

基于 VISUM 软件的市域快速轨道交通线路 快慢车开行方案客流效果分析*

王超宇¹ 唐 清² 陈虹兵¹ 何鸿杰²

(1. 广州地铁设计研究院股份有限公司, 510010, 广州; 2. 广州市交通规划研究院有限公司, 510030, 广州)

摘 要 [目的]与地铁线路相比,市域快速轨道交通线路具有线路较长、乘客运距大等特点。通过开行快慢车,可提高线路的旅行速度,提高乘客出行效率,因此需要研究市域快速轨道交通线路快慢车开行方案的客流效果,并分析快慢车线路乘客出行特征。[方法]选取广州地铁 21 号线(该线为市域快速轨道交通线路)为研究对象,分析了市域快速轨道交通线路开行方案的客流适应性,阐述了该线的运营现状。以该线进出站刷卡数据为基础,分析了该线现状快慢车开行方案下乘客出行时间分布特征。提取 3 min 分时客流矩阵作为客流输入,使用 VISUM 软件,建立了基于时刻表的客流分配模型,输出快慢车开行方案的客流指标,分析了现状快慢车开行方案的存在问题及优化方向。[结果及结论]该线快慢车开行方案的节时效果明显,快车对外围客流具有较强的吸引力,外围车站快车发车前呈现了明显的客流进站高峰。应针对快车发车间隔大、快慢车换乘不方便等问题,进一步优化快慢车开行方案。

关键词 市域快速轨道交通;快慢车;开行方案;客流分配模型

中图分类号 U292.4

DOI:10.16037/j.1007-869x.20245824

Passenger Flow Impact Analysis of Express/Local Train Operation Plans for Urban Rapid Rail Transit Line Based on VISUM Software

WANG Chaoyu¹, TANG Qing², CHEN Hongbing¹, HE Hongjie²

(1. Guangzhou Metro Design & Research Institute Co., Ltd., 510010, Guangzhou, China; 2. Guangzhou Transport Planning Research Institute Co., Ltd., 510030, Guangzhou, China)

Abstract [Objective] Compared to metro, city rapid transit lines are characterized by longer routes and greater passenger travel distances. Operating express/local trains can increase travel speed and improve travel efficiency for passengers. Therefore, it is necessary to study the passenger flow impact of such

express/local train operation plans and analyze the travel characteristics of passengers on these lines. [Method] Guangzhou Metro Line 21 (identified as a city rapid rail transit line) is selected as the research object to analyze the passenger flow adaptability of this line operation plan and describe its current operating conditions. Based on the line's entry/exit smart card data, the temporal distribution characteristics of passenger trips under the current express/local train operation plan are analyzed. A 3-minute interval passenger flow matrix is extracted as the input for modeling. Using VISUM software, a timetable-based passenger flow assignment model is established to output passenger flow indicators for the express/local train operation plan. Problems of the current plan are analyzed and directions for optimization are identified. [Result & Conclusion] The current express/local train operation plan on this line demonstrates significant time-saving effects. The express train has a strong appeal to peripheral passenger flow, with a clear boarding peak appearing at peripheral stations before the express train departure. To further optimize the operation plan, issues such as long intervals between express trains and inconvenient interchanges between express and local services should be addressed.

Key words city rapid rail transit; express/local train; operation plan; passenger flow assignment model

过去 20 余年里,我国城市轨道交通经历了快速发展阶段,全国城市轨道交通的运营线路总长度已突破了 1 万 km^[1]。部分大城市在完善中心城区城市轨道交通线网的同时,也修建了多条市域快速轨道交通线路。这些市域快速轨道交通线路延伸至郊区及周边新城镇,以吸引外围居民进城通勤,有效支持了城市的扩张和发展^[2]。

与地铁线路相比,市域轨道交通线路一般具有线路较长、乘客运距大、客流强度相对较低等特点,许多市域轨道交通线路采用了快慢车组合运行的

* 广州地铁设计研究院科研项目(KY-2022-069);广州市交通规划研究院有限公司科技基金项目(KYHT-2024-03)

