

研究与开发

应用变参数 Maxwell 模型拟合 中密度纤维板蠕变

邵卓平

(安徽农业大学森林利用学院, 合肥 230036)

摘要: 在研究木质材料的流变性质时, 广泛采用多个弹簧和阻尼单元的各种组合形式的力学模型, 但其多个常流变参数不易求解。本文提出一种变参数流变模型的概念, 并以两单元的变参数 Maxwell 模型拟合了 MDF 的蠕变性质。结果表明, 上述作法是可行的, 采用变参数 Maxwell 模型不仅能以较少的弹、粘单元组合代替常参数的多个弹、粘单元组合模型, 使流变参数便于求解, 而且该模型还可方便地应用 Boltzmann 叠加原理拟合 MDF 在变荷下的蠕变变形。

关键词: 中密度纤维板; 蠕变; Maxwell 模型; 变流变参数

中图分类号: TS653.6 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654(2002)03-0009-03

Application of Variation Coefficients Maxwell Body to Fit the Creep of MDF

SHAO Zhuo-ping

(Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China)

Abstract: It was the multi-unit combined spring and damp model that was widely used to study rheological properties of wood material, but its some constant coefficients were not easily solved. In this paper, a concept of variation coefficient rheological model was put forward, which adopted two-unit Maxwell body of variation coefficients to simulate the creep behavior of medium density fiberboard (MDF). Results showed that the model could be effectively used to fit the creep of the MDF, and easily to seek the rheological coefficients because of its fewer units of combination modulus of spring-damper. The author also indicated that the model could fit the creep of MDF on changing load with Boltzmann superposition principle.

Key words: Medium density fiberboard; Creep; Maxwell Body; Variation coefficient

蠕变是木质材料流变学的研究基础, 其特点是以一维线性粘弹性的概念为主体, 研究在粘弹性范围内木材及木质复合材料依赖于时间的应力应变关系, 其力学性质可以用虎克弹性单元和牛顿阻尼单元的各种组合形式来模拟。目前, 所采用的多是常流变参数的蠕变模型, 往往需要采用多个弹簧和阻尼单元的组合模型, 才能拟合图 3 所示的蠕变曲线。但是, 由于采用多单元的组合模型, 必然会增加待确定的流变参数, 结果使得求解流变参数变得困难, 并给上述组合模型的应用带来不便。为此, 本研究提出一种变参数流变模型的概念, 并以最简单的两单元的变参数 Maxwell 模型拟合 MDF 的蠕

变性质, 旨在采用变参数 Maxwell 模型以较少的弹、粘单元组合代替常参数的多个弹、粘单元组合模型, 使流变参数便于求解, 并可方便地应用 Boltzmann 叠加原理拟合 MDF 在变荷下的蠕变性质。

1 变参数模型的原理和方法

1.1 Maxwell 模型及本构关系

Maxwell 模型是一个弹性单元和一个阻尼单元的串联组合^[1](图 1), 也是线性流变模型中最简单的一种, 该模型关于载荷、变形的本构方程如下:

$$f = \left(\frac{1}{C} + \frac{t}{\eta} \right) \dots\dots\dots (1)$$

式中: C 为弹性体的刚度, η 为阻尼器的粘性系数。

收稿日期: 2001-07-05

作者简介: 邵卓平(1956-), 男, 安徽农业大学森林利用学院副教授。

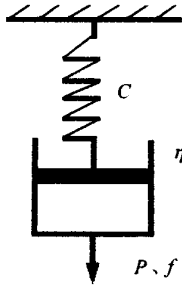


图1 Maxwell 模型

Fig. 1 Maxwell Body

Maxwell 模型中的流变参数 C 、 η 是常数,其在恒载荷下的流变曲线如图 2 所示,显然与实际蠕变曲线(见图 3)有很大差异。但若采用变参数的 Maxwell 模型来拟合蠕变曲线结果就不一样了。

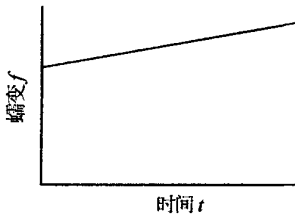


图2 Maxwell 模型的流变曲线

Fig. 2 The curve of Maxwell body

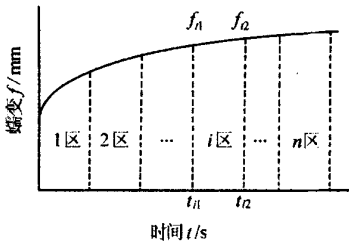


图3 蠕变曲线及区间划分示意图

Fig. 3 Creep curve and sketch map of partition section

1.2 变参方法

建立变参数的 Maxwell 模型的方法是应用离散化的思想,将整个试验时间划分成若干小区(前密后疏),在每一小区上将参数 C_i 、 η_i 视为常数,这样,每个小区两端点的变形可由下式近似表达:

$$f_{i1} = \left(\frac{1}{C_i} + \frac{1}{\eta_i} \cdot t_{i1} \right) \cdot P \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$f_{i2} = \left(\frac{1}{C_i} + \frac{1}{\eta_i} \cdot t_{i2} \right) \cdot P \quad \dots\dots\dots (3)$$

