

乌鲁木齐市轨道交通与地面公交换乘协同优化研究

刘敬

乌鲁木齐城市轨道交通集团有限公司，新疆乌鲁木齐，830000；

摘要：乌鲁木齐市轨道交通1号线开通后，与地面公交的换乘协同存在短板，如换乘距离长、信息不畅等，影响出行体验和系统效率。本文通过分析换乘现状，提出优化策略，提升轨道交通与地面公交的协同效能，为城市公共交通一体化发展提供支撑。研究基于公交IC卡数据与轨道交通AFC数据，通过时间阈值匹配（轨道→公交30分钟、公交→轨道45分钟）构建换乘行为识别模型，发现步行距离、线路重复覆盖、道路拥堵是制约换乘效率的核心因素，经对21站分析会后对存在换乘问题较多的两个车站进行重点分析，揭示换乘协同存在的关键问题并提出优化策略。研究成果对同类城市解决城郊公交“最后一公里”接驳难题具有示范意义，为边疆省会城市公共交通一体化提供了“数据驱动—问题诊断—精准施策”的优化范式，对提升中小城市轨道与公交协同效能具有参考价值。

关键词：轨道交通；地面公交；换乘协同；优化策略

DOI：10.64216/3080-1486.25.03.031

随着乌鲁木齐市轨道交通1号线的开通运营及地面公交线网的持续优化，城市公共交通系统正逐步迈向现代化、智能化。然而，在城市轨道交通与地面公交的换乘协调环节，仍存在一些问题和挑战，如换乘距离过长、换乘信息不畅通等，影响了居民的出行体验和公共交通系统的整体效率。目前，作为城市轨道交通两大支柱产业，轨道交通与常规公交各具优势。只有将两者有效融合同时形成一种协同运作的公共交通网络，才能进一步增加城市公共交通的效能、质量。换乘是协调轨道交通与常规公交的重要手段，分析二者换乘比例，可以为制定协调方案提供便利。

1 轨道交通与地面公交换乘协同分析

1.1 换乘协同优化的概念

协同论本质为协调不同事物关系，以二者共同点为切入点，将无序系统调整为有序系统^[1]。该理论突出，系统内部各子系统或构成部分的联手水平并且直接影响协同作用的成效，当各一部分目的统一、协作顺畅时，系统能展露出超越单独一部分之、的协同效应；相反则会导致内耗扩大继而使得系统整体功能无法正常发挥，各一部分的功能也难以百分之百发挥^[2]。换乘协同是指加强常规公交与城市轨道交通二者关系，打造复合型交通网络，进而强化常规公交以及城市轨道交通的换乘连接本事；同时在确保各自客运功能得到百分之百发挥的

基石上，实行两者的协同运作并且有效增加城市公共交通系统的整体效能。

对出行者而言，不论使用哪种公共交通方式，其两端都会存在一定的步行时间。研究表明^[3]，超过80%的旅客希望公共交通方式两端的步行时间最好控制在10 min以内，按照平均步行速度换算成步行距离约为600 m，而在^[4]GB 51328-2018《城市综合交通体系规划标准》要求不宜大于200 m。如果要使轨道交通所有旅客的步行距离均在600 m范围内，且没有其它交通方式集散客流，那么轨道交通的线网密度至少要达到1.2-1.7 km/km²才能满足要求，但这是很难实现的，也是不经济的。因此，要使轨道交通能够为其二次客流吸引范围内的旅客提供出行服务，发挥轨道交通大运量的优势，就必须合理地配以常规公交为其集散客流，两者协调配合，相辅相成，从而提高城市公共交通的服务能力。

1.2 换乘协同优化内容

城市轨道交通与常规公共交通的换乘协同优化，核心是发挥常规公交线网高密度优势以解决轨道交通线网低密度问题，协调运能管理，提升出行便捷性与效率。在规划层面，一体化发展的关键在于科学规划线路与站点，线路选取需结合乘客需求与交通网络架构，合理控制线网密度以平衡出行需求与成本；站点设置要注重空间无缝衔接、清晰智能的信息指示，以及运营管理的协同。在运营层面，实现一体化的重点是统一管理，打破

部门壁垒，同时通过合理设计时刻表，精准匹配两者运行时间，制定特殊情况行车策略，保障系统稳定高效，减少乘客换乘等待时间。

2 乌鲁木齐市轨道交通与地面公交换乘现状

2.1 轨道交通

乌鲁木齐轨道交通1号线从三屯碑站一路向北延伸至国际机场站，全长约 27.6 公里，共设 21 座车站，贯穿了乌鲁木齐市的天山区、沙依巴克区、新市区等主要区域，将城市的多个重要功能区紧密相连。它不仅经过南门、二道桥等商业繁华地段，连接了新疆大学等文化教育中心，还深入了众多大型居住区，为沿线居民的日常出行带来了便利。而且，轨道交通 1 号线与乌鲁木齐站、天山国际机场等对外交通枢纽实现了无缝对接，提升了城市的通达性。据统计，开通后，从市区前往机场的通勤时间平均缩短了 30 分钟以上，提高了市民出行和游客往来的效率。

2.2 地面公交

截至 2024 年底，全市地面公交（包含地面公交和快速公交）营运线路条数达 246 条，营运线路总长度为 3983 公里，线网长度 1331 公里；运营车辆 4426 辆。近年来，乌鲁木齐市的地面公交系统持续优化，线路布局更加合理，车辆更新换代速度加快，服务质量显著提升。公交线路不仅覆盖了城市的每一个角落，还深入到了居民小区、学校、医院等人员密集区域，为市民出行提供了便利。同时，随着城市的发展和扩张，公交线路也在不断延伸和调整，以适应城市发展的新需求。

