

ICS 27.020
CCS J 091

团 体 标 准

T/CICEIA/CAMS XXXX-XXXX

重型柴油车排放虚拟仿真测试方法

Virtual simulation test method for vehicle diesel engine bench emission

(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 仿真测试流程.....2

5 虚拟模型和整车虚拟仿真测试平台搭建.....3

6 整车虚拟仿真测试平台调试.....4

7 仿真边界设置.....5

8 测试步骤.....6

9 测试结果分析.....7

图 1 重型柴油车排放虚拟仿真测试流程图..... 2

表 1 虚拟模型变量输出列表..... 3

表 2 虚拟模型运算要求..... 3

表 3 整车虚拟仿真测试平台组成..... 4

表 4 关键参数仿真精度要求..... 5

表 5 整车排放试验路谱车速要求..... 6

表 6 测试数据记录..... 6

表 7 测试结果计算..... 7

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》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：潍柴动力股份有限公司、XXX等。

本文件主要起草人：XXX、XXX。

本文件为首次发布。

重型柴油车排放虚拟仿真测试方法

1 范围

本文件规定了重型柴油车排放虚拟仿真测试的测试流程、虚拟模型和整车虚拟仿真测试平台搭建、整车虚拟仿真测试平台调试、仿真边界设置、PEMS虚拟仿真测试步骤及测试结果分析等内容。

本文件适用于M2、M3、N2和N3类及总质量大于3500kg的M1类柴油汽车。

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 重型柴油车污染物排放限值及测量方法（中国第六阶段）

GB/T 27840 重型商用车辆燃料消耗量测量方法

GB/T 3730.2-1996 道路车辆 质量 词汇和代码

T/CSAE 431 柴油机电控系统硬件在环仿真平台开发技术要求

T/CICEIA/CAMS XXX 车用柴油机排放虚拟仿真测试方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

整车传动系统虚拟模型 vehicle transmission system virtual model

能够实时模拟离合器、变速箱、传动轴、驱动桥、轮胎等整车传动系统运行的虚拟模型。

3.2

整车冷却系统虚拟模型 vehicle cooling system virtual model

能够实时模拟中冷器、散热器及其相关管路等整车冷却系统运行的虚拟模型。

3.3

整车驾驶员虚拟模型 vehicle driver virtual model

能够实时模拟真实驾驶员控制油门、刹车、换挡动作的虚拟模型。

3.4

柴油机虚拟模型 diesel virtual model

能够实时模拟实际柴油机进排气特性、燃油喷射特性、传热特性及燃烧特性的虚拟模型。

3.5

后处理虚拟模型 after treatment virtual model

能够实时模拟实际后处理化学反应动力学特性的虚拟模型。

3.6

硬件在环 hardware-in-the-Loop, HIL

将真实控制器硬件直接放入仿真回路中，与计算机仿真物理模型进行实时交互的仿真系统。

3.7

整车虚拟仿真测试平台 vehicle virtual test bench

包含以上虚拟模型、硬件在环系统及测控系统的虚拟仿真测试平台。

4 仿真测试流程

重型柴油车排放虚拟仿真测试流程见图 1，详细测试流程如下：

- 同步搭建虚拟模型和整车虚拟仿真测试平台；
- 进行整车虚拟仿真测试平台开环和闭环调试；
- 设置环境条件、整车载荷、整车传动系统配置等仿真边界；
- 便携式排放测试系统（Portable Emission Measurement System, PEMS）仿真测试；
- 试验数据有效性确认和排放计算分析。

