

研究与开发

# 两种无损检测方法对 CCA 处理材的性能评价比较

尚大军<sup>1,2</sup>, 段新芳<sup>2</sup>, 杨中平<sup>1</sup>, 李家宁<sup>1,2</sup>, 王平<sup>2</sup>

(1. 西北农林科技大学机电工程学院, 陕西杨凌 712100;

2. 中国林科院木材工业研究所; 国家林业局木材科学与技术重点实验室, 北京 100091)

**摘要:** 采用应力波和超声波无损检测, 对 CCA 处理前后沙棘木材密度、应力波和超声波传播速度及动弹性模量的性能进行评价比较。通过配对  $t$  检验的数据分析, 结果表明: CCA 处理对沙棘木材密度有显著影响, 但对应力波和超声波传播速度以及动弹性模量的影响不显著; 两种无损检测方法所得的数据具有高度的一致性, 证明了测定结果的可靠性。

**关键词:** 沙棘木材; CCA; 应力波; 超声波; 无损检测; 力学性能

中图分类号: S781.2; TH878

文献标识码: A

文章编号: 1001-8654(2008)02-0017-03

## Dynamic Performance of Wood before and after CCA Treatment

SHANG Da-jun<sup>1,2</sup>, DUAN Xin-fang<sup>2</sup>, YANG Zhong-ping<sup>1</sup>, LI Jia-ning<sup>1,2</sup>, WANG Ping<sup>2</sup>

(1. College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A & F University, Yangling 712100, Shaanxi, China;

2. Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry; Key Lab of Wood Science and Technology of State Forestry Administration, Beijing 100091, China)

**Abstract:** Ultrasonic wave and stress wave methods were used to evaluate the stress wave, or ultrasonic transmission speed ( $v$ ), and dynamic modulus of elasticity ( $MOE_D$ ) to examine the influence of CCA treatment on wood properties. Forty seabuckthorn rafters, before and after a CCA treatment, were tested. Through an analysis of Paired Student's  $t$ -test, the results showed that CCA treatment had a significant effect on wood density, but had little influence on stress wave or ultrasonic transmission speed and dynamic modulus of elasticity. The data obtained by the two NDT methods indicated a high-level of consistency which provided a certain dependability of the test results.

**Key words:** Seabuckthorn wood; CCA; stress wave NDE; ultrasonic NDT; mechanical properties

无损检测是以不破坏被检测对象的性能和使用效果为前提, 对材料进行检测。近半个多世纪以来, 在材料科学领域得到广泛应用。木材弹性模量是表征木材力学性能最基本和最重要的指标之一, 快速测定木材弹性模量, 可以对木材性能和强度进行有效的预测<sup>[1-2]</sup>。最常用的无损检测方法有应力波和超声波技术, 以木材的声传播特性为物理基础, 通过测定木

材的声传播速度, 从而计算出木材的动弹性模量。

沙棘是西藏山南地区的常见树种, 质硬、耐腐, 是建造传统石木结构房屋时所常用的一种建筑材料。近年来进行的布达拉宫、罗布林卡和萨迦寺等“西藏三大文物维修工程”, 也选用了大量的沙棘作为新换房椽。但防腐处理是否会降低沙棘木材的力学强度, 应力波和超声波的无损检测技术, 可否检测防腐木材的力学性能, 是有关部门所关心的问题。笔者以沙棘为试材, 采用应力波和超声波无损检测技术, 分析比较 CCA 处理对沙棘木材力学性能的影响, 以考察其用于防腐处理材力学性能测定的可行性。

收稿日期: 2007-05-10; 修改稿: 2008-02-20

基金项目: 科技部社会公益研究专项(2004DIB5J187)。

作者简介: 尚大军(1981—), 男, 西北农林科技大学硕士研究生。

通讯作者: 段新芳, 男, 中国林科院木材工业研究所研究员, 博士生导师。

1 材料与方法

1.1 材料

1) 沙棘试材

试验在西藏三大文物维修工程木材防腐厂进行。新鲜沙棘(*Hippophae* spp.)采自西藏山南地区,共40根。测定时,将试样依次平放于地面上,靠近地面的一面指定为A测定面,与其相对的一面则定为B测定面,分别测定每根试样A、B面处理前后的含水率。试材的基础数据如表1所示。

表1 沙棘试材基础数据

Tab. 1 Basic data of experimental materials

| 测试项目     | 平均值   | 最大值   | 最小值   |
|----------|-------|-------|-------|
| 试样长度/m   | 3.63  | 3.88  | 3.47  |
| 大头直径/cm  | 17.03 | 22.80 | 13.74 |
| 小头直径/cm  | 14.54 | 19.40 | 9.40  |
| 处理前含水率/% | A面    | 37.57 | 56.90 |
|          | B面    | 38.39 | 60.37 |
| 处理后含水率/% | A面    | 40.55 | 63.48 |
|          | B面    | 55.58 | 76.50 |

