

凯塞效应在压力容器缺陷评定中的应用

龚 斌, 闻邦椿

齐 辉, 金志浩

(东北大学 机械工程与自动化学院, 沈阳 110004)

(沈阳化工学院, 沈阳 110142)

摘 要:提出一种利用声发射技术判定压力容器缺陷来历的方法。通过水压试验时的声发射监测,利用凯塞效应原理对被检出缺陷是漏检原始缺陷还是使用后形成缺陷进行判定,为基于断裂力学理论的安全评定提供可靠保证。

关键词:声发射;凯塞效应;压力容器;缺陷评定

中图分类号: TG115.28

文献标识码: A

文章编号: 1000-6656(2006)03-0127-03

The Application of Kaiser Effect in the Defect Assessment of Pressure Vessels

GONG Bin, WEN Bang-chun

(School of Mechanic Engineering and Automation, Northeast University, Shenyang 110004, China)

QI Hui, JIN Zhi-hao

(Shenyang Institute of Chemical Technology, Shenyang 110142, China)

Abstract: A new method using acoustic emission technology to determine the defect origin of pressure vessels found in regular inspection was developed. Depending on the acoustic emission during the hydraulic pressure test, it could be determined whether the defect was originally formed or not with the help of Kaiser effect principle. The safety assessment of pressure vessels based on fracture mechanics would be more reliable by the use of the method.

Keywords: Acoustic emission; Kaiser effect; Pressure vessel; Defect assessment

材料受外力或内力作用而产生变形或断裂时,以弹性波形式释放出应变能的现象称为声发射^[1]。近年来,声发射技术在这方面都得到了很大发展,包括声发射的源机理和波的传播研究以及检测系统的研制和应用范围的扩展等^[2]。

在用压力容器经无损检测发现新缺陷后,因各种原因不宜更换设备时,对新检出缺陷进行安全评定就有着重要意义,而弄清缺陷的来历又是安全评定的重要内容。因此提出一种利用声发射技术判定新检出缺陷来历的方法。

1 凯塞效应

声发射现象与材料的塑性变形和断裂是紧密相连的,由于材料塑性变形和断裂的不可逆性。声发射现象也是不可逆的。试样第一次受力后,再以同样的方式受力时,在达到以前受力的最大载荷前不

出现声发射现象,这一现象被称为不可逆效应,也称为凯塞效应^[1]。目前材料的声发射凯塞效应已被广泛用于岩土的历史受力分析,但在压力容器的缺陷评定上应用较少。

其实声发射的凯塞效应只是近似的。材料第一次受力为 σ_1 ,卸载后第二次加载至 σ_2 时才产生声发射现象,将 σ_2/σ_1 称为不可逆效应比。一些材料的不可逆效应比小于或接近于1.0,但试验表明对低碳钢和 α -铁在 $<200\text{ }^\circ\text{C}$ 时不可逆效应比等于1.0^[1],材料的这一特性为凯塞效应在压力容器缺陷来历评定上的应用提供了可能。

根据断裂力学的理论,当结构中含有缺陷且在平面应力条件下承载时,缺陷尖端会形成一个如图1所示的塑性区^[3],有

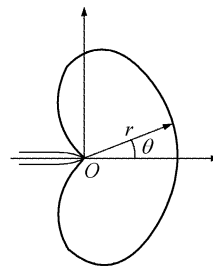


图1 缺陷尖端的塑性区示意图

$$r = \frac{K_1}{2\pi\sigma_s} \cos^2 \frac{\theta}{2} \left(1 + 3\sin^2 \frac{\theta}{2} \right) \quad (1)$$

式中 K_1 ——应力强度因子, $\text{N} \cdot \text{mm}^{-\frac{3}{2}}$
 σ_s ——材料屈服强度, MPa

显然,该塑性区的大小随该处应力强度因子的增加而增加,而该处应力强度因子又随结构承受载荷的增加而增加。根据凯塞效应原理,当所加载荷小于缺陷承受的历史最高载荷时,由于不会形成新的塑性区,此时缺陷部位不会产生声发射现象;反之,当所加载荷超过缺陷承受的历史最高载荷时,即使缺陷不扩展,但由于塑性区扩展,此时缺陷部位仍产生声发射现象。

