

研究与开发

应力波技术在古建筑木构件 腐朽探测中的应用

段新芳, 王 平, 周冠武, 高超英

(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: 采用应力波测定仪对西藏古建筑上的腐朽与虫蛀木构件进行无损检测和目测腐朽观察, 并将两种结果进行比较。结果表明, 应力波无损检测技术可以准确的判定木构件的内部腐朽与虫蛀; 表层腐朽分级与无损检测结果基本一致; 在古建筑维护中, 可在目测基础上, 再采用应力波技术检测确认, 为准确更换木构件提供定量评价依据。

关键词: 应力波技术; 应力波测试仪(FAKOPP); 古建筑; 木构件; 西藏; 腐朽

中图分类号: TH878; S781.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-8654(2007)02-0010-03

Detection of Decay and Insect Attacked Ancient Wood Members with Stress Wave Methods

DUAN Xin-fang, WANG Ping, ZHOU Guan-wu, GAO Chao-ying

(Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry;

Key Lab of Wood Science and Technology of State Forestry Administration, Beijing 100091, China)

Abstract: Decayed and insect attacked ancient poplar and larch wood components from the buildings of Tibet were inspected by a stress wave meter (FAKOPP). The decay in each wood component was observed and classified after having been measured by FAKOPP. The comparison between the stress wave evaluation and visual classification showed that internal wood decay and insect infestation on ancient wood components could be detected accurately by stress wave. The decay situation evaluated by stress wave was almost consistent with the visual classification. Based on the results, the authors determined that visual observation combined with stress wave methods could examine the degradation of wood members in ancient buildings.

Key words: stress wave; FAKOPP; ancient construction; wood structure member; Tibet; decay

木材腐朽是古建筑木构件中最常见的安全隐患, 有些腐朽发生在木材内部, 为古建筑维护带来一定困难。目前主要是靠目测和用锤子敲击, 凭经验来确定, 缺乏定量依据。为了给古建筑维护与维修提供科学的依据, 笔者对西藏布达拉宫和罗布林卡部分建筑上更换下来的木构件, 采用应力波无损检测技术进行检测, 并结合有关标准目测, 进行定量分析, 探讨应力波技术在古建筑木材的腐朽程度探测方面的应用。

收稿日期: 2006-03-24; 修改稿: 2007-03-05

基金项目: 科技部社会公益研究专项课题(2004DIB5J187)。

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

1 应力波无损检测木材内部腐朽的基本原理

应力波技术是对木材和木质复合材料进行无损检测最常用的方法之一。应力波测试仪(FAKOPP)通过冲击生成的声应力, 使被检测物体产生振动, 测定其应力波传播时间, 根据所测距离和传播时间计算出应力波传播速度。

研究表明, 各种树种健康材的应力波传播速度都有一定的范围。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降低, 凡低于健康材传播速度者即可判定为腐朽或虫蛀^[1-3]。

应力波技术测定木材内部腐朽的基本原理如图

1 所示^[4],检测木材横向(径向或弦向)应力波传播速度是探测木材腐朽的最佳途径。

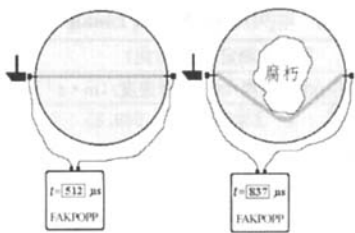


图 1 FAKOPP 测定木材内部腐朽的基本原理
Fig. 1 Principle of detecting decayed wood by stress wave

2 材料和方法

2.1 试验材料

2003 年 9 月和 2005 年 9 月,笔者先后 2 次对西藏古建筑木构件的腐朽和虫蛀情况进行无损检测。检测了布达拉宫平措堆朗的地垅窗户过木 12 根,树种为杨木类和落叶松类木材,规格为:长 1.8~3.0 m,宽 8~15 cm,厚度 3~4 cm;罗布林卡噶厦办公区平房房椽 20 根,小头直径 10~12 cm,长度为 2.2~2.8 m,均为杨木类木材;吉美曲溪房椽 10 根,小头直径 8~12 cm,长度为 2.2~2.5 m,为杨木类木材。

2.2 测试方法

采用匈牙利生产的 FAKOPP 应力波测定仪。测定从房椽的大头开始,每隔 0.5 m 设一个测定点,在明显腐朽区域,则需要增加测定点。每个测点按垂直于腐朽面(A-B 方向)和平行于腐朽面(C-D 方向)各测 1 次(图 2)。首先测定木构件的含水率,实测表明,木材含水率对应力波传播速度影响不大,因此,测定的木构件含水率值未列入表中。

