

油气管道缺陷无损检测与在线检测诊断技术

刘绍亮

(胜利石油管理局基建处, 山东 东营 257001)

摘 要: 油气管道检测是预测事故隐患、为安全评价提供基础资料的重要手段, 国外在实践中得到了较好的应用。叙述了油气管道及管网缺陷无损检测与在线检测诊断技术及设备。管道内检测主要采用在线检测技术, 如漏磁、超声和综合性检测技术; 而外检测主要采用卫星成像、实时监控、阴保杂散电流测绘、第三方干扰管道检测技术。管道无损和在线检测装备主要有高分辨率超声和磁性智能设备、超声裂纹探测设备、测径设备、金属损失检测设备。随着我国油气管道总长度增加和管道服役年限的增长, 管道检测任务日益繁重, 我国应加快检测手段和方法的现代化, 提高检测准确性和精度, 培养一支强大的检测队伍。

关键词: 无损检测; 在线检测; 管道外检测; 管道内检测

文章编号: 1006-5093(2007)02-0010-05

文献标识码: A

1 管道内检测

国外管道内检测主要采用在线检测技术 (ILI), 其中高分辨率漏磁和超声是两种较好的检测技术, 两者适用于大多数管道口径。

进入新世纪, 美国 GTI 正在为管道业研发各种先进的在线检测设备或智能清管器。GTI 正在与美国运输部 (DOT) 和各检测设备厂商合作, 研发能够表征由外力造成的机械损坏 (如凹痕和划伤), 确定裂痕的位置并对其进行评价, 寻找涂敷层缺陷和改善腐蚀特性的各类清管器。已经研发出的清管器能够通过阀门和弯头, 而普通检测清管器则无法通过。

1.1 漏磁检测^[1~2]

漏磁检测 (MFL) 是检测在役压力管道最常用在线检测技术。过去使用的 MFL 技术一直是检测

金属损失缺陷, 主要是腐蚀。这种技术采用的是一种智能清管器, 其上设有 300 个磁性探测器, 清管器导磁体各端的一对磁铁将管壁轴向磁化。管壁上的金属损失导致管道上的磁场流中断, 这将导致磁场漏磁, 清管器上的传感器探测漏磁场。根据管道圆周方向或轴向方向的漏磁通量读数识别管壁上缺陷和金属损伤的大小和深度。

虽然轴向磁化结构能够检测到管道上最常发生的缺陷, 但在检测纵向缺陷上存在一些不足。为此, 国外改变了磁性结构, 同时开发了高分辨率 MFL 技术、先进的电子设备、分析算法和软件。高分辨率 MFL 技术还可检测和定位管道环向及纵向裂纹。目前, 测定缺陷深度的典型准确率达到了壁厚的 10%, 可信度达到 80%。如对于 8 mm 壁厚, 则为 ± 0.8 mm。MFL 可检测 8~38 mm 管道壁厚。这种方法的最新发展使其具有探测管道内应力腐蚀开裂的能力。

1.2 超声检测^[1~2]

超声检测法是采用超声波原理,通过超声波的反射来测定管道壁厚及管内表面状况。超声检测同其他检测方法相比具有三个优点:一是无需对检测结果进行评价即可知道缺陷的位置;二是更适于较大壁厚管道的检测;三是特别适用于检测裂纹。根据超声波检测原理,各国研制出了具有不同用途的超声清管器。

如果管道表面光滑,超声检测技术检测缺陷深度的精度可达 0.1 mm 。超声用于管道检测的精度主要取决于被测管壁的表面粗糙度。超声测量短管壁厚的精度达 $\pm 0.2\text{ mm}$,而腐蚀表面通常是相当粗糙,测量的平均深度精度为 $\pm 0.5\text{ mm}$,可信度达 95%。

对于厚壁管道,超声可检测 45 mm 的壁厚。对于小口径厚壁管道,超声检测是正确选择。对于薄壁管道,超声直接检测壁厚的范围限制在剩余壁厚 2.5 mm 以上;而 2.5 mm 以下的薄壁管道只能通过探测二次回波进行检测。

1.3 综合检测技术^[3~4]

为了适应公众对管道安全运行的需要,目前一些公司已经开发出了一种所谓的“综合检测装置”(Combo tools),即将常用的几种管内检测技术结合到一个装置上进行一次性检测。进行一次性检测可以大大节省费用,而进行多种检测要花费多次检测费用。这样一来,就可在提高数据检测精度的同时,使故障暴露和管输产品流量的降低到最小程度。

