

综 述

进口原木检疫热处理技术的分析与展望

丁涛¹, 苗平¹, 彭文文¹, 张学勤², 李瑞法², 杨志光³

(1. 南京林业大学材料科学与工程学院, 江苏南京 210037; 2. 京唐港出入境检验检疫局, 河北唐山 063611;

3. 唐山港集团股份有限公司, 河北唐山 063611)

摘要: 目前进口原木普遍采用溴甲烷熏蒸处理, 由于环境友好性差而日益受到限制。木材热处理技术高效、环保, 有望成为替代性的原木检疫处理技术。通过比较原木热处理的主要技术标准, 分析了汽蒸、干燥和介电加热三种处理工艺的技术特点。提出用汽蒸法处理大径级原木的除害能力广, 技术成熟, 处理周期适中, 应用前景良好。

关键词: 原木; 检疫; 溴甲烷熏蒸; 蒸汽加热; 介电加热; 常规干燥

中图分类号: S763; S781 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654 (2016) 04-0025-04

Review of Heat Treatment Technologies for Log Sterilization

DING Tao¹, MIAO Ping¹, PENG Wen-wen¹, ZHANG Xue-qin², LI Rui-fa², YANG Zhi-guang³

(1. Nanjing Forestry University, College of Materials Science and Technology, Nanjing 210037, Jiangsu, China;

2. Jingtanggang Entry-exit Inspection and Quarantine Bureau of PRC, Tangshan 063611, Hebei, China

3. Tangshan Port Group Co. Ltd., Tangshan 063611, Hebei, China)

Abstract: The fumigation of imported logs with methyl bromide (MB) is a broadly accepted phytosanitary method. It is now facing more and more limitation due to its adverse environmental impacts. Heat treatment is an effective and eco-friendly alternative to MB treatment. In this paper, steam heating, kiln drying and dielectric heating were comparatively analyzed and their characteristics were summarized. The conclusion is that steam heating is a promising treatment technology because it can realize a quick elimination of various pests and fungi for large-diameter logs.

Key words: log; sterilization; methyl bromide fumigation; steam heating; dielectric heating; kiln drying

我国森林资源相对匮乏, 人均森林面积和森林蓄积仅为世界人均水平的 1/4 和 1/7^[1]。随着国民经济的快速发展, 社会生产和消费对林木资源的需求持续增加, 木材资源的对外依存度也不断增加。2009年至2013年, 我国原木进口量由2 885.2万 m³增至4 598.6万 m³, 年均增幅14.8%; 进口额由42.7亿美

元增至95.3亿美元, 年均增幅30.8%^[2]。

随着木材进口量的不断攀升, 外来林木虫害的侵害风险也日益增加, 对本土生态环境构成严重威胁, 2005—2013年我国从进口木材检疫截获各类有害生物391 460种次。以松材线虫病为例, 自1982年发现以来, 已经传播到全国10多个省, 对南方数千万亩松林造成严重威胁^[3]。

针对此问题, 我国已在福建莆田、江苏太仓、辽宁大连和河北唐山四地, 陆续建成并运行海运进境原木检疫处理区, 采用溴甲烷对进境原木进行熏蒸处理。

收稿日期: 2015-09-07; 修改日期: 2016-06-12

基金项目: 国家质量监督检验检疫总局科技计划项目“进口原木检疫热处理技术开发与应用”(2015IK111); 江苏省高校优势学科建设工程资助项目。

作者简介: 丁涛(1977—), 男, 南京林业大学副教授, 博士。

溴甲烷是一种广谱、高效的熏蒸剂,已有70多年的应用历史,是国家质检总局认可的3种原木除害处理方法之一。但溴甲烷也是一种臭氧消耗物质,在《关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔协定书》中,被列为受控物质。虽然协定书中豁免了溴甲烷在检疫处理中的应用,但许多国家和国际标准中,溴甲烷熏蒸均被列为应尽量避免使用的处理方法。

在联合国粮农组织(FAO)植物检疫措施委员会第3届会议上,提出了替代或削减溴甲烷的植物检疫处理的系列建议方案;国际植物保护公约组织(IPPC)最新颁布的《国际植物检疫措施标准 第15号》也强调,只有在没有其他替代方法或替代材料时,才可采用该方法。

我国《海运进口木材检疫处理区要求》中也已明确,处理设施的设计应能实现熏蒸药剂重复利用,且再利用率>50%。但目前溴甲烷的回收利用技术在经济性、成熟性方面都还有待提高,因此,市场对替代性技术的需求迫切。

