附件

ICS号

中国标准文献分类号

团 体 标 准

 团体标准编号

 代替的团体标准编号

汽车整车气动-声学风洞风噪试验—车内风噪测量方法

Wind Noise Test for Full-Scale Automobile in Aero-Acoustical Wind Tunnel

— The Measurement Method of Interior Wind Noise

xxxx-xx-xx发布 xxxx-xx-xx实施

社会团体全称 发布

目　次

[1　范围 1](#_Toc525401532)

[2　规范性引用文件 1](#_Toc525401533)

[3　术语和定义 1](#_Toc525401534)

[3.1　风洞 2](#_Toc525401535)

[3.2　风噪 2](#_Toc525401541)

[3.4　声压级 3](#_Toc525401544)

[3.5　响度 3](#_Toc525401545)

[3.6　语言清晰度指数 3](#_Toc525401546)

[4　气动-声学风洞要求 3](#_Toc525401547)

[4.1　概述 3](#_Toc525401548)

[4.2　试验段适应性要求 4](#_Toc525401549)

[4.3　流场要求 4](#_Toc525401550)

[4.4　声场环境要求 4](#_Toc525401551)

[4.5　气候环境要求 4](#_Toc525401552)

[4.6　测试条件下的风洞特定结构 4](#_Toc525401553)

[5　仪器 4](#_Toc525401554)

[5.1　概述 5](#_Toc525401555)

[5.2　声学仪器性能要求 5](#_Toc525401556)

[5.3　气候测量仪器性能要求 5](#_Toc525401557)

[5.4　校准与标定 5](#_Toc525401558)

[6　待测车辆的安装和设置 5](#_Toc525401559)

[6.1　概述 6](#_Toc525401560)

[6.2　待测车辆状态 6](#_Toc525401561)

[6.3　待测车辆位置和安装 6](#_Toc525401562)

[6.4　待测车辆功能设置 6](#_Toc525401563)

[7　车内风噪测量 7](#_Toc525401564)

[7.1　概述 7](#_Toc525401565)

[7.2　测量方法 7](#_Toc525401566)

[7.3　车内测点布置 8](#_Toc525401569)

[7.4　测量工况 10](#_Toc525401574)

[7.5　测量流程 11](#_Toc525401578)

[8　车内风噪评价指标 11](#_Toc525401579)

[8.1　概述 11](#_Toc525401580)

[8.2　A计权声压级 11](#_Toc525401581)

[8.3　累计声压差分值 12](#_Toc525401582)

[8.4　语音清晰度指数 12](#_Toc525401583)

[8.5　总响度 12](#_Toc525401584)

[8.6 测量不确定度 12](#_Toc525401585)

[9　记录 12](#_Toc525401586)

[10　数据处理和测量报告 13](#_Toc525401587)

[附录A　气动-声学风洞背景噪声评估测量 14](#_Toc525401588)

[附录B　3/4开口回流式气动-声学风洞低频颤振评估测量 16](#_Toc525401589)

[附录C 试验信息记录表 18](#_Toc525401590)

[附录D 数据分析推荐参数设置 20](#_Toc525401591)

前 言

本标准由中国汽车工程学会空气动力学分会提出。

本标准由中国汽车工程学会标准化技术委员会（CSAE）归口。

# 本标准起草单位：同济大学，中国汽车工程研究院股份有限公司，东风汽车集团技术中心，上海汽车集团股份有限公司技术中心，中国第一汽车股份有限公司技术中心，上汽大众汽车有限公司，中国汽车技术研究中心，广汽集团汽车工程研究院，泛亚汽车技术中心有限公司，上海汽车集团股份有限公司商用车技术中心。

本标准主要起草人：

王毅刚，沈哲，黄祚华，鲍欢欢，蔺磊，马龙，杨超，赵麒，谢东明，张斌瑜，杨志刚，尹章顺，许雪莹，侯杭生，王勇，顾彦，黄勇，陈羽，陈声显。

本标准于\*\*\*年\*\*月首次发布。

汽车整车气动-声学风洞风噪试验—车内风噪测量方法

# 1　范围

本标准规定了在3/4开口回流式低速气动-声学风洞中进行整车车内风噪测量的方法，给出了气动-声学风洞测量平台及其气动和声学环境、测量仪器设备、车辆及安装的要求，车内风噪评价指标，保证所得的结果具有1级准确度。

本标准规定的方法适应于整车实车，包括乘用车、微型客车及轻型商用车，包括对应尺寸的模型（油泥模型、硬质模型）。允许的重量和尺寸要视风洞规格而定。

本标准规定的方法所获取的结果可以评价车内风噪水平，也可以结合不同的车辆测试状态诊断噪声源、风噪传播路径问题。

# 2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用成为本标准的条款。所有标准都会被修订，使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB/T 3947-1996 声学名词术语

