

上海轨道交通 1 号线信号大修项目后评估研究

龚 臣

(上海地铁维护保障有限公司通号分公司, 200235, 上海//助理工程师)

摘 要 为提高上海轨道交通 1 号线信号设备的可靠性,降低信号设备的故障率,2015—2019 年对 1 号线莘庄站至上海火车站站区段的信号设备进行了部分大修改造。阐述了 1 号线信号大修项目的背景,总结了 1 号线信号大修全寿命周期组织管理等实施中存在的问题。在项目进度管理、项目风险控制、质量安全等 3 方面对 1 号线信号大修项目进行后评估,以期为类似的既有线路信号大修改造项目提供经验参考。

关键词 城市轨道交通;上海轨道交通 1 号线;信号系统;旧线改造;后评估

中图分类号 U231.7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.11.025

Post-evaluation of Signal Overhaul Project of Shanghai Rail Transit Line 1

GONG Chen

Abstract In order to improve the reliability of the signaling equipment of Shanghai Rail Transit Line 1 and to reduce the failure rate, the signaling equipment in the section from Xinzhuang Station to Shanghai Railway Station on Line 1 has been partially modified during 2015 to 2019. Background of the signaling overhaul project of Line 1 is described, and the problems in the implementation of the life cycle organization and management of the signaling overhaul of Line 1 are summarized. The signaling overhaul project of Line 1 undergoes post-evaluation in three aspects: project schedule management, project risk control, and quality and safety, providing experience and reference for similar existing line signaling overhaul projects.

Key words urban rail transit; Shanghai rail transit line 1; signaling system; old line modification; post-evaluation

Author's address Telecom & Signaling Branch, Shanghai Metro Maintenance Support Co., Ltd., 200235, Shanghai, China

上海轨道交通 1 号线(以下简称“1 号线”)是上海首条建成的城市轨道交通线路,该线于 1993 年开始投入运营。2015 年 5 月开始,该线进行信号大修改造项目,改造区段为上海火车站站—莘庄站。

该改造项目已于 2019 年 2 月完成信号系统割接。此次信号大修项目是上海城市轨道交通运营设备维护单位在项目全寿命周期的首次尝试。本文通过对项目在决策阶段及实施阶段的目标控制效果对 1 号线信号大修进行后评估分析。

1 1 号线信号系统大修的背景简述

上海自 1958 年 8 月开始筹建城市轨道交通 1 号线,1983 年 8 月政府批复立项,1993 年试运营段开通时采用人工闭塞模式,1994 年 12 月开始信号系统设备分多次进行了投用。该线的信号设备是引进美国 GRS 公司(现 ALSTOM 公司)的 ATC(列车自动控制)系统,与国内联锁设备配套使用。

1 号线全长 37.8 km,共有 28 座车站。如表 1 所示,1 号线分多次进行延伸建设,因此,不同延伸段的信号系统设备间存在一定的差异。

表 1 上海轨道交通 1 号线分段开通运营年限表
Tab.1 Service life of Shanghai rail transit line 1

序号	开通区段	正式运营时间	线路长度/km
1	锦江乐园站—徐家汇站	1993-05-28	5.8
2	徐家汇站—上海火车站站	1995-04-10	9.8
3	锦江乐园站—莘庄站	1996-12-28	4.8
4	上海火车站站—共富新村站	2004-12-28	12.5
5	共富新村站—富锦路站	2007-12-29	4.9

上海火车站站—莘庄站(上海南站站除外,该站在 2004 年已改为微机联锁)区段的联锁采用中国标准 6502 电气集中联锁控制系统,并按照城市轨道交通的特点予以改进。该集中联锁控制系统为 1 号线的信号系统实现进路控制,并通过继电电路与 ATP(列车自动防护)、ATO(列车自动运行)、DTM(数据传输模块)接口,与这些子系统交换必要的表

示信息和控制信号。1993—2008 年,1 号线的信号设备基本能满足当时的客运量需求,可确保行车安全、行车密度等方面的要求,但由于其中的一些系统设备使用已超过设计寿命(15 年),以及 6502 电气集中联锁技术的局限性,在经过多次运能升级后,1 号线信号系统的故障率略有上升。2010 年,1 号线的上海火车站站出现了因 DTM 导致设备性能限制的问题,该问题无法通过修改内部逻辑予以解决,出现了进路无法自动排列等问题。

