



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 115655936 B

(45) 授权公告日 2024. 11. 05

(21) 申请号 202210989243.7

G01N 23/046 (2018.01)

(22) 申请日 2022.08.17

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 105334237 A, 2016.02.17

申请公布号 CN 115655936 A

CN 108562506 A, 2018.09.21

(43) 申请公布日 2023.01.31

审查员 余玲

(73) 专利权人 中国科学院力学研究所

地址 100089 北京市海淀区北四环西路15号

(72) 发明人 杨正茂 申亮 刘天威 刘晖  
吴臣武 杨磊

(74) 专利代理机构 北京维正专利代理有限公司  
11508

专利代理师 李传亮

(51) Int. Cl.

G01N 3/38 (2006.01)

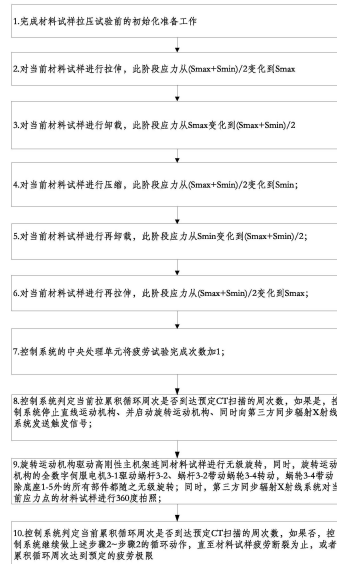
权利要求书3页 说明书12页 附图9页

(54) 发明名称

一种微小型原位材料疲劳试验方法

(57) 摘要

本发明公开了一种微小型原位材料疲劳试验方法,包括:初始化准备工作;对当前材料试样进行拉伸;对当前材料试样进行卸载;对当前材料试样进行压缩;对当前材料试样进行再卸载;对当前材料试样进行再拉伸;当前拉累积循环周次到达预定CT扫描的周次数,停止直线运动机构、并启动旋转运动机构、同时向第三方同步辐射X射线系统发送触发信号;旋转运动机构无级旋转;控制系统重复操作,直至材料试样疲劳断裂为止,或者累积循环周次达到预定的疲劳极限;本发明通过采用伺服电机系统+防转盘的往复式直线运动机构,解决了传动方法只能进行拉伸试验不能进行压缩试验、或者只能进行应变比大于零的疲劳试验的难题,以及试验过程中材料试样360度自转时被第三方CT机无障碍扫描的问题。



1. 一种微小型原位材料疲劳试验方法,该方法基于一种可旋转的微小型原位材料试验系统,该系统包括高刚性主机机架子系统、传动子系统、控制子系统、实时数据采集单元以及第三方同步辐射X射线系统和第三方同步DIC非接触全场应变测量系统;所述高刚性主机机架子系统用于分别支撑和连接所述传动子系统和控制子系统;所述的传动子系统包括高精度可往复式直线运动机构和旋转运动机构;所述实时数据采集单元用于将采集的压力传感器(4-1)和位移传感器(4-2)数据发送给控制子系统;所述的控制子系统用于启动或停止所述传动子系统的高精度可往复式直线运动机构和旋转运动机构,并向第三方同步辐射X射线系统和第三方同步DIC非接触全场应变测量系统发送触发和停止信号;该高精度可往复式直线运动机构用于对材料试样进行包括拉伸、压缩、卸载再加载、疲劳损伤的试验;该旋转运动机构用于按第三方同步辐射X射线系统的试验要求驱动所述高刚性主机机架子系统连同材料试样进行无级旋转,使得材料试样在有效的视场高度内被第三方同步辐射X射线系统无障碍穿透;该控制子系统灵活设定和控制实现除了拉伸试验以外的包括压缩、卸载再加载、疲劳损伤试验的轨迹,以及灵活设定和控制实现旋转运动机构的旋转间隔时间;

所述的高刚性主机机架子系统从上至下依次由顶部拉杆(1-6)、顶部拉杆(1-6)周围的调心球头组件、顶部拉杆(1-6)下端的可换拉杆(1-7)、筒状的高精度石英玻璃承载组件(1-1)、防转盘(1-2)、轴承座(1-3)、电机安装座(1-4)、底座(1-5)组成;该石英玻璃承载组件(1-1)上部与顶部拉杆(1-6)和调心球头组件连接,底部和所述防转盘(1-2)连接,所述防转盘(1-2)用于所述高精度可往复式直线运动机构电机转动时,限定升降杆(2-4)只能向上平移或向下平移,所述升降杆(2-4)从防转盘(1-2)中心穿过,且升降杆(2-4)和防转盘(1-2)接触面为平面,二者构成移动副;

其特征在于:该微小型原位材料疲劳试验方法包括以下步骤:

步骤一、完成材料试样疲劳试验前的初始化准备工作;

所述初始化准备工作,包括:

1) 设定疲劳试验的频率;所述频率是指每秒完成的循环周期数,所述循环周期为:拉伸、卸载、压缩、再卸载为一个循环周期;

2) 设定材料试验的模式是应力控制模式还是应变控制模式;

3) 设定材料试样的应力比 $R$ 、 $S_{\max}$ 和 $S_{\min}$ ,其中, $R=S_{\min}/S_{\max}$ ,  $S_{\max}$ 和 $S_{\min}$ 分别为材料试验在疲劳循环中经受的最大应力和最小应力;

4) 根据需求选择设定疲劳极限 $N_f$ ;

5) 预定CT扫描的周次数 $N_{CT_1}$ 、 $N_{CT_2}$ 、 $\dots$ 、 $N_{CT_i}$ ;

6) 预定DIC非接触全场应变测量的周次数 $N_{DIC_1}$ 、 $N_{DIC_2}$ 、 $\dots$ 、 $N_{DIC_j}$ ,原则上, $N_{CT_i}$ 与 $N_{DIC_j}$ 相差在5个循环次数以内;

7) 在可换拉杆(1-7)和升降杆(2-4)之间安装试样;

步骤二、对当前材料试样进行拉伸,此阶段应力从 $(S_{\max}+S_{\min})/2$ 变化到 $S_{\max}$ ;

步骤三、对当前材料试样进行卸载,此阶段应力从 $S_{\max}$ 变化到 $(S_{\max}+S_{\min})/2$ ;

步骤四、对当前材料试样进行压缩,此阶段应力从 $(S_{\max}+S_{\min})/2$ 变化到 $S_{\min}$ ;

步骤五、对当前材料试样进行再卸载,此阶段应力从 $S_{\min}$ 变化到 $(S_{\max}+S_{\min})/2$ ;

步骤六、对当前材料试样进行再拉伸,此阶段应力从 $(S_{\max}+S_{\min})/2$ 变化到 $S_{\max}$ ;

步骤七、控制子系统的中央处理单元将疲劳试验完成次数加1;

步骤八、控制子系统判定当前累积循环周次是否到达预定CT扫描的周次数,如果是,控制子系统停止直线运动机构,并启动旋转运动机构,同时向第三方同步辐射X射线系统发送触发信号;

步骤九、旋转运动机构驱动高刚性主机机架连同材料试样进行无级旋转,同时,旋转运动机构的全数字伺服电机(3-1)驱动蜗杆(3-2)、蜗杆(3-2)带动蜗轮(3-4)转动,蜗轮(3-4)带动除底座(1-5)外的所有部件都随之无级旋转;同时,第三方同步辐射X射线系统对当前应力点的材料试样进行360度拍照;

步骤十、控制子系统判定当前累积循环周次是否到达预定CT扫描的周次数,如果否,控制子系统继续做上述步骤二~步骤五的循环动作,直至材料试样疲劳断裂为止,或者累积循环周次达到预定的疲劳极限;

所述步骤二的对当前材料试样进行拉伸,具体为:控制子系统启动直线运动机构的全数字伺服电机系统(2-2)正转,拉伸过程中,应力从 $(S_{\max}+S_{\min})/2$ 变化到 $S_{\max}$ ;

所述步骤三的对当前材料试样进行卸载,具体为:控制子系统启动直线运动机构的全数字伺服电机系统(2-2)反转,卸载过程中,应力从 $S_{\max}$ 变为 $(S_{\max}+S_{\min})/2$ ;

所述步骤四的对当前材料试样进行压缩,具体为:控制子系统控制直线运动机构的全数字伺服电机系统(2-2)继续反转,反向压缩过程中,应力从 $(S_{\max}+S_{\min})/2$ 变化到 $S_{\min}$ ;

所述步骤五的对当前材料试样进行再卸载,具体为:控制子系统控制直线运动机构的全数字伺服电机系统(2-2)从反转变为正转,再卸载过程中,应力从 $S_{\min}$ 变化到 $(S_{\max}+S_{\min})/2$ ;

所述步骤六的对当前材料试样进行再拉伸,具体为:控制子系统控制直线运动机构的全数字伺服电机系统(2-2)继续正转,再拉伸过程中,应力从 $(S_{\max}+S_{\min})/2$ 变化到 $S_{\max}$ ;

所述步骤二到步骤六控制子系统控制直线运动机构的全数字伺服电机系统(2-2)正转或反转时,带动螺套(2-3)旋转,当螺套(2-3)旋转时,

1)防转盘(1-2)限制升降杆(2-4)只能向上平移或向下平移,从而将全数字伺服电机系统(2-2)的旋转运动变为竖直向上或竖直向下的直线运动;

2)当拉伸、卸载、压缩、再卸载、再拉伸的试验过程中,试样两端因不对中产生额外的弯矩影响时,调心球头(1-8)在由球头底板(1-8-2)和球头压板(1-8-1)组成的球头窝内转动,使得下部的可换拉杆(1-7)相对其竖直中心线偏斜一定角度,保证拉/压试样时不受额外的弯矩影响。

2.根据权利要求1所述一种微小型原位材料疲劳试验方法,其特征在于:所述调心球头组件包括调心球头(1-8)以及调心球头附属件,该调心球头附属件包括紧贴在调心球头(1-8)上表面的球头压板(1-8-1)、紧贴在调心球头(1-8)下表面的球头底板(1-8-2)以及花键螺母一(1-8-3)和花键螺母二(1-8-4);该顶部拉杆(1-6)从所述调心球头(1-8)中心穿过,顶部拉杆(1-6)露出调心球头(1-8)上下局部区域为外螺纹,通过所述花键螺母一(1-8-3)和花键螺母二(1-8-4)拧紧。

3.根据权利要求1所述一种微小型原位材料疲劳试验方法,其特征在于:所述顶部拉杆(1-6)和调心球头(1-8)形成一个整体,调心球头(1-8)可以在由球头底板(1-8-2)和球头压板(1-8-1)组成的球头窝内转动,使得下部的可换拉杆(1-7)可以相对其竖直中心线偏斜一定角度,保证拉/压试样时不受额外的弯矩影响。

4. 根据权利要求2所述一种微小型原位材料疲劳试验方法,其特征在于:所述防转盘(1-2)上边缘均布6个压块(1-2-1)和6个限位块(1-2-2),内部开4个减重孔(1-2-4),镗孔(1-2-3)用于安装螺钉和底部的轴承座连接紧固,石英玻璃承载组件(1-1)底部法兰边缘开6个均布的缺口,缺口的周向宽度略大于防转盘(1-2)的压块和限位块的两侧宽度;安装时,石英玻璃承载组件(1-1)缺口对准压块和限位块,穿过后,法兰底部平面和防转盘顶面贴紧;将石英玻璃承载组件(1-1)顺时针旋转,其底部法兰正好被压块压住,直到受限位块阻挡而停住,从而实现了石英玻璃罩和防转盘的快速连接。

