

意杨旋切板胶合木销槽承压强度的试验研究

郭燕霏, 王安涟, 邹新兴, 刘雁

扬州大学建筑科学与工程学院, 江苏 扬州
Email: Liuyan@yzu.edu.cn

收稿日期: 2021年8月15日; 录用日期: 2021年9月10日; 发布日期: 2021年9月17日

摘要

意杨旋切板胶合木(简称意杨LVL)是一种新型工程木, 具有出材率高、强度高、变异性小、尺寸不受限制等优点, 但该工程木在土建领域的应用却较少。因此, 对影响意杨LVL螺栓连接性能的销槽承压性能进行试验研究, 以期探索扩展意杨LVL在建筑工程中的应用。共设计制作了3组尺寸为90 mm × 90 mm × 40 mm的半孔承压试件, 每组10个, 测试螺杆直径为8 mm、10 mm、12 mm时试件的销槽承压强度。试验发现, 破坏时销槽孔壁均发生局部压溃皱褶; 试件半孔下方受拉裂缝随螺杆直径增大而变大; 螺杆直径越小, 抗压强度越大。最后对销槽承压强度进行了理论计算, 得出中国及美国规范的销槽承压强度计算结果与试验值吻合最好。

关键词

意杨LVL, 螺杆直径, 试验, 销槽承压, 理论计算

Experimental Study on Bearing Strength of Pin Groove of the Poplar LVL

Yanfei Guo, Anlian Wang, Xinxing Zou, Yan Liu

College of Civil Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou Jiangsu
Email: Liuyan@yzu.edu.cn

Received: Aug. 15th, 2021; accepted: Sep. 10th, 2021; published: Sep. 17th, 2021

Abstract

Poplar Laminated Veneer Lumber (Poplar LVL) is a new type of Engineering timber, which has the advantages of high outturn percentage, high strength, small variability and unrestricted size, but it is seldom used in the field of civil engineering. Therefore, in order to explore and expand the ap-

plication of Poplar LVL in construction engineering, the pressure bearing performance of pin groove which affects the performance of Poplar LVL bolt connection was studied. Three groups of 90 mm × 90 mm × 40 mm half hole pressure bearing specimens with 10 in each group were designed and manufactured. The pin groove bearing strength of the specimens was tested when the screw diameter was 8 mm, 10 mm and 12 mm. It is found that the pin slot hole wall has local collapse and wrinkle when the specimen is damaged; the tensile crack under the half hole increases with the increase of screw diameter; the smaller the screw diameter, the greater the compressive strength. Finally, the bearing strength of pin groove is calculated theoretically, and it is concluded that the calculated results of pin groove bearing strength in Chinese and American codes are in good agreement with the experimental values.

Keywords

Poplar Laminated Veneer Lumber, Screw Diameter, Experiment, Pin Groove Compression, Theoretical Calculation

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

21 世纪, 国家在发展经济的同时更注重环境保护, 绿色建筑与绿色建材已逐渐成为国家积极倡导的发展方向。十九届五中全会提出了“推动绿色发展, 促进人与自然和谐共生”的要求, 国家及有关省市颁布的《绿色建筑设计标准》, 为新型木结构的健康发展带来了不可多得的机遇。

意杨旋切板胶合木是一种新型工程木, 它是利用小径级速生杨木经旋切、干燥、涂胶、单板顺纹组坯、胶合热压而成的工程材料, 具有出材率高、强度高、变异性小、尺寸不受限制等优点。意杨在江苏、山东等地资源丰富, 为意杨 LVL 的生产和应用提供了持续和可靠的资源保障[1]。为了更好地将其应用于建筑工程领域, 本文主要对影响意杨 LVL 螺栓连接性能的销槽承压性能进行了试验研究。