从这些检测过程中获得的数据经过认真的解释过程之后,就可对管道的整体状况得出最终结论。通过检测就会传递出有关管道完整性管理方面极其重要的信息,比如有关管子壁厚变化和最大允许操作压力等方面的信息。能使智能清管器从管道中顺利通过并同时获得预想的数据,这就叫“首轮试运成功(FRS)”。如果发生故障就会导致一次或若干次的重新测试,直到该条管道完成检测为止。

近年来,美国清管器工业在改进 FRS 的成功率上已经迈出了巨大的步伐,已经从 2000 年 67% 的平均值提高到如今的 90%。

2 管道外检测

2.1 卫星成像技术保护管道^[5~6]

美国 GTI 正在调研利用以卫星为依托的技术对管道进行保护。调研证明利用卫星成像技术探测对

附近管道构成危险的潜在滑坡具有潜力。对沿一条输气管道三个地点的卫星雷达数据的解释表明,该技术可以用较少的投入来确定重大斜坡运动风险。卫星技术还可以协助提供数字化定位图和定期检查在管道沿线的第三方活动。

2.2 管道实时监控^[9]

所发生的输气管道损坏事故中约 70% 是由于没有将有关开挖活动提前通知管道所有者。为此,管道经营者正在探索一种能每天 24 h 看护其管道的经济方法。针对这种需求,GTI 正在调研管道实时监控的可能性。在需要进行更多研发工作的同时,研究人员已经证实开发一种间距为 $3.2 \sim 4.8\text{ km}$ 的管道实时监控装置是可行的。该装置能在 $1.6 \sim 16\text{ km}$ 的传感器间距范围内探测出挖掘设备工作的声波特征。目前,GTI 的研究已经取得重大进展,即能够区别出管道遭碰撞的声音和诸如压气站和附近交通噪音等普通非危险性声音。

2.3 非开挖管道检测^[6]

业内专家预测用于配气管网检测的非开挖技术的应用将持续增长。非开挖技术可避免昂贵的地貌恢复或路面复原。其中的一个项目是利用漏磁技术检测运行中的配气主干线的腐蚀和金属损失。配气工人利用漏磁技术仅开挖一处并把一个装置插入管内就能检测很长一段干线,同时不会中断向用户的供气。试验表明,样机能在直径 102 mm (4") 气管线内行走 270 m 存储数据并将管内缺陷定位。

2.4 阴极保护系统杂散电流测绘仪^[6]

大多数钢制天然气管网配有阴极保护(CP)系统给管道施加低压电流来抑制腐蚀。然而,随着地下环境日趋复杂,来自其他方面的杂散电流,诸如交叉的管道、工业厂矿或电气铁路设施等可能会接触到目标管道,这不仅削弱了抑制腐蚀的能力,而且在某些情况下还能颠倒 CP 过程并造成管道腐蚀。针对这一问题,GTI 与一个由多家天然气公司组成的国际财团正在开发一种杂散电流测绘仪(Stray Current Mapper)——一种能检测、识别和评价杂散电流干扰的地上个人操作装置。该测绘仪的使用方法是,在管道沿线的地面以适当的间隔插上智能传感器棒和智能探头。每个传感器有自己的标识,传感器探测数据并由此形成系统图形,使操作员能识别杂散电流的来源。操作人员利用手中的接收器沿管道行走就能快速查出问题。接收器与传感器棒同

步,以此解释数据、绘制杂散电流图形、实时显示结果并确定电流幅度和方向。

2.5 第三方干扰管道检测技术^[7~9]

澳大利亚未来光纤技术公司(FFT)开发出 Secure Pipe分布式系统,用作第三方干扰(TPI)检测系统。该系统无需在管道上安装硬件,可以利用已配备的管道通信缆作为传感元件。

Secure Pipe基本系统的工作范围在 50 km以上,在一端设一个基于工业 PC的终端,另一端为被动终端设备。这两个终端之间的唯一系统构件是光纤通讯缆。若是长输管道,需每 50 km安装标准的通讯激光放大器,这要取决于光纤和绞接质量,以使系统监视上百公里长的管道。FFT已成功试验了长达 350 km的管道,没有发生信号或精度损失。

