

doi: 10.11830/ISSN.1000-5013.201611056



考虑加筋效应的薄板结构 低频声传递损失

欧达毅^{1,2}

(1. 华侨大学 建筑学院, 福建 厦门 361021;
2. 华南理工大学 亚热带建筑科学国家重点实验室, 广东 广州 510640)

摘要: 设计一种参数可调的加筋板结构简易实验装置, 可根据需要对加筋板的加筋条数、加筋位置、加筋条材料、加筋条尺寸等加筋参数进行调整, 研究不同加筋参数对结构整体性能的影响效果. 基于该装置, 选取 3 种不同加筋位置对平板结构进行加筋处理, 并对加筋平板结构的低频隔声性能进行测试, 尤其对不同加筋位置的作用效果进行分析, 验证加筋参数对结构低频隔声性能的影响. 研究表明: 仅调整加筋位置这一参数就会对平板结构的低频隔声性能有所影响, 尤其对声传递损失曲线的谷点频率有重要影响.

关键词: 薄板结构; 加筋效应; 加筋结构; 声传递损失; 低频噪声

中图分类号: TU 112 文献标志码: A 文章编号: 1000-5013(2017)05-0649-04

Low Frequency Sound Transmission Loss of Thin Plates Considering Stiffener Effects

OU Dayi^{1,2}

(1. College of Architecture, Huaqiao University, Xiamen 361021, China;
2. State Key Laboratory of Subtropical Architecture Science,
South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: A parameter-adjustable stiffened plate structure system is experimentally studied. The stiffening parameters, including the stiffener's number, stiffener location, stiffener material and stiffener size, can be easily adjusted in the experiment to investigate the stiffener effects on the structural property. The measurement of the low frequency sound insulation performance of the stiffened plate structure system is then carried out. Three different stiffening locations are used in the measurement to examine the effects of stiffener location on the low frequency sound insulation performance. The results show: single parameter of the stiffener's location has significant effect on the low frequency sound insulation performances of the plate structure system, especially on the valley frequencies of the system's low frequency sound transmission loss curve.

Keywords: thin plate structure; stiffener effect; stiffened structure; sound transmission loss; low frequency noise

长期以来, 噪声一直是影响建筑声环境的主要问题^[1]. 其中, 低频噪声会造成人体的慢性损伤、对

收稿日期: 2016-11-16
通信作者: 欧达毅(1982-), 男, 副教授, 博士, 主要从事建筑隔声、建筑(城市)声环境等的研究. E-mail:oudayi_hqu@126.com.
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51578252); 福建省高等学校杰出青年科研人才培育计划资助(2016 年度); 华南理工大学亚热带建筑科学国家重点实验室开放研究项目(2016ZB06)

人体健康产生长远影响^[2],而且低频噪音的传播距离和穿透障碍物的能力远大于高频噪声,且往往与建筑结构(楼板、门、窗等)的共振频率接近,容易传入室内对居民造成干扰^[3].因此,如何提高建筑结构的低频隔声性能成为了建筑隔声领域的一个重要话题.出于提高结构强度等目的的考虑,对平板结构进行加筋处理(即加筋板结构)是建筑结构中常见的做法.由于加筋参数(如条数、位置、材料、尺寸等)对结构整体动力学特性具有重要作用^[4-8],它对整体结构声振响应特性的影响也不容忽视.相关研究表明,实际加筋参数对加筋板结构的隔声隔振性能有重要影响,尤其对结构低频隔声隔振性能的影响效果显著,通过加筋位置、加筋条材料、加筋条尺寸等加筋参数的合理设计,能有效提高整体结构的隔声隔振性能^[4-5,9-10].然而,值得一提的是,该领域相关研究工作大多基于理论计算和模拟仿真结果,目前关于加筋参数对平板结构隔声性能的影响研究的实验工作仍非常有限.基于这一背景,本文提出一种参数可调的加筋板结构的简易实验装置,并对不同加筋参数下的平板结构的低频隔声性能进行研究.

