



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105588750 A

(43) 申请公布日 2016. 05. 18

(21) 申请号 201610093465. 5

(22) 申请日 2016. 02. 19

(71) 申请人 中国矿业大学

地址 221008 江苏省徐州市大学路 1 号中国  
矿业大学科研院

(72) 发明人 王大刚 王祥如 李晓五

(74) 专利代理机构 南京瑞弘专利商标事务所

(普通合伙) 32249

代理人 周中民

(51) Int. Cl.

G01N 3/02(2006. 01)

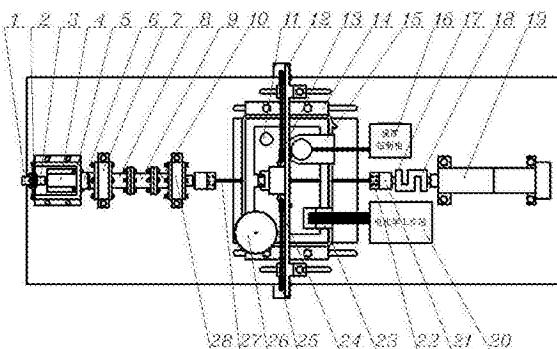
权利要求书3页 说明书7页 附图3页

(54) 发明名称

千米深井提升钢丝绳多轴微动腐蚀疲劳损伤  
监测装置及方法

(57) 摘要

本发明公开了一种千米深井提升钢丝绳多轴  
微动腐蚀疲劳损伤监测装置及方法，该装置包括  
设在基架上的微动系统、拉-扭疲劳系统和恒温  
腐蚀系统，恒温腐蚀系统包括耐腐蚀箱体、恒温控  
制系统、冷却系统、电化学腐蚀系统，微动系统包  
括上加载单元、下加载单元和疲劳钢丝，上加载单  
元包括配重块、耐腐蚀直线导轨、二维力传感器、  
耐腐蚀加载钢丝夹具、加载钢丝，下加载单元包括  
加载重块、耐腐蚀纤维绳索、导向支架、导向滑轮、  
耐腐蚀直线导轨、摩擦衬垫，拉-扭疲劳系统包括  
角位移传感器、双轴电机、扭矩传感器、疲劳钢丝  
夹具、拉力传感器、电动缸。本发明可实现不同温  
度、腐蚀溶液 PH 值、多轴微动疲劳参数下千米深  
井提升钢丝绳的多轴微动腐蚀疲劳实验。



1. 一种千米深井提升钢丝绳多轴微动腐蚀疲劳损伤监测装置，包括基架以及设置在基架上的微动系统、拉-扭疲劳系统和恒温腐蚀系统；

所述恒温腐蚀系统包括耐腐蚀箱体(14)、恒温控制系统、冷却系统、电化学腐蚀系统，耐腐蚀箱体(14)内注入腐蚀溶液，恒温控制系统包括加热元件(15)和温度控制柜(16)，加热元件(15)置于腐蚀溶液中并与温度控制柜(16)相连，冷却系统包括水泵(34)、水箱(49)和冷却水管(33)，水箱(49)通过水泵(34)与冷却水管(33)相连，冷却水管(33)缠绕于耐腐蚀箱体(14)周围，电化学腐蚀系统包括腐蚀液添加漏斗(26)、电化学工作站(20)、电极支架(23)和放液开关(11)，耐腐蚀箱体(14)设置可拆卸的腐蚀液添加漏斗(26)，电极支架(23)通过螺钉连接在耐腐蚀箱体(14)上，电化学工作站(20)的电极放置在电极支架(23)上，放液开关(11)设置在耐腐蚀箱体(14)底部；

所述微动系统包括上加载单元、下加载单元和疲劳钢丝(27)，疲劳钢丝(27)穿过耐腐蚀箱体(14)两侧面的带孔密封圆柱A(43)、带孔密封圆柱B(55)，上加载单元包括配重块(37)、耐腐蚀直线导轨A、耐腐蚀L型板A(38)、二维力传感器(40)、耐腐蚀加载钢丝夹具、加载钢丝(53)，耐腐蚀直线导轨A设置在耐腐蚀箱体内的疲劳钢丝(27)上方，耐腐蚀直线导轨A包括导轨条A(42)、滑块A(59)、滑块B(58)，导轨条A(42)通过耐腐蚀螺钉固定在耐腐蚀箱体(14)内表面上，滑块A(59)和滑块B(58)设置在导轨条A(42)上，耐腐蚀L型板A(38)通过耐腐蚀螺钉连接耐腐蚀直线导轨A的滑块A(59)和滑块B(58)；配重块(37)设置在耐腐蚀L型板A(38)上，耐腐蚀L型板A(38)与二维力传感器(40)一端通过耐腐蚀螺钉连接，二维力传感器(40)另一端与耐腐蚀加载钢丝夹具通过螺栓连接，加载钢丝(53)固定在耐腐蚀加载钢丝夹具上，下加载单元包括加载重块A(50)、耐腐蚀纤维绳索A(51)、导向支架(32)、导向滑轮A(25)、导向滑轮B(24)、加载重块B(46)、耐腐蚀纤维绳索B(39)、导向滑轮C(13)、导向滑轮D(12)、耐腐蚀直线导轨B、耐腐蚀L型板B(47)、摩擦衬垫(44)、吊环B(45)、吊环A(52)，耐腐蚀直线导轨B设置在耐腐蚀箱体内的疲劳钢丝(27)下方，所述耐腐蚀直线导轨B包括导轨条B(48)、滑块C(57)、滑块D(56)、导轨条B(48)通过耐腐蚀螺钉固定在耐腐蚀箱体(14)内表面上，滑块C(57)和滑块D(56)设置在导轨条B(48)上，耐腐蚀L型板B(47)通过耐腐蚀螺钉连接耐腐蚀直线导轨B的滑块C(57)和滑块D(56)，摩擦衬垫(44)通过耐腐蚀螺钉连接耐腐蚀L型板B(47)，并且摩擦衬垫(44)上沿着疲劳钢丝(27)轴向方向设有半圆形凹槽，耐腐蚀纤维绳索A(51)一端连接加载重块A(50)，耐腐蚀纤维绳索A(51)另一端绕经导向支架(32)上的导向滑轮A(25)和导向滑轮B(24)后与耐腐蚀L型板B(47)一端的吊环A(52)相连，所述耐腐蚀纤维绳索B(39)一端连接加载重块B(46)，耐腐蚀纤维绳索B(39)另一端绕经导向支架(32)上的导向滑轮C(13)和导向滑轮D(12)后与耐腐蚀L型板B(47)另一端的吊环B(45)相连；

