

文章编号:1673-2049(2016)01-0120-07

湿度对胶合木销槽承压强度的影响试验

马贵进,徐德良,陆伟东,刘伟庆,宋佳程

(南京工业大学 土木工程学院,江苏 南京 211816)

摘要:为了研究湿度对胶合木销槽承压强度的影响,选取湿度分别为50%,70%,90%,木材纹理方向分别为顺纹、斜纹、横纹的45个胶合木试件进行销槽承压强度试验,并将试验结果与各国规范公式计算结果进行比较。结果表明:试件销槽承压破坏模式与胶合木纹理方向有关;相对湿度线性增长时,销槽承压强度与试件初始刚度呈现非线性下降趋势;根据规范公式计算的试件销槽承压强度与试验值吻合度较差,需要进一步优化现有规范公式。

关键词:胶合木;湿度;破坏模式;销槽;承压强度;初始刚度

中图分类号:TU366.3

文献标志码:A

Experiment on Effect of Humidity on Dowel Bearing Strength of Glued Laminated Timber

MA Gui-jin, XU De-liang, LU Wei-dong, LIU Wei-qing, SONG Jia-cheng

(College of Civil Engineering, Nanjing Tech University, Nanjing 211816, Jiangsu, China)

Abstract: In order to study the effect of humidity on dowel bearing strength of glued laminated timber, 45 specimens of glued laminated timber including three kinds of humidity (50%, 70% and 90%) and three kinds of grain direction (longitudinal grain, diagonals grain, horizontal grain) were chosen in dowel bearing strength test, and the comparison between experimental results and the calculated results according to international standard formula was given. The results show that failure mode is related to the grain direction of glued laminated timber. With the linear growth of relative humidity, the dowel bearing strength and initial stiffness exhibit the trend of nonlinear decline. The calculated values of dowel bearing strength according to the existing standard formula are in poor agreement with the test values, so the existing standard formula needs to be optimized furtherly.

Key words: glued laminated timber; humidity; failure mode; dowel; bearing strength; initial stiffness

0 引言

胶合木结构节点连接是结构设计的重要内容之一,节点连接的可靠性和有效性对木结构整体性能有着非常重要的影响^[1-4]。螺栓类连接是木结构中常用节点连接形式,具有诸多优点,已在现代木结构

中广泛应用^[5-10]。Hansson^[11]在木结构倒塌调查案例中发现,23%的结构破坏始于节点,而其中超过50%是螺栓节点破坏。螺栓连接最基本的力学指标是销槽承压强度,而对于销槽承压强度的研究,主要针对木材材性(密度、含水率)和螺栓直径等。

Hwang等^[12]对4种工程木(胶合木、单板层积

收稿日期:2015-06-22

基金项目:国家林业公益性行业科研专项项目(201304504)

作者简介:马贵进(1989-),男,江苏南京人,工学硕士研究生,E-mail:guijin_ma@163.com。

木、单板条层积木、长条刨片层积木)在不同的加载方向及不同螺栓直径下的销槽承压强度进行试验研究。通过试验发现:4 种工程木产品的销槽承压强度随螺栓直径增大而减小;销槽承压初始刚度随螺栓直径增大而降低。Wilkinson^[13]针对木材密度、螺栓直径及加载方向等对顺纹、横纹销槽承压强度的影响进行试验研究。试验结果表明:顺纹及横纹销槽承压强度随密度增大而增大,随螺栓直径增加而下降,并提出了顺纹和横纹销槽承压强度的计算公式,为美国木结构设计规范奠定了基础。Sawata 等^[14]通过试验研究了钢销直径和木材密度对销槽承压强度的影响,结果表明:顺纹及横纹销槽承压强度随密度增加而增加;5%直径偏移法得到销槽承压强度与直径无关,5 mm 位移偏移法得出其强度随螺栓直径增大而增大。Whale 等^[15]对针叶材、阔叶材、胶合板和加压木材纤维板的顺纹销槽承压强度进行了大量试验研究,得到的结论为顺纹销槽承压强度随着钢销直径增大而降低。黄绍胤等^[16]通过试验对中国冷杉销连接进行销槽承压试验研究,其结论是销连接顺纹销槽承压强度为含水率在 15% 时的木材标准试件顺纹抗压强度的 0.938 倍。刘柯珍^[17]通过试验研究了木材密度和螺栓直径对中国产落叶松胶合木销槽承压强度的影响,结果发现顺纹和横纹销槽承压强度都随木材密度增大而增大,随螺栓直径增大而减小,但顺纹销槽承压强度下降幅度较横纹小,可忽略不计,即认为顺纹销槽承压强度不受螺栓直径影响。Rammer 等^[18]通过试验研究了 4 种含水率(4%,6%,12%,19%)对顺纹销槽承压强度的影响,结果表明:销槽承压强度与含水率呈负相关的关系,并拟合出销槽承压强度与含水率的关系式。Kim 等^[19]研究了含水率区间在 10.77%~89.92%,螺栓直径为 6,12,18,24 mm 时柳杉的销槽承压强度。试验结果表明:销槽承压强度随螺栓直径增大而减小,随含水率升高而降低。

