doi: 10.3969/j.issn.1672-6073.2025.04.007

基于刷卡数据的公交和地铁接驳出行评价研究
——以北京市为例

黄　凯，张健钦，程歆玥，胡超男，文　政，黄馨逸
（北京建筑大学测绘与城市空间信息学院，北京 102616）

摘　要：为评价城市公共交通系统换乘协同效能，本研究聚焦公交与地铁接驳行为特征解析，构建“地铁-公交”双向接驳分析框架。基于北京市公共交通智能刷卡数据，分别界定地铁接驳公交(STB)与公交接驳地铁(BTS)两类接驳模式，从客流时空分布、竞争关系维度建立包含接驳公交服务区域、竞争强度等 10 项指标的评估体系，运用 K-means 聚类算法实现地铁站点的分类识别。结果表明：1) BTS 集中于早高峰，STB 集中在晚高峰，两种接驳方式中公交和地铁出行的时间比、距离比都约为 1∶2，STB 中的公交平均候车时间约 6 min；2) 竞争关系下的公交出行需求集中在铁路站点和城市副中心，竞争强度较大的地方集中于地铁 1 号线“通州—朝阳”段的通勤走廊；3) 对 10 个指标进行聚类，BTS 和 STB 各分成 5 类，受“潮汐客流”影响，两种接驳方式下的地铁站呈现差异化聚类结果。研究为优化城市公共交通换乘服务提供科学依据，对提升超大城市的公共交通网络耦合度具有重要实践价值。

关键词：公交出行；接驳；交通大数据；出行评价指标；时空分布；刷卡数据
中图分类号：U231　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1672-6073(2025)04-0053-08

Assessment of Bus-Metro Transfer Behavior Based on Card-Swiping Data: A Case Study of Beijing

HUANG Kai, ZHANG Jianqin, CHENG Xinyue, HU Chaonan, WEN Zheng, HUANG Xinyi
(School of Geomatics and Urban Spatial informatics, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 102616)

Abstract: This study evaluates the coordination efficiency of urban public transportation systems by analyzing bus-subway transfer behavior characteristics, developing a bidirectional “subway-bus” transfer analysis framework based on Beijing’s smart card data, which systematically defines subway-to-bus (STB) and bus-to-subway (BTS) transfer modes. An evaluation system encompassing 10 indicators—including transfer bus service area, competition intensity, and spatiotemporal distribution patterns—was constructed, with K-means clustering applied to classify subway stations. Key findings revealed that BTS transfers predominantly occurred during morning peaks while STB transfers concentrated in evening peaks, with both modes exhibiting a consistent 1:2 ratio in travel time and distance between bus and subway segments, alongside an average 6-minute

收稿日期：2024-09-02　修回日期：2025-05-15
第一作者：黄凯，男，硕士研究生，研究方向为交通大数据，2108160322012@stu.bucea.edu.cn
通信作者：张健钦，男，博士，教授，博导，研究方向为城市大数据可视化，zhangjianqin@bucea.edu.cn
基金项目：国家自然科学基金面上项目(42371416)；北京建筑大学博士研究生科研能力提升项目(DG2023017，DG2023018，DG2025036)
引用格式：黄凯，张健钦，程歆玥，等. 基于刷卡数据的公交和地铁接驳出行评价研究：以北京市为例[J]. 都市快轨交通，2025，38(4)：53-60.
HUANG Kai, ZHANG Jianqin, CHENG Xinyue, et al. Assessment of bus-metro transfer behavior based on card-swiping data: a case study of Beijing[J]. Urban rapid rail transit, 2025, 38(4): 53-60.

bus waiting time for STB; spatially, high-demand bus transfers clustered around railway stations and sub-centers, with intense competition observed along the Tongzhou-Chaoyang corridor of Subway Line 1; clustering analysis categorized stations into five distinct types for each transfer mode, demonstrating tidal passenger flow-driven differentiation. The research provides theoretical and practical insights for optimizing transfer services and enhancing network coupling efficiency in megacities.
Keywords: public transit travel; transfer connection; transportation big data; travel evaluation indicators; spatiotemporal distribution; card swiping data

2019 年国务院印发《交通强国建设纲要》，明确提出要强化城市轨道交通与其他交通方式的衔接，优先发展城市公共交通[1]。作为超大城市典型代表，北京 2024 年轨道交通与公共汽车分别承担 48.99%和 32.48%的城市客运量[2]，两大系统协同效能的提升对缓解城市交通压力具有关键作用。然而，现有针对解决公交与地铁接驳协同效能的量化评价研究较为缺乏。一方面，受限于公交数据字段完整性不足[3]，大部分只考虑了地铁接驳公交(STB)单向的接驳方式，缺乏对公交接驳地铁(BTS)反向路径的研究；另一方面，现有评估指标存在体系不健全、定量化程度低等问题[4]，难以准确解析公共交通出行网络中的竞争合作关系。

