NK电磁超声探伤机EMAT原理技术介绍

李 军,陈 燕

(内蒙古包钢钢联股份有限公司钢管公司,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章介绍了包钢钢管公司460作业区NK电磁超声探伤设备的技术指标,超声波检测方法理论说明和探伤电子设备工作原理,着重介绍了EMAT探头的结构、参数说明及波形发射的原理。通过实际探伤应用,该设备对钢管的纵向、横向、分层测厚缺陷有较稳定的检测结果,为该公司钢管产品质量把关起到了积极的作用。

关键词: NK电磁超声探伤机; EMAT探头; 电磁超声波

中图分类号: TG115.28 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2018)06-0058-03

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2018.06.016

Introduction on Principles and Technologies for EMAT Probe of NK Electromagnetic Ultrasonic Flaw Detector

Li Jun, Chen Yan

(*Steel Tube Co. of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In this paper, it is introduced the technical index of NK electromagnetic ultrasonic flaw detector in 460 working zone of Steel Tube Co. of Baotou Steel, theoretical explanations of ultrasonic testing and working principles of electronic equipment for flaw detection, emphatically introduced the structure and parameter specification of electromagnetic acoustic transducer (EMAT) probe as well as the principle of waveform emission. The test results of longitudinal, transverse and delamination thickness measurement for steel tube with this equipment are stable through the actual flaw detection applications, which play a positive role in the quality control for steel tube products of the company.

Key words: NK electromagnetic ultrasonic flaw detector; EMAT probe; electromagnetism ultrasonic

随着钢管自动化生产水平的提高,用户对产品的质量要求日益提高,尤其是石油化工行业对无缝钢管质量要求越来越严格。近年来,油井开采深度不断加深,对无缝钢管的质量提出了更高的要求。一个很小的缺陷就有可能会造成整口井的报废,造成不可估量的损失。这就要求钢管生产厂对钢管实行全方位的检测(纵向、横向、测厚分层),电磁超声检测在无缝钢管制造企业得到了广泛的应用。2013年包钢钢管公司引进一套EMATEST-TU-460电磁超声波无损检测设备,其检测效果能够满足钢管质量要求,同时针对现场的使用也存在着很大的改进空间。

1 探伤设备介绍

包钢钢管公司460作业区EMATEST-TU-460是一套电磁超声波探伤检测设备,用于钢管出厂前的管体缺陷最终检测。此探伤设备由如下三套独立的检测系统组成:纵向缺陷检测系统(含14通道的

收稿日期:2018-03-20

作者简介:李 军(1982-),男,内蒙古包头市人,工程师,现从事探伤设备电气维护工作。

中国知网 https://www.cnki.net

电磁超声探头)、横向缺陷检测系统(含 8 通道的电磁超声探头)及测厚和分层缺陷检测系统(含 16 通道的电磁超声探头)。整套设备能够实现如下钢管缺陷类型的检测:内外表面纵向缺陷、内外表面横向缺陷、分层缺陷和全长壁厚测量检测功能。

超声波探伤设备的主要特点:非接触式检测,不需要任何耦合剂。没有水的消耗,不存在因水的回收利用而产生的环境和技术问题,也不存在因冬天水结冰而不能操作设备的问题;测试时允许温度范围宽,适合高温检测;实现可靠并高精确度的壁厚测量,测量精度可以达到 ±0.03 mm;检测不同直径钢管不需要更换或校正探头,检测系统可以快速进行自动调整,具有优越的抗噪音,抗干扰能力;设备是全自动的,检测结果可达到最高程度的可靠性和重现性;高速收集数据[1]。

2　检测方法理论说明

2.1　NK 探伤机工作原理

NK 探伤机电子设备工作原理图如图 1 所示。

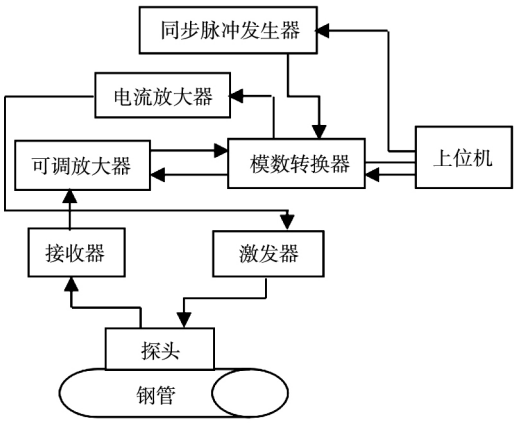


图 1　探伤电子设备的简单原理

计算机向同步脉冲发生器提供当前的操作计算程序。按照计算程序指令生成:工作通道的地址,同步脉冲,按照计划的地址,同步脉冲到达对应的位于电气盒内的模数转换板用于同步信号处理过程。电子设备控制单元是模数转换板的一部分。它形成低压初始脉冲。初始脉冲传送到电流发生器/放大器,放大后的初始脉冲传送到位于电气盒内的激发器。作为回应,激发器在探头的发射线圈产生声振动。超声波便传送到钢管。超声波在钢管缺陷以及管壁处被反射并被接收线圈接收到,紧接着被接收到的声波能量被转换为弱电信号。信号被位于电气盒里的前置放大器放大后传送到位于电气盒里的可调放大器。其增益可以用模数转换器对每个通道进行独立控制。信号被最后一次放大后进入模数转换器模板,转换为数字信号进行处理。

