

doi:10.11835/j.issn.2096-6717.2019.100



改性速生杨木抗压性能试验研究

刘庆娟¹, 王玉镯², 高英¹, 张冰杰², 李兵²

(1. 山东协和学院 建筑工程学院, 济南 250107; 2. 山东建筑大学 土木工程学院, 济南 250101)

摘要:速生杨木在中国种植范围广,但由于力学性能差、变形大等缺点,其应用受到很大限制,迫切需要对速生杨木进行改性处理。主要考虑不同板材厚度(5、10、15、20 mm)和不同纹理(径向、弦向)两个因素对改性速生杨木进行力学性能试验研究。试验表明:随着板材厚度的减小,试件破坏由单个斜截面破坏至连续斜截面破坏,再到水平压皱破坏,最后出现双曲破坏和单板弯曲破坏。不同板材厚度改性试件抗压试验中,与对比试件相比,改性试件的力学性能有较大提高,且随着板材厚度的减小,试件的抗压强度、峰值压应变、弹性模量等均显著增大。不同纹理组合改性试件抗压试验中,弦向与弦向纹理组合试件力学性能最优,其次为径向与径向纹理组合试件,最低为弦向与径向纹理组合试件。同时,在顺纹加顺纹的纹理组合方式下,与对比试件相比改性试件的抗压强度、峰值压应变、弹性模量等均有提高显著;在顺纹加横纹的纹理组合方式下,改性试件的抗压强度和弹性模量反而有所降低。

关键词:改性;速生杨木;力学性能;抗压强度;试验研究

中图分类号: TU366.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-6717(2019)05-0099-10

Experimental study on mechanical behavior of modified fast-growing poplar

Liu Qingjuan¹, Wang Yuzhuo², Gao Ying¹, Zhang Bingjie², Li Bing²

(1. School of Architectural Engineering, Shandong Xiehe University, Jinan 250107, P. R. China; 2. School of Civil Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan 250101, P. R. China)

Abstract: Fast-growing poplar has been widely planted in China. For the poor mechanical properties and large deformation of the timber, its application is greatly restricted. Modified fast growing poplar specimens with different plate thicknesses of 5, 10, 15, 20 mm, radial direction and chord direction), under different parameters were tested in this paper. The tests indicate that the failure gradually began by the single oblique section, then the horizontal crinkling failure occurs, finally to the double curvature failure and the single plate bending failure with gradual decrease of the plate thickness. In the compressive test of the modified specimens with different thicknesses, the mechanical properties of the modified specimens are improved greatly compared with the control specimens, the compressive strength, the peak compressive strain and the elastic modulus of the specimens increase significantly with decrease of the plate thickness. In the compression test of different texture combination modified specimens, the mechanical properties of

收稿日期: 2018-10-30

作者简介: 刘庆娟(1989-),女,主要从事木结构研究, E-mail: 15628819490@163.com.

王玉镯(通信作者),男,副教授,博士, E-mail: yuzhuowang@163.com.

Received: 2018-07-30

Author brief: Liu Qingjuan(1989-), main research interest: wood structure, E-mail: 15628819490@163.com.

Wang Yuzhuo(corresponding author), associate professor, PhD, E-mail: yuzhuowang@163.com.

chord and chord texture combination specimens are the best, followed by radial and radial texture combination specimens, and the lowest is chord and radial texture combination specimens. At the same time, the compressive strength, peak compressive strain and modulus of elasticity are significantly higher than those of the control specimens, and the compressive strength and modulus of elasticity of the modified specimens are lower than those of the control specimens.

Keywords: modify; fast-growing poplar; mechanical properties; compressive strength; experimental study

随着经济的快速发展,人们对环境的关注度越来越高,并对居住的舒适度提出了更高要求,因此,具有绿色环保功能的木结构建筑越来越受到人们的关注。中国由于天然森林资源缺乏,严禁开采,木材主要依靠从俄罗斯和北美等地区进口,这在一定程度上限制了中国木结构建筑的快速发展。速生杨木在中国种植面积广,具有材质轻、质地优良、易加工等特点,并在可持续发展和再生方面有优势,但速生杨木在力学性能方面具有较大的不稳定性,使其在建筑结构中的应用受到了极大的限制。若能改善速生杨木的力学性能,并使其应用于建筑结构,将极大拓展速生杨木的应用领域。

何敏娟^[1]介绍了木材在建筑业中的应用与发展,表明木材不再仅局限于 3 层以下的低矮建筑,近 10 年来北美、欧洲各国开始研究用木材建造多高层建筑,或与其他材料混合建造多高层木混合结构。同时,阐述了目前多高层木及木混合结构的主要研究进展,包括:新型结构体系的构建及新型工程木材料的应用、新型结构设计和工程案例的研究。彭晓晓^[2]利用 3 种改性剂浸渍与炭化联合改性处理的方法,对速生杨木进行改性试验。研究表明,速生杨木经 2D 树脂浸渍、炭化复合改性处理后,在试件硬度、静曲强度、弹性模量和横纹抗压强度等方面的力学性能有所提高。岳孔等^[3-8]利用 ACQ-D、低分子酚醛树脂预聚体(PF)、脲醛树脂预聚液(UF)等材料,采用满细胞浸泡法对素材、增强改性材、防腐改性材和防腐增强改性材任意两种材料的胶合强度进行了测试和分析。结果表明,ACQ-D 防腐改性处理对试件力学性能影响不大,PF 增强改性材的抗弯弹性模量、抗弯强度、顺纹抗压强度、顺纹抗拉强度分别提高了 97.11%、83.36%、125.53%、37.01%。

