

液体火箭发动机内窥镜检测方法改进

谭松林 王永宏 单黎波

(航天推进技术研究院,西安 710100)

文 摘 为进一步提高内窥镜在液体火箭发动机的工作内腔、焊缝表面、导管内表面的缺陷及多余物检测效果,采用定性与定量方法对缺陷进行了试验研究。内窥镜检测到的缺陷图像转变为数字图像后,可实现对缺陷尺寸实际大小的判别。该研究方法对其它产品的内部质量状况检测也有一定的参考价值。

关键词 液体火箭发动机,内窥镜,检测

Improvement of Endoscope Inspection in Liquid Rocket Engine

Tan Songlin Wang Yonghong San Libo

(Aerospace Propulsion Technology Institute, Xi'an 710100)

Abstract Endoscope is applied to the inspection of the cavity, welding defects, tube inner surface defects and contamination within the inner structure of liquid rocket engines. To get a more effective result, the defects are studied qualitatively and quantitatively. Real size of the defects can be identified through transferring the defect images into digital ones. The method is also valuable to internal quality inspection of other products.

Key words Liquid rocket engine, Endoscope, Inspection

1 前言

液体火箭发动机的一个主要特点是管路复杂、型腔多,且多与检查面成一定角度,目视及其它方法难以发现与度量内部缺陷,采用内窥镜检测是一种现实有效的方法。受内窥镜探头与被检对象的距离、放大倍数、内窥镜探头分辨率、光源照射角度、光照强度、图像畸变程度等多种因素的影响,从内窥镜目镜或显示器上所看到的成像与直接目视检查所观察到的情况存在一定的视觉差异。本研究工作建立在试验的基础上,对内窥镜检查结果进行分析比较,解决内窥镜在发动机检测应用中的定性和定量的判别方法问题,改变内窥镜只“检”而不“测”的现状,使之由“内窥镜检查”逐步实现“内窥镜检测”。

2 改进方案确定

内窥镜检测方法^[1]改进方案的总体思路是选用

一定规格、数量的典型试件进行内窥镜检测,确定缺陷形貌特征;将样件剖切后的检查结果与内窥镜检测结果对比,建立检测结果对比样库或分析图表。以内窥镜检测的各种典型缺陷的检测图像及试样作为标准样件,对实际检测中遇到的缺陷进行定性与定量判别,主要实施步骤如下:(1)记录内窥镜前端至缺陷的距离,通过数码相机和 CCD 摄像头及视频采集卡将检测图像转变为数字图像;(2)利用专业图像软件中的尺寸测量功能,测出缺陷在计算机上显示的相对尺寸;(3)得出缺陷样件在与内窥镜探头不同距离下的相对尺寸与测量距离的关系曲线;(4)对典型试件进行剖切检查,根据剖切的实际尺寸对曲线进行修正;(5)利用修正后的曲线,对产品内窥镜检查中发现的缺陷进行测量。

3 检测试验

收稿日期:2002-07-12;修回日期:2002-08-19

谭松林,1966年出生,博士研究生,主要从事质量管理与材料检测方面的研究工作

宇航材料工艺 2003年 第1期

— 59 —

3.1 缺陷的定性分析

参照行业标准 QJ 2859—96《工业内窥镜操作使用方法与判定规则》中所规定的缺陷判定方法,对裂纹、未焊透、折迭、拉线和划痕、起皮、凹坑、凸起、焊漏、斑点、腐蚀、多余物等缺陷进行了定性试验研究,在其判定方法的基础上对液体火箭发动机缺陷^[2,3]的检测方法进行了完善和改进。

