

成都市公共汽车快速网络体系构建与实践应用

罗 航, 李存念, 陈 阳

(南京市城市与交通规划设计研究院股份有限公司, 江苏 南京 210008)

摘要: 在城市空间布局扩张、轨道交通加速成网, 以及乘客对高品质公共交通出行需求日益增长的背景下, 对成都市公共汽车网络体系可达性与高效性提出了更高的要求。通过对轨道交通、BRT、公共汽车客流数据的挖掘分析, 以供给侧结构性改革为抓手, 以提升乘客出行服务体验为目标, 开展成都市中心城区公共汽车线网优化工作。重点依托轨道交通及BRT走廊, 构建了开放式BRT网络、通勤大站快线一级微循环接驳网络的“两快一微”公共汽车快速网络体系。由此, 进一步增强了骨干公共交通的覆盖性及服务水平, 形成功能层次清晰、线网高效衔接、运营协调互补的公共汽车线网布局。

关键词: 公共汽车交通; BRT; 轨道交通; 通勤大站快线; 微循环接驳

Bus Rapid Network Development and Practice in Chengdu

Luo Hang, Li Cunnian, Chen Yang

(Nanjing Institute of City & Transport Planning Co., Ltd., Nanjing Jiangsu 210008, China)

Abstract: With the rapid urban space expansion and rail transit network, as well as and the increased passengers' need for high-quality public transportation, Chengdu public bus network system is facing higher demands for accessibility and efficiency. Based on the passenger travel analysis on rail transit, BRT and public bus services, Chengdu has optimized its bus line network in urban center area to improve passengers' service experience through supply-side system reform. Relying on the rail and BRT corridors, Chengdu has developed an open BRT network and rapid bus service network that facilitates the commuting express lines on major bus terminals linking with local smaller bus circulating lines. Such developments in Chengdu have greatly enhanced the public transit system's coverage and level of service, and made the public bus lines operating in clearly defined functional hierarchy with effective connections and better coordination.

Keywords: bus traffic; Bus Rapid Transit (BRT); rail transit; commuting express line; small bus circulating lines

收稿日期: 2019-06-11

作者简介: 罗航(1990—), 男, 云南昆明人, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 城市公共交通运输规划。

E-mail: 896882064@qq.com

自2007年以来, 成都市多次开展公共汽车线网优化工作, 逐步完善了“快+干+支+微”四层级全覆盖的服务体系, 城市核心区公共汽车线网规模、车辆档次和运营服务水平持续提升并位居中国前列。随着2017年成都市发布新一轮城市总体规划, 提出将中心城区范围由原“5+1”城区扩大至“11+2”区域, 城市空间格局将发生历史性变化, 未来城市建设发展将持续加快, 城市人口规模和机动化出行需求将进一步增加, 现有公共交通服务网络和供给能力将面临较大挑战。

同时, 随着成都市轨道交通建设力度持续加大, 轨道交通正加速成网并逐渐完善, 城市公共交通发展方向、居民公共交通结构、公共汽车和城市轨道交通的角色定位都在发生重大转变。因此, 在城市空间布局扩张、轨道交通加速成网以及乘客对差异化、个性化等高品质公共交通出行需求日益增加的背景下, 通过对多源客流大数据的整合挖掘分析, 以公共交通供给侧结构性改革为主要抓手, 以面向乘客服务体验提升为目标, 成都市系统开展了中心城区公共汽车线网优化工

作,重点构建了“两快一微”的快速网络体系,形成了与城市轨道交通和非机动交通系统功能层次清晰、线网高效衔接、运营协调互补的公共汽车线网布局,对中国同类城市公共汽车交通系统的健康、可持续发展具有借鉴意义。

1 公共汽车快速网络需求分析

1.1 成都市公共交通发展概况

成都市轨道交通发展强劲,中运量公共交通建设加快,公共汽车持续优化,特色公交(例如定制公交、校车公交等)崭露头角,形成了以城市轨道交通和中运量公共交通为骨干、公共汽车为主体、非机动车为延伸的多方式公共交通线网系统。

1.1.1 城市轨道交通

截至2019年,成都市运营城市轨道交通线路6条,总运营里程约180 km,2019年日均客运量394万人次·d⁻¹,高峰时段客运量集中在1号线区域。同时,在建城市轨道交通线路数达9条,总里程达335.8 km,预计至2022年,成都市轨道交通线路将形成515 km“米+环+放射”的运营网络^[1]。

