



系统级中高频噪声
分析模拟解决方案 ProNas

发展背景及概述

随着汽车、船舶、高铁动车、轨道车辆、商用飞机、起重机械等交通运输工具和风电机组、家用电器、航天器等振动噪声仿真模型的日益精细和庞大，现代噪声、振动及舒适性（NVH）仿真计算及验证领域面临着计算效益（包括精度、速度及稳定性等综合指标）的极大挑战。传统的以有限元（FEA）、边界元（BEA）、统计能量分析（SEA）等算法为基础而发展起来的商用软件工具，在计算效益上存在不足和瓶颈，很难满足来自噪声振动工程界及学术科研的越来越复杂、精细及多学科综合解析优化的工程发展和技术发展需求。

ProNas 软件是目前噪声振动预测分析领域内具有国际领先的最新技术结晶，是能量有限元分析（EFEA）和统计能量分析（SEA）领域的代表性解决方案。ProNas 混合 EFEA-SEA 技术和基于能量有限容积算法的工程开发与应用，代表着振动噪声工程界新一代的前沿技术。

在物理样机制造之前，利用 ProNas 软件对设计的虚拟样机进行振动噪声预测，以达到降低产品成本、缩短开发周期、提高产品质量，并降低产品风险的目的。同时，在物理样机设计开发的过程中，可应用该软件进行大量的灵敏度分析和整个系统在结构激励或声场激励下广谱的随机噪声振动评估。

ProNas 软件建模灵活、计算效率高，具有宽泛的阻尼和耦合强度适用范围和简单易学的用户操作界面，非常适用于结构声学问题的可行性研究、灵敏度分析及优化设计等。ProNas 软件最新版本为 2018，具有中英文界面。

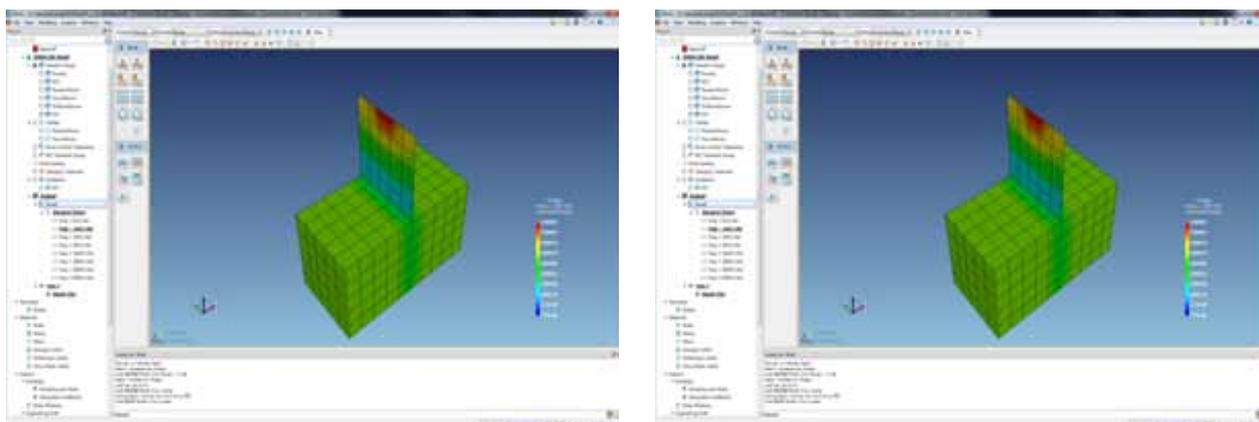


图 1 ProNas 界面

软件模块及主要功能介绍

能量有限元 - 统计能量混合模块（ProNas/EFEA-SEA）涉及的基本变量是平均的能量或能量密度，既可以快速建模预测及优化振噪特性，也可以直接使用现有普通有限元网格进行中高频振动的分析和模拟，从而大大节省工程设计人员的建模时间，使工程人员在设计初期能够有效地进行工程预测和优化。

