

网络无损检测集成技术在核电设备 检测中的应用

林俊明¹,林发炳¹,林春景¹,张开良¹,余兴增¹,李寒林¹,叶琛²

(1. 爱德森(厦门)电子有限公司,厦门 361004;2. 上海核工业无损检测中心,上海 200233)

摘要:核电工业生产的安全运行和产品的质量控制对无损检测技术要求不断提高。利用计算机网络技术实现涡流、漏磁、磁记忆和超声等实现了无损检测设备的系统集成和远程遥控,同时研发了 EEC-2008net 电磁(涡流)/超声集成无损检测网络系统,并应用于大亚湾核电站冷凝器钛管的在役检测。

关键词:网络;涡流;超声;无损检测

中图分类号: TG115.28

文献标志码:A

文章编号:1000-6656(2009)11-0851-04

Application of the Integrated NDT Technique on Network in Nuclear Power Equipment Inspections

LIN Jun-Ming¹, LIN Fa-Bing¹, LIN Chun-Jing¹, ZHANG Kai-Lang¹, YU Xing-Zeng¹, LI Han-Lin¹, YE Chen²

(1. Eddysun (Xiamen) Electronic Co. Ltd., Xiamen 361004, China;

2. Nuclear Non-destructive Testing Center, Shanghai 200233, China)

Abstract: With the development of the nuclear power industry, the requirements of the NDT techniques are getting more and more restrict for the production safety and the quality controls. In this paper, we presents a new integrated NDT technique based on the computer network for the remote control and the integration of many kinds of NDT equipments including eddy current, magnetic flux leakage, magnetic memory and ultrasonic. Meantime, EEC-2008net, a integrated electromagnetic (eddy current) / ultrasonic system on computer network, have been developed and introduced for the in service inspections of titanium condenser tubes in the Daya Bay Nuclear Power Station.

Keywords: Network; Eddy current; Ultrasonic; Nondestructive testing

核电工业的发展是国计民生的需要,无损检测技术在保证核电生产的安全进行方面起到了积极的作用。无损检测技术涉及多门学科,如材料、结构、应用物理和信息科学等,需要检测人员具有较高的专业基础和实践经验^[1],对检测人员的素质要求较高。将现有多种无损检测技术集成,并将无损检测

收稿日期:2009-08-01

作者简介:林俊明(1957—),男,现任全国无损检测学会常务理事、电磁(涡流)专委会主任、装备再制造技术国防科技重点实验室NDT中心付主任、空军飞行失效分析中心客座研究员、南昌航空大学兼职教授、全国无损检测标委会委员、全国试验机标委会委员、电力行业电站金属材料标委会委员、爱德森(厦门)电子有限公司总经理等职。在国内外相关杂志、会议发表论文三百余篇,专著数本,拥有三十多项国家发明与实用新型专利,获总装备部、空军司令部科技进步奖及省、部、市级奖多项。

设备的测控仪器接入互联网,实现信息共享和远程控制,并对各种方法所采集和存储的数据进行综合分析和评价,可以提高工作效率,减少对检测人员检测经验的依赖,提高最终结论的正确性。

1 网络无损检测集成技术原理

现代无损检测技术主要有超声、射线、磁粉、涡流和渗透五大常规方法及漏磁、内窥镜和声发射等其它方法。每一种检测方法都有各自的基本原理和检测特点。比如超声检测是应用最广泛的无损检测技术之一,可以进行金属、非金属和复合材料等多种构件的无损评价,但是也有应用的局限性,比如存在检测盲区,难以对表面的缺陷进行检测,表面粗糙的构件必须预先进行处理,对于不光滑表面又无法进行处理的工件检测效果不佳等;射线检测技术,成本

高,对面积型缺陷例如裂缝的检测灵敏度低,而且对人体有伤害等;涡流检测技术的优点是检测速度快,线圈与试件可不直接接触,无需耦合剂。但涡流检测只局限于导电材料,只能检测表面及亚表面的缺陷,以及对形状复杂试件难于检查等。可以说,各种检测方法都有优劣势,面对复杂的检测对象及不同的检测要求,单靠一种检测技术很难全面准确判定其缺陷程度并作出寿命评估。