Secure Pipe为一种连续传声器,设计“监听”1 MHz带宽,在正常环境条件下可以识别 TP活动所产生的极其与众不同的频率。而大多数常规 TP检测系统作为网型系统操作,只有在电缆或铜线遭破坏时,光时域反射计(OTDR)或时域电波探测器(TDR)才能定位出破坏地点。这时,往往为时已晚,不得不在每起事故后修复光缆。Secure Pipe为实时并能作为预防性报警进行监视,因为它能探测出由挖掘机或其他设备早期阶段引起的土地运动、山崩、地震、洪水或溪流淘空。另一个优点是,该系统可以作为传感器使用,由光缆提供配套的管道通讯系统。

Secure Pipe系统提供第三方干扰(物理干扰)检测。它采用的光缆沿着管道或在管道上方铺设,作为一个单一的传感器装置来连续、实时监视管道附近的物理运动和“监听”管道附近的 TP活动。

Secure Pipe系统配有“定位”专利技术,用户可以锁定干扰的准确位置。该系统对声频或 TP产生的压力波具有极高的灵敏度,并且可以将其与其它环境信号辨别区分开来。该系统处于光纤传感技术的前沿,可以应用于商业、军事和工业领域。

FFT于 1998年签定了第一个合同,为印尼 110 km的 Grissik CBG管道提供光纤通讯系统。该管道原计划采用微波无线电通讯系统,后改换成光纤系统,因为 FFT系统具有用同样的光缆提供第三方干扰检测和定位的功能。现在,欧佩克各国和南美的一些大型项目正考虑采用该 TP检测系统。

系统由光缆和一套工业 PC组成。光缆铺设在管道附近或其上方 1 m范围内。PC含有光声电子硬件、数据采集硬件和信号处理软件,安装在进行监

视的管道的一端。该系统可以独立方式操作或为管道管理操作通常采用的工业控制系统提供接口。

几年来,管道工业一直在其管道上安装光缆。若该光缆有 3根单模光导纤维没有使用的话,Secure Pipe就可以使用现有的光缆,这就可以降低安装费用。另一方面,Secure Pipe系统的灵敏度不会受到明显的影响。

若管道附近没有安装光缆,那么,可以采用犁沟法在管道上方埋设廉价的直埋缆。该线缆可以埋在地下 300~800 mm处。Secure Pipe系统不需要与管道接触就能有效进行 TP检测。

第三方干扰管道检测技术可以提供以下方便:

采用有效的管道 TP检测系统的经济效益是明显的,但不是直接的。管道工业经常遇到系统操作不可靠或不能满足管道运营者要求的事。许多情况下,在发生重大事件前,管道长期得不到 TP检测。系统可靠性差和倾向于误报警时,操作者就将其关断,从而无法发现 TPI并浪费了资产投资。

Secure Pipe系统为一种智能、实用的系统,其设计克服了上述问题并较其它 TP检测技术相比具有成本和功能优势。由于 Secure Pipe能进行实时监视,从而减少了地面巡查或空中监视的必要。这在所预计的 15(±5)年的系统寿命内可以大幅度降低操作成本。Secure Pipe还能减少对管道的物理检查的必要。在某些情况下,可以减少或去除混凝土板和其它机械装置,从而降低成本和保持环境良好的场所。

Secure Pipe最重要的益处是,在已经安装了光纤通讯系统的管道上可以省去相当长度的传感器费用。Secure Pipe能利用通讯缆中的 3个备用(未使用的)单模光导纤维作为传感器。在多纤维缆中,这些纤维的边际成本是微不足道的。此外,所采用的光缆屏蔽类型不会影响系统的性能,光缆也不需要固定在管道上。这意味着不会增加线缆的安装成本。唯一的要求是线缆的布设在距管道 1 m的范围内。

3 管道无损检测和在线检测装备

加拿大 NGKS国际公司正在加速开发高分辨率超声和磁性智能设备^[10]。自 1997年成立以来,NGKS已在欧洲和前苏联成功地检测了 15 000 km管道的几何形状、高分辨率腐蚀和裂纹。2003年,NGKS首次工业性应用了 TFI磁性裂纹探测设备。TFI收集的数据与 MFL检测结果相结合,确保能可

