

城市轨道交通列车车载信号系统改造施工方案研究

赵 丽

(上海地铁维护保障有限公司, 200233, 上海//工程师)

摘 要 既有线信号系统的升级改造是未来城市轨道交通运维的重点工作之一。基于“既有线改造不应影响日常运营”这一原则,对既有列车车载信号系统的改造施工方案进行研究。介绍了车载信号系统改造施工前准备的主要内容,分析了既有系统改造的总体需求。重点阐述了车载设备安装及控制电路相关电气安装的施工方式、施工工序,并提出了改造施工方案测试验证的主要内容及具体要求。

关键词 城市轨道交通; 列车; 车载信号系统; 改造施工中图分类号 U231.7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.11.024

Research on the Reconstruction Scheme of Urban Rail Transit Vehicle On-board Signal System

ZHAO Li

Abstract The upgrading of existing signal system is a key work for urban rail transit in the future. According to the principle that 'the reconstruction of existing line should not affect daily operation', the reconstruction scheme of existing train station signal system is studied. In this paper, the main preparation works before the reconstruction of vehicle on-board signal system are introduced, and the overall requirements of the existing system reconstruction are analyzed. Then, the construction method and the installation procedure of vehicle on-board equipment, the control circuit related electrical facilities are highlighted. Finally, the main content and specific requirements for the test and verification of the reconstruction scheme are put forward.

Key words urban rail transit; train; on-board signal system; reconstruction

Author's address Shanghai Metro Maintenance Support Co., Ltd., 200233, Shanghai, China

在城市轨道交通中,车载信号系统主要用于实现列车日常运行的安全防护及在线自动化运行。部分城市轨道交通的既有线路因运营年限较长,其信号系统已无法满足线路运力需求,故对车载信号

系统的改造被提上了日程。由于既有线路车载信号系统改造的对象为日间运营的列车,所以其改造方案不能简单地定义为车载功能落地,还应可能减少改造施工对列车运营的影响,并尽量缩短整体施工的周期。本文结合城市轨道交通既有车载信号实际改造项目的特点及经验,针对车载信号系统改造给出一套具有通用性的解决方案。

1 车载信号系统改造施工方案

1.1 改造施工前的准备

1.1.1 施工准备内容

1) 了解改造前后方案的差异。明确既有车载信号系统(以下简称“既有系统”)和改造后车载信号系统(以下简称“新系统”)的不同点,主要包括功能实现、列车性能需求及接口变更等。

2) 施工前需准备的材料。施工前需准备的材料主要包括既有系统的功能说明文件、电气图纸、机械图纸及相关参数等。

3) 确定整体改造施工周期。

4) 明确施工改造可接受的影响面。

1.1.2 车载信号系统改造的总体需求

既有系统改造的总体需求主要分为两类:

1) 车载信号系统平替:即既有系统的功能、性能、接口等不做修改,仅对车载信号系统本身进行更换。

2) 车载信号系统整体迭代:即针对车载信号系统进行整体升级。对比既有系统,新系统的整体迭代可实现整体运营功能及性能上的提升,故其升级过程对功能、性能、接口等均会产生影响。

1.2 改造施工的具体内容

既有系统改造施工主要包含机械接口、电气接口两个部分。由于信号系统的大修周期较长,在制定改造施工内容时应充分考虑改造期间系统的平稳过渡。既有系统和新系统(以下简称“双系统”)在改造期间共存,是解决此问题行之有效的措施。

1.2.1 机械安装部分

车载信号系统需要安装的机械设备主要包括信号主机、网络设备、显示器设备、速度检测设备、信标天线及倒接继电器等。

基于双系统共存的需求,留给新系统的安装空间很有限,应根据可用空间的差异采用分布式安装

方式或集中式安装方式。

1.2.1.1 分布式安装

分布式安装指将设备分散安装在列车上。考虑到车辆主控制电路及相关继电器的位置,车内设备应遵循“就近安装”原则,在空间允许时应将信号主机设备安装在两端的头车/尾车内,如图 1 所示。

