



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110261487 A

(43)申请公布日 2019. 09. 20

(21)申请号 201910058122.9

(22)申请日 2019.01.22

(71)申请人 华东理工大学

地址 200237 上海市徐汇区梅陇路130号

(72)发明人 柏慧 惠虎 杨斌 杨宇清

蔚道祥

(74)专利代理机构 上海三和万国知识产权代理

事务所(普通合伙) 31230

代理人 任艳霞

(51)Int.Cl.

G01N 29/14(2006.01)

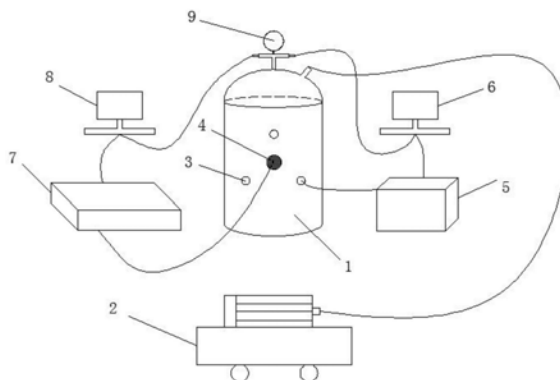
权利要求书2页 说明书6页 附图4页

(54)发明名称

一种复合材料压力容器的损伤检测装置系统与amp;方法

(57)摘要

本发明提供一种复合材料压力容器的损伤检测装置系统和方法。本发明的复合材料损伤检测系统,将声发射检测系统与应变测量系统连接起来,核心为应变监测系统,并采用声发射特征信号与有无损伤应变比这一特征值相结合的评定方法,对复合材料压力容器的缺陷进行检测探伤,该方法将声发射信号与复合材料本征性能和加载过程中的应力、应变和变形特性结合起来,揭示复合材料的损伤程度和破坏机理,预测容器的寿命。



1. 一种复合材料压力容器的损伤检测装置系统,其特征在于,所述系统包括复合材料压力容器(1),所述复合材料压力容器通过管路连接打压水泵(2),所述复合材料压力容器上设有压力表和压力传感器(9);所述复合材料压力容器外表面布置了声发射检测系统的传感器(3)和双向应变花(4);所述声发射检测系统的传感器(3)通过信号线依次连接声发射检测仪(5)、声发射检测计算机(6)和压力传感器(9);双向应变花(4)通过信号线依次连接静态电阻应变仪(7)、含有配套软件的计算机(8)和压力传感器(9);

所述声发射检测仪(5)采集来自声发射检测系统的传感器(3)的声发射信号和来自压力传感器(9)的压力变化,静态应变仪(7)则采集应变信号。

2. 根据权利要求1所述一种复合材料压力容器的损伤检测装置系统,其特征在于,所述复合材料压力容器外表面布置了3个为一组的声发射检测系统的传感器(3)。

3. 根据权利要求1所述一种复合材料压力容器的损伤检测装置系统,其特征在于,所述复合材料压力容器外表面布置了声发射检测系统的传感器(3)根据损伤待检区域范围确定传感器的位置和数量,如不知损伤范围,可以布置多组传感器,根据声速及接受声信号的时间,判断损伤的大概位置。

4. 根据权利要求1所述一种复合材料压力容器的损伤检测装置系统,其特征在于,将声发射检测系统与电测法应变测量系统结合,用声发射检测系统确定损伤范围,在此范围内的双向应变花来确定损伤的模式及程度,双向应变花(4)为多个,要贴在圆周范围的圆心、曲线周长上,非损伤范围处也要贴应变花,每个位置最少贴3个,可根据压力容器的大小做相应改变。最主要的目的是多点测量求平均值,确保数据的准确性。

5. 根据权利要求1所述一种复合材料压力容器的损伤检测装置系统,其特征在于,水泵打压系统,包括一台充水泵,水管和充水打压阀门,在充水之前,先打开压力容器的排气阀,通过水管连接将压力容器充满水,然后关掉排气阀,继续充水的过程称作打压,通过信号线分别连接压力传感器和计算机,可以采集并记录压力容器中压力的变化数据,当压力达到一定值时,停止打压。

6. 一种复合材料压力容器的损伤检测方法,其应用权利要求1-5任一项所述一种复合材料压力容器的损伤检测装置系统,其特征在于,包括如下步骤:

