

编者按: 栎类既是生态树种, 也是用材树种和经济树种, 栎木资源在我国分布广泛, 有一定蓄积量, 但利用不足。依托中央级公益性科研院所基金项目“主要栎类树种木材材性与干燥技术研究”, 对国产栎属木材的基本性质及干燥技术进行系统测试和研究, 为栎木木材资源的高效高附加值利用提供技术支撑。

栓皮栎锯材常规干燥工艺探讨

付宗营¹, 陈媛¹, 甘家兵², 周永东¹, 任海青¹

(1. 中国林业科学研究院木材工业研究所, 北京 100091; 2. 国有信阳市南湾林场, 河南信阳 464031)

摘要:以 25 mm 厚栓皮栎锯材为对象, 研究制定合适的常规干燥工艺基准, 根据国家锯材干燥质量标准, 检测分析干燥速率、终含水率、厚度方向含水率偏差、残余应力、外观干燥质量等。结果表明: 25 mm 厚栓皮栎干燥周期为 19.5 d, 平均干燥速率为 0.096%/h, 厚度方向含水率偏差达一级要求, 终含水率、残余应力、外观干燥质量等达二级及以上要求, 参照 GB/T 6491—2012《锯材干燥质量》判断干燥锯材综合等级为二级。

关键词: 栓皮栎; 木材; 常规干燥; 工艺基准; 干燥质量

中图分类号: S781.71; S792.18; TS67 文献标识码: B 文章编号: 1001-8654(2020)03-0052-04

Evaluation of Conventional Kiln Drying Schedule for Native Oriental Oak Lumber

FU Zong-ying¹, CHEN Yuan¹, GAN jia-bing², ZHOU Yong-dong¹, REN Hai-qing¹

(1. Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;

2. Xinyang Nanwan State-owned Tree Farm, Xinyang 464031, Henan, China)

Abstract: Native oriental oak (*Quercus variabilis*) lumber with 25 mm of a nominal thickness was dried in a conventional kiln. The drying schedule was evaluated. According to China national standard of Drying Quality of Sawn Timber, the drying rate, the final moisture content, the deviation of moisture content in thickness, the residual stress and drying quality of the samples were measured. The results showed that the optimal drying time was 19.5 days and 0.096%/h of the average drying rate. The deviation of moisture content in thickness met the 1st grade requirements of China national standard, and the final moisture content and the residual stress met the 2nd grade requirements. The overall drying quality of native oriental oak lumber met the 2nd grade of China national standard GB/T 6491-2012.

Key words: Oriental oak; lumber; conventional drying; drying schedule; drying quality

栓皮栎 (*Quercus variabilis*) 是我国分布广泛的

栎属落叶乔木, 目前集中分布区和次集中分布区资源总面积达到 $136.35 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ^[1]。栓皮栎木材为环孔材, 心边材区别明显, 其质地坚硬, 密度大, 纹理清晰, 花纹美丽, 被广泛应用于建筑、车辆、家具制造和体育器械等领域^[2]。

收稿日期: 2019-12-09; 修改日期: 2020-03-23

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金“栎类资源培育与利用关键技术研究”(CAFYBB2018ZB001)。

作者简介: 付宗营(1987—), 男, 助理研究员。Email: zyfu@caf.ac.cn

栓皮栎木材导管和纹孔中填充物较多,纹孔膜上微孔的直径较小;细胞壁较厚,大毛细管内水分流动阻力增大,细胞壁内水分扩散路径延长;另外,在干燥过程中水分排出不一致,更易产生含水率梯度应力。上述特点导致其干燥速度缓慢,干缩率较大,易产生开裂、变形等干燥缺陷,属于难干材。

目前关于栓皮栎木材干燥方面的研究主要有:对 23 mm 厚栓皮栎地板材的常规干燥工艺研究显示,干燥过程中,分别在含水率为 30%、20%和 10% 时进行三次中间处理,干燥开裂可明显减少,但横弯缺陷较大^[3];对栓皮栎板材进行降温干燥试验的结果显示,栓皮栎木材从初含水率 66.4%干燥到终含水率 11.3%用时 21 天,在降温干燥过程中,木材内部含水率梯度和温度梯度方向一致,可加速木材内部水分的迁移,也证实了栓皮栎木材需采用较软基准进行缓慢干燥。

鉴于此,为实现栓皮栎木材的高效利用,在保证干燥质量的前提下缩短干燥周期,笔者以 25 mm 厚栓皮栎锯材为对象,研究制定合适的常规干燥工艺基准,并根据 GB/T 6491—2012《锯材干燥质量》对锯材干燥速率、终含水率、厚度方向含水率偏差、残余应力、外观干燥质量等指标进行评价,旨为更好利用栎木资源提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

