

50 mm 厚进口辐射松锯材高效干燥工艺

周永东, 高鑫, 付宗营, 周凡, 侯俊峰, 翁翔

(中国林科院木材工业研究所, 北京 100091)

摘要: 在对企业 50 mm 厚进口辐射松锯材干燥生产调研的基础上, 检测和分析干燥速率、干燥周期和锯材干燥质量的相互关系, 制定常规干燥优化工艺和高温干燥工艺。结果显示: 以满足国家标准干燥锯材质量二级材的要求为前提, 常规工艺干燥周期可由 10.75 d 优化至 6.20 d, 高温干燥周期仅需 3.69 d, 干燥效率大幅提高。推荐使用优化的高效干燥工艺, 有条件的企业可采用高温干燥工艺, 进一步提高干燥效率。

关键词: 进口材; 辐射松; 常规干燥; 高温干燥; 干燥基准; 效率

中图分类号: S781.71; S791.252; TS65

文献标识码: B

文章编号: 1001-8654 (2019) 03-0045-04

High Efficient Drying Schedules for Imported Radiata Pine Lumber in 50 mm Thickness

ZHOU Yong-dong, GAO Xin, FU Zong-ying, ZHOU Fan, HOU Jun-feng, WENG Xiang

(Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: Based on technical investigation and analysis of drying practices in a few lumber drying companies, an optimized conventional drying schedule and a high temperature drying schedule were developed for 50mm thick imported radiata pine lumber to improve drying quality and efficiency.

The results showed that drying time was significantly shortened by using the optimized conventional schedules, and quality of the kiln dried lumber met the 2nd grade requirements of China national standard GB/T 6491. The drying time was shortened from 10.75 days with conventional drying schedules to 6.20 days with the optimized conventional drying schedule, and was further decreased to 3.69 days with a high temperature drying schedule, resulting in significantly improved drying efficiency. The high temperature drying schedule was recommended for high temperature drying kilns so as to further improve drying efficiency.

Key words: imported lumber; radiata pine; conventional drying; high temperature drying; drying schedule; efficiency

我国每年从新西兰进口大量人工林辐射松木材, 由于辐射松的边材初含水率高, 渗透性好, 干燥速度快, 而心材初含水率低, 渗透性较差, 心边

材干燥特性差异明显, 干燥后容易发生扭曲缺陷^[1-3]。

新西兰和澳大利亚在辐射松干燥方面具有深入的研究与丰富的生产实践经验, 普遍采用高温干燥工艺^[4-6], 干燥后期采用降温工艺, 以利于提高干燥质量及效率, 且可提高木材尺寸稳定性、降低含脂率, 有利于木制品的涂饰^[7-8]。国内企业对进口材干燥特性了解较少, 大多按照操作工人的经验设定干

收稿日期: 2019-01-14; 修改日期: 2019-04-01

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“桃花心木和辐射松木材性质与加工技术研究”(CAFYBB2017ZC003)。

作者简介: 周永东 (1968—), 男, 中国林科院木材工业研究所研究员。

燥参数,主要采用较保守的常规中低温干燥工艺。

在调研中发现,同样是进口辐射松木材,国外干燥的锯材质量及材色,均优于国内制材和干燥生产的锯材,说明国内企业对于进口辐射松锯材的干燥技术缺乏了解和实践。

鉴于此,笔者团队对辐射松加工企业和技术调研、跟踪试验及质量检测,对50 mm厚辐射松锯材常规干燥工艺进行了优化,同时进行了辐射松锯材高温干燥的试验研究,为辐射松锯材干燥生产提质增效、节能减排提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

新西兰辐射松(*Pinus radiata*),采购自山东某企业,木段平均直径(小头)40 cm以上,长度4~6 m;制材加工成50 mm厚锯材。企业生产时,直接将该尺寸锯材装窑干燥。实验室干燥用试材,加工规格为900 mm×120 mm×50 mm(长×宽×厚)。其心边材初含水率差异较大,范围为24.97%~157.40%。

1.2 试验设备

企业干燥生产:采用蒸汽为热源的100 m³常规干燥窑;

实验室干燥试验:采用HD74/TALL型小型木材干燥试验机,材堆尺寸为900 mm(长)×800 mm(宽)×800 mm(高)。最高工作温度150 ℃,饱和蒸汽0.6 MPa通过翅片管式加热器加热,喷蒸管喷蒸加湿,与生产用常规干燥窑的加热、加湿方式一致。每次干燥装材数量为48块,材堆顶部需放置不锈钢压重,折合单位面积压重为165 kg/m²。

