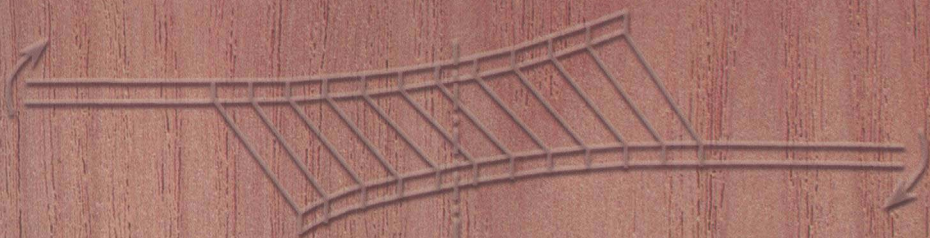


Muzhi Cailiao  
Jiemian yu Jiemian Lixue

# 木质材料 界面与界面力学

李凯夫 陈雄伟 编著



广东科技出版社

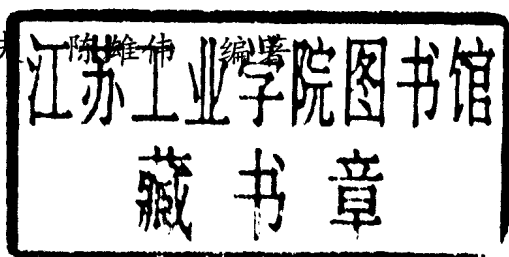
# 木质材料界面 与界面力学

Interface and Mechanics of Interface  
in Wood Composites

李凯英

陈维伟

编著



广东科技出版社  
· 广 州 ·

## 图书在版编目 (CIP) 数据

木质材料界面与界面力学 / 李凯夫, 陈雄伟编著.  
广州: 广东科技出版社, 2003. 8

ISBN 7-5359-3345-9

I. 木… II. ①李…②陈… III. 木质板-弹塑性  
力变形理论-研究 IV. TS333

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 040313 号

---

出版发行: 广东科技出版社

(广州市环市东路水荫路 11 号 邮码: 510075)

E - mail: gdkjzbb@21cn. com

http: //www. gdstp. com. cn

经 销: 广东新华发行集团

排 版: 广东科电有限公司

印 刷: 广州市穗彩彩印厂

(广州市石溪富全街 18 号 邮码: 510288)

规 格: 850mm × 1168mm 1/32 印张 8.5 字数 220 千

版 次: 2003 年 8 月第 1 版

2003 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 40.00 元

---

如发现因印装质量问题影响阅读, 请与承印厂联系调换。

## 内 容 提 要

近年来，随着不同材料胶合、速生材利用及木质材料复合的进步，木质材料的强度评价、力学解析已成为当今重要的研究课题。以木质材料胶合和复合的界面为对象，研究不同于常规的力学性能评价方法和界面分析原理，确立全新的研究方法和评价体系是本书的着眼点。科学地制造木质材料必须进行界面及其力学的设计和研究，建立系统的木质材料界面和界面力学研究体系迫在眉睫。

本书以木质材料界面和界面力学为重点，详细阐述界面和界面力学基础理论与应用，对木质材料界面结构的应力解析、残余应力评价、界面弹塑性力学的基本理论进行阐述。确立评价参数，采用精确数值解析方法，正确进行木质材料界面力学设计和评价是本书的特色。

本书可作为从事涉及木质材料界面科学、木质材料工艺学等有关学科的大学教师、研究生、大学生的教学参考书，也可供人造板、家具、地板、木质复合材料企业中有关的科研人员、工程技术人员等进行生产工艺改进和生产技术研究时参考。

## 前 言

木材工业已经成为国民经济建设中的支柱产业之一。任何材料都有与外界接触的表面或与其他材料结合的界面，材料界面的结构和力学性能直接影响材料的整体性能。随着材料科学的迅速发展，材料界面及其力学的研究也越来越受到国内外科学工作者的重视。有关材料界面的文献资料浩若烟海，国内外每 2 年各召开一届材料表界面年会，并将会议论文编辑成专著出版。有关金属材料、无机材料、木质材料、复合材料的期刊、会议论文集、专著等都刊有材料界面的专题。