模式,以提高线路运营的综合效益。

既有对市域快速轨道交通线路及其快慢车开行方案的研究较为丰富。规划研究方面,文献[3]以广州都市圈为例,研究了典型市域快轨线路的规划设计和运营效果;文献[4]构建了具有普适性的市域快线规划评估框架和指标体系,评估了深圳地铁6号线的规划功能与布局;文献[5]在规划设计阶段综合分析了车站区位、客流特征、换乘关系等因素,研究了武汉市穿城市域快线的快车停站方案。线路设计方面,文献[6]归纳总结了快慢车模式常用的越行站站型,结合运行效率和运营特点分析了各站型的优劣和适用性;文献[7]从线路运行效率、系统能力损失、乘客换乘影响等角度研究了不同快慢车越行模式的特点;文献[8]基于客流预测结果研究了宁波市域铁路快慢车开行方案及全线配线方案。开行方案评价及优化方面,文献[9]利用 Open Track 软件,对福州地铁机场线运行组织方案进行了动态模拟,分析了不同运行模式的适应性;文献[10]建立了仿真评价模型,对城市轨道交通线路快慢车运行延误调整方案进行了综合评价;文献[11]建立了基于乘客广义出行费用的市域快速轨道交通线路快慢车开行方案双层规划模型,该模型可用于弹性需求下的快慢车方案优化求解;文献[12]以实现能耗和旅行时间的最小化为目标,建立了多目标规划模型,比较了北京地铁6号线快慢车模式及站站停模式的总旅行时间和能耗;文献[13]构建了考虑时间价值的列车开行方案优化模型,以上海市域轨道交通机场联络线为例,优化了该线的编组方式和停站方案。

既有研究主要聚焦于线路规划设计和快慢车开行方案优化,缺少对快慢车开行客流效果的精准评估和分析。目前国内外开行快慢车的线路大多对快车、慢车不作票务区分^[14],运营部门无法从刷卡数据中直接获取快慢车的客流量,因此需通过建立客流分配模型并进行仿真计算。本文从客流角度入手,对广州地铁21号线(以下简称“21号线”,该线为市域快速轨道交通线路)作案例研究,以广州地铁进出站刷卡数据及各线路的时刻表数据为基础,采用 VISUM 软件,建立基于时刻表的城市轨道交通客流分配模型(以下简称“时刻表模型”),用以仿真模拟开行快慢车线路乘客的车次选择与乘车过程,以此对21号线既有快慢车开行方案下的客流效果进行分析。

1 市域快速轨道交通线路开行方案的适应性

由于市郊之间土地利用类型及开发成熟度存在差异,且市区与外围郊区之间距离较远,市域快速轨道交通线路表现出与市区城市轨道交通线路不同的客流特征,主要体现为以下两点:

1) 市域快速轨道交通线路客流空间不均衡性凸显,且具有明显的潮汐客流现象。部分外围站点客运量很小,站点间存在较大的客流差异。

2) 市域快速轨道交通线路的平均运距较长,主要为市郊间长距离出行的通勤客流提供服务。

从运营组织模式来看,传统的“站站停”运行方案具有运营组织简单、通过能力高、对设施要求较低、乘客辨识度较高等特点。对于市区内客运量较大、沿线发展相对均衡的轨道交通线路而言,“站站停”运行方案具有较好的客流适应性。但对于具备上述客流特征的市域快速轨道交通线路,在站间距相对较小的情况下,频繁停站使得市郊通勤客流的通行时间过长,出行效率偏低。因此,市域快速轨道交通线路应采用更灵活的方式运营,以提升线路的综合运营效率。

常见的提速运行方案主要包括交错停站、分区停站及开行快慢车等^[15],运行方案的选择需综合考虑客流分布的匹配性、线路运输能力是否富裕等因素。目前快慢车运营模式被更广泛地运用于市域快速轨道交通线路的运营实践中,东京、纽约、伦敦、巴黎等国外城市在快慢车开行上已有丰富的案例和经验^[16-17],我国对快慢车开行也已有了初步探索和实践。广州是我国较早开行城市轨道交通快慢车的城市,广州地铁14号线、18号线、21号线目前均采用了快慢车运行方案。本文以21号线为例,对快慢车开行的客流效果进行深入分析。

2 21号线运营现状

21号线全长61.5 km,设站21座,途经广州市天河区、黄埔区、增城区3个行政区,实现了中心城区天河区与外围增城区的快速交通联系。该线2024年的日均客运量为28.6万人次,客运强度约为0.47万人次/(km·d)。

