

城市轨道交通灵活编组列车重联功能 设计及试验验证

曹成鹏¹ 曹海峰² 傅振亮³ 曹春伟⁴ 郝明远³

(1. 北京城市轨道交通咨询有限公司, 100068, 北京; 2. 金华市轨道交通集团有限公司, 321015, 金华;
3. 中车唐山机车车辆有限公司, 063005, 唐山; 4. 天津中车唐车轨道交通科技有限公司, 300392, 天津)

摘 要 [目的]城市轨道交通客流非高峰期目前采取加大行车间隔方式来应对,但这种方式普遍存在上座率不足、能耗浪费较大等问题。为提高城市轨道交通运营服务水平,需对灵活编组列车重联功能进行深入研究。[方法]结合我国城市轨道交通灵活编组列车的发展现状,参照高速铁路动车组的部分理念,从车钩重联、车辆硬线电路重联、TCMS(列车控制及监控系统)重联及列车信号接口需求等方面阐述了灵活编组列车重联的主要设计内容,并从车辆重联形式试验和车辆重联例行试验两个维度介绍了灵活编组列车的主要验证内容。[结果及结论]上海轨道交通 16 号线根据高峰和非高峰客流需求制定的 3 辆编组或“3+3”辆编组列车运营方案,可在 3 min 内实现列车联挂或解编。由此可见,该方案是可行的。

关键词 城市轨道交通; 灵活编组列车; 重联功能设计; 试验验证

中图分类号 U292.3⁺1

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.08.058

Design and Experimental Verification of Urban Rail Transit Flexible Formation Train Reconnection Functionality

CAO Chengpeng¹, CAO Haifeng², FU Zhenliang³, CAO Chunwei⁴, HAO Mingyuan³

(1. Beijing Urban MTR Consulting Co., Ltd., 100068, Beijing, China; 2. Jinhua Rail Transit Group Co., Ltd., 321015, Jinhua, China; 3. CRRC Tangshan Co., Ltd., 063005, Tangshan, China; 4. Tianjin CRRC Tangshan Rail Transit Technology Co., Ltd., 300392, Tianjin, China)

Abstract [Objective] During off-peak hours, large train departure interval is adopted for off-peak urban rail transit passenger flow, however, it is commonly faced with issues of low seat occupancy rates and high energy consumption. To enhance the operational service level of urban rail transit, it is necessary to conduct in-depth research on flexible formation train reconnection functionality. [Method] Based on the development situation of flexible train operation mode in urban rail transit in

China, referring to some concepts from high-speed railway EMU (electric multiple units), the main design contents of flexible formation train reconnection are elaborated from aspects of coupler reconnection, vehicle hard-wired circuit reconnection, TCMS (train control and monitoring system) reconnection, and train signal interface requirements. Additionally, the primary verification contents of flexible train formation are introduced from two dimensions: vehicle reconnection form tests and vehicle reconnection routine tests. [Result & Conclusion] The operation plan of 3-car or 3+3 car train formations on Shanghai Rail Transit Line 16, tailored to peak and off-peak passenger flow demands, can achieve train coupling or decoupling within 3 minutes, which demonstrates the feasibility of the proposed plan.

Key words urban rail transit; flexible formation train; reconnection function design; experimental verification

目前,已开通运营的城市轨道交通线路针对客流存在高峰和非高峰的情况,运营组织普遍按照客流高峰期设置,在客流非高峰期采取加大行车间隔的方式,降低了客流非高峰期的服务水平,同时在客流非高峰期普遍存在上座率不足,以及能耗浪费较大的问题^[1]。如何在客流非高峰期不加大行车间隔、不降低服务水平,同时降低牵引能耗,成为城市轨道交通领域需要研讨的一个重要课题。

北京地铁大兴机场线(以下简称“机场线”)采用 4 辆编组列车与 8 辆编组列车混跑的方式,在一定程度上降低了客流非高峰期的能耗浪费。在我国城市轨道交通新线建设过程中,部分采用 8 辆编组列车的线路,正在探索“4+4”辆编组的运行模式,即在客流非高峰期运行 4 辆编组列车,在客流高峰期采用 2 列 4 辆编组列车重联运行的灵活编组方式^[2]。同时,按照城市轨道交通与铁路协同的思路,在高速铁路线路上,动车组标准列为 8 辆编组,