ProNas，是基于能量有限元的中高频噪音计算仿真软件，由于采用了有限元为载体进行高频噪音计算，与传统的统计能量法相比，具有先天性的优势，可破解以下高频噪音仿真面临之困境。

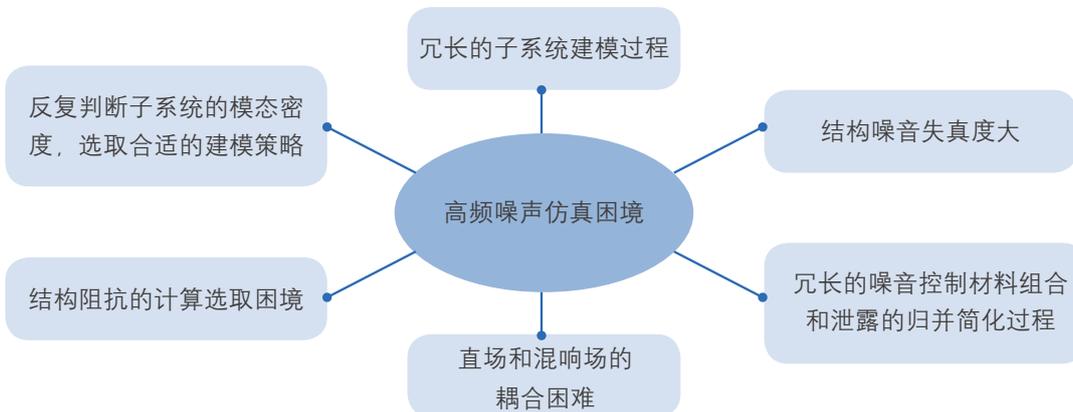


图2 高频噪声仿真困难

采用 ProNas/ EFEA-SEA 可以有效解决中高频噪声振动问题，实现以下功能：

- 整个系统在结构激励或声场激励下广谱的随机噪声振动预测
- 在空气或水等各种介质中的中高频辐射声场的分析和模拟
- 板、壳、梁及声场之间的各种耦合与联结
- 板状结构的中高频振动分析和模拟
- 板 - 板结构 (不同角度, 厚度或不同材料参数) 之间的联结
- 内部声场 (水或空气) 的分析和模拟
- 结构与内部声场 (水或空气) 之间的耦合
- 结构外表面上的声音辐射的分析和模拟
- 标准输入接口：网格输入数据可采用标准有限元格式
- 智能自动搜索有限元网格模型，创建声学空腔
- 方便实用的用户界面和接口

ProNas 软件主要模块包括：

- ProNas/GUI 用户界面、建模基本环境及前后处理
- ProNas/EFEA 能量有限元分析模块
- ProNas/SEA 统计能量分析模块
- ProNas/EFEA-SEA 能量有限元 - 统计能量混合模块
- ProNas/AM (Acoustic Materials) 声学材料模块
- ProNas/Solid 体单元模块
- ProNas/2D 快速声振环境预示模块

ProNas 特点及优势：

ProNas 是基于能量有限元为基础的高频噪音计算软件，由于采用了有限元为载体进行高频噪音计算，与传统的统计能量法相比，具有以下先天性的优势：

- 模型重复利用率得到了质的提升，基于振动甚至强度计算的有限元模型可直接用于高频噪声计算
- 可利用结构的边界网格快速生成几何空腔或者有限元空腔，即可快速评估空腔的整体声压，又可评估空腔中声压的准确分布，方便用户根据精度需求灵活创造自己的声学模型
- 可在有限元模型上灵活地按实际精确分布噪音控制材料、阻尼材料、不均匀材料、泄露、直达声场分布载荷等一系列参数，所见即所得，免去了大量简化归纳及在此过程中产生的工程误差甚至错误
- 由于摒弃了模态密度等相关概念，免去了计算、测量和仿真结构阻抗的过程，免去判断 SEA 理论假设是否符合的大量工作以及避免了由此产生的错误，直接在模型中加载结构加速度载荷即可得到准确的结构噪音载荷及传递路径，是结构噪音计算的里程碑式的进步
- 直观显示结构振动速度、能量及能量密度在结构上的分布
- 直观显示声腔声压级、能量及能量密度在声腔空间或体单元中的分布
- 快速直观地找到结构振动及噪声辐射的热点
- 结构、声场、声学材料一并解决；只需简单粗化的有限元网格，计算效率高

