



郭明辉 赵西平 编著
李 坚 主 审

小径木材的干燥学特性 与高效利用技术



东北林业大学出版社

小径木材的干燥学特性 与高效利用技术

郭明辉 赵西平 编著
李 坚 主审

东北林业大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

小径木材的干燥学特性与高效利用技术/郭明辉, 赵西平编著. —哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2007.1

ISBN 978-7-81076-959-4

I. 小… II. ①郭… ②赵… III. ①小径木-木材干燥②小径木-资源利用 IV. S781.71 TS653.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 008727 号

责任编辑: 任 俐

封面设计: 彭 宇



NEFUP

小径木材的干燥学特性与高效利用技术

Xiaojing Mucai De Ganzaoxue Texing Yu Gaoxiao Liyong Jishu

郭明辉 赵西平 编著

李 坚 主审

东北林业大学出版社出版发行

(哈尔滨市和兴路 26 号)

黑龙江省教育厅印刷厂印装

开本 850 × 1168 1/32 印张 7.75 字数 199 千字

2007 年 1 月第 1 版.. 2007 年 1 月第 1 次印刷

印数 1—1 000 册

ISBN 978-7-81076-959-4

S·461 定价: 25.00 元



作者简介

郭明辉，1964年10月生，现为东北林业大学材料科学与工程学院教授，博士生导师，中国林学会木材科学分会理事。获“第七届中国林业青年科技奖”的荣誉称号，主讲的本科生专业基础课程“木材学”获得国家级、省级精品课程的荣誉称号。

主持完成了霍英东基金、中国博士后基金、黑龙江省重点科技攻关项目等十多项课题的研究工作。先后获得国家科技进步二等奖1项、中国高校科学技术一等奖1项、黑龙江省自然科学一等奖1项、黑龙江省科技进步二等奖2项；获国家专利1项。发表学术论文60余篇，出版专著1部，参编著作4部。现主持国家自然科学基金项目2项、教育部博士点基金、黑龙江省重点攻关项目等多项课题的研究工作。

序

随着人类社会的发展和林业科技的进步，全球范围内的木材加工利用日趋工业化、产业化、现代化。与之相矛盾的是，由于长年高强度大面积的采伐，木材资源在世界范围内破坏严重，优质材、大径材接近枯竭，生态环境保护的呼声不断高涨，各木材出口国都在逐年减少甚至禁止木材出口，木材市场出现了供求紧张的局面，与此同时，木材原料中小径木材的比例却在逐年上升。为了维护生态平衡，维持木材原料供应，许多国家实施大面积种植速生人工林政策，经过多年培育，有些已经成林，但是多以中小径木材为主，每年还有大量小径级的抚育间伐材下山。人工林速生材、小径木材、次生材、间伐材成为木材工业原料的主体已是必然趋势。

但是，由于小径木材具有径级小、材质差、易变形等缺陷，小径木材的干燥问题一直是阻碍其充分利用的关键技术问题。盲目照抄照搬大径级成熟材的干燥基准、干燥工艺，不能满足木材干燥企业的需要，造成了大量的人力、物力资源的浪费，因此迫切需要一本关于小径木材干燥特性及其后期加工利用方面的专业性指导文献，郭明辉教授、赵西平博士所编著的《小径木材的干燥学特性与高效利用技术》一书弥补了这一缺憾。作者孜孜以求，希希以冀，根据近年来在小径木材干燥学特性方面研究取得的成果及对小径木材高效利用方面的总结，并吸收国内外学者在该领域的最新研究成果，完成此书。

由于小径木材的干燥特性与高效利用研究属于木材科学研究领域的前沿，尽管国、内外学者对此展开了许多研究，但是在该方面的研究尚缺乏系统性。《小径木材的干燥学特性与高效利用

技术》一书从小径木材的生物学特性入手，通过研究小径木材的性质以及小径木材干燥过程中含水率、干燥应力的发展变化规律，探讨了影响小径木材干燥质量的因素，确定了小径木材的干燥基准，并提出了科学合理的小径木材干燥工艺，同时囊括了现有成熟的各项小径木材高效加工利用技术。该书为开发利用小径木材资源提供科学依据，具有重要的科学价值和实际指导意义。

该书融小径木材的性质、干燥学特性与高效利用为一体，基础理论与应用技术相结合，具有明显的系统性、综合性、科学性、新颖性、实用性，具有较高的应用价值和理论水平。本书将为建设节约型社会，发展循环经济，做出一定的贡献。

