

基于电阻抗成像的立木孔洞缺陷检测研究

施艳艳,李玉珠,罗文雪,王萌

(河南师范大学 光电工程学院,河南 新乡 453007)

摘要:为实现对树木内部缺陷的识别和无损检测,提出一种基于电阻抗成像的立木孔洞缺陷检测系统设计方案。该系统以 STM32F103ZET6 为主控板。首先,将正弦激励电压信号输入 Howland 桥式压控电流源电路,获得输出激励电流;接着,采用 16 个针式电极,按照相邻激励相邻测量的策略将激励电流循环输入到立木表面电极上并采集电压测量信号;然后,利用数据处理模块对测量的微弱电压信号进行放大、滤波、解调处理,并经由串口传输至上位机;最后,通过图像重建算法重构立木内部生长情况的电导率分布图像,实现立木孔洞缺陷可视化检测。实验结果表明,所提基于电阻抗成像的立木孔洞缺陷检测系统可以有效识别立木孔洞缺陷的位置和轮廓,能够实现立木内部缺陷的无损检测。

关键词:立木;电阻抗成像;缺陷检测

中图分类号:TP216

文献标志码:A

文章编号:1000-2367(2026)04-0106-07

立木作为一种绿色可再生资源,因其质量轻、易加工且环保等优势,被广泛用于建筑、家具、包装、铁路等领域。然而,立木生长早期受气候、土壤菌群、病虫害等因素的影响,易造成内部腐烂、孔洞、裂缝等缺陷^[1-3],导致其不符合加工标准。若能对立木内部生长状况进行观测以获得立木缺陷信息,可为林业从业者提供关键决策依据,助力森林采伐与养护的科学规划,推动林业可持续发展。

针对立木内部缺陷观测问题,国内外学者提出了多种无损检测方法。文献[4]采用 RSM-SY5 超声波仪对含孔洞的原木进行缺陷检测,可准确获得原木内部情况,缺陷识别效果较理想。然而,该方法检测过程中需将超声波传感器贴附在剥去树皮的原木表面以避免粗糙树皮对超声波信号传播路径的干扰,只适用于已经砍伐过的木材。文献[5]通过 Arbotom 检测仪测量木材内部的应力波传播速度,以此作为分类特征,利用支持向量机对木材内部缺陷进行分类识别。结果表明,该方法对木材的孔洞、裂缝、腐朽等有限种类的缺陷分类具有一定可行性。但该方法前期需要获取大量实验样本数据作为训练集,且训练时间较长计算量较大,对训练数据外的立木缺陷情况分类能力有限。文献[6]采用 X 射线多探头密度扫描仪对木材节子缺陷及位置进行检测。然而,X 射线具有放射性且检测成本高昂。文献[7]采用 FLIR B250 红外热像仪对毛赤杨方材的内部孔洞缺陷进行检测,为得到准确的识别效果,该方法需对待测方材进行加热预处理。

针对以上问题,近年来研究人员将电阻抗成像(electrical impedance tomography,EIT)技术用于木材无损检测领域。该技术不易受环境干扰,具有高安全性、非侵入性和实时成像等优势^[8]。文献[9]设计一种基于针形传感器阵列的无损检测方法对病变古树进行检测,能够准确识别直径为 14 cm 泡桐树干中 1.2~2.5 cm

收稿日期:2025-02-16;**修回日期:**2025-04-08。

基金项目:国家自然科学基金(52277234)。

作者简介:施艳艳(1982—),女,山东莱芜人,河南师范大学教授,博士生导师,河南省杰出青年科学基金获得者,研究方向为无损检测技术,E-mail:yyshi113@hotmail.com。

通信作者:王萌(1980—),男,河南新乡人,河南师范大学教授,博士,研究方向为无损检测技术,E-mail:wangmeng@htu.edu.cn。

引用本文:施艳艳,李玉珠,罗文雪,等.基于电阻抗成像的立木孔洞缺陷检测研究[J].河南师范大学学报(自然科学版),2026,54(4):106-112.(Shi Yanyan,Li Yuzhu,Luo Wenxue,et al.Research on hole defect detection of standing trees based on electrical impedance imaging[J].Journal of Henan Normal University(Natural Science Edition),2026,54(4):106-112.DOI:10.16366/j.cnki.1000-2367.2025.02.16.0002.)

的孔洞和腐蚀位置及数量,实现了对古树孔洞、脱水等病变的有效检测.然而,该方法仅采用 8 个针型电极,测量数据量相对有限,导致对古树内部缺陷边缘轮廓的分辨能力不足.文献[10]设计了一套以数据采集卡为核心的 EIT 成像系统,在激励频率范围为 1~20 kHz 时的重建结果表明,该系统可实现对立木孔洞缺陷位置的识别与检测.然而,该系统中信号处理电路对共模干扰的抑制能力不足,引入的噪声干扰易对成像精度产生影响,且实现成本较高.

