

2009

电声技术新进展

沈 勇 编



科学出版社

www.sciencep.com

2009 电声技术新进展

沈 勇 编

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书介绍了电声技术的研究新进展,包括电声测量、扬声器系统、扬声器阵列、扬声器单元、音质评价、传声器等方面。本书由电声技术领域国内外一流的专家、学者共同完成,代表了当今电声技术的新进展。

本书可读性和实践指导性强,可作为电声领域的高校师生和工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

2009 电声技术新进展/沈勇编. —北京:科学出版社, 2010. 8

ISBN 978-7-03-028683-3

I. ①2… II. ①沈… III. 电声学-研究 IV. ①TN912.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 161392 号

责任编辑:任 静 王志欣 / 责任校对:何晨琛

责任印制:赵 博 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

陈海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 8 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2010 年 8 月第一次印刷 印张: 12 3/4

印数: 1—2 500 字数: 235 000

定价: 50.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

电声学是电子学和声学的交叉学科,实用性很强。电声技术广泛应用于通信、消费电子、计算机、建筑、影视、音乐、娱乐等领域。在国际上,电声领域的发明创造大量涌现,科技成果不断应用并转化为新的生产力。电声技术在增进人们交流、提高生活质量、改变生活方式、提供就业机会等方面发挥着十分重要的作用。最近二十年来,我国电声行业高速发展,产量和用量直线上升。到 20 世纪末,中国已经超过日本成为世界第一大电声器件生产国和电声器件出口国。正当电声行业满怀欣喜地迎接黄金时代时,一场突如其来的“金融海啸”对电声行业产生了极大的冲击。面对全球经济危机和激烈的国内外市场竞争,中国急需拥有自主知识产权的核心技术,急需科技成果向生产力转化的技术力量,急需加大国际水平的声学技术交流平台的建设力度;而国外技术也急需在中国拓展。

在这样的背景下,2009 电声技术国际研讨会(简称 ISEAT 2009)在深圳虚拟大学园隆重举行。该会议由南京大学声学研究所主办、深圳虚拟大学园和南京大学深圳研究院承办。该会议是第十一届中国国际高新技术成果交易会第一项重要活动内容,是迄今为止中国电声领域学术水平最高、规模最大、最具影响力的专业研讨会。

作为 ISEAT2009 主席,我荣幸地邀请到了扬声器 T/S 参数创立者、AES 金质奖章和银质奖章获得者 Richard Small 博士,加拿大 Waterloo 大学教授、AES 银质奖章获得者 John Vanderkooy 博士,Harman 国际集团声学研究团队总监 Sean Olive 博士,德国 Technology of Dresden 大学电声学教授 Klippel 博士,北京邮电大学管善群教授,华南理工大学教授谢菠荪博士,Harman 国际集团现任副主席 Tim Nind 博士等国内外的一流专家、学者。

ISEAT2009 吸引了来自美国、加拿大、英国、德国、意大利、澳大利

亚、俄罗斯、日本、印度、马来西亚、韩国等十多个国家以及国内多个省市包括香港、台湾地区的两百多家单位,共计 350 余人参加。ISEAT2009 发表了大量优秀的文章,代表了当今电声技术的新进展。为使更多的电声工作者了解这些技术,特编辑本书。

本书的内容包括扬声器、传声器、信源、音质主观评价、电声领域的测量技术、分频网络、扩声技术、电声器件新材料等。部分精彩内容如下:

Richard Small 博士介绍了准确和有效测量扬声器参数的方法。扬声器的性能通常定义为一系列可以通过测量直接或者间接得到的特性。由于其随时间、过程、测量环境和激励大小的灵敏度而变,扬声器的非线性特性难以得到一致的结果。测量设备通常比被测扬声器更稳定和具有可重复性。从扬声器得到的真实反映其性能的测量对测量条件和方法的一致性都要考虑。他介绍了参考级别测试的方法和一些表征扬声器特性的常用和非常用方法。

John Vanderkooy 教授对扬声器系统的分频网络做了由浅入深的分析:几乎所有严肃的扬声器设计都会涉及分频网络。这确实需要吗?他给出这个争论的背景,讨论了多种分频网络的性质、益处和缺点;对比了全通和最小相位系统,并讨论其可听度;分析了常用的分频网络选择,尤其是当其涉及轴上和轴外的平坦度和总功率响应的情况;进而讨论了有源与无源分频网络和阻抗校正网络的不同。

