

重庆市璧山区云巴1号线客流时空特征分析

吴祥国¹, 张建嵩¹, 翟长旭¹, 余梓冬¹, 刘晨辉^{2,3,4}

(1.重庆市交通规划研究院, 重庆 401147; 2.湖南大学土木工程学院, 湖南 长沙 410082; 3.湖南大学重庆研究院, 重庆 401120; 4.重庆大学山地城镇建设与新技术教育部重点实验室, 重庆 400045)

摘要: 云巴是一种重要的低运量城市轨道交通制式。以重庆市璧山区云巴1号线作为研究对象, 从时间和空间两个维度、线路和车站两个层面, 选取全日与早高峰时段的相关客流指标进行系统性解析, 并与重庆市中心城区轨道交通1号线客流指标进行对比分析, 评估云巴1号线的运营表现。研究表明: 璧山区云巴1号线客流时间分布形态与中心城区轨道交通1号线较为相似, 但工作日客流高峰小时系数较低, 节假日较高; 云巴1号线的客流空间分布特征也与轨道交通1号线较为相似, 包括线路断面客流形态、方向和断面不均衡性等特征, 但云巴1号线主要承担了沿线中长距离客流, 平均运距占线路长度比例较大。最后, 从沿线用地开发、公共交通一体化、运营服务以及网络效应等方面对云巴1号线的发展提出了优化对策建议。

关键词: 低运量城市轨道交通; 云巴; 客流时空特征; 重庆市

Spatial and Temporal Characteristics of Passenger Flow of Yunba Line 1 in Bishan District, Chongqing

WU Xiangguo¹, ZHANG Jiansong¹, ZHAI Changxu¹, YU Zidong¹, LIU Chenhui^{2,3,4}

(1. Chongqing Transport Planning Institute, Chongqing 401147, China; 2. College of Civil Engineering, Hunan University, Changsha Hunan 410082, China; 3. Research Institute of Hunan University in Chongqing, Chongqing 401120, China; 4. Key Laboratory of New Technology for Construction of Cities in Mountain Area, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

Abstract: Yunba is an important urban low-capacity rail transit system. Taking the Yunba Line 1 in Bishan District, Chongqing as the research subject, this paper systematically analyzes relevant passenger flow indicators during the entire day and the morning peak hours from temporal and spatial dimensions, as well as from the level of the line and its stations. A comparative analysis is conducted with Chongqing Subway Line 1 to evaluate the operational performance of Yunba Line 1. The results show that the temporal distribution of passenger flow in Yunba Line 1 in Bishan District is similar to that of Subway Line 1 in the central city's rail transit system. However, it exhibits lower peak-hour coefficients on weekdays and higher coefficients during holidays. The spatial distribution characteristics of passenger flow on Yunba Line 1 are also similar to Chongqing Subway Line 1, including passenger flow patterns, direction, and section imbalances. Notably, Yunba Line 1 primarily caters to medium- and long-distance passenger flow along the route, with a relatively large proportion of the average travel distance to the line length. Finally, optimization strategies and recommendations are proposed for the development of Yunba Line 1 in terms of land development along the route, integration with public transportation, operational services, and network effects.

Keywords: low-capacity urban rail transit; Yunba; spatial-temporal characteristics of passenger flow; Chongqing

收稿日期: 2023-01-12

基金项目: 山地城镇建设与新技术教育部重点实验室开放基金资助“山地城市轨道交通网络韧性评价体系研究——以重庆为例”(LNTCCMA-20230102)、长沙市科技计划项目“地铁时代长沙市常規公交发展战略研究”(kh2201042)、中央高校基本科研业务费专项资金项目(531118010636)

作者简介: 吴祥国(1986—), 男, 山东聊城人, 教授级高级工程师, 主要研究方向: 交通模型与交通信息化。E-mail: wxiangguo@126.com

通信作者: 刘晨辉(1987—), 男, 山东济宁人, 博士, 教授, 主要研究方向: 交通安全、公共交通等。E-mail: chenhuiliu@hnu.edu.cn

0 引言

《交通强国建设纲要》《国家综合立体交通网规划纲要》均提出了优先发展城市公共交通特别是城市轨道交通,鼓励引导绿色可持续交通出行的要求^[1-2]。为了促进城市轨道交通规范有序发展,《关于进一步加强城市轨道交通规划建设管理的意见》(国办发〔2018〕52号)对申报地铁、轻轨等大中运量城市轨道交通的城市提出了更高的指标要求,包括城市的城区常住人口、地区生产总值、一般公共财政预算收入、线路初期客运强度、项目财政资本金比例等,审批日趋从严从紧^[3]。相比而言,有轨电车等低运量城市轨道交通的审批较为宽松,住房和城乡建设部、国家发展改革委联合印发的《“十四五”全国城市基础设施建设规划》也鼓励因地制宜推动低运量轨道交通系统规划建设,这也为低运量轨道交通的发展迎来了契机^[4]。