对经无损检测发现新缺陷的在用压力容器进行水压试验,试验压力与上一次水压试验相同,同时对缺陷处进行声发射监测,如在由最高工作压力加压至水压试验压力过程中无明显声发射现象,根据凯塞效应的原理,则表明此处缺陷在上一次水压试验前形成;如在由最高工作压力加压至水压试验压力过程中出现明显声发射现象,则表明此处缺陷在上一次水压试验后形成,应寻找其形成原因并据其进行安全评定。

2 实际应用

某厂有一台储罐,设计压力为 3.0 MPa,温度为常温,盛装介质为氮气,设备采用标准椭圆形封头,筒体及封头材质均为 16MnR,名义厚度均为 26 mm,腐蚀裕量为 1 mm,公称直径为 2 000 mm,经 20%局部射线检测焊接接头系数为 0.85。设备投入使用三年后做定期检验,经超声检测发现筒体与封头的焊接环缝处存在一处缺陷,该缺陷沿环缝方向长约 30 mm,深约 4 mm,距外表面约 17 mm,不能判定缺陷为未焊透还是裂纹或其它缺陷。

2.1 缺陷评定

在不能判定缺陷性质情况下对该缺陷按椭圆片状裂纹进行评定。根据文献[4],压力容器中埋藏裂纹的应力强度因子为

$$K_1 = M \frac{\sigma \sqrt{\pi a}}{\sqrt{\Phi^2 - 0.212 \left(\frac{\sigma}{\sigma_s} \right)^2}} \quad (2)$$

式中 M ——圆筒形容器中的环向裂纹鼓胀效应系数

$$M = \left(1 + 0.64 \frac{a^2}{D_i \delta} \right)^{\frac{1}{2}}$$

D_i ——筒体内径

δ ——筒体壁厚

$$\delta = \delta_1 - C_2$$

δ_1 ——实测壁厚

C_2 ——腐蚀裕量

σ ——当地名义应力

$$\sigma = \sigma_\varphi \approx \frac{PD_i}{4\delta}$$

σ_φ ——周向应力

P ——设计压力

σ_s ——材料屈服极限

Φ ——第二类椭圆积分

$$\Phi = \left[1 + 1.464 \left(\frac{c}{a} \right)^{1.65} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$2c$ ——裂纹深度

$2a$ ——裂纹长度

实测 $\delta_1 = 25.6 \text{ mm}$, 取 $\delta = \delta_1 - C_2 = 24.6 \text{ mm}$,
 $D_i = 2\,000 \text{ mm}$, $C_2 = 1 \text{ mm}$, $2c = 4 \text{ mm}$, $2a = 30 \text{ mm}$,
 将以上数值代入式(2),得到该缺陷处在设计压力下的应力强度因子 $K_1 = 411 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-\frac{3}{2}}$,由文献[3]查得 16MnR 材料在焊接处的临界应力强度因子 $K_{IC} = 4\,460 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-\frac{3}{2}}$ 。

虽然依据 $K_1 < K_{IC}$ 可以判断此处缺陷不会在设计压力作用下扩展,但由于设备在出厂前对焊缝进行局部无损检测,且未发现该处存在有缺陷,故不能确定该处的缺陷为漏检的原始制造缺陷还是在使用后由于未知原因扩展形成。如为原始缺陷,则可以判断该设备在设计压力下能安全使用,只需对缺陷部位进行监视即可;如为使用后形成,则可能为某种未知原因造成,不能确定该缺陷的安全性。

2.2 声发射分析

由设备的历史档案知道该设备自出厂前经水压试验(试验压力 $P_T = 3.75 \text{ MPa}$)后一直在低于或等于设计压力工况下工作,在服役期内未做水压试验。在该种情况下,通过对其进行水压试验时的声发射监测可以判断该缺陷的来历。

对该设备进行水压试验并对缺陷处进行声发射监测,如在由设计压力加压至水压试验压力过程中无明显声发射现象,则表明此处缺陷在出厂时的水压试验前形成,属于漏检的原始制造缺陷;如在加压至水压试验压力过程中出现明显声发射现象,则表明此处缺陷在使用中形成,应寻找其形成原因并重新进行安全评定。

