

基于多源数据的公共汽电车运营评估 ——以重庆市为例

王月¹, 程娜²

(1. 重庆城市交通研究院有限责任公司, 重庆 401120; 2. 重庆城市综合交通枢纽(集团)有限公司, 重庆 401121)

摘要: 公共汽电车交通系统需要评估现状供给与需求两端的问题, 以制定合理的优化方案。通过融合公共交通设施静态数据、手机位置数据、车辆GPS定位数据、IC卡刷卡数据、高德地图API路径规划数据等多源数据构建底层支撑体系。以乘客通勤出行为切入点, 从设施能力、运营服务、竞争力水平3个维度构建运营评估指标体系, 提出一种公共汽电车运营评估方法来度量公共交通运营服务优劣势并挖掘潜在竞争力。最后以重庆市某片区为例, 深入讨论和分析了现状公共汽电车设施及运营中的不足, 尤其是便捷性方面的不足明显, 体现为步行距离远、运行速度慢、换乘次数多及候车时间长, 并提出针对性的改善策略。

关键词: 公共交通; 公共汽电车; 多源数据; 设施; 运营; 竞争力; 重庆市

Operational Evaluation of Bus Transit Using Multi-Source Data: A Case Study of Chongqing

WANG Yue¹, CHENG Na²

(1. Chongqing City Communication Research Institute, Chongqing 401120, China; 2. Chongqing Urban Comprehensive Transportation Hub(Group) Co., Ltd., Chongqing 401121, China)

Abstract: Urban bus transit system needs to evaluate both supply and demand issues to develop reasonable optimization plans. This paper integrates static data of public transportation facilities, mobile location data, vehicle GPS positioning data, IC card swiping data, and Amap API route planning data to build a comprehensive underlying data support system. Starting from the passenger commuting behavior, an operational evaluation indicator system is developed from three dimensions: facility capacity, operational services, and level of competitiveness. A public transportation operational evaluation method is proposed to measure the advantages and disadvantages of public services and explore the potential competitiveness. Finally, taking a certain area in Chongqing as an example, the paper discusses the shortcomings in the current urban bus transit facilities and operations, especially in terms of long walking distances, slow operational speed, multiple transfers, and extended waiting times, and then proposes targeted improvement measures.

Keywords: public transportation; bus transit; multi-source data; facilities; operation; competitiveness; Chongqing

收稿日期: 2023-04-14

作者简介: 王月(1995—), 女, 重庆人, 硕士, 工程师, 研究方向为交通运输规划与管理, 电子邮箱 446868025@qq.com。

0 引言

2019年10月, 中国城市公共汽电车客运量同比下降3.2%, 这是自2014年开始的持续五连降。据2021年交通运输部公布的数据, 36个中心城市客运总量共441.05亿人次, 其中公共汽电车占42.19%, 城市轨道交通占44.65%, 城市轨道交通反超公共汽电车已成大趋势。然而, 即便是没有城市轨道交

通的城市, 受疫情和道路混行影响, 公共汽电车客流也在持续流失。而近年来小城市公共汽电车亏损严重导致停运的事件也越发频繁。因此, 提升公共汽电车出行分担率和竞争力已迫在眉睫。

与客运量持续下降趋势相反的是, 在《关于优先发展城市公共交通若干经济政策的意见》(建城〔2006〕288号)等政策指引下, 公共汽电车的保有量和开通的线路数量

却在不断增加。因此，有必要重新审视公共汽电车系统的定位，需从传统的粗放式供给模式转变为更加精细化和人性化的服务模式，呼应人们日益增长的多元化需求，扭转客流持续下降的困局。

公共汽电车交通系统具备一定规模后，城市需要评估系统现状供给与需求两端的问题，从而制定合理的优化方案。首先是对设施布局进行量化评估。钱喆^[1]、I. R. Lucian等^[2]考虑了国家战略、城市交通规划、道路交通运行等宏观层面的研究，任其亮等^[3]从微观层面立足于站点覆盖率、线网密度、线路重复系数、服务时间等建立公共交通评价指标体系，但是设施评价的优化措施依赖于基础设施的更新，难以落地。其次是基于乘客感知的设施服务评估。彭念、朱兴林等^[4-7]通过问卷调查采集经济性、便捷性、可靠性、舒适性、可达性等包含运营属性与人性化服务指标的满意度并定量分析，研究公共汽电车运营水平与用户满意度的关联，乘客主观因素对比影响较大。大数据挖掘也是公共交通运营评估的热点，过利超等^[8]、翁剑成等^[9]基于运营数据将现状乘客需求与系统供给进行结合，从换乘率、运行速度、客流量、出行时间等方面对服务水平展开评价。虽然这是服务水平的真实反映，但是难以评估“最后一公里”的服务情况，并且无法对城市公共交通潜在客流做出分析。

