

城市轨道交通全自动运行列车唤醒场景 动态测试需求探讨

张九高

(上海申通轨道交通研究咨询有限公司, 200070, 上海//工程师)

摘 要 介绍了有人驾驶列车出库前动态测试的具体情况, 分析了上海和南宁轨道交通 FAO(全自动运行)列车在唤醒场景下系统自检的流程及步骤。通过对比两地 FAO 列车动态测试功能需求, 结合上海轨道交通 10 号线的运营现状, 佐证了动态测试需求的非必要性。

关键词 城市轨道交通; 全自动运行; 列车唤醒场景; 动态测试

中图分类号 U29-39

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.02.009

Dynamic Test Requirements in Urban Rail Transit FAO Train Wake-up Scenario

ZHANG Jiugao

Abstract The specific situation of the dynamic test before manned train exiting depot is introduced. The process and steps of wake-up scenario system self-check of Shanghai and Nanning rail transit FAO (fully automatic operation) trains are analyzed. By comparing the FAO train dynamic test requirements of the two cities and referring to the operation of Shanghai Rail Transit Line 10, the non-necessity of dynamic test requirements is proven.

Key words urban rail transit; FAO; train wake-up scenario; dynamic test

Author's address Shanghai Shentong Rail Transit Research & Consultancy Co., Ltd., 200070, Shanghai, China

动态测试是有人驾驶轨道交通线路列车出库前司机对牵引、制动系统功能的常规动态检查。《上海地铁列车一次出乘作业》^[1]规定:“每日列车出库前值乘司机都要对列车进行动态测试。”即司机轻推牵引列车微动车后,将牵引、制动手柄分别置于常用制动位、快速制动位,确认全列车制动压力正常。城市轨道交通 FAO(全自动运行)线路在设计之初,通常以运营场景说明书作为系统功能设计的输入和依据^[2]。在 FAO 列车运营场景中,列车自动唤醒时是否沿用有人驾驶线路列车出库流程

中的牵引/制动动态测试功能,目前存在诸多争议,且争议聚焦在动态测试的需求是否客观存在,如开展动态测试产生的实际效果是否满足运营预期。因此,有必要对城市轨道交通 FAO 列车唤醒场景动态测试需求进行进一步探讨。

1 有人驾驶列车出库前动态测试分析

1.1 列车动态测试

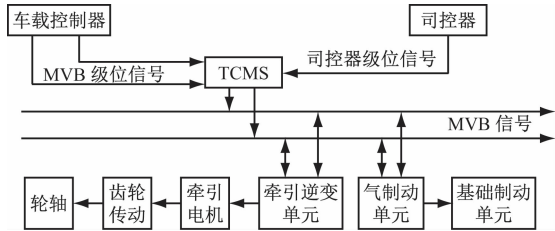
上海有人驾驶轨道交通线路列车出库前均会开展动态测试,具体操作步骤如下:司机建立 ATP(列车自动防护)手动模式,将方式、方向手柄均置于向前位,轻推牵引,检查制动压力降至 0,确认全列车制动缓解,制动缓解灯点亮;列车以低于 3 km/h 的速度向出库方向运行一定距离后,将牵引、制动手柄分别置于常用制动位、快速制动位,检查制动压力,确认全列车制动压力正常,指示灯与显示屏显示正确;司机将方式、方向手柄均置于向后位,轻推牵引,检查制动压力降至 0,确认全列车制动缓解,制动缓解灯点亮;列车以低于 3 km/h 的速度向回库方向运行一定距离后,将牵引、制动手柄分别置于常用制动位、快速制动位,检查制动压力,确认全列车制动压力正常,指示灯与显示屏显示正确。调换至另一端司机室执行上述操作步骤。

从上述列车动态测试的具体情况可以得知:上海有人驾驶线路在每日列车出库前开展动态测试,测试主要通过微动车人工感知的方式,来判断牵引系统及制动系统工作是否正常。

1.2 列车动态测试检查项目分析

列车动态测试检查项目包括停放制动/紧急制动测试功能、牵引正常、全列车制动缓解功能、全列车常用制动功能及全列车快速/紧急制动功能等。

列车动态测试环节中牵引和制动系统相关控制单元的关系如图 1 所示。



注:TCMS 为列车控制与管理系统;MVB 为多功能车辆总线。

图1 列车牵引和制动控制示意图

Fig. 1 Diagram of train traction and brake control

从图1可知,列车动态测试对牵引系统单元实现了从牵引受流—逆变—传动的动力传输。对于电制动,由于动态测试时列车速度一般在3 km/h以下,难以达到牵引系统电制动的速度要求,故电制动功能不在列车出库前的动态测试范围内。