GB/T 3785.1-2010 电声学 声级计，第1部分：规范

[GB/T 3785.2-2010  电声学 声级计，第2部分：型式评价试验](http://www.so.com/link?m=aIcym4JdNVLmfMbFX9lqA3wkYUMq1nvV1Xt4lXUJckpHzKWa0WB6QTFB%2FRSGd4d2JeHVy3Z6HgTXBaBd4eqRhLXR%2B20l9%2FQUBXnfsKOwz0Qj5OWvZX7jqXPpvQYdNtquElYLod5fTH0%2FAyhMgakx2ng%3D%3D)

GB/T 3241-2010 电声学　倍频程和分数倍频程滤波器

GB/T 15173-94 声校准器

GB/T 18697 声学 汽车车内噪声测量方法

GB/T15508 声学 语言清晰度测试方法

GB/T15485 声学 语言清晰度指数的计算方法

ISO 532-1-2017 声学 响度计算方法： 第一部分Zwicker方法 (Acoustics - Methods for calculating loudness-Part 1: Zwicker method)

JJF 1059.1-2012 测量不确定度评定与表示

JJF 1059.2-2012 用蒙特卡洛法评定测量不确定度

ISO3745 声学 用声压法测定噪声源声功率级.消声室和半消声室精密法(Acoustics- Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure- Precision methods for anechoic and hemi-anechoic rooms)

# 3　术语和定义

## 3.1　风洞 Wind tunnel

以人工的方式产生并且控制气流，用来模拟汽车或实体周围气体的流动情况，并可量度气流对实体的作用效果以及观察物理现象的一种管道状实验设备。

### 3.1.1　3/4开口回流式低速气动-声学风洞 3/4 open-jet closed low speed aero-acoustic wind tunnel

可兼顾空气动力学和气动声学测量的风洞，其喷口三边自由一边接地，流道为回流式，此类风洞具有满足气动和气动噪声测量要求的流场品质和背景噪声。

### 3.1.2　整车风洞 Full-scale wind tunnel

喷口尺寸大小能满足阻塞比要求，可进行实车和1：1汽车模型试验的风洞。

### 3.1.3 试验段 Test section

喷口和收集口之间满足流场和声场要求，并能安放试验车辆的有效区域。

### 3.1.4　风洞背景噪声 Background noise of wind tunnel

风洞在无测量对象情况下运转产生的噪声，提及风洞背景噪声需指明试验风速。

### 3.1.5 自由声场空间 Free sound field size

所需考虑的频率范围内边界声反射可以忽略不计的试验段声场大小。

### 3.1.6 低频颤振 Low frequency buffeting

喷口射流和风洞结构相互作用所引起的一种声场共振现象，会严重影响试验段的流场和声场品质。

## 3.2　风噪 Wind noise

气动噪声在工程领域的简称，是空气与目标对象相对运动，造成气体非定常流动产生的噪声。

3.3　频谱 Spectrum

频率谱密度的简称，是物理量的频率分布曲线。复杂振荡分解为[振幅](https://baike.baidu.com/item/%E6%8C%AF%E5%B9%85)不同和频率不同的谐振荡，这些谐振荡的[幅值](https://baike.baidu.com/item/%E5%B9%85%E5%80%BC)按频率排列的图形叫做频谱。

### 3.3.1　线谱 Line spectrum

由一系列离散频率成分形成的谱。

### 3.3.2　$1/n$倍频程谱 $1/n$ octave spectrum

即1/n倍频程功率谱，通过将离散频谱分为各自独立的频段，然后分别计算每个频段内的功率谱后汇总得到。其中1/n倍频程是指前后两个中心频率之比为${1}/{2^{{1}/{n}}}$，以$oc=2^{{1}/{2n}}$为系数，在基准中心频率$f\_{0}$的前后各取带宽$L=f\_{0}×oc$，分段计算功率谱后合并后得到的谱。

## 3.4　声压级 Sound pressure level

声压与参考声压之比以10为底的对数乘以20，单位为分贝（dB），空气中的参考声压为20$μPa$。

## 3.5　响度 Loudness

一种心理声学参数指标，表示听觉判断声音强弱的属性，根据它可以把声音排成由轻到响的序列，单位为宋（Sone）。

## 3.6　语言清晰度指数 Articulation index

在给定的语言通道和噪声条件下，语言可懂程度的有效比例即为语音清晰度AI。它是一种心理声学参数指标，是通过大量语音清晰度测试导出的，具有频带可加性，用来计算给定语言传递系统的语言可懂度的一个指数，取值在0～1之间。

