

上海轨道交通 2 号线信号系统改造的难点及应对策略

韩奕玮

(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 国内大城市的首批城市轨道交通线路大多建设于 2005 年前后,未来 5~10 年内将普遍到达信号大修年限,在大修中同步进行制式改造以满足线路的运能需求是普遍的做法。既有线路的大修与新线建设的差异较大,在国内普遍缺少大修改造的经验。通过结合上海轨道交通 2 号线 CBTC(基于通信的列车控制)信号系统改造的实际案例,对既有线路信号系统大修改造类项目的典型难点进行研究。将信号大修的典型难点分为 3 种类型,研究其应对策略,以期为后续其他城市陆续开展的信号大修提供借鉴。

关键词 城市轨道交通;信号大修;改造难点;应对策略

中图分类号 U231.7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.11.023

Difficulties and Coping Strategy of Signaling System Transformation of Shanghai Rail Transit Line 2

HAN Yiwei

Abstract The first batch of urban rail transit lines in domestic big cities were mostly built around 2005. In the next 5-10 years, they will generally reach the overhaul period. It is a common practice to carry out system transformation to meet the transport capacity demand during the overhaul. This kind of project differs greatly from new line construction, and is generally lack of experience in China. Taking the actual case of CBTC signaling system transformation of Shanghai Rail Transit Line 2, the typical difficulties of large-scale transformation project of existing line signaling system are studied. The typical difficulties of signaling overhaul are categorized into three types, and their coping strategies are studied in order to provide reference for subsequent signaling overhaul in other cities.

Key words urban rail transit; signaling overhaul; transformation difficulties; coping strategies

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

城市轨道交通信号系统的设计寿命一般为 20 年。国内多个一线城市的城市轨道交通线路建设较早,现在已经陆续进入大修年限。尤其是北京、

上海、广州等超大城市,城市轨道交通网络日趋完善,新线建设项目数量逐渐减少,既有线路的大修项目随着临近大修时限而陆续展开。为了应对这些大城市日益增加的城市轨道交通运能需求,可以预见,未来信号系统大修叠加更新改造将成为这些大城市轨道交通建设的重中之重。本文以上海轨道交通 2 号线(以下简称“2 号线”)正在进行的 CBTC(基于通信的列车控制)信号系统改造为例,对其在实施中遇到的难点和应对策略进行分析。

1 信号大修的典型难点分类

进行信号大修更新改造的城市轨道交通线路都是已经运营 20 年以上的线路,这些线路在当年建设时的设计理念和技术体系都和现在主流的线路设计和技术存在着巨大差异,且这些线路目前大多面临着巨大的运能压力,需要依据信号大修项目进行制式改造。在这个实施过程中,各种问题纵横交错、数量繁多,本文对其进行归纳总结,将信号大修的典型难点分为 3 种类型。

1.1 既有线路客观条件限制大修的设计和施工

在新线建设中某些只需要合理规划就可以规避的问题,在改造类项目中却是影响项目的巨大因素。由于既有线路的设计布局是已经存在的,且需要保持白天运营,大刀阔斧式的工作方式是完全行不通的。改造时不能任意改动车站各房间的功能,不能随意移动既有设备的位置,某些区域甚至无法调整任何 1 根既有的线缆走线,因而导致大修项目的设计难度大为增加。

在施工过程中,线缆敷设、新增设备安装等经常会遇到路径上已有既有设施存在,无法完全按图施工的情况。除了因为建设时期和现在的标准存在差异外,更多的是由于线路在近 20 年中,各类专业都经历了很多次的小型改造,而特异点就是这些小修、小改中造成的。一站一方案甚至一个区域一个方案,在更新改造项目中都是家常便饭。

1.2 新增功能使用后衍生需求难以满足

项目设计和施工中往往专注于新增功能自身的实现,而忽视了外部的其他需求是否能得到满足。这些需求不是来自信号本身,甚至不是来自于项目其他配套的专业标段,因而极其容易被忽略。这些需要包括如消防、频段类资源、车站商业及运营管理等,在日常的运营管理中感觉离信号专业比较远,但又往往事关财产、人身安全甚至法律限制,极难协商沟通。

1.3 配套专业对改造需求的评估不足

1 条城市轨道交通线路的诞生是基于多个专业共同设计的基础,各专业独立却又是围绕着一个目标高度统一,密切相关。因此信号系统的升级改造也不仅仅由信号一个专业就能完成,每个专业对信号需求的理解准确与否,将会影响整个项目的顺利实施。

