

综述

桉树木材干燥特性与工艺 及其皱缩研究现状

江泽慧, 费本华, 王喜明, 赵荣军, 刘君良

(中国林业科学研究院, 北京 100091)

摘要: 本文回顾和分析了桉树木材与干燥有关的材性和干燥特性, 指出桉木的密度、含水率和干缩率变异性大、渗透性差, 在干燥过程中易产生皱缩、开裂等干燥缺陷, 若采用预冻处理和前后期调湿处理可减少木材的皱缩; 同时建议研究各种桉木不同规格板材的干燥基准和两段式干燥工艺。

关键词: 桉树; 干燥特性; 干燥技术; 皱缩

中图分类号: S792.39, S782.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654(2002)04-0003-04

Study on Reduction of Collapse of Eucalyptus Wood in Drying

JIANG Ze-hui, FEI Ben-hua, WANG Xi-ming, ZHAO Rong-jun, LIU Jun-liang

(Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: This paper reviewed and analysed the drying properties and characteristics of Eucalyptus. It indicated that variations of density, moisture content and shrinkage of Eucalyptus were distinct. Collapse and checks were main defects in drying process. The pre-freezing treatment and conditioning before and after drying could reduce wood collapse. Some suggestions for further research of drying schedule and two-stage drying technology for various kinds of Eucalyptus lumbers in different sizes were put forward.

Key words: Eucalyptus; Drying properties; Drying technology; Collapse

桉树生长迅速, 适应性强, 木材产量高, 近几十年来被许多国家引种栽培, 现全球桉树人工林种植面积达 5 000 万 hm^2 。我国南方自建国以来引种桉树, 目前人工林面积已达 150 万 hm^2 ^[1], 其木材主要用于纸浆生产。为了提高桉树木材的附加值, 获得更高的经济效益, 国内外许多木材加工生产和科研部门广泛开展了桉树实体木材性质和加工利用技术的研究, 澳大利亚、南非和巴西等国率先取得了多项桉树实木加工技术。桉树木材干燥是桉树实木加工利用的关键之一, 是一项难度很大的攻关技术。有研究结果表明, 桉树木材在干燥过程中产生的皱缩和开裂较为严重, 特别是皱缩, 使木材的强度大幅度下降, 木材利用率降低。严重的皱缩还使木材产生内裂(蜂窝裂), 甚至因

之报废。澳大利亚对桉树木材的干燥特性和皱缩机理方面的研究在国际上居领先地位, Tiemann^[2]早在 1915 年就观察到并开始认识桉树木材的皱缩现象, 1917 年发现调湿处理可以使桉树木材的皱缩恢复, 1934 年 Tiemann 在先前研究的基础上首次提出皱缩机理; 1941 年用电镜观察了桉木皱缩材组织结构的变化; 1960~1964 年 Kamman 相继研究了桉树木材干燥的预蒸处理和后期调湿处理技术, 在一定程度上减少了桉木在干燥过程中的皱缩; 1985 年以后, Chafe^[3]又对桉木的皱缩进行了系统的研究和生产开发。我国学者刘元^[4]对桉木的皱缩也进行了理论性研究, 提出了几个可供借鉴的观点。

1 与干燥有关的桉树木材性质

国内外学者先后对桉树木材的构造、物理力学性质、化学性质等方面进行了系统的研究, 发现桉树人

收稿日期: 2001-12-13
基金项目: 国家林业局“948”资助项目。
作者简介: 江泽慧, 女, 中国林业科学研究院院长, 教授。

工林木材不同种间和种内的变异性很大^[5],其中木材的含水率、密度、渗透性、干缩性等与干燥有关。

1.1 密度

桉木的密度在种间、种内和株内的变异均很大,也没有一致的规律。但较一致的观点是,桉树木材的密度变异主要是基于纤维细胞壁厚的变异,如11年生柠檬桉的导管和木纤维(心材)壁厚仅为26年生的1/3;在一定范围内,木材密度随形成层年龄增加而变化的变化要比其在高度上的变化大。有研究认为,木材的密度与树木的生长速度没有关系^[6],但环境因子的综合影响要比树木径向生长速度的影响大,施肥处理对木材的密度无显著影响等^[7]。对639株王桉木材密度的研究结果认为,木材的密度与种源有密切的关系,木材密度有明显遗传性。因此,可以通过选种和育种来改善木材的质量。