随着科技进步,目前国内外已提出了多种替代技术,如热处理、浸泡和辐照技术等。从技术的成熟性、经济性和环境友好性来看,热处理法是最具应用前景的一种原木检疫处理方法,已被多个国家认可。

1 原木热处理的技术要求

根据GB/T 20478-2006《植物检疫术语》,植物检疫热处理是“按照官方的技术规范,对商品加热直至该商品在最低温度点维持最短时间的过程”,其中并没有明确规定使用的加热方法,因而汽蒸、干燥、加压浸渍、介电加热等方法都是可接受的加热方式。

表1所列世界主要国家和地区对原木热处理的技术要求。

其中有3项要求木芯温度必须超过70℃。国际通行的木质包装处理标准是,56℃下处理30min,可有效杀死窃蠹科、长蠹科、吉丁科、天牛科、象虫科、白蚁科、粉蠹科、拟天牛科、棘胫小蠹科、树蜂科昆虫以及松材线虫^[4],但对真菌无效。因此,要达到全面的除害效果,需将热处理温度提高到70℃以上^[5]。

表1 原木检疫热处理技术要求

Tab.1 Technical requirements for log heat sterilization

国别	编号	文件名称	木芯温度/℃	保持时间/min
美国	60 FR 27665	Importation of logs, lumber, and other unmanufactured wood articles	71.1	75 干至含水率<20%
欧盟	COUNCIL DIRECTIVE 2000/29/EC	Protective measures against the introduction into the Community of organisms harmful to plants or plant products and against their spread within the Community	56	30 干至含水率<20%
新西兰	--	Import health standard poles, piles, rounds, and sleepers from all countries	70	240
中国	国质检函[2001]202号	我国进境原木除害处理方法及技术要求	71.1	75

表1中,美国和欧盟把木材窑干处理法单列出来,并提出专门的技术要求。这是因为很多干燥基准的温度并不能满足木材热处理除害的要求,但是由于木材干燥周期一般远超热处理的周期,因而同样可以起到杀灭虫害和真菌的效果。如在65℃干燥温度下保持24h以上,也可以杀灭真菌,并且干燥后的木材含水率一般低于20%,可防止真菌的再次侵害。

表1标准中,美国、新西兰和我国的处理要求适用于所有进口原木的树种,而欧盟理事会则根据原木树种、形态和来源,规定了不同的处理方法,如部分悬铃木属(*Platanus* L.)、糖枫(*Acer saccharum* Marsh)木材,需窑干至含水率<20%,对一些针叶材,则需按56℃、30min的基准进行热处理^[6]。要求更为细化,针对性更强。

2 原木热处理技术

2.1 汽蒸处理

目前对原木汽蒸处理已有相对较为全面和深入的研究,美国林产品实验室的研究工作最为全面。其研究表明,可以借助传热模型,较为精确地预测处理不同径级原木所需的加热时间^[7-8]。

树种、规格、处理温度、环境湿度等因素,对处理时间都会产生影响。其中树种的差异对加热时间的影响有限,无需对不同树种设置单独的处理工

艺^[9]。木材规格尺寸中,径级对汽蒸处理时间的影响较大,原木径级的增加,会显著延长汽蒸处理时间。根据研究,方材与原木的加热特点较为相似,两者的汽蒸处理时间可以用相同形式的回归方程计算,而加热时间对原木径级与方材厚度的影响亦相同^[8],因而厚方材的热处理研究成果,对原木热处理具有重要参考价值。

处理环境的湿度对处理时间有显著影响。在饱和蒸汽条件下,热处理所需时间最短,否则原木在被加热的同时,还会伴随内部水分的迁移和蒸发,即干燥过程。干燥使得原木表面温度低于处理环境的温度,降低了原木表面到木芯的温度梯度,使加热时间随干湿球温差的扩大而呈指数级增加。当湿球温度低于原木芯部的目标温度时,由于此时原木表面的温度也低于芯部的目标温度,这种延迟效应尤为显著。

2.2 介电加热

通常以微波为加热介质。微波的超高频(300 MHz~300 GHz)电磁场,可引发木材内部水分子的高速旋转和碰撞而使木材发热升温;同时,生物质的体液也会振动发热,热敏性蛋白质在高温下会发生凝固^[10],使其在内外因素的双重作用下被杀灭。

