



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109115593 B

(45) 授权公告日 2020. 11. 06

(21) 申请号 201811013650.4

(22) 申请日 2018.08.31

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 109115593 A

(43) 申请公布日 2019.01.01

(73) 专利权人 中国兵器工业第五九研究所
地址 400039 重庆市九龙坡区石桥铺渝州
路33号

专利权人 重庆大学
中机思美迪(长春)科技有限公司

(72) 发明人 罗来正 肖勇 王晓辉 孔繁和
吴帅 张泳 苏艳 张帷 朱玉琴
舒畅 钟勇 贾鑫 苏虹 刘继彬
魏仁杰

(74) 专利代理机构 重庆弘旭专利代理有限责任
公司 50209

代理人 韩绍兴

(51) Int.Cl.
G01N 3/02 (2006.01)
G01N 3/04 (2006.01)
G01N 3/12 (2006.01)
G01N 3/20 (2006.01)

审查员 钟爱芝

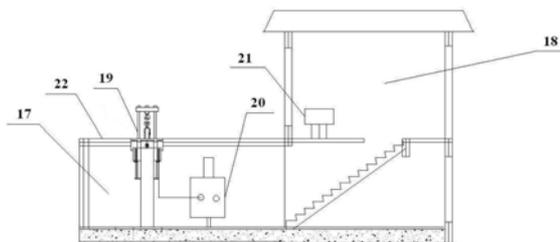
权利要求书2页 说明书11页 附图6页

(54) 发明名称

海洋气候环境-拉、压、弯载荷耦合试验设备
及试验方法

(57) 摘要

本发明提供了一种海洋气候环境-拉、压、弯
载荷耦合试验设备及试验方法,试验设备包括主
机,设置于可控温控湿的地下密闭控制室内并
用于驱动控制主机运行的液压站及其控制系统,
设置于地面控制室并用于控制试验条件的软件
控制系统,且主机、液压站及其控制系统和软件
控制系统三分离布设;主机上部结构暴露于海
洋大气环境中,主机下部结构位于地下密闭控
制室内。试验方法的主要步骤为采用该试验设
备进行海洋气候环境-拉、压、弯载荷耦合试
验。本发明不仅可针对试件在海洋大气户外环
境下开展拉、压、弯载荷耦合试验,而不局限
于实验室模拟环境试验,而且试验设备能够在
海洋气候环境中使用半年以上,确保海洋环境
耦合试验可靠、有效地连续开展。



1. 一种海洋气候环境-拉、压、弯载荷耦合试验设备,其特征在于:所述试验设备包括主机(19),设置于可控温控湿的地下密闭控制室(17)内并用于驱动控制主机(19)运行的液压站及其控制系统(20),设置于地面控制室(18)并用于控制试验条件的软件控制系统(21),且主机(19)、液压站及其控制系统(20)和软件控制系统(21)三分离布设;

所述主机(19)上部结构包括四面镂空的框架,框架包括上横梁(1)和升降柱(5),升降柱(5)上端连接上横梁(1),升降柱(5)下端穿过支撑台(10)并连接升降缸(11);在框架内竖直设置有可拆卸的并用于夹持试件(24)的拉伸夹具(23)、压缩夹具(25)、弯曲夹具(27),各夹具包括上夹头(2)和下夹头(3),上夹头(2)连接上横梁(1),下夹头(3)连接夹杆(4)上端,夹杆(4)下端连接载荷传感器(6),载荷传感器(6)连接中横梁(8),由上横梁(1)、升降柱(5)、中横梁(8)共同构成镂空式第一闭环框架结构;所述主机(19)上部结构的上横梁(1)和升降柱(5)上半部分暴露于海洋大气环境中,所述升降柱(5)上半部分是指位于中横梁(8)以上的部分;

所述主机(19)下部结构位于地下密闭控制室(17)内,所述主机(19)下部结构包括中横梁(8)和立架(9),立架(9)上端连接中横梁(8),立架(9)下端固定连接在支撑台(10)上,在中横梁(8)上设置有导向孔,升降柱(5)活动穿设于导向孔内,升降柱(5)与导向孔的配合方式为小间隙配合,间隙量为0.1-0.3mm,由升降柱(5)、中横梁(8)、立架(9)和支撑台(10)共同构成第二闭环框架结构;

在上横梁(1)表面设置有镀铬层,在上横梁(1)的镀铬层表面设置有耐海水有机涂料层;在升降柱(5)表面设置有镀铬层,在升降柱(5)的镀铬层表面设置有防锈油;在各夹具表面设置有镀锌层,在各夹具非承力部分的镀锌层表面设置有耐海水有机涂料层;

在中横梁(8)上设置有用于锁紧中横梁(8)和升降柱(5)的锁紧机构(7),且当锁紧机构(7)处于锁紧状态时,中横梁(8)、升降柱(5)均被固定,通过液压站及其控制系统(20)驱动夹杆(4)与下夹头(3)同步上升或同步下降以实现试件(24)的疲劳加载;当锁紧机构(7)处于非锁紧状态时,通过液压站及其控制系统(20)驱动升降柱(5)和上横梁(1)同步上升或同步下降以实现夹具的夹持间距调节;

所述试验设备的试验频率范围为0.01-50Hz,动载荷、静载荷范围为±100KN,有效夹持距离为20-400mm。

2. 根据权利要求1所述的试验设备,其特征在于:所述液压站及其控制系统(20)的油路系统通过电磁阀组(12)控制油路开合;所述液压站及其控制系统(20)通过驱动伺服机构带动所述下夹头(3)运行;伺服机构包括伺服阀(13),伺服阀(13)同时连接所述液压站及其控制系统(20)、所述软件控制系统(21)和伺服作动器(14),伺服作动器(14)位于所述中横梁(8)下方并连接所述下夹头(3),伺服作动器(14)下方连接位移传感器(15);所述液压站及其控制系统(20)供应的液压油经过伺服阀(13)进入伺服作动器(14),通过所述软件控制系统(21)输入控制信号控制伺服作动器(14)作往复直线运动并带动所述下夹头(3)上下往复运动,实现对试件(24)的疲劳加载。

3. 根据权利要求2所述的试验设备,其特征在于:所述液压站及其控制系统(20)连接所述升降缸(11),所述升降缸(11)连接所述升降柱(5),所述液压站及其控制系统(20)驱动所述升降缸(11)作往复直线运动并带动所述升降柱(5)和所述上横梁(1)同步上升或同步下降。

4. 根据权利要求3所述的试验设备,其特征在于:所述锁紧机构(7)为液压锁紧机构,所述锁紧机构(7)设置于所述中横梁(8)两端,所述升降柱(5)为相互平行的符合强度要求的双立柱,所述立架(9)为符合强度要求的钢筒体。

5. 根据权利要求1、2、3或4所述的试验设备,其特征在于:所述上横梁(1)、所述升降柱(5)均采用316L不锈钢,所述耐海水有机涂料层采用HJ120改性环氧底漆层+HJ500脂肪族聚氨酯面漆层。

6. 一种海洋气候环境-拉、压、弯载荷耦合试验方法,其特征在于:采用如权利要求1-5任一项所述的试验设备开展环境-拉、压、弯载荷耦合试验,所述试验方法步骤包括:

步骤1: 试件安装

先启动地面控制室的软件控制系统,开启地下密闭控制室内的液压站及其控制系统,使上夹头、下夹头处于松开状态;驱动升降缸使上横梁和升降柱向上移动,到达合适位置后将试件一端固定于上夹头,通过软件控制系统将载荷清零;驱动升降缸使上横梁和升降柱向下移动,到达合适位置后将试件另一端固定于下夹头,通过软件控制系统将载荷清零后再对位移清零;

步骤2: 耦合试验

根据试件对应的产品在服役中所受的工况载荷确定试验条件,在软件控制系统中设定好试验条件后开展耦合试验,耦合试验过程中,试验数据由相应的传感器反馈给软件控制系统进行实时监测;

步骤3: 试件断裂取样

试验过程中试件发生断裂,至少在试件断裂后的3h内取回试件,并将试件放置在干燥器中待测,开展试验结果评定。

7. 根据权利要求6所述的试验方法,其特征在于:所述耦合试验包括单种工况载荷耦合试验或多种工况载荷循环耦合试验。

8. 根据权利要求7所述的试验方法,其特征在于:所述单种工况载荷耦合试验为海洋气候环境-拉-拉载荷耦合试验、海洋气候环境-拉-压载荷耦合试验、海洋气候环境-压缩载荷耦合试验、海洋气候环境-弯曲载荷耦合试验中的任意一种;所述单种工况载荷耦合试验时间不少于10天,试验过程中,每天按照试验条件加载后将试件自然暴露于海洋气候环境中。

