

Application of a Defect Localization Formula in Real time Digital Imaging of Solid Propellants

Fengyun Dai

Jiangxi Aerospace Jingwei Chemical Co., Ltd., Ji'an, Jiangxi, 343712, China

Abstract

Radiographic testing, as an important non-destructive testing technique, is mainly used to detect various volumetric defects such as pores, inclusions, cracks, etc. inside the inspected object. Digital real-time imaging technology, as a type of radiographic testing, is widely used in the detection of solid propellants. This article discusses a special situation encountered in the detection of solid propellants using digital real-time imaging, and derives a defect localization formula from this situation.

Keywords

Real time imaging of solid propellant defect localization

一种缺陷定位公式在固体推进剂数字实时成像中的应用

戴风云

江西航天经纬化工有限公司, 中国·江西吉安 343712

摘要

固体推进剂的生产过程中,会产生诸如:气孔、夹杂、疏松、裂纹等缺陷。在固体推进剂的质量控制过程中,射线检测成为一种必不可少的一种质量控制手段。射线检测作为一种重要的无损检测技术,主要应用于检测被检物体内存在的各种体积型缺陷,诸如气孔、夹杂、裂纹等。数字实时成像技术作为射线检测其中的一种,广泛应用在固体推进剂的探伤中。本文讨论了数字实时成像在检测固体推进剂时,遇到的一种特殊情况,由该种情况推导出一种缺陷定位公式,从而不仅对缺陷进行了定性定量分析,还对缺陷进行了定位,为后期的无损检测评价及质量分析提供了依据。

关键词

实时成像; 固体推进剂; 缺陷; 定位

1 引言

固体推进剂作为固体火箭发动机的重要动力来源,其内部的质量直接影响固体火箭发动机的性能。固体推进剂装药内部常见的缺陷主要有气孔、夹杂、疏松、裂纹等。不同的缺陷性质、数量及位置,其危害性也不同。因此,对缺陷的定性定量和定位分析,就显得尤为重要。笔者在实际射线检测过程中,遇到一种较为特殊的气孔缺陷,在认真分析成像原理后,利用不同放大比,求解出缺陷的位置,并给出了定位公式,对于解决相关类似问题,提供一定的参考价值。

2 X射线数字实时成像技术概述

2.1 X射线的产生原理^[1]

X射线管是用来产生X射线的装置。它由阴极、阳极和真空玻璃(或金属陶瓷)外壳组成,其简单结构和工作

原理如下图1-1所示。阴极通过电流加热至白炽状态时,其阳极周围形成电子云,当阳极与阴极之间施加高压时,电子加速穿过真空空间,高速运动的电子束轰击阳极靶,电子被阻挡减速和吸收,其约1%的动能转化为X射线,其余99%以上的能量变成热能,这种产生X射线的现象称为轫致辐射。

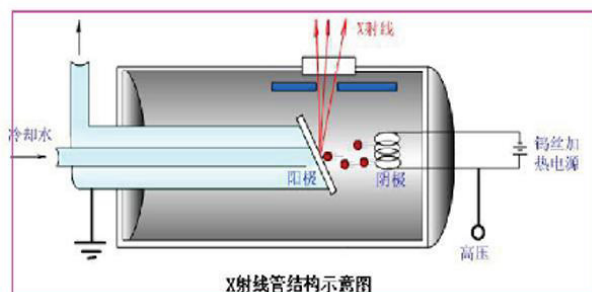


图1-1 X射线管结构示意图

2.2 X射线照相检测的原理

X射线在透照工件时,X射线能量会在工件内部衰减。

【作者简介】戴风云(1990-),男,中国江西吉安人,本科,助理工程师,从事无损检测研究。

因为射线能量衰减程度与工件密度和厚度有关，从而使得有缺陷部位与无缺陷部位对射线能量的衰减程度不同，因而使得透过有缺陷部位与无缺陷部位的射线强度不同。底片的不同黑度反映了不同的射线能量强度，一般来说，黑度越大，则透过的射线能量越高，可通过底片上不同黑度的影像来显示缺陷。如图 1-2 所示。

