

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2022.08.059

快速有轨电车应用分析及发展建议

梁帅文

(北京城建设计发展集团股份有限公司, 北京市 100037)

摘要: 有轨电车具有运量适中、绿色环保、投资低、审批快、建设周期短的特点, 适合中小城市构建公共交通骨干系统。国内部分中小城市的功能组团或片区呈现分散布局的特点, 相互之间的空间距离较远, 需通过建设快速有轨电车满足城市内部快速出行的需求。首先根据居民出行时间要求提出快速有轨电车的旅行速度应达到 30 km/h 以上。其次分析法国里昂、葡萄牙波尔图、美国双子城、中国苏州的应用案例, 总结出快速有轨电车的功能定位和线路特点。最后从适用区域、车辆选型、站点设置、交叉口设计、标准制定 5 个方面提出快速有轨电车在我国的发展建议。

关键词: 快速有轨电车; 旅行速度; 应用案例; 发展建议

中图分类号: U482.1

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)08-0219-03

0 引言

有轨电车是一种最大运能为 1.2 万人次/h 的中低运量轨道交通系统^[1], 具有投资较低、建设速度快、服务品质高等特点, 适合中小城市构建公共交通骨干系统。其在整个城市轨道交通规划总里程中的占比稳中有升, 在国内呈现蓬勃发展的态势^[2]。受地理条件限制或城市发展历史的影响, 国内部分城市的功能组团或片区之间相距较远, 缺乏高效、便捷、快速的跨组团出行方式, 制约了城市的进一步发展。普通有轨电车无法满足组团或片区快速出行的需求, 城市体量和经济规模又无法达到地铁、市域快轨等大运量轨道交通系统的建设门槛, 这就为快速有轨电车提供了发展空间。

1 快速有轨电车技术特点

有轨电车速度标准主要反映在车辆最高行驶速度和全线旅行速度这两项指标上。车辆最高行驶速度体现车辆的动力学性能。旅行速度为线路长度与包括车辆停站时间、区间运行时间在内的全线运行时间的比值, 反映的是全线的运营水平和服务效果, 更能体现出线路的功能定位。因此, 应以旅行速度为核心指标指导快速有轨电车的规划设计工作。

国内部分中小城市功能组团或片区相距较远, 造成城市居民出行距离较长, 甚至达到 20 km 以上。

收稿日期: 2021-10-18

作者简介: 梁帅文(1991—), 男, 硕士, 助理工程师, 从事轨道交通规划与设计工作。

在居民全出行链上, 除了乘车时间外, 还包括接驳时间(包括步行接驳和其他交通系统接驳等)、候车时间等。为满足城市内部出行时间不大于 1 h 的要求, 乘车时间应控制在 45 min 之内^[3], 快速有轨电车的旅行速度应达到 30 km/h 以上。

2 国内外快速有轨电车应用分析

2.1 法国里昂

里昂机场快线是一条连接里昂主城区与里昂机场的有轨电车快线线路, 全长 23 km, 沿途仅停靠 4 座车站, 平均站间距达到 7.67 km, 首末站分别为里昂中央火车站和里昂机场(见图 1)。全线为半独立路权形式, 除交叉口与机动车混行外, 其余路段均为有轨电车专用车道。全线运行时间为 30 min, 旅行速度达到 44.6 km/h, 采用 Stadler 生产的 70% 低地板三模块编组车辆, 最高行驶速度为 100 km/h。机场快线部分路段与有轨电车 T3 线共线运行, 部分车站有 4 条股道, 供机场快线车辆越行。线路与沿线道路存在多处平面交叉口, 但由于采用有轨电车信号优先, 且在相交道路方向上设置横杆, 车辆无须于交叉口前等待, 可快速通过。



图 1 里昂机场快线

2.2 葡萄牙波尔图

波尔图已开通运营6条有轨电车线路。B线为线网中运营里程最长的线路,达到33.6 km,全线共设站35座,连接北部的波瓦-迪瓦尔津和波尔图中心城区。线路设站密度呈典型的哑铃型特点,在波瓦-迪瓦尔津区和中心城区内设站较密,该段线路平均站间距约600 m。线路中段沿线以农田为主,客流较少,因此设站较少,最大站间距达到2.7 km。线路沿线以立体交叉口为主,区间采用专有路权。为缩短线路运营时间、减少外围城镇居民往返中心城区的出行时间,B线采用快慢车共同开行的模式。快线车辆(又称Bx线,见图2)仅停靠其中的21站,采用庞巴迪生产的Flexity系列低地板有轨电车,最高运行速度可达到100 km/h,全程运行时间为53 min,旅行速度达到38 km/h。