Sean Olive 博士分析了扬声器主、客观评价之间的联系,完善了扬声器评价系统:描述了一套扬声器听音试验的方法。Harman 国际通过该方法衡量消费类扬声器和专业控制室扬声器的产品竞争力。通过仔细地控制已知的多余变量(例如试听室声学特性、扬声器位置、听音员的选择和训练),听音试验能准确、可靠地按扬声器音质划分等级。从这些试验获得的感性评定等级,为 Harman 科学家们研究扬声器偏好、基本的感知特性、扬声器和试听室的声学性能之间的相互关系提供了条件。

Wolfgang Klippel 教授介绍了扬声器客观参数以及其非线性的测量与测试:扬声器单元的力学振动可以一组线性传递函数与几何数据来描述。这些数据可用扫描技术在辐射体表面测量。力学振动可以用一个新的量——累积加速度级(AAL)来概述,当声抵消不存在时,它和

声压级是相当的。导出的参数是模态分析的基础,更明晰了力学振动与声输出间的关系。最后,他提出了分布式参数在有限元及边界元分析中的用法,并得出用于扬声器设计流程的结论。

Wolfgang Klippel 教授的另一篇文章指出:非线性失真是在生产装配线的末端进行测量,用来检查扬声器系统,同时作出合格/不合格的判定。然而,信号成分的响应和总谐波失真只有非常小的诊断价值,因为它们难以解释,也并不反映造成扬声器缺陷的特别原因。一种新的测量技术已经出现,可以直接测量驱动和悬吊系统的非线性参数。测试结果是一个直接跟扬声器系统的几何结构和大信号参数相关联的单值参数(如音圈位移 mm)。测量仅仅是基于对扬声器连接端电子信号的测量,对环境噪声具有很强的抵抗能力。当使用 0.2~1.3s 很短的激励信号进行测量时,便产生精确性的测量结果。这篇文章讨论在终端测试中使用在线诊断的可能性,同时整合到生产线控制过程中,提高生产量。

管善群教授总结了多年对扬声器发声的研究与实践。他指出用跨学科思维来分析,人听到的扬声器发声与听自然声有着重大区别:其一,声像时空特性和生理反应存在差异;其二,电声系统(从信号产生到声波辐射)会使声信号产生各种畸变。这两种因素将使人听到的扬声器声音不可能完全与真的声源一样。他分别分析了这两种因素如何影响听觉反应,提出了许多自己独到的看法,指出了如何使用跨学科思维来改进扬声器辐射特性的方向,并给出了改进实例。