①声速的测量:复合材料压力容器在各个方向上的声速不同,测量该复合材料压力容器在不同方向上声波的速度,AB连线为纤维缠绕方向, $\angle CAB=15^\circ$, $\angle DAC=15^\circ$ 依此类推, $\angle GAF=15^\circ$,由A位置传感器发射的脉冲信号,在复合材料筒体上传播一定距离后,由B、C、D、E、F、G分别接收,记录信号到达的时间 $\Delta T_1, \Delta T_2, \Delta T_3, \Delta T_4, \Delta T_5, \Delta T_6$,经过简单计算就可以获得声波在复合材料AB,AC,AD,AE,AF,AG方向的传播速度 $V_1=D_{AB}/\Delta T_1, V_2=D_{AC}/\Delta T_2$ 等;

②用打压水泵对压力容器进行加载,计算出缺陷的位置,进行下一步;

③损伤范围定位法:先按照已有的时差定位法,大概定位损伤的位置,并以此为圆心,传感器的直径为半径,作为疑似有损伤位置范围,此步骤应多次布置传感器位置,找到每个缺陷的位置;

④有无损伤应变比的测量:在损伤范围内贴应变片,用静态应变仪连接计算机获取应变随载荷及时间变化曲线,并得到有无损伤应变比;

⑤损伤程度评估:经过以上测量获得的应变比,与数据库中的应变比做对比,属于哪个

范围,就可以判断该压力容器的损伤程度,以及预测复合材料压力容器的数量。

7.根据权利要求6所述一种复合材料压力容器的损伤检测方法,其特征在于,步骤(1)中如想知道除以上之外每个方向的声速,可采用曲线拟合的方法求解声速与角度的曲线公式,以便接下来定位使用。

8.根据权利要求6所述一种复合材料压力容器的损伤检测方法,其特征在于,步骤(4)中一般选用箔式应变片,采用502胶粘贴在范围内,至少贴3个应变片,同时,在无损伤处同一方向至少贴3个应变片。

一种复合材料压力容器的损伤检测装置系统与方法

技术领域

[0001] 本发明属于压力容器无损检测技术领域,包含声发射无损检测技术和应变测量之电测法,具体地说,是一种复合材料压力容器的损伤检测装置系统与方法。

背景技术

[0002] 声发射检测技术,原理是声发射源产生的弹性振动以应力波的形式传播一段距离后,到达材料(或构件)的表面,引起材料的表面位移,声发射传感器将材料表面位移的机械振动转化为电信号,声发射传感器将材料表面的机械振动转换成电信号,经前置放大器放大、滤波器滤波、主放大器再放大后,由数据采集卡进行采集,送入声发射检测仪进行分析和处理;应变测量之电测法技术,是将形变量,通过应变片或应变花感受下来并转换成电量,然后通过电阻应变仪进行测量的一种实验方法。

[0003] 在实际的工程应用中,复合材料压力容器产品的检测依然采用手电筒照射来探伤,当容器发生泄漏时,依然按照金属压力容器的损伤检测方法如声发射来进行无损损伤检测,但是由于复合材料压力容器的损伤机制和损伤扩展机制比各向同性材料要复杂得多,声波在复合材料中的声波传播速度也会随着纤维的缠绕方向发生变化,从宏观损伤破坏模式看可以分为:基体开裂、纤维断裂、界面开裂以及分层。各种损伤模式可能单独发生,也可能结合在一起发生,单靠某一种检测技术往往不可能检验出所有的缺陷,也不能准确测量缺陷损伤的位置,更加不能准确预测压力容器的寿命,也缺乏相应的检测标准提供参考,仍然需要大量的声发射试验,对声发射信号进行甄别筛选,判断不同失效模式下的声发射信号特征。

发明内容

[0004] 本发明目的在于提供一种复合材料压力容器的损伤检测装置系统与方法,将声发射检测系统与应变测量系统连接起来,核心为应变监测系统,并采用声发射特征信号与有无损伤应变比这一特征值相结合的评定方法,对复合材料压力容器的缺陷进行检测探伤,该方法将声发射信号与复合材料本征性能和加载过程中的应力、应变和变形特性结合起来,揭示复合材料的损伤程度和破坏机理,预测容器的寿命

[0005] 本发明的技术方案如下:

[0006] 一种复合材料压力容器的损伤检测装置系统,其特征在于,所述系统包括复合材料压力容器1,所述复合材料压力容器通过管路连接打压水泵2,所述复合材料压力容器上设有压力表和压力传感器9;所述复合材料压力容器外表面布置了声发射检测系统的传感器3和双向应变花4;所述声发射检测系统的传感器3通过信号线依次连接声发射检测仪5、声发射检测计算机6和压力传感器9;双向应变花4通过信号线依次连接静态电阻应变仪7、含有配套软件的计算机8和压力传感器9;

