

复合材料压力容器无损检测研究

陈一亮 张钊源 吕显威 祖梦雪

山东省特种设备检验研究院有限公司 山东 济南 250000

【摘要】：复合材料压力容器主要是在航空航天领域中使用，从其构成上来看，包括三个部分，即金属内衬、纤维和树脂。压力容器的类型也比较多，有圆筒形、矩形，还有球形。其所具备的优点在于，重量非常轻，有很高可靠性，具有安全失效模式。要保证复合材料压力容器很好地发挥其性能，就要做好检测工作，及时发现内部所存在的缺陷和损伤。采用无损检测技术，在检测的过程中能够避免造成压力容器损伤，因此被广泛使用。本论文着重于研究复合材料压力容器应用无损检测技术的有效方法。

【关键词】：复合材料；压力容器；无损检测技术；有效方法

Research on Nondestructive Testing of Composite Pressure vessels

Yiliang Chen, Zhaoyuan Zhang, Xianwei LV, Mengxue Zu

Shandong special equipment inspection and Research Institute Co., Ltd., Shandong Jinan 250000

Abstract: composite pressure vessels are mainly used in the field of aerospace. From the perspective of their composition, they include three parts: metal lining, fiber and resin. There are many types of pressure vessels, including cylindrical, rectangular and spherical. It has the advantages of very light weight, high reliability and safe failure mode. To ensure that the composite pressure vessel can give full play to its performance, it is necessary to do a good job in testing and find the internal defects and damages in time. Nondestructive testing technology can avoid damage to pressure vessels in the process of testing, so it is widely used. This paper focuses on the effective method of applying nondestructive testing technology to composite pressure vessels.

Keywords: composites; Pressure vessel; Nondestructive testing technology; Effective method

引言

复合材料压力容器有一个重要要求，就是减重，在对先进航天系统进行研究的过程中，这也是需要重点解决的问题。复合材料压力容器要实现轻量化，就需要将系统的重量最大程度地减轻，航天设计人员以及研究复合材料人员要将此作为重要目标。复合材料压力容器轻量化不仅是中国加大研究力度的项目，发达国家也将其作为重点科研课题。在复合材料压力容器研究过程中，无论是材料、结构以及所采用的制造工艺技术、试验操作以及对于测试结果的评价等等，都不断产生新成果^[1]。复合材料压力容器实现轻量化的同时，还要注重其损耗程度，如果在使用中出现问題，就要及时发现。所以，采用科学有效检测技术是非常必要的。无损检测技术的应用，不仅可以保证检测结果准确，而且还可以确保检测过程中不会损坏压力容器。

1 复合材料压力容器应用无损检测技术的重要性

1.1 压力容器的未来发展方向

航空领域多年以来使用的安全寿命设计理论已经被取缔，当前普遍应用损伤容限理论。在制造复合材料压力容器以及使用的时候必然会产生损耗，因此导致缺陷发生。如果对于问題没有及时解决，压力容器就不能发挥其应有效果，这也是压力容器容易产生事故的一个重要原因。对于压力容器损伤情况进行评估，无损检测技术是比较好的方法，能够对压力容器性能有效评价，对于压力容器无法发挥性能的情况准确做出判断^[2]。

1.2 无损检测技术的应用意义

金属压力容器具有很高的可靠性，这是因为压力容器所使用的是复合材料，提高了其性能，尤其是纤维缠绕技术不断发展，对于先进复合材料的研究快速推进，金属内衬复合压力容器的研究也获得了显著成果^[3]。这种压力容器在航空航天领域广泛应用，质量轻，强度高，由于无损检测技术的应用，在不会损坏设备情况下进行检测，压力容器存在缺陷可以及时发现，以快速解决，保证其具有良好的可靠性，使用寿命长。

2 无损检测技术应用于复合材料压力容器的有效方法

复合材料压力容器检测的过程中应用无损检测技术，比较常用的检测技术为六种，即超声波检测技术、声-超声检测技术、声发射技术、涡流检测技术、射线检测技术、红外热波检测技术。这些检测技术都各有优点和不足，具体如下：

2.1 超声波检测技术

在对复合材料实施无损检测的时候，超声波技术的应用最为广泛。该技术应用过程中，主要采用的方法是使用换能器将超声波发射给被检测构件，当遇到缺陷区域时候，会出现反射现象和衰减现象，或者产生共振现象，这些与正常区域的超声波反射都存在不同，通过对差异进行分析，就可以对材料内部所在缺陷位置加以确定，还可以明确缺陷的规格。损伤的超声波信号可以通过超声仪显示出来，检测人员对信号进行分析，

结合材料所具备的特点以及检测经验就可以对缺陷所属类型进行判断。(图1: 超声波检测示意图)