目前国内外对于木结构螺栓连接性能及销槽承压强度的研究已取得较多成果。

Johansen [2]认为销钉式紧固件的承载能力需要同时满足紧固件的屈服力矩和木结构的销槽承压强度, 并提出了“屈服理论”; 后来的学者又根据“屈服理论”推导得到了单个螺栓的对称和反对称连接承载力计算公式; Mc Lain 和 Thangjitham [3]将销槽承压塑性模型和 Johansen 的“屈服理论”结合, 推导得到了螺栓连接的理论计算公式, 并通过试验验证了公式的正确性, 同时还得出螺栓预紧力对螺栓承载力具有提高作用的结论。

Carmen Sandhaas 和 Jan-Willem van de Kuilen [4]等人利用连续损伤的本构模型模拟抗拉、抗压试件和销槽承压试件的承载力和破坏形式, 模拟结果和试验结果基本符合, 该模型不仅可以模拟针叶材的力学性能, 也能够模拟欧洲和热带地区的阔叶材的力学性能。

周巍宇[5]进行了落叶松胶合木销槽承压强度和螺栓连接节点的受力性能试验研究, 分析得到顺纹方向承压的销槽屈服强度远大于横纹方向, 且屈服荷载增加 50%~90%, 钢销直径是影响销槽承压强度的重要因素。

唐红元[6]通过对 64 组共计 128 个加拿大铁杉 CLT 试件开展半孔静力加载试验, 得到试件的荷载 - 位移曲线、破坏模态和销槽承压强度, 分析了销栓直径、销栓与拼缝的位置关系、加载角度等多种变量

对 CLT 销槽承压强度的影响。

王雪婷[7]分析了国内外学者对于木材及正交胶合木在销槽承压强度等方面的相关研究现状，以期为这种新型工程用木产品的开发应用奠定理论基础。

这些研究成果对本文开展的研究工作，提供了不可多得的借鉴。

2. 试验概况

2.1. 试件设计

本文试件采用意杨 LVL 制作，通过材性试验，得到了意杨 LVL 的物理力学参数，见表 1 [8] [9]。

根据美国 ASTM D5764-97a [10] 试验标准，进行意杨 LVL 试件的销槽承压强度试验，试件均为半孔承压试件。试件尺寸为 90 mm × 90 mm × 40 mm，将 LVL 垂直于胶层方向定为试件厚度方向，尺寸为 40 mm；平行于胶层的顺纹方向为长度方向，尺寸为 90 mm；平行于胶层的横纹方向为宽度方向，尺寸为 90 mm，并在宽度方向开半孔，半孔直径略大于螺杆直径(图 1)。为考虑螺杆直径对 LVL 销槽承压性能的影响，分别进行了螺杆直径为 8 mm、10 mm、12 mm 的三组试件的销槽承压强度试验，每组 10 个试件，各组试件参数见表 2。

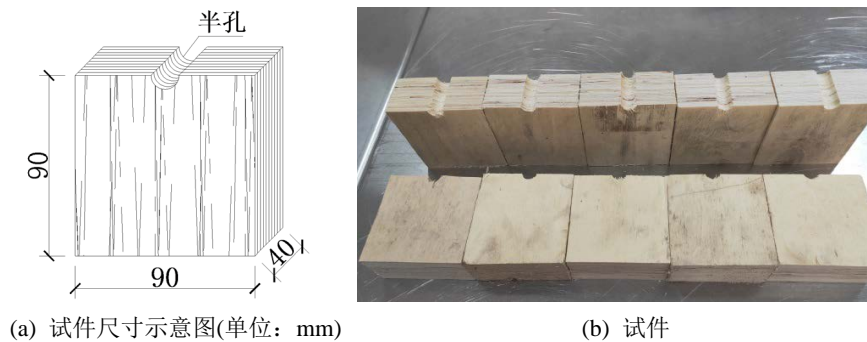


Figure 1. The pin groove specimen of Poplar LVL
图 1. 意杨 LVL 销槽承压试件

Table 1. Physical and mechanical parameters of Poplar LVL

表 1. 意杨 LVL 物理力学参数

含水率 (%)	密度 (g/cm ³)	顺纹抗拉强度 (MPa)	顺纹抗压强度 (MPa)	横纹抗压强度 (MPa)	抗弯弹性模量(MPa)		抗弯强度(MPa)	
					胶层水平	胶层竖直	胶层水平	胶层竖直
12.8	0.576	39.4	37.03	6.3	9877.3	10135.4	61.56	64.8

