

ICS 43.020

T 40

团 体 标 准

T/GSAEXX—2020

汽车整车气动-声学风洞风噪试验 —泄漏噪声测量方法

Wind noise test for full-scale automobile in aero-acoustical
wind tunnel — the measurement method of leakage noise

(报批稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的该标准所涉必要专利信息连同支持性文件一并附上。

2020-XX-XX 发布

2020-XX-XX 实施

中国汽车工程学会 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 基本条件.....	5
4.1 概述.....	5
4.2 测试环境-声学风洞.....	5
4.3 测试仪器.....	5
4.4 被测车辆.....	5
4.5 密封材料.....	5
4.5.1 胶带.....	5
4.5.2 胶泥或胶条.....	5
5 测量与密封方法.....	6
5.1 概述.....	6
5.2 测量方法.....	6
5.3 车外密封.....	6
5.4 车内密封.....	6
6 测试工况.....	6
6.1 概述.....	6
6.2 密封位置.....	6
6.3 整车泄漏噪声.....	7
6.4 局部泄漏噪声.....	7
6.4.1 基准状态选择.....	7
6.4.2 测试顺序方法.....	7
6.5 工况制定基本原则.....	7
7 测量流程.....	8
7.1 前期准备工作.....	8
7.2 正式测量过程.....	8
8 评价参数.....	8
8.1 概述.....	8
8.2 A 计权声压级.....	8
8.3 累计声压差分值.....	9
8.4 语言清晰度指数.....	9
8.5 总响度.....	9
8.6 尖锐度.....	9
9 记录.....	9
10 数据处理和测量报告.....	9
附 录 A.....	11
附 录 B.....	12
附 录 C.....	14

前 言

本标准由中国汽车工程学会汽车空气动力学分会提出。

本标准按照GB/T1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

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。

本标准起草单位：同济大学，东风汽车集团有限公司技术中心，浙江吉利汽车研究院有限公司，广汽集团汽车工程研究院，中国汽车工程研究院股份有限公司，上汽大众汽车有限公司，长安福特汽车有限公司，吉林大学，长城汽车技术中心

本标准主要起草人：沈哲、王毅刚、杨志刚、黄祚华、魏伟、张斌瑜、杨超、周江彬、陶春、张英朝、徐鹏、黄勇、章文强、陈声显、聂祚兴。

本标准于2020年**月首次发布。

汽车整车气动-声学风洞风噪试验—泄漏噪声测量方法

1 范围

本标准规定了整车气动-声学风洞中进行整车泄漏噪声测量的方法，包括试验基本条件、测量与密封方法、工况制定、测量流程、评价参数、记录、数据处理和测量报告。

本标准适用于具有完整车身密封系统的汽车，最大尺寸需满足风洞规定的车辆重量和外形尺寸要求。

本标准规定的方法所获取的结果可以评价车内泄漏噪声水平，也可以诊断风噪声源、传递路径问题。

2 规范性引用文件

下列文件对于本标准的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本标准。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于标准。

GB/T15485 声学 语言清晰度指数的计算方法

T/CSAE 113-2019 汽车整车气动声学风洞风噪试验-车内风噪测量方法

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)

DIN 45692 模拟听觉效应的尖锐度测量技术 (Measurement Technique For The Simulation Of The Auditory Sensation Of Sharpness)