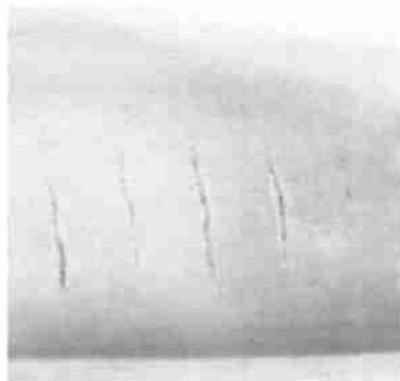
研究发现,对于开口宽度大于 0.1 mm 左右的裂纹,在内窥镜镜头观察角度以及探头与裂纹缺陷距离合适的情况下,可以实现检测目的。研究中还发现 QJ 2859—96 标准中没有对折迭这种缺陷判定的一般方法进行解释和规定。通过试验与分析认为:在内窥镜光束照射下,观察到黑色或亮色不规则连续或断续条纹,在一定的放大倍数下,所观察到的条纹有不规则的边缘,且在其深度的延伸方向呈侧向延伸特征时,应判为折迭,这是对标准的补充和完善。图 1 为用 4.1 mm 光纤内窥镜检测到的发动机 65 mm × 3 mm 导管折迭缺陷与其剖切件的图像。

按照 QJ 2859—96 的判定规则,凹坑、凸起在检测过程中并不难判断,但标准中对凹坑检测的描述在检测浅凹坑时并不一定适用。研究中发现,当凹坑浅时离光源近的部位只有很淡的阴影线,而远的部位却不一定有亮影,如图 2 所示。检测中还发现,当光线的入射角逐渐增大时,其阴影部分(或阴影线)会逐渐减少或消失。

在斑点缺陷的定性观测中发现,在光束照射下,可以观察到与周围基体被检金属色泽不同的无凹陷或凸起块状表面,但不一定会是光滑的,如图 3 所示。这一点与过去的认识不一样。



(a) 检测图像



(b) 实际形貌

图 1 发动机导管内壁上的折迭内窥镜检测与剖切件对比图

Fig. 1 Comparison of the folding endoscope detection and cross-section real structure on the inner surface of the duct

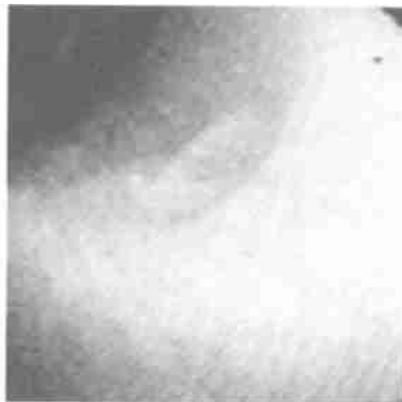


图 2 内表浅凹坑

Fig. 2 Shallow pit on inner surface of material

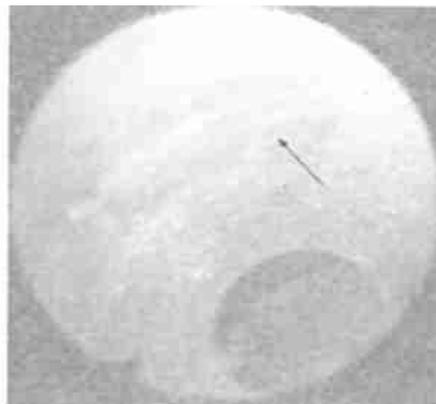


图 3 斑点

Fig. 3 Inspected stain

3.2 缺陷的定量试验^[4]

通过内窥镜目镜观察物体时,内窥镜探头与物体的距离不同对物体有不同的放大倍数,而连接了 CCD 摄像头和视频采集卡将检测图像转变为数字图像后,又对影像进行了一次放大。在图 4 所示的测量方法中,先选择固定的、形状规则的试验件来进行

检测,在内窥镜探头距物体不同距离时对检测的图像进行抓拍,通过 PHOTOSHOP 对图片进行处理,根据所测相对尺寸与焦距,绘制对应的对比关系曲线;最后根据所选固定物体的实际尺寸对曲线进行修正。

