

引用格式: 王军强. 绿色建筑双叶结构轻质墙体隔声性能的试验研究[J]. 声学技术, 2021, 40(5): 657-662. [WANG Junqiang. Experimental study on sound insulation performance of light-weight wall with double leaf structure in green building[J]. Technical Acoustics, 2021, 40(5): 657-662.] DOI: 10.16300/j.cnki.1000-3630.2021.05.011

# 绿色建筑双叶结构轻质墙体隔声性能的试验研究

王军强

(江苏建筑职业技术学院, 江苏徐州 221116)

**摘要:** 营造健康舒适的室内环境, 对室内声舒适性有明确的要求。空气传声途径的隔声是反映建筑物声学质量最重要的物理量, 控制建筑室内噪声水平已经成为室内环境设计的重要工作。本文研究了轻质墙体的隔声性能, 重点分析了墙体中龙骨的类型、龙骨间距、空腔填充材料类型、填充材料厚度、面板层数和质量等对轻质结构墙体隔声性能的影响。测试结果表明, 扩大独立面板尺寸, 增大龙骨间距, 墙体空腔填充岩棉或玻璃棉, 增大面板层数或提高面板质量, 避免结构性连接, 对于优化改善双叶结构轻质墙体的隔声性能有积极效果。

**关键词:** 空气声; 结构路径传输; 质量-空气-质量; 计权隔声量; 轻质隔墙

中图分类号: TU241

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2021)-05-0657-06

## Experimental study on sound insulation performance of light-weight wall with double leaf structure in green building

WANG Junqiang

(Jiangsu Institute of Architectural Technology, Xuzhou 221116, Jiangsu, China)

**Abstract:** To create a healthy and comfortable indoor environment, there are clear requirements for indoor acoustic comfort. The sound insulation of air-borne acoustic pathway is the most important physical quantity reflecting the acoustic quality of buildings. Controlling the indoor noise level of buildings has become an important work of indoor environment design. In this paper, the sound insulation performance of light-weight wall is studied, and the effects of stud types, stud spacing, cavity filling material types, filling material thickness, number of panel layers and panel quality on the sound insulation performance of light-weight structure wall are analyzed. The test results show that expanding independent panel size, increasing the stud spacing, filling wall cavity with rock wool or glass wool, increasing the number of panel layers, improving panel quality and avoiding structural connection has a positive effect on optimizing the sound insulation performance of the light wall with double-leaf structure.

**Key words:** air-borne sound; structure borne path; mass-air-mass; weighted sound reduction index; light-weight partition wall

## 0 引言

据住房和城乡建设部标准定额司的统计结果, 2019 年全国新开工装配式建筑 4.2 亿平方米, 占新建建筑面积的比例约 13.4%。随着建筑工业化进程的推进和建筑企业的转型升级, 装配式建筑的占比逐渐增大, 大量轻质条板、板墙、轻质干法施工类墙体被大量使用。墙体作为建筑结构竖向构件, 是建筑体系重要的组成部分, 如结构墙体起承载作用, 隔墙、围护墙、分户墙、填充墙起空间分隔作

用等。工程施工人员对于建筑墙体的结构功能、建筑功能、装饰功能等通常比较熟悉, 而对于墙体的隔声指标以及隔声要求就比较陌生。人们经常抱怨住宅、酒店等的隔声效果不好, 噪声扰民问题日益突出。反映建筑物中建筑声学质量的量包括: 墙体的空气声隔声、楼板的撞击声隔声、房间的混响时间以及噪声源引起的噪声级等。

绿色建筑倡导营造健康舒适的室内环境, 对室内声舒适性有明确要求<sup>[1-2]</sup>。空气传播的隔声是反映建筑物声学质量最重要的物理量, 控制建筑室内噪声水平已经成为室内环境设计的重要工作<sup>[3-5]</sup>。国内外研究者针对墙体隔声进行了大量的试验研究和理论分析, 如 Ivanova 利用玻璃泡沫颗粒和硅酸盐水泥、沸石等材料, 研究新型复合墙体结构的隔声性能<sup>[6]</sup>; Novak 采用试验研究和声强度法对比研究了双层石膏板墙体的隔声性能, 考虑了螺柱、面

