

上海轨道交通 2 号线信号系统改造实施方案

孙 磊

(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 上海轨道交通 2 号线面临着巨大的运能压力,需要对该线的信号系统进行改造,新增 CBTC(基于通信的列车控制)系统,以 TBTC(基于轨道电路的列车控制)作为后备系统。为了尽量减少改造项目对运营的影响,在借鉴上海轨道交通 1 号线信号大修改造经验的基础上,详细介绍了 2 号线信号改造的具体实施方案,包括技术方案、信号倒接方案和大修后 CBTC 的开通方案等,以确保 2 号线信号改造全过程的顺利实施。

关键词 城市轨道交通;信号系统;CBTC;更新改造;开通方案

中图分类号 U231.7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.11.033

Signaling System Transformation Scheme of Shanghai Rail Transit Line 2

SUN Lei

Abstract Shanghai Rail Transit Line 2 is under heavy operating capacity pressure, it is necessary to reconstruct the signaling system of the line, adding CBTC (communication-based train control), taking TBTC as backup system. In order to avoid the excessive impact of the transformation on operations, on the basis of referring to signaling overhaul and reconstruction experience of Shanghai Rail Transit Line 1, practical implementation scheme of Line 2 signaling system reconstruction is elaborated, including technical plan, signal reverse connection plan, and post-overhaul CBTC channeling plan, ensuring successful practice of Line 2 signaling reconstruction overall.

Key words urban rail transit; signaling system; CBTC; transformation; channeling plan

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

上海轨道交通 2 号线(以下简称“2 号线”)是上海城市轨道交通线网中重要的线路之一。该线横跨市中心,连接多个重要金融商圈及旅游景点,并联通了浦东国际机场和虹桥综合交通枢纽。2 号线全长 64 km,设 30 座车站,日均客流超过 170 万

人次,是目前上海城市轨道交通线网中客流量最大、每日运营时间最长、信号设备投用时间最长的线路。2 号线在整个上海城市交通网络中有着不可替代的作用,若无法保障 2 号线日常的运营安全,会对上海的城市交通网络带来巨大的影响。本文针对 2 号线夜间施工窗口期短、改造项目工期短、运营安全要求高、增能任务严峻等难点,从技术方案、倒接方案、开通方案 3 方面对 2 号线信号系统改造的具体实施方案进行阐述。

1 2 号线信号改造的技术方案

文献[1]详细介绍了此次更新改造的方案,本文所述的技术方案可为工程实施提供技术上的兼容性及实施上的灵活性。

1.1 轨旁技术方案

升级既有的 TBTC(基于轨道电路的列车控制)轨旁设备,保留轨道出清、占用信息及数字轨道电路发码等功能,用以取代目前主流计轴为后备的 CBTC(基于通信的列车控制)信号系统。既有的数字音频轨道电路(型号为 AF-904)与数字轨道电路联锁(型号为 T-MLK II)升级后保持接口不变。使用新的 CBTC 系统 CI(计算机联锁)子系统,并研发既有 T-MLK II 与 CI 的接口。

1.2 车载技术方案

车载改造需对整列车的信号系统进行更换。列车由 CBTC 系统控制,再由轨道电路对应的 DTG(目标距离)设备读取地面信息,将信息发送给 CC(车载控制器)。当 CBTC 发生通信故障时,可转为由轨道电路准移动闭塞的授权方式,控制列车运行。

1.3 ATS(列车自动监控)及传输网络技术方案

改造后的 2 号线不再沿用既有的 OCC(运营控制中心)。新的 OCC 设在上海轨道交通网络运营调度指挥大楼(以下简称“3C 大楼”)内。新骨干网也独立于既有网络,与新的 ATS 系统建成网。

2 号线信号改造项目中新增了 CBTC 系统,以

轨道电路替代传统 CBTC 模式下计轴的后备系统。当 CBTC 故障导致信号系统降级为后备 TBTC 信号系统时,将由数字轨道电路发码,确保 2 号线在早晚高峰时段仍能满足中心城区内 2 min 的运行间隔,不影响市民的正常出行。

改造后的车载系统同时具备在既有信号系统下维持日常运营及在新建 CBTC 下进行夜间施工调试的能力,无需更换任何软件或进行系统切换,具有很强的灵活性。

2 2 号线信号改造的倒接方案

2 号线目前是上海城市轨道交通线网中每日运营时长最长的线路,夜间停运后仅有 1 h 30 min 的有效施工时间。为满足边运营、边大修的需求,并增加有效测试的时间,在参考上海轨道交通 1 号线信号大修经验的基础上,本文以 2 号线信号改造项目的徐泾站为例,说明以安全继电器为倒接开关的倒接方案。

