



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 107449676 B

(45) 授权公告日 2024.03.22

(21) 申请号 201710706835.2

(22) 申请日 2017.08.17

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 107449676 A

(43) 申请公布日 2017.12.08

(73) 专利权人 中广核研究院有限公司  
地址 518031 广东省深圳市福田区上步中  
路西深圳科技大厦15层(1502-1504、  
1506)

专利权人 中国广核集团有限公司  
中国广核电力股份有限公司

(72) 发明人 龚星 刘彤 吕先锋 李锐  
任啟森 刘洋 薛佳祥 李雷  
黄恒 武海龙 严俊 李思功

(74) 专利代理机构 深圳市瑞方达知识产权事务  
所(普通合伙) 44314

专利代理人 林俭良 王少虹

(51) Int.Cl.

G01N 3/18 (2006.01)

G01B 21/02 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 207231920 U, 2018.04.13

JP 2012088093 A, 2012.05.10

CN 105203402 A, 2015.12.30

WO 2009041251 A1, 2009.04.02

CN 106769530 A, 2017.05.31

CN 206132512 U, 2017.04.26

CN 102607430 A, 2012.07.25

CN 103900458 A, 2014.07.02

JP 2001108425 A, 2001.04.20

审查员 郑洁

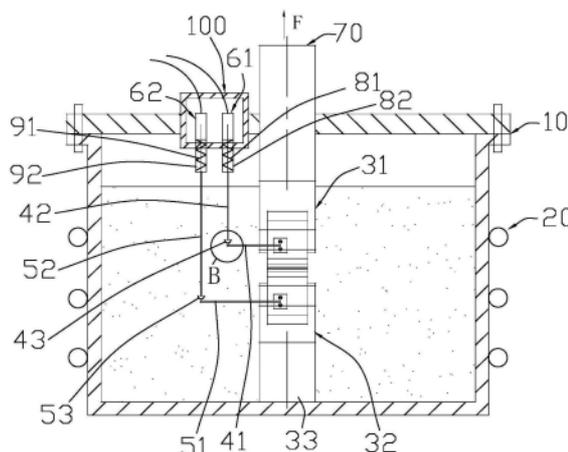
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

## (54) 发明名称

裂纹开口位移测量装置

## (57) 摘要

本发明公开了一种裂纹开口位移测量装置,包括用于盛放高温腐蚀导电介质的密闭容器、加热单元、用于固定试样的第一固定件和第二固定件、第一连杆组件和第二连杆组件、第一位移传感器和第二位移传感器;第一固定件和第二固定件相对设置在密闭容器内;第一位移传感器和第二位移传感器设置在密闭容器上,第一连杆组件和第二连杆组件在试样的厚度截面上分别连接在试样和第一位移传感器之间以及试样和第二位移传感器之间。本发明的裂纹开口位移测量装置,能够准确测量浸泡在高温腐蚀导电介质中的紧凑拉伸试样的裂纹开口位移,为测试高温腐蚀导电液态介质冷却反应堆结构材料在这种复杂特殊环境中的弹塑性断裂韧性和疲劳裂纹扩展速率提供精确的测量手段。



1. 一种裂纹开口位移测量装置,其特征在于,包括用于盛放液态的高温腐蚀导电介质的密闭容器(10)、对所述密闭容器(10)及高温腐蚀导电介质进行加热的加热单元(20)、用于固定试样(1)的第一固定件(31)和第二固定件(32)、将所述试样(1)上裂纹开口位移引出的第一连杆组件(40)和第二连杆组件(50)、对引出的裂纹开口进行测量的第一位移传感器(61)和第二位移传感器(62)、第一弹簧组件和第二弹簧组件;

所述高温腐蚀导电介质为液态铅、铅铋共晶合金或者钠;

所述第一固定件(31)和第二固定件(32)上下相对设置在所述密闭容器(10)内并且浸泡在高温腐蚀导电介质中,固定所述试样(1)的位于裂纹两侧的两端;所述第一位移传感器(61)和第二位移传感器(62)设置在所述密闭容器(10)的顶部上,所述第一连杆组件(40)和第二连杆组件(50)在试样(1)的厚度截面上分别连接在所述试样(1)和第一位移传感器(61)之间以及所述试样(1)和第二位移传感器(62)之间;所述第一连杆组件(40)包括第一横杆(41)和第一直杆(42);所述第一横杆(41)的第一端连接所述试样(1),第二端设有敞口朝上的第一弧形凹槽(43);所述第一直杆(42)的第一端设有第一球状体(44),所述第一球状体(44)配合在所述第一弧形凹槽(43)内,所述第一直杆(42)的第二端连接所述第一位移传感器(61);所述第一弹簧组件包括设置在所述第一直杆(42)第二端上的第一弹簧件(81)、以及设置在所述第一弹簧件(81)外的第一套筒(82),所述第一弹簧件(81)与所述第一位移传感器(61)连接;

