

# 纤维缠绕壳体声发射检测技术研究

熊建平 王晓勇

(江北机械工程有限公司, 孝感 432000)



**摘要:** 阐述了纤维缠绕壳体的声发射检测的特点, 对受力状态下的纤维缠绕壳体声发射检测数据结果进行了分析, 研究表明采用声发射技术可以对纤维缠绕壳体的整体稳定性做出判断。

**关键词:** 纤维缠绕; 声发射检测; 受力; 稳定性

## Research on Acoustic Emission Testing for Filament-wound Case

Xiong Jianping Wang Xiaoyong

(Jiangbei Machinery Engineering Co., Ltd., Xiaogan 432000)

**Abstract:** Characteristics of acoustic emission (AE) testing technique for filament-wound case are expounded and AE signals of filament-wound case during compressive loading are analyzed. It shows that acoustic emission contributes to judge the whole stability of filament-wound case.

**Key words:** filament-wound; acoustic emission testing; force; stability

### 1 引言

声发射是材料在应力作用下, 产生变形或缺陷扩展伴随弹性波产生的顺态弹性波现象, 例如疲劳损伤、塑性变形等状态下均会产生声发射。声发射检测的基本原理是采用传感器接收并显示声发射信号, 通过分析信号分布、变化趋势、信号强弱等特征来对工件的稳定性做出判断。声发射检测属于无损检测的一种, 自无损检测应用于工程质量控制以来, 就与材料研究、工艺研究、工程设计、工程应用、过程监控等生产实际紧密联系。声发射检测是近年发展起来的一种动态无损检测技术, 这种检测方法与其它无损检测技术存在较大差异, 它采集到的数据是工件或设备在受力作用下或使用过程中材料形变、开裂、腐蚀、纤维断裂等产生的声发射信号, 不同的材料所产生的声发射信号的强弱、数量、趋势是不一样的。通过研究

复合材料结构件的声发射特点, 进而了解和掌握我厂生产的复合材料结构件内部质量的稳定状况, 这对提高发动机壳体和整个武器系统的质量可靠性十分有益。

### 2 纤维缠绕壳体可能出现的缺陷类型

#### 2.1 结构特点

复合材料是两种或两种以上不同材料通过粘接、焊接、浸制、缠绕等加工方法而成的, 将作为连接相的物质称为基体, 将分散相的物质称为增强材料, 通常的增强材料有碳纤维、玻璃纤维、玻璃粒子等; 基体有树脂、金属、陶瓷等, 复合材料种类繁多, 按照不同的分类方法又会有不同的类型。复合材料是由两种以上不同材料构成的, 所以它在物理性能、化学特性、缺陷种类、缺陷的形成和破坏机理等方面与金属

材料都有较大的差异,这也是造成复合材料质量较难控制的一个重要原因。纤维缠绕壳体所采用的纤维增强材料大部分为碳纤维和玻璃纤维,连接相为环氧树脂。

## 2.2 主要缺陷种类

纤维缠绕壳体和其它复合材料件一样,在其制造和使用过程中,不可避免地会产生各种各样的缺陷,复合材料缺陷种类较多,而且有些是复合材料所特有的。纤维缠绕壳体可能存在以下几种缺陷种类。

### 2.2.1 分层

分层是工件缠绕过程中,缠绕层和绝热层之间、缠绕层与缠绕层之间少胶或缺胶,导致层与层之间不能完全粘合时所出现的空气间隙性或紧贴性缺陷,这种缺陷危害性较大,大大降低了结构件的强度。

### 2.2.2 脱粘

缠绕层和绝热层之间,胶粘剂涂敷不均或缺胶,致使缠绕层与绝热层之间粘接不良或完全分离。

### 2.2.3 气孔或气泡

气孔是复合材料固化过程中,气体没有完全排出来,成型后仍留在工件内所形成的缺陷。

### 2.2.4 纤维断裂

纤维断裂是复合材料在缠绕、固化过程中或应力作用下纤维受拉应力过大造成的。纤维断裂有单束纤维断裂和多束纤维断裂,单束纤维断裂在纤维制品中比较常见,一般情况下对制品的性能影响不大,而多束或多股纤维断裂将使制品的强度大大降低。

