

柔性聚氯乙烯薄膜的隔声性能*

朱春燕, 傅雅琴, 俞来明

(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, 浙江 杭州 310018)

摘要: 为了研究柔性树脂膜的隔声性能, 以 E 型聚氯乙烯、柠檬酸三酯、环氧大豆油为原料, 制备不同面密度的柔性聚氯乙烯树脂膜。用双声道分析仪等测试分析了该类材料的隔声性能和柔软性能等, 并与质量法则进行了比较。结果表明, 柔性聚氯乙烯树脂膜的平均隔声性能与面密度的对数呈良好的线形相关性, 与质量法则的趋势相同, 但两者的斜率、截距不同。对质量法则的系数进行适当修正后, 可以用面密度去预测柔性聚氯乙烯材料的平均隔声量。

关键词: 聚氯乙烯树脂; 柔性; 隔声; 质量法则

中图分类号: TQ325.3

文献标识码: A

文章编号: 1001-9731(2007)11-1871-03

1 引言

隔声材料是目前抵御噪声污染的主要方法之一, 被广泛应用于防止各种噪声。常用的隔声材料根据刚性的大小可分为刚性和柔性两种。工程上常用隔声材料的面密度(质量法则)去预测刚性材料的隔声量。而对于柔性材料, 由于还存在着阻尼效应等, 对其隔声性能及面密度与隔声性能的相关性研究很少。

另一方面, 柔性材料又常被用在隔声材料中, 特别是柔性聚氯乙烯(PVC)^[1,2], 因其具有隔热、隔声、减震等优良的综合性能和价格低廉的优点, 常被用作隔声复合材料的基体材料^[3]。因此, 对柔性聚氯乙烯树脂的隔声性能及面密度与隔声性能的相关性研究, 无疑对优化和预测柔性隔声复合材料的隔声性能研究具有良好的参考作用。因此, 本文以柠檬酸三丁酯和环氧大豆油为增塑剂对聚氯乙烯树脂进行物理改性, 制备具有一定隔声性能的柔性薄膜^[4]。探讨柔性聚氯乙烯薄膜的隔声性能及面密度与隔声性能的相关性。

2 实验

2.1 实验材料

聚氯乙烯糊树脂(EPVC), P-450; 柠檬酸三丁酯(TBC); 环氧大豆油(ESO); 甲基硅油。

2.2 试样制备

将 EPVC、TBC、ESO 按照一定质量比混合搅拌均匀, 制取混合剂, 并均匀地浇注到面积为 300mm×300mm 的自制模具上, 在 165℃ 恒温箱中热处理 15min 后, 取出自然冷却制得试样。通过控制浇注的

混合剂的质量, 得到不同面密度、厚度的试样。

2.3 测试

隔声测试^[3]: 采用混响室-消声室法测定材料的隔声性能。测试系统为 BSWA VS302USB 双声学分析仪。试样背衬为空气, 试样的测试面积为 250mm×250mm, A 计权网络, 声压级为 80dB 的粉红噪声源。测试频率范围: 100~3150Hz, 1/3 倍频程。

柔软性测试: 参照日本工业标准 JIS-L1096, 8.19.3 的 B 法测定材料的刚软度。测试示意图如图 1。试样的尺寸为 150mm×20mm, 材料的刚软度(硬挺度)用下式进行计算。

$$B = \frac{WL^4}{8\delta} \quad (1)$$

式中: B 为材料的刚软度(N·cm); W 为试验片单位面积的重量(N/cm²); δ 为试验片的弯曲长度(cm); L 为试验片的被测长度(cm)。本实验的 L 定为 15cm。

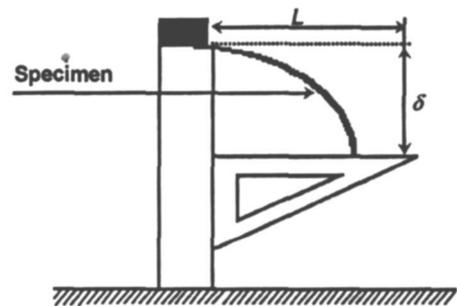


图 1 柔韧性测试示意图

Fig 1 The schematic of flexible test

3 实验结果及分析

采用相同的原料配比及加工方法等制备的代表性试样的面密度、弯曲长度及隔声测试结果如表 1。

3.1 材料的隔声性能

在噪声控制技术中, 常用下式表示材料的隔声能力, 称为传声损失^[5], 记为 R , 单位为 dB。

$$R = 101g \frac{1}{t_t} \quad (2)$$

透射系数 t_t 越小, R 值越大, 材料的隔声性能越好。

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50173033); 长江学者和创新团队发展计划资助项目(IRT0654)