5. 根据权利要求1所述一种微小型原位材料疲劳试验方法,其特征在于:所述高精度可往复式直线运动机构,包括电机支架(2-1)、全数字伺服电机系统(2-2)、螺套(2-3)、升降杆(2-4);全数字伺服电机系统(2-2)驱动由螺套(2-3)和升降杆(2-4)组成的螺旋副,该螺旋副再配合防转盘(1-2)限定升降杆(2-4)只能向上平移或向下平移的功能,从而将旋转运动转换成直线运动,实现拉/压试样、实时输出拉或压力和位移值的功能;所述螺套(2-3)和升降杆(2-4)之间为螺纹连接。

6. 根据权利要求1所述一种微小型原位材料疲劳试验方法,其特征在于:所述旋转运动机构,包括全数字伺服电机(3-1)、蜗杆(3-2)、蜗杆支架(3-3)、蜗轮(3-4);由全数字伺服电机(3-1)驱动蜗杆(3-2),带动蜗轮(3-4)转动,除底座(1-5)外的所有部件都随之无级旋转。

7. 根据权利要求1所述一种微小型原位材料疲劳试验方法,其特征在于:所述控制子系统包括:拉伸/压缩/卸载再加载/疲劳模式选择模块、设定力/位移模块、实时数据采集接收模块、力/位移控制模式选择模块、第三方触发和停止指令模块、启动或停止直线运动机构/旋转运动机构模块、中央处理模块;

该中央处理模块接收拉伸/压缩/卸载再加载/疲劳模式选择模块的数据,从而控制全数字伺服电机系统(2-2)当前执行正向运转还是反向运转;根据设定力/位移模块、实时数据采集接收模块的数据,闭环控制当前材料试样的被控压力或者位移;根据实时数据采集接收模块反馈的当前材料试样在压力区间/位移区间上的进度,启动或停止直线运动机构/旋转运动机构,并向第三方发送触发和停止指令;根据力/位移控制模式选择,确定闭环控制方式是力的闭环控制还是位移的闭环控制。

## 一种微小型原位材料疲劳试验方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于材料力学的试验与测试技术领域,尤其涉及一种微小型原位材料疲劳试验方法。

### 背景技术

[0002] 材料原位CT技术是材料跨尺度力学表征的关键技术之一,而这项技术中最为关键的一步就是发展可旋转的微小型原位材料试验系统与非接触DIC系统和高精度同步辐射X射线系统联合使用。可旋转的微小型原位材料试验系统性能的稳定性和可靠性直接关系到材料力学表征的水平。

[0003] 然而,可旋转的微小型原位材料试验系统并不是传统大型标准材料试验机的等比例缩小,它具有自身的独特性能,如在加载过程中可自旋转、材料在有效的视场高度内无阻碍物以便CT穿透等特点,导致应用传统大型标准材料试验机的设计思路搭建的测试台并不能满足材料原位CT的测试要求。

[0004] 可旋转的微小型原位材料试验系统为非标产品,国内相关的标准资料很少,缺乏可借鉴的设计思路,只能根据相关测试理论及经验探索设计方案,为试验与测试系统的设计在一定程度增加了难度,且现有市场上普遍使用的微小型原位材料试验系统多为简易装置,仅能用来对材料实现单调拉伸试验,对其拉力进行粗略测量,并没有对材料压缩、卸载再加载和动态疲劳损伤性能进行测试,更没有规范的数据采集和处理系统,使得原位材料试验系统、数据采集处理系统和第三方非接触DIC系统和高精度同步辐射X射线系统相互独立,只能人工触发与操作,必然会导致应力、应变等试验数据在时间尺度上的不能精确对应,为材料力学表征和评价带了极大的困难。

[0005] 现有技术的原位材料试验系统存在的问题是:第一、只能做相对简单的拉伸试验、不能做包括压缩/卸载再加载/疲劳损伤的相对复杂的试验。因为相对复杂的压缩/卸载再加载/疲劳损伤试验,在力的施加过程中是将材料试样的两端向中间挤压,要求材料试样的上下两端高度对中,一旦材料试样两端出现偏离轴中心线不对中的情况,就会在该两端之间产生额外的弯矩力,该弯矩力作用在材料试样上就会造成材料试样的不准确或者材料试样发生断裂;由于现有技术未能找出防止产生额外的弯矩力的方法,所以长期以来,原位材料试验系统只能做简单的拉伸试验。第二、现有技术的原位材料试验系统试验设备在自转360度时不能被第三方CT机无障碍穿透。因为试验设备在四个角设有多根粗壮的高刚度钢柱作为支撑主架,这些粗壮的钢柱在360度自转中成为CT扫描机的遮挡物,遮挡了CT扫描的视线,因此,当需要对材料试样做CT扫描时,只能将试验到达一定程度时的设备停止运转,然后将材料试样从试验机上取下来再拿到CT扫描设备上扫描,这样导致CT扫描的材料试样不再是原位状态,不能做到试验过程中被第三方CT扫描系统同步扫描。

### 发明内容

[0006] 本发明为解决现有技术的问题,提出一种微小型原位材料疲劳试验方法,第一目

的在于解决现有及只能做相对简单的拉伸试验、不能做相对复杂的压缩/卸载再加载/疲劳损伤模式的试验的问题；第二目的在于解决现有技术原位材料试验系统不能配合第三方CT扫描实现360无障碍旋转的问题。

[0007] 本发明为解决其技术问题提出以下技术方案：

[0008] 一种微小型原位材料疲劳试验方法，该方法基于一种可旋转的微小型原位材料试验系统，该系统包括高刚性主机机架子系统、传动子系统、控制子系统、实时数据采集单元以及第三方同步辐射X射线系统和第三方同步DIC非接触全场应变测量系统；所述高刚性主机机架子系统用于分别支撑和连接所述传动子系统和控制子系统；所述的传动子系统包括高精度可往复式直线运动机构和旋转运动机构；所述实时数据采集单元用于将采集的压力传感器4-1和位移传感器4-2数据发送给控制子系统；所述的控制子系统用于启动或停止所述传动子系统的高精度可往复式直线运动机构和旋转运动机构，并向第三方同步辐射X射线系统和第三方同步DIC非接触全场应变测量系统发送触发和停止信号；该高精度可往复式直线运动机构用于对材料试样进行包括拉伸、压缩、卸载再加载、疲劳损伤的试验；该旋转运动机构用于按第三方同步辐射X射线系统的试验要求驱动所述高刚性主机架连同材料试样进行无级旋转，使得材料试样在有效的视场高度内被第三方同步辐射X射线系统无障碍穿透；该控制子系统灵活设定和控制实现除了拉伸试验以外的包括压缩、卸载再加载、疲劳损伤试验的轨迹，以及灵活设定和控制实现旋转运动机构的旋转间隔时间；

[0009] 所述的高刚性主机机架子系统从上至下依次由顶部拉杆1-6、顶部拉杆1-6周围的调心球头组件、顶部拉杆1-6下端的可换拉杆1-7、筒状的高精度石英玻璃承载组件1-1、防转盘1-2、轴承座1-3、电机安装座1-4、底座1-5组成；该石英玻璃承载组件1-1上部与顶部拉杆1-6和调心球头组件连接，底部和所述防转盘1-2连接，所述防转盘1-2用于所述高精度可往复式直线运动机构电机转动时，限定升降杆2-4只能向上平移或向下平移，所述升降杆2-4从防转盘1-2中心穿过，且升降杆2-4和防转盘1-2接触面为平面，二者构成移动副；

[0010] 其特点是：该微小型原位材料疲劳试验方法包括以下步骤：

[0011] 步骤一、完成材料试样疲劳试验前的初始化准备工作；

[0012] 所述初始化工作，包括：

[0013] 1) 设定疲劳试验的频率；所述频率是指每秒完成的循环周期数，所述循环周期为：拉伸、卸载、压缩、再卸载为一个循环周期；

[0014] 2) 设定材料试样的模式是应力控制模式还是应变控制模式；

[0015] 3) 设定材料试样的应力比 $R$ 、 $S_{\max}$ 和 $S_{\min}$ ，其中， $R=S_{\min}/S_{\max}$ ， $S_{\max}$ 和 $S_{\min}$ 分别为材料试验在疲劳循环中经受的最大应力和最小应力；

[0016] 4) 根据需求选择设定疲劳极限 $N_f$ ；

[0017] 5) 预定CT扫描的周次数 $N_{CT_1}$ 、 $N_{CT_2}$ 、 $\dots$ 、 $N_{CT_i}$ ；

[0018] 6) 预定DIC非接触全场应变测量的周次数 $N_{DIC_1}$ 、 $N_{DIC_2}$ 、 $\dots$ 、 $N_{DIC_j}$ ，原则上， $N_{CT_i}$ 与 $N_{DIC_j}$ 相差在5个循环次数以内；

