

# 新制加氢反应器水压试验过程的声发射检测

张颖<sup>1</sup>, 王子兴<sup>1</sup>, 王学增<sup>2</sup>, 宋美萍<sup>1</sup>, 龙飞飞<sup>1</sup>

(1. 东北石油大学, 大庆 163318; 2. 中国石油大庆石化分公司, 大庆 163000)

**摘要:** 为发现新制压力容器的先天性活性缺陷, 提高制造质量, 对一台新制加氢反应器水压试验过程进行声发射检测。采用三角定位与线定位结合的方法, 对加氢反应器壳体和接管进行了整体检测。采用二次加载的方式, 重点分析第二次加载过程和保压阶段的声发射信号。检测过程共发现 3 处有效声源, 通过采用超声波和渗透探伤方法进行复验, 确定声源 S1 为流动噪声; 声源 S2 为鞍座与筒体间的机械摩擦信号; 声源 S3 为弯管内堆焊层表面缺陷。该检验实例可为新制容器出厂前的全面检验提供借鉴。

**关键词:** 加氢反应器; 声发射检测; 活性缺陷; 水压试验

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2012)07-0036-04

## Acoustic Emission Testing for New Hydrogenation Reactor During Water Pressure Experiment

ZHANG Ying<sup>1</sup>, WANG Zi-Xing<sup>1</sup>, WANG Xue-Zeng<sup>2</sup>, SONG Mei-Ping<sup>1</sup>, LONG Fei-Fei<sup>1</sup>

(1. Northeast Petroleum University, Daqing 163318, China;

2. Petro China Daqing Petrochemical Company, Daqing 163000, China)

**Abstract:** In order to find congenital defects in new pressure vessels in time and improve container's manufacturing quality, a new hydrogenation reactor during water pressure experiment with acoustic emission technique was tested. Using triangulation and line positioning method, the hydrogenation reactor's shell and pipe was detected in whole. Focus was put on monitoring acoustic emission source localization signal in the second loading cycle and packing phase. During the testing process 3 effective acoustic sources in total was discovered. Through using ultrasonic test and liquid penetrant test in foundation of acoustic emission testing, result was assurance as follows: acoustic sources S1 was the flow noise, acoustic sources S2 was the mechanical friction signal between saddle and cylinder while loading, acoustic sources S3 was surface defects in bent pipe's layer. This instant testing could offer a reference to new manufacturing pressure vessels before leaving the factory.

**Keywords:** Hydrogenated reactor; Acoustic emission testing; Active defect; Water pressure experiment

加氢反应器是炼油装置的关键设备, 长期在高温、高压和临氢环境下运行, 使用条件十分恶劣。因此要求对加氢反应器从制造、安装和运行各环节进行严格的质量控制和检测, 以确保其安全高效运行<sup>[1]</sup>。通过对在役加氢反应器的现场检验和实验室分析表明: 加氢反应器检测出的内、外壁裂纹, 大多为制造时遗留经长期运行后扩展的<sup>[2]</sup>。因此, 如何在出厂前发现设备制造过程中产生的先天性缺陷,

并做针对性的处理, 对提高设备质量及使用寿命具有一定的意义和价值。

以往对新制和在役的加氢反应器进行无损检测时, 主要采用射线、超声波、磁粉、渗透等常规手段<sup>[1,3]</sup>。以上检测手段均只能检测出材料中已产生的缺陷, 且工作量大、检验效率和可靠性低、容易产生漏检。声发射检测以其动态特性、整体性、实时性、高效性和经济性等特点, 在压力容器的制造质量验证、在役检验和在线监测上已被广泛应用<sup>[4-5]</sup>。压力容器水(气)压试验过程中的声发射检测能及时发现材料中的活性缺陷, 尤其对影响加氢反应器使