试验过程均通过干球和湿球温度控制干燥工艺,材堆内风速通过变频器调节,试验采用风速约1.5 m/s,与企业生产用风速参数接近。

1.3 试验方法

1.3.1 企业生产干燥基准调研

对该企业50 mm厚辐射松锯材干燥生产的过程进行了跟踪及数据采集。按照LY/T 1068-2012《锯材窑干工艺规程》,在材堆中预置6块检验板。检验板纹理通直,尽量避免节疤,无明显缺陷;依据GB/T 6491-2012《锯材干燥质量》,测定检验板初含水率、绝干质量。

干燥过程中,定时将检验板取出称量,并推算即时含水率,记录锯材干燥缺陷。干燥结束后,参照GB/T 6491-2012检测干燥质量。

企业干燥生产所用干燥基准列于表1,其第一干燥阶段温度较高,主要是为了减少高含水率阶段锯材蓝变的发生。

表1 企业干燥生产50 mm厚辐射松锯材用基准
Tab.1 A conventional drying schedule for 50 mm thick radiata pine lumber

含水率阶段/%	干球温度/℃	湿球温度/℃
>90	80	70
90~70	72	65
70~25	72	60
25~20	72	58
20~15	74	58
15~10	74	57
<10	76	55

1.3.2 优化常规干燥试验

根据澳大利亚及新西兰辐射松木材干燥技术^[9],结合国内木材干燥生产工艺实践,利用实验室干燥设备进行了系统试验,制定了50 mm厚辐射松锯材优化的常规干燥基准(表2)。

表2 50 mm厚辐射松锯材的优化干燥基准
Tab.2 A optimized conventional drying schedule for 50 mm thick radiata pine lumber

含水率阶段/%	干球温度/℃	湿球温度/℃
>60	70	65
60~40	70	62
40~35	75	65
35~30	75	63
30~25	80	65
25~20	80	62
<20	85	60
平衡处理	90	79
终了处理	90	86

干燥预热、平衡处理及终了处理阶段工艺条件,均依LY/T 1068-2012设定。平衡处理和终了处理阶段最高温度设定为90 ℃,即该企业干燥设备能够达到的温度上限。平衡处理阶段以6块检验板中含水率最低的检验板到达8%时开始,最高含水率的检验板到达12%时结束,终了处理时间为温湿度到达设定点后延续5 h。

1.3.3 高温干燥试验

辐射松锯材按常规干燥的缺陷较少,属易干材,为了进一步提高干燥效率、降低生产成本,依据国外文献及研究团队经验^[9-12],笔者进行了辐射松锯材高温干燥系列试验,高温干燥基准列于表 3。

表 3 50 mm 厚辐射松锯材的高温干燥基准

Tab.3 A high temperature drying schedule for 50 mm thick radiata pine lumber

含水率阶段/%	干球温度/℃	湿球温度/℃
>80	105	97
80~25	110	95
<25	120	90
平衡处理	95	84
终了处理	95	91

干燥过程初期高含水率时的预热阶段采用 100 ℃ 饱和湿空气条件,有利于木材在干燥初期树脂含量的减少,从而改善后期产品加工中的胶合及涂饰性能^[13]。干燥结束前的平衡处理及终了处理,温度采用低于 100 ℃ 条件,湿空气中的水分能比较容易地被木材吸收^[8],以快速达到平衡水分及释放干燥应力的效果。平衡处理阶段以 6 块检验板中含水率最低的检验板到达 8% 时开始,最高含水率的检验板到达 12% 时结束,终了处理时间为温湿度到达设定点后延续 5 h。

2 结果与分析

2.1 辐射松锯材企业干燥生产

在干燥生产中,50 mm 厚辐射松锯材检验板的含水率变化情况及干燥过程曲线,如图 1 所示。

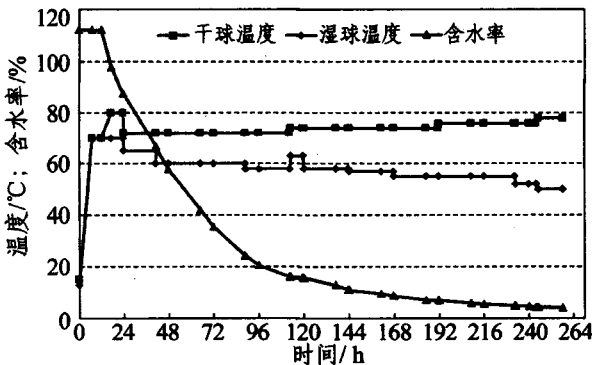


图 1 50 mm 厚辐射松锯材企业干燥过程曲线

Fig.1 Drying curves of 50 mm thick radiata pine lumber in a company

辐射松锯材由初含水率 112.72% 干燥至终含水率 4.89%,共耗时 258 h (10.75 d),平均干燥速率为 0.42%/h。其中含水率 >30% 阶段,平均干燥速率为 1.02%/h;含水率 ≤30% 阶段,平均干燥速率为 0.15%/h。

