

非接触式金属磁记忆检测 技术在长输管道缺陷检测中的应用

赵 媛 (山西天然气有限公司, 山西 太原 030032)

摘 要: 金属磁记忆检测技术是一种无需与被检测的管道进行直接连接, 无需对管道施加任何激励信号, 便能够在管道上方地面检测出管体腐蚀损伤, 评估管道安全级别的创新检测方法。主要优势在于在天然地磁场的激励作用下, 通过测量材料表面的漏磁信号, 就能够对铁磁构件的早期损伤进行检测, 避免结构或构件发生突然的脆性破坏。对于部分敷设于特殊地段如煤矿采空区等的长输管道的日常安全管理, 非接触金属磁记忆检测是一种良好的辅助手段。

关键词: 非接触式金属磁记忆检测; 埋地管道; 数据采集与分析; 应力集中

0 前言

在埋地长输燃气管道运营管理过程中, 管道安全运行受到的危害因素主要来自于制造缺陷、防护措施失效、腐蚀、应力集中、第三方破坏, 其中腐蚀和应力集中是除第三方破坏之外最大的风险因素。这些风险因素的存在, 会缩短埋地燃气管道的使用寿命, 情况严重时甚至会引发燃气泄露或爆燃, 给企业造成不良社会影响。

通常管道企业会针对运行中存在风险的类型和特点, 选择内检测、外检测及阴极保护系统有效性检测等方法进行检验, 但是这些方法存在成本高、检测条件要求高等问题。

同时山西煤矿资源丰富, 部分埋地管道不可避免途经煤矿采空区, 因地表沉降导致埋地管道承受较大应力而发生褶皱、扭曲甚至断管。这类危害因素具有极大隐蔽性, 需要开挖后才可发现。

综上, 长输埋地管道因为结构特点或者敷设条件的限制无法实施内检测, 缺少一套经济有效的检测技术手段来判断埋地管道的应力集中所在位置及其应力集中的程度。

鉴于此, 金属磁记忆检测作为一门新兴的检测技术, 克服了传统无损检测的缺点, 能够对铁磁性金属构件内部的应力集中区, 即微观缺陷和早期失效和损伤等进行诊断, 防止突发性的疲劳损伤, 是无损检测领域的一种新的检测手段^[1-3]。检测工作可在不中断管道运行条件下进行, 检测过程中无最大、最小介质压力要求, 相比传统的检测方法, 具有检测方便、易实施、成本费用低等优点。

1 金属磁记忆检测技术

1.1 金属磁记忆检测原理

金属在应力作用下, 内部会产生位错运动, 形成滑移。当位错运动受到阻碍时, 会产生应力集中, 即使外应力撤除, 仍有残余应力存在。残余应力存在会使结构中自由能增加, 体系中自发进行的过程是降低体系自由能的过程, 为降低体系自由能, 其应力集中区在地球磁场作用下, 必会产生磁畴的自发转动, 形成磁极, 以磁能的形式抵消部分应力集中带来的弹性能。其结果会在金属表面形成特定的漏磁场, 从而产生磁记忆。通过测量该漏磁场的分布特征, 可以得到构件应力集中部位及大小分布, 从而检测到造成应力集中区及缺陷的位置^[4]。

1.2 金属磁记忆检测技术在油气管道管理中的应用案例

金属磁记忆检测技术是一种无需与被检测的管道进行直接连接, 无需对管道施加任何激励信号, 便能够在管道上方地面检测出管体腐蚀损伤, 评估管道安全级别的检测方法。检测人员手持便携式检测仪沿管道路由行走, 对管道因制造、建设、运营过程中形成的缺陷、腐蚀损伤而导致的应力集中进行磁扫描, 采集铁磁性材料上磁场变化的数据曲线, 经腐蚀应力诊断软件的数据处理系统确定出管体上各种类型的缺陷。

近年来, 非接触式金属磁记忆检测在埋地油气管道缺陷检测方面已有诸多应用^[5-9]。如在管道非开挖状态下应用非接触磁力检测仪对重质原油输油管道的本体缺陷进行检测, 获取因管体缺陷导致的管道漏磁

场变化信号,通过分析确定管道缺陷(群)和位置并进行开挖,验证了该检测技术的可操作性与可靠性。再如李想、李汉秋等基于埋地管道内检测数据,抽取存在金属损失缺陷和变形缺陷的代表管段,通过非接触式磁力检测方式进行复检,并通过开挖验证了其准确性较高。西南石油大学廖柯、熹彭浩等采用非接触式磁力检测技术对埋地管道的焊缝及缺陷进行识别和诊断,并采用X射线检测技术对焊缝缺陷的风险等级和严重程度进行验证。结果表明,非接触式磁力检测技术的焊缝缺陷检出率达85%以上。

