

DOI: 10.12326/j.2096-9694.2021113

一种可拆装式椭圆榫节点的设计与性能分析

陈炳睿, 胡文刚

(南京林业大学家居与工业设计学院, 江苏南京 210037)



摘要: 为实现实木椭圆榫接合家具节点的可拆装性, 提出一种通过五金连接件改良椭圆榫节点的方法, 测试T型构件的抗拔及抗弯力学性能, 并分析节点加载过程中的力学行为及失效形式。结果发现, 较对照椭圆榫节点, 改良五金件连接节点的极限抗拔承载力达到5 614.61 N, 提升了230%, 但破坏弯矩降低了48.6%, 刚性系数降低了45.6%。在保留实木椭圆榫外观及可拆装设计的前提下, 本研究设计的可拆装式椭圆榫节点能满足多数木制品节点的使用强度要求, 为后续实木可拆装式椭圆榫节点的优化设计提供依据及方法。

关键词: 椭圆榫接合; 可拆装设计; 五金连接件; T型节点; 力学强度

中图分类号: TS633; S792.16 文献标识码: A 文章编号: 2096-9694 (2022) 02-0065-06

Design and Performance Analysis of a Wood Detachable Oval Mortise-and-Tenon Joint

CHEN Bing-rui, HU Wen-gang

(College of Furnishings and Industrial Design, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China)

Abstract: A detachable solid wood oval mortise-and-tenon joint strengthened by hardware connectors was designed in order to enable the disassembling of the joint in this study. The tensile and bending tests were conducted to evaluate the mechanical behavior and failure modes of typical and detachable T-shaped joints. The results indicated that the average tensile capacity of the detachable joints was 5 614.61 N, which is 230% higher than the typical joint. However, the mean breaking moment and the average stiffness coefficients were decreased by 48.6% and 45.6%, respectively. Generally, the strength of the detachable joint meets the application requirements of the wood product joint on the premise of retaining the appearance and enabling disassembly. This research provides the basic methodology for further development of the detachable hidden hardware connectors of wood furniture joints.

Key words: oval mortise-and-tenon joint; detachable design; hardware connector; T-joints; mechanical strength

榫接合是中国传统家具及木建筑中最常用的

收稿日期: 2021-08-15; 修改日期: 2021-10-07

基金项目: 南京林业大学水杉师资科研启动基金“家具结构疲劳力学特性”(163104060); 江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD); 江苏省研究生科研与实践创新计划“榫接合强度形成机理研究”(KYCX21_0905)。

作者简介: 陈炳睿(1998—), 男, 硕士研究生。Email: cbr@njfu.edu.cn

通讯作者: 胡文刚, 男, 副教授。Email: hwg@njfu.edu.cn

接合方式之一, 通过榫头与榫眼配合产生的摩擦力将两块材料接合固定在一起, 因其结构精巧, 外形美观而享誉世界。在现代实木家具生产中, 直角榫、椭圆榫等接合方式同样被广泛应用, 榫卯节点形式^[1-2]、过盈配合力^[3]、接合面摩擦特性^[4]、胶合特性^[5]等因素对节点力学性能的影响, 一直是本领域的研究热点。

传统榫接合部位通常施加胶黏剂固定其结构,因此采用该方式连接的家具节点往往不可拆卸,一旦节点失效,榫头或榫眼处损坏,则该节点难以修复,造成整件家具报废^[6]。众多学者对拆装式榫接合家具节点的结构设计及力学强度进行了研究,通过采用传统榫卯结构^[7],如楔钉榫^[8]、粽角榫^[9],或自主设计的新型榫卯结构^[10-12]等形式,以满足家具节点拆装需要。相关研究表明,多次拆装会影响节点的力学强度^[13],而采用各种五金件^[14-15]、塑-木连接件^[16]等方式连接,一定程度上兼顾了拆装式结构与力学强度,但暴露在外的连接件或导向孔影响木质家具的外观,不能体现实木榫卯接合家具的结构美。

本研究提出了一种实木椭圆榫拆装式节点,将螺栓与预埋螺母嵌入接合节点中,通过实木椭圆形木块与榫眼的紧密覆盖隐藏节点内部的结构,实现保留椭圆榫外观的前提下,接合节点的多次拆装,旨在开发兼具拆装式结构与力学强度的实木家具提供新思路。

1 材料与方法

1.1 试验材料

欧洲水青冈(*Fagus sylvatica*)板材:市售,规格为2 000 mm×200 mm×100 mm(长×宽×厚),含水率8.80%~9.46%,气干密度0.62~0.73 g/cm³。