列车制动系统动态测试相关控制功能见图2。由图2可知,列车制动系统由风源系统、指令产生、传输装置、制动控制装置和基础制动装置构成。列车动态测试对制动系统的检测结果取决于气制动装置制动缸压力,据此可确认全列车制动压力是否正常,但基础制动装置制动性能无法通过低速测试进行检验。列车在出库前的动态测试中,因其运行距离和速度有限,列车在低速运行下若存在基础制动装置故障(摩擦片与摩擦面相互贴合故障),司机无法捕获该故障信息。因此,在列车动态测试环节中,牵引系统在牵引方向和牵引力,以及制动系统对整列车制动缓解和施加都进行了测试,但制动系统基础制动装置的实际工作状态还是无法检测,有待通过其他检测装置来检测。

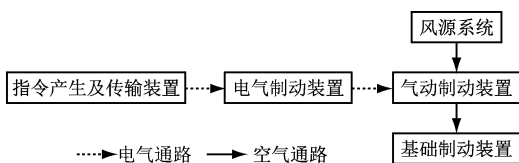


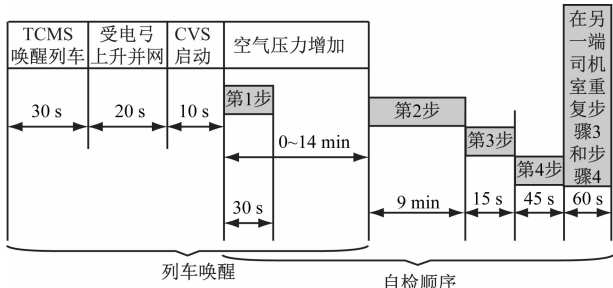
图2 列车制动系统控制示意图

Fig. 2 Diagram of train braking system control

2 FAO 列车唤醒场景下系统自检及案例分析

2.1 自检流程设计与分析

上海FAO轨道交通线路列车出库前会对休眠列车进行自动唤醒,FAO系统自动完成列车上电、静态自检等一系列作业,确保车辆设备的各项功能处于正常状态。列车唤醒流程如图3所示。



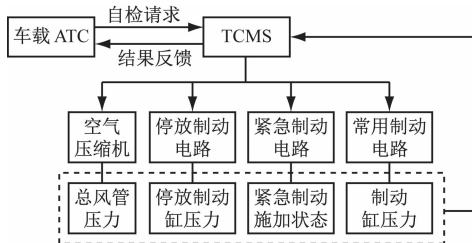
注:CVS 为辅助逆变器。

图3 列车唤醒自检流程

Fig. 3 Diagram of train wake-up self-check process

1) 第1步:列车各子系统低压上电并实施自检,包括车门、弓网、蓄电池、走行部、牵引制动等系统。其中牵引系统在自检过程中将实时向网络反馈当前自检状态以及检测到的故障信息。牵引系统自检项目包括 HSCB(高速断路器)分合功能、充电接触器分合功能、短接接触器分合功能及制动电阻风机接触器分合功能等。制动系统上电后,网关阀将执行制动网及 CAN(控制器局域网)的自动配置。系统配置完成后,制动控制将正常工作。TCMS 向制动系统发出上电自检指令并持续保持约 10 s。在此期间,制动系统完成上电状态的检查,并将所有阀动作数据及压力状态反馈给 TCMS 单元。列车制动系统自检项目包括供风系统功能、风缸压力、管路元件、气制动控制系统功能、气制动执行单元功能及制动电气控制单元功能等。

2) 第2步:TCMS 将两台空压机风压打风至 9.0 MPa,完成牵引高压、空调、照明及制动系统的静态自检。当 TCMS 检测到总风压高于 0.75 MPa 时,机械制动器开展自检。图4 为车辆制动系统自检流程。TCMS 通过 MVB 给制动系统发送制动自检指令,制动系统依次完成保持制动施加、停放制动施加/缓解、紧急制动施加/缓解、常用制动施加/缓解测试,制动系统通过硬线 IO(输入输出)将各转向架制动施加状态反馈给 TCMS。当 MVB 信号制



注:ATC 为列车自动控制。

图4 车辆制动系统自检流程

Fig. 4 Flow chart of train braking system self-check

动级位正确,且各车空气制动施加状态为高电平时,制动系统通过静态自检。网压检测到高压后,TCMS 发出牵引高压自检指令。牵引高压自检项目包括:HSCB 分合功能、充电接触器分合功能、短接接触器分合功能、风机接触器分合功能、充电回路、逆变回路及放电斩波回路(过压斩波回路)等。牵引系统 DCU(传动控制单元)在自检过程中将实时向网络反馈牵引系统内部器件、主电路是否发生故障等信息,为列车出库运行或检修维护提供参考依据。