木质材料是由不同树种、不同材性、不同组分材料胶合而成的材料，具有鲜明的生物学特征，因材料结构差异、变形能的不同、界面效应和环境的影响，在界面端存在应力和应力集中的现象，产生界面端应力特异性，导致木质材料强度下降，远远低于构成单元自身的强度。因此，界面分析、界面力学的评价和应力解析是实现木质材料界面层设计的关键。开展界面与界面力学研究的目的在于寻求可行的界面应力评价和解析方法，提出界面层设计的要点和参数，为实现科学制造木质材料，进而解决树种搭配、胶种选择、复合工艺优化、强度提高等重大技术难题提供基本理论与方法。

木质材料科学发展至今已有百余年的历史，20 世纪 70 年代才开始重视和理解木质材料的多组分、多相、非均相结构，相与相的接触存在着大量的界面。界面的结构、组成、能量、性能和形成的条件，对木质材料性能起着关键性的作用，这和材料整体相的性能不同。研究木质材料界面与界面力学，不但可以解决许多界面问题，而且有可能大大改进木质材料的常规性能，甚至可能研制出高

性能的新材料。现有的木质材料科学限于讨论木质材料的本体结构与性能，很少涉及到木质材料界面力学，这已超越了现有学科的研究范畴。因此，有必要建立以研究木质材料界面与界面力学为主要对象，有足够探索空间和深邃内涵的新学科。目前，木质材料界面与界面力学的教育和研究落后于材料界面科学的发展，也缺乏系统的木质材料界面与界面力学教材。虽然物理化学教科书中有关于表面化学的章节，表面物理化学也早已形成系统的教材和课程，但这只是基础的界面教程，与木质材料科学的联系不够紧密。目前，虽有材料表界面的专著，但往往是以一些相关学术会议为基础编辑而成的，缺乏系统性。这些专著对于从事木质材料界面和界面力学研究的工作人员很有参考价值，但用作初涉该领域学生的教材显然是不合适的。过细的专业划分使得金属材料、无机材料、木质材料、复合材料学科的教育工作者往往只各自讲授一些本专业的材料表界面知识。因此，迫切需要编写适合木质材料专业要求的界面与界面力学教材。

木质材料尚有大量亟待了解、探索和解决与界面力学有关的未知现象，解决这些界面力学问题，无论从理论和实际应用都有重大意义。例如，各种木质材料的部件，往往需要通过胶合和复合装配成成品，大到木结构建筑，小至木材装饰品，都离不开胶合和复合。要使胶合达到完美境界，就需要研究界面张力与界面能、润湿与铺展、接触角与杨氏方程、胶合功与内聚功、胶合机理、胶粘剂与木材的胶合技术、影响因素、应力分布与界面层设计、被胶合材料表面状态、形貌以及各种表面处理技术、界面性能测试、评价与破坏面的观测、分类等。木质材料涂装、吸附、复合、共混、表面反应、表面改性、摩擦、磨损、润滑、制动、减阻、耐磨；木质材料的优化、净化、浓缩、消除环境污染、消除静电；木质材料的相容性、组织亲和性等，都有许多界面与界面力学问题亟待研究解决。

除了常规的界面分析测试方法与设备之外，近 30 年来，迅速

发展了许多微观的表面分析技术。表面或界面通常是指固体最外层 1~10 个原子层区域,厚度仅为 0.1~10 nm。没有灵敏的微观分析手段,根本不可能研究表界面。因此,必须发展表面组分、表面结构、表面能态和表面形貌的微观测试技术。由于木质材料耐热性普遍不高,要注意选用对试样不发生破坏的方法。X-光电子能谱(XPS)或称化学分析用电子能谱(ESCA)、静态 2 次离子质谱(SSISM)、傅立叶红外光谱(FTIR)、衰减全反射红外光谱(ATR)、激光拉曼光谱(RS)、透射电子显微镜、扫描电子显微镜(SEM)、光学接触角测量、微力测量、X 射线残余应力测量等是较灵敏而适用的分析仪器,这些分析手段大大推进了木质材料界面的研究。

