

2 种风电叶片竹木复合材料原材料树脂浸渍量研究

陈 玲¹, 江泽慧^{2*}, 黄晓东², 任海青¹

(1. 中国林业科学研究院 木材工业研究所, 北京 100091; 2. 国际竹藤网络中心, 北京 100102)

摘 要:为了探索风力发电机叶片复合材料原材料炭化竹片及杉木薄板的环氧树脂浸渍性能,将炭化竹片及杉木薄板浸渍在不同固含量的混合环氧树脂中,研究炭化竹片及杉木薄板试件在不同浸渍时间的浸渍量。结果表明:(1)当环氧混合浸渍树脂的固含量相同时,随着浸渍时间的延长,杉木薄板和炭化竹片的树脂浸渍量逐渐增加,而后趋于稳定;(2)在相同的浸渍时间内,杉木薄板和炭化竹片在较高固含量的环氧混合浸渍树脂中的树脂浸渍量均高于低固含量的环氧混合浸渍树脂;(3)炭化竹片的树脂浸渍量均较杉木薄板低,说明材料的硬度或密度对树脂浸渍量有很大的影响。
关键词:风电机组叶片;竹木复合材料;树脂;浸渍量
中图分类号:TS652 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-7461(2008)06-0170-03

Study on the Resin Impregnation Increment for Two Raw and Semifinished Materials of Wind Turbine Blades Bamboo/Wood Composite Materials

CHEN Ling¹, JIANG Ze-hui², HUANG Xiao-dong², REN Hai-qing¹

(1. Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 2. Research Institute of International Center for Bamboo and Rattan, Beijing 100102, China)

Abstract: In order to explore the epoxy resin impregnation property of the raw and semifinished materials of wind turbine blades composite materials -carbonized bamboo sheet and *Cunninghamia lanceolata* thin timber, the relationship between their resin impregnation increment and impregnation time was studied. They were impregnated in mix epoxy resins with different solid contents, and then to calculate the amounts of resin impregnation with different time durations. The results showed that: (1) When the solid contents of the mix epoxy resin were the same, the impregnation increment of the *C. lanceolata* thin timber and carbonized bamboo sheet increased with the impregnation time and then became stable; (2) When the impregnation time durations were the same, the impregnation increments of the *C. lanceolata* thin timber and carbonized bamboo sheet impregnated in mixed epoxy resin with higher solid contents were higher than those in mixed epoxy resin with lower solid contents; (3) The resin impregnation increment of the carbonized bamboo sheet was lower than that of *C. lanceolata* thin timber, indicating that hardness or density had significant effect on resin impregnation increment.
Key words: wind turbine blade; bamboo/wood composite material; resin; impregnation increment

由于石油的短缺以及用矿物燃料发电所带来的环境污染问题,风力发电受到各国重视^[1-2]。风能资源是清洁的可再生能源,风力发电是新能源中技术最成熟、最具规模开发条件和商业化发展前景的可再生能源技术,在远期有可能成为世界重要的替代能源^[3-4]。风力发电装置最关键、最核心的部分是叶片,叶片的设计和采用的材料决定风力发电装置的性能和功率,也决定风力发电机组的成本^[5]。目前

② 收稿日期:2007-12-31 修回日期:2008-05-30
基金项目:福建省自然科学基金资助项目(2007J0195)
作者简介:陈玲,女,博士研究生,从事木基复合材料科学与工程、木质工程材料的制造和评价。
* 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。

用于风力发电的叶片一般采用玻璃纤维增强塑料(简称玻璃钢)复合材料制造。这种材料虽然制造工艺成熟,但存在成本高(每吨 10~20 万元)的问题,且玻璃钢的废旧产品处理困难,既难以燃烧,又不易分解,国外多采用堆积方式处理,占用了大量的土地^[6]。因此,必须开发出一种新的低成本、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^[7]。我国竹子种类多,面积广,经济价值高^[8-9]。毛竹速生丰产,我国南方各省都有大面积种植,其材质坚硬耐磨、色泽美观大方;杉木作为我国南方广泛生长的主要木材品种之一,其来源广泛,木材蓄材量大,生长相对较快,同时具有良好的防腐性能,其密度低,顺纹方向力学性能好^[10-11],可以考虑通过毛竹与杉木复合的方式来替换造价较高的玻璃钢复合材料。针对风力发电机叶片复合材料原材料炭化竹片及杉木薄板的浸渍量与浸渍时间关系进行研究,为风力发电机叶片的生产奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料

竹材选择浙江新昌 4~5 a 生优质毛竹,破篾加工成 6 mm 厚的竹青片。

将竹青片经 120 ℃蒸汽 120 min 炭化处理成炭化竹青片,干燥至含水率 10% 以下,在四面刨上精加工成 2 400 mm×20 mm×3 mm(长×宽×厚)的规格炭化竹片。

