

# 仿真让扬声器的设计有了思想

浙江中科电声研发中心的研究人员利用多物理场仿真分析方法,使电声工程师在扬声器样品制作出来之前就能预测其主要特性,从而帮助他们更高效、更经济地设计出高性能、高品质的扬声器。

作者 **章琪琦**

**当**我们在驾车旅行中享受车载音乐带来的美好时光时,当我们通过手机与家人朋友愉快地聊天时,也许我们不会意识到,电声技术已经和我们的生活息息相关,并带给了我们极大的便利和无尽的享受。扬声器、音箱、传声器、耳机等电声器件具有对声音的接收、转换、传输、重放和测量等功能,使人们通过声音的方式传递信息和传播文化艺术。

电声器件自发明以来,已经走过了百年的历程。人们对产品的质量,尤其是声音品质的要求在不断提升,对电声器件的要求也愈来愈高。作为世界第一的电声器件生产国和出口国,中国电声器件的研发设计主要还是依靠人工经验、采用反复试样和不断调整产品性能的方法。这种传统的研发设计方法不但消耗人力和物力,而且即使花费很长的开发周期,也时常难以设计制作出理想的高品质产品。

浙江中科电声研发中心(以下简称“中科电声”)是一家致力于电声器件创新设计的研发机构,在电声产品数值仿真分析及辅助设计领域扮演着重要的角色,承担着技术研究、应用、咨询和培训等多项工作,帮助工程师和研发人员更加深入地理解电声器件。

## ⇒ 典型的多物理场问题

扬声器的结构看似简单(图1),其工作原理却涉及力学、电磁学、振动、声学及传热学等多个紧密结合的物理领域以及复杂的物理问题。例如,在电磁场分析中,由于扬声器磁路包含硬磁和软磁材料,因而需要考虑显著的电涡流问题,以及在高功率输入时的线圈移动问题;在振动系统分析中,需要考虑扬声器的几何非线性和粘弹性等问题。图2显示了扬声器涉及的多物理场间的相互关系。

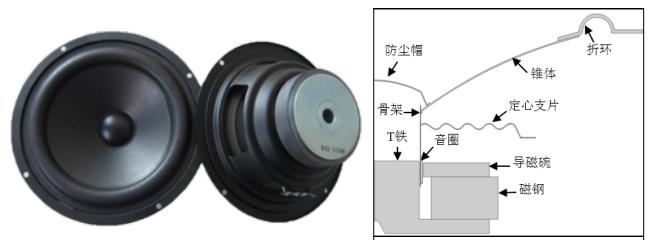


图1. 左图:动圈式扬声器图片。右图:典型扬声器的二维轴对称图,显示了其中的主要零件。

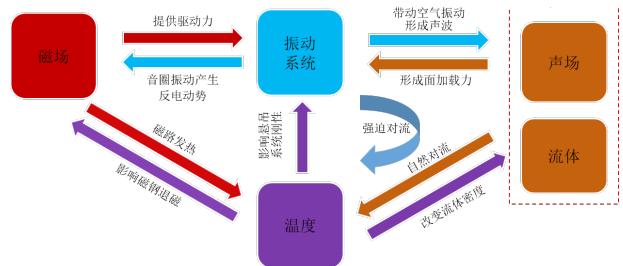


图2. 完整和准确地模拟扬声器涉及的准静磁场、结构力学、压力声学、粘热声学、流体、温度等多物理场,它们之间又是相互耦合的,且在大功率工作时还存在较强的非线性现象。这是一个复杂的多物理场耦合分析问题。

由于扬声器非线性特性的强弱与扬声器发出的声音是否“好听”直接相关,因此仿真分析和改进扬声器非线性特性是电声企业在高品质扬声器设计制造中特别重视和需要解决的难题。在扬声器工作过程中,从磁路到振动系统,再到声场,各个环节都存在着非线性现象,外在体现的扬声器非