近年来，国内外有关公交和地铁两个系统的研究集中在 4 个方面。1)换乘问题。如研究两个系统的换乘时间表优化[5]，不同日期和恶劣天气条件下两个系统之间的换乘客流变化[6]等。2)客流量。如地铁网络的扩展对公交客流量的影响[7]，研究高峰期时两种公共交通之间的客流量不平衡现象[8]。3)票价制定。如利用票价优化公交地铁走廊沿线公共交通服务[9]，利用地铁优惠票价提升地面公交的分担率[10]等。4)内在关系。如 Wei 提出公交和地铁合作与竞争关系，在这两种关系下构建对应公交线路优化模型[11]。然而现有评价公交和地铁接驳出行现状的研究尚且缺乏。

本研究创新性地提出“地铁-公交”双向接驳分析框架，突破传统单向研究局限。基于北京市特有的全链条公交刷卡数据(上下车双记录)，系统界定 STB 与 BTS 两类接驳模式，构建包含客流时空分布、竞争关系、接驳效率三维度 10 项指标的评估体系。通过 K-means 聚类算法实现地铁站点接驳特征的分类识别，在方法论层面形成三大创新：其一，基于出行时间顺序建立双向接驳出行链模型，突破数据完整性制约；其二，基于空间拓扑分析的动态服务半径界定方法，通过 KDtree 算法与核密度估计优化公交和地铁的接驳服务半径；其三，引入接驳公交服务区域、竞争强度等新型量化评价指标。研究成果可用于厘清公交和地铁接驳现状、挖掘现有接驳不足，为超大城市公共交通出行协同效能的提升提供新的分析视角。

1 数据来源与方法

1.1 数据来源

本文使用的是 IC 刷卡数据，包括 2019 年 5 月 1—10 日北京市地铁和公交出行(考虑到疫情影响以及城市刷卡数据的保密时效，选择 2019 年数据进行研究)。初步清洗后公交数据量 57 282 360 条，地铁数据量 32 937 437 条。IC 刷卡数据有 13 个属性(见表 1)，原始数据存在的异常值包含 5 种：地理位置异常、刷卡时间异常、订单时间异常、缺失值、冗余与重复数据，其中，地理位置异常、刷卡时间异常、订单时间异常等数据都需要剔除。

表 1 IC 刷卡数据属性

Table 1 Card swiping data attributes

序号	属性	含义
1	card_id	IC 卡号
2	f_mode	起点站方式
3	f_line	起点线路
4	fst_name	起点名称
5	f_lon	起点站经度
6	f_lat	起点站纬度
7	f_tm	出发时间
8	t_mode	终点站方式
9	t_line	终点线路
10	tst_name	终点名称
11	t_lon	终点站经度
12	t_lat	终点站纬度
13	t_tm	终点时间

1.2 研究方法

本文基于刷卡数据对公交、地铁出行系统的接驳情况进行特征分析和综合评价。首先基于公交和地铁站点数据，使用核密度估计函数得到接驳服务半径；然后根据客流特征，提出并定义评价接驳的 10 个指标；再分析竞争关系下的公交出行需求空间分布；最后通过 K-means 聚类算法，对地铁站点进行聚类分析。

1.2.1 接驳服务半径

接驳出行是指乘坐两种交通工具的行程，中途的停留通常以步行换乘为目的，两次行程之间的换乘距

离相对较短，因此需要界定一个换乘距离范围。以往研究认为地铁的服务范围为 400～1 000 m，公交车的服务范围为 300～500 m[12]，这些是地铁系统独立的服务范围，无法准确反映地铁与公交的接驳现状。因此，本文提出接驳服务半径，可以很好地筛选出有效的接驳出行数据，排除一些因数据质量、定位不准产生的漂移数据。主要使用基于大量公交和地铁站点位置数据的分析方式计算得到，首先计算每个公交站到最近地铁站点距离，使用 KDtree 算法加快匹配速度，再结合核密度估计函数得出相对概率密度最大的距离值为 618 m(见图 1)。因地铁站点数据为站点的几何中心点，考虑到地铁站出入口到公交站台的距离更短，所以选取 600 m 作为接驳服务半径，也作为后续网格的空间分辨率大小。

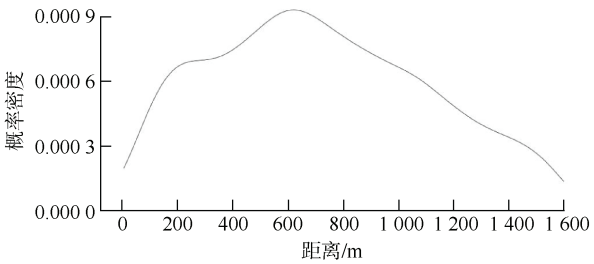


图 1　公交站与地铁站距离的概率密度估计函数

Figure 1　Probability density estimation function for the distance between bus stops and subway stations

