

ICS 点击此处添加 ICS 号

CCS 点击此处添加 CCS 号

团 体 标 准

T/XXX XXXX—XXXX

商用车混合动力电驱动总成效率测试方法

Test method for efficiency of commercial vehicle hybrid electric drive assembly

(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。

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中国汽车工业协会 发布

目 次

前言	2
1 范围	3
2 规范性引用文件	3
3 术语和定义	3
4 一般试验条件	3
5 磨合工况	4
6 机械效率测试	5
7 系统效率测试	6
8 工况效率测试	9
9 试验报告	10

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这些专利的责任。

本文件由 xxx 提出。（中国汽车工业协会 xx 分会）

本文件起草单位：xxx

本文件主要起草人：xxx

商用车混合动力电驱动总成效率测试方法

1 范围

本文件规定了商用车混合动力电驱动总成机械效率、系统效率及工况效率的台架测试方法。
本文件适用于商用车混合动力电驱动总成（以下简称混动总成）的效率测试。

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。

GB/T 19596 电动汽车术语

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

GB/T 27840-2021 重型商用车辆燃料消耗量测量方法

3 术语和定义

GB/T 19596 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

混合动力电驱动总成 hybrid electric drive assembly

混合动力电动汽车使用的变速器，具有至少两种动力输入，通常为内燃机和电机。

3.2

发电机 generator

将机械能转换成电能的电气装置。

3.3

驱动电机 drive motor

将电能转换成机械能为车辆行驶提供驱动力的电气装置，该装置也可具备机械能转化成电能的功能。

4 一般试验条件

4.1 试验环境温度：18℃～28℃，相对湿度：45%～75%。

4.2 所有部件符合图纸要求前提下满足以下条件：

- a) 试验样机应随意抽取；
- b) 混动总成所有零部件应有详细的检测报告；
- c) 混动总成装配时的关键参数应做好记录，各紧固件应紧固到要求的扭矩；
- d) MCU 和电机完成单体标定，且各项性能参数分别满足其设计规范要求；

- e) 混动总成经过下线检测合格且未进行过其他试验。
- 4.3 按照设计要求加注润滑油。
- 4.4 温度传感器应安装在混动总成放油螺栓处，用于监测混动总成油温。
- 4.5 混动总成安装在台架上的姿态与其在整车上的安装位置保持一致。
- 4.6 试验用线束规格、长度与车辆中实际的线束一致。如果试验中线束对测量产生实质性影响，则应调整相应的外线路阻抗，使之与车辆中线束阻抗尽可能相等。
- 4.7 样机上各控制器的策略与整车保持一致。
- 4.8 样机上的油冷器、电机控制器，试验过程中的冷却润滑流量应于整车保持一致。

5 磨合工况

油温 $(80 \pm 5) ^\circ\text{C}$ ，磨合后更换油品，工况见表 1。当动力源存在多个档位时，每个档位都需按照下述条件进行磨合。

表 1 磨合试验工况

模式	输入转速/ (r/min)		输入扭矩/N.m		时间 (min)
	驱动电机	输入电机	驱动电机	输入电机	
EV	驱动电机最大扭矩时转速	0	50%驱动电机峰值扭矩	0	60
并联	50%驱动电机最高转速	50%发动机最高转速	25%驱动电机峰值扭矩	50%发动机最大扭矩	60
发动机直驱	0	发动机最大扭矩时的转速	0	50%发动机最大扭矩	60
驻车发电	0	发动机怠速转速	0	30%发动机最大扭矩	30
制动能量回收	30%驱动电机最高转速	0	-25%驱动电机峰值扭矩	0	30

6 机械效率测试

6.1 台架设备要求

- 6.1.1 台架需要具备润滑油温度控制装置，用于控制混动总成油温，温度控制精度 $\pm 5 ^\circ\text{C}$ ，温度传感器测量精度 $\pm 1 ^\circ\text{C}$ 。
- 6.1.2 台架输入/输出测功机转速波动 $\pm 2 \text{ r/min}$ ，扭矩控制精度 $\pm 0.5\% \text{FS}$ ，定扭矩瞬时波动 $\pm 5 \text{ Nm}$ ，测量精度 $\pm 0.1\% \text{FS}$ ；转速控制精度 $\pm 5 \text{ r/min}$ ，测量精度 $\pm 1 \text{ r/min}$ 。
- 6.1.3 台架需要具备同步记录转速、扭矩和温度的功能，并且记录频率不小于 10 Hz 。
- 6.1.4 台架关键测量设备量程选择，应满足试验工况中的最大测量值落在设备量程的 $75\% \sim 100\%$ 之间。