该线在天河区、黄埔区(西段)的沿线开发较为成熟,其中:大观南路站—苏元站区段为就业组团,其他站点周边则以居住用地为主。此外,在该线的

员村站换乘广州地铁 5 号线后可直达珠江新城等天河区就业组团。这两大就业组团是 21 号线早高峰时段通勤客流的主要出行目的地。

21 号线的开行方案为快慢车、大小交路组合运营,全线开行普通车、快车两类列车。21 号线快慢车及大小交路开行方案如图 1 所示。图 1 中:①普通车为“站站停”列车,单程运行时间为 68 min;快车仅停 10 个站,单程运行时间为 57 min,比普通车节省了 11 min。②高峰时段快车和普通车的开行比例为 1:4,普通车的发车间隔为 7~9 min,快车的

发车间隔约为 34 min。③在高峰时段(07:00—09:00和 17:00—19:00)在近郊的员村站—水西站区段开行小交路,小交路的单程运行时间为 26 min。④现状快车早、晚高峰时段分别在山田站和水西站越行前行 2 列普通车,非高峰时段则在金坑站越行前行 1 列普通车。⑤在苏元站—镇龙站区段,与普通车的运行时间(20 min 9 s)相比,快车的运行时间为 15 min 33 s,节省了 4 min 36 s;在镇龙站—增城广场站区段,与普通车的运行时间(25 min 18 s)相比,快车的运行时间为 19 min 53 s,节省了 5 min 25 s。

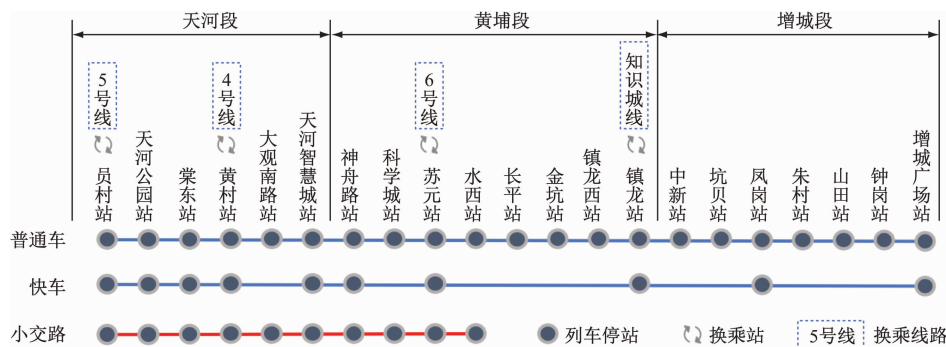


图 1 21 号线快慢车及大小交路开行方案示意图

Fig. 1 Diagram of Line 21 express/local train and long/short routing operation plan

3 21 号线快慢车开行方案客流效果分析

3.1 基于刷卡数据的客流分布特征

3.1.1 出行时耗分布

快慢车开行方案下,乘客出行时间的节省可直观地从进出站刷卡数据中表现。本文对 2021 年 12 月所有工作日早高峰时段 21 号线的出行 OD(起讫点)数据进行分析,基于刷卡数据统计的各 OD 对间乘客出行耗时分布如图 2 所示。

1) 间隔距离大的 2 个快车停靠站之间的出行客流:乘客出行时耗分布柱状图(见图 2 a)、图 2 b))呈现明显的双峰分布特征。这 2 个峰值分别对应了乘坐了快车、慢车的客流出行时耗。

2) 非快车停靠站与快车停靠站之间的出行客流:乘客出行时耗分布柱状图(见图 2 c))无明显双峰态势,这表明快慢车换乘(即乘客在快车与慢车之间换乘)时间较长,导致快车出行时间节省效果并不明显。

3) 快车停靠站与其他线路车站之间的出行客流:以 21 号线凤岗站上车经员村站换乘后在 5 号线珠江新城站下车的客流为例,其乘客出行时耗分布柱状图如图 2 d)所示。此直方图虽无明显双峰态