从图 1 明显看出,含水率 ≤30% 后的干燥曲线变化非常缓慢,尤其是含水率 <20% 更为缓慢。主要原因是含水率在纤维饱和点以下时,水分的蒸发和迁移需要更多的能量才能实现,因此,需要提高干燥温度,以保持适当的干燥速率。

造成检验板含水率过低的原因可能与其放置位置有关。为方便取出称质量,检验板只能放在材堆的侧边,而且企业的干燥工艺中,没有平衡处理及终了处理,导致检验板含水率过低。

从表 4 干燥质量检测数据可以看出,企业干燥生产辐射松锯材的各项质量指标满足 GB/T 6491-2012 一级要求。但干燥后锯材终含水率平均值控制过低,导致干燥时间延长,增加了能耗及干燥成本,降低了干燥设备使用效率;干燥锯材无内裂发生,但有少许端裂,干燥缺陷质量指标等级为二级。

表 4 不同干燥工艺锯材干燥质量

Tab.4 Drying quality of radiata pine lumber with different drying schedules

检测项目	企业干燥生产	优化常规干燥	高温干燥	GB/T 6491 指标	
				二级	一级
平均终含水率/%	4.46	9.92	8.86	8~12	6~8
干燥均匀度/%	±0.35	±1.08	±0.97	±4	±3
厚度含水率偏差/%	0.12±0.67	0.12±1.52	0.46±0.93	≤4.5	≤3.5
残余应力值/%	1.34±1.06	0.19±1.30	1.05±0.81	≤3.5	≤2.5
顺弯/%	0.22±0.22	0.12±0.05	0.09±0.07	≤2.0	≤1.0
横弯/%	0.12±0.04	0.10±0.04	0.12±0.12	≤0.5	≤0.3
翘弯/%	0.34±0.29	0.33±0.24	0.05±0.13	≤2.0	≤1.0
扭曲/%	0.44±0.26	0.15±0.12	0.37±0.25	≤2.0	≤1.0

2.2 辐射松锯材优化常规干燥工艺试验

根据 50 mm 厚锯材在优化常规干燥试验中检验板含水率的变化情况,干燥过程曲线如图 2 所示。采用优化工艺,辐射松锯材由初含水率 102.61% 干燥至终含水率 9.73%,共耗时 148.5 h (约 6.20 d),平均干燥速率为 0.62%/h,较企业干燥生产的平均干燥速度提高约 48%。含水率 >30% 阶段,平均干燥速率为 0.76%/h;含水率 ≤30% 阶段,平均速率为 0.65%/h,整个过程的干燥速率较稳定。

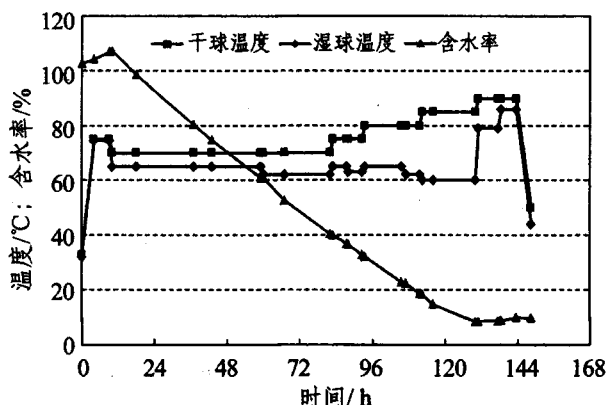


图2 50 mm厚辐射松锯材优化常规干燥工艺干燥曲线
Fig.2 Drying curves of 50mm thick radiata pine lumber with an optimized conventional drying schedule

虽然前期干燥速率比企业工艺低，但后期速率远超企业工艺，因此，总体干燥速率大幅提高。即使干燥后期增加了平衡处理和终了处理，总干燥时间也比企业工艺缩短约42%，干燥效率显著提高。

