

上海市轨道交通浦江线工程建设实践

张家庆 陈丽峰 郑 亮

(上海黄浦江大桥建设有限公司,200090,上海//第一作者,工程师)

摘 要 上海市轨道交通浦江线是上海市首次采用胶轮制式的自动旅客运输 (APM) 系统的轨道交通线路。阐述了选用胶轮路轨 APM 系统制式的技术指标及综合考量。在介绍项目关键节点的基础上,重点论述了建设过程中形成的项目管理模式、高度集成的核心机电系统、胶轮路轨系统的设计及验收标准、车站建筑的轻量化设计、全面应用 BIM (建筑信息模型) 技术等先进的建设管理和技术手段。

关键词 城市轨道交通;自动旅客运输;胶轮路轨;系统选型;建设特点

中图分类号 U239.8

DOI:10.16037/j.1007-869x.2019.10.003

Construction Practice of Shanghai Rail Transit Pujiang Line Project

ZHANG Jiaqing, CHEN Lifeng, ZHENG Liang

Abstract Shanghai rail transit Pujiang Line is the first line that adopts rubber wheel APM in Shanghai. In this paper, the technical indicators and comprehensive consideration for the selection of rubber wheel APM are elaborated. Based on an introduction of the project key nodes, the advanced construction management and technical measures are particularly discussed, including the project management mode formed in the construction, the highly integrated core electro-mechanical system, the design and acceptance standards of rubber wheel system, the light weight design of station buildings and the application of BIM (building information modelling) technology.

Key words urban rail transit; APM; rubber wheel track; system selection; construction characteristic

Author's address Shanghai Huangpu River Bridge Construction Co. Ltd., 200090, Shanghai, China

1 工程概况

上海市轨道交通浦江线工程 (又名 8 号线三期) 位于上海市闵行区浦江镇内,线路全长 6.6 km,均为高架线,共设 6 座车站。线路起于汇臻路站,并预留进一步向西延伸的条件;终于沈杜公路站,与

上海轨道交通 8 号线沈杜公路站实现站内换乘。浦江线工程设车辆基地 1 处,控制中心位于车辆基地内。其线路走向如图 1 所示。浦江线通过与上海轨道交通 8 号线的驳接,大大方便了浦江镇多个大型居住区居民的出行。



图 1 上海轨道交通浦江线工程线路走向示意图

浦江线属中运量线路,是上海市首次采用胶轮路轨的全自动无人驾驶的自动旅客运输 (APM) 系统。该系统采用电力牵引,配置橡胶轮胎支撑在轨道面上运行;车辆底部设置特殊的导向结构,确保车辆沿着轨道中心运行;此外,该系统可灵活配置列车的编组^[1]。

与北京首都国际机场内旅客接驳系统和广州珠江新城轨道交通系统不同,本工程首次将胶轮路轨 APM 应用到既有地铁线客流走廊的延伸服务中,灵活构建了郊区新城与中心城之间的交通联系,丰富了城市轨道交通网络层次,有效发挥了网络末端集散效益。

2 系统制式选型

2.1 制式选型的技术指标

上海轨道交通骨干网络已基本形成。后续建设的外围线路,应充分考虑线路功能的差别、环境

影响的不同、客流规模及出行特征的差异、运营方案的不同,以及项目全寿命周期成本等因素,采用适合环境和客流特点的系统制式,保证系统制式选择的经济性与合理性,以实现整个轨道交通网络中不同系统制式各尽所能、优势互补。根据线路规划要求,本工程以下述技术指标为目标进行制式选型^[2]:

1) 运能需求:远期高峰高断面单向客流为 1.41 万人次/h。

2) 技术需求:高架全封闭专用路权;最小曲线转弯半径 60 m,最大爬坡能力 60‰;可灵活编组;平均旅行速度 ≥ 30 km/h,单程旅行时间 15 min 内。

