

WTRP/GF/PVC 复合材料隔声性能研究

高磊, 姚跃飞, 罗勇波, 俞来明, 傅雅琴, 刘冠峰

(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: 选用废旧橡胶粉、玻璃纤维织物和聚氯乙烯制备了废旧橡胶粉/玻纤织物/聚氯乙烯(WTRP/GF/PVC)复合材料。分别利用双声道分析仪、DMA、万能材料试验机、自动氧指数测定仪等对材料的隔声性能、动态力学性能、拉伸性能及阻燃性能等进行了测试。结果表明: WTRP/GF/PVC 复合材料与 GF/PVC 相比, 隔声性能没有降低, 在低频段(200~630 Hz)和高频段(1600~8000 Hz)隔声量略有提高, 中高频段(630~1600 Hz)隔声量很接近, 而常温以上的阻尼性能显著提高; 随着 WTRP 含量的增加, 隔声量在整个频率段变化不明显, 拉伸强度先上升后下降, LOI 值缓慢增加。

关键词: 聚氯乙烯; 废旧橡胶粉; 复合材料; 隔声; 阻燃性能

中图分类号: TB332 **文献标识码:** A

0 引言

随汽车工业的发展, 废旧轮胎橡胶(WTR)的生成量越来越多。它所引起的“黑色污染”已遍及世界的各个角落, 引起了人们的广泛关注^[1-2]。如何有效回收利用废旧橡胶, 使其变废为宝, 事关整个社会的可持续发展, 既是国际橡胶工业界十分关注的重大课题, 也是我国再生资源回收利用面临的一个新课题。与此同时, 噪声污染已成为困扰人们物质和精神生活的一大心病^[3-9], 为改善人们的生活环境和工作环境, 防治噪声污染已刻不容缓。

本文利用具有减震功能的废旧橡胶粉(WTRP)、高阻尼的聚氯乙烯树脂和具有高吸声系数的玻璃纤维织物, 制备 WTRP/GF/PVC 隔声复合材料, 研究材料的隔声、阻尼、拉伸、阻燃等性能, 为使用对生态环境有害的固体废弃物制备高性能、高功能的环境保护新材料提供新的思路。

1 实验部分

1.1 实验材料

E 型聚氯乙烯糊树脂(EPVC), 白色粉末(天津渤海化工有限责任公司); 柠檬酸三丁酯(TBC), 透明油状液体(江苏雷蒙化工科技有限公司); 环氧大豆油(ESO), 浅黄色粘稠油状液体(浙江桐乡市嘉澳化工有限公司); 玻璃纤维 EW100 织物, 面密度 0.1 kg/m², 厚度 0.08 mm(杭州玻璃纤维厂); 废旧橡胶粉(WTRP), 黑色粉末, 80 目(杭州宝力物资再生利用有限公司)。

1.2 试样的制备

首先将 EPVC、TBC、ESO 按照 100 : 130 : 7 的质量比^[7]混合搅拌均匀, 再添加一定量的 WTRP(其为变量), 制取粘合剂待用。然后将粘合剂浇注到已经铺制好的玻璃纤维织物上, 用玻璃棒滚平后放置于 160℃的烘箱中烘烤 15 min, 自然冷却制得片材, 然后将片材放入厚度为 2 mm 的模具中在平板硫化机进行

二次成型,其目的是为了 提高材料的厚度均匀度。成型条件:温度 150℃,压力 1.5 MPa,预热 5 min,保压 10 min。试样的有关参数见表 1。

表 1 试样的相关参数			
试样编号	WTRP 质量 分数/ %	面密度 /(kg · m ⁻²)	厚度/ mm
1	0	2.238	1.90
2	5	2.278	1.85
3	10	2.344	1.88
4	15	2.530	1.93