根据《城市公共交通分类标准》(CJJ/T 114—2007)、《城市轨道交通工程基本术语标准》(GB/T 50833—2012)、《城市轨道交通分类》(T/CAMET 00001—2020)等标准,低运量城市轨道交通系统单向高峰小时运输能力一般为1万人次·h⁻¹以下。云巴是具有独立路权的导轨式胶轮电车系统,最高设计时速为80 km·h⁻¹,采用蓄电池储能供电,每辆车额定载客70人,属于低运量城市轨道交通系统。

根据相关报告,截至2021年底,中国大陆地区共有50个城市开通城市轨道交通,运营线路283条,运营线路总长度9 206.8 km^[5]。其中,地铁运营线路7 209.7 km,占78.3%;低运量的有轨电车、云巴线路分别为503.6 km、15.4 km,分别占5.5%和0.2%。

国内部分学者分析了城市轨道交通的客流时空出行特征^[6-9],但缺乏对云巴线路及其车站时空客流特征的系统性研究。本文以重庆市璧山区云巴1号线作为研究对象,从时间与空间两个维度、线路与车站两个层面,选取全日与早高峰的相关客流指标进行系统性解析,并与中心城区轨道交通1号线进行对比分析。

1 璧山区概况

1.1 璧山区空间区位和人口

璧山区是重庆市主城都市区范围内的21

个行政区之一,位于中心城区(包含9个行政区)以西,是主城新区(包含12个行政区)范围内毗邻中心城区的一个行政区,中心城区的同城化先行区之一,东西宽15.5 km,南北长66.5 km(见图1)。截至2021年底,璧山区常住人口为75.84万人,城镇人口为54.5万人,城镇化率达71.86%;中心城区常住人口为1 038.99万人,城镇人口为967.58万人,城镇化率达93.13%。璧山区总体规模相对较小,常住人口约为中心城区的7.3%,城镇人口约为中心城区的5.6%。

1.2 璧山区轨道交通线路

截至2021年底,重庆中心城区共计开通运营8条轨道交通线路(包括轨道交通1号线、2号线、3号线、4号线、5号线、6号线、10号线和环线,其中3号线含北延伸线、6号线含国博支线),已基本形成“环+放射”形态的轨道交通网络,实现了中心城区9个行政区和毗邻中心城区的璧山区均有轨道交通线路覆盖,线网总长度369.5 km,轨道交通车站193座(其中换乘站22座)(见图2)。其中,中心城区轨道交通1号线(朝天门

