

# 团 体 标 准

T/CAIACN 010—2024

## 车载音频 扬声器性能要求及测试方法

Vehicle audio — Performance requirements and methods of  
measurement for loudspeaker

2024 - 10 - 15 发布

2024 - 12 - 15 实施

中国电子音响行业协会 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 测试条件.....	1
4.1 测试的标准大气条件.....	1
4.2 测量条件.....	1
4.3 安装方式.....	2
4.4 声学环境.....	2
4.5 扬声器和测量传声器的位置.....	3
4.6 检验装置及设备.....	4
5 测量信号.....	6
5.1 概述.....	6
5.2 正弦信号.....	6
5.3 正弦扫频信号.....	7
5.4 Hann 突发信号.....	7
5.5 宽带噪声信号.....	7
5.6 窄带噪声信号.....	7
5.7 脉冲信号.....	7
6 扬声器外观及尺寸.....	8
7 扬声器性能.....	8
7.1 极性.....	8
7.2 绝缘.....	8
7.3 耐压.....	8
7.4 纯音检听.....	9
7.5 阻抗及其派生特性.....	9
7.6 输入特性.....	10
7.7 频率响应特性.....	11
7.8 输出功率（声功率）.....	14
7.9 指向特性.....	15
7.10 幅度非线性.....	16
7.11 杂散磁场.....	17
8 扬声器性能要求.....	18
参考文献.....	19

全国团体标准信息平台

## 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。

本文件是“车载音频”系列标准的第1部分，“车载音频”系列标准已经发布了以下3个部分：

- 第1部分：车载音频 扬声器性能要求及测试方法。
- 第2部分：车载音频 音频功率放大器性能要求及测试方法。
- 第3部分：车载音频 乘用车扩声系统性能客观测试方法。

中国电子音响行业协会（China Audio Industry Association，简称CAIA）自1983年成立以来就以“服务企业，献策政府”为宗旨。是我国最早成立的跨地区、跨部门、跨系统，具有社团法人资格的全国性社会团体（国家一级行业协会）。

组织开展电子音响领域国际、国内标准化活动，制定中国电子音响行业协会团体标准（以下简称：中音协团标），满足行业需要，推动行业标准化工作，是中国电子音响行业协会的重要工作。协会的所有会员，均有权利提出制、修订中音协团标的建议并参与有关工作。

中音协团标按《中国电子音响行业协会团体标准建设管理办法》进行制定和管理。

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。

在本标准实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料报送中国电子音响行业协会，以便修订时参考。

本文件由苏州上声电子股份有限公司提出。

本文件由中国电子音响行业协会归口。

本文件核心起草单位：苏州上声电子股份有限公司、国光电器股份有限公司、瑞声科技控股有限公司、科大讯飞股份有限公司、华为技术有限公司、小米汽车科技有限公司、中国第一汽车集团有限公司研发总院智能网联开发院、重庆长安汽车股份有限公司、上海蔚来汽车有限公司、浙江极氪汽车研究开发有限公司、中汽研汽车检验中心（天津）有限公司、中国汽车工程研究院股份有限公司、中国计量科学研究院、立讯精密工业股份有限公司、中国电子技术标准化研究院、深圳东原电子有限公司、狄拉克技术服务（深圳）有限公司、苏州清听声学科技有限公司、北京朗德科技有限公司、海德声学（上海）科技有限公司。

本文件起草单位：比亚迪汽车工业有限公司、腾讯音乐娱乐科技（深圳）有限公司、星河智联汽车科技有限公司、珠海市魅族科技有限公司、四川湖山电器股份有限公司、惠州迪芬尼声学科技股份有限公司、深圳市冠旭电子股份有限公司、瀛通通讯股份有限公司、昆山海菲曼科技集团股份有限公司、汉桑（南京）科技股份有限公司、广东天谱科技集团有限公司、朝阳聚声泰（信丰）科技有限公司、杭州兆华电子股份有限公司、中山市悦辰电子实业有限公司、北京声智科技有限公司、北京第七九七音响股份有限公司、深圳市爱普泰科电子有限公司、杭州艾力特数字科技有限公司、友笙（苏州）声学科技有限公司、北京瑞森新谱科技股份有限公司、苏州爱情之音科技有限公司、深圳市美格信测控技术有限公司、天津博顿电子有限公司、浙江传媒学院、曲阜天博汽车电器有限公司、惠州沃睿科技有限公司、深圳瑞利智能创新科技有限公司、吉咖智能机器人有限公司、石家庄康利达电子有限公司、上海市浦东新区先进音视频技术协会。

“车载音频”系列标准起草组由柴国强担任总顾问，马桂林担任组长。

本文件核心起草人：柴国强、马桂林、丁晓峰、沐永生、谢守华、廖爱文、刘俊峰、周铮、朱守经、曾桂华、朱晓鹏、王璐、杨春洪、田喆、李沛然、牛锋、王曦、董桂官、刘斌、叶涛、匡正、虞安波、戴旭昶、李瑞峰、叶超、沈跃武、殷惠龙、黄坤朋、江波、孙露、支洪平、柳燕飞、陆恒良、刘玉伟、张亚奇、赵国祥、吴晟、朱良明、吴伟琨、王富裕、王宾、张婧颖、郑红丽、郝欣言、孙丽、唐鹏春、郎元华、闫爽、史晓磊、孙晨玮、聂俊、高飞、陈华华、黄招军、李添翼、翁靖、魏昌、张志强、朱博成、卫文港、哈海学、由昕亮、王攀、田亚威。

本文件起草人：于洋、闫震海、张莹、张家奇、李兵、孙方晖、彭久高、涂长青、边仿、张鲲鹏、方建军、郭奕君、李超、伏胜、陈孝良、宋鸣、廖文生、任军军、戴璐、刘宇杰、苏根根、温文清、张敬祥、温怀疆、陈东明、刘涛、张洋、王玉龙、王飞、姚赞、肖越、刘泽、于亚慧、孙浩、李富章、张洪超、李茹、冉光伟、刘荣、康怀茂、程畅、刘耘、邓晨、张成能、张勇、黄衡、钱兵、王海俊、张家兴、刘晓彤、肖鹏、王小敏、黄晖、杨永强、庄庆辉、汪涛、沈紫辉、陈伟东、王致荣、罗轶泽、刘海婷、常乐、张亚东、张胜、郑广昌、陈旭顺、黄鹏璇、颜宇航、李登林。

