

浮压干燥的原理与国内外实践

肖亦华

(中国林科院木材工业研究所)

在木材干燥领域内,常压不过是变压的特例,压力周期式往复变动不过是压力浮动的特例。长期以来,介质温度、相对湿度^①和气流速度构成“木材干燥三要素”。那末,对于构造及特性变异很大的众多树种木材的干燥,介质压力作用、控制的方式、带来的弊与利、学术意义尤其是生产实用价值又该如何?七十年代末八十年代初,国内开展了木材浮压干燥的研究,以介质压力作为重要的控制参数,提出了“木材干燥第四要素”的学术思想。国际林联(IUFRO)木材干燥专业委员会主席、美国学者H·N·罗森对此很感兴趣,认为“这一思想将在林产科学界引起巨大的兴趣”。八十年代中期,欧洲学者S·马卓等亦开展了独立的研究,命名为“马卓干燥法”,并在实用价值最大的压力区段内迅速实现了工业化。此后,马卓干燥机很快打入欧洲、北美、亚洲、大洋洲等干燥设备市场,在成材干燥生产上独树一帜,取得明显的效益。马卓于八十年代末期还专程来华与我方作学术交流。

原 理

国内的研究提出:以不同压力的过热蒸汽^②作为干燥介质,使木材中的水分在压力浮动的边界条件中所完成干燥的过程即浮压干燥。对于不同的树种、规格、含水率区段等,压力浮动的模式和范围也相应有所不同,压力上限可以控制在正压区、常压点或负压区,下限亦然。浮压干燥有多种不同的类型,干燥过程中通过介质持续向木材及其中水分供给能量,以介质压力作为重要的控制参数,

①对于常压纯过热蒸汽干燥,介质温度和相对湿度中只有一个是构成介质工况的独立参数,另一个为导出参数。

②从广义上,湿热空气亦可。

③具体方案及数据等参见《南京林学院学报》,1985年,第4期,109~123页。

这样,介质压力就成为木材干燥三要素之外的第四要素,从这个角度看,现行各类干燥都只不过是浮压干燥的特例。

控制介质压力“基点”不一定落在常压点上意味着干燥过程必须与环境隔绝的系统内进行,这给生产设备的设计制造带来一些麻烦,系统密闭性,尤其是动密封要求高。

压力基点浮动,介质相应的密度也随之浮动,为了传热传质的需要,风速应作相应调整。国外一些研究和生产实践表明,风速对于干燥前期是重要的,而在后期则重要性相对降低。

在负压范围内,若以真空泵控制压力,由于木材干燥排放的水汽具有腐蚀性,对机械式真空泵精度的影响较为敏感,其程度随树种而异。在某些情况下,例如干燥柞木,机械式真空泵在很短的时间内便可能会失去正常功能。此外,因真空泵所需的功率很大,因此,对大容量干燥室不易实现。

控制介质压力基点所带来有利的一面及其在技术上、经济上的意义拟放在后面讨论。

浮压干燥与常规干燥之区别,主要在于将压力因素从静态的一点扩展到动态的角度来加以研究,采用的是非常规思路,出现了常规干燥难以达到的效果。木材干燥第四要素进入研究日程,其后的实践表明:干燥设备设计和干燥工艺的变革拓宽了木材干燥的天地,在生产上是适用的。

国内的研究

设计并完成如下实验:按压力浮动范围分为跨越正压区、负压区及完全控制在负压区两种类型,分别以马尾松、白柳安、黄柳安、柞木、色木为试材,实现了在含水率梯度不大的情况下加速干燥过程^③,干燥后成材板面平直如初。导出浮压干燥方程:

$$F = -D_p \frac{\partial P}{\partial X} - D_t \frac{\partial P}{\partial t}$$
 式中: F —通过单位面积的水分移动速度; P —水蒸汽压力; X —维空

间座标; D_p —扩散系数; t —时间; D_f —浮压系数。超微分析在SEM505型扫描电镜上进行,观察到纹孔塞缘呈辐射状皱折的图象。

该项研究结果证明:1.浮压干燥具有攻克栎类木材干燥难关的能力;2.从以马尾松薄板为代表的易于针叶树材到以栎木厚料为代表的极难干硬阔叶树材均能取得良好的干燥效果,适用范围较宽广;3.浮压干燥不吸入新鲜空气,无需对其加热(占木材干燥总能耗的28%左右)及驱动循环的能耗。此外,较大幅度缩短干燥时间意味着热损失与电耗下降,再者,真空泵无需持续工作,风机亦无需连续满负荷运行,电耗进一步下降。至于这种干燥方法的技术经济效益须在生产实践的考验之后,结合基建投资、运行成本、适用范围等全面衡量。