信号大修改造将带来运能的提升,而运能的提升需要投入新列车和增加供电能力,新列车的投入又对停车场列位数和出库能力带来了新的要求,这可谓牵一发而动全身。在这一连串的连锁反应下,小到参数错误引起更换设备选型,大到漏缆造成追加投资并返工,任何的差错都有可能产生严重的后果。

2 信号大修的案例分析

本文以上海轨道交通 2 号线正在进行的 CBTC 改造项目为案例进行具体研究。

2.1 正线漏缆安装问题

在进行信号大修设计时,确定新增的 CBTC 信号系统采用漏缆来传输信号业务。而上海轨道交通 2 号线全长 64 km,按开通时间划分主要分为 3 段,分别是 2000 年开通的首段(龙阳路站—中山公园站)、2006 年开通的西延伸段(中山公园站—淞虹路站)以及 2010 年开通的东西延伸段(龙阳路站—浦东机场站、淞虹路站—徐泾东站)。第 1 段和第 2 段的开通时间相隔了 10 年,导致轨行区管壁上电缆、光缆及设备布置差异很大,漏缆难以确定一个固定的高度进行敷设。此外,本次大修采用的漏缆方案为双漏缆,轨行区管壁上某些既有设备的分布也让 2 根漏缆无法按惯例以 30 cm 以上的间距予以安装,从而带来同频干扰隐患。

针对上述情况,在对全线进行详细排摸后,确定采用 2 个高度交替使用的方式使漏缆顺利覆盖全

线,即:优先采用距轨面 3 800 ~ 4 200 mm 的安装高度,在遇到既有设备遮挡时则采用距轨面 700 ~ 1 000 mm 的安装高度,如图 1 所示。

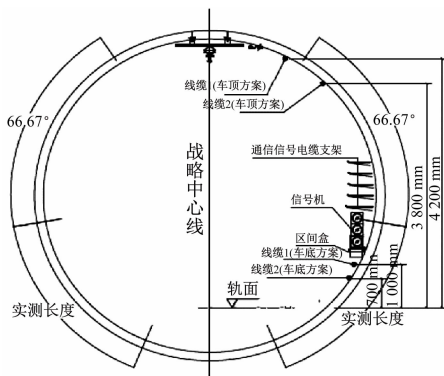


图 1 隧道区间内漏缆安装剖面图

Fig. 1 Profile of leaky cable installation at tunnel interval

在排摸漏缆安装高度时,同步统计了全线双漏缆间距无法满足 30 cm 的特异点,并记录实际的间距值,交由漏缆和 RRU(射频拉远单元)供应商。供应商评估设备选型和漏缆极化方向是否需要优化,并对该工况进行实验室模拟,以获取数据支持。由于该问题在其他城市的轨道交通线路上已有过案例,因此供应商可以直接提供数据供本项目参考。

当然,仅有实验室数据是不充分的,实验室数据只是现场实地测试的基础。当现场安装到 4 个 RRU 时,需进行 2 根漏缆在不同间距组合下时延、丢包数据、吞吐量数据的实测,并进行实车测试等测试项目。测试通过后,该方案方可正式生效,在全线范围内安装。

还需注意的是该漏缆要与列车上的天线交互,故在列车改造或新购时,天线也要同步设计在车顶和车侧的相应位置。

2.2 自动化停车场功能的配套需求问题

自动化停车场是本次 2 号线信号大修更新改造项目的新增内容,其功能是使停车场段内的列车能够以列车进路和 ATO(列车自动运行)/DTO(有人值守的全自动运行)模式出库,从而使整个停车场段的出库能力大为增加。这个功能是个非常成熟的产品,在新线建设中有着较为普遍的应用。该功能本身并没有任何设计或者施工难点,然而在 2 号线大修项目中,与之相配套的隔离网安装却出现了一系列问题,使自动化停车场的设计一度停滞。本次 2 号线涉及改造的停车场段有 3 个(龙阳路停车场、北翟路停车场、川沙停车场),均为双列位布局。