靠地探测应力腐蚀开裂和狭窄的轴向缺陷。TF 设备在设计上类似于 MFL 设备,它采用横向磁场,可得精确的缺陷深度读数。TF 设备尺寸为 28~56"。

NGKS 超声裂纹探测设备尺寸为 20~28",可用于油管道和气管道,能探测和精确测量浅裂纹以及疲劳裂纹和轴向刮伤。

NGKS 新推出一种 CD/WM 组合检测设备能同时检测金属损失和裂纹,以最佳的费用提供全部的管道完整性数据。目前,这种新技术已成功通过试验。

德国 Analytic Pipe GmbH 公司目前能在数天时间内向全球提供 21 种系列 6~60" 的测径设备^[11~12],首次通球成功率达 96%。一种模块系统可快速将 4 种同尺寸设备组合在一起。该公司有专用弯管探测设备,其不久将推出多管径检测装置。所有数据解释和报告为数字格式。有时,可在设备运行 1 h 后提供管道异常情况的临时报告,以便开始抢修。然后,在收球后的 48 h 内提供最终报告结果。若将其高灵敏测距装置与计时装置结合使用,可以精确发现管道缺陷。

针对一些无法通球的管道, Röntgen Technische Dienst 公司 (RTD) 推出了最新一代系统式超声检测设备^[13]。RTD 长期以来专门从事无法使用常规智能清管器的管道超声检测。应用范围包括海底装油和卸油管道、从平台到主管道或井口间的海上立管和双口径管道。

所有检测设备均为在线控制和即刻显示检测结果。这一点对控制管缆非常重要,在检测控制管缆时允许随时回收检测设备,因为这种管道通常是整个设施的“生命线”。所有检测设备自带牵引模块,其优点是在检测期间无需驱动支持船辅助和驱动设备,省去了液体处置操作。这可节省大量的费用。此外,由于检测速度可达 500 m/h 故可将停输时间保持最短。

目前的检测范围为 6~48" 管道,控制管缆的检测长度达 17 km。对于平台立管,RTD 有各种系统缆检测设备,可精确检测环向焊接缺陷的大小。

RTD 最新研发一种独特的小口径牵引模块,可检测带弯头和水平管段的复杂立管,包括与之连接的海底水平管道。它可在线显示检测结果,现场评价管道状况;新软件模块甚至可以为立即抢修工作计算最大允许操作压力。

Enduro 管道服务公司最新推出的 Digital Data Logger 检测设备可确定管道异常状况的大小和位置以及许多其他特征和缺陷,包括管道绘图、GPS 坐

标、弯头方向和角度分析、河流穿越断面以及确定最佳开挖地点的管道基准点定标,其异状位置的定标可精确到钟点位置^[14]。

MagPie 系统公司提供 4~30" 检测管道金属损失的 MF 检测设备,36" 检测设备不久将问世。MagPie 公司还提供一种基于时间的地面标记系统 (AGM),可提供管道异常状况的精确位置读数。这种小型检测器内置在 GPS 和采用无线技术,现场安装和回收非常容易。

3I 服务公司新推出的高性能 4" LIMII 检测设备能通过半径 1.5' 的标准弯管,适用于 Schedule 40 和 80 管壁厚度系列的管道。这种新设备使用与 3" 设备相同的数据储存微电子装置,但采用新型磁化和传感装置^[15~16]。

Comerstone 管道检测集团 (CPIG) 将一种新概念——ReSolve 分析软件和 4-Step ReSolve 过程优化软件植入其最新的 IL 检测设备,从而可获得更高分辨率的检测结果^[17]。

GE 油气公司所属 PII Pipeline Solutions 的最新技术包括 EMATScan,它主要是将超声波释放到管道内,而无需液体耦合。EMAT 检测设备可检测管道内的裂纹,它的目标检测指标类似于 Ultrascan CD 设备,但无需液体耦合,故非常适合于气体管道^[18]。

针对腐蚀应力开裂检测问题,PII 对 Ultrascan CD 检测设备进行了必要改进,安装了高分辨率超声波发送器,它可以 45° 角向管道表面发送超声剪切波。检测期间获得高分辨率和良好识别能力的关键是采用密集排列的传感器。这种 CD 检测设备目前能可靠地探测到深 1 mm 长 30 mm 的裂缝。这样,在应力腐蚀开裂危及管道前,CD 设备就能发现它。这种检测设备特别适用于液体管道。对于气体管道,需要一个批次的液体,以便使超声波耦合到管壁上^[19]。