所述第二连杆组件(50)包括第二横杆(51)和第二直杆(52);所述第二横杆(51)的第一端连接所述试样(1),第二端设有敞口朝上的第二弧形凹槽(53);所述第二直杆(52)的第一端设有第二球状体,所述第二球状体配合在所述第二弧形凹槽(53)内,所述第二直杆(52)的第二端连接所述第二位移传感器(62);所述第二弹簧组件包括设置在所述第二直杆(52)第二端上的第二弹簧件(91)、以及设置在所述第二弹簧件(91)外的第二套筒(92),所述第二弹簧件(91)与所述第二位移传感器(62)连接。

2. 根据权利要求1所述的裂纹开口位移测量装置,其特征在于,所述第一固定件(31)和第二固定件(32)上分别设有插销孔,所述试样(1)的两端分别通过插销(34、35)与所述插销孔间隙配合连接在所述第一固定件(31)和第二固定件(32)上;

所述第一弧形凹槽(43)的圆心与对应的所述插销孔中心线重合;所述第二弧形凹槽(53)的圆心与对应的所述插销孔的中心线重合。

3. 根据权利要求1所述的裂纹开口位移测量装置,其特征在于,所述裂纹开口位移测量装置还包括加载杆(70),所述加载杆(70)设置在所述密闭容器(10)的顶部;所述第一固定件(31)连接所述加载杆(70),所述第二固定件(32)相对所述第一固定件(31)设置在所述密闭容器(10)的内底部。

4. 根据权利要求3所述的裂纹开口位移测量装置,其特征在于,所述第一球状体(44)的中心、第一弧形凹槽(43)的圆心在水平方向与对应的插销孔的中心线重合,在垂直方向与所述加载杆(70)的中心轴重合;

所述第二球状体的中心、第二弧形凹槽(53)的圆心在水平方向与对应的所述插销孔的中心线重合,在垂直方向与所述加载杆(70)的中心轴重合。

5. 根据权利要求1所述的裂纹开口位移测量装置,其特征在于,所述第一横杆(41)和第二横杆(51)的长度不同。

6. 根据权利要求1所述的裂纹开口位移测量装置,其特征在于,所述裂纹开口位移测量装置还包括设置在所述密闭容器(10)顶部的冷却箱(100);所述第一位移传感器(61)和第二位移传感器(62)设置在所述冷却箱(100)内。

7. 根据权利要求1-6任一项所述的裂纹开口位移测量装置,其特征在于,所述加热单元(20)包括线圈,设置在所述密闭容器(10)的外周上。

8. 根据权利要求1-6任一项所述的裂纹开口位移测量装置,其特征在于,所述密闭容器(10)包括顶部开口的容器本体(11)、可开合盖合在所述容器本体(11)开口上的顶盖(12);

所述第一固定件(31)设置在所述顶盖(12)上,所述第二固定件(32)设置在所述容器本体(11)的内底部。

## 裂纹开口位移测量装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种测量装置,尤其涉及一种裂纹开口位移测量装置。

### 背景技术

[0002] 高温腐蚀导电介质(如高温高压水、液态铅、铅铋共晶合金、钠及其他碱金属)是先进核能系统重要的冷却剂。冷却剂与材料的相容性是考核评价核系统安全性能的重要指标。比如,液态金属(如液态纯铅或铅铋合金等)冷却快堆能实现核燃料增殖、降低核废料和提高核燃料有效利用率,是目前世界上普遍认可的最有前途的第四代反应堆技术之一。

