

# 毛白杨静态压缩力学性能研究及吸能分析

谢若泽<sup>1,2</sup>, 郭玲梅<sup>1,2</sup>, 李尚昆<sup>1,2</sup>, 张斌<sup>1,2</sup>, 钟卫洲<sup>1,2</sup>

(1.中国工程物理研究院总体工程研究所, 四川 绵阳 621900;

2.工程材料与结构冲击振动四川省重点实验室, 四川 绵阳 621900)

**摘要:** 目的 获取毛白杨的静态压缩力学性能。方法 针对含水率为 14.6%, 密度为 0.544 g/cm<sup>3</sup> 的毛白杨木材试件进行静态压缩实验, 通过实验获得毛白杨顺纹、横纹径向和横纹弦向的抗压模量、准静态压缩应力-应变曲线, 并对不同方向的吸能特性进行分析。结果 毛白杨木材顺纹、横纹径向和横纹弦向抗压弹性模量分别为 10.49 GPa、887 和 504 MPa; 顺纹方向加载试件破坏形式表现为轴向屈曲, 横纹径向为沿径向的裂纹及破坏, 横纹弦向的破坏模式则为沿木纹纤维间的分离破坏。结论 在相同变形(应变相等)情况下, 毛白杨木材单位体积吸能沿顺纹方向压缩吸收的能量最大。在应变小于 0.45 情况下, 横纹径向和弦向压缩吸能曲线基本重合, 随着应变继续增加, 横纹弦向压缩吸能略大于横纹径向压缩吸能。

**关键词:** 毛白杨; 准静态压缩; 顺纹; 横纹; 吸能

中图分类号: O347

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2021)05-0106-07

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2021.05.016

## Investigation of Quasi-static Compression Mechanical Properties of Populus Tomentosa

XIE Ruo-ze<sup>1,2</sup>, GUO Ling-mei<sup>1,2</sup>, LI Shang-kun<sup>1,2</sup>, ZHANG Bin<sup>1,2</sup>, ZHONG Wei-zhou<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Systems Engineering, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China; 2. Shock and Vibration of Engineering Materials and Structures Key Laboratory of Sichuan Province, Mianyang 621900, China)

**ABSTRACT:** In order to get the quasi-static compression mechanical properties of populus tomentosa, quasi-static compression tests were proposed to the populus tomentosa specimen with a moisture content of 14.6% and a density of 0.544 g/cm<sup>3</sup>. Compression modulus and stress-strain curves along axial, radial and tangential loading directions were obtained, and the energy-absorbing were analyzed according to the test results. Experimental results show that the compression modulus of populus tomentosa under axial, radial and tangential is 10.49 GPa, 887 MPa and 504 MPa, respectively. The failure modes are fiber buckling and wrinkle when loading direction is along the grain. When loading direction is along radial across the grain, the failure mode is crack along the radial direction. And the failure mode is separation between the grains when the loading direction is tangential across the grain. Energy absorption density under the axial compression is the highest at the same strain. Energy ab-

收稿日期: 2021-03-30; 修订日期: 2021-04-14

Received: 2021-03-30; Revised: 2021-04-14

基金项目: 中国工程物理研究院创新发展基金培育项目(PY20210044)

Fund: Innovation and Development Foundation Cultivation Project of CAEP (PY20210044)

作者简介: 谢若泽(1970—), 男, 硕士, 研究员, 主要研究方向为冲击动力学。

Biography: XIE Ruo-ze (1970—), Male, Master, Professor, Research focus: impact dynamics.

通讯作者: 钟卫洲(1978—), 男, 博士, 研究员, 主要研究方向为冲击动力学。

Corresponding author: ZHONG Wei-zhou (1978—), Male, Doctor, Professor, Research focus: impact dynamics.

引文格式: 谢若泽, 郭玲梅, 李尚昆, 等. 毛白杨静态压缩力学性能研究及吸能分析[J]. 装备环境工程, 2021, 18(5): 106-112.

