

团体标准

T/CICEIA/CAMSXXXX—XXXX

柴油机虚拟标定系统

Virtual calibration system of diesel engine

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中国内燃机工业协会
中国机械工业标准化技术协会

发布

目 次

前 言..... II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 系统组成 2

 4.1 系统组成简图 2

 4.2 系统组成描述 3

5 技术要求 3

 5.1 技术要求分类 3

 5.2 测控系统 3

 5.2.1 测功机模型 3

 5.2.2 测控软硬件 3

 5.3 被控对象模型技术要求 4

 5.3.1 被控对象模型的组成 4

 5.3.2 被控对象模型的精度要求 4

 5.4 硬件系统闭环信号精度技术要求 6

 5.5 系统综合调试精度技术要求 9

6 测试检验方法 12

 6.1 被控对象模型离线仿真检验方法 12

 6.1.1 稳态试验偏差测试和计算方法 12

 6.1.2 瞬态试验偏差测试和计算方法 13

 6.2 硬件在环闭环调试测试检验方法 15

 6.3 虚拟标定系统综合调试测试检验方法 16

 6.3.1 稳态试验偏差检验方法 16

 6.3.2 瞬态偏差计算检验方法 17

附 录 A （规范性） 稳态试验离线仿真输入参数表 20

附 录 B （规范性） 瞬态试验离线仿真输入参数表 22

前 言

本文件按照GB/T1.1-2020《标准化工作导则第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国内燃机工业协会提出。

本文件由中国内燃机工业协会标准化工作委员会归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次发布。

柴油机虚拟标定系统

1 范围

本文件规定了满足国3至国6b阶段排放法规的四冲程柴油机虚拟标定系统术语及定义、功能描述、指标要求、测试度量方法。

本文件适用于柴油机虚拟标定系统。未来，满足国7排放标准的四冲程柴油机虚拟标定系统也可以参照执行。

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。

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）

GB 18352.6-2016 轻型汽车污染物排放限值及测量方法（中国第六阶段）

T/CAMS/CICEIA 41.1-2020 柴油机电子控制单元可靠性技术条件 第1部分：硬件

ISO 26262-1:2018 道路车辆功能安全性 第1部分：词汇表

3 术语和定义

JB/T 2379-2016、GB/T 10066.1-2019、GB/T 23150-2024界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

虚拟标定 virtual calibration

一种利用计算机仿真模型替代或部分替代物理实体（如整车、发动机或子系统），在虚拟环境中对整车、内燃机或子系统控制器中的控制参数进行优化和验证的技术。

3.2

硬件在环 hardware in loop

一种半实物仿真技术，将真实的控制器硬件（也可以包含受控制器控制的执行器硬件，诸如柴油机的节气门、喷油器、EGR 阀门等）与虚拟的仿真模型连接形成闭环系统，用于对控制器进行高效、安全的测试、验证和标定工作。

3.3

离线仿真 offline simulation

模型运行所需要的输入信号不来自于基于硬件在环系统测试控制器单元的驱动信号二次计算得到的数据情况下的仿真。

3.4

在线仿真 online simulation

模型运行所需要的输入信号来自于基于硬件在环系统测试控制器单元的驱动信号二次计算得到的数据情况下的仿真。

3.5

实时处理计算机 real time processing computer

一种用于实时运行被控对象仿真模型并与真实控制器交互信号的计算机。

3.6

板卡 board

安装在机箱插槽中的专用硬件模块，承担信号采集、输出、通信及故障模拟等功能，在在线仿真状态下，为被测控制器与仿真模型提供物理交互接口。

3.7

被控对象模型 controlled objective model

通过数学方程实时模拟真实物理系统（如车辆、发动机或任意子系统、零部件）的虚拟实体，在在线仿真模式下是与在环控制器交互信号的对象。

3.8

系统综合调试 integrated system debugging

在被控对象模型集成到实时处理计算机和硬件在环工程调试达标的基础上，依据前期模型开发试验内容在虚拟标定系统上开展的背靠背用于验证系统可靠性的调试工作。

3.9

接口模型 interface model

用作某类型模型与其它类型模型之间输入和输出交互连接模块，在虚拟标定系统中一般表现为simulink 工具的 switch 模块，每个信号均有一个明确的接口模块。所有一类信号的接口模块封装在一起称为接口模型。

3.10

虚拟台架变量 virtual testbed variable

在柴油机虚拟标定系统上开展试验时，测控系统软件记录到的被控对象模型运算得到的仿真结果和与被测控制器适配标定软件记录的电控变量结果。本标准公式中下标为“VTB”或含“VTB”的变量即为此类变量。

3.11

实体台架变量 engine testbed variable

在柴油机实体台架上开展试验时测控系统软件记录到的测量结果，包括来自排放测试设备、燃烧分析仪、温度传感器、压力传感器、流量传感器和与被测控制器适配标定软件记录的电控变量结果。本标准公式中下标为“ETB”或含“ETB”的变量即为此类变量。

