

转向架控制的地铁车辆制动控制系统开发研究

邵鹏 汪宏伟 杜浩 常童
(武汉地铁运营有限公司 湖北 武汉 430000)

摘要: 城市轨道交通运营的安全性至关重要, 车辆制动控制系统作为安全技术的核心内容, 其开发过程需要科学的开发流程作为依托, 转向架控制的地铁车辆制动控制系统的开发也不例外。本研究通过利用基于模型的系统工程 (MBSE) 技术、V 型开发模式、AUTOSAR 架构等进行城市轨道交通车辆制动控制系统的开发, 并结合仿真验证进行产品的测试, 从而在最大程度上减少产品的开发周期, 并实现质量的提升。

关键词: 轨道交通; 地铁; 转向架; 制动控制系统; 开发流程; 仿真验证

0 引言

对于城市轨道交通的安全性而言, 制动控制系统无疑尤为重要, 随着相关技术的开发及应用, 国际上轨道交通车辆的制动控制技术已经纳入到车辆的设计之中, 而我国由于在此方面的研究起步较晚, 仍需要不断地进行攻坚克难, 以求技术上的重大突破。本研究将通过利用 MBSE 技术、V 型开发模式、AUTOSAR 架构, 探究车辆制动控制系统的开发, 并以仿真验证的方式对研究结果进行测试分析。

1 制动控制系统诠释

由于地铁车辆的制动能量与其行驶速度的平方呈正比关系, 单一的空气制动无法完成车辆的有效制动, 因此其制动均采用电制动 (主要) 联合空气制动 (辅助) 的形式。电制动属于车辆的牵引控制单元范畴, 牵引控制单元作为制动控制系统中最关键的制动部件, 其性能将关系到车辆行驶的稳定性与安全性。转向架制动控制系统是集成化的系统, 通过控制电磁气动阀以完成气路的控制, 在实际的应用中转向架制动控制系统具有更好的稳定性以及安全性, 同时也将成为未来城市轨道交通车辆制动控制系统的新方向。

2 转向架制动控制系统制动控制单元开发

转向架制动控制系统是由多车构成一个局域控制单元, 其中, 根据功能的不同可分为主阀以及辅阀, 其中主阀与多功能车辆总线 (MVB) 相连通。转向架制动控制系统的开发主要是进行空气制动控制单元以及电子制动控制单元的开发。

2.1 空气制动控制单元的开发

空气制动控制单元主要依靠电磁阀完成制动, 即通过压力传感器调整载荷压力完成对电磁阀的控制。当前

空气制动控制单元的开发主要采用 MBSE 技术, 将实际参数上传至 Simcenter Amesim 软件中进行空气制动控制单元气路的构建以及仿真测试, 从而检验各参数的有效性, 并以此进行实际组件的选取。气路构建过程中需要结合气路通径、管路走向等内容, 以选定的组件参组作为数据, 形成有效的制动控制逻辑; 完成模拟搭建后, 通过采用闭环控制仿真验证的形式, 检测模型中的输出响应是否能够满足需求, 若为否, 则需要排查问题的原因并进行调试, 直至满足设计为止。在常规制动条件下的气路仿真控制响应中, 制动缸的压力数值响应情况可以达到系统的需求, 对此, 在构建模型过程中所选用的组件参数应能够作为实际中选型的依据。模型的仿真验证完成后便可依据对应的参数进行构件的选型、工程设计以及制造。

2.2 电子制动控制单元的开发

目前城市轨道交通车辆所选用的电子制动控制单元均采用微机控制逻辑, 即动作下达后微机将进行对应的逻辑运算处理, 然后将命令传达至制动部件以实现制动的目的。电子制动控制单元开发主要采用 V 型开发模式中的基于模型的系统工程 (MBSE) 关键技术, 根据转向架制动控制系统的特性以及应用特点, 其开发流程需要遵循概念开发、产品规划、详细设计以及生产的全流程阶段。在实际的开发中, 电子制动控制单元开发可根据类型的不同, 分为软件开发、硬件开发两个部分, 二者的开发存在紧密的联系。

