

《空气声声压计量器具检定系统表》

(征求意见稿)

编 制 说 明

《空气声声压计量器具检定系统表》

编制工作组

2024.7.23

《空气声声压计量器具检定系统表》（征求意见稿）

编制说明

1 任务来源和目的意义

（1）任务来源：国家市场监督管理总局技术规范修订项目，具体为 2023 年国家计量技术规范制修订计划项目表 MTC（13）中的第 6 项：《空气声声压计量器具检定系统表》修订。

（2）本项目由中国计量科学研究院和中国测试技术研究院共同负责起草，计划于 2024 年 8 月完成并报批。

（3）JJG 2037—2015《空气声声压计量器具检定系统表》规定了 2 Hz~50 kHz 频段内空气声声压计量基准的量值传递程序、方法和测量不确定度，此外，计量标准中增加了次声传感器校准装置，补充 0.1 Hz~20 Hz 次声频段空气声声压量值的传递路径。随着次声监测、空气耦合超声无损检测、超声测距及流量计等应用技术的成熟，次声和空气超声频段的计量需求逐渐明确且日益迫切，推动了空气声计量技术的发展，现阶段已具备再次修订检定系统表的需求牵引和技术能力，拓展我国空气声声压量值传递的频率范围覆盖 0.001 Hz~100 kHz，符合国际计量委员会（CIPM）声学、超声、振动咨询委员会在空气声计量方向的发展规划（2021~2031）。

2 本检定系统表与 2015 版的主要技术性变化

（1）增加了激光活塞发声器法声压基准，频率范围 0.001 Hz~20 Hz，将原空气声声压基准的频率范围下限由 2 Hz 扩展至 0.001 Hz；

（2）增加了 50 kHz~100 kHz 自由场互易法声压基准，将原空气声声压基准的频率范围上限由 50 kHz 扩展到 100 kHz；

（3）次声传感器校准装置由直接溯源至基本单位修改为溯源至激光活塞发声器法声压基准，频率范围下限由 0.1 Hz 扩展为 0.001 Hz，声压灵敏度级的测量不确定度修改为（0.3~0.8）dB（ $k=2$ ）；

（4）声级计检定装置的频率范围上限由 25 kHz 修改为 20 kHz；

（5）声校准器检定装置的频率范围修改为 31.5 Hz~16 kHz，声压级的测量

不确定度修改为 (0.07~0.40) dB ($k=2$);

(6) 工作标准传声器检定装置的频率范围上限由 50 kHz 扩展为 100 kHz, 自由场灵敏度级的测量不确定度修改为 (0.4~1.5) dB ($k=2$);

(7) 标准声源检定装置的频率范围下限由 50 Hz 扩展为 20 Hz。

3 主要依据

(1) 耦合腔互易法声压基准拓展 LS2 型实验室标准传声器的校准频率下限

耦合腔互易法声压基准在 2 Hz~10 kHz 范围对 LS1 型实验室标准传声器的校准能力, 持续得到区域性国际关键比对 APMP.AUV.A-K5 的验证; 耦合腔互易法声压基准对 LS2 型实验室标准传声器的校准能力进行低频拓展, 其可行性得到国际关键比对 CCAUV.A-K6 的验证, 校准频率下限由 10 Hz 拓展至 2 Hz。

(2) 激光活塞发声器法拓展空气声声压基准的频率下限至 0.001 Hz

为拓展空气声声压基准的频率下限, 英国国家物理实验室 (NPL) 提出了基于活塞发声器和激光干涉测量的声压复现和传感器校准方法, 简称激光活塞发声器法。该方法的工作频率范围可覆盖 0.001 Hz~100 Hz, 其中 2 Hz~31.5 Hz 范围作为实验室标准传声器原级校准方法的适用性已得到国际关键比对的验证 (2003 年, CCAUV.A-K2), 影响该方法低频拓展的瓶颈问题是热传导与腔体泄漏修正模型的低频适用性, 在应用需求的驱动下, 经过国际同行的反复探讨攻关, 该问题的解决方案已达成基本共识, 其中热传导修正模型的研究进展还直接支撑修订了耦合腔互易法国际标准 IEC 61094-2, 2022 年 2 月出版了 IEC 61094-2: 2009+AMD1: 2022, 大修工作正在进行。随着激光活塞发声器法低频适用性的瓶颈问题得以解决, 基于该方法拓展空气声声压基准频率下限的技术条件已成熟。

