引文格式：关可汗,赵小辉,杨薇,等. 基于IC卡数据的长春市轨道站点换乘环境优化[J]. 地理空间信息, 2026, 24(4):130-135. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2026.04.027

基于IC卡数据的长春市轨道站点换乘环境优化

关可汗，赵小辉，杨　薇，刘娟娟
（长春市规划编制研究中心，吉林 长春 130028）

摘　要：较好的轨道站点换乘环境，能将轨道交通和常规公交有效衔接，为打通“最后一公里”提供保障。以长春市轨道站点为例，基于同期轨道和公交IC数据，建立了轨道换乘公交客流识别方法。借助百度地图步行路径规划服务和GIS的邻近域分析工具，遍历得到所有换乘步行路径、耗时的预测值。在上述工作基础上，以步行距离、候车时间2个因素，分别分析换乘客流特征，并量化评价轨道站点的换乘环境质量，最后给出轨道站点换乘环境的优化建议。

关键词：IC卡数据；轨道站点换乘；步行路径规划；候车时间；常规公交
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2026）04-0130-06

Transfer Environment Optimization of Rail Transit Stations in Changchun City, Jilin Province Based on IC Card Data

GUAN Kehan, ZHAO Xiaohui, YANG Wei, LIU Juanjuan
(Changchun Urban Planning & Research Center, Changchun 130028, China)

Abstract: A better transfer environment of rail stations can effectively connect rail transit with conventional buses, providing a guarantee for connecting “the last one kilometer”. Taking Changchun’s rail transit stations as an example, an identification method for passenger flow of rail transit buses was established based on the same period rail and bus IC card data. Afterwards, with the help of Baidu Maps’ walking path planning service and GIS’s proximity analysis tool, we obtained all predicted values of transfer walking paths and time consumption through traversal. Based on the above work, we analyzed the characteristics of transfer passenger flow using walking distance and waiting time, and quantitatively evaluated the transfer environment quality of rail transit stations. Finally, we put forward the optimization suggestions for the transfer environment of rail stations.

Keywords: IC card data, rail transit station transfer, walking path planning, waiting time, conventional bus

2024年3月，随着地铁6号线开通运营，长春轨道交通运营线路增至6条，轨道交通建设的快速推进，进一步发挥了轨道交通的网络骨干作用。常规公交与轨道交通的有效衔接，能够相互带来乘坐公共交通的潜在客流，使人群出行更加高效便捷。优化轨道站点换乘常规公交环境，是促进“两网融合”的有效手段，也是城市客运交通一体化过程的关键。

城市公共交通的IC卡刷卡记录相对准确和完整，一段连续时间的全样本数据包含信息丰富，通过挖掘分析能够客观反映客流出行特征[1]。国内外很多学者基于轨道和公交数据进行了大量研究[2-3]。但目前学者对轨道站点换乘环境方面的研究，除IC卡刷卡数据以外，能够将多源（如手机信令、用地性质等）数据融合应用，综合分析轨道换乘公交的客流特征，并进行深入评价。但大多仅以某条轨道线路或重点关注的轨道站点为例，少有对城市全部轨道站点换乘公交进行研究，同时多数的研究从行政管理和行业运营视角看待问题，很少从换乘乘客角度出发，对换乘环境优化提出观点[4-13]。

本文以长春市全部轨道站点为研究对象，根据全样本数据中轨道和公交相同卡号的刷卡记录信息，充分考虑拟在不同换乘时间间隔下的换乘客流量变化情况，设定识别换乘客流的时间阈值。此外，应用百度地图步行路线规划服务，准确判断换乘人群从轨道站点至公交站点的步行路线和耗时，将步行距离、候车时间作为影响换乘环境的2个因素，定量分析轨道站点的换乘环境，并从服务换乘乘客的视角提出优化建议。

1　轨道换乘常规公交识别方法

本文选取长春市没有极端天气和特殊事件的普通

项目来源：国家自然科学基金重点项目（52131202）。
第一作者简介：关可汗（1989—），硕士，高级工程师，从事大数据分析、交通规划工作，E-mail：kekegkh@yeah.net。