1 实验装置设计

目前,国内外用于加筋平板结构隔声性能测试的实验装置和实验研究还较为有限.邵闯等^[11]在驻波管中对加筋壁板进行了声响应实验测试,所用加筋条材料与板材料基本一致,二者的具体连接方式并未详细说明,但大致可以判断,其测试结构上的加筋材料、位置和数目基本无法调整.Barrette等^[12]也对加筋平板结构的振动特性进行了实验测试,所用加筋条材料与板材料完全一致,且加筋条直接与平板铸成整体,无法拆卸和更换.

总体而言,前人的实验装置为加筋平板结构的实验研究提供了有益参考,但如果能对这些装置进行改进,设计出可灵活调整加筋条数、加筋位置、加筋条材料、加筋条尺寸等加筋参数的加筋板结构实验装置,将对深入研究加筋板结构特性(尤其是探索不同加筋参数对结构整体性能的影响效果)有所帮助.

设计的可调参数加筋平板结构实验装置,如图1所示.该装置主要包括1个平板,2个边框和至少1个加筋单元.图1中:螺栓通过螺孔1将两个边框连接起来,并将平板安装固定于两个边框之间;螺栓通过螺孔2将加筋条和边框连接起来,实现加筋条的凸起部分紧压于平板上.其中,每个加筋单元由一对加筋条构成,即每2个加筋条分别安装在2个边框的同一高度,从正反面同时施压于平板的同一位置,从而实现1个加筋单元的加筋效果,如图1(b)所示.图1(b)中: H 为加筋条距边框下端的距离.

由图1(a)设计可知:加筋单元为独立部件,所用数目可以不止1个,并可根据需要安装在螺孔2的任一位置,可以随时进行装配或拆除,从而实现加筋单元数目可变、材料可换、位置可调的效果.其中,所用边框的测试刚度应远大于测试平板,使得测试过程中由边框自身振动所引起的声辐射可忽略不计,从而不会对试件(平板)性能的测量结果造成影响.

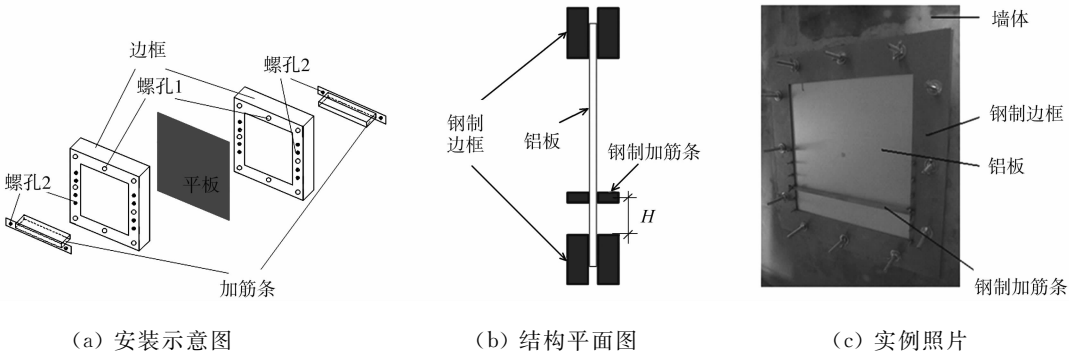


图1 加筋板结构实验装置

Fig.1 Experimental setup of stiffened plane structure

2 实际测量与结果讨论

图1实验装置中各部件的材料、尺寸等参数,可根据实际需要进行选择.在测量实例中,测试平板为1块正方形铝板,边长为25.6 cm,厚度为1.5 mm;边框为钢制边框,以保证其结构刚度远大于测试平

板,厚度为 3 mm,内缘边长为 24 cm(使得铝板每条边有 8 mm 的边缘部分夹于两个边框之间);加筋条为钢制梁条,凸起部分的长度为 24 cm,宽度为 5 mm,厚度为 23 mm.

为了验证和分析加筋参数对结构隔声性能的影响,将该加筋板结构安装于两个相邻房间的公共墙上,对其声传递损失进行测量,如图 2 所示. 图 2 中:两个相邻房间除了公共墙面外,其他表面均铺上吸声材料,最大限度地减少房间反射声的干扰. 1 个扬声器单元作为声源置于平板中心线上,距离平板 40 cm,发出垂直于测试平板入射的平面声波. 2 个 B&K 4935 型传声器分别置于测试平板前后两端,位于平板中心线上距离平板 20 cm 位置,分别用于测量测试平板的入射声波 p_i 和辐射声波 p_r . 所有测试结果通过丹麦 B&K 公司的 Pulse 系统进行采集和记录.

