基于国六重型商用车动态OBD限扭限速试验的虚拟测试技术开发

宋誓利[1,2] 江旺[1] 顾笑[1]

（1.安徽江淮汽车集团股份有限公司，合肥 230601；2.安徽农业大学，合肥 230036）

摘要：为解决在国六排放标准（GB 17691—2018）下，重型商用车车载自动诊断（OBD）系统动态监测实车测试方法效率低、成本高及数据可靠性不足的问题，提出了一种基于硬件在环（HIL）与信号虚拟注入技术的动态OBD限扭限速验证系统。通过构建由底盘测功机数据采集设备（K-BOX）、高精度尿素液位模拟器、多协议OBD诊断模块及自动化测试软件组成的协同测试平台，实现了对发动机控制单元（ECU）在尿素液位异常工况下扭矩与车速限制策略的闭环验证。目前该技术已成功应用于某主机厂3款轻重型商用车。

关键词：OBD控制策略 虚拟测试 尿素液位模拟 信号注入

中图分类号：U467.4 **文献标志码：**B **DOI:** 10.19710/J.cnki.1003-8817.20250323

Development of Virtual Testing Technology Based on Dynamic OBD Torque and Speed Limit Test of China VI Heavy-Duty Commercial Vehicles

Song Shili[1,2], Jiang Wang[1], Gu Xiao[1]

(1. Anhui Jianghuai Automobile Group Co., Ltd., Hefei 230601; 2. Anhui Agricultural University, Hefei 230036)

Abstract: To address the issues of low efficiency, high cost, and insufficient data reliability in the on-road test method for dynamic monitoring of the On-Board Diagnostic (OBD) system of heavy commercial vehicles under the China VI emission standard (GB 17691—2018), a dynamic OBD torque and speed limitation verification system based on Hardware-in-the-Loop (HiL) and signal virtual injection technology is proposed. By constructing a collaborative test platform composed of a chassis dynamometer data acquisition device (K - BOX), a high-precision urea level simulator, a multi - protocol OBD diagnostic module, and automated test software, closed - loop verification of the torque and speed limitation strategies of the Engine Control Unit (ECU) under abnormal urea level conditions is achieved. Currently, this technology has been successfully applied to 3 models of light and heavy commercial vehicles of a certain vehicle manufacturer.

Key words: OBD control strategy, Virtual testing, Urea level simulation, Signal injection

1 前言

自GB 17691—2018《重型柴油车污染物排放限值及测量方法（中国第六阶段）》实施以来，国六阶段对重型商用车的车载自动诊断系统（On-Board Diagnostics，OBD）的动态监测机制提出了更高要求[1]。标准要求车辆在行驶过程中实时监测排放相关部件状态，并在检测到故障时动态触发发动机扭矩限制（Torque Limitation）和车速限制（Vehicle Speed Limitation）。以选择性催化还原（Selective Catalytic Reduction，SCR）尿素系统为例，尿素液位在不同等级时，发动机控制单元（Engine

作者简介：宋誓利（1989—），男，高级工程师，硕士学位，研究方向为整车台架性能测试。

参考文献引用格式：

宋誓利，江旺，顾笑. 基于国六重型商用车动态OBD限扭限速试验的虚拟测试技术开发[J]. 汽车工艺与材料，2026(6)：1-6.

SONG S L, JIANG W, GU X. Development of Virtual Testing Technology Based on Dynamic OBD Torque and Speed Limit Test of China VI Heavy-Duty Commercial Vehicles[J]. Automobile Technology & Material, 2026(6): 1-6.

Control Unit，ECU）会执行不同的控制策略，以避免超标排放。

传统验证方法高度依赖实车道路测试，存在效率低、成本高、数据可靠性差及工况复现性弱的问题[2]。实车测试需协调真实路况与故障模拟，单次测试周期长达数小时，消耗大量燃油并造成部件损耗。道路环境中的传感器噪声干扰导致关键参数（如瞬时扭矩）采集精度不足，而故障注入与工况控制的不可重复性直接影响验证结论的一致性。上述问题严重制约了OBD系统的开发效率与验证准确性。