9. 根据权利要求8所述的试验方法,其特征在于:所述多种工况载荷循环耦合试验包括两种载荷循环作用耦合试验、三种载荷循环作用耦合试验、四种载荷循环作用耦合试验;具体地,所述两种载荷循环作用耦合试验为海洋气候环境-拉-拉+拉-压载荷循环、拉-拉+压缩载荷循环、拉-拉+弯曲载荷循环、拉-压+压缩载荷循环、拉-压+弯曲载荷循环、压缩+弯曲载荷循环中的任意一种;所述三种载荷循环作用耦合试验为海洋气候环境-拉-拉+拉-压+压缩载荷循环、拉-拉+拉-压+弯曲载荷循环、拉-拉+压缩+弯曲载荷循环、拉-压+压缩+弯曲载荷循环中的任意一种;所述四种载荷循环作用耦合试验为海洋气候环境-拉-拉+拉-压+压缩+弯曲载荷循环。

海洋气候环境-拉、压、弯载荷耦合试验设备及试验方法

技术领域

[0001] 本发明属于材料力学试验技术领域,具体涉及一种海洋气候环境-拉、压、弯载荷耦合试验设备及试验方法。

背景技术

[0002] 飞机、车辆及船舶等装备在海洋大气环境服役过程中,一方面承受高温、高湿、高盐雾、强太阳辐射和频繁的干/湿交替作用等多种环境因素的腐蚀影响,另一方面遭受反复的拉伸、压缩和/或弯曲等一种工况载荷影响或多种工况载荷循环/综合作用,这种大气环境腐蚀-工况载荷耦合作用远大于环境腐蚀和工况载荷单独作用的简单迭加,极易造成装备关键结构件和部分功能件提前失效,严重威胁装备的可靠安全服役。研发海洋气候环境-拉、压、弯载荷耦合试验设备及试验方法,真实再现装备材料、工艺及构件海洋气候环境下腐蚀疲劳和应力腐蚀损伤现象,为装备材料、工艺及构件的环境适应性试验、验证、评价及快速筛选等提供新的试验平台及技术手段,对于丰富和发展腐蚀疲劳和应力腐蚀等相关理论,以及装备的科学选材、定寿、延寿等具有重要的理论与工程应用价值。因此,急需提供先进、有效的试验设备及试验方法用于研究装备海洋气候环境与工况载荷耦合作用下的材料、工艺及构件性能退化规律,保障并提升装备海洋大气环境适应能力。

[0003] 目前,国内外对于自然大气环境腐蚀-工况载荷耦合作用下的材料、工艺及构件的性能退化规律研究主要集中于实验室,在普通疲劳试验设备基础上增加能够模拟温度、湿度或介质等环境因素的环境箱,如CN203745216U公开的海洋环境模拟环境箱设备及电液伺服动静试验机,试样在盐水浸泡、盐水涨落、盐水喷雾环境下由电液伺服机加载压缩、拉伸和弯曲变形载荷;又如CN104931369A公开的地铁钢筋腐蚀与拉伸疲劳耦合试验装置。这类装置的特点是利用实验室疲劳试验设备增加环境模拟箱,然而这种环境箱通常只模拟一种环境条件,既不能反映海洋大气条件下的高温、高湿、高盐雾、强太阳辐射和频繁的干/湿交替作用等多种环境因素综合影响,更难以真实地对复杂海洋大气环境与多种工况载荷耦合作用下的材料、工艺及构件性能变化进行准确考核与评定。此外,现有的试验设备不能在海洋大气户外环境下可靠、有效地工作,而将其长久(时间在半年以上)的用于海洋气候环境中进行环境试验更是本领域的一大技术难题。

发明内容

[0004] 本发明目的之一在于提供一种海洋气候环境-拉、压、弯载荷耦合试验设备,该试验设备能够长久的用于海洋气候环境中进行环境试验。

[0005] 为实现上述目的,本发明采用如下技术方案。

[0006] 一种海洋气候环境-拉、压、弯载荷耦合试验设备,包括主机,设置于可控温控湿的地下密闭控制室内并用于驱动控制主机运行的液压站及其控制系统,设置于地面控制室并用于控制试验条件的软件控制系统,且主机、液压站及其控制系统和软件控制系统三分离布设;

[0007] 主机上部结构包括四面镂空的框架,框架包括上横梁和升降柱,升降柱上端连接上横梁,升降柱下端穿过支撑台并连接升降缸;在框架内竖直设置有可拆卸的并用于夹持试件的拉伸夹具、压缩夹具、弯曲夹具,夹具包括上夹头和下夹头,上夹头连接上横梁,下夹头连接夹杆上端,夹杆下端连接载荷传感器,载荷传感器连接中横梁,由上横梁、升降柱、中横梁共同构成镂空式第一闭环框架结构;主机上部结构的上横梁和升降柱上半部分暴露于海洋大气环境中,升降柱上半部分是指位于中横梁以上的部分;

[0008] 主机下部结构位于地下密闭控制室内,主机下部结构包括中横梁和立架,立架上端连接中横梁,立架下端固定连接在支撑台上,在中横梁上设置有导向孔,升降柱活动穿设于导向孔内,升降柱与导向孔的配合方式为小间隙配合,间隙量为0.1-0.3mm,由升降柱、中横梁、立架和支撑台共同构成第二闭环框架结构;

[0009] 在上横梁表面设置有镀铬层,在上横梁的镀铬层表面设置有耐海水有机涂料层;在升降柱表面设置有镀铬层,在升降柱的镀铬层表面设置有防锈油;在夹具表面设置有镀锌层,在夹具非承力部分的镀锌层表面设置有耐海水有机涂料层;

[0010] 在中横梁上设置有用于锁紧中横梁和升降柱的锁紧机构,且当锁紧机构处于锁紧状态时,中横梁、升降柱均被固定,通过液压站及其控制系统驱动夹杆与下夹头同步上升或同步下降以实现对试件的疲劳加载;当锁紧机构处于非锁紧状态时,通过液压站及其控制系统驱动升降柱和上横梁同步上升或同步下降以实现夹具的夹持间距调节。

[0011] 进一步地,液压站及其控制系统的油路系统通过电磁阀组控制油路开合;液压站及其控制系统通过驱动伺服机构带动下夹头运行;伺服机构包括伺服阀,伺服阀同时连接液压站及其控制系统、软件控制系统和伺服作动器,伺服作动器位于中横梁下方并连接下夹头,伺服作动器下方连接位移传感器;

[0012] 液压站及其控制系统供应的液压油经过伺服阀进入伺服作动器,通过软件控制系统输入控制信号控制伺服作动器作往复直线运动并带动下夹头上下往复运动,实现对试件的疲劳加载。

[0013] 进一步地,液压站及其控制系统连接升降缸,升降缸连接升降柱,液压站及其控制系统驱动升降缸作往复直线运动并带动升降柱和上横梁同步上升或同步下降。

[0014] 进一步地,液压站主要由电机泵组、油路系统、辅助装置和子站组成,液压站控制系统主要由控制柜、主机转接盒和液压站转接盒组成。

[0015] 其中,载荷传感器用于测量试验加载力,位移传感器用于测量伺服作动器位置移动。

[0016] 进一步地,软件控制系统包括载荷类型模块、载荷量值模块、频率模块、波形模块、液压油源控制模块,并可通过控制系统的人机交互界面设定试验参数。

[0017] 进一步地,锁紧机构设置于中横梁两端。

[0018] 进一步地,锁紧机构为液压锁紧机构。

[0019] 进一步地,升降柱为相互平行的符合强度要求的双式立柱,立架为符合强度要求的钢筒体。

[0020] 进一步地,上横梁、升降柱均采用316L不锈钢,耐海水有机涂料层采用HJ120改性环氧底漆层+HJ500脂肪族聚氨酯面漆层。

[0021] 进一步地,试验设备的试验频率范围为0.01-50Hz,试验设备的动载荷、静载荷范

围为±100KN,试验设备的有效夹持间距为20-400mm。

[0022] 本发明的另一目的在于提供一种海洋气候环境-拉、压、弯载荷耦合试验方法,该方法是采用上述试验设备进行海洋气候环境-拉、压、弯载荷耦合试验,该试验方法包括以下步骤:

[0023] 步骤1:试件安装

[0024] 先启动地面控制室的软件控制系统,开启地下密闭控制室内的液压站及其控制系统,使上夹头、下夹头处于松开状态;驱动升降缸使上横梁和升降柱向上移动,到达合适位置后将试件一端固定于上夹头,通过软件控制系统将载荷清零;驱动升降缸使上横梁和升降柱向下移动,到达合适位置后将试件另一端固定于下夹头,通过软件控制系统将载荷清零后再对位移清零;

[0025] 步骤2:耦合试验

[0026] 根据试件对应的产品在服役中所受的工况载荷确定试验条件,在软件控制系统中设定好试验条件后开展耦合试验,耦合试验过程中,试验数据由相应的传感器反馈给软件控制系统进行实时监测;

[0027] 步骤3:试件断裂取样

[0028] 试验过程中试件发生断裂,至少在试件断裂后的3h内取回试件,并将试件放置在干燥器中待测,开展试验结果评定。

[0029] 进一步地,耦合试验包括单种工况载荷耦合试验或多种工况载荷循环耦合试验。

[0030] 其中,单种工况载荷耦合试验为海洋气候环境-拉-拉载荷耦合试验、海洋气候环境-拉-压载荷耦合试验、海洋气候环境-压缩载荷耦合试验、海洋气候环境-弯曲载荷耦合试验中的任意一种;单种工况载荷耦合试验时间不少于10天,试验过程中,每天按照试验条件加载后将试件自然暴露于海洋气候环境中。

[0031] 其中,多种工况载荷循环耦合试验包括两种载荷循环作用耦合试验、三种载荷循环作用耦合试验、四种载荷循环作用耦合试验;具体地,两种载荷循环作用耦合试验为海洋气候环境-拉-拉+拉-压载荷循环、拉-拉+压缩载荷循环、拉-拉+弯曲载荷循环、拉-压+压缩载荷循环、拉-压+弯曲载荷循环、压缩+弯曲载荷循环的任意一种;三种载荷循环作用耦合试验为海洋气候环境-拉-拉+拉-压+压缩载荷循环、拉-拉+拉-压+弯曲载荷循环、拉-拉+压缩+弯曲载荷循环、拉-压+压缩+弯曲载荷循环的任意一种;四种载荷循环作用耦合试验为海洋气候环境-拉-拉+拉-压+压缩+弯曲载荷循环。

[0032] 本发明通过特定的结构设计和布置,不仅可针对产品试件在海洋大气户外环境下开展拉、压、弯载荷耦合试验,不局限于实验室模拟环境试验,而且使得试验设备能够在海洋气候环境中使用半年以上,确保海洋环境耦合试验可靠、有效地连续开展;本发明试验设备采用三分离设计,其主机、液压站及其控制系统和软件控制系统三分离布设,保证了液压、电气及控制系统始终处于密闭的可控温、控湿的控制室,有效保证试验设备可靠运行,其试验加载部分始终暴露于海洋大气环境中,能够确保试件在真实的自然环境中进行拉、压、弯载荷耦合试验,使得开展海洋环境试验所获取的试验结果更为真实、可靠,更具实用性;本发明试验设备通过特定闭环框架结构、动力系统和控制系统的相互配合,能够保证试件的稳固加载,对试验载荷为±100KN的试件,能够进行长期、稳定的加载;本发明试验设备防腐防锈性能优异,极大地提升了试验设备海洋大气户外环境适应能力;本发明试验设备

适用于有效尺寸为20mm-400mm之间的材料、工艺及构件进行试验；本发明的试验方法有效地将严酷的海洋大气环境与拉伸、压缩和/或弯曲等一种工况载荷影响或多种工况载荷循环/综合作用结合在一起，与以往的自然环境试验和实验室模拟试验相比，真实再现海洋大气环境服役下装备承载材料、工艺及构件实际工况下腐蚀损伤效应。

附图说明

- [0033] 图1为实施例中海洋气候环境-拉、压、弯载荷耦合试验设备结构示意图；
- [0034] 图2为图1中试验设备总体布局图；
- [0035] 图3为图1中试验设备的拉伸夹具结构图；
- [0036] 图4为图1中试验设备的压缩夹具结构图；
- [0037] 图5为图1中试验设备的弯曲夹具结构图；
- [0038] 图中：1-上横梁、2-上夹头、3-下夹头、4-夹杆、5-升降柱、6-载荷传感器、7-锁紧机构、8-中横梁、9-立架、10-支撑台、11-升降缸、12-电磁阀组、13-伺服阀、14-伺服作动器、15-位移传感器、16-整机支架、17-地下密闭控制室、18-地面控制室、19-主机、20-液压站及其控制系统、21-软件控制系统、22-地面、23-拉伸夹具、24-试件、25-压缩夹具、26-压头、27-弯曲夹具；
- [0039] 图6为结构钢试件海洋大气环境静态暴露试验3个月断口微观形貌；
- [0040] 图7为结构钢试件海洋大气环境-拉-压载荷耦合试验断口微观形貌；
- [0041] 图8为结构钢试件海洋大气环境-拉-压载荷耦合试验断口宏观形貌；
- [0042] 图9为铝合金试件海洋大气环境静态暴露试验12个月断口微观形貌；
- [0043] 图10为铝合金试件海洋大气环境-弯曲载荷耦合试验断口微观形貌；
- [0044] 图11为30CrMnSiNi2A高强钢海洋气候环境-拉-压载荷耦合试验抗拉强度变化曲线；
- [0045] 图12为7A09高强铝海洋气候环境-弯曲载荷耦合试验最大弯曲力变化曲线。

具体实施方式

[0046] 下面结合具体实施例对本发明作进一步说明，在此指出以下实施例不能理解为对本发明保护范围的限制，本领域普通技术人员根据本发明的内容作出一些非本质的改进和调整，均在本发明保护范围内。

[0047] 实施例1

[0048] 一种海洋气候环境-拉、压、弯载荷耦合试验设备，如图1和图2所示，包括主机19，设置于可控温控湿的地下密闭控制室17内并用于驱动控制主机19运行的液压站及其控制系统20，设置于地面控制室18并用于控制试验条件的软件控制系统21，且主机19、液压站及其控制系统20和软件控制系统21三分离布设；

[0049] 其中，以地面22作为分界，主机19上部结构的上横梁1和升降柱5上半部分暴露于地面22以上的海洋大气环境中，主机19下部结构位于地面22以下的地下密闭控制室17内；升降柱5上半部分是指位于中横梁8以上的部分；

[0050] 主机19上部结构包括四面镂空的框架，框架包括上横梁1和升降柱5，升降柱5上端连接上横梁1，升降柱5下端穿过支撑台10并连接升降缸11，支撑台10固定在整机支架15上；

在框架内竖直设置有可拆卸的并用于夹持试件24的拉伸夹具23、压缩夹具25、弯曲夹具27，夹具包括上夹头2和下夹头3，上夹头2连接上横梁1，下夹头3连接夹杆4上端，夹杆4下端连接载荷传感器6，载荷传感器6连接中横梁8，由上横梁1、升降柱5、中横梁8共同构成镂空式第一闭环框架结构；

[0051] 主机19下部结构包括中横梁8和立架9，立架9上端连接中横梁8，立架9下端固定连接在支撑台10上，在中横梁8上设置有导向孔，升降柱5活动穿设于导向孔内，升降柱5与导向孔的配合方式为小间隙配合，间隙量为0.1-0.3mm，由升降柱5、中横梁8、立架9和支撑台10共同构成第二闭环框架结构；

[0052] 在上横梁1表面设置有镀铬层，在上横梁1的镀铬层表面设置有耐海水有机涂料层；在升降柱5表面设置有镀铬层，在升降柱5的镀铬层表面设置有防锈油；在夹具表面设置有镀锌层，在夹具非承力部分的镀锌层表面设置有耐海水有机涂料层；