# 4　气动-声学风洞要求

## 4.1　概述

本标准适用的气动-声学风洞类别为3/4开口回流式或直流式汽车整车低速气动-声学风洞。声学测量环境条件包括试验段流场、背景噪声、自由声场空间及低频颤振，其应满足4.3和4.4要求。本标准限定的气动-声学风洞无地面模拟功能，若地面模拟功能等其它功能运行，测量报告中要清晰说明。

## 4.2　试验段适应性要求

本标准要求的试验段流场和声场测量环境具备的指标，要按照统一的标准和方法测量获取。试验段流场测量环境具备的指标满足目前国内外汽车风洞气动测量要求，采用汽车风洞气动测量方法获取；试验段自由声场空间指标根据ISO3745测量获取；试验段背景噪声和低频颤振指标分别按照附件A和附件B测量获取。

## 4.3　流场要求

本标准规定了试验段至少在整车实车或模型的尺寸范围内的流场品质参数指标，包括：

1. 湍流强度小于0.2%。
2. 速度稳定性小于0.5%。
3. 轴向静压梯度小于0.001/m。
4. 总压均匀性满足其标准偏差小于0.3%。
5. 动压和静压均匀性均满足其标准偏差小于0.5%。
6. 气流平均俯仰角和平均横摆角小于0.2°。
7. 流场的阻塞比小于10%。

## 4.4　声场环境要求

本标准规定了试验段声场测量环境参数指标，包括：

1. 在喷流速度为140km/h时，背景噪声低于60dB（A）。
2. 低频颤振均方根压力脉动系数低于3%。

上述两者测点相同，位于通过地面转盘中心并垂直于喷口中轴线的线段上，于流场外距转盘外沿1.5米，距地面高度为1.5米。

1. 试验段自由声场空间指标满足ISO3745的要求。

## 4.5　气候环境要求

本标准规定了试验段温度在测量条件下保持在20±2℃，相对湿度保持在45%～75%。在测试过程中应对温度、湿度和大气压进行测量并记录。

## 4.6　测试条件下的风洞特定结构

本标准规定了测量时风洞地面模拟系统的状态，要求无边界层抽吸、移动带不工作，保持其结构引起的气动噪声降到最低。

# 5　仪器

## 5.1　概述

为了保证测量结果的可靠性和可重复性，并保证在不同风洞内测量结果有良好的相关性，本标准对测量仪器性能要求进行了规定。以下各项性能要求为获得可靠测量结果的必备条件，并非试验设备的全部设计要求。

## 5.2　声学仪器性能要求

（1）传声器： 包括自由场和压力场传声器，应在20～20000Hz频率范围内满足GB/T 3785.1-2010规定的一级仪器要求，动态范围大于120dB。

（2）声校准器：应满足GB/T 15173-2010规定的一级精确度要求，可在频率测量范围内选择一个或多个频率上进行整个测量系统的校验。

（3）防风罩：由专门设计的开孔聚氨酯泡沫体制成，可在较低的风速（小于15m/s）下衰减10-12 dB 的风噪声。

（4）人工头：外形尺寸满足GB/T2428-1998要求，内置传声器应在20～20000Hz频率范围内满足GB/T 3785.1-2010规定的一级仪器要求，动态范围大于120dB。

（5）表面传声器：应在20～10000Hz频率范围内满足GB/T 3785.1-2010规定的一级仪器要求，动态范围大于120dB。

（6）数据采集仪器：应满足GB/T 3785.1-2010规定的一级仪器要求，可在0～20000Hz计算频率域结果，动态范围大于120dB。

## 5.3　气候测量仪器性能要求

用于测量和记录试验数据的仪表应具有下述范围内的精度：

（1） 大气压强：不确定度≤2%。

（2） 温度：不确定度≤ 0.5 ℃。

（3） 相对湿度：不确定度≤ 2 %。

## 5.4　校准与标定

（1）试验前，应先检查设备的有效检定期限。所有试验设备在启动预热稳定后方可进行标定，并在试验后重新标定并记录标定值和增益设置。如标定参数偏差超过10%，确定偏差原因并确定是否需要重新试验。

（2）所有传声器和声校准器均应按国家有关计量仪器的规定进行定期检查。

# 6　待测车辆的安装和设置

## 6.1　概述

待测车辆的安装和车辆状态对车内噪声有重要影响。本标准规定了对第1章-范围中规定的车辆在试验中的要求，包括：待测车辆本身的结构、零部件及组装要求；车辆无伪装、轮胎无碎石粘附等附加物要求；车辆在风洞中的安装位置和安装方式及测试条件下车辆的功能设置。

