

# DOP 与 CPE 的含量对 BaSO<sub>4</sub> 填充聚氯乙烯基隔音复合材料性能的影响

刘 慧,姚跃飞,潘 涵,曹贤君,查道鑫

(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:** 将邻苯二甲酸二辛酯(DOP)与氯化聚乙烯(CPE)按照不同的质量份数加入到 BaSO<sub>4</sub> 填充聚氯乙烯基(PVC)隔音复合材料中,探讨 DOP 与 CPE 的含量对 BaSO<sub>4</sub> 填充聚氯乙烯基隔音复合材料隔声性能的影响,利用 BSWA VS302USB 双通道声学分析仪,万能材料试验机,动态热机械分析仪测试了材料的隔声性能,力学性能,阻尼性能。结果显示:当 PVC 相对质量为 100 份,DOP 为 50 份,CPE 为 20 份时对低频具有较好的隔声性能,当 DOP 相对质量为 80 份,CPE 为 20 份时对中频具有较好的隔声性能,对高频影响较小。

**关键词:** 氯化聚乙烯;邻苯二甲酸二辛酯;质量份数;聚氯乙烯;隔音复合材料

**中图分类号:** TB54 **文献标识码:** A

## 0 引 言

硫酸钡(BaSO<sub>4</sub>)填充聚氯乙烯基隔音复合材料具有良好的隔声性能,主要是由于 BaSO<sub>4</sub> 作为填料应用时,尤其是填充橡胶和塑料,能提高橡胶和塑料的密度、硬度、耐磨性和防老化性等<sup>[1-2]</sup>。BaSO<sub>4</sub> 具有稳定性好、无毒、耐酸碱、硬度适中、高密度、高白度、能吸收 X 射线等优点,是一种环保功能型材料<sup>[3]</sup>。

氯化聚乙烯(CPE)是 PVC 的良好抗冲改性剂<sup>[4]</sup>,CPE 与 PVC 共混时,必须有足够的量才能形成网状结构,以接受和传递冲击能,从而起到冲击改性的作用。当 CPE 用量增加到一定程度时,冲击强度增幅较小或趋于平衡,这是因为当用量过高,CPE 不能连续均匀地分散,而且有部分 CPE 形成了凝聚状,这样在两相界面上就不会有适宜分散的 CPE 颗粒状来吸收冲击强度<sup>[5]</sup>。本实验主要研究当 PVC 相对质量为 100 份,CPE 的加入量分别为 10 份,20 份,30 份,对隔音复合材料的隔声性能,阻尼性能,

静态力学性能,刚柔性的影响。

由于 PVC 是一种强极性聚合物,分子间作用力很大,在 PVC 复合材料中添加适量的增塑剂(DOP)可以削弱 PVC 大分子间的作用力,降低 PVC 的玻璃化温度,使材料呈现出柔软性。同时,DOP 的加入可以降低 PVC 熔体粘度,从而使加工性能得到改善。增塑剂还可以降低 PVC 的塑化温度<sup>[6]</sup>。但是 DOP 具有易燃性,一味地增加 DOP 的含量,虽然可以使材料具有良好的柔软性,但是材料的实用性能有所降低。所以,要控制合理的 DOP 的含量,使材料既具有良好的加工性能和柔软性又有较好的阻燃性,同时能使材料的隔声性能有所提高。本文在前人研究的基础上,为了使复合材料具有良好的综合性能,控制 DOP 最高加入量为 80 份。

## 1 实验部分

### 1.1 实验原料与主要测试仪器

实验原料:聚氯乙烯基树脂(PVC,SG-5,优级,杭州电化集团有限公司);硫酸钡(BaSO<sub>4</sub>,广东玉峰

粉体材料有限公司);邻苯二甲酸二辛酯(DOP,杭州金生塑化有限公司);氯化石蜡-52(CP-52,句容玉明化工有限公司);环氧大豆油(ESO,浙江桐乡嘉奥化工有限公司);氯化聚乙烯(CPE,135A 杭州科利化工有限公司)。