信号处理包括有数字滤波和相关信息参数的测量。数字信号处理过程多达 64 个循环的连贯整合,检测,过滤,选通,和评估接收到的信号峰值等。数据信号从模数转换器通过光纤电缆传送到工业计算机。光纤电缆是模数转换器和工业计算机之间数据交换的媒介。来自模数转换器的数据信号进入计算机系统后会再次进行数据处理,并储存和显示数据。所接收的信号在模数转换器中是按照一个预设的计算法则演算并转换成数字信号。

2.2　电磁超声波技术

电磁超声无损检测技术是一种以电磁超声换能器(Electromagnetic Acoustic Transducer,简称 EMAT)为核心的新型超声无损检测技术。与传统的压电超声技术相比,该技术具有检测时无需耦合剂,无需与试件接触,无需对试件表面预处理,能够方便地产生多种类型超声波等优势,适用于无接触检测、高温检测、高速在线检测等场合。电磁超声技术显著提高了超声无损检测技术的检测精度、检测效率、应用范围、环境适应性、经济性及环保性[2]。

典型的电磁超声换能器包括线圈、磁铁和试件三个部分。在非铁磁性材料中,EMAT 的换能机理为洛伦兹力机理;而在铁磁材料中,洛伦兹力、磁致伸缩力和磁化力三种机理将共同作用,完成超声波的发射和接收。以洛伦兹力机理为例简介 EMAT 的工作原理(见图 2):通以交变电流的导线(或线圈)置于试件表面时,将在试件表层感生出涡流;涡流与磁铁产生的静磁场相互作用,就会产生洛伦兹力;洛伦兹力将引发试件内部质点的高频振动,这种振动以波的形式向外传播,就完成了超声波的发射;通过控制线圈、磁铁的结构和参数,就可以方便地激发出多种类型的超声波。电磁超声的接收是发射的逆过程。

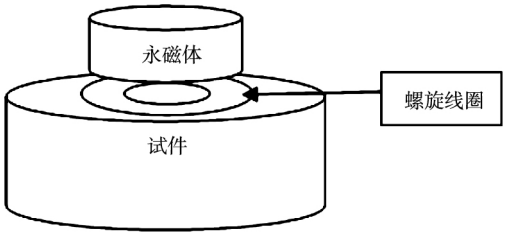


图 2　EMAT 探头的原理示意图

中国知网　https://www.cnki.net

基于这一原理,EMAT 探头被研发用于探伤检测。EMAT 将电磁能转换为 SV 波或表面弹性波的能量并在遇到缺陷时被反向传回并进行反向的能量转换。这种双向转换是为了实现在不需要机械转动探头的情况下以可靠和智能的方法检测出内部和外部的缺陷。

2.3 利用 SV 波探伤检测

通过改变工作频率改变初始脉冲谱可以使发射和接收的 SV 剪波在大约 30°~45°的角度范围内改变(对于 4 mm 的线圈,角度为 32°时,此频率大约是 1.5 MHz)。波型和波束角度不以探头的倾斜度以及钢管规格不同和曲度的改变而改变。SV 波传播角度为 $\beta \approx \arcsin(C_t/C_l)$,对钢材来说大约是 32°~33°(第三临界角),纵向波可以沿着被测物体的两个表面传播。这些波能够被表面或亚表面的缺陷反射并重新转换成 SV 波。SV 波和纵向超声波互相转换是一个非常有用的物理现象,它是许多超声波技术应用的基础,如焊缝超声波检测中的德尔塔技术。

用 EMAT 探头能轻松保持稳定的 β 角,而不需要考虑探头倾斜角或者钢管几何形状的变化。反之,压电探头就不能在这种情况下工作,因为超声波波束的些微倾斜或者钢管形状的变化(这些变化在所难免)都会立即影响到波束角度。这种现象使得超声波设备可以扩大优化检测管壁两边缺陷的范围。这是 EMAT 探头非常重要的特点,因为它可以充分提高工业检测中的可靠性,也是电磁超声波技术的一个重要优点。所以,EMAT 探头发射的 SV 波对于检测钢管的内部和外部缺陷是一个非常有效的方法,全部探头都是双向的。用 EMAT 探头可以检测到角度在 ±23°斜向缺陷。