1.2.2　接驳指标选取

正文指标选取原则是贴合实际地铁和公交出行的客流量，同时也考虑影响接驳出行效率中的其他因素。接驳有 STB 和 BTS 两种方式。以下指标定义对于两种情况都适用，仅以 BTS 进行描述，需要注意的是接驳公交服务区域包含“面积”和“扁率”两个指标。

1) 地铁客流量。进/出站地铁客流量是单位时间内刷卡进/出站的人次，通过 python 中的 groupby 函数按小时统计得到。

2) 换乘距离。换乘距离是指地铁出站口到公交站台的距离，通过公式(1)～(5)求得。

$$\Delta\mathrm{lat} = \mathrm{lat}_2 - \mathrm{lat}_1 \tag{1}$$

$$\Delta\mathrm{lon} = \mathrm{lon}_2 - \mathrm{lon}_1 \tag{2}$$

$$a = \cos\mathrm{lat}_1 \cdot \cos\left(\mathrm{lat}_2 \cdot \left(\sin\frac{\Delta\mathrm{lon}}{2}\right)^2\right) \tag{3}$$

$$\mathrm{b} = \left(\sin\frac{\Delta\mathrm{lat}}{2}\right)^2 + a \tag{4}$$

$$d = 2r \cdot \arcsin\sqrt{b} \tag{5}$$

式中，(lon_1，lat_1)为地铁出站口经纬度，(lon_2，lat_2)为公交站台经纬度；r 为地球半径，此处使用地球平均半径 6 371 km；d 为估计的换乘距离。

3) 换乘时间。换乘时间指乘客从地铁刷长出站时刻到公交刷长上车时刻的时间间隔。

$$t = t_2 - t_1 \tag{6}$$

式中，t_1 为地铁刷卡出站时刻；t_2 为公交刷卡上车时刻。

4) 公交出行距离。利用公交出行数据的起点、终点经纬度，使用公式(1)～(5)计算可得公交出行距离 d_{bus}。

5) 公交出行时间。利用公交上下车刷卡时间，使用公式(6)计算公交出行时间 t_{bus}。

6) 接驳量。接驳量(transfer number，n_{transfer})是指在一定时间范围内，从地铁系统流入公交系统进行接驳的人次，使用 n_{transfer} 表示，通过 python 统计得到。

7) 接驳率。接驳率(transfer ratio，TR)定义为某个地铁站转乘公交的乘客数量与总乘客数量的比例。

$$TR = \frac{n_{\mathrm{transfer}}}{n_{\mathrm{total}}} \tag{7}$$

式中，TR 为接驳率；n_{transfer} 是在地铁站转乘公交的乘客数量，即接驳量；n_{total} 为总乘客数量，包括在该地铁站内转乘公交的乘客和其他乘客。

8) 接驳公交服务区域(含面积和扁率两个指标)。一般而言，地铁站接驳的公交线路是一对多的关系，接驳公交服务区域(transfer bus service area，TSA)是指在特定时间范围内，由一个地铁站点出发或到达的所有接驳公交线路的起始站和终点站所界定的地理区域，它体现了乘客通过这些公交线路从地铁站出发或到达地铁站所能覆盖的最大服务范围。本文引入置信椭圆来表达接驳公交服务区域。椭圆的长半轴 a 表示数据分布的方向，短半轴 b 表示公交出行需求分布的范围。椭圆面积通过公式(8)计算得到。置信椭圆的扁率(oblateness，ob)，是椭圆长半轴与短半轴的比例，反映了数据分布的扁平程度，本文引入用于描述接驳公交服务区域的空间方向性，其值介于 0 和 1 之间，扁率可通过公式(9)计算。如果扁率接近于零，则表明接驳的公交出行均匀地分散在不同的方向上。扁率越大，出行需求的方向性越大，表明公交出行在相似的方向上有着相似的出行模式，接驳公交服务区域示例见图 2。

$$\mathrm{TSA} = \mathrm{ab}\pi \tag{8}$$

$$\mathrm{ob} = \frac{a-b}{a} \tag{9}$$

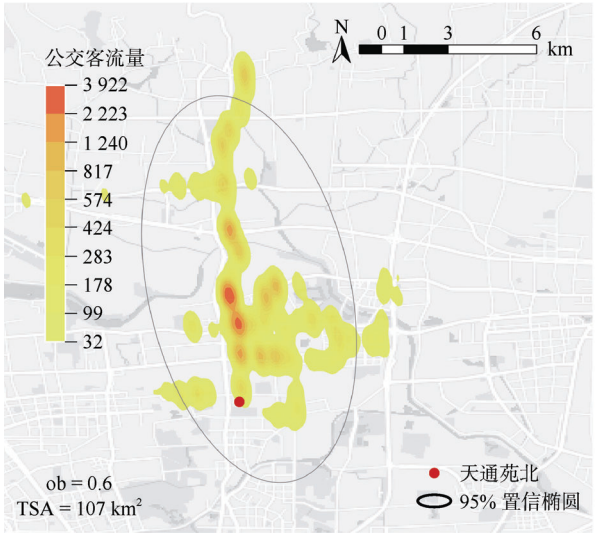


图 2　接驳公交服务区域示例(天通苑北)

