



东北主要树种落叶松、桦木和柞木的胶接性能

DONGBEI ZHUYAO SHUZHONG LUOYESONG HUAMU HE ZUOMU DE JIAOJIE XINGNENG

程瑞香 顾继友 编著

东北林业大学出版社

东北主要树种落叶松、 桦木和柞木的胶接性能

程瑞香 顾继友 编著

东北林业大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

东北主要树种落叶松、桦木和柞木的胶接性能/程瑞香, 顾继友编著. —
哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2005.9

ISBN 7-81076-789-5

I. 东… II. ①程… ②顾… III. ①落叶松-胶合(木材)-性能-东北地区 ②桦木属-胶合(木材)-性能-东北地区 ③柞树-胶合(木材)-性能-东北地区 IV. S781.65

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 107266 号

责任编辑: 戴 千

封面设计: 彭 宇



NEFUP

东北主要树种落叶松、桦木和柞木的胶接性能

Dongbei Zhuyao Shuzhong Luoyesong Huamu he Zuomu de Jiaojie Xingneng

程瑞香 顾继友 编著

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 4.75 字数 119 千字

2005 年 9 月第 1 版 2005 年 9 月第 1 次印刷

印数 1—1 000 册

ISBN 7-81076-789-5

S·433 定价: 15.00 元



作者简介

程瑞香，1968年8月生，东北林业大学材料科学与工程学院副教授，博士后。1987年考入东北林业大学林产工业系攻读木材加工专业，1991年攻读硕士研究生，1994年获硕士学位后留在东北林业大学材料科学与工程学院任教，一直从事木材科学与技术的教学和科研工作。2002年6月于东北林业大学获得博士学位。2002年9月进入南京林业大学林业工程博士后流动站，2004年6月出站。

主编木材加工专业本科教材《试验设计与数据处理》，参编《木片生产经营手册》，先后发表学术论文20余篇。主持中国博士后科学基金“水性高分子异氰酸酯(API)胶粘剂与竹材胶接机理的研究”，主持东北林业大学优秀青年教师创新项目“利用小径木制造地热地板基材的研究”，先后参加国家“十五”科技攻关子课题“竹单板贴面强化复合地板及竹炭的制备和应用技术研究”、黑龙江省“十五”攻关项目“森林资源结构优化及抚育间伐材与速生小径材高效利用技术研究”；横向课题“竹木复合集装箱底板结构实验室试验研究”；浙江省重大科技项目“速生林木与竹类资源精深加工及高效利用共性关键技术研究及产品开发”；黑龙江省攻关项目“预油漆装纸生产工艺技术与开发”等多项科研项目。曾获黑龙江省科技进步二等奖、东北林业大学教学质量优秀奖等奖励。



作者简介

顾继友，1955年9月27日出生，现任材料科学与工程学院副院长、教授、博士生导师。创办了高分子材料与工程专业，生物材料工程学科创始人与学科带头人、国家林业局跨世纪青年学术带头人，全国木材胶粘剂及人造板表面加工研究会副会长，中国林产工业协会理事，《林业科学》编委，享受政府津贴。

1982年1月毕业于东北林学院林产工业系木材机械加工专业并获得工学学士学位，毕业后留校工作，1988年于东北林业大学获工学硕士学位，1996年10在日本九州大学获得农学博士学位。曾先后到日本九州大学和日本东京大学做访问研究员。

主持国家自然科学基金“异氰酸酯与木质基材料胶接反应机理研究”和“低甲醛释放脲醛树脂固化机理研究”、国家“九五”科技攻关专题“人造板胶粘剂制造技术研究”，国家归国留学人员启动基金项目“三聚氰胺改性脲醛树脂胶粘剂研究”、黑龙江省“十五”攻关重点项目“森林抚育间伐材与速生小径材高效利用技术研究”等多项，曾获国家科技进步三等奖、林业部科技进步一等奖、黑龙江省科技进步二等奖和三等奖、伊春市科技进步二等奖、教育部“高等学校优秀骨干教师”等多项奖励。参与完成科研项目20多项，在国内外发表学术论文90余篇，其中8篇论文为SCI所收录。主编《胶粘剂与涂料》，《胶接理论与胶接基础》。

