

# 玻璃纤维织物/PVC 基复合材料的层合结构隔声性能

潘 涵,姚跃飞,刘 慧,查道鑫,曹贤君  
(浙江理工大学先进纺织材料与制备技术教育部重点实验室,杭州 310018)

**摘 要:**以硫酸钡粉末填充的 PVC 基复合材料为基体材料,选用两种玻璃纤维织物(EW100 和 EW200)作为增强材料,制备不同层合结构的玻璃纤维织物/PVC 基复合材料,利用双通道声学分析仪、DMA 等仪器对样品进行隔声性能、阻尼性能等测试分析。结果表明:不同层合结构的玻璃纤维织物/PVC 基复合材料隔声性能的差异体现在低频区及高频区;玻纤织物的加入使复合材料的阻尼性能、隔声性能以及拉伸载荷都有所提高,但是伸长却大大降低;以 EW200 与 PVC 基材制备的层合结构具有较好的隔声等性能。

**关键词:**隔声性能;玻璃纤维织物;聚氯乙烯

**中图分类号:** TB34      **文献标识码:** A

## 0 引 言

玻璃纤维织物的隔声性能主要是由声波入射到纤维表面上的反射隔声作用,以及声波进入织物内部引起纤维振动,纤维壁与纤维间隙间滞留空气的摩擦将声能转化为热能的耗能吸声作用组成的<sup>[1]</sup>。由于玻璃纤维织物具有较大的透气性,单独作为隔声材料的效果并不显著,因此常用来作为增强材料来提高复合材料的性能,尤其是利用 PVC 基复合材料本身的高阻尼性<sup>[2]</sup>制备的玻璃纤维织物/PVC 基复合材料,具有良好的隔声性能<sup>[3-5]</sup>。为了进一步研究玻璃纤维织物的种类及层数对复合材料隔声性能的影响,本文选用 EW100 和 EW200 两种不同型号的玻璃纤维织物作为增强材料,与 PVC 基复合材料制成不同层合结构的隔声复合材料,研究它们隔声性能的差异。

## 1 实验部分

### 1.1 原材料

聚氯乙烯树脂(PVC,杭州电化集团有限公司,SG-5 型);邻苯二甲酸二辛酯(DOP,杭州金生塑化有限公司);环氧大豆油(ESO,浙江桐乡市嘉澳化工有

限公司);氯化石蜡(CP-52,玉明化工有限公司);氯化聚乙烯(CPE,杭州科利化工有限公司,135A 型);硫酸钡(BaSO<sub>4</sub>,300 目,富阳市奈比特矿粉有限公司);PE 蜡(临安华立塑胶有限公司);玻璃纤维织物(杭州玻璃集团有限公司,EW100:经密 208 根/10 cm,纬密 200 根/10 cm,单丝根数 200,厚度 0.124 mm,面密度 97.6 g·m<sup>-2</sup>,透气量 428.1 L·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>;EW200:经密 180 根/10 cm,纬密 124 根/10 cm,单丝根数 400,面密度 195.2 g·m<sup>-2</sup>,厚度 0.230 mm,透气量 237.1 L·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>)。

### 1.2 试样制备

按照表 1 中配方,将各种原料按 PVC 的质量为基准进行配比,通过高速混合机混合均匀,再通过开炼机开炼成塑化的片材,然后平铺在模具里通过平板硫化机压制成型,冷却后制得 PVC 基复合材料。

