基于初期客流预测的某轻轨线路行车组织方案设计

王天阳[1] 丁佳灿[2] 朱冬进[3]
1.芜湖职业技术大学，安徽 芜湖 241003
2.安徽工程大学，安徽 芜湖 241000
3.中车阿尔斯通运输系统有限公司，安徽 芜湖 241000

[摘要]为解决中小城市跨江型跨座式单轨新线初期运营中运能与客流不匹配的问题，以芜湖轨道交通 2 号线二期工程为研究对象，依据建设规划客流预测专题报告，分析初期客流规模与时空分布特征，提取高峰小时最大断面客流（10100 人/h）等关键参数。选取典型高架车站-江北商务中心站，运用 AnyLogic 软件构建微观行人仿真模型，对基准发车间隔（5.5min）下站台候车密度、滞留时间及空间分布进行模拟，识别出站台中段峰值密度达 1.62 人/m²（超出 1.5 人/m² 安全阈值）、“中间挤、两端空”等瓶颈。设计均衡发车、高峰加密、灵活编组三策略，结合车辆固定编组约束条件，筛选后重点比选早高峰发车间隔 5.5min、5.0min、4.5min 三种高峰加密方案。仿真结果表明，5.0min 方案站台峰值密度降至 1.32 人/m²（D 级服务水平）、平均候车时间 2.6min，在安全、效率、经济性间取得最优平衡。推荐初期采用早晚高峰 5min、平峰 8min、低峰 10min 的行车组织方案，并提出站台引导与分级限流配套措施。

[关键词]轻轨；行车组织；客流预测；AnyLogic 仿真；跨座式单轨
DOI：10.33142/sca.v9i10.20635 中图分类号：U492.4 文献标识码：A

Design of Traffic Organization Scheme for a Light Rail Line Based on Initial Passenger Flow Prediction

WANG Tianyang[1], DING Jiacan[2], ZHU Dongjin[3]
1. Wuhu Vocational Technical University, Wuhu, Anhui, 241003, China
2. Anhui Polytechnic University, Wuhu, Anhui, 241000, China
3. CRRC Alstom Transportation System Co., Ltd., Wuhu, Anhui, 241000, China

Abstract: In order to solve the problem of mismatch between transportation capacity and passenger flow in the initial operation of cross river and cross seat monorail new lines in small and medium-sized cities, the Wuhu Rail Transit Line 2 Phase II project is taken as the research object. Based on the special report on passenger flow prediction in the construction plan, the initial passenger flow scale and spatiotemporal distribution characteristics are analyzed, and key parameters such as the maximum cross-sectional passenger flow during peak hours (1,010 people/h) are extracted. Selecting a typical elevated station - Jiangbei Business Center Station, a micro pedestrian simulation model was constructed using AnyLogic software to simulate the waiting density, dwell time, and spatial distribution of the platform under the benchmark departure interval (5.5 minutes). Bottlenecks such as peak density of 1.62 people/m² in the middle section of the platform (exceeding the safety threshold of 1.5 people/m²) and "crowding in the middle and empty at both ends" were identified. Design three strategies: balanced departure, peak hour encryption, and flexible grouping, combined with fixed grouping constraints for vehicles. After screening, focus on selecting three peak hour encryption schemes with early peak hour departure intervals of 5.5 minutes, 5.0 minutes, and 4.5 minutes. The simulation results show that the peak density of the platform in the 5.0 minute plan is reduced to 1.32 people/m²(D-level service level), and the average waiting time is 2.6 minutes, achieving the optimal balance between safety, efficiency, and economy. It is recommended to adopt a traffic organization plan of 5 minutes during peak hours, 8 minutes during off peak hours, and 10 minutes during low peak hours in the initial stage, and propose platform guidance and graded flow restriction measures.

