

文章编号:2095—0411(2015)01-0016-05

原油管式加热炉对流室炉管腐蚀程度的声发射检测^{*}

裴峻峰¹,代云聪²,孙 旭³,胡建启⁴,陈园丽¹,刘亚新²

(1. 常州大学 机械工程学院,江苏 常州 213164;2. 中国石化股份公司 金陵分公司,江苏 南京 210008;3. 中石化管道储运分公司,江苏 徐州 221008;4. 甘肃蓝科石化高新装备股份有限公司,甘肃 兰州 730070)

摘要:对流室炉管腐蚀是影响原油管式加热炉稳定安全运行的重要原因之一,采用声发射检测技术对不同腐蚀程度的对流室炉管进行了检测,通过对声发射信号各个参量数据的对比分析,得知不同腐蚀程度的炉管所测得的声发射数据有明显差别,相对于保压阶段,升压阶段的声发射数据对比度更为明显。验证了将声发射检测技术应用于原油管式加热炉对流室炉管腐蚀状态检测的可行性,为原油管式加热炉对流室炉管的腐蚀程度评价提供了一种新的思路和方法。

关键词:原油管式加热炉;对流室;炉管;腐蚀;声发射检测

中图分类号: TE 396

文献标识码: A

doi: 10. 3969/j. issn. 2095—0411. 2015. 01. 003

Acoustic Emission Detection for Tube's Corrosion in Convection Chamber of Crude Tubular Furnace under Different Corrosion Status

PEI Jun-feng¹, DAI Yun-cong², SUN Xu³, HU Jian-qi⁴, CHEN Yuan-li¹, LIU Ya-xin²

(1. School of Mechanical Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, China; 2. SINOPEC Jinling Branch Company, Nanjing 210008, China; 3. SINOPEC Pipeline Storage and Transportation Branch Company, Xuzhou 221008, China; 4. Lanpec Technologies Limited Company, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Tube's corrosion in convection chamber is an important problem which has an impact on the security of crude tubular furnace. Signal data of tube under different corrosion status is gathered and analyzed by acoustic emission technique. There are significant difference in acoustic emission data which was measured by different degrees of corrosion drawn tubes through analysing the acoustic emission signals data of various parameters, in construct of packing stage, acoustic emission data in suppress stage is more apparent. According to the detection results, the feasibility of acoustic emission technique used in tube's detection is proved and a new method which can be applied in the state evaluation of tube's corrosion is proposed.

Key words: crude tubular furnace; convection chamber; tube; corrosion; acoustic emission detection

对流室炉管作为原油管式加热炉的重要部件,在运行过程中直接接触火焰,承受高温高压及各种介质腐蚀,炉管的失效可能会造成十分严重的恶性事故,因此对于对流室炉管的腐蚀程度检测有重要

意义^[1]。为提高加热炉整体加热效率,对流室炉管上焊有大量钉头,而且对流室炉管大部分处于炉膛内部,检测死区较多,加大了常规检测的难度,目前对于原油管式加热炉对流段炉管检测主要依赖工作

^{*} 收稿日期:2014-05-30。

作者简介:裴峻峰(1954—),男,江苏宜兴人,博士,教授,主要从事石油、石化设备可靠性和故障诊断研究。

人员经验判断,缺乏检测与试验依据,亟待科学有效的评价方法^[2-3]。声发射作为一种无损检测技术,能够突破对流室炉管所处复杂环境的限制,实现炉管腐蚀状况的整体检测和评价。本文进行了一系列不同腐蚀程度炉管的声发射实验及后续数据分析,为声发射检测技术应用于原油管式加热炉对流室炉管腐蚀程度的评价进行了探索和实验研究,为进一步的推广应用提供了科学依据和实验基础。

1 对流室炉管的腐蚀状况

研究对象为一台拆回进行大修的原油管式加热炉对流室炉管,检测发现炉管表面存在1~2mm厚的氧化层,呈层状剥落,炉管表面产生了大量的点腐蚀和腐蚀坑等缺陷。且在某些部位存在沟槽状腐蚀,检测过程中曾发现长达50mm、最深达3.2mm的沟槽状腐蚀。