多年来，致力于低毒性木材加工用脲醛树脂胶粘剂的科研开发与科技成果推广工作。开发的系列低毒性脲醛树脂胶粘剂达到国际先进水平，在国内累计推广70多家，为企业带来巨大的经济效益，为国家带来显著的社会环境效益，还开发出系列木材加工用异氰酸酯胶粘剂。

前 言

落叶松、桦木和柞木是东北林区的主要树种，也是重要的木材加工用材，广泛用于建筑、家具制造、木制品生产和室内装修等行业。随着可持续发展战略的实施，以价廉、量大的天然林原木为原料的时代已经过去，传统的天然优质大径级木材大多被间伐材、抚育材、低质材等所代替，并已成为一种长期的趋势。这一木材原料在数量和结构上的变化决定了森工企业只能走“资源节约型”的木材高效利用的道路。

胶接木材是实现木材高效利用的一种有效手段，因此对胶接木材的研究无疑对木材工业的发展具有重要的推动作用。开展胶接方法与木材结构强度的关系、胶接木材的性能与木材自身性能的关系、胶接木材的构成原理、胶接木材结构特性与使用性能关系等方面的研究可以为胶接木材的开发利用奠定理论基础。木材胶接性能是木材胶接技术的基础性问题，它对木质基胶接材料的制造具有重要的指导作用。

本书探讨了胶接木材的性能与木材自身性能的关系，针对API这种新型胶粘剂，对东北主要树种落叶松、桦木和柞木的胶接性能进行了研究，特别探讨了落叶松、桦木和柞木的剖切方向对胶接性能的影响，以便和小径木的制材技术联合起来，根据不同的应用场合，决定采用径切板还是弦切板胶合试件，充分发挥三种木材自身的性能。同时对产生这些现象的原因进行了分析，尝试性地采用剪切强度率对胶合强度试件发展木材本身强度进行了评判，对影响弦径向胶接强度不同的因素进行了分析。这些研究对木材胶接理论的完善做了一些有益的工作，同时对落叶松、

桦木和柞木的集成材生产有一定的指导意义。书中介绍了在木材胶接机理研究中常采用的主要检测方法，并对水性高分子异氰酸酯胶粘剂与木材的胶接机理进行了研究，旨在为木材胶接理论的完善做一些有益的工作。

编 者
2005. 5

目 录

1 落叶松、桦木和柞木木材资源概况及利用状况 ·····	(1)
1.1 国内木材供给紧缺的状况·····	(2)
1.2 世界缓解木材供需紧张的方法·····	(2)
1.3 东北主要树种落叶松、桦木和柞木木材资源概况及 利用状况·····	(3)
1.4 水性高分子异氰酸酯胶粘剂 (API 胶粘剂) ·····	(6)
2 落叶松、桦木和柞木三种木材的解剖特点和材性 ·····	(10)
2.1 落叶松·····	(10)
2.2 桦木·····	(14)
2.3 柞木·····	(15)
2.4 落叶松、桦木和柞木的化学组成·····	(18)
3 落叶松、桦木和柞木木材切面的剖切方向对胶接性能的影响 ·····	(20)
3.1 国内外对木材胶接性能的研究·····	(20)
3.2 国内外对影响胶接性能相关因子的研究·····	(21)
3.3 试验材料·····	(23)
3.4 试验方法与设备·····	(27)
3.5 落叶松、桦木和柞木木材切面的剖切方向对胶接 性能的影响·····	(28)
3.6 影响落叶松、桦木和柞木弦径面胶合试件压缩 剪切强度差异的主要原因·····	(35)
4 落叶松、桦木和柞木集成材的胶接性能 ·····	(53)
4.1 压缩剪切强度·····	(54)

