



# 2014

## 中国无损检测 年度报告

实时记录中国NDT技术与行业发展进程

点评年度热点

展示发展进程

汇聚精英观点

引领行业方向

▪ **特别策划: 中国无损检测进展与挑战**

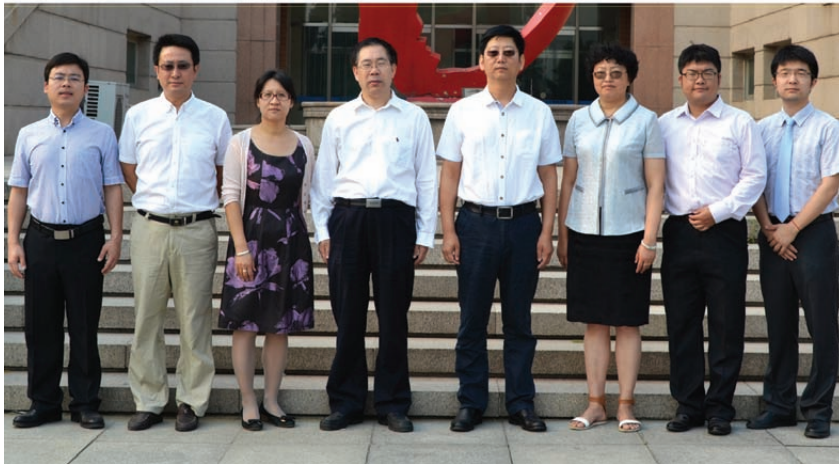
策划:《无损检测》编辑部

学术指导: 全国无损检测学会 全国无损检测标准化技术委员会

## 科研发展篇

# 北京工业大学无损检测与评价研究所 2014 年度进展

供稿人：刘增华  
单位：北京工业大学机电学院  
职称：教授，博士生导师



学术研究团队成员：

由左至右：刘秀成博士、刘增华教授、焦敬品教授、何存富教授、吴斌教授、宋国荣副教授、李楠博士、吕炎博士。

北京工业大学无损检测与评价研究所（以下简称研究所）成立于1999年，主要致力于固体结构/材料的无损检测与性能评价新方法、新技术研究。利用声、光、电磁的波动特性对大型或复杂工程结构（输油管道、压力容器、钢索、风力机叶片、大型锻件等）的健康状况进行无损检测与评价，以及对纳米材料、复合材料和热障涂层材料等的力学性能进行无损表征。

近年来，研究所秉承“专注创新、探索前沿”的理念，提出了多种具有完全自主知识产权的无损检测方法，自主研发出多款、多类型的新型、高性能传感器，研制出成套的专用仪器设备，并已开展了工程化应用研究，为科学研究、工程质量控制、特种设备检测等领域提供技术支持和解决方案。

主要研究方向包括：① 复杂结构中的应力波理论。②

超声导波检测方法与技术。③ 非线性声学技术。④ 材料力学性能的超声显微测量。⑤ 结构健康监测。⑥ 智能光纤传感技术。⑦ 微磁检测方法。⑧ 电容层析成像。⑨ 微波无损检测。

2014年，研究所新获批国家自然科学基金项目3项，北京市自然科学基金项目1项，横向合作项目1项；在研国家、北京市自然科学基金项目10余项。

## 1 仪器开发与工程应用

### 1.1 可移动式高精度表面声波快速测量系统

针对涂层材料/结构的力学性能测试与评价，在自主研发的超声显微镜测量系统基础上，采用单轴精密定位运动平台，开发出散焦测量步进可精确控制的便携式、高精度表面声波快速超声显微测量系统，有望解决在役设备力学性能的工程检测问题。

