

[自控·检测]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2018.01.016

# 管道保温层下腐蚀超声导波检测

谢浩平, 夏立, 叶宇峰

(浙江省特种设备检验研究院, 浙江 杭州 310020)

**摘要:**针对压力管道保温层下腐蚀的危害性及传统检测技术的局限性,分析了保温层下腐蚀的原理,通过实际案例验证导波检测技术对含保温层管道腐蚀减薄检测的可行性。对在役保温层管线进行检测,得出所采集的数据,进行分析对比。提出对点蚀检测应综合分析,设置合理的阈值,从而评判缺陷的位置和大小。研究结果表明超声导波检测可为保温层下腐蚀管线提供综合评定,并为管线腐蚀在线检测提供可靠依据。

**关键词:**管道腐蚀;腐蚀检测;保温层下腐蚀;超声导波

中图分类号:TG115.285

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2018)01-0075-04

## Ultrasonic Guided Wave in Pipeline Corrosion under Insulation

XIE Haoping, XIA Li, YE Yufeng

(Zhejiang Special Equipment Inspection and Research Institute, Hangzhou 310020, China)

**Abstract:** This paper mainly focuses on the limitations of the traditional detection technology and the harmfulness of pipeline corrosion in pressure piping. Through the analysis of corrosion principle under insulation layer, combined with the technology of ultrasonic guided wave, the petrochemical enterprise pipeline corrosion status was detected. Through actual experiment the insulation layer was removed to verify the feasibility of this detection technique. The data collection and analysis comparison were given for the detection of the pipeline in the service insulation layer. Also for the detection of single defect point, the technique needed further adjustment; by setting critical threshold, the position and size of the defect could be obtained. This research can offer effective solution for the comprehensive assessment of industrial pipeline corrosion under petrochemical enterprise and the judgment of on-line detection.

**Keywords:** pipeline corrosion; corrosion detection; CUI (corrosion under insulation); ultrasonic guided wave

压力管道在石化企业中作为运输气液体介质不可替代的工具,具有运量大、成本低及效率高等优势。压力管道输送介质的成分复杂多样,工况苛刻,随着管道服役时间的增加,管道老化、腐蚀、疲劳和外力损伤等因素,极易造成管道发生穿孔泄漏事故,严重影响企业的长周期安全稳定运行和威胁员工的人身安全,成为制约企业安全生产的重要因素<sup>[1-5]</sup>。

保温层下腐蚀 (corrosion under insulation, CUI) 具有一定的隐蔽性和偶然性,由于管道外壁保温材料的包裹,很难从表面看出管道的真实腐蚀情况。传统的管道检测方法采用单点检测,需要大范围拆除保温层,存在检验速度慢、检验费用高昂及检测部位受限,不能

全面真实反映管道的实际使用情况等局限。基于磁致伸缩效应的 MsS3030 长距离超声导波检测技术,适用于含保温层包覆、长距离压力管道的检验检测,可为腐蚀缺陷的检出和辨识提供位置及其相对数量级别,可全面的对检测管段进行安全评估,具有快速、可靠及经济等优势,有利于企业的可持续健康发展<sup>[6]</sup>。

### 1 保温层下腐蚀原理

保温层下腐蚀是指发生在施加了保温层材料的管道或设备外表面的一种腐蚀现象,如图 1 所示。对服役于高温或低温的设备管道施加保温材料,可减少管道热损失,提高工艺换热量,显著降低生产成本,是促进工艺效率的一项有效措施。但由于管道保温材料安

收稿日期:2017-06-26;修回日期:2017-10-15

第一作者简介:谢浩平(1987),男,安徽铜陵人,硕士研究生,主要从事特种设备无损检测及新技术应用。E-mail:422372271@qq.com

装不到位、使用过程中受到外力损伤,性能劣化等影响,进而造成外部水分进入到保温层下形成一个密闭、潮湿的腐蚀环境,使得保温层与管道金属表面之间形成薄层电解质液膜,从而导致管道外表面金属材料发生腐蚀<sup>[7]</sup>。



图 1 保温层下腐蚀图示

Figure 1 Corrosion under insulation

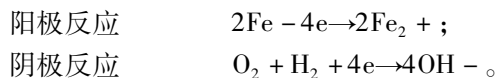
造成保温层下腐蚀的因素主要有 2 方面:

1) 保温材料特性。保温材料多为孔结构,其强吸附和吸水能力,在保温材料与金属表面间的环形空隙易聚积水汽和腐蚀介质,结构中水分的存在是导致保温层下腐蚀的根本原因;