针对现有基于 EIT 的木材无损检测系统测量数据少、抗噪声能力不足、成本高的问题,本文提出了一种基于电阻抗成像的立木孔洞缺陷检测系统设计方法.该系统硬件部分通过 STM32F103ZET6 主控器产生激励电压信号并实现数字解调,简化了电路设计并降低实现成本;构建 Howland 结构的电压控制电流源,结合数据处理电路,减少系统噪声干扰,提高通道一致性.系统软件部分包括对硬件电路的驱动程序设计、上位机人机界面设计及基于图像重建算法的可视化实现.最后,对多组圆木开展缺陷检测实验研究,验证了系统的可行性.

1 电阻抗成像立木检测原理

电阻抗成像作为一种快速、可靠、无害且无创的功能成像技术^[11-12],在工业、农业、医学、环境检测等领域有着广泛应用^[13-15].该技术通过电极向被测物体施加安全激励信号,并测量物体的边界电压值,利用测量电压重建物体内部电阻抗分布,可反映物体内部不同组织或区域的电阻抗特性差异.

利用电阻抗成像技术可对立木孔洞缺陷进行检测.由于健康立木的细胞结构完整,具有相对均匀和稳定的电学特性,其电阻抗值保持在一定范围内;而存在孔洞缺陷立木的孔洞区域几乎不导电,其电阻抗特性与健康立木存在明显差异.依据立木的导电特性,将立木视为一个具有一定电导率分布并各向同性的封闭导体.基于 Maxwell 方程组,建立 EIT 立木数学模型为 $\nabla \cdot (\sigma \nabla \varphi) = 0$,式中, σ 为立木内部电导率分布, φ 为立木内部电势分布.该模型描述了 EIT 正问题.

本系统采用有限元法求解正问题,通过有限元软件 COMSOL Multiphysics,将立木模型划分为有限个三角形单元,根据给定的边界条件求解电势分布,并计算出每个划分单元的电阻抗分布与电位分布的映射关系,进而构建出敏感矩阵.该敏感矩阵反映了在边界电压测量过程中,立木内部电导率变化与边界测量电压之间的敏感关系,其矩阵关系式为 $U = S \times G$,式中, U 为边界电极上的电压变化量, S 为敏感矩阵, G 为立木内部电导率的变化量.

结合敏感矩阵和边界测量电压,利用反演算法求解 EIT 逆问题,重建出立木内部的电导率分布图像,进而实现对立木内部缺陷的定位和识别.目前,典型的 EIT 逆问题求解方法有线性反投影^[16](Local Binary Pattern, LBP)算法、Tikhonov 正则化算法^[17]以及 Landweber 算法^[18].然而,EIT 逆问题具有严重的病态性,系统测量数据所包含的信息量有限,难以直接根据边界电压数据反演重构立木内部真实的电阻率分布.针对这一问题,国内外研究学者引入了弹性范数、贝叶斯推理、深度学习等方法用于 EIT 逆问题的求解.文献[19]针对接地网腐蚀检测需求,提出了一种基于混合范数的优化模型,有效提高了电阻率分布的估计精度.文献[20]通过传统 EIT 重建算法先获取初步的损伤图像,再采用生成对抗网络模型训练进行图像增强,显著提升了损伤识别的准确性.为了验证所设计 EIT 检测系统的可行性和有效性,仅选取了典型的 EIT 算法进行立木内部缺陷成像.

2 系统硬件设计

2.1 硬件总体框架

立木缺陷检测系统硬件框图包括逻辑控制模块、信号产生模块、通道选通模块、数据处理模块、串口通信模块、电源模块和图像重建模块,如图 1 所示.逻辑控制模块以 STM32F103ZET6 为主控芯片,对各模块进行数字逻辑控制与交互,产生激励电压信号,并对采集到的数字信号进行解调处理,通过软件化逻辑控制替代传统分立电路,实现系统小型化与低成本化设计;信号产生模块选用芯片是 OP200,负责激励电流源信号的产生;通道选通模块选择的芯片是 ADG1406,负责按照控制程序有序地进行电极通道的选通和切换功能,以

便测量边界电压值;数据处理模块采用 INA122 和 AD1674 芯片,负责对测量到的微弱信号进行放大、数模转换;最后,信号经串口传输至上位机,再通过图像重建算法对立木缺陷状态进行成像观测;电源模块用于系统各模块供电.

