

# 不同使用年限的柏木基本材料力学性能试验对比研究

刘德贵<sup>1</sup>, 陈科材<sup>2</sup>, 邓云毅<sup>1</sup>, 李建春<sup>1</sup>

(1. 西南科技大学 土木工程与建筑学院, 四川 绵阳 621010; 2. 宜宾市公路局, 四川 宜宾 644000;  
3. 石榴置业集团股份有限公司, 北京 102488)

**摘要:** 木材的抗压、抗拉、抗弯强度等基本力学性能指标受环境温度、湿度等因素影响, 最终表现为随使用时间而变化, 而基本力学性能指标随时间的变化将对木结构的全寿命周期内的结构受力性能产生影响。为此, 通过调研收集了 4 种不同使用年限(时间)的木结构建筑使用过的柏木, 对这些柏木进行了抗压、抗拉和抗弯性能试验, 获取了不同使用年限(时间)柏木的抗压强度、抗拉强度和弯曲抗拉强度及弹性模量等力学性能指标, 探讨了柏木随使用时间年限的增长, 其基本力学性能指标的变化, 分析了上述力学性能指标随时间变化的规律。试验结果表明, 柏木顺纹抗压强度随使用年限的增长而逐渐降低, 使用年限越长, 降低越明显; 柏木顺纹抗拉强度、弯曲抗拉强度和抗弯弹性模量早期都表现出一定的增长, 到一定年限(本试验为 10 a)达到最大值, 然后随使用年限的增长而逐渐降低; 随使用年限增长, 柏木会表现出明显的脆性。柏木等木材随使用时间增长其力学性能的变化应在木结构的全寿命周期受力性能的研究中引起重视。

**关键词:** 柏木; 抗压强度; 抗拉强度; 弯曲抗拉强度; 抗弯弹性模量

中图分类号: TU33

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2019)06-0846-07

## Experimental study of the influence of service time on the basic material mechanical properties of cedar-wood

LIU Degui<sup>1</sup>, CHEN Kecai<sup>2</sup>, DENG Yunyi<sup>1</sup>, LI Jianchun<sup>1</sup>

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China; 2. Yibin Highway Bureau, Yinbin 644000, China;  
3. Pomegranate Real Estate Group Co. Ltd., Beijing 102488, China)

**Abstract:** The basic mechanical properties, such as the compression strength, tensile strength and bending strength of wood, will be affected by temperature and humidity etc, it finally show that the mechanical properties influenced by the time. Therefore, with the increase of service time, the mechanical behavior of wood structure in the Total Life Cycle would be influenced by the changing of the mechanical properties indexes. In this paper, four different service time cedar-wood were collected by investigation, and the compression, tensile and bending tests were conducted for the four different service time cedar-wood. The compression strength, tensile strength, bending tensile strength and bending elasticity modulus were obtained for the four different service time cedar-wood, and the regulation were discussed and analyzed for that the compression strength, tensile strength, bending tensile strength and bending elasticity modulus were changed by the increase of the service time. These tests results show that the compression strength decreases gradually with the increase of service time, and the longer the service time is, the more obvious the decrease is; the tensile strength, compression tensile strength and bending elasticity modulus of cedar-wood show a certain increase in the early stage, reaching the maximum value in a certain period of time (this test is 10 years), and then declining with the increase of service time; and the cedar-wood show obvious brittleness with the increase of the service time. The phenomenon that mechanical properties of wood, such as cedar-wood, are changed with the increase of service time should be paid more attention in the study of the mechanical properties of wood structures in the Total Life Cycle.

**Key words:** cedar-wood; compression strength; tensile strength; bending tensile strength; bending elasticity modulus

木材作为传统建筑材料, 绿色环保、低碳节能、强度比(强度/比重)高、能耗低, 由其修建的

木结构房屋具有自然亲和力、抗震性能好等优点, 以致木结构建筑结构存在并被广泛使用。木材的

收稿日期: 2019-01-25

修改稿日期: 2019-11-21

基金项目: 四川省科技厅计划基金资助项目(2019YJ0437)

第一作者: 刘德贵(1983—), 男, 博士, 讲师, 从事组合结构方面研究。E-mail: shll830520@163.com.

