# 汽车内饰用竹纤维/纸浆纤维增强聚丙烯复合材料的制备及性能研究

唐 睿[1],卢振光[2],林 菁[1]

(1.上海普利特复合材料股份有限公司,上海 201799;2.上汽大众汽车有限公司,上海 201805)

**摘 要**:为对标汽车内饰常用的滑石粉填充改性聚丙烯(PP)材料,以竹纤维(BF)、纸浆纤维(PF)和PP为原料,利用挤出成型技术制备BF/PF增强PP复合材料,研究BF和PF的质量比对复合材料力学性能和氙灯老化性能的影响。结果表明:当BF与PF总质量分数为20%、BF和PF的质量比为1∶3时,复合材料的力学性能最优。此时,拉伸强度、弯曲模量和冲击强度分别为29.3 MPa、2 050 MPa和4.2 kJ/m$^2$。BF和PF的质量比为1∶3的复合材料能够满足长周期老化试验。

**关键词**:竹纤维;纸浆纤维;聚丙烯;力学性能;氙灯老化性能

**中图分类号**:TQ325.14;TB332 **文献标志码**:A **文章编号**:1005-3360(2026)09-0103-04

**DOI**:10.15925/j.cnki.issn1005-3360.2026.09.019

## Study on Preparation and Performance of Bamboo Fiber /Pulp Fiber Reinforced Polypropylene Composites for Automotive Interior Application

TANG Rui[1], LU Zhenguang[2], LIN Jing[1]

(1. Shanghai PRET Composites Co. , Ltd. , Shanghai 201799, China; 2. SAIC Volkswagen Automotive Co. , Ltd. , Shanghai 201805, China)

**Abstract**: To benchmark against the talc-filled modified polypropylene (PP) materials commonly used in automotive interiors, bamboo fiber (BF) and pulp fiber (PF) were employed together with PP to prepare BF/PF reinforced PP composites via extrusion molding technology. The effects of the BF-to-PF mass ratio on the mechanical properties and xenon lamp aging resistance of the composites were investigated. The results demonstrated that the optimal mechanical performance was achieved when the total mass fraction of BF and PF was 20% and the BF-to-PF mass ratio was 1∶3. Under these conditions, the tensile strength, flexural modulus, and impact strength of the composites reached 29.3 MPa, 2 050 MPa, and 4.2 kJ/m$^2$, respectively. The composite with a BF-to-PF mass ratio of 1∶3 also satisfied the requirements of long-term aging tests.

**Keywords**: BF; PF; PP; Mechanical properties; Xenon lamp aging resistance

随着全球汽车工业加速向轻量化、低碳化和可持续化方向转型,环保型复合材料在汽车内饰领域的应用已成为产业升级关注的焦点[1]。聚丙烯(PP)具有加工性能优异、耐化学腐蚀性强及成本低廉的优点,占据汽车内饰塑料用量的60%以上。传统增强材料(如玻璃纤维、滑石粉等)存在密度高、能耗大、环保性差等问题[2],而天然植物纤维凭借可再生、低密度、高比强度等特性,被视为理想的替代增强材料[3-4]。

竹纤维(BF)与纸浆纤维(PF)可作为PP的生物基增强材料,但协同增强效应尚不明确。BF的纤维素含量高,具备独特的多级结构,能够显著增强材料力学性能。PF的高长径比和表面活性基团有利于提升界面结合能力[5-7]。然而,BF与PP基体间界面相容性较差,热稳定性不足[8],同时PF在加工过程中易出现分散不均的情况[9],严重制约其工程化应用。当前研究多聚焦于单一的纤维体系,对BF/PF复配增强机制的系统研究仍属空白。

收稿日期Submitted date 2025-09-21;修回日期Revised date 2025-10-23;录用日期Accepted date 2025-11-26

联系人,tangr@pret.com.cn

引用本文:唐睿,卢振光,林菁.汽车内饰用竹纤维/纸浆纤维增强聚丙烯复合材料的制备及性能研究[J].塑料科技,2026,54(9):103-106.

Citation:TANG R, LU Z G, LIN J. Study on preparation and performance of bamboo fiber /pulp fiber reinforced polypropylene composites for automotive interior application[J]. Plastics Science and Technology, 2026, 54(9): 103-106.

