

稻秸秆板圆榫抗拔性能研究

朱云^{1,2}, 申黎明^{2*}

(1. 广东石油化工学院 艺术设计系, 茂名 525000; 2. 南京林业大学 家具与工业设计学院, 南京 210037)

摘要: 稻秸秆板是一种新型绿色家具板材, 其与圆榫的接合性能直接影响到家具的强度和刚度。在不同 β 系数条件下, 利用加载的试验方法研究了圆榫与稻秸秆板的极限抗拔力, 并对其接合规律进行了探讨。试验中, 采用刨花板和中密度纤维板等基材作对照组, 以期从板材结构和物理指标上分析稻秸秆板和圆榫的接合特性。试验发现, 在同等 β 系数条件下稻秸秆板与圆榫的接合性能比刨花板要差些, 但比中纤板要好, 尤其是当 β 值为0.2 mm时, 稻秸秆板与圆榫的抗拔力最大。

关键词: 圆榫; 稻秸秆板; β 值; 接合性能

中图分类号: TS664.03

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X(2014)04-0614-05

Characterizing the drawing strength of rice-straw panel (RSP) and round tenon

ZHU Yun^{1,2}, SHEN Liming²

(1. Department of Art Design, Guangdong University of Petrochemical Technology, Maoming 525000;

2. College of Furniture and Industrial Design, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037)

Abstract: Rice-straw panel (RSP) is a new green furniture plate. The drawing strength between RSP and round tenon (RT) directly affects the strength and rigidity of furniture. Under different β value conditions, the maximum drawing strength between RSP and RT was tested using the load-test method. Using particle board (PB) and medium density fiber board (MDF) as controls, the joint properties between RSP and RT were analyzed based on the plate structure and physical indicators. The study found that under the same β value condition, the bonding performance of RSP and RT is poorer than that of PB and RT, but better than that of MDF and RT, especially when β value is 0.2 mm, the drawing strength between RSP and RT reached the maximum value.

Key words: round tenon; rice-straw panel; β value; bonding properties

稻秸秆刨花板(也称稻秸秆板)是一种新型板材,它以稻草为主要原材料,以异氰酸酯为胶粘剂,参照木质刨花板和中密度纤维板的生产工艺而制成,兼具木质刨花板与中密度纤维板的优势,无游离甲醛释放。目前,我国秸秆人造板产量100多万 m^3 ,约占人造板总产量的1%^[1],它们主要用于家具制作、建筑装修和地板制造等领域。稻秸秆板理化性能优越,不仅强度高、刚性好,而且还具有良好的保温、隔热、防火等性能,是一种良好的木质人造板的替代品。稻秸秆板应用家具生产时,不仅可以对其板面和板边进行型面加工,还能对其进行

各种饰面与封边处理(漆、钉、胶处理)^[2-3]。

圆榫,是家具最常用的连接件,除了解决家具板件定位问题外,还能增强板件与板件之间的接合强度。尤其是在综合类实木家具和板木家具中,可以代替整体榫结构和金属连接件,在保证家具整体刚度的同时,提高家具生产效率,节约成本。如稻秸秆板木家具中,经常需要利用圆榫和稻秸秆板构造家具部件,如抽屉、旁板等,因而二者的接合性能是一个必须着重考虑的问题。Englesson & Osterman 研究指出,对于刨花板基材圆榫与榫孔应采用过盈配合,其过盈量不大于0.4 mm,并且榫头和

收稿日期: 2013-12-04

基金项目: 国家林业局合作项目(2012-53), 茂名市科技计划项目(2014)和广东石油化工学院青年基金项目(2012qn0103)共同资助。

作者简介: 朱云, 博士研究生。E-mail: zhuyun0911@163.com

* 通信作者: 申黎明, 教授, 博士。E-mail: shenlimingda@hotmail.com

榫孔都应涂胶, 以增强基材与圆榫的抗拔力^[4-5]。Eckelman&Hassler 计算了圆榫在几种刨花板表面和端面的抗拔力后指出, 垂直于板面方向的圆榫抗拔力与板材内部结合强度和圆榫直径有关。当圆榫直径从 6 mm 增加到 8 mm 时, 抗拔力增加大约 40%; 圆榫直径由 8 mm 增加到 10 mm 时, 抗拔力增加大约 45%^[4-5]。考虑到家具的现实情况, 笔者借鉴前人的研究方法, 利用配合孔径参数, 研究了圆榫与稻秸秆板的接合强度规律。同时还比较了稻秸基材板与中密度纤维板、刨花板的抗拔性能差异, 分析了稻秸秆板结构、密度等因素与抗拔强度之间的关系, 以便为稻秸秆板家具制造提供科学的圆榫工艺接合数据。

