

ACFM 技术及其在钻修机械平台 无损检测中的应用

冷建成¹, 赵瑞金², 周国强¹, 吴泽民¹, 闫天红¹

(1. 东北石油大学 机械科学与工程学院, 大庆 163318;

2. 东北石油大学 秦皇岛分校 电信系, 秦皇岛 066004)

摘要: 无损检测技术对于确保钻修机械平台安全生产十分重要, 交流电磁场检测技术 (ACFM) 由于具有非接触测量、无需标定且一次完成缺陷的定性定量检测等诸多优点而取得广泛应用。首先简介了 ACFM 技术的检测原理、检测系统及检测标准和认证, 并与交流电位降方法 (ACPD)、涡流检测方法 (ET) 等无损检测方法进行了比较。分别以钻修机械平台的钻机井架、底座关键部位焊缝检测和平台吊机检测为例, 详细阐述了利用 ACFM 方法进行工程检测的仪器选择、探头扫描及诊断结果, 并分析了检测过程中的干扰因素及处理方法。最后, 进一步探讨了 ACFM 方法应用于钻修机械平台结构损伤检测的可能性和解决思路。

关键词: 交流电磁场检测技术 (ACFM); 钻修机械平台; 无损检测

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2013)05-0047-04

ACFM Technique and its Application in Non-destructive Testing of Drilling and Repairing Rig Platform

LENG Jian-Cheng¹, ZHAO Rui-Jin², ZHOU Guo-Qiang¹, WU Ze-Min¹, YAN Tian-Hong¹

(1. School of Mechanical Science and Engineering, Northeast Petroleum University, Daqing 163318, China;

2. Department of Electronic & Information Engineering, Qinhuangdao branch of Northeast Petroleum University, Qinhuangdao 066004, China)

Abstract: Non-destructive testing techniques have very important influence on guaranteeing safety production of drilling and repairing rig platforms, and ACFM method is now in widespread use because of its many advantages such as non-contact measurement, qualitative and quantitative measurement once without calibration. The detection principle, testing system, examination standards and certification of ACFM technique are simply introduced and compared with other non-destructive testing methods including ACPD and ET. Taking the critical welded seams of drilling derrick and substructure and the platform crane for examples based on the drilling and repairing rig platforms, the instrument selection, probe scanning and result diagnosis of the ACFM method applied to engineering practice are illustrated in detail, and interference factors and corresponding processing methods during testing are analyzed. At last, potential fields and solving ideas of the ACFM method applied to detect drilling and repairing rig platforms are discussed.

Keywords: Alternating current field measurement (ACFM); Drilling and repairing rig platform; Non-destructive testing

收稿日期: 2012-06-02

基金项目: 中国石油天然气集团公司十二五资助项目 (2011B-4310); 国家自然科学基金资助项目 (11072056)

作者简介: 冷建成 (1977-), 男, 副教授, 研究方向为电磁无损检测、结构健康监测及损伤诊断。

随着石油天然气需求的不断扩大, 油气开采作业的范围已从陆地走向海洋, 面临的工作环境更为恶劣。为了保证钻修机械平台, 包括陆地钻机、修井机、通井机及海洋钻井、采油平台的安全性、在服役

期间必须进行定期的或不定期的,局部的或全面的检测,从而了解在役结构的当前真实状态,确保设备安全运行。

对于井架、底座关键部位焊缝,死绳固定器底座,绞车固定底座,吊卡、吊环、各类提升短节、大钩等提升用具,天车/游车滑轮和一切承重部件和部位都应定期由有资质的第三方进行无损探伤^[1-2];而对于平台等整体结构,则要进行全局检测或监测。常规的局部检测方法主要有目视检测、磁粉检测、超声检测、射线检测、渗透检测和涡流检测,每种方法都有各自的优缺点。海洋石油平台水下结构部分因其表面一般都有防腐蚀涂层保护而使检测成本过高。因此,开展极端工况下石油装备材料裂纹可视化新技术迫在眉睫。

近年来,随着检测技术的不断发展,出现了许多新的检测方法,其中 ACFM 由于具有突出优点而被无损检测人员所看好,将其引进国内石油装备无损检测领域并加以推广应用,从而提高检测的可靠性、可视化和智能化。