收稿日期: 2011-07-29

作者简介: 张颖(1972—), 男, 副教授, 博士, 主要从事过程设备安全检测及完整性评价的研究工作。

用的堆焊层表面裂纹、埋藏缺陷的开裂和扩展,能形成有效的定位源。通过针对声源区域进行局部复检,可大大缩短检测时间,进一步提高新制压力容器的安全可靠性能。

文章对某石化分公司机械厂新制造的加氢反应器进行出厂前水压试验过程的声发射监测,以确保该加氢反应器的整体质量满足设计和使用要求。

## 1 新制加氢反应器基本参数

设计压力 8.61 MPa;工作压力 8.2 MPa;设计温度 425 °C;全容积 123 m<sup>3</sup>;介质为油、H<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S、NH<sub>3</sub>;设备金属净质量 193 640 kg;设备充水后总质量 315 050 kg;材质 2.25Cr1Mo+E309L+347L;结构尺寸  $\phi$  3 000 mm×(90+6.5) mm×23 757 mm。

## 2 水压试验过程声发射检测方案

### 2.1 检测仪器及主要参数设置

检测所用仪器为美国 PAC 公司制造的 SA-MOS-32 通道声发射检测仪,传感器型号为 R15,共振频率为 150 kHz。设置门槛值为 40 dB,增益为 30 dB,根据加氢反应器的声信号衰减情况确定平均波速为 5 500 m/s。定位方式采用以三角形定位为主、线定位和区域定位为辅助的定位方式。

### 2.2 传感器布置

完成检测方案及传感器布点图后,在相应位置处打磨出  $\phi$  30 mm 见金属光泽的区域,作为安装传感器的位置。传感器采用三角形定位阵列排布,在上封头接管处采用线定位排布,见图 1。

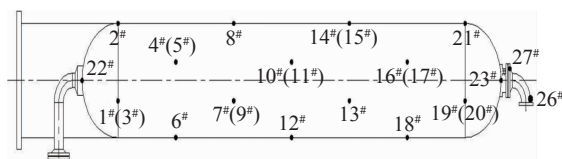


图 1 传感器布点图

### 2.3 仪器校准

各通道连接完成后,设置采集程序。采用硬度为 HB 的  $\phi$  0.5 mm 铅笔芯折断信号作为模拟源,对各通道进行灵敏度标定,使各通道灵敏度与平均灵敏度之差 $\leq$ 3 dB。对给定模拟信号,观察各信号特征参数和定位精度,不满足标准要求的予以调整。

### 2.4 试验压力( $P_t$ )的确定

根据 GB 150—1998《钢制压力容器》标准对水压试验压力进行计算:

$$P_T = \frac{1.25P_0[\sigma]}{[\sigma]'} \quad (1)$$

式中  $P_T$ ——水压试验压力,MPa;

$P_0$ ——设计压力,取 8.61MPa;

$[\sigma]$ ——2.25Cr-1Mo 材料在试验温度下的许用应力,取 125.42 MPa;

$[\sigma]'$ ——2.25Cr-1Mo 材料在 425 °C 下的许用应力,取 156.67 MPa。

因水压试验过程采用卧置,故应考虑容器立置时的静水压  $P_{静} = \rho g H$ ,其中  $H = h_{筒体} + h_{封头} = 15\,356 + 1\,685 \times 2 = 18\,726$  mm;则该加氢反应器卧置时水压试验压力为  $P_t = P_T + P_{静} = 13.75$  MPa。

### 2.5 加压过程

为保证声发射检测的有效性,检测标准选用 GB/T 18182—2000《金属压力容器声发射检测及结果评价方法》。按水压试验加载曲线(图 2)加载。升压过程尽量平稳,升压速度 $\leq$ 0.5 MPa/min,控制水温 $>15$  °C,控制氯离子含量 $\leq$ 25 mg/L。加载过程中与加载人员保持联系,若发现持续增加的幅值出现较大的信号,应及时停止加载或卸载。若确认为缺陷快速扩展引起,为避免继续加载可能对容器造成更大损伤或破坏,应及时采用其他常规方法对该部位复验,根据复验结果决定是否继续试验。若确认为密封面泄漏或其它干扰信号造成,则排除后可继续加压监测。整个加压过程的数据采集为连续,并准确记录升压和保压的时间界限,以便事后进行数据分析。

