

研究与发展

古树名木健康状况应力波快速检测与评价

梁善庆^{1,2}, 胡娜娜¹, 林兰英¹, 傅峰¹

(1. 中国林科院木材工业研究所, 北京 100091; 2. 北京林业大学材料科学与技术学院, 北京 100083)

摘要: 采用应力波技术对胡杨树干进行检测, 探讨古树名木快速检测与评价方法。结果表明, 通过健康树干断面波速传播趋势及函数关系, 可对缺陷树干健康状况进行诊断, 但对边部开裂无法准确诊断。波速与检测角度存在二项式函数关系。

关键词: 古树名木; 应力波; 诊断; 健康评价

中图分类号: TS6 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654(2010)03-0013-03

Rapid Defect Detection and Structural Assessment of Ancient and Famous Trees

LIANG Shan-qing^{1,2}, HU Na-na¹, LIN Lan-ying¹, FU Feng¹

(1. Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;

2. College of Materials Science and Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: Stress wave equipment was used to detect defects in olive tree stems (*Populus euphratica*). Results showed the equipment could quickly diagnose tree trunks' decay, but could not accurately detect surface cracks in tree stems. A binomial formula was used to develop a relationship between velocity and transmission angle. The formula alone, with the velocity pattern from a healthy tree trunk cross-section, could be used to diagnoses the defects in a tree trunk.

Key words: ancient and famous trees; stress wave; diagnoses; healthy assessment

与其他无损检测技术相比, 应力波检测成本低、携带方便、不受木材形状影响、不损坏被测木材, 而被广泛地应用^[1-2]。采用应力波对活立木进行检测和评价^[3], 国外学者已取得了一定成果, 但我国在这方面则鲜有报道。

我国存有大量的古树名木资源, 如胡杨, 在我国已存在 600 万年之久, 其分布面积占世界胡杨林总面积的 61%。为更好地研究和保护这些古树名木, 笔者以胡杨为研究样本, 采用应力波传播时间、波速变化情况对树干内部进行判断与评价, 为我国古树名木树干健康状况快速检测与评价提供科学借鉴。

1 材料和方法

1.1 试验材料

胡杨(*Populus euphratica*) 分别采集到健康材、腐朽材、开裂材等样本。其中选取 5 株活立木, 3 株产自新疆库尔勒, 2 株产自内蒙古阿拉善; 并采集胡杨立木段, 气干后锯解成 10 cm 厚圆盘备用。

1.2 试验方法

1) 应力波十字交叉法

5 株胡杨的基本情况和胸径部位波速值见表 1。按文献[4]中的方法检测立木和气干圆盘。

表 1 胡杨样本基本情况

Tab. 1 Physical characters of sample trees

基本参数	立木编号				
	1	2	3	4	5
树高/m	10.5	8.2	8.9	7.5	7.2
胸径/cm	25.8	28.7	22.4	45.5	28.6
波速/(m·s ⁻¹)	1 254	1 153	1 078	766	751

收稿日期: 2009-07-06; 修改日期: 2010-03-15

基金项目: 引进国际先进林业科学技术“948”计划(2006-4-C03)。

作者简介: 梁善庆(1977—), 男, 中国林科院木材工业研究所博士。

通讯作者: 傅峰, 男, 中国林科院木材工业研究所研究员, 博士生导师。

根据表 1 结果选取 3 株胸径部位健康的样木(编号 1,2,3),按离地面高 10,50,100 cm,⋯,至树干末端,分别布置检测点进行检测。另取 2 株非健康样木(编号 4,5)的胸径部位,采用离地面高 10,25,50 cm,⋯,至树干末端布置检测点,检测后锯解并观察木材断面健康情况。取胡杨气干圆盘 20 个,检测方法同立木。

2) 应力波多点检测

取胡杨气干圆盘 15 个,依次编号。把圆盘等分为 12 等分,激发点固定在第 1 点,接收传感器布置于第 2 检测点,并沿顺时针方向依次检测,直至到第 12 个检测点。检测和计算方法同十字交叉法。

2 结果与分析

2.1 树干不同高度的径向检测

对 5 株胡杨树干的不同高度检测结果见表 2。

表 2 树干不同高度应力波检测结果
Tab. 2 Stress wave times at different tree heights

编号	传播时间/(μs·m ⁻¹)			标准差	变异系数/%	准确指数/%	波速/(m·s ⁻¹)			标准差	变异系数/%	准确指数/%
	最大值	最小值	平均值				最大值	最小值	平均值			
1	1 348	945	1 046	17. 31	1. 66	0. 88	1 059	743	964	14. 71	1. 52	0. 81
2	1 218	914	1 020	19. 60	1. 90	1. 20	1 095	827	987	17. 70	1. 80	1. 10
3	1 275	992	1 156	10. 50	2. 70	1. 80	1 010	790	874	24. 40	2. 80	1. 90
4	2 285	1 321	1 823	67. 33	3. 69	2. 05	765	444	572	20. 93	3. 66	2. 03
5	2 186	1 512	1 813	48. 40	2. 67	1. 61	661	457	575	12. 85	2. 24	1. 35