### 2.2.5 基体材料不均匀

这种缺陷主要是由于复合材料中的连接相和分散相在浸制、缠绕、固化等工序过程中连接相添加不均匀、产生滑移或生产工艺不当造成的。基体材料不均匀将造成结构件的强度下降,耐烧蚀性也会变差,主要体现为贫胶、富胶。

### 2.2.6 夹杂

夹杂包括金属夹杂和非金属夹杂,夹杂缺陷主要是由于原材料夹带进去或模具没有清理干净而产生的。对于纤维缠绕壳体,一般来说金属夹杂的破坏性更强,金属夹杂的存在将大大降低制品的耐热性能。

### 2.2.7 基体开裂

这种缺陷主要是由于工件在外力作用下或结构性问题导致基体相开裂。

复合材料不同的结构形式有不同的缺陷种类,有的缺陷种类与金属制品的缺陷不一样,这些缺陷中大部分是复合材料所特有的,另外,复合材料件是非均

匀性材质,具有各相异性,造成了复合材料缺陷种类的多样性和复杂性。

## 3 纤维缠绕壳体声发射特点

复合材料的缺陷种类具有多样性,材质也不均匀,采用无损检测方法对其进行内部质量检测时,不同的检测方法有其自身的优点和局限性。X射线检测法对复合材料件中的夹杂、疏松、气孔、基体材料不均匀等缺陷有较理想的检测效果,但对分层、方向性很强的裂纹检测效果差;超声波法对分层、疏松、气孔等缺陷检测效果较好,但对夹杂物、纤维断裂等缺陷检测效果差;激光全息法对分层、裂纹等缺陷检测效果较好,但对夹杂物、纤维断裂等缺陷检测效果差,而且只能检测工件近表面缺陷。所以,对于纤维缠绕壳体的无损检测,采用哪种检测方法要根据制品的生产制造工艺和可能存在的缺陷类型来选择,这样才能达到更好的检测效果。

声发射检测是一种整体性无损检测技术,它可以实时监测工件在应力作用下的稳定性和工件内部存在的活动性缺陷,这些优点是其它无损检测方法所不具备的,对于产品整体结构稳定性方面有很好的检测效果。纤维缠绕壳体在应力作用下所产生的声发射信号包括基体开裂、纤维断裂、分层、活动性缺陷扩展等大量信息,怎样区分不同声发射信号所对应的缺陷类型和严重程度是纤维缠绕壳体声发射检测的重要方向。

2006年,我厂采用声发射技术对纤维缠绕壳体的压力试验过程进行了检测,采用的检测设备是美国PAC公司生产的SAMOS型16通道声发射检测系统,前后封头各布置6个传感器,直线段布置4个传感器,传感器及信号分布如图1所示。

