

竹丝炭化时间对风力发电机叶片阻燃性能的影响

黄晓东 江泽慧* 孙正军

(国际竹藤网络中心)

摘要: 风力发电站常常安装在偏远的海岛、高山或沙漠地区,叶片在使用过程中常受到高温、闪电、野火等等不利因素的影响而烧损,因此,风电叶片材料阻燃性能的选择就显得十分重要。采用 HRR₃ 热释放率系统、HC-2 氧指数测定仪等仪器,测定并分析经由不同炭化时间处理的竹丝制造的竹增强复合材料的阻燃性能。结果表明:竹丝经 10 min 炭化处理制造的竹增强复合材料,试件在 HRR₃ 热释放率系统测试实验中产生的热释放量峰值最低 (99.44 kW/m²),且在 5 min 内总热释放量最低 (339.15 kW·min/m²),氧指数值最高 (52),其阻燃性能较好。

关键词: 竹丝;炭化时间;风力发电机叶片;复合材料;阻燃性能

Effects of Heat-treatment Time on the Flame-Retardant Properties of Wind Turbine Bio-blades Made from Bamboo Thread HUANG Xiao-dong, JIANG Ze-hui, SUN Zheng-jun

Abstract: The wind turbines usually fixed on remote islands, high mountains, and desert areas. The turbine blades were easy to burn down due to high temperature, lightning, fire. For this reason, the flame-retardant properties of the material selection of the wind turbine blades play an important role in the wind turbine designs. In this study, the flame-retardant properties of the bamboo strengthened composite material samples made from phenol-formaldehyde resin (PF), phenol-formaldehyde and epoxy resin, epoxy resin were tested by HRR₃ Heat Release Rate System equipment and HC-2 oxygen index equipment. The results showed that the best flame-retardant properties appeared when the bamboo strengthened composite material samples made from 10 minutes carbonization bamboo threads in this HRR₃ study, the peak of heat release rate reached the lowest, the oxygen index value was the highest, and the total heat release amount in 5 minutes was the lowest.

Key words: Bamboo thread; Heat-treatment time; Wind turbine blades; Composite material; Fire-retardant property

Author's address: Research Institute of International Center for Bamboo and Rattan (ICBR), 100102, Beijing, China

随着我国国民经济的持续快速发展,能源面临的供需缺口正在加大,而石油后备资源严重不足,目前以煤炭为主的能源结构又将带来严重的环境污染等一系列问题^[1]。在常规能源告急和全球生态环境日益恶化的双重压力下,风能作为一种无污染、可再生、高效清洁的替代能源,近 30 年来在世界范围内发展尤为迅猛^[2]。目前大量使用的风力发电机叶片主要采用的是玻璃钢材料,玻璃钢又称为玻璃纤维增强塑料,以玻璃纤维为增强材料,树脂为基体胶合而成^[3]。由于玻璃钢的废旧产品处理困难,既难以燃烧,又不易分解,多采用堆积方式处理,又称垃圾材料,属于无法持续使用的材料之一。人们持续制造大量玻璃钢产品,再将其丢弃,占用大量的土地^[4]。因此,必须开发出一种新的可回收利用的环保叶片来替

代目前大量使用的玻璃钢叶片。由于风力发电机的安装使用的地点多为人烟稀少的偏远山区、海岛、高山或沙漠地区,周边环境恶劣,叶片在使用过程中经常要受到高温、闪电、野火等不利因素的影响,稍有不慎将直接造成整个风力发电机组烧损,造成重大经济损失。所以世界上风力发电事业发展较快的国家,大多由国家专业机构或生产厂家来制定出风力发电机叶片材料严格的阻燃性能要求^[5~8]。本研究利用南方常见的毛竹加工成竹丝,在 120 蒸汽温度下,采用不同的炭化时间处理的方式来试制不同的竹增强复合材料,并探讨竹增强复合材料的阻燃性能,最终生产出可替代玻璃钢叶片材料的高级竹增强复合材料。这对于实现风电技术和产业的国产化,有着非常深远的科技、经济和战略意义。