[0019] 7) 在所述可换拉杆(1-7)和升降杆(2-4)之间安装试样；

[0020] 步骤二、对当前材料试样进行拉伸，此阶段应力从 $(S_{\max}+S_{\min})/2$ 变化到 $S_{\max}$ ；

[0021] 步骤三、对当前材料试样进行卸载，此阶段应力从 $S_{\max}$ 变化到 $(S_{\max}+S_{\min})/2$ ；

[0022] 步骤四、对当前材料试样进行压缩，此阶段应力从 $(S_{\max}+S_{\min})/2$ 变化到 $S_{\min}$ ；

- [0023] 步骤五、对当前材料试样进行再卸载,此阶段应力从 $S_{\min}$ 变化到 $(S_{\max}+S_{\min})/2$ ;
- [0024] 步骤六、对当前材料试样进行再拉伸,此阶段应力从 $(S_{\max}+S_{\min})/2$ 变化到 $S_{\max}$ ;
- [0025] 步骤七、控制子系统的中央处理单元将疲劳试验完成次数加1;
- [0026] 步骤八、控制子系统判定当前拉累积循环周次是否到达预定CT扫描的周次数,如果是,控制子系统停止直线运动机构,并启动旋转运动机构,同时向第三方同步辐射X射线系统发送触发信号;
- [0027] 步骤九、旋转运动机构驱动高刚性主机机架连同材料试样进行无级旋转,同时,旋转运动机构的全数字伺服电机3-1驱动蜗杆3-2、蜗杆3-2带动蜗轮3-4转动,蜗轮3-4带动除底座1-5外的所有部件都随之无级旋转;同时,第三方同步辐射X射线系统对当前应力点的材料试样进行360度拍照;
- [0028] 步骤十、控制子系统判定当前累积循环周次是否到达预定CT扫描的周次数,如果否,控制子系统继续做上述步骤二~步骤五的循环动作,直至材料试样疲劳断裂为止,或者累积循环周次达到预定的疲劳极限;
- [0029] 所述步骤二的对当前材料试样进行拉伸,具体为:控制子系统启动直线运动机构的全数字伺服电机系统2-2正转,拉伸过程中,应力从 $(S_{\max}+S_{\min})/2$ 变化到 $S_{\max}$ ;
- [0030] 所述步骤三的对当前材料试样进行卸载,具体为:控制子系统启动直线运动机构的全数字伺服电机系统2-2反转,卸载过程中,应力从 $S_{\max}$ 变为 $(S_{\max}+S_{\min})/2$ ;
- [0031] 所述步骤四的对当前材料试样进行压缩,具体为:控制子系统控制直线运动机构的全数字伺服电机系统2-2继续反转,反向压缩过程中,应力从 $(S_{\max}+S_{\min})/2$ 变化到 $S_{\min}$ ;
- [0032] 所述步骤五的对当前材料试样进行再卸载,具体为:控制子系统控制直线运动机构的全数字伺服电机系统2-2从反转变为正转,再卸载过程中,应力从 $S_{\min}$ 变化到 $(S_{\max}+S_{\min})/2$ ;
- [0033] 所述步骤六的对当前材料试样进行再拉伸,具体为:控制子系统控制直线运动机构的全数字伺服电机系统2-2,继续正转,再拉伸过程中,应力从 $(S_{\max}+S_{\min})/2$ 变化到 $S_{\max}$ ;
- [0034] 所述步骤二到步骤六控制子系统控制直线运动机构的全数字伺服电机系统2-2正转或反转时,带动螺套2-3旋转,当螺套2-3旋转时,
- [0035] 1)防转盘1-2限制升降杆2-4只能向上平移或向下平移,从而将全数字伺服电机系统2-2的旋转运动变为竖直向上或竖直向下的直线运动;
- [0036] 2)当拉伸、卸载、压缩、再卸载、再拉伸的试验过程中,试样两端因不对中产生额外的弯矩影响时,调心球头1-8在由球头底板1-8-2和球头压板1-8-1组成的球头窝内转动,使得下部的可换拉杆1-7相对其竖直中心线偏斜一定角度,保证拉/压试样时不受额外的弯矩影响;
- [0037] 进一步地,所述调心球头组件包括调心球头1-8以及调心球头附属件,该调心球头附属件包括紧贴在调心球头1-8上表面的球头压板1-8-1、紧贴在调心球头1-8下表面的球头底板1-8-2以及花键螺母一1-8-3和花键螺母二1-8-4;该顶部拉杆1-6从所述调心球头1-8中心穿过,顶部拉杆1-6露出调心球头1-8上下局部区域为外螺纹,通过所述花键螺母一1-8-3和花键螺母二1-8-4拧紧。
- [0038] 进一步地,所述顶部拉杆1-6和调心球头1-8形成一个整体,调心球头1-8可以在由球头底板1-8-2和球头压板1-8-1组成的球头窝内转动,使得下部的可换拉杆1-7可以相对

其竖直中心线偏斜一定角度,保证拉/压试样时不受额外的弯矩影响。

[0039] 进一步地,所述防转盘1-2上边缘均布6个压块1-2-1和6个限位块1-2-2,内部开4个减重孔1-2-4,铰孔1-2-3用于安装螺钉和底部的轴承座连接紧固,石英玻璃承载组件(1-1)底部法兰边缘开6个均布的缺口,缺口的周向宽度略大于防转盘(1-2)的压块和限位块的两侧宽度;安装时,石英玻璃承载组件(1-1)缺口对准压块和限位块,穿过后,法兰底部平面和防转盘顶面贴紧;将石英玻璃承载组件(1-1)顺时针旋转,其底部法兰正好被压块压住,直到受限位块阻挡而停住,从而实现了石英玻璃罩和防转盘的快速连接。

[0040] 进一步地,所述防转盘1-2上边缘均布6个压块1-2-1和6个限位块1-2-2,内部开4个减重孔1-2-4,铰孔1-2-3用于安装螺钉和底部的轴承座连接紧固,石英玻璃承载组件(1-1)底部法兰边缘开6个均布的缺口,缺口的周向宽度略大于防转盘(1-2)的压块和限位块的两侧宽度;安装时,石英玻璃承载组件(1-1)缺口对准压块和限位块,穿过后,法兰底部平面和防转盘顶面贴紧;将石英玻璃承载组件(1-1)顺时针旋转,其底部法兰正好被压块压住,直到受限位块阻挡而停住,从而实现了石英玻璃罩和防转盘的快速连接。

[0041] 进一步地,所述高精度可往复式直线运动机构,包括电机支架2-1、全数字伺服电机系统2-2、螺套2-3、升降杆2-4;全数字伺服电机系统2-2驱动由螺套2-3和升降杆2-4组成的螺旋副,该螺旋副再配合防转盘1-2限定升降杆2-4只能向上平移或向下平移的功能,从而将旋转运动转换成直线运动,实现拉/压试样、实时输出拉或压力和位移值的功能;所述螺套2-3和升降杆2-4之间为螺纹连接。

[0042] 进一步地,所述旋转运动机构,包括全数字伺服电机3-1、蜗杆3-2、蜗杆支架3-3、蜗轮3-4;由全数字伺服电机3-1驱动蜗杆3-2,带动蜗轮3-4转动,除底座(1-5)外的所有部件都随之无级旋转。

[0043] 进一步地,所述控制子系统包括:拉伸/压缩/卸载再加载/疲劳模式选择模块、设定力/位移模块、实时数据采集接收模块、力/位移控制模式选择模块、第三方触发和停止指令模块、启动或停止直线运动机构/旋转运动机构模块、中央处理模块;

[0044] 该中央处理模块接收拉伸/压缩/卸载再加载/疲劳模式选择模块的数据,从而控制全数字伺服电机系统2-2当前执行正向运转还是反向运转;根据设定力/位移模块、实时数据采集接收模块的数据,闭环控制当前材料试样的被控压力或者位移;根据实时数据采集接收模块反馈的当前材料试样在压力区间/位移区间上的进度,启动或停止直线运动机构/旋转运动机构,并向第三方发送触发和停止指令;根据力/位移控制模式选择,确定闭环控制方式是力的闭环控制还是位移的闭环控制。

[0045] 本发明的优点效果

[0046] 1、本发明通过采用直线电机+防转盘的往复式直线运动机构,解决了传动方法进行材料试样试验时,只能进行单调拉伸试验而不能进行压缩试验的问题;又通过调心球头组件解决了材料试样进行压缩/卸载再加载/疲劳试验等复杂试验过程中产生额外弯矩的问题,解决了复杂试验时加载最大承载力时材料试样可能发生断裂的后顾之忧。从而将现有技术材料试样只能有一种简单的拉伸试验,扩展为包括压缩/卸载再加载/疲劳试验等多种试验,解决了现有市场上普遍使用的微小型原位材料试验系统多为简易装置,仅能用来对材料实现单调拉伸试验,对其拉力进行粗略测量,并没有对材料压缩、卸载再加载、疲劳损伤性能进行测试,取得了从量变到质变的飞跃。



[0047] 2、本发明将往复式直线运动机构、旋转运动机构、调心球头组件、控制子系统、高刚性主机支架有机结合,实现了控制子系统随机向第三方CT系统发送触发指令和停止指令,解决了现有技术需要CT机扫描材料试样时,因为不能实现无障碍扫描,只能先停机,停机后将材料试验取下来再拿到CT上扫描、效率很低的问题;还使得第三方CT系统不仅能够扫描到简单的拉伸试验的结果,还能够扫描到压缩/卸载再加载/疲劳损伤试验等复杂试验的结果,并解决了系统内多个测试量在时间尺度上精确对应的难题。取得了从量变到质变的飞跃。

## 附图说明

- [0048] 图1-1为本发明微小型原位材料试验系统整体框架图;
- [0049] 图1-2为本发明控制子系统框图;
- [0050] 图2为本发明闭环控制子系统示意图;
- [0051] 图3为本发明系统和第三方同步辐射/DIC系统关系示意图;
- [0052] 图4-1为本发明高刚性主机机架和传动子系统结构立体图;
- [0053] 图4-2为本发明高刚性主机机架和传动子系统结构剖视图;
- [0054] 图4-3为本发明高刚性主机机架和传动子系统结构局部放大图;
- [0055] 图5 为本发明防转盘示意图;
- [0056] 图6为本发明石英玻璃承载组件示意图;
- [0057] 图7为本发明石英玻璃承载组件和防转盘配合过程示意图;
- [0058] 图8-1为本发明拉伸试验示意图;
- [0059] 图8-2为本发明压缩试验示意图;
- [0060] 图9为本发明卸载再加载试验示意图;
- [0061] 图10为本发明疲劳损伤试验示意图;
- [0062] 图11为本发明一种微小型原位材料疲劳试验方法示意图;
- [0063] 图中:1-1: 石英玻璃承载组件; 1-2: 防转盘; 1-2-1: 压块;1-2-2:限位块;1-2-3:铰孔;1-2-4:减重孔;1-3: 轴承座; 1-4: 电机安装座;1-5: 底座; 1-6:顶部拉杆;1-7:可换拉杆;1-8:调心球头;1-8-1:球头压板;1-8-2:球头底板; 1-8-3:花键螺母一; 1-8-4:花键螺母二;2-1: 电机支架; 2-2: 全数字伺服电机系统;2-3:螺套; 2-4:升降杆; 3-1:全数字伺服电机;3-2:蜗杆;3-3:蜗杆支架;3-4:蜗轮; 4-1:压力传感器;4-2:位移传感器。

## 具体实施方式

- [0064] 下面结合附图对本发明做出进一步的解释
- [0065] 本发明设计原理
- [0066] 1、本发明设计初衷:第一点是实现包括拉伸、压缩、卸载再加载、疲劳损伤等相对复杂的试验,解决现有技术只能进行简单的拉伸试验问题;第二点是使得材料试样在有效的视场范围内被第三方辐射X射线系统同步无障碍穿透。该第一点和第二点是相辅相成的,失去一方另一方就没有存在的意义。CT扫描如果只是对相对简单的拉伸试验扫描,其就意义不大,复杂的材料试验如果没有CT扫描,就不能得到试验效果的检验。因此,本发明的设

计初衷是将该第一点和第二点同时实现。

[0067] 2、本发明实现的难点：难点之一在于高刚度石英玻璃组件、调心球头组件、螺杆直径、轴套的刚度以及伺服电机系统的扭矩，这5个部分共同决定了最大承载力，其中任何一个出了问题都会影响最大承载力的实现。本发明采用高刚度石英玻璃组件代替传统材料试验设备用于四角支撑的粗壮的柱子，当承载力最大时，如果高刚度石英玻璃罩太薄则试验台架容易发生变形甚至屈曲，当“房屋”本身由于变形发生倾斜时，导致房屋内的材料试样也随之倾斜，当承载力最大时这种倾斜更加明显，导致材料试样测试失败；如果仅限于注重高刚度石英玻璃组件的坚固耐用，虽然“房屋”坚固了，但材料试样在进行压缩、动态卸载再加载、疲劳损伤等复杂试验中，材料试样本身有可能因为承载力达到最大时其上下两端出现偏离轴中心线不对中的情况，从而影响最大承载力的加载；即使材料两端不对中的问题解决了，“房屋”的坚固问题也解决了，还需要电机的输出扭矩、螺杆螺纹形式/螺距、轴套相配合，当承载力最大时，超过伺服电机的额定扭矩，也会转动轴的断裂以及，伺服电机扭矩和轴的直径都没有问题了，如果轴套发生断裂，也不能起到对电机的保护作用，当轴套经不起最大承载力时，也会造成电机轴的损坏；难点之二在于：复杂的材料试样试验，例如疲劳损伤试验中的最大应力载荷点、最小应力载荷点、卸载点这3个点的取值并非正、负、0的这种标准拉压对称的唯一组合，而是可以根据疲劳试验要求对最大应力载荷、最小应力载荷以及平均载荷进行设定；旋转机构的旋转间隔也不是固定的，而是根据需要灵活设定，旋转运动的间隔可以密集也可以稀疏。现有技术采用偏心轴的方式实现升降杆2-4的往复运动，由于偏心轴的偏心角度是固定的，因此往复运动轨迹也是固定的，而本发明往复运动的轨迹需要灵活设定：可以是单调拉伸型的，也可以是单调拉伸损伤型的，也可以是疲劳试验锯齿型的，并且这三种方式都是可以随机切换；现有技术还采用偏心轴+蜗杆和涡轮的方式实现往复运动+旋转运动，但由于往复运动的轨迹是固定的，使得第三方CT机扫描的材料试样也仅限于拉伸或压缩的两种试样，而对于复杂形态例如“动态卸载再加载、疲劳损伤试验”的复杂轨迹的材料试样，由于现有技术的材料试样不能运行在复杂轨迹上，导致第三方CT设备也就不可能对拉伸、压缩以外的复杂运动轨迹的材料试样进行照射。

