

上海轨道交通 16 号线列车在线联挂/解编功能的优化

乔志远

(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 列车在线灵活编组可提高城市轨道交通线路的运营效率。以上海轨道交通 16 号线列车在线联挂/解编功能应用为背景,分析了该线列车在线联挂/解编功能存在的 3 个问题。提出了优化列车在线联挂/解编功能的 3 个措施:以 ATO(列车自动运行)模式联挂列车、优化与无线车载台的接口及优化与 PIS(乘客信息系统)的接口。

关键词 城市轨道交通;列车在线联挂;列车在线解编;优化接口设计

中图分类号 U292.31

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.11.023

Optimization of Shanghai Metro Line 16 On-line Coupling and Uncoupling Functions

QIAO Zhiyuan

Abstract Flexible train coupling can improve the efficiency of urban rail transit operation. Based on the application of on-line coupling/uncoupling functions to Shanghai metro Line 16, three problems in the online coupling/uncoupling functions are analyzed. On this basis, three measures are proposed to optimize the online coupling/uncoupling functions, including the train coupling in ATO mode, the optimization of interface with wireless on-board station and the optimization of interface with PIS (passenger information system).

Key words urban rail transit; train online coupling; train online uncoupling; interface design optimization

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

1 概述

在城市轨道交通线路中采用列车灵活编组技术具有很多优势,如可以节省线路能耗,减少列车运行车公里数,延长车辆的架大修周期等。上海轨道交通 16 号线(以下简称“16 号线”)为 3 节编组、6 节编组列车在线混跑,列车实施在线联挂/解编作业时采用不载客形式。16 号线列车在线联挂作业

的具体流程如图 1 所示。其具体步骤分别为:①列车 1(3 节编组列车)以 ATO(列车自动运行)模式运行至 3 节编组列车停车点后,实施上下客作业;②列车 1 以 ATP(列车自动防护)模式运行至 6 节编组停车点,停车后将驾驶模式转为 RMF(限制人工向前)模式,手动驾驶列车运行至联挂专用停车牌处;③列车 2(3 节编组列车)以 ATO 模式运行至 3 节编组列车停车点后,实施上下客作业;④列车 1 以 RMF 模式手动驾驶反向运行至接近列车 2 后开展联挂作业。联挂作业完成后,信号系统和车辆系统自动识别出列车处于联挂状态,行车调度在有效时间内确认联挂有效后,ATS(列车自动监控)系统将自动匹配联挂列车的车次信息并自动触发进路,联挂列车按计划投入正线运营。

16 号线列车在线解编作业的具体流程如图 2 所示。其具体步骤分别为:①6 节编组联挂列车解编后,信号系统和车辆系统自动识别列车处于解编状态,行车调度在有效时间内确认解编成功后,ATS 将自动匹配列车 2 的车次信息并自动触发进路,列车 2 可按计划投入运营;②司机以 ATP 模式手动驾驶列车 1 运行至站台右侧;行车调度在有效时间内确认后,ATS 将自动匹配列车 1 的车次信息并自动触发进路,列车 1 可按计划投入运营。

在列车的解编过程中,列车 1、列车 2 的紧急对讲功能将会被触发,此时司机需往返司机室手动复位取消紧急对讲。

2 列车在线联挂/解编功能存在的问题

2.1 列车在线联挂时需与调度联动

如图 1 所示,联挂步骤 2 中司机需以 RMF 模式人工驾驶列车 1 至股道端部联挂专用停车牌处,联挂步骤 3 中司机需以 RMF 模式人工驾驶列车 1 接近列车 2 后开展联挂作业。RMF 模式下,司机必须严格按照调度指令行车,即 RMF 模式下的每次动车均需与调度联动,这在一定程度上影响了联挂作

