

研究与应用

日本落叶松胶合木销槽承压强度的影响因素分析

张俊珍, 赵荣军, 任海青, 周海宾

(中国林科院木材工业研究所; 国家林业局木材科学与技术重点实验室, 北京 100091)

摘要: 参照美国标准 ASTM D 5764-97a(2007), 探讨测试方法、层板等级、钢销直径和加载方向对日本落叶松 (*Larix kaempferi*) 胶合木销槽承压强度的影响。单因素方差分析结果表明, 影响日本落叶松胶合木销槽承压屈服强度的因素依次为: 层板等级 > 钢销直径 > 加载方向, 测试方法对承压性能的影响不显著。

关键词: 日本落叶松; 胶合木; 销槽承压强度; 影响因素

中图分类号: S791.223; TU366.2

文献标识码: A

文章编号: 1001-8654(2014)03-0022-04

Dowel Bearing Strength and Influential Factors of Japanese Larch Glulam

ZHANG Jun-zhen, ZHAO Rong-jun, REN Hai-qing, ZHOU Hai-bin

(Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry;

Key Lab of Wood Science and Technology of State Forestry Administration, Beijing 100091, China)

Abstract: Glulam samples made of *Larix kaempferi* wood were made and tested according to ASTM D 5764-97a(2007). The following effects on dowel bearing strength were analyzed: test method, laminate grade, bolt diameter and loading direction. The influence factor order ranked by importance on dowel bearing was as follows: laminate grade > bolt diameter > loading direction. Test method had no influence on dowel bearing strength.

Key words: *Larix kaempferi*; glulam; dowel bearing strength; influence factor

日本落叶松为落叶松属木材中, 适应广、生长潜力大的树种^[1], 在我国引种栽培面积 88.8 万 hm^2 , 总蓄积为 6 000 多万 m^3 。目前, 早期引种营造的日本落叶松人工林已经成熟^[2], 合理高效利用其木材资源具有现实意义, 因此, 日本落叶松胶合木等结构材的性能研究成为重要课题。

在木结构设计中, 销槽承压强度是节点连接设计

的重要参数^[3]。国内学者曾就木结构钢销连接中, 销槽的承压强度系数、钢销的抗弯强度系数及国产落叶松胶合木半孔销槽承压强度的影响因素开展了研究^[4-5], 分析胶合木密度和钢销直径对半孔销槽承压性能的影响, 计算出胶合木-钢填板-钢销在横纹方向的侧向承载力。国外学者选取不同直径钢销, 对针叶树材和阔叶树材销槽的承压强度进行比较, 推导出销槽承压强度的理论设计公式^[6], 并发现木材密度、钢销等级和直径, 是影响销槽承压强度的主要因素^[7-9]。

笔者对日本落叶松进行了其胶合木销槽承压强度的测试分析, 探讨层板等级、钢销直径和加载方向

投稿日期: 2013-08-25; 修改日期: 2014-04-09

资助项目: 国家林业公益性行业科研专项“落叶松培育与高附加值集成材产业升级关键技术研究”(201104027)。

作者简介: 张俊珍(1987—), 女, 中国林科院木材工业研究所硕士研究生。

责任作者: 赵荣军, 女, 中国林科院木材工业研究所研究员。

等因素的影响,以期为日本落叶松作为结构材的高附加值利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试材 日本落叶松(*Larix kaempferi*)胶合木,来自辽宁省清原县,由间苯二酚树脂胶胶合而成,规格尺寸(长×宽×厚)为 2 000 mm×100 mm×30 mm。

钢销 Q235 钢,直径分别为 10、12、14 和 16 mm。

1.2 试验设计

根据美国 ASTM D 5764-97a (2007) Standard Test Method for Evaluating Dowel-Bearing Strength of Wood and Wood-Based Products,销槽承压强度的测试方法分为全孔法和半孔法两种,检测结果存在差异。

本研究以测试方法、层板等级、钢销直径和加载方向(与胶合木胶层的夹角)为考察因素,采用单因素试验,水平列于表 1。

表 1 试验因素与水平

Tab. 1 Experimentnal factors and levles

因素	水平
测试方法	半孔法,试样尺寸 60 mm×100 mm×50 mm; 全孔法,试样尺寸 60 mm×100 mm×70 mm
层板等级/ GPa	A(MOE=14.2)、B(MOE=11.4) C(MOE=10.8)
螺栓直径/mm	10,12,14 和 16
加载方向/(°)	0,45 和 90

除了“测试方法”的因素试验以外,其他 3 组试验均采用全孔法,固定试验条件为:螺栓直径 12 mm、B 等层板、加载方向与胶合木胶层夹角为 90°。每组 6 个试样。