[0003] 新型反应堆的安全性很大程度上取决于结构材料是否能承受极端环境下的长期考核,包括高温液态金属冷却剂对材料的腐蚀和脆化等。其中,液态金属脆化是一种重要的材料性能退化现象,其特点是在外加载荷作用下,材料表面裂纹被液态金属润湿后,裂纹尖端原子键结合力或晶界结合强度被弱化,从而导致宏观上材料断裂韧性的下降和裂纹扩展速率的加速。液态金属脆化可导致材料发生无预兆的瞬间断裂失效。因此,准确评价材料在液态金属环境中的力学性能是选择合适堆用结构材料和确保反应堆安全的必要过程。

[0004] 断裂韧性或疲劳裂纹扩展速率是力学性能指标中最为重要的参数之一,这是因为断裂韧性决定了材料抵抗裂纹扩展的本征能力,通过对服役过程中核结构材料断裂韧性的退化进行定时监控,可以对核构件的服役寿命进行预测。周期载荷是核反应堆中最重要的载荷类型之一,在此载荷作用下,核结构材料中的微裂纹可发生扩展,从而降低构件对外载荷的承受能力。通过测量疲劳裂纹扩展速率可以预测裂纹达到安全临界长度所需的时间,这也是预测核结构件服役寿命的重要参考依据之一。新型液态金属冷却反应堆的安全设计离不开对核结构材料性能的准确评价,而先进测量手段是实现这个目标的重要前提。

[0005] 弹塑性断裂韧性和疲劳裂纹扩展速率的测试均涉及裂纹长度的精确测量,测量方法取决于试样所处的介质环境。对于高温腐蚀导电介质(如高温高压水、液态铅、铅铋共晶合金、钠及其他碱金属)冷却反应堆,其介质具有高温、腐蚀、导电和(液态金属)不透明的特性,这决定了裂纹长度的传统测量方法存在很大局限性。

[0006] 传统的裂纹长度测量方法主要包括光学显微镜直接观察法、电压法和柔度法等。

[0007] 光学显微镜直接观察法是利用光学显微镜对裂纹长度进行直接观察测量,此种方法适用于在空气介质中的裂纹长度的测量,不适用于非透明液态金属介质。

[0008] 电压法的基本原理是随着裂纹的扩展,裂纹长度的增加会导致试样的电阻发生变化,从而引起电压信号的响应,通过测量该电压信号的变化对裂纹长度进行估算。此方法要求试样所处的介质与试样材质本身具有明显不同的电阻,这样当裂纹扩展时,电压信号的变化才能被灵敏地反映出来。所以,此方法常用于空气或者高温高压水等介质中裂纹长度的测量,因为这些介质的电阻完全不同于试样材质本身的电阻。对于液态金属导电介质,由于其电阻与试样材质(如不锈钢)本身的电阻十分接近,因此电压信号的变化对裂纹长度的变化不敏感,使得这种方法不能在液态金属介质环境中进行准确测量。

[0009] 柔度法是通过测量紧凑拉伸(CT)试样加载线所对应的裂纹开口位移,然后利用

ASTM E1820标准中的公式计算试样中的裂纹长度。因此,如何精确测量加载线处的裂纹开口位移是利用柔度法准确测量裂纹长度的关键所在。对于空气介质,一般将应变计夹持在与加载线重合的试样开口位置,这样能比较精确地测量裂纹开口位移。但是,应变计在导电介质中会出现短路,同时无法承受高温,因此在高温腐蚀导电介质中不能正常工作。

### 发明内容

[0010] 本发明要解决的技术问题在于,提供一种能在多种高温腐蚀导电介质中精确测量裂纹开口位移的裂纹开口位移测量装置。

[0011] 本发明解决其技术问题所采用的技术方案是:提供一种裂纹开口位移测量装置,包括用于盛放高温腐蚀导电介质的密闭容器、对所述密闭容器进行加热的加热单元、用于固定试样的第一固定件和第二固定件、将所述试样上裂纹开口位移引出的第一连杆组件和第二连杆组件、对引出的裂纹开口进行测量的第一位移传感器和第二位移传感器;

[0012] 所述第一固定件和第二固定件相对设置在所述密闭容器内,固定所述试样的位于裂纹两侧的两端;所述第一位移传感器和第二位移传感器设置在所述密闭容器上,所述第一连杆组件和第二连杆组件在试样的厚度截面上分别连接在所述试样和第一位移传感器之间以及所述试样和第二位移传感器之间。

[0013] 优选地,所述第一连杆组件包括第一横杆和第一直杆;所述第一横杆的第一端连接所述试样,第二端设有敞口朝上的第一弧形凹槽;所述第一直杆的第一端设有第一球状体,所述第一球状体配合在所述第一弧形凹槽内,所述第一直杆的第二端连接所述第一位移传感器。