Keywords: light rail; driving organization; passenger flow forecast; AnyLogic simulation; straddle monorail

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

引言

随着我国新型城镇化推进，城市轨道交通逐步向中小城市及跨江/跨河组团城市延伸。跨座式单轨因其占地少、爬坡能力强、景观影响小，成为诸多二三线城市的选择。本文以芜湖轨道交通 2 号线二期工程为研究对象，该线路是芜湖市轨道交通线网的东西向骨干线路延伸段，承担江南主城区与江北新区的跨江通勤功能。研究目标是基于前期已完成的《芜湖市城市轨道交通二期建设规划（2024-2029 年）》客流预测报告数据[1]，分析线路初期客流规模、时空分布特征及换乘需求，确定初期日均客运量、高峰小时最大断面客流等关键参数。设计合理的行车组织方案，避免出现运能虚糜、站台拥堵等问题。

目前，国内关于跨座式单轨的研究主要集中在建设技术或既有线路运营经验总结，针对初期客流条件下的行车组织方案研究较少。多数中小城市轨道交通线路在开通初期面临客流培育期长、需求不稳定的特点，缺乏基于微观仿真的定量化方案比选方法。现有规范多提供宏观指导原则，难以直接指导具体线路的发车间隔优化与运力匹配[2]。

本文基于初期客流预测结果，深度分析芜湖轨道交通 2 号线二期工程线路特征、初期客流规模、时空分布特征及换乘特点，明确该线路的运力需求，提取关键运营参数，并以江北商务中心站为典型案例，利用 AnyLogic 仿真软件构建客流微观仿真模型，识别高峰时段瓶颈，通过优化设计，提出均衡发车、高峰加密、灵活编组的行车组织方案，为确定 2 号线二期工程列车编组、制定发车间隔等提供科学依据，避免运力过剩或不足，研究成果可为芜湖后续新线设计及同类中小城市单轨线路运营组织提供参考。

1 初期客流预测结果分析

1.1 线路及系统概况

芜湖轨道交通 2 号线二期工程为一期工程西向延伸段，线路全长 16.28km，起于鸠兹广场站（不含），止于江北医院站，共设 10 座车站，线路采用跨座式单轨制式，设计最高运行速度 80km/h，平均站间距约 1.63km。线路过江段采用公-轨合建隧道，串联江南老城区、滨江公园及江北新区商务中心，过江断面为全网关键控制断面。线路走向与站点分布见图 1。



图 1 2 号线二期线路走向与站点分布示意图

1.2 初期客流预测结果分析

芜湖轨道交通 2 号线二期初期客流预测数据是基于四阶段预测法[3]（出行生成-出行分布-方式划分-交通分配），并结合人口与岗位数据、居民出行调查数据、公交运营数据、现有轨道运营数据、土地利用规划数据等，进行系统测算后得到的。同时还考虑了江北新区开发的阶段性特征，分初期（运营第 1～2 年）、近期（运营第 3～5 年）、远期（运营 10 年以上）三个时间维度进行客流测算。根据客流预测结果，2 号线二期工程各时期客流指标汇总表见表 1。

表 1 2 号线二期各时期客流预测主要指标

指 标	初期	近期	远期
日均客运量（万.人次/日）	8.19	13.66	20.81
高峰小时最大断面客流（万.人次/小时）	1.01	1.72	2.65
高峰小时系数/%	32.5		
方向不均衡系数	1.8	-	-