连续工作日，即2024年5月13—17日，共5 d的轨道交通与常规公交的IC刷卡数据为基础。长春市轨道交通的刷卡方式是进出站分别刷卡，而常规公交的刷卡方式是上车刷卡下车不刷卡，因此先乘坐公交后换乘轨道乘客的刷卡记录在时间和空间跨度均较大，不定因素较多，难以确定两次刷卡的时间间隔内是否存在中途下车后活动，再通过其他途径到达轨道站点。故本文不考虑上述公交换乘轨道情形，专门针对轨道换乘公交方式进行分析。其识别换乘客流流程如图1所示。

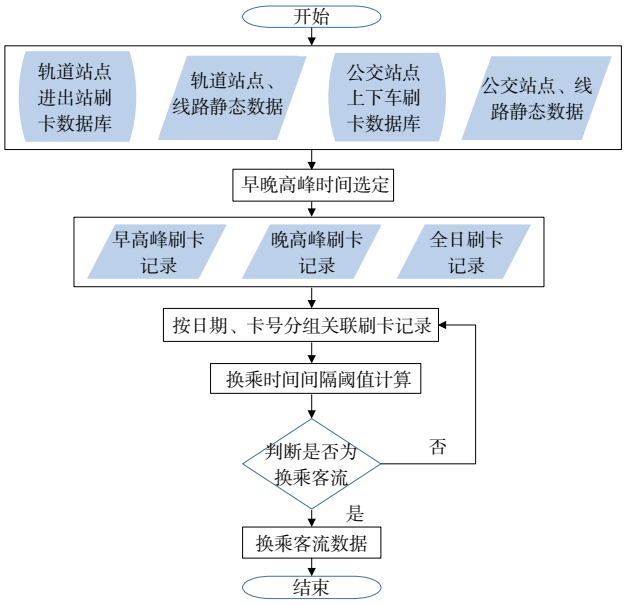


图1　换乘客流识别流程图

1.1　换乘信息匹配

将轨道和公交刷卡数据导入数据库，以轨道和公交刷卡数据的日期字段共同分组，根据相同刷卡卡号作为匹配字段，遍历轨道刷卡表和公交刷卡表，将成功模糊匹配上的每一个卡号都进行标记提取，初步筛选出每天既乘坐轨道交通又乘坐常规公交的乘客，作为识别换乘客流的研究范围[14-15]，如表1所示。

表1　成功匹配IC卡号的轨道和公交各类型刷卡量表

序号	卡类型	轨道出站刷卡量/次	公交上车刷卡量/次
1	本机构卡（含敬老卡）	19 142	20 513
2	支付宝乘车码		14 541
3	乘车码　微信乘车码	19 282	3 910
4	E出行乘车码		369
5	外机构卡	4 071	4 164
6	员工票	1 690	1 105
7	公交员工票	785	765
合计	—	44 970	45 367

在IC卡数据时间范围内，与长春市轨道和公交换乘相关的优惠政策主要有2个，一是65周岁以上老人可享受720元/（人/年）的公交老年卡，二是使用长春交通联合一卡通可以享受票价优惠10%。公交老年卡在轨道刷卡类型中为“敬老卡”，在公交刷卡类型中为“本卡机构”，交通联合一卡通在轨道和公交刷卡类型中均为“本卡机构”。

而仅筛选出当日乘坐轨道和公交的乘客，并不能完成识别换乘客流，原因可能是2次刷卡时间间隔较长，属于不同的2次出行目的，并非换乘行为。需要合理确定最大换乘时间间隔来判断换乘客流。

1.2　换乘阈值时间设定

最大换乘时间间隔，即换乘时间阈值，设该阈值为 T，正常出行情况下，阈值 T 包括两部分，一是从轨道出站刷卡到公交站点的步行时间，设为 t_1；二是等待公交候车时间，设为 t_2，所以有 $T=t_1+t_2$。

本文从已匹配换乘卡号的样本中筛选每日所有刷卡记录，得到从轨道站点到公交站点间最远步行距离为1 134.0 m，以人均步速1.3 m/s计算，步行耗时 t_1 = 872.3 s，高峰期间除郊线以外的公交平均发车间隔为 t_2 =438.2 s，近似计算为最大候车时间，故取最大步行时间和平均发车间隔之和1 310.5 s为换乘阈值时间，即 $T\approx$22 min。因此有如下判断换乘客流条件 R：

$$R=\begin{cases}1, & \text{if } T\leqslant 22\ \text{min}\\ 0, & \text{if } T>22\ \text{min}\end{cases} \tag{1}$$