主要测试仪器:BSWA VS302USB 双声道声学分析仪(北京声望声电技术有限公司);万能材料试验机;动态热机械分析仪;LG-213 型恒温干燥箱(上海艾斯佩克环境设备有限公司);SHR-5A 高速混合机(青岛瑞利仪器设备有限公司);XLB25-D 平板硫化机(浙江双利集团星力橡胶机械制造有限公司)。

1.2 试样制备

以 PVC 的质量为配方的计量基准 100 份,配制 ESO7 份,氯化石蜡 20 份, BaSO<sub>4</sub> 400 份, CPE 与 DOP 的配制见表 1。

表 1 CPE 与 DOP 的实验配方

样号	CPE/份	DOP/份
1	10	20
2	10	30
3	10	40
4	10	50
5	10	60
6	10	80
7	20	20
8	20	30
9	20	40
10	20	50
11	20	60
12	20	80
13	30	20
14	30	30
15	30	40
16	30	50
17	30	60
18	30	80

注:表中的份数都以 PVC 质量份数 100 为基准。

先将混合好的粉料放入高速混合机中混合 15 min,再将粉料放在 140℃双滚筒开练机中开练成片状,最后将片状材料放入模具中在 170℃平板硫化机上加一定压力,过 15 min 取料,裁剪成 250 mm×250 mm面密度基本相同的小样,共制备 18 块小样。

1.3 试样隔声性能的测试

参照 GB/T19889. 3—2005、GB/T19889. 10—2006 建筑及建筑构件的隔声测量的标准进行测量。采用 BSWA VS302USB 双声道声学分析仪,并用 Spectra LAB 软件分析数据,试样背衬为空气。静

音箱体积为 1 000 mm×1 000 mm×1 000 mm。测试样的面积为 250 mm×250 mm,选择 A 计权网络,声压级为 90 dB 的粉红噪声源。声望 VS302USB 系统、无指向性声源和 BSWA-100 型功率放大器等,系统如图 1 连接。

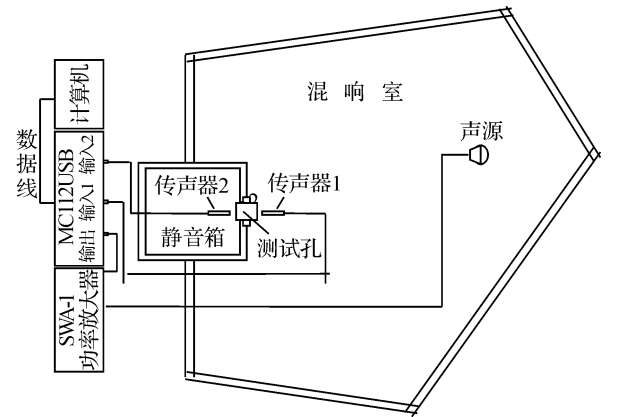


图 1 隔声测试系统

实验开始时,首先在不放入试样的情况下,测试噪声的自由衰减量及原始声压级降。再把试样固定在测试孔上,四周用吸铁石固定,再用橡皮泥将四周封闭,测试此时的声音衰减量(总衰减量)及总声压的级降。试样对声音的实际衰减量即为总衰减量减去自由衰减量;试样对声音的实际声压级降为总声压级降减去原始声压级降。最后,通过 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 阻尼系数的测试

采用 DMA 仪进行测试,其样品制作的尺寸见图 2,其中夹距为仪器夹上后自动测试,厚度为提前测试后输入软件中,其振动频率为 10 Hz,升温速率为 5℃/min,温度范围为-80~100℃。

