

密度和施胶量对高密度纤维板抗弯和耐水性能的影响

邹淼, 郭文静, 唐启恒

(中国林业科学研究院林业新技术研究所; 中国林业科学研究院木材工业研究所, 北京 100091)

摘要: 为了更新纤维板产品结构, 拓展其应用领域, 以杨木纤维和酚醛树脂为原料制备高密度纤维板, 探索密度和施胶量对高密度纤维板抗弯性能和耐水性能的影响。结果表明: 随着密度和施胶量的增大, 高密度纤维板的抗弯性能提高, 耐水性能改善。密度为 1.1 g/cm^3 , 施胶量为 10% 时, 板材的抗弯性能和耐水性能满足 GB/T 31765—2015《高密度纤维板》高湿型高密度纤维板 (HDF-GP HMR) 的相关要求。

关键词: 高密度纤维板; 施胶量; 密度; 耐水性能; 抗弯性能

中图分类号: S792.11; TS653.6 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654 (2020) 06-0011-04

Effect of Density and Resin Content on Bending Strength and Water Resistance of High-Density Fiberboard

ZOU Miao, GUO Wen-jing, TANG Qi-heng

(Research Institute of Forestry New Technology, Chinese Academy of Forestry (CAF);

Research Institute of Wood Industry, CAF, Beijing 100091, China)

Abstract: Poplar fibers and phenolic resin were used to prepare high density fiberboard (HDF) with different densities and resin contents. The mechanical properties, thickness swelling and water absorption properties were tested. The effects of density and resin content on mechanical properties, water resistance and microstructure of HDF were explored. The results showed that with the increase of density and resin content, the thickness swelling and water absorption of HDF decreased, while the mechanical properties of HDF increased. When the density was at 1.1 g/cm^3 with a resin content of 10%, the water resistance and mechanical properties of the board reached the optimum respectively. The mechanical properties of the prepared fiberboard met the strength requirement of GB/T 31765—2015 *High Density Fiberboard* (HDF-GP HMR).

Key words: high-density fiberboard; resin content; density; water resistance; bending strength

高密度纤维板利用次小薪材、枝丫材生产, 名

义密度大于 0.8 g/cm^3 , 具有优异的物理力学性能; 板材表面光滑平整, 易进行表面装饰处理^[1]。与中密度纤维板相比, 高密度纤维板内部结构更加均匀, 耐水性能优良, 尺寸稳定性良好, 可应用在家具、复合木地板、建筑隔墙板^[2-4]等领域。然而, 目前我国纤维板产品同质化现象严重^[5]。随着纤维板工业的

收稿日期: 2019-10-22; 修改日期: 2020-09-23

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金“高强度木纤维复合板材制备及性能研究”(CAFYBB2018SZ014)。

作者简介: 邹淼(1994—), 女, 博士研究生。Email: zoumiao2017@163.com

通讯作者: 唐启恒, 男, 助理研究员。Email: 2005167tang@sina.com

持续发展,为更新其产品结构,扩大其使用范围,开发更高性能的纤维板成为行业发展的热点。研究提升高密度纤维板的力学和耐水等性能,将其作为结构材料,用于实验台面、建筑外墙、轨道交通等工程领域,扩大纤维板的应用范围,为解决我国纤维板同质化现象提供新思路。

以往研究明确表明,板材的密度对纤维板的物理力学性能影响显著,提高密度有助于提升板材的性能^[6-7];另外,增加施胶量能在一定范围内提升板材的性能^[8]。酚醛树脂胶黏剂作为人造板生产的主要用胶,具有优良的耐热、耐水性和良好的胶合强度^[9]。鉴于此,笔者以杨木纤维为原料,浸渍酚醛树脂,通过高压热固化方式制备高密度纤维板,探索施胶量和板材密度对板材物理、抗弯等性能的影响,旨在为高密度纤维板的制备工艺提供参考和依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

杨木(*Populus spp.*)纤维:长度0~0.6 mm,质量比22.56%;长度0.6~3.3 mm,质量比65.89%;长度3.3~30.0 mm,质量比11.55%。外购。