本文件为首次制定。

# 车载音频 扬声器性能要求及测试方法

## 1 范围

本文件规定了车载扬声器的范围、规范性引用文件、术语和定义、功能特性、技术要求、测试要求、测试方法和性能要求。

本文件适用于车载音频系统中的扬声器，涉及扬声器单元本身（指电动式、电磁式、静电式或压电式等多种换能原理的电声换能器）或带有障板、箱体的扬声器单元；也包括一个或几个扬声器单元和相应的附件如箱体、内置分频器等无源元件组成的扬声器系统。

## 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 2900.86—2009 电工术语 声学 and 电声学

GB/T 3241—2010 电声学 倍频程和分数倍频程滤波器

GB/T 6278—2012 声系统设备 概述 模拟节目信号

GB/T 12060.2—2011 声系统设备 第2部分：一般术语解释和计算方法

GB/T 12060.5—2011 声系统设备 第5部分：扬声器主要性能测试方法

GB/T 20441.4—2006 电声学 测量传声器 第4部分：工作标准传声器规范

GB/T 39477—1996 声学名词术语

GB 50800—2012 消声室和半消声室技术规范

SJ/Z 9140.1—1987 声频设备 第1部分：概述

## 3 术语和定义

本文件没有需要界定的术语和定义。

## 4 测试条件

### 4.1 测试的标准大气条件

若无特殊规定，测试的标准大气条件如下：

——环境温度：15 °C~35 °C；

——相对湿度：25%~75%；

——气压：86 kPa~106 kPa。

### 4.2 测量条件

当满足所有以下条件时，则认为扬声器是在正常测量条件下工作：

- a) 待测的扬声器按 4.3 规定安装；
- b) 指定声学环境并由 4.4 中选出；
- c) 扬声器相对于测量传声器和墙壁的位置应符合 4.5 的规定；
- d) 在额定频率范围内馈给扬声器以规定电压 $u$ 的指定测量信号，如果需要，输入功率 $P$ 可按公式 $P = u^2/R$ 计算，式中 $R$ 为额定阻抗。额定频率范围是扬声器的预期正常使用的频率范围。额定频率范围可以与有效频率范围(定义见 7.7.3)不同，特别是当扬声器仅仅用作高音单元、低音单元时；
- e) 若有衰减器，则应置于制造商指定的“正常”位置。如果选用其他位置，例如要提供一最平坦的频率响应或最大衰减，都应予以说明；
- f) 连接适用于测量所需特性的测量设备；
- g) 不需要的声和电的噪声应保持在尽可能低的水平，因为它的存在会掩盖低声级的信号。在测量的频率范围内与信号相关的数据中，凡高出噪声电平不到 10 dB 的数据都应该舍弃。

### 4.3 安装方式

#### 4.3.1 扬声器单元的安装和声负载

扬声器单元的性能决定于单元本身的特性及其声负载，声负载决定于安装方式，安装方式在测量报告中应予以明确说明。

应使用下列几种类型之一的安装方式：

- a) 换能器安装在一个反射平面并与之齐平，以实现半空间自由场条件。这个反射平面的边长尺寸应符合 GB 50800—2012 要求。如果消声室不能满足上面的条件，制造商应说明此条件有效时的最低频率限制，或者应当使用障板测量或房间修正曲线；
- b) 标准障板、标准测量箱(A型或B型)；标准障板、标准测试箱等尺寸定义和使用建议参考 GB/T 12060.5 中的附录 A 和附录 B；
- c) 规定的箱体。不符合 GB/T 12060.5 要求的，在扬声器的前部产生确定的空气负载和辐射条件的测试箱体，可用于产线和相关测试。置于扬声器后面的附加腔体可以提供额外的噪声隔离，或者也可以用来考虑目标应用的封闭箱中空气容积的影响。测试应说明其规格；
- d) 不用障板或箱体而置于自由空间；
- e) 将扬声器的辐射表面与周围的声场耦合起来的确定的耦合器或者其他种类的波导。

测量扬声器系统时，通常不用任何附加的障板，假如制造商规定扬声器系统需要特殊的安装方式，则应在测量中采用。所用的安装方式应在测量报告中说明。

### 4.4 声学环境

#### 4.4.1 概述

声学测量应在以下规定之一的声场条件下进行。用于测试的声学环境在测量结果中应给予说明。

#### 4.4.2 自由场条件

按 GB/T 12060.5—2011, 5.2 规定。自由场条件应覆盖整个测量的频率范围。如果某环境(例如低频下的消声室)不能在额定频率范围内满足自由场条件，制造商应说明满足自由场条件的频率范围。

#### 4.4.3 半空间自由场条件

按 GB/T 12060.5—2011, 5.3 规定。该条件可以用一个足够大的反射平面来实现。声源在除了这个反射面以外的平面(例如墙)上的反射声被充分抑制。如果某环境(例如低频下的半消声室)不能在额定频率范围内满足这些条件，制造商应说明满足半空间自由场条件的频率范围。

#### 4.4.4 扩散场条件

按 GB/T 12060.5—2011，5.4 规定。

#### 4.4.5 模拟自由场条件

按 GB/T 12060.5—2011，5.5 规定。可以采用脉冲响应门控技术来实现直达声与房间反射声分离，实现模拟自由场条件。应说明频率分辨率 $\Delta f = 1/T$ ，其中 $T$ 是满足模拟自由场条件的脉冲响应的有效或截断长度，任何影响测量结果的限制因素，也应予以说明。

注：门控技术会截断脉冲响应，从而降低频率分辨率。通过补零延长脉冲响应的截断长度可以提高频率分辨率，但是不能提供额外的信息。另外波场分离和声全息都可以用来实现直达声和房间反射声的分离。

