

芜湖市轨道交通1、2号线工程机电设备系统建设管理

黄坤林

(芜湖市运达轨道交通建设运营有限公司,241006,芜湖//高级工程师)

摘要 芜湖市轨道交通1、2号线工程是国内首个采用PBTS跨坐式单轨车辆及全自动运行建设标准的城市轨道交通项目,可供借鉴的经验较少。结合芜湖这2条线路机电设备系统建设管理的特点,对现有标准适用性、全自动运营场景研究、接口管理、关键技术国产化等方面进行了介绍。

关键词 跨坐式单轨;机电设备;建设管理;全自动运行

中图分类号 U251.1;U232

DOI:10.16037/j.1007-869x.2019.10.004

Construction and Management of Mechanical and Electrical Equipment for Wuhu Rail Transit Line 1 and Line 2 Projects

HUANG Kunlin

Abstract Wuhu Rail Transit Line 1 and Line 2 are the first urban rail transit projects in China that adopts the PBTS straddle monorail vehicle and fully automatic operation construction standards, with less experience for reference. Focusing on the construction and management characteristics of mechanical and electrical equipment system on the two lines, the applicability of existing standards, research on the fully automatic operation scenario, interface management and localization of key technologies are introduced.

Key words straddle monorail; mechanical and electrical equipment; construction and management; fully automatic operation

Author's address Wuhu Yunda Rail Transit Construction and Operation Co. Ltd., 241006, Wuhu, China

项目管理体系指南(PMBOK)指出,时间、成本、范围和质量等项目测量指标历来被视为确定项目是否成功的最重要因素^[1]。城市轨道交通项目投资大、建设周期长、涉及专业学科众多、社会影响大,其建设的项目管理工作尤为重要。

跨坐式单轨系统与传统的钢轮钢轨系统在列车走行和导向方式上差异较大,车辆、道岔、信号等机电设备系统也存在较大的技术差异。在我国,目

前已建成运营的跨坐式单轨系统主要为重庆的轨道交通2号线和3号线。这两条线路均不具备全自动运行功能^[2]。已建成运营的全自动运行线路主要有广州的珠江新城线、上海的轨道交通10号线和浦江线、北京的机场线和燕房线。这些线路主要是地铁、自动导向制式。全自动运行的单轨系统国内尚无开通运营。

芜湖市轨道交通1、2号线工程采用了全自动运行的跨坐式单轨系统,其机电设备技术新颖、功能多、接口复杂、可靠性要求高,因而对建设管理提出了更高的要求。本文主要从芜湖市轨道交通1、2号线标准体系完善、全自动运营场景研究、接口协调管理、关键技术国产化等方面,对工程机电设备系统的建设管理进行探讨和研究。

1 芜湖市轨道交通1、2号线项目特点

芜湖市轨道交通1、2号线一期工程均采用跨坐式单轨制式,其中:1号线全长30 km,全线高架敷设,共设车站25座(均为高架站),设车辆基地、停车场各1座;2号线一期工程全长15.8 km,其中地下线长1.4 km,设10座高架站、1座地下站,车辆基地1座。

这两条线路的车辆均采用由中车浦镇庞巴迪运输系统有限公司引进、转化生产的PBTS跨坐式单轨车辆。该车型在国内首次使用,属于中运量跨坐式单轨,采用单轴转向架,轴重14 t,按照全自动运行(UTO)设计。线路道岔采用与该车型相配套的道岔,主要类型为替换梁型道岔及枢轴型道岔。信号系统采用的是庞巴迪CITYFLO 650信号系统。项目预计在2021年开通,拟在运营初期采用有人值守的全自动运行模式。

2 跨坐式单轨系统的标准适用性研究

国内目前针对跨坐式单轨系统的工程设计及验收类标准主要有:GB 50458—2008《跨坐式单轨

交通设计规范》、GB 50614—2010《跨坐式单轨交通施工及验收规范》、T/CAMET 040019—2017《轻型跨坐式单轨交通设计导则》；针对车辆的主要有 CJT 287—2008《跨坐式单轨交通车辆通用技术条件》。尚无专门针对跨坐式单轨机电设备系统的相关标准。