吴振海^[9]基于不同厚度和粘结胶进行了 LVL 力学性能试验,研究表明,同样生产工艺下,单板越厚,被剪短的强度越低,剥离率越高,并且 UF 胶的各项性能指标优于 PVAC 胶。综合已有研究成果可以看出:学者在木结构方面进行了大量研究,并取得了较多成果^[10-15],大部分研究集中在原木结构的研究、木结构的加固、浸渍改性处理速生杨木等方面。

因此,本文通过考虑不同板材厚度、不同纹理等影响因素,对速生杨木进行改性试验研究,探讨改性速生杨木试件的强度、变形等力学性能。

1 试验设计

1.1 不同板材厚度改性速生杨木试验方案

木材采用山东济南 108 速生杨,5 年生、胸径 20 cm、树干通直、无树质缺陷(节子和病虫害等),取树木中间段为试验用材,详见表 1。试验共制作了 25 个尺寸均为 100 mm×100 mm×100 mm 的试件,编号分别为 Y100-1~Y100-5、XX05-1~XX05-5、XX10-1~XX10-5、XX15-1~XX15-5、XX20-1~XX20-5。其中,Y100-1~Y100-5 为速生杨原木试件,XX05-1~XX05-5、XX10-1~XX10-5、XX15-1~XX15-5、XX20-1~XX20-5 分别为不同板材厚度试件,如表 1 所示。改性速生杨木试件的粘贴方式如图 1 所示。

表 1 不同厚度速生杨木试件试验方案

Table 1 Test scheme of fast-growing poplar specimens with different plate thicknesses

编号	板材厚度/mm	纹理方式	粘贴方式	试件数量
Y100-(1~5)	100	100×100×100	顺纹	5
XX20-(1~5)	20	弦向	顺纹	5
XX15-(1~5)	15	弦向	顺纹	5
XX10-(1~5)	10	弦向	顺纹	5
XX05-(1~5)	5	弦向	顺纹	5

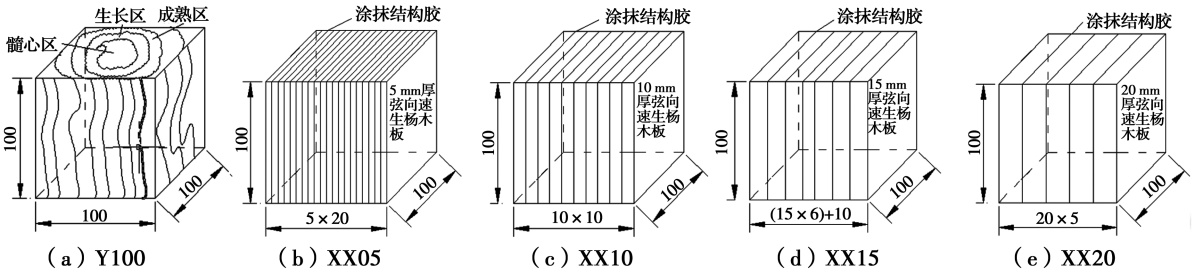


图 1 各试件粘贴示意图(单位:mm)

Fig. 1 The paste sketch of different specimens (unit:mm)

1.2 不同纹理改性速生杨木试验方案

试验共设计制作 30 个尺寸为 100 mm × 100 mm × 100 mm 的改性速生杨木试件。试件编号分别为 SHXX10-1 ~ SHXX10-5、SHJJ10-1 ~ SHJJ10-5、SHXJ10-1 ~ SHXJ10-5、SSXX10-1 ~ SSXX10-5、SSJJ10-1 ~ SSJJ10-5、SSXJ10-1 ~ SSXJ10-5。其中,S 表示顺纹,H 表示横纹,X 表示弦向,J 表示径向,SH 表示横纹加顺纹的粘贴方式,SS 表示顺纹和顺纹的粘贴方式,XX 表示弦向与弦向组合,JJ 表示径向与径向组合,XJ 表示弦向和径向组合。纹理粘接方向如图 2 所示,各类试件粘贴方式如表 2 所示。

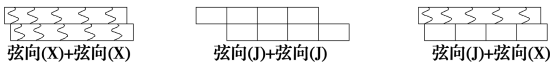


图 2 不同纹理粘贴示意图

Fig. 2 The paste sketch of plywood with different textures

表 2 不同纹理速生杨木试件试验方案

Table 2 Test scheme of fast-growing poplar specimens with different texture

试验编号	纹理组合方式	粘贴方式	试件数量	受压部位
SSXX10-(1~5)	弦向+弦向	顺纹	5	顺纹弦向
SSJJ10-(1~5)	径向+径向	顺纹	5	顺纹径向
SSXJ10-(1~5)	弦向+径向	顺纹	5	顺纹弦向
SHXX10-(1~5)	弦向+弦向	顺纹+横纹	5	顺纹弦向
SHJJ10-(1~5)	径向+径向	顺纹+横纹	5	顺纹径向
SHXJ10-(1~5)	弦向+径向	顺纹+横纹	5	顺纹弦向

2 含水率试验

因含水率对木材抗压强度有显著影响,故试验中需保持各试件在同一含水率水平。根据《木结构试验方法标准》,从加载后试件中切取 10 个尺寸为 20 mm × 20 mm × 20 mm 的试块,用烘干法测含水率,试验数据见表 3。

