ICS
CCS

团　体　标　准

T/CAAMM XXXX—202X/T/NJ XXXX—202X

农业机械　控制系统硬件在环　测试规范

Test specification for hardware in the loop of agricultural machinery control system

（征求意见稿）

202X-XX-XX 发布　　202X-XX-XX 实施

中国农业机械工业协会
中 国 农 业 机 械 学 会　发布

目次

目次 1
前　言 3
农业机械控制系统硬件在环测试规范 1
1 范围 1
2 规范性引用文件 1
3 术语和定义 1
4 测试准备及要求 2
4.1 试验室一般要求 2
4.2 HiL 测试设备技术要求 3
4.3 被测控制器输入信息要求 8
4.4 制定测试计划 10
4.5 输入资料分析及反馈 10
4.6 测试环境搭建 10
5 硬件在环测试流程 11
5.1 概述 11
5.2 激励测试 11
5.3 开环测试 12
5.4 闭环测试 12
5.5 自动化测试 12
6 测试过程问题管理 16
6.1 测试问题的状态 16
6.2 测试问题确认 16
6.3 测试问题修改 17
6.4 测试问题验证关闭 17
6.5 测试问题评审 17
6.6 测试问题跟踪 18
6.7 测试问题总结 18
6.8 测试问题分析 18
附　录　A 测试问题模板 19

A.1 测试问题库模板 19
附 录 B 被测控制器信息收集模板 20
B.1 EMS 信息收集模板 20
B.2 VCU 信息收集模板 21
B.3 BMS 信息收集模板 22
B.4 MCU 信息收集模板 23
B.5 TCU 信息收集模板 24
参考文献 25

前　言

本文件按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则　第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的提出和发布单位不承担识别专利的责任。

本文件由中国农业机械工业协会和中国农业机械学会联合提出。

本文件由中国农业机械工业协会归口。

本文件起草单位：国创农业装备质量检验检测技术（洛阳）有限公司。

本文件主要起草人：。

本文件为首次发布。

农业机械控制系统硬件在环测试规范

1 范围

本文件规定了农业机械控制系统硬件在环测试设备的一般性要求、硬件在环测试平台的构建要求，并规范了硬件在环的测试流程。

本文件适用于农业机械控制系统中电子电控单元的硬件在环测试平台的构建及控制器功能验证测试。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

Q/SY 1355.1-2010 计算机软件测试规范 第1部分：单元测试

T/CSAE 177—2021 电动汽车车载控制器软件功能测试规范

SAE J1939-11：2006 商用车控制系统局域网CAN通信协议 第11部分：物理层，250 K 比特/秒,屏蔽双绞线(Recommented practice for serial control and communication vehicle network-Part11： Physical layer-250 K bits/s，twisted shielded pair)

SAE J1939-21：2006 商用车控制系统局域网CAN通信协议 第21部分：数据链路层(Recommented practice for serial control and communication vehicle network--Part 21 ：Data link layer)

SAE J1939-73：2006 商用车控制系统局域网CAN通信协议 第73部分：应用层 诊断(Recommented practice for serial control and communication vehicle network-Part 73：Application Layer-Diagnostics)

3 术语和定义

下列术语、定义和缩略语适用于本文件。

3.1

硬件在环测试 **hardware-in-the-loop test；HiL Test**一种以实时处理器运行仿真模型来模拟受控对象的运行状态，通过I/O接口与被测控制器连接，对被测控制器进行全方面的、系统的测试方法。

3.2

实时仿真机 real-time computer；RT-PC

一种嵌入式工业计算机，具备丰富的I/O资源，并运行实时操作系统。

3.3

电子控制单元 electronic control unit；ECU

一种由微处理器(CPU)、存储器(ROM、RAM)、输入/输出接口(I/O)、模数转换器(A/D)以及整形、驱动等大规模集成电路组成，用于实现对数据的分析处理发送等一系列功能的控制装置。

3.4

发动机管理系统 engine management system；EMS

连续监控并控制发动机运转，根据各路传感器的输入数据测试和计算所需的空气与燃料混合比及发动机点火提前角度，直接控制发动机在各工况下燃料供给量、燃料喷射正时、点火闭合角、发动机怠速运转以及车辆其他附件系统状态。

3.5

整车控制单元 vehicle control unit；VCU

一种用于解析驾驶员需求，监控车辆行驶状态，协调其他控制单元如BMS、MCU等的工作，实现整车的上下电、驱动控制、能量回收、附件控制和故障诊断等功能的控制单元。

3.6

电池管理系统 battery management system；BMS

智能化管理及维护各个电池单元，防止电池出现过充电和过放电，延长电池的使用寿命，监控电池的状态。

3.7

电机控制单元 motor control unit；MCU

控制电机驱动整车行驶的控制单元，属于电动车辆的核心零部件之一。电机控制器具有CAN通讯功能、过流保护、过载保护、欠压保护、过压保护、缺相保护、能量回馈、限功率、高压互锁、故障上报等功能。

3.8

传动系控制单元 transmission control unit；TCU

采用计算机和电力电子驱动技术实现车辆自动变速，能消除驾驶员换档技术的差异，减轻驾驶员的劳动强度，提高行车安全性，提高车辆的动力性和经济性。

3.9

现场可编程逻辑门阵列 field programmable gate array；FPGA

一种专用集成电路中的一种半定制电路，是可编程的逻辑列阵。

4 测试准备及要求

4.1 试验室一般要求

4.1.1 测试环境

a） 环境温度：-20 ℃~40 ℃，相对湿度：10%~90%；大气压力：85 kPa~120 kPa；

b） 工作电源：试验室配备独立的电源电路，单相 220 V±15%， 频率 50 Hz±2 Hz，或者三相 380 V±10%， 频率 50 Hz±2 Hz；电源功率不低于设备峰值功率。

4.1.2 测试设计与执行能力要求

a）分析测试需求，识别风险等级；

b）针对不同类型的被测控制器，规范化输入信息，识别输入信息的完整性及可用性；

c) 具有专业的测试用例设计方法及丰富的测试用例设计经验；
d) 条目化的需求与测试用例对比关系，方便随时查阅；
e) 风险等级管理：根据对输入的分析，设置测试用例的风险等级；
f) 具有测试评审环节；
g) 应急预案：预案中应有可行的预备方案；
h) 测试日志：项目测试日志记录每天的测试进度以及测试过程中的异常问题及解决方案；
i) 风险管理机制。

4.2 HiL 测试设备技术要求

4.2.1 HiL 测试设备功能要求

a) 具备模拟典型工况的能力，可实现被测控制器的功能测试；
b) 具备集成动态仿真模型，实现被测控制器的实时闭环测试的能力；
c) 支持上位机界面通道配置及参数设置，实现被测控制器开环测试；
d) 支持测试用例编辑，实现自动化测试，生成自动化测试报告；
e) 支持上位机界面实时查看所有通道数据，包括硬线、总线和模型数据；
f) 支持所有测试数据的实时显示和记录；
g) 配备分线箱，实现低压通道的手动故障注入及信号监测；
h) 具有故障注入功能，可实现对被测控制器的故障诊断测试；
i) 具有 CAN 通讯仿真功能，可实现被测控制器的通讯测试；
j) 支持多台设备间进行级联调试。

