

药柱包覆层粘接质量激光全息无损

1 范围

1.1 主题内容

本标准规定了自由装填式固体火箭发动机的药柱包覆层粘接质量激光全息无损检测的检测人员、检测环境、检测技术要求、设备和仪器以及检测程序的要求。

1.2 适用范围

本标准适用于检查药柱包覆层厚度不大于 6mm 的粘接缺陷(脱粘)。检测粘接缺陷的最小尺寸(缺陷灵敏度)以包覆层厚度大小为限。

2 引用文件

GB 7247 — 1995 激光产品的辐射安全、设备分类、要求和用户指南

QJ 2558A — 97 航天无损检测人员的资格鉴定与认证

3 定义

3.1 激光全息术 laser holography

一种以激光为照明光源,使物体光波与参考光波相干涉,从而能被记录材料所记录并能重建(再现)物体光波的成像方法。

同义词:全息照相术

3.2 全息图 hologram

全息照相过程中记录有物体光波的全部信息(振幅、位相)的介质。

3.3 全息干涉计量术 holographic interferometry

在同一张全息图上再现物体光波时,同时观测到物体在不同状态下的物体光波,并且在物体表面附近产生干涉形成干涉条纹的计量技术。

同义词:全息术

3.4 离轴全息术 off-holography

一种物体光波与参考光波不同轴的全息术。

3.5 透射全息术 transmissive holography

一种能以照明光波透过全息图衍射生成物体光波的全息术。

4 一般要求

4.1 检测人员

4.1.1 检测人员应具备符合 QJ 2558A 规定的相关要求,并培训考核合格方可进行操作和检测。

4.1.2 检测人员对受检药柱的材料特性、结构特性以及制作工艺过程应有基本了解。

4.2 检测环境

4.2.1 激光全息实验室

激光全息实验室应符合以下要求:

- a. 实验室应避光良好, 远离机械振动源, 周围环境安静;
- b. 实验室温度应控制在 $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$, 相对湿度不大于 70%, 并能通风换气;
- c. 实验室应具备防尘设施, 并保持室内清洁;
- d. 实验室应有防静电、防漏电设施;
- e. 实验室的有效面积应满足受检药柱的要求;
- f. 实验室应配置暗绿色地脚灯。

4.2.2 暗室

暗室应符合以下要求:

- a. 暗室温度应控制在 $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$;
- b. 暗室应有良好的通风设施;
- c. 暗室应铺设水磨石地面, 水槽要用瓷砖贴衬, 室内配置红绿两种安全灯。

4.2.3 全息图评定室

全息图评定室应符合以下要求:

- a. 室内应安静、整洁, 光线要柔和;
- b. 室内应有评定台, 台上配有输出功率 10mW 以上的氦氖激光器。

4.3 检测技术要求

4.3.1 激光全息无损检测系统稳定性要高。在曝光期间, 光路中每个元器件相互之间必须保持高度的稳定性, 相对位移所引起的光程变化应小于所用激光波长的 $1/8$ 。

4.3.2 全息干板应选用增感峰值为 $0.63\mu\text{m}$, 并具有感光灵敏度高, 衍射效率高和分辨力高的特点。

4.3.3 物光与参考光之间的最大夹角一般不超过 60° 。

4.3.4 物光与参考光之间的最大光程差应小于所用激光器的相干长度。通常取平均物光光程与参考光光程相等。

4.3.5 在全息干板平面上的参考光强与物光强之比一般为 $2:1 \sim 10:1$ 。

4.3.6 利用对比试件选择最佳检测参数确保缺陷区域出现特征条纹。

4.3.7 受检药柱在夹具上安装时既要牢固锁定又要使其受力适度、均匀。

4.3.8 通过调整受检药柱表面与全息干板平面之间的微小倾角, 使物光反射到干板上, 又需避免物光中高反射点(高亮点), 以利对全息图观察和翻拍。

4.3.9 曝光期间应严禁操作人员走动、说话。

4.3.10 曝光量应根据参考光和物光的总光强, 使其控制在干板特性曲线(T-E)的线性区域内。

4.3.11 曝光后的全息干板应按生产厂家的使用说明书进行处理。

4.4 设备和仪器

激光全息无损检测系统一般由全息防振平台、激光器、各种光学元器件及其支架、药柱夹具、全息干板支架或实时复位支架、观察屏、曝光定时器、自动电子快门和真空加载装置等组成。