2) 保温材料成分。保温材料中含有 Cl、S 等有害的腐蚀性成分,可引起碳钢和低合金钢管道发生局部腐蚀减薄,形成难以检测出的点状麻坑等。

温度是影响腐蚀速率的主要因素,其腐蚀常发生在 -12 ~ 150 °C 范围内,如露点于这一温度运行的管线,操作环境湿度大,酸性蒸气区域,都易发生保温层下腐蚀。同时,腐蚀介质质量分数、环境内的氧含量也对保温层下腐蚀产生影响<sup>[8]</sup>。

当水分渗入保温材料,主要发生的电化学腐蚀反应为:



阳极反应生成的  $\text{Fe}_2^+$  与阴极生成  $\text{OH}^-$  在氧气作用下继续反应最终生成  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  和  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,由于腐蚀产物疏松易脱落缺乏保护性,腐蚀介质可穿过疏松产物继续不断腐蚀管道金属内部,如此持续发展直至产生局部穿孔泄漏。

## 2 超声导波技术的应用

### 2.1 超声导波技术原理

检测使用的导波仪器为 MsSR3030R,其检测管道是通过薄的磁性铁钴条粘贴在管道上激发机械弹性波,波沿着管道边界传播并被构件边界形状所约束、导向<sup>[9]</sup>。当遇到管道上的特征部位或缺陷时,会反射回

部分能量并在磁致伸缩逆效应的作用下,引起接收线圈的电压变化,从而对特征信号进行判断和定位。超声导波检测可以最大限度地避免保温层的拆除,同时能检测到难以攀爬的部位,检测效率高。超声导波可比常规超声波测厚技术更加快捷有效地对检测区域进行扫描,避免了逐点检测过程中保温层拆除与恢复的经济损失。但超声导波检测技术也存在不能区分内外管壁损伤,不能真实测量管道剩余壁厚及对点蚀缺陷不敏感等局限性。

### 2.2 检测案例分析

#### 2.2.1 导波检测技术验证

为验证导波检测系统对管道的保温层下腐蚀检测能力,选取某石化企业塔切割下来的带保温侧管线进行检测。此管道材料为 20#钢,规格为  $\varnothing 200 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}$ ,管线在役传输介质为中东原油,表面温度为 120 ~ 150 °C,较容易产生保温层下腐蚀。采用 T 模态导波进行管道检测,将收集的射频信号数据进行分析发现该管段的信噪比较高,几何特征信号明显。通过检测管线上的已知几何特征,计算检测管线的检测信号实际速率。同时,为保证同一灵敏度,补偿波衰减对检测信号阈值水平的影响。由于信号振幅必须在代表反射体尺寸的范围范围内校准,将数据的特征信号和额定百分比反射值一起使用<sup>[10]</sup>。此次数据采集使用 128 kHz 探头适配器,焊缝信号的额定百分比反射值为 12%,阈值设置为 3%。对管道的超声导波检测信号如图 2 所示。

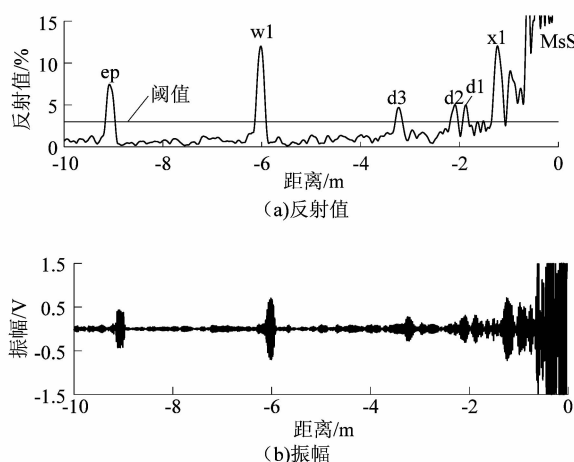


图 2 导波数据波形图

Figure 2 Ultrasonic guided wave data waveform

对检测信号分析数据如表 1 所示。将保温层拆除宏观验证,如图 3 所示。确定距离探头 1.9 m 和 2.1 m 处均存在腐蚀性凹坑缺陷,在 3.2 m 处存在大面积

点状点蚀坑。现场的管道实际状况与导波波形对比验证了超声导波系统检测在缺陷轴向定位具有较高的准确性,可对管道的保温层下腐蚀情况进行检测。

表 1 检测数据分析表

Table 1 detection data analysis

特征信号	距离/m	信号值/%	类型
ep	-9.1	7.1	信号终端
w1	-6.0	10.0	焊缝
d3	-3.2	3.4	小型缺陷
d2	-2.1	3.5	小型缺陷
d1	-1.9	3.4	小型缺陷
x1	-1.2	8.0	终端反射信号
MsS	0	-	测试点