2.2 硬件电路设计

为克服接触电阻影响,EIT 系统普遍采用电流激励源.电压控制电流源的设计直接影响到系统的测量精度和成像质量.传统的双运放压控电流源对其匹配电阻参数较为严格,且输出电流易受直流信号影响,存在非线性失真的问题,将会影响系统测量电压的精准度.为了减小位移电流对激励源的影响,获取更加稳定的激励电流信号,设计了基于 Howland 结构的双运放压控电流源电路,如图 2(a)所示.为使电路产生 0~2 mA 大小的电流激励信号,需要考虑实验被测木材的实际电阻值范围,即 0.3~6 kΩ.因此,电路的最大输出电压应为 12 V.同时,为确保双运放在线性工作区,输出更加稳定的电流信号,电路芯片选择为低噪声运算放大器 OP200,其总电源电压为±15 V,高开环增益是 5 000 V/mV,共模抑制比是 130 dB,输入失调电压是 75 V,输入偏置电流是 2 nA,满足系统信号需求.依托仿真平台 Proteus 8.0 进行多次测试,确定电压控制电流源的外部匹配电阻为 $R_8 = R_{11} = R_{10} = R_{12} = R_9 = 10\text{ k}\Omega$, $R_{14} = 1\text{ k}\Omega$, $R_{13} = 9\text{ k}\Omega$,其幅频、相频曲线如图 2(b)所示,能够观察到当频率范围为 10 Hz~10 kHz 时,电路对电压的放大能力较为稳定;当激励源频率超过 10 kHz 时,电路放大能力显著减小.随着频率的增加,输入与输出信号的相位差越来越大;当频率超过 10 kHz 时,产生的相位差将大于 10°,对电流源性能产生影响.因此,设计的恒流源在 10 Hz~10 kHz 的频率范围内能够达到相对较好的性能,有效抑制系统噪声,满足电阻抗成像系统要求.

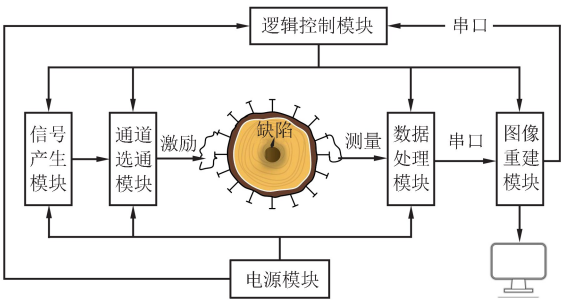
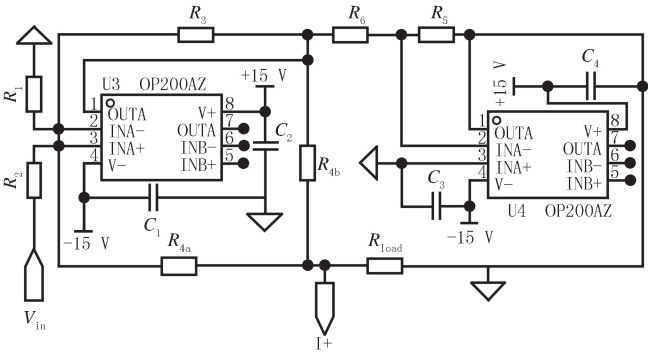
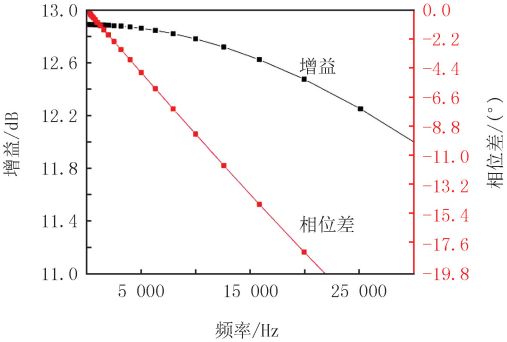


图1 系统硬件框图
Fig.1 Schematic diagram of the system hardware



(a) 电压控制电流源电路



(b) 幅频曲线和相频曲线

图2 电压控制电流源电路设计及其恒流特性

Fig.2 Design of voltage control current source circuit and its constant current characteristics

为保证图像重建结果的准确性,16 个电极的通道性能须具有良好的一致性.由于施加的电流源幅值较小,测量的边界电压值也极其微弱.此时,通道的导通电阻过大会影响测量数据比真实值偏小,进而导致重建图像出现伪影或者偏差.因此,在通道选通模块中多路复用电路采用 4 片 ADG1406 芯片,2 片用于激励电极,2 片用于电极测量,其导通电阻仅为 9.5 Ω,极大程度上减少了系统噪声的引入,保证了测量数据的精确度.多路复用电路如附录图 S1 所示.

