

城市轨道交通线路级信号系统大修 改造工程筹划研究

王 坚

(上海地铁维护保障有限公司通号分公司, 200235, 上海//工程师)

摘 要 上海多条城市轨道交通线路的信号系统已经或逐步进入大修改造周期,线路级的信号系统大修改造将成为未来上海城市轨道交通超大规模运营网络运维体系中的一项常态化工作。在总结以往城市轨道交通线路信号大修改造工程经验的基础上,从信号系统改造方案选择、线路基础资源配置、改造实施过程谋划 3 个维度,研究了线路级信号系统大修改造工程筹划方案,供后续线路开展同类工作时参考借鉴。

关键词 城市轨道交通;线路级;信号系统;大修改造;工程筹划

中图分类号 U231.7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.11.020

Research of Urban Rail Transit Line Level Signaling System Overhaul and Reconstruction Project Planning

WANG Jian

Abstract As the signaling systems of several operating lines have entered or are gradually entering the overhaul and renovation cycle, the overhaul and renovation of signaling systems at line level will become a normal work in the operation and maintenance system of Shanghai rail transit super-large-scale operation network in the future. On the basis of summarizing the accumulated experience of previous line signaling overhaul and renovation projects, the planning scheme of line-level signaling system overhaul and renovation projects from three dimensions of system renovation scheme selection, line basic resource allocation, and planning of transformation in implementation process, which can be used for reference when carrying out similar work in subsequent lines.

Key words urban rail transit; line level; signaling system; overhaul and transformation; project planning

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

分别完成了信号系统的大修改造工作。根据交通运输部颁布的《城市轨道交通设施设备运行维护管理办法》中“信号系统整体使用寿命一般不超过 20 年”的规定,上海有多条城市轨道交通线路已经或逐步进入信号大修改造周期。可以预计,线路级的信号大修改造将成为未来上海城市轨道交通超大规模运营网络运维体系中的一项常态化工作。在“边运营、边生产、边改造”的复杂背景下,为完成好这项艰巨的任务,亟需研究并制定出一套科学化、标准化的工程筹划方案,以供后续工程借鉴和参考。本文在总结上海已经完成或正在实施的线路信号大修改造工程经验的基础上,提出具有引领示范作用的城市轨道交通线路级信号系统大修改造工程整体筹划方案^[1]。

1 信号大修改造工程的方案筹划

城市轨道交通线路级的信号系统大修改造工程,其具体方案主要有 3 种:沿用原制式信号系统方案,更新升级新制式信号系统方案,“新增系统为主用、既有系统为后备”方案。本文对这 3 种方案进行阐述,并进行优缺点对比分析。

1.1 沿用原制式信号系统方案(方案一)

方案一即在保持既有系统架构、子系统功能和接口等基本不变的情况下,对故障率较高或备品备件供应严重不足的子系统进行改造,对故障率较低且备品备件供应充足或已有迭代产品的设备进行部件级的更新替换,以延长该线路信号系统的使用寿命。

方案一沿用原信号系统制式,在新旧系统过渡期间,车载、轨旁及中央新旧设备间相互兼容,理论上可以采用逐列、逐站的方式分批次进行大修改造,既降低了车辆改造的难度,又降低了信号改造的难度和风险。但是,由于信号制式没有发生变

化,方案一下信号系统的各项指标(如最小运行间隔、列车旅行速度等)的性能提升空间非常有限。需对线路改造完毕后的运能需求和设备状态做好充分的预想与评估,以免发生改造完成后短时间内已实施部件级替换的设备又达到了使用年限,进而造成需组织“二次改造”的局面。

对于既有系统设备运行相对稳定、可靠,部分子系统设备仍然具有较长的使用寿命,且原信号系统制式尚能满足运能需求的线路,或分段开通线路中仅需要改造已达到使用年限的部分线路区段时,可优先考虑选用方案一^[2]。

1.2 更新升级新制式信号系统方案(方案二)

