



GUIZHOU SHENG YOU SHI MU ZHONG XIAN WEI ZENG QIANG HDPE
FU HE CAI LIAO XING NENG YAN JIU

贵州省优势木种纤维增强HDPE 复合材料性能研究

曹 岩 著



西南交通大学出版社

目 (31460171)

贵州省科学技术基金项目 (黔科合 J 字 [2015] 2075 号)

贵州省教育厅项目 (黔教合 KY 字 [2017] 003)

贵州省教育厅项目 (黔教合 KY 字 [2017] 136)

贵州民族大学教育教学改革项目 (GUN2016JG29)

贵州民族大学教育教学改革项目 (GUN2016JG18)

贵州省优势木种纤维增强 HDPE 复合材料性能研究

曹 岩 / 著



西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

贵州省优势木种纤维增强 HDPE 复合材料性能研究 /
曹岩著. —成都: 西南交通大学出版社, 2018.1
ISBN 978-7-5643-5999-7

I. ①贵… II. ①曹… III. ①木纤维—高密度聚乙烯
—非金属基复合材料—力学性能—研究 IV. ①TB333.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 320726 号

贵州省优势木种纤维增强 HDPE 复合材料性能研究

曹 岩 著

责任编辑	黄淑文
封面设计	墨创文化
出版发行	西南交通大学出版社 (四川省成都市二环路北一段 111 号 西南交通大学创新大厦 21 楼)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://www.xnjdcbs.com
印 刷	成都蓉军广告印务有限责任公司
成品尺寸	170 mm×230 mm
印 张	11
字 数	183 千
版 次	2018 年 1 月第 1 版
印 次	2018 年 1 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-5999-7
定 价	48.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

近年来，贵州省大力推进生态文明建设，突出加强生态建设、调整产业结构、发展循环经济、全面深化改革四个重点，加快建设生态文明先行示范区，走出了一条经济和生态“双赢”的路子。同时，这也对贵州省的林业发展提出了更多和更高的要求，贵州现代林业建设也要发展一条特色的具有竞争力的道路，走生态建设与经济发展并重的发展道路。因地制宜，以贵州省特有优势品种对接林业市场，提高林产品的价值和附加值来激活贵州的林业市场，是很重要的一个发展方向。

木塑复合材料，简称木塑（Wood-Plastic Composites, WPCs），是以农林废弃物、木材加工剩余废料、废旧塑料等为主要原料，按照一定比例混合，适量添加助剂，经过高温熔融、混合、挤出、注塑、压制等成型工艺制备得到的一种主要用作天然木材和传统塑料制品的替代品的高性能、高附加值的绿色环保复合型材，在环境保护和节约能源等方面发挥了重要的作用。

贵州省主要森林采伐和加工树种马尾松（拉丁学名：*Pinus massoniana* Lamb.）和杉木（拉丁学名：*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.，又名：沙木、沙树等）等在加工过程中产生木屑、锯末和废料等剩余物的年产量极大，如此丰富的生物质资源除少量被作为低质燃料或原材料被粗放利用外，未得到充分合理的开发。另外贵州省每年塑料类消费量也相当巨大，废旧塑料的随意丢弃造成严重的环境污染。利用贵州省优势木种的木粉填充废旧塑料，制备成木塑复合材料，可用于户外地板、风景园林、外墙挂板、装饰材料等多方面，不仅可以缓解环境污染问题，而且有助于提高材

料附加值，创造良好经济效益。

另外，木塑复合材料常用作建筑材料和户外栈道、凉亭、座椅、包装制品等，会长期暴露于自然环境中，它的应用范围、使用寿命都和使用环境有密切关系，尤其在贵州这样气候特别的省份，贵州位于中国西南的东南部，地理坐标位于东经 $103^{\circ}36' \sim 109^{\circ}35'$ 、北纬 $24^{\circ}37' \sim 29^{\circ}13'$ ，属亚热带高原季风湿润气候。贵州省温和宜人的气候给木塑复合材料的户外使用提供了有利的条件，但多雨湿润的天气不利于延长木塑复合材料的使用寿命，而且紫外光的强大能量可以破坏木塑复合材料中的自然纤维和合成高分子链，引发塑料的热氧化降解从而变脆，影响力学性能，同时使木纤维因产生大量自由基而降解，这都导致WPC的力学性能下降、寿命缩短。因此，对于马尾松、杉木纤维增强聚合物复合材料的老化性能研究更加重要。