3) 第 3 步—第 4 步:在车辆级控制功能达标后,通过车载 ATC 对列车进行控制检查,该过程被定义为列车级整体联动。列车自检主要包含紧急制动及车门系统检测,详见表 1。在列车自检过程中,FAO 系统将分别模拟对同一列列车两端的司机室进行紧急制动施加及车门控制的操作。FAO 系统亦会根据站台等不同的唤醒位置对部分自检功能(如开关车门测试)进行调整。

表 1 列车自检步骤

Tab.1 Train self-check steps

步骤	检查项目
1	司机室 1 激活
2	司机室 1 紧急制动测试
3	司机室 1 左、右门开关测试
4	司机室 2 激活
5	司机室 2 紧急制动测试
6	司机室 2 左、右门开关测试

由以上列车唤醒流程及功能分析得知,牵引系统在上电及静态测试环节中基本实现了闭环检测。制动系统的自检流程亦是完整的,主风管压力、制动缸压力等制动参数均有明确的反馈。制动系统的自检亦对信号与制动系统的相关接口进行了测试,其自检效果与有人驾驶线路司机动态测试的效果基本一致。基于上述情况,上海 FAO 轨道交通线路设计和实施时列车不进行出库前的动态测试。

2.2 案例分析

南宁轨道交通 FAO 列车唤醒自检流程如图 5 所示。由图 5 可知,列车上电自检及静态测试完成并通过后,对列车进行动态测试^[3]。列车动态测试由 VOBC(车载控制器)主导,车载 VOBC 通过 MVB 向车辆 TCMS 发送一系列测试指令,车辆执行测试并反馈测试结果给车载 VOBC,从而形成测

试过程闭环。

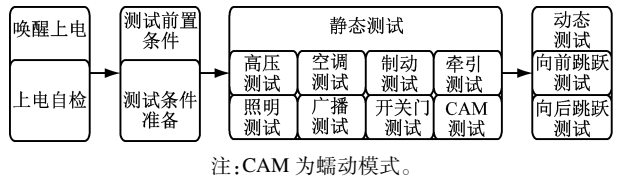


图 5 南宁轨道交通 FAO 列车唤醒自检流程
Fig. 5 Diagram of FAO train wake-up self-check process of Nanning rail transit

南宁轨道交通 FAO 列车上电自检及静态测试与上海轨道交通 FAO 列车基本一致。本文重点介绍列车动态测试相关流程及功能。FAO 列车动态测试步骤见表 2。

表 2 南宁轨道交通 FAO 列车动态测试步骤

Tab.2 Dynamic test steps of Nanning rail transit FAO train

步骤	内容
1	鸣笛 2 s, 车载 VOBC 发送向前的跳跃指令
2	车载 VOBC 控制车辆完成向前跳跃
3	车载 VOBC 对向前跳跃结果进行处理
4	鸣笛 2 s, 车载 VOBC 发送向后的跳跃指令
5	车载 VOBC 控制车辆完成向后跳跃
6	车载 VOBC 对向后跳跃结果进行处理
7	更换至列车另一端司机室进行上述步骤

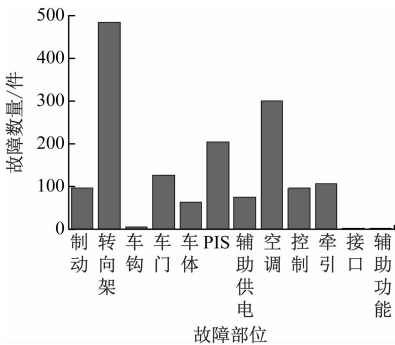
车载 VOBC 通过硬线输出跳跃列车线指令,激活车辆牵引、制动系统的跳跃控制模式。制动系统在接收到跳跃列车线指令后,将保持制动力降到正常值的 30%;车载 VOBC 通过硬线输出牵引、制动和级位列车线指令,直接控制牵引系统和制动系统完成跳跃控制。牵引和制动系统根据牵引、制动和级位列车线指令,执行牵引和制动操作。单次跳跃完成后,车载 VOBC 撤消跳跃列车线指令,然后施加保持制动,完成本次跳跃动作。

由上述 FAO 列车动态测试流程与功能分析可知,在列车唤醒过程中进行的动态测试是信号系统直接通过硬线控制牵引和空气制动以完成跳跃动作。在该过程中未进行完整的微动车程序测试,测试后的综合实效无法完整判断,且动态测试过程中制动系统摩擦片与摩擦面的实际接触情况亦无明确、有效闭环的信息反馈。