#### 4.4.6 半空间模拟自由场条件

按 GB/T 12060.5—2011，5.6 规定。

#### 4.4.7 目标应用条件

满足扬声器的最终目标应用的声学环境，例如安装在车内。

### 4.5 扬声器和测量传声器的位置

如图1所示，应用具有参考面、参考轴等来标示扬声器的位置和方向。

#### 4.5.1 参考面

指用以确定参考点的位置和参考轴的方向的面。

注：对于对称结构，参考面通常平行于辐射面或界定为扬声器单元或系统前面的平面。对非对称结构，参考面的位置用图1标示较好。

#### 4.5.2 参考点

指参考轴与参考面相交的点。

#### 4.5.3 参考轴

一条过参考点并以一定方向通过参考面的直线。对于指向性和频率响应的测量，参考轴用作 0 度（如图 1 所示）。

注：对于对称结构而言，参考轴通常垂直于辐射面或垂直于参考面。

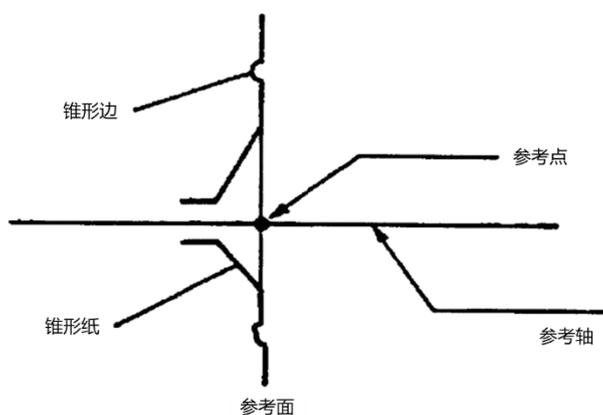


图 1 基准示意图

#### 4.5.4 测量轴

参考点与传声器之间的连线，测量点的方位由它与参考轴间的夹角确定。

#### 4.5.5 评估点

评估点在参考轴上，由制造商规定。评估点用来确定额定最大声压级等参数的位置。

#### 4.5.6 测量距离

测量距离为评估点和参考点之间的距离。测量距离取决于扬声器的大小，理想情况下，测量距离会使评估点位于扬声器的远场。一般情况下，测量距离的典型值为 1 m。

为了获得一致的结果，在自由场和半空间自由场条件下，理想的测量应在扬声器的远场中实现。但实际上测量场所环境的缺陷和背景噪声的影响决定了可用距离的上限。因此测量距离应是 0.5 m 或 1 m 的整数倍，但测量结果宜换算为标准距离 1 m 处的值。

远场条件下，声压衰减与距离呈  $1/r$  的关系。当满足以下三个条件时，此位置可确定为远场：

- a) 距离  $r$  远大于待测扬声器的几何尺寸  $d$  大；
- b) 距离  $r$  远大于波长  $\lambda$ ；
- c) 距离  $r$  和尺寸  $d$  之间的比例远大于尺寸  $d$  和波长  $\lambda$  之间的比例 ( $r \gg d^2/\lambda$ ) ；
- d) 然而，实际操作中，测量环境的限制（例如房间大小）和背景噪声的影响使得测量距离  $r$  有一个上限，测量距离应予标明。

对于扬声器单元，除非特殊情况规定了另外的值，宜使用距参考点 1 m 作为测量距离。

在模拟自由场条件中进行测量时，测量环境中传声器和扬声器的放置，应能最大限度地延长不必要的第一次反射声到达传声器所需的时间。对扬声器与传声器之间的距离应予以说明。

如果测量空间为消声室，则应注意楔形尖劈、地板、扬声器支架和传声器支架的反射。

#### 4.5.7 在扩散场条件下扬声器的位置

按 GB/T 12060.5—2011，7.2 规定。

#### 4.5.8 在模拟自由场条件下扬声器和传声器的位置

按 GB/T 12060.5—2011，7.3 规定。

### 4.6 检验装置及设备

#### 4.6.1 测量传声器

应使用符合 GB/T 20441.1—2010 的 WS2F 或 WS3F 自由场传声器进行自由场条件下的测量。对于扩散场条件下的测量，应使用具有扩散场修正的 WS3P 或 WS2P 扩散场传声器。

#### 4.6.2 标准障板

障板的尺寸及材料见 GB/T 12060.5—2011 中的第 11 章规定。

#### 4.6.3 声频信号发生器

声频信号发生器要求如下：

- a) 频率响应在 20 Hz~20 kHz 频率范围内，不均匀度在  $\pm 0.5$  dB 以内；
- b) 频率分辨率的精度在 1%；
- c) 谐波失真系数在 20 Hz~20 kHz 频率范围内小于或等于 0.1%；

- d) 信噪比大于或等于 60 dB。

#### 4.6.4 噪声信号发生器

在 20 Hz~20 kHz 频率范围内，白噪声输出的恒定带宽测得的频谱（在衰减输出或负载开路时）不均匀度在±1 dB 以内；在 20 Hz~20 kHz 频率范围内，粉红噪声输出的等比带宽测得的频谱（在衰减输出或负载开路时）不均匀度在±1.5 dB 以内。

#### 4.6.5 测试功率放大器

测试功率放大器要求如下：

- a) 频率响应在 20 Hz~20 kHz 频率范围内，不均匀度在±0.5 dB 以内；
- b) 谐波失真系数在 20 Hz~20 kHz 频率范围内小于或等于 0.1%；
- c) 输出阻抗应小于被测扬声器额定阻抗值的 1/3；
- d) 当用于噪声测试时，应大于或等于扬声器系统测试功率的 8 倍。

#### 4.6.6 负荷测试功率放大器

负荷测试功率放大器要求如下：

- a) 频率响应在 20 Hz~20 kHz 频率范围内，不均匀度在±1 dB 以内；
- b) 谐波失真系数在 20 Hz~20 kHz 频率范围内小于或等于 2%；
- c) 输出阻抗应小于被测扬声器额定阻抗值的 1/3；
- d) 当用于噪声测试时，应大于或等于扬声器系统测试功率的 2.5 倍。

#### 4.6.7 传声测量放大器

传声测量放大器要求如下：

- a) 频率响应在 20 Hz~20 kHz 频率范围内，不均匀度在±0.3 dB 以内；
- b) 输入端开路时噪声电平小于或等于 15 μV，输入端短路时小于或等于 10 μV；
- c) 检波特性为均方值检波。

