具体功能包括：数据采集、数据存储、数据传输、数据补发、注册和激活、独立运行和远程控制等。

4）交运办[2008] 115 号文件[8]主要对 DSM 和 ADAS 功能进行了界定。DSM 功能包括：疲劳驾驶报警、接打手持电话报警、长期不目视前方报警、驾驶员不在驾驶位置报警、抽烟报警、设备失效报警等；ADAS 功能主要包括前方车辆碰撞报警、车道偏离报警等。

2.2　性能要求

性能方面均从电气性能、环境适应性、机械环境适应性、电磁兼容等方面进行阐述。JT/T 1076 和交运办[2008]115 号文件均以 JT/T 794 为准则，只有机械环境适应性存在差别。JT/T 1076 对主存储器为硬盘的情况作了特殊规定（见表 1），其他均与 JT/T 794 要求一致。

表 1　JT/T 1076 与 JT/T 794、115 号文件性能差异

	JT/T 794、115 号文件	JT/T 1076
振动	不通电、可不带硬盘的 5～300 Hz 的正弦振动	通电、带硬盘的 1～500 Hz 的随机振动
冲击	不通电，可不带硬盘的 49 g，11 ms	通电，带硬盘的 30 g，18 ms

相比于 JT/T 794，作为电动汽车“黑匣子”功能的 GB/T 32960.2 各项试验要求更加严苛。不但增加了试验项目，而且相同试验项的试验条件也更加严酷。现对 JT/T 794 和 GB/T 32960.2 的性能差异进行分析。

1）电气性能。两者均要求满足独立运行功能，同时适应宽范围的直流供电系统，能够抵抗短时的电源反接与过电压。考虑到供电电压的稳定性，GB/T 32960.2 增加了电压缓升缓降性能的考核。

2）环境适应性。要求设备在-40 ～85 ℃的温度范围内贮存后不影响功能。工作温度范围 JT/T 794 要求能够支持在-20～70 ℃温度范围中正常运行。GB/T 32960.2 运行适应环境温度更加严酷，工作温度下限降低了 10 ℃，达到-30 ℃，同时为确保温度变化时设备的稳定性，增加了温度梯度和湿热循环试验。

3）机械环境适应性。机械环境适应性包括振动和冲击。从试验条件来看 JT/T 794 与 GB/T 32960.2 耐冲击条件差异性较小。振动条件 GB/T 32960.2 更加严格，GB/T 32960.2 按照 GB/T 28046.3—2011 执行，要求进行三综合的 32 h 随机振动。试验参数见表 2[9]。

表 2　GB/T 32960.2 耐振动试验条件参数

频率/Hz	PSD/[$(m/s^2)^2 \cdot Hz^{-1}$]
10/20/30	18/36/36
180/2 000	1/1

注：加速度均方根（r.m.s）值为 57.9 m/s^2。

4）电磁兼容性能。电磁兼容方面 JT/T 794 和 GB/T 32960.2 共同试验项包括：脉冲形式为 1、2a、3a、3b 的沿电源线瞬态传导脉冲抗扰度、耦合瞬态抗干扰度、静电放电抗扰度 3 项要求。GB/T 32960.2 增加了辐射抗扰度、辐射发射和传导性要求，试验项目更多，试验要求更加严酷。

5）可靠性。GB/T 32960.2 要求终端的使用寿命不低于 5 年，采用温度交变耐久寿命试验方法进行试验来评估终端的可靠性。通过该试验可以快速地验证终端的使用寿命，并以此作为终端性能审核的依据。

根据上述分析，各单功能终端性能要求虽存在一定的重叠，但仍存在差异。因此，集成式车载终端需要从各标准的共同点出发，同时兼容差异性以满足上述标准要求。

3　集成式车载终端的检测方法

3.1　集成式车载终端功能检测

功能方面，各标准存在差异。为满足各标准要求的功能，可利用终端外部接口丰富的特点，通过接口连接不同的外设，从而匹配终端内部软件来实现。如实现 GB/T 32960.2 的数据传输功能，需要连接 CAN 总线接口。如实现车载视频监控功能、DSM 功能、ADAS 功能，需要连接摄像头获取视频数据、启动图像处理模块。