3.12

离线仿真变量 offline simulation variable

开展离线仿真得到的模型计算结果。本标准公式中下标为“SIM”或含“SIM”的变量即为此类变量将液氨罐输出的氨气减压后并保持一个稳定压力的机电装置。

4 系统组成

4.1 系统组成简图

虚拟标定系统的软硬件功能模块如图 1 所示。

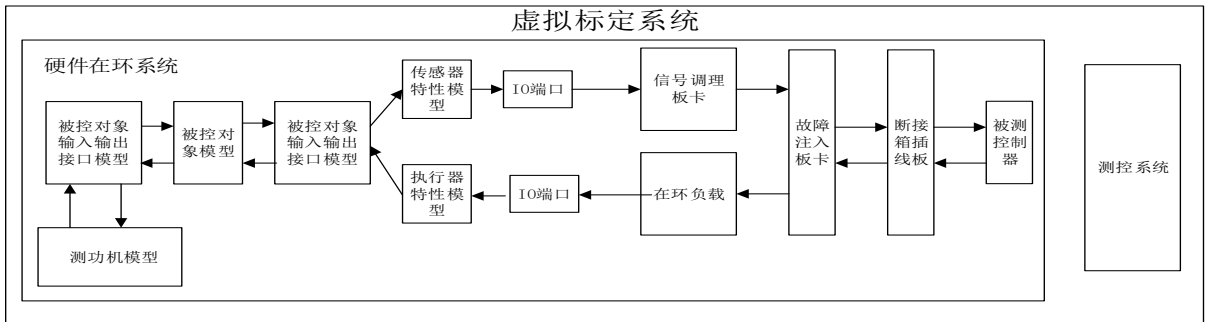


图1 柴油机虚拟标定系统组成

4.2 系统组成描述

虚拟标定系统的软硬件功能模块描述如表 1 所示。

表 1 虚拟标定系统的组成描述

序号	内容	描述
1	测功机模型	对测功机物理系统进行数学或计算机抽象表达，用于模拟其在动力测试中的工作原理、负载特性和控制行为
2	被控对象模型	见术语和定义 3.7
3	被控对象输入输出接口模型	连接被控对象模型，传递被控对象模型运行所需的输入和计算结果输出数字信号的接口模型
4	传感器特性模型	将被控对象模型输出的数字信号值转换为模拟量信号值的模型
5	执行器特性模型	将板卡测量的模拟量信号值转换为数字信号的模块
6	IO 端口	板卡和负载箱的输入输出物理针脚接口
7	信号调理板卡	安装在机箱插槽中的专用硬件模块，承担信号采集、输出、通信及故障模拟等核心功能，为被测控制器与被控对象模型提供物理交互接口
8	在环负载	通过硬线连接接收被测控制器控制信号的执行器，诸如节气门、喷油器、尿素喷嘴等实体对象
9	故障注入板卡	硬件在环系统的专用模块，可以模拟电气故障来验证被测控制器的可靠性和安全性
10	断接箱插线板	连接被测控制器与硬件在环系统板卡，实现信号安全转接与灵活调度的接线板
11	测控系统	记录被控对象模型计算结果和控制被控对象模型运行状态以及组织试验的数字化系统，具体包括测功机模型和测控软硬件

5 技术要求

5.1 技术要求分类

柴油机虚拟标定系统技术要求包括测功机模型和测控系统要求、被控对象模型精度技术要求、硬件在环系统闭环调试信号精度技术要求、系统综合调试精度技术要求。

5.2 测控系统

5.2.1 测功机模型

测功机模型应包含三部分内容：常数模块，起动机模块以及测功机模块。常数模块用于定义模型中计算所需要用到的信号限值，转动惯量等，并完成信号调用设置；起动机模块用于模拟起动机扭矩控制输出；测功机模块用于仿真计算出发动机曲轴的净扭矩，同时结合系统转动惯量计算出发动机角加速度，并最终通过角加速度进行积分计算出发动机转速。总的说来，该测功机模型通过接收来自测控系统软件的需求信号，计算输出扭矩，转速等参数，将信号反馈给测控软件，最终形成闭环运算。

5.2.2 测控软硬件

测控软件应至少能够支持转速/油门、转速/扭矩、油门/扭矩模式开展稳态手动和自动试验，能够自定义工况稳定时间、过渡时间、记录时间参数，能够具有以逐点记录和按照时间戳记录试验结果数据、系统状态数据和通过其它形式传递的数据的功能，应能够导入发动机标准外特性数据自动生成外特性试验程序，应能够基于导入的发动机标准外特性数据自动生成国六法规瞬态循环试验程序，应能够支持在自定义模式下制定自定义工况点瞬态循环工况程序，应具备外部接口功能确保能够接受外部输入的转速/油门/扭矩控制目标。在硬件方面，应具备2路以上CAN通讯接口，每一路CAN通讯的最大采集频率应≥100Hz。应具备不同模式下跟随控制所选择控制模式定义的变量调节物理旋钮。

在柴油机虚拟开发平台上开展稳态或瞬态试验时，测控系统软硬件应保证发动机工况能够按照规划的目标值得到准确、快速和稳定的控制。要求控制器与测功机模型之间的通讯频率 $\geq 1\text{kHz}$ ，控制器运算主频应 $\geq 1\text{kHz}$ 。

5.3 被控对象模型技术要求

5.3.1 被控对象模型的组成

柴油机虚拟标定系统被控对象模型包括发动机模型和后处理模型，发动机和后处理被控对象模型模型精度应在稳态和瞬态工况下都满足一定的标准才能够集成到硬件在环系统的实时处理计算机开展后续工作。图2为发动机和后处理模型结构示意图。后处理模型对应图2示的尾气后处理系统。发动机模型应包含进气边界、进气管路、空滤器、压气机、涡轮机、空滤、中冷器、节气门、汽缸、排气管路、涡轮机、排气边界、EGR管路、EGR冷却器、文丘里管、EGR阀结构。若建模实际对象机型为非EGR机型，则发动机模型中没有图2中的EGR回路部分。

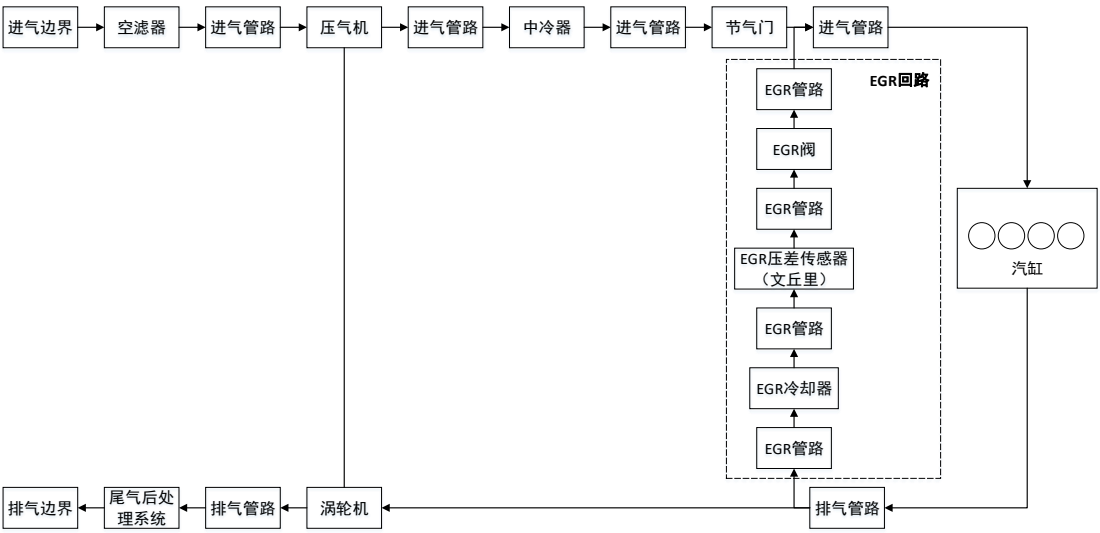


图2 柴油机虚拟标定系统被控对象模型结构简图

5.3.2 被控对象模型的精度要求

被控对象模型要满足稳态工况和WHTC瞬态循环工况两个维度下的精度要求。表2稳态工况下的精度标准，表3瞬态工况下的精度标准。

表 2 被控对象模型稳态工况离线仿真精度标准

序号	参数	单位	允许偏差	合格率标准
1	发动机扭矩	Nm	$\pm 3\%$	$\geq 85\%$
2	进气流量	kg/h	$\pm 5\%$	$\geq 90\%$
3	燃油消耗量	kg/h	$\pm 6\%$	$\geq 90\%$
4	排气流量	kg/h	$\pm 7\%$	$\geq 90\%$
5	增压器转速	kr/min	$\pm 5\text{kr/min}$	$\geq 90\%$
6	增压器压端效率	%	$\pm 3\%$	$\geq 90\%$
7	增压器涡端效率	%	$\pm 3\%$	$\geq 90\%$
8	进气温度	$^{\circ}\text{C}$	$\pm 5^{\circ}\text{C}$	$\geq 90\%$
9	压气机出口进气温度	$^{\circ}\text{C}$	$\pm 10^{\circ}\text{C}$	$\geq 90\%$