目前,在材料界面科学的各个研究领域里,硕果累累,美国化学文摘入录的文摘每年不下 5 000 篇。有关木质材料界面的世界性、区域性或双边性的学术会议及出版物几乎年年都有。把这些丰富而宝贵的知识财富归纳起来,就可形成有条理、有层次、有基础理论、有广泛实践性、较为完善的新兴边缘学科——木质材料界面与界面力学。

从建立木质材料科学的必要性上看,解决有关木质材料界面理论和实用技术的关键问题,完善研究手段,建立研究队伍,应用研究成果,确立相对系统而又独立的木质材料界面及其力学研究体系是非常迫切的。美国科学院的专家们对世界重大科技前沿调查分析后一致认为,表面科学及其应用是当前世界科技的八大生长点学科之一。木质材料界面与界面力学当然就是这个生长点的一个方面。

本书旨在突出以下特点:①从木质材料界面诸多方面入手,为不曾接触过界面力学的读者提供一个简便、快捷、熟悉理解的通道;②对木质材料界面与界面力学现象作初步的描述,为开展木质材料界面层设计奠定基础;③结合多种基础知识,讨论木质材料界面与界面力学基本理论;④深入论述木质材料界面与界面力学的特点、规律及其评价;⑤介绍木质材料界面与界面力学的重要研究方法。

本书部分内容是在广东省自然科学基金项目“环境材料界面层设计与复合新工艺的研究”（顺序号为 2000608）资助下完成的。本书以界面及其力学为核心，以木质材料界面分析、界面应力与解析为主要内容，结合各种必要的其他学科内容，总结作者多年的研究成果编著而成，涉及的知识面很广，难免有遗漏和不成熟的地方，敬请读者批评指正。

本书有从其他学科著作中引用的资料，除充分尊重原著知识产权，标明来源以外，对其他借鉴资料的作者也一并致谢！

作 者

2003 年 4 月于广州



# 目 录

|                        |      |
|------------------------|------|
| 1 绪论 .....             | (1)  |
| 1.1 界面与界面力学的重要性 .....  | (1)  |
| 1.2 界面与界面力学研究的概况 ..... | (7)  |
| 1.3 木材特征 .....         | (10) |
| 1.3.1 木材化学组成 .....     | (11) |
| 1.3.2 木材结构 .....       | (11) |
| 1.3.3 木材基本性质 .....     | (12) |
| 1.3.4 木材环境特性 .....     | (13) |
| 1.3.5 木材环境学特性 .....    | (14) |
| 1.4 界面的描述 .....        | (16) |
| 1.4.1 表面 .....         | (16) |
| 1.4.2 界面 .....         | (19) |
| 1.4.3 界面的作用 .....      | (21) |
| 1.4.4 表面张力与作用力 .....   | (23) |
| 1.5 界面的控制 .....        | (27) |
| 1.5.1 纤维的表面处理 .....    | (27) |
| 1.5.2 界面应力的控制 .....    | (30) |
| 1.6 界面力学的表征 .....      | (33) |
| 1.6.1 宏观试验方法 .....     | (33) |
| 1.6.2 微复合材料试验方法 .....  | (33) |
| 1.6.3 界面结合强度的作用 .....  | (35) |
| 1.6.4 界面对断裂韧性的影响 ..... | (36) |
| 1.7 界面层设计与控制 .....     | (38) |
| 1.7.1 界面设计的基本要求 .....  | (38) |

