

水浸时效对红锥木材蠕变特性的影响

刁海林¹, 罗建举¹, 蔡道雄²

(1. 广西大学 林学院, 广西 南宁 530004; 2. 中国林业科学研究院 热带林业实验中心, 广西 凭祥 532600)

摘 要:采用 4 点加载方式分别对红锥自然气干试材及水浸时效试验材料进行短时间(420 min)弯曲蠕变试验, 获取红锥木材在 2 种不同时效状态下的弯曲蠕变特性常数, 分析 2 种时效状态下红锥的蠕变性能, 并对水浸时效对红锥蠕变性能的改善效果作出评价。结果表明, 在弯曲应力为 $\sigma_b 40\%$ 的荷载下, 红锥自然气干材的蠕变特性常数 J_0 为 $8.408 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{N}$ 、 η_0 为 $436.293 \times 10^{-7} \text{ min N/cm}^2$ 、 $\sum J_i$ 为 $0.784 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{N}$; 红锥水浸时效材的蠕变特性常数 J_0 为 $7.752 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{N}$ 、 η_0 为 $502.000 \times 10^{-7} \text{ min N/cm}^2$ 、 $\sum J_i$ 为 $0.341 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{N}$ 。红锥木材经水浸时效处理后, 其瞬间弹性柔量 J_0 及延迟弹性柔量 $\sum J_i$ 均较气干材有所降低, 而粘性系数 η_0 则较气干材有较大幅度的提高。说明红锥木材经水浸时效处理后其抗瞬间弹性变形能力、抗延迟弹性变形能力及抗长期粘性变形的能力得到增强。

关键词:红锥; 木材; 水浸时效; 蠕变特性

中图分类号:S781.71 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2015)02-0217-04

The Influence of Water Immersion Aging on Creep Characteristics of *Castanopsis hystrix* Wood

DIAO Hai-lin¹, LUO Jian-ju¹, CAI Dao-xiong²

(1. Forestry College, Guangxi University, Nanning, Guangxi 530004, China;
2. Experimental Center of Tropical Forestry, CAF, Pingxiang, Guangxi 532600, China)

Abstract: By means of the four-point loading, a short time (420 min) bending creep testing on air-dried wood samples and water immersion aging samples of *Castanopsis hystrix* were respectively carried out to obtain the bending creep characteristic constants of the woods under two different aging states, and to analyze their creep properties under two different aging states, also to evaluate the improvement effect of the creep properties after water immersion aging. Experimental results showed that when the load of bending stress was under 40% of tensile strength, constants J_0 , η_0 , and $\sum J_i$ of creep properties of air-dried wood sample were $8.408 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{N}$, $436.293 \times 10^{-7} \text{ min N/cm}^2$, and $0.784 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{N}$, respectively. While after the wood had been immersed in water, the constants of J_0 , η_0 , and $\sum J_i$ were $7.752 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{N}$, $502.000 \times 10^{-7} \text{ min N/cm}^2$, and $0.341 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{N}$, respectively. The conclusions were that comparing with air-dried wood, after the wood had been immersed in water with aging treatment, both of instantaneous elastic compliance J_0 and delayed elastic compliance $\sum J_i$ were lower than the constants of the air dried wood, but the resistance of viscous coefficient had been significantly improved comparing with the air-dried wood. It showed that after the immersed treatment in water, the resistance abilities of instantaneous elastic deformation, delayed elastic deformation and long time viscous deformation were improved.

Key words: *Castanopsis hystrix*; wood; water immersion aging; creep characteristic