国外的工业化

国外于实验室研究之后迅即在压力浮动范围完全控制在负压区的类型上实现了工业化。工艺过程如下:1.抽除系统内的空气,历时几十分钟;2.预热,注入相应饱和蒸汽或低度过热蒸汽,成材每厚25mm历时2小时左右;3.干燥,以木材自身排出的水汽经加热器过热形成的过热蒸汽作为干燥介质,以木材含水率及含水率梯度作为IBM计算机的动态输入指令(手控亦可),通过加热器等控制过热蒸汽的温度,通过与冷凝器连通的气动阀等控制过热蒸汽的压力(真空度),通过风机控制风速,导出参数为过热蒸汽的过热度(相对蒸汽压、相对湿度)、平衡含水率,各参数值在计算机上显示,干燥过程中,根据树种及规格的不同,适时进行调湿处理,干燥时间随树种、规格等的变异而异;4.干燥终了,充入空气,恢复常压,历时十几分钟,干材可立即使用,无需工艺堆存期。

该机具有如下特点:1.真空泵不接触腐蚀性介质,2.介质的温度与密度较低,电动机置于机体内无需过高要求,完全避开了动密封问题,快关液压门形成与外界完全隔绝的系统。3.木材干燥普遍存在的设备腐蚀问题得到缓解,加上在内壁技术处理及管道管件材料上采取相应措施,该机的设计寿命达30年。4.因为完全控制在负压区,在生产上免去了劳保等方面的麻烦,并可采用简单巧妙的装置在材堆上维持每平方米数吨数量级的浮动压重,为铸铁块、水泥墩或弹簧等重力、机械式压重所难以比拟。5.虽然介质密度较低,风机数及装机总容量相

④另文专题讨论。

应加大,但干燥单位木材的电耗并不高。6.由于采用纯过热蒸汽介质,冷凝装置可用冷凝板、冷却塔或能量回收装置等,其中潜热可全部回收,回收效率系数为5。7.供热方式较灵活,可因地制宜,以燃烧木材废料的常压热水供热亦可。

马卓干燥法首先应用在栎类木材干燥上,如 $\phi 2600 \times 14500\text{mm}$ 、装材量 18m^3 的干燥机年干燥栎木 $1500 \sim 2000\text{m}^3$,以单位年生产量计,设备投资较低,经过该机处理的栎木为国际市场所认可,质俏价扬,视规格尺寸(所有尺寸并不太大)的不同,售价为 $400 \sim 1000\text{美元}/\text{m}^3$ 。

马卓干燥法的最主要目标在于攻克栎类木材干燥难关,但在应用之中发现,对松木、云杉等易干针叶树材及柚木、梅兰蒂等珍贵树种亦有很好的效果;对橡胶木则出现奇异效果④,橡胶木利用专家M·吉宁斯等认为,这将成为提高橡胶木利用档次的技术关键。经过这样处理的橡胶木,在国际市场上,售价 $300 \sim 1000\text{美元}/\text{m}^3$ 。

应用实例一 挪威N·斯科格公司是一家年产锯材 45万m^3 、栎木面层积拼花地板块 60万m^2 的大型企业。为了将地板块年生产量扩大到 120万m^2 ,需要增加干燥能力。为此,委托专家组进行方案论证与可行性研究。专家组从初选的方案中筛选出1.西德式铝壳体常规干燥窑,2.瑞典式钢筋混凝土壳体常规干燥窑,3.马卓干燥机等三个方案进行经济分析。结果如表1所示,单位为挪威克朗(N·Kr)。按八十年代后期市价,热耗成本均以燃油锅炉供热计,并按国际规范对马卓干燥机作技术性能测定。树种:法国栎、波兰栎;厚度:32mm,共测试三窑。干燥时间均控制为84小时,干燥温度低于 60°C 。每窑各取500块板作含水率测定(结果如表2所示)和外观检查;各取30块板分别制作齿形应力片和条形应力片以检查内应力和表面硬化情况。第1窑有10块板的应力片轻微内弯,表明有轻度残余内应力和表面硬化存在,经与马卓商

表1 三种干燥窑对栎木干燥的经济比较

方 案	投 资 (N·Kr/ m^3)	干燥能量成本(N·Kr/ m^3)			栎木地板块干燥成本(N·Kr/ m^3)
		电耗	热耗	小计	
西德式	1327	24	234	258	1.11
瑞典式	1637	26	177	203	0.87
马卓式	1720	22	101	123*	0.34