[0007] 所述声发射检测仪5采集来自声发射检测系统的传感器3的声发射信号和来自压力传感器9的压力变化,静态应变仪7则采集应变信号。

[0008] 进一步,所述复合材料压力容器外表面布置了3个为一组的声发射检测系统的传感器3。

[0009] 进一步,所述复合材料压力容器外表面布置了声发射检测系统的传感器3根据损伤待检区域范围确定传感器的位置和数量,如不知损伤范围,可以布置多组传感器,根据声速及接受声信号的时间,判断损伤的大概位置。

[0010] 根据本发明所述一种复合材料压力容器的损伤检测装置系统,将声发射检测系统与电测法应变测量系统结合,用声发射检测系统确定损伤范围,在此范围内的双向应变花来确定损伤的模式及程度,双向应变花4为多个,要贴在圆周范围的圆心、曲线周长上,非损伤范围处也要贴应变花,每个位置最少贴3个,可根据压力容器的大小做相应改变。最主要的目的是多点测量求平均值,确保数据的准确性。

[0011] 根据本发明所述一种复合材料压力容器的损伤检测装置系统,水泵打压系统,包括一台充水泵,水管和充水打压阀门,在充水之前,先打开压力容器的排气阀,通过水管连接将压力容器充满水,然后关掉排气阀,继续充水的过程称作打压,通过信号线分别连接压力传感器和计算机,可以采集并记录压力容器中压力的变化数据,当压力达到一定值时,停止打压。

[0012] 本发明还提供一种复合材料压力容器的损伤检测方法,其应用上述一种复合材料压力容器的损伤检测装置系统,包括如下步骤:

[0013] ①声速的测量:复合材料压力容器在各个方向上的声速不同,测量该复合材料压力容器在不同方向上声波的速度,AB连线为纤维缠绕方向, $\angle CAB=15^\circ$, $\angle DAC=15^\circ$ 依此类推, $\angle GAF=15^\circ$,由A位置传感器发射的脉冲信号,在复合材料筒体上传播一定距离后,由B、C、D、E、F、G分别接收,记录信号到达的时间 $\Delta T_1, \Delta T_2, \Delta T_3, \Delta T_4, \Delta T_5, \Delta T_6$,经过简单计算就可以获得声波在复合材料AB,AC,AD,AE,AF,AG方向的传播速度 $V_1=D_{AB}/\Delta T_1, V_2=D_{AC}/\Delta T_2$ 等;

[0014] ②用打压水泵对压力容器进行加载,计算出缺陷的位置,进行下一步;

[0015] ③损伤范围定位法:先按照已有的时差定位法,大概定位损伤的位置,并以此为圆心,传感器的直径为半径,作为疑似有损伤位置范围,此步骤应多次布置传感器位置,找到每个缺陷的位置;

[0016] ④有无损伤应变比的测量:在损伤范围内贴应变片,用静态应变仪连接计算机获取应变随载荷及时间变化曲线,并得到有无损伤应变比;

[0017] ⑤损伤程度评估:经过以上测量获得的应变比,与数据库中的应变比做对比,属于哪个范围,就可以判断该压力容器的损伤程度,以及预测复合材料压力容器的数量。

[0018] 进一步,步骤(1)中如想知道除以上之外每个方向的声速,可采用曲线拟合的方法求解声速与角度的曲线公式,以便接下来定位使用。

[0019] 进一步,步骤(4)中一般选用箔式应变片,采用502胶粘贴在范围内,至少贴3个应变片,同时,在无损伤处同一方向至少贴3个应变片。

[0020] 发明详述:

[0021] 目前对纤维增强复合材料压力容器损伤检测的研究大多停留在获得特定复合材料体系的各失效模式的声发射信号参数,而很少将声发射信号与该体系的力学环境和力学响应产生关联。因此,需要将声发射损伤检测方法与电测法结合起来,先通过声发射检测区

域定位损伤存在的位置范围,在该范围内用电测法测量该位置的应变,通过损伤处的应变随时间、压力的变化规律与无损处的应变变化规律做对比,找到各种损伤模式下不同损伤程度的“有无损伤应变比”的对应范围,并结合声发射信号的幅值、能量、撞击数、累计数随压力和时间的变化进行分析,从而可以利用不同应变比及应变率的变化情况区分纤维增强复合材料的损伤类型及程度,以便评估压力容器的损伤程度及寿命。该检测系统将声发射检测系统与应变测量系统连接起来,形成本发明的复合材料损伤检测系统,并采用声发射特征信号与有无损伤应变比这一特征值相结合的评定方法,对复合材料压力容器的缺陷进行检测探伤,该方法将声发射信号与复合材料本征性能和加载过程中的应力、应变和变形特性结合起来,揭示复合材料的损伤程度和破坏机理,预测容器的寿命。