炉管在热炉对流室中布置形式为6列16排,共96根,原始壁厚为8mm,经喷砂处理之后使用超声波测厚仪进行壁厚测量,各排炉管最小壁厚如图1所示,炉管整体腐蚀较为严重,且相对于上下两端的炉管位于对流室中部的炉管壁厚减薄更为明显,壁厚减薄最为严重的炉管处于对流室中部第九排,最薄处已减薄至3.8mm。

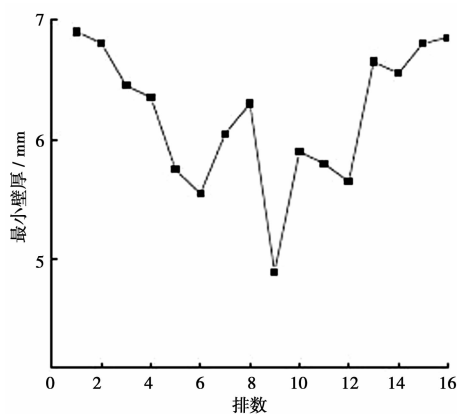


图1 炉管最小壁厚

Fig. 1 The minimum wall thickness of tubes

2 对流室炉管腐蚀的声发射检测

2.1 对流室炉管声发射检测的可行性

在外力或内力作用下,由于材料微观结构的不均匀或者内部缺陷的存在,导致局部应力集中,造成不稳定的应力分布,当这种不稳定应力分布状态下的应变能积累到一定程度时将被释放出来,这种材

料内局部源迅速释放能量而产生瞬态弹性波的现象称为声发射^[4]。一般将声发射信号分为突发型和连续型2种,连续型声发射信号是由大量小的突发型信号组成^[5]。在试验过程中,炉管存在的缺陷(如腐蚀深坑、管道裂纹萌生和扩展、焊接缺陷等)在加载环境下会产生应力脉冲波,这种应力脉冲波即声发射信号以机械振动波的形式在材料内部传播,此时在炉管两端弯头部位布置声发射传感器覆盖足够多的炉管,通过声发射仪器获得声发射信号,就能够整体探测和评价整个对流室炉管结构中的缺陷状况。采用声学方法对原油管式加热炉对流室炉管进行检测,具有如下的优点:

1)虽然金属管道的检测方法有很多种,如超声波检测、射线检测、外壁漏磁检测、漏磁内检测(智能pig)和超声导波检测等,但是由于对流炉管特殊的钉头结构,以及原油管式加热炉自身设计特点,炉管大部封闭在炉膛内部,无法抵近进行检测,像前面所述超声导波等无损检测方法并不适合原油管式加热炉对流室炉管的检测。声发射作为一种无损动态检测方法能够克服对流室炉管复杂环境,而且对炉管的完整性不会有任何影响。

2)实现声发射检测技术对炉管腐蚀程度的评价,依据炉管腐蚀程度制定相应合理的维修计划能够节省维修费用,也可及时对腐蚀最为严重的炉管进行重点维修,从而有效地防止设备失效。

3)声发射检测能够定位可疑声源位置,可以非常清楚直观地了解被检炉管腐蚀的情况。

2.2 炉管信号幅度衰减测量

衰减是指波的幅度随传播距离的增加而下降的现象。从声发射源到传感器接收位置的传播过程中,声发射信号的幅度、能量等参数必然会受到传播环境的影响产生不同程度的衰减,衰减控制了声源距离的可检测性,因此,对于声发射检测来说它是确定传感器间距的关键因素^[6-7]。

在进行炉管衰减测量时,将崭新光管、崭新钉头管、腐蚀钉头管与汇包临近焊接,采用0.5mmHB铅笔芯折断信号作为模拟源,距断铅声源0.1m、0.6m、1.1m、1.6m、2.1m、2.9m处分别布置传感器进行衰减测量(去除需要布置传感器处钉头管上的钉头,用打磨机打磨处理后放置传感器),重复断铅3次,取同一传感器所接收声发射信号幅度的平均值以减小误差,测得的断铅信号幅度衰减曲线如图2所示。