势,但出行时间跨度较大,仍能体现快车客流的时间节省效果。但是,因客流在换乘走行时间、换乘候车时间等方面存在差异,图 2 d)快慢车客流区分度并不明显。

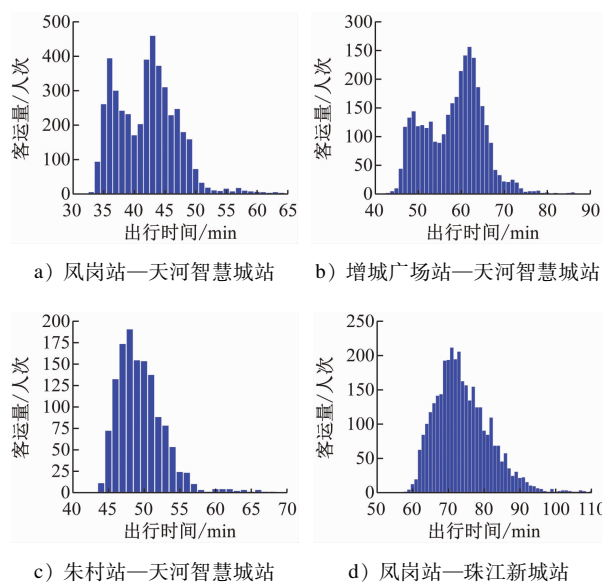


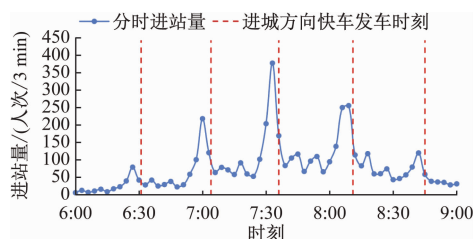
图 2 基于刷卡数据统计的各 OD 对间乘客出行耗时分布
Fig. 2 Passenger travel time distribution of each OD pair based on smart card data

3.1.2 快车停靠站乘客进站时间分布

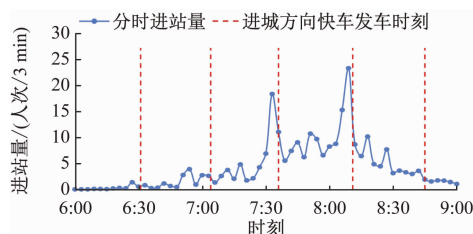
由于现状快车发车间隔较大,大量乘坐快车的乘客按照时刻表候车,快车发车前出现了进站客流高峰。以凤岗站 3 min 间隔的分时进站量分布为例,凤岗站早高峰 3 min 分时进站量分布如图 3 所示。

1) 在快车发车时刻前的 2~3 个统计时段内,该站的进站量明显高于其他时段(见图 3 a)),这说明快车对外围客流具有较强的吸引力,外围快车停靠站一般具有较高的进站客流超高峰系数^[18]。

2) 凤岗站与非快车停靠站科学城站、大观南路站站间客流分时进站量如图 3 b) 所示,快车发车时刻前亦出现了进站客流高峰,其中,07:37、08:11 发车的 2 列快车发车前的客流聚集最明显,充分体现了通勤客流选择快慢车换乘的出行意愿。



a) 凤岗站分时进站量



b) 凤岗站与科学城站、大观南路站间客流分时进站量

图 3 凤岗站早高峰 3 min 分时进站量分布

Fig. 3 Distribution of passenger entry with 3-minute interval at Fenggang Station during morning peak hours

3.2 基于客流分配模型的快慢车开行方案客流指标

3.2.1 构建基于时刻表的城市轨道交通客流分配模型

利用 VISUM 软件,建立了基于时刻表的城市轨道交通客流分配模型,如图 4 所示。本研究以 2021 年 12 月广州地铁线网工作日客流及现状线网运营情况为基准,在时刻表模型中输入广州地铁网络拓扑数据、广州地铁各线路各交路行驶时刻表及车次到发时刻表数据、各地铁站点间 3 min 分时 OD 客流数据。基于动态交通流分配方法,对各线路、各车次在各站点的上下车情况进行仿真模拟,输出

快慢车线路的客流指标,以实现对市域快速轨道交通线路快慢车开行方案客流效果的精确评估。

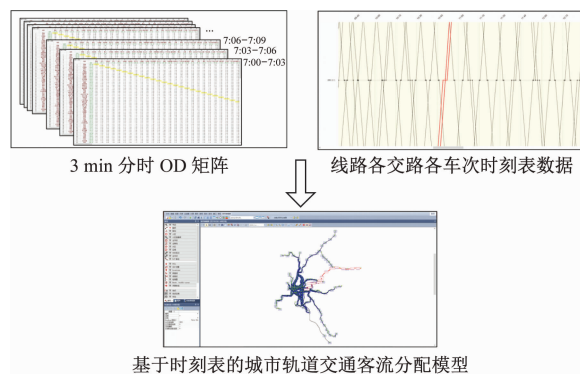


图 4 基于时刻表的城市轨道交通客流分配模型示意图

Fig. 4 Diagram of timetable-based urban rail transit passenger flow assignment model

