

木材主向剪切模量的动态测试方法

编制说明

(报批稿)

一、任务来源

本标准制订项目由国家林业和草原局下达，项目计划编号为 2019-LY-086，项目名称为“木材剪切模量的动态测试技术规程”。

二、编制目的和意义

在土木建筑、家具和木材加工行业中，锯材作为木结构建筑，高档家具制造，木地板等产品的必备主材，对其力学性能的检测及其质量评等工作尤为重要。木材弹性模量动态测试工作在国内外开展得很活跃，比较成熟，发表的文章也多。由于木材剪切模量的动态测试工作具有一定难度，国内外技术尚不太成熟，已发表的文章也少，因此开展木材剪切模量动态测试工作很有必要。

本标准提出了一个测试木材主向剪切模量的新方法-自由板扭转振型法，具有快速、重复性好和精度高的优点。该方法包括木材剪切模量和自由板一阶扭转频率间的关系式；自由板一阶扭转频率测试及其在频谱图上的识别。自由板扭转振型法从板的扭转振型出发，应用能量法导出了自由板一阶扭转频率与木材剪切模量间的关系式，该关系式是自由板扭转振型法测试木材剪切模量的依据。本标准从三个方面验证了自由板扭转振型法测试木材剪切模量的正确性：第一，对云杉、欧洲赤松、山毛榉、白蜡木和桃花心木的剪切模量数学仿真，剪切模量仿真值与其规定值一致；第二，用测试的西加云杉、国产马尾松、油松和杉木自由板的一阶扭转频率推算出的剪切模量与规定值一致，即动态试验方面验证；用静态方板扭转试验验证，自由板扭转振型法和静态方板扭转试验法测试的西加云杉剪切模量仅相差 2.1%。其表明了用 1 阶扭转频率测试剪切模量的方法是正确的，且具有足够高的精度。第三，测试自由板频谱是简单易行的，从频谱图中正确识别出一阶扭转频率是自由板扭转振型法测试剪切模量的关键。

因此，制定木材剪切模量的动态测试技术规程，有利于加快对锯材力学性能的检测及其质量评等工作的工程应用与推广，并推进木材加工、家具等行业的标准化和规模化发展，实现节约木材、优材优用等目的，经济效益和社会效益大。本标准是国家木材标准体系的重要组成部分，是现有国家、行业和地方标准的重要补充。

三、编制过程

2019 年 8 月，成立《木材剪切模量的动态测试技术规程》林业行业标准编制工作小组。本标准编制工作小组由南京林业大学牵头，联合灌南银得隆木业有限公司、中国林业科学研究院木材工业研究所、宁波中加低碳新技术研究院有限公司、江苏森之虎建筑工程有限公司、国家林业和草原局人造板及其制品质量检验检测中心（南京）、泰州学院、东北林业大学、东南大学、广西大学、江苏农林职业技术学院等相关高校、科研院所以及木结构等企业组成。

2019 年 9 月在宁召开了启动会及第一次标准编制小组讨论会，讨论了标准整体框架与标准主要内容、进度安排和起草任务分工。起草组决定将题目《木材剪切模量的动态测试技术规程》更改为《木材剪切模量的动态测试技术标准》。

2019 年 10 月，编制工作小组按照任务分工，分头搜集国内和日本等技术资料，对内容

进行归类整理与分析。

2019年11月，各工作组提交了各部分内容初稿，汇总形成标准文本第一稿，并在起草组内部征求对标准的整体性意见。

2019年12月，按照各方意见对标准文本进一步完善，并开始进入全面的试验验证阶段。

2020年1月，编制工作小组成员汇总所有相关技术结果进行分析研讨，并对照标准文本的技术指标和参数，修改完善标准内容，形成标准文本第二稿。研究增加了术语和定义等技术内容，形成了标准征求意见稿。

2020年6-8月，编制工作小组和负责归口本行业标准的全国标准化技术委员会结构用木材分技术委员会（TC41/SC4）在本行业单位和相关行业单位发出了《木材剪切模量的动态测试技术标准》《征求意见稿》和《编制说明》。

2020年9月，收到《征求意见稿》后，回函的单位有15个。其中，收到《征求意见稿》后，回函的并有建议的单位数有11个，回函无具体意见或建议的单位有4个。

2020年9月，编制工作小组决定将题目《木材剪切模量的动态测试技术标准》更改为《木材主向剪切模量的动态测试方法》。

2020年10月，编制工作小组成员对所有来函所提出的修改意见或建议进行了分析研讨，并对照标准文本的技术指标和参数，修改完善标准内容和编制说明，形成标准文本的《送审讨论稿》和《征求意见汇总表》。