1 号线的上海南站站于 2004 年进行了改造,其联锁模式与 1 号线的北延伸段(上海火车站站—共富新村站)、北北延伸段(共富新村站—富锦路站)保持一致,采用国产计算机联锁的 VPI(Vital Process Interlocking,重要处理器联锁)系统。VPI 的应用简化了各信号子系统间的接口,降低了工程建设和设备维护的难度。在上海南站站、上海火车站站—富锦路站的线路上采用了新型的 ATP 轨道电路模块,实现了联锁和 ATP 之间的数字接口。新型的 ATP 轨道电路模块采用了 AF_CPU(音频中央处理单元)的音频轨道电路插箱,原来由继电电路执行的速度选择功能改为由 VPI 布尔逻辑实现。通过联锁和 ATP 之间的接口,将速度选择信息发送给轨道电路,由轨道电路向列车发送正确的速度命令。

在 1 号线信号大修项目的前期策划阶段,在结合设备实际情况及经济因素考量后,将大修改造范围定为莘庄站—上海火车站站区段。项目目标定位为基于既有的信号系统进行升级改造,改造后的 ATP、ATO、闭塞设计和轨道电路分割、频率分配等与 1 号线上海火车站站—富锦路车站区段基本保持一致,将 6502 继电联锁模式升级为计算机联锁模式。

2 1 号线信号大修项目组织和管理后评估

建设性项目都具有差异性,不存在 2 个完全相同的项目。与城市轨道交通的新线建设相比,老线改造有很多实际存在的问题,现场情况相对更为复杂。在改造项目的策划前期就需要对目标进行分析和论证,制定完善的改造方案,并配套相应的组织关系和管理措施。

2.1 项目进度管理

1 号线作为上海第 1 条城市轨道交通线路。该线连通 2 个大型火车站,沿线途经上海市中心的商业区及大型住宅区,因此 1 号线莘庄站—上海火车

站站区段的信号设备大修改造确定以不间断正常运营为改造原则。该项目自 2015 年 5 月开工至 2019 年 2 月全线割接完成,历时 3 年多,超出了原计划工期。究其原因,主要是为了保障既有线正常运营,频繁的施工准备及复原工作严重影响了施工功效,造成施工效率降低。

2.1.1 施工点资源不足

因为 1 号线已运营多年,设备老旧,各设备系统都存在着维护及大修的需求,这使得原本就十分紧张的夜间维修时间变得极其稀缺。而大修常态化的夜间施工不仅会影响本项目的施工效率,在时间上也会对其他各专业的维护及施工作业产生制约。因此,在前期工程策划阶段需要统筹考虑整个施工期的计划安排,并在施工阶段与其他各专业协商,对施工点的资源进行合理的协调配置。如可利用项目管理软件(Project 等)绘制甘特图,对项目进行动态跟踪及纠偏,对关键节点偏差进行及时的预警;还可采用管理结构图、工作任务分工表等对组织关系和任务界面进行分解,以有效提高项目的组织和管理水平。

2.1.2 施工利用率偏低

为保障日间的正常运营,1 号线信号大修施工只能利用夜间线路停运窗口期实施。施工调试前后的准备及调试后的复原工作在整个施工时长中占比较大,造成每日的施工利用率偏低。碎片化的施工时间不仅影响了整个工程的进度,对施工流畅性的破坏也在一定程度上造成施工质量的下降。如图 1 所示,以区间内的安装调试工作为例,施工前的现场准备和施工后的收工清场共需 1 h,在此情况下单次过短的施工总时长会造成施工无法开展,而随着施工总时长的增加,施工的有效利用率也呈现显著增加的变化趋势。

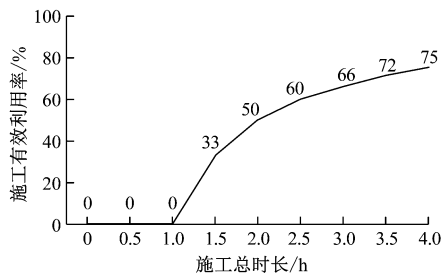


图 1 施工有效利用率与施工总时长的关系曲线

Fig. 1 The curve of the relationship between effective utilization rate of construction and total time of construction