3.2.2 快慢车开行方案客流效果评价指标体系

本文主要从乘客层面评价快慢车开行方案的效果,评估角度包括出行时间、换乘便捷性、直达性、舒适性及安全性等,同时考虑了运营企业的列车运输效率,并以快慢车平均断面满载率作为指标,以衡量线路运力与运量的匹配程度。快慢车开行方案客流效果评价指标体系如图 5 所示。

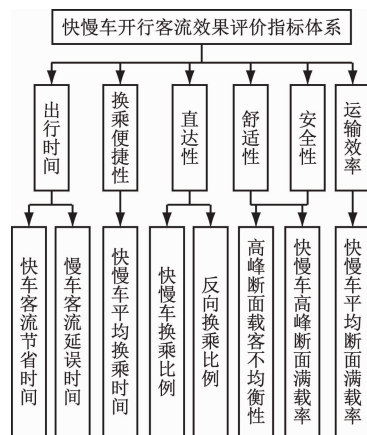


图 5 快慢车开行方案客流效果评价指标体系

Fig. 5 Passenger flow effect evaluation index system of express/local train operation plan

3.2.3 21 号线快慢车开行方案客流指标输出

3.2.3.1 出行时间

根据时刻表模型的分配结果,21 号线乘坐快车(含快慢车换乘)的客运量为 4.2 万人次/d,乘坐快车的乘客日出行时间累计节省值共计 2 646 h(与无快车运营模式相比),人均节省时间为 3 min 46 s。与无快车运营模式相比,21 号线外围各站进城快

车客流时间节省情况如图 6 所示。由图 6 可知:在各站的进城方向客流中,增城广场站、凤岗站、镇龙站 3 个快车停靠站的时间节省效果较为明显,人均可分别节省 10 min、7 min 和 5 min;山田站、朱村站等增城段非快车停靠站的客流,若选择快慢车换乘出行,亦可节省 2~3 min。

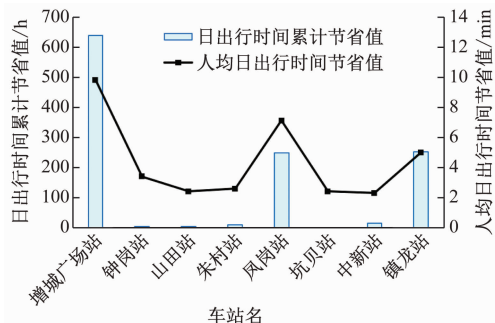


图 6 21 号线外围各站进城快车客流时间节省

Fig. 6 Per capita time savings for express trains entering the city from peripheral stations of Line 21

普通车在山田站、水西站、金坑站的常规停站时间分别为 35 s、45 s 和 35 s,被越行时图定待避时间为 3 min。3 个越行站内因列车待避引起的累计延误客流量及累计延误时间如图 7 所示。21 号线全日被越行普通车乘客因列车待避引起的累计延误时间为 260 h,约为乘坐快车的乘客日出行时间累计节省值的 10%。其中,水西站因列车待避引起的延误客流量最大,延误时间最长。

3.2.3.2 直达性与换乘便捷性

21 号线快车与普通车间日均换乘量约为 0.25 万人次,占全线日均客运量的 0.9%,占快车日均客运量的 5.9%。21 号线快慢车平均换乘等待时间如表 1 所示。由表 1 可知:① 21 号线快慢车平均换乘等待时间为 3 min 50 s;② 换乘客流以同向换乘为主,同向换乘客流在总换乘客流中的占比为 79%;③ 由于现状 21 号线增城段发车间隔较大,快慢车换乘候车时间较长,同向换乘的平均等待时间为 4 min 11 s,约占快车乘客平均乘车时间的 21%。

3.2.3.3 舒适性与安全性

城市轨道交通列车内过度拥挤,易导致乘客身心不适^[19],也会对列车紧急情况下的疏散造成困难,因此,列车在高峰断面的载客均衡性是衡量客运服务水平的重要指标之一。21 号线早高峰小时(07:30—08:30)最大客流断面位于出城方向黄村