式中，R 为否换乘客流判断结果；T 为换乘时间阈值。如果 T 小于等于22 min，即为换乘客流；如果 T 大于22 min，即为非换乘客流。

1.3　换乘客流识别

统计在不同时间间隔下，全市轨道换乘公交的日均刷卡量。在前5 min内换乘刷卡量增长明显，在第5 min时达到峰值1 345次，随后刷卡量逐渐减少并趋于稳定，在换乘判断阈值 T 时刻每分钟刷卡量低于95次。此阈值识别的换乘乘客的刷卡量占全部已匹配换乘信息刷卡量的94%。

根据长春市2024年度发布的《长春市交通发展年度报告（2023）》显示，长春市早高峰时段为7：00–9：00时，晚高峰时段为16：00–18：00时。分别对6条轨道线路的早高峰、晚高峰和全天换乘客流进行识别，5 d平均单日换乘客流刷卡情况如表2所示。

轨道3号线运行里程最长、站点最多，且大部分为地面段，全天换乘客流刷卡量最大，为3 699.8次，仅电台街站的出站换乘公交刷卡量高达1 101次。轨道1号线全天换乘刷卡量3 213.8次，其中人民广场站换乘量最大，为679.6次。轨道2号线全天换乘刷卡量2 939.6次，其中东盛大街站换乘量最大，为802.4次。

表2 各轨道线不同时段识别换乘客流刷卡量表

线路	早高峰换乘刷卡量/次	晚高峰换乘刷卡量/次	全天换乘刷卡量/次
轨道1号线	781.4	904.0	3 213.8
轨道2号线	774.2	767.8	2 939.6
轨道3号线	1 156.0	840.0	3 699.8
轨道4号线	247.6	263.0	1 005.4
轨道6号线	238.8	209.4	766.6
轨道8号线	52.4	77.0	228.6

轨道4号线全天换乘刷卡量1 005.4次，其中北亚泰大街站换乘量最大，为297.4次。轨道6号线主要连接城市南部商圈和旅游景点，工作日通勤客流相对较少，全天换乘刷卡量为766.6次。轨道8号线运行里程最短、站点最少，主要连接北部公园、居住区和大学城，全天换乘刷卡量仅为228.6次。

2 步行换乘路径、时间分析方法

从轨道站点出站步行到公交站点这段距离和耗时，是影响换乘环境的重要因素之一。而精准预测换乘客流的路径和步行时间，是优化换乘环境的关键。由于出行目的、出行习惯、交通流量时刻变化等差异，导致相同轨道和公交站间换乘的步行时间在不同时刻都不尽相同，甚至步行路径的选择也会有所不同。因此，本文引入百度地图开放平台中的步行路径规划服务，区分早晚高峰、平峰时段，结合现状刷卡记录，对所有可能发生的步行换乘路径进行精准预测，得到有效的换乘路径长度和步行时长，为换乘环境优化提供量化结果。具体分析流程如图2所示。

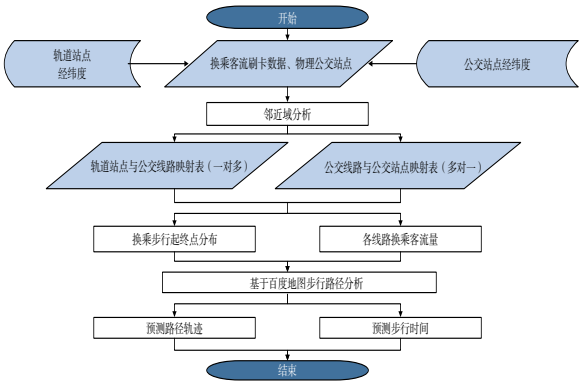


图2 步行换乘路径和时间预测流程图

1）邻近域分析。此前，本文利用百度地图API下载了长春市共计13 602个公交站点数据，在此基础上通过人工现场核查进行空间纠偏，将上述应当属于同一站牌的公交站点空间归集成6 572个物理公交站点，保证公交站点落位精准。而轨道站点一般范围较大，从乘客实际步行路径角度考虑，应以轨道站点的出入口作为换乘起点。长春市111座轨道站点设有出入口319个，其中82座站点具备多个出入口，其余29座站点仅一个出入口，且均位于地上轨道3、4号线内。

由于公交刷卡数据仅包含线路名称和时间戳，不包含刷卡站名、站序等信息，因此需借助ArcGIS软件生成临近表工具，实现轨道换乘公交之间的站点匹配。具体方法是根据现状刷卡数据遍历所有换乘线路中可能匹配的公交站点，再通过最短距离原则查找所属公交线路的站点，如图3所示，至此就关联了所有轨道和换乘公交的站点经纬度信息。