杉木原木采自湖南省绥宁县寨市林场,树龄在 40 a 以上,直径在 30 cm 以上,为树干通直、外观无缺陷(腐朽、弯曲等)的新伐材。

杉木原木通过“米”字型下料,剔除芯材;锯解标准杉木边材径切板毛坯,烘干至含水率低于 12%,剔除各种木材缺陷,精加工制成 500 mm×20 mm×20 mm(长×宽×厚)标准杉木边材径切规格板。将双组分合成乳胶(LK-DN60)按配比(重量)合成乳

胶:固化剂为=100:15,配好调匀,将杉木边材径切规格板涂胶组坯,涂胶量为 200 g·m⁻²(单面),陈化时间 20 min。将组坯好的木方送入冷压机冷压成型,压力为 10 kg·cm⁻²,时间为 90 min。24 h 后取出沿径向锯成 5 mm 厚的杉木薄板毛坯,再在平刨和压刨上加工成 3 mm 厚的杉木薄板。

调制浸渍环氧混合树脂,配比为:618 环氧树脂 50%,SK3 环氧树脂 30%,2124 酚醛树脂 20%。调匀后按 GB/T14074.5-93 的要求测环氧混和树脂的固含量,再根据实测的树脂固含量用丙酮稀释成 20%、30%和 40%固含量的树脂。

1.2 仪器设备

木工锯机,冷压机,平刨,压刨,烘箱,精密天平(0.001 g)等。

1.3 试样预处理

将加工好的炭化竹片锯切成 20 mm×20 mm×3 mm 规格的小片炭化竹片,将杉木薄板加工成 20 mm×20 mm×3 mm 规格的小片杉木薄板,放入烘箱烘 2 h(温度 100 ℃)后取出称重。

1.4 实验条件

将加工好的炭化竹片和杉木薄板分别浸入 3 种固含量(20%、30%和 40%)的树脂中,时间分别为 5、10、15、20、25、30、35、40 min,取出后经沥干称重,计算浸渍量。浸渍在每种固含量树脂中每个时间段测试的试件数各 3 个,测定结果取平均值。

2 结果与分析

2.1 炭化竹片浸渍量随浸渍时间的变化

由图 1 知,炭化竹片浸渍在 20%固含量的环氧浸渍胶中,浸渍时间由 5 min 增加到 40 min,炭化竹片的浸渍量从 1.33% 增加到 2.07%,增加幅度不大;当环氧混合浸渍胶的固含量为 30%时,浸渍时间由 5 min 增加到 30 min,炭化竹片的浸渍量从 2.34% 增加到 3.33%,浸渍 35 min 后,炭化竹片的

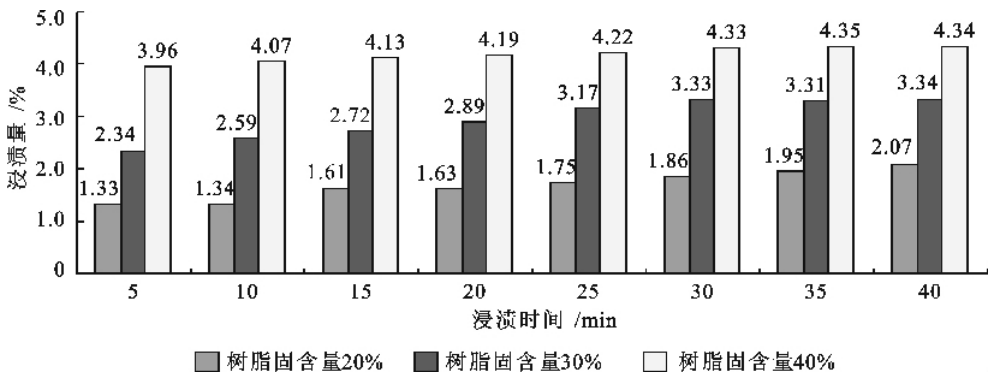


图 1 炭化竹片浸渍量随浸渍时间的变化

Fig.1 The change of resin impregnation increment of carbonized bamboo sheet with impregnation time

浸渍量为 3.31%，浸渍 40 min 后，炭化竹片的浸渍量为 3.34%，炭化竹片的环氧树脂浸渍量基本趋于稳定；当环氧混合浸渍胶的固含量达到 40% 时，随着浸渍时间的增加，炭化竹片的浸渍量也逐渐增加（由 5 min 时的 3.96% 增加到 30 min 的 4.33%），当达到一定时间（30 min）后趋于稳定，总体增加幅度不大。因此，炭化竹片的环氧树脂浸渍量在一定时间内随浸渍时间的增加而增加，而后趋于稳定；在相同的浸渍时间下，炭化竹片的环氧树脂浸渍量随浸渍树脂固含量的增加而增加。

由于炭化竹片的密度较高，且纤维组织多为纵向排列，使得其很难浸渍。单纯依靠增加浸渍胶的固含量和浸渍时间，难以达到风电叶片竹薄板层积材对环氧树脂浸渍量的要求（10%），还需要改进树脂浸渍工艺，提高其浸渍量。

