

危化品罐区埋地穿越管道声发射检测的可行性分析

张延兵¹, 周琦², 孙志涛¹

(1. 江苏省特种设备安全监督检验研究院, 南京 210000;
2. 舟山国家石油储备基地有限责任公司, 舟山 316000)

摘要:为解决危化品罐区穿越管道在线检测难以实施的技术问题,在开挖状态和正常使用状态下,对某原油输送埋地管道分别进行断铅、人工激励和在线监测试验,分析声发射信号在管道中的传播特点和检测可靠性,包括管道几何结构、传播距离、幅值衰减、能量下降等影响因素,充分研究埋地管道腐蚀在线检测的可行性,为危化品罐区管道的设备完整性管理提供可靠的技术保障手段。

关键词: 罐区; 穿越; 埋地管道

中图分类号: TG115.28 文献标志码: A 文章编号: 1000-6656(2023)03-0068-04

Feasibility analysis of acoustic emission detection of buried pipelines crossing the hazardous chemicals tank area

ZHANG Yanbing¹, ZHOU Qi², SUN Zhitao¹

(1. Special Equipment Safety Supervision Inspection Institute of Jiangsu Province, Nanjing 210000, China;
2. Zhoushan National Oil Storage Tank Base Co., Ltd., Zhoushan 316000, China)

Abstract: To solve the technical problems in the on-line inspection of buried pipeline crossing the hazardous chemicals tank area, through the tests of lead breaking, artificial excitation and on-line monitoring of a buried pipeline of crude oil transportation under the conditions of excavation and normal use, the propagation characteristics of acoustic emission signals in pipelines and the detection reliability are analyzed including the influencing factors of pipeline geometry, propagation distance, amplitude attenuation and energy drop. The feasibility of on-line detection of buried pipeline corrosion is fully studied, therefore, it provides a reliable technical supporting method for the integrity management of pipelines in hazardous chemicals tank area.

Key words: tank area; crossing; buried pipe

危化品罐区作为重要的化工原料储存基地,主要用于存储原油、柴油、汽油、以及诸如甲醇、乙二醇、芳烃、烧碱、醋酸等化工生产必须的液体原料等,为人民生活和工业生产提供了源源不断的原料输送,其安全性不言而喻。罐区主要涉及的设备为储罐及管

道,传统无损检测技术在这些地面设备上已经得到了广泛的应用,有效保障了罐区的安全运行。但罐区仍然存在着许多穿越道路、建筑物或混凝土地面的埋地管道,这些管道建造日期较为久远且缺乏类似长输管道的阴极保护措施,定期检测需要在开挖状态下进行^[1]。实际上,开挖检测对于危化品罐区来说基本难以实现,导致罐区穿越埋地管道长期处于未检状态。随着设备完整性管理体系在大型石油石化企业中的推广应用,罐区管道的安全监管“盲点”也愈发引起重视,迫切需要技术手段实现在线检测。文章以某原油罐区的输送管道为例,对埋地穿越管道的在线检测可行性进行验证性试验。

收稿日期: 2022-05-27
基金项目: 江苏省市场监督管理局科技计划项目(KJ207515); 江苏省特种设备安全监督检验研究院科技项目(KJ(Y)2020020)
作者简介: 张延兵(1981—),男,高级工程师,主要从事特种设备检验检测、风险评价及无损检测技术研究工作
通信作者: 张延兵, 93829185@qq.com

1 试验方案制定

对某原油储存罐区的穿越混凝土路面输送管道进行在线声发射腐蚀检测试验,管道结构形式为套管,设计温度为常温,埋地段长度为24.1 m,外径为900 mm,材料为L245M,壁厚为9.1 mm,设计压力为1.6 MPa,输送介质为原油,2014年投入使用。检测时选用Micro-II Express型声发射检测仪器,传感器型号为R3I-AST,前置放大器增益为40 dB,滤波器下限为20 kHz,上限为100 MHz。检测时管道内部充满原油,且介质静止无输送流动现象。

2021年3月该企业进行埋地管道开挖检修作业,此时分别在管道两端及底部各布置一个传感器,对管道进行声信号传播距离衰减测试、腐蚀缺陷声发射特征参数表征、传感器布置优化方案测试等。2022年3月,在管道土壤覆盖层回填并稳定12个月后,再次对管道进行检测,对比两次试验的结果,从而验证埋地穿越管道腐蚀在线声发射检测的可行性。

