

基于无线通信的地铁列车在线灵活编组技术研究

黄文杰 陈 志 梁汝军 陈美霞 黄沈阅

(中车南京浦镇车辆有限公司, 210031, 南京市)

摘 要 [目的] 为了响应国家“双碳”政策号召,在不降低地铁服务质量,提高列车低峰时段的满载率,减少能量的浪费,地铁业界迫切期待研制出具备快速、高效、在线动态灵活编组能力的地铁列车。[方法] 针对现有灵活编组技术的不足点和成熟度,提出了一种全新的基于无线通信的列车在线灵活编组技术。[结果及结论] 详细介绍了该技术的工作原理、设备配置及其各自的功能,阐明了该技术的特点和优势,并对该技术的发展进行了展望。

关键词 地铁列车; 灵活编组; 无线通信; 系统方案; 系统组成

中图分类号 U292.3+1; U231

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.05.012

Research on Metro Train Online Flexible Marshalling Technology Based on Wireless Communication

HUANG Wenjie, CHEN Zhi, LIANG Rujun, CHEN Meixia, HUANG Shenyue

(CRRC Nanjing Puzhen Co., Ltd., 210031, Nanjing, China)

Abstract [Objective] In response to the national call of 'carbon peaking and carbon neutrality' policies, the metro industry urgently seeks to develop metro trains with the capability for rapid, efficient, and online dynamic flexible formation without compromising service quality, to increase passenger load during off-peak hours, and reduce energy waste. [Method] The shortcomings and maturity of existing flexible marshalling technologies are addressed, and a new train marshalling technology based on wireless communication for online flexibility is proposed. [Result & Conclusion] The working principle and equipment configuration of this technology are elaborated, along with their respective functions. The characteristics and advantages of this technology and prospects for its future development are elucidated.

Key words metro train; flexible marshalling; wireless communication; system scheme; system composition

潮汐客流是地铁列车运营时的固有现象,即每天平峰时段乘客数量远低于高峰时段,重要节假日

乘客数量明显多于平常日子。要想维持一定的服务质量,避免增加乘客过多的候车时间,则不能将列车发车间隔拉得过长。鉴于目前地铁列车基本都是固定列车编组形式这一现状,有些城市为了解决这一问题,采取的做法是:给某些线路配置可满足最大客流需求数量的长编组列车,同时配置一定数量的短编组列车。高峰时段全部由长编组列车载客运营;非高峰时段,为保证发车频率,长编组列车下线,改由短编组列车上线。这将导致高峰时段短编组列车处于空置状态,平峰时段长编组列车处于空置状态。这不仅降低了车辆的利用率,而且空载列车频繁出入车辆段也是一种浪费。但如果在高峰时段采用长短编组混跑模式,其带来的新问题是短编组列车上线将限制整条线路运能的充分发挥。因此,地铁业界迫切期待研制出具备快速、高效、在线动态灵活编组能力的地铁列车,以实现高峰时段列车全部以长编组运营,而平峰时段则保留部分长编组列车在到发线或折返点解编成短编组后继续运营,以使在线运力能更加合理地与客流匹配。同时,采用灵活编组模式,可减少列车购置、降低运营成本,平常时段、低谷时小编组运行可减少能耗^[1]。

灵活编组运输组织是根据城市轨道交通在不同区段、时段下的客流特征,在保证较高列车发车频率的条件下,通过车辆在线灵活改变列车编组长度来实现客流需求和运力最佳协同的运输组织技术^[2],是用于解决其时间分布不均衡性的重要运输组织模式之一。灵活编组运输组织技术不仅可以更好地实现客流与列车能力的平衡匹配,而且基于车站解编作业能避免列车频繁出入车辆段所导致的空载牵引耗电,并且可以减少固定编组模式下列车低满载率时的牵引耗电,提高运输经济性。