2.3 换乘计算

2.3.1 数据基础

（1）数据来源

本研究所使用数据为公交刷卡数据与轨道交通刷卡数据。

公交刷卡数据为乌鲁木齐市公交 2024 年 1 月 IC 卡数据为例，该月共有 3079 万条数据，刷卡主要字段信息描述见表 2-1。

表 2-1 公交刷卡数据字段说明

字段名称	中文名称	信息描述
BUSDATA_ID	交易编号	主键，唯一标识码
GRANT_CARD_CODE	卡号	交通卡发行顺序号
LINE_CODE	线路编号	运营线路编号
VEHICLE_CODE	车辆编号	运营车辆编号
ON_STATION	上车站点	上车站点编号
UP_TIME	上车时间	上车刷卡时间

（2）地铁刷卡数据

轨道交通刷卡数据为乌鲁木齐市以 2024 年 1 月

AFC 数据，地铁 AFC 刷卡数据中主要字段信息描述见

表 2-2。

表 2-2 AFC 数据字段说明

字段名称	中文名称	信息描述
AFC_ID	交易编号	主键，唯一标识码
GRANT_CARD_CODE	卡号	交通卡发行顺序号
ENTRY_LINE_NUM	进站线路编号	进站站点所在线路编号
ENTRY_STATION_NUM	进站站点编号	进站站点编号
EXIT_STATION_NUM	出站站点编号	出站站点编号
ENTRY_TIME	进站时间	进站刷卡时间
DEAL_TIME	出站时间	出站刷卡时间

2.3.2 数据关联匹配

在乌鲁木齐市公共交通数据整合与换乘分析中，主要通过整合与匹配刷卡数据来获取乘客出行链信息及判断换乘行为。在整合刷卡数据方面，利用地铁与常规公交共享的 IC 卡号属性，将公交、地铁的刷卡记录相关联，从而合并两类数据，得到基于 IC 卡的完整地面公交与地铁出行链。在匹配刷卡数据上，通过分析持卡

人地铁进出站及相邻公交 IC 卡使用记录的时间间隔(T)判断换乘情况，存在 M→B、B→M 两种换乘模式；其中，公交与轨道交通换乘（M→B）时，考虑公交站点服务区域及乘客换乘所需时间，将最大可接受时间设为 30 分钟作为时间限制 T（M→B）；而公交到轨道交通的换乘（B→M），因一票制公交未记录下车时间，依据公交上车与轨道交通进站时间差评估，通常将最大可接受换乘

时间设为 45 分钟作为时间限制 $T(B \rightarrow M)$ 。

2.3.3 换乘量计算

(1) 计算步骤

Step1: 于公共交通刷卡整合表中完成个人公共交

通出行链提取。

Step2: 结合公交和地铁的换乘 (Bus to Metro) 行为完成地铁站点进站公交换乘量计算。

Step3: 针对地铁以及公交的换乘 (Metro to Bus) 行为从而计算地铁站点的出站公交换乘量。

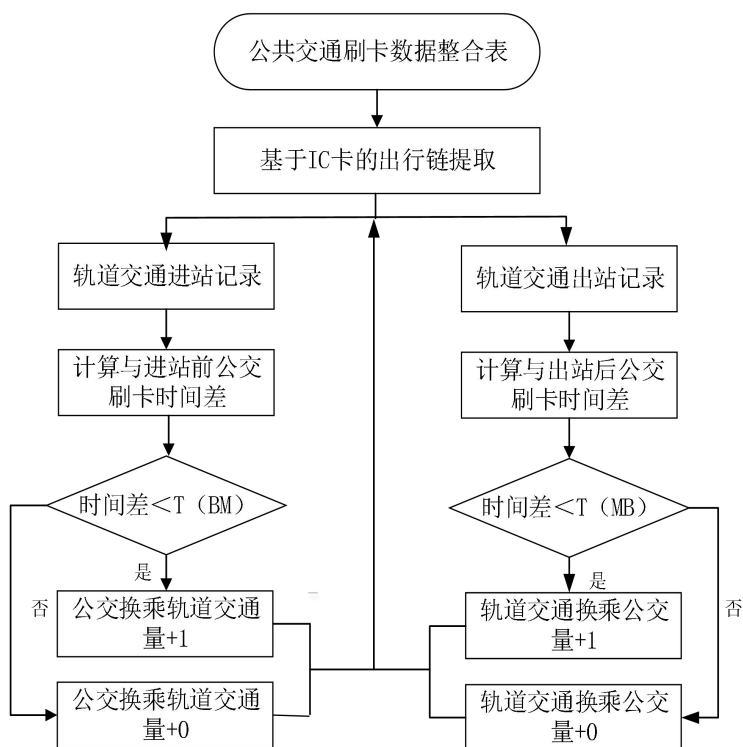


图 2-1 轨道交通站点与公交换乘计算流程图

基于以上分析轨道交通站点公交换乘接驳算法实现流程如图 2-1 所示, 根据上述算法, 对公共交通刷卡数据整合表进行计算得出换乘比例。

2.4 换乘现状

2.4.1 轨道↔ 公交换乘比例

本节的提取工作均在 Oracle 中完成, 结果如表 2-3 所示。

表 2-3 换乘比例

数据类型	数量	换乘类型	T 阈值 (min)	换乘次数	换乘比例 (%)
AFC 刷卡数据	757255	轨道→公交	30	127557	16.8
公交刷卡数据	30791904	公交→轨道	45	110220	0.36