由表 3 可知,试件的含水率平均值为 12.39%,在 9%~15% 内,符合试验标准。

表 3 含水率试验数据汇总表 %

Table 3 Summary of test data for water content %

编号	含水率	编号	含水率
1	11.56	6	12.73
2	11.96	7	12.13
3	12.27	8	12.40
4	12.53	9	12.72
5	13.14	10	12.43
平均值		12.39	

3 试验过程

3.1 加载方式

试验使用 WDW-300E 型号(最大试验力为 300 kN)和 WAW-1000C 型号(最大试验力为 1 000 kN)两种万能试验机对试件进行匀速加载,加载速度为 2 mm/min,持续加载至试件破坏时停止加载,加载曲线如图 3 所示。其中,WDW-300E 万能试验机用于速生杨原木试件加载试验,考虑到改性试件强度会有所提高,改用量程较大的 WAW-1000C 万能试验机进行改性试件加载试验。两种试验仪器精度一致,只是荷载量程不同。试件受压简图如图 4 所示。

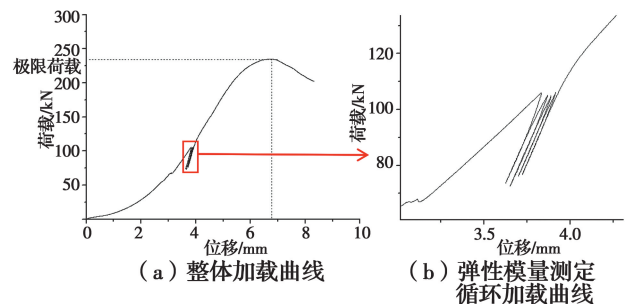


图 3 试验加载曲线

Fig. 3 The loading curve

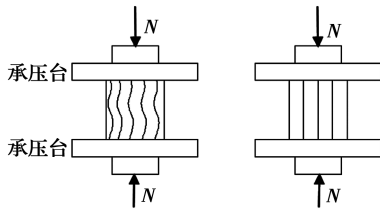


图4 试件受压简图

Fig. 4 The Compression diagram of specimen

3.2 试验过程

为保证试验的准确性,严格按照《木材顺纹抗压强度试验方法》《木结构试验标准规程》进行试验,试件处理过程为:选材(树径20 cm左右)→切割(按需要纹理进行切割,按规定厚度裁板)→晾干(3~5 d或烘干机烘干)→含水率检测(含水率为9%~15%)→结构胶配比(结构胶由A组分和B组分组成,A组分为改性环氧树脂,B组分为乙二胺改性的酚醛氨固化剂和芳香胺固化剂等)。使用过程中,按照质量比A:B=2:1)→粘贴试件→空洞填补→构件固定和加压→试件养护→试件检测→试件表面刨光处理。

4 试验现象

4.1 不同厚度的试件破坏现象分析

加载初期,Y100-1~Y100-5系列试件渐渐出现木纤维开裂的细微咣咣声,随着荷载的不断增大,试件边缘中部开始发生斜截面剪切破坏现象,破坏不断扩展,逐渐形成贯通破坏,随后,板中部发生张拉,形成横贯截面的裂缝直到停止加载。综上所述,Y100系列试件先发生连续的斜截面剪切破坏,后出现张拉裂缝现象,破坏形态如图5所示。

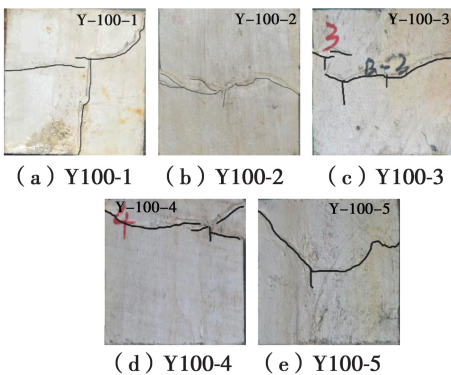


图5 Y-100 试件破坏图

Fig. 5 The failure diagram of specimen Y-100

加载过程中,XX20-1~XX20-5试件破坏现象与对比试件破坏现象较为相近,但因结构胶的影响,个别试件截面出现不连续的剪切破坏,结构胶位置

处出现张拉破坏。综上所述,试件的板材先出现不连续的斜截面纤维破坏,其次带动结构胶处产生张拉破坏。试件破坏形态如图6所示。

加载过程中,随着荷载的不断增大,各试件均出现木纤维开裂的咣咣声,板材表面出现微裂缝,接着各板材先后发生斜截面破坏,进而发生弯曲破坏,试件结构胶处出现张拉破坏,形成裂缝,并伴有木纤维被拉裂的破坏现象,个别试件角部还出现压碎现象,如图6~图9所示。