方案二即不再考虑延长原信号系统的使用寿命,新系统一般考虑采用当前主流制式 CBTC(基于通信的列车控制)系统,直接替代既有信号系统。

由于使用新制式的信号系统,新旧系统间互不兼容。在新系统调试期间,为满足线路日间正常运营和夜间调试需求,轨旁或中央设备需新增日夜倒接装置,采用日夜倒接的方式完成新旧系统的切换。对于车载设备,若存在增购车辆计划,可直接在新车上安装新系统的车载设备,在割接当日全部替换既有列车(以下简称“老车”)下线进行后续的信号大修改造;当增购列车数量不足时,需考虑在老车上安装新旧 2 套车载设备,并配备日夜倒接装置,采用在调试时期的运营时段使用既有系统车载设备,在调试时段及割接之后使用新车载设备的方式,以保证大修线路的运用车数满足正常运营需求。由于信号-车辆接口相对复杂,新旧系统相对于车辆不一定全部适配,还需考虑新系统正式投用后旧设备的拆除,因而车辆的改造难度极大。如确需采用车辆倒接方案,应提前在车辆专业的配合下进行充分的评估论证,并将倒接及拆旧需求一并纳入车辆改造范围,以确保车辆倒接过程的安全、可靠。

方案二直接新建 1 套信号系统,新系统不受既有系统的制约与影响,可以显著提升信号设备的各项性能指标。但在调试期间,需新增倒接设备,并频繁进行新旧系统间的倒接。同时,由于新旧系统间的不兼容性,须一次性整体割接至新系统,因而与方案一相比,方案二的改造难度和风险大为增加。

对于既有系统全线全部设备都已接近设计使用年限,并且运能瓶颈突出、亟需提升信号设备性能的线路,可优先考虑选用方案二^[3]。

1.3 “新增系统为主用、既有系统为后备”方案(方案三)

方案三即在新增 CBTC 信号系统的同时,保留既有制式信号系统作为后备系统,并对新系统和既有系统进行整合,将既有系统纳入到新系统的整体构架内,最终完成既有系统向新系统的平稳过渡。对于分段开通的线路,在进行信号大修改造时宜预留改造接口,使后备系统达到使用年限时顺利退出运营,同时通过后续的新技术、新设备进行更新迭代,保证后备系统的可用性。

方案三中,在新旧系统过渡期间,对于改造完成的区段和改造完成的列车,可以采用 CBTC 运行,尚未改造的列车仍以既有模式运行;对于尚未改造的区段,所有列车均以既有模式运行。当所有区段完成改造且改造完成的列车数量满足运营要求时,即可实现全线运营时段的 CBTC 运行。CBTC 全功能开通后,原信号系统作为后备系统,除进行 CBTC 系统的适应性改造外,还可考虑开展既有系统的整治补强工作。

由于新系统兼容了既有系统的特性,改造完成 1 个区段即可投用 1 段,改造完成 1 列车即可投用 1 列,改造的灵活度大大增加,车辆改造难度适中,可根据实际情况安排集中站所辖区域和车辆的改造顺序。改造完成后即可显著提升线路的运输效率,同时有既有系统作为新系统故障情况下的后备系统降级手段,整个系统具有较高的安全性和可靠性。但在设计联络与现场实施阶段,需完成新系统对既有系统的融合,新旧系统的接口设计和界面划分是非常大的挑战。尤其是在既有系统已投用 10 余年且新旧系统分属不同信号供应商的情况下,需要同时对接新系统和既有系统的供应商,协同做好既有系统的技术支持和备件储备,以保证既有系统作为后备系统时的正常运行。

对于既有系统设备运行相对稳定,经评估仍然具有继续使用的价值,但已经无法满足线路运输能力需求,宜引入更为先进制式的信号系统以突破原运输能力极限,希望同时具备冗余度和可靠性的线路,可优先考虑选用方案三^[4]。