3) 环境需求:运行振动与噪声低;高架线路与沿线居住环境相协调,可以顺利通过环评。

4) 成本需求:全寿命周期成本相对合理,可分阶段实施国产化。

5) 发展需求:符合标准适度、方案简洁、投资合理、工程影响小、服务功能好等技术发展要求。

2.2 制式选型的综合考量

2.2.1 客流预测及其特征

浦江线工程具有明显的中运量客流特征,主要用以承担上海轨道交通 8 号线末端客流集散。浦江线的功能定位与城市轨道交通骨干线路不同,属于城市轨道交通网络中的接驳线。在国外,类似项目有新加坡的武吉班让线、盛港线和榜鹅线等。根据客流预测,本工程初、近、远期高峰高断面单向客流量分为 0.81 万人次/h、1.12 万人次/h、1.41 万人次/h。如果采用既有地铁制式进行线路延伸,势必造成运能的浪费,且在技术需求上难以满足。因此,浦江线在运营初期配置了 4 辆固定编组共计 11 列车灵活运营,在终点站与轨道交通 8 号线接驳,可更好地适应本工程中运量的客流需求。

2.2.2 环境影响

本工程所在区域除位于浦星公路、三鲁路和鲁南路旁的第一排住宅可执行 4 类区标准外,其他均执行 2 类区标准。因此,选择噪声源强值较低的橡胶轮与高强度混凝土走行面系统,对环境友好,能满足环境影响评价的需要^[3]。

2.2.3 运营组织

本项目对运营灵活性有较高要求。根据现状及规划,浦江镇大型居住区将有大量通勤人口导入,他们工作岗位多在中心城区,早晚高峰时段客流较大,平峰时客流较小。因此,宜采用能够灵活

运营的轨道交通系统,以适应线路高峰与平峰时段客流差异较大的特点,降低运营成本。

2.2.4 沿线开发

本工程沿线建成多个居民住宅区,但仍有较多尚待开发地块。APM 具有编组小、曲线半径小、爬坡能力强等特点,可缩小车站规模、减少区间对地块的切割,从而降低工程造价、减少动拆迁量,有利于未开发地块的综合利用。

综上所述,浦江线工程采用胶轮路轨 APM 连接 8 号线沈杜公路站,通过对沈杜公路站的改建、扩建和新建,实现了站厅内便捷换乘。两线采用不同运营模式独立运营,8 号线横贯中心城区,串联人民广场、南京路、世博园区、黄兴公园等多个商业中心和大型客流集散点,而浦江线则以服务沿线居民通勤为主。功能互补的两线可以更好地适应各自客流特点,提高了运营效益和效率。

3 项目关键节点

在 2014 年 7 月浦江线工程取得的工程可行性研究报告批复中,确定了工程的建设规模,明确了采用胶轮路轨系统制式。为实现系统高度集成的无人驾驶功能,充分学习国内外 APM 建设管理模式的经验,项目最终确定了胶轮路轨 APM 核心机电系统及集成招标项目的模式。通过创新性的两阶段招投标模式,项目于 2015 年初确定了以车辆、信号及系统集成等行车相关专业组成的核心机电总承包联合体。

技术方案确定后,项目开始了初步设计文件的编制,并于 2015 年 5 月取得了初步设计的批复。本工程于 2015 年 12 月正式开工建设,经历 1 年的土建施工后,2016 年 12 月,6 座车站及其区间土建结构完成,停车场具备停车功能。2017 年 1 月,首列车通过公路运输抵达上海浦江镇车辆基地,同年 5 月全线送电完成,6 月开始上线动车信号调试。2018 年 1 月,系统综合联调完成并开始空车试运行演练,3 月取得了信号试运营载客安全证书及核心系统安全认证,并顺利通过了试运营基本条件专家评审。浦江线于 2018 年 3 月 31 日正式载客试运营。

浦江线工程历经 2 年多的建设,完成了从开工建设到交付运营的建设历程,是上海首次实现一次设计、一次安装调试、一次全功能开通全自动无人驾驶(UTO)系统的轨道交通线路,其建设周期在国

