

声发射技术在木材干燥中的应用与发展

丁馨曾, 赵海龙, 申珂楠, 李明*

(西南林业大学 机械与交通学院, 云南 昆明 650224)

摘要: 声发射技术作为主动在线无损检测的一种方式, 在木材加工行业应用越来越广泛。特别是木材在干燥过程中, 由于应力应变引起的木材干燥缺陷, 传统方法难以在线检测, 声发射技术在木材干燥中受到日益广泛的关注。介绍了声发射原理及其信号处理方法, 详细总结了声发射技术在木材干燥领域中的应用现状, 结合木材干燥工艺的发展, 对声发射技术在木材干燥领域的应用前景予以展望。

关键词: 声发射; 无损检测; 木材干燥

中图分类号: S781.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-7461(2015)03-0242-03

Application of Acoustic Emission Technique in Wood Drying

DING Xin-zeng, ZHAO Hai-long, SHEN Ke-nan, LI Ming*

(School of Mechanical and Transport, Southwest Forestry University, Kunming, Yunnan 650224, China)

Abstract: As a way of non-destructive testing, acoustic emission (AE) technique has been widely used in wood processing industry, especially in the wood drying process, in which it is difficult for the traditional method to detect the defects caused by stress-strain. Therefore, AE technique is becoming popular in wood drying. The authors introduced the theory of acoustic emission and AE signal processing method, then reviewed the progress of AE technique in wood drying, finally, combining the development of wood drying process, put forward the application prospects of AE technique in wood drying.

Key words: acoustic emission; non-destructive testing; wood drying

声发射技术作为新型的主动在线无损检测的一种方式, 可以通过收集材料产生的声发射信号, 对材料的声发射现象进行监测, 了解材料产生破坏的实时状态。而木材干燥工艺作为木材加工中的重要组成部分。另外, 木材干燥中产生的开裂、变形、含水率不均等缺陷是其干燥过程中尤为重要问题。随着木材加工业的发展与完善, 人们越来越重视木材干燥的质量。所以, 提高干燥过程中应力应变监测水平、防止木材开裂变形是实现木材干燥质量和效率同时提高的根本途径, 也是我国干燥研究的重点之一^[1]。因为声发射技术是一种主动的无损检测方式, 当木材内部发生应力应变时, 必然会以声发射波的形式释放能量, 这样就可以用声发射技术来主动

的检测应力集中而产生的应变。所以, 声发射技术在木材干燥中在线检测具有独有的优势。该技术可以用来监测干燥中的应力应变, 提高干燥质量和效率。

1 声发射原理及信号处理

声发射(acoustic emission, AE)是指物体或材料由于受到外力或内力作用产生塑性变形或破坏时, 把贮存于物体内部的能量以弹性波的形式释放出来的现象。AE信号表示使用AE传感器采集材料发出的AE事件, 并将其进行处理分析后以某种形式呈现出来的电信号^[2]。声发射技术则是通过对采集的AE信号分析处理最终确定声发射源的一种

收稿日期: 2014-10-14 修回日期: 2014-11-23

基金项目: 国家自然科学基金(31100424); 云南省教育厅科研基金(2013J018)。

作者简介: 丁馨曾, 男, 在读硕士, 研究方向: 智能控制与算法。E-mail: 317155316@qq.com

* 通信作者: 李明, 男, 副教授, 博士, 硕士生导师, 研究方向: 智能控制与算法。E-mail: swfu_lm@swfu.edu.cn

技术。其原理可以简单的概括,AE 传感器采集材料中声发射源发出应力波,将材料表面由于应力波导致的瞬态位移转换成电信号,再经信息采集系统的处理,将 AE 信号记录并显示,对数据进行分析得出结果^[3]。