[0053] 在中横梁8上设置有用于锁紧中横梁8和升降柱5的锁紧机构7，且当锁紧机构7处于锁紧状态时，中横梁8、升降柱5均被固定，通过液压站及其控制系统20驱动夹杆4与下夹头3同步上升或同步下降以实现对试件24的疲劳加载；当锁紧机构7处于非锁紧状态时，通过液压站及其控制系统20驱动升降柱5和上横梁1同步上升或同步下降以实现夹具的夹持间距调节；

[0054] 其中，液压站及其控制系统的油路系统通过电磁阀组12控制油路开合；液压站及其控制系统20通过驱动伺服机构带动下夹头3运行；伺服机构包括伺服阀13，伺服阀13同时连接液压站及其控制系统20、软件控制系统21和伺服作动器14，伺服作动器14位于中横梁8下方并连接下夹头3，伺服作动器14下方连接位移传感器15；液压站及其控制系统20供应的液压油经过伺服阀13进入伺服作动器14，通过软件控制系统21输入控制信号控制伺服作动器14作往复直线运动并带动下夹头3上下往复运动，实现对试件24的疲劳加载；

[0055] 其中，液压站及其控制系统20连接升降缸11，升降缸11连接升降柱5，液压站及其控制系统20驱动升降缸11作往复直线运动并带动升降柱5和上横梁1同步上升或同步下降。

[0056] 本实施例中，液压站主要由电机泵组、油路系统、辅助装置和子站组成，液压站控制系统主要由控制柜、主机转接盒和液压站转接盒组成。

[0057] 本实施例中，载荷传感器6包括用于测量试验加载力的载荷传感器、用于测量伺服作动器14位置移动的位移传感器以及用于测量试件24变形的形变传感器。

[0058] 本实施例中，软件控制系统21包括载荷类型模块、载荷量值模块、频率模块、波形模块，并可通过控制系统的人机交互界面设定试验参数。

[0059] 本实施例中，锁紧机构7采用液压锁紧机构。

[0060] 本实施例中，锁紧机构7设置于中横梁8两端。

[0061] 本实施例中，升降柱5为相互平行的符合强度要求的双式立柱，立架9为符合强度要求的钢筒体。

[0062] 本实施例中，上横梁1、升降柱5均采用316L不锈钢，耐海水有机涂料层采用HJ120改性环氧底漆层+HJ500脂肪族聚氨酯面漆层。

[0063] 本实施例中，拉伸夹具23结构如图3所示、压缩夹具25结构如图4所示、弯曲夹具27结构如图5所示，使用时，压头26位于试件24上方。

[0064] 本实施例中，试验设备的试验频率范围为0.01-50Hz，试验设备的动载荷、静载荷

范围为 $\pm 100\text{KN}$ ，试验设备的有效夹持间距为20-400mm，即被夹持的试件24长度为20-400mm。

[0065] 本发明所述软件控制系统21是指本领域技术人员知晓的环境试验用软件控制系统，本发明所述软件控制系统21可以采用MTS322电液伺服测试系统中的Multipurpose Elite软件控制系统。

[0066] 安装方法：如图1和图2所示，液压站及其控制系统20、主机19下部结构安装于地下密闭控制室17内，地下密闭控制室17内安装有温湿度控制器，主机19上部结构的上横梁1和升降柱5上半部分暴露于大气环境中，软件控制系统21安装于地面控制室18内。

[0067] 实施例2

[0068] 一种海洋气候环境-拉、压、弯载荷耦合试验方法，采用实施例1中试验设备进行，该试验方法包括以下步骤：

[0069] 步骤1：试件安装

[0070] 先启动地面控制室的软件控制系统，开启地下密闭控制室内的液压站及其控制系统，使上夹头、下夹头处于松开状态；驱动升降缸使上横梁和升降柱向上移动，到达合适位置后将试件一端固定于上夹头，通过软件控制系统将载荷清零；驱动升降缸使上横梁和升降柱向下移动，到达合适位置后将试件另一端固定于下夹头，通过软件控制系统将载荷清零后再对位移清零；

[0071] 步骤2：耦合试验

[0072] 根据试件对应的产品在服役中所受的工况载荷确定试验条件，在软件控制系统中设定好试验条件后开展耦合试验，耦合试验过程中，试验数据由相应的传感器反馈给软件控制系统进行实时监测；

[0073] 步骤3：试件断裂取样

[0074] 试验过程中试件发生断裂，至少在试件断裂后的3h内取回试件，并将试件放置在干燥器中待测，开展试验结果评定。

[0075] 其中，耦合试验包括单种工况载荷耦合试验或多种工况载荷循环耦合试验。

[0076] 具体地，单种工况载荷耦合试验为海洋气候环境-拉-拉载荷耦合试验、海洋气候环境-拉-压载荷耦合试验、海洋气候环境-压缩载荷耦合试验、海洋气候环境-弯曲载荷耦合试验中的任意一种；单种工况载荷耦合试验时间不少于10天，试验过程中，每天按照试验条件加载后将试件自然暴露于海洋气候环境中。

[0077] 具体地，多种工况载荷循环耦合试验包括两种载荷循环作用耦合试验、三种载荷循环作用耦合试验、四种载荷循环作用耦合试验。

[0078] 其中，两种载荷循环作用耦合试验为海洋气候环境-拉-拉+拉-压载荷循环、拉-拉+压缩载荷循环、拉-拉+弯曲载荷循环、拉-压+压缩载荷循环、拉-压+弯曲载荷循环、压缩+弯曲载荷循环中的任意一种。如海洋气候环境-拉-拉+压缩循环载荷耦合试验，是指先对试件开展海洋气候环境-拉-拉载荷耦合试验，然后开展海洋气候环境-压缩载荷耦合试验，如此往复循环，模拟试件在海洋环境下遭受拉-拉和压缩循环载荷耦合作用。

[0079] 其中，三种载荷循环作用耦合试验为海洋气候环境-拉-拉+拉-压+压缩载荷循环、拉-拉+拉-压+弯曲载荷循环、拉-拉+压缩+弯曲载荷循环、拉-压+压缩+弯曲载荷循环中的任意一种；四种载荷循环作用耦合试验为海洋气候环境-拉-拉+拉-压+压缩+弯曲载荷循环。

如海洋气候环境-拉-拉+拉-压+压缩载荷循环耦合试验,是指海洋气候环境-拉-拉载荷耦合试验、海洋气候环境-拉-压载荷耦合试验、海洋气候环境-压缩载荷耦合试验3种试验之间的反复循环,模拟试件在海洋环境下遭受拉-拉、拉-压、压缩循环载荷耦合作用。

[0080] 其中,四种载荷循环作用耦合试验为海洋气候环境-拉-拉+拉-压+压缩+弯曲载荷循环,即海洋气候环境-拉-拉载荷耦合试验、海洋气候环境-拉-压载荷耦合试验、海洋气候环境-压缩载荷耦合试验、海洋气候环境-弯曲载荷耦合试验4种试验之间的反复循环,模拟试件在海洋环境下遭受拉-拉、拉-压、压缩和弯曲循环载荷耦合作用。

[0081] 实施例3

[0082] 一种海洋气候环境-拉、压、弯载荷耦合试验方法,采用实施例1中海洋气候环境-拉、压、弯载荷耦合试验设备进行,将试验设备安装于海南万宁试验站,采用该试验设备对结构钢试件开展海洋气候环境-拉-压载荷耦合试验,步骤如下:

[0083] 步骤1:结构钢试件安装

[0084] 先启动地面控制室的软件控制系统,开启地下密闭控制室内的液压站及其控制系统,使拉伸夹具的上夹头、下夹头处于松开状态;驱动升降缸使上横梁和升降柱向上移动,到达合适位置后将结构钢试件一端固定于拉伸夹具的上夹头,通过软件控制系统将载荷清零;驱动升降缸使上横梁和升降柱向下移动,到达合适位置后将结构钢试件另一端固定于拉伸夹具的下夹头,通过软件控制系统将载荷清零后再对位移清零;

[0085] 步骤2:耦合试验

[0086] 根据试件对应的产品在服役中所受的工况载荷确定试验条件,在软件控制系统中先设定好试验条件,试验条件包括但不限于拉-压载荷量值、载荷加载时间(每次载荷试验时间为30min)、频率及波形,每天加载1次,然后开展环境-拉-压载荷耦合试验,耦合试验过程中,试验数据由相应的传感器反馈给软件控制系统进行实时监测;