|       |                    |       |
|-------|--------------------|-------|
| 1.7.2 | 不同体系对界面性能的要求 ..... | (38)  |
| 1.7.3 | 表面改性及其控制 .....     | (40)  |
| 2     | 界面应力解析基础 .....     | (44)  |
| 2.1   | 概述 .....           | (44)  |
| 2.2   | 界面力学模型和胶合条件 .....  | (44)  |
| 2.2.1 | 弹性体的应力 .....       | (45)  |
| 2.2.2 | 弹性体的应变 .....       | (49)  |
| 2.2.3 | 应力与应变的关系 .....     | (51)  |
| 2.2.4 | Mohr 应力圆 .....     | (53)  |
| 2.2.5 | 弹性系数间的关系 .....     | (55)  |
| 2.2.6 | 弹性应变能 .....        | (57)  |
| 2.2.7 | 脆性材料的破坏 .....      | (60)  |
| 2.2.8 | 胶层应力 .....         | (64)  |
| 2.2.9 | 平面应力的测定 .....      | (66)  |
| 2.3   | 数值解析法 .....        | (69)  |
| 2.3.1 | 有限元法基本知识 .....     | (69)  |
| 2.3.2 | 木质材料界面结合强度 .....   | (75)  |
| 2.4   | 界面特性参数 .....       | (84)  |
| 2.4.1 | 二次元等向弹性体异材复合 ..... | (85)  |
| 2.4.2 | 三次元等向弹性体异材复合 ..... | (86)  |
| 3     | 胶合残余应力及其评价 .....   | (88)  |
| 3.1   | 基本理论 .....         | (88)  |
| 3.1.1 | 胶合理论 .....         | (89)  |
| 3.1.2 | 胶粘剂固化模式 .....      | (96)  |
| 3.1.3 | 界面热力学表征 .....      | (99)  |
| 3.1.4 | 胶合功和内聚功 .....      | (103) |
| 3.2   | 胶合残余应力解析 .....     | (107) |
| 3.2.1 | 分子量及其分布的影响 .....   | (108) |
| 3.2.2 | 粘度的影响 .....        | (108) |

|       |                     |       |
|-------|---------------------|-------|
| 3.2.3 | 浸透性的影响 .....        | (110) |
| 3.2.4 | 极性的影响 .....         | (110) |
| 3.2.5 | pH 值的影响 .....       | (111) |
| 3.2.6 | 胶层厚度的影响 .....       | (112) |
| 3.3   | 木质材料残余应力的解析 .....   | (112) |
| 3.3.1 | 基本解析方法 .....        | (112) |
| 3.3.2 | 轴对称性胶合残余应力的解析 ..... | (115) |
| 3.4   | 材料的力学性能 .....       | (118) |
| 3.4.1 | 高聚物的力学性能 .....      | (118) |
| 3.4.2 | 蠕变和应力松弛 .....       | (121) |
| 3.4.3 | 高分子固体的强度 .....      | (122) |
| 3.4.4 | 胶粘剂的配方 .....        | (127) |
| 3.5   | 胶合部位优化设计 .....      | (128) |
| 3.6   | 胶合残余应力的特异性 .....    | (130) |
| 3.7   | 木质材料界面湿热应力 .....    | (136) |
| 3.7.1 | 湿热效应 .....          | (137) |
| 3.7.2 | 界面热应力 .....         | (141) |
| 3.7.3 | 热应力推导 .....         | (147) |
| 3.7.4 | 界面湿应力 .....         | (149) |
| 3.7.5 | 湿应力推导 .....         | (160) |
| 4     | 界面的润湿和胶合 .....      | (166) |
| 4.1   | 润湿原理 .....          | (166) |
| 4.2   | 杨氏方程和接触角 .....      | (170) |
| 4.2.1 | 杨氏方程 .....          | (170) |
| 4.2.2 | 接触角 .....           | (171) |
| 4.3   | 铺展压和铺展系数 .....      | (180) |
| 4.4   | 固体表面能与表面润湿性 .....   | (182) |
| 4.4.1 | 高能表面的润湿规律 .....     | (182) |
| 4.4.2 | 低能表面的润湿规律 .....     | (183) |