[0014] 优选地,所述第二连杆组件包括第二横杆和第二直杆;所述第二横杆的第一端连接所述试样,第二端设有敞口朝上的第二弧形凹槽;所述第二直杆的第一端设有第二球状体,所述第二球状体配合在所述第二弧形凹槽内,所述第二直杆的第二端连接所述第二位移传感器。

[0015] 优选地,所述第一固定件和第二固定件上分别设有插销孔,所述试样的两端分别通过插销与所述插销孔间隙配合连接在所述第一固定件和第二固定件上;

[0016] 所述第一弧形凹槽的圆心与对应的所述插销孔中心线重合;所述第二弧形凹槽的圆心与对应的所述插销孔的中心线重合。

[0017] 优选地,所述裂纹开口位移测量装置还包括加载杆,所述加载杆设置在所述密闭容器的顶部;所述第一固定件连接所述加载杆,所述第二固定件相对所述第一固定件设置在所述密闭容器的内底部。

[0018] 优选地,所述第一球状体的中心、第一弧形凹槽的圆心在水平方向与对应的所述插销孔的中心线重合,在垂直方向与所述加载杆的中心轴重合;

[0019] 所述第二球状体的中心、第二弧形凹槽的圆心在水平方向与对应的所述插销孔的中心线重合,在垂直方向与所述加载杆的中心轴重合。

[0020] 优选地,所述第一横杆和第二横杆的长度不同。

[0021] 优选地,所述裂纹开口位移测量装置还包括第一弹簧组件和第二弹簧组件,所述第一弹簧组件包括设置在所述第一直杆第二端上的第一弹簧件、以及设置在所述第一弹簧件外的第一套筒,所述第一弹簧件与所述第一位移传感器连接;

[0022] 所述第二弹簧组件包括设置在所述第二直杆第二端上的第二弹簧件、以及设置在所述第二弹簧件外的第二套筒,所述第二弹簧件与所述第二位移传感器连接。

[0023] 优选地,所述裂纹开口位移测量装置还包括设置在所述密闭容器顶部的冷却箱;所述第一位移传感器和第二位移传感器设置在所述冷却箱内。

[0024] 优选地,所述加热单元包括线圈,设置在所述密闭容器的外周上。

[0025] 优选地,所述密闭容器包括顶部开口的容器本体、可开合盖合在所述容器本体开口上的顶盖;

[0026] 所述第一固定件设置在所述顶盖上,所述第二固定件设置在所述容器本体的内底部。

[0027] 本发明的有益效果:将CT试样的裂纹开口位移引出,再通过位移传感器进行测量,避免了采用其他测量方法如应变计测量时必须将电路部分完全浸泡在高温腐蚀导电介质中出现短路而无法正常工作的缺点。能够准确测量浸泡在高温腐蚀导电介质中的紧凑拉伸试样(CT)的裂纹开口位移,为测试高温腐蚀导电液态介质冷却反应堆结构材料在这种复杂特殊环境中的弹塑性断裂韧性和疲劳裂纹扩展速率提供了精确的测量手段。

[0028] 该装置能在温度高达800℃、不透明、导电的液态金属腐蚀介质及其他复杂特殊介质中工作。结构简单,操作方便,成本低廉,适用范围广,灵活性高。

## 附图说明

[0029] 下面将结合附图及实施例对本发明作进一步说明,附图中:

[0030] 图1是本发明一实施例的裂纹开口位移测量装置的结构示意图;

[0031] 图2是图1所示裂纹开口位移测量装置在A角度上的结构示意图;

[0032] 图3是图2中B部分的放大结构示意图。

## 具体实施方式

[0033] 为了对本发明的技术特征、目的和效果有更加清楚的理解,现对照附图详细说明本发明的具体实施方式。

[0034] 如图1、2所示,本发明一实施例的裂纹开口位移测量装置,包括用于盛放高温腐蚀导电介质的密闭容器10、对密闭容器10进行加热的加热单元20、用于固定试样1的第一固定件31和第二固定件32、将试样1上裂纹开口位移引出的第一连杆组件40和第二连杆组件50、对引出的裂纹开口进行测量的第一位移传感器61和第二位移传感器62。

