

木材真空干燥的初步研究

朱政贤 张益春 林新通

(东北林业大学) (福建林学院)

摘 要

本文研究木材真空干燥。内容包括木材真空干燥机的研制和木材真空干燥工艺的研究。试验结果表明,干燥机设计合理,技术性能良好,能够满足科学研究和小型生产的需要。通过实验,提出榆木、水曲柳、桦木和椴木的干燥基准,证明用真空干燥法干燥厚阔叶树材,具有干燥时间短、干燥质量好的优点。真空干燥具有研究价值,值得在一定范围内推广应用。

前 言

木材真空干燥法自发明以来已有九十多年的历史。实践证明它具有干燥质量较好,干燥周期较短等优点,特别适于干燥透气性好的硬阔叶树厚材。但由于设备比较复杂,长期以来没有得到很好的利用。

近年来,国外对木材真空干燥逐渐重视,如意大利、日本、苏联、法国、美国等均在研究,并有成套设备出售。我国于八十年代左右开始研究,如长沙、西安、南京、哈尔滨、四平、牡丹江、本溪等地相继对工艺、设备进行试验,并陆续在生产上试用,取得良好效果。

东北林业大学于1983年研制出DZ型木材真空干燥机,经过安装与调试,证明设备性能良好,符合设计要求。然后对榆木、水曲柳、桦木及椴木四种东北常用树种的板材进行了工艺试验,提出了该四种木材间歇式真空干燥基准,探讨了工艺因素间的关系。

干燥机设计

该机由主体干燥筒,以及冷凝器、汽水

分离器、蒸汽发生器,真空泵及控制柜组成,为用电加热和喷射蒸汽调湿的间歇式木材真空干燥机。现将研究设计说明如下:

一、设计条件

木材树种:水曲柳;木材规格:2000×150×40毫米;最初含水率:60%;最终含水率:8%;介质最高温度:100℃;木材心部最高温度:80℃;极限真空度:740毫米汞柱;真空速度:在12分钟内压强达到60托;干燥时间:70小时;垫条尺寸:800×30×15毫米。木材基本密度(公定容重):0.54克/立方厘米^[1]。

二、干燥机主体设计

(一)干燥筒壳体设计

干燥筒是整套设备的主体,采用圆形筒体。筒体内径1,200毫米,总长2,542毫米,有效长度2,000毫米,一端封闭,另一端为大门,均采用标准蝶形封头^[2]。根据文献[3],压强为760⁻¹托时,筒体材料可选用A₃钢板,厚10毫米^[2]。筒体的内部体积为2.774立方米,内表面积为10.9平方米,重量为870公斤。

(二)干燥筒结构设计

参加本项研究工作的还有李晓秀、孙景全同志

干燥筒的结构示意图见图1。沿筒体长度方向设置两台4号轴流通风机，位于筒内下部，用导风板使风速均匀分布。电加热器安装在筒底中央，靠近风机。筒的中部偏下，设置一水平槽钢架，上置铝板，使干燥