2020年11月7日，全国木材标准化技术委员会结构用木材分技术委员在北京召开了《木材剪切模量动态测试方法》标准审查会。审查会由全国木材标准化技术委员会结构用木材分技术委员会任海青研究员主持。按照标准审查会议要求，会议首先听取了标准起草小组就标准编制说明和征求意见等方面的汇报；随后与会代表对标准送审稿进行了逐条逐句的认真讨论，并对标准进行了评议；最后一致通过本标准送审稿。

2020年11月10日-12月15日，编制工作小组成员对《木材剪切模量动态测试方法》标准审查会议纪要提出的意见进行了修改工作。其中，鉴于动态测量木材剪切模量方法受木材径级、加速度计等的影响很大，我们对标准审查会拟定的试样尺寸150mm×50mm×10mm再次进行了论证试验。由于该规格尺寸取了长宽比和宽厚比中的2个极端值，要测准150mm×50mm×10mm小试样的一扭频率很困难，其动态测试精度难以保证。考虑木材径级，保证测试精度和易于试验者操作等因素，通过采取变动试样尺寸和加速度计安装位置措施，已选择一种更合理的试样规格，即弦切面板、径切面板规格为240mm×80mm×10mm，横切面板规格为175mm×35mm×7mm，见6.1；测试时为了获得高精度的一扭频率，在试样上加加速度计放在板边距y轴0.125l处，再锤击试样角点，见图3。

2020年12月19日，编制工作小组成员修改完善标准内容和编制说明，最终形成并提交标准文本的《报批稿》和《编制说明》。

四、编制原则

1. 规范化原则

依据国家标准 GB/T1.1-2020《标准化工作导则：第一部分标准的结构和编写规则》的规定，规范标准格式。

2. 协调性原则

本标准起草小组参考了美国、日本等国外对木材剪切模量动态测试标准的实施情况，并调研了国内相关标准对木材剪切模量静态测试的技术规定，编制时与现有静态测试标准相协调。

3. 适用性原则

本标准充分考虑了我国土木建筑、家具和木材加工行业中对检测木材构件加工质量以及检测能力等的现状，以便本标准便于实施，并且便于被其他标准引用。

五、标准主要内容说明

本标准包括 7 个部分，从范围一直到测试报告均作了详细规定。

1. 范围

本文件规定了采用自由板扭转振型法测试木材主向剪切模量的测试方法。本文件适用于木材无疵小试样的剪切模量的动态测定。

2. 规范性引用文件

引用了木材物理力学试验方法总则、木材物理力学试材锯解及试样截取方法、木材含水率测定方法、木材抗弯弹性模量测定方法等相关标准。

3. 术语和定义

本标准不仅主要适用于林业工程领域，也适用于使用木材的其他行业领域。因此，在删除送审稿术语和定义中的振型系数、截面因子的基础上，添加对“木材剪切模量”的定义；将“动态测试”修改为“振动测试”，将“扭转振动固有频率”修改为“扭转振动频率”，形成自由板、木材剪切模量、振动测试、自由板横向振动、扭转振动频率术语定义，以便于测算木材的剪切模量。

4. 测试原理

本标准的测试原理包括测试方法和频谱图上一阶扭转振动频率识别方法两部分内容。在测试方法中规定：敲击法测试自由板试样频谱，敲击点位置为板角点，加速度计安装于板边距 y 轴 0.125L 处（图 3），单通道采集数据，敲击试样角点激发其自由振动，敲击方法遵照 5.3 之规定。根据标准中规定的试样尺寸，分析频率范围设为 1000Hz，低通滤波为 1000Hz，FFT 块大小为 4096，触发采集，获得自由板试样的频谱，从频谱图中读出试样的第一阶扭转频率，由一阶扭转频率测试值计算木材主向剪切模量 G_{LT} 、 G_{LR} 和 G_{RT} 。同时规定了频谱图上一阶扭转振动频率识别方法。由于自由板的一阶扭转频率在频谱图高峰出现的顺序与树种和试样尺寸有关，因此本标准给定了径切、弦切 240mm×80mm×10mm 试样的尺寸和横切 175mm×35mm×7mm 试样的尺寸以及设置的分析频率范围，从频谱图上识别试样的一阶扭转频率的方法。