木材的密度是决定木材干燥特性的主要物理性能指标,桉木密度分布不均匀,变异性大,可导致木材在干燥过程中产生较大的干燥应力。木材的密度还直接影响木材中水分传导速度,也影响木材干缩的均匀性。由于桉树木材密度分布不均匀,在干燥过程中各部位收缩不均匀,形成很大的干燥应力,从而使木材发生开裂和变形。

1.2 生长应力

生长应力是在形成木材构造分子的次生壁时产生的,硬阔叶树材的生长应力比针叶树材大,其大小随树种不同而异,似与树龄、树干直径或生长速度无关,在相邻树间可能会有很大的变化。一棵31年生王桉的生长应力的变化范围在3.9~5.5 MPa,另一棵生长通直的王桉的生长应力在1.9~44.7 MPa,其值已远远大于木材的横纹抗拉强度^[8]。高应力的树伐倒后,很容易产生端裂,特别是在受到外力冲击的时候。高应力的原木锯解后,板材容易产生弯曲和开裂。在干燥初期板材常产生表裂,同时会加剧板材皱缩的产生。

1.3 干缩性

干缩率高是桉木的共同特征,多数桉木的干缩率不符合Stamm A. J. 1935年提出的干缩率(S)=纤维饱和点(f) $\times$ 密度(ρ)的关系式。对多数桉木来说,木材干缩率与密度之间呈负相关,经调湿处理,可使这种相关性变得不显著。而其它木材的干缩率与木材的密度呈正相关,但回归线不通过原始点,斜率也只有10%~14%,远远小于Stamm提出的28%(纤维饱和点)。另外,桉木干缩率的变异也很大,在株内,从边材到心材体积干缩率一直增加到半径的45%处,

然后迅速降低到半径的85%~90%处后急剧下降。对桉木进行蒸汽预处理后,其干缩特性发生了很大的变化,体积收缩率和可回复的皱缩增加;桉木的干缩还与抽出物有关,当抽出物被抽出后,木材的纤维饱和点提高。进一步的研究表明,由于抽出物在细胞壁中具有膨胀效果,因此可以相对地减少细胞壁尺寸的变化范围^[3]。在研究干缩的变异时发现,桉木晚材弦向干缩率大于早材的弦向干缩率,晚材在低于皱缩临界温度的干燥条件下也会产生皱缩,而早材只有在高于皱缩临界温度的干燥条件下才会产生皱缩^[9]。

1.4 其他

渗透性差是桉木的又一显著特征,这与桉木的构造有关。对4种桉木构造研究的结果表明,桉木的导管壁上,管间纹孔多为附物纹孔,导管和射线间亦有部分附物纹孔(环管胞和纤维壁上的纹孔也均为附物纹孔),大量附物的存在影响了木材中水分的移动及其他物质向木材中渗透。电镜观察发现,多枝桉和细叶桉的导管内含有较多侵填体,造成木材内横向水分移动困难^[4]。为了改善桉木的渗透性,可对桉木实施汽蒸处理,汽蒸处理后的桉树木材,导管和射线间的纹孔膜部分破裂,有的甚至脱离成空洞,但管间纹孔膜基本不变,可见汽蒸处理可以改善其渗透性。

含水率分布不均和心材含水率高也是桉木的一个特征,如王桉木材边材的含水率为118%,心材的含水率为135%;多枝桉边材的含水率为94%,心材的含水率为113%,外心材的含水率为103%;在径向上,从边材到心材含水率增加,到半径的75%处后又迅速降低,到85%~90%处保持稳定;木材的纤维饱和点基本保持不变。

桉木纤维细胞的生长排列不与树轴平行而呈螺旋状,树干表面明显可见螺旋状纹理,锯解后,材面上形成交错纹理。具有交错纹理的木材在加工时,由于大量木纤维被切断,木材的强度降低。斜纹理木材在干燥过程中常会产生弯曲和开裂。