2.4 壁厚测量原理

同样采用 EMAT 探头实现管壁测厚功能,EMAT 换能器将电磁能量转换为弹性波能量,并(在与缺陷相互作用后)进行逆转换。这种双向转换可以使内部缺陷检测和厚度测量非常可靠和有效。测厚和分层检测系统的活性元件是一个电子线圈:一种特殊"蝴蝶"形的电磁超声线圈。

3 检测单元介绍

检测单元由以下 3 个多通道 EMAT 探头组成:用于内外表面纵向缺陷检测的 EMAT 探头(L-系统),用于内外表面横向缺陷检测的 EMAT 探头(T-系统),用于分层缺陷检测和壁厚测量的 EMAT 探头(WT-系统)。

3.1 横纵缺陷检测系统

用于纵向缺陷检测的 EMAT 探头有 14 个通道,8 个可更换通道单元。而用于横向缺陷检测的 EMAT 探头有 8 个通道,8 个可更换通道单元。表 1 为纵向和横向检测系统主要参数。

表 1 纵向和横向检测系统主要参数

检测系统主要参数	纵向	横向
每个 EMAT 探头装置内锯齿形线圈数量/个	14	8
每个 EMAT 装置独立的电器通道数量/个	14	8
总的活动区域宽度/mm	≈179	≈206
管前端盲区/mm	≤20	≤20 + h(h:壁厚)
管后端盲区/mm	≤20	≤20 + h(h:壁厚)

纵向和横向的操作模式基本相同:激发和接收超声波的形式为剪波,有效角度范围为 32°~44°,方向特点为双向,工作频率范围为 1.2~1.9 MHz,第一个临界角频率约等于 1.5 MHz,临近区域 B 约等于 11.7 mm,波束的水平分叉角为 12°,任何一面刻痕(外表面和内部)的槽深度是壁厚 5%、不少于 0.3 mm、15 mm 长,信噪比对于 5% 刻痕为最小 12 dB,每个通道脉冲重复频率不大于 2 000 Hz。

3.2 分层缺陷和测厚系统

用于分层缺陷检测和测厚的 EMAT 探头有 16 个通道,1 个可更换通道单元。测厚和分层缺陷检测系统的主要参数:一个 EMAT 总成中有 16 个"蝴蝶"线圈数;每个 EMAT 总成里有 16 个独立的电器通道;覆盖率 140%;钢管前端盲区不大于 20 mm;

(下转第 64 页)

中国知网 https://www.cnki.net

和4瓦水平振速分别为1.28 mm/s和6.15 mm/s，检测分析4瓦水平测点、垂直测点以及轴向测点振速依然偏大，从频谱相位判断，励磁机整流盘的不平衡故障是引起振动的主要问题，可能因励磁机配重精度不高造成，因此决定再次在励磁机整流盘上配重，以消除轴系的“甩尾”现象。表3为励磁机最后1次配重数据。

表3 TRT励磁机在线动平衡校准数据

测试状态	平衡量/g	加重位置/(°)	1X振幅/(mm·s^{-1})	1X相位/(°)
原始振速			7.69	241
试重	38.0	100	4.99	226
校准	91.6	76	0.82	319

通过3次配重，发电机起车后各测点数据平稳，3瓦、4瓦垂直与轴向振动较小，并网后转速稳定，发电机有功功率达到额定值，3瓦、4瓦各测点振速下降，均控制在2.0 mm/s左右。

4 结束语

TRT透平发电机是利用高炉煤气余压通过透平转子膨胀做功，实现能量装换。其结构复杂，转速高，动平衡因素、对中因素、轴瓦支撑刚性是影响发电机稳定运行的关键因素，尤其动平衡因素为其隐性因素。本文通过总结力偶及对中因素对高炉TRT发电机组的影响，通过在线动平衡技术有效解决这一问题，阐述了在线动平衡工艺能有效解决中小型发电机组振动问题，为中小型发电机组同类故障消缺提供指导。

参 考 文 献

[1] 杨国安. 旋转机械故障诊断实用技术[M]. 北京: 中国石化出版社, 2012.
[2] 廖伯瑜. 机械故障诊断基础[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1995.
[3] 黄志坚. 机械设备振动故障检测与诊断[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.

(上接第60页)

钢管后端盲区不大于20 mm; 激发和接收的超声波形为极化剪切波，极化方向垂直表面; 发射角度0°; 工作频率范围4~8 MHz。

4 结束语

包钢钢管公司460作业区NK电磁超声探伤检测设备具有技术先进、结构合理、性能优越、功能强大、自动化程度及显示波形记录直观等特点。但我们必须看到作为自动化检测设备，还存在不足，如缺乏深入的研发，更加细致的设计，在提高故障率检测等多方面问题仍需着力解决。

参 考 文 献

[1] 郑晖，林树青. 超声检测[M]. 北京: 中国劳动社会保障出版社, 2008.
[2] 张广纯. 电磁超声技术的发展与应用[J]. 无损检测, 1990, (4): 103-105.

中国知网 https://www.cnki.net