6.2 试验样机要求

6.2.1 满足 4.2、4.3、4.4、4.5、4.6、4.7、4.8 的要求。

6.2.2 样机可对驱动电机和发电机进行改制，使用外部电机进行驱动，驱动电机和发电机可不充磁或退磁处理，也可使用工装代替，相关改制应不对效率造成影响。

6.3 试验磨合工况

试验前按照 5 表 1 进行磨合。

6.4 驱动电机直接驱动、反拖状态下机械效率测试

6.4.1 试验时样机中油温 $40^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ， $80^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 和 $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ，三种温度分别测试。

6.4.2 从驱动电机转速 500 r/min 开始，步长 500 r/min 进行取点，直至驱动电机最高转速，试验过程中若发电机随转，不能超过其最高转速，若转速点对应的车速超出整车最高车速，则不需要测量，并测量最高车速对应的转速点。

6.4.3 驱动状态下，依据驱动电机外特性曲线，扭矩按照各转速状态下最大扭矩的 10%，20%，30%，40%，50%，60%，70%，80%，90%，100% 进行测量。

6.4.4 反拖状态下，依据驱动电机外特性曲线，扭矩按照各转速状态下最大扭矩的 10%，20%，30%，40%，50%，60%，70%，80%，90%，100% 进行测量。

6.4.5 每个测量点，稳定 5s 后，测量 3s 并取其平均值。

6.4.6 若驱动电机有多个挡位，则每个挡位都需要进行相应的测试。

6.4.7 驱动状态下机械效率计算见公式 (1)，反拖状态下机械效率计算见公式 (2)：

$$\eta_{\text{驱动}} = \frac{T_{\text{OUT}} * N_{\text{OUT}}}{T_{\text{in}} * N_{\text{in}}} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

$$\eta_{\text{反拖}} = \frac{T_{\text{in}} * N_{\text{in}}}{T_{\text{out}} * N_{\text{out}}} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$\eta_{\text{驱动}}$ ——驱动电机驱动状态下的机械效率；

$\eta_{\text{反拖}}$ ——驱动电机反拖状态下的机械效率；

T_{out} ——混动总成输出端扭矩（单位 $\text{N} \cdot \text{m}$ ）；

N_{out} ——混动总成输出端转速（单位 r/min）；

T_{in} ——驱动电机输入端扭矩（单位 $\text{N} \cdot \text{m}$ ）；

N_{in} ——驱动电机输入端转速（单位 r/min）；

6.5 发电机发电状态下的机械效率测试

6.5.1 试验时样机中油温 $40^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ， $80^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 和 $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ，三种温度分别测试。

6.5.2 发动机起始转速 1000r/min，按照 500r/min 的间隔累加转速生成测试点，直至发动机最高转速。注意不能超过发电机的最高转速限制，超过发电机最高转速的工况点不需测试。

6.5.3 依据发动机外特性曲线，扭矩按照各转速状态下发动机最大扭矩的 10%，20%，30%，40%，50%，60%，70%，80%，90%，100% 进行测量，应包含发电机的最大扭矩和额定扭矩点。

6.5.4 每个测量点，稳定 5s 后，测量 3s 并取其平均值。

6.5.5 发电机发电状态下的机械效率计算见公式 (3)：

$$\eta_{发电} = \frac{T_G * N_G}{T_{in} * N_{in}} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

- $\eta_{发电}$ ——发电状态下的机械效率；
- T_G ——发电机端扭矩（单位 N·m）；
- N_G ——发电机端转速（单位 r/min）；
- T_{in} ——混动总成输入端扭矩（单位 N·m）；
- N_{in} ——混动总成输入端转速（单位 r/min）；

6.6 发动机直驱状态下的机械效率测试

6.6.1 试验时样机中油温 $40^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ， $80^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 和 $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ，三种温度分别测试。

6.6.2 发动机起始转速 1000r/min，按照 500r/min 的间隔累加转速生成测试点，直至发动机最高转速。注意不能超过发电机的最高转速限制，超过发电机最高转速的工况点不需测试。

6.6.3 依据发动机外特性曲线，扭矩按照各转速状态下发动机最大扭矩的 10%，20%，30%，40%，50%，60%，70%，80%，90%，100%进行测量。