轨道交通 1 号线 AFC 刷卡数据为 75.7 万次, 对应乘客量小而集中, 其换乘公交的比例为 16.8%, 体现“轨道干线+公交支线”的协作, 轨道站点多位于城市核心区, 天然需要公交“最后一公里”接驳, 因此轨道→公交是刚性需求。

公交刷卡数据为 3079 万次, 覆盖范围广, 包括大量短途出行、郊区线路刷卡数据, 对应客流量大而分散,

其换乘轨道交通的比例仅为 0.36%, 呈现系统级失效 (远低于同类城市 5-8% 水平)。公交系统承载量是轨道的 40 倍, 说明公交乘客几乎不向轨道转移, 乘客更倾向选择直达公交 (尤其非通勤时段), 仅在跨区域长距离出行时才会选择“公交→轨道”组合, 导致比例极低。

2.4.2 轨道站点换乘比例表

2-4 轨道站点换乘比例

序号	轨道 车站名称	换乘次数 轨道→公交	换乘比例 轨道→公交	换乘次数 公交→轨道	换乘比例 公交→轨道
----	------------	---------------	---------------	---------------	---------------

1	三屯碑	3953	24.39%	3848	24.62%
2	新疆大学	1185	4.53%	1049	3.99%
3	二道桥	5731	14.88%	5256	12.68%
4	南门	14801	19.03%	12122	15.89%
5	北门	10658	17.08%	9085	14.22%
6	新兴街	4375	14.39%	2757	9.94%
7	南湖广场	11669	34.57%	8902	30.12%
8	南湖北路	4275	15.15%	3729	13.62%
9	王家梁	4190	20.28%	3914	19.71%
10	八楼	12496	24.73%	9331	19.61%
11	新疆图书馆	3519	14.11%	2888	12.20%
12	中营工	2201	7.01%	1643	5.29%
13	小西沟	3815	7.20%	2994	5.25%
14	铁路局	7649	13.00%	7177	12.27%
15	体育中心	9298	27.42%	9460	26.30%
16	植物园	6861	16.59%	6203	14.84%
17	迎宾路口	13355	31.68%	8155	20.84%
18	三工	3359	13.44%	6817	23.54%
19	宣仁墩	2038	10.06%	2635	12.13%
20	大地窝堡	1926	6.73%	2173	7.26%
21	国际机场	203	1.54%	82	0.63%

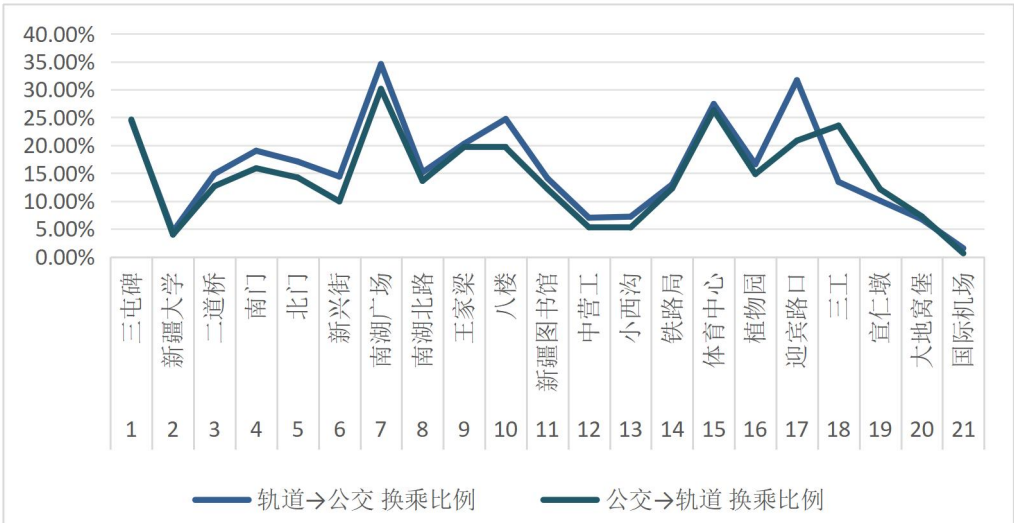


图 2-2 轨道站点换乘比例

大部分站点两种换乘比例呈现同步增减趋势，南湖广场站（轨道→公交 34.57%、公交→轨道 30.12%）和迎宾路口站（31.68%、20.84%）占据双榜首；迎宾路口站（轨道→公交 31.68%，公交→轨道 20.84%）轨道→公交比例显著高于反向，反向需求低。三工站（轨道→

公交 13.44%，公交→轨道 23.54%）是唯一反向主导站点；国际机场站、新疆大学站、中营工站及小西沟站双向需求均弱，其中国际机场站（轨道→公交 1.54%，公交→轨道 0.63%）为换乘比例最低的站点。

2.4.3 轨道站点平均换乘时间

表 2-5 轨道站点平均换乘时间

序号	轨道 车站名称	平均换乘时间 轨道→公交 (min)	平均换乘时间 公交→轨道 (min)	周边公交数 (条)
1	三屯碑	10.236	14.294	12
2	新疆大学	13.193	18.902	4

3	二道桥	10.080	19.298	17
4	南门	8.412	18.614	12
5	北门	9.590	18.977	12
6	新兴街	10.404	15.396	15
7	南湖广场	6.776	21.748	14
8	南湖北路	8.989	15.303	10
9	王家梁	9.766	16.938	9
10	八楼	9.321	19.650	18
11	新疆图书馆	11.511	19.050	6
12	中营工	9.731	20.368	11
13	小西沟	11.398	18.941	14
14	铁路局	10.980	17.737	21
15	体育中心	7.229	19.929	14
16	植物园	9.095	17.670	10
17	迎宾路口	9.438	14.320	22
18	三工	10.016	17.991	8
19	宣仁墩	10.969	14.942	4
20	大地窝堡	12.107	13.304	7
21	国际机场	11.168	22.142	3

