

木结构金属紧固件连接循环荷载性能
测试方法

Test methods for cyclic testing of joints made with metal fasteners of timber
structures

(发布稿)

2018-12-29 发布

2019-05-01 实施

国家林业和草原局 发布

前 言

本标准按照GB/T 1.1-2009给出的规则起草。

本标准由全国木材标准化技术委员会结构用木材分技术委员会（SAC/TC41/SC4）提出并归口。

本标准起草单位：黑龙江省木材科学研究所、黑龙江省人造板及原木锯材产品质量监督检验站、国家林业和草原局林产品质量检验检测中心（哈尔滨）。

本标准主要起草人：王春明、刘巍岩、王春霞、孙玉慧、张冬梅、高大宏、林利民、徐兰英。

木结构金属紧固件连接循环荷载性能测试方法

1 范围

本标准规定了木结构中金属紧固件连接节点在循环荷载作用下力学性能的测试方法。

本标准适用于测试木结构中承受侧向荷载为主的金属紧固件连接节点，不适用于测试承受拉力的金属紧固件连接节点。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 1928 木材力学试验方法总则

GB/T 1931 木材含水率测定方法

GB/T 1933 木材密度测定方法

GB/T 17657 人造板及饰面人造板理化性能试验方法

GB/T 26899 结构用集成材

3 术语、定义和符号

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

金属紧固件 metal fasteners

在将两个或两个以上的零件（或构件）紧固连成一体时所使用金属零件的总称。

3.1.2

滞回曲线 hysteresis loop

在循环往复荷载作用下，得到的荷载—变形曲线，反映连接在反复受力过程中的变形特征、强度退化及能量消耗，是确定恢复力模型和进行非线性地震反应分析的依据。

3.1.3

骨架曲线 envelope curves

滞回曲线上同向（拉向或压向）各次加载的最大荷载点依次相连得到的包络线称为骨架曲线。

3.2 符号

E_d 半个周期的能量；

E_p 有效势能；

F	荷载;
F_{max}	最大荷载;
F_y	屈服荷载;
K	连接刚度;
n	循环步骤;
t	时间;
X	位移;
X_u	极限位移;
X_y	屈服位移;
ΔF	强度退化值;
ΔF_c	压缩时强度退化值;
ΔF_t	拉伸时强度退化值;
ζ_{eq}	等效黏滞阻尼系数;
μ	延性系数。

4 试验一般要求

4.1 材料

- 4.1.1 试件的尺寸和安装方式应能反应实际使用情况。
- 4.1.2 通常情况下,试件木质材料的含水率应符合其在建筑中实际使用时的规定,否则应先将木质材料调节至规定,然后再组装试件。
- 4.1.3 如果试验的目的是对连接进行比较,试件木质材料的含水率则宜按照 GB/T 1928 进行调节,即在环境温度(20±2)℃,相对湿度(65±5)%的条件下调节至平衡含水率。
- 4.1.4 在试验之前或试验之后,木材按 GB/T 1931 确定含水率,按 GB/T 1933 测试密度;结构用集成材按 GB/T 26899 测试密度和含水率;木质复合材料按 GB/T 17657 测试密度和含水率。
- 4.1.5 根据试验具体目标和可靠度的要求确定试件数量。推荐每个单调试验和循环试验至少 6 次重复试验。

4.2 试验设备和测量设备

- 4.2.1 试验机或其他加载设备应能反复循环加载;测量设备应能够以±1% F_{max} 和±1% X_u 或更高的精度进行连续记录。
- 4.2.2 木构件尺寸测量精度为 1mm。金属紧固件直径的测量精度为 0.02mm,长度测量精度为 1mm。
- 4.2.3 如果试验时试件发生倾斜或扭曲,应加侧向支撑防止,但是不能影响测试结果。