表 2 被控对象模型稳态工况离线仿真精度标准(续)

序号	参数	单位	允许偏差	合格率标准
10	中冷后进气温度	℃	±10℃	≥90%
11	进气总管温度	℃	±10℃	≥90%
12	涡前排气温度	℃	±20℃	≥90%
13	涡后排气温度	℃	±20℃	≥90%
14	进气负压相对压力	kPa	±2kPa	≥90%
15	中冷前进气相对压力	kPa	±10kPa	≥90%
16	中冷后进气相对压力	kPa	±10kPa	≥90%
17	进气总管相对压力	kPa	±10kPa	≥90%
18	涡前排气相对压力	kPa	±20kPa	≥90%
19	涡后排气相对压力	kPa	±2kPa	≥80%
20	EGR 流量	kg/h	±10kg/h	≥90%
21	EGR 率	%	±5%	≥80%
22	EGR 出口气体相对压力	kPa	±10kPa	≥80%
23	EGR 出口气体温度	℃	±10℃	≥80%
24	原始排放 NO _x 气体浓度	ppm	±10%	≥85%
25	原始排放比 NO _x	g/(kWh)	±0.5g/(kWh)	≥85%
26	比油耗	g/(kWh)	±3%	≥85%
27	性能爆压	bar	±10bar	≥90%
28	燃油喷射时刻缸内压力	bar	±4bar	≥95%
29	MFB50	° CA	±1° CA	≥95%
30	IMEP _H	bar	±0.3bar	≥95%
31	IMEP _L	bar	±0.1bar	≥95%
32	IMEP	bar	±0.3bar	≥95%
33	FMEP	bar	±0.1bar	≥95%
34	燃烧起始点	° CA	±1° CA	≥95%
35	充气效率	%	±3%	≥95%

表 3 被控对象模型瞬态工况离线仿真精度标准

序号	关键参数	单位	允许偏差	合格率标准
1	发动机扭矩	Nm	±3%	≥85%
2	进气流量	kg/h	±5%	≥90%
3	燃油消耗量	kg/h	±5%	≥90%
4	排气流量	kg/h	±5%	≥90%
5	增压器转速	kr/min	±10kr/min	≥90%
6	增压器压端效率	%	±5%	≥80%
7	增压器涡端效率	%	±5%	≥80%
8	进气温度	℃	±5℃	≥90%
9	压气机出口温度	℃	±10℃	≥85%
10	中冷后进气温度	℃	±10℃	≥90%
11	进气总管温度	℃	±10℃	≥90%
12	涡前排气温度	℃	±20℃	≥90%
13	涡后排气温度	℃	±20℃	≥90%
14	DOC 入口排气气体温度	℃	±20℃	≥80%
16	DOC 载体温度	℃	±20℃	≥80%
17	DOC 出口排气气体温度	℃	±20℃	≥80%

序号	关键参数	单位	允许偏差	合格率标准
19	DPF 载体温度	℃	±20℃	≥80%
20	DPF 出口排气气体温度	℃	±20℃	≥80%
22	SCR 入口排气气体温度	℃	±20℃	≥80%

表 3 被控对象模型瞬态工况离线仿真精度标准（续）

序号	关键参数	单位	允许偏差	合格率标准
23	SCR 载体温度	℃	±20℃	≥80%
24	SCR 出口排气气体温度	℃	±20℃	≥80%
25	ASC 载体温度	℃	±20℃	≥80%
26	ASC 出口排气气体温度	℃	±20℃	≥80%
28	进气负压相对压力	kPa	±10 kPa	≥90%
29	中冷前进气相对压力	kPa	±10 kPa	≥90%
30	中冷后进气相对压力	kPa	±10kPa	≥90%
31	进气总管相对压力	kPa	±10kPa	≥85%
32	涡前排气相对压力	kPa	±20kPa	≥90%
33	涡后排气相对压力	kPa	±2kPa	≥80%
34	DOC 入口排气相对压力	kPa	±2kPa	≥80%
35	DOC 出口排气相对压力	kPa	±2kPa	≥80%
36	DPF 出口排气相对压力	kPa	±2kPa	≥80%
37	DPF 压差	kPa	±2kPa	≥80%
38	SCR 入口排气相对压力	kPa	±2kPa	≥80%
39	SCR 出口排气相对压力	kPa	±2kPa	≥80%
40	ASC 出口排气相对压力	kPa	±2kPa	≥80%
41	EGR 流量	kg/h	±40kg/h	≥70%
42	EGR 率	%	±5%	≥80%
43	EGR 出口气体相对压力	kPa	±10kPa	≥80%
44	EGR 出口气体温度	℃	±10℃	≥80%
45	原始排放 NO _x 气体浓度	ppm	±10%	≥90%
46	累计进气量	kg	±5%	—
47	累计油耗	kg	±3%	—
48	累计原始排放 NO _x	g	±10%	—
49	累计尾管排放 NO _x	g	±20%	—
50	累计尾管排放 HC	g	±20%	—
51	累计尾管排放 CO	g	±20%	—
52	累计尾管排放 Soot	mg	±20%	—
53	累计尾管排放 NH ₃	g	±20%	—
54	累计尾管排放 N ₂ O	g	±20%	—
55	累计尾排 CO ₂	g	±3%	—
56	循环累计功	kWh	±3%	—
57	循环平均比油耗	g/(kWh)	±0.5g/(kWh)	—
58	循环平均涡前排气温度	℃	±20℃	—
59	循环平均涡后排气温度	℃	±20℃	—
60	循环平均比 NO _x	g/(kWh)	±0.5g/(kWh)	—

5.4 硬件系统闭环信号精度技术要求

柴油机虚拟标定系统硬件在环要从板卡通道类型、数量、通道精度角度满足柴油机控制器输入和输出信号要求。在具体的应用中可根据被测控制器具体的要求如表4所示。满足各阶段排放标准的柴油机和动力总成级别的拓展应用均可在表4基础上根据控制器具体情况选择使用。虚拟标定系统在投入应用前应完成闭环调试工作，闭环调试关键参数及参数精度标准如表5所示。

表4 柴油机虚拟标定系统板卡通道类型、数量和通道精度要求

信号类型	通道数量	通道精度要求
电压信号输入	8	测量量程 0-60V， 分辨率 16 位。
PWM/PFM 信号输入	86	触发值范围 0-24V； 电压量程 0-60V。
喷射/点火电压信号输入	14	电压量程 0-60V； 触发值范围 0-24V。
曲轴/凸轮轴电压信号输出	4	输出电压 $\pm 20V$ ； 输出电流 $\pm 40A$ ； DAC 分辨率 16 位； 信号频率 0-140kHz。
电压信号输出	38	输出电压范围 0-10V； 输出电流范围 $\pm 5mA$ ； 分辨率 14 位。
PWM/PFM 信号输出	48	高边电压范围 5-60V； 电流范围 $\pm 80m$ 。
电阻信号输出	12	电阻范围 $17.5\Omega - 1M\Omega$ ； 电压范围 $\pm 20V$ ； 电流范围 $\pm 40mV$ 。
电源控制输出	14	最高 60V； 每通道持续电流 4x6A；
CAN 通讯	8	CAN/CAN FD（符合 ISO 11898-1、ISO 11898-5、ISO 11898-6 及非 ISO 标准）