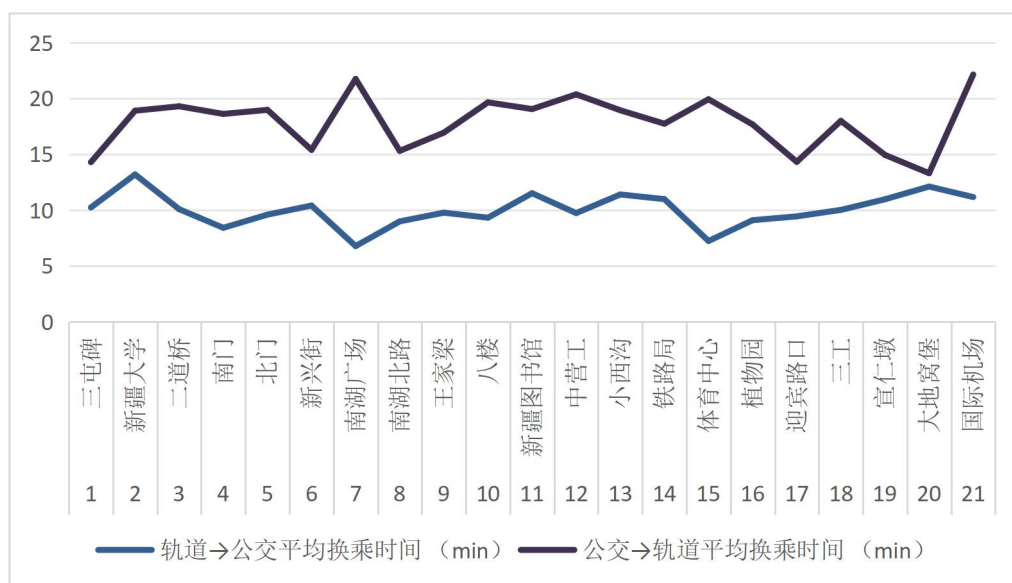


图 2-3 轨道站点平均换乘时间

轨道→公交平均换乘时间范围为 6.776~13.193 分钟，公交→轨道平均换乘时间范围为 13.304~22.142 分钟，换乘时间方向差异显著，多数车站呈现“公交→轨道”平均换乘时间大于“轨道→公交”的特征，其中轨道→公交效率较低的车站为新疆大学站（13.193 分钟）、大地窝堡站（12.107 分钟）、新疆图书馆站（11.511 分钟）、小西沟站（11.398 分钟）；公交→轨道效率较低的车站为国际机场站（22.142 分钟）、南湖广场站（21.748 分钟）、中营工站（20.368 分钟）、体育中

心站（19.929 分钟）。

2.4.4 综合分析

在乌鲁木齐市轨道交通与公交换乘协同优化研究中，基于换乘比例及换乘时间的综合评估，南湖广场、小西沟两座车站在换乘效能方面表现欠佳。

南湖广场站作为城市重要区域站点，尽管周边交通流量大，但轨道交通与公交之间的换乘协同效果不佳，换乘比例未达预期，换乘时间也未能有效压缩。

小西沟站在日常运营中同样面临换乘比例较低的

问题，乘客选择换乘的意愿不高，同时换乘所需时间相对较长，无法满足乘客快速出行的期望。而鉴于上述两个车站在换乘关键指标上的不佳表现，将作为轨道交通与公交换乘协同的重点分析对象。

通过分析多种换乘方式，以及地铁中的现状^[5-7]，针对这些问题，提出轨道交通换乘“知行合一”的服务策

略与方案设计，通过优化换乘导向系统，提高乘客换乘的效率与安全感，降低无效换乘路线和时间，从而提升乘客换乘体验的满意度^[8]。

3 协同分析

3.1 南湖广场站协同分析

3.1.1 基本信息

表 3-1 南湖广场地铁站出入口周边公交站点及步行时间

出入口名称	公交站点名称	步行距离（米）	步行分钟（分）	公交线路名称
B 口	南湖广场	284	4	59 路、61 路、63 路、73 路、104 路、105 路、152 路、537 路、BRT7 号线、9001 路
	南湖小区	248	4	
	劳动街	563	9	
	南大湖村	913	14	
	电信公司	294	4	
	市房产局	925	14	
	出租公司	567	9	
C 口	南湖广场	92	2	23 路、59 路、61 路、63 路、73 路、104 路、105 路、152 路、306 路、309 路、537 路、BRT7 号线、D009 路、9001 路
	南湖小区	56	1	
	劳动街	371	6	
	南大湖村	721	11	
	电信公司	480	7	
	市房产局	733	11	
	出租公司	759	11	

表 3-2 南湖广场分时段平均换乘时间

换乘方式	8 点—9 点（分）	9 点—10 点（分）	10 点—11 点（分）	11 点—12 点（分）
轨道→公交	5.17	4.48	5.85	6.96
公交→轨道	22.76	24.32	25.03	23.22
换乘方式	18 点—19 点（分）	19 点—20 点（分）	20 点—21 点（分）	21 点—22 点（分）
轨道→公交	12.87	14.33	13.07	13.47
公交→轨道	22.24	23.36	26.25	21.72