所述拉-扭疲劳系统包括角位移传感器(1)、联轴器A(3)、角位移传感器固定板(2)、双轴电机(4)、电机支座(5)、联轴器B(6)、轴A(8)、轴承座A(7)、扭矩传感器(9)、轴B(10)、轴承座B(28)、疲劳钢丝夹具A、疲劳钢丝夹具B、连接螺杆(17)、拉力传感器(18)、电动缸(19)，角位移传感器(1)与双轴电机(4)一端通过联轴器A(3)连接，双轴电机(4)另一端与轴A(8)一端通过联轴器B(6)连接，轴A(8)穿过轴承座A(7)内的轴承，轴A(8)另一端与扭矩传感器(9)一端通过螺栓连接，扭矩传感器(9)另一端通过轴B(10)与疲劳钢丝夹具A相连，轴B(10)穿过轴承座B(28)中的轴承，疲劳钢丝夹具A包括疲劳钢丝夹具固定端A(30)和夹板A(31)，通过疲劳钢丝夹具A夹持疲劳钢丝(27)一端，电动缸(19)螺纹杆与拉力传感器(18)一端连接，

拉力传感器(18)另一端通过连接螺杆(17)与疲劳钢丝夹具B连接,疲劳钢丝夹具B包括疲劳钢丝夹具固定端B(21)和夹板B(22),通过疲劳钢丝夹具B夹持疲劳钢丝(27)另一端。

2. 根据权利要求1所述的一种千米深井提升钢丝绳多轴微动腐蚀疲劳损伤监测装置,其特征在于:所述耐腐蚀加载钢丝夹具由半圆柱块(41)和方形板(54)通过螺钉连接而成,半圆柱块(41)的圆柱面上开有圆弧形槽(61)用以嵌入加载钢丝(53),加载钢丝(53)从半圆柱块(41)柱面两侧穿过方形板(54)上的通孔(62),并被方形板(54)两侧的耐腐蚀螺钉固定住;方形板(54)上对称设有弧形孔槽(60),半圆柱块(41)可以沿弧形孔槽(60)旋转,通过耐腐蚀螺钉将半圆柱块(41)固定在弧形孔槽(60)不同位置处。

3. 根据权利要求2所述的一种千米深井提升钢丝绳多轴微动腐蚀疲劳损伤监测装置,其特征在于:所述基架包括支撑立柱(35)、支撑立柱(35)之间的横梁(36)和固定于支撑立柱(35)上的底板(29),在底板(29)上开设有正方形孔,正方形孔两侧设置有长方形定位孔A和长方形定位孔B;所述耐腐蚀箱体(14)嵌入底板(29)的正方形孔内,耐腐蚀箱体(14)侧面设有定位螺栓,定位螺栓穿入长方形定位孔A内,通过长方形定位孔A调节耐腐蚀箱体(14)在底板(29)上的位置;所述导向支架(32)横跨在耐腐蚀箱体上方,导向支架(32)底部设有定位螺栓,定位螺栓穿过长方形定位孔B,通过长方形定位孔B调整导向支架(32)在底板(29)上的位置;所述角位移传感器(1)通过螺栓固定在角位移传感器固定板(2)上,角位移传感器固定板(2)和双轴电机(4)通过螺栓固定在电机支座(5)上;电机支座(5)通过螺栓固定在底板(29)上;所述电动缸(19)通过螺栓固定在底板(29)上。

4. 根据权利要求3所述监测装置的千米深井提升钢丝绳多轴微动腐蚀疲劳损伤监测方法,包括如下步骤:

a)、通过砂纸轻微打磨加载钢丝和疲劳钢丝以去除表面氧化膜,并用酒精或丙酮将其表面擦拭干净;将加载钢丝安装于耐腐蚀加载钢丝夹具上,调整耐腐蚀加载钢丝夹具的半圆柱块在方形板弧形孔槽的位置,以获得加载钢丝和疲劳钢丝之间的交叉角度设定值,并将耐腐蚀加载钢丝夹具通过耐腐蚀螺钉连接于二维力传感器和耐腐蚀直线导轨A上;

b)、将耐腐蚀箱体置于底板的正方形孔内,沿疲劳钢丝轴向调整耐腐蚀箱体位置,用螺栓穿过长方形定位孔A将耐腐蚀箱体固定在底板上;将疲劳钢丝穿过耐腐蚀箱体两侧面的带孔密封圆柱,把疲劳钢丝两端固定在疲劳钢丝夹具A和疲劳钢丝夹具B上;通过计算机控制电动缸水平移动使得疲劳钢丝承受拉力作用,直至达到设定疲劳载荷和变形值;

c)、将加载重块A、加载重块B和配重块质量同时慢慢施加上,使得加载钢丝与疲劳钢丝之间受到接触载荷;

d)、带上耐腐蚀手套,将腐蚀溶液通过漏斗和导管注入到耐腐蚀箱体中,直至耐腐蚀箱体中腐蚀溶液高度刚浸没加载钢丝;设定温度控制柜温度,控制加热元件工作直至腐蚀溶液温度达到设定温度值;当腐蚀溶液温度高于设定值时,开启冷却系统,绕于耐腐蚀箱体周围的冷却水管使得腐蚀液温度降至设定值。待温度达到设定值时,打开电化学工作站使其开始工作;

e)、将水平位移传感器置于疲劳钢丝夹具端面;给角位移传感器、扭矩传感器、拉力传感器、水平位移传感器和二维力传感器通电;通过计算机控制程序设定电动缸交变位移幅值和双轴电机扭转角度范围,以施加疲劳钢丝的疲劳载荷和扭转载荷;同时启动电动缸和双轴电机,在钢丝多轴微动疲劳过程中,用水平位移传感器动态监测疲劳钢丝的伸长变形

量,根据伸长变形量用比例缩小法可获得微动区加载钢丝和疲劳钢丝之间的微动振幅,用角位移传感器和扭矩传感器测量疲劳钢丝的扭转角和扭矩,用二维力传感器获得加载钢丝与疲劳钢丝之间的接触载荷和摩擦力,用拉力传感器记录实验过程中疲劳钢丝疲劳载荷的变化,用电化学工作站实时记录多轴微动疲劳过程中疲劳钢丝、加载钢丝的电化学腐蚀特性;

f)、通过改变温度、腐蚀溶液PH值、电动缸伸缩位移和频率、双轴电机扭转角和频率、耐腐蚀加载钢丝夹具半圆柱块在方形板上位置、加载重块和配重块质量,可以实现不同的温度、酸碱度、微动振幅、扭转角、频率、交叉角度和接触载荷下钢丝的多轴微动疲劳实验;

g)、实验结束后,关闭电源,打开冷却系统,待腐蚀溶液温度降到室温时,打开放液开关,回收腐蚀溶液并检测实验后腐蚀溶液组分变化。

## 千米深井提升钢丝绳多轴微动腐蚀疲劳损伤监测装置及方法

### 技术领域

[0001] 本发明专利涉及千米深井提升钢丝绳多轴微动腐蚀疲劳损伤监测装置及方法,用于研究不同的腐蚀溶液介质、温度环境和多轴微动疲劳参数下千米深井提升钢丝绳拉-扭多轴微动腐蚀疲劳损伤演化机制。