XIE Ruo-ze, GUO Ling-mei, LI Shang-kun, et al. Investigation of quasi-static compression mechanical properties of populus tomentosa[J]. Equipment environmental engineering, 2021, 18(5): 106-112.

sorption curves under radial and tangential are almost the same when strain is less than 0.45, then the energy absorption under tangential is slightly higher than that of the radial orientation with the strain increasing.

**KEY WORDS:** populus tomentosa; quasi-static compression; parallel to grain; perpendicular to grain; energy-absorbing

各类工业产品,特别是武器装备,在全寿命周期中,有可能经历异常环境,遭遇意外事故,需要采取各种措施对产品进行有效保护,而包装箱就是最常用的措施之一。在异常环境下包装箱的性能如何,对产品的安全性和效能的有效发挥起着很大的作用<sup>[1-4]</sup>。

木材由于具有取材方便、易加工、高比吸能、耐冲击、阻燃隔热等优良特性,目前已作为结构材料广泛应用于工业产品和民用建筑领域。同时由于木材具有较好的吸能特性,常在各类包装箱中作为缓冲材料。

包装结构及其内容物经历的异常环境通常包含火烧、水浸、跌落以及穿击等,这就要求抗事故包装结构不仅耐高温、防火、隔热,同时要具有承载、抗冲击等性能。木材作为包装结构的重要组成部分,其力学性能和吸能特性日益受到人们的关注。

木材为天然生长材料,其纤维组织沿生长方向为顺纹,沿横截面方向又有横纹径向和横纹弦向 2 个方向,不同的方向具有不同的力学特性。木材的力学性能受含水率和应变率的影响较大,在小变形时可视为线弹性材料,而在较大载荷时,其力学行为表现为非线性。

学者们针对木材的力学性能进行了大量研究。Reiterer 等<sup>[5]</sup>研究了木材沿顺纹、径向的单轴压缩性能,采用正交各向异性弹性和 Tsai-Hill 强度理论描述了不同方向的杨氏模量、泊松比和压缩强度。Koji、Kazunari、Mika 等<sup>[6-8]</sup>针对哑铃状木材试样开展了拉伸实验,表明木材的拉伸强度与材料方向密切相关,垂直于木材纤维方向的拉伸强度相对较低,即木材胞元间的黏结强度小于木材纤维顺纹拉伸强度。W. Sonderegger 等<sup>[9]</sup>通过准静态弯曲实验、冲击弯曲实验和拉伸实验获得了云杉在不同力学状态下的破坏强度。钟卫洲等<sup>[10]</sup>利用 Instron 和 Hopkinson 压杆对含水率 12.72% 的云杉木材进行了准静态和动态压缩实验,获得了云杉木材沿顺纹、横纹径向和横纹弦向 3 个方向的抗压模量、准静态下应力应变曲线和 3 种应变率下的动态应力应变曲线。姚胜等<sup>[11]</sup>针对 3 种不同树龄的速生杨木材,测试了它们的物理力学性质,分析了树种和树龄对木材物理力学性能的影响。有关含水率对材料性能的影响、微观结构对材料性能的影响以及失效机制等,也有很多研究者进行了研究<sup>[12-14]</sup>。

毛白杨是我国主要的人工林树种,其木材材质、颜色均匀,湿心材比例低,加工性能好,是重要的防护林树种、城市绿化树种和风景景观树种,同时也是我国重要的用材林树种,可用于包装运输、建筑结构

等。黄荣风、毛安等<sup>[15-16]</sup>研究了热处理对毛白杨物理性能的影响,而作为缓冲材料,从力学和吸能角度对毛白杨木材性能的研究则很少看到。文中测试了毛白杨的密度和含水率等物理参数,并利用 Instron 试验机对毛白杨木材试件沿顺纹、横纹径向和横纹弦向进行准静态压缩实验,获得了毛白杨木材 3 个方向的抗压模量、准静态压缩应力-应变曲线,分析了毛白杨木材的吸能特性。

## 1 试件取材

木材的纤维组织沿树干方向生长,并向四周发散,具有正交各向异性。在树干内部垂直于树干方向和年轮方向截取一个立方体,则该立方体具有 3 个方向。平行于树干方向为顺纹方向;垂直于树干方向并平行于树干直径的为横纹径向;垂直于树干方向并平行于年轮方向的为横纹弦向。试样取向如图 1 所示<sup>[10]</sup>。