1 材料与方法

1.1 试材

试验基材有中密度板 (MDF)、刨花板 (PB)、稻秸秆板 I (RSP I)、稻秸秆板 II (RSP II) 等 4 种, MDF 和刨花板从市场购得, 稻秸秆板由江苏鼎元公司提供。公称厚度均为 18 mm, 按照 (GB-T 17657-1999) 人造板及饰面人造板理化性能试验方法, 测得 MDF 的密度 $0.74 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, 内结合强度为 0.35 MPa, 含水率 8.0%, 静曲强度 25.13 MPa; PB 的密度 $0.75 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, 内结合强度为 0.40 MPa, 含水率 8.8%, 静曲强度 12.57 MPa; RSP I 的密度为 $0.72 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, 内结合强度为 0.52 MPa, 含水率 8.4%, 静曲强度 22.01 MPa; RSP II 的密度 $0.81 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, 内结合强度为 0.76 MPa, 含水率 7.5%, 静曲强度 29.80 MPa。

试验采用桦木斜纹圆榫, 长度为 40 mm, 直径为 8 mm, 含水率为 8%; 试验采用环保型白乳胶, 固化含量为 35%, 粘度为 30000 (MPa·s)。

1.2 抗拔性能测试方法

研究表明, 基材板面导向孔直径与圆榫直径的配合关系直接影响圆榫与基材间的接合强度^[4]。在圆榫埋入深度不变的情况下, 寻求接点的最佳接合参数, 并比较不同板材接合性能之间的差异。现采用过盈配合, 设圆榫直径与基材板面导向孔直径的配合参数为 β , $\beta = \Phi_1 - \Phi_2$ 。式中: Φ_1 为圆榫直径; Φ_2 为导向孔直径。

考虑到圆榫的胀缩特性, 为保证试验精度, 本试验设定 β 为 0、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5 和 0.6 mm 等 7 个等级, 相应地基材板面导向孔直径 Φ_2 由上述公式算出。

参照握螺钉力的加载方法 (GB-T 17657-1999) 和马耀驭^[6]等的试验方法, 先将基材锯解成尺寸为

50 mm×50 mm 大小, 再在其板面中心钻导向孔, 孔深 15 mm, 孔径由上述公式算出。试件装配时, 首先在圆榫一端均匀的涂刷一层乳白胶, 厚度约为 1 mm, 涂刷长度约为 15 mm, 然后将其垂直安装在导向孔内, 最后将所有组装试件放入温度约为 25 °C, 湿度约为 55% 环境中, 并静置 1 周, 等待测试。

圆榫与不同基材的极限抗拔力测定在 CMT6104 型电子万能力学试验机进行, 记录每次测试的最大抗拔力, 加载速度设定为 $10 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$, 数据采集精度为 0.01 N。

2 结果与分析

2.1 试件破坏形式分析

4 种基材的剖面结构都为 3 层结构, 芯层相对蓬松, 密度低; 上下表层紧密, 密度高。圆榫插入导向孔后, 胶料能够很好地与孔壁形成胶合层, 尤其是板材芯层部位, 相对蓬松的结构有助于增强圆榫与基材的接合性能。但由于基材的密度、内结合强度以及刨花间的紧密度存在较大差异, 因而表现出来的破坏形式有很大的不同。

MDF 和 RSP I 的导向孔为 7.4~8.0 mm 时, 圆榫都能够拔出, 并且发现导向孔周边部位发生轻度破坏, 尤其是基材的表层出现向外隆起或蓬松的效果 (图 1-a, 1-b), 沿导向孔中心线剖开, 可以看到孔壁具有剧烈的凹凸肌理。因为圆榫插入导向孔后, 胶料与孔壁形成良好胶结, 由于基材内结合强度较低, 致使胶料粘接纤维与基材纤维发生脱离。导向孔为 7.8 mm 时, MDF 和 RSP I 都出现最大抗拔力, 它们分别为 1.257 kN 和 1.219 kN, 并且二者的最大抗拔力比较接近。