### 背景技术

[0002] 在我国,53%的已探明煤炭资源深埋在千米地层以下,多绳摩擦式提升系统(包括提升机、提升钢丝绳、提升容器等)以其提升能力大、提升高度大、提升速度快、安全系数高和机器尺寸小等优点被广泛应用于千米深部立井提升中,担负着提升煤炭、下放材料、升降人员和设备的任务。《煤矿安全规程》规定:摩擦式提升系统的提升钢丝绳使用时间不超过两年,在我国浅部矿井全部适用,甚至可以根据实际使用情况延期一年。然而,千米立井提升钢丝绳服役寿命平均不超过6个月,因而,探究千米立井提升钢丝绳失效机制,对提高千米立井提升系统安全可靠性、保障生命财产安全和国家煤炭能源供应,显得尤为重要和紧迫。

[0003] 在千米深部立井提升过程中,提升钢丝绳因循环提升和下放提升容器而反复地承受拉伸、弯曲和扭转载荷;同时,提升机的加速、匀速和减速特性和时变的悬垂钢丝绳长度导致立井提升系统的横向与纵向耦合振动特性,进而引起提升钢丝绳的动态载荷。因此,循环的拉伸、弯曲与扭转载荷以及横向-纵向耦合振动载荷均会导致提升钢丝绳(以一定捻角由丝捻成股、股捻成绳的复杂螺旋结构)内部钢丝间的接触载荷和相对滑移,即微动磨损;微动磨损与循环的拉伸、弯曲载荷、动载荷与扭转载荷的共同作用导致钢丝的多轴微动疲劳。千米深井提升具有大淋水(酸碱度pH值范围是6~9的腐蚀溶液)、大运距和高地温(平均地温增高率(地温梯度)为2~4°C/(100m),采用通风降温将井底温度控制在30°C以内)的特点;提升钢丝绳循环地在井底和地面之间提升,使得提升钢丝绳的温度变化范围为-20°C~30°C。因此,多轴微动疲劳、腐蚀和温度的共同作用导致温度效应下钢丝的多轴微动腐蚀疲劳,进而引起钢丝多轴微动腐蚀疲劳磨损以及多轴微动腐蚀疲劳裂纹萌生、扩展和最终断裂,最终导致提升钢丝绳的提前报废。因此,提出一种千米深井提升钢丝绳多轴微动腐蚀疲劳损伤监测装置及方法,揭示温度效应下提升钢丝绳的多轴微动腐蚀疲劳损伤演化机制(微动腐蚀疲劳磨损演化和微动腐蚀疲劳裂纹扩展),对探索超深立井提升钢丝绳服役寿命长短有重要的理论指导意义。

[0004] 有关微动疲劳方面的实验装置有:专利号为CN201510311531.7公开了一种接触载荷实时可调的微动疲劳试验方法及试验机,能够实现接触载荷实时变化的微动疲劳试验,用于研究接触载荷、振幅和频率对微动疲劳损伤机制的影响,但不能考虑扭转载荷、温度和腐蚀环境的影响;专利号CN201410525508.3公开了一种钢丝多轴微动疲劳试验装置及方法,能够实现拉-拉疲劳、扭转和变交叉角摆动等复合运动模式下钢丝的多轴微动疲劳实验,但不能考虑腐蚀和温度环境因素的影响;专利号CN201210062350.1公开了一种试验环境可控的多向微动疲劳试验机及其试验方法,能够实现人工控制的特定气氛和/或液体环

境中材料的多向微动摩擦磨损行为研究,但不能考虑扭转载荷和温度因素的影响;专利号CN200910182122.6公开了一种钢丝微动疲劳试验机及方法,能够实现微动磨损和轴向疲劳应力共同作用下钢丝微动疲劳实验,但不能考虑扭转载荷、温度和腐蚀溶液环境因素的影响;专利号CN200810304928.3公开了一种叠加磨损载荷的轴向疲劳实验方法及装置,能实现刚性试件的轴向疲劳和横向磨损作用,但不适于柔性钢丝试样,同时不能考虑扭转载荷、温度和腐蚀溶液环境因素的影响。

## 发明内容

[0005] 发明目的:本发明目的是解决现有设备和技术的不足,并提供了一种结构简单、功能齐全、操作方便的试验装置及方法,可以模拟淋水和不同温度环境中振动和冲击工况下千米深井提升钢丝绳拉-扭多轴微动腐蚀疲劳失效。

[0006] 为了实现上述目的,本发明采用了如下的技术方案:一种千米深井提升钢丝绳多轴微动腐蚀疲劳损伤监测装置,包括基架以及设置在基架上的微动系统、拉-扭疲劳系统和恒温腐蚀系统;

[0007] 所述恒温腐蚀系统包括耐腐蚀箱体、恒温控制系统、冷却系统、电化学腐蚀系统,耐腐蚀箱体内注入腐蚀溶液,恒温控制系统包括加热元件和温度控制柜,加热元件置于腐蚀溶液中并与温度控制柜相连,冷却系统包括水泵、水箱和冷却水管,水箱通过水泵与冷却水管相连,冷却水管缠绕于耐腐蚀箱体周围,电化学腐蚀系统包括腐蚀液添加漏斗、电化学工作站、电极支架和放液开关,耐腐蚀箱体设置可拆卸的腐蚀液添加漏斗,电极支架通过螺钉连接在耐腐蚀箱体上,电化学工作站的电极放置在电极支架上,放液开关设置在耐腐蚀箱体底部;

