标准分享网 www.bzfxw.com

试验研究

声发射技术在阀门壳体质量控制中的应用

徐国珍,陈亦维,曹志华
(上海航天动力机械研究所,上海 200233)

孔凡公
(上海交通大学,上海 200030)

摘 要:电磁阀门壳体的泄漏现象一直是困扰其质量的主要问题。电磁阀门壳体是由多条焊缝连接而成的焊接件,由于其结构复杂,用常规无损检测方法很难得到有效的结果。介绍声发射技术对阀门壳体进行检测的具体方法,对于波形数据和提高小尺寸阀门壳体的检测定位精度等相关技术问题进行了讨论,总结了电磁阀门壳体声发射检测的相关试验数据,为阀门质量的控制和声发射检测方法的广泛应用提供了判断依据。

关键词:声发射检验;阀门;焊缝;缺陷定位

中图分类号:TG115.28 **文献标识码**:A **文章编号**:1000-6656(2002)10-0432-04

APPLICATION OF ACOUSTIC EMISSION TESTING TO CONTROLLING THE QUALITY OF VALVE SHELLS

XU Guo-zhen, CHEN Yi-wei, CAO Zhi-hua
(Shanghai Spaceflight Power Machinery Institute, Shanghai 200233, China)
KONG Fan-gong
(Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

Abstract: The leakage of the electromagnetic valve shell has always been the main cause of the falure of propulsion subsystem. Due to the complex structure of the shell with many welds on it, conventional nondestructive testing methods are unfit for it. The specific way for the inspection of the shell by acoustic emission method is given. And the wareform data analysis and the improvement of flaw location precision of small-sized valve shell are described. Experimental data have provided the criterion for the quality control of valve shells and wide application of acoustic emission testing.

Keywords: Acoustic emission testing; Valve; Weld; Flaw location

阀门是推进分系统的精密组件,结构比较复杂,性能要求特殊,且品种多样,就目前神舟飞船推进舱推进子系统中的阀门而言,需电磁阀56件,自锁电磁阀18件,电爆阀6件,以及减压阀、安全阀和充气阀等,总计不下90余件。在历经了多次全系统试验之后,发现阀门是最易发生故障的组件之一,所以确保阀门质量是飞船推进分系统研制中的关键。

在阀门的各种故障中,阀门壳体的泄漏一直是阀门质量控制的首要问题。目前,各种结构的阀门壳体均采用焊接结构。美国宇航局规定,用于宇宙飞船上的阀门,其最大泄漏量不得 $>1\times10^{-6}cm^3/s$(标准)氦气,用于运载火箭上的阀门,其最大泄漏量不得 $>1\times10^{-4}cm^3/s$(标准)氦气[1]。虽然我们现在已采用最小可检漏率达 $1\times10^{-12}cm^3/s$ 的氦质谱检漏仪来检测密封性,但是,在阀门研制和地面试验过程中,仍出现多起因阀门壳体泄漏引发的故障,而这些阀门壳体往往是氦质谱检漏合格的产品。经过对壳体的解剖和缺陷断口金相分析,确定泄漏主要是阀门壳体中微小焊接裂纹和壳体母材中存在的微小缺陷在受压情况下扩展所致,特别是由于阀门壳体由多个不同材料的零件焊接而成,不同材料焊接特性的差异使细微裂纹产生几率远大于同种材料焊接件。由于阀门壳体结构较为复杂,常规的检测手段

收稿日期:2001-09-28

© 1995-2004 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

标准分享网 www.bzfxw.com

均因各自的局限性而难以获得有效的检测结果，而声发射作为一种动态下检测缺陷的方法，具有对构件的几何形状无特别要求以及可对构件进行整体检测等诸多优点，完全可应用于阀门壳体质量的控制。

1 检测条件

阀门壳体一般由进口接头、上隔磁环、导磁环、下隔磁环和壳体底座等零件组成，典型结构如图 1 所示，阀门壳体内腔直径一般为 30～40mm，其中进口接头、导磁环和壳体底座是由 Cr17NiTi 软磁合金制成，上隔磁环和下隔磁环的材料为 1Cr18Ni9Ti 不锈钢，各零件通过真空电子束焊焊成壳体组件。

