

无损检测技术在木材保护中的应用

段新芳,李玉栋,王平

(中国林科院木材工业研究所,北京 100091)

摘要: 古建筑木结构和古树名木的保护是木材保护的重要内容,也是无损检测技术应用的重要领域之一。本文着重论述了无损检测技术在木材保护中的主要用途和主要的检测技术,以及国内外木材保护中常用的无损检测仪器,为无损检测技术在我国木材保护中的应用提供参考。

关键词: 无损检测;木材保护

中图分类号:TB302.5, TS611 文献标识码:A 文章编号:1001-8654(2002)05-0014-03

Review of NDE Technology as Applied to Wood Preservation

DUAN Xin-fang, LI Yu-dong, WANG Ping

(Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: Preserving old trees and ancient wood structures are important areas of wood preservation. Non-destructive evaluation (NDE) is a new technology being applied to this field. This paper investigates the application of NDE technology into the evaluation of the safety of ancient wood structures as well as the determination of the health of old trees in China. This paper discusses the major uses, common techniques and types of equipment used when using NDE technology in wood preservation applications.

Key words: Non-destructive evaluation; Wood preservation

无损检测(Non-destructive Testing 或 Non-destructive 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^[1]。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, 因而对木材及其制品的无损检测有其独特性, 也有着许多困难。尽管如此, 木材无损检测技术经过 40 多年的发展, 已取得很大的成就, 广泛应用于木材分等、含水率测定、干燥过程的控制、力学性能和缺陷的检测等方面^[1~5], 本

文着重介绍无损检测技术在木材保护中的应用。

1 无损检测在木材保护中的应用

1.1 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^[2,6]。

常用的木材含水率无损检测仪器有根据直流电、高频电流、介电常数、微波、红外线等原理开发制造的, 这些设备目前国内外产品种类较多。

1.2 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, 获得进行设计或维修中需要更换的木构件等基础资料, 为维修工作提供技术依据, 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^[2~6]。

收稿日期: 2001-12-18

作者简介: 段新芳(1965-), 男, 中国林科院木材工业研究所副研究员, 博士。

1.3 古树名木的健康状况评价

古树名木不仅是重要的自然资源和景观,也已成为重要的文化遗产,得到世界各国政府的重视与保护。为加强古树名木的保护,必须在不破坏其生长和引起新的灾害的条件下,对古树内部缺陷进行无损检测,这也是目前美国、欧洲和日本等发达国家对城市树木进行保护必须采用的重要技术^[9]。

2 木材保护常用的无损检测技术

2.1 肉眼观察^[10]

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。

2.2 近似无损检测的方法^[6,10]

近似无损检测的方法常与肉眼观察和听力联合使用。这些方法包括:

- ① 用锤子敲击,根据发出的声响来判断构件或原木有无空洞或腐朽;
 - ② 刮去部分树皮,检查木材表面硬度,根据硬度的大小初步判断腐朽程度;
 - ③ 使用木材阻力测定仪(如阻抗图波仪)测定木材内部腐朽;
 - ④ 采用近似无损检测方法帮助肉眼观察获得更多的信息,如用生长锥钻取木芯可以判断腐朽深度。
- 目前我国古建筑维修和古树保护中,主要采用肉眼观察和用锤子敲击来判断木结构部件有无空洞或腐朽,然后确定这些木构件是否更换。

2.3 声应力波^[3~8,10]

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:

$$E = DV^2$$

式中: E -是木材动弹性模量; D -木材密度; V -声应力波速度。

利用应力波测定残余动弹性模量需测木材密度,而密度的测定必须在现场采样后在实验室进行。

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。部分树种木材的应力波传播速度如表 1 所示。

表 1 应力波在不同树种健康材中的传播速度^[10]

Tab. 1 Transmission speed of stress wave in sound wood

树种	密度 g/cm ³	纵向速度 m/s	径向速度 m/s
鱼鳞云杉 <i>Picea jezoensis</i>	0.406	5080	1210
旱谷鱼鳞云杉 <i>P. jezoensis</i> var. <i>hondonensis</i>	0.391	5490	1360
库页冷杉 <i>Abies sachalinensis</i>	0.367	5320	1450
日本柳杉 <i>Cryptomeria japonica</i>	0.345	4330	1470
日本扁柏 <i>Chamaecyparis obtusa</i>	0.424	5120	1490
赤松 <i>Pinus densiflora</i>	0.465	4480	1470
圆齿水青冈 <i>Fagus crenata</i>	0.645	4010	1670
落叶松 <i>Larix leptolepis</i>	0.539	4070	1490
光叶桦 <i>Zelkova serrata</i>	0.589	3910	1140
冷杉 <i>Abies pectinata</i>			1360
日本七叶树 <i>Aesculus turbinata</i>	0.509	4040	
王桦 <i>Betula maximowicziana</i>	0.711	4830	
槭木 <i>Acer</i> spp.	0.590	4240	1690

选择测定声应力波振动波谱的方法,基本能克服检测传播速度的缺点,这是因为声应力波波谱能提供被检测材料所有的条件和特征,可以从其波谱中选取多个变量,如最大能量、主频率、频率位移等,以及多个无损检测参数提供同破坏性质相关的相关系数;还可选择与环境影响(温度、水分、边界条件)不大的变量进行检测。