为解决上述问题，本研究融合硬件在环仿真与信号虚拟注入技术，开发针对动态OBD限扭限速功能的虚拟测试平台，通过精确模拟行驶工况、高保真故障注入及自动化策略验证，建立可量化、可复现的闭环测试环境。

2 系统架构与关键技术

2.1 OBD试验测试原理分析

根据GB 17691—2018要求，尿素箱须具有尿素品质传感器，以市面上已有的尿素罐为例，尿素传感器结构如图1所示，传感器测量反应剂液位高度、浓度、温度等数据，控制器局域网（Controller Area Network，CAN）通信模块将采集的数据以CAN信号的形式发送至ECU，ECU根据尿素液位信号执行对应的OBD控制策略。



图1 尿素传感器结构

某主机厂开展OBD试验：当尿素箱反应剂在不同液位高度时，车辆仪表指示灯、模式指示器（Mode Indicator，MI）指示模式、故障诊断运行策略、车辆动力输出是否符合申报材料，如表1所示。此外，在尿素液位高度为2.7%时开展初级驾驶性能限制验证，发动机不同转速峰值扭矩限制在75%以内，并进行加注尿素故障消除后扭矩恢复验证；当尿素液位高度为0时开展严重驾驶性能限制验证，车辆不同挡位峰值车速限制在20 km/h以内，并对加注尿素故障消除后车速是否恢复进行验证。

表1 某车型动态OBD申报信息

液位/%	激活模式	故障代码	亮灯策略	MI激活模式	消除策略
10.2	模式2	P203F-F4	黄灯常亮	1个确认循环+3个操作循环后，模式2变为模式1	在第1个确认循环后消除
5.5	模式2	P203F-F4、P203F-F5	黄灯闪亮	1个确认循环+3个操作循环后，模式2变为模式1	在第1个确认循环后消除
2.7	模式2	P203F-F3、P203F-F4、P203F-F5	黄灯闪亮、红灯常亮	1个确认循环+3个操作循环后，模式2变为模式1	在第1个确认循环后消除
0	模式4	P203F-F0、P203F-F3、P203F-F4、P203F-F5	黄灯闪亮、红灯常亮	1个确认循环后模式4变为模式3，3个操作循环后模式3变为模式1	在第1个确认循环后消除

注：模式1、模式2、模式3、模式4分别指GB 17691—2018中所定义的诊断故障码模式、按需模拟指示模式、短暂模拟指示模式和连续模拟指示模式。

2.2 动态OBD一致性虚拟测试系统

根据上述试验内容可知，试验测试循环多、测试内容多，需反复改变尿素液位高度，而尿素液位除实车路试外只能通过手动调整，操作难度大，还需获取故障代码鉴定故障类型，用于判断OBD限制策略的准确性。故传统测试方法测试周期长（约8 h），人工成本高（需要至少4人），操作难度高，因此，开发基于虚拟测控技术的测试技术，可

通过车辆信号获取、尿素液位的模拟输入、OBD诊断数据获取、自动化测试软件实现动态OBD试验的快速验证。

2.2.1　整体架构设计

系统以底盘测功机为车辆路试载体,构建了“动态工况模拟-故障信号注入-ECU策略响应-数据闭环验证”的一体化测试架构[3],如图2所示。底盘测功机模拟车辆行驶阻力并驱动轮端运动,其车速、驱动力通过K-BOX数据采集系统实现毫秒级同步记录;高精度尿素液位模拟器接入ECU尿素传感器接口,生成可编程的液位故障信号;整车ECU通过CAN总线与多协议OBD诊断模块建立实时通信,接收来自自动化测试软件的故障诊断指令并反馈执行状态;自动化测试软件作为中央控制单元,统筹协调各模块工作流程,从测试场景配置到结果分析全程实现自动化。