声发射检测采用美国物理声学公司生产的 MISTRAS2001 仪器，采用双探头一维线定位，阀门壳体一端用堵头密封，一头接管嘴，检测条件为 4.5MPa 氮气(设计工作压力为 3.5MPa)，保压时间为 10min，声发射探头置于堵头和管嘴的加工平面上，适当固定，螺纹接口和探头采用适当的耦合剂耦合，以确保良好的耦合性能。检测范围主要是整个壳体身部，重点是焊缝部位。

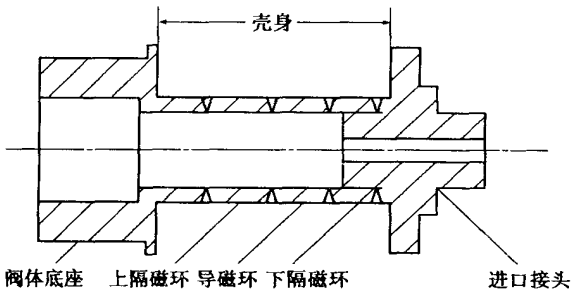

图 1 阀门壳体结构简图

2 检测参数设置

阀门壳体声发射检测参数设置为门槛值 40dB，前置增益 40dB，主放增益 30dB，峰值鉴别时间(PDT) 500μs，波击鉴别时间(HDT) 1 000μs，波击闭锁时间(HLT) 2 000μs，低通滤波 100kHz，高通滤波 400kHz。

3 检测结果分析和评定

检测结果根据声发射源的等级来评定，为此，首先必须准确区分出噪声源的影响，才能对有效的检测数据进行准确的评定。

噪声源根据其产生原因主要有电磁噪声和机械噪声。常见的电磁噪声主要来源于电网干扰，如电源开启及马达突然转动等原因引起的瞬间电压和电流变化，这类信号根据定位和波形特征比较容易区分(图 2)。由于电路中电信号的速度远高于材料中声波信号的传播速度，所以，两个探头几乎是同时收到，时差接近于零，因此，在线性定位图中，该类信号往往位于两个探头距离的中心位置。这类波形类似于图 3，波形的上升时间和持续时间非常短，几乎没有能量计数可言，综合两种图形参数特点，电磁噪声源就可清楚地区分出来。

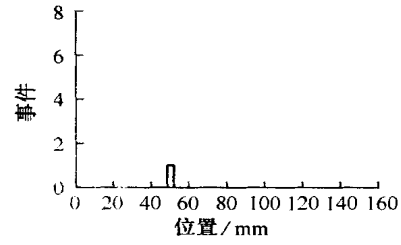

图 2 典型电信号干扰定位示意图

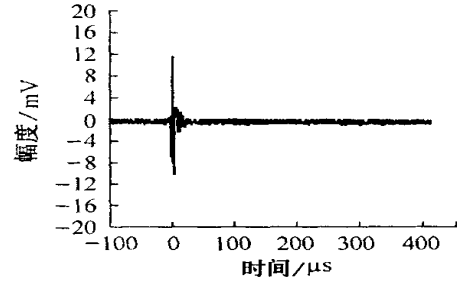

图 3 典型电信号干扰波形示意图

机械噪声的产生原因较复杂，主要有两方面，其一是螺纹结构因耦合发生相对机械滑动而产生的声发射信号。对于这种情况造成的噪声信号可根据定位图分析。这类信号主要产生于加压和保压的前期，由于阀门壳体的螺纹结构位于壳身外侧的两端，不在要求声发射检测的壳身范围内，所以可根据定位图的信号位置来区分，但前提是必须确保定位的准确性并尽量避免反射波叠加的影响。图 4 的声发射信号位于壳身区域以外，不过由于存在声波叠加现象，所以不能仅以此为据，必须综合考虑波形和幅度等各方面特征，图 5 是典型的具有声波叠加特征的波形图。其二是流体的摩擦噪声，主要是加压时气体与阀门壳体内腔的摩擦以及因两端密封状况较差引起的微量泄漏。由于阀门壳体的内腔直径较小，如加压速度过快，氮气流体就会在内腔激发应力波，若触发门槛值就会形成噪声信号，其特征同泄漏信号非常相似，两者均在波形上表现为连续型信号，

