

团 体 标 准

T/SASC 05001-2024

声源定位系统声学性能及测量规范 固定波束形成法

Norm on acoustic properties and measurements of sound source
localization systems—Fixed beamforming method

(发布稿)

本电子版为发布稿，请以正式出版的标准文本为准。

2024-06-01 发布

2024-09-01 实施

中国声学学会 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 技术要求.....	3
4.1 概述.....	3
4.2 一般要求.....	3
5 试验方法.....	4
5.1 试验环境条件.....	4
5.2 主要试验仪器及设备.....	4
5.3 声成像视角.....	5
5.4 成像频率范围.....	5
5.5 空间分辨率.....	6
5.6 主旁瓣抑制比.....	6
5.7 定位误差.....	6
5.8 弱信号探测能力.....	7
6 检验项目.....	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。

本文件由中国声学学会提出。

本文件由中国声学学会归口。

本文件起草单位：杭州爱华智能科技有限公司、中国科学院声学研究所、同济大学、浙江科技大学、中国计量科学研究院、浙江大学。

本文件主要起草人：袁芳、熊文波、李晓东、吕亚东、郑成诗、俞悟周、毛东兴、李争光、牛锋、翟国庆。



声源定位系统声学性能及测量规范 固定波束形成法

1 范围

本文件规定了基于固定波束形成法的声源定位系统的术语、声学性能、技术要求以及试验方法。本文件适用于基于固定波束形成法的声源定位系统（以下简称声源定位系统）的设计、制造与校准。

2 规范性引用文件

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

GB/T 3102.7 声学的量和单位

GB/T 3222.1 声学 环境噪声的描述、测量与评价 第1部分：基本参量与评价方法

GB/T 3947 声学名词术语

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 15173 电声学 声校准器

GB/T 20441.4 测量传声器 第4部分：工作标准传声器规范

JJG 449 倍频程和分数倍频程滤波器

JJF 1001 通用计量术语及定义

JJF 1034 声学计量术语及定义

JJF 1496 声源识别定位系统（波束形成法）校准规范

3 术语和定义

GB/T 3947和JJF 1034界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

传声器阵列 microphone array

一定数量的同型号传声器排列组阵的声信号拾取系统。

注：对于噪声源定位，典型的传声器阵列由排列在平面或立体网格中的多个传声器组成。

[来源：JJF 1034-2020，4.22，有修改]

3.2

声源定位系统 sound source localization system

基于传声器阵列测量技术，测量一定空间内声波信号到达各传声器的相位差异以及声波的幅值，经波束形成方法计算得到并以图像方式显示声场及声源在空间分布的装置。

注：声源定位系统一般由传声器阵列、视频采集单元、阵列信号采集分析单元以及分析软件等组成。

[来源：JJF 1034-2020，4.52，有修改]

3.3

声像图 acoustic image

声源定位系统成像区域内用等值线和颜色显示声场及声源在空间分布的图像。

3.4

传声器阵列孔径 aperture of microphone array

通常指传声器阵列中相距最远的两个传声器声中心之间的距离。

注：单位为米（m）。

3.5

传声器阵列参考点 reference point of microphone array

为描述传声器阵列中心而规定的传声器阵列几何中心点或其附近的一个点。

注：对于均匀分布的传声器阵列，声中心为阵列的几何中心点；对于非均匀分布的传声器阵列，参考点由生产厂家给出。

3.6

参考方向 reference direction

与传声器阵列平面垂直并通过传声器阵列参考点的方向。

3.7

声成像视角 view angle of acoustic image

声成像区域水平或垂直方向最外侧两端与传声器阵列参考点之间的连线夹角。

注：单位为度（°）。

3.8

成像动态范围 dynamic range of acoustic image

声像图上显示的最小声压级与最大声压级之间的声级范围。

示例：127 dB ~ 130 dB。

注：单位为分贝（dB）。

3.9

空间分辨率 spatial resolution

声源定位系统声成像视角内能分辨最小距离的两个声源的声中心与阵列参考点连线之间的夹角。

注：单位为度（°）。

[来源：JJF 1034—2020, 4.144, 有修改]