1.1.2 快速公共汽车交通

成都市二环快速公共汽车交通(Bus Rapid Transit, BRT)从2013年5月31日开始运行,营运线路4条(二环路内环线K1, K1A线;二环路外环线K2, K2A线),线路总长30.5 km,沿途共设29个车站,平均站间距1 040 m。采用中央岛式站台(设置两个停车位),站台长43 m、宽5 m,配置自动扶梯、售检票系统、进站闸机、安全门等站外售票设施,配备18 m低地板大容量车辆278台,实现水平登乘。

2017年工作日均客运量约27万人次·d⁻¹,其中高峰2 h客运量13万人次,占全日客运量的48%。日均发车班次达1 600班,平峰时段发车频率为3 min·班⁻¹,高峰时段最短发车频率为30 s·班⁻¹。

同时,根据城市轨道交通线网规划,结合规划快速路改造条件,成都市BRT线网规划为“一环五射”系统,以二环路BRT为核心,沿放射性主干路布设五条射线^[2](见图1)。

1.1.3 公共汽车交通

截至2017年末,成都市“5+1”城区运营公共汽车线路达478条,线网密度3.0 km·km⁻²,500 m车站覆盖率超过99.5%,运

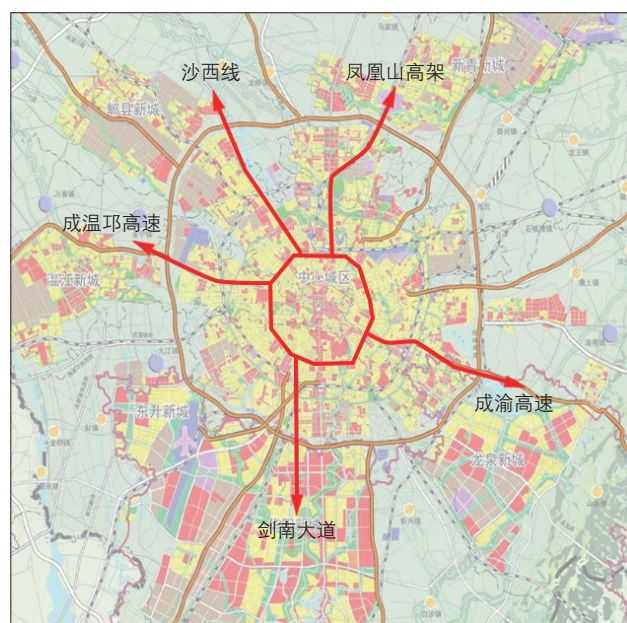
行车辆10 381辆,日均客运量达到375.4万人次·d⁻¹,同时,“5+1”城区内设置公交专用车道702 km,占用道路长度达357 km。“5+1”城区内高峰时段公共汽车平均运营车速为16.9 km·h⁻¹。

1.2 公共汽车交通发展困境与挑战

近年来,成都市轨道交通处于跨越式发展时期,随着城市轨道交通加速成网,在城市公共交通系统中的骨干作用逐步凸显,截至2017年末,城市轨道交通客运量占公共交通的比例已超过45%。而与此同时,公共汽车和BRT的客运量自2014年起连续3年持续性下滑(见图2)。根据《2017年交通运输