栓皮栎木材采自河南省信阳市南湾林场,取样地海拔 200 m,东经 113°55',北纬 31°52'。树龄均为 60 年,平均胸径 38 cm。锯材规格尺寸:900 mm (长)×120 mm (宽)×25 mm (厚),初始含水率 60%以上。

1.2 试验设备

HD74/TALL 小型木材干燥试验机,翅片管式加热器加热,喷蒸管喷蒸加湿等。

1.3 试验方法

根据 LY/T 1068—2012《锯材窑干工艺规程》,以及木材干燥实用技术手册关于栎类木材干燥工艺基准的建议^[4],采用如表 1 所示干燥工艺进行干燥试验,主要包括预热阶段、干燥阶段、中间处理阶段(3 次)、平衡处理阶段和终了处理阶段。

表 1 25 mm 厚栓皮栎木材干燥基准

Tab.1 Drying schedule for 25 mm thick
oriental oak lumber

含水率/ %	干球温度/ ℃	湿球温度/ ℃	相对湿度/ %	平衡含水率/ %	时间/ h
预热阶段	50	49	95	25.4	5
>40	45	43	89	18.3	—
中间处理	52	51	95	21.1	6
40~30	47	44	84	16	—
中间处理	55	54	95	21	6
30~25	50	45	75	9.9	—
25~20	55	47	64	8.05	—
中间处理	65	64	95	20.3	8
20~15	60	48	52	6.4	—
15~10	65	50	45.5	5.5	—
<10	70	50	35	5	—
平衡处理	75	65	63.5	8.35	—
终了处理	75	70	80	12.12	—

阶段试验过程中,通过干湿球温度控制干燥工艺,干燥窑内风速设定为 1.5 m/s。材堆尺寸为 900 mm (长)×800 mm (宽)×800 mm (高),顶部放置不锈钢块进行压重,折合单位面积压重 165 kg/m²。

该基准的主要特点是,前、后期干燥缓慢,中期相对较快。此外,含水率在纤维饱和点以上(约 40%)时,增加一次中间处理,主要目的是将木材热透,同时减小板材表芯层间的含水率梯度,减少或避免干燥初期表裂发生。

选取 6 块纹理通直,无明显缺陷的试材作为检验板,干燥过程中定时取出检验板称重,并推算即时含水率,由此为依据调整干燥阶段。

1.4 性能检测

参照 GB/T 6491—2012 要求,对整窑 42 块锯材干燥质量进行检测,并对各项指标进行评价,其中干燥应力检测采用叉齿法。

2 结果与讨论

2.1 干燥曲线及干燥速率

干燥过程中,栓皮栎检验板含水率随时间变化曲线及干燥速率曲线,如图 1 所示。

图 1 显示,检验板由初含水率 55%干燥至终含水率 10%左右,干燥时长约 468 h (19.5 d),其平均干燥速率为 0.096%/h。整个干燥过程中,干燥速率呈阶梯式波动变化。如果将整个干燥过程按时间分

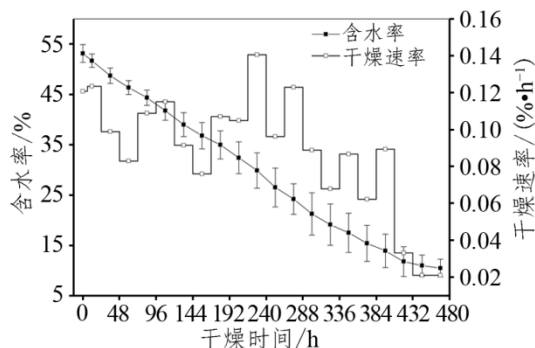


图1 栓皮栎检验板的干燥曲线和干燥速率曲线

Fig.1 Moisture contents and drying rate of oriental oak lumber

为干燥前期、中期和后期,其干燥中期干燥速率最快,最高干燥速率达到0.14%/h;干燥前期次之;干燥后期最慢,最小干燥速率约为0.02%/h。

干燥过程中,干燥速率的波动式变化与所采用的干燥基准密切相关,该基准前期干燥温度较低,干、湿球温差较小,可保证前期木材在一个相对缓和的温、湿度条件下充分受热,减少沿厚度方向的温度偏差和含水率偏差;干燥中后期的参数设置,更有利于木材内部的水分向表面迁移,降低含水率梯度所导致的干燥应力。