酚醛树脂胶黏剂(PF):购于北京太尔化工有限公司,固体含量47.26%,黏度40 mPa·s(25℃)。

1.2 仪器设备

FiberCam100 纤维光学分析仪;QD056 型实验热压机;CMT-4104 型电子万能拉力机;HITACHIS-3400 扫描电镜。

1.3 试验方法

密度和施胶量均影响板材性能,为同时研究二者对板材性能的作用,设计正交试验因素和水平见表1。调配PF胶的固体含量为12%,将杨木纤维完全浸渍,时间3 min,取出纤维后根据设定的施胶量

挤出多余的胶,然后将纤维自然干燥至含水率约7%。根据设定的板材密度手工铺装,模具尺寸为300 mm×300 mm,厚度规控制板材厚度为8 mm。热压温度150℃,热压时间8 min,热压压力4 MPa。每个条件制备3块板材。

1.4 性能测试

1) 物理力学性能:将制备的板材置于室温下存放24 h以上,参照GB/T 31765—2015《高密度纤维板》和GB/T 17657—2013《人造板及饰面人造板理化性能试验方法》,测试其密度、静曲强度(MOR)、弯曲弹性模量(MOE)、吸水率(WA)、吸水厚度膨胀率(TS)。结果取6个有效试件的平均值。

2) 微观形貌:通过扫描电子显微镜(SEM)观察板材断裂结构形态。

2 结果与讨论

2.1 施胶量和密度对试板抗弯性能的影响

试板的MOR和MOE测试结果,如图1所示。

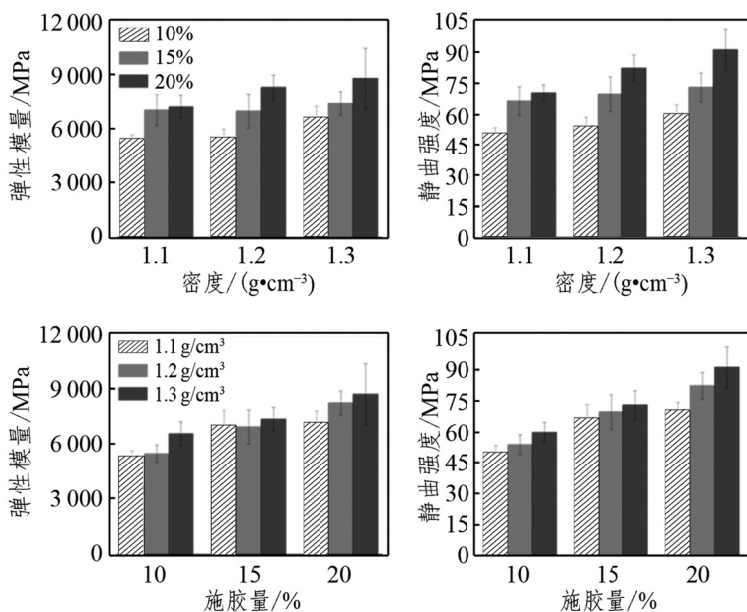


图1 施胶量和密度对试板弹性模量和静曲强度的影响

Fig.1 Effects of resin content and density on MOE and MOR of HDF

图1显示,随着施胶量和密度的增大,试板的MOE和MOR均呈增加趋势。施胶量为10%,密度为1.1 g/cm³时,试板的MOE和MOR最低,分别为5370、50.17 MPa,满足GB/T 31765—2015高湿型高密度纤维板(HDF-GP HMR)的强度要求(厚度>6~9 mm时,MOE和MOR分别大于3600 MPa、

