

案例分析: VTT 芬兰技术研究中心

概括

在芬兰城市瓦萨一个居住区的居民们对附近的噪声干扰提出了投诉。居民区的噪声来自于附近的一个瓦锡兰船用四冲程中速发动机的陆上测试工厂。为了满足发动机行业竞争激烈的市场需求，这个工厂生产的瓦锡兰 32 型发动机具备较高的输出功率，采用较低的油耗，装配精简的元器件，同时配备集成电脑控制系统。瓦锡兰工厂年产 500 台发动机，每台都要经受运转测试。初步调查结果表明，这让人难以忍受的噪声来源于一台 W6L32E 发动机 1000 小时耐久测试的排气设备。此发动机在满载的条件下以 750RPM 的速度运行。



凭借 Actran 仿真，工程师可以完全理解排气管道系统中的噪声问题，并得到简单有效的解决方法。

“Actran 可以让我们轻松的修改设计，进行迭代分析，找到某种改型对结果的影响 ... 当原始模型对分析噪声问题帮助不大的时候，我们将模型拓展，把管路考虑其中，便快速的找到了问题的根源”

Erin Komi, 芬兰技术研究中心 VTT 研究员

挑战

在发动机夜间测试时进行了一次环境噪声的调查，在位于测试厂房及附近居住区之间的三个测点位置进行了噪声测量。噪声级测量结果显示噪声尖值在 100Hz 三分之一倍频程中的 94Hz 附近产生。此频率对应于发动机曲轴转动频率的 7.5 阶频率。正常情况下，W6L32E 型发动机的噪声尖值会出现在其曲轴转动频率的 3 阶和 4.5 阶上。而此次测量到的噪声远不满足夜间环境噪声的限制标准。初步猜测认为噪声主要来自于半阶数的模块化部件产生的低频噪声。通过进一步实验希望找到在 100Hz 三分之一倍频程中产生噪声的确切原因。于是安排了新的实验在厂房屋顶进行，用于近距离测量发动机排气系统附近的噪声。此次测试在第一级消声器（图 1）附近测得了较高的噪声。此消声器为双阔张室式抗性消声器。新的噪声测试在距离消声器表面 1 米的数个位置进行。当发动机的负载由 100% 降到 75% 的时候，发现 100Hz 三分之一倍频程的尖值噪声下降了 10dB，全频段总体噪声则下降了 8dB。接下来改变发动机的运行速度及载荷，希望找到整个排气系统的共振特性。发现当发动机在 100% 满载情况下，噪声尖点出现在 94Hz，而当发动机在 75% 至 80% 的载荷运转时，噪声尖点则出现在 90Hz。

问题解决及验证

芬兰技术研究中心研究员 Erin Komi 表示：“我们的客户瓦锡兰要求我们使用 Actran 软件对这个问题进行分析，这是因为客户希望验证 Actran 对于求解振动噪声问题的有效性”。Erin Komi 对此问题进行了 Actran 的建模仿真工作。她首先建立了一个 Actran 振动噪声模型（图 2），包括消声器内部空气和外部空气，以及声学无限单元设置用来计算噪声辐射。整个模型包括 2 万 3 千 4 百个网格节点。在消声器入口处分别施加单位速度或者真实声压激励，在出口处设置声学无反射边界条件用以模拟无限出口管道。在模型中试验厂房的屋顶位置添加零声学导纳条件，用于模拟固壁边界条件。在消声器模型内部及外部分别布置了场点，其结果用于和实验测试进行比对。

初步仿真结果显示，第一个阔张室在 75Hz 出现了沿消声器长度方向的声学驻波模态。另外，在 106Hz，两个阔张室中均出现了切面方向的驻波模态。仿真预测的这两个混响现象和理论值十分贴近，但是却无法解释在 94Hz 出现的噪音（图 3）。然而这时工程人员却注意到了接通消声器进气口的一段弯曲管道。这段管道的长度有可能使其在 94Hz 产生第一阶轴向声学模态。Actran 有限元模型随之被扩展，包括这段 4.2m 长的垂直管道以及接通进气口的弯管（图 4）。再次仿真的结果中 75Hz 以及 107Hz 的噪声尖点依然十分明显，然而 94Hz 的尖点结果同样清晰可见（图 4）。94Hz 的结果并不像由于消声器本身产生的尖点频率结果那么尖锐，这很可能是由于弯管中的驻波与垂直管道高度耦合，从而导致了更明显的声学阻尼。