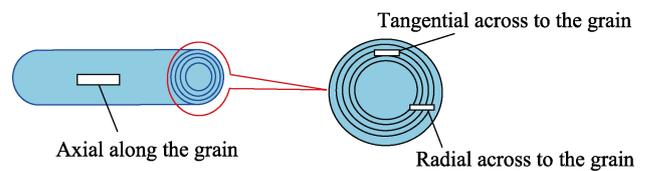


图 1 试件取向示意

Fig.1 Directional scheme of specimen

毛白杨采自湖北省利川市,均为直径为 400 mm 的圆木,所有试件取材均在髓心以外进行。经实验测得的毛白杨木材试件的平均密度<sup>[17]</sup>(烘干前)为  $0.544 \text{ g/cm}^3$ ,经温度为  $(103 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$  的烘箱烘烤 10 h 后,得到的平均含水率<sup>[18]</sup>为 14.6%。

## 2 毛白杨弹性模量

测量毛白杨弹性模量所用试件的尺寸为  $60 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ ,共 15 件,试件的长度方向分别沿横纹径向、横纹弦向和顺纹方向,每个方向 5 件<sup>[19-22]</sup>。毛白杨弹性压缩实验所获得的 3 个方向测试曲线分别如图 2 (顺纹)、图 3 (横纹径向)、图 4 (横纹弦向)所示。针对测试曲线的弹性段进行直线拟合,获得了毛白杨的顺纹抗压弹性模量、横纹径向抗压弹性模量、横纹弦向抗压弹性模量,分别为 10.49 GPa、887 和 504 MPa。由此可知,毛白杨不同方向的抗压弹性模量从大到小依次为顺纹方向、横纹径向、横纹弦向,横纹径向抗压弹性模量约为顺纹的 0.083,横纹弦向抗压弹性模量则为顺纹的 0.048。