a 现状



b 在建

图1 成都市BRT系统

Fig.1 Chengdu BRT system

资料来源:文献[1]。

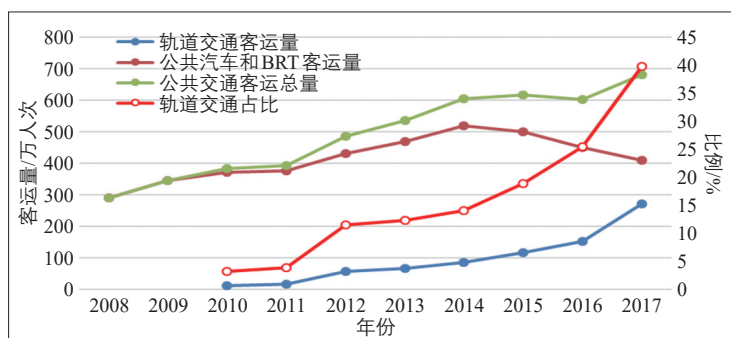


图2 成都市历年公共交通客运量变化

Fig.2 Change in volume of public transit over the years in Chengdu

资料来源：文献[1]。

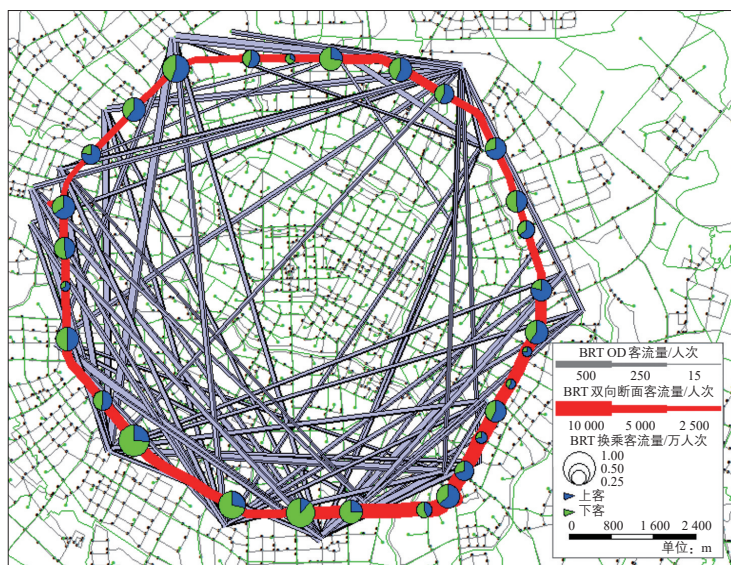


图3 成都市早高峰时段二环BRT客流分布

Fig.3 Distribution of BRT passenger flow on the 2nd ring road of Chengdu during morning peak hours

资料来源：文献[1]。

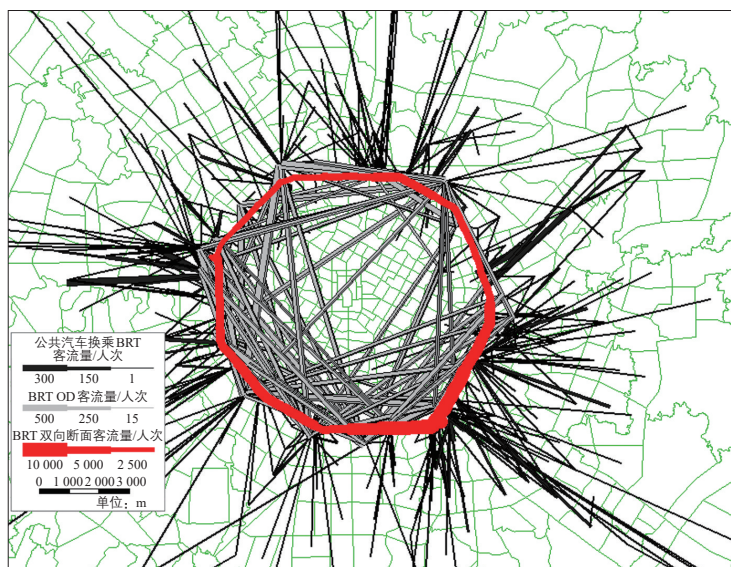


图4 成都市早高峰时段二环BRT与公共汽车换乘需求期望线

Fig.4 Transfer demand desire lines of BRT and buses on the 2nd ring road in Chengdu during morning peak hours

资料来源：文献[1]。

行业发展统计公报》数据^[3]，全国公共汽车和BRT客运量已经连续3年下降，超(特)大城市如上海、广州、南京、深圳、大连等，均面临着公共汽车和BRT线路规模、车辆总量、财政补贴等不断增加而客运量持续下降、增长乏力的新常态。公共汽车交通如何与轨道交通等大中运量公共交通一体化协调发展，找准定位、错位发展、增质提效并寻求自身的增长点，成为成都市公共汽车交通发展面临的最大挑战。具体表现在以下方面：

1) 高品质BRT网络覆盖有限，环形封闭与客流需求不匹配。

BRT作为成都市公共汽车交通中高品质、大容量、快速化的系统，自2013年开通运营便取得了良好效果，但现状BRT网络仅限于二环高架廊道内，对整个城市的服务覆盖极为有限，且环线封闭式的线路设计与实际客流需求不匹配，导致日均27万人次·d⁻¹的客运量已难以增长。根据现状早高峰时段的客流分析结果(见图3)，BRT平均乘距9.6 km，客流需求集中在左下半环，东北部断面满载率较低，下客集中在南端(红牌楼西站至人南立交东站)，同时BRT客流中超过30%是由其他公共汽车线路换乘而来(见图4)。可见，封闭式环线并非客流的主要走向，不仅大量客流需要立体换乘，而且为保障最大客流断面的运力配置，环形线路设计还会存在运力的浪费。因此，成都市需要加快“一环四射”BRT廊道建设(主要覆盖非轨道交通走廊)，并开展线路优化设计，进一步增强骨干BRT网络的覆盖。