另外,为抑制共模信号对系统测量数据的影响,数据处理模块中差分放大电路采用 INA122 芯片,该芯片具有高共模抑制比、高输入阻抗、输入偏置电流小和低输入电压噪声等优点.能够有效避免共模信号被一

同放大.根据引脚 1 和引脚 8 之间的外接电阻能够对差分测量信号实现不同的倍数放大,同时避免了共模信号的一同放大.另外,为保证放大电路的信号输出状态,还设计了电压跟随电路.该电路选用 LM358 芯片,其具有高输入电阻和低输出电阻,能为后续电路提供稳定的信号源,减少后续匹配电阻参数变化对信号的影响,实现前后级电路的有效隔离.数据处理模块具体电路如图 3 所示.

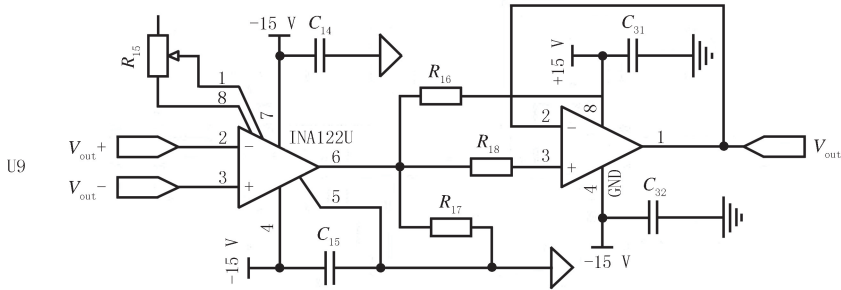


图3 放大及电压跟随电路

Fig.3 Amplification and voltage following circuitry

为进行可视化观察,采集信号需转化为数字信号.采用 AD1674 芯片进行采集信号的 A/D 转换.该芯片具有 12 位高分辨率,10 μ s 采样速率,0~20 V 宽输入电压范围和高抑制共模比,能够精确转换采集的微弱信号,适应不同幅度的模拟输入电压,满足了系统对测量的微弱信号进行一定倍数的放大需求,减少数据信息的丢失,保证了系统图像结果的质量.具体电路如图 4 所示.

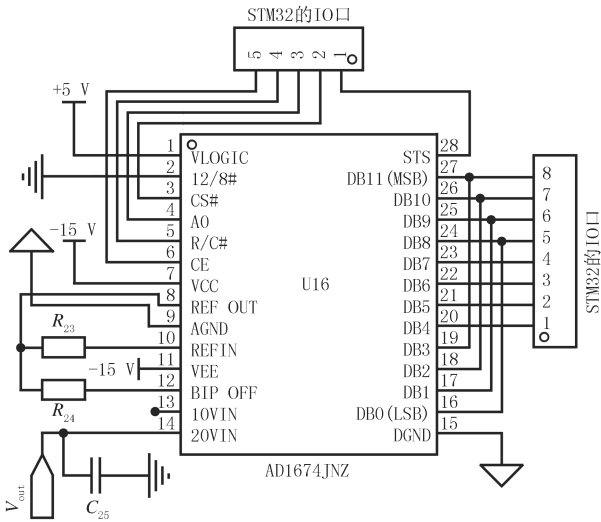


图4 A/D转换电路

Fig.4 A/D conversion circuit

转化后的采集数据通过主控芯片 STM32F103ZET6 的 IO 口收集,通过程序设定的基于快速傅里叶变换实现数字解调处理,提取信号特征.最后,通过串口通信模块将数据传输至上位机,通过图像重建算法实现对实验圆木的内部缺陷可视化.为验证系统硬件模块设计的可行性,根据硬件模块电路设计制造电路板,并对各模块电路进行测试确认.设计的系统电路图如附录图 S2 所示.

3 系统软件设计

系统软件程序编写设计上位机和下位机.上位机界面使用 PyCharm 平台进行开发,软件编程选用 Python 语言进行程序调试,利用实时操作系统(real-time operating system, RTOS)实现数据传输、上位机界面运行及其与下位机数据交互等任务.下位机软件编程选用了 Keil5 开发平台,通过 C 语言对主控板进行程序调试.上位机界面图如附录图 S3 所示.

结合上位机和下位机开发平台,通过软件编程和串口通信实现数据传输与成像.软件部分整体设计流程如下:首先,进入主程序前对主控模块的引脚和时钟进行初始化;用户通过上位机界面设置激励信号参数并写入主程序,令逻辑控制模块产生激励信号.其次,选择均匀介质或非均匀介质,打开串口,采集和处理数据;由 AD1467 将其转换为数字信号传输至 STM32 主控单元进行数字解调.最后,主控单元将数据打包,通过 USB 总线发送至上位机.上位机软件对数据进行预处理,通过折线图显示验证通道一致性,并选择图像重建算法进行成像显示及更新.具体的系统软件流程如图 5 所示.