工时安排应尽量保障每次施工所需时间。在无法改变施工总时长的情况下,制定充分的施工准备与资源配置方案,可有效提高施工有效利用率,具体的措施如图 2 所示。

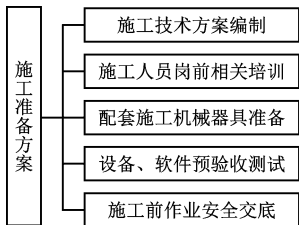


图 2 施工准备方案的具体措施

Fig. 2 Specific measures for construction preparation scheme

充分合理的技术方案、技能熟练的施工人员、先进配套的施工器械、完善的设备及软件,以及施工前充分交底,能最大程度地减少试错成本,提高施工效率。在设备安装调试前,应先组织用户单位、监理等人员进行厂验;软件在新版软件升级前进行实验室模拟试验,试验成功后利用夜间施工点进行验证。验证无误后将软件备份,并进行组织安全交底,方可实施软件的升级及割接。此外,施工前对技术方案、施工人员及工器具进行交底,也是提高施工效率的有效手段。

2.1.3 施工环境管控

从设计到施工的全过程,应在满足工程目标的情况下尽可能减少对周边环境的影响。城市轨道交通是一个相对封闭的环境,且面临大修的既有轨道交通线路的环境相对比较复杂,因此在大修改造的设计初期就要对现场进行详细的勘察。在改造项目实施的同时,还必须竭力保障线路日常运营的安全,减少对空间及环境的影响。为了避免施工过程受到制约,以及不影响既有设备的正常运行,应尽量在既有机房周边设置独立的新机房。若受制于环境、只能在既有机房进行施工,应设置有效的隔离措施,以创造较为有利的施工条件。暴露于公共部位的施工应设立临时幕墙,以有效降低粉尘、噪声的污染,避免对过往人员造成意外伤害。

2.2 项目风险控制

项目在实施过程中会面临着许多不可预估的因素,因此风险是客观存在、不以人为意志而转移的。建立项目的质量及安全控制管理体系、落实质量安全制度,是项目风险控制的有效手段之一。由于 1 号线的信号大修改造项目是上海首次进行信号大修的项目,面临着风险识别困难、在风险评价中

无施工经验可借鉴等难题。虽然信号专业的维保单位内部已有相对完善的质量安全管理体系,为了进一步规避风险,该项目通过工程咨询服务的方式对风险进行转移。例如,在项目初期签订了初步设计咨询合同,请专家对项目前期的规划及设计方案进行评估;在实施过程中签订了工程监理合同和投资监理合同等,利用其专业优势对项目实施过程的进度、安全、质量及资金进行有效的管控。

1 号线信号大修的风险主要体现在决策风险和实施风险方面。因在项目前期决策保留 1 号线原美国 GRS 公司(现 ALSTOM 公司)的信号制式,因此在中美贸易战及全球新冠疫情爆发时面临着政治风险:在项目的实施过程中,美方颁布的限制出口清单造成该线的进口设备大批次延误,严重影响了改造的进度。

2.2.1 决策风险

1 号线因设备寿命周期不同,采用了保留原信号制式、区段性大修的改造方案,此方案的优点体现在:投资费用少;原有信号制式不变,用户及维护单位的适应期较短。但是,该方案存在着下列问题:未实现设备国产化,面临政治风险,后期的维护受到制约;设备性能提升不大,旧的接口制式在城市轨道交通线网中不易形成统一;智能化程度相对较低;设备兼容性差等。如图 3 所示,自 2015 年 1 号线信号大修改造工程开展以来,信号系统的故障接报次数较大修前有所减少。但在 2020 年全球新冠疫情爆发后,美国累计感染者超过千万,成为了重灾区,系统供应商缺少了 ALSTOM 的技术支持,导致信号故障无法在短时期内排除,信号故障的接报次数又呈现为上升态势。

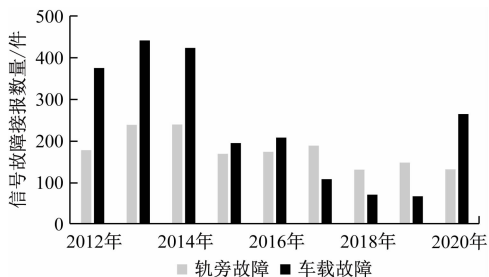


图 3 上海轨道交通 1 号线信号故障接报数量统计

Fig. 3 Statistics on signal failure report of Shanghai rail transit line 1

2.2.2 实施风险

在项目实施时风险通常具有隐蔽性,而人们常

常容易被一些表面现象所迷惑。在实践中,风险主要有 3 种存在形式:真风险、潜伏风险和假风险。在项目管理中首先应正确识别风险,对风险进行全面的识别,然后制定与之相应的管理措施。此外,可通过有效的项目沟通(如定期的项目例会)来识别、评估风险并解决这些问题。

