

连续油管无损检测技术的应用发展

李文彬¹, 苏 欢¹, 王 珂², 上官丰收³, 宋生印³

(1. 西安石油大学 油气井工程, 西安 710065; 2. 西安石油大学 材料科学与工程学院, 西安 710065;
3. 中国石油天然气集团公司 管材研究所, 西安 710065)

摘 要:介绍了国内外连续油管无损检测技术, 详细介绍了电磁检测技术和超声检测技术的工作原理、发展现状及不足之处。对国外在役无损检测的三种检测装置: CT DOG, CT Scope 和 Argus 作了详细的工作原理分析。结合实际检测中出现的各种问题, 提出了目前连续油管无损检测技术方面存在的问题。最后分析现有的技术和存在的问题, 得出连续油管无损检测技术的发展方向, 即智能化和综合化。

关键词:连续管; 电磁检测; 超声检测; 缺陷

中图分类号: TG115. 28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2010)06-0475-04

The Application and Development of Coiled Tubing NDT

LI Wen-Bin¹, SU Huan¹, WANG Ke², SHANGGUAN Feng-Shou³, SONG Sheng-Yin³

(1. Institute of Petroleum Engineering, Xi'an Petroleum University, Xi'an 710065, China;
2. Institute of Materials Science and Engineering, Xi'an Petroleum University, Xi'an 710065, China;
3. Research Center for OCTG and Pipe String, CNPC Research Institute of Tubular Goods, Xi'an 710065, China)

Abstract: This article introduced the nondestructive testing (NDT) technologies of coiled tubing in domestic and overseas, and introduces the elements, actualities and disadvantages of electromagnetism and ultrasonic inspection technologies in detail. The elements about three kinds of in-service inspecting equipments in abroad were analyzed such as CT DOG, CT Scope and Argus. The problems of coiled tubing NDT were proposed after combining with the problems exposed in practical inspecting. At last, the technologies and problems were analyzed so that the developing destination of coiled tubing NDT was made, intelligent and integration.

Keywords: Coiled tubing; Electromagnetism testing; Ultrasonic testing; Defects

连续油管(CT)是由若干段长度在百米以上的柔性管通过对焊或斜焊工艺焊接而成的无接头连续管, 长度一般达几百米甚至几千米, 又被称为挠性油管、蛇形管或盘管, 是一种由钢带成型, 经电阻直缝焊接(ERW)后得到的焊接管。目前, 连续管技术已经广泛应用于钻井、完井和采油等作业中。因此也引起了复杂多样的连续管的失效形式。图 1 是 2004—2005 年连续管失效的统计^[1]。图 2 是 Rod-eric K 研究的缺陷对连续管循环次数的影响^[2], 从图中可以看出, 当材料发生缺陷后, 疲劳循环次数降

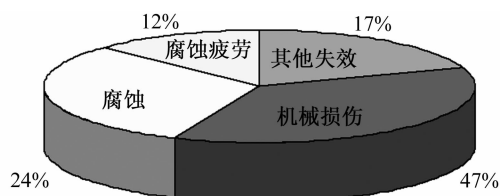


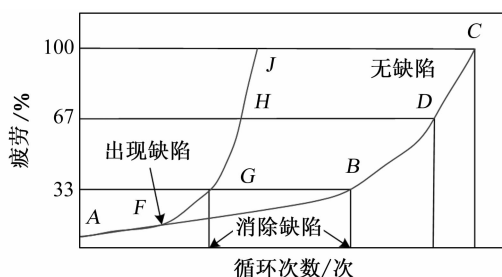
图 1 连续管失效统计

低。如能提前检测到发生缺陷的区域并采取相应的补救措施, 可以使相对于发生缺陷时的循环次数大大地增加。因此, 无损检测对连续管的应用有很大的意义。

目前我国对连续管的检测还处于起步阶段, 大多数采用室内实验检测的方法, 即在实验室内对连

收稿日期: 2009-07-28

作者简介: 李文彬(1985—), 男, 硕士研究生, 研究方向为管柱力学和油井管的检测。



续管进行检测,该方法不能很好地应用于现场的在役检测。而国外已经研究出了相对成熟的在役检测技术和各种连续管在役检测装置,并且获得了成功。表1为不同的缺陷形式与引起的原因以及检测的方式^[3]。