可以看出随着信号传播距离的逐渐增大,在崭新光管、崭新钉头管、腐蚀钉头管中传播的信号幅度都呈不断衰减趋势,在传播距离相同的情况下,腐蚀钉头管中传播的信号幅度衰减最大,经过 2.8m (两端有约 20cm 不存在钉头)传播衰减,两端传感器接受到的信号幅度相差达 24.8dB;崭新钉头管次之,衰减幅度为 16.3dB,崭新光管中传播的信号衰减幅度最小。由此可以判断腐蚀层和钉头管上密集的钉头对声发射信号的传播有着很大影响,腐蚀层、腐蚀缺陷以及钉头共同营造了一种十分复杂的信号传播环境。

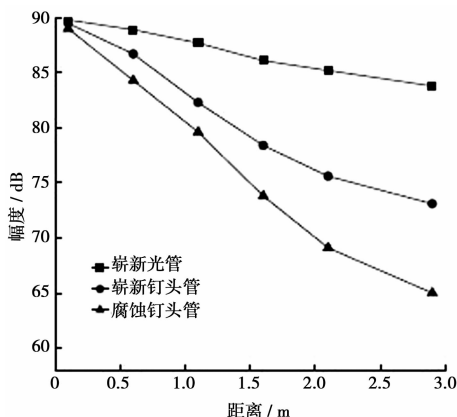


图 2 信号幅度衰减曲线

Fig. 2 The attenuation curve of amplitude with propagation distance

2.3 检测方案

炉管腐蚀的声发射检测实验系统示意图如图 3 所示,为模拟加热炉现场运行环境,按照炉管在加热炉对流室中实际所处位置,将每排 6 根炉管分为一组,与汇包焊接进行水介质加载,采用多通道全波形声发射检测系统对每排炉管进行加载试验,加载程序分为 0~4MPa 升压、4MPa 保压 15min、4~7MPa 升压、7MPa 保压 15 分钟 4 个阶段。

2.4 检测结果及分析

对 16 排 96 根对流室炉管以及崭新炉管分别进行了 0~4MPa 升压、4MPa 保压、4~7MPa 升压、7MPa 保压加载,检测中发现崭新光管因焊接质量等因素也会产生少量信号,而在升压过程中,已经腐蚀的 16 排对流室炉管表面和内部缺陷产生的声发射源比较活跃,产生了大量的声发射信号。图 4 为一排炉管在 0~4MPa 升压阶段声发射检测信号部分参数相关图。

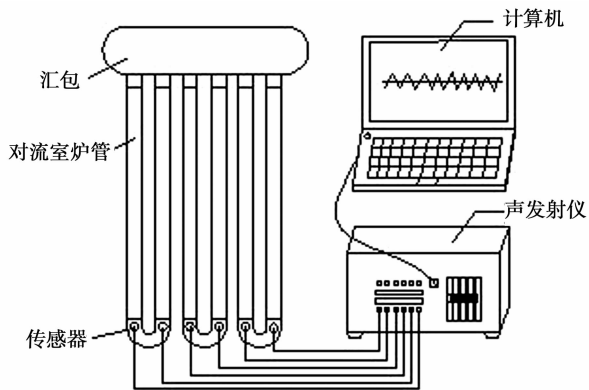


图 3 炉管实验系统示意图

Fig. 3 The sketch map of experiment system

由图 4(a)可知 3 个通道声发射信号撞击数分别为 295、211、273,由图 4(b)可知 3 个通道声发射信号的撞击速率分别为 137、95、116,可以看出这组炉管由于处于对流室同一排,炉管腐蚀程度十分接近,产生的声发射撞击总数及速率相差不大。如图 4(c) 与图 4(d)所示声发射信号主要集中在中低幅值、低能量。

在后续数据处理中分别对腐蚀程度最重的第 9 排炉管、腐蚀程度相对较轻的第 16 排炉管及崭新炉管对应通道声发射数据进行统计分析,并且以 0~4MPa 升压、4MPa 保压阶段信号数据描述对流室炉管在增加载荷和保持载荷 2 种过程中声发射信号产生情况,结果如图 5 所示,可知在 0~4MPa 升压、4MPa 保压阶段第 9 排以及第 16 排腐蚀炉管产生的声发射信号撞击数和能量都远超崭新炉管,第 9 排炉管因处于对流室中部,腐蚀程度较重,产生的声发射信号撞击总数和能量整体上大于第 16 排炉管。