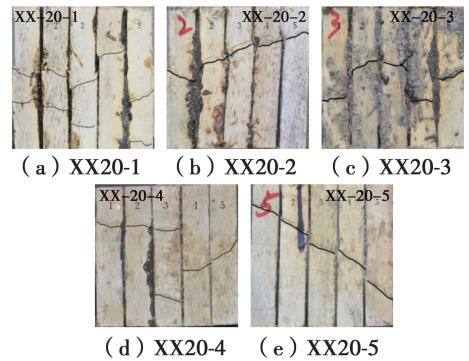


图6 XX20-1~XX20-5 试件破坏图

Fig. 6 The failure diagram of specimen XX20-1~XX20-5

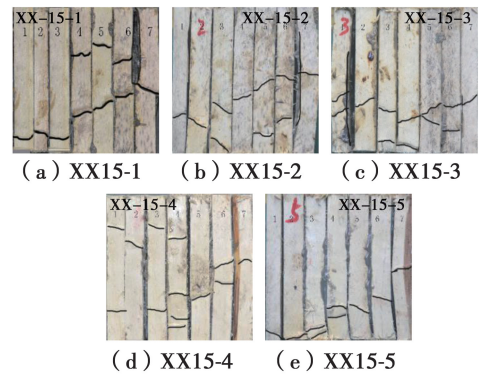


图7 XX15-1~XX15-5 试件破坏图

Fig. 7 The failure diagram of specimen XX15-1~XX15-5

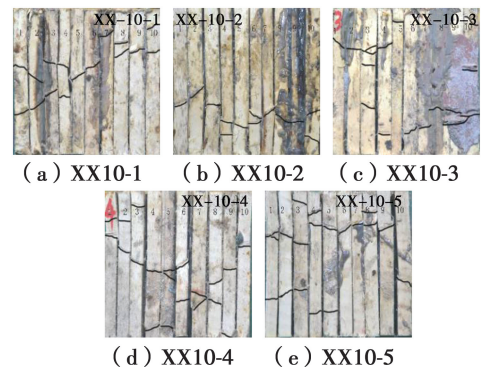


图8 XX10-1~XX10-5 试件破坏图

Fig. 8 The failure diagram of specimen XX10-1~XX10-5

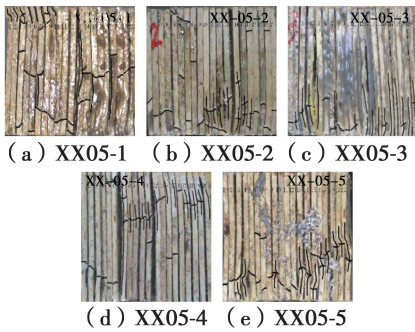


图 9 XX05-1~XX05-5 系列试件破坏图

Fig. 9 The failure diagram of specimen XX05-1~XX05-5

综上,改性试件在加载过程中,其现象与对比试件破坏现象较为相近,但因结构胶的影响,试件板材先出现不连续的斜截面破坏,进而带动结构胶处产生张拉破坏,形成竖向裂缝。同时,随着板材厚度的逐渐减小,板材的斜截面破坏越密集,竖向撕裂现象越明显。

4.2 不同纹理方向的破坏现象分析

4.2.1 顺纹加顺纹破坏现象 如图 10~图 12 所示,试件加载初期均出现啪啪声,表面无明显破坏现象,随着荷载的不断增大,试件部分板材出现斜截面破坏并伴有弯曲破坏,部分试件板材发生连续斜截面破坏现象。不同粘贴方式下,试件的破坏形态基本一致。

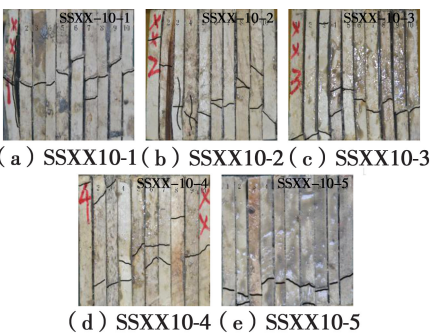


图 10 SSXX10 试件破坏图

Fig. 10 The failure diagram of specimen SSXX-10

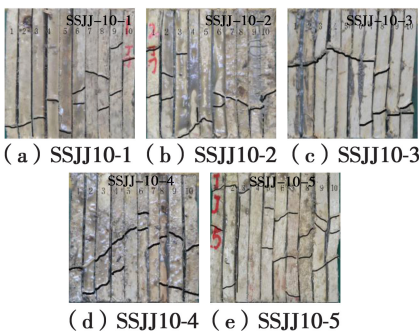


图 11 SSJJ10 试件破坏图

Fig. 11 The failure diagram of specimen SSJJ-10

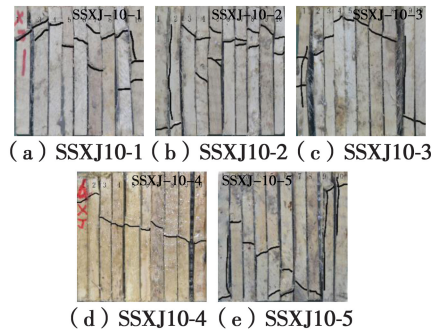


图 12 SSXJ10 试件破坏图

Fig. 12 The failure diagram of specimen SSXJ-10

4.2.2 顺纹加横纹破坏现象 加载前期,出现木纤维开裂的咔咔声,且连续发出啪啪的声音,试件表面出现微裂缝,弦板材出现斜截面破坏和水平压皱破坏,部分木板出现弯曲破坏现象。木纤维的张拉导致板材间出现裂缝,横纹板发生压缩现象,如图 13~图 15 所示。

木材顺纹强度远高于横纹强度,纹理的形状、角度、周期性等因素均对木材强度影响较大。由图 10~图 15 可以看出:在顺纹加顺纹纹理组合下,试件板材出现的斜截面破坏整体上表现比较集中且连续;在顺纹加横纹纹理组合下,试件板材出现的斜截面破坏整体上表现比较分散且不连续,表明纹理组合方式对试件的力学性能有影响。