红锥(*Castanopsis hystrix*),常绿乔木,主要分布于华南的广东、广西、福建、台湾等的南部地区,为中国华南地区重要的阔叶珍贵用材,也是南方亚热带地区主要的阔叶材树种之一。红锥的主要特点是生长速度快、成材周期短、材质优、主干通直,心材呈红色,耐腐蚀,是优质珍贵用材^[1]。可广泛应用于建筑、造船、高档家具、木地板、军工用品、体育器材等领域^[2-3]。但因红锥生长应力大,其木材在贮存、制材、干燥及加工过程中极易发生变形和开裂,在一定程度上使其高端用途受到限制,也因此影响了它的经济价值。为了防止红锥木材在使用过程中的变形和开裂,中国南方地区民间有将红锥木材在池塘中浸泡一段时间后再捞出使用的传统,以此缓解或消除红锥木材在使用中的变形和开裂现象。这种借助于较长时间内水和微生物的作用,帮助木材逐渐释放贮存于木材纤维中的生长应力,使木材的变形和开裂得到一定程度抑制的方法,称之为水浸时效法。水浸时效法除了使木材的变形开裂性能得到改善外,还必将影响木材的其他物理力学性能。本研究将主要探讨水浸时效对红锥木材蠕变性能的影响。木材的蠕变不仅直接影响木结构构件的正常使用,而且给木材的力学耐久性带来影响。特别是车厢、轮船、飞机以及高档家具中所用木材,对于蠕变的反映极为敏感。蠕变特性是衡量木材能否适用于高端工程用途的重要指标,因此,进行红锥木材水浸时效蠕变性能的研究,无论从理论方面还是从实际应用方面都具有十分重要的意义。

1 材料与方法

1.1 样木与试件

试验材料采自广西凭祥市中国林科院热带林业实验中心伏波试验场红锥种植示范基地。采集方法依据国家标准 GB/T 1927-2009《木材物理力学试材采集方法》^[4]进行。根据整体林分的树高、胸径、长势以及树冠幅的生长情况,选择长势良好、树干通直、节疤少、无病虫害、胸径中等的 6 株样木。样木树龄 26 d,平均树高 24.4 m,胸径 24.6 cm。样木伐倒后自根部 1.3 m 以上按 2.2 m 规格造材,每株样木按第 1、3、5 段间隔取样木段,并进行标记。为进行不同时效状态下的蠕变特性比较,将其中 3 株的木段置于干燥通风的环境中,令其自然气干,然后锯取厚度为 35 mm 的径切板毛试样备用。其余 3 株的木段则置于水池中浸泡时效 15 个月后捞起晾干,也锯取厚度为 35 mm 的径切板毛试样备用。

试验所用试件分别从气干材和水浸时效材的径

切板毛样上切取,将其制成尺寸为宽(b)×厚(h)×长(L)=10 mm×4 mm×140 mm(精度为±0.1 mm)的矩形截面小试件^[5]各 18 枚,将试件在室内通风处静置 2~3 周使含水率均衡,试验时试件平均含水率为 12.5%。同时根据应力水平制作 形分力器(图 1)。

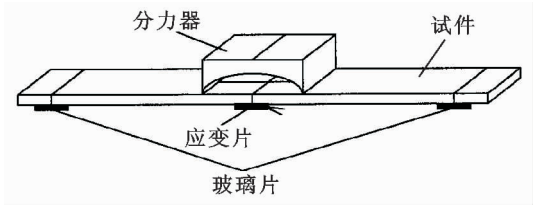


图 1 试件与分力器示意图

Fig. 1 Sketch map of specimen and force dividing device

1.2 试验仪器

YJ-22 型数字静态应变测量仪及 YZ-22 型转换箱(华东电子仪器厂);BX120-10AA 型箔式纸基应变片,灵敏系数 2.08,名义阻值为 120.3 Ω,丝栅面积为 10×2 mm²(浙江黄岩测试仪器厂);其他试验材料:自制试验支架、砝码、电烙铁、焊锡、502 胶水、砂纸等。

1.3 研究方法

1.3.1 原理 木材的蠕变特性曲线是一粘弹性曲线^[6](图 2)。根据流变学理论,该曲线特性可用粘弹性力学模型(广义伏格特模型)模拟^[6-8](图 3)。它由一个马克斯韦尔体和 n 个开尔文体串联而成。广义伏格特模型又可由蠕变函数(1)式来模拟^[6]。

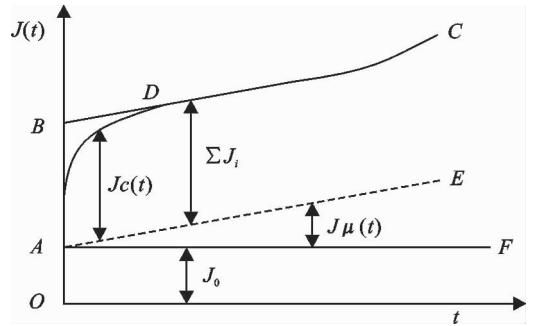


图 2 木材蠕变特性曲线

Fig. 2 Creeping curve of wood

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

由木材的一般蠕变规律知,木材蠕变过程分为 3 个阶段:即初级蠕变阶段、稳定蠕变阶段及最后蠕变断裂阶段^[9-11]。其中第二蠕变阶段(稳定蠕变阶段)所持续的时间最长,为主要蠕变阶段,最能说明木材的蠕变特性。从木材的蠕变及蠕变恢复曲线可见,该阶段一般呈一倾斜的直线,它与表示木材粘性蠕变特性的 AE 直线近乎平行。因此,我们可以通