6.6.4 每个测量点，稳定 5s 后，测量 3s 并取其平均值。

6.6.5 若发动机有多个挡位，则每个挡位都需要进行相应的测试。

6.6.6 发动机直驱状态下机械效率计算见公式（4）：

$$\eta_{直驱} = \frac{T_{OUT} * N_{OUT}}{T_{Eng} * N_{Eng}} \times 100\% \quad (4)$$

式中：

- $\eta_{直驱}$ ——发动机直驱状态下的机械效率；
- T_{out} ——混动总成输出端扭矩（单位 N·m）；
- N_{out} ——混动总成输出端转速（单位 r/min）；
- T_{Eng} ——发动机端输入扭矩（单位 N·m）；
- N_{Eng} ——发动机端输出转速（单位 r/min）；

7 系统效率测试

7.1 台架设备要求

7.1.1 台架需要具备润滑油温度控制装置，用于控制混动总成油温，温度控制精度 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ ，温度传感器测量精度 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

7.1.2 台架具备水恒温装置用于对电机和电机控制器进行冷却，水流量控制精度 1 L/min，温度控制精度 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，测量精度 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

7.1.3 台架具备电池模拟器，电压控制精度 $\pm 1\text{V}$ 。

7.1.4 台架需要具备电流电压测量装置，电压测量精度 $\pm 0.05\% \text{ FS}$ ，电流测量精度 $\pm 0.05\% \text{ FS}$ ，使用功率分析仪进行测量。

7.1.5 台架输入/输出测功机转速波动 $\pm 2\text{r/min}$ ，扭矩控制精度 $\pm 0.5\% \text{ FS}$ ，定扭矩瞬时波动 $\pm 5 \text{ Nm}$ ，测量精度 $\pm 0.1\% \text{ FS}$ ；转速控制精度 $\pm 5 \text{ r/min}$ ，测量精度 $\pm 1 \text{ r/min}$ 。

7.1.6 台架需要具备同步记录转速、扭矩、温度、电流、电压的功能，并且记录频率不小于 10 Hz。

7.1.7 台架关键测量设备量程选择, 应满足试验工况中的最大测量值落在设备量程的 75%~100%之间。

7.2 试验样机要求

满足 4.2、4.3、4.4、4.5、4.6、4.7、4.8 要求

7.3 试验磨合工况

在试验前按照 5 表 1 进行磨合

7.4 驱动电机直接驱动和能量回收状态下的系统效率测试

7.4.1 试验时样机中油温 $40^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, $80^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 和 $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, 三种温度分别测试。

7.4.2 效率测试中, 调节电池模拟器输出电压到 MCU 额定电压, 根据效率工况测试要求, 驱动电机和输入测功机扭矩控制, 发电机和输出测功机转速控制。电机电控按照设计要求进行冷却, 当电机过热保护时暂停测试, 对电机进行散热后再进行测试 (试验中监测电机和 MCU 自身温度)。

7.4.3 从驱动电机转速 500 r/min 开始, 步长 500 r/min 进行取点, 直至驱动电机最高转速, 试验过程中若发电机随转, 不能超过其最高转速, 若转速点对应的车速超出整车最高车速, 则不需要测量, 并测量最高车速对应的转速点。

7.4.4 驱动状态下, 依据驱动电机外特性曲线, 扭矩按照各转速状态下最大扭矩的 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, 100% 进行测量。

7.4.5 能量回收状态状态下, 依据驱动电机外特性曲线, 扭矩按照各转速状态下最大扭矩的 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, 100% 进行测量。

7.4.6 每个测量点, 稳定 5s 后, 测量 3s 并取其平均值。

7.4.7 若驱动电机有多个挡位, 则每个挡位都需要进行相应的测试。

7.4.8 驱动状态下系统效率计算见公式 (5), 能量回收状态下系统效率计算见公式 (6):

$$\eta_{\text{驱动}} = \frac{T_{\text{out}} * N_{\text{out}}}{9.55 * U * I} \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

$$\eta_{\text{能量回收}} = \frac{9.55 * U * I}{T_{\text{out}} * N_{\text{out}}} \times 100\% \dots\dots\dots (6)$$

$\eta_{\text{驱动}}$ ——驱动电机驱动状态下的系统效率;

$\eta_{\text{能量回收}}$ ——驱动电机能量回收状态下的系统效率;

T_{out} ——混动总成输出扭矩 (单位 $\text{N} \cdot \text{m}$);

N_{out} ——混动总成输出转速 (单位 r/min);

U ——直流母线电压 (单位 V);

