

团 体 标 准

T/CSAE xx—20xx

基于发动机在环的重型车燃料消耗量 和排放测试方法

Measurement method for fuel consumption and emissions of heavy-duty vehicles
based on engine-in-the-loop

(报批稿)

20xx-xx-xx 发布

20xx-xx-xx 实施

中国汽车工程学会 发布

目 次

前 言 II

引 言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 试验条件 2

5 台架要求 2

6 试验程序 3

7 试验数据处理 6

8 试验报告 7

附录 A（资料性）基于发动机在环的燃料消耗量试验报告 8

附录 B（资料性）基于发动机在环的排放试验报告 9

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。

本文件由中国汽车工程学会汽车测试技术分会提出。

本文件由中国汽车工程学会标准化工作委员会归口。

本文件起草单位：中汽研汽车检验中心（天津）有限公司、广西玉柴机器股份有限公司、潍柴动力股份有限公司、东风柳州汽车有限公司、李斯特智能科技（上海）有限公司、江铃汽车股份有限公司、一汽解放汽车有限公司、东风商用车有限公司、中国重型汽车集团有限公司、上海新动力汽车科技股份有限公司、北汽福田汽车股份有限公司、中国北方发动机研究所、中国汽车工程研究院股份有限公司、招商局检测车辆技术研究院有限公司、中公高远（北京）汽车检测技术有限公司、江苏沃开汽车技术有限公司。

本文件主要起草人：汪晓伟、高涛、何冠璋、窦站成、宾仕博、沈杰、郭华锋、张琳、李腾腾、余浩、康见见、霍永占、陈旭、张岩、王兴元、冯坦、孟令军、崔焕星、段娜、石则强、崔巍、岑霖霖、陆绍悌、李旭、丁亮、王书庆、贾德民、聂涛、李宁、高宇航。

引 言

本文件的发布机构提请注意, 声明符合本文件时, 可能涉及到6. 2、6. 3和6. 4与“ZL202110578368. 6一种基于发动机台架测试重型车排放油耗的系统及方法”相关的专利的使用。

本文件的发布机构对于该专利的真实性、有效性和范围无任何立场。

该专利持有人已向本文件的发布机构承诺, 他愿意同任何申请人在合理且无歧视的条款和条件下就专利授权许可进行谈判。该专利持有人的声明已在本文件的发布机构备案。相关信息可以通过以下联系方式获得;

专利持有人姓名: 中汽研汽车检验中心(天津)有限公司、中国汽车技术研究中心有限公司

地址: 天津市东丽区先锋东路68号主楼526室

请注意除上述专利外, 本文件的某些内容仍可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

基于发动机在环的重型车燃料消耗量和排放测试方法

1 范围

本文件规定了基于发动机在环的重型车燃料消耗量和排放测试的术语和定义、试验条件、台架要求、试验程序和试验数据处理。

本文件适用于以柴油、天然气作为燃料的重型车辆（不含重型混合动力车辆）在发动机在环台架上进行燃料消耗量与排放特性测试。其它以甲醇或氢气作为燃料的重型车辆参照执行。

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/T 3730.1—2022 汽车、挂车及汽车列车的术语和定义 第1部分：类型

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/T 17692—2024 汽车发动机及驱动电机净功率测试方法

GB/T 18297—2024 汽车发动机性能试验方法

GB/T 27840—2021 重型商用车辆燃料消耗量测量方法

GB/T 29125—2012 压缩天然气汽车燃料消耗量试验方法

GB 30510—2024 重型商用车辆燃料消耗量限值

GB/T 38146.2—2019 中国汽车行驶工况 第2部分：重型商用车辆

3 术语和定义

GB 17691—2018、GB/T 27840—2021和GB/T 38146.2—2019界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