Figure 2　Example of shuttle bus service area (Tiantongyuan North)

9) 竞争强度。为分析公交与地铁的接驳现状，引入竞争关系[13]。将竞争关系定义为在地铁运营时间内，公交车出行的起点和终点都在地铁的接驳服务半径内，用户也可以选择乘坐地铁完成这次出行。通过竞争关系下的公交车客流需求，可用于研究城市部分区域存在公交车过度服务或服务不足的情况。本文使用竞争强度(intensity of competition，IC)概念来量化两者的竞争关系。

竞争强度表示地铁系统分流到公交系统中的客流比例。它定义为在一定时间范围内，在某一地铁站的接驳服务半径范围内，设公交出行驶入该范围的客流量为 n_1，公交出行驶出该范围的客流量为 n_2；同时，该地铁站的出站和进站总客流量为 n，则该地铁站的竞争强度可表示为公式(10)，图形示意见图 3。

$$IC = \frac{n_1 + n_2}{n} \tag{10}$$

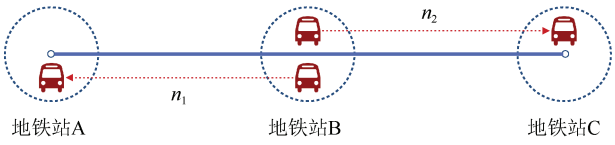


图 3　竞争强度解释示意

Figure 3　Explanation diagram of competition intensity

2　结果分析

2.1　两类接驳出行特征

按照出行先后分别提取 STB 和 BTS 的出行数据。从图 4 可知，STB 的客流量双峰模式更显著，高峰段集中在 18 时，持续时间较短，为乘客职住通勤回家的乘车方式；BTS 客流高峰集中在 6～8 时，持续时间约 2 h，是乘客职住通勤去公司的乘车方式。对两种出行方式的 OD 流出行进行可视化(见图 5)。地铁换乘公交(STB)出行中，以朝阳区双井为中心，呈现放射状，较多流向通州区九棵树街道；除此以外，海淀区大钟寺与昌平区回龙观之间的接驳出行双向流动大；公交换乘地铁(BTS)中，北京西站流向建国门之间的接驳出行需求最大，流入建国门的客流量最大，流入安华桥的数量较多。除此以外，文中还对 STB 和 BTS 两种接驳出行各阶段的时间占比进行分析，两种方式中公交和地铁出行的时间及距离比都约为 1∶2(见表 2)。

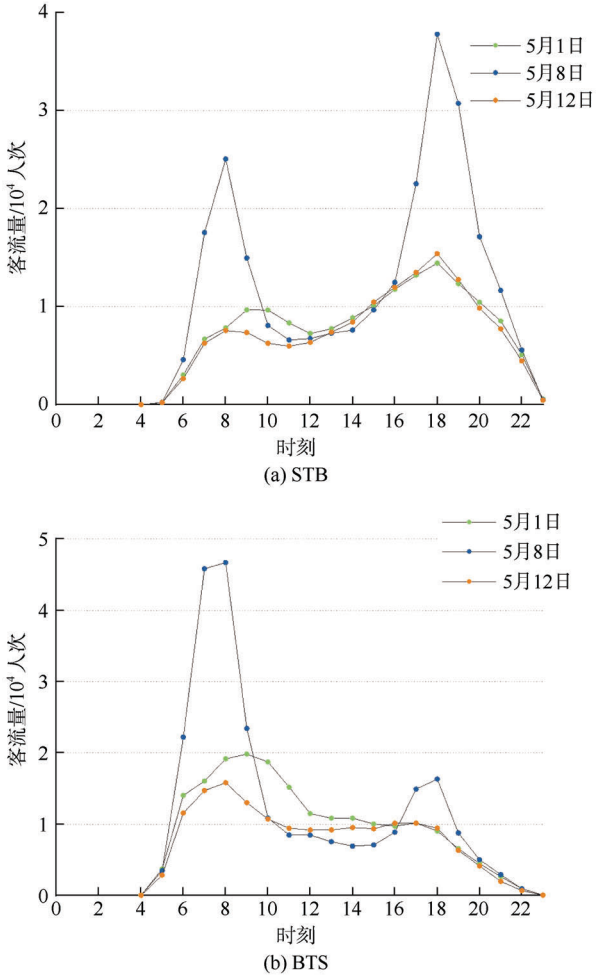
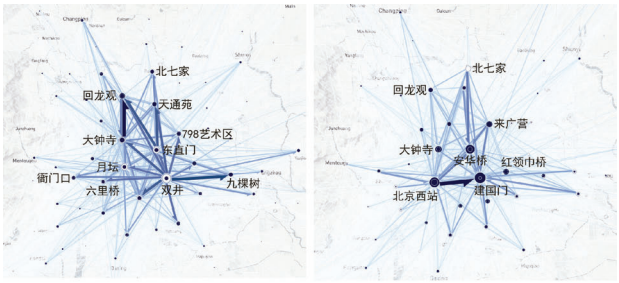