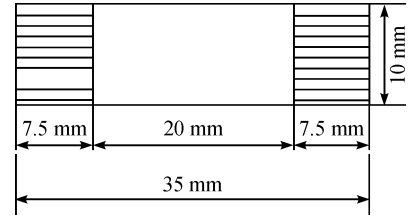


图 2 阻尼系数试样尺寸

1.5 静态力学性能的测试

采用万能材料试验机,在标准大气条件下(温度(20±2)℃,相对湿度(65±2)%),拉伸速度 100 mm/min,预加张力为 2 N 下进行测试。该试验机由计算机控制,数据自动采集。试样沿纵轴方向被施加拉伸载荷而破坏。试样尺寸如图 3 所示。

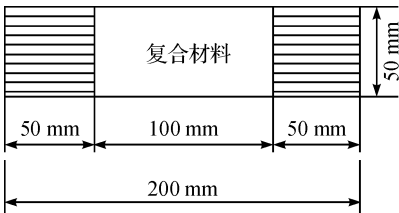


图 3 力学性能试样尺寸

1.6 刚柔性测试

试样的刚柔性参照日本工业标准 JIS-L1096, 8.19.3 的 B 法测定, 试样的尺寸为 150 mm × 20 mm, 计算公式为: $B=W L^4/8\delta$ ,

式中, $B$ —材料的刚度/(N · cm); $W$ —试验片单位面积的质量/(N · cm<sup>-2</sup>); $\delta$ —试验片的弯曲长度/cm; $L$ —试验片的被测试长度/cm。刚度越小, 则柔韧性越好<sup>[7]</sup>。