4.2	剥离率	(57)
5	三种木材表面特性及落叶松表面改性的研究	(60)
5.1	落叶松、桦木和柞木木材表面润湿性的研究	(60)
5.2	落叶松、桦木和柞木的红外吸收光谱	(69)
5.3	落叶松木材表面的钝化	(74)
5.4	国内外改善难胶合材胶接性能的方法	(79)
5.5	落叶松木材的表面处理	(83)
6	胶接机理研究常采用的主要检测分析方法	(90)
6.1	扫描电镜 (SEM)	(90)
6.2	化学分析光电子能谱 (ESCA)	(93)
6.3	傅立叶变换红外光谱 (FTIR)	(101)
6.4	差示扫描量热法 (DSC)	(103)
7	木材和 API 胶粘剂胶接机理的研究	(105)
7.1	用 FTIR 研究木材和 API 胶粘剂的界面化学 反应	(105)
7.2	用 ESCA 研究木材和 API 胶粘剂的界面反应	(108)
7.3	用差示扫描量热法 (DSC) 研究木材和 API 胶粘剂间 的反应	(114)
7.4	水性高分子异氰酸酯 (API) 胶粘剂对落叶松、桦木和 柞木木材渗透性的研究	(125)
	参考文献	(139)

1 落叶松、桦木和柞木木材资源概况及利用状况

进入 21 世纪,世界性森林资源匮乏日趋严重,特别是天然优质大径级木材的供应量日趋减少。为了保护森林生态环境各国都相继采取了不同的保护天然林资源的措施,致使优质大径级木材的供应更加紧张。我国的天然林资源保护工程已经全面启动,木材产量逐年减少,然而随着经济的高速发展和人民生活水平的日益提高,对木质材料的需求量却在不断增长。为了解决优质大规模木材的供需矛盾,利用胶接技术将小径级木材经加工处理后胶接成大规模木材是一种有效途径。

要开发胶接木材,必须对木材的胶接基础问题进行探索研究,以便为开发胶接木材制造技术奠定理论基础。木材是一种可再生的生物质材料,材质、材性及其胶接性能因树种不同、立地条件不同等变异性较大,特别是木材的胶接性能与金属和合成高分子材料等相比要复杂得多,不能直接套用一般材料的胶接技术。为此研究木材的胶接性能和胶接技术,对于开发木质胶接材料具有重要的理论价值和现实意义。

落叶松、桦木和柞木是东北林区的主要树种,也是重要的木材加工用材,广泛用于建筑、家具制造、木制品生产和室内装修等行业。落叶松、桦木和柞木是三种具有代表性的典型树种,材质材性差异较大。研究这三种木材的胶接性能可为三种木材的开发和进一步扩大应用提供理论基础和实际指导。

书中对东北主要树种落叶松、桦木和柞木的胶接性能(采用水性高分子异氰酸酯——API 胶粘剂)进行了较为深入的探索研究。

1.1 国内木材供给紧缺的状况

根据第六次全国森林资源清查结果显示,我国的森林覆盖率已由 16.55% 上升到 18.21%, 森林面积由原来的 1.589 亿 hm^2 (侯知正等, 1998) 扩大为 1.75 亿 hm^2 , 森林蓄积由原来的 112.67 亿 m^3 增加到 124.56 亿 m^3 。人工林保存面积 0.53 亿 hm^2 , 人工林蓄积量 15.05 亿 m^3 , 人工林面积居世界首位。但按人均计算,我国人均森林面积 0.132 hm^2 , 人均森林蓄积 9.421 m^3 , 而且在工业用材供给上突出表现为用材林的成过熟林资源持续下降, 大径级木材蓄积比重下降, 在一定时期内木材供给情况仍将是紧缺的。

目前我国每年木材消费总量约为 2.4 亿 m^3 , 成为世界上木材消费量最大的国家之一 (鲍甫成等, 1999), 用材缺口达 4 000 万 m^3 (朱乾坤, 2000)。根据中国森林资源调查和规划部门的预测, 到 2010 年木材供应能力约 2.58 亿 m^3 , 其中工业材的预期产量只有 1.8 亿 m^3 , 而有关专家预测届时工业材需求量达 3.6 亿 m^3 , 考虑到工业材代用量约 1.16 亿 m^3 , 缺口达 6 400 万 m^3 , 木材供求矛盾必将加剧 (施昆山等, 2001; 林凤鸣, 1999)。