图 4　接驳数据每小时客流分布

Figure 4　Hourly passenger flow distribution of transferring data

公交平均候车时间是反映公交服务便捷性和高效性的重要指标之一。利用 BTS 和 STB 中的换乘时间之差可得公交平均候车时间约 6 min。一般认为公交候

车时间不超过 10 min[14]，对候车时间超过 10 min 的站点进行可视化表达，可以看到候车时间较长的公交站主要集中在北京丰台站、大石河东、传媒大学等地铁站周围(见图 6)。对这些站点，建议综合考虑公交与地铁之间的换乘需求以及地铁发车时刻表来优化公交车的发车间隔和发车班次。



(a) STB　　(b) BTS

图 5　公交地铁接驳出行 OD 趋势

Figure 5　Trend chart of OD for bus and subway transferring travel

表 2　两种接驳方式各阶段出行距离和时间比对

Table 2　Comparison of travel distance and time at each stage of two connection methods

类型	阶段	平均距离/km	距离占比/%	平均时间/min	时间占比/%
BTS	公交出行	7.16	33.43	20.88	31.34
	换乘阶段	0.22	1.03	5.10	7.65
	地铁出行	14.04	65.55	40.65	61.01
STB	地铁出行	13.96	68.57	40.42	57.85
	换乘阶段	0.20	0.98	11.2	16.03
	公交出行	6.20	30.45	18.25	26.12

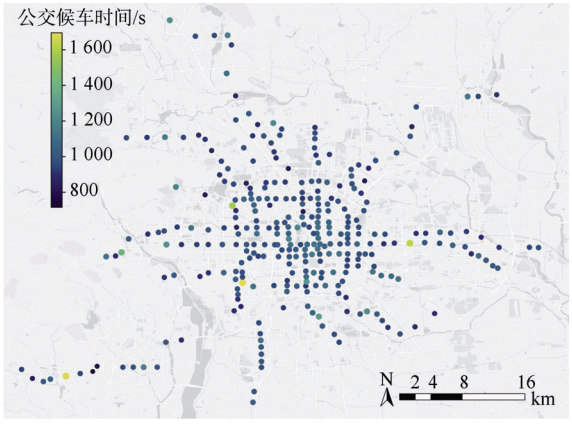


图 6　候车时间较长的地铁站点分布

Figure 6　Distribution map of subway stations with longer waiting times

2.2　公交客流热力分析

以 600 m×600 m 为网格分辨率，统计网格内竞争关系下公交出行的 OD 对个数。为更好地显示热力图和栅格 OD 图的叠加效果，仅展示数量较大的 OD 对数据(前 10%)。从图 7 可知，首先，竞争关系下的公交出行集中在大型铁路客运站、写字楼、公交枢纽站。北京西站公交客流量较大且流向较多的方向，建议以北京西站作为北京的交通枢纽，增开北至海淀山后地区、东至东西城前门地区、西南至丰台河西地区这 3 个方向的交通干线；根据竞争关系下的公交客流，增加高峰时段的班次，增设更多的指示标识和实时信息显示屏，延长运营时间以覆盖更多的出行需求。

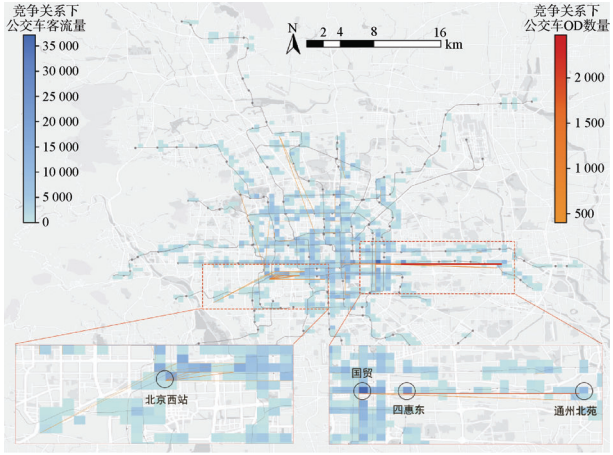


图 7　竞争关系下公交出行需求分布

Figure 7　Distribution map of public transportation demand under competitive relations

其次，通州北苑到四惠枢纽站之间的公交出行需求量较大，其中主要的公交路线有 322 路、806 路等，这些公交路线东西横跨朝阳和通州，是连接城市中心区和城市副中心的重要通勤走廊。因此，建议该路段的地铁采用大站快车服务，减少停靠站点，根据不同时间段的竞争关系下的公交客流需求适当增减地铁发车间隔，或增设城际铁路、定制公交线路等多种出行方式，满足两地起讫点的高人流量通勤需求。