表 1 PVC 基复合材料配方

原料	PVC	DOP	CP-52	CPE	ESO	PE 蜡	BaSO <sub>4</sub>
质量/份	100	40	20	8	7	0.8	460

根据图 1 所示的各试样结构,将一定层数的基体材料与玻璃纤维织物交替排列,平铺到模具中,通过硫化机压制成型。

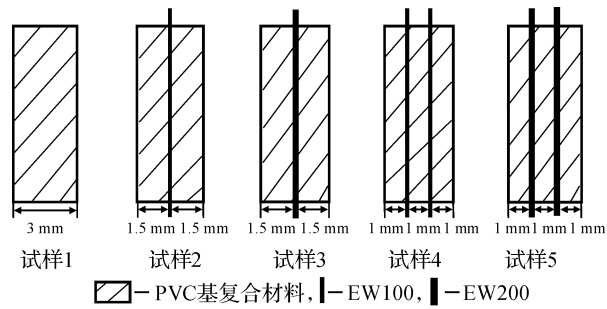


图1 各试样层合结构

1.3 隔声性能测试

用BSWA VS302USB双通道声学分析仪(北京声望声电技术有限公司)对各试样进行隔声性能测试,用Spectra LAB软件进行数据分析。声望VS302USB系统、无指向性声源和BSWA-100型功率放大器等按照图2连接。参照ISOR140-1, ISOR140-170建筑及建筑构件的隔声测量标准进行测量。静音箱体积为1 000 mm×1 000 mm×1 000 mm。测试样品的面积为250 mm×250 mm。选择A计权网络,90 dB声压级的粉红背景噪声源。

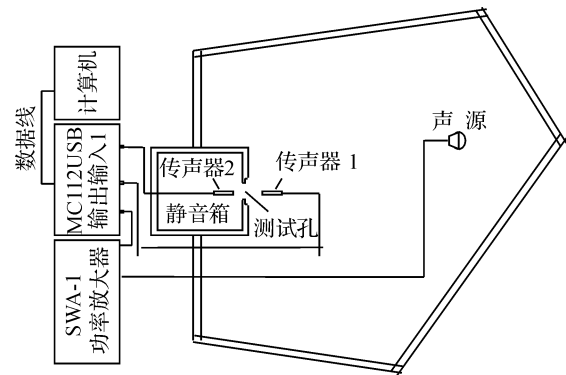


图2 隔声测试系统

首先测试没有试样时噪声的自由衰减量及原始声压级降,再测试固定试样后的声音衰减量(总衰减量)及总声压级降。试样对声音的实际衰减量即为总衰减量减去自由衰减量,实际声压级降为总声压级降减去原始声压级降。最后用Spectra LAB软件分析测试数据,处理得到试样在不同频率下的一系列衰减量,并取其平均值。

1.4 动态力学性能测试

用DMA Q800动态热机械分析仪(美国TA公司)测试试样的动态力学性能。振动频率为1 Hz,升温速率为5℃/min,温度范围为-40~100℃。

1.5 拉伸性能测试

用万能强力仪(日本岛津公司)测试试样的拉伸性能,测试条件在标准大气条件下,温度为(20±

2)℃,相对湿度为(65±2)%。试样沿纵轴方向被施加拉伸载荷而破坏。拉伸速度为50 mm/min,夹距为170 mm。

2 实验结果及分析

各种层合结构的玻璃纤维织物/PVC基复合材料的相关参数见表2。

表2 各试样的相关参数

试样编号	层合结构	厚度/ mm	面密度/ (kg·m <sup>-2</sup> )
1	PVC	3.00	7.68
2	PVC+EW100+PVC	3.00	7.68
3	PVC+EW200+PVC	3.02	7.74
4	PVC+EW100+PVC+EW100+PVC	3.06	7.84
5	PVC+EW200+PVC+EW200+PVC	3.12	7.98

从表2中可以看出,五种试样的面密度相近,接下来将对试样的阻尼、隔声及拉伸性能进行测试分析。

2.1 阻尼性能

阻尼是耗损振动能量的能力,表征材料阻尼性能的是损耗因子tanδ(又称阻尼因数),它的大小与材料固有振动在单位时间内转变为热能而散失掉的振动能成正比<sup>[6]</sup>。损耗因子值越大说明材料在承受周期应变时能够以热量方式耗损机械能的能力越强<sup>[7]</sup>,材料阻尼性能越好。阻尼材料的性能主要受温度和频率影响,具有良好阻尼性能的材料,其损耗因子tanδ峰值较大,并且在使用温度和频率范围内tanδ值较大。