2 试验结果分析

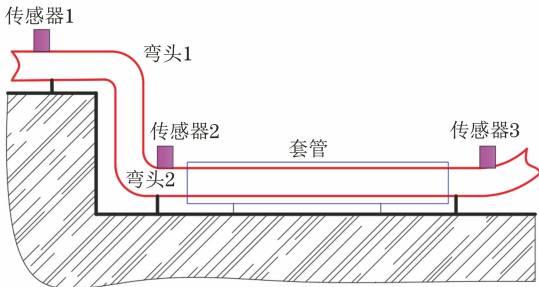
试验采用断铅和人工敲击来模拟埋地管道在日常使用过程中最常出现的泄漏及腐蚀,研究埋地管道中的声发射信号传输特点及在线检测的可行性。

2.1 开挖管道断铅激励试验

对开挖后的管道分别在传感器1和3处施加断铅激励(见图1),分析其信号传播特征^[2-3]。



(a) 检测现场



(b) 传感器布置示意

图1 管道开挖后检测现场及传感器布置示意

当从左侧进行断铅激励时,可以发现随着传播距离的增大,声发射信号幅值的衰减并非呈线性特点(见表1),在1号和2号传感器之间,幅值衰减速度非常快(总共衰减24 dB),而在2号和3号传感器间,幅值仅衰减5 dB。这主要是由于从左侧进行断铅激励时,声发射信号向前传播时首先要经过两个弯头的阻滞和频散,从而幅值出现大幅衰减;而当声发射信号越过2号传感器进入直管段传播时,信号的频散和结构几何突变影响大大降低,幅值的降低速率下降非常明显。由于能量和幅值均为表征声发射信号强度的指标,随着声音传播距离的增大,能量的衰减幅度对结构几何变化更敏感,在1号和2号传感器之间,能量衰减达到97.8%,在直管段能量的衰减速率趋于缓和。另一方面由于管道中声发射信号的传播路径基本趋于直线,路径单一,极少出现信号反射、散射及相互干涉导致的波形畸变,因此声发射信号的平均频率随传播距离的增加几乎没有太大的变化;但声发射信号上升时间则呈现相对线性的递增趋势。

表1 左侧断铅时的各传感器特征参数

传感器 编号	传播距离/ m	幅值/ dB	上升时间/ μs	能量/ eV	平均频率/ kHz
1	0	89	1 670	3 685	18
2	7.2	65	3 561	812	15
3	24.1	60	7 891	282	16

当从右侧进行断铅激励时,声发射信号首先进入管道的直管段传播,经过16.9 m的传播后幅值衰减6 dB(见表2),在通过管道左侧的两个弯头后再次衰减12 dB,这相对于左侧断铅时的声发射信号幅值衰减下降了50%。上升时间在直管段的变化规律同左侧断铅时上升时间的变化规律类似;能量则呈现出较为缓和的下降趋势,并未出现大比例成倍下降的情况;平均频率随传播距离的增加仍无太大变化。

表2 右侧断铅时的各传感器特征参数

传感器 编号	传播距离/ m	幅值/ dB	上升时间/ μs	能量/ eV	平均频率/ kHz
3	0	88	2 223	5 076	19
2	16.9	83	5 029	4 052	16
1	24.1	71	12 268	3 026	16

2.2 土壤回填后管道敲击激励试验

管道在回填的前期阶段,土壤和管道本体的结合还处于不稳定状态,其腐蚀环境和长周期使用的

埋地管道有很大的不同,因此选择 1 a 后再次对该管道进行试验,最大程度模拟管道的实际运行工况,提高检测数据的可信性。

在左侧 1 号传感器位置进行敲击时,随着激励幅值的增大,3 号传感器接收到的信号幅值也随之增大并呈现阶梯状(见图 2,图中上部分为 1 号传感器信号,下部分为 3 号传感器信号)。当 1 号传感器位置发出的信号幅值小于 61 dB 时,3 号传感器基本上采集不到声发射信号(门槛为 30 dB),相对于开挖状态其信号衰减幅度明显增加。这主要是土壤覆盖、防腐层喷涂及缠绕等因素阻碍了声发射信号在管道本体上的传播^[4],导致有效传播距离明显缩短,但随着激励信号幅值的增大,3 号传感器接收到的信号幅值衰减程度相较于开挖之后管道信号的幅值衰减程度并未出现大幅下降,从能量图的变化也可以观察到相同的规律。埋地穿越管道对高幅值高能量检测信号的影响较小,对低幅值低能量的信号影响较大。