“声学测试只能提供有限几点的声压结果，Actran 却可以呈现整个模型区域的细节仿真结果（图 5）”，Komi 还表示：“通过 Actran 我们还可以轻松修改模型，迭代分析，以确定某种设计改变产生的影响。在这个例子中，当原始模型对分析噪声问题帮助不大的时候，我们将模型拓展，把管路考虑其中，便快速的找到了问题的根源。”

作为解决噪音问题的方案，将消声器进气管向第一级阔张室中延长 1.4 米的想法被提出（图 6）。

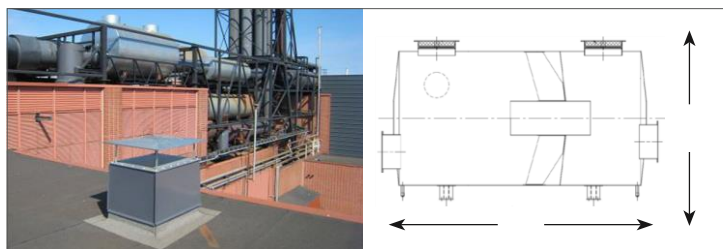


图 1：第一级排气消声器

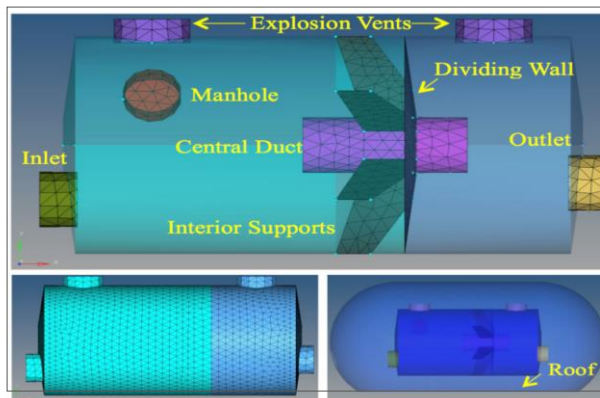


图 2：Actran 振动声学最初模型

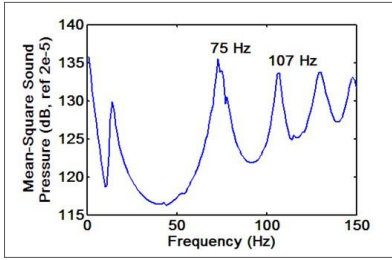


图 3: 第一个阔张室中的声压均方

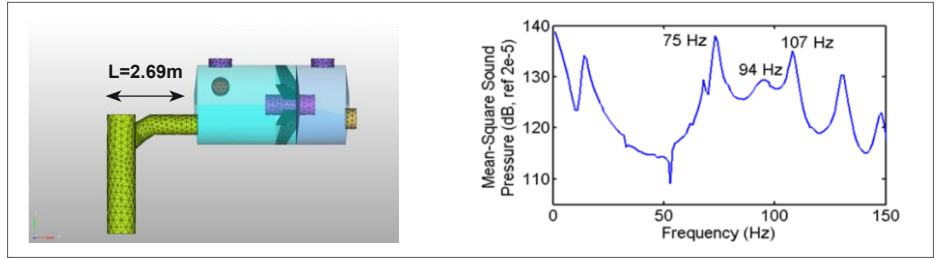


图 4: 修改后的 Actran 模型以及第一个阔张室中的声压均方

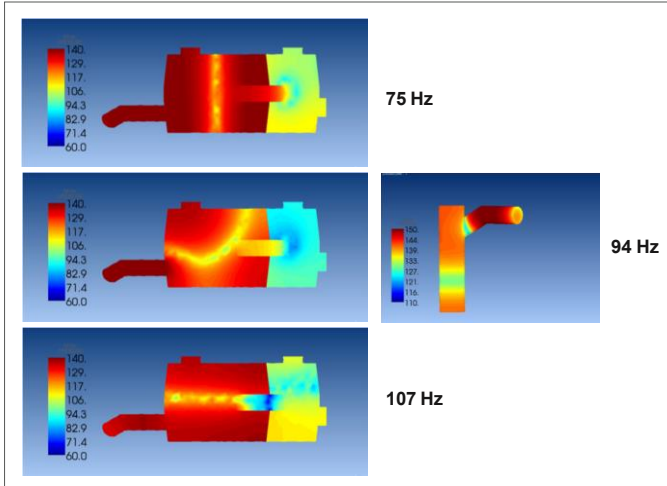


图 5: 声压云图 (dB) 显示出消声器内三个频率下的声压分布

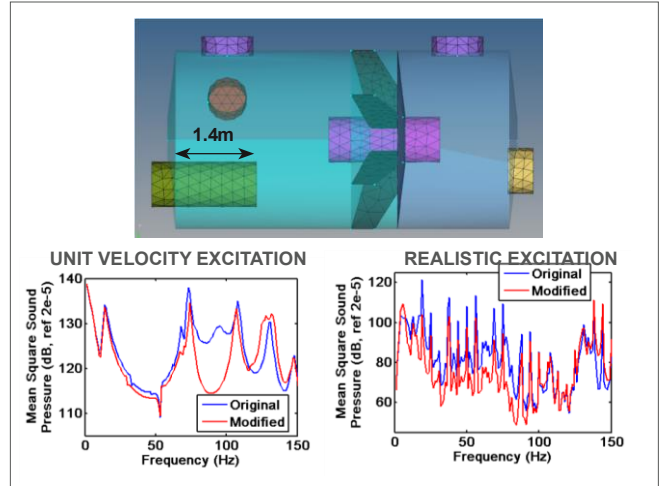


