



团体标准

T/CEATEC XXX—2025

新能源汽车用电动制动真空泵 NVH 性能测试与评价方法

NVH performance testing and evaluation methods for electric brake vacuum
pump in new energy vehicles
(征求意见稿)

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 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 试验原理 1

5 试验条件 2

 5.1 环境条件 2

 5.2 真空泵状态 2

 5.3 负载条件 2

 5.4 供电条件 2

6 仪器设备 2

 6.1 声学测量系统 2

 6.2 振动测量系统 2

 6.3 真空度测量系统 2

 6.4 数据采集与分析系统 2

7 样品 2

 7.1 样品要求 2

 7.2 启停磨合 3

 7.3 温度控制 3

8 试验步骤 3

 8.1 测点布置 3

 8.2 系统校准与检查 3

 8.3 背景噪声测量 3

 8.4 稳态运行 NVH 测试 3

 8.5 启停瞬态 NVH 测试 3

9 数据处理 4

 9.1 声学数据处理 4

 9.2 振动数据处理 4

 9.3 性能参数记录 4

10 评价方法 4

 10.1 评价指标 4

 10.2 评价等级判定 5

 10.3 测试报告 5

附 录 A （规范性） 背景噪声修正方法 6

附 录 B	(资料性) 测点布置	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。

新能源汽车用电动制动真空泵 NVH 性能测试与评价方法

1 范围

本文件规定了新能源汽车用电动制动真空泵NVH（噪声、振动与声振粗糙度）性能的术语和定义、测试条件、测试仪器设备、测试样品要求、测试步骤、数据处理、性能评价及测试报告等内容。

本文件适用于M1类新能源汽车用电动制动真空泵的 NVH 性能测试与评价，其他类型新能源汽车用电动制动真空泵可参照本文件执行。

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 3241 电声学 倍频程和分数倍频程滤波器

GB/T 3785.1 电声学 声级计 第1部分:规范

GB/T 15173 电声学 声校准器

GB/T 19512 声学 消声器现场测量

GB/T 21271 真空技术 真空泵噪声测量

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

电动制动真空泵 electric brake vacuum pump

用于为新能源汽车制动系统提供真空助力源，以保证制动系统正常工作的电动驱动装置，通常由电机、泵体、控制单元等组成。

3.2

噪声、振动与声振粗糙度 noise, vibration and harshness

新能源汽车在运行过程中产生的噪声、振动特性以及由噪声和振动共同引起的驾乘人员主观不适感的综合指标。

3.3

振动加速度级 vibration acceleration level

振动加速度与基准加速度（ 10^{-6} m/s^2 ）之比的以 10 为底的对数乘以 20（单位：dB（A））。

4 试验原理

本文件通过在半消声室或类似声学环境中，模拟真空泵在车辆上的典型工作状态，使用传声器阵列和振动传感器，分别测量其在稳定运行和启停过程中产生的空气声和结构振动信号。通过对采集的信号

进行时域、频域分析，计算出声压级、声功率级、振动加速度级等关键NVH指标，并依据规定的限值对其进行评价，以量化真空泵的NVH性能。

5 试验条件

5.1 环境条件

5.1.1 声学测试应在半消声室中进行，符合GB/T 19512的规定，测试环境背景噪声应至少比真空泵工作时测得的噪声低6 dB(A)。背景噪声的修正按附录A执行。

5.1.2 测试环境温度应为 $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ ，相对湿度：40%~60%，气压：86kPa~106kPa。