声发射信号处理就是利用计算机或专用处理设备,以数值计算为方法对信号进行采集、交换、综合、估值与识别等加工处理,以达到从背景噪声中提取有用信息的目的。目前,声发射信号的处理和分析方法主要有两种^[4]:一是通过对 AE 信号的特征参量进行处理,用其参量描述声发射源特性的方法,称为特征参量分析法;另一种是对 AE 信号的波形进行分析,称为波形分析法。

2 AE 在木材干燥中的应用

木材作为一种复杂的非匀质天然复合材料,由于新鲜木材中存在着大量的水分,在干燥过程中随着时间的增加,自身的水分会流失,木材内部各个部位的水分含量就会不均衡,这样就造成木材产生收缩和变形。正是因为木材的收缩和变形,如果干燥速度控制不当,木材甚至可能断裂,这样木材就会释放大量的 AE 信号。鉴于此,如果可以将木材发出的 AE 信号作为监控木材干燥的一种参考,那么就可以有效的来评估木材干燥的质量优劣。目前,我国从事此方面研究的学者还是比较少,而谢力生是比较早的从事该研究,他总结了日本学者的 AE 在木材工业的应用,认为 AE 技术可以应用到木材干燥控制系统中^[5]。

木材干燥时,由于干燥使得水分流失产生收缩和变形,木材内部已经产生微小的裂纹,使用 AE 技术来监测木材内部的 AE 信号,以此来控制木材的干燥过程,以避免产生更大的裂纹。外国学者进行了大量的试验之后,发现木材产生的声发射率与干燥速度有着密切关联。具体的说,当干燥速度减慢时木材声发射次数却会增加,而当干燥速度提高时声发射次数反而减少,通过这种方式,缩短了干燥时间,避免了破坏材料并优化了干燥过程^[6]。H. F. Becker^[7]的试验也能够得到结论,他同样认为干燥速度和声发射次数存在着比例关系,他对苏格兰松进行干燥试验并用传感器采集了木材的 AE 信号,他发现整个干燥过程最终会达到一个平衡状态,干燥前期声发射次数快速增加并达到某个最大值,到了干燥后期声发射次数则会从最大值慢速地减少直至为零。M. Noguchi^[8]等用水青冈、白桦木和栎木 3 种木材进行试验,分别采集了这 3 种木材在相同

环境下的 AE 信号。发现水青冈和桦木较栎木不容易产生缺陷且栎木的 AE 信号次数远高于另 2 种木材;此外,他们还发现在相同干燥条件下,温度对于声发射的次数几乎无影响,而湿度对声发射次数的影响较大。降低湿度则会促使声发射次数增加;反之升高湿度,声发射次数会减少;3 种木材的 AE 信号多分布在低频区域,可能的原因是因为木材的杨氏模量较小。

在干燥温度 35℃ 的情况下,红栎木材的含水量从原始值干燥到 20% 以下,并且在干燥中打开过干燥室的门,这样迫使干燥室中的湿度下降,使得干燥室中声发射次数增加。当含水量维持在某一个固定数值,声发射次数几乎可以忽略时,说明木材已经干燥完成^[9]。

在木材干燥过程中声发射技术可以通过检测木材产生的 AE 信号来确定木材的变形和缺陷。根据 AE 的某些统计特征值(如振铃计数率、AE 峰值等),定性地研究 AE 与温湿度等干燥条件及表面开裂之间的关系,并以此调节干燥条件,降低表面开裂的发生^[10-13]。在尝试应用 AE 控制干燥过程的同时,一些学者利用 AE 的统计特征值对 AE 的产生机理进行分析,例如,通过测定不同木材在不同干燥条件下 AE 信号的统计特征值,发现了木材在 AE 信号低频率段且振幅最大时将发生开裂^[14]。

