

DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2019.11.044

聚碳酸酯/纳米二氧化硅复合材料隔声性能研究

王广周¹, 侯东², 王广克², 聂京凯², 王磊磊¹, 李媛¹, 陈新²

(1. 国网河南省电力公司电力科学研究院, 郑州 450052; 2. 全球能源互联网研究院有限公司, 北京 102211)

摘要: 隔声材料是治理噪声环境污染的重要途径之一,采用双螺杆挤出法制备聚碳酸酯/纳米二氧化硅复合材料。测试了复合材料的储能模量、损耗因子和隔声性能。结果表明:随着纳米填料二氧化硅添加量的增加,复合材料的储能模量提高,损耗因子峰值逐渐降低,复合材料的玻璃化转变温度及阻尼温域均向高温方向移动,阻尼温域变宽;5 mm聚碳酸酯基体材料的计权隔声量为24.4 dB,加入纳米二氧化硅填料后复合材料隔声性能有明显改善,在纳米二氧化硅添加量为3 phr时,复合材料隔声性能达到最大,计权隔声量达到为27.5 dB;填料粒径对于复合材料隔声性能影响不大,随着纳米填料粒径增加,复合材料隔声性能有轻微降低。

关键词: 隔声材料;聚碳酸酯/纳米二氧化硅复合材料;隔声性能;平均隔声量

Sound Insulation Properties of Polycarbonate/Nano Silica Composites

WANG Guangzhou¹, HOU Dong², WANG Guangke², NIE Jingkai², WANG Leilei¹,

LI Yuan¹, CHEN Xin²

(1. State Grid Henan Electric Power Research Institute, Zhengzhou 450052, China; 2. Global Energy Interconnection Research Institute Co., Ltd., Beijing 102211, China)

Abstract: Polycarbonate/nano silica composites were prepared by twin screw extrusion method. The storage modulus, loss factor and sound insulation properties of the composites were tested. The results show that the storage modulus of the composite increases and the peak value of the loss factor decreases gradually with the increase of the addition amount of nanosilica; the weighted sound reduction index of 5 mm polycarbonate matrix material is 24.4 dB, and the sound insulation performance of the composite material is significantly improved after adding nanosilica filler; and the weighted sound reduction index reaches 27.5 dB when the amount of nanosilica is 3 phr. The particle size of the filler has little effect on the sound insulation property of the composite, and the sound insulation property of the composite decreases slightly with the increase of the particle size.

Key words: sound insulation material; polycarbonate/nano silica composite; sound insulation property; sound reduction index

0 引言

噪声环境污染的日益严重,对人类的健康及生活产生了严重的影响。对噪声实施有效的降噪处理已变得越来越紧迫,而吸声材料和隔声材料作为一种有效被动降噪的方式而被广泛应用^[1-4]。由于传统的隔声材料密度大,较为笨重,限制了其应

用。近年来,国内外对轻质聚合物复合隔声材料进行了大量的理论和试验研究^[5-10]。付强^[11]等人研究了氧化石墨烯/丁腈橡胶-聚氯乙烯复合材料的隔声性能,发现随着氧化石墨烯添加量的增加,复合材料的隔声性能提高。Liang和Jiang^[12]讨论了以聚丙烯(polypropylene, PP)为基础的两种颗粒填充复合材料(PP/中空玻璃珠和PP/纳米碳酸钙(nano-CaCO₃))的

收稿日期:2019-04-06; 修回日期:2019-06-12

基金项目:国网河南省电力公司项目(城市变电站干式电抗器隔离降噪技术研究及应用)。

Project Supported by State Grid Henan Electric Power Company of Program(Research and Application of Isolated Noise Reduction Technology for Dry Reactor in Urban Substation).

