新疆杨木抗压基本力学性能试验研究

□ 谭鑫宇　刘 清　韩 霞　李亮翔

[摘　要] 本文针对新疆杨木顺纹、横纹以及横纹斜向进行抗压基本力学性能试验研究，观察破坏现象，分析新疆杨木试件受压性能、承载力及荷载—位移曲线。结果表明，新疆杨木顺纹受压试件破坏时表现为木材压溃，横纹弦向受压试件破坏后无明显裂缝和褶皱，表现出压缩破坏现象，横纹斜向和横纹径向受压试件破坏时均沿早材薄弱处压溃，并且试件出现分层。顺纹和横纹受压荷载—位移曲线均存在弹性阶段和塑性阶段，但是顺纹受压试件破坏后，曲线出现下降段，荷载下降，而横纹受压荷载—位移曲线在塑性阶段后会进入密实段，荷载继续增加。

[关键词] 新疆杨木；抗压强度；顺纹；横纹

新疆杨木是新疆当地一种具有地域特色的树种，生长周期短，抗大气干旱，较耐盐碱，具有出材率高的特点。但是新疆杨木与其他木材相同，力学性质都存在各向异性和变异性[1]，近年来，我国学者对木材性能做了大量研究，并将部分研究结果纳入国家标准[2]。陶俊林等对静力作用下木材大变形的本构关系进行了试验研究[3]；曹丽芳等对5种木材的横纹受压破坏现象进行了试验分析[4]；谢启芳等试验分析了落叶松受压小试件在反复荷载作用下的应力—应变关系[5]。由上可知，目前主要针对落叶松、樟子松和山樟等树种进行试验及理论研究，而新疆杨木的基本力学性能研究较少。现行的《木结构设计标准》（GB/T 50005—2017）[6]中也尚未给出新疆杨木的抗压力学性能参数。

本文以新疆杨木为研究对象，主要参照《木结构试验方法标准》(GB/T 50329—2012)[7]、《木材顺纹抗压强度试验方法》（GB/T 1935—2009）[8]、《木材横纹抗压试验方法》（GB/T 1939—2009）[9]制作试件，进行抗压试验，并对新疆杨木顺纹方向、径向、弦向，横纹斜向的受压破坏形式及抗压强度进行了观察分析，为研究新疆杨木柱、梁等构件承载力以及在土木工程中的应用提供一定的参考。

1 试验概况

1.1 试件设计及制作

本试验木材选取无明显缺陷的新疆和田地区新疆杨木。根据《木材物理力学试验方法总则》（GB/T 1928—2009）[10]、《木材物理力学试材锯解及试样截取方法》（GB/T 1929—2009）[11]的相关规定制作试件，根据《木结构试验方法标准》(GB/T 50329—2012)、《木材顺纹抗压强度试验方法》（GB/T 1935—2009）、《木材横纹抗压试验方法》（GB/T 1939—2009）的相关规定，制作15组试件，其中顺纹方向3组、径向3组、横纹斜向30°3组、横纹斜向60°3组、弦向3组，每组5个试件，试件编号如表1所示，横纹斜向受压试件具体尺寸及纹路如图1所示。

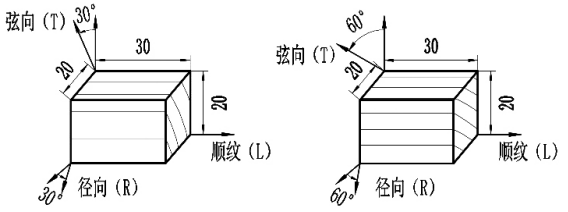


图1　横纹斜向30°、60°抗压强度试验试件纹路方向及尺寸示意图

表1 试件编号

试件编号	试件纹路	试件尺寸（mm）	试件试验组	试件数量
SW	顺纹	30×20×20	3	15
HW—00	弦向	20×30×20	3	15
HW—30	横纹斜向30°	20×30×20	3	15
HW—60	横纹斜向60°	20×30×20	3	15
HW—90	径向	20×30×20	3	15