发动机在环（EIL） engine-in-the-loop

在发动机台架上，通过将构建的整车模型、驾驶员模型、道路模型和试验室环境耦合到一起来实现，在发动机台架上对整车功能进行开发的一种方式。

3.2

整车模型 vehicle model

模拟车辆驱动型式、整车几何尺寸、轮胎和传动系统等参数的仿真模型。

3.3

阻力模型 resistance model

量化车辆行驶过程中所受外部阻力的数学模型，用于精确模拟车辆动力学负载。

3.4

驾驶员模型 driver model

为模拟驾驶员在行驶过程中的驾驶行为而构建的虚拟驾驶员行为模型，包括刹车、转向、离合器行程、油门、换挡策略等。

3.5

道路模型 road model

用于模拟试验工况的模型，需按照测试需求明确工况类型，涵盖法规循环工况（如CHTC）、实际道路测试工况等。

3.6

原型车 prototype car

搭载试验用发动机的实车，通过其实测数据与发动机在环测试结果的比对，实现发动机在环模型的验证，是模型调试阶段的核心参照载体。

4 试验条件

4.1 环境要求

4.1.1 燃料消耗量试验按GB/T 27840—2021中5.3.2要求执行。排放试验按GB17691—2018中K.4.1要求执行。

4.1.2 如有区别于4.1.1的特殊的环境条件要求，可依据具体特殊环境要求进行试验环境条件的调整，包括但不限于温度、海拔、湿度等大气环境条件。

4.2 试验用油液

试验所用燃料、润滑油、冷却液以及尿素溶液等油液的牌号和规格，应符合制造厂的试验技术条件。

5 台架要求

5.1 仪器设备

5.1.1 台架测量设备精度应满足GB17691—2018中附件CB的要求，便携式排放测试系统（PEMS）应满足GB17691—2018中附录K的要求。

5.1.2 发动机进气温度、冷却液温度应通过温控设备精确控制，应配备与整车模型车速同步的道路模拟

风机对后处理和排气管路进行吹拂。

5.1.3 测功机控制系统能跟踪扭矩、转速控制命令，并将测得的扭矩、转速反馈给整车模型，参与下一个计算步长的整车动力学模型计算从而构成发动机扭矩/转速的闭环控制。

5.2 模型系统

5.2.1 应支持底盘测功机工况数据和实车道路数据的导入，能根据实车道路数据实现实际道路坡度和曲率计算。

5.2.2 应具备在线整车建模或支持外部整车模型的导入功能，并能实现整车阻力模拟以及整车惯量模拟。

5.2.3 应具备驾驶员模型构建或支持外部驾驶员模型的导入。

6 试验程序

6.1 台架准备

6.1.1 发动机准备

6.1.1.1 测试发动机包含发动机线束、整车线束以及电子控制单元（ECU），并且在发动机台架安装时，其全套后处理设备的布置应与整车布置一致。

6.1.1.2 在台架准备阶段，应提前准备用于构建模型的相关整车参数和发动机参数。

6.1.1.3 如使用新发动机，应按制造厂规定的磨合规范进行磨合。使用或更换新的后处理时，应按制造厂规定的规范进行后处理系统激活。

6.1.2 发动机性能调试

6.1.2.1 在额定功率点，完成发动机进气中冷控制阀和排气背压控制阀的调节，依据 GB/T 17692—2024，验证外特性数据满足发动机性能要求。

6.1.2.2 确认发动机性能和排放满足制造厂要求。

6.2 模型搭建及调试

6.2.1 整车模型

6.2.1.1 按照作为试验对象的整车参数对底盘、轮胎、传动系统等进行建模。模型定义的车辆类型均依据 GB/T 3730.1—2022 建模需要的整车参数包括但不限于：

a) 整车驱动型式；

- b) 整车质量、轴距、惯量及重心位置；
- c) 轮胎滚动半径；
- d) 变速器类型、各挡位速比、传动效率等；
- e) 主减速器速比、惯量、传动效率等。

6.2.1.2 应输入发动机模型参数包括但不限于：

- a) 发动机扭矩MAP数据，应按GB/T 18297—2024中8.5进行测定；
- b) 发动机额定转速和最高转速；
- c) 发动机怠速转速、怠速摩擦扭矩。

6.2.2 阻力模型

6.2.2.1 按GB/T 27840—2021附录C测定车辆行驶阻力并进行阻力模型设置。

6.2.2.2 如果整车没有进行实际滑行，可按照GB/T 27840—2021附录E规定的行驶阻力系数推荐值作为替代方法确定行驶阻力。

6.2.3 驾驶员模型

6.2.3.1 驾驶员建模的参数设定包括但不限于牵引力限制设定、转向控制器参数设定、油门及刹车的控制、换挡设定、起步设定、停车设定。

6.2.3.2 根据变速器的类型（AT、MT、AMT）进行换挡设定。

6.2.4 道路模型

道路模型应按测试需求输入工况数据，如时间—车速曲线、GPS 轨迹数据等。

6.2.5 模型模拟运行

6.2.5.1 构建整车模型和驾驶员模型后，应模拟运行待测整车运行工况。

6.2.5.2 验证待测整车运行工况是否完整顺利运行。

6.2.5.3 车辆模拟运行状态应与待测整车运行工况基本一致，其速度最大偏差为 ± 3 km/h，超过速度偏差的单次时间不应大于2 s。

6.3 原型车模型验证

6.3.1 阻力验证

6.3.1.1 在发动机在环台架上按照GB/T 27840—2021中C.2.1.1.2的滑行方法进行模拟滑行，计算基于发动机在环的整车滑行速度时间曲线中的行驶阻力，并与实际的行驶阻力进行对比。