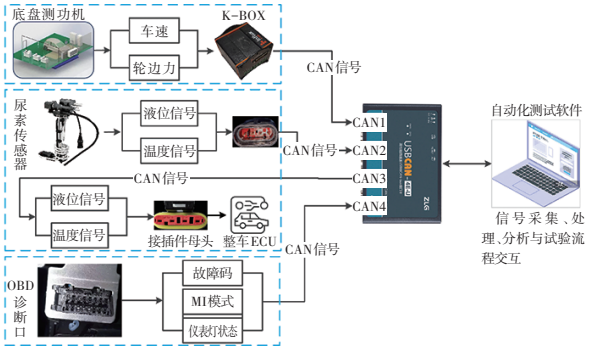


图2　系统架构

2.2.2　核心模块技术原理

如图2所示,尿素液位信号模拟过程为:断开图1中的尿素传感器接插件,以ZLG USBCAN-4E-U为CAN信号收发设备,置于接插件与整车控制器之间,CAN卡的CAN2连接接插件,CAN3连接整车控制器。CAN卡接收传感器发出的尿素液位高度报文,通过软件将报文中尿素液位高度修改至目标值,再将此报文由CAN3发送至整车控制器[4],具体流程如图3所示。模拟信号液位范围覆盖0~100%,同时装置支持预设液位变化曲线,可模拟阶梯式下降、随机波动等复杂故障模式。相较于物理传感器,该技术消除了机械迟滞效应,显著提升了故障场景的复现精度。

动态工况模拟与数据采集过程为:底盘测功机通过滚筒模拟路面,结合道路负载参数,开展拟合滑行试验,实现实际路试场景的快速构建。K-BOX作为高速数据采集终端,以100 Hz的采样频率捕获CAN总线上底盘测功机的车速、轮边驱动力、车辆转速、实际扭矩及SCR上游的NO_x浓度等,并通过时间戳同步技术确保多源数据的一致性。采集数据实时传输至测试软件,为策略验证提供原始数据支撑。

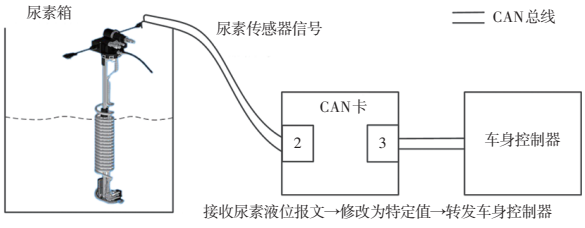


图3　尿素液位信号模拟流程

多协议OBD诊断模块集成J1939、ISO14229及KWP2000等商用车主流通信协议,构建了ECU与测试平台的标准化通信链路。模块实时监控诊断故障码(Diagnostic Trouble Code,DTC)状态位、激活的限扭等级及车速限制标志位等,并支持自动发送诊断指令、强制激活故障码、清除历史DTC等功能。其协议解析引擎可自动识别ECU响应帧中的限制策略执行参数,为自动化验证提供数据输入。

自动化测试软件基于快速工具包(Quick Toolkit,QT)开发,采用模块化架构设计,包括测试管理模块、流程控制引擎、数据验证模块及结果生成模块。测试管理模块预置国六法规要求的典型场景参数库,包括车辆报文通信协议配置文件(Data Base Container,DBC)、车速范围、故障触发阈值及限制策略预期值等;流程控制引擎将试验流程以程序化的方式固化于软件中,按顺序执行试验步骤,如图4所示,并判断每一步的执行结果,完成试验流程;数据验证模块通过时间序列分析算法,动态比对待测参数与控制策略目标值偏差;最后生成包含限制触发延迟、车速衰减曲线等关键指标的可视化报告。

3　试验验证

以某重型商用车作为试验车辆,该车辆配备手动六挡变速器,发动机的额定功率为126 kW(3 000 r/min)、峰值扭矩为460 N·m

(1 400~2 400 r/min),根据发动机厂家申报的OBD信息与控制策略,当尿素液位大于10.2%时,系统处于整车状态,当尿素液位小于5.5%时,发动机初级驾驶性能限制系统激活,当液位为0时,严重驾驶性能限制系统激活。车辆经过传统试验方法验证,动态OBD策略与其申报信息一致。本文将动态OBD一致性虚拟测试系统接入车辆及底盘测功机开展试验。试验分为限扭验证试验与限速验证试验,通过测试系统模拟目标尿素液位,根据试验结果评价车辆动态OBD一致性是否达标。