表 5 闭环信号精度调试关键参数精度标准

序号	评价指标	单位	允许偏差	合格率标准
1	油门	%	$\pm 3\%$	$\geq 75\%$
2	轨压	bar	$\pm 10\%$	$\geq 85\%$
3	进气流量	kg/h	$\pm 3\%$	$\geq 75\%$
4	进气总管温度	$^{\circ}C$	$\pm 5^{\circ}C$	$\geq 95\%$
5	中冷后进气温度	$^{\circ}C$	$\pm 5^{\circ}C$	$\geq 95\%$
6	机油温度	$^{\circ}C$	$\pm 3^{\circ}C$	$\geq 95\%$
7	进气总管压力相对压力	kPa	$\pm 10kPa$	$\geq 85\%$
8	机油压力	kPa	$\pm 20kPa$	$\geq 80\%$
9	EGR 出口气体相对压力	kPa	$\pm 10kPa$	$\geq 75\%$
10	EGR 出口气体温度	$^{\circ}C$	$\pm 10^{\circ}C$	$\geq 90\%$
11	原始排放 NOx	ppm	$\pm 150ppm$	$\geq 80\%$
12	尾管排放 NOx	ppm	$\pm 10ppm$	$\geq 80\%$
13	尿素喷射量	mg/s	$\pm 10mg/s$	$\geq 80\%$
14	DPF 压差	Pa	$\pm 200Pa$	$\geq 90\%$
15	发动机转速	r/min	$\pm 3\%$	$\geq 80\%$
16	主喷油量	mg/str	$\pm 2 mg/str$	$\geq 70\%$
17	主喷正时	deg	$\pm 1 deg$	$\geq 90\%$
18	主喷时长	μs	$\pm 10\% \mu s$	$\geq 90\%$
19	预喷 1 油量	mg/str	$\pm 0.5 mg/str$	$\geq 70\%$
20	预喷 1 正时	$^{\circ}CA$	$\pm 1 ^{\circ}CA$	$\geq 90\%$
21	预喷 2 油量	mg/str	$\pm 0.5mg/str$	$\geq 70\%$
22	预喷 2 正时	$^{\circ}CA$	$\pm 2 ^{\circ}CA$	$\geq 90\%$
23	后喷 1 油量	mg/str	$\pm 0.5mg/str$	$\geq 70\%$
24	后喷 1 正时	$^{\circ}CA$	$\pm 2 ^{\circ}CA$	$\geq 90\%$
25	后喷 2 油量	mg/str	$\pm 0.5mg/str$	$\geq 70\%$

表 5 闭环信号精度调试关键参数精度标准（续）

序号	评价指标	单位	允许偏差	合格率标准
26	后喷 2 正时	°CA	±1 °CA	≥90%
27	轨压	bar	±10%	≥85%
28	节气门开度	%	±2%	≥80%
29	EGR 阀开度	%	±2%	≥80%
30	EWG 阀开度	%	±2%	≥80%
31	机油温度	°C	±3°C	≥95%
32	冷却水温度	°C	±3°C	≥95%
33	环境温度	°C	±3°C	≥95%
34	DOC 入口排气气体温度	°C	±20°C	≥80%
35	DOC 出口排气气体温度	°C	±20°C	≥80%
36	DPF 出口排气气体温度	°C	±20°C	≥80%
37	ASC 出口排气气体温度	°C	±20°C	≥80%

5.5 系统综合调试精度技术要求

虚拟标定系统在投入应用前应完成系统综合调试工作，系统综合调试稳态试验关键参数精度要求和瞬态试验关键参数精度要求如表6、表7。

表6 综合调试稳态试验关键参数精度要求

序号	评价指标	单位	允许偏差	合格率标准
1	发动机扭矩	Nm	±20Nm	≥95%
2	进气流量	kg/h	±20kg/h	≥95%
3	燃油消耗量	kg/h	±1kg/h	≥95%
4	排气流量	kg/h	±20kg/h	≥95%
5	增压器转速	kr/min	±10kr/min	≥95%
6	增压器压端效率	%	±3%	≥90%
7	增压器涡端效率	%	±3%	≥90%
8	进气温度	°C	±5°C	≥95%
9	压气机出口进气温度	°C	±10°C	≥95%
10	中冷后进气温度	°C	±5°C	≥95%
11	进气总管温度	°C	±5°C	≥95%
12	涡前排气温度	°C	±20°C	≥95%
13	涡后排气温度	°C	±20°C	≥95%
14	进气压力相对压力	kPa	±1kPa	≥95%
15	中冷前压力相对压力	kPa	±10kPa	≥95%
16	中冷后压力相对压力	kPa	±10kPa	≥95%
17	进总气管压力相对压力	kPa	±10kPa	≥95%
18	涡前排气相对压力	kPa	±20kPa	≥90%
19	涡后排气相对压力	kPa	±2kPa	≥80%
20	EGR 流量	kg/h	±10kg/h	≥90%
21	EGR 率	%	±2%	≥90%
22	EGR 出口气体相对压力	kPa	±10kPa	≥95%
23	EGR 出口气体温度	°C	±10°C	≥95%
24	原始排放 NO _x 气体浓度	ppm	±10%	≥90%
25	原始排放比 NO _x	g/(kWh)	±0.5g/(kWh)	≥85%
26	比油耗	g/(kWh)	±3%	≥90%
27	性能爆压	bar	±10%	≥95%

表6 综合调试稳态试验关键参数精度要求（续）

序号	评价指标	单位	允许偏差	合格率标准
28	燃油喷射时刻缸内压力	bar	±4bar	≥95%
29	MFB50	° CA	±1° CA	≥95%
30	IMEP_H	bar	±0.3bar	≥95%
31	IMEP_L	bar	±0.1bar	≥95%
32	IMEP	bar	±0.3bar	≥95%
33	FMEP	bar	±0.1bar	≥95%
34	燃烧起始点	° CA	±1° CA	≥95%
35	充气效率	%	±3%	≥95%
36	发动机转速	r/min	±50r/min	≥95%
37	主喷油量	mg/str	±2mg/str	≥95%
38	主喷正时	° CA	±1° CA	≥95%
39	主喷时长	us	±50us	≥90%
40	预喷 1 油量	mg/str	±0.3mg/str	≥90%
41	预喷 1 正时	° CA	±1° CA	≥95%
42	预喷 2 油量	mg/str	±0.3	≥90%
43	预喷 2 正时	° CA	±1° CA	≥95%
44	后喷 1 油量	mg/str	±0.3mg/str	≥90%
45	后喷 1 正时	° CA	±2° CA	≥95%
46	后喷 2 油量	mg/str	±0.3mg/str	≥90%
47	后喷 2 正时	° CA	±1° CA	≥95%
48	轨压	bar	±50bar	≥95%
49	节气门开度	%	±2%	≥90%
50	EGR 开度	%	±5%	≥85%
51	EWG 开度	%	±5%	≥80%
52	机油温度	℃	±5℃	≥95%
53	冷却水温度	℃	±5℃	≥95%
54	环境温度	℃	±5℃	≥95%