内外同类项目中历时最短。

4 工程建设管理特点

4.1 创新的项目管理模式

根据本项目任务重、工期紧、系统集成度高、可借鉴经验少等特点,建设单位采用了全新的建设管理模式。

在招投标阶段,为减少系统接口管理,实现系统的高度集成,项目采用了总承包模式,即所有施工内容均包含在土建施工总承包、核心机电总承包、非核心机电总承包等 3 个标段中。其中:土建施工总承包包含了所有的主体结构 and 装修安装工程;核心机电总承包包含与行车安全相关的专业内容;其余机电设备采购及安装均纳入非核心机电总承包。

在管理制度方面,建设单位制定了有针对性的管理办法和管理流程,明确了中、外方及各参建单位之间的工作界面和管理职责,如以核心机电为主,建立协调例会及专业专题会议制度,组建核心机电重大问题协调联席小组等,有效提升了核心机电的管理效率。

在项目实施过程中,建设单位还联合设计院、上海申通地铁集团的无人驾驶技术小组、法国的咨询公司、核心机电总承包商、运维公司等单位和部门,进行合署办公。面对新技术、新制式,各相关单位群策群力,共同进行技术攻关,提高了工作效率,降低了技术风险。

4.2 先进的机电系统集成

本项目采用最新的 PBTS 胶轮路轨车辆(见图 2),首次实现了在国内组装、下线及集成调试。列车采用 4 节固定编组,增加了客室贯通道以均衡车厢内客流。列车不设驾驶室,乘客视野开阔。列车运行引起的噪声低、振动小,空间适应性好,并配置了快速安全的紧急疏散系统和先进的健康维护管



图 2 浦江线 PBTS 胶轮路轨 APM 车辆

理系统。

浦江线采用基于通信的列车控制(CBTC)系统,可以实现无人值守下的全自动运行,列车的出入库、正线运行、折返等作业,以及车场内无人区域运行均由信号系统自动控制,无需司机操作。系统还具备了列车自动开门、关门、自动唤醒和休眠列车等功能,控制中心直接指挥行车。按照设计,浦江线 APM 系统的平均可用性 $\geq 99.5\%$ 。

浦江线采用控制中心集中监控方式指挥行车及应急处置(见图 3)。调度员可以直接进行列车客室广播、语音通话及视频监控等操作。出现设备故障时,控制中心人员予以远程处置;列车车厢内如发生紧急事件情况,控制中心人员可以通过车载系统引导乘客进行应急处置。

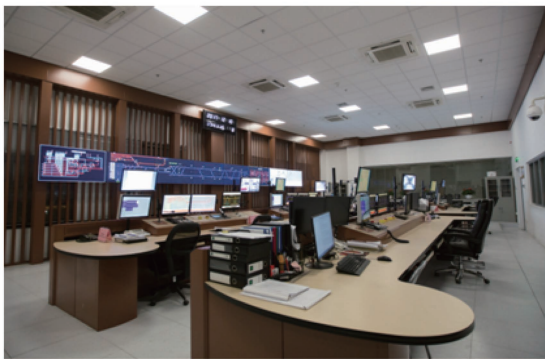


图 3 浦江线控制中心

浦江线还应用了多种智能化设备系统,可对恶劣气象环境进行全过程昼夜不间断的实时监测报警;如果有气象灾害发生,在人工确认信息无误的情况下,列车会自动停车或到站停靠,以保证系统的安全运营。

4.3 设计及验收标准的制定

由于胶轮路轨与传统的钢轮钢轨差异较大,而且不同的胶轮供应商各自拥有一些专利,技术平台不尽相同,因而在系统设计、各项产品设计、施工标准等方面,在国际上均未形成统一、规范的体系。

本工程在初步设计阶段,建设单位牵头各参建单位,完成了《上海市轨道交通 8 号线三期暨集运系统(暂名)工程初步设计技术要求(试行)》,并组织了专项技术评审。该技术要求涵盖了建筑结构、车辆、限界、轨道、机电、防灾安全、环境保护、运营组织等各方面内容。