表1 试验因素水平

Tab.1 Experiment factors and levels

因素	水平		
	1	2	3
A 施胶量/%	10	15	20
B 密度/(g·cm ⁻³)	1.1	1.2	1.3

42.0 MPa)。当施胶量和密度达到最大(施胶量为20%, 密度为1.3 g/cm³)时, 试板的 MOE 和 MOR 亦最高, 分别是 8 768、91.24 MPa。

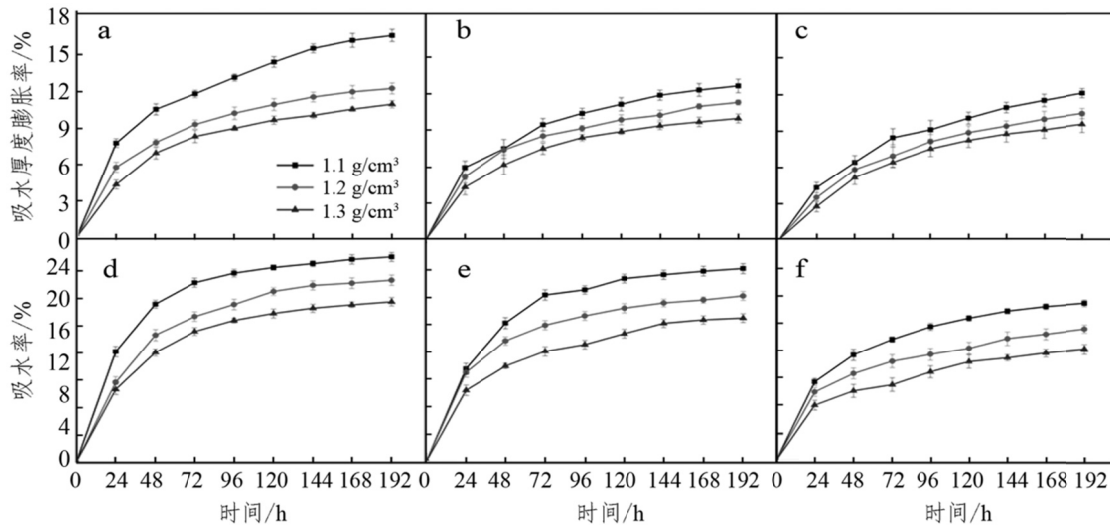
密度增大, 板材内纤维搭接更加紧密, 孔隙减少; 同时施胶量增加也使胶黏剂更加均匀地附着于纤维表面, 提高界面胶合强度, 两者共同作用下能更好地承受外界载荷并把应力传递给木纤维, 使板

材的抗弯性能更加优异。随着密度进一步增加, 试板 MOE 和 MOR 的增幅变缓, 这可能是因为密度增加到一定程度后, 板内的缝隙减少, 继续增加压力并不能明显减少孔隙率^[7]。

2.2 施胶量和密度对试板耐水性能的影响

2.2.1 密度的影响

试板 TS 和 WA 的测试结果, 如图 2 所示。



施胶量: a、d—10%; b、e—15%; c、f—20%。

图 2 不同密度试板的吸水厚度膨胀率和吸水率

Fig.2 Thickness swelling and water absorption of HDF with different densities

图 2 显示, 试板的 TS 和 WA 均随浸水时间的延长而增大, 在开始的 24~48 h 内吸水率快速增加, 随后趋于平缓。在施胶量为 10%, 密度为 1.1 g/cm³ 时, 试板的 24 小时 TS 最高, 为 7.8%, 满足 GB/T 31765—2015 高湿型高密度纤维板 (HDF-GP HMR) 的耐水性要求 (厚度>6~9 mm 时, 吸水厚度膨胀率不高于 10.0%)。同一施胶量, 随着密度的增大, TS 和 WA 均呈下降趋势。这是因为板材的密度越大, 板材内纤维搭接越紧密, 缝隙减少, 板材吸水量随之减少。当密度从 1.1 g/cm³ 增加到 1.2 g/cm³, 板材 TS 降低的幅度较大, 当密度进一步增加到 1.3 g/cm³ 时, TS 降幅相对减小, 这是因为随着密度的增加, 板材内部纤维结合更加紧密, 留下的缝隙更少, 吸水能力减弱, 故 TS 没有更大幅度降低。

