

常规蒸汽-除湿联合干燥实木地板坯料的能耗分析

时启磊

(安信伟光(上海)木材有限公司, 上海 200000)

摘要: 木材常规蒸汽干燥需要消耗大量的热能, 且大部分在排湿过程中散失, 能源浪费严重。通过在常规干燥窑内增加除湿设备, 利用蒸汽-除湿联合的方式, 采用蒸汽升温、前期连续除湿、中期间歇除湿、后期正常干燥的工艺基准进行批量生产试验, 以检验节能效果。试验结果表明, 蒸汽-除湿联合干燥可以降低能源消耗 60%以上。

关键词: 实木地板坯料; 干燥; 蒸汽加热; 除湿; 节能

中图分类号: S781.71 文献标识码: B 文章编号: 1001-8654 (2018) 05-0044-03

Energy Consumption of Conventional Drying Combined with Dehumidification for Solid Wood Flooring Substrates

SHI Qi-lei

(A&W Shanghai Wood Ltd, Shanghai 200000, China)

Abstract: Conventional drying of wood consumes a lot of heat energy and most of the energy is discharged through ventilation, which results in serious energy waste. A trial production experiment was carried out with dehumidification in a conventional dry kiln. The experimental results showed that energy consumption for the combined drying could be reduced by 60%, compared to conventional drying.

Key words: solid wood flooring substrate; drying; steam heating; dehumidification; energy conservation

浙江南浔是中国的实木地板之都, 具有从原木开料-地板坯料加工-实木地板成品完整的加工产业链, 常用树种为番龙眼、圆盘豆、菠萝格、橡木等。

实木地板坯料多采用常规干燥, 热源为饱和蒸汽, 由附近电厂集中供应, 成本较高; 加上干燥窑尺寸设计不合理(进深大, 导致通风不畅; 材堆高, 导致上下风速差别大)、风扇选用不合理、人为操作随意、密封保温较差等, 造成严重的能源浪费。并且, 常规干燥过程中排湿损耗的热量也较大。对此, 笔者公司决定对现有干燥窑进行改造, 同时配合以除湿干燥^[1], 通过探索合理的干燥工艺参数, 以期达到节能减排的目的。

1 材料和方法

1.1 试验材料

美国红橡 (*Quercus* spp.) 锯切湿板, 初含水率 65%~82%。混等, 结疤较少, 端部刷固体石蜡(精炼 56[#]), 规格为 935 mm×145 mm×24 mm。

垫条: 干燥杂木, 960 mm×17 mm×17 mm。

1.2 试验装置

1) 生产用干燥窑: 砖混结构, 窑体厚度 25 cm, 有效装窑尺寸: 500 cm(高)×490 cm(深)×410 cm(宽), 容积 100 m³。如图 1 所示。