筒分成干燥（上部）和加热、通风（下部）两个部分。

喷蒸管设在木堆两侧，靠近筒壁，由筒外用手控蒸汽阀启闭与调节。筒体顶部设有称重装置。

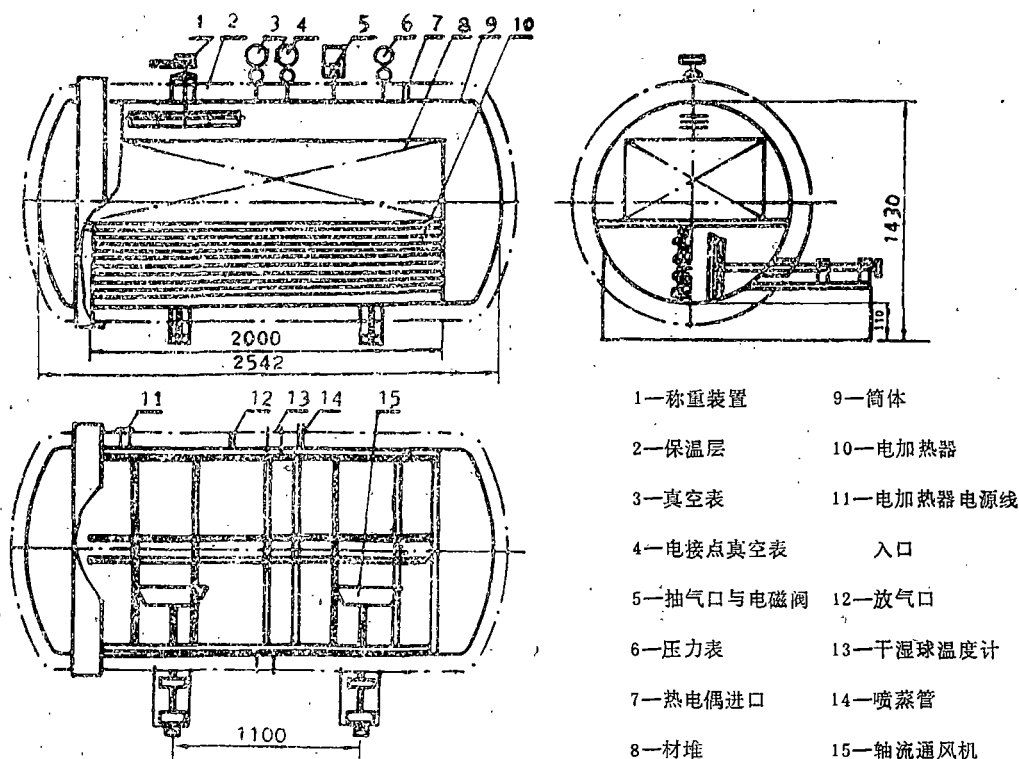


图1 真空干燥机筒体结构图

(三) 热力系统计算

木堆外形尺寸：长2,000×宽800×高495毫米；木材容积：0.52立方米；水分蒸发量：5.42公斤/小时；木材加热耗热量：7,102千卡/小时；设备加热耗热量：2,739千卡/小时；水分蒸发耗热量：3,415千卡/小时；筒体损失热量：366千卡/小时；总耗热量：13,622千卡/小时；计算电功率：15.8千瓦。

选用 $\phi 20 \times 1,800$ 毫米电热管9根，双列交错排列，总功率为16.2千瓦。

喷蒸管用1吋钢管做成，长2米，喷孔直径3毫米，孔距200毫米。每个喷孔每小时可喷射0.2MPa的饱和蒸汽7.9公斤，每根开9孔，每小时可喷出蒸汽71.1公斤，可放

出汽化潜热36,758千卡。

(四) 气体循环系统计算

木堆及两端不严的通气断面：0.60平方米；气体循环速度：2米/秒；筒内循环气体量：4,320立方米/小时；配置2台轴流通风机，每台风量为2,160立方米/小时；计算总压头：3.25毫米水柱；风机规格压头：4.7毫米水柱。

根据文献〔4〕，选用30K₄-11No.4轴流通风机，风量2,810立方米/小时，风压7.4毫米水柱，电动机功率1.1千瓦。

三、减压系统设计

(一) 真空泵的选择

根据设计要求，选用2X-15型油封机械真空泵。这种真空泵要求抽出气体的温度

必须低于30℃, 因此, 在真空泵的前段需要设置冷凝器和汽水分离器。泵的主要性能参数如下: 极限真空 5×10^{-4} 托, 抽气速率15升/秒, 电机功率2.2瓩。

(二) 冷凝器的设计

冷凝温度为30℃, 此时水蒸汽压力为31.8毫米汞柱。

设由干燥筒排出的过热蒸汽温度为85℃, 真空度为500毫米汞柱。将0.52立方米木材于35小时真空时间内由初含水率60%干燥到8%, 每小时计算排水量为5.42公斤。干燥前期因排水量较大, 取为3倍即16.26公斤/小时。

根据文献〔6〕, 每小时由筒内排出过热蒸汽的体积为77.1立方米, 冷却到30℃时变为饱和蒸汽的重量为2.34公斤、冷凝水的重量为13.92公斤, 30℃时饱和蒸汽的含热量为609.2千卡/公斤, 水的含热量为30千卡/公斤, 因此算出冷却耗热量为8,464千卡/小时, 求得冷凝器的散热面积为11.1立方米。

冷凝管由1/4", 2"无缝钢管及少数绕片管组成, 5根一组, 共九层, 17组, 总散热面积为14平方米。

(三) 汽水分离器

干燥筒内的气体通过冷凝器之后, 还有一小部分水汽未被析出, 必须在真空泵之前加设汽水分离器。本设计的汽水分离器分为两级, 一级汽水分离器的简体中设有七块孔板, 开孔总面积等于真空泵的进气口面积。二级汽水分离器容量较小, 原理与一级相同, 但上端安有干湿球温度计和排空阀。干湿球温度计用于检测进入真空泵的气体参数是否符合要求。