|       |                         |       |
|-------|-------------------------|-------|
| 4.5   | 液体的表面张力 .....           | (184) |
| 4.5.1 | 温度对表面张力的影响 .....        | (184) |
| 4.5.2 | 化学组成对表面张力的影响 .....      | (185) |
| 4.5.3 | 分子量对表面张力的影响 .....       | (185) |
| 4.5.4 | 其他体系的表面张力 .....         | (186) |
| 4.6   | 界面张力 .....              | (188) |
| 4.6.1 | Good-Girifalco 理论 ..... | (188) |
| 4.6.2 | 界面的极性作用理论 .....         | (189) |
| 4.6.3 | 温度对界面张力的影响 .....        | (191) |
| 4.6.4 | 分子量与界面张力的关系 .....       | (192) |
| 4.6.5 | 聚合物界面与界面厚度 .....        | (192) |
| 4.7   | 固体表面张力 .....            | (194) |
| 4.7.1 | 临界表面张力法和状态方程法 .....     | (194) |
| 4.7.2 | 调和平均法 .....             | (195) |
| 4.7.3 | 几何平均法 .....             | (196) |
| 4.7.4 | 影响固体表面张力的因素 .....       | (196) |
| 4.8   | 润湿对界面胶合的影响 .....        | (198) |
| 4.8.1 | 界面胶合的浸润理论 .....         | (199) |
| 4.8.2 | 界面胶合的扩散理论 .....         | (202) |
| 4.8.3 | 界面反应与胶合 .....           | (207) |
| 4.8.4 | 界面胶合的啮合理论 .....         | (211) |
| 4.9   | 影响木质材料胶合的因素 .....       | (212) |
| 4.9.1 | 密度和树种 .....             | (212) |
| 4.9.2 | 湿润性 .....               | (213) |
| 4.9.3 | 含水率 .....               | (213) |
| 4.9.4 | 纹理与纤维方向 .....           | (215) |
| 4.9.5 | 表面粗糙度与加工精度 .....        | (215) |
| 4.9.6 | 抽提物 .....               | (216) |
| 4.9.7 | 木材缺陷与特征 .....           | (216) |

|                        |       |
|------------------------|-------|
| 4.9.8 被胶合面的污染及其他 ..... | (217) |
| 4.10 胶层的韧性化 .....      | (218) |
| 4.10.1 木质材料层间应力 .....  | (218) |
| 4.10.2 胶合过程中的流变学 ..... | (220) |
| 4.10.3 胶合破坏 .....      | (221) |
| 4.10.4 胶合耐久性 .....     | (223) |
| 5 界面弹塑性力学 .....        | (225) |
| 5.1 概述 .....           | (225) |
| 5.2 界面端应力特异性 .....     | (227) |
| 5.2.1 模型与分析 .....      | (227) |
| 5.2.2 迭代方法 .....       | (232) |
| 5.2.3 界面端分析 .....      | (232) |
| 5.3 弹塑性界面应力分析 .....    | (234) |
| 5.3.1 力学特性 .....       | (234) |
| 5.3.2 应力分析 .....       | (235) |
| 5.3.3 界面应力与载荷的关系 ..... | (238) |
| 5.4 轴对称界面特异应力场 .....   | (240) |
| 5.4.1 界面端分析模型 .....    | (240) |
| 5.4.2 空间轴对称问题 .....    | (241) |
| 5.5 胶层破坏测试 .....       | (243) |
| 5.5.1 剪切胶合试验 .....     | (243) |
| 5.5.2 剥离试验 .....       | (245) |
| 5.5.3 冲击强度试验 .....     | (246) |
| 5.5.4 持久强度试验 .....     | (247) |
| 5.5.5 疲劳强度试验 .....     | (248) |
| 参考文献 .....             | (251) |