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

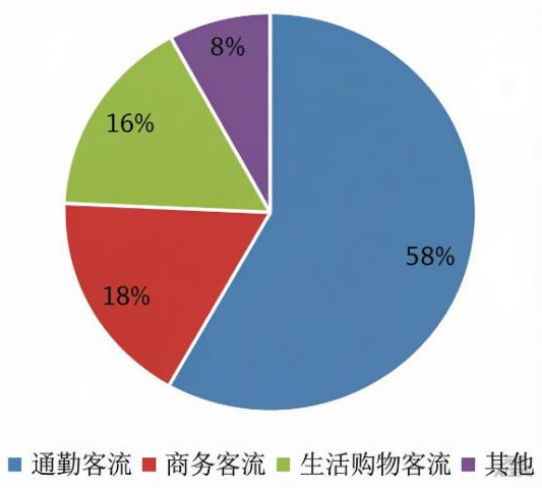


图 2　初期客流构成

初期客流呈典型双峰型（早高峰 7:00～8:00，晚高峰 17:30～18:30），断面客流“中间大、两端小”，鸠兹广场站-滨江公园站（过江段）为全线控制断面；站点集散量呈哑铃型分布，鸠兹广场换乘站客流占总量约 28%，江北商务中心站初期全日集散约 0.9 万人次。其余站点集散量在 0.3～0.6 万人次/日之间，分布相对均衡。根据出行目的，初期客流构成如图 2 所示。通勤客流占比 58.2%，商务客流 17.5%，生活购物客流 16.3%，其他 8.0%。通勤出行的绝对主体地位决定了高峰时段的高集中度特征，对运力配置提出了“高峰保运力”的核心要求。

1.3 运力需求初步测算

根据高峰小时最大断面客流 1.01 万人次/h，假设采用 4 辆车编组，理论最小发车间隔为 Tmin 为 2.6min。表明在 4 辆编组条件下，发车间隔需控制在 2.6min 以内才能满足理论运力需求。考虑到初期客流尚处于培育阶段、定员标准存在一定弹性，以及 CBTC（基于通信的列车自动控制系统）2min 最小发车间隔的硬件约束，从运力供给角度，发车间隔不宜大于 5～6min。

2 基于 AnyLogic 的站台客流仿真

2.1 仿真模型构建[4]

选用 AnyLogic 8.9.5 作为仿真平台，该软件基于社会力模型（模拟行人运动行为的数学工具），其核心思想是将行人的运动行为抽象为牛顿力学框架下的受力分析。每个行人在仿真环境中同时受到三类力（自驱力、行人间排斥力、障碍物边界力）的作用。AnyLogic 支持行人库与轨道库混合建模，可同时模拟列车到发与乘客上下车行为。在 Anylogic 行人库中，通过调用 PedSource（客流生成）、PedWait（候车等待）、PedGoTo（路径选择）等模块，设置行人期望速度、舒适距离等行为参数。

选取江北商务中心站（标准高架三层侧式站台）为研究对象，参考同类车站按地下侧式车站简化建模（不影响候车行为逻辑）。将客流数据设为该站参数，站台有效长度 75m，单侧宽度 6.5m，有效候车区面积 450m²，列车停站 30s，早高峰 7:00～8:00 时段进站率 1200 人/h，下车 400 人/h。乘客到达服从泊松分布，走行速度 1.2m/s。基准方案设定发车间隔 5.5min、4 辆编组，开展站台层客流运行过程的仿真模拟。站台平面布局及仿真模型见图 3；热力图见图 4。

2.2 模型校准

江北商务中心站尚未开通运营，无法直接获取该站实测数据。本文采用间接校准方法，即利用鸠兹广场站（同为 2 号线高架车站，已投入运营）的实地观测数据，对模型中的乘客行为参数进行标定，再将标定后的参数迁移，用于江北商务中心站的仿真。