抗压、抗拉、抗弯强度等基本力学性能指标在木结构的相关设计、计算和研究中非常重要。近年来, 工程领域越来越关注木结构等各类结构的全寿命设计受力性能并构建相关理论<sup>[1-2]</sup>。木材材料力学性能受温度、湿度和环境腐蚀等多种因素的影响, 随使用时间增长<sup>[3]</sup>木材各项强度指标降低, 材质劣化等问题; 该方面的研究受到了国内外学者的重视关注。Getharsds C. C 等<sup>[4-5]</sup>指出木材的强度是随时间变化的, 进行了木材在荷载作用下失效时间的测定试验, 建立的参数评估模型描述木材强度随时间的发展。我国《古建筑木结构维护与加固规范》编制组 20 世纪 70、80 年代进行了我国应县木塔、晋祠景清门等古木结构的用材与现代木材强度的对比试验, 结果发现木材强度都因使用年限久远而产生了不同程度的降低。近年来, 徐明刚<sup>[6]</sup>等也开展了古建筑旧木材材性试验, 并与新木材对比, 得到了旧木材顺纹抗压强度、横纹强度、抗弯强度、抗弯弹性模量等力学指标的变化趋势。赵鸿铁<sup>[7]</sup>等指出在古建筑木结构受力性能研究时, 多数试验所用材料为新木材, 并没有考虑由于强度退化等残损情况对木材受力性能的影响。谢妍<sup>[7]</sup>提出在修缮古建筑木结构时, 木材的材料力学性能已出现退化, 强度降低, 修缮加固时应考虑强度折减。木材力学性能指标虽然已有相关的试验标准和方法<sup>[9-14]</sup>, 但文献表明, 采用新木材获得的木材强度指标实际不能作为木结构在全寿命周期内的强度指标, 为此研究木材强度随时间增长的变化规律, 对研究木结构全寿命周期受力性能具有意义。

柏木是古建木结构和传统木结构常用的建筑材料<sup>[14]</sup>, 本文基于传统木结构农房调研机会, 在四川省绵阳市梓潼县的某乡村现场收集了修建年代不同的木结构建筑使用过的柏木(1 a、10 a、40 a 和 80 a), 对这些柏木进行了抗压、抗拉和抗弯试验, 获取了不同使用年限(时间)柏木的抗压强度、抗拉强度、弯曲抗拉强度及弹性模量等力学性能指标, 初步探讨了木材强度指标随时间的变化规律。

## 1 试验材料

本次试验所采用柏木采样均收集于绵阳市梓潼县某乡同一村, 保证了木材具有相同生长环境和试样可比性, 不同使用年限木材如图 1 所示。测定了 4 种不同使用年限木材的含水率<sup>[9-10]</sup>, 含水率试样为 30 mm×20 mm×20 mm 的木块。试样和

含水率试验如图 2、3 所示, 四种不同使用年限柏木的含水率分别为 14.33%(1 a), 12.78%(10 a), 10.33%(40 a), 9.49%(80 a)。四种不同使用年限柏木的干密度分别为: 0.585 g/cm<sup>3</sup>(1 a)、0.704 g/cm<sup>3</sup>(10 a)、0.614 g/cm<sup>3</sup>(40 a)和 0.663 g/cm<sup>3</sup>(80 a)。

