



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109243639 A

(43)申请公布日 2019.01.18

(21)申请号 201811051917.9

(22)申请日 2018.09.10

(71)申请人 西安交通大学

地址 710049 陕西省西安市碑林区咸宁西路28号

(72)发明人 田文喜 张魁 张衍 章静  
苏光辉 秋穗正

(74)专利代理机构 西安智大知识产权代理事务  
所 61215

代理人 何会侠

(51)Int.Cl.

G21C 17/00(2006.01)

G21C 17/017(2006.01)

G21D 1/00(2006.01)

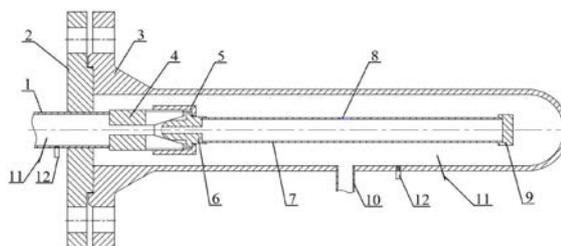
权利要求书1页 说明书3页 附图1页

(54)发明名称

核反应堆蒸汽发生器传热管微裂纹泄露量  
实验装置及方法

(57)摘要

核反应堆蒸汽发生器传热管微裂纹泄露量实验装置及方法,该装置主要由高压法兰盲板、带高压法兰的套筒、锥面接头、连接螺母、球面接头、微裂纹圆管和热电偶及测压组件等组成;本实验装置可用于开展蒸汽发生器传热管微裂纹泄漏量实验研究,研究不同传热管尺寸、不同微裂纹开口度和裂纹长度下的微裂纹泄露量;本实验装置能够满足反应堆蒸汽发生器传热管微裂纹泄漏量研究的需要,并且实验压力和温度能够达到反应堆一次侧和二次侧的真实水平。



1. 核反应堆蒸汽发生器传热管微裂纹泄露量实验装置,其特征在于:主要包括高压法兰盲板(2)、带高压法兰的套筒(3)、微裂纹圆管(7)及密封装置;所述高压法兰盲板(2)与带高压法兰的套筒(3)之间连接的垫片采用金属石墨缠绕垫片,保证实验长期安全运行在15.5MPa、320℃工况下;所述高压法兰盲板(2)中心开有一孔,实验回路管道(1)由此孔接入,二者之间通过焊接方式连接;所述带高压法兰的套筒(3)筒壁上设有排放管道(10);

所述实验回路管道(1)进入实验件之后,前段焊接有锥面接头(4),锥面接头(4)外螺纹与连接螺母(5)相配合,所述连接螺母(5)是一端直径突缩的圆柱环,另一端刻有内螺纹;微裂纹圆管(7)位于带高压法兰的套筒(3)内,两端分别和球面接头(6)和微裂纹管堵头(9)焊接成一体,所述球面接头(6)主体是一中心开孔的圆柱,一端为半球形,另一端直径先突扩后突缩,形成一个凸台;将所述连接螺母(5)沿螺纹向内旋进,其直径突缩部分就会向内压紧球面接头(6)的凸台,形成球形密封;所述微裂纹圆管(7)上设有一个微裂纹(8),其开口度和长度根据不同实验要求确定。

2. 根据权利要求1所述的核反应堆蒸汽发生器传热管微裂纹泄露量实验装置,其特征在于:在所述实验管道(1)入口处和所述带高压法兰的套筒(3)筒壁上均设有热电偶(11)和测压组件(12),用来测量传热管内和管外液体的温度和压力。

3. 根据权利要求1所述的核反应堆蒸汽发生器传热管微裂纹泄露量实验装置,其特征在于:所述微裂纹圆管(7)的材料为Inconel690,除微裂纹圆管外,实验装置其余部件材料均为316不锈钢。

4. 权利要求1~3任一项所述的核反应堆蒸汽发生器传热管微裂纹泄露量实验装置的实验方法,其特征在于:高压过冷水从实验回路管道(1)进入,通过球面接头(6)之后进入微裂纹圆管(7),从设置好的微裂纹(8)处泄露到带高压法兰的套筒(3)内,微裂纹圆管(7)和带高压法兰的套筒(3)之间的空间内的压力被控制在3.0~8.0Mpa,泄露出的冷却剂再从排放管道(10)流出并被收集测量。

5. 根据权利要求4所述的实验方法,其特征在于:所述高压过冷水的压力为15.5MPa,温度为320℃。

## 核反应堆蒸汽发生器传热管微裂纹泄露量实验装置及方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于核动力设备性能试验研究技术领域,具体涉及一种核反应堆蒸汽发生器传热管微裂纹泄露量实验装置及方法。