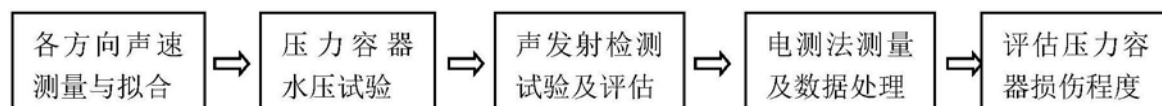
[0022] 一种复合材料压力容器的损伤检测装置系统与方法:

[0023] (1) 检测系统装置介绍

[0024] 复合材料压力容器的损伤检测技术系统装置如图1所示,该系统包含了通过管路连接至复合材料压力容器的水压泵,压力容器上设有压力表和压力传感器,水泵调节系统通过信号线分别连接压力传感器和水压泵;复合材料压力容器表面布置了声发射检测系统的三个传感器(根据损伤待检区域范围确定传感器的位置和数量),和多个双向应变花(分别在损伤位置范围内和无损位置处);声发射检测仪采集来自传感器的声发射信号和来自压力传感器的压力变化,静态应变仪则采集应变信号;本发明采用声发射与应变结合的方法,能够有效地评定复合材料压力容器的损伤状态。

[0025] 在工程应用中,声发射源未知的确定通常采用时差定位法,通过测量时差、声速、传感器位置的坐标,然后计算声发射源的坐标,并以此点为圆心,传感器的直径为半径的范围作为应变测量范围,再经过电测法测量,获得有无损伤位置处的应变比。本发明主要包含检测装置及方法两方面的内容,总体检测流程如下图:

[0026]



[0027] (2) 损伤检测的方法及步骤

[0028] ①声速的测量:于金属压力容器不同,复合材料压力容器在各个方向上的声速不同,测量该复合材料压力容器在不同方向上(通常用与纤维方向的夹角表示)声波的速度,AB连线为纤维缠绕方向, $\angle CAB=15^\circ$, $\angle DAC=15^\circ$ 依此类推, $\angle GAF=15^\circ$,由A位置传感器发射的脉冲信号,在复合材料筒体上传播一定距离后,由B、C、D、E、F、G分别接收,记录信号到达的时间 $\Delta T_1, \Delta T_2, \Delta T_3, \Delta T_4, \Delta T_5, \Delta T_6$,经过简单计算就可以获得声波在复合材料AB, AC, AD, AE, AF, AG方向的传播速度 $V_1=D_{AB}/\Delta T_1, V_2=D_{AC}/\Delta T_2$ 等。如想知道除以上之外每个方向的声速,可采用曲线拟合的方法求解声速与角度的曲线公式,以便接下来定位使用。

[0029] ②用打压水泵对压力容器进行加载,加载曲线如下图所示。横坐标为加载时间,纵坐标为水压是设计压力的百分比,采集频率为5Hz,保压时间最低为2min,升压速度尽量均匀缓慢,当声发射信号达到某一门槛值时,利用小波变换剔除声发射信号噪声,并进行消噪处理,计算出缺陷的位置,进行下一步。

[0030] ③损伤范围定位法:先按照已有的时差定位法,大概定位损伤的位置,并以此为圆心,传感器的直径为半径,作为疑似有损伤位置范围,此步骤应多次布置传感器位置,找到

每个缺陷的位置。

[0031] ④有无损伤应变比的测量:在损伤范围内贴应变片,一般选用箔式应变片,采用502胶粘贴在范围内,至少贴3个应变片,同时,在无损伤处同一方向至少贴3个应变片,用静态应变仪连接计算机获取应变随载荷及时间变化曲线,并得到有无损伤应变比。

[0032] ⑤损伤程度评估:经过以上测量获得的应变比,与数据库中(需要做大量实验获得)的应变比做对比,属于哪个范围,就可以判断该压力容器的损伤程度,以及预测复合材料压力容器的数量。

[0033] 与现有技术相比,本发明的积极效果是:

[0034] 该声发射与电测法结合的损伤检测系统,能够解决声发射检测定位不准确,无法判断复合材料损伤模式及损伤程度的问题,经过进一步大量数据测量,得到有无损伤应变比这一特征值,将声发射特征信号与容器的应力应变分布结合,达到能够检测出损伤位置及类型,准确判断容器损伤程度,预测寿命的目的。