4.2.2 HiL 测试设备硬件要求

4.2.2.1 上位机电脑

上位机电脑至少具备可以运行HiL测试系统的试验管理软件、模型编辑软件、自动化测试软件的能力，并具备与下位机进行数据交互、自动化测试序列开发及执行的功能。

4.2.2.2 实时仿真机

实时仿真机（RT-PC）至少包含实时仿真处理器、I/O接口板卡、通讯模拟板卡等。其中，实时仿真处理器是RT-PC的核心，预装实时处理系统即RT系统，具备运行实时仿真模型、处理实时模型数据的能力，该处理器的选取应考虑需要被承载的实时环境模型在该处理器上运行时，被测控制器的程序运行时钟步长应为仿真环境模型实时运行最小步长时间的整数倍，且该整数大于2。

4.2.2.3 通用 I/O 接口

对于具有不同属性的仪器设备，其通用I/O接口参考指标要求如下：

a) 对于具有采样率指标的设备仪器，一般设备采样频率至少应大于被测量信号频率的 2 倍；
b) 对于具有量程指标的设备仪器，被测信号正向最大值不超过仪器量程正向最大值的 80%，且精度控制在±0.5%以内；被测信号负向最小值不超过仪器量程负向最小值的 80%，且精度控制在±0.5%以内；
c) 对于具有功率等级的设备仪器，所提供电压、电流及功率均应满足被测对象使用要求，且具有不低

于 20%的功率余量，电流电压精度控制在±0.5%以内，10%负载时功率因数大于 98%，阻性负载时纹波小于 0.1%，10%~90%电流上升时间小于 2 ms，当设备发生短路或故障时能够安全及时地进行动作保护。

根据被测控制器的特点，还应满足以下要求：

a) 从自动化扩展方面考虑，PC 上位机搭载上设备所需软件工具后，从其发送指今开始计时，到该信号被实时处理器处理完成并回传截止的时间间隔为 T1，应至少为被测控制器中涉及时间控制描述中最小时间 T2 的 0.5 倍。T1 时间通常与操作系统、工作站性能、软件工具相关，测量条件推荐 CPU 利用率大于 50%;

b) HiL 设备的通用 I/O 接口应包括：模拟输入、模拟输出、数字输入、数字输出、PWM 输入、PWM 输出、电阻输出等类型，通道总数根据被测软件的实际情况决定，模拟量大电压采样精度在士 0.5%以内，模拟量小电压采样精度在±0.1%以内。设备性能方面应达到表 1 要求。

表1　I/O 通道性能要求

通道类型	采样频率	输入输出范围	精度	数量	备注
AI	10 kS/s	大于等于被测控制器最大输出电压	高于被测控制器输出精度	冗余通道设计，应大于被测控制器需求通道	可配置单端和差分模式
AO	10 kS/s	大于等于被测控制器最大需求电压	高于被测控制器需求精度	冗余通道设计，应大于被测控制器需求通道	
DI	10 kS/s	大于等于被测控制器最大输出电压	高于被测控制器输出精度	冗余通道设计，应大于被测控制器需求通道	
DO	10 kS/s	大于等于被测控制器最大需求电压平台	高于被测控制器需求精度	冗余通道设计，至少比被测控制器需求多 5 个通道	
PWM_IN	频率 0.02 Hz~100 kHz 占空比 1%~99%	大于等于被测控制器最大输出电压，占空比 1%~99%	高于被测控制器输出精度	冗余通道设计，至少比被测控制器需求多 5 个通道	
PWM_OUT	频率 0.02 Hz~100 kHz 占空比 1%~99%	大于等于被测控制器最大需求电压平台，占空比 1%~99%	高于被测控制器需求精度	冗余通道设计，至少比被测控制器需求多 5 个通道	
电阻	更新频率不	大于等于被测	高于被	冗余通道设计，至	

	小于 10 Hz	控制器最大需求电阻范围，满足功率需求	测控制器需求精度	少比被测控制器需求多 5 个通道	

4.2.2.4 通讯模拟接口

通讯模拟接口一般指CAN、CANFD、LIN、串口、以太网等，不同的通讯接口要求如下：

a) CAN 通讯接口：系统应配备独立的高速 CAN 通道，波特率可配置，最高传输速率 1 Mbps，可导入配置的.dbc 文件，通道数量应满足被测控制器网络拓扑图的需求数量，至少应支持 CAN 2.0 及 SAE J1939 通讯协议；

b) CANFD 通讯接口：CANFD 通道应兼容高速 CAN 及 SAE J1939 通讯协议，波特率可配置 40 kbps~1 Mbps，最高传输速率可达 8 Mbps；

c) LIN 通讯接口：系统应配备独立的 LIN 通道，波特率可配置，最高传输速率 20kbps，可配置主从模式，可导入配置的.ldf 文件，通道数量应满足被测控制器网络拓扑图的需求数量；

d) 以太网通讯：设备应配备独立高速的以太网通道，支持车载以太网物理接口，速率可配置 100/1000 Mbit/s，至少应可导入 arxml 等格式文件，支持 UDP 和 TCP 通讯协议，支持 IPV6 和 IPV4，应用层支持 SOME/IP SD（Service Discovery），支持配置 E2E 保护协议和 SecOC 协议，Server 和 Client 以及相关服务功能可配置，通道数量应满足被测控制器的网络数量；

e) 串口通讯：支持 RS232 或 RS485 串口通讯，波特率可配置。

4.2.2.5 ECU 供电设备

一般HiL设备选用可编程电源给被测控制器进行供电，可编程电源可通过试验管理软件进行控制，输出电压范围大于被测控制器的最大需求电压，满足被测控制器的最大供电电压测试需求。电流输出范围满足被测控制器的最大工作电流，电源输出纹波小于0.1%，10%~90%电流上升时间小于2 ms。当设备发生短路或故障时能够安全及时地进行动作保护。

4.2.2.6 故障注入

可通过上位机进行控制激活时间及选择故障注入类型，可实现的故障类型至少应包括：开路、对电源短路、对地短路及ECU管脚间短路。

4.2.2.7 特殊信号板卡

4.2.2.7.1 概述

不同的被测控制器需求的特殊信号板卡不同。例如：发动机仿真专用板卡、轮速仿真板卡一般用于燃油机型的EMS和TCU，FPGA仿真板卡、电池单体模拟板卡、高压仿真板卡、绝缘模拟板卡、分流器模拟板卡一般用于纯电机型的MCU和BMS。

4.2.2.7.2 发动机仿真专用板卡：

a) 能够模拟霍尔式曲轴、凸轮轴信号，支持发动机最高转速≥10000 rpm；

b) 配备多路喷油采集通道和点火采集通道；

c) 可存储磁电式或霍尔式曲轴/凸轮轴波表信号；

d) 可存储爆震信号波表，爆震信号参数在线可配置；

e) 支持模拟智能霍尔型发动机转速传感器；

f) 16bit 位角度总线，角度分辨率≤0.011 ° 。

4.2.2.7.3 轮速仿真板卡：

a) 支持传统的磁电式和霍尔式轮速传感器及带串行协议的智能轮速传感器仿真；

b) 可在线切换传感器类型；

c) 可进行轮速传感器的故障模拟：电流值超限、缺齿等故障；

d) 具有过压保护和过流保护功能。

4.2.2.7.4 FPGA 仿真板卡：

板卡至少应配备高速模拟输出通道，可模拟高速模拟输出的旋变信号，采集MCU输出的高频激励信号，运行电机本体及逆变器模型。

4.2.2.7.5 电池单体模拟板卡

至少保证模块各单体通道输出电压0 V~6 V，精度≤±1 mV，输出电流≥±1 A，通道间相互隔离，可通过上位机进行控制，可模拟输出短路、输出开路、串联在一起的通道间开路、电池单体反极性测试等故障。