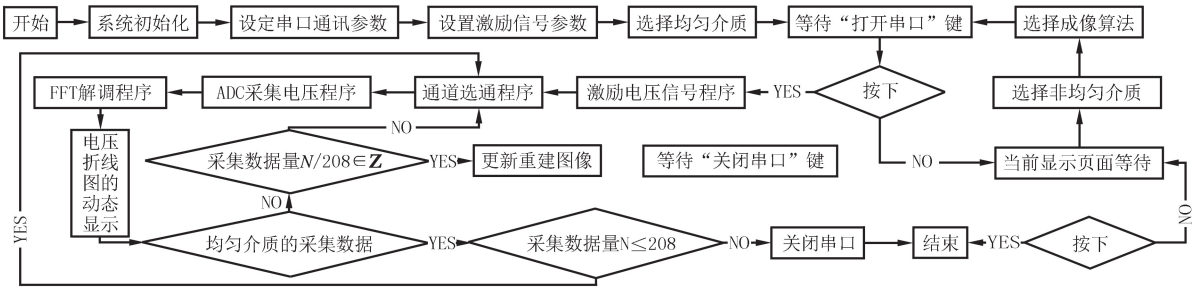


图5 系统软件流程图

Fig.5 System software flow diagram

4 系统测试

实验选用直径为 160 mm,高度为 5~10 cm,截面半径为 8 cm 的 4 个近似圆形木桩.木桩 1 为中央不规则尺寸孔洞缺陷,木桩 2 为中央圆形孔洞缺陷,木桩 3 为中央靠上圆形孔洞缺陷,木桩 4 为中央靠右圆形孔洞缺陷.在实验木桩不同位置上挖出不同尺寸的孔洞以模拟立木的内部缺陷,并在木桩外周均匀钉入 16 个不锈钢电极(附录图 S4).系统参数设置如下:激励频率为 3 kHz,输入电流为 0~2 mA.

4.1 性能测试

为评估系统性能,在相同条件下对同一缺陷木桩进行反复测量,基于所获取的多组边界电压测量数据对变异系数(coefficient of variation, C_V)和组内相关系数(intraclass correlation coefficient, C_I)进行了计算. $C_V = \delta / \mu$ 用于衡量边界电压测量值的离散程度,反映了系统抗干扰能力.式中, δ 是同一电极对多次测量数据的标准差, μ 是该电极对多次测量数据的均值.结果(附录表 S1)表明各电极对测量值的变异系数均接近 5%,具有良好的抗干扰能力.

为评估系统对缺陷响应的稳定性,计算 $C_I = (S_B - S_W) / (S_B + (k - 1)S_W)$,对多次测量中边界电压值的一致性进行量化观察,式中, S_B 为组间均方, S_W 为组内均方, $k = 10$ 为每组测量次数. C_I 计算结果如附录表 S2 所示,结果表明 4 种木桩样本的 C_I 计算结果均接近 0.9,达到“优秀”信度水平,证明了该系统满足立木缺陷检测的稳定性要求,测量结果具有高度可重复性.

4.2 成像结果分析

从重建结果图 6 可以看到,木桩存在缺陷部分的电导率值明显低于健康部分,重建图像可以有效辨别木桩孔洞缺陷位置和大致轮廓,重建结果较为准确.采用的 3 种图像重建算法中,LBP 算法平均成像速度为 25.3 ms,成像速度快,但在重建过程中忽略了噪声影响,导致重建图像的边缘模糊,产生伪影,无法准确重建出缺陷边缘细小区域的电阻抗变化;Tikhonov 正则化算法平均处理时间为 378.6 ms,通过引入正则化参数对噪声进行处理,一定程度上抑制了伪影产生,减少噪声干扰;Landweber 算法平均处理时间为 742.8 ms,通过大量的迭代来逼近实验对象真实的阻抗分布,可以重建出实验立木的边缘细节信息.另外,从 4 组实验重建结果可以看到,靠近边界的缺陷成像总体效果不如位于中央缺陷位置的重建效果好.这是由于受电流源激励后,中央区域的电流密度变化较为平稳,边缘区域的电流密度变化相比较为剧烈,导致边缘区域测量到的数

