务发展有限公司的支持，以及廖贵宾、王志玮等对本研究的贡献。

注释

① 剔除了同一租赁点上租还时间在 2min 之内（车辆短时原地归还）、租还时间大于 3h（非日常性出行）的数据，对个别的异常数据进行了筛选。

② 租赁点使用时长平均值不同时，其分布曲线必然不同；但不同形态的分布曲线，时长平均值可能会相等，因此时长特征指标不宜采用平均值。为考察邻里、街区或片区等多尺度空间下公共自行车的活动范围差异，本文采用一组特征指标对使用时长分布加以表征。

③ 杭州公共自行车使用者抱怨最多的问题是“租不到车、还不上车”，这也是一个普遍问题。

④ 根据已有的相关经验，大多数乘客接驳公交的时间在 10min 以内。杭州这一比例占 34.4%，而接驳量仅为其中的一部分，说明直达比例实际上高于 65.6%。

⑤ 租还平衡标准的确定需要考虑租赁点锁止器数量和周转率的因素。若按各租赁点的锁止器平均为 20 个，日均桩位周转率为 5，相当于该点还车次数为 100 次，以高峰小时系数 15% 计，高峰小时还车巧次。潮汐比为 0.1 时，计得租车次数为 18 次，则该租赁点高峰租还量相差 3 次，视为“租还基本均衡”。当潮汐比大于 0.1 时，高峰小时租还量相差 4 个及以上，该数值大于锁止器数量的 $1/5$ ，视为“租还不均衡”。

⑥ 以一天为时间单位来考察租赁点的桩位周转率，可以将早晚高峰时段的使用量均包含在内，避免了有些租赁点在早高峰或晚高峰以租车为主而还车次数少，导致计算出的指标数值偏低的情况。

⑦ 杭州当时尚未建成轨道交通，此处反映的是公共自行车与地面公交之间的关系。

参考文献

[1] GARCIA — Palo Mares Jc, Gutierrez J, LATORRE M. optimizing the location of stations in bike — sharing programs : a GIS approach [J] • Applied Geography, 2012 (35) : 235 — 246 .

[2] 何流, 陈大伟, 李旭宏, 等. 城市公共自行车租赁点布局优化模型 [J] . 武汉理工大学学报 (交通科学与工程版), 2012 (1) : 12 、—133 .

[3] 黄彬. 杭州市公共自行车系统运行状况调查分析与展望 [J]. 城市规划学刊, 2010 (6) 72 — 79 .

[4] KOALA . 成长的烦恼, 中国城市公共自行车数量全球第一的背后 [J] . 中国自行车, 2015 (12) : 78 — 81 .

[5] 杭州金通公共自行车科技股份有限公司. 杭州跻身“全球最棒公共自行车服务城市”行列 [N / OL] . [http : // jtkjbike . com / news _ s _ 1 652 . aspx](http://jtkjbike.com/news_s_1652.aspx)

[6] 李黎辉, 陈华, 孙小丽. 武汉市公共自行三租赁点布局规划 [J]. 城市交通, 2009 (7) : 40 — 44 .

[7] MIDGLEY P. Bicycle — sharing schemes : enhancing sustainable mobility in urban areas [C]. Department of Economic and Social Affairs, UN . CSD19 / 2011 / BP8 .

[8] 潘海啸, 汤锡, 麦贤敏, 等. 公共自行车交通发展模式比较 [J]. 城市交通, 2010 (8) 40 — 43 .

[9] TRAN T D , OVTRACHT N , ARCIER B F Modeling bike sharing system using built environment factors [C] .
Procedia CIRP . 2015, 30: 293 — 298 .

[10] VOGELP , GREISERT , MATTFELD Dc Understanding bike — sharing systems using date mining : exploring
activity patter , [J]. Procedia - Social and Behavioral Sciences , 2011 (20) : 514 - 523 .

[11] WANG XZ , LINDSEYG , SCHONERJ 三 HARRISON A . Modeling bike share station activity : effects of nearby
businesses and jobs on trips to and from stations [J]. Journal of Urban Planning and Development, 2016 , 142 (1) :
04015001 .

[12] 王伟, 魏薇. 中外公共自行车系统经营模式比较研究— 基于新制度经济学视虎山. 国际城市规划, 2013 (3) = 64
— 69

[13] ZHOU XL , Understanding spatiotemporal patterns of biking behavior by analyzing massive bike sharing
data in Chicago[J]. PLoS one , 2015 - 10 — 07 ; doi : 10 . 1371 / journal . pone . 01 37922 .