1 列车灵活编组技术现状

我国在线运营的地铁列车基本不具备灵活编

组功能,基于现有的技术也很难通过简单的车辆改造达到灵活编组的目的。为了实现列车在线灵活编组,目前地铁业界探讨最多的有 2 种解决方案:一种是采用 2 列完全相同的短编组地铁列车采用实体重联方式运行;一种是采用虚拟联挂技术以实现 2 列或多列虚拟编组运行。

1.1 实体重联编组

实体重联编组是将 2 列 3 节或 4 节编组列车通过全自动电气车钩以人工/自动的方式进行重联,扩编为 6 节(3+3)或 8 节(4+4)编组的列车。为实现 2 列车的联挂、解编,待编列车须具备牵引、辅助、制动、网络、乘客信息、列车控制和车门等系统的重联功能;所有信号均需通过 2 列车的全自动电气钩实现电气贯通;重联时,2 列带有全动车钩的列车头车依次实现机械钩头自动对接、气路自动联挂导通和电钩自动对接;物理联挂完成后,新的完整列车再执行整列车的网络初运行,并对各设备重新分配地址以及信号系统对新列车的确认;从准备作业到重联结束时间约需 7~8 min,解编时再执行此逆过程。如上海轨道交通 16 号线,广州地铁 3 号线和深圳地铁 9 号线均采用这种模式的 3+3 列车在线灵活编组^[3]。

1.2 虚拟重联编组

虚拟重联编组可以认为是基于车-车通信技术的升级版。它通过无线通信将多个列车单元组合成一个逻辑整体,以摆脱各列车间的机械连接,实现协同控制多列车运行速度和距离间隔;在没有物理连接的情况下耦合成一个协调的逻辑整体,将列车群作为逻辑单元进行调度与管理,实现提升线路运输能力的目标;所有列车与相邻的前、后车进行无线通信时,后车将根据前车状态信息实时计算并自动调整列车速度和前后车追踪间隔;采用速度传感器和雷达实时测量列车走行距离,并以基于参考应答器的相对走行距离实现列车精确定位来实现列车定位高精度和高可靠性要求^[4,5]。关于虚拟重联编组技术,国外开展了广泛的研究,并在理论上取得了一定的成果;目前报导有实车运行的是西班牙 Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles, S. A. 公司,他们实现了 2 列有轨电车以速度 20 km/h 的虚拟编组运行,但只停留在试验阶段,对于大运量的地铁列车还有很长一段的探索期要走。

1.3 目前灵活编组存在的不足

实体重联编组列车在编组完成后,控车方式与

固定编组列车相似,没有车与车之间的测距、速度信息交互等高精度控制需求,也不存在两车碰撞风险,但是头车需要设置功能完备、结构复杂的全自动电气车钩。2 列车钩实现机械连挂和气路连接后,电气钩头也需通过物理连接的方式实现电气信号的传输,相应的车载网络、车载 PIS(乘客信息系统)和车载硬件电路均需要完全匹配才能够实现相应的功能。两列车的车钩完成所有连接后,两列车的控制系统还需完成相关组网设备的配置和初始化程序,才能最终完成编组。整个联挂和编组过程,虽然可以实现列车编组全自动化,但是耗时长;另外,电钩触点的机械寿命较短,难以承受频繁的插拔;为了满足列车全部贯通后电气信号的可靠传输,其电触点需求量大,而一旦某对触点由于频繁插拔出现失效将会对行车造成无法预知的故障。如果要对既有车辆改造成可实体重联编组的列车,那么车载电路、网络 and PIS 等系统均需全部重新设计,其改造难度大、成本高、周期长及改造风险极大。