隔声机理,结果表明随着填充剂体积分数的增加,复合材料的隔声性能线性增强。Kim^[13-14]等人对PP/clay/碳纳米管(carbon nanotube, CNT)复合材料的隔音特性进行了研究,发现与仅含CNT或粘土纳米填料的复合材料相比,PP/clay/CNT纳米复合材料的隔声能力更强。

聚碳酸酯是目前最为常用的一种热塑性工程塑料,密度 1.2 g/cm^3 ,具有优异的机械性能、耐候性能、耐热性能、透明性等^[15-17],是取代玻璃透明隔声材料较为合适的候选材料,到目前为止关于聚碳酸酯基复合材料隔声性能的研究很少,文中以聚碳酸酯(polycarbonate, PC)为基体,纳米二氧化硅(Nanosilica)为改性填料,制备了PC/Nanosilica纳米复合材料,研究了复合材料的动态力学性能与隔声性能。

1 实验部分

1.1 样品制备

采用熔融共混和注塑成型的方法制备聚碳酸酯/纳米二氧化硅复合材料。具体步骤如下:将聚碳酸酯粒料、不同粒径纳米 SiO_2 粒子在 $120\text{ }^\circ\text{C}$ 温度下干燥 10 h 备用;称取已干燥原料,按一定比例进行配制,聚碳酸酯为 100 phr ,纳米二氧化硅分别取 $1, 3, 5\text{ phr}$,使用TSE-30型双螺杆挤出机熔融共混造粒,得到聚碳酸酯/纳米二氧化硅复合粒料,共混温度 $240\text{ }^\circ\text{C}$,转速 40 转/分钟 ;采用SZ-05卧式注塑机将复合粒料注入模具制成标准尺寸样品,注塑温度为 $270\text{ }^\circ\text{C}$,模具温度为 $90\text{ }^\circ\text{C}$ 。

1.2 样品测试与表征

1.2.1 动态力学性能测试

采用动态力学性能分析仪DMA8000(美国Perkin Elmer公司)对试样的动态力学性能进行测试,试样尺寸 $20\text{ mm}\times 10\text{ mm}\times 5\text{ mm}$,测试温度范围 $-50\sim 100\text{ }^\circ\text{C}$,升温速率 $3\text{ }^\circ\text{C/min}$,振动频率 10 Hz 。

1.2.2 隔声性能

隔声性能测量采用阻抗管测试系统4206T(丹麦B&K公司),阻抗管内径 100 mm ,试样尺寸 $\phi 100\text{ mm}\times 5\text{ mm}$,隔声性能测试按照GB/T 18696.2—2002进行测试,采集 $100\sim 1600\text{ Hz}$ 频率范围内的隔声量。

2 结果与讨论

2.1 复合材料的动态力学性能

动态力学性能是聚合物阻尼材料的固有性能,其表征参数主要为:储能模量(E')和损耗因子($\tan\delta$),

以此来评价聚合物材料变形过程中耗散能量的能力^[18]。聚碳酸酯/二氧化硅储能模量与温度的关系曲线见图1,填料粒径 200 nm ,从图1中可以看到,在低温阶段,聚合物基体和复合材料的储能模量较高,随着温度的升高到玻璃化转变温度(T_g),储能模量会急剧降低。此外,相对于基体材料聚碳酸酯,添加填料二氧化硅后复合材料的储能模量有所提高,与聚碳酸酯基体相比,二氧化硅填料的储能模量要大得多,这是由于当纳米二氧化硅填入聚碳酸酯基体后,会减少基体分子间交联点,使基体与填料间的相容性得到改善,在微相区间内形成相分离,有效地改善复合材料的阻尼性能。

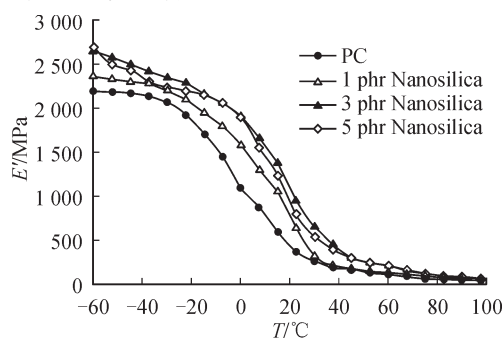


图1 PC/nano- SiO_2 复合材料的储能模量与温度关系曲线

Fig. 1 Relationship between storage modulus and temperature of PC/nano- SiO_2 composite

