doi: 10.3969/j.issn.1672-6073.2025.04.002

轨道交通成网背景下公交网络体系重构及线路优化关键技术分析

颜建新[1]，王　涛[2]，胡欣媛[1]，马洪生[1]，吕　楠[1]
（1. 深圳市综合交通与市政工程设计研究总院有限公司，广东深圳 518003；
2. 桂林电子科技大学建筑与交通工程学院，广西桂林 541004）

摘　要：针对大城市轨道交通成网后各层次公交线路功能不明确、定位不清晰，且与轨道交通融合不足等问题，从“3 维体系、2 维线网、1 维线路”等多维度出发，重构“以轨道交通为主导”的一体化公共交通网络体系，详细解析轨道交通-公交“双网”融合实施策略，分层次、分步骤地提出“快-干-支”公交线网优化方法及实施路径，并将理论方法应用于成都市公交线网体系改革。研究结果表明：成都市公共交通线网一体化统筹与轨道交通-公交“双网”融合得到大幅改善，对于其他大城市系统性开展公共交通网络构建与分层次公交线网优化提供良好的参考。

关键词：城市轨道交通规划；双网融合；分层次公交线网；公交快线；公交干线；公交支线
中图分类号：U231　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1672-6073(2025)04-0010-12

Analysis of Key Technologies for Public Transportation Network System Reconstruction and Route Optimization in the Context of Rail Network Formation

YAN Jianxin[1], WANG Tao[2], HU Xinyuan[1], MA Hongsheng[1], LYU Nan[1]
(1. Shenzhen Comprehensive Transportation and Municipal Engineering Design and Research Institute Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong 518003; 2. School of Architecture and Transportation Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Guilin, Guangxi 541004)

Abstract: To address the problems of unclear functions, unclear positioning, and insufficient integration with rail transit after rail networks are formed in major cities, this study reconstructs an integrated public transportation network system dominated by rail transit from a multi-dimensional perspective of “3-dimensional system, 2-dimensional line network, and 1-dimensional line”. The study analyzes the implementation strategy of rail-bus “dual network” integration in detail, proposes a hierarchical and step-by-step optimization method and implementation path for the “express-trunk-branch” bus network, and applies theoretical methods to the reform of Chengdu’s public transportation network system. The research results indicate that the integration and coordination of Chengdu’s public transportation networks and the rail-bus “dual network” integration have been significantly improved. This provides valuable reference for the systematic construction of public transportation networks and the optimization of hierarchical bus networks in other large cities.

Keywords: urban rail transit planning; dual network integration; hierarchical bus network; bus express; bus trunk; bus feeder

收稿日期：2024-08-06　修回日期：2025-04-30

第一作者：颜建新，男，硕士，高级工程师，从事轨道接驳、三网融合、交通规划及交通改善研究，511865660@qq.com
通信作者：王涛，男，博士，教授，长期从事交通规划与管理、交通信息及控制等研究，wangtao@guet.edu.cn

基金项目：国家自然科学基金(52262047)
引用格式：颜建新，王涛，胡欣媛，等. 轨道交通成网背景下公交网络体系重构及线路优化关键技术分析[J]. 都市快轨交通，2025，38(4)：10–21.
YAN Jianxin, WANG Tao, HU Xinyuan, et al. Analysis of key technologies for public transportation network system reconstruction and route optimization in the context of rail network formation[J]. Urban rapid rail transit, 2025, 38(4): 10–21.

部分大城市轨道交通成网后，轨道交通成为公共交通出行的主体，各层次公交线路在公共交通网络体系中的功能及作用发生颠覆性转变，与轨道交通重复度较高的线路客流大幅下降、片区轨道交通-公交接驳需求提升，亟需重构新时代背景下公共交通网络体系与分层次公交线网结构，以“轨道交通为主导”促进“双网”融合。

陆子平[1]以双网融合为目标优化公交线网结构，提出近期优化思路、策略及实施路径；孟永平[2]、赵建明等[3]提出了轨道交通成网后常规公交线网优化方法与评价体系；林丽凡[4]基于大数据分析优化轨道交通沿线公交线网设计；郝成[5]以乘客出行成本与企业运营成本最小为目标函数，建立围绕轨道交通的公交线网优化调整模型；牟伟华[6]提出以轨道交通为中心的动态地面公交线网优化方法，并进行公交短驳线路优化实践；刘志伟[7]归纳了通道内常规公交骨干线的筛选思路和其他常规公交线路的优化策略；姜彦璘等[8]从前期规划、优化交通衔接、提升运营效率、加快用地开发、打破管理壁垒等方面提出了铁路四网融合提升方案。但目前的研究仍存在以下问题：①在规划统筹层面，解析新形势下各层次公交线路与轨道交通间功能定位、融合关系与演变趋势的深度普遍不足，缺乏系统性、连贯性分析；②在设计实施层面，均未系统描绘“体系规划→网络计划→线路设计”完整逻辑链条下的公交线网优化实施路径，以及契合各层次功能需求的线路优化关键技术。

本文第 1 次从“体系(3 维)→网络(2 维)→线路(1 维)”层面出发，自上而下、层层递进，系统性描绘大城市构建功能明确、定位清晰的公共交通网络体系各阶段的思路、步骤及方法。①体系层面，逐步推理、研判并重构了大城市轨道交通成网后的公共交通网络体系；②网络层面，提炼出新形势下切实可行的轨道交通-公交“双网”融合及分层次线网优化策略与实施方法；③线路层面，构建“数据分析→通道(枢纽)识别→网络拟合→建立筛查标准→筛查备选方案→编制计划”的实施路径，以及基于实践可操作的线路优化关键技术。并以成都公交线网体系改革为案例，践行理论体系与方法，可为大城市系统性开展轨道交通-公交“双网”融合与分层次公交线网优化提供良好的参考。

1　网络体系重构——“3 维”体系层面

1.1　特征分析

轨道交通成网前，北京、上海、广州、深圳、成都等大城市公交线网普遍采用“快-干-支”或“快-干-支-微”的分层体系。其中，公交快线以点式运输为主，提供长距离快速服务，串联各组团中心、客运枢纽、客流走廊集散点；干线以线式运输为主，提供中距离中速运输服务，覆盖主要客流走廊；支线以线式运输为主，走街串巷提供短距离直达服务，对上层次线路起接驳、延伸作用[9]。但轨道成网后，常规公交实际运营状况发生重大变化，普遍呈现以下新的特征：

1)“轨道交通为主体，常规公交为辅助”的定位持续强化。轨道交通成为出行首选，常规公交客流大幅下降，但公共交通总客流仅保持稳定或上升幅度不大，表明轨道交通新增客流大多源于常规公交内部转移的客流。

2) 与轨道交通重复度较高的公交快线与干线受影响最大；途径非轨道交通覆盖通道、与轨道交通形成互补关系的线路影响较小，甚至客流有一定幅度上升。尤其是非直线系数较低、发车频率较高、有固定客源的线路。

3) 公交支线客流受影响幅度较小甚至增长明显。表明轨道交通接驳及短距离社区出行需求大幅提升。

4) 定制公交、预约公交等特色公交线路发展迅速。

1.2　趋势研判

针对大城市多元化、高品质的公交出行需求，研判未来仍将采用“快-干-支”分层次公交线网体系，但各层次线网结构将发生重大变化，即：由“橄榄形”(中间大、两头小→公交干线为主体)向“金字塔形”(上小、下大→公交支线为主体)转变。必然以“轨道交通为主导”推进公交线网结构的整合与优化，减少与轨道交通的重复、强化轨道交通-公交无缝接驳与融合。基于此，研判不同层次公交线路的功能、定位及发展趋势如下：

