



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104505132 A

(43) 申请公布日 2015. 04. 08

(21) 申请号 201510020177. 2

(22) 申请日 2015. 01. 15

(71) 申请人 中国核动力研究设计院

地址 610000 四川省成都市一环路南三段  
28号

(72) 发明人 杨晓冰 江林志 张显鹏 江艳  
蒋国富 宋小蓉 李福荣 陈军  
黄伟杰

(74) 专利代理机构 成都行之专利代理事务所  
(普通合伙) 51220

代理人 李朝虎

(51) Int. Cl.

G21C 17/07(2006. 01)

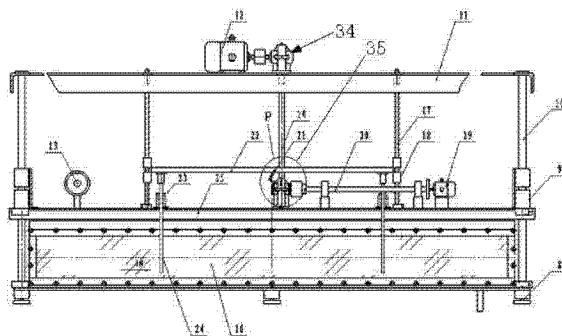
权利要求书2页 说明书9页 附图3页

(54) 发明名称

辐照后燃料棒真空气泡法检漏箱和检漏系统  
及其检漏方法

(57) 摘要

本发明公开了辐照后燃料棒真空气泡法检漏箱和检漏系统及其检漏方法,辐照后燃料棒经烘烤装置烘干后放置在L形提升架后降入检漏箱内部水中,对检漏箱内部抽取真空,使燃料棒内外产生压差,若燃料棒存在破损,就会在破损口周围形成气泡,通过图像采集确定气泡产生位置,从而完成对辐照后燃料棒的检漏。此套装置检漏具有测速度快、在热室内操作简单,经济性好等优点,结构简单,成本低,可以远程机械手操作,结构安全,无过多的结构接触燃料棒,使破口尽可能显现,增大燃料棒的检漏率。



1. 辐照后燃料棒真空气泡法检漏箱,其特征在于:包括一个上端开口的检漏箱本体(16),检漏箱本体的上端开口端面设置有凹槽,该凹槽内设置有密封胶条(4),在检漏箱本体上方还设置有盖板(15),盖板(15)面向检漏箱本体设置有凸出块,该凸出块插入到凹槽内将检漏箱本体的上端开口端密封。

2. 根据权利要求1所述的辐照后燃料棒真空气泡法检漏箱,其特征在于:检漏箱本体的任意一侧板设置有真空接头(5),检漏箱本体的任意一侧板设置有观察窗口,设置有观察窗口的侧板称为观察侧板,设置有真空接头的侧板称为抽气侧板,观察侧板外壁面贴有聚乙烯玻璃(1),同时在聚乙烯玻璃(1)的四周设置有加强块(3),加强块(3)固定在观察侧板外壁面上,聚乙烯玻璃(1)与观察侧板外壁面之间采用密封胶条(4)密封,聚乙烯玻璃(1)远离观察侧板的一侧设置有压板(2),压板(2)通过螺钉与加强块(3)连接。

3. 根据权利要求1所述的辐照后燃料棒真空气泡法检漏箱,其特征在于:检漏箱本体的底座(6)连接有排水管(7)。

4. 辐照后燃料棒真空气泡法检漏系统,其特征在于:包括权利要求1至3中任意一项所述的检漏箱,检漏箱的两侧都各自设置有盖板导向杆(10),盖板导向杆(10)的外径面套有直线轴承滑块(9),盖板与直线轴承滑块(9)连接,还包括顶板(11)和丝杆升降机构A,顶板固定在盖板导向杆(10)的顶端,顶板上设置有盖板传动电机(12),盖板传动电机(12)的输出轴与丝杆升降机构A的输入轴连接,丝杆升降机构A的螺杆(14)经过盖板与盖板组成丝杠螺母运动副;盖板上还设置有燃料棒导向杆(17)和燃料棒提升电机(19),燃料棒导向杆(17)的外径面套有燃料棒直线轴承滑块(18),燃料棒直线轴承滑块(18)连接有提升横梁(22),盖板上安装有燃料棒升降机构B,其输入轴与燃料棒提升电机的传动轴(20)连接,燃料棒升降机构B的输出轴通过凸轮连杆机构(21)与提升横梁连接,提升横梁连接有L形提升架(24),L形提升架(24)包括互相连接构成L形结构的垂直杆和水平杆,垂直杆经过设置在盖板上的轴封座(23)后穿过盖板,水平杆位于盖板下方,水平杆上焊接有定位块,用于分隔开燃料棒并定位,其相邻间距利于机械手夹持燃料棒。

5. 根据权利要求4所述的辐照后燃料棒真空气泡法检漏系统,其特征在于:所述检漏箱放置在底座(8)上,盖板导向杆的下端固定在底座(8)上。

6. 根据权利要求4所述的辐照后燃料棒真空气泡法检漏系统,其特征在于:所述盖板导向杆(10)的数目为4个。

7. 根据权利要求4所述的辐照后燃料棒真空气泡法检漏系统,其特征在于:所述燃料棒导向杆(17)的数目为2个。

8. 基于权利要求4至7中任意一项辐照后燃料棒真空气泡法检漏系统的检漏方法,检漏方法包括以下步骤:

燃料棒烘烤步骤:采用烘烤装置对分装架中的燃料棒进行烘烤处理;

燃料棒检查就位步骤:将步骤A处理后的燃料棒夹持到L形提升架的水平杆上,依次进入相应定位块中,使燃料棒完全处于观察窗口中间部位;

盖板盖合步骤:启动盖板传动电机(12),盖板传动电机(12)的输出轴带动丝杆升降机构A的输入轴转动,丝杆升降机构A的螺杆(14)旋转,带动盖板向下移动,直至盖板的凸出块插入到凹槽内形成密封状态;

加压步骤:对密封后检漏箱内水面上的燃料棒加压并保持一定时间;

燃料棒入水步骤:启动燃料棒提升电机(19),使燃料棒提升电机(19)带动燃料棒升降机构B的传动轴(20)旋转,通过凸轮连杆机构(21)带动提升横梁向下移动,提升横梁带动L形提升架的垂直杆和水平杆向下移动,直至燃料棒进入检漏箱内的液面以下;

抽真空步骤:对检漏箱内抽取真空处理;

观察步骤:在F步骤后,观察检漏箱内的燃料棒表面是否有微小气泡产生并长大;