2.2.1 软件开发

软件开发工作主要采用 AUTOSAR 架构结合 ControlBuild 作为开发环境、Vx Works 作为底层驱动, 进行制动控制逻辑的开发。

2.2.2 硬件开发

电子制动控制单元属于机电一体化结构, 成品是将电子制动控制单元与空气制动控制单元集成在具有两个

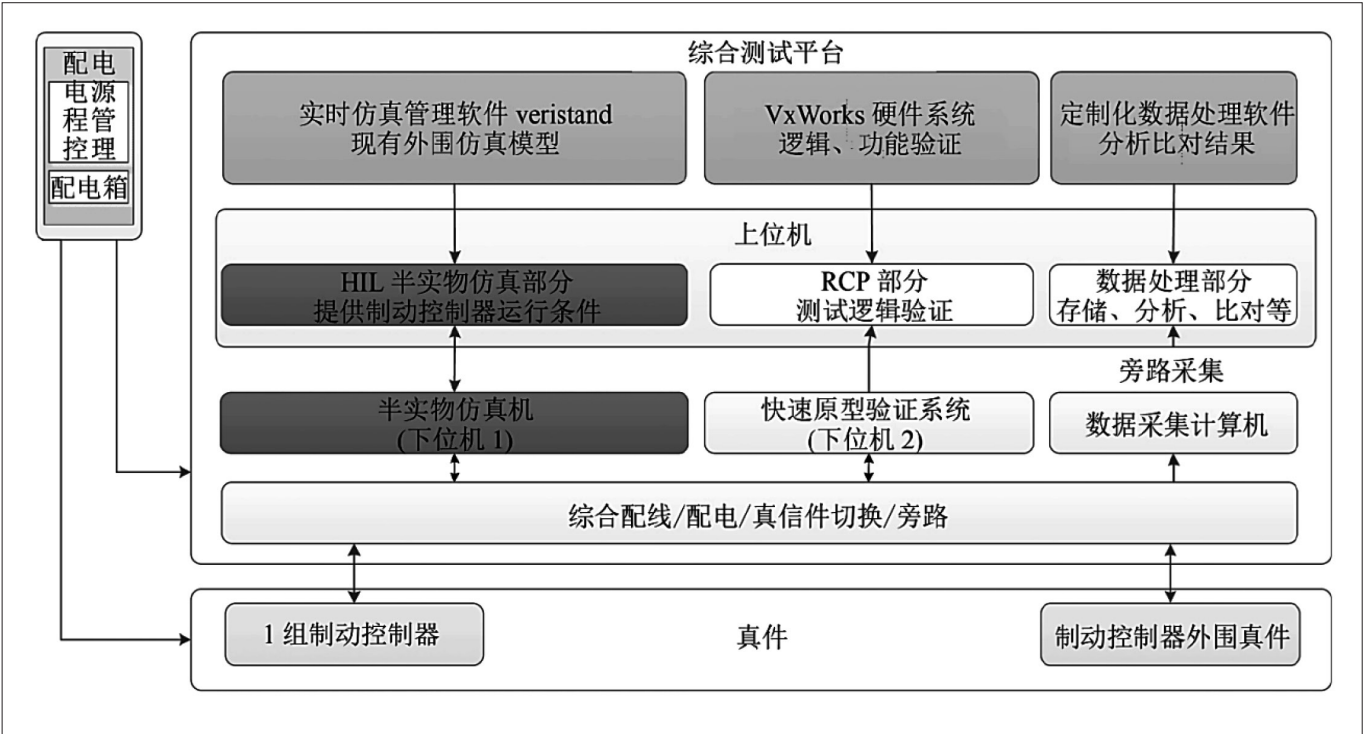


图 1 仿真平台构成示意图

独立空间的整体装置内。

3 转向架制动控制系统模型的仿真验证

由于转向架制动控制系统模型的仿真验证是全周期性的，即初始阶段实施模型在环（MiLEST）测试、软件成品实施快速控制原型（RCP）测试、硬件成品实施硬件在环（HIL）测试，因此，仿真验证平台需要能够满足上述需求。本研究中所采用的控制单元逻辑算法的半实物仿真平台主要涵盖上下机位、控制器及其配套装置等。仿真平台构成示意图见图 1。

3.1 模型在环（MiLEST）测试

以 ControlBuild 为开发环境完成软件开发后，便可在 PC 中进行仿真检验，在验证过程中可查看系统全面、实时运行情况，如运行的模式、制动指令的下达、制动请求的传输、制动力的分配以及制动缸充排风情况等等。模型在环（MiLEST）测试流程见图 2。