[0068] 3、本发明解决方案：

[0069] 针对难点之一的解决方案：从动力源、加载对象、石英玻璃罩三个方面进行协同设计，确保试验过程中最大承载力的确定。第一、动力源的设计：电机、螺杆、螺套三者相互配合：设定承载最大力时的电机扭矩达到设定要求，其次设定承载最大力时螺杆直径达到设定的要求，再其次设定承载最大力时螺套的选型达到设定要求，使得螺套起到保护螺杆的作用；第二、加载对象的设计：设定调心球头组件包括调心球头以及调心球头附属件，该调心球头附属件包括球头压板、球头底板以及用于紧固压板和低板的螺母；顶部拉杆和调心球头形成一个整体，调心球头可以在由球头底板和球头压板组成的球头窝内转动，使得下部的可换拉杆可以相对其竖直中心线偏斜一定角度，保证拉/压试样时不受额外的弯矩影响。第三、外壳的设计：计算得到石英玻璃所承受的载荷要远小于石英玻璃的抗压强度。以上动力源、加载对象、石英玻璃罩三个方面设计相互支持和相互依存，如果动力源的应力不能达到最大承载力要求，则即使加载对象不受额外的弯矩影响，也不能测量出最大承载力时的材料试验结果；如果石英玻璃罩的直径、厚度、抗压强度不能满足最大承载力时的要求，则“房屋”倒塌了，“房屋”内的加载对象虽然可以采用调心球头组件进行微调，但因为已

经超出了调心球头组件微调的范围,也会于事无补;如果“房屋”坚固了,动力源也提供了最大承载力,但是加载对象的上端和下端由于相对其竖直中心线偏斜一定角度而得不到调整,受到了额外的弯矩,这种附加弯矩诱发的损伤积累到一定程度,例如当疲劳试验百万次时就可能发生材料试样的断裂。此时即使动力源没有出问题,石英玻璃罩也没出问题,但依然试验失败。因此,以上三者不能独立存在,是相互依存的关系。

[0070] 针对难点之二的解决方案:1) 直线运动机构采用电机+升降杆+防转盘的方式,由于防转盘只是限定了升降杆向下平移或向上平移,而没有限定升降杆的运动的起点和终点,升降杆的运动的起点和终点是由控制子系统控制的,所以往复运动轨迹可以是单调拉伸型的、也可以是单调拉伸损伤型的、也可以是疲劳试验锯齿型的等多种复杂形式,能够解决往复运动的轨迹复杂的难题。2) 由于采用直线运动电机+升降杆+防转盘+旋转运动电机+控制子系统的方式,控制子系统可以按照设定时间间隔停止直线运动、开启旋转运动。因此使得第三方CT机扫描不仅能够扫描到简单的拉伸过程的材料试样,还能扫描到复杂形态下的例如“动态卸载再加载、疲劳损伤试验”的材料试样。

[0071] 基于以上发明原理,本发明设计了一种微小型原位材料疲劳试验方法,该方法基于一种可旋转的微小型原位材料试验系统,该系统如图1-1、图1-2、图3所示,该系统包括高刚性主机机架子系统、传动子系统、控制子系统、实时数据采集单元以及第三方同步辐射X射线系统和第三方同步DIC非接触全场应变测量系统;所述高刚性主机机架子系统用于分别支撑和连接所述传动子系统和控制子系统;所述的传动子系统包括高精度可往复式直线运动机构和旋转运动机构;所述实时数据采集单元用于将采集的压力传感器4-1和位移传感器4-2数据发送给控制子系统;所述的控制子系统用于启动或停止所述传动子系统的高精度可往复式直线运动机构和旋转运动机构,并向第三方同步辐射X射线系统和第三方同步DIC非接触全场应变测量系统发送触发和停止信号;该高精度可往复式直线运动机构用于对材料试样进行包括拉伸、压缩、卸载再加载、疲劳损伤的试验;该旋转运动机构用于按第三方同步辐射X射线系统的试验要求驱动所述高刚性主机架连同材料试样进行无级旋转、,使得材料试样在有效的视场高度内被第三方同步辐射X射线系统无障碍穿透;该控制子系统灵活设定和控制实现除了拉伸试验以外的包括压缩、卸载再加载、疲劳损伤试验的轨迹,以及灵活设定和控制实现旋转运动机构的旋转间隔时间;

[0072] 进一步地,所述的高刚性主机机架子系统如图4-1、4-2所示,从上至下依次由顶部拉杆1-6、顶部拉杆1-6周围的调心球头组件、顶部拉杆1-6下端的可换拉杆1-7、筒状的高精度石英玻璃承载组件1-1、防转盘1-2、轴承座1-3、电机安装座1-4、底座1-5组成;该石英玻璃承载组件1-1上部与顶部拉杆1-6和调心球头组件连接,底部和所述防转盘1-2连接,所述防转盘1-2用于所述高精度可往复式直线运动机构电机转动时,限定升降杆2-4只能向上平移或向下平移,所述升降杆2-4从防转盘1-2中心穿过,且升降杆2-4和防转盘1-2接触面为平面,二者构成移动副。

[0073] 补充说明1:

[0074] 1、所述的拉伸、压缩、卸载再加载、疲劳损伤分别如图8-1、8-2、图9、图10所示,拉伸、压缩试验曲线为单向压力变化曲线,如果设拉伸方向为正向,压缩就为反向;所述卸载再加载试验曲线如图9所示为双向应力变化曲线,所述卸载就是从应力约250兆帕附近下降到0兆帕、然后再将应力从0兆帕重新拉伸到250兆帕附近,卸载时,全数字伺服电机系统2-2

反转,加载时,全数字伺服电机系统2-2正转;所述“疲劳损伤”试验曲线如图10所示,通过全数字伺服电机系统2-2正转,将材料试样拉伸到最大应力,再通过全数字伺服电机系统2-2反转,将材料试样从最大应力卸载到0应力,再继续使得全数字伺服电机系统2-2反转,从0应力到反向最大应力,所述反向最大应力也就是正向的最小应力,如此循环。疲劳损伤试验的次数根据要求而设定,一般为100万次以上,也就是图10的横坐标的累计循环次数达到100万次以上。

[0075] 2、所述全数字伺服电机系统2-2包括伺服电机和减速器,伺服电机经过减速器减速再驱动升降杆2-4做直线运动。

[0076] 其特点是,该微小型原位材料疲劳试验方法如图11所示,包括以下步骤:

[0077] 步骤一、完成材料试样疲劳试验前的初始化准备工作;

[0078] 所述初始化工作,包括:

[0079] 1) 设定疲劳试验的频率;所述频率是指每秒完成的循环周期数,所述循环周期为:拉伸、卸载、压缩、再卸载为一个循环周期;

[0080] 2) 设定材料试样的模式是应力控制模式还是应变控制模式;

[0081] 3) 设定材料试样的应力比 $R$ 、 $S_{\max}$ 和 $S_{\min}$ ,其中, $R=S_{\min}/S_{\max}$ ,  $S_{\max}$ 和 $S_{\min}$ 分别为材料试验在疲劳循环中经受的最大应力和最小应力;

[0082] 4) 根据需求选择设定疲劳极限 $N_f$ ;

[0083] 5) 预定CT扫描的周次数 $N_{CT_1}$ 、 $N_{CT_2}$ 、 $\dots$ 、 $N_{CT_i}$ ;

[0084] 6) 预定DIC非接触全场应变测量的周次数 $N_{DIC_1}$ 、 $N_{DIC_2}$ 、 $\dots$ 、 $N_{DIC_j}$ ,原则上, $N_{CT_i}$ 与 $N_{DIC_j}$ 相差在5个循环次数以内;

[0085] 7) 在所述可换拉杆(1-7)和升降杆(2-4)之间安装试样;

[0086] 步骤二、对当前材料试样进行拉伸,此阶段应力从 $(S_{\max}+S_{\min})/2$ 变化到 $S_{\max}$ ;

[0087] 步骤三、对当前材料试样进行卸载,此阶段应力从 $S_{\max}$ 变化到 $(S_{\max}+S_{\min})/2$ ;

[0088] 步骤四、对当前材料试样进行压缩,此阶段应力从 $(S_{\max}+S_{\min})/2$ 变化到 $S_{\min}$ ;

[0089] 步骤五、对当前材料试样进行再卸载,此阶段应力从 $S_{\min}$ 变化到 $(S_{\max}+S_{\min})/2$ ;

[0090] 步骤六、对当前材料试样进行再拉伸,此阶段应力从 $(S_{\max}+S_{\min})/2$ 变化到 $S_{\max}$ ;

[0091] 步骤七、控制子系统的中央处理单元将疲劳试验完成次数加1;

[0092] 步骤八、控制子系统判定当前拉累积循环周次是否到达预定CT扫描的周次数,如果是,控制子系统停止直线运动机构,并启动旋转运动机构,同时向第三方同步辐射X射线系统发送触发信号;

[0093] 步骤九、旋转运动机构驱动高刚性主机机架连同材料试样进行无级旋转,同时,旋转运动机构的全数字伺服电机3-1驱动蜗杆3-2、蜗杆3-2带动蜗轮3-4转动,蜗轮3-4带动除底座1-5外的所有部件都随之无级旋转;同时,第三方同步辐射X射线系统对当前应力点的材料试样进行360度拍照;

[0094] 步骤十、控制子系统判定当前累积循环周次是否到达预定CT扫描的周次数,如果否,控制子系统继续做上述步骤二~步骤五的循环动作,直至材料试样疲劳断裂为止,或者累积循环周次达到预定的疲劳极限;

[0095] 所述步骤二的对当前材料试样进行拉伸,具体为:控制子系统启动直线运动机构的全数字伺服电机系统2-2正转,拉伸过程中,应力从 $(S_{\max}+S_{\min})/2$ 变化到 $S_{\max}$ ;

[0096] 所述步骤三的对当前材料试样进行卸载,具体为:控制子系统启动直线运动机构的全数字伺服电机系统2-2反转,卸载过程中,应力从 $S_{\max}$ 变为 $(S_{\max}+S_{\min})/2$ ;

[0097] 所述步骤四的对当前材料试样进行压缩,具体为:控制子系统控制直线运动机构的全数字伺服电机系统2-2继续反转,反向压缩过程中,应力从 $(S_{\max}+S_{\min})/2$ 变化到 $S_{\min}$ ;

[0098] 所述步骤五的对当前材料试样进行再卸载,具体为:控制子系统控制直线运动机构的全数字伺服电机系统2-2从反转变为正转,再卸载过程中,应力从 $S_{\min}$ 变化到 $(S_{\max}+S_{\min})/2$ ;

[0099] 所述步骤六的对当前材料试样进行再拉伸,具体为:控制子系统控制直线运动机构的全数字伺服电机系统2-2从继续正转,再拉伸过程中,应力从 $(S_{\max}+S_{\min})/2$ 变化到 $S_{\max}$ ;