# 1 绪论

## 1.1 界面与界面力学的重要性

材料科学、信息科学和生命科学是当前新技术革命中的三大前沿科学，材料的界面在材料科学中占有重要的地位。木质材料界面科学是专门研究木质材料表面与界面的现象、组成、结构、形态与性能，以及当其与外在环境接触时，物质与能量相互作用的一门新兴边缘学科。界面科学及其应用被认为是当代科学技术发展的生长点之一，所以有的国家专门成立了庞大的国家级表面科学研究机构，从事专门性的研究。木质材料界面力学是界面科学的组成部分，是界面科学发展的一个新的分支。

木质材料的表面与其内部本体，无论在结构上还是在化学组成上都有明显的差别，这是因为木质材料内部原子受到周围原子的相互作用是相同的，而处在木质材料表面的原子所受到的力场却是不平衡的，由此产生了表面能。对于有不同组分构成的木质材料，组分与组分之间可形成界面，某一组分也可能富集在木质材料的表面上。即使是单组分的木质材料，由于内部存在的缺陷，也可能在内部产生界面。木质材料的表界面对材料整体性能具有决定性的影响，木质材料的变形、老化、劣化、破坏、印刷、涂膜、胶合、复合等，无不与木质材料的界面密切有关。因此，研究木质材料的界面现象和界面力学具有重要的意义。

木质材料界面力学并不是界面科学和木质材料的简单结合，而是一门将木质材料力学、木质材料物理学、现代表面分析测试技术、界面化学、界面物理学、木质材料结构学、物理化学、断裂力

学、弹塑性力学等各学科有关的知识结合起来的一门新兴边缘学科。

木质材料界面力学的研究特色主要表现在以下 3 个方面：

①木质材料的界面力学现象及其规律性；

②木质材料的界面组成、结构、形态、能量、应力与相对运动的定性定量参数及其表征方法；

③各种木质材料界面的残余应力变化和产生机理及理论。

木质材料的许多有价值的功能是通过界面与外在环境接触而形成的表面来实现的。如胶合、粘附、密封、表面保护、扩散、渗透、表面改性、表面化学反应、涂饰、防腐蚀、摩擦、磨损、润滑、老化等现象与技术，无一不是与木质材料的表界面有关。木质材料、复合材料、增强材料及填充材料都存在两个或多个相，都有相界面的作用，这些木质材料的性质优劣在很大程度上取决于界面相互作用的结果。只有透彻了解界面及其力学问题，才能充分发挥这类材料的优良性能。由此可知，木质材料界面科学的发展将会促进木质材料科学的进步，极大地丰富木质材料科学知识宝库，而木质材料科学的进步也必然会促进木质材料界面科学进一步发展。除此以外，木质材料界面及其力学还对各种木质材料与产品的胶合、复合、共混、增强、表面改性、表面镀膜、防腐或装饰涂装、表面防老化、防污染、防静电、提高耐磨损、改善工程材料的尺寸稳定性等一系列实用技术起到一定的理论指导作用。

木质材料界面科学是从 20 世纪中叶逐步发展起来的，大体上经历了萌芽、成长和发展 3 个阶段。在 20 世纪 50 年代前后，主要是在界面应力研究中开始涉及到与木质材料有关的界面现象，尚处于萌芽时期。20 世纪 70 年代以来，随着材料科学和复合材料的飞速发展，出现了越来越多与木质材料有关的界面问题，吸引了许多科学家从事这方面的研究，先后发表了不少研究论文。在此基础上举行了多次国际性的学术会议，把木质材料界面的学术研究引向深入，并从木质材料科学中脱颖而出，进入了成长阶段。到 20 世纪

90年代,科学家们把各专题或分支学科归纳起来,同时又从横向引用了其他学科的相关内容,进一步扩展了木质材料界面的研究范畴,逐步形成了有条理、有层次、有理论、有广泛实践性和重要的应用前景及无限发展空间的一门新兴边缘学科,这就是木质材料界面科学。

