

管道内腐蚀检测新技术和新方法

钟家维¹ 沈建新² 贺志刚³ 喻西崇⁴

(1. 塔里木油田分公司开发事业部, 新疆 库尔勒 841000; 2. 塔里木油田开发事业部, 新疆 库尔勒 841000; 3. 北京安东奥尔工程技术有限责任公司, 北京 100102; 4. 中国科学院力学所, 北京 100080)

对油气田在役管道实行定期检测及时发现问题, 采取措施延长寿命, 提高安全可靠, 已成为我国油气田降低石油和天然气生产成本的关键所在。本文介绍漏磁检测、超声波检测和涡流检测三种管道内腐蚀检测方法的检测原理、检测方法以及应用情况, 国外管道内检测装置的发展水平以及我国管道腐蚀检测技术的发展趋势。

随着油气田的开发, 管道的安全运行越来越受到人们的重视。目前我国铺设的输油和输气管道已达 $30 \times 10^5 \text{ km}$, 而且正在以 $1000 \sim 2000 \text{ km/a}$ 的速度铺设新管线, 而现有的埋地管线大部分已服役了 20 多年, 管道因腐蚀破坏而造成的穿孔泄漏事故时有发生。下面重点介绍漏磁检测、超声波检测和涡流检测 3 种管道内腐蚀检测方法的检测原理、检测方法以及油田应用情况。

1 管道内腐蚀检测技术

1.1 漏磁法智能清管器

1.1.1 基本原理

从 1965 年美国 AMF 公司研制出第一台漏磁通法检测器以来, 漏磁通法检测器是目前应用历史较长、技术较完善的检测设备, 其主要用途是在管道穿孔之前确定或描述因内、外腐蚀引起的壁厚变化情况, 同时也能检测出管壁的凹痕、皱褶等腐蚀缺陷。

漏磁通法检测器一般由三个模块组成, 各模块之间由联轴节连接, 如图 1 所示。第一个模块为电

第一作者: 钟家维, 男, 工程师, 从事井下作业生产技术管理工作, 曾发表论文多篇。

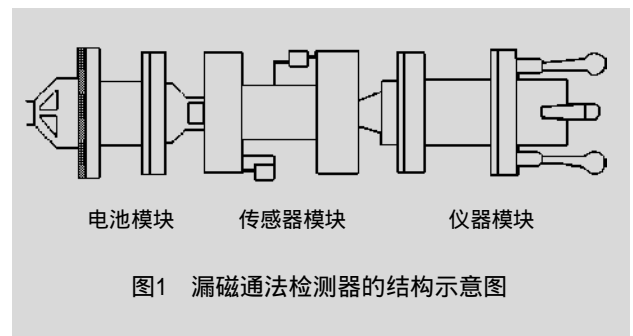


图1 漏磁通法检测器的结构示意图

池模块, 中间为探测漏磁的传感器模块, 第三个为仪器模块。

漏磁通法检测的基本原理是建立在铁磁材料的高磁导率这一特性之上的。其检测的基本原理如图 2 所示, 钢管中因腐蚀而产生缺陷处的磁导率远小于钢管的磁导率; 钢管在外加磁场作用下被磁化, 当钢管中无缺陷时, 磁力线绝大部分通过钢管, 此时磁力线均匀分布; 当钢管内部有缺陷时, 磁力线发生弯曲, 并且有一部分磁力线泄漏出钢管表面, 检测被磁化钢管表面逸出的漏磁通, 就可判断缺陷是否存在。漏磁通法适用于检测中小型管道, 可以对各种管壁缺陷进行检验, 检测的管壁不能太厚, 干扰因素多, 空间分辨力低; 另外, 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