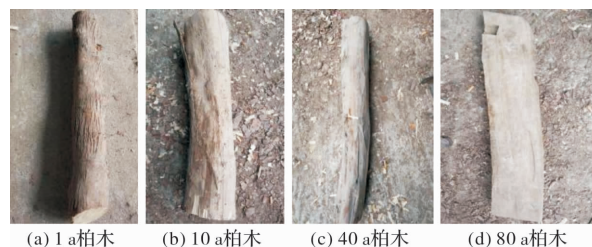


图 1 试验木材

Fig. 1 The test wood

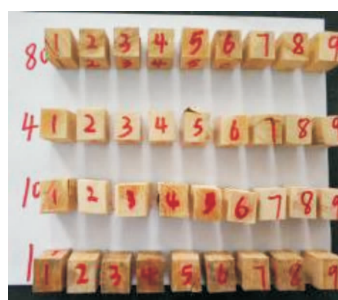


图 2 柏木含水率试样

Fig. 2 Specimen of test determination for moisture of cedar-wood



图 3 柏木含水率试验

Fig. 3 Test determination for moisture of cedar-wood

## 2 柏木顺纹抗压试验

### 2.1 试样制作及试验方法

不同使用年限柏木顺纹抗压强度试验根据相关标准<sup>[9,11]</sup>开展。对 4 种不同使用年限(1 a、10 a、40 a、80 a)的柏木分别取 6 个试样(图 4)进行其顺

纹抗压强度测定, 试样尺寸为:  $30\text{ mm} \times 20\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ . 试验在材料万能试验机上进行(图 5), 加载速度为  $1\text{ mm/min}$ .



图 4 抗压试验试块

Fig. 4 Test specimen for determination compressive strength parallel to grain of wood

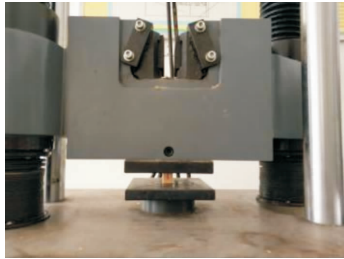


图 5 柏木抗压试验

Fig. 5 Test determination compressive strength of cedar-wood

## 2.2 试验现象及结果分析

4 种不同使用年限柏木的顺纹抗压试验, 在试件受压破坏时, 均会产生顺纹方向的开裂(图 6), 1 a 和 10 a 柏木试样开裂时, 无明显劈裂响声, 但 40 a 和 80 a 的柏木试样, 受压破坏开裂时产生了明显的劈裂声. 说明柏木随使用年限或时间的增长, 会表现出明显的脆性.



图 6 抗压试验试样典型破坏形态

Fig. 6 Typical failure mode of compression test specimen

观察 4 种不同使用年限柏木的荷载-位移关系曲线(图 7), 可以发现不同使用年限柏木的顺纹抗压性能存在差异. 1 a、10 a、40 a 柏木试样有明显的比例极限荷载, 后经过一定阶段的硬化后才达到其极限荷载, 而 80 a 柏木的试样荷载-位移关系曲线没有硬化阶段, 达到其极限荷载后, 很快进入下降段并破坏; 同时, 10 a 柏木的抗压荷载-位移关系曲线具有较长的近平直段. 1 a、10 a、40 a 和 80 a 柏木抗压延性系数分别为 3.877、9.685、3.745 和 1.0, 荷载-位移关系曲线和延性系数表明, 10 a 柏木表现出较好的抗压延性变形能力, 1 a 和 40 a 柏木有一定的延性变形能力, 而 80 a 柏木则表现出明显的脆性.

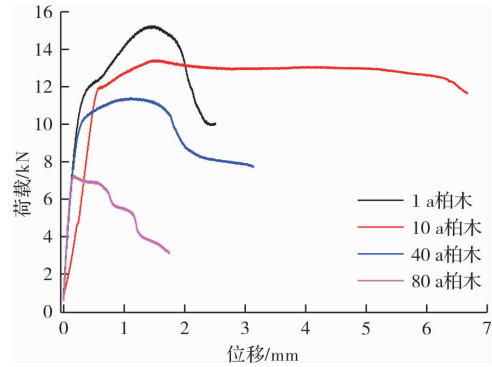


图 7 不同使用年限柏木代表性抗压试验荷载-位移曲线

Fig. 7 Load-displacement curve of typical compressive test for cedar-wood with different service life