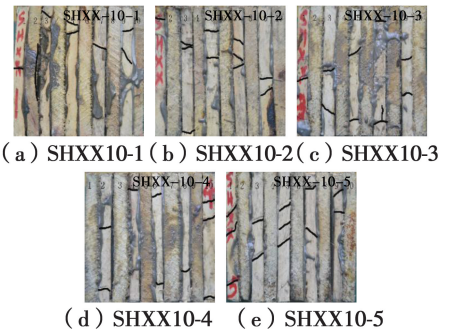


图 13 SHXX10 试件破坏图

Fig. 13 The failure diagram of specimen SHXX-10

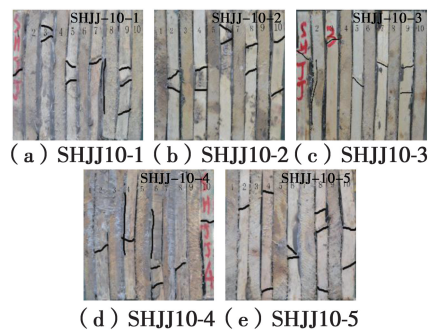


图 14 SHJJ10 试件破坏图

Fig. 14 The failure model of specimen SHJJ-10

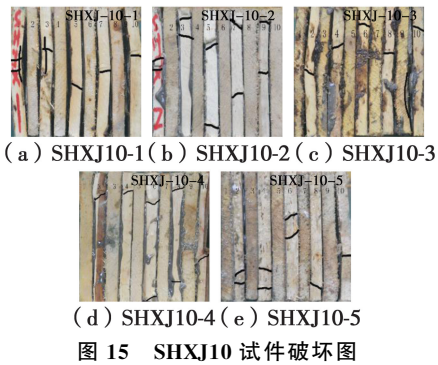


Fig. 15 The failure model of specimen SHXJ-10

5 试验结果分析

5.1 不同板材厚度改性速生杨木试件的力学性能

对 20、15、10、5 mm 厚的板材改性试件进行加载试验,得到同尺寸原木试件以及改性试件的相关试验数据,见表 4。

表 4 原木及速生杨木不同厚度试验数据分析

Table 4 Test Data of control specimens and modified specimens with different plate thickness

编号	试件抗压强度/MPa	峰值压应变/%	试件弹性模量/MPa
Y100-1	24.91	3.07	1 014
Y100-2	25.14	3.07	1 500
Y100-3	24.05	3.07	1 360
Y100-4	19.74	5.02	1 200
Y100-5	20.34	3.04	1 526
平均值	22.84	3.58	1 320
XX20-1	23.50	3.44	1 315
XX20-2	23.08	4.06	1 443
XX20-3	23.47	4.95	1 379
XX20-4	26.14	3.37	1 315
XX20-5	21.48	3.35	1 508
平均值	23.53	3.83	1 392
XX15-1	25.09	4.05	1 489
XX15-2	23.82	5.16	1 491
XX15-3	22.95	3.30	1 254
XX15-4	24.65	5.24	1 388
XX15-5	29.56	4.49	1 485
平均值	25.21	4.45	1 421
XX10-1	27.14	4.26	1 637
XX10-2	28.40	4.54	1 563
XX10-3	28.23	4.08	1 628
XX10-4	25.47	4.29	1 502
XX10-5	29.45	4.01	1 600
平均值	27.74	4.24	1 586

续表 4

编号	试件抗压强度/MPa	峰值压应变/%	试件弹性模量/MPa
XX05-1	37.03	3.99	1 686
XX05-2	36.54	3.13	1 725
XX05-3	33.18	2.88	1 905
XX05-4	34.18	4.02	1 821
XX05-5	34.53	4.06	1 708
平均值	35.09	3.64	1 769

注:1. 试件胶层厚度约为 1 mm,粘完后试件的实际尺寸要稍大于原设计尺寸,试件抗压强度(极限荷载与受压面面积之比)等数据处理时均按实际尺寸计算,考虑了尺寸变化。

2. 表中,峰值压应变为试件达到极限荷载时对应的竖向位移与试件原始高度的比值。

3. 表中,试件弹性模量根据《木结构试验方法标准规范》(GB/T 50329—2012)中的 6.4.3 条和 E.4.1 条规定测得,如图 3(b)所示。

5.1.1 不同板材厚度下改性速生杨木试件抗压强度 由表 4 和图 16 可以看出,随着板材厚度的减小,改性速生杨木试件的抗压强度明显增大,20 mm 厚板材试件抗压强度较对比试件提高了 3.02%; 15 mm 厚板材试件抗压强度较对比试件提高了 10.37%; 10 mm 厚板材试件抗压强度较对比试件提高了 21.45%; 5 mm 厚板材试件抗压强度较对比试件提高了 53.63%。

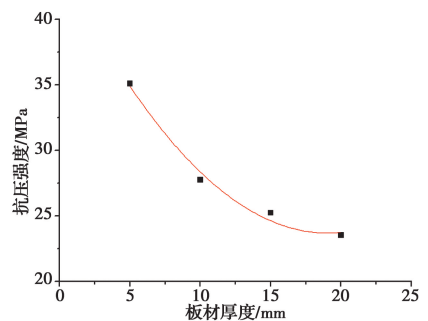


图 16 不同板材厚度试件抗压强度曲线

Fig. 16 The Compressive strength curve of specimens with different plate thickness

