

汽车音响系统的虚拟调制

哈曼 (HARMAN) 公司的专业人员正致力于将物理实验与仿真建模结合使用, 以期改进最新车载信息娱乐技术的开发流程。

作者 LEXI CARVER

如今的汽车, 通过智能手机连接、交互式显示屏和车载电视屏幕, 能够为用户提供令人眼花缭乱各类电子娱乐设施。哈曼公司 (HARMAN, 以下简称哈曼) 是“智联汽车”解决方案的市场领导者, 他们为全世界数量超过 80% 的豪华型轿车配备了高级音响系统。

车载音响的理想安装位置、扬声器的朝向和封装、驾驶室的几何结构 (例如车门) 等细节都会对音响的音质产生影响, 所以每一款车型都需要有独特的配置。哈曼的声学 and 仿真专业团队在设计过程中必须综合考虑上述的各个方面, 以确保不同车型与车载音响系统的完美契合。

在制作实体样机之前, 哈曼的研发团队会结合仿真分析进行虚拟测试, 通过虚拟“调制”整个系统来加速产品研发进程。这套方案支持使用虚拟测试取代原位测听, 可以大幅节省物理测试时间, 从而使该团队的成



图 1. 放置于车内的扬声器。

员能够在汽车最终的设计确定前就开始着手设计车载音响产品。

“当一款汽车处于研发初期, 其设计者还尚未确定需要怎样的车载音响系统时, 我们就已经可以参与其中了。”哈曼公司虚拟产品开发 (Virtual Product Development and Tools, 简称 VPD) 部门的高级经理 Michael Strauss 解释道, “换句话说, 我们只需要得到车厢的尺寸和体积这一类基本的设计参数就可以开始设计了。然而很多时候, 我们需要在几天内针对用户的需求提供一套完整的设计方案, 这对我们来说是一个很大的挑战。”

» 仿真和实验的协作提高客户满意度

为了准确而快速地响应客户的各类需求, 哈曼公司的工程师们开始借助 COMSOL Multiphysics® 软件的数学建模功能。“我们需要在同一个环境中综合实现力学、声学及电气学等多个物理场仿真的功能, 以及一个能够在我们创建和更新自己的工具时, 帮助我们节省大量时间和精力平台。”哈曼公司的资深声学工程师 François Malbos 说。

“多物理场仿真是虚拟产品研发过程中最为重要的环节之一。”哈曼公司 VPD 部门负责人 Michał Bogdanski 表示, “这让我们能够研究扬声器与车辆结构的任意部件 (如车门刚度)

之间相互作用而产生的声学行为, 并据此为我们的客户提供设计指导。”

在曾经的一个项目中, 他们对梅赛德斯-奔驰的一款 ML 级汽车 (见图 1) 车厢内的扬声器产生的声压级进行了测量和模拟, 目的是验证数值模型, 并随后将模型用于优化音响设备的设计。“运行车厢仿真是最具挑战性的工作之一, 因为这其中涉及很多不同的物理领域。”Strauss 解释说。幸运的是, COMSOL® 软件提供的强大功能可以让研究人员将整个系统中的声学、力学和电场效应耦合到一起。

为支持全公司的工程项目, Michael Strauss 的团队构建了一个由经过验证的模型和已知有效的解决方案整合而成的数据库, 通过这个库可以对各种类型的扬声器配置进行性能预测。“从宏观趋势分析到检测辅助系统性能的细节设计, 我们能够满足客户的各种需求。”他继续补充道。

» 车辆扬声器的性能分析

在一项研究中, 哈曼公司的工程师们使用 COMSOL 软件对车厢内的音响系统进行了仿真, 目的是针对低频声波来优化扬声器的音效。随后他们设计了一系列测试方案来验证这个模