5. 仪器与工具

本标准的仪器与工具包括概述、悬挂装置、瞬态激励装置和动态信号采集与分析系统四部分内容。概述中规定：测试采用的仪器与工具主要有悬挂装置、瞬态激励装置和频谱仪或具有动态信号采集与分析功能的系统；悬挂装置中规定采用弹性绳悬挂试样，实现试样水平状态，其两根弹性绳刚性系数 $<0.4N/cm$ ，并给出了试样悬挂装置示意图；瞬态激励装置应能

保证试样产生横向振动。采用瞬态激励方式，以锤击试样角点进行激振，保证试样在发生弯曲振动同时产生扭转振动，如图 3 所示。其中，锤头材质为尼龙头或橡胶头。保持锤击力度适中，避免产生连击；动态信号采集与分析系统主要组成：加速度计和动态信号分析系统（频谱分析仪或具有谱分析的 digital 采集系统），并规定了宜采用小质量的压电式加速度计（质量不大于 1.5g）。

6. 试样

本标准规定试材锯解及试样截取应符合 GB/T 1929-2009 中的第 3 章的规定执行。试样应为矩形截面板，且严格按横切面 RT、径切面 LR 和弦切面 LT 方向下料，如图 2 所示。试样尺寸为弦切面板、径切面板为 $240 \pm 1\text{mm} \times 80 \pm 1\text{mm} \times 10 \pm 0.02\text{mm}$ ，横切面板为 $175 \pm 1\text{mm} \times 35 \pm 0.1\text{mm} \times 7 \pm 0.02\text{mm}$ ，试样数量各为 30 个。试样截面形状和尺寸在整个长度方向上应保持一致，试样横截面至少包含一个早材和晚材。本标准给出了试样三切面板示意图。

本标准规定试样制作精度和检查、试样含水率的调整应分别符合 GB/T 1928-2009 第 3 章和第 4 章的规定。

7. 测试步骤

本标准规定的测试步骤包括测试系统连接，输入作业文件名及其参数设置，示波，信号采集，剪切模量值的测定和小样块含水率的测定六部分内容。

本标准给出了测试系统连接，如图 1 和图 3 所示。在输入作业文件名及其参数设置中规定：在软件上输入作业文件名；主要参数设置：触发采集，分析频率（1000Hz），滤波频率（1000Hz），FFT 块大小（4096），平均次数（2 次）。示波中规定：打开测试仪器电源，按图 3 锤击试样角点连续激振，观察其波形是否合理；信号采集规定：以锤击试样角点进行激振，得到波形和频谱，文件存盘。激振时应保持锤击力度适中，避免产生连击。每块试样 3 次测量。在剪切模量值的测定中规定：测试试样频谱，依据 4.2，在频谱图上读取自由板试样一阶扭转频率，由自由板试样一阶扭转频率测试值计算出木材动态剪切模量。最后，在小样块含水率的测定规定：剪切模量测定后，应立即于试样中部截取约 20mm 长的小样块一个，按 GB/T 1931-2009 测定小样块含水率。

8. 计算结果

本标准给出了试样含水率为 W 时弦切面、径切面、横切面的剪切模量计算公式。其中，弦切面动态剪切模量 G_{LT} 按式（1）计算，径切面动态剪切模量 G_{LR} 按式（2）计算，横切面动态剪切模量 G_{RT} 按式（3）计算，精确至 10MPa。在对试样含水率计算中规定：试样含水率为 12% 时动态剪切模量按 GB/T 1936.2-2009 中 7.3 的规定计算；试材的剪切模量是同一批试样所有试样测试值的算术平均值，精确到 10MPa。

9. 测试报告

本标准规定其测试报告按 GB/T 1928-2009 中 7.4 规定的内容填写。其详细描述测试报告内容，测试报告包括试验记录表，如表 A.1 所示。

六、部分试验测试

本标准提出了一个测试木材主向剪切模量的新方法—自由板扭转振型法。该方法从板的扭转振型出发，应用能量法导出了自由板一阶扭频率与剪切模量间的关系式。该关系式

中引入的振型系数是一个新概念,它不是一个常数,而是与材料的类型有关。对于各向同性材料的振型系数可以用它与自由板宽长比的相关式表示;而对于各向异性材料的木材,其弦切面、径切面和横切面振型系数可用其与自由板宽长比和厚宽比的相关式表示。自由板一阶扭频率与剪切模量间的关系式及其相应的振型系数是自由板扭转振型法测试材料剪切模量的理论依据。本标准前期已对云杉、欧洲赤松、山毛榉、白蜡木和桃花心木的剪切模量开展了数学仿真计算分析,该五种木材的剪切模量仿真值与其规定值一致。