本书得以出版,要特别感谢全体作者的共同努力。我衷心希望本书的出版对促进科技人才的成长和科研水平的提高,促进经济的繁荣和发展有所贡献。

南京大学声学研究所 沈勇

2010 年 1 月 于南京

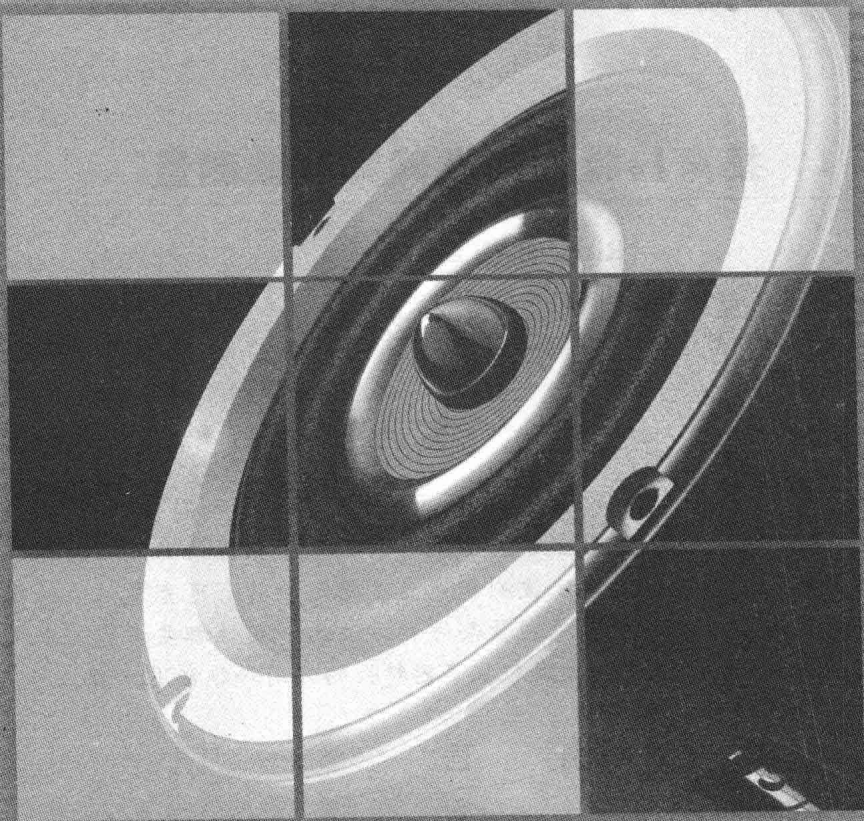
目 录

前言

第 1 章 电声测量	(1)
1.1 扬声器特性的准确和有效测量	Richard H. Small (2)
1.2 扬声器制造业中驱动和悬吊系统非线性的快速测量	Wolfgang Klippel (15)
1.3 非同期测量系统中的波形同期加算平均方法 ... 解秋生,小出博,庄子聪彦,土屋耕一,远藤友彦,日野捷吉郎	(30)
1.4 纯音测试系统的瞬态分析技术	Berno Nigsch (45)
第 2 章 扬声器系统和扬声器阵列	(51)
2.1 分频网络:确实需要吗?	John Vanderkooy (52)
2.2 线阵列扬声器系统高频部分的设计和应用分析	王以真,胡秉奇 (67)
2.3 关于混响环境中提升 CCS 系统鲁棒性的扬声器阵列系统	沈小祥 (84)
第 3 章 扬声器单元和传声器	(95)
3.1 扬声器单元振动和声辐射的力学分布式参数	Wolfgang Klippel (96)
3.2 压缩策动单元中同心环形通道相位塞的声学设计新方法	Mark Dodd,Jack Oclee-Brown (105)
3.3 扬声器新材料综述	俞锦元,俞炽明 (131)
3.4 一种用于同轴扬声器的声反射器设计	张素珍,克里斯 (137)
3.5 FEMM 在开式磁路设计的应用	陈瑞祥 (143)
3.6 驻极体电容传声器温度特性分析和改进对策	吴宗汉 (149)
第 4 章 音质评价	(161)
4.1 扬声器主观评价	Sean E. Olive (162)
4.2 用跨学科思维改善扬声器听感的关键之管见	管善群 (178)

第 1 章

电 声 测 量



1.1 扬声器特性的准确和有效测量*

Richard H. Small

(Bloomington, Indiana, USA)

导 读

扬声器的性能通常定义为一系列可以通过测量直接或者间接得到的特性。由于其随时间、过程、测量环境和激励大小的灵敏度而变,扬声器的非线性特性难于得到一致的结果。测量设备通常比被测扬声器更稳定和具有可重复性。从扬声器得到的真实反映其性能的测量对测量条件和方法的一致性都要考虑。本文涵盖用于参考级别测试的方法和一些表征扬声器特性的常用和非常用方法。

引 言

在大学里,我们学习了线性系统的数学知识和在时域与频域描述这类系统的

* 原文为 Richard H Small 博士在 2009 电声技术国际研讨会(简称 ISEAT2009)发表的会议论文(英文),本文为中文翻译稿,译者:邱小军。

方法。但扬声器既不是线性的,也不是时不变的和无记忆的,它们的特性随环境而变。它们有输入端子,但没有“输出端子”。我们必须在三维声场采样以获得其输出。

我们本期望不同的样本,如来自同一类扬声器的样本,给出不同的测量结果,但我们发现甚至来自同一个样本的测试在每次测量得到的结果也会不同。不同的实验室不总是对同一个样本给出相同的结果。

本文的目的是解释在结果中出现差异的原因,寻求通过遵循声学实践和测量技巧来使这些差异最小的方法。同时本文指出若干必须测量的扬声器的最重要的基本特性,并给出几个虽不常见,但能够被测量的有用特性。

本文所针对的扬声器是基本的扬声器单元,而不是集成多个单元的扬声器系统。

一、精确和可重复测量的条件

获得一致测量结果的首要条件是使用可靠的、按时校准的设备和传声器。最重要的“设备”是一个好的消声室,或者一个能保证理想声学负载的等效装置。消声室的任何确定的缺陷都应该校准或者改正。