#### 4.6.8 有效值电压表

有效值电压表要求如下：

- a) 频率响应在 20 Hz~20 kHz 频率范围内，不均匀度在±1 dB 以内；
- b) 满刻度误差在±2.5% 以内；检波特性为均方值检波。

#### 4.6.9 电平记录仪

电平记录仪要求如下：

- a) 频率响应在 20 Hz~20 kHz 频率范围内，不均匀度在±0.5 dB 以内；
- b) 信号记录误差在±1 dB 以内。

#### 4.6.10 频率分析仪

频率分析仪要求如下：

- a) 分析频率范围 20 Hz~20 kHz；
- b) 动态范围大于或等于 85 dB；
- c) 滤波器特性的波形因数为 60 dB，带宽 3 dB，带宽小于或等于 7；
- d) 恒定带宽 10 Hz、31.5 Hz、100 Hz 三档（或百分数带宽 1%、3%、10%三档）；

- e) 带宽精度±5%；
- f) 放大器部分同 4.6.7。

#### 4.6.11 带通滤波器（宽带）

带通滤波器（宽带）要求如下：

- a) 高端、低端截止频率可调，应能满足被测扬声器的额定频率范围；
- b) 通道内的脉动级在±1 dB 以内；
- c) 高端、低端截止频率的误差应在±10%以内；
- d) 通带外的衰减大于或等于 24 dB/oct。

#### 4.6.12 带通滤波器（窄带）

滤波器特性应符合 GB/T 3241—2010 的规定。

#### 4.6.13 模拟节目信号滤波器

滤波器特性应符合 GB/T 6278—2012 的规定。

#### 4.6.14 限幅器

能将白噪声或粉红噪声的峰值因子限制在 1.8~2.2 之间、3~4 之间两种<sup>[2]</sup>。

#### 4.6.15 无感电阻箱

阻值范围 0.01 Ω ~ 1000 Ω，可调。

### 5 测量信号

#### 5.1 概述

下列测试信号可选择其一进行声学测量，并在测量结果中指出。

#### 5.2 正弦信号

正弦测量信号在任何频率上都不应超过额定正弦电压。若无其他规定，则馈给扬声器输入端的电压应在所有频率上保持恒定。

##### 5.2.1 单频正弦信号

用一个频率为  $f$  的单频信号激励电声系统，信号公式如下：

$$x_s(t) = \sqrt{2} \cos(2\pi ft) \quad (1)$$

$$0 \leq t \leq T_p + T_M = \frac{(N_p + N_M)}{f} \quad (2)$$

预激励时间  $T_p = N_p / f$ ，要求周期数  $N_p > 5$ ，以达到电声系统的稳态条件。测量时间  $T_M = N_M / f$ 。对于时间平均和时间离散信号处理，建议周期数  $N_M \geq 1$ 。

##### 5.2.2 双频正弦信号

一个双频信号定义为：

$$x_t(t) = \sqrt{2/(A_1^2 + A_2^2)} [A_1 \cos(2\pi f_1 t) + A_2 \cos(2\pi f_2 t)] \quad (0 \leq t \leq T_p + T_M) \quad (3)$$

其中，规定的频率  $f_1 < f_2$ ，振幅比例是  $A_1$  和  $A_2$ 。预激励时间  $T_p = N_p / f_1$ ，需要最小重复次数  $N_p > 5$ ，

以达到扬声器的稳态条件。测量时间

$$T_M = \frac{N_M}{f_1 f_2} \times 1\text{Hz} \quad (4)$$

对于时间平均和时间离散信号处理，建议周期数 $N_M \geq 1$ ， $T_M$ 为两个频率对应周期的公倍数。

### 5.3 正弦扫频信号

瞬时正弦扫频信号定义为：

$$x_c(t) = \sqrt{2}A(f(t)) \cos(2\pi f(t)t) \quad (5)$$

其中振幅 $A(f(t))$ 取决于瞬时频率

$$f(t) = f_{start} 2^{\beta t} (0 \leq t \leq T_s) \quad (6)$$

在扫频时长 $T_s$ 内，它随时间呈对数变化，从起始频率 $f_{start}$ 开始到截止频率 $f_{end}$ 终止，其中典型的 $T_s$ ，为 $0.2\text{ s} < T_s < 10\text{ s}$ ，扫频速度参数

$$\beta = \frac{1}{T_s} \log_2 \left( \frac{f_{end}}{f_{start}} \right) \quad (7)$$

描述了将瞬时频率增加一倍的速率。

注：可以使振幅 $A(f(t))$ 为恒定值，但随频率变化的振幅可以在特定频带保护扬声器。在生产线终端测试中有时需要超快速测量，它要求其他的扫频信号，其瞬时正弦信号的扫频速度参数 $\beta(f)$ 也随频率 $f$ 变化；变化的速度曲线可用于实现激励的期望功率密度谱，并为信号 $x_c(t)$ 的目标频带提供足够准确性和期望峰值。

### 5.4 Hann 突发信号

Hann突发信号公式如下：

$$x_b(t) = \begin{cases} \frac{[1 - \cos(\frac{2\pi f t}{6.5})] \sin(2\pi f t)}{2}, & 0 \leq t \leq 6.5/f \\ 0, & (t = \text{其他}) \end{cases} \quad (8)$$

定义为频率是 $f$ 的连续正弦波和 6.5 个周期长度的 Hann 窗之间的时域乘积，产生 1/3 oct 带宽。

### 5.5 宽带噪声信号

该术语由 GB/T 12060.2—2011 解释。

噪声源的峰值因数在 3~4 之间。

测量信号幅度时应使用时间常数至少和 GB/T 3785.1 所规定的声级计的“慢档”时间常数相同的真有效值电压表。

### 5.6 窄带噪声信号

该术语由 GB/T 12060.2—2011 解释。

测量所用窄带噪声，相对带宽通常为 1/3 oct，符合 GB/T 3241 要求的恒定相对带宽滤波器应与粉红噪声发生器一起使用。

### 5.7 脉冲信号

该术语由 GB/T 12060.5—2011 解释。

## 6 扬声器外观及尺寸

### 6.1 检查方法

用符合精度要求的量具检查尺寸，用目测检查外观质量，以及按产品技术文件规定检查机械质量。

### 6.2 要求

通过视觉观察，检验扬声器的外观以及结构。要求满足以下标准：

- a) 无磁体及其它零部件脱落；
- b) 插片无松动，无焊接不牢，虚焊，假焊；
- c) 盆架无机械损伤，无变形，防雨罩无破损；
- d) 金属件无镀层锈蚀，起皮，起泡，脱落，划痕；
- e) 无外观不整洁，胶污，杂物，露线，挑旗，黏结不牢；
- f) 无极性标错，商标不清，偏斜，黏结不牢；
- g) 尺寸规格符合图纸要求。