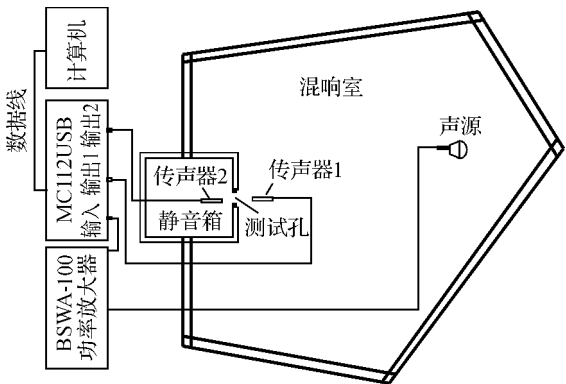


图 1 隔声测试系统

1.3 试样隔声性能的测试

采用 BSWA VS302USB 双声道声学分析仪(北京声望声电技术有限公司)测试隔声性能,用 Spectra LAB 软件分析数据。声望 VS302USB 系统、无指向性声源和 BSWA-100 型功率放大器等系统按照图 1 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。选择 A 计权网络,声压级为 80 dB 的粉红背景噪声源。其中静音箱体积为:1000 mm×1000 mm×1000 mm,测试样的尺寸为 250 mm×250 mm。声音的取样频率取“48000”;抽取速率选择位取“1”;快速傅立叶变换样本数取“2048”。数据计测采用常用的 1/ 3 倍频程。

首先,测试在没有试样的情况下噪声的自由衰减量及原始声压级降;然后,把试样固定在测试孔上,测试此时的声音衰减量(总衰减量)及总声压级降。试样对声音的实际衰减量就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。

1.4 试样动态力学性能的测试

用 Diamond DMA 动态热机械分析仪(美国 PERKIN ELMER 公司)测试材料的动态力学性能。测试频率为 10 Hz,升温速率为 3℃/min,测试温度范围为-100~100℃。

1.5 试样结构的观察

采用真空镀膜法对试样横断面镀金,用扫描电子显微镜(JSM-5610LV 型,日本电子有限公司)观察其结构,电压 5 kV。

1.6 拉伸性能测试

在标准大气条件下(温度为 20℃±2℃,相对湿度为 65%±2%),用万能材料试验机测试拉伸性能。该试验机由计算机控制,数据自动采集。裁剪试样尺寸如图 2 所示,其中夹距为 100 mm。测试速率为 100 mm/min,预加张力为 2 N。

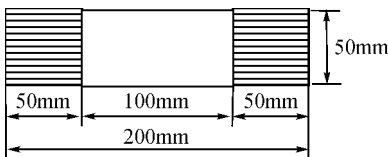


图 2 拉伸性能测试试样

1.7 试样的阻燃性测试

采用自动氧指数测定仪(LCK-09 型,山东纺织研究院测控设备开发中心生产)测试试样的极限氧指数 LOI(Limiting Oxygen Index)。

2 实验结果与讨论

2.1 隔声测试系统的稳定性考察

为了考察隔声测试系统的稳定性,对表 1 中制备的每个试样在不同的日期 80 dB 的声源条件下进行测试,结果见图 3。

从图 3 中可以看出,对于每个试样来说,在低于 800 Hz 的频率区,三条隔声曲线是几乎重合的,而在高于 800 Hz 的频率区,三条曲线差别较大。说明该测试系统对中低频率区的隔声测试的重复性、稳定性好,具有可比性,而对于高频区测试的重复性、稳定性差,具有一定的参考价值。究其原因,可能是中低频区的测试