2) 防腐处理

防腐剂CCA的质量分数为5%,采用压力浸注处理方法对沙棘材作防腐处理。

1.2 方法

1) 测试方法

对CCA处理前后的沙棘木材分别进行检测。应力波检测仪采用匈牙利产FAKOPP 2D,超声波检测仪采用美国产PUNDIT。应力波检测时,对每根试样分别沿A、B两个测试面进行纵向检测(即树干的长度方向),各测4次。根据FAKOPP 2D的使用说明,舍弃第1次的测试数据,将后3次的计算平均值;超声波检测时,超声波的传播距离为试样的总长度,每根试样测试3次,并计算平均值。2种方法测试完毕后,在每根试材的两端进行密度试评取样,按照GB 1933-91《木材密度测定方法》测定密度。

2) 数据处理

试验数据分析采用两总体平均数的配对t检验进行分析,配对t检验是用服从T分布的统计量检验正态总体均值的方法。若:

$$\frac{|X_{处理前}-X_{处理后}|}{\sqrt{\frac{n_1S_{处理前}^2+n_2S_{处理后}^2}{n_1+n_2-2}}\sqrt{\frac{1}{n_1}+\frac{1}{n_2}}}>t_{\alpha}(n_1+n_2-2)$$

其中: $X$ —考察项目记录符号,代表 $\rho/(g\cdot cm^{-3})$ 、 $v/(m\cdot s^{-1})$ 或 $MOE_D/MPa$ ;  $n_1$ —处理前的试验样本数;  $n_2$ —处理后的试验样本数;  $S_2$ —样本方差。

则CCA处理对考察项目( $\rho$ ,  $v$ 或 $MOE_D$ )具有显著影响,否则,影响为不显著。

为验证无损检测的准确性,对处理前后沙棘木材的应力波和超声波测试结果进行对比分析,若:

$$\frac{|X_{超声波}-X_{应力波}|}{\sqrt{\frac{n_1S_{超声波}^2+n_2S_{应力波}^2}{n_1+n_2-2}}\sqrt{\frac{1}{n_1}+\frac{1}{n_2}}}>t_{\alpha}(n_1+n_2-2)$$

其中: $n_1$ —超声波测定的试验样本数;  $n_2$ —应力波测定的试验样本数。

则应力波和超声波的测试结果存在显著差异;反之,二者的测试结果具有一致性。

2 结果与讨论

2.1 CCA处理前后沙棘性能对比

40根沙棘材CCA处理前后的密度( $\rho$ )、应力波或超声波传播速度( $v$ )以及动弹性模量( $MOE_D$ )的测定结果及采用配对t检验的相关分析如表2所示。

表2 CCA处理前后沙棘木材物理力学性能对照分析

Tab. 2 Analysis on wood properties before and after CCA treatment

| 测试项目                                 | CCA<br>处理 | 平均值      | 标准差    | 变异系<br>数/% | 衰减百<br>分比/% | T检验差<br>异统计量 | $t_{\alpha}$ 检<br>验值 | 显著性 |
|--------------------------------------|-----------|----------|--------|------------|-------------|--------------|----------------------|-----|
| 应力波                                  |           |          |        |            |             |              |                      |     |
| $\rho/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$ | 前         | 0.41     | 0.03   | 7.38       | -14.36      | 2.682        | 1.994                | 显著  |
|                                      | 后         | 0.46     | 0.03   | 6.46       |             |              |                      |     |
| $v/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$     | 前         | 3 420.48 | 130.39 | 3.81       | 3.68        | 1.398        | 1.994                | 不显著 |
|                                      | 后         | 3 294.60 | 120.94 | 3.67       |             |              |                      |     |
| MOE <sub>D</sub> /MPa                | 前         | 4 959.49 | 647.80 | 13.06      | 1.13        | 0.107        | 1.994                | 不显著 |
|                                      | 后         | 4 903.54 | 806.57 | 16.45      |             |              |                      |     |
| 超声波                                  |           |          |        |            |             |              |                      |     |
| $\rho/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$ | 前         | 0.41     | 0.03   | 7.38       | -14.36      | 2.682        | 1.994                | 显著  |
|                                      | 后         | 0.46     | 0.03   | 6.46       |             |              |                      |     |
| $v/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$     | 前         | 3 443.87 | 181.32 | 5.26       | 6.91        | 1.954        | 1.994                | 不显著 |
|                                      | 后         | 3 205.88 | 158.03 | 4.93       |             |              |                      |     |
| MOE <sub>D</sub> /MPa                | 前         | 4 783.39 | 512.76 | 10.72      | 0.40        | 0.049        | 1.994                | 不显著 |
|                                      | 后         | 4 764.16 | 577.41 | 12.12      |             |              |                      |     |

注: $X$ 衰减百分比/%= $|X_{处理前}-X_{处理后}|/X_{处理前}$ ;  $\alpha=0.05$ 。

由表2可以看出:CCA处理后,由于CCA渗透,到沙棘木材内部,致使木材的密度比处理前增大了14.36%;t检验表明,CCA处理对沙棘木材密度变化影响显著。沙棘木材的应力波和超声波传播速度分别比处理前下降了3.68%和6.91%, $MOE_D$