由以上两式,即可求得第 i 小区上的流变参数:

$$C_i = \frac{P(t_{i2} - t_{i1})}{f_{i1}(t_{i2} - t_{i1}) - t_{i1}(f_{i2} - f_{i1})} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\eta_i = \frac{P(t_{i2} - t_{i1})}{(f_{i2} - f_{i1})} \quad \dots\dots\dots (5)$$

与参数 C_i 、 η_i 相对应的第 i 小区的时间取其平均

值,即 $t_i = (t_{i1} + t_{i2})/2$ 。然后,将参数 C_i 、 η_i 与所对应的第 i 小区时间 t_i 作线性回归,即可得到参数 C 、 η 与 t 的关系式:

$$C = a + m \cdot t \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$\eta = b + n \cdot t \quad \dots\dots\dots (7)$$

将(6)、(7)两式代入(1)式,即得到变流变参数 Maxwell 模型:

$$f = \left[\frac{1}{C(t)} + \frac{1}{\eta(t)} \cdot t \right] P \quad \dots\dots\dots (8)$$

2 试验

2.1 试验材料

试材取自安徽省安庆市华林人造板厂生产的中密度纤维板,试件尺寸:300 mm×50 mm×16 mm,主要物理力学性能见表 1。

表1 中密度纤维板主要性能及试件尺寸

Tab. 1 Main properties of medium density

fiberboard sample

密度 g/cm ³	含水率 %	静曲强度 MPa	弹性模量 MPa	内结合强度 MPa
0.718	10.3	33.52	2564.70	0.57

2.2 试验方法

试验(未做温、湿度调控)在环境温度 25℃左右、相对湿度 65%~75%之间的室内进行。实验设备为 WDW-100 微机控制力学试验机,两端简支,跨距 240 mm,中央加载,载荷等级分别取试件载荷极限的 20%~60%,即 240、360、480、600、720 N。为减小支承处的摩擦,在支承处用钢片加垫。

2.3 时间间隔的选取

试验读数的时间间隔通常根据材料的蠕变规律来选定。典型的蠕变曲线可分三个阶段:第一阶段为蠕变的瞬变阶段,变形快;第二阶段是蠕变稳定阶段,变形比较平稳;第三阶段是蠕变的最后阶段,变形再次变快,并可能出现蠕变断裂^[2]。因此,为减少数据的采集量而又不失有效性,采取前密后疏的读数间隔。本试验为短时间的弯曲蠕变,每个试件的测试时间均为 8 h,试验过程的控制与读值由试验机自动完成,读值设置为:0~0.2 h 内每隔 30 s 取一值;0.2~1 h 内每隔 100 s 取一值;1~8 h 内每隔 600 s 取一值。

3 结果与分析

中纤板试件在不同载荷下的蠕变曲线如图 4 所示,从图 4 中可以看到,当荷载小于比例极限时,蠕变曲线约在 3~4 h 后进入第二阶段即平稳阶段。Maxwell 变参数模型可以建立在不同载荷下的蠕变

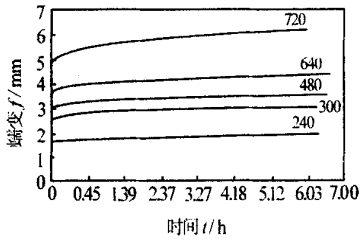


图 4 试件在不同载荷下的蠕变曲线
Fig. 4 Creep curves of MDF samples under varying loads

数据上,也可以在不同载荷级别下计算得到如(6)、(7)式的回归系数上再综合平均,只要实验环境条件不变,所得蠕变计算公式均有较好的效果,仅个别载级在某一时段上的预测值与实验曲线的拟合误差达到 15%左右。通过对本次试验结果的分析,发现载荷为 240 N 时建立的变参模型对各载荷下的蠕变拟合效果最好。按照 2.1 的方法,解得流变参数为:

$$C=143.94-1.4819t \quad r=0.92 \quad \cdots \cdots (9)$$
$$\eta=4851.1+2096.8t \quad r=0.89 \quad \cdots \cdots (10)$$