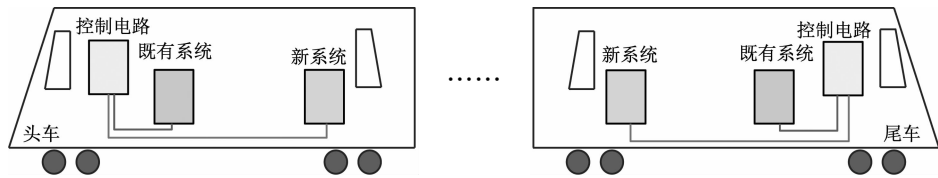


图 1 车载信号系统分布式安装示意图

Fig. 1 Diagram of on-board signal system distributed installation

在车内安装设备时,常遇到信号屏柜大部分空间被既有系统占用的情况,此时需对信号屏柜的空间布局进行整合,或在车内寻找其他可满足信号设备安装需求的屏柜空间。若屏柜空间无法满足双系统的安装要求,还可以考虑在客室座椅下或车下悬挂的车载低压柜内进行安装。但上述安装空间的调整必须充分考虑设备安装约束及电磁兼容性等方面的要求,同时需考虑后续运营维护的需求。基于车内设备与外挂设备间的跨接电缆长度限制,分布式安装的车下设备需要结合车内设备的具体

位置进行布局,此时也需遵循就近安装原则。若选定的安装位置周围存在既有信号设备的外挂设备,则需要同时充分考虑双系统信号设备间的相互干涉问题(本文的“干涉”不仅指体现设备的安装空间及需求上,还体现在新旧两套信号设备同时工作时不会相互干扰)。

1.2.1.2 集中式安装

如图 2 所示,集中式安装的目的是尽可能地将所有改造设备集中设置,以便于新系统的设置及控制电路的集中管理。



图 2 车载信号系统集中式安装示意图

Fig. 2 Diagram of on-board signal system centralized installation

采用集中式安装时,需将列车中部车厢某个机柜清空,然后将所有新增信号设备及控制元件集中安装在该屏柜内。选择新系统设备的屏柜时,其位置应尽可能靠近控制低压柜,以便于后续倒接电路的接入。此外,其位置最好与既有设备的安装位置错开,避免与既有设备间互为影响,并应充分考虑与车辆外挂设备间的干扰。例如,车载信标天线通过激励轨旁信标方式获取列车的定位信息及信标编码信息,若外部设备侵入定义的无金属区域,则可能导致发射信号幅值被削弱,进而导致无法读取信标的情况发生。因此,在车载设备安装时要充分考虑 EMC (电磁兼容性) 相关的防护措施。

1.2.2 电气控制电路

改造电气控制电路的前提是不能对既有的电气控制电路产生影响,且能在兼顾倒接需求的基础上实现新系统的功能。中间继电器过渡方案可以非常便捷、清晰地实现以上需求,所接入的中间继电器的控制接点也可以根据改造需求进行扩展。此外,该方案还应实现新系统输出的状态采集及对新系统输出的实时监控。

控制电路的切换主要包括热切换和冷切换两种方式。

1.2.2.1 热切换方式

图 3 为倒接的热切换方式,即在既有系统和新系统的倒接过程中,两套系统同时工作,通过倒接

开关实现两套系统对外部电路控制权的切换。两套设备同时运行,可以减少电路控制器切换的时间,也可以对两套设备的工作情况进行实时监控。在进行热切换改造方案设计时,应充分考虑这两套系统同时工作时的相互影响,在后续测试中也需要对于设计方案的安全性作进一步验证。

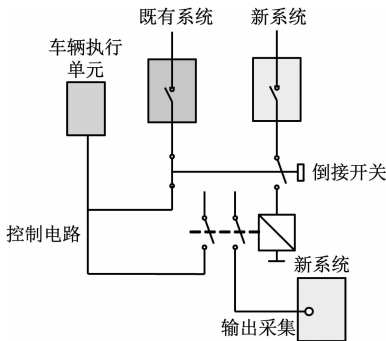


图 3 既有系统和新系统倒接的热切换方式
Fig. 3 Hot switch mode of reversed connection between existing system and new system

