



风电叶片复合材料毛竹增强相的动态热机械分析研究

黄晓东¹ 江泽慧¹ 程海涛¹ 任海青²

(1 国际竹藤网络中心 北京 100102;

2 中国林业科学研究院木工所 北京 100091)

摘要:为了找出整根毛竹中物理力学性能最佳部分,本研究针对风电叶片复合材料中重要的增强相材料—毛竹,利用 DMA Q800 动态热机械分析仪进行全面的分析测试。实验证明:5~6 a 生的毛竹竹青片具有优良的物理力学性能,能够作为风电叶片复合材料优良的增强相使用。

关键词:风电叶片;复合材料;增强相;动态热机械分析(DMA);存储模量;损耗模量

Study on Bamboo Dynamic Mechanical Thermal Analysis as Reinforcement of Wind Turbine Blades Composite Materials

Huang Xiaodong¹; Jiang Zehui¹; Cheng Haitao¹; Ren Haiqing²

(1 Research Institute of International Center for Bamboo

and Rattan (ICBR), Beijing, 100102; 2 Research Institute

of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091)

Abstract: In the study, moso as an important reinforcement material of wind turbine blades composite materials was tested by Q800 DMTA instrument in order to get the best optimum mechanical properties. The results show that the outer layer of bamboo faces from the 5~6 years old has good mechanical properties, which can be used as an important reinforcement of wind turbine blades composite materials.

Key Words: wind turbine blades; composite material; reinforcement; dynamic mechanical thermal analysis (DMTA); storage modulus; loss modulus

材料的动态力学行为是指材料在交变应力或交变应变的作用下做出的响应^[1]。是研究在较低的应力水平下的材料力学性能变化,所得到的参数是材料的动态模量和阻尼。动态力学分析可以同时研究不同条件下材料弹性和粘性的变化过程,即动态的粘弹性^[2]。毛竹是高分子材料,虽刚性较大,但都具有粘弹性,在外界连续宽阔的温度范围内,它的应力和应变变化可能不是同步的,由于粘性的影响应力与应变存在一个相位差,它的模量是一个复数,其实数部分为弹性变形存储的能量,即存储模量,其虚

数部分是因粘性变形以热的形式损耗的能量,即损耗模量^[3]。它们的模量随温度的变化将会产生一定的动态变化。本论文利用先进的动态热机械分析仪对毛竹的不同径高,不同部位的试件在不同的温度下的动态模量性能的变化进行研究,以了解其动态力学性能变化规律,这对确定风电叶片复合材料毛竹增强相材料的加工和使用条件,评价使用性能具有重要的实用价值。

1 试验材料和条件

1.1 试样来源

本批次毛竹采自浙江省新昌县,长约 15 m 左右,端头直径 10 cm 以上,表面较光洁,截面较圆,竹龄约 5~6 a 左右。

1.2 仪器设备

毛竹单板旋切机,恒温恒湿箱,动态热

* 基金项目:国际竹藤网络中心基本科研业务专项资金资助(06/07-C24)——生物质风电叶片材料的优化设计。

第一作者简介:黄晓东(1966—),男,福建农林大学讲师,国际竹藤网络中心博士研究生,从事木材科学与技术、复合材料、木材阻燃的研究。

通讯作者:江泽慧,女,教授,国际竹藤网络中心董事会主席,中国林业科学研究院原首席科学家。



机械分析仪(DMA Q800)

1.3 试样预处理

沿距毛竹端头 1.00 m、2.00 m、3.00 m、4.00 m 处划线下锯, 截取 4 段毛竹, 每段 40 cm 长; 将毛竹段放入热水池, 通入蒸汽加热 2 h, 目的是使毛竹段软化; 将经过充分软化的毛竹段放入无卡轴旋切机加工, 旋出连续的 0.3 mm 厚竹单板; 将经过恒温恒湿处理的竹单板取出 (温度为 20℃、含水率为 8%~10%), 按从竹青到竹肉再到竹黄的顺序均匀分布的方式, 获取满足动态力学分析仪试验要求的试样 (每种试样取 3 个)。