从图3中可以看出,玻璃纤维织物的加入使材料相对于单层PVC基复合材料的损耗因子tanδ曲线的峰值升高。说明在常温以上范围内材料的阻尼

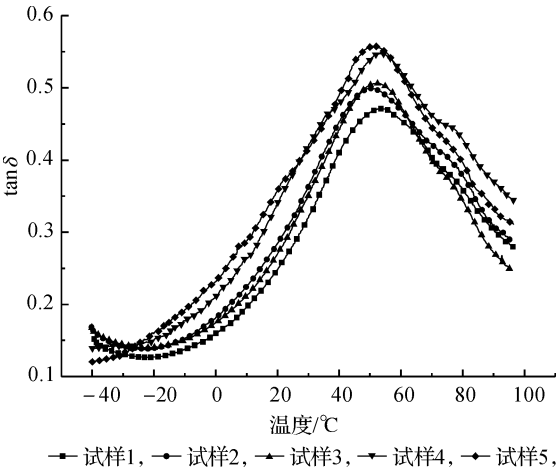


图3 不同试样阻尼性能对比

性能有所提高<sup>[8]</sup>,并且随着层数的增加,阻尼性能也有所提高。当层数相同时,玻纤织物种类的不同对阻尼性能影响不大。这是因为,玻璃纤维的加入,一方面限制了分子运动,增加了应力和应变之间的相位滞后,扩大阻尼温度范围;另一方面,增加了材料的内部摩擦,限制了长分子链的活动,增加了能量的转化,增大了材料的损耗因子<sup>[9]</sup>。但是从图 3 中也可以看出,试样的  $\tan\delta$  曲线峰值温度在 50℃ 左右,超过了常温范围,因此在以后的研究中可以适当改变基体材料的配方,比如提高 DOP 的含量,因为 DOP 的加入可以使材料内高分子链间的相对运动能力增加<sup>[10]</sup>,从而增大材料的损耗因子,这样制备的复合材料更能适用于常温下。

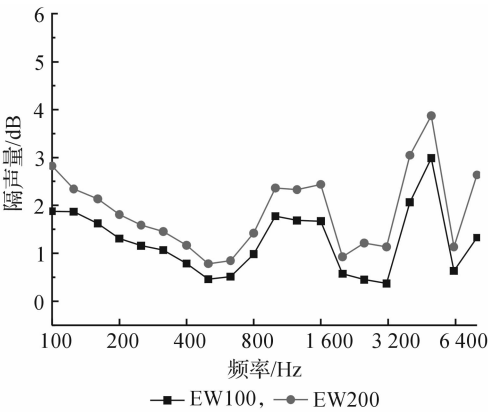
2.2 隔声性能

材料的隔声性能通常用隔声量  $R$  来表示,其大小可用下式表示<sup>[11]</sup>:

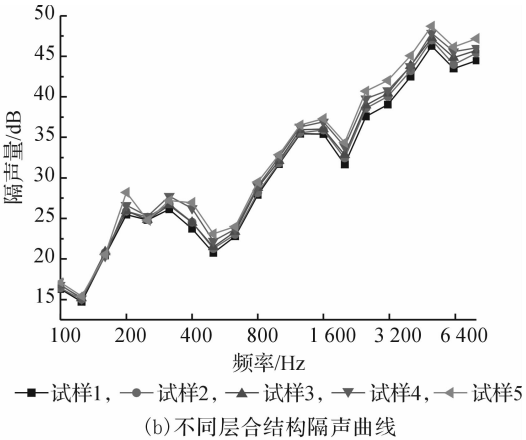
$$R = 10\lg \frac{I_i}{I_t} = 10\lg \frac{1}{\tau} = 10\lg \frac{E_i}{E_t} \quad (1)$$

式中: $I_i$  为声波的人射强度; $I_t$  为声波透过隔声材料后的透过强度; $\tau$  为声音的透过率; $E_i$  为声波的人射能量; $E_t$  为声波的透过能量。

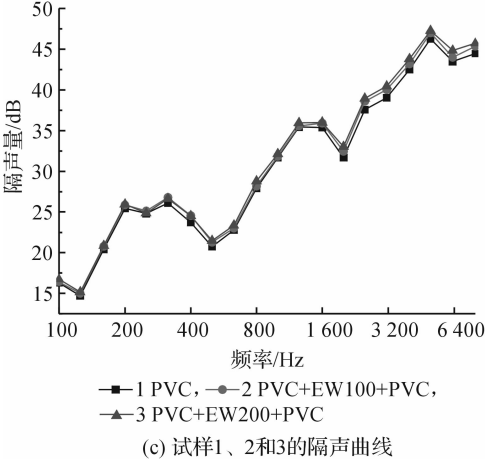
首先对两种玻纤织物进行隔声测试,得到隔声量对频率的隔声曲线图 4(a),对五种试样进行隔声测试,得到隔声曲线图 4(b)。为了进一步比较玻纤织物种类对隔声性能的影响,将由一层 EW100 和 EW200 制备的试样 2 和 3,以及由两层 EW100 和 EW200 制备的试样 4 和 5,分别与试样 1 单层 PVC 基复合材料的隔声曲线进行比较,得到图 4(c)和图 4(d);为了比较相同玻纤织物不同层数对隔声性能的影响,将以 EW100 为增强材料制备的试样 2 和 4,以及以 EW200 为增强材料制备的试样 3 和 5,分别与试样 1 单层 PVC 基复合材料的隔声曲线进行比较,得到图 4(e)和图 4(f)。