对相同测试条件下的崭新炉管以及腐蚀炉管 0~4MPa 升压、4MPa 保压、4~7MPa 升压、7MPa 保压各个加载阶段声发射参数数据进行了统计分析,具体数值见表 1。从表中可以看出崭新炉管各个加载阶段每分钟产生的声发射能量、撞击数要远小于已经腐蚀的炉管。可见随着对流室炉管腐蚀程度的增大、越来越多的腐蚀缺陷产生,能够反映炉管腐蚀状况以及声发射信号活跃程度的重要指标,如能量、撞击计数等特征参数数据整体上有明显增加的趋势,这就为从声发射信号特征参数数据量入手评价炉管腐蚀程度创造了条件。综上,可以证明通过对对流室炉管加载试验以及炉管声发射信号各参量数据分析对比可以有效描述炉管腐蚀的严重程度,进而对原油管式加热炉对流室炉管腐蚀程度做出整体评价。

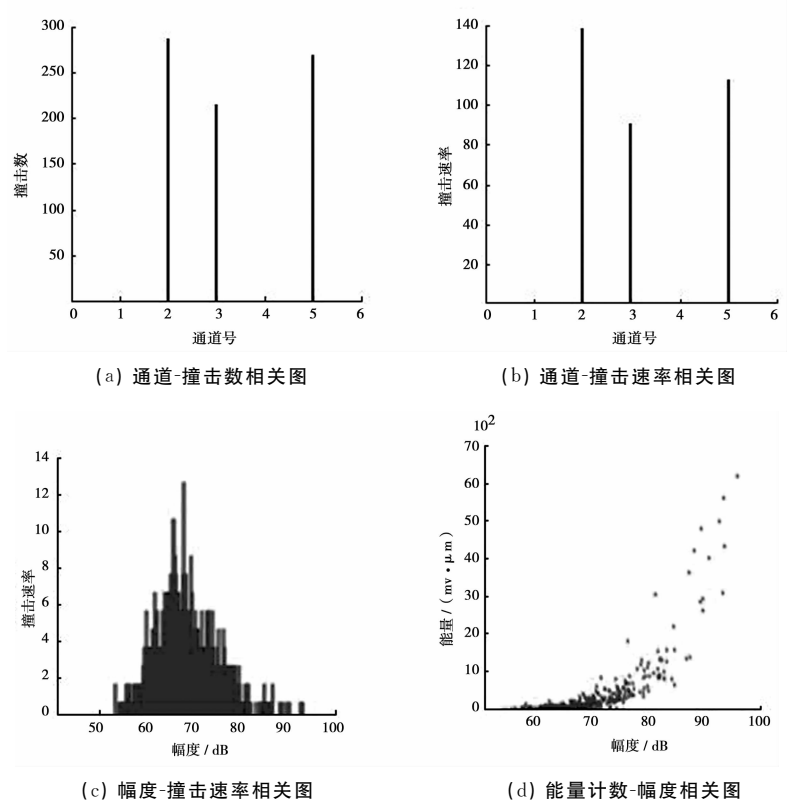


图 4 声发射信号部分参数相关图

Fig. 4 The correlation diagram of some parameters of acoustic emission signal

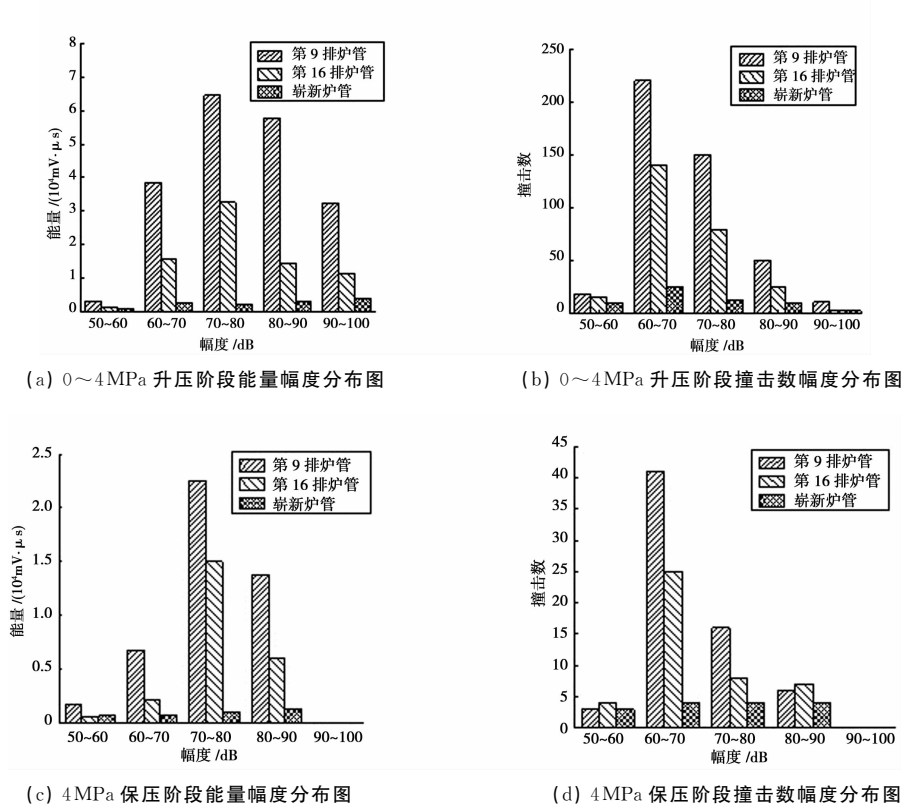


图 5 炉管声发射信号数据比较图

Fig. 5 The contrast of acoustic emission data tubes under different corrosion status

表 1 声发射数据统计表

Table 1 The statistical results of acoustic emission date

| 加载阶段 | 每分钟撞击数 | | 每分钟能量/ (mV · μs · min ⁻¹) | |
|------------|--------|-------|--|-----------|
| | 新管 | 腐蚀炉管 | 新管 | 腐蚀炉管 |
| | | | | |
| 0~4 MPa 升压 | 14. 2 | 42. 2 | 3 198. 1 | 64 469. 5 |
| 4 MPa 保压 | 2. 8 | 8. 73 | 560. 9 | 3 324. 98 |
| 4~7 MPa 升压 | 17. 6 | 54. 1 | 4 780. 07 | 84 193. 3 |
| 7 MPa 保压 | 3. 6 | 12. 4 | 678. 17 | 1 954. 38 |

3 结 论