李 坚

2007年4月

前 言

随着经济的发展和人口的增加，社会对林产品的需求不断增长。然而，由于长年高强度大面积的采伐，木材资源在世界范围内破坏严重，优质材、大径材接近枯竭，中、小径材数量猛增；大面积种植的速生人工林，经过多年培育，有些已经成林，同样是以中小径为主，每年还有大量小径级的抚育间伐材下山。人工林速生材、小径木材、次生材、间伐材成为木材工业原料的主体已是必然趋势。但是，由于小径木材具有材质差、难干易裂、易变形等缺陷，一直没有得到充分利用。为此，国、内外学者展开了大量的研究，在小径木材的干燥、加工利用方面取得了丰硕的成果，甚至一些技术已经投入生产并取得了经济效益。由于小径木材的干燥特性与高效利用研究较新，属于木材科学研究领域的前沿，至今尚未看到这方面成型的研究著作，因而笔者根据近年来从事小径木材的干燥特性及加工利用方面的研究总结，同对汇集了国内外学者在该领域的最新研究成果编著了本书。只希望本书的出版能够为开发利用丰富的小径木材资源尽微薄之力，为小径木材的合理干燥及科学加工提供参考。

全书共7章，第1章分析了国内外小径木材资源的现状，第2章阐述了小径木材的生物学特性，第3章介绍了小径木材的干燥方法，第4章简要介绍了小径木材的干燥设备，第5章分别阐述了小径原木、小径木锯材等的干燥特性，第6章总结了国内外关于小径木材的层积、指接、压缩整形等各种高效利用技术，第7章介绍了小径木材在生产卫生筷、铅笔杆、木炭等其他方面的应用。

本书是在国家自然科学基金、黑龙江省攻关项目及东北林业

大学优秀图书出版基金资助下出版的。书中的主要内容是本书第一作者郭明辉在其所主持的国家自然科学基金《基于木材构造特性建立其干燥过程中水分的动态分布模型》(批准号 30671642)和黑龙江省攻关项目《阔叶小径锯材干燥工艺及其新型保护利用技术的研究》(批准号 GB02B603)的研究过程中取得的研究成果。本书的主审李坚教授对此书提出了许多宝贵的修改意见,在此表示衷心的感谢!同时对东北林业大学出版社的大力支持表示由衷的谢忱!

本书可为小径木材的干燥及加工生产提供理论指导;也可以作为高等院校、科学研究所的教学、科研的参考资料;同时,也可供企业、事业单位的生产技术人员、管理人员使用。

在编写这本书的过程中,笔者援引和参考了许多生物木材学、木材干燥学、木材加工工艺学、木工机械学以及其他学科方面的成果,在此向相关作者表示感谢。由于编写时间仓促及笔者水平的限制,本书难免存在许多不足和疏漏之处,敬请广大读者及同仁不吝赐教。

编著者

2007年1月

目 录

| | | |
|-----|------------------------|---------|
| 1 | 小径木材的资源现状 | (1) |
| 1.1 | 国外小径木材资源现状 | (1) |
| 1.2 | 国内小径木材资源现状 | (3) |
| 2 | 小径木材的生物学特性 | (7) |
| 2.1 | 小径木材的树木生长特点 | (7) |
| 2.2 | 小径木材的木材特性 | (11) |
| 3 | 小径木材的干燥方法 | (25) |
| 3.1 | 大气干燥 | (25) |
| 3.2 | 人工干燥 | (26) |
| 3.3 | 干燥方法的选用 | (30) |
| 4 | 小径木材的干燥设备 | (33) |
| 4.1 | 常见的木材干燥设备 | (33) |
| 4.2 | 木材干燥室的结构与设备 | (35) |
| 4.3 | 选购干燥室的步骤 | (36) |
| 4.4 | 选购干燥室注意事项 | (36) |
| 4.5 | 干燥设备好坏的评价 | (38) |
| 4.6 | 小径木材的专用干燥设备 | (38) |
| 5 | 小径木材的干燥学特性 | (41) |
| 5.1 | 小径原木的干燥学特性 | (41) |
| 5.2 | 小径木锯材的干燥学特性 | (54) |
| 5.3 | 小径木三角剖分材的干燥学特性 | (110) |
| 5.4 | 小径木材截片的干燥学特性 | (118) |
| 5.5 | 小径木材薄板的干燥学特性 | (128) |
| 5.6 | 干燥过程中小径木材微观构造的变化 | (132) |