表7 综合调试瞬态试验关键参数精度要求

序号	关键参数	单位	允许偏差	合格率标准
1	发动机扭矩	Nm	±100Nm	≥80%
2	进气流量	kg/h	±40kg/h	≥85%
3	燃油消耗量	kg/h	±1kg/h	≥85%
4	排气流量	kg/h	±40kg/h	≥85%
5	增压器转速	kr/min	±10kr/min	≥95%
6	增压器压端效率	%	±5%	≥80%
7	增压器涡端效率	%	±5%	≥80%
8	进气温度	℃	±5℃	≥95%
9	压气机出口进气温度	℃	±10℃	≥95%
10	中冷后进气温度	℃	±5℃	≥95%
11	进气总管温度	℃	±5℃	≥95%
12	涡前排气温度	℃	±20℃	≥90%
13	涡后排气温度	℃	±20℃	≥90%
14	DOC 入口排气气体温度	℃	±20℃	≥80%
16	DOC 载体温度	℃	±20℃	≥80%
17	DOC 出口排气气体温度	℃	±20℃	≥80%
19	DPF 载体温度	℃	±20℃	≥80%
20	DPF 出口排气气体温度	℃	±20℃	≥80%
22	SCR 入口排气气体温度	℃	±20℃	≥80%

表7 综合调试瞬态试验关键参数精度要求（续）

序号	关键参数	单位	允许偏差	合格率标准
23	SCR 载体温度	℃	±20℃	≥80%

序号	关键参数	单位	允许偏差	合格率标准
24	SCR 出口排气气体温度	℃	±20℃	≥80%
25	ASC 载体温度	℃	±20℃	≥80%
26	ASC 出口排气气体温度	℃	±20℃	≥80%
28	进气负压相对压力	kPa	±1kPa	≥90%
29	中冷前进气相对压力	kPa	±20kPa	≥90%
30	中冷后进气相对压力	kPa	±20kPa	≥90%
31	进气总管相对压力	kPa	±20kPa	≥85%
32	涡前排气相对压力	kPa	±20kPa	≥90%
33	涡后排气相对压力	kPa	±2kPa	≥80%
34	DOC 入口排气相对压力	kPa	±2kPa	≥80%
35	DOC 出口排气相对压力	kPa	±2kPa	≥80%
36	DPF 出口排气相对压力	kPa	±2kPa	≥80%
37	DPF 压差 (ECU 传感器)	kPa	±2kPa	≥80%
38	SCR 入口排气相对压力	kPa	±2kPa	≥80%
39	SCR 出口排气相对压力	kPa	±2kPa	≥80%
40	ASC 出口排气相对压力	kPa	±2kPa	≥80%
41	EGR 流量	kg/h	±40kg/h	≥70%
42	EGR 率	%	±5%	≥95%
43	EGR 出口气体相对压力	kPa	±20kPa	≥80%
44	EGR 出口气体温度	℃	±40℃	≥90%
45	原始排放 NO _x 气体浓度	ppm	±50ppm	≥80%
46	累计进气量	kg	±5%	—
47	累计油耗	kg	±3%	—
48	累计原始排放 NO _x	g	±10%	—
49	累计尾管排放 NO _x	g	±20%	—
50	累计尾管排放 HC	g	±20%	—
51	累计尾管排放 CO	g	±20%	—
52	累计尾管排放 Soot	mg	±20%	—
53	累计尾管排放 NH ₃	g	±20%	—
54	累计尾管排放 N ₂ O	g	±20%	—
55	累计尾管排放 CO ₂	g	±3%	—
56	累计循环功	kWh	±5%	—
57	循环平均比油耗	g/(kWh)	±0.5g/(kWh)	—
58	循环平均涡前排气温度	℃	±20℃	—
59	循环平均涡后排气温度	℃	±20℃	—
60	循环平均比 NO _x	g/(kWh)	±0.5g/(kWh)	—
61	发动机转速	r/min	±50r/min	≥95%
62	主喷油量	mg/str	±10mg/str	≥80%
63	主喷正时	° CA	±1° CA	≥80%
64	主喷时长	us	±100us	≥80%
65	预喷 1 油量	mg/str	±0.5mg/str	≥80%
66	预喷 1 正时	° CA	±1° CA	≥85%
67	预喷 2 油量	mg/str	±0.5mg/str	≥80%
68	预喷 2 正时	° CA	±1° CA	≥80%
69	后喷 1 油量	mg/str	±0.5mg/str	≥80%
70	后喷 1 正时	° CA	±2° CA	≥80%
71	后喷 2 油量	mg/str	0.5mg/str	≥80%
72	后喷 2 正时	° CA	±1° CA	≥80%
73	轨压	bar	±100bar	≥80%
74	节气门开度	%	±5%	≥75%

表7 综合调试瞬态试验关键参数精度要求（续）

序号	关键参数	单位	允许偏差	合格率标准
75	EGR 开度	%	±5%	≥70%
76	EWG 开度	%	±5%	≥70%
77	机油温度	℃	±5℃	≥95%
78	冷却水温度	℃	±5℃	≥95%

6 测试检验方法

6.1 被控对象模型离线仿真检验方法

6.1.1 稳态试验偏差测试和计算方法

按照如下步骤开展稳态试验离线仿真：

- 从实体台架稳态试验数据中提取被控对象模型离线仿真所需的输入数据，并按照表 A.1 格式整理所提取数据；
- 将表 A.1 导入到被控对象模型；
- 建立被控对象模型中变量与表 A.1 中变量的对应关系；
- 设置单个稳态工况离线仿真运行时间≥150s；
- 运行模型。
- 从计算结果中提取表 2 中的关键参数离线仿真结果；
- 将所提取的关键参数离线仿真结果和实体台架实测数据进行对比，计算关键参数精度。