五金连接件:内六角螺栓及梯形内外牙螺母,其材质为镀锌碳钢,尺寸分别为 $\varphi 6$ mm×45 mm与 $\varphi 6$ mm×20 mm,如图1所示。



图1 五金连接件尺寸

Fig.1 Dimensions of hardware connectors

1.2 试验设备

横截锯、纵截锯、双面刨、木工数控加工中心、节点力学性能试验用万能力学试验机。

1.3 试件制备

1.3.1 椭圆榫节点结构改良设计

在保留实木椭圆榫外观的前提下,使用五金连接件替代榫卯接合,即通过螺栓与预埋螺母接合提供节点强度,并赋予节点可拆装功能;采用椭圆形木块覆盖在五金件接合表面,以保留榫卯节点的外观。具体制作及安装方法为:先通过数控机床在横向构件中心处开出椭圆形榫眼,深度不超过横向构件高度的1/2;在榫眼底端钻出预制孔以穿过螺栓;然后在竖向构件顶端钻出预埋螺母的安装导向孔,并将螺母旋入导向孔中;通过旋紧螺栓实现横向构件与竖向构件的紧密配合;最后在椭圆形榫眼处嵌入另行加工的椭圆形木块,木块在宽度方向上保留了一定过盈配合量,从而保证其不脱落。节点详细组装过程如图2所示。

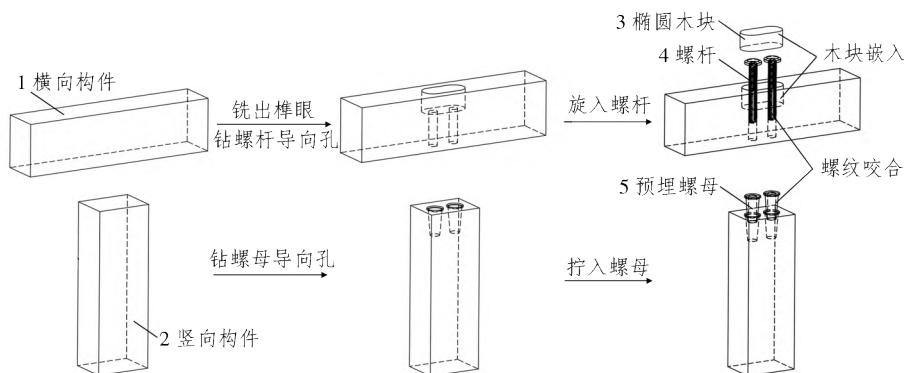


图2 改良节点试件组装示意图

Fig.2 Assembly schematic diagram of strengthened joints

在制备试件时横向构件的螺杆预制孔圆心与竖向构件的螺母导向孔圆心需在法向重合，否则螺杆外螺纹与螺母内螺纹咬合错位，导致节点在装配过程中力学强度降低。同时，拆卸节点时可能会导致椭圆形木块出现损坏，因此提供多个备用木块供更换。

1.3.2 T型节点试件制备

选取纹理通直的无瑕木材制作两种结构的T型

椭圆榫试件。试件整体尺寸如图3a所示，构件端部方向的木材纹理为径向(R)。对照节点中，榫头宽度方向上采用过盈配合，过盈量为0.4 mm^[17]，榫头厚度方向上采用间隙配合，间隙量为1 mm，使用木工锤进行安装。改良拆装式节点中，椭圆形木块与榫眼配合参量与对照椭圆榫节点一致。节点各构件的尺寸分别如图3b、c所示。对照和改良试件各制备16个，共计32个。