而 RSP II 试件的破坏形式却存在 3 种不同的情况。第 1 种情况是圆榫能够从基材中拔出。在基材导向孔周围, 表层刨花产生隆起效果, 并且有少量的刨花颗粒被带出 (图 1-c)。第 2 种情况是圆榫被直接拉断, 但基材外观没有发生丝毫变化 (图 1-d)。第 3 种情况是试验机夹具与圆榫发生相对滑动, 圆榫未拔出。查看试验记录可知, 当导向孔径为 8.0、7.7、7.6、7.5 和 7.4 mm 时, 第一种情况集中发生; 而当导向孔径为 7.8 和 7.9 mm 时, 则主要出现第 2、第 3 种情况, 并且当导向孔为 7.8 mm 时, RSP II 得到最大抗拔力, 其值为 1.576 kN。在 MDF、RSP I 和 RSP II 3 种基材中, 比较相同 β 值的极限抗拔力, 可以发现 RSP II 的抗拔力要明显大于前二者, 而 RSP I 又稍微大于 MDF。从试件破坏形式来看, 在相同 β 值时, RSP II 的破坏情况也要优于前二者,

而 MDF 和 RSP I 则比较相似。这就说明在相同基材密度条件下, 稻秸秆板的抗拔性能要优于 MDF, 并且稻秸秆板密度越大, 其与圆榫的接合性能越好。究其原因, 主要是因为稻秸秆板密度越大, 其板材结构越致密, 相应地内结合强度也得到增加, 在受到外力时板材越不易被破坏^[1], 从而提高了抗拔力。

刨花板试件试验后的破坏形式与 RSP II 稍有不同, 它主要有 2 种情况: 第 1 种情况是圆榫能够拔出。基材导向孔周边部位被严重破坏, 刨花颗粒随圆榫而被拉出, 甚至使刨花板表层发生显著剥离现象 (图 1-e); 第 2 种情况是夹具与圆榫发生相对滑动, 圆榫未拔出。并且当基材导向孔为 7.4~7.8 mm 和 8.0 mm 时只能产生第 1 种现象。而当导向孔为 7.9 mm 时, 第 2 种情况才会发生, 并且最大抗拔力高达 1.776 kN。可能是因为基材刨花颗粒粗而硬, 刨花间留有的间隙较多, 胶料能够最大限度的充斥其中, 容易形成“倒刺”效应。虽然刨花板的密度

和内结合强度较低, 但面对圆榫与胶料的“整体倒刺结构”, 其受力面积得到进一步增大, 因而提高了极限抗拔力。

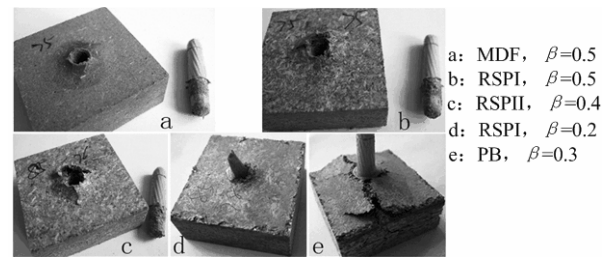


图 1 试件破坏情况
Figure 1 Specimens destruction

2.2 不同基材条件下的圆榫极限抗拔力

试验在不同基材条件下采用单因素随机试验, 试验因素 β 有 7 个水平, 每水平重复 6 次, 它们的极限抗拔力方差分析如表 1。

表 1 4 种基材试件板面不同 β 值与极限抗拔力方差分析

Table 1 The variance analysis of four substrate samples with different β values to the ultimate pullout force

板材类型 Board type	变因 Variable	平方和 SS	自由度 DF	均方 MS	F 值 F value	P 值 P value
MDF	处理间 Intergroup	1.2089	6	0.2015	8.15**	0.0001
	处理内 Intragroup	1.2114	49	0.0247		
	总变异 Total variation	2.4203	55			
PB	处理间 Intergroup	1.2977	6	0.2163	7.039**	0.0001
	处理内 Intragroup	1.5056	49	0.0307		
	总变异 Total variation	2.8033	55			
RSP I	处理间 Intergroup	0.2366	6	0.0394	4.184**	0.0018
	处理内 Intragroup	0.4617	49	0.0094		
	总变异 Total variation	0.6983	55			
RSP II	处理间 Intergroup	0.6944	6	0.1157	4.648**	0.0008
	处理内 Intragroup	1.2201	49	0.0249		
	总变异 Total variation	1.9144	55			

注: “*”表示在 0.05 显著水平上显著, “**”表示在 0.01 显著水平上显著。P 值为试验误差几率。 $F_{0.01}(6,49)=3.195$; $F_{0.05}(6,49)=2.29$ 。

Note: “*”means significant difference at the 0.05 level, and“**”means significant difference at the 0.01 level. P value is experimental error probability.