| | |
|--|-------|
| 6 小径木材高效利用技术 | (136) |
| 6.1 小径原木直接利用 | (136) |
| 6.2 小径木材制材、削片 | (150) |
| 6.3 小径木材制造单板 | (162) |
| 6.4 小径木材制造装饰材料 | (169) |
| 6.5 小径木材制造大幅面承重材料 | (190) |
| 6.6 小径原木制造压缩木 | (212) |
| 7 小径木材的其他应用 | (218) |
| 7.1 小径木材加工卫生筷和铅笔杆 | (218) |
| 7.2 小径木材生产木炭、活性炭技术 | (223) |
| 附表 1 九种小径木材板材常规室干基准 | (228) |
| 附表 2 30 mm 厚小径木锯材间歇加热常规室干基准 | (231) |
| 附表 3 小径木三角剖分材的室干基准 | (233) |
| 参考文献 | (235) |

1 小径木材的资源现状

随着经济的发展和人口的增加, 社会对林产品的需求不断增长, 木材工业的进一步发展正面临着森林资源锐减、环境保护压力增加、社会需求持续增长等重大问题的严重挑战。在世界范围内, 树木的径级及木材质量在逐年下降, 主要原因就是木材原料中包含了许多的小径木材, 而且这已成为一种趋势 (Jean, 2004)。目前, 还没有关于小径木材的准确概念, 美国的 Wolfe 等将小径木材定义为胸径小于 22.86 cm (1 英寸 = 2.54cm) 的树木, 其中 10.16 ~ 20.32 cm 的小径木材最多 (Wolfe et al, 1999)。国内通常所说的小径木材是指通过抚育和主伐方式而获得的、直径大于 3 cm 而小于 18 cm 的小径原木、枝丫和梢头木等, 径级在 8 ~ 16 cm 的原木或枝丫材占主要部分。

1.1 国外小径木材资源现状

据国际林联会议资料报道, 1986 年世界木材总采伐量为 32 亿 m^3 。20 世纪末, 世界工业用材的需求量增加 1 倍。然而, 世界森林资源, 特别是非洲、亚洲和中南美洲的热带森林破坏严重, 过去大量出口木材的一些非洲国家已逐渐变成了进口国。2000 年以后, 东南亚热带地区木材出口能力也在下降。北美和俄罗斯作为世界最重要的针叶树种供应地, 有 2/3 的森林资源也面临数量和质量的逐步下降。

从世界各国森林资源状况来看, 天然优质林资源在大幅度减少, 天然林的损失率明显下降, 例如美国天然林损失率在 45%, 中国损失率在 60% 以上, 而最高的波多黎哥损失率达 99% (丁

廷文, 2000)。木材工业为适应原料结构的转变, 对资源的利用就要从传统的天然林为主, 转变为中、小径级及间伐材为主, 今后人工速生材、小径木材、次生材将是木材工业原料的主体。据联合国统计, 全世界人工林仅杨树人工林面积就已达到 268 万 hm^2 。意大利已达到 13.4 万 hm^2 , 年产木材达 300 万 m^3 , 占其木材总供应量的一半以上。这类速生材的轮伐期通常仅需 10~15 年, 可利用径级大多都在 300 mm 以下, 发展营造这类速生小径木材已成为世界各国缩小日益加剧的木材供需矛盾行之有效的途径。

美国林业部的一项林业调查表明: 一方面木材的径级及质量在逐年下降, 例如制造枕梁所使用的红栎木, 其原材料中的 84% 是小径木材 (Jose, 2000); 另一方面, 小径级树木的严重过剩威胁到了森林系统的健康, 过剩的小径级树木最容易受到病虫害的袭击, 而且容易引起火灾 (见图 1-1)。例如 2000~2002 年, 美国因此造成的森林火灾面积超过 28 万 hm^2 (Susan, 2003)。对美国 5 亿英亩 (1 英亩 = 0.04 hm^2) 林区的调查表明: 小径木材和灌木正在以平均 6.636 m^3/s 的速度增加 (Sebelius, 2002), 2004 年 6 月, 美国总统布什签发了一项林业工作决议, 要求在 1 年内迅速清理 8 150 英亩谗仕兰德 (Ashland) 森林中的小径木材和枝丫材, 恢复森林原有生态, 保护成熟林生长, 减少火灾的发生。通常以焚烧的方法减少小径级树木的比例, 但是这种方法由于污染环境而受到限制, 采用机械清除的方法又消耗大量的资金, 而且, 在采伐或间伐工作中, 许多这样的低价值木材因为工厂没有专门的设备处理它, 而任其生长或被随意丢在地上, 增加了森林的高密度火险。由此可见, 开发小径木材的应用途径, 显然是缓解小径木材资源过剩的一种行之有效的方法 (Wolfe, 2000; Chris et al, 2004)。