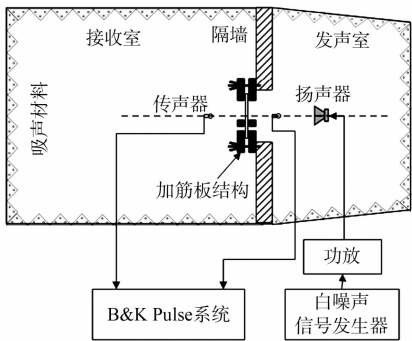


图 2 实验装置示意图

Fig. 2 Schematic diagram of experimental setup

上述声传递损失测量方法借鉴了近年来国内外常用的基于两个相邻半消声房间的声传递损失估测方法^[13-14]. 根据此方法,通过上述 2 个传声器的声压测量结果,可简单估算出该平板结构的声传递损失(具体实验步骤和估算方法可进一步参见参考文献^[13-14]). 其中,声传递损失的计算式为

$$STL(f) = 10 \cdot \lg \left(\frac{|p_i(f)|^2}{|p_r(f)|^2} \right). \tag{1}$$

式(1)中: f 为频率.

由图 1(a)还可知:通过将加筋条安装在边框上螺孔 2 的不同位置,可实现不同的加筋位置. 在文中的测量实例中,为方便起见,选取了 3 种加筋位置,分别为在测试平板边长的 10%, 20% 和 30% 位置. 即将加筋单元分别置于加筋条距边框下端的距离(H)为 2.4, 4.8 和 7.2 cm 的相应位置. 测试频率范围为 50~400 Hz,测量结果如图 3,4 所示. 图 3,4 中:STL 为声传递损失.

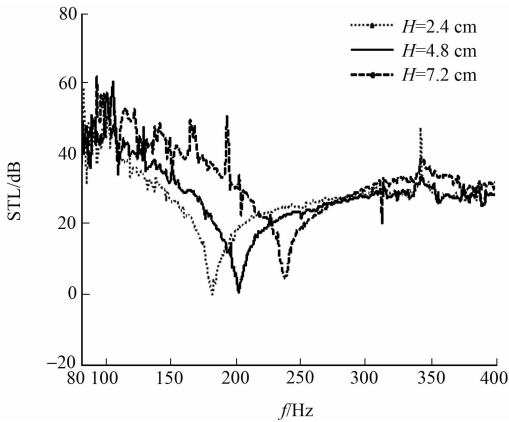


图 3 声传递损失实测结果

Fig. 3 Experimental results of sound transmission loss

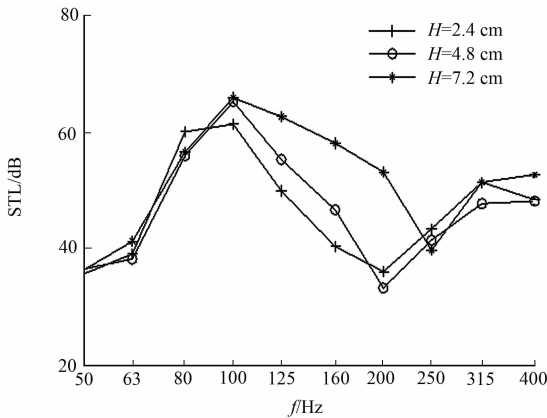


图 4 1/3 倍频程声传递损失实测结果

Fig. 4 Experimental results of sound transmission loss in one-third octave bands

由图 3,4 可知:加筋单元置于不同位置时,平板结构的低频声传递损失曲线明显不同,尤其曲线的谷点频率位置有显著差异. 加筋位置 H 等于 2.4, 4.8 和 7.2 cm 时,平板结构的声传递损失曲线对应的谷点频率分别为 180, 200 和 240 Hz. 由此可见,仅调整加筋位置这一参数,就会对平板结构的低频隔声性能有所影响,尤其对声传递损失曲线的谷点频率有重要影响. 在实际应用中,可以通过加筋位置的合理设置,让曲线谷点尽量远离重点降噪频段,实现结构实际隔声效果的有效提升.