表 1 不同使用年限柏木的抗压强度

Tab. 1 Compressive strength of cedar-wood with different service life

	service life				MPa
数量	1 a 柏木	10 a 柏木	40 a 柏木	80 a 柏木	
1	30.66	32.99	19.92	16.41	
2	32.73	29.82	21.37	19.01	
3	37.60	33.41	20.38	17.16	
4	34.27	31.85	21.67	16.70	
5	28.31	26.39	22.45	17.86	
6	27.30	26.96	21.00	17.67	
平均值	31.81	30.24	21.13	17.47	

各不同使用年限柏木抗压强度如表 1 和图 8 所示. 数据表明, 1 a 的柏木抗压强度最高, 为 31.81 MPa, 随着年限的增长, 抗压强度逐渐降低, 10 a 的柏木抗压强度较 1 年柏木的抗压强度有一定程度降低, 40 a 的柏木抗压强度较 1 a 柏木的抗压强度低 33.6%, 80 a 的柏木抗压强度较 1 a 木材的抗压强度低 45.1%, 80 a 的柏木抗压强度值最低, 最低为 17.47 MPa.

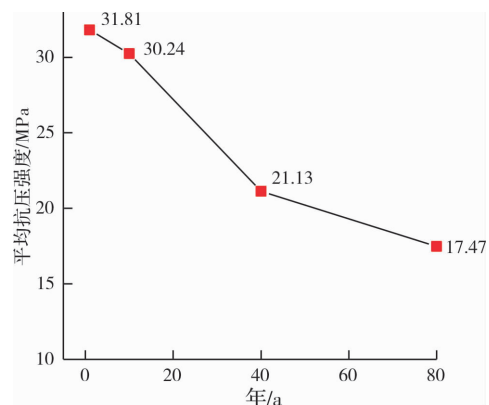


图 8 不同使用年限柏木抗压强度值

Fig. 8 Compressive strength of cedar-wood with different service life

3 柏木顺纹抗拉试验

3.1 试样制作及试验方法

不同使用年限柏木顺纹抗拉强度试验根据相关标准<sup>[9,12]</sup>开展. 对四种不同使用年限(1 a、10 a、40 a、80 a)的柏木分别取 6 个试样进行其顺纹抗拉强度测定, 试样(图 9)标准段尺寸<sup>[11]</sup>为: 4 mm×15 mm×60 mm, 总长度为 370 mm; 试验在材料万能试验机上进行(图 10), 加载速度为2 mm/min.

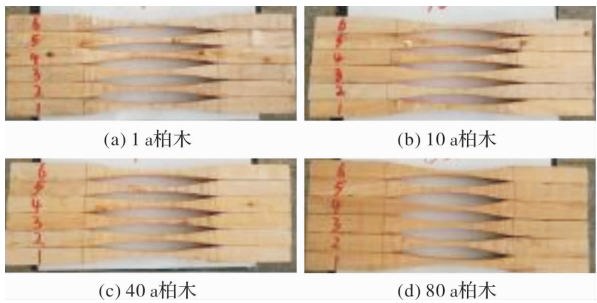


图 9 抗拉试验试件

Fig. 9 Test specimen for determination tensile strength



图 10 柏木的抗拉试验

Fig. 10 Test determination tensile strength of cedar-wood

3.2 试验现象及结果分析

柏木的顺纹抗拉试验过程中, 不会出现明显的缩颈现象, 在达到受拉极限强度时, 试样突然拉断, 拉断基本垂直于试件长度方向, 部分呈倾斜状(图 11). 1 a、10 a、40 a 的柏木试样拉断时无明显劈裂响声, 80 a 的柏木试样拉断时有较大的劈裂响声. 这也说明木材随使用年限增长, 会表现出明显的脆性.

图 12 所示抗拉试验荷载-位移关系曲线表明, 不同使用年限柏木的顺纹抗拉性能同样存在差异, 10 a 柏木试样达到极限抗拉荷载后有一段硬化阶段, 且抗拉极限荷载也最大, 40 a 柏木次之, 1 a 和 80 a 柏木极限抗拉荷载较为接近并最低.