1 交流电磁场检测方法

1.1 检测原理

ACFM 技术是近年来无损检测领域内的重要进展之一,于 20 世纪 80 年代由英国伦敦大学机械工程系的无损检测中心在交流电位降(ACPD)技术开发的基础上,并结合涡流检测(ET)提出利用表面磁场模型代替 ACPD 检测中的表面电场模型。其基本原理如图 1 所示,通过感应探头在待测工件表面感应出均匀交变电流,此电流又在工作表面外空间产生交变磁场。当工件表面存在裂纹等缺陷时,由于电阻变大而使电流场和感应磁场发生畸变,其中垂直于工件表面的磁感应强度 B_z 产生正负峰值对应裂纹的长度,而平行于工件表面和裂纹走向的磁感应强度 B_x 的极小值对应着裂纹的深度,这样

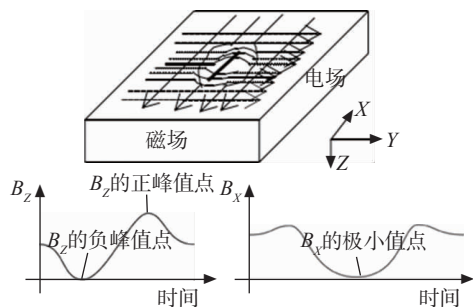


图1 ACFM检测原理示意图

基于检测的磁场信号可以判断裂纹是否存在,并利用构建的数学模型来确定其尺寸^[3]。

1.2 ACFM与其它检测技术的比较

由于无损检测结果受各种因素的影响较大,因此实际检测中常常是几种技术结合使用,而不是用一种技术完全取代其它技术,表1对ACFM与ACPD、ET等进行了对比分析。

表1 ACFM与ACPD、ET检测特性对比表

项目	ACFM	ACPD	ET
需要校准测量裂纹深度吗	不	不	需要
测量的最大裂纹深度	≈30 mm	无限制	≈5 mm
可否测量裂纹长度	可以	存在一定困难	可以
可否进行裂纹探测与定位	可以	不能	可以
检出最大涂层厚度	5 mm	不能	不能
探头提高的影响	很小	接触测量	很大
所需操作者的操作技能	中高级	中低级	高级
是否有数据记录功能	是	是	否
在过渡区域是否方便使用	是	是	否
是否容易扩展为阵列	是	否	否

1.3 检测系统

ACFM 检测系统如图 2 所示。图 2 中的“ACFM 设备”代表文中的“AMIGO”或“U31”或“ATI”,即当在陆地上使用时,“ACFM 设备”选择“AMIGO”,当在水下检测时,“ACFM 设备”选择“U31”,而当检测螺纹时,则选择“ATI”。其中目前将 ACFM 技术推向产品化的主要是英国的技术软件咨询公司(TSC),检测系统包括硬件和软件两部分。硬件包括适用于陆地的 AMIGO 金属裂纹检测仪以及适用下水下的 U31 水下裂纹检测仪,另有适用于铁轨检测的轨道裂纹扫描仪和适用于螺纹检测的 ATI 螺纹检测系统等;其中探头是 ACFM 检测技术的核心,TSC 公司开发了两大类探头:单传感器探头和阵列探头,而每类探头又包括可适用于不同场合不同几何形状结构的多种型号。相应的软件为 ASSIST 系列裂纹检测分析系统,获取数据后通过时基扫描图、蝴蝶图和等值线彩色图等方式显示缺陷信息,借助数字电子技术、实时数据压缩技术和

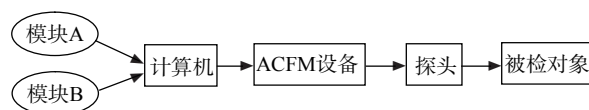


图2 ACFM检测系统

信号解释技术可以大大提高检测速度。

1.4 ACFM 技术的认证、标准及推广应用

目前,ACFM 技术的应用已得到世界著名的船级社如 Lloyd's, ABS, BV 和 DNV 等的认证。由英国焊接学会和英国无损检测学会指导制定的焊接检验人员资格鉴定大纲(Certification Scheme for Welding and Inspection Personnel, CSWIP)对焊接和检测人员的知识和能力的资格认证进行了鉴定,其中文件号 CSWIP-DIV-8—1996 规定了 ACFM 操作资格认证分为 I, II, III 级 3 个等级。