表4中按优化基准干燥辐射松锯材的质量，除平均最终含水率为二级指标外，其他指标均达一级要求，且锯材干燥质量有所提高，对照GB/T 6491-2012判断干燥锯材综合等级为二级。

锯材干燥质量提升，是由于干燥过程是从低温高湿逐渐过渡至高温低湿，且增加了平衡处理和终了处理，对于平衡整个材堆不同板材间含水率的均匀性、降低残余干燥应力，以及缓解干燥过程锯材变形有较大益处。

在制定干燥基准时，严格按照标准二级材设定平衡处理和终了处理工艺条件，对于保证终含水率达标非常必要，而且也可避免出现过干现象。对于辐射松锯材的心材和边材初含水率差异较大的特点，如果后期不设平衡处理，易导致不同板材间含水率差异性大，锯材干燥不均匀。对于家具、实木拼板等质量要求较高的锯材干燥，建议干燥工艺中设置平衡处理和终了处理阶段。

2.3 辐射松锯材高温干燥工艺试验

使用高温干燥优化基准进行50 mm厚辐射松锯材干燥，过程曲线如图3所示。

采用高温干燥工艺，辐射松锯材由初含水率110.80%干燥至终含水率9.09%，共耗时88.5 h（约3.69 d），平均干燥速率为1.15%/h，为企业生产干燥速率的2.73倍，为优化常规干燥工艺的1.85倍。含

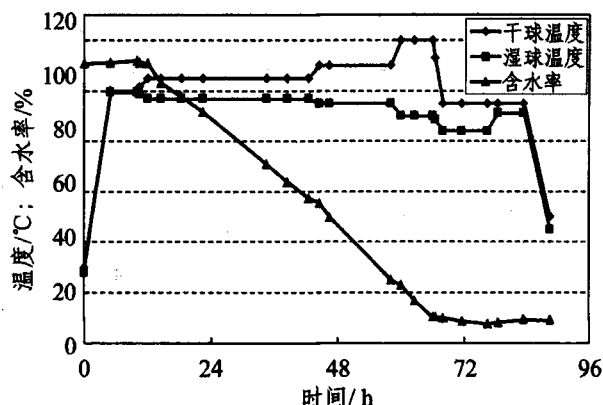


图3 50 mm厚辐射松锯材高温干燥过程曲线
Fig.3 Drying curves of 50mm thick radiata pine lumber with a high temperature drying schedule

水率>30%阶段，平均干燥速率为1.48%/h，含水率≤30%阶段，平均速率为0.95%/h，整个过程的干燥速率均较高。高温干燥周期较企业干燥生产周期缩短了近66%，较优化常规干燥工艺缩短了40%，干燥效率大幅提高。

为保证干燥锯材干燥质量，干燥后期亦增加平衡处理和终了处理。从表4可知，除锯材的平均最终含水率为干燥质量二级外，其他指标满足GB/T 6491-2012一级要求，高温干燥后锯材扭曲指标较常规干燥锯材指标稍高，总体质量等级评价为二级。

3 结论

1) 对50 mm厚辐射松锯材干燥，相对企业用常规干燥工艺，采用优化工艺使干燥周期缩短约42%，采用高温工艺的干燥周期缩短近66%，干燥效率大幅提高；干燥质量均满足GB/T 6491-2012二级锯材指标技术要求。

2) 辐射松木材干燥性能好，有提升干燥效率的空间。建议企业采用常规干燥工艺时，可提高温度，尤其是干燥后期尽量提高温度；有条件的企业，可采用高温干燥设备及工艺，同时增加材堆的压重，以防止干燥过快引起变形缺陷。

3) 针对辐射松心边材含水率差异较大的特点，建议干燥后期设置平衡处理和终了处理，以提高干燥均匀度、降低锯材厚度上含水率偏差，释放干燥过程中的残余应力，以满足家具、实木拼板等对木材干燥质量的要求，提高后期产品的出材率。

（下转第56页）

MOR 损失率差异不显著。5、6 层 MOR 损失率略微上升,其原因一方面可能来源竹材(不同竹龄、部位等)本身性能的差异;另一方面,随着竹层板的层数增多,侧压压力不足,也会导致每层竹片之间的胶合强度降低。

说明在本试验条件下,当带接头的竹片位于中间层时,竹层板的层数越少,对板材整体性能的影响越大;但当层数 ≥ 3 以后,MOR 的损失率可大幅减少,通常不超过 20%;竹片的接头对其整体抗弯性能的影响不显著。