4.2.2.7.6 高压仿真板卡

用于仿真接触器前、后端电压，至少应实现系统电压模拟及故障监测、预充电过程及相关故障模拟、高压PTC诊断、保险丝诊断、接触器故障模拟及诊断等功能，输出电压及电流范围需要高于被测控制器采集的最大值，输出精度≤±0.5% FS。

4.2.2.7.7 绝缘模拟板卡

用于模拟电池包主正和主负端对车身地的绝缘阻值，两路阻值单独可控，工作电压不低于被测控制器采集的电池包电压最大值，具有过流保护功能，可模拟开路状态及绝缘故障状态。

4.2.2.7.8 电流采集板卡

用来采集被测控制器驱动输出引脚的电流，一般该ECU通道挂载对应的负载，通道电流采集范围应大于被测负载通道输出的峰值电流，精度高于被测通道的电流精度。

4.2.2.7.9 分流器模拟板卡

分流器模块一般存在于高压回路中，用来采集高压回路电流，将大电流转换为mV级的电压输出。分流器模拟模块采用高精度差分模拟输出来模拟分流器模块两端的输出电压，输出精度≤±0.1 mV。

4.2.3 HiL 测试设备工具软件要求

4.2.3.1 概述

HiL系统软件运行于上位机，主要包括试验管理软件、自动化测试软件、模型编辑软件等。

4.2.3.2 试验管理软件

试验管理软件是基于配置的专业实时测试与仿真软件，无需编程即可创建测试应用，人机交互界面操作方便，快速将硬件I/O与多种环境下开发的仿真模型相集成，试验管理软件应具有以下功能：

a) 对系统硬件、仿真模型的统一管理和配置；

b) 仿真模型与硬件资源的映射、保存及修改功能，可以在线实时监控和修改仿真模型中的参数；

c) 记录实时数据，并可以以图形方式显示，采集数据带有时间轴，采集周期可以设置≤1 ms；

d) 界面控件支持实时激励和自动测试功能，可以给系统输入实时激励信号（包括常值输入、斜坡输入、脉冲输入、工况数据输入及时序关系设置等），可按预定的顺序执行一系列自动化测试逻辑，模拟各种驾驶员操作、试验环境和驾驶工况，同时记录运行过程中的信号值；

e) 支持*.dbc、*.xml等多种格式数据文件的导入，并实现报文发送和接收配置；

f) 能够基于dbc等文件自动生成测试界面，可以修改发送报文的周期、信号值、触发等，显示其信号名、周期、ID、数据长度等；可以显示接收报文的接收时间、周期、ID、信号名称、信号值等；

g) 故障注入管理功能，可实现对指定管脚的故障注入：包括对电源短路、对地短路、开路、管脚信号之间短路等故障；

h) 可以以拖拽的方式选取需要配置的通道，通过软件自动实现所有类型故障的注入和取消；

i) 软件操作便捷，界面可视化；

j) 数据共享网络：用户可增加反射内存网络，实现系统互联。

4.2.3.3 自动化测试软件

自动化测试软件可用于开发、执行和部署测试系统。自动化测试软件应满足以下功能要求：

a) 用户可使用其他编程语言编写的测试代码模块开发测试序列，如：C++、Python、C等；

b) 测试序列可以指定执行流、生成测试报告、记录数据；

c) 与试验管理软件无缝连接，可自动打开试验管理软件，并进行模型下载；

d) 支持采用拖拽的方式搭建测试序列，并支持脚本语言方式编写复杂逻辑；

e) 能够自动生成基于XML或HTML等不同格式的测试报告；

f) 支持测试用例离线开发及调试；

g) 支持测试用例的静态编译及语法检查，在测试序列执行之前提示语法有错误的序列模块；

h) 提供基本库，主要包括图形化的逻辑语句，实现如If Else、For、Break等控制流程。

4.2.3.4 模型环境

可视化的图形建模软件，模型环境软件至少支持Windows、Linux等操作系统，模型环境软件与试验管理软件及自动化测试软件可实现无缝连接，可以以生成代码或其他接口的形式与试验管理软件连接。

4.2.3.5 其他软件

4.2.3.5.1 概述

系统需具备故障注入管理、测试管理、总线监控等软件或模块，用于完成硬件在环测试中的故障诊断、自动化测试等功能。

4.2.3.5.2 故障注入管理软件

故障注入软件一般包含通用I/O通道的故障注入软件和专用的电池单体故障注入软件。

通用I/O接口的故障注入软件可通过软件界面控制通道的故障模式、故障激活时间、故障恢复等操作。

电池单体故障注入软件可以控制电池单体模拟通道的故障模式、故障激活时间、故障恢复等操作。

4.2.3.5.3 测试管理软件

测试管理软件的特点如下：

a) 实现项目用户(组) 角色权限的精确控制；

b) 基于B/S结构，支持多用户协同工作；

c) 集成了测试项目管理的核心流程，每个项目拥有独立的需求管理、测试管理、变量管理、样件管理、任务管理、报告管理、缺陷管理；

d) 支持数据手动和自动备份，保证数据安全；

e) 变量数据的统一管理；

f) 支持数据的导入、导出；

g) 可与自动化测试软件无缝连接；

h) 具备邮件通知功能，确保负责及相关人员对项目的跟进。

4.3 被测控制器输入信息要求

4.3.1 被测控制器硬件要求

至少需要完整的被测控制器硬件两套，控制器对外连接使用的接插件（含线束）两套。特殊测试要求参考以下条款：

a) 如果被测控制器包含主从结构，应提供满足拓扑结构的所有从板，例如BMS一主三从形式，一块主板配三块从板为一套；

b) 对于MCU应提供主控板对外接口定义及接插件，主控板与内部其他部分（如驱动板、电流采集传感器）之间的接口定义及接插件；

c) 对于控制器包含特殊负载模块的，需要提供负载模块，如电磁阀、液压阀、节气门、喷油器等。

4.3.2 被测控制器相关的输入文档要求

4.3.2.1 功能描述文档

功能描述文档用来描述被测控制器不同功能的实现方式及控制结果或现象，功能描述文档应具备以下性质：

a) 一致性：该文档的直接干系人之间就内容已达成一致意见，在使用上不存在理解偏差，直接干系人至少包括文档的编写人、文档依据信息提供人、文档使用人；

b) 统一性：文档内容之间以及与其成套的文档间无相互矛盾；

c) 可验证性：有明确的访问或检查接口指引，同时有明确的判定指标；

d) 可追溯性：与其他文档有追溯关系，或有明确的文件信息表明其来源；

e) 可理解性：术语用词基于虚拟或实际的测试开发团队共同约定，若文档依据信息的提供方为非软件开发团队时，应由文档编写方创建术语表。

功能描述文档在内容描述时需要遵循以下原则：

a) 不可使用超过7条语句来描述同一功能情景；

b) 每条语句仅使用主动语态及用1个过程动词来明确表达需求，应避免错综复杂的语句描述；

c) 名词的指向应为某项具体的内容，而非指向某个类别的内容，比如不应用“控制器”来替代“电机控制器”；

d) 在使用全称量词时应确认是否适用，全称量词如，“从不”、“总是”、“没有”、“每个”、“所有的”；

e) 不可使用不确定的词汇对功能进行描述，比如“可能”、“有时”、“一些”、“部分”；

f) 不可存在非完整的规格说明条件，在对一个需求进行说明时，应确保涵盖对所有数据范围的描述。例如，当描述“电压大于380 V时所有电磁阀打开”时，还应说明电压小于等于380 V时电磁阀开启或关闭情况及其引发现象。此外，只有一种情况可以不对全范围数据进行描述，即当接口输出值为布尔类型非A即B时，默认描述完合适输出A后，其他情况均为B即“当描述温度大于20 ℃时风扇开启(A)”，则默认为当温度小于等于20 ℃时风扇关闭(B)，不完全说明时本文件默认为输出取值为相反状态；