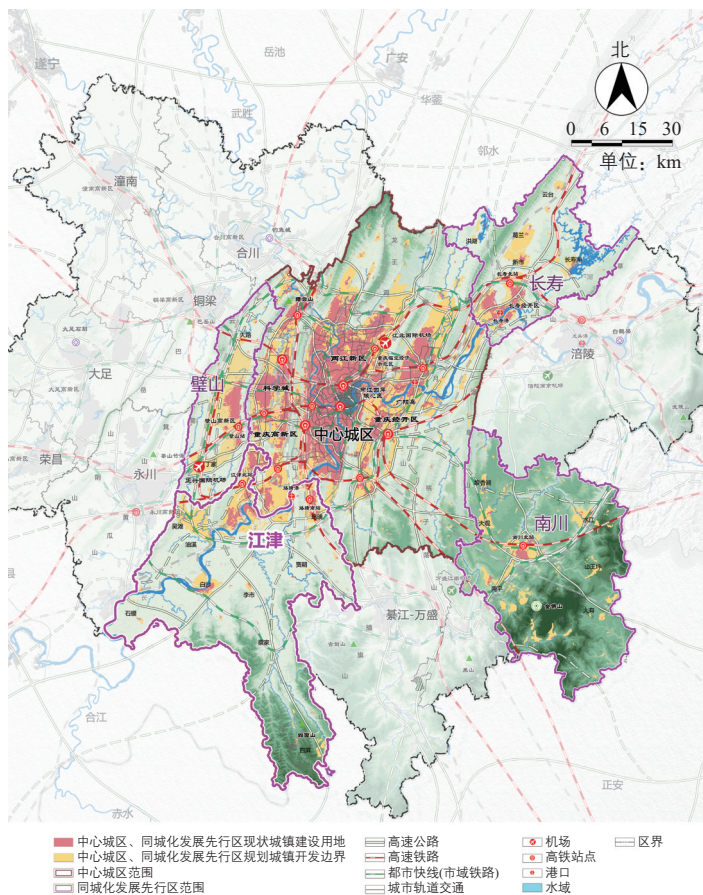


图1 璧山区空间区位

Fig.1 Spatial location of Bishan District

站—璧山站)呈东西走向,东起渝中区朝天门站,经九龙坡区、沙坪坝区,向西延伸至

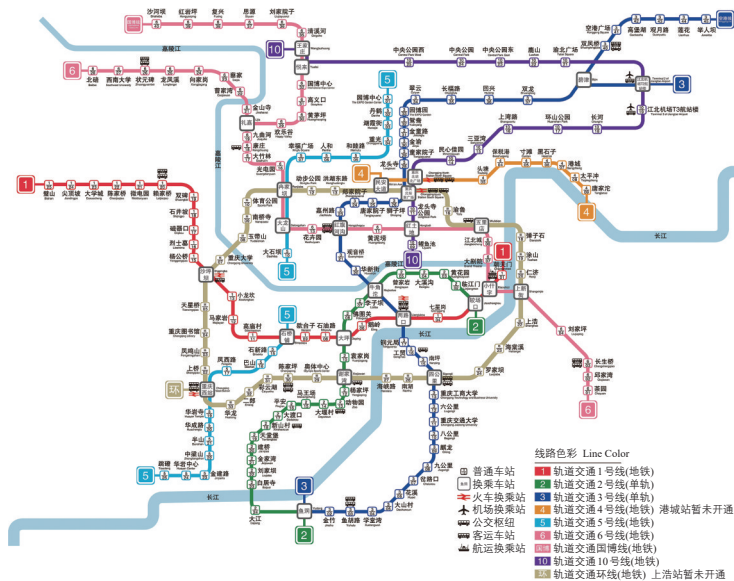


图2 中心城区轨道交通线网
Fig.2 Rail transit network in central city

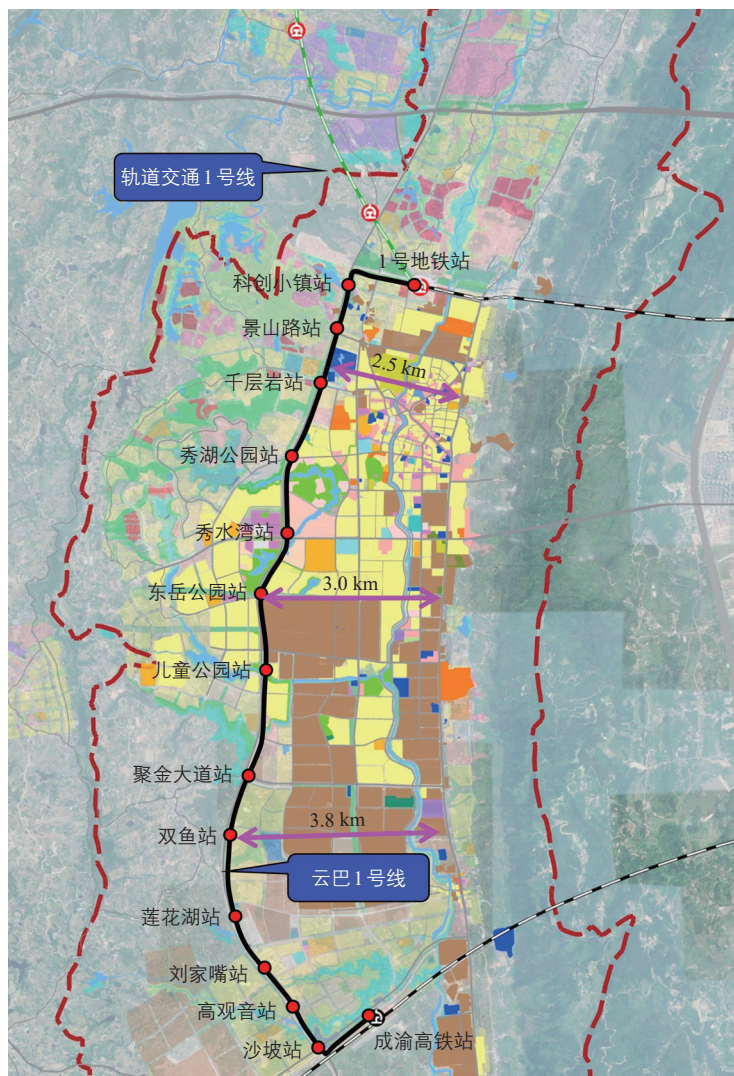


图3 璧山区云巴1号线
Fig.3 Yunba Line 1 in Bishan

璧山区璧山站,线路全长45.3 km,设25座车站,平均站间距约1.9 km。同时,璧山区已开通运营云巴1号线(成渝高铁站—1号地铁站),线路呈南北走向,主要沿虎峰大道、黛山大道、六旗大道布设,可分别在1号地铁站、成渝高铁站与中心城区轨道交通1号线、成渝高铁实现站外换乘衔接,线路全长15.4 km,设15座车站,均为高架车站,平均站间距约1.1 km(见图3)。