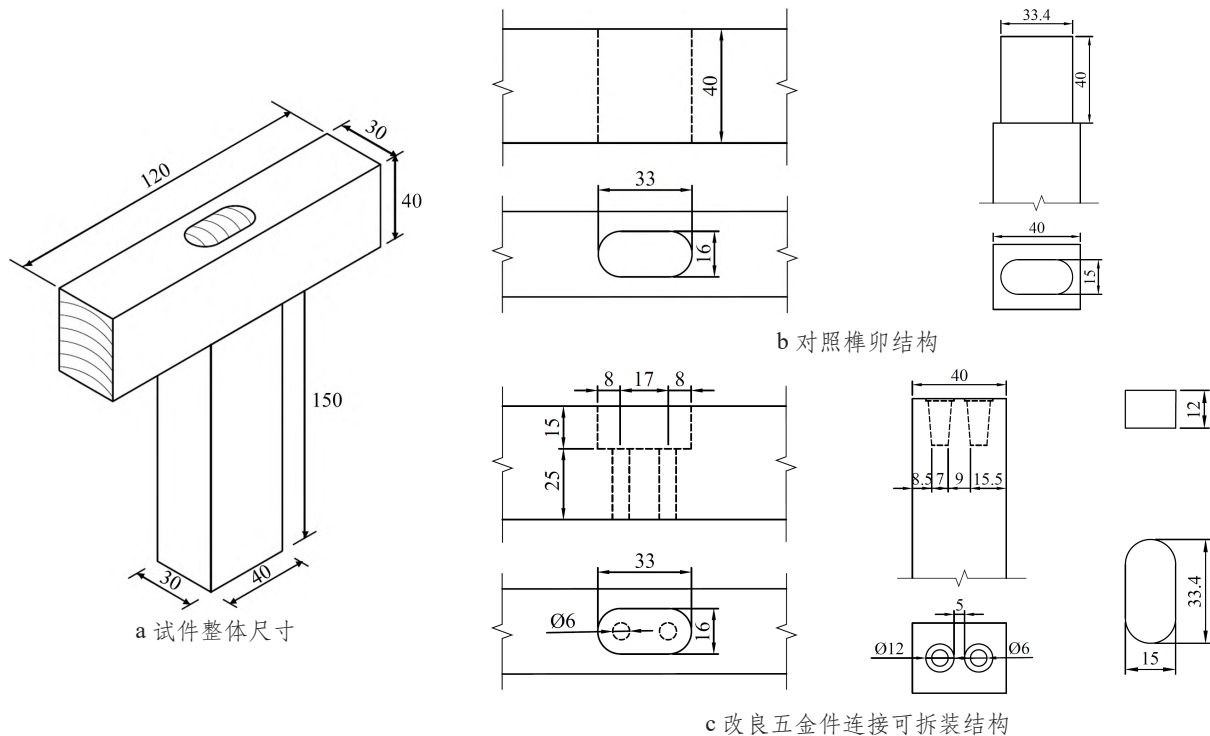


图3 对照和改良T型节点试件尺寸(单位mm)

Fig.3 Control and improved t-joint specimen sizes

1.4 性能测试

参考GB/T 10357.1—2013《家具力学性能试验桌类强度和耐久度》，采用辅助夹具夹紧竖向构件端部(图4a)，使用位移法加载。抗拔试验加载至9 mm处停止，加载速度为5 mm/min^[4]；抗弯试验加载头位于竖向构件的90 mm处(图4b)，试验机加载至30 mm处停止，加载速度为5 mm/min^[18]。

每组重复测量8次，记录极限抗拔、抗弯承载力值及载荷-位移曲线。采用抗拔承载力评价节点抗拔性能，以破坏弯矩及刚性系数指标衡量节点的抗弯性能，破坏弯矩计算方法如式1，刚性系数计算方法如式2、3。

$$M = PL \quad (1)$$

式中： M —节点破坏弯矩，N/m； P —节点极限抗

弯承载力，N； L —试验机加载施力点至节点的跨距，m。

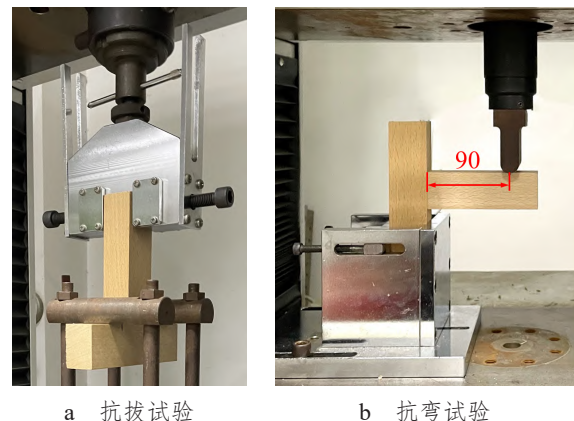


图4 节点力学性能测试加载方式

Fig.4 Loading method for testing joint mechanical properties

$$K = \sigma_c / \sigma_m \quad (2)$$

$$\sigma_c = 4P'L^3 / Ebh^3 \quad (3)$$

式中： K —刚性连接系数； σ_m —比例极限内的某一加载点的实测变形量，mm； σ_c —与 σ_m 相应荷重时的计算变形量，mm； P' —与 σ_m 相应的荷重，N； E —试件材料弹性模量，MPa； b 、 h —矩形试件的宽度、厚度，mm。