1.4 试验条件

按动态热机械分析仪(DMA Q800)的使用要求校准设备, 变温范围设定 35~200℃, 升温速度设定 3℃/min, 频率设定 1 Hz。先测量竹单板试样的宽度和厚度, 输入仪器中; 再将竹单板试样放入动态热机械分析仪样品室的夹具中固定, 关闭样品室, 然后将竹单板试样的实际长度值数据输入仪器中, 开始试验, 动态热机械分析仪的电脑自动采集并处理数据, 其中, 毛竹端头 1.00 m、2.00 m、3.00 m、4.00 m 处竹青、竹肉、竹黄部分的存储模量和损耗模量值大小随温度变化曲线分别见图 1、图 2、图 3、图 4。

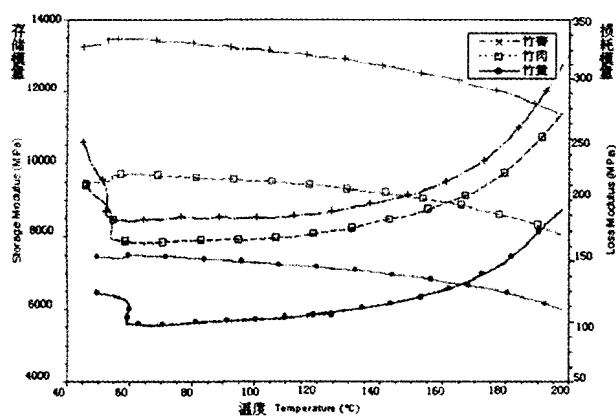


图 1 毛竹端头 1.00 m 处竹青、竹肉、竹黄部分的存储模量和损耗模量值大小随温度变化曲线
Fig 1. Relation between storage modulus and loss modulus curves of the outside, the middle and inside faces made form 1 meter end of bamboo changing with temperature increased

2 结果与讨论

2.1 同一高度毛竹竹青、竹肉、竹黄部分试样的存储模量和损耗模量随温度变化关系

从图 1~4 可知: 相同高度毛竹加工的竹单板试样, 在动态热机械分析仪测试过程中, 在温度变化开始阶段, 竹青部分的试样存储模量值最高, 而竹黄部分的试样存储模量值最低。竹青、竹肉、竹黄部分的存储模量都具有随温度的增加而降低的趋势; 而损耗模量值的大小都具有随温度的增加而增加的趋势。产生这一现象的原因是: 毛竹的有机组成主要由纤维素、木素、半纤维素构成, 以 6 a 生的毛竹为例, 竹青部分纤维素含量占 43.68% (最高), 木素含量占 30.33%, 半纤维素含量占 22.94%; 竹黄部分纤维素含量占 34.79% (最低),

木素含量占 26.76%, 半纤维素含量占 21.53%^[4]。在较低温度区域内, 毛竹竹青部分的刚性较竹肉和竹黄部份大^[5], 这可以理解为竹青部分的纤维素 (或维管束) 含量较竹肉和竹黄部分多, 纤维素是由大量葡萄糖基所构成的直链大分子化合物, 它形成毛竹的结晶区和非结晶区; 半纤维素主要是由两种或两种以上的糖基构成的线形并带有侧联和直链的多聚糖; 木素则是具有芳香族特性的, 非结晶性的, 具有 3 度空间结构

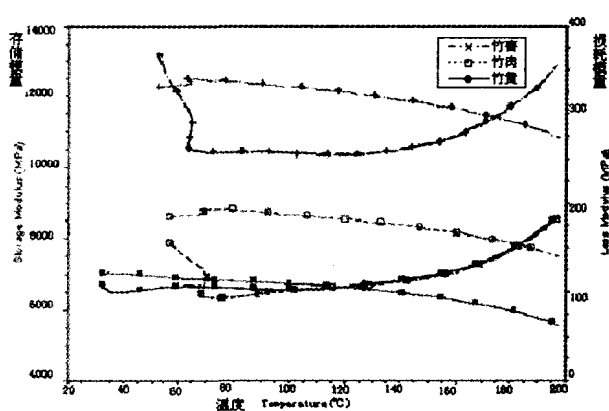


图 2 毛竹端头 2.00 m 处竹青、竹肉、竹黄部分的存储模量和损耗模量值大小随温度变化曲线
Fig 2 Relation between storage modulus and loss modulus curves of the outside, the middle and inside faces made form 2 m end of bamboo changing with temperature increased