业效率。此外,RMF 模式下动车全过程的安全防护

均由司机负责,在行车安全性上有待进一步提高。

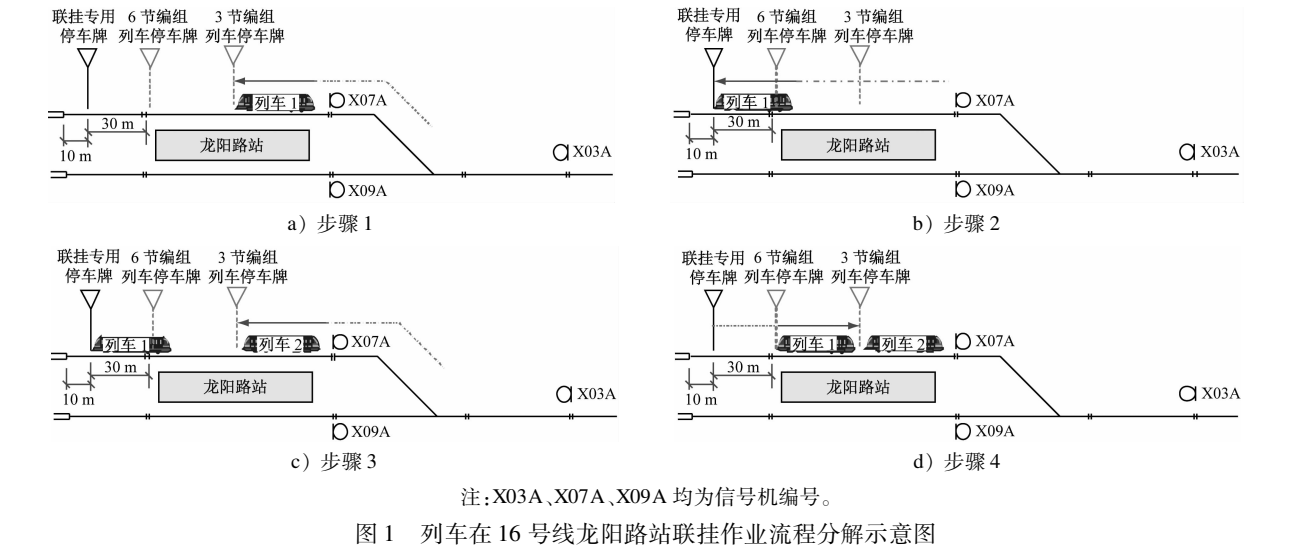


Fig. 1 Decomposition diagram of train coupling operation flow at Longyang Road Station of Line 16

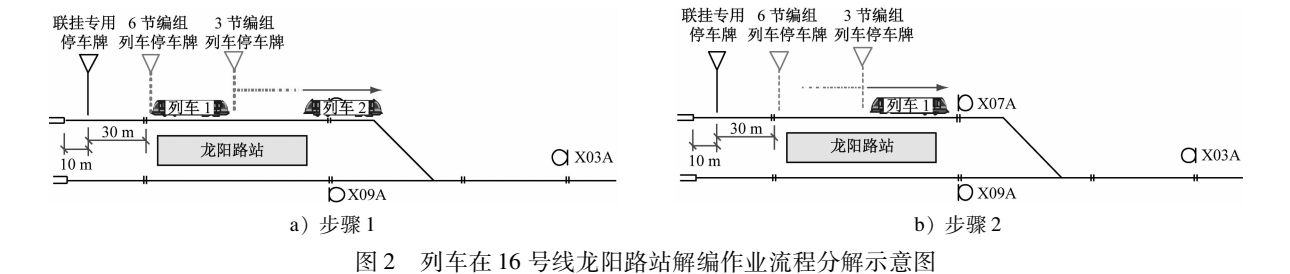


Fig. 2 Decomposition diagram of train uncoupling operation flow at Longyang Road Station of Line 16

2.2 联挂列车在线解编时触发列车紧急呼叫

16 号线无线系统采用 MOTOROLA 提供的 TETRA(泛欧集群无线电)系统,该 TETRA 系统具备列车紧急呼叫功能。一旦触发列车紧急呼叫,车载台将直接呼叫调度组,必须在司机手动确认后才能取消此呼叫。16 号线 3 节编组列车紧急停车电气原理如图 3 所示。

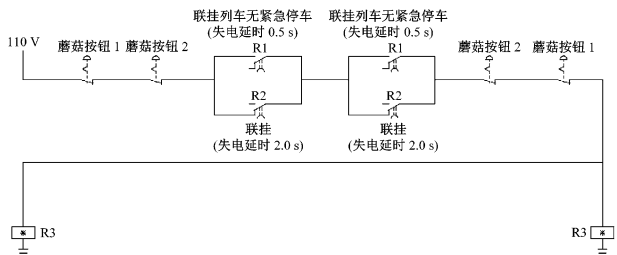


Fig. 3 Diagram of electrical principle for train emergency stop

继电器 R1 的得电条件为列车已联挂且联挂列车未触发紧急停车,线圈失电后延时 0.5 s 触点断开;继电器 R2 的得电条件为列车已联挂,线圈失电

后延时 2.0 s 触点闭合。为确保联挂列车在运行过程中如遇联挂状态丢失能触发列车紧急制动,R1 的失电延时需小于 R2 的失电延时。

基于目前的电路设计,由 2 列 3 节编组组成的联挂列车在线解编时,每列 3 节编组列车内 R1、R2 线圈同时失电,R1 触点 0.5 s 后断开,R2 触点 2.0 s 后闭合,期间的 1.5 s 内紧急停车继电器 R3 线圈失电。R3 一旦失电,无线车载台中与联挂列车相关的所有状态信息均从高电平变为低电平,此时将触发列车紧急呼叫功能,其接口原理如图 4 所示。