g) 推荐该文档提供者使用自然语言模板进行描述，或者为了使该文档的使用程度更高，使用自然语言模板对编写者进行相应培训。

4.3.2.2 接口描述文档

接口描述文档需要描述被测对象存在的物理状态及其接口形式。

该文件用以描述被测目标文件的测试接口，考虑到接口形式、类型并不相同，可通过多类文件进行描述，比如控制器硬线接口定义、通讯协议(CAN、CANFD、Flexray、Ethernet等)、诊断协议、标定协议文件、以太网协议等。

接口名称应与该接口实际功能有匹配关系，接口描述的内容应包含其接口特性所应承载的内容，同时应描述该接口信号的传输方向（输入/输出）。

被测对象接口涉及内容广泛，为免疏漏，在对数字和模拟通道接口描述时，应包含以下信息：

a) 与数字和模拟通道相连的外围电气负载，可以原理图的形式呈现；

b) 信号类型(模拟量、开关量、PWM等)、收发频率、门限值、准确度设计要求；

c) 若该通道需要开展硬线信号故障注入测试，应确定接口外接属于执行器还是传感器；

d) 若有外接传感器，应给出关联传感器的电气特性；

e) 若有执行器，应给出关联执行器的电气特性。

通信协议用于仿真和接收被测目标文件总线通信信息，模拟与被测目标文件交互的虚拟节点。所有协议相关文件（如dbc、ldf）和通讯矩阵（至少包含：ID、消息长度、信号、发送频率/周期数据范围、数据分辨率）提供通讯矩阵每个信号的意义解释；对于状态信号，应在后续的功能描述文件中提供详细的状态转换逻辑说明；如果协议文件中存在校验，如CRC校验（或CheckSum），应在后续的功能描述文件中提供详细的校验算法说明。

4.3.2.3 被测控制器测试任务信息

测试任务描述应包括测试任务目标来源信息，任务相关的主要利益干系人，任务的直接下发团体及人员，描述任务发起人及主要利益干系人要求开展本次测试的目的、软件用途。在后续设计测试出口准则以及用例设计时应参考本部分内容。

在任务表述时，推荐包括下述其中一个或多个测试目标信息：

a) 测试完成后期望达到的质量/性能目标（可量化的指标）；

b) 测试未关闭问题的严重程度；

c) 测试功能覆盖范围与测试应完成的时间节点。

4.3.2.4 被测控制器测试环境参数

需收集与被测控制器运行环境相关的外围部件参数，如车辆参数、电池特性曲线、发动机万有特性曲线、电机MAP图等。被测控制器信息收集模板参见附录B。

4.4 制定测试计划

测试项目负责人根据被测控制器类型及输入信息，对被测控制器进行分析并确认以下内容：

a) 确定测试需求，根据被测控制器各个功能单元的测试要求，确定不同功能单元测试应覆盖的范围及范围所要求的覆盖程度（如分支覆盖率、语句覆盖率、功能覆盖率、功能单元的每一项应至少被一个正常的测试用例和一个被认可的异常测试用例所覆盖）；

b) 确定测试终止的要求：制定测试过程正常终止的条件（如测试充分性达到要求），确定导致测试过程异常终止的可能情况（如被测控制器某项功能未开发或被测控制器应用层功能生成代码异常）；

c) 确定测试的资源需求：包括软件（如试验管理软件、自动化测试软件、模型编辑软件及被测控制器标定诊断软件等）、硬件（如通用I/O、特殊硬件等）、人员数量、人员技能等；

d) 确定测试需要的技术和方法；

e) 根据测试任务书要求、被测控制器输入文件和被测控制器特点确定测试准出条件；

f) 对测试工作进行风险分析与评估，并制定对应的应对措施。

根据上述分析研究结果，制定出详细的测试计划，测试计划包含分解后的测试任务、起始时间、执行测试人员等信息。

4.5 输入资料分析及反馈

输入资料审核要求如下：

a) 输入资料应被描述和证明，证明文件由被测对象提供方提供，若没有相关文档或交付信息时，也应描述为无，此时代表测试之前未开展过任何调试或测试；

b) 不单包含计划内测试内容应该达到的质量，还应包含在测试期间测试需求发生变化的部分应该达到的质量；

c) 文档应描述被测对象在开展本次测试前所经历过的测试，内容应包括测试覆盖范围、测试级别、发现问题列表以及其整改情况。若未开展过任何测试，则应描述其开展过的调试情况，包括调试时长、调试环境模拟情况以及调试发现的问题及其更改记录。

对于不符合要求的输入资料进行及时反馈并跟踪收集情况。

4.6 测试环境搭建

测试环境一般性要求如下：

a) 测试环境可与被测对象进行数据交互；

b) 测试环境的运行步长应小于被测对象的程序运行最小步长；

c) 测试环境与被测对象交互部分的仿真程度应符合测试目标的要求。

所搭建的测试环境可同时包含开环部分与闭环部分，测试环境中被测对象输入的某个或多个信号与被测对象输出的某个或多个信号，在以下情况下应搭建闭环测试环境：

a) 相互间因被控对象存在关联关系；

b) 输出至某个控制器（该控制器为被测对象以外的虚拟节点）的某个或多个信号与接收的该控制器的某个或多个信号间有必然的逻辑关系。

5 硬件在环测试流程

5.1 概述

硬件在环测试流程包含激励测试、开环测试、闭环测试、自动化测试，其中激励测试、开环测试及闭环测试为必须测试流程，自动化测试可根据测试任务要求以及测试项目与时间的相关性选择是否进行自动化测试。针对有故障诊断功能的被测控制器，根据测试任务要求选择是否进行该项测试。