2.3　接驳聚类结果分析

通过 K-means 对 10 个指标进行聚类，使用 CRITIC 权重法[15]为每一个指标进行客观赋权(见表 3)，再根据手肘法(见图 8)将地铁站分为 5 类，然后采取内部评估指标[16]，使用轮廓系数衡量样本与自身簇和其他簇的相似度，得到轮廓系数为 0.689 5，聚类结果有较好的可靠性和合理性。最后分别得到 STB 和 BTS 5 个集群平均归一化指数雷达图(见图 9)。根据聚类结果，对地铁站进行可视化聚类分区(见图 10)。5 类集群中的地铁站表现出不同的空间模式，且在 STB 和 BTS 两

种接驳方式中有不同的表现。

表 3 CRITIC 权重法结果

Table 3 CRITIC weighting method results table

指标	冲突性	信息量	客观权重
地铁客流量	0.880 312	0.880 312	0.106 035
接驳量	0.790 234	0.790 234	0.095 185
接驳率	0.933 346	0.933 346	0.112 423
换乘时间	0.926 620	0.926 620	0.111 613
换乘距离	0.940 641	0.940 641	0.113 302
公交出行时间	0.633 758	0.633 758	0.076 337
公交出行距离	0.649 654	0.649 654	0.078 252
椭圆面积	0.679 347	0.679 347	0.081 829
椭圆扁率	0.945 074	0.945 074	0.113 836
竞争强度	0.923 097	0.923 097	0.111 189

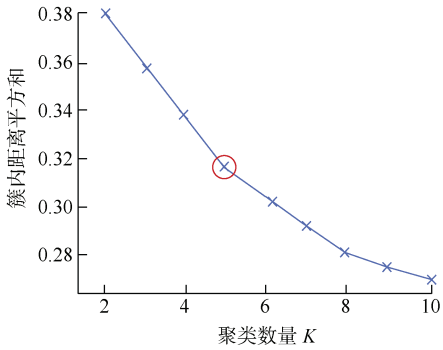
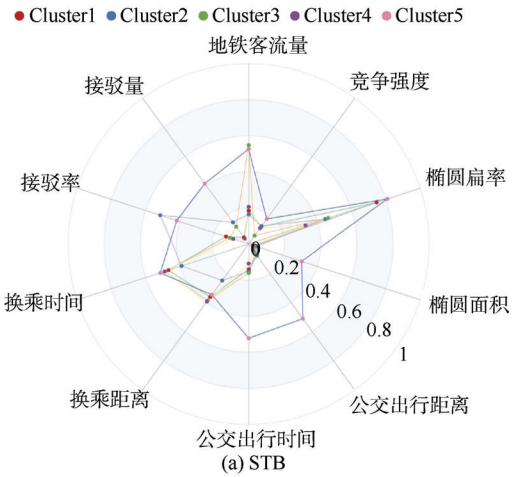


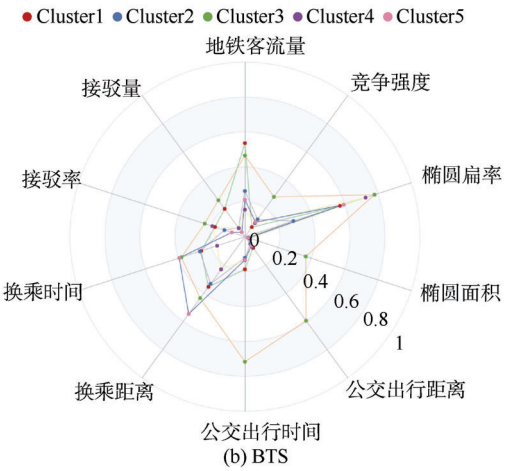
图 8 手肘法确定 *K* 值

Figure 8 Elbow method for determining the *K*-value

受职住通勤影响，两种接驳方式下的地铁站呈现差异化聚类结果(见表 4)。在 STB 中，集群 Cluster1 和 Cluster4 数量较多，Cluster1 主要分布在地铁 4 号线延长段、2 号线鼓楼大街周围，cluster4 主要分布在地铁 1 号线万寿路周围。从雷达图得知这两类比较相似，