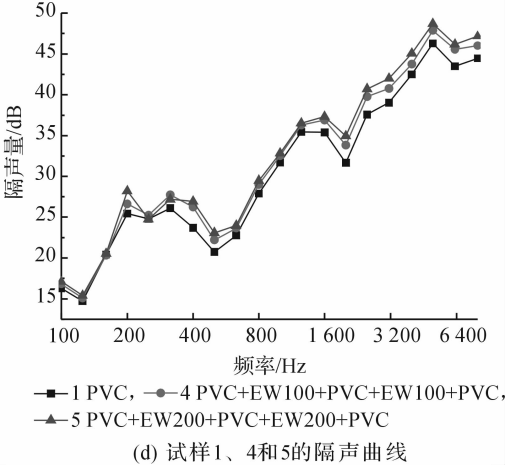
(a) 两种玻纤织物的隔声曲线



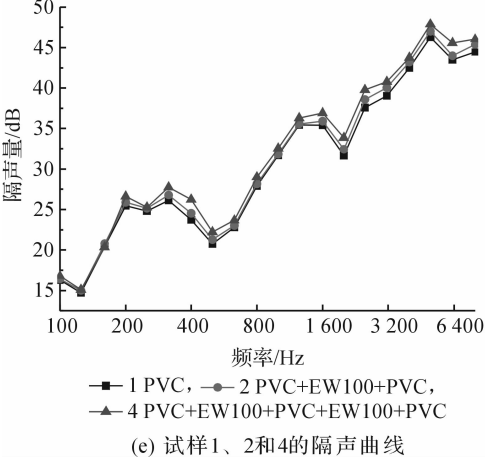
(b) 不同层合结构隔声曲线



(c) 试样1、2和3的隔声曲线



(d) 试样1、4和5的隔声曲线



(e) 试样1、2和4的隔声曲线

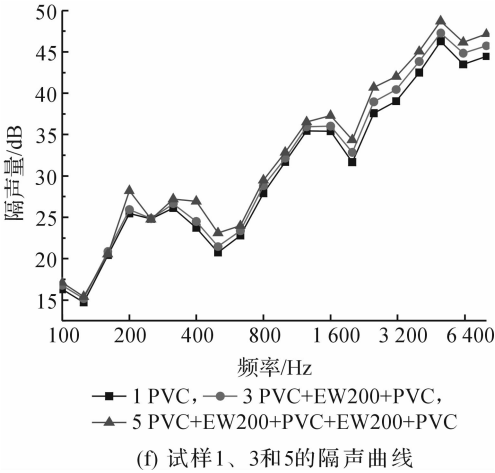


图4 不同试样隔声性能对比

对比两种玻璃纤维织物的隔声性能,如图4(a)可以看出,在整个测试频率范围内,EW200的隔声性能都好于EW100。这是因为,EW200与EW100相比,单丝根数更多,织物更密实,透气量就差一些,声波通过织物时空气阻流更大,吸收声波的能力较强,透射过去的声波更少,因而隔声性能更好。

从图4(b)中可以看出,各试样的隔声量与入射声波的频率有很大关系,入射频率从低到高可分为三个区域,即劲度与阻尼控制区、质量控制区和吻合效应区<sup>[6]</sup>;在低频区(100~630 Hz),频率从低端开始,隔声量受劲度控制随频率的增加而降低,当频率继续增加,质量效应也随之增加,在125、250、500 Hz处,由于劲度和质量效应相抵消而产生共振现象,这时材料的阻尼起作用,这一区段为劲度与阻尼控制区;在中频区(630~1 250 Hz),隔声量随质量和频率的增加而增加,质量效应起主导作用,称为质量控制区;在高频区(>1 250 Hz),因吻合效应在2 000 Hz处隔声量有一个较大的降低,形成“吻合谷”,这一区段为吻合效应区。