2.2.2 施胶量的影响

不同施胶量时试板的 TS 和 WA 测试结果见图 3。

图 3 显示, 密度相同时, 随着施胶量的增加, 试板的 WA 和 TS 降低, 施胶量作用的结果与密度变

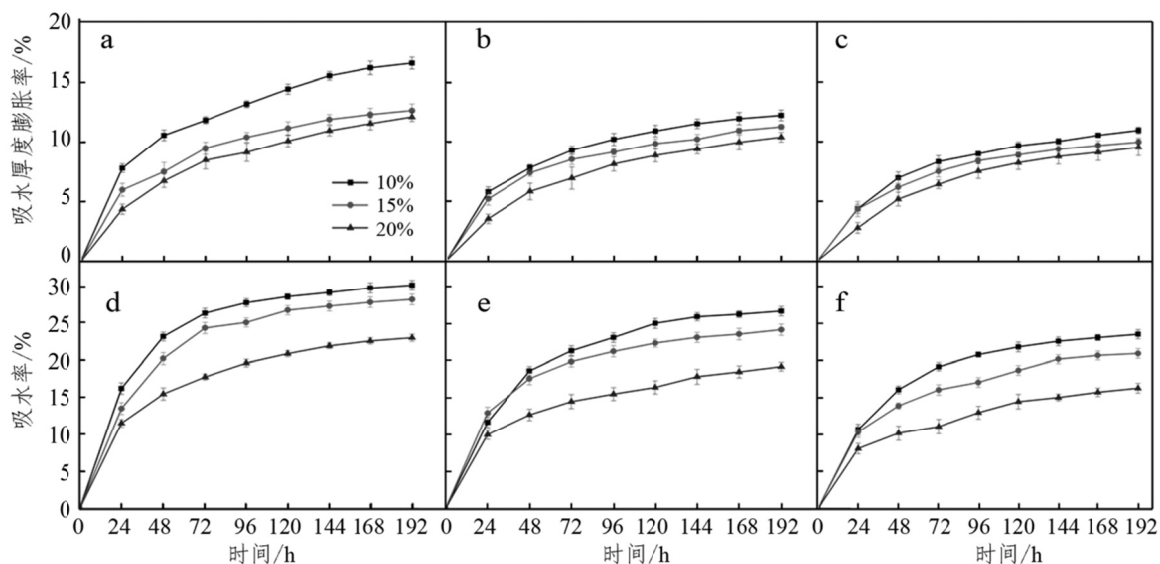
化影响趋势基本一致。相同密度时, 10%施胶量的 TS、WA 远高于其他水平的 TS 值和 WA 值; 在密度和施胶量均比较低的情况下, 板材的耐水性能很难得到改善和提高。随着施胶量和密度的增大, 纤维与树脂之间的胶合界面会更加密实, 板材能够很好地抑制水分进入, 从而使得耐水性能提高。

由图 3a、b、c 观察到, 当施胶量为 10% 时, 三种密度试板的 TS 差异较大, 而随着施胶量从 15% 增大到 20%, 各密度水平的 TS 差异减小。这是由于施胶量的过度增加, 并不能明显提高纤维和胶黏剂的有效接触面积, 因此对耐水性能无明显提升作用。

2.3 形貌分析

密度为 1.3 g/cm³, 不同施胶量时试板的受压断裂微观形貌, 见图 4。

从图 4 可以看出, 当施胶量为 10% 时 (图 4a), 酚醛树脂含量少, 纤维分布比较松散, 两者结合不够紧密, 缝隙多, 抑制水分进入的作用较差; 另外, 还可以看到纤维从胶层中拔出的痕迹, 纤维与胶层



密度/($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$): a、d—1.1; b、e—1.2; c、f—1.3。

图3 不同施胶量试板吸水厚度膨胀率和吸水率

Fig.3 Thickness swelling and water absorption of HDF with different resin contents

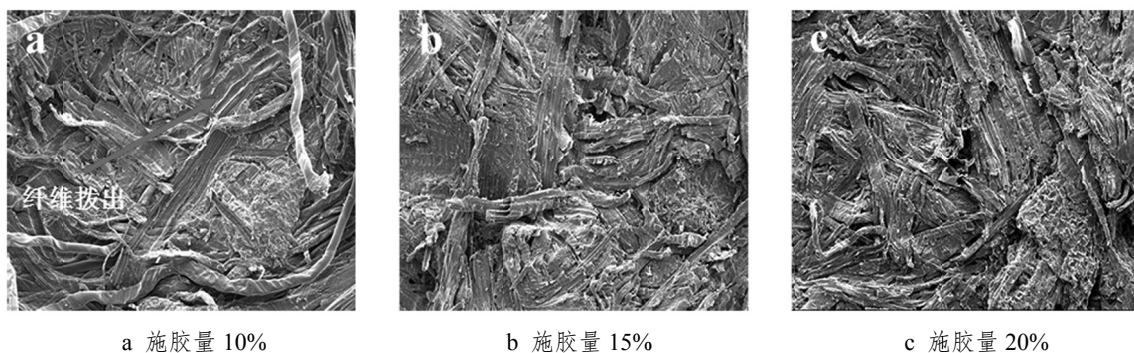


图4 高密度纤维板扫描电镜形貌图($\times 100$)