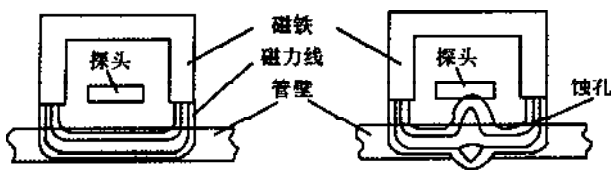


图2 漏磁通法检测的基本原理

才能使用,检测过程中当管道所采用的材料混有杂质时,还会出现虚假数据。

使用漏磁法检测管壁厚度时,检测信号易受到管壁腐蚀缺陷的长度、深度和缺陷形状等因素的影响。当腐蚀缺陷的面积大于探头的灵敏区时,管壁厚度的检测精度高。但是,当腐蚀缺陷的面积小于探头的灵敏区时,管壁厚度的检测精度难以得到保证。因此,漏磁检测装置分为高分辨率和低分辨率两种。高、低分辨率漏磁检测装置的划分以所用探头数的多少或各探头间的周向间距而定。探头数愈多,各探头之间的周向间距愈小,分辨率愈高,则检测精度愈高。高分辨率漏磁检测装置对槽型缺陷具有良好的检测效果,对长宽比大于2,宽度小于探头周向间距的槽型缺陷而言,当采用探头周向间距为30~40mm的漏磁检测装置检测时,壁厚的检测值明显偏小。而采用探头周向间距为8mm的漏磁检测装置再次对这种缺陷进行检测时,则能精确测量壁厚。

1.1.2 漏磁通法检测器的特点

(1) 漏磁通法检测器的优点

a. 操作简单、检测速度快、检测费用较低;b. 对管道输送的介质不敏感,可以测量油气水多相流管道的腐蚀检测;c. 可以覆盖管道的整个圆周;d. 用于中小型管道的细小缺陷检测。

(2) 漏磁通法检测器的缺点

a. 容易产生虚假信号 漏磁通法检测器产生的信号不仅与管道缺陷的严重程度有关,还与管道缺陷的几何形状有关,这就使得腐蚀不严重但边缘陡峭的局部腐蚀所产生的信号比腐蚀严重但边缘平滑的腐蚀所产生的信号强,则必须对信号进行准确解释,以确切评价腐蚀的程度;

b. 检测灵敏度低 漏磁通法检测器的检测结果易受管材的影响,检测精度随管壁厚度的减小而提高,有关缺陷都能检测出来,但不能可靠地确定

缺陷的大小;

c. 测厚方面不如超声波裂纹检测仪简便;

d. 不能检测轴向缺陷 漏磁通法检测器对腐蚀坑和三维机械缺陷最为敏感,而对轴向缺陷则检测困难。

1.1.3 PTC 数据分析系统

PTC 漏磁通法检测器分析系统用于显示、分析和处理由管道漏磁检测器记录仪采集的管道腐蚀数据 最终生成管道上所有腐蚀点及管件的详细报告。PTC 漏磁通法检测系统能够提供被检测管道上所有腐蚀点的里程、周向位置、距最近参考点的距离、腐蚀深度、腐蚀面积、距上下游焊缝的距离等信息,并可对管道上的管件和维修点进行定位,是管道大修和管材鉴定的基本依据。该系统以类似示波器曲线的显示方式显示检测器检测到的管道信息。正常管道的图形显示为平滑的直线,异常情况的图形为波动的曲线。曲线的形状代表管道上存在的异常点和管件,曲线的波动幅度代表腐蚀点的腐蚀深度。

PTC 数据分析系统与漏磁通法检测器配合,可以完整准确地反映管道现状,为管道业主提供第一手管道材料,为输送工作的安全运行提供重要依据。

1.2 超声波裂纹检测仪

1.2.1 基本原理

管内超声波在役检测原理见图3所示。

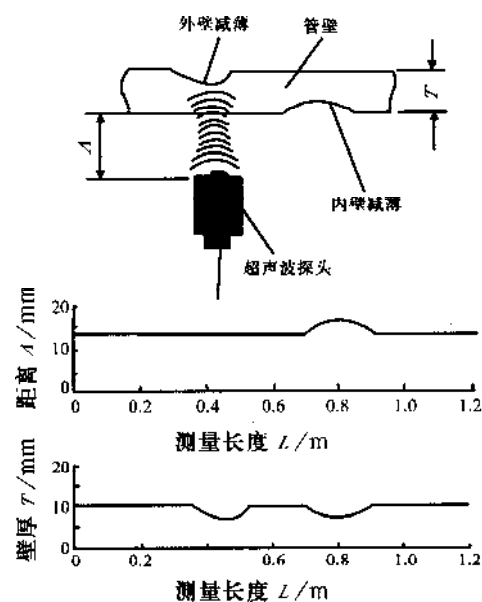


图3 管内超声波在役检测原理示意图

垂直于管道壁的超声波探头对管道壁发出一组超声波脉冲后,探头首先接收到由管道壁内表面反射的回波(前波)随后接收到由管道壁缺陷或管道壁外表面反射的回波(缺陷波或底波)。于是,探头至管道壁内表面的距离A与管道壁厚度T可以通过前波时间以及前波和缺陷波(或底波)的时间差来确定:

$$A = t_f n_f / 2 \quad (1)$$

$$T = (t_b - t_f) n_s / 2 \quad (2)$$

式中, t_f 为第一次反射回波(前波)时间, t_b 为第二次反射回波(底波或缺陷波)时间, n_f 为超声波在介质中的声速, n_s 为超声波在管道中的声速。

不过,仅仅根据管道壁厚度T曲线尚无法判别管道属内壁缺陷还是外壁缺陷,还需要根据探头至管道壁内表面的距离A曲线来判别。当外壁腐蚀减薄时,距离A曲线不变;而当内壁腐蚀减薄时,距离A曲线与壁厚T曲线呈反对称。于是,根据距离A和壁厚T两条曲线,即可确定管道壁缺陷,并判别管道是内壁腐蚀减薄缺陷还是外壁腐蚀减薄缺陷。

1.2.2 超声波腐蚀检测的特点

(1) 优点

a. 测量精度高,检测数据简单,且无需校验,检测数据非常适合作为管道最大允许输送压力的计算,为检测后确定管道的使用期限和维修方案提供了极大的方便;b. 适用于大直径、厚管壁管道的检测;c. 能够检测出管道的应力腐蚀破裂和管壁内的缺陷如夹杂等;d. 超声波检测具有检测成本低,现场使用方便,特别适用于检验厚度较大的管道。

(2) 缺点

a. 检测时一般要有声波的传播介质,如油或水等;b. 需液体耦合剂,可靠性有待于提高;c. 对薄壁管道环缝缺陷的检测有一定难度。

1.2.3 超声波检测技术在腐蚀管道上的应用

以沧州至天津原油管道全长84公里,材质为L360,规格为559mm×6.4mm,559mm×7.9mm双面埋弧焊螺旋管中超声波腐蚀检测为例,说明超声波检测技术在油田腐蚀管道中的应用情况。

(1) 探伤仪的选择标准

a. 选择水平线性误差小的仪器,以满足定位准的要求;
b. 选择垂直线性好,衰减精度高的仪器,以满足定量准的要求;

c. 选择盲区小,分辨力好的仪器,可以有效地发现近表面缺陷和区分相邻缺陷;

d. 选择重量轻,荧光屏亮度好,抗干扰能力强的便携式仪器。

经过反复比较筛选,数字式超声波探伤仪以其良好的综合性能取代了传统的模拟式超声波探伤仪,成为沧津线超声波检测的主力机型,其基本参数是水平线性误差不超过0.4%,垂直线性误差不超过3%,步进级为0.1dB。

(2) 探头的选择标准

a. 探头频率应较高,在保证探伤灵敏度和分辨力的同时,缩短近场区长度;

b. 探头晶片尺寸应较小,保证与探测面耦合良好,缩短近场区长度,提高缺陷定位和定量精度;

c. 薄壁管应选用较大的K值(声波进入管内的斜率)以便增加一次波声程,避免近场区探伤。

沧津线采用的是8mm×8mm和8mm×12mm两种方晶片斜探头。

(3) 检测前的准备

a. 在SGB-5和CSK-1型试块上测定探头入射点,近场分辨力、主声束偏移及主声轴双峰;

b. 测定K值,按照水平1:1的比例调节扫描速度;