从图4(b)中还可以看出,不同层合结构的玻纤织物/PVC基复合材料,低频区与高频区的隔声性能有差异,而中频区的隔声性能差异则不大。在低频区,由于声波波长长,具有很强的绕射能力,可以通过纤维间以及纱线间的空隙,因此玻璃纤维织物的多孔吸声作用对此频段影响不大;但是织物的加入可以提高复合材料的阻尼性能(具体见2.1),提高此频段的隔声量<sup>[12]</sup>,其中试样5比试样1在此频段隔声量提高约2 dB。在中频区,由于各样品面密度相近,因此隔声量也相近,都是以近似斜率12 dB/倍频程的直线线性增长。在高频区,吻合效应的强弱取决于它本身的阻尼,阻尼越大则吻合谷越浅<sup>[7]</sup>;

另外,由于该频区声波波长短,不像低频时那样具有很强的绕射能力,在材料内传播时会发生多次反射而消耗更多的声能,通过玻纤织物增加材料的分界面,产生多次反射,使隔声量提高,其中试样5比试样1在此频区隔声量提高至少3 dB。

进一步对比织物种类对隔声性能的影响,如图4(c)和图4(d),可以看出两种织物的加入都提高了复合材料的隔声性能,这是因为玻纤织物的加入提高了复合材料的阻尼性能,当声波作用于材料上时,增加了应力与应变间的相对滞后,使声能损耗增加,材料的隔声量得到提高。其中,以EW200作为增强材料制备的层合结构,其隔声性能要比用EW100制备的层合结构略好一些,但差异不大。对比加入相同织物制备的复合材料,如图4(e)和图4(f),可以看出,层数越多的材料隔声效果越好。这是由于,一方面玻纤织物的加入增加了材料的分界面,织物层数越多,界面也越多,声波产生更多反射,声能消耗更多;另一方面织物层数的增加还可提高材料的阻尼性能,从而消耗更多声能。综合来说,以两层EW200同PVC基材制备的试样5隔声性能最好。

2.3 拉伸性能

对五个试样进行拉伸性能测试,测试结果如图5。从图5中可以看出,纯PVC基复合材料在拉伸载荷很小时会产生很大变形,断裂伸长很大,拉伸载荷很小;加入了玻璃纤维织物后,复合材料的拉伸载荷明显提高,但伸长却大大降低;随着玻璃纤维织物层数的增加,整个复合材料的拉伸载荷也逐渐提高。这是因为:玻璃纤维织物作为复合材料的增强材料,它的拉伸强度高,但延伸性差<sup>[13]</sup>,在拉伸的初始阶段,玻璃纤维织物是整个复合材料的主要承力体,但随着载荷的增大,织物内部的纤维在其最弱的部位发生断裂<sup>[14]</sup>。另一方面,当玻璃纤维织物位于PVC

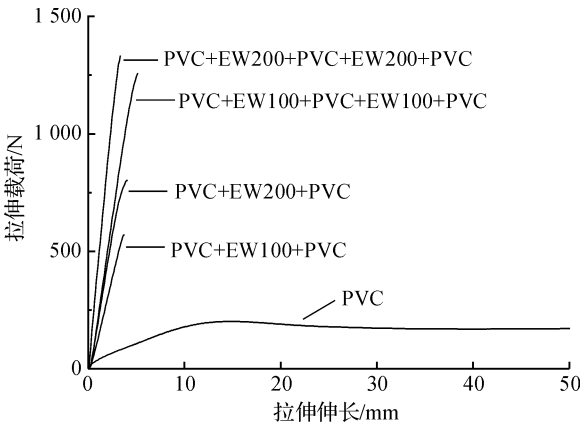


图5 不同试样的拉伸性能

基复合材料中间时,它的两个界面都与基材有粘结力,在拉伸过程中,一部分玻纤将从基体中拔出,需要克服基体对纤维的粘结力,因而使复合材料的拉伸载荷得以提高。玻璃纤维织物种类不同,其制成的复合材料拉伸性能也不相同。由于 EW200 比 EW100 的单纱中单丝根数多,纤维间的抱合力更强,因此拉伸性能更好,制备的复合材料拉伸载荷更大。