### 背景技术

[0002] 蒸汽发生器传热管是反应堆一、二回路之间的屏障,也是反应堆一回路压力边界的一部分,压力边界的完整性对保护反应堆安全、避免放射性物质外泄具有重要意义。反应堆运行过程中的应力腐蚀和应力疲劳将导致传热管上裂纹的产生和扩张,裂纹的扩张将最终导致管道破裂乃至断裂。可通过裂纹的泄漏量确定裂纹的位置和尺寸,在管道破裂前采取人为干涉,以避免如蒸汽发生器传热管破裂事故(SGTR)的发生。20世纪70年代,研究人员由此提出了破前泄漏(Leak Before Break,LBB)技术的概念。

[0003] LBB技术主要包括裂纹长度不稳定性研究(确定裂纹失稳的临界长度)和泄漏量检测研究(确定裂纹泄漏率对应的裂纹长度),使得两者之间符合一个基本安全准则。裂纹开口度(COD)决定裂纹泄漏率,根据一定载荷下相应的COD求出裂纹泄漏率,比较泄漏率对应的裂纹长度与临界裂纹失稳长度,完成LBB预测。因此LBB研究中的一个重要环节就是确定裂纹开口度、裂纹长度和泄露率之间的计算关系式,本发明正是基于这种需求而设计了一种蒸汽发生器传热管微裂纹泄露实验装置。

[0004] 中国专利CN107195343A公开了一种核反应堆中传热管破漏的检测控制装置及方法。该装置包括控制模块以及至少三个压力传感器;核反应堆二回路的出口、入口设置有第一隔离阀、第二隔离阀;每一压力传感器均设置在换热器或蒸汽发生器中,控制模块根据至少三个压力传感器所检测到的当前压力检测值或/及结合其上一时刻压力检测值,检测换热器或蒸汽发生器的传热管是否存在破漏情形,当存在破漏情形时,控制第一隔离阀和第二隔离阀关闭,阻止二回路水向一回路渗透。本发明可及时检测出核反应堆中换热器或蒸汽发生器的传热管是否有破漏的情形,当有破漏情形时,可以阻止二回路的水向反应堆一回路渗透,避免事故发生。但是该装置只能检测到泄露的发生,无法判断其具体的位置和破口大小,另外该装置精度也不足以判断微裂纹的出现。

[0005] 又如中国专利申请公开号CN206504113U公开了一种水锤振动波线性光纤传感器阵列管道泄露定位系统。该系统包括设置在管道上的形成线性阵列的多个光纤阵列传感器,该传感器包括光纤环形耦合振动传感器和光纤输出接口。该系统采用水锤作为激励震源的线性阵列光纤雷达定位系统,各个传感器信号采用光纤串联,光信号再转换回模拟电信号。根据水锤到达的时间分量、频率分量、振幅分量、相位分量等,测量管道沿线的泄露和裂纹分布情况,实现泄露预警监测。但是,该装置监测泄露发生需要的装置过多,并且需要水锤作为激励震源,使用条件不适用于反应堆蒸汽发生器内的工作环境,故无法用于蒸汽发生器传热管泄露监测。

[0006] 再如中国专利申请公开号CN106198716B公开了一种基于周向电磁场的管道内壁裂纹检测系统及评估方法,包括台架、管道、探头、夹具、活塞杆、液压缸、计算机、PLC、驱动

器、电机、油泵、安全阀、调速阀、信号发生器、功率放大器和采集卡。该发明借助环形电场和交变磁场实现管道内壁轴向和周向裂纹的定量和定位评估,能够一次性全面定量和定位评估管道内壁所有裂纹。但是,该装置只能用于管道拆卸下来后干态的检测,不能用于管道运行状态下实时的监测,因此也无法运用在蒸汽发生器传热管裂纹监测中。

[0007] 发明说明

[0008] 为了解决上述现有试验装置或试验系统不适用于或不满足核工程领域对蒸汽发生器传热管微裂纹泄露量实验的需求,本发明提供了一种核反应堆蒸汽发生器传热管微裂纹泄露实验装置及方法,能够对不同尺寸传热管上不同尺寸的微裂纹在不同一二次侧压差下进行泄露量测量。

