

面向网络化运营的有轨电车线网规划要点

余欢 杨帆

(上海市城市建设设计研究总院(集团)有限公司,200125,上海//第一作者,工程师)

摘要 基于骨干公交的品质化、覆盖率目标,提出网络化运营的有轨电车系统是提升中小规模城市公交客流效益的基本要求。同时,明确均衡性布局、灵活性运营是规划层面面临的核心问题,围绕网络布局特征、复合线路形式以及站点设置考虑因素等关键技术问题进行深入分析,并形成初步研究结论。

关键词 有轨电车;线网规划;网络化运营

中图分类号 U482.1; U212

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.09.047

Key Points of Tram Line Network Planning Facing Networking Operation

YU Huan, YANG Fan

Abstract Based on the target of quality and coverage advancement of backbone public transport, it is proposed that a network-operated tram system is fundamental for improving the efficiency of public transport passenger flow in small- and medium-sized cities. At the same time, a clear and balanced layout and flexible operation are the core issues faced at the planning level. Analysis centering key technical issues such as network layout characteristics, composite line forms, and factors for site setting consideration is carried out in depth, and preliminary research conclusions are formed.

Key words tram; line network planning; networking operation

Author's address Shanghai Urban Construction Design & Research Institute (Group) Co., Ltd., 200125, Shanghai, China

在新型城镇化发展背景下,优先发展公共交通已经成为我国解决城市交通问题的共识,而“碳达峰、碳中和”发展战略则进一步强化了要求公交优先发展的要求。然而,对于国内中小规模城市 and 地区,受制于人口和经济等因素,城市公交网络仅仅作为单一层次的常规公交,城市公交的吸引力不足、客流难以进一步提升,无法真正实现公交优先的目标。

公交优先的基础是建设高品质骨干公交网络。有轨电车自身优势明显^[1]:相对于常规公交,有轨电车具有可靠、舒适等优点;相对于大运量城市轨道交通,有轨电车具有建设成本低、建设周期短及网络化运营灵活等优点。综合以上两方面,有轨电车适合且能够满足建设中小规模城市品质骨干公交的要求。有轨电车近几年在国内发展迅速,但与此同时,有轨电车普遍面临客运量不足及高额运营补贴等问题,难以起到解决城市交通拥堵、提升公交服务水平的作用^[2]。面临该种困境的主要原因是,在规划阶段即未明确其功能定位及规划方法技术^[3]。也即在规划层面并未实质性地把握有轨电车类公交网络化的运营特性以及品质骨干公交的功能定位,而是将其视为降级的大运量城市轨道交通,利用“点、线、面”方法进行规划^[4],线网布局注重集中式和中心化形态。

目前,国内现有的有轨电车研究主要集中在系统特征、车辆技术以及交通接驳等具体问题上,关于有轨电车网络规划层面的深化研究略有不足。本文基于建立高品质骨干公交系统的要求,面向网络化运营的有轨电车系统,阐明有轨电车线路的网格状及均衡性规划布局模式,并对网络形态、运营线路形式和站间距等因素进行分析,为有轨电车的发展模式及网络规划提供参考思路。

1 有轨电车的品质化和网络化内涵

1.1 构建高品质骨干公交网络

单一的常规公交系统即使达到一定的线网规模和覆盖率,但由于运营速度低、准点率低、舒适性低等原因,公交吸引力难以进一步提升。低吸引力带来低公交客流效益,从而引发“客流低—运营亏损大—补贴严重—负面影响大—系统缺乏竞争力—客流更低—系统不被接受”的恶性循环,无法真正实现公交优先的发展初衷。因此,必须构建高品质骨干公交网络才能提升城市公交吸引力与客

流效益。该类公交网络需具备以下属性:

1) 可靠性。在不确定性出行环境下,行程时间和行程时间可靠性是影响出行方式选择的重要因素。

2) 高覆盖率。高覆盖率是公交系统网络化运营的前提,也是吸引公交客流的基础条件。公交高覆盖率指标主要指的是线网密度和站点覆盖率,相关规范标准也对此类指标进行了要求与界定^[5]。

3) 舒适性。随着城市经济发展的进一步成熟,城市公交的可靠性及覆盖率仅仅是公共交通的基本评价指标,乘车舒适性已经成为乘客选择公交方式的重要考虑因素,具体包括车辆的平稳性、空间尺度及人性化设置等影响因素^[6]。

