

本期专题：无损检测技术在木材保护中的应用



- 无损检测的基本原理
- 无损检测在木材保护中的应用
- 木材保护中常用无损检测技术
- 无损检测技术在木材保护中的应用案例

前言：

面对森林资源不足，如何合理利用、保护、发展现有林木资源，提高木材利用率是目前相关研究的重中之重。木材无损检测技术是一门新兴的、综合性的木材非破坏性检测技术。木材是天然生物材料，具有形状不规则性及变异性和物理力学性能各向异性的特点。传统的木质检测主要是借助于在树干上打洞而确定树空的程度。使用这种手法不仅会树身造成伤害，而且树木会受到真菌感染从而造成生长缓慢，因而对木材及其制品的无损检测有其独特性。

无损检测是利用材料的不同物理力学或化学性质在不破坏目标物体内部及外观结构与特性的前提下，对物体相关特性（如形状、位移、应力、光学特性、流体性质、力学性质等）进行测试与检验，尤其是对各种缺陷的测量。无损检测的最大特点是既不破坏材料的原有特性，又能在短时间内连续获得检测结果。

基本原理

无损检测的 基本原理

无损检测(Non-destructive Testing或Non-de-structive Evaluation, 简称NDT或NDE), 又称非破坏性检测, 是利用材料的不同物理力学或化学性质在不破坏目标物体内部及外观结构与特性的前提下, 对物体相关特性(如形状、位移、应力、光学特性、流体性质、力学性质等)进行测试与检验, 尤其是对各种缺陷的测量。无损检测的最大特点是既不破坏材料的原有特性, 又能在短时间内连续获得检测结果。在连续生产线上作的在线检测, 操作人员可根据反馈的数据, 及时调整工艺参数, 提高了产品质量和生产效率。木材无损检测技术经过40多年的发展, 已取得很大成就。木材物理力学性能无损检测技术是建立在多学科的高级技术基础上的, 是无损检测技术的巨大发展, 标志着无损检测技术已由定性检测缺陷进入定量检测物理力学性能的新阶段。

木材含水率的无损检测

木材含水率是影响与决定木材使用的重要指标, 对古建筑木构件, 含水率更具有重要意义。木构件含水率过高, 则意味这些木构件发生病虫害的可能性大, 必须引起重视。

古建筑木结构部件的现场检测

对古建筑木结构维修和保护时, 需要在维修前对建筑木结构的可靠性、安全性做出评价, 这一要求可以通过采用无损检测技术检测木构件的残余强度和木构件内部缺陷位置而得以实现。

古树名木的健康状况评价

在不破坏其生长和引起新的灾害条件下, 对古树内部缺陷进行无损检测, 是目前美国、欧洲和日本等发达国家对城市树木进行保护采用的重要技术。

肉眼观察

最简单和最古老但至今仍在使用的无损检测方法就是肉眼观察, 可帮助对无损检测结果进行判别和验证。如对破裂碎片、机械破坏、后期腐朽和严重的虫蛀等情况进行肉眼观察, 可根据观察判断的结果确定检测部件或产品的优劣与是否合格或淘汰。

生长椎取样

林业研究经常需要对树木进行取样测量, 生长椎是通用的取样工具。用生长椎钻取木芯可以判断腐朽深度。

无损检测 在木材保护 中的应用

木材保护 常用的无损 检测技术

主要技术及产品

生长锥取样 及主要产品

1. 瑞典树木生长锥

为什么世界的相关科研人员都选用瑞典产的生长锥？因为瑞典的碳钢质量是世界上最好的。这保证了瑞典生长锥的坚固耐用，取样迅速。

特点：

- 钻头有两线和三线螺纹式选择，适合不同木质
- 特氟龙涂层，减少钻头进出时的阻力
- 把手上有塑料防滑套

参数：

- 不同长度：10-80cm
- 不同取样直径：4.35、5.15、12 mm，一般用5.15 mm。



声应力波

原理：

声波是能引起听觉的、频率在0.02~20 kHz的振动波。声应力波是最常用的、对古建筑木结构进行安全评价的无损检测方法，是通过冲击或用给定的应力使其产生振动，但目前主要采用的是冲击产生振动的方法。声应力波法常通过测定声传播速度或振动波谱的方法来进行分析。因为声速测定简便易行，对木构件常用测定声速来计算木构件的残余动弹性模量，其计算公式为：