激光全息无损检测系统经鉴定合格后方能使用。

4.4.1 激光全息无损检测系统

4.4.1.1 全息防振平台

全息防振平台应具有良好的隔振、消振性能, 其稳定性应满足激光全息术要求。工作台面由刚性好、平整、无锈蚀的钢材或铸铁制成。工作台的面积应满足最大受检药柱的要求。

4.4.1.2 激光器

选用连续光波氦氖激光器, 其最小输出功率应根据受检药柱的最大尺寸选择, 一般不小于 50mW, 输出

模式为 TEM₀₀ 模,偏振度(垂直线偏振)优于 1:300,输出功率要稳定,每小时漂移在±5%内。相干长度必须不小于 20cm,激光器电源必须配有交流稳压电源。

4.4.1.3 光学元件及其支架

光学元件包括平面反射镜、各种比例的透射镜、不同放大率的扩束镜,以及连续可调或分级可调的分束镜,其光学特性应与激光器输出波长一致。

光学元件表面应无灰尘、腐蚀及机械损伤,玻璃应无气泡、瑕点。以减少对光能的吸收与散射。

光学元件支架应具有三维调节功能,并牢固地安装在磁性表座上。

4.4.1.4 全息干板支架

全息干板支架应安装在磁性表座上,便于干板安装和锁定。用实时法检测时,采用实时复位支架或采用全息干板原位处理装置。

4.4.1.5 观察屏

采用毛玻璃作为观察屏,用于调整光路。

4.4.1.6 光栏

选用不同孔径的光栏控制杂散光。

4.4.1.7 曝光定时器

应采用自动曝光电子快门作为光闸,曝光时间应能调节。

4.4.1.8 药柱夹具

根据受检药柱的形状、大小以及检测部位设计加工药柱夹具。要求夹具具有良好刚度,能牢固地锁定受检药柱,且装卸方便、灵活、安全。药柱受力均匀而不损伤。夹具应经表面处理,防止锈蚀和镜面反射。

药柱夹具应经实验证实满足检测要求,方可正式使用。

对于较大药柱还应配备起吊、运载设备。

4.4.1.9 真空加载装置(真空室)

真空加载装置的结构可根据受检药柱的形状、大小、表面状况等因素,采用整体药柱的加载装置。该装置必须配备一个可获得气体压力差的系统(如抽真空系统)。其气体压力可以测量、控制。系统应具有良好气密性,保持稳定的压力,操作方便灵活。该装置应有用于全息照相用的透明玻璃窗口。其材质均匀、刚性良好、透射率高。

该装置应有控制药柱侧面翻转的动密封卡环与药柱夹具对接。

4.4.2 暗室设备

暗室设备包括放大机、印相机、上光机、恒温器、显影缸(盘)、定影缸(盘)、切纸刀、曝光定时器、三色安全灯和天平等。

4.4.3 其它设备

实验室应配备如下其它设备:

- a. 135 照相机,并配备变焦镜头,其变焦范围应能满足实时法检测的要求;
- b. 激光功率计,其量程应大于所用激光器的最大输出功率;
- c. 光强探测器;
- d. 光密度计(选用);
- e. CCD 低照度摄像机、监视器及视频拷贝机(选用)。