1.2 有轨电车作为高品质骨干公交的适应性

1.2.1 高品质性

结合有轨电车的技术特征,该类系统本质上和常规公交一致,但在服务品质上有所提升,具体体现为以下几点:

1) 公交化的行车环境及运营模式。有轨电车系统以半封闭路权为主,其在运营过程中必然与社会交通(包括道路交通和慢行交通等交通方式)相互影响,运行环境较为复杂。但同时,有轨电车的网络线路运营灵活,可根据城市在不同发展阶段的空间格局变化而及时进行调整,从而达到较为便捷地进行同站台换乘的目的。

2) 可靠性更高。不同于常规公交系统,有轨电车路段通常拥有独立路权,为保障运营安全性和速度提供基础条件;与道路信号系统协调的交叉口智能化信息系统使得其具有优先通行权,从而提高准点性和可靠性。

3) 舒适性更高。有轨电车大多采用流线型车身、大窗、对开门、100%低地板等新颖设计,在方便旅客水平上下车的同时,还考虑到了婴儿车和残疾人车的自由乘降。在固定轨道上运行时,当采用较长的车辆增大运能,仍能保证较好的运营稳定性和乘坐舒适性。

1.2.2 高覆盖率

对于中小规模城市与地区,考虑乘客的出行时间和出行距离,承担骨干公交功能的有轨电车网络的运营速度和运输能力与大运量轨道交通的差距可以忽略不计^[7]。相对于大运量轨道交通,有轨电车更易于实现高覆盖率的原因主要有:

1) 运营方式更为灵活。相比于大运量轨道交

通,有轨电车可以实现网络化运营,根据城市发展的环境变化及时调整其运营方式,运营灵活性较高。

2) 建设成本相对更低。有轨电车的投资成本为地铁的 $1/7 \sim 1/5$,为轻轨的 $1/3$,同时其建设周期较短,为 $1 \sim 2$ 年,可极大地减少对城市融资压力和现有交通系统的影响。

基于以上两点,可以认为有轨电车系统因其灵活的运营方式和相对较低的建设成本,更易实现高覆盖率的线网模式,进而为客流效益奠定基础。

2 网络化运营的有轨电车规划要点

当前,国内很多有轨电车线路因客流不足而出现“大马拉小车”的现象,导致公交投资压力与日俱增、有轨电车运营补贴投入较多等问题。考虑到有轨电车系统一般拥有独立路权,客流不足会引起交通出行参与者的不满情绪,不利于有轨电车系统进一步的发展完善。因此,在规划阶段就应该以客流作为规划的核心问题,以客流效益作为评价规划是否合理的首要原则,注重规划技术要点。

2.1 网格状与均衡性布局

考虑到城市发展是动态的,城市公交的需求 OD(起讫点)在时刻变化,以服务为需求的有轨电车网络体系,其规划布局更应该考虑网格化与均衡性,可以根据不同的城市发展阶段动态调整其运营方式,实现一定规模客流走廊的公交服务水平最大化。

吸引范围几何分析法是在保证合理吸引范围覆盖整个城市用地的前提下,利用几何方法来确定线网规模的方法。将城市规划区简化为较为规则的图形,然后以吸引服务范围来确定线间距,最后按线间距布线再计算线网规模。吸引范围几何分析法能够保证一定的服务水平,且由于城市规模比交通流量更容易控制,其受不确定因素的干扰较少。由于该方法假定合理吸引范围覆盖整个城市用地,所以会高估其吸引范围,从而导致线网规模的计算结果偏大;另一方面,城市用地边缘范围内的客流吸引较低,导致单位吸引范围内的平均客流降低,运营效率低下。此外,由吸引范围几何分析法确定的网络通常呈棋盘格分布,棋盘格线路网具有布局均匀、纵横线间换乘方便、在路网覆盖范围内连通性好等优点。但由于其网络线路走向单一,对角线、平行线间换乘次数较多,相对于放射网络而言,其广义效率更低。

为了避免线网规模过大以及换乘不便等问题,文献[8]提出一种有竞争力的公交网络模式——内部棋盘格、外部放射网络的复合网络。该复合网络在城市中心区域采用棋盘格网络,保证中心城区的覆盖率;在郊区采用放射网络,保证整个网络的广义效率。