虚拟重联编组方案中编组内列车需通过高度一致性的协同控制来保证列车之间的安全距离,避免因前、后车牵引和制动执行差异而导致碰撞。为此,编组内列车的无线传输系统需要极低的时延和极高的可靠性,以保证列车相对位置、绝对位置、速度、加速度等数据的实时同步性和确定性。但在面对运营场景中众多不可控因素,如受限轨道条件所产生的空转打滑等,该方案除了增加安全距离、降低旅行速度之外又缺乏有效管控手段。该方案目前技术成熟度仍不够,安全性尚不足,从理论分析、安全分析、效率分析、技术标准、运营场景上都存在众多不确定因素和安全隐患。同时,也对各专业系统提出了极高的安全要求。从现实情况出发,因目前无应用案例参考,故对大运量的地铁列车采用虚拟重联编组技术还有很长的探索期。

2 基于无线通信的灵活编组

为解决目前灵活编组中存在的相关技术问题,本文提出了一种全新的技术,即基于无线通信的列车在线灵活编组技术。

基于无线通信的灵活编组的 2 列车的头车只设全自动机械车钩,不再配置任何型式的电气车钩,这样 2 列车的气路可贯通,也可不贯通;2 列车的头车增设测距模块和三路不同 SIL(安全完整性等级)的无线通信装置,分别双向发送和接收不同重要度

的信息;编组连挂后,只有2列车的全自动机械车钩处于物理连接状态,而2列车的各个系统相对独立,仍只执行来自本列车司机室发出的操作指令,只向本列车司机室反馈状态信息和故障信息;连挂后,其中1列车升级为主控车,另1列车降级为从控车;主控车向本车发出实时操作指令的同时,通过本车无线通信装置向从控车的无线通信装置发送一份完全相同的操作指令,从控车的无线通信装置接收到主控车的指令后,实时“镜像”传输到从控车的司机室,从控车的司机室再按该指令进行控车;从控车司机室收到本车各系统的状态信息和故障信息经加工处理后,通过本车的无线通信装置向主控车的无线通信装置进行反馈,主控车将这些信息“镜像”到DDU(司机显示单元)上或其他需要这些信息的设备中。

基于无线通信的列车在线灵活编组技术既继承了实体重联编组和虚拟重联编组两者的优点,又避开了它们的弱点。其采用该技术既摒弃了结构复杂的全自动电气车钩,不需要电气信号的物理连接和全列贯通,又杜绝了电钩触点的接触,提高了行车的可靠性。2列车连接前和连挂后TCMS(列车控制与管理系统)都是相互独立的,不存在相关组网设备的再配置和初始化程序,因此缩短了编组和解编时间。采用该技术的2列车是通过实体机械钩连接的,不存在虚拟重联时,2列车因不受控因素导致的碰撞风险,更不需要高精度、高实时性的2车相对位置、绝对速度、加速度等数据的计算和传输。若采用该技术将既有列车升级改造造成可灵活编组的列车难度也大大降低:原有列车的硬件和控车方式基本上不用改变,只需增加测距模块和三路不同SIL的无线通信装置,对TCMS和DDU的软件做适应性的修改即可实现。

3 基于无线通信的列车在线灵活编组工作原理

将2列待编组的短编列车开行到站台待连挂区域(也可在车辆段等其他适合作业的区域),施加停车制动或停放制动;由OCC(运营控制中心)通过地面信号系统分别向2列车的车载信号系统发送包含列车属性的重联指令,将2列车中的1列设定为主控车,1列为从控车;2列车的车载信号系统各自将接收的包含有主、从控车身份的重联模式密钥通过列车控制总线发送至对应列车的数据接收及处理

单元;各列车的数据接收及处理单元采用所述密钥进行身份验证;验证通过后建立列车重联模式密钥授权,激活确定的主、从控车对应司机室,控制对应车钩处于待联挂状态,根据运营线路,待联挂列车相互靠近行驶,开始车钩联挂。在主、从控车相互靠近行驶的过程中,完成列车之间相互的密钥匹配验证,主、从控车的无线通信系统建立无线通信通道;列车建立无线通信通道且车钩联挂完成后,主、从控车为1列列车进行主、从控车的控车硬线电路重新构建并配置相关系统参数和软件后,列车重联成功,重联列车的无线通信系统架构如图1所示。