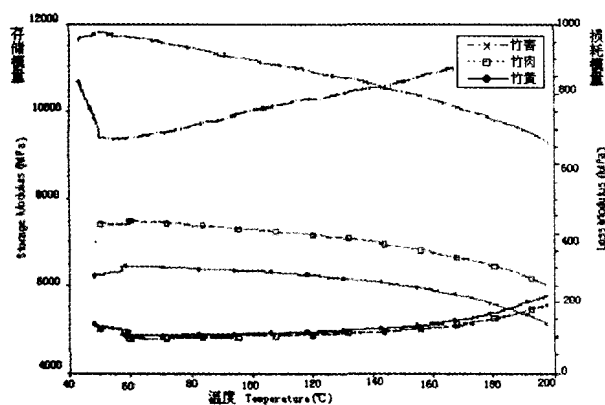


图3 毛竹端头3.00 m处竹青、竹肉、竹黄部分的存储模量和损耗模量值大小随温度变化曲线
Fig 3 Relation between storage modulus and loss modulus curves of the outside, the middle and inside faces made form 3 m end of bamboo changing with temperature increased

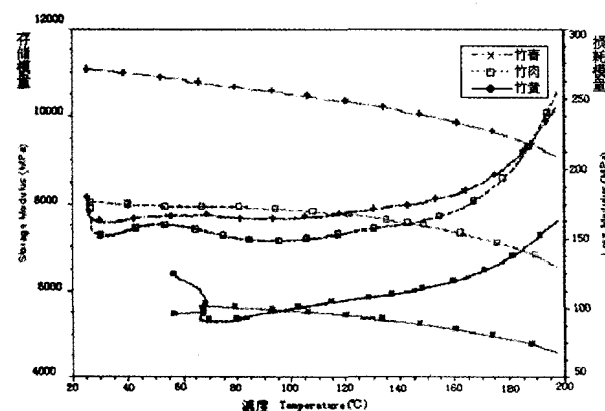


图4 毛竹端头4.00 m处竹青、竹肉、竹黄部分的存储模量和损耗模量值大小随温度变化曲线
Fig 4 Relation between storage modulus and loss modulus curves of the outside, the middle and inside faces made form 4 m end of bamboo changing with temperature increased

的高聚物^[6]。当加热到玻璃转化点温度时,毛竹的非结晶区会发生由玻璃质状态向橡胶态转化。对毛竹中的纤维素、半纤维素和木素的玻璃转化点的研究可知^[7],半纤维素和木素的转化范围在160℃~200℃之间,但由于水的存在,它们的转化点温度可以显著降低,可降至50℃~128℃之间,而纤维素主要为结晶物质,性能稳定,其玻璃转化点在231℃~244℃之间。随温度的提高,分子链结构产生变形或位移,使其动态模量发生改变。由上述可知,一

般在动态粘弹性的测试中,纤维素的主转变发生在240℃左右,而木素和半纤维素等非结晶物质的主转变发生在200℃以下^[8]。也就是说在较低温度下,毛竹组成中的纤维素、半纤维素以及木素的分子链大部分仍处于静止状态,较少产生运动,因而分子间的摩擦产生的热量较小,所以损耗能量也较低。但由于温度的上升,提供给分子运动的能量,特别是使非结晶的分子部分链段以及一些支链产生运动,从热力学的角度,发热总是使材料的存储模量降低,内部损耗模量增大^[9,10]。

2.2 不同高度毛竹竹青试样的存储模量和损耗模量随温度变化关系

从图1~4可知:不同高度毛竹加工的竹单板试样,在动态热机械分析仪测试过程中,在温度变化开始阶段,1.00 m处竹青部分的试样存储模量值最高,而4.00 m处竹青部分的试样存储模量值最低;不同高度毛竹竹青部分的存储模量都具有随温度的增加而降低的趋势,而不同高度毛竹竹青部分的损耗模量值的大小都具有随着温度的增加而增加的趋势;同样,在同一温度下,不同高度毛竹竹青部分的存储模量都具有随着毛竹高度的增加而降低的趋势。产生这一现象的原因是:毛竹竹青部分有机组成中最主要的成分纤维素,随着毛竹高度的增加有逐渐下降的趋势。以中国浙江临安6 a生的毛竹为例,基部(离地1.2 m)竹青部分纤维素含量占42.89%(最高),中部(秆高1/2处)竹青部分纤维素含量占42.35%,梢部(秆高2/3处)竹青部分纤维素含量占41.22%(最低)^[4]。基部竹青部分的纤维素含量较中部或梢部竹青部分的纤维素高是产生这种结果的主要原因。