各项关键参数合格率或偏差应满足表 2 所示标准，涉及到的参数合格标准计算公式如下：

- 稳态试验相对偏差合格率 P_{rel} ：

$$P_{rel} = \frac{n_{rel}}{N} * 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中：

n_{rel} ——满足相对偏差 D_{rel} 工况点总数

N ——稳态工况点总数

P_{rel} ——相对偏差合格率

$$n_{rel} = \sum_{i=1}^N D_{rel} \leq \sigma_{rel} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

n_{rel} ——满足相对偏差 D_{rel} 工况点数

N ——稳态工况点总数

D_{rel} ——相对偏差

σ_{rel} ——允许相对偏差

$$D_{rel} = \frac{X_{SIM} - X_{ETB}}{X_{ETB}} * 100\% \dots\dots\dots (3)$$

式中：

X_{SIM} ——离线仿真变量

X_{ETB} ——实体台架变量

D_{rel} ——相对偏差

- 稳态试验绝对偏差合格率 P_{abs} 。

$$P_{abs} = \frac{n_{abs}}{N} * 100\% \dots\dots\dots (4)$$

式中：

n_{abs} ——满足相对偏差 D_{abs} 工况点数

N ——稳态工况点总数

P_{abs} ——绝对偏差合格率

$$n_{abs} = \sum_{i=1}^N D_{abs} \leq \sigma_{abs} \dots\dots\dots (5)$$

式中:

n_{abs} ——满足相对偏差 D_{abs} 工况点数

N ——稳态工况点总数

D_{abs} ——绝对偏差

σ_{abs} ——允许绝对偏差

$$D_{abs} = X_{SIM} - X_{ETB} \dots\dots\dots (6)$$

式中:

X_{SIM} ——离线仿真变量

X_{ETB} ——实体台架变量

D_{abs} ——绝对偏差

6.1.2 瞬态试验偏差测试和计算方法

按照如下步骤开展瞬态试验离线仿真:

- 从实体台架瞬态试验数据中提取被控对象模型离线仿真所需的输入数据, 并按照表 B.1 格式整理所提取数据;
 - 将表 B.1 导入到被控对象模型;
 - 建立被控对象模型中变量与表 B.1 中变量的对应连接;
 - 按照实体台架瞬态试验时长设置瞬态试验离线仿真运行时长;
 - 运行模型;
 - 从计算结果中提取表 3 中的关键参数离线仿真结果;
 - 将所提取的关键参数离线仿真结果和实体台架实测数据进行对比, 计算关键参数精度。
- 各项关键参数合格率或偏差应满足表 3 所示标准, 涉及到的参数合格标准计算公式如下:
- 瞬态试验相对偏差合格率 P_{rel} :

$$P_{rel} = \frac{t_{rel}}{T} * 100\% \dots\dots\dots (7)$$

式中:

t_{rel} ——循环内满足相对偏差 D_{rel} 的时长

T ——循环总时长

P_{rel} ——相对偏差合格率

$$t_{rel} = \int_{t=0}^{t=T} D_{rel} \leq \sigma_{rel} \dots\dots\dots (8)$$

式中:

t_{rel} ——循环内满足相对偏差 D_{rel} 的时长

T ——循环总时长

D_{rel} ——相对偏差

σ_{rel} ——允许相对偏差

$$D_{rel} = \frac{X_{sim} - X_{test}}{X_{test}} * 100\% \dots\dots\dots (9)$$

式中:

X_{sim} ——离线仿真变量

X_{test} ——实体台架变量

D_{rel} ——相对偏差

b) 瞬态试验绝对偏差合格率 P_{abs} :

$$P_{abs} = \frac{t_{abs}}{T} * 100\% \dots\dots\dots (10)$$

式中:

n_{abs} ——循环内满足绝对偏差 D_{abs} 的时长

T ——循环总时长

P_{abs} ——绝对偏差合格率

$$t_{abs} = \int_{t=0}^{t=T} D_{abs} \leq \sigma_{abs} \dots\dots\dots (11)$$

式中:

t_{abs} ——循环内满足绝对偏差 D_{abs} 的时长

T ——循环总时长

D_{abs} ——绝对偏差

σ_{abs} ——允许绝对偏差

$$D_{abs} = X_{SIM} - X_{ETB} \dots\dots\dots (12)$$

式中:

X_{SIM} ——离线仿真变量

X_{ETB} ——实体台架变量

D_{abs} ——绝对偏差

c) 瞬态试验循环累计相对偏差 D_{rel_cum} :

$$D_{rel_cum} = \frac{X_{SIM_cum} - X_{ETB_cum}}{X_{ETB_cum}} * 100\% \dots\dots\dots (13)$$

式中:

D_{rel_cum} ——循环累计相对偏差

X_{SIM_cum} ——离线仿真变量循环累计值

X_{ETB_cum} ——实体台架变量循环累计值

$$X_{ETB_cum} = \int_{t=0}^{t=T} X_{test} dt \dots\dots\dots (14)$$

式中:

T ——循环总时长

X_{ETB} ——实体台架变量

X_{ETB_cum} ——实体台架变量循环累计值

$$X_{SIM_cum} = \int_{t=0}^{t=T} X_{SIM} dt \dots\dots\dots (15)$$

式中:

T ——循环总时长

X_{SIM} ——离线仿真结果

X_{SIM_cum} ——离线仿真变量循环累计值

d) 瞬态试验循环平均绝对偏差 D_{abs_avg} 。

$$D_{abs_avg} = X_{SIM_avg} - X_{ETB_avg} \dots\dots\dots (16)$$

式中:

D_{abs_avg} ——循环平均绝对偏差

X_{SIM_avg} ——离线仿真变量循环平均值

X_{ETB_avg} ——实体台架变量循环平均值

$$X_{SIM_avg} = \frac{1}{T} \int_{t=0}^{t=T} X_{SIM} dt \dots\dots\dots (17)$$

式中：

T ——循环总时长
 X_{SIM} ——离线仿真变量
 X_{SIM_avg} ——离线仿真变量循环平均值

$$X_{ETB_avg} = \frac{1}{T} \int_{t=0}^{t=T} X_{ETB} dt \quad \dots\dots\dots (18)$$

式中：

T ——循环总时长
 X_{ETB} ——离线仿真变量
 X_{ETB_avg} ——实体台架变量循环平均值

6.2 硬件在环闭环调试测试检验方法

按照如下步骤开展闭环调试测试检验：

- e) 在测控系统中编制目标柴油机的标准 WHTC 试验工况；
- f) 将被控对象模型下载至实时处理计算机，激活模型至运行状态；
- g) 被测控制器上电，测控系统控制被控对象模型启动运行至怠速工况；
- h) 测控系统调整被控对象模型运行至额定点工况热机；
- i) 运行自动试验程序，完成试验；
- j) 导出试验结果数据；
- k) 分析处理试验数据。

各项关键参数合格率或偏差应满足表5所示标准，涉及到的参数合格标准计算公式如下：

- a) 瞬态试验相对偏差合格率 P_{rel} ：

$$P_{rel} = \frac{t_{rel}}{T} * 100\% \quad \dots\dots\dots (19)$$

式中：

t_{rel} ——循环内满足相对偏差 D_{rel} 的时长
 T ——循环总时长
 P_{rel} ——相对偏差合格率

$$t_{rel} = \int_{t=0}^{t=T} D_{rel} \leq \sigma_{rel} \quad \dots\dots\dots (20)$$

式中：

t_{rel} ——循环内满足相对偏差 D_{rel} 的时长
 T ——循环总时长
 D_{rel} ——相对偏差
 σ_{rel} ——允许相对偏差

$$D_{rel} = \frac{X_{VTB_MODEL} - X_{VTB_ECU}}{X_{VTB_ECU}} * 100\% \quad \dots\dots\dots (21)$$