二分法排查:取出燃料棒,若有气泡测试,采用二分法处理,重复A~G步骤进一步排查,直至确定出单根燃料棒上破口位置为止。

9. 根据权利要求8的检漏方法,其特征在于:在B步骤中,对应左右定位块相应位置放置燃料棒,保证燃料棒的轴线与检漏箱的长度线平行并有序放置。

10. 根据权利要求8的检漏方法,其特征在于:在步骤G后,通过在检漏箱外部的标尺上大概读出破口气泡产生位置。

11. 根据权利要求8的检漏方法,其特征在于:步骤A中的烘烤装置包括一个分装架(27),分装架(27)的顶面设置有多个与燃料棒(25)相匹配的凹形定位槽,其相邻间距和槽底高度便于机械手夹持燃料棒的操作,燃料棒(25)放置到该凹形定位槽内,分装架(27)的左右两侧设置有灯座(28),分装架(27)顶面中心处设置有连接温控仪(30)的热电偶(26),灯座(28)包括悬置在分装架(27)上方的安装架,安装架安装有烘烤灯。

12. 根据权利要求11所述的检漏方法,其特征在于:烘烤灯为碘钨灯(29)。

13. 根据权利要求11所述的检漏方法,其特征在于:所述灯座(28)还包括连接安装架的立柱和连接地面的接地板,安装架、立柱、接地板顺次连接,形成Z字形。

14. 根据权利要求11所述的检漏方法,其特征在于:安装架与立柱之间采用棘轮连接。

15. 根据权利要求11至14中任意一项所述的检漏方法,其特征在于:所述分装架(27)的左侧壁连接有竖直板(31),竖直板(31)通过转轴连接有横板(32),横板(32)远离竖直板(31)的一端连接有卡板(33),卡板(33)为一个弹性材料制成的弯曲结构,竖直板(31)、横板(32)、卡板(33)构成一个燃料棒限位体,在限位时,横板(32)与卡板(33)构成直角弯曲结构,横板(32)与分装架(27)上表面平行,横板(32)与分装架(27)上表面的间距小于燃料棒(25)外径,卡板(33)的弧形凸出面与分装架(27)的右侧面压接。

## 辐照后燃料棒真空气泡法检漏箱和检漏系统及其检漏方法

### 技术领域

[0001] 本发明专利涉及燃料棒检漏处理结构和处理方法。

### 背景技术

[0002] 目前辐照后燃料棒检漏主要采取真空气泡法、水煮法和增压法三种方法。水煮法通过加热水来改变燃料棒的内外压差,由于受水的沸点限制,一般产生的压差为 0.2atm 左右,检测灵敏度相对较低,一般很少采用。增压法通过增压设备将参考气体通过破损口或专制孔压入燃料棒,达到改变燃料棒内外压差的目的,但是这种方法对密封性要求很高,安装难度大,难以广泛应用。针对大批量待检漏燃料棒,真空气泡法以其检测灵敏度高、设备安装简单并且可同时对多根燃料棒进行检漏,具备操作简单、经济性好等优点成为最优选择。

[0003] 针对数量多、长度长、典型核素气体多次被采集、破口形式和大小不明以及内部可能有水的辐照后燃料棒进行检漏,本文提出了一种新的检漏排查设计方案。

### 发明内容

[0004] 本发明将针对辐照后燃料棒破损检漏设计一种检漏效率高、操作简单和经济性好的真空气泡检漏系统,此系统能够检漏长度较长的燃料棒且可多根燃料棒同时检漏,同时提供了一套适应该检漏系统的检测方法。

[0005] 本发明的实施方案如下:

辐照后燃料棒真空气泡法检漏箱,包括一个上端开口的检漏箱本体,检漏箱本体的上端开口端面设置有凹槽,该凹槽内设置有密封胶条,在检漏箱本体上方还设置有可升降盖板,盖板面向检漏箱本体设置有凸出块,该凸出块插入到凹槽内将检漏箱本体的上端开口端密封。

[0006] 由于本发明采用的是对辐照后燃料棒进行批量排查检漏处理,因此,上述凹槽和盖板凸出块的配合通过放置在前区的电气控制系统进行电气自动控制,同时盖板下方设成凸出块,保证盖板放下时定位和抽真空时起加强作用,密封胶条和凹槽的配合设计便于安装且使其具备良好的密封性,由于检漏箱本体在使用过程中,检漏箱本体的内部处于真空状态,本发明才采用凹槽、密封胶条、凸出块的配合设计,以实现密封性、保证盖板不能随便移位,同时有利于检漏箱本体结构强度的保障。

[0007] 进一步的,由于本发明采用的是水介质气泡法真空检漏处理,故配置一个观察窗,便于实验人员观察具体破口位置,为此,检漏箱本体的任意一侧板设置有真空接头,检漏箱本体的任意一侧板设置有观察窗口,设置有观察窗口的侧板称为观察侧板,设置有真空接头的侧板称为抽气侧板,观察侧板外壁面贴有聚乙烯玻璃,同时在聚乙烯玻璃的四周设置有加强块,加强块固定在观察侧板外壁面上,聚乙烯玻璃与观察侧板外壁面之间采用密封胶条密封,聚乙烯玻璃远离观察侧板的一侧设置有压板,压板通过螺钉与加强块连接。

[0008] 通过上述结构,我们可以看出。本发明的观察区域结构有别于传统的观察窗,传统的观察窗的观察玻璃是镶嵌在观察孔洞内的,而本发明的检漏箱需要承受高压,其内部要

进行真空处理,因此本发明才采用上述结构,以适应检漏箱高压的需求,保证检漏箱的结构强度,本发明的聚乙烯玻璃是直接放置到观察侧板外壁面,并且观察侧板外壁面与聚乙烯玻璃之间同时采用密封胶条进行密封处理,为了保证观察侧板外壁面与聚乙烯玻璃之间的密封性,本发明采用加强块和压板作为聚乙烯玻璃的压制结构,利用压板将聚乙烯玻璃紧密的压接在观察侧板外壁面上,通过调节螺钉来调节聚乙烯玻璃的压紧力度。密封胶条选用抗辐射的 O 型硅橡胶,本发明采用聚乙烯玻璃取代常规的无机氧化硅玻璃,整个箱体选用不锈钢材质,要保证箱体的垂直度、平面度和密封面的平整。

[0009] 检漏箱本体的底座连接有排水管。

[0010] 检漏箱本体为长方形体。

[0011] 另外,真空接头安装在箱体的后面,真空接头外部与抽真空系统相连。排水管安装在检漏箱底座处,方便试验完成后排水。检漏箱具备良好的抗辐射性、耐腐蚀性,结构上具有良好的密封性和承压性。