## 6.2　待测车辆状态

用于本标准测量的实车（非模型）必须不缺件、无损坏，部件或结构连接（包括密封、开启件、功能件、内饰件等）符合设计要求，风吹激励下不产生非真实车辆结构状态下的噪声。车辆表面无伪装纸等覆盖，无胶带、扎带、保护膜、标签等附加物，车辆表面清洁，无污垢和灰尘。轮胎花纹内无碎石。待测车辆轮胎的压力为出厂设计的压力。

模型车辆可参考上述实车要求，并根据模型设计高度确定胎压值。

## 6.3　待测车辆位置和安装

本标准通过下述方式规定了待测车辆在风洞中的安装位置，即，待测车辆位于试验段天平转盘的中心稍靠前位置，0°时车辆纵向中垂面与流场中垂面重合，通过调整车身纵对称面与风洞中心对称面的夹角来实现，要求误差在±0.1°范围内。车辆前端与风洞出风口距离应保证整车置于稳定流场内。

待测车辆通过自身的驻车制动进行固定，同时可利用车辆的变速箱（手动变速箱车型挂一档，自动变速箱车型挂P 档）提供额外的制动力。

## 6.4　待测车辆功能设置

待测车辆的功能设置会影响车内的噪声水平。本标准规定了测试条件下车辆的功能设置要求。包括：

（1）待测车辆除声学测量仪器外不加载任何配重。

（2）为整车整备状态。

（3）风挡雨刮器处于收起状态。

（4）冷却风扇处于断电状态，且可以自由转动。

（5）空调关闭，设定内循环模式，出风口完全关闭。

（6）所有开启件处于关闭状态，包含车门、车窗、天窗、后背门、发动机罩等。

（7）外后视镜处于开启状态。

（8）发动机处于不工作状态。

（9）座椅位置按照7.3.1小节要求布置。

# 7　车内风噪测量

## 7.1　概述

车内风噪是评价汽车风噪性能的主要指标。本标准对风洞内测量车内风噪的方法和过程进行了规定，按照此标准方法测量，能得到合理的测量准确度。

风洞内测量车内风噪采用两种方法：人工头测量和传声器测量，7.2中将对这两种测量方法分别进行描述。

对于整车车内噪声水平评价，尤其对于量产车，本标准推荐采用人工头测量方法。

## 7.2　测量方法

### 7.2.1　车内人工头测量

7.2.1.1　人工头定义

人工头是一种测试设备，在人体躯干模型的双耳位置分别安装传声器并加以滤波，包含人体肩部、头部、耳廓等结构对声场的影响，可以采集并回放出更真实的声音。

7.2.1.2　人工头分类

人工头按照数据采集和滤波的形式分为模拟人工头和数字人工头，其中数字人工头具有更好的抗干扰性和操作便利性，本标准建议优先采用数字式人工头。

7.2.1.3　测量方法

车内采用人工头进行测量时在每个目标的乘员位置安装一套人工头，使人工头与实际乘员头部位置相同，通过采集系统控制人工头，得到乘员的耳旁噪声。

### 7.2.2　车内传声器测量

7.2.2.1　传声器种类的选择

风洞试验中车内风噪测量使用1/2英寸传声器，压力场型传声器和自由场型传声器均可，考虑流场内的声场情况，建议采用压力场型传声器。

7.2.2.2　测量方法

风洞内用传声器测量车内风噪与一般的车内风噪测量基本一致，即在乘员人耳附近布置传声器器，通过采集系统，得到耳旁噪声。

## 7.3　车内测点布置

### 7.3.1　座椅位置调节

车内风噪测量人工头或传声器都布置在座椅之上，按乘员人耳位置进行布置。座椅位置对测点位置直接产生影响，本节规定了风洞试验测量车内噪声的车辆座椅位置。

7.3.1.1　前排座椅

一般乘用车前排座椅均支持多向调节，以下分别对各向进行规定。

座椅前后调节：对于支持座椅前后调节的车辆，将座椅前后位置调节至中间位置，对于主副驾驶座椅可调节范围不同的情况，应当以主驾驶位置为准，将副驾驶与主驾驶座椅对齐。

座椅高低调节：如主副驾驶座椅均能进行高度调节，且可调范围一致，则将座椅高度调节至中间位置；当仅主驾驶位置高度可调，则将主驾驶位置调节至与副驾驶同样高度；当主副驾驶可调范围不同，先调节主驾驶至中间位置，再将副驾驶座椅高度与主驾驶对齐。