5.1.3 测试环境应无强烈的电磁干扰和气流扰动。

5.2 真空泵状态

5.2.1 真空泵应为新品或已磨合运行至少10小时。

5.2.2 测试前，真空泵应符合GB/T 21271规定的测试要求，在试验环境条件下静置不少于2小时。

5.2.3 真空泵的安装方式应模拟其在实际车辆上的安装状态。

5.3 负载条件

5.3.1 真空泵的负载通过一个标准真空罐来模拟。标准真空罐的容积应为 (2.0 ± 0.1) L。

5.3.2 真空管路的内径、长度和材质应与目标车型所用管路一致。

5.3.3 整个真空系统（包括真空罐、管路、接头）在测试前应进行泄漏检查，确保其气密性良好。

5.4 供电条件

真空泵的供电电压应为其额定工作电压，测试过程中，电源电压波动不应超过额定电压的 $\pm 2\%$ ，应记录实际测试电压。

6 仪器设备

6.1 声学测量系统

6.1.1 声学测量系统应包括传声器、前置放大器、声级计或数据采集系统、校准器等。

6.1.2 传声器应为符合GB/T 3785.1规定的1级声级计要求的测量传声器。

6.1.3 声级计或分析仪应具备A计权、线性计权和至少1/3倍频程分析功能，并符合GB/T 3785.1和GB/T 3241对1级仪器的要求。

6.1.4 声校准器应符合GB/T 15173对1级声校准器的要求，校准声压级为94dB和114dB。

6.2 振动测量系统

6.2.1 振动测量系统应包括加速度计、电荷放大器或内置前置放大器的ICP型加速度计、数据采集系统。

6.2.2 加速度计的频率范围应至少覆盖5Hz~5000Hz，灵敏度应已知。

6.2.3 数据采集系统的幅值线性误差应不大于 ± 0.5 dB，动态范围不低于80 dB。

6.3 真空度测量系统

6.3.1 真空压力传感器应能测量相对于大气压的真空度，测量范围至少为0 kPa~-100 kPa。

6.3.2 真空压力传感器的精度应不低于 $\pm 1\%$ FS（满量程）。

6.4 数据采集与分析系统

6.4.1 数据采集系统应能同步采集声压、振动加速度、真空度信号，采样频率应不低于20 kHz。

6.4.2 分析软件应能进行时域分析、FFT频谱分析、1/3倍频程分析、阶次分析等。

7 样品

7.1 样品要求

被测真空泵应为出厂检验合格的产品。

7.2 启停磨合

测试前，真空泵应在额定电压下至少进行10次启停磨合运行。

7.3 温度控制

测试过程中，真空泵壳体温度应稳定在 $(60 \pm 10)^\circ\text{C}$ 范围内。若未达到，可预先运行真空泵直至温度稳定。

8 试验步骤

8.1 测点布置

8.1.1 声学测点

采用半球面传声器阵列。以真空泵几何中心在反射平面（地面）上的投影为基点，半径为 $(1.00 \pm 0.01)\text{ m}$ 的半球面上布置至少10个传声器位置。传声器轴线应对准基点。具体位置分布参考附录B。传声器距地面高度应大于 0.5 m ，距其他反射面（包括支架）应大于 1 m 。

8.1.2 振动测点

每个测点安装一个三向加速度传感器或三个单向加速度传感器，传感器应使用蜂蜡或磁性座刚性安装。在真空泵壳体上选择三个正交方向（X，Y，Z）振动传递路径上的关键点进行测试：

- a) 泵体中心或靠近电机安装位置（主测点）；
- b) 安装支架与泵体连接点（可选）；
- c) 出气口附近（可选）。

8.2 系统校准与检查

8.2.1 在每次测试前后，使用声校准器对声学测量系统的每个通道进行校准，读数偏差不应超过 $\pm 0.3\text{ dB}$ 。

8.2.2 振动测量系统应在测试前用标准振动源进行校准。

8.3 背景噪声测量

关闭真空泵，保持测试环境及其他设备处于工作状态，测量并记录各传声器位置的A计权声压级和 $1/3$ 倍频程频谱。

8.4 稳态运行 NVH 测试

8.4.1 启动真空泵，使其在额定电压下运行。

8.4.2 数据采集

同步采集以下数据：

- a) 所有声学测点的声压信号，测量时间不少于 10 s ；
- b) 所有振动测点的振动加速度信号，测量时间与声学同步；
- c) 真空罐内的绝对压力；
- d) 真空泵的工作电压和电流。