[基金项目] 新疆维吾尔自治区自然科学基金项目“FRP加固新疆杨木柱力学及粘结界面滑移性能研究”（编号：2019D01C048）研究成果。

[作者简介] 谭鑫宇，新疆大学建筑工程学院，硕士研究生。
刘　清（通信作者），新疆大学建筑工程学院，教授，博士生导师。
韩　霞，新疆大学建筑工程学院，讲师，硕士。
李亮翔，新疆大学建筑工程学院，硕士研究生。

1.2 加载方案

采用600kN微机控制电液伺服万能试验机（WAW—600），根据《木材顺纹抗压强度试验方法》（GB/T 1935—2009）、《木材横纹抗压试验方法》（GB/T 1939—2009）的规定，顺纹抗压强度和横纹抗压强度试验加载方式均采用连续匀速位移加载，加载速度为2mm/min，其中顺纹抗压试验当极限荷载下降到70%时终止加载；横纹抗压试验位移加载至8mm～10mm时终止加载。

1.3 含水率试验

根据《木材含水率测定方法》（GB/T 1931—2009）[12]，从原材料取样制作5组含水率试件，每组3个，试件尺寸为20mm×20mm×20mm。测定设备采用电热恒温鼓风干燥箱（型号：101—3A）及电子秤根据公式（1）对含水率进行计算。

$$W=\frac{m_1-m_0}{m_0}\times 100 \qquad (1)$$

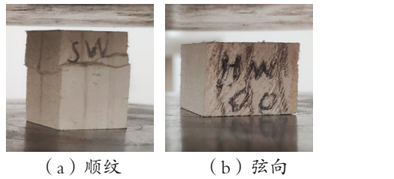
式中：W为试件含水率，m_1为试件试验时质量，m_0为试件全干时质量。

计算得到试件试验时含水率为9.01%。

2 试验结果及分析

2.1 试件破坏现象

图2为木材受压破坏形态主要分为3种：（1）顺纹受压时，破坏现象为木材压溃；（2）弦向受压破坏时，试件发生塑性变形，表面未出现裂缝或褶皱；（3）横纹斜向和径向受压时，破坏现象为试件沿早材薄弱处出现分层现象。



（a）顺纹　（b）弦向

（c）横纹斜向30°　（d）横纹斜向60°　（e）径向

图2 不同受压方向破坏形态

如图2（a）所示，顺纹压缩试件首先在试件中部出现横向褶皱，随着荷载的持续增加，褶皱不断水平扩展，直至贯连，最终压溃破坏；如图2（b）所示，弦向压缩试件早材和晚材一起变形，共同承受荷载，由于早材强度比晚材低，先开始压溃，荷载逐渐由晚材承担，试件发生塑性形变，表面没有出现明显的褶皱和裂缝；如图2（c）、2（d）所示，横纹斜向压缩试件首先在早材和晚材相连接的薄弱处出现裂缝，随着加载位移的增加，裂缝不断扩展，最后沿薄弱处贯通，试件出现分层的现象，并且发生错位；如图2（e）所示，径向压缩试件破坏现象初期与横纹斜向压缩试件相似，先沿早材薄弱处出现分层现象，但是随着加载位移的继续增大，每一层木材都逐渐沿弦向向外鼓起。

2.2 荷载—位移曲线

如图3所示，顺纹受压和横纹受压的荷载—位移曲线均存在弹性阶段和塑性阶段，但是顺纹受压试件在达到破坏荷载之后，荷载—位移曲线出现下降段；而横纹受压试件在塑性阶段结束后，早材虽然被压溃，但是晚材仍然能够承担荷载，随着加载位移的持续增加，荷载继续增大。

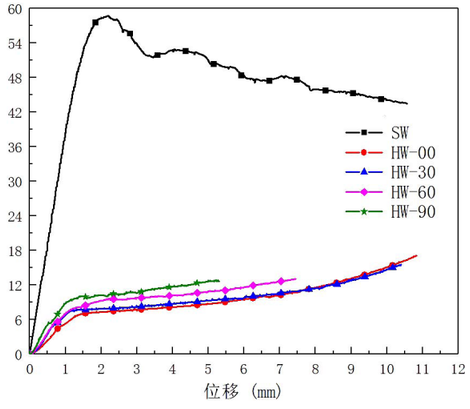


图3 受压荷载—位移曲线

顺纹受压荷载—位移曲线第一个阶段为弹性阶段，荷载与位移近似呈线性关系；第二个阶段为塑性阶段，由于试件部分木材压溃，荷载增加速度逐渐降低，荷载—位移曲线呈非线性关系；第三个阶段为荷载下降段，即达到极限荷载之后，试件破坏，随着加载位移的持续增加，承载力开始下降。