[0012] 待以上检漏箱完成后,需要设计一套针对该检漏箱的检漏系统。而本发明的具体设计如下:辐照后燃料棒真空气泡法检漏系统,包括所述的检漏箱,检漏箱的两侧都各自设置有盖板导向杆,盖板导向杆的外径面套有直线轴承滑块,盖板与直线轴承滑块和实现升降的螺杆连接,还包括顶板和丝杆升降机构 A,盖板导向杆的顶端固定在顶板和底座上,顶板上设置有盖板传动电机 12,盖板传动电机 12 的输出轴与丝杆升降机构 A 的输入轴连接,丝杆升降机构 A 的升降螺杆与盖板连接;盖板上还设置有燃料棒导向杆和燃料棒提升电机,燃料棒导向杆的外径面套有燃料棒直线轴承滑块,燃料棒直线轴承滑块连接有提升横梁,盖板上设置有燃料棒升降机构 B,燃料棒升降机构 B 的输入轴与燃料棒提升电机的传动轴连接,燃料棒升降机构 B 的输出轴通过凸轮连杆机构与提升横梁连接,提升横梁连接有 L 形提升架,L 形提升架包括互相连接构成 L 形结构的垂直杆和水平杆,垂直杆经过设置在盖板上的轴封座后穿过盖板,水平杆位于盖板下方,水平杆上焊接有对称定位块,在对应定位块间就是燃料棒放置位置,其间距利于机械手的夹持操作。

[0013] 在以上结构中,本发明除了上述检漏箱外,还具备 2 个驱动结构,第一个驱动结构,即为本发明的盖板驱动结构,另外一个驱动结构即为本发明的燃料棒驱动结构。盖板驱动结构包括上述的直线轴承滑块、盖板导向杆、盖板传动电机、顶板、丝杆升降机构 A,其中盖板可以通过直线轴承滑块沿着盖板导向杆上下移动,直线轴承滑块和盖板导向杆组成盖板的导向结构,而驱动盖板移动的装置则是盖板传动电机和丝杆升降机构 A,电机转动驱动丝杆升降机构 A 的螺杆旋转,带动盖板上下移动。而本发明的燃料棒升降结构采用凸轮连杆机构的旋转作为驱动机构,在燃料棒驱动结构中,燃料棒驱动结构包括燃料棒导向杆和燃料棒提升电机、燃料棒直线轴承滑块、提升横梁、L 形提升架、燃料棒升降机构 B,该结构中,燃料棒导向杆和燃料棒直线轴承滑块组成燃料棒的导向结构,燃料棒提升电机、提升横梁、燃料棒升降机构 B 构成驱动燃料棒移动的装置,燃料棒提升电机转动,从而使得燃料棒升降机构 B 的凸轮旋转驱动提升横梁上下移动,L 形提升架作为燃料棒的放置结构,L 形提升架随着提升横梁的移动而移动,燃料棒放置在 L 形提升架的水平杆上,在左右水平杆上对称焊接有定位块,便于隔离每根燃料棒。轴封座实现提升杆的运动密封。盖板为实心不锈钢可利用其重量协助电机的自锁力实现检漏箱的加压密封。

[0014] 为了观察抽气速率,盖板上还设置有真空表。真空表安装在盖板上,抽取真空时,

可及时监控抽气速率的大小和真空度多少。

[0015] 所述检漏箱放置在底座上,盖板导向杆的下端固定在底座上。

[0016] 优选的,所述盖板导向杆的数目为 4 个。

[0017] 优选的,所述燃料棒导向杆的数目为 2 个。

[0018] 进一步的,基于辐照后燃料棒真空气泡法检漏系统的检漏方法,检漏方法包括以下步骤:

A、燃料棒烘烤步骤:采用烘烤装置对被检破损燃料棒进行烘烤处理;由于燃料棒可能存在破损,因长期在水下保存,其内部会因压力作用导致水分进入燃料棒内部,影响后续的真空气泡法检漏的检漏率,因此需要将可能破损的燃料棒内部水分排出,空间预留出来,并经大气或人工注入气体,在以水为介质的气泡法检漏时,才能观察到破损处的气泡。因此本发明采用烘烤装置对燃料棒进行烘烤,排出燃料棒内部可能存在的水分,为后续检查做好准备。其它手段排出水分的方法都不太适用于本发明的目标物燃料棒和使用于狭小的强放环境,传统排出水分手段的缺点是成本高、效率低下、占地面积广等缺点,而上述烘烤法排出液体的方法,其成本低,效率高,最适合狭小环境中强放射性破损燃料棒的处理;

B、燃料棒检查就位步骤:将步骤 A 处理后的燃料棒利用机械手操作夹持到 L 形提升架的水平杆上;安装时注意燃料棒左右定位在观察窗中间位置和每根燃料棒在水平杆上的单独分隔;该步骤是完成燃料棒的检查就位过程;

C、盖板盖合步骤:启动盖板传动电机,盖板传动电机的输出轴带动丝杆升降机构 A 的输入轴转动,带动丝杆升降机构 A 的螺杆旋转,使连接在一起的盖板(丝杆螺母副)向下移动,直至盖板的凸出块插入到凹槽内形成密封状态;盖板向下移动到位后停止运动,利用丝杆自锁和盖板重力可以持续的保持盖板密封;

D、燃料棒的加压步骤:燃料棒在密封后的检漏箱水面上空停留,对内部加压并维持一定时间。加压压力不大于盖板重力与电机自锁力之和;

E、燃料棒入水步骤:启动燃料棒提升电机按钮,使燃料棒提升电机带动燃料棒升降机构 B 的凸轮机构旋转,通过凸轮连杆机构带动提升横梁向下移动,提升横梁带动 L 形提升架的垂直杆和水平杆向下移动,直至燃料棒进入检漏箱内的液面以下合适位置;

F、抽真空步骤:对检漏箱内进行一定速率的抽真空处理;

G、观察步骤:在 F 步骤后,观察检漏箱内的燃料棒表面是否有微小气泡产生并长大;

H、二分法排查:取出燃料棒,若有气泡测试,重复 A~G 步骤进一步排查,直至确定出单根燃料棒上破口位置为止。二分法处理是指将上述一次性处理后的所有燃料棒分为 2 份,可以是等分为 2 份,然后再重复 A~G 步骤进一步排查,直至确定出单根燃料棒上破口位置为止。