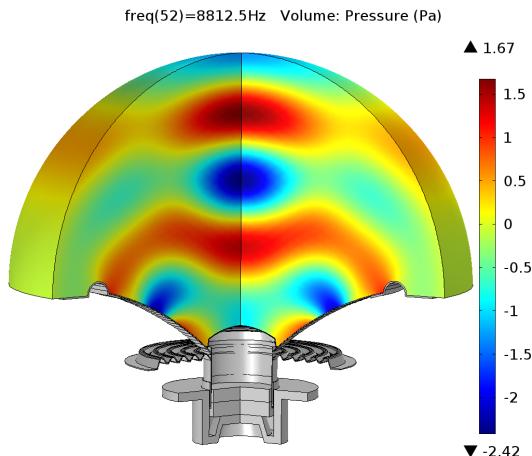


图 3. 通过仿真计算可直观地看到扬声器工作时所产生的声场, 图中显示的是某个时刻的声压分布。

线性失真特性不应仅看这些非线性现象的叠加, 而应归结为它们相互之间耦合作用的结果。因此, 扬声器非线性失真特性的仿真计算是扬声器仿真领域的关键性难题。

中科电声的研发团队利用多物理场仿真软件在扬声器的非线性仿真领域取得了突破性进展。“扬声器非线性特性的仿真分析是一个典型的多物理场耦合分析问题。由于多环节中的较强非线性特性, 所以需要采用实时移动网格技术, 并在必要时重划网格, 而且在时域分析时又涉及到频域分析。对于这样复杂的问题, COMSOL Multiphysics® 是我们的最佳选择。” 中科电声主任温周斌博士如是说。温博士和他的团队综合运用 COMSOL Multiphysics 的 AC/DC、结构力学、声学等模块, 建立了包含扬声器的各种非线性特性在内的完整有限元模型,

在移动网格和重划网格等功能支持下, 利用瞬态分析方法分析得到了扬声器工作中的一系列非线性特性。

## ⇒ 提升仿真分析精度

影响扬声器特性的仿真分析精度的因素有很多, 除了仿真分析模型和方法之外, 输入准确的扬声器振动部件的几何模型(图纸)和获得正确的扬声器材料参数也非常重要。与此同时, 扬声器的设计图纸与实际产品往往会存在较大差异, 扬声器制造商及其部件供应商的生产制作工艺和流程对扬声器产品的质量和一致性都会有很大影响。无论是微型扬声器的振膜, 还是汽车扬声器的纸盆和定芯支片, 采用的材料不同, 加工制作流程不同, 做出来的部件都会有所不同; 即使是同一批产品, 由于扬声器制造商的生产设备、工艺流程以及所采用的部件等的差异, 产品的特性也会有所差别。过去对扬声器产品及其部件的质量管理主要依靠工程师的经验及感官来判断, 因此难以量化。这种方式既无法获得扬声器部件的几何模型的准确尺寸, 也无法得知材料的物理特性参数, 更无法将材料的性质与扬声器成品的特性建立定量的关系。

温博士带领他的团队, 从多个方向入手, 研究确实有效的扬声器仿真分析方法。一方面, 基于 COMSOL Multiphysics, 充分发挥该软件平台的强大功能; 另一方面, 从电声企业的研发设计到生产制造的各个环节查找问题, 寻找解决方案。他们用扫描仪精确测量扬声器部件的几何结构, 并对设计模型进行修正, 获得了很好的仿真效果。图 3 为 COMSOL 软件计算所得的扬声器在某时刻的声压分布。“纸盆等部件的材料特性很难用现有仪器设备来测量, 但我们可以通过仿真模拟的方式来反推材料参数。” 温博士说道, “仿真不是简单地使用软件工具。在工程实践中不能完全基于理想条件, 必须要

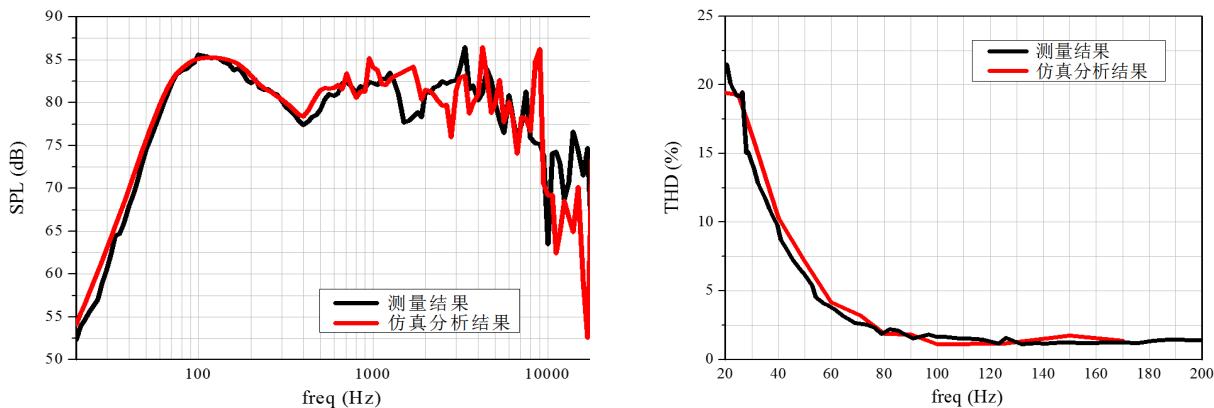


图 4. 左图: 声压级 (SPL) 的仿真分析结果和测量结果。右图: 总谐波失真 (THD) 的仿真分析结果和测量结果。通过仿真可准确预测扬声器的各种重要特性和主要问题, 并从中发现产生这些问题的关键因素, 从而改进和完善设计。