1.3 璧山区公共交通运行特征

随着社会经济水平的提高,璧山区机动化出行比例快速增长,步行与非机动车出行比例快速下降。根据2009年、2018年居民出行调查统计结果,步行与非机动车出行比例由2009年的67%下降为2018年的52%。2021年,全区民用汽车拥有量为12.31万辆,近5年年均增长9%左右,千人汽车拥有量为162辆,已接近中心城区187辆的千人汽车拥有量水平。

璧山区公共交通发展水平相对较低,公共汽车运行速度不高。璧山区共有29条公共汽车线路,其中城区18条,运营里程460 km,平均线路里程为25.6 km,线网密度为0.5 km·km⁻²。公共汽车日均客运量17.98万人次,客流主要分布在璧泉街道的金剑路、璧渝路等几条南北向道路上,也是发展较为成熟的传统核心区域。城区公共汽车运行速度为12 km·h⁻¹,低于中心城区的14.3 km·h⁻¹,公共汽车运行效率较低。

璧山区轨道交通正处于快速发展阶段,已开通线路仅有轨道交通1号线和云巴1号线,其中轨道交通1号线璧山站日均客运量为2.2万人次。云巴1号线于2021年4月16日开通运营,全程运行速度为23.1 km·h⁻¹,高峰时段发车间隔为9 min,平峰时段发车间隔为13 min。2021年累计运营里程为120.5万 km,累计客运量为191.4万人次,日均运营里程为0.39万 km,日均客运量为0.62万人次,日均客运强度为0.04万人次·km⁻¹,单日最大客运量(节假日)达1.96万人次,单日最大客运强度为0.13万人次·km⁻¹。

2 客流时间分布特征

本节重点研究城市轨道交通客流在一日内不同出行时刻表现出的时间分布特征,这主要受居民出行目的、出行习惯、出行时间

可靠性、节假日与否、居住与就业岗位区位以及城市规模等多种因素影响。

2.1 线路工作日客流时间分布特征

云巴1号线与轨道交通1号线的客流出行时间分布特征基本一致，具有明显的早晚高峰双峰型特征，但云巴1号线早晚高峰小时系数均小于轨道交通1号线，客流分布相对均衡(见图4)。按照轨道交通出站时间进行线路出行时间分布特征分析，线路早高峰时段均为8:00—9:00，云巴1号线高峰小时系数为10.1%，明显小于轨道交通1号线的13.9%；晚高峰时段均为18:00—19:00，云巴1号线高峰小时系数为9.7%，略小于轨道交通1号线的11.1%。

重庆市璧山区与中心城区上下班时间、轨道交通运营时间基本一致，分别为9:00—18:00、6:30—22:30。工作日云巴1号线与轨道交通1号线均呈现明显的双峰型特征，体现了二者主要服务于上下班、上下学等通勤出行目的的功能。云巴1号线早晚高峰小时系数相对较低，主要有以下原因：1)主要服务于璧山区城区内部交通出行，城区规模相对较小，居民出行距离和时耗也相对较短，与中心城区轨道交通相比，通勤出行功能相对较弱，高峰时段出行集中度相对较低；2)服务区域主要是城区外围拓展区域，服务人群类型多样，弹性出行功能相对较强；3)具有较强的旅游、娱乐等非通勤功能，平峰时段客流占比较大。

2.2 线路节假日客流时间分布特征

云巴1号线沿线布局了丰富的娱乐、亲子游憩资源，如秀湖公园、枫香湖儿童公园、东岳体育公园和登云公园等，节假日吸引了璧山区和中心城区大量的游客乘坐轨道交通1号线和云巴1号线前来游玩。云巴1号线节假日客流明显高于工作日客流，以2022年1月为例，工作日日均客运量为0.5万人次，元旦期间日均客运量为0.97万人次，即元旦节假日客流约为工作日客流的2倍。节假日客流出行时间呈现弱双峰型、强单峰型客流出行特征，且高峰时段与工作日明显不同(见图5)。弱早高峰时段出现在10:00—11:00，比工作日高峰时段延迟2h，高峰小时系数为7.47%，明显低于工作日早高峰。强晚高峰时段出现在15:00—16:00，比工作日高峰时段提前3h，高峰小时系数为12.01%，

