

# 施胶量对单板造纸污泥复合板性能的影响

董宏敢, 王传贵, 王 祥, 涂道伍, 刘盛全\*

(安徽农业大学 林学与园林学院, 安徽 合肥 230036)

**摘 要:**以竹浆造纸污泥为原料, 杨木单板为表面增强单元、UF 为胶粘剂制备新型复合材料。结果表明, 单板造纸污泥复合板材较纯污泥板弹性模量、内结合强度、表面胶合强度等力学指标增加明显, 可满足相关标准对板材的质量要求。从强度与环保要求两方面综合考虑, 污泥施胶量以 13%、单板的施胶量以  $150\text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$  为宜。

**关键词:**施胶量; 造纸污泥; 杨木单板; 复合板性能

**中图分类号:**S781.65      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2014)06-0226-04

## Influence of Adhesive Consumption on the Properties of Veneer-Sludge Composite Board

DONG Hong-gan, WANG Chuan-gui, WANG Xiang, TU Dao-wu, LIU Sheng-quan\*

(College of Forestry and Landscape Architecture, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui 230036, China)

**Abstract:** This paper presented the manufacturing process of a new composite material by using paper mill sludge, poplar veneers and urea formaldehyde (UF). Compared with that made without poplar veneer, the board exhibited the excellent performances in elasticity modulus, internal bond strength and surface bond strength. Considering the aspects of strength and environmental requirement, the UF consumption for paper sludge was 13%, for poplar veneer:  $50\text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$ .

**Key words:** adhesive consumption; paper sludge; poplar veneer; property of composite board

随着我国造纸工业的迅速发展, 满足人们日益增长的纸张消费需求的同时, 造纸企业也产生了大量的造纸污泥。由于造纸工艺及生产原料等因素<sup>[1-2]</sup>, 污泥中往往含有较多的金属元素、蛋白质等成分, 如不进行再处理, 必然会对环境产生二次污染。目前国内外在造纸污泥综合利用方面做了诸多研究, 如堆肥、焚烧发电、制砖、活性炭等<sup>[3]</sup>, 部分学者尝试利用污泥中的残余木质成分生产污泥纤维板等<sup>[4-6]</sup>, 但对于利用污泥制备单板增强型人造板的研究报导尚少。随着人民生活水平的日益提高, 在建筑装修领域对装饰材料的耐火性能需要越来越高, 污泥的灰分含量高, 主要成分为不可燃烧的  $\text{CaCO}_3$  等无机物及难燃的木质素等<sup>[7]</sup>, 以污泥作为基质辅以难燃型 UF 胶粘剂制备的人造板材可以很好的满足防火需要, 同时又可以有效的节约木质材料的耗

用, 符合当前低碳经济的发展需要。在前期以纯污泥为基体原料, 辅以 UF 树脂为粘合材料, 在施胶量为 13%、密度  $0.8\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  的条件下成功压制出了纯污泥板, 但强度较低, 必须通过不同的途径, 对其进行适当增强处理, 本研究是在上述研究基础上的相关的探讨, 以进一步提高污泥板的使用价值。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

竹浆造纸污泥: 取自贵州赤天化纸业污泥脱水车间, 运回后室温通风保存。

杨木单板: 取自宿州东大木业, 厚度 1.4 mm, 基本密度  $0.43\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , 含水率 12%。

脲醛树脂胶: 采用的脲醛树脂胶, 取自安徽光大人造板有限公司, 水溶性, 固体含量 50%, pH7.5。

收稿日期: 2014-01-06    修回日期: 2014-04-04

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划课题(2012BAD23B0204)。

作者简介: 董宏敢, 男, 副教授, 硕士, 研究方向: 生物质材料加工利用。E-mail: dhg@ahau.edu.cn

\* 通信作者: 刘盛全, 男, 教授, 博士生导师, 研究方向: 生物质材料高效利用。E-mail: liusq@ahau.edu.cn

1.2 设备

XLB-D/Q600×600 型硫化机(中国青岛亚东橡机有限公司)、PE7000 等离子发射光谱仪(Perkinelmer)、WDW-100EⅢ电脑型万能力学试机(济南腾捷仪器设备有限公司)、DL-302 型调温调湿箱(上海精宏实验设备有限公司)、HG101-2 型干燥箱(上海博迅实业有限公司医疗设备厂)、BL3100 电子天平(Sartorius)、木工台锯(MJ143 新马木工机械有限公司)及自制喷胶设备等。