在欧洲、加拿大和美国木结构设计规范^[20-21]中,使用环境修正系数来考虑此类因素对本结构节点及构件设计的影响作用。在中国木结构相关规范^[22-23]中,环境因素对节点及销槽承压强度的影响未做详细说明。由此可见,对木结构销槽承压强度有待深入研究。

1 试验概况

1.1 试件设计

花旗松胶合木销槽承压强度试件设计参照

ASTM D 5674-97a(2002)^[24]规范,设计 3 组(顺纹、横纹、斜纹)45 个试件,试件示意见图 1。试件制作主要过程如下:在初始尺寸为 120 mm×60 mm×50 mm 的试件中心钻取直径为 9.6 mm 的螺栓孔,然后沿孔中心切割,得到试验所需试件,最终试件尺寸为 60 mm×60 mm×50 mm,销槽承压试件见图 2。

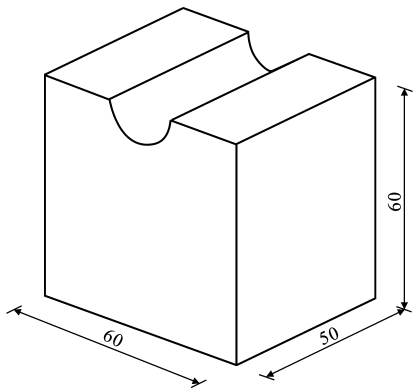


图 1 试件示意(单位:mm)

Fig. 1 Schematic of Specimen (Unit:mm)



图 2 销槽承压试件

Fig. 2 Dowel Bearing Specimen

1.2 材料力学性能

试验所用材料包括胶合木、螺栓,其中胶合木采用花旗松木材制备。根据《木材密度测定方法》(GB/T 1993—2009)^[25],测得胶合木气干状态下的密度平均值为 0.48 g·cm⁻³,螺栓采用 M8.8 级高强螺栓,公称直径为 8 mm。螺栓抗弯强度根据 ASTM D 5652-1995^[26]进行测定,其抗弯强度平均值为 799.3 MPa。

1.3 环境模拟

胶合木销槽承压试件放置在恒温恒湿试验箱内,每种湿度下温度保持恒定,湿度设置成 50%,70%,90%,待试件含水率平衡后取出进行试验,在试件取出时用保鲜膜包裹,以防止外界环境的干扰。

1.4 试验加载和量测内容

试验依据 ASTM D 5764-97a(2002)规范进行。在万能试验机上进行销槽承压强度试验。试验方法是 将 8 mm 直径的螺栓放置在试件的半圆孔中,然后在螺栓上施加一恒定压力。按照 ASTM D 5764-97a(2002)规范的要求,为确保试件在 1~10 min 之内达到最大荷载或使整个螺栓嵌入试件销槽中,试验以 $1.0 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 的速度进行加载,加载装置如图 3 所示。当试件达到极限荷载或者发生破坏时,试验停止。