1) 公交快线——需更注重时效标准：行驶高快速路或 BRT 通道等，停靠站点相对较少且与轨道交通重复率较低，充分保障全程出行时效具有较强的竞争力。

2) 公交干线——需差异化分类分级：由于常规公交在便捷性(站距短)、直达性(少换乘)、经济性(低票价)等方面的优势，且可承担轨道交通应急保障及高峰客流疏解功能。因此，仍需保留一定规模的公交干线，并贯通成网，但与轨道交通形成错位、互补关系。

3) 公交支线——需更体现接驳服务：首先，未来必然契合轨网建设，扩大支线规模，逐步转变为接驳出行的主体；其次，拓展支线内涵，既充分满足轨道交通接驳出行需求，也可解决社区内部短距离出行需求；再次，要求合理控制支线里程、线形及发车频率，保障接驳线路运营效率与服务标准。

1.3 线网体系重构

基于以上研判，按照“骨架网-覆盖网-补充网”重构公共交通网络体系，如图 1 所示。其中变化如下：

1) 将公交干线细分为骨架干线与普通干线。其中，骨架干线覆盖非轨道交通客流走廊，承担“类地铁”功能；普通干线覆盖轨道交通客流走廊或其他客流较小的通道，满足可达、成网的“保障性”出行需求。

2) 将公交支线划分为轨道交通接驳线与微循环线(社区线)，重点突出轨道交通成网后的接驳服务功能。

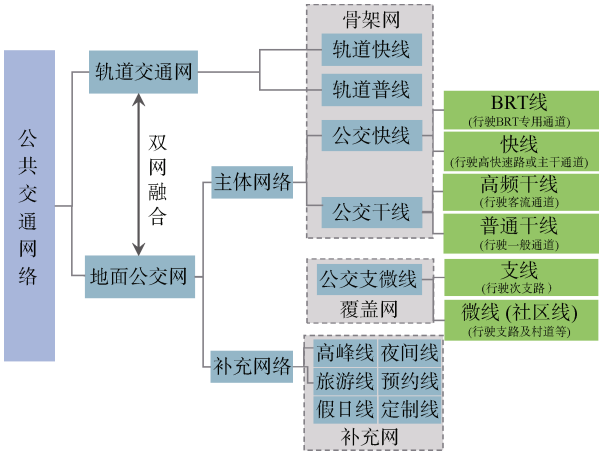


图 1 公共交通网络体系重构

Figure 1 Public transportation network system reconstruction

2 线网融合策略——“2 维”网络层面

2.1 轨道交通-公交双网融合

2.1.1 实施策略

以轨道交通为基础，实施分区域、差异化结构优化。

1) 对于中心区域：“减重复、强接驳”。实施干线抽疏，重点考虑取消或调整与轨道交通重复度较高的公交干线；完善覆盖薄弱区域的轨道交通接驳线和微循环线。

2) 对于外围区域：“补通道、增覆盖”。在未开通轨道交通的次级通道及横向走廊上，形成公交快、干线网络；在轨道交通末端强化公交接驳服务。

2.1.2 实施方法

1) 延伸服务(以支线为主→“增”)：轨道交通末端站点布设公交接驳线路，向外延伸轨道交通辐射范围。

2) 纵向抽梳(以干线为主→“减”)：通过取消、截短、合并等方式，降低公交干线与轨道交通线路的重复。尤其是“与轨道交通重复 6 站以上”、“非直线系数>1.8”、“公交线路>25 km”、“客流大幅下降”的公交线路，如图 2 所示。

3) 横向加密(以支线为主→“增”)：通过新增、调整，强化轨道交通垂直方向接驳覆盖。布设方法有环线、之字形、长之字形、短垂直线形等。如图 3 所示。

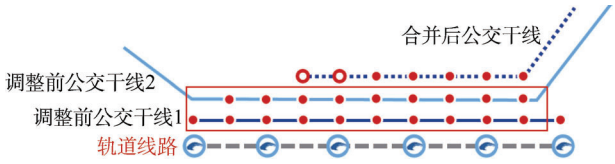


图 2 公交线路纵向抽疏

Figure 2 Longitudinal thinning of bus routes

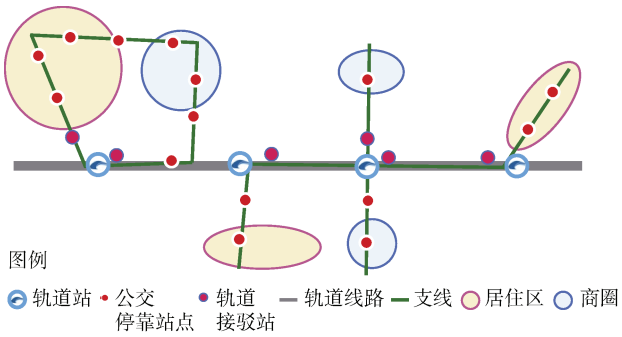


图 3 公交线路横向加密

Figure 3 Lateral densification of bus routes

4) 填补空白(以支线或少量干线为主→“增”)：覆盖轨道交通车站周边接驳服务空白。

5) 并行保留：考虑市民出行习惯、历史延续、老年人出行便捷、应急支援，保留少量与轨道交通并行骨干线路，提供短站距、差异化公交服务。

2.2 分层次公交线网优化

“先定走廊(通道)，后定线路，再拟合网络”，构建快线、干线与支线网络优化路径与相关网络模型。

2.2.1 快线网络

制定“服务区及枢纽识别→客流分析→通道研判→网络拟合”的路径，构建并拟合公交快线网络。

第 1 步：公交服务区及主要客流枢纽识别：根据城市发展、土地利用、组团分布、轨网布局、人口及岗位分布等客观因素，将全市划分为若干个公交服务区，识别有较大规模中长距离出行需求的客流枢纽，构建全市快线网络节点数据库，一般为客运枢纽、大型轨道交通站点或客运走廊关键节点等；并根据功能、位置及客流需求，对节点进行分类分级，研判重要程度。

第 2 步：可行网络客流分析：为确保公交快线的良好运营效果，建议选取高峰时段公交客流需求大于 5 000 人次/h 的 OD 出行区域作为搭建快线网络的基础。

第 3 步：可行网络通道分析：根据公交快线对道路网络的要求，选取现有交通条件较好的高快速路、BRT 通道或主干性通道，确定布设快线的可行路径网络；并

分析与既有轨道交通线路的重复度及出行时效对比。

第 4 步：网络拟合：以客流需求合理网络为基础，将快线可行路径网络与客流需求网络进行叠加、拟合，得出公交快线的可行性网络布局；并从线路形态上，初步提出基于既有公交快线的优化调整设想。

2.2.2 干线网络

制定“客流分析→通道研判(搭建干线骨架)→网络拟合”的方式，构建并拟合公交干线网络。

第 1 步：可行网络客流分析：结合轨道交通网络及干线通道的分布，选取高峰时段公交客流量大于 2 000 人次/h 的 OD 出行区域作为搭建干线网络的基础。

第 2 步：可行网络通道分析：匹配主要公交需求走廊断面供需，拟合道路交通、枢纽设施、客运走廊等，选取承担骨架功能且效益较好的线路搭建干线骨架。并结合轨网布局及客流需求，筛选、对比并确定适合干线布局的骨架干线通道与普通干线通道。