2.2 分层含水率及厚度方向含水率偏差

分层含水率以及沿厚度方向的含水率偏差直接决定干燥应力的大小和方向。干燥结束后,检验板的分层含水率及沿厚度方向的含水率偏差,见图2。

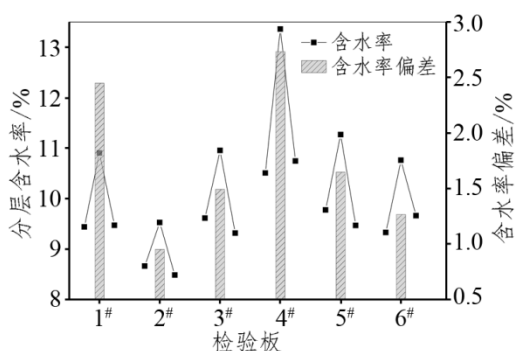


图2 干燥后检验板的分层含水率及厚度方向含水率偏差

Fig.2 Moisture contents in thickness and deviation of test samples after drying

图2显示,6块检验板沿厚度方向均呈现中间层高、表层低的含水率分布,即在厚度方向上存在一定的含水率偏差,且上下两层含水率差别不大。其中最大含水率偏差出现在4#检验板,偏差值为

2.75%,其余检验板的含水率偏差均 $<2.5\%$,达到GB/T 6491—2012对厚度方向的含水率偏差 $\leq 3.5\%$ 的一级要求。

2.3 残余应力

残余应力是木材消除外力或不均匀温度场等作用后,仍留在木材内部自相平衡的内应力。干燥结束后栓皮栎锯材检验板的残余应力情况,见图3。

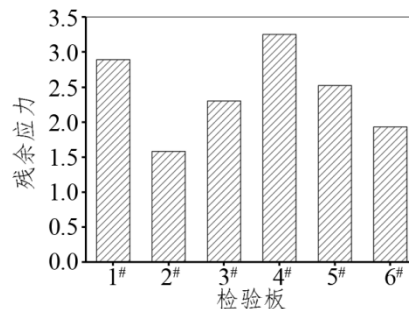


图3 干燥结束后检验板残余应力

Fig.3 Residual stress of test samples after drying

由图3可知, #1与#4检验板的残余应力值介于2.5~3.5之间,达到GB/T 6491—2012二级要求;其余检验板残余应力均 <2.5 ,达到了一级要求。

此外,干燥结束后,各检验板残余应力情况与其厚度方向含水率偏差存在一定相关性,即检验板沿厚度方向的含水率偏差越大,相对应的检验板残余应力值越高。试验中所有试件应力梳齿均向内部弯曲,说明表层受到的是压缩应力,而内层受到的是拉伸应力,这也进一步说明了应力试片刚锯开时,内层的含水率要高于外层含水率。

因此,干燥结束后板材沿厚度方向上的含水率分布,将直接影响板材的残余应力。此外,残余应力也与锯材种类和取材部位相关,如弦切板、径切板、含髓心板材等。

2.4 干燥质量

表2为同一窑干燥的42块25 mm厚栓皮栎锯材的干燥终含水率、干燥均匀度、外观干燥质量以及开裂情况。

干燥结束后,42块栓皮栎锯材均无内裂产生,仅有2块有纵裂出现,纵裂板材占比为4.76%。出现纵裂的锯材均含有髓心,主要是髓心部位材性特殊,易开裂所致。

参照GB/T 6491—2012,按表1所示的干燥基准,25 mm厚栓皮栎锯材平均终含水率达二级指标要求,

表2 25 mm 厚栓皮栎锯材干燥质量评价

Tab.2 Drying quality of oriental oak lumber
in 25 mm thickness

检测指标	检测值/%	GB/T 6491—2012 指标限值/%	
		二级	一级
平均终含水率	10.24(±1.5)	8~12	6~8
干燥均匀度	±2.08	±4.0	±3.0
顺弯	0.19 (±0.10)	≤2.0	≤1.0
横弯	0.27 (±0.25)	≤1.0	≤0.5
翘曲	0.89 (±0.59)	≤4.0	≤2.0
扭曲	0.13 (±0.19)	≤2.0	≤1.0
内裂	无	不许有	不许有
纵裂	4.76	6	4

注：括号内为标准差。

干燥均匀度、顺弯、横弯、翘曲、扭曲均达一级指标要求，纵裂情况达二级指标要求。综上判断，锯材干燥质量综合等级为二级，可以用于家具、门窗、车辆、船舶、农业机械、实木地板、细木工板等生产。

3 结论

1) 采用本研究所制定的干燥基准，25 mm 厚栓皮栎干燥周期为 19.5 d，比常规 22 d 的周期缩短。平均干燥速率为 0.096%/h，厚度方向含水率偏差达一级要求，终含水率、残余应力、外观干燥质量等

达二级及以上要求，参照 GB/T 6491—2012《锯材干燥质量》，综合等级为二级。

2) 栓皮栎木材材质致密，内部水分迁移较慢，板材心表层容易产生较大的含水率梯度。实际生产中，建议干燥前期延长预热阶段时间，干燥中期适当增加中间处理次数，干燥后期设置平衡处理和终了处理。