由于世界上的许多管道基础设施目前被分类为不可通球的,故多管径检测是至关重要的。例如,北美约有 100 万公里高压输气管道,其中超过 85% 的管道是在 MFL 检测设备进入工业应用之前建设的;而且由于管道口径变化和缩径阀门,约 40%~50% 的管道基础设施被认为是无法通球的。为此,PII 开发出了专门的多管径检测设备 (MDPT)。

4 结束语

油气管道检测是预测事故隐患、为安全评价提供基础资料的重要手段。定期进行油气管道检验检

测是国外实现管道安全运行与管理的重要措施,并在实践中得到了较好的应用;在我国,由于政府管理职能因素、相关标准与法规的滞后以及技术方面等诸多原因,尚未完全开展油气压力管道的定期检验工作。但国家经贸委已明确规定了油气管道全面检测和一般性检测的周期。随着我国油气管道总长度增加和管道服役年限的增长,管道检测的任务日益繁重。尽快使检测手段和方法现代化,提高检测准确性和精度,培养一支高素质的检测队伍,是摆在我们面前的重要任务。

参考文献:

- [1] HammutGoedecke Ultrasonic OrMFL Inspection Which Technology is Better for You? [J]. Pipeline & Gas Journal 2003 230(10): 34-37.
- [2] Jeff Suter and Heman Paz Advances in In-line Inspection Technology in Pipeline Integrity [A]. V Annual International Pipeline Congress Moctezuma Mexico 2000 18-20.
- [3] 罗富绪. 世界管道科技新概念——管道完整性管理 [N]. 石油管道报, 2004-04-26.
- [4] 美国确保油田管道安全运行的综合检测装置 [EB/OL]. <http://www.casoo.com/05/10-9/131660.asp> 2005-10-9.
- [5] Wayne Perich, Dirk L. van Oostendorp, Patricio (Pat) Puente, et al. Integrated Data Approach to Pipeline Integrity Management [J]. Pipeline & Gas Journal 2003 230(10): 28-31.
- [6] Grid New Technologies for Natural Gas Operations [J]. Pipeline & Gas Journal 2000 226(10): 40-45.
- [7] Dawn Eden Real-Time Monitoring of Corrosion in The Pipeline [J]. Petroleum Review 2001 55(645) 27-29.
- [8] Australian Firm Launches Leading Pipeline Detection System [J]. Petroleum 2002 28(5): 50-52.
- [9] TaPanee E. Fibre Optic Sensing Solutions for Real-time Pipeline Integrity Monitoring [J]. Australia Future Fibre Technologies Pty Ltd 2003.
- [10] Robert Bickerstaff, Mark Vaughn, Gerald Stoker, et al. Review of Sensor Technologies for In-line Inspection of Natural Gas Pipelines [R]. California Sandia National Laboratories 2000. Transverse Field Magnetic Tool (TFM) [EB/OL]. <http://www.ngs.int.com/services/magnetic/tfm> Pdf #search= 'TFM' 20 inspection: 2005-10.
- [11] Analytic Pipe GmbH [EB/OL]. <http://www.allbusiness.com/periodicals/article/649350-1.html> 2005-10.
- [12] The Analytic Pipe Caliper Tool [EB/OL]. <http://www.analyticpipe.de> 2005-10.
- [13] Manual Pipeline Inspection Method to Retire [EB/OL]. <http://www.rtd-group.com/algameen/Pdf/2006010230702.Pdf> 2005-10.
- [14] Caliper Geometry Inspection Solution [EB/OL]. <http://www.enduropis.com/index.jsp?Link=adv&subLink=DDI> 2006-3.
- [15] MFL Pipe Scanner [EB/OL]. <http://www.3p-services.com/main.php?page=PipeScanner> 2006-3.
- [16] 3 P Services [EB/OL]. http://www.ppsa.online.com/directory_of_members.php?company_id=85 2006-3.
- [17] Piggings Increasing Appreciation of An Industry Truly Come of Age [J]. Pipeline Gas Journal 2002 229(8): 23-30.
- [18] GES Pill Unit Pipeline Inspection Tool Uses EMAT technology [EB/OL]. <http://www.energymc.com/energy/2003/PR0647.htm> 2003-06-09.
- [19] Innovative New Tool for Managing Cracking in Gas Lines [EB/OL]. http://www.gepower.com/prod_serv/products/pipeline_integrity/en/downloads/crack_detection Pdf #search= 'EMATScan'. 2005-10.