Table 2. Parameters of pin groove pressure bearing specimen

表 2. 销槽承压试件参数

编号	螺杆直径(mm)	长度(mm)	宽度(mm)	厚度(mm)	半孔直径(mm)	数量
1	8	90	90	40	9	10
2	10				11	10
3	12				13	10

2.2. 试验步骤

试验在扬州大学建筑科学与工程学院实验室进行(图 2)，采用 WDW-100 微控电子万能试验机完成试

验工作(图 3), 试验加载速度为 1 mm/min [10]。加载前先将意杨 LVL 销槽承压试件固定在加载台中央, 然后依次将直径为 8 mm、10 mm、12 mm 的三组螺杆放入半孔中。试验机压力通过承压板传递到螺杆, 当螺杆全部被压入试件或试件半孔下方出现较大受拉裂缝时, 停止加载。

2.3. 量测布置

试验过程中, 通过 0.05% FS 高稳定性、高精度的轮辐式拉压传感器和电子式引伸计记录加载过程中的荷载和螺杆位移。

3. 试验现象

在加载初期, 随着压力增大, 螺杆逐渐被压入 LVL 试件, 并在半孔承受荷载处产生初始裂缝, 随着荷载继续增加, 裂缝从初始裂缝处向下方持续扩展, 破坏时, 螺杆全部被压入 LVL 试件, 同时在半孔壁周围发现局部木片出现皱褶, 半孔正下方的受拉裂缝扩展延伸。

所有半孔销槽承压试件, 均出现了销槽孔壁局部压溃皱褶的现象。试件的销槽抗压强度随螺杆直径的增大而减小, 而半孔下方的受拉裂缝随螺杆直径的增大而变大(如图 4 所示)。这是由于螺杆传递给销槽孔壁压力产生的水平分力, 使得半孔下部木材纤维受拉, 随着螺杆直径的增大, 水平分力增加, 导致半孔下部受拉裂缝明显扩展。

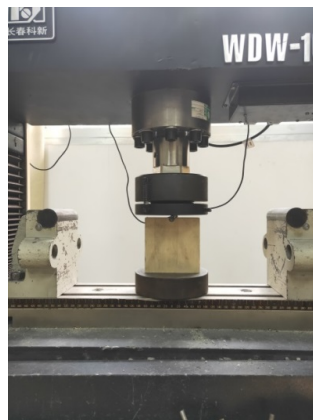


Figure 2. Pressure test of LVL half hole pin groove
图 2. LVL 半孔销槽承压试验

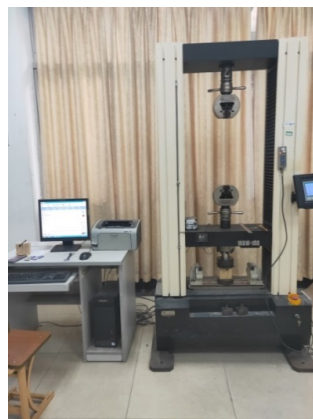


Figure 3. WDW-100 micro-control electronic universal testing machine
图 3. WDW-100 微控电子万能试验机