针对运营评估中存在的问题，本文基于高德地图公共交通网络数据和手机轨迹数据提出了新的公共汽电车评估方法，并分析公

共汽电车潜力，为运营和管理优化提供依据，最后以重庆市某片区的公共交通运营实践为例进行评估。

1 基础数据与预处理

1.1 运营数据

城市公共汽电车交通系统在运行过程中产生大量车辆GPS数据和公交IC卡数据，这些数据具有采集方便、样本量大、覆盖面广、连续记录等优点。GPS数据记录车辆的位置信息；IC卡数据存储乘客使用公共交通工具时的消费信息。对二者进行数据整合，可以很好地分析公共汽电车线路运行情况 & 客流时空特征，但通常两个系统无直接对应关系，仅有车辆编号作为联系(数据结构见表1)，需要完整的数据融合算法。因此，将GPS数据按线路、车辆、时间排序，然后采用50 m精度的位置匹配算法，首先区分各个班次发车时间，其次得到中途站的到离站时间，最后通过IC卡刷卡时间统计各站每班次的上车人数。

1.2 手机数据

手机数据为基于极光大数据手机软件开发工具包(Software Development Kit, SDK)的地理位置数据，数据产生于智能手机第三方应用程序使用过程中。不同于手机信令数据依赖于通信基站位置，SDK数据具有精度高、连续性好、信息丰富的特点，能较为准确地描述用户的出行行为特征。通过同一用户长时段(连续3个月)的手机轨迹数据规律，按工作时间(工作日9:00—17:00)与休息时间(22:00—次日6:00)拆分轨迹数据，以此聚类并提取用户职住位置，进而获取研究范围内的居住和就业岗位分布。数据内容经清洗后保留5个有效字段，包括经脱敏处理的唯一标识、居住地经纬度、工作地经纬度。

1.3 高德地图公共交通网络数据

1.3.1 静态数据

公共交通设施静态数据作为开放数据获取难度较低，但因数据量较大导致获取过程繁复。使用高德地图Web服务应用程序接口(Applications Program Interface, API)访问地理数据服务，搜索研究范围内的公共交通站点经纬度及经过的线路信息即可批量获取所

表1 基本数据结构

Tab.1 Basic data structures

数据类型	数据含义	字母代码
GPS数据	车辆编号	<i>carnum</i>
	驾驶员编号	<i>vip</i>
	定位时间	<i>GpsTime</i>
	轨迹经度	<i>Longitude</i>
	轨迹纬度	<i>Latitude</i>
	瞬时速度	<i>GpsSpeed</i>
IC卡数据	卡号	<i>card_id</i>
	刷卡时间	<i>card_time</i>
	刷卡线路	<i>card_line</i>
	刷卡车辆编号	<i>card_carnum</i>

需公共交通设施静态数据。

1.3.2 模拟通勤数据

根据研究范围内的居住和就业岗位分布，利用高德地图开放平台 Web 服务路径规划 API，分别模拟高峰时段住内职内、住内职外、住外职内 OD 对的公共交通出行全过程行为，返回的数据类型和格式见表 2。

1.4 技术路线

本文在多元数据融合背景下进行公共汽车运行评估。除了现状公共汽车用户外，评估对象还包括潜在的通勤用户。在此基础上分析研究区域公共汽车的优劣势，总体思路如图 1 所示。

2 评估指标体系

2.1 指标选取

考虑公共汽车前端用户体验，选取设施能力、运营服务和竞争力水平 3 个影响因素。首先，公共交通基础设施的服务能力不仅体现了公共交通的整体功能，同时也是增强吸引力的基础；其次，服务于乘客是公共交通发展的起点与归宿，以乘客的需求为导向不断优化运营服务是公共交通服务供给端的主要目标；最后，通勤出行是公共交通最主要的需求之一，评估公共交通竞争力可以发现区域间的公共汽车优劣势，进而挖掘潜在的通勤用户。

设施能力层面主要考虑 3 个指标：1) 居住人口和就业岗位综合覆盖率，体现了站点设置的合理性；2) 平均站间距，合理平衡站点覆盖率和运营快捷性是站点选择的主要策略；3) 线路非直线系数，体现了线路的绕行程度，合适的非直线系数可以更好地服务支路，但过大将增加乘客出行的时间成本。

运营服务层面主要考虑 3 个指标：1) 乘客平均最大候车时间，立足乘客感受的指标有助于人性化服务评估；2) 步行距离，“最后一公里”步行距离通常是乘客选择公共交通出行时衡量便捷程度的重要考虑因素之一；3) 换乘次数，到达目的地换乘的线路越多，同一次出行的复杂程度越高，同样会对乘客选择出行方式产生较大的影响。

竞争力水平层面主要考虑 3 个指标：1) 出行总时间，乘客以公共交通为主要出行方式并以步行接驳方式完成的一次持续出行的

总时间，是衡量公共交通用户出行成本的重要指标；2) 出行直达性，代表乘客完成一次出行时乘坐公共交通工具走过的路径与起讫点直线距离之比，是衡量公共交通线路布设是否符合客流出行需求的指标；3) 出行时间可靠性，指在一次公共交通出行过程中，整体行程在乘客期望时间内完成的概率，能侧面影响公共交通吸引力。

