

基于乘客出行特征的城市轨道交通客运线网规划优化

赵青爽

石家庄市轨道交通集团有限责任公司 河北 石家庄 050000

摘要: 随着城市化进程的加速,城市轨道交通成为缓解城市交通压力的关键。本文基于乘客出行特征,对城市轨道交通客运线网规划优化进行深入探讨。通过分析乘客的出行频次、时段分布、目的及空间特征,我们揭示了其对线网规模、线路布局、换乘点设计及车次频次安排的重要影响。据此,提出了一系列优化策略,旨在构建更贴合乘客需求的轨道交通网络,提升运输效率与服务水平,为城市交通的可持续发展提供有力支持。

关键词: 基于乘客出行特征;城市轨道交通;客运线网规划优化

引言:随着城市人口的不断增长和交通需求的日益多样化,城市轨道交通作为城市交通系统的骨干,其客运线网规划显得尤为重要。乘客出行特征作为影响线网规划的关键因素,包括出行频次、时段分布、目的多样性以及空间流动模式等,均对线网的布局、换乘效率及运营策略产生深远影响。本文旨在深入探讨基于乘客出行特征的城市轨道交通客运线网规划优化,以期为提升城市轨道交通服务质量和运营效率提供理论支持和实践指导。

1 城市轨道交通与乘客出行特征概述

1.1 城市轨道交通的定义与特点

城市轨道交通是指在城市中采用专用轨道导向运行的公共客运交通系统,是城市公共交通的骨干组成部分,为城市人口流动提供高效、有序的运输服务。其核心特点主要体现在以下方面:(1)综合效能突出。运载能力远超常规地面公交,单条线路每小时单向可运送3万-6万人次,能有效缓解大客流压力;运行速度普遍达到30-60公里/小时,且受地面交通拥堵影响小,运行稳定性强;采用电力驱动,单位客运量的能耗仅为私家车的1/8左右,同时减少尾气排放,环境污染显著低于传统燃油交通工具。(2)多元形式互补。主要包括地铁、轻轨、单轨、快速轨道交通等类型。地铁适用于地下高密度客流走廊,承载量大、速度快;轻轨多建于地面或高架,适合中等客流强度的城区线路;单轨以高架为主,具有转弯半径小、爬坡能力强的特点,适用于地形复杂区域;快速轨道交通(如市域快轨)则连接中心城区与郊区,兼顾速度与覆盖范围,形成多层次的轨道交通网络。

1.2 乘客出行特征分析

(1)出行频次与时段分布。乘客出行呈现高频次特征,尤其以日常通勤出行为主,多数通勤者每周乘坐轨道交通4-5次,部分短途出行者甚至达到每日2-4次。时段

分布上,早晚高峰期表现显著,7:00-9:00和17:00-19:00两个时段的客流量通常占全天总量的40%-50%,高峰时段部分线路车厢满载率超过120%,非高峰时段客流则相对平缓。(2)出行目的与路线选择。出行目的呈现多元化特征,其中通勤占比最高,约为60%-70%,此类出行时间相对固定,对准时性要求高;商务出行占比10%-15%,多集中在工作日上午,对线路便捷性较为敏感;购物和旅游出行约占15%-20%,周末及节假日流量明显增加,受商圈、景点分布影响较大。不同出行目的直接影响路线选择,通勤者倾向于耗时最短的直达线路,游客则更关注景点周边车站的可达性。(3)乘客行为的空间特征。出行需求在空间上呈现非均衡分布,主要受线路覆盖密度影响,中心城区线路密集区域客流强度是郊区的3-5倍;车站换乘行为具有明显规律性,换乘站多集中在商圈、交通枢纽周边,早高峰换乘量约占进站量的30%;收入水平与出行距离正相关,高收入群体平均出行距离比低收入群体长2-3公里;就业地点分布对客流方向起决定性作用,早高峰客流主要从居住区流向就业集中的商务区、工业区,晚高峰则呈现反向流动特征。

2 乘客出行特征对轨道交通客运线网规划的影响

2.1 乘客出行需求预测与线网规模确定

(1)基于历史数据的出行需求预测方法,核心是通过分析乘客历史出行数据中的规律,推测未来客流变化趋势。常用的回归分析法会选取日均客流量、高峰小时流量、居民出行总量等关键指标,建立与人口规模、就业岗位数、GDP等社会经济变量的数学模型;时间序列法则聚焦客流数据的周期性波动,通过分解历史数据中的趋势项、季节项和随机项,预测未来3-5年的出行需求。此外,四阶段法(出行生成、分布、方式划分、路径分配)能结合乘客出行目的、OD(起讫点)分布等特征,实现更精细化的需求预测。(2)线网规模指标是衡