测试空间必须温度和湿度可控,且每次测量的环境条件(温度、湿度和大气压)都需要记录以保证和其他条件下的测量一致或者可供比较。

所有的测量都应该依照恰当的被认可的国际标准进行,它们规定了标准环境条件、测试信号大小、传声器距离、计算方法和技巧。注意,不同标准的规定可能不同,故依照某一标准测量得到的结果可能和依照另一标准测量得到的结果不同。

结构和环境噪声是好的声学测量的主要敌人。它们在测试工具的选择和测试过程中都必须尽量小。

好的测试技巧非常重要,它们体现在测试工具的设计和布放、设备的相互连接、测试对象和传声器的固定和安装上。许多事情都必须“正好正确”以获得精确测量,仅一个错误就会使结果无用!

测试样品在测量前都必须“预处理”。预处理不好是导致不同测量间差异的主要原因。

预处理后,样品必须依次置于逐渐增大的输入功率的测试条件下。

1. 预处理

在测量前,样品必须在可控的环境中稳定下来,通常在测试地点附近。

当稳定后,加载 1~2 分钟可重复的正弦扫频信号。每次正弦扫频信号须重

复3~5秒,且覆盖适合该类扬声器单元的频率范围。例如,对于低音单元或者全音域单元,必须覆盖 20~400Hz。扫频正弦波的电压大小应对应于该单元额定功率的一半。

扫频后,在正式测量前,样品应该休息几分钟。

2. 阻抗的测量

通常,通过测量扬声器的输入阻抗随频率变化的曲线来定义该扬声器接入放大器或者分频网络的负载,并确定该单元在箱体设计所需要的一系列参数。

尽管扬声器在使用时从来都不是自由悬挂在空中,但常常有人错误地在这种状态下进行测量。如果扬声器单元的磁体和框架不是刚性固定,则其纸盆和磁体质量在测试中都可能移动,导致测量误差。

单元阻抗测量的最好方式是和频响测量或者其他测量一样安装单元:将单元刚性固定在测试设备中的障板上(见图 1)。采用这样的方式,得到的阻抗曲线与单元参数和扬声器正常使用方式下的值最接近。

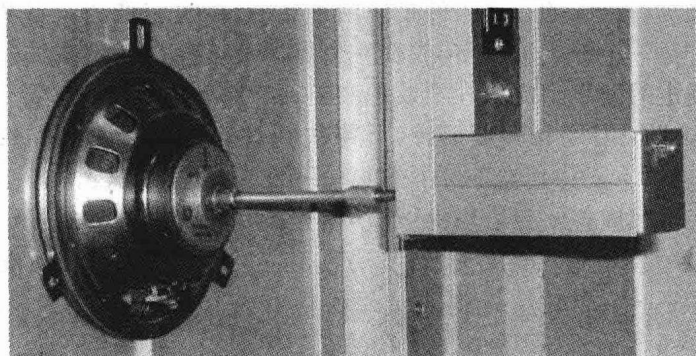


图 1 在障板上安装扬声器单元进行测试

输入阻抗测量是“传递函数”测量。需要采用双通道仪器,它在施加测试信号时,能够在两个通道同时获得电压或电流信号(见图 2)。

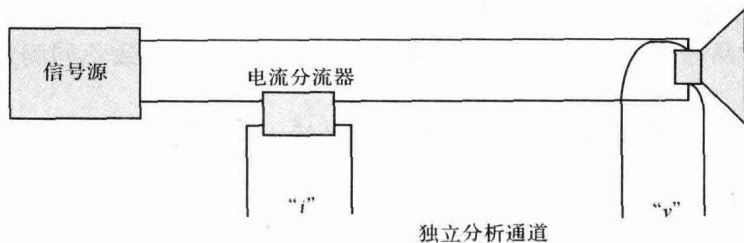


图 2 阻抗曲线的测量技巧

3. 电声测量

扬声器单元声学测量的理想声负载是半消声室或者等效的室外设施。这里介绍一个好的消声室示例作为参考。

半空间负载是中性的,测量环境不会对要测量单元的基本特性引入人为因素。反射面(墙)必须平坦、光滑和刚性。空间的大小很重要:对于低频测量,空间必须足够大。这同时针对空间和吸声尖劈的尺寸。