1.2.2.2 冷切换方式

图 4 为倒接的冷切换方式,即车载信号系统正常运行时会选择一个主用系统(另一个系统为备用系统),仅主用系统带电工作,备用系统不带电。冷切换方式可以最大程度地降低两套设备间的相互影响,简化改造方案在执行及测试上的难度。但是,采用该方式时控制电路的切换时间会有所增加,且无法对备用系统设备的状态进行及时跟踪。

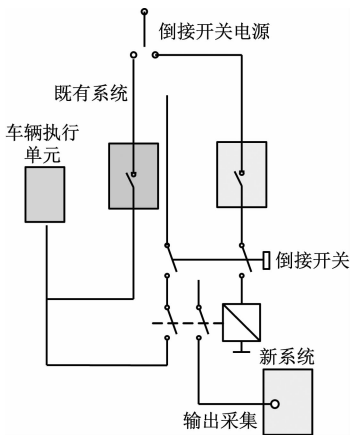


图 4 既有系统和新系统倒接的冷切换方式
Fig. 4 Cold switch mode of reversed connection between existing system and new system

1.3 改造施工的工序设计

在车载信号系统改造过程中,需要对大修列车进行车载设备及控制电路相关电气设备进行安装,

此时列车不能上线运营。

1.3.1 车载设备安装

在车内对设备进行安装时,需先确认屏柜内环境,主要包括:① 柜内仅包含符合 EN 50343:2003《铁路应用机车车辆布线规则》定义的 B 类和 C 类电缆;② 所有设备均应满足 EN 50 121:2008《铁路应用电磁兼容性》的第 3-2 部分对 EMC 的规定;③ CC(车载控制器)机柜只可以单点接地,且列车接地点为机械地。在满足车内安装环境后,应根据图纸对设备进行安装并紧固。安装过程中需要重点关注预留布线及维护空间的实际执行情况。

在对车下设备进行安装时,同样需要先确认其安装环境,即确认设备周围的无金属区域及无障碍区域满足需求,然后再进行设备安装。在安装车下设备的同时,需考虑主机与外挂设备间的走线路径。相关走线路径应满足 EN 50343:2003 中定义的电缆间隔要求,以及后续敷设电缆所需的折弯半径要求。

1.3.2 电气安装

电气安装主要包括车内继电器及控制电缆的安装。因车载信号改造项目中定义了倒接开关,在不影响既有电路的基础上,应先完成主机至倒接开关处控制电路的敷设,且同步完成相关倒接继电器的安装及各设备的电源电缆线的敷设。在确认倒接开关至设备主机控制电缆线序安装无误后,还需确认与既有电路电缆线序安装的正确性。

1.3.3 测试验证

如表 1 所示,测试验证主要包括静态验证、安装检查、动态验证及集成验证等方面。

1) 静态验证及安装检查:这两部分的验证及检查在列车静态下完成,主要核对设备的机械接口是否满足安装约束,静态测试还需校验车载电路是否满足功能需求。对于车载信号系统的改造项目而言,其静态测试还应验证倒接前后电路功能的执行情况,以确认二者间是否互相影响。

2) 动态测试:主要验证列车动态运行时的功能。考虑到车载信号改造项目需确保列车在营业时间内上线运行,故动态测试首先需要确保既有系统的动态功能验证。在确认既有系统功能正常的情况下,再验证新系统在列车动态运行时车载控制器和车载电路的联动控制功能。