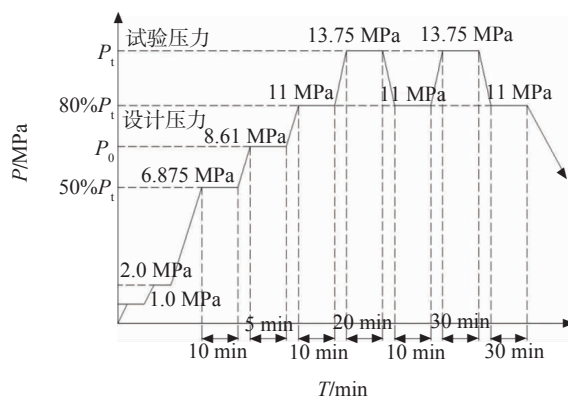


图 2 水压试验加载曲线

## 3 声发射检测结果分析与评定

### 3.1 声发射检测结果分析

对新制加氢反应器进行了水压试验过程的声发射监测与试验数据采集,并对不同加载阶段声发射

检测结果进行了分析。

### 3.1.1 第一次加载循环(0~13.75 MPa)筒体声源分析

该阶段收到了大量的声发射信号,且绝大部分来自于升压阶段。考虑到新制压力容器的首次加压,经分析,这些信号主要是由加氢反应器的裙座、支座、支柱和接管等角焊缝部位的焊接残余应力释放以及垫板与壳体变形膨胀不一致产生的机械摩擦引起。由于危险的缺陷在保压阶段仍然会活动,所以在检测时重点监测保压阶段的声源定位信号。在该加压循环的第一保压台阶( $P=8.61$  MPa)未形成定位集团,仅形成数量不多的分散定位点。如图3(a)。但在第二保压台阶( $P=11.0$  MPa)及第三保压台阶( $P=13.75$  MPa)时得到两个有效声源定位集团S1和S2,如图3(b)和(c)。这两个定位集团是否确实来自于真正缺陷,尚需观察第二次加压循环的监测结果来确定。

### 3.1.2 第二次加载循环(11.0~13.75 MPa)筒体声源分析

该阶段进行声发射检测的目的是进一步确定加氢反应器上是否存在危险的声发射源。由于在第一加压循环中反应器变形较充分,且多因素引起的机械噪声影响也基本消除,因此该阶段受到的干扰很小。如果存在较严重的危险缺陷,那么在第一次出现声发射定位源集中部位后会再次出现定位信号,严重时也会形成集中的定位集团。在二次保压阶段( $P=13.75$  MPa)S1再次出现,虽不太集中但在各

保压阶段均产生有效定位集团,应作为试验后重点检查区域。在此循环过程中S2未再次出现,初步认定是第一次加载过程中变形不充分或机械摩擦所致,有待进一步查证。二次保压阶段声源定位如图3(d)所示。

### 3.1.3 上封头接管处声源分析

上封头弯管处布置26和27号传感器,形成线定位,以监测此处焊缝质量。在第一加压循环的第一保压台阶未出现定位信号,在第二、三保压台阶开始出现缺陷定位信号。在第二加压循环保压阶段出现定位集团S3,且事件较多,声源强度较集中。确定此处S3亦为重点检查区域。上述分析定位图见图4。

### 3.1.4 加氢反应器声源综合等级评定

根据GB/T 18182标准,对上述各阶段出现的有效声源S1、S2和S3进行评价。综合考虑声源的活度等级和声源强度等级,最终确定各声源的综合等级见表1所示,其中S1和S3为C级,S2为B级。

## 3.2 声发射检测结果评定

根据GB/T 18182标准,为保证新制加氢反应器的安全质量,决定对发现的三处声源进行复验。S1和S2采用超声波探伤进行复验,均未发现超标缺陷。声源S1位于筒体中部,经分析为加载过程中水流汇集此处产生的流动噪声;声源S2在第二次加载循环保压阶段消失,根据所处位置,确定为鞍座与筒体间的机械摩擦信号。声源S3在第二次加载循环定位信号较集中,经渗透探伤复检为弯管内