因此，通过纤维表面改性(如碱处理、硅烷偶联)与基体功能化(接枝马来酸酐)提升界面黏结强度，结合熔融共混工艺以保持纤维完整性，已成为突破性能瓶颈的关键路径[10-12]。

为对标汽车内饰常用的滑石粉(TALC)填充改性PP材料，本研究通过挤出成型工艺制备BF/PF增强PP复合材料，研究BF和PF质量比对复合材料力学性能、内部结构形态及氙灯老化性能的影响，以期为该材料在汽车内饰零件中的应用提供参考。

## 1 实验部分

### 1.1 主要原料

高结晶聚丙烯(PP-A)，熔体流动速率为60 g/10 min，韩国SK化学公司；高抗冲共聚聚丙烯(PP-B)，熔体流动速率为10 g/10 min，利安德巴赛尔聚烯烃(上海)有限公司；BF，1 250目，福建阳竹新材料科技有限公司；PF，W400K，平均粒径为15~25 μm，质量分数≥99%，日本制纸株式会社；TALC，SD-700K，3 000目，辽宁鑫达滑石集团有限公司；增韧剂，POE-168，韩国LG化学公司；抗氧剂，168、1010，巴斯夫(中国)有限公司；抗紫外线(UV)剂，802-PP5，福建帝盛科技股份有限公司；相容剂，马来酸酐接枝聚丙烯(PP-*g*-MAH)，HW-501，嘉兴华雯化工股份有限公司；黑色母，UN2014，上海卡博特化工有限公司。

### 1.2 仪器与设备

定时恒温磁力搅拌器，JB-3，上海雷磁新泾仪器有限责任公司；双螺杆挤出机，ZE BASIC 62，德国Berstorff公司；注塑机，HTF80X1，宁波海天集团股份有限公司；电子万能拉力机，Zwick/Roell 2010，德国ZwickRoell公司；摆锤冲击试验机，HIT5.5P，德国ZwickRoell公司；场发射扫描电子显微镜(SEM)，SUPRA55，德国Carl Zeiss股份有限公司；标准分析天平，ES-A，天津市德安特传感技术有限公司；色差仪，CM-2500C，日本柯尼卡美能达公司；真空烘箱，DZF-6050，上海慧泰仪器制造有限公司；高速混合机，SHR-25A，张家港市华宏机械有限公司。

### 1.3 样品制备

#### 1.3.1 BF的预处理

将BF分散于3%的NaOH溶液中(固液比为1∶3)，在40 ℃、150 r/min条件下进行磁力搅拌，碱洗24 h。用蒸馏水反复洗涤BF至中性，经抽滤后置于50 ℃真空烘箱中干燥24 h。干燥后的BF过筛，密封保存。

#### 1.3.2 PP复合材料的制备

表1为PP复合材料的配方。其中，助剂内包含抗氧剂、抗UV剂和黑色母。按设定配比准确称取各原料，置于高速混合机中搅拌均匀。经双螺杆挤出机熔融挤出造粒，挤出温度为200 ℃，螺杆转速为300 r/min。挤出拉条切粒后，于110 ℃干燥12 h，在200 ℃条件下注塑成型。

表1 PP复合材料的配方

Tab.1 Formula of PP composites

单位：%

| 样品 | $w_{PP\text{-}A}$ | $w_{PP\text{-}B}$ | $w_{增韧剂}$ | $w_{相容剂}$ | $w_{助剂包}$ | $w_{TALC}$ | $w_{BF}$ | $w_{PF}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0# | 77 | 21 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| 1# | 55 | 15 | 4 | 4 | 2 | 20 | 0 | 0 |
| 2# | 55 | 15 | 4 | 4 | 2 | 0 | 20 | 0 |
| 3# | 55 | 15 | 4 | 4 | 2 | 0 | 15 | 5 |
| 4# | 55 | 15 | 4 | 4 | 2 | 0 | 10 | 10 |
| 5# | 55 | 15 | 4 | 4 | 2 | 0 | 5 | 15 |
| 6# | 55 | 15 | 4 | 4 | 2 | 0 | 0 | 20 |

### 1.4 性能测试与表征

力学性能测试：密度按照GB/T 1033.1—2008进行测试，测试3次，取平均值。拉伸强度按照GB/T 1040.1—2025进行测试，1A型哑铃形样条，测试速度为50 mm/min，测试5次，取平均值。弯曲模量按照GB/T 9341—2008进行测试，样条尺寸为80 mm×10 mm×4 mm，跨距为64 mm，测试速度为2 mm/min，测试5次，取平均值。缺口冲击强度按照GB/T 1043.2—2018进行测试，试样尺寸为80 mm×10 mm×4 mm，A型缺口，测试10次，取平均值。