2.2 指标计算

1) 居住人口和就业岗位综合覆盖率。

公共汽车站常用的服务半径有 300 m 和 500 m，据此计算居住人口和就业岗位综合覆盖率。

$$\phi_A = \frac{\sum_{i=1}^n S_T}{S_A}, \quad (1)$$

式中： ϕ_A 为站点居住人口与就业岗位综合覆盖率； S_A 为区域居住人口和就业岗位总量/人； S_T 为以公共汽车站点为圆心，300/500 m 为半径的站点所覆盖的居住人口和就业岗位数/人； n 为区域内的公共汽车

表 2 模拟通勤路径规划数据示例

Tab.2 Example of simulated commuting path planning data

路径规划内容	返回值
唯一标识	00dc80d5-170a-4e5b-91b7-c0e60e2a1cc0
起点	106.509 561, 29.620 638
终点	106.581 083, 29.686 669
起始线路名称	轨道交通 5 号线(大石坝—园博中心)
进站	幸福广场
进站位置	106.508 201, 29.616 560
起始步行距离/m	764
起始步行时间/s	654
换乘次数	1
换乘线路名称	877 路(加州花园—空港新城)
换乘步行距离/m	179
换乘步行时间/s	153
出站	未来城
出站位置	106.576 912, 29.688 643
终点步行距离/m	604
终点步行时间/s	517
出行总时间/s	3 944
出行总距离/m	13 583

车站点总数/个； i 为站点编号 ($i=1, 2, \dots, n$)。

2) 平均站间距。

公共汽电车平均站间距是指线路各站点间距的平均值。通常，由于公共汽电车线路上下行对称的站点会在道路平面上错开设置，或经过单行道导致上下行路线不同、设站不同，因此同一条线路上下行的站间距需分别计算。计算公式为

$$\bar{d} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \sum_{ud=0}^1 \frac{L_j^{ud}}{m_j^{ud} - 1}, \quad (2)$$

式中： \bar{d} 为平均站间距/m； k 为公共汽电车线路总数/条； j 为线路编号 ($j=1, 2, \dots, k$)； ud 为线路运行方向，即 $direction = \{\text{上行}, \text{下行}\}$ ， $ud = \{x \mid x \in direction\}$ ； L_j^{ud} 为线路 j 在方向 ud 上的总运营长度/m； m_j^{ud} 为线路 j 在方向 ud 上的总站点数/个。

3) 线路非直线系数。

公共汽电车线路非直线系数是指线路首末站点间实际的运行里程与两站点空间直线距离之比。计算公式为

$$\bar{r} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \frac{\sum_{ud=0}^1 L_j^{ud}}{2l_j}, \quad (3)$$

式中： \bar{r} 为区域线路非直线系数； l_j 为线路 j 首末站间的直线距离/m。

4) 乘客平均最大候车时间。

乘客候车时间是指乘客从到达公共汽电车站台至登乘过程中等待的时间。在公共汽电车运营评估中，通常以研究时段内乘客平均最大候车时间为基准判断公共汽电车的运营服务水平。乘客的最大候车时间为相邻两班车辆的到站间隔。计算公式为

$$WT_i = \frac{\sum_{r=2}^s P_{r,i} \Delta \bar{T}_i}{\sum_{r=2}^s P_{r,i}}, \quad (4)$$