为了进一步说明自由板扭转振型法测试材料剪切模量的正确性,可从两方面加以验证。一方面,对云杉、欧洲赤松、山毛榉、白蜡木、桃花心木、轻木树种的木材,以及低碳钢、轧制铝的剪切模量进行数学仿真;并将剪切模量仿真值与其规范值比较,即对剪切模量仿真计算值加以验证;另一方面,用测试的国产油松弦切面和径切面、西加云杉横切面和蒙古栎顺纹自由板的一阶扭转频率所推算出的剪切模量值,与静态方板扭转试验测定值比较,即静态试验值加以验证。

1.低碳钢、轧制铝和玻璃剪切模量动态测定

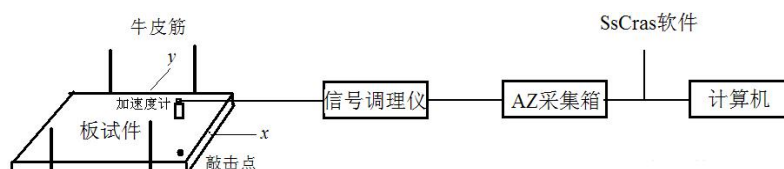


图 1 测定一阶扭转频率的动态测试框图

从低碳钢板上下料制作 $400\text{mm} \times 100\text{mm} \times 3.46\text{mm}$, $240\text{mm} \times 100\text{mm} \times 3.46\text{mm}$ 两种尺寸试件各一块,其长宽比分别为 4:1 和 2.4:1。其中 $400\text{mm} \times 100\text{mm} \times 3.46\text{mm}$ 自由板试件频谱如图 2 所示。图 2 上第 2 个高峰对应的频率 276.25Hz 是一阶扭转频率。

从玻璃板上下料制作 $338\text{mm} \times 275\text{mm} \times 5.42\text{mm}$, $338\text{mm} \times 275\text{mm} \times 5.62\text{mm}$ 试件各一块,其中玻璃板 2 频谱如图 3 所示。图 3 上第一个高峰对应的频率 186.25Hz 是一阶扭转频率。

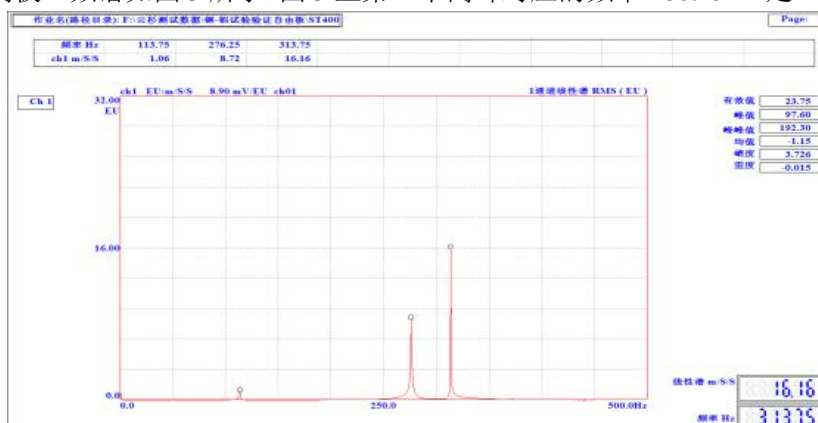


图 2 低碳钢 $400\text{mm} \times 100\text{mm} \times 3.46\text{mm}$ 试件频谱(276.25Hz 一阶扭转频率)