从表 1 可以看出, 4 种基材试件的不同 β 值对极限抗拔力的影响差异显著。不同 β 值与极限抗拔力的多重比较显著性水平分析, 结果见表 2。

结合多重比较分析表, 4 种基材的最佳 β 值相差较大。若要取得最大抗拔力, MDF 基材的 β 值应介于 0.1~0.3 mm 之间; 而刨花板基材的 β 值在 0.1 mm 左右; 而 RSP I 和 RSP II 基材 β 值都在 0.2 mm 左右。

2.3 不同 β 值对极限抗拔力的影响

4 种基材的不同 β 值对极限抗拔力的影响如图

2。4 种基材的极限抗拔力都是先随着 β 值的增大而增大, 当达到某一最大值时, 极限抗拔力就随着 β 值的增大而降低。4 种基材中刨花板的极限抗拔力表现尤为突出, 在大部分测试区间, 其抗拔力均要优于其他 3 种基材。因为当 β 较小时, 白乳胶能够充分渗入导向孔内壁区域的缝隙, 使刨花颗粒与圆榫能够紧密地胶粘在一起, 受到拉力时, 它们可以起到“整体倒刺”作用从而大大提高了极限抗拔力^[6]。而当 β 值增大时 ($\beta > 0.3$ mm), 虽然胶料渗

入量减少了,但由于刨花板的静曲强度较小,刨花硬度较大,圆榫与导向孔内壁的摩擦力却反而增加,从而使得其抗拔力保持在较高的水平。

表 2 不同 β 值与圆榫极限抗拔力的多重对比分析
Table 2 Multiple comparative analysis of different β values and ultimate pullout force

基材类型 Board type	β 值 β value	均值 (kN) (标准差) Average (kN) (SD)
MDF	0.2	1.257(0.047) ^{aA}
	0.3	1.144(0.063) ^{abAB}
	0.1	1.099(0.051) ^{abcAB}
	0.4	1.081(0.051) ^{bcAB}
	0.5	1.03(0.039) ^{bcAB}
	0	0.941(0.048) ^{cBC}
	0.6	0.76(0.045) ^{dC}
PB	0.1	1.776(0.047) ^{aA}
	0.2	1.480(0.047) ^{bB}
	0.3	1.464(0.082) ^{bB}
	0.4	1.441(0.073) ^{bB}
	0.5	1.393(0.062) ^{bcB}
	0	1.389(0.050) ^{bcB}
	0.6	1.231(0.071) ^{cB}
RSP I	0.2	1.219(0.086) ^{aA}
	0.3	1.165(0.052) ^{abA}
	0.4	1.153(0.042) ^{abA}
	0.5	1.141(0.071) ^{abA}
	0.6	1.098(0.062) ^{bcAB}
	0.1	1.08(0.053) ^{bcAB}
	0	1.001(0.034) ^{cB}
RSP II	0.2	1.576(0.065) ^{aA}
	0.1	1.402(0.042) ^{bAB}
	0.3	1.311(0.052) ^{bB}
	0.4	1.27(0.067) ^{bB}
	0	1.258(0.072) ^{bB}
	0.5	1.255(0.081) ^{bB}
	0.6	1.251(0.082) ^{bB}

注:大写字母表示 1% 极显著水平,小写字母表示 5% 显著水平;字母相同时表示此区间差异不显著,字母不同时表示此区间差异显著。

Note: Capital letter means significant difference at the 0.01 level, and small letter means significant difference at the 0.05 level; the same letter means no significant difference at the interval, and different letter means significant difference.

MDF、RSP I、RSP II 3 种基材,它们的抗拔力变化趋势相似,总的来看,RSP II 的极限抗拔力要优于 MDF 和 RSP I,平均高于二者约 23.7%,而 RSP I 又优于 MDF,高于后者约 8.8%。因为 RSP II 无论密度还是内接合强度均要大于 MDF 和