本书从有效利用贵州省森林资源优势和废弃塑料的角度出发，采用挤出成型法制备马尾松纤维增强高密度聚乙烯（High Density Polyethylene，简称：HDPE）复合材料、杉木纤维增强HDPE复合材料以及马尾松纤维和杉木纤维的混合纤维增强HDPE复合材料，通过研究其密度、表面明度、颜色和尺寸稳定性等物理性能以及弯曲、拉伸和冲击等力学性能、蠕变和老化性能，以及马尾松纤维和杉木纤维的质量比对其增强HDPE复合材料的物理、力学性能的影响，以期为该种复合材料的应用提供参考。

实验结果表明，马尾松纤维/HDPE 复合材料的表面明度明显大于杉木纤维/HDPE 复合材料，且相对偏向绿黄色，而杉木纤维/HDPE 复合材料则偏向红蓝色。两种材料的密度、硬度和 24 h 吸水率相差均不超过 5%，但马尾松纤维/HDPE 复合材料的 24 h 吸水厚度膨胀率是杉木纤维/HDPE 复合材料的 3.43 倍。

杉木纤维/HDPE 复合材料的力学性能明显优于马尾松纤维/HDPE 复合材料，而马尾松纤维/HDPE 复合材料抗蠕变性较好，50 N 的载荷作用下 24 h 的应变仅为杉木纤维/HDPE 复合材料的 77.29%，但回复性能相对稍差。

固定马尾松纤维和杉木纤维与 HDPE 的质量比、减小马尾松木粉和杉

木木粉的质量比,7种混合木粉/HDPE复合材料的密度相差不大,而表面明度值和黄蓝轴色度指数均呈现减小趋势;杉木木粉/HDPE复合材料的吸水尺寸稳定性较好,24 h吸水率和24 h吸水厚度膨胀率分别为2.412%和1.411%,更适合在户外潮湿环境中使用;随着马尾松木粉含量从60%逐渐减小到0,复合材料的力学性能逐渐增强,静曲强度(MOR)和静曲模量(MOE)分别提高了47.46%和22.91%,拉伸强度和拉伸模量分别提高了92.44%和131.58%,冲击强度提高了70.03%。

对杉木纤维/HDPE复合材料和马尾松纤维/HDPE复合材料进行6个月的室内和户外的自然老化,并对比老化前后复合材料的表面明度、颜色、密度、弯曲、拉伸、冲击等物理和力学性能。实验结果表明,老化使复合材料的密度增加,马尾松/HDPE复合材料的密度变化较小。室内老化使复合材料的表面明度变暗,户外老化使复合材料的表面明度变白,颜色均向红色和黄色方向移动。复合材料的拉伸性能受老化影响较为显著。户外的环境加快了木塑复合材料的老化降解速率。杉木/HDPE复合材料的耐老化性能均优于马尾松/HDPE复合材料。

最后,有必要在极端环境下研究马尾松/杉木/HDPE复合材料耐老化性能以及循环加工“再生”材料的性能,并建立预测模型,指导适合在贵州省气候条件下使用的木塑产品的设计,为延长WPCs的使用寿命、提高产品的使用安全性和循环利用率、拓宽其应用范围提供理论参考依据,有利于促进贵州省木塑复合材料产业的发展,并为木材加工废料和废弃塑料的循环利用提供有效的途径。

