

聚焦尖端技术 以检测促发展

——走进北京航空航天大学先进无损检测技术实验室

Promote Industrial Development With Non-Destructive Testing Technology

[编者按] 航空产品的设计、材料研究与制备、工艺研究与优化以及结构件制造与装配等都离不开无损检测技术的支持。北京航空航天大学先进无损检测技术实验室拥有 40 余人的强大研究队伍,是国内从事现代无损检测技术研究的主要单位,现主要开展先进超声检测技术、红外热成像检测技术和 X 射线检测技术研究及其工程检测系统研发等工作,先后得到了国家“211 工程”、“985 工程”、“双一流建设”和国防重点学科建设经费的支持,具有国内领先、世界一流的先进无损检测技术研究软硬件条件,承担数 10 项科研项目,长期与航空航天企事业单位开展技术合作和学术交流。在周正干教授的带领下,我们一起来参观北京航空航天大学先进无损检测技术实验室。

条件与设备

实验室具有国内领先的无损检测研究软硬件条件。目前拥有 3 套超声水浸检测系统,在等厚/非等厚碳纤维复合材料层压板超声检测、碳化硅颗粒增强铝基复合材料无损评价等方面开展了大量的研究工作,并拥有自主知识产权的 C 扫描软件。拥有的 AirScan 大型空气耦合超声检测系统可用于蜂窝夹芯/泡沫夹芯复合材料、木材、陶瓷等材料的缺陷检测;拥有 AOS OEM、M2M Pocket 和 KJTD PA4 等 3 套阵列超声检测设备,支持并行 128 个通道发射和接收,可实现电子扫查、扇形扫查和全聚焦等检测模式;拥有的 Ritec-SNAP 双通道非线性超声检测系统可用于涡轮叶片微裂纹/微缺陷和黏接结构弱黏接的检测等。另外,还具有 IOS 激光超声检测系统、FLIR 红外热像检测系统、PA 声发射检测系统、AR 宽带功率放大器、5800PR 和 5058PR 超声脉冲发射/

接收仪、Handyscope HS3-100 任意信号发生器/数据采集系统、泰克实时频谱分析仪、4 通道数字示波器、任意函数/波形发生器等设备,可满足当前航空航天和武器装备等领域中典型复杂结构和特殊材料构件的检测技术研究需求。

研究项目及成果

通过本次走访,我们了解到实验室近几年的科研工作主要围绕着大型喷水超声 C 扫描系统、相控阵超声检测技术、全聚焦阵列超声检测技术、激光超声检测技术、空气耦合超声检测技术、红外热成像检测技术等展开,并且取得了积极的进展。

(1) 大型喷水超声 C 扫描检测系统的研究。实验室完成了大型喷水 C 扫描系统的开发、测试以及两项针对喷水超声 C 扫描检测设备的技术改造任务。在技术改造中,科研人员对机械系统、电气系统、超声检测系统等进行全方位改造,并配置全新的控制、

检测和成像软件,使改造后的系统能够满足航空企业实现大型复合材料构件超声 C 扫描的检测需求。

(2) 相控阵超声检测技术的研究。实验室自主研制了一套相控阵超声检测系统,针对以双曲涡轮叶片为典型代表的空间复杂结构内部焊接界面的检测问题,建立了一套完整的基于一维线阵换能器的最优检测理论方法;自主研制了一套相控阵超声水浸 C 扫描检测系统,针对以航天栅格翼结构为典型代表的钛合金薄板角焊缝的检测问题,开展薄板栅格翼结构的相控阵超声检测方法研究,能够对裂纹、未焊合等类型缺陷进行良好表征,可以满足薄板角接类结构的超声无损检测要求;自主研制了一套基于 GPU 加速的阵列超声三维成像检测系统,包括检测参数仿真和复杂曲面结构扫描轨迹规划;该检测系统支持一维线阵、一维弧阵、二维矩阵阵以及环阵等多种类型阵列超声换能器,针对航空发动机涡轮盘的圆柱

状焊接面,研究了基于双线阵换能器的一发一收检测方案,解决了涡轮盘空间狭小、传统超声检测方法声波难以聚焦于焊缝区域的问题,提高了焊接面裂纹缺陷的检测精度;基于六自由度机械臂,实现了曲面构件的水浸C扫描检测,检测C扫描结果可实时显示在三维数模上,真实反映缺陷在复杂结构件上的位置信息。

(3)全聚焦阵列超声检测技术的研究。将基于全矩阵数据(Full Matrix)的阵列超声检测技术与环形阵列换能器(Annular Array)相结合,发展了一种全新的阵列超声检测方法,较常规基于线阵超声换能器的检测方法更加简单、检测分辨率更高,能够无缝应用于常规单通道超声C扫描检测系统。提出的基于环形阵列超声换能器的检测新方法能很好地解决增材制造钛合金结构中以前难以检测的问题。针对航天薄壁铝合金搅拌摩擦焊缝的气孔及裂纹型微小缺陷,研究了基于多模式全聚焦的检测方案,确定了不同类型缺陷的最优检测方案和定量方法。