2）步行路径分析。借助百度地图开放平台下的轻量级路线规划服务V1.0，对轨道出站客流换乘常规公交的步行路线进行预测。如表3所示，全市111座轨道站，早晚高峰期间轨道公交换乘客流的平均步行距离和时间均大幅度少于全日的平均步行距离和时间，且早高峰略少于晚高峰。究其原因，平峰期换乘客流以非通勤人群为主，该类人群的时间成本低且出行需求分散，对远距离步行换乘的容忍度较高。因此从全日来看，换乘客流的平均步行距离和时间均高于早晚高峰。

表3 不同时段步行换乘距离和时间统计表

内容	早高峰	晚高峰	全日
平均步行距离/m	353.15	372.22	537.02
平均步行时间/s	301.30	317.65	458.72

以轨道3号线为例，分析各轨道站点换乘公交客流步行距离和时间，如图3所示。其中，会展中心站的步行距离最长，为1 134 m，换乘时间最长，15 min，已经达到判断是否为换乘的阈值上限。其次是湖光路站、电台街站、亚泰立交桥站，换乘步行距离均超过800 m。

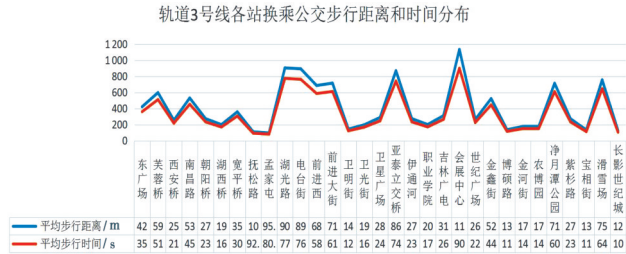


图3 轨道3号线各站换乘公交步行距离和时间分布图

3 站点换乘环境优化

轨道站点换乘环境受到多种因素影响，考虑的因素越多，构建的优化模型理论就越复杂，在行管和运营部门就更难落地解决现实问题。本文从乘客换乘的实际角度出发，将步行距离、候车时间作为影响换乘环境的二个重要因素。然后分别量化、空间化不同因素下的轨道换乘公交情况，再根据量化结果对换乘环

境提出优化建议。

3.1　影响因素计算

3.1.1　步行距离

步行距离[16]因素相对步行时间更加客观，步行时间因人而异，而步行路径的距离一旦固定，换乘乘客会根据步行距离自主判断用时多少。由前所述，通过步行路径分析，已经计算出长春市所有轨道站点换乘至公交站点的步行距离，具体从轨道站点的空间维度进行分析。

通常情况下，早晚高峰和全日的换乘客流分布差异较大，但轨道站点的步行换乘距离在各个时间段内均无变化。

全市步行换乘平均距离最长的站点是轨道2号线的西环城路站，为1 008 m。与该轨道站点发生换乘的公交线路是109路和235路，轨道站点与公交站点直线距离分别为788 m和636 m，换乘步行路程分别为929 m和1 087 m，换乘步行时间均超过12 min。经过实地调研，虽然换乘路径上有较好的人行道设施，但步行路程过长，在恶劣天气会促使人们放弃换乘公交出行，因此亟需将109路和235路公交线路进行调整，延伸至该地铁站口附近进行接驳，并就近利用已有停靠站加设站点。

而151路和280路公交站点与该地铁站距离不足300 m，但却没有换乘客流，是因为151路和280路公交线路与轨道2号线重复线路距离较长，没有换乘需求，甚至一部分客流被轨道2号线分担，公交运行效率不高，应向居住地块集中的区域调整运行线路，减少与轨道共线运行距离。

3.1.2　候车时间

根据美国TCRP出版的《公共交通通行能力和服务质量手册》[17]，候车时间1 min被乘客感知平均是车上时间的2.1倍，这是因为乘客候车时最易产生焦躁情绪，使得乘客候车时的感知时间往往高于实际时长。至此，不难发现，候车时间长短是公交乘客出行最关心的指标，也是换乘环境优化的关键因素，直接影响着公交乘客的满意程度。