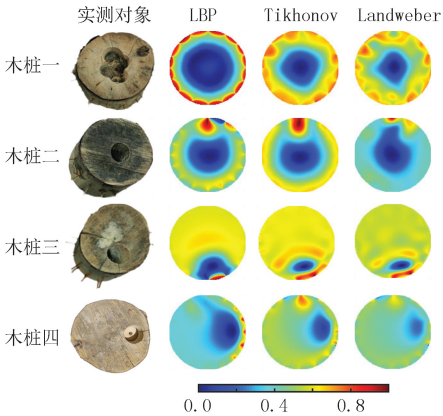


图6 重建结果对比图

Fig.6 Comparison of reconstruction results

值会有较大波动.因此,在靠近边缘区域,电流密度变化剧烈,导致边缘区域测量到的数

据更易受到噪声影响,降低图像重建的质量.

5 结论

设计了一套基于电阻抗成像的立木内部缺陷无损检测系统,具有结构简单、抗干扰能力强、成本低廉等优点.通过主控器实现激励电压的产生和测量信号的数字解调,简化了系统硬件电路,缩小了电路尺寸.系统中激励源采用桥式 Howland 电路,实现电流源在 10 Hz~10 kHz 范围内可以提供较高的输出阻抗和稳定性.图像重建结果表明,设计的系统能够有效地检测立木内部缺陷位置和大致轮廓,证明了所设计系统的有效性和可行性,为立木缺陷的电阻抗成像检测提供了可借鉴的实践经验与技术参考.

附录见电子版(DOI:10.16366/j.cnki.1000-2367.2025.02.16.0002).

参 考 文 献

[1] 杜欣,王海民.木材资源开发与保护的共赢创新模式分析[J].林产工业,2020,57(11):80-82.
Du X,Wang H M.Analysis on win-win innovation mode of development and protection of wood resources[J].China Forest Products Industry,2020,57(11):80-82.

[2] 鲁芮伶,杜莹,晏黎明,等.森林树木死亡的判定方法及其应用综述[J].科学通报,2019,64(23):2395-2409.
Lu R L,Du Y,Yan L M,et al.A methodological review on identification of tree mortality and their applications[J].Chinese Science Bulletin,2019,64(23):2395-2409.

[3] 徐金梅,吕建雄,鲍甫成,等.气候因素对木材细胞结构的影响[J].林业科学,2011,47(8):151-158.
Xu J M,Lü J X,Bao F C,et al.Influence of climate factors on wood cell structure[J].Scientia Silvae Sinicae,2011,47(8):151-158.

[4] 徐华东,王立海,宋世全.原木内部孔洞缺陷二维超声图像构建[J].林业科学,2014,50(8):126-130.
Xu H D,Wang L H,Song S Q.Two dimensional image construction of ultrasonic wave for detecting internal hole defect in log[J].Scientia Silvae Sinicae,2014,50(8):126-130.

[5] 王再超,李光辉,冯海林,等.基于应力波和支持向量机的木材缺陷识别分类方法[J].南京林业大学学报(自然科学版),2015,39(3):130-136.
Wang Z C,Li G H,Feng H L,et al.A method of wood defect identification and classification based on stress wave and SVM[J].Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition),2015,39(3):130-136.

[6] Schajer G S.Lumber strength grading using X-ray scanning[J].Forest Products Journal,2001,51(1):43-50.

[7] 孟宪静,孙天用,王立海.基于红外热像技术的木材内部缺陷检测的研究[J].森林工程,2011,27(6):33-35.
Meng X J,Sun T Y,Wang L H.Research on internal defect detection of wood based on infrared thermal imaging technology[J].Forest Engineering,2011,27(6):33-35.

[8] 岳小泉,王立海,王兴龙,等.电阻断层成像、应力波及阻抗仪 3 种无损检测方法对活立木腐朽程度的定量检测[J].林业科学,2017,53(3):138-146.
Yue X Q,Wang L H,Wang X L,et al.Quantitative detection of internal decay degree for standing trees based on three NDT methods-electric resistance tomography, stress wave imaging and resistograph techniques[J].Scientia Silvae Sinicae,2017,53(3):138-146.

[9] 党红云,许景辉,刘敏.基于电阻层析成像的古树病变无损检测方法研究[J].林产工业,2024,61(8):26-31.
Dang H Y,Xu J H,Liu M.Research on non-destructive testing method for ancient tree lesions based on electrical resistance tomography imaging[J].China Forest Products Industry,2024,61(8):26-31.

[10] 左瑞雪,韩仲鑫.基于电阻抗成像的立木无损检测系统[J].现代电子技术,2023,46(24):61-66.
Zuo R X,Han Z X.EIT-based nondestructive testing system of standing tree[J].Modern Electronics Technique,2023,46(24):61-66.