基于北京燕房线全自动运行系统建设经验，国内发布了《城市轨道交通全自动运行系统建设指南》、《全自动运行系统安全报告》等白皮书。中国城市轨道交通协会组织编制了《城市轨道交通全自动运行系统技术规范》等团体标准，目前处于征求意见稿阶段。

基于 EN 62267—2009《铁路应用-自动化的城市轨道交通 (AUGT) 安全要求》、IEC 62290-1—2014《铁路应用-城市轨道交通管理与控制系统 第1部分：系统原则和基本概念》、IEC 62290-2—2014《铁路应用-城市轨道交通管理与控制系统 第2部分：功能需求说明书》等国际标准，国内发布了 GB/T 32588.1—2016《轨道交通 自动化的城市轨道交通 (AUGT) 安全要求 第1部分：总则》、GB/T 32590.1—2016《轨道交通 城市轨道交通运输管理和指令控制系统 第1部分：系统原理和基本概念》等全自动运行标准。

以上与跨坐式单轨相关的标准主要是依托我国单轨产业发展和项目应用实际情况，在重庆市轨道交通2号线和3号线的建设和运营管理实践基础上形成的^[3]。重庆市轨道交通2、3号线的特点是双轴转向架、大运量、采用人工驾驶或半自动化列车运行，所制定的标准中车辆、道岔、信号等系统的部分条文并不完全适用于采用单轴转向架、中运量、全自动运行的跨坐式单轨系统；此外，标准也未能充分覆盖跨坐式单轨本身的梁轨合一的特点。

针对芜湖市轨道交通1、2号线的项目特点，在项目设计和机电设备国产化的推进过程中，建设管理方在现行标准的基础上，积极探求建立适用于本项目制式的标准，以指导过程设计和验收。目前，相关技术研究成果《轻型跨坐式单轨车辆技术规范》、《轻型跨坐式单轨车辆组装后的试验规范》、《轻型跨坐式单轨道岔试验方法》正在组织申报安徽省地方标准。后续随着项目的继续推进，相关方将继续努力，推动建立和完善具有包容性的企业标准、地方标准、团体标准、行业标准、国家标准等在

内的跨坐式单轨标准体系。

3 运营场景研究

全自动运行系统是以信号、车辆系统为核心，由通信、供电、站台门等机电设备系统共同组成的综合系统。场景研究，是指根据轨道交通线路运营管理的需求，分析梳理出运营中可能出现的各种正常及非正常场景模式。基于这些场景对各机电设备系统的功能需求进行分解，明确各系统的联动功能，定义好各系统间的功能接口；此外，场景研究还延伸至确定运营组织架构、规定岗位职责及操作规程等方面。

芜湖市轨道交通1、2号线项目充分借鉴了国内全自动运行线路的经验，结合跨坐式单轨的特点，共梳理出正常场景20个，故障场景6个，应急场景19个。

1) 正常场景。主要包括运营前准备、列车激活、列车出库、自动开门、列车正线运行、列车停站、站台发车、列车折返作业、正线清客、车站关站、列车回段、自动洗车、清扫作业等。

2) 故障场景。主要包括正线列车故障、正线行车设备故障、车站设备故障、调度室设备故障、场段内设备故障等。

3) 应急场景。主要包括乘客疏散、爆炸/毒气事件、火灾、乘客强行开门、列车冲突、线路变形、区间救援、区间积水、大客流、轨道梁结冰、接触轨异物等。

在梳理运营场景的过程中，要充分考虑单轨制式的特殊性，考虑有人驾驶和全自动驾驶的差异。例如，全自动运行时，列车没有激活司机室的概念，相关的列车控制方案也有所不同；司机的监控职责部分转由控制中心调度人员承担，相应地增加了车辆调度系统、乘客调度系统等功能用以辅助调度人员掌握列车信息，及时有效地进行故障处理，进行乘客引导。

通过对这些运营场景的梳理，可以更好地理解全自动运行系统，更好地进行功能定位，并将这些功能及要求有机地分解给各机电设备系统以及运营人员和乘客。运营场景梳理完成后，应通过用户需求书、设计联络、验收等工作落实设备功能；通过组织架构、规章制度、操作手册、应急预案等落实运营人员职责；通过乘客守则、乘客须知、公告等落实乘客权责。