2) 功能层次缺乏大站距快线，三环外公共汽车出行时耗长。

成都市已初步构建“快、干、支、微”的公共汽车网络体系(见表1)，根据现状层级划分标准，快线与干线同质化严重，空间布局、线路长度、站间距、运营速度等缺乏差异，功能定位不清，现状快线的运力配置及服务水平替代干线承担了公共汽车的主要客流，未能真正实现快线大站距、速度快、直达性强的功能。

大站距公共汽车快线网络的缺失导致成都三环外非轨道交通走廊的中长距离客流出行时耗过长，服务水平不足。根据成都公共交通出行时耗(含城市轨道交通、BRT及公共汽车)评估结果(见图5)，“5+1”城区内公共交通出行时耗在45 min以上的客流占24%，其中95%以上分布在三环以外区域，而

三环内公共交通出行时耗在 35 min 以内的比例超过 85%。因此，亟待优化公共汽车层次，提升三环外中长距离的公共交通服务水平。

3) 接驳轨道交通的公共汽车未充分发挥喂给作用，微循环接驳有待优化。

逐渐成网的轨道交通与公共汽车线网整合优化尚显不足，主要体现在接驳公共汽车没有充分发挥对轨道交通的客流喂给作用。根据轨道交通车站乘客换乘调查结果，乘坐轨道交通的乘客中 18% 由公共汽车换乘而来，其中社区巴士仅为 3%，出行首末 1 km 接驳公共汽车线路有待进一步优化，特别是三环以外区域；部分交通小区公共汽车接驳轨道交通的时耗偏长，18% 的公共汽车(含社区巴士)乘客换乘轨道交通时耗超过 20 min，接驳效率有待提升(见图 6)。

2 公共汽车快速网络体系构建

依据城市发展规划和城市轨道交通发展情况，成都市需要构筑以城市轨道交通、BRT、公共汽车、特色公交为主要载体，“多网合一、枢纽锚固”，多方式、一体化、全覆盖的公共交通体系(见图 7)。结合城市形态和土地利用情况、城市道路网形态及密度、公共汽车场站及公交专用车道布局等综合因素，在充分考虑公共汽车线网历史性与延续性的基础上，成都市中心城区应构建由“快、干、支、微、特”多级线网(见表 2)共同形成的“环+放+折”罗盘式公共汽车网络格局(见图 8)。

2.1 开放式BRT线网设计

为进一步发挥成都市BRT的优势，充分利用现状及规划的BRT车道资源以及公交专用匝道，丰富完善BRT网络，设计形成由“7条廊内主线+4条廊外支线”构成的开放式BRT线网，大幅增强高品质BRT网络的覆盖及服务能力。

其中，按照成都市BRT体系规划的“一环五射”廊道建设，包括二环路、凤凰山高架、成渝高速、剑南大道、日月大道、沙西线等，已开通7条廊内主线(K1—K7路，见图 9a)。

同时，根据二环主要客流走向规划开行BRT支线，进一步吸引客流。由于成都市BRT系统设计均为高架单子站台且未设置超车

求(20~60班次·h⁻¹)，即单向最大断面车流量应在 60 班次·h⁻¹ 以内^[4]，得到每个站台停靠时间最高限度为 50 s·辆⁻¹。根据二环主要客流走向规划开行4条BRT支线(K11—K14路，

表1 成都市现状公共汽车线网层次

Tab.1 Hierarchy of bus network in Chengdu

分类	功能	非直线系数	车型/m	高峰时段发车频率/(min·班 ⁻¹)
快线	覆盖城市主要干路，区域间快速通达	≤1.2	12~18	2~3
干线	连通主次干路，直达与转换功能兼具	<1.4，最大不超过1.6	12	4~6
支线	衔接支路，增加线网覆盖深度		7~10	6~8
微循环	穿街进巷微循环，方便片区出行		<7	≤5