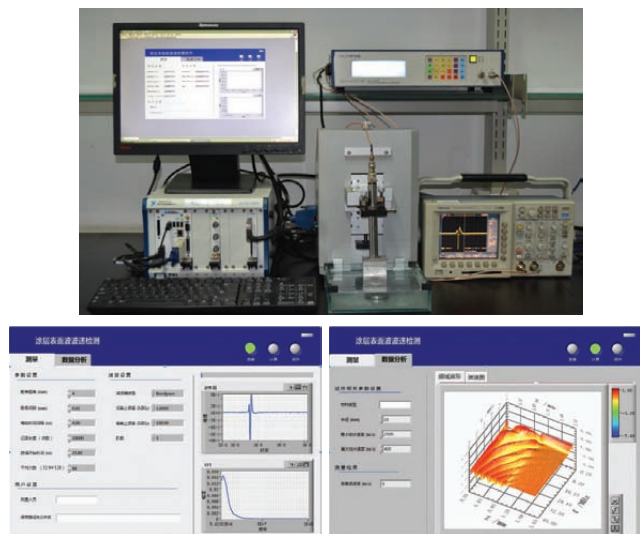


图1 移动式高精度表面声波快速测量系统外观  
与系统软件界面

## 1.2 磁致伸缩导波管道检测仪

利用研制的磁致伸缩导波管道检测仪，开展工程检测服务。2014年，共承接3个海上石油平台工艺管线检测以及1个石化企业氯化物转化炉管的检测项目，检测效果得到企业高度认可。



- |     |     |
|-----|-----|
| [1] | [2] |
| [3] | [4] |
- [1] 氯化物输送管道  
[2] 仪器全貌图  
[3] 检测现场  
[4] 磁致伸缩传感器外观

图2 磁致伸缩导波管道检测现场与仪器外观

## 1.3 支架结构安全监控综合管理系统

支架结构安全监控综合管理系统可对路桥施工过程中的支架结构进行在线监测和综合管理，实现对支架结构应变和倾角的实时监测，并利用专用软件实现数据的存储和

手机报警等功能。目前，该项目已在浙江胜山至陆埠公路（胜山——横河段）和杭州绕城下沙互通至江东大桥高速公路等工程中得到应用。



图3 支架结构安全监控综合管理系统外观与检测现场

## 2 科学研究

2014年，研究所发表学术论文36篇，部分发表于《NDT&E International》、《Journal of Intelligent Material Systems and Structures》、《Ultrasonics》和《AIP Advances》等国际期刊和《机械工程学报》、《声学学报》、《仪器仪表学报》等国内一级期刊上。获批国家发明专利14项，实用新型专利2项。

### 2.1 部分重要研究成果

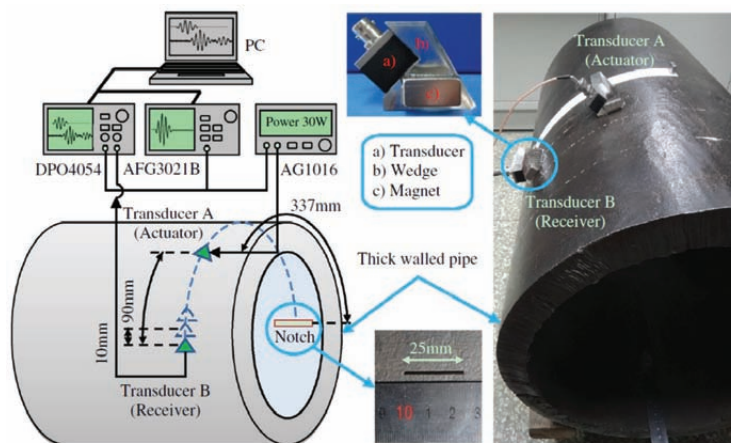


图4 厚壁管道周向导波时间反转检测试验系统

发表论文: A new multichannel time reversal focusing method for circumferential Lamb waves and its applications for defect detection in thick-walled pipe with large-diameter. Ultrasonics, 2014, 54(7):1967-1976.