[0035] 其中,第一固定件31和第二固定件32相对设置在密闭容器10内,固定试样1的位于裂纹两侧的两端,使得试样1上的裂纹位于第一固定件31和第二固定件32之间。第一位移传感器61和第二位移传感器62设置在密闭容器10上,第一连杆组件40和第二连杆组件50在试样1的厚度截面上分别连接在试样1和第一位移传感器61之间以及试样1和第二位移传感器62之间。

[0036] 具体地,密闭容器10可盛放多种不同的高温导电腐蚀介质,将试样1浸泡在其中;密闭容器10采用耐高温腐蚀的不锈钢材料制成。该密闭容器10包括顶部开口的容器本体11、可开合盖合在容器本体11开口上的顶盖12;密闭容器10的可开闭设置便于高温导电腐蚀介质的取放、试样1及其他部件等的拆装。

[0037] 加热单元20设置在密闭容器10上,对密闭容器10及其内的高温导电腐蚀介质进行加热,达到测量温度。

[0038] 加热单元20可包括线圈,设置在密闭容器10的外周上,可对密闭容器10及其内的高温导电腐蚀介质进行加热的同时,不需浸泡在高温导电腐蚀介质内,避免受腐蚀以及不需占用密闭容器10内空间。

[0039] 第一固定件31设置在密闭容器10的顶盖12上,顶盖12形成密闭容器10的顶部;第二固定件32设置在容器本体11的内底部,两者上下相对设置,对试样1进行上下连接固定。

[0040] 本发明的裂纹开口位移测量装置还包括加载杆70,加载杆70设置在密闭容器10的顶部。第一固定件31连接加载杆70,实现力的传递(如图1、2中F)。加载杆70的上端进一步连接载荷驱动器。

[0041] 第二固定件32相对第一固定件31设置在密闭容器10的内底部。第二固定件32可直接固定在容器底部10的内底部,也可通过底座支撑在密闭容器10底部上。第一固定件31和第二固定件32可为马蹄形。

[0042] 第一固定件31和第二固定件32上分别设有插销孔,试样1的两端分别通过插销34、35与插销孔间隙配合连接在第一固定件31和第二固定件32上。其中,插销34、35和插销孔的间隙配合,使插销34、35能在插销孔中转动,在裂纹扩展时,不影响试样1的旋转。

[0043] 如图1-3所示,第一连杆组件40包括第一横杆41和第一直杆42。第一横杆在密闭容器10呈水平设置,并与试样1平行;第一横杆41的第一端连接试样1,第二端设有敞口朝上的第一弧形凹槽43,第一弧形凹槽43的圆心与对应的插销孔中心线重合。第一直杆42在密闭容器10呈垂直设置,并与试样1平行;第一直杆42的第一端设有第一球状体44,第二端连接第一位移传感器61。第一球状体44配合在第一弧形凹槽43内,两者可相对转动。第一球状体44表面光滑,使得第一球状体44和第一弧形凹槽43在发生相对转动时不会产生锁死和侧向滑动的问题。

[0044] 第二连杆组件50包括第二横杆51和第二直杆52。第二横杆51在密闭容器10呈水平设置,并与试样1平行;第二横杆51的第一端连接试样1,第二端设有敞口朝上的第二弧形凹槽53,第二弧形凹槽53的圆心与对应的插销孔的中心线重合。第二直杆52在密闭容器10呈垂直设置,并与试样1平行;第二直杆52的第一端设有第二球状体(未图示),第二端连接第二位移传感器62。第二球状体配合在第二弧形凹槽53内(可参考图3所示的第一球状体44和第一弧形凹槽43的配合),两者可相对转动。第二球状体表面光滑,使得第二球状体和第二弧形凹槽53在发生相对转动时不会产生锁死和侧向滑动的问题。

[0045] 第一直杆42、第二直杆52均为刚性杆。

[0046] 此外,第一球状体44的中心、第一弧形凹槽43的圆心在水平方向与对应的插销孔的中心线重合,在垂直方向与加载杆70的中心轴重合。第二球状体的中心、第二弧形凹槽53的圆心在水平方向与对应的插销孔的中心线重合,在垂直方向与加载杆70的中心轴重合。

[0047] 如图2中所示,本实施例中,对应于第一位移传感器61和第二传感器62在密闭容器10顶部的并排设置,第一横杆41和第二横杆51的长度不同,避免两者相碰。由于第一横杆41和第二横杆51在密闭容器10内处于上、下位置,第一直杆42和第二直杆52长度也不同,以分别连接第一位移传感器61和第二位移传感器62,即:第一直杆41长度小于第二直杆52长度。