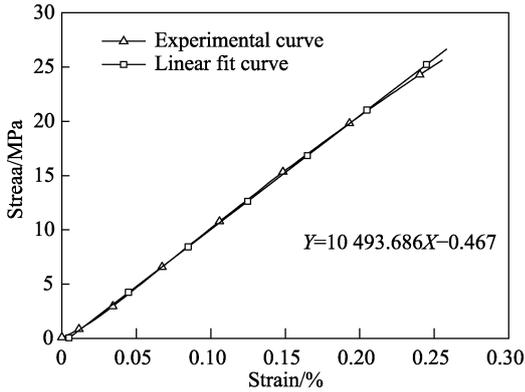


图2 顺纹抗压弹性模量实验测试与拟合曲线 Fig.2 Axial elastic modulus

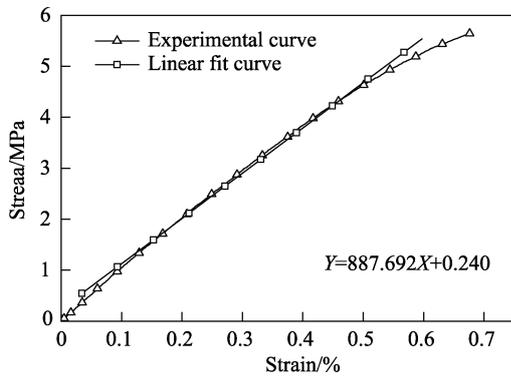


图3 横纹径向抗压弹性模量实验测试与拟合曲线 Fig.3 Radial elastic modulus

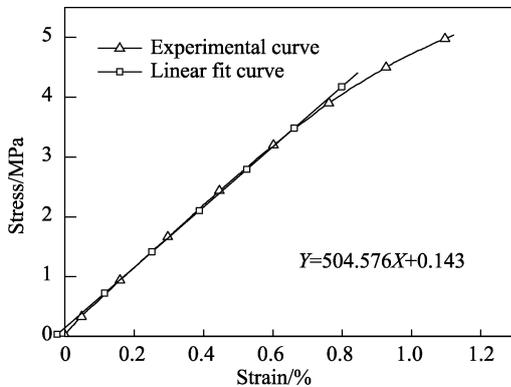


图4 横纹弦向抗压弹性模量实验测试与拟合曲线 Fig.4 Tangential elastic modulus

### 3 静态力学性能

毛白杨准静态压缩实验所用试件的尺寸为 30 mm×20 mm×20 mm，试件的长度方向分别沿横纹径向、横纹弦向和顺纹方向<sup>[19-22]</sup>，加载方向沿试件长度方向。准静态压缩作用下，毛白杨沿 3 个方向的应力-应变曲线如图 5 所示。由图 5 可见，毛白杨木材的压缩加载过程可以分为弹性、屈服、压实 3 个阶段。

顺纹方向准静态压缩应力-应变曲线如图 5a 所示，材料进入塑性屈服时的应变约为 0.025，屈服应

力约为 42.4 MPa。当应变达到约 0.6 时，材料进入压实状态，应力-应变曲线快速上升。整个曲线多次振荡，而不是圆滑的曲线，说明压缩过程中材料的承载能力随着胞壁结构的渐进破坏出现一定的波动。实验后试件的破坏情况如图 6 所示，可见毛白杨木材纤维中部在顺纹压缩作用下发生屈曲折断，然后向四周伸张、卷曲。受加载头和底部支撑面摩擦作用，沿纤维方向中部位置发生脱层，端面出现明显纤维脱层现象较少。

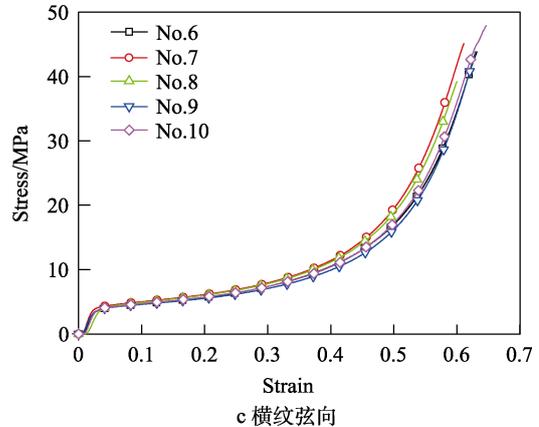
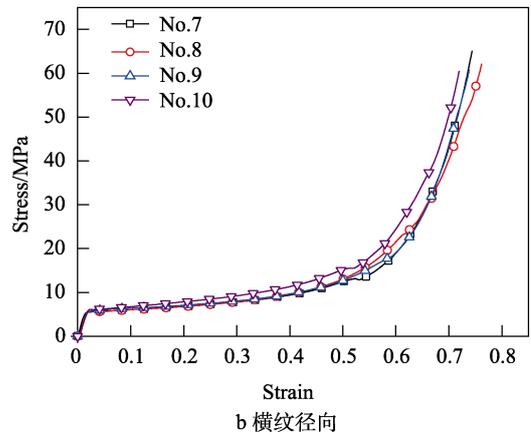
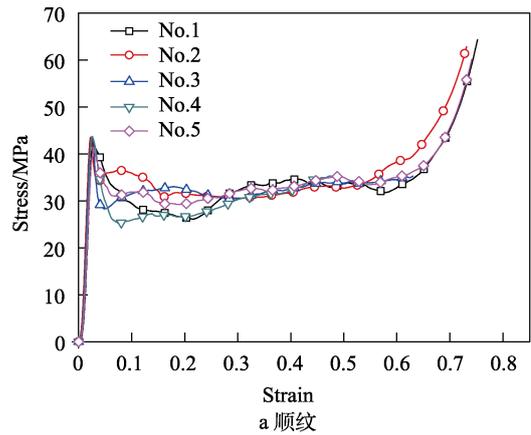


图5 不同压缩方向应力-应变曲线

Fig.5 Stress-strain curves of different directions: a) axial; b) radial; c) tangential