同时也大量采用了“8+8”辆编组的运行模式,即2列8辆编组动车组重联的灵活编组方式。上述这种车辆灵活编组的运行模式,从车辆专业的角度来看是成熟可靠的。

1 灵活编组列车重联功能的主要设计内容

1.1 车钩重联

4辆编组列车的头车车钩可采用全自动车钩实现两列列车的自动联挂。一列列车驶到另一列列车附近并对准后,全自动车钩即可在无须人工协助的情况下实现两列列车的联挂。在联挂车辆存在水平和垂直角度误差时,全自动车钩也应实现自动联挂,并可实现联挂端在竖曲线和平曲线方向运动以及旋转运动。

除机械连挂外,还需实现电动或气动联挂。车钩实现机械连挂后,电路和气路需自动连接。

解钩应既可通过驾驶室自动完成,也可在轨道旁手动完成。解钩并分离后,车钩需再次进入联挂准备状态。头车前端采用开闭机构的列车,车钩需备有气动回缩装置,在车钩解开后使其后移,在联挂前使其前移。

在北方寒冷地区运行的列车,全自动车钩的表面和电动钩头均应配置加热器,在冰雪引起的低温天气期间,可以防止联挂流程出现故障。

1.2 车辆硬线电路重联

重联相关电路功能需求如下:

- 1) 主控车的向前、向后指令可传递到从控车。
- 2) 两列列车的停放制动相关电路,如停放制动施加指令、停放制动缓解指令、停放制动施加反馈、停放制动缓解反馈、停放制动施加指示灯及停放制动缓解指示灯等贯通。
- 3) 两列列车解钩时紧急制动回路断开,触发紧急制动。
- 4) 重联端头车前照灯远、近光不受本地前照灯远、近光开关控制;重联端头车的头、尾开关在0位时,激活尾灯。
- 5) 两列列车解钩过程中,在无停放制动缓解指令的情况下,自动施加停放制动。
- 6) 两列列车的 PIS(乘客信息系统)音频总线和音频控制线贯通。
- 7) 重联状态反馈到 ATC(自动列车控制)机柜、列车广播及视频控制单元。
- 8) 蓄电池牵引控制线贯通。

因重联时两列列车的紧急制动环路均能起作用,可以参照两列列车重联时紧急制动环路在重联端贯通的设计,将两列列车的紧急制动环路设计成一个大环路;也可以采用两列列车紧急制动环路相互关联的控制,重联时将两列列车的紧急制动环路通过重联端的环路继电器关联起来。这样虽然环路未贯通,但重联时两列列车的紧急制动环路都能起作用,即其中一列列车的紧急制动环路断开时,另一列列车的紧急制动环路也随之断开。单列列车运行时应使用重联继电器的常闭触点旁路相应的环路继电器触点。

1.3 列车控制及监控系统重联

重联列车的 TCMS(列车控制及监控系统)需统一配置,实现时钟同步、轮径设置等功能的统一控制,以及列车状态信息的统一显示^[3]。两列列车的牵引、制动、车门、空调等系统的过程数据需进行交互。

1) 牵引及电制动:重联列车需能够实现牵引力、电制动力的统一管理,以及牵引系统状态的统一显示。列车重联时,除故障功能被隔离外,剩余功能均正常,司机在主控车可以控制从控车牵引。主控车牵引相关指令及其反馈信号通过 TCMS 或硬线传输到从控车,主要信号为牵引使能指令和牵引级位。

2) 空气制动及供风系统:重联列车需能够实现常用制动力的统一管理,以及制动系统状态的统一显示。司机在主控车可以控制从控车制动。主控车制动相关指令及其反馈信号通过 TCMS 或硬线传输到从控车,主要信号为制动使能指令、快速制动指令、制动级位信号及空气压缩机状态反馈信号。

3) 高压系统:司机通过主控车对从控车的受电弓/受流器、高速断路器进行控制,并将从控车的相关信息传输到主控车;司机在主控车可以监控从控车受电弓/受流器、高速断路器的状态,相关指令及反馈信号可由 TCMS 或硬线传输。