计算候车时间最简便的方法是采用公交发车时刻表，根据发车间隔估算乘客候车时间，这种方法虽然简单、快速，但是不同于实际发车时间，且在站序靠后的站点，其候车时间受到信号灯或交通流的影响，会与实际情况有较大出入；另一种方法是通过公交车载GPS和到离站信息计算候车时间，这种方法受限于数据质量好坏和数据量的大小，若有时间字段不统一或有偏差、GPS延迟等因素干扰，其计算结果也不能反映真实候车时间。

由于本文中轨道和公交换乘客流数据出自同一卡类型，刷卡时间戳一致。所以令换乘的公交刷卡和轨道刷卡记录的时间字段做差，记为 T_{card}，已知前文轨道站点换乘到公交站点的步行时间，记为 T_{walk}，所以有 $T_{card}-T_{walk}$ 为该公交站点的候车时间，具体公式如下。

$$T_{card}=T_{bus}-T_{sub} \tag{2}$$

$$T_{wait}=T_{card}-T_{walk} \tag{3}$$

式（2）中，T_{bus} 为公交上车刷卡时刻；T_{sub} 为轨道出站刷卡时刻；T_{card} 为轨道换乘公交总耗时。

式（3）中，T_{walk} 为轨道换乘公交步行时间；T_{wait} 为所求候车时间。

如图4所示，早高峰期间，全市111个轨道站点换乘公交候车时间最长的是轨道2号线的西环城路站，平均候车时间823.5 s，该站换乘步行距离和步行时间也最长；其余依次是轨道3号线的公平路站，平均候车时间692 s；轨道2号线的平阳街站，平均候车时间681 s。共计有8个轨道站点换乘公交的候车时间超过10 min。

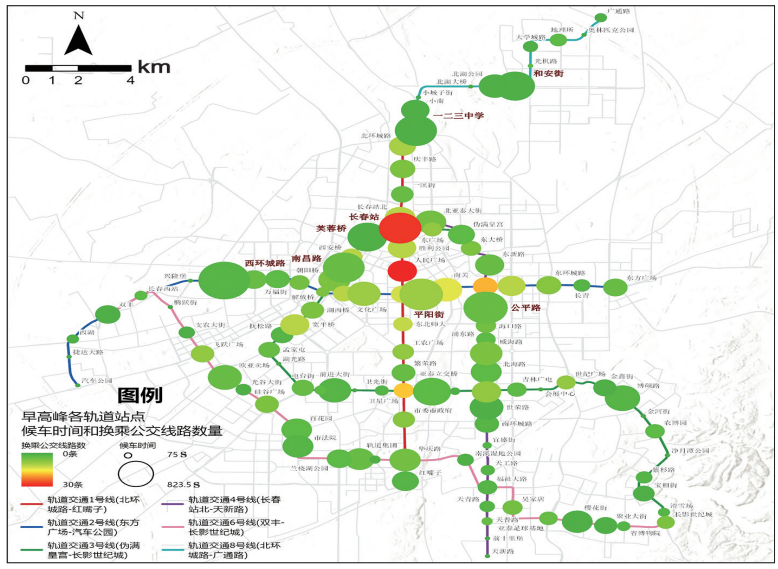
晚高峰期间，候车时间最长的仍是轨道2号线西环城路站，平均候车时间852.5 s；其次是轨道三号线的亚太立交桥站，为734.75 s，以及轨道6号线的欧亚卖场站，为734.0 s。共计有9个轨道站点换乘公交的候车时间超过10 min。

全日候车时间最长的站点是轨道8号线的奥林匹克公园站，平均候车时长844 s；其次是轨道2号线的西环城路站，为825.5 s，以及轨道3号线的会展中心站，为772.0 s。共计有7个轨道站点换乘公交的候车时间超过10 min。