图2 波尔图Bx线

2.3 美国双子城

双子城指的是位于美国明尼苏达州的明尼阿波利斯市和圣保罗市两座邻近的城市,市内公共交通由有轨电车和快速公交组成。其中,有轨电车线网由蓝线和绿线组成。蓝线全长19.8 km,共设车站19座。车辆采用庞巴迪生产的Flexity系列70%低地板有轨电车,最高速度可达到100 km/h,全线旅行速度约为30 km/h。线路连接位于城区南部的美国购物中心(Mall of America)、阿波利斯-圣保罗国际机场两座航站楼,以及城区北部的商业中心、体育中心等重要客流集散点。沿线存在多处与道路的平面交叉口,其余路段均为有轨电车专有路权段。

与波尔图B线类似,双子城有轨电车蓝线设站密度亦呈现哑铃型特点。线路中段主要沿主干路敷设,两侧多为别墅区,站间距约为1.6 km。线路两端设站较为稠密,平均站间距约为600 m(见图3)。

2.4 中国苏州

苏州高新区是我国首批国家级高新区,是苏州重点建设的新区。区内规划6条有轨电车线路作为地铁的补充和加密。截至2020年年底,已开通1号线和2号线。1号线(见图4)为国内同时期运营线路中平均站间距最大的线路,达到1.98 km^[4]。沿线部分

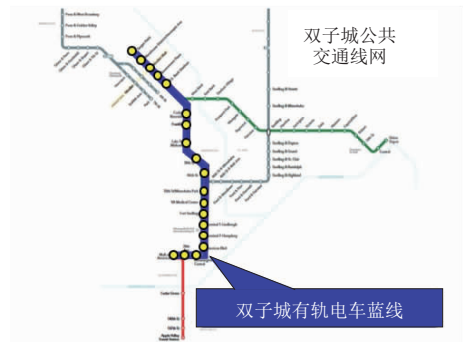


图3 双子城蓝线

交叉口为立体交叉的方式,平面交叉口处信号灯设置为有轨电车优先模式,地面段区间为有轨电车专有路权。车辆最高行驶速度为70 km/h,全线旅行速度达到31.5 km/h。



图4 苏州高新区1号线

2.5 应用案例小结

上述国内外快速有轨电车线路特征见表1。根据城市布局特点和线路服务区域进一步分析,快速有轨电车具有以下3种功能定位:

(1)作为重要客流集散点之间的快速连接通道,实现点到点的快速直达,如里昂机场快线。

(2)串联相距较远的功能组团或市郊城镇,加强城市内部各个区域之间的联系,如波尔图Bx线和双子城蓝线。

(3)作为区域性公共交通骨干系统,解决区域内部长距离快速出行的问题,如苏州高新区有轨电车1号线。

里昂机场快线主要通过增大站间距、提高车辆最高行驶速度、交叉口设置有轨电车信号优先、共线运营段车站设置越行线来缩短全线的运行时间、提高全线旅行速度。此外,沿线平面交叉口处相交道路方向均设置横杆,列车通过时放下,以防止机动车或行人误入轨行区。

波尔图有轨电车Bx线通过开行快慢车、增大局部路段站间距、提高车辆最高行驶速度、减少平面交叉口数量等措施来提高快线的旅行速度。快线主要解决外围组团与中心城区的快速连接问题。普速线

表1 国内外快速有轨电车线路特点

所在城市	法国里昂	葡萄牙波尔图	美国双子城	中国苏州高新区
人口规模/万人	50	142	70	45
线路名称	机场快线	Bx线	蓝线	1号线
线路长度/km	23.0	33.6	19.8	25.7
车站数/座	4	21	19	14
平均站间距/km	7.67	1.68	1.10	1.98
车辆最高行驶速度/(km·h ⁻¹)	100	100	100	70
服务模式	点到点	中心城区与市郊城镇之间	组团之间	城区内部
平面交叉(0,500 m]	55	12	68	5
交叉口间距占(500 m, 1 000 m]	38	44	19	56
比/(1 000 m, ∞)	7	44	13	39
平面交叉口信号优先	有	有	不明	有
立体交叉口占比/%	27	77	21	18
路权形式	半独立	半独立	半独立	半独立
越行线	有	无	无	无
快慢车模式	无	有	无	无
其他提速措施	平面交叉口设置横杆,有轨电车通过时放下	无	无	无
旅行速度/(km·h ⁻¹)	44.6	38.0	30.0	31.5