式中：

X_{VTB_MODEL} ——虚拟台架模型计算变量
 X_{VTB_ECU} ——虚拟台架 ECU 记录变量
 D_{rel} ——相对偏差

- b) 瞬态试验绝对偏差合格率 P_{abs} 。

$$P_{abs} = \frac{t_{abs}}{T} * 100\% \quad \dots\dots\dots (22)$$

式中：

X_{VTB_MODEL} ——虚拟台架模型计算变量
 X_{VTB_ECU} ——虚拟台架 ECU 记录变量
 D_{abs} ——绝对偏差

$$t_{abs} = \int_{t=0}^{t=T} D_{abs} \leq \sigma_{abs} \quad \dots\dots\dots (23)$$

式中：

t_{abs} ——满足相对偏差 D_{abs} 的时长

T ——循环总时长

D_{abs} ——绝对偏差

σ_{abs} ——允许绝对偏差

$$D_{abs} = X_{VTB_MODEL} - X_{VTB_ECU} \dots\dots\dots (24)$$

式中:

t_{abs} ——满足相对偏差 D_{abs} 的时长

T ——循环总时长

P_{abs} ——绝对偏差合格率

6.3 虚拟标定系统综合调试测试检验方法

6.3.1 稳态试验偏差检验方法

按照如下步骤开展系统综合调试稳态试验:

- 基于提供的离线仿真结果数据,提取“转速”、“扭矩”等关键参数数据,预先在测控系统编制试验工况程序,程序包含所需运行工况的转速、扭矩/油门目标值以及每个工况的边界数值(进气负压、排气背压、中冷后温度、水温、油温、环境压力、环境温度、进气湿度等)。对于外特性试验,使用转速/油门模式,油门开度设定为100%,每个工况点稳定90s,然后采集数据。对于万有特性试验,使用转速/扭矩模式,每个工况点稳定90s,然后采集数据;
- 将被控对象模型下载至实时处理计算机,激活模型至运行状态;
- 被测控制器上电,测控系统控制被控对象模型启动运行至怠速工况;
- 测控系统调整被控对象模型运行至额定点工况热机;
- 运行自动试验程序,完成试验;
- 导出试验数据;
- 试验数据处理。

完成试验并计算关键参数精度,各项关键参数合格率或偏差应满足表6所示标准,涉及到的参数合格标准计算公式如下:

- 稳态试验相对偏差合格率 P_{rel} :

$$P_{rel} = \frac{n_{rel}}{N} * 100\% \dots\dots\dots (25)$$

式中:

n_{rel} ——满足相对偏差 D_{rel} 稳态工况点总数

N ——稳态工况点总数

P_{rel} ——相对偏差合格率

$$n_{rel} = \sum_{i=1}^{i=N} D_{rel} \leq \sigma_{rel} \dots\dots\dots (26)$$

式中:

n_{rel} ——满足相对偏差 D_{rel} 稳态工况点数

N ——稳态工况点总数

D_{rel} ——相对偏差

σ_{rel} ——允许相对偏差

$$D_{rel} = \frac{X_{VTB} - X_{SIM}}{X_{SIM}} * 100\% \dots\dots\dots (27)$$

式中:

X_{VTB} ——虚拟台架变量

X_{SIM} ——离线仿真变量

D_{rel} ——相对偏差

- 稳态试验绝对偏差合格率 P_{abs} 。

$$P_{abs} = \frac{n_{abs}}{N} * 100\% \quad \dots\dots\dots (28)$$

式中:

n_{abs} ——满足相对偏差 D_{abs} 稳态工况点数

N ——稳态工况点总数

P_{abs} ——绝对偏差合格率

$$n_{abs} = \sum_{i=1}^{i=N} D_{abs} \leq \sigma_{abs} \quad \dots\dots\dots (29)$$

式中:

n_{abs} ——满足相对偏差 D_{abs} 稳态工况点数

N ——稳态工况点总数

D_{abs} ——绝对偏差

σ_{abs} ——允许绝对偏差

$$D_{abs} = X_{VTB} - X_{SIM} \quad \dots\dots\dots (30)$$

式中:

X_{VTB} ——虚拟台架变量

X_{SIM} ——离线仿真变量

D_{abs} ——绝对偏差

6.3.2 瞬态偏差计算检验方法

按照如下步骤开展系统综合调试瞬态试验:

- 根据提供的离线计算结果数据,提取“转速”、“扭矩”等关键参数数据,预先在测控系统编制试验工况程序,程序包含所需运行工况的转速、扭矩/油门目标值以及每个工况的边界数值(进气负压、排气背压、中冷后温度、水温、油温、环境压力、环境温度、进气湿度等)。对于 WHTC 试验,设定 1s 切换一个工况点,连续记录整个试验过程的数据。对于 WHSC 试验,连续记录整个试验过程的数据。
- 将被控对象模型下载至实时处理计算机,激活模型至运行状态。
- 被测控制器上电,测控系统控制被控对象模型启动运行至怠速工况。
- 测控系统调整被控对象模型运行至额定点工况热机。
- 运行自动试验程序,完成试验。
- 导出试验数据。
- 试验数据处理。

完成试验并计算关键参数精度,各项关键参数合格率或偏差应满足表 7 所示标准,涉及到的参数合格标准计算公式如下:

- 瞬态试验相对偏差合格率 P_{rel} :

$$P_{rel} = \frac{t_{rel}}{T} * 100\% \quad \dots\dots\dots (31)$$

式中:

t_{rel} ——循环满足相对偏差 D_{rel} 的时长

T ——循环总时长

P_{rel} ——相对偏差合格率

$$t_{rel} = \int_{t=0}^{t=T} D_{rel} \leq \sigma_{rel} \quad \dots\dots\dots (32)$$

式中:

t_{rel} ——循环满足相对偏差 D_{rel} 的时长

T ——循环总时长

D_{rel} ——相对偏差

σ_{rel} ——允许相对偏差

$$D_{rel} = \frac{X_{VTB} - X_{SIM}}{X_{SIM}} * 100\% \quad (33)$$

式中：

X_{VTB} ——虚拟台架变量

X_{SIM} ——离线仿真变量

D_{rel} ——相对偏差

b) 瞬态试验绝对偏差合格率 P_{abs} ：

$$P_{abs} = \frac{t_{abs}}{T} * 100\% \quad (34)$$

式中：

t_{abs} ——循环满足相对偏差 D_{abs} 的时长

T ——循环总时长

P_{abs} ——绝对偏差合格率

$$t_{abs} = \int_{t=0}^{t=T} D_{abs} \leq \sigma_{abs} \quad (35)$$

式中：

t_{abs} ——循环满足相对偏差 D_{abs} 的时长

T ——循环总时长

D_{abs} ——绝对偏差

σ_{abs} ——允许相对偏差

$$D_{abs} = X_{VTB} - X_{SIM} \quad (36)$$

式中：

X_{VTB} ——虚拟台架变量

X_{SIM} ——离线仿真变量

D_{abs} ——绝对偏差

c) 瞬态试验循环相对累计偏差 D_{rel_cum} ：

$$D_{rel_cum} = \frac{X_{VTB_cum} - X_{SIM_cum}}{X_{SIM_cum}} * 100\% \quad (37)$$