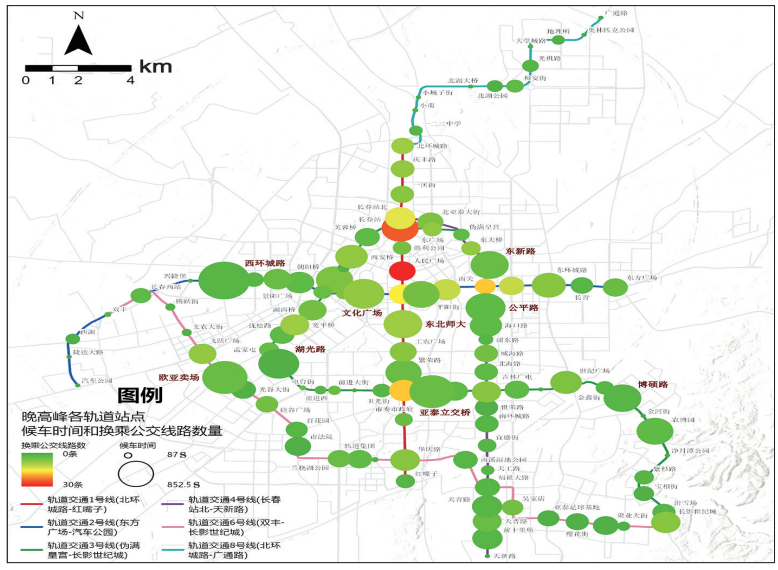
3.2　优化建议

根据站点换乘环境优化3个因素，本文从三方面提出站点换乘环境优化建议。

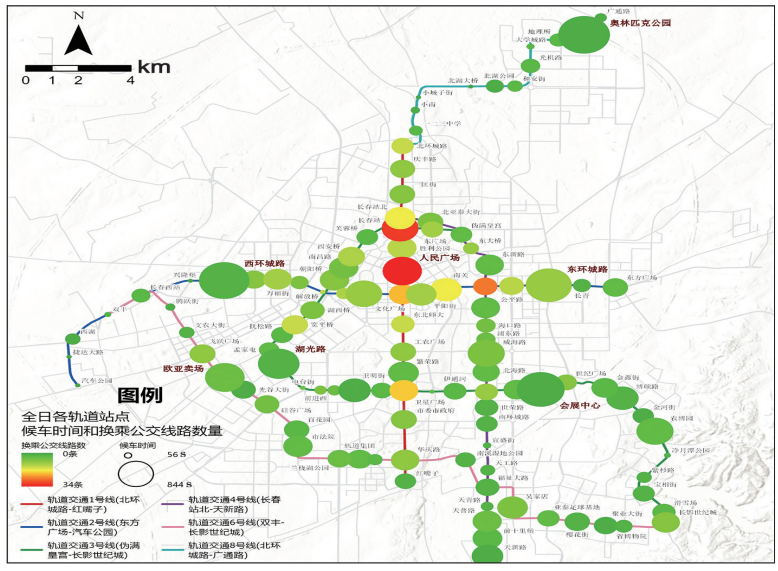
1）根据实际发生的站间换乘行为，进一步缩短轨道站点和公交站点之间的距离。由于东北地区冬季天气寒冷，换乘步行距离对人们换乘意愿有很大影响，而轨道2号线西环城路站的步行换乘平均距离长达1.08 km，显然换乘环境较差。根据本文得出的步行换乘距离排序，应当优先优化步行距离长且换乘人数多的公交换乘环境，在不与其他现有公交线路冲突的前提下，将接驳的公交线路进行调整，在轨道站点附近增设公交站点，较直接的减少换乘距离，从而



a 早高峰轨道站点候车时间和换乘公交线路数量图



b 晚高峰轨道站点候车时间和换乘公交线路数量图



c 全日轨道站点候车时间和换乘公交线路数量图

图4　候车时间和换乘公交线路数量

审图号：吉S(2022)018

提高出行效率，提升公共交通出行吸引力。

2）根据换乘客流特征适当增减公交发车频次。从候车时间方面看，乘客对候车时间的忍耐程度较低，也是公交服务满意度的重要内容，如表4所示。从分析结果看，某些换乘公交站点的候车时间呈现高峰平峰的差异，又有某些站点的候车时间呈现潮汐现象。建议对高峰时换乘客流量显著增加的公交站点，以此减少乘客等待时间，提高出行效率，提高公共交通便利性。

表4　建议增加发车频次的接驳公交线路

序号	轨道线路	轨道站点	公交线路	候车时间/s	换乘人数/人
1	4号线	天普路	T69路	989	24
2	4号线	公平路	G1路	941	10
3	2号线	西环城路	235路	930	34
4	1号线	北环城路	273路	832	28
5	2号线	解放桥	221路	814	17
6	1号线	长春站北	G25路	807	20
7	2号线	平阳街	G6路	769	30
8	3号线	世纪广场	102路	726	33
9	3号线	芙蓉桥	K185路	724	36
10	6号线	欧亚卖场	G20路	712	64