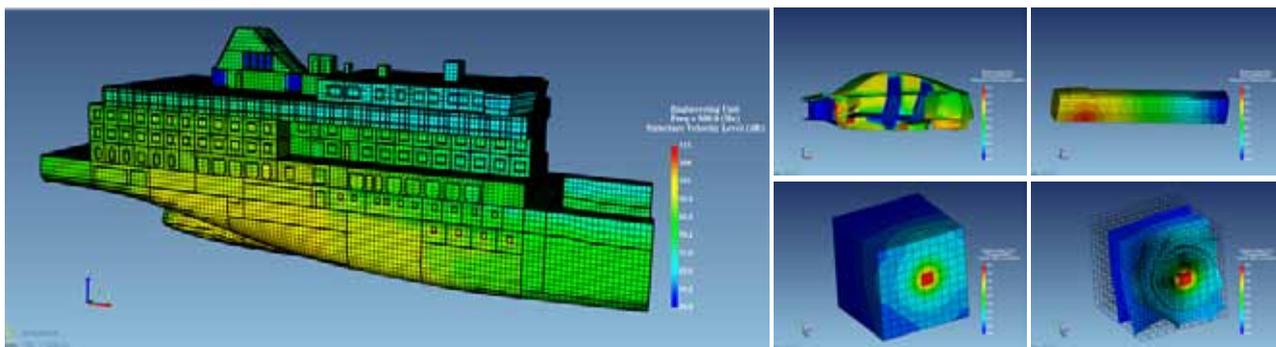


图 3 ProNas 结果后处理显示

软件竞争优势

- 快速工程响应能力

ProNas 不仅提供了一个高效的综合丰富算法的操作环境，还以比现有方法更快的速度处理问题。这种创新的技术能够让设计师利用最好的技术，减少建模的要求并快速确定一个高效、快速和准确的求解。如下图船体舱室噪声分析，在强度或振动的有限元网格模型上快速即可搭建中高频噪声分析的模型和输入，快速实现较高精度的噪声计算和分析。

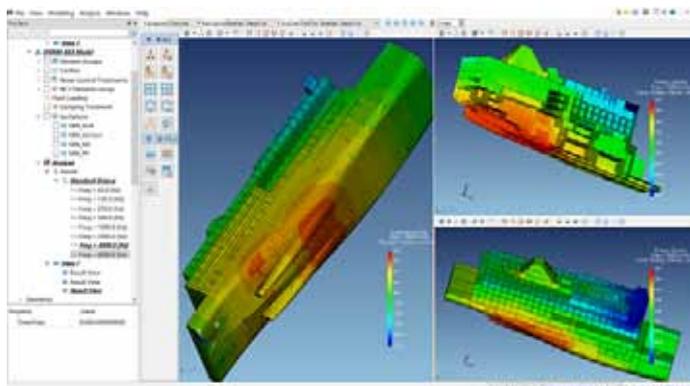


图 4 ProNas 船体中高频噪声分析案例

- SEA 和 EFEA 技术领域最具代表性的解决方案

能量有限元法 (EFEA) 是近年来国际上在统计能量法 (SEA) 多年研究的基础上提出的一种分析结构振动噪声的新方法。其思路是以能量密度为控制方程的变量，视能量以波动形式在结构中传递。该法模型化比统计能量法简单，不必具有划分子结构的专门知识，激励力可加在离散点上，较真实的模拟实际结构的受力状态。