表 2 和图 13 所示 4 种不同使用年限柏木的抗拉强度值表明, 10 a 的柏木抗拉强度最高, 为



图 11 抗拉试验典型破坏形态

Fig. 11 Typical failure mode of tensile test specimen

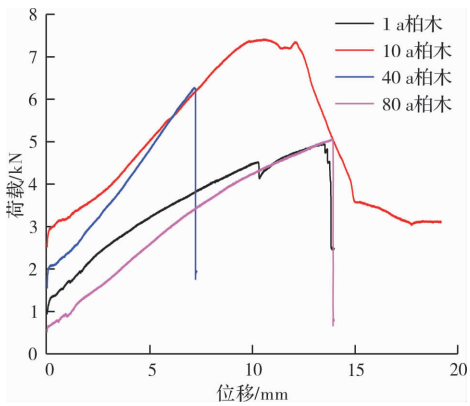


图 12 不同使用年限柏木代表性抗拉荷载-位移曲线

Fig. 12 Load-displacement curve of typical tensile test for cedar-wood with different service life

126.86 MPa, 80 a 的柏木抗拉强度值最低, 为 80.40 MPa. 随着年限的增长, 柏木抗拉强度并不是逐渐降低的, 而在一定年限内, 抗拉强度有所提高, 之后逐渐降低. 本次试验 10 a 的柏木抗拉强度比 1 a 柏木的抗拉强度高 51.1%, 40 a 的柏木抗拉强度较 10 a 木材的抗拉强度低 17.8%, 80 a 的柏木抗拉强度较 10 a 木材的抗拉强度低 36.6%.

表 2 不同使用年限柏木的抗拉强度

Tab. 2 Tensile strength of cedar-wood with different

数量	service life				MPa
	1 a 柏木	10 a 柏木	40 a 柏木	80 a 柏木	
1	82.06	109.75	103.47	83.20	
2	83.26	112.95	101.69	78.56	
3	86.86	114.30	106.38	78.24	
4	85.32	112.28	103.95	79.36	
5	84.98	115.31	109.45	81.76	
6	81.20	112.62	100.40	81.28	
平均值	83.95	126.86	104.22	80.40	

4 柏木弯曲抗拉强度试验

4.1 试样制作及试验方法

根据相关标准<sup>[9,13-14]</sup>, 对 1 a、10 a、40 a、80



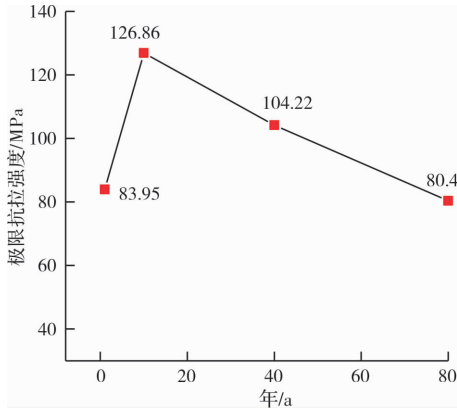


图 13 不同使用年限柏木的抗拉强度值  
Fig. 13 Tensile strength of cedar-wood with different service life

a 的柏木进行弯曲抗拉强度试验(图 15), 其试件(图 14)尺寸为: 20 mm×20 mm×300 mm. 同时, 也测定了柏木的抗弯弹性模量. 试验加载采用位移增量控制, 加载速度为 1 mm/min.

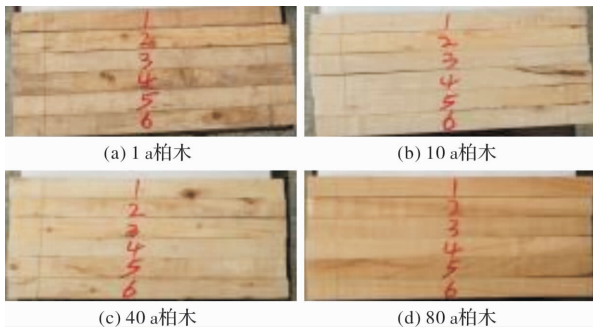


图 14 抗弯试验试件  
Fig. 14 Test specimen for determination bending tensile strength

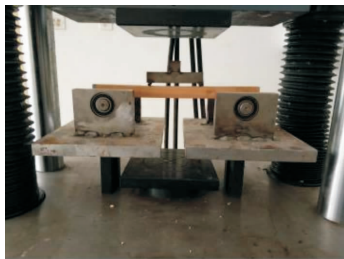


图 15 柏木弯曲抗拉强度试验  
Fig. 15 Test determination bending tensile strength of cedar-wood