从表 2 可见,最长传播时间出现在 4 号树,最小是 2 号树;在所测样木中传播时间和波速差异均较大,说明存在非健康材。树干高度上波速变化见图 1。

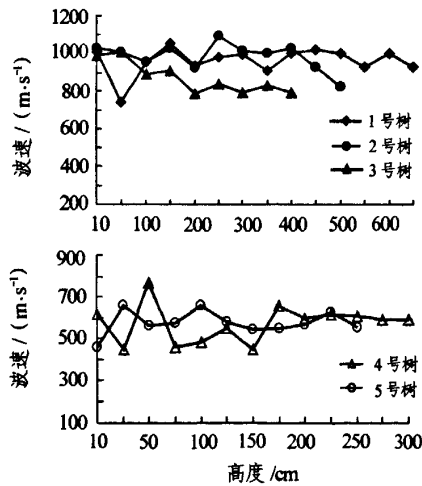


图 1 健康与非健康树干高度上波速变化趋势
Fig. 1 Velocity trend along tree height of healthy and unhealthy tree trunk

由图 1 可知,1,2 和 3 号树干高度的波速为 700~1 100 m/s,而 4 和 5 号树所测部位的波速为 400~700 m/s 之间,且 4 号树波速波动性大,认为是不同程度腐朽或空洞造成的结果。

2.2 应力波圆盘检测与评价

胡杨木圆盘检测,采用 $T_0=670 D(T_0$ —径向传

播时间,μs;D—树干直径,cm)^[5],计算出传播时间评价参考值。如检测传播时间大于评价参考值,为非健康材,反之为健康材。同时在波速评价上采用检测树干总体平均波速,作为波速评价参考值($V_{ref}=942$ m/s)对检测结果进行评价^[6],如低于波速评价参考值,为非健康材,反之为健康材,评价结果见表 3。

表 3 传播时间健康评价参考值和波速健康评价参考值结果
Tab. 3 Assessment results based on reference value of transmission time and velocity

编号	传播时间评价				波速评价				实际观测结果
	南	北	东	西	南	北	东	西	
1	+	+	+	100	-	+	+	50	空洞
2	+	+	+	100	+	+	+	100	腐朽
3	+	+	+	100	+	+	+	100	腐朽,内裂
4	+	+	+	100	-	+	+	50	空洞
5	+	+	+	100	-	+	+	50	空洞
6	+	+	+	100	+	+	+	100	弧形环裂
7	+	+	+	100	+	+	+	100	环裂
8	+	+	+	100	+	+	+	100	空洞
9	+	+	+	100	+	+	+	100	空洞
10	+	-	-	50	-	-	-	100	健康材
11	+	+	+	100	+	+	+	100	腐朽
12	-	-	-	100	-	-	-	100	健康材
13	+	+	+	100	+	+	+	100	空洞
14	-	-	-	0	-	-	-	0	边裂
15	+	+	+	100	+	+	+	100	严重腐朽
16	+	+	+	100	+	+	+	100	空洞
17	+	+	+	100	+	+	+	100	空洞
18	+	+	+	100	+	+	+	100	空洞
19	+	+	+	100	+	+	+	100	严重腐朽
20	-	+	+	50	-	-	-	100	双心材,无腐朽

注:1)- 健康材;2)+ 非健康材。

从表 3 可知,采用传播时间或波速为评价参考值,对存在腐朽或空洞的圆盘都能够准确作出诊断,但对边部条形开裂的圆盘,无法进行有效判断,如 14 号圆盘判断准确率为 0;对于弧形开裂或环裂,仅诊断出为非健康材,如 6 和 7 号不能分辨缺陷类型。另外,如果空洞直径较小,且部位不在圆盘中间,也会使诊断结果不明确或造成误判。如 1,4 和 5 号圆盘,东-西方向存在腐朽,而南-北方向却显示为健康材,评价准确率为 50%。这是因为空洞直径较小且又不在圆盘中心位置,十字交叉法应力波传播路径,无法对整个圆盘区域进行覆盖造成的误判。