[0008] 所述微动系统包括上加载单元、下加载单元和疲劳钢丝,疲劳钢丝穿过耐腐蚀箱体两侧面的带孔密封圆柱A、带孔密封圆柱B,上加载单元包括配重块、耐腐蚀直线导轨A、耐腐蚀L型板A、二维力传感器、耐腐蚀加载钢丝夹具、加载钢丝,耐腐蚀直线导轨A设置在耐腐蚀箱体内的疲劳钢丝上方,耐腐蚀直线导轨A包括导轨条A、滑块A、滑块B,导轨条A通过耐腐蚀螺钉固定在耐腐蚀箱体内表面上,滑块A和滑块B设置在导轨条A上,耐腐蚀L型板A通过耐腐蚀螺钉连接耐腐蚀直线导轨A的滑块A和滑块B;配重块设置在耐腐蚀L型板A上,耐腐蚀L型板A与二维力传感器一端通过耐腐蚀螺钉连接,二维力传感器另一端与耐腐蚀加载钢丝夹具通过螺栓连接,加载钢丝固定在耐腐蚀加载钢丝夹具上,下加载单元包括加载重块A、耐腐蚀纤维绳索A、导向支架、导向滑轮A、导向滑轮B、加载重块B、耐腐蚀纤维绳索B、导向滑轮C、导向滑轮D、耐腐蚀直线导轨B、耐腐蚀L型板B、摩擦衬垫、吊环B、吊环A,耐腐蚀直线导轨B设置在耐腐蚀箱体内的疲劳钢丝下方,所述耐腐蚀直线导轨B包括导轨条B、滑块C,滑块D、导轨条B通过耐腐蚀螺钉固定在耐腐蚀箱体内表面上,滑块C和滑块D设置在导轨条B上,耐腐蚀L型板B通过耐腐蚀螺钉连接耐腐蚀直线导轨B的滑块C和滑块D,摩擦衬垫通过耐腐蚀螺钉连接耐腐蚀L型板B,并且摩擦衬垫上沿着疲劳钢丝轴向方向设有半圆形凹槽,耐腐蚀纤维绳索A一端连接加载重块A,耐腐蚀纤维绳索A另一端绕经导向支架上的导向滑轮A和导向滑轮B后与耐腐蚀L型板B一端的吊环A相连,所述耐腐蚀纤维绳索B一端连接加载重块B,耐腐蚀纤维绳索B另一端绕经导向支架上的导向滑轮C和导向滑轮D后与耐腐蚀L型板B另一端的吊环B相连;

[0009] 所述拉-扭疲劳系统包括角位移传感器、联轴器A、角位移传感器固定板、双轴电机、电机支座、联轴器B、轴A、轴承座A、扭矩传感器、轴B、轴承座B、疲劳钢丝夹具A、疲劳钢丝夹具B、连接螺杆、拉力传感器、电动缸，角位移传感器与双轴电机一端通过联轴器A连接，双轴电机另一端与轴A一端通过联轴器B连接，轴A穿过轴承座A内的轴承，轴A另一端与扭矩传感器一端通过螺栓连接，扭矩传感器另一端通过轴B与疲劳钢丝夹具A相连，轴B穿过轴承座B中的轴承，疲劳钢丝夹具A包括疲劳钢丝夹具固定端A和夹板A，通过疲劳钢丝夹具A夹持疲劳钢丝一端，电动缸螺纹杆与拉力传感器一端连接，拉力传感器另一端通过连接螺杆与疲劳钢丝夹具B连接，疲劳钢丝夹具B包括疲劳钢丝夹具固定端B和夹板B，通过疲劳钢丝夹具B夹持疲劳钢丝另一端。

[0010] 进一步的，所述耐腐蚀加载钢丝夹具由半圆柱块和方形板通过螺钉连接而成，半圆柱块的圆柱面上开有圆弧形槽用以嵌入加载钢丝，加载钢丝从半圆柱块柱面两侧穿过方形板上的通孔，并被方形板两侧的耐腐蚀螺钉固定住；方形板上对称设有弧形孔槽，半圆柱块可以沿弧形孔槽旋转，通过耐腐蚀螺钉将半圆柱块固定在弧形孔槽不同位置处。

[0011] 进一步的，所述基架包括支撑立柱、支撑立柱之间的横梁和固定于支撑立柱上的底板，在底板上开设有正方形孔，正方形孔两侧设置有长方形定位孔A和长方形定位孔B；所述耐腐蚀箱体嵌入底板的正方形孔内，耐腐蚀箱体侧面设有定位螺栓，定位螺栓穿入长方形定位孔A内，通过长方形定位孔A调节耐腐蚀箱体在底板上的位置；所述导向支架横跨在耐腐蚀箱体上方，导向支架底部设有定位螺栓，定位螺栓穿过长方形定位孔B，通过长方形定位孔B调整导向支架在底板上的位置；所述角位移传感器通过螺栓固定在角位移传感器固定板上，角位移传感器固定板和双轴电机通过螺栓固定在电机支座上；电机支座通过螺栓固定在底板上；所述电动缸通过螺栓固定在底板上。

[0012] 根据上述监测装置的千米深井提升钢丝绳多轴微动腐蚀疲劳损伤监测方法，包括如下步骤：

[0013] a)、通过砂纸轻微打磨加载钢丝和疲劳钢丝以去除表面氧化膜，并用酒精或丙酮将其表面擦拭干净；将加载钢丝安装于耐腐蚀加载钢丝夹具上，调整耐腐蚀加载钢丝夹具的半圆柱块在方形板弧形孔槽的位置，以获得加载钢丝和疲劳钢丝之间的交叉角度设定值，并将耐腐蚀加载钢丝夹具通过耐腐蚀螺钉连接于二维力传感器和耐腐蚀直线导轨A上；

[0014] b)、将耐腐蚀箱体置于底板的正方形孔内，沿疲劳钢丝轴向调整耐腐蚀箱体位置，用螺栓穿过长方形定位孔A将耐腐蚀箱体固定在底板上；将疲劳钢丝穿过耐腐蚀箱体两侧面的带孔密封圆柱，把疲劳钢丝两端固定在疲劳钢丝夹具A和疲劳钢丝夹具B上；通过计算机控制电动缸水平移动使得疲劳钢丝承受拉力作用，直至达到设定疲劳载荷和变形值；

[0015] c)、将加载重块A、加载重块B和配重块质量同时慢慢施加上，使得加载钢丝与疲劳钢丝之间受到接触载荷；

[0016] d)、带上耐腐蚀手套，将腐蚀溶液通过漏斗和导管注入到耐腐蚀箱体中，直至耐腐蚀箱体中腐蚀溶液高度刚浸没加载钢丝；设定温度控制柜温度，控制加热元件工作直至腐蚀溶液温度达到设定温度值；当腐蚀溶液温度高于设定值时，开启冷却系统，绕于耐腐蚀箱体周围的冷却水管使得腐蚀液温度降至设定值。待温度达到设定值时，打开电化学工作站使其开始工作；

[0017] e)、将水平位移传感器置于疲劳钢丝夹具端面；给角位移传感器、扭矩传感器、拉

力传感器、水平位移传感器和二维力传感器通电；通过计算机控制程序设定电动缸交变位移幅值和双轴电机扭转角度范围，以施加疲劳钢丝的疲劳载荷和扭转载荷；同时启动电动缸和双轴电机，在钢丝多轴微动疲劳过程中，用水平位移传感器动态监测疲劳钢丝的伸长变形量，根据伸长变形量用比例缩小法可获得微动区加载钢丝和疲劳钢丝之间的微动振幅，用角位移传感器和扭矩传感器测量疲劳钢丝的扭转角和扭矩，用二维力传感器获得加载钢丝与疲劳钢丝之间的接触载荷和摩擦力，用拉力传感器记录实验过程中疲劳钢丝疲劳载荷的变化，用电化学工作站实时记录多轴微动疲劳过程中疲劳钢丝、加载钢丝的电化学腐蚀特性；