I ——直流母线电流 (单位 A)。

7.5 发电机发电状态下的系统效率测试

7.5.1 试验时样机中油温 $40^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, $80^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 和 $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, 三种温度分别测试。

7.5.2 效率测试中, 调节电池模拟器输出电压到 MCU 额定电压, 根据效率工况测试要求, 驱动电机和输入测功机扭矩控制, 发电机和输出测功机转速控制。电机电控按照设计要求进行冷却, 当电机过热保护时暂停测试, 对电机进行散热后再进行测试 (试验中监测电机和 MCU 自身温度);

7.5.3 发动机起始转速 1000r/min, 按照 500r/min 的间隔累加转速生成工况点, 但不能超过发电机

最大转速限值。

7.5.4 依据发动机外特性曲线，扭矩按照各转速状态下发动机最大扭矩的 10%，20%，30%，40%，50%，60%，70%，80%，90%，100%进行测量，应包含发电机的最大扭矩和额定扭矩点。

7.5.5 每个测量点，稳定 5s 后，测量 3s 并取其平均值。

7.5.6 发电机发电状态下的系统效率计算见公式（7）：

$$\eta_{\text{发电}} = \frac{9.55 * U * I}{T_{\text{Eng}} * N_{\text{Eng}}} \times 100\% \quad (7)$$

式中：

$\eta_{\text{发电}}$ ——发电机发电状态下的系统效率；

T_{Eng} ——发动机输入扭矩（单位 N·m）；

N_{Eng} ——发动机输入转速（单位 r/min）；

U ——直流母线电压（单位 V）；

I ——直流母线电流（单位 A）。

7.6 发动机、驱动电机和发电机串联状态下的系统效率测试

7.6.1 试验时样机中油温 $40^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ， $80^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 和 $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ，三种温度分别测试。

7.6.2 效率测试中，调节电池模拟器输出电压到 MCU 额定电压，根据效率工况测试要求，驱动电机和输入测功机扭矩控制，发电机和输出测功机转速控制。电机电控按照设计要求进行冷却，当电机过热保护时暂停测试，对电机进行散热后再进行测试（试验中监测电机和 MCU 自身温度）；

7.6.3 按照发电机功率小于等于发电机额定功率；发动机功率与驱动电机功率相等进行设定（假定电驱动系统无效率损失）；发动转速按照 1000rpm 开始，间隔 500rpm，发动机转速扭矩符合外特性曲线（串联行车模式）；车速不超过 CHTC 最高车速点；如排出的测试点较多，根据整车经济性最佳的点进行展开，取消或减少其它工况点。

7.6.4 串联状态理想情况下发电机全部能量通过 MCU 传输给驱动电机，由于发电机及驱动电机扭矩偏差，母线中会存在有正负电流的情况。在该情况下，效率值计算公式因直流母线电流 I 而分为两种情况，直流母线电流 I 为正时见公式（8），直流母线电流 I 为负时见公式（9）；

$$\eta_{\text{串联}} = \frac{N_{\text{out}} * T_{\text{out}}}{T_{\text{Eng}} * N_{\text{Eng}} + 9.55 * U * I} \times 100\% \quad (8)$$

$$\eta_{\text{串联}} = \frac{N_{\text{out}} * T_{\text{out}} + 9.55 * |U * I|}{T_{\text{Eng}} * N_{\text{Eng}}} \times 100\% \quad (9)$$

式中：

$\eta_{\text{串联}}$ ——串联状态下的系统效率；

T_{Eng} ——发动机输入扭矩（单位 N·m）；

N_{Eng} ——发动机输入转速（单位 r/min）；

U ——直流母线电压（单位 V）；

I ——直流母线电流（单位 A）。

7.7 发动机与驱动电机并联驱动状态下的系统效率测试

7.7.1 试验时样机中油温 $40^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ， $80^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 和 $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ，三种温度分别测试。

7.7.2 效率测试中，调节电池模拟器输出电压到 MCU 额定电压，根据效率工况测试要求，驱动电机和

输入测功机扭矩控制，发电机和输出测功机转速控制。电机电控按照设计要求进行冷却，当电机过热保护时暂停测试，对电机进行散热后再进行测试（试验中监测电机和 MCU 自身温度）；

7.7.3 从驱动电机转速 500 r/min 开始，步长 500 r/min 进行取点，直至驱动电机最高转速，试验过程中若发电机随转，不能超过其最高转速，若转速点对应的车速超出整车最高车速，则不需要测量，并测量最高车速对应的转速点。