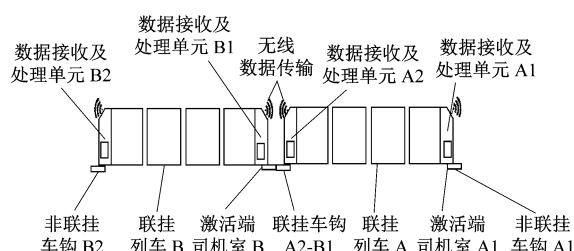


图1 重联列车的无线通信系统架构示意图

Fig. 1 Diagram of wireless communication system architecture for multi-coupled trains

为确保数据安全,上述重联模式密钥仅由地面信号系统或控制中心生成并进行管理;在需要进行重联时,将其通过车载信号系统传输至彼此需要建立无线通信通道的数据接收及处理单元,并在无线通信通道建立过程中进行相互匹配验证;主控车和/或从控车根据测距模块测量的距离信号进行相互靠近行驶并联挂。

用于连挂的头车车钩为机械式车钩,各车钩上对应设置锁舌状态传感器,由锁舌状态传感器检测车钩是否联挂完成,锁舌状态传感器检测到联挂信号后,输出联挂成功硬线信号给各自列车的数据接收及处理单元及列车控制总线。

数据接收及处理单元包括SIL4安全模块、SIL2安全模块、SIL0安全模块、音视频处理模块、可配置的多路无线模块、测距模块,以及满足不同安全等级需求的I/O(输入/输出)模块、通信模块和/或电源模块。所有单元模块的数据通过高速总线传输,可根据不同的场景需求进行灵活配置。其不同模块功能如下:① SIL4、SIL2、SIL0安全模块用于列车不同安全等级功能的运算和信号的处理;② I/O模块用于接口车辆功能电路,实现重联模式下控车所需信号的采集及输出;③ 通信模块用于数据接收及

处理单元与列车控制总线及 PIS 系统之间的数据交互;④ 音视频处理模块用于处理重联模式下的音视频数据;⑤ 多路无线模块用于根据数据不同类型、不同安全性、实时性的需求,采用不同的无线模块建立通道并进行数据传输;⑥ 测距模块用于测量两头车之间的相对距离;电源模块用于给其他各模块供电。

列车重联成功后,由主控车对重联后列车进行控制,主、从控车之间的数据由数据接收及处理单元通过无线通信通道实时交互传递数据,传输的实时交互数据根据需要可分为一路或多路。这些数据包括但不限于列车激活、唤醒和休眠、车门控制、空调控制、照明控制、牵引制动控制、制动力分配、紧急制动按钮、停放制动控制和/或受电弓控制指令,车辆和车载设备状态数据、故障数据、乘客信息的视频和/或音频数据等。

重联运行过程中,主控列车和/或从控列车实时监控车钩联挂信号和无线通信通道信号,任一信号丢失超出设定时间阈值,重联列车自动触发最大常用制动或紧急制动。

4 系统组成

相对于机车的无线重联^[6],本文所述的列车无线编组系统主要由密钥模块、验证模块、联挂模块、通信模块、配置模块、电子设备及相应的软件构成。

1) 密钥模块:用于各列车车载信号系统分别将接收的包含有主、从控车身份的重联模式密钥。通过列车控制总线发送至对应列车的数据接收及处理单元。

2) 验证模块:用于各列车的数据接收及处理单元之间采用所述密钥通过无线模块对无线通信系统进行身份的相互验证。

3) 联挂模块:用于验证通过后建立“重联模式密钥授权”,激活确定的主控车和从控车对应司机室,控制对应车钩处于待联挂,主控车和/或从控车相互靠近行驶开始车钩联挂。

4) 无线通信建立模块:用于在主、从控车相互靠近行驶的过程中,主、从控车的无线通信系统建立无线通信通道。

5) 重联运行配置模块:用于列车建立无线通信通道且车钩联挂完成后,主、从控车作为 1 列完整列车进行主、从控车的控车硬线电路重新构建并配置相关系统参数和软件。

6) 电子设备:包括存储器、处理器及存储在所述存储器上并可在所述处理器上运行的计算机程序,所述处理器执行所述程序时实现上述任一项所述列车编组方法。计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,所述计算机程序被处理器执行时实现上述任一项所述列车编组方法。