3 小结

(1) 同一高度毛竹加工的竹单板试样,在动态热机械分析仪测试过程中,在温度变化开始阶段,竹青部分的试样存储模量值最高,而竹黄部分的试样存储模量值最低。竹青、竹肉、竹黄部分的存储模量都具有随温度的增加而降低的趋势;而损耗模量值的大小都具有随温度的增加而增加的趋势。

(2) 不同高度毛竹加工的竹单板试样,在



动态热机械分析仪测试过程中,在温度变化开始阶段,1.00 m处竹青部分的试样存储模量值最高,而4.00 m处竹青部分的试样存储模量值最低。在同一温度下,不同高度毛竹竹青部分的存储模量都具有随着毛竹高度的增加而降低的趋势。

(3) 一般5~6 a生的成熟毛竹的竹青部分的低温存储模量位于 10^{10} Pa (10 GPa)数量级左右,一般能满足做为风力发电叶片复合材料中增强相材料的使用,它们的损耗模量位于 10^8 Pa数量级左右。这也从一个侧面说明如果要增大风力发电叶片复合材料的模量,就要尽可能增加加入的风电叶片复合材料增强相的存储模量,这也就是我们在实际生产过程中要尽可能保留竹青(维管束或纤维细胞)含量的真正原因。

参考文献

1 B.E.瑞德,G.D.丹恩著,过梅丽,刘士昕译.聚合物和复合材料的动态性能测试[M].上海:上海科学技术文献出版社,1986

- 2 何曼君,陈维孝,董西侠.高分子物理(修订版)[M].上海:复旦大学出版社,1990,343~366
- 3 过梅丽.高聚物与复合材料的动态力学热分析[M].北京:化学工业出版社,2002,1~7
- 4 江泽慧.《世界竹藤》[M].辽宁:科学出版社,2002,221~232
- 5 Glasser G Wolfgang, Rials G Timothy, Kolley S Stephen, Studies of the molecular interaction between cellulose and lignin as a model for the hierarchical structure of wood. In: 1998 Report of American Chemical Society. Biobased materials/recycling center and department of wood science and forest products. Virginia Polytechnic and State University, Blacksburg, VA 1998
- 6 郝立新,潘炯玺.高分子化学与物理教程[M].北京:化学工业出版社,1997,58~81
- 7 王逢瑚.木质材料流变学[M].哈尔滨:东北林业大学出版社,1996,7~10,67~70
- 8 渡边治人(日)著,张勤丽,等译.木材应用基础[M].上海:上海科学技术出版社,1986,335~355,383~395
- 9 肖加余,曾竞成.高性能天然植物纤维复合材料及其制品研究与开发[J].玻璃钢/复合材料,2000(2):38
- 10 张留成,瞿雄伟,丁会利.高分子材料基础[M].北京:化学工业出版社,2002,322

国外动态

墨西哥的竹子游牧博物馆

2008年1月,一座世界上最大的由竹子建造的建筑结构在墨西哥城揭幕,它就是“游牧博物馆”。该馆占地5130 m²,几乎相当于墨西哥城中心广场50%的临时性建筑结构,同时也是全拉美最大的一座博物馆。这座博物馆是加拿大艺术家格雷戈里·科尔伯特的杰作。为了建造这样的建筑,科尔伯特找到了哥伦比亚建

筑师、出身建筑世家的西蒙·贝莱斯。20年前,贝莱斯发现在哥伦比亚特产刺竹的接缝处使用少量的螺丝可以真正地发挥出竹子的天然韧性和灵活性。而竹子可以用来建造教堂的穹顶,能够承载10 t的重量。竹子的茎需要硼酸处理,可以避免白蚁的侵袭。

——竹子信息

缅甸鼓励私人种植竹、藤、硬木

缅甸《B.I.G》经济刊物报道:缅甸林业部在2005年已准许私人申请土地种植柚木,现在又准许私人申请土地种植竹、藤、硬木。这是缅甸林业部门为了弥补对木材原料的需求和保

护自然环境以及开发私营林业经济。私人申请林业种植土地,最低年限25年,最高年限30~40年。申请人可向镇区林业部门或省、邦直至内比都林业部申请。

——中国林业