1 材料与方法

1.1 试样来源

选择 4~5 a 生的优质毛竹,破篾加工成定厚的竹青片;通过无损检测对竹青片进行分级,将优级的竹青片加工成竹丝(保留部分竹青,直径在 1 mm²左

收稿日期:2007-04-02

修回日期:2007-04-25

基金项目:国家林业局“948 项目“木竹基复合新材料技术引进与创新”(2006-C-04)。

第一作者简介:黄晓东(1966-),男,讲师,博士生,从事木材科学与技术、木材阻燃研究。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首席科学家。

右)。竹丝分别在 120 蒸汽温度条件下,炭化 0、10、20、30 min 处理后,干燥至含水率 10% 以下备用。

将醇溶性酚醛树脂调匀备用。分别取一定量的经炭化 0、10、20、30 min 后再干燥的竹丝,浸泡在调匀后的醇溶性酚醛树脂内,待检测竹丝的树脂浸渍量达到 20% 后,取出竹丝并沥干(以竹丝不再滴胶液为准)。特殊情况可将浸完胶的竹丝放入烘箱内低温干燥(以竹丝不再粘手为准)。

将沥干后的竹丝按要求分别组坯,经热压工艺压制成板材;再经锯切加工成 150 mm × 150 mm × 10 mm,每种试件样品加工 5 件备用。

1.2 仪器设备

HC-2 氧指数测定仪,美国阿特拉斯公司生产的 HRR₃ 热释放率系统^[9]。

1.3 试样预处理

分别将 150 mm × 150 mm × 10 mm 规格的热释放率系统试样放置在温度 21 ± 3、相对湿度为 50% 的恒温恒湿箱中处理 24 h 后取出,平放试样,在试样上包裹厚 0.025 mm 的铝箔至另一边,装入指定试样架,剪去露出的多余铝箔后备用^[10]。

1.4 实验条件

按美国航空标准 FAA from 8130-3 及美国国家标准 E 906-83 要求^[11,12]:压缩空气压力 26.67 kPa,压缩空气温度 21 ~ 24,压缩空气流量为 0.04 m³/s,热通量校准器内冷却水流量 1 L/min,辐射热通量 (3.5 ± 5%) W/cm²,甲烷气纯度 99%,甲烷气瓶输出压力 98 ~ 137 kPa,标准测试时间 5 min^[13]。

2 结果与分析

2.1 不同炭化时间处理竹丝制成的竹增强复合材料试件对燃烧热释放率的影响

将加工和预处理好的试件放入 HRR₃ 热释放率系统中进行测试,未经炭化处理生产的竹增强复合材料试件的燃烧热释放率曲线见图 1; 10 min 炭化处理生产的竹增强复合材料试件的燃烧热释放率曲线见图 2; 20 min 炭化处理生产的竹增强复合材料试件的燃烧热释放率曲线见图 3; 30 min 炭化处理生产的竹增强复合材料试件的燃烧热释放率曲线见图 4。以上 4 种试件的燃烧热释放率见表 1。