5 试验方法

- 5.1 极限位移通过单调加载试验按附录 A 进行确定。单调加载试验的极限位移平均值为循环试验的 X_u 。
- 5.2 循环试验应能充分描述连接试件弹性和非弹性的循环性能数据,并能检测连接试件的主要的抗震性能。
- 5.3 循环试验时,试验设备的加载速度和卸载速度应一致且恒定,范围应在 0.1mm/s 到 10mm/s。按照图 1 和表 1 的要求进行循环测试。一次循环是指在设定的试验速度下,位移从 0mm 处开始加

载至规定的位移幅度，然后反向至规定的反向位移幅度，最后返回至位移 0mm 处的整个过程。图 1 和表 1 中的循环试验起始阶段，循环次数是 1 次的步骤为初始步骤；初始步骤后循环次数是 3 次的步骤为常规步骤。

5.4 如果完成步骤 10 后，试件没有发生破坏，应进行步骤 11, 12……，直至试件发生破坏。

5.5 在满足 5.2 条原则的前提下，根据金属紧固件连接的刚度和设备的精度，可以省略或重复某些初始步骤，亦可增加初始步骤。通常在弹性范围内至少应有三个初始步骤。如果第一初始步骤加载未超出弹性范围，但第二或第三初始步骤加载已超出弹性范围，应在弹性范围内添加新的初始步骤重新试验，确保在弹性范围内至少有三个初始步骤；如果第一次循环加载已经超出弹性范围，应从第一步开始，每个位移幅度都应进行三次循环。

5.6 连接试件在两个方向的性能表现出很大的差异时，两个方向的都应进行单调加载试验，根据单个方向的极限位移确定对应方向的循环试验步骤。

5.7 如果在循环试验开始时有空载位移，在确定循环位移振幅时应加入空载位移，在绘制滞回曲线时，应减去空载位移。

5.8 当需要以角度为幅度进行试验时，应参照 5.1~5.7 步骤，角度代替位移后，进行试验。

5.9 可采用满足 5.2 条原则且能达到测试目标的循环试验程序（如基于速度或频率的加载程序）。

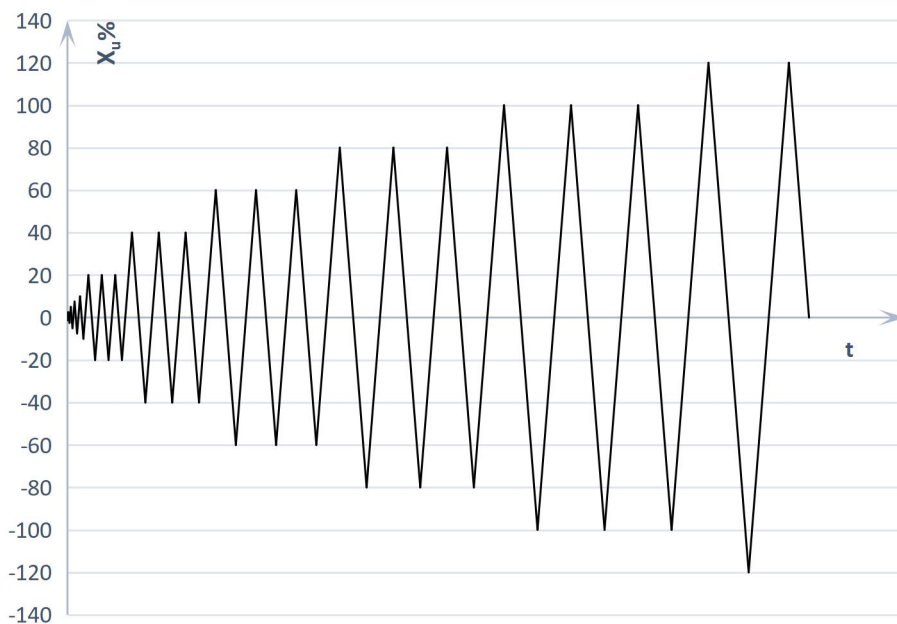


图 1 循环位移-时间示意图

表 1 循环次数及位移幅度

步骤	循环次数	位移幅度
1	1	1.25 % X_u
2	1	2.5 % X_u
3	1	5 % X_u
4	1	7.5 % X_u
5	1	10 % X_u
6	3	20 % X_u