明显高于工作日早晚高峰。

3 客流空间分布特征

云巴1号线沿线的土地利用模式是乘客出行活动的基础，决定了人口和就业岗位分布，塑造了客流在线路与车站层面的空间分布特征。

3.1 线路客流空间分布特征

3.1.1 断面客流形态

与中心城区轨道交通1号线断面客流形态相似，云巴1号线工作日与节假日全日断面客流量均呈双向均衡分布，最大断面出现在千层岩站—秀湖公园站(见图6)，工作日与节假日高断面客流量分别为0.21万人次·d⁻¹、0.42万人次·d⁻¹。云巴1号线北段的1号地铁站—儿童公园站之间的用地开发相对成熟，

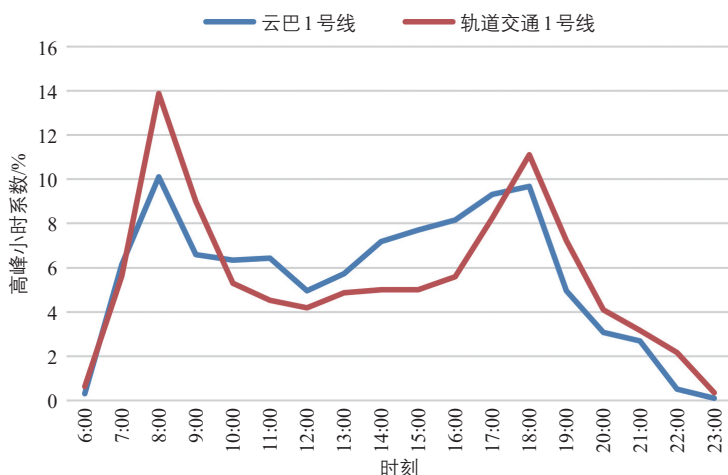


图4 云巴1号线与轨道交通1号线客流出行时间分布

Fig.4 Passenger flow temporal distribution of Yunba Line 1 and Subway Line 1

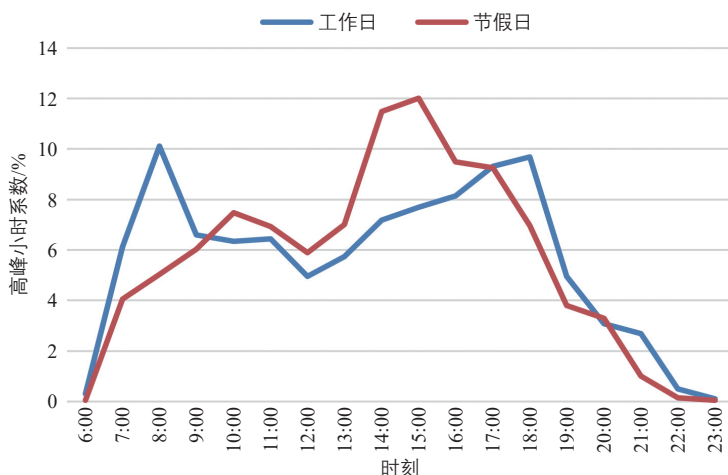


图5 云巴1号线工作日与节假日客流出行时间分布

Fig.5 Passengers' travel time distribution of Yunba Line 1 on weekdays and holidays

人口和就业岗位相对密集；云巴车站1号地铁站与轨道交通1号线车站璧山站之间可以进行换乘，实现中心城区与璧山区快捷的轨道交通联系。因此，云巴1号线断面客流形态呈纺锤形，高断面区间出现在开发较为成熟的北段。

与中心城区轨道交通1号线断面客流形态一致，云巴1号线也存在早高峰上下行方向不平衡特征(见图7)。因沿线政府、企业、商业、公园等机构布局相对较多，工作日早高峰与节假日晚高峰高断面区间均出现在1号地铁站—成渝高铁站方向。云巴1号线工作日早高峰与节假日晚高峰小时断面客流分布均呈纺锤形，高峰小时高断面均出现在千层岩站—秀湖公园站，单向断面客流量分别为262人次·h⁻¹、577人次·h⁻¹。