[0018] f)、通过改变温度、腐蚀溶液PH值、电动缸伸缩位移和频率、双轴电机扭转角和频率、耐腐蚀加载钢丝夹具半圆柱块在方形板上位置、加载重块和配重块质量，可以实现不同的温度、酸碱度、微动振幅、扭转角、频率、交叉角度和接触载荷下钢丝的多轴微动疲劳实验；

[0019] g)、实验结束后，关闭电源，打开冷却系统，待腐蚀溶液温度降到室温时，打开放液开关，回收腐蚀溶液并检测实验后腐蚀溶液组分变化。

[0020] 有益效果：本发明提供的千米深井提升钢丝绳多轴微动腐蚀疲劳损伤监测装置，能够实现不同的温度、腐蚀溶液PH值、多轴微动疲劳参数下千米深井提升钢丝绳的多轴微动腐蚀疲劳实验，能够控制恒定的实验温度和施加一定的电化学腐蚀环境，可以同时动态监测钢丝绳多轴微动腐蚀疲劳实验中钢丝的拉力、变形、扭矩、扭转角以及钢丝间接触载荷和切向摩擦力等参数，能够探索钢丝电化学腐蚀与多轴微动疲劳磨损的交互作用机制及其受到温度、电解质腐蚀溶液、外加极化电位和多轴微动疲劳参数的影响规律，进而确定减缓钢丝绳多轴微动腐蚀疲劳损伤失效的优化提升系统设计参数。

## 附图说明

- [0021] 图1为本发明监测装置的俯视图；
- [0022] 图2为本发明监测装置的主视图；
- [0023] 图3为图2中A-A向视图；
- [0024] 图4为图3中B-B向视图；
- [0025] 图5为本发明专利耐腐蚀加载钢丝夹具的主视图；
- [0026] 图6为本发明专利耐腐蚀加载钢丝夹具的侧视图；
- [0027] 图7为图5中C-C向视图；
- [0028] 图中：1、角位移传感器；2、角位移传感器固定板；3、联轴器A；4、双轴电机；5、电机支座；6、联轴器B；7、轴承座A；8、轴A；9、扭矩传感器；10、轴B；11、放液开关；12、导向滑轮D；13、导向滑轮C；14、耐腐蚀箱体；15、加热元件；16、温度控制柜；17、连接螺杆；18、拉力传感器；19、电动缸；20、电化学工作站；21、疲劳钢丝夹具固定端B；22、夹板B；23、电极支架；24、导向滑轮B；25、导向滑轮A；26、腐蚀液添加漏斗；27、疲劳钢丝；28、轴承座B；29、底板；30、疲劳钢丝夹具固定端A；31、夹板A；32、导向支架；33、冷却水管；34、水泵；35、支撑立柱；36、横梁；37、配重块；38、耐腐蚀L型板A；39、耐腐蚀纤维绳索B；40、二维力传感器；41、半圆柱块；42、导轨条A；43、带孔密封圆柱A；44、摩擦衬垫；45、吊环B；46、加载重块B；47、耐腐蚀L型板B；48、导轨条B；49、水箱；50、加载重块A；51、耐腐蚀纤维绳索A；52、吊环A；53、加载钢丝；54、

方形板；55、带孔密封圆柱B；56、滑块D；57、滑块C；58、滑块B；59、滑块A，60、弧形孔槽，61、圆弧形槽；62、通孔。

### 具体实施方式：

[0029] 下面结合附图对本发明做更进一步的解释。

[0030] 本发明的千米深井提升钢丝绳多轴微动腐蚀疲劳损伤监测装置，包括基架以及设置在基架上的微动系统、拉-扭疲劳系统和恒温腐蚀系统。

[0031] 所述基架包括支撑立柱35、支撑立柱35之间的横梁36和固定于支撑立柱35上的底板29，在底板29上开设有正方形孔，正方形孔两侧设置有长方形定位孔A和长方形定位孔B。

[0032] 所述恒温腐蚀系统包括耐腐蚀箱体14、恒温控制系统、冷却系统、电化学腐蚀系统。耐腐蚀箱体14嵌入底板29的正方形孔内，耐腐蚀箱体14侧面设有定位螺栓，定位螺栓穿入长方形定位孔A内，通过长方形定位孔A调节耐腐蚀箱体14在底板29上的位置。耐腐蚀箱体内注入腐蚀溶液，恒温控制系统包括加热元件15和温度控制柜16，加热元件15置于腐蚀溶液中并与温度控制柜16相连，通过温度控制柜16控制调节耐腐蚀箱体14内腐蚀溶液的温度使其保持恒定；冷却系统包括水泵34、水箱49和冷却水管33，水箱49通过水泵34与冷却水管33相连，冷却水管33缠绕于耐腐蚀箱体14周围，如果腐蚀溶液温度高于设定温度可以通过冷却系统迅速降温；电化学腐蚀系统包括腐蚀液添加漏斗26、电化学工作站20、电极支架23和放液开关11，耐腐蚀箱体14设置可拆卸的腐蚀液添加漏斗26，通过腐蚀液添加漏斗26向耐腐蚀箱体14内注入腐蚀溶液，当腐蚀液添加完成后将其移除到耐腐蚀箱体14外，电极支架23通过螺钉连接在耐腐蚀箱体14上，电化学工作站20的电极放在电极支架23上，放液开关11设置在耐腐蚀箱体14底部，通过放液开关11的开闭可密封和放出腐蚀液。电化学腐蚀系统用来监测钢丝多轴微动腐蚀疲劳损伤过程中钢丝的电化学腐蚀损耗特性。

[0033] 所述微动系统包括上加载单元、下加载单元和疲劳钢丝27。疲劳钢丝27穿过耐腐蚀箱体14两侧面的带孔密封圆柱A43、带孔密封圆柱B55。

[0034] 上加载单元包括配重块37、耐腐蚀直线导轨A、耐腐蚀L型板A38、二维力传感器40、耐腐蚀加载钢丝夹具、加载钢丝53。耐腐蚀直线导轨A设置在耐腐蚀箱体内的疲劳钢丝27上方，耐腐蚀直线导轨A包括导轨条A42、滑块A59、滑块B58，导轨条A42通过耐腐蚀螺钉固定在耐腐蚀箱体14内表面上，滑块A59和滑块B58设置在导轨条A42上，耐腐蚀L型板A38通过耐腐蚀螺钉连接耐腐蚀直线导轨A的滑块A59和滑块B58；配重块37设置在耐腐蚀L型板A38上，配重块37重量决定钢丝间接触载荷大小；耐腐蚀L型板A38与二维力传感器40一端通过耐腐蚀螺钉连接；二维力传感器40另一端与耐腐蚀加载钢丝夹具通过螺栓连接，加载钢丝53固定在耐腐蚀加载钢丝夹具上。