[0087] 步骤3:结构钢试件断裂取样

[0088] 试验过程中结构钢试件发生断裂,至少在结构钢试件断裂后的3h内取回试件,并将结构钢试件放置在干燥器中待测,开展试验结果评定,结果见图7、图8。

[0089] 试验结果:图7和图8分别为结构钢试件开展海洋大气环境-拉-压载荷耦合试验后断口微观形貌和宏观形貌,由图可见,结构钢试件断口周围覆盖有大量红褐色腐蚀产物,断口呈贝壳状条纹,主要为准解理形貌,具有典型的疲劳辉纹现象,属于腐蚀疲劳断裂。另外,将同批次的另一结构钢试件在海洋大气环境静态暴露试验3个月,其断口微观形貌见图6,由图可见,静态暴露3个月后的结构钢试件表层断口主要为撕裂细小变形韧窝的韧性断裂。

[0090] 实施例4

[0091] 一种海洋气候环境-拉、压、弯载荷耦合试验方法,采用实施例1中海洋气候环境-拉、压、弯载荷耦合试验设备进行,将试验设备安装于海南万宁试验站,采用该试验设备对铝合金试件开展海洋气候环境-弯曲载荷耦合试验,步骤如下:

[0092] 步骤1:铝合金试件安装

[0093] 先启动地面控制室的软件控制系统,开启地下密闭控制室内的液压站及其控制系统,使弯曲夹具的上夹头、下夹头处于松开状态;驱动升降缸使上横梁和升降柱向上移动,到达合适位置后将铝合金试件一端固定于弯曲夹具的上夹头,通过软件控制系统将载荷清零;驱动升降缸使上横梁和升降柱向下移动,到达合适位置后将铝合金试件另一端固定于

弯曲夹具的下夹头,通过软件控制系统将载荷清零后再对位移清零;

[0094] 步骤2:耦合试验

[0095] 根据试件对应的产品在服役中所受的工况载荷确定试验条件,在软件控制系统中先设定好试验条件,试验条件包括但不限于弯曲载荷量值、弯曲载荷加载时间(每次载荷试验时间为30min)、频率及波形,每天加载1次,然后开展环境-弯曲载荷耦合试验,耦合试验过程中,试验数据由相应的传感器反馈给软件控制系统进行实时监测;

[0096] 步骤3:铝合金试件断裂取样

[0097] 试验过程中铝合金试件发生断裂,至少在铝合金试件断裂后的3h内取回试件,并将铝合金试件放置在干燥器中待测,开展试验结果评定,结果见图10。

[0098] 试验结果:图10为铝合金试件开展海洋大气环境-弯曲载荷耦合试验后的断口微观形貌,由图可知,铝合金试件裂纹源特征表现为放射状准解理断裂,裂纹起始于表面,裂纹源被腐蚀产物覆盖,属于腐蚀疲劳断裂。另外,将同批次的另一铝合金试件在海洋大气环境静态暴露12个月后弯断,其断口微观形貌见图9,其裂纹源特征为层状撕裂,边缘有轻微的塑性变形。

[0099] 参照本实施例上述步骤,将铝合金试件安装于压缩夹具上,可对铝合金试件开展海洋气候环境-压缩载荷耦合试验。

[0100] 实施例5

[0101] 一种海洋气候环境-拉、压、弯载荷耦合试验方法,采用实施例1中海洋气候环境-拉、压、弯载荷耦合试验设备进行,将试验设备安装于海南万宁试验站,采用该试验设备对高强钢试件开展海洋气候环境-拉-拉+拉-压载荷耦合试验,步骤如下:

[0102] 步骤1:高强钢试件安装

[0103] 先启动地面控制室的软件控制系统,开启地下密闭控制室内的液压站及其控制系统,使拉伸夹具的上夹头、下夹头处于松开状态;驱动升降缸使上横梁和升降柱向上移动,到达合适位置后将高强钢试件一端固定于拉伸夹具的上夹头,通过软件控制系统将载荷清零;驱动升降缸使上横梁和升降柱向下移动,到达合适位置后将高强钢试件另一端固定于拉伸夹具的下夹头,通过软件控制系统将载荷清零后再对位移清零;

[0104] 步骤2:耦合试验

[0105] 根据试件对应的产品在服役中所受的拉-拉载荷确定拉-拉试验条件,在软件控制系统中先设定好试验条件,试验条件包括但不限于拉-拉载荷量值、拉-拉载荷加载时间(每次载荷试验时间为30min)、频率及波形,每天加载1次,然后开展环境-拉-拉载荷耦合试验,耦合试验过程中,试验数据由相应的传感器反馈给软件控制系统进行实时监测;

[0106] 参照本实施例步骤1,根据试件对应的产品在服役中所受的拉-压载荷确定拉-压试验条件,在软件控制系统中先设定好试验条件,试验条件包括但不限于拉-压载荷量值、拉-压载荷加载时间(每次载荷试验时间为30min)、频率及波形,每天加载1次,然后开展环境-拉-压载荷耦合试验,耦合试验过程中,试验数据由相应的传感器反馈给软件控制系统进行实时监测;

[0107] 前述环境-拉-拉载荷耦合试验与环境-拉-压载荷耦合试验循环进行一定时间后,可取下试件对其力学性能、疲劳性能、电化学性能、金相显微组织、能谱等性能进行检测;或按前述环境-拉-拉载荷耦合试验与环境-拉-压载荷耦合试验循环进行,直至试件发生断

裂,模拟试件在海洋环境下遭受拉-拉、拉-压、压缩和弯曲循环载荷耦合作用;

[0108] 步骤3:高强度试件断裂取样

[0109] 试验过程中,至少在高强度试件断裂后的3h内取回试件,并将高强度试件放置在干燥器中待测,开展试验结果评定。

[0110] 实施例6

[0111] 一种海洋气候环境-拉、压、弯载荷耦合试验方法,采用实施例1中海洋气候环境-拉、压、弯载荷耦合试验设备进行,将试验设备安装于海南万宁试验站,采用该试验设备对试件开展海洋气候环境-拉-拉+拉-压+压缩+弯曲载荷循环耦合试验,步骤如下:

[0112] 步骤1:试件安装

[0113] 先启动地面控制室的软件控制系统,开启地下密闭控制室内的液压站及其控制系统,使拉伸夹具的上夹头、下夹头处于松开状态;驱动升降缸使上横梁和升降柱向上移动,到达合适位置后将试件一端固定于拉伸夹具的上夹头,通过软件控制系统将载荷清零;驱动升降缸使上横梁和升降柱向下移动,到达合适位置后将试件另一端固定于拉伸夹具的下夹头,通过软件控制系统将载荷清零后再对位移清零;

[0114] 步骤2:耦合试验

[0115] 2.1:根据试件对应的产品在服役中所受的拉-拉载荷确定拉-拉试验条件,在软件控制系统中先设定好试验条件,试验条件包括但不限于拉-拉载荷量值、拉-拉载荷加载时间、频率及波形,然后开展环境-拉-拉载荷耦合试验,耦合试验过程中,试验数据由相应的传感器反馈给软件控制系统进行实时监测;

[0116] 2.2:参照本实施例步骤1,根据试件对应的产品在服役中所受的拉-压载荷确定拉-压试验条件,在软件控制系统中先设定好试验条件,试验条件包括但不限于拉-压载荷量值、拉-压载荷加载时间、频率及波形,然后开展环境-拉-压载荷耦合试验,耦合试验过程中,试验数据由相应的传感器反馈给软件控制系统进行实时监测;

[0117] 2.3:取下环境-拉-压载荷耦合试验完毕后的试件,将试验设备的拉伸夹具替换为压缩夹具,参照本实施例步骤1,将试件固定于压缩夹具上,根据试件对应的产品在服役中所受的压缩载荷确定压缩试验条件,在软件控制系统中先设定好试验条件,试验条件包括但不限于压缩载荷量值、压缩载荷加载时间、频率及波形,然后开展环境-压缩载荷耦合试验,耦合试验过程中,试验数据由相应的传感器反馈给软件控制系统进行实时监测;

[0118] 2.4:取下环境-压缩载荷耦合试验完毕后的试件,将试验设备的压缩夹具替换为弯曲夹具,参照本实施例步骤1,将试件固定于弯曲夹具上,根据试件对应的产品在服役中所受的弯曲载荷确定弯曲试验条件,在软件控制系统中先设定好试验条件,试验条件包括但不限于弯曲载荷量值、弯曲载荷加载时间、频率及波形,然后开展环境-弯曲载荷耦合试验,耦合试验过程中,试验数据由相应的传感器反馈给软件控制系统进行实时监测;