$$E = D V^2$$

式中：E 一是木材动弹性模量；D 一木材密度； V 一声应力波速度。

当木材发生腐朽或虫蛀时，垂直于木材纹理方向的传播速度急速增加。若应力波传播速度增加30%，表明木材强度损失已达到50%；若应力波传播速度增加50%，则意味着木材遭到了严重损害；横向（径向或弦向）是探测腐朽的最佳途径。在进行无损检测时，常以健康材应力波的传播速度为标准来判断分析被检测材是否腐朽。

1. ARBOTOM二维/三维树木断层检测仪

评估和显示树木或木材内部状况的三维数据和图像（树木直径没有限制）。发现树木的缺陷和完好区域。判断树木茎干的质量，稳定性和可利用性。单人测量一棵树的时间少于10分钟。

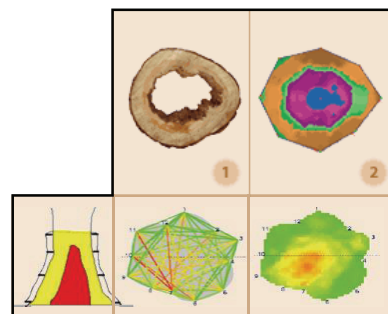


声应力波法 原理及主要 产品

主要技术及产品

系统组成:

- 电子震动传感器: 根据树木大小, 数量不限
 - 一维检测: 2个传感器
 - 二维检测: 最少3个传感器, 推荐6-10个
 - 三维检测: 最少8个传感器, 推荐10-20个
- 传感器连接电缆 (最长20米)
- 2D/3D (二维/三维) 扫描和图形软件



2. PICUS树木断层检测仪

工作原理:

该仪器评估和显示树木或木材内部状况的三维数据和图像(树木直径没有限制)。发现树木缺陷和完好区域。判断树木茎干的质量, 稳定性和可利用性。单人测量一棵树的时间少于10分钟。



3. HM200原木品质测量仪

硬度和纤维品质是木材、纸浆和造纸过程中的主要影响因素。通过声音技术, 这款仪器提供一个很直接的方式来测量原木或木材的紧实度, 无损害的快速判断检测原木的内部品质。

测量原理: 利用声音在原木和木材中的传播速度, 来评估木材的紧实度。输出的声音传播速度是由声音传播的距离和时间计算而得。

应用: 评估原木的紧实程度, 确定木质好坏, 方便对其进行分级。还可用于木材加工、造纸选材行业, 比如快速分级木材、装饰板等。

特点:

- 测量结果精确, 测量原木的长度可达40米;
- 与机械应力级(MSR)木材和抗弯弹性模量(MOE)木材分级是对应的;
- 可存储上千组数据, 并下载到电脑里;



4. ST300立木品质测量仪

木材品质的评估非常困难, 此款仪器最大的价值在于, 能够快速和有效的评估活体木材的品质特性及价值。在决定是否购买某些树木或者是否采伐某些树木时候, 提供有力的参考。

主要技术及产品

声应力波法 原理及主要 产品

测量原理：利用声音在活体木材中的传播速度，来判断木质情况。输出的声音传播速度是由声音传播的距离和时间计算而得。

应用：主要用于判断活体木材的紧实程度，从而确定木质的好坏。还可以用于评估木材的价格。

特点：

- 防水设计，测量速度快，少于1分钟就能得到结果；
- 操作简单，一个人就可以；
- 能够客观的评估树木的紧实度；
- PDA数据存储器能存储几千组数据；

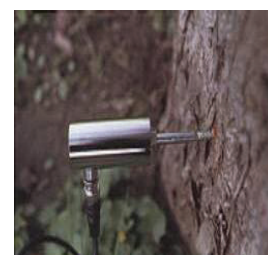
本产品受以下专利保护：

- NZ 537850
- US 7418866



5. 电锤式树木质地探测仪

通过探测声波在树木和木材中的传输速度等特性，探测其内部的腐烂、裂缝、空穴等缺陷。使用简单，对树木损伤小。声波传输速度可以直接显示在手持表的液晶屏幕上。数据可以下载到计算机容软件进行分析。



