

应用技术

25 mm 厚滇青冈木材的间歇干燥工艺

陈太安¹, 罗茜¹, 孙庭聪², 罗朋朋¹, 杨燕¹, 陈安波²

(1. 西南林业大学材料工程学院, 云南昆明 650224; 2. 云南云景林纸股份有限公司, 云南景谷 666400)

摘要: 滇青冈是典型难干材, 易发生表裂、内裂、变形等干燥缺陷。在常规连续干燥试验的基础上, 拟定25 mm厚滇青冈材间歇干燥工艺基准。结果表明: 采用间歇干燥工艺, 可在22 d内将板材含水率从39%降低至12%, 干燥质量较好, 无表裂, 但扭曲和瓦弯缺陷比例偏高; 适用于除湿干燥窑和气密性不佳的常规干燥窑, 工艺仍需进一步优化。

关键词: 滇青冈; 常规连续干燥; 间歇干燥

中图分类号: S782.31 文献标识码: B 文章编号: 1001-8654 (2016) 04-0049-04

Intermittent Drying Technology for 25 mm-Thick *Cyclobalanopsis glaucoides* Lumber

CHEN Tai-an¹, LUO Xi¹, SUN Ting-cong², LUO Peng-peng¹, YANG Yan¹, CHEN An-bo²

(1. College of Materials Engineering, Southwest Forestry University, Kunming 650224, Yunnan;

2. Yunnan Yun-jing Forestry & Pulp Mill Co., Ltd., Jinggu 666400, Yunnan)

Abstract: *Cyclobalanopsis glaucoides* is a difficult-to-dry wood species. The authors developed an intermittent drying schedule and conducted a drying experiment for 25 mm thick *Cyclobalanopsis glaucoides* lumber. The results showed moisture content of the lumber decreased from 39% to 12% in 22 days without surface checking and properties that met Grade II specifications of the National Standard GB 6491-2012. The authors suggested that the intermittent drying schedule was suitable for drying kilns with poor insulation and air leakages.

Key words: *C. glaucoides*; continuous drying; intermittent drying

滇青冈 (*Cyclobalanopsis glaucoides*) 属于壳斗科青冈属, 是云南特有的乡土阔叶材树种, 分布广泛, 其材性特点是密度高、干缩系数大、木射线宽, 内含物丰富、材质坚硬、耐腐性好, 适合制作木地板、实木家具等高档木制品, 但干燥难且周期长、合格率低。

难干阔叶树材常采用低温高湿连续干燥基准^[1]

或特种干燥方法^[2], 调控干燥介质的湿度是关键, 对干燥窑体的要求较高, 控制难度亦较大。操作不慎则导致难干材严重开裂变形, 干燥质量合格率甚至不足30%^[3-5]。注腊工艺及干燥设备可有效提高干燥材的尺寸稳定性, 在难干材干燥中具有一定应用潜力, 但对于非红木类难干材而言成本偏高。

间歇干燥多被用于真空干燥中, 在常规干燥中使用, 则可利用温度梯度对水分的调节作用, 促使内部水分向木材表层移动, 削减温度梯度。操作方法亦简单, 特别适合湿度控制不力的除湿干燥窑或普通干燥窑, 还可以减轻干燥工的劳动强度。近年来该工艺被用于澳洲桉木、新西兰红桉等易皱缩

收稿日期: 2015-10-02; 修改日期: 2016-06-02

基金项目: 国家自然科学基金“老化作用下胞壁改性材水分吸附特性的变迁机理研究”(31560190); 云南省应用基础研究重点项目“云南特色阔叶林材增值利用技术基础研究”(2011FA021); 云南省卓越青年教师特殊培养计划(515006059)。

作者简介: 陈太安(1977—), 男, 西南林业大学副教授。

树种^[6-8]以及厚锯材的干燥^[9]。

笔者在分析滇青冈木材干缩特性的基础上,基于连续基准干燥试验,探讨以间歇基准干燥滇青冈材的技术可行性,以期开发简便易行的干燥技术,为提高难干木材的干燥质量、实现其高附加值利用提供技术支撑。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

滇青冈(*Cyclobalanopsis glaucooides*)试材,取自当年新伐材,分两批取样,分别用于常规连续基准和间歇基准的试验。

每次选取3根长2.0 m、直径18~25 cm,无明显可见缺陷的通直原木。为减少储存过程中端头风干开裂对干燥的影响,先将原木两端各截去长度0.5 m,加工成长度1.0 m的木段;再采用两面下锯法,锯解成厚度25 mm、自然宽120~220 mm的板材。