自 2011 年至今, 中国计量科学研究院一直从事次声计量研究, 持续获得了原国家质检总局科研项目、国家市场监督管理总局科研项目、国家自然科学基金面上项目的资助, 在次声计量理论、基标准装置研制、校准方法研究与应用等方面积累了丰富的技术基础, 建立了激光活塞发声器法次声传感器原级校准装置、关联传声器法和耦合腔比较法次声传感器校准装置、次声原位校准器, 校准频率范围覆盖 0.001 Hz~100 Hz, 已具备建立次声频空气声声压量值传递体系的硬件基础, 参加了区域性国际辅助比对 COOMET Project 757/RU/18 (比较法, 0.1

Hz~250 Hz), 24 年 12 月将与法国国家实验室 (LNE) 开展双边比对, 已有研究可支撑本检定系统表对空气声声压基准进行低频扩展。

(3) 自由场互易法声压基准高频拓展至 100 kHz

自由场互易法声压基准的频率范围为 1 kHz~50 kHz, 其高频拓展存在的技术难点包括: 实验室标准传声器高频发射效率低限制了测试过程中的信噪比, 消音箱内传声器支撑结构引起的声波反射干扰、电信号串扰及噪声干扰对 μV 级信号提取及电转移阻抗的影响不可忽略, 丹麦国家计量院 (DFM)、德国联邦物理技术研究所 (PTB)、日本计量院 (NMIJ) 和中国计量科学研究院, 相继开展了采用时间选择技术的自由场互易法高频拓展研究, 实现 50 kHz~100 kHz 范围 WS3 型工作标准传声器自由场灵敏度的原级校准。中国计量科学研究院已建有高频自由场互易法校准装置, 且已报名相关的研究性比对及国际关键比对, 已有研究可支撑自由场互易法基准的高频拓展, 即频率上限由 50 kHz 拓展至 100 kHz。

(4) 次声传感器校准装置频率下限拓展至 0.001 Hz

中国计量科学研究院承担的原国家质检总局科技项目“甚低频次声传感器校准方法研究 (2019.1~2020.12)”, 建立了 0.01 Hz~20 Hz 范围耦合腔比较法次声传感器校准装置, 其中, 低频耦合腔产生稳定次声波的频率下限可达 0.001 Hz, 在激光活塞发声器法声压基准解决参考次声传感器的量值溯源问题后, 耦合腔比较法校准装置的频率下限即可扩展至 0.001 Hz。

(5) 其他技术性变化的依据

根据现行有效的检定规程, 声级计检定装置、声校准器检定装置、工作标准传声器检定装置和标准声源检定装置的频率范围和不确定度水平进行了相应调整。

4 关于实验验证和不确定度评定

- (1) 激光活塞发声器法次声传感器原级校准的实验报告及不确定度评估 (0.001 Hz~20 Hz);
- (2) 自由场互易法 WS3 型工作标准传声器原级校准的实验报告及不确定度评估 (50 kHz~100 kHz)
- (3) 次声传感器校准装置的实验报告及不确定度评估;

(4) 其他验证材料，包括比对报告、课题验收意见等。

5 工作过程

(1) 2023 年 12 月，成立编制小组；

(2) 2024 年 1~3 月，收集相关资料，调研国内外技术现状；

(3) 2024 年 5~6 月，完成检定系统表初稿；

(4) 2024 年 7 月，完成检定系统表初稿预审，根据预审意见修改形成征求意见稿。

2024 年 7 月 11 日，委员会在成都召开计量技术规范征求意见稿的预审会，与会专家针对检定系统表提出如下修改意见：

(1) 自由场互易法声压基准前增加频率范围；

(2) 考虑空气声声压量值传递的特点及与现行基准表述方式的统一性，激光活塞发声器法声压基准的技术指标仍以基准传声器声压灵敏度级的不确定度表述；基准传声器是空气声声压量值传递的载体，是基准的组成部分，但此处的基准传声器又非通常理解的实验室标准传声器，为避免概念的混淆，检定系统表的图中去掉“(含基准传声器)”；

(3) 工作标准传声器检定装置不体现具体方法，改以声压灵敏度级或自由场灵敏度级的测量不确定度去表述该标准装置的技术指标；

(4) 计量器具优先以其不确定度等级表述，若当前仍未有明确的不确定度等级分类，则以该器具测量结果的不确定度或其他计量特性来表述；

(5) “激光活塞法声压基准”修改为“激光活塞发声器法声压基准”；

(6) 其他编辑性修改意见，如声压量值的单位为帕斯卡 (Pa)，灵敏度级的单位为伏每帕 (V/Pa) 等。

《空气声声压计量器具检定系统表》

编制工作组

2024-7-23