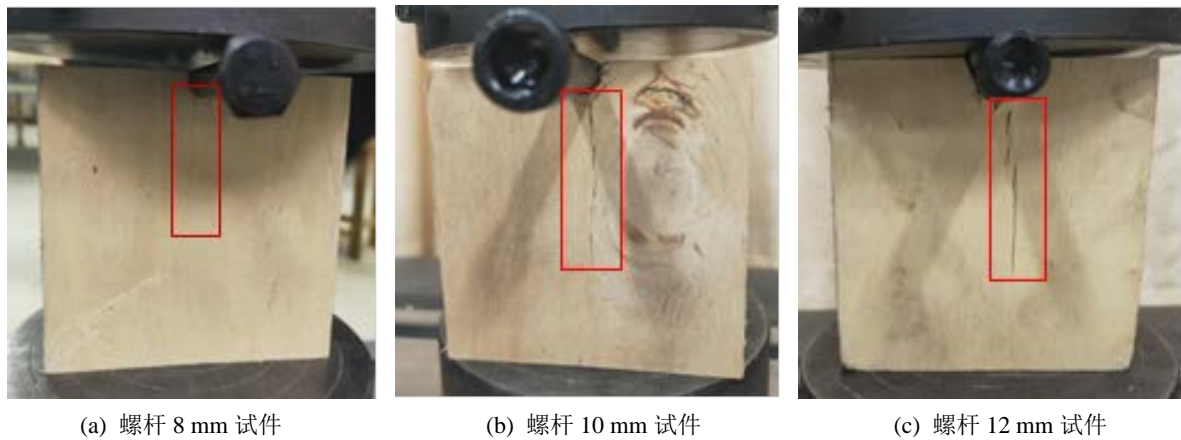


Figure 4. Destroy phenomenon of half hole pin groove under pressure test
图 4. 半孔销槽承压试验破坏现象

4. 试验结果

三组试验的荷载 - 位移曲线如图 5 所示。随着荷载增加，试件在弹性阶段的荷载 - 位移曲线呈线性增长，在达到极限荷载的 75% 左右时，试件进入弹塑性阶段，达到屈服阶段后，曲线基本保持水平，试件达到极限承载力。

依据 5% 螺栓直径偏移法，LVL 销槽承压屈服荷载的取值为荷载 - 位移曲线线性段按 5% 螺栓直径平移得到的直线，与曲线的交点对应的荷载。方法如图 6 所示。

LVL 销槽承压强度计算公式：

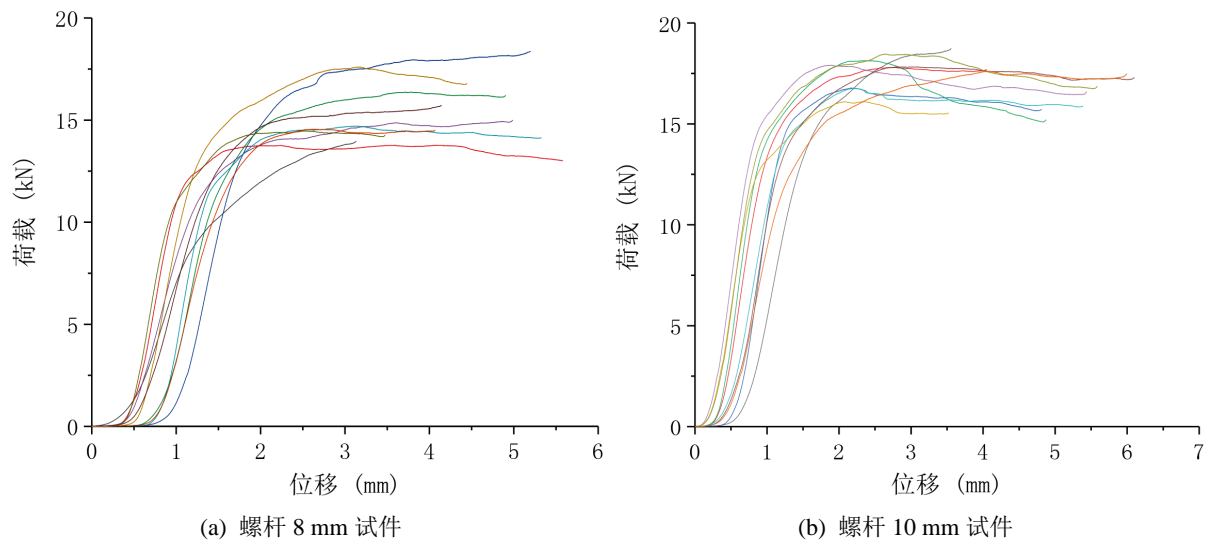
$$f_c = \frac{F_{\text{yield}}}{dt} \quad (1)$$