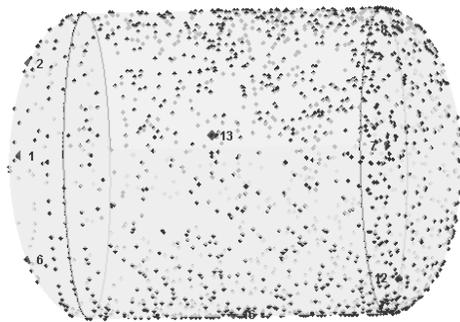


图1 信号分布图

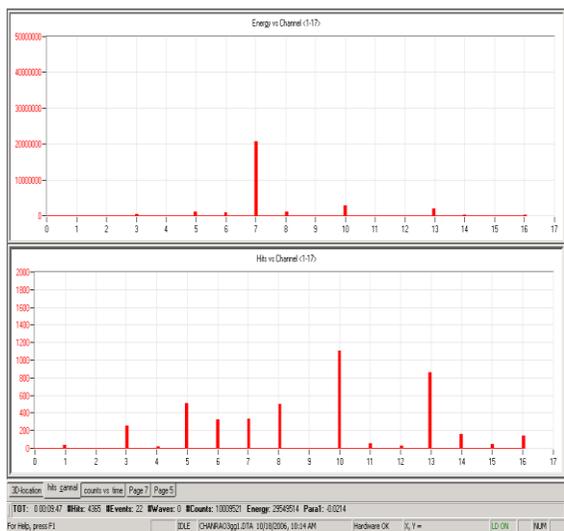


图2 各通道信号统计图

试验过程中共采集到 156225 个声发射信号，从信号分布图上看，无明显信号密集区，壳体从柱段中心到后封头的后半部声发射事件相对前半部多，表明此台壳体的整体强度比较均匀，但壳体后半部强度相对前半部强度偏低，特别是后封头与柱段连接部位。图2是各通道信号统计图，上半部分是信号能量图，下半部分是信号总量图，通过观察图2可以判断各通道附近区域的信号情况，判断壳体哪部分出现的声发射信号数量多且能量大，这说明该区域相对不稳定。

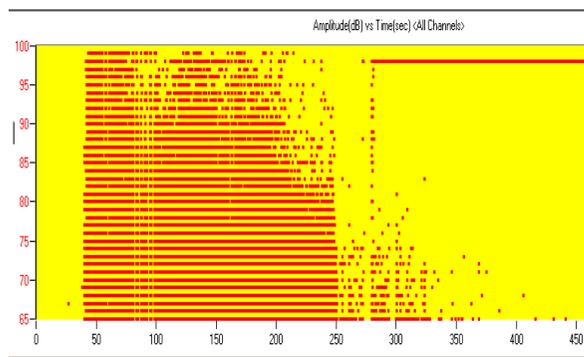


图3 信号幅度图

图3为信号幅度图，在加压过程中，0.6MPa前没有声发射事件产生，加压至40s时开始出现有大幅度的声发射事件，幅度为98dB，记数率非常高，之后加压60~120s声发射事件有所减少，高幅度信号数也有所减少，250s后声发射信号数量大大减少，而且信号幅度都较低，280s后基本上只有幅度在90dB的信号。

可以看出，缠绕壳体在开始加压时，由于压力的作用，有大量的声发射事件产生，随着壳体应力的释放，壳体的性能趋于稳定，声发射事件逐渐减少，说明声发射信号数随压力的增加变化是收敛的，壳体的整体性能较好。纤维缠绕壳体的声发射检测有以下几个特点。

a. 纤维缠绕壳体的破坏形式与金属件有明显的区别，它的破坏过程通常是区域性细小缺陷的累积，破坏过程积累到一定程度后产生屈服，而不象金属材料是单个缺陷的扩展、延伸直至屈服的过程，所以采用声发射技术检测复合材料有较明显的优点。

b. 不同缺陷类型在应力作用下激发的声发射信号有不同的强度，一般来说纤维断裂信号强度 $\geq$ 基体开裂信号强度 $\geq$ 脱粘信号强度，所以，可以依据这个特点来大致判断工件内部可能存在的缺陷类型。

c. 纤维缠绕壳体声发射检测信号数量明显比同尺寸的金属件要多，这是由于复合材料件所产生的声发射源多，纤维断裂和滑移、基体开裂、分层等情况下都会产生声发射信号。

d. 纤维缠绕壳体对声波的衰减严重，在检测时传感器之间的间距不能超过1000mm，所以检测纤维缠绕壳体时声发射设备的通道数量要多，一般是检测同类型金属件的2~3倍。

## 4 声发射检测技术用于纤维缠绕壳体检测

纤维缠绕壳体的破坏一般是区域性破坏的一个累积过程，而不象金属材料是单个缺陷延伸、扩展至破坏的过程，因此适用于金属材料质量静态检测的方法不一定适用于纤维缠绕壳体的检测。而声发射检测技术因其自身特点已成为研究纤维缠绕壳体破坏、断裂机理的重要方法。