表1 缺陷类型与检测方式

| 缺陷 | 原因 | 检测方法 |
|--------|-----------------------|------|
| 椭圆度 | 循环运动 | 涡流检测 |
| 鼓泡 | 压力下循环 | 涡流检测 |
| 内部腐蚀坑 | 酸性溶液和 CO ₂ | 漏磁检测 |
| 外部腐蚀坑 | 酸性溶液和 CO ₂ | 漏磁检测 |
| 横向疲劳裂纹 | 管壁上一点往复循环 | 漏磁检测 |
| 纵向裂纹 | 焊缝不完全融合,液压锤 | 涡流检测 |
| 强度缺失 | 钢材的结晶转变 | 涡流检测 |
| 注入头割环 | 连续管在注入头内的旋转 | 漏磁检测 |
| 夹持器印记 | 压力过大 | 漏磁检测 |
| 腐蚀(外径) | 油管与地层的摩擦 | 漏磁检测 |
| 腐蚀(内径) | 固井,酸化 | 漏磁检测 |
| 缩颈 | 受力过大 | 涡流检测 |

1 国内检测技术

1.1 漏磁检测技术

国内华中科技大学的康宜华教授运用漏磁检测的原理对油管的裂纹缺陷和壁厚减薄,做了较为细致的研究。

漏磁检测的缺点是:小而深的管壁缺陷处的漏磁信号要比形状平滑但很严重的缺陷处的信号大得多,所以漏磁检测数据往往需要经过校验才能使用。检测过程中当油管所用材料混有杂质时,还会出现虚假数据。

1.2 涡流检测技术

涡流检测的优点是:无需饱和磁化、弱激励、传感器与试件间无牵制力、扫描很轻松。对试件内二

维和三维缺损及腐蚀均有可靠的检出能力,且无检测盲区。对试件表面清洗程度及不完整性要求不高,单通道有效扫描宽度可达10 mm以上。

不足之处:由于工作频率低,不能高速扫描,同时涡流检测难以区别缺陷的种类和形状。

1.3 基于磁致伸缩效应的导波检测技术

基于磁致伸缩效应的导波检测技术的检测原理为:铁磁体在外磁场中被磁化时,外形尺寸发生变化,产生磁致伸缩应变,从而在铁磁体内激发应力波,即弹性导波。导波在传播过程中,铁磁体内各部分均发生变化,相应磁导率发生变化,反过来使波的传播特性也发生变化,进而导致铁磁体内磁感应强度发生变化。根据法拉第电磁感应定律,变化的电磁感应强度必定引起接收传感器中的电压变化。通过测量电压信号——导波的反射情况,即可检测出铁磁体构件中是否存在腐蚀、裂纹和破损等缺陷^[4]。

磁致伸缩效应导波检测技术的优点是:相对于传统的检测技术,磁致伸缩效应的导波具有传播距离远和检测速度快的特点,即使在油管外表面带有包覆层也可以进行检测,同时能对大型构件(如在役管道)和复合材料进行无损检测。

不足之处:由于多数被检测的构件是不规则的,且缺陷未知,同时在构件中传播的导波具有频散和多模式特点,因此磁致伸缩传感器的设计比较困难,难于实现量化检测和评估。

1.4 电磁超声检测技术

当通以高频电流的线圈靠近金属试件时,试件表面会感生高频涡流,若在试件附近再加一个强磁场,则涡流在磁场作用下使金属材料中的带电粒子产生高频的力(洛伦兹力)。实质上这个力是高频机械振动,所以它能在试件中传播,即产生超声波。由于上述过程本身是可逆的,因而从试件边角或缺陷部件反射回的超声波在外加磁场作用下形成涡流,涡流本身磁场引起线圈两端电压的变化,利用这一信号即可实现缺陷检测。

电磁超声检测技术的优点是:无需耦合介质,对检测表面粗糙度的要求不高,可以实现高速探伤^[5]。具有非接触、无需使钢管或传感器转动、能同时探出用压电超声、涡流和漏磁技术探出的缺陷,可在高温下工作。

电磁超声检测技术也存在着一定的问题:电磁场模型建立和求解的复杂性,使电磁超声无损检测定量分析难度大。电磁超声检测属于微弱信号测试

范围,需要设计高敏感和信噪比的探头,因此实现起来比较困难^[6]。

1.5 几何尺寸的检测

可以使用超声波技术对壁厚的变化进行检测,其不足之处是超声波在空气中衰减很快,检测时一般要有声波的传播介质,如油或水等耦合剂^[7]。

康宜华教授根据恒磁检测技术,对连续管的椭圆度进行了研究。由于连续管为铁磁性材料,当它被恒定磁场磁化后,会形成一个磁回路。当油管直径发生变化时,磁路的磁特性将发生变化。利用磁敏感元件测量磁路中的磁特性值,并转换成电信号,通过信号处理,获得连续管直径变化信息^[8]。这种技术的检测精度较高,装置尺寸较小,安装方便,操作灵活。但是,对探头的设计要求较高。