一个“非常好”的半消声室的外部尺寸是 7m 宽、6m 高和 5m 深,尖劈的长度是 1.2m,如图 3 所示。这个尺寸可提供约 75Hz 的截止频率,对于 1m 远的 60Hz 的测量的误差大约为 $\pm 1\text{dB}$ 。对于这样大小的仔细建造的消声室,低频误差可以校正到 10Hz。

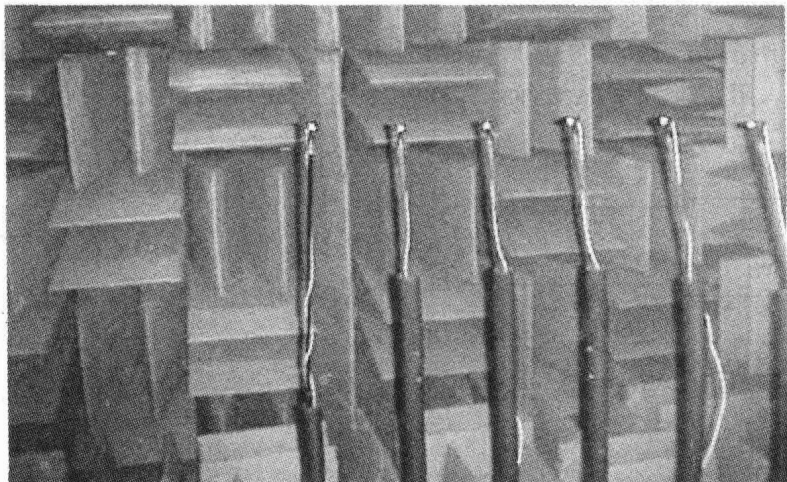


图 3 在轴线上和轴线外装有传声器的半消声室内照片

在所测扬声器单元后面的空间和其前面的空间同样重要。一个理想的布放是在扬声器单元后面有“前室”或者和单元前方封闭隔离的空间。这个空间必须具有足够的体积以使它对扬声器单元的影响可以忽略(一个小的盒子会影响扬声器单元的响应)。这个空间必须是吸声和隔声的,吸声使声反射对单元几乎没有影响,而隔声则保证周围实验室(如其他样本的预处理)的声音不进入测量。

图 4 给出了一个“前室”(1.7m $\times$ 2.5m $\times$ 3m)的部分照片,其中采用了和建造主消声室同类型的吸声和隔声墙。

图 5 给出了正确的电声测量连接。在单元端子上使用了四端连接以使实际的终端电压能够根据需要被设置、维持和记录。在大多数测试设备中,功率放大器和扬声器单元终端间的电缆比较长,这会导致恒定电压输出的功率放大器的输

