

仿生吸声降噪材料研究

李昕颖 李靖怡 李佳欣

交大附小 廊坊市第六小学 青岛耀中外籍子女学校

DOI:10.12238/ems.v4i8.6030

[摘要] 基于木材内部导管和纹孔等天然多孔构造,设计仿生木材复孔吸声结构,分析影响其吸声性能的结构因素,为开发仿生木材吸声材料奠定理论基础。结果发现:穿孔率、主孔直径和侧孔深度对3D打印仿生木材吸声结构的吸声性能均有较大影响。3D打印仿生木材吸声结构在低频300Hz和高频3500Hz具有良好的吸声性能,吸声频带宽度增加,与传统木质吸声材料既有相似之处也有明显差异。

[关键词] 木材; 仿生; 吸声; 3D打印

中图分类号: TB533 **文献标识码:** A

Research on Biomimetic Sound Absorption and Noise Reduction Materials

Xinying Li Jingyi Li Jiaxin Li

Primary Affiliated to Jiaotong University Langfang Sixth Primary School

Yew Chung International School of Qingdao

[Abstract] Based on natural porous structures such as internal conduits and pits in wood, a biomimetic wood composite pore sound-absorbing structure is designed, and the structural factors affecting its sound-absorbing performance are analyzed, laying a theoretical foundation for the development of biomimetic wood sound-absorbing materials. The results showed that the perforation rate, main hole diameter, and side hole depth have a significant impact on the sound absorption performance of 3D printed biomimetic wood sound absorption structures. The 3D printed biomimetic wood sound-absorbing structure has good sound-absorbing performance at low frequencies of 300 Hz and high frequencies of 3500Hz, with an increase in the width of the sound-absorbing frequency band. It has both similarities and significant differences with traditional wood sound-absorbing materials.

[Key words] wood; biomimetic; sound absorption; 3D printing

噪声是当今社会四大污染之一, 对人们身心健康造成很大危害, 随着社会生活节奏加快, 人们对噪声的容忍度越来越低, 对吸声材料的需求越来越高。本研究基于木材内部微观构造, 仿生设计一种有别于直孔的复孔吸声结构—仿生木材吸声结构, 利用3D打印技术制备传统方式难以加工的具备仿生木材结构的共振吸声材料, 并研究穿孔率、主孔直径和侧孔深度对其吸声性能的影响, 以期开发仿生木材吸声材料奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 仿生结构设计

木材是一种天然多孔材料, 具有良好的吸声性能, 相较于径切面和弦切面, 木材在横切面上吸声性能最佳, 因为横切面上分布着大量复杂的导管(阔叶材, 图1)和管胞(针叶材)。此外, 导管与木纤维、管胞、轴向薄壁细胞和射线薄壁细胞之间形成的大量纹孔(图2)对吸声性能的提高也起到重要作用。受木材内部导管和纹孔等天然结构的启发, 本研究设计了仿生木材复