每批加工12片试板,锯解后3天内运回实验室进行干燥。

1.2 试验方法

1.2.1 基本干燥材性试验

从两批次板材中各选取2片标准径切板,加工出20 mm×20 mm×20 mm(纵×径×弦)的试件40个,依照GB 1932-2009《木材干缩性测定方法》和GB 1933-2009《木材密度测定方法》,测定其干缩性、密度等与干燥有关的基本特性。

1.2.2 干燥工艺试验

由于储存原因,用于连续干燥和间歇干燥的两批试板的初含水率有所不同,分别为:49.7%和39.8%。干燥开始前,试材两端头分别截去100 mm,之后截取20 mm宽的初含水率试片,烘干法测定试样初含水率。剩余750 mm长试件以胶封端头并称重,在恒温恒湿箱内进行干燥,定期测量板材质量,观察并记录表面开裂情况。

连续干燥基准及基于其试验结果拟定的间歇干燥基准,均列于表1。二者的主要区别在于,当含水率降至35%后开始间歇干燥,即白天按基准干燥12 h,夜间停止供热供风,实行“闷窑”的操作。

两种工艺均在含水率为30%时进行16 h的中间处理,在平均含水率达10%时进行24 h的终了调湿

表1 25 mm厚滇青冈的连续干燥基准与间歇干燥基准

Tab.1 Continuous and intermittent drying schedule for 25 mm thick *Cyclobalanopsis glaucooides* lumber

含水率 阶段/%	连续干燥基准		间歇干燥基准		备注
	$T_{\text{干}}/^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{湿}}/^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{干}}/^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{湿}}/^{\circ}\text{C}$	
>40	40	38.5	/	/	
40~35	43	41	40	38.5	中间处理10 h
35~30	43	40	43	41.5	
30~25	45	40	45	41	中间处理16 h
25~20	50	42	50	43	
20~15	55	44	55	45	
15~12	62	44	62	44	
<12	72	47	/	/	终了处理24 h

处理。间歇干燥增加一次中间处理,即含水率40%时,进行10 h的首次中间处理。中间处理与调湿处理的温湿度均按相关要求^[10]执行。

干燥结束之后,取出试材在室内养生2周,根据GB 6491-2012《锯材干燥质量》规定方法,检测试材的干燥质量。

2 结果与分析

2.1 基本干燥特性

表2列出滇青冈木材与部分典型难干材的干燥特性对比。

表2 滇青冈及与其他难干木材^[2-4]基本干燥材性对比

Tab.2 Drying characteristics of *Cyclobalanopsis glaucooides* and other hard wood species

树种	气干密度/ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	径向干缩 系数/%	弦向干缩 系数/%	干裂 势
滇青冈 (<i>C. glaucooides</i>)	0.928	0.108	0.400	3.70
突脉青冈 (<i>C. elebaticostata</i>)	0.719	0.105	0.320	3.05
黄毛青冈 (<i>C. delavayi</i>)	0.928	0.173	0.517	2.99
高山栲 (<i>Castanopsis delavayi</i>)	0.843	0.160	0.337	1.95
滇石栎 (<i>Lithocarpus dealbatus</i>)	0.950	0.170	0.467	2.75
栓皮栎 (<i>Quercus varibilis</i>)	0.917	0.217	0.377	1.74
窿缘桉 (<i>Eucalyptus exserta</i>)	0.810	0.211	0.294	1.39

注:干裂势为弦向干缩系数与径向干缩系数的比值^[3]。

由表2数据可知,滇青冈木材属于高密度木材,其细胞壁物质所占比例高且导管中内含物多,使水分在木材内部的移动难度增加,不仅干燥速度慢,而且内高外低的含水率梯度大,在干燥初期极易产生表裂。

由表2还可知,滇青冈木材径、弦向干缩系数分别为0.108%和0.400%,相比其他难干阔叶树材,其径向干缩系数较小,弦向干缩系数和干裂势比值均偏高。据此推测,滇青冈木材在干燥中极易发生开裂和变形。