© 1995-2004 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

标准分享网 www.bzfxw.com

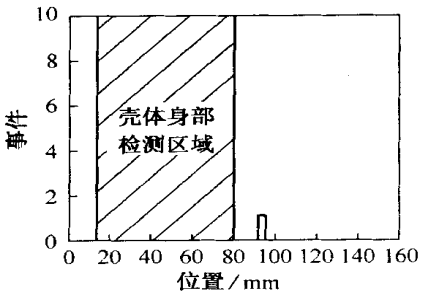

图 4　螺纹区域机械噪声定位图

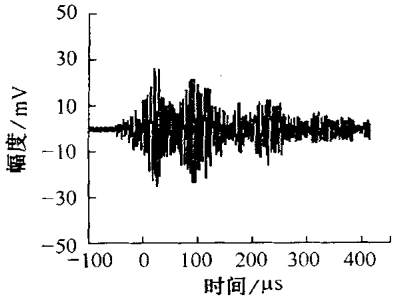

图 5　波形叠加示意图

因此，通过波形图就比较容易区分(图 6)。

在剔除了噪声信号之后，就可根据有效信号的特征参数进行评定和分析，图 7 为典型的缺陷突发性扩展波形。

声发射源的等级划分综合考虑源的强度和活度情况。源的活度等级根据加压和保压过程中检测范围内的事件数分为强活性、活性和弱活性；源的强度

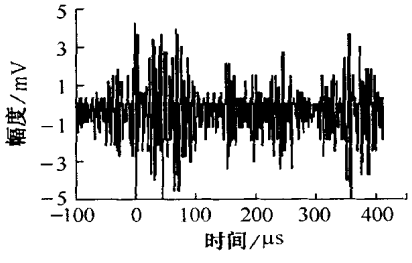

图 6　典型摩擦、泄漏连续信号波形

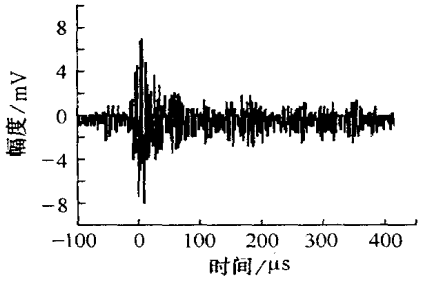

图 7　典型缺陷突发性扩展波形

等级根据声发射源事件释放的平均弹性能分为高强度、中强度和低强度，具体等级划分见表 1 和表 2。综合声发射源的活度和强度等级情况根据表 3 划分为 A，B 和 C 级。根据声发射信号源的综合评定来评定等级，参照表 4 对被检件进行处理。

表 1　声发射源的强度划分表

源的强度等级	源强度 E	源的强度等级	源强度 E
高强度	$E > 80$dB	低强度	$E < 60$dB
中强度	60dB $\leq E \leq$ 80dB		

表 2　声发射源的活度划分表

源的活度等级	源活度	源的活度等级	源活度
强活性	事件计数 > 2	弱活性	事件计数 ≤1
活性	2 ≥事件计数 > 1		

表 3　声发射源的综合等级划分表

强度等级	强活性	活性	弱活性
高强度	A	A	A
中强度	A	A	B
低强度	A	B	C

表 4　声发射检测的评定处理方法

源的等级	处理方案
A	不能用于交付和地面试车产品
B	不可用于交付但可用于地面试车产品
C	综合氦检结果可用于交付产品

4　讨论和分析

在对多种型号的大量阀门壳体进行声发射检测的过程中，有两个问题非常值得探讨和分析。

(1) 定位精度问题　定位精度的准确与否对阀门壳体的声发射检测具有重要的意义。首先，以上提到的排除螺纹部位的机械噪声的前提就是依赖于精确的定位；其次，精确定位可以区分缺陷是处于焊缝部位还是壳体母材部位，有助于返修和缺陷排除；再次，定位精确有助于更有针对性的氦质谱检漏。

阀门壳体的声发射检测采用一维线性定位，时差定位由于受波速(阀门壳体由两种材料组成)和构件形状(整个壳体形状较复杂)等客观因素的影响，精度很难保证。经反复对比和模拟试验，认为相对定位法是解决该问题的有效方法。所谓相对定位，也就是在相同的条件下，缺陷声发射源的位置根据

© 1995-2004 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd.　All rights reserved.