第 3 步：网络拟合。以客流需求为基础，将干线可行路径网络与客流需求网络进行叠加、拟合，得到公交干线的可行性网络布局；并从线路形态上，初步提出基于既有公交干线的优化调整设想。

2.2.3 支线网络

制定“盲区识别及客流分析→通道研判(搭建支线网络)→网络拟合”的方式，构建并拟合支线网络。

第 1 步：盲区识别及客流分析：结合公交网络分布，筛选分析潜在的轨道交通接驳及内部客流出行需求。

第 2 步：可行网络通道分析：在轨网、快线网、干线网的基础上，按照强接驳、广覆盖的原则，确定拟覆盖的次支路、巷道以及片区内部主要客流集散点。

第 3 步：网络拟合。将支线可行路径网络与客流需求网络进行叠加、拟合，得出理想状态下的支线可行性网络布局；并从线路形态上，初步提出基于既有公交支线(含轨道交通接驳线与微循环线)的优化设想。

3 线路优化技术——“1 维”线路层面

对比上述理想拟合网络，按照“建立筛查标准→筛选备选线路→制定优化方案”的路径制定实施方案。

3.1 建立筛查标准

客观反映公交运营的指标包括 3 类：①各类客流指标，如单车公里载客量、客流下降幅度、单车日均客流量等；②线路自身设计指标，如线路长度、非直线系数等；③其他对比指标，如与轨道交通重复度、公交线路间重复系数等。其中客流参数为公交线路能否维持运营的最直接指标。基于此，构建 3 级筛查标准(不同城市公交线路规模、客流强度、运营成本不同，可灵活调整符合本市情况的筛查标准)，以成都为例：

1) 1 级筛查指标：“单车公里载客量”

不同类型公交线路载客量指标有所区别，成都市公交快线-干线-支线-微循环线单车公里载客量分别为 3.18、2.64、2.22、3.10 人次/d。因此，公交快线、干线单车公里载客量在 4 人次/d 以上视为优质线路，可直接保留；在 3-4 人次/d 的线路可视情况进行局部优化；2-3 人次/d 的线路宜重点评估与优化；低于 2 人次/d 的线路经评估后需进行调整或直接取消。轨道交通接驳线及微循环线低于 2 人次/d 时宜重点评估与优化，低于 2 人次/d 的线路经评估后需进行调整或直接取消。

2) 2 级筛查指标：“与轨道交通重复度”、“客流下降幅度”、“单车日均客流量”

与轨道交通线路重复 6 站以上(或重复比例超过 40%)、客流下降超过 15%的公交线路需重点评估并进行优化调整；同时，单车日均客运量若低于一定阈值，也需酌情优化调整。以成都为例，公交快线-干线-支线-微循环线的单车日均客运量分别为 441、163、48、21 人次/d，因此，在考虑功能性需求的基础上，建议阈值分别不低于 250、100、30、10 人次/d。

3) 辅助筛查指标：“非直线系数”、“线路长度”。考虑到城市的空间尺度及客流需求等因素，一般要求非直线系数不高于 1.8，轨道交通接驳线路或微循环线路等走街串巷线路可适当放宽至 2.5。同时，不同类型公交线路长度的阈值有所区别，以成都为例，目前公交线路平均线路长度 23.32、16.71、9.44、4.64 km，因此，建议公交快线、干线长度尽量不超过 25 km，支线长度不超过 12 km，微循环线路长度不超过 8 km。

3.2 筛选拟优化线路备选集

根据筛查指标，筛选符合拟优化条件的既有公交线路，形成备选线路集，具体筛查流程如下。

第 1 步：根据 1 级筛查指标，初步筛选拟重点考虑及局部优化的线路，形成线路集 A。以成都为例，当快线、干线、支线的“单车公里载客量”分别小于 3、2、1(或 1.5)人次/d 时，说明公交运营效率远低于平均水平，需纳入下一步重点研究。

第 2 步：在线路集 A 内，分类分析 2 级筛查指标，按严重程度甄别运营问题更为严重的线路，并进行排序，形成线路集 B。以成都为例，在第 1 步筛选出来的线路集 A 中，如果存在与轨道交通线路重复 6 站以上、轨道交通开通前后客流下降超过 15%或单车日均客运

量低于线路开设的最低标准，则表明该线路在功能定位、线路设计、与轨道交通的关系、线路运营等方面均存在问题，须纳入线路取消或调整的重点研究对象。

第 3 步：进一步分析“非直线线路”、“线路长度”等分析辅助筛查指标，作为线路取消或局部优化的参考标准，最终形成拟优化的备选线路集 C。

3.3 制定分阶段优化方案

在备选线路集 C 中，综合考虑公交场站、线路功能、线路可替代性、服务盲区等因素，在理想拟合线网指导下，运用轨道交通-公交双网融合实施策略及纵向抽疏实施方法，提出基于既有线路的优化实施方案。

对比理想拟合线网，既有线路仍无法覆盖的空白区域，采用线路新增方式予以弥补；并按照“成熟一批、实施一批”的方法编制分批次、分阶段实施方案。

4 成都经验借鉴

4.1 发展现状

成都市轨道交通网络呈“环+放射状”形态，为典型的“内密外疏”特征，常规公交采用“快-干-支-微”+“特”线网体系[10]，公交线路 1 209 条，其中快线 15 条(均为 BRT)，干线 609 条，支线 276 条，微循环线路 237 条，特色线 72 条，如图 4 所示。

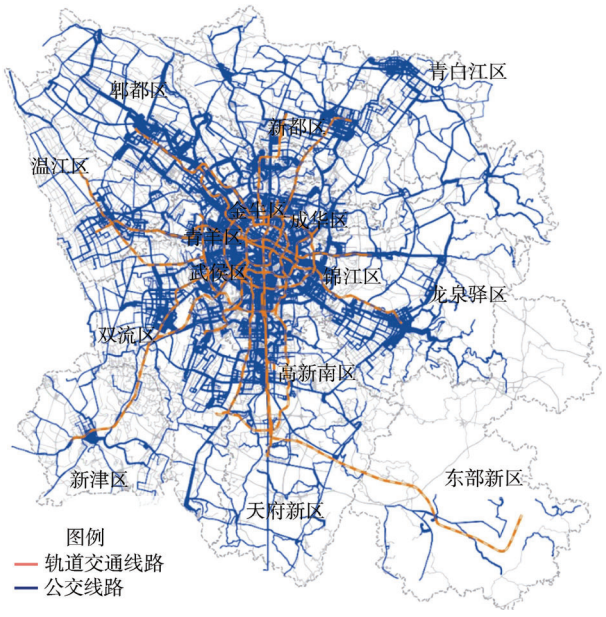


图 4 成都市轨道交通及公交线网分布

Figure 4 Distribution of Chengdu’s rail and bus network

4.2 存在问题

4.2.1 空间分布层面——公交运力资源分布不均匀

①运力资源集中于中心区域。3 环内轨网密集区公交线网密度远高于 3 环外。②部分新兴区域、外围交界处公交服务薄弱，如：龙潭、大面片区等。③高新南、天府新区等“新中心”覆盖不足。如图 5 所示。