过作稳定蠕变阶段的平行线获得 AE 线,而无需通过卸载测取蠕变恢复曲线来获取 AE 线,使试验得以简化^[12]。又本试验是根据短时间(420 min)内弯曲蠕变实验理论来研究木材蠕变特性的,于是我们可以用第二蠕变阶段的有关特性来说明木材的主要蠕变特性。根据文献^[12],此阶段的蠕变柔量可用下式表示,即:

$$J(t)=J_0+J_{\eta}(t)+\sum J_i$$

(2)

式中: J_0 称为瞬间弹性柔量; $J_{\eta}(t)=t/\eta_0$ 称为粘性柔量; η_0 称为粘性系数; $\sum J_i$ 称为延迟弹性柔量。当试验环境及条件相同时, J_0 、 η_0 、 $\sum J_i$ 为只与树种有关的常数,故称之为广义伏格特模型元件常数(也称蠕变特性常数)。因此,我们只需通过蠕变试验求取木材的广义伏格特模型元件常数 J_0 、 η_0 、 $\sum J_i$ 即可掌握相应树种的蠕变特性。

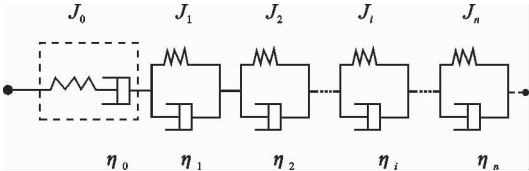


图 3 粘弹性模型 (广义伏格特模型)

Fig. 3 The viscoelastic model

(Broad sense Voigt. W. model model)

1.3.2 方法 木材蠕变试验目前尚无统一标准,试验方法各不相同,之前的蠕变特性试验多借助于挠度测量法。本试验则基于文献^[12]中提出的电测法,

即通过电测试验测取试件的弯曲应变 $\epsilon(t)$,再直接由流变学中关于蠕变柔量的定义式(3)计算蠕变柔量 $J(t)$,进而绘制蠕变特性曲线,然后根据蠕变特性曲线确定蠕变特性曲线方程(2)中的蠕变特性常数 J_0 、 η_0 和 $\sum J_i$ 说明木材的蠕变特性。式(3)中 σ_0 为加于试件的恒弯曲应力。

$$J(t)=\frac{\epsilon(t)}{\sigma_0}$$

(3)

试验于 2011 年 12 月在广西大学林学院木材力学实验室中进行,室内干球温度 23.5~30.5℃,湿球温度 21.5~27.5℃,相对湿度 63%~76%。蠕变试验装置是根据本试验研究的要求自行设计的,将试验试件两端简支,采用 4 点弯曲弦向加载。为获得恒定弯曲荷载,试验采用砝码加载。考虑到木质材料的粘弹性行为不仅与承受的应力水平而且还和环境的温湿度有关,应力水平、含水量和温度三者的值较小(<20%~30%、5%及 20℃)时,材料近似呈线弹性,流变行为不明显;在一般状态下,材料接近于线性粘弹性,应力与应变或应变速度呈线性关系;而当三者的值较大(约 60%~70%、15%及 50℃)时,材料呈非线性粘弹性,应力与应变或应变速度间不再保持线性关系^[8]。本试验用以模拟木材蠕变行为的是一线性粘弹性模型,为使试件符合上述“一般状态”条件而处于线性粘弹性状态,故采用 σ_0 40%应力水平。为获得相应恒应力值,需对砝码及分力器跨度 a 进行正确配置,各相关数据见表 1。

表 1 载荷及相关数据

Table 1 Loads and relevant data

树种	气干密度 /(g·cm ⁻³)	含水率 /%	抗弯强度 σ_b /MPa	恒应力 σ_0 占 σ_b 比例/%	σ_0 /MPa	载荷 P /N	分力器跨度 a /mm
红锥	0.733	14.6	103	40	40.4	50	32