附图说明

[0035] 图1是复合材料压力容器的损伤检测技术系统装置;

[0036] 其中:1-待检测复合材料压力容器,2-打压水泵,3-AE传感器,4-应变片,5-声发射检测仪,6-声发射检测计算机,7-静态电阻应变仪,8-含有配套软件的计算机,9-压力传感器。

[0037] 图2是复合材料压力容器的声速测定方法。

[0038] 图3为水压加载曲线。

[0039] 图4被检测复合材料压力容器,(a)声发射传感器布点;(b)电测法应变片布点。

[0040] 图5声发射检测结果图,(a)事件分布展开图;(b)压力容器声发射事件分布立体图。

[0041] 图6被检测压力管道,(a)声发射传感器布点;(b)电测法应变片的粘贴。

[0042] 图7声发射检测结果,(a)事件分布展开图;(b)声发射能量时间关联图。

[0043] 图8应变监测结果数据处理,(a)压力随时间变化曲线;(b)应变监测结果示意图。

[0044] 图9爆破图位置及细节图,(a)爆破位置图;(b)爆破裂纹的剖切图。

具体实施方式

[0045] 下面结合实施例对本发明作进一步阐述,本领域技术人员应当理解,所述实施例仅用于示例,而不对本发明构成任何限制。

[0046] 本发明提供一种复合材料压力容器的损伤检测装置系统,所述系统包括复合材料压力容器1,所述复合材料压力容器通过管路连接打压水泵2,所述复合材料压力容器上设有压力表和压力传感器9;所述复合材料压力容器外表面布置了声发射检测系统的传感器3和双向应变花4;所述声发射检测系统的传感器3通过信号线依次连接声发射检测仪5、声发射检测计算机6和压力传感器9;双向应变花4通过信号线依次连接静态电阻应变仪7、含有配套软件的计算机8和压力传感器9;所述声发射检测仪5采集来自声发射检测系统的传感器3的声发射信号和来自压力传感器9的压力变化,静态应变仪7则采集应变信号。

[0047] 实施例1:一种复合材料压力容器的损伤检测方法

[0048] 如图4所示,此压力容器是纯纤维缠绕,用作缓冲罐的一个压力容器,该复合材料压力容器的结构尺寸:内径1600mm,厚度21mm,整体高度0.375MPa,为了测量其损伤位置及损伤程度,先采用声发射检测技术初步确定损伤的位置及范围,再在该范围内贴应变片,监测其在内压变化下应变的变化情况,并与非损伤位置应变的数值作对比,从而判断复合材料的损伤模式及程度。

[0049] 声发射中传感器的布置如图4(a)所示,在实验之前先进行了仪器标定,检验仪器参数设置是否合理,并检查传感器安装是否可靠,经过以上布点测得结果如图5所示,通过事件分布展开图和声发射事件分布立体图,可以确定事件发生频率高的位置,作为下一步电测法应变监测的范围,如图4(b)所示,为应变片的贴片布置图,应变片型号为BX120-3BA应变仪型号为XL2101GE60应变片随压力的变化情况及数据,如表1所示。

[0050] 表格中的数据取自应变仪监测数据库,是在不同压力状态下的有损伤应变和无损伤应变,从表格中可以清楚地看到,该复合材料的损伤应变是其无损伤应变的1.2-1.6倍,该范围说明容器在位置8处损伤程度最大,为基体裂纹,并未产生纤维断裂及分层损伤,都伴有一定的基体裂纹,但损伤程度较小,还可以继续使用。

[0051] 表1每个点的应变值($\mu\epsilon$)

位置 \ 压力					
	0 MPa	0.08MPa	0.1 MPa	0.2 MPa	0.375MPa
1H	0	167.05	199.5	276.35	444.05
1Z	0	230.05	286.7	469.1	779.1
2H	0	163.95	202.4	301.2	487.6
2Z	0	177.25	220.6	335.65	544.65
3H	0	195.5	233.95	367.75	591.1
3Z	0	242.2	304.7	514.2	854
4H	0	202.5	260.7	444.3	725.2
4Z	0	180.6	221.8	360.1	577.7
5H	0	181.3	221.55	353.55	560.35
5Z	0	215.05	271.65	466.6	765.2
6H	0	163.2	191.1	260.65	422.5
6Z	0	224.55	279.65	471.45	772.65
7H	0	152.2	188.8	276.7	447.7
7Z	0	164.3	201	301.8	500.5
8H	0	170.45	198.15	286.85	450.55
8Z	0	248.35	317.8	517.6	887.1
9H	0	184.35	219.65	340.75	525.8
9Z	0	222.05	280.45	481.1	780.65
10H	0	117.2	163.4	288.4	519.7
10Z	0	199	257.9	440.9	751.25