RSP I,相同过盈系数条件下,RSP II 与圆榫的摩擦力更大,因而抗拔力也越大。并且当 β 值为 0.2 mm 时,三者都能达到最大极限抗拔力,其中 MDF 的极限抗拔力为 1.26 kN,RSP I 的极限抗拔力为 1.23 kN,RSP II 的极限抗拔力为 1.58 kN。从板材结构来看,MDF、RSP I、RSP II 三者基材结构相似,芯层较致密,纤维颗粒细而软富有一定的弹性。当 β 值为 0.2 mm 时,三者的胶料渗入量和摩擦力能够达到最佳平衡水平,最终都可以获得最大极限抗拔力。而当 β 值继续增大时,虽然圆榫与导向孔内壁的摩擦力增加了,但胶料的渗入量却急剧减少,致使极限抗拔力持续走低。当 β 值从 0.3 mm 增大到 0.6 mm 时,RSP II 的极限抗拔力从 1.3 kN 降低到 1.25 kN,递减幅度较小,最大不超过 3%。多重比较发现,其抗拔力差异不显著,可以认为在该区间内导向孔效果是相同的。类似的情况也存在于 RSP I 基材中,当 β 值从 0.3 mm 增加到 0.6 mm 时,其抗拔力从 1.17 kN 减少到 1.10 kN,平均降幅约为 1.5%,同样其抗拔力差异也不显著。因此,就稻秸秆板而言,在施胶条件下其板面导向孔的过盈量不得大于 0.3 mm,否则会降低圆榫抗拔力。

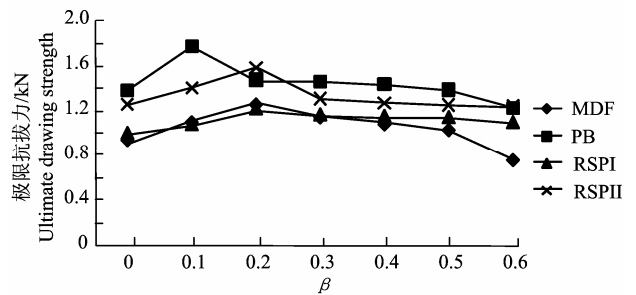


图 2 圆榫极限抗拔力与 β 值的关系

Figure 2 The relationship between round tenon's ultimate pullout force and β value

3 结论

中密度纤维板、刨花板、稻秸秆板 I 和稻秸秆板 II 4 种基材的极限抗拔力与 β 值存在着相似的关系,即极限抗拔力都是先随着 β 值的增大而增大,当达到某一个最大值后极限抗拔力就随着 β 值的增大而降低。MDF 的最大极限抗拔力出现在 β 为 0.1~0.3 mm 的范围内;PB 的最大极限抗拔力出现在 β 为 0.1 mm 时;RSP I 和 RSP II 的最大极限抗拔力均出现在 β 为 0.2 mm 时。

对于圆榫接合,当 β 值约为 0.2 mm 时,MDF、RSP I 和 RSP II 3 种基材的极限抗拔力均达到了相对较高的数值,3 种基材的圆榫极限抗拔力的大小

依次为 RSP II、MDF、RSP I，并且此时 RSP II 基材的极限抗拔力高于 PB、MDF、RSP I 3 种基材的极限抗拔力。

基材密度和内结合强度对极限抗拔力的影响非常大，同等公称厚度，密度越高，相应地内结合强度和极限抗拔力则越高，接合性能越好^[1]。另外，圆榫与稻秸秆板接合时，基材静曲强度越小，相应地摩擦力越大，则越有利于增加极限抗拔力。试验证明，对于稻秸秆板基材，在施胶条件下，圆榫与 RSP II 的极限抗拔力要优于 MDF 和 RSP I 基材，但要劣于刨花板基材。

参考文献:

- [1] 钱小瑜. 发展农作物秸秆人造板大有可为[J]. 中国人造板, 2012(12): 1-5.
- [2] 申黎明, 朱云. 稻草板与尼龙预埋螺母接合的抗拔性能[J]. 南京林业大学学报, 2011, 35(4): 79-82.
- [3] 贾翀. 稻草板表面特性与密度梯度对薄木饰面性能的影响[D]. 南京: 南京林业大学, 2005.
- [4] 崔成娟. 板式家具偏心连接件接合性能研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2006.
- [5] 柳万千. 家具力学[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1993.
- [6] 柳万千. 木制品结构强度[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1994.
- [7] 马耀驭, 文玉旺. 板式家具结构强度研究[J]. 木材工业, 1982(4): 13-22.
- [8] Li X J. Selected properties of particleboard panels manufactured from rice straws of different geometries[J]. Bio-resource Technology, 2010(101): 4662-4666.
- [9] Tankut A N, Tankut N. Evaluation the effects of edge banding type and thickness on the strength of corner joints in case-type furniture[J]. Materials and Design, 2010(31): 2956-2963.