由上述数据可以拟合得到抗压强度随板厚的计算式(1)。

$$f_c = (2.48 \times 10^{-3} x^2 - 0.0946x + 1.9388) f_0 \quad (1)$$

式中: f_c 为改性速生杨的抗压强度值; f_0 为速生杨原木的抗压强度值; x 为速生杨板材的厚度。

5.1.2 不同板材厚度下改性速生杨木峰值压应变 由表 4 和图 17 可以看出,改性试件的峰值压应变较

对比试件有所提高,且随着板材厚度的减小,试件峰值压应变呈先增大后减小的趋势,但整体变化不大。由上述数据可以拟合得到峰值压应变与木板厚度的变化规律为

$$y = 0.000\ 2x + 0.038\ 3 \quad (3)$$

式中: y 为试件峰值压应变; x 为速生杨板材的厚度。

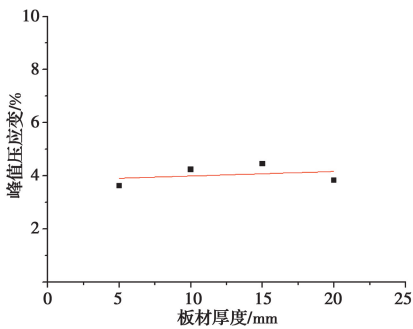


图 17 不同板材厚度试件峰值压应变曲线

Fig. 17 The relationship between different plate thickness and specimen deformation rate

5.1.3 不同板材厚度下改性速生杨木弹性模量

由表 4 和图 18 可以得出,随着板材厚度的减小,改性试件的弹性模量呈现明显增大的趋势。与对比试件相比,20 mm 厚板材试件弹性模量提高了 5.45%; 15 mm 厚板材试件弹性模量提高了 7.65%; 10 mm 厚板材试件弹性模量提高了 20.15%; 5 mm 厚板材试件弹性模量提高了 34.02%。

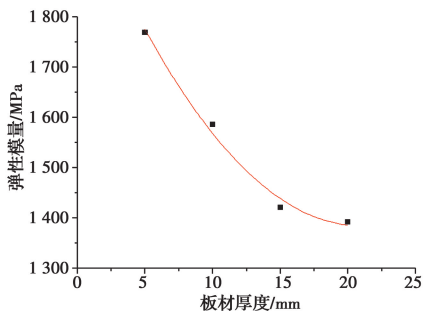


图 18 不同板材厚度试件弹性模量曲线

Fig. 18 The modulus of elasticity curve of specimens with different plate thickness

由上述数据可以拟合得到弹性模量与木板厚度的变化规律为

$$E = (1.167 \times 10^{-3}x^2 - 0.048\ 8x + 1.559)E_0 \quad (4)$$

式中: E 为改性速生杨的弹性模量; E_0 为速生杨原木的弹性模量; x 为速生杨板材的厚度。

5.2 不同纹理改性速生杨木试件的力学性能

5.2.1 不同纹理(顺纹与顺纹粘接)改性速生杨木试件力学性能

由表 5 和图 19(a)可知,不同纹理改性试件的抗压强度高于对比试件抗压强度,其中,弦向纹理组合试件抗压强度最高,较对比试件提高了 27.9%;其次是径向纹理组合试件,较对比试件提高了 18.0%;弦向与径向纹理组合试件抗压强度最低,较对比试件提高了 9.7%。

峰值压应变为试件达到极限荷载时所对应的压应变,反映试件极限荷载时的变形能力。由表 5 和图 19(b)可知,改性试件的变形能力较对比试件有所提高。其中,SSXJ10 试件的变形能力最强,较对比试件提高了 17.9%;其次是 SSXX10 试件,较对比试件提高了 15.1%,SSJJ10 试件变形能力提高最低,较对比试件提高了 11.7%。

由表 5 和图 19(c)可知,改性试件弹性模量较对比试件弹性模量有所提高。其中,SSXX10 试件弹性模量较对比试件提高了 28.2%,抗变形能力最好;其次是 SSJJ10 试件,较对比试件提高了 7.4%;SSXJ10 试件弹性模量较对比试件提高了 4.5%,提高幅度相对较小。

表 5 顺纹加顺纹纹理组合试件的顺纹受压力学性能参数
Table 5 Compression performance parameters of specimens with parallel texture and parallel texture

编号	试件抗压强度/MPa	峰值压应变/%	试件弹性模量/MPa
SSXX10-1	26.2	3.42	1 846
SSXX10-2	28.9	3.69	1 654
SSXX10-3	27.4	4.11	1 602
SSXX10-4	33.1	4.53	1 758
SSXX10-5	30.4	4.85	1 605
平均值	29.2	4.12	1 692
SSJJ10-1	24.5	3.82	1 445
SSJJ10-2	26.8	4.07	1 333
SSJJ10-3	22.2	3.47	1 371
SSJJ10-4	27.3	4.02	1 366
SSJJ10-5	33.9	4.61	1 574
平均值	26.9	4.00	1 418
SSXJ10-1	26.5	4.94	1 373
SSXJ10-2	27.7	4.59	1 291
SSXJ10-3	21.4	3.37	1 547
SSXJ10-4	24.5	3.94	1 350
SSXJ10-5	25.1	4.24	1 334
平均值	25.0	4.22	1 379