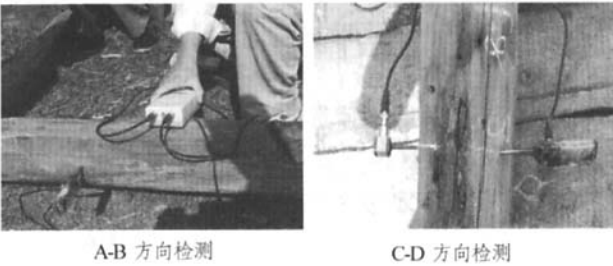


图 2 FAKOPP 检测古建筑房椽
Fig. 2 Detection of decay on ancient wood members by FAKOPP

测定时,先测量测定点之间的距离,再把 FAKOPP 的 2 个探针固定在同一条直线位置上,然后用锤子敲击测定点。第 1 次敲击所显示的读数不计,万方数据

从第 2 次敲击开始,连续 3 次所得读数的平均值作为该测定点的传播时间,根据测定点之间的距离和传播时间,计算出应力波传播速度,并判定木材是否腐朽。

2.3 现场腐朽分级

参照 GB/T 13942. 2-92《木材天然耐久性试验方法 木材天然耐久性野外试验方法》中的腐朽等级(见表 1),对经过无损检测过的腐朽与虫蛀木构件,在测定过的 A、B 面和 C、D 面,用斧头或锯剖至木材表面深达 1 cm,观察木材表面颜色变化与剖开部位内部木材的变化,确定木材表层腐朽等级。

表 1 木材腐朽等级	
Tab. 1 Visual classification of decayed wood structure members	
腐朽等级	症状
健康	材质完好,肉眼无腐朽症状
初腐	表层有轻微腐朽
中腐	中度腐朽,深度 2~5 mm,面积达 1/3
中重腐	严重腐朽,深度 5~10 mm,面积达 2/3
重腐	腐朽严重,能轻易折断

3 结果与讨论

3.1 杨木类木材

3.1.1 腐朽木构件 以罗布林卡噶厦办公区平房发现的 1 根健康房椽(罗布林卡杨木类 13 号)的传播速度 1 022 m/s 为基准,判断杨木类腐朽与虫蛀木材。根据测定的 24 根房椽应力波传播速度,并对照表 1 腐朽等级,认为杨木类房椽的内部腐朽可分为 2 种类型。

1) 木材外部观察健康,内部全部腐朽。表 2 为罗布林卡平房杨木类 3、4 号房椽 A-B 和 C-D 方向所有检测点数据,有些部位表层目测健康,但应力波速度均低于 1 022 m/s,由此可确定其内部存在腐朽。

2) 表面明显腐朽而内部却未腐朽。表 3 所列的罗布林卡平房的杨木类 1 号房椽,第一次测定在 10~110 cm 的 4 个点,第二次又测定 3 个点,这些点表层观察分别为初腐、重腐或健康,而应力波检测的传播速度大部分超过 1 022 m/s,表明这些腐朽仅发生在测试部位的表层。

3.1.2 虫蛀木构件 昆虫蛀蚀木材和木材腐朽不同,虫蛀材有很多细小的虫眼,采用无损检测的方法直接鉴别比较困难。但根据杨木类健康材径向传播速度参照值 1 022 m/s,分析 14 根杨木虫蛀房椽的应力波传播速度,确定虫蛀木材的腐朽规律以及表层腐朽分级与无损检测的结果基本一致。

对罗布林卡平房 9 号虫蛀杨木类房椽测定后观

表 2 罗布林卡平房杨木类腐朽房椽无损检测结果

Tab. 2 Stress wave evaluation and visual observation classification of decayed poplar members # 3&4 from Norbu Linka

木构件编号与长度	第一次测定(A-B方向)			现场腐朽分级 (A面//B面)
	测定部位/cm	距离/cm	传播速度/(m·s ⁻¹)	
3号, 269 cm	10	13.1	229.15	初腐//中腐, 侧面有树皮
	60	15.9	933.46	健康//健康
	110	13.0	594.51	健康//健康
	160	13.0	757.28	初腐//健康
	200	12.7	565.28	健康//健康
	245	12.6	581.54	严重腐朽
4号, 223 cm	30	14.7	868.11	健康//健康
	80	13.5	642.86	健康//健康
	130	12.4	828.51	健康//健康
	180	12.3	900.00	初腐//健康
	210	12.4	832.21	重腐//中腐
第二次测定(C-D方向)				
3号, 269 cm	10	11.0	448.37	健康//健康
	60	11.5	627.27	初腐//健康
	110	10.8	775.12	健康//健康
	160	11.3	701.86	健康//健康
	200	11.0	734.97	严重腐朽//健康
4号, 223 cm	245	10.2	746.34	表面重腐
	30	13.2	916.67	健康//健康
	80	12.2	849.19	初腐//健康
	130	10.9	795.62	初腐//健康
	180	10.9	851.56	初腐//健康
	210	11.3	801.42	表面重腐//中腐