2.3 应力波多点检测与评价

为提高检测准确性,笔者采用 12 个检测点对 15 个圆盘分别检测,以增加检测区域面积,结果见表 4,健康材 12 检测点平均波速趋势见图 2。

表 4 应力波多点检测胡杨木圆盘结果
Tab. 4 Stress wave tested from different locations

编 号	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7	1-8	1-9	1-10	1-11	1-12	实际观 测结果
1	709	863	1121	1503	1335	1401	1365	1302	1140	995	747	健康
2	627	823	942	1176	1262	1362	1354	1276	1052	918	664	健康
3	795	960	1253	1434	1457	1525	1431	1311	1135	950	621	健康
4	700	899	1085	1216	1352	1427	1366	1242	1136	984	730	健康
5	719	909	1158	1335	1444	1421	1416	1280	1092	938	671	健康
6	817	802	861	801	680	970	669	740	796	812	768	腐朽,空洞
7	871	1041	1104	1115	1109	1034	1029	1105	1088	1066	852	腐朽,空洞
8	773	1115	1216	1157	1003	1024	1134	1236	1118	942	709	空洞
9	760	862	851	701	626	534	646	714	760	796	708	腐朽,开裂
10	771	886	881	759	731	711	796	830	865	931	792	腐朽,空洞
11	919	926	969	758	818	956	1067	781	875	751	788	空洞
12	661	663	810	700	570	515	679	763	760	435	627	空洞
13	799	831	850	811	910	1284	1142	950	816	541	746	腐朽,空洞
14	880	784	451	507	563	732	525	588	592	697	841	严重腐朽
15	797	904	816	659	573	816	847	631	787	912	878	严重腐朽

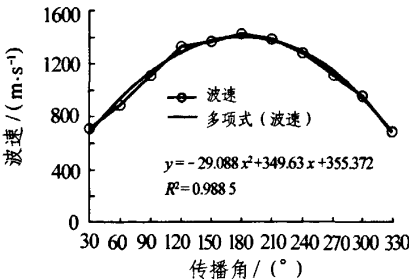


图 2 健康材检测点波速变化趋势

Fig. 2 Velocity trend of single-path stress wave in healthy wood

从图 2 看出径向应力波的波速为 1 427 m/s,健康材波速随检测角度的增加呈先增加后减小趋势。以检测角度为自变量(x),波速为因变量(y)作回归

方程(图 2)。此二项式方程是建立在健康圆盘波速传播规律上,可用该二项式对树干健康状况进行判断。

对空洞、腐朽及开裂圆盘波速均值作趋势图,并与健康圆盘变化趋势比较可知(图 3),存在腐朽、空洞或开裂圆盘的波速传播规律,未呈先增加后降低的趋势,不满足函数曲线,故而可判断为非健康材。

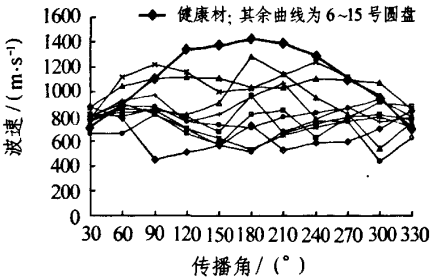


图 3 健康与非健康圆盘 12 个检测点波速趋势比较

Fig. 3 Comparison of velocity trend between healthy and unhealthy disk by 12 testing points

3 结论

1) 采用应力波能够快速检测出树干的健康状况,但对腐朽、空洞和开裂的位置、大小、形状等信息无法给出。使用传播时间评价参考值和波速健康评价参考值,对树干状态可有效判断。

2) 对内部出现边裂的树干,可采用 12 测点法,以检测得到的波速变化趋势及二项式函数,对缺陷树干进行判断。

参考文献:

[1] Liang S Q, FU F. Comparative study on three dynamic modulus of elasticity and static modulus of elasticity for Lodgepole pine lumber[J]. J. of For Res. 2007, 18(4): 309-312.
[2] 李华,刘秀英,陈允适,等. 古建筑木结构的无损检测新技术[J]. 木材工业,2009,23(2):37-39.
[3] Lawday G, Hodges P A. The analytical use of stress waves for the detection of decay in standing trees[J]. Forestry, 2000, 73 (5): 447-456.
[4] 段新芳,王平,周冠武,等. 应力波技术在古建筑木构件腐朽探测中的应用[J]. 木材工业,2007,21(2):10-12.
[5] Wang X P, Divos F, Pilon C, et al. Assessment of decay in standing timber using stress wave timing nondestructive evaluation tools-A guide for use and interpretation [R]. Madison, WI: U S Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2004:1-11.
[6] 梁善庆. 古树名木应力波断层成像诊断与评价技术研究[D]. 中国林业科学研究院博士学位论文, 2008, 30.

(责任编辑 鲍加芬)