四、蒸汽发生器的设计

蒸汽发生器的作用是喷蒸调湿, 辅助加热。本设计的蒸汽发生器的供汽管路有两个分支, 分别通连两根喷蒸管, 容积0.24立方米。

蒸汽发生器按喷射2个表压力的饱和蒸

汽连续达15分钟, 耗汽量17.8公斤, 耗热量按9,190千卡设计。采用电热, 计算需用功率12.8瓩。实际配用15瓩。最大工作压力0.6MPa, 水分蒸发量为20公斤/小时。

五、检测系统的设计

(一) 介质温度自控装置

选用普通镍铬-考铜热电偶作为温度传感器, 配用XCT-121型动圈式指示调节仪。以达到温度自控的目的。

(二) 介质湿度显示装置

在干燥筒的两侧中部, 各安装两支带有不锈钢保护套的干湿球温度计。

(三) 材心、材表温度显示装置

选用直径为3毫米的WRKK-101型铠装镍铬-考铜热电偶为温度传感器, 配用XCT-101动圈式指示调节仪。由于材心温度是控制干燥过程的重要工艺参数, 因此配有上限报警装置。

(四) 真空度及压力显示自控装置

筒顶装有一只压力表(0-0.6MPa), 一只普通真空表(0-760毫米汞柱), 一只电接点真空表(0.15MPa-0-760毫米汞柱)。其中电接点真空表与真空泵串接, 表上的上、下限指针可控制真空泵的工作。当真空度上升到上限指示值时, 真空表发出信号, 切断真空泵的电源; 当真空度下降到下限指示值时, 真空表发出信号接通真空泵的电源, 由此达到自动控制干燥筒内的真空度。

设备技术性能测试

一、干燥机主体——干燥筒

(一) 空载真空度特性

1. 在气温为10℃及大气压为751毫米汞柱条件下测试结果为真空度在12分钟时达702毫米汞柱, 24分钟时达742毫米汞柱, 此后一直保持此值不变, 符合设计要求。

2. 在气温为23℃及大气压为742毫米汞柱条件下测试结果为真空度在16分钟时达700毫米汞柱, 在24分钟时达715毫米汞柱,

以后保持此值不变约10分钟, 停止抽真空至165分钟时筒体恢复至常压。

3. 在气温在150℃及大气压为715毫米汞柱条件下同时开动加热器, 喷蒸管及通风机, 当筒内介质温度上升到150℃时停止加热、喷蒸及通风, 开动真空泵抽真空, 真空度在3分钟时达706毫米汞柱, 16分钟时达到极限真空742毫米汞柱, 此后保持不变。

(二) 空载升温特性

测定了只开加热器与风机时的升温特性和同时开加热器、喷蒸管与风机时的升温特性。结果表明, 在同时开加热器与喷蒸管的情况下, 10分钟以内即可达到干燥工艺要求的温度。

(三) 木堆气流速度特性

测定风速时所用木板厚度为30毫米, 垫条厚25毫米。

从测试结果看, 风速分布比较均匀, 平均进口风速为2.43米/秒。平均出口风速为2.1米/秒, 均在设计规定的2米/秒以上, 符合要求。

二、冷凝器与汽水分离器

试验时先将干燥筒内的气体加热, 同时喷蒸, 使其温度上升到150℃, 然后接通冷凝器的冷却水阀门, 开动真空泵, 使干燥筒内的湿热气体流过冷凝器和汽水分离器, 观察汽水分离器上的干湿球温度计。结果干球温度为13℃, 湿球温度为11.5℃, 测得冷却自来水进口的温度为10℃, 出口的温度为15℃, 都在30℃以下, 冷却效果好。

三、蒸汽发生器

结果表明, 将5—8℃的冷水装入蒸汽发生器, 水位450—700毫米, 约36—50分钟即能沸腾, 沸腾后, 只须15分钟左右即可将汽压升至表压0.2MPa, 满足工艺的要求。

工艺试验

一、试验材料 试验材料见表1。

表1 试材一览表

树 种	材 积 (立方米)	块数	长×宽×厚 (毫米)	备 注
榆 木	5	500	2000×150×30	陆运材, 新锯解
水曲柳	1	40	2000×165×60	陆运材, 新锯解
桦 木	0.32	15	2000×175×60	陆运材, 半气干
椴 木	0.32	15	2000×175×60	陆运材, 半气干