在焊缝检测方面,有 ASTM 标准 E2261—2007 (Standard Practice for Examination of Welds Using the Alternating Current Field Measurement Technique)、ASME 标准 Code V Article 15 ACFM Technique (ACFMT),前者主要规范了用 ACFM 技术检验焊缝的标准操作方法,对检测人员具有很好的指导意义;后者说明了该方法的使用范围、一般要求、仪器校准、检测及评估报告等方面的内容。在螺纹检测方面,有 NS2 Drilling Inspection Standard for Used Drilling Equipment 标准,对油田在役钻柱缺陷的检测及评定进行了详细规范。

ACFM 方法的检测对象必须是导体,它最早出现在近海石油工程领域, DNV 规范规定其应用范围为固定、移动海洋工程设施的水下结构和飞溅区结构的在役无损检测^[4],现已广泛应用于石油、石化、核工业、航天及土木等行业,尤其是大型工程结构物、螺纹、水下结构和体积缺陷等的在役检测。

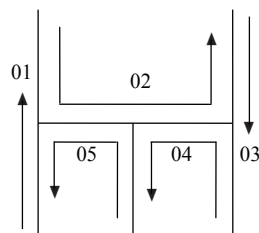
2 ACFM 方法在钻修机械平台无损检测中的应用

2.1 钻机井架、底座关键焊缝检测

井架和底座是石油钻机的重要承载部件,而焊接是各构件组装成部件的最主要的连接方式,因而焊缝质量的好坏直接影响到钻井的安全运行。根据美国石油学会(API)标准和荷兰 ModuSpec 公司评估要求,钻机井架的大腿脚焊缝、人字架受拉部位焊缝,钻机底座的大腿支座焊缝、起升地滑轮耳板焊缝,死绳固定器的底座焊缝和相关部位等,均需进行无损检测。

以塔型井架为例,检测仪器为 AMIGO 金属裂纹检测仪,探头型号为 250 小型笔型探头,扫描频率为 5 kHz,检测前先选择探头移动方向是 A 向或 C 向,分别对四个井架立柱与对应底板的焊接部位进行

了 ACFM 检测,检测时探头扫描示意图如图 3 所示。



(箭头方向为 A 向,数字代表焊缝编号)

图 3 塔型井架焊缝检测时探头扫描示意图

图 3 中 5 条扫描线代表 5 条焊缝,由于每根井架立柱各有 5 条焊缝,一个井架有 4 根立柱,因而共检测 20 根焊缝。按 ASTM E2261—2007 标准执行,均未发现裂纹缺陷指示。

2.2 平台吊机检测

平台吊机主要由塔座、回转台、扒杆、钢丝绳、主钩、副钩等组成。扒杆段为桁架焊接结构,在塔座筒体、塔座与结构柱的连接处、塔身中部、扒杆销与主体的连接处等部位都存在大量的焊缝,且受力情况比较复杂,除受拉力、压力还受到交变的应力,焊缝有可能会间断或突变,焊缝强度大大降低,甚至引起裂纹,使焊接结构无法承受正常工作载荷。为此,对某平台上 45 t 吊机的关键焊缝进行了无损探伤,以避免安全隐患。

使用型号为 256 标准焊缝探头对扒杆销耳板与塔身主体之间的角焊缝进行了 ACFM 检测,现场检测如图 4 所示,探头沿检测焊缝的扫描路线如图 5 所示。



图 4 现场检测部位示意图

ACFM 方法具有数据自动存储及自动重放功能,检测的原始记录及裂纹计算结果如图 6 所示。发现 B_x 信号出现一个凹陷区, B_z 出现高幅值的波峰和波谷,同时在右面的蝴蝶图上有一个明显的缺陷环,从而表明有一裂纹缺陷指示,经软件计算裂纹长 23 mm、深 2.9 mm。