横纹弦向受压受压荷载—位移曲线同样由3个阶段组成。第一个阶段为弹性阶段，早、晚材一起变形，共同承担荷载，荷载与位移近似呈线性关系；第二个阶段为塑性阶段，由于早材不断压溃，荷载逐渐由晚材承担，荷载增加速度逐渐降低，荷载与位移呈非线性关系；第三个阶段为密实化阶段，该阶段荷载主要由晚材承担，随着加载位移的持续增加，荷载不断增大，且增加速度不断加快[13]。

径向受压试件荷载—位移曲线同样分为3个阶段。第一个阶段为弹性阶段，荷载由早材细胞的弹性变形来承担，荷载与位移近似呈线性关系[14]；第二个阶段为塑性阶段，由于早材不断压溃，荷载逐渐由晚材承担，荷载与位移呈非线性关系；第三个阶段为密实化阶段，该阶段荷载主要由晚材承担，随着加载位移的持续增加，荷载不断增大。

横纹斜向荷载—位移曲线在弹性阶段差别不大，但是进入塑性阶段后，曲线开始出现差异。原因是早材压溃，试件在早材处出现分层现象，横纹斜向30°、60°的试件分层后随着加载位移的持续增加，试件沿早材压溃处弦出现滑移，因为角度的不同，横纹斜向30°的密实段与弦向相似，横纹斜向60°的密实段与径向相似。

2.3 强度

根据《木材顺纹抗压强度试验方法》（GB/T 1935—2009）、《木材横纹抗压试验方法》（GB/T 1939—2009）规定，试件抗压强度通过公式（2）、公式（3）计算获得。

$$\sigma_{w,\ 顺纹}=\frac{P_{max}}{bt} \qquad (2)$$

$$\sigma_{w,\ 横纹}=\frac{P}{bl} \qquad (3)$$

式中：$\sigma_{w,\ 顺纹}$、$\sigma_{w,\ 横纹}$分别为试样的顺纹、横纹抗压强度，单位为MPa；W为试样含水率（%）；P_{max}为试样破坏荷载，单位为N；l、b、t分别为试件的长度、宽度、厚度，单位为mm。

通过公式（4）、公式（5）换算得到含水率为12%的强度值$\sigma_{12,\ 顺纹}$、$\sigma_{12,\ 横纹}$。

$$\sigma_{12,\ 顺纹}=\sigma_{w,\ 顺纹}[\,1+0.050\,(W-12)\,] \qquad (4)$$

$$\sigma_{12,\ 横纹}=\sigma_{w,\ 横纹}[\,1+0.045\,(W-12)\,] \qquad (5)$$

式中：$\sigma_{12,\ 顺纹}$、$\sigma_{12,\ 横纹}$分别为试样含水率为12%时的顺纹、横纹抗压强度，单位为MPa。

计算结果见表3。

表3 抗压强度试验结果汇总

	顺纹	弦向	横纹斜向30°	横纹斜向60°	径向
含水率9.01%抗压强度（MPa）	59.20	6.30	7.00	7.10	8.50
含水率12%抗压强度（MPa）	50.30	5.50	6.10	6.10	7.40

根据我国主要树种物理力学性能分级表的标准[15]，中等强度为34.4MPa～54.9MPa，新疆杨木顺纹抗压强度为50.3MPa。将新疆杨木横纹抗压强度与5种常见树种进行比较[6]，见表4，图4为对比曲线图。

表4 抗压强度试验结果汇总

	弦向抗压强度（MPa）	斜向抗压强度（MPa）	斜向强度/弦向强度	径向抗压强度（MPa）	径向强度/弦向强度
新疆杨	5.40	6.05	1.12	7.40	1.37
樟子松[6]	4.05	2.39	0.59	3.76	0.93
落叶松[6]	10.33	4.56	0.44	5.15	0.50
菠萝格[6]	8.33	8.61	1.03	8.79	1.06
塔利[6]	12.35	12.78	1.03	13.35	1.08
山樟[6]	5.41	5.31	0.98	5.81	1.07