7	3	40 % X_u
8	3	60 % X_u
9	3	80 % X_u
10	3	100 % X_u
11,12,.....	3	$X_{n-1} + (20 \% X_u)$
注: X_{n-1} 是前一个步骤的位移幅度。		

6 试验结果

6.1 试验数据

记录每个测试试件的全部原始数据，绘制出滞回曲线。原始数据应包含时间、设定位移、实测荷载和实测位移。

6.2 骨架曲线

在滞回曲线上，每个初始步骤最大荷载点的坐标和每个常规步骤的第一个循环上最大荷载点的坐标绘制出的包络线为第一骨架曲线。第二和第三骨架曲线依次类推。

6.3 最大荷载和极限位移

按照附录 A 的方法确定三条骨架曲线各自正反方向的最大荷载和极限位移。三条骨架曲线各自正向的最大荷载和极限位移，分别称为对应骨架曲线正向的最大荷载和极限位移。三条骨架曲线各自反向的最大荷载和极限位移，分别称为对应骨架曲线反向的最大荷载和极限位移。通常在报告中以表格的形式体现。

6.4 其他性能

屈服荷载和屈服位移、连接刚度、延性系数、强度退化值、等效黏滞阻尼系数等性能的计算方法见附录 B。

6.5 示例

示例见附录 C。

7 测试报告

测试报告应记录以下信息：

a) 木质材料的来源、产地、密度、含水率和相关力学性能。如果试件使用的是木材，应记录树种；如试件需要调节含水率，应记录调节前后的含水率；

b) 紧固件的尺寸和表面处理的说明；

c) 试件及其制造的描述（例如试件的尺寸，使用紧固件的数量，预钻孔，紧固件排列和间隔，制造到测试时间间隔、木构件间隙等情况）；

d) 记录主要仪器设备及偏差、卡具及试验环境条件；

- e) 低周反复位移程序的描述，包括位移加载百分率、位移速度等；
- f) 测试组的数量及每个组的试件个数；
- g) 滞回曲线和骨架曲线，最大荷载、极限位移和需要的附加性能的数据表格，试件破坏模式。

附录 A

(规范性附录)

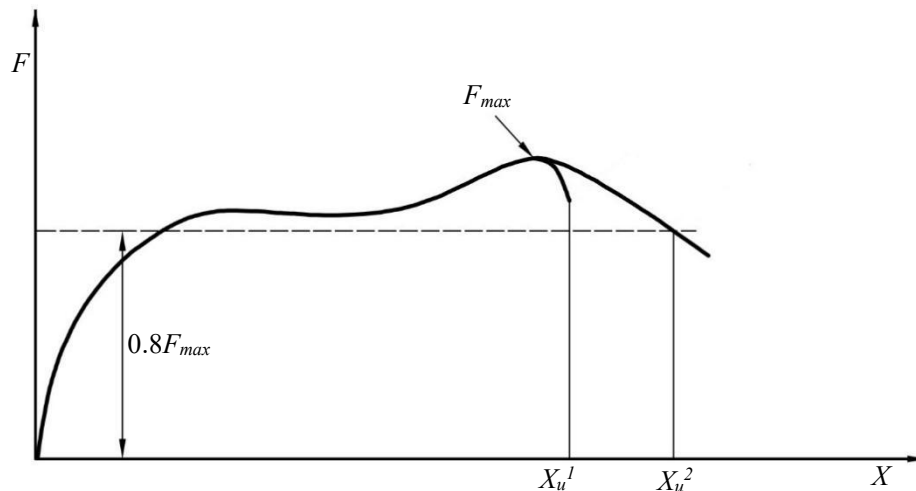
使用单调加载试验确定最大荷载、极限位移、屈服荷载和屈服位移

A.1 试验加载

- A.1.1 在5min~10min的时间内，通过匀速加载，试验达到最大荷载。
- A.1.2 当试件破坏时或试验达到最大荷载后荷载下降到最大荷载的80%后，停止试验。
- A.1.3 记录足够的荷载和荷载方向木构件间的位移值，绘制荷载—位移曲线。记录最大荷载。