二、试验方法

1. 试材初含水率、终含水率及应力的测定均按国家标准GB6491-86《锯材干燥质量》^[7]规定进行。

分层含水率试片的锯解方法按B/5, B/4两种方法锯取。

2. 可见干燥缺陷的检查, 是对全部试材进行有关表裂、端裂、内裂、侧弯、顺弯、皱缩、变色等方面的仔细检查。先将试材逐一编号, 并将干燥前存在的可见缺陷逐一做上记号并编号, 干燥后再逐一观察和测量。

3. 材心, 材表温度的测定, 是取一块试验板(含水率与检验板相近), 在距离端头200毫米或以上的部位, 在厚度的中心处钻一小孔, 孔径为3.2毫米, 孔深为木材宽度的一半, 插入热电偶(铠装镍铬—考铜热电偶)。另外在厚度方向上, 在距离木材表面1—2毫米的部位, 同样钻一小孔插入热电偶。热电偶插入后, 孔的缝隙塞入石棉灰等物, 包上棉纱, 进行绝热, 保证读数的准确度。

三、试验结果

1. 干燥时间和干燥速度

榆木板材, 厚30毫米, 初含水率60.1—104.7%, 终含水率5.2—10.86%, 干燥时间为31.7—38小时, 平均干燥速度1.44—2.25%/小时; 水曲柳板材, 厚60毫米, 初含水率76.88—87.8%, 终含水率6.07—6.64%, 干燥时间67—68.4小时, 平均干燥速度1.03—1.21%/小时; 桦木板材, 厚60毫米, 初含水率43.11—49.98%, 终含水率5.01—6.02%, 干燥时间46.84—58.25小

时, 平均干燥速度0.73—0.79%/小时; 椴木板材, 厚60毫米, 初含水率32.2—37.54%, 终含水率5.08—9.13%, 干燥时间29.17—32.08小时, 平均干燥速度0.89—0.93%/小时。

水曲柳锯材进行真空干燥时在纤维饱和点前后的干燥速度差别较大, 这一点与榆木不同。随着含水率的降低, 水曲柳的干燥速度越来越小, 特别是当含水率<10%时, 干燥比较困难。木材中的水分排出量已很微小。

2. 终含水率、厚度上含水率偏差与应力

榆木的平均终含水率7.17%, 厚度上含水率偏差平均为1.63%; 最大2.38%, 最小0.51%, 应力偏差平均为3.03%, 最大4%, 最小1.92%; 水曲柳平均终含水率为6.14%, 厚度上含水率偏差平均2.11%, 最大3.21%, 最小0.72%, 应力偏差平均为2.30%, 最大2.99%, 最小1.90%; 桦木终含水率7.2%, 厚度上含水率偏差平均3.01%, 最大6.28%, 最小0.61%, 应力偏差平均为0.90%, 最大1.24%, 最小0.11%; 椴木终含水率为6.08%, 厚度上含水率偏差平均为1.47%, 最大7.29%, 最小0.59%; 应力偏差平均0.60%, 最大1.44%, 最小0.04%。

所以除榆木由于应力偏差较大只能达到GB6491-86《锯材干燥质量》三级的要求外, 其它三个树种的干燥质量均能达到1—2级的标准。

3. 可见干燥缺陷

榆木可见干燥缺陷较少。由于木材堆垛和压置较好, 干燥后木材基本上没有产生新的弯曲, 原有的弯曲也被消除。在试验1、2中有部分开裂现象, 试验3几乎没有开裂缺陷。水曲柳开裂缺陷也较小。桦木和椴木可见缺陷极小, 可以忽略不计。

四、干燥基准

通过试验初步提出的真空干燥基准见表2、3、4和5。

表2 榆木 (30毫米厚) 间歇真空干燥基准表

含水率阶段 (%)	加热阶段			真空阶段		
	干球温度 (℃)	湿球温度 (℃)	材心温度 (℃)	材心温度 (℃)	真空度 (毫米汞柱)	时间 (分)
第一循环	90	88	80	25—30	>700	50
W>30	90	84	80	25—30	>700	50
W=30—20	90	78	80	25—30	>700	50
W≤20	90	75	80	25—30	>700	50
最后一次循环	90	65	70	25—30	>700	50

附: (1) 加热过程结束, 如果材心、材表温差≥30℃,

需进行平衡处理;