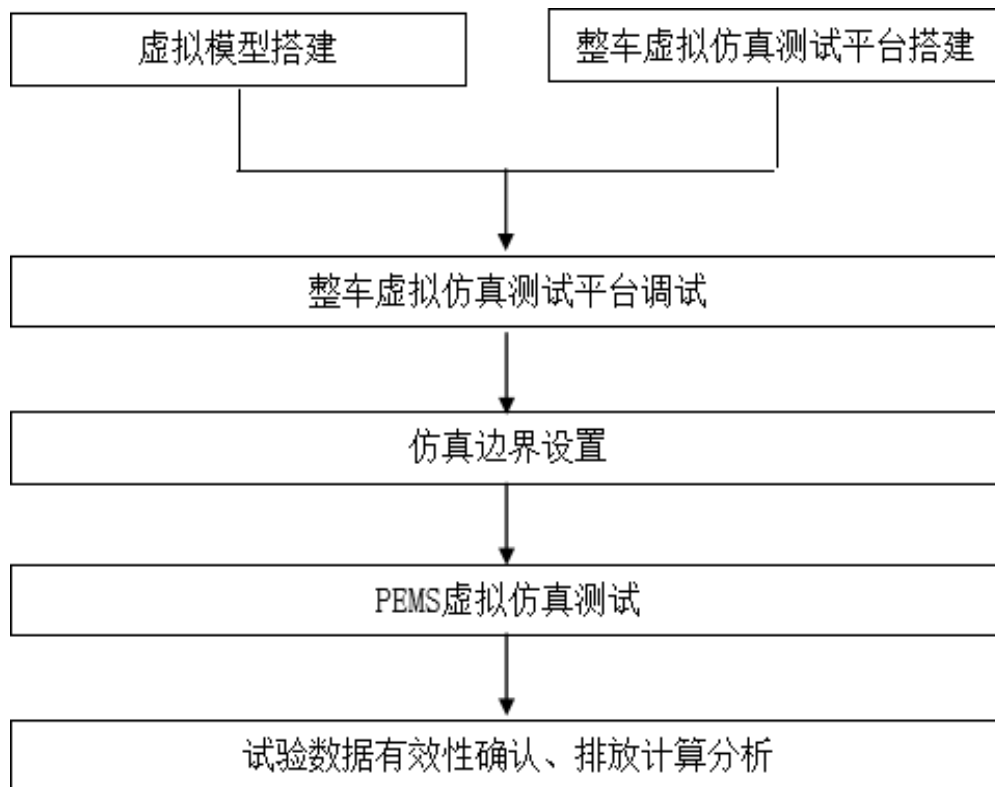


图 1 重型柴油车排放虚拟仿真测试流程图

5 虚拟模型和整车虚拟仿真测试平台搭建

5.1 虚拟模型

5.1.1 虚拟模型构成

各虚拟模型构成如表1所示，各模型仿真计算应至少包括表1所示的输出变量。

表 1 虚拟模型变量输出列表

序号	虚拟模型	模型构成	输出变量
1	整车传动系统虚拟模型	离合器、变速箱、传动轴、后桥、轮胎、整车阻力	扭矩需求、实际车速
2	整车冷却系统虚拟模型	散热器、中冷器、风扇、机油冷却器、排气管散热	冷却液温度、机油温度、中冷后温度、中冷后压力、排气温度、风扇等附件扭矩、风扇转速
3	整车驾驶员虚拟模型	油门控制、刹车控制、离合控制、换挡控制	油门、刹车、离合、挡位
4	柴油机虚拟模型	进气系统、排气系统、供油系统、燃烧系统	符合 T/CICEIA/CAMS XXX 的要求
5	后处理虚拟模型	DOC 系统、DPF 系统、SCR 系统	符合 T/CICEIA/CAMS XXX 的要求

5.1.2 虚拟模型要求

5.1.2.1 模型实时性要求

实时因子（real-time factor）是模拟时间与真实时间的比值，理想值为1，即模拟时间与现实时间同步。若实时因子大于1表明模拟时间大于真实时间，无法实现实时模拟；若实时因子小于1表明模拟时间小于真实时间，可以实现实时模拟。

柴油机虚拟模型在虚拟台架上稳态运行的实时因子宜小于0.7，瞬态运行的实时因子应不大于1，这样能确保模型实时模拟过程不出现模型溢出的问题。

5.1.2.2 模型运算要求

各虚拟模型运算要求如表2所示。

表 2 虚拟模型运算要求

序号	虚拟模型	模型运算要求
1	整车传动系统虚拟模型	运算步长应不大于 1ms
2	整车冷却系统虚拟模型	运算步长应不大于 100ms
3	整车驾驶员虚拟模型	油门、刹车、离合、换挡控制模块运算步长应不大于 1ms
4	柴油机虚拟模型	燃烧系统、进气系统、排气系统、供油系统的运算步长应不大于 1ms。
5	后处理虚拟模型	DOC 系统、DPF 系统、SCR 系统的运算步长应不大于 100ms