使用集中供应的商业蒸汽, 温度 165~175 ℃。

2) 除湿机: 定制, 额定功率 18 kW, 最高工作温度 75 ℃, 最大除湿量 50 kg/h(温度 50~60 ℃、湿度 50%~70%条件下测得)。

3) 检测仪器: 电热恒温干燥箱、电子称等。

收稿日期: 2018-01-22; 修改日期: 2018-08-02

作者简介: 时启磊(1982—), 安信伟光(上海)木材有限公司工程师。

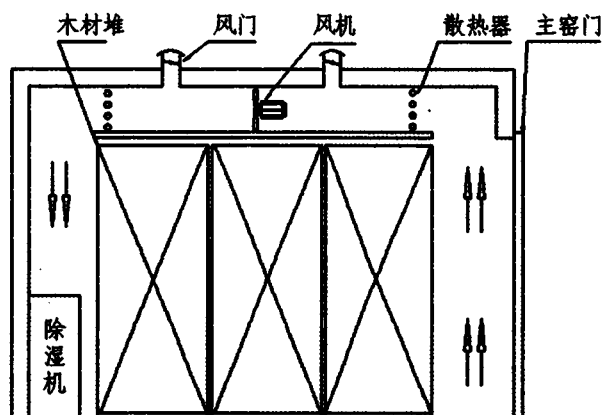


图1 木材干燥窑剖面示意图

Fig.1 Profile of a lumber drying kiln

1.3 生产试验

采用条件相同的两座窑，一座采用常规蒸汽干燥，一座采用蒸汽-除湿联合干燥的方式，对比最终的能量消耗。

1.3.1 常规蒸汽干燥工艺

试验在生产用 100 m³ 干燥窑内进行，实际装载材积 56 m³，参照 LY/T 1068-2012《锯材窑干工艺规程》设置工艺（表 1）。

表 1 常规蒸汽干燥工艺

Tab.1 Conventional drying process for oak lumber

MC/ %	干球温度/ °C	相对湿度/ %	EMC/ %	Δt/ °C
MC ≥ 40	60	82	13.8	4
30 ≤ MC < 40	62	78	12.5	5
25 ≤ MC < 30	65	68	9.8	8
20 ≤ MC < 25	70	56	7.5	12
15 ≤ MC < 20	75	50	6.3	15
MC ≤ 15	85	41	4.9	20

1.3.2 联合干燥工艺

试验首先按照原工艺参数进行，仅将原来的进排气口排湿，改为除湿后排出冷凝水，分步骤改进现有干燥工艺，以避免多参数变化导致质量问题。工艺原理如图 2 所示。

1) 联合干燥窑体的改造

① 对原有老旧干燥窑进行密封和保温改造，窑外蒸汽管道加装蒸汽流量表。

② 定制除湿机，安装在干燥窑的后观察门附近，周围布置导流板，尽可能减小对风流的影响。

③ 安装除湿机功率表，记录相应的电能消耗。

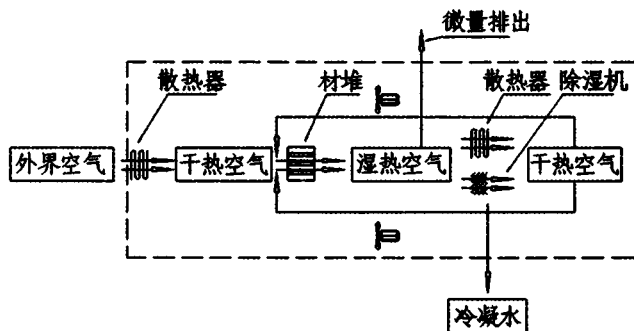


图 2 蒸汽-除湿联合干燥原理

Fig.2 Diagram of conventional drying combined with Dehumidification

④ 除湿设备产生的冷凝水，通过管道排出，出口设置计量装置。

⑤ 实测板材表面的风速为 1.2~1.5 m/s，风机设定为正转 2 h-停止 3 min-反转 2 h（每窑安装风机 4 台，单台额定功率 1.1 kW，窑本身设计需要改进）。

2) 除湿设备的启停参数设定

① 加热升温阶段，进排气口关闭，按照 2 °C/h 的速度缓慢升温，除湿机关闭。

② 第一、二阶段（木材 MC ≥ 30%）：根据湿度设定除湿设备的开启或关闭，木材排出水分较多时，除湿设备连续运转，进排气口关闭；只有在除湿不能满足要求时开启。

③ 第三、四阶段（木材 MC 20%~30%）：窑内湿度大于设定值的 5% 时，开启除湿设备，低于设定值时则关闭，进排气口一直关闭。

④ 干燥末期（木材 MC < 20%）：除湿机关闭或极少开启，干燥窑散失的热量靠蒸汽补充。

1.3.3 试验数据的记录

1) 每 2 h 记录一次数据：干燥窑温度与湿度、木材含水率、功率表读数、蒸汽表读数、除湿水量、除湿水温。

2) 温度、湿度数据，取自材堆进风口一侧的数据，木材含水率取 6 个测试点的平均值。

3) 干燥过程中含水率采用称重法反向计算，每天定时取出检验板称重。

1.4 检测方法

依据 GB/T 6491-2012《锯材干燥质量》、GB/T 1931-2009《木材含水率测定方法》，进行木材干燥质量及含水率的检测。

2 结果与分析

2.1 地板坯料干燥质量

对常规干燥和联合干燥的坯料进行对比,发现含水率均匀度、开裂降等比例、表裂、内裂、端裂等质量指标并无明显差别,合格率均大于95%。

2.2 能量消耗

按目前电费价格1元/kW·h,蒸汽价格240元/t计,取蒸汽平均温度170℃,查表得蒸汽焓为2773.3 kJ/kg,冷凝水约85℃,直接排放。

表2列出2种干燥工艺的能耗分析结果。

表2 常规干燥预联合干燥过程中热能消耗对比
Tab.2 Comparison of energy consumption between conventional and combined drying process