1.3 方法

1.3.1 造纸污泥基本元素测定 采用 ICP-AES 法,利用 PE7000 等离子发射光谱仪分析造纸污泥金属元素含量,污泥灰分中重金属离子含量低于国家标准 GB 4284-1984《农用污泥中污染物控制标准》。主要金属元素:Al 1.340%;Ca 0.932%;P 0.828%;金属元素总含量 5.500%。

造纸污泥中灰分含量为灰分 36.73%,酸不溶木素 27.27%,酸溶木素 1.46%,戊聚糖 3.57%,苯醇抽提物 2.56%,纤维素 18.10%,pH 6.8。

1.3.2 造纸污泥处理及单板处理 利用干燥箱将造纸污泥干燥(105℃)至绝干,筛分 20~80 目,密封备用。将杨木单板裁切成 280 mm×350 mm 矩形,称重后按纹理及材质相近原则编号密封保存。

1.3.3 杨木污泥复合板制备 将污泥按试验方案称重后,与调制后的 UF 树脂(NH<sub>4</sub>Cl 1.0%)均匀混合,同时按定额对杨木单板进行单面涂胶,静置 5 min 后在自制模具中进行组坯,杨木单板在上下两

侧,污泥铺装在中。放入平板硫化机中进行热压。热压参数:压力 1.8 MPa,温度 110℃,热压时间 11 min,保压 10 min。卸板冷却后密封保存,48 h 后按试验要求,利用木工台锯加工出相关物理力学指标测试试件,编号后密封待测。

试验设计设定 3 因子,即板材密度、污泥施胶量及表板施胶量,复合板厚度由厚度规控制,9.0 mm(表 1)。试样重复 2 次,取均值。

表 1 单板污泥复合板试验方案  
Table 1 Test design of the veneer-sludge composite board

| 编号 | 复合板密度<br>/(g·cm <sup>-3</sup> ) | 污泥施胶量/% | 单板施胶量<br>/(g·cm <sup>-2</sup> ) |
|----|---------------------------------|---------|---------------------------------|
| 1  | 0.8                             | 10      | 100                             |
| 2  | 0.9                             | 10      | 150                             |
| 3  | 1.0                             | 10      | 200                             |
| 4  | 0.9                             | 13      | 100                             |
| 5  | 1.0                             | 13      | 150                             |
| 6  | 0.8                             | 13      | 200                             |
| 7  | 1.0                             | 16      | 100                             |
| 8  | 0.8                             | 16      | 150                             |
| 9  | 0.9                             | 16      | 200                             |

工艺参数:温度 110℃,时间 10 min,单位压力 1.8 MPa。制备好的试样如图 1 所示。

静曲强度(MOR)、弹性模量(MOE)、内结合强度(IB)、表面结合强度等指标是评价人造板力学性能主要的指标,参照 GB/T 17657-1999 测试了上述各项力学指标。根据本课题组前期研究,密度对板材的力学性能呈正相关<sup>[8]</sup>。

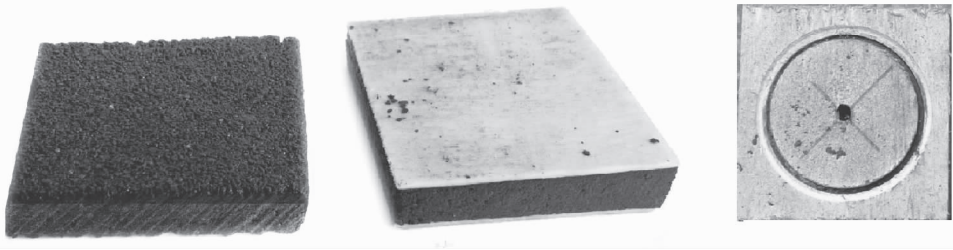


图 1 纯污泥板及杨木污泥复合板试样

Fig.1 Sample of the paper sludge board and paper sludge-poplar veneer composite board

制备的复合板材主要考察 24 h 吸水厚度膨胀率(TS)、表面结合强度、内结合强度、弹性模量(测试值为与表层单板纤维平行方向)及静曲强度(测试值为与表层单板纤维平行方向)等指标。