[0019] 在 B 步骤中,由水平杆的定位块决定燃料棒轴线与检漏箱长度线平行。

[0020] 在步骤 G 时,通过在检漏箱外部标尺上读出微小气泡产生的位置。

[0021] 辐照后燃料棒经烘烤装置烘干后放置在 L 形提升架上,盖紧盖板后加压一定时间,降入检漏箱内部水中,对检漏箱内部抽取真空,使燃料棒内外产生压差,若燃料棒存在破损,就会在破损口周围形成气泡,附集在破损口周围形成微小气泡并长大,因浮力增加脱离燃料棒表面从水中冒出,通过安放在检漏箱的聚乙烯玻璃窗前方的 CCD 摄像系统采集录制,并通过水槽外部的标尺读出并记录气泡位置。取出燃料棒,重复上述工艺流程,采用二

分法进一步排查,直至确定出单根燃料棒上破口位置为止,完成对辐照后燃料棒的排查检漏。

[0022] 步骤 A 中的烘烤装置包括一个分装架,分装架的顶面设置有多个与燃料棒相匹配的凹形定位槽,燃料棒放置到该凹形定位槽内,分装架的左右两侧设置有灯座,分装架顶面中心处设置有连接温控仪的热电偶,灯座包括悬置在分装架上方的安装架,安装架安装有烘烤灯。

[0023] 烘烤灯为碘钨灯。

[0024] 所述灯座还包括连接安装架的立柱和连接地面的接地板,安装架、立柱、接地板顺次连接。

[0025] 安装架与立柱之间采用棘轮连接。

[0026] 安装架、立柱、接地板形成 Z 字形。

[0027] 所述分装架的左侧壁连接有竖直板,竖直板通过转轴连接有横板,横板远离竖直板的一端连接有卡板,卡板为一个弹性材料制成的弯曲结构,竖直板、横板、卡板构成一个燃料棒限位体,在限位时,横板与卡板构成直角弯曲结构,横板与分装架上表面平行,横板与分装架上表面间距小于燃料棒外径,卡板的弧形凸出面与分装架的右侧面压接。

[0028] 烘烤装置包括一个分装架,分装架的顶面设置有多个与燃料棒相匹配的凹形定位槽,燃料棒放置到该凹形定位槽内,分装架的左右两侧设置有灯座,分装架顶面中心处设置有连接温控仪的热电偶,灯座包括悬置在分装架上方的安装架,安装架上安装有烘烤灯。

[0029] 本发明的设计原理为:利用分装架上设置的凹形定位槽来承载燃料棒,利用温控仪、热电偶构成监测装置实时的远程监测燃料棒所受到的烘烤温度和时间,安装架和烘烤灯组成悬挂式的烘烤装置,与其它技术领域的床式加热结构不同,在本装置中,该设计尽可能的减少燃料棒与结构接触,让其暴露在烘烤氛围中,充分让可能存在的微小破口内部水分挥发,留出气体存留空间。

[0030] 进一步的,为了适应辐照环境和温度需求,烘烤灯为碘钨灯。

[0031] 优选的,所述灯座还包括连接安装架的立柱和连接地面的接地板,安装架、立柱、接地板顺次连接。

[0032] 进一步的,安装架与立柱之间采用棘轮连接,通过机械手远程调节,可以在  $80^{\circ}$  ~  $100^{\circ}$  间调整安装架角度,安装架、立柱和接地板形成 Z 字形,利于烘烤灯热源向燃料棒辐射。

[0033] 进一步的,为了防止突发意外,导致燃料棒从凹形定位槽内滑出,上述结构还需要设置燃料棒限位体,因此所述分装架的左侧壁连接有竖直板,竖直板通过转轴连接有横板,横板远离竖直板的一端连接有卡板,卡板为一个弹性材料制成的弯曲结构,卡板为铝制合金制成,竖直板、横板、卡板构成一个燃料棒限位体,在限位时,横板与卡板构成直角弯曲结构,横板与分装架上表面平行,其间隔小于燃料棒外径,卡板的弧形凸出面与分装架的右侧面压接。当燃料棒放置到凹形定位槽内,旋转横板,卡板的弧形凸出面与分装架的右侧面压接,最后使燃料棒限位体限位燃料棒。

[0034] 针对大批量长度较长的辐照后燃料棒,待检燃料棒典型核素存积量少、且破损燃料棒内部可能有水、空腔体积不明、破口大小与破口形状不明等众多不利情况下,为解决此问题设计了一套可检漏相应长度且同时可进行多根燃料棒检漏的装置。其检漏原理是辐

照后燃料棒经烘烤装置烘干后放置在 L 形提升架上,对燃料棒加压后,对检漏箱内部再抽取真空,使燃料棒内外产生压差,若燃料棒存在破损,就会在破损口周围形成气泡,通过图像采集确定气泡产生位置,从而完成对辐照后燃料棒的检漏。此套装置检漏具有测速度快、直观易于辨识,在热室内操作方便,经济性好等优点,结构简单,成本低,结构安全,无过多的结构接触燃料棒,让破口尽可能显露。本发明采用烘烤、加压和抽真空相结合的工艺对辐照后燃料棒进行气泡法检漏,在国内首次实现了多根辐照后燃料棒同时进行破损检漏排查,提高检漏效率,尽可能的降低了漏检率,其操作简单、具有良好的经济性和可实施性。

[0035] 本发明的优点:

本发明专利检漏箱采用不锈钢材质,观察窗采用聚乙烯玻璃,具有良好的抗辐射及耐腐蚀性能。

[0036] 采用抗辐射的硅橡胶进行密封、“O”形密封胶条安装处设计成凹槽,便于安装且使其具备良好的密封性。

[0037] 盖板下方设成凸出块,保证放下时定位和抽真空时对箱体整体起加强作用,本盖板升降机构采用传动电机、螺杆螺母(盖板)副配合传动,可以实现操作箱盖板的升降,也可起到盖板压紧密封的功能。