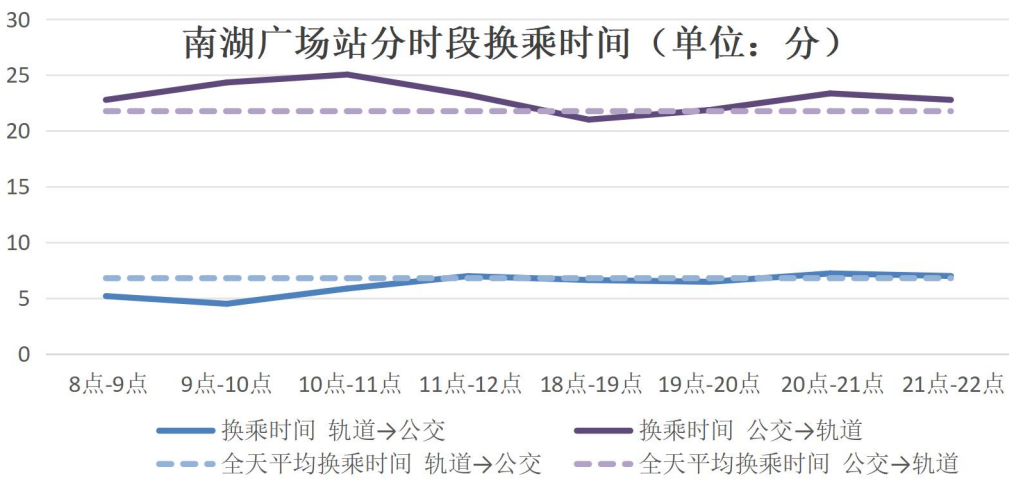


图 3-1 南湖广场站分时段换乘时间

3.1.2 换乘协同存在的问题

1. 双向换乘效率极端失衡

(1) 时间差异突破阈值

轨道→公交全天平均 6.776 分钟（表 2-5），8:00-9:00 时段仅 5.17 分钟，属全市最优；但公交→轨道平均 21.748 分钟（表 2-5），9:00-10:00 时段达 24.32 分钟（图 3-2），反向耗时为正向 4.4 倍，超出全市均值（14.294 分钟）52.1%，晚高峰南湖南路拥堵使公交行驶延误占比超 70%。

(2) 客流与效率错配

轨道→公交 34.57%、公交→轨道 30.12%（表 2-5），双高数据下，公交→轨道通勤客流（占 85%）因晚高峰拥堵，实际候车+行驶时间超 25 分钟，对比轨道→公交的“即到即走”，形成“高需求、低效率”矛盾。20:00-21:00 公交→轨道 23.34 分钟（表 3-3），为全天最高，南湖南路拥堵持续至 21:00，公交行驶速度 14 公里/小时（低于平峰期 35 公里/小时），叠加轨道返程客流，致使该时段换乘效率低。

2. 站点布局引发空间拥堵

(1) 步行距离严重超标

仅 2 个步行距离≤200 米（C 口南湖广场 92 米、C 口南湖小区 56 米），占比 14%；步行距离≤600 米，占比 64%；其余 5 个站点步行距离 600-1000 米，远超

GB/T 51328-2018 “不宜大于 200 米”的要求，导致部分乘客放弃换乘。

(2) 线路重复与覆盖空白并存

14 条公交线路中，59 路、61 路等 7 条重复覆盖南湖广场—劳动街路段（表 3-3），重合度超 60%，而前往乌鲁木齐市政府方向需绕行 1.2 公里。如 59 路同时停靠电信公司站、南湖小区站、劳动街站，3 站间距不足 800 米，导致运能浪费。

(3) 步行与公交流线交叉

南湖广场站周边 500 米内有 4 个公交站（表 3-3），但无连续步行空间，行人过街需穿越 4 条车道，早晚高峰过街等待 2-3 个红绿灯周期（约 6 分钟），占换乘总时间 25%。

3. 运营协同机制失效

夜间服务断层，地铁末班车时间为 00:16，而 BRT7 号线末班车为 22:30，1.5 小时服务空白期内，加班族等乘客被迫打车（费用约 15 元），导致夜间私人交通占比从 10%升至 22%（2024 年 12 月数据），次日早高峰迎拥堵指数上升，形成“夜间打车→次日自驾→加剧拥堵”恶性循环。

3.2 小西沟协同分析

3.2.1 基本信息

表 3-3 小西沟地铁站出入口周边公交站点及步行时间

出入口名称	公交站点名称	步行距离（米）	步行分钟（分）	公交线路名称
A 口	小西沟	493	8	52 路、535 路、701 路、3406 路、309 路、153 路
	科学院	193	3	
	肿瘤医院	700	11	
	加油站	694	10	
	铁设汽修	597	9	
	汽车市场	889	13	
	高新街	1100	17	
B 口	小西沟	473	7	52 路、535 路、153 路、701 路、3406 路、309 路
	科学院	646	9	
	肿瘤医院	680	10	
	加油站	722	11	
	铁设汽修	1100	16	
	汽车市场	1300	19	
	高新街	1100	17	
C 口	小西沟	304	5	45 路、307 路、701 路、3406 路、D011 路、153 路
	科学院	516	8	
	肿瘤医院	375	6	
	加油站	553	8	

	铁设汽修	906	13	
	汽车市场	1100	16	
	高新街	888	14	
D1	小西沟	301	5	45 路、52 路、78 路、303 路、307 路、309 路、535 路、701 路、3202 路、3406 路、D008 路、D011 路、BRT-1
	科学院	588	9	
	肿瘤医院	584	9	
	加油站	588	9	
	铁设汽修	979	14	
	汽车市场	1200	18	
	高新街	681	10	
D2	小西沟	289	5	52 路、78 路、303 路、309 路、535 路、3202 路、BRT-1
	科学院	526	8	
	肿瘤医院	569	9	
	加油站	446	6	
	铁设汽修	838	12	
	汽车市场	1000	15	
	高新街	772	11	