3）规范并整合轨道、公交实体IC卡系统，鼓励常态化换乘优惠政策。我市公交出行付费方式庞杂，不同公交企业运营线路付费方式不尽相同，交通卡（轨道卡、公交卡、交通联合卡等）和部分手机二维码（长春E出行、市民卡、吉林通、云闪付等）大众化的方式可以乘坐全部公交线路，支付宝、微信尚不支持乘坐部分民营公交线路，不利于换乘优惠政策的推广。建议合并统一轨道、公交集团、民营公交刷卡付费机制，完善卡机系统和IC卡兼容性，加快民营公交普及电子化付费速度，全面覆盖公交线路，能够极大提高市民乘坐公交的便利性和舒适性。鼓励部分刷卡方式的换乘优惠，以引导乘客培养良好的付费习惯。

4　结　语

本文从乘客切身感受出发，找出轨道站点换乘环境的二个影响因素，结合实际刷卡环节数据，分析了站点换乘环境的优化方法和建议。优化轨道站点换乘环境，是轨道和公交两网融合发展的切入点，进而为打造快速便捷、安全舒适的城市公共交通系统发挥纽带作用。

本文研究内容上仍有不足，仅分析了春季工作日下的换乘情况，并未分析长春作为严寒城市在冬季的乘客换乘情况，也未对休息日的换乘客流进行相关研究。在研究乘客换乘步行路径和时间的问题上，没有数据支撑乘客从车厢行至轨道站点出入口的距离和用时，仅用常数作为补偿量。又因为长春市公交没有下车刷卡这一弊端，导致无法分析公交换乘轨道的线路布局。后续拟通过冬季IC卡刷卡数据，进一步对比分析冬夏两季以及工作、休息日乘客出行换乘的时间和空间特征，对站点换乘环境优化做出更全面的改进建议。

参考文献

[1] 徐月娟,赵金宝,李明星,等. 时空异质性视角下轨道站点客流影响研究[J]. 地理空间信息,2024,22(10):1-4

[2] 闻帅. 基于IC卡数据的城市轨道交通与常规公交换乘特征研究[D]. 深圳:深圳大学,2019

[3] Zhen Y M, Wen C D, Chi F, et al. Identifying Commuters Based on Random Forest of Smartcard Data[J]. IET Intelligent Transport Systems,2020,14(4):207-212

[4] 庄楚天,吾晨晨,顾天奇,等. 苏州市轨道交通与常规公交换乘特征分析[J].交通与运输,2021,37(4):51-55

[5] 郑美娜. 城市多模式公交网络设计与优化方法研究[D]. 南京:东南大学,2022

[6] 王大江,鲍震天. 成都市通勤客流地铁-公交换乘系数分析[J]. 综合运输,2023,45(4):182-187

[7] 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

[8] 雷洁璇,边梦圆,辜智慧. 地铁-公交换乘供需匹配评价方法研究:以深圳市为例[J]. 地球信息科学学报,2024,26(10):2419-2432

[9] 刘熙. 基于博弈:可拓云模型的石家庄市轨道交通与常规公交换乘服务评价研究[D]. 石家庄:石家庄铁道大学,2023

[10] 谢振友. 面向城市轨道交通接驳的常规公交线路调整方法研究[D]. 桂林:桂林电子科技大学,2022

[11] 顾天奇,邓雄成,陈敏,等. 多源数据驱动的轨道交通与公交换乘特征和服务范围研究[J]. 交通与运输,2021,37(6):6-10

[12] Wang Z J, Liu Y, Chen F. Evaluation and Improvement of the Interchange from Bus to Metro Using Smart Card Data and Gis[J]. Journal of Urban Planning and Development, 2018,144(2):05018004

[13] 黄勇,冯高乾,葛国钦. 重庆市城市轨道交通与公共汽车换乘距离适宜性研究[J]. 城市交通,2023,21(3):46-54

[14] 代佩伶. 基于刷卡数据的城市公共交通时刻表优化研究[D]. 北京:北京交通大学,2023

[15] 段孝媛. 基于IC卡数据的地铁与公交换乘时间优化研究[D]. 石家庄:石家庄铁道大学,2024

[16] 程国柱,吕岩峰,冯天军. 地铁站周边常规公交换乘站点布局多目标优化模型[J/OL].吉林大学学报(工学版):(2024-10-11)[2025-01-13]https://doi.org/10.13229/j.cnki.jdxbgxb.20240908

[17] 杨晓光,滕靖. 公共交通通行能力和服务质量手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2010