## 7 扬声器性能

### 7.1 极性

扬声器单元的接线端相对于另一端馈以正电压，导致扬声器单元前方声压的增加，规定该接线端为正极。

#### 7.1.1 测量方法

按 GB/T 12060.5—2011，14.2.3 条进行。

#### 7.1.2 要求

正极应用一个“+”号或者红色标志，或者由制造商规定。

### 7.2 绝缘

扬声器单元的接线端相对于磁路的金属部件之间的绝缘性能。

#### 7.2.1 测量方法

用 100 V 直流测试扬声器单元的音圈输入端与磁路的金属部分的电阻。

#### 7.2.2 要求

扬声器单元的接线端与磁路金属件之间的绝缘电阻应大于  $1\text{ M}\Omega$ 。

### 7.3 耐压

扬声器单元的接线端相对于磁路的金属部件之间的绝缘性能。

#### 7.3.1 测量方法

扬声器单元的音圈引出端与磁路金属件之间的施加交流电压(50 Hz, 500 V) 1 min。

### 7.3.2 要求

扬声器单元的音圈引出端与磁路金属件之间的施加规定的交流电压，应无击穿现象。

## 7.4 纯音检听

在扬声器系统额定频率范围内馈给规定电压的正弦信号，检查扬声器的质量。

### 7.4.1 测量方法

按 GB/T 12060.5—2011 中的附录 D 进行。

### 7.4.2 要求

检听声音时，不应出现音圈擦圈、嗡嗡声、气流泄漏噪声、松散粒子或其他异常声<sup>[3]</sup>。

## 7.5 阻抗及其派生特性

### 7.5.1 额定阻抗

扬声器的额定阻抗值是一个由制造商规定的纯电阻的阻值，在确定信号源的有效电功率时，用它来代替扬声器。额定阻抗是指阻抗曲线上紧跟在第一个极大值后面的极小值。

#### 7.5.1.1 要求

扬声器的额定阻抗及其允许偏差由产品标准规定，宜在±15%以内。

### 7.5.2 阻抗曲线

阻抗曲线应规定为由阻抗模量表示的频率的函数。

#### 7.5.2.1 测量方法

按 GB/T 12060.5—2011，16.2.2 进行。

#### 7.5.2.2 要求

扬声器的阻抗曲线应符合制造商提供的典型阻抗曲线及允差。在额定频率范围内，阻抗模量的最低值不应小于额定阻抗的 80%。假如在额定频率范围以外的任何频率（包括直流）的阻抗小于此值时，则应在说明书中加以说明。

### 7.5.3 总品质因数( $Q_t$ )

在共振频率点，声阻抗或机械阻抗的惯性（或弹性）部分与纯阻部分的比值。

#### 7.5.3.1 测量方法

按 GB/T 12060.5—2011，16.3.2 进行。

#### 7.5.3.2 要求

扬声器的总品质因数应符合制造商提供的典型总品质因数及允差。

### 7.5.4 扬声器单元顺性的等效空气容积( $V_{as}$ )

指密闭在刚性容器中空气的声顺与扬声器单元的声顺相等时的体积。

#### 7.5.4.1 测量方法

按 GB/T 12060.5—2011, 16.4.2 进行。

#### 7.5.4.2 要求

扬声器的等效空气容积应符合制造商提供的典型总等效空气容积及允差。

#### 7.5.5 扬声器单元的共振频率

在扬声器单元的阻抗模值随频率递增变化的曲线上出现第一个阻抗极大值时的频率。其声学环境（自由场或半空间自由场）、安装条件、包括所用测量箱的特性应在给出该频率时一并给出。

#### 7.5.6 封闭式扬声器系统的共振频率

在封闭式扬声器系统（包括分频网络）的阻抗模值随频率递增变化的曲线上出现第一个极大值时的频率。

#### 7.5.7 倒相式或无源辐射式扬声器系统的调谐频率

在倒相或无源辐射扬声器系统（包括分频网络）的阻抗模值随频率递增变化的曲线上，第一个主极大值后的第一个主极小值时的频率。

##### 7.5.7.1 要求

共振频率值由产品标准规定。共振频率值的允许偏差宜在±20%以内。中、高频扬声器和其他特殊的扬声器系统的额定共振频率的允许偏差可以不受此处的要求限制。

### 7.6 输入特性

#### 7.6.1 额定最大输入功率

扬声器在不产生热损坏或机械损坏的情况下所能够承受的电功率，应由制造商规定。

##### 7.6.1.1 测量方法

按 GB/T 12060.5—2011, 17.1.2 进行，得到额定最大输入电压 $\tilde{u}_{max}$ 。由公式 $\tilde{u}_{max}^2/R$ 计算的电功率， $R$ 是额定阻抗。

对于在目标应用中具有较小可用带宽的扬声器（例如超低音扬声器），可以用正弦信号、Hann 突发信号或窄带噪声信号很好地近似“宽带”信号。

应该说明模拟节目噪声激励的特性，例如频谱特性、峰值因数以及下限 $f_l$ 和上限 $f_u$ 或者额定频率范围。

制造商规定一个测试值作为额定最大电压的候选值。所选测试值应该考虑到扬声器的预期应用和特性（例如，允许的加热和音圈最大机械位移），从而避免在测试过程中损坏扬声器<sup>[1]</sup>。