收稿日期: 2020-05-25; 修回日期: 2020-07-27

基金项目: 江苏省高等学校自然科学研究重大项目(17KJA560002)、江苏省优秀科技创新团队项目(KC18135)。

作者简介: 王军强(1973—), 男, 陕西渭南人, 教授, 研究员级高工, 研究方向为绿色建筑保温隔声技术。

通信作者: 王军强, E-mail: 1249166850@qq.com

板、空腔以及紧固件等参数对墙体隔声性能的影响,理论分析和试验结果在低频段吻合度较好,但在较高频段,存在较大偏差<sup>[7]</sup>。文献[8-9]中研究了双层面板轻质墙体的隔声性能, Davy 结合实验数据<sup>[10]</sup>,修正了单叶墙体的隔声量预测公式,但在低频时的一致性较差,并且与临界频率和临界频率以上区域使用的阻尼损耗因子的值有关。有关多层墙体中龙骨间距、面层层数、龙骨刚度等对墙体隔声的影响还有待进一步的研究。

随着装配式建筑占比的逐年提升,越来越多的干法组装施工的轻质墙体作为填充、分隔墙体被使用。因而,研究轻质带空腔的多层墙体的隔声性能,对于轻质墙体的推广与应用,保证墙体声学性能质量,提供声舒适的居住生活环境有重要意义。

## 1 双叶结构轻质墙体隔声试验

### 1.1 试验方案

双叶墙板与单叶墙板在结构构造组成、传声途径和传声机理等方面明显存在不同。双叶墙体由两侧墙板、龙骨和中间空腔组成;而单叶墙体是由龙骨和一侧的墙板组成。龙骨可以采用轻钢龙骨、木龙骨等,墙板可以采用石膏板、水泥板、定向结构刨花板(Oriented Standard Board, OSB)、装饰板等。双叶墙板的复杂性包括材料的多元性、边界连接(墙板、龙骨与周边构件的连接方式等)、机械连接(如龙骨与墙板之间是否存在结构连接)、紧固件连接(如射钉或螺钉固定等)、空腔与填充体材料等。为了更好地预测双叶结构轻质墙板的隔声性能,通过试验手段分析双叶墙板的隔声性能是非常重要的。

双叶结构轻质墙体主要由龙骨和安装在龙骨两侧的多层墙板组成空间结构单元,中间为空腔,可填充纤维类吸声材料。双叶结构轻质墙体的结构构造方法如图 1 所示。在隔声分析中,双叶结构轻质墙板可以简化为两个平行板,两个平行板之间由空腔  $d$  隔开,空腔  $d$  中填充纤维类吸声材料。声在双叶结构轻质墙体的传播如图 2 所示,图中  $P_i$ 、 $P_r$ 、 $P_t$ 、 $P_{2b}$  表示入射、反射、透射声压和桥接声压。声音传输部分通过腔体,部分通过墙板间的机械连接,即所谓的声桥传播。两块板的重要参数包括其单位面积质量  $m_1$  和  $m_2$ 、临界频率  $f_{c1}$  和  $f_{c2}$  以及两块板的隔声量  $R_1$  和  $R_2$ 。

双叶结构轻质墙体隔声试验考虑的因素包括:墙体主龙骨(钢龙骨、木龙骨)、墙体次龙骨或弹性条、墙体空腔大小、墙体空腔体填充材料(岩棉、玻

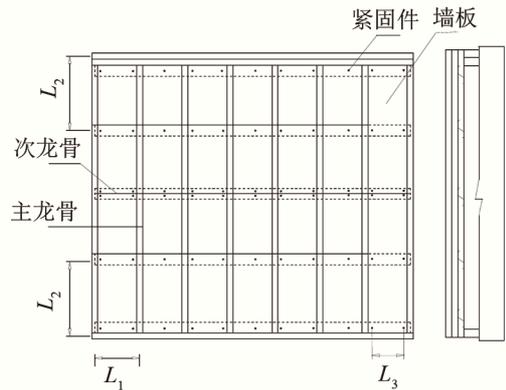


图 1 墙板结构构造方法示意图  
Fig.1 Schematic diagram of construction method of wallboard structure