2 结果与分析

2.1 节点抗拔力学试验

2.1.1 抗拔承载力

两种结构节点试件的抗拔承载力测试结果，如表1所示。

表1 对照和改良节点试件抗拔力

Tab.1 Tensile strength of control and improved joints

| 试件编号 | 极限抗拔承载力/N | |
|------|-----------|----------|
| | 对照试件 | 改良试件 |
| 1 | 1 840.63 | 4 853.13 |
| 2 | 2 433.13 | 5 326.25 |
| 3 | 1 184.38 | 5 514.06 |
| 4 | 1 803.75 | 7 801.56 |
| 5 | 1 914.69 | 5 597.19 |
| 6 | 1 954.06 | 5 237.50 |
| 7 | 1 005.94 | 5 101.56 |
| 8 | 1 465.31 | 5 485.63 |
| 平均值 | 1 700.24 | 5 614.61 |
| 标准差 | 460.02 | 916.38 |
| 变异系数 | 0.27 | 0.16 |

改良节点试件平均抗拔承载力较对照试件提升约230%，说明采用五金连接件可大幅增强T型节点的抗拔承载力。其原因在于改良节点抗拔承载力主要来源于实木构件对预埋螺母的握钉力。另外，对照节点试件抗拔承载力变异性较大(0.27)，而改良节点变异性较小(0.16)，改良节点抗拔性能相对稳定。

2.1.2 抗拔加载过程及失效形式

两种结构节点在力学试验中的破坏情况，见图5；节点抗拔试验载荷-位移曲线，如图6所示。

对照榫卯节点试件在抗拔试验中破坏形式为椭圆榫榫头与榫眼圆弧处受力形变(图5b, c)，说明椭圆榫节点的抗拔强度主要来源于榫头宽度方向上的过盈配合量所产生的摩擦力，这也与该节点载荷-位移曲线中的波动下降趋势一致。而改良

节点强度失效原因是预制孔孔径变大，预埋螺母被整体拔出(图5d)，木材表面及孔径内部的纤维断裂，被螺母带出(图5e, f)，而螺杆处未受影响，螺纹牙处未出现明显形变(图5e)，进一步说明改良节点强度主要来源于木材对预埋螺母的握钉力。因此，可通过更换连接件规格或调整预制孔深度及孔径等方法，进一步增强预埋螺母与木材的接合强度^[9]，从而达到提升节点力学强度的效果。