图 3 销槽承压试验装置

Fig. 3 Bearing Test Setup of Dowel

试验过程中主要量测力和螺栓与销槽相对位移,可以从加载装置和电脑端直接得到数据。

2 试验结果及其分析

2.1 试验过程和破坏形态分析

试验开始之前利用保鲜膜将销槽承压试件包裹住,防止外界环境干扰。开始试验时,试件先定位好之后可将保鲜膜揭开,进行销槽承压试验。

通过试验可知,在湿度为 50%,70%,90%时,花旗松胶合木销槽承压破坏形态与木材纹理方向有关,破坏形态如图 4 所示。

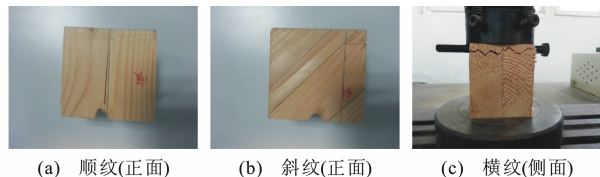


图 4 销槽破坏形态

Fig. 4 Failure Modes of Dowels

由图 4 可见:顺纹销槽承压时,试件沿顺纹方向开裂,销槽发生破坏[图 4(a)];斜纹销槽承压时,沿销槽方向产生嵌入变形[图 4(b)];横纹销槽承压时,在试件槽孔两侧产生齿形裂纹[图 4(c)]。

2.2 销槽力-位移曲线

销槽力-位移曲线如图 5 所示。试件编号中,R 后面的数字表示湿度,S 表示顺纹,X 表示斜纹,H 表示横纹。由图 5 可知,在湿度为 50%,70%,90%时,顺纹试件销槽承压极限荷载和初始刚度最大,斜纹试件居中,横纹试件最小。

湿度由 50%增加到 70%和 90%时,顺纹试件销槽力-位移曲线形式基本不变,曲线趋于平缓;在湿度为 50%和 70%时曲线初始刚度基本一致;在湿度为 90%时刚度开始下降,试件表现为脆性破坏模式。加载初期,曲线呈现出非线性,主要是由于初始误差及试验时螺栓与销槽之间的空隙引起。随着荷载持续增加,空隙消除,试件处于线弹性阶段,曲线呈现线性。荷载增加,试件槽孔两端局部产生塑性变形并且出现细微裂纹,此时仍能继续加载,但是由于裂纹的扩展导致整个试件在顺纹方向裂纹延伸,销槽失去承载能力,试件进入破坏阶段。

湿度由 50%增加到 70%和 90%时,斜纹销槽承压的曲线形态基本不变,曲线趋于平缓,曲线初始刚度逐渐变小,试件表现为脆性破坏模式。加载初期,试件较快地进入线弹性阶段,随着荷载持续增加,试件销槽承受螺栓的挤压,在销槽两端产生明显的嵌入变形;荷载达到最大值时,嵌入变形加剧,试件最终破坏。

湿度由 50%增加到 70%和 90%时,横纹销槽承压曲线形态基本不变,曲线趋于平缓,曲线初始刚度逐渐变小,试件表现为脆性破坏模式。试件加载初期曲线形态与顺纹相似,随着荷载增加,曲线进入线弹性阶段,但此阶段过程较短,主要由于木材的横纹抗压强度比顺纹抗压强度低;在荷载持续增加的情况下,试件销槽两侧产生裂纹并形成齿形裂纹,进而试件两端出现翘曲现象。此时,试件无法继续加载,试件进入破坏阶段。