4 跨坐式单轨机电系统的接口管理

接口是指为完成特定功能的各系统之间应相互遵守的共有的技术要求、条件和规则等。机电设备系统接口管理涉及设计、安装和调试等各阶段,其接口类型主要有土建与设备系统间的接口、设备系统与设备系统间的接口、设备系统与人的接口等。接口内容包括功能划分、接口界面、接口信息(接口类型、接口协议、接口数据)等。

跨坐式单轨接口管理的难点主要包括:

- 1) 车辆与土建(轨道梁、车站、区间)的接口,主要涉及到车轨耦合、限界等问题;
- 2) 车辆与接触轨的接口,主要涉及到集电靴与接触轨之间的弓网关系问题;
- 3) 车辆与信号的接口,主要涉及到控制功能分配、机械/电气接口、全自动运行功能实现等问题;
- 4) 车辆、通信、信号的接口,主要涉及到专用无线、WLAN(无线局域网)、LTE(长期演进技术)等车地无线传输通道综合利用问题;
- 5) 设备系统与土建的接口,主要涉及到信号系统信标、计轴设备,信号及通信系统天线等轨旁设备与轨道梁、疏散平台等土建设施安装接口问题;
- 6) 道岔与土建的接口,主要涉及到道岔安装凸台、与轨道梁接口等问题。

做好接口管理工作,应在项目初期建立接口管理矩阵表,明确各专业间有哪些接口关系、各接口关系的牵头管理单位,并将该矩阵表作为接口管理的纲领性文件和跟踪表。在设计联络阶段,应由接口牵头管理单位组织编制接口文件,在招标、设计、供货、安装、调试、验收等各阶段,利用PDCA(计划、执行、检查、处理)方法对各项接口管理工作进行跟踪落实。

5 跨坐式单轨系统的 RAMS 管理

RAMS 管理,即在系统全寿命周期内针对项目的可靠性(Reliability)、可用性(Availability)、可维修性(Maintainability)和安全性(Safety)等4种系统固有的特性进行管理^[4]。高标准的RAMS指标是建设好全自动运行系统的基础。做好RAMS管理,是轨道交通项目机电设备系统建设管理的重点及难点。

GB/T 21562—2008《轨道交通可靠性、可用性、

可维修性和安全性规范及事例》规定了一个以系统寿命周期及其工作为基础、用于管理RAMS的流程,为国内轨道交通行业推广RAMS管理工作起到了促进作用。此外,可参考的相关国际标准还有EN 50126—2017《铁路应用:可靠性、可用性、可维护性和安全性的规范和验证》。

全自动运行系统的目标是运行自动化、维修智能化和乘客服务自主化,减少正常情况下人的介入和干扰。为实现上述目标,RAMS管理应在设备工程全周期、全范围内开展。

1) 全周期RAMS管理。是指RAMS管理应涵盖轨道交通项目的全寿命周期,包括概念、系统定义和应用条件、风险分析、系统需求、系统需求分配、设计和实施、制造、安装、系统确认、系统验收、运营和维修、性能监控、修改和更新、停用及处理等阶段^[5]。

2) 全范围RAMS管理。是指除车辆、信号等核心系统外,还需将RAMS管理工作推广到道岔、通信、站台门等与线路运营及安全密切相关的系统,以及乘客信息系统、自动售检票系统、自动扶梯与电梯等与乘客服务密切相关的系统。

RAMS管理也是一个循环精进的过程。在进入下一个工作阶段前,要验证上一阶段的输出是否满足要求,满足则进入下一阶段,不满足则整改,从而保证过程的有效性,最终保证结果的有效性。

6 关键技术国产化

设备系统的技术装备水平是单轨系统运营的生产力水平和地铁运营的服务水准的重要基础,直接影响着项目建设和运营的成本,以及效率和效益。跨坐式单轨项目的建设阶段,应充分考虑关键技术国产化的发展路径,在保证质量和安全的前提下,提高国产化率,从而降低建设和运营成本,提升设备的维修效率,降低技术更新改造难度。

跨坐式单轨系统国产化的关键在于车辆、信号及道岔系统,关键技术国产化清单如表1所示。

芜湖轨道交通1、2号线项目关键技术国产化率目标为:车辆不低于72%,信号系统不低于60%,道岔系统不低于75%。

“引进、消化、吸收”是学习和掌握国际先进技术的有效手段。跨坐式单轨作为一种富有生命力的中运量轨道交通制式,有着极大的市场前景,通

(下转第21页)