该复合网络分别在时间和空间上定义覆盖范围,时间覆盖量越小,说明发车时间越短,即乘客平均候车时间越短,候车时间/车内旅行时间的比例越小,乘客选择公交系统的意愿越高。空间覆盖量越小,说明线网密度越高,乘客到站点的平均接驳距离越小,接驳时间/车内旅行时间的比例越小,乘客选择公交系统的意愿越高。

2.2 复合线路运营方式

有轨电车可以采用多条平行的复合线路组合模式,复合线路组合不仅可以提高“干线”的发车频率,减少等待时间,提供更多的出行路径选择,还可以提高支线的出行效率,降低支线 and 支线之间的换乘次数。复合线路组合模式能够提升整个线网的运营效率,提供丰富的出行选择,增加线路与线路之间的同站换乘频次,有效降低乘客的换乘阻抗。线路组合模式示意图如图1所示。

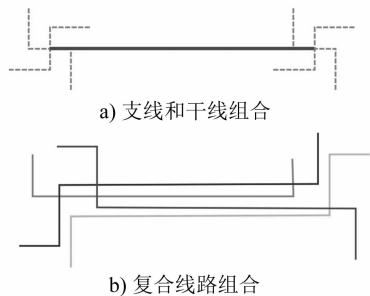


图1 线路组合方式图

Fig. 1 Combination of tram routes

以澳大利亚墨尔本有轨电车网络布局为例。墨尔本拥有全世界最大的有轨电车系统,有轨线路在中心城区呈现网格状布局形态,几乎覆盖了市中心商业区的所有主要道路;而在郊区则呈现放射网络布局,共建成29条有轨电车,网络规模里程高达250 km,年客运量超过2亿人次,极大地服务了城市居民的公交出行。网格状、均衡性的布局网络为有轨电车的网络复合线路灵活运营提供基础条件。在客流服务频繁的廊道上,平行复合的运营线路达到10多条,可以极大地减少一定出行距离范围的乘客换乘时间,进而减少总出行时间,优化出行体验。

2.3 有轨电车站点设置的主要技术指标

有轨电车站点的主要技术指标为站点设置与站间距,这两个指标将直接影响客流效益。

2.3.1 站点服务范围

以站点A为例,其服务范围示意图如图2所示。站点A的服务范围应考虑两个层面:直接服务范围及换乘服务范围。将直接吸引站点A周围客流的区域定义为直接服务范围;将通过线路换乘1次,且满足一定距离限制可达到站点A的所有站点集合定义为E,其直接服务范围定义为站点A的换乘服务范围,换乘服务范围体现了站点A和其他站点的联系强度。

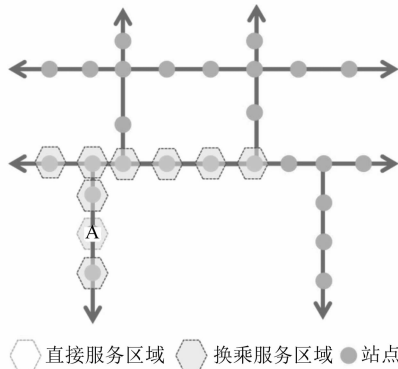


图2 有轨电车站点A的服务范围示意图

Fig. 2 Diagram of service coverage of tram station A

分别计算两种服务范围内的服务人口。当站点A的直接服务人口和换乘服务人口都较大时,说明站点A的吸引力和在线网内的联系重要性都较高,可以设立该站点。

2.3.2 站间距影响范围

站间距影响服务范围内出行者行至站台的时间以及运营速度。基于有轨电车的功能定位,综合客流服务和运行速度的要求,有轨电车的站间距不应太大。站间距越小,同样线路长度下站点的数量越多,能够增加沿线的客流覆盖率,有利于提高线路对客流的吸引能力、缩短乘客的接驳距离,并减少接驳时间。但同时,客流被分散到更多站点,不利于接驳公交的规划。站间距过小,导致了车站数量的增加,同时车辆在同样出行距离内的到站停车频率将会增加,乘客的车内时间与出行成本也会相应增加,出行成本的提高将会降低乘客选择有轨电车的意愿。