干燥 进度/ d	常规干燥		联合干燥			
	MC/ %	蒸汽能耗/ MJ	MC/ %	蒸汽能耗/ MJ	电能耗/ MJ	热能总耗/ MJ
1	75	10 954.54	78	9 823.03	151.20	9 974.23
2~9	71~41	68 661.36	73~40	3 042.31	11 660.40	14 702.71
10~22	38~19	74 981.71	38~19	2 764.98	15 382.80	18 147.78
23~28	18~11	16 661.99	18~11	11 841.99	961.20	12 803.19
热能合计		171 259.59		27 472.31	28 155.60	55 627.91

由表2可知,整个干燥过程的总能耗,蒸汽-除湿联合干燥仅为常规干燥的35.72%,能源节约效果非常显著。

1) 在试验发现,在干燥过程的第2~9 d,节能效果最为明显,常规干燥热能消耗68 661 MJ,联合干燥热能消耗14 702 MJ,后者仅为前者的21%。在此阶段,木材含水率从78%降到40%,以终含水率12%计算,则木材中的水分将去除48.72%,湿热空气的潜能在此阶段得到回收,节能效果最为显著。

2) 在联合干燥过程中,整个过程共计28 d。蒸汽加热在干燥初期开始升温阶段(第1 d)和干燥末期(第23~28 d)发挥作用,加热木材和保持关闭除湿后的窑内温度。

干燥初期设备散热消耗与除湿机产生的热量差,由蒸汽加热补充;干燥后期木材水分排出较少,热能回收较少,除湿系统已经明显的节能效果,因此,应关闭除湿系统,开启蒸汽阀门,间歇性地补充干燥窑体散失的热量,使温度保持在工艺要求的数值。

3) 联合干燥中,除湿设备主要在第2~22 d发挥

作用,此时进出风口关闭,窑内的湿热空气通过设备的蒸发器,循环管道内的制冷剂与其发生热交换,制冷剂吸收湿热空气的热量后蒸发呈气态;湿热空气中的水蒸气遇冷凝结成水,排出室外。

在此阶段,木材中大量的水分排出(最大80 kg/h,温度49℃、湿度90%条件下实际测得),关闭进排气阀门后,没有湿空气带走的热量损耗,除湿设备运行产生的热能,与干燥窑散失的热能基本平衡,不需要打开蒸汽阀门进行额外的热量供应,因而节省了大量蒸汽消耗。

循环管道中的制冷剂蒸发后,释放的热能被冷空气吸收,使其变化为干热空气后进入材堆,继续参与干燥内循环。

2.3 成本对比

2种干燥工艺的成本分析结果,见表3。

表3 干燥能耗费用对比

Tab.3 Comparison of energy cost between conventional and combined drying process

干燥能耗	常规干燥		联合干燥	
	能耗/MJ	费用/元	能耗/MJ	费用/元
热能合计	171 259.59	14 819.90	55 627.91	10 198.00
风机能耗	8 640.00	2 400.00	8 640.00	2 400.00
总计	179 899.59	17 219.90	64 267.91	12 598.00

由表3可知,整个干燥过程的总费用,联合干燥为常规干燥的73.16%,成本节约36.68%;其中热能费用,联合干燥为常规干燥的68.82%。

3 结论

1) 适用的联合干燥工艺为:以升温/预热阶段以蒸汽为主热源,关闭除湿;前期和中期除湿干燥为主,蒸汽补充窑体散失的热量;干燥后期关闭除湿,恢复常规蒸汽干燥;

2) 实测数据表明,干燥56 m³红橡木锯材从初含水率75%~78%至终含水率约11%,除湿-蒸汽联合干燥的总能耗比常规干燥节省60%以上,节约干燥成本30%以上。

参考文献:

[1] 王喜明. 木材干燥学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2013: 174-186.

(责任编辑 向琴)