标准分享网 www.bzfxw.com

模拟源的相对位置来确定。具体方法是，在进行声发射检测前，先用铅心模拟源在阀门壳体身部两侧边缘位置分别进行定位(见图 8 和图 9，图中 A 和 B 为模拟定位点，C 点为缺陷位置)，定位时必须保证条件的一致性，尽量用相同的铅心和相同的折断方式，并注意其信号幅度和断裂波形，以防止常存在的小尺寸构件声波叠加造成的定位误差。

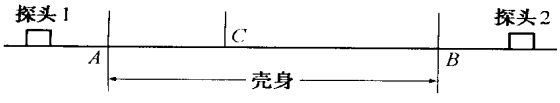

图 8　缺陷位置示意图

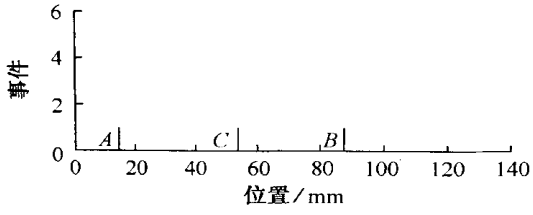

图 9　缺陷声发射信号定位图

模拟源位置确定后，缺陷位置可根据下式得出

缺陷位置相对于模拟定位 A 的距离 =

$$\frac{|AC|}{|AB|} \times \text{壳身实际长度} \qquad (1)$$

式中　$|AC|$ ——缺陷声发射信号定位图上缺陷位置 C 与模拟定位点 A 的距离

相对定位法的优点是无需为模拟定位的绝对准确而通过调整声速等方法反复定位，十分适用于小尺寸复杂构件中缺陷的定位。

(2) 微量泄漏问题　在试验过程中，发现这样一个现象，一阀门壳体在声发射检测时，无论加压时期或保压时段均未发现缺陷信号，但在用气泡法做气密试验时发现在壳体身部有一泄漏点，其泄漏率为平均每分钟四个气泡，为此，适当提高压力再次做声发射试验，并降低门槛值，但结果仍未发现有缺陷信号。在这种情况下，尝试采用对比未加压和加压两种状态下的振铃计数累计曲线斜率的方法来进行检测。首先，把门槛值适当降低，设置为 20dB，先记录未加压时振铃计数相对时间的累计曲线，然后在其它检测状态相同的情况下，对试件加载试验压力，再次记录加载情况下的振铃计数相对时间的累计曲线，然后，比较两张曲线图，分析其斜率变化，如果有相对明显的变化，说明在加载情况下有幅度非常小的声发射信号累计。从理论分析，泄漏的声发射信号是连续波形，不像裂纹扩展等突发型信号本身具有较高的幅度，当泄漏速率非常小的时候，声发射波形本身的幅度就非常低，而且由于壳体壁较薄，声发射波传播时的反射叠加效应也很小，因而阀门壳体中微量泄漏的声发射波的信号湮没于声发射检测仪的本底噪声中，无法区分，用通常设置很难测出。而采用对比振铃计数累计曲线斜率的方法，可以相对提高检测能力。对比试验最终发现，在相似的条件下，气泡法发现的每分钟八个以上气泡的泄漏点用对比振铃计数累计曲线斜率可以测出，也就是说，声发射对于小尺寸构件微量泄漏的检测灵敏度并不高。因此，只有充分结合声发射检测与氦质谱检漏等手段，发挥其各自的优点，才能真正确保阀门壳体的质量。

5　结论

(1) 采用声发射检测手段可以对阀门壳体中存在缺陷的活动状况作出评价，保证危险的活动性缺陷的检出率，弥补了常规无损检测手段的空白。

(2) 声发射检测手段对于阀门壳体中存在的裂纹类扩展信号具有较高的灵敏度，但对于微量泄漏的检测灵敏度相对不高，因此，必须与氦质谱检漏手段相辅相成，充分综合两种检测手段各自的优点，把好阀门壳体的质量关。

(3) 声发射检测手段的应用目前仍然受到各方面因素的制约，诸如理论研究、标准制订和设备开发等，因此，希望相关人员通过不断的尝试，推进声发射检测技术在各个领域更广泛的应用。

参考文献：

[1]　刘国球. 液体火箭发动机原理[M]. 北京：宇航出版社，1993. 465.

本刊 2003 年将扩增版面

为扩大期刊信息量，2003 年起《无损检测》将由 48 页扩增至 56 页，定价不变，仍为 6 元/册，全年 72 元。请新老读者尽快去当地邮政局(所)订阅 2003 年《无损检测》，本刊邮发代号为 4-237。

© 1995-2004 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd.　All rights reserved.