受外界条件(温度、湿度等环境因素)的影响很小,而高频区由于吻合频率的存在易受外界条件的影响,具体是如何影响的有待于在今后的实验中进一步研究。

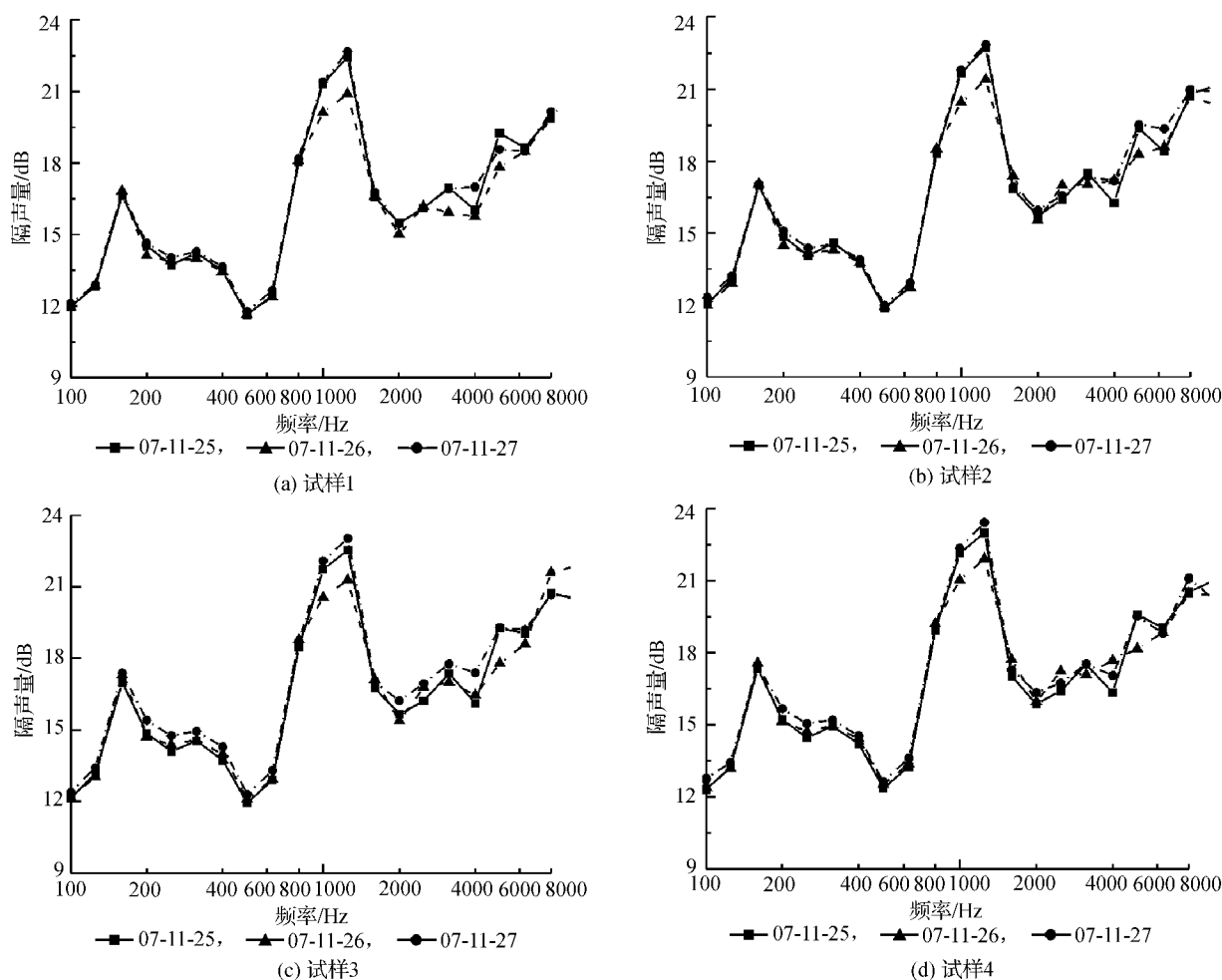


图3 不同测试时间下试样的隔声性能比较

2.2 试样的隔声性能

图4为对每个试样的3次测试数据取平均后,得到的隔声量对频率的隔声曲线。

从图4中可以看出,复合材料的隔声曲线变化趋势基本相同且遵循单层匀质质密实墙的典型隔声频率特征:在低频段(100~630 Hz),隔声量出现上下波动,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跟阻尼的控制,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(630~1250 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6 dB/倍频程;在高频段(>1250 Hz)因吻合效应分别在2000 Hz、4000 Hz和6300 Hz处出现了隔声低谷。此外,还可以看出,WTRP/GF/PVC复合材料与GF/PVC相比,隔声量没有降低,说明了WTRP代替部分的PVC树脂并没有降低材料的隔声性能;在低频段(200~630 Hz)和高频段(1600~8000 Hz)隔声量略有提高,中高频段(630~1600 Hz)隔声量很接近,随着