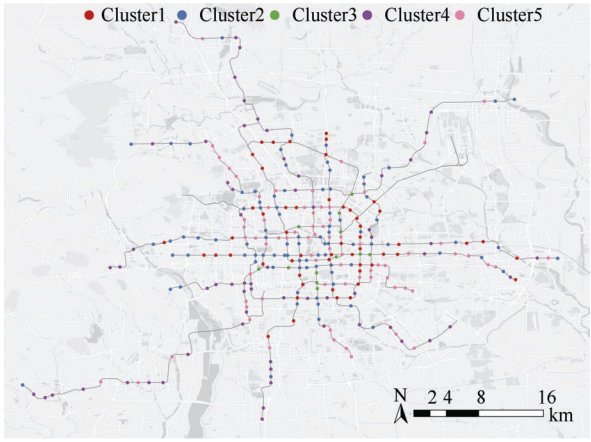
(a) STB



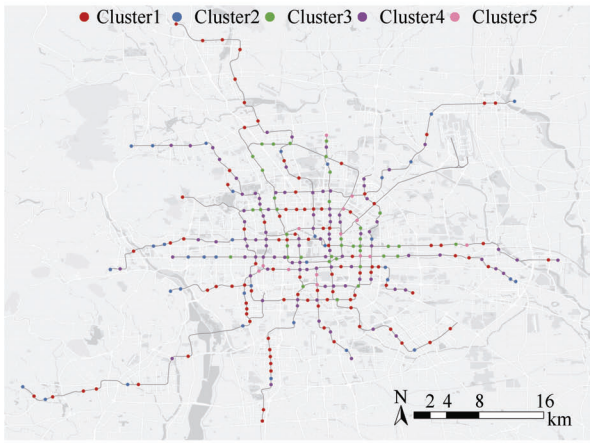
(b) BTS

图 9 集群平均归一化指数雷达

Figure 9 Cluster average normalized index radar chart



(a) STB



(b) BTS

图 10 聚类分析结果空间分布

Figure 10 Spatial distribution map of clustering analysis results

公交车换乘时间、距离都较长，建议增加共享单车站点，特别是在早晚高峰时段，可减少乘客的步行距离。同时，可以增设实时公交信息显示屏，提供准确的公交到达时间，减少乘客等待时间，完善相关接驳设施。

表 4　STB 和 BTS 聚类详情

Table 4　STB and BTS Cluster Details

接驳类型	集群类别	集群特征	车站数量/座	地铁站举例
STB	Cluster1	公交出行方向性明确，换乘时间、距离较长，主要分布在城市外围	97	西红门、天宫院、草桥
	Cluster2	接驳率较高、接驳量相对较小，以地铁末端站居多，主要分布在城市外围	37	燕山、知春里、灵境胡同
	Cluster3	地铁客流较大，换乘时间较长，多为换乘枢纽型站点，主要分布在东西城、朝阳区	38	望京西、北京南站、木樨园
	Cluster4	换乘时间、距离较长，该类地铁站周围的接驳设施亟须改善。多为建成区的普通站点，分布在城市外围区域住宅、园区周边	90	巴沟、公益西桥、黄村西大街
	Cluster5	公交出行方向性明确，地铁沿线重复公交线较少，多为公交站场周围的枢纽站	21	芍药居、东直门、天通苑北
BTS	Cluster1	地铁客流大，换乘距离长，该类主要接驳一些连接郊区到市区的公交线	54	东单、西单、人民大学
	Cluster2	客流量大，换乘不便，该类地铁站周围的接驳设施亟须改善	87	玉泉路、温阳路、六道口
	Cluster3	公交出行时间、距离长，公交服务面积大；多为交通枢纽站，集中在西城、朝阳区域	20	木樨园、望京西、积水潭
	Cluster4	接驳率较高而接驳量相对较小，换乘方便，多为普通站点，建议增开接驳公交路线	60	西局、七里庄、长阳
	Cluster5	公交出行方向性强，接驳率低，换乘时间、距离较长	68	郭公庄、车公庄

对于 BTS 模式，集群 cluster2 和 cluster5 的数量居多，其中 cluster2 的地铁客流量大，接驳量较小，以游客、参观者居多，主要分布在地铁 6 号线南锣鼓巷、中国美术馆附近，建议增加公交频次，特别是在旅游高峰季节。同时，可以设置专门的旅游巴士线路，连接主要旅游景点和地铁站，方便游客出行；cluster5 的椭圆扁率和换乘距离较大，主要分布在地铁 1、7、8 号线末端地铁站，建议增设公交专用道，提高公交运行效率，同时，考虑到换乘距离较大，可以在地铁站周边增设便民服务设施，如休息驿站、自动售货机等，以满足乘客在换乘过程中的需求。

3　结论

本文基于北京地铁、公交刷卡数据，提出 STB 和 BTS 两类接驳方式，依据现有公交地铁站点数据计算公交地铁接驳服务半径，分析接驳出行特征以及竞争关系下公交出行需求的空间分布，并提出竞争强度、接驳公交服务区域等 10 个评价指标进行聚类分析，综合评价公交地铁接驳情况。研究得出以下结论。

1) STB 客流高峰集中在 18 时，持续时间短；BTS 客流高峰集中在 6—8 时，持续时间约 2 h；两种出行方式中公交和地铁出行的时间及距离比都约为 1∶2；地铁公交换乘出行中公交平均候车时间约 6 min。

2) 竞争关系下的公交出行需求集中在大型铁路客运站、写字楼、公交枢纽站(如北京西站)。通州北苑到四惠枢纽站之间的公交出行需求量较大(如 322 路公交)。建议增设城际铁路、定制公交线路等多种出行方式。

3) 通过 K-means 聚类得到两种接驳方式下的地铁站呈现差异化聚类结果。STB 集群 cluster1 和 cluster4 数量较多，接驳换乘距离、时间长，因此建议增设实时公交信息显示屏，提供准确的公交到达时间，减少乘客等待时间。BTS 集群 cluster2 和 cluster5 居多，存在客流量大、接驳量小现象，建议增加公交频次，增设专门的旅游巴士线路。

4) 本研究还有继续优化的空间，目前仅采用工作日 IC 刷卡数据研究接驳差异，未来的研究也可以结合多源出行数据进行联合分析，才能够全面地摸清交通出行系统之间的接驳情况，为优化公共交通出行提供更为科学的决策信息。

参考文献

[1] 新华社. 中共中央、国务院印发《交通强国建设纲要》[EB/OL]. (2019-09-19)[2024-09-01]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2019/content_5437132.htm.