无损检测集成技术的研究已开始得到重视并付诸实际应用。利用不同的检测仪器中的共同的部分,组成以以太网为传输手段的开放式数字信息处理平台,可以把信号发生的控制、数据采集、系统软件及可视化等通用部分共用。

具备一体化软硬件结构,对获取的测试数据实现资源共享和综合处理,具有两种或两种以上无损检测能力的产品技术,即可称为无损检测集成技术(简称NDT集成技术)。基本特征是:具有对同一检测对象同时实施两种或两种以上检测方法的能力,且这种能力不应低于单一功能同类产品的基本要求;有一体化的设备支持,能对检测数据实现资源共享和综合处理(包括信息的同屏显示);不只是多种技术简单汇集,而能够对所使用的多种方法获取的检测数据融合处理,获得统一的结论。

2 网络无损检测集成的实现

随着计算机网络、数字视频技术、模拟仿真技术的进步以及硬件生产工艺的长足发展,使研制和开发全新的无损检测集成技术产品成为可能^[2]。鉴于无损检测集成技术可以节约各种资源和降低成本等优点,无损检测系统的信息化、网络化、智能化和综合化的程度越来越高^[3]。超声波检测与涡流检测技术的集成系统即是无损检测集成技术的应用。

2.1 超声检测与涡流检测技术的集成系统

超声波检测系统的主要组成和工作原理如图1所示,可简单的描述为:信号发生器产生一脉冲信号,经驱动电路产生高压脉冲,激励发射探头转换成

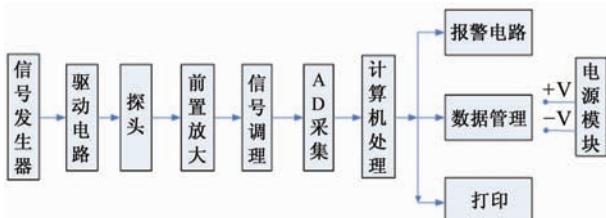


图1 超声波检测系统框图

超声波发射到被测试件中,从被测试件中返回的超声波被接收探头接收并转换成电信号,该电信号经前置放大和信号调理后送给A/D数据采集至计算机系统进行数据管理、显示和分析,可以外接打印设备和报警电路。

涡流检测系统主要组成和工作原理,见图2,可简单地描述为:由信号发生器产生一定频率的信号,经过驱动电路后产生正弦波或脉冲波激励探头线圈,在被测试件中产生涡流,接收探头接收到经工件返回获取的信号经前置放大后,由相敏检波模块及平衡滤波进行处理,处理后的信号经过增益放大并由A/D数据采集送至计算机系统进行数据管理、显示和分析,可以外接打印设备和报警电路。

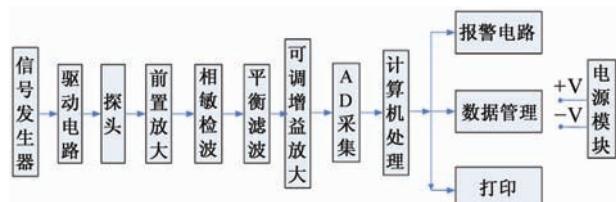


图2 涡流检测系统框图

从这两种检测方法的组成框图可以看出,它们既有各自不同的信号转换、提取及处理单元,又具有一部分相同的模块,如信号发生、信号放大、A/D采集、数据存储管理、记录、报警、打印和可视化显示等。如果通过设计切换开关,进行硬件和软件上的合理分配,充分利用其共有资源,将两种检测方法整合为一台具有综合检测功能的产品,便可为使用方提供很大的方便,更为重要的是,其检测数据的集中管理能方便用户进行综合比较分析。目前的实践证明,实现这种整合的NDT集成技术是完全可能的。

2.2 无损检测集成技术的网络连接

无损检测集成技术对各种信号的综合性要求较高^[4],故应为各种信息传输提供高速的连接方式。主要方式有两种,分别使用通用串行总线(USB)和以太网网络进行连接。

(1) 使用高速USB接口。接口支持的最高传输速度高达480 Mbps,支持即插即用和热插拔功能,USB设备的连接电缆最长可达5 m,可以通过USB集线器进行层式星形拓扑连接,一台主机最多可连接127个USB设备,且可实现最多5级的拓扑连接,因此其非常适合作为主机和检测仪器之间的通信接口。采用基于USB总线方式,集成多台不同性能的检测仪器,每台仪器又可以有多个通道,组成多通道检测数据采集系统。