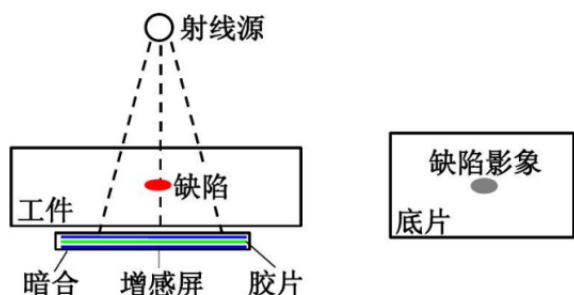


图 1-2 射线照相原理示意图

2.3 数字化成像技术的简介

X 射线胶片成像是一种应用最广泛和最基本的检测方法。由于胶片成像不能满足实时成像、实时检测、实时评估的要求，X 射线实时成像技术便应运而生。它和胶片成像的最大区分就是用射线敏感器件代替胶片成像，转化为人眼直接观测的可见光图像或转换为电信号后在电视或计算机屏幕上观测。

随着计算机技术的发展，伴随着功能强大的图像处理软件和射线探测器的发展，数字图像和实时检测有了更广泛的应用。射线实时成像是将有关 X 射线透照后的信号转换为电信号后输出在电视或计算机屏幕上。目前平板探测器就承担了这个角色，其将 X 射线透照后的信号转换为电信号后输出在计算机屏幕上，屏幕能够实时的显示工件透照后的图像^[2]。

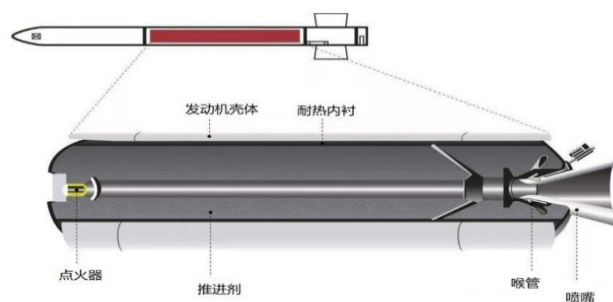
3 固体推进剂概述^[3]

固体推进剂是一种具有特定性能的含能复合材料，是导弹、空间飞行器的各类固体发动机的动力源，是固体火箭发动机的动力源用材料，在导弹和航天技术发展中起着重要的作用。在固体推进剂生产的过程中，有可能会产生夹渣、气孔、裂纹等体积型缺陷。因此，X 射线检测方法在检测固体推进剂内部缺陷具有得天独厚的优势，故而成为固体推进剂检测当中必不可少的检测方法。

发动机是由壳体、耐热内衬（绝热层、衬层）、固体推进剂、喷管及点火装置组成，如下图 2-1 所示。

X 射线检测主要检测固体推进剂中：壳体与绝热层的粘接情况、

衬层与固体推进剂的粘接情况、固体推进剂内部情况等。



2-1 发动机构造图

4 公式的推导概述

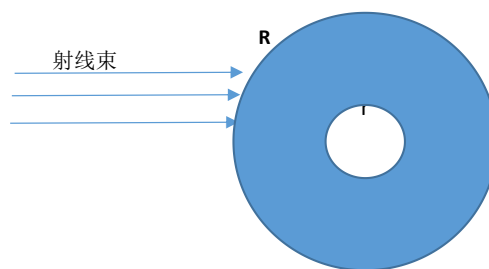
4.1 检测情况概述

X 射线机为固定式射线机，平板探测器也固定在射线机对面，故而焦距不可调。固体推进剂为圆柱状，将固体推进剂吊装至射线机与平板探测器之间的支撑滚轮上，滚轮轮距可变，但轮距中心位置不变。检测示意图如图 3-1 所示。