孔吸声结构, 如图3所示。复孔吸声结构由主孔和侧孔2部分组成, 主孔仿生木材导管, 侧孔仿生木材导管壁纹孔。

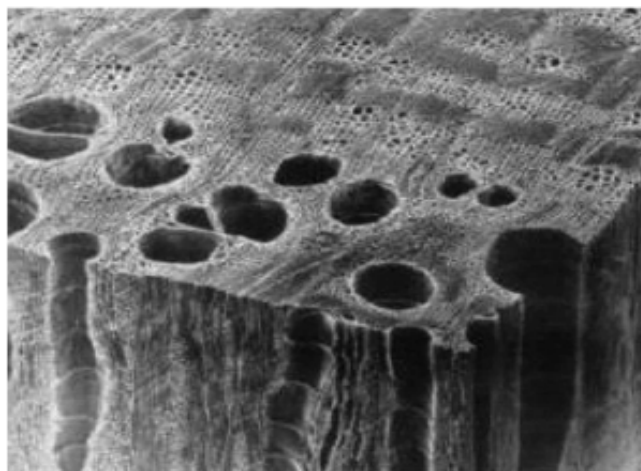


图1 阔叶材导管



图2 导管壁纹孔图

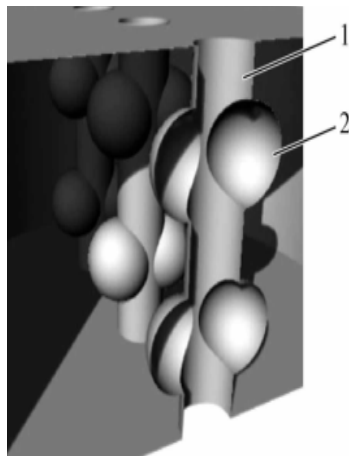


图3 仿生木材吸声结构设计

1.2 试件制备

应用Rhino3D三维软件建模,以ABS为原料,利用ZORTRAXM 2003D打印机打印试件。按照测试方法要求分为高频测试试件和低频测试试件2种,尺寸规格分别为:高频测试试件,直径30mm,板厚15mm,板后空腔50mm;低频测试试件,直径100mm,板厚15mm,板后空腔50mm。

1.3 试验方案

首先研究不同穿孔率和主孔直径对3D打印仿生木材吸声结构吸声性能的影响,确定最佳穿孔率和主孔直径;然后研究侧孔深度对3D打印仿生木材吸声结构吸声性能的影响。制备1组不开孔的试件作为对照组,每个试验重复3次,取平均值。所有试验均为单因素试验,因素及水平分别为:

(1)穿孔率(p):3.06%、4.05%、4.50%和5.76%。主孔直径3mm,侧孔直径(D)0mm(图4A)。(2)主孔直径(d):2mm、3mm和4mm。穿孔率3.06%,侧孔直径(D)0mm。(3)侧孔深度(h) (图4C):0mm、2mm和3mm。穿孔率3.06%主孔直径3mm,侧孔直径(D)4mm(图4B)。

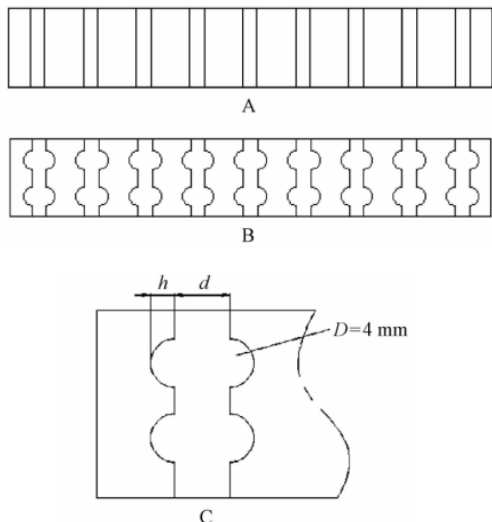


图4 3D打印仿生木材吸声结构

1.4 测试方法

1.4.1 测试系统

采用阻抗管测试系统对3D打印仿生木材吸声结构的吸声性能进行测试。高频采用小管试件,阻抗管SW477,直径30mm;中低频采用大管试件,阻抗管SW422,直径100mm。校准器CA111,功率放大器PA50,四通道声学分析仪MC3242,噪声振动测试软件VA-Lab。

1.4.2 测量方法

依据ISO10534-2:1998%GB/T18696.2—2002《声学阻抗管中吸声系数和声阻的测量第2部分:传递函数法》进行测量,频率范围80~6300Hz取1/3倍频程中心位置对应的吸声系数。

1.4.3 测试环境

气温20℃,相对湿度50%,大气压力101325Pa,大气密度1.2kg/m³声速343.237m/s,空气特征阻抗为412.568Pa/sm。

2 结果与分析

2.1 不同穿孔率对仿生木材吸声结构吸声性能的影响

如图5所示,穿孔率为3.06%的3D打印仿生木材吸声结构在中低频的共振频率为300Hz吸声系数峰值为0.78,吸声频带宽度为142Hz;在高频的共振频率为3440Hz吸声系数峰值为0.25。穿孔率为4.05%的3D打印仿生木材吸声结构在中低频的共振频率为340Hz,吸声系数峰值为0.75,吸声频带宽度为172Hz;在高频的共振频率为3450Hz,吸声系数峰值为0.35。穿孔率为4.50%的3D打印仿生木材吸声结构在中低频的共振频率为360Hz,吸声系数峰值为0.70,吸声频带宽度为191Hz;在高频的共振频率为3400Hz,吸声系数峰值为0.43。穿孔率为5.76%的3D打印仿生木材吸声结构在中低频的共振频率为410Hz,吸声系数峰值为0.65,吸声频带宽度为194Hz;在高频的共振频率为3300Hz,吸声系数峰值为0.54。