[0048] 进一步地,本发明的裂纹开口位移测量装置还包括第一弹簧组件和第二弹簧组

件。

[0049] 如图2所示,第一弹簧组件包括设置在第一直杆42第二端上的第一弹簧件81、以及设置在第一弹簧件81外的第一套筒82,第一弹簧件81与第一位移传感器61连接。第一弹簧件81在第一直杆42上的设置,给第一直杆42施加垂直向下的弹力,使其与第一弧形凹槽43内表面始终保持一定接触力,这样第一直杆42向下或向上传递裂纹开口位移时能迅速反应而不发生滞后现象。第一弹簧件81置于第一套筒82之中,其外径与第一套筒82内径一致,其目的是为了为了使第一直杆42仅能上下运动传递垂直位移而不发生过度侧向移动导致测量误差。

[0050] 第二弹簧组件包括设置在第二直杆52第二端上的第二弹簧件91、以及设置在第二弹簧件91外的第二套筒92,第二弹簧件91与第二位移传感器62连接。第二弹簧件91在第二直杆52上的设置,给第二直杆52施加垂直向下的弹力,使其与第二弧形凹槽53内表面始终保持一定接触力,这样第二直杆52向下或向上传递裂纹开口位移时能迅速反应而不发生滞后现象。第二弹簧件91置于第二套筒92之中,其外径与第二套筒92内径一致,其目的是为了为了使第二直杆52仅能上下运动传递垂直位移而不发生过度侧向移动导致测量误差。

[0051] 另外,本发明的裂纹开口位移测量装置还可包括设置在密闭容器10顶部的冷却箱100。第一位移传感器61和第二位移传感器62设置在冷却箱100内,通过冷却箱100冷却以保持正常工作温度。第一位移传感器61和第二位移传感器62的导线穿出冷却箱100。

[0052] 作为选择,冷却箱100可为水冷箱,通过冷却水的输入和排出带走第一位移传感器61和第二位移传感器62的热量。

[0053] 本发明工作时,按图1、2所示将试样1安装在密闭容器10内;通过加热单元20将密闭容器10内的高温导电腐蚀介质加热至测量温度。当裂纹在试样1内扩展时,裂纹以上的试样部分绕着插销逆时针旋转,同时裂纹以下的试样部分绕着插销顺时针旋转,第一弧形凹槽43绕着第一直杆42下端的第一球状体44发生相应旋转,第二弧形凹槽53绕着第二直杆52下端的第二球状体发生相应旋转,这样试样1在加载线处的开口位移可以被引出至第一位移传感器61和第二传感器62,实现准确测量,从而能精确地估算裂纹长度。

[0054] 通过测量,本发明获得的测量值与同温度下利用高温应变计在空气中测量得裂纹开口位移进行了比较,两者相差在5%以内。

[0055] 以上所述仅为本发明的实施例,并非因此限制本发明的专利范围,凡是利用本发明说明书及附图内容所作的等效结构或等效流程变换,或直接或间接运用在其他相关的技术领域,均同理包括在本发明的专利保护范围内。