比 CCA 处理前分别下降了 1.13% 和 0.40%。但配对  $t$  检验表明 CCA 处理对应力波和超声波传播速度以及沙棘木材的动态弹性模量都没有显著的影响,说明防腐处理使沙棘木材的力学强度略有降低,但影响并不显著,与前人采用静态弯曲法所得的结论基本相同<sup>[3-5]</sup>,同时说明应力波和超声波无损检测技术用于比较防腐处理前后木材力学性能的变化是可行的。

2.2 应力波与超声波测定结果对比

表 3 对应力波和超声波的测定结果进行对比分析,以探讨 2 种无损检测方法,在测定 CCA 处理前后木材性能的准确性。

表 3 应力波和超声波测定结果对比

Tab. 3 Comparison of test results between stress and ultrasonic wave testing methods

| 测试项目                               | CCA 处理 | 平均值      | 标准差    | 变异系数/% | T 检验差异统计量 | $t_{\alpha}$ 检验值 | 显著性 |
|------------------------------------|--------|----------|--------|--------|-----------|------------------|-----|
| CCA 处理前                            |        |          |        |        |           |                  |     |
| $v/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$ | 应力波    | 3 420.48 | 130.39 | 3.81   | 0.207     | 1.994            | 不显著 |
|                                    | 超声波    | 3 443.87 | 181.32 | 5.26   |           |                  |     |
| CCA 处理后                            |        |          |        |        |           |                  |     |
| MOE <sub>D</sub> /MPa              | 应力波    | 4 959.49 | 647.80 | 13.06  | 0.421     | 1.994            | 不显著 |
|                                    | 超声波    | 4 783.39 | 512.76 | 10.72  |           |                  |     |
| CCA 处理后                            |        |          |        |        |           |                  |     |
| $v/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$ | 应力波    | 3 294.60 | 120.94 | 3.67   | 0.880     | 1.994            | 不显著 |
|                                    | 超声波    | 3 205.88 | 158.03 | 4.93   |           |                  |     |
| MOE <sub>D</sub> /MPa              | 应力波    | 4 903.54 | 806.57 | 16.45  | 0.277     | 1.994            | 不显著 |
|                                    | 超声波    | 4 764.16 | 577.41 | 12.12  |           |                  |     |

由表 3 可知:CCA 处理前后,无论是应力波或超声波传播速度,还是沙棘木材的 MOE<sub>D</sub>,2 种无损检测方法的测试结果相差甚微; $t$  检验结果也表明,测试方法对沙棘木材的力学性能影响不显著,即对于同一条件下的应力波和超声波传播速度和木材的 MOE<sub>D</sub>,2 种测试方法所得的结果具有一致性。证明

2 种无损检测技术用于测定 CCA 处理前后的沙棘木材力学性能完全可行。

3 结论

1) 由于木材防腐剂 CCA 渗透到沙棘木材内部,致使 CCA 处理后沙棘木材的密度增加了 14.36%,通过配对  $t$  检验,表明 CCA 处理对沙棘木材的密度变化具有显著影响。

2) CCA 处理会使沙棘木材的应力波和超声波传播速度,以及木材的 MOE<sub>D</sub> 略有降低,但  $t$  检验的结果表明,这种影响并不显著,说明 CCA 处理对沙棘木材的力学强度没有显著的影响。

3) 应力波测试结果与超声波测试结果非常一致,说明 2 种无损检测方法所得的数据具有一定的可靠性,对 CCA 处理前后木材的力学性能的测定完全可行。

参考文献:

[1] 刘镇波,刘一星,于海鹏,等. 木材弹性模量自动检测的研究进展[J]. 林业科技,2004,29(1):45-48.

[2] 刘镇波,刘一星,于海鹏,等. 实木板材的动态弹性模量检测[J]. 林业科学,2005,41(6):126-131.

[3] 王平,姜笑梅,秦特夫,等. 木材防腐在山东关镇东楼木结构中的应用[J]. 木材工业,2000,14(4):33-35.

[4] 王朝晖,吴玉章,费本华,等. ACQ 和 CuAz 防腐处理对木材力学性能的影响[J]. 木材工业,2004,18(3):18-22.

[5] 蒋明亮. 低毒防腐剂百毒清及铜制剂对木材尺寸稳定及力学性能的影响[J]. 林业科学,2001,37(4):107-110.

(责任编辑 鲍加芬)

行业简讯

'08 Indiawood 成绩显著

第五届印度木工机械展(Indiawood)已于 2008 年 2 月 29—3 月 4 日,在印度班加罗尔国际展览中心落幕。

据悉,本届展会共有展商 400 多家,其中近 55% 是国际展商。展会面积达到 2.5 万 m<sup>2</sup>,成为欧洲和美国以外地区的大规模行业展会之一。虽然展会是首次在班加罗尔国际展览中心举行,仍然吸引了来自

世界各国的观众 1.8 万名。展会期间交易额突破 US \$ 2 000 万,预计还有 US \$ 2.5 亿的意向交易将在展会后达成。

Indiawood 的成功反映了印度建筑和木制品行业对木工机械的强劲需求。下届展会将于 2010 年在班加罗尔举行。

本刊讯