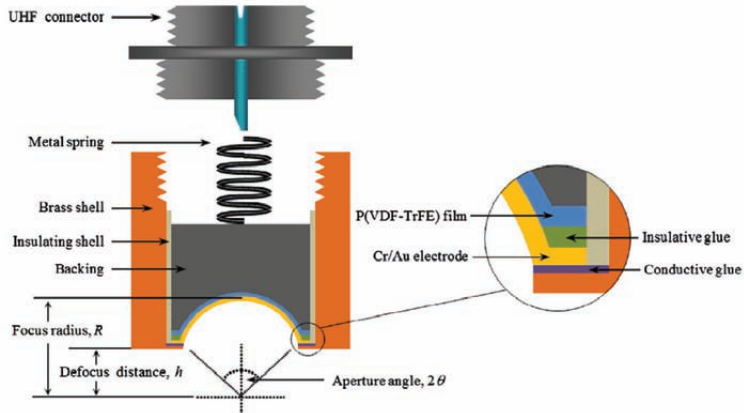


图 5 P(VDF-TrFE) 线聚焦探头剖面示意图

发表 论文: Fabrication of broadband poly(vinylidene difluoride-trifluoroethylene) line-focus ultrasonic transducers for surface acoustic wave measurements of anisotropy of a (100) silicon wafer. Ultrasonics, 2014, 54(1):296-304.

发表 论文: Torsional mode magnetostrictive patch transducer array employing a modified planar solenoid array coil for pipe inspection. NDT&E international, 2015, 69:9-15.