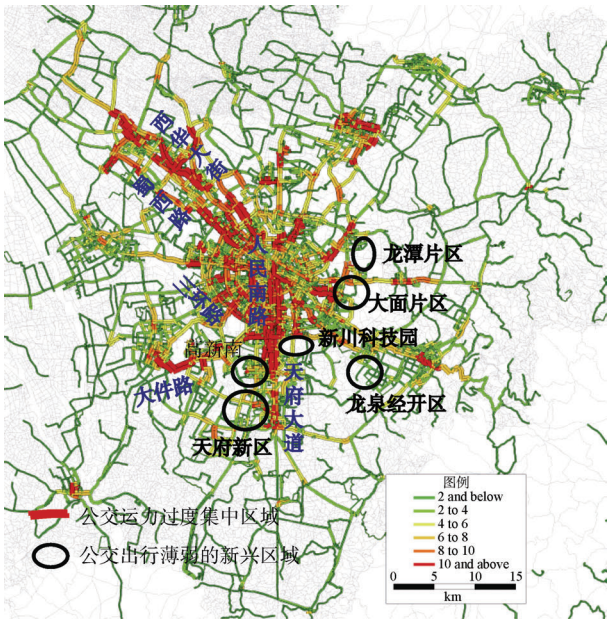


图 5 主要区域及通道公交线路过于聚集

Figure 5 Excessive concentration of bus routes in main areas and corridors

4.2.2 双网融合层面——轨道交通公交融合互补不足

1) 公交快线——集中于“5+1”区，新都、青白江、温江及天府新区等外围区域缺少快线，轨道交通+BRT 的“快速通勤网”仅覆盖 42%的对外走廊。如图 6 所示。

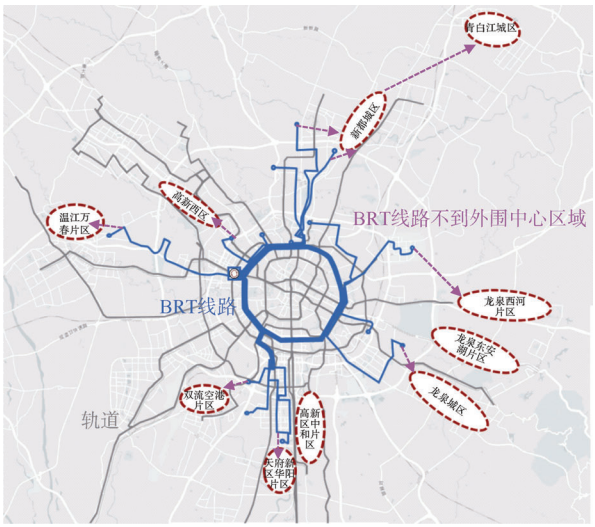


图 6 轨道交通及 BRT 线路分布

Figure 6 Rail and BRT line distribution

2) 公交支微线——在轨道交通沿线“末端”区域，

仍存在较多覆盖盲区，轨道交通接驳衔接不够。轨道交通站点 800 m+轨道交通 1 次换乘公交的覆盖率仅 71.8%；公交支微线也尚未深入社区中心、商圈内部。如图 7 所示。

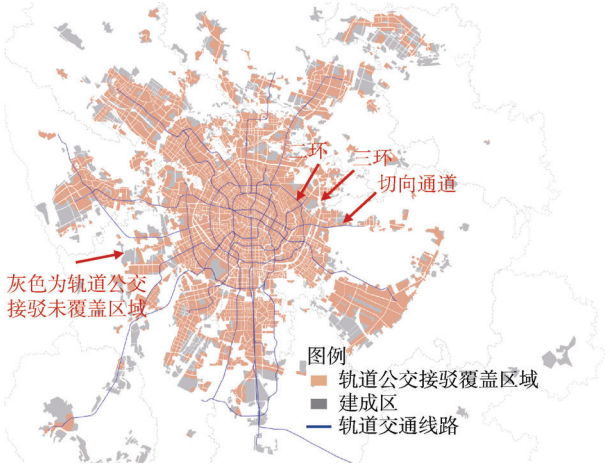


图 7　轨道交通-公交接驳未覆盖薄弱区域

Figure 7　Weak areas not covered by rail bus connections

4.2.3　线网结构层面——各级公交线路功能不清晰

1) 公交干线——与轨道交通重复度高，存在不良竞争。中心城区与轨道交通线路重复站点在 6 个以上的公交干线超过 30 条。如 43 路、84 路、119 路、369 路等长距离公交干线客流普遍下降超过 30%。

2) 公交支线、公交微线——两者在功能定位、服务范围、发车间隔、行驶路径上并无本质差别。

4.3　重构公交线网体系(“3 维”体系层面)

将成都市常规公交线网由原来的“快-干-支-微”4 层次体系调整为“快-干-支”3 层次体系，通过二级分层进一步细分为 6 种线路类型，并同步调整各线路规划指标(见表 1、表 2 和表 3)。

表 1　公交快线规划指标

Table 1　Bus express line planning indicators

相关指标	公交快线	
	BRT 线	普通快线
运行道路	BRT 通道	高速公路、快速路、干线性主干道
服务范围	服务于主城区与外围新城联系的主要客运通道，承担城市区域及组团间的中长距离出行服务和城市主要客流集散点的连接服务	
线路长度/km	通道型 15～35；区域型 10～30	
公交优先配套设施或线路形态	主、次干路公交专用道全覆盖	主、次干路公交专用道覆盖不低于 80%
发车间隔/min	高峰 2～5，平峰 6～8	高峰 6～12，平峰 10～20

表 2　公交干线规划指标

Table 2　Bus trunk line planning indicators

相关指标	公交干线	
	骨架干线	普通干线
运行道路	主要客流通道	一般主干路、次干路
服务范围	服务中长距离跨区域，或相邻区域大客流通道出行需求	服务中长距离跨区域，或相邻区域与组团间一般客流通道出行需求
线路长度/km	通道型 15～30 km；区域型 10～25 km	
公交优先配套设施或线路形态	城市主、次干路公交专用道全覆盖	城市主、次干路公交专用道覆盖不低于 60%
发车间隔/min	高峰 3～8，平峰 8～10	高峰 6～15，平峰 10～20

表 3　公交支线规划指标

Table 3　Bus feeder line planning indicators

相关指标	公交支线	
	轨道交通接驳线	微循环线(社区线)
运行道路	次干路、支路	支路、街巷或村道
服务范围	服务短距离较大客流区域内与轨道交通的接驳联系	服务居住社区、产业社区内部，满足短距离出行需求
线路长度/km	主城区 5～8；外围新城 5～10	主城区≤5；外围新城≤8
公交优先配套设施或线路形态	多点停靠(环线/双边)，点对点	
发车间隔/min	高峰 5～8，平峰 10～15	高峰期 3～8，平峰期 8～15

其中，新增 1 项“快线”指标，调整“骨架干线”、“普通干线”和“轨道交通接驳线”等 3 项指标。如图 8 所示。

4.4　制定线网融合策略(“2 维”网络层面)

4.4.1　轨道交通-公交双网融合

1) 对于“5+1”中心区域：筛查与轨道交通连续重复站点 6 站以上、客流效益不佳、重复较高的公交干线。

2) 对于“7+2”外围区域：补充通往新都、青白江、温江、天府新区、龙泉驿区等核心大客流区域快速通道上的公交快干线网络；加强龙潭、大面、龙泉经开区、新川科技园等外围公交薄弱区域的公交覆盖。