本试验的电桥电路采用半桥接法单臂测量^[15]。试验前先用电阻测湿仪测量试件含水率并记录。将试件按标记顺序安装到试验支架上,将应变仪导线与应变片引出线焊接,将预调平衡箱与应变仪主机联接。一切检查无误后,启动应变仪预热并调零,然后按顺序给试件加载。在 0~420 min 内,按 5 s、2、5、10、30 min 和 60 min 为时间间隔,依次测出各试件相应瞬时的应变值 $\epsilon(t)$,并记录。

2 结果与分析

将同一组试件在同一瞬时的应变值进行算术平均,得出各瞬时的平均线应变 $\epsilon(t)$,再根据蠕变柔量的定义式(3)算出各瞬时的蠕变柔量 $J(t)$ 。然后根据所得数据,以时间 t 为横坐标,蠕变柔量 $J(t)$ 为纵坐标,绘制 $J(t)-t$ 曲线(蠕变特性曲线)。不同时效

状态下的红锥木材蠕变特性曲线如图 4 所示。其中红锥木材在自然气干状态下的蠕变特性数据取自于笔者所著的文献^[14]。

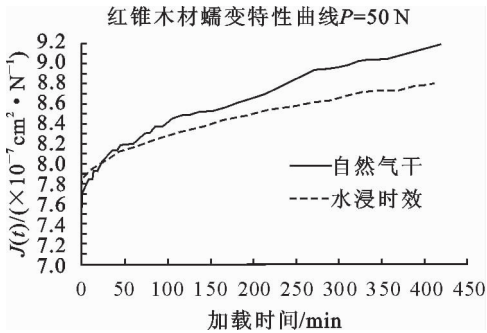


图 4 红锥在自然气干和水浸时效状态下的蠕变特性曲线 (载荷为 50 N)

Fig. 4 Creep curve of wood of *C. hystrix* (Loaded with 50 N)

根据图 4 可确定红锥木材在不同时效状态下的

蠕变特性常数 J_0 、 η_0 及 ΣJ_i 。在方格纸上分别作图 4 的 AE 线及 AF 线,根据文献^[12-14]的计算方法求得红锥在不同时效状态下的蠕变特性常数(表 2)。

由蠕变试验知,在一定的应力水平下,木材在蠕变过程中,瞬间弹性柔量 J_0 为一瞬时定常数,不随时间而变,它表示材料在加载瞬间每单位应力所带来的变形量, J_0 值越小,说明材料抵抗瞬间弹性变形的能力越强,反之,则说明材料抵抗瞬间变形的能力越差。而延迟弹性柔量 ΣJ_i 则是一种继 J_0 之后的延迟弹性变形量,在开尔文体达到平衡后亦成为

表 2 红锥木材蠕变特性常数

Table 2 Creep constants of wood of *C. hystrix*

树种	时效	试件含水率 W /%	载荷 P /N	J_0 / $(\times 10^{-7} \text{ cm}^2 \cdot \text{N}^{-1})$	η_0 / $(\times 10^{-7} \text{ min} \cdot \text{N} \cdot \text{cm}^{-2})$	ΣJ_i / $(\times 10^{-7} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{N}^{-1})$
红锥	气干 ^[14]	14.6	50	8.408	436.293	0.784
	水浸	14.8	50	7.752	502.000	0.341

由表 2 计算结果可知,经水浸时效处理后的红锥木材的瞬间弹性柔量指标 J_0 及延迟弹性柔量指标 ΣJ_i 均低于自然气干材,说明红锥木材经水浸时效处理后其抗瞬间弹性变形能力及抗延迟弹性变形能力增强。因该 2 项指标均与材料的弹性模量有关,故说明红锥木材经水浸时效处理后其弹性模量有所提高,这对于红锥作为结构用材是十分有利的。同时由表 2 还可见,红锥木材经水浸时效处理后其材料的粘性系数 η_0 较气干材有较大幅度的提高。由 $J_\eta(t)=t/\eta_0$ 可知,这将大幅降低红锥木材的粘性柔量,说明红锥木材经水浸时效处理后其抗长期蠕变的能力有明显增强。此外,据民间经验,水浸时效处理还对木材的防虫、防腐及防变形开裂有较好的效果。

