

# 案例分析：比利时建筑研究所

## Actran 帮助改善对房间之间振动传递的预测能力

### 概述

比利时的住宅标准（NBN-S01-400-1（2008））采取了严格的声学要求，这给建筑师们带来了严峻的挑战。此标准尤其针对各个房间之间的整体隔音性能制定了苛刻的要求，该性能主要是由直接传声和侧墙传声决定的。侧墙传声是指在其中一个房间所产生的声波会激励墙壁结构生成结构波，并经由该结构传播结构波。随后墙壁会向隔壁房间辐射声音。两个相邻房间之间有四个接合部，每个接合部有三种侧墙传声路径，总共 12 个路径。当声波穿过接合部时，其能量会衰减，衰减程度由振动衰减指数  $K_{ij}$  确定。



依照 ISO 10848 进行测量

建筑师和声学顾问所面临的挑战是为具体的建筑设计准确地估算振动衰减指数  $K_{ij}$ 。ISO 10848 规定了通过物理试验测量  $K_{ij}$  的方法，但这是个成本高昂的漫长过程。为此建造了一个双房间之间接合部的全尺寸模型。用手锤击打第一个房间的墙壁，在受到击打的墙壁上以及在接合部另一侧的接收墙壁上同时测量振动，这给出了两侧结构振动速度级的差值。然后击打相对侧的墙壁，按相反的方向进行上述过程。可通过上述双方向测试得到两组结构速度级差值的平均值来计算  $K_{ij}$ 。此外，为制作一个满足声学要求的建筑体系，制造商需要对其产品的众多不同接合部进行评估。每一个接合部的结构都需要进行拆解和重建。

### 挑战

由于物理测量的成本高、时间长，因此建筑师和声学顾问一般会使用 EN 12354 标准中所给出的经验公式。这些公式将  $K_{ij}$  作为物理量  $M$  的函数来进行估算，此  $M$  的定义为：

$$M = \lg \frac{m'_{\perp i}}{m'_i}$$

式中  $m'_i$  是传播路径 ij 上板材 i 的单位面积质量，单位为千克每平方米， $m'_{\perp i}$  是组成接合部的垂直板材的单位面积质量，单位为千克每平方米。

比利时建筑研究所（BBRI）实验室的研究人员测量了大约 185 个不同接合部的  $K_{ij}$  值，并将结果与经验预测公式进行对比。不过经过对比发现了差异。在实验中，由于单位质量比的增长引起  $K_{ij}$  增大的速度比经验公式预测得要快很多。因此 BBRI 的研究人员提出采用“特征力矩-阻抗：A”的比值代替 M 值，依照以下公式能得出更好的  $K_{ij}$  估算值…

$$A = \sqrt[4]{\frac{m'_{\perp i} B_{\perp i}^3}{m'_i B_i^3}}$$

式中  $m'_{\perp i}$  [kg/m<sup>2</sup>] 和  $B_{\perp i}$  [N.m] 分别是垂直于板“i”的板材的表面质量和弯曲刚度。

$m'_i$  [kg/m<sup>2</sup>] 和  $B_i$  [N.m] 分别是板“i”的表面质量和弯曲刚度。

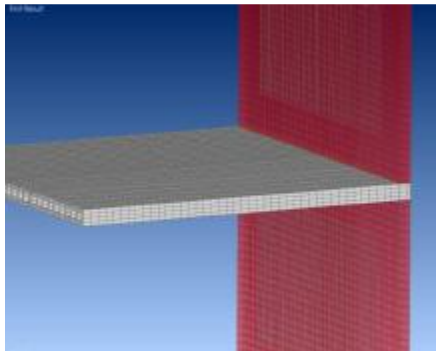
BBRI 研究人员需要对各种类型墙壁属性的噪声传播进行精确仿真，以便验证新提出的经验公式。实物试验既昂贵又耗时，因此该公司需要一种数值仿真方式，以准确预测  $K_{ij}$  值并对新的经验公式进行交叉验证。