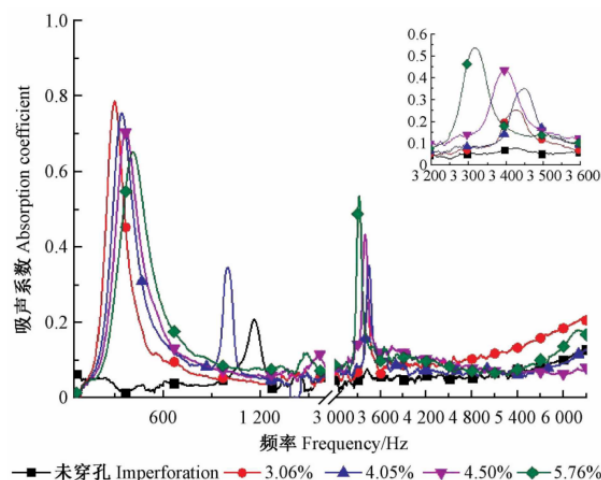


图5 不同穿孔率3D打印仿生木材吸声结构吸声系数

在中低频,随着穿孔率增大,3D打印仿生木材吸声结构的共振频率向高频方向移动,吸声频带变宽,吸声系数峰值降低。这是因为在中低频,随着穿孔率增大,板面穿孔面积增加,声阻减小,声波从空气腔进出穿孔板的损耗减少,因此,吸声频带变宽,吸声系数峰值变小,共振频率向高频方向移动,与Lin等、朱广勇等研究结论相符。此外,3D打印仿生木材吸声结构在高频吸声性

能也较好,而一般穿孔板在高频范围内不具有吸声性能,这可能是由于3D打印材料自身结构特点所致。3D打印材料与一般穿孔板材料不同,其内部并不是密实的,而是呈网格状,排布有大量规整的孔隙(图6),近似于闭孔型多孔吸声材料,高频声波使孔隙间空气质点振动速度加快,空气与孔壁的热交换加快,因此多孔材料在高频具有良好的吸声性能。3D打印仿生木材吸声材料内部多孔结构是影响高频吸声性能的主要因素,随着穿孔率增大,穿孔体积增加,板内多孔结构的孔隙率降低,共振频率向低频方向移动,吸声系数峰值升高,与Tang等、黄学辉等研究结论相符。



图6 3D打印材料内部结构

2.2不同主孔直径对仿生木材吸声结构吸声性能的影响

如图7所示,主孔直径为2mm的3D打印仿生木材吸声结构在中低频的共振频率为270Hz,吸声系数峰值为0.93,吸声频带宽度为151Hz;在高频的共振频率为3430Hz,吸声系数峰值为0.23。主孔直径为3mm的3D打印仿生木材吸声结构在中低频的共振频率为300Hz,吸声系数峰值为0.78,吸声频带宽度为142Hz;在高频的共振频率为3440Hz,吸声系数峰值为0.25。主孔直径为4mm的3D打印仿生木材吸声结构在中低频的共振频率为300Hz,吸声系数峰值为0.71,吸声频带宽度为140Hz;在高频的共振频率为3490Hz,吸声系数峰值为0.29。

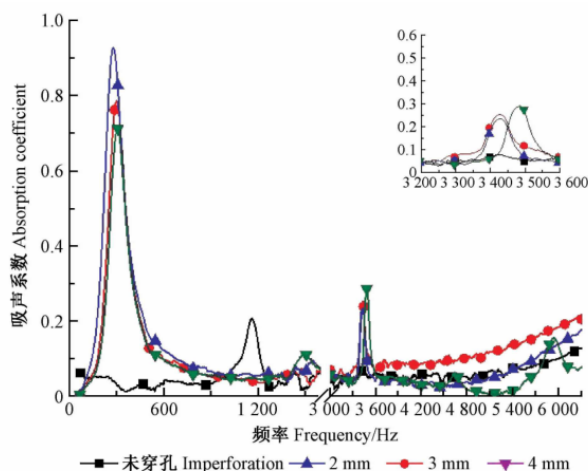


图7 不同主孔直径的3D打印仿生木材吸声结构吸声系数

在中低频,随着主孔直径增大,3D打印仿生木材吸声结构的共振频率基本不变,吸声频带宽度变窄,吸声系数峰值降低。这是因为随着主孔直径增大,穿孔板的声阻、声抗均减小,声波从空气腔进出穿孔板的损耗减少,因此吸声频带宽度变窄,吸声系数峰值变小,与Putra等、朱广勇等研究结论相符。在高频,随着主孔直径增大,共振频率略向高频方向移动,吸声系数基本不变。3D打印仿生木材吸声材料内部多孔结构是影响高频吸声性能的主要因素,随着主孔直径增大,声波能更顺畅地进入穿孔,高频声波使孔隙间空气质点振动加速,损耗增加,因此共振频率略向高频方向移动。