[0038] 直线轴承和导向杆的使用使运动顺畅、定位准确。

[0039] 通过凸轮连杆机构实现水平传动转换为竖直进给,部件简单、可靠。

[0040] 采用 L 形提升架,两边水平杆上对称设置定位块,可同时有序摆放并提升多根燃料棒,提高检漏效率。

[0041] 在密封状态下通过轴封座提升燃料棒,不会使破损棒进水,让后续的排查检漏更容易。

[0042] 烘烤装置,灯座支架设计成 Z 形,碘钨灯安装在顶上。烘烤时燃料棒放置在分装架上,四组灯座分别交错放置在分装架两侧,可对燃料棒进行均匀烘烤。

[0043] 采用热电偶、温控仪进行温度控制,操作简单。

[0044] 使用碘钨灯做热源对燃料棒进行烘烤,比使用其它热源安全、可靠,防潮湿,且易于机械手操作。

## 附图说明

[0045] 图 1 是本发明检漏箱的结构示意图。

[0046] 图 2 是本发明检漏系统的结构示意图。

[0047] 图 3 是图 2 中 P 的放大结构示意图。

[0048] 图 4 是本发明烘烤装置的结构示意图。

[0049] 图中的标号分别表示为:1、聚乙烯玻璃;2、压板;3、加强块;4、密封胶条;5、真空接头;6、底座;7、排水管;15、盖板;8、底座;9、直线轴承滑块;10、盖板导向杆;11、顶板;12、盖板传动电机;13、真空表;14、升降螺杆;16、检漏箱本体;17、燃料棒导向杆;18、燃料棒直线轴承滑块;19、燃料棒提升电机;20、传动轴;21、凸轮连杆机构;22、提升横梁;23、轴封座;24、L 形提升架;

25、燃料棒;26、热电偶;27、分装架;28、灯座;29、碘钨灯;30、温控仪;31、竖直板;32、横板;33、卡板;34、丝杆升降机构 A;35、燃料棒升降机构 B。



## 具体实施方式

### [0050] 实施例一

如图 1 至图 4 所示。

[0051] 辐照后燃料棒真空气泡法检漏箱,包括一个上端开口的检漏箱本体 16,检漏箱本体的上端开口端面设置有凹槽,该凹槽内设置有密封胶条 4,在检漏箱本体上方还设置有盖板 15,盖板 15 面向检漏箱本体设置有凸出块,该凸出块插入到凹槽内将检漏箱本体的上端开口端密封。

[0052] 由于本发明采用的是对辐照后燃料棒进行检漏处理,因此,上述凹槽和盖板 15 的凸出块的配合安装通过盖板导向杆 10 及配套直线轴承滑块 9 实现自动定位,同时盖板下方设成凸出块,保证盖板放下时定位和抽真空时起加强作用,密封胶条 4 和凹槽的配合设计便于安装且使其具备良好的密封性,由于检漏箱本体 16 在使用过程中,检漏箱本体 16 的内部处于真空状态,本发明才采用凹槽、密封胶条 4、凸出块的配合设计,以实现密封性、保证盖板不能随便移位,同时有利于检漏箱本体的结构强度的保障。

[0053] 进一步的,本发明采用的是水介质密封真空气泡法检漏方法,配置一个观察窗,其长度大于被检燃料棒长度,便于实验人员观察具体的破口位置,为此,检漏箱本体的任意一侧板设置有真空接头 5,检漏箱本体的任意一侧板设置有观察窗口,设置有观察窗口的侧板称为观察侧板,设置有真空接头的侧板称为抽气侧板,观察侧板外壁面贴有聚乙烯玻璃 1,同时在聚乙烯玻璃 1 的四周设置有加强块 3,加强块 3 固定在观察侧板外壁面上,聚乙烯玻璃 1 与观察侧板外壁面之间采用密封胶条 4 密封,聚乙烯玻璃 1 远离观察侧板的一侧设置有压板 2,压板 2 通过螺钉与加强块 3 连接。

[0054] 通过上述结构,可以看出,本发明的观察区域结构有别于传统的观察窗,传统的观察窗的观察玻璃是镶嵌在观察孔洞内的,而本发明的检漏箱需要承受高压,其内部要进行真空处理,因此本发明才采用上述结构,以适应检漏箱高压的需求,保证检漏箱的结构强度,本发明的聚乙烯玻璃 1 是直接放置到观察侧板外壁面,并且观察侧板外壁面与聚乙烯玻璃 1 之间同时采用密封胶条进行密封处理,为了保证观察侧板外壁面与聚乙烯玻璃 1 之间的密封性,本发明采用加强块 3 和压板 2 作为聚乙烯玻璃 1 的夹紧结构,利用压板 2 将聚乙烯玻璃 1 紧密的压接在观察侧板外壁面上,通过调节螺钉来调节聚乙烯玻璃 1 的压紧力度。密封胶条选用抗辐射的 O 型硅橡胶,本发明采用聚乙烯玻璃取代常规的无机氧化硅玻璃,整个箱体选用不锈钢材质,要保证箱体的垂直度、平面度和密封面的平整。

[0055] 检漏箱本体的底座 6 连接有排水管 7。

[0056] 检漏箱本体为长方形体。

[0057] 另外,真空接头安装在箱体的后面,真空接头外部与抽真空控制系统相连。排水管安装在检漏箱底座处,方便试验完成后排水。检漏箱具备良好的抗辐射性、耐腐蚀性,结构上具有良好的密封性和承压性。

[0058] 待以上检漏箱完成后,我们接下来需要设计一套针对该检漏箱的检漏系统。而本发明的具体设计如下:辐照后燃料棒真空气泡法检漏系统,包括所述的检漏箱,检漏箱的两侧都各自设置有盖板导向杆 10,盖板导向杆 10 的外径面套有直线轴承滑块 9,盖板与直线轴承滑块 9 连接,还包括顶板 11 和丝杆升降机构 A,顶板固定在盖板导向杆 10 的顶端,顶

板上设置有盖板传动电机 12, 盖板传动电机 12 的输出轴与丝杆升降机构 A34 的输入轴连接, 丝杆升降机构 A 的螺杆 14 与盖板连接, 形成丝杠螺母副; 盖板上还设置有燃料棒导向杆 17、燃料棒提升电机 19 和燃料棒升降机构 B, 燃料棒导向杆 17 的外径面套有燃料棒直线轴承滑块 18, 燃料棒直线轴承滑块 18 连接有提升横梁 22; 盖板上设置的燃料棒升降机构 B, 其输入轴与燃料棒提升电机的传动轴 20 连接, 丝杆升降机构 B 的输出轴通过凸轮连杆机构 21 与提升横梁 22 连接, 提升横梁连接有 L 形提升架 24, L 形提升架 24 包括互相连接构成 L 形结构的垂直杆和水平杆, 垂直杆经过设置在盖板上的轴封座 23 后穿过盖板, 水平杆上对称设置燃料棒定位块, 位于盖板下方。

