

# 基于声学测量的扩声系统频率响应自动检测方法研究

陈飞霞

杭州艾力特数字科技有限公司 浙江 杭州 310000

**摘要:** 扩声系统的频率响应是衡量其音质表现的关键指标,准确检测频率响应对于优化扩声效果意义重大。本研究聚焦基于声学测量的扩声系统频率响应自动检测方法。首先阐述扩声系统及频率响应基础理论,剖析影响频率响应的因素。深入探究声学测量技术,涵盖测量原理、设备与数据处理方法。详细介绍自动检测的关键技术,包括信号采集传输、频率响应计算算法及自动校准误差修正技术。完成自动检测系统的设计与实现,涵盖架构、硬件搭建与软件编程。研究成果为扩声系统频率响应检测提供高效、准确的新方案,有望推动扩声领域技术发展。

**关键词:** 扩声系统; 频率响应; 声学测量; 自动检测

## 1 引言

在各类公共活动、演出场所、会议中心等场景中,扩声系统是不可或缺的关键设备,其性能优劣直接关乎声音传播与聆听体验。频率响应作为扩声系统的核心性能指标,精准测定频率响应能有效优化声音质量,确保声音在各个频段的均衡表现,避免出现声音失真、某些频段音量过强或过弱等问题。传统的频率响应检测方法存在效率低下、准确性欠佳等弊端,难以满足当今复杂多变的扩声应用需求。在此背景下,开展基于声学测量的扩声系统频率响应自动检测方法研究迫在眉睫。通过探究新方法,旨在提升检测效率,增强检测精度,为扩声系统的优化升级提供有力技术支撑。

## 2 扩声系统与频率响应基础理论

### 2.1 扩声系统组成及工作原理

扩声系统主要由信号源、调音台、功率放大器、扬声器以及各类周边设备组成。信号源负责提供原始音频信号,如麦克风收集的人声、乐器声,或播放设备输出的音乐等。调音台则像一个信号“大管家”,可对多路信号进行混合、均衡调节、效果处理等操作,让声音更具层次感和表现力。功率放大器接收调音台输出的信号,并将其放大到足够驱动扬声器工作的功率。扬声器把电信号转换为声信号,向周围空间辐射声音。整个工作过程是一个信号从采集、处理、放大到播放的连贯流程,各组成部分协同合作,确保声音能按照人们的需求清晰、准确地传播出来。如图一所示:



图1 itC扩声系统架构图

### 2.2 频率响应的概念与意义

频率响应指的是扩声系统在输入不同频率的信号时,输出信号幅度随频率变化的特性。简单来说,就是系统对不同频率声音的放大或衰减程度。例如,若某扩声系统在低频段对声音有较大衰减,那么播放出的音乐中,像鼓点这类低频声音就会显得很弱,缺乏震撼力;

而如果高频段过度放大,声音可能会变得尖锐刺耳。频率响应的意义在于,它直接决定了扩声系统还原声音的真实性和完整性。一个频率响应平坦、宽广的扩声系统,能够忠实地再现原始声音的所有频率成分,让听众听到最纯正的音效,在音乐演出、影视播放等场景中至关重要<sup>[1]</sup>。

### 2.3 影响频率响应的因素

影响扩声系统频率响应的因素众多。从硬件设备角度看,扬声器的品质起着关键作用,不同材质的振膜、磁路设计等都会导致其频率响应特性不同。例如,纸质振膜扬声器低频表现柔和,但高频延伸可能不足;金属振膜扬声器高频响应好,却可能在低频出现失真。功率放大器的性能也不容忽视,其线性度、带宽等会影响对不同频率信号的放大能力。另外,环境因素同样不可小觑,房间的形状、大小、声学装修等都会造成声音反射、吸收等,改变声音的频率特性。比如在一个吸音材料较少的大房间里,声音容易产生混响,低频部分会被加强,高频则被削弱,从而破坏频率响应的平衡性。

## 3 声学测量技术基础

### 3.1 声学测量的基本原理

声学测量的基础是声波传播的物理特性。声音作为一种机械波,在空气、液体、固体等不同介质中传播速度各异,且会遵循反射、折射、干涉等物理规律。例如在封闭空间中,声波遇到墙壁会发生反射,可能导致回声等现象。