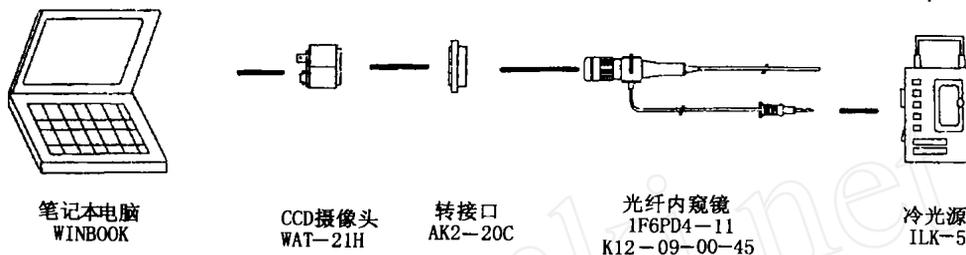


图 4 内窥镜检测实现原理图

Fig. 4 Principle diagram in endoscope inspection

试验样品为金属丝、金属球;样品尺寸()为 0.3 mm、0.5 mm、1.0 mm、2.5 mm、3.0 mm、3.5 mm、4.0 mm;焦距为 2 mm ~ 20mm;仪器选用 OLYMPUS 公司(日本)生产的型号为 K12 —09 —00 —45 的 1.2 mm 针状直杆镜和 1F2D5 —12 的 2.4 mm、1F4D5 —15 的 4.1 mm 的光纤内窥镜。

为避免金属表面的反射光对内窥镜检测图像的影响,提高试验结果的准确性,对试验金属球进行了酸洗处理。酸洗液配方如下:

HNO₃ 60 g/L ~ 90 g/L;
H₂SO₄ 80 g/L ~ 100 g/L;
HF 20 g/L ~ 40 g/L。

用不同规格的内窥镜测量得到的焦距与相对尺寸的关系曲线见图 5 ~ 图 7。

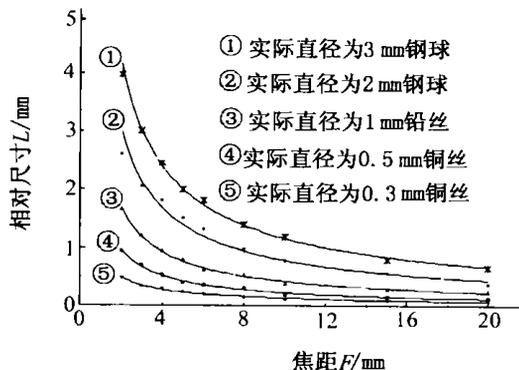


图 6 2.4 mm 的光纤内窥镜定量对应关系曲线

Fig. 6 Relation curve between focus and relative measure by endoscope with 2.4 mm ray

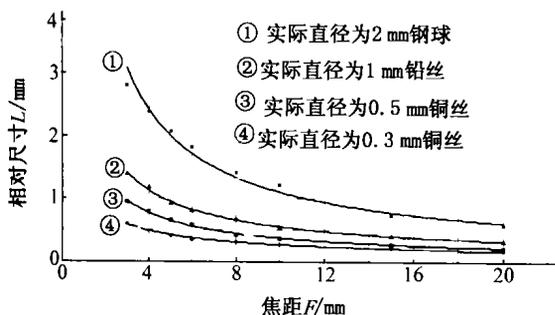


图 5 1.2 mm 的针状直杆镜定量对应关系曲线

Fig. 5 Relation curve between focus and relative measure by endoscope with 1.2 mm needle

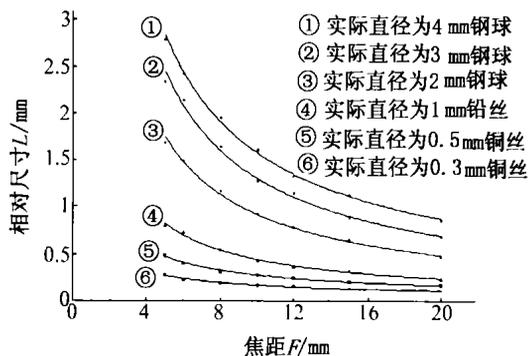


图 7 4.1 mm 的光纤内窥镜定量对应关系曲线

Fig. 7 Relation curve between focus and relative measure by endoscope with 4.1 mm ray

