

图5 对焊板残余应力光测和电测结果分布曲线

• 光测 σ_x , × 光测 σ_y , Δ 电测 σ_x , □ 电测 σ_y

合现场测量残余应力的可靠性. 图5所示A-A,B-B,C-C,D-D线上残余应力符合焊接理论.

3 适用范围的分析研究

依据反射全息干涉法现场测量残余应力,可分别从公式(4),(5)和(6)出发,均能求解之.从实验灵敏度考虑,应采用式(5)或式(6);但由于钻盲孔后孔边位移三维性质,使得由式(2)所描述的离面位移在孔附近产生误差,尽管标定实验测定释放系数 H 时,有适当的消除效果,但仍要考虑其差异.而面内位移 u,v 是由条纹计数法测得的,较为稳定,不易受钻孔加工时横向力的影响,但不如离面位移灵敏.综合分析得,(4)式是目前计算残余应力较好的表达式.若在不易发生横向位移的情况下,使

用(5)式或者(6)式可获得较高的灵敏度.

全息图再现翻拍时,应采用较强的光源照明,以提高衍射像的强度,本实验采用北京科学仪器厂生产的条纹倍增器光源.胶片可采用 $21^{\circ}135$ 普通胶卷或航微胶卷,以缩短曝光时间而获得比SO胶片更好的效果.翻拍的角度一定要十分准确,这是本实验的又一关键.可利用万能铣床活动转盘.根据全息软片的市场价格与残余应变片的价格相比较; 1m^2 的全息软片和一片残余应变片价格大致相当.由此全息干涉法和钻盲孔法相结合测量残余应力又是一种十分经济的测量方法.若有喷砂打孔的装置,亦可选用玻璃板质的全息干板,进行残余应力的现场测量,这时全息干板固定在待测构件上,喷砂既打穿全息干板玻璃,同时又在构件上打出盲孔,使构件释放残余应变,从而实现残余应力的现场全息测量.

参 考 文 献

- 1 阿弗里尔 J 主编. 实验应力分析手册. 北京: 机械工业出版社, 1985. 489
- 2 Rendler N J, Vigness I. Hole-drilling strain-gage method for measuring residual stress. *Proc SESA*, 1966, XXIV(2): 577~586

(1995年2月10日收到第1稿,
1995年6月5日收到修改稿)

几个主要树种的蠕变特性

卢宝贤 李静辉 丁卫 田玉梅

(东北林业大学材力室, 哈尔滨 150040)

摘要 本文根据短时间的木材弯曲蠕变实验,对国内几个主要树种木材的粘弹性模型元件数和元件常数进行了确定.

关键词 木材, 蠕变, 粘弹性模型

木材作为构件在使用和进行各种加工时,其内部不仅产生应力,而且还有蠕变现象存在.它将影响构件的正常使用,也会减少耐久性.所以对木材蠕变性质的研究不论从理论方面,还是从实践方面都是极其重要的.这次研究的目的是用恰当的粘弹

性模型科学地描绘我国几个主要树种的蠕变特性.

1 确定模型元件常数的原理和方法

本研究采用如图1所示的开尔文锁作为粘弹性模型.根据流变学理论,其任一瞬时的蠕变柔度 $J(t)$ 可由下式给出

$$J(t) = J_0 + \frac{t}{\eta_0} + \sum_{i=1}^n J_i(1 - e^{-t/\tau_i})$$

令

$$J_e(t) = \sum_{i=1}^n J_i(1 - e^{-t/\tau_i}) \quad (1)$$

式中 J_0 为弹簧 S 的蠕变柔度； t/η_0 为阻尼簧 d 的蠕变柔度； J_i 为 i 号开尔文体的蠕变柔度； τ_i 为蠕变特性时间，即 i 号开尔文体达到平衡时所需的时间， n 个开尔文体组成的开尔文锁具有 n 个蠕变特性时间 $\tau_i (i = 1, 2, 3, \dots, n)$ 。

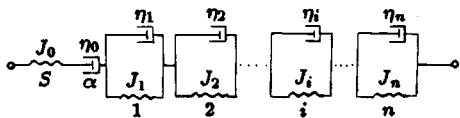


图 1

蠕变实验结果表明，其蠕变曲线有大致相同的形状(图 2)。从图 2 看出，第 II 阶段是稳定蠕变阶段，其蠕变曲线近似为直线，即蠕变速率几乎不变。根据蠕变速率不变的特性，可求出开尔文体蠕变柔度都到达平衡时，则 $J_c(t)$ 变为

$$J_c(t) = J_1(1 - e^{-t/\tau_1}) + J_2 + \dots + J_i + \dots + J_n = \sum_{i=1}^n J_i - J_1 e^{-t/\tau_1} \quad (2)$$