传声器是声学测量的关键部件,它基于声电转换原理工作。以常见的电容式传声器为例,当声压作用时,电容极板间距会因声压变化而改变,进而使电容量发生变化,最终产生与声压相对应的电信号<sup>[2]</sup>。

这些由传声器产生的电信号,会被传输至分析仪器。在此过程中,借助傅里叶变换等数学理论,将时域信号转换为频域信号。通过这种转换,能够精确获取声音的频率成分和幅度信息,从而为后续深入的频率响应分析提供不可或缺的基础数据,助力准确评估声学系统性能。

### 3.2 常用声学测量设备

在声学测量领域,常用设备主要有传声器、信号发生器和分析仪器。

传声器类型丰富,其中电容式传声器凭借其灵敏度高、频率响应宽的优势,在对精度要求严苛的测量场景中广泛应用,例如高端音频实验室的声学测试;动圈式传声器则因结构简单、耐用性强,适用于一般现场测量,像户外演出的临时声学检测。

信号发生器的作用是产生各类标准音频信号,包括纯音、白噪声等,为声学系统提供测试激励源。它能够精确调控信号的频率、幅度等参数,满足不同测试需求。

分析仪器负责对传声器采集并经过放大处理后的信号进行剖析。比如实时频谱分析仪,可实时呈现信号的频谱特性,让技术人员迅速掌握信号频率分布情况;快

速傅里叶变换分析仪则能深入进行信号的频域分析,精准获取频率响应曲线,为全面评估扩声系统性能提供关键依据。

### 3.3 声学测量数据处理方法

声学测量得到的原始数据往往包含噪声、干扰等无用信息,需进行处理。预处理时,常用滤波技术去除高频或低频噪声,如采用低通滤波器滤除高频干扰,保留有用音频频段信号。接着,通过数据校准消除设备本身的误差,依据设备校准参数对测量数据修正。在分析阶段,运用统计分析方法计算数据的均值、标准差等统计量,评估测量的稳定性和可靠性。为获取准确频率响应,还会采用曲线拟合技术,将测量离散数据拟合成平滑曲线,以便更直观地观察和分析频率响应特性,为扩声系统性能评估提供准确依据<sup>[3]</sup>。

## 4 自动检测方法关键技术

### 4.1 信号采集与传输技术

信号采集是自动检测的首要环节。选用高精度的传感器,依据声学测量原理,能精准捕捉扩声系统发出的各类音频信号。这些传感器具备宽频率响应范围,可覆盖人耳听觉及扩声系统工作的全频段,确保不遗漏关键信息。在传输过程中,采用抗干扰能力强的有线传输与稳定的无线传输技术<sup>[4]</sup>。有线传输运用屏蔽线缆减少外界电磁干扰,保障信号稳定;无线传输则选用合适频段,借助加密技术和纠错编码,避免信号在传输中受环境因素影响而丢失或畸变,实现信号从采集端到处理端的可靠传输,为后续频率响应分析提供优质数据基础。

### 4.2 频率响应计算算法

频率响应计算依赖高效准确的算法。快速傅里叶变换(FFT)是核心算法之一,它将时域音频信号转换为频域信号,能快速计算出不同频率成分的幅度和相位,从而得到频率响应曲线。通过对大量测量数据进行FFT运算,可清晰呈现扩声系统在各个频率点的增益情况。此外,结合数字滤波算法对原始信号预处理,去除噪声和干扰信号,提升频率响应计算的准确性。还采用自适应算法,依据不同测量环境和扩声系统特性,自动调整参数,优化计算过程,确保无论在复杂室内还是开阔室外等多样环境下,都能精确算出扩声系统的频率响应。

### 4.3 自动校准与误差修正技术

自动校准是保障检测精度的关键。利用标准声源和参考麦克风,构建校准模型。在每次测量前,系统自动将采集设备的测量结果与标准值比对,依据偏差对设备灵敏度、相位等参数进行调整,确保设备处于最佳测量状态。针对测量过程中产生的各类误差,如环境噪声干