c. 用SGB-5试块上孔径为2mm×20mm的横孔试验数据与实测数据进行比较,绘制出距离和波幅曲线,如图4所示。

d. 在SRB试块(人工制作)上测定人工矩形槽的反射波幅度,作为评定管道环焊缝未焊透的依据。

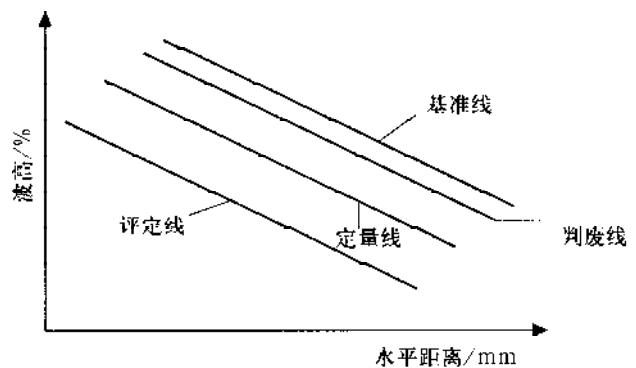


图4 距离-波幅曲线图

(4) 现场检测及波形辨析

焊缝两侧应打磨干净，探头移动区内应无飞溅、无锈蚀、无污物，耦合剂（机油）应涂刷均匀，探头在焊缝两侧做前后、左右、转角、环绕等运动，对于出现在荧光屏焊缝区域的波形，应重复1~2次，观察其重复性，并分析具体的结构形状（如错口、凹凸等），排出可能产生的耦合剂反射波和表面沟槽反射波。

长输管道焊接易产生的主要缺陷有未焊透、夹渣、气孔等，其波形辨析如下。

a. 未焊透。此类缺陷产生在焊缝根部，其反射波类似端角反射，探头在平移过程中，未焊透波形稳定。

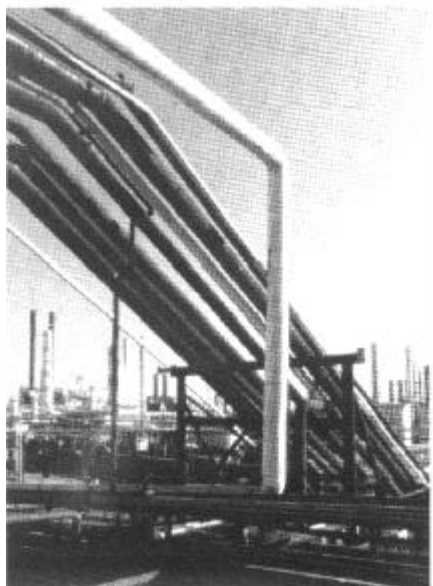
b. 夹渣。此类缺陷在根焊及热焊道中均易产生，主要由于清根不净或手法不妥而形成，其回波多呈锯齿状或树枝状，并且回波高度不是很高，探头平移时，波幅有变动，转角时，反射波幅不相同。

c. 气孔。此缺陷一般为球形或椭球形。单个气孔回波高度低，波形较稳定，转角时，反射波高度大致不变。针对现场情况的复杂性，可采用对比试管、未焊透对比块、射线检测复验等方式相结合的综合检测方法，可以大大提高声波检测的准确性。

1.3 涡流检测技术

涡流检测技术的原理是：在涡流式检测器的两个初级线圈内通以微弱的电流，使钢管表面因电磁感应而产生涡流，用次级线圈进行检测。若管壁没有缺陷，每个

初级线圈上的磁通量均与次级线圈上的磁通量相等；由于反相连接，次级线圈上不产生电压。有缺陷时，磁通发生紊乱，磁力线扭曲，使次级线圈的磁通失去平衡而产生电压。



通过对该电压的分析，检测出腐蚀情况。

涡流式检测器可检测出输送气体和液体的多相流管道。不少国家能生产涡流式检测器，图5是日本的NKK公司生产的检测器。



图5 日本的NKK公司生产的检测器

NKK涡流式检测器由三个模块组成：电池模块、纪录模块、涡流电子和传感器模块。其中，电池模块和纪录模块与该公司生产的超声波检测器的结构和功能一样。涡流电子和传感器模块是涡流检测器的核心，用于处理传感器检测出的信号。在涡流电子和传感器模块的圆周上安装160个传感器。此外，还装配有用于检测辅助数据的传感器和电子装置。检测器的驱动力来自介质压差。在直管段，驱动力是5kN，在弯管段，驱动力是5kN。