[0119] 前述步骤2.1至步骤2.4循环进行一定时间后,可取下试件对其力学性能、疲劳性能、电化学性能、金相显微组织、能谱等性能进行检测;或按前述步骤2.1至步骤2.4循环进行,直至试件发生断裂,模拟试件在海洋环境下遭受拉-拉、拉-压、压缩和弯曲循环载荷耦合作用;

[0120] 步骤3:试件断裂取样

[0121] 试验过程中,至少在试件断裂后的3h内取回试件,并将试件放置在干燥器中待测,

开展试验结果评定。

[0122] 实施例7

[0123] 为进一步验证本发明试验设备的使用性能,针对30CrMnSiNi2A高强钢和7A09高强铝两种材料在同一台试验设备上连续开展下述试验。

[0124] 其中,30CrMnSiNi2A高强钢和7A09高强铝的相同规格试件各准备四件,其试件1、试件2、试件3、试件4分别进行为期10天、20天、30天、45天的环境-拉-压载荷耦合试验;7A09高强铝的试件1、试件2、试件3、试件4分别进行为期10天、20天、30天、45天的环境-弯曲载荷耦合试验,具体步骤如下:

[0125] 步骤1:30CrMnSiNi2A高强钢试件安装

[0126] 先启动地面控制室的软件控制系统,开启地下密闭控制室内的液压站及其控制系统,使拉伸夹具的上夹头、下夹头处于松开状态;驱动升降缸使上横梁和升降柱向上移动,到达合适位置后将30CrMnSiNi2A高强钢试件一端固定于拉伸夹具的上夹头,通过软件控制系统将载荷清零;驱动升降缸使上横梁和升降柱向下移动,到达合适位置后将30CrMnSiNi2A高强钢试件另一端固定于拉伸夹具的下夹头,通过软件控制系统将载荷清零后再对位移清零;

[0127] 步骤2:拉-压耦合试验

[0128] 根据30CrMnSiNi2A高强钢试件对应的产品在服役中所受的工况载荷确定试验条件,在软件控制系统中先设定好试验条件,试验条件包括但不限于拉-压载荷量值、载荷加载时间(每次载荷试验时间为30min)、频率及波形,每天加载1次,然后开展环境-拉-压载荷耦合试验,耦合试验过程中,试验数据由相应的传感器反馈给软件控制系统进行实时监测;

[0129] 步骤3:拉伸性能检测

[0130] 按本实施例步骤1和步骤2对30CrMnSiNi2A高强钢的四个试件分别开展10、20、30、45天的环境-拉-压载荷耦合试验,试验结束后对试件进行拉伸性能检测,试验结果见图11;

[0131] 步骤4:7A09高强铝试件安装

[0132] 将试验设备的拉伸夹具替换为弯曲夹具,参照本实施例步骤1对7A09高强铝试件进行安装;

[0133] 步骤5:弯曲耦合试验

[0134] 根据7A09高强铝试件对应的产品在服役中所受的工况载荷确定试验条件,在软件控制系统中先设定好试验条件,试验条件包括但不限于弯曲载荷量值、载荷加载时间(每次载荷试验时间为30min)、频率及波形,每天加载1次,然后开展环境-弯曲载荷耦合试验,耦合试验过程中,试验数据由相应的传感器反馈给软件控制系统进行实时监测;

[0135] 步骤6:弯曲性能检测

[0136] 按本实施例步骤5对7A09高强铝的四个试件分别开展10、20、30、45天的环境-弯曲载荷耦合试验,试验结束后对试件进行弯曲性能检测,试验结果见图12。

[0137] 拉-拉载荷耦合试验过程中,采用拉伸夹具(23)夹持工件并开展拉伸试验;拉-压载荷耦合试验过程中,先采用拉伸夹具(23)夹持工件并开展拉伸试验,然后采用压缩夹具(25)夹持工件并开展压缩试验;压缩载荷耦合试验过程中,采用压缩夹具(25)夹持工件并开展压缩试验;弯曲载荷耦合试验过程中,采用弯曲夹具(27)夹持工件并开展弯折试验

[0138] 本实施例中,试验共连续进行了210天,试验期间试验设备运行可靠、稳定,可见,

本发明试验设备能够在海洋气候环境中连续使用半年以上。

[0139] 前述各实施例中,拉-拉载荷耦合试验过程中,采用拉伸夹具23夹持工件并开展拉伸试验;拉-压载荷耦合试验过程中,采用拉伸夹具23夹持工件并开展拉伸试验,采用压缩夹具25夹持工件并开展压缩试验;压缩载荷耦合试验过程中,采用压缩夹具25夹持工件并开展压缩试验;弯曲载荷耦合试验过程中,采用弯曲夹具27夹持工件并开展弯折试验。