以时间域为参数,对不同厚度的加州黑栎进行干燥试验,运用 AET 系统采集 AE 信号。结果表明,低振幅峰值会导致木材内部产生裂纹甚至开裂,高振幅峰值会使木材表面开裂,但是木材开裂与低振幅峰值不是同时出现,即低振幅峰值出现后有一个时间差才会使木材开裂^[15]。J. D. Booker^[15]提出 AE 信号由细胞壁纤维素结晶区的位错滑移形成的假设,并指出当滑动超出临界值就会产生开裂,用 AE 振铃计数率加以监测。S. L. Quarles^[16]的研究表明,由于 AE 传感器只能固定在木材表面,AE 技术目前只能够监测到干燥中木材表面的裂纹。而多数情况 AE 信号都是来自木材内部产生开裂,这些 AE 信号就无法获得,所以,木材的内裂等缺陷无法监测。他的研究重点放在寻找木材干燥缺陷形成与 AE 信号特点对应关系上。A. P. Schniewind^[17]和 H. S. Lee^[18]等认为,AE 信号是由于木材干燥过程中微观和宏观的干燥应力信号而产生,两者信号具有一定的相同或相似性。然而,M. P. Ansell^[19]则认为:在木材干燥中的干燥应力是局部的,因此,干燥应力不同于相对均匀的机械应力。

进入 21 世纪后,AE 研究更加深入。例如,S.

J. Kowalski^[20-21]等根据木材干燥初期、中期及后期 3 个阶段,将木材干燥过程的 AE 分为对应的 3 种类型,并通过 AE 事件的数量和能量等统计特征值加以区分,随后通过研究指出每 30 s 的 AE 事件次数可以很好地反映开始产生强应力,但不能反映开裂的形成,而 AE 能量则可以反映开裂的形成,但不能估算应力值。K. B. Kim^[22]等利用人工神经网络技术对 AE 的统计特征进行分类辨识,并指出大部分 AE 信号来源于低于比例极限应力时,由水分转移引起的表层拉应力所产生的应变。目前我国对 AE 技术应用在木材干燥领域的研究还比较小,并且关于木材干燥过程中 AE 信号本身特征的研究也很少见。

3 结论与展望

目前已实现工业化的木材干燥方法有常规干燥、除湿干燥、高温干燥、真空干燥、太阳能干燥等方法。在我国,常规干燥因操作简单、稳定性高、干燥质量好等优点,在木材干燥设备中仍占据主导地位。除湿干燥是仅次于常规干燥的干燥技术,它的特点是节能环保、技术成熟、干燥质量好。而今后木材干燥技术的发展趋势就是联合干燥,因为每种干燥方法都有各自优缺点,联合干燥则可以结合各自优点起到扬长避短的效果。此外,木材干燥的规模化和专业化也是今后发展的方向之一,并且干燥中的节能和环保问题也将受到重视。

木材干燥过程中的 AE 信号特性能够全面反映干燥应力与缺陷的产生和发展,但对 AE 信号特性研究的关键在于对其信号的处理和分析。使用何种方法对 AE 信号进行处理和分析,并能真实准确反映 AE 信号特性是当下研究的重点。只有全面的了解了 AE 信号的机理和特性,才可以全面准确反映木材干燥缺陷的发展规律,实现干燥缺陷形成与发展的动态监控。此外,因为木材的各向异性,声发射波在木材中向各个方向的传播速度也各不相同,所以,如何准确定位声发射源也非易事。未来声发射技术在木材干燥中应用重点在于以下方面。

- 1)加强关于木材干燥中声发射源机理、声发射信号传播规律和声源定位技术的研究。
- 2)发展相关声发射采集与信号处理平台,将其作为技术手段推广到木材干燥工业领域,尽快实现加工过程的动态监控。
- 3)因为木材干燥过程中许多声发射信号相对较弱甚至淹没在噪声中,所以,探索一种有效的信号提取与处理的方式也是未来研究亟须解决的关键问题。

AE 技术已开始 in 木材切削加工、木材力学性能及缺陷检测等中得到应用,但还有很广阔的研究空间。由于 AE 技术可以在线实时检测木材内部的变化,及时判断开裂等干燥缺陷。随着 AE 技术越来越成熟,将 AE 技术有效的应用于木材干燥工业必将取得事半功倍的结果。