## 解决/验证

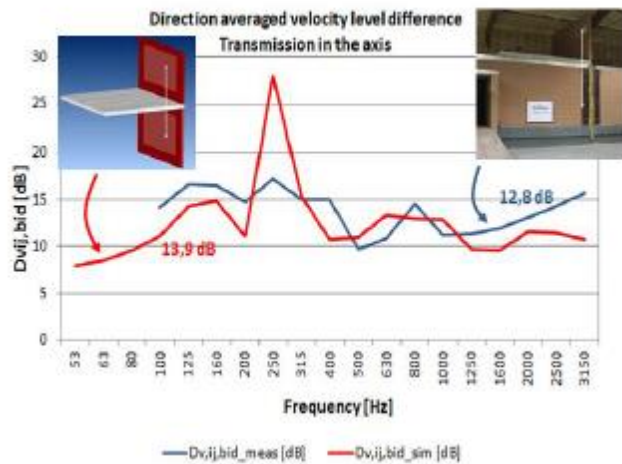
比利时建筑研究所实验室主管 Charlotte Crispin 表示：“我们采用 Actran 对接合部的同面板材及垂直板材的振动传递进行仿真，这是因为 Actran 已经在广泛的应用范围内得到验证，能够提供准确的结果，并且易于使用。”BBRI 的研究人员首先验证了 Actran 预测典型情况的能力。他们建造了一个试验装置，该装置由一个安装在两个声学室之间的刚性较高的 T 形接合部组成。垂直墙由砖砌成，并且与空心砖垂直相交。研究人员对此装置依照 10848 标准来测量  $K_{ij}$  值。

随后，BBRI 的研究人员在 Actran 中建立了该试验装置的模型，将墙壁和地板表征为各向同性固体材料。相继在地板和两个墙壁上施加五个动态点力载荷。通过 Actran 计算出 50 Hz 至 3150 Hz 之间的法向振动速度均方（NMSV）。研究发现，激励表面与接收表面振动平均速度的差值与实物测量值非常吻合。

在验证了 Actran 预测结果的准确度之后，比利时建筑研究所的研究人员采用该软件对 T 形接合、十字形接合及 H 型接合进行了参数化研究。杨氏模量参数在  $2e+9$  N/m<sup>2</sup> 至  $2.6e+10$  N/m<sup>2</sup> 之间，以  $0.2e+10$  N/m<sup>2</sup> 为增量做变化。密度在  $400$  kg/m<sup>3</sup> 至  $2400$  kg/m<sup>3</sup> 之间，以  $200$  kg/m<sup>3</sup> 为增量做变化。厚度在  $60$  mm 至  $220$  mm 之间，以  $20$  mm 为增量做变化。采用 Actran 的脚本功能针对参数变换进行多模型串行计算并对比结果。还对三种不同的模型设置进行了验证，分别是：采用线性插值体单元模型、采用二次插值体单元模型，及采用线性插值壳单元模型。本次研究过程中共进行了 900 多次计算。



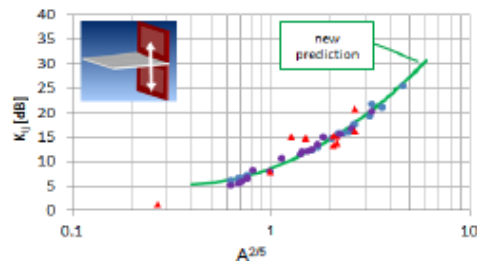
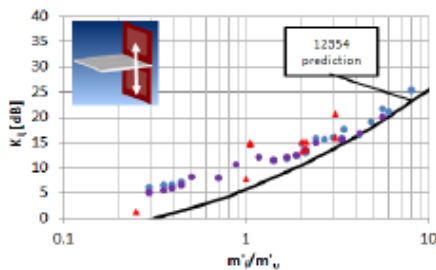
用于验证的 Actran 模型



验证研究中的实测值与仿真结果值

## 结果

BBRI 的研究人员分别使用依靠表面质量的旧公式，以及依靠特征力矩阻抗的新公式，对数量相当的结构构型进行了验证。结果表明，对于包含 T 形接合、十字形接合及 H 形接合在内的各种面内和垂直板材间的振动波传播而言，新公式对  $K_{ij}$  值的预测更加准确。此项工作显示，采用特征矩阻抗 “A” 比值而不是表面质量比，可以更好地预测  $K_{ij}$  值。由于在振动波的传播方向改变时，只有力矩和角速度矢量可以参与能量传递，因此振动衰减取决于这一新比值应该是合理的。



与旧公式相比（左侧），基于新公式（右侧）的  $K_{ij}$  估算值与仿真结果值更为接近。

## 关于比利时建筑研究所

比利时建筑研究所是一家由比利时建筑承包商联合会于 1960 年创建的私营研究机构。其宗旨是为会员进行科学技术研究，为会员提供技术信息、帮助及咨询，以便从整体上促进建筑领域的创新和发展。研究重点为建筑流程、建筑材料以及可持续建筑的各个方面。比利时建筑研究所在比利时拥有 230 名雇员和三处办公地点。