则停靠所有站点,保证线路对沿线居民的服务覆盖,旅行速度稍逊于快线。

双子城有轨电车蓝线主要通过提高车辆最高行驶速度、增大局部路段站间距来提高全线的旅行速度。从实际运营效果来看,该线旅行速度与里昂机场快线或波尔图有轨电车 Bx 线相比,存在明显差距。主要原因在于,与上述两座城市的线路相比,双子城蓝线的平均站间距和平面交叉口平均间距较小。

苏州有轨电车 1 号线主要通过设置交叉口有轨电车信号优先、增大站间距、增大平面交叉口间距、部分路段采用立体交叉等措施来提高全线的旅行速度。虽然其车辆的最高行驶速度不及双子城蓝线车辆,但得益于较大的站间距和平面交叉口间距,其旅行速度反而高于后者。

3 我国快速有轨电车发展建议

3.1 适用区域

快速有轨电车应主要应用于我国中小城市市域层面。当城市重要节点,如火车站、机场、景区等与主城区相距较远,或城市功能组团、片区、行政区主要

开发区域之间因距离过长导致相互间联系受到制约时,可考虑通过建设快速有轨电车满足城市内部快速、便捷、高效的通行需求。大城市及以上规模城市通常需要构建以地铁、市域快轨为骨干的轨道交通系统。市域层面对快速有轨电车的需求有限,但在空间范围较大的新区内部,快速有轨电车对完善新区轨道交通体系、快速接驳地铁或市域快轨、提高居民出行效率具有重要意义,存在一定的建设需求。

3.2 站点设置

站间距将决定车辆是否有足够的距离加速至最高行驶速度,并能以此速度行驶多长距离。旅行速度通常与站间距呈正相关,且站间距越大,旅行速度增幅更快^[5]。因此,对于快速有轨电车而言,应适当提高线路站间距,为车辆提速创造条件,全线平均站间距不宜小于 1.0 km。

3.3 车辆选型

不应盲目采用最高行驶速度更高的车辆,当线路条件不允许车辆长时间或在较长区段内以最高速度行驶,甚至无法达到最高行驶速度时,采用高速度车辆属于“大材小用”。因此,应紧密结合线路条件,对各速度等级车辆的适用性和经济性进行分析,避免工程及车辆购置投资过大。

3.4 交叉口设计

有轨电车以地面敷设为主,出于安全考虑,有轨电车通过平面交叉口时,将限速至 30 km/h^[6],对全线旅行速度影响较大。因此,应减小平面交叉口的数量,有条件时采取立体交叉的方式通过;或适当提高地下段、高架段的比例,与道路系统互相隔离;或在平面交叉口处设置有轨电车信号优先,设置有利于有轨电车快速通过的设施,减少交叉口延误时间,提高全线的旅行速度。

3.5 标准制定

我国尚未出台快速有轨电车的设计标准或由审批主管部门颁布的对设计工作具有参考意义的文件说明等。部分学者虽已开展相关研究^[4,7,8],但在系统特征、技术标准等关键问题上还存在不同的看法,对于快速有轨电车的规划理论和设计参数尚未达成统一认识。因此,应尽快启动行业及以上层面的快速有轨电车标准的研究和编制工作,为规划设计提供可靠依据。

4 结语

我国部分城市的空间结构特点和随之产生的城

(下转第 231 页)

2A17WS00047-1HEWS1088 管段缺陷检测,独立检测形成成果统计见表4。

表4 2A17WS00047-1HEWS1088 管段 CCTV 复核成果统计表

距离 /m	缺陷名称 代码	分值	等级	管道内部状况描述	照片
33	(CR)异物 穿入	5	3	结构性缺陷,环向 0803 位置,纵向长度 1 m	1
55	井盖埋没			特殊结构及附属设施,纵向长度 2 m	2
56	(CR)异物 穿入	0.5	1	结构性缺陷,环向 0507 位置,纵向长度 1 m	3
106	(BX)变形	10	4	结构性缺陷,环向 0903 位置,纵向长度 2 m	4