目前,木质材料制造工艺已日趋成熟,但复合技术与性能开发多停留在宏观方面,由于构成木质材料主体材料的木材在性能和结构上变异性较大,加之复合工艺与技术又直接影响木质材料性能,故如何科学地制造木质材料是人们极为关心的课题。木质材料的界面是重要的“微结构”,界面效应对木质材料性能、破坏机理与使用寿命有着很大的影响。因此,深入研究界面效应及其影响规律,开展木质材料界面力学的研究,选择最佳复合工艺,实现界面层设计,这对于制取不仅在力学性能和环境适应性方面,而且在热和湿等方面都给予更大可调性的新型木质材料将有着重要意义。

在木质材料中,界面占很大的比例。据统计,1 cm<sup>3</sup>木质材料中界面面积为10<sup>5</sup>~10<sup>7</sup> cm<sup>2</sup>,在以木材为主体的复合材料中,木材与胶粘剂之间形成界面,它是从木质材料和液体的边界通过固化过程转化为木质材料和木质材料的边界,其结构是由两相表面层及由于两相间的相互作用并深入到两相内部一定深度的区域组成,其性质取决于两相表面的性质、界面形成条件与形态。作为木质材料的“心脏”——界面在木质材料中起着如下作用:

①界面直接影响木材与胶粘剂间的应力传递和分散,从而影响木质材料宏观力学性能;

②界面控制木质材料破坏传播的历程,从而影响木质材料的断裂韧性;

③界面是影响木质材料尺寸稳定性、耐久性和结合强度的主要因素。

木材与胶粘剂的界面的表征与优化设计及其控制是木质材料研究领域重大技术之一,被称为木质材料界面工程(Interfacial engi-



neering), 界面力学是其中一个分支, 属微观力学范畴。各国材料科学工作者对于界面工程投入了极大的人力和物力, 开展了卓有成效的研究, 特别是金属基复合材料和树脂基复合材料界面研究中有重大突破, 形成界面理论与表征试验技术。通过对纤维或材料表面改性、选择适当的材料、引入某种界面调节剂使之形成既有利于材料间界面结合又有利于应力松弛的界面层, 选择最佳复合工艺, 以求达到预定结构的界面设计, 制取具有更加优异综合特性的木质材料将是今后发展的主要方向之一。

在木质材料界面力学研究领域中, 最大的障碍是缺乏有效的定量研究木质材料界面结合强度的试验技术, 在界面控制与界面微力学设计之间缺少桥梁, 影响了木质材料的性能开发和复合工艺的优化研究。因此, 界面结合强度是木质材料界面优化设计中一个不可缺少的性能指标。界面结合强度的表征在国外已展开研究, 我国也刚刚起步, 但是, 目前国内外关于木质材料界面结合强度的测试和表征的报道很少, 定量描述木质材料界面结合强度的研究尚处于起步阶段。所以, 建立可定量表征木质材料界面结合强度的测试技术, 分析影响界面结合强度的因素已成为木质材料界面力学领域中极为重要和紧迫的课题。界面结合强度与木质材料宏观性能之间存在密切关系, 界面结合强度是界面微结构特性与木质材料宏观力学性能之间的中间参量, 在建立界面结合强度表征技术基础上, 深入探讨界面结合强度与木质材料宏观力学性能之间的关系是一项非常有意义的工作。

界面工程属系统工程, 涉及面很广, 例如界面化学、界面形态、界面物理、界面力学、材料科学等, 属交叉学科的大课题, 目前, 还没有取得令人满意的结果。近年来, 力学工作者与材料科学工作者密切合作, 从界面及其力学角度逐渐揭开了复合材料界面的神秘“面纱”, 材料科学正向界面及其力学渗透, 深入研究界面层结构、界面力学特性表征。因此, 有必要将这些可贵的进展引入木质材料界面及其力学的研究中, 从界面及其力学分析入手, 深入研