

ICS 43.020

CCS T 47



团 体 标 准

T/CEATEC XXX—2025

新能源汽车电驱动系统/变速器 台架 NVH 性能测试与评价导则

Guideline for NVH performance testing and evaluation of new energy
vehicle electric drive system / transmission on test bench

2025-X-XX 发布

2025-X-XX 实施

中国欧洲经济技术合作协会 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 测试条件 1

 4.1 环境条件 1

 4.2 样品条件 2

 4.3 台架安装条件 2

 4.4 电气与控制条件 2

 4.5 安全与防护条件 2

5 测试设备 2

 5.1 设备类型 2

 5.2 设备安装要求 3

6 测试方法 3

 6.1 测试前准备 3

 6.2 空载 NVH 测试 3

 6.3 额定负载 NVH 测试 3

 6.4 变工况 NVH 测试 4

 6.5 耐久性后 NVH 测试 4

7 数据处理 4

 7.1 噪声信号处理 4

 7.2 振动信号处理 5

 7.3 声品质参数计算 5

8 性能评价 6

 8.1 评价指标 6

 8.2 评价等级判定 6

 8.3 评价报告 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。

本文件由中国欧洲经济技术合作协会提出并归口。

本文件主要起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次编制。

新能源汽车电驱动系统/变速器 台架 NVH 性能测试与评价导则

1 范围

本文件规定了新能源汽车电驱动系统及变速器在台架条件下的NVH（噪声、振动与声品质）性能测试与评价的测试条件、测试设备、测试方法、数据处理及性能评价。

本文件适用于纯电动汽车和插电式混合动力汽车所采用的电驱动系统及其配套变速器的NVH台架性能测试与评价，也可供其他类型电驱动总成NVH研究与开发参考

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 3767 声学 声压法测定噪声源声功率级和声能量级 反射面上方近似自由场的工程法

GB/T 6075.2 机械振动 在非旋转部件上测量评价机器的振动 第2部分：50MW以上，额定转速1500 r/min、1800 r/min、3000 r/min、3600 r/min陆地安装的汽轮机和发电机

GB/T 6882 声学 声压法测定噪声源声功率级和声能量级 消声室和半消声室精密法

GB/T 20247 声学 混响室吸声测量

GB 38031 电动汽车用动力蓄电池安全要求

QC/T 1209 汽车噪声与振动(NVH)术语和定义

ISO 4406 液压传动用液体—固体颗粒污染等级编码方法 (Hydraulic fluid power—Fluids—Method for coding the level of contamination by solid particles)

3 术语和定义

QC/T 1209界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

电驱动系统 electric drive system

由电机、变速器、逆变器及冷却系统等组成的动力子系统，用于提供驱动扭矩。

3.2

阶次分析 order analysis

指对旋转机械振动信号进行转速相关性分析的方法，以阶次为横坐标展示振动特征。

4 测试条件

4.1 环境条件

NVH测试应在具备良好声学性能和环境控制能力的试验室内进行，环境条件应符合下列要求：

- 环境温度：20 ℃±5 ℃；
- 相对湿度：30%~70%；
- 大气压力：86 kPa~106 kPa；
- 背景噪声：在1 m测点处不应高于40 dB(A)；

- e) 环境振动：地面振动加速度均方根值应小于 0.01 m/s^2 ；
- f) 照度：测试区照度应不低于 300 lx ；
- g) 声学环境：声学测试应在符合GB/T 20247规定的半消声室或等效测试环境中进行。

4.2 样品条件

- 4.2.1 被测样品应为符合设计与生产一致性要求的整机或总成，外观、机械结构、电气接口及冷却系统应完整且处于正常状态。样品不应有松动、裂纹、漏油等异常现象。
- 4.2.2 样品在测试前应经过预运行，确保轴承、齿轮啮合、润滑系统处于稳定状态。预运行条件如下：
 - a) 空载运转时间 $\geq 15 \text{ min}$ ；
 - b) 转速范围：500～额定转速的80%；
 - c) 油温稳定在 $60 \text{ }^{\circ}\text{C} \sim 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内。
- 4.2.3 样品的润滑介质应为制造商推荐型号，油液清洁度不低于ISO 4406 17/15/12等级，冷却系统应维持额定流量与温度控制要求。