3) 集成验证:验证改造后的新系统各类指标是否满足改造预期,同时验证是否已实现对新系统接口、性能的全覆盖。

表 1 车载信号系统改造施工的工序流程

Tab. 1 Reconstruction process flow of vehicle on-board signal system

施工工序	主要施工活动	注意事项
需求输入	明确采用为系统平替或系统整体迭代;确定功能及性能的提升指标/参数	
设计准备	识别改造前后车载系统方案差异;准备施工前需准备的材料;确定整体改造施工周期;明确施工改造可接受的影响面	设计前期准备过程中需理解施工准备材料所涉及的内容,对不清晰的部分进行澄清
设计执行	进行电气接口、机械接口及网络接口的设计,并明确车辆参数	若存在设计输入资料不足情况,需再次补充
设计确认	确认电气原理图、机械原理图及网络接口设计码位	若不满足需求或存在设计纰漏,需要返回上一步“设计执行”
现场施工	机械安装、电气安装及配线安装	对施工过程中出现的问题,请设计方进行反馈及澄清
现场静态验证及安装检查	基于功能块逐个验证车辆实际的电路功能;基于安装图纸及安装限制、对现场安装情况进行检查	若安装与电路不满足条件,则需要重新进行施工整改;静态测试结果需在数据准备中予以考虑
现场动态验证	动态验证车辆的接口功能;动态验证车辆功能的执行情况	若动态验证不满足,则需要重新检查电路执行或对数据准备进行检查;现场动态测试结果需在数据准备中予以考虑
集成测试	在完整的系统环境下进行运营场景功能验证	集成测试发现部分功能不满足,需对数据或设计进行检查;现场动态测试结果需在数据准备中予以考虑

2 车载信号系统改造施工方案验证实例

对车载信号系统的改造施工方案进行验证,其主要目的是验证改造前后系统的差异性,以及新系统是否满足改造预期目标。因既有列车在营业时间内需要承担运营任务,故需要对验证活动进行拆分,穿插进行动态验证和集成验证(即在动态验证新系统功能的基础上穿插进行新系统的集成测试)。这样既提升了验证效率,还扩大了验证的范围,除了验证车载信号系统的改造功能外,还同步验证了轨旁的功能。

上文所述的改造方案,在上海轨道交通既有线路的车载信号系统改造项目中得到了应用:

1) 车载信号系统的平替方案:其上海轨道交通 1 号线的信号系统改造项目中被采用;改造方案不得影响既有的车辆接口及机械接口,因此,在该改造项目的施工过程中,主要聚焦车载信号系统的工程进度,确保控制电路的修改尽可能与既有机械接口适配。通过利用列车周期性检修时机(以不影响列车运行为前提),实现了该线车载信号系统的功能平替。

2) 整体迭代兼容性改造方案:其上海轨道交通 2 号线的信号系统改造项目中被采用;该线的信号改造采用了 TBTC(基于轨道电路的列车控制)+CBTC(基于通信的列车控制)兼容性车载信号系统。在获得独立第三方安全证书后,该线首列车的

车载信号系统改造已于 2019 年完成;截至 2022 年 7 月,该线已顺利完成 49 列新购列车的安装调试并投入正线运营,51 列既有信号制式列车的改造任务正在按计划逐步实施。

3 结语

本文对既有列车车载信号系统施工改造的技术要求、施工内容、施工工序及最终验证整个流程进行阐述。为了不影响既有线路的正常运营,车载信号系统的改造必须平稳过渡,为此,本文给出了适用于既有线路车载信号系统施工改造的通用性实施方案,对改造过程中的信号设备安装、电气安装及倒接方式等提出建议,以期为后续车载信号系统的改造项目提供参考与借鉴。

参考文献

[1] 中华人民共和国交通运输部. 交通运输部关于印发《城市轨道交通设施设备运行维护管理办法》的通知[EB/OL]. (2019-11-01)[2022-02-09]. http://www.gov.cn/gongbao/content/2019/content_5453454.htm.
Ministry of Transport of the People's Republic of China. MOT on the Issuance of Administrative Measures for Operation and Maintenance Management of Urban Rail Transit Facilities and Equipment [EB/OL]. (2019-11-01)[2022-02-09]. http://www.gov.cn/gongbao/content/2019/content_5453454.htm.

(收稿日期:2022-05-20)