在白俄罗斯, 人工林基本上是由幼林 (约占 45%) 和中龄林 (约占 40%) 构成, 抚育采伐下来直径为 8~16 cm 的小径木



图 1-1 小径木材严重过剩引发大面积森林火灾

材进入加工工业的比例显著增加，此外，在原条造材时，从梢部截下一些小径木材（占其总材积的 10% ~ 15%）也开始用于生产，但是由于技术限制，小径木材用于工业加工尚还不够（梅兴荣，1995）。

1.2 国内小径木材资源现状

我国是贫林国家，而且人口众多，技术水平落后，长期处于简单利用木材资源的粗伐状态，以致大径级天然林资源已近枯竭。近 10 年来，我国木材蓄积量减少 28%，成过熟林面积减少了近 50%，1996 年我国木材缺口为 250 万 m^3 ，2000 年木材短缺量达到近 5 000 万 m^3 。我国可采伐利用的成、过熟林只有 14 ~ 15 亿 m^3 ，按目前的消耗水平只能维持 5 ~ 6 年，优质大径级木材断档局面难以避免。

正是由于天然林资源的严重萎缩和供需矛盾的加剧，为小径木材的充分利用创造了条件。据黑龙江森工部门所做的资源调查表明，在国有林区，所产商品材的直径多在 140 ~ 280 mm。增长的需求迫使人们不得不在无大径材可采的情况下去大量砍伐小径木材，以致使小径木材成了木材加工的主材。双丰局根据材种实际，将 4 ~ 11 cm 的杂木杆、针叶小径木材作为主销产品，仅

2004年就销售小径木材9 000 m³。目前,小径木材的售价已达到每立方米450元。用于木片加工的生产原料主要是间伐的小径木材,小头直径5 cm以上,长度为2~3 m。弯度不超过小头直径的2倍、无严重的病虫害的小径木材,每立方米的价格达330元。

全国森林资源统计表明:我国小径木材约有1 041 802万株,占总株数的57.43%,其中针叶树小径木材占42.14%,阔叶树小径木材占57.86%(资源统计,1989~1993)。近年来,由于成过熟林的过量采伐,中、幼龄林蓄积量在森林资源总蓄积量中的比重仍在逐步上升。据湖南省某地区的森林资源调查资料所公布的数据,20世纪90年代初,该地区中、幼龄林蓄积量已占总量的90%,成熟林蓄积量仅占6.7%,尽管目前采取了森林保护及植树造林等措施,但是,按10年一个龄级期推算,到了2010年,成熟林蓄积也只能达到29%,这种状况使主伐大径材产量急剧下降。该地区商品材的90%是直径在8~12 cm的间伐小径木材及采伐近熟林而得的中径材(14~24 cm)。这种资源状况在南方有一定的代表性。又如国家木材主产区的伊春林区,小径木材比重也达11.6%,年产直径12~16 cm的小径木材10万m³。而黑龙江省年产小径木材达400万m³,仅鹤北林业局小径木材的间伐年产量就达210万m³。由于小径木材径级小,出材率低,不能满足传统的工业要求,其应用受到很大限制,如湖南某地区,年积压小径木材量达4万m³,占商品材产量的30%(娄四维,1994)。从1995年的森林资源统计表明,大兴安岭森工集团的17个森工局和呼盟、兴安盟的岭南8局用材林中,中幼龄林合计占林地面积的57.43%,占蓄积量的38.7%,中幼龄林占有相当大的比重。这一比重并将随着原始林的逐渐消失和人工林的扩展而增大。目前,该地区小径原木年产量已达72.9万m³,其中大兴安岭森工集团为41.4万m³,呼盟产12.4万m³,兴安盟产3.4万m³。以平均350元/m³计,产值可达2.55亿元。