2.1 继电器倒接开关的倒接方案

2.1.1 设计原则及方案

1) 将倒接继电器落下状态作为运营模式,倒接工作基于“故障导向安全”原则来开展。

2) 提供两路 24 V 供电。

3) 倒接开关启用后倒接操作便捷,节省了新老系统间的切换时间。

4) 避免发生因人员操作不当而导致新设备与既有设备联通的情况。

2.1.2 实施步骤

2 号线信号倒接过程如图 1 所示。其中:分图 a)、b)、c)、d) 表示新建系统接入前的状态,分图 e)、f) 表示调试及新建系统投用后的状态。

具体的倒接步骤为:

1) 在既有的机房内安装倒接开关,既有设备接入倒接开关,室外为既有设备。如图 1 b) 所示,倒接开关以单个轨旁设备为单位,接入倒接开关的既有设备需进行现场功能验证后再投入运营。每个施工点可根据作业时间调整接入设备的数量,以避免夜间施工时间不足影响次日的运营。

2) 如图 1 c) 所示,敷设既有机房至新机房的联系电缆,用于新设备与轨旁既有设备的连接。敷设室外新电缆,用于新建的 CBTC 开通后更换为室外电缆。

3) 如图 1 d) 所示,在新机房安装室内设备,连接新机房至倒接开关电缆,同时将不需要倒接的设

备直接用新电缆与室外的新设备(如信号机、发车表示器、站台紧急停车、有源信标等)连接。

4) 如图 1 e) 所示,当夜间调试施工时,将继电器吸起即可完成轨旁既有设备与新建系统的连接,以实施新建系统的调试;调试完成后,将继电器落下,可恢复到既有设备运营状态,以进行日间的正常运营。当继电器发生供电故障落下时,继电器落下节点与既有设备连通,不会影响既有设备运营,满足故障导向安全的原则。当新建系统调试完毕、CBTC 开通后,只需保持继电器吸起就能满足运营需求。

5) 如图 1 f) 所示,CBTC 开通后,逐一断开新建设备至倒接开关电缆,并更换室外新电缆和更换轨旁设备。最后拆除倒接开关、既有设备及联系电缆,整个倒接过程完成。

在实际的倒接施工时发现,此倒接方案在上海轨道交通 1 号线轨道电路上的工作电压为 2.25 ~ 4.50 V、工作电流为 120 ~ 400 mA 时接入倒接继电器的电阻值为 $0.55 \pm 0.03 \Omega$ 、电缆阻值为 $0.20 \pm 0.03 \Omega$ 后,不会对轨道电路的正常工作产生特别大的影响,只需对轨道电路设备进行收发数据调谐即可正常投入使用。但在 2 号线的信号改造过程中,AF904 轨道电路的工作电压为 0.50 ~ 1.20 V、工作电流为 280 ~ 320 mA 时接入倒接继电器的电阻值为 $0.55 \pm 0.03 \Omega$ 、电缆阻值为 $0.20 \pm 0.03 \Omega$ 后,在运营时部分区段的轨道电路出现闪红。在排除倒接继电器硬件性能、倒接电缆质量及接线工艺等因素后,需要对倒接方案进行修正,并对倒接开关进行重新选型。

2.2 修正的倒接方案

2.2.1 修正方案介绍

修正后的倒接开关采用 Kraus & Naimer CA10,该倒接开关为二位置定位式转换开关,可用于新建系统和既有系统间的转换。该开关的具体参数有:①开关额定容量为 AC 690 V/20 A、DC 110 V/1 A;②最小电流为 5 mA;③最大连接导线截面积为 2.0 mm × 2.5 mm(双股软线);④机械寿命为 500 万次;⑤最大触点数为 12 个,倒接电缆阻值保持不变;⑥倒接开关电阻值为 $0.15 \pm 0.03 \Omega$;⑦长、宽、高的尺寸分别为 170 mm、48 mm、48 mm,如图 2 所示。