与电声企业的生产工艺相结合。”现在，中科电声采用仿真分析方法，可以准确预测扬声器工作过程中的各个主要物理量。图 4 显示利用 COMSOL 的多物理场仿真，温周斌博士发现声压级（SPL）和总谐波失真（THD）的仿真结果与测量结果都能够很好地吻合。工程师通过将仿真设计与自身经验相结合，使电声企业的研发及生产方式逐渐发生改变，这样不仅能缩短设计周期，还能大幅提升产品质量。

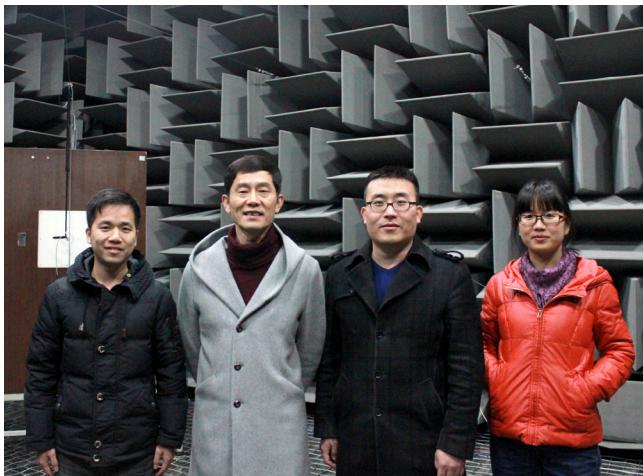
## ⇒ 电声企业从仿真中受益

中科电声为多家电声行业的领先企业提供技术服务。苏州上声电子有限公司（以下简称“苏州上声”）是中科电声的重要客户和合作伙伴之一。苏州上声主要从事中高端汽车扬声器的设计和制造，并为德国大众、美国福特和日本丰田等国际知名汽车企业提供车用扬声器。在与中科电声合作的几年间，苏州上声从仿真设计中受益匪浅。借助仿真的预判与验证功能，通过预案分析和评审环节，不仅提升了公司自身产品的设计水平，而且通过建立对供应商的管理流程，对供应商提供的产品部件质量进行了严格控制。

“与中科电声合作开展仿真设计三年来，整个团队对扬声器的理解不断加深，”苏州上声副总经理柴国强说道，“仿真让扬声器的设计有了思想。”从基础知识、物理概念、有限元方法的学习，到操作流程的确立，再到具体产品的仿真和测量验证，苏州上声快速、系统、全面地掌握了仿真设计新技术，提高了应用技术研发能力。

随着仿真分析方法的系统化、流程化，以及分析精度的

进一步提升，中科电声的仿真设计团队也在不断完善整个仿真流程，提高仿真技能，以满足不同客户的需求。“我们了解客户的产品，根据产品再不断调整模型。”温周斌博士说道。通过不断修正和验证仿真分析方法，中科电声的研究人员不断总结经验，已经逐步建立起针对整个扬声器系统特性的仿真分析方法，并将其应用于不同规格、不同结构、不同材质的扬声器仿真分析和辅助设计工程项目中。目前，中科电声的研发成果已经被应用于十多家电声企业，数家扬声器制造企业都受益于它的研究成果。❖



温周斌博士及中科电声的核心仿真设计团队在他们的全消声实验室中。高规格的全消声实验室及测量设备是团队开展仿真设计及其他电声技术研究的重要基础。图中人物从左到右依次为：岳磊、温周斌、徐楚林和陆晓。

## 产品库

- › COMSOL Multiphysics®
- › COMSOL Server™

### 电磁

- › AC/DC 模块
- › RF 模块
- › 波动光学模块
- › 射线光学模块
- › 等离子体模块
- › 半导体模块
- › MEMS 模块

### 结构 & 声学

- › 结构力学模块
- › 非线性结构材料模块
- › 岩土力学模块
- › 疲劳模块
- › 多体动力学模块
- › 转子动力学模块
- › 声学模块

### 流体 & 传热

- › CFD 模块
- › 搅拌器模块
- › 地下水流模块
- › 管道流模块
- › 微流体模块
- › 分子流模块
- › 传热模块

### 化工

- › 化学反应工程模块
- › 电池与燃料电池模块
- › 电镀模块
- › 腐蚀模块
- › 电化学模块

### 多功能

- › 优化模块
- › 材料库
- › 粒子追踪模块

### 接口

- › LiveLink™ for MATLAB®
- › LiveLink™ for Excel®
- › CAD 导入模块
- › 设计模块
- › ECAD 导入模块
- › LiveLink™ for SOLIDWORKS®
- › LiveLink™ for Inventor®
- › LiveLink™ for AutoCAD®
- › LiveLink™ for Revit®
- › LiveLink™ for PTC® Creo® Parametric™
- › LiveLink™ for PTC® Pro/ENGINEER®
- › LiveLink™ for Solid Edge®
- › File Import for CATIA® V5