### 3.2.2 在用管线的导波检测

选取罐区的液化气管线作为检测对象,管道材料为 20#钢,规格为  $\varnothing 100 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$ ,管线传输介质为液化气,表面温度为  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ ,较容易产生保温层下腐蚀。对管道的超声导波检测信号进行分析,数据采集选用

表 2 检测数据分析表

Table 2 Detection data analysis

特征信号(反向)	距离/m	信号值/%	类型	特征信号(正向)	距离/m	信号值/%	类型
y1	-5.0	1.4	反射信号	W1	2.8	12.8	焊缝
w2	-4.2	11.5	焊缝	W2	3.4	18.3	焊缝
d2	-2.5	1.5	微型缺陷	EW	3.9	23.2	弯头
d1	-2.3	2.5	小型缺陷	EW	4.2	9.7	弯头
w1	-1.5	21.5	焊缝	D1	4.4	3.2	大型缺陷
MsS	0	-	测试点	EW	5.3	4.1	弯头

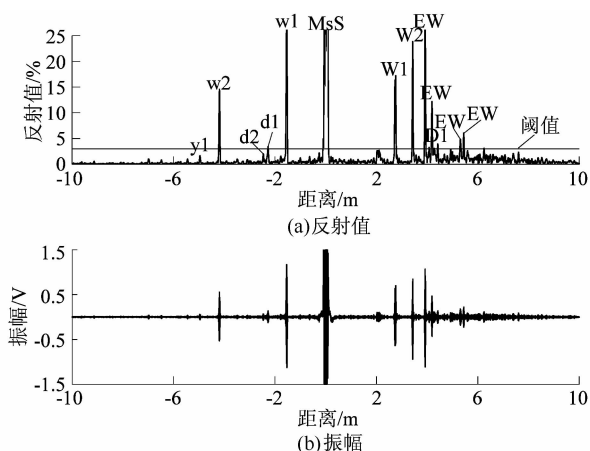


图 4 导波数据波形

Figure 4 Ultrasonic guided wave data waveform

对检测数据进行分析,d1,d2,D1 为检测出缺陷位置,通过信号强弱分析,D1 处信号值最大,应为大型缺陷,d1 为小型缺陷,d2 处信号值为 1.5%,为微型缺陷。对检测管线拆除保温层进行检查发现,以上 3 处缺陷位置都存在明显腐蚀现象,如图 5 所示。通过对