参考文献:

[1] 张壁光,谢拥群. 木材干燥的国内外现状与发展趋势[J]. 干燥技术与设备,2006,4(1):7-14.
ZHANG B G,XIE Y Q. Present status of wood drying technology and development tendency at home and abroad[J]. Drying Technology & Equipment,2006,4(1):7-14. (in Chinese)

[2] 耿荣生,沈功田,刘时风,等. 声发射信号处理和分析技术[J]. 无损检测,2002,24(1):23-28.
GENG R S, SHEN G T, LIU S F, *et al.* An overview on the development of AE signal processing and analysis technique [J]. Nondestructive Testing, 2002,24(1):23-28. (in Chinese)

[3] 郭晓磊,那斌,何盛,等. 声发射技术及其在木材工业中的应用[J]. 木材加工机械,2009(Supp. 1):68-73.
GUO S L,NA B,HE S, *et al.* Acoustic emission technique and its application in wood industry[J]. Wood Processing Machinery,2009(Supp. 1):68-73. (in Chinese)

[4] 沈功田,耿荣生,刘时风. 声发射信号参数分析方法[J]. 无损检测,2002,24(2):72-77.
SHEN G T, GENG R S, LIU S F, *et al.* Parameter analysis of AE signals[J]. Nondestructive Testing,2002,24(2):72-77. (in Chinese)

[5] 谢力生. 声发射法在木材干燥中的应用[J]. 林产工业,2001,28(3):38-42.
XIE L S. Application of AE monitoring in wood drying [J]. China Forest Products Industry,2001,28(3):38-42. (in Chinese)

[6] NOGUCHI M, KAGAWA Y,KATAGIRI J. Detection of acoustic emission during hardwood drying[J]. Mokuzai Gakkai-shi, 1980,26(9):637-638.

[7] BECKER H F. Acoustic emission during wood drying[J]. Holzals Rol-und Werktoff,1982,40:345-350.

[8] NOGUCHI M,KAGAWA Y,KATAGIRI J. Acoustic emission generation in the process of drying hardwoods [J]. Mokuzai Gakaishi,1983,29(1):20-23.

[9] HONEYCUTT R M,SKAAR C, SIMPSON W T. Use of acoustic emissions to control drying rate of red oak [J]. Forest Prod. J. , 1985, 35(1):48-50.

[10] KITAYAMA S, NOGUCHI M, SATOYOSHI K. Monitoring of wood drying process by acoustic emission[J]. Wood Ind. , 1985,40(10):464-469.

[11] NOGUCHI M, OKUMURA S, KAWAMOTO S. Characteristics of acoustic emissions during wood drying [J]. Mokuzai Gakkai-shi, 1985,31(3):171-175.

法,花境、切割式模纹花坛都是园林发展过程中的产物,对整个世界园林也具有深厚的意义。

近年来,国内园林的风格开始变得多元化,英式、法式、美式乡村等,在其中不乏精品,但是很多作品只是从形式上对其他风格作品的翻抄和堆砌,缺少对其内在文化精神的理解,也忽视了植物在园林中的作用,往往建筑是一个风格,而绿化又是另一种风格。英国园林的成功也给当今中国园林一个很好的启示,植物不仅仅只是园林的一种陪衬,它是园林不可分割的一部分,合理的运用植物色彩、形态、生长周期进行搭配,更是可以给园林的整体效果锦上添花。

参考文献:

[1] 李娟娟,张纯,李冬梅,等. 英国园林自然式植物景观形成探究[J]. 西北林学院学报,2009,24(4):178-181.
LI J J, ZHANG C, LI D M, *et al.* Inchoation of British nature-plant landscape garden[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2009,24(4):178-181. (in Chinese)

[2] 王美仙,刘燕. 英国花园发展浅析[J]. 广东园林,2007,29(1):70-73.