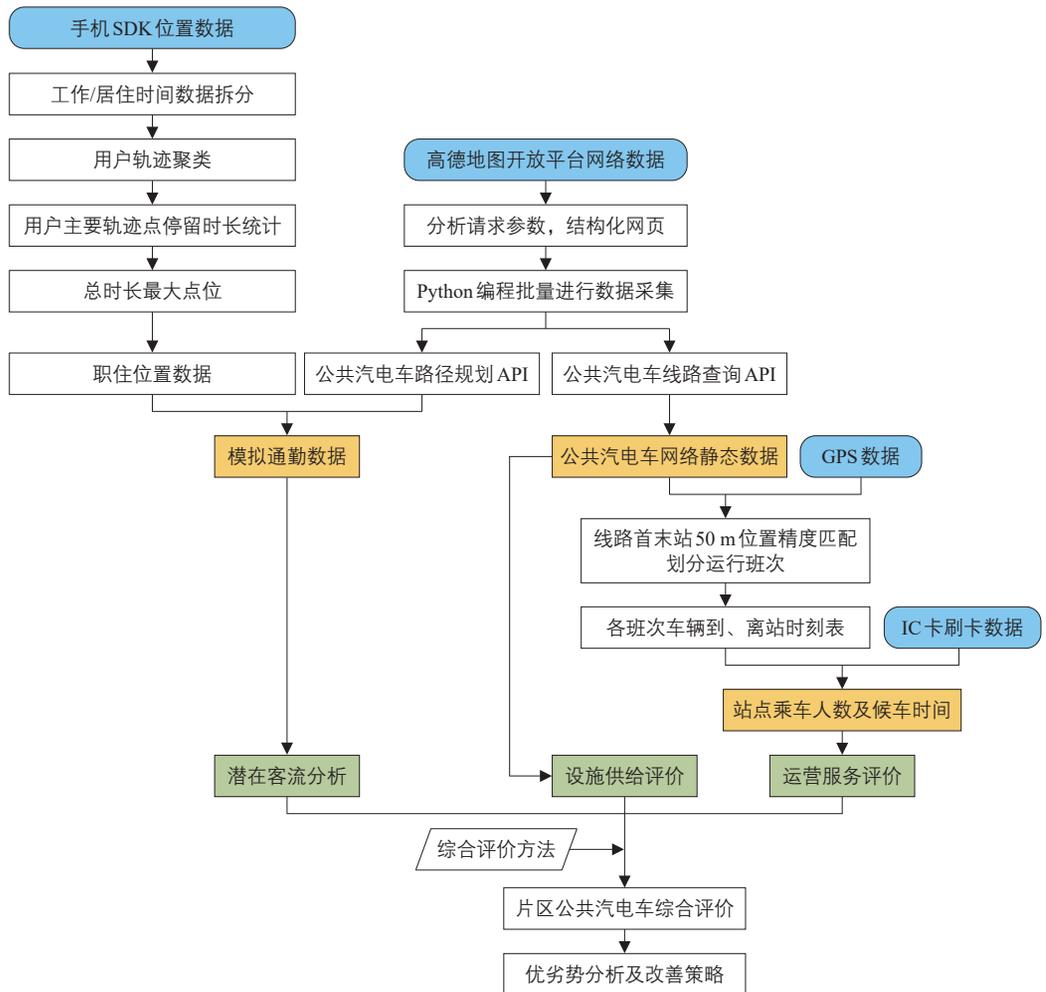


图1 基于多源数据的公共汽电车运营评估技术路线

Fig.1 Technical route for evaluating bus transit operation based on multi-source data

式中： WT_i 为站点 i 乘客平均最大候车时间/s； $P_{r,i}$ 为站点 i 乘坐班次 r 的乘客数量/人； $\Delta\bar{T}_i$ 为站点 i 相邻两班车辆班次 r 与班次 $r-1$ 的到站时间间隔； S 为车辆班次。

5) 步行距离。

公共交通步行距离一般包括：1)从出发地到上车站点的步行距离 d_1 /m；2)从下车站点到目的地的步行距离 d_2 /m；3)若一次公共交通出行存在换乘行为，则有换乘步行距离 d_3 /m，城市公共交通不同方式、不同线路之间的换乘距离一般不大于 200 m。

6) 换乘次数。

在一次公共交通出行中若乘坐同一条线路无法直接到达目的地，则需要进行公共交通系统内换乘。换乘次数指乘客从出发地至目的地需换乘不同线路的次数。

7) 出行总时耗。

出行总时耗是公共交通出行最主要的竞争力，通常包括：1)从出发地步行至公共交通车站的步行时间 t_1 /s；2)乘坐公共交通工具的在途时间 t_2 /s；3)若一次公共交通出行存在换乘行为，则有换乘时间 t_3 /s，换乘时间一般不超过 10 min；4)从目标公共交通车站步行至目的地的步行时间 t_4 /s。

8) 出行直达性。

出行直达性是指乘客采用公共交通出行时的车辆行驶距离与出行起讫点之间直线距离之比。计算公式为

$$R = \frac{1}{z} \sum_{p=1}^z \frac{D_p}{D_{xy}}, \quad (5)$$

式中： p 为乘客编号 ($p=1, 2, \dots, z$)； D_p 为乘坐公共交通的车辆行驶距离/m； D_{xy} 为起讫点的直线距离/m。

9) 出行时间可靠性。

出行时间可靠性是指乘客在不同日期的类似时段内选择公共交通出行总时耗的波动程度。由于不同 OD 对的距离不同，不能直接使用标准差对其出行时间可靠性进行评估，需要对数据组进行无量纲化处理。因此，采用不同数据组平均变异系数 V_i 代表公共交通出行时间可靠性，计算公式为

$$V_i = \frac{D(t)}{E(t)} = \frac{1}{\bar{t}} \sqrt{\frac{1}{p} \sum_{p=1}^z (t_p - \bar{t})^2}, \quad (6)$$

式中： $D(t)$ 为出行时间的方差； $E(t)$ 为出行时间的期望值； t_p 为乘客 p 一次公共交通出行的总时耗/min； \bar{t} 为乘客 p 在不同日期的类似时段内选择公共交通出行总时耗的平均值/min。

3 案例分析

以重庆市人和组团内星光大道—金开大道西段—人和大道—内环快速路围合区域为研究对象，利用 2019 年 6 月 17—23 日的公共交通静态数据、手机 SDK 职住数据、公共汽车 GPS 定位数据、IC 卡刷卡数据构建