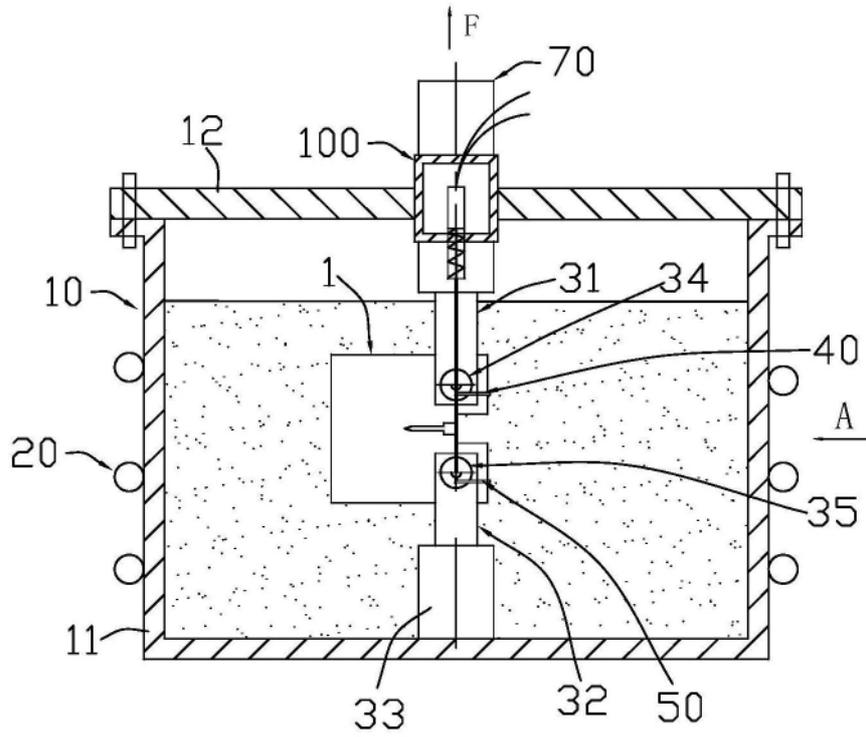


图1

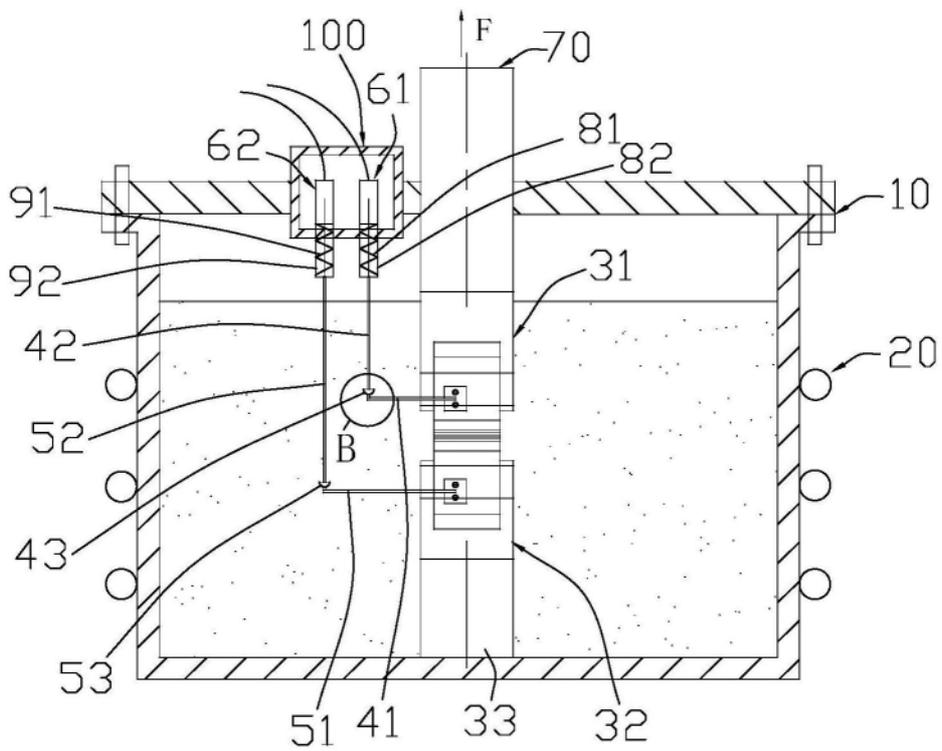


图2

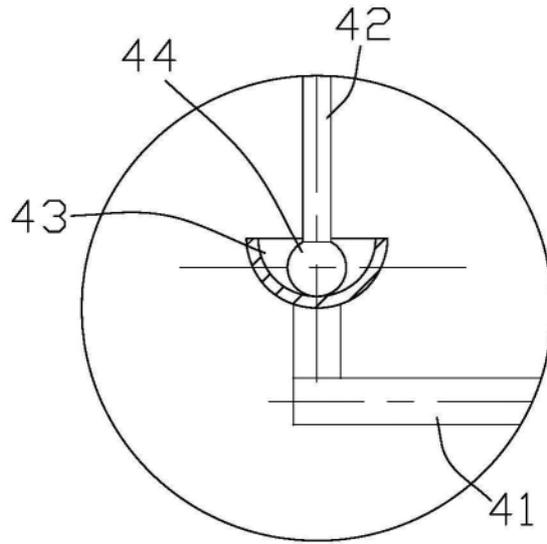


图3