4.4.2　分层次线路优化

按照“客流分析→通道(枢纽)识别→网络拟合”的路径，构建相对理想状态下分层次公交线网。

第 1 步：客流分析—分析获取成都市公交出行 OD、客流乘降量、分时段运能与客运量、断面客流满载率、出行时间及距离分布等数据，如图 9 所示。

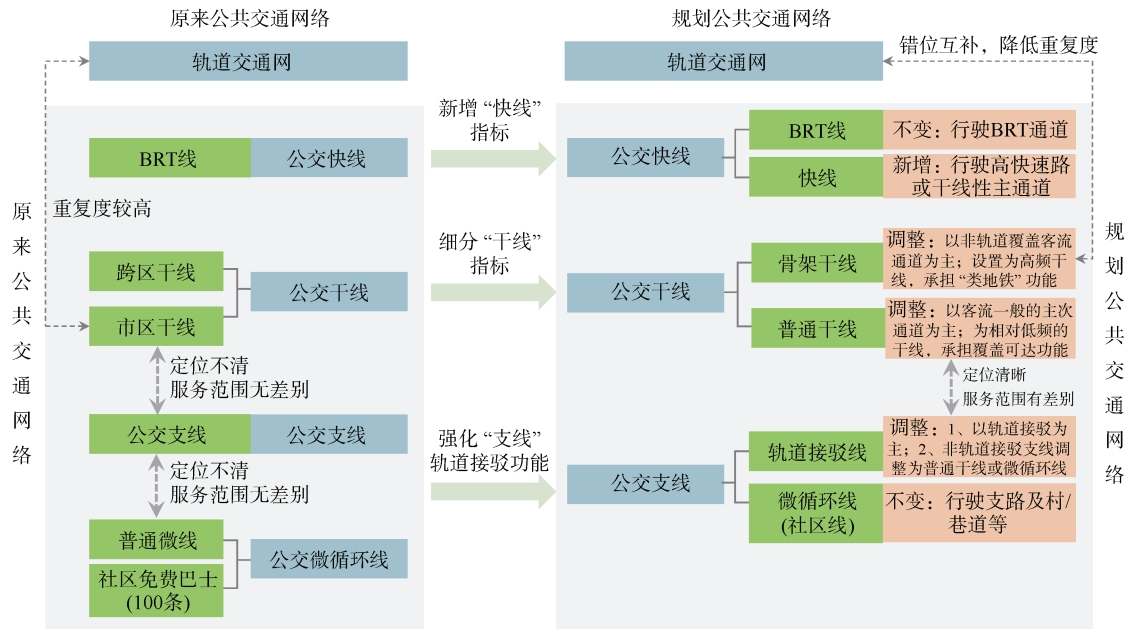


图 8　成都市公共交通网络结构优化

Figure 8　Chengdu public transportation network structure optimization

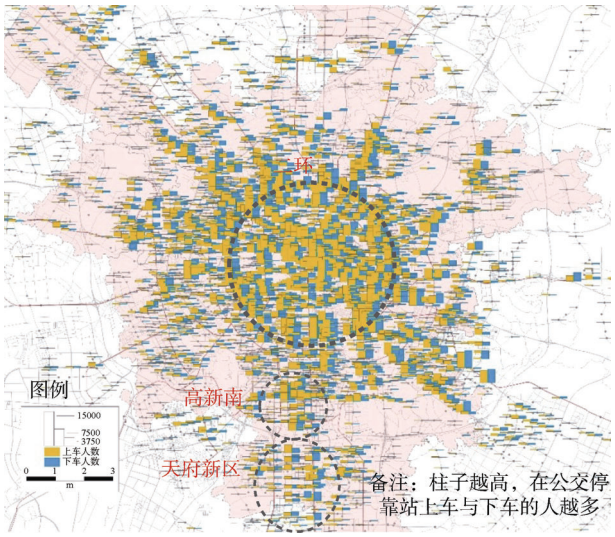


图 9　公交停靠站客流登降量

Figure 9　Passenger boarding and alighting volume at bus stops

第 2 步：通道(枢纽)识别—线网布局优化的前提与基础。①根据用地开发、合理空间尺度与线网运营要求，划分 17 个公交服务区；②根据出行需求，识别服务区间 1 级、2 级与 3 级客流走廊；③根据枢纽功能及重要程度，识别 1 级、2 级、3 级换乘枢纽。

第 3 步：网络拟合，提出理想线网结构。

1) 快线网络：将快线可行路径网络与客流需求网络叠加、拟合，构建公交快线网络，如图 10 所示。

2) 干线网络：将干线可行路径网络与客流需求网络叠加、拟合，构建“环形”+“放射式”干线网络，如图 11 所示。

3) 支线网络：以短距离客流需求合理网络为基础，将支线可行路径网络与客流需求网络进行叠加、拟合，构建公交支线网络，如图 12 所示。

4.5　筛选备选集线路(“1 维”线路层面)

根据筛查标准，对成都市既有所有公交线路进行初步筛查，见表 4～7。

4.6　线路优化方案

按照“五年总体规划→三年行动计划→年度滚动实施方案”的路径开展线网体系改革，在总体规划指导下，综合考虑场站建设、线路可替代性、盲区覆盖、市民出行习惯及出行需求等因素，提出三年行动计划。

4.6.1　总体规划方案

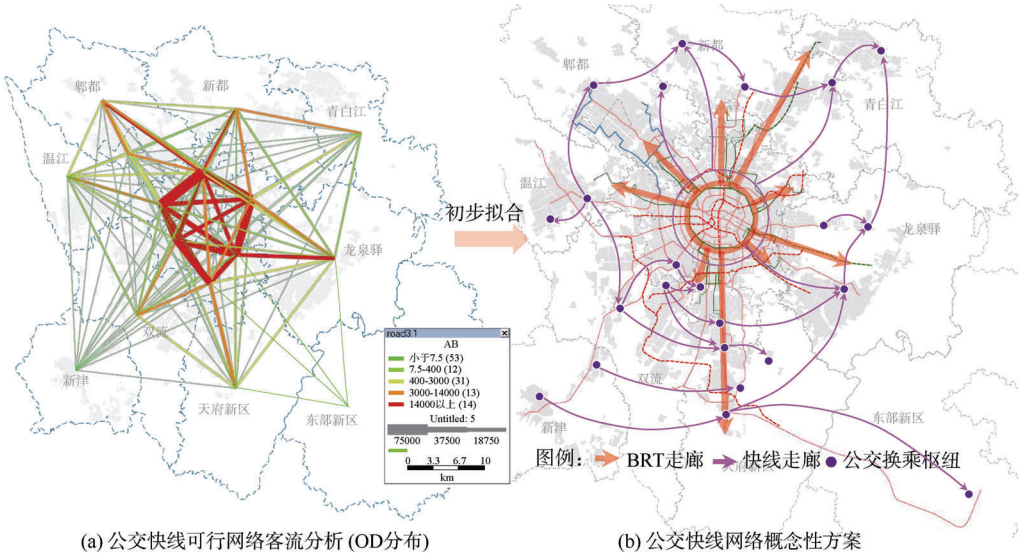
“5+1”区域：共优化 166 条公交线路，其中取消 55 条、裁剪 70 条、新开轨道交通接驳及微循环线 17 条。