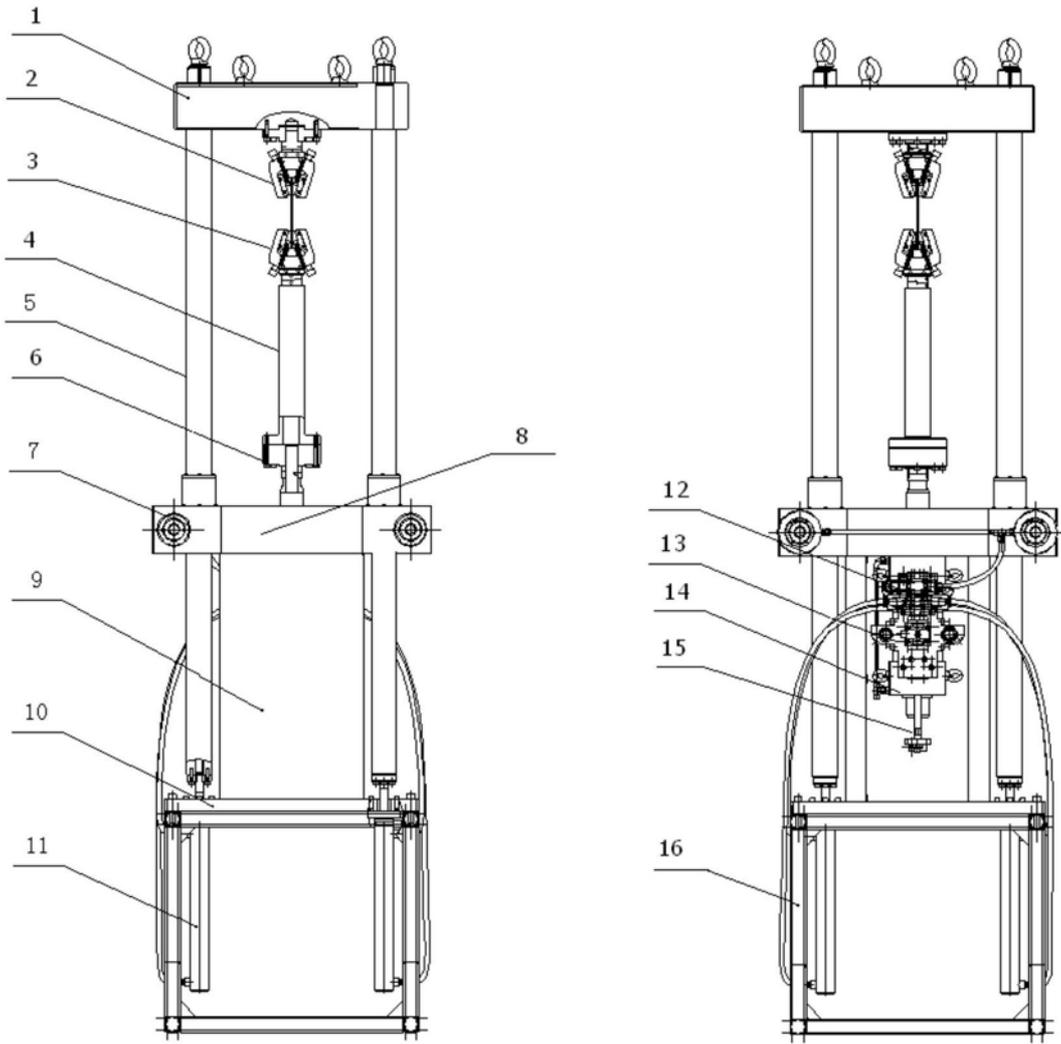


图1

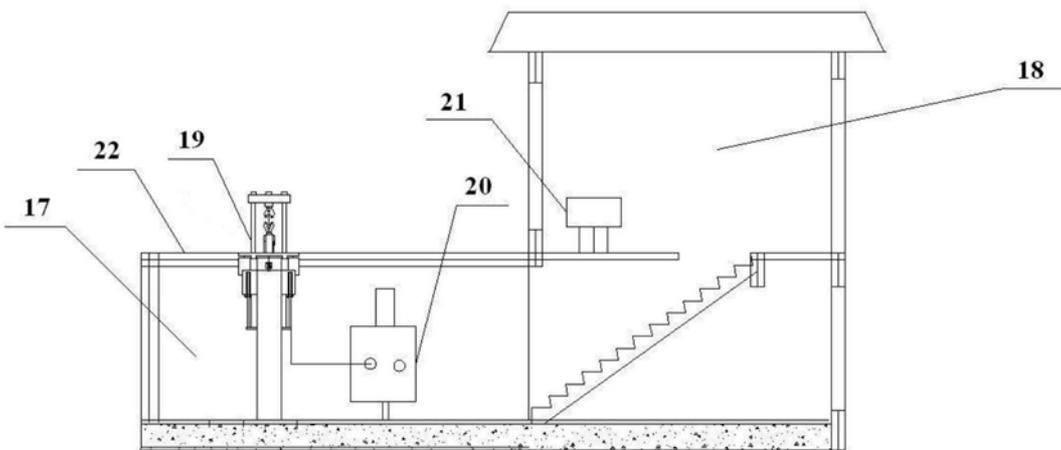


图2

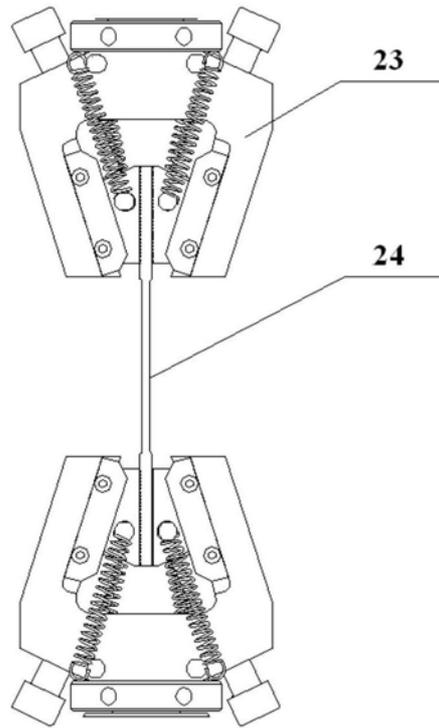


图3

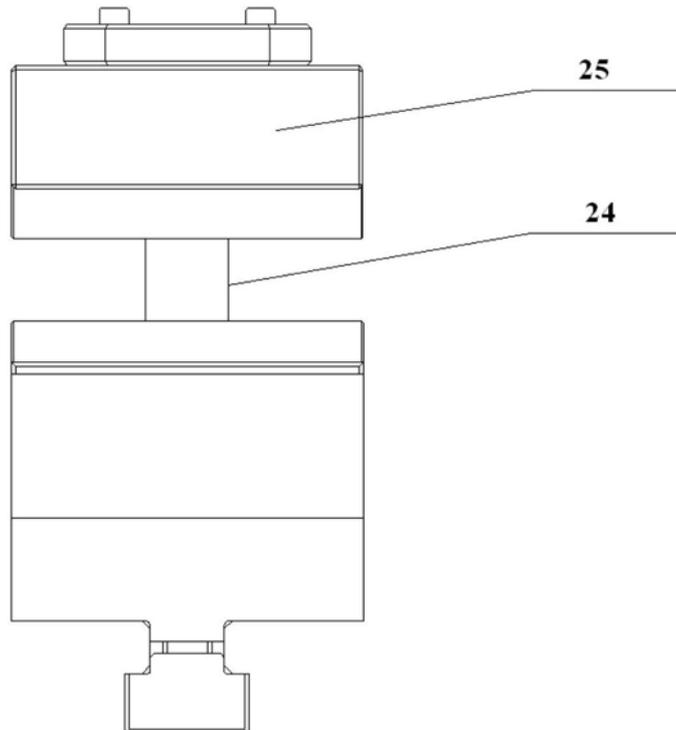


图4

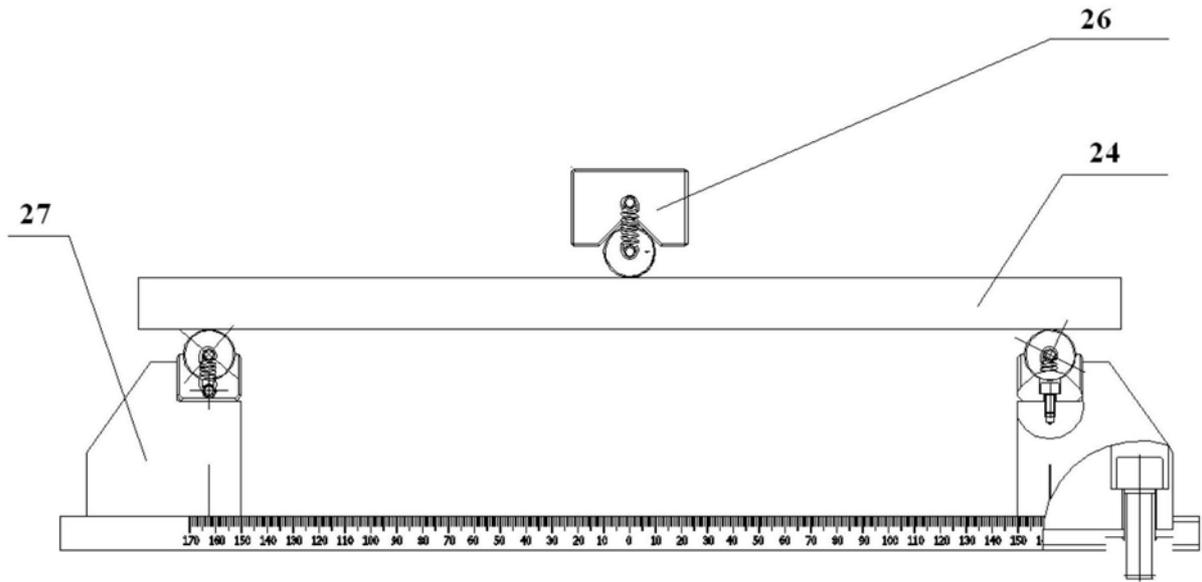


图5

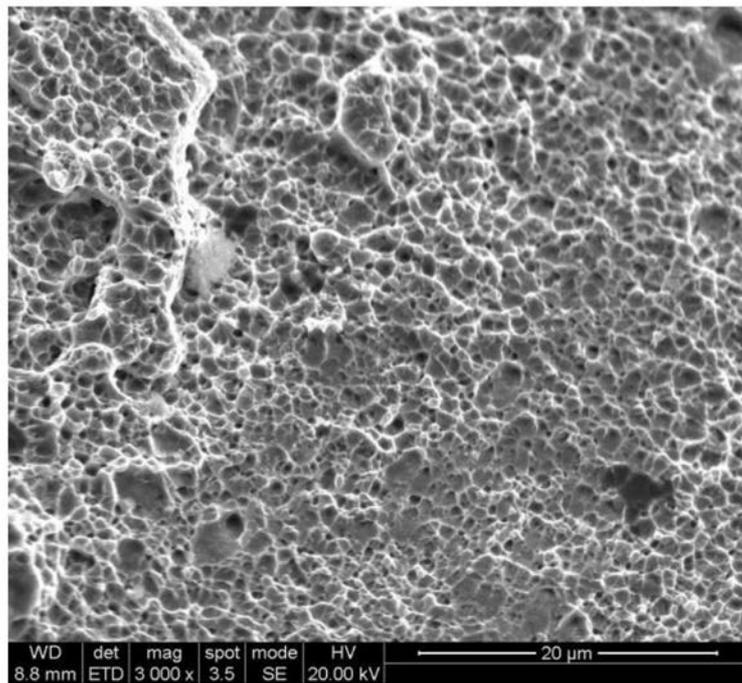