量轨道交通服务能力的核心参数。线路总长度反映线网覆盖范围,需与城市建成区面积、人口分布相匹配;线网密度(每平方公里线路长度)直接影响服务可达性,中心城区密度通常需达到 $1.5\text{--}2.5\text{km/km}^2$,才能满足高频次出行需求;总输送能力则以高峰小时单向最大客流量为基准,需确保与预测的高峰需求差值控制在10%以内,避免运力浪费或不足^[1]。(3)乘客出行特征对线网规模确定的影响显著。高频次通勤需求要求线网具备足够的覆盖密度,确保80%以上的通勤者步行10分钟内可达车站;早晚高峰的流量波动则推动线网总输送能力向高峰时段倾斜,通常需按高峰小时流量的1.2倍设计;而旅游、购物等弹性出行的空间分散性,又要求线网适度延伸至郊区景点和新兴商圈,平衡规模扩张与效益的关系。

2.2 线路布局与换乘点设置优化

(1)合理的线路布局需紧扣乘客出行的空间流向,优先连接城市重要区域。针对通勤主导的客流特征,线路应强化居住区与商务区、工业区的直接联系,如采用“放射状”线路连接市中心与外围居住区;对于购物、旅游等多元需求,需通过“网格状”支线覆盖大型商圈、景点和交通枢纽,形成“主骨架+支线”的复合网络。例如,东京地铁通过山手线(环状)串联主要商业区,再以放射线延伸至郊区,精准匹配不同出行目的的路线选择偏好。(2)换乘点设置需以减少乘客换乘时间和拥堵为目标。根据换乘行为的时空特征,换乘站应优先布局在高峰时段客流交汇点,如早高峰从郊区线向市区线换乘的节点,需采用同站台换乘或十字交叉换乘设计,将平均换乘时间控制在3分钟以内;同时,换乘站的站厅面积、通道宽度需与换乘量匹配,高峰小时换乘量超过5000人次的站点,应设置至少4条换乘通道,并通过导流设施分隔不同方向的客流,避免拥堵。

2.3 车次频次与时时刻表安排

(1)车次频次需根据高峰期和低谷期的需求差异动态调整。早高峰(7:00-9:00)和晚高峰(17:00-19:00)的客流密度通常是平峰期的3-4倍,可视情况加密车次至2-4分钟一班,确保车厢满载率控制在80%-90%;平峰时段(9:00-17:00)可将间隔延长至5-8分钟,减少空驶率;夜间(22:00后)则根据弹性出行需求,保持10-15分钟一班的基础频次。(2)乘客出行特征直接决定车次频次和时刻表的优化方向。通勤者对准时性的高要求,促使时刻表采用“定点发车”模式,高峰时段发车误差需控制在30秒以内;旅游出行的周末集中性,则推动实施“周末加车”计划,如北京地铁在节假日对通往景点的线路增加10%-15%的班次;而长短距离客流的混合分布,可通

过“大站快车+站站停”的组合模式,满足不同出行距离的时间需求,提升整体运营效率^[2]。

3 基于乘客出行特征的轨道交通客运线网规划优化策略

3.1 线路规划优化

(1)根据乘客出行热点区域和流量,调整线路布局。乘客出行热点区域是客流量的集中地,涵盖大型商圈、交通枢纽、高密度住宅区、产业园区等。借助对这些区域历史客流数据、手机信令数据、IC卡刷卡数据的深度剖析,能精准把握客流的生成、分布及流动规律。对于早晚高峰客流量饱和的线路,可通过增加平行线路或加密支线来分流压力,比如北京地铁针对中关村软件园与回龙观居住区之间的高强度通勤需求,对13号线进行拆分并增设支线,有效缓解了原线路的拥挤。而对于新兴的出行热点,像郊区大型社区、新开发商务区等,要及时延伸既有线路或规划新线路,保证轨道交通服务能紧跟乘客需求的变化。(2)加强与城市发展规划的衔接,引导城市空间布局优化。轨道交通线网规划需与城市整体发展规划相协调,通过线路的合理布局引导城市空间结构向更优方向发展。在城市中心区,加密轨道交通线路以提升线网密度,增强中心区的辐射与集聚效应;在城市外围区域,结合新城、卫星城的建设规划,规划放射状轨道交通线路,将外围区域与中心区紧密相连,引导人口和产业向外围疏散,减轻中心区交通压力。以上海为例,其轨道交通线网规划与城市“多中心、组团式”发展规划相契合,多条线路连接各个副中心,推动了城市空间的均衡发展。此外,规划轨道交通线路时,要与城市土地利用规划相结合,在站点周边规划商业、办公、住宅等综合用地,实现“以公共交通为导向”的发展模式,缩短乘客出行距离和时间。