因作者水平有限,书中难免存在疏漏之处,敬请广大读者批评指正。

作者

2017年6月

目 录

1 绪 论 - 1 -

1.1 引 言 - 1 -

1.2 木材改性研究现状 - 1 -

1.2.1 木材外观和颜色处理技术 - 1 -

1.2.2 木材表面软化处理技术 - 2 -

1.2.3 木材尺寸的稳定性处理技术 - 2 -

1.2.4 木材力学性能的强化处理技术 - 3 -

1.2.5 木材阻燃、抑烟和防腐处理等改性技术 - 3 -

1.3 木塑复合材料概念、特点及应用 - 3 -

1.4 木塑复合材料改性研究现状与展望 - 5 -

1.5 木塑复合材料的力学研究现状 - 6 -

1.5.1 木塑复合材料弯曲性能的研究 - 7 -

1.5.2 木塑复合材料拉伸性能的研究 - 9 -

1.5.3 木塑复合材料冲击性能的研究 - 12 -

1.6 木塑复合材料的蠕变现象、机理和研究进展 - 13 -

1.6.1 蠕变性能研究意义 - 14 -

1.6.2 蠕变产生机理 - 14 -

1.6.3 木塑复合材料蠕变实验研究进展 - 15 -

1.6.4 蠕变的影响因素及蠕变模型 - 19 -

1.7 本书的主要研究内容 - 22 -

2 贵州省优势木种及其利用 - 38 -

2.1 引 言 - 38 -

2.2 贵州省优势木种杉木纤维增强聚合物复合材料的研究进展 - 39 -

2.2.1 杉木纤维增强聚合物复合材料 - 39 -

2.2.2 杉木纤维增强复合材料的研究现状 - 40 -

2.2.3 贵州省优势木材的改性研究展望 - 44 -

2.2.4 杉木纤维增强复合材料的研究展望 - 44 -

2.3 本章小结 - 45 -

3 贵州省特定的地理条件和气候特点 - 47 -

3.1 引 言 - 47 -

3.2 “天无三日晴” - 47 -

3.3 “地无三里平” - 48 -

3.4 “人无三分银” - 49 -

3.5 贵州省特殊的地理环境对气候的影响 - 49 -

3.5.1 贵州省的地貌特征 - 50 -

3.5.2 贵州省冬无严寒、夏无酷暑的宜人气候 - 50 -

4 马尾松纤维增强 HDPE 复合材料和杉木纤维增强 HDPE 复合材料的物理性能 - 53 -

4.1 引 言 - 53 -

4.2 实验部分 - 54 -

4.2.1 主要原料及试剂 - 54 -

4.2.2 主要仪器及设备 - 54 -

4.2.3 马尾松纤维/HDPE 复合材料和杉木纤维/ HDPE 复合材料的制备 - 55 -

4.2.4 松纤维/HDPE 复合材料和杉木纤维/ HDPE 复合材料的表面的颜色和明度测试 - 55 -

4.2.5 马尾松纤维/HDPE 复合材料和杉木纤维/ HDPE 复合材料的密度测试 - 55 -

4.2.6	马尾松纤维/HDPE 复合材料和杉木纤维/ HDPE 复合材料的硬度测试 - 55 -
4.2.7	马尾松纤维/HDPE 复合材料和杉木纤维/ HDPE 复合材料的尺寸稳定性测试 - 56 -
4.3	结果与讨论 - 56 -
4.3.1	马尾松纤维/HDPE 复合材料和杉木纤维/ HDPE 复合材料的表面明度和颜色 - 56 -
4.3.2	马尾松纤维/HDPE 复合材料和杉木纤维/ HDPE 复合材料的密度和硬度 - 57 -
4.3.3	马尾松纤维/HDPE 复合材料和杉木纤维/ HDPE 复合材料的尺寸稳定性 - 57 -
4.4	本章小结 - 58 -
5	马尾松纤维增强 HDPE 复合材料和杉木纤维增强 HDPE 复合材料的力学性能 - 62 -
5.1	引 言 - 62 -
5.2	实验部分 - 65 -
5.2.1	实验材料 - 65 -
5.2.2	实验仪器 - 65 -
5.2.3	马尾松纤维/HDPE 复合材料和杉木纤维/ HDPE 复合材料的制备 - 66 -
5.2.4	马尾松纤维/HDPE 复合材料和杉木纤维/ HDPE 复合材料的力学性能测试 - 66 -
5.3	结果与讨论 - 67 -
5.4	本章小结 - 67 -
6	马尾松纤维和杉木纤维质量比对其增强 HDPE 复合材料的物理和力学性能的影响 - 72 -
6.1	引 言 - 72 -
6.2	实验部分 - 72 -