目前,在 16 号线列车解编作业过程中,2 列 3 节编组列车均配备了 1 名司机。无线车载台的接口设计导致该过程中 2 列 3 节编组列车的 4 个无线车载台均触发紧急呼叫,司机需要往返列车两端的驾驶室,人工手动取消紧急呼叫,这严重影响了列车的在线解编效率。

2.3 与 PIS(乘客信息系统)的接口

16 号线的运营组织方式较为灵活,支持直达车、大站车和站站停 3 种运营模式。该线的终点站

龙阳路车站位于地上二层,共有 4 个站台,其站型如图 5 所示。其中:站台 2 用于大站车、直达车折返;站台 1 和站台 3 用于站站停列车交替折返;站台 4 用于常规存车及后备折返。

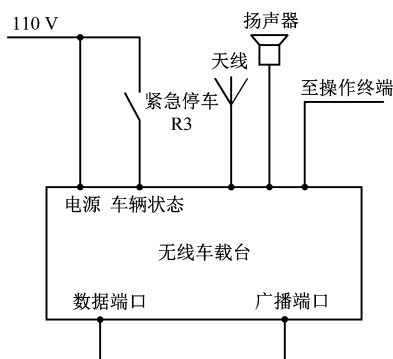
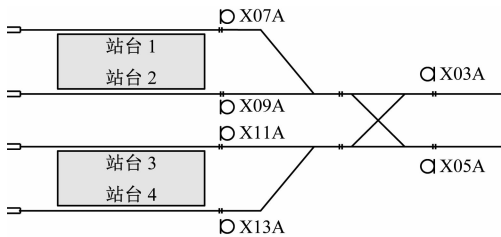


图 4 无线车载台接口原理示意图

Fig. 4 Interface principle of train on-board wireless station



注: X11A、X05A、X13A 均为信号机编号。

图 5 16 号线龙阳路站站前折返站型

Fig. 5 Turn-back station type in front of Line 16 Longyang Road Station

乘客根据站厅层(地上一层)的 PIS 显示屏获知后续 2 个班次列车的发车时间和停靠站台,从而可在目的地方向对应的站台等候列车。站厅层 PIS 显示屏显示的信息如图 6 所示。



图 6 16 号线龙阳路站站厅层 PIS 显示屏截图

Fig. 6 Screen shot of PIS (passenger information system) display on the station hall floor of Line 16 Longyang Road Station

联挂/解编列车与运行图匹配的逻辑如图 7 所示。根据目前的信号设计,需要调度在 t_0 时刻(即列车 1 计划发车时刻 t_1 前 5 min 内)对联挂/解编作业进行“一键确认”,这样列车 1 才能自动匹配运行计划并自动触发相应进路。后续 t_2 时刻列车 2 在

站台 3 发车, t_3 时刻列车 3 在站台 1 发车的原理类同。

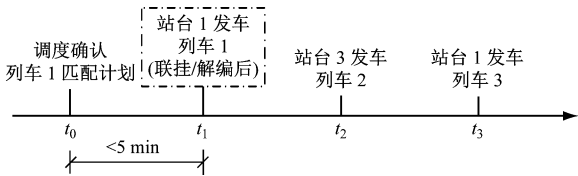


图 7 联挂/解编列车与运行图匹配逻辑

Fig. 7 Matching logic between coupled/uncoupled train and operating plan

联挂/解编列车与运行计划匹配时,会导致 ATS 发给 PIS 系统的班次信息突变,可能会在乘客选择目标站台时提供错误信息,进而影响车站的客运组织。

3 列车在线联挂/解编功能的优化

3.1 优化列车在线联挂场景

对于联挂过程中需要司机以手动 RMF 模式驾驶列车的情况,可优化信号系统设计,改为列车以 ATO 模式运行,这样可进一步提高联挂过程的自动化程度,提高作业效率。

优化信号系统设计时,可采用能量监控禁止安全算法缩短列车的安全防护距离。同时,通过控制列车的运行速度,使列车在停车过程中或后车在接近前车过程中,在列车允许的撞击速度下忽略前方的安全限制点,进而解决列车精确停车问题。

信号系统优化后,列车运行从原来的 RMF 模式改为 ATO 模式,此时列车的紧急制动触发速度应从正常 ATP 防护下的线路限速调整为信号系统预设的低限速,以确保联挂过程的行车安全。