(2) 采用工业以太网方式。工业以太网在技术上与商用以太网兼容,但材质的选用、产品的强度和适用性方面应能满足工业现场的需要。以太网技术应用广泛,为所有的编程语言所支持;软硬件资源丰富;易于与 Internet 连接,实现办公自动化网络与工业控制网络的无缝连接;可持续发展的空间大等。将多块检测板通过不同的主机与以太网连接在一起,每块板支持多个通道,不同的检测板之间采用网口芯片(100 M/10 M 自适应),软件采用 TCP/IP 或 UDP 协议。

NDT 集成网络检测系统的网络结构如图 3 所示。每台检测仪配有网络接口,可组成以太局域网,该网可通过交换机或路由器等通过服务器接入因特网。局域网既作为无损检测仪器的测控总线,又是互联网的一个子网。通过网线和集线器使多台检测仪器相连,监控主机既可以是局域网内的一台机器,也可以是接入互联网的一台远程主机。

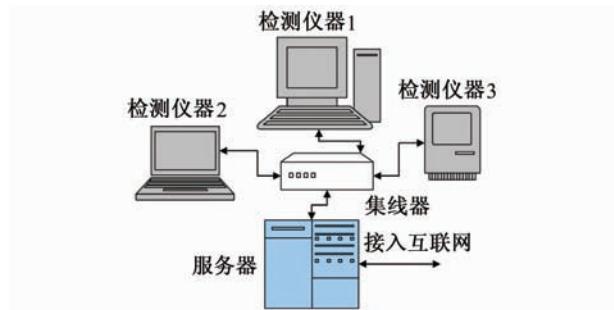


图 3 NDT 集成网络模式图

3 EEC-2008 net 涡流/超声网络检测系统

国内目前对网络无损检测集成技术的尝试是由爱德森(厦门)电子有限公司开发的 EEC-2008net 检测系统。系统以涡流检测和超声检测方法为基础,配合无损检测网络系统软件和服务器,组成一整套数字化电磁(涡流)、超声网络检测系统,可以在检测现场实现网络化管理,各个系统模块通过工业以太网连接起来,可以对检测现场实现网络化管理(检测系统的结构如图 4 所示)。

3.1 EEC-81 检测仪器

EEC-81 检测仪器结构框图见图 5 所示,包含了两大部分,一是多种检测方法专用模块,有常规涡流检测模块、远场涡流检测模块、磁记忆检测模块、漏磁检测模块、低频电磁场检测模块、超声检测模块和声阻抗检测模块等;二是共用模块,信号发生、触摸型切换开关、A/D 转换与采集、计算机信息处理单



图 4 EEC-2008net 检测系统示意图

元、系统软件、图像显示模块、键盘模块、通信接口和电源模块等(该仪器内嵌二维坐标卡,支持多种检测方法的扫描成像)。检测仪工作时,信号发生模块通过切换开关,选取常规涡流检测模块、远场涡流检测模块、磁记忆检测模块、漏磁检测模块、低频电磁场检测模块、超声检测模块或声阻抗检测模块中的一个或两个模块进行工作;而后由工作模块得到的输出信号接至 A/D 转换器的输入端;经 A/D 转换后输至计算机信息处理单元;最后由计算机信息处理单元输出至显示器。在外形上,由于采用模块化设计,2008-81 检测仪可根据需要组成便携式或台式仪器。在软件操作系统方面,用户可以对分时或同时获取的检测数据进行相互验证、综合分析,从而得出更为完整可靠的检测结论。

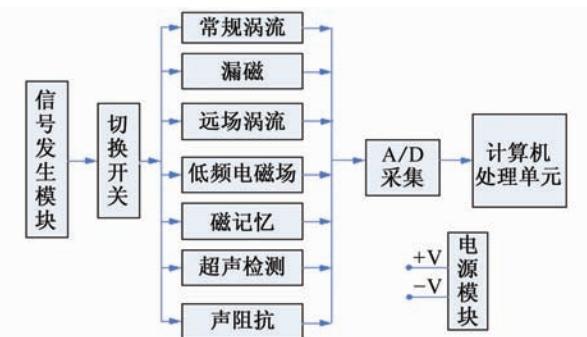


图 5 EEC-81 检测仪器简化框图

EEC-81 检测仪器具有可选的多个检测程序,同屏多窗口显示模式,同屏显示多个涡流信号的相位、幅度变化及其放大波形的情况。多个相对独立的检测通道,频率范围较宽,5 Hz~5 MHz 可调。系统中在涡流内穿检测探头上配置内窥视频探头,检测时同时观察管道内壁表面状态,为进一步判断管道缺陷性质提供帮助。涡流检测系统配置独特的语音对讲系统,检测时可方便前后方通话联系。