对系统的施工质量进行验评,是项目投入使用后能够实现“运行平稳、舒适安全”目标的根本性保

障。由此,建设单位牵头各参建单位编制了《城市轨道交通胶轮路轨系统施工质量验收标准(试行)》。该标准在既有轨道交通建设经验的基础上,以现有的技术标准为标杆,提出了城市轨道交通胶轮路轨系统的施工要求、质量保证措施、验收办法、验收程序和质量标准,明确了建设各方在施工质量控制中的职责,严格规定了材料进场验收和施工质量检测的程序和方法,有效指导了浦江线胶轮路轨系统的施工验收工作。

4.4 轻量化的车站建筑设计

浦江线的车站建筑采用轻量化的设计,制定了与系统功能定位相适应的建设标准,充分体现了中运量等级和全自动运行的功能需求和技术优势。轻量化的车站设计有效整合了各项机电设备用房,结合运营特点大规模缩减管理用房,在确保满足使用功能的前提下,有效控制了车站规模与工程投资。

浦江线标准车站的站型突破了传统模式,采用路中高架两层车站,主体地面层架空,二层为站台层,为国内首创(见图4)。此外,浦江线还首次将车站“厅、台”同层布置,乘车流线更简洁、高效;车站主体、天桥及两侧站厅利用悬挑的“Z”字形连廊和天桥有机串联,可合理引导客流,整体性强。装修设计采用简洁现代的设计手法,整合公共区管线,设备终端依托于结构与综合管廊集中设计,使整个车站空间通透干净,体现了现代建筑结构之美。



图4 浦江线高架两层标准车站

4.5 建筑信息模型(BIM)技术的全面应用

浦江线工程在设计、施工、建设管理以及运维对接等各个环节中,全面运用了BIM技术,提升管理水平及精细化程度。

在设计阶段,运用BIM技术对设计方案进行检验、比选、优化。通过仿真建造验证设计方案的可行性,对设计图纸进行优化检查,消除设计缺陷,以提高设计文件质量。

在施工阶段,在各分阶段施工前,运用BIM技术对施工工序以及复杂施工工艺进行4D模拟(见图5),从而合理编排施工计划及施工工序,大大推进了基于BIM技术的工程管理便利性和效率。

在招标、设计变更及结算过程中,全面应用了BIM工程量清单,将方案变更与动态模型更新相结合,实现对投资的动态管理。

在工程竣工及运维阶段,竣工前对各专业和系统模型根据竣工资料进行更新,确保竣工模型的准确性。在此基础上,结合运维需求,在模型中增加了设备信息、运维信息等内容,为实现基于BIM的地铁全寿命周期管理奠定了坚实的基础^[4]。

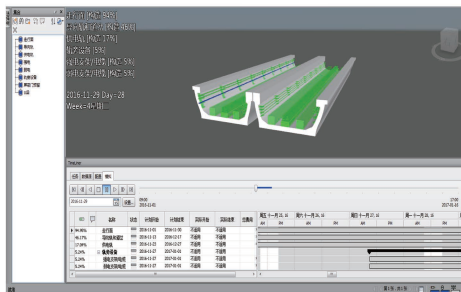


图5 施工工序的4D模拟截图

5 结语

浦江线工程为上海市首次采用全自动无人驾驶胶轮路轨APM的轨道交通线路,在适应客流特点,满足技术、环境、成本等要求的同时,也丰富了上海轨道交通网络的运营模式,提高了轨道交通的社会效益和经济效益。

工程参建各方通过摸索创新,形成了项目管理模式、高度集成的核心机电系统、设计及验收标准、轻量化车站建筑设计、BIM技术全面应用等先进的建设管理和技术手段,为顺利完成浦江线的各项建设目标提供了有力保障。

参考文献

- [1] 中华人民共和国建设部. 城市公共交通分类标准: CJJ/T 114—2007[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007: 16.
- [2] 朱蓓玲. 从上海轨道交通8号线三期工程车辆选型看胶轮路轨APM系统应用[J]. 地下工程与隧道, 2016(4): 25.
- [3] 郑亮. 胶轮路轨APM系统走行面的施工管理[J]. 城市轨道交通研究, 2018(4): 102.
- [4] 谢勇, 谢涛, 钱由胜. BIM+项目管理在工程中的应用研究[J]. 施工技术, 2018, 47(14): 154.

(收稿日期: 2019-05-05)