A.2 最大荷载和极限位移

- A.2.1 试件在测试过程中达到最大荷载 F_{max} ，如图A.1所示。
- A.2.2 极限位移是试验达到最大荷载后，荷载未下降到最大荷载的80%且试件破坏时的位移或试验达到最大荷载后荷载下降到最大荷载的80%时的位移，如图A.1所示。



说明：

X_u^1 ——荷载未下降到最大荷载的80%且试件破坏时的极限位移

X_u^2 ——试验达到最大荷载后荷载下降到最大荷载的80%时的极限位移

图 A.1 最大荷载和极限位移示意图

A.3 屈服荷载和屈服位移

- A.3.1 试件在测试过程中达到最大荷载 F_{max} 。
- A.3.2 当荷载位移曲线中有两个直线线性变化的部分时，如图A.2中的a)所示，屈服荷载和屈服位移分别是由这两条直线的交叉点的对应的纵坐标值和横坐标值；否则，如图A.2中的b)所示，应先连接 $0.1F_{max}$ 的点和 $0.4F_{max}$ 的点的那条线为第一条直线，然后以正切值是第一条直线的1/6并且与在第一条直线后的荷载位移曲线相切的切线为第二条直线，第一条直线和第二条直线的交叉点对应的纵坐标值和横坐标值分别为屈服荷载和屈服位移。

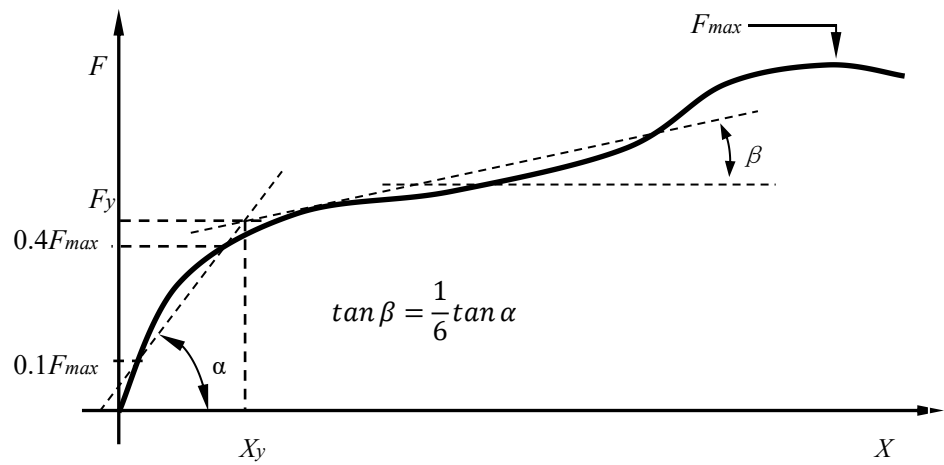
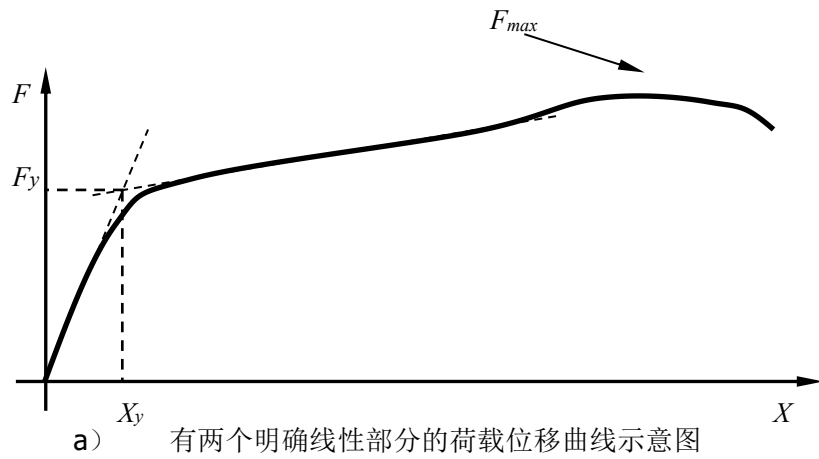