图 6 顺纹压缩变形情况  
Fig.6 Deformation after axial compression

横纹径向压缩的应力-应变曲线如图 5b 所示。不同于顺纹方向，在准静态横纹径向压缩过程中，应力-应变曲线没有先上升、后下降反复振荡的过程，而是呈单调递增。材料进入塑性屈服时的应变约为 0.02，屈服应力约为 5.81 MPa。在进入屈服以后，应力-应变曲线进入一个平台区，应力随着应变的增加而缓慢

增长。当应变达到约 0.55 时，木材胞壁发生破坏压实，应力进入一个快速增长阶段。实验后的破坏情况如图 7 所示。在横纹径向压缩作用下，毛白杨试件出现褶皱，且每层褶皱与加载面平行，并向侧面膨出。试件的轴线变成曲线，且试件的侧面成为波浪型，并沿径向产生劈裂。



图 7 横纹径向压缩变形情况  
Fig.7 Deformation after radial compression

横纹弦向压缩应力-应变曲线如图 5c 所示。与准静态横纹径向压缩相似，在准静态横纹弦向压缩过程中，应力-应变曲线没有先上升、后下降反复振荡的过程，而是呈单调递增。材料进入塑性屈服时的应变约为 0.02，屈服应力约为 3.26 MPa。在进入屈服以后，应力-应变曲线进入一个平台区，应力随着应变的增

加而缓慢增长。当应变达到约 0.45 时，木材胞壁发生破坏，试件进入压实阶段，应力进入一个快速增长阶段。压缩后的试件破坏情况如图 8 所示，可见试件沿压缩侧向（即径向）发生侧弯，部分试件沿年轮发生分层，最终形成剥离。

毛白杨沿顺纹方向、横纹径向和横纹弦向的压缩



图 8 横纹弦向压缩变形情况  
Fig.8 Deformation after tangential compression

应力-应变曲线比较如图 9 所示。顺纹方向的初始压缩强度远高于横纹（径向和弦向）。对于顺纹方向压缩，试件具有初始压缩强度 42.4 MPa，而横纹径向的屈服强度约为 5.81 MPa，横纹弦向的准静态屈服强度约为 3.26 MPa。不同压缩方向应力-应变曲线中，横纹径向和横纹弦向的应力-应变关系呈单调递增，而顺纹方向的应力-应变关系则分为增加—减小—平台—快速增加 4 个阶段。

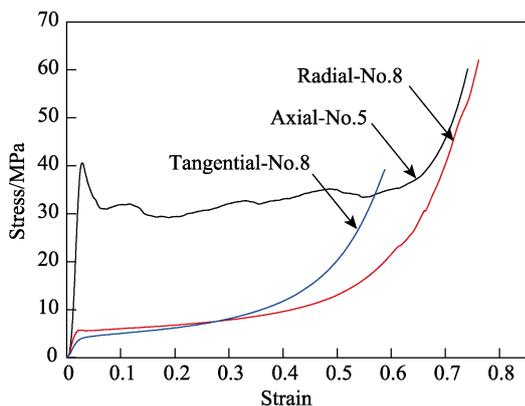


图 9 不同方向的应力-应变曲线比较

Fig.9 Comparison of stress-strain curves in different directions

#### 4 不同方向准静态压缩吸能分析

对于材料的吸能，一般通过应力-应变关系计算得到，如式（1）所示。

$$W = \int_0^{\epsilon_m} \sigma d\epsilon \quad (1)$$

对于多孔泡沫材料的吸能评估，Miltz 等人<sup>[23]</sup>根据缓冲材料准静态压缩应力-应变曲线，提出了吸能率  $E$  (Energy Absorption Efficiency) 和理想吸能率  $I$  (Ideality Energy Absorption Efficiency) 来描述材料的吸能特性。其相应的数学表达式见式（2）和式（3）。

$$E = \frac{\int_0^{\epsilon_m} \sigma d\epsilon}{\sigma_m \epsilon_m} \quad (2)$$

$$I = \frac{\int_0^{\epsilon_m} \sigma d\epsilon}{\sigma_m \epsilon_m} \quad (3)$$