2 实验结果与分析

2.1 CPE 与 DOP 的含量对隔声性能的影响

试样 1~6 的隔声曲线如图 4; 试样 7~12 的隔声曲线如图 5; 试样 13~18 的隔声曲线如图 6。

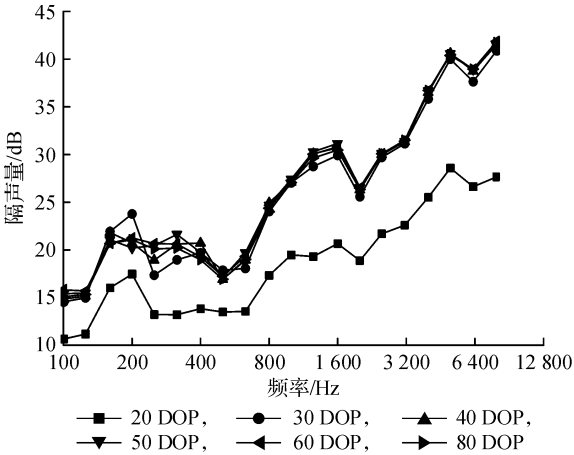


图 4  $w_{\text{CPE}}=10$  份时 DOP 变化的隔声曲线

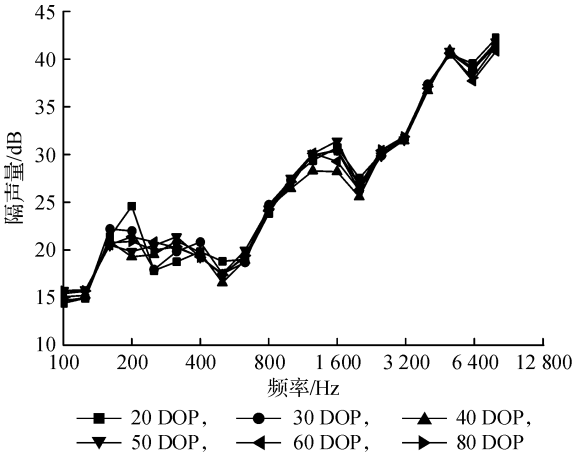


图 5  $w_{\text{CPE}}=20$  份时 DOP 变化的隔声曲线

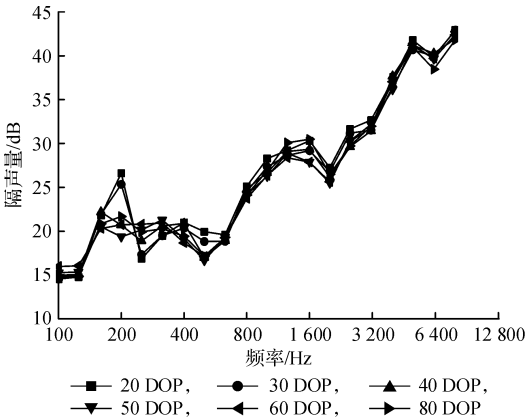


图 6  $w_{\text{CPE}}=30$  份时 DOP 变化的隔声曲线

根据单层匀质密实墙典型隔声频率特征<sup>[8]</sup>, 对一给定面密度的试样, 隔声量随着频率的变化而变化, 频率由低端开始, 隔声量受劲度控制, 在低频段(100~630 Hz), 隔声量随着频率的增加出现上下波动, 在 500 Hz 处出现共振, 隔声量达到极小值, 这一区段的隔声量主要受材料劲度和阻尼的控制, 此共振现象是由劲度和质量效应相抵消所产生的; 在中频段(630~1 250 Hz), 隔声量随着频率的增加以近乎斜率为 10 dB/倍频程的直线线性增加, 隔声量达到极大值, 这一区段质量效应对隔声量的影响增加显著, 并占主导作用, 复合材料隔声量的变化都大于质量定律所预测的 6dB/倍频程; 在高频段(>1 250 Hz)吻合效应频率处, 隔声量有一个较大的降低, 形成吻合谷。

由图 4 可知, 当  $w_{\text{CPE}}=10$  份,  $w_{\text{DOP}}=20$  份时, 隔声量总体都较低。这主要是由于 DOP 含量过少, 对材料的增塑作用较小, 再加上 CPE 含量也较低, 致使材料密实性不好, 测试时会有部分声音透过材料, 材料总体隔声量较低。由图 4、图 5、图 6 可知, CPE 与 DOP 对隔声量的影响主要在低频(阻尼控制区), 对中频(质量控制区)具有一定的影响, 而对高频吻合效应则影响不明显。在低频区, 200 Hz 左右, 材料的隔声量主要受劲度控制和阻尼控制, 当  $w_{\text{DOP}}=20$  份时, 材料的劲度较大, 阻尼系数较小, 所以在频率为 200 Hz 时, DOP 含量较少时隔声量较高; 随着频率增大, 材料进入阻尼控制区, 材料的阻尼系数越大, 隔声量越高。这主要是由于材料随着 DOP 含量的增加, 阻尼系数也增加(由本文 2.2DOP 与 CPE 的含量对材料的阻尼系数的影响分析可知), 当  $w_{\text{CPE}}=10$  份,  $w_{\text{DOP}}=50$  份时, 材料的隔声性能达到最大值, 当  $w_{\text{CPE}}=20$  份时,  $w_{\text{DOP}}=50$  份和 80 份时, 隔声量最高, 且相差不大。当  $w_{\text{CPE}}=30$  份时,  $w_{\text{DOP}}=80$  份时材料的隔声性能达到最大; 在中频区当  $w_{\text{CPE}}=10$  份和 20 份时,  $w_{\text{DOP}}=50$  份时, 材料的隔声性能达到最大值, 当  $w_{\text{CPE}}=30$  份,  $w_{\text{DOP}}=80$  份时材料的隔声

性能达到最大。由图 4、图 5、图 6 可以看出,当  $\omega_{\text{TE}}$  分别为 10 份,20 份,30 份材料的隔声量相差不大,这说明 CPE 的加入只是影响了材料的力学性能(由本文 2.3 不同含量的 CPE 与 DOP 材料的静态力学性能测试分析可知),而对隔声性能的影响并不明显。