7) 计算机程序产品:包括计算机程序,计算机程序被处理器执行时实现上述任一项所述列车编组方法。

5 方案技术特点

基于无线通信的列车重联编组流程如图 2 所示。其主要技术特点为:

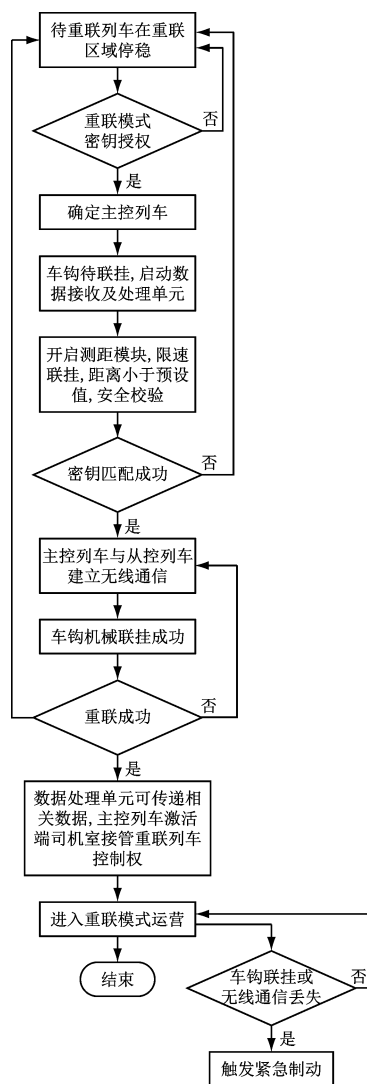


图 2 基于无线通信的列车重联编组流程图

Fig. 2 Diagram of train multi-coupling marshalling process based on wireless communication

1) 信号系统结合运营需求,将重联编组需求发送给待联挂的列车,并指定对应的联挂端,以允许联挂端上数据接收及处理单元开启无线通信请求。

2) 列车端部设置有测距模块,列车重联编组时通过测距模块测量的距离信号来控制联挂速度;该距离信号也作为开启无线通信请求的前提条件之一;当列车车钩实现自动机械连接后,列车联挂信号激活;重联编组完成后,距离信号将同时用于辅助判断两列车机械联挂的完整性是否完好;同时,该测距模块产生的距离信号将作为编组之后2个列车单元机械联挂是否完好的判定信号之一,以进一步保障重联运行的可靠性。

3) 在列车的车端设置数据接收及处理单元,该单元用于根据其外部输入的信号控制无线通信的请求、建立以及数据传输;位于列车联挂端的数据接收及处理单元在接收到重联需求激活,且两车的距离小于等于预设距离时,启动待联挂列车间的无线通信建立请求,使列车之间的无线通信建立早于机械联挂完成;一旦列车联挂完成则无线通信已经建立完成,可以进一步缩短重联所需时间。

4) 地面信号系统根据重联编组需求生成A、B两列车联挂端无线通信的建立密钥,并发送至对应列车的数据接收及处理单元,用于联挂端无线通信身份的相互验证,以避免在特殊轨道区域,当有两列以上列车时,需要联挂的A、B列车无法正确识别彼此。