资料来源：文献[1]。

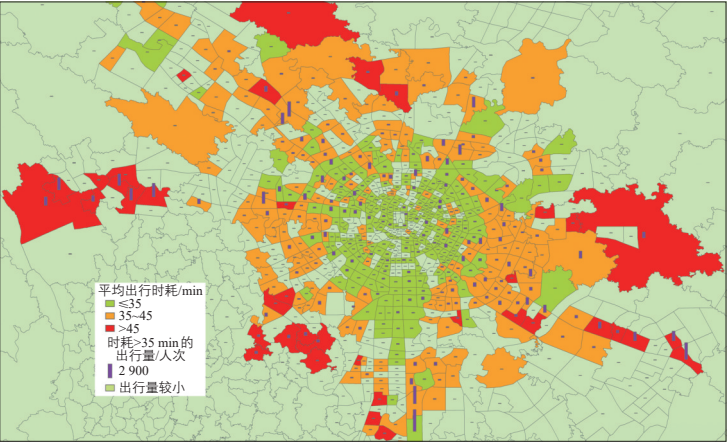


图5 成都市公共交通出行时耗分布

Fig.5 Distribution of travel time of public transit in Chengdu

资料来源：文献[1]。

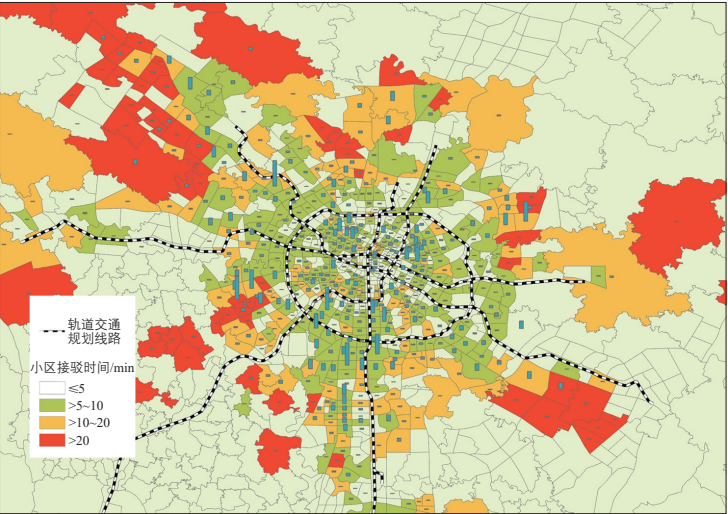


图6 成都市公共汽车接驳轨道交通时耗分析

Fig.6 Transfer time between bus and rail transit in Chengdu

资料来源：文献[1]。

见图9b),并合理配置线路发车班次,满足各条支线最大断面客流量可通过的同时,保障单子站不会因为引入BRT支线产生站台处的拥堵和排队(见表3)。线路运行于高架桥

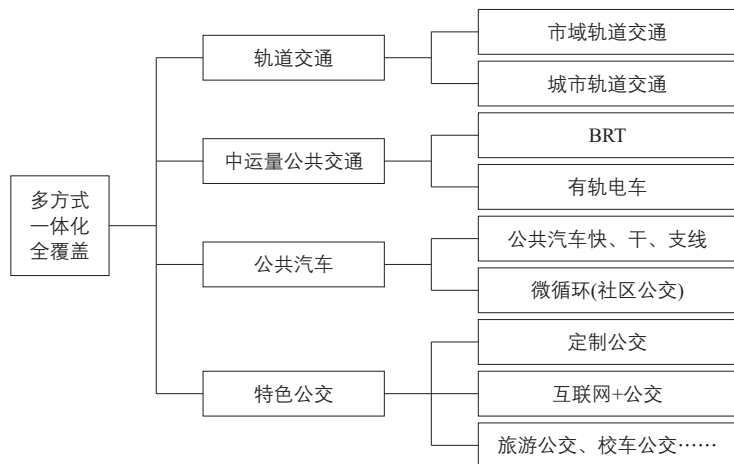


图7 成都市公共交通体系构成

Fig.7 The structure of public transit system in Chengdu

资料来源:文献[1]。

表2 成都市中心城区公共汽车线路约束性指标

Tab.2 Restrictive indicators for bus lines in Chengdu central area

线路分级	快线	干线	支线	微循环线
线路长度/km	10~25	12~20	6~12	<6
平均站间距/m	≥800	400~800	300~500	<400
非直线系数	≤1.2	≤1.4	≤1.8	无要求
优先配套设施	允许进入城市快速路运行,公交专用车道全线覆盖率≥50%	公交专用车道全线覆盖率≥60%		

注:特色公交不做硬性指标要求。

资料来源:文献[1]。

与地面道路,采用预售票站台与公共汽车站台混合运行模式。

其中,支线K11路(金沙公交站—二环高架—神仙树高架—天府二街东)已于2018年9月20日开通运营,日客运量达5.5万人次·d⁻¹,取得了较好效果,预计成都市BRT支线开通使BRT体系高峰客流量有显著提升。

2.2 通勤大站快线网络设计

面向三环外中长距离客流在高峰时段乘坐公共汽车拥挤及时耗长的困境,同时缓解高峰时段轨道交通部分区段客流拥挤的难题,在三环周边大型居住片区开展通勤大站快线网络设计,进一步丰富完善既有公共汽车线网层次。