1.3 性能测试

试验前在每个试样打孔部位划线,保证打孔精确,尽量避免加工缺陷干扰测试结果。将全孔试样沿着孔径方向锯切,得到半孔试样。依据美国 ASTM D 5764-97a(2007)标准,销槽承压性能测试试样的孔径比销径大 1.5 mm;由于该标准未限定加载速度,通过预试验,确定本试验的加载速度为 1 mm/min,使试样在 3~10 min 内产生延性而非脆性破坏,保证数据采集完整和试验安全。

2 结果与分析

2.1 测试方法对胶合木销槽承压强度影响分析

按照 ASTM D 5764-97a(2007),采用直径 12 mm 的螺栓,进行垂直于胶层方向的受压试验,记录试样破坏的最大载荷和破坏方式,用 5%偏移法得到销槽承压屈服载荷,并计算屈服强度。载荷位移曲线见图 1,测试结果列于表 2。由于本组试验目的是考察测试方法对销槽承压屈服强度的影响,所以仅对销槽承压屈服强度进行方差分析,结果列于表 3。

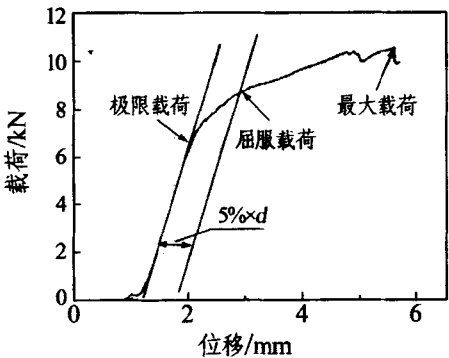


图 1 销槽承压载荷位移曲线

Fig. 1 Load-displacement curves of dowel bearing

表 2 不同测试方法下胶合木销槽的承压性能

Tab. 2 Dowel bearing strength of samples under different testing methods

测试方法	屈服载荷/ kN	最大载荷/ kN	屈服强度/ MPa	承压强度最大 值/MPa
全孔	7.657	11.356	10.516	15.583
半孔	7.472	8.553	10.404	11.909

表 3 不同测试方法下销槽屈服强度的方差分析

Tab. 3 5% offset load analysis of variance tested by full-hole and half hole

差异源	平方和	自由度	均方和	F	P-value
组间	15.522	1	15.522	3.036	0.115
组内	46.012	9	5.112		
综合	61.534	10			

方差分析结果表明,选择全孔法或半孔法,对钢销槽承压性能测试结果无显著影响;对直径相同的钢销,全孔法测得的最大载荷和屈服强度均高于半孔法。说明:即使钢销孔上部木材不承受压力,对提高其销槽承压性能也有重要作用,全孔法测试的胶合木销槽承压性能更接近真实值。

试样的破坏方式如图 2 所示:1) 钢销孔下方木材被压溃致槽孔变形;2) 钢销下部胶合木沿着或垂直于年轮方向产生裂纹;3) 钢销孔上方木材劈裂。全孔法试样表现为三种破坏形式的组合,而半孔法试样以前两种破坏形式为主。

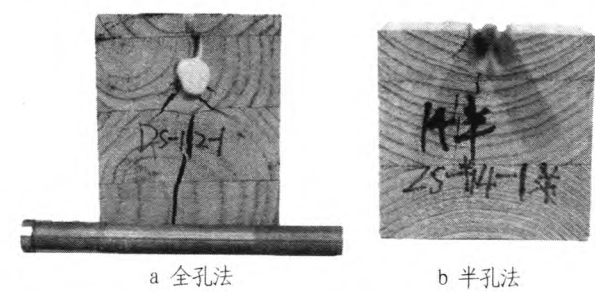


图 2 胶合木销槽的承压破坏模式
Fig. 2 Failure modes of dowel bearing

当钢销开始受力时,首先是钢销下方的木材由于压力逐渐变形,随着压力增大,钢销上方木材因受张力而劈裂,下方木材由于压力过大,沿着平行于或者垂直于年轮方向产生劈裂形成裂缝。根据此结果,在日本落叶松胶合木建筑中,可以通过在螺栓孔上、下方用角铁加固,或者选用强度较大、等级较高的木材,以保证木结构建筑螺栓节点的安全性。