##### 7.6.1.2 要求

其额定值由产品标准规定。馈给扬声器的电功率经过测试后，应无热损伤和机械损伤，并符合 7.4 纯音检听的要求。

#### 7.6.2 短期最大功率

扬声器单元或系统在不产生永久性损坏的情况下所能承受的持续时间为 1 s 的模拟节目信号的最大功率。

### 7.6.2.1 测量方法

按 GB/T 12060.5—2011, 17.2.2 进行。得到短期最大输入电压 $\tilde{u}_{st}$ 。由公式 $\tilde{u}_{st}^2/R$ 计算得到短期最大功率,  $R$ 是额定阻抗。

### 7.6.2.2 要求

其额定值由产品标准规定。馈给扬声器的电功率经过测试后, 应无热损伤和机械损伤, 并符合 7.4 纯音检听的要求。

### 7.6.3 长期最大功率

规定扬声器单元或系统能承受持续时间为 1 min 的模拟节目信号而不产生永久性损坏的最大信号功率。

#### 7.6.3.1 测量方法

按 GB/T 12060.5—2011, 17.3.2 进行。得到长期最大输入电压 $\tilde{u}_{lt}$ 。由公式 $\tilde{u}_{lt}^2/R$ 计算得到长期最大功率,  $R$ 是额定阻抗。

#### 7.6.3.2 要求

其额定值由产品标准规定。馈给扬声器的电功率经过测试测试后, 应无热损伤和机械损伤, 并符合 7.4 纯音检听的要求。

### 7.6.4 额定正弦功率

由制造商规定的在额定频率范围内使扬声器能连续工作而不导致任何热损坏或机械损坏的持续正弦信号功率。

#### 7.6.4.1 测量方法

按 GB/T 12060.5—2011, 17.4.2 进行。得到额定正弦输入电压 $\tilde{u}_s$ 。由公式 $\tilde{u}_s^2/R$ 计算得到额定正弦功率,  $R$ 是额定阻抗。

#### 7.6.4.2 要求

其额定值由产品标准规定。馈给扬声器的电功率经过测试测试后, 应无热损伤和机械损伤, 并符合 7.4 纯音检听的要求。

## 7.7 频率响应特性

### 7.7.1 传递函数

自由场或模拟自由场条件下测得的声压幅值和相位与频率的关系。测量是在相对于参考轴及参考点的指定位置, 在扬声器输入端上施加规定的恒定电压进行的, 该电压应为 1 V, 除非另有规定, 应说明激励信号的特性, 测量时间以及均方值。

使用的信号电平应保证测量结果不受非线性的影响, 用大振幅信号激励测量的传递函数会受到扬声器非线性特性以及热特性的影响。测量中应该使用衰减激励或者降低激励电平进行响应测量, 直到观察到的响应不变, 从而验证线性条件。

声压幅值通常以等效声压级表示。在表示相位为频率的函数时, 应扣除由于扬声器和传声器之间的声传输所产生的相移。

### 7.7.1.1 测量方法

测试方法如下：

- 扬声器应置于模拟自由场环境内的正常测量条件下。
- 应馈给扬声器宽带噪声信号或者正弦扫频信号 $u(t)$ 。
- 在规定的测量点处测量声压信号，并使用傅里叶变换计算瞬时频率 $f$ 的基频成分的复振幅 $p_{fund}(f)$ 。
- 对激励信号进行傅里叶变换，从激励 $u(t)$ 中确定瞬时频率 $f$ 的基频成分 $u(f)$ 的复振幅。
- 复传递函数通过下式计算：

$$H(f) = \frac{p_{fund}(f)}{u(f)} \quad (9)$$

其中，幅度响应为 $|H(f)|$ ，相位响应 $\varphi(f) = \arg(H(f))$ 。

- 可以通过使用频率-时间变换（逆傅里叶变换）来计算脉冲响应，也就是时域的传递函数 $h(t)$ 。可在脉冲响应中加时间窗，来抑制来自声学边界（如房间墙壁）的反射声，并产生模拟自由场条件。通过对加窗的脉冲响应进行傅里叶变换，可以得到修正的复传递函数。
- 通过对频率响应 $H(f)$ 进行频谱平均来生成幅度和相位响应的平滑曲线，要说明应用的平滑技术（幅度和相位响应的复合平均或单独平均和使用的平滑带宽 $B$ ，通常在 1/3 oct 和 1/12 oct 之间）。

### 7.7.2 声压级频率响应

在自由场或半空间自由场条件下，在相对于参考轴和参考点的指定位置，以规定的恒定电压测得的作为频率函数的声压级。所用的恒定电压为正弦信号，或为频带噪声信号，即带宽为 $B$ ，中心频率为 $f$ 的窄带信号。

使用的信号电平 $\alpha\tilde{u}_{max}$ （ $\alpha$ 是比例因子， $\tilde{u}_{max}$ 是额定最大输入电压）应保证测量结果不受非线性的影响，用大振幅信号激励测量的传递函数会收到扬声器非线性特性以及热特性的影响。测量中应该使用衰减激励或者降低激励电平进行响应测量，直到观察到的响应不变，从而验证线性条件。

#### 7.7.2.1 测量方法

测试方法如下：

- 把扬声器置于正常测量条件下的自由场或半空间自由场环境中。
- 馈给扬声器恒定电压的频带噪声信号或正弦信号。
- 测量至少应覆盖扬声器的有效频率范围。对于额定频率范围内 $f_l \leq f \leq f_u$ 内的每个频率 $f$ ，应用下列两种方法中的一种来完成：
  - 在测量时间 $T_s$ 内，用具有规定带宽 $B$ ，均方根值为 $\alpha\tilde{u}_{max}$ 的稳态信号或窄带滤波噪声信号激励扬声器。在测量点处测量声压 $p(t)$ ，并在计算声压级之前，用具有规定带宽 $B$ 和中心频率 $f$ 的带通滤波器对其进行滤波，减少噪声和扬声器产生的非线性失真。
  - 根据测量得到的传递函数 $H(f)$ 以 dB 表示，计算公式为：

$$SPL(f) = 20 \log_{10} \left( \frac{|H(f)|\alpha\tilde{u}_{max}}{p_0} \right) \quad (10)$$