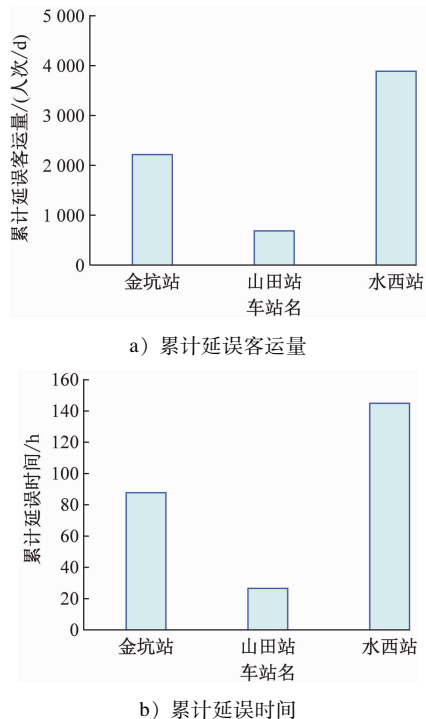


图 7 3 个越行站内因列车待避引起的累计延误客流量及累计延误时间

Fig. 7 Cumulative delayed passenger volume and delay time at 3 overtaking stations caused by train holding

表 1 21 号线快慢车平均换乘等待时间

Tab. 1 Average waiting time for express/local train interchange of Line 21

换乘方式	日均换乘量/人次	换乘客流占比/%	平均换乘等待时间	与快车乘客平均乘车时间的比值/%
同向换乘	1 960	79	4 min 11 s	21
反向换乘	532	21	2 min 34 s	13
合计	2 492	100	3 min 50 s	19

站至大观南路站区间,早高峰小时各车次在该断面的载客量如图 8 所示。由图 8 可知:早高峰小时该断面的最大载客量为 1 653 人次(按 5 人/ m^2 计算,能运得到该车次的断面满载率约为 131%,下文类同),与早高峰小时该断面所有车次的平均载客量(1 355 人次)的比值为 1.22。由此可知,快慢车模式下早高峰时段内发车间隔的不均衡,对列车载客均衡性造成了一定影响,高客流断面上的乘客在车内的活动空间很小。

分别统计早高峰小时快车和普通车的最大断面平均载客率,其结果如表 2 所示。由表 2 可知:出城方向快车最大断面平均载客率略低于普通车,主要原因是早高峰小时客流最大断面距始发站较近,

快车在现状越行组织下与前序普通车间的发车间隔较短,登乘快车的客运量较低。进城方向快车的早高峰小时最大断面平均载客率略高于普通车,这在一定程度上体现了快车对外围长距离进城客流的吸引力。

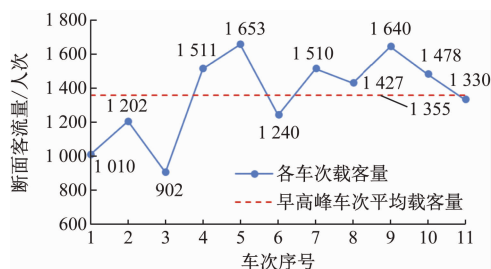


图8 21号线早高峰小时最大断面区间各车次载客量

Fig. 8 Passenger loading of each train on Line 21 during morning peak hours in the maximum cross-sectional interval

表2 21号线早高峰小时快慢车最大断面平均载客率

Tab.2 Maximum sectional average passenger load rate of express/local trains during morning peak hours on Line 21

项目	出城方向列车最大断面平均载客率/%	进城方向列车最大断面平均载客率/%
普通车	112	78
快车	89	83
平均	108	79

注:出城方向列车最大断面平均载客率对应的断面为黄村站—大观南路站;进城方向列车最大断面平均载客率对应的断面为苏元站—科学城站。

3.2.3.4 运输效率

快慢车开行方案的运输效率用快慢车平均断面满载率来衡量。列车平均断面满载率即首末站之间客运周转量与定员公里数的比值,可反映运输企业所提供运力的使用率。21号线全日与早高峰小时列车平均断面满载率如表3所示。由表3可知:① 快车的全日平均断面满载率、早高峰时段平均断面满载率分别为24.1%和39.1%,均高于所有列车的平均断面满载率;② 早高峰进城方向快车的平均断面满载率达51.8%,显著高于普通车,快车开行具有较好的客流效果;③ 由于外围区段断面客流相对较低,全线的平均断面满载率明显低于上文统计的早高峰小时最大断面平均载客率。