[0054] 实施例2:一种复合材料压力容器的损伤检测装置系统与方法

[0055] 如图6所示,是一个带有损伤的玻璃纤维缠绕的压力管道,结构层M/R/UDI/R/UDI/

R/UDI/M/R/UDI/R/UDI/R/UDI/M,缠绕纱的缠绕角度 $78\sim 80^{\circ}$,单向布轴向铺敷,表面透明胶衣涂刷,固化剂为LPT,树脂型号ATLAC430乙烯基。此管道的内径为20mm,厚度为1mm,长度为1200mm,为了测量其损伤位置及损伤程度,先采用声发射检测技术初步确定损伤的位置及范围,再在该范围内贴应变片,监测其在内压变化下应变的变化情况,并与非损伤位置应变的数值作对比,从而判断复合材料的损伤模式及程度,与案例1不同的是此次试验要将压力容器爆破,看是否为应变监测结果显示最为危险的点。

[0056] 声发射中传感器的布置如图6(a)所示,经过以上布点测得结果如图7所示,通过事件分布展开图和成像图,可以确定事件发生频率高的位置,作为下一步电测法应变监测的范围,如图6(b)所示,为应变片的贴片图,应变片型号为BX120-3BA,共测量两个方向,分别是周向应变和轴向应变,布点位置均为可能有损伤的位置范围内的点。爆破实验过程压力随时间的变化曲线及应变监测数据结果如图8所示,在不同的内压变化情况下,应变随压力发生变化,随着内压的增加,应变变化率增大,说明管道中的裂纹已经发生扩展,在比较小的应力下,很产生较大的应变,有无应变损伤处的应变比在2.5-3之间,发生在靠近筒体与法兰的连接处,最后在9MPa发生爆破,爆破图见图9,验证了应变比能够预测损伤程度的方法。