式中：

D_{rel_cum} ——循环相对累计偏差

X_{VTB_cum} ——虚拟台架变量循环累计值

X_{SIM_cum} ——离线仿真变量循环累计值

$$X_{VTB_cum} = \int_{t=0}^{t=T} X_{VTB} dt \quad (38)$$

式中：

T ——循环总时长

X_{VTB} ——虚拟台架变量

X_{VTB_cum} ——虚拟台架变量循环累计值

$$X_{SIM_cum} = \int_{t=0}^{t=T} X_{SIM} dt \quad (39)$$

式中：

T ——循环总时长

X_{SIM} ——离线仿真变量

X_{SIM_cum} ——离线仿真变量循环累计值

d) 瞬态试验循环平均绝对偏差 D_{abs_avg} 。

$$D_{abs_avg} = X_{VTB_avg} - X_{SIM_avg} \quad \dots\dots\dots (40)$$

式中:

D_{abs_avg} ——循环相对平均偏差

X_{SIM_avg} ——离线仿真变量循环平均值

X_{VTB_avg} ——虚拟台架变量循环平均值

$$X_{VTB_avg} = \frac{1}{T} \int_{t=0}^{t=T} X_{VTB} dt \quad \dots\dots\dots (41)$$

式中:

T ——循环总时长

X_{VTB} ——虚拟台架变量

X_{VTB_avg} ——虚拟台架变量循环平均值

$$X_{SIM_avg} = \frac{1}{T} \int_{t=0}^{t=T} X_{SIM} dt \quad \dots\dots\dots (42)$$

式中:

T ——循环总时长

X_{SIM} ——离线仿真变量

X_{SIM_avg} ——离线结果循环平均值

附 录 A
(规范性)
稳态试验离线仿真输入参数表

稳态试验离线仿真输入参数表见表A. 1。

表A. 1

序号	名称	单位	case 1	...	case X
1	发动机转速	r/min			
2	发动机扭矩	Nm			
3	发动机功率	kW			
4	比油耗	g/(kWh)			
5	进气湿度	%			
6	机油温度	℃			
7	冷却水温度	℃			
8	排气侧固体初始温度	℃			
9	进气侧固体初始温度	℃			
10	中冷器进水温度	℃			
11	原始排放 HC 气体浓度	ppm			
12	原始排放 NOx 气体浓度	ppm			
13	原始排放 SOOT 浓度	g/s			
14	充气效率	%			
15	环境压力	kPa			
16	进气负压/相对压力	kPa			
17	中冷前进气压力	kPa			
18	中冷后进气相对压力	kPa			
19	进气总管相对压力	kPa			
20	涡前排气相对压力	kPa			
21	涡后排气相对压力	kPa			
22	EGR 出口气体相对压力	kPa			
23	进气温度	℃			
24	中冷前进气温度	℃			
25	中冷后进气温度	℃			
26	进气总管温度	℃			
27	涡前排气温度	℃			
28	涡后排气温度	℃			
29	EGR 出口气体温度	℃			
30	MFB50	° CA			
31	SOC	° CA			
32	P_SOI	° CA			
33	性能爆压	bar			
34	IMEP	bar			
35	IMEP_HP	bar			
36	IMEP_LP	bar			
37	QWHT	kW			
38	BMEP	bar			
39	进气流量	kg/h			
40	燃油消耗量	kg/h			
41	EGR 流量	kg/h			
42	EGR 率	%			
43	增压器转速	krpm			
44	压气机效率	%			
45	主喷时长	μ s			

表A.1（续）

序号	名称	单位	case 1	...	case X
46	主喷正时	° CA			
47	预喷 1 正时	° CA			
48	预喷 2 正时	° CA			
49	预喷 3 正时	° CA			
50	后喷 1 正时	° CA			
51	后喷 2 正时	° CA			
52	后喷 3 正时	° CA			
53	后喷 4 正时	° CA			
54	主喷油量	mg			
55	预喷 1 油量	mg			
56	预喷 2 油量	mg			
57	预喷 3 油量	mg			
58	后喷 1 油量	mg			
59	后喷 2 油量	mg			
60	后喷 3 油量	mg			
61	后喷 4 油量	mg			
62	EGR 阀开度	%			
63	EWG 开度	%			
64	节气门开度	%			
65	轨压	bar			
注：表中case X指第稳态试验中采用的第X个case，X为所采用的最后一个case的序号					

附 录 B
(规范性)
瞬态试验离线仿真输入参数表

瞬态试验离线仿真输入参数表见表B. 1。

表B. 1

序号	名称	单位	case 1	...	case X
1	发动机转速	r/min			
2	发动机扭矩	Nm			
3	发动机功率	kW			
4	进气湿度	%			
5	机油初始温度	℃			
6	冷却水初始温度	℃			
7	机油温度	℃			
8	冷却水温度	℃			
9	排气侧固体初始温度	℃			
10	进气侧固体初始温度	℃			
11	中冷器进水温度	℃			
12	原始排放 HC 气体浓度	ppm			
13	原始排放 NOx 气体浓度	ppm			
14	原始排放 Soot 浓度	g/s			
15	性能爆压	bar			
16	环境压力	kPa			
17	进气负压/相对压力	kPa			
18	中冷前进气压力	kPa			
19	中冷后进气相对压力	kPa			
20	进气总管相对压力	kPa			
21	涡前排气相对压力	kPa			
22	涡后排气相对压力	kPa			
23	EGR 出口气体相对压力	kPa			
24	进气温度	℃			
25	中冷前进气温度	℃			
26	中冷后进气温度	℃			
27	进气总管温度	℃			
28	涡前排气温度	℃			
29	涡后排气温度	℃			
30	EGR 出口气体温度	℃			
31	主喷时长	μ s			
32	主喷正时	° CA			
33	预喷 1 正时	° CA			
34	预喷 2 正时	° CA			
35	预喷 3 正时	° CA			
36	后喷 1 正时	° CA			
37	后喷 2 正时	° CA			
38	后喷 3 正时	° CA			
39	后喷 4 正时	° CA			
40	主喷油量	mg			
41	预喷 1 油量	mg			
42	预喷 2 油量	mg			
43	预喷 3 油量	mg			
44	后喷 1 油量	mg			
45	后喷 2 油量	mg			

表 B. 1（续）

序号	名称	单位	case 1	...	case X
46	后喷 3 油量	mg			
47	后喷 4 油量	mg			
48	EGR 阀开度	%			
49	EWG 开度	%			
50	节气门开度	%			
51	轨压	bar			
52	进气流量	kg/h			
53	燃油消耗量	kg/h			
54	排气流量	kg/h			
55	EGR 流量	kg/h			
56	EGR 率	%			
57	增压器转速	krpm			
注：表中X s指第瞬态试验中的第X s，第X s为所采用瞬态数据的最后1s。					