Fig.4 Scanning electron microscope morphology of HDF

界限十分明显,从而导致抗弯性能较低,极易发生断裂。当施胶量增加到15%时(图4b),酚醛树脂有效粘附纤维,内部结合更加紧密,板材断裂面中纤维拔出现象有所改善,纤维与酚醛树脂之间的界面不明显。当施胶量达到20%(图4c)时,在断裂面中几乎看不到纤维被拔出,酚醛树脂包覆纤维,界面空洞少而小,能够减弱水分的直接进入,使得板材具有较高的耐水性和抗弯性能。

3 结论

1) 在本试验范围内,当密度从 1.1 g/cm^3 增加至 1.3 g/cm^3 ,施胶量从10%增加至20%时,板材的抗弯性能和耐水性能逐步提高。当板材的密度为 1.1

g/cm^3 ,施胶量为10%时,其静曲强度、弹性模量、24 h吸水厚度膨胀率分别为50.17 MPa、5 370 MPa和7.8%,满足GB/T 31765—2015《高密度纤维板》高湿型高密度纤维板(HDF-GP HMR)的要求。

2) 本研究制备的酚醛树脂HDF具有良好的抗弯和耐水性能,有望拓宽应用在实验台面、建筑外墙、火车车厢、轨道交通等工程结构材料领域。

参考文献:

- [1] 迟卫东. 木质材料阻燃技术[D]. 济南: 山东大学, 2011.
- [2] ZHU Zhaolong, Buck Dietrich, GUO Xiaolei, et al. Machinability investigation in turning of high density fiberboard[J]. Plos one, 2018, 13(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203838>.

(下转第19页)

惰性指标较高,可减弱室外高温墙面向室内低温墙面的热传导和辐射传热对室内温度的影响。

由此可见,使用相对重质保温材料自制麦秸秆砖,可解决墙体保温与隔热的矛盾问题,从而实现冬夏墙体保温和隔热性能同时提升,以达到减小建筑能耗,满足室内人体舒适度需求的目标。

3 结论

1) 利用正交试验设计改造轻型木结构基础墙体结构,使用自制麦秸秆砖保温材料填充截面为38 mm×140 mm、相距400 mm的墙骨柱间隙、外覆11 mm厚OSSB、内覆11 mm厚石膏板时,墙体的传热系数较小,热惰性指标较大,可实现建筑冬季保温性能和夏季隔热性能的平衡,有利于节约建筑能耗。

2) 本墙体模块在实际应用时,需根据具体气候分区进一步选择和优化,并建立模块化墙体结构体系,为其在装配式木结构建筑中的应用奠定基础。

参考文献:

- [1] 李峻宇. 夏热冬冷地区胶合木结构农房墙体构造技术研究:以张渚镇茶亭村木结构农房项目为例[D]. 郑州: 郑州大学, 2019.
- [2] 龚健. 昆山某建筑装配式木结构柱-预制保温板墙体施工技术[J]. 居舍, 2019(19): 31-32.
- [3] 杨慧君, 何恩霞, 宋怡, 李英洁, 姚利宏. 轻型木结构墙体组成材料导热系数研究[J]. 中国人造板, 2019(2): 5-9.
YANG H J, HE E X, SONG Y, LI Y J, YAO L H. Study on thermal conductivity of wood structure wall materials[J]. China Wood-Based Panels, 2019(2): 5-9.
- [4] 杨晓丽, 周定国. 麦秸秆隔热保温材料在木结构墙体中的应用[J]. 山西建筑, 2010(3): 1-2.