2.2.2 电路原理图

如图 3 所示,新倒接开关的物理连接同继电器倒接原理类似,操作时通过旋钮可在新建系统和既有系统间手动切换。图 4 中,数字表示新倒接开关

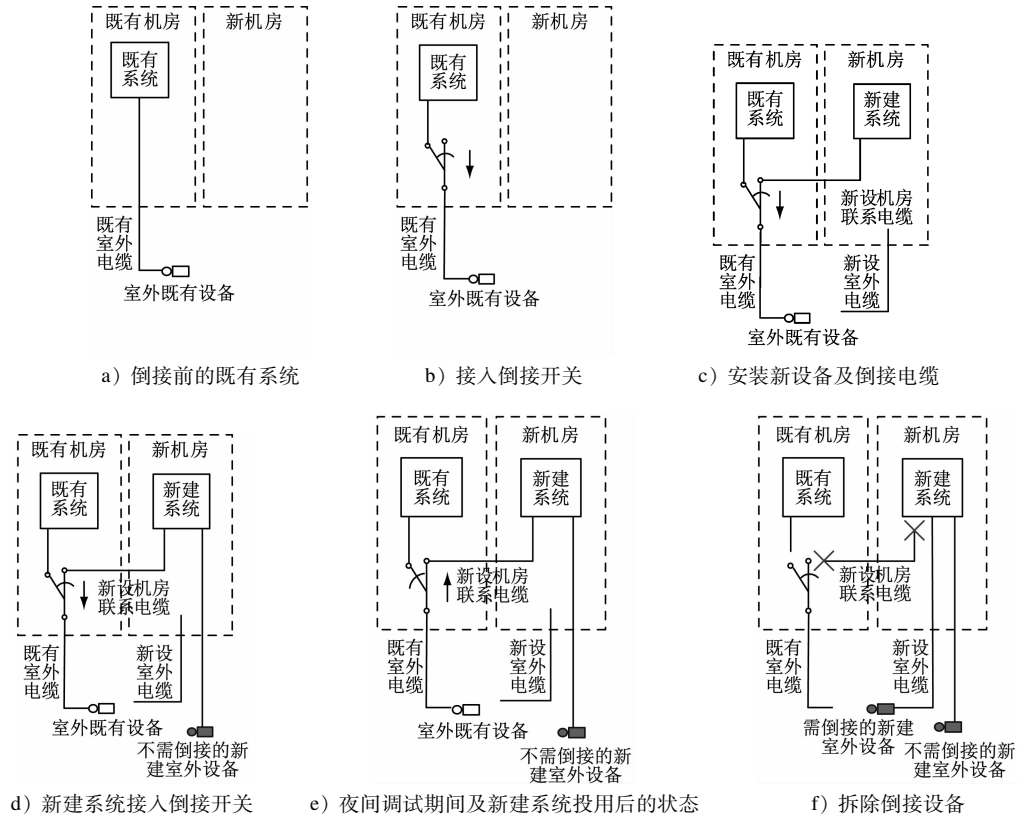
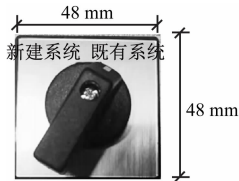
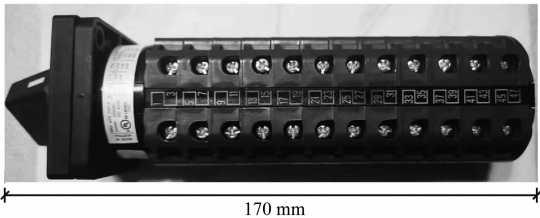


图 1 2 号线信号倒接过程示意图

Fig. 1 Diagram of signal reverse connecting process of line 2



a) 正视图



b) 侧视图

图 2 新倒接开关(Kraus & Naimer CA10)的样式图

Fig. 2 Product sample of new reverse connecting switch (Kraus & Naimer CA10)

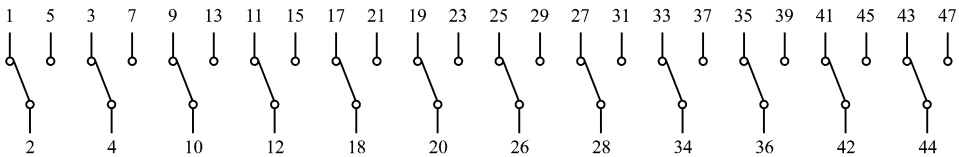


图 3 新倒接开关(Kraus & Naimer CA10)的电路原理图

Fig. 3 Circuit principle of new reverse connecting switch (Kraus & Naimer CA10)

接线端子上的对应接线端子编号。单个产品有 12 组节点,其中:1、2、5 对应一组节点,3、4、7 对应另一组节点,依此类推。1、3、9……41、43 节点对应接入既有系统;5、7、13……45、47 节点对应接入新建系统;2、4、10……42、44 接点接入既有轨旁系统。