图6

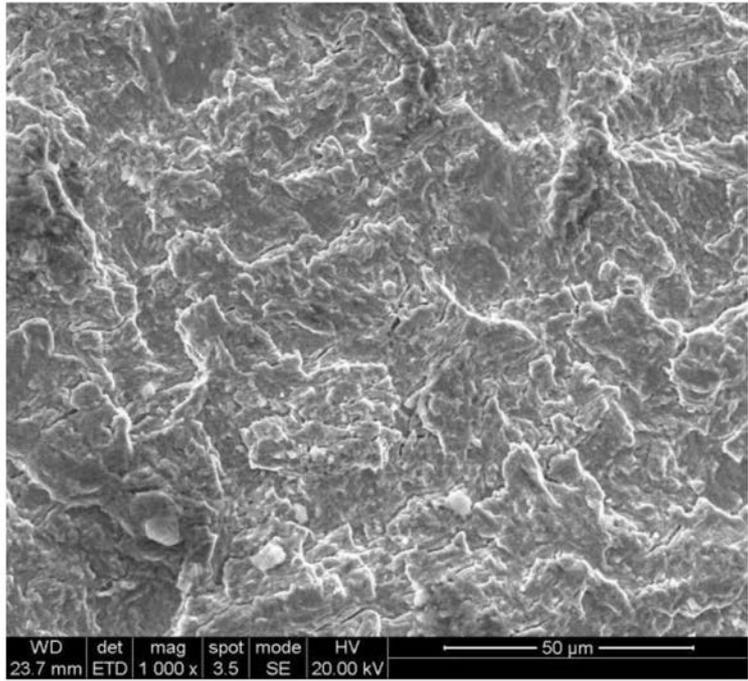


图7



图8

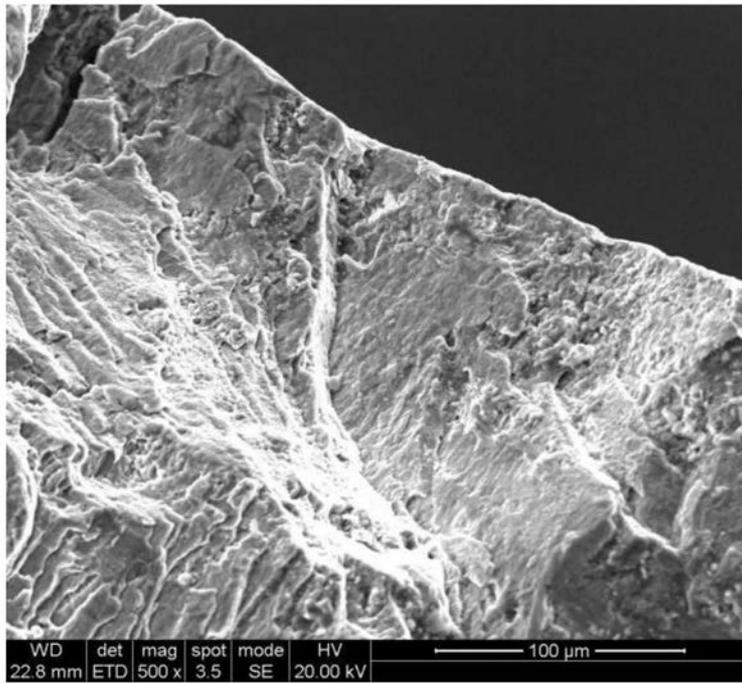


图9

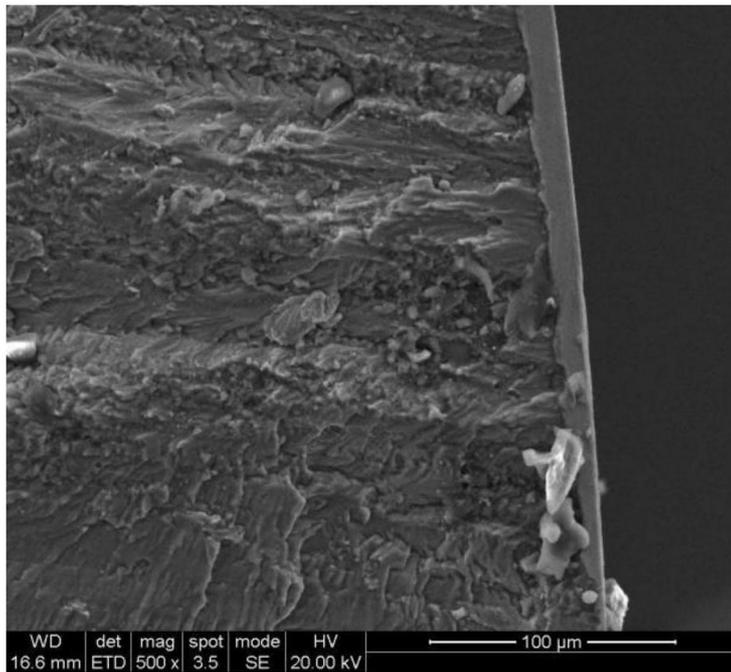


图10

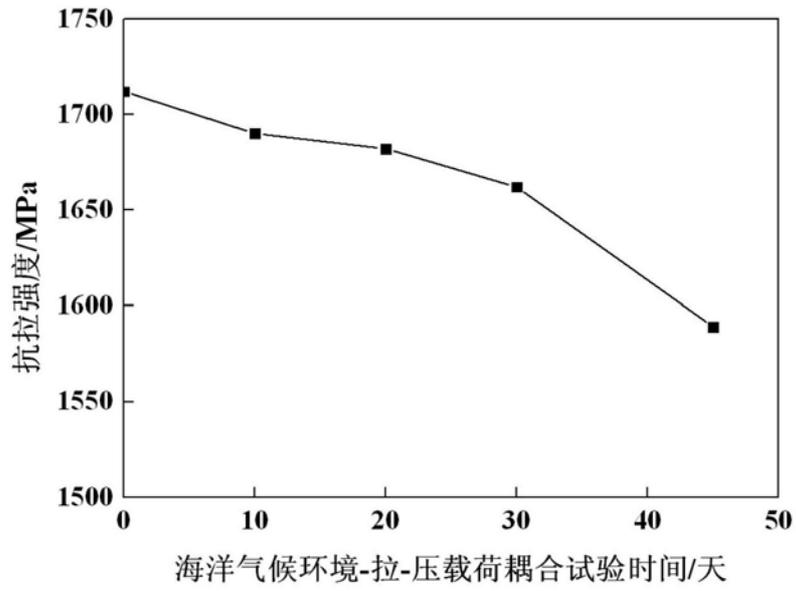


图11

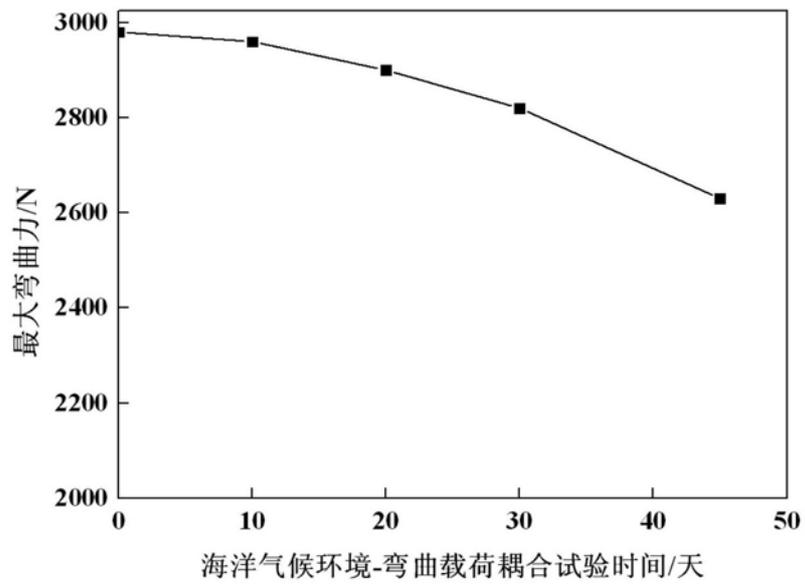


图12