2.2 层板等级对胶合木销槽承压强度影响分析

采用直径 12 mm 钢销,不同层板等级胶合木销槽的承压性能测试结果及方差分析结果,分别列于表 4 和表 5。

表 4 不同层板等级胶合木的销槽承压性能

Tab. 4 Dowel bearing strength of samples made from different laminate grades

试样等级	屈服载荷/ kN	最大载荷/ kN	屈服强度/ MPa	承压强度 最大值/MPa
A	12.983	14.231	17.831	19.545
B	7.657	11.356	10.516	15.583
C	7.927	10.792	10.932	14.864

注:表中数值为同组试验值的平均值,变异系数均在 20%以内。

表 5 不同层板等级销槽承压屈服强度的方差分析

Tab. 5 5% offset load variance of analysis made from different laminate grades

差异源	平方和	自由度	均方和	F	P-value	显著性
组间	129.953	2	64.976	21.666	0.001	**
组内	23.992	8	2.999			
综合	153.945	10				

分析结果表明,3 种等级层板胶合木的销槽承压屈服强度存在极显著差别,而承压强度最大值差异不显著(方差分析略)。A 等层板胶合木的销槽承压性能,明显高于其他等级层板胶合木。主要原因是:不同等级层板的密度有所差别,密度是影响木制品力学性能的关键因素,层板单元密度与胶合木力学性能呈正相关关系,故高等级层板胶合木销槽的承压性能高于其他等级胶合木。

此外,极限承压强度不但与胶合木有关系,而且与螺栓材料也有关系。本研究中螺栓的直径和材质相同,导致极限承压强度平均值在不同层板等级胶合木之间虽有差别,但差异不显著。

2.3 钢销直径对胶合木销槽承压强度影响分析

在不同直径钢销条件下,胶合木销槽承压屈服强度和承压强度最大值的检测结果及方差分析,分别列于表 6、表 7。

表 6 不同直径钢销槽的承压性能

Tab. 6 Dowel bearing strength of samples with different dowel diameters

钢销直径/ mm	屈服载荷/ kN	最大载荷/ kN	屈服强度/ MPa	承压强度 最大值/MPa
10	7.763	9.624	12.788	15.839
12	7.657	11.356	10.516	15.583
14	9.085	11.945	10.666	14.031
16	10.076	12.113	10.399	12.505

表 7 销槽承压强度最大值和屈服强度的方差分析

Tab. 7 Variance of analysis of max-bearing strength and 5% offset strength

力学指标	差异源	平方和	自由度	均方和	F	P-value	显著性
屈服强度	组间	24.120	3	8.040	4.406	0.022	*
	组内	25.550	14	1.825			
	综合	49.670	17				
承压强度 最大值	组间	46.538	3	15.513	4.637	0.017	*
	组内	50.186	15	3.346			
	综合	96.723	18				

钢销直径直接影响胶合木开孔尺寸,钢销直径越大,胶合木破坏的可能性增加,甚至会发生劈裂破坏。由表 7 方差分析结果可知,当钢销直径不同时,各组屈服强度和销槽承压强度最大值均存在显著差异,表明胶合木销槽承压性能与钢销直径密切相关。进一步检验不同直径钢销与销槽屈服强度、承压强度最大值的相关性,如图 3 所示。

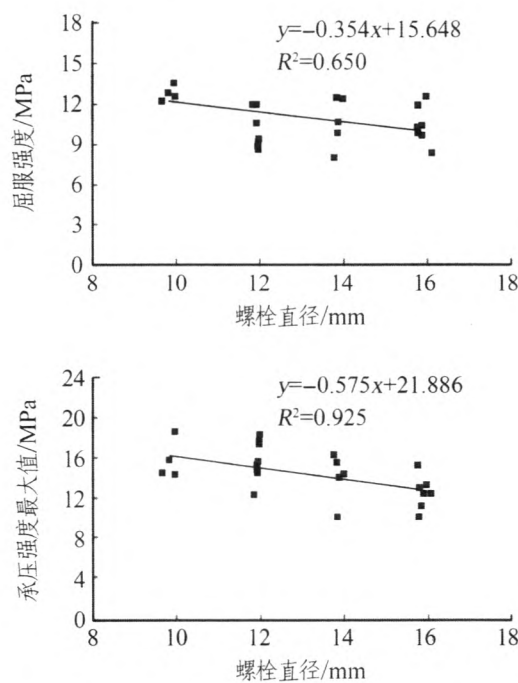


图 3 钢销直径与销槽屈服强度、承压强度最大值的关系
Fig. 3 Curve of bolt diameter vs. 5% offset strength and max-bearing strength

从图 3 可见,销槽的承压屈服强度和销槽承压强度最大值,均随着钢销直径增大呈降低趋势;并且,销槽承压强度最大值与钢销直径的线性关系明显,亦表明钢销直径是影响销槽承压性能的重要因素。

