

研究简报

非胶合条件下松木直角榫卯接合的抗拉力

胡传双, 李重根, 李 鹏, 李凯夫, 廖红霞, 云 虹

(华南农业大学林学院, 广州 510642)

摘要: 通过拉伸试验研究了非胶合状态下, 木材直角榫卯构件配合间隙、榫头长度和榫卯纹理方向等参数, 对榫卯连接节点抗拉力的影响。结果表明: 木材直角榫卯构件在拉伸过程中的抗拉力-行程曲线可分为 2 段, 即快速线性上升和近似直线缓慢下降段; 在一定范围内, 构件抗拉力随着过盈配合公差的增加、榫头长度的延长而提高; 同等条件下, 榫卯纹理方向一致时的抗拉力要高于榫卯纹理方向直交时。

关键词: 榫卯接合; 木节点; 抗拉力

中图分类号: TS63

文献标识码: A

文章编号: 1001-8654(2007)04-0021-03

Withdrawal Strength of Wooden Rectangular Mortise-tenon Joint without Bond

HU Chuan-shuang, LI Chong-gen, LI Peng, LI Kai-fu, LIAO Hong-xia, YUN Hong

(College of Forestry, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, Guangdong, China)

Abstract: Rectangular mortise and tenon joints are widely used in the furniture industry and wood timber engineering. In this study, the effects of tolerance, embedded length, and grain direction on the pull-out resistance of the rectangular mortise and tenon joint were investigated. The main findings were summarized as follows: 1) The pull-out load vs. pull-out displacement curve of the rectangular mortise and tenon joint consisted of a linearly ascending part and a descending part. 2) The pull-out load was improved by tightening the assembling tolerance within the range without the mortise and tenon joint causing damage during assembly. 3) The pull-out load increased with the increase of the embedded length. However, the maximum pull-out load was found to be at 35 mm embedment length. 4) The pull-out load along the grain direction was greater than that across the grain direction under the same conditions.

Key words: mortise-tenon joint; wood connection; pull-out load

由于以家具产品为代表的木制品, 在使用中常出现的结构破坏大部分发生在榫卯节点处, 因此有关榫卯节点力学性能的研究越来越受到关注。张福范^[1]用能量法分析了结构齿槽的应力, 并建立了数学模型, 构建了应力的传递过程。杨明津^[2]研究了施胶直角榫构件的力学性能, 发现构件的最大弯矩由过盈配合向间隙配合呈降低的趋势。岳章银^[3]探讨了不同胶黏剂对刨花板与圆榫接合抗拉强度的影响。Eckelman^[4]通过试验回归的方法, 推导出了实木构件侧边圆榫抗拉力的经验公式, 并考虑了配合系数及

胶种对抗拉力的影响。Eckelman 等^[5]研究了榫肩对圆榫抗弯力矩的影响。松本弘毅^[6]通过计算理论值与试验值之比, 指出提高直角榫胶合面积和胶合质量, 均可增加直角榫接合强度和刚度。Jensen 等^[7]对阔叶材树胶合暗榫进行了轴向拉伸试验, 并提出了线弹性破坏机制(LEFM)/理想塑性模型和线弹性应力分析模型, 可有效地预测胶合条件下, 阔叶材树胶合暗榫顺纹理方向的拔出应力。

虽然目前常见的木结构一般均以榫卯结构, 辅之机械连接或胶接连接等, 但随着世界范围内人们环保意识的增强以及木材资源的短缺, 对木制品进行回收、循环再利用逐渐成为当今木材工业的一个必然发展趋势。着眼于降低木制品的回收再利用的成本, 利

收稿日期: 2006-09-06; 修改稿: 2007-06-26

基金项目: 华南农业大学校长基金项目资助(440C-K05107)。

作者简介: 胡传双(1978—), 男, 华南农业大学林学院副教授, 博士。

用木材本身的黏弹性,开发无需机械连接件或胶接辅助的连接技术,成为目前国际学术界的新命题之一。因此,本试验在非胶合状态下,对木材直角榫卯构件连接节点的抗拉力进行了研究,旨在为木材榫卯构件的设计和力学强度性能的评价提供参考。

1 试验材料及方法

1.1 试验材料

为市售红松(*Pinus koraiensis*),经测试气干密度为 0.44 g/cm³,含水率为 12%时的抗弯强度为 64 MPa、抗弯弹性模量为 9.8 GPa。试材先置于恒温恒湿环境下调整含水率到 12%,再分别锯截成符合试验设计要求的试件。榫头和榫眼的基本规格分别为 25.0 mm×25.0 mm×10.0 mm(长×宽×厚)、27.0 mm×25.0 mm×10.0 mm(深×长×宽)。