[0035] 耐腐蚀加载钢丝夹具由半圆柱块41和方形板54通过螺钉连接而成，半圆柱块41的圆柱面上开有圆弧形槽61用以嵌入加载钢丝53，加载钢丝53从半圆柱块41柱面两侧穿过方形板54上的通孔62，并被方形板54两侧的耐腐蚀螺钉固定住；方形板54上对称设有弧形孔槽60，半圆柱块41可以沿弧形孔槽60旋转，通过耐腐蚀螺钉将半圆柱块41固定在弧形孔槽60不同位置处，可调整加载钢丝53与疲劳钢丝27之间的夹角。

[0036] 下加载单元包括加载重块A50、耐腐蚀纤维绳索A51、导向支架32、导向滑轮A25、导向滑轮B24、加载重块B46、耐腐蚀纤维绳索B39、导向滑轮C13、导向滑轮D12、耐腐蚀直线导

轨B、耐腐蚀L型板B47、摩擦衬垫44、吊环B45、吊环A52。耐腐蚀直线导轨B设置在耐腐蚀箱体内的疲劳钢丝27下方，所述耐腐蚀直线导轨B包括导轨条B48、滑块C57，滑块D56，导轨条B48通过耐腐蚀螺钉固定在耐腐蚀箱体14内表面上，滑块C57和滑块D56设置在导轨条B48上；耐腐蚀L型板B47通过耐腐蚀螺钉连接耐腐蚀直线导轨B的滑块C57和滑块D56；摩擦衬垫44通过耐腐蚀螺钉连接耐腐蚀L型板B47，并且摩擦衬垫44上沿着疲劳钢丝27轴向方向设有半圆形凹槽，用于导向疲劳钢丝27试样沿摩擦衬垫弧槽运动；导向支架32横跨在耐腐蚀箱体上方，导向支架32底部设有定位螺栓，定位螺栓穿过长方形定位孔B，通过长方形定位孔B调整导向支架32在底板29上的位置，耐腐蚀纤维绳索A51一端连接加载重块A50，耐腐蚀纤维绳索A51另一端绕经导向支架32上的导向滑轮A25和导向滑轮B24后与耐腐蚀L型板B47一端的吊环A52相连；所述耐腐蚀纤维绳索B39一端连接加载重块B46，耐腐蚀纤维绳索B39另一端绕经导向支架32上的导向滑轮C13和导向滑轮D12后与耐腐蚀L型板B47另一端的吊环B45相连；在加载重块A50和加载重块B46的共同作用下，耐腐蚀L型板B47被拉动沿着耐腐蚀直线导轨B运动，进而实现摩擦衬垫44对疲劳钢丝27的加载作用。

[0037] 所述拉-扭疲劳系统包括角位移传感器1、联轴器A3、角位移传感器固定板2、双轴电机4、电机支座5、联轴器B6、轴A8、轴承座A7、扭矩传感器9、轴B10、轴承座B28、疲劳钢丝夹具A、疲劳钢丝夹具B、连接螺杆17、拉力传感器18、电动缸19。角位移传感器1通过螺栓固定在角位移传感器固定板2上；角位移传感器1与双轴电机4一端通过联轴器A3连接；角位移传感器固定板2和双轴电机4通过螺栓固定在电机支座5上；电机支座5通过螺栓固定在底板29上；双轴电机4另一端与轴A8一端通过联轴器B6连接；轴A8穿过轴承座A7内的轴承，轴A8另一端与扭矩传感器9一端通过螺栓连接；扭矩传感器9另一端通过轴B10与疲劳钢丝夹具A相连，轴B10穿过轴承座B28中的轴承，疲劳钢丝夹具A包括疲劳钢丝夹具固定端A30和夹板A31，通过疲劳钢丝夹具A夹持疲劳钢丝27一端。电动缸19通过螺栓固定在底板29上，电动缸19螺纹杆与拉力传感器18一端连接，拉力传感器18另一端通过连接螺杆17与疲劳钢丝夹具B连接，疲劳钢丝夹具B包括疲劳钢丝夹具固定端B21和夹板B22，通过疲劳钢丝夹具B夹持疲劳钢丝27另一端。

[0038] 根据上述监测装置的千米深井提升钢丝绳多轴微动腐蚀疲劳损伤监测方法，包括如下步骤：

[0039] a)、通过砂纸轻微打磨加载钢丝和疲劳钢丝以去除表面氧化膜，并用酒精或丙酮将其表面擦拭干净；将加载钢丝安装于耐腐蚀加载钢丝夹具上，调整耐腐蚀加载钢丝夹具的半圆柱块在方形板弧形孔槽的位置，以获得加载钢丝和疲劳钢丝之间的交叉角度设定值，并将耐腐蚀加载钢丝夹具通过耐腐蚀螺钉连接于二维力传感器和耐腐蚀直线导轨A上；

[0040] b)、将耐腐蚀箱体置于底板的正方形孔内，沿疲劳钢丝轴向调整耐腐蚀箱体位置，用螺栓穿过长方形定位孔A将耐腐蚀箱体固定在底板上；将疲劳钢丝穿过耐腐蚀箱体两侧面的带孔密封圆柱，把疲劳钢丝两端固定在疲劳钢丝夹具A和疲劳钢丝夹具B上；通过计算机控制电动缸水平移动使得疲劳钢丝承受拉力作用，直至达到设定疲劳载荷和变形值；

[0041] c)、经称重获得上加载单元中耐腐蚀直线导轨A的滑块A1和滑块A2、耐腐蚀L型板A、二维力传感器和耐腐蚀加载钢丝夹具的总重量为m1，下加载单元中耐腐蚀直线导轨B的滑块B1和滑块B2、耐腐蚀L型板B和摩擦衬垫的总重量为m2，如需对加载钢丝和疲劳钢丝之间施加重量为m的接触载荷，加载重块A和加载重块B的质量应均为(m+m2)/2，配重块质量应

为 $m-m_1$ 。将加载重块A、加载重块B和配重块质量同时慢慢施加上,使得加载钢丝与疲劳钢丝之间受到 $mg$ 的接触载荷;

[0042] d)、带上耐腐蚀手套,将腐蚀溶液通过漏斗和导管注入到耐腐蚀箱体中,直至耐腐蚀箱体中腐蚀溶液高度刚浸没加载钢丝;设定温度控制柜温度,控制加热元件工作直至腐蚀溶液温度达到设定温度值;当腐蚀溶液温度高于设定值时,开启冷却系统,绕于耐腐蚀箱体周围的冷却水管使得腐蚀液温度降至设定值。待温度达到设定值时,打开电化学工作站使其开始工作;