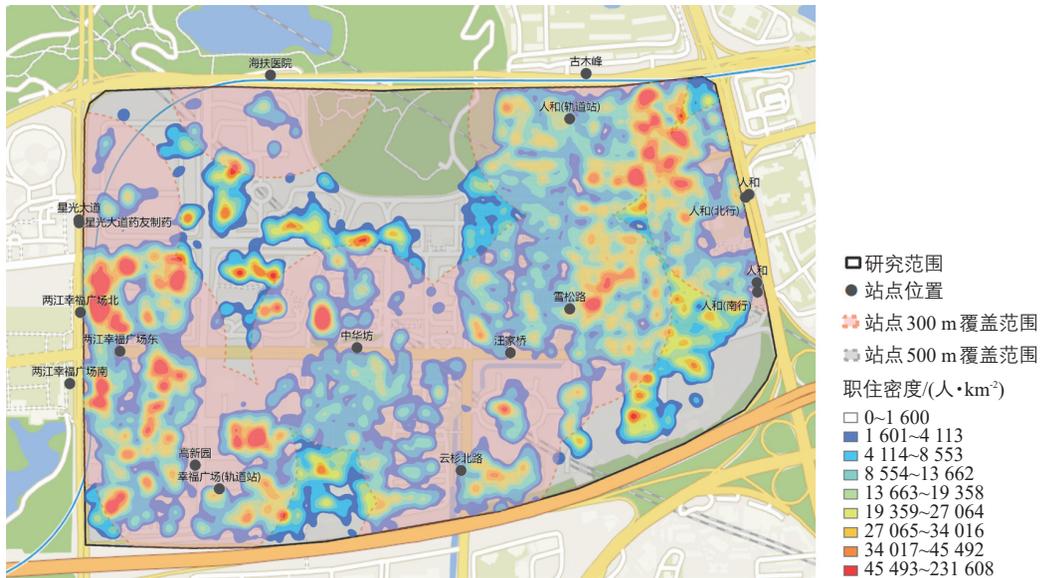


图2 片区公共交通站点居住人口和就业岗位综合覆盖率

Fig.2 Comprehensive coverage rate of residential population and employment positions at public transportation stations in the research area

底层数据支撑体系，以模拟通勤数据为切入点，使用高德地图 API 获取的路径规划数据对潜在的公共交通客流市场进行挖掘并开展案例分析。

3.1 指标分析

研究范围面积约 2.4 km²，经过公共汽车线路 25 条，设站 16 个；经过城市轨道交通线路 1 条，设站 2 个。公共交通线路主要分布在星光大道、金开大道西段、人和大道、黄山大道等主干路上，南北向联系紧密。

3.1.1 居住人口和就业岗位综合覆盖率

以研究范围为边界得到居住数据 0.7 万条，人口密度 0.3 万人·km²；就业岗位数据 1.2 万条，就业岗位密度 0.5 万人·km²。根据式(1)求得站点居住人口和就业岗位综合覆盖率 300 m 缓冲区约 81.81%，500 m 缓冲区达到 100%(见图 2)。这一结果符合《城市综合交通体系规划标准》(GB/T 51328—2018)的相关规定：集约型公共交通站点 500 m 服务半径覆盖的常住人口和就业岗位，在规划人口规模 100 万人以上的城市不应小于 90%。

表 3 片区内公共汽电站服务评估

Tab.3 Evaluation of bus stop service in the research area

车站名称	车辆平均到站间隔/ s	日乘客量/ 人次	乘客平均最大候车时间/ s
古木峰	686.49	30	693.48
高新园	540.66	114	773.60
轨道人和	631.99	569	761.97
海扶医院	988.97	391	1 343.26
两江幸福广场北	1 588.38	121	1 764.42
两江幸福广场东	5 474.74	639	689.92
两江幸福广场南	624.09	2 524	640.77
人和	540.10	3 874	567.48
人和(北行)	537.76	1 604	568.99
人和(南行)	660.68	1 811	675.09
汪家桥	646.39	2 173	634.69
星光大道	594.13	501	664.77
星光大道药友制药	618.40	58	624.00
雪松路	630.25	662	712.62
云杉北路	703.34	252	725.37
中华坊	617.89	2 180	693.38

3.1.2 平均站间距

通过高德地图获取研究区域所有公共交通线路信息，并根据式(2)求得平均站间距为 863.7 m。

3.1.3 线路非直线系数

根据式(3)求得通过区域的全部公共汽车线路平均线路非直线系数为 1.8。公共交通线路非直线系数一般不应大于 1.4，整个线网的平均非直线系数为 1.15~1.20 为宜^[9]。

3.1.4 乘客平均最大候车时间

以站点中华坊为例，共有 6 条公共汽车线路经过。某工作日内 133 路发车 180 班次，208 路发车 148 班次，621 路发车 160 班次，624 路发车 127 班次，842 路发车 170 班次，869 路发车 162 班次，总计发车 947 班次；全天站点上车乘客共计 2 180 人次。根据式(4)求得本站乘客平均最大候车时间为 693 s。同理计算片区内所有公共汽电站数据(见表 3)，得到片区乘客平均最大候车时间约 767 s。

百度地图《2022 年度中国城市交通报告》^[10]中将公共汽电车平均候车时间小于 10 min 作为反映公共汽电车服务便捷性和高效性的重要指标来评价各地运营服务情况，因此选取 10 min(600 s)为候车时间参考值。

3.1.5 步行距离

通过高德地图开放平台路径规划 API 对职住 OD 对进行公共交通路径规划，得到片区的站点平均步行距离为 589 m。根据《高德地图 2022 年度中国主要城市交通分析报告》^[11]，超大城市、特大城市、大中型城市公共交通出行的平均步行距离分别为 1 120 m，1 063 m，1 003 m，总步行距离参考值选取 1 120 m，起终点一端步行距离参考值设置为 500 m。