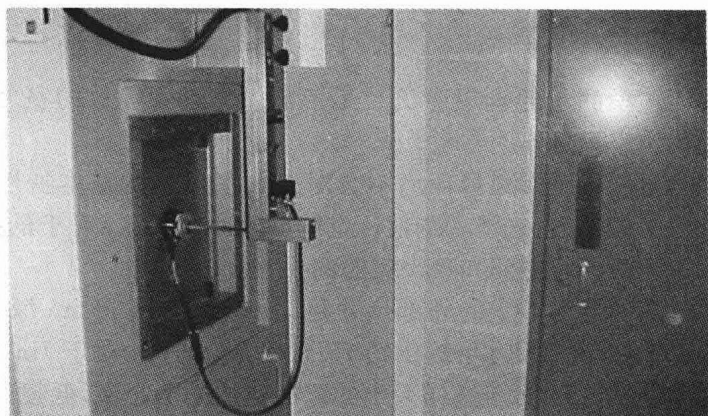


图4 显示障板门和用来固定单元和障板的气动活塞的前室部分照片

出电压大于扬声器单元上的实际电压,且电压大小随频率而变。其原因是扬声器单元的输入阻抗随频率而变,而电缆的电阻是固定的,故导致不同频率有不同的衰减。

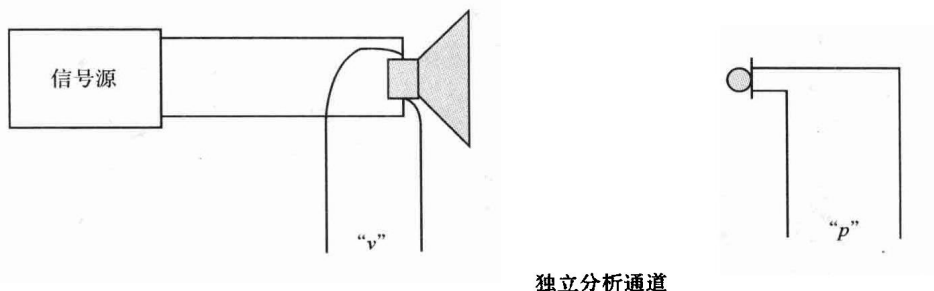


图5 电声测量的连接技巧

获得扬声器单元真实频率响应的最好方法是使用双通道测量系统同时连接到传声器输入信号端口和扬声器单元返回电压信号端口以同时获得这两路信号。这两路信号的比值给出真正的扬声器单元的声压级/电压特性,不会受到扬声器单元端口实际电压略微不同的影响。

4. 测试设备

现代且可靠的计算机控制的测试设备目前很容易得到,也可以采用专业的软件和高级的高质量声卡或者外接的数据采集系统构建一套测量系统。对于所有传递函数类型的测量,至少具有两个通道能同时并行采集数据非常重要。系统应该经常校验以期得到可重复的结果,基于软件的测试系统应该内带校准程序。

若能有计算机控制的自动信号和传声器连接的切换功能以提高测量速度和可靠性则更好。

测试设备最好包括一台能满足各种测试功率和负载要求的功率放大器、一台足够精度的万用表、一台自动的传声器位置控制器和一台供噪声测量用的带通滤波器。

二、基本测量

对扬声器单元的测量分为两个基本类别：“线性”和“非线性”。因为对任何扬声器，获得理想的“线性”较难，故称这两个类别分别为“小信号”和“大信号”更合适。小信号测量针对音圈偏移不是非常大、音圈不是很热的情况，此时扬声器没有工作在显著的非线性状态，且在测量中，扬声器单元的特性也没有显著变化。

本节列出并说明一系列传统的和新的描述扬声器单元的测量，部分测量在下一节进行更清楚的讨论和说明。

1. 传统小信号测量

有两种测量：阻抗曲线和频响曲线，都是双通道传递函数测量。

阻抗曲线可用于获得：

- 扬声器单元的“共振频率(F_0)”，指阻抗幅度第一次极大值所在的频率。
- “标称阻抗(Z_{nom})”，指某一特定频率的阻抗幅度或者大于共振频率的阻抗幅度的最小值。“标称阻抗”不同于“额定阻抗”，后者不是测量得到的，而是扬声器单元生产商给定的。
- 其他的扬声器单元小信号参数，例如共振处的“Q”值，可通过对阻抗曲线的进一步计算或者附加的阻抗数据获得。附加测量还可用于获得：驱动力因子(BI)、动质量(M_{ms})、等效悬挂力顺(V_{as})等。

频响曲线通常在轴上测量得到，可用于获得：

- 扬声器单元的“灵敏度”，即标准激励电压在 1m 远处产生的声压级。激励电压一般指扬声器在“标称阻抗”消耗标准功率级时的电压，如对 8Ω 标称功率的扬声器单元 1W 的功率，激励电压为 2.83V。声压级值通常是扬声器性能较好频段的平均值，例如在扬声器共振频率和纸盆分割频率之间的平坦部分。
- 频响“形状”(或“平坦度”)。这是用灵敏度归一化后的频响曲线，可用于比较灵敏度不同的样本间的频响形状的不同。
- 扬声器单元有效带宽，通常指声压级不低于灵敏度某一给定量，如 6dB 或者 10dB 的那个频段。
- 扬声器单元的声功率输出和指向性。这需要在半径为 1m 的球形空间，除

了测量轴上的频率响应外,还需要测量足够多个点的频率响应。

2. 传统大信号测量

扬声器大信号非线性的传统测量是谐波失真。可以同基频声压级输出曲线一起用轴上各个谐波声压级曲线来描述或者用各个谐波、总谐波输出占基频或者总输出信号的百分比来表示。多项国际和国内标准给出了不同的计算方法。