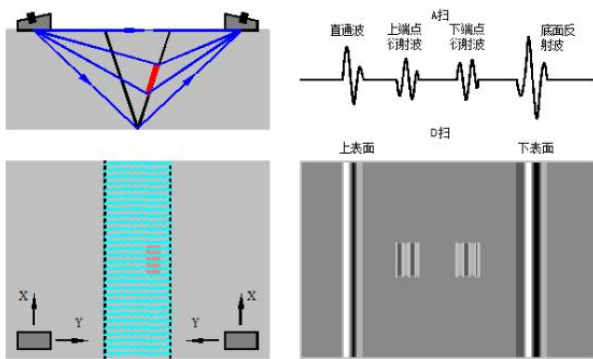


图1 超声波检测示意图

复合材料结构以及构建存在的缺陷,应用这种技术可以有效检测,比如,结构内如有孔隙、裂纹,或者产生分层的现象,应用该技术都能够及时发现。该技术的应用过程中有很高的灵敏度,对于缺陷准确定位,还可以掌握其分布情况。该技术的操作不是很复杂,但是也存在不足,即实施检测的时候要合理使用耦合剂,这样就会降低检测效率。在使用探头的时候,不同类型缺陷需要使用不同规格的探头,检测人员还要有较高的技术水平,有丰富的检测经验,才能获得良好的检测效果。

2.2 声-超声检测技术

所谓的“声-超声技术”即为应力波因子技术,在应用超声波的时候,还要结合使用声发射技术。当检测复合材料压力容器裂纹以及接头位置的时候要结合实际情况,采用这种检测技术可以获得良好效果。实施声-超声检测的时候,压力容器表面进行超声脉冲波发送的时候使用宽带传感器,能够重复发射,另外一个传感器放置在容器的同一侧,与发射传感器之间保持规定距离,发射超声脉冲沿着容器壁进行传播,就会有应力波形成,得以有效接收。如果复合材料压力容器所使用材料是胶粘的,或者为多层,应力波接触大型容器材料边界表面之后,进行不断重复反射,与胶接层之间相互作用,就可以获得内部微结构信息以及有关组织性质方面信息^[4]。声-超声测量过程中所获得的结果如果不准确,会被传感器布置方式所影响,有关影响因素还包括传感器运行过程中所产生的压紧力、发送装置和接收装置所具备的性能等等。

声-超声检测与声发射技术存在很大差异,其对声源所在位置以及具备特征并不关注,而是重点监测构件中所存在的细微缺陷。声-超声能够提供的信息多种多样,包括复合材料分层现象,孔隙以及胶接结构是否存在脱粘问题等等,能够有效评估材料的完整性。但是,该技术也存在不足,如果是单个缺陷或者比较分散的缺陷就没有较高敏感度。

2.3 声发射技术

应用声发射技术实施检测的时候,可以了解压力容器中所

存在活性缺陷,使用一些比较固定的换能器,当容器加载的时候,通过所获得的动态信息就能够判断活性缺陷。在确定缺陷位置的时候,就可以采用时差定位方法,还要结合使用区域定位方法和次序冲击方法,不需要扫描整个构件就可以达到预期效果。在应用该检测技术的时候,如果为测试物体本身能量,在外部因素影响下对结构产生影响导致的损伤信号能够及时获得,可以实施在线监测,还可以预测即将破坏的位置以及程度,其具有很好的检测灵敏度。如果构件的缺陷范围不大,且构件形状复杂,采用这种检测方法是比较有效的,而且检测结果不会被环境所影响,即便是非常恶劣的环境也可以实施检测操作。但是,该技术对缺陷定位的时候,会出现不准确的现象,这是其不足之处^[5]。在应用声发射技术时,还要结合数据分析,运用检测设备的时候可以实现数字化检测,且不会产生噪声。

2.4 涡流检测技术

涡流检测技术所采用的是电磁感应原理,可以对导电材料表面缺陷以及近表面缺陷准确定位。如果需要检测的压力容器为多层复合材料缠绕铝内衬,检测其损伤的时候应用该技术,采用压力循环试验方法,当容器椭圆形封头位置有裂纹的时候,使用该技术能够准确检测。复合材料压力容器的厚度通常为6 mm,壁厚是3 mm,包括纤维复合材料和铝内衬,在检测的过程中将频率分别设定在100 Hz和7 Hz,如果有裂纹,都能够探测到^[6]。涡流检测技术的优点在于,对于超过10层的复合材料进行无损检测,采用这种方法是非常有效的。