“7+2”区域：共优化 217 条线路，其中提升 36 条、调整 116 条、取消 31 条、新增 34 条。

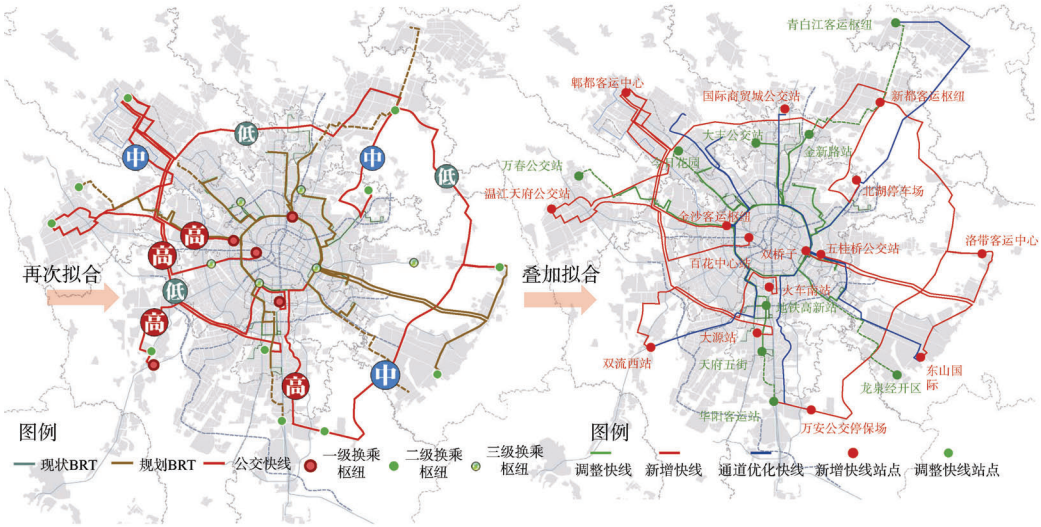
4.6.2　通道线路优化典型案例

本文基于上述理论研究与线网总体规划，选取郫都区红光大道详细解析分区域、分通道的公交线路优化步骤及方法，以指导具体工程实践操作。

红光大道为公交客流通道，主要串联犀浦、红光、郫筒等人口集聚区。通道周边轨道交通线路为 2 号线、



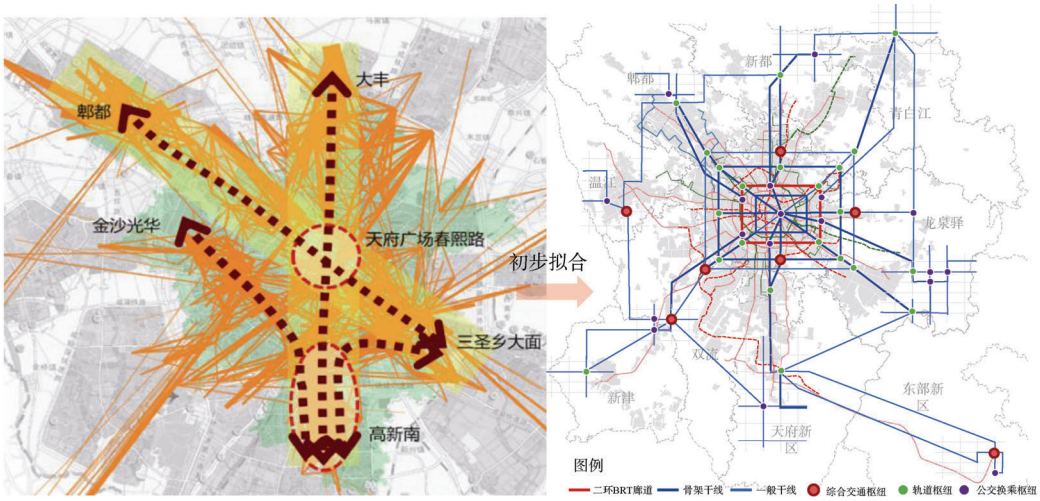
(a) 公交快线可行网络客流分析 (OD分布)　　(b) 公交快线网络概念性方案



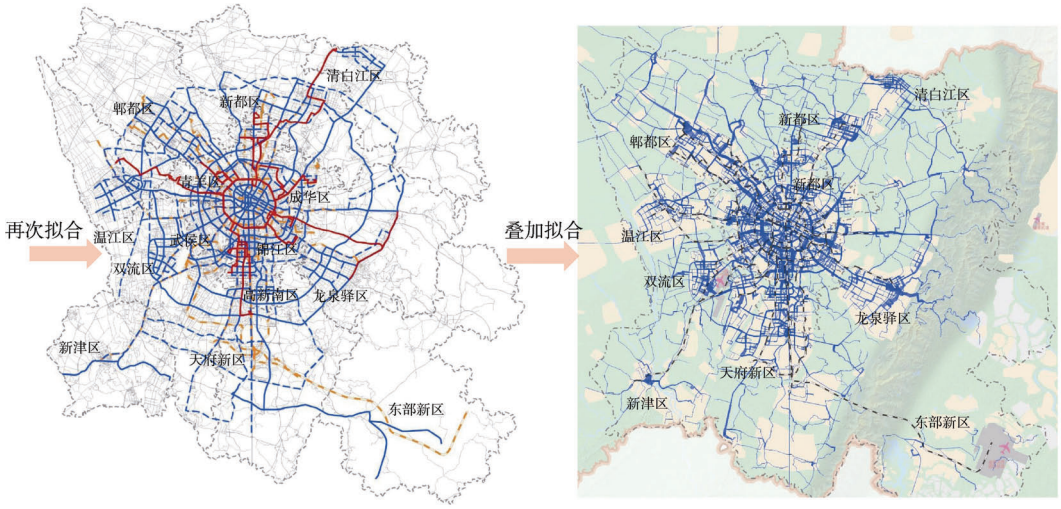
(c) 基于现状快速通道的理想公交快线网络形态　　(d) 基于对现状公交快线优化调整的快线网络规划

图 10　公交快线网络叠加拟合

Figure 10　Bus express network overlay fitting



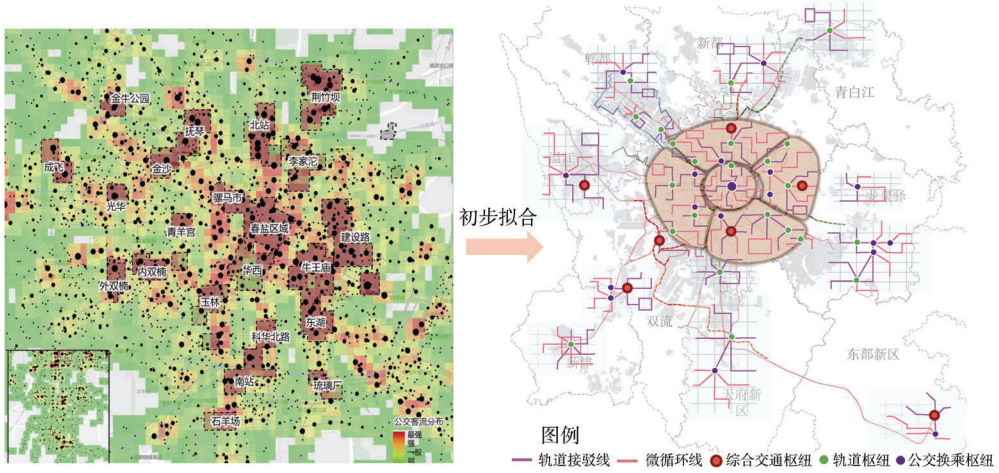
(a) 公交干线可行网络客流分析 (OD分布)　　(b) 公交干线网络概念性方案 (初步拟合)