2.3 销槽承压强度分析

采用 5%直径偏移法确定销槽承压屈服荷载,如图 6 所示^[27],其中, P 为荷载, Δ 为偏移量, P_u 为极限荷载, P_y 为屈服荷载。

销槽承压强度的计算公式为

$$f_e = \frac{f_y t}{d} \quad (1)$$

式中: f_e 为销槽承压强度; f_y 为销槽屈服强度; d 为螺栓直径; t 为销槽承压试件厚度。

花旗松胶合木销槽承压强度计算结果见表 1。

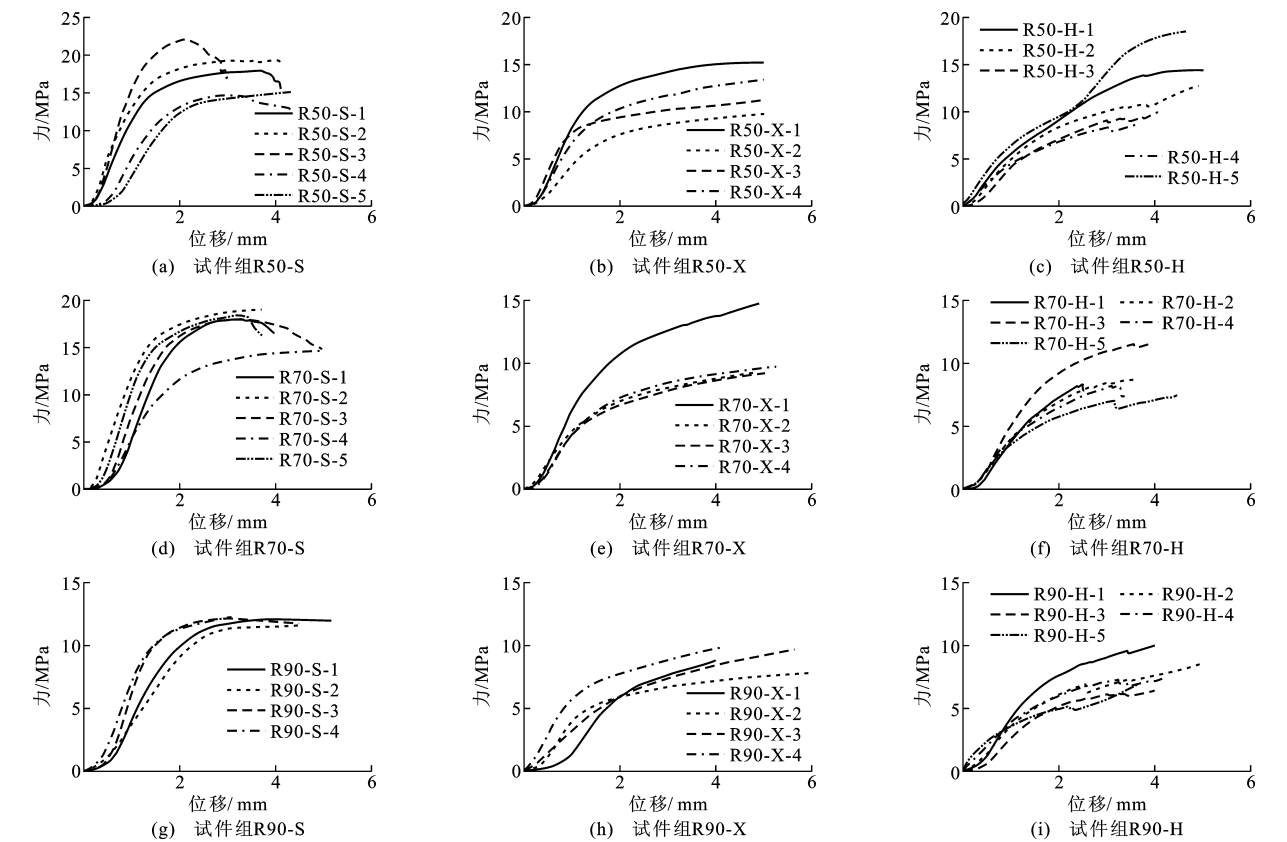


图 5 销槽力-位移曲线

Fig. 5 Load-displacement Curves for Dowel

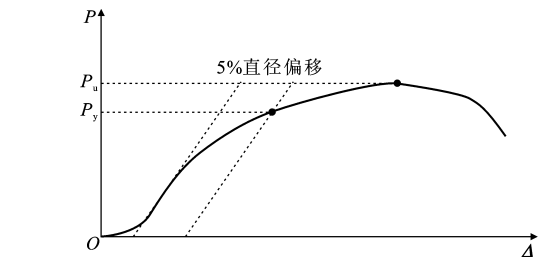


图 6 屈服荷载试验值取法

Fig. 6 Method of Evaluating Yield Load Test

表 1 花旗松胶合木销槽承压强度计算结果

Tab. 1 Calculation Results of Dowel Bearing Strength for Glulam of Douglas Fir

湿度/%	纹理方向	含水率/%	f_e /MPa	初始刚度/ ($\text{kN} \cdot \text{mm}^{-1}$)
50	顺纹	10.0	41.52	13.989 4
	斜纹	9.7	24.45	9.362 4
	横纹	9.5	19.12	6.114 1
70	顺纹	12.3	39.03	13.987 0
	斜纹	12.1	19.03	6.688 6
	横纹	12.5	17.84	5.406 2
90	顺纹	16.3	27.25	8.923 3
	斜纹	16.0	16.19	6.318 6