超声波

原理：

用超声应力波对木材作无损检测的方法与用声应力波基本相同。其测定的原理分为穿透应力波系统和脉冲一反应系统两种，现有设备就是按照这两种原理设计制造的。穿透应力波系统是指超声波沿被检测木材的厚度方向传播，同时被检测木材的声波特性被记录下来；而脉冲一反应系统是依据测定并记录被传播到材料内部表面的回声波的特征，以评定木材腐朽深度等。

1. TRU树木雷达检测系统

应用：TRU树木雷达检测系统是为了检测树木内部结构受损程度而设计。它利用地面探测技术与核磁共振技术对树木进行非侵入式扫描，并可以清晰成像。本系统有两种独立的测量方法，分别用于测量树干及树根的健康状况和结构的完整性。树木雷达检测系统的检测工作主要由两个独立步骤组成。一个是野外数据的采集，一个是非现场数据分析软件模块对数据进行分析。

超声波法 原理及主要 产品

主要技术及产品

特点:

- 一次新的测量设置只需5分钟, 围绕树干进行一个完整的360度扫描(在同一高度)只需要1分钟;
- 配备的可充电的电池可以持续使用6个小时以上;
- 树干无需事前处理, 通常在树干的多个高度位置进行360° 扫描, 以准确绘制出树干内部不同高度的空洞和腐朽情况;
- 地下树根扫描需要30-60分钟, 以准确绘制根密度、位置和深度的结果图;

树干检查 (Trunk Inspection)

- 可对树木进行多个高度360° 扫描, 通常相隔距离为6英尺、5英尺、4英尺、3英尺和2英尺;
- 最大扫描树干直径可达4.2米;
- 最少配置快速启动, 通常20分钟内就能完成整个多层扫描;
- 通过扫描可以预测到树木内部每个高度的横截面图象;
- 可显示树木内部完整的情况, 相当于一台虚拟钻孔机;
- 有效检测出树木内空洞及腐朽部分;
- 单一点扫描模式: 当树干底部受到重压而成不规则形状时, 只需在底部的随意一点上扫描即可生成专业的分析报告。



根系检查 (Root Inspection)

- 对地表下根结构进行快速非破坏的检查可以分辨出地表下的电缆、输送管等
- 使用900赫兹通用天线的扫描深度达到1米, 精确至直径1厘米的根组织
- 使用400赫兹根系检查专用天线扫描深度达到4米, 精确至直径为2.5厘米的根组织, 且可以穿透地基、公路等坚固表面
- 最少配置的快速启动, 通常30至60分钟内完成整个多层扫描
- 可平行于树进行直线扫描, 也可围绕树进行同心圆扫描
- 每一次扫描都有相对应的地下根部位置和深度的2D图像
- 可以得出配有显示地下根系分布和密度的自上而下的3D图像
- 可以透过沥青和混凝土检测出地下根部状况并绘制图像
- 生成专业的分析报告



主要技术及产品

电阻测定

常见的有利用木材电阻和木材含水率的相关关系测定木材含水率，但在木材含水率大于纤维饱和点时，检测误差较大，需有校正系数。还可以利用木材电阻特征在现场探测木材腐朽。

1. Shigometer木质探测仪

Shigometer木质探测仪可以直接在活的树木上以最小伤害的情况下，测量树木的木质情况。预先钻一些2.38 mm的小孔(树木可在很短的时间内恢复)，插入探针直接检测，在健康的区域，电阻读数会较高和变化轻微，在腐朽的区域，读数会较小和变化很大。读数变化的大小即为腐朽的等级。测量结果可直接反映在显示屏上。电池供电，方便在野外使用。

系统组成：

- 测量范围：高 0—500 Kilohm（千欧姆）；
低 0—50 Kilohm（千欧姆）
- 工作环境：0—60℃
- 仪器尺寸：14.6×17.15×7 cm