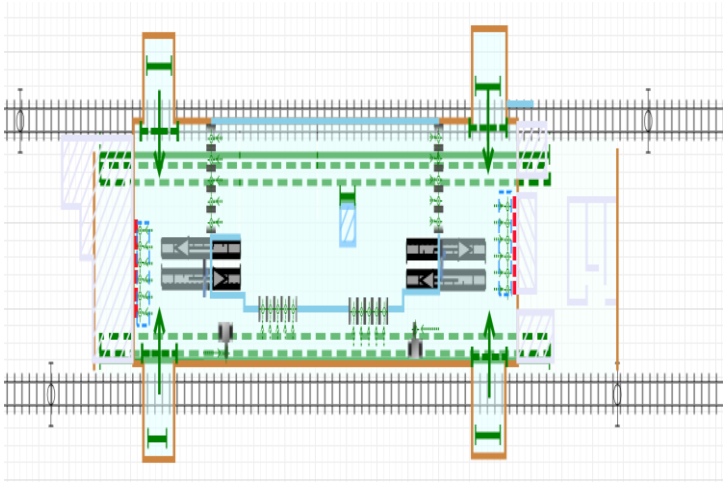


图 3　江北商务中心站站台布局

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

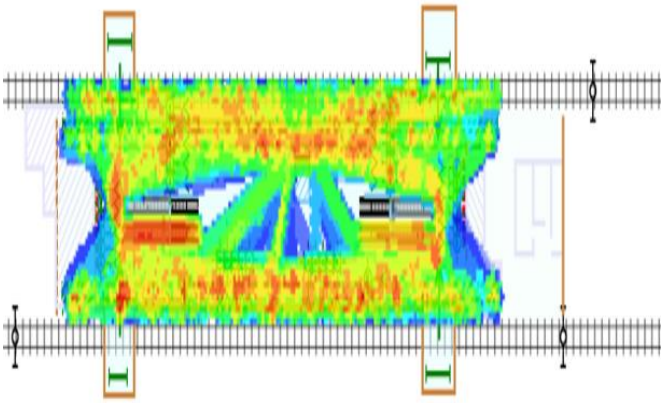


图 4 基础方案仿真热力图

某工作日早高峰时段，在鸠兹广场站 2 号线站台进行了现场观测。观测内容包括：列车到站前站台最大候车人数（重复观测 5 次取平均值）、乘客平均候车时间（随机抽样 30 人，从到达站台至上车离开计时的平均值）。运行仿真后输出对应指标，与实测值对比见表 2，仿真结果与实测最大候车人数误差为-8.2%，平均候车时间误差为-6.1%，误差均控制在±10%以内[5]，表明模型中的行人行为参数设置合理，可较好地反映实际站台的客流运行特征。该组参数用于后续江北商务中心站的仿真分析，模型可信度较高。

表 2 仿真与实测值对应指标对比

指标	仿真值	实测值	误差
列车到站前最大候车人数	约 78 人	约 85 人	-8.2%
平均候车时间	3.1min	3.3min	-6.1%

2.3 运营瓶颈识别

（1）设施理论通行能力分析

江北商务中心站单向有效候车面积约 450m^2。参照《城市轨道交通运营技术规范》（GB/T 38707-2020）[5]，站台服务水平分级标准见表 3。

表 3 站台服务水平分级标准

等级	密度范围（人/m^2）	状态描述
A 级	≤0.2	可完全自由行走
B 级	0.2～0.5	可自由行走，偶有避让
C 级	0.5～1.0	行走需避让，可站立等候
D 级	1.0～1.5	行动受限，站立密集
E 级	>1.5	行动严重受限，存在安全隐患

按安全阈值 1.5 人/m^2 计算，站台单向候车区理论最大容纳能力为 675 人。若发车间隔 5.5min，单趟列车可疏运本站约 120 人，而一个发车间隔内累积的进站客流约 110 人，理论计算尚在容许范围内，但这种计算是在乘客均匀到达且均匀分布的条件下，实际上乘客到达具有随机性、分布不均匀（集中于站台中段），因此需通过仿真进一步分析实际客流状态。站台设上行扶梯 1 部、下行扶梯 1 部、步行楼梯 1 处，设施总通行能力远大于早高峰进出站客流需求（进站 1200/h+出站 400/h），楼扶梯不构成运营瓶颈，因此需要重点评估站台候车区。

（2）站台客流密度

仿真运行显示，站台客流密度随列车到发呈周期性变化，变化周期与发车间隔一致。一个完整周期的服务水平变化见表 4 所示。列车刚离站时，站台基本清空，密度低于 0.3 人/m^2（A 级）；此后进站客流持续积累，离站后约 2min 进入 C 级，约 4min 进入 D 级；列车到站前约 30s，站台候车区进入密度峰值时段，中心区域密度主要波动于 1.45～1.65 人/m^2，服务水平降至 E 级，已触及并部分超出 1.5 人/m^2 的安全阈值；列车到站后乘客上车离开，密度迅速回落至 B 级，站台进入下一个积累周期。受客流到达随机性与仿真采样时刻影响，单次运行的峰值密度无法以唯一确定值表达，结合多轮仿真统计，该峰值波动于 1.48～1.65 人/m^2。