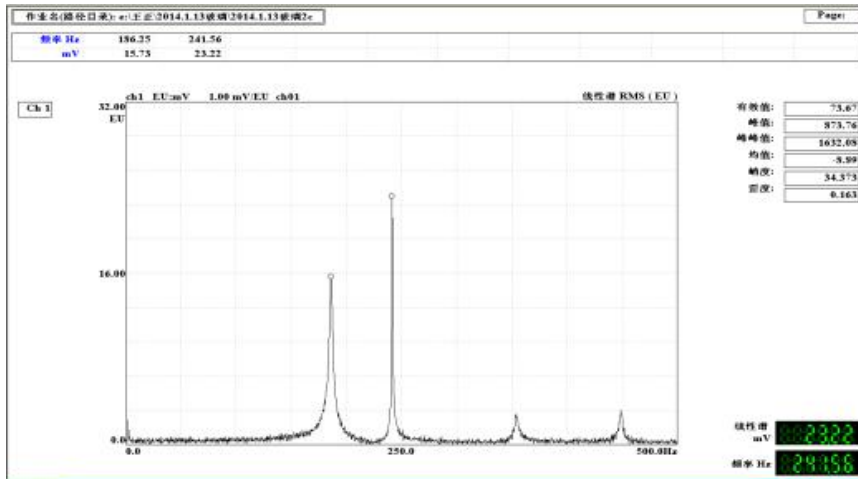


图3 玻璃板2 的 338×275mm×5.42mm 试件频谱 (186.25Hz 一阶扭转频率)

由低碳钢、轧制铝和玻璃自由板测量的一阶扭转频率推算的剪切模量值见表 1。

表 1 低碳钢、轧制铝和玻璃的剪切模量测量值

材质	试件尺寸 /mm	一阶扭转频率测量值 /Hz	剪切模量推算值 /GPa	剪切模量规范值 /GPa
低碳钢	400×100×3.46	276.25	81.6	79-81
低碳钢	240×100×3.46	463.75	81.7	79-81
轧制铝	240×200×2.64	176.25	26.0	26-27
玻璃 1	338×275×5.62	193.44	21.9	20-22
玻璃 2	338×275×5.42	186.25	21.8	20-22

显而易见，从表 1 得知，低碳钢、轧制铝和玻璃剪切模量的测量值都落在其规范值内，即验证了自由板扭转振型法测试各向同性材料剪切模量的正确性。

1. 油松、西加云杉、蒙古栎剪切模量的动态测定

2.1 油松顺纹-径面剪切模量 G_{LR} 和顺纹-弦面剪切模量 G_{LT} 的动态测定

本试验用的油松试件的公称尺寸为 360mm×60mm×12.2mm,径切板和弦切板各 5 块，其含水率 MC 为 8%~9%；西加云杉试件的公称尺寸为 280mm×60mm×12.2mm,横切板 4 块，其含水率 MC 为 8%~9%；蒙古栎试件的公称尺寸为 910mm×130mm×18mm，半径切板 10 块，其含水率 MC 为 9%~10%。

根据图 1 测试框图进行动态测试，得到油松、西加云杉和蒙古栎试件的频谱和剪切模量动态测定值，如图 5~7、表 2~4 所示。

图 5 显示油松 3 号试件 Y3(径切板)的频谱，从频谱图中读出一阶扭转频率为 823.13Hz。

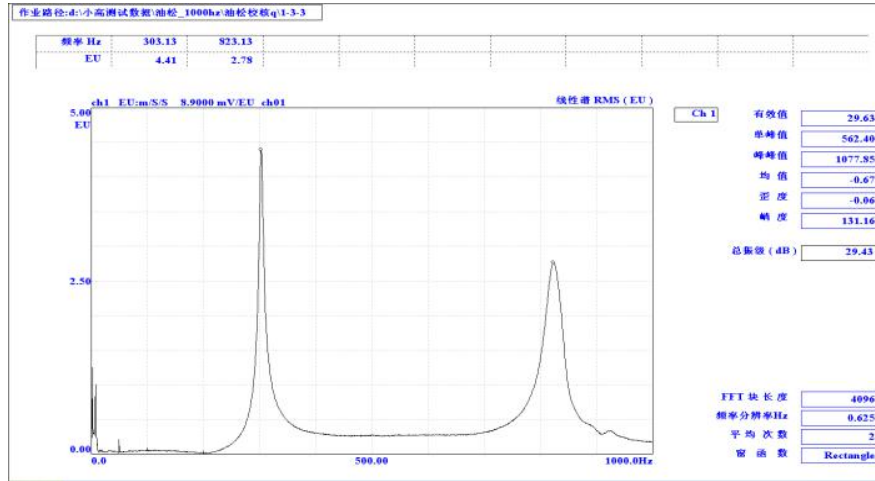


图 5 油松 3 号试件频谱

油松顺纹-径面剪切模量 G_{LR} 和顺纹-弦面剪切模量 G_{LT} 测定值如表 2 所示。 LR 、 LT 取向的试件振型系数 γ 分别用本标准前期给出的式(1)和式(2)计算。

$$\text{径切面振型系数: } \gamma = 7.1998(1 + 0.2888b/l + 0.020h/b) \quad (1)$$

$$(r = 0.9939, n = 20), (l/b = 3 - 10, b/h = 5 - 13.67)$$

$$\text{弦切面振型系数: } \gamma = 7.1263(1 + 0.360b/l + 0.030h/b) \quad (2)$$

$$(r = 0.9969, n = 20), (l/b = 3 - 10, b/h = 5 - 13.67)$$

油松顺纹-径面剪切模量 G_{LR} 测定的均值为 1.04GPa, 变异系数 10.7%; 油松顺纹-弦面剪切模量 G_{LT} 测定的均值为 0.78GPa, 变异系数 15.3%。