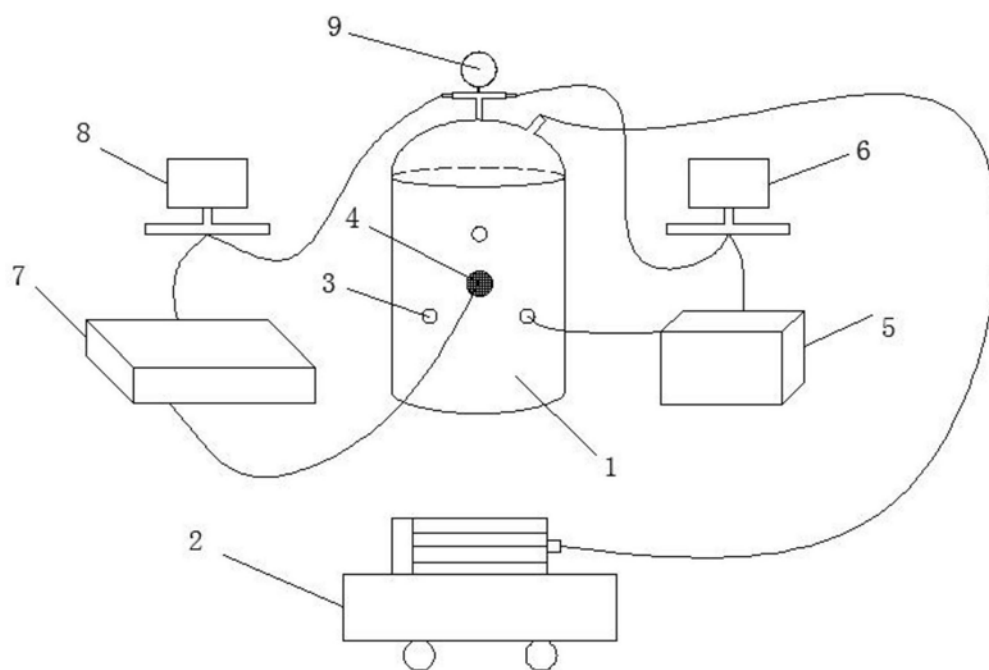


图1

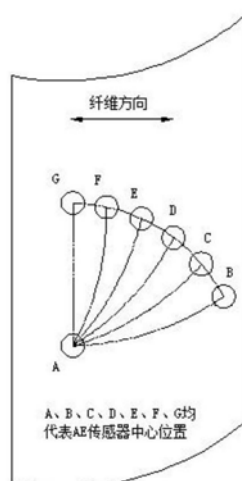


图2

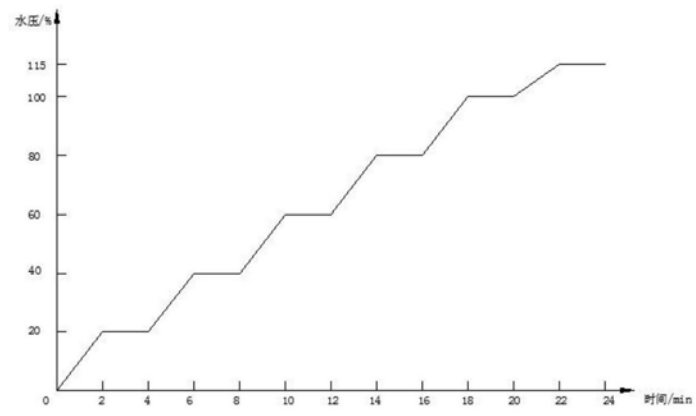


图3



(a)



(b)