2.3不同侧孔深度对仿生木材吸声结构吸声性能的影响

如图8所示,侧孔深度为0mm的3D打印仿生木材吸声结构在中低频的共振频率为300Hz吸声系数峰值为0.78,吸声频带宽度为142Hz;在高频的共振频率为3440Hz吸声系数峰值为0.25。侧孔深度为2mm的3D打印仿生木材吸声结构在中低频的共振频率为330Hz,吸声系数峰值为0.75,吸声频带宽度为169Hz;在高频的共振频率为3500Hz,吸声系数峰值为0.35。侧孔深度为3mm的3D打印仿生木材吸声结构在中低频的共振频率为320Hz,吸声系数峰值为0.76,吸声频带宽度为161Hz;在高频的共振频率为3470Hz,吸声系数峰值为0.36。

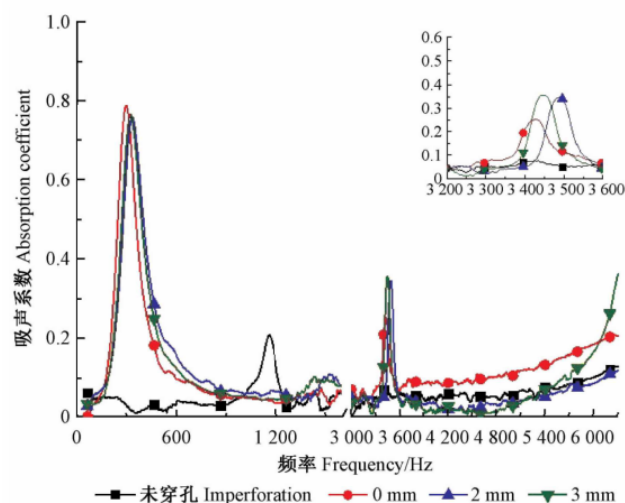


图8 不同侧孔深度的3D打印仿生

木材吸声结构吸声系数在中低频,侧孔深度小于3mm时,随着侧孔深度增加,3D打印仿生木材吸声结构的共振频率向高频方向移动,吸声频带宽度变宽,吸声系数峰值变化不明显,侧孔深度大于3mm时,共振频率向低频方向移动,吸声系数峰值基本不变,与范钱旺等、何立燕等研究结论相符。随着侧孔深度增加,共振腔体积增大,共振频率先增大,达到一定值后又减小。在高频,侧孔深度小于3mm时,随着侧孔深度增加,共振频率向高频方向移动,吸声系数峰值升高,侧孔深度大于3mm时,共振频率向低频方向移动,吸声系数峰值略升高。高频共振规律与中低频一致,吸声系数峰值规律与之相反,可能是由于侧孔深度增加,高频声波在板内与孔壁摩擦增大,声能消耗提高,因此高频吸声系数提高。

3 结论

穿孔率对仿生木材吸声结构的吸声性能有一定影响。主孔直径对仿生木材吸声结构的吸声性能有较大影响。侧孔深度对仿生木材吸声结构的共振频率产生影响。在一定范围内,随着侧孔深度增加,仿生木材吸声结构的共振频率先增大后减小,吸声系数变化不明显。仿生木材吸声结构具有2个显著的共振频率,分别为300Hz和3500Hz与一般穿孔板有明显差异。

[参考文献]

[1]贾世芳,刘静怡,林贤铤,等.仿生木材结构穿孔纤维板吸声性能[J].林业工程学报,2021,6(01):38-43.

[2]董明锐,孙伟圣,薛倩雯,等.3D打印仿生木材吸声结构的吸声性能[J].林业科学,2018,54(06):119-124.

[3]王永华,张成春,王晶,等.仿生多孔材料吸声性能[J].吉林大学学报(工学版),2012,42(06):1442-1447.