表 3-4 小西沟分时段平均换乘时间

换乘方式	8 点—9 点（分）	9 点—10 点（分）	10 点—11 点（分）	11 点—12 点（分）
轨道→公交	7.08	10.03	10.06	13.04
公交→轨道	14.83	17.65	19.81	19.82
换乘方式	18 点—19 点（分）	19 点—20 点（分）	20 点—21 点（分）	21 点—22 点（分）
轨道→公交	11.70	10.63	11.38	11.72
公交→轨道	22.80	21.33	19.84	21.47

小西沟站换乘时间（单位：分）

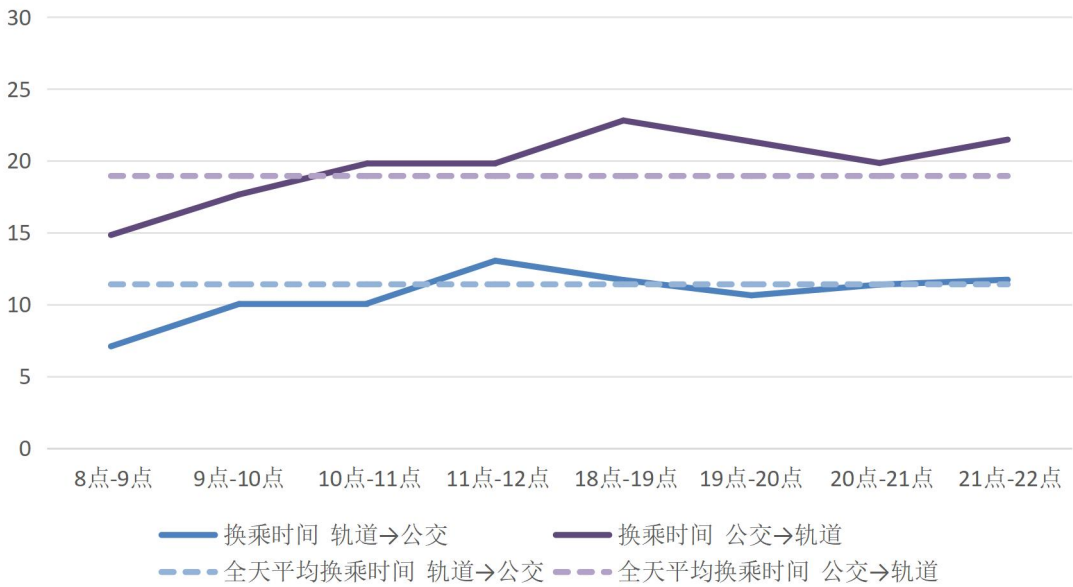


图 3-2 小西沟分时段换乘时间

3.2.2 协同存在的问题

1. 换乘效率波动与客流错配

轨道→公交全天平均 11.72 分钟（表 2-5），8:00

—9:00 时段 7.08 分钟，11:00—12:00 升至 13.04 分钟（图 3-2），波动幅度 84.2%；公交→轨道平均 21.47 分钟（表 2-5），18:00 - 20:00 时段达 22.80

分钟（图 3-2），晚高峰耗时为平峰期（11:00-12:00 19.82 分钟）1.15 倍，高峰低谷差异明显。

2. 站点布局与步行接驳缺陷

（1）线路重复率高且覆盖有限

5 个出入口周边虽涉及 15 条公交线路，但如“小西沟”站点在各出入口均有线路重叠（A、B 口重复 6 条，C 口重复 3 条，D1 口重复 5 条，D2 口重复 3 条），实际有效覆盖区域未显著扩大。且线路多集中于南北向主干道，东西向及次干道覆盖薄弱，难以满足多样化出行需求。

步行距离严重超标

超标准距离站点占比高：仅 2 个步行距离≤200 米（D2 口“小西沟”站 289 米、A 口“科学院”站 193 米），占比 5.7%；仅 11 个步行距离≤600 米，占比 31.4%；其余站点步行距离>600 米，如“高新街”站（最远 1100 米）、“汽车市场”站（最远 1300 米）等，远超 GB/T 51328-2018 “不宜大于 200 米”的要求，导致大量乘客放弃公交与地铁换乘。

（3）无天桥路口加剧换乘耗时

D1 口到小西沟站 301 米需穿越北京南路无天桥路口（表 3-5），早晚高峰机动车流量 2000 辆/小时，行人过街需等待 2-3 个红绿灯周期（约 5 分钟）。2024 年该路口发生 3 起行人交通事故，导致乘客过街心理耗时增加 3 分钟。

（4）社区接驳绕行难题

小西沟站周边铁设汽修、汽车市场等区域居民换乘，需绕行至特定出入口。铁设汽修居民从 C 口出站，到小区需步行 906 米（13 分钟）（表 3-5），且需穿越无天桥路口，过街等待红绿灯耗时 3-4 分钟；汽车市场居民从 B 口出站，到市场步行 1300 米（19 分钟），增加无效步行时间，“轨道+公交”换乘意愿较近距站点低。

3. 拥堵响应与运力调度不足

（1）高峰效率恶化

18:00—19:00 公交→轨道耗时 22.80 分钟（表 3-1），因北京南路晚高峰拥堵，公交时速从平峰期 35 公里/小时降至 18 公里/小时，准点率从 88% 降至 50%，乘客候车+行驶时间超 30 分钟的占比达 30%，高峰时段换乘效率骤降。