表 3 罗布林卡平房杨木类腐朽房椽无损检测结果

Tab. 3 Stress wave evaluation and visual observation classification of decayed poplar members # 1 from Norbu Linka

木构件编号、长度	第一次测定(A-B方向)			现场腐朽分级 (A面//B面)
	测定部位/cm	距离/cm	传播速度/(m·s ⁻¹)	
1号, 294 cm	10	11.0	616.82	重腐//虫蛀
	30	14.8	1229.92	重腐//虫蛀
	60	14.1	1386.89	健康//虫蛀
	110	15.4	1323.78	健康//健康
	第二次测定(C-D方向)			
	160	16.5	1262.76	健康//健康
	260	15.1	1031.89	初腐//健康
	280	14.3	1583.03	健康//初腐

察(表 4),表层多为虫蛀与腐朽,而应力波测定发现,其传播速度均低于杨木类健康材径向传播速度参照值 1 022 m/s,说明内部存在明显虫蛀或腐朽。而与布达拉宫房椽测定结果基本一致,部分测定部位表面观察为虫蛀或腐朽,但检测结果应力波速度都高于杨木类健康材径向传播速度参照值 1 022 m/s,表明所测点的虫蛀或腐朽仅存在于表面。

3.2 落叶松类木材

落叶松类健康材径向传播速度的参照值为 1 490

· 12 · 万方数据

表 4 罗布林卡平房杨木类虫蛀房椽无损检测结果

Tab. 4 Stress wave evaluation and visual observation classification of insect damaged poplar members # 9 from Norbu Linka

木构件编号、长度	第一次测定(A-B方向)			现场腐朽分级 (A面//B面)
	测定部位/cm	距离/cm	传播速度/(m·s ⁻¹)	
9号, 281 cm	35	13.0	989.85	虫蛀//重腐
	80	12.2	958.12	虫蛀//重腐
	130	12.1	907.50	虫蛀//重腐
	180	11.5	977.34	健康//初腐
	230	11.4	1014.84	健康//初腐
	255	11.1	738.36	虫蛀/中腐
	280	10.8	757.01	虫蛀//虫蛀

m/s^[4],据此,对布达拉宫的 7 号、8 号落叶松类木材进行分析(见表 5),结果发现,2 根房椽表层观察均为不同程度的腐朽,其应力波速度也都低于其相应的健康材参照值,说明其内部均发生腐朽,现场腐朽分级与无损检测结果非常吻合。

表 5 布达拉宫落叶松类腐朽窗户过木无损检测结果

Tab. 5 Stress wave evaluation and visual observation classification of decayed larch members # 7&8 from Potala Palace

木构件编号、长度	第一次测定(A-B方向)			现场腐朽分级 (A面//B面)
	测定部位/cm	距离/cm	传播速度/(m·s ⁻¹)	
7号, 165 cm	10	16.9	1085.65	初腐//初腐
	30	17.0	891.61	中腐//初腐
	60	16.5	647.06	初腐//中腐
	110	17.6	631.58	初腐//中腐
	130	17.9	799.11	重腐//重腐
	150	17.6	490.25	重腐//重腐
8号, 165 cm	25	22.6	682.09	初腐//初腐
	50	21.6	769.60	初腐//初腐
	100	22.6	949.58	初腐//初腐
	135	23.0	534.47	重腐//重腐
	150	21.4	480.90	重腐//重腐
第二次测定(C-D方向)				
7号, 165 cm	10	16.3	821.85	初腐//中腐
	30	16.6	703.39	初腐//中腐
	60	16.1	624.03	初腐//初腐
	110	16.8	444.44	重腐//重腐
	130	13.4	395.28	重腐//重腐
	150	10.0	840.34	重腐//重腐
8号, 165 cm	25	17.0	861.49	初腐//健康
	50	14.7	801.82	初腐//初腐
	100	16.8	712.87	初腐//中腐
	135	14.9	537.26	重腐//初腐
	150	12.2	1036.83	虫蛀,中腐//重腐

4 结论

1) 所有检测过的木构件除有部分明显的表层腐朽或虫蛀外,还存在有不同程度的内部腐朽或虫蛀,

(下转第 22 页)