改写上式得

$$\Delta J_c(t) = \sum_{i=1}^n J_i - J_c(t) = J_1 e^{-t/\tau_1} \quad (3)$$

两边取对数得

$$\ln \Delta J_c(t) = \ln J_1 - \frac{t}{\tau_1} \quad (4)$$

(4) 式为线性方程，故可由它的斜率及截距求得 τ_1 ， J_1 及 $\eta_1 = \tau_1/J_1$ 。然后算出 $J_{c1}(t) = J_1(1 - e^{-t/\tau_1})$ 再从 $J_c(t)$ 中减去 $J_{c1}(t)$ 后，重复上面的运算，便可求得 τ_i ， J_i 及 $\eta_i = \tau_i/J_i$ 。当开尔文锁的各蠕变柔度之和 $\sum_{i=1}^n J_{ci}(t)$ 与 $J_c(t)$ 几乎相等时计算即可结束。

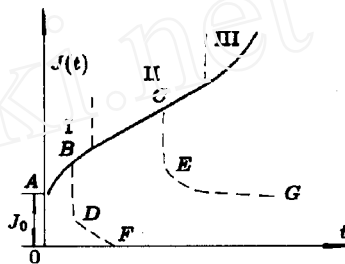


图 2

2 实验

2.1 实验材料

试材选自黑龙江省帽儿山、凉水林场。试件取自两端径木纹的气干心材(表 1)。

表 1 木材的主要性质及试件尺寸

树种	年轮宽 (cm)	气干比重 (g/cm ³)	含水率 (%)	抗弯强度 (MPa)	长度 (cm)	宽度 (cm)	厚度 (cm)	跨度 (cm)
落叶松	0.28	0.5810	11.0	107.9	15	1.0	0.4	12
红松	0.25	0.4572	13.1	63.7	15	1.0	0.4	12
榆木	0.27	0.7050	10.0	78.4	15	1.0	0.4	12
桦木	0.25	0.6410	10.0	79.9	15	1.0	0.4	12
核桃楸	0.25	0.6630	8.3	85.4	15	1.0	0.4	12
黄波罗	0.24	0.5510	11.0	74.6	15	1.0	0.4	12

2.2 实验方法

实验是在室内温度为 20.5°C~24°C 及湿度为 20%~24% 的条件下进行的。蠕变实验的试件为三点弯曲受力。加载为三级，分别为木材弯曲强度的 30%、40%、50%，从 0 min 到 420 min 内分别测出每隔 2 min、5 min、10 min 以及 30 min 的梁中点挠度值，再由流变学中的“梁之对应原理”将挠度值换算为蠕变柔度值，可绘出弯曲蠕变柔度曲线。

3 结果与分析

(1) 粘弹性模型的元件数及元件常数可用已测得的蠕变曲线结果，利用公式(4)算出 τ_1 ， J_1 和 η_1 ，继而利用类似的计算可得出 τ_i ， J_i 及 η_i ，与此同时确定出元件总数。