（2）北京路潮汐拥堵传导

晚高峰（18:00-20:00）北京南路机动车流量

2500 辆/小时，超设计通行能力 25%，公交行驶速度受限。以 D1 口到肿瘤医院站为例，平峰期步行+公交耗时 14 分钟，晚高峰因道路拥堵，公交行驶延误 3-5 分钟，总换乘时间超 20 分钟，道路延误占比超 60%；拥堵致公交频繁启停，乘客抱怨率上升 25%。

4 意见建议

4.1 南湖广场站

4.1.1 平衡双向换乘效率

1. 缓解晚高峰拥堵

基于南湖南路晚高峰（17:00-20:00）机动车流量达 2500 辆/小时（超设计能力 25%）、公交行驶速度仅 14km/h 的现状，实施“车道动态调配+信号优先”组合措施，首先是可变车道改造，将南湖南路内侧 1 条机动车道设置为动态公交专用道，晚高峰时段（17:00-19:00）仅限公交、应急车辆通行，配套电子指示牌实时显示车道属性；其次是优化信号配时，在南湖南路与西虹东路交叉口部署公交信号优先系统，通过车载 GPS 与信号灯联动，当公交车距路口 500 米时，自动延长绿灯时长 15-20 秒，缩短停车等待时间；通过上述措施，将晚高峰公交行驶速度从 14km/h 提升至 25km/h 以上，使公交→轨道换乘时间从现状 21.748 分钟缩短至 15 分钟以内，提高换乘效率缩短换乘时间。

2. 调整客流与效率匹配

增设南湖广场—地铁站”区间车，采用“直达+大站”模式：发车时间 17:00-19:00，间隔 5-8 分钟，单班运力 50 人，线路走向为南湖广场公交站→南湖南路→克拉玛依路→地铁站，避开劳动街等拥堵路段，全程约 3.2 公里，通过将候车+行驶总时间从现状 25 分钟压缩至 20 分钟以内，同步降低车厢拥挤度和提升通勤乘客换乘意愿。

4.1.2 优化站点布局

1. 拓宽超短距离通道

（1）立体化改造工程：针对 C 口至南湖广场公交站（步行 92 米）早高峰 1500 人次/小时的客流压力，实施通道扩容与流线优化。

（2）物理改造：将现有 3 米宽通道拓宽至 5 米，采用花岗岩铺装，两侧设置 1.2 米高隔离栏，分离行人与非机动车（现状存在非机动车穿行现象）。

2. 减少线路重复覆盖

（1）线网重构策略：针对 59 路、61 路等 7 条线路

重复覆盖南湖广场—劳动街路段（重合度超 60%）的问题，实施“合并+新增”双措并举。

（2）重复站点整合：将电信公司站（步行 294 米）、南湖小区站（步行 56 米）合并为“南湖中路”站，新站点位于两站中点，距 C 口步行约 150 米，覆盖原两站 80% 客流。

（3）新线补充：新增 62 路（南湖广场—乌鲁木齐市政府），线路长度 4.5 公里，途经南湖西路、红山路，解决现有线路需绕行 1.2 公里的问题，填补东西向接驳空白。

4.1.3 完善运营协同机制

完善夜间服务衔接，针对地铁末班车 00:16 与 BRT7 号线末班车 22:30 的 1.5 小时空白期，实施末班车延时计划，将 BRT7 号线末班车时间延长至 00:00，与地铁末班车形成 16 分钟重叠期，配套增加 22:30—00:00 时段班次，发车间隔从 15 分钟缩至 10 分钟，降低私人交通占比，并通过夜间公交兜底，可缓解次日早高峰因“夜间打车→次日自驾”导致的拥堵指数上升，形成良性循环。

4.2 小西沟

4.2.1 缩小效率波动

1. 分时段动态调班

针对小西沟站轨道→公交换乘时间波动幅度达 84.2% 的突出问题，对 45 路、307 路等骨干线路实施“四时段智能调班”机制：早高峰（7:30—9:30）：发车间隔从常规 10—12 分钟缩至 6—8 分钟，单班运力从 50 人提升至 70 人，同步开启“轨道出站客流—公交班次”联动响应，当 AFC 数据显示单小时出站超 1000 人次时，自动触发“5 分钟应急增发”程序；午高峰（9:30—17:00）：维持 8—10 分钟发车间隔，采用“常规车+区间车”组合运营，区间车仅停靠主要站点，缩短运行时间 15%；晚高峰（17:00—20:00）：发车间隔进一步缩至 5—7 分钟，调用 BRT-1 备用车辆支援，形成“地铁每出站 200 人即发一班”的动态匹配模式；夜高峰（20:00—22:00）：间隔调整为 10—12 分钟，确保服务舒适度的同时降低空驶率；通过时段化调度，将轨道→公交换乘时间波动幅度从 84.2% 控制至 28% 以内，全天平均换乘时间稳定在 11.398 分钟基准值±3 分钟范围内。

2. 公交信号优先系统

智能交通协同应用：针对北京南路晚高峰

（18:00—20:00）机动车流量达 2500 辆/小时（超设计能力 25%）、公交行驶速度仅 18km/h 的现状，部署“绿波带+优先信号”组合系统。首先是信号优先硬件：在小西沟站周边北京南路与高新街、河南路、昆明路 3 个交叉口安装微波检测设备，当公交车距路口 300 米时，车载 GPS 自动触发信号优先程序，绿灯延长 15—20 秒，红灯缩短 5—10 秒；其次是绿波协调控制：优化北京南路（小西沟段）1.5 公里路段的信号配时，打造“公交绿波带”，使晚高峰公交行驶速度提升至 22km/h 以上，较平峰期仅降低 10%。将公交→轨道换乘时间从现状 18.941 分钟缩短至 16 分钟以内，道路延误占比从 60% 降至 35%。