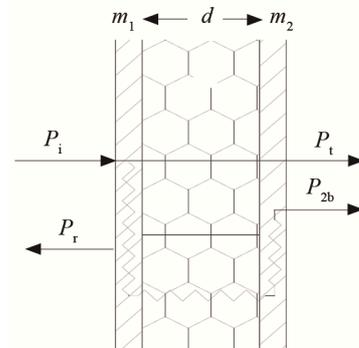


图 2 双叶墙板中声音传播示意图  
Fig.2 Schematic diagram of sound propagation in double leaf wallboard

璃棉)、墙体面板(类型、层数、厚度、质量)等。在试验方案中主龙骨间距 400 mm,次龙骨间距 400~1 600 mm;墙体面板材料选用了轻质墙体常用的石膏板、定向结构刨花板 OSB 等板材;空腔体内填充材料为岩棉、玻璃棉两种,厚度为 60~90 mm,具体试验方案见表 1。

### 1.2 试验材料与试验方法

根据试验方案设计,表 1 中的双侧石膏板,未注明的,其中一层为普通石膏板,一层为防火石膏板。试验中主要材料包括龙骨、墙板、填充材料等,其材料类型、规格、厚度、密度及单位面积质量等见表 2~表 3。

双叶结构轻质墙体的隔声量测量按照 GB/T 19889.3—2005《声学 建筑和建筑构件隔声测量第 3 部分:建筑构件空气声隔声的实验室测量》<sup>[11]</sup>和 BS EN ISO 10140-2:2010 等标准<sup>[12-14]</sup>,使用两个声源位置和旋转麦克风测量隔音效果,传声器位置与界面的距离为 1.5 m。最后根据 1/3 倍频程中心频率在 100 Hz~5 000 kHz 频段范围,计算计权隔声量  $R_w$ 。洞口尺寸为 3 m×2.1 m,考虑到双层轻质板隔

表 1 轻质墙体试验方案  
Table 1 Test plan of light-weight wall

序号	试验编号	墙体结构构造	隔声量/dB
LPW1	SSW-GW90-GP11	1 层 12mm 石膏板+100mm 龙骨+90mm 玻璃棉+1 层 12mm 石膏板	45.0
LPW2	SSW-GW90-GP12	1 层 12mm 石膏板+100mm 龙骨+90mm 玻璃棉+2 层 12mm 石膏板	51.0
LPW3	SSW-AR90-GP22	2 层石膏板+100mm 龙骨+90mm 空腔+2 层石膏板	51.8
LPW4	SSW-GW90-GP22	2 层 12mm 石膏板+100mm 龙骨+90mm 玻璃棉+2 层 12mm 石膏板	57.1
LPW5	SSW-RW90-OB22	(15mm 石膏板+12mmOSB 板)+100mm 龙骨+90mm 岩棉+2 层 15mm 石膏板	58.0
LPW6	SSW-RW60-OB22	(15mm 石膏板+12mmOSB 板)+100mm 龙骨+60mm 岩棉+2 层 15mm 石膏板	54.4
LPW7	SSW-GW90-GP22-RS400	(15mm 石膏板+12mmOSB 板)+100mm 龙骨+90mm 玻璃棉+2 层 15mm 石膏板	53.0
LPW8	SSW-GW90-GP22-RS800	(15mm 石膏板+12mmOSB 板)+100mm 龙骨+90mm 玻璃棉+2 层 15mm 石膏板	54.5
LPW9	SSW-GW90-GP22-RS1600	(15mm 石膏板+12mmOSB 板)+100mm 龙骨+90mm 玻璃棉+2 层 15mm 石膏板	56.2
LPW10	WSW-RW90-GB22	2 层 12mm 石膏板+90mm 木龙骨+9mm0 岩棉+2 层 12mm 石膏板	56.7
LPW11	SSW-RW90-GB22	2 层 12mm 石膏板+100mm 龙骨+90mm 岩棉+2 层 12mm 石膏板	57.1
LPW12	SSW-GW60-OB22	(15mm 石膏板+12mmOSB 板)+100mm 龙骨+60mm 玻璃棉+2 层 15mm 石膏板	55.6
LPW13	SSW-RW60-OB22	(15mm 石膏板+12mmOSB 板)+100mm 龙骨+60mm 岩棉+2 层 15mm 石膏板	54.0
LPW14	SSW-GW90-GP11	1 层 15mm 石膏板+100mm 龙骨+90mm 玻璃棉+1 层 15mm 石膏板	47.0
LPW15	SSW-GW90-GP12	1 层 15mm 石膏板+100mm 龙骨+90mm 玻璃棉+2 层 15mm 石膏板	51.2
LPW16	SSW-GW90-GP22	2 层 15mm 石膏板+100mm 龙骨+90mm 玻璃棉+2 层 15mm 石膏板	55.3