1.4 3 种改造方案比选

3 种改造方案的特点、优缺点、适用性及实际应用等方面的对比分析如表 1 所示^[5]。

表 1 3 种城市轨道交通线路信号大修改造方案比选分析

Tab.1 Comparison and analysis of three signal overhaul and reconstruction schemes of urban rail transit lines						
方案	特点	优点	缺点	适用性	车辆改造难度	应用实例
方案一	保持原制式信号系统不变	新旧系统兼容;可采取逐站、逐列的方式分批改造;对施工、车辆等基础资源需求相对平均;投资较为经济	系统制式不变,系统性能提升有限;可能会出现需“二次改造”的情况	适用于既有系统运行稳定、备件充足、运力与客流基本匹配的线路,或只进行局部区段改造的线路	较低	上海轨道交通 1 号线
方案二	全部更新为新制式信号系统	新系统不受既有系统制约;性能提升显著	新系统投用时全线集中站全部运营列车均须完成大修改造;需要一次性整体割接;对施工、车辆等基础资源需求较高	适用于既有系统故障率较高、备件匮乏、运能与运量矛盾较为突出的线路	较高	上海轨道交通 5 号线
方案三	新增新制式信号系统,同时保留原制式信号系统作为后备系统	更新系统制式的同时,对既有系统设备进行整治补强;可分批改造;对施工、车辆等基础资源需求相对平均,施工过程安排灵活	新系统需考虑与既有系统的交互接口,技术难度较大;在新建信号系统的同时需对既有系统进行适配性改造,投资较大	适用于既有系统运行尚且稳定、备件尚有存量,但运能与运量矛盾较为突出的线路	适中	上海轨道交通 2 号线

注:施工资源指实施大修改造过程中需要占用的正线线路、车场线路以及试车线线路的空间和时间资源;车辆资源指实施大修改造过程中需要占用的列车数量和时间资源。

2 信号大修改造工程的资源配置筹划

2.1 施工资源

相比而言,正线线路虽然运营长度较长,但可供施工利用的时段仅在非运营的夜间,对于各专业大修改造项目可能同步实施的既有线路来说,施工资源相对紧张。

车场(含试车线)线路除去运行图规定的出入库时段及日常用于生产、检修时段外,均可用于大修改造,可用时间较多。此外,可以针对运用库股道、检修库股道、咽喉区、试车线等不同区域采用交错实施的方式,或采取调整出入库列车数量、灵活安排车辆检修计划等措施,确保施工资源满足车场改造需求。

对于有新建延伸段的线路,在土建、通信、供电、车站机电等其他专业条件满足需求的情况下,可在未投入运营的延伸段上先行进行信号的调试验证。这样,调试不受到既有线路的各方面条件的制约,可达到施工资源利用最大化的目的。

2.2 车辆资源

大修改造线路由于需维持日常的运营,因此,需要对有限的车辆资源进行科学的规划,平衡好运营车辆、改造车辆及可能的增购车辆间的关系。

不同的信号大修方案,其车辆资源调配方案也不一样。方案三下新旧系统兼容的车载设备,可采用列车逐列下线改造的方式,有新车增购计划的还

可采用新车调试完毕替换老车改造的方式,以保证运行图中标定需要的列车数量,将信号大修改造对运营的影响降到最低;方案二下新旧信号系统无法兼容,列车在改造完毕后必须等新系统割接后方可投用,对于扣除了图定运用车数后的余量用车(运营余量用车还应考虑新系统开通后因旅行速度提升、列车周转率提高导致运用车数下降、余量用车增加的情况),可以将余量用车下线直接拆除既有系统车载设备,并装设新系统车载设备。对于有新车增购计划的线路,可在新车上直接完成新系统车载设备的安装调试。装有新系统车载设备的改造车或新车在新旧系统割接当日投入运营,替换使用既有系统车载设备的运营用车,运营用车下线进行改造后再重新上线运营。若在新旧系统过渡期间或新系统割接完成后运用车数无法满足需求,应考虑在改造车上同时安装新旧 2 套车载系统,并安装倒接装置,采用新旧系统倒接方式来满足运营与调试 2 方面的用车需求。

2.3 人力资源

信号系统大修改造工程除信号专业之外,还需要同时进行车辆、供电、房建、车站机电等非信号专业的配套系统的改造。因此,项目管理执行团队的人力资源配备应遵循以信号人员为主体、其他相关专业人员积极参与、各专业人员相互配合的主要原则,打破不同专业条线之间的壁垒和限制,建立协同管理、运转高效的项目管理执行团队。

3 信号大修改造工程的实施过程筹划

3.1 前期工作准备

城市轨道交通线路的信号系统大修改造工程是交通运输行业的重点工程项目,影响面广、工程量大、投资额大。应按照相关法律法规规定,进行充分的工程项目前期准备工作,履行相关报批或备案手续。由于前期工作流程较为繁杂,准备周期较长,在预排各线路信号系统大修改造计划时,一定要进行充分预留前期准备工作的时间,做到提前准备、积极推进,以免发生在大修改造尚未完成并投入运营时既有系统已超出了预计使用寿命的情况,避免给日常运营带来风险、隐患^[6]。