其中，基准声压  $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$ 。

- 结果以声压—频率曲线来表示，测量所选用的声学环境和所选的是哪一种测试信号应予以说明。

#### 7.7.2.2 要求

扬声器的典型频率响应应由制造商提供，用户有要求时，应符合双方约定的包络框。在额定频率范围内，频率响应曲线的不均匀度宜在 $\pm 4$  dB 以内。在额定频率范围外，且在有效频率范围内，频率响应曲线

的不均匀度宜在+4 dB 和-8 dB 的允差范围内。

### 7.7.3 有效频率范围

由规定上下限频率所限定的频率范围。在此范围内，根据测量得到的扬声器的频率响应，用带宽 $B$ 平滑后，相比于规定的频率范围内（或由制造商规定的更宽的频带）内的平均声压级之下、10 dB 以内的上限频率和下限频率。

#### 7.7.3.1 测量方法

测试方法如下：

- a) 应在规定的频率范围内测量频率响应 $SPL(f)$ ，其分辨率与相对带宽为 $B$ 的窄带滤波器对应。如果未使用默认值1/12 oct，则应说明相对带宽 $B$ ；
- b) 在最高灵敏度区域一个倍频程的带宽(或由制造商规定的更宽的频带)内计算平均声压级 $SPL_{mean}$ ；
- c) 在平滑的频率响应相比于平均声压级 $SPL_{mean}$ 不低于10 dB的范围内，确定有效频率范围；
- d) 在该确定频限内，应忽略频响曲线上，与低于平均声压级10 dB的水平线相交处，窄于1/9 oct宽度的尖谷。

#### 7.7.3.2 要求

扬声器的有效频率范围应不窄于产品标准规定的额定频率范围。上限频率和下限频率的允许偏差由制造商提供。

### 7.7.4 指定频带内的声压

馈给扬声器以规定频率范围、规定电压值的粉红噪声信号时，扬声器在参考轴上离参考点规定距离处所产生的声压。

#### 7.7.4.1 测量方法

按 GB/T 12060.5—2011，20.1.2 进行。

### 7.7.5 指定频带内的声压级

按照指定频带内的声压与基准声压(20  $\mu$ Pa)之比的对数乘以 20，用分贝(dB)表示。

#### 7.7.5.1 要求

扬声器指定频带内的声压级值由产品标准规定。

### 7.7.6 指定频带内的特性灵敏度

将指定频带内的声压换算成输入功率为 1 W 且在参考轴上距离参考点 1 m 处的值。规定电压 $u_p$ 为与 1 W 功率相应的电压，数值上与 $\sqrt{R}$ 相等，这里 $R$ 为额定阻抗。

### 7.7.7 指定频带内的特性灵敏度级

按测得的特性灵敏度与基准声压(20  $\mu$ Pa)之比的对数乘以 20，用分贝(dB)表示。

#### 7.7.7.1 要求

指定频带内的特性灵敏度级的值及偏差由产品标准规定。最大允许偏差宜在 $\pm 3$  dB以内。

### 7.7.8 指定频带内的平均声压

指定频带内所有 1/3 oct 频带测得的声压的有效值。

#### 7.7.8.1 测量方法

按 GB/T 12060.5—2011, 20.5.2 进行。

### 7.7.9 指定频带内的平均声压级

按测得的指定频带内的平均声压与基准声压(20  $\mu$ Pa)之比的对数乘以 20, 用 dB 表示。

#### 7.7.9.1 要求

扬声器指定频带内的平均声压级值由产品标准规定。

## 7.8 输出功率 (声功率)

### 7.8.1 额定最大声压级

扬声器在不产生热损坏或机械损坏的情况下最大输出声压, 应由制造商规定。

#### 7.8.1.1 测量方法

按 7.6 中额定最大输入功率测量过程, 将输入激励的均方值调整到额定最大输入电压  $\tilde{u}_{max}$ , 在规定的评估点测量声压的均方根值, 并定义为额定最大声压  $\tilde{p}_{max}$ 。那么额定最大声压级可以定义为:

$$SPL_{max} \log_{10} \left( \frac{\tilde{p}_{max}}{p_0} \right) \quad (11)$$

其中  $p_0 = 20 \mu Pa$ , 是基准声压。

#### 7.8.1.2 要求

其额定值由产品标准规定。

### 7.8.2 短期最大声压级

扬声器单元或系统在不产生永久性损坏的情况下所能承受的持续时间为 1s 的模拟节目信号的最大声压级。

#### 7.8.2.1 测量方法

按 7.6 中短期最大输入功率测量过程, 将输入激励的均方值调整到短期最大输入电压  $\tilde{u}_{st}$ , 在规定的评估点测量声压的信号  $p(t)$ 。那么短期最大声压级可以定义为:

$$SPL_{short} = 20 \log_{10} \left( \frac{1}{p_0} \sqrt{\frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} p^2(t) dt} \right) \quad (12)$$

其中  $p_0 = 20 \mu Pa$  是基准声压,  $T_s = 1 s$  是激励时间。

#### 7.8.2.2 要求

其额定值由产品标准规定。

### 7.8.3 长期最大声压级

规定扬声器单元或系统能承受持续时间为 1 min 的模拟节目信号而不产生永久性损坏的最大声压级。

### 7.8.3.1 测量方法

按 7.6 中长期最大输入功率测量过程，将输入激励的均方值调整到最大输入电压 $\hat{u}_{it}$ ，在规定的评估点测量声压信号 $p(t)$ ，那么长期最大声压级可以定义为：

$$SPL_{long} = 20 \log_{10} \left( \frac{1}{p_0} \sqrt{\frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} p^2(t) dt} \right) \quad (13)$$