表 4 一个发车间隔周期候车区服务水平变化

时刻	密度范围（人/m^2）	服务水平	状态描述
列车刚离站	<0.3	A 级	站台基本清空
离站后 2min	0.6～0.9	C 级	客流开始积累，行走需避让
离站后 4min	1.2～1.4	D 级	候车区拥挤，行动受限
列车到站前 30s	1.45～1.62	E 级	密度超安全阈值，存在安全隐患
列车到站后	<0.5	B 级	乘客上车后快速疏散

（3）瓶颈区域识别[6]

基础方案（5.5min 发车间隔）早高峰仿真结果显示，站台候车区的客流密度分布存在明显的空间不均衡性。列车到站前 30s，站台中段区域密度达到峰值区间上限（约

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

1.62～1.65 人/m²，E 级），行人行走严重受限，乘客间身体接触频繁，存在安全隐患。空间利用率明显偏低，中段拥挤，两端仅 0.6～0.8 人/m²，整体呈现“中间及楼扶梯挤、两端空”的分布格局，乘客在站台的滞留时间不均，平均滞留约 3min，55%的乘客滞留时间在 3min 以内，约 16%的乘客滞留时间超过 5min，这部分乘客恰好在列车刚离站后到达，需等待接近整个发车间隔。基础方案站台候车区客流密度热力图见图 5。

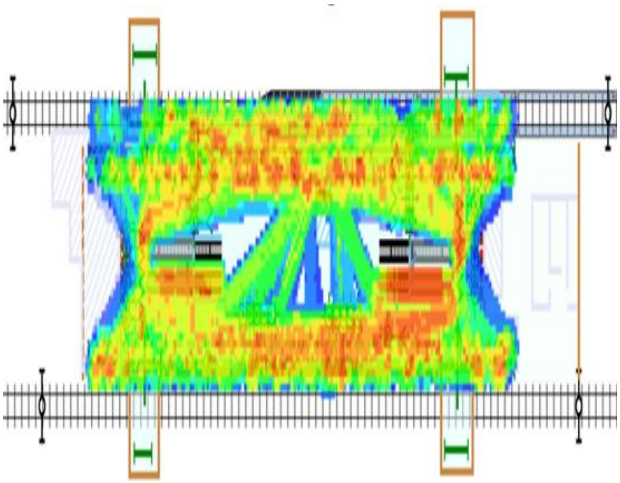


图 5　基础方案站台候车区客流密度热力图

表 5　瓶颈综合诊断结果

序号	瓶颈位置	瓶颈时段	具体表现	产生原因	风险等级
1	站台候车区中段	列车到站前 30s	峰值密度波动于 1.45～1.65 人/m² 超安全阈值 服务水平倾向 E 级	发车间隔偏大，客流积累充分，且分布不均	高
2	站台候车区	列车刚离站后	约 16%乘客滞留时间 超 5min	乘客到站时间随机，部分恰逢列车刚离站	中
3	站台两端区域	全时段	密度仅 0.6—0.8 人/m² 空间利用率低	乘客自然倾向于在中段候车	低

（4）运营瓶颈综合分析

综合以上分析，对江北商务中心站早高峰运营瓶颈进行综合诊断见表 5。

由上表可见，瓶颈 1 为核心瓶颈，根源在于发车间隔偏大，导致客流积累过度、峰值密度突破安全阈值；瓶颈 2 是瓶颈 1 的伴生现象，反映了长候车对出行体验的影响；瓶颈 3 属于空间利用不均衡问题，可通过站台引导等管理措施加以改善。

3 行车组织方案设计及优化

3.1 行车组织方案筛选

为解决运营瓶颈问题，需进一步优化行车组织方案，具体优化目标如下：①安全目标，站台峰值密度控制在 1.5 人/m² 以内，服务水平不低于 D 级；②效率目标，乘客平均候车时间压缩至 3min 以下；③经济目标，运营成本增幅可控，方案具备工程可实施性；④约束条件，高峰小时提供的运力必须满足 1.01 万人次/h 的断面客流需求。考虑到芜湖单轨列车采用固定编组设计，全线列车不具备在线解编或重联的技术条件，且信号系统支持的最小发车间隔为 2.6min，初步提出三种行车组织方案，具体如下：