东北林业大学的许民曾就 GB11716-1995, GB/T41813-1995 中检尺长 2~6 m, 检尺径 18~28 cm 的针、阔叶锯切用较小径级原木进行了更为详细的调查。发现此类小径级原木在我国各林区数量较多, 目前, 我国森林面积达 1.34 亿 m^2 , 其中幼龄林达 7 000 多万 m^2 , 仅伊春林区每年针叶材小径原木产量就达 18 万 m^3 , 阔叶材 8.8 万 m^3 , 其中 12~16 cm 径级的针叶材约 10 万 m^3 , 阔叶材约 5 万 m^3 ; 又据湖南省某地区的森林资源调查资料所公布的数据, 20 世纪 90 年代初, 此地区的中、幼木林蓄积量已占总量的 90%。而且, 在我国各林区小径级原木中红松、樟子松、蒙古栎、水曲柳、色木、榆木等珍贵树种占相当比例, 这些珍贵树种可生产高附加值的出口材、特殊纹理、特种用途的特种用材(许民, 2000)。

价廉、量大的天然林原木为原料的时代已经过去, 必须越来越多地依靠人工林解决对工业用材的需求问题。新中国成立后, 我国大面积种植速生人工林, 经过多年培育, 有些已经成林。我国 20 世纪 70 年代就已营造杨树人工林, 总面积达 2 000 多万亩 (1 亩 = 0.067 hm^2), 面积位居世界之首, 但培育效果较好的仅有 400 多万亩。近年来, 我国进一步加强对速生丰产林的栽培和管理, 林业局已做出总体发展设想。计划用 30 年时间, 在全国建设杨树速生丰产林基地 3 亿亩。20 世纪末营造 1 亿亩, 到 2000 年, 年产木材 2 500 万 m^3 , 目前, 除了湖北、湖南等省外, 我国华北、中原一些省人工营造的杨树、泡桐树等也已相继成材。情况表明, 一个广泛利用人工速生材的加工时期正在到来。速生材正在成为木材工业的重要资源, 但是以中小径材为主, 每年还有大量抚育间伐材下山, 小径木材的比例逐年增大。目前, 有些林业局如黑龙江省的林口林业局, 每年的小径木材量就接近总产量的 2/3。有很多林业局为了降低原木生产成本, 将山上的小径木材就地简单加工, 或丢在山上, 并制定了小径木材不下山的政策, 有很大部分小径木材没能发挥真正的使用价值, 形成了

资源浪费。为此，必须不断地开发新产品、新工艺。开发的一个主要方向是提高原料的利用效率、扩大原料利用范围，用质量相对较差的人工林小径木材、间伐材、竹材、农作物秸秆和加工剩余物为原料，生产更大规格、性质更均匀的人造板、方材，供工程设计使用。这种资源变化引起的发展不可避免地引起技术和产品的更新和替代。小径木材森林资源以往只是作为坑木、檀条、烧柴等原始形式利用，其使用价值低廉，浪费严重。随着大径级材的锐减，如何充分开发和高效利用小径木材资源，是当前国内外学者普遍关注的问题（李远陵，1999）。

随着社会经济发展对森林生态与环保功能要求的日益提高，特别是资源危机的困扰，林业经营活动必须以有利于保护、恢复、发展森林资源为前提。科学研究和生产实践证明，中幼龄林的抚育采伐是实现森林集约化经营的重要手段。进行适度的抚育采伐，可调整和改善光照、水分、土壤养分等森林环境要求，使保留林木的生长率提高，并提高林分质量，既可获得大量小径木材，又缩短了森林的轮伐期和投资收益期。合理组织小径木材的生产和利用，不仅可为社会创造巨大的经济价值，还能有效地保护森林资源、缓解市场供求矛盾，提供大量就业机会，繁荣林区经济，这是一项具有战略意义的工程。

2 小径木材的生物学特性

2.1 小径木材的树木生长特点

小径木材主要包括成过熟的小径树、幼龄小径树以及足够粗的一些枝桠材等。

2.1.1 成过熟的小径树

这类小径木材中的其中一类是天然林或人工林中的中庸木或被压木。树冠大小不定，通常较小；顶部形状为平顶；活力不良；严重被压，所以造成树木成过熟后径级比较小。随着天然林的限制采伐这类小径木材在加工利用的全部小径木材资源中占有比例较小。另一类则是由于在暂时不适宜种树的干旱的黄土高原和盐碱化的草原上强行植树造林，勉强将树栽活，多年后形成的所谓的“小老头树”（韩蕊莲，1996）（见图2-1）。



西北15年生人工杨树林

内蒙古草原10年生人工林

图2-1 长不大的“小老头树”