3.2 快速控制原型（RCP）测试

将快速控制原型（RCP）控制器与空气制动控制单元实体相连接，不启用原系统控制，通过将 ControlBuild 验证过后的控制逻辑传输到快速控制原型（RCP）控制器中，快速控制原型（RCP）控制器测试接口采用 I/O 标准。快速控制原型（RCP）主要进行软件代码功能以及装置性能的检测。快速控制原型（RCP）测试结果见图 3。

3.3 硬件在环（HIL）测试

将硬件在环（HIL）试验台与电子制动控制单元相

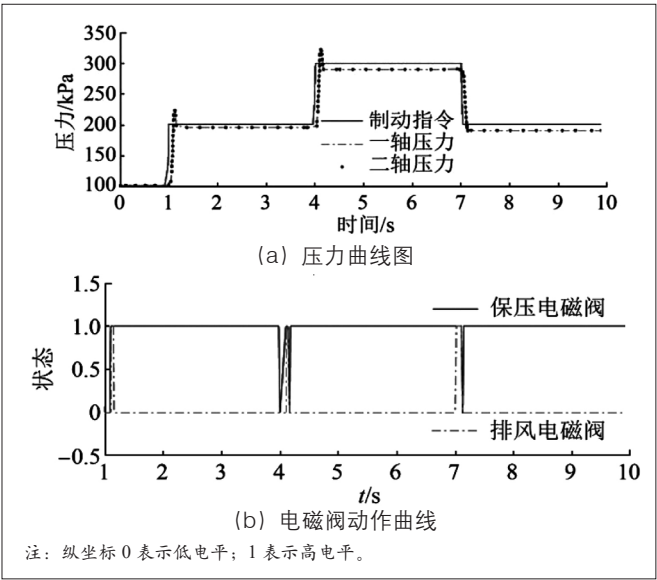


图 2 模型在环（MiLEST）测试流程

连接，通过将 ControlBuild 验证过后的控制逻辑传输到电子制动控制单元中，启用转向架制动控制系统气路模型，开启自动控制模式，硬件在环（HIL）测试接口采用 I/O 标准。硬件在环（HIL）测试主要进行软件代码功能以及装置性能的检测。硬件在环（HIL）测试结果见图 4。

实施转向架制动控制系统的仿真验证可校验制动控制逻辑的准确性与精准度，而且还能够有效验证基于模型的制动系统的可行性与适用性。根据研究显示，利用 V 型开发模式可有效缩短制动控制单元的开发周期，从而有效