6.3.1.2 当速度高于 30 km/h 时，稳定模拟的总行驶阻力偏差不应大于 $\pm 3\%$ 。

6.3.2 结果验证

6.3.2.1 在正式燃料消耗量和排放测试开始之前，应将原型车在发动机在环台架上开展的整车测试结果和原型车在底盘测功机的实车测试结果进行比对，来确定模型的准确性。

6.3.2.2 在发动机在环台架上运行实车测试的循环时，应设置与实车测试相同的挡位和车辆载荷，采集相同的数据。

6.3.2.3 宜采用如表 1 所示的容差限值对模型的精度进行判定。对于 CO_2 、 NO_x 和 PN 排放换算系数结果的判定，宜用发动机原始排放来进行。

表 1 发动机在环模型验证的精度要求

参数	定义	推荐值
车速相关系数	EIL 测试的车速与底盘测功机测试的车速进行线性回归后相关系数的平方, R^2	≥ 0.97
发动机转速相关系数	EIL 测试的发动机转速与底盘测功机测试的发动机转速进行线性回归后相关系数的平方, R^2	≥ 0.88
发动机扭矩相关系数	EIL 测试的发动机扭矩与底盘测功机测试的发动机扭矩进行线性回归后相关系数的平方, R^2	≥ 0.88
功精度系数	EIL 测试的总功与底盘测功机测试的总功的比值（只计算正功率）	0.97~1.03
CO_2 排放精度系数	EIL 测试的总 CO_2 排放与底盘测功机测试的总 CO_2 排放的比值	0.97~1.03
NO_x 排放精度系数	EIL 测试的总 NO_x 排放与底盘测功机测试的总 NO_x 排放的比值	0.95~1.05
PN 排放精度系数	EIL 测试的总 PN 排放与底盘测功机测试的总 PN 排放的比值	0.9~1.1

6.4 燃料消耗量和排放测试

6.4.1 燃料消耗量测试

6.4.1.1 在燃料消耗量测试开始之前，应检查发动机传感器数据是否正常，确认燃油管路、冷却液循环管路无泄漏。对排气污染物分析仪应进行零点和量程标定和检查。

6.4.1.2 检查整车模型、驾驶员模型选择是否正确，记录关键整车模型及驾驶员模型参数。在设定车辆载荷时，同步使用对应载荷的行驶阻力参数。

6.4.1.3 将 GB/T 38146.2—2019 中附录 A 规定的中国重型商用车辆行驶工况（CHTC）输入道路模型。

6.4.1.4 燃料消耗量测试开始前，应对发动机进行充分预热，直至发动机节温器打开，发动机机油温度、冷却液温度都达到稳定的厂家认可的热机状态。对于单台发动机开展的试验，使用同一固定工况进行热机。

6.4.1.5 确定所有的测试设备已经开始数据采集，所有信号的采集频率不应低于 1Hz。宜在测试的同时，

同步采集发动机车载诊断数据。

6.4.1.6 发动机降至怠速后，进入发动机在环外部循环控制开始燃料消耗量测试。同一测试循环应开展三次，并在每次工况结束后，分别记录试验数据结果。在连续相邻的两个行驶工况之间，发动机应采用热机工况保持热机状态。

6.4.2 排放测试

6.4.2.1 排放测试准备参照6.4.1.1和6.4.1.2执行。

6.4.2.2 按照需要的测试循环输入道路模型。

6.4.2.3 应在发动机起动前开始采样，测量排气参数并记录发动机参数。发动机起动后进入发动机在环外部循环控制，开始PEMS道路工况循环排放测试，在测试期间，应持续进行排气取样，试验结束时，应预留足够的时间保证采样设备的响应时间。

7 试验数据处理

7.1 燃料消耗量计算

7.1.1 采用碳平衡法计算车辆燃料消耗量，对应车型燃料消耗量限值参考GB 30510—2024。

7.1.1.1 对于装备柴油机的车辆，按公式(1)计算燃料消耗量，并按照GB/T 27840—2021中5.6.3要求进行综合燃料消耗量的计算。

$$Q = \frac{0.1156}{\rho g} [(0.866 \times HC) + (0.429 \times CO) + (0.273 \times CO_2)] \dots\dots\dots (1)$$