EEC-81 检测仪器的超声检测部分可以支持单通道通用型和多通道专用型超声检测,仪器的每个

通道均兼具强发射高穿透力和弱发射高分辨率的特点。具有单通道通用型和多通道专用型超声检测功能(最多可扩展为64通道),每个通道兼具强发射高穿透力和弱发射高分辨率的特点和高信噪比,在最高灵敏度条件下,仪器的电噪声电平仅约20%。加配爬行器和专用软件,可进行管道探伤成像;该型仪器可适配超声相控阵探头,成为高灵敏度通用型探伤和相控阵探伤一体化产品。

3.2 EEC-2008 net 检测数据网络处理系统

各个系统模块可以独立进行检测操作,并通过以太网连接起来,消除了庞大的扩展线成本,极大地减少了检修时间。配套的 EEC-2008net 系统软件,是一套以数据库和设备图为核心,与智能多频多通道涡流检测系统和超声检测系统配套使用的系统软件,它实现了对涡流/超声检测全过程的数字化和网络化信息管理。软件可将现场检测的数据通过以太网系统,在任一工作站上处理检测采集数据并将检测数据存储、处理和调用等归档处理。EEC-2008net 检测数据网络处理系统由无损检测服务器、数据采集子系统、数据分析子系统、信号传输分配子系统、检测计划报告子系统、数据库管理子系统以及各种配套软件等组成。如图 6 为核电站冷凝器的布局,图 7 为使用软件系统中的管板图制作了系



图 6 核电站冷凝器



图 7 EDRAW 管板图制作软件

统绘制的冷凝器管板图。

4 网络无损检测集成系统的在核电设备检测中应用

EEC-2008net 检测系统目前已经在大亚湾核电站的岭澳核电站 1 号机组大修对冷凝管的检测中进行了实际应用,图 8 为检测某段管道时的界面显示图,图 9 为现场应用图。技术人员在现场实际检测中发现认为:① 检测系统集电磁和超声为一体,既可以单机独立使用也可以组成局域网,具有新颖性。② 检测系统功能完善,操作方便,界面清晰美观,运行稳定。③ 仪器的采样率、性能的稳定性、采集数据的一致性和多频信号的混频效果都有很大提高。报表整理时间短,分析迅速,可以在较短时间内完成分析工作。④ 检测软件具有兼容性,可以读取回放分析已往其它仪器的采集数据,通过历史缺陷跟踪,可实现检测管材寿命评估。

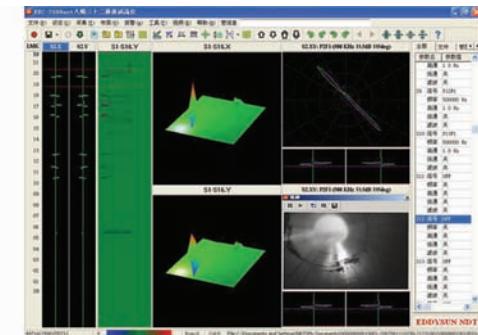


图 8 EEC-2008net 检测系统界面图

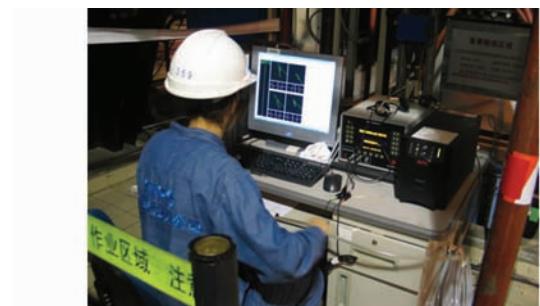


图 9 检测系统在岭澳核电站现场应用

5 结论

无损检测集成技术可以将不同检测方法的优点体现出来,达到对试件全面直观的检测目的,从而提高检测效率,提高信息的可靠性、完整性和准确性。现代无损检测设备与互联网相结合,使位于不同地