3.1.2 方向和断面不平衡性

云巴1号线与轨道交通1号线断面客流

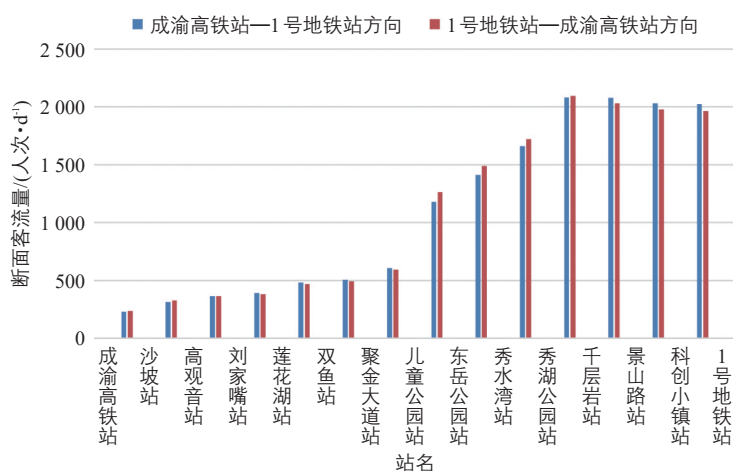


图6 云巴1号线工作日全日断面客流量

Fig.6 Weekday full-day section passenger flow of Yunba Line 1

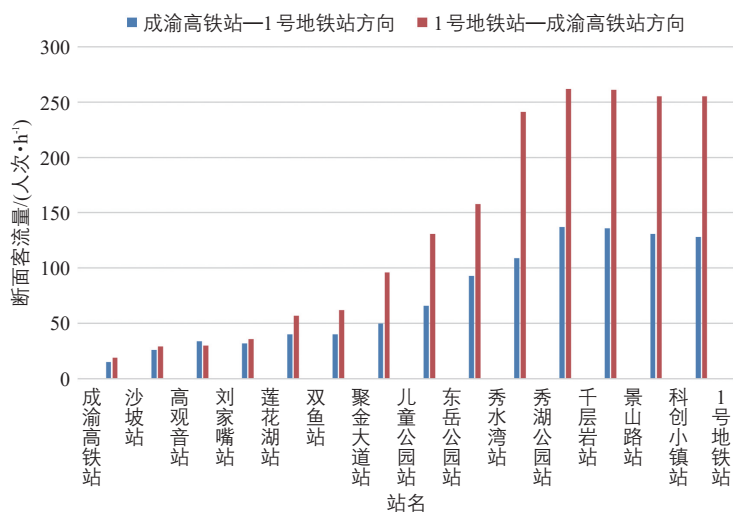


图7 云巴1号线工作日早高峰时段断面客流量

Fig.7 Section passenger flow of Yunba line 1 during weekday morning peak hours

形态相似，也存在早高峰上下行方向不平衡以及全日与早高峰断面客流不平衡现象。从方向不平衡性来看，云巴1号线方向不平衡系数为1.31，与轨道交通1号线(1.25)较为接近，处于中心城区轨道交通线网中等水平。从断面不平衡性来看，各线路全日和早高峰断面不平衡系数变化趋势基本一致。云巴1号线全日、早高峰断面不平衡系数分别为1.91，1.94，均高于轨道交通1号线的1.59，1.66，但仍处于中心城区轨道交通线网中等水平。这也说明云巴1号线沿线的待开发区域相对较多，断面不平衡性较高。

3.1.3 平均运距

云巴1号线平均运距为6.7 km，占总长度的43.5%。其平均运距小于轨道交通1号线的10.4 km，但平均运距占线路长度的比例远大于轨道交通1号线的23.0%。从机动化平均出行距离来看，中心城区、璧山区分别为9.8 km、3.6 km。与中心城区相比，璧山区城区规模相对较小，居民机动化平均出行距离也相对较短，但云巴1号线平均运距及其线路占比均相对较长，这说明云巴1号线主要承担了沿线中长距离的客流出行需求。

3.2 车站客流空间分布特征

云巴1号线进出站客流量与车站周边的用地布局、开发状态、人口、就业岗位等因素密切相关。

1) 早高峰进出站客流量与车站周边人口和就业岗位呈正相关关系。

与中心城区轨道交通1号线车站客流特征一致，云巴1号线早高峰进出站客流量主要受沿线用地开发以及人口和就业岗位情况的影响。如图8所示，统计云巴1号线车站500 m半径范围内的人口和就业岗位，并与早高峰小时的进出站客流量进行相关性分析，发现早高峰进站客流量与人口、出站客流量与就业岗位之间的相关性系数R²均高达0.84。这说明云巴1号线早高峰进出站客流量与沿线人口和就业岗位具有较强的正相关关系。

2) 客流主要集中在部分开发较为成熟的车站。

云巴1号线客流主要集中在6个车站，分别是1号线地铁站、秀湖公园站、儿童公园站、东岳公园站、秀水湾站和成渝高铁站(见图9)。这6个车站的客流量占全部客流量的比例在工作日和节假日分别为86.5%和

90.2%。其中，1号线地铁站、秀湖公园站和儿童公园站的占比高达66.2%和77.5%。特别是在节假日期间，儿童公园站占比增幅更加明显，由14.1%增长为22.1%。这表明云巴1号线具有较强的旅游服务功能。

4 优化对策

云巴1号线有效串联了中心城区轨道交通1号线璧山站、成渝高铁璧山站及沿线的其他重要客流集散点，是璧山城区内部的轨道交通干线，有效引导了沿线用地的开发建设，塑造了以公共交通为主体的绿色可持续发展模式。然而，现状实际的交通运营状况暴露了客流量低、服务水平不高、吸引力不足等方面的问题，应采取措施改进。