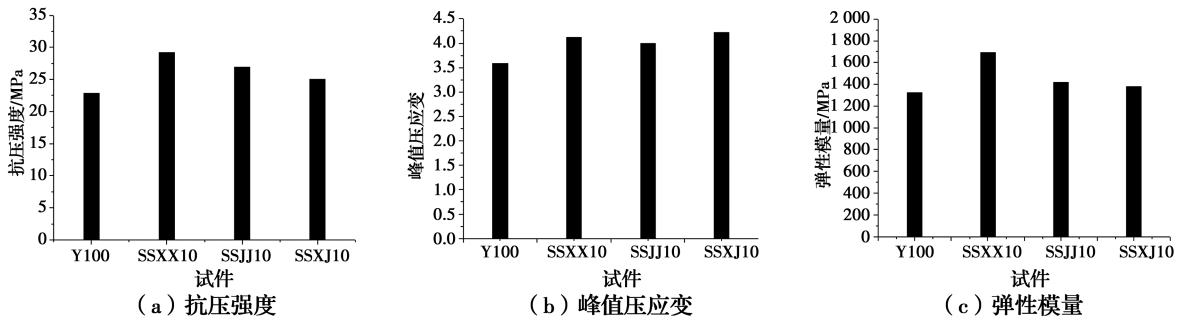


图 19 不同纹理方向顺纹粘结试件力学性能参数直方图

Fig. 19 The histogram of mechanical properties parameters for specimens with different textures directions under straight grain bonding

5.2.2 不同纹理(顺纹与横纹纹理组合)改性速生

杨木试件力学性能 由表 6 和图 20(a)可知,不同纹理组合试件抗压强度较对比试件抗压强度有所降低,通过顺纹与横纹内部比较可以看出,SHXX10 试件的抗压强度最高,为对比试件的 82.9%;SHJJ10 试件抗压强度为对比试件抗压强度的 69.3%;SHXJ10 试件抗压强度最低,为对比试件抗压强度的 64%。

由表 6 和图 20(b)可知,试件的峰值压应变大小依次为 SHXX10、SHJJ10、SHXJ10 试件,SHXX10 和 SHJJ10 试件峰值压应变较对比试件有所提高。SHXX10 试件的峰值压应变较对比试件提高了 34%,SHJJ10 试件的峰值压应变较对比试件提高了 11.2%,SHXJ10 的的峰值压应变较对比试件提高了一 23.5%。

由表 6 和图 20(c)可知,试件的弹性模量低于对比试件。SHXX10 的弹性模量最高,为对比试件弹性模量的 66.4%;其次是 SHJJ10 试件,为对比试件弹性模量的 60%;SHXJ10 的弹性模量最低,为对比试件弹性模量的 56.3%。

表 6 顺纹加横纹纹理组合试件的顺纹受压力学性能参数

Table 6 Compression performance parameters of specimens with parallel texture and transverse texture

编号	试件抗压强度/MPa	峰值压应变/%	试件弹性模量/MPa
SHXX10-1	14.3	4.24	857
SHXX10-2	21.2	6.25	854
SHXX10-3	22.7	5.92	953
SHXX10-4	21.6	5.16	863
SHXX10-5	14.6	2.45	858
平均值	18.9	4.80	877
SHJJ10-1	14.6	3.85	757
SHJJ10-2	20.5	5.09	794
SHJJ10-3	15.3	2.65	833
SHJJ10-4	12.3	4.96	723
SHJJ10-5	16.5	3.34	858
平均值	15.8	3.98	793
SHXJ10-1	15.1	2.45	857
SHXJ10-2	18.5	3.52	678
SHXJ10-3	13.0	2.42	806
SHXJ10-4	13.4	2.72	703
SHXJ10-5	12.8	2.61	675
平均值	14.6	2.74	743

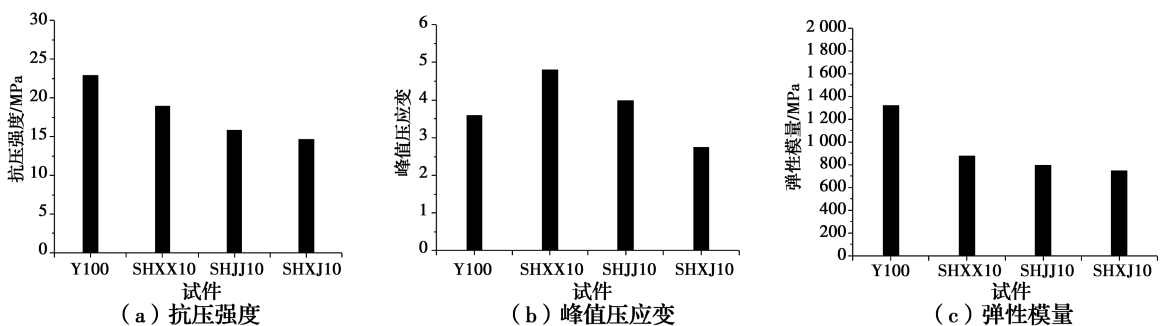


图 20 顺纹与横纹粘结改性速生杨木力学性能参数直方图

Fig. 20 The histogram of fast-growing poplar wood modified by grain and cross grain

6 结论

通过对改性速生杨木试件进行抗压试验研究,得到以下结论:

1)随着板材厚度的减小,改性试件的破坏由斜截面破坏发展为连续斜截面破坏,然后水平压皱明显,最后发生双曲破坏和单板弯曲破坏。相对于顺纹加横纹纹理组合方式下的试件,顺纹加顺纹纹理组合方式下试件板材的斜截面破坏更为集中和连续。

2)与速生杨原木试件相比,不同厚度板材改性速生杨木试件的力学性能有了明显改善,试件的抗压强度、峰值压应变以及弹性模量等均有了较大幅度的提高。板材厚度对改性试件的峰值压应变无显著影响,但改性试件的抗压强度和弹性模量随着板材厚度的减小而显著增大。

3)板材的纹理组合方式对试件的力学性能有影响。顺纹加顺纹纹理组合方式下,试件的力学性能要优于顺纹加横纹组合方式下试件的力学性能。同时,在顺纹加顺纹组合下和在顺纹与横纹组合下,弦向粘贴试件的力学性能均最优,其次为径向粘贴试件,最后为弦向与径向组合试件。

参考文献:

[1] 何敏娟. 多高层木及木混结构研究进展[J]. 建筑结构学报, 2016, 37(10): 1-9.