聚碳酸酯/纳米二氧化硅复合材料损耗因子与温度的关系曲线见图2,填料粒径 200 nm ,从图2中可以看到,复合材料损耗因子($\tan\delta$)随温度的升高先增大后减小,其峰值出现在复合材料玻璃化转变温度(T_g)处;随着纳米填料二氧化硅添加量的增加,复合材料损耗因子峰值逐渐降低,复合材料的玻璃化转变温度及阻尼温域均向高温方向移动,阻尼温域变宽。

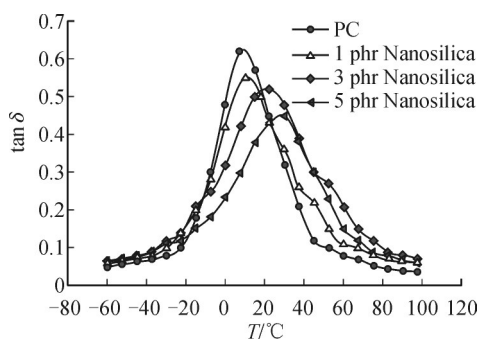


图2 PC/nano- SiO_2 复合材料的损耗因子与温度关系曲线

Fig. 2 Relationship between loss factor and temperature of PC/nano- SiO_2 composite

当复合材料处于玻璃化转变区域时,复合材料聚合物基体分子链由“冻结”到“解冻”,形变不能跟上外力的变化,链段间的运动受阻,链段间的摩擦

使材料受到的机械能转化为热能耗散,致使材料的 E' 在此区域内大幅下降,但 $\tan\delta$ 在此区域出现峰值。Flry和Fox^[19-20]自由体积理论表明,在“解冻”状态下,聚合物分子链运动是产生阻尼的主要运动形式。因此,在聚合物基体聚碳酸酯中添加纳米二氧化硅能有效地改性基体的阻尼性能,耗散作用于阻尼材料基体上的能量。

2.2 复合材料的隔声性能

2.2.1 填料含量对复合材料隔声性能影响

不同纳米二氧化硅(200 nm)添加量复合材料的传递损失随频率变化曲线见图3,从图3中可以看到,纯聚碳酸酯隔声量相对较低,1/3倍频程计权隔声量为24.4 dB,加入纳米填料后复合材料隔声性能有明显改善,在纳米二氧化硅添加量为3 phr时,复合材料隔声性能达到最大,1/3倍频程计权隔声量为27.5 dB,继续增加填料含量5 phr时,复合材料的隔声性能略有降低。随着填料增加,基体材料的储能模量逐渐增大,基体与填料之间的相互作用增多,当声波透过材料时受到的阻力更大,声能的损耗量增大,当添加量为5 phr时,隔声性能有降低的趋势,这可能是由于纳米填料添加过量,导致填料在基体中发生团聚。一般来说,作为第二相的纳米颗粒的最佳效果通常与其最佳含量有关。纳米颗粒由于其高的比表面积,与聚合物基体结合可以提高纳米复合材料的机械性能,但是若填料添加过量,会降低纳米填料在基体中的分散程度,可以确定是聚碳酸酯基复合材料达到最高隔声性能的纳米二氧化硅含量为3 phr。

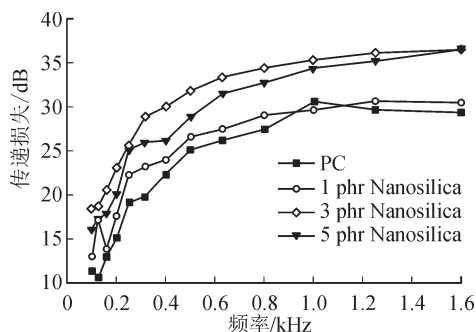


图3 PC/nano-SiO₂复合材料隔声性能曲线

Fig. 3 Sound insulation performance curve of PC/nano-SiO₂ composite

2.2.2 填料粒径对复合材料隔声性能影响

为了研究不同粒径纳米二氧化硅对聚碳酸酯基复合材料隔声性能的影响,文中选用了200 nm, 600 nm和1 μm 的3种规格二氧化硅颗粒,制备了填料分数为3 phr的聚碳酸酯/纳米二氧化硅复合材料。不同粒径填料复合材料的隔声性能曲线见图4。