[3] 南希 A 莱斯辛斯基. 植物景观设计[M]. 卓丽环,译. 北京:中国林业出版社,2004:24-30.

[4] 王菁. 英国风景园形成探究[J]. 中国园林,2001(3):88-90.

[5] 于亮. 英式自然风景园与中国当代园林的宏观背景对照及启示[J]. 风景园林,2011(2):96-101.

[6] 汉敏. 浅析英国自然风景园[J]. 现代园艺,2012(8):73-73

[7] 克里斯托弗·布里尔克. 世界园林植物与花卉百科全书[M]. 杨秋生 李振宇译. 郑州:河南科学技术出版社,2006:55.

[8] 王胜霞. 中国园林与英国自然风景园园林文化背景研究[D]. 天津:天津大学,2006.

[9] 陈晓娟,潘迎珍,吉文丽. 论园林植物造景艺术[J]. 西北林学院学报,1995,10(1):84-88.
CHEN X J. PAN Y Z, JI W L. Lanscaping art of garden plants[J]. Journal of Northwest Forestry University, 1995,10(1):84-88. (in Chinese)

[10] 金嫒. 西方园林常用植物配置技法及其借鉴[D]. 北京:北京林业大学,2004.

[11] 周景斌,吕宁,李小明. 浅谈现代园林中的植物造景方法[J]. 陕西林业科技,2004(4):75-77

[12] 郝广清. 花坛造景艺术在园林中的应用[J]. 现代园艺,2012(19):51-52.

[13] 尹豪. 身为艺术家的园丁—工艺美术造园的核心人物格特鲁德·杰基尔[J]. 中国园林,2008(3):72-76.

[14] 赵灿. 花境在园林植物造景中的应用研究[D]. 北京:北京林业大学,2008.

(上接第 244 页)

[12] OGINO S, KAINO K, SUZUKI M. Prediction of lumber checking during drying by means of acoustic emission technique[J]. Journal of Acoustic Emission, 1986,5(2):61-65.

[13] NIEMZ P, EMMLER R, PRIDOHL E. *et al.* Comparative studies on the use of acoustic emission and piezoelectric effects during wood drying[J]. Holz als Roh-und Werkstoff, 1994,52:162-168.

[14] SADANARI M, S KITAYAMA. Waveform analysis of a-coustic emissions generated in the wood drying process[J]. Mokuzai Gakkaishi, 1989,35(7):602-608.

[15] BOOKER J D. Acoustic emission related to instantaneous strain in *Tasmanian eucalypt* timber during seasoning[J]. Wood Science and Technology,1994,29:145-156.

[16] QUARLES S L. Acoustic emission associated with oak during drying[J]. Wood Fiber Science, 1992,24(1):2-12.

[17] SCHNIEWIND A P, QUARLES S L, LEE S H. Wood fracture, acoustic emission, and the drying process. part 1. a-coustic emission associated with fracture[J]. Wood Science

and Technology,1996,30:273-282.

[18] LEE S H, QUARLES S L, SCHNIEWIND A P. Wood fracture, acoustic emission, and the drying process. part 2. a-coustic emission pattern recognition analysis[J]. Wood Science and Technology, 1996,30:293-292.

[19] ANSELL M P. Acoustic emission from softwoods in tension [J]. Wood Science and Technology, 1982,16:35-58.

[20] KOWALSKI S J, MOLINSKI W, MUSIELAK G. The identification of fracture in dried wood based on theoretical modeling and acoustic emission[J]. Wood Science and Technology, 2004,38:35-52.

[21] KOWALSKI S J, ANNA S W. Stresses in dried wood modeling and experimental identification [J]. Transp. Porous. Med. , 2007,66:145-158.

[22] KIM K B, KANG H Y, YOON D J, *et al.* Pattern classification of acoustic emission signals during wood drying by principal component analysis and artificial neural network[J]. Key Engineering Materials, 2005(297/300):1962-1967.