图 6: 消声器的简易修改模型以及通过仿真分别得到的消声器修改前后第一个阔张室中声压均方。激励为单位速度以及真实声压。

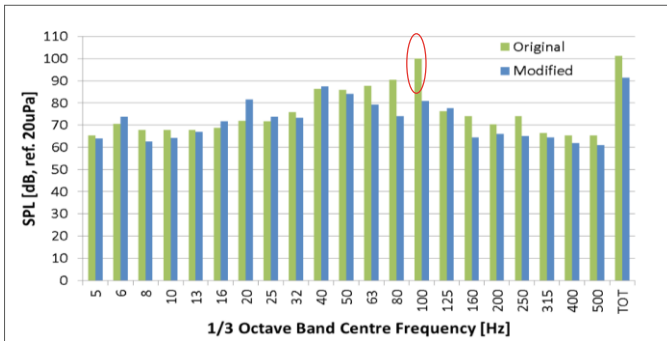


图 7: 设计修改前后实测声压结果

将进口水平管道延长至消声器内部改变了其声学共振频率，使其不再和发动机在 94Hz 的阶次激励耦合。另外，延伸的管道大致位于消声器第一个阔张室中轴向模态以及切面向模态的节点位置，这也大幅度消减了这些模态的影响。仿真预测得到 94Hz 的噪声可以被消减 7dB，同时 75Hz 以及 106Hz 的噪声也会被大幅降低（图 6）。

结果

Actran 模型中的更改最终在真实消声器上得以实现，噪声测试在更改后的消声器上重新进行。测试结果表明新的设计使 100Hz 三分之一倍频程的噪声降低了 20dB，并使总体噪声降低了 10dB（图 7）。基于 Actran 的仿真结果，工程人员可以完全理解这个特定的噪声问题，并提出简单有效的解决方法。

关于芬兰技术研究中心

VTT 是北欧最大的应用技术研究组织。VTT 使用并融合广泛的世界级技术，进行技术创新，向其客户提供应用技术服务，助客户提高能力和竞争力。VTT 隶属于芬兰就业及经济部下属之创新系统。

若您需要了解更多关于 Actran 的信息，请访问 <http://www.fft.be/>