[0100] 所述步骤二到步骤六控制子系统控制直线运动机构的全数字伺服电机系统2-2正转或反转时,带动螺套2-3旋转,当螺套2-3旋转时,

[0101] 1) 防转盘1-2限制升降杆2-4只能向上平移或向下平移,从而将全数字伺服电机系统2-2的旋转运动变为竖直向上、或竖直向下的直线运动;

[0102] 2) 当拉伸、卸载、压缩、再卸载、再拉伸的试验过程中,试样两端因不对中产生额外的弯矩影响时,调心球头1-8在由球头底板1-8-2和球头压板1-8-1组成的球头窝内转动,使得下部的可换拉杆1-7相对其竖直中心线偏斜一定角度,保证拉/压试样时不受额外的弯矩影响;

[0103] 进一步地,所述调心球头组件如图4-3所示,包括调心球头1-8以及调心球头附属件,该调心球头附属件包括紧贴在调心球头1-8上表面的球头压板1-8-1、紧贴在调心球头(1-8)下表面的球头底板1-8-2以及花键螺母一1-8-3和花键螺母二1-8-4;该顶部拉杆1-6从所述调心球头1-8中心穿过,顶部拉杆1-6露出调心球头1-8上下局部区域为外螺纹,通过所述花键螺母一1-8-3和花键螺母二1-8-4拧紧。

[0104] 进一步地,所述顶部拉杆1-6和调心球头1-8形成一个整体如图4-2所示,调心球头1-8可以在由球头底板1-8-2和球头压板1-8-1组成的球头窝内转动,使得下部的可换拉杆1-7可以相对其竖直中心线偏以及斜一定角度,保证拉/压试样时不受额外的弯矩影响。

[0105] 进一步地,所述防转盘1-2如图5所示,其上边缘均布6个压块1-2-1和6个限位块1-2-2,内部开4个减重孔1-2-4,铰孔1-2-3用于安装螺钉和底部的轴承座连接紧固,石英玻璃承载组件(1-1)底部法兰边缘开6个均布的缺口,缺口的周向宽度略大于防转盘(1-2)的压块和限位块的两侧宽度;安装时,石英玻璃承载组件(1-1)缺口对准压块和限位块,穿过后,法兰底部平面和防转盘顶面贴紧;将石英玻璃承载组件(1-1)顺时针旋转,其底部法兰正好被压块压住,直到受限位块阻挡而停住,从而实现了石英玻璃罩和防转盘的快速连接。

[0106] 所述高精度可往复式直线运动机构,包括电机支架2-1、全数字伺服电机系统2-2、螺套2-3、升降杆2-4;全数字伺服电机系统2-2驱动由螺套2-3和升降杆2-4组成的螺旋副,该螺旋副再配合防转盘1-2限定升降杆2-4只能向上平移或向下平移的功能,从而将旋转运动转换成直线运动,实现拉/压试样、实时输出拉或压力和位移值的功能;所述螺套2-3和升降杆2-4之间为螺纹连接。

[0107] 进一步地,所述旋转运动机构如图4-1、4-2所示,包括全数字伺服电机3-1、蜗杆3-2、蜗杆支架3-3、蜗轮3-4;由全数字伺服电机3-1驱动蜗杆3-2,带动蜗轮3-4转动,除底座1-5外的所有部件都随之无级旋转。

[0108] 进一步地,所述控制子系统如图2所示,包括:拉伸/压缩/卸载再加载/疲劳模式选择模块、设定力/位移模块、实时数据采集接收模块、力/位移控制模式选择模块、第三方触发和停止指令模块、启动或停止直线运动机构/旋转运动机构模块、中央处理模块;

[0109] 该中央处理模块接收拉伸/压缩/卸载再加载/疲劳模式选择模块的数据,从而控制全数字伺服电机系统2-2当前执行正向运转还是反向运转;根据设定力/位移模块、实时数据采集接收模块的数据,闭环控制当前材料试样的被控压力或者位移;根据实时数据采集接收模块反馈的当前材料试样在压力区间/位移区间上的进度,启动或停止直线运动机构/旋转运动机构,并向第三方发送触发和停止指令;根据力/位移控制模式选择,确定闭环控制方式是力的闭环控制还是位移的闭环控制。

[0110] 补充说明2:

[0111] 卸载再加载的试验原理同疲劳损伤试验,均为双向应力加载,区别在于:疲劳损伤试验卸载后继续反向压缩,也就是伺服电机继续反转,卸载再加载试验卸载后伺服电机不再继续反转,而是由反转变为正转。

[0112] 实施例一:最大试验载荷能力的设计

[0113] 本实施例设计的最大试验载荷不大于5KN。最大试验载荷能力是由高刚度石英玻璃组件、调心球头组件、可重复往复运动机构中螺杆直径、以及伺服电机系统的扭矩共同决定。任何一个部件/组件选配或者设计上的不合理都会影响整个系统的实验载荷能力。也就是要根据试验所需的最大试验载荷来调整石英玻璃组件的厚度和伺服电机系统的输出扭矩和轴套的厚度。

[0114] 1) 石英玻璃罩的设计:当最大试验载荷为5KN时,设计石英玻璃罩的直径为112mm,厚度为3mm,这样,通过计算得到石英玻璃所承受的载荷为4.19MPa,远小于石英玻璃的抗压强度(785~1150 MPa),此时石英玻璃罩的应变值为 $0.5 \times 10^{-4}$ ,满足材料试验机的精确测试要求。

[0115] 2) 调心球头组件的设计:调心球头组件的调心球头1-8和球头压板以及球头底板的间隙不得大于0.05mm;

[0116] 3) 螺杆直径的设计:对于往复直线运动系统来讲,设计螺杆直径为36mm,采用传动梯形公制粗螺纹,传动效率为0.9。

[0117] 4) 电机扭矩的设计:通过计算电机的扭矩为15.92N·m,小于目前选型为三菱MITSUBISHI J4系列伺服电机HG-SR的额定扭矩23.9 N·m,另外额定转速为2000r/min,满足疲劳试验频率的要求。

[0118] 5) 螺套为购买第三方产品,其选型和最大试验载荷为5KN相匹配。

[0119] 应用可旋转的微型原位材料试验系统,本发明还设计了一种微型原位材料拉/压试验方法如下:

[0120] 一种微型原位材料拉/压试验方法如图8-1、8-2,该方法基于一种可旋转的微型原位材料试验系统,该系统如图1-1、1-2、图3所示,该系统包括高刚性主机机架子系统、传动子系统、控制子系统、实时数据采集单元以及第三方同步辐射X射线系统和第三方同步DIC非接触全场应变测量系统;所述高刚性主机机架子系统用于分别支撑和连接所述传动子系统和控制子系统;所述的传动子系统包括高精度可往复式直线运动机构和旋转运动机构;所述实时数据采集单元用于将采集的压力传感器4-1和位移传感器4-2数据发送给控制

子系统;所述的控制子系统用于启动或停止所述传动子系统的高精度可往复式直线运动机构和旋转运动机构,并向第三方同步辐射X射线系统和第三方同步DIC非接触全场应变测量系统发送触发和停止信号;该高精度可往复式直线运动机构用于对材料试样进行包括拉伸、压缩、卸载再加载、疲劳损伤的试验;该旋转运动机构用于按第三方同步辐射X射线系统的试验要求驱动所述高刚性主机机架子系统连同材料试样进行无级旋转、使得材料试样在有效的视场高度内被第三方同步辐射X射线系统无障碍穿透;该控制子系统灵活设定和控制实现除了拉伸试验以外的包括压缩、卸载再加载、疲劳损伤试验的轨迹,以及灵活设定和控制实现旋转运动机构的旋转间隔时间;

[0121] 其特点是:该微小型原位材料拉/压试验方法,包括以下步骤:

[0122] 步骤一、完成材料试样拉压试验前的初始化准备工作;

[0123] 所述初始化准备工作,包括:

[0124] 1) 设定材料试样的模式是应力控制模式还是应变控制模式;

[0125] 2) 设定材料试样在拉/压试验中最大应力 $S_{\max}$ 和最小应力 $S_{\min}$ ;

[0126] 3) 设定材料试样在坐标轴上应力/应变各个离散点的值;

[0127] 4) 在可换拉杆1-7和升降杆2-4之间安装试样;

[0128] 步骤二、选择当前试验的类型:拉伸、压缩;

[0129] 步骤三、若选择当前试验的类型为拉伸试验,控制子系统控制直线运动机构全数字伺服电机系统2-2正转,带动螺套2-3旋转;若选择当前试验的类型为压缩试验,则控制子系统控制直线运动机构的全数字伺服电机系统2-2反转,带动螺套2-3旋转;

[0130] 步骤四、当采用拉伸试验时,防转盘1-2限制升降杆2-4只能向下平移,当采用压缩试验试验时,防转盘1-2限制升降杆2-4只能向上平移,从而将全数字伺服电机系统2-2的旋转运动变为直线运动;

[0131] 步骤五、材料试样接受拉/压的试验;

[0132] 步骤六、当拉/压试样过程中试样两端因不对中产生额外的弯矩影响时,调心球头1-8在由球头底板1-8-2和球头压板1-8-1组成的球头窝内转动,使得下部的可换拉杆1-7相对其竖直中心线偏斜一定角度,保证拉/压试样时不受额外的弯矩影响;

[0133] 步骤七、控制子系统判定当前应力值是否到达设定的下一个应力/应变离散点的值,如果否,则控制子系统向第三方同步DIC非接触全场应变测量系统发送触发信号,第三方同步DIC非接触全场应变测量系统对上一个应力离散点和下一个应力离散点之间的材料试样进行拍照;同时,控制子系统启动闭环控制子系统对当前材料试样的被控力/位移进行调整;所述的闭环控制子系统包括基于力的闭环控制子系统以及基于位移的闭环控制子系统;

[0134] 步骤八、控制子系统判定当前应力值是否到达设定的下一个应力离散点的值,如果是,控制子系统停止直线运动机构,并启动旋转运动机构,同时向第三方同步辐射X射线系统发送触发信号;

[0135] 步骤九、旋转运动机构驱动高刚性主机机架连同材料试样进行无级旋转,同时,旋转运动机构的全数字伺服电机3-1驱动蜗杆3-2、蜗杆3-2带动蜗轮3-4转动,蜗轮3-4带动除底座1-5外的所有部件都随之无级旋转;同时,第三方同步辐射X射线系统对当前应力点的材料试样进行360度拍照;

[0136] 步骤十、控制子系统判断当前拉/压的应力值是否到达应力试验区间上限 $S_{\max}$ 或者下限 $S_{\min}$ , 如果否, 返回步骤五, 如果当前拉/压应力值到达应力试验区间上限 $S_{\max}$ 或者下限 $S_{\min}$ , 则试验结束。

[0137] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已, 并非用于限定本发明的保护范围。凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换、改进等, 均包含在本发明的保护范围内。