1.2 世界缓解木材供需紧张的方法

面对天然林资源严重枯竭, 木材长期处于供不应求的局面, 惟一可采取的战略为开源节流。一方面利用木材可再生的特点, 大力培育工业人工林, 增加森林资源; 另一方面对木材资源充分利用, 高效利用, 提高木材利用率。

可持续发展战略已被世界越来越多的国家所接受, 从而导致采取控制和限制森林采伐量的国家不断增加。以价廉、量大的天

然林原木为原料的时代已经过去,传统的天然优质大径级木材大多被间伐材、抚育材、低质材等所代替,并已成为一种长期的趋势。这一木材原料在数量和结构上的变化决定了森工企业只能走“资源节约型”的木材高效利用的道路。为发挥森林的综合效益,适应保护环境和经济建设对木材的需求,很多国家都已经把大力发展速生工业用材林作为解决木材供需矛盾的战略性措施。为此林产工业必须不断地开发新产品、新工艺,其主要趋势是提高原料利用效率和扩大原料利用范围,用质量相对较差的人工林小径木和剩余物为原料,生产更大规格、材质均匀、性能优良的人造板方材来满足国民经济发展与人民生活水平提高对木质材料的需求。

实现木材资源高效利用的主要目标是适材适用、因材使用、材尽其用、小材大用、劣材优用,提高木材利用率,达到高效利用,使木材资源发挥最大的效益。通过将小规格的木材单元利用胶接技术制成大规格板材或方材,是提高木材利用价值、解决优质大规格木材供应的一种有效途径,也是木材加工的一个重要开发研究方向。

要开发利用胶接木材,首先要对木材的胶接基础性问题进行探索研究,本书针对东北主要树种落叶松、桦木和柞木的胶接性能加以研究,以便为开发这些树种的胶接木材制造技术奠定理论基础和提供实际指导。

1.3 东北主要树种落叶松、桦木和柞木木材资源概况及利用状况

1.3.1 落叶松木材资源概况及利用状况

落叶松属树木系落叶大乔木,是我国重要的森林树种,也是

东北林区主要材种之一。东北林区森林面积约占全国的 1/3, 人工林面积占全国的 17.9%。在现有造林树种中, 落叶松 (*Larix* spp.) 占有最大的比例, 其资源十分丰富, 蓄积量大, 占东北林区针叶树材总蓄积量的 40% 以上 (林利民等, 1999; 李民栋等, 1994), 这种树种也是东北的主要速生树种, 因其对恶劣气候及病虫害的抵抗力强、树木成活率高、生长速度快, 人工种植面积逐年增加, 已成为东北林区木材生产的主要后备资源, 东北地区落叶松人工林蓄积量已达该地区人工林总蓄积量的 50% 以上 (林利民等, 1999)。

在全国用材中落叶松蓄积量占 22.9%, 约 77 000 多万 m^3 (艾沐野等, 2002)。在大兴安岭地区, 落叶松木材蓄积量达 3.7 亿 m^3 , 占该林区用材林总蓄积量的 71.2%, 资源非常丰富。黑龙江省境内目前人工落叶松木材的蓄积量就达 5 600 万 m^3 , 其中成熟的可供利用的约占 20%, 即 1 200 万 m^3 , 并且以每年 8% 的速度增长 (张奇, 1999)。由此可见, 落叶松不仅天然林蓄积丰富, 而且人工林后备资源也十分雄厚, 是很有开发利用前景的树种。

在木材资源短缺的情况下, 如何利用落叶松的问题成了人们关注的焦点。

落叶松以其坚硬的材质、通直的纹理、高强度、优良的防腐性能以及清新典雅的花纹, 深受人们的青睐。在日本早在 20 世纪 70 年代, 落叶松就已经得到广泛应用。例如, 经过加工处理之后的落叶松板方材, 用于大型建筑的横梁、立柱, 体育馆的壁板、地板, 民房的装饰板、家具等, 用途相对比较广泛, 而且使用的效果也比较理想。在 20 世纪 70 年代末和 80 年代初, 国内有关林业大学和林业研究所开始着手对落叶松的利用问题进行研究, 其中包括: 落叶松木材改性的研究; 落叶松锯材脱脂干燥技术的研究; 落叶松胶合板开发应用的研究; 落叶松复合板生产工