8.4.3 记录从真空泵启动到真空罐内绝对压力达到 $(40 \pm 1)\text{ kPa}$ 的时间（建压时间）。

8.4.4 当真空罐内绝对压力达到 $(40 \pm 1)\text{ kPa}$ 时，停止真空泵。

8.4.5 等待真空罐内压力恢复至大气压。

8.4.6 重复8.4.1至8.4.5步骤至少3次，以确保数据的重复性。

8.5 启停瞬态 NVH 测试

8.5.1 设置数据采集系统为瞬态捕捉模式，采样频率不低于 20 kHz ，预触发记录。

8.5.2 启动真空泵，持续记录从启动前 0.5 s 到启动后 2.0 s 内的声学 and 振动信号。

8.5.3 当真空罐内绝对压力达到 $(40 \pm 1)\text{ kPa}$ 时，控制器发出停止指令，持续记录从停止前 0.5 s 到停止后 2.0 s 内的声学 and 振动信号。

8.5.4 重复8.5.2至8.5.3步骤至少5次。

9 数据处理

9.1 声学数据处理

9.1.1 背景噪声修正

根据附录A的方法，对稳态运行时的声压级测量结果进行背景噪声修正。

9.1.2 稳态声压级计算

对每个传声器位置，计算修正后A计权声压级的平均值（ $L_{pA,i}$ ）及其1/3倍频程频谱。

9.1.3 表面声压级计算

根据半球面测量阵列各点的声压级，按公式（1）计算测量表面的平均A计权声压级 $\overline{L_{pA}}$ 。

$$\overline{L_{pA}} = 10 \lg \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0.1 L_{pA,i}} \right) \quad (1)$$

式中：

$\overline{L_{pA}}$ ——测量表面平均A计权声压级（dB）；

N ——传声器位置总数；

$L_{pA,i}$ ——第*i*个传声器位置修正后的A计权声压级（dB）。

9.1.4 声功率级计算

按公式（2）计算A计权声功率级 L_{wA} 。

$$L_{wA} = \overline{L_{pA}} + 10 \lg \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad (2)$$

式中：

L_{wA} ——A计权声功率级（dB(A)）；

S ——测量表面积，对于半径为1m的半球面， $S \approx 6.28 \text{ m}^2$ ；

S_0 ——基准面积， 1 m^2 。

9.1.5 瞬态声学分析

对启停瞬态信号，分析启动过程和停止过程中的最大A计权声压级及其出现的时间。

9.2 振动数据处理

9.2.1 对每个振动测点的时域信号，计算稳态运行期间振动加速度的总有效值（RMS），并按公式（3）计算振动加速度级 L_{ae} 。

$$L_{ae} = 20 \lg \left(\frac{a_{RMS}}{a_0} \right) \quad (3)$$

式中：

L_{ae} ——振动加速度级（dB）；

a_{RMS} ——振动加速度总有效值（ m/s^2 ）；

a_0 ——基准加速度， 10^{-6} m/s^2 。

9.2.2 对稳态振动信号进行1/3倍频程频谱分析，找出主要振动频率成分。

9.2.3 对启停瞬态振动信号，分析启动和停止过程中的振动加速度峰值。

9.3 性能参数记录

记录真空泵的建压时间（见8.4.3）和稳态运行时的平均工作电流。

10 评价方法

10.1 评价指标

真空泵的NVH性能根据下表1和表2中的指标进行评价。

表1 稳态NVH性能评价限值

评价指标	单位	等级 1(优)	等级 2(良)	等级 3(合格)	测试工况
A 计权声功率级 (L_{wA})	dB (A)	≤ 50	$> 50, \leq 55$	$> 55, \leq 60$	稳态运行, 真空度 40 kPa
泵体主测点振动加速度级 (L_{ae})	dB	≤ 110	$> 110, \leq 120$	$> 120, \leq 130$	稳态运行, 真空度 40 kPa
250Hz 中心频率 1/3 倍频程声压级*	dB	≤ 45	$> 45, \leq 50$	$> 50, \leq 55$	稳态运行, 距泵 1m 处平均
建压时间 (40 kPa)	s	≤ 15	$> 15, \leq 20$	$> 20, \leq 25$	额定电压, 初始大气压