3.3 验证试验

选择有缺陷的典型样件进行验证试验。用内窥镜对样件进行检查,找到观察缺陷最清楚的位置,在显示器的监视下,测量内窥镜探头与被检缺陷的距离(焦距)。用 CCD 摄像头或数码相机对缺陷进行拍摄,经图像处理,并测量其相对尺寸,按所绘制的曲线(图 5~图 7),通过插值得出缺陷的尺寸,再对典型样件进行剖切,测量缺陷实际尺寸,以验证该方法的准确性。表 1 为按上述方法得到的缺陷尺寸与实际测量尺寸的比较结果。

表 1 按曲线确定的缺陷尺寸与实际测量尺寸比较结果

Tab.1 Comparison of predicted defects values by curve with real dimensions

实际尺寸/mm	测量尺寸/mm	相对误差/%
0.30	0.36	+20
0.60	0.70	+16.6
1.20	1.35	+12.5
2.30	2.50	+8.6

4 结果与讨论

(1)不同类型的内窥镜对缺陷的放大效果不同。

(2)内窥镜物镜对缺陷的放大作用随焦距的增加而快速减弱,且不同直径缺陷的减弱程度不同:直径在 1 mm 以下的缺陷,在焦距达到 6 mm 以后,随着焦距的增加,缺陷的放大倍数变化趋缓。

(3)缺陷在 5 mm 焦距内测得的相对尺寸与实际尺寸数值接近。

结果表明,在进行了相应的检测试验、研究分析、剖切对比和曲线修正等工作之后,可以采用小直径光纤内窥镜在较小的焦距下实现对缺陷的测量,缺陷尺寸越大时,其相对误差越小。误差产生的原因受测量距离、边缘的判定和视角等因素的影响,还

需要在实践中进一步摸索。尽管检测结果与实际情形还存在一定的偏离,但已初步实现了对缺陷尺寸的定量检测。

5 内窥镜检测方法改进在发动机上的应用

改进的内窥镜检测方法主要应用于检测液体火箭发动机气路、液路系统的多余物、导管内表面质量、相交孔的毛刺去除、焊缝焊漏及飞溅及毛刺去除情况。实践证明,改进后的内窥镜检测方法在对发动机内表面质量检测、多余物发现等方面有明显效果^[5]。例如对推力室的测压管嘴内翻边毛刺进行了检测,内窥镜用 1.2 mm 针状镜,测量焦距为 5 mm,测得翻边毛刺相对尺寸为 0.4 mm,毛刺的实际尺寸为 0.3 mm。

6 结论

(1)通过积累和制作典型缺陷样件,采用内窥镜检测与样件剖切对比,形成样本库,可实现对缺陷的定性判别。

(2)将内窥镜检测到的缺陷图像转变为数字图像,通过计算机图像处理测量其相对尺寸,并查定量对应曲线,可测量缺陷尺寸实际大小。

参考文献

- 1 QI 2859-96,工业内窥镜操作使用方法与判定规则
- 2 黄立德主编. 发动机制造技术. 宇航出版社, 1990: 452~456
- 3 刘国球. 液体火箭发动机原理. 宇航出版社, 1993: 1~10
- 4 陈国华. 无损检测检出概率和缺陷尺寸分析规律的分析与评述. 无损检测, 1997; 8: 1~4
- 5 Hawnan M H, Calanitis W S. A framework for a space shuttle main engine health monitoring system final report. NASA—CR—185 224, 1990: 2~6

(编辑 马晓艳)

征订启事

需订阅 2003 年《宇航材料工艺》的读者,请速与编辑部联系。

联系电话:(010) 68383269

传真:(010) 68383237

联系人:任涛