6.2.1	主要原料及试剂	- 72 -
6.2.2	实验仪器	- 73 -
6.2.2	马尾松纤维/杉木纤维/HDPE 复合材料的制备	- 73 -
6.2.3	马尾松纤维/杉木纤维/HDPE 复合材料的密度测试	- 74 -
6.2.4	马尾松纤维/杉木纤维/HDPE 复合材料的颜色测试	- 74 -
6.2.5	马尾松纤维/杉木纤维/HDPE 复合材料的 尺寸稳定性测试	- 74 -
6.2.6	马尾松纤维/杉木纤维/HDPE 复合材料的弯曲性能测试	- 74 -
6.2.7	马尾松纤维/杉木纤维/HDPE 复合材料的拉伸性能测试	- 75 -
6.2.8	马尾松纤维/杉木纤维/HDPE 复合材料的冲击性能测试	- 75 -
6.3	结果与讨论	- 76 -
6.3.1	马尾松纤维和杉木纤维的质量比 对复合材料物理性能的影响	- 76 -
6.3.2	马尾松纤维和杉木纤维的质量比 对复合材料力学性能的影响	- 77 -
6.4	结 论	- 79 -
7	马尾松纤维增强 HDPE 复合材料和杉木纤维增强 HDPE 复合材料的蠕变性能	- 81 -
7.1	引 言	- 81 -
7.2	实验部分	- 81 -
7.2.1	主要原料及试剂	- 81 -
7.2.2	主要仪器及设备	- 82 -
7.2.3	马尾松纤维/ HDPE 复合材料和杉木纤维/ HDPE 复合材料的制备	- 82 -
7.2.4	马尾松纤维/ HDPE 复合材料和杉木纤维/ HDPE 复合材料的蠕变性能测试	- 83 -
7.3	结果与讨论	- 84 -
7.4	展 望	- 85 -

7.5	本章小结 - 86 -
8	马尾松纤维增强 HDPE 复合材料和杉木纤维增强 HDPE 复合材料的老化性能 - 90 -
8.1	引言 - 90 -
8.2	实验部分 - 91 -
8.2.1	主要原料及试剂 - 91 -
8.2.2	主要仪器及设备 - 91 -
8.2.3	马尾松纤维/HDPE 复合材料和杉木纤维/ HDPE 复合材料的制备 - 92 -
8.2.4	马尾松纤维/HDPE 复合材料和杉木纤维/ HDPE 复合材料的室内老化处理 - 92 -
8.2.5	马尾松纤维/HDPE 复合材料和杉木纤维/ HDPE 复合材料的户外老化处理 - 93 -
8.2.6	马尾松纤维/HDPE 复合材料和杉木纤维/ HDPE 复合材料性能测试 - 93 -
8.3	结果与讨论 - 95 -
8.3.1	马尾松纤维/ HDPE 复合材料和杉木纤维/ HDPE 复合材料的物理、力学性能 - 95 -
8.3.2	马尾松纤维/ HDPE 复合材料和杉木纤维/ HDPE 复合材料的室内老化性能 - 96 -
8.3.3	马尾松纤维/ HDPE 复合材料和杉木纤维/ HDPE 复合材料的户外老化性能 - 98 -
8.4	本章小结 - 101 -
	结 论 - 104 -
	研究进展 - 106 -
	展 望 - 133 -

1 绪 论

1.1 引 言

中国共产党贵州省第十一届委员会第七次全体会议明确了贵州省推动绿色发展、建设生态文明的总体要求,强调坚持生态优先、绿色发展,坚持绿水青山就是金山银山,坚守发展和生态两条底线,大力发展绿色经济、打造绿色家园、完善绿色制度、筑牢绿色屏障、培育绿色文化,促进大生态与大扶贫、大数据、大旅游、大健康等融合发展,着力建设资源节约型、环境友好型社会,努力走出一条速度快、质量高、百姓富、生态美的绿色发展新路。同时也对贵州省的林业发展提出了更多和更高的要求,贵州现代林业建设也要发展一条有特色的、具有竞争力的、经济和生态“双赢”的道路。因地制宜,以贵州省特有优势品种对接林业市场,提高林产品的价值和附加值来激活贵州的林业市场是很重要的一个发展方向^[1-3]。

下文概述了在木材和木塑复合材料的外观和颜色处理、表面的软化处理、尺寸的稳定性处理、力学性能的强化处理以及阻燃、抑烟和防腐处理等改性方法,提出了发展方向,为贵州省优势木种木材的附加值的提高和木材以及木塑复合材料改性的进一步研究提供一定的参考依据。