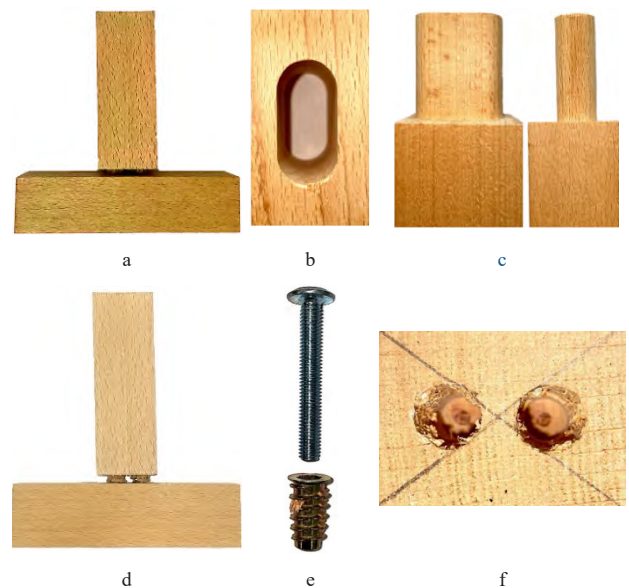


图5 抗拔试验T型节点的失效形式

Fig.5 Failure modes of T-shaped joints subjected to withdrawal load

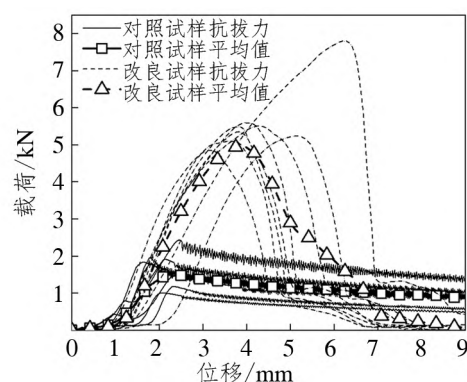


图6 抗拔试验节点的载荷-位移曲线

Fig.6 Load-displacement curve of joints tensile test

2.2 节点抗弯力学试验

2.2.1 破坏弯矩及刚性连接系数

通过节点抗弯承载力试验测得节点试件极限抗弯承载力 P ，通过力学试验机输出载荷-位移曲线中取得节点比例极限的实测变形量 σ_m 及对应载

荷 P' ，欧洲水青冈弯曲状态下的弹性模量由作者前期同批木材试验测得^[20]，根据式1~3计算节点抗弯承载力与破坏弯矩及刚性连接系数，列于表2。

表2 对照和改良节点试件抗弯承载力、破坏弯矩及刚性连接系数

| 试件编号 | 极限抗弯承载力/N | | 破坏弯矩/(N·m) | | 刚性连接系数/% | |
|------|-----------|----------|------------|--------|----------|------|
| | 对照试件 | 改良试件 | 对照试件 | 改良试件 | 对照试件 | 改良试件 |
| 1 | 1 856.41 | 1 092.81 | 167.08 | 98.35 | 6.06 | 5.29 |
| 2 | 2 035.31 | 1 106.88 | 183.18 | 99.62 | 5.87 | 4.99 |
| 3 | 2 157.81 | 1 105.63 | 194.20 | 99.51 | 6.68 | 4.75 |
| 4 | 2 431.56 | 987.81 | 218.84 | 88.90 | 7.74 | 2.76 |
| 5 | 1 926.88 | 1 244.22 | 173.42 | 111.98 | 7.33 | 4.39 |
| 6 | 2 322.97 | 1 105.78 | 209.07 | 99.52 | 7.80 | 2.52 |
| 7 | 2 505.94 | 1 211.09 | 225.53 | 109.00 | 8.60 | 3.01 |
| 8 | 1 807.81 | 905.47 | 162.70 | 81.49 | 6.74 | 3.19 |
| 平均值 | 2 130.59 | 1 094.96 | 191.75 | 98.55 | 7.10 | 3.86 |
| 标准差 | 267.04 | 109.24 | 22.48 | 9.20 | 0.87 | 1.03 |
| 变异系数 | 0.13 | 0.10 | 0.12 | 0.09 | 0.12 | 0.27 |

改良节点试件的平均极限抗弯承载力及破坏弯矩下降了48.6%，其变异系数略小于对照节点试件。平均刚性系数下降了3.24%，较对照节点试件下降了45.6%。改良节点的抗弯性能下降，其主要原因在于研究选取对照的椭圆榫三维尺寸及配合参数较大，而所选用的五金连接件直径较小所致。

2.2.2 抗弯加载过程及失效形式

节点抗弯试件的破坏情况，如图7所示；抗弯测试的载荷-位移曲线，见图8。

对照节点试件失效的形式为榫头构件发生较大的塑性变形，榫头圆弧处、榫头与榫眼接合处木材纤维韧性断裂(图7b, c)并相互交错，使得节点载荷曲线波动下降，最终导致节点完全破坏。改良节点破坏的形式主要为受力侧导向孔直径变大、孔周围及构件表面木材损坏(图7f)，当预埋螺母被完全拔出后节点随即失效。值得注意的是预埋螺母未发生明显变形，内外牙均保持完好，其原因是由于预埋螺母刚度较木材刚度大，但螺杆与预埋螺母连接处发生了塑性形变(图7e)，表明该处为改良节点抗弯加载主要应力集中部位。结合节点抗弯测试的载荷-位移曲线(图8)进一步分析可

知，两种结构节点试件抗弯加载过程相差较大，与节点受力部位的材料特性有关，传统实木榫卯节点受力处弹性形变阶段较长。结合上述分析，后续可通过更换五金件材料或选用杆部截面直径更大的螺杆来提升抗弯强度^[19]。