4.3 建立废弃木材循环回收利用体系

减缓日益突出的木材资源约束矛盾和日益严峻的生态环境形势,其重要途径之一是强化废弃木质材料的回收利用,并实现废弃木材的资源化、产业化利用。我国除木材加工、木制品制造、装饰装修等加工剩余物外,还有大量废弃的门窗、檩椽、楼板、扶梯材,废旧的木质家具、运输、包装材以及建筑工程废弃木制品,城市园林树木更新和修剪材,各类废纸板等,每年的总量约 6 000 万 t,折合成木材约为 8 500 万 m³。要实现废弃木质材料循环回收利用的资源化和产业化,急需制订回收条例与办法,建立回收系统^[6]。

日本、德国和美国都重视废弃木质材料循环利用技术和产品开发研究,并取得一定成效。我国在这方面的研究还刚起步,当务之急要加大研发投入,开展废弃木质材料循环利用、化学利用、生物利用及物质循环利用等系列技术的开发,使废弃木材真正再资源化^[7]。

4.4 推广木材保护技术,实现木材节约

对木材进行防腐或干燥处理,可以使木材或木制品使用寿命延长 5~10 倍。现美国每年防腐处理木材约 1 500 万 m³,而我国仅约 60 万 m³,占木材产量的 1%,远低于美国的 15.6%。要加强研发木材保护新技术、新工艺以及无毒或低毒防腐剂,加大木材保护技术推广力度,宣传木材的保护和节约,制订木材保护条例,制订木材保护推广规划与计划^[6]。

4.5 加大环境保护力度,建立环境认证制度

随着我国经济的迅速发展,应加大木材工业生产

中环境保护力度,贯彻实施“清洁生产”,达到生产和消费过程中无污染或低污染排放;建立人造板和家具认证制度,包括产品质量认证和环境认证,实行绿色产品环境标志和市场准入机制,把危害人体健康的产品消灭在源头,促使企业采用新技术、新工艺、新材料生产安全产品。

5 结语

循环经济作为一种新型经济增长模式,将逐渐成为一种社会共识。在保护森林的生态功能和改善生态环境的前提下,保障森林的资源功能,缓解资源的压力,高效利用和循环利用森林资源,将是木材加工行业实现可持续发展必然选择。

参考文献:

- [1] 鲁炜. 循环经济发展水平是国家综合竞争力的重要体现[N]. 参考消息,专题. 2006. 5. 29.
- [2] 徐云. 我国的自然资源与环境状况[M]. 循环经济国际趋势与中国实践. 北京:人民出版社,2005:3-15.
- [3] 熊满珍,鲍甫成. 现代木材工业在循环经济中的发展优势[J]. 木材工业,2006,20(1):5-7.
- [4] 徐云. 循环经济是实现可持续发展的重要途径[M]. 循环经济国际趋势与中国实践. 北京:人民出版社. 2005:117-161.
- [5] 吴季松. 循环经济是可持续发展的保障[M]. 循环经济—全面建设小康社会的必由之路. 北京:北京出版社,2003:187-209.
- [6] 熊满珍,鲍甫成,侯元兆. 发展木材工业,促进林业可持续发展[J]. 木材工业. 2005;19(1):11-15.
- [7] 杨雪锋,张卫东. 循环经济产业链的价值基础和稳定性研究[C]. 中国环境科学学会优秀论文集,江苏苏州,2006.

(责任编辑 姜 征)

(上接第 12 页)

发生腐朽的部位和多少随检测样木不同而异。木材的腐朽或虫蛀无损检测结果,其变化规律基本一致;

2) 虫蛀材内部状况也可以用无损检测方法进行确定;

3) 表层腐朽分级与无损检测结果基本一致,但有部分不尽相同,与无损检测测定的位置有关。

4) 采用应力波技术检测古建筑木构件的腐朽和虫蛀,操作方便,结果准确,为古建筑木构件的维护与维修提供依据。

参考文献:

- [1] 祖父江信夫. 木材的无损检测[J]. 木材学会志,1993,39(9):973-979.
- [2] Macchioni N. Inspection techniques for ancient wood structures. In: Structural analysis of historical constructions II[M]. Eds By P Roca, J L Gonzalez. CIMNE, Barcelona, 1998:149-162.
- [3] Ross R J, Pellerin R F. Nondestructive testing of assessing wood members in structures [R]. USDA, Forest Products Laboratory, FPL-GTR-70, 1991.
- [4] Fakopp Enterprise. Fakopp microsecond timer useris guide[EB/OL]. http://www.fakopp.com.

(责任编辑 鲍加芬)

本刊征稿简章,请查阅:www.cwijournal.com