4 结语

市域快速轨道交通线路开行快慢车,对外围客

表3 21号线全日与早高峰小时列车平均断面满载率

Tab.3 Line 21 average train load factors for full-day and morning peak hours

项目	全日平均断面满载率/%	早高峰小时平均断面满载率/%	早高峰小时进城方向平均断面满载率/%
普通车	19.0	30.0	33.4
快车	24.1	39.1	51.8
平均	19.9	31.4	36.3

流具有较强的吸引力,是提高市郊通勤效率的有效途径。本文对广州地铁21号线的实例研究表明,快慢车开行方案起到了明显的节时效果,大量乘客已形成按时刻表乘车的习惯,但发车间隔大、快慢车换乘不便捷等问题仍有待解决。建议从以下3个角度进一步优化该线的快慢车开行方案:

1) 提高外围客流主通勤方向快车开行比例。21号线早高峰时段进城方向快车的平均断面满载率明显高于普通车,但快车的发车间隔超过30 min,不利于乘客出行。建议考虑增加外围客流主通勤方向的快车发车频率,提高进城通勤的便捷性。

2) 优化快车停站方案,提升外围客流进城速度。目前21号线在天河段停站较多,外围增城段仍有大量客流需在员村站换乘进入中心城区,建议进一步研究减少快车停站或增设特快列车(如在天河段、黄埔段只在换乘站停站)的可行性。

3) 优化快慢车换乘方式,提升非快车停靠站客流的换乘效率。建议考虑研究快慢车同时停站换乘或缩短反向快慢车到达间隔等方式,提升同向、反向快慢车换乘的效率。

未来我国还将开通更多的市域快速轨道交通线路,市域快速轨道交通线路的服务范围也将持续拓展,有必要加强市域快速轨道交通线路客流需求分析,制定与需求相匹配的快慢车开行方案,在运营管理层引导并加速城市发展。

参考文献

- [1] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通2022年度统计和分析报告[EB/OL]. (2023-03-31)[2024-05-24]. <https://infosharingp2-oss.camet.org.cn/u/cms/www/202304/071450560axi.pdf>. China Association of Metros. Annual statistical and analysis report on urban rail transit in 2022[EB/OL]. (2023-03-31)[2024-05-24]. <https://infosharingp2-oss.camet.org.cn/u/cms/www/202304/071450560axi.pdf>.
- [2] 杨斌,熊杰,顾小龙,等. 地铁快线建设效果对规划的启示:以深圳地铁11号线为例[J]. 都市快轨交通, 2022, 35(5): 22.