从图4中可以看到,200 nm和600 nm复合材料的隔声性能略高于1 μm ,复合材料隔声性能差异很小。这是由于填料为3 phr时,填料能在聚合物基体中均匀分布,填料的粒径越小,比表面积越大,聚碳酸酯基体与填充材料粒子界面粘结强度越高,当声波传入复合材料后需要克服更大的阻力,从而提高复合材料的隔声性能。

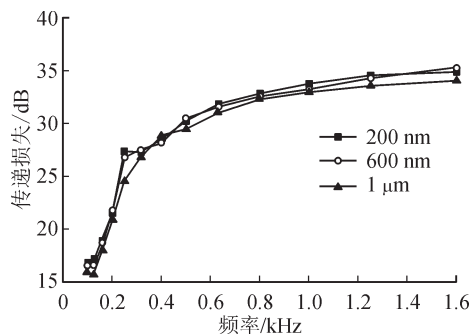


图4 不同粒径填料复合材料的隔声性能曲线

Fig. 4 Sound insulation performance curves of composite with different particle size filler

3 结论

1)随着纳米填料二氧化硅添加量的增加,复合材料的储能模量提高,损耗因子峰值略有降低,复合材料的玻璃化转变温度及阻尼温域均向高温方向移动,阻尼温域变宽。

2)纯聚碳酸酯隔声量相对较低,平均隔声量为24.4 dB,加入纳米填料后复合材料隔声性能有明显改善,在纳米二氧化硅添加量为3 phr时,复合材料隔声性能达到最大,平均隔声量为27.5 dB,与聚合基体相比,提高了约3 dB。

3)填料粒径对于复合材料隔声性能影响不大,随着纳米填料粒径增加,复合材料隔声性能有轻微降低。

参考文献:

- [1] 何冬林,郭占成,廖洪强,等. 多孔吸声材料的研究进展及发展趋势[J]. 材料导报,2016,26(19):303-306.
HE Donglin, GUO Zhancheng, LIAO Hongqiang, et al. Research progress and development trend of porous absorption materials[J]. Materials Review, 2016, 26(19):303-306.
- [2] 杨明,王婷,葛曷一. 纤维吸声材料研究进展[J]. 化工新型材料,2018,46(6):5-8.
YANG Ming, WANG Ting, GE Heyi. Development of fiber sound absorption material[J]. New Chemical Materials, 2018, 46(6):5-8.
- [3] 曲飞雨. 变电站噪声及隔声材料隔声性能研究[D]. 北