*若计及免除干燥降等及报废,每 m^3 少损失44

N·Kr, 则为 $123 - 44 = 79\text{N} \cdot \text{Kr}/\text{m}^3$ 。

表2. 含水率实测值 (%)

窑次	初含水率				终含水率			
	最大	最小	平均	标准差	最大	最小	平均	标准差
1	32.0	11.0	20.4	3.30	6.8	4.1	5.4	0.67
2	45.0	10.0	20.0	5.31	6.9	4.4	5.3	0.52
3	25.5	10.0	15.6	4.14	6.9	4.4	5.3	0.47

议,第3窑在预热阶段适当调低介质的过热度,后两窑应力片全部平直。三窑1500块检测板中,共发现细微的端裂纹23条和表面裂纹22条,长2~5mm,未构成降等,另外,原有的14条裂缝在干燥后闭合;木材颜色不变,板面未发现隔条印痕,板面平直如初,未发现扭曲、弓弯等;原有因交错纹和斜纹造成的变形在干燥后有所减轻。经论证,最后确定,建造一台 $\phi 4500 \times 26000$ mm、装材量约100 m³的马卓干燥机,并成为潜在用户参与技术考察的主要接待点之一。

应用实例二.丹麦VP家具厂是生产贴面台板的骨干企业,原料采用欧洲松木和云杉,原有两座除湿(热泵)干燥窑,50×100mm的松杉整边板自含水率40%以上干燥到12%历时14天。由于电耗成本高、周期长、终含水率不均匀,含水率大于12~14%者影响后续贴面胶合及产品质量,需要进行技术改造。经过多方比较,以一台 $\phi 4000 \times 18500$ mm、装材量54m³、年生产量8000~10000m³针叶树材的马卓干燥机取而代之。干燥温度60~90℃,压力(真空度)浮动的模式与硬阔叶树材有所不同,自40%以上干燥到6~8%历时43小时,干燥成本较大幅度降低,终含水率均匀,木材变形减轻,产品质量显著提高,设备占地面积小,资金周转加快。

马卓干燥法以其快速、经济、优质、适用为企业界所瞩目,短短几年间已成为四大洲一批企业(包括

大型企业)的主力干燥设备。

趋势与展望

国外实现工业化后,迄今仍在继续发展,机型结构和基准软件亦在不断改进,生产应用持续扩大。据报道,包括德国在内的一些大中小型企业已经或着手以该机取代现有主力干燥设备。

对于当今及今后国内外面临的幼龄材、小径材干燥问题,由于木材软化点可望随介质压力的变动而漂移以及材堆上设置每平方米吨位级的压重,可带有较好的效果;对国内较棘手的枫香、桉类、硬杂等亦可望有较好的效果。

本法既然对橡胶木出现了奇异效果,那么,有可能在一定程度上亦具有解决某些树种(例如泡桐)变色问题的潜力。

结 语

一种学术思想的生命力,并不仅在于其学术意义,更重要的是其实用价值。诚然,木材干燥第四要素及其理论与生产应用还有一个进一步发展、进一步被认识、被接受的过程,与其他有关工业部门(例如机械工业、电机工业、计算机工业)之间、科技界与企业界之间也有一个相互促进和交融的过程。可以预料,这一领域既已打开,国内外均已有涉足,国外并在生产上业已端倪,在九十年代以及二十一世纪将有更大的发展。各树种软件的开发等等大量任务提到了后续工作的面前,中国同行应当作出自己的贡献。据不完全了解,我国尚有相当数量的桉类等优质木材资源至今仍然主要用作薪柴付之一炬,尤其是在老少边山贫地区,急需依靠科技进步和适用技术开发利用。因此,浮压干燥实现工业化具有重大的现实意义。

(责任编辑 袁东岩)

中国林科院木材工业研究所 将组织举办《纤维板》国家标准 培训班

新修订的《纤维板》国家标准将于1991年10月1日起实施。为使新标准能得以顺利贯彻实施,中

国林科院木材工业研究所受林业部科技司委托组织举办《纤维板》国家标准培训班,暂定三期,将分别于9月中下旬、十月中下旬和十一月上旬举行。培训内容以讲解新标准的内容和测试方法为主,附带介绍纤维板生产新技术,每期10天左右。欢迎各有关单位报名参加。

联系人:丁美蓉 电话:2582211-413

通讯地址:北京颐和园后 中国林科院木材工业研究所 100091