2.2 DOP 与 CPE 的含量对材料的阻尼系数的影响

为了研究 DOP 与 CPE 的含量对材料阻尼系数的影响,将抽取一部分实验材料做阻尼测试, DOP 含量对材料阻尼系数的影响如图 7,图 8,图 9。

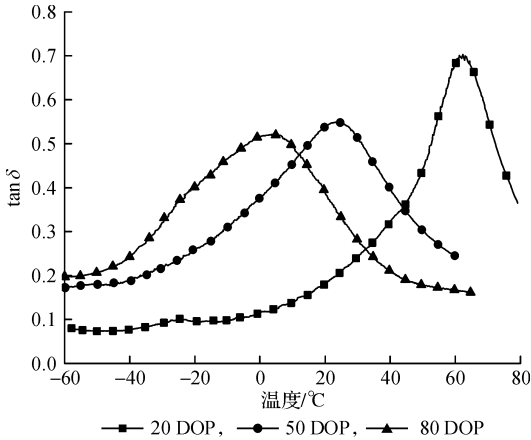


图 7  $\omega_{\text{CPE}}=10$  时不同 DOP 试样的  $\tan\delta$  对比

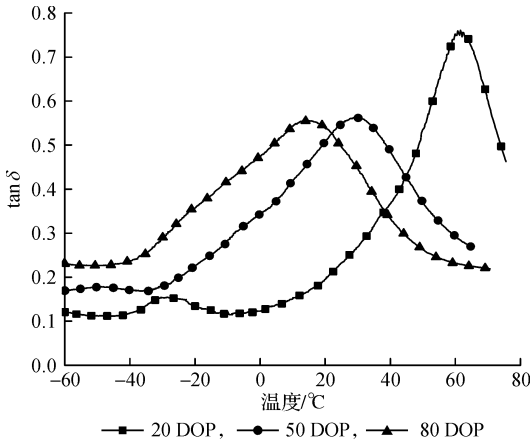


图 8  $\omega_{\text{CPE}}=20$  时不同 DOP 试样的  $\tan\delta$  对比

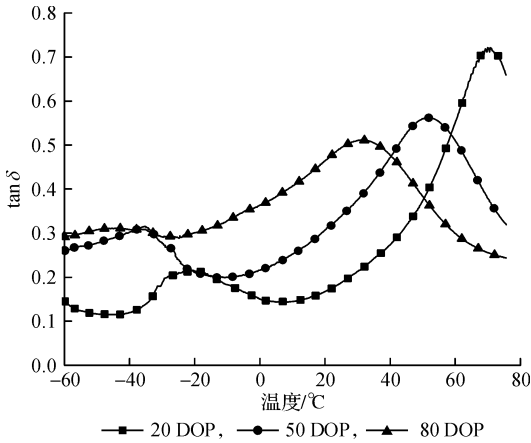


图 9  $\omega_{\text{CPE}}=30$  时不同 DOP 试样的  $\tan\delta$  对比

阻尼是指系统损耗能量的能力,是衡量控制振动和噪音能力的重要指标<sup>[9]</sup>。在材料的使用温度范围内(即常温下),阻尼值越大,在材料的阻尼隔声控制区,材料的隔声性能越好。由图 7、图 8、图 9 可知,随着 DOP 的用量增加,阻尼系数曲线的峰值往低温方向移动。由图 7 可知当  $\omega_{\text{DOP}}=80$  份时,阻尼峰值在 5℃ 附近,偏离了材料的使用温度范围,对材料的隔声性能影响较小;当  $\omega_{\text{DOP}}=50$  份时,阻尼峰值向高温移动(在 30℃ 附近),也偏离了材料的使用温度范围;当  $\omega_{\text{DOP}}=20$  份时,阻尼峰值在 70℃,更偏离了材料的使用温度范围。在材料的使用温度范围内(20℃), $\omega_{\text{DOP}}=50$  份时的阻尼值达到最大,损耗因子保持在 0.4 以上。所以  $\omega_{\text{DOP}}=50$  份时材料具有较好的隔声性能;图 8 可知当  $\omega_{\text{CPE}}=20$  份, $\omega_{\text{DOP}}=50$  份和 80 份时,阻尼值相近;当  $\omega_{\text{CPE}}=30$  份时(如图 9),在材料的使用温度范围内, $\omega_{\text{DOP}}=80$  份时材料的阻尼值达到最大,隔声量也最好,这与前面分析的隔声曲线正好相符。

