

研究与开发

柳杉锯材高温干燥初步研究

高利祥, 周永东, 高瑞清, 李晓玲

(中国林科院木材工业研究所; 国家林业局木材科学与技术重点实验室, 北京 100091)

摘要: 为高效利用柳杉木材, 采用高温干燥方法对 25 mm 厚柳杉心材、边材及心边混合锯材进行干燥, 并检测干燥速率及干燥质量。结果表明, 边材干燥速率最快, 心材最慢; 心材-弦切板、心边混合材-弦切板的干燥质量, 可以达到 GB/T 6491-2012《锯材干燥质量》中的二级要求。

关键词: 柳杉; 高温干燥; 干燥速率; 干燥质量

中图分类号: S781.31; TS652

文献标识码: A

文章编号: 1001-8654(2014)05-0016-04

High Temperature Drying of *Cryptomeria* Lumber

GAO Li-xiang, ZHOU Yong-dong, GAO Rui-qing, LI Xiao-ling

(Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry; Key Lab of Wood Science and Technology of State Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: High temperature drying experiments were conducted on 25 mm-thick *Cryptomeria* lumber. Also investigated was *Cryptomeria* heart wood, sapwood and heart-sap-mixed lumber drying rate and drying quality. The results showed that sapwood drying rate was the fastest and that heartwood was the slowest. Flat-sawn heartwood and heart-sap-mixed lumber can meet the Chinese National Standard GB/T 6491-2012 second grade requirements.

Key words: *Cryptomeria* lumber; high temperature drying; drying rate; drying quality

柳杉是非传统用材树种,在我国长江流域和南方各省,是主要的人工林造林树种之一^[1]。推进柳杉木材规模化、高效、增值应用,干燥是关键工序之一,直接影响能源消耗、干燥成本、木材出材率及木制品的使用性能等^[2]。日本等国家的研究,主要集中在日本柳杉建筑方材的干燥,大多采用高温干燥法^[3-4];而国内对柳杉木材干燥的研究较少。

柳杉原木的特点是从髓心到边材的材性变异

大,已有的国内外干燥研究文献中均未提及。由于柳杉木材属于低等级材,密度较低,不宜直接制作木制品,但特别适合作为三层实木复合地板基材或细木工板的芯板使用。芯层板条的常规宽度为 25 mm 或 35 mm,多由厚度为 25 mm 或 35 mm 锯材剖料所得。目前,常规干燥是最常用的干燥方法,但是干燥时间较长,耗能较大;高温干燥效率高,可以降低锯材开裂、变形的风险,是一种低成本、高效率的干燥方法。

鉴于此,笔者针对 25 mm 厚的柳杉心材、边材及心边混合材进行了干燥试验,探索高温干燥方法对柳杉锯材干燥质量的影响,旨在为柳杉木材的高效利用提供参考。

收稿日期: 2013-09-29; 修改日期: 2014-07-16

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划课题“非常用与低等级木材高效加工技术集成与示范”(2012BAD24B01)。

作者简介: 高利祥(1987—), 女, 中国林科院木材工业研究所硕士研究生。

责任作者: 周永东, 男, 中国林科院木材工业研究所研究员, 博士生导师。

1 材料与方法

1.1 试验材料

柳杉(*Cryptomeria fortunei*), 采自四川, 树龄>30 年, 胸径>25 cm。采伐后在原木端头涂石蜡乳液, 防止端裂。加工成规格(长×宽×厚)为 900 mm×120 mm×25 mm 的锯材, 边材为弦切板; 心边混合材(简称混合材)主要为径切板; 心材主要为弦切板。

干燥前, 湿材冷库贮存, 初含水率范围: 心材 50%~100%, 混合材 100%~200%, 边材 200%~400%。

1.2 试验装置

HD74/TAII 型高温干燥试验机, 采用蒸汽为热源及加湿介质, 材堆风速约 1.5 m/s, 干燥条件与企业干燥设备相近。

1.3 试验方法

根据前期预试验, 设定干燥基准, 见表 1。木材预热处理后, 使温度缓慢上升, 以避免试材表面水分蒸发过快, 出现开裂; 终了处理是为了减小锯材的含水率差异及残余应力; 终了处理后, 需进行 4 h 的降温处理。心材、边材、混合材 3 类试材各为 15 块。