#### 4.2 试验现象及结果分析

4 种不同使用年限柏木的抗弯破坏现象均是先在试件跨中下缘出现一短小竖向垂直拉裂缝, 然后沿柏木顺纹出现破裂现象(图 16). 在破坏时, 80 a 的柏木在受弯破坏时, 有明显的劈裂声, 其它年限柏木未出现明显的劈裂声. 再次说明柏木随着使用时间的增长, 表现出明显的脆性. 图 17 所



图 16 柏木抗弯试验典型破坏形态  
Fig. 16 Typical failure mode of bending tensile test specimen  
示 4 种不同使用年限柏木的弯曲抗拉强度试验荷载-位移关系曲线表明, 10 a 柏木弯曲抗拉极限荷载最大, 40 a 次之, 80 a 最小. 表 3 和图 18 所示不同使用年限柏木弯曲抗拉强度值表明: 与柏木的顺纹抗拉强度类似, 10 a 的柏木弯曲抗拉强度最高, 为 197.68 MPa, 80 a 的柏木弯曲抗拉强度最低, 为 101 MPa. 10 a 的柏木抗弯强度比 1 a 柏木的抗弯强度高 75.2%, 40 a 柏木弯曲抗拉强度较 10 a 柏木的弯曲抗拉强度低 22.8%, 80 a 的柏木弯曲抗拉强度较 10 a 柏木的弯曲抗拉强度低 48.9%. 随着使用年限的增长, 在一定年限内, 弯曲抗拉强度有所提高, 到一定年限后之后逐渐降低.

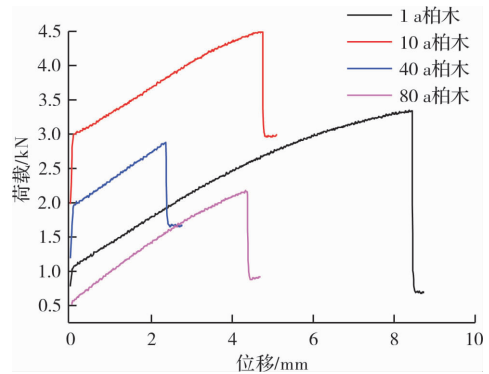


图 17 不同使用年限柏木代表性弯曲抗拉试验荷载-位移曲线

Fig. 17 Load-displacement curve of typical bending tensile test for cedar-wood with different service life

表 3 不同使用年限柏木的极限抗弯强度

Tab. 3 Bending tensile strength of cedar-wood with different service life MPa

数量	1 a 柏木	10 a 柏木	40 a 柏木	80 a 柏木
1	95.65	195.13	151.88	95.84
2	117.23	184.47	141.35	99.60
3	114.29	187.25	155.93	102.53
4	108.40	217.85	145.40	91.23
5	122.13	208.11	162.41	113.41
6	119.19	193.28	158.76	103.37
平均值	112.82	197.68	152.62	101.00