2.4 加载方向对销槽承压性能影响分析

加载方向与日本落叶松胶合木胶层成 3 种夹角时的测试结果及方差分析,分别列于表 8 和表 9。

表 8 不同加载方向时胶合木销槽承压性能
Tab. 8 Dowel bearing strength with different loading directions

角度/ (°)	最大载荷/ kN	屈服强度/ MPa	承压强度最大值/ MPa
0	12.079	13.412	16.678
45	10.439	12.177	14.505
90	11.356	10.516	15.583

注:表中数值均为平均值,每组数据的变异系数均在 25%以内。

结果表明:胶合木的销槽承压屈服强度与加载方向存在显著相关性,在加载方向与胶层夹角为 0°时最大,在 90°时最小;而销槽承压强度最大值与加载方向的相关性不强。销槽承压屈服强度是按照 ASTM D 5764-97a(2007),采用 5%偏移法所取的值,超过该值即认为试样销槽破坏,是判定销槽承压性能的重要指标;而销槽承压强度最大值是通过试样破坏

表 9 加载方向对销槽屈服强度和承压强度最大值影响的方差分析
Tab. 9 Variance of analysis of 5% offset load and maximum bearing strength

力学指标	差异源	平方和	自由度	均方和	F	P-value	显著性
屈服强度	组间	33.889	2	16.944	4.272	0.046	*
	组内	39.665	10	3.967			
	综合	73.554	12				
承压强度最大值	组间	0.763	2	0.381	0.063	0.939	
	组内	60.213	10	6.021			
	综合	60.976	12				

的最大载荷计算得出,当强度超过销槽承压强度最大值时,销槽发生完全破坏。

进一步分析加载方向与胶合木销槽承压性能的关系,如图 4 所示。

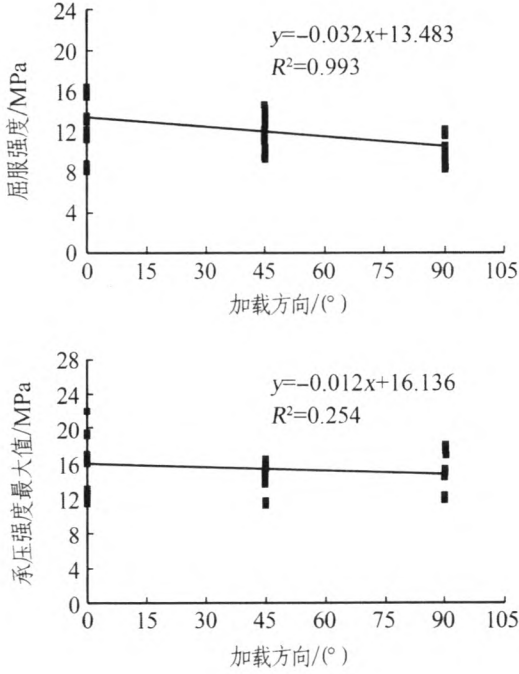


图 4 胶合木销槽承压屈服强度、承压强度最大值与加载方向的关系
Fig. 4 Curve of 5% offset strength and maximum bearing strength vs. angle

由图 4 可知,日本落叶松胶合木销槽承压屈服强度与加载方向,存在明显的负相关线性关系。两者的关系有待进一步验证。

通过以上单因素方差分析中的置信度 P 值,初步判断影响销槽承压屈服强度的 3 个因素依次为:层板等级>钢销直径>加载方向。

(下转第 29 页)

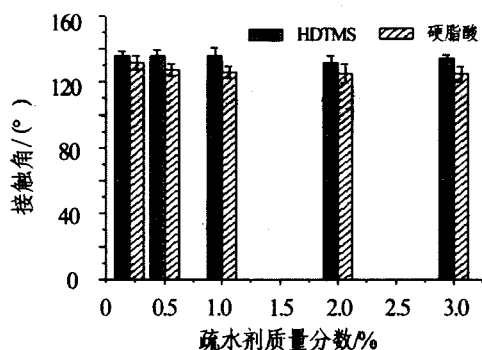


图5 疏水剂质量分数对试样接触角的影响

Fig.5 Effect of hydrophobic agents concentration on water contact angles of modified samples

3 结论

1) 经 TiO_2 溶胶以及疏水剂两步法处理后,改性试样表面负载了纳米级 TiO_2 ,且修饰了低表面能物质,导致试样表面的接触角增加,疏水性明显增强。

2) 在本试验范围内,疏水剂质量分数对改性试样表面接触角影响不明显,即质量分数 0.2% 的疏水剂处理即可获得理想的疏水效果;疏水剂 HDTMS 的处理效果优于硬脂酸。