ProNas 软件支持 EFEA 算法和 SEA-EFEA 混合算法，具有计算量较有限元小，模型较有限元简单，结果的能量信息比 SEA 丰富等优势。

- 快速的声学包建模系统
- 具有更大投资回报率

ProNas 通过提供的编程接口支持与外部编程语言诸如 C++、MATLAB 和优化工具 iSIGHT 集成计算，让用户改善内部 CAE 方法，通过集成这些创新的技术，直接用于用户当前的设计过程，从而减少上市时间。ProNas 与强大的用户化工具的耦合扩展性提供一个环境，能够满足当今及未来对模拟的需求，保证长期的投资回报率。

- 现有技术比较及 EFEA-SEA 技术优势

表 1 EFEA-SEA 技术优势对比表

	统计能量分析 (SEA)	能量有限元方法 (EFEM)	能量有限容积法 (EFEA-SEA 算法)
计算时间	快	相对较慢	快
细节模型性	差	好	好
准确性	粗糙	相对更精确	相对更精确
子系统划分灵活性	差	较好	好
阻尼适用范围	窄	较宽	较宽
耦合强度适用范围	窄	宽	宽
局部效果模拟	差	好	好
能量分配显示性	差	好	好
与直场耦合性	差	好	好
依照需求控制精度 (适应性划分网格计算)	不能	不容易	能实行，且容易

ProNas 产品包含下面十大独特特点：

- 内核采用能量有限元方法混合统计能量方法进行中高频噪声计算
- 基于强度或模态分析网格直接自动快速生成中高频噪声分析网格
- 能够支持自动智能搜索舱室等空腔，生成气动噪声分析区域功能
- 声学包采用智能化方式搭配建模，快速实现声学包设计
- 支持直达声场和混响声场耦合功能
- 支持根据声学分析需求控制精度（适应性划分网格计算）功能
- 支持直观对结构、声腔振动速度、能量及能量密度在结构和声腔空间上的分布后处理和显示的功能
- 支持声学传递路径和局部结构或声腔结果声学结果的显示，包括实体内部声学结果显示
- 通过提供的编程接口支持与外部编程语言诸如 C++、MATLAB 和优化工具 iSIGHT 集成计算，从而进行声学设计优化功能
- 支持全中、英文版本界面和用户手册

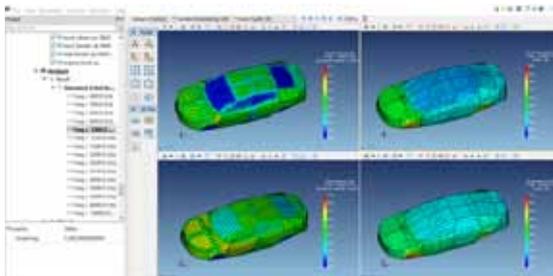
应用领域

ProNas 应用领域：汽车、船舶、轨道车辆、航空航天、汽车零部件、起重机械、家用电器、声学材料、通用机械、环境保护、建筑声学设计等。

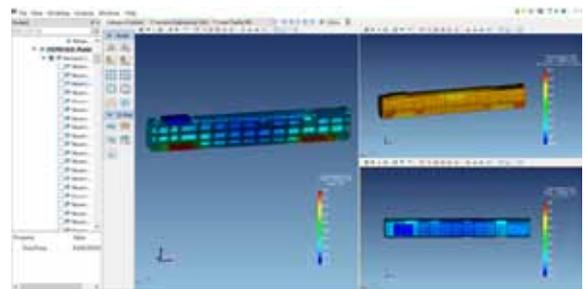
汽车及交通运输

汽车及各种车辆的内部噪声振动控制，优化系统的性能、重量及价格。

- 汽车声学包建模仿真及优化
- 汽车，卡车，公共汽车和地面车辆的内部声学质量设计
- 为供应商创建系统级模型和组件级目标 - 设计更安静的发动机和机车部件
- 内部声学安装和阻尼处理的重量及成本优化，诊断空气传播和结构传播路径
- 轮胎的振动声学模拟及优化
- 预测排气管，消声器和进风口的噪声辐射