1.2 试验方法

试验共分 3 个系列,在非胶合条件下,分别测试榫头宽度配合公差、榫头长度、榫头宽度与榫眼长度的配合纹理方向,对直角榫卯构件连接节点的抗拉力的影响。各系列试验条件见表 1。其中,试验 1、2 构件的配合纹理均为顺纹,试验 2 在榫头宽度配合公差 0.2 mm(即榫头宽度为 25.2 mm)的条件下测试。各水平下重复试验 5 次。

表 1 试验条件
Tab. 1 Experimental factors and levels

试验 1		试验 2		试验 3		
榫头宽 度/mm	榫头宽度方向 配合公差/mm	榫头长 度/mm	榫眼深 度/mm	榫卯纹 理方向	榫头宽 度/mm	榫眼长 度/mm
25.0	0.0	30.0	32.0	一致	15.2	15.0
25.1	0.1	35.0	37.0	一致	25.2	25.0
25.2	0.2	40.0	42.0	一致	35.2	35.0
25.3	0.3	45.0	47.0	一致	45.2	45.0
25.4	0.4			直交	15.2	15.0
25.5	0.5			直交	25.2	25.0
				直交	35.2	35.0
				直交	45.2	45.0

注:榫头、榫眼其他尺寸同基本规格。

抗拉试验在日本岛津精密力学试验机(SHIMADZU AG-50KNI)上进行。拉伸速度设定为 5 mm/s,拉伸直至榫卯构件完全脱落为止。

2 结果与分析

2.1 抗拉力的载荷-行程曲线图

图 1 所示为顺纹配合、榫头宽度为 25.3 mm(即配合过盈量为 0.3 mm)、其他尺寸为基本规格的直

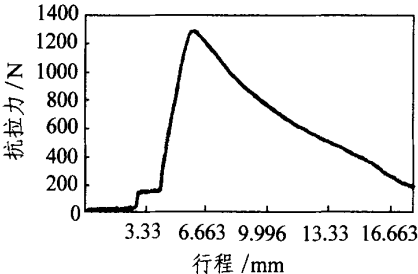


图 1 抗拉力-行程曲线图
Fig. 1 Pull-out load vs. displacement

角榫卯构件的抗拉力-行程曲线图。曲线分为直线快速上升和直线缓慢下降 2 个阶段。直线上升部分是榫头与榫眼完全接触时,构件克服静摩擦所表现出来的力学行为;而近似直线下降阶段则反映出榫头与榫眼接触面积逐渐减小时,其间的静摩擦力也随之减小的现象;当榫头从榫眼中拉出时,两者接触面积变为零,抗拉力随之降为零。

王松年等^[8]认为榫卯结构过盈配合时,在榫卯接触面法向应力作用下,两表面的粗糙峰相互啮合并产生弹塑性变形,可形成一定的机械互锁作用。同时,当峰顶塑性变形而紧密接触时,界面间的表面分子力发生作用,将产生“界面结合”,形成粘着结点和结合力。木材是弹塑性体,接触表面发生相对滑动之前,微观粗糙峰在切向拉拔力的作用下,随着时间的延长会发生一定量的弹塑性变形。在直线上升部分,拉伸力的主要作用是克服榫卯构件接触面粗糙峰的机械互锁、微观结构弹塑性变形和静摩擦,峰值大小主要由材料本身性质、表面状态和榫卯之间的摩擦系数决定。在近似直线下降部分,榫卯结构被破坏而产生相对位移,随着接触表面积的减小,接触表面压力、摩擦系数均降低,从而抗拉力也随之降低。

2.2 榫头宽度配合公差的影响

榫头宽度方向不同配合公差下,木材直角榫卯构件的抗拉力如图 2 所示。从图中可看出,随着过盈配

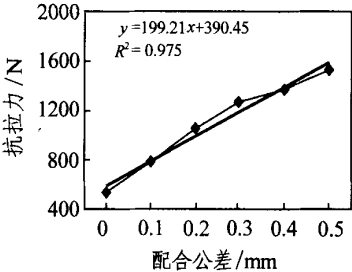


图 2 不同配合公差下的抗拉力
Fig. 2 Pull-out load at different assembling tolerances

合公差的增加,榫卯构件的抗拉力呈线性显著增大。当榫卯过渡配合时,抗拉力约 400 N;而当配合过盈量为 0.5 mm 时,抗拉力可达到 1 600 N,增加了约 4 倍。在拉伸过程中,随着配合过盈量的增大,榫卯构件接触面相互挤压越厉害,摩擦力和磨损均同时增大,同时配合的紧密性也使得摩擦力增大,从而表现为抗拉力增大。