合适的探头适配器和阈值设置,检测导波数据波形和数据分析分别如表 2 和图 4 所示。

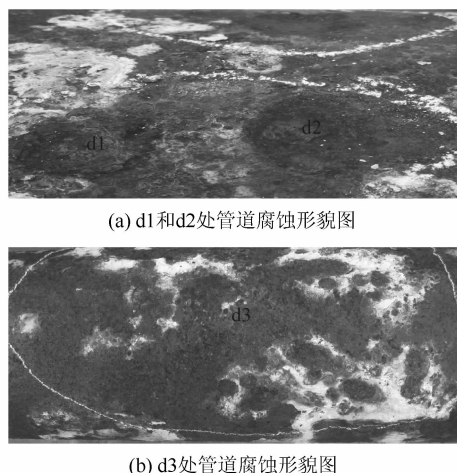


图 3 现场管线腐蚀形貌

Figure 3 Actual pipeline corrosion morphology

缺陷部位测厚得知,D1 处局部减薄量为 0.5 mm,d1 处局部减薄量为 0.3 mm;而 d2 处属于点状麻坑,局部减薄量为 0.8 mm,为腐蚀严重区域。

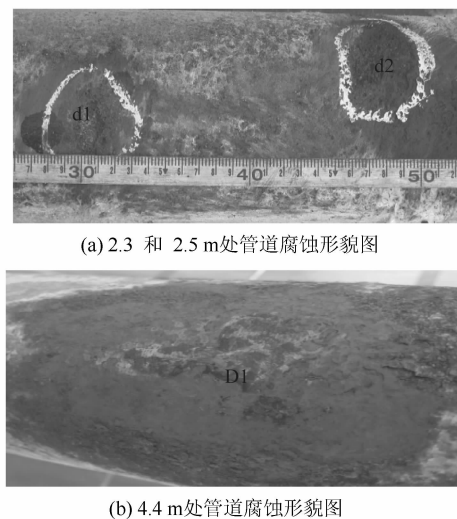


图 5 现场管线腐蚀形貌

Figure 5 Actual pipeline corrosion morphology

通过现场确认得出:运用超声导波检测技术在管道检测中对缺陷检测具有较高的灵敏度,可检测管壁横截面积损失量的1.5%的微小缺陷。由表2中数据可知检测因点蚀形成的麻坑信号d2比腐蚀局部减薄形成的凹坑信号d1要小,但d2处实际减薄量比d1和D1处都大,即腐蚀更严重。造成上述现象是由于超声导波所检测的缺陷是指腐蚀所占管道横截面积损失量的百分比,而不是沿壁厚方向的腐蚀深度,不能测量管道的真实厚度,对孤立的点蚀坑不敏感,造成检测出点蚀信号比局部减薄信号弱。同时,导波检测最小可检测的缺陷尺寸为管道横截面损失的2%~3%,一般检测过程中直接将缺陷判别阈值设置为2%,也易使得信号低于阈值的点蚀信号作为危害小的缺陷被忽略。因此,针对含有保温层下腐蚀隐患的管道超声导波检验,应将阈值设置降低,保证对大面积缺陷检出的同时,也能检测含点蚀缺陷存在,从而防止对腐蚀缺陷的漏检。

#### 4 结论

通过对保温层下腐蚀的研究和超声导波原理及现场检测的应用,可得出以下结论:

- 1) 超声导波检测灵敏度高,检测效率高,能够快速全面地提供保温管道的腐蚀状况综合信息;
- 2) 超声导波对孤立的点蚀检出率有所欠缺,需要对检测数据进行综合分析,设置合理的阈值,从而评判缺陷的位置和大小;

3) 超声导波检测技术能够对存在保温层下腐蚀的管道进行检验,能够完成对缺陷的检出和辨识,避免了由保温层下腐蚀所引起安全隐患,同时也为企业减少了拆除保温层所带来的经济损失。在安全、经济和环保等角度上都具有现实的意义。

#### 参考文献:

- [1] 杜静,杜新艳.长距离MsS超声导波检测技术[J].中国石化与化工标准与质量,2012(2):184-185.
- [2] 徐书根,王威强,赵培征,等.磁致伸缩导波技术检测管道缺陷[J].无损检测,2008,30(7):434-437.
- [3] 井然.超声导波信号与管道缺陷相互作用的实验研究[C].镇江:江苏大学,2013:22-27.
- [4] 姜莹洁,巩建鸣,唐建群.保温层下金属材料腐蚀的研究现状[J].腐蚀科学与防护技术,2011,23(5):381-386.
- [5] 饶兴鹤.炼油设备保温层下腐蚀与防治[J].腐蚀与防护,2001,22(8):346-347.
- [6] 丁守宝,叶宇峰,夏立.高温管道腐蚀状况在线监测[J].无损检测,2011,33(11):46-51.
- [7] 吴刚,左延田,王继锋.管道磁致伸缩导波检测技术的试验研究[C]//第十届中国机械工程学会无损检测分会2013年学术年会论文集.南昌:中国机械工程学会无损检测分会,2013:473-478.
- [8] 王伟,游鹏辉,钟力强,等.基于T(0,1)扭转波的管道纵向裂纹定位方法[J].中国测试,2006,42(6):139-144.
- [9] KUMAR M S, SUJATA M, VENKATASWAMY M A, et al. Failure analysis of a stainless steel pipeline[J]. Engineering failure analysis, 2008, 15(5):497-504.
- [10] 夏立,叶宇峰,张亚彬.基于磁致伸缩效应的导波在高温管道在线腐蚀检测中的应用[J].石油化工设备,2009,38(11):46-49.

[信息·简讯]

· 行业简讯 ·

### 西门子“数字化双胞胎”入选“世界智能制造十大科技进展”

西门子以“数字化双胞胎”(Digital Twin)为核心的数字化企业解决方案入选2017“世界智能制造十大科技进展”。西门子“数字化双胞胎”理念可覆盖从产品设计、生产规划、生产工程、生产执行,直到服务的全价值链的整合及数字化转型,在虚拟环境下完整真实构建整个企业的数字虚体模型,在产品研发设计和生产制造执行环节之间形成一条双向数据流,实现协同制造和柔性生产。

西门子的“数字化双胞胎”理念涵盖了“产品数字化双胞胎”、“生产工艺流程数字化双胞胎”和“设备数字化双胞胎”。过去几年内,“数字化双胞胎”理念及以为核心的数字化企业解决方案已经在中国各行各业的工业企业内得以应用,助力建设数字化工厂并支持企业进行涵盖其整个价值链的整合及数字化转型。以“数字化双胞胎”为核心的数字化企业解决方案为实现智能制造和“工业4.0”愿景打下良好基础。

2017“世界智能制造十大科技进展”由中国科协智能制造学会联合体的13家成员学会及专家委员会专家推荐产生,以信息技术、先进制造技术与制造业的深度融合为主线,围绕智能产品、智能制造技术及装备、工业互联网等维度,并结合创新性、应用性、社会效益及未来发展预期等标准遴选而出。该评选结果在2017世界智能制造大会闭幕式宣布。

(朱建芸)