SEM测试：将测试样条置于液氮中浸泡30 min后进行脆断处理，再放入100 ℃烘箱中干燥1 h，随后取出喷金。观察两种纤维在PP中的分散情况及界面结合状态。

氙灯老化测试：按照GB/T 32088—2015进行测试，辐照波段为420 nm，辐照能量为每周期280 kJ/m$^2$，共进行5个周期，每个周期对样板进行色差分析。采用LAB色彩数据表征材料颜色变化，重点关注黄变程度($b$值)与总色差($\Delta E$值)。

## 2 结果与讨论

### 2.1 PP复合材料的力学性能分析

表2为PP复合材料的力学性能。从表2可以看出，与样品0#相比，样品2#的弯曲模量提高44.3%，缺口冲击强度降低65.2%；样品6#的弯曲强度提高34.2%，缺口冲击强度降低42.0%。这表明纤维的加入能够有效提升PP复合材料的弯曲模量，但是缺口冲击性能的损失较大。

2#和6#样品的弯曲模量和缺口冲击强度均低于1#样品。与1#样品相比，2#样品的弯曲模量降低4.4%，缺口冲

击强度降低50.0%；6#样品的弯曲模量降低11.1%，缺口冲击强度降低16.7%。原因是TALC作为无机增强相，在双螺杆挤出机的高温剪切作用下仅发生形态变化[13]，而BF和PF在加工过程中不仅发生形态变化[14]，部分成分在强剪切和高温作用下还会发生热降解，导致增强效果不及TALC显著[15-16]。

此外，对比样品2#~6#的力学性能可知，弯曲模量随着BF和PF质量比的增大而升高；缺口冲击强度随着BF和PF质量比的增大而降低。当BF和PF的质量比为1∶3时(样品5#)，样品的力学性能最优。然而，当增强相中全部为PF时(样品6#)，复合材料的力学性能数据有所降低。原因是PF的含量达到一定值后，其短棒状结构受螺杆剪切的影响增大，长径比减小，从而导致整体力学性能轻微下降[17]。

表2 PP复合材料的力学性能

Tab.2 Mechanical properties of PP composites

| 样品 | 密度/(g·cm$^{-3}$) | 拉伸强度/MPa | 弯曲模量/MPa | 缺口冲击强度/(kJ·m$^{-2}$) |
|---|---|---|---|---|
| 0# | 0.90 | 28.6 | 1 490 | 6.9 |
| 1# | 1.06 | 24.0 | 2 250 | 4.8 |
| 2# | 0.99 | 24.5 | 2 150 | 2.4 |
| 3# | 0.98 | 26.4 | 2 130 | 3.1 |
| 4# | 0.98 | 28.2 | 2 040 | 3.5 |
| 5# | 0.98 | 29.3 | 2 050 | 4.2 |
| 6# | 0.97 | 28.9 | 2 000 | 4.0 |

### 2.2 PP复合材料的分散性分析

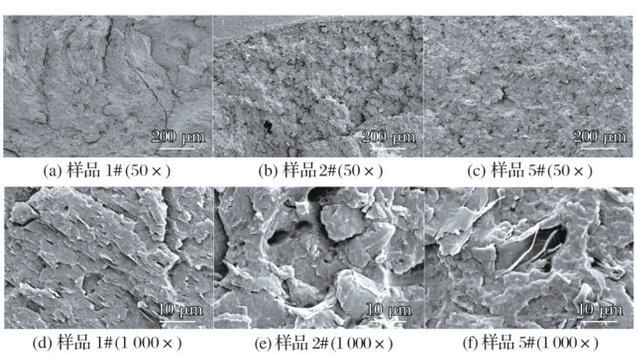
图1为样品1#、2#、5#截面的SEM照片。从图1a~图1c可以看出，在放大50倍条件下，样品1#的截面相对平整，仅有液氮脆断产生的裂纹；样品2#的截面凹凸不平，存在空穴；样品5#的截面相较于样品2#更平整，空穴也更少[18]。

从图1d~图1f可以看出，在放大1 000倍条件下，样品1#的TALC片层结构均匀分散在PP基体中，两者结合处无明显的空隙，表明增强相和树脂相的结合性较好。样品2#中的BF呈颗粒状或碎片状分布在PP基体中，两者界面之间存在明显的缝隙，PP基体中存在空穴，表明BF和PP的相容性较差。同时，在高温和剪切的作用下，BF中残余的半纤维素成分发生分解，分解过程中生成的CO、$H_2O$等气态物质，挥发后形成空穴。该过程的主要反应包含五碳糖和六碳糖的氧化裂解[19-20]。