表 2 龙骨及墙体组件类型和材料性能

Table 2 Types and material properties of stud and wall components

龙骨类型	截面尺寸/mm <sup>2</sup>	厚度/mm	单位长度质量/(kg·m <sup>-1</sup> )
轻钢龙骨	50×100	0.87	1.25
轻钢龙骨	40×100	0.7	1.05
轻钢龙骨	40×100	0.6	0.83
木龙骨	40×90	-	1.33
次龙骨	60×13	0.45	0.25

表 3 墙板类型与材料性能

Table 3 Types and material properties of wallboard

墙板类型	厚度/mm	密度/(kg·m <sup>-3</sup> )	单位面积质量/(kg·m <sup>-2</sup> )
石膏板	12	591.5	7.51
防火石膏板	12	721.3	9.16
防火石膏板	15.9	721.3	11.47
OSB 板	11	591.6	6.51
OSB 板	12-13	591.6	7.16
胶合板	12-13	471.7	5.66

表 4 墙体空腔内填充材料的性能

Table 4 Performance of filling material in wall cavity

填充材料类型	厚度/mm	密度/(kg·m <sup>-3</sup> )	单位面积质量/(kg·m <sup>-2</sup> )	气流阻力/(Pa·s·m <sup>-2</sup> )
玻璃棉	60	10.4	0.62	3 600
玻璃棉	90	10.5	0.95	4 800
岩棉	60	31.3	1.88	11 400
岩棉	90	52.5	4.73	12 700

墙的隔声量会受到测试洞口内安装条件的影响，测

试洞口的深度、隔墙试件与测试洞口的周边连接与安装，尽量消除结构连接造成的结构传声以及缝隙空隙等引起的测试损失和偏差。

## 2 结果与分析

### 2.1 龙骨对墙体隔声的影响

#### 2.1.1 龙骨间距影响

试验中，为了分析龙骨间距对墙体隔声的影响，采用轻钢龙骨轻质墙体为研究对象，墙体中主龙骨间距、腔体深度和填充材料以及墙板层数厚度保持一致，研究次龙骨间距从 400、800 mm 增加到 1 600 mm 时，龙骨间距变化对墙体隔声的影响，分别对应表 1 中墙体编号 LPW7、LPW8、LPW9，试验结果如图 3 所示。从计权隔声量的综合测试结果来看，次龙骨的间距从 400、800 mm 增加到 1 600 mm 时，其隔声量分别提高了 1.5、3.2 dB。次龙骨通常用于隔离主龙骨和墙板的结构连接，增加次龙骨之间的间隔距离，增大了独立面板的面积，有利于减少了结构声传输，并且传输损耗增加，在频率 125~1 000 Hz 的范围，改善效果比较明显，而在较高频段，改善效果变弱，这与结构传输路径不再是最重要的声传播路径有关。

#### 2.1.2 龙骨种类对墙体隔声的影响

试验中对比分析了轻钢龙骨、木龙骨两种主要龙骨类型，对双叶结构轻质墙体结构隔声的影响。

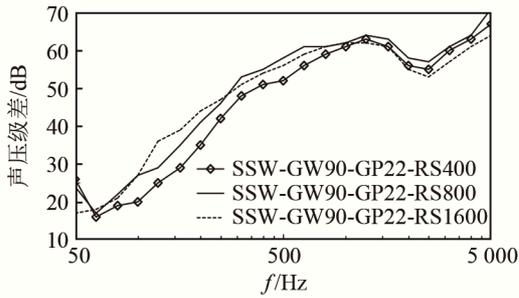


图3 次龙骨间距对墙体隔声量的影响  
Fig.3 Effect of secondary stud spacing on wall sound insulation