5.2 整车虚拟仿真测试平台

整车虚拟仿真测试平台由虚拟模型、HIL 系统、测控系统三部分构成，HIL 系统和测控系统组成要求应至少包括表 3 内容。

表 3 整车虚拟仿真测试平台组成

序号	系统	组成要求
1	HIL 系统	HIL 上位机（实时仿真应用的搭建、编译和下载），HIL 实时机（执行上位机指令，运行实时仿真模型），HIL 机柜（集成板卡、线束等），控制器
2	测控系统	测控工控机（测控和试验数据记录）、标定工控机（控制器标定和测量）

6 整车虚拟仿真测试平台调试

6.1 开环调试

6.1.1 调试步骤

开环调试应保证 ECU 需求的输入信号（传感器信号、总线信号）可以正确模拟，ECU 不误报错、ECU 的输出信号（执行器信号、总线信号）被正确测量到，到闭环调试阶段能够给虚拟模型提供正确的输入。开环调试按 T/CSAE 431 执行，具体步骤如下：

- 传感器信号：通过 HIL 仿真平台上位机监控界面分别设置传感器信号电气值和物理值（如压力、温度、位置），采用测量工具读取 ECU 端采集的对应变量值，对比两者的一致性；
- 执行器信号：采用诊断/标定工具设置 ECU 的输出（如信号占空比等），用 HIL 仿真平台进行采集，并在监控界面上显示信号值，对比两者的一致性；
- 总线信号：采用诊断/标定工具设置 ECU 发送信号，逐一校验其与 HIL 仿真平台接收信号的一致性。在 HIL 仿真平台设置发送信号，逐一校验其与 ECU 接收信号的一致性。

6.1.2 偏差要求

调试偏差应满足如下要求：

- 传感器信号：电气值偏差小于 ECU 对应通道的最小分辨率的 1/4，物理值偏差小于对应传感器精度的 1/4；
- 执行器信号：偏差小于 ECU 输出通道偏差的 1/4；
- 总线信号：收发信号相等，误差在信号标定精度范围内。

6.2 闭环调试

闭环调试应验证并确保整车虚拟仿真测试平台的性能及排放仿真精度满足要求。调试步骤如下：

- 运行实车热平衡试验工况点，记录性能、排放关键参数并与基准参数进行对比，关键参数的仿真精度应满足表 4 要求；
- CWTV 试验应按照 GB/T 27840 执行，记录性能、排放关键参数并与基准参数进行对比，关键参数的仿真精度应满足表 4 要求。

表 4 关键参数仿真精度要求

工况	参数	误差要求
热平衡稳态工况	车速	$\pm 0.1 \text{ km/h}$
	转速	$\pm 10 \text{ r/min}$
	扭矩	$\pm 50 \text{ N}\cdot\text{m}$
	进气流量	$\pm 3\%$
	燃油消耗率	$\pm 3\%$
	排气流量	$\pm 5\%$
	进气温度	$\pm 5^\circ\text{C}$
	进气压力	$\pm 5 \text{ kPa}$
	排气温度	$\pm 10^\circ\text{C}$
	排气压力	$\pm 10 \text{ kPa}$
	尾排CO	$\pm 0.6 \text{ g/kW}\cdot\text{h}$
	尾排NO _x	$\pm 0.15 \text{ g/kW}\cdot\text{h}$
	尾排PN	$\pm 1.2 \text{ E}+11 \text{ \# /kW}\cdot\text{h}$
CWTVC瞬态工况	车速	最大 $\pm 2.5 \text{ km/h}$
	里程	$\pm 3\%$
	累积功	$\pm 3\%$
	百公里油耗	$\pm 1.5\%$
	进气温度	$\pm 5^\circ\text{C}$
	排气温度	最大 $\pm 20^\circ\text{C}$ 平均 $\pm 10^\circ\text{C}$
	进气流量	$\pm 5\%$
	排气流量	$\pm 5\%$
	尾排NO _x	$\pm 0.15 \text{ g/kW}\cdot\text{h}$
	尾排CO	$\pm 0.6 \text{ g/kW}\cdot\text{h}$
	尾排PN	$\pm 1.2 \text{ E}+11 \text{ \# /kW}\cdot\text{h}$