YANG Bin, XIONG Jie, GU Xiaolong, et al. Implications of

- construction efficiency of express metro lines for planning: a case study of Shenzhen Metro Line 11[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2022, 35(5): 22.
- [3] 蔡涵哲, 孙元广, 王芳玲. 市域快速轨道交通规划实施分析: 以广州都市圈为例[J]. 城市交通, 2022, 20(2): 53.
CAI Hanzhe, SUN Yuanguang, WANG Fangling. Implementation of urban rapid rail transit planning: case study of Guangzhou metropolitan area [J]. Urban Transport of China, 2022, 20(2): 53.
- [4] 孙永海, 王翹楚, 殷嘉俊, 等. 城市轨道交通市域快线规划评估: 以深圳地铁 6 号线为例[J]. 城市交通, 2022, 20(2): 28.
SUN Yonghai, WANG Qiaochu, YIN Jiajun, et al. Evaluation on urban rapid rail transit line planning: study on Shenzhen Metro Line 6[J]. Urban Transport of China, 2022, 20(2): 28.
- [5] 吴醒, 高嵩, 李玲琦, 等. 复合功能的武汉市穿城市域快线规划研究[J]. 交通与运输, 2024, 40(5): 63.
WU Xing, GAO Song, LI Lingqi, et al. Planning of Wuhan's urban express line with composite functions [J]. Traffic & Transportation, 2024, 40(5): 63.
- [6] 李琼. 城市轨道交通越行站站型研究[J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(8): 171.
LI Qiong. Types of urban rail transit overtaking station [J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(8): 171.
- [7] 陈阳, 陈福贵, 温念慈. 城市轨道交通快慢车越行模式研究[J]. 铁道运输与经济, 2025, 47(1): 149.
CHEN Yang, CHEN Fugui, WEN Nianci. Overtaking modes of fast and slow trains in urban rail transit [J]. Railway Transport and Economy, 2025, 47(1): 149.
- [8] 姚燕明, 王韬, 宗二凯, 等. 基于快慢车模式的宁波市域铁路象山线配线方案研究[J]. 城市轨道交通研究, 2025, 28(3): 159.
YAO Yanming, WANG Tao, ZONG Erkai, et al. Track allocation scheme for Ningbo City Railway Xiangshan Line based on express/local train operation mode [J]. Urban Mass Transit, 2025, 28(3): 159.
- [9] 孙元广, 田梦, 金华. 考虑多列车种类的快慢车运行模式分析与评价[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(8): 128.
SUN Yuanguang, TIAN Meng, JIN Hua. Analysis and evaluation of express/local mode considering multiple train types [J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(8): 128.
- [10] 李洪运, 江志彬, 赵源, 等. 城市轨道交通快慢车运行延误调整方案仿真评价模型[J]. 城市轨道交通研究, 2024, 27(9): 25.
LI Hongyun, JIANG Zhibin, ZHAO Yuan, et al. Simulation and evaluation model of operation delay adjustment plan for urban rail transit express and local trains [J]. Urban Mass Transit, 2024, 27(9): 25.
- [11] 赵璐, 丁小兵, 刘志钢, 等. 基于弹性需求的市域轨道交通快线快慢车开行方案研究[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(3): 92.
ZHAO Lu, DING Xiaobing, LIU Zhigang, et al. Express and slow train operation plan for urban rail transit local line based on elastic demand [J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(3): 92.
- [12] GAO Y, YANG L, GAO Z. Energy consumption and travel time analysis for metro lines with express/local mode [J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2018 (60): 7.
- [13] 罗晋, 朱海燕, 刘志钢, 等. 考虑乘客旅行时间价值的市域轨道交通列车开行方案[J]. 城市轨道交通研究, 2024, 27(3): 13.
LUO Jin, ZHU Haiyan, LIU Zhigang, et al. Operation scheme for city railway train considering passenger travel time value [J]. Urban Mass Transit, 2024, 27(3): 13.
- [14] 王耀, 李继铭, 高申, 等. 城市轨道交通线网票务清分方法综述[J]. 城市轨道交通研究, 2024, 27(12): 317.
WANG Yao, LI Jiming, GAO Shen, et al. Review of urban rail transit ticket clearing methods [J]. Urban Mass Transit, 2024, 27(12): 317.
- [15] 杨雍彬. 面向都市圈通勤的市郊铁路列车开行方案优化研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2020.
YANG Yongbin. Study on optimization of train operation scheme of suburban railway for commuting in metropolitan area [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2020.
- [16] 闻千. 日本筑波快线快慢车行车组织特点及启示[J]. 都市快轨交通, 2023, 36(6): 137.
WEN Qian. Characteristics of express/local train operation organization of Tsukuba Express and related inspirations [J]. Urban Rapid Rail Transit, 2023, 36(6): 137.
- [17] 汤莲花, 徐行方. 国外典型都市圈市域铁路发展及启示[J]. 中国铁路, 2018(9): 107.
TANG Lianhua, XU Xingfang. Development of suburban railways in typical metropolitan circles outside China [J]. China Railway, 2018(9): 107.
- [18] 彭磊, 李昱澄, 赵丹彤. 广州地铁车站进站客流超高峰系数实证分析[J]. 城市轨道交通研究, 2024, 27(3): 140.
PENG Lei, LI Yucheng, ZHAO Dantong. Empirical analysis of ultra-peak coefficient of inbound passenger flow in Guangzhou Metro station [J]. Urban Mass Transit, 2024, 27(3): 140.
- [19] 姜美利, 刘建荣, 刘丽华. 基于潜在类别的地铁拥挤度研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2022, 46(6): 970.
JIANG Meili, LIU Jianrong, LIU Lihua. Research on congestion degree of subway based on potential categories [J]. Journal of Wuhan University of Technology (Transportation Science & Engineering), 2022, 46(6): 970.
- 收稿日期:2024-08-24 修回日期:2025-03-22 出版日期:2025-07-10
Received:2024-08-24 Revised:2025-03-22 Published:2025-07-10
• 第一作者:王超宇,工程师,240689777@qq.com
通信作者:唐清,工程师,592651069@qq.com
• ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license