2 结果与分析

2.1 杨木造纸污泥复合板基本物理力学指标

参考人造板及饰面人造板理化性能试验方法(GB T17657-1999),进行试件的加工及相关物理力

学指标测试(表 2)。通过两侧单板的增强处理后,复合板顺纹抗弯模量均在 50 MPa 以上,大于中密度纤维板国标(GB/T11718-2008)中 24 MPa 的要求。弹性模量均在 5.0 GPa 以上,大于标准要求的 2.4 GPa;内结合强度均在 0.7 MPa,大于标准要求的 0.5 MPa;吸水厚度膨胀率均在 9%以下,小于标准中要求的 12%。可见,杨木—造纸污泥复合人造板具有较好的物理力学,在部分场合具有取代传统 MDF 等材料的前景。

表 2 复合板的物理力学性能

Table 2 Physical and mechanical properties of the composite board

| 序号 | 密度/(g·cm <sup>-3</sup> ) | MOR/MPa | MOE/GPa | 表面结合强度/MPa | IB/MPa | 24h TS/% |
|----|--------------------------|---------|---------|------------|--------|----------|
| 1  | 0.81                     | 50.0    | 5.30    | 0.72       | 1.02   | 8.3      |
| 2  | 1.03                     | 52.5    | 5.73    | 0.89       | 1.15   | 8.0      |
| 3  | 1.06                     | 55.5    | 5.88    | 1.19       | 1.26   | 7.6      |
| 4  | 0.91                     | 52.5    | 5.60    | 0.80       | 1.16   | 7.9      |
| 5  | 1.13                     | 56.4    | 6.20    | 1.25       | 1.32   | 7.0      |
| 6  | 0.92                     | 58.6    | 7.34    | 1.00       | 1.14   | 6.8      |
| 7  | 1.16                     | 53.5    | 5.63    | 1.10       | 1.03   | 7.7      |
| 8  | 0.87                     | 58.5    | 6.60    | 1.20       | 1.21   | 6.3      |
| 9  | 1.12                     | 59.1    | 6.96    | 1.42       | 1.43   | 6.0      |

2.2 复合板 24 h 吸水厚度膨胀率与施胶量之间的关系

吸水厚度膨胀率(TS)在人造板产品实际使用中是一个重要的指标,它反映产品的耐水性能和尺寸稳定性,单板—造纸污泥复合人造板的 24 h TS 随着污泥施胶量、表层单板施胶的变化趋势如图 2 所示。复合板材的 24 h 吸水厚度膨胀率均<9%,且则随着施胶量的增加而呈逐渐低的趋势。主要原因有:1)污泥成分中含有较多的疏水性的木素,降低了水分对板子的浸润;2)固化后的 UF 树脂在污泥颗粒表面形成的连续的包覆层,阻碍了水分对污泥的浸润。3)施胶量增加,封闭了复合板内部更多的羟基等活性基团。4)热压工艺增加了表板的塑化程度,进一步降低了复合板的厚度膨胀率。

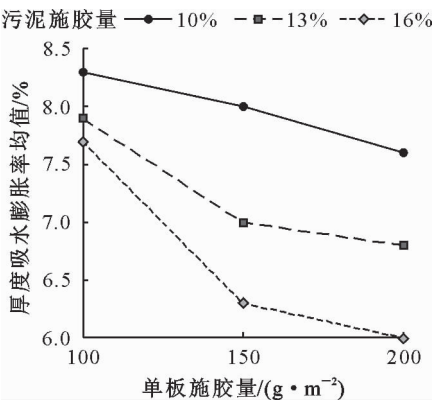


图 2 施胶量对吸水厚度膨胀率影响

Fig. 2 Influence of adhesive consumption on thickness swelling rate in 24 h

2.3 杨木污泥复合板主要力学性质与施胶量之间的关系

由于手工铺装,造成复合板材的密度与目标值偏差较大,实际分析中密度影响因素波动较大,规律性不佳,后续试验中通过改进模具来降低试件密度的偏差,进行密度的单因素分析。从另外一个角度显示出贴面增强、施胶量的变化对板材性能的影响权重超过密度因素。因此,后续分析仅涉及污泥施