式中： f_c ——销槽承压强度(N/mm²)；

F_{yield} ——销槽承压的屈服荷载(N)；

d ——螺栓直径(mm)；

t ——试件厚度(mm)。



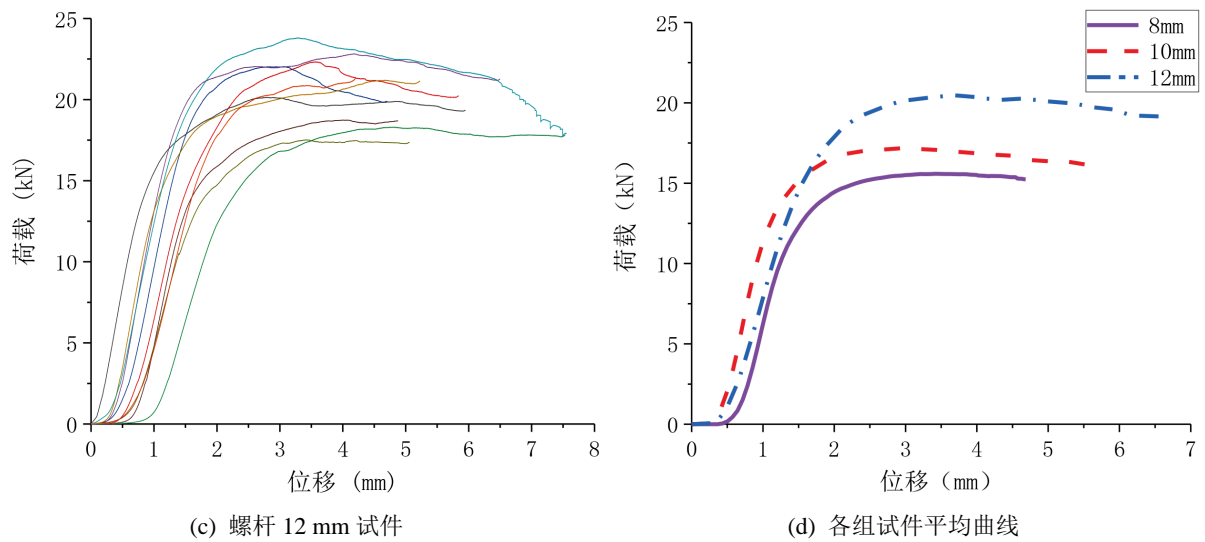


Figure 5. Load-displacement curve of semi-hole pin groove bearing test
图 5. 半孔销槽承压试验荷载 - 位移曲线

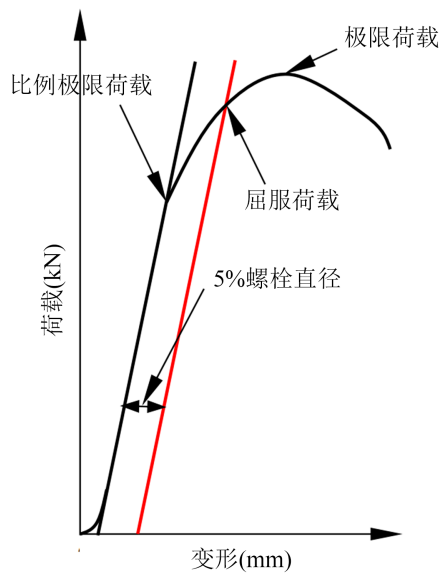


Figure 6. Load displacement curve of pin groove bearing test (5% bolt diameter offset method)
图 6. 销槽承压试验荷载 - 位移曲线(5%螺栓直径偏移法)

Table 3. Pressure test results of Poplar LVL
表 3. 意杨 LVL 销槽承压试验结果

螺栓直径(mm)	试件编号	极限荷载(kN)	屈服荷载(kN)	销槽承压强度(MPa)
8	1-1	17.53	15.21	47.53
	1-2	13.78	13.39	41.84
	1-3	18.04	15.78	49.31
	1-4	16.32	14.47	45.22
	1-5	14.51	13.75	42.97
	1-6	14.76	13.25	41.41