2.2 杉木薄板浸渍量随浸渍时间的变化

由图 2 可知，杉木薄板浸渍在 20% 固含量的环

氧浸渍胶中时，浸渍时间由 5 min 增加到 25 min，浸渍量从 4.43% 增加到 4.92%，变化幅度不大；当浸渍 30 min 时，杉木薄板的浸渍量明显升高，达到 5.95%；浸渍 35 min 和 40 min 时，杉木薄板的浸渍量分别为 6.88% 和 6.87%，基本趋于稳定。当环氧混合浸渍胶的固含量为 30% 时，浸渍时间由 5 min 增加到 35 min，杉木薄板的浸渍量从 8.77% 增加到 12.28%，之后趋于稳定（40 min 时为 12.29%）。当环氧混合浸渍胶的固含量增加到 40% 时，杉木薄板的浸渍量由 5 min 时的 15.32% 增加到 30 min 时的 20.21%，30 min 后变化不大。

由于杉木薄板的密度较低，增加浸渍胶的固含量和浸渍时间，可使其竹片在环氧树脂浸渍胶中的浸渍量明显提高。当环氧混合浸渍胶的固含量为 40%，浸渍时间为 30 min 时，杉木薄板的浸渍量达到 20%，可以满足风力发电机叶片杉木薄板层积材的要求。

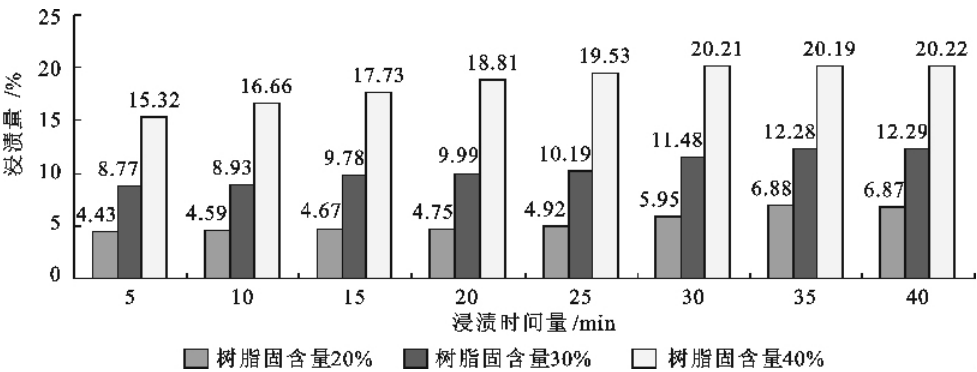


图 2 杉木薄板浸渍量随浸渍时间的变化

Fig. 2 The change of resin impregnation increment of the *C. lanceolata* thin timber with impregnation time

3 结论

环氧树脂浸渍量的大小与浸渍时间有密切关系，当环氧混合浸渍树脂的固含量相同时，随着浸渍时间的增加，杉木薄板和炭化竹片的树脂浸渍量均逐渐增加，而后趋于稳定。

环氧树脂浸渍量与环氧混合浸渍树脂固含量密切相关。在相同的浸渍时间内，杉木薄板和炭化竹片在较高固含量的环氧混合浸渍树脂中的树脂浸渍量较低固含量的环氧混合浸渍树脂中的浸渍量高。

材料的硬度或密度对树脂浸渍量有很大影响。与炭化竹片相比，杉木薄板无论是硬度还是密度均较低，在相同浸渍时间内，在 40%、30% 和 20% 固含量的环氧混合浸渍树脂中，炭化竹片的树脂浸渍量均较杉木薄板低。

致谢：福建农林大学材料学院的张团和张椿祥同学承担了本科题研究的部分实验工作，特此表示感谢！

参考文献：

[1] 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.

[2] 黄晓东,江泽慧,孙正军. 风机叶片的发展概况和趋势[J]. 太阳能, 2007(4): 37-39.

[3] 薛桁,朱瑞兆,扬振斌,等. 中国风能资源贮量估算[J]. 太阳能学报, 2001,22(2): 167-170.

[4] 钟伟强. 国内外风力发电的概况[J]. 风机技术, 2005(5):44-46.

[5] 钟方国,赵鸿汉. 风力发电发展现状及复合材料在风力发电上的应用[J]. 纤维复合材料, 2006(3):48-54.

[6] MARSH G. The large developments and trends of wind turbine blades[J]. Reinforced Plastics, 2003,47(3):10.

[7] MARSH G. Composite material—The first realization of wind energy[J]. Reinforced Plastics, 2003,47(5):29.

[8] 江泽慧. 世界竹藤[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2002.

[9] 郑睿贤. 毛竹工业利用分析[J]. 竹子研究汇刊, 1998, 17(3):1-9.

[10] 彭镇华. 中国杉树[M]. 北京: 中国林业出版社, 1999.

[11] 余新妥. 中国杉木九十年代的研究进展 2——杉木造林和经营综述[J]. 福建林学院学报, 2000, 20(2):12-16.