3.10 **虚声像 ghost sound image**

声源定位系统成像区域内出现的若干个与真实声源声压级相当但实际不存在的虚像。

注：虚声像一般由传声器阵列的空间采样混叠引起，主要取决于传声器阵列的空间分布。

3.11

成像频率上限 upper limit of imaging frequency**无虚像频率上限**

声源定位系统成像区域内不出现虚声像的最高频率。

注：单位为赫兹（Hz）。

3.12

成像[分离]频率下限 lower limit of imaging [separation]frequency

声源定位系统能分辨两个声源的最低频率。

注：单位为赫兹（Hz）。

3.13

主旁瓣抑制比 main-to-side lobe inhibition ratio

在对单声源定位的成像区域内，主瓣峰值与最大旁瓣峰值的声压级之差。

注：单位为分贝（dB）。

[来源：JJF 1034-2020，4.145，有修改]

3.14

定位误差 localization error

在与传声器阵列轴向垂直方向上，声源中心点与声成像区域内声压最大值处的角度偏差。

注：单位为度（°）。

[来源：JJF 1034-2020，4.146，有修改]

3.15

弱信号探测能力 detection capability of weak signal

声源定位系统能够准确定位声源的最小声压级。

注：单位为分贝（dB）。

4 技术要求

4.1 概述

声源定位系统基于传声器阵列测量技术，测量一定空间内声波信号到达各传声器的相位以及声波的幅值差异，经波束形成方法计算，以图像方式显示声源及其声场在空间的分布。声源定位系统一般由传声器阵列、视频采集单元、阵列信号采集分析单元以及分析软件等要素组成，主要应用于噪声源的定位与识别。

4.2 一般要求

4.2.1 声成像视角

声源定位系统声成像的水平视角应大于 60°（水平最大左视角或水平最大右视角均应大于 30°），垂直视角应大于 50°（垂直最大上视角或垂直最大下视角均应大于 25°）。

4.2.2 成像频率范围

声源定位系统成像频率上限应大于 20 kHz，成像频率下限应小于 5 kHz。

4.2.3 空间分辨率

声源定位系统的空间分辨率应小于 20°。

4.2.4 主旁瓣抑制比

声源定位系统在距离测试声源 1 m 处，主旁瓣抑制比应大于 10 dB。

4.2.5 定位误差

声源定位系统角度定位误差应小于 2° 。

4.2.6 弱信号探测能力

声源定位系统在距离测试声源 1 m 处，弱信号探测能力应小于 20 dB。

注：本规范技术要求适用于声源定位系统 5 kHz 以上频段的校准，5 kHz 以下频段测试方法可参照采用。

5 试验方法

5.1 试验环境条件

——空气温度为 $(18\sim 28)^{\circ}\text{C}$ ；

——相对湿度为 $(30\sim 90)\%$ ；

——静压为 $(80\sim 106)\text{kPa}$ 。

5.2 主要试验仪器及设备

5.2.1 声频信号发生器

在试验频率范围内，声频信号发生器的频率误差不超过 $\pm 0.25\%$ ，输出信号的总失真小于 0.1% ，稳定性优于 $\pm 0.02\text{ dB}$ 。信号发生器能产生白噪声信号，白噪声的频率范围不应小于声源定位系统的频率范围。

5.2.2 精密衰减器

在试验频率范围内，衰减 1 dB 误差不超过 $\pm 0.05\text{ dB}$ ，衰减 30 dB 误差不超过 $\pm 0.1\text{ dB}$ ，衰减 60 dB 误差不超过 $\pm 0.2\text{ dB}$ 。

5.2.3 测量放大器

在试验频率范围内，测量放大器的频率响应不超过 $\pm 0.2\text{ dB}$ ，总失真小于 0.1% ，稳定性优于 $\pm 0.02\text{ dB}$ 。

注：5.2.1~5.2.3中的设备可采用其他等效的测量仪器，如信号发生系统、信号采集分析系统等。

5.2.4 功率放大器

在试验频率范围内，功率放大器的频率响应优于 $\pm 0.2\text{ dB}$ ，总失真小于 3% 。

5.2.5 声校准器

声校准器的性能等级应为 GB/T 15173 规定的 1 级。

5.2.6 工作标准传声器

在测试频率范围内，传声器灵敏度级校准的测量扩展不确定度应优于 0.2 dB ($k=2$)。

5.2.7 测试声源系统

在试验频率范围内，测试声源系统的总失真小于 3% ，在测量期间的声压级稳定性优于 $\pm 0.3\text{ dB}$ ；对于距离可调整的双声源，调整的步值不大于 1 mm 。声源指向性应符合 GB/T 6882 附录 A 中测试声源指向性的要求，且声源中心尺寸小于 20 mm 。