此外,实验室还通过激光超声检测技术,解决了钢(4mm)-环氧树脂胶层(0.1mm)-铝合金(1mm)结构黏接质量的非接触检测问题,验证了激光超声检测技术能够实现多层异种金属黏接质量的非接触检测。在空气耦合超声检测技术研究方面,提出了脉冲压缩和小波滤波联合信号处理技术,实现了模压复合材料的空气耦合超声检测。在红外热成像检测技术研究方面,对锁相红外热成像检测系统进行升级改造,可实现锁相、阶跃、调频3种激励方式,开发了相应的时序热波信号处理方法,开展了钎焊钛合金蜂窝结构的锁相红外热成像检测技术研究。

研究成果应用

实验室近年来与诸多航空航天企业有深入的合作交流,在从事高精尖检测技术研发的同时,致力于通过

团队自身的原创能力解决一线的技术难题。“与企业产生共鸣”,“被承认、被需要”是实验室当前的定位与真实感受,这也同坚持问题从实际中来的国家导向是一致的。

在装备发展部项目的支持下,与上海航天800所合作,研制了用于铝合金搅拌摩擦焊缝检测的阵列超声检测系统,研究成果可直接应用于火箭燃料贮箱和航空发动机涡轮盘焊缝的自动化检测;与上海航天811所合作开展了电能源安全性评估及故障无损检测技术研究,基于空气耦合超声检测技术和红外热像检测技术,实现了航空航天领域中锂离子电池内部缺陷的非接触无损检测与电性能评价;与中国航天科技集团211厂合作,开展了增材制造梯度材料内部缺陷的阵列超声检测技术研究,所建立的检测方法将应用于长征系列火箭中关键构件的检测。与中国航天159厂合作,基于有限元方法和机器人技术,对航天薄壁栅格翼结构进行检测,所建阵列超声检测实验平台能够实现栅格翼结构内部长度小于1mm未焊合缺陷的检测。与中国商飞上海飞机制造有限公司合作,研究了复合材料加筋壁板阵列超声检测技术,研究成果得到用户好评。在民机专项项目的支持下,与中国航空制造技术研究院合作,开展了线性摩擦焊超声检测技术研究,针对航空发动机整体焊接叶盘叶片设计多组阵列超声检测方法,实现了叶片焊缝快速有效全覆盖检测;与中航复合材料有限责任公司合作,对复合材料曲面构件阵列超声检测的轨迹规划和成像系统进行了研究,研究成果将应用于国产大型客机CR929中大型复合材料曲面构件的自动化检测。

国内外交流与合作

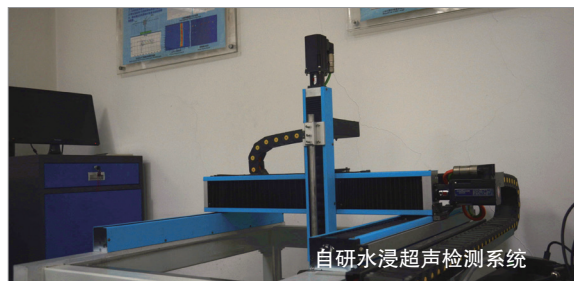
近年来,实验室与英国布里斯托尔大学 Bruce Drinkwater 教授领导的阵列超声检测课题组在基于全矩阵数据的阵列超声检测技术方面开展了多次深入的讨论和交流,现已掌



激光超声检测系统



空气耦合超声检测系统



自喷水浸超声检测系统

握基于不同全矩阵数据的阵列超声检测技术的研究方法,建立了基于线阵、矩阵和环阵换能器的全矩阵数据采集平台,实现了针对航空航天领域中不同典型构件应用的经典算法,同时针对典型曲面各向异性材料试件展开了前期理论及实验研究。与南洋理工大学范峥教授领导的超声无损检测实验室在先进超声理论和缺陷评价等方面具有长期的交流,在复合材料加筋壁板、增材制造构件以及声学仿真技术等方面进行了合作,实验室已经建立了典型结构的超声检测技术仿真软件,支持曲面和复杂材料组织等构件多介质下的声场和缺陷响应仿真,为检测方案的优化设计提供了基础。周正干教授和他的团队成员近年来多次参加世界无损检测大会(WCNDT)、欧洲无损检测大会(ECNDT)和国际结构健康监测研讨会等国内外学术会议和交流活动,积极把握国际无损检测技术的研究前沿、热点及发展趋势。

(采访 海山)