5.2 激励测试

激励测试主要针对硬件在环测试设备的通道进行测试，在上位机搭建测试工程，配置I/O通道的属性，通过BOB或HiL设备对外接插件进行测量，针对不同类型的I/O通道采用不同的测试方法，采用不同的测试仪器进行结果测量。

a) 模拟输出类信号：通过上位机测试工程人机交互界面控制模拟输出通道输出电压值，在HiL设备的对外接口端使用测试仪器（如万用表）进行信号测量，并录入激励测试表中进行记录，验证HiL设备输出精度；

b) 模拟输入类信号：在HiL设备的对外接口端使用信号发生器或电压信号源（精度高于HiL设备的电压采集精度），通过上位机测试工程人机交互界面观测模拟输入通道采集到的电压值，并录入激励测试表中进行记录，验证HiL设备模拟输入的电压采集精度；

c) 数字输出类信号：通过上位机测试工程人机交互界面控制数字输出通道输出有效电平/无效电平状态，在HiL设备的对外接口端使用测试仪器（如万用表）进行信号测量，并录入激励测试表中进行记录，验证HiL设备输出是否符合设置的电平状态；

d) 数字输入类信号：在HiL设备的对外接口端使用信号发生器或电压信号源（精度高于HiL设备的电压采集精度），通过上位机测试工程人机交互界面观测数字输入通道采集到的电平状态值，并录入激励测试表中进行记录，验证HiL设备数字输入通道的采样功能；

e) PWM输出类信号：通过上位机测试工程人机交互界面控制PWM输出通道的频率和占空比，在HiL设备的对外接口端使用示波器进行信号监测，捕获输出通道输出的波形并记录幅值、频率和占空比，并录入激励测试表中进行记录，验证HiL设备PWM输出通道的功能；

f) PWM输入类信号：在HiL设备的对外接口端使用信号发生器输出PWM波形，通过上位机测试工程人机交互界面观测PWM输入通道采集到的信号频率和占空比，并录入激励测试表中进行记录，验证HiL设备PWM输入通道的波形采集功能；

g) 电阻输出类信号：通过上位机测试工程人机交互界面控制电阻输出通道输出电阻值，在HiL设备的对外接口端使用测试仪器（如万用表）进行阻值测量，并录入激励测试表中进行记录，验证HiL设备电阻输出精度；

h) 程控电源输出信号的测量同模拟输出信号测量方式相同。

5.3 开环测试

搭建开环测试工程，将被测控制器与HiL设备连接，根据被测控制器的功能描述文档对被测控制器的功能以开环的形式进行验证，具体操作如下：

a) 搭建人机交互界面：根据不同的功能模块将对应所涉及的硬线及总线信号加载至界面；

b) 通过上位机人机交互界面控制程控电源输出电压给控制器供电；

c) 根据条目化的功能描述文档，梳理该项功能涉及的硬线及总线信号；

d) 根据功能描述要求给定对应的硬线及总线信号到被测控制器；

e) 通过标定软件或被测控制器的功能监控软件或总线和硬线变化来监控被测控制器是否达到期望的质量/性能目标；

f) 记录功能验证结果至开环测试报告。

5.4 闭环测试

闭环测试一般在开环测试之后进行，根据开环进行的结果，开展闭环测试，验证ECU的功能，具体步骤如下：

a) 闭环测试模型的搭建：根据被测控制器的功能描述文档及接口描述文档进行闭环测试模型的搭建，闭环测试模型为被测控制器提供了一个虚拟的运行环境，闭环测试模型根据不同的被测控制器所包含的模块不同，基本模块如：车辆动力学模型、被控对象模型（如发动机、电机本体、电池、充电桩等）、驾驶员模型、虚拟控制器模型、I/O接口模型等；

b) 搭建闭环测试工程：将被测控制器与HiL设备相连接，加载闭环测试模型、通讯协议类文件等完成闭环测试工程的搭建；

c) 在试验管理软件中搭建人机交互界面，通过人机交互界面与被测控制器进行数据交互；

d) 根据条目化的功能描述文档，进行被测控制器的功能验证，在验证过程中结合标定软件或被测控制器的功能监控软件或总线和硬线变化来监控被测控制器是否达到期望的质量/性能目标，对于出现的偏差或未能达到期望目标的情况对闭环测试模型进行调整优化；

e) 记录功能验证结果至闭环测试报告，形成闭环测试报告。

5.5 自动化测试

5.5.1 自动化测试概述

基于上述测试过程完成之后，可根据测试任务要求选择是否需要进行自动化测试，自动化测试为非必须项，自动化测试可以使被测控制器功能测试覆盖更全面、提高测试效率、节约人工和时间成本、加快产品开发迭代周期。

5.5.2 自动化测试的实施背景

当被测控制器的软件在后续开发活动中存在大量的回归测试，以及当被测控制器软件在测试时已较为明确计划开展工程变更时，应实施自动化测试。

另外，具有与时间相关的非功能性要求时，需要进行自动化测试，非功能性要求如下：

a) 当功能本身存在对操作间隔要求极小时应实施自动化测试。比如在时间间隔500 ms以内完成两个信号的操作，当探测到被测控制器发送某个信号时立刻发送另一个信号给被测对象；

b) 功能本身存在对信号操作的时间准确性要求以及操作间隔时间极长时应实施自动化测试。比如在操作某个信号后要求等待8 h后再进行下一步操作。

5.5.3 自动化测试脚本

5.5.3.1 测试环境配置与初始化

在测试开始之前需要导入要使用的测试环境以及相应的配置，以确保测试环境与被测对象、需要测试的内容以及测试用例匹配。

在测试开始执行前以及每个用例被执行之后，应将测试环境恢复至设定的初始状态，避免因初始状态不同对用例执行造成影响。

5.5.3.2 信号访问路径

应提前通过获取信号句柄或其他缩短对被操作信号访问过程的操作，来减少在实际测试执行时对信号的操作指令传递所带来的时间差，该时间差应小于被测试功能所要求时间的三分之一。

5.5.3.3 测试语言

在测试时可以通过关键字驱动或数据驱动的方式实施自动化测试，也可以通过定义一种测试语言的方式来实施测试。

当采用定义测试语言的方式实施测试时，由所选取测试语言中的元素并根据所设定的语义所组成的语句中应包含对需要读取、写入特定数值信号的时间要求，以及用于写入、校验的特定数值的代数、逻辑或变化上的要求。

5.5.4 自动化测试用例设计

5.5.4.1 基于需求的测试用例设计要求

根据测试目的以及需求本身可能带来的影响，针对条目化的内容逐一编写用例设计要求，在设计时除考虑对测试设计方法选用的要求外，还应采用对需求进行分类的方式进行测试设计。

在设计测试用例的同时对测试用例进行编号，编号规则需与前端功能描述文档或测试分析文档的编号规则有相似性。

测试用例具体测试内容的格式上应包含前置条件、输入变量及预期结果。

测试用例在编写后应进行评审，评审应由对功能了解的开发人员以及编写用例的测试人员共同参与，在评审完成后需及时编写会议纪要进行签批确认，或对于该次会议的评审范围进行当场修改并于一致通过后结束会议。

在使用下述测试用例设计要求时，可根据功能本身的分类不同来选取采取何种等级的测试用例设计要求。

相同的测试条件在不同的功能模块中，根据重要程度不同采用的设计测试方法也不同。本文件将功能分为三类：关键功能，辅助功能，信息采集功能。

- 关键功能：影响整机安全或能否行驶的功能；
- 辅助功能：影响车辆使用体验(包括驾驶体验)的功能；
- 信息采集功能：人体无法直接感受。

在根据测试设计要求设计用例时，对于不常被触发的关键功能，应按照辅助功能进行测试，对于不常触发的辅助功能，应按照信息采集功能进行测试，而对于经常使用的辅助功能应按照关键功能进行测试。