5) A、B两列车完成机械联挂、建立好无线通信后,重联模式激活;数据接收及处理单元向各自所在列车发送控车数据,重联编组列车形成全新编组;除紧急制动之外的所有控制指令由主控车A车生成,并通过数据接收及处理单元及无线通道“镜像”到从控车B车,从而控制A、B列车以相同的指令运行。

2 列车间的实时传输的数据包括控制指令、状态数据、音频数据、视频数据等。

6) 从控车B车产生的紧急制动指令,也将通过数据接收及处理单元及无线通道“镜像”到主控车A车,并控制A车施加紧急制动。

7) 机械连接的车钩锁舌检测传感器对列车联挂状态实施监测并送出相应的信息,结合测距模块给出的距离信号,综合判断车钩联挂状态;当发生脱钩时列车自动实施紧急制动。

8) A、B两列车机械联挂成功后,A、B列车车

载信号系统进行重联后的列车参数配置;配置完成并重联成功后,主控车A车车载信号系统和设备负责重联后两列车车载、地面信号系统信息的交互,以及对重联后列车的控制;从控车B车车载信号系统转入待机状态,不参与控车作业;A、B两列车的车载信号系统不再进行数据交互。

9) 当列车进行折返或换端动作时,A、B列车车载信号系统工作模式将自动进行切换。

10) 重联作业时,A、B两列车的数据交互采用无线点对点数据交互,2列或多列短编列车可以在数据接收及处理单元的控制下,建立通信和进行数据的传输;列车完成重联编组后,此时重联列车构成为1列列车,所有的操作和控制均在主控车的司机室进行;原重联编组的2个单元列车为各自的独立执行单元,统一按照主控车司机室的控制指令运行;列车的所有操作指令、状态、故障信息和音视频数据均通过无线方式传输;由于操作指令、状态信息、音视频数据的数据量、实时性要求和安全等级要求不同,可分为多路传输,也可按照特定规则整合为一或两路传输。

11) 无线传输的通道可采用LTE(长期演进)、WLAN(无线局域网)、5G、激光、UWB(超宽带)或其他短距大容量及高实时性设备等通信方式;每个司机室车前端设置1套雷达测距装置,1套(如:一路/两路/三路)综合通信天线,车内对应设置1套数据接收及处理单元。

12) 数据接收及处理单元采用模块式设计,设置由SIL4安全模块、SIL2安全模块、SIL0模块、音视频处理模块、可配置的多路无线模块,以及满足不同安全等级需求的I/O模块、通信模块、电源模块等;不同安全等级的模块,可以是一个或几个实体板卡,也可以是满足安全需求的虚拟化模块。

6 结语

与现有在线灵活编组技术相比,基于无线通信的列车在线灵活编组技术克服了现有机车联挂电钩触点消耗大、可靠性低、编组耗时长等不足;避免了虚拟编组列车追踪间隔控制要求高、数据交互实时性要求极高、技术不成熟,会延长站台长度、大幅增加线路建设成本及存在列车碰撞风险等问题。

采用本技术的列车救援方便,重联中的单个车故障时,只需断开无线通信退出重联,并缓解或隔离故障车制动,自然降格为一列短编列车救援另一

列故障列车,以实现故障车的快速救援。除此之外,利用该技术还可方便地将不具备灵活编组功能的既有列车升级为可灵活编组的列车,只需增加雷达测距装置和无线通信设备并通过对 TCMS 系统软件进行升级即可实现,无需对现车进行车载硬件做大的调整。该技术可视为虚拟编组的先导性技术,通过跟踪、采集使用该技术长期运营列车的相关数据,可以分析出无线通信的可靠性,通过监控两列车之间车钩作用力的大小和作用频次可以分析两列车运行的同步性和冲撞的可能性。