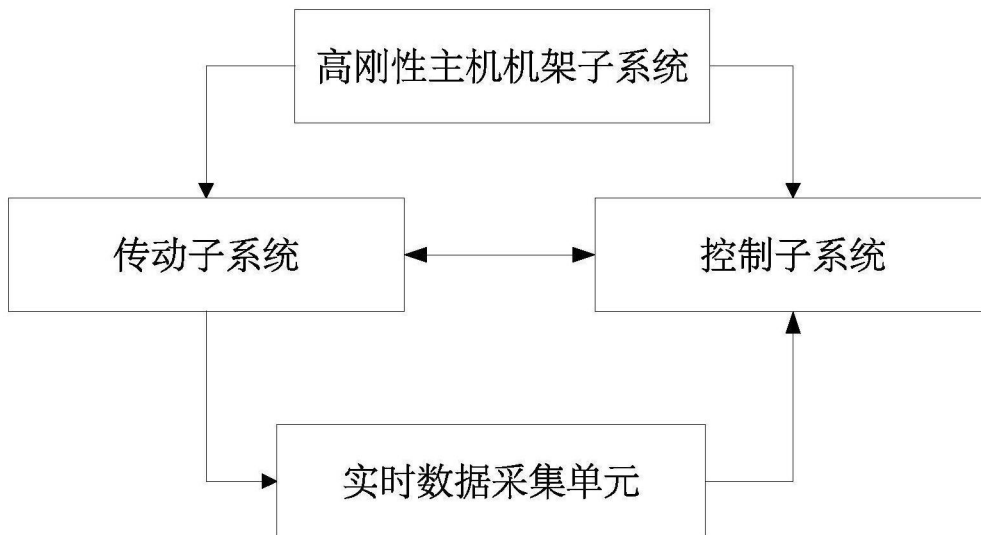


图1-1

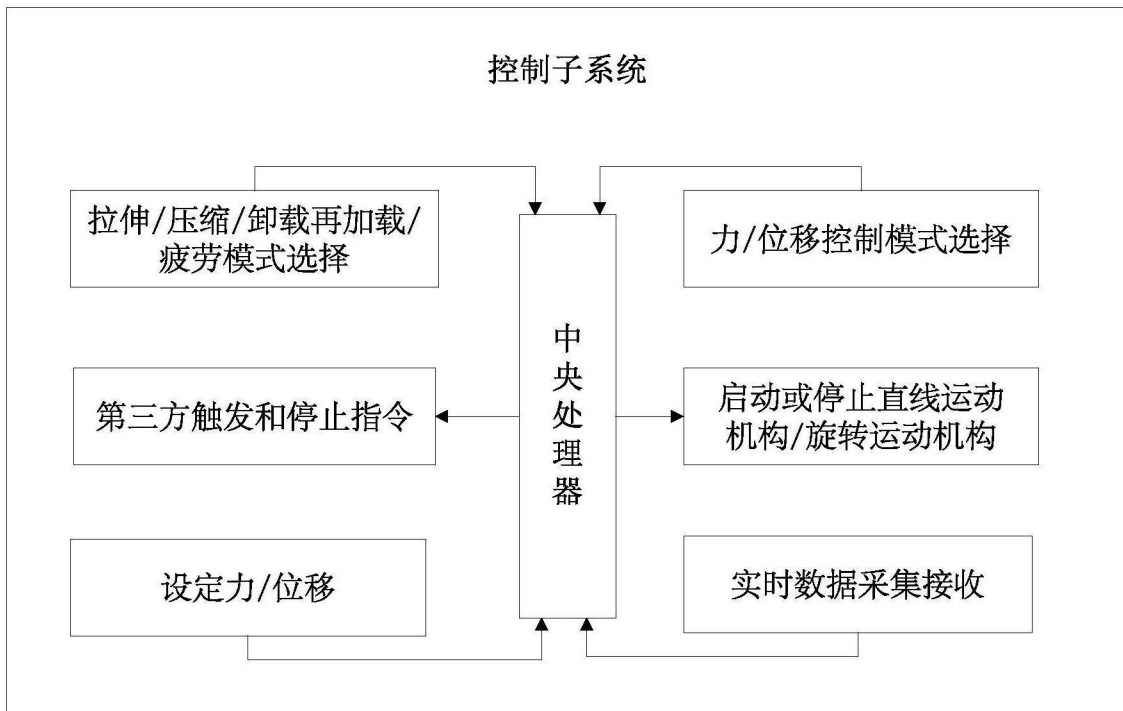


图1-2

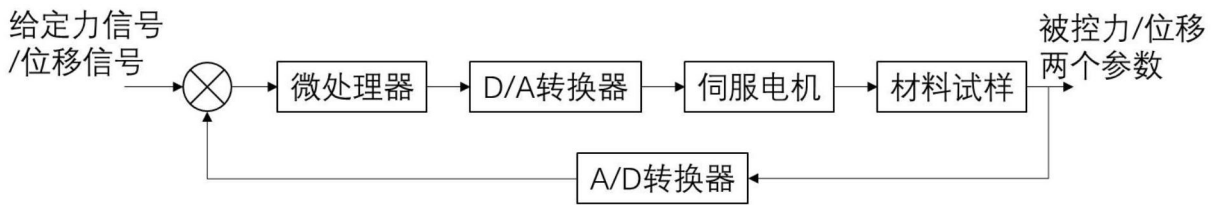


图2

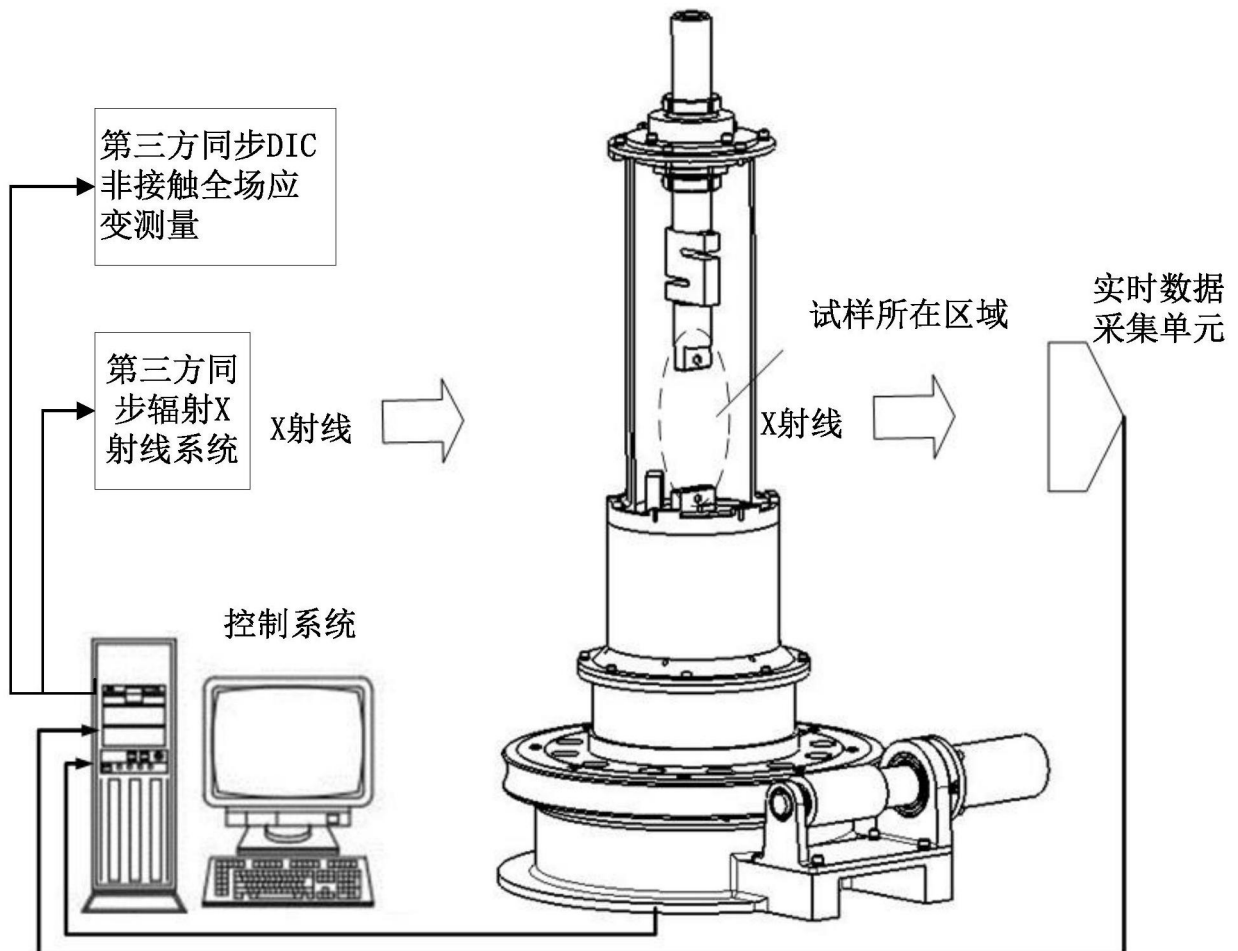


图3

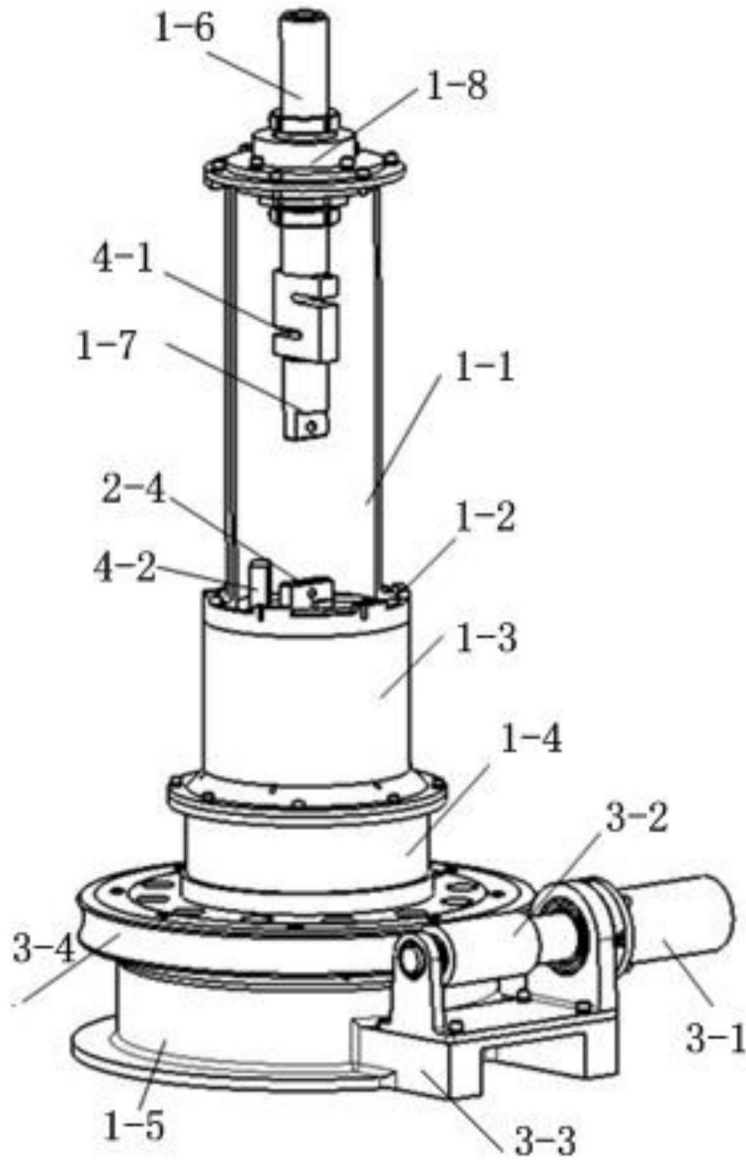


图4-1