收到初稿日期: 2007-04-27

收到修改稿日期: 2007-07-02

通讯作者: 傅雅琴

作者简介: 朱春燕 (1982—), 浙江台州人, 在读硕士, 师承傅雅琴教授, 主要从事隔声材料的研究。

隔声量的大小与材料的结构、性质和入射声波的频率有关,同一材料对不同频率的声音,隔声性能可能有很大区别,因此,本文采用工程上常用的100~3150Hz 16个1/3倍频程中心频率的隔声量的算术平均值来表示试样的平均隔声量,如表1所示。

表1 代表性试样的有关参数

Table 1 Parameters of the typical samples

试样 编号	面密度 (kg/m ²)	弯曲长度 (cm)	100~2000Hz的 平均隔声量(dB)	100~3150Hz的 平均隔声量(dB)
1#	0.56	14.86	7.86	8.43
2#	0.71	14.83	9.17	9.74
3#	0.87	14.78	10.22	10.73
4#	1.17	14.63	11.28	11.71
5#	1.43	14.58	12.52	12.88
6#	1.73	14.53	13.49	13.76
7#	1.92	14.47	13.87	14.12
8#	2.19	14.41	14.32	14.52
9#	2.60	14.39	15.36	15.47
10#	2.90	14.35	15.75	15.75
11#	3.35	14.3	16.32	16.29
12#	3.92	14.26	16.90	16.83
13#	4.79	14.22	17.42	17.27
14#	5.46	14.13	17.62	17.37
15#	5.95	14.02	17.68	17.42

工程中常用质量法来预测刚性材料的隔声性能,或评价材料隔声性能的好坏。当声波无规入射时,则需对所有入射角求平均,其大小可由下式得到^[6]:

$$R = 201g(mf) - 47.5 \quad (3)$$

式中, R 为隔声量(dB); m 为单位面积质量,即面密度(kg/m²); f 为频率(Hz)。根据质量法则公式可推出1/3倍频程下,其100~3150Hz范围内的平均隔声量与面密度的关系为式(4);100~2000Hz范围内的平均隔声量与面密度的关系为式(5),即质量法得到的平均隔声量只与面密度有关。

$$R_1 = 201gm + 7.5 \quad (4)$$

$$R_2 = 201gm + 5.5 \quad (5)$$

其中 R_1 为100~3150Hz范围内的平均隔声量; R_2 为100~2000Hz范围内的平均隔声量。

3.1.1 聚氯乙烯薄膜的隔声性能

图2为几个代表性试样在100~3150Hz 16个1/3倍频程的隔声曲线。

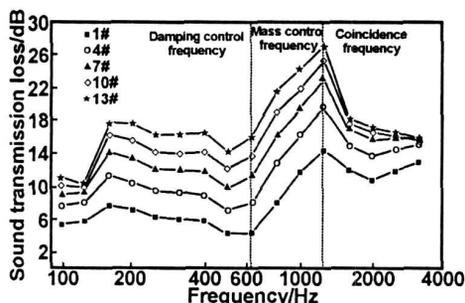


图2 代表性试样的隔声曲线

Fig 2 The sound insulation property of typical samples

从图2中可以看出,不同面密度试样的隔声曲线

形状基本相似,对于同一面密度的试样,隔声量随着频率的变化而变化,在低频处,因阻尼效应,显示出良好的隔声性能,即使薄膜的面密度只有2.2kg/m²左右,其隔声量基本超过了10dB,明显高于式(3)的计算值,在中频区,其隔声量与频率的对数值成线性关系,与式(3)的计算值基本一致,当频率>1250Hz时,由于吻合效应,隔声量明显低于式(3)的计算值。显示出与刚性材料不同的隔声性能。

图3为不同面密度试样在100~3150Hz范围内测得的平均隔声量(图中实线),图3中虚线为质量法所得的预测值。图4为不同面密度试样在100~2000Hz范围内测得的平均隔声量(图中实线),图4中虚线为质量法所得的预测值。表2为试样的回归分析结果。

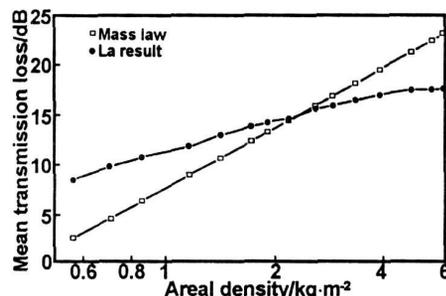


图3 100~3150Hz范围内,面密度与隔声量的关系
Fig 3 The relationship between the areal density and mean transmission loss (frequency distribution: 100~3150Hz)

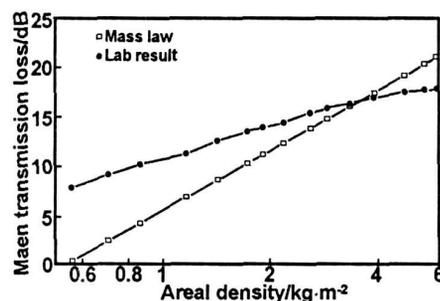


图4 100~2000Hz范围内,面密度与隔声量的关系
Fig 4 The relationship between the areal density and mean transmission loss (frequency distribution: 100~2000Hz)