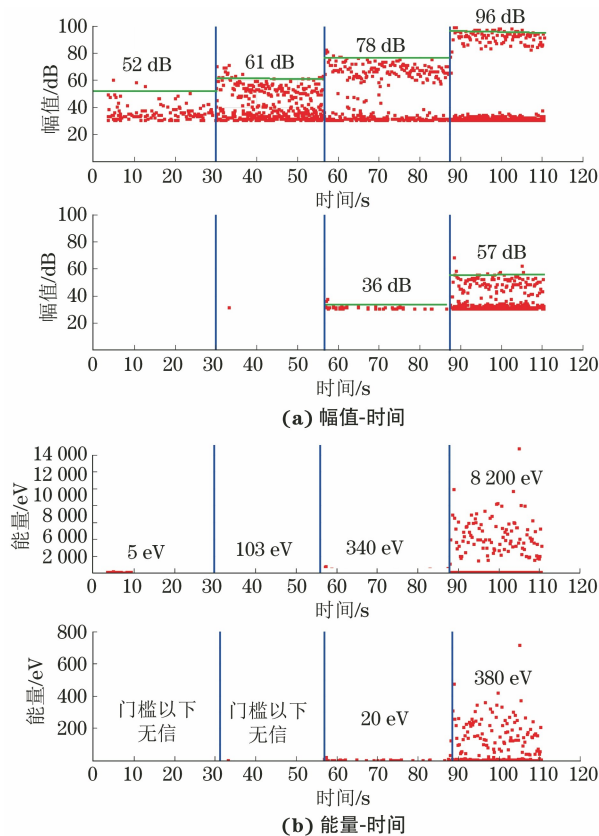


图 2 左侧断铅 1 号传感器和 3 号传感器幅值及能量变化

在右侧 3 号传感器位置进行敲击时,激励信号强度达到 60 dB 时,在 24.1 m 处的 1 号传感器仍然可以采集到幅值为 38 dB 的声发射信号(见图 3,图中上部分为 3 号传感器信号,下部分为 1 号传感器

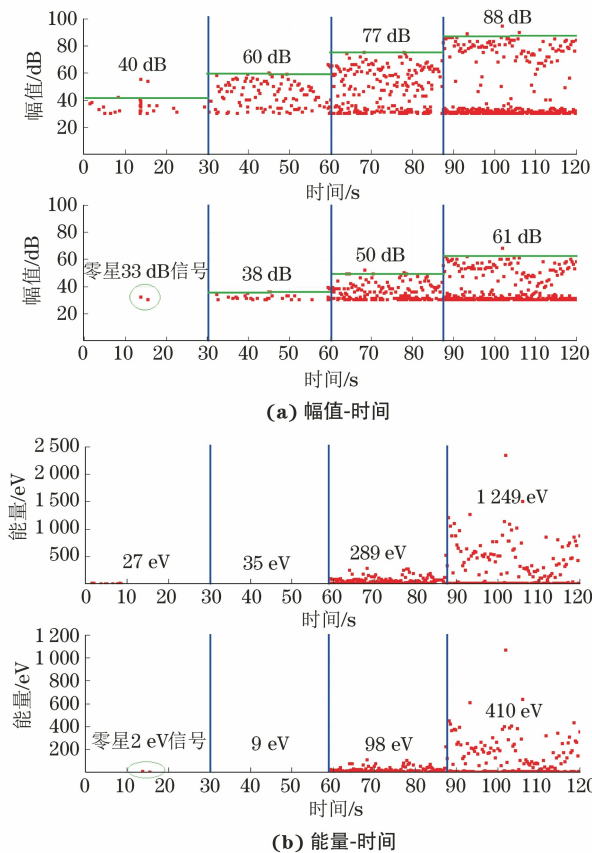


图 3 右侧断铅 1 号传感器和 3 号传感器幅值及能量变化信号),证明其声发射检测效果良好。甚至激励信号为 40 dB 的低幅值信号时,1 号传感器仍然采集到了零星的信号,信号衰减为 7~12 dB,可见土壤层的影响相较于从左侧 1 号传感器激励的影响要小得多。

综合上述两个试验进行对比分析,当从 1 号传感器进行激励时,产生的高幅值和高能量声发射信号在向前传播过程中受到两个弯头的影响,其强度大幅减低,再加上土壤覆盖层和防腐层的影响,其衰减速度迅速提升,严重影响了其向前传播的距离,也直接限制了声发射检测的有效距离。相反从右侧 3 号传感器进行激励,信号首先从直管段进行传播,在传播十几米之后才通过弯头,此时受到土壤覆盖、防腐涂层和弯头的影响要小得多,在 24.1 m 内仍然有良好的检测效果。

2.3 土壤回填后 25 min 监测试验

在管道两端的环向各布置 3 个传感器,进而对这段管道进行在线监测,从 25 min 内采集到的声发射数据可以看出(见图 4),撞击数只有 30,幅值均不大于 40 dB,表明在有效的检测覆盖范围内,该段管道的腐蚀状况良好^[5](这主要是由于该段管道重新进行了清污和防腐处理,管道近似新装状态)。由