2.3 水压试验及声发射监测

监测用仪器为 AE21C 型四通道声发射仪。检测参数增益为 20 dB,门槛值 20 dB,带通滤波器带

宽为 100~200 kHz 以排除噪音等干扰。

对设备进行水压试验的加载程序按《压力容器安全技术监察规程》^[5]制定,设备灌满水后缓缓加压至设计压力 3.0 MPa 并保压 10 min;观察无异常情况缓缓加压至水压试验压力 $P_T=3.75$ MPa 并保压 30 min。在该过程中,升压阶段偶尔出现幅值在 20~25 dB 的声发射信号。由于具有这种幅值的声发射信号基本可以忽略,即该过程无明显声发射现象,故可初步判断该缺陷为原始制造缺陷(可能为未焊透),加压过程中出现的少量信号可能为干扰信号。为进一步判断缺陷性质,决定将试验压力继续提高至 $P_{max}=4.0$ MPa 并保压 10 min(根据断裂力学的理论,在 $P_T=4.0$ MPa 时, $K_I=541 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-\frac{3}{2}}$ $< K_{IC}=4\,460 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-\frac{3}{2}}$,缺陷不会扩展),在该升压过程中连续出现了幅值在 47~52 dB 的声发射信号,而在 4.0 MPa 保压过程中无声发射信号,说明在加压过程中形成新的塑性区,产生低幅值的连续信号^[6]。最后回至设计压力 3.0 MPa,并保压 20 min,所有保压阶段均无声发射信号。

2.4 声发射评定结论

根据 GB/T 18182—2000 标准^[7],一次加压循环时在升压过程中有声发射源,保压过程中无声发射源,表明该源属于弱活性源;声发射信号幅值在 47~52 dB <60 dB,属于弱强度源,综合评定属于 B 级声发射源,且信号在超水压试验压力下产生,可判定此

缺陷属于稳定性缺陷,在正常工作状态下不会扩展。

该设备经水压试验及声发射检测安全评定,认为可以继续在设计条件下正常服役,但需加强监管。该设备服役至今已有近半年,运转正常。

3 结语

当在用压力容器经无损检测发现新缺陷后,通过水压试验时的声发射监测,根据凯塞效应原理能对新发现的缺陷是漏检的原始缺陷还是使用后形成缺陷进行判定,保证基于断裂力学理论的安全评定的可靠性。

参考文献:

- [1] 袁振明. 声发射技术及其应用[M]. 北京:机械工业出版社,1985.
- [2] 王祖荫. 声发射技术基础[M]. 济南:山东科学技术出版社,1989.
- [3] 李志安. 压力容器断裂理论与缺陷评定[M]. 大连:大连理工大学出版社,1994.
- [4] CVDA—1984,压力容器缺陷评定规范[S].
- [5] 国家质量技术监督局. 压力容器安全技术监察规程[S]. 北京:中国劳动社会保障出版社,1999.
- [6] 朱 波. 声发射特性与材料断裂韧性相关性研究[J]. 物理学报,2003,52(8):1960—1964.
- [7] GB/T 18182—2000,金属压力容器声发射检测及结果评价方法[S].

第 12 届亚洲-太平洋地区无损检测会议暨展览会征文及组团通知

第 12 届亚洲-太平洋地区无损检测会议(12th Asia-Pacific Conference on Nondestructive Testing)暨展览会 2006 年 11 月 5—10 日在新西兰奥克兰召开,会议由新西兰无损检测学会承办。中国机械工程学会无损检测分会将组团参加会议和展览会。

现诚邀各系统、各工业领域的无损检测研究人员、用户、厂商和技术人员踊跃报名参加该会议,积极递交(宣读或张贴)论文。

征文范围

基础和应用研究;设备的设计和研发;检验和检测方法的应用;法规和标准;培训,教育,资格鉴定和认证;工艺技术的开发;国际和地区合作计划;工艺技术的历史。

重要日期

摘要截止日期:2006 年 2 月 17 日

全文截止日期:2006 年 8 月 31 日

论文可直接递交新西兰无损检测学会,地址: NZNDTA, PO Box 854, Blenheim, New Zealand

摘要格式

论文题目;作者姓名和头衔;合作作者姓名和头衔;作者单位,城市和国家;摘要字数不超过 250 字(英文)。

有意参加会议并随中国机械工程学会无损检测分会代表团出访人员可与学会秘书处联系,地址:上海市辉河路 100 号;邮编:200437;电话/传真:021-65550277;联系人:朱亚青女士;E-mail: chsndt@public2.sta.net 或 chsndt2008@163.com。

(中国机械工程学会无损检测分会)