3) 本干燥基准适合于 25 mm 厚栓皮栎木材的干燥。后续将考虑提高干燥中期和后期的干球温度来优化干燥基准。

参考文献：

- [1] 李迎超, 厉月桥, 王利兵, 等. 木本淀粉能源植物栓皮栎与麻栎的资源调查以及分布规律[J]. 林业资源管理, 2013(2):94-101.
LI Y C, LI Y Q, WANG L B, et al. Resource investigation and distribution pattern of *Quercus variabilis* blume and *Quercus acutissima* Carr. as woody Energy plant in China[J]. Forest Resources Management, 2013(2):94-101.
- [2] 成俊卿. 木材学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1985.
- [3] 杜国兴, 蔡家斌, 曹翔. 栓皮栎地板材的干燥工艺研究[J]. 木材工业, 2001, 15(6): 12-13.
DU G X, CAI J B, CAO X. Drying technology for oriental oak flooring board[J]. China Wood Industry, 2001, 15(6): 12-13.
- [4] 艾沐野. 木材干燥实用技术. 北京: 化学工业出版社, 2018.

(本文编校 孟凡丹、向 琴)

(上接第 43 页)

参考文献：

- [1] Wiedenhoeft AC. Curating xylaria. In: Curating biocultural collections a handbook[M]. Kew Publishing, London, 2014: 127-134.
- [2] Hermanson JC, Wiedenhoeft AC. A brief review of machine vision in the context of automated wood identification systems[J]. IAWA Journal, 2011, 32(2): 233-250.
- [3] Cornish C, Gasson P, Nesbitt M. The wood collection (xylarium) of the Royal Botanic Gardens, Kew[J]. IAWA Journal, 2014, 35(1): 85-104.
- [4] Maniatis D, Andre L, Temmerman M. The potential of using xylarium wood samples for wood density calculations: a comparison of approaches for volume measurement[J]. iForest-Biogeoscience and Forestry, 2011(4):150-159.
- [5] 金凯. 数字化木材标本馆的研究与开发[D]. 南京: 南京林业大学, 2011.
- [6] 何鑫, 沈华杰, 林启招, 等. 大数据背景下数字木材标本馆建设刍议[J]. 信息与电脑 (理论版), 2019(3): 19-20.
HE X, SHEN H J, LIN Q Z, et al. Discussion on the construction of digital wood tender library in the era of big data[J]. China Computer & Communication, 2019(3): 19-20.
- [7] 王梦丹, 沈华杰, 肖支叶, 等. 二维码技术在木材标本馆建设中的应用[J]. 木材工业, 2018, 32(3): 44-49.
WANG M D, SHEN H J, XIAO Z Y, et al. Application of quick response code technology in a wood collection establishment[J]. China Wood Industry, 2018, 32(3): 44-49.

- [8] 蓝方敏, 覃引鸾, 龙大军. 如何充分发挥木材标本馆在木材学教学中的作用[J]. 亚太教育, 2006, 20(5): 21-23.
LAN F M, QIN Y L, LONG D J. How to give full play to the role of the xylarium in the teaching of wood science[J]. Asia-Pacific Education, 2006, 20(5): 21-23.
- [9] 许彩娟. 林木数字化标本馆的研究与设计[D]. 南宁: 广西大学, 2015.
- [10] 徐斌, 许成林. 应用 Visual Basic 6.0 开发木材标本管理系统[J]. 木材工业, 2005, 19(3): 37-43.
XU B, XU C L. A management system for wood specimens using visual basic 6.0[J]. China Wood Industry, 2005, 19(3): 37-43.
- [11] 陈勇平. 木材标本馆标本的信息化研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2005.
- [12] 周玉成, 赵辉, 张双保, 等. 木材标本馆的网络化设计[J]. 木材工业, 2006, 20(5): 21-23.
ZHOU Y C, ZHAO H, ZHANG S B, et al. The network design of a wood herbarium[J]. China Wood Industry, 2006, 20(5): 21-23.
- [13] Jose C, Herve G, Pierre B et al. Going deeper in the automated identification of Herbarium specimens[J]. BMC Evolutionary Biology, 2017, 17(1): 181.
- [14] Schindelin J, Arena E, DeZonia B. ImageJ2: ImageJ for the next generation of scientific image data[J]. BMC Bioinformatics, 2017, 18(1): 1-26.
- [15] Čufar K, Crivellaro A, Prendin A. Quantitative wood anatomy—practical guidelines[J]. Frontier in Plant Science, 2016(7): 1-13.

(本文编校 姜 征)