3.2 换乘系统优化

(1)提升换乘点的便捷性和效率,减少换乘时间和步行距离。换乘是轨道交通出行中的一个重要环节,换乘的便捷性和效率直接影响乘客的出行体验和对轨道交通的选择。为了提升换乘点的便捷性和效率,在换乘站的设计上应尽量采用便捷的换乘方式,如同台换乘、十字换乘等。同台换乘是指乘客在同一个站台上就可以完成不同线路之间的换乘,这种换乘方式最为便捷,能够最大程度地减少换乘时间和步行距离,如广州地铁的体育西路站部分线路采用了同台换乘方式,极大地提高了换乘效率。对于无法采用同台换乘的换乘站,应尽量缩短换乘通道的长度,优化通道的布局,避免不必要的转折和迂回。同时,在换乘通道内设置自动扶梯、步行梯

等设施,方便乘客快速通行。另外,还可以通过合理安排列车的到发时间,实现换乘列车的“无缝衔接”,减少乘客的候车时间^[3]。(2)强化换乘点的信息指引和服务设施。清晰、准确的信息指引是确保乘客顺利换乘的关键。在换乘站内,应设置醒目的导向标识,包括线路指示、站台指示、出口指示等,标识应简洁明了、易于识别,并且在不同的位置重复设置,确保乘客在任何位置都能清楚地了解自己的行进方向。同时,应利用现代信息技术,在换乘站的站台、站厅等位置设置电子显示屏,实时显示各条线路的列车运行状态、到站时间、换乘信息等,方便乘客及时获取相关信息,合理安排自己的换乘行程。此外,换乘点还应配备完善的服务设施,如座椅、卫生间、母婴室、便利店、客服中心等,为乘客提供便利。对于一些大型的换乘站,还可以设置问询台、志愿者服务点等,为乘客提供面对面的咨询和帮助。

3.3 运营服务优化

(1)根据乘客出行需求调整车次频次和时刻表。乘客的出行需求在不同的时间段存在明显的差异,早晚高峰时段客流量大、需求旺盛,而平峰时段和夜间时段客流量相对较少。因此,轨道交通运营部门应根据乘客出行需求的这种时间分布特征,合理调整车次频次和时刻表。在早晚高峰时段,应增加车次频次,缩短发车间隔,提高列车的输送能力,以满足大量乘客的出行需求。例如,北京地铁在早晚高峰时段,部分线路的发车间隔缩短至2分钟以内,有效缓解了高峰时段的客流压力。在平峰时段,可以适当减少车次频次,降低运营成本,但同时也要保证列车的准点率,满足乘客的基本出行需求。在夜间时段,对于客流量较小的线路,可以适当延长发车间隔,但对于连接火车站、机场等交通枢纽的线路,应根据夜间的航班、列车到达时间,合理安排夜间车次,方便乘客出行^[4]。(2)提供个性化、差异化的服务,满足不同乘客群体的需求。不同的乘客群体有

着不同的出行特征和服务需求,轨道交通运营部门应针对这些差异,提供个性化、差异化的服务。对于通勤乘客,他们对出行的准时性、快捷性要求较高,可以为其提供通勤月票、高峰时段的快速通道等服务;对于老年乘客、残疾乘客等特殊群体,应在车站内设置无障碍设施,如轮椅坡道、盲道、无障碍电梯等,为他们的出行提供便利,同时在列车上设置专门的爱心座位;对于旅游乘客,应在车站内设置旅游信息咨询台,提供城市旅游地图、景点介绍等信息,并且在列车上播放景点介绍等内容,方便游客了解城市的旅游资源。此外,还可以利用大数据分析技术,根据乘客的出行习惯和偏好,为乘客提供个性化的出行信息服务,如通过手机APP向乘客推送定制化的列车时刻表、换乘路线建议等。

结束语

综上所述,基于乘客出行特征的城市轨道交通客运线网规划优化,是提升城市交通系统效能、满足多样化出行需求的关键路径。通过深入分析乘客出行特征,我们能够更科学地预测客流需求,合理布局线路与换乘点,优化运营服务策略。未来,随着大数据、人工智能等技术的进一步发展,乘客出行特征的分析将更加精准,城市轨道交通客运线网规划也将迈向更加智能化、人性化的新阶段,为城市居民提供更加高效、便捷的出行体验。

参考文献

- [1]董辰昊.城市轨道交通线网规划关键技术分析[J].居舍,2020,(04):47-48.
- [2]毕明涛,宋涛.大城市轨道交通线网规划关键技术探讨[J].工程技术研究,2021,(10):90-91.
- [3]贺宁.城市轨道交通线网的规划控制问题探讨[J].城市轨道交通研究,2020,(07):79-80.
- [4]朱卫国.城市轨道交通线网规划面临的问题及对策[J].都市快轨交通,2022,(05):51-52.