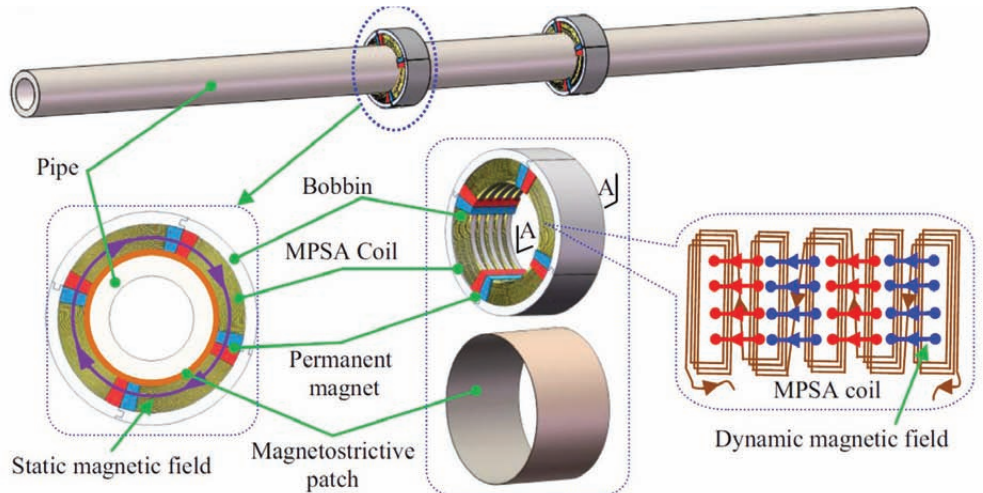


图 6 基于改进平面螺旋线圈的扭转模式磁致伸缩阵列传感器示意图

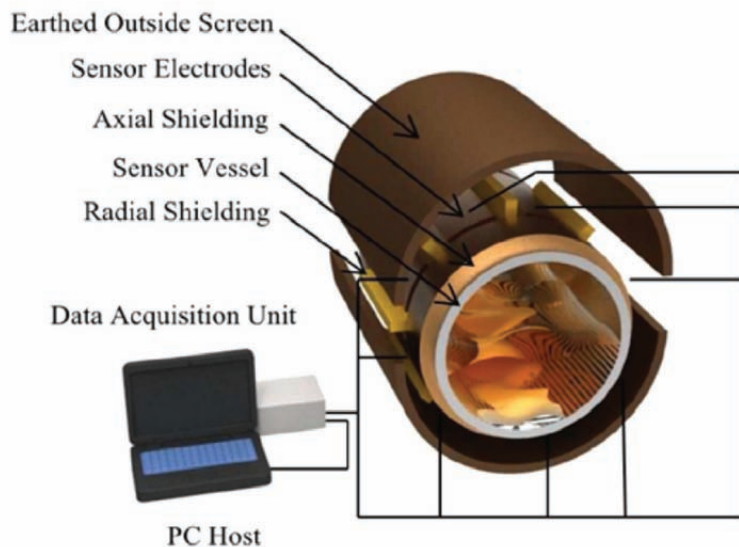
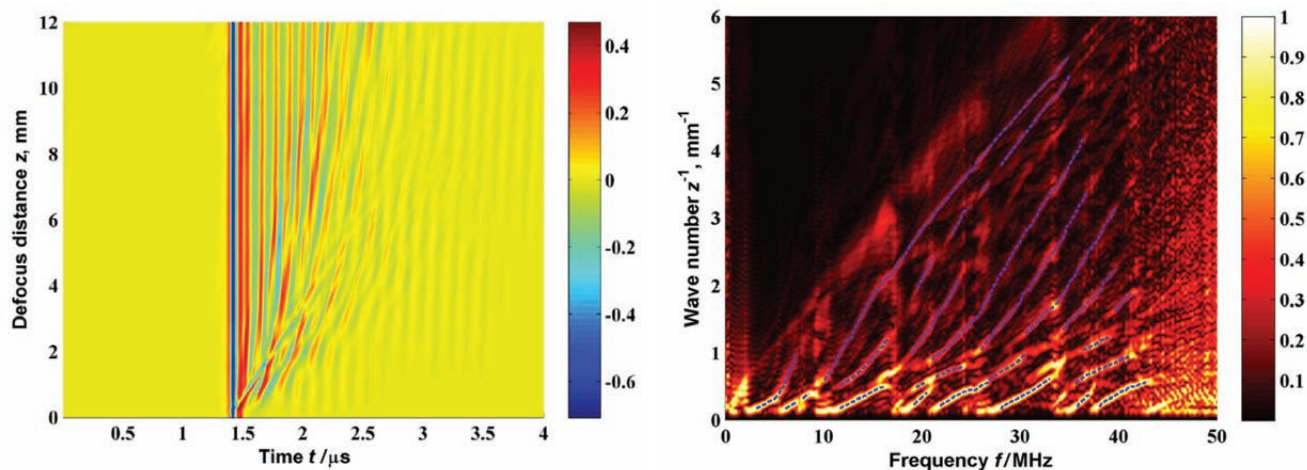


图 7 用于管道内部流型测试的 8 极板 ECT 传感器示意图

发表 论文: Enhancing electrical capacitance tomographic sensor design using fuzzy theory based quantifiers. Measurement Science and Technology, 2014, 25(12):125401.

图8 380  $\mu\text{m}$  厚铝板散焦测试时域信号及其波数 - 频率图谱

发表 论文: Elastic properties inversion of an isotropic plate by hybrid particle swarm-based-simulated annealing optimization technique from leaky lamb wave measurements using acoustic microscopy. *Journal of Nondestructive Evaluation*, 2014, 33(4):651-662.

## 2.2 部分学术论文

[1] Fabrication of broadband poly(vinylidene difluoride-trifluoroethylene) line-focus ultrasonic transducers for surface acoustic wave measurements of anisotropy of a (100) silicon wafer. *Ultrasonics*, 2014, 54(1):296-304.

[2] A new multichannel time reversal focusing method for circumferential Lamb waves and its applications for defect detection in thick-walled pipe with large-diameter. *Ultrasonics*, 2014, 54(7):1967-1976.

[3] Micro-crack detection using a collinear wave mixing technique. *NDT&E International*, 2014, 62:122-129.

[4] Evaluation of the intergranular corrosion in austenitic stainless steel using collinear wave mixing method. *NDT&E International*, 2015, 69:1-8.

[5] Torsional mode magnetostrictive patch transducer array employing a modified planar solenoid array coil for pipe inspection. *NDT&E International*, 2015, 69:9-15.