HE M J. State of the art of research advances on multi-story timber and timber-hybrid structures [J]. Journal of Building Structures, 2016, 37(10): 1-9. (in Chinese)

[2] 彭晓晓. 速生杨板材强化与尺寸稳定化处理工艺研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2014.

PENG X X. Study on enhancement and dimensional stability treatment process of poplar lumber [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2014. (in Chinese)

[3] 岳孔, 刘伟庆, 卢晓宁, 等. 速生杨木改性材基本力学性能研究[J]. 林业实用技术, 2011(6): 55-57.

YUE K, LIU W Q, LU X N, et al. Study on basic mechanical properties of fast-growing poplar wood modified wood [J]. Practical Forestry Technology, 2011(6): 55-57. (in Chinese)

[4] 岳孔, 章瑞, 卢晓宁, 等. 速生杨木改性材力学及胶合性能的研究[J]. 中南林业科技大学学报(自然科学版), 2009, 29(6): 93-97.

YUE K, ZHANG R, LU X N, et al. Study of mechanical performance and gluability of modified fast-growing poplar wood [J]. Journal of Central South Forestry University, 2009, 29(6): 93-97. (in Chinese)

[5] 岳孔, 卢晓宁, 刘伟庆, 等. 速生杨木 PF 浸渍增强机理及力学性能可靠性分析[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2010, 34(4): 49-51.

YUE K, LU X N, LIU W Q, et al. Reliability of mechanical performance of untreated and treated fast-growing poplar wood with PF [J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Science Edition), 2010, 34(4): 49-51. (in Chinese)

[6] 岳孔, 刘伟庆, 卢晓宁. 化学改性对速生杨木木材力学性能和天然耐久性的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2011, 38(3): 453-457.

YUE K, LIU W Q, LU X N. Mechanical behavior and natural durability of fast-growing poplar wood modified by chemical treatment [J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2011, 38(3): 453-457

[7] 岳孔, 程秀才, 王磊磊, 等. 改性处理对杨木力学和燃烧性能的影响[J]. 燃烧科学与技术, 2016, 22(5): 426-432.

YUE K, CHENG X C, WANG L L, et al. Effect of modification on mechanical property and fire-retardant behavior of fast-growing poplar wood [J]. Journal of Combustion Science and Technology, 2016, 22(5): 426-432. (in Chinese)

[8] 岳孔, 陈强, 贾翀, 等. 工业化高温改性木材的力学性能[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2018, 47(3): 361-366.

YUE K, CHEN Q, JIA C, et al. Mechanical properties of industrial heat-treated wood [J]. Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition), 2018, 47(3): 361-366. (in Chinese)

[9] 吴振海. 利用速生杨木生产单板层积板 LVL [J]. 林业科技, 1997(6): 45-47.

WU Z H. Production of single plate laminated plate LVL with fast-growing poplar wood [J]. Forestry Science & Technology, 1997(6): 45-47.

- [10] 梁峰, 李征, 何敏娟. 原木-胶合木-轻型木混合结构设计研究[J]. 建筑结构, 2018, 48(10): 36-38, 29.
LIANG F, LI Z, HE M J. Design of a hybrid timber structure composed of log-glulam-light timber shear walls [J]. Building Structure, 2018, 48(10): 36-38, 29. (in Chinese)
- [11] 何敏娟, 董翰林, 李征. 木空间结构研究现状及关键问题[J]. 建筑结构, 2016, 46(12): 103-109, 96.
HE M J, DONG H L, LI Z. State-of-the-art and key research topics of timber spatial structures [J]. Building Structure, 2016, 46(12): 103-109, 96. (in Chinese)
- [12] BERARD P, YANG P, YAMAUCHI H, et al. Modeling of a cylindrical laminated veneer lumber I: Mechanical properties of hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) and the reliability of a nonlinear finite elements model of a four-point bending test [J]. Journal of Wood Science, 2011, 57(2): 100-106.
- [13] LI Z, HE M J, TAO D, et al. Experimental buckling performance of scrimber composite columns under axial compression [J]. Composites Part B: Engineering, 2016, 86: 203-213.
- [14] 何敏娟, 孙晓峰, 李征, 等. 正交胶合木结构在地震作用下的层间位移角研究[J]. 特种结构, 2017, 34(1): 1-6.
HE M J, SUN X F, LI Z, et al. Inter-story drifts research of the cross-laminated timber structure under seismic load [J]. Special Structures, 2017, 34(1): 1-6. (in Chinese)
- [15] 熊海贝, 宋依洁, 戴颂华, 等. 装配式 CLT 建筑从模型到建造[J]. 建筑结构, 2018, 48(10): 7-12, 49.
XIONG H B, SONG Y J, DAI S H, et al. Prefabricated CLT panel building from model to construction [J]. Building Structure, 2018, 48(10): 7-12, 49. (in Chinese)

(编辑 胡玥)