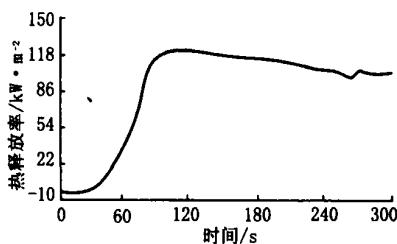


图1 未经炭化竹丝制造的试件燃烧热释放率曲线

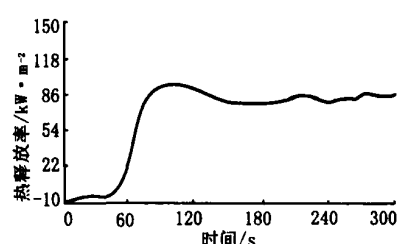


图2 10 min炭化竹丝制造的试件燃烧热释放率曲线

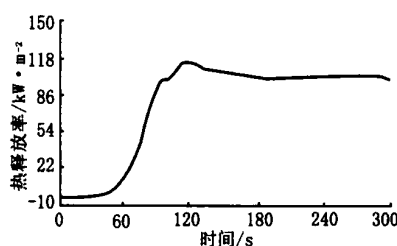


图3 20 min炭化竹丝制造的试件燃烧热释放率曲线

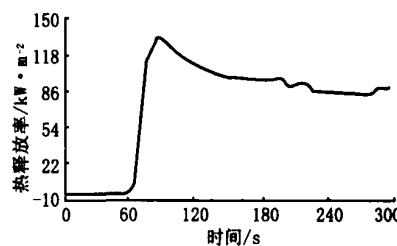


图4 30 min炭化竹丝制造的试件燃烧热释放率曲线

从图 1 及表 1 可知,当采用未经炭化处理的竹丝来制造竹增强复合材料时,在 HRR₃ 热释放率系统测试实验中,试件在系统的燃烧室内前 28 s 为吸热升温阶段,28 s 后试件开始燃烧并放出热量,在 125 s 时,试件燃烧并达到最高热释放量峰值,125 s 后试件表层经燃烧后产生了部分炭化层,由于炭化层的热传导率仅为竹增强复合材料的 1/3 ~ 2/3,因此炭化层的存在,抑制了竹增强复合材料的进一步燃烧,热释放率曲线呈缓慢下降趋势。

表 1 4 种不同炭化时间处理试件的燃烧热释放率

试验方案	着火时间 / s	达到最高热释放量		总热释放量 / kW·min·m ⁻²	
		时间 / s	峰值 / kW·m ⁻²	2 min	5 min
未经炭化	28	125	124.64	110.43	436.83
10min炭化	46	89	99.44	86.62	339.15
20min炭化	51	115	116.99	78.41	375.49
30min炭化	70	89	129.19	84.87	351.08

从图 2 及表 1 可知,在 120 蒸汽温度下,竹丝经 10 min 炭化处理来制造竹增强复合材料时,在 HRR₃ 热释放率系统测试实验中,试件在系统的燃烧室内前 46 s 为吸热升温阶段,46 s 后试件开始燃烧并放出热量,在 89 s 时试件燃烧并达到最高热释放量峰值,89 s 后表层经燃烧产生了部分炭化层,阻碍了试件的进一步燃烧,热释放率曲线呈缓慢下降的趋势。

从图 3 及表 1 可知,在 120 蒸汽温度下,竹丝经 20 min 炭化处理来制造竹增强复合材料时,在 HRR₃ 热释放率系统测试实验中,试件在系统的燃烧室内的前 51 s 为吸热升温阶段,51 s 后试件开始燃烧并放出

热量,在 115 s 时,试件燃烧并达到最高热释放量峰值,115 s 后表层燃烧产生了炭化层。由于炭化层的热传导率仅为竹增强复合材料的 $1/3 \sim 2/3$,因此炭化层的存在抑制竹增强复合材料的燃烧,阻碍了试件的进一步燃烧,热释放率曲线呈缓慢下降的趋势。

从图 4 及表 1 可知,在 120 蒸汽温度下,竹丝经 30 min 炭化处理来制造竹增强复合材料时,在 HRR₃ 热释放率系统测试实验中,试件在系统的燃烧室的前 70 s 为吸热升温阶段,70 s 后试件开始燃烧并放出热量,在 89 s 时试件燃烧并达到最高热释放量峰值,89 s 后表层燃烧产生了炭化层,阻碍了试件的进一步燃烧,热释放率曲线呈缓慢下降的趋势。

由试验结果可知,在 120 蒸汽温度下,经 10 min 炭化处理的竹丝制成的竹增强复合材料,最高热释放量峰值最小 (99.44 kW/m^2),且在 5 min 内的总热释放量最低 ($339.15 \text{ kW} \cdot \text{min/m}^2$),其阻燃性能相对较好。

2.2 不同炭化时间处理的竹丝对制成的竹增强复合材料试件氧指数的影响

将分别加工和处理好的氧指数试件放入 HC-2 氧指数测定仪中进行测试,每 5 个试件为一组,记录所得数据并求出平均值。试验结果表明,各处理试件的氧指数均符合国家标准(表 2)。