Continued

	1-7	17.55	15.13	47.28
	1-8	14.63	13.44	42.00
	1-9	15.63	14.16	44.25
	1-10	14.40	13.32	41.63
	平均值	15.72	14.19	44.34
	2-1	18.41	16.25	40.63
	2-2	17.75	16.32	40.80
	2-3	16.77	16.27	40.68
	2-4	18.14	16.51	41.28
	2-5	17.85	17.08	42.70
10	2-6	16.06	14.51	36.28
	2-7	16.73	15.91	39.78
	2-8	17.80	16.03	40.08
	2-9	18.43	16.70	41.75
	2-10	17.55	15.18	37.95
	平均值	17.55	16.08	40.19
	3-1	20.08	17.97	37.44
	3-2	22.31	20.51	42.73
	3-3	21.95	21.29	44.35
	3-4	18.29	16.72	34.83
	3-5	22.79	21.41	44.60
12	3-6	21.12	18.47	38.48
	3-7	23.82	22.23	46.31
	3-8	18.62	16.60	34.58
	3-9	17.41	16.05	33.44
	3-10	20.81	19.91	41.48
	平均值	20.72	19.12	39.83

根据 5% 螺栓直径偏移法计算所得意杨 LVL 销槽承压强度试验结果, 如表 3 所示。从表中可得, 该批次 LVL 的 8 mm 直径试件的销槽承压强度平均值为 44.34 MPa, 变异系数为 6.13%; 10 mm 直径试件的销槽承压强度平均值为 40.19 MPa, 变异系数为 4.40%; 12 mm 直径试件的销槽承压强度平均值为 39.83 MPa, 变异系数为 11.15%。

5. 意杨 LVL 销槽承压强度计算

中国木结构设计标准(GB 50005-2017) [11]中规定当外荷载与试件顺纹方向夹角小于 10°时, 销槽承压强度值取为木材的顺纹承压强度, 计算公式为:

$$f_{e,0} = f_{c,0} \quad (2)$$

中国《胶合木结构技术规范》[12]规定外荷载为木材顺纹方向时, 销槽承压强度计算公式为:

$$f_{e,0} = 77G \quad (3)$$

式中： G ——木材全干比重， kg/m^3 。

美国木结构设计规范 NDS [13] 同样采用木材平均绝干密度 G 作为基础参数，外荷载平行于木材纹理方向时，试件屈服强度计算公式为：

$$f_e = 77.25G \quad (4)$$

加拿大规范 CSA O86-19 [14] 同时采用平均绝干相对密度 G 和螺栓直径 D 作为木材顺纹销槽承压强度的参数，计算公式为：

$$f_e = 50G(1 - 0.01D) \quad (5)$$

欧洲木结构设计规范 EC5 [15] 中规定平行于纹理方向销槽承压强度采用螺栓直径 D 及木材气干密度的 5% 分位值 ρ_k 作为参数，计算公式为：

$$f_e = 0.082(1 - 0.01D)\rho_k \quad (6)$$

日本木结构设计规范中规定木材平行于纹理方向销槽承压强度的计算公式为：

$$f_e = 57.07\rho - 0.68 \quad (7)$$

式中： ρ ——木材的平均气干相对密度。

根据材性试验结果，意杨 LVL 材料的平均绝干密度为 0.57 g/cm^3 ，将其代入式(3)、(4)及(5)分别计算中国、美国及加拿大木结构设计规范中的销槽承压强度，结果如表 4 所示，试验值与各规范计算值比较结果如表 5 所示。

将中国、美国和加拿大规范所得计算值与试验值进行比较可知，中国胶合木规范和美国木结构规范的计算值与试验值的误差在 0.70%~10.54% 之间；而加拿大规范同时采用平均绝干相对密度和螺栓直径作为计算参数的计算方法过于保守，与试验值的误差均超过了 35%。