[11] 施艳艳,高振,王萌,等.基于脑部电阻抗信息的非线性动力学脑卒中诊断方法[J].河南师范大学学报(自然科学版),2023,51(6):72-77.
Shi Y Y,Gao Z,Wang M,et al.A nonlinear kinetic method for stroke diagnosis based on cerebral electrical impedance information[J].Journal of Henan Normal University (Natural Science Edition),2023,51(6):72-77.

[12] 李秀艳,马会梅,王琦,等.基于轮廓形状的肺部电阻抗成像三维插值方法[J].电子测量与仪器学报,2021,35(10):89-97.
Li X Y,Ma H M,Wang Q,et al.Three dimensional interpolation method of pulmonary electrical impedance tomography based on contour shape[J].Journal of Electronic Measurement and Instrumentation,2021,35(10):89-97.

[13] Zhang Y J,Chen H J,Yang L,et al.A proportional genetic algorithm for image reconstruction of static electrical impedance tomography[J].IEEE Sensors Journal,2020,20(24):15026-15033.

[14] 张立峰,佟彤,肖凯.基于深度森林及电阻层析成像的气液两相流流型辨识[J].计量学报,2023,44(6):893-898.

Zhang L F,Tong T,Xiao K.Flow pattern identification of gas-liquid two-phase flow based on deep forest and electrical resistance tomography[J].Acta Metrologica Sinica,2023,44(6):893-898.

[15] 王萌,郑硕,施艳艳,等.基于单电极激励模式的颅脑电阻抗图像重建方法研究[J].河南师范大学学报(自然科学版),2024,52(2):89-95.
Wang M,Zheng S,Shi Y Y,et al.Research on brain electrical impedance tomography method based on single electrode excitation mode [J].Journal of Henan Normal University (Natural Science Edition),2024,52(2):89-95.

[16] 贡益明,孔德仁,商飞.宽量程高速电阻层析成像系统设计与实验研究[J].实验技术与管理,2024,41(4):147-154.
Gong Y M,Kong D R,Shang F.Design and experimental study of electrical resistance tomography system with wide range and high speed [J].Experimental Technology and Management,2024,41(4):147-154.

[17] 马敏,余浪,范文茹.基于 L1/L2 正则化电阻层析成像算法的碳纤维增强复合材料损伤检测[J].激光与光电子学进展,2023,60(2):0212001.
Ma M,Yu L,Fan W R.Detection of carbon-fiber-reinforced polymer damage based on L1/L2 regularization electrical impedance tomography algorithm[J].Laser & Optoelectronics Progress,2023,60(2):0212001.

[18] 王兵贤,胡康秀,王泽文.反问题的 Landweber 迭代法及其应用研究进展[J].计算机应用研究,2013,30(9):2583-2586.
Wang B X,Hu K X,Wang Z W.Advances in research in Landweber iterate method for inverse problems and its application[J].Application Research of Computers,2013,30(9):2583-2586.

[19] 张维哲,张承乾,刘建生,等.基于弹性范数的接地网电阻抗成像算法[J].电工技术学报,2025,40(3):676-688.
Zhang W Z,Zhang C Q,Liu J S,et al.Grounding grid electrical impedance tomography algorithm based on elastic norm[J].Transactions of China Electrotechnical Society,2025,40(3):676-688.

[20] Chen Y, Li K, Han Y. Electrical resistance tomography with conditional generative adversarial networks[J].Measurement Science and Technology,2020,31(5):055401.

Research on hole defect detection of standing trees based on electrical impedance imaging