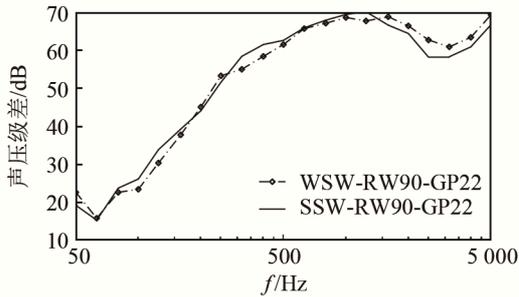


图4 木龙骨和轻钢龙骨对墙体隔声量的影响  
Fig.4 Effect of wood stud and light steel stud on wall sound insulation

墙体编号对应表 1 中的 LPW10、LPW11, 试验结果如图 4 所示。根据墙体的计权隔声量单值评价指标看, 编号 LPW11 的钢龙骨与编号 LPW10 的木龙骨双叶结构轻质墙体, 其隔声量非常相近, 在 50~125 Hz 以及 2 000~3 150 Hz 频段范围, 钢龙骨的隔声量相对较好, 而在 125~2 000 Hz 频段范围, 木龙骨的隔声量稍好, 两种墙体的计权隔声量非常接近, 相差仅 0.4 dB 左右。因而, 试验中选用的钢龙骨完全可以代替木龙骨作为轻质墙体的主龙骨, 对于绿色施工有积极意义。

## 2.2 空腔和腔体填充对墙体隔声的影响

试验中, 对比分析了空腔内无填充与填充了玻璃棉的墙体的隔声效果。腔体内无填充, 墙体空腔为空气层, 对应试验编号为表 1 中的 LPW3, 墙体空腔内完全填充玻璃棉的对应试验编号为 LPW4, 两种墙体的隔声测试结果如图 5 所示。编号 LPW3、LPW4 的墙体计权隔声量分别为 51.8、57.1 dB, 全填充玻璃棉的双叶轻质墙体结构比带空腔的双叶墙体结构隔声量提高了约 5.3 dB, 改善隔声量的效果比较显著。从图 5 中可以看出, 填充玻璃棉的墙体, 其在低频范围的隔声改善效果不是很明显, 当频率在 100 Hz 以上时, 其隔声改善效果就比较突出。墙体空腔中填充玻璃棉或者岩棉, 会增加声传播在空腔中的衰减量, 空腔深度与填充材料的多少

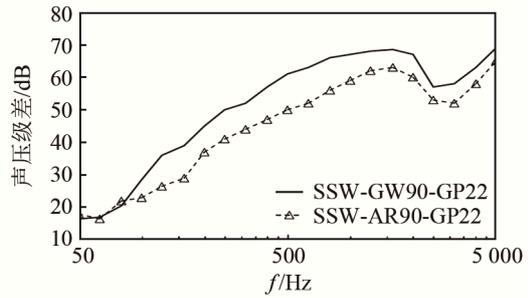


图5 填充玻璃棉对墙体隔声量的影响  
Fig.5 Effect of glass wool on wall sound insulation

对于声衰减有积极效果。空气声隔声的改善是一个多变量的复杂函数, 多个变量相互关联, 还有待进一步研究分析多因素条件下墙体隔声。

对于填充材料种类, 填充厚度均为 60 mm, 比较了岩棉和玻璃棉作为填充材料的墙体隔声性能, 对应表 1 中的编号 LPW12、LPW13, 其隔声测试结果如图 6 所示, 编号 LPW12、LPW13 计权隔声量分别为 55.6 和 54.0 dB, 填充玻璃棉的隔声量比填充岩棉的提高了 1.6 dB。在 125~1 000 Hz 频谱范围, 空腔内部分填充玻璃棉的墙体隔声效果要比填充岩棉稍好, 而在低频和高频的范围, 岩棉的隔声量比玻璃棉好, 总体的单值指标, 填充玻璃棉的墙体隔声量比填充岩棉的墙体隔声量高 1.1~1.6 dB。填充材料的性能参数对墙体隔声的影响, 特别是材料的密度、气流阻力等对隔声的影响, 还有待进一步的研究和分析。