3.2 集成式车载终端性能检测

1）电气性能试验。集成式车载终端内部供电由统一的电路实现。因此，电气性能要求一致，达到上述标准的最高要求。首先，过电压性能试验：要求在 50 ℃环境下，电源输入端施加 36 V 电压工作，持续 1 h，终端功能均正常。反向电压性能试验：需将终端电源输入端接入 28 V 的反向电压，持续 1 min 后断开，以正常供电模式开启终端时功能均正常，同时符合 GB/T 28046.2—2011[10] 中 4.5 节规定的电压缓升缓降性能。其次，需要内置足够容量的锂电池，满足设备 10 min 的独立运行功能。

2）环境适应性试验。终端正常运行温度范围为 -30~70 ℃，试验时让终端在最低温度 -30 ℃的环境下运行 24 h，在最高温度 70 ℃的环境下运行 96 h，试验要求终端功能均正常。温度梯度试验按照 GB/T 28046.4—2011 中 5.2 节的规定进行，要求终端在 -30~70 ℃间的每一个温度点都能正常工作。湿热循环试验要求满足 GB/T 28046.4—2011[11] 中 5.6 节交变湿热要求。

3）机械环境适应性试验。该集成式终端内置硬盘，用于实现视频监控功能。普通的硬盘难以通过 2 000 Hz 的 3 方向 32 h 的随机振动，而电动汽车车载 T-BOX 不需要存储视频，只需满足 7 天以上的数据存储，采用内置的 EMMC 存储介质即可达到存储要求。为此，进行功能设计时，将车载 T-BOX 功能在硬件载体上与硬盘隔离，振动试验时不带硬盘通过 2 000 Hz 的随机振动。视频数据存储于硬盘中，试验时满足 JT/T 1076 附录 A 带硬盘的 500 Hz 随机振动要求；终端的打印、显示功能通过接口连接外部设备实现，因此，终端机体防护等级需要满足 IP53 及以上要求。

4）电磁兼容性能试验。电磁兼容性能，要求通过 1、2a、3a、3b 的沿电源线瞬态传导脉冲抗扰度，耦合瞬态抗干扰度，静电放电抗干扰度、辐射抗扰度，辐射发射和传导性能。其中静电放电抗扰度需要在设备通电状态下满足 GB/T 19951—2005[12] 中表 B.1 中的接触放电 ±7 kV 和空气放电 ±14 kV 要求，设备不通电状态满足表 B.3 接触放电 ±6 kV 和空气放电 ±15 kV 的要求。

5）可靠性试验。集成式终端可靠性要求满足 GB/T 32960.2 规定的 5 年寿命加速性试验，但硬盘属于易损件，且不涉及车载 T-BOX 功能。因此，可不带硬盘进行耐久性试验。

4 结束语

本文介绍了一款融合了电动汽车车载 T-BOX、车载视频终端、主动安全智能防控终端功能的集成式车载终端，总结了被融合的各单功能终端的功能和性能要求，得出了各单功能终端技术要求差异。结合集成式终端的结构特点，提出了该类集成式车载终端的检测方案。以期为集成式车载终端功能融合、结构设计提供借鉴和参考。

参考文献：

[1] LIANG Hongbin，ZHANG Xiaohui，HONG Xintao，et al. Reinforcement Learning Enabled Dynamic Resource Allocation in Internet of Vehicles[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics，2020(99)：1.

[2] 邵宁华，张庆余，王增喜，等. 汽车电子电气架构发展演进[J]. 科学技术创新，2020(35)：98-100.

[3] NAVALE V，WILLIAMS K，LAGOSPIRIS A，et al.（R）evolution of E/E Architectures[J]. SAE International Journal of Passenger Cars - Electronic and Electrical Systems，2015，8(2)：282-288.

[4] 彭立，辛强. 试论汽车电子产品环境可靠性测试标准[J]. 汽车零部件，2021(5)：92-94.

[5] 中华人民共和国交通运输部. 道路运输车辆卫星定位系统车载终端技术要求 JT/T 794—2011[S]. 北京：人民交通出版社，2011：1-12.

[6] 交通运输信息通信及导航标准化技术委员会. 道路运输车辆卫星定位系统 车载视频终端技术要求：JT/T 1076—2016[S]. 北京：人民交通出版社，2017：1-18.