[0043] e)、将水平位移传感器置于疲劳钢丝夹具端面;给角位移传感器、扭矩传感器、拉力传感器、水平位移传感器和二维力传感器通电;通过计算机控制程序设定电动缸交变位移幅值和双轴电机扭转角度范围,以施加疲劳钢丝的疲劳载荷和扭转载荷;同时启动电动缸和双轴电机,在钢丝多轴微动疲劳(拉-拉、扭转和接触载荷)过程中,用水平位移传感器动态监测疲劳钢丝的伸长变形量,根据伸长变形量用比例缩小法可获得微动区加载钢丝和疲劳钢丝之间的微动振幅,用角位移传感器和扭矩传感器测量疲劳钢丝的扭转角和扭矩,用二维力传感器获得加载钢丝与疲劳钢丝之间的接触载荷和摩擦力,用拉力传感器记录实验过程中疲劳钢丝疲劳载荷的变化,用电化学工作站实时记录多轴微动疲劳过程中疲劳钢丝、加载钢丝的电化学腐蚀特性(阻抗谱,腐蚀电流等);

[0044] f)、通过改变温度、腐蚀溶液PH值、电动缸伸缩位移和频率、双轴电机扭转角和频率、耐腐蚀加载钢丝夹具半圆柱块在方形板上位置、加载重块和配重块质量,可以实现不同的温度、酸碱度、微动振幅、扭转角、频率、交叉角度和接触载荷下钢丝的多轴微动疲劳实验;

[0045] g)、实验结束后,关闭电源,打开冷却系统,待腐蚀溶液温度降到室温时,打开放液开关,回收腐蚀溶液并检测实验后腐蚀溶液组分变化。

[0046] 以上所述仅是本发明的优选实施方式,应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以做出若干改进和润饰,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