3 结束语

设计一种参数可调的加筋板结构的简易实验装置,可根据需要对加筋板的加筋条数、加筋位置、加筋条材料、加筋条尺寸等加筋参数进行调整. 因此,可用于加筋板结构的实验研究,尤其是分析不同加筋

参数对结构整体性能的影响效果. 以改变加筋位置的实际测量过程为例, 对所提出的实验装置的可行性和有效性进行验证. 除了加筋位置以外, 加筋条数目、加筋条材料等加筋参数对结构性能的影响均可通过该装置进行实验研究. 该装置可以为加筋平板结构的实验研究提供参考, 也为可调加筋参数的平板结构设计提供借鉴.

参考文献:

[1] 姜雨杉, 欧达毅. 大学生公寓声环境调查与评价[J]. 华侨大学学报(自然科学版), 2017, 38(4): 503-508. DOI:10.11830/issn.1000-5013.201704011.

[2] BRONER N. The effects of low frequency noise on people: A review[J]. Journal of Sound and Vibration, 1978, 58(4): 483-500. DOI:10.1016/0022-460X(78)90354-1.

[3] 欧达毅. 建筑窗体低频隔声性能综合分析[J]. 建筑科学, 2013, 29(12): 6-10. DOI:10.3969/j.issn.1002-8528.2013.12.002.

[4] 欧达毅, 麦卓明, 史晓峰. 边界条件和加筋参数对平板型建筑结构低频隔声性能的影响分析[J]. 建筑科学, 2016, 32(10): 80-85. DOI:10.13614/j.cnki.11-1962/tu.2016.10.14.

[5] OU Dayi, MAK C M, DENG Shiming. Prediction of the sound transmission loss of a stiffened window[J]. Building Services Engineering Research and Technology, 2013, 34(4): 359-368. DOI:10.1177/0143624412445932.

[6] OU Dayi, MAK C M. Transient vibration and sound radiation of a stiffened plate[J]. Journal of Vibration and Control, 2013, 19(9): 1378-1385. DOI:10.1177/1077546312450731.

[7] BERRY A, LOCQUETEAU C. Vibration and sound radiation of fluid-loaded stiffened plates with consideration of in-plane deformation[J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 1996, 100(1): 312-319. DOI:10.1121/1.415880.

[8] ZHENG Hui, WEI Zhiping. Vibroacoustic analysis of stiffened plates with nonuniform boundary conditions[J]. International Journal of Applied Mechanics, 2013, 5(4): 1350041-1350046. DOI:10.1142/S1758825113500464.

[9] JOSHI P, MULANI S B, GURAV S P, *et al.* Design optimization for minimum sound radiation from point-excited curvilinearly stiffened panel[J]. Journal of Aircraft, 2010, 47(4): 1100-1110. DOI:10.2514/1.44778.

[10] INOUE K, YAMANAKA M, KIHARA M. Optimum stiffener layout for the reduction of vibration and noise of gearbox housing[J]. Journal of Mechanical Design, 2002, 124(3): 518-523. DOI:10.1115/1.1480817.

[11] 邵闯, 陈先民, 葛森. 加筋壁板声响应分析与试验研究[J]. 强度与环境, 2009, 36(6): 1-7. DOI:10.3969/j.issn.1006-3919.2009.06.001.

[12] BARRETTE M, BERRY A, BESLIN O. Vibration of stiffened plates using hierarchical trigonometric functions[J]. Journal of Sound and Vibration, 2000, 235(5): 727-747. DOI:10.1006/jsvi.2000.2978.

[13] XIN F X, LU T J. Analytical and experimental investigation on transmission loss of clamped double panels: Implication of boundary effects[J]. Journal of the Acoustical Society of America, 2009, 125(3): 1506-1517. DOI:10.1121/1.3075766.

[14] OU Dayi, MAK C M. Experimental validation of the sound transmission of rectangular baffled plates with general elastic boundary conditions[J]. Journal of the Acoustical Society of America, 2011, 129(6): L274-L279. DOI:10.1121/1.3591053.

(责任编辑: 陈志贤 英文审校: 方德平)