4.3 台架安装条件

- 4.3.1 电驱动系统应通过刚性支撑装置安装于试验台架上，安装要求如下：
 - a) 安装夹具的固有频率应高于测试频率上限1.5倍以上；
 - b) 夹具与台架连接的预紧力应满足设计要求，螺栓应采用防松措施；
 - c) 台架应具有防滑、耐振动和耐高温特性。
- 4.3.2 联轴器的同轴度偏差应 $\leq 0.05 \text{ mm}$ ，角度偏差 $\leq 0.05^{\circ}$ 。驱动电机与被测变速器的转轴应严格对中，以防止附加振动。
- 4.3.3 台架基础应采用隔振结构或阻尼层，以降低地面干扰。
- 4.3.4 声学测试时，测试系统周围应保持至少 1.5 m 的自由空间，避免反射体干扰。测点布置位置应保持与样品表面 1.0 m 距离、距地面 1.2 m 高度。
- 4.3.5 安装过程中应注意电缆布置，传感器线缆应远离高压动力线，必要时采用屏蔽线或隔离通道。

4.4 电气与控制条件

- 4.4.1 电源系统应提供稳定、低纹波直流电源，电压波动不超过 $\pm 1\%$ 。
- 4.4.2 控制系统应能实现转速、转矩、温度和负载的闭环控制。采样频率不低于 10 Hz ，控制精度要求如下：
 - a) 转速控制误差 $\leq \pm 0.5\%$ ；
 - b) 转矩控制误差 $\leq \pm 1\%$ ；
 - c) 冷却液温度控制误差 $\leq \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- 4.4.3 所有监测信号应具备时间同步功能，时间漂移 $\leq 1 \text{ } \mu\text{s}$ 。

4.5 安全与防护条件

安全与防护应符合以下条件：

- a) 台架运行前应设有防护罩；
- b) 操作区域应配备急停开关和断电装置；
- c) 声学试验区应设置听力防护措施，人员噪声暴露不应超过 85 dB(A) ；
- d) 高压线束应符合GB 38031的绝缘要求；
- e) 试验结束后，应切断电源并检查样品温升、泄漏及异常声振现象。

5 测试设备

5.1 设备类型

NVH测试系统应包括动力加载设备、振动与声学采集设备、转速测量装置及数据分析系统，其典型配置见表1。

表1 典型测试设备配置

设备名称	测试类型	主要技术要求	数量
动力测功机	工况加载	额定功率 ≥ 200 kW, 转速范围0~20000 r/min, 转矩测量精度 $\leq \pm 0.5\%$, 应支持恒转速、恒转矩及变速控制模式	1台
加速度传感器	振动测试	频响范围0.5 Hz~10 kHz, 灵敏度10 mV/(m/s ²), 应满足结构振动测量要求	≥ 6 个
声压传感器 (麦克风)	噪声测试	频响范围20 Hz~20 kHz, 测量精度 $\leq \pm 0.5$ dB, 应具有自由场响应特性	≥ 4 个
数据采集系统	综合采集	采样率 ≥ 51.2 kHz, 通道数 ≥ 16 , 分辨率 ≥ 24 bit, 应具备同步采集与触发功能	1套
转速传感器	阶次分析/同步控制	测量精度 $\leq \pm 0.1\%$, 输出可与采集系统同步触发	1个
信号分析软件	数据处理与声品质分析	应支持快速傅里叶变换(FFT)、阶次分析、频谱图、声品质参数(响度、尖锐度、粗糙度等)计算	1套

5.2 设备安装要求

设备安装要求如下:

- 加速度传感器应安装在电驱动系统壳体关键测点(如电机端盖、变速器壳体中部、输出法兰等), 传感方向应与主要振动方向一致;
- 声压传感器应按GB/T 6882要求布置于试验舱内, 距地面1.0 m、高度一致, 形成半消声环境;
- 动力测功机与被测系统轴线应同轴安装, 偏差 ≤ 0.05 mm;
- 采集系统及转速传感器应通过同一时钟同步系统进行触发;
- 所有电缆、连接件应屏蔽接地, 防止电磁干扰。

6 测试方法

6.1 测试前准备

测试前应进行以下准备:

- 检查试验台架安装是否牢固, 电驱动系统或变速器应通过专用支架与台架刚性连接, 防止额外共振影响;
- 检查动力测功机、电机控制器、冷却系统、电源系统运行状态是否正常;
- 校准声压传感器、加速度传感器及转速传感器, 校准误差不应超过标称精度的 $\pm 5\%$;
- 按测试需求布置传感器:
 - 噪声测试: 在距被测总成外壳1 m、距地面1.2 m高度布置4个麦克风, 形成矩形阵列;
 - 振动测试: 在壳体顶部、侧面、底部及输出轴端面径向、轴向位置布置加速度传感器;
- 确认数据采集系统与测功机、转速传感器同步触发, 采样率设定为51.2 kHz;
- 测试前运行设备5 min进行预热与系统稳定性检查。