5.2.8 消声室

在试验频率范围内自由声场范围不小于 3 m，A 计权本底噪声级不高于 25 dB。

5.3 声成像视角

声源定位系统声成像视角测量装置示意图见图 1。在传声器阵列正前方 1 m 并与参考方向呈一定夹角处左右两侧各放置一个测试声源，采用白噪声激励声源。该夹角可参考高清摄像单元的视角，即让声源刚好出现在高清摄像单元的视角范围内。工作标准传声器放置在测试声源正前方并与传声器阵列平齐，调整声源声压级比背景噪声高 30 dB 以上。两个声源分别发声，按照 1 mm 步进微调声源位置，使声源定位系统能准确定位声源（即声像图上声压最大位置处与声源中心的距离在定位误差范围内），且再向外移动声源，声源无法被准确定位。两测试声源与参考方向的垂直距离分别为 s_1 与 s_2 ，按公式（1）计算声成像水平视角 θ_h 。

$$\theta_h = \arctan\left(\frac{s_1}{1000}\right) + \arctan\left(\frac{s_2}{1000}\right) \dots \dots \dots (1)$$

保持传声器阵列平面与声源连线平行，将传声器阵列轴线旋转 90°，测量可得声成像垂直视角 θ_v 。

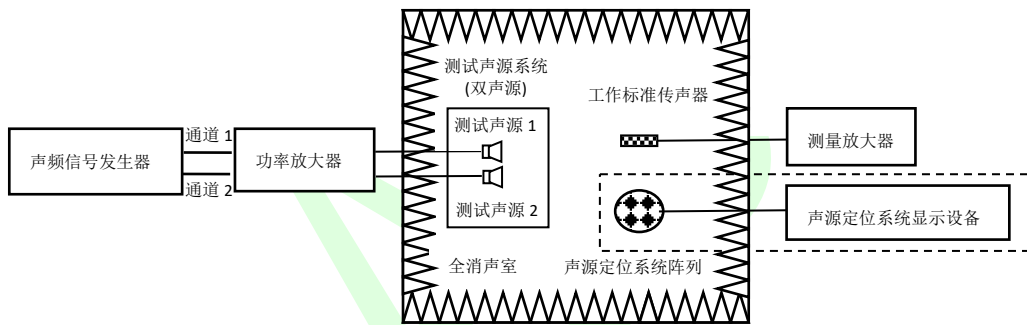


图1 声成像视角测量装置示意图

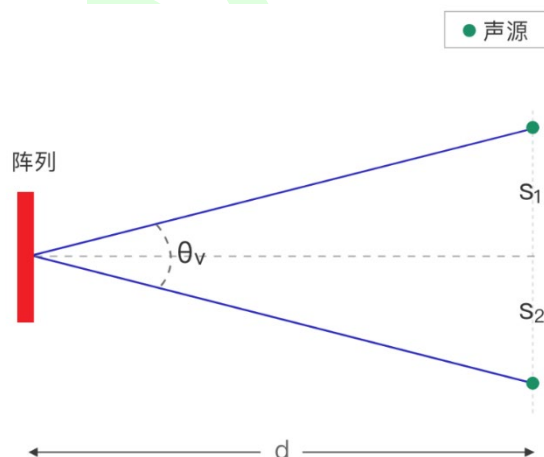


图2 声成像垂直视角示意图

5.4 成像频率范围

成像频率上限

声源定位系统成像频率上限测量装置示意图见图 3。在传声器阵列正前方 1 m 处放置一个测试声源，采用正弦信号激励声源，调整声源声压级比背景噪声高 20 dB 以上，设置成像动态范围为 3 dB。从上限频率预估值或厂家说明书提供的值选取 1/3 倍频程中心频率 f_i ，在声成像视角范围内出现另一与声压级相当但实际不存在的虚像时，信号发生器的频率 f_i 为声源定位系统的成像频率上限。