为此在进行应力波无损检测时,最好选用能进行振动波谱分析的应力波检测仪,如果采用声传播速度检测仪器,应采用相应的方法弥补测定仪器带来的不便。

2.4 超声(应力)波^[6,10]

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-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-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。

2.5 其它无损检测技术^[10]

①电学方法 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。

② 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。

③X-射线 常用于实验室和生产线上,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。

3 木材保护常用的无损检测仪

木材保护常用的无损检测仪器有:含水率测定仪、木材阻抗测定仪、应力波测定仪、超声波测定仪等。其中含水率测定仪目前应用很多,这里不作介绍。

3.1 木材阻抗测定仪^[9]

其测定原理是采用一根小钻针,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。

木材阻抗测定仪是一类近似无损检测设备,主要用于木结构、木桥、电线杆、地板和树木等的探测。在美国、欧洲、日本和我国台湾,对古建筑木结构进行维修前的木结构安全评价常采用阻抗图波仪(Resistograph),可快速获得对被检测建筑木构件、活立木或木材内部缺陷结果,迅速确定是否更换被测木构件。阻抗图波仪的市场前景很好,但价格不菲。

目前木材阻抗测定仪有总部设在德国的德国 Frank Rinn, IML 公司生产的 Resistograph 和英国 Sibert Technology 公司生产的 SIBTEC microProbe 两大品牌。其中 Resistograph 是 1994 年就开始生产的产品,其小钻针直径为 1.5~3 mm,钻取深度长达 1.5 m;而 microProbe 直径为 1.0 mm,钻取深度可长达 1.5 m。目前生产的型号为 DigitalmicroProbe,有计算机接口及野外用打印机。

3.2 应力波测定仪

应力波测定仪品牌很多,如德国 Frank Rinn, IML 公司生产的电子锤(Electronic Hammer)和 ARBOTOM,美国生产的 JAMES-V,匈牙利的 Fakopp,德国的 PICUS sonic tomograph 等产品。这些产品基本都是以测定应力波传播时间为原理的仪器。

电子锤和匈牙利产的 Fakopp 测定仪可用于木材和树木的检测;而德国产的 PICUS sonic tomo-

graph 和 ARBOTOM 是具有多通道的应力波测定仪(如前者具有 13 个通道),可以获得树木横切面内部的二维或三维图像,从图像中很容易发现木材内部健康与腐朽情况以及腐朽的程度大小,因而在古树名木的健康监测中应用广泛。

目前台湾采用超声波或应力波无损检测技术进行古建筑木构件强度与腐朽程度的检测,及古建筑维修前与维修后木构件安全的评价。

3.3 超声波测定仪

超声波测定仪目前常见的有瑞士生产的 SYLVATEST 和 PUNDIT (Portable Ultrasonic Non-destructive Digital Indicating Tester),都可以对木材内部腐朽进行检测,也可以对活立木材质进行评价。其中 SYLVATEST 体积较小,便于野外使用。

3.4 Pilodyn 检测仪

为丹麦生产的原本专门用于进行电杆安全检测的一种无损检测仪器,目前已广泛用于古建筑木结构和古木保护的检测中。测定原理是以预先设定好的能量,将一个钢钉射入木材,测量钉子射入的深度就是检测的结果,其值与木材密度密切相关。木材密度大,则射入深度浅,反之,射入深度大。通过测定木构件表面硬度,以确定木材一定深度是否有缺陷或木材是否发生腐朽。我国目前在古建筑维修中应用该仪器较多。缺点是只能用于木材表面特性检测。

参考文献:

- [1] 李坚. 木材科学新篇[M]. 哈尔滨:东北林业大学出版社,1993.
- [2] 王平,等. 木材防腐技术在山东关东镇东楼木结构中的应用[J]. 木材工业,2000,14(4):33~35.
- [3] 黄彦三,等. 超音波应用于木麻黄立木树干心腐之探测[J]. 中华林学季刊,1997,30(4):445~450.
- [4] 陈载水,等. 木材长度对应力波传递速度与振动频率之影响[J]. 中华林学季刊,1997,30(2):195~201.
- [5] 祖父江信夫. 木材的非破坏检查[J]. 木材学会志,1993,39(9):973~979.
- [6] Ross R J, Pellerin R F. 1991 Nondestructive Testing of Assessing Wood Members in Structures[R]. USDA, Forest Products Laboratory, FPL-GTR-70, 1997.
- [7] Divos F, Tanaka T. Lumber Strength Estimation by Multiple Regression[J]. Holzforschung, 1997, 51: 467~471.
- [8] Macchioni N. Inspection Techniques for Ancient Wood Structures. In: Structural Analysis of Historical Constructions II. Eds[J]. By Roca P, Gonzalez J L, etc. CIMNE, Barcelona, 1998, 149~162.
- [9] Paul Dykema. The Resistograph[J]. City Trees, 2001, 37(1).
- [10] Jozef Bodig. The Process of NDE Research for Wood and Wood Composites[J]. NDT. net, 2001,6(3).
- [11] Tanaka T, Divos F, Fazan T. Nondestructive Evaluation of Residual Bending Strength of Wood with Artificial Defects by Stress Wave, Proce of the 11th International Symp[R]. On Nondestructive Testing of Wood. Madison, WI, USA 1998.