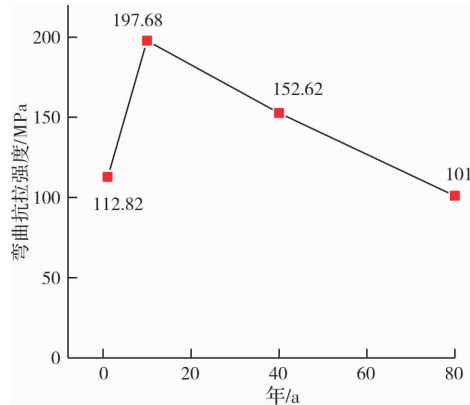


图 18 试件的抗弯强度值

Fig. 18 Bending tensile strength of cedar-wood with different service life

表 4 柏木的抗弯弹性模量值

Tab. 4 Bending elasticity modulus of cedar-wood with different service life

	MPa			
数量	1 a 柏木	10 a 柏木	40 a 柏木	80 a 柏木
1	9 216	11 872	11 078	7 849
2	9 322	12 715	11 155	7 401
3	9 476	11 436	11 423	7 851
4	9 476	12 177	11 408	7 654
5	9 327	12 389	11 366	7 763
6	9 331	11 367	11 443	7 628
平均值	9 358	11 993	11 312	7 691

同时,根据抗弯弹性模量计算公式<sup>[12]</sup>整理出了不同使用年限柏木的抗弯弹性模量(表 4),也绘制了柏木抗弯弹性模量随使用年限的规律图(图 19)。表 4 数据和图 19 表明,10 a 柏木的抗弯弹性模量最大,为 11 993 MPa,80 a 柏木的抗弯弹性模量最低,为 7 691 MPa。10 a 的柏木弯曲弹性模量比 1 a 弯曲弹性模量高 28.2%,40 a 柏木弯曲弹性模量较 10 a 柏木的弯曲弹性模量低 5.7%,80 a 的柏木弯曲弹性模量较 10 a 木材的弯曲弹性模量低 35.9%。说明在一定年限范围内,柏木的抗弯弹性模量是增加的,达到最大值后,又逐渐降低。

5 结论

柏木抗压强度、抗拉强度、弯曲抗拉强度及弹性模量均表现出随使用年限(时间)增长而变化的规律:

(1)柏木顺纹抗压强度随使用年限的增长而逐渐降低,使用年限越长,降低越明显;10 a 左右柏木表现出较好的抗压延性;随使用年限增长,柏

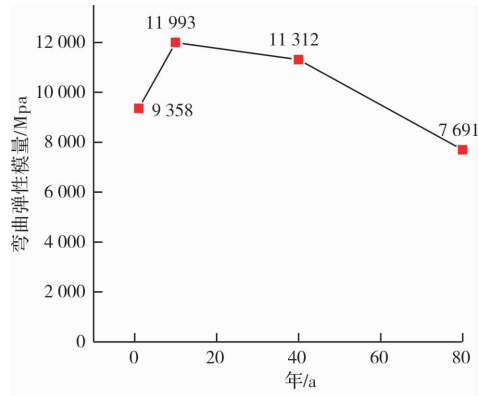


图 19 柏木抗弯弹性模量

Fig. 19 Bending elasticity modulus

木会表现出明显的脆性。

(2)柏木顺纹抗拉强度早期表现出一定的增长,到一定年限(本试验数据为 10 a)达到最大值,然后随使用年限的增长而逐渐降低。

(3)柏木的弯曲抗拉强度和抗弯弹性模量表现出与顺纹抗拉强度一样的规律,早期表现出一定的增长,到一定年限(本试验数据为 10 a)达到最大值,随使用年限的增长而逐渐降低,使用年限越久,降低程度越大。

(4)建议对柏木或其他木材的抗压、抗拉和弯曲抗拉和弹性模量等强度指标的取值应考虑随使用年限(时间)的增加而变化的特性,以保证木结构建筑的全寿命周期内的计算分析和设计的准确性。

参考文献 References

[1] 王竹君,夏晋,金伟良. 一种改进的工程结构全寿命设计理论指标体系[J]. 建筑结构学报,2019,40(1): 40-48.  
WANG Zhujun, XIA Jin, JIN Weiliang. Modified life-cycle design index system of engineering structures [J]. Journal of Building Structures, 2019, 40(1): 40-48.

[2] 李宏男,郑晓伟,李超. 高性能结构抗多次多种灾害全寿命性能分析与设计理论研究进展[J]. 建筑结构学报,2019,40(2):56-69.  
LI Hongnan, ZHENG Xiaowei, LI Chao. Research progress on life-cycle multi-hazard-based design theory for high-performance structures[J]. Journal of Building Structures,2019,40(2): 56-69.