3 术语和定义

3.1

车内风噪 interior wind noise

车内噪声中气动噪声部分，即由汽车外部气流与车体相互作用产生、通过车体辐射和泄漏入车内的噪声。

3.2

泄漏噪声 leakage noise

广义泄漏噪声指汽车车内风噪因密封系统产生的增量，包含气吸噪声、密封系统传递噪声和空腔噪声，狭义泄漏噪声仅指气吸噪声。

3.2.1

气吸噪声 aspiration noise

由于车身密封间隙引起的车内气动噪声增量，包含间隙处气流发出的气动噪声和车外气动噪声通过间隙直接传至车内的部分。

3.2.2

密封系统传递噪声 sealing system sound transmission noise

车外气动噪声通过车身密封系统传入车内，引起车内气动噪声的增量部分。

3.2.3

空腔噪声 cavity noise

气流在车身密封空腔开口处产生的气动噪声，在泄漏噪声中仅包含车内噪声增量部分。

3.3

车辆测量状态 vehicle test status

测量泄漏噪声时车辆所处的状态，主要指胶带加强密封件情况，包含原始状态、最佳密封状态和部分密封状态等。

3.3.1

考察状态 Inspection status

作为目标进行考察的车辆测量状态，又称为目标状态。

3.3.2

基准状态 reference status

与考察状态进行比较，获得风噪相对贡献量的车辆测量状态，又称为参考状态。

3.3.3

原始状态 baseline status

车辆排除非设计问题引起异响后，未经额外密封处理的状态，此状态在风洞测量得到的车内噪声能够代表车辆的正常风噪水平。

3.3.4

最佳密封状态 quietest status

车辆所有密封件均进行了加强密封处理的状态，代表车内泄漏噪声最小的理想状态，又称全密封状态。

3.4

风洞运行条件

指测量时风洞运行风速、天平横摆角等一系列外部条件情况。

3.5

测量工况 measuring condition

由车辆测量状态和风洞运行条件组成，单次获得一个测试数据的基本工作单元。如原始状态、风速 140 km/h、横摆角 0° 组成一个风噪测量工况。在比较多个相同风洞运行条件、不同车辆状态的工况时，可用车辆测量状态表示工况，如原始工况、全密封工况等，但应注意风洞运行条件不能产生混淆。

3.5.1

考察工况 Inspection condition

考察状态在某个具体风洞运行条件下的测量工况，又称为目标工况。

3.5.2

基准工况 reference status

基准状态在某个具体风洞运行条件下的测量工况，又称为参考工况。

4 基本条件

4.1 概述

泄漏噪声无法直接测量，本标准中，泄漏噪声是通过考察工况与基准工况的车内风噪对比，得到车内噪声差值而获得的间接结果。泄漏噪声测量方法基于车内风噪测量，参考标准 T/CSAE 113-2019《汽车整车气动-声学风洞风噪试验—车内风噪测量方法》。

4.2 测试环境-声学风洞

本标准适用的风洞类别为 3/4 开口、回流式或直流式、汽车整车低速气动-声学风洞。风洞的性能应满足 T/CSAE 113-2019 第 4 章的要求。

4.3 测试仪器

本标准规定使用人工头或传声器测量车内噪声，测试设备应满足 T/CSAE 113-2019 第 5 章的要求。

4.4 被测车辆

用于本标准测量的样车应满足以下要求：

- a) 为能够代表该开发阶段实际风噪水平或由性能负责人认可的整车；
- b) 所有车身开启件（车门、车窗、后背门或行李箱盖、天窗、加油口盖、发动机罩等）、天线、密封件、功能件、内饰件应处于符合设计定义的装配状态和关闭状态；
- c) 空调进风口处于关闭状态，出风口处于自由状态，主动控制格栅处于开启状态；
- d) 底部、前脸、车身、机舱等部位不能存在因风激励而产生异响的附加物，如胶带、扎带、保护膜、标签等；
- e) 姿态保持整车整备质量及测量设备后的自由姿态。

4.5 密封材料

4.5.1 胶带

本标准规定测量泄漏噪声的车辆外部必须使用布基胶带进行密封。胶带应满足如下技术要求：

- a) 使用棉线编织布基层；
- b) 具有热固型天然橡胶的丙烯酸涂层；
- c) 单层厚度为 250~350 μm ；
- d) 粘接至钢板粘性力为 3~4 N/cm²；
- e) 布基密度为 21.7~23.25 支/cm²（140~150 支/每平方英寸）。

4.5.2 胶泥或胶条

需要测量密封系统的隔声能力的情况下，可使用胶泥或胶条在密封间隙的内部进行密封。胶泥或胶条分别应满足如下技术要求：

- a) 胶条：中空发泡密封胶条，带自粘背胶；
 - b) 胶泥：具有较好的隔声性能和可塑性，密度大于 1500kg/m³。
- 本标准建议使用胶泥进行密封。

5 测量与密封方法

5.1 概述

车内噪声的测量方法及车内外密封方法对结果有显著影响。本章对车内噪声测量方法、车外密封方法和车内密封方法做出规定和建议。

5.2 测量方法

本标准车内噪声测量方法应满足 T/CSAE 113-2019 第 6、7 章的要求。

5.3 车外密封

车外胶带密封是测量泄漏噪声的主要手段，车外胶带密封应满足如下技术要求：

- a) 胶带尽量不影响车身初始外形，优先使用较窄的布基胶带；
- b) 需单独考察的各密封间隙用独立胶带进行密封；
- c) 尽量保留原始的外表面轮廓形状，避免胶带与车身接合面出现空腔和气泡；
- d) 保证胶带与胶带连结处的小凸台顺流，贴胶带的顺序应从气流方向的下游至上游，即前部密封胶带压在后部密封胶带上，以减小附加风噪；
- e) 拐角等曲率较大处宜使用额外的胶带加强。

5.4 车内密封

车内密封在需要测量密封系统隔声性能或空腔噪声的情况下进行，车内密封应满足以下技术要求：

- a) 视情况选用胶条或胶泥加强，但应在试验报告中记录密封材料种类；
- b) 用胶条密封情况下，应充分挤压胶条，保证隔声量；
- c) 用胶泥密封情况下，应将胶泥填满密封间隙，保证无明显透声点；
- d) 宜在涂胶泥前用胶带在密封间隙处先做一次密封，可加强密封且便于去除胶泥。