表 2 油松顺纹-弦面剪切模量和顺纹-径面剪切模量动态测定值

试件 编号	主 向	长 /mm	宽 /mm	厚 /mm	密度 /(kg/m) ³	β	γ	一阶扭转频 /Hz	剪切模量 /GPa
Y-1	LR	361.2	59.9	12.23	532	0.2905	7.5742	717.50	0.9613
Y-2	LR	361.4	60.0	12.07	471	0.2911	7.5741	786.25	1.0517
Y-3	LR	361.5	60.1	12.31	517	0.2903	7.5751	823.13	1.2242
Y-4	LR	361.1	60.8	12.24	477	0.2911	5.5790	772.50	1.0244
Y-5	LR	361.2	60.2	12.31	477	0.2904	7.5759	752.50	0.9452
Y-6	LT	361.1	60.2	12.22	432	0.2907	7.5977	751.88	0.8634
Y-7	LT	361.1	60.0	12.33	555	0.2906	7.5964	684.38	0.9135
Y-8	LT	361.2	60.7	12.45	362	0.2903	7.6015	727.50	0.6644
Y-9	LT	361.1	60.0	12.30	408	0.2903	7.5967	675.63	0.6466
Y-10	LT	361.2	60.0	12.24	414	0.2905	7.5963	740.00	0.7947

2.2 西加云杉水平面剪切模量 G_{RT} 的动态测定

图 6 为西加云杉试件的横切面 XH-1 试件频谱, 从频谱图上读出一阶扭转频率为 215.94Hz。表 3 显示了西加云杉试件横切面的剪切模量动态测定值。

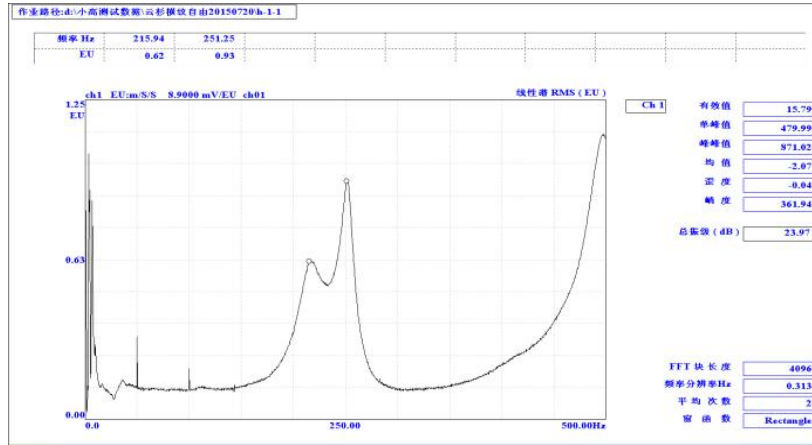


图 6 西加云杉横切面 XH-1 试件频谱

表 3 西加云杉横切面剪切模量动态测定值

试件编号	取向	长/mm	宽/mm	厚/mm	密度/(kg/m ³)	β	γ	一阶扭转频率/Hz	剪切模量/GPa
XH-1	RT	280	59.7	12.14	361	0.2908	7.6196	215.9	0.0357
XH-2	RT	280	59.5	12.08	354	0.2910	7.6182	203.4	0.0314
XH-3	RT	280	59.9	12.48	359	0.2895	7.6210	205.3	0.0304
XH-4	RT	280	59.4	12.37	360	0.2895	7.6176	233.8	0.0396

西加云杉横切面剪切模量动态测定的均值 0.0343GPa, 变异系数 12.3%。

2.3 蒙古栎剪切模量的动态测定

蒙古栎试件取其于未开槽的地板板材, 属于半径切板或半弦切面, 故称其为顺纹。试件长宽比等于 7, 平均密度 800kg/m³。蒙古栎 1 号试件测试的频谱如图 7 所示。蒙古栎锯材剪切模量测定值如表 4 所示, 蒙古栎动态剪切模量测定的均值为 1.40GPa, 变异系数为 14.3%。