[3] 陈国营. 古建筑旧木材材质变化及影响建筑形变的研究[J]. 古建园林技术,2003(3): 49-52.  
CHEN Guoying. Study on the change of old wood material of ancient buildings and its influence on building deformation[J]. Ancient Garden Technology,2003(3): 49-52.

- [4] CERHARDS C C. Time related effects on wood strength: A linear cumulative damage theory[J]. Wood Science, 1979, 11(3):139-144.
- [5] LEICESTER R H, COLE I S, FOLIENTE G C, et al. Prediction models for durability of timber construction[C]//The 5th world conference on Timber Engineering. (WLTE1908)[S. l.], 1998, 2:2-10.
- [6] 徐明刚, 邱洪兴. 古建筑旧木材材料性能试验研究[J]. 工程抗震与加固改造, 2011, 33(4): 53-55.  
XU Minggang, QIU Hongxing. Experimental study on properties of aged wood of ancient architecture[J]. Earthquake Resistant Engineering and Retrofitting, 2011, 33(4): 53-55.
- [7] 赵鸿铁, 张凤亮, 薛建阳, 等. 古建筑木结构的结构性能研究综述[J]. 建筑结构学报, 2012, 33(8):1-10.  
ZHAO Hongtie, ZHANG Fengliang, XUE Jianyang, et al. Research review on structural performance of ancient timber structure[J]. Journal of Building Structures, 2012, 33(8):1-10.
- [8] 谢妍. 古建筑木结构修缮加固时木材材料强度取值探讨[J]. 建材与装饰, 2016(8):126-127.  
XIE Yang. Discussion on the strength value of wood material in the repair and reinforcement of ancient building wood structure[J]. Building Materials and Decoration, 2016 (8): 126-127.
- [9] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 木结构试验方法标准:GBT:50329-2012[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2012.  
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Standard for test methods of timber structures: GBT 50329-2012[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012.
- [10] 中国国家标准化管理委员会. 木材含水率测定方法: GBT 1931-2009[S]. 北京:中国标准出版社, 2009.  
Standardization Administration of the People's Republic of China. Method for determination for moisture of wood: GBT 1931-2009[S]. Beijing: Standards Press of China, 2009.
- [11] 中国国家标准化管理委员会. 木材顺纹抗压强度试验方法: GB/T 1935-2009 [S]. 北京:中国标准出版社, 2009.  
Standardization Administration of the People's Republic of China. Method of testing in compressive strength parallel to grain of wood: GBT 1935-2009[S]. Beijing: Standards Press of China, 2009.
- [12] 中国国家标准化管理委员会. 木材顺纹抗拉强度试验方法: GBT 1938-2009 [S]. 北京:中国标准出版社, 2009.  
Standardization Administration of the People's Republic of China. Method of testing in tensile strength parallel to grain of wood: GBT 1938-2009 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2009.
- [13] 中国国家标准化管理委员会. 木材抗弯弹性模量测定方法: GBT 1936. 2-2009 [S]. 北京:中国标准出版社, 2009.  
Standardization Administration of the People's Republic of China. Method of determination of modulus of elasticity in static bending of wood: GBT/1936. 2-2009 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2009.
- [14] 中国国家标准化管理委员会. 木材抗弯强度试验方法: GBT 1936. 1-2009[S]. 北京:中国标准出版社, 2009.  
Standardization Administration of the People's Republic of China. Method of testing in bending strength of wood: GBT 1936. 1-2009[S]. Beijing: Standards Press of China, 2009.
- [15] 古建筑木结构维护与加固规范编制组. 古建筑木结构用材的树种调查及其主要材性的实测分析[J]. 四川建筑科学研究, 1994(1):11-14.  
Code Compilation Group for Maintenance and Reinforcement of Ancient Building Timber Structure. Investigation of wood species used for timber structure of ancient buildings and measurement and analysis of its main material properties[J]. Sichuan Building Science Research of, 1994(1):11-14.

(编辑 吴海西 桂智刚)