表 2 不同载荷下预测值与实际值的比较

Tab. 2 Comparison between the forecast values and the test values of MDF under different loads

时间 h	P=240 N			P=360 N			P=480 N			P=600 N			P=720 N		
	实测值 mm	预测值 mm	误差 %	实测值 mm	预测值 mm	误差 %	实测值 mm	预测值 mm	误差 %	实测值 mm	预测值 mm	误差 %	实测值 mm	预测值 mm	误差 %
0.2	1.6846	1.6799	0.27846	2.7596	2.5199	8.68736	3.9057	4.1998	7.5293	3.1715	3.3598	5.9378	5.2546	5.0397	4.08923
0.6	1.7167	1.7013	0.8973	2.8311	2.5519	9.86033	3.9992	4.2532	6.3523	3.2378	3.4026	5.0896	5.4383	5.1039	6.1492
1	1.7385	1.7192	1.10735	2.868	2.5789	10.0811	4.0501	4.2981	6.1238	3.2738	3.4385	5.0308	5.5323	5.1577	6.77031
2	1.7806	1.7555	1.41049	2.9225	2.6332	9.89813	4.1269	4.3887	6.344	3.3313	3.511	5.3934	5.6965	5.2665	7.5493
3	1.8255	1.7851	2.2118	2.9541	2.6777	9.35698	4.1841	4.4628	6.6611	3.373	3.5702	5.8478	5.7945	5.3554	7.57838
4	1.8712	1.8115	3.19094	2.9795	2.7172	8.80226	4.2384	4.5287	6.8499	3.4075	3.623	6.3238	5.8864	5.4345	7.67747
5	1.9051	1.8361	3.62181	2.9985	2.7542	8.14903	4.2764	4.5903	7.3392	3.4605	3.6722	6.1177	5.9741	5.5083	7.79695
6	1.9347	1.8597	3.87423	3.0178	2.7896	7.56121	4.3088	4.6494	7.9039	3.5283	3.7195	5.4188	6.0516	5.5792	7.80561
7	1.9681	1.8829	4.32995	3.0376	2.8243	7.02122	4.3369	4.7072	8.5385	3.5927	3.7658	4.8171	6.117	5.6486	7.65658
8	1.9901	1.9058	4.23604	3.0565	2.8587	6.47152	4.3623	4.7645	9.2198	3.6406	3.8116	4.697	6.1771	5.7174	7.44207

4 应用 Boltzmann 叠加原理对变载荷下蠕变变形的预测

Boltzmann 叠加原理^[1]是解决线性粘弹性行为的数学处理方法。Boltzmann 指出:(1)试件中的蠕变是整个加载历程的函数;(2)第一阶段施加的载荷对最终形变的贡献是独立的,因而,最终形变是各阶段载荷所引起的形变的线性叠加。例如:在 $t=0$ 时,施加载荷 P_0 ,产生的蠕变变形 $[J(t)$ 为蠕变柔度]:

$f=P_0J(t) \cdots \cdots (12)$

在 $t=\tau$ 时刻,增加载荷 ΔP ,则当 $t>\tau$ 时,由 P_0 、 ΔP 共同产生的蠕变变形(参见图 5):

$f=P_0J(t)+\Delta PJ(t-\tau) \cdots \cdots (13)$

相关系数均大于 $r_{0.01}$,表明回归效果显著。将(9)、(10)式代入(8),即得到中密度板纤维弯曲蠕变的变参数 Maxwell 模型:

$$f=(\frac{1}{143.94-1.4819t}+\frac{1}{4851.1+2096.8t} \cdot t)P \cdots \cdots (11)$$

表 2 是试样在不同载荷级别下的实际蠕变值与(11)式理论预测值的误差比较。当载荷小于比例极限时,在短时间内 Maxwell 变参模型均有较好的拟合度。值得一提的是,目前许多常用的蠕变计算公式只在某一特定载荷下适用,因而在应用上具有一定的局限性,而 Maxwell 变参数模型则在较宽的载荷范围内均有较好的拟合效果。另外,Maxwell 变参模型同样也适用于木材和其它木质复合材料。由于木质材料的蠕变是自身材质的特性和各种环境条件的制约下发生的复杂现象,除了时间、载荷的因素外,周围湿、温度等环境因素都较大地影响木质材料的流变特性^[3],并影响模型对蠕变曲线的拟合效果。

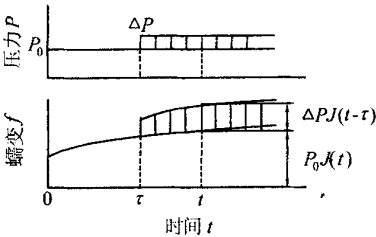


图 5 阶梯载荷下蠕变的线性叠加

Fig. 5 Linearity superposition of creep under ladder load

应用变参数流变模型可以方便地预测试样在先后几个载荷共同作用下所产生的蠕变变形,为验证这

(下转第 18 页)