3 结 论

- a)玻纤织物/PVC 基复合材料与单层 PVC 基复合材料相比,常温范围内的阻尼性能有所提高,并且随着层数的增加,阻尼性能继续提高,但玻纤织物种类的不同对阻尼性能影响不大。
- b)不同层合结构的玻纤织物/PVC 基复合材料,其隔声性能的差异体现在低频与高频区,而中频区隔声性能变化则不大;以 EW200 作为增强材料制备的层合结构,其隔声性能要比用 EW100 制备的层合结构略好一些,并且层数越多的复合材料隔声效果越好。
- c)玻纤织物/PVC 基复合材料与单层 PVC 基复合材料相比,拉伸载荷明显提高,但伸长却大大降低,以两层 EW200 同 PVC 基材制备的层合结构具有最大的拉伸载荷。

参考文献:

[1] 姚跃飞,高  磊,杨琼丽,等. 玻璃纤维织物结构参数对隔声性能的影响[J]. 纺织学报,2009,30(2): 52-55.

[2] 姚跃飞,罗勇波,高  磊,等. 聚氯乙烯基隔声材料中填充炼炉钢渣粉[J]. 复合材料学报,2008,25(2): 74-79.

[3] 傅雅琴,倪庆清,姚跃飞,等. 玻璃纤维织物/聚氯乙烯复合材料隔声性能[J]. 复合材料学报,2005,22(5): 94-99.

[4] 蔡  俊,徐  菲,蔡伟民. 聚氯乙烯基复合隔声材料的研究[J]. 环境化学,2002,11: 700-702.

[5] 席  莺,李旭祥,方志刚,等. 聚氯乙烯基混合吸声材料的研究[J]. 高分子材料科学与工程,2001,17(2): 129-132.

[6] 李耀中. 噪声控制技术[M]. 北京: 化学工业出版社,2001: 21-84.

[7] 蔡  俊,徐  菲,蔡伟民. 高效降噪隔音材料的设计、研制与性能[J]. 上海环境科学,2003,22(7): 476-478.

[8] 张宝庆,张  军,丁艳芬. 聚丙烯/热致液晶聚合物/玻璃纤维混杂复合材料Ⅱ: 混杂复合材料的静态及动态力学性能[J]. 复合材料学报,2004,21(6): 9-13.

[9] 戴德沛. 阻尼减振降噪技术[M]. 西安: 西安交通大学出版社,1986: 54-62.

[10] 吴波震,夏  琳,邱桂学. 增塑剂 DOP 在软 PVC 和 PVC/ABS 共混物中的应用[J]. 塑料助剂,2007(3): 33-40.

[11] 张邦俊,翟国庆. 环境噪声学[M]. 杭州: 浙江大学出版社,2001: 190-287.

[12] 姚跃飞,高  磊,杨琼丽,等. 漂珠填充聚氯乙烯基复合材料的隔声性能[J]. 高分子材料科学与工程,2009,25(11): 61-64.

[13] 王善元,张汝光. 纤维增强复合材料[M]. 上海: 东华大学出版社,1998: 51-52.

[14] 于伟东,储才元. 纺织物理[M]. 上海: 东华大学出版社,2002: 15.

Sound Insulation Property of Glass Fabric/PVC Composite Materials' Laminated Structure

PAN Han, YAO Yue-fei, LIU Hui, ZHA Dao-xin, CAO Xian-jun

(The Key Laboratory of Advanced Textile Materials and Manufacturing Technology (Zhejiang Sci-Tech University), Ministry of Education, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** The glass fabric/PVC composite materials of different laminated structure are prepared, using PVC composite which is filled with BaSO<sub>4</sub> as matrix, choosing two types of glass fabrics(EW100 and EW200)as reinforced materials. The samples' sound insulation property, damping and so on are tested and analyzed by the double channel acoustic instrument, DMA, and so forth. The results show that the differences of the sound insulation property of the glass fabric/PVC composites' laminated structure are reflected in the low and high frequencies. The glass fabric can improve the composite material's damping property, sound insulation property and tensile load, but reduce the breaking elongation. The sound insulation property of the material filled with EW200 is better than that with EW100.

**Key words:** sound insulation; glass fabric; PVC

(责任编辑: 张祖尧)