2.2 干燥速率

图1a、b分别为滇青冈木材的连续干燥和间歇干燥基准的曲线。

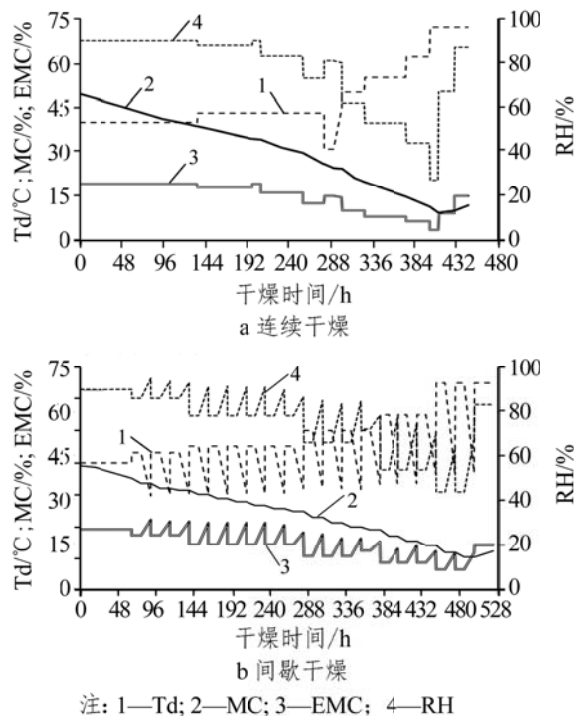


图1 连续干燥和间歇干燥基准曲线

Fig.1 Drying curves for continuous drying and intermittent drying schedules

由图1可见,连续干燥的干燥速率较快,在19 d内,试材的平均含水率从50%降低到12%,每天含水率下降约2%;而间歇干燥的干燥速率较慢,在22 d天内,试材的平均含水率从近39%降低到12%,每天平均含水率下降只有1.27%。

在间歇干燥期间,加热器停止工作时,干球温度下降:初期干球温度低于45℃时降低13~15℃,中期干球温度50~55℃时降低18~20℃,后期干球温度60℃时降低30℃,使木材内形成内高外低的温度梯度,有助于水分排除。但因Binder恒温恒湿箱具有良好气密性,期间介质相对湿度上升明显,初期多高于90%,甚至可达95%,中期在80%~90%,后期也可达65%左右,远高于基准设置的44%。

木材干燥时水分的排除分为内部移动和表面蒸发两个过程,难干材的特点是内部移动困难,而内部移动的驱动力为温度梯度和含水率梯度,或者是二者共同决定的水蒸气分压力差。由于水蒸气分压力较难准确测定。故可近似认为,难干材的干燥速度是由介质平衡含水率和表层含水率的差值决定,而表层含水率则接近于介质平衡含水率^[10]。

根据图1所示EMC线可知,“闷窑”期间,木材内层的水分在含水率梯度和温度梯度的共同作用下向表层迁移,而表层在低温高湿介质作用下会发生吸湿,这使得木材平均含水率上升,厚度上的含水率梯度减小,作用类似于中间调湿处理,可视为微中间处理。因此,间歇干燥的干燥速率显著降低。

2.3 干燥质量

连续干燥的干燥速率较快,但干燥过程中表面开裂情况严重,这是由于板材内含水率梯度大,表层拉应力导致抗拉能力薄弱的木射线开裂所致。表裂始发于板材干燥初期,后期发展迅速,致使大多数板材无法达到地板等实木制品的干燥要求。

间歇干燥工艺中,由于存在多次的微中间调湿处理,水分排除速度变缓,低温高湿工艺有助于控制木材内含水率梯度,抑制表面开裂。

表3列出间歇干燥试材的干燥质量,其厚度上干燥均匀性和残余应力,均达到GB 6491-2012《锯材干燥质量》二级干燥材的要求,终含水率也接近于其要求,但扭曲值、瓦弯值均超过标准允许值。

表3 间歇干燥试材的干燥质量

Tab.3 Drying quality of *Cyclobalanopsis glaucooides* lumber with intermittent schedule

检测指标	终含水率/ %	厚度上含水率 偏差/%	扭曲/ %	瓦弯/ %	残余应力/ %
平均值	12.09	0.76	2.33	2.25	1.48
标准差	0.89	0.25	1.29	0.84	0.32
GB 6491-2012 二级允许值	8~12	3.50	2.00	1.00	2.50

综合两次干燥试验可知,滇青冈木材易发生的干燥缺陷是表面开裂和变形,与其径弦向干缩系数差异大有关。由表2已知,滇青冈干裂势大,表明其干燥过程中易发生表裂。在试验室干燥小试中,难以采取顶部压重物的方式来避免板材形变,所以,虽少见木材开裂,但变形仍甚为严重。

在滇青冈木材的低温高湿干燥过程中,控制好介质湿度是关键,因此对于气密性不佳的干燥窑以及满足低温要求的除湿干燥窑,间歇干燥具有较好的技术可行性。如控制滇青冈木材的开裂与变形等干燥缺陷,进一步提高干燥质量,在工厂操作中可从以下方面入手:

首先是干燥工艺的优化,确定间歇干燥开始的合理时机与持续时间,充分利用温度梯度的作用,降低板材内含含水率梯度,减少开裂风险。

其次是制材工艺的优化,兼顾出材率与干燥质量,如可以采用三面或四面下锯法,锯解出较窄的板材,尽量避免半侧含髓心的半弦半径宽板材,减少两宽表面干缩差异带来的瓦弯变形。