注：此频率段常包含电机电磁噪声，是主观感受的关键频段。

表2 瞬态NVH性能评价限值

评价指标	单位	等级 1(优)	等级 2(良)	等级 3(合格)	测试工况
启动最大 A 计权声压级	dB (A)	≤ 60	$> 60, \leq 65$	$> 65, \leq 70$	距泵 1m 处, 瞬态捕捉
停止最大 A 计权声压级	dB (A)	≤ 58	$> 58, \leq 63$	$> 63, \leq 68$	距泵 1m 处, 瞬态捕捉
启动过程振动加速度峰值	m/s ²	≤ 50	$> 50, \leq 80$	$> 80, \leq 120$	泵体主测点, Z 方向

10.2 评价等级判定

10.2.1 单项等级判定

对表1和表2中的每一项评价指标，根据测量结果确定其单项等级。

10.2.2 综合等级判定

真空泵的综合NVH等级按以下原则判定：

- 综合等级1（优）：所有评价指标均达到等级1要求；
- 综合等级2（良）：所有评价指标均达到等级2或以上，且至少有50%的指标达到等级1；
- 综合等级3（合格）：所有评价指标均达到等级3或以上；
- 不合格：有任何一项评价指标未达到等级3要求。

10.3 测试报告

测试报告应至少包含以下内容：

- 真空泵信息（型号、编号、生产商、额定电压等）；
- 测试环境条件（温度、湿度、大气压、半消声室本底噪声等）；
- 测试设备清单及校准信息；
- 安装与负载条件详述；
- 所有原始数据、处理过程和结果（包括声压级、声功率级、振动加速度级、频谱图、瞬态信号图等）；
- 依据本标准第10章进行的评价结果（单项等级和综合等级）；
- 测试日期和人员。

附录 A
(规范性)
背景噪声修正方法

A.1 总则

本附录规定了根据背景噪声测量结果对真空泵噪声测量值进行修正的方法。

A.2 修正方法

A.2.1 设 L_p 为真空泵运行时测得的声压级（可为A计权或频带声压级）， L_{pb} 为相应位置和频带的背景噪声声压级。

A.2.2 按公式（A1）计算差值。

$$\Delta L = L_p - L_{pb} \tag{A1}$$

A.2.3 根据 ΔL 值，按表A.1确定修正值 K_1 ，然后按公式（A.2）计算修正后的声压级 L_{pc} 。

$$L_{pc} = L_p - K_1 \tag{A2}$$

表A.1 背景噪声修正值 K_1

差值 ΔL (dB)	修正值 K_1 (dB)
$\Delta L \geq 10$	0
$6 \leq \Delta L < 10$	1
$4 \leq \Delta L < 6$	1.5
$\Delta L < 4$	测量无效*

注：当 $\Delta L < 4$ dB时，测量结果受背景噪声影响过大，可信度低，应采取措施降低背景噪声后重新测量。

A.2.4 修正后的声压级 L_{pc} 用于后续所有声学参数的计算。

附 录 B
(资料性)
测点布置

B.1 测点布置

以真空泵几何中心在地面的投影0为原点，建立坐标系，传声器位于半径R=1m的半球面上。下表B.1给出了10个测点的示例坐标（仰角 θ ，方位角 ϕ ）。

表B.1 半球面传声器位置坐标示例

测点编号	仰角 θ (°)	方位角 ϕ (°)
1	30	0
2	30	90
3	30	180
4	30	270
5	60	45
6	60	135
7	60	225
8	60	315
9	90(顶部)	—
10	90(顶部)	—