5.5.4.2 基于经验的测试设计要求

基于经验的测试设计不提出具体的基于经验的测试方法以及其具体实践办法,但要求功能测试应有定的自由度，应采取一定的基于经验的测试设计，如:探索性测试、错误推测、场景测试。

a) 探索性测试。如基于输入观察输出，并根据输出值决定之后改如何操作，同时可根据经验判断输出是否合理，发现缺陷并对功能描述文档进行补充。

b) 错误推测。利用已有经验及缺陷数据，创建缺陷列表，针对缺陷列表逐一验证，确保所设想程序可能出现的问题不存在或已被修复。

c) 场景测试。基于经验罗列用户可能出现的使用场景，针对场景逐一验证，确保用户在场景下使用时不会出现问题。

5.5.4.3 测试用例设计方法

目前按照被测控制器软件功能内容，主要可以划分为以下类别：

a) 阈值类：一般采用等价类、边界值测试用例设计方法；

b) 查表类：一般采用等价类、边界值测试用例设计方法；

c) 触发条件类：一般采用MCDC覆盖、判定覆盖测试用例设计方法；

d) 延迟触发类：一般采用等价类、边界值测试用例设计方法；

e) 故障类：一般采用等价类、强度测试测试用例设计方法；

f) 枚举类：一般采用等价类、真值表测试用例设计方法；

g) 多状态跳转类：一般采用状态转换、等价类、边界测试、MCDC覆盖、路径覆盖、分之覆盖等测试用例设计方法；

h) 迭代控制类：一般采用状态转换测试用例设计方法；

i) 公式类：一般采用错误推测、边界测试测试用例设计方法；

j) 配置类：一般采用等价类测试用例设计方法；

不同测试点应按照输出有效与无效相互交错的方式进行排序，即有效、无效、有效、无效，相互交替顺序执行。测试用例设计质量主要以测试质量目标的达成情况来判断，不应单独使用用例数量、覆盖率、方法应用来进行评判。

5.5.5 测试执行

5.5.5.1 测试记录

测试记录包含以下内容：

a) 测试结果数据：即测试用例执行后的结果，除了实际测试结果外，还应包含测试时间信息、测试执行人员信息。

b) 测试日志：详细记录测试过程的文档，包括待办事项及其完成情况、当天完成的测试范围、发现的测试问题、上报问题的时间、开发人员接收问题的时间、解决问题的时间(若未解决应转接至第2个工作日的待办事项)、异常事件记录等。

其中异常事件包括：测试时间计划变更、测试用例变更、测试范围变更、测试输入变更、开发/测试约定内容未达成、不可抗拒力(设备无征兆损坏、停电、上级领导介入导致等)。

若在测试开始前测试计划已具备任务模板，则可不填写测试日志。但若测试时间超过8个工作日时，无论有无模板均需填写测试日志。

测试日志在无需外界介入推进测试进度时，可不发送，但需要在结束后应与其他测试输出物一起归档。

c) 测试问题记录需包含以下内容：

1) 测试问题报告标识符：为该测试问题报告规定唯一的标识符；

2) 摘要：概述问题，标识涉及发现问题的测试项，并指出其严重级别；

3) 问题描述：包含测试项的编号、问题编号、输入描述及相关操作、预期结果、实际结果、 测试问题分析、修改意见、日期和时间、问题状态、解决方案等。

注：问题记录模板可以参照附录A设计。

5.5.5.2 测试全过程数据信息监测

在测试过程中应加入对部分数据的全程监测测试。监控是否有未定义的数据被发送，未定义的数据字段被赋值，数据发送周期异常等信息。

5.5.6 测试报告

测试报告是由测试工作组提交的最终测试结果报告，主要内容包括对测试对象功能及其它质量特性的综合评价、详细测试结果描述以及测试环境描述等。

测试报告应包含但不限于以下内容和要求：

a) 测试报告标识符：该测试报告规定的唯一的标识符，至少应包含测试开始日期、被测项目标识；

b) 测试输入信息：须包含被测对象版本信息(软件版本、硬件版本、配置版本等)、被测对象所依附的输入物版本信息；

c) 测试结论：应明确标明测试后该软件的质量状态与测试目的差异；

d) 测试内容：应建立功能描述文档与测试用例的对应追溯，或者其他用以表明测试范围、测试深度的内容；

e) 测试环境：

1) 应包含测试环境拓扑图；

2) 应包含测试环境软硬件配置信息，包括测试设备名称、型号等标识信息。

5.5.7 测试总结

测试总结指定测试活动的结果并根据这些结果进行评价，并对后续同类测试活动进行指导。

测试总结应包含但不限于以下内容和要求：

a) 测试总结报告标识符：为该测试总结报告规定唯一的标识符；

b) 摘要：

1) 总结对测试项的评价，标识已完成测试项，标注版本/修订级别及执行测试活动所处的环境；

2) 对于每个测试项，如果存在测试计划、测试日志、测试报告、问题报告，则可作为相关信息的引用文档。

c) 差异：实际测试实施项与预期测试实施项的全部差异，实际执行情况与测试计划的全部差异，并详细说明每种差异产生的原因；

d) 测试充分性评价：应根据测试计划中规定的测试充分性准则对测试过程做出评价，确定未作充分测试的特征或特征组合，并说明理由；

e) 结果汇总：汇总测试的结果，标识已解决问题的所有时间，并总结其解决方案，标识尚未解决的所有问题；

f) 活动总结：总结主要的测试活动，总结资源消耗数据，例如:人员的总体配置水平、每个主要测试活动所花费的时间；

g) 改进项：根据以上信息得出，在后续测试活动中需要改进的内容，并确定改进期限与责任人；

h) 批准：记录测试过程中涉及的所有人员的姓名和职务，并为审批人员签名和日期留出位置。

6 测试过程问题管理

6.1 测试问题的状态

发现问题的人员需要将问题录入问题库。问题登记后，提交前可以编辑，补充问题记录的信息。在问题的提出到关闭过程中，测试人员和开发人员需要跟踪问题的状态。

问题的状态一般分为Open(打开的)、Fixed(已修复的)、Reiected(被驳回的) Verified(验证通过的)、Closed(关闭的)、Reopen(再次打开)、Deferred(延期处理)，具体定义和执行流程如下：

a) Open(打开的)：当某个问题被发现的时候，测试人员需要与项目负责人沟通以确认发现问题的有效性。确认问题后进行记录，并将问题的状态设为“Open”。开发人员处理问题的过程中，状态设置保持为“Open”，这表示开发人员正在处理这个问题；

b) Fixed(已修复的)：当开发人员进行处理并认为已经解决问题之后，将问题的状态设置为“Fixed”并将其提交给开发组的负责人，由开发组的负责人将问题反馈给测试组；

c) Verified(验证通过的)：测试人员得到已修复的问题和新的软件版本，经过相同的步骤测试 后如判定问题已经修复，将问题改为验证通过；

d) Reiected(被拒绝的)：开发人员接收问题后进行确认，如果确认符合功能描述或者经过与开 发人员的讨论之后认为问题无效，开发组负责人可将问题的状态设置为“Reiected”；

e) Closed(已关闭的)：测试人员经过再次测试确认问题已经被解决，或者问题已经被判定为被拒绝状态，经与开发人员达成一致意见后，测试组的负责人将问题的状态设置为“Closed”；

f) Reopen(再次打开)：如果经过再次测试发现问题仍然存在，测试人员将问题再次传递给开发组，并将问题的状态设置为“Reopen”；

g) Deferred(延期处理)：开发人员和测试人员评审后，需要将不在本轮测试计划内进行修改的问题设置为“Deferred”。

6.2 测试问题确认

当问题被提出之后，测试人员需要将其提交给开发人员。开发人员需确认问题有效性并对已确认的问题进行修改。

当开发人员发现符合正常功能描述，或者经过与开发人员的讨论之后认定问题无效，开发组负责人将问题的状态设置为“Reiected”。如果开发人员确认问题，需要对问题进行分析和修改。