CPE 含量对材料阻尼系数的影响如图 10、图 11、图 12。

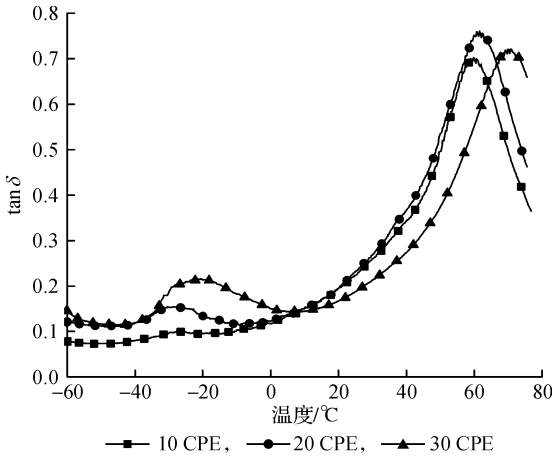


图 10  $\omega_{\text{DOP}}=20$  份时不同 CPE 试样的  $\tan\delta$  对比

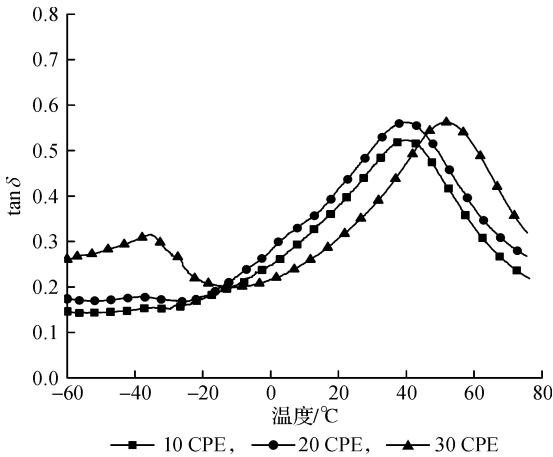


图 11  $\omega_{\text{DOP}}=50$  份时不同 CPE 试样的  $\tan\delta$  对比

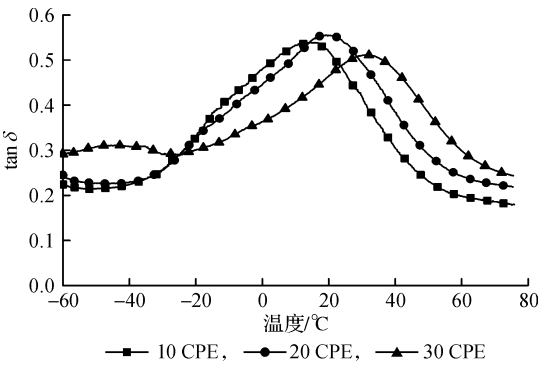


图 12  $\omega_{\text{DOP}}=80$  份时不同 CPE 试样的  $\tan\delta$  对比

由图 10、图 11、图 12 可以看出,随着 CPE 含量的增加阻尼峰值往高温方向移动,且曲线峰值相近,但是当  $\omega_{\text{DOP}}=20$  份和 50 份时,无论 CPE 含量为多少,材料的损耗因子峰值都偏离了材料的使用温度范围,但是在材料的使用温度范围内 CPE 为 20 份时材料具有较好的阻尼。当  $\omega_{\text{DOP}}=80$  份时, $\omega_{\text{CPE}}=20$  份材料的阻尼峰值在材料的使用温度范围内,且曲线的温度范围较宽,覆盖材料使用的环境温度范围。所以当 CPE 与 DOP 共同填充 PVC 树脂时 CPE 对材料的阻尼系数影响较小,当  $\omega_{\text{CPE}}$  为 20 份时最好。