2 国外检测技术

2.1 电磁检测技术

国外通常是采用电磁技术检测裂纹型的缺陷,运用超声技术检测焊缝。国外常见的电磁检测的方法包括:涡流检测(ET)、漏磁检测和 Barkhausen 噪声检测法等^[9]。美国的 Roderic K Stanley 在休斯顿举办的连续管会议上,介绍了运用电磁检测技术对连续管进行检测的方法,即对管状铁磁体(连续管)的管壁尺寸的检测、油套管壁磨损的检测、管壁腐蚀的检测、漏磁方法对横向缺陷的检测和涡流方法对疲劳的检测。

使用电磁检测的方法能够检测出壁厚的细微增长,可以用于检测油管绝缘层以下的腐蚀损伤,也可以应用于石油专用管材油管的平均壁厚的评价;同时在检测较大区域的壁厚缺失方面具有较高的效率,例如针对钻杆的刺穿、抽油杆的损伤以及连续管的腐蚀。

不足之处:因为漏磁的产生主要是依靠出现的异常的宽度、深度和长度,所剩余的管壁厚度,以及异常部分周围所产生的磁场穿透能力进行检测,这种穿透能力是由异常区域附近所存在的应力状态所决定的,因此使用漏磁检测方法时很难对缺陷的深度进行准确的测量。

2.2 超声检测技术

超声检测技术在焊缝检测中的应用越来越广泛。常用的超声检测方法有:应力测量、板-板对焊检测、油管缝焊检测和管-管对焊检测等。超声检测法还可以应用于对管壁尺寸的测量。传统的超声换

能器必须使用耦合剂,一般使用较多的耦合剂是油或水。由美国 CTES 公司和 Schlumberger 研制的新型超声检测装置,使用聚氨酯作为超声波传播介质^[10],大大提高了测量的准确性。

2.3 在役检测技术

2.3.1 CTES 公司的 CT DOG

CTES 公司设计开发的 CT DOG 检测技术,利用近距离传感器来测量连续油管的直径和椭圆度,如图 3。围绕着连续管的圆柱状传感器头包括 3 个环形检测单元,每个单元都包含 4 个涡流近距离传感器。在环形单元中每相隔 30°测一组直径值,这样一次能测得 6 个直径值。每一个探头的传感元件都正对着位于环形单元中心的连续管,每个探头测量从其表面到连续管外表面的距离。两个相对的探头构成一个测量探头组。对于给定的探头组,探头与探头之间的距离与测量距离的差值就是连续管的外径值。因此,每一个环形单元能提供两组正交的直径的测量值,即一个连续管椭圆度的测量值。CT DOG 的圆柱状传感器头可以沿纵向拆开,这样就可以保证其很好地贴近连续管进行检测,因此 CT DOG 可以安装在滚筒与注入头之间。信号传输线将传感器头与远端的操作界面和信号处理系统相连接,这样就实现了连续管作业时的远程在役检测。但是,这种技术不能使用在无磁材料中,比如说目前已商业化的 CRA 材料(抗腐蚀材料)。

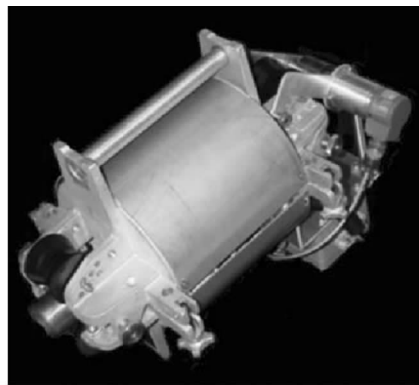


图3 CT DOG

2.3.2 Tuboscope 公司的 CT Scope

如图 4,该技术利用永磁铁使管壁内感应出磁场。这样当连续管表面出现缺陷时,分布在连续管周围的霍尔感应传感器能检测出来自管壁的漏磁的磁通量。这种漏磁信号既能反映连续油管内壁或外壁的裂纹和凹陷。但是,由于需要一个有专门技能的设备操作者和相关费用的限制,CT 服务公司不