2 桉树木材的皱缩特性

由于桉木的渗透性差,含水率不均匀且高,管间、导管和木纤维间的纹孔多具膜,生长应力大,干缩率大,在干燥过程中极易产生皱缩。皱缩亦称溃陷,通常是在干燥初期木材含水率很高时由于干燥温度高,自由水移动速度快而产生的毛细管张力和干燥应力使细胞溃陷而引起的不正常、不规则的收缩^[10],随着含水率的下降而加剧。木材皱缩的宏观表现是板材表面呈不规则的局部向内凹陷并使横断面呈不规则图形;

微观表现通常是呈多边形或圆形的细胞向内凹陷,细胞变得扁平而窄小,皱缩严重时细胞壁上还会出现细微裂纹。皱缩不仅使木材的收缩率增大,有效材积损失增加5%~10%,而且因其并非发生在木材所有部位或某组织的全部细胞,因而导致木材干燥时产生变形^[9]。皱缩时还经常伴随内裂和表面开裂,开裂使木材强度降低甚至报废。桉树木材皱缩具有如下性质:

选择性 不是所有桉树木材的所有细胞都能发生皱缩,而是决定于木材细胞的自身条件和干燥工艺的条件。即在干燥过程中,当作用在木材细胞上的毛细管张力之和大于木材细胞的抗压强度时,木材细胞才发生皱缩现象。

可破坏性 木材细胞皱缩的自身基本条件可以改变,可以通过干燥工艺产生的外界条件来实施调控。如通过预冻处理可使细胞腔内产生气泡^[11],导致纹孔膜破裂,细胞的气密性下降;汽蒸处理也可以破坏细胞的气密性;对木材进行压缩处理可以使木材细胞发生变形,破坏细胞的气密性;用有机液体置换木材中的水分等^[12]。上述处理均改变了细胞皱缩的基本条件,使本来能够产生皱缩的细胞不发生皱缩。另外通过调控干燥工艺条件,如降低水分移动的速度,或在受拉状态下干燥木材,通过减小毛细管张力,从而减少皱缩。

可恢复性 如果皱缩细胞的细胞壁没有破坏,再进行热湿处理可以使皱缩细胞恢复。当木材含水率为15%时,利用温度100℃的饱和蒸汽进行处理,皱缩木材的大部分可以恢复^[1],因为在纤维饱和点以下,细胞腔内无自由水存在,高温不再会产生皱缩条件,而木材具有一定的塑性,使其能够恢复或接近原来的形状^[13]。皱缩细胞的恢复也具有选择性^[14]。

3 防止桉木产生皱缩的主要工艺措施

3.1 预冻处理

根据木材的皱缩机理和皱缩特性,如果能使木材细胞壁上的纹孔膜破裂,或在细胞腔内产生气泡,就可以破坏木材细胞的皱缩条件。Choong^[15]的研究指出,冷冻处理对防止皱缩颇有成效,其原因是水结冰时可以形成气泡。假设融冰时这些气泡没有完全消失,这种气泡能使细胞避免由于水分通过纹孔时而产生张力效应。现有的研究表明,由于饱水状态下的木材内部已几乎没有空隙,在此状态下使木材中的水分受冻成冰而体积膨胀使细胞腔扩大,可使具缘纹孔的纹孔膜破裂,水分传导途径畅通,使毛细管张力减小,从而改变了木材产生皱缩的必要条件。有的研究结果

表明,在预冻过程中木材内的抽出物会迁移到细胞壁,增加了细胞壁的弹性,从而减缓皱缩^[16]。

王喜明^[12]分析了冰冻后细胞腔和细胞壁尺寸的变化。通过理论计算分析细胞壁强度的增加范围,并通过电子显微镜观察冰冻过程中细胞壁结构的形态变化。研究结果表明,预冻处理使木材细胞中的自由水发生了相变,细胞壁和微毛细管中的吸着水和抽出物发生了迁移和重新分布。上述现象的发生使木材细胞壁发生了冷收缩,并使细胞变得更加坚硬而不易变形;木材细胞腔内水结成冰后体积增大,将细胞壁上的纹孔膜顶破,从而破坏了细胞的气密性,扩大了自由水移动的途径,使皱缩细胞的数量减少45.76%。