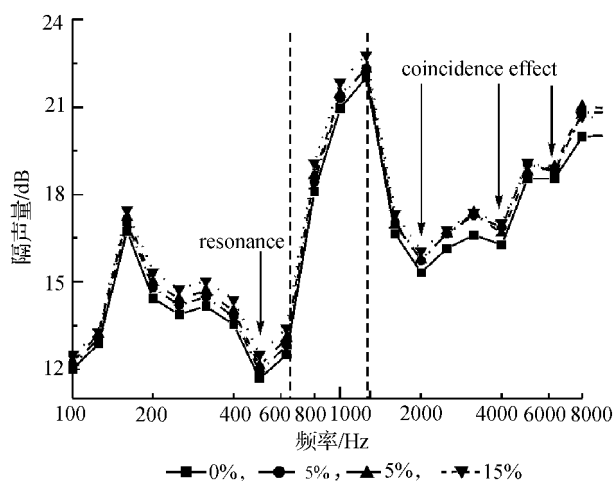


图4 不同试样的隔声曲线比较

1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

WTRP 含量的增加, 隔声量在整个频率段变化不明显, 说明了 WTRP 代替部分的 PVC 树脂在降低材料成本的同时, 对材料的隔声性能具有一定的补强作用, 进一步论证了将 WTRP 用于制备降噪材料的可行性。

若平均隔声量 R 定义为中心频率为 100 至 3150 Hz 的 16 个 1/3 倍频程的隔声量的算术平均值^[8], 经过计算试样的平均隔声量在 15.47 ~ 16.25 dB 之间, 显示出了良好的隔声效果。

2.3 试样的动态力学性能

实验选取了试样 1 和试样 4 作相应的动态力学性能测试, 结果见图 5。

从图 5 可以看出, 由于试样 4 中添加了 WTRP, 其损耗因子 $\tan \delta$ 曲线的峰值降低并向高温方向迁移, 在常温到 100℃ 的范围内, 试样 4 的 $\tan \delta$ 比试样 1 的大, 由于阻尼能力与损耗因子相对应, 故说明了添加 WTRP 使材料在常温状态以上的阻尼性得到显著提高, 即材料在承受周期性应变时能够以热量方式耗损机械能的能力提高。正是由于 WTRP 对材料阻尼性能的改善, 提高了粘弹损耗, 抑制了吻合效应, 使得 WTRP/GF/PVC 复合材料较 GF/PVC 在低频段和高频段隔声性能略有提高。

2.4 WTRP/GF/PVC 复合材料的结构与力学性能

材料的结构决定材料的性质, 因此有必要对复合材料的结构进行研究。图 6 为 WTRP/GF/PVC 复合材料的扫描电镜照片。图 7 为试样的拉伸强度与 WTRP 含量的关系图。