样品5#中的PF嵌入PP基体中，两者之间无明显缝隙，界面基本没有空穴，表明PF和PP的相容性较好。当BF含量较低时，材料不会发生明显的降解反应。因此，可以进一步解释BF和PF的质量比减小后，复合材料的拉伸强度和缺口冲击强度优于只添加BF的样品2#。

### 2.3 PP复合材料的氙灯老化性能分析

图2为PP复合材料氙灯老化后的$B$值。从图2可以看出，随着BF和PF的质量比的减小，$B$值的变化趋势明显不同。当样品中BF和PF的质量比较高时，样品2#和样品3#的$B$值在光照1 P后显著下降，分别从0.88降至-0.85、从0.95降至-0.77。随着光照时间从1 P延长至5 P，样品2#和样品3#的$B$值分别增至1.24和0.81，整体上材料的颜色变化趋势为先变蓝再变黄。当样品中BF和PF的质量比较低时，样品5#和样品6#的$B$值在整个光照周期中无明显变化，且样品5#的$B$值数据更稳定。原因是BF中木质素所含的苯类物质在加工过程中易被氧化为对苯二醌，生成显色(深色)物质。此类显色物质化学稳定性较差，在氙灯老化初期，短波高强度紫外线可迅速将其分解破坏，导致材料$B$值显著下降[21-22]。随着光照时间的延长，新生且稳定的对苯二醌逐渐生成并积累，其生成速率逐渐超过消耗速率，促使$B$值再度持续上升，直至趋于稳定[23-24]。




(a) 样品1#(50×) (b) 样品2#(50×) (c) 样品5#(50×)

(d) 样品1#(1 000×) (e) 样品2#(1 000×) (f) 样品5#(1 000×)

图1 样品1#、2#、5#截面的SEM照片

Fig.1 SEM images of cross sections of samples 1#, 2# and 5#

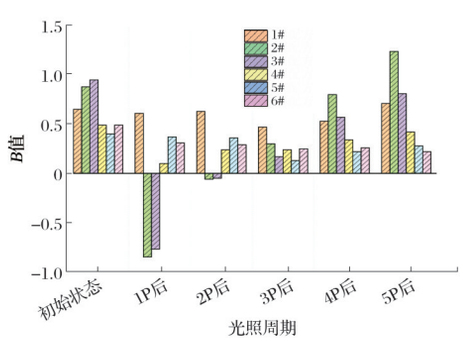



图2 PP复合材料氙灯老化后的$B$值

Fig.2 $B$ value of PP composites after xenon lamp aging

图3为PP复合材料氙灯老化后的Δ*E*值。从图3可以看出，在整个光照周期内，样品2#和样品3#的Δ*E*值均高于其他样品，表明复合材料中BF和PF的质量比越大，复合材料的变色越明显。因此，BF含量高的PP材料在光老化初期以褪色为主，在中后期以黄变为主，颜色变化波动较大[25]。复合材料中BF和PF的质量比越低，复合材料的Δ*E*值越小，颜色变化越不明显。

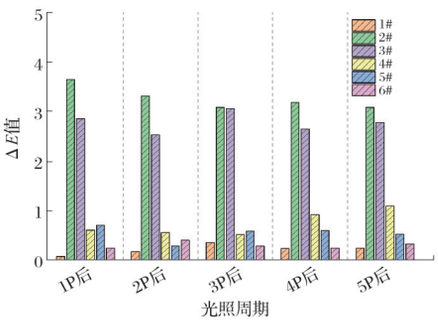



图3 PP复合材料氙灯老化后的Δ*E*值

Fig.3 Δ*E* value of PP composites after xenon lamp aging

## 3 结论

当BF与PF总质量分数为20%时，PP复合材料的拉伸强度与缺口冲击强度随BF和PF的质量比的减小呈先升后降的趋势。当BF和PF的质量比为1∶3时，PP复合材料的综合力学性能最优。BF和PF的质量比越低，复合材料内部结构空洞越少，结构完整性越好。BF和PF的质量比越高，复合材料的抗氙灯老化性能越差，变色程度加剧，色度变化呈先褪色后黄变的演变规律。

## 参考文献

[1] 杜炬轩. 新能源汽车内饰工艺设计与制作[J]. 上海轻工业, 2025(4): 193-195.

[2] 张杨, 张海生, 陈剑锐. 基体树脂与短玻纤对聚丙烯复合材料性能影响研究[J]. 塑料科技, 2022, 50(3): 43-48.