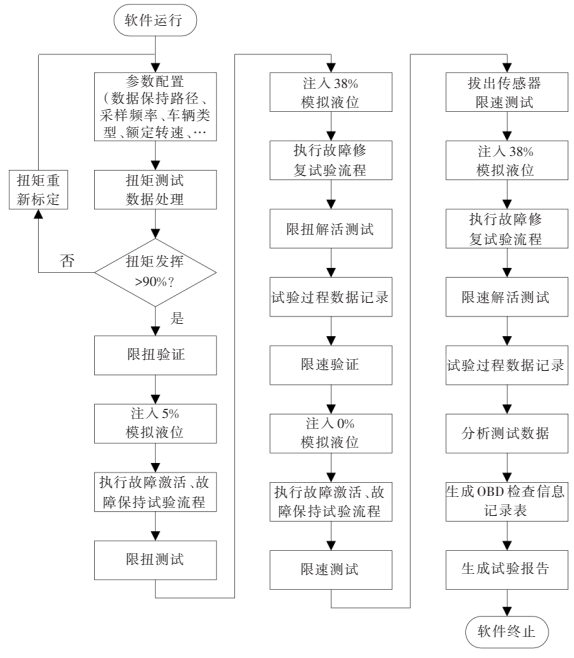


图4 软件运行流程

3.1 试验前准备

试验前需要完成以下准备工作:

a. 安装动态OBD一致性虚拟测试系统,确保各通道数据准确;

b. 将车辆驶上底盘测功机,然后热车;

c. 开展瞬态外特性试验,确保扭矩发挥>90%,保证车辆状态正常;

d. 按照自动化测试软件引导填写配置信息,如车辆型号、挡位模式、尿素液位点、DBC配置等,填写完毕后开始试验。

3.2 限扭验证

限扭验证试验步骤如下:

a. 点击限扭验证试验,根据软件弹窗提示逐步开展试验;

b. 在测试系统将尿素液位修改为5%,进入故障激活状态检测循环,开展限扭测试,进入故障保持状态检测循环,再次开展限扭测试,修改尿素液位至30%,进入故障修复状态检测循环,开展限扭解活测试;

c. 数据采集器分步骤记录对应期间的尿素液位高度、诊断故障码、车辆转速扭矩、仪表显示信息;

d. 总结试验数据评价试验结果。

3.3 限速验证

限速验证试验步骤如下:

a. 点击限速验证试验,根据软件弹窗提示逐步开展试验;

b. 在测试系统将尿素液位修改为0,进入故障激活状态检测循环,开展限速测试,进入故障保持状态检测循环,再次开展限速测试,修改尿素液位为30%,进入故障修复状态检测循环,开展限速解活测试;

c. 数据采集器分步骤记录对应期间的尿素液位高度、诊断故障码、车辆转速扭矩、仪表显示信息;

d. 总结试验数据评价试验结果。

4 数据处理及评价

4.1 测试过程与结果

首先完成动态OBD一致性虚拟测试系统安装,并于转毂上进行热车,经过瞬态外特性试验,峰值扭矩达到434.0 N·m(1 990.8 r/min),其他转速点扭矩发挥>90%,车辆状态正常。

4.1.1 限扭试验

限扭试验中,通过自动化测试软件引导逐步开展。在系统模拟注入5%尿素液位后,开始故障检测循环,仪表中排放灯黄灯闪亮、红灯常亮,MI指示灯为模式2,故障代码为P203F-F3、P203F-F4、P203F-F5,符合初级驾驶性能限制策略。随后开始限扭验证试验,结果如表2所示,限扭状态下扭矩发挥水平平均为正常状态的44.14%,符合法规要求[5]。接着将尿素液位模拟为30%,即通过ZLG CAN信号收发设备截获含有真实尿素液位数值和校验码的CAN报文,将尿素液位值修改为30%对应的十六进制数值,并运用校验工具生成校

验码,将原CAN报文中尿素液位信号和校验码篡改后发送给ECU,车辆进入故障修复状态检测循环,仪表排放灯、MI指示灯及故障代码在第1个循环内消除,与该车的OBD策略保持一致。最后开展限扭解活测试,最大扭矩点扭矩为433.6 N·m,结果合格,如表3所示。