6.2 空载 NVH 测试

6.2.1 测试条件

电驱动系统在空载状态下运行, 转速分为1000 r/min、2000 r/min、4000 r/min、6000 r/min、8000 r/min 等典型档位。

6.2.2 测试方法

测试方法如下:

- 记录稳态工况下的声压与振动信号, 每档位采集连续10 s数据, 重复3次;
- 对噪声信号进行声压级计算(A计权), 单位dB(A);
- 对振动信号进行三向加速度分析, 计算均方根值(RMS)。

6.2.3 结果处理

取三次测量结果的算术平均值作为该工况的代表值。

6.3 额定负载 NVH 测试

6.3.1 测试条件

加载50%、75%、100%额定转矩，转速保持在额定转速。

6.3.2 测试方法

测试方法如下：

- 通过测功机加载，稳定10 s后采集噪声与振动信号；
- 声学部分按GB/T 3767进行声压级计算；
- 振动部分按GB/T 6075.2进行加速度均方根值分析。

6.3.3 记录功率、电流、电压及温度等运行参数以便结果修正。

6.4 变工况 NVH 测试

6.4.1 测试条件

测试条件如下：

- 加速工况：从0转速加速至额定转速，加速时间5 s；
- 减速工况：从额定转速减速至0，时间相同。

6.4.2 测试方法

测试方法如下：

- 同步记录声压与振动信号，采样率51.2 kHz；
- 进行阶次分析，识别主阶次噪声及谐波特征；
- 计算噪声峰值（最大声压级）与振动峰值。

6.4.3 数据分析

进行以下数据分析：

- 识别齿轮啸叫频段；
- 提取电磁噪声阶次分量。

6.5 耐久性后 NVH 测试

6.5.1 按企业或标准规定完成耐久试验（如100 h连续运行或10000 km等效寿命）；

6.5.2 重复进行6.2与6.3的空载与额定负载测试；

6.5.3 比较耐久前后噪声与振动水平变化率：

$$\Delta L_A = L_{A2} - L_{A1} \quad (1)$$

$$\Delta a_{rms} = a_{rms2} - a_{rms1} \quad (2)$$

式中：

L_{A1} 、 L_{A2} ——耐久前后A计权声压级；

a_{rms1} 、 a_{rms2} ——耐久前后振动加速度均方根值。

7 数据处理

7.1 噪声信号处理

7.1.1 时域分析

时域分析应按照以下步骤进行：

- 对噪声原始信号进行去直流漂移与A计权滤波（符合GB/T 3785.1）；
- 计算等效连续声压级（ L_{eq} ），公式如下：

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{T} \int_0^T \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt \right) \quad (3)$$

式中：

$p(t)$ ——瞬时电压，单位Pa；

p_0 —— $2 \times 10^{-5} pa$ ，参考声压；

T ——测量时间（s）。

7.1.2 频域分析

频域分析应按照以下步骤进行：

- a) 采用快速傅里叶变换（FFT）获得噪声频谱；
- b) 识别主要噪声特征频段：
 - 齿轮啸叫频段：1000 Hz～6000 Hz；
 - 电磁噪声频段：与电机极对数和转速相关的基波及其谐波频率；
- c) 对各频段声压级进行积分，获得分频带声功率特性。

7.1.3 阶次分析

阶次分析应按照以下步骤进行：

- a) 将频谱信号按转速同步变换为阶次域；
- b) 绘制阶次图，识别与齿轮啮合、轴承转动、电磁谐波相关的阶次；
- c) 对主要阶次（1阶、2阶、齿轮啮合阶次）声压级进行对比评估。

7.2 振动信号处理

7.2.1 加速度信号预处理

加速度信号预处理应按照以下步骤进行：

- a) 对振动信号进行带通滤波（0.5 Hz～10 kHz）；
- b) 进行加速度均方根值（RMS）计算：

$$a_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) dt} \quad (4)$$

式中：

$a(t)$ ——瞬时加速度，单位 m/s^2 。

7.2.2 频谱与阶次分析

频谱与阶次分析应按照以下步骤进行：

- a) 采用FFT获得加速度频谱，识别结构共振频率；
- b) 进行阶次分析以识别转速相关振动源；
- c) 对输出轴径向、轴向和壳体振动信号分别计算主要阶次加速度幅值。

7.2.3 频率加权评价

对机械振动信号进行加权处理，获得加权加速度值（ a_w ）：

$$a_w = K(f) \times a_{rms} \quad (5)$$

式中：

$K(f)$ ——频率加权系数，反映人耳对不同频率的敏感度。

7.3 声品质参数计算

7.3.1 响度

按照以下公式计算响度：

$$N = \int_0^{24Bark} N'(z) dz \quad (6)$$

式中：

$N'(z)$ ——单位临界带响度分布，单位sone/Bark。

7.3.2 尖锐度

按照以下公式计算尖锐度：

$$S = 0.11 \times \frac{\sum_{i=1}^N g(z_i) \times E_i}{\sum_{i=1}^N E_i} \quad (7)$$