4) 车门:司机可以在主控车控制从控车的车门开关,以及监视从控车的车门状态,相关指令及反馈信号可由 TCMS 或硬线传输。

5) 空调:重联时,司机在主控车可以向从控车发送空调开启和关闭指令,从控车根据主控车的指令以及本车辅助供电情况控制从控车空调开启和关闭。司机在主控车可以监视从控车的空调状态,且相关指令及反馈信号由 TCMS 传输。

6) 照明:重联列车需要能够实现照明系统的开关与照度调节等的统一控制。

1.4 信号接口需求

当信号系统下发编组命令且两列列车满足编组建立的条件后,列车可根据信号系统的编组命令信息运行到指定地点进行编组后,以编组模式运行。

1) 信号系统下发编组命令:当计划编组的两列列车中,前车位于编组建立地点前的停车区域时,信号系统需按照计划发送编组命令,此编组命令需包括两列列车的车号、前后关系及编组建立地点等。

2) 列车接收编组命令并各自检查:两列列车接收到信号系统发来的编组命令后,各自检查列车通信、牵引、制动及完整性等状态是否正常。检查通过后,向信号系统反馈编组命令检查通过信息。

3) 执行编组:信号系统控制前车到达编组地点停车后,施加紧急制动;信号系统控制后车进入重联模式,以联挂速度低速运行靠近前车进行重联;重联完成后,两列列车形成编组,将重联完成信息反馈至信号系统。信号系统将重联后的两列列车标记为 1 列列车,并采用 1 个车次号表示窗进行追踪显示,同时向 PIS 和 PA(公共广播)系统发送编组信息,车站 PIS 按编组列车进行显示,车站 PA 按编组列车进行广播。

2 灵活编组列车重联功能试验验证内容

2.1 车辆重联形式试验

2.1.1 牵引性能试验

1) 试验方法:①检测重联列车运行的牵引特性、电制动特性;②检测重联列车的运行阻力(如需要);③检测重联列车通过无相区的性能,监测重联列车主断路器、网压、网流及牵引电机的电压和电流。

2) 试验评定:①重联列车的牵引特性和电制动特性应和单列列车的牵引特性和电制动特性相同;②重联列车无电区性能应符合相关技术条件的要求。

2.1.2 制动性能试验

1) 试验方法:测试参数为速度、制动距离、制动时间及制动施加信号等。如无特殊说明,每种工况各进行 3 次试验。其中:静置制动性能试验包括常用制动和缓解试验、紧急制动试验及安全设备试验等;线路制动试验包括紧急制动试验、复合常用制动试验、空气常用制动试验及快速制动试验等。

2) 试验评定:两列列车的制动同步性能应良好,重联列车的制动系统性能试验应满足要求。

2.1.3 网络重联功能试验

重联列车网络控制试验方法及评定如表 1 所示。

表 1 重联列车网络控制试验方法及评定

Tab. 1 Test methods and verification of reconnected train network control

试验项目	试验方法与评定
列车重联过程检查 1	两列列车不处于联挂状态,控制系统均正常工作,其中:第 1 列列车联挂端司机室拥有主控权,第 2 列列车无主控权,此时操作列车联挂,并检查联挂过程
列车重联过程检查 2	两列列车不处于联挂状态,第 1 列列车控制系统处于正常工作状态,第 2 列列车联挂端车钩罩预先打开,控制系统不工作(110 V 电源不闭合),操作第 1 列列车与第 2 列列车联挂,检查能否联挂成功
升弓和主断信号	从控列车应能够通过列车总线可靠接收主控列车的升弓和主断操作命令
牵引和制动控制	从控列车应能够通过列车总线可靠接收主控列车的牵引和制动命令
故障显示和信号	主控列车应能够通过列车总线可靠接收从控列车故障信息(模拟从控列车的 1 个备用中央控制单元故障)
门动作	从控列车应能够通过列车总线可靠接收主控列车门操作命令。列车门未关闭的情况下速度高于一定值时,车门应自动关闭且不能再次被打开
照明、采暖及其他辅助设备的控制	从控列车应能够通过列车总线可靠接收来自主控列车的照明、采暖命令
乘客紧急报警检查	主控列车应能够通过列车总线可靠接收来自从控列车的乘客紧急报警信息
重联列车司机室占用冲突试验	在两列列车的端部司机室同时插入钥匙,尝试激活司机室,并将方向手柄置于向前位,观察列车环路是否打开,列车是否实施紧急制动
司机换端功能检查	重联列车换端过程中,检查受电弓是否能够保持升起状态,主断路器是否保持闭合状态,且列车是否处于制动状态
解编试验	重联列车解编后,两列列车各自的通信与控制功能应正常,无故障显示