3. 其他小信号测量

数字测量系统的引入使早期模拟系统无法实现的技术变得实用。特别需要说明的是能够在时域上直接测量扬声器的传递函数了,即“冲击响应”。虽然从原理上说,时域传递函数和完全的频域响应(包括幅频和相频)包含同样的信息,但它提供了表述扬声器特性的一种新的和不同的方式。这包括不同形式的“能量-时间”曲线和多种形式的“能量-时间-频率”显示,如改进的短时傅里叶分析、累积衰减频谱和其他三维或者“瀑布”显示。

4. 其他大信号测量

数字计算机强大的处理能力和速度除了能更容易地获得传统的谐波失真外,而且使表述扬声器单元非线性特征的新方法成为可能。

值得注意,互调失真测量,包括瞬时低频信号对高频信号幅度的调制、大信号工作状态下的大音圈偏移和扬声器单元零部件的增温导致的动态失真。

三、典型测量

1. 阻抗曲线

图 6 给出了一个阻抗曲线的例子,包括其幅度和相位随频率的变化。通过这条曲线确定的参数示于图下。注意在这个例子中,正好在 400Hz 的标称阻抗是根据客户要求确定的,并不在曲线的真正的极小值处。

2. 频响曲线

图 7 给出了一个扬声器单元的幅频响应曲线、计算灵敏度的频率点和计算得到的灵敏度以及有效带宽,图中也包括相对于计算得到的灵敏度画出的给定的平滑限值。

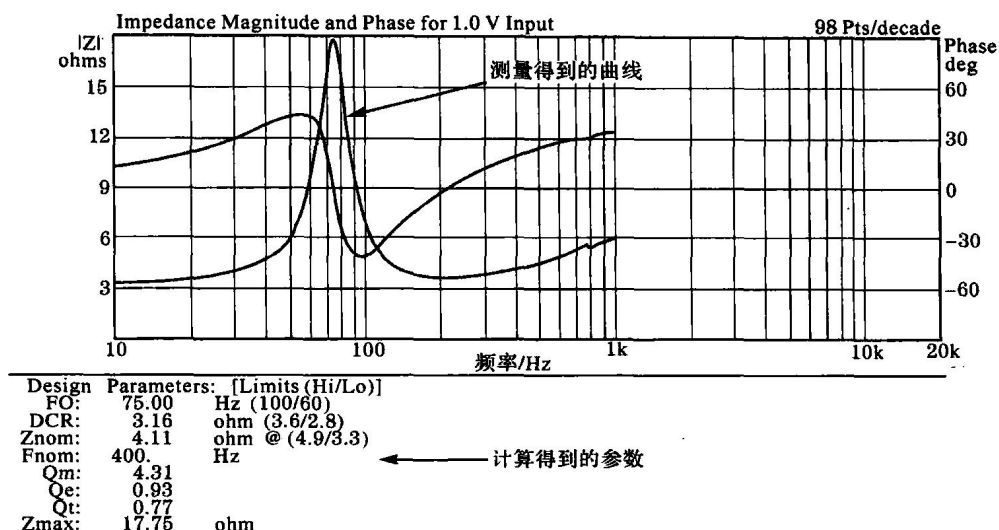


图6 测得的阻抗曲线和计算得到的参数