表 1 柳杉木材高温干燥基准

Tab. 1 Drying schedule for *Cryptomeria* lumber

high temperature drying

处理阶段	干球温度/℃	湿球温度/℃	处理时间/h
预热	95	95	3
干燥	120	90	23
终了处理	80	73	3

1.4 性能检测

3 类锯材各取 2 块试材作为检验板, 依据 LY/T 1068-2012《锯材窑干工艺规程》, 监测干燥过程中的锯材含水率变化。

依据 GB/T 6491-2012《锯材干燥质量》, 检测锯材的干燥缺陷, 及终含水率、表层含水率、心层含水率、厚度上含水率偏差和干燥应力。

2 结果与分析

2.1 干燥过程曲线

图 1 为柳杉锯材干燥过程曲线, 干燥速率如表 2 所示。

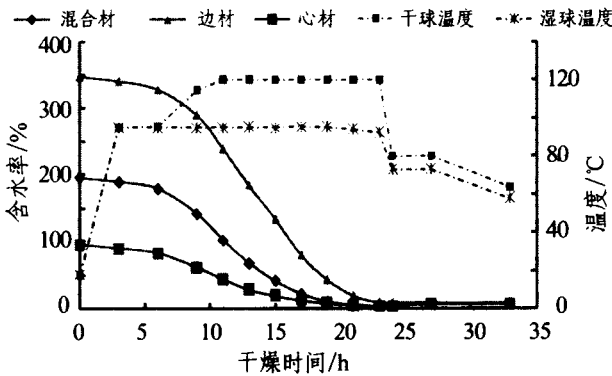


图 1 柳杉木材高温干燥过程曲线
Fig. 1 High temperature drying process
for *Cryptomeria* lumber

表 2 不同含水率阶段的柳杉木材高温干燥速率

Tab. 2 Drying rate for *Cryptomeria* lumber under
high temperature drying

含水率 阶段/%	干燥速率/(%·h ⁻¹)		
	边材-弦板	混合材-径板	心材-弦板
1 >200	22.92	—	—
2 200~100	26.11	18.66	—
3 100~30	18.37	13.83	9.68
4 30~8	7.53	5.67	3.56
平均	19.93	11.25	5.40

由图 1 可以看出, 整个干燥周期共用时 33 h, 与目前常规干燥(83 h)工艺相比, 干燥时间缩短约 60%。边材的初含水率远高于心材, 混合材介于两者之间, 干燥初期, 柳杉木材的含水率较高, 木材内大量的自由水在毛细管张力的作用下, 由内部迅速移动至表层蒸发, 导致干燥速率较快。

表 1 显示, 在第 2 阶段, 含水率从 200%降至 100%时, 边材的干燥速率高于第 1 阶段, 是因为第 1 阶段, 升温降湿的渐变过程中, 干燥温度稍低、湿度较高所致。当含水率继续从 100%降至 8%时, 边材的干燥速率在 3 种锯材中最高。说明在同一干燥条件下, 干燥速率不仅与含水率有关, 而且与试材在原木中的位置有密切联系。

在干燥过程中, 边材的干燥速率最快, 到干燥后期的第 4 阶段, 3 种锯材的干燥速率差别明显缩小, 心材和混合材的含水率先于边材降到 8%。从预热开始到含水率降为 8%, 心材、混合材、边材 3 类试材分别用时为 19、20、23 h, 这可能是边材的含水率, 较心材和混合材高所致。

2.2 干缩性

表 3 为 3 类锯材在高温干燥后,其干缩率检测结果。

表 3 心材、边材和混合材的干缩率
Tab. 3 Shrinkage rate of sapwood, heartwood and heart-sap-wood after high temperature drying