座椅俯仰调节：如主副驾驶座椅均能进行俯仰调节，且可调范围一致，则将座椅俯仰调节至中间位置；当仅主驾驶位置俯仰可调，则将主驾驶位置调节至与副驾驶同样角度。

座椅椅背调节：前排座椅椅背与水平面的夹角应调节至114度。

头枕调节：前排头枕高度可调情况下，高度调整至其中心和测点同高，如头枕支持前后调节，则前后调整至最后位置。

腰部支撑调节：如前排座椅支持腰部支撑调节，应将腰部支撑调节至最后位置，即椅面最凹。

7.3.1.2　第二排座椅位置

一般轿车的第二排座椅可调节项较少，本节内容主要对SUV和MPV车型进行规定。

座椅前后调节：对于第二排座椅支持前后调节的车辆，将座椅前后位置调节至中间位置。

座椅横向调节：对于第二排座椅支持横向调节的车辆，将座椅调整至最外侧即最靠近侧门。

座椅椅背调节：对于第二排座椅椅背角度可调的车辆，椅背与水平面的夹角应调节至114度，如无法达到114度，则尽量接近此角度。

头枕调节：对于第二排座椅头枕高度可调的车辆，高度调整至其中心和测点同高，如头枕支持前后调节，则前后调整至最后位置。

腰部支撑调节：对于第二排座椅支持腰部支撑调节，应将腰部支撑调节至最后位置，即椅面最凹。

7.3.1.3　第三排座椅位置

本条仅适用于有三排座椅的车辆。

座椅前后调节：对于第三排座椅支持前后调节的车辆，将座椅前后位置调节至最后位置。

座椅椅背调节：对于第三排座椅椅背角度可调的车辆，椅背与水平面的夹角应调节至114度，如无法达到114度，则尽量接近此角度。

头枕调节：对于第三排座椅头枕高度可调的车辆，高度调整至其中心和测点同高。

### 7.3.2　人工头安装

人工头在车辆座椅上的安装形式有挂钩安装、躯干箱安装和支座安装三种，以下分别进行描述。本标准建议采用躯干箱或支座人工头摆放在座椅上的方法安装。

7.3.2.1　挂钩安装

人工头用挂钩与车辆座椅固定后基本无可调节项，在座椅按7.3.1调整到位后只需将挂钩安装到位后即可。

7.3.2.2　躯干箱安装

躯干箱是在人工头下方加装一个模拟人体躯干的箱体，躯干箱和人工头安装在一起后形成坐姿人体上半身的模型。此人体模型的人耳至躯干箱底部垂直距离为650mm，如采用的人工头与躯干箱与此有差别应当记录此值。

使用躯干箱进行安装时，将半人模型摆放至调整到位的座椅上即可，要求躯干箱底部与座椅椅面保持贴合。

7.3.2.3　支座安装

人工头支座与躯干箱的作用相似，模拟坐姿下人工头与椅面的相对位置。此类支架的高度和俯仰角有一定的可调范围。使用此方法安装人工头时，应当调整至与躯干箱空间位置相同，即俯仰角保持人工头与底座垂直，人耳至底面垂直距离650mm。

使用支座进行安装时，将调整到位的组合模型摆放至调整到位的座椅上即可，要求底座与座椅椅面保持贴合。

### 7.3.3　传声器安装位置

每个座椅上在人耳旁安装两个传声器，传声器在支架上水平安装，指向车前端。测点至座椅靠背和椅面交界处垂直距离为700mm，距该交界铅锤线水平距离100mm，两传声器距头枕中心线均为120mm，三个方向误差均在±20mm以内。测点位置如图7.1所示。

120mm

120mm

700mm

700mm

100mm

所有尺寸误差均为±20mm

a 传声器位置正视图 b 传声器位置侧视图

图7.1 传声器安装位置

### 7.3.4　车内传感器信号线安装

在可能的情况下，所有信号线和电源线由车尾门（后备箱）引出，并经后轮后部延至地面，同时对引出部位进行密封处理，避免产生影响测量结果的附加风噪。若车尾门不能引线，可从一侧后侧门按照上述方式引线。

## 7.4　测量工况

### 7.4.1　车辆工况

为了考察和比较车辆的状态和部件，车辆需要处于不同的工况状态，如用胶带对车辆进行密封，更换不同的部件等。

### 7.4.2　风速

进行风洞车内风噪测量时一般采用稳定风速进行测量，风速可根据实验需求自行确定，本标准建议采用120km/h的速度工况作为基准。

### 7.4.3　横摆角

测量车内风噪时可进行横摆角工况测量，横摆角为正角度时，表示试验车辆在风洞天平转盘内顺时针转动，使得主驾驶位迎风，副驾驶位背风。横摆角为负角度时则相反，其中,横摆角的定义如图7.2所示. 本标准建议采用±10°的横摆角工况作为基准。