[0059] 在以上结构中, 本发明除了上述检漏箱外, 还具备 2 个驱动结构, 第一个驱动结构, 即为本发明的盖板驱动结构, 另外一个驱动结构即为本发明的燃料棒驱动结构。盖板驱动结构包括上述的直线轴承滑块 9、盖板导向杆 10、盖板传动电机 12、顶板 11、丝杆升降机构 A, 其中盖板可以通过直线轴承滑块 9 沿着盖板导向杆 10 上下移动, 直线轴承滑块 9 和盖板导向杆 10 组成盖板的导向结构, 而驱动盖板移动的装置则是盖板传动电机 12 和丝杆升降机构 A, 电机 12 转动驱动丝杆升降机构 A 的螺杆 14 旋转, 带动盖板上下移动。在燃料棒驱动结构中, 燃料棒驱动结构包括燃料棒导向杆 17 和燃料棒提升电机 19、燃料棒直线轴承滑块 18、提升横梁 22、L 形提升架 24、燃料棒升降机构 B35, 该结构中, 燃料棒导向杆 17 和燃料棒直线轴承滑块 18 组成燃料棒升降的导向结构, 燃料棒提升电机 19、提升横梁 22、燃料棒升降机构 B 构成驱动燃料棒移动的装置, 燃料棒提升电机 19 启动后旋转, 使燃料棒升降机构 B 的输出轴带动凸轮机构旋转驱动提升横梁 22 的上下移动, L 形提升架 24 作为燃料棒的放置结构, L 形提升架 24 随着提升横梁 22 的移动而移动, 在 L 形提升架 24 的水平杆上, 按要求对称焊接有定位块, 用于燃料棒的定位有序放置, 并使燃料棒与检漏箱长度方向一致。轴封座实现 L 形提升架 24 的移动密封。盖板为实心不锈钢可利用其重量协助盖板传动电机 12 的自锁实现检漏箱密封。

[0060] 为了观察真空量, 盖板上还设置有真空表 13。真空表 13 安装在盖板 15 上, 抽取真空时, 可及时监控真空值的大小。

[0061] 所述检漏箱放置在底座 8 上, 通过底座 8 可调节检漏箱的安装水平, 盖板导向杆的下端固定在底座 8 上。

[0062] 优选的, 所述盖板导向杆的数目为 4 个。

[0063] 优选的, 所述燃料棒导向杆 17 的数目为 2 个。

[0064] 实施例 2

基于辐照后燃料棒真空气泡法检漏系统的检漏方法, 检漏方法包括以下步骤:

A、燃料棒烘烤步骤: 采用烘烤装置对燃料棒表面进行烘烤处理; 由于被检燃料棒可能存在破损, 燃料棒长期处于水面下, 其内部会因压力作用进入液体。本发明采用的真空气泡法检漏, 需要将破损燃料棒内部形成中空具有一定的气体, 在真空气泡法检漏时, 才能观察到破损处的气泡。故本发明采用烘烤装置对燃料棒进行烘烤, 将燃料棒内部可能存在的液体排出, 而其它手段排出液体的方法都因环境狭小和强放条件局限, 不太适应本发明的目标物燃料棒, 传统排出液体手段的缺点是成本高、效率低下、不宜用于狭小空间和强放环境; 上述烘烤法排出液体的方法和结构装置, 其成本低, 效率高, 最适合狭小环境强放燃料棒的水分排出处理。

[0065] B、燃料棒吊装步骤：将步骤 A 处理后的燃料棒用机械手夹装到 L 形提升架的水平杆上；该步骤是完成燃料棒的检查就位过程。

[0066] C、盖板盖合步骤：启动盖板传动电机 12，盖板传动电机 12 的输出轴带动丝杆升降机构 A 的输入轴转动，丝杆升降机构 A 的螺杆 14 旋转带动盖板向下移动，直至盖板的凸出块插入到凹槽内形成密封状态；盖板重力和传动电机 12 的自锁可以持续的保持盖板密封；

D、加压过程：检漏箱密封后，对内加压并保持一定时间，使在水面上的破损燃料棒内部压力增大，增大与外界大气的压差；

E、燃料棒入水步骤：启动燃料棒提升电机 19，使燃料棒提升电机 19 带动燃料棒升降机构 B 的凸轮旋转，通过凸轮连杆机构 21 带动提升横梁 22 向下移动，提升横梁 22 带动 L 形提升架的垂直杆和水平杆向下移动，直至燃料棒进入检漏箱内的液面以下。

[0067] F、抽真空步骤：对检漏箱内进行抽真空处理；

G、观察步骤：在 F 步骤后，观察检漏箱内燃料棒表面是否有微小气泡生成并逐渐长大。

[0068] 在 B 步骤中，要保证燃料棒轴线与检漏箱的长度线平行，并让燃料棒完全置于观察窗中。

[0069] 在步骤 G 后，通过检漏箱外部的标尺读出气泡生成位置。

[0070] 辐照后燃料棒经烘烤装置烘干后放置在 L 形提升架后，密封检漏箱，对燃料棒加压后降入检漏箱内部水中，对检漏箱内部抽取真空，使燃料棒内外产生压差，若燃料棒存在破损，就会在破损口周围形成气泡，气泡附集在破损口周围并长大，因浮力增加脱离燃料棒 25 表面从水中冒出，通过安放在检漏箱的聚乙烯玻璃窗前方的 CCD 摄像系统采集录制，并通过水槽外部的标尺可大致读出气泡位置，从而检查出破损燃料棒 25 及破口初步位置。

[0071] 步骤 A 中的烘烤装置包括一个分装架 27，分装架 27 的顶面设置有多个与燃料棒 25 相匹配的凹形定位槽，燃料棒 25 放置到该凹形定位槽内，分装架 27 的左右两侧设置有灯座 28，分装架 27 顶面中心处设置有连接温控仪 30 的热电偶 26，灯座 28 包括悬置在分装架 27 上方的安装架，安装架安装有烘烤灯。

[0072] 烘烤灯为碘钨灯 29。

[0073] 所述灯座 28 还包括连接安装架的立柱和连接地面的接地板，安装架、立柱、接地板顺次连接。

[0074] 安装架与立柱之间采用棘轮连接，可实现安装架在  $80^{\circ}$  ~  $100^{\circ}$  范围内的调整。

[0075] 安装架、立柱、接地板形成 Z 字形，便于热源向分装架上的燃料棒倾斜。

[0076] 所述分装架 27 的左侧壁连接有竖直板 31，竖直板 31 通过转轴连接有横板 32，横板 32 远离竖直板 31 的一端连接有卡板 33，卡板 33 为一个弹性材料制成的弯曲结构，竖直板 31、横板 32、卡板 33 构成一个燃料棒限位体，在限位时，横板 32 与卡板 33 构成直角弯曲结构，横板 32 与分装架 27 上表面平行，其间距小于燃料棒外径，卡板 33 的弧形凸出面与分装架 27 的右侧面压接。