2 国外管道内检测装置的发展水平

目前国外的工程技术人员结合漏磁通法和超声波法已研制出了各种管道内智能检测装置。这类装置从结构上可分为有缆型和无缆型两种。

2.1 有缆型智能检测装置

最初研制的智能检测装置都是有缆型的。有缆型的检测装置一般由配有各种检测仪的管内移动部分、设置在管外的遥控装置、电源、数据记录处理、电缆供给控制装置以及连接管内移动检测部分和管外装置的电缆组成。电缆的任务主要是用来供电、遥控和传输成像及检测数据等。管内移动部分就是在管道内行走的智能检测爬行机部分。起初的爬机主要用来清除管道内的残余杂物。进入20世纪60年代以后，由于输送管道深埋于地下，且管道中充满油气等介质，常规的检测方法难以胜任，为此，一些发达国家又将爬机技术引入了管道的检测。由于有缆型检测装置的电源和数据处理部分设在管外，所以其爬机部分结构紧凑，可以应用于中小管径管道。此外这种检测装置还能够同时监测管内移动检

测部分的影像数据,可对安在河流、铁道、道路下面特殊管道的重要位置进行有选择的检测等特点。但有缆型检测装置的使用范围受电缆长度和管断面等的限制,尽管有的爬机采用了光缆,其检测管道的长度依然很有限,并且有缆型爬机多用于停运管道的检测。

2.2 无缆型智能检测装置

随着爬机行走技术的进一步成熟,为了检测长距离管道的腐蚀状况,一些发达国家的技术人员又研制了无缆型的管道内检测装置。目前,这种装置的研究,无论是检测精度、定位精度、数据储存,还是数据分析均已达到了较高的水平。在所有的管道内检测装置中无缆型的爬机应用最为广泛,这类检测装置在管道中是由液体推动前进的,其主要由主机、数据处理系统和辅助设备三部分组成。

3 我国管道腐蚀检测技术的发展趋势

相比较而言,我国的地下管道检测技术仍处于起步探索阶段,大部分管线不仅没有使用网络系统进行监控,而且各种检测管道腐蚀技术也大都停留

在管外检测,方法传统落后。管道的各种智能检测爬机仍在研究中,成熟的产品尚未开发出来,尽管某些科研单位已研制出了几种功能样机,但它们只能对空管道进行检测,很难满足实际要求。由于国外的智能检测爬机设计复杂,价格昂贵,通常是几百万元一套仪器,现在我国的大部分油田都没有引进这种设备,而只是采用传统的管道外检测方法,这就无法对埋地管道腐蚀受损情况进行及时准确的检测,从而造成了一些重大损失。此外,从国内有的管道技术公司买进的超声波爬机和漏磁爬机的使用情况来看,使用超声爬机检测中存在的最大问题就是,我国的石油大部分是稠油,石油在管道内的结蜡较厚,每次探测都需清洗数次,但检测时在管壁上和液体介质中仍有少量的蜡片存在,这些蜡片往往严重影响了检测结果的准确性,从而导致了检测精度的降低。而漏磁爬机检测时虽不受蜡片的影响,但其检测精度不如超声爬机高,对管道上的轴向裂缝检测还有一定的困难,而且由于漏磁技术是检测管道壁厚的间接检测方法,用其检测的数据实现直观显示管壁的缺陷也比较困难。

· 业界资讯 ·

德国开发出适用于 TPU 的挤出机械

德国 Paderborn 大学开发出一种新型挤出机结构设计理念,德国 Extrudex 塑料机械有限公司已经开始工业化生产单螺杆挤出机 Helibar,用来制作挤出管材和吹塑(中空成型)。Helibar 的长径比为 36/1,特点为整个机筒长度都有螺纹沟槽,加料段的沟槽深,其他部分沟槽浅。螺杆为专用屏障型结构,转速高于一般单螺杆挤出机,产量特别大。Helibar 的螺杆直径为 70mm,产量可达 450kg/h,而相同直径平滑机筒设备产量为 227kg/h。螺杆直径 70mm,长径比 36/1 的 Helibar 产量相当于直径 90mm,长径比 30/1 的一般挤出机。Extrudex 有(直径)50mm 和 70mm 二种机型。适用加工树脂有 HDPE、LLDPE、LDPE、PP、丙烯酸酯、PET、PC、PA6、软 PVC、EVA、TPU(热塑性聚氨酯)和其他 TPE(热塑性弹性体)。

Extrudex 公司最初是应瑞士 Soplar 公司要求开发出这种新的理念,Soplar 公司希望为其提供小型且产量高的设备。近几年,Extrudex 已先后交付顾客 50 多台 Helibar 装置,主要为吹塑和管材挤出加工。该公司正与欧洲几个厂家签订作为唯一供货商的合同,并且准备转让技术专利。