胶量、表层单板施胶量这 2 个交互因素,对单板—污泥复合板的性能进行定性分析。复合板主要力学性质与污泥施胶量、单板施胶量之间的关系(图 3)。

随着芯层污泥施胶量、表层饰面单板施胶量的增加,单板污泥复合板静曲强度、弹性模量、内结合强度及表面结合强度均具呈增加趋势。弹性模量>2 500 MPa,静曲强度>26 MPa,内结合强度>0.6 MPa,表面结合强度>0.7 MPa,(GBT 11718-2009,中密度纤维板),同时也达到了弹性模量>3 500 MPa,静曲强度>30 MPa(LYT 1738-2008 实木复合地板用胶合板)相关指标要求,具有较好的力学性能,由于污泥的主要成分是难燃性,增强单板又具有良好的装饰性,使其具备潜在的市场价值。

3 结论与讨论

杨木污泥复合板力学强度主要来源于以下几个方面:1)上、下表面两层贴面单板的增强作用,这也是最为重要的因素,表层单材承担最大弯曲应力,使复合板的力学性能可有效提高。2)UF 树脂的胶合作用<sup>[9]</sup>、通过固化后的三维网络结构对污泥颗粒形成了良好的约束作用;3)污泥内未能回收的竹纤维长链上的羟基可与 UF 树脂中的的羟甲基反应,也进一步增强了复合板的强度<sup>[10]</sup>;4)污泥内部含有较多的木质素、在高温及水分的影响下,木质素的玻璃态转变温度降低,对复合板形成良好胶接有一定的促进作用<sup>[11]</sup>。5)CaCO<sub>3</sub> 等刚性无机材料对复合板有一定的补强作用<sup>[12-15]</sup>。本研究表明,复合板材的 24 h 吸水厚度膨胀率在 9% 以下,随着施胶量的增加呈降低趋势。通过单板表面增强处理后,复合板具有较好的力学性能,为复合板的应用提供了良好条件。单板污泥复合板具有较高的表面结合强度,为后期采用其它耐水材料强化贴面提供了可行性。从强度与环保要求两个方面考虑,污泥的施胶量上限以 13% 为宜,单板的施胶量 150 g·cm<sup>-2</sup> 为宜。

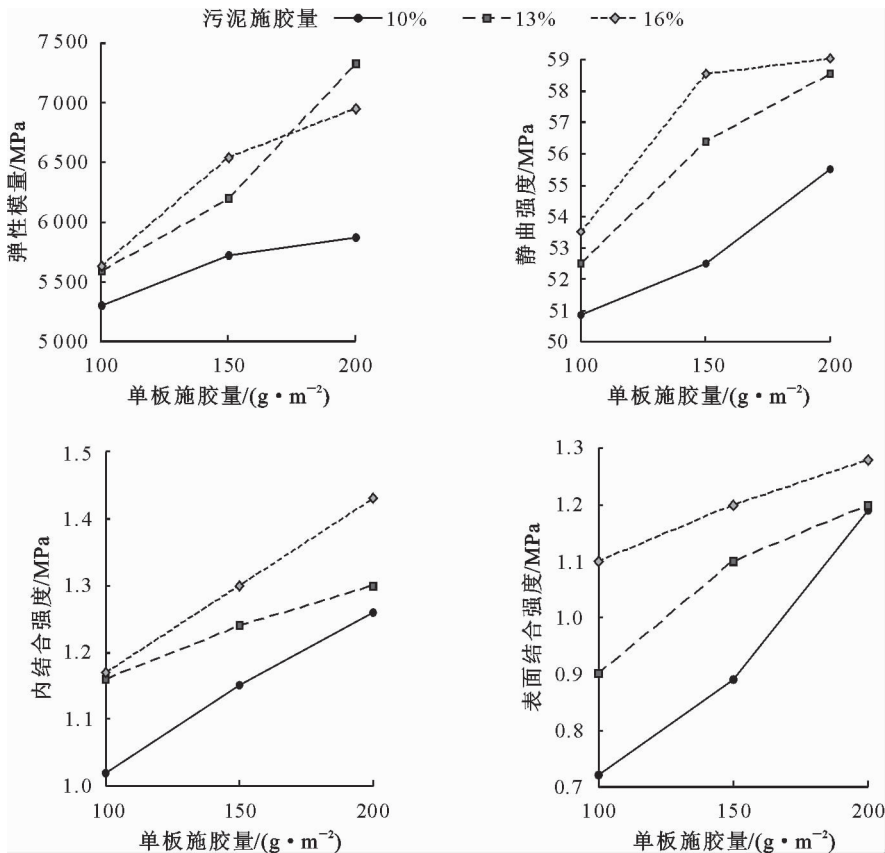


图 3 施胶量对复合板主要力学性质的影响

Fig.3 Influence of adhesive consumption on main mechanical properties of the composite board