太能接受该技术。同时,由于采取永磁铁进行磁化,这样检测过的连续管需要进行退磁处理,工作效率降低,且花费较大。使用该技术开发油田 CT 检测设备还有罗森(Rosen)研制的 ACIM。



图4 CT Scope

2.3.3 CTES 公司的 Argus

Argus 主要使用超声波检测技术,这种技术能准确测量钢管壁厚和存在的裂纹、夹杂物等缺陷。一些公司已经将相控阵超声波检测技术用于在生产车间对管材的焊缝进行检测。在役检测方面,CTES 研制开发的 Argus(图5)在现场的连续管检测方面得到了广泛的应用。Argus 可以在连续管环向的12个位置测量局部壁厚,精确度为 $\pm 0.127\text{ mm}$,每秒钟测出1200个壁厚值(每个位置100个)。同时,在环形检测单元中,每相隔 30° 布置一个检测探头,这样相对的一组探头便能测量出一组直径值。且探头采用依次触发,这样可以完全覆盖连续管在出入井时的整个范围。因此,Argus 在测出壁厚变化的同时能测出6个直径值和3个椭圆度。到2004年底,CTES 公司已制造了22个这样的检测系统^[15]。

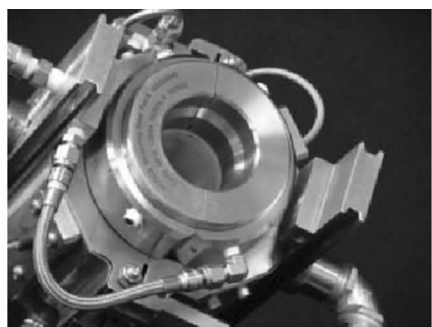


图5 Argus

3 局限与问题

现有的连续管检测技术存在的问题与局限性:

(1) 对伴有微裂缝的非常规腐蚀坑的检测存在

着困难。

(2) 对于非常规,伴有微裂缝或塑性变形的机械损伤无法进行准确的检测。

(3) 对刮伤引起的严重塑性变形和横向边沿裂缝,以及1或2次起下钻后出现的疲劳扩展裂缝缺陷,无法设计疲劳递减系数。

(4) 无法准确测定氢致应力开裂(HIC)和硫化物应力致裂(SSC)引起的缺陷。

(5) 对初发的气孔缺陷的检测不够准确。

4 结语

连续管无损检测技术目前已有长足的发展,电磁检测技术和超声检测技术在连续管的无损检测中获得了大量的应用。但是由于现场作业的复杂工况,以及连续管生产技术的发展,对连续管无损检测技术也提出了更高的要求。连续管无损检测技术正在朝着智能化和综合性的方向发展。未来的检测装置要求能够准确检测各种形式的缺陷,适应现场恶劣的环境,同时易于操作。这样才能够保证连续管的安全运行,提高其作业效率,节约开支。

参考文献:

- [1] Luft H B. CT Manual 2[M]. Houston: CTES, 2006: 57—58.
- [2] Stanley R K. Results of Recent Inspections Performed on Coiled Tubing[R]. Houston: [s. n.], 1999: 25—26.
- [3] Stanley R K. Results From Nde Inspections of Coiled Tubing[R]. Houston: [s. n.], 1998: 15—16.
- [4] 王悦民,谢俊丽,刘东等. 基于磁致伸缩效应的导波无损检测技术研究进展[J]. 无损检测, 2007, 5(29): 280—283.
- [5] 郑华. 电磁超声检测技术在制管检验中的应用[J]. 无损检测, 2008, 30(5): 312—315.
- [6] 朱红秀,吴森,范弘等. 钢管的电磁超声无损检测技术[J]. 煤炭科学技术, 2003, 12(31): 51—53.
- [7] 梁红宝,朱安庆,赵玲. 超声检测技术的最新研究与应用[J]. 无损检测, 2008, 30(3): 174—176.
- [8] 韩兴,康宜华,李雪辉. 连续油管椭圆度恒磁检测技术及装置研究[J]. 石油机械, 2000, 10(28): 17—19.
- [9] Stanley R K. Methods and Results of Inspecting Coiled Tubing and Line Pipe[R]. Huston: [s. n.], 2001: 7—8.
- [10] Newman K R. A New Approach to Ultrasonic Coiled Tubing Inspection[R]. Huston: [s. n.], 2003: 8—9.