1.2 木材改性研究现状

1.2.1 木材外观和颜色处理技术

漂白可除去单板表面的蓝变色和色斑,脱色后的单板可进行再染色处理^[4]。伊春林业科学院的王贵来、宋宝昌等研究人员^[5]和中国林科院木材工业研究所,国家林业局木材科学与技术重点实验室以及北京林业大学材料科学与技术学院的刘志佳、李黎、鲍甫成等研究人员^[6]曾用过

氧化氢、 NaClO_2 等漂白剂预处理以及氢氧化钠或氨水等渗透剂提高木材色泽变浅或褪色等漂白效果，同时提出漂白的时间和漂白的温度对漂白效果会产生很大影响。

另外，木材的防变色处理有利于保持木材的色调和纹理，从而提高其制品的价值。除了木材树种本身的成分差异以外^[7]，自然界的阳光、氧气、环境的温湿度、酸碱性物质和变色菌等均会导致木材的变色^[8]，所以在做木材的防变色处理之前要分析木材变色的主要因素^[9]。

常用的防变色处理的物理方法是利用萃取剂萃取浸提物，通过控制温湿度来抑制或杀死变色菌，在木材表层涂饰薄膜，有助于阻水和挡光；常用的化学方法可在木材表层涂饰紫外线吸收剂，或使用抗氧化剂溶液或者 pH 调节剂溶液来处理木材表面^[10-12]。

针对贵州省特色树种杉木（学名：*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook., 又名沙木、沙树等），它的染色材色度学特征与解剖因子间存在着一定的变化规律，而木材组分中木质素的化学结构与酸性染料十分相似，使其较纤维素和半纤维素更加容易染色，这对染色工艺的开发具有十分积极的意义^[13,14]。

1.2.2 木材表面软化处理技术

液态氨、气态氨、氨水和联氨等含氮化合物处理法及蒸煮法是木材表面软化的常用处理方法。其中含氮化合物处理一般比蒸煮法效果明显，原因在于 N 原子比 O 原子更容易与 H 原子形成氢键。另外，饱水状态下微波加热成型法是使温度达到半纤维素和木质素的玻璃化转变温度，迅速降低木材的含水率并使其瞬间进入软化状态，便于进行弯曲加工以及干燥定型。牡丹江林业科学研究所和牡丹江市林业局的姜海波等学者^[15]还用过高频电加热法和碱处理法（如尿素处理法）软化木材表面。

1.2.3 木材尺寸的稳定性处理技术

木材是极性的，易吸水，且湿胀干缩^[16]。木材尺寸稳定化处理技术有热处理方法和添加拒水剂的方法，如利用硅油和石蜡等对其表面进行防水处理。南京林业大学干燥技术研究所和华南农业大学林学院以及浙江世友木业有限公司的研究人员^[17]曾在约 200 °C 的超高温下低氧处理柞木（学名：*Xylosma racemosum* (Sieb. et Zucc.) Miq., 又名：凿子树，蒙

子树, 葫芦刺, 红心刺, 也称蒙古栎)、白蜡木(学名: *Fraxinus chinensis*)、荷木(学名: *Schima superba* Gardn. et Champ.)和香樟[学名: *Cinnamomum camphora* (L.) Presl., 又名: 樟树、樟木、瑶人柴、栲樟、臭樟、乌樟], 发现细胞壁中羟基减少, 吸湿性显著下降, 有效提高了木材的尺寸稳定性。

以上用到的处理方法均是物理方法, 此外还有化学方法。化学方法主要是应用聚乙二醇、乙酸酐、酚醛树脂、脲醛树脂等与木材中羟基形成热固性树脂, 可大幅改善处理材的尺寸稳定性, 值得推广。

1.2.4 木材力学性能的强化处理技术

以贵州省的特有木种杉木为例, 热压技术中的温度和压力对杉木表面的强化效果有至关重要的影响。福建农林大学材料工程学院的陈瑞英、魏萍、刘景宏等学者^[18]曾报道, 杉木间伐材的最佳热压工艺为先用具环保性的 CH 蒸煮添加剂软化待处理材, 并控制压缩前的含水率为 50%、压缩时间 30 min 左右、热压温度 180~200 °C、压缩率为 50%~60%、压缩后的厚度 20 mm, 得到处理材的物理、力学性能等特性明显提高。