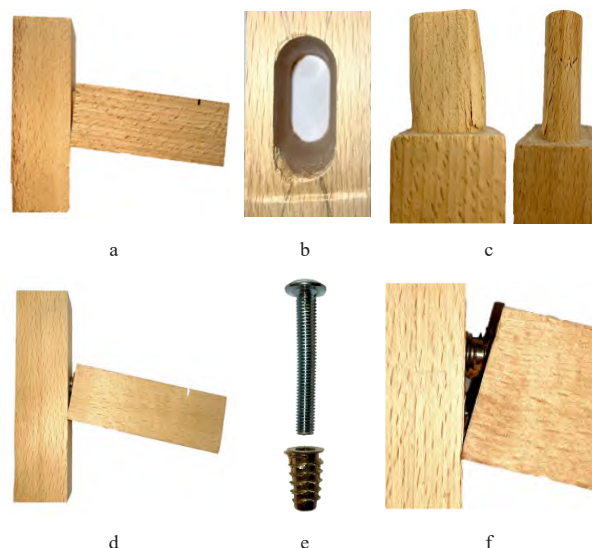


图7 抗弯试验T型节点的失效形式

Fig.7 Failure modes of T-shaped joint bending tests

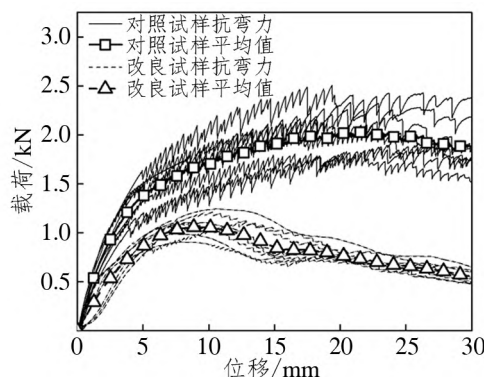


图8 抗弯试验节点的载荷-位移曲线

Fig.8 Displacement and load curve of joints subjected to bending load

2.3 节点改良效果分析

结合上述试验结果对改良后节点的改良效果进一步分析，从拆装角度来看，对照榫卯节点由于榫接合过盈参量的关系需要借助木工锤等工具安装，且由于施胶无法实现节点可拆装；而改良节点只需六角扳手即可完成拆装。从节点外观角度来看，改良节点外观与对照节点一致，五金件及安装导向孔均隐藏在节点内部，保留了节点外部的平整美观。从力学性能角度来看，改良节点

的抗拔性能较对照榫节点有大幅提升, 但抗弯性能下降, 进一步参考作者前期的研究结果^[18, 21]及相关家具节点的力学性能研究^[22-23]可知, 改良后节点的破坏弯矩及刚性系数可以满足多数实木家具节点的承载要求, 力学性能良好。

3 结论

1) 本研究提出了一种通过嵌入五金连接件, 保留椭圆形榫卯外观的实木家具节点可拆装的设计方法, 力学性能测试结果表明, 该改良方法可使节点的极限抗拔承载力提升约2.3倍, 但由于五金连接件直径偏小等原因, 改良节点的破坏弯矩、刚性系数下降48.6%、45.6%。

2) 对照榫卯结构的椭圆榫节点抗拔和抗弯强度主要来源于榫头与榫眼圆弧处的摩擦力, 改良五金件连接节点则来源于木材对金属预埋螺母的握钉力。可以通过增大榫接合摩擦力及预埋螺母握钉力, 进一步增强节点的抗拔强度; 也可通过增大螺杆直径或选用刚度较大的五金件, 进一步增强节点的抗弯强度。

3) 五金连接件对节点抗拔力增强效果明显, 相反降低了破坏弯矩, 但在保留节点外观及可拆装功能的前提下, 仍能满足多数木制品节点的许用应力要求。改良拆装式节点方便装配、易于生产推广, 可应用于桌椅类家具腿部与拉档、望板等多种构件。

参考文献:

- [1] 李素瑕, 刘文金, 孙德林. 速生松木家具几种节点接合方式的强度比较研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2014, 34(2): 122-126.
LI S X, LIU W J, SUN D L. Comparative study on corner joints strength of fast-growing *Pinus massoniana* wood furniture[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2014, 34(2): 122-126.
- [2] Tankut A N, Tankut N. The effects of joint forms (shape) and dimensions on the strengths of mortise and tenon joints[J]. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 2005, 29(6): 493-498.
- [3] Fu W L, Guan H Y, Zhang X Y. Verification and further study on method of measuring contact force between mortise and tenon joint[J]. Bioresources, 2020, 16(1): 263-276.
- [4] 胡文刚, 关惠元. 基于摩擦特性的榫接合节点抗拔力研究[J]. 林业工程学报, 2017, 2(4): 158-162.
HU W G, GUAN H Y. Investigation on withdrawal force of mortise and tenon joint based on friction properties[J]. Journal of Forestry Engineering, 2017, 2(4): 158-162.
- [5] Smardzewski J. Effect of wood species and glue type on contact stresses in a mortise and tenon joint[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 2008, 222(12): 2293-2299.
- [6] 谷林姣, 关惠元, 邹峰. 速生杨木榫接合性能增强研究[J]. 家具, 2019, 40(3): 51-54.
GU L J, GUAN H Y, ZOU F. Study on the enhancement of tenon joint performance of fast-growing poplar[J]. Furniture, 2019, 40(3): 51-54.
- [7] 王安正, 关惠元. 基于传统榫卯结构的家具可拆卸性设计研究[J]. 家具, 2017, 38(6): 49-53.
WANG A Z, GUAN H Y. Research on furniture design for disassembly based on traditional mortise and tenon joint[J]. Furniture, 2017, 38(6): 49-53.
- [8] 王迪. 中国传统家具木作结构与工艺解析——圈椅篇[J]. 西北林学院学报, 2014, 29(5): 207-213.
WANG D. Chinese traditional furniture wood structure and technology analysis—round-backed armchair[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2014, 29(5): 207-213.
- [9] 金秀, 郝景新, 吴新风, 等. 实木家具的拆装式结构实现路径探究[J]. 林产工业, 2020, 57(1): 54-57.
JIN X, HAO J X, WU X F, et al. Implementation methods of knock-down structure for solid wood furniture[J]. China Forest Products Industry, 2020, 57(1): 54-57.
- [10] 刘娜, 陈于书. 基于可拆装插接结构的家具设计研究[J]. 家具, 2017, 38(1): 52-56.
LIU N, CHEN Y S. Research on furniture design based on the knock-down interlocking structure[J]. Furniture, 2017, 38(1): 52-56.
- [11] 朱云, 申黎明. 面向用户装配的实木家具榫卯结构设计[J]. 林业工程学报, 2018, 3(3): 142-148.
ZHU Y, SHEN L M. Design for user assembly mortise and tenon structure in solid wood furniture[J]. Journal of Forestry Engineering, 2018, 3(3): 142-148.
- [12] 刘青青, 徐伟, 詹先旭. 基于榫卯结构的可拆装茶几设计[J]. 家具, 2020, 41(5): 63-66.
LIU Q Q, XU W, ZHAN X X. Research on the design of detachable tea table based on mortise and tenon joint[J]. Furniture, 2020, 41(5): 63-66.
- [13] 郭勇, 李大纲, 陈玉霞, 等. 拆装次数对螺钉连接的木塑构件机械性能的影响[J]. 林产工业, 2009, 36(2): 34-37.
GUO Y, LI D G, CHEN Y X, et al. Study on influence of knock down times on mechanical properties of screw-jointed wood/plastic structure[J]. China Forest Products Industry, 2009, 36(2): 34-37.
- [14] 陈于书, 许文萌. 杨木桌腿新型补强结构力学性能分析[J]. 木材工业, 2017, 31(3): 44-48.
CHEN Y S, XU W M. Mechanical properties of poplar table legs reinforced with improved structure[J]. China Wood Industry, 2017, 31(3): 44-48.
- [15] 林晓雯, 关惠元. 圆竹填充节点抗拔性能研究[J]. 林产工业, 2020, 57(8): 37-40.
LIN X W, GUAN H Y. Research on pull-out resistance of filled bamboo joints[J]. China Forest Products Industry, 2020, 57(8): 37-40.
- [16] 王安正, 关惠元. 塑-木插接节点的配合特性及参数优化[J]. 北京林业大学学报, 2019, 41(11): 137-145.
WANG A Z, GUAN H Y. Connection characteristics and parameter optimization of plastic-wood insert joint[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2019, 41(11): 137-145.
- [17] 钟世禄, 关惠元. 椭圆榫过盈配合量与木材密度的关系[J]. 林业科技开发, 2007, 21(2): 57-59.
ZHONG S L, GUAN H Y. Relationship between optimal value of interference fit and wood density in oval-tenon joint[J]. China Forestry Science and Technology, 2007, 21(2): 57-59.

(下转第86页)

2) 本试验采用正交试验方法, 得到MDI胶制备竹加工剩余物刨花模压托盘的优化工艺为: 刨花含水率为10%左右, MDI施胶量为6%, 热压压力为21 MPa, 热压温度为125 °C, 制备得到的托盘性能优异, 远高于GB/T 41231—2021中标准限值的要求。对托盘性能需求较高时, 建议采用MDI胶制备竹加工剩余物刨花模压托盘。

3) 采用正交试验方法, 得到脲醛树脂胶制备竹加工剩余物刨花模压托盘的工艺为: 刨花含水率约4.5%, 脲醛树脂施胶量20%, 热压压力21 MPa, 热压温度125 °C, 部分指标未能达到GB/T 41231—2021中限值要求, 建议对脲醛胶改性后进一步优化托盘制备工艺。

参考文献:

- [1] 滑亚婷, 刘乐群, 杨飞, 等. 刨花模压托盘行业现状与趋势展望[J]. 木材科学与技术, 2021, 35(6):16-19, 48.
HUA Y T, LIU L Q, YANG F, et al. Status and trend of molded wood-particle pallet industry[J]. Chinese Journal of Wood Science and Technology, 2021, 35(6):16-19, 48.
- [2] 国家质量监督检验检疫总局发布《出境货物木质包装检疫处理管理办法》[J]. 中国植保导刊, 2005, 25(3): 44-45.
The general administration of quality supervision, inspection and quarantine of the people's republic of china issued the "administrative measures for the quarantine treatment of wooden packaging of outbound goods"[J]. China Plant Protection, 2005, 25(3): 44-45.
- [3] 罗克研. 从“限塑令”到“禁塑令”[J]. 中国质量万里行, 2020(10): 71-73.
LUO K Y. From "Plastic restriction order" to "plastic ban order"[J]. China Quality Miles, 2020(10):71-73.
- [4] 田少娟. 生物质模压刨花托盘的研究及市场化[D]. 南京: 南京林业大学, 2009.
- [5] 刘艳, 罗森发, 张国柱, 等. 宁化县治平乡生态农业——竹屑香菇产业发展的SWOT分析[J]. 经济研究导刊, 2010(36):39-40.
LIU Y, LUO S F, ZHANG G Z, et al. Ecological agriculture in Zhiping Township, Ninghua County - SWOT analysis of the development of bamboo chips and mushroom industry[J]. Economic Research Guide, 2010(36):39-40.
- [6] 张新萍, 郭岩. 国外竹产业的发展状况[J]. 世界竹藤通讯, 2009, 7(2): 35-37.
ZHANG X P, GUO Y. Development status of bamboo industry abroad [J]. World Bamboo and Rattan, 2009, 7(2): 35-37.
- [7] 李玉敏, 冯鹏飞. 基于第九次全国森林资源清查的中国竹资源分析[J]. 世界竹藤通讯, 2019, 17(6): 45-48.
LI Y M, FENG P F. Bamboo resources in China based on the ninth national forest inventory data[J]. World Bamboo and Rattan, 2019, 17(6): 45-48.
- [8] 田晓晖, 李国志, 朱安明. 浙江杭州市竹产业高质量发展的建议[J]. 世界竹藤通讯, 2020, 18(3): 69-72.
TIAN X H, LI G Z, ZHU A M. Suggestions on high-quality development of bamboo industry in Hangzhou, Zhejiang Province[J]. World Bamboo and Rattan, 2020, 18(3): 69-72.
- [9] 李延军, 姜志超. 竹材展平技术研究现状及展望[J]. 林业工程学报, 2021, 6(4):14-23.
LI Y J, LOU Z C. Progress of bamboo flatten technology research[J]. Journal of Forestry Engineering, 2021, 6(4):14-23.
- [10] 彭建伟, 江慧珍. 一种以竹刨花为基础材质的模压托盘的加工方法: CN107322727B[P]. 2019-05-17.
- [11] 刘震涛, 刘乐群, 杨飞, 等. 不同胶黏剂制备刨花模压托盘的性能[J]. 木材科学与技术, 2021, 35(6):67-70, 88.
LIU Z T, LIU L Q, YANG F, et al. Performance of molded wood-particle pallets with different adhesives[J]. Chinese Journal of Wood Science and Technology, 2021, 35(6):67-70, 88.
- [12] 高伟, 罗艳丽, 甘卫星, 等. 竹材表面润湿性能研究[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(35): 17322-17326.
GAO W, LUO Y L, GAN W X, et al. Study on wettability of bamboo surface[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2012, 40(35): 17322-17326.

(本文编校 孟凡丹)

(上接第70页)

- [18] 胡文刚, 关惠元. 椭圆榫节点抗弯强度的数值分析研究[J]. 西北林学院学报, 2018, 33(5): 225-230.
HU W G, GUAN H Y. Numerical study on the bending strength of oval mortise and tenon joint[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2018, 33(5): 225-230.
- [19] 陈于书, 肖宇虹. 预埋螺母对偏心连接件接合性能的影响[J]. 北京林业大学学报, 2016, 38(9): 87-94.
CHEN Y S, XIAO Y H. Impact of embedded nut on the joint property of eccentric fittings[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2016, 38(9): 87-94.
- [20] 胡文刚, 关惠元. 不同应力状态下榉木弹性常数的研究[J]. 林业工程学报, 2017, 2(6): 31-36.
HU W G, GUAN H Y. Study on elastic constants of beech in different stress states[J]. Journal of Forestry Engineering, 2017, 2(6): 31-36.
- [21] Hu Wengang, Chen Bingrui. A Methodology for Optimizing Tenon Geometry Dimensions of Mortise-and-Tenon Joint Wood Products[J]. Forests, 2021, 12(4).
- [22] 朱云, 黄琼涛, 孙宏南, 等. 稻秸秆板与偏心连接件的接合性能分析[J]. 西北林学院学报, 2014, 29(2): 221-225, 242.
ZHU Y, HUANG Q T, SUN H N, et al. Bonding properties of rice-straw particleboard and eccentric fittings[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2014, 29(2): 221-225, 242.
- [23] 高萃, 宋孝周, 雷亚芳. 不同棉秆重组方材家具部件结点接合结构的抗弯强度[J]. 西北林学院学报, 2017, 32(1): 259-265.
GAO C, SONG X Z, LEI Y F. Bending strength of reconstituted square lumber made from cotton stalk with different furniture corner joints[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2017, 32(1): 259-265.

(本文编校 孟凡丹)