[3] FARUK O, BLEDZKI A K, FINK H P, et al. Progress report on natural fiber reinforced composites: Progress report on natural fiber composites [J]. Macromolecular Materials and Engineering, 2014, 299(1): 9-26.

[4] 曾凡松, 张蔚, 王宝灿, 等. 竹纤维/聚乳酸复合绳的捻合制备及拉伸性能研究[J]. 塑料科技, 2025, 53(4): 113-117.

[5] 陈文礼, 欧荣贤, 郭雨佳, 等. 多元共挤出木塑复合材料界面结合性能[J]. 复合材料学报, 2025, 42(1): 465-475.

[6] MALEKZADEH H, MD ZAID N S B, BELE E. Characterization and structural properties of bamboo fibre solid foams[J]. Cellulose, 2021, 28 (2): 703-714.

[7] 吴珊, 吴凯. 竹纤维对聚乳酸复合材料结晶性能与力学性能的影响[J]. 塑料科技, 2025, 53(8): 127-131.

[8] 刘杰, 赵雪松, 李奇, 等. 聚丁二酸丁二醇酯对聚乳酸基木塑复合材料性能的影响[J]. 复合材料学报, 2024, 41(5): 2445-2454.

[9] LI Z H, CHEN C J, XIE H, et al. Sustainable high-strength macrofibres extracted from natural bamboo[J]. Nature Sustainability, 2022, 5(3): 235-244.

[10] 张守玉, 张刚, 王孝军, 等. 纤维增强PPA/PTFE复合材料性能研究[J]. 塑料科技, 2022, 50(2): 39-42.

[11] 刘娟, 卢彦峰, 李靖. 竹纤维增强聚丙烯复合材料夹层结构汽车内饰结构件制备研究[J]. 造纸科学与技术, 2025, 44(10): 68-70.

[12] 陶永亮, 曾成均. 竹纤维增强聚丙烯复合材料研究与应用进展[J]. 世界竹藤通讯, 2024, 22(5): 111-116.

[13] 张新亚, 陈显旺, 张云灿. 挤出共混中的高剪切应力对HDPE/无机粒子共混材料力学性能的影响[J]. 塑料加工, 2007(5): 45-48.

[14] YEH S K, GUPTA R K. Improved wood-plastic composites through better processing[J]. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 2008, 39(11): 1694-1699.

[15] 周凌蕾, 史可, 何春霞. 3种高含量植物纤维填充聚乳酸复合材料性能对比[J]. 南京农业大学学报, 2023, 46(1): 210-216.

[16] GAMON G, EVON P, RIGAL L. Twin-screw extrusion impact on natural fibre morphology and material properties in poly(lactic acid) based biocomposites[J]. Industrial Crops and Products, 2013, 46: 173-185.

[17] 宋剑斌, 袁全平, 黄彪, 等. 适宜共混速度改善低密度聚乙烯/竹粉复合材料力学与流变性能[J]. 农业工程学报, 2015, 31(13): 309-314.

[18] 刘鹏, 李方义, 李剑峰, 等. 植物纤维增强的生物质复合材料微观机理及力学性能研究[J]. 功能材料, 2015, 46(11): 11017-11020.

[19] 徐雪雯, 李鹏辉, 童国林. 光催化降解木质素机理与影响因素的研究进展[J]. 高分子材料科学与工程, 2023, 39(2): 169-176.

[20] ZHANG M P, XU H T, WU L, et al. Photocatalytic degradation of lignin by low content g-$C_3N_4$ modified $TiO_2$ under visible light[J]. New Journal of Chemistry, 2022, 46(18): 8644-8652.

[21] 周吓星, 陈礼辉. 抗老化剂改善竹粉/聚丙烯发泡复合材料的自然老化性能[J]. 农业工程学报, 2015, 31(12): 301-307.

[22] CHAOCHANCHAIKUL K, JAYARAMAN K, ROSARPITAK V, et al. Influence of lignin content on photodegradation in wood/HDPE composites under UV weathering[J]. BioResources, 2011, 7(1): 38-55.

[23] 黄森林, 方海, 霍瑞丽, 等. 五种植物纤维/聚乙烯木塑复合材料紫外老化性能[J]. 复合材料科学与工程, 2024(12): 26-33.

[24] 陈圆, 王欣, 胡建鹏. 木塑复合材料人工加速老化的研究动态[J]. 林产工业, 2022, 59(11): 15-19.

[25] 陈瑶. 木材热诱发变色过程中发色体系形成机理[D]. 北京: 北京林业大学, 2012.