7 仿真边界设置

7.1 环境条件

环境条件设置应符合GB 17691要求，环境条件设置如下：

- 环境温度在 $-7^\circ\text{C} \sim 38^\circ\text{C}$ 之间；
- 海拔不小于2400m，即大气压力 $\geq 76 \text{ kPa}$ ；
- 路谱包括市区路（平均车速 $15 \text{ km/h} \sim 30 \text{ km/h}$ ）、市郊路（平均车速 $45 \text{ km/h} \sim 70 \text{ km/h}$ ）和高速路（速度 $> 70 \text{ km/h}$ ）工况，不同类型车的行驶工况分配如表5所示（允许有 $\pm 5\%$ 的偏差）。

表 5 整车排放试验路谱车速要求

车辆类型	市区占比	市郊占比	高速占比
M1/M2/M3/N2	45%	25%	30%
公交、环卫、邮政等城市车辆	70%	30%	—
N3	20%	25%	55%

7.2 整车载荷

整车载荷设置应符合GB 17691要求，载重为最大载荷的10%~100%，最大载荷应为GB/T 3730.2-1996规定的最大设计装载质量，并根据载重设置行驶阻力。

7.3 整车传动系统配置

按照实际设置变速箱速比和后桥速比。

8 PEMS 虚拟仿真测试步骤

8.1 热车

按照GB 17691要求热车，在测试开始时发动机冷却液温度不得超过30℃，若环境温度高于30℃，测试开始时发动机冷却液温度不得高于环境温度2℃。

当发动机的冷却液温度在70℃以上或冷却液的温度在5min之内的变化小于2℃，测试正式开始。测试开始时间与发动机启动时间间隔不得超过20min。

8.2 PEMS 虚拟仿真测试

热车结束后，运行设定的PEMS路谱，按照表6持续记录测试数据。测试过程中，至少每隔30min进行数据检查，以确保虚拟测试平台运行正常。

为了防止测试过程中触发再生功能，应将再生功能关掉。

表 6 测试数据记录

参数	单位
车速	km/h
转速	r/min
扭矩	N.m
进气流量	kg/h
油耗量	kg/h
进气温度	℃
进气压力	kPa
排气温度	℃
排气压力	kPa
后处理温度	℃
后处理压力	kPa
CO浓度	ppm

表 6 (续)

参数	单位
NO _x 浓度	ppm
PN浓度	#/cm ³

9 测试结果分析

测试完成后按照表7进行测试结果计算及统计，并根据GB 17691要求进行试验有效性分析及排放结果计算。

表 7 测试结果计算

项目	限值	结果
试验数据/类型	/	
试验时间 (s)	/	
试验里程 (km)	/	
累积功 (kWh)	/	
WHTC循环功 (kWh)	/	
载荷百分比 (%)	10-100	
环境温度 (°C)	-7-38	
环境湿度 (%)	/	
海拔高度 (m)	<2400	
起始点海拔高度差 (m)	<100	
累积正海拔增加量 (m/100km)	<1200	
累积功倍数	4-7	
市区比例(%)	20±5	
市郊比例(%)	25±5	
高速比例 (%)	55±5	
市区平均车速 (km/h)	15-30	
市郊平均车速 (km/h)	45-70	
高速平均车速 (km/h)	>70	
有效功基窗口比例 (%)	>50	
窗口平均功率百分比 (%)	20-10	
90%窗口NO _x 比排放 (g/kW h)	<0.69	
90%窗口CO比排放 (g/kW h)	<6	
90%窗口PN比排放 (#/kW h)	<1.2E+12	

表 7 (续)

项目	限值	结果
NO _x <500ppm占比 (%)	>95	
相关系数R ²	>0.9	
扭矩一致性 (%)	< ±7	
车速一致性 (%)	< ±4	