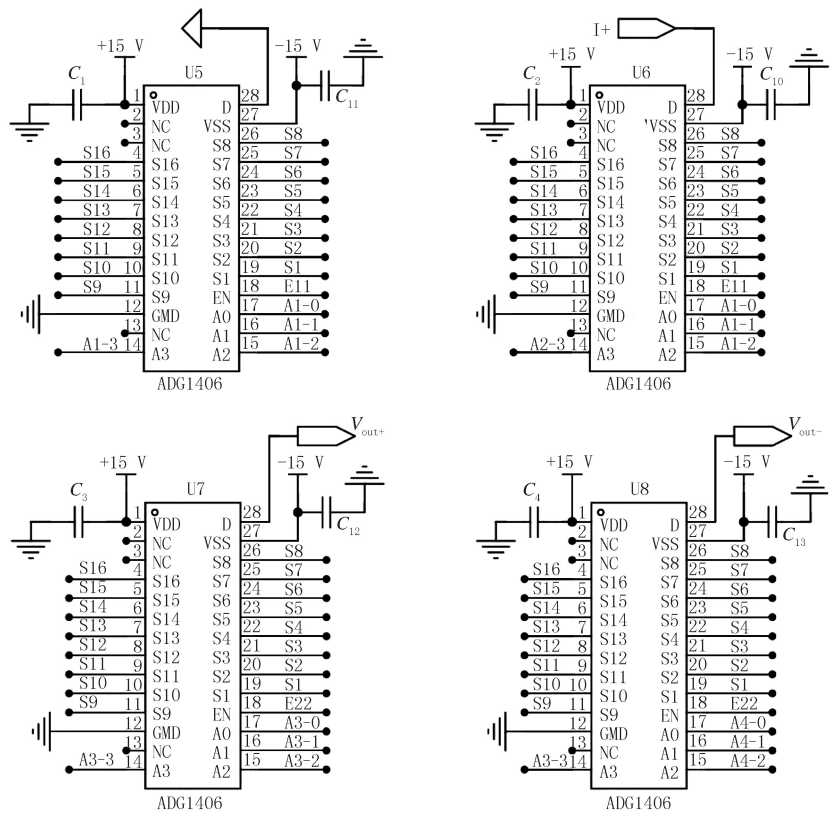
Shi Yanyan, Li Yuzhu, Luo Wenxue, Wang Meng

(School of Optoelectronic Engineering, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China)

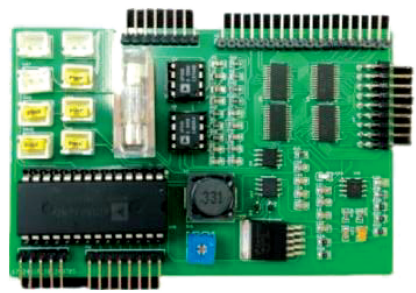
Abstract: In order to realize the identification and non-destructive testing of internal defects in trees, a design method of standing tree hole defect detection system based on electrical impedance tomography was proposed. The system uses STM32F103ZET6 as the main control board, firstly, the sinusoidal excitation voltage signal is input into the Howland bridge voltage controlled current source circuit to obtain the output excitation current; Then, 16 needle electrodes were used, and the excitation current was cyclically input to the standing trees surface electrode and the voltage measurement signal was collected according to the strategy of adjacent excitation and adjacent measurement. Then, the data processing module is used to amplify, filter and demodulate the measured weak voltage signal, and transmit it to the upper computer through the serial port. Finally, the image reconstruction algorithm was used to reconstruct the conductivity distribution image of the internal growth of the standing trees, and the visual detection of the hole defects of the standing trees was realized. Experimental results show that the proposed electrical impedance imaging based on standing tree hole defect detection system can effectively identify the location and contour of standing tree hole defects, and can realize the non-destructive detection of standing tree internal defects.

Keywords: standing tree; electrical impedance tomography; defect detection

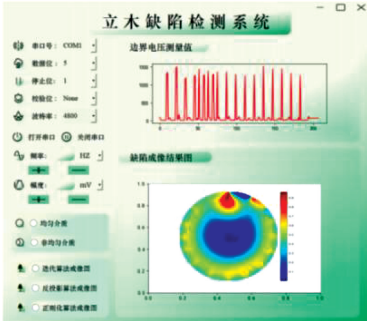
[责任编辑 杨浦 刘洋]



图S1 多路复用电路
Fig.S1 Multiplexed circuits

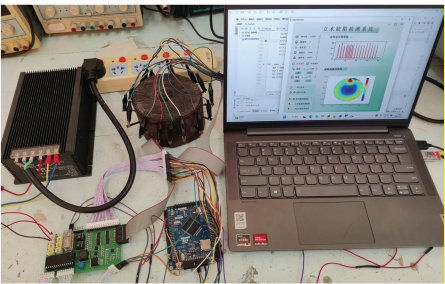


图S2 实物电路图
Fig.S2 Physical circuit diagram



图S3 上位机界面图

Fig.S3 Upper computer interface diagram



图S4 系统实验图

Fig.S4 Physical diagram of the system

表 S1 C_V 计算结果

Tab. S1 Calculation results of C_V

电极对	(1,2)	(2,3)	(3,4)	(4,5)	(5,6)	(6,7)	(7,8)	(8,9)
C_V	0.052	0.049	0.050	0.043	0.051	0.051	0.043	0.051
电极对	(9,10)	(10,11)	(11,12)	(12,13)	(13,14)	(14,15)	(15,16)	(16,1)
C_V	0.045	0.045	0.049	0.047	0.054	0.039	0.048	0.052

表 S2 实测木桩的 C_1

Tab. S2 C_1 of standing trees

木桩序号	1	2	3	4
C_1	0.923	0.905	0.954	0.933