1) 加快沿线用地开发建设。

云巴1号线沿线用地开发进程较为缓慢，特别是儿童公园站以南大量用地处于待开发状态。车站500 m半径范围内有1.78万人、1.31万个就业岗位，人口和就业岗位集聚水平较低，这导致云巴1号线客流量持续处于较低的水平。为了充分发挥云巴1号线引导璧山区用地开发的优势，应优化用地、产业开发方向和模式，加快沿线用地开发和优化产业布局，提高沿线人口和就业岗位集聚水平，充分发挥云巴1号线客流绩效。

2) 不断提高公共交通一体化协调水平。

云巴1号线主要沿黛山大道单侧布设，沿线仅有1~2条公共汽车接驳线路，且无换乘优惠。公共汽车站也未与云巴1号线车站进行有效衔接，降低了云巴1号线的可达性和吸引力。轨道交通1号线璧山站与云巴1号线的1号线地铁站之间须出站换乘，无法实现付费区换乘与安检互信，一体化水平不高。云巴1号线应进一步提高与公共交通的一体化协调水平，真正实现公共交通系统运营一体。

3) 优化发车间隔，提高运营服务水平。

云巴1号线高峰时段发车间隔为9 min，平峰时段发车间隔为13 min，与璧山区公共汽车以及中心城区轨道交通相比发车间隔过大，导致乘客候车时间过长，服务水平不高，也降低了云巴1号线的客流吸引力。云巴1号线应结合乘客候车满意度调查以及客流情况进一步优化发车间隔，提高运营服务水平。

4) 加快推进云巴2号线规划建设，形

成轨道交通网络效应。

根据《重庆市璧山区低运量轨道交通建设规划(2022—2025年)环境影响报告书(征求意见稿)》^[10]，近期璧山区将规划建设云巴2号线，经由虎峰大道、东林大道、红宇大道、双龙大道、黛山大道等南北向道路布设，分别与云巴1号线在成渝高铁站、1号线地铁站衔接换乘，形成环状网络。云巴2号线沿线串联了大量高密度人口和就业岗位聚集区，与1号线成网运营后，将有利于加快云巴1号线客流的成长，形成轨道交通客流网络效应。

5 结束语

以重庆市璧山区云巴1号线为研究对象，从时间和空间两个维度、线路和车站两个层面对客流特征进行系统性分析，并与中

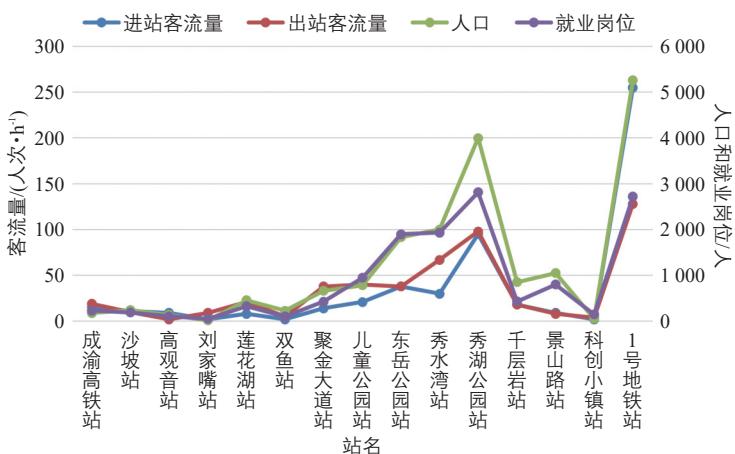


图8 云巴1号线高峰时段进出站客流量及车站周边人口和就业岗位分布情况
Fig.8 Peak-hour passenger flow entering and exiting stations of Yunba Line 1 and the distribution of population and employment around the stations

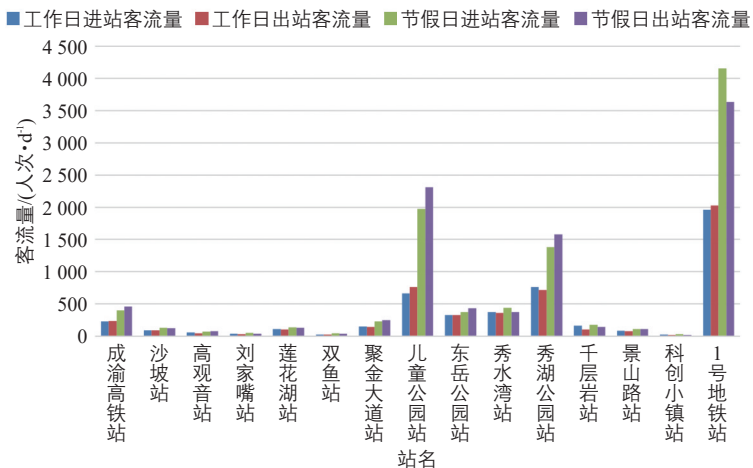


图9 云巴1号线工作日与节假日车站客流量
Fig.9 Workday and holiday station passenger flow of Yunba Line 1