测试问题的分配规则为问题由测试人员传递至开发人员后，定位该问题的责任人。一般有两种分配方式：

a） 测试人员分配问题：当有提前被公示的、正式的文件或信息表明问题责任人指向时，由测试人员将问题的负责人指定为具体人员；

b） 开发人员分配问题：当没有提前被公示的、正式文件或信息可以对问题责任人进行清晰指向时，由开发组负责人进行分配。

6.3 测试问题修改

测试问题传递至开发人员后，开发人员需要对问题进行修改并定位问题的解决方法。开发人员需要定位问题产生的原因，判定修改涉及的文件、源代码、配置、脚本等。

定位问题后，开发人员需要针对问题修改造成问题的代码、配置或脚本等。开发人员修改完成后将生成新的软件版本，并把问题状态改为“Fixed”并传递回测试人员。

6.4 测试问题验证关闭

测试问题经开发人员修改后提交至测试人员，测试人员需要按照一定的规则对修改过的问题进行验证和关闭处理，问题关闭验证后的处理原则如下：

a） 测试人员对“Fixed”已修复状态的问题进行再测试，测试步骤应当按照记录的步骤进行重现，确认问题已解决后，关闭问题。

b） 对于状态为“Rejected”即开发人员驳回的问题。若测试人员对开发人员的回复不存在异议，可以直接将问题状态改为“Closed”关闭；若测试人员对开发人员的回复存在异议，则需进行测试问题评审，具体要求如下：

1) 测试人员确认问题无法复现，关闭问题；

2) 回归测试验证不通过的问题，应驳回给开发人员，问题状态为“Reopen”即重新打开；

3) 对于被开发人员拒绝的问题，需要进行问题评审，评审为问题则需要修改问题状态为“Reopen”重新打开，评审为非问题则可以修改问题状态为“Closed”关闭。

6.5 测试问题评审

6.5.1 问题评审总体要求

开发人员拒绝修改的问题，需要根据一定的要求进行评审，评审过程在满足公开、有效的基础上开展并形成对于测试问题的定性及对应的处理决议。

6.5.2 问题评审人员要求

针对“Reiected”状态且测试人员和开发人员存在异议的问题，可以对测试问题提出评审。评审人员通常由测试负责人、开发负责人、项目经理以及熟悉产品和行业，能够评价项目进展问题并提出解决办法的专家担任。

6.5.3 问题评审流程要求

测试问题的评审应满足以下要求：

a) 评审由测试人员发起，与项目经理协商后，确定评审时间和评审人员；

b) 确定评审时间后，提前将需评审的问题进行整理并发送给相关评审人员；

c) 评审会议上对问题清单进行一一评审，并在创建测试问题评审表；

d) 测试人员参照测试问题评审表对问题状态进行修改。

6.5.4 问题评审结论要求

测试问题的评审结论应满足以下要求：

a) 评审人员需要对“Reiected”状态的问题进行判断。若确定为非问题需将问题状态改头“Closed”，并标注说明确认为非问题的原因。若确认为问题，将问题状态改为“Reopen”并指派给相应的开发人员或者将问题状态更改为“Deferred”；

b) 评审人员判定为Deferred”的问题，需标注说明延期处理原因；

c) 评审人员在问题“Deferred”即延期修改后，需要约定时间将问题重新打开，并将问题状态更改为“Reopen”，并指派给相应的开发人员进行修改。

6.6 测试问题跟踪

测试问题处理过程中未能及时关闭的问题需要进行跟踪管控，按照评审决议及时进行相应的处理避免因为该类问题处理不当对软件功能造成不良影响。若问题延期，处理办法如下：

对于轻微级别的问题，如果开发人员设置为“Deferred”状态，测试人员在验证时，需要将问题状态修改为不做处理，可关闭相关问题。

在测试过程中，由于技术或者时间因素导致的需要延期处理的问题，作为本次任务的遗留问题(原则上只包括严重和中等级别的问题)。

6.7 测试问题总结

测试过程中发现的所有问题都应进行总结和管理，并在此基础上形成规范流程改善方案，杜绝同类问题的出现以提高测试的有效性。

6.8 测试问题分析

测试问题的分析可考虑以下几个维度的内容：

a) 问题分布分析：可以表格的形式列出问题所在软件模块的分布情况，然后根据二八原则判断分析系统的主要问题集中区域，并给出文字说明；

b) 问题产生的原因：分析问题产生的原因，为进一步改进软件开发过程提供依据；

c) 功能问题严重级别分布：可根据问题的严重级别以堆积图的形式表示出各模块的问题分布情况，并加以具体文字描述；

d) 测试效率：在不同阶段对不同模块、人员设计的用例进行分析，统计发现问题所需的最少用例长度。

附　录　A　测试问题模板

A.1　测试问题库模板

测试问题库内容参考模板，参照表A.1内容。

表A.1　测试问题模板

	测试问题报告标识符											
问题编号	用例标号	记录日期	软硬件版本信息	问题描述	问题原因	解决方案	严重等级	发生频次	问题状态	责任人	提报人	关闭日期

测试问题报告标识符：为测试问题报告规定唯一的标识符。

问题描述：给出测试项的编号、问题编号、输入描述及相关操作、预期结果、实际结果、测试问题分析、修改意见、日期和时间、问题状态、解决方案等。以下为必选记录信息：

a) 测试问题的编号：标识问题唯一性的标识；

b) 测试用例标号：发现该问题的用例，如果存在多个用例均发现该测试问题时，选择最具代表性的用例；

c) 记录日期：问题发现的日期或更详细的时间；

d) 软\硬件版本信息：被测控制器的应用层软件版本及硬件版本信息；

e) 故障描述：包含测试步骤、预期结果、实测结果；

f) 问题原因：问题发生的场景、前置条件；

g) 解决方案；

h) 问题状态：如果问题为持续性解决的问题，记录问题当前的状态，及解决进度；

i) 提报人、责任人：提报人为发现问题的人员，责任人负责问题的解决。

附　录　B　被测控制器信息收集模板

B.1　EMS信息收集模板

被测控制器为EMS的，需要收集与EMS相关的信息参照附表B.1内容进行资料收集。

表B.1　EMS 信息收集模板

EMS 信息需求汇总			
序号	文件名	说明	备注
1	发动机万有特性试验数据	发动机万有特性试验数据	需要将标定软件和台架进行通讯，记录万有数据
2	发动机摩擦功试验数据	发动机摩擦功试验数据	
3	发动机结构参数	发动机结构参数	
4	EMS 控制参数	ECU 控制参数	
5	供油系统数据	供油系统数据	
6	增压器数据	增压器数据	
7	进排气系统数据	进排气系统数据	
8	排气后处理数据	排气后处理数据	
9	冷却系统数据	冷却系统数据	
10	废气浓度	废气浓度	
11	车辆基本参数	车辆基本参数	
12	EMS 电气原理图、管脚定义、信号说明	控制器电气原理图和各管脚信号的类型、说明	
13	系统结构简图	发动机、整车系统组成	
14	系统网络拓扑图	各控制器的网络拓扑	
15	ECU 传感器、执行器特性文件	各传感器、执行器的特性描述，如电气特性与物理特性关系	
16	曲轴凸轮轴相位关系图	描述发动机曲轴、凸轮轴齿盘信号及相位关系的文件	
17	CAN 数据库 DBC 文件和通讯规范文件	dbc 文件及说明	