7.7.4 驱动状态下，依据驱动电机外特性曲线，扭矩按照各转速状态下最大扭矩的 10%，20%，30%，40%，50%，60%，70%，80%，90%，100%进行测量。

7.7.5 发动机起始转速 1000r/min，按照 500r/min 的间隔累加转速生成工况点，但不能超过发电机最大转速限值。

7.7.6 依据发动机外特性曲线，扭矩按照各转速状态下发动机最大扭矩的 10%，20%，30%，40%，50%，60%，70%，80%，90%，100%进行测量，应包含发电机的最大扭矩和额定扭矩点。

7.7.7 若驱动电机和发动机有多个挡位，则每个挡位都需要进行相应的测试。

7.7.8 每个测量点，稳定 5s 后，测量 3s 并取其平均值。

7.7.9 发动机与驱动电机并联驱动状态下效率计算见公式（10）；

$$\eta_{\text{并联}} = \frac{N_{\text{out}} * T_{\text{out}}}{T_{\text{Eng}} * N_{\text{Eng}} + 9.55 * U * I} \times 100\% \quad (10)$$

式中：

$\eta_{\text{并联}}$ ——并联状态下的系统效率；

T_{Eng} ——发动机输入扭矩（单位 N·m）；

N_{Eng} ——发动机输入转速（单位 r/min）；

U ——直流母线电压（单位 V）；

I ——直流母线电流（单位 A）。

8 工况效率测试

8.1 台架设备要求

8.1.1 台架设备应满足 7.1 的要求。

8.1.2 台架需要具备低压电源，用于给混合动力汽车用变速器中低压部件，如电子油泵，控制器等供电。

8.1.3 台架需要具备道路阻力模拟功能。

8.1.4 试验台架需要具备同步记录转速和扭矩以及电流电压的功能，并可对其进行积分处理，台架记录频率不小于 10Hz。

8.2 试验样机要求

满足 4.2、4.3、4.4、4.5、4.6、4.7、4.8 要求

8.3 磨合试验工况

试验前按照 5 表 1 进行磨合。

8.4 工况效率试验工况

- 8.4.1 工况效率试验工况采用 CHTC 循环，循环工况按照 GB/T38246.2。
- 8.4.2 台架道路阻力按照 GB/T 27840 附录 C 行驶阻力测定及在底盘测功机上的模拟进行。
- 8.4.3 试验过程中按照整车上的冷却流量对混动总成电机、电机控制器、油冷器进行冷却。
- 8.4.4 台架模拟控制油门以及刹车信号，各动力源扭矩由整车控制器进行分配，策略与整车保持一致。
- 8.4.5 试验时对母线端直流输出功率和输入功率分别进行积分，台架输入电机端的输入和输出功率分别进行积分，台架轮端测功机的输入和输出功率分别进行积分。
- 8.4.6 重复进行循环工况至少 4 次并使循环中油底壳温度以及电机温度趋于稳定，取最后 3 循环的数据计算工况效率，混合动力变速器工况效率计算见公式（11）。

$$\eta_{\text{工况}} = \frac{E_1 + E_2 + E_3}{E_4 + E_5 + E_6} \times 100\% \dots\dots\dots (11)$$

式中：

$\eta_{\text{工况}}$ ——混合动力电驱动总成工况效率；

E_1 ——混合动力电驱动总成向台架输出端输出的能量（单位：焦耳，J）；

E_2 ——混合动力电驱动总成向电池模拟器输出的能量（单位：焦耳，J）；

E_3 ——混合动力电驱动总成向台架输入端输出的能量（单位：焦耳，J）；

E_4 ——电池模拟器向混合动力电驱动总成输入的能量（单位：焦耳，J）；

E_5 ——台架输入端向混合动力电驱动总成输入的能量（单位：焦耳，J）；

E_6 ——台架输入端向混合动力电驱动总成输入的能量（单位：焦耳，J）。

9 试验报告

根据试验数据出具正式试验报告，包括以下内容：

- a) 试验箱名称、零件号、数量、试验箱历史运行记录。
- b) 试验人员、地点、日期、环境，台架搭建图片、必要的试验过程说明。
- c) 试验设备的名称、型号。
- d) 试验条件。
- e) 试验结果：各模式下测得所有工况点的最高效率、所有工况点效率的加权平均值、所有工况点效率 >85% 与 >90% 的高效区占比、所有工况点的效率 Map 图，CHTC 工况效率。
- f) 其他事项。