高峰时段通勤大站快线体系以主要放射性客流走廊为载体,覆盖绕城区域至二环。根据成都市公共交通出行时耗评估及其出行期望分布情况(见图10),重点选取三环外24个特征小区(平均出行时耗≥45 min,且高峰小时出行量≥1 000人次),根据客流需求分片区、分廊道逐一进行快线网络线路的规划设计;同时该体系所有快线充分利用公交专用车道、快速路、跨线桥及下穿隧道,沿途以中长站距为主,三环以内少设站,平均站间距为1.0~1.5 km,提高运营速度;线路均可同台换乘二环BRT及地铁7号线,并于沿途车站向乘客公布发车间隔信息,与二环路BRT形成“环+放射”通勤网络。

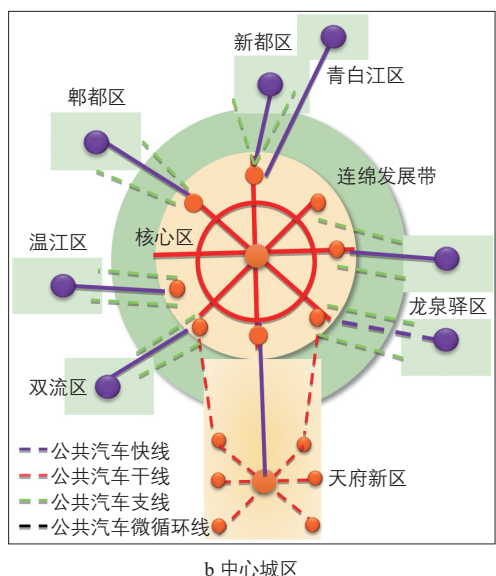
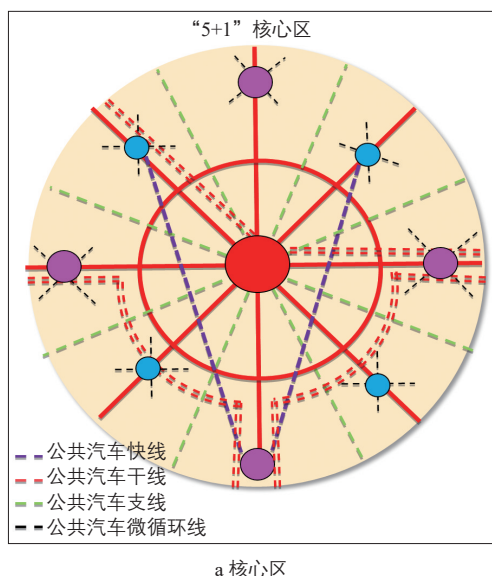
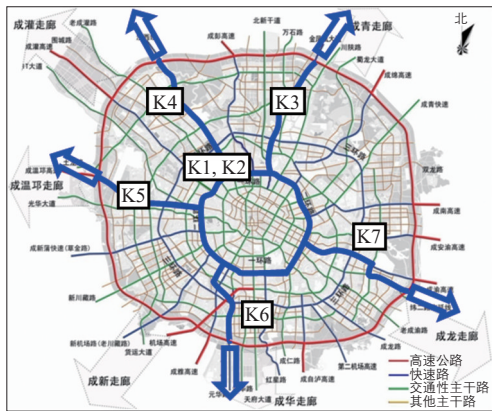


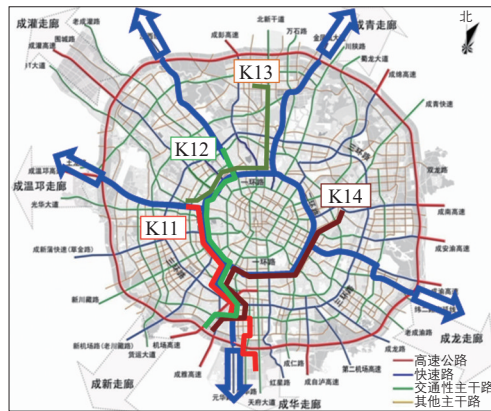
图8 成都市中心城区公共汽车线网模式及形态

Fig.8 Patterns of bus line network in Chengdu central area

资料来源:文献[1]。



a 主线



b 支线

图9 成都市开放式BRT系统网络设计

Fig.9 Open network design of BRT system in Chengdu

资料来源：成都市公共交通集团有限公司。

首批规划了12条通勤大站快线，目前已开行10条线路(G1, G2, G4, G5, G6, G7, G9, G10, G11, G12路)，分别覆盖大丰、安靖、犀浦、中海国际、空港基地、中和、上东阳光、龙潭工业园等三环外人口集中区域(见图11)。线路开行后，高峰小时客运量超过2.6万人次，线路运营速度由以往的高峰时段 $12\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 提高至 $20\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 。12条线路全部开通后，可保证三环外人口集中区域服务全覆盖。