于实际检测过程中,声发射源产生的位置位于1号和3号传感器之间,其传播距离要小于该节试验1和试验2的24.1 m,因此其检测可靠性也更高。

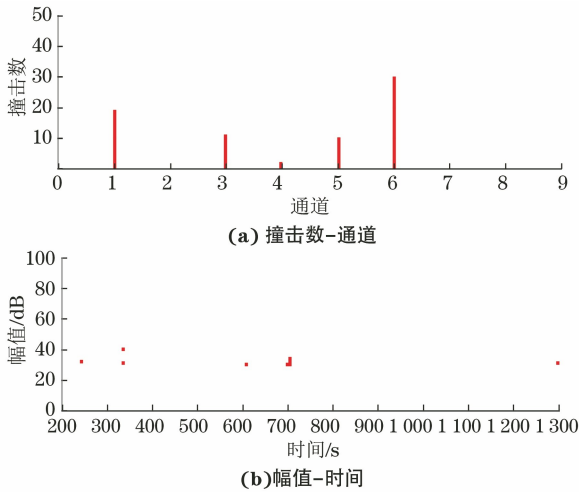


图4 埋地管道持续在线监测试验信号

3 结论

(1) 在埋地管道腐蚀声发射检测中,由于管道缺陷信号对结构突变非常敏感(如弯头),应将声发射检测传感器的位置尽量布置于直管段,检测范围之内避免出现结构不连续。如不能避免,当缺陷位置位于弯头附近时,弯头处声发射检测的精度大大降低。在相同精度下,直管段一次检测覆盖范围可达到弯头处的2~3倍。

(2) 埋地管道缺陷的声发射信号在传播过程中频率变化不大,这对于缺陷与噪声的甄别非常有意义,通过频率的滤波处理即可最大程度减少噪声对缺陷检测的影响。同时幅值和上升时间受传播距离的影响相对较小,通过计算机辅助仿真,模拟在不同管径、几何截面、结构形式的管道中声发射信号的传播速率,辅助以管道两端采集到的声发射信号时差

(可以通过相关分析进行计算^[6-8]),即可以实现埋地管道内部的缺陷定位。

(3) 高幅值高能量信号在管道中的传播受到外部覆盖层影响较小;对于信号强度较低的腐蚀和渗漏检测,应尽量对布置于直管段的传感器进行检测评价,且在可能情况下尽可能缩小检测距离(以衰减测试距离为准),提高检测精度。

(4) 在合理的距离范围之内,使用声发射检测埋地穿越管道的腐蚀和泄漏是完全可行的,特别是对于有重点泄漏风险的位置进行局部监测,声发射技术的检测精度较高。

参考文献:

[1] 王磊,齐昌超,舒洁. 天然气站场埋地管道检测评价技术优化[J]. 石油与天然气化工,2018,47(2):104-109.

[2] 孙立瑛,李一博,靳世久,等. 充液管道中声发射波的传播及衰减特性研究[J]. 压电与声光,2008,30(4):401-403.

[3] 戴巧红,舒丽娜,潘霞青,等. 油气长输管道腐蚀与防护研究进展[J]. 金属热处理,2019,44(12):198-204.

[4] 潘峰,唐东林,陈印,等. 管道腐蚀缺陷超声信号的PSO-SVM模式识别研究[J]. 机械科学与技术,2020,39(5):751-757.

[5] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 无损检测 常压金属储罐声发射检测及评价方法:JB/T 10764—2007[S]. 北京:机械工业出版社,2008.

[6] 郝永梅,覃妮,邢志祥,等. 基于VMD分量相对熵分析的压力管道泄漏定位[J]. 中国安全科学学报,2018,28(10):124-130.

[7] 顾玲玲,刘国庆. 一种参考独立成分分析算法在弱信号提取中的应用[J]. 计算机科学,2016,43(6):122-126.

[8] 周颖涛,周绍骑,晁文胜,等. 基于HHT时-频熵的声发射管道泄漏诊断[J]. 油气储运,2016,35(3):250-253,258.

(上接第67页)

[5] 杨理践,孙宏亮,高松巍. 基于矫顽力的钢板应力检测技术[J]. 无损检测,2018,40(3):5-9.

[6] 王瑛,张璋,周尚. 基于磁阻抗测量法的应力传感器[J]. 仪表技术与传感器,2015(3):3-6.

[7] 杨理践,郑福印,高松巍. 基于力磁耦合型的管道电磁应力检测解析模型研究[J]. 仪器仪表学报,2021,41(8):249-258.

[8] 杨理践,耿浩,高松巍. 高速漏磁检测饱和场建立过程及影响因素研究[J]. 仪器仪表学报,2019,40(10):1-9.

[9] 孙宇,葛玖浩. 基于饱和低频涡流检测技术的管道内外缺陷识别方法仿真[J]. 无损检测,2017,39(2):9-12.

[10] 郭联欢,李著信,苏毅,等. 拉应力对管线钢磁导率及磁记忆信号的影响[J]. 后勤工程学院学报,2011,27(6):26-30.