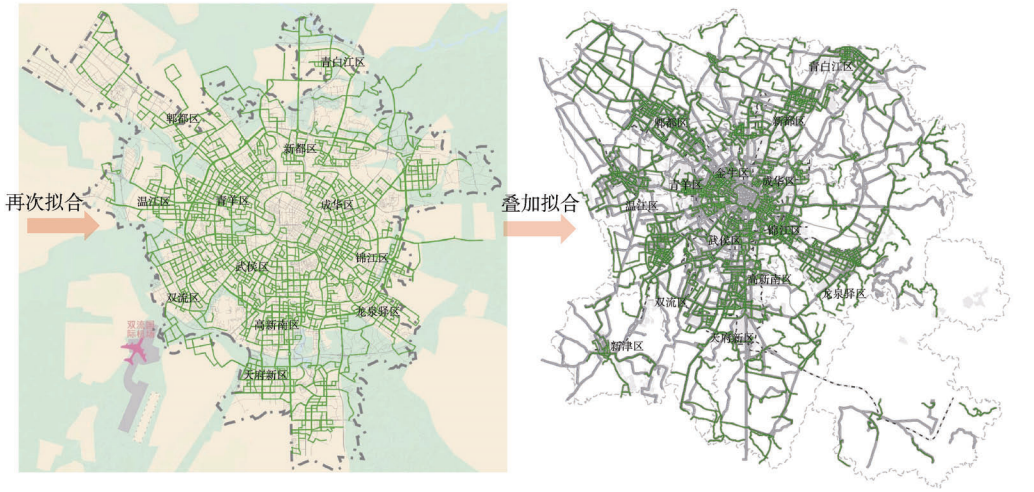
(c) 基于主要干道的理想公交干线网络形态　　(d) 基于对现状公交干线优化调整的干线网络规划

图 11　公交干线网络叠加拟合

Figure 11　Bus trunk network overlay fitting



(a) 第一步: 公交支线潜在客流分析　　(b) 第二步: 公交支线网络概念性方案 (初步拟合)



(c) 第三步: 基于主要支路的理想公交支线网络形态　　(d) 第四步: 基于对现状公交支线优化调整的网络规划

图 12　公交支线网络叠加拟合

Figure 12　Bus feeder network overlay fitting

表 4　公交快线初步筛查线路集

Table 4　Bus express line preliminary screening route set

1 级筛查指标		2 级、3 级筛查指标	线路初步筛查	
单车公里载客量(人次/d)	优化方法		线路规模/条	线路名称
>4	保留	见表 2	7	/
3～4	视情况局部优化		5	K5、K9、K12、K17、K19
<3	调整或取消		3	K3、K4、K15

表 5　公交干线初步筛查线路集

Table 5　Bus trunk bus line preliminary screening route set

1 级筛查指标		2 级、3 级筛查指标	线路初步筛查	
单车公里载客量(人次/d)	优化方法		线路规模/条	线路名称
>4	保留	见表 3	23	/
3～4	视情况局部优化		43	6、14、16、30、47、68、75、83、111 等
2～3	优化调整		35	10、13、17、28、46、57、74、77、91 等
<2	调整或取消		30	11、15、22、36、43、44、67、69、84 等

表 6　轨道交通接驳线初步筛查线路集

Table 6　Track feeder initial screening track set

1 级筛查指标		2 级、3 级筛查指标	线路初步筛查	
单车公里载客量(人次/d)	优化方法		线路规模/条	线路名称
>3	保留	见表 4	16	/
2～3	视情况局部优化		38	19、188、207、264A、226B 等
1.5～2	优化调整		26	153、259、178、194、201、202、206、248、269 等
<1.5	调整或取消		29	41、110、160、173、176、177、203、222、231 等

表 7　微循环线初步筛查线路集

Table 7　Preliminary screening of micro loop lines

1 级筛查指标		2 级、3 级筛查指标	线路初步筛查	
单车公里载客量(人次/d)	优化方法		线路规模/条	线路名称
>3	保留	见表 3	86	/
2～3	视情况局部优化		34	413、440、1112、1057 等
1～2	优化调整		35	279、449、204、1080、433、417、410、404、407 等
<1	调整或取消		45	161、166、179、241、312、318、320、322、325 等

6 号线、有轨电车蓉 2 号线；通道内部公交线路 10 余条，但重复性极高，重复线路达到 8 条，如图 13 所示。



图 13　红光大道公交线路分布

Figure 13　Distribution of bus routes on Hongguang Avenue

通道公交线路优化的主要目标：①减少与轨道交通线路重复度；②降低公交线路间的重复系数，避免运力浪费；③在红光大道打造 1-2 条高品质骨架公交干线；④加强红光大道沿线区域与轨道交通接驳联系；⑤利用调整后节约出来的运力，提高对其他出行薄弱点的覆盖。

第 1 步：识别客流通道及沿线换乘枢纽，分析途经线路出行 OD、站点客流登降量等基础信息，以及“单车公里载客量”、“客流下降幅度”、“单车日均客流量”、“与轨道交通重复度”、“非直线系数”等公交运营参数，筛选拟调整或取消的备选公交线路集。

第 2 步：选取客流量较大、非直线系数低的 720 路，提升成为骨架干线(即高频干线)，运营时间为 6:30-23:00，与轨道交通运营时间基本一致；高峰期发车频率为 3～5 min，平峰期为 5～10 min，乘客平均候车时间较短；非直线系数为 1。初期采用“1+1”组合模式，在保留既有 720 线路的基础上，新增开设 720 区间的形式进行客流培育；方案成熟后，取消原 720 线路，如图 14 所示。

第 3 步：分 2 批调整红光大道周边线路。第 1 批：通过线路截短、路径调整等方式，实现通道上 P40、P17、P04、P212 等普通干线与骨架高频干线的同步调整，减少普遍干线与轨道交通及高频干线重复系数，同时加强与周边区域的接驳覆盖。如优化 P40 路(界牌—望丛祠地铁站)，运营里程由原来 26.6 km 减少至 15 km，

停靠站点由 47 个减少至 29 个；第 2 批，待骨架干线稳定后，进一步调整 P21、720、710A 等其他线路，进一步降低重复系数，加强轨道交通接驳。如图 15 所示。

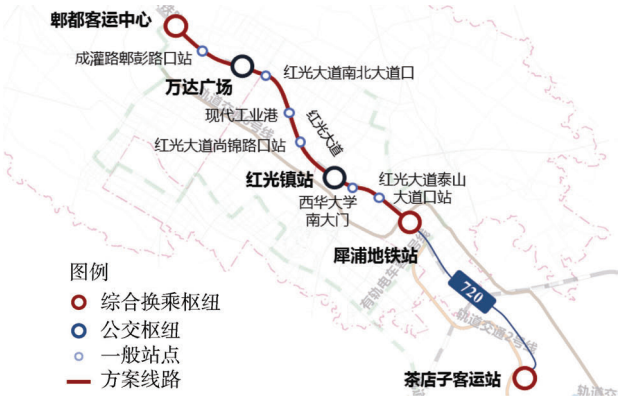


图 14　红光大道打造骨架干线

Figure 14　Building the backbone of Hongguang Avenue



图 15　分 2 批同步调整其它公交线路

Figure 15　Adjustment of other bus routes in two batches simultaneously

第 4 步：依托郫都客运中心、万达广场、红光镇、犀浦地铁站等枢纽集散换乘，打造 11 条接驳线路，覆盖红光大道周边区域，为骨架干线喂给客流，强化“以轨道交通为主导”的接驳功能。如优化 P23 路，接驳轨道交通 6 号线及有轨电车蓉 2 号线望丛祠站。如图 16 所示。