3.1.6 换乘次数

根据高德地图开放平台职住 OD 对的公共交通路径规划数据，得到研究范围内职住人口通勤出行的换乘次数(见图 3)，片区平均通勤换乘次数为 0.92 次。根据《高德地图 2022 年度中国主要城市交通分析报告》^[11]，目前超大城市、特大城市、大中型城市的公共交通出行平均换乘系数分别为 1.533 次，1.444 次，1.355 次，换乘次数参考值选取 1.533 次。

3.1.7 出行总时耗

根据高德地图开放平台通勤 OD 对的公

公共交通路径规划数据,得到片区公共交通通勤时耗超过 60 min 的 OD 对占比为 25.38%,轨道交通在途时间超过 45 min 的 OD 对占比为 12.20%。为了将平面地图转换为可供分析的矢量数据,对重庆市中心城区进行栅格化处理,划分为 33 380 个 400 m×400 m 网格的像素地图。以研究范围内公共交通站点坐标为起点,利用高德地图开放平台 Web 服务路径规划 API,分别计算高峰时段起始地至全像素地图范围内的公共交通与小汽车在途出行时耗,得到区域公共交通与小汽车在途时耗比为 1.78(见图 4)。

《国家综合立体交通网规划纲要》^[12]提出通过轨道交通打造都市区“1 小时通勤圈”;《城市综合交通体系规划标准》(GB/T 51328—2018)规定人口规模大于 500 万人的城市,公共交通出行中 95% 的通勤出行时间不能超过 60 min,高峰期 95% 的乘客在轨道交通系统内部单程出行时间不宜大于 45 min。

3.1.8 出行直达性

根据高德地图开放平台职住 OD 对的公共交通路径规划数据,按照式(5)计算得到片区通勤出行车辆行驶距离与出行起讫点之间直线距离之比,即出行直达性指标值为 1.48。

3.1.9 出行时间可靠性

在一个自然月的工作日中,反复利用高德地图开放平台公共交通路径规划工具在不同日期高峰时段模拟通勤,获取同一 OD 对乘坐公共交通出行在途时耗,根据式(6)求得平均变异系数为 1.79%。

通过职住 OD 对相同时段内的小汽车出行路径规划,得到驾车出行时间平均变异系数为 2.35%。考虑到片区周围公交专用车道施划情况,公共交通出行时间可靠性指标参考值设置为 1.5%。

综上,片区公共交通运营指标如表 4 所示。

3.2 运营评估

由于城市公共交通运营评价体系涉及多个不同的层面,数据样本量大且离散,因此选用模糊综合评价法对区域的公共交通运行情况进行综合评估。为确定各个因素对评估结果影响的重要程度,使用层次分析法并在研究现状的基础上确定权重。

首先,设置因素集 U 与评价集 V 。在本次评估中,因素集 $U = \{\text{居住人口和就业}$

岗位综合覆盖率,平均站间距,线路非直线系数,乘客平均最大候车时间,步行距离,换乘次数,出行总时耗,出行直达性,出行时间可靠性};评价集 $V = \{\text{优,良,中,差}\}$,其中,评价指标的评估值优于参考值时评价为“优”,劣于参考值 20% 以内时评价为“良”,劣于参考值 >20%~40% 时评价为“中”,劣于参考值 >40% 时评价为“差”。

根据表 4 各指标评估值得到片区的单因素评价集

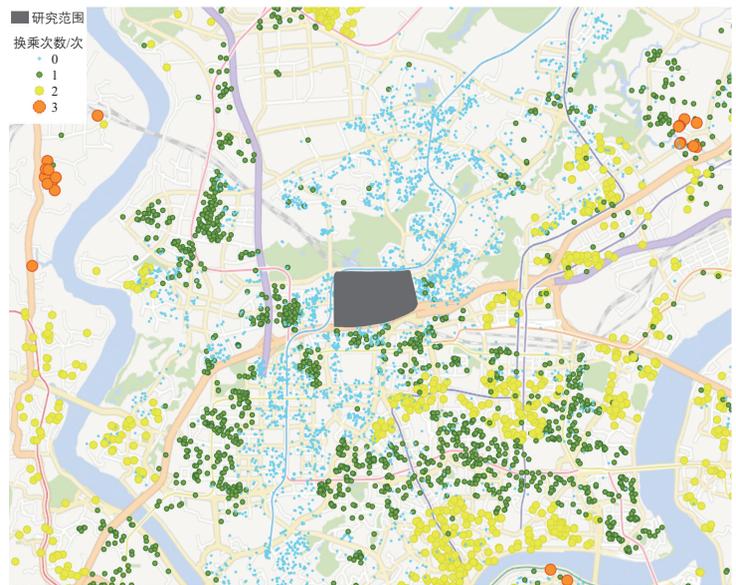


图 3 起终点一端在片区内的通勤 OD 对的换乘次数分布

Fig.3 Distribution of transfer times for commuting OD pairs with one side in the research area