2.3 不同含量 CPE 与 DOP 材料的静态力学性能

为了研究 CPE 与 DOP 的含量对材料静态力学性能的影响,主要选取了试样 1~6 和试样 13~18 进行研究,实验结果如图 13、图 14 所示。

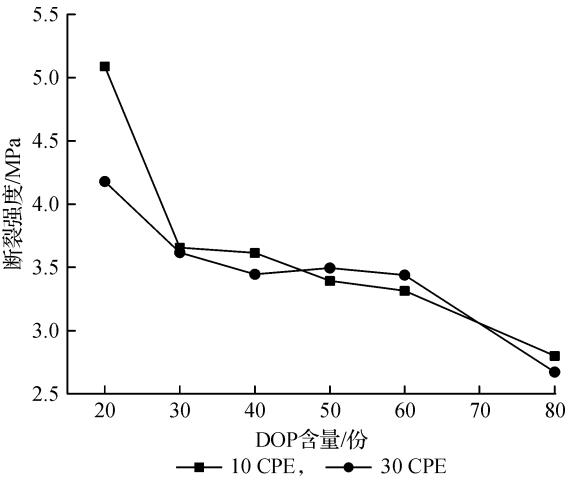


图 13 试样的断裂强度

由图 13、图 14 可以看出,随着增塑剂用量的增加,PVC 共混材料的拉伸强度下降,断裂伸长率增加。在增塑剂用量相同的情况下,共混材料的拉伸强度相差不大<sup>[10]</sup>。这是由于 DOP 可以削弱聚合物分子间的次价键,使分子链之间作用力减弱,增加了分子链的移动性,从而提高树脂加工流动性和制品的柔软性。但是可以看出,随着 CPE 含量的增加,

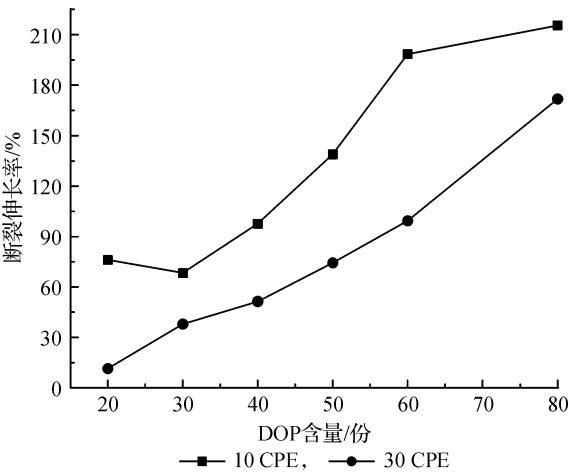


图 14 试样的断裂伸长率

材料的断裂强度有所降低,而断裂伸长率也下降。这主要是由于 CPE 属橡胶类聚合物,其拉伸强度本身就比 PVC 树脂低,而且 CPE 与 PVC 树脂具有很好的相容性,所以当其含量增多时能降低和削弱 PVC 大分子间的作用力,最终导致材料力学性能的降低。由此可见增塑剂 DOP 的加入可以改善材料的拉伸性能。

2.4 材料的刚性

材料的刚柔性测试结果如表 2 所示。

表 2 材料的刚柔性测试结果

$\omega_{\text{CPE}}$	$\omega_{\text{DOP}}$	刚度/(N·cm)	$\omega_{\text{CPE}}$	$\omega_{\text{DOP}}$	刚度/(N·cm)
30	20	2.505	20	50	1.734
30	30	2.331	20	60	1.035
30	40	1.743	20	80	0.642
30	50	1.362	10	20	2.897
30	60	0.600	10	30	2.431
30	80	0.492	10	40	2.105
20	20	2.612	10	50	1.604
20	30	2.450	10	60	1.003
20	40	2.020	10	80	0.793