4.5 设备维护

4.5.1 氦氖激光器的使用和维护,按生产厂家提供的使用说明书执行。

4.5.2 所用的光学元件应配有防尘罩,若有灰尘可用吹气球除去或蘸有少许清洗液(分析级的无水乙醇和乙醚混合液)的镜头纸在镜面上一次单向轻拭。

4.5.3 有关仪表应按规定期定期校验。

4.5.4 备用光学元件应放在干燥器皿内。

4.5.5 全息防振平台的减振系统在 1~2 年应自检一次。

4.6 安全防护

4.6.1 实验室设备应接地良好,防止激光器电源高压触电。

4.6.2 激光光路应设置在高于或低于人眼的水平位置。

4.6.3 在操作过程中,应按 GB 7247 有关规定执行,未经扩束的激光束严禁射入眼体。

4.6.4 检测工作至少二人操作。

5 详细要求

5.1 方法原理

本方法的原理是利用激光全息干涉计量术,通过一幅记录物体受力产生微小变形前后的全息图,可观察到物体表面上的干涉条纹图样。干涉条纹的形状、间距和取向,反映了物体表面变形的位移场分布。受检的药柱与包覆层之间的粘接缺陷(脱粘),在适当的真空载荷(负压)作用下,其表面位移场发生畸变,所对应的干涉条纹因其形状、间距和取向而不同于周围粘接完好的干涉条纹,称作特征条纹,作为粘接缺陷(脱粘)的判据。

5.2 方法要点

利用连续激光器作为相干光源,采用离轴透射全息照相术和全息干涉计量术中的实时法和二次曝光法,并结合选用适当的真空(负压)加载,拍摄受检药柱的全息图,观测有无特征条纹,进行检测。

离轴透射全息术光路分布示意图见图 1。

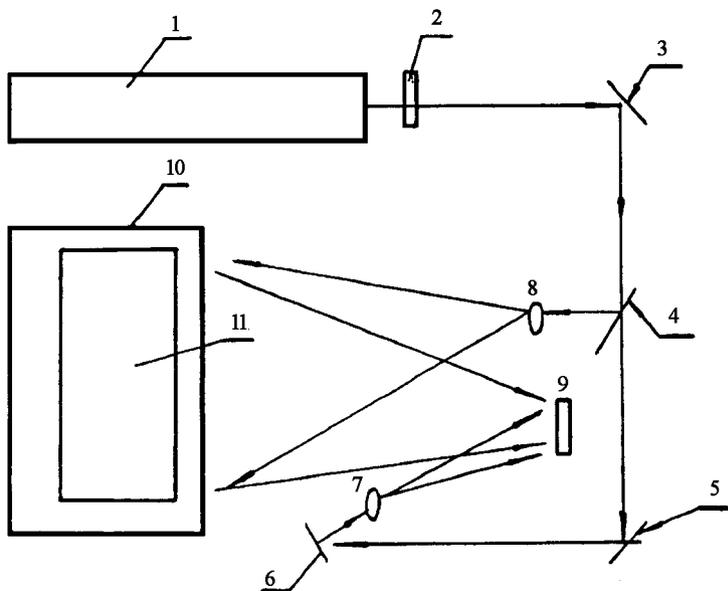


图 1 离轴透射全息术光路分布示意图

1-氦氖激光器;2-光闸;3-平面反射镜;

4-分束镜;5-平面反射镜;6-平面反射镜;

7-扩束镜;8-扩束镜;9-全息干板;10-真空室(配备真空系统及透光窗口);11-受检药柱

5.2.1 实时法

药柱的首次检测,应采用实时法对其对比试件进行检测,以获得最佳真空(负压)加载量。在激光器、记录介质以及其它仪器设备选定的条件下,通过采用对比试件的最佳真空加载量和对干板的曝光量进行选择,以期获得粘接缺陷的特征条纹。

5.2.2 二次曝光法

根据实时法获得的最佳参数(真空加载量、干板曝光量),利用二次曝光法拍摄受检药柱加载前后的全息图。二次曝光法获得的全息干涉条纹的反差大,对比度高,图像清晰,易于判断脱粘特征条纹。