本文采用声发射无损检测方法,建立了对流室炉管检测实验装置,通过大量对流室炉管模拟实验,进行了对流室炉管声发射信号能量和撞击数等特征参数数据的对比分析。验证了声发射检测技术应用于原油加热炉对流室炉管腐蚀程度评估的可行性和有效性。

- 1)炉管声发射信号主要集中在中低幅值、低能量范围。
- 2)不同腐蚀程度的炉管所测得的声发射数据有明显差别,随着对流室炉管腐蚀程度的增大,炉管产生的声发射信号量整体上明显增加。相对于保压阶段,打压阶段的声发射数据对比度更为明显。

3)由于声发射信号的影响因素很多,因而在实际的检测过程中需要制定统一的测试标准,进一步

深入探讨进行声发射检测与信号处理的有效方法,以提高炉管腐蚀程度声发射评估的准确性。

参考文献:

[1] Moss C J. Remaining life assessment of furnace heater tubes Plant Systems[J]. Components Aging Management,1996(2):23-33.

[2] 刘保余. 原油直接式加热炉炉管失效机理及安全评价方法[J]. 石油矿场机械,2010,39(8):87-90.

[3] 焦敬品,李涌,何存富,等. 压力管道泄漏的声发射检测实验研究[J]. 北京工业大学学报,2003,29(2):144-146.

[4] 张虹,靳世久,孙立瑛. 不同管道特征对声发射信号幅度的衰减影响[J]. 管通技术,2007(3):87-90.

[5] Long R, Vine K, Lowe M J S, et al. Monitoring acoustic wave propagation in buried cast iron water pipes[J]. Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation,2001(20):1202-1209.

[6] 沈功田,耿荣生,刘时风. 声发射信号的参数分析方法[J]. 无损检测,2002,24(2):72-77.

[7] 焦敬品,何存富,吴斌,等. 基于导波理论的管道泄漏声发射定位新技术的研究[J]. 机械工程学报,2004,40(10):77-81.

[8] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB/T 18182—2000 金属压力容器声发射检测及结果评价方法[S]. 北京:中国标准出版社,2013.

(责任编辑:李艳)