式中：

Q ——燃料消耗量，单位为升每百千米（L/100km）；

ρg ——为15℃下的燃料密度，单位为千克每升（kg/L）；

HC ——测得的碳氢化合物排放量，单位为克每千米（g/km）；

CO ——测得的一氧化碳排放量，单位为克每千米（g/km）；

CO₂ ——为测得的二氧化碳排放量，单位为克每千米（g/km）。

7.1.1.2 对于装备天然气发动机的车辆，燃料消耗量计算参考GB/T 29125—2012中8.1碳平衡法，按公式(2)计算。

$$FC_0 = \frac{0.1336}{0.654} [(0.749 \times THC) + (0.429 \times CO) + (0.273 \times CO_2)] \dots\dots\dots (2)$$

式中：

FC_0 ——基准天然气消耗量(15℃、101.325kPa), 单位为立方米每百千米 ($m^3/100\ km$) ；

THC ——实测总碳氢排放量(当测量CH₄和非甲烷碳氢NMHC时, 应为CH₄和NMHC排放量之和), 单位为为克每千米 (g/km) ；

CO ——实测一氧化碳排放量, 单位为克每千米 (g/km) ；

CO₂ ——实测二氧化碳排放量, 单位为克每千米 (g/km) 。

7.2 排放计算

所有排放物的计算, 按照GB 17691—2018中附件KA的计算方法得到结果。

8 试验报告

试验报告应包含车辆类型、试验结果等内容, 相关示例见附录A和附录B。

附录 A

(资料性)

基于发动机在环的燃料消耗量试验报告

本附录规定了基于发动机在环的燃料消耗量试验报告的内容要求，试验报告应包含车辆基本参数、动力系统参数、环境条件和燃料消耗量等信息，具体内容见表 A.1。

表 A.1 基于发动机在环的燃料消耗量试验报告内容

试验报告			
车辆类型		驱动型式及位置	
外廓尺寸：长×宽×高	mm	最小离地间隙	mm
轴距	mm	轮距(前/后)	mm
轮胎数		轮胎规格及气压	kPa
变速器型式		前进挡个数	
各挡速比		驱动桥主减速比	
整备质量	kg	最大设计总质量	kg
测试质量	kg		
发动机编号		排量	L
缸数-缸径×行程	mm	怠速转速	r/min
额定功率/转速	[kW/(r/min)]	最大扭矩/转速	[Nm/(r/min)]
环境温度	℃	环境压力	kPa
进气相对湿度	%	燃料类型	
行驶阻力系数	A= N	B= N/(km/h)	C= N/(km/h) ²
测试循环：	☐ CHTC ☐ 其他_____		
第一次测试			
测试总里程	km	测试总功	kW·h
燃料消耗总量	L	CO ₂ 总排放量	g
燃料消耗量	L/100km	CO ₂ 排放量	g/100km
第二次测试			
测试总里程	km	测试总功	kW·h
燃料消耗总量	L	CO ₂ 总排放量	g
燃料消耗量	L/100km	CO ₂ 排放量	g/100km
第三次测试			
测试总里程	km	测试总功	kW·h
燃料消耗总量	L	CO ₂ 总排放量	g
燃料消耗量	L/100km	CO ₂ 排放量	g/100km
平均值			
测试总里程	km	测试总功	kW·h
燃料消耗总量	L	CO ₂ 总排放量	g
燃料消耗量	L/100km	CO ₂ 排放量	g/100km

主检：

检验员：

日期：

附录 B

(资料性)

基于发动机在环的排放试验报告

本附录规定了基于发动机在环的排放试验报告的内容要求，试验报告应包含车辆基本参数、动力系统参数、环境条件和比排放等信息，具体内容见表 B.1。

表 B.1 基于发动机在环的排放试验报告内容

试验报告			
车辆类型		驱动型式及位置	
外廓尺寸：长×宽×高	mm	最小离地间隙	mm
轴距	mm	轮距（前/后）	mm
轮胎数		轮胎规格及气压	kPa
变速器型式		前进挡个数	
各挡速比		驱动桥主减速比	
整备质量	kg	最大设计总质量	kg
测试质量	kg		
发动机编号		排量	L
缸数-缸径×行程	mm	怠速转速	r/min
额定功率/转速	[kW/(r/min)]	最大扭矩/转速	[Nm/(r/min)]
环境温度	°C	环境压力	kPa
进气相对湿度	%	燃料类型	
行驶阻力系数	A= N	B= N/(km/h)	C= N/(km/h) ²
测试循环：	□PEMS□CHTC□其他_____		
测试总里程	km	测试总功	kW·h
CO 比排放	g/(kW·h)	CO ₂ 比排放	g/(kW·h)
NO _x 比排放	g/(kW·h)	THC 比排放	g/(kW·h)
PM 比排放	g/(kW·h)	PN 比排放	#/(kW·h)

主检：

检验员：

日期：