艺的研究；落叶松锯材改性和涂饰工艺的研究；落叶松单板层积材（LVL）生产技术的研究；落叶松小径材特殊制材技术的研究；落叶松及桦木人造装饰单板的研究；落叶松小径木直接利用技术的研究等。近期，国内又做了落叶松人造方材的研究、落叶松与其他树种复合生产集装箱底板的研究等。到目前为止，这些研究大都取得了不小的进展，有些研究成果已经在生产中得到应用。随着研究的不断深入，落叶松在国内也将会得到迅速而广泛的应用，特别是在家具和装饰材料领域蕴含着巨大的发展潜力。

但因落叶松木材本身存在许多缺点，一方面落叶松难以干燥，易裂以及木材的内部有大量树脂极易渗透出材面，影响胶合效果和使用等，致使落叶松的应用范围受到了极大限制。落叶松只有经过脱脂、干燥、释放内应力才能用做家具用材。另一方面落叶松早晚材差异较大，材质很不均匀，从而使其在干燥过程中极易发生开裂影响木材的力学强度。

落叶松可用做枕木、桅杆、篱柱、桥梁及室内装饰；亦可用做梁、柱、墙板、屋架、地板（以径锯板为好），总之，无论大材、小材或板材均是房屋结构或建筑上的重要用材。而在家具制造方面则主要是将其加工成集成材。若能将落叶松改性为性能良好的家具生产用材，它的利用率会大大提高，加工工序也得到简化。这不仅有经济效益，还有社会效益，可以在更好地保护珍稀树种、保护环境的同时为国家建设提供足够的木材资源。

1.3.2 桦木木材资源概况及利用状况

桦木也是东北主要树种，在东北林区蕴藏量丰富。据调查，黑龙江省的8大林区，桦木蓄积量为2.7亿 m^3 ，其蓄积量占小兴安岭森林资源的40%。内蒙古大兴安岭林业局所属林地，木材蓄积量为6.6亿 m^3 ，其中白桦占25%（内蒙古大兴安岭林业设计院，1992）。因此开展对桦木的研究，对森林资源的合理开发

具有重要意义。

由于桦木资源相对比较丰富,且材质均匀、材色洁白,虽干燥困难,易变形开裂,但经过适当的工艺控制和改性处理,仍是优良的家具和胶合板用材。目前常用来做刨切单板、仿桃花心木地板、体育器材、与落叶松复合生产集装箱底板用胶合板等,同时也可用于制作牙签、卫生筷、片状小木制品,包括雪糕棒、咖啡勺、压舌板、木勺、木刀、木叉等。另外,由于桦木纤维素含量高,也是良好的纸浆造纸原料。目前,国内学者正积极开发对桦木的多种利用途径。所以研究如何利用蓄积量较大的落叶松和桦木对于我国木材工业来说都有着极其现实和深远的意义。

1.3.3 柞木木材资源概况及利用状况

黑龙江省森林工业总局 1997 年的资源调查表明:黑龙江省境内 40 多个林业局的柞木蓄积总量为 1 767.9 万 m^3 。

因柞木本身质硬耐磨,近几年国内出现柞木拼木地板热,也有厂家做集成材,进而制作餐桌、餐椅等产品或家具部件出口到日本、美国、西欧、中国台湾等国家和地区。

柞木的蓄积量虽然比不上落叶松和桦木,但由于柞木是东北林区的重要珍贵树种之一,是高档木制品制造的重要材种,且在实际应用过程中易发生开裂、耐久性差的现象,所以选定对柞木的胶接性能进行研究。

1.4 水性高分子异氰酸酯胶粘剂 (API 胶粘剂)

胶接木材可以根据使用要求制成不同规格、不同尺寸的产品,通常使用室温固化类胶粘剂。早期的集成材制造主要使用间苯二酚 (RF) 类胶粘剂,但近年来,由于新开发的水性高分子异氰酸酯 (Aqueous Polymer Isocyanate, 简称 API) 胶粘剂具有优