Table 4. Calculated value of pin groove bearing strength in national standards

表 4. 各国规范销槽承压强度计算值

螺栓直径(mm)	销槽承压强度试验值(MPa)	顺纹承压强度(MPa)	中国胶合木规范(MPa)	美国规范(MPa)	加拿大规范(MPa)
8	44.34				26.22
10	40.19	37.03	43.89	44.03	25.65
12	39.83				25.08

Table 5. Comparison result between test value and national standard calculation value

表 5. 试验值与各国规范计算值比较结果

螺栓直径(mm)	销槽承压强度试验值(MPa)	与中国胶合木规范误差(%)	与美国规范误差(%)	与加拿大规范误差(%)
8	44.34	-1.01	-0.70	-40.87
10	40.19	9.21	9.55	-36.18
12	39.83	10.19	10.54	-37.03

6. 结论

本文通过螺杆直径为 8 mm、10 mm、12 mm 的意杨 LVL 销槽承压试件的试验及分析，得出以下结论：

- 1) 半孔销槽承压试件被破坏时, 销槽孔壁下方均出现受拉裂缝; 且螺杆直径越大, 其抗压强度越小, 试件产生的破坏越明显;
- 2) 中国胶合木设计规范和美国木结构设计规范均能用于计算意杨 LVL 的销槽承压强度;
- 3) 试验结果以及理论分析表明: 直径为 8 mm 的螺栓, 其销槽承压性能最好; 10 mm 的次之。建议在工程中应用这二种直径的螺栓以保证良好的连接性能。

基金项目

国家自然科学基金项目(51878590)。

参考文献

- [1] 刘雁, 张建新, 周宝国, 环志中. 现代木结构建筑及其在中国的发展前景初探[J]. 江苏建筑, 2005(3): 5-7, 10.
- [2] Johanson, K.W. (1949) Theory of Timber Connections. International Association for Bridge and Structural Engineering, Zürich, No. 9, 249-262.
- [3] McLain, T.E. and Thangjitham, S. (1983) Bolted Wood-Joint Yield Model. *Journal of Structural Engineering*, **109**, 1820-1835. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1983\)109:8\(1820\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1983)109:8(1820))
- [4] Carmen, S., Jan-Willem, K. and Hans, J.B. (2012) Constitutive Model for Wood Based on Continuum Damage Mechanics. *World Conference on Timber Engineering*, Auckland, 15-19 July 2012, 159-167.
- [5] 周巍宇. 木结构螺栓连接节点强度研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 中南林业科技大学, 2017.
- [6] 唐红元, 马梦淋, 杨媛, 等. 正交胶合木销槽承压强度试验研究[J]. 建筑结构学报, 2020, 3(9): 11.
- [7] 王雪婷, 徐才峰, 王志强. 正交胶合木及其销槽承压强度研究现状[J]. 林业科技, 2018, 43(5): 52-56.
- [8] 刘雁, 王洪鹤, 丁佩蓉, 等. 意杨旋切板胶合木材料的物理力学性能[J]. 林产工业, 2017, 44(2): 12-16.
- [9] 丁佩蓉. 意杨旋切板胶合木箱型梁受弯性能试验研究[D]: [硕士学位论文]. 扬州: 扬州大学, 2018.
- [10] American Society for Testing and Materials (2002) ASTM D5764-97a. Standard Test Method for Evaluating Dowel-Bearing Strength of Wood and Wood-Based Products. ASTM International, West Conshohocken.
- [11] 中华人民共和国国家标准. GB 50005-2017. 木结构设计标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017.
- [12] 全国木材标准化技术委员会. GB/T 50708-2012. 胶合木结构技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [13] American Wood Council (2017) National Design Specification for Wood Construction 2018 Edition ANSI/AWC NDS-2018. American Wood Council, Leesburg.
- [14] Canadian Standards Association (2019) Engineering Design in Wood: CSA O86-19. Canadian Standards Association, Toronto.
- [15] British Standards Institution (2004) Eurocode 5: Design of Timber Structures-Part 1-1: General-Common Rules and Rules for Buildings: BSEN 1995-1-1. British Standards Institution, London.