税”和“税金及附加”大于0时,其当年运营补贴(不含税金额)的计算公式如下:

$$\begin{aligned} \text{运营补贴(不含税)} = & [\text{运营成本(不含税)} + \\ & \text{票务收入增值税销项税} \times 12\% - \\ & \text{当年增值税进项税} \times 12\% - \\ & \text{期初增值税进项税} \times 112\% + \text{当年贷款本息偿还} + \\ & \text{盈余资金(3 000 万元)} - \\ & \text{票务收入(不含税)}] \div (1 - 9\% \times 12\%) \quad (6) \end{aligned}$$

2.7 关于现金流量测算表

本轨道交通 PPP 项目引入现金流量表的主要目的是确定其他各表格之间的勾稽关系是否正确。其计算目标是:保持运营期间第1年的净现金流量为3 000万元,其后各年的净现金流量均为0万元,年末累计净现金流量均为3 000万元。

3 轨道交通 PPP 项目政府补贴方式的节税效果

目前相关法规政策中均没有明确政府补贴支付机制。财办金[2017]92号文《关于规范政府和社会资本合作(PPP)综合信息平台项目库管理的通知》中,强调了要建立按效付费机制。本文例举的某轨道交通 PPP 项目,建立了严格的绩效考核制度,明确实施机构每年根据绩效考核结果确定上一年的收益补贴金额。

因此,社会投资人投入项目公司的资本金属于收益不确定的项目,符合长期股权投资收益确认要求,其每年取得的收益补贴应按“投资收益”处理。

根据现行税法,投资收益不属于增值税纳税范畴。

如果社会投资人投资收益通过项目公司利润分配取得,项目公司首先要将取得的收益补贴确认为营业收入,缴纳增值税;然后再对项目公司利润缴纳所得税后,按净利润进行分配。此种方式下政府财政负担每年要多支付近34%。由此可看出,本文例举的某轨道交通 PPP 项目补贴模式的节税效果非常明显。

4 结语

PPP 模式在轨道交通领域中的推广缓解了政府财政集中支付的压力。PPP 模式为社会资本方创新了营销和项目管理模式,通过市场机制引入社会资本方起到花小钱办大事、多办事的效果,资金撬动效应明显。财务测算在双方决策中起着关键的作用,它对促进双方合理、高效利用资金,保证项目顺利实施发挥了积极的作用。

参考文献

- [1] 辛连珠.PPP项目会计与税收实务[M].北京:中国财政经济出版社,2017:218.
- [2] 傅俊元.PPP项目税务实战[M].北京:中国财政经济出版社,2017:102.
- [3] 李晓东.浅谈在做实项目资本金的管理要求下 PPP 项目财务测算分析[EB/OL].(2017-03-31)[2019-06-22]http://www.dlsstax.com/index.php?m=Index&c=Content&a=index&mid=1&cid=549&aid=7819.

(收稿日期:2019-05-17)

(上接第17页)

表1 跨坐式单轨的关键技术国产化清单

系统	子系统
车辆系统	牵引传动系统
	液压制动系统
	列车控制与诊断系统
	单轴转向架
	轮胎
信号系统	钩缓装置
	贯通道
	ATP
	ATO
道岔系统	联锁
	计轴
	道岔梁
	控制系统

过车辆、信号、道岔等关键技术的国产化,能进一步降低成本,有效地促进市场健康发展。

参考文献

- [1] Project Management Institute.项目管理知识体系指南(PMBOK指南)[M].北京:电子工业出版社,1998:34.
- [2] 王治颖,李芾,牛悦丞,等.跨坐式单轨车的发展及其应用前景[J].电力机车与城轨车辆,2018,41(4):8.
- [3] 仲建华.跨坐式单轨交通在我国的应用和创新[J].都市快轨交通,2014,27(2):1.
- [4] 陈蕾.城市轨道交通引入RAMS管理的必要性[J].城市轨道交通研究,2007(5):4.
- [5] 杨少林,庄运杰.国内城市轨道交通建设RAMS管理模式探讨[J].现代隧道技术,2012,49(5):10.

(收稿日期:2019-06-10)