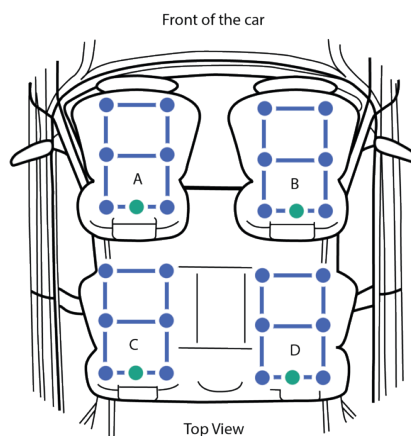


图 2. 放置于车内四个不同位置的麦克风阵列的俯视图。图注: Front of the car - 车前部; top view - 俯视图



图 3. 哈曼公司提供的车厢三维扫描图。

型。一旦模型通过了验证，哈曼公司的研究团队就能基于这一模型针对特定车型提出最佳的扬声器设置方案。

在验证测试中，扬声器安装在汽车驾驶员座椅旁边的刚性外壳上。整个车厢内使用了四组麦克风阵列来测量每个位置的平均声压级（见图 2）。

当频率低于 1 kHz 时，扬声器可以被表示为固定在简化的集总参数模型（LPM）上的刚性平面活塞，模型中考虑了音圈终端电压以及悬挂系统和扬声器音膜表面的刚度。研究人员通过手动三维扫描生成了车厢的几何结构图（见图 3）。通过使用 MATLAB® 软件中的预处理算法以及 COMSOL® 软件中的“LiveLink™ for MATLAB® 模块”（用来在这两个程序之间建立双向链接），该团队可以将扫描得到的点云转换成车厢表面的网格（见图 4），将网格优化后就可以对声压力波进行研究。

车内的挡风玻璃、地板、座椅、头枕、方向盘以及其他部位（例如车顶、车门和仪表盘等）的材料都具有

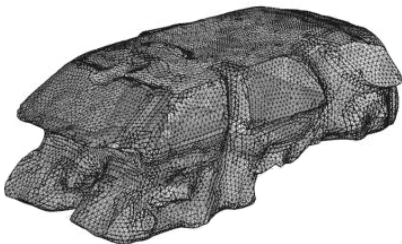


图 4. 车厢表面网格图。

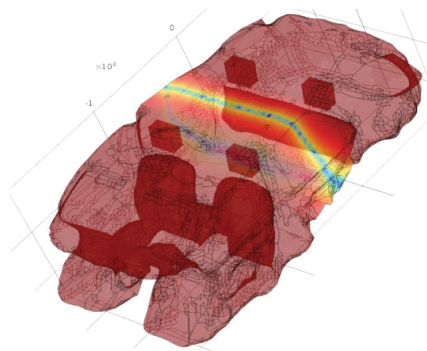
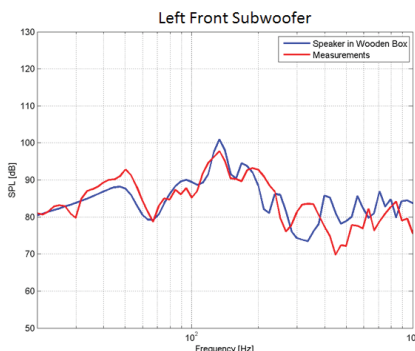


图 5. 其中一组麦克风阵列的声压级测试结果（左图）和整个车厢的声压级分布（右图）。

不同的吸收特性，仿真分析了扬声器产生的声波与上述不同材料之间的相互作用。

» 优化声学模型

除了考虑到多种不同材料的吸收特性的问题，该团队还根据外壳体积，通过 LiveLink™ for MATLAB® 定义了扬声器音膜的运动和加速度，并开发出特定的 MATLAB® 软件脚本，用于简化预处理和后处理操作。

“我们对每一步都进行了全面的优化和自动化处理，这样就不必计算每个案例的加速度，因为当一个仿真结束时，下一个便会自动启动。”Bogdanski 解释道，“如此一来，就能确保整个流程简单无误，而我们只需要运行脚本就可以了。”

不仅如此，该团队还优化了与频率相关的吸收系数，这些数据是在声压的测量结果与仿真结果之间建立强相关性的必要因素。分析结果还显示了每组麦克风阵列测定的声压级（见图 5）。

» 虚拟调制引导技术革新

有了这些通过验证的仿真，哈曼公司就能在车辆设计阶段便着手开发音响系统。而声学工程师只需要在试车阶段进入车内对音响进行微调。他们目前正在构建一种回放系统。

“让试听人员可以基于仿真结果和信

号处理，试听、评估、比较各类优化的音响系统中的超低音、中音及高音效果。”Malbos 指出，“在虚拟模型中修改设计比重建实体原型要快得多。”试听测试表明这一科学方法能够成功地取代原位试听。

完全基于仿真来评估音响系统的效果，这大幅提升了哈曼公司产品开发过程的质量和速度、提高了客户的反馈效率、降低了修改设计的成本，同时还让工程师们在设计过程中拥有了更大的发挥空间。

“仿真的魅力在于系统工程师能够无需接触汽车，只需头戴耳机置身桌前，就能调制系统。借助仿真，即使一套被提议的音响系统还没有实体原型，我们也能够评估、优化以及预测其性能。”Strauss 总结道。◎



哈曼公司 VPD 团队成员：François Malbos、Michael Strauss 和 Michal Bogdański。