2.3 微循环接驳网络优化

2013年7月，成都市对市民推出社区巴士线路，针对市民出行不便的区域和公共交通服务盲区，按照社区巴士功能特点进行新增和开行工作，满足市民前往二环路BRT、轨道交通线路的换乘需求以及前往社区周边大型集散中心的短距离出行需求，为市民提供短距离末端出行服务，解决市民公共交通出行首末1 km问题。

结合现状微循环网络评估，围绕成都市轨道交通、BRT廊道等骨干公共交通建设计划，通过优化调整及线路新辟，重点增强二环至四环接驳不畅区域内(18%的公共汽车乘客接驳轨道交通时耗 $>20\text{ min}$)的公共汽车接驳服务，精准覆盖75个公共汽车接驳轨道交通盲区(实际步行距离 $>500\text{ m}$)，实现“5+1”城区内居住小区一次乘车可接驳轨道交通及BRT车站。最终形成独具特色的成都市公共汽车微循环接驳网络(见图12，合计112条、单条线路长度 $<6\text{ km}$ 、刷卡免费等)，填补出行首末1 km服务空白，强化与骨干公共交通网络的一体化衔接，提升公共交通网络化

表3 BRT支线高峰小时客流及发车班次预测结果

Tab.3 Forecasting results of passenger flow and departure schedule of feeder BRT routes during peak hours

线路	高峰2 h线路客流量/ 人次	高峰小时发车班次/ 班	高峰小时发车间隔/ (min·班 ⁻¹)
K11	5 422	15	4
K12	5 028	15	4
K13	5 352	15	4
K14	9 783	20	3
K1, K2		20	3

资料来源：成都市公共交通集团有限公司。

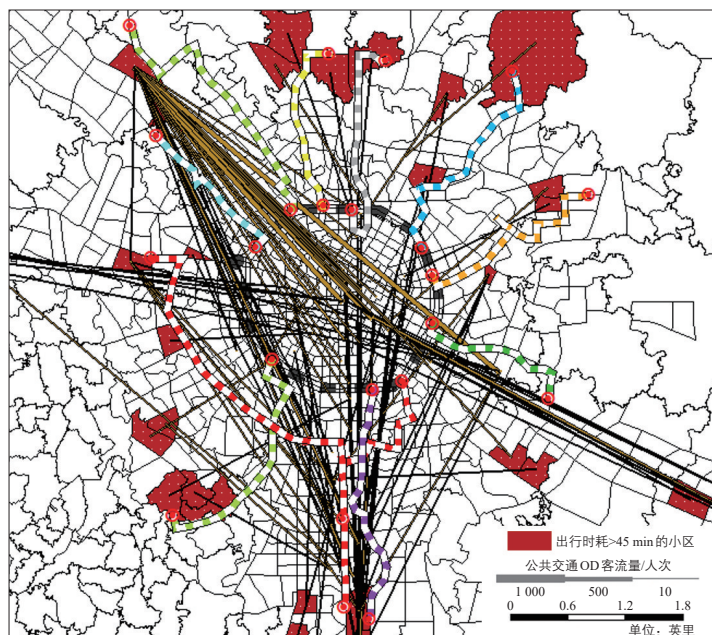


图10 三环外早高峰时段公共交通长距离客流分布

Fig.10 Distribution of long-distance passenger flow of public transit out of the 3rd ring road during morning peak hours