图7.2 横摆角示意图

## 7.5　测量流程

（1）按6.1～6.2所述，在风洞外对车辆进行试验准备，记录车辆信息和状态。

（2）按6.3所述，在风洞内将车辆安装固定对中。

（3）按7.3.1所述，调整试验车的座椅位置至标准状态。

（4）按7.3.2所述，安装测量设备，并对测量系统进行校准。

（5）测量风洞与设备背景噪声。

（6）按7.4.1所述，将车辆切换至当前试验状态。

（7）按7.4.2～7.4.3所述，运转风洞，达到设定的风速和横摆角。

（8）开始测量，数据记录15秒以上。

（9）按7.4.1所述，将车辆切换至下一试验状态。

（10）重复上述步骤，直到所有实验工况完成。

（11）再次对测量系统进行校准。

# 8　车内风噪评价指标

## 8.1　概述

本标准规定了车内风噪的评价指标包括：A计权声压级，累计声压差分值，语言清晰度指数和响度。该指标的综合评价能反映全频段下车内风噪客观量和主观感受。评价源数据来自于测量数据。

## 8.2　A计权声压级

采用A计权声压级计算功能对传感器测量的车内风噪数据进行处理，可得到线谱、1/3倍频程谱和总声压级。线谱和1/3倍频程谱可给出车内噪声在不同频率段的量值大小，总声压级则是一个单值评价指标。

## 8.3　累计声压差分值

本评价指标适用于对标车的车内风噪对比测量评价和风噪工况对比测量评价。是对两种不同数据获取A计权声压级1/3倍频程各中心频率处的声压级之差，如式（8-1），它是局部风噪（如局部泄漏噪声、局部形状噪声）的评价指标和局部风噪目标指标；局部泄露噪声中心频率范围为400 Hz ～10000Hz，其它局部噪声中心频率范围为63 Hz ～10000Hz。可以利用式（8-2）计算1/3倍频程各中心频率处的声压级之差得到1/3倍频程谱下的声压差分布，比较各中心频率下的声压差的大小程度。

$∆pt\_{o}=\sum\_{i}^{n}∆pt\_{i}=\sum\_{i}^{n}(L\_{pi2}-L\_{pi1})$ （8-1）

$∆pt\_{i}=L\_{pi2}-L\_{pi1}$ （8-2）

其中：$i$为1/3倍频程中心频率序号，$L\_{pi1}$、$L\_{pi2}$分别为两对比工况1/3倍频程第$i$个中心频率点对应的声压级。

设定：$L\_{pi2}-L\_{pi1}<0$时，$∆pt\_{i}=0$。

## 8.4　语音清晰度指数

语音清晰度指数（AI）是在给定的噪声环境下，语言可懂程度的有效比例，作为整车车内风噪的评价指标，具有主观感受评价的特性。它的测量方法和计算方法分别见GB/T15508-1995和GB/T15485-1995。

## 8.5　总响度

响度是人耳判别声音由轻到响的强度等级概念，它不仅取决于声音的强度，还与它的频率及波形有关。它的测量方法和计算方法见ISO 532-1:2017 声学 响度计算方法：第一部分Zwicker方法。

## 8.6 测量不确定度

不同风洞平台所形成的对同一车辆或模型的测量数据差异，构成测量的不确定度。本标准中的测量不确定度可按照JJF1059-1999《测量不确定度评定与表示标准》确定。

# 9　记录

按照本标准做的所有测量，应收集和记录相关的真实数据和资料。记录内容应当分为试验基本信息、测试车辆信息和试验工况信息及数据三部分。

试验基本信息包括项目信息、测量环境信息、测量仪器、参试人员等在单个试验项目中不进行人为变更的基本条件。其它在多次测量过程中不变的信息（风洞状态及测控系统、测量设备性能和序号等）可以保存归档，不需要在每次测量时重新记录。试验基本信息记录表内容参见附表C.1。

测试车辆信息应记录车辆型号、类型等车辆基本信息以及完整度、配重等车辆状态。试验车辆信息记录表内容参见附表C.2。

测量工况及对应的数据：测量日期，测量前后校准时间。详细的测量工况描述及对应的测量数据文件名。编写工况时应将车辆的一种相同车辆状态测量的不同风速、横摆角作为一个完整试验工况的子工况。试验工况信息记录表内容参见附表C.3。