[2] 北京交通发展研究院. 2024 年北京交通发展年度报[EB/OL]. (2024-08-23)[2025-04-08]. https://www.bjtrc.org.cn/List/index/cid/7.html.

[3] ZHAO De, WANG Wei, LI Chenyang, et al. Recognizing metro-bus transfers from smart card data[J]. Transportation planning and technology, 2019, 42(1): 70-83.

[4] 毕亚茹, 于晓桦, 谭佳慧, 等. 基于出行需求的轨道车站公交接驳范围研究[J]. 山东建筑大学学报, 2024, 39(1): 117-125.
BI Yaru, YU Xiaohua, TAN Jiahui, et al. Study on bus connection range of rail station based on travel demand[J]. Journal of Shandong Jianzhu university, 2024, 39(1): 117-125.

[5] HUANG Kang, WU Jianjun, SUN Huijun, et al. Timetable synchronization optimization in a subway–bus network[J]. Physica A: statistical mechanics and its applications, 2022, 608: 128273.

[6] WU Pan, LI Jinlong, PIAN Yuzhuang, et al. How determinants affect transfer ridership between metro and bus systems: a multivariate generalized Poisson regression analysis method[J]. Sustainability, 2022, 14(15): 9666.

[7] 肖健和. 地铁网络扩建中的乘客出行行为分析及预测方法研究[D]. 长沙: 中南大学, 2023.
XIAO Jianhe. Research on passenger travel behavior analysis and prediction method in subway network expansion[D]. Changsha: Central South University, 2023.

[8] WANG Yang, BI Mengyu, LAI Jianhui, et al. Rebalancing the passenger flow between subways and buses: a periodic stop-skipping strategy[J]. IEEE access, 2020, 8: 169604-169622.

[9] 张森. 都市圈轨交跨制式无障碍多路径票价研究[J]. 都市快轨交通, 2024, 37(3): 40-48.
ZHANG Sen. Research on barrier-free multipath ticket pricing for cross system rail transit in urban circles[J]. Urban rapid rail transit, 2024, 37(3): 40-48.

[10] 姚恩建, 季钰岷. 基于出行行为分析的地铁通勤票价折扣研究[J]. 北京交通大学学报, 2023, 47(6): 82-88.
YAO Enjian, JI Yumin. Fare discount study for urban rail transit commuting based on travel behavior analysis[J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2023, 47(6): 82-88.

[11] WEI Junjun, LONG Kejun, GU Jian, et al. Optimizing bus line based on metro-bus integration[J]. Sustainability, 2020, 12(4): 1493.

[12] 谭英嘉, 朱一洲, 李少龙. 城市轨道交通接驳常规公交服务评价体系研究[J]. 都市快轨交通, 2021, 34(4): 55-60.
TAN Yingjia, ZHU Yizhou, LI Shaolong. Evaluation index system of urban rail transit and bus feeder service[J]. Urban rapid rail transit, 2021, 34(4): 55-60.

[13] 王政. 出租车与地铁出行影响因素分析及其竞合关系研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2022.
WANG Zheng. Analysis on influencing factors of taxi and subway travel and research on their competition and cooperation relationship[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2022.

[14] 刘祥敏, 李美玲, 王海平. 基于SP调查的乘客站点等待时间意愿研究[J]. 交通工程, 2020, 20(4): 26-31.
LIU Xiangmin, LI Meiling, WANG Haiping. Research on passengers' willingness to wait at bus stations based on SP survey[J]. Journal of transportation engineering, 2020, 20(4): 26-31.

[15] 周魁, 王向来, 张方义, 等. 基于改进Critic权重法的冲击地压危险等级预测方法[J]. 煤炭技术, 2024, 43(11): 125-129.
ZHOU Kui, WANG Xianglai, ZHANG Fangyi, et al. Prediction of risk level of rockburst based on improved critic weight method[J]. Coal technology, 2024, 43(11): 125-129.

[16] 徐浩琦. 基于聚类结果内部评估的加权多视图聚类算法研究[D]. 广东: 东莞理工学院, 2023.
XU Haoqi. Research on weighted multi-view clustering algorithm based on internal evaluation of clustering results[D]. Guangdong: Dongguan University of Technology, 2023.

（编辑：傅依萱）