3.2 优化与无线车载台的接口方案

无线车载台紧急呼叫功能的需求为:在紧急情况下,司机激活蘑菇按钮后能尽快接通调度台,向调度人员报告信息。16 号线为有人驾驶线路,任一时刻下 1 个司机只能在 1 个驾驶室内作业,且司机所处的驾驶室肯定与激活蘑菇按钮所在驾驶室一致。基于此,对目前 16 号线无线车载台的列车状态输入条件的部分电路进行优化。如图 8 所示,采用串联车载台所在驾驶室的 2 个蘑菇按钮(主、副驾驶台各 1 个)常闭触点方式取代原来的紧急停车继电器 R3 常闭触点,可在不影响紧急呼叫功能场景需求的前提下,有效避免联挂列车在解编过程中触发无线系统紧急呼叫。

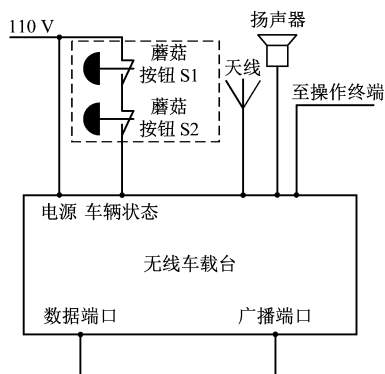


图8 无线车载台列车状态电路优化方案

Fig. 8 Vehicle state circuit optimization scheme of wireless on-board station

如图9所示,16号线列车解编作业的系统自动配置时间(已包括信号、车辆专业的处置时间)为100 s。司机往返2个司机室人工取消因列车解编引起的紧急呼叫,耗时约为120 s。列车在折返站的停站时间为45 s。对无线车载台的电路进行优化后,司机不需要取消紧急呼叫,此时列车的解编时间为100 s,节省了20 s的列车解编作业时间,列车在线解编效率约提高了12%。

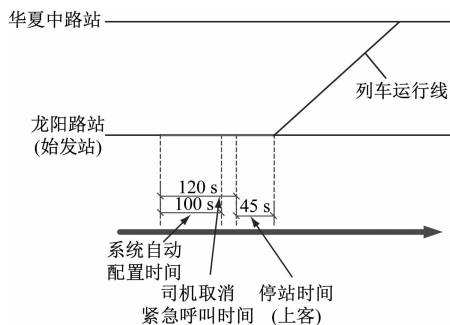


图9 方案优化前后列车解编作业时间对比

Fig. 9 Comparison of train uncoupling times before and after scheme optimization

3.3 优化与PIS的接口

对于因联挂/解编列车与运营计划匹配后引发的站厅PIS显示屏部分班次列车信息突变问题,可修改调度“一键确认”的时限,将原来的时限(小于5

min)改为更长的时间,即令 $t_{3,n}$ 时刻与 t_0 时刻间的时间差大于2倍列车发车间隔,以确保PIS显示屏上显示的后续2个班次的列车信息不发生跳变。目前16号线非高峰时段的运营间隔是7 min,而龙阳路站PIS显示屏需显示后续2个班次列车的发车信息,调度“一键确认”有效时限应调整为大于3倍的运营间隔(21 min)。考虑突发情况(如晚点)的时间余量,建议实际项目应用时该时间值可定为30 min。优化后的联挂/解编列车与运行图的匹配逻辑如图10所示。

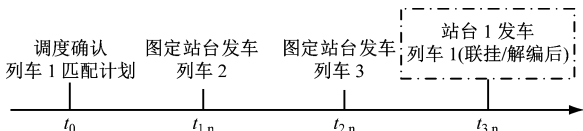


图10 联挂/解编列车与运行图匹配的优化方案

Fig. 10 Optimization of the matching scheme between coupled/uncoupled trains and train diagram

4 结语

本文对上海轨道交通16号线列车在线联挂/解编的功能应用进行运营后评估,针对存在的3个问题提出了有效的优化方案。采用优化方案后,该线列车在线联挂/解编效率明显提高,极大地提高了整条线的运行效率。本文提出的3项优化措施可为其他线路的列车在线联挂/解编技术的应用提供参考,也可为全自动运行线路的列车在线联挂/解编功能提供设计思路。

参考文献

- [1] 王冬海,黄荣光. 列车灵活编组在城市轨道交通全自动运行线路中的应用[J]. 城市轨道交通研究, 2019(增刊2):102.
WANG Donghai, HUANG Qiguang. Application of flexible train formation on rail transit FAO lines[J]. Urban Mass Transit, 2019(S2):102.

(收稿日期:2020-05-11)

欢迎订阅《城市轨道交通研究》

服务热线 021—56830728 转 821