# 10　数据处理和测量报告

根据8 车内风噪评价指标内容要求，数据处理设备和软件应具有计算和分析这些测量数据的功能。计算分析涉及到的推荐参数设置见附录D。

测量报告编制应包含下列内容：

（1）试验来源和目的。

（2）试验对象。

（3）试验方法。

（4）试验设备、测量系统。试验报告中应当明确测试采样率，采样时间等参数设置。

（5）试验结果及分析。试验报告中应当明确计算分析采用的参数设置。

（6）试验结论。

（7）试验人员、日期和地点。

# 附录A　气动-声学风洞背景噪声评估测量

A.1　风洞环境

应保证风洞处于正常试验状态。测量期间需保证室内的恒定相对湿度和温度。当相对湿度变化超过±10%，温度变化超过±2℃时，应停止测量。相对湿度和温度的测量精确度需分别达到±5%和±1℃。

A.2　传声器

应使用全指向性传声器。传声器（包括放大器和电缆）等接收系统应满足GB/T 3785.1-2010标准1型声级计的要求。宜使用1/2英寸传声器，为了测量风洞中的低频成分可以使用1英寸传声器。每次测量前后，应用准确度不低于±0.3dB的声级校准器对整个测量系统进行校准。声级校准器和测量系统应每两年经法定计量单位检定合格。

A.3　数据采集存储设备

应使用数字记录设备将声信号采集下来，以便之后分析数据。风洞中的背景噪声信号低频成分比较多，为了完整采集低频信号，每次采集需要15秒以上。不得使用有任何自动增益AGC或其它抑制信噪比的电子控制设备。必须是对声压变化曲线直接采样后的数据,不得采用任何压缩编码处理器。声信号记录设备应具备的特性为：在测量的频带内应具有平直的频率特性，容差不超过±1dB。采集系统应带有数字滤波器，倍频程或1/3倍频程的频带要求应按GB/T 3241-2010的规定。

A.4　测量方法

A.4.1　测量频率

测量气动-声学风洞背景噪声的频率范围至少为20-10000Hz，推荐在10-20000Hz，采样率不得小于32kHz。

A.4.2　测量风速

测量风洞背景噪声应将无风状态和不同风速下的背景噪声都记录下来，风速从0 km/h到风洞的最大设计风速。如使用m/s作为风速计量单位，风速间隔不得大于3m/s，如使用km/h作为风速计量单位，风速间隔不得大于10km/h。对于汽车风洞，宜使用140km/h作为背景噪声的主要参考指标。

A.4.3 传声器位置

风洞背景噪声的声压测量点必须位于剪切层流场外，纵向坐标等于测量区域中心点（如天平圆盘中心）坐标，横向坐标在通过该中心点的横向线上，在剪切层流场外，根据风洞尺寸确定。如下图。测点高度距地面1.5米。

喷口

收集口

转盘

试验段

测点

图A1 低频颤振测点位置

A.5　结果表达

每个风速下背景噪声的总声压级应当用表格单独给出，应当包含不计权的总声压级和A计权的总声压级。可以给出总声压级随风速变化的曲线，绘制曲线图时，各个点应用直线连接。横坐标为对数频率风速，纵坐标为A计权总声压级。每个风速下的背景噪声频谱图也可以分别给出，宜采用1/3倍频程谱。至少给出63Hz、80Hz、100Hz、125Hz、160Hz、200Hz、250Hz、315Hz、400Hz、500Hz、630Hz、800Hz、1000Hz、1250Hz、1600Hz、2000Hz、2500Hz、3150Hz、4000Hz、5000Hz、6300Hz、8000Hz、10000Hz这23个1/3倍频程中心频率的值。并且在频谱图的一侧注明该频谱图对应的风速和总声压级。

# 附录B　3/4开口回流式气动-声学风洞低频颤振评估测量

B.1　风洞环境

应保证风洞处于正常试验状态。测量期间需保证室内的恒定相对湿度和温度。当相对湿度变化超过±10%，温度变化超过±2℃时，应停止测量。相对湿度和温度的测量精确度需分别达到±5%和±1℃。

B.2　测量传声器及其附件

测量传声器及其附件包括：1/1自由场传声器，能够测量小于10Hz的声信号，防风球，传声器支撑架，信号线，校准器。

B.3　数采和分析系统

数采系统：能够采集和分析声信号。声信号分析软件：具有计算分析A计权声压级功能。测试分析电脑：能完成上述软件安装计算。也可以采用商用的声与振动测量分析设备。

B.4　测量物理量

低频颤振的描述量：均方根压力脉动系数。对某频段可用均方根压力脉动系数描述低频颤振，计算公式如下：

 (B.1)