3.2 相关专业配套

相关专业配套改造工程包括车辆、供电、房建、通信、车站机电等非信号专业的配套项目。对于确需改造的相关专业,宜在信号改造方案确定前即与相关专业一起进行梳理,确定其当前功能是否满足信号系统大修改造后的设计要求,若无法满足,应考虑一并纳入此次大修改造范围。具体包括:①可能因信号车载设备的更新改造将重新定义车辆-信号接口而产生的车辆专业相关配套改造;②因信号专业的大修改造完成后为满足线路运能的提升而产生的线路供电能力同步升级;③因满足新系统中央设备或轨旁设备的放置安装需要,需房建专业通过置换或新建的方式提供较为合适的空置用房作为 OCC(运营控制中心)/集中站/车场的新信号机房引起的改造;④因新增或接入 LTE(长期演进)系统作为车地通信媒介,需要通信专业进行核心网、基站、漏缆等设备的安装调试;⑤因信号中央设备或轨旁设备的改造产生与 PSD(站台屏蔽门)系统、BAS(环境监控系统)、FAS(火灾报警系统)、SCADA(监控和数据采集)系统、PIS(乘客信息系统)等车站机电系统接口的变化,进行重新的定义和调试

而产生的改造等。

3.3 新旧系统过渡

根据选定的信号大修改造方案,结合改造线路的实际情况,可采用一次性整体新旧过渡(即整体割接)或逐个或几个集中站控制区域分段新旧过渡(即分段割接)的方式。

采用方案二时,一般只能采用全线整体割接的方式。割接完成后,新系统直接代替既有系统,承担全线的运营任务。为了降低对日常运营产生的影响,全线整体割接一般需在 1 个夜间全部完成,全线所有集中站控制区域均需满足割接条件,并在割接当日若干小时内完成全线的既有系统关闭停用、新系统接入投用、运营前校核验证等工作,前期安装施工调试、割接前准备工作量极大,风险系数也较高。

采用方案一或方案三时,新旧系统可互为兼容条件,根据线路实际情况,既可以采取整体割接的方式,也可以采取分段割接的方式。与整体割接相比,分段割接的优势在于调试完成 1 个区段即可开通投用,割接时工作量相对较低、影响面较小,风险相对也更加可控,同时能够尽早发挥新系统的产出效益。对于运能极为紧张,增能需求强烈,且改造方案经评估后具备实施条件的线路,可先改造承担折返、出入库等功能的重点集中站控制区域,这样可相对提前解决折返能力、出库能力、插车能力等影响全线运输效率的瓶颈问题,可改善信号系统的稳定性和可靠性,减少在关键集中站控制区域内发生故障引起的风险,为线路整体的运能提升创造条件。与整体割接相比,分段割接的劣势在于需要额外考虑列车在通过已改造集中站控制区域和未改造集中站控制区域的边界时,避免出现因为轨旁设备信号制式的变化造成列车运行失常,甚至造成意外的列车迫停,给日常的行车组织带来影响的情况。

以采用整体割接方式的信号大修改造项目为例,其项目里程碑事件如图 1 所示。

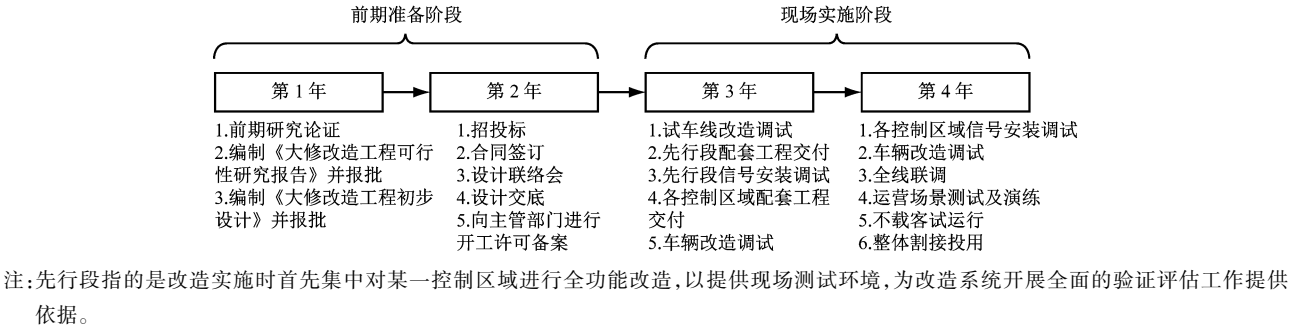


图 1 采用整体割接方式的信号大修改造项目里程碑事件

Fig. 1 Milestone events of signal overhaul and reconstruction project with overall cutover mode