方案 1：均衡发车策略。在全运营时段内采用统一发车间隔，运营组织简单，但对客流时空不均衡性缺乏响应，满足高峰需间隔≤3min，平峰严重虚糜，按平峰设定则高峰运能不足，该方案不可行。

方案 2：灵活编组策略。车辆为全寿命固定编组，不支持在线解编/重联，该方案也不可行。

方案 3：高峰加密策略。维持固定 4 辆编组，分时段设定间隔，契合系统条件，可确定为基本策略。

3.2 高峰加密方案设置

针对客流压力最大的早高峰时段（7:00～8:00），设计三种发车间隔方案进行微观仿真比选，具体参数见表 6。

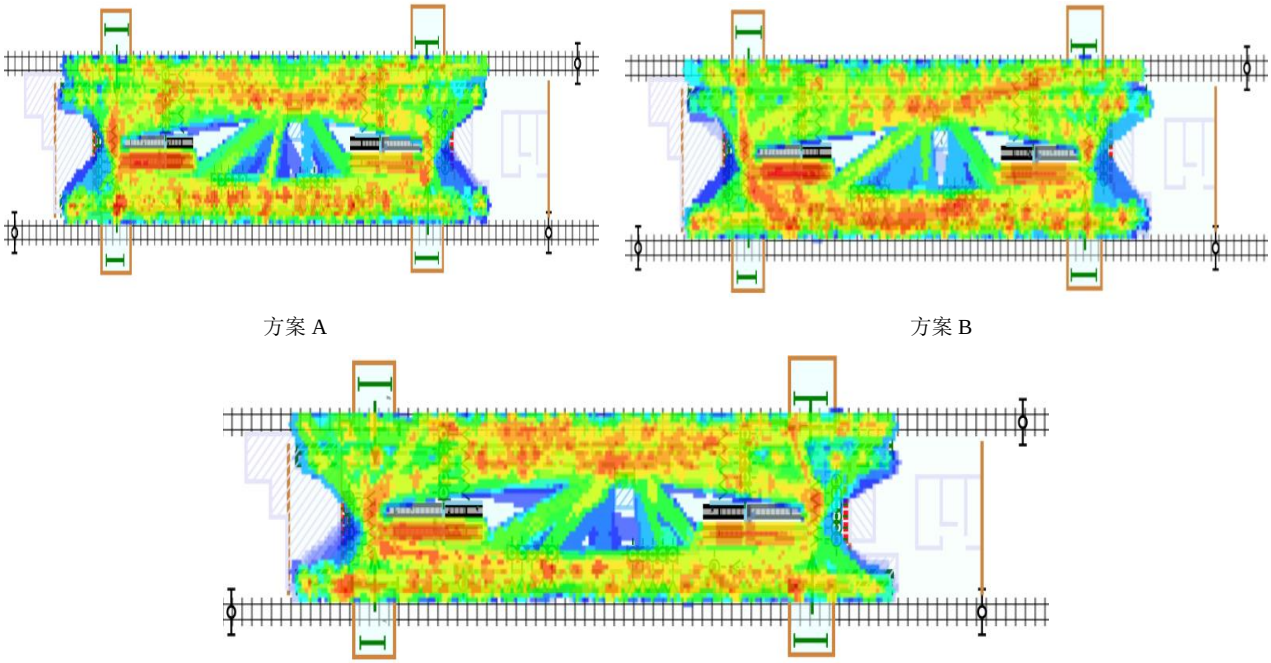
表 6　早高峰加密方案相关参数

方案编号	早高峰发车间隔（min）	列车编组（辆）	高峰小时开行对数（对）	理论运能（人次/h）	有效运能（85%满载率）
方案 A	5.5	4	11	4840	4114
方案 B	5.0	4	12	5280	4488
方案 C	4.5	4	13	5720	4862