参考文献

- [1] 张庆刚,张士臣,刘鸿宇,等. 灵活编组的城市轨道交通列车运行模式研究[J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(7): 229.
ZHANG Qinggang, ZHANG Shichen, LIU Hongyu, et al. Operation mode of urban rail transit train with flexible formation[J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(7): 229.
- [2] 杨中平,游婷,束天成,等. 列车虚拟编组技术的研究现状及发展[J]. 都市快轨交通, 2023, 36(1): 14.
YANG Zhongping, YOU Ting, SHU Tiancheng, et al. Research status and development of virtual coupling technology[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2023, 36(1): 14.
- [3] 范海宁,何勇浩. 城市轨道交通列车灵活编组方案及功能实现[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(9): 200.
FAN Haining, HE Yonghao. Flexible marshalling scheme and function realization of urban rail transit [J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(9): 200.
- [4] 纪玉清,欧冬秀,常鸣,等. 列车虚拟编组应用需求及关键技术研究[J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25(11): 57.
JI Yuqing, OU Dongxiu, CHANG Ming, et al. Research on application requirements and key technologies of train virtual formation [J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(11): 57.
- [5] 陈凯. 基于车车通信的虚拟重联技术研究[J]. 都市快轨交通, 2023, 36(1): 22.
CHEN Kai. Research of virtual coupling technology based on vehicle-to-vehicle communication [J]. Urban Rapid Rail Transit, 2023, 36(1): 22.
- [6] 池艾伦,杨丁一. 数据挖掘技术在机车无线重联故障诊断中的应用[J]. 中国煤炭, 2014, 40(增刊1): 306.
CHI Ailun, YANG Dingyi. Application of data mining technology in locomotive wireless reconnection fault diagnosis [J]. China Coal, 2014, 40(S1): 306.

· 收稿日期:2023-11-02 修回日期:2023-12-30 出版日期:2024-05-10
Received:2023-11-02 Revised:2023-12-30 Published:2024-05-10
· 通信作者:黄文杰,正高级工程师,hwj_2003@126.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

中车浦镇造墨西哥蒙特雷 DRT 示范车投入运营

墨西哥当地时间 3 月 18 日,DRT(数字轨道电车)示范车正式在蒙特雷投入运营。根据项目规划,DRT 示范车将在既有的 BRT(快速公交系统)线路上与公交车混线运营,进行为期一年的运营展示。墨西哥 DRT 示范车项目是中车浦镇为墨西哥及美洲区域重点打造的市场展示项目。项目包含 1 km 长的自动驾驶线、11.5 km 长的正线运营展示线以及一间 DRT 先进技术宣传展览厅,全方位宣传展示中车浦镇 DRT 车的智能、安全、舒适、绿色等特性,吸引墨西哥及周边国家潜在客户前来示范基地参观并试乘,并为后续墨西哥市场以及更大的美洲市场开拓提供强有力支撑。

(供稿:中车南京浦镇车辆有限公司)

中车浦镇造南京地铁 5 号线列车投入运营

3 月 31 日,南京地铁 5 号线南段开通运营,中车浦镇造列车投入运营。5 号线列车采用鼓形 A 型地铁车辆,4 动 2 拖 6 辆编组;列车最高运行速度 80 km/h;列车车头采用“笑脸”造型,并将前脸凸起,配合头部金色,使微笑更加形象、灿烂。在技术方面,5 号线列车采用了外挂密闭客室车门,可靠性更高,维护更加便捷;采用了先进的在线智能检测装备,弓网检测装置可实时检测受电弓和接触网的状态,走行部监测装置可实时监测轴箱、齿轮箱和电机的状态。检测结果可以通过列车网络实时传输,列车回库后,可将检测数据下载到地面服务器,通过大数据分析预测故障,指导提前维修。在车辆舒适性方面,车辆端部应用了隔声量更高的贯通道,并在端部电气柜下部铺设了隔音吸音复合材料,可以降低客室端部区域噪声。空调系统应用了变风量技术,可以根据季节调整总风量,根据载客量大小调节新风量,为乘客提供更加舒适的乘车环境。

(供稿:中车南京浦镇车辆有限公司)