木材阻力测定

原理：采用一根小钻针，在通电情况下，匀速加力使小钻针穿入木材内部，采用携带的记录纸或计算机磁盘记录小钻针进入木材内部的阻抗曲线，其中阻力大小和进入深度直接相关。根据阻抗曲线可以判断木材内部具体部位的早晚材密度、应力木、年轮密度等情况，为判断木材内部腐朽、虫蛀、白蚁危害程度提供有效可靠的依据。

RESISTOGRAPH树木针测仪

特点：

- 容易操作，探头自动刺入，速度可控
- 高精度，高分辨率
(分辨率:0.1或0.01mm)
- 1:1尺寸的纸带图形输出
- 刺入探针很细，对树木基本没有损坏
- 探测深度：45cm(可订制100cm)

应用：

- 危险树木的侦测
- 树木腐败和其它木质缺陷的发现
- 年生长率的评估
- 树木质量的评估



主要技术及产品

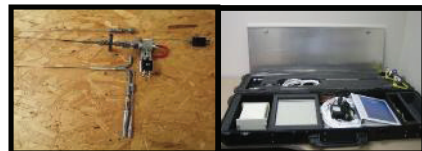
在线木材温度 压力监测 系统

在线木材温度和压力监测系统

1. PressMAN Lite 在线木材温度和压力监测系统

功能用途：在线连续测量干燥窑内木材内部温度和压力，以便研究木材干燥的传热和传质。

基本技术指标：探针直径1.82mm, 长度480mm和730mm，测量范围到70度，耐温范围最高到120度，湿度100%。



无损检测木材的含水量

木材含水率是影响与决定木材使用的重要指标，对古建筑木构件，含水率更具有重要意义。木构件含水率过高，则意味这些木构件发生病虫害的可能性大，必须引起重视。

1. 手持木材水分仪

手持式水分仪是一系列用电容法测量水分含量的仪器，内含微处理器控制，针对不同木材、建筑物质和纸张进行准确、快速、便捷的水分测量



FMW FMW-T FMC FME FMD6

2. J-2000树木水分仪

快速、简易、精确测量树木含水量, 只需插入探针到树木, 按读数键即可得到测量结果。

具体配置如下：

- 测量范围：6—40%体积含水量
- 分辨率：0.1%
- 仪器尺寸：19 × 7 × 4.5cm



其他方法

1. γ 射线

利用γ射线可以定量探测木材内部腐朽程度，也可以定量测定防腐剂痕量元素在木材中的分布。其缺点是要用到放射性元素。

2. X—射线

主要用于木材内部腐朽和木材节疤等缺陷的检测及木材微密度测定等，常见的如X—射线木材缺陷检测系统、软X射线木材微密度测定仪等。

无损检测木 材含水量及 主要仪器

其他方法

应用案例

🌳 故宫木建筑的无损检测

目前，RESISTOGRAPH与ARBOTOM被应用于中国一大研究项目。中国林科院木材工业研究所使用了RINNTECH技术的仪器在北京恭王府和故宫完成了调查。



该项目主要关注古老木建筑的的无损质量评估，木结构的腐烂程度检测与计数。专家认为RESISTOGRAPH与ARBOTOM对于检测古老木建筑非常有效。”

🌳 广州市园林科学研究所对古树健康状况及安全性评估

应用德国进口的PICUS弹性波树木断层画像诊断装置对古树主干进行现场检测分析。根据古树现场调查的结果，根据实际情况，确定检测的树干横截面，应用PICUS进行树干横截面内部状况的现场检测。检测完毕之后，PICUS配套软件会得出一个二维的断层诊断图像。根据该画像，可以进行该横截面木质部腐烂位置与比率的分析，同时结合外部观察，判断其准确性，同时初步分析其腐烂的原因。