4.2.2 改善步行接驳缺陷

1. 立体接驳工程建设

（1）新增站点方案

在 B 口南侧 300 米处新增“小西沟南”站，覆盖原 B 口至肿瘤医院站之间的 680 米接驳空白，新站点距 B 口步行仅 300 米，并设置共享单车停放区，实现“地铁+公交+慢行”无缝衔接。

（2）天桥建设方案

在 A 口至高新街站（步行 1100 米）的北京南路路段建设钢结构人行天桥，天桥宽 4 米，设置双向自动扶梯及遮阳棚，配备智能导引屏（显示各公交站点实时距离），解决行人过街需等待 2—3 个红绿灯周期（约 5 分钟）的问题。天桥建成后，过街时间缩短至 2 分钟以内，A 口至高新街站步行总时间从 17 分钟缩短至 12 分钟，提升行人过街效率。

2. 社区定制专线服务

针对铁设汽修、汽车市场等区域居民换乘绕行问题，开通“铁设汽修—C 口”定制专线，发车时间 7:00—20:00，间隔 15 分钟，采用小型公交车，单班运力 25 人，线路走向为铁设汽修厂→昆明路→北京南路→中营工站 C 口，全程 2 公里，设 4 个站点，避开北京南路晚高峰拥堵路段，较原路径缩短 0.8 公里。铁设汽修居民步行距离从 906 米（13 分钟）缩短至 600 米（8 分钟），汽车市场居民从 B 口出站的步行距离从 1300 米（19 分钟）缩至 800 米（12 分钟），提升换乘意愿及换乘比例。

4.2.3 强化拥堵响应与运力调度

1. 北京路交通需求管控

在北京南路（小西沟段）实施“限行+专用道”组

合管理。限行采取 8:00-20:00 禁止机动车左转（除公交车、应急车辆外），增设 3 处电子眼抓拍违规行为，配套设置“直行+右转”引导标识；公交专用道升级采取将现有 2 米宽公交专用道拓宽至 3.5 米，施划彩色防滑铺装，高峰时段禁止社会车辆占用。通过上述措施，公交行驶速度从 18km/h 提升至 20km/h，道路延误占比从 60%降至 40%以下，晚高峰 18:00-19:00 时段公交→轨道换乘时间控制在 18 分钟以内。

2. 大数据驱动运力调度

（1）客流预测与预警

基于历史刷卡数据与实时 AFC 数据，建立 LSTM 深度学习模型，提前 1 小时预测高峰时段（如 17:30-18:30）轨道出站客流。

（2）动态派车与调度

当预测客流超 1000 人次/小时时，自动从备用车队调派 52 路、78 路车辆，单班运力从 50 人提升至 70 人，发班间隔缩至 5 分钟，同步启用“跨线支援”机制，从 303 路、309 路调用 5 辆备用车。

（3）乘客智能引导

通过“乌鲁木齐公交”APP 推送实时运力信息，提示乘客“当前 52 路下一班车满载率 80%，建议选择 78 路（空座率 40%）”，实现客流均衡分配。

5 结论与展望

本研究以乌鲁木齐市轨道交通 1 号线与地面公交的换乘协同优化为核心，基于公交 IC 卡与轨道交通 AFC 刷卡数据，通过时间阈值匹配构建换乘行为识别模型，系统剖析了南湖广场、小西沟等典型站点的换乘特征与问题，形成了“数据驱动—问题诊断—精准施策”的优化范式。研究发现，步行距离超标、线路重复覆盖及道路拥堵是制约换乘效率的关键因素，而通过规划层面的线网与站点优化、运营层面的管理协同与时刻表匹配，可显著提升“轨道+公交”的接驳效

能。

研究提出的动态车道调配、立体接驳工程、定制专线等策略，不仅能缩短乘客换乘时间、降低企业运营成本，还可通过减少私家车使用实现节能环保目标，为解决城郊公交“最后一公里”接驳难题提供了可操作的方案。尤其对边疆省会城市而言，本研究构建的公共交通一体化优化路径，既适应了高密度线网与大运量轨道交通的协同需求，也为中小城市提升公共交通系统效率提供了参考样本。

未来可进一步结合仿真软件对优化方案的长期效果进行量化评估，或通过 RP（显示性偏好）与 SP（陈述性偏好）结合的方法深化乘客行为研究，持续完善轨道交通与地面公交的协同运营体系，推动城市交通向更高效、更绿色的方向发展。

参考文献

- [1] 郁嬛君. 城市轨道交通与常规公交协同机理分析[J]. 交通科技与经济, 2012.
- [2] 陆劲松. 城市轨道交通与常规公交协同运行及优化研究[D]. 大连交通大学, 2021
- [3] 彭猗. 轨道交通与常规公交的线路协调关系研究[D]. 华中科技大学, 2016
- [4] 中华人民共和国标准. 城市综合交通体系规划标准 GBT51328-2018, 住房和城乡建设部
- [5] 谭猛, 李文. 地铁换乘方式研究[J]. 铁路技术创新, 2018(02): 67-69.
- [6] 胡小敏, 贺园园. 城市轨道交通换乘设计研究[J]. 时代金融, 2018(15): 294+299.
- [7] 金宾. 地铁换乘站换乘方式设计研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2018(06): 152.
- [8] 郑子云. 城市轨道交通换乘导向系统服务设计研究[J]. 包装工程, 2017, 38(10): 19-23.