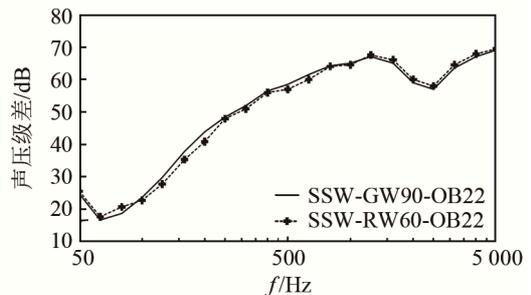


图6 填充材料对轻钢龙骨墙体隔声量的影响  
Fig.6 Effect of filling materials on sound insulation of light steel stud wall

试验中, 进一步对比了空腔内填充 90 mm 玻璃棉和 60 mm 岩棉的墙体, 对应表 1 中的编号 LPW5、LPW6, 其墙体隔声测试结果如图 7 所示, 墙体计权隔声量分别为 58.0、54.4 dB, 空腔内全填充的墙体 LPW5 比部分填充的墙体 LPW6 计权隔声量提高了 3.6 dB。填充厚度增大, 声在墙体系统中的传输损耗增大, 隔声性能得到优化与改善。不过在设计与施工中需要注意的是填充材料在空腔体内自由悬挂, 避免填充材料与龙骨或面板刚接。如

果发生粘结或者刚性接触, 全部填充的隔声效果就大大消减, 不利于空气声的改善与优化。对于墙板的空腔全填充的情况, 墙板表面和由弹性通道连接的石膏板之间留有小的空气间隙, 这个对隔声有重要作用。

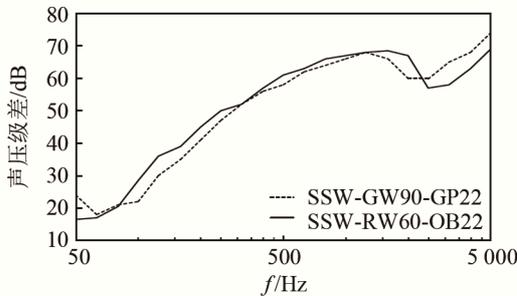


图 7 填充材料厚度变化对墙体隔声量的影响

Fig.7 Effect of thickness change of filling material on wall sound insulation

### 2.3 面板层数和质量对墙体隔声的影响

对于墙体中面板的层数和质量对双叶结构轻质墙体隔声的影响, 分析了面板由 2 层、3 层增加到 4 层, 对应表 1 中的编号 LPW14、LPW15、LPW16, 相应的计权隔声量分别为 47.0、51.2、55.3 dB, 其隔声测试结果如图 8 所示。由于墙板质量的增加会降低进入空腔中的能量传输, 因此墙板的面质量密度是比较重要的参数。根据质量定律, 当质量加倍时, 单片墙板在所有频率下的传输损耗都增加了 6 dB。因此, 将腔体两侧墙板的质量加倍, 预期可以提高 12 dB 的隔声量。试验中的墙体隔声测试, 通过添加石膏板层数来增加墙体的质量。试验中, 墙体的层数分别由 2 层增加到 3 层、4 层, 其隔声量分别提高了 4.2 dB 和 8.3 dB, 测试结果比质量定律所预测的值要小。

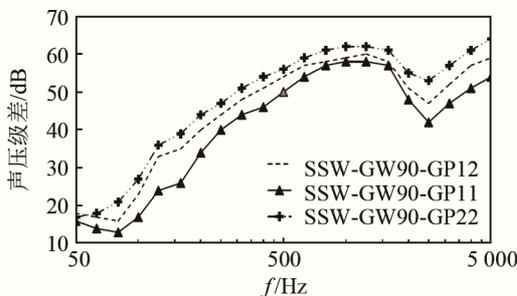


图 8 面板层数和质量对墙体隔声的影响

Fig.8 Effect of number of layers and panel quality on wall sound insulation

质量定律理论假定墙一侧的多层墙板作为整体构件单元, 而实际上, 墙体面板的层与层之间并没有粘合在一起, 起不到整体的结构作用, 墙板连接到龙骨上, 但层与层之间存在独立移动。基于阻