PICUS由一系列探测器组成（8到12个）。它们由皮带固定在树干上。声音探测器将单独通过钢钉与树木建立联系，钢钉应穿透树皮并固定在树木的第一年轮处。这样不会对树木造成明显的伤害。在测量过程中，通过每个测量点人工产生声音讯号，其它探头感应并记录声音在树木中的传播时间。使用几何数据我们可以确定声音在各个测量点之间的传播速度。这些速率数据将被按照一定的标准进行互相比对。通过整合每次测量所得传播速度，我们可以得到整个树木横截面的声音传导特性。之后，PICUS分析程序将树干横截面不同的声导特性以不同的颜色表示出来，即深色（深色以及棕色）代表高声导速率区域——即健康木质部。其它颜色（紫色、蓝色至浅蓝色）代表低声导速率区域——即受损木质部或者空气。



无损检测的
应用案例

应用案例

应用HM200监测木材坚韧程度

本研究目的是收集声数据表征原木品质。应用HM200，2小时内能够收集80至120根原木数据。数据采集的速度取决于原木是否已经被砍伐成固定长度。操作很简单，一次敲击原木并收集数据（如图1所示）。

通过对数据处理可以描绘出高斯分布曲线，进而对原木依据其品质进行分类。



Resistograph检测树木火后情况

Resistograph（IML公司，肯尼索，佐治亚州）是一种记录木材质量的仪器IML公司已经研制出了快速，准确，和非衰减无损检测树木内部结构的Resistograph仪器(IML, Inc. 2006) 该仪器能非常精密的记录木材的电阻变化。此外，辅助配套软件能够对原始导出的数据进行统计分析。

如图：工人利用IML RESI F400-S Resistograph 树木着火痕迹处的衰减分析。数据导入并存储到F-Tools Pro软件中。



ST300预测欧洲赤松的内在机械性能

英国目前改变一项政策，那就是由对森林的改造转变为持续的关于森林覆盖体系的建立，这项体系主要依靠种植自然地可再生的植物和增加种植本地物种来实现的，例如种植欧洲赤松。由于还很缺乏成熟的森林覆盖体系研究，这项政策对未来木材品质的影响无法估测，所以很难采用常规的破坏性试验。报道证实了使用ST300去预测欧洲赤松的内在机械性能有良好的研究结果。为了证实使用ST300来预测欧洲赤松的力性能声学测试被应用于两个平均树龄差不多的树上。

图1中显示了，应用ST300评估自然生长的苏格兰松树的品质。



图1：Glengarry, 7月6日

参考文献

1. Picus Sonic Tomograph Testing. Paul Vezgoff Consulting Arborist Moore Trees.2008
2. Peter Carter. Acoustic Testing to Enhance Western Forest Values and Meet Customer Wood Quality Needs.2005.
3. Scots Pine Timber Quality in North Scotland.2008.
4. Method 28 Fuel Moisture Measurement Evaluation.2009.
5. Non Invasive Assessment Invasive Assessment of Tree and Root of Tree and Root Structural Integrity Structural Integrity.
6. Assessment of MoE using Acoustic Speed in Wood Director HM200-Student projects.
7. A.Gilbert.Picus Sonic Tomography for the Quantification of Decay in White OAK (QUERCUS ALBA)and Hickory (CARYA SPP.).Journal of Arboriculture.2004,30(5).
8. Frank S.Santamour,Jr. Wound Compartmentalization in Cultivars of Acer, Gleditsia, and Other Genera1.U.S. National Arboretum Agricultural Research Service U.S. Department of Agriculture Washington, D.C. 2002.
9. Paul Dykema. The Resistograph[J]. City Trees.2001,37(1).
- 10.Jozef Bodig. The Process of NDIE Research for Wood and Wood Composites[J]. NDT. net.2001,6(3).
- 11.Norman Kamarudin.Environmental Factors Affecting the Population Density off Oryctes rhinoceros in a Zero-Burn Oil Palm Replant.Journal of Oil Palm Research.2005,17:53-63.
- 12.David Auty. Non-destructive Evaluation of Scots Pine (Pinus sylvestris L.) to determine Timber Quality Following Conversion to Continuous Cover Forestry Systems.A dissertation presented for the degree of Master of Science University of Edinburgh, 2006.

参考文献



渠道科技
CHANNEL TECH

地址：北京市海淀区大钟寺13号华杰大厦7B15室

邮编：100098

电话：010-62111044/62152442/62118532/62118533

传真：010-62114847