2.1.4 电磁干扰试验

1) 试验方法:两列列车处于静置工况,即列车主电路通电。列车上所有的电气、电子控制装置均处于正常工作状态,分别升弓、合主断路器;按照操作规程依次操作两列列车上所有的接触器、继电器,以及电路中其他可能的干扰源,同时监视两列列车上所有的电气、电子控制装置的工作状态^[4]。分别闭合和打开接触器、继电器,以及电路中其他可能的干扰源各5次,每次间隔时间应在10~30 s范围内。

2) 试验评定:两列列车上所有电气控制装置,不得因接触器、继电器等的动作产生的电磁辐射或传导干扰而发生故障、误动作或出现其他异常情况;试验后设备能按预期要求连续工作。

2.1.5 小曲线试验

重联列车按照合同中规定的小曲线、双向及低速运行等要求进行试验,每个方向运行3次。在试验过程中停在曲线线路上观察,检查两列列车结合部间隙、自动车钩间隙等是否符合要求。

2.2 车辆重联例行试验

2.2.1 整体性试验

1) 司机室激活试验:测试重联后,只有非重联端的两个司机室可以激活,中间重联端的两个司机室不可以激活,并且当激活非重联端的一个司机室后,列车占用有效,另一个非重联端司机室不能同时激活。

2) 紧急制动试验:测试重联后,列车紧急制动是否有效(4个司机室的蘑菇按钮均应有效)。

3) 乘客紧急制动试验:两列列车重联后,测试乘客紧急制动是否有效。

4) 非激活端解钩试验:测试重联后,非激活端司机室不能进行解钩操作。

5) 头尾灯状态试验:2列列车重联后,4个司机室均未激活,查看头尾灯状态是否符合设计要求。其中一个非重联端的司机室激活后,方向开关为向前和向后,检查各头尾灯状态是否符合设计要求。

6) 列车全程运行试验:重联列车在正线上从始发站运行到终点站,检查其在整条线路条件下的运行状态是否正常。

2.2.2 TCMS 试验

1) 组网状态检查:在TCMS显示屏上确认两列列车重联后组网正常。

2) 高压状态监视检查:在重联列车的占用端操作升降弓,确认TCMS显示屏上两列列车升降弓状态,以及相应的网压显示正常。

3) 驾驶显示检查:在非重联端操作司机钥匙、方向开关等功能开关或旋钮,以及使用司控器手柄进行施加牵引等操作,检查TCMS显示屏上相应的状态是否正确。

4) 制动状态监视检查:分别在列车停止和列车运行中施加和缓解制动,观察TCMS显示屏上相应的显示信息是否正确。

5) 空气压缩机监视检查:检查重联列车空气压缩机启停状态是否符合设计要求。

6) 照明与空调控制及其状态检查:在重联列车的占用端控制照明与空调,检查相应的状态是否符合设计要求。

7) 故障、消息提示检查:两列列车重联后,在TCMS显示屏故障及消息的描述前应增加TU1(列车单元1)或TU2(列车单元2),用以确定故障列车。

8) 能耗记录检查:两列列车重联后,检查TCMS是否能够记录两列列车的总能耗。

9) 制动自检等自检功能检查:检查重联列车相应的自检功能是否符合设计要求。

2.2.3 客室车门试验

在重联列车的占用端操作开关门,两列列车的车门可以按照左侧/右侧开关门指令正确打开/关闭。

2.2.4 PIS 试验

检查重联列车人工广播、紧急广播、司机室对讲及客室紧急对讲等功能是否符合设计要求。

2.2.5 重联列车旁路功能试验

检查重联列车的牵引安全旁路、门旁路及停放制动旁路等所有旁路功能是否符合设计要求。

2.2.6 其他试验

检查重联列车在后备或降级等模式下的功能是否符合设计要求。

3 结语

本文基于我国城市轨道交通正在探索的灵活编组列车运行模式,结合国内城市轨道交通灵活编组列车的发展现状,参照高速铁路动车组的部分理念,从车钩重联、车辆硬线电路重联及TCMS重联