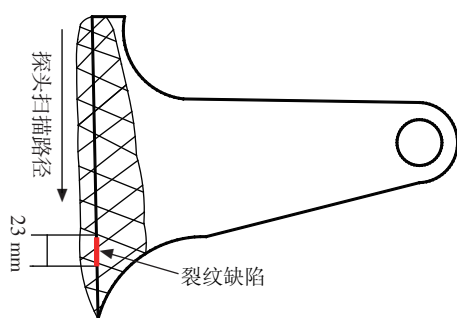


图5 检测耳板与塔身的连接焊缝时的探头扫描示意图

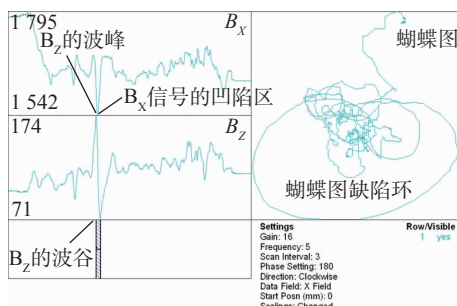


图6 ACFM 裂纹指示原始记录

对图5中所示的可疑裂纹部位利用MT方法进行重点复查,验证了该裂纹确实存在,而ACFM检测提供了详尽的缺陷定位和定量信息,可更好地制定修复方案。

3 ACFM 检测过程中的干扰因素

由于ACFM技术建立在铁磁性材料的高磁导率这一特征之上,所在的环境磁场容易对被检工件表面磁场产生干扰现象,因此检测过程中应注意对干扰因素进行分析处理:

(1) 涂层厚度 探测面的非导电涂层厚度不超过5 mm,但大于1 mm时,裂纹尺寸计算必须考虑涂层厚度的补偿。

(2) 探测面粗糙度情况 探测表面虽然不需清除涂层,但应保证探头能平滑移动并尽量匀速扫查,经打磨后的表面会改变磁场渗透性,因此检测人员应清楚杂音信号、饱和或者信号变形现象。

(3) 材质变化 通常情况下探头沿焊缝的两侧焊脚分别进行扫查,但当焊缝宽度较宽,需要沿焊缝扫查或遇到修补焊缝处的材料变化时,由于材料的渗透性不同会引起伪缺陷显示。

(4) 磁化状况 探测面应处于未磁化状态,对采用MT或其它磁设备近期检测过的区域应进行退磁处理。

(5) 扫描面积 单探头最宽扫描范围为20 mm,当焊缝宽度超过20 mm时应进行多次重叠扫描或使用阵列探头。

(6) 几何效应 几何效应包括工件的几何效应和裂纹的几何效应,前者是指探头接近复杂的几何形状或拐角处对检测信号会产生影响,同时在焊缝末端有边缘效应;后者指裂纹的几何形状对测量裂纹尺寸的精确性存在一定影响,而与扫描成一定角度的裂纹、线接触或多裂纹、横向裂纹均会影响磁场幅值。

(7) 裂纹尺寸计算 由于ACFM理论模型假定材料上有一个线性的均匀场,同时假定疲劳裂纹的形状为半椭圆形,因而检测计算所得的裂纹缺陷长度较实际的要小,实际测试时探头应放置在合适的位置以尽可能地保持均匀场。

4 结语

作为一种高效、可靠的新型检测技术,ACFM方法在无损检测领域具有良好的应用前景。在引进国外ACFM装备与技术的同时,针对钻修机械平台结构损伤检测领域应着重推广以下工作:

(1) 钻杆、钻铤等提升用具的螺纹检测

随着当前钻井技术的不断进步,相应的钻井速度也随之加快,因而井队使用的钻具寿命周期相对缩短。据统计,80%左右的石油管道失效事故都发生在钢管接头的连接部位,与钢管接头部位的螺纹质量密切相关。常见的钻具螺纹检测方法,如磁粉检测只能检测外螺纹,其劳动强度较大且难以量化缺陷;超声波对螺纹根部裂纹的检测灵敏度较低且探头扫描受人为因素的影响较大。TSC公司最新的ATI自动螺纹检测系统不需要标定即可完成表面裂纹的定性和定量缺陷检测,具有非接触测量、检测速度快、对内、外螺纹均能检测等诸多优点。因此,将该系统应用到钻具螺纹的现场检测与评估中具有较大的经济和工程意义。

(2) 海洋平台的安全检测

目前,ACFM方法在海洋平台主要用于水下结构物检测,而随着海洋平台逐渐趋于后服役期,这些老龄化的钻井、采油平台的安全例行检测就将提上议程。如果采用过去的结构物缺陷常规检测方法,由于需要清除表面涂层则工作量非常大;而利用ACFM设备(对于水上结构可直接使用AMIGO金属裂纹检测仪,水下结构则需使用U31水下裂纹检测仪)可以检测包括水上、水下结构及飞溅区的所有