3 结论与建议

1) 滇青冈木材属于典型难干材,采用常规连续干燥基准时,木材开裂严重;采用间歇干燥基准,可在22 d内将其含水率从近40%干燥至12%,无表面开裂,含水率和应力指标达到GB 6491-2012中二级干燥质量的要求。

2) 间歇干燥操作方便,干燥质量良好,特别适合易开裂木材,在除湿干燥和气密性较差的常规干燥窑使用。

3) 间歇干燥试板的扭曲和瓦弯指标偏高,还需通过干燥工艺优化、板材预处理和锯解方式等措施协同调控,改善木材干燥质量。

参考文献:

- [1] 康利国,艾沐野,程万里,等. 青冈锯材常规干燥工艺探讨[J]. 森林工程, 2011, 27 (2): 31-34.
- [2] 郑忠福. 硬杂木的除湿干燥技术[J]. 木材加工机械, 1995, 26 (3): 26-28.
- [3] 肖绍琼,施桂萱,吴立忠. 黄毛青冈等四种硬木干燥特性的研究[J]. 木材工业, 1992, 6 (4): 28-34.
- [4] 林金国,郑郁善,陈新兴,等. 突脉青冈木材物理力学性质的研究[J]. 福建林学院学报, 1999, 19 (1): 47-49.
- [5] 杜国兴,顾炼百,钟争登. 25 mm厚脲醛胶地板坯料干燥工艺的研究[J]. 林产工业, 2003, 20 (2): 22-23.
- [6] Herritsch A, Dronfield J, Nijdam J. Intermittent and continuous drying of red-beech timber from the green condition[C]// Proceedings of 16th International drying symposium, 2008.
- [7] Putranto A, Chen X D. Modeling intermittent drying of wood under rapidly varying temperature and humidity conditions with the lumped reaction engineering approach [J]. Drying technology, 2012, 30 (4): 1658-1665.
- [8] Yang L, Liu H-H, Cai Y-C, et al. The study on cell collapse and recovery of *Eucalyptus urophylla* during drying[J]. BioResources, 2014, 9 (2): 2584-25920.
- [9] 徐开蒙,彭鹏祥,涂登云,等. 60mm厚枫香木材快速干燥工艺[J]. 木材工业, 2011, 25 (6): 38-41.
- [10] 顾炼百. 木材加工工艺学(2版)[M]. 北京: 中国林业出版社.

(责任编辑 向 琴)



(上接第45页)

性能均呈增强趋势;提高施胶量,对控制板材的24 h TS有明显作用。

2) 在本试验提出的优化工艺条件下制备 MUF 防潮刨花板,其物理力学性能达到 GB/T 4897-2015 中“P7 型潮湿状态下使用的承载型刨花板”及“P9 型高潮湿状态下使用的普通型刨花板”。

参考文献:

- [1] 周定国. 我国刨花板工业的创新展望[J]. 木材工业, 2006, 20 (2): 30-32.
- [2] 贾珉倩,孙德阳,朱长庆,等. 影响刨花板尺寸稳定性的因素[J]. 木材加工机械, 2005 (1): 42-45.
- [3] 董葛平,邓玉和,王新洲,等. 竹柳材性及其刨花板制造工艺研究[J]. 西南林业大学学报, 2013, 33 (3): 92-96.
- [4] 顾继友,高振华,谭海彦. 制造工艺因素对刨花板吸水厚度膨胀率的影响[J]. 林业科学, 2003, 39 (1): 132-139.

(责任编辑 向 琴)

(上接第48页)

- [2] Homan W J, Jorissen A J M. Wood modification developments [J]. Heron, 2004, 49 (4): 360-369.
- [3] 蔡家斌,董会军. 木材压缩处理技术研究的现状[J]. 木材工业, 2014, 28 (6): 28-31.
- [4] 李坚. 功能性木材[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [5] Gabrielli C P, Kamke F A. Phenol-formaldehyde impregnation of densified wood for improved dimensional stability [J]. Wood Science and Technology, 2010, 44 (1): 95-104.
- [6] Leemon N F, Ashaari Z, Uyup M K A, et al. Characterisation of phenolic resin and nanoclay admixture and its effect on impreg wood [J]. Wood Science and Technology, 2015, 49 (6): 1209-1224.
- [7] 余养伦,周月,于文吉. 密度对桉树纤维化单板重组木性能的影响[J]. 木材工业, 2013, 27 (6): 5-8.
- [8] 余养伦. 高性能竹基纤维复合材料制造技术及机理研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2014.
- [9] 顾继友. 胶粘剂与涂料[M]. 北京: 中国林业出版社, 1999.
- [10] 张亚慧,祝荣先,于文吉,等. 浸胶竹纤维化单板干燥温度对竹基纤维复合材料性能的影响[J]. 木材工业, 2011, 25 (6): 1-3.

(责任编辑 向 琴)