### 4.1 优点

a. 它是一种整体动态无损检测技术，通过按一定阵列布置少量固定不动的传感器，声发射仪就可获得被检对象中声源在检测过程中的一切活动信息，具有实时、在线的特性。而且声发射信号来自缺陷扩展激发的声波信号，所以声发射技术可以监测最有害部分缺陷的动态特征，也可以提前预报。

b. 除极少数材料外，各种固体材料都有声发射现

象,这一特点为声发射技术的应用提供了一个广阔的发展空间。

c. 对在役压力容器定期检验,声发射检验方法可以缩短检验的停产时间甚至不需要停产,节省生产成本。

d. 对工件的几何形状不敏感,尤其对大型结构件,可以发挥它一次整体性检测优点,完成其它无损检测方法无法实现的形状复杂工件的检测。

e. 通常利用声发射检测所花费的时间为常规检测的 1/5 左右,所需的材料费相对低很多,并能够大幅度缩减维护费用,同时还可以降低检测人员的劳动强度。

#### 4.2 缺点

a. 对于某些部件的检测,声发射检测技术在检测结果的定论上还不成熟,因而不利于声发射检测技术的实际应用和推广,而这也正是声发射检测技术领域研究的方向。

b. 声发射检测也不能提供缺陷的具体尺寸,所以它不能代替其他无损检测技术。

c. 一个结构件只能进行一次加载,重复加载后所接收到的声发射信号将失去价值。

d. 声发射检测结果容易受到外界干扰,例如环境噪声、撞击、水流等都会对检测结果带来影响,这对分析工件本身的声发射信号产生干扰,甚至产生错误判断。

#### 4.3 后续工作

a. 对纤维缠绕壳体常见缺陷如纤维断裂、层间分离等声发射特性进行研究,分析不同类型缺陷声发射信号之间的差异。通过该项研究,可以根据声发射数据确定纤维缠绕壳体可能存在的缺陷性质,进而对整个结构件的稳定性做出大致判断。

b. 纤维缠绕壳体是由几个不同的部件组成的,有时各个部件没有质量问题,而部件与部件之间的连接处往往是结构件的薄弱环节。所以应对纤维缠绕壳体在应力作用下的整体稳定性判定方法进行研究,为纤维缠绕壳体压力试验方法及试验结果的评定积累经验。

c. 无损检测结束后通常需要对检测结果做出检测结论,这既需要检测经验的积累和归纳,也需要检测人员了解纤维缠绕壳体的一些特性以及声发射检测的评价依据等理论知识。应加强对纤维缠绕壳体声发射检测结果评价方法的研究。

## 5 结束语

随着复合材料在航空航天等领域的逐渐应用,复合材料的质量控制也显得日益迫切,由于声发射技术实时性、整体性等一些特点,使得声发射检测技术在纤维缠绕壳体的结构稳定性、模拟试验的监测等质量控制上有其突出的优点。而复合材料具有离散性的特点,破坏形式多样化,而且随着其结构、组成材料的不同,声发射检测方法及判定方法均有很大差异,这也为复合材料及其结构件的声发射检测带来很大难度。

纤维缠绕壳体的声发射特性研究现阶段主要集中在结构稳定性监测、破坏前的预报和缺陷性质的判断等三个方面。结构稳定性监测主要包括缺陷的产生,区域性细小缺陷的累积直至破坏的声发射信号的监测;而破坏前的预报主要是根据最先出现的声发射信号峰值时的压强与爆破时的压强之间的比例关系,确定它们之间的比例系数,也就可以根据最先出现的声发射信号峰值时的压强来预测可能出现爆破的压力值。一般来说材料内部存在的缺陷性质决定了结构件的整体强度,而且不同性质的缺陷在压力作用下所产生的声发射信号强度、数量、变化趋势特征都存在差异,所以确定纤维缠绕壳体内部存在的缺陷性质也是声发射检测的一个重要研究方向。

通过对纤维缠绕壳体声发射检测数据分析,可以判断纤维缠绕壳体在受力作用下的整体稳定性,但声发射检测技术在复合材料结构件上检测结果的定论和存在缺陷的危害性判定两方面还比较欠缺和不成熟,不利于声发射检测技术的实际应用和推广,而这也正是声发射检测技术研究的方向。