(2) 真空时间规定为50分钟, 其中真空度在700毫米汞柱以上的必须持续30~40分钟。

表3 水曲柳 (60毫米厚) 真空干燥基准表

含水率阶段 (%)	加热阶段			真空阶段		
	干球温度 (℃)	湿球温度 (℃)	材心温度 (℃)	材心温度 (℃)	真空度 (毫米汞柱)	时间 (分)
第一循环	90	90	78	26	>700	70
W>39	85	82	75	26	>700	70
W=30(一循环)	90	90	78	26	>700	70
W=30~20	88	80	75	26	>700	70
9<W<20	90	82	76	40	>700	70
W=15(一循环)	80	80	70	40	>700	70
W=9(三循环)	85	60	70	40	>700	70

表4 厚60毫米桦木间歇真空干燥基准

含水率阶段 (%)	干球温度 (℃)	湿球温度 (℃)	干、湿球温度差 (%)	木心温度 (℃)
W>30	80	77	3	70
W=30—20	85	77	8	70
W<20	88	75	13	70

注: 1. 预热处理: 干、湿球温度均为85℃; 处理时间为1.5—2小时;

2. W>30%时, 在真空阶段材心温度可至25℃, 时间不超过90分钟;

3. W=20—30%时, 在真空阶段材心温度可至30—35℃, 时间不超过90分钟。

4. W<20%时, 在真空阶段材心温度可至35—40℃;

5. W<12%时, 在真空阶段材心温度可至45℃;

6. 在W=12%时进行表面干燥处理, 干球温度88℃, 湿球温度68℃, 处理三个循环。

表5 60毫米厚椴木的干燥基准

含水率阶段 (%)	加 热 阶 段			真 空 阶 段		
	干球 温度 (℃)	湿球 温度 (℃)	材心 温度 (℃)	材心 温度 (℃)	真空度 (毫米 汞柱)	时间 (分)
第一次循环	92	92	80	≤30	>700	>75
W>30	87	80	70	≤30	>700	>75
W=30-20	90	80	70	30-35	>700	>75
W<20	95	80	68	35-45	>700	>75
W<10	95	75	65	35-45	>700	>75
W=25	90	90	68	30-35	>700	>75

小 结

1. DZ型木材真空干燥机, 结构新颖, 技术性能良好, 完全符合设计和工艺的要求。

2. 总结出的60毫米厚椴木、桦木、水曲柳及30毫米厚榆木的干燥基准尚属初次提出。这种干燥基准的形式特点, 也有其独特性和创新。

3. 与常规干燥相比, 上述四种木材的干燥质量明显提高, 干燥速度明显加快, 因而也就缩短了干燥周期。

4. 材心温度和真空度是控制真空干燥工艺过程的重要参数, 这是常规干燥工艺所没有和忽略的, 本研究突出了这一特点。

5. 干燥质量指标的测试方法, 统一按国家标准GB6491—86《锯材干燥质量》所规定的方法进行。

6. 摸索出热湿处理和平衡处理的初步规律。

问 题

1. 真空干燥方法用于透气性不好木材的干燥, 效果不明显。

2. 真空泵的选用和筒体的防腐蚀, 有待进一步研究。

参 考 文 献

- (1) 东北林学院, 1961, 木材干燥学, 农业出版社。
- (2) 《真空设计手册》编写组, 1979, 真空设计手册(上册), 国防工业出版社。
- (3) 罗思著, 《真空技术》翻译组译, 1980, 真空技术, 机械工业出版社。
- (4) 采暖通风设计经验交流会, 1973, 采暖通风设计手册, 中国建筑工业出版社。
- (5) 第一机械工业部, 1978, 真空设备产品样本, 机械工业出版社。
- (6) 松本文三著, 孟宪泰译, 1949, 木材干燥法, 青岛中纺公司编辑委员会。
- (7) 中华人民共和国国家标准GB6491—86《锯材干燥质量》。

A Preliminary Study on Wood Vacuum Drying

Zhu Zhengxian Zhang Yichun

Lin Xintong

(Northeast Forestry University)

(Fujian Forestry College)

Abstract

Vacuum drying can result in reduced drying time and higher drying quality. This method is worthy of studying further and spreading in certain area. The development of a wood vacuum drying technology has been discussed. The results of tests show that this kind of dryer is rationable in design and has good function, can meet the demand of scientific research on drying and small-scale production. Through the experiments, vacuum drying schedules of elm, Japanes ash, birch and basswood are worked out.