3) 今后有待对试样表面疏水涂层的稳定性和耐久性、试样的吸湿率、尺寸稳定性等进一步研究。

(上接第25页)

3 结论

1) 采用直径 12 mm 钢销,全孔法和半孔法对日本落叶松胶合木的销槽承压强度无显著影响;全孔法测得的屈服强度值比半孔法稍高。

2) 日本落叶松胶合木销槽的承压性能,随着层板等级的提高而增强,随着钢销直径的增加而降低;加载方向与销槽的屈服强度存在高度线性相关性,而对销槽承压强度最大值基本无影响。

3) 本研究仅分析了单个钢销的承压性能,今后还应进行多个钢销的销槽承压性能研究;另外,加载方向受试验条件限制,仅选取 3 种角度,今后应增加 0~90° 之间其他角度的研究,以全面分析日本落叶松胶合木的销槽承压性能。

参考文献:

- [1] 张春华. 河北省日本落叶松发展优势及政策引导[J]. 河北林业科技, 2009(5): 93-93.

参考文献:

- [1] Hill C A S. Wood modification: Chemical, Thermal and Other Processes[M]. Chichester, John Wiley & Sons, 2006.
- [2] 刘培义, 孟国忠. 木材的尺寸稳定性处理[J]. 木材工业, 2003, 17(2): 24-26.
- [3] 杨蕊, 周定国, 王思群, 等. 木质材料表面疏水性能的研究进展[J]. 木材工业, 2012, 26(6): 26-29.
- [4] 江雷. 自然到仿生的超疏水纳米界面材料[J]. 科技导报, 2005, 23(2): 4-8.
- [5] 崔晓松, 姚希, 刘海华, 等. 超疏水表面微观结构设计与制备及润湿行为调控(II)[J]. 中国材料进展, 2010, 29(2): 31-44.
- [6] 徐桂龙, 邓丽丽, 皮丕辉, 等. 溶胶凝胶法制备超疏水二氧化硅涂膜及其表面润湿行为[J]. 无机化学学报, 2010, 26(10): 1810-1814.
- [7] Xue C H, Jia S T, Chen H Z, et al. Superhydrophobic cotton fabrics prepared by sol-gel coating of TiO_2 and surface hydrophobization [J]. Science and Technology of Advanced Materials, 2008(9): 1-5.
- [8] Sun Q F, Lu Y, Liu Y X. Growth of hydrophobic TiO_2 on wood surface using a hydrothermal method[J]. Journal of Material Science, 2011, 46(24): 7706-7712.
- [9] Li Z X, Xing Y J, Dai J J. Superhydrophobic surfaces prepared from water glass and non-fluorinated alkylsilane on cotton substrates [J]. Applied Surface Science, 2008, 30(7): 2131-2135.
- [10] Wang H X, Ding J, Xue Y H, et al. Superhydrophobic fabrics from hybrid silica sol-gel coatings: Structural effect of precursors on wettability and washing durability[J]. Journal of Material Research, 2010, 25(7): 1336-1343.

(责任编辑 张一萍)

- [2] 郝华涛, 张志刚. 人工林日本落叶松木材物理力学性质的研究[J]. 林业科技开发, 2002, 16(3): 38-40.
- [3] 李霞镇, 钟永, 任海青. 现代木结构螺栓连接性能及其影响因素研究现状[J]. 世界林业研究, 2012, 25(4): 52-57.
- [4] 黄绍胤, 洪敬源, 余培明. 木结构螺栓连接中销槽木材承压和钢销抗弯的强度[J]. 重庆建筑工程学院学报, 1986(1): 11-17.
- [5] 刘柯珍, 王朝晖, 黄仲华. 木结构螺栓连接研究进展[J]. 木材加工机械, 2011(1): 40-42.
- [6] Smith Ian, Luke R J, Whale, Colin Anderson, et al. Design properties of laterally loaded nailed or bolted wood joints [J]. Canadian Journal of Civil Engineering, 1988, 15(4): 633-643.
- [7] Douglas R Rammer. Parallel-to-grain dowel-bearing strength of two Guatemalan hardwoods[J]. Forest Products Journal, 1999, 49(6): 77-87.
- [8] Douglas R Rammer, S G Winistorfer. Effect of moisture content on dowel-bearing strength[J]. Wood and Fiber Science, 2001, 33(1): 126-139.
- [9] Douglas R Rammer, S G Winistorfer. Effect of moisture content on wet-web tensile properties[J]. Wood and Fiber Science, 2002, 33(1): 384-387.

(责任编辑 向 琴)