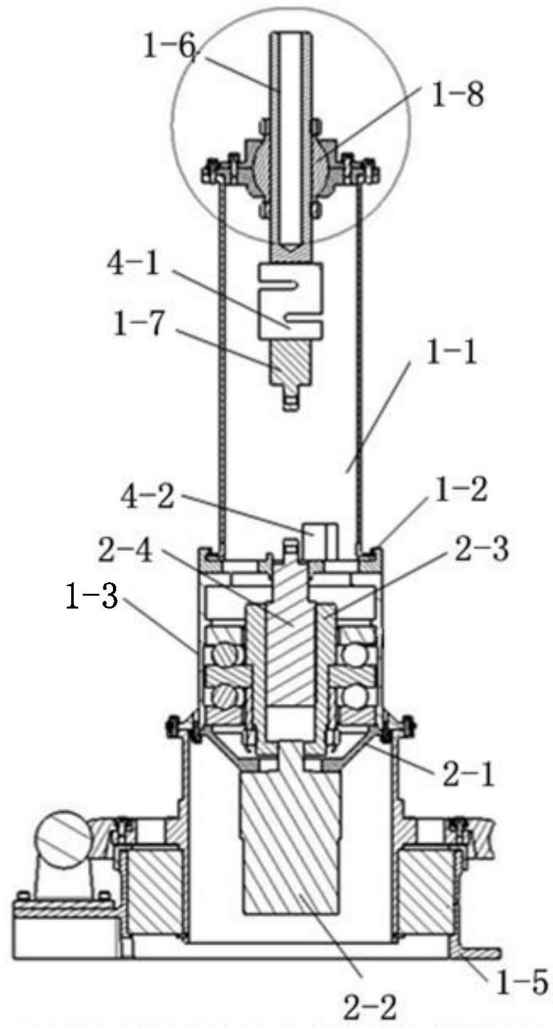


图4-2

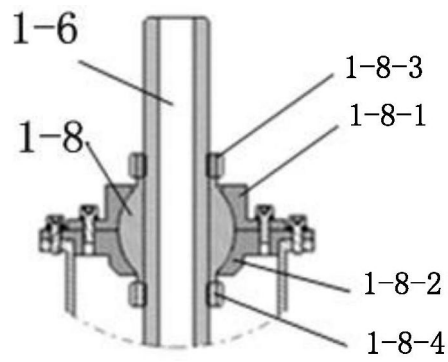


图4-3

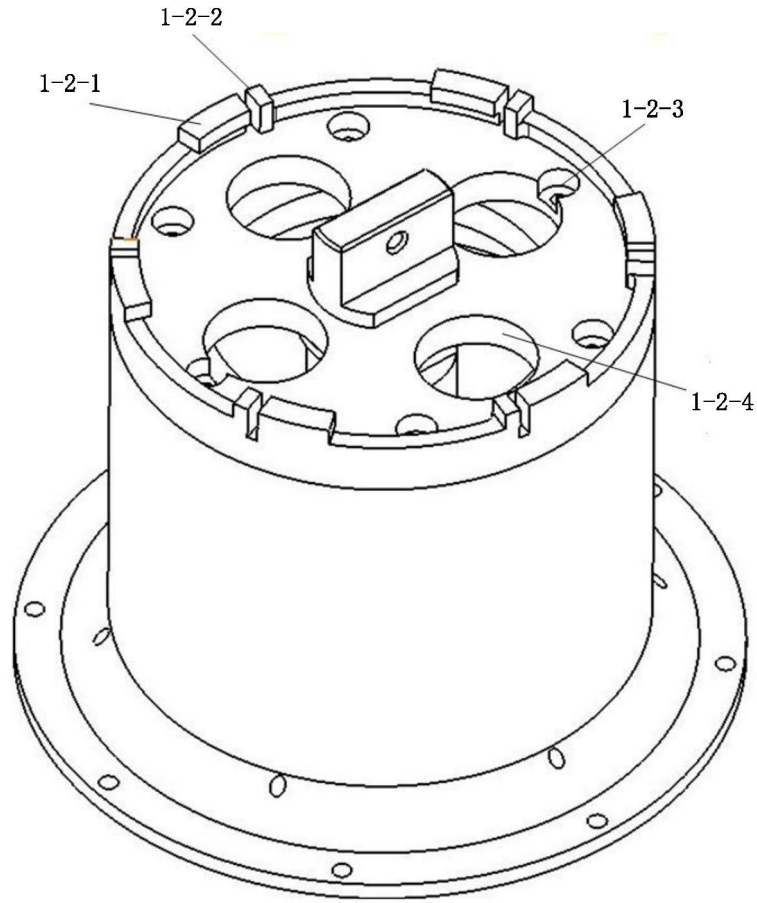


图5

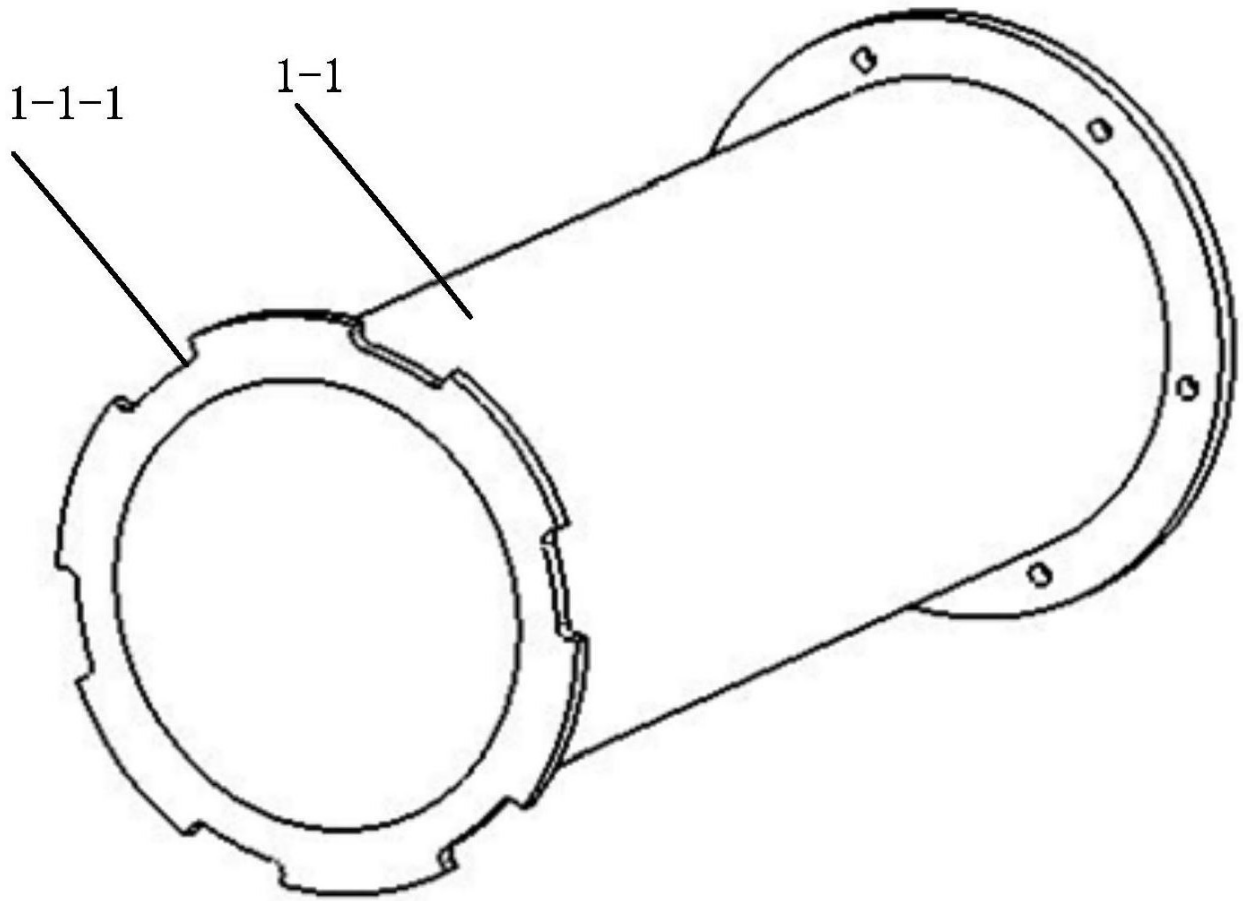


图6

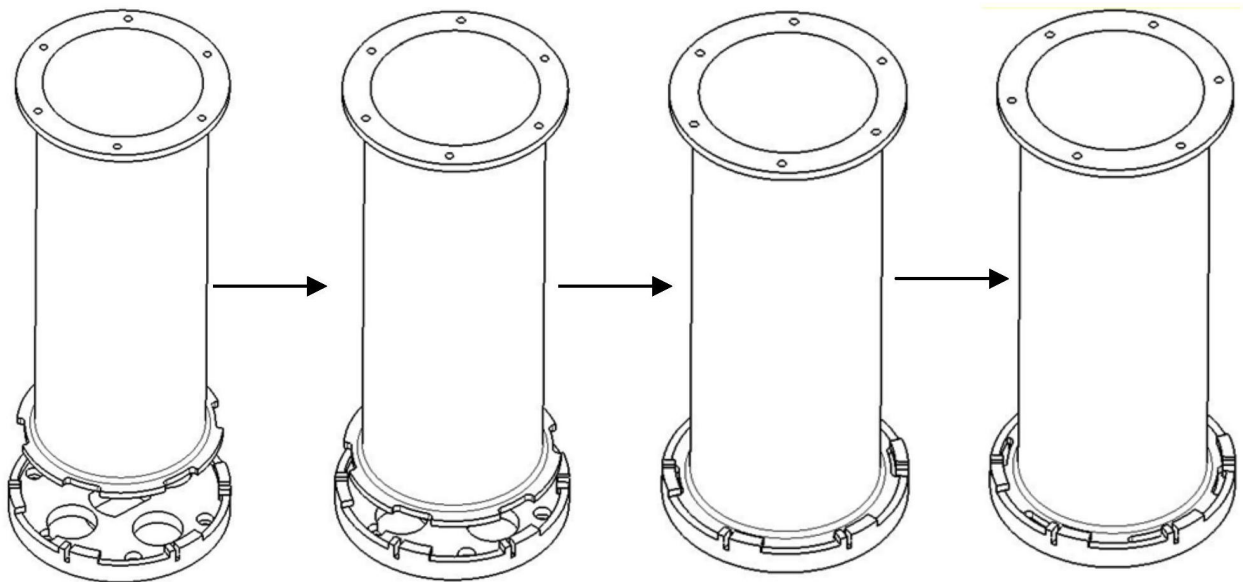


图7