式中：

N ——临界带数量；

E_i ——第 i 个Bark带的声能（声功率）；

$g(z_i)$ ——尖锐度权重函数，随Bark带位置 z_i 变化（高频权重高）；

0.11——Zwicker标准化系数，单位为acum。

7.3.3 粗糙度

按照以下公式计算粗糙度：

$$R = \frac{1}{T} \int_0^T \sum_{i=1}^N w_i m_i(t) dt \quad (8)$$

式中：

T——信号总采样时间；

N——临界带数量（通常24个Bark带）；

w_i ——第*i*个临界带权重（根据人耳敏感度确定）；

$m_i(t)$ ——第*i*个临界带的调制深度函数（瞬时幅度变化）。

7.3.4 主观声品质评分

主观评分采用5名以上评估员在消声室中对典型工况声音进行打分（1-10分制）。

8 性能评价

8.1 评价指标

新能源汽车电驱动系统/变速器的NVH性能应从噪声性能、振动性能及声品质性能三个方面进行综合评价。评价应在规定的测试条件下（见第4章），依据测量结果和数据处理结果（见第7章）进行分级判定。等级划分规则见表2、表3和表4。

表2 噪声性能等级划分

指标项目	A级（优秀）	B级（良好）	C级（合格）	D级（不合格）
空载稳态噪声（dB(A)）	≤65	≤68	≤70	>70
加载稳态噪声（dB(A)）	≤68	≤71	≤74	>74
满载稳态噪声（dB(A)）	≤70	≤73	≤76	>76
瞬态加速噪声峰值（dB(A)）	≤73	≤75	≤78	>78
电磁噪声峰值（dB(A)）	≤60	≤63	≤66	>66
齿轮啸叫峰值（dB(A)）	≤65	≤68	≤71	>71

表3 振动性能等级划分

指标项目	A级（优秀）	B级（良好）	C级（合格）	D级（不合格）
壳体振动加速度（m/s ² ）	≤0.8	≤1.0	≤1.3	>1.3
输出轴径向振动（m/s ² ）	≤1.0	≤1.3	≤1.6	>1.6
输出轴轴向振动（m/s ² ）	≤0.5	≤0.7	≤1.0	>1.0
电机端盖振动（m/s ² ）	≤0.6	≤0.9	≤1.2	>1.2

表4 声品质性能等级划分

指标项目	A级（优秀）	B级（良好）	C级（合格）	D级（不合格）
主观声品质评分	≥9.0	≥8.0	≥7.0	<7.0
响度（sone）	≤11	≤13	≤15	>15
粗糙度（asper）	≤0.20	≤0.25	≤0.30	>0.30
尖锐度（acum）	≤1.2	≤1.4	≤1.6	>1.6

8.2 评价等级判定

8.2.1 不同等级评分

各项指标根据8.1分级进行评分：

- a) A级（优秀）：10分；
- b) B级（良好）：8分；
- c) C级（合格）：6分；
- d) D级（不合格）：4分。

8.2.2 各类指标归一化

对每类指标，先计算该类指标的平均得分，计算公式见式（9）：

$$S_{\text{类}} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{n}$$

(9)

式中：
 n ——该类指标项数；
 S_i ——第*i*个指标得分。

- 8.2.3 指标加权
不同类别指标权重如下：
- a) 噪声指标：40%；
 - b) 振动指标：35%；
 - c) 声品质指标：25%。

8.2.4 综合得分计算公式
综合得分计算公式见式（10）：

$$S = S_N \times 0.4 + S_V \times 0.35 + S_Q \times 0.25$$

(10)

式中：
 S_N ——噪声指标平均得分；
 S_V ——振动指标平均得分；
 S_Q ——声品质指标平均得分。

- 8.2.5 综合评分等级
综合评分等级划分应按照表5进行。

表5 综合评分等级划分

综合得分（S）	等级
9.0~10.0	A
8.0~8.9	B
7.0~7.9	C
4.0~6.9	D

8.3 评价报告

- 评价报告应包括以下内容：
- a) 样品信息（型号、编号、技术参数、结构特征）；
 - b) 测试环境条件及工况设置；
 - c) 测试设备与布置图；
 - d) 测试结果与数据分析图表（噪声谱、阶次图、加速度时域曲线等）；
 - e) 声品质评价结果及主观听感描述；
 - f) NVH综合得分及等级判定；
 - g) 性能改进建议与结论。
-