从保障运营速度的角度而言,有轨电车一般与其他社会交通系统在交叉口相互影响,因此相邻站

点之间的交叉口数量需要合理设置,尽量减少在交叉口处的速度损失,保证在交叉口可以绿灯通行,以提高行程速度和可靠性,并减少对其他交通系统的影响。

CJJ 15—1987《城市公共交通站、场、厂设计规范》中的相关规定指出,城市公共电、汽车中间站的间距相对较小,平均站间距通常为 500~600 m。有轨电车由于路权优先、速度较快,其平均站间距可以适当提高。有轨电车站点的平均站间距通常为 500~1 000 m,中心城区和郊区可根据实际情况进行适当调整,在保证客流吸引及方便接驳的同时,保证行车速度、降低减速和停车次数。

3 结语

本文提出有品质、高覆盖率的骨干公交是实现公交优先的基础,分析骨干公交的内涵,探讨有轨电车系统成为城市品质骨干公交的适宜性。深入剖析有轨电车系统规划的关键技术要点,提出合适的网络布局形态特征、复合线路形式以及站点设置原则。

结合本文的规划技术分析,在规划完善后需要进一步完善接驳交通系统规划设计,尽可能延伸及优化有轨电车系统服务,从而提升规划效益,共同助力实现公交优先发展。

参考文献

- [1] 蒋应红. 现代有轨电车建设先决条件分析[J]. 交通与运输(学术版),2017(2):103.
JIANG Yinghong. Prerequisite analysis of modern tram construction[J]. Traffic & Transportation,2017(2):103.
- [2] 赵鹏林,刘永平,张宁,等. 现代有轨电车体系的思考与实践

- [J]. 铁路技术创新,2016(4):11.
ZHAO Penglin, LIU Yongping, ZHANG Ning, et al. Reflection and practice of modern tram system[J]. Railway Technical Innovation, 2016(4):11.
- [3] 李文斌,张云地,李鹏凯,等. 深圳龙华现代有轨电车后评价研究及思考[J]. 交通与港航,2021(5):55.
LI Wenbin, ZHANG Yundi, LI Pengkai, et al. Research and reflection on the post evaluation of Shenzhen Longhua Modern Tram[J]. Communication & Shipping,2021(5):55.
- [4] 林文燕. 城市中运量快速公共交通型式选择及适用性研究——以泸州市为例[D]. 成都:西南交通大学,2018.
LIN Wenyan. The selection and applicability of urban medium-capacity rapid transit: a Luzhou case study[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University,2018.
- [5] 严亚丹,李杨,王东炜,等. 公交车辆进出停靠站对城市主干路路段的交通影响[J]. 交通运输系统工程与信息,2019(3):149.
YAN Yadan, LI Yang, WANG Dongwei, et al. Traffic impacts of buses' entering and exiting stops on urban major arterial segments[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology,2019(3):149.
- [6] 毛应萍,林涛. 浅谈多层次公交服务体系及其保障要素[J]. 交通与运输(学术版),2013(1):99.
MAO Yingping, LIN Tao. On the multi-level bus service system and its security elements[J]. Traffic & Transportation, 2013(1):99.
- [7] 张玉娇. 中运量城市轨道交通系统及其在我国的适用性研究[D]. 北京:北京交通大学,2020.
ZHANG Yujiao. Research on system mode and applicability of medium carrying-capacity urban rail transit in China[D]. Beijing:Beijing Jiaotong University,2020.
- [8] DAGANZO C F. Structure of competitive transit networks[R]. Berkeley: UC Berkeley Center for Future Urban Transport,2009.

(收稿日期:2022-04-06)

无障碍渡板将逐步覆盖上海轨道交通全网

为进一步提升无障碍出行品质,方便使用轮椅、推行婴儿车的乘客上下列车,上海轨道交通将在全网各站配置无障碍渡板,用以铺平列车车厢与站台间的间隙,搭建无间隙爱心桥梁。根据计划,今年内将逐步覆盖上海轨道交通全网各座车站。

无障碍渡板采用绝缘防滑材质,平时三层折叠,使用时铺开即用。铺开时渡板宽约 80 cm,可无缝连接列车车厢与站台,帮助乘客顺畅出行,平稳通过。使用无障碍渡板有 3 种预约方式:一是拨打地铁服务热线 64370000 申请服务;二是拨打车站电话进行预约;三是到车站后直接和工作人员提出使用需求。乘客预约成功后,车站工作人员将全程陪同乘客安全上车,并通知目的地车站或换乘车站工作人员,相关车站也将无缝对接,提供接力服务。

(摘编自 2022-08-27《澎湃新闻》)