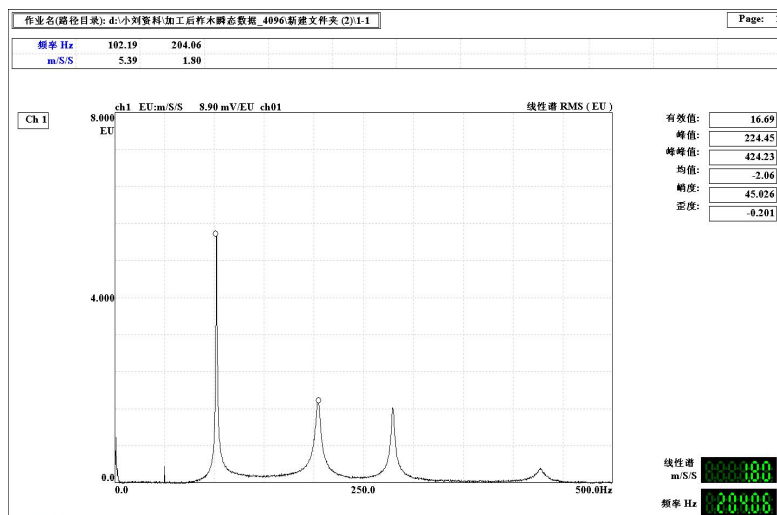


图 7 蒙古栎 1 号试件 (O-1) 频谱

表 4 蒙古栎锯材剪切模量动态测定值

试件编号	长 /mm	宽 /mm	厚 /mm	密度 /(kg/m ³)	一扭频率 /Hz	剪切模量 /GPa
O-1	910	129.5	18.39	807	204.06	1.492
O-2	911	129.0	18.32	892	193.44	1.485
O-3	911	129.5	18.51	715	188.91	1.121
O-4	911	130.0	18.56	778	208.29	1.486
O-5	910	129.5	18.13	769	206.56	1.549
O-6	775	126.5	18.55	825	224.07	1.246
O-7	910	129.5	18.47	869	200.16	1.533
O-8	910	129.5	18.43	664	186.72	1.023
O-9	912	129.5	18.31	814	210.79	1.626
O-10	910	130.0	18.53	885	187.50	1.371

3. 油松、蒙木栎和西加云杉方板静态剪切模量扭转试验的验证

用油松、蒙木栎和西加云杉方板的静态扭转试验验证自由板扭转振型法动态测定剪切模量的正确性。考虑到同一树种,因产地不同材料常数的差异性,静态扭转试验用的方板取自于测试一阶扭转频率的自由板,其试件编号与自由板的编号相同。

在方板中心沿其对角线贴一枚应变片,根据扭矩与剪应力关系、剪切胡克定律和纯剪切状态下线应变和剪应变关系可得:

$$G = \frac{3P}{2|\varepsilon_{45^{\circ}}| h^2} \quad (3)$$

式(3)中: G —剪切模量; h —方板厚度

测试时,若采用上、下限载荷加载,而载荷增量 ΔP = 相应的应变增量记作 $\Delta\varepsilon_{45^{\circ}}$, 则剪切模量 G 的计算式为:

$$G = \frac{3\Delta P}{2|\Delta\varepsilon_{45^{\circ}}| h^2} \quad (4)$$

式(4)中: ΔP = 上限载荷—下限载荷; $\Delta\varepsilon_{45^{\circ}}$ = 上限载荷应变—下限载荷应变。

试验中对每一个试件进行了三次加载试验,取第二次、第三次试验 G 计算值的平均值作为该试件静剪切模量测定值。蒙古栎、油松(径切面、弦切面)和西加云杉横切面的方板扭转试验测定的静剪切模量结果如表 5 所示。

蒙古栎方板 130mm×130mm,砝码加载,下限载荷 8.33N, 上限载荷 24.99N; 油松弦切面和径切面方板 60mm×60mm,砝码加载,下限载荷 8.33N, 上限载荷 20.825N; 西加云杉横切面方板 60mm×60mm,砝码加载,下限载荷 0.4704N, 上限载荷 1.0584N。