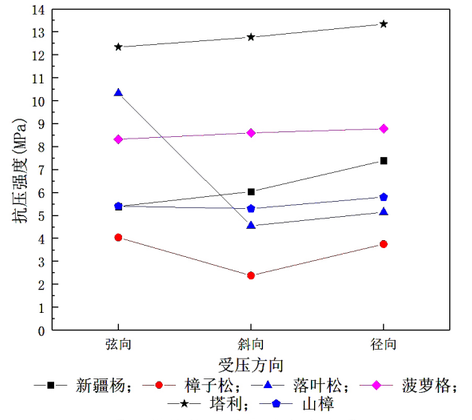


图4 横纹抗压强度对比曲线图

从表4和图4可知，横纹不同受压方向下，新疆杨木与菠萝格、塔利、山樟的横纹抗压强度均为径向抗压强度最大，弦向抗压强度最小。但是新疆杨木与菠萝格、塔利、山樟相比，横纹弦向、径向、斜向之间的抗压强度差别较大。落叶松和樟子松的横纹斜向抗压强度最小，横纹抗压强度受纹路方向的影响较大。原因是落叶

松、樟子松属于针叶树种，早材和晚材界限明显，早材的强度要低于晚材。弦向受压时，早材和晚材同步发生形变，共同承受荷载，所以抗压强度更高；横纹斜向受压时，试件会沿早材、晚材相接的薄弱处出现分层、错位破坏，所以强度较低。新疆杨木和菠萝格、塔利、山樟皆为阔叶树种，管孔肉眼可见，均匀分布在试件横截面上，因此横纹压缩方向的不同，抗压强度变化相差不大。

3 结论

（1）新疆杨木不同纹路方向单向受压时破坏形式主要分3种形式：顺纹受压时的压溃破坏；弦向受压时的压缩变形破坏；横纹斜向和径向受压时的沿早材薄弱处分层、错位破坏。

（2）顺纹受压荷载—位移曲线分为弹性阶段和塑性阶段，横纹受压荷载—位移曲线在试验初期与顺纹抗压相似，但是在经过塑性阶段后，荷载不会开始下降，而是进入密实阶段，荷载继续增大。

（3）新疆杨木顺纹抗压强度属于中等标准。新疆杨木横纹抗压强度大于山樟、樟子松，横纹受压时，径向、弦向、横纹斜向抗压强度之间的差异相较于樟子松和落叶松更低。

[参考文献]

[1]徐有明.木材学[M].北京:中国林业出版社,2006:178.
[2]刘伟庆,杨会峰.现代木结构研究进展[J].建筑结构学报,2019,40(2):16-43.
[3]陶俊林,蒋平,余作生.木材静压大变形本构关系研究[J].力学与实践,2000(5):25-27.
[4]曹丽芳,陈金永,牛庆芳,等.5种木材横纹局部承压性能试验研究[J].中国科技论文,2016,11(13):1452-1456.
[5]谢启芳,张利朋,王龙,等.木材径向反复受压应力—应变模型研究[J].湖南大学学报(自然科学版),2018,45(3):55-61.
[6]中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.木结构设计标准:GB/T 50005—2017[S].北京:中国建筑工业出版社,2017.
[7]中华人民共和国住房和城乡建设部.木结构试验方法标准:GB/T 50329—2012[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.
[8]中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,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.
[9]中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.木材横纹抗压试验方法:GB/T 1939—2009[S].北京:中国标准出版社,2009.
[10]中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.木材物理力学试验方法总则:GB/T 1928—2009[S].北京:中国标准出版社,2009.
[11]中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.木材物理力学试材锯解及试样截取方法:GB/T 1929—2009[S].北京:中国标准出版社,2009.
[12]中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.木材含水率测定方法:GB/T 1931—2009[S].北京:中国标准出版社,2009.
[13]伍艳梅,黄荣凤,高志强,等.木材横纹压缩应力—应变关系及其影响因素研究进展[J].林产工业,2018,45(11):11-16.
[14]徐朝阳,徐德良,贾翀,等.硬松类木材横纹压缩时能量吸收特性研究[J].包装工程,2014,35(17):11-14+38.
[15]黄平升,赵春梅,卢庸,等.黄果厚壳桂木材物理力学性能评价[J].广西林业科学,2020,49(4):595-598.