式中： $\sigma_m$  和  $\epsilon_m$  分别为某位置所对应的应力和应变。式（2）表明，吸能效率为缓冲材料所吸收的能量与所对应应力的比值；式（3）表明，理想吸能效率为缓冲材料所吸收的能量与理想吸能材料（屈服平台区为矩形，应力为恒值）吸能的比值。

由于木材为多胞材料，可采用式（2）与式（3）对毛白杨不同方向（顺纹、横纹径向和横纹弦向）准静态压缩吸能特性进行分析。按式（1）计算得到的毛白杨单位体积不同方向压缩下的吸能-应变曲线如图 10 所示。可以看出，沿不同方向压缩得到的毛白杨木材单位体积吸能随工程应变的增加而增大。在相

同变形（应变相等）情况下，沿顺纹方向压缩吸收的能量最大。在应变小于 0.45 情况下，横纹径向和弦向压缩吸能曲线基本重合。随着应变继续增加，横纹弦向的压缩吸能略大于横纹径向。

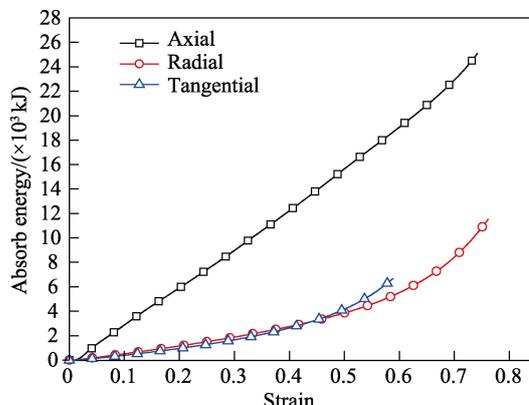


图 10 不同方向压缩吸能-应变关系

Fig.10 Absorbing energy-strain curves of different compression directions

根据式（2）计算得到的毛白杨不同方向吸能率与应变关系如图 11 所示。可以看出，在应变小于 0.1 时，不同方向压缩能量吸收率差异不大，吸能率曲线基本重合。随着应变继续增加，顺纹方向吸能率最大，横纹弦向吸能率最小。

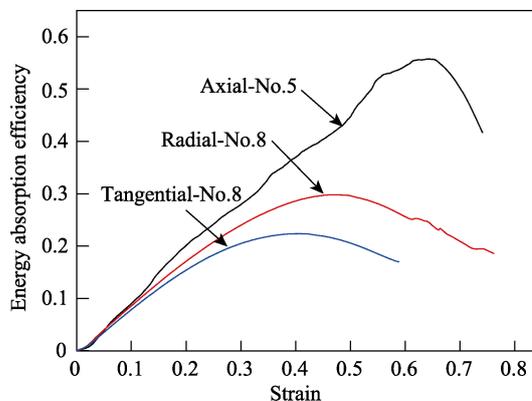


图 11 不同方向吸能率-应变关系

Fig.11 Energy absorption efficiency-strain curves of different compression directions

依据理想吸能率式（3）计算获得的毛白杨理想吸能率与应变关系如图 12 所示。由于毛白杨顺纹压缩应力-应变关系非单调性，按式（3）计算得到的毛白杨顺纹压缩平台段理想吸能率超过 1.0。由图 12 可知，在应变范围很小时（应变小于 0.054），3 个方向的理想吸能率首先快速下降，然后快速上升。当应变大于 0.054 以后，顺纹压缩理想吸能率最高，横纹弦向的理想吸能率最低。

从上述分析看出，毛白杨不同方向压缩屈服强度不同，其中顺纹方向压缩强度最大（约 42.4 MPa），而横纹径向的屈服强度约为 5.81 MPa，横纹弦向的准

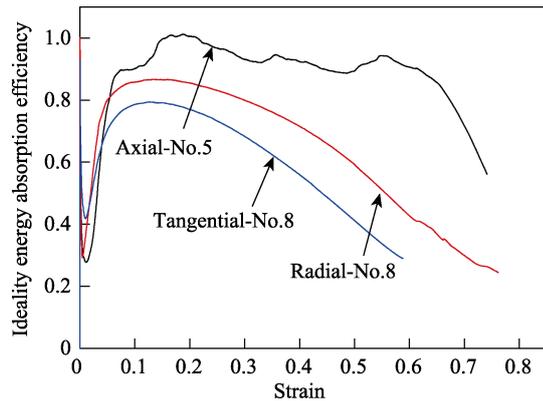


图 12 不同方向理想吸能率-应变关系

Fig.12 Ideality energy absorption efficiency-strain curves of different compression directions