1.2.5 木材阻燃、抑烟和防腐处理等改性技术

阻燃方法和阻燃剂的种类决定了木材的阻燃效果。阻燃方法主要有浸注法、喷涂法、贴面法、热压法、复合法、辐射法、超声波法、离心转动法和高能喷射法等^[19]。同时, 阻燃剂又有非膨胀性阻燃剂和膨胀性阻燃剂之分。木腐菌导致木材腐朽, 因此需要对木材进行防腐处理, 选用防腐剂时尤其要考虑到其健康性、安全性和环保性以及回收利用率和成本。

1.3 木塑复合材料概念、特点及应用

木塑复合材料简称木塑 (Wood-Plastic Composites, WPCs), 为生物质-聚合物复合材料的俗称, 是一种由木质纤维材料与聚合物材料复合而制成的复合材料。它是新型的高性能、高附加值环保材料, 在环境保护和节约能源等方面发挥了重要的作用。

木塑复合材料作为一种环保型的新材料受到人们的重视,被誉为 21 世纪的软黄金。近年来,人们对于环境的保护越来越重视,并逐渐将目光落到环境友好、可降解、可循环利用的木塑复合材料上。木塑复合材料目前已经广泛应用到建筑装修、装饰基材和包装材料以及家具等很多领域。木塑复合材料在生产使用过程中克服了木材、混凝土、陶瓷和金属等材质的缺点,如木塑复合材料产品质坚、量轻、保温、防水防潮、防腐、防白蚁,颜色众多、可塑性强、可加工性好、(类似木材)可钉、可刨、可锯、可钻、可黏、表面光滑细腻平整、可上漆、无须砂光和油漆(其油漆附着性好,亦可根据个人喜好上漆)、安装简单、施工便捷、不需要繁杂的施工工艺,节省安装时间和费用,不龟裂、不膨胀、不变形、无须维护与养护、便于清洁,节省后期维修和保养费用等。高环保性、不含甲醛及其他有害物质、无污染、无毒害(无公害)、可重复加工(类似塑料)、可循环利用、100%回收、高防火性、抗腐蚀、不长真菌、耐酸碱、吸音效果好。

木塑产品独特技术能够应付多种规格、尺寸、形状、厚度等的需求,这也包括提供多种设计、颜色及木纹的制成品,无须打磨、上漆,降低后期费用加工成本,给顾客更多的选择。

木塑产品使用寿命长,可重复使用多次,平均比木材使用时间长 5 倍以上,使用成本是木材的 $1/2 \sim 1/3$,性价比有很大优势。可热成型,二次加工,强度高,节能源。

木塑产品加工成型性好,可以根据需要制作成较大的规格以及十分复杂的形状の木塑型材。

木塑产品因为有了天然纤维的成分,因而有着很好的抗紫外线性能和更低的热胀冷缩性能,维护成本低,并像木材一样易于加工。

木塑复合材料可替代木材或者塑料在各个领域中应用,其中运用最为广泛的是在建筑产品方面,如室外木塑地板、阳光房、码头护栏,在装饰材料方面用于制作地板、防潮墙体,在城市建设和环境规划中,应用于公园、小区、街道、路、桥、亭、围栏、木筏道等;其次是用于汽车工业,如车内装饰材料、座椅靠板等;再次是用于托盘、包装箱(集装箱)、礼品包装等包装制品;此外在交通运输、家具业、体育设备等领域,木塑复合材料同样有广泛的应用。木塑片材具有优异的二次加工性

能,主要用于汽车内装饰、室内外装修等,可加工成汽车门内装饰板、底板、座椅靠背、仪表板、扶手、底位底座、顶板等等。

1.4 木塑复合材料改性研究现状与展望

20 世纪 60 年代以来,木塑复合材料被日益广泛地应用到生产生活的各个领域^[20],如托盘、包装箱等包装制品,铺板、铺梁等仓储制品,室外栈道、凉亭、座椅等城建用品,房屋、地板、建筑模板等建材制品以及汽车内装饰、管材等其他产品^[21]。木塑复合材料不但兼有木材和塑料的优异物理化学性能,如密度小、不易磨损、可生物降解、防腐防潮防虫蛀、绿色无害、尺寸稳定性和力学性能好等,而且具有原料来源广泛、成本低、易于加工和可重复使用等性能,因此,现代生活中人们对木塑复合材料越来越重视,木塑复合材料的使用也越来越广泛。近年来木塑复合材料不断扩大应用领域并逐步替代了一些传统材料。此外,木塑复合材料为废旧塑料的循环利用和提高木材工业利用效率两方面开辟了一条新途径^[21],可以说,木塑复合材料在环境保护和节约能源等方面发挥了很大的作用。