良胶接性能和良好的使用性能,以及价格优势等优点,已成为胶接木材制造的主要胶种,日本已制定了结构用集成材制造用 API 胶粘剂的标准 (JIS K6806)。API 胶粘剂在木材胶接领域具有广阔的发展前景,是制造胶接木材的理想胶种。但是,对于 API 胶粘剂与木材的胶接性能研究还有待深入。我国在结构用集成材的研究和生产方面远远落后于发达国家,研究较少。但是,近年来在引进国外设备和技术制造集成板材方面发展很快,产品多出口,并用其制造家具和实木制品等。出口产品使用的胶粘剂也多为进口胶粘剂 (API 胶粘剂),国内已经开展了对 API 胶粘剂的研制与开发。

API 胶粘剂目前在市场上广泛地应用,此种胶以其出色的胶接性能,如可常温固化、不含甲醛等有毒物质等性能而广泛地受到欢迎,由于这种胶粘剂对极性的木材润湿性能好,且很容易与木材形成化学键,从而可与木材形成良好的胶接性能。

虽然 API 胶粘剂目前在市场上应用广泛,特别是在集成材生产上广泛应用,但是,由于新的胶粘剂被引入,对其胶接耐久性和耐环境老化性能有待进一步探明,对用此种胶粘剂制造的胶接制品的强度和耐水性的研究也越来越迫切。

1.4.1 API 胶粘剂定义

水性高分子异氰酸酯胶粘剂是由以水溶性高分子 (通常为聚乙烯醇: PVA)、乳液 (通常为苯乙烯-丁二烯胶乳: SBR, 聚丙烯酸酯乳液, 乙酸乙酯-乙烯共聚乳液: EVA 等)、填料 (通常为碳酸钙粉末: CaCO_3) 为主要成分的主剂,和多官能团的异氰酸酯化合物 (通常为 P-MDI) 为主要成分的交联剂所构成的。两者混合产生的三维交联使其胶接部分耐水性大为提高,所以,将其作为高耐水性木材胶粘剂使用。

1.4.2 API 胶粘剂形成原理

API 胶粘剂的基本构造是以聚乙烯醇溶液为连续相，胶乳（SBR，EVA 等）为分散相。聚乙烯醇与异氰酸酯化合物交联剂发生反应，水也与异氰酸酯基反应生成取代脲、缩二脲等各种化合物分散在连续相的聚乙烯醇中，另外还有部分未反应的异氰酸酯残基也残留在其中，所以，连续相中形成了复杂的化学构造。

1.4.3 API 胶粘剂的组成

API 胶粘剂由主剂和交联剂构成，可根据被胶接材料不同使用要求调整配方，变化主剂的构成，选择交联剂的用量，因此 API 胶粘剂的配方变异性大，不同配方 API 胶粘剂的胶接性能差异也较大。

主剂：包括水溶性高分子、乳液和填料，可根据用途，选择适宜的素材进行适当组合，组成主剂。

水溶性高分子通常采用部分皂化的聚乙烯醇，有时也使用脲醛树脂、三聚氰胺树脂等热固性树脂和聚丙烯酸。聚乙烯醇的作用除了作为胶粘剂的交联要素之外，还有提高水不溶性交联剂的分散性的作用。适量的乳液如聚苯乙烯-丁二烯胶乳，聚丙烯酸酯乳液，乙酸乙烯-乙烯共聚乳液等能提高胶粘剂的耐水性，增加有效成分的浓度。但并不是所有的乳液都能使用，作为胶粘剂必须考虑其工艺性能、适用期和耐水胶接强度。与苯乙烯-丁二烯胶乳和聚丙烯酸酯乳液相比，乙酸乙烯-乙烯共聚乳液多少发挥了不同的作用，即后者是以聚乙烯醇为保护胶体，因此具有优良的初期胶接力（初粘性），所以在要求初期胶接力好的场合优先选用后者。

填料，也称增量剂。它是伴随胶粘剂浓度的提高填充被胶接材空隙的成分，多使用碳酸钙粉末。碳酸钙粉末硬度低，不含黏