图 A.2 屈服荷载和屈服位移示意图

附录 B

(规范性附录)

附加性能

B.1 屈服荷载和屈服位移

按照附录 A 的方法确定三条骨架曲线各自正反方向的屈服荷载和屈服位移。三条骨架曲线各自正向的屈服荷载和屈服位移，分别称为对应骨架曲线正向的屈服荷载和屈服位移。三条骨架曲线各自反向的屈服荷载和屈服位移，分别称为对应骨架曲线反向的屈服荷载和屈服位移。

B.2 连接刚度

单调加载曲线、第一、第二和第三的骨架曲线的连接刚度按公式 (B.1) 进行计算。 $X_{40\%F_{max}}$ 和 $X_{10\%F_{max}}$ 是分别在相应曲线上荷载达到 F_{max} 的 40% 和 10% 时位移值

$$K = \frac{0.3F_{max}}{X_{40\%F_{max}} - X_{10\%F_{max}}} \dots\dots\dots (B.1)$$

B.3 延性系数

单调加载试验、第一、第二和第三的骨架曲线的延性系数是对应的极限位移和屈服位移的比值，按公式 (B.2) 进行计算。

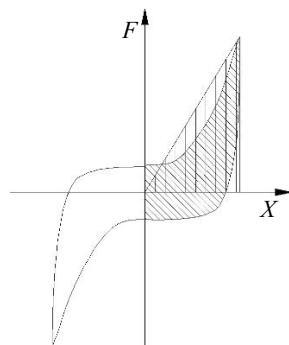
$$\mu = X_u / X_y \dots\dots\dots (B.2)$$

B.4 强度退化值

常规步骤中，第一个循环规定位移幅度的荷载值与第三个循环的规定位移幅度的荷载值的差值为强度退化值，用 ΔF 表示。在压缩时 $\Delta F = |\Delta F_c|$ ，在拉伸时 $\Delta F = |\Delta F_t|$ 。

B.5 等效黏滞阻尼系数

木结构金属紧固件连接的性质由等效粘性阻尼的滞后作用来衡量。这是一个无量纲参数，表示连接处的滞后阻尼性能。每个常规步骤的等效黏滞阻尼系数是其第三个循环的曲线确定，如图 B.1。等效粘性阻尼系数按公式 (B.3) 进行计算。