3 结论与讨论

红锥木材经水浸时效处理后,其瞬间弹性柔量 J_0 及延迟弹性柔量 ΣJ_i 均较气干材有所降低,而粘性系数 η_0 较气干材则有较大幅度的提高。说明红锥木材经水浸时效处理后其抗瞬间弹性变形能力、抗延迟弹性变形能力及抗长期粘性变形的能力得到增强。

红锥气干材在较高应力水平下抗蠕变能力较差。因此,就蠕变性能而言,红锥气干材宜在中低弯曲应力状态下工作。实际应用中,红锥气干材应慎用于永久性承重结构中的承弯构件及高档家具中的横向承重构件,譬如书柜、衣柜、长沙发等的横档^[14]。而经水浸时效调质处理的红锥木材则不然,即便在较高的应力水平下工作也具有较强的抗蠕变能力。

参考文献:

[1] 肖叶群,蒋颖. 广西派阳山林场发展红锥的前景与对策[J]. 广西林业科学,2008(6):2-6.

定值, ΣJ_i 越小则材料抗蠕变能力越强。此后只有粘性柔量 $J_\eta(t)$ 随时间变化,变化的快慢由粘性系数 η_0 来反映, η_0 是蠕变特性曲线中 AE 线斜率的倒数,说明材料抵抗长期粘性蠕变的能力, η_0 值越大则材料抗长期粘性蠕变能力越强。因此,木材的 3 个蠕变特性常数中, J_0 、 ΣJ_i 为稳定蠕变过程中的恒量,与时间无关。 $J_\eta(t)$ 则是恒变因素,与荷载持续时间 t 及木材粘性系数 η_0 有关。随着荷载持续时间的增加, η_0 对蠕变柔量 $J(t)$ 的影响最大,是衡量木材抗蠕变性能的主要因素。

[2] 朱积余,蒋颖,潘文. 广西红锥优树选择标准的研究[J]. 广西林业科学,2002,31(3):32-37.

[3] 梁宏温,等. 红锥木材物理力学性质的研究[J]. 广西农业生物科学,2004,23(4):326.

[4] 中国木材标准化技术委员会. GB/T 1927-2009 木材物理力学试材采集方法[S]. 北京:技术标准出版社,2009.

[5] 张斌,卢宝贤,李静辉. 小兴安岭几个主要树种的蠕变特性[J]. 东北林业大学学报,1998,16(2):71-73.

ZHANG B, LU B X, LI J H. The creep characteristic of several main trees in the Xiaoxingan Mountains[J]. Journal of Northeast Forestry University, 1998,16(2):71-73. (in Chinese)

[6] (日)冈小天. 生物流变学[M]. 北京:科学出版社,1980.

[7] M. 雷讷. 理论流变学讲义[M]. 北京:科学出版社,1965.

[8] 史贵荣. 木材的粘弹性及蠕变模型[J]. 北京林业大学学报,1988,10(2):88-94.

[9] 卢宝贤,李静辉,张斌,等. 粘弹性模型在木材蠕变中的应用[J]. 力学与实践,1989,11(2):41-44.

[10] 李大纲. 意杨木材弯曲蠕变特性的初变研究[J]. 四川农业大学学报,1998,16(1):99-101.

LI D G. A preliminary study of bending creep of Italy poplar [J]. J. Sichuan Agric. University, 1998,16(1):99-101. (in Chinese)

[11] 尹思慈. 木材学[M]. 北京:中国林业出版社,1996.

[12] 刁海林,梁炳钊,徐峰,等. 木材蠕变特性常数化研究方法探讨[J]. 广西科学,2002,9(2):148-150.

[13] 刁海林,罗建举. 马占相思木材蠕变特性研究[J]. 中南林业科技大学学报,2012,32(6):146-151.

[14] 刁海林,罗建举,蔡道雄. 红锥木材蠕变特性研究[J]. 西北林学院学报,2013,28(2):173-177.

DIAO H L, LUO J J, CAI D X. Creep characteristics of *Castanopsis hystrix* wood[J]. Journal of Northwest Forestry University,2013,28(2):173-177. (in Chinese)

[15] 天津大学材料力学教研室电测组. 电阻应变片测试仪技术[M]. 北京:科学出版社,1980.