其中,最早建设的龙阳路停车场设计于 20 年前,车库内辅房与最近股道限界的走廊宽度约 1 m,如强

行安装隔离网,则人员无法从走廊通过,也不能进出辅房(见图 2)。

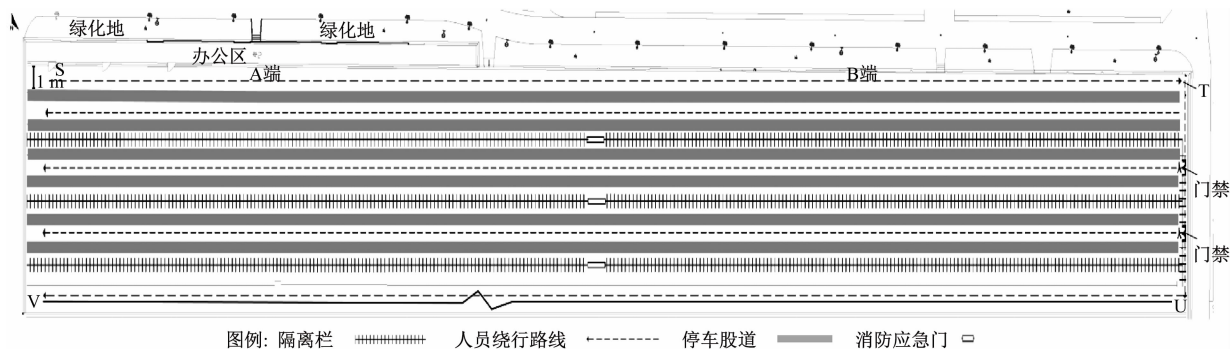


图 2 龙阳路停车场新增隔离栏后绕行路线示意图

Fig. 2 Schematic diagram of detour route after adding isolation fence at Longyang Road Depot

此外,这 3 个停车场段还有 1 个共性问题:消防箱位于中间结构柱上,消防扑救范围可覆盖其左右两侧的股道。若安装隔离网,则安装侧的股道内人员无法使用该消防箱内器材,无法满足消防设置 30 m 扑救覆盖范围的要求。而且,所有自动化停车场为了保障安全,规定列车出库方向前的平交道都必须封闭(仅留有消防应急门),既有车库在设计时无法预见这些新需求,因而没有设置跨股道的天桥或地道,安装隔离网后所有人员进出隔离区域都需要通过库尾门禁处绕行。停车库内各辅房的功能及位置也无法按照自动化停车场的要求进行布置。如图 2 所示,龙阳路停车场的停车库长度按停放 2 列 8 节编组列车进行设计,车库长约 400 m,宽约 100 m。信号、车辆的专业人员和列车司机的办公用房均集中在车库的 A 端北面的办公区。添加隔离网后,工作人员从办公区 S 点出发去最远列位的 A 端列车头 V 点需要绕行至库尾 T 点和 U 点,单程约需行走 900 m。工作人员完成工作后,再原路返回至办公区,来回路程约 1 800 m,给日常工作带来了很大的困难。

为了解决这些问题,经过现场勘察后,拟采用如下设计方案:①将所有辅房原向南打开的门全部封闭,在房间的北向新设门洞。若北向没有开门条件则采用“窗改门”改造方式(仅龙阳路停车场);②在消防箱附近的隔离网上安装小门,供紧急情况时通过;③在运营结束列车全部回库后,开放库门外平交道的应急门,为工作人员的夜间集中维护提供便利,其他时段仍采取绕行方案。

这一系列的举措看似初步解决了矛盾,实际上又引发新的问题。辅房新开门方向的大片绿化需要移除,并修建走道,且新建的走道在室外,为了避

免天气因素影响人员携带设备通行,还需要增设雨棚;消防箱附近的小门若不设置门禁,则人员可以从这里横跨股道,设置隔离网的初衷则完全丧失,而若设置门禁,发生火灾等紧急情况时消防设施无法覆盖;夜间应急门开放供运维人员通行的时间太短;清晨列车出库突发故障需要维修人员处置时,该时段属于高危险时段,应急门不可打开,而绕行则耽误应急处置时间,需要修建跨股道的地道或天桥仍是刚性需求。

因隔离网问题导致龙阳路停车场设计出图延误了 1 个多月,如采用上述解决措施需要进行移除绿化、重新布局消防系统及新建地道/天桥,既耽误项目进度,还会额外增加巨大的工作量和工程费用。因此,必须重新寻找既有场段建设自动化停车场修建隔离网的解决措施。在和运营各相关部门的专家进行沟通后发现,主要问题在于 DTO/ATO 模式下列车进出场的车速由 5 km/h 大幅提高至 17 km/h,若有人误侵入行车路线,司机仍以同样的反应时间采取紧急制动,因车速的增加将导致制动距离增加,从而导致发生人车碰撞的概率大大增加。因此,隔离网安装的主要矛盾集中在车库的室内部分,若此部分信号采用 5 km/h 的限速设计,则可不再安装隔离网。列车出库时,以 5 km/h 运行至库门前平交道一度停车,然后再以 17 km/h 的速度运行至正线,库外维持正常隔离网设计即可。此设计方案无论在施工难度、经济性还是在对项目总进度的影响上,都优于之前的方案,也能使各单位的需求都得以满足。