试材类型	干缩方向	干缩率/%		
		平均值	标准差	变异系数
心材-弦板	弦向	4.35	0.61	14.04
	径向	3.58	0.72	20.00
	干缩差异	1.25	0.31	24.48
边材-弦板	弦向	10.39	3.00	28.91
	径向	5.62	1.96	34.96
	干缩差异	1.92	0.48	25.08
混合材-径板	径向	5.17	1.10	21.32
	心材弦向	1.62	0.61	37.88
	边材弦向	10.99	4.15	37.79

从表 3 看出,心材、边材的弦向干缩率大于其径向干缩率,边材干缩率大于心材。

这是因为边材的细胞壁较薄,在干燥过程中更易被破坏,导致边材的干缩率大于心材;而边材弦向、径向的干缩差异较大,使得边材在干燥时易发生翘弯缺陷。

混合材多为径切板,由于所含边材和心材的干缩率不同,尤其是弦向,心材的干缩率大于边材,导致心边材过渡部位易产生开裂、变形等缺陷,此外,还易造成混合材板面不平整。

2.3 含水率与干燥应力

表 4 为 3 种锯材试样高温干燥前后的含水率变化情况。

表 4 试样的初含水率和终含水率
Tab. 4 Initial moisture content and final moisture content of specimens

含水率/%	心材		混合材		边材-弦板
	弦板	径板	弦板	径板	
初含水率	平均值	91.42	61.69	112.28	156.16
	标准差	27.59	11.36	23.25	36.75
	变异系数	30.18	18.41	20.70	23.53
终含水率	平均值	6.87	6.17	6.33	6.70
	标准差	0.44	0.11	0.20	0.45
	变异系数	6.36	1.71	3.23	6.68

表 4 中含水率检测结果显示,干燥前,3 种锯材的初含水率差异均较大;高温干燥后,3 种锯材的终含水率差异明显变小,边材终含水率略高于心材和混

合材,但试样终含水率的变异系数已较干燥前大幅降低。

试样经干燥后的分层含水率及干燥应力,如表 5 所示。

表 5 柳杉木材高温干燥后分层含水率及干燥应力
Tab. 5 Moisture content and drying stress of specimens after high temperature drying

试材类型	含水率/%			应力/%
	表层	心层	偏差	
心材-弦板	6.59	6.24	-0.35	3.15
心材-径板	6.08	5.92	-0.16	0.54
混合材-弦板	6.39	6.24	-0.15	1.34
混合材-径板	6.37	6.31	-0.06	1.04
边材-弦板	7.06	7.19	0.13	4.67

从表 5 的数据看出,心材、混合材的心层含水率低于表层,是因为在干燥结束后,进行终了调湿处理,使得表层含水率较高;而边材则是心层含水率高于表层,尽管经过了调湿处理,边材心层的含水率仍较高,但含水率偏差缩小,柳杉厚度方向的含水率分布较均匀。

干燥后,混合材的弦、径切板和心材-径板的残余应力较小,可达到 GB/T 6491-2012 中一级干燥质量要求;心材-弦板应力指标可达到二级质量要求;边材-弦板的干燥应力较大,主要是因为干燥过程中,干燥速率过快导致,可考虑适当延长终了调湿处理时间。

2.4 干燥缺陷

3 种锯材试样高温干燥后,不同缺陷检测结果列于表 6。

1) 顺弯及扭曲

表 6 显示,3 类锯材的顺弯度及扭曲度均较小,达到一级干燥质量标准;3 种锯材均发生了不同程度的翘弯,因为心材-径板带有髓心,髓心附近的生长轮曲度大,导致心材-径板的翘弯度大于其弦切板;混合材-径板翘弯度亦大于弦切板,是由于径切板心材和边材的弦向干缩差异大,在心边材过渡区形成明显的变形所致。