[0077] 烘烤装置包括一个分装架，分装架的顶面设置有多个与燃料棒相匹配的凹形定位槽，其相邻间距和高度利于机械手夹取燃料棒，燃料棒放置到该凹形定位槽内，分装架的左右两侧设置有灯座，分装架顶面中心处设置有连接温控仪的热电偶，灯座包括悬置在分装架上方的安装架，安装架安装有烘烤碘钨灯。

[0078] 本发明的设计原理为：利用分装架上设置的凹形定位槽来承载燃料棒，利用温控

仪、热电偶构成温控装置实时远程控制燃料棒所受到的烘烤温度和烘烤时间,安装架和烘烤灯组成悬挂式的烘烤装置,与其它技术领域的床式加热结构不同,尽可能的减少燃料棒与其它结构接触,让可能存在的破口尽可能的暴露在烘烤氛围中,挥发出内部水分。灯座 28 的左右、前后各放置四支碘钨灯 29,对燃料棒 25 进行均匀恒温烘烤,热电偶 26 放在燃料棒 25 中间,温控仪 30 放在热室前区(非强辐射区域)进行监控。

[0079] 进一步的,烘烤灯选为碘钨灯,利于强辐照和潮湿环境的使用,碘钨灯也比其它加热装置安全可靠的多,利于机械手夹持移动,损坏后易于更换。

[0080] 优选的,所述灯座还包括连接安装架的立柱和连接地面的接地板,安装架、立柱、接地板顺次连接。

[0081] 进一步的,安装架与立柱之间采用棘轮连接,可以使得灯座能够在一定范围内( $80^{\circ} \sim 100^{\circ}$ )自由调节,利于热源向燃料棒倾斜。

[0082] 进一步的,为了防止突发意外,导致燃料棒从凹形定位槽内滑出,上述结构还需要设置燃料棒限位体,因此所述分装架的左侧壁连接有竖直板,竖直板通过转轴连接有横板,横板远离竖直板的一端连接有卡板,卡板为一个弹性材料制成的弯曲结构,卡板为钢板或铝板或其他具有弹性的材料板,竖直板、横板、卡板构成一个燃料棒限位体,在限位时,横板与卡板构成直角弯曲结构,横板与分装架上表面平行,卡板的弧形凸出面与分装架的右侧面压接。当燃料棒放置到凹形定位槽内可以旋转横板,最后使得卡板的弧形凸出面与分装架的右侧面压接,最终使得燃料棒限位体限位燃料棒。

[0083] 烘烤装置结构的操作过程为:被检燃料棒 25 按序分装放置在分装架 27 中,旋转横板 32,使卡板 33 限位燃料棒后,移动分装架至烘烤位置,机械手夹持烘烤装置至分装架两侧,使燃料棒全部置于烘烤灯的热源正下方,调节好温控范围和时间设定,启动电源,开启烘烤灯烘烤燃料棒至要求温度和时间。