相比对流加热,热量需由木材表面向内部逐渐传递,微波加热在木材的内、外部同时发生,优点在于时间短,但由于木材本身的介电性很弱,微波加热的升温水平和均匀性,明显受木材含水率、密度分布以及纹理方向的影响,会导致部分区域温度不够高,因而影响灭虫效果^[10]。

微波加热的另一个问题在于加热深度不够,IPPC在其标准中明确规定,微波处理的木材厚度不得 $>20\text{ cm}$ ^[4],故不适用于原木和厚板材的热处理。此外,在进行规模化处理应用时,微波处理的能耗也很大。

部分学者尝试以高频替代微波,以解决加热深度的问题。结果表明,对厚度 $>15\text{ cm}$ 的木材,高频加热比微波加热增快40%,且加热更均匀,但相关研究还停留在试验室阶段^[11]。

2.3 干燥处理

木材的窑干技术,在研究和应用上,经历了长期的发展,已形成了较为完整的理论和技术体系。

但是原木的尺寸相对普通板材要大得多,在干燥过程中,内部的应力水平也高于板材,极易出现开裂等缺陷,破坏木材的质量。因而在实践中该技术主要应用于小径级且易干燥的原木,并在工艺上采用较“软”的干燥基准。

对原木进行剥皮或纵向开槽处理,也可以缩短干燥周期^[12-13],但进口原木只有经过检疫处理后才能进入木材加工区,因此,这些方法不适用于检疫性的干燥处理。

2.4 三类热处理技术比较

图1将汽蒸处理、窑干处理和微波加热3种原木热处理方法进行了粗略的比较。图中各项指标评分从5到1,分别表示好、较好、一般、较差和差。

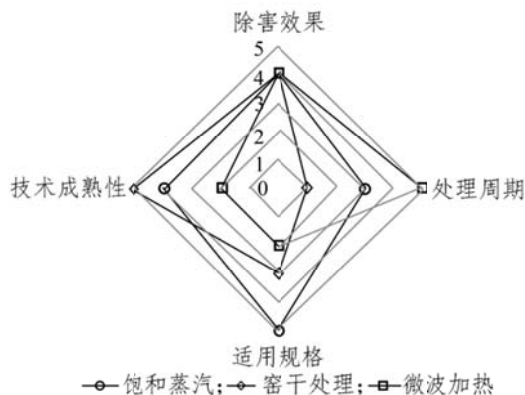


图1 三类主要原木热处理技术的比较

Fig.1 Comparison of heat treatment technologies for logs

1) 除害效果

3种处理方法都是官方认可的原木除害方法,且都具有较好的广谱性。

相比而言,微波法不仅可以提升木材温度,而且可以破坏生物体内部的蛋白质,具有更强的除害机理;蒸汽加热与之相似,也可以使生物体内的蛋白质,特别是酶,发生变性^[14]。但是蒸汽处理后的木材仍然有被真菌感染的可能;微波加热可能因为木材内部水分分布的不均而影响除害效果,而干燥处理则可以避免或控制上述问题。因而3种处理方法的综合除害效果相当。

2) 时效性

微波加热的速度最快,蒸汽处理的时间与溴甲烷处理相当。对于直径为406 mm、初含水率100%,比重为0.45的原木,在起始温度为21℃的热处理窑中,采用98.9℃的饱和蒸汽中加热,理论计算出

原木中心达到 71.1 °C 的时间为 16.6 h^[15], 而进行溴甲烷处理所需的密闭时间同样也是 16 h。考虑到辅助操作和保持时间, 两者的实际操作周期都在 24 h 左右。

微波加热的时间可以分钟计, 蒸汽处理时间按小时计, 而干燥处理法的周期则以天计, 远长于蒸汽处理。

3) 适用规格

木材在饱和蒸汽环境中的干燥过程十分缓慢, 实际情况下, 含水率还会略有增加。这是因为在汽蒸处理开始时, 由于木材表面温度较低, 使部分蒸汽冷凝而被木材吸收^[16]。因此, 汽蒸法可解决处理过程中的应力和开裂问题, 可以用来处理大径级的原木。

微波处理时, 木材的规格影响微波的穿透性; 此外, 在微波加热的过程中, 同样需要关注材料内部应力应变的水平, 处理材料的适用厚度受到限制。

以上 3 种技术中, 窑干处理是木材加工过程中必不可少的一个环节, 在处理工艺和装置方面都已较为成熟, 可以直接应用; 蒸汽热处理技术的工艺和装置与常规蒸汽干燥很相似, 两者都需控制处理窑内的温度、湿度和气体流动, 只是汽蒸窑仅通过喷蒸管对木材进行加热并实现饱和蒸汽环境, 而无需另加散热器。