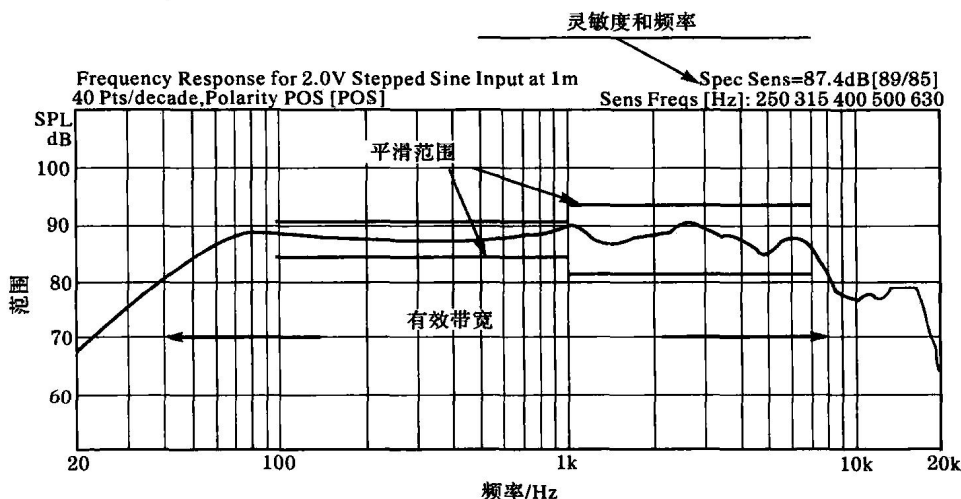


图7 频响曲线及其计算得到的性质

3. 冲击响应

图8给出了测量得到的冲击响应的一个例子。虽然在图中不是显示得很清楚,但图中曲线拖尾处的大量幅度较小的能量包含有用的信息。通过计算冲击响应的能量包络,并按对数刻度显示,这些较小的能量在图9中很好地显示出来。对其进行短时傅里叶变换,图10给出了频谱随时间的衰减响应。

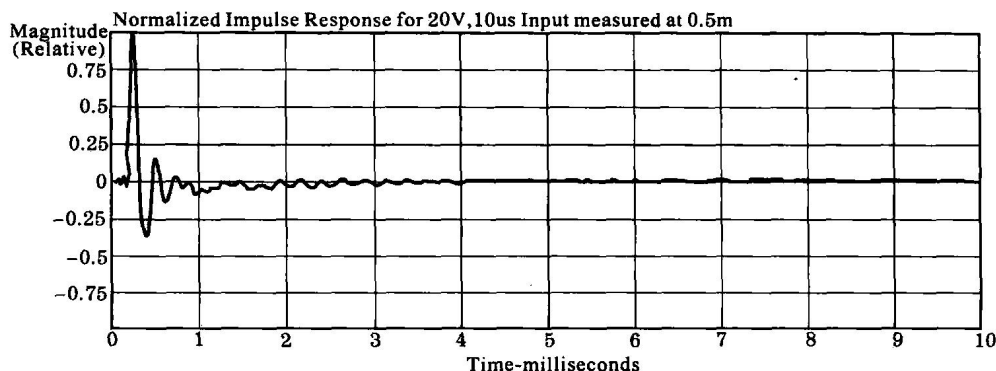


图8 数字测量得到的冲击响应

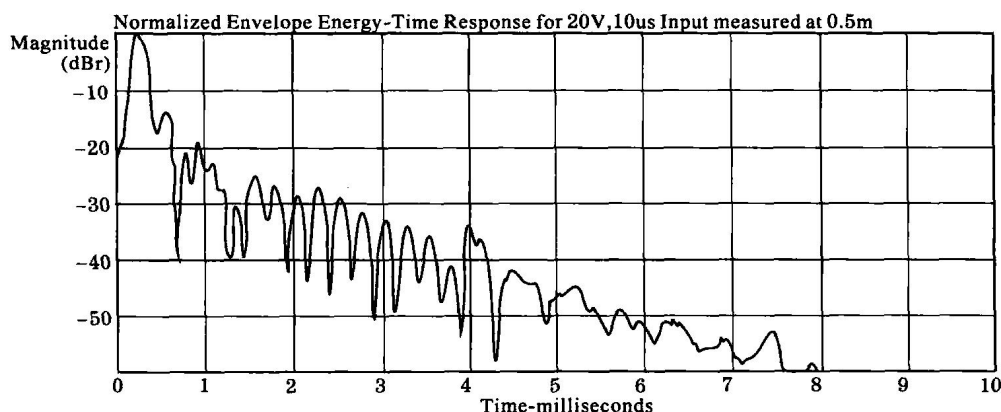


图9 对应于图8的能量-时间包络曲线

4. 谐波失真

图11给出了典型的谐波失真曲线。图中包括基频的声压级曲线、2次和3次谐波失真相对于基频的量,以及利用这两个量的均方根值相加得到的总谐波失真(THD)的量。虽然THD是一个有用的量,但各个谐波失真分量曲线显然能提供更多信息。例如,在非常低的频率,THD几乎完全来自于3次谐波分量,而2次谐波相对很小。这表明扬声器单元的音圈在磁隙中心轴放置得非常好。

5. 调幅失真(AMD)

图12显示了调幅失真测试中的信号频谱(F_1 和 F_2),以及得到的失真分量 $F_2 \pm F_1$ 和 $F_2 \pm 2F_1$ 。当 F_1 的信号幅度足够大导致音圈偏移时,就会产生这类