方案实施后：①红光大道上公交线路重复系数大幅降低，线路间形成错位互补的关系，且与轨道交通 2 号线、6 号线接驳更便捷；②区段运能得到充分释放，原来红光大道各类重复公交线路运力为 70～90 标台，优化后精简至 30～36 标台，由于线路里程降低，公交运营效率大幅提高，乘客实际候车时间并未增加；③剩余运力资源得到良好的分配，周边公交接驳服务得到提升。



图 16　同步调整周边片区其它公交线路

Figure 16　Synchronous adjustment of other bus routes in surrounding areas

4.7　实施效果

方案实施后，有效推动了成都市全市公共交通线网“一体化”统筹，促进了轨道交通-公交“双网”融合。

实施效果 1：突破地域限制、圈层割裂、方式束缚，“5+1”主城区与“7+2”外围区域首次采用统一的“快-干-支”分层次公交线网结构、统一的公交线路运营服务标准，已正研究制定统一的票制票价体系。

实施效果 2：大幅降低了与轨道交通的重复系数，强化了轨道交通公交接驳服务。在轨道交通已成网络的“5+1”区域，共取消 38 条与轨道交通重复较多的公交线路，减少重复线路长度共 260 km；乘坐 1 次公交可达就近地铁站点覆盖率由 91.5%提升至 100%；公交 300 m 覆盖率由 80.8%提高至 89.8%。

实施效果 3：分层次、分功能公交线网结构得到进一步优化，运营效率得到较大提高。其中从“5+1”区域先期实施的公交线路优化方案来看：

1）规模精简。线路规模由 518 条降低至 489 条，线路总长度减少 626 km，重复系数由 4.5 下降至 3.9。

2）结构优化。干线占比下降，支线占比上升。

3）线路缩短。大幅减少 20 km 以上长线，平均长度由 9.5 km 降低至 8.8 km(干线由 17.2 km 降至 15 km)。

实施效果 4：高峰期“5+1”中心城区平均候车时间低于 5 min，“7+2”外围区域低于 8 min；公交乘客满意度由 86.5%提高至 89.6%。

5　结论

本文重构了新形势下公共交通网络体系，提出相

应的优化策略及方法。对于大中城市开展公共交通体系改革提供了丰富的理论与实践参考。主要结论如下。

1) 首次完整、系统地构建了“体系(3 维)→网络(2 维)→线路(1 维)”完整逻辑链条下的公共交通线网优化理论体系及实践方法，路径清晰、方法合理、技术可行，弥补了以往“宏观规划-中观策略-微观设计”相脱节的问题。

2) 重构了轨道交通-公交“双网”融合背景下的公共交通网络体系，提出分层次公交线网由“橄榄型”向“金字塔型”结构转变：①减少原来占主体地位公交干线的规模，按照与轨道交通错位互补原则，差异化打造骨架干线与一般干线；②适当完善公交快线网络，弥补非轨道交通覆盖区域中远距离快速出行联系；③大幅提高公交支线规模，既充分考虑轨道交通-公交接驳覆盖及服务质量保障，也兼顾社区内部短距离出行需求，有效解决了线路功能定位不清晰、服务对象无差别等问题。

3) 详细解析了轨道交通-公交“双网”融合实施策略及方法，考虑到各区域轨网密度的不同，提出差异化的应对策略。中心区域采用“减重复、强接驳”策略，外围区域采用“补通道、增覆盖”策略。

4) 首次在工程实施层面，分层次、分步骤提出了“快-干-支”公交线网优化方法。①按照“客流分析→通道识别→网络拟合”提出基于双网融合、客流需求与可行路径的理想拟合线网；②提出“建立筛查标准→筛选备选线路集→制定优化方案”的优化实施路径。

5) 将理论体系与实践方法应用于成都市公交线网体系改革。按照“问题分析-体系重构-改善策略-优化方案-效果评估”的实施路径开展线网优化。结果表明，规划体系有效地指导了未来分层次公交线网的发展方向，促进了全域公交线网一体化统筹与轨道交通接驳。

参考文献

[1] 陆子平. 轨道交通与常规公交两网融合背景下的公交线网优化思路[J]. 市政技术, 2021, 39(增刊 1): 9-13.
LU Ziping. Optimization of bus network under the background of the integration of rail transit and conventional bus network[J]. Municipal engineering technology, 2021, 39(S1): 9-13.

[2] 孟永平. 基于城市轨道交通网络的常规公交线网优化研究[J]. 现代城市轨道交通, 2021(12): 6-11.
MENG Yongping. Research on optimization of bus transit networks after urban rail transit networks[J]. Modern urban transit, 2021(12): 6-11.

[3] 赵建明, 谭英嘉, 朱一洲, 等. 城市轨道交通大规模成网后常规公交线网服务优化研究: 以深圳为例[J]. 城市公共交通, 2022(10): 53-58.
ZHAO Jianming, TAN Yingjia, ZHU Yizhou, et al. Research on service optimization of conventional bus line network after large-scale urban rail transit network formation: a Case Study of Shenzhen[J]. Urban public transport, 2022(10): 53-58.

[4] 林丽凡. 基于大数据的轨道交通沿线常规公交线网优化方法: 以合肥市为例[J]. 科学技术创新, 2021(5): 132-133.
LIN Lifan. Optimization method of conventional bus network along rail transit based on big data: Taking Hefei as an example[J]. Scientific and technological innovation, 2021(5): 132-133.

[5] 郝成. 围绕城市轨道交通的常规公交线网优化调整方法研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2020.
HAO Cheng. Research on optimization and adjustment method of conventional bus network around urban rail transit[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2020.

[6] 牟伟华. 以轨道交通为中心的地面公交短驳线网优化[J]. 城市公共交通; 2022(10): 246-250.
MOU Weihua. Optimization of public transit network under the integration of rail transit and ground public transit[J]. Urban public transport, 2022(10): 246-250.

[7] 刘志伟. 基于大数据的骨干通道常规公交优化策略: 以上海漕溪路沪闵路通道为例[J]. 交通与港航, 2020, 7(5): 86-93.
LIU Zhiwei. Optimization strategy of regular public transport in arterial channel based on big data: taking the channel of humin road and caoxi road as an example[J]. Communication & shipping, 2020, 7(5): 86-93.

[8] 姜彦璘, 卢剑鸿, 李逍, 等. 基于四网融合的既有铁路市域化运营改造与发展研究: 以西户铁路为例[J]. 都市快轨交通, 2024, 37(2): 8-16.
JIANG Yanlin, LU Jianhong, LI Xiao, et al. Reconstruction and development of existing railways to operate suburban railways under the “integration of the four networks”: a case study in Xi’an-huyi railway[J]. Urban rapid rail transit, 2024, 37(2): 8-16.

[9] 深圳市交通运输局, 深圳市公交线网规划标准与实施导则[R]. 深圳: 深圳市交通运输局, 2020.

[10] 深圳市综合交通与市政工程设计研究总院有限公司, 成都市规划设计研究院. 成都市公交线网“十四五”规划[R]. 四川成都: 成都市交通运输局, 2022.

（编辑：傅依萱）