(下转第 922 页)

第九届中国机械工程学会无损检测分会年会 暨第十五届质量控制测试设备(QC)展览会通知

经中国机械工程学会无损检测分会委员会讨论协商决定:第九届中国机械工程学会无损检测分会年会暨第15届质量控制测试设备(QC)展览会于2010年9月14—17日在上海光大会展中心举办(9月13日报到注册),由中国机械工程学会无损检测分会和上海材料研究所主办和承办。会议主题:“发挥科技创新,促进经济发展。提高产量质量,为国民经济服务”。

继第17届世界无损检测会议以来,中国无损检测专家、技术人员在继续发展无损检测技术领域的成果,新的内容在不断丰富和不断提高,会议要求尽可能的介绍中国无损检测新技术和新发展,希望各系统、各工业领域的无损检测研究人员、用户、厂商和技术人员能踊跃报名参加此次会议,撰写论文,争取在会议论坛上进行交流,积极推动中国无损检测事业的发展。第15届质量控制测试设备(QC)展览会具体要求另行通知。

征文范围：

- 基础和应用研究
 - 设备的设计和研发
 - 检验和检测方法的应用
 - 法规和标准
 - 培训,教育,资格鉴定和认证
 - 材料性能
 - 安全性和可靠性
 - 生物医学的应用
 - 其他

论文摘要(中英文)须包括题目、关键词(5个)、第一~第三作者(最多三名)姓名及 email 地址、手
（上接第 854 页）

理位置的仪器设备研制人员、现场检测人员、数据分析人员随时都可沟通交流,通过这种多方共享协同合作,提高了现场检测工效。由此可见,网络与NDT设备的结合能满足核电设备的在役现场检测需要,系统的投入使用对热交换管的检测和寿命管理评估有重要意义,基于计算机网络的NDT集成技术具有巨大的潜力和发展优势。

参考文献：

922 2009年第31卷第11期

机号码等相关信息,字数300字,具体格式可参照《无损检测》杂志文章要求。作者收到摘要录用通知后再递交全文,文章格式、图表要求、页码数量及论文样本会与摘要录取通知书一起以电子邮件的形式通知作者。论文分口头交流和书面交流,大会秘书处会提前一个月通知作者。

摘要截止日期:2010年3月31日

全文递交日期:2010年4月1日~6月30日

摘要和论文须通过 E-mail 递交, E-mail 地址为: chsndt2008@163. com, chsndt@public2. sta. net. cn; 联系人: 朱亚青, 王莹赟; 电话: 021-65550277。请根据需要下载作者注册登记表; 大会代表注册登记表 (www.chsndt.org/www/huizhan)。

作者和大会代表必须完整填写注册登记表,通过电子信箱投寄会议秘书处(传真件一律不予接收)。

请论文作者在 2010 年 6 月 30 日之前进行会议注册,否则论文不收入论文集(论文集为光盘)。

会务费：

论文作者(第一,第二,第三)注册费 1800 元(含餐费、不含宿费);大会代表注册费 2200 元(含餐费、不含宿费)。

联系人:朱亚青,王莹赟;地址:上海市邯郸路99号上海材料研究所无损检测学会秘书处,200437;电话:021-65550277;E-mail: chsndt2008@163.com,chsndt@public2.sta.net.cn。

欢迎各行业无损检测人员及无损检测学会会员
踊跃参加！（中国机械工程学会无损检测分会秘书处）

- [1] 朱志红. 信息技术的发展及未来走势浅析[J]. 计算机与信息技术, 2007(19): 72.
 - [2] 任吉林, 林俊明, 主编. 电磁无损检测[M]. 北京: 科学出版社, 2008. 8.
 - [3] 耿荣生. 更快、更可靠和更直观——第 16 届世界无损检测会议综述[J]. 无损检测, 2004, 26(11): 565—569.
 - [4] 林俊明. 电磁(涡流)检测设备的研究现状及发展趋势 [C]//2007 南昌无损检测会议论文集. 南昌: [s. n.], 2007: 178.