大尺寸木材的微波加热除害处理技术, 目前还停留在实验室阶段, 其处理工艺和装置还有待进一步研究。

3 建议与展望

我国在原木进口口岸设立检验处理区, 对进口原木进行检疫处理, 不但可以避免有害物种对国内生态环境的破坏, 还可扩大木材来源, 满足市场日益增长的需求。

原木热处理技术具有与溴甲烷熏蒸处理相当的除害能力和处理周期, 但作为物理处理方法, 具有更好的环境友好性, 且工艺和装备技术相对成熟, 具有更好的应用前景。

在几种主要热处理技术中, 微波处理更加高效, 但仅适于处理小规格材, 产业化应用技术还有待进一步开发; 干燥处理技术成熟度高, 但处理周期偏

长, 在处理大径级的原木时, 易造成木材开裂等干燥缺陷; 饱和蒸汽热处理原木, 在除害效果、处理周期、技术成熟性和适用木材规格等各方面, 表现较为均衡, 是 3 种原木热处理技术中, 可应用性最强的一种技术。

然而, 原木汽蒸除害处理目前在国内外还鲜有规模化应用的案例, 在我国实现推广应用, 仍有一系列的关键技术问题需要解决:

1) 探索和制定针对我国主要进口原木的树种、规格和含水率水平等相应的热处理基准。目前, 已与我国签定协议到岸进行除害处理的木材主要有: 俄罗斯材、美国阿拉斯加材和加拿大 BC 省木材, 研究重点是确定原木木芯达到目标温度时所需的加热时间。

虽然根据热传导公式已归纳了多种原木蒸汽加热所需的理论时间, 但是该公式的应用有一系列前提条件, 即木材必须在饱和蒸汽条件下进行处理, 木材表面温度必须立即达到蒸汽温度, 木材各个面都必须暴露在蒸汽中, 这些条件在规模化处理时均不具备, 导致实际处理时间和计算值存在偏差, 其准确性尚需通过试验进行检验。

工艺研究还需评估原木的堆垛方式、窑内温度分布和气流循环等因素, 对原木处理时间和质量的影响; 还需总结适用于不同树种和规格原木的最优处理工艺。

2) 以往的相关研究多侧重于实木板材, 而少有直接针对原木的试验探索。因此, 还需要研究汽蒸处理对木材重量、材色和强度等指标的影响, 避免热处理对原木质量造成不利影响。在汽蒸处理过程中, 木材重量会因处理条件、木材初含水率和化学组分等因素的不同而发生变化。高温和蒸汽条件易诱发木材内部化学组分的变化和降解, 引起木材材色和力学强度的变化。

3) 研究和开发适用于规模化应用的原木汽蒸处理装置。原木在长度和厚度规格上一般都远大于其他木材产品, 其形态也具有较大差异性和不规则性, 因而需对处理、监控、装卸和转运装置进行有针对性的设计和优化, 保证热处理的均匀性、准确性和经济性。

(下转第 32 页)

2) 本试验所取红木构件直角榫试样的配合关系,与 QB/T 4452-2013《木家具 极限与配合》标准附录 C 规定存在差异,现行标准没有考虑木材纹理特性和后续加工工序对榫卯尺寸的影响,应对不同组装形式(拆装式,固定式等)和不同特性的榫卯配合进行具体分析。如拆装式直角榫功能要求满足组装时自由拆卸,故三维配合要求与固定式直角榫配合关系不同。

3) 建议在原有标准基础上,根据木材的特性和榫卯组装工艺特点,制定榫卯三维方向的配合关系和配合公差标准;从最终成品组装的配合要求出发,考虑后续加工工序对榫头尺寸的影响;在现有加工和组装工艺条件下,寻找榫卯最佳配比关系和配合公差,并进行规范化,使其既满足力学强度要求,又能进行批量生产。

参考文献:

- [1] 李敏,吴智慧,毛轶超. 现代红木家具榫卯形式的研究[J]. 包装工程, 2015, 36 (04): 88-92.
- [2] 李吉庆,张齐生,陈孔辉. 竹集成材家具木圆榫接合强度的研究[J]. 西南林业大学学报, 2011, 31 (6): 74-77.
- [3] 胡传双,李重根,李鹏等. 非胶合条件下松木直角榫卯接合的抗拉力[J]. 木材工业, 2007, 21 (4): 21-23.
- [4] 薛坤,许柏鸣. 传统家具的拆装结构研究与现代设计应用[J]. 包装工程, 2012 (06): 57-60.
- [5] 王月磊. 从文化多元性的角度探讨中国传统家具的传承与发展[J]. 包装工程, 2011 (02): 127-130.
- [6] 吴智慧. 木质家具制造工艺学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2004: 41-46.
- [7] 黄云清. 公差配合与测量技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2012: 6-12.
- [8] 方坤凡. 公差与配合实用手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006: 2-6.
- [9] 张立,张亚池,张帆. 实木框架家具力学结构分析方法[J]. 家具, 2010 (3): 90-91.
- [10] 钟世禄,关惠元. 椭圆榫过盈配合量与木材密度的关系[J]. 林业科技开发, 2007, 21 (2): 57-59.

(责任编辑 向琴)

(上接第28页)

参考文献:

- [1] 国家林业局. 第八次全国森林资源清查主要结果(2009—2013年)[R/OL]. 北京: 国家林业局, 2014. <http://www.forestry.gov.cn/main/65/content-659670.html>.
- [2] 联合国粮食及农业组织. 粮农组织林产品年鉴 2013[M]. 罗马: 联合国粮食及农业组织, 2015: 6.
- [3] 周奕景,吕飞,顾忠盈,等. 我国口岸林木病害检疫现状分析与建议[J]. 植物检疫, 2015, 29(2): 72-74.
- [4] ISPM15, Regulation of Wood Packaging Material in International Trade (2009)[S].
- [5] USDA APHIS. 7 CFR Parts 300 and 319 [Docket No. 91-074-6] RIN 0579-AA47, Importation of logs, lumber, and other un-manufactured wood articles[J]. Rules and regulations, Federal register, 1995, 60(101): 27666-27667.
- [6] European Council. COUNCIL DIRECTIVE 2000/29/EC of 8 May 2000 on protective measures against the introduction into the Community of organisms harmful to plants or plant products and against their spread within the Community[J]. Official Journal of the European Communities, No. L169: 40-41.
- [7] Simpson W, Wang X P, Verrill S. Heat Sterilization Time of Ponderosa Pine and Douglas-Fir Boards and Square Timbers[R]. Madison: Forest Products Laboratory, USDA, 2003.
- [8] Simpson W. Estimating heating times of wood boards, square timbers, and logs in saturated steam by multiple regression[J]. Forest Products Journal, 2006, 56(7/8):26-28.

- [9] Simpson W, Wang X P, Forsman J, et al. Heat Sterilization Times of Five Hardwood Species[R]. Madison: Forest Products Laboratory, USDA, 2005.
- [10] Nzokou P, Tourtellot S, Kamdem D P. Kiln and microwave heat treatment of logs infested by the emerald ash borer (*Agrilus planipennis Fairmaire*) (Coleoptera: Buprestidae)[J]. Forest Products Journal, 2008, 58(7/8):68-72.
- [11] Dubey M K, Janowiak J, Mack R, et al. Comparative study of radio-frequency and microwave heating for phytosanitary treatment of wood[J]. European Journal of Wood and Wood Products, 2016, 74(4): 491-500.
- [12] Cai J, Ding T, Li T, et al. An investigation of drying technologies for small Masson pine logs[J]. Forest Products Journal, 2012, 62(5): 383-387.
- [13] Defo M, Brunette G A. A log drying model and its application to the simulation of the impact of bark loss[J]. Forest Products Journal, 2006, 56(5): 71-77.
- [14] USDA APHIS. An efficacy review of control measures for potential pests of imported Soviet timber[R]. Washington: Animal and Plant Health Inspection Service, USDA, 1991: 17-18.
- [15] Simpson W. Heating times for round and rectangular cross sections of wood in steam[R]. Madison: Forest Products Laboratory, USDA, 2001.
- [16] MacLean J D. Average temperature and moisture-reduction calculation for steamed round southern-pine timbers[C]. Memphis: American Wood-Preservers' Association, 1936.

(责任编辑 姜征、劳万里)

投稿、订阅请登录: mcgy.criwi.org.cn 微信公众号: [mucaigongye](https://www.mucaigongye.com)