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

3.3 三方案仿真结果分析

基于 AnyLogic 8.9.5 仿真平台，三方案不同发车间隔下站台客流密度热力图见图 6。



方案 A　　方案 B

方案 C

图 6　不同发车间隔方案下站台客流密度热力图对比

三方案主要评价指标对比见表 7。

表 7　早高峰加密方案综合比选

评价维度	评价指标	方案 A（5.5min）	方案 B（5.0min）	方案 C（4.5min）
安全性	站台峰值密度	✗超标	✓达标	✓优秀
乘客体验	平均候车时间	○3.0min	✓2.6min	✓2.3min
运力匹配	有效运能	4114	4488	4862
经济性	高峰开行对数	11 对	12 对	13 对
运营成本	相对基准增幅	基准	+8%	+16%
可实施性	实施难度	低	低	低

注：（✓表示满足要求，○表示基本满足，✗表示不满足）

由 7 可见，方案 A 部分安全性不达标，不推荐；方案 C 安全性最优，但运能相对过剩、成本增幅较大，初期客流偏低时运能浪费明显；方案 B 在安全、效率、经济三个维度最优平衡。站台客流峰值密度 1.32 人/m^2，低于 1.5 人/m^2 安全阈值，服务水平 D 级，运营安全可控；平均候车时间 2.6min，满足 3min 舒适性标准；有效运能 4488 人次/h，考虑定员标准弹性（允许适当超员至 6～8 人/m^2），实际运输能力可基本覆盖初期高峰需求；仅需调整列车运行图，不涉及车辆改造或车站土建变更，工程可实施性强。效率目标，成本增幅可控。因此，推荐采用方案 B（早高峰 5min 发车间隔）作为 2 号线二期初期行车组织方案，具体完整参数见表 8。

表 8　推荐方案行车组织参数

时段	发车间隔	列车编组	小时开行对数
早高峰（7:00～8:00）	5min	4 辆	12 对
晚高峰（17:30～18:30）	5min	4 辆	12 对
平峰时段	8min	4 辆	7.5 对
低峰时段（21:00 后）	10min	4 辆	6 对

在 B 方案的基础上，再配套客流管理措施，包括：站台引导：地面划区分散候车标识，高峰人工引导至两端；分级管控：密度＞1.2 人/m^2 减速进站闸机，＞1.5 人/m^2 启动站外限流；后续同类站楼扶梯宜分散布置于站台两端，从源引导客流。

4 结论

（1）2 号线二期初期日均客流 8.19 万人次，高峰最大断面 10100 人/h，过江段为控制断面，具有明显的潮汐性与双峰特征。

（2）AnyLogic 仿真表明，5.5min 基准方案存在站台中段瞬时超密度（1.62 人/m^2 ）及空间利用不均问题。

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

（3）经方案筛选与仿真定量对比，早晚高峰 5min、平峰 8min、低峰 10min、4 辆固定编组方案在安全（峰值密度 1.32 人/m²）、效率（平均候车 2.6min）、成本（增幅约 8%）三者间取得最优平衡。

（4）配合候车引导与分级限流措施可进一步提升运营品质。本研究方法和结论对同类中小城市跨座式单轨新线具有借鉴价值。

[参考文献]

[1]芜湖市自然资源和规划局.芜湖市城市轨道交通二期建设规划(2024-2029 年)[EB/OL].(2023-06-12)[2023-12-15]
[2]中国城市轨道交通协会.城市轨道交通 2025 年度统计和分析报告[EB/OL].(2026-03-31)[2026-10-28].
https://www.camet.org.cn/xytj/tjxx/789653532090437.shtml
[3]田晟,郝小妮,靳文舟.“四阶段法”在广州开发区公共交通需求预测中的应用研究[J].交通与计算机,2008(4):169-172.
[4]周文雯.多源数据融合视角下的城市轨道交通客流时空分布特征与预测模型构建[J].人民公交,2026(10):169-171.
[5]全国城市轨道交通标准化技术委员会.城市轨道交通运营技术规范:GB/T 38707-2020S[S].北京:中国标准出版社,2020.
[6]陈雷钰,张汝华,马明迪.基于 AnyLogic 的轨道交通车站大客流瓶颈识别与疏散组织优化[J].上海大学学报(自然科学版),2023,29(3):412-423.

作者简介：王天阳（1998—），男，辽宁沈阳人，助教，研究方向为多信息融合与感知技术。

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.