虽然在非胶合条件下,榫卯连接节点的强度可通过增加榫卯配合的过盈量实现,但过盈量的增加必须保证:榫眼构件在配合方向上不发生剪切破坏,榫头构件在配合方向上不发生压溃破坏。试验过程中发现,当配合过盈量为 0.5 mm 时,只有极少数榫头试件发生了小面积压溃破坏。

2.3 榫头长度的影响

由图 3 可以看出,随着榫头长度的增加,直角榫卯构件的抗拉力呈线性增加。Eckelman^[4]曾指出,在圆榫构件中,当榫头长度 > 30 mm 时,不再影响圆榫接合的抗拉力。本试验结果表明:对直角榫卯构件而言,当榫头长度 > 30 mm 时,榫头长度仍然影响直角榫卯接合的抗拉力;当榫头长度 > 35 mm 后,随着榫头长度的增加,抗拉力的增长曲线变得平缓。

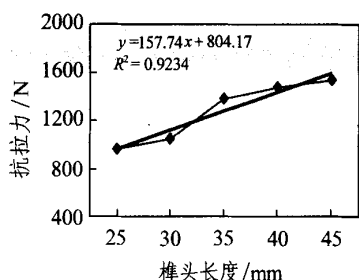


图 3 不同榫头长度下的抗拉力

Fig. 3 Pull-out load at different embedment lengths

2.4 配合纹理的影响

图 4 所示为在榫头宽度配合公差 0.2 mm、榫头

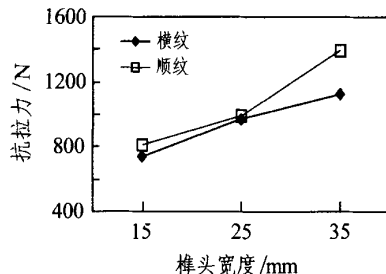


图 4 不同配合纹理及接触面下的抗拉力

Fig. 4 Pull-out load with respect to different contacting surface and grain directions

长度 25.0 mm 的条件下,木材直角榫卯构件的抗拉力在不同配合纹理方向,随榫头宽度(实现配合面的尺寸之一)的变化趋势。从图中可看出,随着榫头宽度的增加,直角榫卯构件的抗拉力增强。在同等条件下,顺纹抗拉力大于横纹抗拉力。木材直角榫卯构件的横、顺纹抗拉力差别,主要源于木材本身力学特性在横、顺纹方向的差异。

3 结论

1) 在非胶合状态下,直角榫卯构件在拉伸过程中的抗拉力-行程曲线可分为直线上升(榫头与榫眼接触面积最大)和近似直线下降(榫头与榫眼接触面积逐渐减小)2 段。

2) 直角榫卯构件的抗拉力随着过盈配合公差的增加而增大,过盈量应以在配合方向上榫头不产生压溃、榫眼不发生剪切破坏为限。

3) 直角榫卯构件的抗拉力随着榫头长度的增加而增加,但榫头长度超过 35 mm 后,抗拉力的增长趋势平缓。

4) 同等条件下,直角榫卯构件的抗拉力在顺纹方向高于横纹方向。

5) 合理设计木材榫卯构件的配合间隙、榫头长度及配合纹理方向等参数,可获得并优化榫卯构件的接合强度。生产实际中常结合施胶途径,以进一步提高榫卯构件的节点强度。对在不同的解析和吸湿过程中,非施胶和施胶条件下,榫卯构件节点的力学性能表现有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 张福范. 木结构槽齿与榫接的应力分析[J]. 清华大学学报, 1983, 23(3): 13-26.
- [2] 杨明津. 方榫接合强度之研究(二): 榫头尺寸对暗榫接合强度之影响[J]. 林产工业, 1981, 5(3): 21-30.
- [3] 岳翠银. 圆榫榫与刨花板接合抗拉强度的研究[J]. 林业科技开发, 1998(2): 38-40.
- [4] Eckelman C A. Engineering concepts of single-pin dowel joint design[J]. Forest Prod J, 1969, 19(12): 52-60.
- [5] Eckelman C A, Erdil Y, Haviarova E. Effect of shoulders on bending moment capacity of round mortise and tenon joints[J]. Forest Prod J, 2006, 56(1): 82-86.
- [6] 松本弘毅. 有关榫卯接合效率的研究[G]//日本木材学会北海道支部公演集. 日本北海道: 日本木材学会, 1986: 32-35.
- [7] Jensen J L. Axially loaded glued-in hardwood dowels[J]. Wood Science and Technology, 2001, 35(1): 73-78.
- [8] 王松年, 苏治福, 江亲瑜. 摩擦学原理及应用[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1990: 41.

(责任编辑 向琴)