利用无机物填充木材,制备具有高附加值的环保木塑复合材料^[22],是我国大力支持和提倡的科技项目^[23]。仍以贵州省优势木种杉木为例,湖南省林业科学院的范友华等学者^[24]先后用硫酸铝和水玻璃溶液对速生杉木进行处理,可使无机复合木材的尺寸稳定性显著提高,且弯曲强度、弯曲弹性模量、顺纹抗压强度及硬度等主要力学性能指标均有明显提高。

笔者研究团队也曾利用两步挤出法分别制备了马尾松(拉丁学名:*Pinus massoniana* Lamb.)纤维增强高密度聚乙烯(High Density Polyethylene,简称:HDPE)复合材料和杉木纤维增强 HDPE 复合材料,研究了两种复合材料的表面明度、颜色、密度、硬度、尺寸稳定性等物理性能和弯曲、拉伸、冲击等力学性能以及在 50 N 载荷作用下的 24 h 蠕变-24 h 回复性能。研究发现,两种复合材料的尺寸稳定性均明显优于北方常用树种杨木(拉丁语学名:*Populus*)纤维增强 HDPE 复合材料,杉木纤维/HDPE 复合材料更适合在户外潮湿环境中使用,马尾松纤维/HDPE 复合材料更适合应用于受静载作用的构件。木塑复合材料常用

作建筑材料和户外栈道、凉亭、座椅、包装制品等^[25]，会长期暴露于自然环境中，在贵州这样气候特别的省份，温和宜人的气候给木塑复合材料的户外使用提供了有利的条件，但多雨湿润的天气不利于延长木塑复合材料的使用寿命，马尾松、杉木纤维增强聚合物复合材料的老化性能还需进一步研究。

通过归纳木塑复合材料的生产现状和生产工艺，对木塑复合材料产品的研究方向有了更深入的认识，在大力增加木材附加值的同时，规模化地替代天然优质木材，促进木塑复合材料商业化生产和产品推广，提高经济和社会效益是非常重要的。一方面要探索出一条适合贵州省省情的较为安全可行的、绿色稳定的改性工艺；一方面要通过调整化学试剂的种类和剂量改善木材在特殊用途中的功能性，并保证成本易于推广。

木塑复合材料在作为结构材料使用时，要求其有足够的承载能力，主要包括三个方面：首先是要有足够的强度，这是对材料最基本的要求；其次，要求材料有一定的刚度，这是其作为结构材料的必要条件；最后，还对材料的稳定性有一定的要求。然而，木塑复合材料在使用中常常受到长期的持续恒定或者循环载荷的作用而提前失稳，导致承载能力下降甚至破坏。因此，研究木塑复合材料的力学性质和提高其抗蠕变性能是十分有必要的。研究蠕变不仅可以揭示聚合物的黏弹性机理，还能预测木塑复合材料在使用中的稳定性和长期承载能力。

1.5 木塑复合材料的力学研究现状

木塑复合材料不但在很多领域可以代替天然木材，而且能为废弃塑料找到处理的新途径，因此受到人们的日益关注^[26]。它在继承了木材良好的加工性和塑料的易成型性的同时，扩大了木材应用范围并克服了聚合物力学上的缺点，节省了成本，提高了材料的附加值^[27-33]。与天然木质材料相比，木塑制品的耐用性和硬度都得到了大幅度的提高。

一般地，植物纤维用来增强塑料是因为它有相对高的强度和刚度以及较低的密度，对于木塑复合材料性能的研究重点之一就是围绕它的物理力学性能（包括弯曲性能、拉伸性能、抗冲击性能、动态热机械能和抗蠕变性能）而展开的。