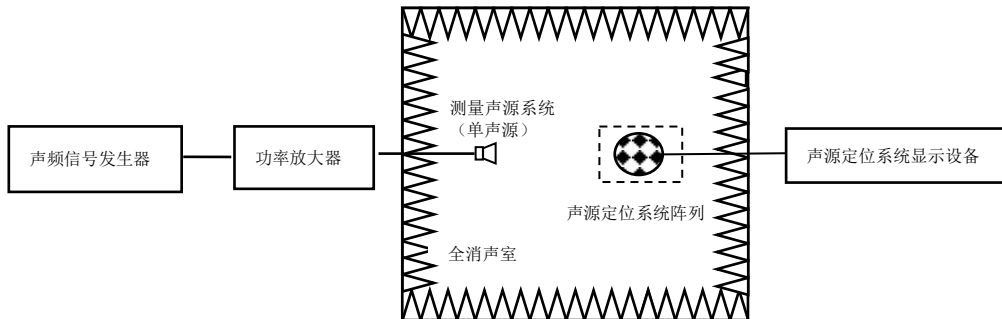


图3 成像频率上限测量装置示意图

注：上限频率预估值公式如公式（2）所示：

$$f_{\max} = \frac{c}{\lambda_{\min}} = \frac{c}{2d} \dots\dots\dots (2)$$

式中， c ——声速，m/s；
 λ_{\min} ——最小波长，m；
 d ——传声器最小间距，m。

5.4.2 成像频率下限

声源定位系统成像频率下限的测量装置示意图见图 1。在传声器阵列正前方 1 m 声成像视角范围对角线两端点处各放置一个测试声源，采用正弦信号激励声源，调整声源声压级比背景噪声高 20 dB 以上，设置成像动态范围为 3 dB。从下限频率预估值或厂家说明书提供的值附近选取 1/3 倍频程中心频率 f_i ，声源 1 频率为 $f_i - \Delta f$ ，声源 2 频率为 $f_i + \Delta f$ ， Δf 为 $0.1f_i$ Hz。若在测量频率 f_i 处，声像图中两声源的 3 dB 动态范围边界刚好相切或分离，此时信号发生器的频率 f_i 即为声源定位系统的成像频率下限。

注：以圆形传声器阵列为例，声成像视角为 30° 时的下限频率可按照公式（3）进行预估：

$$f_{\min}(30^\circ) \approx c/D \dots\dots\dots (3)$$

式中， c ——声速，m/s；
 D ——传声器阵列孔径，m。

5.5 空间分辨率

声源定位系统空间分辨率的测量装置示意图与测试方法参考 JJF 1496-2014 的 7.2.1。假设声像图上声源 1 最大值处到其边界的距离为 r_1 以及声源 2 最大值处到其边界的距离为 r_2 ，声源定位系统与声源之间的垂直距离为 d ，则空间分辨率 R 参照公式（4）进行计算：

$$R = \arctan\left(\frac{r_1}{d}\right) + \arctan\left(\frac{r_2}{d}\right) \dots\dots\dots (4)$$

5.6 主旁瓣抑制比

声源定位系统主旁瓣抑制比的测量装置示意图与测试方法参考 JJF 1496-2014 的 7.2.2。

5.7 定位误差

声源定位系统定位误差的测量装置示意图与测试方法参考 JJF 1496—2014 的 7.2.3。假设实际声源中心点的坐标位置为 (x_1, y_1) ，声成像图形上声压最大处的坐标位置为 (x_2, y_2) ，声源定位系统与声源面的垂直距离为 d ，则声源定位系统的角度定位误差 M 参照公式 (5) 进行计算：

$$M = \arctan\left(\frac{\sqrt{x_2^2 + y_2^2}}{d}\right) - \arctan\left(\frac{\sqrt{x_1^2 + y_1^2}}{d}\right) \dots\dots\dots (5)$$

5.8 弱信号探测能力

声源定位系统成像弱信号探测能力的测量装置示意图见图 3。在传声器阵列正前方 1 m 位置处放置一个测试声源，采用正弦信号激励声源。在成像频率范围内选择 1/3 倍频程中心频率 f_i ，声源成像频率起始频率设置为该中心频率对应的上限频率和下限频率，从 25 dB 开始按照 1 dB 步长不断减小声源声压级，直到声源定位系统刚好可以稳定成像，即声像图上最大声压级位置不发生漂移、闪灭且满足定位误差的要求。此时声源输出的声压级（取整）为声源定位系统测量频点 f_i 处的弱信号探测能力。

6 检验项目

声源定位系统产品的检验项目及其要求和方法见表 1。

声源定位系统的复校时间间隔一般为 1 年。复校时间间隔的长短取决于其使用情况，如环境条件、使用频率及测量对象等，因此，使用单位可根据实际使用情况自主决定复校的时间间隔。

表1 检验项目及其要求和方法

序号	检验项目	检验要求	检验方法
1	声成像视角	见4.2.1	见5.3
2	成像频率	见4.2.2	见5.4
3	空间分辨率	见4.2.3	见5.5
4	主旁瓣抑制比	见4.2.4	见5.6
5	定位误差	见4.2.5	见5.7
6	弱信号探测能力	见4.2.6	见5.8