2.3 项目质量安全管理

在项目寿命周期的不同阶段对项目质量都有不同的作用,并且在不同阶段影响质量的因素也有所不同,而项目往往具有多目标性。各目标之间是对立统一的关系,如质量、时间和费用之间的三角制约关系,需要用系统的思想来对待。作为建设单位不仅需要考虑决策及实施阶段的质量安全,更应通过决策及实施阶段的质量安全控制来提高运营阶段的安全性及稳定性,以减少后期的维护成本。1 号线作为上海首条信号大修的城市轨道交通线路,其信号大修项目存在分项工程多、隐蔽工程多、接口单位多等特点,没有可参考的程序化过程来对照执行,而施工过程是不可逆的,因此项目质量很容易产生波动和变异。尽管在项目定义和设计阶段对项目质量提出了具体的要求,但几乎没有哪个项目是完全按照项目定义和设计阶段确定的项目质量完成的,大多会在实施过程中对项目质量进行变更、修订和更新。所以,在 1 号线信号大修项目执行过程中,可利用 TQC(全面质量管理)思想进行管理,利用 PDCA(计划-执行-检查-处理)循环原理来促进项目质量及安全的不断完善与提高。总结得到的经验和教训可为将来其他的信号改造项目提供重要的参考和依据。

3 结语

与新线建设相比,城市轨道交通老线的改造面临着施工风险大、有效施工利用率低、组织协调困

难等问题。如何在工程项目全寿命周期通过科学的管理理论进行组织项目的具体实施,满足成本、进度、质量、安全及合同的目标控制和健康持续发展,是项目管理的首要目标。具体的措施包括:一是需要加大前期准备工作的深度,完备的决策方案是保障后期实施阶段顺利的前提;二是重视工程筹划的可实施性和灵活性;三是强化工程管理职能,充分调度各单位的积极性;四是预判、识别项目风险,通过科技方法与组织手段攻坚克难;五是在确保质量与安全的前提下,抓好进度管理,通过编制管理结构图、工作任务分工表等对组织关系和任务界面进行分解,有效提高组织管理水平;六是注重统筹兼顾各系统、各专业,协同推进工程,保证信号与其他相关专业接口施工的顺利实施。

参考文献

- [1] 蒋景楠,陆雷,火方华. 项目管理理论与务实[M]. 上海:华东理工大学出版社,2012:252.
JIANG Jingnan, LU Lei, HUO Fanghua. Project management theory and practice[M]. Shanghai: East China University of Science and Technology, 2012:252.
- [2] 陈洪安. 管理学原理[M]. 上海:华东理工大学出版社,2012:84.
CHEN Hongan. Principles of management[M]. Shanghai: East China University of Science and Technology, 2012:84.
- [3] 朱沪生. 上海轨道交通 2 号线西延伸段工程难点及技术对策[J]. 城市轨道交通研究,2012(5):1.
ZHU Husheng. Engineering difficulties and technical countermeasures in the west extension of Shanghai rail transit line 2[J]. Urban Mass Transit, 2012(5):1.
- [4] 毕湘利. 从运营角度分析城市轨道交通建设阶段需重视的问题[J]. 城市轨道交通研究,2012(7):3.
BI Xiangli. Applicable problems in construction stage of urban rail transit from the operation angle[J]. Urban Mass Transit, 2012(7):3.

(收稿日期:2021-03-25)

(上接第 107 页)

- WANG Xiaoyong. Analysis of key functions of urban rail transit automatic depot and parking lot[J]. Railway Signalling & Communication, 2016(2):53.
- [2] 周磊姿,曹耘文,金之端. 上海地铁 ATC 车辆基地运营需求与管理[J]. 上海建设科技,2017(6):39.
ZHOU Leizi, CAO Yunwen, JIN Zhiduan. Operation demand and management of Shanghai metro ATC vehicle base[J]. Shanghai Construction Science & Technology, 2017(6):39.

- [3] 上海申通地铁集团有限公司技术中心. 轨道交通 ATC 车辆基地信号技术规定: STB-XH-010004—2016[S]. 上海:上海申通地铁集团有限公司,2016:9.
Technical Center of Shanghai Shentong Metro Co., Ltd. Rail transit ATC vehicle base signal technical regulation: STB-XH-010004—2016[S]. Shanghai: Shanghai Shentong Metro Co., Ltd., 2016:9.

(收稿日期:2021-04-27)