3 上海轨道交通 10 号线运营统计数据分

对上海轨道交通 10 号线(以下简称“10 号

线”)运营故障数据进行统计及分析。10 号线 2019 年列车故障数据统计^[4]如图 6 所示。车辆故障类型按照车门、车钩、转向架、空调、制动、牵引、辅助供电、接口、控制、乘客信息及辅助功能等 12 大类车辆部件进行划分。从图 6 可以看出,10 号线 2019 年共发生车辆故障 1 546 件,其中制动系统故障 96 件,约占车辆故障总数的 6.2%。



注:PIS 为乘客信息系统。

图 6 上海轨道交通 10 号线车辆故障统计

Fig. 6 Statistics of vehicle faults of Shanghai Rail Transit Line 10

按子系统划分的制动系统故障分类统计见图 7。从图 7 可以看出:制动系统故障主要集中在制动电气控制系统和供风系统;气制动控制系统故障占故障总数的 13%,其中闸瓦开裂故障发生两起,但故障均在发车 1 h 之后。

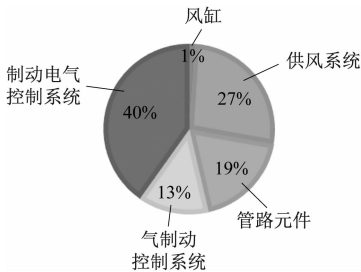


图 7 制动系统故障分类统计图

Fig. 7 Braking system fault classification

从运营故障数据的分析可以看到,FAO 列车未进行动态测试。FAO 列车在其他相关自检通过并投入正线运营后,其初始阶段未发生制动系统故障。可见,列车的可用性及故障特征与动态测试不存在严格的相关性。

4 结语

1) FAO 列车在唤醒自检环节通过加强静态自检、接口自检等功能需求,能够基本满足牵引、制动

系统电气路的检测。

2) 上海 FAO 线路在设计和实施时列车不需进行出库前的动态测试,因 FAO 列车唤醒自检已较为充分。目前从 10 号线列车故障统计分析来看,未开展动态测试不会导致运营初始阶段制动系统故障的产生,列车的可用性及故障特征与动态测试不存在严格的相关性。

3) 南宁轨道交通 FAO 列车唤醒过程中虽进行了动态测试,但只是硬线控制指令传输的检查,即由信号系统直接通过硬线控制牵引和空气制动完成列车跳跃动作,列车并未实际获取微动车测试程序中各子系统执行状态的反馈,该动态测试存在不完整、不闭环的情况。动态测试应包括列车两个运行方向的正常牵引、蠕动及跳跃等命令的响应测试。

4) FAO 新线建设时,可通过增设车辆在线专家系统,合理地关键子系统增加相应的监控点及传感元件。在列车运营过程中对列车各设备状态数据进行实时监测,保证列车运营的安全性和稳定性。通过设置车辆在线专家系统,降低列车出库前动态测试的运营需求。

参考文献

[1] 上海申通地铁集团有限公司技术中心. 上海地铁列车一次出乘作业[R]. 上海:上海申通地铁集团有限公司技术中心,2012.
Technology Center of Shanghai Shentong Metro Group Co., Ltd. Shanghai Metro train one-time operation[R]. Shanghai: Technology Center of Shanghai Shentong Metro Group Co., Ltd., 2012.

[2] 朱翔,陈丽君. 地铁全自动运行系统运营场景的几点探讨[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(10): 228.
ZHU Xiang, CHEN Lijun. Research of operation scenarios for metro fully automatic operation system[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(10): 228.

[3] 上海申通轨道交通研究咨询有限公司. 南宁市轨道交通 5 号线一期工程全自动运行场景说明书[R]. 上海:上海申通轨道交通研究咨询有限公司,2021.
Shanghai Shentong Rail Transit Research & Consultancy Co., Ltd. Manual of fully automatic operation of Nanning Rail Transit Line 5 phase I project[R]. Shanghai: Shanghai Shentong Rail Transit Research & Consultancy Co., Ltd., 2021.

[4] 上海地铁维护保障有限公司. 上海地铁 10 号线 2019 年运营故障报表[R]. 上海:上海地铁维护保障有限公司,2020.
Shanghai Metro Maintenance and Guarantee Co., Ltd. Report on operation failures of Shanghai Metro Line 10 in 2019[R]. Shanghai: Shanghai Metro Maintenance and Guarantee Co., Ltd., 2020.

(收稿日期:2022-09-16)