3 结论

1) 3 种竹片接头形式(对接、指型、扣型)制备的侧压竹层板,抗弯性能差异不显著。综合考虑竹片加工与涂胶组坯的难易程度,扣型接头是较理想的接头形式。

2) 带接头竹片均会降低竹层板的整体抗弯强度,但将接长竹片位于竹层板的中间,两侧有完整的竹片时,竹层板层数 ≥ 3 层时,对竹层板整体的抗弯性能影响亦不显著。

后续还将研究多个接长层、多个接头以及接头在板坯中的位置对竹层板力学性能的影响,为利用竹材资源制备大尺寸结构材,提供更完备数据。

参考文献:

- [1] 章卫刚,李延军,方明俊.竹集成材增湿处理技术研究[J].林业科技,2010,35(5):42-45.
- [2] LY/T 1815-2009,非结构用竹集成材[S].
- [3] 李海涛,张齐生,吴刚,熊晓洪,李延军.竹集成材研究进展[J].林业工程学报,2016,1(6):10-16.
- [4] LY/T 2711-2016,单板用竹集成材[S].
- [5] 张叶田,何礼平.竹集成材与常见建筑结构材力学性能比较[J].浙江林学院学报,2007,24(1):100-104.

(责任编辑 孟凡丹、向琴)

(上接第 48 页)

参考文献:

- [1] 周永东.进口桃花心木和辐射松木材性质及加工技术研究[J].木材工业,2019,33(1):1-4.
- [2] 高鑫,周凡,付宗营,等.进口辐射松原木初加工利用现状与发展建议[J].木材工业,2019,33(1):5-7,16.
- [3] 李瑞芝.新西兰辐射松的干燥和防腐处理[J].山东林业科技,1994(1):45-47.
- [4] HAQUE M N, SARGENT R. Standard and superheated steam schedules for radiate pine single-board drying: model prediction and actual measurements[J]. Drying Technology, 2008, 26(2): 186-191.
- [5] PANG S S. External heat transfer in moist air and superheated steam for softwood drying[J]. Chinese Journal of Chemical Engineering, 2004, 6(6): 762-766.
- [6] PAKOWSKI Z, ADAMSKI R. On prediction of the drying rate in superheated steam drying process[J]. Drying Technology, 2011, 29(13): 1492-1498.
- [7] 涂登云,江宁,李睿,等.辐射松板材加速干燥工艺对材性的影响[J].林产工业,2004,31(2):35-37.
- [8] 涂登云,刘彬,顾炼百.辐射松板材降温干燥工艺的研究[J].华南农业大学学报,2009,30(4):102-104.
- [9] WATERSON G C. Australian timber seasoning manual (3rd Edition) [M]. Australian Furnishing Research and Development Institute, 1997: 167-176.
- [10] 周永东,李晓玲.人工林杉木高温干燥与常规干燥的比较研究[J].北京林业大学学报,2005,27(Supp):18-21.
- [11] 周永东,姜笑梅,刘君良.干燥方法对毛白杨木材力学性质的影响[J].木材工业,2009,23(3):13-15.
- [12] 高利祥,周永东,高瑞清,等.柳杉锯材高温干燥初步研究[J].木材工业,2014,28(5):16-19.
- [13] 张璧光,高建民,伊松林,等.实用木材干燥技术[M].北京:化学工业出版社,2005:110-111.

(责任编辑 向琴)

第 43 届 CIFI 展圆满闭幕

2019 年 3 月举行的第 43 届中国(广州)国际家具博览会,共汇聚 4 344 家全球品牌展商同台竞技,专业观众入场人数近 29.8 万。

作为“新品首发,商贸首选平台”,本届中国家博会汇聚一批极具创新理念、创造能力和创意表达的的实力品牌,全产业链五大展区联袂展出高品质新产品,为行业提供一站式的家居采购选择和多元生活方式选择。

展会期间,超过 90%的展商带来首秀新品,50 多家企业举办现场发布活动;新设全球家居新品首发主题展,并甄选出 25 款具有前瞻意识的原创作品,多维度打造新品发布平台。汇聚行业优秀设计力量,有 60 多位跨界知名设计师倾力参与,以案例分享、论坛沙龙、趋势发布等多种形式进行交流与互动,启发人们对品质生活的思考与追求,展开关于未来设计的无限想象。

中国家博会不断求新求变,始终致力提升展会品质和服务体验,为行业创造更大的参展、参会价值。2019 年 9 月 8—11 日,第 44 届中国国家博览会(上海)将在上海虹桥国家会展中心再续“全球家居生活典范”风采。

劳万里