4 结语

随着上海城市轨道交通多个线路级的信号系统大修改造工程的实施,有针对性地为每条线路量身定制信号大修改造方案,实现“一线一方案”的目标,对不同线路的施工、车辆、人力等基础资源进行集约化配置,进而制定出最安全、最高效的实施策略,使之贯穿于项目执行的整个过程中,是上海城市轨道交通进行线路级的信号系统大修改造工程筹划的努力方向和奋斗目标。

参考文献

[1] 包佳伟,吕丰武,徐烨,等. 大修线路信号系统改造方案的研究[J]. 铁道通信信号,2020(4):91.
BAO Jiawei, LYU Fengwu, XU Ye, et al. Research on overhaul and reconstruction scheme of line signalling system[J]. Railway Signalling & Communication,2020(4):91.

[2] 张文洲. 广州地铁1号线信号系统更新改造方案研究[J]. 铁道通信信号,2020(8):82.
ZHANG Wenzhou. Study on renewal and transformation plan of

signal system of Guangzhou metro line 1[J]. Railway Signaling & Communication,2020(8):82.

[3] 张郁. 基于TSTCBTC 2.0系统的上海轨道交通5号线信号系统大修改造工程[J]. 城市轨道交通研究,2019(11):149.
ZHANG Yu. Large-scale reformation of Shanghai rail transit line 5 signaling system based on TSTCBTC 2.0 system[J]. Urban Mass Transit,2019(11):149.

[4] 张郁. 上海轨道交通2号线信号系统的更新改造[J]. 城市轨道交通研究,2020(6):126.
ZHANG Yu. Signal system renewal and transformation of Shanghai urban transit line 2[J]. Urban Mass Transit,2020(6):126.

[5] 王俊锋. 浅谈城轨交通列车运行控制系统大修改造[J]. 铁道通信信号,2019(12):86.
WANG Junfeng. Discussion on overhaul and reconstruction of train operation control system in urban rail transit[J]. Railway Signaling & Communication,2019(12):86.

[6] 赵晓峰. 城市轨道交通信号系统项目集管理实践[J]. 中国铁路,2012(12):79.
ZHAO Xiaofeng. Project management practice of urban rail transit signaling system[J]. China Railway,2012(12):79.

(收稿日期:2021-03-05)

(上接第87页)

3.3 无线监测系统的应用效果分析

根据现有的无线环境维护规程,线路维护人员需进行日常维护和定期巡检。在无线监测系统部署后,线路上可以实现无线环境自动巡检,进而减少了维护人员携带测试仪表的工作量,降低了设备维护成本。

同时,无线监测系统的持续使用可以积累大量数据。通过历史数据的对比和分析算法,可以快速定位突发干扰,缩短因发生干扰导致的故障的修复时间,并对无线环境劣化进行预警。

此外,无线监测设备还可以监测CBTC车地无线通信的状态,并针对轨旁设备和车载设备进行设备健康度分析。由于信号大修改造周期较长,如果设备状态监测不完备,通常需要定期替换全部在用信号设备。而通过使用无线监测设备对CBTC设备进行状态监测,能有效评估设备的运行状态和劣化趋势,由此只需替换或者维修部分问题设备即可。

4 结语

本文对上海城市轨道交通无线监测系统的特

点和应用效果进行了分析,并对无线监测系统的测试设备进行了测试验证。通过配置移动监测设备,上海城市轨道交通可以在短期内建立起一个快速、有效的无线监测体系,从而减少因无线受干扰引发故障的情况,改善上海城市轨道交通的运维环境。

参考文献

[1] 邱鹏,李亮. 关于CBTC系统无线通信抗干扰技术的研究[J]. 现代城市轨道交通,2009(6):52.
QIU Peng, LI Liang. Study on anti-interference technology for wireless communication of CBTC System[J]. Modern Urban Transit,2009(6):52.

[2] 杜成. 城市轨道交通CBTC系统2.4 GHz无线传输技术的应用研究[J]. 铁道标准设计,2013(3):129.
DU Cheng. Application research on 2.4 GHz wireless transmission technology of CBTC System used in urban rail transit[J]. Railway Standard Design,2013(3):129.

(收稿日期:2021-04-27)