[6] Nonlinear acoustic interaction of contact interfaces. *Experimental Mechanics*, 2014, 54(1):63-68.

[7] Enhancing electrical capacitance tomographic sensor design using fuzzy theory based quantifiers. *Measurement Science and Technology*, 2014, 25(12): 125401.

[8] Elastic properties inversion of an isotropic plate by hybrid particle swarm-based-simulated annealing optimization technique from leaky lamb wave measurements using acoustic microscopy. *Journal of Nondestructive Evaluation*, 2014, 33(4):651-662.

[9] Excitation and detection of shear horizontal waves with electromagnetic acoustic transducers for nondestructive testing of plates. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 2014, 27(2):428-436.

[10] Beam forming of Lamb waves for nondestructive testing of plates. *Applied Mechanics and Materials*, 2014, 490-491:1512-1516.

[11] Parallel double-plate capacitive proximity sensor modelling based on effective theory. *AIP Advances*, 2014, 4(2):027119.

[12] Damage localization and quantification of truss structure based on electromechanical impedance technique and neural network. *Shock and Vibration*, 2014, 2014:727404.

[13] Research on coplanar capacitive sensor design for film thickness measurement. *Advanced Materials Research*, 2014, 945-949:2030-2036.

[14] 同轴探头微波检测热障涂层的参数敏感性研究. *机械工程学报*, 2014, 50(2): 36-41.

[15] 薄板涂层结构镍镀层声学特性检测与弹性常数反

演表征方法研究. 机械工程学报, 2014, 50(4):11-17.

[16] ECT 传感器的模糊优化设计. 仪器仪表学报, 2014, 35(12):2717-2724.

[17] 不锈钢波纹管检测换能器的设计与应用研究. 声学学报, 2014, 39(2):251-256.

[18] 板状结构中基于 Lamb 波单模态的缺陷成像试验研究. 工程力学, 2014, 31(4):232-238.

### 2.3 专利列表

[1] 热障涂层孔隙率的微波检测方法: 发明专利, 专利号: ZL201110351262.9.

[2] 一种各向异性材料表面波非接触式波速提取的方法. 发明专利, 专利号: ZL201110427500.X.

[3] 基于超声 Lamb 波的对接焊缝无损检测系统. 实用新型, 专利号: ZL201320317190.0.

[4] 基于特征频率法计算超声导波频散关系的方法. 发明专利, 专利号: ZL201110321658.9.

[5] 钢索应力与缺陷检测用柔性磁致伸缩和磁弹一体化传感器. 发明专利, 专利号: ZL201110303573.8.

[6] 一种用于各向异性材料表面波波速测量的线聚焦超声探头. 发明专利, 专利号: ZL201210152098.3.

[7] 一种用于兰姆波波速检测的点聚焦超声换能器. 发明专利, 专利号: ZL201210152249.5.

[8] 一种用于表面波波速检测的点聚焦超声换能器. 发明专利, 专利号: ZL201210152100.7.

[9] 预应力波导结构超声导波声弹频散的计算方法. 发明专利, 专利号: ZL201210191267.4.

[10] 一种轴类结构类表面波非接触式波速提取的方法. 发明专利, 专利号: ZL201210314168.0.

[11] 一种用于各向异性材料兰姆波波速测量的线聚焦超声探头. 发明专利, 专利号: ZL201210152121.9.

[12] 基于双谱分析的结构微裂纹混频非线性超声检测方法. 发明专利, 专利号: ZL201210384727.5.

[13] 基于超声导波的液体粘滞系数检测装置及方法. 发明专利, 专利号: ZL201210248592.X.

[14] 基于虚拟相控的管道导波聚焦检测方法. 发明专利, 专利号: ZL201210193865.5.

[15] 钢花管导波检测用的双环一体式压电片夹持装置. 实用新型, 专利号: ZL201420244266.6.

[16] 一种水平剪切模态磁致伸缩传感器. 实用新型, 专利号: ZL201420514855.1.