	横纹	15.8	14.20	4.612 2

2.4 湿度和含水率对销槽承压强度的影响

图 7 为胶合木纹理方向、湿度和含水率与销槽承压强度的关系。从图 7 及表 1 可以看出:同一湿度条件下,销槽承压强度按顺纹、斜纹、横纹的顺序呈现非线性下降趋势,见图 7(a);随着湿度线性增大,木材的含水率也随之增大,见表 1 和图 7(b);3 种纹理方向的花旗松胶合木销槽承压强度在湿度与含水率增大的情况下出现非线性降低,见图 7(c);当湿度为 50%时,顺纹、斜纹、横纹销槽承压强度分别为 41.52,24.45,19.12 MPa;当湿度达到 70%时,顺纹、斜纹、横纹销槽承压强度分别下降 6%,34.37%,6.7%;当湿度达到 90%时,顺纹、斜纹、横纹销槽承压强度分别下降 25.73%,26%,22%。可见湿度在 90%时,顺纹与横纹销槽承压强度下降最明显,均可以达到 20%以上,而斜纹在湿度为 70%,90%时其销槽承压强度下降也较为明显。顺纹试件在湿度为 50%,70%时的初始刚度趋于一致,但在湿度为 90%时刚度下降幅度为 36.2%;斜纹试件在湿度为 50%时的刚度最大,湿度为 70%,90%时刚度下降幅度分别为 28.76%,32.5%;横纹试件在湿度为 50%时的刚度最大,当湿度增加到 70%,90%时,刚度降低幅度分别为 11.6%,24.6%。

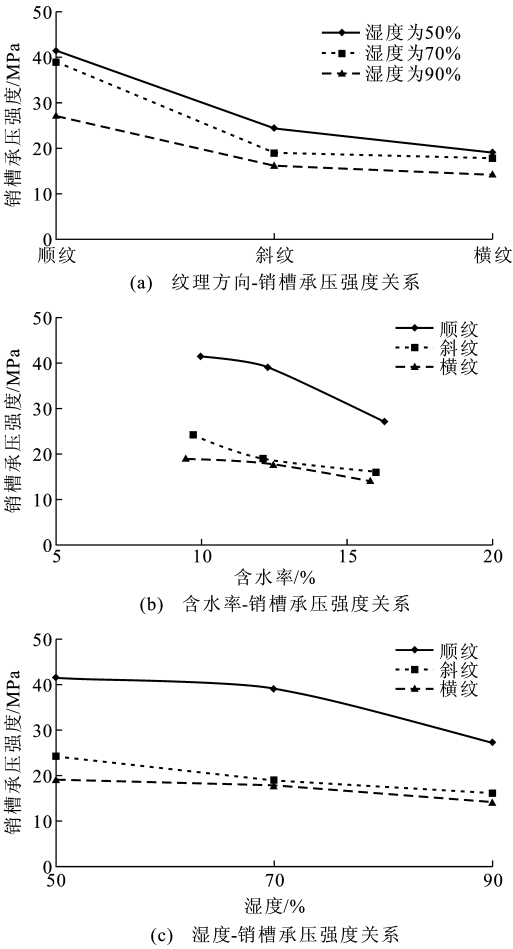


图 7 胶合木纹理方向、湿度、含水率与销槽承压强度的关系

Fig. 7 Relations of Grain Direction, Humidity, Moisture Content of Glued Laminated Timber and Dowel Bearing Strength