及列车信号接口需求等方面阐述了灵活编组列车重联的主要设计内容,并从车辆重联形式试验和车辆重联例行试验两个维度介绍了灵活编组列车的主要验证内容。目前,上海轨道交通 16 号线根据高峰和非高峰客流需求制定了 3 辆编组或“3+3”辆编组列车运营方案^[5],并利用在线联挂、解编试验验证了该方案的可行性。经测试,该方案可在 3 min 内实现列车联挂或解编。研究成果可为城市轨道交通灵活编组列车的设计及验证提供参考。

参考文献

- [1] 顾海艇. 城市轨道交通列车交路编组一体化编制方法研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2016: 15.
GU Haiting. Combinatorial optimal method of routing and formation on urban rail transit[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2016: 15.
- [2] 许得杰, 毛保华, 陈绍宽, 等. 考虑开行比例的大小交路列车开行方案优化[J]. 交通运输工程学报, 2021, 21(2): 173.
XU Dejie, MAO Baohua, CHEN Shaokuan, et al. Optimization of operation scheme for full-length and short-turn routings considering operation proportion[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2021, 21(2): 173.
- [3] 柳晓峰, 曹增明. 上海轨道交通 16 号线列车重联技术与应

应用[J]. 电力机车与城轨车辆, 2015, 38(3): 1.

LIU Xiaofeng, CAO Zengming. Research and application of coupling technology for Shanghai Rail Transit Line 16 vehicle[J]. Electric Locomotives & Mass Transit Vehicles, 2015, 38(3): 1.

- [4] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 城市轨道交通车辆组装后的检查与试验规则: GB/T 14894—2005[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.

General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Rules for inspecting and testing of urban rail transit vehicles after completion of construction: GB/T 14894—2005[S]. Beijing: Standards Press of China, 2006.

- [5] 徐东超, 朱游龙, 张广吉, 等. 城轨列车全自动以太网灵活编组研究[J]. 工业控制计算机, 2023, 36(8): 21.

XU Dongchao, ZHU Youlong, ZHANG Guangji, et al. Research on fully automatic ethernet flexible marshalling of urban rail trains[J]. Industrial Control Computer, 2023, 36(8): 21.

· 收稿日期: 2022-04-22 修回日期: 2022-06-28 出版日期: 2024-08-10

Received: 2022-04-22 Revised: 2022-06-28 Published: 2024-08-10

· 通信作者: 曹成鹏, 高级工程师, 18611102365@163.com

· ©《城市轨道交通研究》杂志社, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议

© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

(上接第 325 页)

- [2] 贾惠茗. 城市轨道交通节能设计研究[J]. 环境科学与管理, 2021, 46(11): 36.
JIA Huiming. Discussion on energy-saving design of urban rail transit[J]. Environmental Science and Management, 2021, 46(11): 36.
- [3] 王晓保, 李亮, 李晓龙, 等. 城市轨道交通系统能耗裕度与节能分析[J]. 城市轨道交通研究, 2011, 14(3): 86.
WANG Xiaobao, LI Liang, LI Xiaolong, et al. Analysis on ECM and energy saving of urban mass transit[J]. Urban Mass Transit, 2011, 14(3): 86.
- [4] 刘海东, 毛保华, 丁勇, 等. 城市轨道交通列车节能问题及方案研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2007, 7(5): 68.

LIU Haidong, MAO Baohua, DING Yong, et al. Train energy-saving scheme with evaluation in urban mass transit systems[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2007, 7(5): 68.

· 收稿日期: 2024-03-29 修回日期: 2024-04-30 出版日期: 2024-08-10

Received: 2024-03-29 Revised: 2024-04-30 Published: 2024-08-10

· 作者: 赖治平, 高级工程师, 121412436@qq.com

· ©《城市轨道交通研究》杂志社, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议

© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

欢迎投稿《城市轨道交通研究》

投稿网址: tougao. umt1998. com