第十届无损检测学会年会论文投稿格式

1 全文请按下列格式修撰编排

(1) 正文写作字体为宋体五号,前文,正文章节及其序号编写和后文的参考文献等请参照本刊的方式。

(2) 前文

- 中文题目一般在 20 个汉字以内为宜
- 作者署名 作者单位完整名称(高等院校署至院系,勿用简称),省、市地名+邮政编码;多个作者单位在同一括号内用 1、2、3 ……分列)
- 中文摘要(目的、方法、过程、结论;第三人称、过去式写法;一般 200 字左右)
- 3~8 个关键词
- 中图分类号和文献标识码
- 英文题目(一般 10 个实词以内为宜)
- 作者署名汉语拼音(姓全部大写,名首字母大写,余小写,双名之间用连字符;作者单位英文名称,市地名+邮政编码,China)
- 英文 Abstract(一般 250 个实词以内,为了便于被国外刊物收录应较详细和突出文章的重点)
- 3~8 个英文关键词 Key words

(3) 正文

(4) 后文

- 参考文献
- 致谢(需要时)

2 其他注意事项为

- (1) 保密单位应署公开的名称,不用代号。
- (2) 全文(包括图、表、参考文献、电脑空格等)请控制在 6 000 字以内。
- (3) 图片尺寸一般 50 mm×70 mm;坐标图应标明中文物理量的名称、符号和单位。
- (4) 表格请用三线表(必要时可添加辅线)。
- (5) [参考文献]著录格式为(参考文献请多引用本刊文章,以便检索发表):

关键部位,如起重设备、储罐、导管架和平台结构的重要受力节点等,不仅大大缩短了检测周期,而且检测结果可精确定量,对提高我国海洋平台结构的安全检测水平具有积极的推广意义。

参考文献:

- [1] 徐合献. 从钻修机组检验看国外石油公司的 HSE 管理[J]. 安全、健康与环境,2007,7(1):13-15.

- 期刊:[序号]主要责任者. 文献题名[J]. 刊名,年,卷(期):起止页码。(其中主要作者写至第三人)

- 专著[M]、论文集[C]、学位论文[D]、报告[R]:

[序号]主要责任者. 文题题名[]. 出版地:出版者,出版年,起止页(任选)。

- 论文集析出的文献:

[序号]析出文献主要责任者. 析出文献题名[A]. 原文献主要责任者(任选). 原文献题名[C]. 出版地:出版者,出版年,析出文献起止页码。

- 国际、国家标准:[序号]标准编号,标准名称[S].

- 专利:[序号]专利所有者. 专利题名[P]. 专利国别:专利号,出版日期。

- 电子文献:[序号]主要责任者. 电子文献题名[电子文献/载体类型标识]. 电子文献的出处或可获得地址,发表或更新日期/引用日期(任选)。

电子文献:数据库-DB;计算机程序-CP;电子公告-EB. DB/OL 联机网上数据库、M/CD 光盘图书、J/OL 网上期刊

载体类型:光盘-CD;联机网络-OL;磁盘-DK。载 DB/MT 磁带数据库、CP/DK 磁盘软件、EB/OL 网上电子公告

- (6) 请在稿件首页左下方用横线隔开标注:① 收稿日期、修订日期(亦可由编者加)。② 基金项目:名称(编号)。③ 第一作者简介:姓名(出生年一)、性别、(民族)籍贯、工作单位、职称、学位。

- (7) 作者发稿前请先行全面仔细校对(特别是英文),尽力做到:论点严谨、数据可靠,言简意明、图表清晰,标点准确、符号明显,书写规整、格式一致;尤以 A4 纸打印为佳。

- [2] 聂劲松,赵亮,移月红,等. 浅谈在用钻机的检测[J]. 石油矿场机械,2002,31(3):16-18.
- [3] 李伟. 基于交流电磁场的缺陷智能可视化检测技术研究[D]. 中国石油大学,北京:2007.
- [4] 亓和平. 交流电磁场检测技术装备及应用[J]. 石油机械,2005,33(6):77-80.
- [5] 汪良生,陈永福. 水下交流磁场检测技术[J]. 中国海洋平台,1998,13(5):15-18.