静态屈服强度约为 3.26 MPa。横纹径向与横纹弦向方向压缩吸能率、理想吸能率与应变关系基本一致。由于顺纹压缩应力-应变关系非单调性, 其压缩吸能率接近 0.5, 理想吸能率达到约 1.0。因此将毛白杨作为包装缓冲材料时, 需针对被保护体所能承受的变形及应力范围来合理确定木材放置方向, 充分利用木材塑性屈服变形耗散能量, 以此起到有效保护产品的作用。

## 5 结论

针对含水率为 14.6%, 密度为 0.544 g/cm<sup>3</sup> 的毛白杨木材试件进行了静态压缩力学性能实验, 获得了毛白杨顺纹、横纹径向和横纹弦向的抗压模量、准静态压缩应力-应变曲线, 并对其不同方向的吸能特性进行了分析, 得到如下结论。

1) 毛白杨木材顺纹、横纹径向和横纹弦向的抗压弹性模量分别为 10.49 GPa、887 和 504 MPa。

2) 顺纹方向压缩屈服应力约为 42.4 MPa, 横纹径向压缩屈服应力约为 5.81 MPa, 横纹弦向压缩屈服应力约为 3.26 MPa。

3) 顺纹方向加载时, 毛白杨的破坏模式表现为试件轴向屈曲, 木材纤维折断; 横纹径向的静态破坏模式为沿径向的裂纹及破坏; 横纹弦向的静态破坏模式为沿木纹方向的分离破坏。

4) 在相同变形(应变相等)情况下, 毛白杨木材沿顺纹方向压缩单位体积吸能最大。在应变小于 0.45 情况下, 横纹径向和弦向压缩吸能曲线基本重合。随着应变继续增加, 横纹弦向压缩吸能略大于横纹径向压缩吸能。

5) 对于准静态压缩作用下, 在应变小于 0.1 时, 不同方向的压缩能量吸收率差异不大, 吸能率曲线基本重合。随着应变继续增加, 顺纹方向吸能率最大, 横纹弦向吸能率最小。

### 参考文献:

[1] 肖冰, 黄晓霞, 彭天秀. 国外弹药包装的现状与发展趋

势研究[J]. 包装工程, 2005, 26(5): 220-227.

XIAO Bing, HUANG Xiao-xia, PENG Tian-xiu. Research on current situation and development trend of foreign ammunition packaging[J]. Packaging engineering, 2005, 26 (5): 220-227.

[2] 周定如, 蔡建, 赵耀辉, 等. 美国军用包装技术发展的经验和启示[J]. 包装工程, 2010, 31(7): 80-83.

ZHOU Ding-ru, CAI Jian, ZHAO Yao-hui, et al. Enlightenment from the experience in development of US military packaging technique[J]. Packaging engineering, 2010, 31(7): 80-83.

[3] 苏远. 缓冲包装理论基础与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 1-15.

SU Yuan. Theoretical basis and application of cushioning packaging[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006: 1-15.

[4] 谢若泽, 钟卫洲, 黄西成, 等. 吸能包装模型结构的冲击响应[J]. 爆炸与冲击, 2019, 39(10): 103103-1-103103-9.

XIE Ruo-ze, ZHONG Wei-zhou, HUANG Xi-cheng, et al. Impact response of scaled models of an energy-absorbing container[J]. Explosion and shock waves, 2019, 39(10): 103103-1-103103-9.

[5] REITERER A, STANZL T, STEFANIE E. Compressive behaviour of softwood under uniaxial loading at different orientations to the grain[J]. Mechanics of materials, 2001, 33: 705-715.