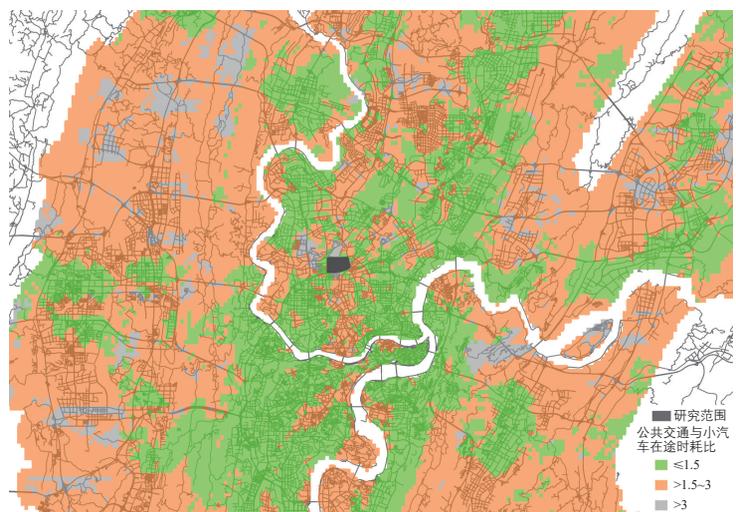


图 4 起终点一端在片区内的通勤 OD 对的公共交通与小汽车在途时耗比空间分布

Fig.4 Spatial distribution of the traveling time ratio between public transportation and car for commuting OD pairs with one side in the research area

$$R = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0.333 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0.5 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0.667 & 0 & 0 \end{pmatrix}^T$$

其次，使用心理学领域的九级标度法并结合研究现状及专家意见，对每一个准则以及隶属于同一准则下的评价指标的相对重要性进行比较，从而形成判断矩阵 A ；通过方根法计算判断矩阵的最大特征根 λ_{\max} 并采用一致性比率(Consistency Ratio, CR)指标进行一致性检验；然后计算各要素在单一准则下的相对权重 W_i ，计算公式为

$$W_i = \frac{W_i^0}{\sum_{i=1}^n W_i^0}, \text{ 其中 } W_i^0 = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n w_{ij}}$$

$$CR = \frac{CI}{RI}, \text{ 其中 } CI \text{ (Consistency Index, 一致性指标)}$$

$$= \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}, \lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i},$$

RI(Random Index, 随机一致性指标)

$$= \frac{\sum_{i=1}^n CI_i}{n}, \text{ 式中: } i \text{ 为评价因素,}$$

$(i=1, 2, \dots, n)$ 。得到各指标权重集 $W = \{0.097, 0.038, 0.061, 0.266, 0.147, 0.081, 0.168, 0.051, 0.092\}$ ，通过一致性检验 $CR < 0.1$ ，说明判断矩阵具有较好的一致性。

最后，将权重矩阵 W 与单因素评价矩

阵 R 相乘合成为模糊综合评价矩阵 B ，并根据最大隶属度原则对 B 划分评价结果。计算得到设施供给能力 $A1$ 、运营服务能力 $A2$ 、竞争潜力 $A3$ 及总评价 U 的评价结果为

$$B^{A1} = (0.493 \ 0.196 \ 0 \ 0.311),$$

$$B^{A2} = (0.163 \ 0.148 \ 0.688 \ 0),$$

$$B^{A3} = (0 \ 0.477 \ 0.163 \ 0.360),$$

$$B^U = (0.177 \ 0.260 \ 0.390 \ 0.173).$$

根据最大隶属度原则，片区设施供给能力为“优”，运营服务能力为“中”，竞争潜力为“良”，片区公共交通总体运营服务水平为“中”。

片区公共交通运营短板主要表现为服务能力不足、出行便捷度低，具体表现为以下4个方面。1)步行距离较远。由于地形和道路条件限制，片区内部平均步行接驳距离达到589 m。2)公共交通出行时间长。片区外部西侧公共交通通勤时长约为小汽车的2.54倍。3)部分区域换乘次数较高。片区平均换乘次数0.92次，但片区中心5 km范围内东南方向约6.4%的乘客需换乘2次及以上。4)乘客平均最大候车时间较长。片区内容流量较大的两江幸福广场南、汪家桥及中华坊站候车时间超过10 min，乘客出行满意度不高。

3.3 改善策略

片区公共交通系统能基本满足乘客的公共交通需求，竞争潜力较大，但在便捷性方面仍有待改善。针对上述问题提出以下改善建议：

1) 站点设施方面，居住人口和就业岗位综合覆盖率总体水平较高，但片区西北方向存在公共交通站点300 m服务未覆盖区域。建议在星光五路—轻松路交叉口附近合理增设站点，减少乘客公共交通出行的步行距离。

2) 紧靠片区西侧5 km范围内公共汽电车出行时间较长，在该方向上可合理配置公交专用车道，提升公共汽电车运行速度。

3) 片区东南方向在通勤高峰期间公共交通出行时间存在优势，但换乘次数普遍较高导致公共交通乘客出行不便。建议根据出行需求开辟部分非直线系数较小的公共汽电车线路，吸引通勤乘客从小汽车出行转向公共交通出行。