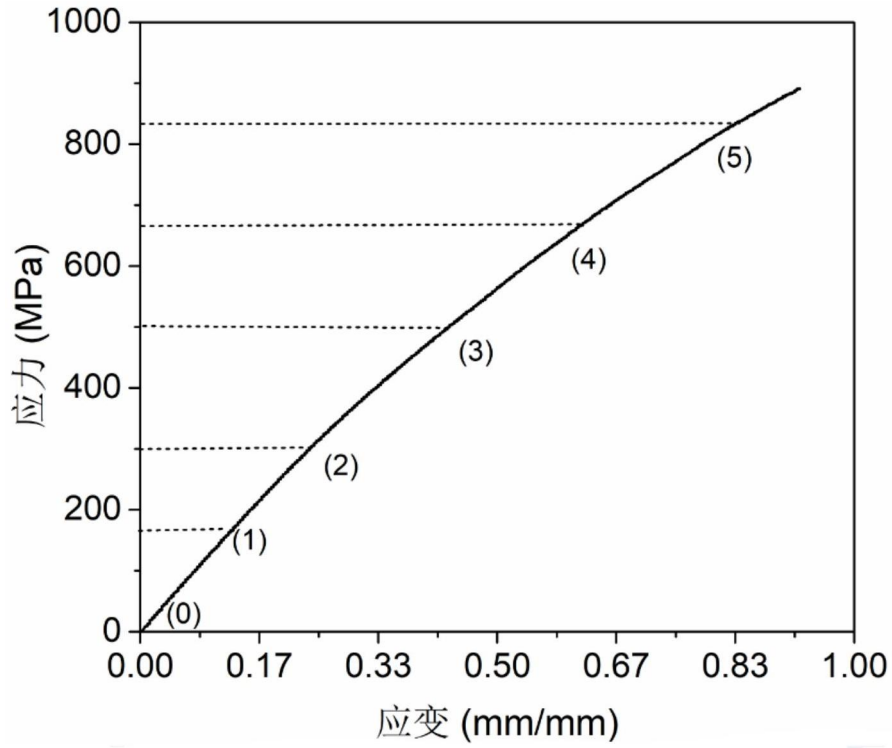


图8-1

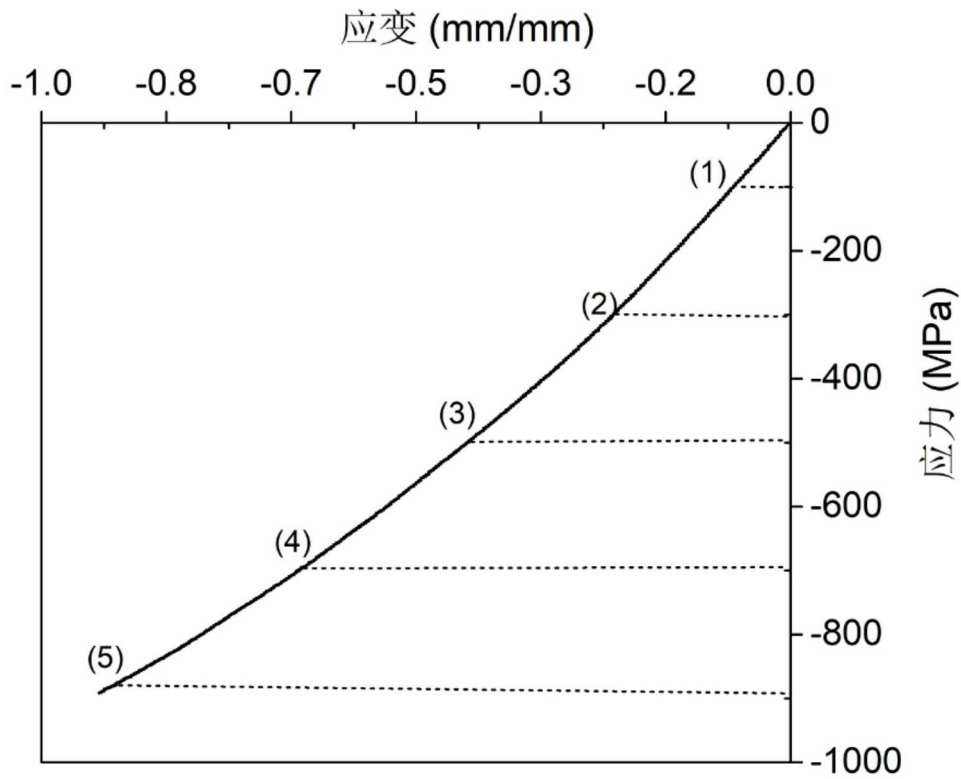


图8-2

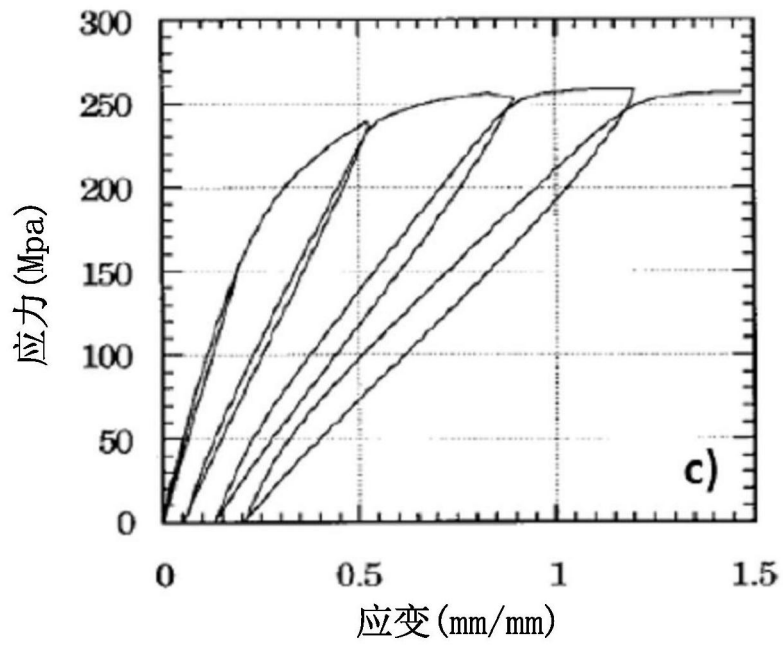


图9

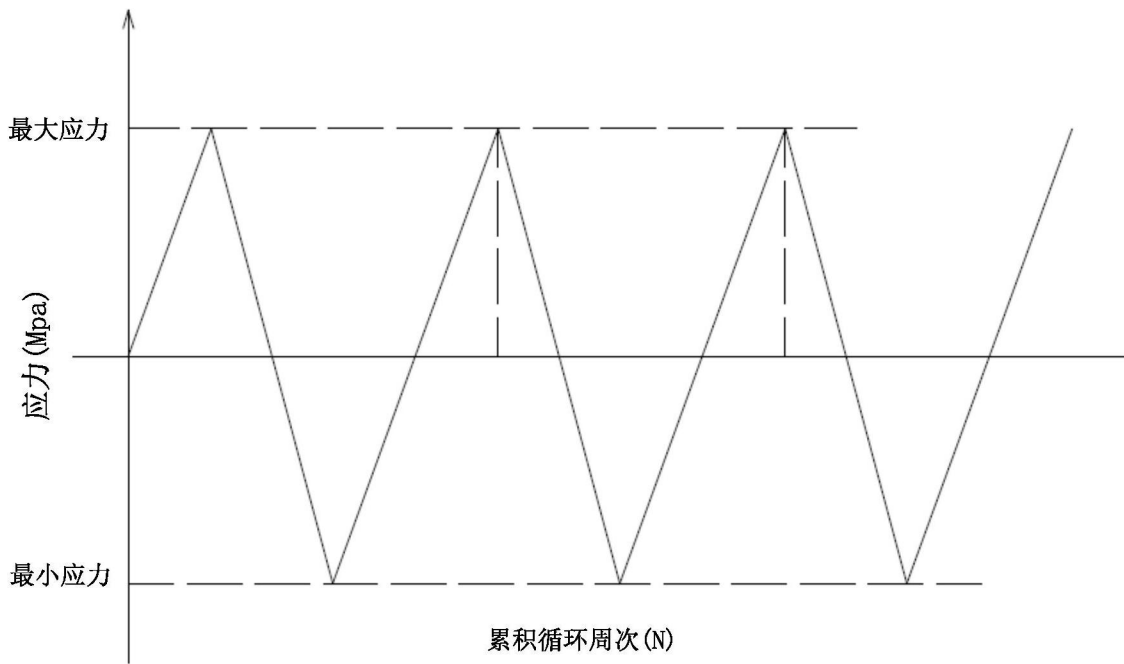


图10



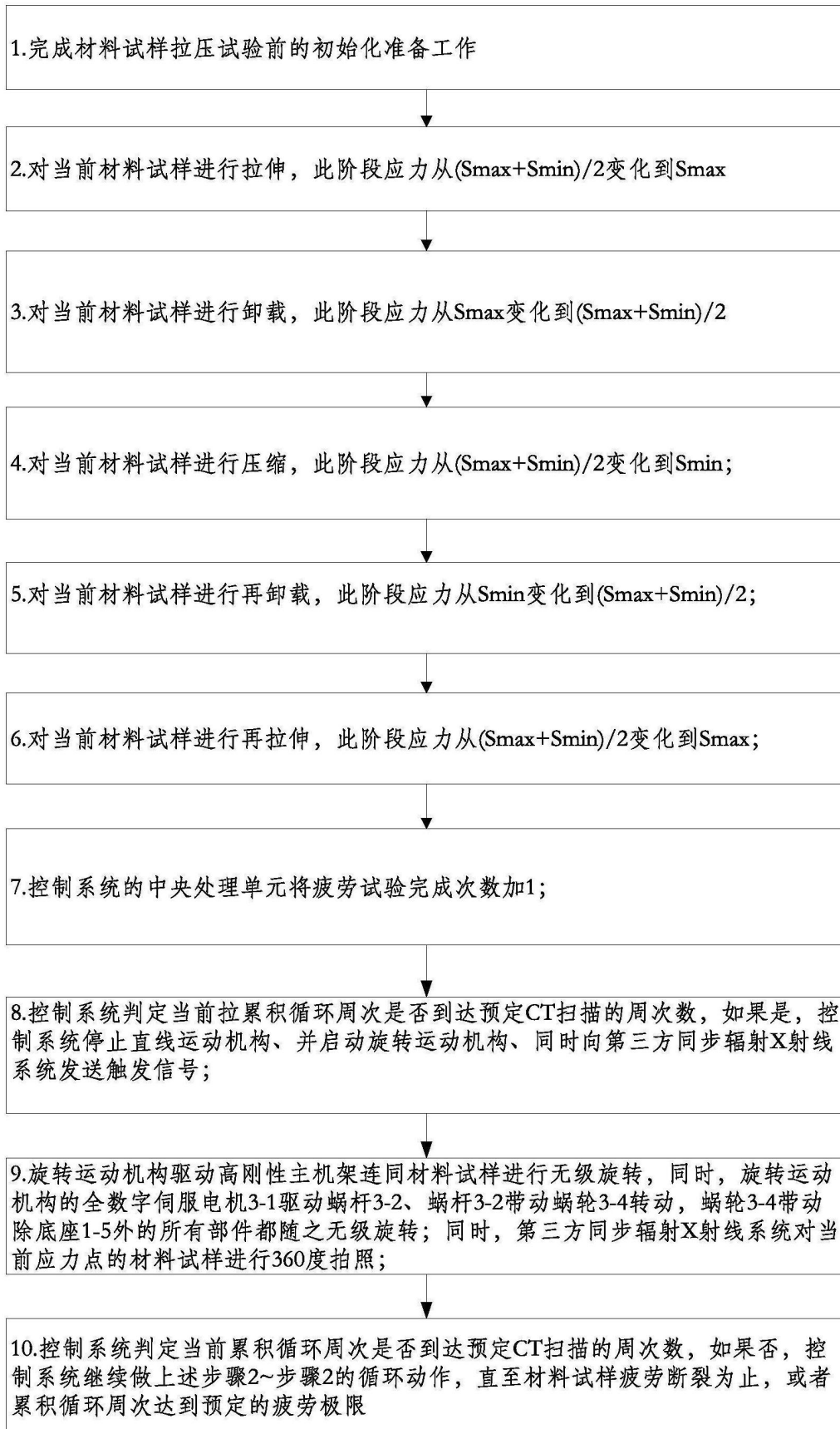


图11