2.3 用电功率超出原评估方案

在北翟路停车场信号机房进行上电报批流程时,供电专业发现信号侧的空开整定值 160 A 和供

电侧的空开整定值发生了平配,要求信号专业调低空开整定值。在响应供电专业要求后却发现,信号空开的下一级整定值约为 130 A,无法满足信号系统自身用电量,只能由供电侧将空开整定值调整至 175 A。经过核算,原有的供电设计考虑充分,其开关有足够的余量上调,电缆规格也符合调高后的空开整定值要求。

在新线建设项目的筹备期,供电专业会对信号专业各车站(含停车场)的用电需求进行评估,并以此作为依据对供电设备进行设计。然而在既有线路的信号改造项目中,从设计到实施的全过程信号专业均作为主体,无论是主动的还是被动的,必然会有许多变化因素存在。鉴于北翟路停车场空开整定值的实际案例,2 号线信号大修设计时,在对全线所有车站(含停车场)的用电量进行再次复核,发现原定于龙阳路基地的 2 号线信号维修中心根据规划要移至新闸路控制中心所在建筑,这将导致该建筑的用电量有较大幅度的增加,因而在提高其供电侧整定值的同时,还需要更换对应规格的电缆。

3 信号大修的应对策略

通过上述具体案例的分析,将信号大修改造过程中的具体措施进行总结分析,形成相关应对策略,具体如下:

1) 面对因现场客观条件限制造成的各类问题,首先一定要加强对现场的勘测,确定设备实际能安装的位置及特异点的数量。供应商和相关专业的专家共同论证当前设备的规格、型号是否适应大修改造的工况,并制定测试方案,进行实验室和小范围的现场实景测试。待测试项目全部通过后,还需考虑方案变化是否对与之相关联的接口的硬件设备产生影响,确认无误后才能在项目中批量使用。

2) 对新功能产生的衍生需求,不能一味地予以满足,特别是不能为了实现 1 个需求而引申出数个次级需求,这样周而复始只会使大修改造设计陷入僵局。面对衍生需求,在经过充分努力后发现仍不能解决问题,则就不应该再勉强解决其次级需求,而应抓住衍生需求产生的根本原因,在保证该意图得以贯彻的情况下,找出功能和需求的平衡点,对功能进行裁剪。

3) 配套专业在评估信号需求时要留有足够的余量,尤其是和信号有直接接口的线缆和设备,建议选用高于需求一档的规格,能采用可调的则尽量不用固定的。升级改造项目中不可避免地产生的各类变化,作为信号大修改造项目的牵头单位,信号专业要及时在各级会议中将变化需求告知其他相关专业,各相关专业也要加强对信息的敏感性,识别出信号专业实施中的变化可能对自身专业造成的影响。

4 结语

运用本文对上海轨道交通 2 号线信号系统改造的应对策略,可以大大降低类似项目中典型问题发生概率及时间经济成本。在项目筹备前,应有针对性地对信号大修的 3 类难点进行充分的实地勘测和风险评估,使后续制定的计划更加准确,实施更为顺畅。

参考文献

- [1] 周波. 轨道交通信号系统大修升级对既有线路的运营影响及技术措施[J]. 交通世界, 2014(23): 303.
ZHOU Bo. Operational impact and technical measures of rail transit signaling system overhaul and upgrading on existing lines[J]. Transportation World, 2014(23): 303.

(收稿日期: 2021-03-25)

(上接第 99 页)

- ZHU Xiang, WANG Daqing. About the application of ADUS[J]. Urban Mass Transit, 2006(12): 36.
- [3] 上海市交通运输行业协会. 城市轨道交通全自动运行运营场景规范: T/SHJX 0018—2020[S]. 上海: 上海市交通运输行业协会, 2020: 1.
Shanghai Transportation Trade Association. Urban rail transit-Fully automatic operation-Operational scenarios specification: T/SHJX 0018—2020[S]. Shanghai: Shanghai Transportation Trade Association, 2020: 1.
- [4] International Electrotechnical Commission. Railway applications-Urban guided transport management and command/control systems-

Part 1: System principles and fundamental concepts; IEC 62290-1—2014[S]. Geneva: International Electrotechnical Commission, 2014: 1.

- [5] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 地铁设计规范: GB 50157—2013. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013: 180.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Metro design standards: GB 50157—2013[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2013: 180.

(收稿日期: 2021-05-07)