3.2 两段式干燥工艺

由于桉木的皱缩均产生在含水率很高的干燥初期,由于干燥温度太高所致。Innes^[17]指出,在临界温度以下干燥木材可以完全避免产生皱缩,因此在干燥前期采用低温高湿的干燥工艺可以减少皱缩。

采用气干和室干的联合干燥可很好地解决桉木的皱缩。先在气干状态下将桉木干燥到含水率20%~25%,再在干燥室干燥到规定的含水率。在室干前先对气干材进行蒸汽处理,处理的时间与板材的厚度有关,板材越厚处理的时间越长,一般在2~6h。干燥后期的温度为60~80℃,干湿球温度差为6~12℃。在含水率为15%左右再进行一次蒸汽处理,可以使木材的皱缩部分恢复。

或在较低的温度(45℃)、较高的相对湿度的软基准下(干湿球温度差为2~4℃),将木材干燥到含水率为25%左右,再转为硬基准,直到含水率为18%左右,进行调湿处理。有的干燥试验表明,干燥后期的干球温度可达到130℃,较大的干湿球温度差和较高的气流速度可大大加快木材干燥速度。

王喜明^[18]在研究山杨木材的干燥特性时发现,干燥初期用干球温度50℃,干湿球温度差为3~6℃,后期的干球温度为80℃,干湿球温度差为8~20℃的两段干燥工艺可有效地避免产生皱缩。

3.3 加压和拉伸处理^[19]

对木材沿纵向施加压力,使木材细胞变形以破坏细胞的气密性,变形细胞的数量与施加的压力成正比。试验结果表明,加压处理可以减少皱缩,但对皱缩的恢复无明显效果,也不会明显改善木材的干燥特性。

在径切面上施加0.01~0.10MPa的拉伸力,并在此条件下干燥木材,随着外加拉力的增加,木材皱缩的强度减少,这种现象的发生主要是在外力的作用

下木材细胞的收缩受阻,使木材的总皱缩减少^[20]。

3.4 后期调湿处理

对皱缩材实施调湿处理可以使部分皱缩恢复,这主要是发生了皱缩的细胞还没有真正破坏,木材细胞壁中微纤维丝的熵弹性使细胞在高温高湿的条件下得以恢复到原来或接近原来的形状。研究结果表明,当含水率在15%~20%时,在干球温度为100℃,相对湿度为100%的条件下对木材进行调湿处理,皱缩的恢复率最高。皱缩的恢复率与前一阶段木材干燥的温度有关,随温度的增加,皱缩的恢复率降低。理论分析表明,在热和湿的联合作用下,木素和纤维素的弹性增加,木材内部的干燥应力得以释放。根据皱缩的压缩变定理论,在木材外部细胞膨胀时,木材内部的细胞受拉伸作用,此拉力逐步向内部扩张,使皱缩恢复。不能恢复的皱缩细胞是由于这些细胞在干燥过程中流失了过多的多酚类化合物。进一步的研究表明,皱缩的恢复量与干燥的历程有关,一般50%的皱缩可以恢复,50%的皱缩不能恢复。

综上所述,桉树木材种类繁多,木材的构造和材性之间有很大的差异,所以应分别研究各种桉木的材性,特别是桉木的干燥特性。皱缩是桉木干燥时产生的主要缺陷,应重点研究有效避免产生皱缩的干燥基准;预冻处理、初后期调湿处理可有效减少皱缩且工艺可操作性强,应对其深入研究,在此基础上制定桉木两段式干燥工艺。

参考文献:

- [1] Research Institute of Wood Industry of Chinese Academy of Forestry[R]. International Tropical Timber Organization Pre-project PPD18/99 Technical Report. Beijing, 2000.
- [2] Tiemann H D. Principle of Kiln Drying Lumber World Review [M]. May 15 and September 1915, 25.
- [3] Chafe S C. The Distribution and Interrelationship of Collapse, Volumetric Shrinkage, Moisture Content and Density in Trees of *Eucalyptus regnans* F. Muell[J]. Wood Sci. Tech., 1985, 19:329~345.
- [4] 刘元. 热处理对桉树皱缩的作用[J]. 林业科学, 1994, 30(2): 140~144.
- [5] IUFRO. The Future of Eucalypts for Wood Products[R]. Australia, 2000.
- [6] Taylor F W. Variation in the Anatomical Properties of South African-grown *Eucalyptus grandis* [J]. Appita, 1973, 27: 171~178.
- [7] 罗真付, 等. 施肥处理对尾叶桉生长量和木材密度的影响[J]. 南京林业大学学报, 1999, 23(5): 31~34.
- [8] Nicholson J E. Growth Stress Differences in Eucalypts [J]. For. Sci., 1973, 19: 169~74.
- [9] Innes T C. Collapse and Internal Checking in the Latewood of *Eucalyptus regnans* F. Muell [J]. Wood Sci. Tech., 1996, 30: 373~383.
- [10] 王喜明. 木材的皱缩[J]. 木材工业, 2000, 14(1): 29~31.
- [11] Choong E T, Mackay J F G, Stewart C M. Collapse and Moisture Flow in Kiln-drying and Freeze-drying of Woods [J]. Wood Sci., 1973, 6(2): 127~135.
- [12] 王喜明. 预冻处理对杨木皱缩特性的影响[J]. 内蒙古农业大学学报, 1999, (4): 14~17.
- [13] Bryan E L. Collapse and its Removal [J]. For. Prod. J., 1960, 10(11): 598~604.
- [14] Pankevicius E R. Influence of Position in Tree on Recoverable Collapse in Wood [J]. For. Prod. J., 1961, 11(3): 131~132.
- [15] Choong E T. Effect of Extractives on Shrinkage and Other Hygroscopic Properties of Ten Southern Pine Woods [J]. Wood and Fiber Sci., 1969, 19(1): 124~133.
- [16] Cooper G A, Barham S H. Pre-freezing Effects on Three Hard-wood [J]. For. Prod. J., 1972, 22(2): 24~25.
- [17] Innes T C. Pre-drying of Collapse Prone Wood Free of Surface and Internal Checking [J]. Holz als Roh-und Werkstoff, 1996, 54(3): 195~199.
- [18] 王喜明. 山杨小径材干燥皱缩的初步研究[J]. 林产工业, 1989, (2): 12~15.
- [19] Yany J L. An Attempt to Reduce Collapse Through Introducing Cell Wall Deformations [J]. Wood and Fiber Sci., 1998, 30(1): 81~89.
- [20] 寺尺真. The Effect of the Tensile Stress on the Collapse Intensity [J]. 木材学会志, 1975, (5): 278~282.

规范市场、引导消费,《中国绿色装饰板材消费指南》将提供全面导购咨询

根据强制性国家标准 GB18580-2001《室内装饰装修材料——人造板及其制品中甲醛释放限量》,自7月1日起,市场上停售不符合该国标的产品,众多媒体就此发表了文章。但部分媒体过度宣传与不当炒作,使消费者对人造板甲醛释放产生恐惧心理。为引导正确消费,进一步规范企业行为,提高人造板产品质量、保护消费者权益,促进行业发展,中国林产工业协会拟于2002年下半年开展《贯彻执行强制性国家标准,推广环保型绿色装饰板材》系列活动。作为活动的内容之一,《人造板通讯》杂志将于7~9月编辑出版《中国绿色装饰板材消费指南》特刊,内容涉及标准、质量公告、专家访谈、绿色解析、业内人士访谈、绿色消费、绿色动态、达标企业和产品广告等,旨在进一步宣贯标准,报道国内人造板企业及其制品的质量情况,倡导生产、销售和选购达标产品,规范人造板市场,提供人造板产品的选购咨询,引导正确消费,推动人造板行业再上新台阶。