说明：
 ——半个周期的能量， E_d  ——有效势能， E_p

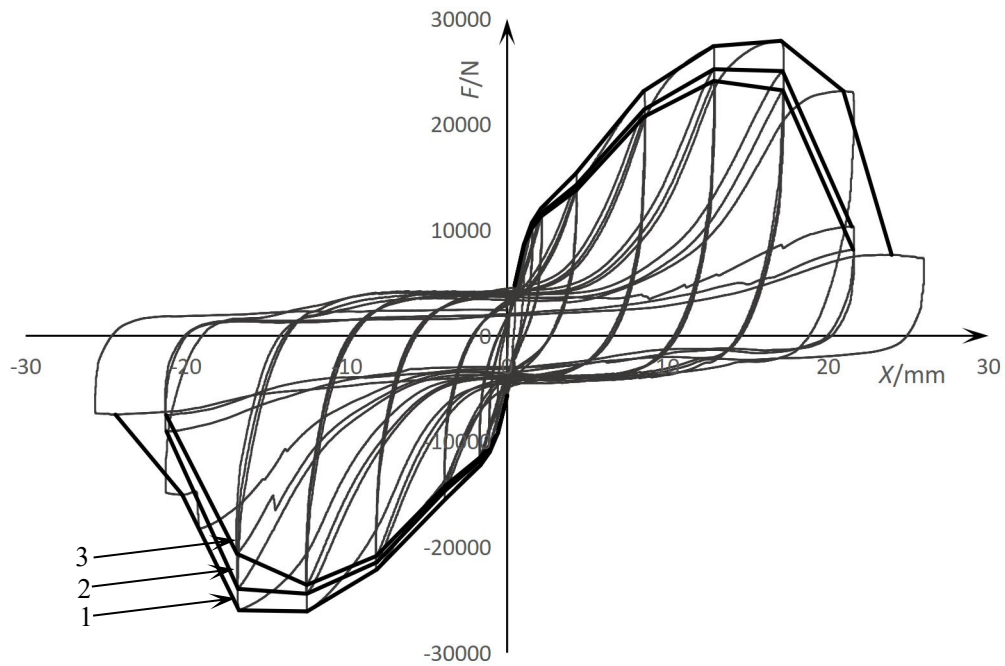
图 B.1 等效黏滞阻尼系数示意图

$$\zeta_{eq} = E_d / (2\pi E_p) \dots\dots\dots (B.3)$$

附录 C
(资料性附录)
说明和示例

C.1 示例

本范例的连接试件的木质材料是杨木单板层积材，厚度为40mm，平均密度为0.606g/cm³。连接试件由4根钢钉(φ4.1mm×105mm)和3块单板层积材制成顺纹双剪连接。滞回曲线、骨架曲线及其表格的范例，如图C.1和表C.1所示；部分连接性能表格的范例，如图C.2所示。



说明：

1——第一骨架曲线

2——第二骨架曲线

3——第三骨架曲线

图 C.1 滞回曲线和骨架曲线

表 C.1 骨架曲线的数据表

第一骨架曲线				第二骨架曲线				第三骨架曲线			
正向		负向		正向		负向		正向		负向	
mm	N	mm	N	mm	N	mm	N	mm	N	mm	N
0.47	4773	-0.37	-5679	0.47	4773	-0.37	-5679	0.47	4773	-0.37	-5679
1.05	8634	-0.95	-9217	1.05	8634	-0.95	-9217	1.05	8634	-0.95	-9217
1.54	10707	-1.45	-11005	1.54	10349	-1.47	-10633	1.54	10138	-1.47	-10422
2.11	12054	-2.03	-12250	2.13	11574	-2.06	-11780	2.11	11285	-2.06	-11515
4.28	15352	-4.21	-15455	4.31	14274	-4.24	-14666	4.31	13774	-4.24	-14220
8.49	23138	-8.49	-22119	8.54	21418	-8.49	-21438	8.54	20737	-8.52	-20845
12.85	27406	-12.83	-26083	12.88	25225	-12.85	-24412	12.88	24123	-12.85	-23584
17.06	27910	-17.08	-25980	17.16	25049	-17.13	-23956	17.18	23221	-17.20	-20634
20.95	23157	-20.61	-15048	21.47	10344	-21.59	-9055	21.56	8154	-21.61	-7512
23.96	7654	-24.77	-7463								

表 C.2 骨架曲线的最大荷载和极限位移

曲线		最大荷载 N	极限位移 mm
第一骨架曲线	正向	27910	21.1
	负向	-26083	-18.7
第二骨架曲线	正向	25225	18.6
	负向	-24412	-18.5
第三骨架曲线	正向	24123	18.3
	负向	-23584	-17.8
注：本例中，极限位移是在骨架曲线下降部分荷载值是 $80\%F_{\max}$ 点的位移。			