表2 试样的回归分析结果

Table 2 The regression analysis of samples

频率范围	平均隔声量与面密度的关系式	相关系数 R
100~3150Hz	$R_3 = 9.01g(m) + 11.3$	0.982
100~2000Hz	$R_4 = 10.01g(m) + 10.8$	0.987

从图3、4和表2可见,聚氯乙烯薄膜的平均隔声量与面密度的对数成良好的线性相关性,相关系数达到0.98以上,与质量法预测的趋势基本类似,但两者的斜率、截距不同。在面密度较低时,其隔声性能高于质量预测值,在低频区的优势更加明显。但随着面密度的增加,其隔声量小于质量预测值。主要是由于聚

氯乙烯薄膜作为一种阻尼材料, 当声波入射到柔性材料上, 材料就相应振动起来, 一弯一折使得柔性阻尼材料时而被压缩, 时而被拉伸, 材料内部的分子不断产生相对位移, 树脂大分子链的运动发生滞后现象, 使得声能消耗增大, 达到隔声的效果^[7]。但随着面密度(厚度)的增加, 吻合效应明显, 使得隔声性能又有所下降。

3.2 聚氯乙烯薄膜的刚柔性

从表 1 中可以看出, 即使聚氯乙烯薄膜的面密度接近 $6\text{kg}/\text{m}^2$ 时, 其弯曲量仍达到了测试长度(15cm)的 90% 以上, 显示了该材料良好的柔韧性。从图 5 中也可看出, 虽然聚氯乙烯薄膜的刚软度随面密度的增加而增加, 但即使面密度高达 $6\text{kg}/\text{m}^2$ 时, 材料的刚软度仍不到 $3.0\text{N}\cdot\text{cm}$ 。显示该类材料是典型的柔性材料。

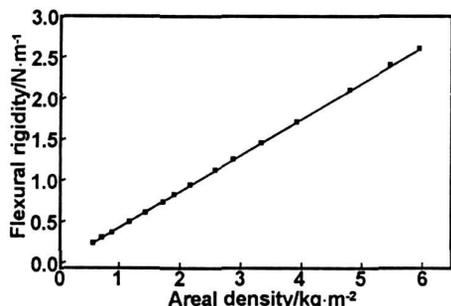


图 5 样品的刚柔性与表面密度的关系

Fig 5 The relationship between the flexural rigidity and the areal density of samples

4 结 论

(1) 柔性聚氯乙烯材料的隔声性能有别于刚性材料, 对低频噪声有良好的隔声效果。而对中高频的隔声性能不显著。因此, 在制备隔声复合材料时, 可以根据该特点, 选择增强材料, 优化材料的隔声性能。

(2) 柔性聚氯乙烯材料的平均隔声量随着面密度的增加而增加, 且与其面密度的对数值呈良好的线性相关性。与质量法则的趋势相同, 但两者的斜率和截距不同。因此, 对质量法则的系数进行适当修正后, 可以用面密度去预测柔性聚氯乙烯材料的平均隔声量。

参考文献:

- [1] 高军刚, 杨丽庭, 李燕芳. 改性聚氯乙烯新材料[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002. 10.
- [2] Marcilla A, Garé a S, Gard a-Quesada J C. [J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2004, 71(2): 457-463.
- [3] 傅雅琴, 倪庆清, 姚跃飞, 等. [J]. 复合材料学报, 2005, 22(5): 94-99.
- [4] Chakrabarti R, Das M, Chakraborty D. [J]. J Appl Polym Sci 2004, 93(6): 2721-2730.
- [5] 张邦俊, 翟国庆. 环境噪声学[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2001. 258-261.
- [6] Tadeu A, António J, Mateus D. [J]. Applied Acoustics 2004, 65(1): 15-29.
- [7] Semsarzadeh M A, Mehrabzadeh M, Arabshahi S S. [J]. European Polymer Journal 2002, 38(2): 351-358.

The acoustic insulation property of flexible PVC resin film

ZHU Chun-yan, FU Ya-qin, YU Lai-ming

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

Abstract: In order to study the acoustic insulation property of the flexible resin film, a serial of flexible PVC resin films with different areal density were prepared with raw materials of E-PVC resin, tributyl citrate(TBC) and epoxidized soybean oil(ESO). The acoustic insulation property and the flexibility of the developed films were evaluated. The sound reduction indexes of the films were compared with the traditional mass-law. The results showed that the average sound reduction indexes of the flexible PVC resin films had a linear relation with the logarithm of areal density and its trend was similar to the mass-law but with different slope coefficients and intercept.

Key words: PVC resin; flexibility; acoustic insulation property; mass-law