抗的理论研究表明, 在较小的空气间隔( $<1\text{ mm}$ )时, 如果墙一侧的层数增加一倍, 则隔声改善量将接近 5 dB; 如果墙两侧的层数增加一倍, 则隔声改善量改善将接近 10 dB。这些层与层之间的不同步工作, 阻止层的类似一个整体结构元件, 因此试验中测试值比质量定律的预测值要小一些。双叶墙体由两侧墙板、龙骨和中间空腔体组成, 其隔声量及传声损失计算较均质单层墙体要复杂。双叶墙体的面板组成、面板质量、空腔深度、空腔填充材料的性能、龙骨与面板的连接形式等都会对空气传声带来影响。两侧面板的固有频率、空腔体的固有频率、系统的共振频率以及声桥的桥接频率等, 双叶墙板的隔声量的预测还需要进一步的理论分析和试验研究。

### 3 结论

通过上述实验分析, 得到如下结论:

- (1) 试验研究了双叶结构轻质墙体的隔声性能, 探讨了龙骨种类、龙骨间距、空腔填充材料类型、厚度, 以及面板层数和质量对墙体隔声性能的影响。
- (2) 增加龙骨间距, 墙体的计权隔声量提高了大约 1.5~3.2 dB, 增大墙体独立空格面板尺寸时, 对于隔声有积极意义。
- (3) 墙体的层数由 2 层增加到 3 层、4 层时, 其隔声量分别提高了 4.2 dB 和 8.3 dB, 试验结果比质量定律所预测的隔声量小 1.8~3.7 dB。
- (4) 墙体空腔内填充玻璃棉、岩棉等纤维吸声材料, 能有效提高墙体隔声量约 3~6 dB, 填充玻璃棉比填充岩棉效果好, 全部填充优于部分填充, 部分填充优于非填充的情况。
- (5) 双叶结构轻质墙体的隔声设计, 要充分利用材料, 在结构安全和使用功能满足的前提下, 扩大独立面板尺寸, 增大龙骨间距, 空腔填充材料, 增大面层质量, 避免结构性连接, 优化质量-空气-质量体系的传输损耗, 对于改善优化双叶结构轻质墙体的隔声效果有重要意义。

### 参 考 文 献

- [1] RINDEL J H . Acoustical comfort as a design criterion for dwellings in the future[C]//Conference of the New Zealand Acoustical Society, 2002.
- [2] RASMUSSEN B, RINDEL J H. Sound insulation between dwellings-Descriptors applied in building regulations in Europe[J]. Applied Acoustics, 2010, 71(3): 171-180.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 民用建筑隔声设计规范: GB

- 50118—2010[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
- [4] 中华人民共和国建设部、中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 住宅性能评定技术标准: GB/T 50362—2005[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
- [5] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 民用建筑绿色设计规范: JGJ/T 229—2010[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
- [6] IVANOVA Y, PARTALIN T, LAKOV L, et al. Airborne sound insulation of new composite wall structures[J]. MATEC Web of Conferences, 2018, **145**: 05013.
- [7] NOVAK R A. Sound insulation of lightweight double walls[J]. Applied Acoustics, 1992, **37**(4): 281-303.
- [8] HONGISTO V, LINDGREN M, HELENIUS R. Sound insulation of double walls - an experimental parametric study[J]. Acta Acustica United With Acustica, 2002, **88**(6): 904-923.
- [9] CRAIK R J M, SMITH R S. Sound transmission through double leaf lightweight partitions part I: airborne sound[J]. Applied Acoustics, 2000, **61**(2): 223-245.
- [10] DAVY J L. Predicting the sound insulation of single leaf walls: extension of Cremer's model[J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 2009, **126**(4): 1871-1877.
- [11] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 声学 建筑和建筑构件隔声测量 第3部分: 建筑构件空气声隔声的实验室测量: GB/T 19889.3—2005[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [12] Acoustics-Laboratory measurement of sound insulation of building elements Part 2: Measurement of airborne sound insulation: BS EN ISO 10140-2:2010[S]. International organization for standardization, 2010.
- [13] Standard test method for laboratory measurement of airborne sound transmission loss of building partitions: ASTM E-90-90[S]. The American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA, 1990.
- [14] Acoustics-Rating of sound insulation of building elements -Part 1: Airborne sound insulation: ISO 717-1(E)[S]. International Organization for Standardization, 2013.