资料来源：成都市公共交通集团有限公司。

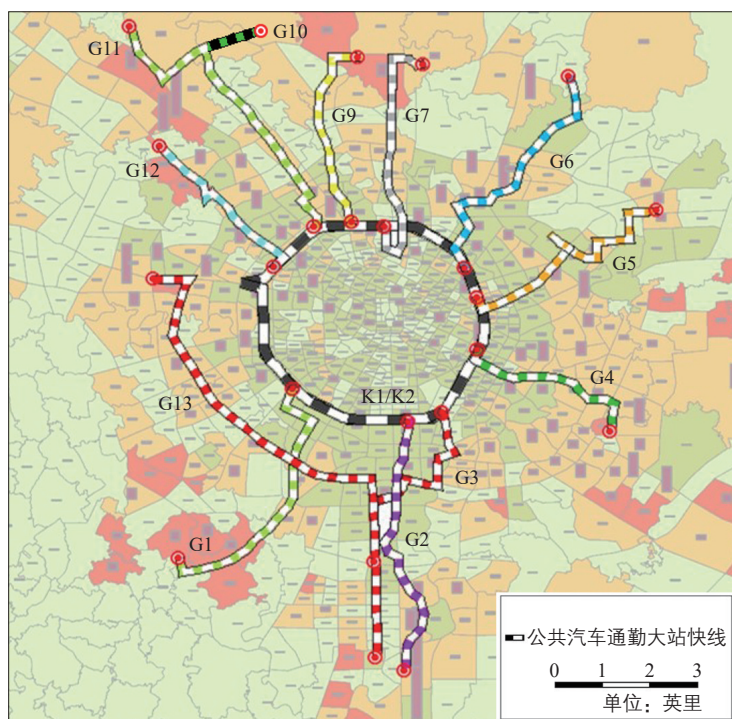


图11 成都市中心城区通勤大站快线网络

Fig.11 Commuting express line network in Chengdu central area

资料来源：成都市公共交通集团有限公司。

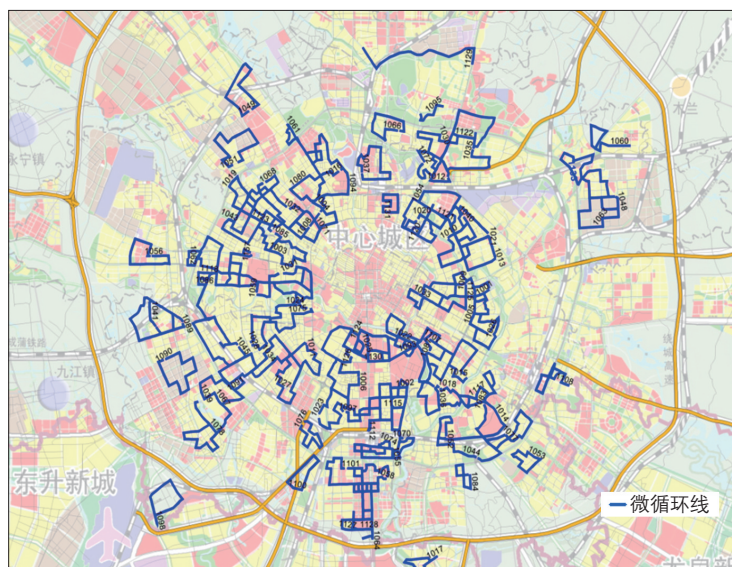


图12 成都市公共汽车微循环接驳网络

Fig.12 Connecting small bus circulating network in Chengdu

资料来源：百度地图。

出行效率。

同时结合道路通行条件及场站设施，计划逐步推广定时定点线路，所有站台公共汽车到站时间上牌，为市民提供准点服务，提升公共汽车运营效率。

3 结语

在轨道交通加速成网的背景下，通过构建成都市公共汽车“两快一微”的快速网络体系，包括开放式BRT线网设计、通勤大站快线网络设计及微循环接驳网络优化，实现了公共汽车与轨道交通的互补协作、一体衔接，进一步强化了骨干公共交通的覆盖与服务水平，为居民便捷出行和城市空间发展提供了有力保障。受限于目前数据获取及处理水平，本文主要针对公共汽车内部客流需求及既有公共汽车线网系统进行了优化改善及方案制定，对于公共汽车系统外部出行的动态化需求缺乏系统地分析及运用，后续研究中可结合居民出行需求调查、手机信令数据挖掘应用等技术手段，进一步优化完善公共汽车网络布局。

参考文献：

References:

- [1] 成都市交通发展研究院. 2017年成都市交通发展年度报告[R]. 成都：成都市交通发展研究院，2017.
- [2] 成都市市政工程设计研究院. 成都市快速公交体系规划编制方案(审定版)[R]. 成都：成都市市政工程设计研究院，2017.
- [3] 中华人民共和国交通运输部. 2017年交通运输行业统计公报[R]. 北京：中华人民共和国交通运输部，2017.
- [4] 交通与发展政策研究所. 快速公交(BRT)规划设计指南[M]. 广州市市政工程设计研究院，编译. 广州：广东科技出版社，2011.

(上接第116页)

- [8] Soumya Dey PE, Ma Jianming. Reversible Lane Operation for Arterial Roadways: The Washington, DC, US Experience[J]. Institute of Transportation Engineers Journal, 2011, 81 (5): 26-28+33-35.
- [9] Golub A. Perceived Costs and Benefits of Re-

versible Lanes in Phoenix, Arizona[J]. ITE Journal, 2012, 82(2): 38-42.

- [10] Wolshon B, Lambert L. Convertible Roadways and Lanes[J]. Nchrp Synthesis of Highway Practice, 2004, 340: 30-60.