表2　限扭状态扭矩

转速/r·min^{-1}	输出扭矩/N·m			法规要求/%	判断
	正常/N·m	限扭/N·m	比例/%		
1 225	408.1	156.1	38.25	≤75	与申报一致
1 378	433.8	165.6	38.17		
1 531	429.7	175.9	40.94		
1 685	425.6	176.8	41.54		
1 838	428.6	176.9	41.27		
1 991	434.0	184.4	42.49		
2 144	425.8	190.0	44.62		
2 297	429.1	198.0	46.14		
2 450	412.7	203.0	49.19		
2 603	399.0	203.6	51.03		
2 757	373.8	182.8	48.90		
2 910	355.0	155.6	43.83		
3 000	318.2	151.0	47.45		

表3　尿素液位恢复后扭矩

转速/r·min^{-1}	正常扭矩/N·m	解除扭矩/N·m	偏差/%	标准要求/%	判断
1991	434	433.6	0.10	3	与申报一致

4.1.2　限速试验

限速试验中,系统模拟注入0尿素液位后,开始故障检测循环,仪表中排放灯黄灯闪亮、红灯常亮,MI指示灯为模式4,故障代码为P203F-00、P203F-F3、P203F-F4、P203F-F5,符合严重驾驶性能限制策略。开始限速验证试验,结果如表4所示,限速状态下车速最大值小于20 km/h,符合法规要求。将尿素液位模拟为30%(篡改方式与限扭测试一致),车辆进入故障修复状态检测循环,仪表排放灯、MI指示灯及故障代码在第1个循环消除,与该车的OBD策略保持一致。最后开展限速解活测试,任意挡位车速大于20 km/h,恢复正常,如表5所示。

表4　限扭状态车速　km/h

挡位	车速	要求	限制系统	判断
1	<20	≤20	重启后限制	与申报一致
2	<20			
3	<20			
4	<20			
5	<20			
6	<20			

表5　尿素液位恢复后速度　km/h

挡位	1挡	2挡	3挡	4挡	5挡	6挡
速度	>20	>20	>20	>20	>20	>20

4.2　结果分析

在试验预备阶段,首先确保试验车辆处于正常工作状态。随后,利用动态OBD一致性虚拟测试系统执行限扭试验和限速试验。在限扭试验过程中,测试系统模拟了尿素液位为5%的情况,指示灯及故障代码均正确显示,且整车扭矩降低至正常状态的75%以下,限扭故障准确触发。接着,模拟尿素液位为30%的情况,指示灯、故障代码及整车扭矩均恢复至正常。在限速试验中,测试系统模拟了尿素液位为0的情况,指示灯与故障代码均正确显示,各挡位车速均低于20 km/h,随后模拟尿素液位为30%的情况,车辆性能恢复正常,限速及解活策略均得到验证。

经试验验证,动态OBD一致性虚拟测试系统可正确模拟试验中的各种液位状态,且限扭试验与限速试验结果与厂家申报的OBD控制策略一致,证明了测试系统的有效性,且在故障液位复现过程中,测试系统将测试时间压缩至10 min内,大幅提升了测试效率。

5　结束语

本研究完成了试验车辆的动态OBD一致性测试,验证了使用动态OBD一致性虚拟测试系统的有效性与优势。相较于传统限扭限速测试,通过底盘测功机动态工况模拟与K-BOX高精度数据采集,实现了实车行驶状态的高保真复现;设计可编程尿素液位模拟装置,实现故障液位的快速复现;构建了多协议OBD诊断与自动化验证体系,确保

限制策略的完整闭环测试。

通过使用模拟液位注入来实现动态OBD一致性的快速测试，其试验结果验证了该方法的有效性与准确性，数字化程序降低了试验错误的概率，提升了测试的便利性和可靠性。

参考文献：

[1] 生态环境部. 重型柴油车污染物排放限值及测量方法（中国第六阶段）: GB 17691—2018[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2018.

[2] 何伟, 郑毅, 靳跃东, 等. 高端重型商用车检测线技术研究与应用[J]. 汽车工艺与材料, 2021(6): 65-71.

[3] 深圳市道通科技股份有限公司. 使用道通MS908CV进行OBD年检预检[J]. 汽车维护与修理, 2020(3): 69-70.

[4] 刘静德. 基于数据采集单元的故障注入系统设计与实现[D]. 武汉: 华中科技大学, 2020: 35-38.

[5] 陈燕梅. 电子诊断技术在新能源车辆限扭故障分析的运用[J]. 汽车电器, 2025(1): 43-45+50.

AT&M