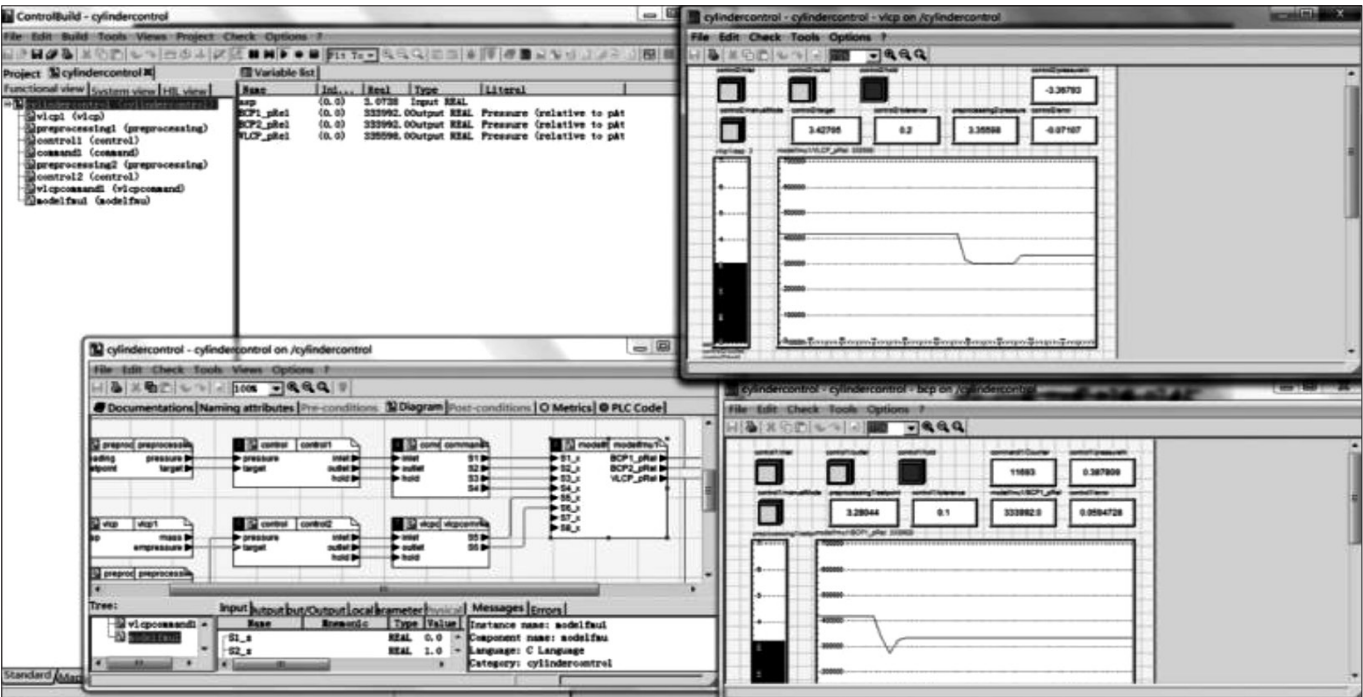


图3 快速控制原型（RCP）测试结果

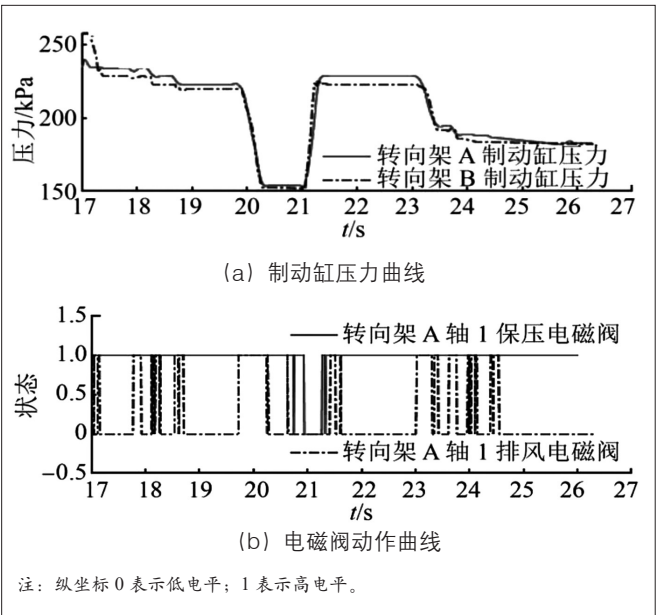


图4 硬件在环（HIL）测试结果

地降低研发的成本、加快产品投入应用的周期。本次研究中仿真验证结果显示，当前所开发产品可有效满足城市轨道交通车辆的应用需求，具有重要的应用价值。

4 结语

依据模型开发、仿真验证的转向架制动控制系统开发为城市轨道交通车辆制动控制策略的管理及应用提供了科学、合理的途径。在模型的系统工程（MBSE）技术、V 型开发模式、AUTOSAR 架构等技术的加持下实施转向架制动控制系统制动控制单元的开发及仿真验证，可

有效避免传统制动系统制造中存在的缺陷及问题，并且在信息化科学技术的帮助下，还能够有效降低资源与成本的投入、减少开发制造的周期，对于产品的优化与更新具有显著的促进作用。

参考文献：

[1] 鄢艳丽, 朱建安. 标准地铁列车制动系统集成化设计[J]. 电力机车与城轨车辆, 2021, 44(05): 42-46.

[2] 贾洪龙, 尹振坤, 梁云, 等. 轨道车辆轴箱内置式转向架技术发展研究[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(09): 59-63.

[3] X Wang, Peng T, Wu P, et al. Influence of electrical part of traction transmission on dynamic characteristics of railway vehicles based on electromechanical coupling model[J]. Sci Rep, 2021, 11(01): 18.

[4] 伍赛特. 机车车辆制造技术发展研究及未来趋势展望[J]. 现代制造技术与装备, 2021, 57(08): 114-118.

[5] 熊梅, 段继超. 基于永磁牵引系统的地铁列车空气制动力分配研究[J]. 电力机车与城轨车辆, 2022, 45(02): 57-61.

[6] X He, Yu K, Cai C, et al. Dynamic Responses of a Metro Train-Bridge System under Train-Braking: Field Measurements and Data Analysis[J]. Sensors (Basel), 2020, 20(3): 17.

[7] 李涛, 邓景山, 陆超, 等. 轮装制动盘组装用机器人系统研发[J]. 装备制造技术, 2022(01): 38-42.