总体来看,心材、混合材的翘弯度,达到了二级干燥质量,而边材仅达到三级。

2) 开裂

除心材-径板外,其他试材的开裂现象均较少。心材-径板多含髓心,干燥后沿着髓心发生了严重的表裂

表 6 柳杉木材高温干燥缺陷检测结果

Tab. 6 Drying defects of specimens after high temperature drying

试材类型	缺陷检测	顺弯	翘弯	扭曲	表裂	端裂	端表裂	皱缩	内裂
边材-弦板	比例/%	13.04	100	30.43	4.35	0	0	100	13.04
	平均/%	0.39	2.68	0.08			0		
心材-弦板	比例/%	6.67	100	26.67	13.33	0	13.33	0	0
	平均/%	0.01	1.38	0.09					
心材-径板	比例/%	0	100	33.33	100	0	100	0	0
	平均/%		1.52	0.04	88.73				
混合材-弦板	比例/%	0	100	33.33	16.67	0	0	33.33	0
	平均/%		1.69	0.12					
混合材-径板	比例/%	5.26	100	42.11	15.79	0	5.26	78.95	5.26
	平均/%	0.01	1.84	0.09					

注:1. 试样基本未发生横弯;2. 由于端裂、端表裂和内裂的程度达到标准一级要求,未计算检测值。

缺陷,部分试材甚至发生贯通裂。

3) 皱缩、内裂

边材、混合材的边材部分均发生了严重的皱缩现象,而且部分有内裂产生。

可能是因为边材初含水率较高,前期快速干燥,所产生的毛细管张力和干燥应力使细胞溃陷^[5],导致边材发生严重的皱缩,从而使干燥后期木材内部干燥收缩引起内裂。

2.5 干燥质量等级

依据 GB/T 6491-2012,对柳杉心材、边材及混合材的干燥质量进行分等,见表 7。

表 7 柳杉木材高温干燥质量等级

Tab. 7 Drying quality of specimens after high temperature drying

锯材类型	平均含水率	终含水率	含水率偏差	应力	翘弯	顺弯	扭曲	纵裂	内裂	综合等级
心材-弦板	一级	一级	二级	二级	一级	一级	一级	一级	一级	二级
心材-径板	一级	一级	一级	二级	一级	一级	等外	一级	等外	等外
边材-弦板	一级	一级	四级	三级	一级	一级	一级	等外	等外	等外
混合材-弦板	一级	一级	一级	二级	一级	一级	一级	一级	二级	二级
混合材-径板	一级	一级	一级	二级	一级	一级	一级	等外	等外	等外

表 7 显示,柳杉心材-弦板、混合材-弦板的干燥质量可达到二级干燥标准;而心材-径板由于开裂严重,边材-弦板及混合材-径板出现皱缩及内裂,未达到标准要求。

3 结论

1) 采用高温干燥方法,25 mm 厚柳杉心材、边

材、混合材的干燥周期为 33 h,较目前常规干燥时间缩短 60%;心材-弦板、混合材-弦板可以达到二级干燥质量要求;心材-径板、边材-弦板及混合材-径板均未达到干燥质量标准的要求。

2) 虽然高温干燥的速率大大提高,但是柳杉锯材的干燥质量仍有待改善。对边材或混合材,有待研究干燥前期采用常规干燥基准,待含水率降至纤维饱和点附近时再采用高温干燥;或在高温干燥之前,先采用气干,使含水率降到一定程度再高温干燥,以降低边材皱缩缺陷;也可考虑对心材、边材分别进行干燥;此外,锯解过程中,尽量减少心边混合锯材,尽量剔除髓心部分。

参考文献:

[1] 成俊卿. 木材学[M]. 北京:中国林业出版社,1985.

[2] 王喜明. 木材干燥学[M]. 北京:中国林业出版社,2007.

[3] Kuroda N. Development of fundamental research on drying of boxed-heart square timber of sugi (*Cryptomeria japonica*) (in Japanese with English summary) [J]. Mokuzai Gakkaishi, 2007, 53: 243-253.

[4] Kana Yamashita, Yasuhiko Hirakawa, Shuetsu Saito, et al. Internal-check variation in boxed-heart square timber of sugi (*Cryptomeria japonica*) cultivars dried by high-temperature kiln drying[J]. J Wood Sci, 2012,58: 375-382.

[5] Mahdi Shahverdi, Saeed Eshaghi, Hadi Gholamiyan, et al. Effect of Wood Drying Conditions on Occurrence of Collapse During Drying[C]. Proceedings of the International Convention of Society of Wood Science and Technology and United Nations Economic Commission for Europe - Timber Committee, 2010.

(责任编辑 张一萍)