表 5 蒙古栎、油松弦切面、径切面和西加云杉横切面方板扭转试验测定的静剪切模量

树种 Tree species	试件编号 Specimen No.	厚度(h/mm) Thickness	$\Delta P/N$	$ \Delta\varepsilon_{45^{\circ}} \times 10^{-6}$	静剪切模量	动剪切模量
					/GPa Static shear modulus	/GPa Dynamic shear modulus
	O-2	18.38	16.66	48.0	1.54	1.49

蒙古栎(顺纹)	O-3	18.55	16.66	69.4	1.05	1.12	
	O-4	18.48	16.66	49.1	1.49	1.49	
	O-5	18.11	16.66	50.2	1.52	1.55	
	O-7	16.43	16.66	55.1	1.34	1.53	
	O-8	18.45	16.66	88.6	0.83	1.02	
	O-9	18.27	16.66	44.9	1.67	1.63	
	O-10	18.50	16.66	56.1	1.31	1.37	
	Y1 (LR)	12.23	12.495	112.4	1.11	0.96	
	Y2 (LR)	12.07	12.495	122.0	1.05	1.05	
	Y3 (LR)	12.31	12.495	136.7	0.90	1.22	
油松 (弦切面和 径切面)	Y4 (LR)	12.24	12.495	115.8	1.08	1.02	
	Y5 (LR)	12.31	12.495	126.4	0.98	0.95	
	Y6 (LT)	12.22	12.495	140.6	0.89	0.86	
	Y7 (LT)	12.33	12.495	126.1	1.00	0.91	
	Y8 (LT)	12.45	12.495	123.8	0.98	0.66	
	Y9 (LT)	12.30	12.495	253.3	0.49	0.65	
	Y10 (LT)	12.24	12.495	151.9	0.82	0.79	
	XH1 (RT)	12.14	0.588	177.9	0.034	0.036	
	西加云杉 (横切面)	XH2 (RT)	12.08	0.588	145.9	0.042	0.031
		XH3 (RT)	12.48	0.588	136.0	0.042	0.030
XH4 (RT)		12.37	0.588	146.2	0.039	0.040	

4.结果分析

4.1 采用自由板扭转振型法动态测定低碳钢、轧制铝和玻璃剪切模量结果分析

由表 1 得知，低碳钢、轧制铝和玻璃各向同性材料的动态剪切模量测量值均落在其规范值内，即验证了自由板扭转振型法测试各向同性材料剪切模量的正确性。

4.2 采用自由板扭转振型法和方板静态扭转法测试木材剪切模量的结果对比分析

表 6 自由板扭转振型法和方板静态扭转法测木材剪切模量结果对比

树种及主向面	自由板扭转振型法 G		方板静态扭转法 G	
	均值/GPa	变异系数	均值/GPa	变异系数
蒙古栎(顺纹)	1.39	14.3%	1.34	20.8%
油松(径切面 LR)	1.04	10.5%	1.02	8.2%
油松(弦切面 LT)	0.78	15.1%	0.84	20.7%
西加云杉(横切面 RT)	0.034	13.6%	0.039	9.8%

由表 6 得知，自由板扭转振型法测试的油松径切面、弦切面和西加云杉横切面以及蒙古栎顺纹剪切模量与静态方板试验测试结果相吻合。这就从动静态对比试验验证了自由板扭转振型法测试木材剪切模量的正确性。

5 主要结论

5.1 在前期获得正确的多树种剪切模量仿真计算基础上，用自由板扭转振型法动态测定木材三个剪切模量的正确性得到了静态方板试验对比试验验证；

5.2 对于各向同性材料，振型系数主要依赖于自由板长宽比，其正确性得到低碳钢、轧制铝和玻璃三种材料的试验验证；低碳钢、轧制铝和玻璃三种材料，从一阶扭转频率的测量值推算出的剪切模量值与规范值一致。

5.3 实施自由板扭转振型法测定材料剪切模量的一个重要环节是从测试自由板频谱图上正确地识别出一阶扭转频率。推荐用互功率谱法识别频谱图上的一阶扭转频率。

七、采用国际标准和国外先进标准的程度

本标准为新编标准，目前国内外相关标准尚未发现。

八、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

本标准在结构用木材标准体系框架内，既是国家木材标准体系的重要组成因素，也是现有国家、行业和地方标准的重要补充。该标准与我国的现行法律、法规和强制性标准相协调，不存在任何抵触现象。

九、国家标准作为强制性国家标准或推荐性国家标准的建议

本标准作为推荐性行业标准。

十、其他应予说明的事项。

无。

《木材剪切模量的动态测试技术标准》

行业标准编制小组

2020年12月19日