应用涡流检测技术进行检测的过程中,能了解材料中碳纤维纤维含量以及与界面之间所存在分层问题和脱粘问题,对于金属材料所存在的翘曲变形问题也能够进行检测。但是,这种检测技术也存在不足之处,在检测的时候要与标准试件之间进行对照,才能明确检测结果。

2.5 射线检测技术

其一,工业CT技术。在检测固体火箭发动机质量的时候应用该技术,对于绝热层以及药柱所存在的缺陷都能够检测出来,比如,气孔问题、夹杂问题、脱粘问题以及裂纹问题等等,其灵敏度是非常高的,而且对其规格以及部位都能够准确测定^[7]。在对固体火箭发动机进行检测的时候可以多界面实施,所获得的检测结果不仅直观,而且具有较高的可靠性。但是,该技术的应用存在一定局限,就是所使用的设备非常大,需要消耗较高的成本,而且检测速度慢,效率不是很高。应用射线检测技术实现双侧透射成像,不适合应用于大型构件的现场检测,而且工作人员会被射线所伤害。

其二,射线康普顿散射成像技术。康普顿散射的重要特点是,能够做到单侧非接触检测,在短时间内实现三维成像,有较高灵敏度,并且不会受到被检测构件形状和规格的限制。国外航空航天领域已经开始应用该技术,中国则较少使用。在对

固体火箭发动机结构进行检测的时候应用该技术,可以实现分层检测,即便是 0.15mm 的分层间隙也可以准确检测出来。

2.6 红外热波检测技术

红外热波检测技术的应用中,主要采用的方法是对被检测试样使用外部热源进行加热处理,被检材料经过加热之后,根据其内部热学性质所存在的差异,就会在试样表面部分区域有温度梯度产生,也就是表面不同区域所吸收的热量不同,当表面有红外辐射产生的时候,能力上存在明显不同,此时将红外热像仪合理运用,对被检试件进行探测,了解辐射的分布情况,对热图上所呈现出来的缺陷进行分析,就可以对内部所存在缺陷进行准确判断^[8]。

外热波无损检测技术所具备的优点在于,不需要与被检测对象接触,可以做到实时检测,而且检测的结果直观呈现。如果检测对象的规模比较大,平方米量级的检测可以一次性完成,所获得的结果能够采用自动拼图处理方式,包括缺陷深度以及厚度都可以直接测量,即便是表面下面也可以准确识别,检测技术操作不是很复杂,各种类型的构件都可以在现场实施

检测,还可以进行在役检测。

该技术有诸多的优点,在检测的过程中也存在局限,就是缺陷如果有一定的深度,就无法获得准确的检测结果。从其检测分辨率来看,要比超声扫描低一些,如果是对金属进行检测,对于其表面要做好抗反射处理工作,而且检测中环境温度是重要的影响因素,要采取措施规避。

3 结语

通过上面的研究可以明确,复合材料无损检测技术不断完善,不仅要保证质量,还要加快检测速度。无论是哪一种检测技术,都要具有非接触性,充分考虑到各种干扰因素以及环境温度场分布情况,明确所带来的负面影响,确保不会对复合材料结构造成损坏。本研究中,明确复合材料压力容器应用无损检测技术的重要性,提出无损检测技术应用于复合材料压力容器的有效方法,主要介绍各种检测技术的优势以及所存在的不足,这就需要在检测过程中根据需要合理应用,还可以将各种检测技术结合使用,确保检测效率高、效果好,对于缺陷能够精确定位。

参考文献:

- [1] 胡嘉蓉,汪洪量,卢新亮.无损检测技术在飞机复合材料修理中的应用[J].科技创新与应用,2020,000(21):14-15.
- [2] 张园园.射线检测在复合材料无损检测中的应用[J].河南化工,2021,038(10):2.
- [3] 贾宝栋.无损检测技术在复合材料缺陷检测中的应用分析[J].冶金与材料,2021,041(1):29-30.
- [4] 詹绍正,王丹,宁宁.航空复合材料结构无损检测对比试块的研制[J].无损检测,2021,043(11):60-61.
- [5] 凡丽梅,董方旭,段剑,等.非接触式无损检测技术在复合材料中的应用[J].兵器装备工程学报,2021,042(2):56-57.
- [6] 陈焕道,汪玉珍,穆思明.浅谈复合材料压力容器及其相关问题[J].汽车世界,2020,000(5):69-70.
- [7] 刘松平,刘菲菲,章清乐,等.SiCf/SiC 复合材料无损检测与评估技术进展[J].航空制造技术,2020,063(19):64-65.
- [8] 顾付伟,顾周越,朱晓磊,等.一种无焊缝连接金属内衬复合材料压力容器的制备工艺及其液压实验[J].复合材料学报,2021,000(4):87-88.