参考文献:

[1] 张祁年. 硫酸盐化学竹浆生产工艺的探讨[J]. 天津造纸, 1992 (2):1-5.

[2] 何忠良,何广钊. 低浓亚硫酸氢盐法蒸煮竹浆[J]. 造纸科学与技术, 2001, 20(2):49-51.

[3] 王传贵,江泽慧,刘贤森,等. 造纸污泥资源化利用研究进展[J]. 中国造纸, 2009, 28(1):64-67.

WANG C G, JIANG Z H, LIU X M, *et al.* Research advance of utilization of paper sludge[J]. China Pulp & Paper, 2009, 28 (1):64-67. (in Chinese)

[4] 刘贤森,江泽慧,费本华,等. 木纤维增强造纸脱墨污泥纤维板研究[J]. 材料导报, 2010, 24(15):418-420.

[5] 王传贵,江泽慧,刘贤森,等. 造纸污泥制造纤维板研究[J]. 中国造纸, 2009, 28(6):76-78.

WANG C G, JIANG Z H, LIU X M, *et al.* Study on fiberboard made from paper sludge[J]. China Pulp & Paper, 2009, 28(6): 76-78. (in Chinese)

[6] 连海兰,曹云峰,唐景全. 杨木化机浆污泥/马尾松纤维复合板的制备及性能研究[J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2012, 36(4):98-102.

LIAN H L, CAO Y F, TANG J Q, *et al.* Study on preparation and properties of fiberboard using APMP of poplar sludge and *Pinus massoniana* fiber composites[J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition, 2012, 36(4):98-102. (in Chinese)

[7] 曹俊,肖刚,许啸,等. 木质素热解/炭化官能团演变与焦炭形成[J]. 东南大学学报:自然科学版, 2012, 42(1):83-87.

CAO J, XIAO G, XU X, *et al.* Functional groups evolution and charcoal formation during lignin pyrolysis /carbonization [J]. Journal of Southeast University: Natural Science Edition , 2012, 42(1):83-87. (in Chinese)

[8] 庞敏. 造纸污泥制造中密度纤维板工艺研究[D]. 合肥:安徽农业大学, 2008.

[9] 储九荣. 有机填料改性的无毒耐水脲醛树脂胶[J]. 化学与胶粘, 1994(4):176-177.

[10] 张秀标,王传贵. 竹造纸污泥润湿性和结晶度的研究[J]. 中国人造板, 2011(5):12-15.

ZHANG X B, WANG C G. Wettability and crystallinity of bamboo paper mill sludge[J]. China Wood-Based Panels, 2011 (5):12-15. (in Chinese)

[11] 武再彦,邱增处,任博文,等. 软木无胶胶合工艺研究[J]. 西北林学院学报 2013, 28(6):178-181.

WU Z Y, QIU Z C, REN B W, *et al.* Processes of self-bonding corkboard[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2013, 28(6):178-181. (in Chinese)

[12] 陈桂兰,张明连,赵尧森,等. CaCO<sub>3</sub> 对增强聚丙烯合金性能影响的研究[J]. 上海塑料, 2002(2):20-23.

[13] 李东明,漆宗能. 碳酸钙增强聚丙烯复合材料的断裂韧性[J]. 高分子材料科学与工程, 1991(2):18-25.

[14] 王勇,李瑞海,王贵恒. 无机填料同时增韧增强 HDPE 体系的界面相互作用[J]. 高等学校化学学报, 1994(8):1253-1255.

[15] 杜荣呢,高小铃,渠成,等. 聚甲醛/弹性体/碳酸钙复合材料的研究[J]. 塑料工业, 2004, 33(2):9-14.