4 结论

1)通过采用阻燃树脂胶制造阻燃刨花板的工艺路线是可行的。

2)阻燃型刨花板的物理力学性能达到刨花板 GB/T 4897-92 中 A 类板优等品的性能指标,氧指数达到热固性树脂装饰层压板 GB 7911.6-87 的要求。

3)更优良、更适宜的阻燃 PF 树脂胶配方及更完善的刨花板制造工艺有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 邓玉和等.刨花板阻燃性研究[J].建筑人造板,1995,(1):9~12,15.

- [2] 罗文圣.刨花板的阻燃处理[J].建筑人造板,1990,(1):10~17.
[3] 薛恩钰,等.阻燃科学及应用[M].北京:国防工业出版社,1988.
[4] 王元宏.阻燃剂化学及其应用[M].上海:上海科学技术文献出版社,1988.
[5] 东北林学院主编.胶粘剂与涂料[M].北京:中国林业出版社,1984.
[6] H. A. 米勒.刨花板制造[M].商齐,等译.北京:轻工业出版社,1984.
[7] 菲诗松,等.回归分析及其实验设计[M].上海:华东师范大学出版社,1981.
[8] 南京林业大学主编.工程数学[M].北京:中国林业出版社.
[9] 朱伟勇,等.最优设计理论与应用[M].沈阳:辽宁人民出版社,1981.

(上接第 11 页)

一点,本实验对 MDF 试件作了测试比较,试验设置为:(1)在 $t=0$ 时刻施加 250 N 的载荷,持续 4 h;(2)在 $t=4$ h 时刻再施加 240 N 的载荷,也持续 4 h。MDF 试件在阶梯载荷下的实验曲线和变参流变模型应用 Boltzmann 叠加原理的预测曲线如图 6 所示,其

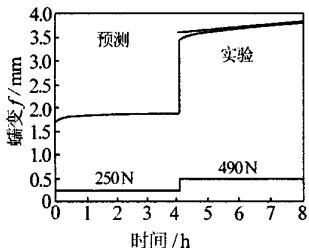


图 6 MDF 试件在阶梯载荷下的蠕变曲线

Fig. 6 Creep curve of MDF sample under ladder load

实验值与理论值非常接近。

5 结论

可以采用变流变参数的 Maxwell 模型来研究 MDF 的流变性质。由于变参数 Maxwell 模型能以较少的弹、粘单元组合模型代替常参数弹、粘多单元的组模型,从而使流变参数便于求解,既方便了计算,也避免了流变参数的离散性问题。

参考文献:

- [1] 周光泉,刘孝敏.粘弹性理论[M].合肥:中国科学技术大学出版社,1996.
[2] 周祝林,等.关于复合材料弯曲蠕变试验方法的研究[J].纤维复合材料,1999,16(2):14~19.
[3] 王逢瑚.木质材料流变学[M].哈尔滨:东北林业大学出版社,1997.

邮购图书、资料简介

- ◆ 《人造板生产质量管理与检验》南京林业大学陆肖宝教授主编。系统介绍了人造板生产的工艺及工序控制点;标准与标准化;抽样检验;质量管理及质量保证体系;有关的人造板国家标准及质量控制的常用方法。16开 207 页,邮购价:25 元
- ◆ 《制材生产技术》南京林业大学孙友富博士主编。系统阐述了制材理论,生产工艺过程,设备使用与维修,车间流水线设计等技术问题,及木材运输与保护,锯材深加工,制材剩余物利用,锯条修整,相关国家标准及检验等。16开 272 页,邮购价:30 元
- ◆ 《胶合板生产技术》南京林业大学朱典想教授主编。系统介绍了胶合板制造理论,生产工艺、设备使用及维修,及特种胶合板的生产。16开 286 页,邮购价:33 元
- ◆ 《纤维板生产技术》南京林业大学王国超教授主编,16开 246 页,邮购价:37 元
- ◆ 《世界商品木材拉丁英文名称》2000 年在原书基础上增补内容后再版,是木材贸易、进口材使用者必备工具书。32开 394 页,精装,邮购价:60 元
- ◆ 《东南亚热带木材》第 5 次印刷,精装,邮购价:210 元
- ◆ 《非洲热带木材》第 5 次印刷,精装,邮购价:210 元
- ◆ 《拉丁美洲热带木材》第 5 次印刷,精装,邮购价:210 元

《木材工业》编辑部 电话:(010)62889419