经过几个主要树种木材的实测和计算结果表明，用来描绘木材弯曲蠕变的粘弹性模型是由一个马克思维尔体和两个开尔文体组成的 6 元件模型。其各元件常数均列在表 2 中。

表 2 粘弹性模型元件常数

树种	P (N)	H (min)	J_0	J_1	J_2	η_0	η_1	η_2	τ_1	τ_2
			$(10^{-7} \text{cm}^2/\text{N})$			$(10^7 \text{min}/\text{cm}^2)$			(min)	
落叶松	25	420	20.770	1.610	1.010	161.29	34.34	6.32	55.3	6.4
	35	420	21.240	2.190	1.710	149.25	17.43	2.62	38.2	4.5
	40	420	24.810	2.050	1.200	138.89	22.16	4.92	45.4	5.9
红松	15	420	8.591	0.227	0.151	874.90	110.60	14.89	20.3	2.3
	20	420	9.599	0.203	0.174	898.40	107.50	9.16	21.8	1.6
	25	420	9.417	0.207	0.171	753.80	119.30	13.63	24.7	2.3
榆木	20	420	17.851	2.508	0.892	129.90	19.77	5.04	49.6	4.5
	23	420	18.808	2.519	2.291	131.60	16.55	1.39	41.7	3.2
	30	420	29.382	3.355	3.085	151.50	9.36	1.33	33.4	4.1
桦木	20	420	9.630	0.450	0.330	357.10	114.11	8.55	51.4	2.8
	30	420	9.630	0.410	0.260	588.20	90.48	17.88	37.1	4.6
	40	420	9.290	0.480	0.260	416.70	67.20	13.04	32.3	3.4
核桃楸	30	420	8.444	0.500	0.260	312.50	102.30	20.20	51.2	5.3
	35	420	8.846	0.463	0.237	446.40	99.10	20.50	45.9	4.9
	40	420	8.973	0.446	0.184	476.20	77.35	35.65	34.5	6.6
黄波罗	20	420	12.148	0.387	0.153	476.10	65.63	33.98	25.4	5.2
	23	420	12.174	0.406	0.184	833.30	86.21	16.85	35.0	3.1
	30	420	12.543	0.511	0.349	500.00	73.38	14.58	37.5	1.6

(2) 由梁弯曲实验得到的蠕变粘弹性模型是 6 元件模型。现虽不能肯定该模型具有普遍的物理意义。但用实测方法能确定元件常数之间的关系，这将是蠕变现象统一表示的尺度。

(3) 根据上述观点，可以求出本实验得到的平衡柔度 (J_0, J_1, J_2)，粘性系数 (η_0, η_1, η_2) 以及延迟时间 (τ_1, τ_2) 的比并进行讨论。

平衡柔度 开尔文体 2 (图 1) 的平衡柔度 J_2 与开尔文体 1 的平衡柔度 J_1 之比 $J_2 : J_1$ 和 $J_0 : J_1 : J_2$ 见表 3。

表 3 各元件常数的比值

树种	$J_2 : J_1$	$J_0 : J_1 : J_2$	$\eta_2 : \eta_1$	$\eta_0 : \eta_1 : \eta_2$	$\tau_2 : \tau_1$
落叶松	1:1.49	1:0.087:0.059	1:5.333	1:0.164:0.031	1:8.3
红松	1:1.28	1:0.023:0.018	1:8.957	1:0.134:0.015	1:10.8
榆木	1:1.34	1:0.127:0.095	1:5.965	1:0.112:0.019	1:10.6
桦木	1:1.58	1:0.047:0.029	1:6.887	1:0.199:0.029	1:11.2
核桃楸	1:2.07	1:0.054:0.026	1:3.651	1:0.225:0.061	1:7.8
黄波罗	1:1.91	1:0.035:0.019	1:4.064	1:0.124:0.031	1:9.8

从表中看出，平衡柔度的大小关系为 $J_0 > J_1 > J_2$ 。

粘性系数 $\eta_1 : \eta_2$ 及 $\eta_0 : \eta_1 : \eta_2$ 之比列于表 3

中。

从表 3 中看到，如红松 $J_2 : J_1$ 为 0.781，而 $\eta_2 : \eta_1$ 则为 0.112，与前者相比后者低。而 $J_1 : J_0$ 为 0.023。 $\eta_1 : \eta_0$ 为 0.134，前者小后者明显地大。

延迟时间 用 6 个元件模型表示弯曲蠕变。存在两个延迟时间 τ_1 和 τ_2 。如红松得到 τ_1 和 τ_2 的平均值分别为 22.3 min 和 2.07 min。

(4) 不同树种蠕变性能的比较。从表 2 中看出，树种不同，粘弹性常数具有很大的差异，从而也决定了各自抵抗蠕变的能力。 J_0 是瞬时弹性柔度，它是与时间无关的常量，其大小反映了材料抵抗瞬时弹性变形的能力。 J_1, J_2 反映了材料抵抗蠕变的能力， J_1, J_2 愈小，说明材料抵抗蠕变的能力愈强。

参 考 文 献

- 1 尹祥础编著. 固体力学. 北京: 地震出版社, 1985
- 2 卢宝贤等. 粘弹性模型在木材蠕变中的应用. 力学与实践, 1989, 11(2)
- 3 中国科学院数学研究所. 常用数理统计方法. 北京: 科学出版社, 1973

(本文于 1995 年 6 月 17 日收到)