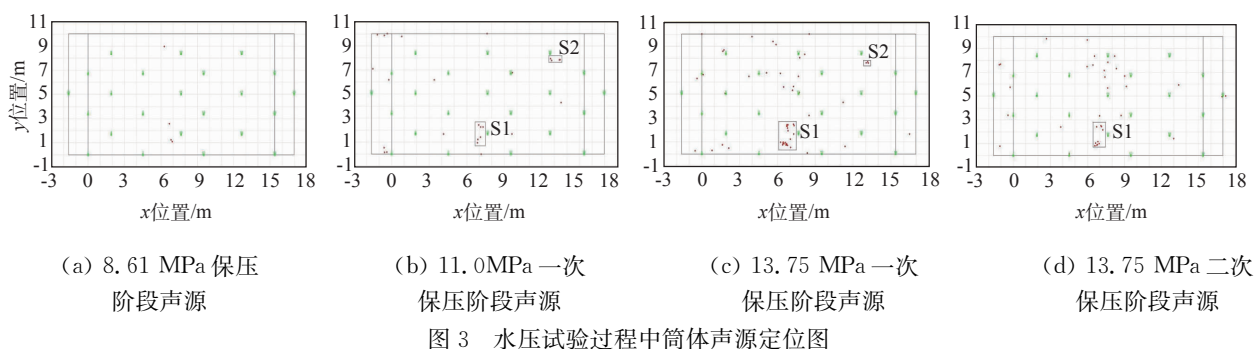


图3 水压试验过程中筒体声源定位图

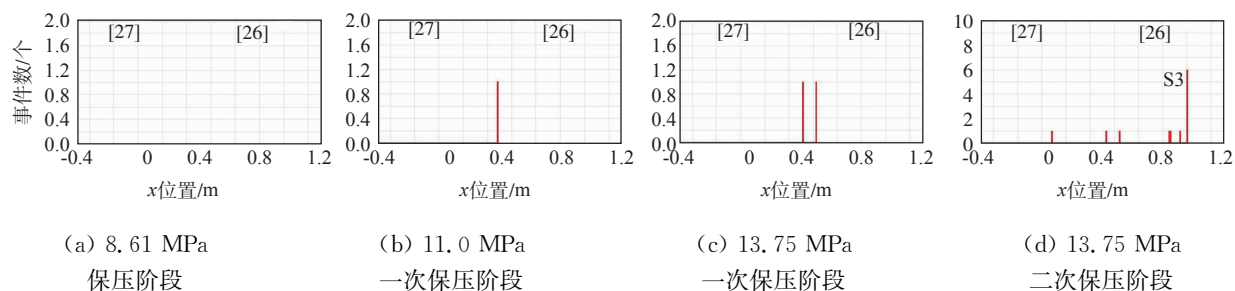


图4 水压试验过程中上封头接管处声源定位图



表 1 水压试验过程声源评价结果

声源 序号	第一次加载循环/MPa			第二次加载循环/MPa		声源 活度	声源 强度	声源 综合 等级
	8.61 保压	11.0 保压	13.75 保压	11.0~13.75 升压	13.75 保压			
S1	×	○	○	×	○	活性	弱强度	C
S2	×	○	○	×	×	弱活性	弱强度	B
S3	×	×	○	×	○	活性	弱强度	C

注:“○”表示加压或保压阶段有声源;“×”表示加压或保压阶段无声源。

堆焊层表面裂纹。根据声发射检测结果,认为该加氢反应器在最高试验压力 13.75 MPa 下,筒体未发现活性缺陷;上封头弯管内堆焊层表面裂纹缺陷需进行修复。

#### 4 结语

(1) 在新制加氢反应器水压试验过程进行声发射检测,可迅速发现容器存在的活性缺陷,检测效率高、劳动强度低,弥补了常规检验的不足,把新制容器存在先天性缺陷的可能性降至最低,提高了容器的制造质量及安全可靠性。