4) 通勤高峰期间可考虑大站快车模式，如878路对于乘客量较小的古木峰站可

表4 片区公共交通运营指标评估

Tab.4 Evaluation of public transportation operation indicators in the research area

目标层	序号	指标	指标描述	评估值	参考值
设施供给	1	居住人口和就业岗位综合覆盖率/%	300 m缓冲区	81.81	≥50
			500 m缓冲区	100	≥90
	2	平均站间距/m	863.7	500~800	
运营服务	3	线路非直线系数	1.8	1.15~1.2	
	4	乘客平均最大候车时间/s	767	≤600	
	5	步行距离/m	总步行距离	1 357.32	≤1 120
			片区内部步行距离	589	≤500
6	换乘次数/次	0.92	≤1.533		
通勤竞争力	7	出行总时耗	公共交通通勤时耗 >60 min 占比/%	25.38	≤5
			城市轨道交通在途时间 >45 min 占比/%	12.20	≤5
	8	出行直达性	1.48	≤1.2	
9	出行时间可靠性/%	1.79	≤1.5		

越站运行；606路、125路、126路等对于客流量较大但乘客候车间隔较长的两江幸福广场南站、人和站应增大发车密度。

4 结束语

立足大数据对公共汽电车运营评估指标进行多元化、精细化的分析，并以多源数据融合为基础、公共交通现状服务主体的通勤出行为切入点，进一步分析公共汽电车区域竞争力和挖掘潜在的客流需求，形成了公共汽电车运营评估方法。以重庆市某一片区为例深入讨论和分析了现状设施及运营中的不足并提出改善策略。分析结果表明，该方法具有一定的可操作性，可以为提高公共交通吸引力、优化绿色出行服务提供科学依据。后续可进一步深化评价指标体系，针对现状运营服务的劣势端开展动态优化调度研究。

参考文献：

References:

- [1] 钱喆. 大城市公交评价指标体系和公交竞争力指数研究[J]. 城市交通, 2015, 13(4): 30-36.
QIAN Z. Evaluation framework and competitiveness index of public transportation for large cities[J]. Urban transport of China, 2015, 13(4): 30-36.
- [2] LUCIAN I R, ALEXANDRA B. Evaluating issues and performance of a public transport network in a post-communist city using a quantitative spatial approach[J]. Urbani izziv, 2015, 26(2): 103-116.
- [3] 任其亮, 胡静. 重庆市南岸区公共交通便捷性评价[J]. 现代交通技术, 2016, 13(5): 68-72.
REN Q L, HU J. Convenience evaluation for public transport of Nan'an District of Chongqing City[J]. Modern transportation technology, 2016, 13(5): 68-72.
- [4] 彭念. 考虑乘客异质性的公交服务水平评价方法[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2022.
PENG N. An evaluation method of public transport service level considering the passenger heterogeneity[D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2022.
- [5] 朱兴林, 姚亮, 刘泓君, 等. 基于乘客感知的多模式公交服务质量差异性研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2021, 21(6): 84-95.
ZHU X L, YAO L, LIU H J, et al. Investigating differences in service quality of multi-mode public transit based on passenger perception[J]. Journal of transportation systems engineering and information technology, 2021, 21(6): 84-95.
- [6] 赵琳娜, 王炜, 季彦婕, 等. 乘客差异化需求对公交出行满意度的影响[J]. 城市交通, 2014, 12(4): 65-71.
ZHAO L N, WANG W, JI Y J, et al. Impact of diversified passenger demand on transit satisfaction[J]. Urban transport of China, 2014, 12(4): 65-71.
- [7] GIRMA M, WOLDETENSAE B, NURIYE G, et al. Importance performance analysis for evaluating city bus service quality in Addis Ababa, Ethiopia[J]. Urban, planning and transport research, 2022, 10(1): 451-465.
- [8] 过利超, 侯佳, 李旭, 等. 融合多源数据的常规公交线网综合评价研究[C]//中国城市规划学会城市交通规划学术委员会. 绿色·智慧·融合: 2021年中国城市交通规划年会论文摘要. 北京: 中国建筑工业出版社, 2021: 28.
- [9] 翁剑成, 张梦媛, 荆云琪, 等. 基于出行时间可达性的公共交通竞争力评估模型[J]. 交通运输系统工程与信息, 2022, 22(5): 187-195.
WENG J C, ZHANG M Y, JING Y Q, et al. A competitiveness model of public transport based on travel time accessibility[J]. Journal of transportation systems engineering and information technology, 2022, 22(5): 187-195.
- [10] 百度地图. 2022年度中国城市交通报告[R/OL]. 2022[2023-04-08]. <https://huiyan.baidu.com/reports/landing?id=137&role=traffic&wd=&eqid=9dcb64c4000196ac00000006645daa64>.
- [11] 佚名. 高德地图2022年度中国主要城市交通分析报告[EB/OL]. (2023-02-10)[2023-04-08]. https://news.sohu.com/a/639006902_468661.
- [12] 中华人民共和国中央人民政府. 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)[2023-04-08]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2021/content_5593440.htm.