心城区轨道交通1号线进行对比找寻差异化特征。针对云巴1号线客流量低、服务水平不高、吸引力不足等方面的问题,建议璧山区应不断加快云巴1号线沿线用地开发建设,提高公共交通的一体化协调水平,实现公共交通系统运营一体,优化发车间隔、提高运营服务水平,同时加快推进云巴2号线规划建设,形成轨道交通网络效应。

参考文献:

References:

- [1] 新华社. 中共中央 国务院印发《交通强国建设纲要》[EB/OL]. (2019-09-19)[2023-01-02]. http://www.gov.cn/zhengce/2019-09/19/content_5431432.htm.
- [2] 新华社. 中共中央 国务院印发国家综合立体交通网规划纲要[EB/OL]. (2021-02-24)[2023-01-02]. https://www.gov.cn/zhengce/2021-02/24/content_5588654.htm.
- [3] 中华人民共和国国务院办公厅. 国务院办公厅关于进一步加强城市轨道交通规划建设管理的意见(国办发〔2018〕52号)[A/OL]. (2018-07-13)[2023-01-02]. https://www.gov.cn/zhengce/content/2018-07/13/content_5306202.htm?ivk_sa=1024320u.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 国家发展改革委. 住房和城乡建设部 国家发展改革委关于印发“十四五”全国城市基础设施建设规划的通知(建城〔2022〕57号)[A/OL]. (2022-07-07)[2023-01-02]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-07/31/content_5703690.htm.
- [5] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通2021年度统计和分析报告[R]. 北京: 中国城市轨道交通协会, 2022.
- [6] 刘剑锋, 陈必壮, 马小毅, 等. 城市轨道交通网络化客流特征及成长规律: 基于京沪

穗深城市轨道交通网络客流数据分析[J]. 城市轨道交通, 2013, 11(6): 6-17.

- LIU J F, CHEN B Z, MA X Y, et al. Characteristics and increasing trend of passenger flow over urban rail transit network: analysis on passenger flow data of rail transit network in Beijing, Shanghai, Guangzhou and Shenzhen [J]. Urban transport of China, 2013, 11(6): 6-17.
- [7] 吴祥国, 王澜凯, 余梓冬, 等. 重庆市主城区轨道交通客流成长规律研究[J]. 都市快轨交通, 2019, 32(3): 72-77.
- WU X G, WANG L K, YU Z D, et al. Analysis of the passenger flow increasing pattern of Chongqing urban rail network[J]. Urban rapid rail transit, 2019, 32(3): 72-77.
- [8] 吴祥国, 张建嵩, 高志刚, 等. 重庆主城区轨道交通客流时空特征分析[J]. 铁路运输与经济, 2021, 43(7): 125-130.
- WU X G, ZHANG J S, GAO Z G, et al. Spatial-temporal characteristics of rail transit passenger flow in Chongqing's main urban areas [J]. Railway transport and economy, 2021, 43(7): 125-130.
- [9] 彭庆艳. 中国大陆现代有轨电车运营实证研究[J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22(s1): 118-122.
- PENG Q Y. Empirical research on modern tram operation in the Chinese mainland[J]. Urban mass transit, 2019, 22(s1): 118-122.
- [10] 重庆璧山高新技术产业开发区管理委员会. 重庆市璧山区低运量轨道交通建设规划(2022—2025年)环境影响评价公众参与征求意见稿公示[EB/OL]. (2022-06-13)[2023-01-02]. https://www.bishan.gov.cn/zwgk_241/gsgg/gsgg/202206/t20220613_10805876.html.

(上接第57页)

- [24] 王雪鑫. 新建城市轨道交通对交通方式分担的演化仿真研究[J]. 铁道运输与经济, 2021, 43(10): 125-132.
- WANG X X. Simulation research on the evolution of new urban rail transit in traffic mode sharing[J]. Railway transport and economy, 2021, 43(10): 125-132.
- [25] 范琪, 王炜, 华雪东, 等. 基于广义出行费用的城市综合交通方式优势出行距离研

究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2018, 18(4): 25-31.

- FAN Q, WANG W, HUA X D, et al. Dominant transportation distance for multi transportation modes in urban integrated transportation network based on general travel costs [J]. Journal of transportation systems engineering and information technology, 2018, 18(4): 25-31.