从表 2 可以看出,随着 CPE 和 DOP 含量的增加,刚度越来越小,即材料越来越柔软;可见 CPE 的加入对 PVC 复合材料具有增韧和增塑的作用,而 DOP 本身就是较好的增塑剂,CPE 与 DOP 的加入提高了材料的柔软性。

3 结 论

a) CPE 与 DOP 的含量主要对复合材料的低频和中频有一定的影响,对高频影响较小。

b) 当 CPE 相对于 PVC 用量为 10 份和 20 份,DOP 为 50 份时,材料的隔声性能达到最大值;当 CPE 为 30 份,DOP 为 80 份时材料的隔声性能达到最大。

c) CPE 的含量相对于 DOP 来说对材料的隔声性能影响不大。

d) 随着增塑剂 DOP 含量的增加,材料越来越柔软,断裂伸长率增大,拉伸强度减小。

#### 参考文献:

- [1] 王文广, 田雁晨. 塑料配方设计[M]. 2 版. 北京: 化学工业出版社, 2004: 61-65, 128-129, 417-418.
- [2] 李 杰, 郑 德. 塑料助剂与配方设计技术[M]. 2 版. 北京: 化学工业出版社, 2005: 235-245, 418-432.
- [3] 王兴中, 赵劲松, 付志敏. 硫酸钡粉体在 PVC-U 复合材料中的应用[J]. 聚氯乙烯, 2006(11): 24-26.
- [4] 曹庆辉. CPE/PVC 混合体的改性及机理探讨[J]. 上海塑料, 2001(1): 18-20.

- [5] 卢树人. CPE 树脂知多少[J]. 原料助剂, 2003(4): 38-41.
- [6] 王国全. 40 种新型聚氯乙烯软制品实用技术与配方[M]//聚合类树脂与塑料. 北京: 兵器工业出版社, 1993: 12-15.
- [7] Peter J M, Zhu Wenzhong. Effect of microsilica and acrylic polymer treatment on the ageing of GRC[J]. Cement and Concrete Composites, 1996, 18(1): 31-39.
- [8] 张邦俊, 翟国庆. 环境噪声学[M]. 2 版. 杭州: 浙江大学出版社, 2001: 264-265.
- [9] 符 刚. 高分子阻尼材料制备及约束阻尼结构的设计[D]. 杭州: 浙江大学, 2008.
- [10] 李 岩, 屈泽华, 刘 琳, 等. 长链聚酯增塑剂在 PVC 中的应用研究[R]. 北京: 中国化学会, 2005.

## Study on the Effect of DOP and CPE Content on BaSO<sub>4</sub> Filled PVC Composites Acoustic Insulation Performance

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

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

**Abstract:** By adding dioctyl phthalate (DOP) and chlorinated polyethylene (CPE) with different parts of weight to the BaSO<sub>4</sub> filled PVC (PVC) insulation composite materials, the paper studies on how the content of DOP and CPE impact acoustic insulation properties of BaSO<sub>4</sub> filled PVC-based composites. Using BSWA VS302USB dual channel acoustic analyzer, universal testing machine and dynamic thermal analyzer, the researchers test material's insulation properties, mechanical properties and damping. Experiments show that it has good sound insulation to the low frequency when the relative mass of 100 phr PVC, DOP is 50, CPE of 20. When the relative quality of 80 parts DOP, CPE of 20 phr of the IF it has a good sound insulation performance to middle frequency and less impact on the high frequency.

**Key words:** chlorinated polyvinyl chloride; dioctyl phthalate; weight parts; polyvinyl chloride polymer; insulation composite materials

(责任编辑: 张祖尧)