- YANG X L, ZHOU D G. Application of wheat straw heat insulation material in wood structure wall[J]. Shanxi Architecture, 2010(3): 1-2.
- [5] 王戈, 费本华, 徐兰英, 等. 落叶松胶合板复合墙体设计及其保温隔热性能计算[J]. 木材工业, 2007, 21(6): 1-3, 6.
WANG G, FEI B H, XU L Y, et al. Structural design and calculation of heat preservation/insulation of a composite wall made with larch plywood[J]. China Wood Industry, 2007, 21(6): 1-3, 6.
 - [6] 刘晓娜, 薛硕, 王晓欢, 等. 面板种类和芯板厚度对结构用木质保温板力学性能的影响[J]. 木材工业, 2018, 32(4): 9-13.
LIU X N, XUE S, WANG X H, et al. Effect of face panel type and core board thickness on mechanical properties of wood-based structural insulated panels[J]. China Wood Industry, 2018, 32(4): 9-13.
 - [7] 王晓欢, 费本华, 周海宾, 等. 国产轻型木结构墙体的稳态热量传递性质[J]. 土木建筑与环境工程, 2010, 32(4): 76-79.
WANG X H, FEI B H, ZHOU H B, et al. Steady-state heat transfer performance of domestic light-frame wood wall[J]. Journal of Chongqing Jianzhu University, 2010, 32(4): 76-79.
 - [8] 王晓欢, 费本华, 王永兵. 木框架外墙保温性能试验研究[J]. 木材加工机械, 2013(6): 11-15.
 - [9] 王晓欢, 费本华, 任海青, 等. 轻型木结构墙体传热数值计算与试验研究[J]. 建筑材料学报, 2011, 14(4): 517-522.
WANG X H, FEI B H, REN H Q, et al. Heat transfer calculation and experimental study of the light-frame wood wall[J]. Journal of Building Materials, 2011, 14(4): 517-522.
 - [10] 张晓凤, 孙友富, 杨茹元. 预制木质外墙挂板在建筑节能改造中的应用[J]. 木材工业, 2019, 33(2): 30-34.
ZAHNG X F, SUN Y F, YANG R Y. Application of prefabricated wooden exterior siding panels for energy saving building renovation[J]. China Wood Industry, 2019, 33(2): 30-34.
 - [11] Aditya T M I Mahlia, B Rismanchi, H M Ng, M H Hasan, H S C Metselaar, Oki Muraza, H B Aditiya. A review on insulation materials for energy conservation in buildings[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017, 73: 1353-1365.
 - [12] Jan Kosny, Andi Asiz, Ian Smith, Som Shrestha, Ali Fallahi, A review of high R value wood framed and composite wood wall technologies using advanced insulation techniques[J]. Energy and Buildings, 2014, 72: 441-456.

(本文编校 向 琴)

(上接第14页)

- [3] 徐信武, 汤正捷, 杨刚, 等. 单板/HDF复合木地板的制造工艺与产品性能研究[J]. 林产工业, 2012, 39(2): 23-26.
XU X W, TANG Z J, YANG G, et al. A study on manufacture and performances of veneer/HDF composite laminate flooring[J]. China Forest Products Industry, 2012, 39(2): 23-26.
- [4] 郭秀华, 余丽萍, 吴志刚. 人造板在建筑工程中的应用探讨[J]. 绿色科技, 2019(12): 222-234.
GUO X H, YU L P, WU Z G. Discussion on the application of wood-based panel in architectural engineering[J]. Journal of Green Science and Technology, 2019(12): 222-234.
- [5] 郭文静. 人造板制造新技术及新产品开发[J]. 木材工业, 2016, 30(2): 29-32.
GUO W J. Development of new technology and new products for wood-based panels[J]. China Wood Industry, 2016, 30(2): 29-32.
- [6] SONG J, CHEN C, ZHU S, et al. Processing bulk natural wood into a high-performance structural material[J]. Nature, 2018, 554(7691):

224-228.

- [7] 唐启恒, 谭宏伟, 韦淇峰, 等. 低甲醛释放高密度纤维板的制备及性能[J]. 林业工程学报, 2019, 4(2): 26-30.
TANG Q H, TAN H W, WEI Q F, et al. Preparation of low formaldehyde emission of high-density fiberboard and its properties[J]. Journal of Forestry Engineering, 2019, 4(2): 26-30.
- [8] PHAM Tuong Lam, 王新洲, 邓玉和, 等. 废弃杨木水泥模板纤维特性及纤维板的研究[J]. 浙江农林大学学报, 2014, 31(6): 940-946.
PHAM T L, WANG X Z, DENG Y H, et al. Characteristics of recycled poplar cement formwork fiber and its fiberboard manufacturing[J]. Journal of Zhejiang A&F University, 2014, 31(6): 940-946.
- [9] 余翔. 木材工业中合成树脂胶黏剂的应用研究[J]. 化工管理, 2018(15): 135.
YU X. Study on the application of synthetic resin adhesives in wood industry[J]. Chemical Enterprise Management, 2018(15): 135.

(本文编校 孟凡丹、向 琴)