其中 $p_0 = 20 \mu Pa$ 是基准声压， $T_s = 1 \text{ min}$ 是激励时间。

### 7.8.3.2 要求

其额定值由产品标准规定。

### 7.8.4 频带内的声功率

馈给扬声器规定输入信号时它在中心频率为 $f$ 的给定频带内所辐射的总声功率。

#### 7.8.4.1 测量方法

按GB/T 12060.5—2011，22.1.2进行。

#### 7.8.4.2 要求

扬声器频带内的声功率值由产品标准规定。

### 7.8.5 指定频带内的平均声功率

指定频带内所有 1/3oct 频带的声功率的算术平均值。

#### 7.8.5.1 要求

扬声器指定频带内的平均声功率值由产品标准规定。

### 7.8.6 指定频带内的效率

在中心频率为 $f$ 的频带内扬声器辐射的声功率与馈给它的电功率之比。

#### 7.8.6.1 测量方法

按GB/T 12060.5—2011，22.3.2进行。

#### 7.8.6.2 要求

扬声器制定频带内的效率值由产品标准规定。

### 7.8.7 指定频带内的平均效率

指定频带内所有 1/3 oct 频带的效率的算术平均值。

#### 7.8.7.1 要求

扬声器的指定频带内的平均效率值由产品标准规定。

## 7.9 指向特性

### 7.9.1 指向性图案

在自由场条件下规定的平面内测得的声压级表示为测量轴和参考轴之间夹角的函数，它可以随频率不同而变化。测量轴应是传声器到参考点的连接线。

#### 7.9.1.1 测量方法

按GB/T 12060.5—2011，23.1.2进行。

#### 7.9.1.2 要求

扬声器的典型指向性图案应由制造商提供，用户有要求时，应符合双方商定的规定。

#### 7.9.2 辐射角

相对于参考轴，在指定测量距离处远离轴的声压级，首次相对于参考轴上的声压级下降 10 dB 对应的角度。应该说明满足该条件的频率范围。该定义在高频条件下实用性降低，因为高频条件下有许多窄的旁瓣，从而需要更高的角分辨率。

##### 7.9.2.1 测量方法

按GB/T 12060.5—2011，23.2.2进行。

##### 7.9.2.2 要求

扬声器的辐射角其值由产品标准规定。

#### 7.9.3 覆盖角(含多个)

为指向性响应图案主瓣两边，声压级比最大声压级低 6 dB 的方向之间的夹角。应在包含参考轴的平面内测量覆盖角。

对于被设计成在过参考轴的不同平面上具有不同覆盖角的扬声器，需给出至少两个正交平面内的覆盖角。

##### 7.9.3.1 测量方法

按GB/T 12060.5—2011，23.4.2进行。

##### 7.9.3.2 要求

扬声器的覆盖角其值由产品标准规定。

#### 7.10 幅度非线性

##### 7.10.1 总谐波失真

通过总声压 $P_t$ 表示的总谐波失真。

###### 7.10.1.1 测量方法

按GB/T 12060.5—2011，24.1.2进行。

###### 7.10.1.2 要求

扬声器的总谐波失真必要时由产品标准规定。中、高频扬声器的总谐波失真可以不作规定。

### 7.10.2 $n$ 次谐波失真( $n = 2$ 或 $3$ )

通过总声压 $P_t$ 来表示的 $n$ 次谐波失真。

#### 7.10.2.1 测量方法

按GB/T 12060.5—2011, 24.2.2进行。

#### 7.10.2.2 要求

扬声器的 $n$ 次谐波失真值由产品标准规定。

### 7.10.3 $n$ 次调制失真( $n = 2$ 或 $3$ )

由于失真而产生的频率为 $f_2 \pm (n - 1)f_1$ 的声压有效值的算术和, 与由信号 $f_2$ 产生的声压有效值 $P_a$ 之比。

$f_1$ 和 $f_2$ 为两个规定幅值比(幅值比为 4:1)的输入信号的频率,  $f_1$ 甚低于 $f_2$  ( $f_1 < f_2/8$ )。

#### 7.10.3.1 测量方法

按GB/T 12060.5—2011, 24.4.2进行。

#### 7.10.3.2 要求

扬声器的调制失真值由产品标准规定。

### 7.10.4 差频失真(仅二次)

被测扬声器在频率( $f_2 - f_1$ )处辐射的声压与扬声器总声压之比, 用有效值表示。频率 $f_1$ 和 $f_2$ 为两个等幅正弦输入信号。

#### 7.10.4.1 测量方法

按GB/T 12060.5—2011, 24.6.2进行。

#### 7.10.4.2 要求

扬声器的差频失真值由产品标准规定。

### 7.11 杂散磁场

有时需要了解扬声器产生的磁场大小, 以避免对附近设备的干扰。一般考察扬声器的磁路系统在离其后面或箱体的任何部分(或相关部分)的 30 mm 处, 所产生的最大静态磁场强度值, 单位为安培每米(A/m)。具体又分为静态分量和动态分量。静态分量是无音频信号激励; 动态分量是用符合 SJ/Z 9140.1 要求的模拟节目信号的额定噪声电压驱动。

#### 7.11.1 测量方法

按GB/T 12060.6—2011, 第26章进行。

#### 7.11.2 要求

扬声器杂散磁场值由可按产品标准规定。当用户有明确要求时应进行测试。测量结果应指明静态分量和交变分量, 并注明额定噪声电压。测量报告应包含相对于扬声器的参考面和参考点获得最大值时的位置和方向, 可图示该信息。

## 8 扬声器性能要求

评价项目		指标要求
额定阻抗		在基准值的±15%以内
共振频率		(1) 应提供已测定的数据 (2) 在基准值的±20%以内
总品质因数		满足实际设计要求
额定最大输入功率		满足实际设计要求
有效频率范围		满足实际设计要求
声压级频率响应		(1) 应提供已测定的数据 (2) 制造商应提供频率响应框图(作为判定依据)
指向性特性	指向性图案	(1) 须经协商才可被认可
	辐射角	(2) 应提供已测定的数据
	覆盖角	(3) 仅作参考
总谐波失真		(1) 应规定频率点或频率范围 (2) 在协商规定的失真限值内
工作温度		-40 °C~85 °C
存储温度		-40 °C~90 °C
耐电压性		无异常情况发生
绝缘阻抗		1 MΩ

## 参 考 文 献

- [1] IEC 60268-21:2018 Sound system equipment – Part 21: Acoustical (output-based) measurements.
- [2] AES2-2012 (r2023): AES standard for acoustics – Methods of measuring and specifying the performance of loudspeakers for professional applications – Drive units.
- [3] W. Klippel, U. Seidel, Measurement of Impulsive Distortion, Rub and Buzz and other Disturbances, presented at the 114th convention of the Audio Eng. Soc. 2003, March 22 25, Amsterdam.
- 

全国团体标准信息平台