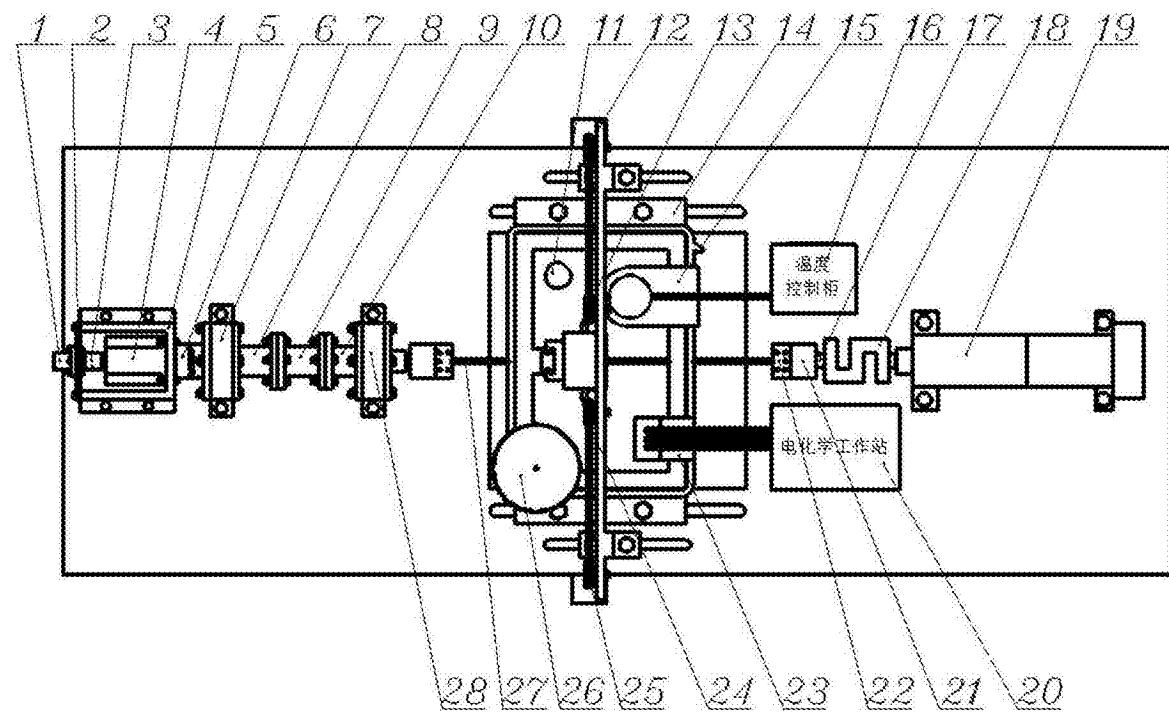


图1

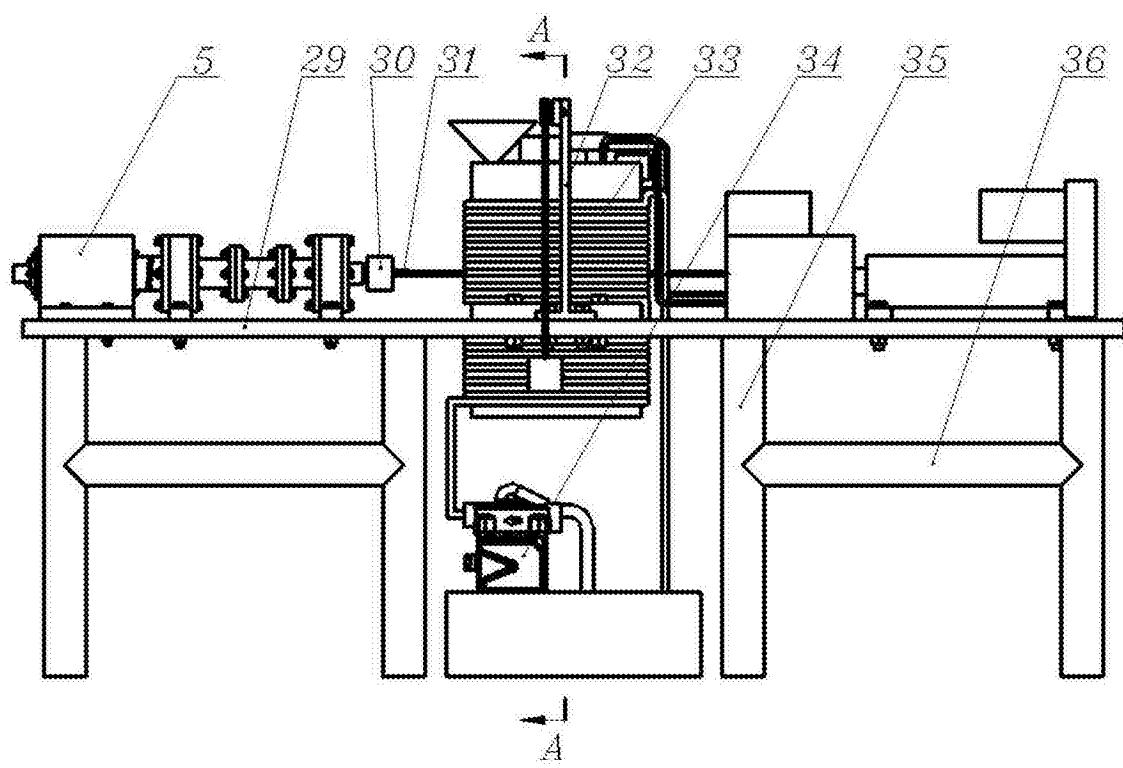


图2

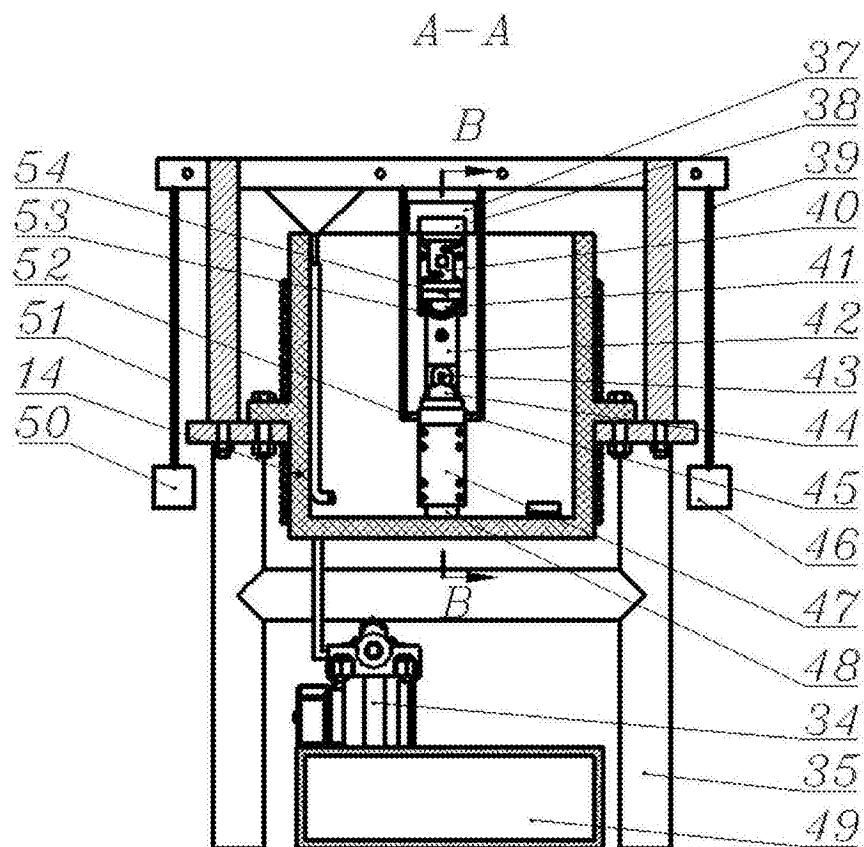


图3

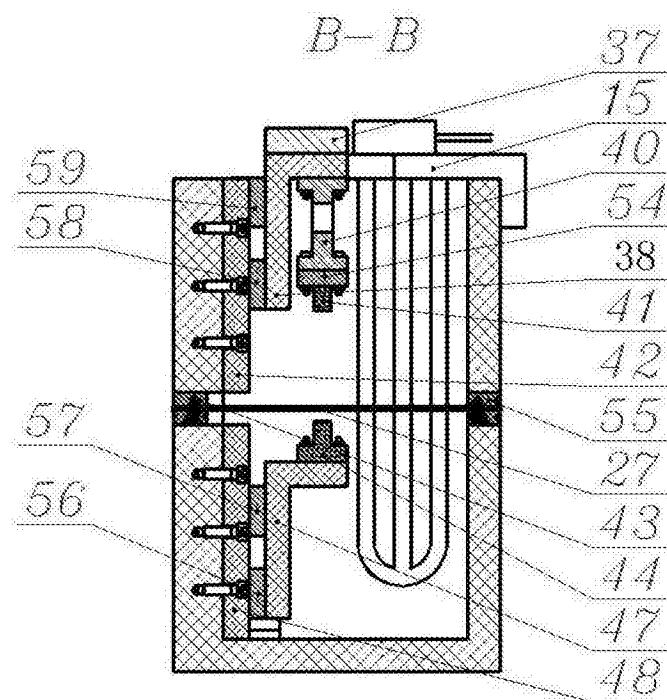


图4

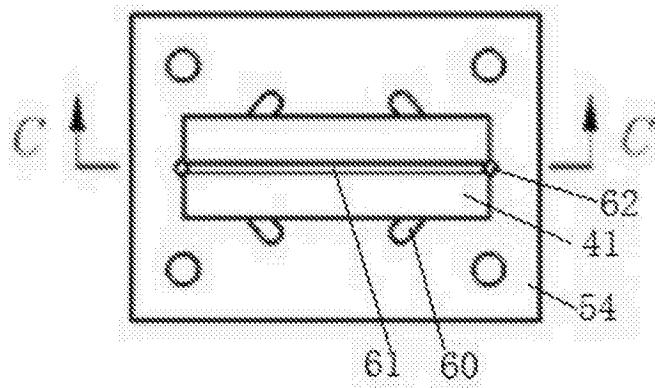


图5

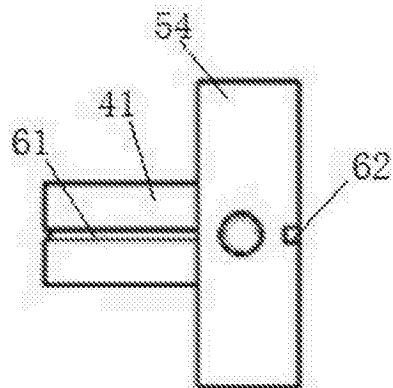


图6

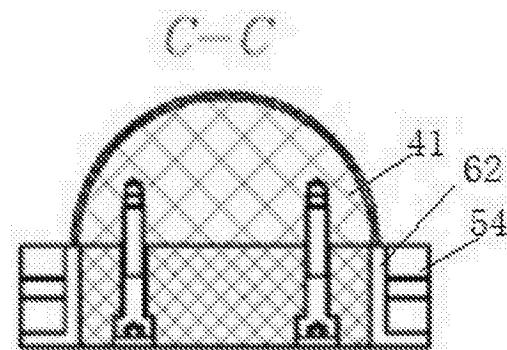


图7