5.2.3 真空加载

将药柱进行真空加载(负压),使其产生微小变形。加载量不得影响受检药柱的性能。

5.3 检测用材料及对比试件

5.3.1 全息干板

5.3.1.1 对每批全息干板抽样测定其 T-E 特性曲线或在不同曝光量下测定其光密度,以确定最佳曝光量。

5.3.1.2 全息干板应贮存在阴凉干燥处,避免光照、受压、过热、潮湿及其它有害气体的浸蚀。也可贮存在冰箱内。

5.3.1.3 全息干板开封使用时,应在暗绿色安全灯下操作、冲洗、加工。用玻璃刀切片时,不应划乳剂面。

5.3.2 处理溶液

采用全息干板生产厂家推荐的处理溶液。

5.3.3 对比试件

对比试件应符合以下要求:

a. 受检药柱应设计制作相对应的人工脱粘试件,即对比试件。对比试件的材料、规格、制作工艺应与对应的药柱相同。人工脱粘试件的设计制作应包含受检药柱可能产生的各种粘接缺陷。对比试件的尺寸采用受检药柱原设计尺寸或缩减原设计的轴向尺寸;

b. 对比试件中所含的缺陷类型、尺寸、分布和模拟方法,应满足药柱技术条件的要求;

c. 制作对比试件时应同时制备两件,其中一件用于解剖验证;

d. 对比试件应作标记妥善保管,防止机械损伤、腐蚀和污染。

5.4 检测程序

5.4.1 准备

5.4.1.1 检查所用设备和仪器、全息干板分别符合 4.4 条、5.3.1 条要求。

5.4.1.2 利用对比试件进行全息照相试照和全息干涉试验,以选择检测最佳参数。确认检测系统的灵敏度和可靠性。

5.4.2 检测

5.4.2.1 将受检药柱安装在夹具上锁定。

5.4.2.2 关闭曝光快门和室内照明灯,将裁好的全息干板安放在全息干板支架上,使乳剂面面向受检药柱。稳定 20s 后,采用实时法或二次曝光法进行检测。

5.4.2.3 采用实时法检测时,全息干板曝光后应在原位进行处理或使用全息干板复位架进行处理。待其干燥后,即可在原光路中对受检药柱进行真空加载实时观察和记录。

5.4.2.4 采用二次曝光法检测时,在两次曝光中间对受检药柱按最佳加载参数加载。

5.4.2.5 按 5.3.2 条规定的溶液对曝光后的全息干板进行处理,待干板干燥后在激光下重建物光波观察所得的结果。

5.4.2.6 根据全息图有无特征条纹来分析判断受检药柱中是否存在粘接缺陷。若发现有缺陷存在,可采用实时、坐标定位和比较的方法在受检药柱上画出特征条纹的外围轮廓,确定缺陷位置、形状及尺寸。必要时,通过有粘接缺陷的全息图重建物光波,并翻拍成普通照片。在照片上画出特征条纹的外围轮廓,即粘接缺陷。根据照片物像放大比例和视角关系,从照片上测试和计算修正确定缺陷面积。

5.4.2.7 整理原始记录,将有关的检测参数记录在装有全息图的纸袋上和检测记录表格内。

5.4.2.8 工作结束后,及时关闭激光电源,断开电闸。清理检测现场,将光学元件罩好。

5.5 检测结果评定

按 5.4.2.6 条确定粘接缺陷位置、形状及尺寸。分析检测误差主要来源,确定误差大小。

5.6 检测记录和报告

5.6.1 检测记录表格可自行设计,一般应包括以下内容:

- a. 受检药柱名称、图号、任务(批次)号、药柱编号、检测文件号和检测编号;
- b. 检测参数、检测结论、检测日期、检测者;
- c. 药柱示意图(有缺陷时采用)。

5.6.2 全息图应装入纸袋保存,纸袋上记录检测编号。

5.6.3 对于无缺陷的药柱,纸袋内只装全息图;对有缺陷的药柱,还须有翻拍的再现像底片和照片一起装袋保存。

5.6.4 检测记录和全息图的保存期限由有关单位自行决定。

5.6.5 检测报告应包括以下内容:

- a. 受检药柱名称、图号、任务(批次)号、药柱编号、检测文件号、报告编号、检测结果与结论、报告日期、检测者、校对、审核;
- b. 加盖检测专用章。

6 说明事项

6.1 固体火箭发动机自由装填式药柱种类较多,外形尺寸差异较大。对于较大的药柱,一次全息照相较困难,可采用双光路或补偿光路拍摄全息图。

6.2 药柱的长径比较大时,可采用柱面镜提高物光照明效率。