扰、设备非线性失真等,采用误差修正技术。通过建立误差模型,分析误差来源和影响因素,运用补偿算法对测量数据进行修正。例如,采用基于机器学习的方法,对大量包含误差的样本数据训练,学习误差规律,从而对新测量数据精准修正,有效提高频率响应检测的可靠性和稳定性。

## 5 系统设计与实现

### 5.1 自动检测系统总体架构设计

自动检测系统的总体架构设计,是一项极具挑战性与重要性的任务,其核心目标在于构建一个集高效、精准、稳定于一体的系统,以此实现对扩声系统频率响应的自动检测。该系统主要由四大核心模块构成。信号采集模块,借助高性能传感器,负责收集来自声学测量设备的原始信号,确保信号的完整性与准确性。处理与分析模块,集成了快速傅里叶变换等各类先进算法,对采集到的信号进行深度运算,从中精准获取频率响应数据。控制模块犹如系统的大脑,通过智能算法和逻辑规则,协调各部分工作,保障系统的有序运行。数据存储与展示模块,将处理结果存储于大容量数据库,方便后续查询追溯,同时采用图表、曲线等直观形式展示,助力用户快速了解检测情况。各模块间通过精心设计的接口和高效的数据交互机制紧密协作,确保系统整体性能达到最优化,为扩声系统的性能评估提供有力支撑<sup>[5]</sup>。

### 5.2 硬件选型与搭建

硬件选型与搭建是自动检测系统实现的关键环节。在硬件选型时,充分考虑系统需求,选用高精度的传声器用于声音信号采集,保证原始信号的准确性;信号发生器提供稳定的激励信号,为检测提供基础。数据采集卡要具备高速、高分辨率特性,实现信号快速、精准采集。在搭建过程中,严格按照设备安装说明进行操作,合理布局各硬件设备,确保信号传输线路短且屏蔽良好,减少信号干扰。同时,注重设备的供电稳定性,配备可靠的电源设备,保障硬件系统稳定运行,为后续的检测工作奠定坚实基础。

### 5.3 软件编程与功能实现

软件编程是实现自动检测系统功能的核心。采用合适的编程语言,如Python,利用其丰富的库和工具,实现高效的编程。软件功能涵盖信号处理算法实现、用户界面设计以及数据管理等方面。在信号处理上,实现快速傅里叶变换等算法,精确计算频率响应。用户界面设计注重简洁易用,方便操作人员设置检测参数、启动检测以及查看结果。数据管理功能实现对检测数据的存储、查询与分析,可对历史数据进行对比,为扩声系统的优化提供依据。通过严谨的软件编程,将系统各功能有机整合,提升系统的实用性和易用性。

## 6 结语

本研究围绕基于声学测量的扩声系统频率响应自动检测方法展开深入探索,取得了一系列关键成果。成功搭建了完整的自动检测系统,涵盖从信号采集到数据分析展示的全流程,实现了检测过程的自动化与高效化。研究的算法与技术显著提升了频率响应检测的精度,为扩声系统音质优化提供有力支持。然而,研究仍存在一定局限。硬件设备在复杂环境下的适应性有待加强,软件算法的计算效率在处理大规模数据时还有提升空间。未来研究可着眼于研发更具抗干扰性的硬件,优化算法以提高运算速度。本研究成果在演出、会议、影院等众多场景具有广阔应用前景,有望推动扩声系统检测技术革新,助力行业向高质量音频体验方向发展。

## 参考文献

- [1]雷宁秋,任红雷.厅堂扩声系统声学特性指标测量等问题的探讨[J].电声技术,2010,34(09):10-12+23.
- [2]Liuderong0.深入浅出声学系统频率响应[EB/OL].(2024-04-20)[2025-04-03].
- [3]田超,李玉冰,王军,等.2022-2023全国声学大会“定量检测声学新方法与新原理”专题论坛邀请报告[J].声学技术,2023,42(03):363-371.
- [4]南京宁韵环境检测有限公司.专业扩声特性测试[EB/OL].(2025-03-29)[2025-04-03].
- [5]吴浩宇.关乎扩声效果!最大声压级等声学特性指标解读[EB/OL].(2025-03-14)[2025-04-03].