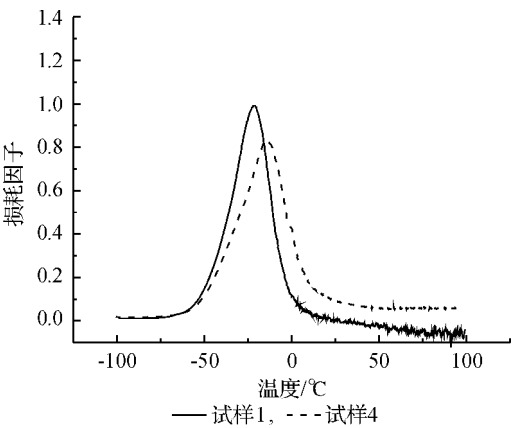


图 5 试样 1 与试样 4 样损耗因子的比较

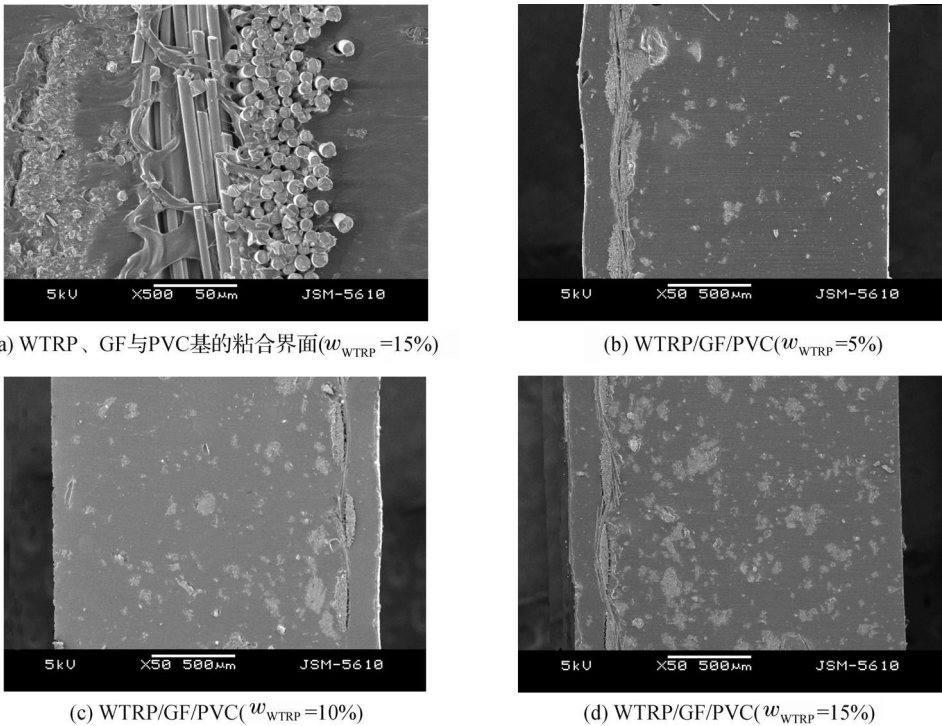


图 6 WTRP/ GF/ PVC 复合材料的 SEM 照片

从图 6(a)中可以看出 PVC 基体与 WTRP 间界面界限不明显, 说明 WTRP 与 PVC 粘合得比较好; 而 PVC 基体由于二次成型过程中受到一定的压力有小部分渗透到纤维束里面, 纤维束仍保留了一定的连通性孔洞通道, 说明玻纤好的吸声作用在复合材料中仍能得到一定程度的发挥。

从图 7 来看材料的拉伸强度随着 WTRP 量的增加先上升后下降, WTRP 质量分数为 5% 的比不含有 WTRP 的拉伸强度提高了 3.7%, 而质量分数为 15% 的比不含的下降了 30.3%。利用 WTRP/GF/PVC 复合材料的 SEM 照片可以很好地解释材料拉伸性能的这种变化。对于颗粒填充型复合材料来说, 材料的力

学性能很大程度上依赖于颗粒的尺寸大小,在基体中的分散状况及与基体之间的相容性。从 SEM 照片上来看,当 WTRP 质量分数较小($<5\%$)时,粒子较小,分散均匀,且大小较一致,从而很好地提高了材料的拉伸强度;但是,随着 WTRP 质量分数的增大($>5\%$),分散相粒子在基体 PVC 中逐渐发生团聚,含量为 15% 时团聚现象已经非常严重,见图 6(a)与(d),粒子的团聚造成了分散相粒子相对较大,缺陷多,分布不均匀,这就极易在材料内部形成薄弱区域,从而大大地降低材料的拉伸性能。

2.5 试样的阻燃性能

作为隔声材料,除了隔声性能要考虑之外,阻燃性能也是事关重要的。试样的阻燃性能测试结果见表 2。从表 2 可以看出,随着 WTRP 含量的增加,材料的 LOI 值缓慢增加。LOI 值略微提高的原因是 WTRP 为硫化交联结构,加热不熔,组分复杂,其中含有的碳黑、热稳定剂等的存在,对填充有 WTRP 试样的阻燃性能产生一定程度的有利影响,但与国家阻燃材料的阻燃标准 $LOI=28\%$ 相比,阻燃效果并不理想。关于如何提高材料阻燃性能将在以后的工作中做详细研究。

3 结 论

- a)WTRP/GF/PVC 复合材料与 GF/PVC 相比,隔声性能没有降低,在低频段(200~630 Hz)和高频段(1600~8000 Hz)隔声量略有提高,中高频段(630~1600 Hz)隔声量很接近。
- b)随着 WTRP 含量的增加,隔声量在整个频率段变化不明显,拉伸强度先上升后下降, LOI 值缓慢增加。
- c)WTRP 使复合材料阻尼损耗因子增大,内耗的增大有助于吸音、隔音等,为 WTRP 用于制备阻尼隔声材料提供依据,也为废旧橡胶的回收利用提供一种新方法。
- d) WTRP 应用于隔声领域,基本达到了环保与降噪双赢的目的。

参考文献:

[1] Pierce C E, Blackwell M C. Potential of scrap tire rubber as lightweight aggregate in flowable fill[J] . Waste M anagement, 2003, 23(3): 197—208.