1.3 磁应力检测缺陷分级标准和等级

金属磁记忆检测技术能够在非开挖的条件下检测出管线上的如下缺陷:①点蚀、划痕、开裂和剥落;②应力腐蚀;③焊接缺陷;④挤压痕、褶皱、划痕、由蚀坑和填驻性腐蚀而导致的壁厚改变和圆度变化;⑤较为严重的内壁腐蚀缺陷;⑥由管道负荷引起的下凹、塌陷、冲刷和渐变;⑦在隔热层或结垢层下的局部腐蚀;⑧管道缩变和弯曲。

根据检测出的管道应力分布,确定管道危险程度的级别,进一步确定该危险级别与管道运行条件和管道寿命之间的关联程度,以管道不发生失效事故为前提,计算得出管道的安全运行参数。检测缺陷危险评估根据磁异常综合指数F确定。该指标考虑了磁场异常长度、振幅以及磁场矢量分布的振幅和形状等因素,是在基于振幅、磁场矢量分布形状、异常长度、操作和设计压力、管道检查日期及投产时间的函数^[10]。相关评估标准见表1。

表 1

金属条件	积分指数范围(F)	安全状况	维修建议
I	0-0.2	高风险	立即维修
II	0.2-0.55	中等风险	降压 / 监控使用
III	0.55-1.0	较低风险	可继续使用

针对管道上金属管体缺陷的危险等级指数(F)的确定,可应用如下公式计算管道的安全运行压力数值:

对于第一类危险的管段:

$$P_{\text{safe}}=0.9P_{\text{operating}}+0.1P_{\text{operating}}*F$$

式(1)

对于第二类危险的管段:

$$P_{\text{safe}}=1.01P_{\text{operating}}-0.05P_{\text{operating}}*F$$

式(2)

对于第三类危险的管段:

$$P_{\text{safe}}=1.06P_{\text{operating}}+(0.95P_{\text{design}}-1.06P_{\text{operating}})*F$$

式(3)

公式中:

$P_{\text{operating}}$ —检测期间的运行压力,MPa;

P_{design} —设计压力,MPa;

P_{safe} —计算出的管线安全运行压力。

基于上述数据利用下面的公式,计算出管道不发生失效事故的运行期限:

$$T_{\text{safe}}=K_p*K_F*K_t$$

式(4)

公式中:

K_p —考虑了管道压力的系数;

K_F —考虑了缺陷危险等级的系数;

K_t —考虑了管道运行的系数。

其中:

$$K_p=e^{1-P_{\text{design}}/P_{\text{operating}}}$$

式(5)

$$K_F=-2\lg\sqrt{1-F}$$

式(6)

$$K_t=10^{(T/\Delta T)}$$

式(7)

公式中:

T—管道标准的运行时间,a;

ΔT —自投产开始,管道已经运行的时间,a。

2 金属磁记忆检测应用

2.1 概况介绍

受检管道信息:管径457mm,壁厚7.1mm,设计压力4.0MPa,运行压力2.8MPa,检测长度804m(途经煤矿采空沉陷区),管道周边地表存在一定沉降。

现场采用JX-MTM金属磁记忆检测仪进行检测。仪器内置的亚米级DGPS模块可精确定位管道的缺陷点位置及相对里程。采用PWD管道焊缝缺陷定位仪对检测异常点进行定位。

数据分析通过金属磁记忆数据分析软件G-MTM评价管体安全状态,得出受检管道缺陷数量、位置、长度、危险因子、安全运行压力和安全运行期限等结果。

2.2 检测分析

经对途经采空沉陷区段管道进行应力检测,共发现5处应力异常点,1处强级异常点(序号1),2处中级异常点(序号3、4),2处轻级异常点。针对1处强级和2处中级应力异常位置使用管道焊缝缺陷定位仪(PWD)进行应力复检曲线如下:

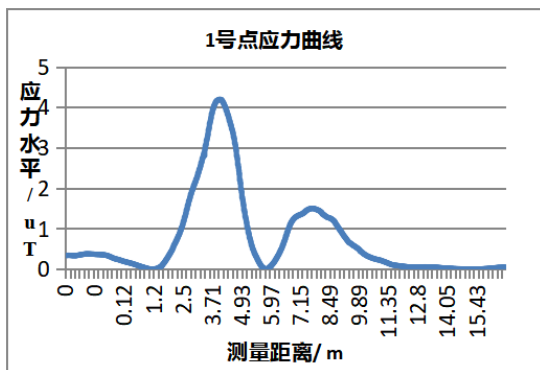


图1 1号点复检曲线

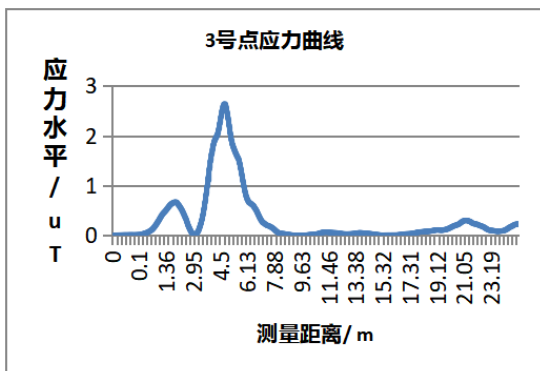


图2 3号点复检曲线

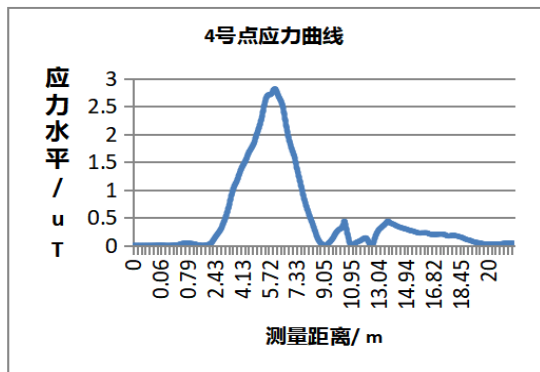


图3 4号点复检曲线

2.3 检测结果

针对检测发现的1处强级异常点和2处中级异常点,在现场定位后,组织开展了开挖验证,其中2处为环焊缝,1处为弯头,经分析判断可能由于地面沉降导致这些关键部位产生应力集中。环焊缝处采用X射线检测进行复评,评定结果均为II级,合格。

3 结论及建议

①对于部分因结构特点或者敷设条件限制无法实施内检测的埋地管道,通过非接触金属磁记忆可在不开挖、不外加激励的情况下完成缺陷检测工作;②目前采用的金属磁记忆检测设备获取数据存在一些干扰信息,抗干扰性能方面还需提升;③为切实保障煤矿采空区段输气管道安全运行,在非接触金属磁记忆检测的基础上,还需进一步采取加强人员巡检、安装应力应变监测设施等管控措施。

参考文献:

- [1] 曲杰,王怀江,陈秋华等.基于磁梯度测量的金属管道焊缝与缺陷检测实验研究[J].工程地球物理学报,2021,18(03):289-299.
- [2] 徐鸿飞,刘艳军,等.基于力-磁耦合模型的埋地管道腐蚀检测研究[J].材料保护,2022,55(06):69-74+79.
- [3] 赖圣,孙杰,李运涛.金属磁记忆检测技术在球形储罐上的应用研究[J].石油化工腐蚀与防护,2020,37(05):33-36.
- [4] 苏三庆,刘馨为,王威等.金属磁记忆检测技术研究新进展与关键问题[J].工程科学学报,2020,42(12):1557-1572.
- [5] 高博超.基于金属磁记忆法的天然气管道缺陷实测数据采集与分析[J].化学工程与装备,2022,No.300(01):40-41.
- [6] 曹航,高倩钰,王真等.非接触金属磁记忆检测在长输油气管道上的应用[J].全面腐蚀控制,2021,35(10):7-14.
- [7] 索杏兰.非接触式磁力检测技术在原油管道检测中的应用[J].石油工程建设,2018,44(04):84-88.
- [8] 李想,李汉秋,胡瑞颖等.非接触式磁力检测技术在埋地管道上的应用[C]//华东六省一市电机工程(电力)学会.浙江省电力学会2017年度优秀论文集.中国电力出版社(China Electric Power Press),2017:6.
- [9] 廖柯熹,彭浩,何腾蛟等.埋地管道环焊缝非接触式磁力检测技术及应用[J].热加工工艺,2020,49(23):111-117.
- [10] 胡康,王营.浅析埋地管道上非接触式磁力检测技术的应用[J].石油化工自动化,2020,56(04):69-71+91.

作者简介:

赵媛(1988-),女,硕士研究生,工程师,从事长输管道完整性管理、输配管理及相关研究工作。

基金项目:山西省基础研究资助项目(2016012002)