[7] 中华人民共和国工业和信息化部. 电动汽车远程服务与管理系统技术规范 第 2 部分：车载终端：GB/T 32960.2—2016[S]. 北京：中国标准出版社，2016：1-6.

[8] 交通运输部办公厅. 交通运输办公厅关于推广应用智能视频监控报警技术的通知（交运办〔2018〕115 号）[EB/OL]. [2022-12-01] https://www.sohu.com/a/258690991_292241.

（下转第 20 页）

一种模拟整车环境的电驱系统测试方法

吴洪亭[1]，肖 亮[1]，刘静雯[2]，邢化岭[1]，王照亮[1]
（1. 中通客车股份有限公司，山东 聊城 252022；2. 聊城职业技术学院，山东 聊城 252004）

摘 要：基于综合测试台架搭建整车模型，嵌入预瞄控制方法，有效消除指令传递、响应等过程对分析造成的影响。该方法保证了模拟整车环境测试的准确性、有效性。

关键词：电驱系统；整车模型；预瞄控制
中图分类号：U467.1+2 **文献标志码**：A **文章编号**：1006-3331(2023)02-0017-04

A Test Method on Electric Drive System with Simulating Vehicle Environment

WU Hongting[1], XIAO Liang[1], LIU Jingwen[2], XING Hualing[1], WANG Zhaoliang[1]
(1. Zhongtong Bus Holding Co., Ltd., Liaocheng 252022, China;
2. Liaocheng Vocational and Technical College, Liaocheng 252004, China)

Abstract: The authors build the vehicle model based on the comprehensive test bench and embed the preview control method effectively eliminate the influence of instruction transmission, response, and other processes on the analysis. The method ensures the accuracy and effectiveness of the simulation vehicle environment test.

Key words: electric drive system; vehicle model; preview control

电驱系统是新能源车辆动力输出的核心部件，其性能直接影响车辆的动力性、经济性。目前针对电驱系统的测试项目主要包括：输入输出特性、效率特性、耐久性、环境适应性等，但这些系统级的测试项目均无法有效验证电驱系统与整车的匹配性。

目前，针对电驱系统与整车匹配性能的测试主要借鉴标准有 GB/T 19754—2021《重型混合动力电动汽车能量消耗量试验方法》[1]（CCBC 工况）、GB/T 27840—2021《重型商用车辆燃料消耗量测量方法》（CWTVC 工况）[2]。标准中的测试方法主要针对实车路试，基于台架的测试方法主要有两种：一种全工况动态整车测试台架及方法[3]；一种纯电动汽车台架测试系统及其测试方法[4]。这两种测试方法都不能在样车制造前对电驱系统与整车的匹配性进行有效验证。为了解决上述问题，本文提出一种模拟整车环境的电驱系统测试方法[5]。

1 实施方法

在综合工况（CCBC 工况或 CWTVC 工况）下，采用模拟部件进行测试，可在样车制造前对驱动电机性能及其与整车的匹配性进行验证[6]，可大幅降低样车制造的不合格率和研发成本。实施方法的流程如图 1 所示。

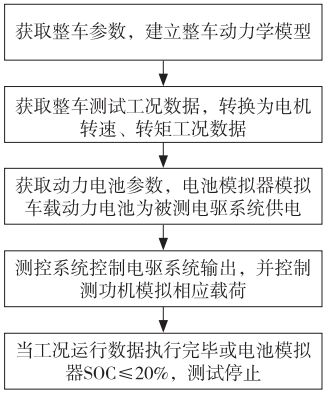

图 1 方法流程

收稿日期：2022-12-29。

第一作者：吴洪亭（1989—），男，工程师；主要从事客车产品及市场研究工作。E-mail：wuht@zhongtong.com。

1.1 获取整车参数及建立整车动力学模型

获取整车参数、电池模拟输出状态，建立整车动力学模型。可以采用如下方法：

步骤 1）获取整车参数（包括整车整备质量、载重质量、整车尺寸、传动系传动比、车轮滚动半径等），建立待测车型的车速和受力模型。

因待测车型参数不同，所以测试控制的输出不同，可针对待测车型采集整车参数并分别建立整车模型，待测车型可以是开发阶段的样车车型也可以是量产车型。

建立的整车动力学模型如下[7]：

$$V=0.377Nr/i_0$$

$$F=\frac{Ti_0\eta_r}{r}-\left(mgf\cos\alpha+mg\sin\alpha+\frac{C_DA}{21.15}V^2+\delta m\frac{dv}{dt}\right)$$