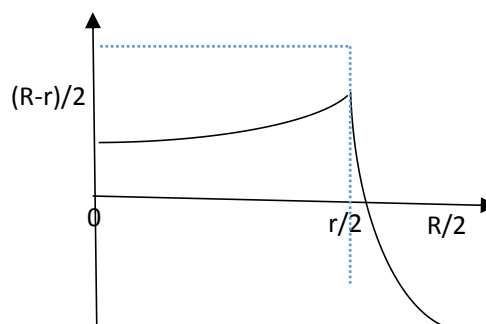


3-1 检测示意图

当固体推进剂中心存在通孔时，射线束穿过推进剂时（如图 3-2 所示：通孔直径为 r ，推进剂直径为 R 。注：通孔圆心与推进剂圆心重合），考虑到对称性，以上部分为模型，0 点以水平方向为基准，射线透照的厚度具有如图 3-3 所示变化。



3-2 具有通孔的推进剂截面示意图



3-3 射线透照厚度示意图

从 3-3 所示图中可知,当射线以通孔相切时,透照厚度最大,此时该方向上的缺陷检测灵敏度最低。当推进剂内存在一个靠近通孔的缺陷时,此时将缺陷旋转至与通孔圆心水平时,检测灵敏度最大,如果此时的灵敏度已经是系统的临界灵敏度,则缺陷只能在此位置发现。

在实际情况中,使用 450kV 射线机进行 X 光探伤时,出现一种扁平状气孔,当该气孔在固体推进剂通孔成像区域时,该气孔能够被发现,在其他位置时,则不能够发现。



3-4 气孔影像在推进剂通孔中心

记录气孔在靠近探测器时的直径 L ,在射线源侧时的成像直径 L' ,已知焦距 $F=800\text{mm}$,通孔中心到探测器距离为 $D_f=225\text{mm}$,则 $x=\frac{(F-D_f)(L'-L)}{L'+L}$, x 为缺陷到通孔中心的距离。

在实际测量中 $L=12\text{mm}$, $L'=18\text{mm}$,将以上数据代入公式可得 $x=115\text{mm}$ 。此时,气孔的位置为:距通孔中心 115mm,即完成气孔的定位。

该定位公式适合于在检测中心有通孔的圆柱体,在检测该类工件时,因透照厚度的变化,导致不同旋转位置,检测的灵敏度不一致,导致只有在某特定部位才能检测出的情况。

5 结语

众所周知,固体火箭发动机工作失效将带来灾难性事

4.2 实施方法

1. 在探测器中心位置贴上“Z”形铅字;
2. 调节射线机与探测器位置,使探测器中心、通孔中心、射线机焦点处于同一水平线上,然后打开射线机;
3. 将固体推进剂旋转,使得气孔在探测器上的影像在通孔中心,如下图 3-4 所示:

旋转固体推进剂 180° ,气孔在探测器上的影像再次在通孔中心,并且被放大或缩小,如图 3-5:



3-5 气孔影像再次在推进剂通孔中心

故和巨大的社会、经济损失。X 射线检测经过多年的发展,已经成为降低和规避固体火箭发动机质量风险行之有效的方法,是提高和稳定发动机质量的重要手段^[4]。笔者针对上述特殊缺陷,进行了原因分析,并成功解决该缺陷的定位难题,有一定的实用价值。

参考文献

- [1] 罗余庆.焊接缺陷X射线实时成像检测系统的研究[D].辽宁工程技术大学,2002.
- [2] 程耀瑜.工业射线实时成像检测技术研究及高性能数字成像系统研制[D].江苏省:南京理工大学,2003.
- [3] 李涛,张乐,赵锴,等.固体火箭发动机缺陷分析及其无损检测技术[J].无损检测,2006,(10):541-544.
- [4] 贾庆龙,曹勤峰,陈永钊,等.固体火箭发动机燃烧室射线检测缺陷评判与典型影像[J].兵工自动化,2014,33(05):78-83.