[2] Mathew G, Singh R P, Nair N R, et al. Recycling of natural rubber latex waste and its interaction in epoxidised natural rubber[J] . Polymer, 2001, 42(5): 2137—2165.

[3] 王龙义, 董恒兰, 张 伟. 棉纺织业噪声危害状况的调查[J] . 中国工业医学杂志, 2003, 16(6): 364—365.

[4] 刘志硕, 申金升, 卫振林. 我国职业噪声危害成因分析及总体控制对策[J] . 中国安全科学学报, 2003, 13(12): 53—56.

[5] 武 博, 赵东梅, 任永霞. 噪声污染危害与控制[J] . 黑龙江环境通报, 2004, 28(2): 66—67.

[6] 刘韬韬, 刘月兰. 噪声危害分析[J] . 兵团教育学院学报, 2005, 15(6): 32—34.

[7] 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.

[8] 张邦俊, 翟国庆. 环境噪声学[M] . 杭州: 浙江大学出版社, 2001: 255—256.

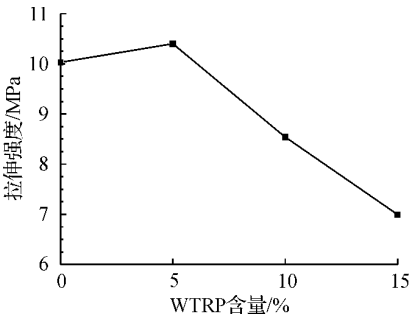


图 7 复合材料的拉伸强度与 WTRP 质量分数关系

表 2 试样的 LOI 值

试样编号	WTRP 质量含量/ %	LOI/ %
1	0	19.0
2	5	19.6
3	10	19.8
4	15	20.0

A Study on the Sound Insulation Properties of WTRP/ GF/ PVC Composites

GAO Lei, YAO Yue-fei, LUO Yong-bo, YU Lai-ming, FU Ya-qin, LIU Guan-feng

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

Abstract: Waste rubber powder/Glass fabric/PVC (WTRP/GF/PVC) composite is prepared by choosing waste rubber powder, glass fabric and PVC. The sound insulation, dynamic mechanical, tensile and fire-retardant properties of materials are respectively measured by the two-channel acoustic analyzer, DMA, universal material testing machine, and automatic oxygen index detector, etc. The results shows: compared with GF/PVC composite, the sound insulation property of WTRP/GF/PVC composite don't reduce, whose sound reduction loss slightly increases in low frequencies (200 Hz to 630 Hz) and high frequencies (1600 Hz to 8000 Hz), but is very close in high-frequencies (630 Hz to 1600 Hz). Moreover, its damping property above room temperature significantly increases; With the increase of the content of WTRP, the composites don't change obviously in the sound reduction loss among the entire frequencies, have a decline after a first increase in tensile strength, and have a slow increase in LOI value.

Key words: PVC; waste rubber powder; composite; sound insulation; fire-retardant property

(责任编辑: 许惠儿)

(上接第 505 页)

The Influence of Particle Stuffing on the Micro-Porous Structure of Biaxial Stretching PTFE Film

YU Li-ying, GUO Yu-hai, CHEN Jian-yong, ZHANG Hua-peng

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

Abstract: PTFE with catalytic particle was prepared from PTFE resin and catalytic particle through a series mechanical operations including blend, sifting out, press, extrusion, rolling, uniaxial and biaxial stretching, heat setting. The structure of PTFE film was investigated via SEM and mercury porosimetry. Experimental results showed that catalytic particle stuffing on the PTFE film increases its average pore diameter and porosity under the same mechanical operations, and the average pore diameter and porosity of PTFE film increases with increasing the quantity of catalytic particle.

Key words: PTFE film; bulk density; micro-porous structure; catalytic particle stuffing

(责任编辑: 张祖尧)