3 计算方法

3.1 各国木材销槽承压强度计算公式

(1)《胶合木结构技术规范》(GB/T 50708—2012)^[23]中销槽承压强度计算公式如下。

木材顺纹销槽承压强度 $f_{e,0}$ 为

$$f_{e,0} = 77G \tag{2}$$

木材横纹销槽承压强度 $f_{e,90}$ 为

$$f_{e,90} = \frac{212G^{1.45}}{\sqrt{d}} \tag{3}$$

木材斜纹销槽承压强度 $f_{e,45}$ 为

$$f_{e,45} = \frac{f_{e,0} f_{e,90}}{f_{e,0} \sin^2(\theta) + f_{e,90} \cos^2(\theta)} \tag{4}$$

式中: G 为主构件材料的全干相对密度; θ 为倾角。

(2)美国木结构设计规范 ANSI/AF & PA NDS-2005^[21]中销槽承压强度计算公式如下。

木材顺纹销槽承压强度为

$$f_{e,0} = 77.25G \tag{5}$$

木材横纹销槽承压强度为

$$f_{e,90} = \frac{212G^{1.45}}{\sqrt{d}} \tag{6}$$

木材斜纹销槽承压强度为

$$f_{e,45} = \frac{f_{e,0} f_{e,90}}{f_{e,0} \sin^2(\theta) + f_{e,90} \cos^2(\theta)} \tag{7}$$

(3)欧洲木结构设计规范 EN 1995-1-1:2004^[8]中销槽承压强度计算公式如下。

木材顺纹销槽承压强度为

$$f_{e,0} = 0.082(1 - 0.01d)\rho_k \tag{8}$$

式中: ρ_k 为木材特征密度。

当螺栓的荷载作用方向与木材纹理方向的夹角为 α 时,木材销槽承压强度 $f_{e,\alpha}$ 为

$$f_{e,\alpha} = \frac{f_{e,0}}{K_{90} \sin^2(\alpha) + \cos^2(\alpha)} \tag{9}$$
$$K_{90} = \begin{cases} 1.35 + 0.015d & \text{软木} \\ 1.30 + 0.015d & \text{单板层积木} \\ 0.90 + 0.015d & \text{硬木} \end{cases}$$

当 $\alpha = 90^\circ$ 时, $f_{e,\alpha}$ 为横纹销槽承压强度; 当 $\alpha = 45^\circ$ 时, $f_{e,\alpha}$ 为斜纹销槽承压强度。

(4)加拿大木结构设计规范 CSA O86-09-2009中销槽承压强度计算公式如下。

木材顺纹销槽承压强度为

$$f_{e,0} = 50G(1 - 0.01d) \tag{10}$$

木材横纹销槽承压强度为

$$f_{e,90} = 22G(1 - 0.01d) \tag{11}$$

木材斜纹销槽承压强度 $f_{e,\theta}$ 为

$$f_{e,\theta} = \frac{f_{e,0} f_{e,90}}{f_{e,0} \sin^2(\theta) + f_{e,90} \cos^2(\theta)} \tag{12}$$

由公式(2)~(12)可知, 现有规范关于木材销槽承压强度的计算公式均未考虑湿度的影响。

3.2 各国木材销槽承压强度计算结果比较

将木材销槽承压强度试验值与公式计算值进行比较, 结果如表 2 所示。从表 2 可以看出, 未考虑湿度影响的规范公式未能很好地预测销槽承压强度。除加拿大 CSA O86-09-2009 规范能够较好地预测湿度在 70% 和 90% 时胶合木的销槽承压强度外, 其余规范计算出的误差都较大, 相对误差范围为 30%~140%。

考虑湿度影响的 Rammer 和 Kim 公式仅预测顺纹方向的销槽承压强度, 未能预测斜纹和横纹方向的销槽承压强度。Rammer 公式预测值与试验值相对误差分别为 33.6%, 9.7%, 15.3%。