为某一频率段下的压力脉动系数；

为参考声压值（规定值为20μPa）；

为某一频率段下声压的有效值；

为参考动压。

 $L\_{p}=20lg⁡(\frac{p}{p\_{0}})$ (B.2)

为声压。

B.5　测点布置

低频颤振的声压测点位于剪切层流场外，纵向坐标等于测量区域中心点（如天平圆盘中心）坐标，横向坐标在通过该中心店的横向线上，在剪切层流场外，根据风洞尺寸确定。如下图。测点高度距地面1.5米。

喷口

收集口

转盘

试验段

测点

图1 低频颤振测点位置

B.6　测量工况

风洞为空风洞状态（试验区域没有任何物件），试验段温度、大气压强等条件保持在常温、常压状态，按照风洞运行的风速范围，步长36 km/h，逐一进行测量。

B.7　测量结果描述

根据测量结果整理出下述声压数据：全频段A计权声压级频谱，选取低频颤振频率区域，计算总A计权声压级；根据公式(B.1)计算低频颤振的均方根压力脉动系数。

# 附录C 试验信息记录表

表C.1 试验基本信息记录表

|  |
| --- |
| 项目信息 |
| 项目名称 | 　 |
| 委托方 | 　 |
| 被委托方 | 　 |
| 测试日期 | 　 | 测试车辆数 | 　 |
| 测试环境信息 |
| 测试风洞 | 　 | 温度范围 | 　 |
| 湿度范围 | 　 | 大气压范围 | 　 |
| 人员信息息 |
| 姓名 | 所属单位 | 承担职责 |
| 　 | 　 | 　 |
| 　 | 　 | 　 |
| 　 | 　 | 　 |
| 　 | 　 | 　 |
| 　 | 　 | 　 |
| 测试设备信息 |
| 设备名称 | 品牌型号 | 安装位置 | 通道名称 |
| 1 | 　 | 　 | 　 |
| 2 | 　 | 　 | 　 |
| 3 | 　 | 　 | 　 |
| 4 | 　 | 　 | 　 |
| 5 | 　 | 　 | 　 |
| 6 | 　 | 　 | 　 |
| 7 | 　 | 　 | 　 |
| 8 | 　 | 　 | 　 |
| 9 | 　 | 　 | 　 |
| 10 | 　 | 　 | 　 |
| 11 | 　 | 　 | 　 |
| 12 | 　 | 　 | 　 |
| 13 | 　 | 　 | 　 |
| 14 | 　 | 　 | 　 |
| 15 | 　 | 　 | 　 |
| 16 | 　 | 　 | 　 |
| 17 | 　 | 　 | 　 |
| 18 | 　 | 　 | 　 |
| 19 | 　 | 　 | 　 |
| 20 | 　 | 　 | 　 |

表C.2 试验车辆信息记录表

|  |
| --- |
| 车辆基本信息 |
| 样车名称 | 　 | 样车代号 | 　 |
| 样车类型1 | □油泥车 □工程样车 □量产车 |
| 样车类型2 | □轿车 □SUV □MPV □其他 |
| 样车尺寸 | □微型 □小型 □紧凑型 □中型 □大型 |
| 生产厂家 | 　 | 生产日期 | 　 |
| VIN 码 | 　　 |
| 车辆状态信息 |
| 天窗 | 　 |
| 变速箱形式 | 　 |
| 结构完整情况 | 　 |
| 轮胎气压 | 　 |
| 空调系统设置 | 　 |
| 雨刮器位置 | 　 |
| 冷却风扇状态 | 　 |
| 进气主动格栅状态 | 　 |
| 配重 | 　 |
| 其它 | 　 |

表C.3 试验工况记录表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 工况 | 风速 | 横摆角 | 文件名 | 温度（可选） |
| 1 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 2 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 3 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 4 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 5 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 6 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 7 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 8 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 9 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 10 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 11 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 12 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 13 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 14 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 15 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |

# 附录D 数据分析推荐参数设置

D.1　A计权声压级

频谱计权（Spectral Weighting）：A方法

快速傅里叶变换分块尺度（FFT Spectrum Size）：4096

窗函数（Window Function）：汉宁窗（Hanning）

重叠率（Overlap）： 50%

平顺（Smoothing）：关闭

频率坐标显示方式：对数

频率显示范围：20~10000Hz

D.2语音清晰度指数

计算方法（Method）：滤波器（Filter）

滤波阶次（Filter Order）：6

时间权重（Time Weighting）：自由设定（Manual）

时间常数（Time Constant）:300ms

D.3 响度

响度计算方法（Loudness Method）：ISO 532-1

声场（Sound field）： 扩散声场（Diffuse Sound field）