[6] KOJI M, HIROAKI N, TAKATO N. Estimation of width of fracture process zone in spruce wood by radial tensile test[J]. Mechanics of materials, 2011, 43: 389-396.

[7] KAZUNARI M, KOJI M. Strain-softening behavior of wood under tension perpendicular to the grain[J]. Journal of wood science, 2007, 53(6): 463-469.

[8] MIKA G, THIBAUD S. Shear strength and perpendicular-to-grain tensile strength of defect-free Scots pine wood from mature stands in Finland and Sweden[J]. Wood science and technology, 2008, 42(1): 75-91.

[9] SONDEREGGER W, NIEMZ P. The influence of compression failure on the bending, impact bending and tensile strength of spruce wood and the evaluation of non-destructive methods for early detection[J]. European journal of wood and wood products, 2004, 62(5): 335-342

[10] 钟卫洲, 宋顺成, 黄西成, 等. 三种加载方向下云杉静态力学性能研究[J]. 力学学报, 2011, 43(6): 1141-1150.

ZHONG Wei-zhou, SONG Shun-cheng, HUANG Xi-cheng, et al. Research on static and dynamic mechanical properties of spruce wood by three loading directions[J]. Chinese journal of theoretical and applied mechanics, 2011, 43(6): 1141-1150.

[11] 姚胜, 蒲俊文. 三种速生杨木材物理力学性质的比较研究[J]. 福建林业科技, 2008, 35(3): 148-152.

YAO Sheng, PU Jun-wen. Comparative study on physical and mechanical properties of three kinds of fast growing poplar[J]. Fujian forestry science and technology, 2008,

- 35(3): 148-152
- [12] STEFFEN O, ULRIKE G, EDUARD A. The elastic modulus of spruce wood cell wall material measured by an in situ bending technique[J]. *Journal of materials science*, 2006, 41: 5122-5126.
- [13] GONG M, SMITH I. Effect of load type on failure mechanisms of spruce in compression parallel to grain[J]. *Wood science and technology*, 2004, 37: 435-445.
- [14] TRTIK P, DUAL J, KEUNECKE D, et al. 3D imaging of microstructure of spruce wood[J]. *Journal of structural biology*, 2007, 159: 46-55.
- [15] 黄荣凤, 吕建雄, 曹永建. 热处理对毛白杨木材物理力学性能的影响[J]. *木材工业*, 2010, 24(4): 5-8.  
HUANG Rong-feng, LV Jian-xiong, CAO Yong-jian. Effect of heat treatment on physical and mechanical properties of *Populus tomentosa*[J]. *Wood industry*, 2010, 24(4): 5-8
- [16] 毛安, 陈澄, 席恩华. 热处理对毛白杨物理力学性能的影响[J]. *林产工业*, 2018, 45(6): 32-35.  
MAO An, CHEN Cheng, XI En-hua. Effect of heat treatment on physical and mechanical properties of *Populus tomentosa*[J]. *Forestry industry*, 2018, 45(6): 32-35
- [17] GB 1933—2009, 木材密度测定方法[S].  
GB 1933—2009, Method for determination of the density of wood[S].
- [18] GB 1931—2009, 木材含水率测定方法[S].  
GB 1931—2009, Method for determination of the moisture content of wood[S].
- [19] GB/T 15777—2017, 木材顺纹抗压弹性模量测定方法[S].  
GB/T 15777—2017, Method for determination of the modulus of elasticity in compression parallel to grain of wood[S].
- [20] GB 1943—2009, 木材横纹抗压弹性模量测定方法[S].  
GB 1943—2009, Method for determination of the modulus of elasticity in compression perpendicular to grain of wood[S].
- [21] GB 1935—2009, 木材顺纹抗压强度试验方法[S].  
GB 1935—2009, Method of testing in compressive strength parallel to grain of wood[S].
- [22] GB 1939—2009, 木材横纹抗压试验方法[S].  
GB 1939—2009, Method of testing in compression perpendicular to grain of wood[S].
- [23] MILTZ J, GRUENBAUM G. Evaluation of cushion properties of plastic foams compressive measurements[J]. *Polymer eng sci*, 1981, 21(15) : 1010-1014.