(2) 考虑到新制加氢反应器的特点及焊后存在

(上接第 35 页)

表 1 使用简易机械手前后的效果比较

序号	检验需求	使用前	使用后
1	要实现 100%射线检验	需要搭设整体通道及爬梯,让检验人员从 55 m 左右的人孔门进入炉膛内装片和射源定位	在顶棚管上面就能简单地操作装片和 $\gamma$ 射源定位
2	检验效率	需检验人员 2 名,架子工 6 名,拍一张片平均 1 h	需检验人员 2 名,拍一张片平均 7 min
3	安全系数	低	高
4	经济效益	低	高,少投入约 20 个人工的检验费用,21 个人工的手脚架更改和搭设拆除费用,减少安全网的敷设
5	工期	需 4 d 完成检验(每晚只允许检验 3 h),且会影响到其他附近项目的射线检验进度	2 d 检验完成,且对其他项目的射线检验影响不大,可以同步进行

#### 5 结语及展望

设计制作的“移动式  $\gamma$  孔”简易机械手与传统检验方法相比,具有三个方面的优点:① 安全性,检验人员不用进入炉膛内部就可以在顶棚管焊口上方方便地进行贴片、固定  $\gamma$  源曝光头的操作,节省了人力和时间,提高了工作效率,同时也避免了检验人员进

较大残余应力,第一次水压加载循环中的声源信号是否确实来自于真正缺陷,需重点观察保压阶段和第二次加压循环的监测结果,以作进一步的确定。

(3) 声发射检测对加氢反应器堆焊层表面缺陷信号敏感,经声发射检测,结果评定 S3 处的声源等级为 C 级。在此基础上进行常规无损检测复验,经确定为弯管内堆焊层表面缺陷,修复后可安全使用。

#### 参考文献:

- [1] 刘德宇,沈功田. 压力容器无损检测——加氢反应器的无损检测技术[J]. 无损检测,2005,27(2):96—99.
- [2] 李蓉蓉,陈学东. 对在役加氢反应器缺陷的现场检验及其成因分析(二)——反应器外壁的裂纹、缺陷及材质劣化[J]. 压力容器,2009,26(4):39—46.
- [3] 袁小军,袁榕. 热壁加氢反应器的无损检测技术[J]. 压力容器,2005,42(5):1—5.
- [4] 戴光. 声发射检测技术在中国——庆祝中国机械工程学会无损检测分会成立三十周年[J]. 无损检测,2008,30(7):389—396.
- [5] 李伟,戴光. 加氢精制预反应器的声发射检验与评定[J]. 压力容器,2002(11):44—47.

入炉膛时可能遇到的危险,提高了安全系数。② 经济性,由于检验人员不用进入炉膛内部的前顶棚管子下方对屏过间隔管横焊口进行贴片和射源定位,因此就不用搭设专门用于检验人员攀爬的脚手架,节省了人力和物力。③ 环保性,由于  $\gamma$  射线源快速进入炉膛内对底片进行曝光,并利用四周已安装好的水冷壁、顶棚管起到增加屏蔽层厚度作用,降低了射线对人体的辐射强度。④ 底片质量符合检验标准要求。

移动式“ $\gamma$  孔”可以引伸到电厂锅炉检修时,对顶棚系统、水冷壁系统、包墙系统的焊口进行抽检的场所,只需要在焊口与焊口之间开个直径为 15 mm 小孔即可,然后就能了解运行后焊缝内部信息,而检验人员在炉膛外就可以完成相关操作。若“移动式  $\gamma$  孔”应用在以上这些横焊口进行射线探伤时,应改装为线圈式的,通过电源来控制固定即可。

#### 参考文献:

- [1] DL/T 821—2002 钢制承压管道对接焊接接头射线检验技术规程[S].
- [2] 强天鹏. 射线检测[M]. 北京:中国劳动社会保障出版社,2007.