经验证,采用修正方案后,不再发生 AF904 轨道电路不稳定红光带的设备故障。目前,此方案已经在 2 号线大范围使用。

3 2 号线信号改造的开通方案

在技术方案正式确定后,根据初步设计的专家意见、线路增能任务、实施风险、开通节点及运营影响等因素,对各种可行性开通方案进行评估,最终确定了 2 号线信号大修后的开通方案。方案分 3 步实施。

3.1 完成 4 站 3 区间样板段的建设

第一步是选取徐泾东站至淞虹路站作为样板区段,先实施轨旁及 ATS 的设备升级及改造,以在尽可能短的时间内具备 CBTC 及 TBTC 的功能验证。基于目前新系统对列车进行改造的情况,可以提前进行整个新建系统信号功能的验证,以固化信号系统的整体方案,提前进行专家评审,为方案在 2 号线全线的实施提供可靠的依据。

3.2 完成全线 CBTC 的改造和升级

在样板段完成能验证后,第二步是完成全线的 ATS、联锁及部分轨道电路的升级,使其能满足 CBTC 开通要求。

1) 轨旁设备。CBTC 模式下运营列车无需具备轨道电路发码功能,只需完成轨道电路出清及占用信息和联锁功能验证,轨旁就具备开通 CBTC 条件,因而在调试初期对施工资源的需求大为减少。

2) 车载设备。需根据实际运营需求对车载设备进行改造。既有系统列车依次退出运营进行改造,列车新建系统改造调试后可直接上线以既有系统 TBTC 模式运行。在此期间,改造后的列车既能在白天既有系统运营,又能在夜间新建系统进行 CBTC 模式调试,无需更换任何软件或进行系统切换,具有很强的灵活性。待改造列车的数量大于上线运营列车数时,列车具备开通 CBTC 的条件。

3) ATS 系统。需完成全线 ATS 设备的安装(含 3C 大楼),并接入整个骨干网络。在此期间,ATS 完全隔离在运营设备外,不影响日常运营,但具备白天模拟接收数据功能,在只收不发的测试环境下可完成功能验证。在整个离线模拟验证完成后开始压力测试,在完成压力测试验证了 ATS 系统的完整性后,ATS 具备开通 CBTC 的条件。

在完成所有系统的改造及人员运营培训,且所有系统都具备开通条件后,可对全线 CBTC 进行升级。

3.3 TBTC 功能逐步调试并分段开通,拆除老的设备及联系电缆

在新建系统 CBTC 模式开通后,轨旁可以根据

TBTC 模式的调试进度,逐站或分段开通轨道电路的发码功能。后续新建系统列车上线后以 CBTC + TBTC 模式直接投入运营。

已经完成升级的车站可以拆除既有系统的老设备,这样既可以有效缩短新建系统 CBTC 开通的时间,还可以将既有系统拆除工作与车站夜间 TBTC 施工相结合,2 项工作同步进行,以减少施工资源的需求。

4 结语

与传统的信号大修改造方案相比,上海轨道交通 2 号线以 TBTC 为后备系统的 CBTC 系统改造方案更具实施性和灵活性,实施的难度较低,既可保障线路的正常运营安全,又能实现线路的增能任务。在整个系统的升级、改造过程中,新建设备对运营影响的风险可以通过合理、有序的施工组织方案来规避。而对于既有的设备,在完成升级改造后、再次投用前,对既有设备的可靠性及安全性提出了更高的要求,因此在后续的实施过程中需进一步研究如何优化实施方案、提高既有设备的运营安全水平、减少既有系统设备的使用压力,以缩短新建系统建设时间。

除了全线的压力测试外,目前所有的实施方案、所有的测试及功能验证都不会对次日的运营组织造成影响。为保证次日正常运营,全线的压力测试方案应结合运营生产计划进行调整,需深入研究运营结束后全线列车不回库直接开始测试,在测试完成后直接开始投入运营或者逐列回库再上线运营的全线压力测试方案的可实施性。

参考文献

- [1] 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.

(收稿日期:2021-04-27)

(上接第 137 页)

参考文献

- [1] 赵晓峰. 城市轨道交通列车绝对定位系统比较[J]. 城市轨道交通研究,2015(10):57.
ZHAO Xiaofeng. Comparative study on absolute localization system

of urban railway train[J]. Urban Mass Transit, 2015(10):57.

- [2] 陶汉卿. 一种低成本的城市轨道交通列车组合定位方案[J]. 城市轨道交通研究,2020(12):138.

TAO Hanqing. A low-cost urban rail transit train combination positioning scheme[J]. Urban Mass Transit, 2020(12):138.

(收稿日期:2021-04-27)