ProNas 汽车结构噪声及空气噪声的仿真



ProNas高铁机车车辆空气噪声及结构声学仿真

高铁机车及各种轨道车辆

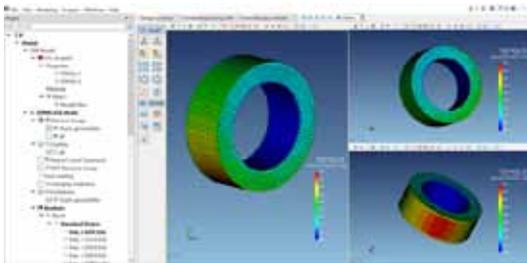
改善铁路机车车辆、地铁、轻轨等设计，降低内部噪声，及预测噪声辐射对周围住户的影响。

- 分析轮-轨交互作用噪声的影响，发动机和气动噪声的影响
- 模拟列车经过噪声和城市噪声冲击
- 内部声学品质的设计
- 诊断传输路径并优化内部声学包

航空航天

飞行器的内部噪声振动控制分析，辐射噪声预测，新材料及结构设计。

- 商业、公务等各种飞机内部噪声设计
- 优化新轻质材料和构造的振动—声学性能
- 优化噪声控制处理设计来减重并提高燃料效率
- 定义飞行器随机振动，声学 and 冲击环境
- 分析主要结构和关键飞行设备由于声学、随机振动和冲击环境的响应



ProNas轮胎高频结构声学仿真

通用机械及电子

家用电器，如空调、洗衣机、冰箱、吸尘器等降噪减振，零部件噪声指标拟定。

- 诊断消费电器诸如洗衣机、洗碗机、电冰箱和电动工具的噪声传输路径和主要来源
- 定义计算机和电子设备的电机和风扇需求规范
- 设计部件，包装和外壳来使噪声辐射降至最低
- 优化扬声器、手机等的声学品质

能源及环境保护

- 风电机组噪声分析，近场及远场噪声模拟
- 公路噪声，铁路噪声，城市轻轨及机场噪声预测及治理

船舶

轮船、游船及舰艇等系统预测水下辐射噪声。

- 创建船舶，潜艇和豪华游艇的系统级噪声和振动模型
- 设计降低水力和机械流动对声纳自身噪声的贡献
- 将信号噪声辐射降至最小并减少水下噪声辐射

建筑行业

住房，场馆等的模拟分析，内部降噪设计，拟定供应商指标（如风扇和空调等）。

- 创建办公楼，酒店，剧院和公寓高效系统级模型
- 优化 HVAC 系统，冷却器，压缩机，风扇和电机的振动噪声性能
- 预测通过不同建筑结构 TL 和侧面路径
- 预测新隔离物设计和建筑的吸收和隔声
- 考查不同噪声障的声学性能

生产设备

- 对加工设备设计噪声控制措施来消除操作者/居住者的听力损失
- 确保用最低的额外成本满足政府噪声级和外露条例
- 降低生产设备噪音，减小对人体损害，保障工人健康



安世中德官方微信



安世亚太官方微信

安世中德咨询（北京）有限公司

地址：北京市朝阳区八里庄东里1号莱锦TOWN园区CN08座

电话：010-52167777

传真：010-52167799

电邮：info@peraglobal.com

网址：www.peraglobal.com



安世中德
PERA-CAD/FEM

亿维讯
IWINT, INC.

安世航太
PERA CHINA

安世工仿
PERA CAE

金铭瑞通
JIN MING RUI TONG

安世亚太科技股份有限公司

010-52167777

info@peraglobal.com

北京市朝阳区八里庄东里1号
莱锦TOWN园区CN08座

客服专线：400-6600-388

集团总部
010-52167777

北京子公司
010-52167777

上海子公司
021-61077288

成都子公司
028-86671505

西安分公司
029-88348317

南京子公司
025-84677666

武汉分公司
027-87115335

沈阳子公司
024-23181789

广州子公司
020-38682890

香港子公司
00852-31139711