- 京:华北电力大学,2017.
- QU Feiyu. Study on noise and properties of sound insulation materials in substations[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2017.
- [4] 李鸿顺,钱 坤,曹海建,等. 整体中空复合材料隔声性能的实验研究[J]. 复合材料学报,2011,28(4):167-170.
- LI Hongshun, QIAN Kun, CAO Haijian, et al. Experimental study on the sound insulation property of integrated hollow core sandwich composites[J]. *Acta Materialiae Compositae Sinica*, 2011, 28(4): 167-170.
- [5] 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.
- YAO Yuefei, GAO Lei, YANG Qiongli, et al. Sound insulation property of PVC matrix composite material filled with cenosphere fly ash[J]. *Polymer Materials Science & Engineering*, 2009, 25(11): 61-64.
- [6] WANG Yan, ZHU Yaofeng, FU Xiang, et al. Effect of TW-ZnO/SiO₂-compounded shear thickening fluid on the sound insulation property of glass fiber fabric[J]. *Textile Research Journal*, 2015, 85(9): 980-986.
- [7] 姚跃飞,罗勇波,高 磊,等. 聚氯乙烯基隔声材料中填充炼钢炉渣粉[J]. 复合材料学报,2008,25(2):74-79.
- YAO Yuefei, LUO Yongbo, GAO Lei, et al. PVC sound insulation material filled with steel-smelting scoria[J]. *Acta Materialiae Compositae Sinica*, 2008, 25(2): 74-79.
- [8] 刘 飞,王 超,李博弘,等. 丙烯酸树脂基新型高分子隔声材料的制备与研究[J]. 化学与粘合,2017,39(4):271-274.
- LIU Fei, WANG Chao, LI Bohong, et al. Preparation and study on the acrylic resin based new polymer Sound insulating material[J]. *Chemistry and Adhesion*, 2017, 39(4): 271-274.
- [9] BAICK I H, ANG W J, AHN Y G, et al. Structure and properties of ultra-high molecular weight bisphenol A polycarbonate synthesized by solid-state polymerization in amorphous microlayers[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2015, 132(10): 41609.
- [10] BELOSHENKO V A, VOZNYAK A V, VOZNYAK Y V. Effects of equal-channel, multiple-angular extrusion on the physical and mechanical properties of glassy polymers[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2015, 132(27): 24180.
- [11] 傅 强,蔡 俊,傅雅琴,等. 氧化石墨烯/丁腈橡胶-聚氯乙烯复合材料的隔声性能[J]. 复合材料学报,2017,34(7):1401-1407.
- FU Qiang, CAI Jun, FU Yaqin, et al. Sound insulation performance of graphene oxide/NBR-PVC composites[J]. *Acta Materialiae Compositae Sinica*, 2017, 34(7): 1401-1407.
- [12] LIANG J Z, JIANG X H. Soundproofing effect of polypropylene/inorganic particle composites[J]. *Composite Part B*, 2012, 43(4): 1995-1998.
- [13] KIM M S, YAN J, KANG K M, et al. Soundproofing ability and mechanical properties of polypropylene/clay/carbon nanotube nanocomposites[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2013, 130(1): 504-509.
- [14] KIM M S, YAN J, KANG K M, et al. Soundproofing ability and mechanical properties of polypropylene/exfoliated graphite nanoplatelet/carbon(PP/xGnP/CNT)composite[J]. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing Green Technology*, 2013, 14(6): 1087-1092.
- [15] DUQUESNE S, JIMENEZ M, BOURBIGOT S. Aging of the flame retardant properties of polycarbonate and polypropylene protected by an intumescent coating[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2014, 131(3): 712-717.
- [16] 周重光,李桂芝,宋 洁. SiO₂/聚碳酸酯纳米相复合材料的制备与性能[J]. 高分子材料科学与工程,2000,16(2): 109-111.
- ZHOU Chongguang, LI Guizhi, SONG Jie. The preparation and properties of the silica/polycarbonate nanocomposite materials[J]. *Polymer Materials Science & Engineering*, 2000, 16(2): 109-111.
- [17] 柳鑫龙,朱晓明,安江峰,等. 聚碳酸酯老化研究进展[J]. 高分子通报,2014(1): 72-75.
- LIU Xinlong, ZHU Xiaoming, AN Jiangfeng, et al. Polycarbonate ageing research progress[J]. *Chinese Polymer Bulletin*, 2014(1): 72-75.
- [18] 刘 飞. 树脂基隔音阻尼材料的制备与性能研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学,2017.
- LIU Fei. Preparation and properties of resin-based sound damping materials[D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2017.
- [19] 王永刚. 宽温域高阻尼丁基橡胶材料的研究[D]. 青岛:青岛科技大学,2010.
- WANG Yonggang. Study on the damping properties of butyl rubber with wide temperature range[D]. Qingdao: Qingdao University of Science & Technology, 2010.
- [20] 赵秀英,向 平,张立群. 受阻酚/丁腈橡胶复合材料的结构与性能[J]. 复合材料学报,2007,24(2): 44-49.
- ZHAO Xiuying, XIANG Ping, ZHANG Liqun. Structure and properties of hindered phenol/nitrile butadiene rubber composites[J]. *Acta Materialiae Compositae Sinica*, 2007, 24(2): 44-49.
- 王广周(1981—),男,高级工程师,主要从事电磁环境与噪声防治方面研究。