3.4 一致性复核结果分析

通过对试验管段的实时成像声呐检测、水下断面声呐检测、电法渗漏检测和 CCTV 检测,并通过检测成果的独立解析,可以得到如下结论:

(1)水下实时成像声呐识别到管内 33 m 处,0803 方向,存在异物穿入缺陷 1 处,但无法判定其材质;水下断面声呐也在该位置识别到了顶部异常,但无法判读其缺陷类型;经管道 CCTV 复核,确认管内 33 m 处存在异物(暗管)横穿 3 级缺陷,0803 方向。通过比对,水下图像声呐解译成果(位置、部位、异常类型、尺寸)与管道 CCTV 复核成果一致性良好。

(2)水下实时成像声呐识别到管内 54~56 m 处,存在暗井 1 处;水下断面声呐也在该位置识别到了暗井异常 1 处;经管道 CCTV 复核,确认管内 55 m 处存在暗井,0803 方向。通过比对,水下图像声呐解译成果(位置、部位、异常类型)与管道 CCTV 复核成果一致性良好。

(3)CCTV 复核发现管内 56 m 处,0507 方向,存在异物穿入(钢筋)缺陷,在水下实时声呐实测数据中均未有效识别。

(4)水下实时成像声呐识别到管内 103~105 m 处,0903 方向,存在顶部变形缺陷 1 处,顶部变形垂直高度为 0.4 m;水下断面声呐也在该位置识别到顶部变形异常;经管道 CCTV 复核,确认管内 106 m 处存在顶部变形 4 级缺陷,0903 方向。通过比对,水下图像声呐解译成果(位置、部位、异常类型、尺寸)与管道 CCTV 复核成果一致性良好。

(5)电法渗漏检测成果反馈在检测范围内未见明显渗漏异常,经管道 CCTV 复核,确认管内未见明显渗漏缺陷。通过比对,电法渗漏检测解译成果与管道 CCTV 复核成果一致性良好。

4 结论

(1)“声呐+电法测漏”组合技术可对满水末端干管内存在的主要结构性缺陷(脱节、支管暗接、错位、异物穿入、起伏)及功能性缺陷(沉积、障碍物、树根、残墙坝根)进行有效识别,最小目标分辨能力为 0.1 m,理论误差为 0.02 m。

(2)对于较小尺寸的异物穿入,“声呐+电法测漏”组合技术无法有效识别。

(3)对于穿入异物的材质,“声呐+电法测漏”组合技术无法识别,需要借助资料查询、产权单位走访、降水位后进行 CCTV 检测等方式予以确认。

参考文献:

[1] CJJ 181—2012,城镇排水管道检测与评估技术规程[S].

(上接第 221 页)

市内部快速出行需求催生了快速有轨电车的发展需要。快速有轨电车在国内外部分城市已得到应用,在我国中小城市市域层面和大城市区域层面具有一定的建设需求,在其规划建设过程中应在车辆选型、站点设置、交叉口设计等方面加强针对性的分析,以满足实际运营需求,在行业及以上层面应尽快启动相关标准的研究和编制工作,为快速有轨电车的规划建设提供技术支持。

参考文献:

[1] T/CAMET 00001—2020,城市轨道交通分类[S].

[2] 中国城市轨道交通协会.城市轨道交通 2020 年统计和分析报告[R].北京:中国城市轨道交通协会,2021.

[3] 李连成.市域(郊)铁路概念辨析及其定位[J].综合运输,2020,42(5):62-67.

[4] 唐森.快速有轨电车系统特征及适应性分析[J].城市轨道交通研究,2020,23(S1):5-8.

[5] 何肖,顾保南.我国大陆各城市轨道交通线路旅行速度统计分析——基于中国城市轨道交通协会数据分析的研究报告之七[J].城市轨道交通研究,2020,23(1):1-5.

[6] 甘元佳,易思蓉.现代有轨电车合理站间距研究[J].铁道标准设计,2018,62(2):81-88.

[7] 李猛,徐成永,贺鹏,等.国外快速有轨电车系统特征[J].都市快轨交通,2015,28(4):129-133.

[8] 秦舒.快速有轨电车在我国的适应性分析[J].城市轨道交通研究,2019,22(S1):21-23.