表 2 4 种不同炭化时间处理试件的氧指数实测对比

种类	未经炭化	10 min 炭化	20 min 炭化	30 min 炭化
氧指数实测值	46	52	51	50
规定值	45	45	45	45
判定	合格	合格	合格	合格

注:按照 GB/T2406-93 标准准备并加工、检测试件。

3 结论

(1)随着竹丝炭化时间的增加,竹增强复合材料产品的着火时间也大大延后,其中竹丝经 30 min 炭化处理制成的竹增强复合材料试件的着火时间达到了 70 s,阻燃性能也相应的有所增加。

(2)在 120 蒸汽温度下,竹丝经 10 min 炭化处理制造的竹增强复合材料,试件在 HRR₃ 热释放率系统测试实验中产生的热释放量峰值最低 (99.44 kW/m^2),且在 5 min 内总热释放量最低 ($339.15 \text{ kW} \cdot \text{min/m}^2$),其阻燃性能相对较好。

(3)竹丝经过高温炭化处理后,随着炭化时间的增加,竹丝内部成分的热分解加快,颜色也逐渐变成褐色或深褐色。随后竹增强复合材料试件放入 HRR₃ 热释放率系统进行测试实验,700~800 的环境温度远高于竹丝的发火点温度(280~500),加上竹丝经前

期高温炭化处理,受内部成分的热分解积累效应影响,试件产生的最高热释放量峰值最大 (129.19 kW/m^2)。

参考文献

- [1] (美) 杰克·派克. 风能及其利用 [M]. 北京:能源出版社, 1984.
 - [2] 张蓓文. 最具潜力的朝阳产业:风力发电 [J]. 竞争情报, 2006(1): 52-57.
 - [3] 邱冠雄, 刘良森, 姜亚明. 纺织复合材料与风力发电 [J]. 纺织导报, 2006(5): 56-61, 64.
 - [4] 江泽慧, 孙正军, 任海青. 先进生物质复合材料在风电叶片中的应用 [J]. 复合材料学报, 2006, 26(3): 127-129.
 - [5] Gougeon M, Zuteck M. The Use of Wood for Wind Turbine Blade Construction. Large Wind Turbine Design Characteristics and R&D Requirements [R]. S Lieblein, Ed, NASA CP-2106, CONF-7904111, 1979: 293-308.
 - [6] Lieblein S, Gougeon M, Thomas G, et al. Design and Evaluation of Low-Cost Laminated Wood Composite Blades for Intermediate Size Wind Turbines: Blade Design, Fabrication Concept, and Cost Analysis [R]. DOE/NASA/OID1-1, NASA CR-165463, December 1982.
 - [7] R F Lark, M Gougeon, G Thomas, et al. Gougeon Brothers, Inc, Fabrication of Low-Cost Mod-0A Wood composite Wind Turbine Blades [R]. DOE/NASA/20320-45, NASA TM-83323, February 1983.
 - [8] Faddoul J. Test Evaluation of a Laminated Wood Wind Turbine Blade Concept [R]. DOE/NASA/20320-30, NASA TM-81719, May 1981.
 - [9] 林巧佳, 黄晓东, 刘景宏, 等. 发泡剂对膨胀型聚氨酯防火涂料阻燃性能影响 [J]. 木材工业, 2005, 19(1): 16-18.
 - [10] 黄晓东, 林巧佳. 聚氨酯防火涂料阻燃性能的研究 [J]. 西北林学院学报, 2005, 20(2): 179-182.
 - [11] Shuklin S G, Kodolov, Larionov K I, et al. Physico-chemical processes in modified two-layer fire-heat proof filled epoxy polymers under fire sources effect (article) [J]. Physics of Combustion and Explosion, 1995, 21(2): 73-84.
 - [12] Carole Magniez, Andre Dubois. Behavior of intumescent system for flame retardant materials coated on polypropylene textiles [J]. Journal of Industrial Textiles, 2003, 32(4): 255-266.
 - [13] Robert H White. Use of Coatings to Improve Fire Resistance of Wood [M]. American Society for Testing and Materials 1916 Race Street, Philadelphia, PA 19103, 1984.
- (通讯地址: 100102, 北京市朝阳区望京阜通东大街 8 号)