表 2 销槽承压强度计算结果

Tab. 2 Calculation Results of Dowel Bearing Strength

湿度/%	数据来源	承压强度计算值/MPa			承压强度试验值/MPa			相对误差/%		
		顺纹	斜纹	横纹	顺纹	斜纹	横纹	顺纹	斜纹	横纹
50	文献[23]	38.5	31.7	27.4	28.73	16.69	14.54	34.0	89.9	88.7
	文献[21]	38.6	32.1	27.4				34.5	92.3	88.7
	文献[20]	34.1	27.6	23.2				18.8	65.6	59.6
	文献[4]	23.0	14.1	10.1				51.1	15.8	30.4
	文献[18]	38.4						33.6		
70	文献[23]	38.5	31.7	27.4	32.24	12.62	11.73	19.4	151.1	133.8
	文献[21]	38.6	32.1	27.4				19.8	161.7	133.8
	文献[20]	34.1	27.6	23.2				6.0	118.9	97.9
	文献[4]	23.0	14.1	10.1				28.7	11.4	13.7
	文献[18]	35.5						9.7		
90	文献[23]	38.5	31.7	27.4	26.30	15.80	12.25	46.4	100.6	123.9
	文献[21]	38.6	32.1	27.4				46.9	103.0	123.9
	文献[20]	34.1	27.6	23.2				29.8	74.9	89.5
	文献[4]	23.0	14.1	10.1				12.5	11.0	17.4
	文献[18]	30.3						15.3		

由此可见,不同纹理方向、不同湿度条件下的销槽承压强度有待进一步研究,以便建立统一的设计方法。

4 结 语

(1)湿度在 50%,70%,90%时试件销槽承压破坏模式与胶合木纹理方向有关,跟湿度的相关性不显著。顺纹销槽承压时,螺栓嵌入销槽,试件沿顺纹方向开裂;斜纹销槽承压时,螺栓嵌入销槽,销槽破坏,沿销槽出现嵌入变形;横纹销槽承压时,螺栓嵌入销槽,销槽孔左右两边胶合木出现齿形裂纹。

(2)在相同湿度下,不同纹理方向的试件销槽承压强度与初始刚度不同。3 种纹理方向的花旗松胶合木销槽承压强度在湿度与含水率增大的情况下出现下降;3 种纹理方向的试件在湿度达到 90%时,其初始刚度下降最为明显,下降幅度达到 30%。

(3)现有规范及相关文献给出的销槽承压强度计算公式计算值与试验值误差较大,需要建立统一的公式预测不同纹理方向、不同湿度下的销槽承压强度。

参考文献:

References:

[1] 木结构设计手册编辑委员会. 木结构设计手册[M]. 3 版. 北京:中国建筑工业出版社,2005.
Editorial Committee of Timber Engineering Manual. Timber Engineering Manual [M]. 3rd ed. Beijing:

China Architecture & Building Press,2005.
[2] 何敏娟,LAM F,杨 军,等. 木结构设计[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2008:66-94.
HE Min-juan,LAM F, YANG Jun,et al. Timber Engineering[M]. Beijing:China Architecture & Building Press,2008.
[3] 潘景龙,祝恩淳. 木结构设计原理[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2009.
PAN Jing-long,ZHU En-chun. Principle of Timber Engineering[M]. Beijing:China Architecture & Building Press,2009.
[4] CSA O86-09-2009,Engineering Design in Wood[S].
[5] 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.
LI Xia-zhen,ZHONG Yong,REN Hai-qing. Review on Performance and Impact Factors of Bolted Connection in Modern Wood Structure[J]. World Forestry Research,2012,25(4):52-57.
[6] 陈恩灵,费本华. 木结构金属连接件连接性能的研究现状[J]. 木材工业,2008,22(3):9-12.
CHEN En-ling,FEI Ben-hua. Review on Performance of Metal Connectors in Wood Frame Structures[J]. China Wood Industry,2008,22(3):9-12.
[7] 张俊珍,钟 永,赵荣军,等. 木结构螺栓连接的力学性能研究进展[J]. 木材工业,2012,26(4):39-52.
ZHANG Jun-zhen,ZHONG Yong,ZHAO Rong-jun, et al. Reviews of Mechanical Properties for Timber Bolted Joints[J]. China Wood Industry,2012,26(4):