[0009] 为了达到上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0010] 核反应堆蒸汽发生器传热管微裂纹泄露量实验装置,主要包括高压法兰盲板2、带高压法兰的套筒3、微裂纹圆管7及密封装置;所述高压法兰盲板2与带高压法兰的套筒3之间连接的垫片采用金属石墨缠绕垫片,保证实验长期安全运行在15.5MPa、320℃工况下;所述高压法兰盲板2中心开有一孔,实验回路管道1由此孔接入,二者之间通过焊接方式连接;所述带高压法兰的套筒3筒壁上设有排放管道10;

[0011] 所述实验回路管道1进入实验件之后,前段焊接有锥面接头4,锥面接头4外螺纹与连接螺母5的内螺纹相配合,所述连接螺母5是一端直径突缩的圆柱环,另一端刻有内螺纹;微裂纹圆管7位于带高压法兰的套筒3内,两端分别和球面接头6和微裂纹管堵头9焊接成一体,所述球面接头6主体是一中心开孔的圆柱,一端为半球形,另一端直径先突扩后突缩,形成一个凸台;将所述连接螺母5沿螺纹向内旋进,其直径突缩部分就会向内压紧球面接头6的凸台,形成球形密封;

[0012] 所述微裂纹圆管7上设有一个微裂纹8,其开口度和长度可根据不同实验要求确定。

[0013] 在所述实验管道1入口处和所述带高压法兰的套筒3筒壁上均设有热电偶11和测压组件12,用来测量传热管内和管外液体的温度和压力。

[0014] 所述微裂纹圆管7的材料为Inconel690(因科镍690),除微裂纹圆管外,试验装置其余部件材料均为316不锈钢。

[0015] 核反应堆蒸汽发生器传热管微裂纹泄露量实验方法,高压过冷水(压力15.5MPa,温度320℃)从实验回路管道1进入,通过球面接头6之后进入微裂纹圆管7,从设置好的微裂纹8处泄露到带高压法兰的套筒3内,微裂纹圆管7和带高压法兰的套筒3之间的空间内的压力被控制在3.0~8.0MPa,泄露出的冷却剂再从排放管道10流出并被收集测量。

[0016] 和现有技术相比较,本发明具备如下优点:

[0017] 1、本发明装置中连接螺母5、锥面接头4与球面接头6三者形成可靠的球形密封,保证微裂纹管内流体只通过微裂纹向套筒内排放。

[0018] 2、本发明装置传热管一二次侧压力达到了反应堆实际运行水平(一次侧压力即微裂纹圆管7内的压力为15.5MPa,温度320℃,二次侧压力即微裂纹圆管7和带高压法兰的套筒3之间的空间内的压力为3.0~8.0MPa),可以较为真实地模拟反应堆中传热管微裂纹泄露工况。

[0019] 3、本发明装置传热管上微裂纹的开口度和长度都可以根据不同实验要求调整,并

且实验后期还可更换为自然裂纹传热管实验件,可满足对不同条件下微裂纹泄漏量的测量要求。

### 附图说明

[0020] 图1为本发明试验装置整体结构主视图。

[0021] 图2为本发明试验装置整体结构俯视图。

### 具体实施方式

[0022] 下面结合附图对本发明作详细的说明:

[0023] 如图1和图2所示,核反应堆蒸汽发生器传热管微裂纹泄露量实验装置,主要包括高压法兰盲板2、带高压法兰的套筒3、微裂纹圆管7及密封装置。所述高压法兰盲板2与带高压法兰的套筒3之间连接的垫片采用金属石墨缠绕垫片,可以保证实验长期安全运行在15.5MPa、320℃工况下。所述高压法兰盲板2中心开有一孔,实验回路管道1由此孔接入,二者之间通过焊接方式连接。所述带高压法兰的套筒3筒壁上设有排放管道10。

[0024] 所述实验回路管道1进入实验件之后,前段焊接有一个锥面接头4,其外螺纹与连接螺母5的内螺纹相配合,所述连接螺母5是一端直径突缩的圆柱环,另一端刻有内螺纹。微裂纹圆管7位于带高压法兰的套筒3内,两端分别和球面接头6和微裂纹管堵头9焊接成一体,所述球面接头6主体是一中心开孔的圆柱,一端加工为半球形,另一端直径先突扩后突缩,形成一个凸台。将所述连接螺母5沿螺纹向内旋进,其直径突缩部分就会向内压紧球面接头6的凸台,形成球形密封。