6 测试工况

6.1 概述

本章对进行密封处理的范围、单独考察的密封位置、顺序方法等车辆测试状态进行规范。关于测试风速、横摆角等风洞试验条件见 T/CSAE 113-2019 第 7 章。

6.2 密封位置

车外密封位置包括以下部分：

- a) 动密封件，即能够运动开合的密封位置：车门缝，侧窗导槽、外水切，天窗导槽，门把手盖板等；
- b) 固定密封，即汽车制造过程中组合密封的部件：前风窗，后风窗，固定三角窗，后视镜基座，行李架支座，与车内相通的车身饰条、水切端头、饰板搭接处边缘等。

最佳密封状态应严格将以上全部内容进行密封；部分密封状态应当根据具体试验内容选择密封。其他功能性通气位置如空调进风口、压力平衡孔等，应保持设计状态，不进行密封。此外，密封前进气格栅能够考察发动机舱产生的气动噪声，排除该位置产生异响，可按需要选择进行密封。

6.3 整车泄漏噪声

整车泄漏噪声为原始状态与最佳密封状态在相同风洞运行条件下车内风噪的差值，在给出泄漏噪声值时应说明风洞运行条件。

6.4 局部泄漏噪声

6.4.1 基准状态选择

在测量局部泄漏噪声时，基准状态作为被减数尤为重要。基准状态根据局部泄漏噪声测试顺序方法选择。

6.4.2 测试顺序方法

局部泄漏噪声测试顺序方法主要有开窗法、减包法和增包法三种方法：

a) 开窗法：首先对全车进行密封处理，每次测量去除目标位置胶带，完成后恢复全密封状态，再进行下一目标位置测量。此方法每个状态的基准状态均是全密封状态，所得差值的负数为泄漏噪声的量值。需注意被移除密封胶带的工况不应影响相邻工况的密封，否则应对相邻工况进行密封处理。

b) 减包法：首先对全车进行密封处理，每次测量去除目标位置胶带，完成后不恢复胶带密封，直接进行下一目标位置测量。此方法每个状态的基准状态是前一个状态，所得差值的负数为泄漏噪声的量值。

c) 增包法：不对车进行密封处理，每次测量增加目标位置胶带，完成后不去除胶带密封，直接进行下一目标位置测量。此方法每个状态的基准状态是前一个状态，所得差值的负数为泄漏噪声的量值。

不同方法得到的局部泄漏噪声有明显差异，可根据实际需求选择合适的顺序方法，但在给出局部泄漏噪声的同时应明确所采用的方法。

6.5 工况制定基本原则

泄漏噪声涵盖的汽车部件范围广泛，实际情况复杂，泄漏噪声测试工况应遵循以下原则：

- a) 根据测试目的选择测试内容和范围；
- b) 考虑车辆的实际结构状态的可行性；
- c) 各个密封件考察细化程度应按照可用试验资源确定；
- d) 合理安排工况顺序，一般先考察贡献量较小，耗时较少的工况；
- e) 应预留一定的现场调整空间。

7 测量流程

7.1 前期准备工作

在进行泄漏噪声风洞试验之前，视情况进行以下准备工作：

- a) 为提高泄漏噪声试验效率，在试验前可按附录 A 中的方法检测密封条间隙或静态泄漏，提前预判可能出现的泄漏噪声问题点；
- b) 对风洞试验中可能产生异响的位置进行排查和处理；
- c) 初始工况为密封状态，则可在准备阶段将大部分密封处理完成；
- d) 记录车辆信息和状态。

7.2 正式测量过程

正式测量过程应按照以下步骤进行：

- a) 在风洞内将车辆安装固定对中；
- b) 测试人员进入车内，起风对车内噪声水平和泄漏噪声点进行判断；
- c) 调整试验车的座椅位置、安装测量设备；
- d) 校准测量系统，测量风洞与设备背景噪声；
- e) 将车辆切换至当前试验状态；
- f) 运转风洞，达到设定的风速和横摆角；
- g) 开始测量，数据记录 10 秒以上；
- h) 停止风洞运转，将车辆切换至下个试验状态；
- i) 重复上述 e) ~h) 步骤，直到所有试验工况完成；
- j) 再次对测量系统进行校准。

8 评价参数

8.1 概述

本标准规定泄漏噪声的评价指标包括：A 计权声压级，累计声压差分值，语言清晰度指数，响度和尖锐度。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，计算应采用包含相应参数计算功能的软件或严格按照定义编制的软件进行。