图4

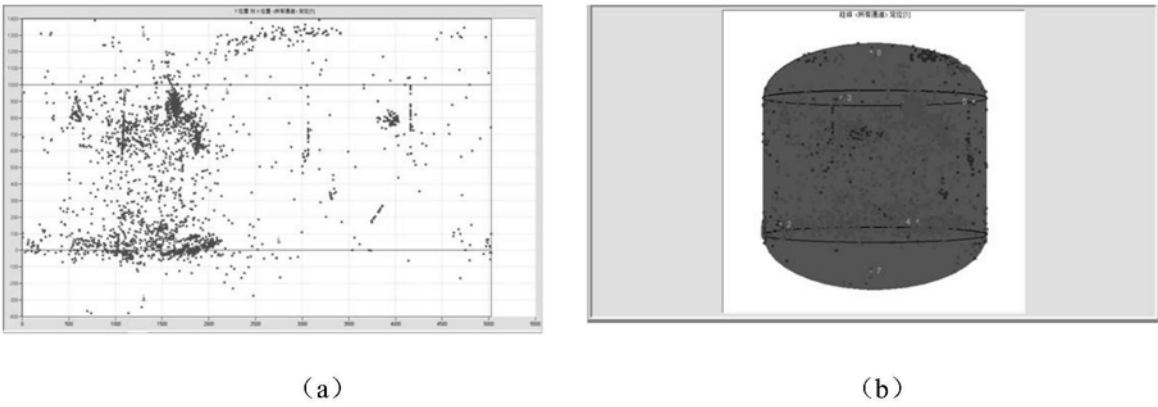


图5

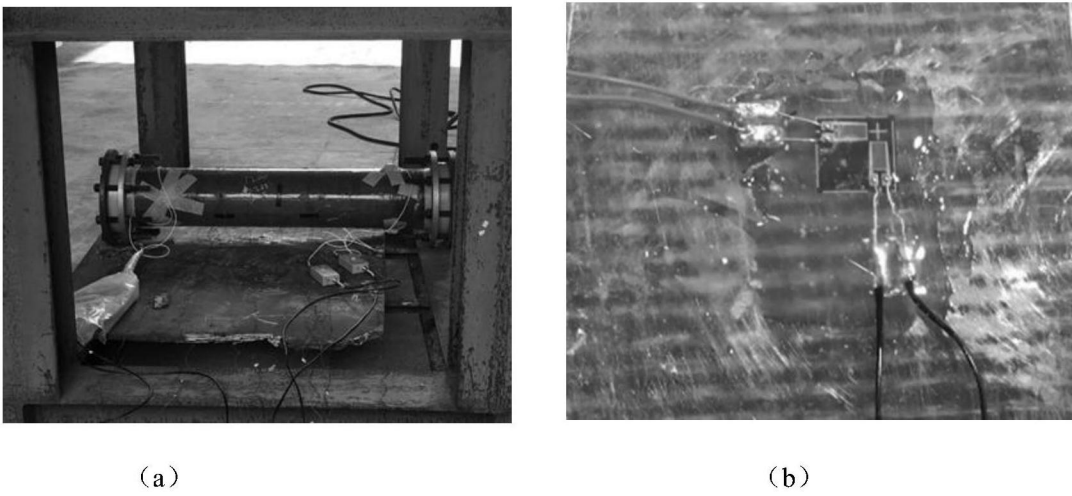


图6

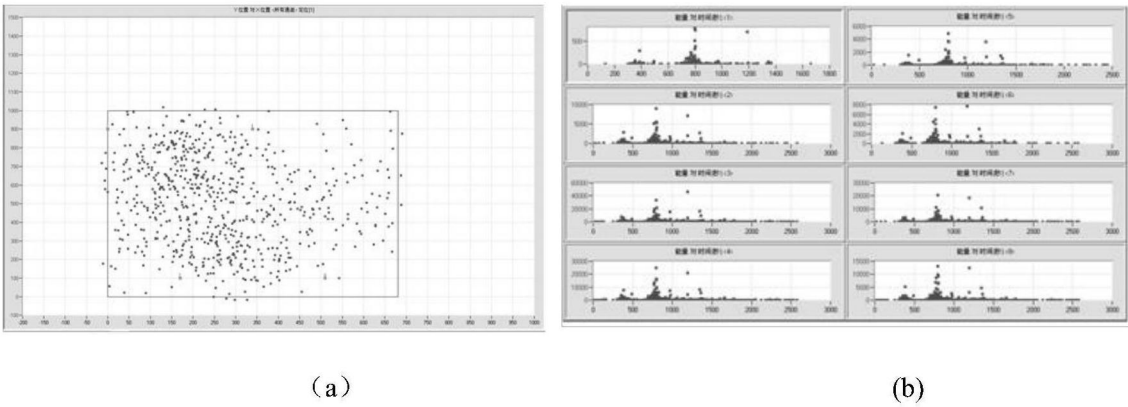


图7

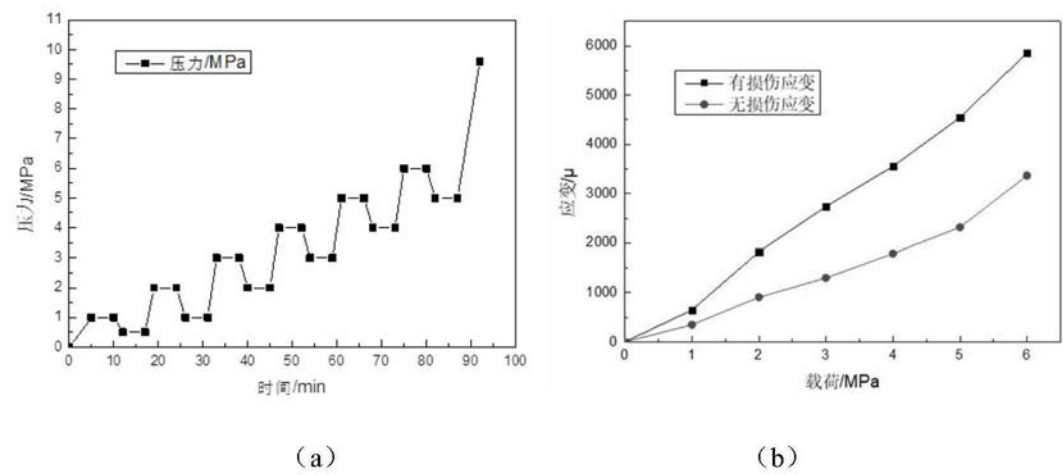


图8

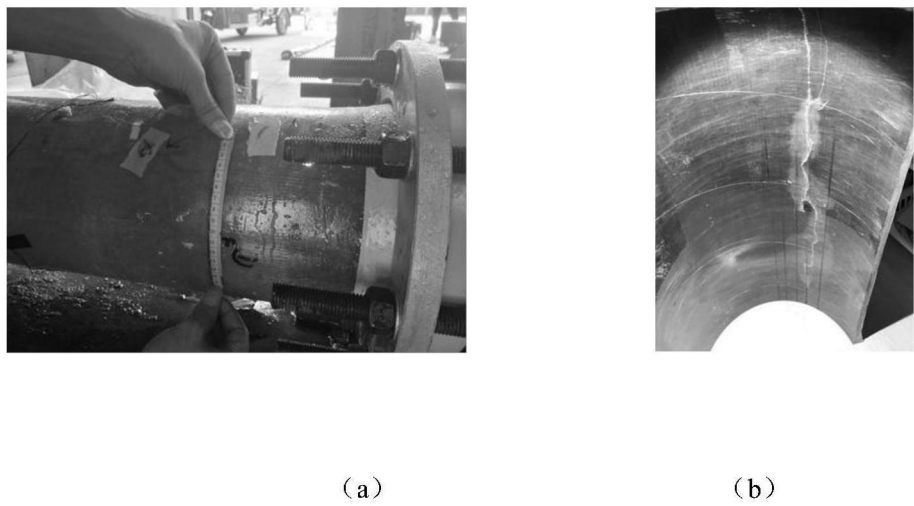


图9