[0025] 所述微裂纹圆管7上设有一个微裂纹8,其开口度和长度可根据不同实验要求确定。

[0026] 在所述实验管道1入口处和所述带高压法兰的套筒3筒壁上均设有热电偶11和测压组件12,用来测量传热管内和管外液体的温度和压力。

[0027] 如图1和图2所示,核反应堆蒸汽发生器传热管微裂纹泄露实验方法,高压过冷水(压力15.5MPa,温度320℃)从实验管道1进入实验件,通过球面接头6之后进入微裂纹圆管7,从设置好的微裂纹8处泄露到套筒3内,微裂纹圆管7和带高压法兰的套筒3之间的空间内的压力被控制在3.0~8.0Mpa,泄露出的冷却剂再从排放管道10流出并被收集测量。微裂纹圆管7的材料为Inconel690(因科镍690),除微裂纹圆管外,试验装置其余部件材料均为316不锈钢。

[0028] 以上内容仅用来说明本发明,不能认定本发明的具体实施方式仅限于此,对于本技术领域中的普通技术人员来说,只要在本发明的实质精神范围之内,对以上所述实施例的变化和变型都应当视为在本发明的权利要求书范围内。

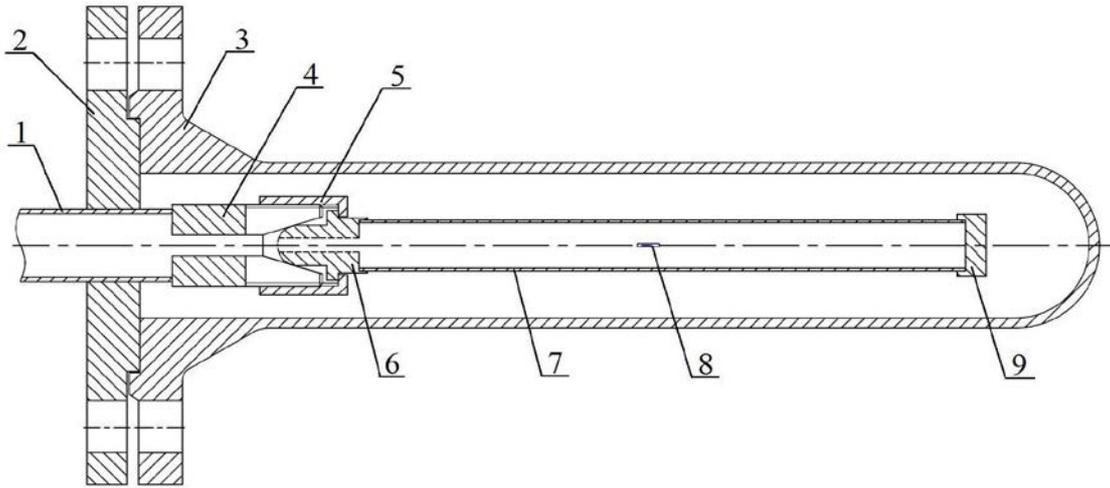


图1

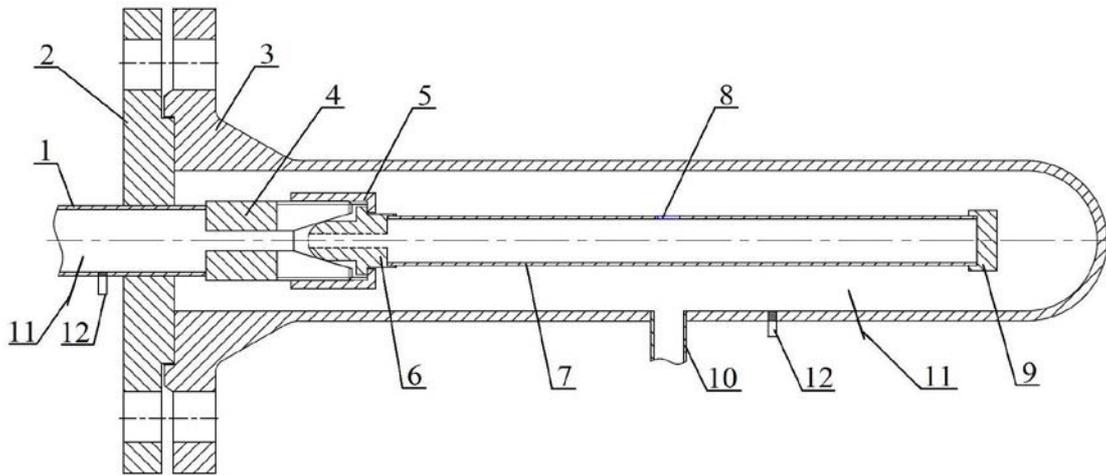


图2