8.2 A 计权声压级

采用 A 计权声压级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

累计声压差分值比较两组噪声数据 A 计权 1/3 倍频程各中心频率处的声压级之差, 并通过累加各个频率段得到总值。此指标适用于多组泄漏噪声考察工况对比、评价, 对局部贡献量较为敏感。累计声压差分值 Δpt_o 的计算公式如(8-1)所示, 应注意, 局部泄露噪声计算中心频率范围为 400 Hz ~ 10000Hz。

$$\Delta pt_o = \sum_i^n \Delta pt_i = \sum_i^n (L_{pia} - L_{pib}) \quad (8-1)$$

其中: 数字 a 表示基准工况、字母 b 表示考察工况, i 为 1/3 倍频程中心频率序号, L_{pia} 、 L_{pib} 分别为 a、b 工况 1/3 倍频程第 i 个中心频率点对应的声压级。定义 $L_{pib} - L_{pia} < 0$ 时, $\Delta pt_i = 0$ 。

8.4 语言清晰度指数

语言清晰度指数 (Articulation Index) 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, 其具有同主观感受一致的特性。计算方法见 GB/T15485-1995。

8.5 总响度

响度 (Loudness) 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。计算方法见 ISO 532-1:2017。

8.6 尖锐度

尖锐度 (Sharpness) 描述的是与声音的频率成分有关但与声音的响度无关的感觉。它反映声音尖锐、频率高、让人不舒服的感觉程度, 是声音中的高频能量与总能量之比。计算方法见 DIN 45692。

尖锐度宜与响度联合使用, 作用评价泄漏噪声水平的辅助指标。

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。

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 B.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 B.2。

试验工况信息: 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。编写工况表时应将车辆在相同车辆状态下的所有测量作为一个完整的试验工况, 而不同的风速、横摆角条件下的测量作为其中的子工况。试验工况信息记录表内容参见附表 B.3。

10 数据处理和测量报告

根据第 8 章 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。计算分析涉及到的参数设置见附录 C。

测量报告编制应包含下列内容:

- a) 项目名称;
- b) 试验来源和目的;
- c) 试验对象;
- d) 试验方法;
- e) 试验设备、测量系统,应当明确测试采样率、采样时间等采集参数设置;
- f) 试验结果及分析,应当明确计算分析参数设置;
- g) 试验结论;
- h) 试验人员、日期和地点。

附录 A

(资料性附录)

试验前期可选工作

A.1 超声波检查空气泄漏方法

1. 测试原理

超声波发生器在车内产生超声波信号，超声波信号可从门缝、玻璃与门框之间的缝隙等处泄漏出来，利用超声波测漏仪接收泄漏处的超声波信号。

2. 测试需求

测试环境应满足以下要求：

- a) 试验在较为安静室内进行
- b) 背景噪声：小于 50dB(A)
- c) 室内温度：0°C~30°C
- d) 室内湿度：40%RH~80%RH

3. 操作步骤

具体操作步骤如下：

- a) 声源布置：将超声波发生器置于车辆内部
- b) 安装：将超声波测漏仪取出并组装
- c) 设置：对超声波测漏仪接收频率及工作模式进行设定
- d) 布点：将待测区域用磁性胶块或胶带每隔一定距离布置一测点
- e) 测试及数据记录：根据实际泄漏量，通过调节超声波测漏仪，随时调整测试量程，按一定顺序逐点测量，并记录测试结果。

A.2 涂粉检测车门密封条间隙方法

1. 测试原理

在门密封条处涂粉末，通过粉末黏附的情况观察密封条的静态贴合情况。

2. 测试需求

应选用颜色易于观察、对环境无污染的细粉末，如爽身粉即可满足要求；也可使用其他膏状材料替代。

3. 操作步骤

具体操作步骤如下：

- a) 检查并清洁车门密封条位置；
- b) 在车门密封条的一侧均匀涂抹上粉末；
- c) 将车门轻轻闭合至门锁扣上，注意不可用惯性大力关门；
- d) 重新打开车门，观察粉末黏附至另一侧的情况，未黏附至对面的位置即为静态密封不佳之处。

附录 B

(资料性附录)

试验信息记录表-样表

表 B.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			
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			

表 B.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	<input type="checkbox"/> 油泥车 <input type="checkbox"/> 工程样车 <input type="checkbox"/> 量产车		
样车类型 2	<input type="checkbox"/> 轿车 <input type="checkbox"/> SUV <input type="checkbox"/> MPV <input type="checkbox"/> 其他		
样车尺寸	<input type="checkbox"/> 微型 <input type="checkbox"/> 小型 <input type="checkbox"/> 紧凑型 <input type="checkbox"/> 中型 <input type="checkbox"/> 大型		
生产厂家		生产日期	
VIN 码		里程数	
车辆状态信息			
天窗			
变速箱形式			
结构完整情况			
车轮尺寸			

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 B.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					

附录 C
(资料性附录)
推荐数据处理设置

C.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

C.2语言清晰度指数

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

C.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)