式中：V 为车速；N 为电驱系统输出转速；r 为车轮滚动半径；i_0 为传动系传动比；F 为整车受力；T 为电驱系统输出转矩；η_r 为传动系效率；m 为整车质量，$m=m_a+m_z$，m_a 为整备质量，m_z 为装载质量；g 为重力加速度；f 为滚动阻力系数；α 为道路坡度角；C_D 为空气阻力系数；A 为车辆迎风面积；δ 为旋转质量转换系数；t 为时间。

步骤 2）获取整车测试工况数据，将整车测试工况数据转换为电机转速、转矩数据。

车速与电机转速、转矩的关系式如下：

$$N_t=V_ti_0/(0.377\cdot r)$$

$$\begin{cases}T_t=\dfrac{r}{i_0\eta_T}\left(mgf\cos\alpha+mg\sin\alpha+\dfrac{C_DA}{21.15}V_t^2+\delta m\dfrac{V_{t+1}-V_t}{\Delta t}\right),\\ V_{t+1}\geqslant V_t\\ T_t=-T_k,V_{t+1}<V_t\end{cases}$$

式中：N_t 为 t 时刻电驱系统转速；V_t 为 t 时刻车速；r 为车轮滚动半径；T_t 为 t 时刻电驱系统转矩；V_{t+1} 为 $t+1$ 时刻整车车速；T_k 为电驱系统制动能量回收设定转矩。

步骤 3）获取待测车型的动力电池参数，计算待测车型电池模拟器的模拟输出状态。后期可用电池模拟器模拟车载动力电池为被测电驱系统供电[8]。

不同的车型选择的动力电池类型可能不同，针对待测车型确定其对应的动力电池参数（包括电池容量、输出电压、输出电压与电池荷电水平关系、最大放电电流）[9]。

动力电池参数电池模拟器模拟车载动力电池的输出状态，可通过以下公式确定：

$$SOC_t=1-\int_0^t UIdt/E_a$$

$$U=f(SOC_t),I\leqslant I_{max}$$

式中：SOC_t 为 t 时刻电池模拟器荷电水平；U 为电池模拟器输出电压；I 为电池模拟器输出电流；E_a 为电池模拟器电能容量；$f(SOC_t)$ 为实测动力电池放电时电压变化规律；I_{max} 为动力电池最大放电电流。

1.2 预瞄控制方法应用

根据当前时刻被测电驱系统的输出状态获取的整车模型计算下一时刻的需求载荷，控制测功机模拟需求载荷输出至被测电驱系统执行测试过程。

测控系统同时控制被测电驱系统输出、测功机模拟相应载荷。测功机模拟的载荷为测控系统根据整车模型与被测电驱系统瞬时输出状态计算出的对应载荷，被测电驱系统瞬时输出状态包括当前转速、转矩。

采用预瞄控制方法，根据当前时刻被测电驱系统的输出状态、获取的整车模型来计算下一时刻的需求载荷[10]，计算公式如下：

$$N_{rt}=\frac{1}{t}\int_t^{t+1}N_tdt,\ T_{rt}=\frac{1}{t}\int_t^{t+1}T_tdt$$

式中：N_{rt} 为 t 时刻测控系统给被测电驱系统发出指令的需求转速值；N_t 为被测电驱系统的当前（即 t 时刻）输出转速值；T_{rt} 为 t 时刻测控系统给被测电驱系统发出指令的需求转矩值；T_t 为被测电驱系统的当前（即 t 时刻）输出转距值。

1.3 获取 SOC 阈值

获取按照当前整车测试工况数据执行测试后电池模拟器的 SOC 值，当其小于设定的 SOC 阈值或者测试工况执行完毕时，停止测试。本文设定电池模拟器的 SOC 阈值为 20%。

通过整车模型输出车辆测试工况下对应的需求载荷，通过被测电机系统模拟执行该载荷在驱动系统上的施加，同时设置了电池模拟器来模拟实际的车载动力电池在车辆测试过程的供电状态变化，可以实现多种车型的整车匹配性测试，减少了测试成本。采用