[0084] 如上所述,则能很好的实现本发明。

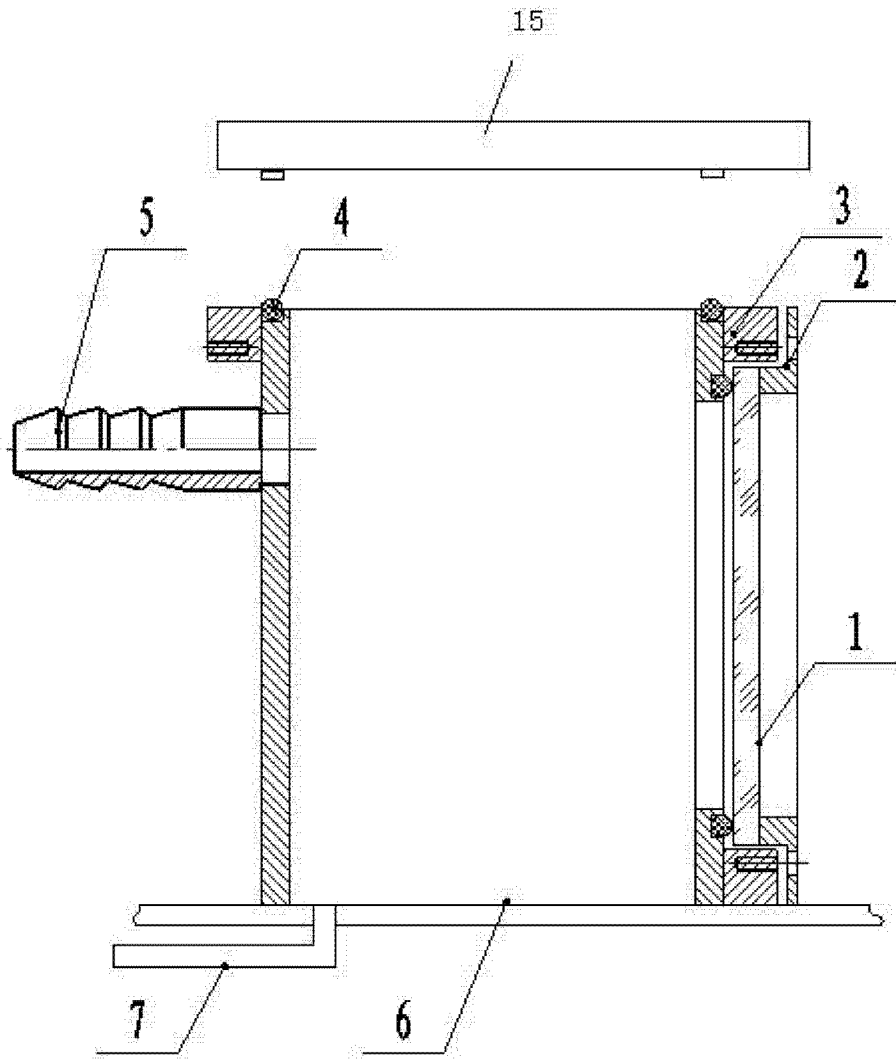


图 1

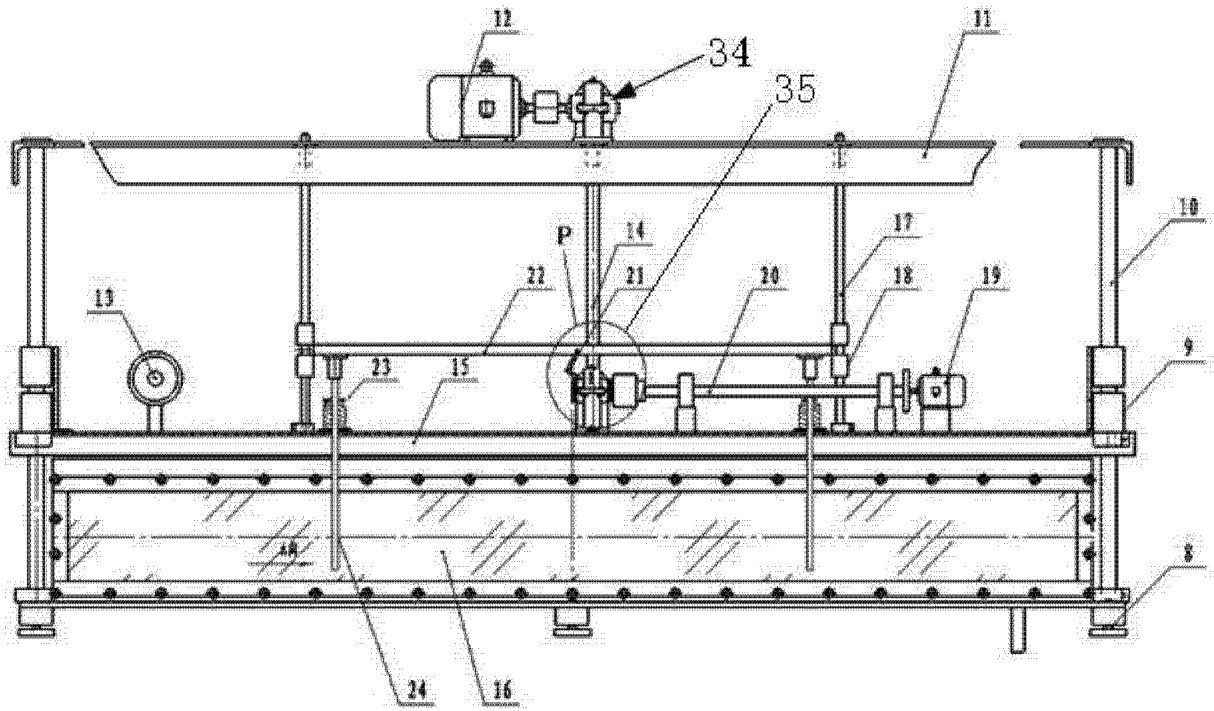


图 2

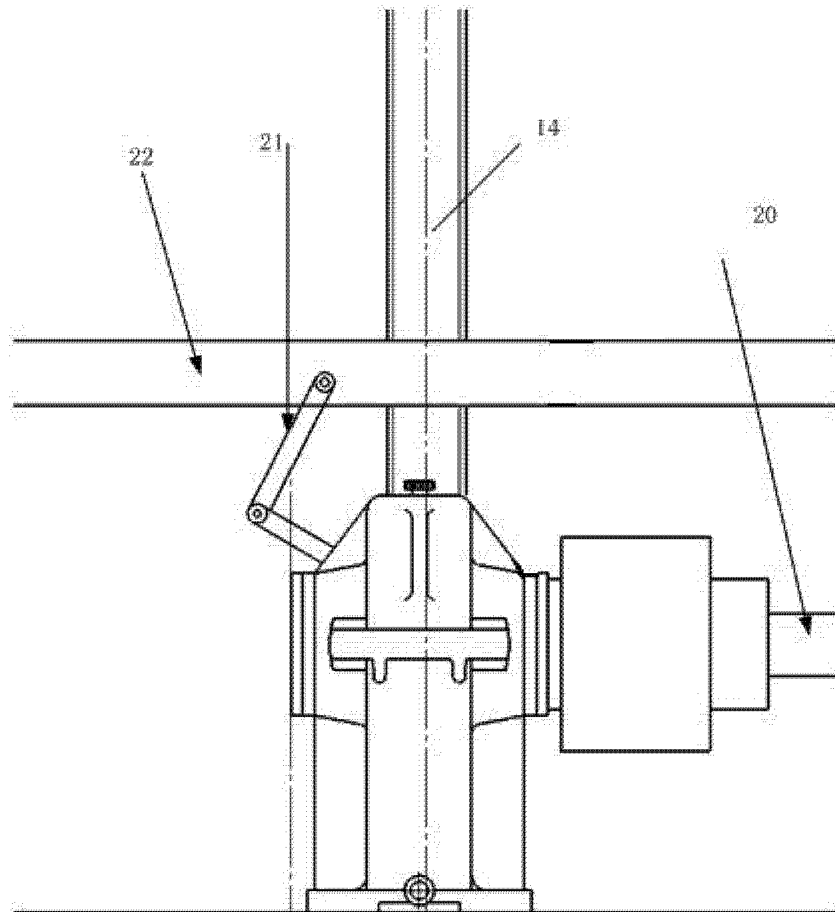


图 3

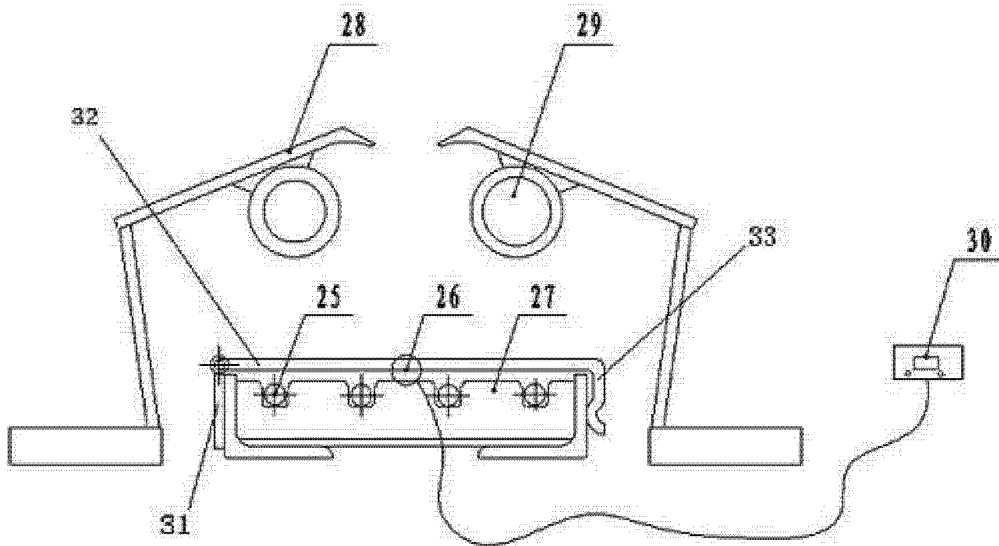


图 4