18	喷油器、高压泵电磁阀、节气门等真实部件及接插件、线束	真实部件及接口线束	
19	EMS 控制器、接插件及线束	真实控制器及接口线束	
20	其他需要集成的真实负载		
21	标定/诊断工具硬件、工程文件、变量参数说明	标定工具硬件（如 INCA），A2L\HEX\ODX 等文件，控制器内部变量说明	
22	EMS 需要注入故障的管脚和故障类型	控制器哪些管脚需要进行故障注入，以及故障注入的形式，如开路、对地短路	
23	EMS 功能描述文件及整车上下电逻辑描述文件	功能说明	

B.2 VCU信息收集模板

被测控制器为VCU的，需要收集与VCU相关的信息参照附表B.2内容进行资料收集。

表B.2 VCU 信息收集模板

VCU 信息需求汇总			
序号	文件名	说明	备注
1	电机特性参数	包含电机总体参数及转速扭矩表等	
2	电池特性参数	包含电池基本参数、冷却系统参数、充放电特性曲线等	
3	变速箱特性参数	包含变速箱结构参数、换档逻辑表、选换档结构简图等	
4	车辆总体结构参数	包含车辆的基本信息如：整车质量、轮胎半径、主减速器传动比、车辆迎风面积、滚动阻力系数等	
5	动力系统结构简图	整车结构图	
6	整车网络拓扑图	整车网络关系图	
7	传感器/执行器特性文件	特性文件	
8	VCU 电气原理图、管脚定义、信号说明	控制器电气原理图和各管脚信号的类型、说明	
9	CAN 数据库 DBC 文件和通讯规范文件	dbc 文件及说明	
10	VCU 控制器、接插件及线束	真实控制器及接口线束	

11	其他需要集成的真实负载		
12	标定/诊断工具硬件、工程文件、变量参数说明	标定工具硬件（如 INCA），A2L\HEX\ODX 等文件，控制器内部变量说明	
13	VCU 需要注入故障的管脚和故障类型	控制器哪些管脚需要进行故障注入，以及故障注入的形式，如开路、对地短路	
14	VCU 功能描述文件及整车上下电逻辑描述文件	功能说明	

B.3 BMS信息收集模板

被测控制器为BMS的，需要收集与BMS相关的信息参照附表B.3内容进行资料收集。

表B.3 BMS 信息收集模板

BMS 信息需求汇总			
序号	文件名	说明	备注
1	电机特性参数	包含电机总体参数及转速扭矩表等	
2	电池特性参数	包含电池基本参数、冷却系统参数、充放电特性曲线等	
3	变速箱特性参数	包含变速箱结构参数、换档逻辑表、选换档结构简图等	
4	车辆总体结构参数	包含车辆的基本信息如：整车质量、轮胎半径、主减速器传动比、车辆迎风面积、滚动阻力系数等	
5	动力系统结构简图	整车结构图	
6	整车网络拓扑图	整车网络关系图	
7	传感器/执行器特性文件	特性文件	
8	BMS 电气原理图、管脚定义、信号说明	控制器电气原理图和各管脚信号的类型、说明	
9	CAN 数据库 DBC 文件和通讯规范文件	dbc 文件及说明	
10	BMS 控制器、接插件及线束	真实控制器及接口线束	
11	其他需要集成的真实负载	如高压继电器	
12	标定/诊断工具硬件、工程文件、变量参数说明	标定工具硬件（如 INCA），A2L\HEX\ODX 等文件，控制器内部变量说明	

13	BMS 需要注入故障的管脚和故障类型	控制器哪些管脚需要进行故障注入，以及故障注入的形式，如开路、对地短路	
14	BMS 功能描述文件及整车上下电逻辑描述文件	必须包含高压回路原理图及高压上下电流程、充电流程等	

B.4 MCU信息收集模板

被测控制器为MCU的，需要收集与MCU相关的信息参照附表B.4内容进行资料收集。

表B.4 MCU 信息收集模板

MCU 信息需求汇总			
序号	文件名	说明	备注
1	电机特性参数	包含电机总体参数及转速扭矩表等	
2	电池特性参数	包含电池基本参数、冷却系统参数、充放电特性曲线等	
3	变速箱特性参数	包含变速箱结构参数、换档逻辑表、选换档结构简图等	
4	车辆总体结构参数	包含车辆的基本信息如：整车质量、轮胎半径、主减速器传动比、车辆迎风面积、滚动阻力系数等	
5	动力系统结构简图	整车结构图	
6	整车网络拓扑图	整车网络关系图	
7	传感器/执行器特性文件	特性文件	
8	MCU 电气原理图、管脚定义、信号说明	控制器电气原理图和各管脚信号的类型、说明	
9	CAN 数据库 DBC 文件和通讯规范文件	dbc 文件及说明	
10	MCU 控制器、接插件及线束	真实控制器及接口线束	
11	其他需要集成的真实负载		
12	标定/诊断工具硬件、工程文件、变量参数说明	标定工具硬件（如 INCA），A2L\HEX\ODX 等文件，控制器内部变量说明	
13	MCU 需要注入故障的管脚和故障类型	控制器哪些管脚需要进行故障注入，以及故障注入的形式，如开路、对地短路	

14	MCU 功能描述文件及整车上下电逻辑描述文件	功能说明	

B.5 TCU信息收集模板

被测控制器为TCU的，需要收集与TCU相关的信息参照附表B.5内容进行资料收集。

表B.5 TCU 信息收集模板

TCU 信息需求汇总			
序号	文件名	说明	备注
1	变速箱机构参数	输入输出轴转动惯量及各挡速比等参数	
2	换挡电磁阀逻辑表		
3	变速箱机械结构简图		
4	液压执行机构简图		
5	车辆基本参数		
6	TCU 电气原理图和管脚定义		
7	传感器/执行器特性文件	特性文件	
8	TCU 电气原理图、管脚定义、信号说明	控制器电气原理图和各管脚信号的类型、说明	
9	CAN 数据库 DBC 文件和通讯规范文件	dbc 文件及说明	
10	TCU 控制器、接插件及线束	真实控制器及接口线束	
11	其他需要集成的真实负载	电磁阀总成、接插件及线束	
12	标定/诊断工具硬件、工程文件、变量参数说明	标定工具硬件（如 INCA），A2L\HEX\ODX 等文件，控制器内部变量说明	
13	TCU 需要注入故障的管脚和故障类型	控制器哪些管脚需要进行故障注入，以及故障注入的形式，如开路、对地短路	
14	TCU 功能描述文件及整车上下电逻辑描述文件	功能说明	

参考文献

[1] T/CSAE 177—2021 电动汽车车载控制器软件测试规范

[2] T/CSAE 41-2015 电动汽车整车控制器测试评价规范

[3] Q/SY 1355.1-2010 计算机软件测试规范 第1部分：单元测试

[4] ISO/IEC/IEEE 29119-2：2013 Software and systems engineering — Software testing — Part 2：Test processes