- 39-52.
- [8] SOLTIS L A, HUBBARD F K, WILKINSON T L. Bearing Strength of Bolted Timber Joints[J]. Journal of Structural Engineering, 1986, 112(9): 2141-2154.
- [9] DOM M, DE BORST K, EBERHARDSTEINER J. Experiments on Dowel-type Timber Connections[J]. Engineering Structures, 2013, 47(1): 67-80.
- [10] XU B H, BOUCHAIR A, TAAZOUNT M, et al. Numerical and Experimental Analyses of Multiple-dowel Steel-to-timber Joints in Tension Perpendicular to Grain[J]. Engineering Structures, 2009, 31(10): 2357-2367.
- [11] HANSSON E F. Analysis of Structural Failures in Timber Structures: Typical Causes for Failure and Failure Modes[J]. Engineering Structures, 2011, 33(11): 2978-2982.
- [12] HWANG K, KOMATSU K. Bearing Properties of Engineered Wood Products I: Effects of Dowel Diameter and Loading Direction[J]. Journal of Wood Science, 2002, 48(4): 295-301.
- [13] WILKINSON T L. Dowel Bearing Strength [R]. Washington DC: United States Department of Agriculture, 1991.
- [14] SAWATA K, YASUMURA M. Determination of Embedding Strength of Wood for Dowel-type Fasteners [J]. Journal of Wood Science, 2002, 48(2): 138-146.
- [15] WHALE L R J, SMITH I, LARSEN H J. Design of Nailed and Bolted Joints Proposals for the Revision of Existing Formulae in Draft Eurocode 5 and the CIB Code[C]//CIB. Proceedings of the CIB-W18 Meeting 20. Dublin; CIB, 1987: 20-26.
- [16] 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, 30(1): 11-17.
HUANG Shao-yin, HONG Jing-yuan, YU Pei-ming. Bearing and Bending Strength of Pin Connections in Timber Structure[J]. Journal of Chongqing College of Architecture and Civil Engineering, 1986, 30(1): 11-17.
- [17] 刘柯珍. 落叶松胶合木梁柱连接节点设计与承载性能评价[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2011.
LIU Ke-zhen. Connection Design and Bearing Performance Evaluation for Larch Laminated Wood Beams and Columns[D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2011.
- [18] RAMMER D R, WINISTORFER S G. Effect of Moisture Content on Dowel-bearing Strength [J]. Wood and Fiber Science, 2001, 33(1): 126-139.
- [19] KIM C K, OH J K, LEE J J. Effect of Moisture Content on Performance of Dowel-type Connection[C]//WCTE. Proceedings of the 11th World Connection Timber Engineering. Trentino: WCTE, 2010: 259-266.
- [20] EN 1995-1-1: 2004, Eurocode 5. Design of Timber Structures. Part 1-1: General Common Rules and Rules for Buildings[S].
- [21] ANSI/AF & PA NDS-2005, National Design Specification for Wood Construction[S].
- [22] GB 50005—2003, 木结构设计规范[S].
GB 50005—2003, Code for Design of Timber Structures[S].
- [23] GB/T 50708—2012, 胶合木结构技术规范[S].
GB/T 50708—2012, Technical Code of Glued Laminated Timber Structures[S].
- [24] ASTM D 5764-97a(2002), Standard Test Method for Evaluating Dowel-bearing Strength of Wood and Wood-based Products[S].
- [25] GB/T 1993—2009, 木材密度测定方法[S].
GB/T 1993—2009, Method for Determination of the Density of Wood[S].
- [26] ASTM D 5652-1995, Standard Test Methods for Bolted Connections in Wood and Wood-based Products [S].
- [27] 李霞镇, 钟 永, 任海青. 现代竹结构中重组竹销的槽承压强度[J]. 林业科学, 2013, 49(3): 122-128.
LI Xia-zhen, ZHONG Yong, REN Hai-qing. Dowel-bearing Strength of Recombinant Bamboo in Modern Bamboo Structure[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2013, 49(3): 122-128.