(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 118430855 A
(43)申请公布日 2024.08.02

(21)申请号 202410471119.0

(22)申请日 2024.04.18

(71)申请人 国家电投集团科学技术研究院有限公司
地址 102209 北京市昌平区未来科技城国家电投集团科学技术研究院有限公司院内A座8层至11层

(72)发明人 汪峰 肖嘉 徐博

(74)专利代理机构 北京清亦华知识产权代理事务所(普通合伙) 11201
专利代理师 李蓓蕾

(51)Int.Cl.
G21C 17/00(2006.01)

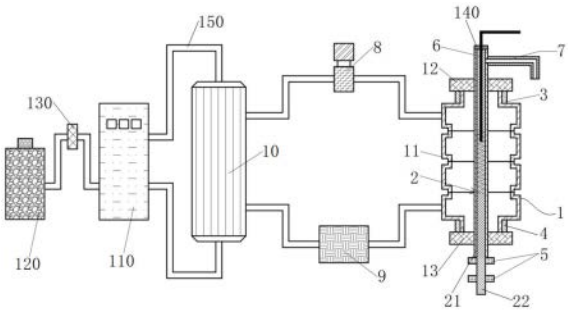
权利要求书2页 说明书7页 附图1页

(54)发明名称

压水堆一回路水化学环境模拟装置

(57)摘要

本发明公开一种压水堆一回路水化学环境模拟装置,压水堆一回路水化学环境模拟装置包括第一循环管路、加药系统和燃料元件,第一循环管路上串接有水化学参数控制系统、循环泵、试验段和加热器,水化学参数控制系统包括串接在第一循环管路上的溶氧仪、pH计和电导率仪中的至少一者,加药系统与第一循环管路连通并用于向第一循环管路中液体注入杂质原料,燃料元件安装在试验段内。本发明提供的压水堆一回路水化学环境模拟装置具有对燃料元件在实际压水堆环境中的水化学参数模拟和控制准确度高的优点。



CN 118430855 A

1.一种压水堆一回路水化学环境模拟装置,其特征在于,包括:

第一循环管路,所述第一循环管路上串接有水化学参数控制系统、循环泵、试验段和加热器,所述水化学参数控制系统包括串接在所述第一循环管路上的溶氧仪、pH计和电导率仪中的至少一者;

加药系统,所述加药系统与所述第一循环管路连通并用于向所述第一循环管路中液体注入杂质原料;

燃料元件,所述燃料元件安装在所述试验段内。

2.根据权利要求1所述的压水堆一回路水化学环境模拟装置,其特征在于,所述水化学参数控制系统包括所述溶氧仪、所述pH计和所述电导率仪中的每一者;

和/或,所述加药系统通过蠕动泵与所述第一循环管路连通,所述蠕动泵与所述水化学参数控制系统中的控制器电连接。

3.根据权利要求1所述的压水堆一回路水化学环境模拟装置,其特征在于,所述压水堆一回路水化学环境模拟装置还包括热交换器,所述热交换器具有依次换热相连的第一腔室、第二腔室和第三腔室,所述第一腔室串接在所述水化学参数控制系统和所述循环泵之间,所述第三腔室串接在所述水化学参数控制系统和所述加热器之间,所述第二腔室内填充有沸点大于350℃的导热介质。

4.根据权利要求1所述的压水堆一回路水化学环境模拟装置,其特征在于,所述试验段包括:

本体,所述本体具有与所述第一循环管路连通的试验腔,所述本体具有与所述试验腔连通的第一开口和第二开口,所述燃料元件的中间部分位于所述试验腔内,所述燃料元件的两端部分分别由所述第一开口和所述第二开口凸出于所述试验腔外;

第一密封组件和第二密封组件,所述第一密封组件连接所述燃料元件和所述本体并封闭所述第一开口,所述第二密封组件连接所述燃料元件和所述本体并封闭所述第二开口,所述第一密封组件和所述第二密封组件中的每一者包括密封垫片、密封圈保护套、自增力密封圈和密封圈压紧螺母中的至少一者。

5.根据权利要求4所述的压水堆一回路水化学环境模拟装置,其特征在于,所述压水堆一回路水化学环境模拟装置还包括第二循环管路,所述第二循环管路上串接有泵体、散热器、第一冷却水套和第二冷却水套,所述第一冷却水套套接在所述本体上并邻近所述第一密封组件,所述第二冷却水套套接在所述本体上并邻近所述第二密封组件;

和/或,所述第一开口和所述第二开口沿第一方向相对设置,所述本体在所述第一方向的尺寸为300mm-4m。

6.根据权利要求1-5任一项所述的压水堆一回路水化学环境模拟装置,其特征在于,所述燃料元件包括:

金属棒;

薄壁管,所述薄壁管套接在所述金属棒上,所述薄壁管的第一端与所述金属棒的第一端电连接,所述薄壁管的其余部分和所述金属棒之间设有第一绝缘层,所述薄壁管的第二端和所述金属棒的第二端用于与电源的正负极相连,所述薄壁管的第二端和所述金属棒的第二端均凸出于所述试验段的同一侧;和

包壳管,所述包壳管套接在所述薄壁管上,所述包壳管和所述薄壁管之间设有第二绝

缘层。

7.根据权利要求6所述的压水堆一回路水化学环境模拟装置,其特征在于,所述第一绝缘层和所述第二绝缘层均包括氧化镁陶瓷软套;

和/或,所述薄壁管的外壁面设有沿所述薄壁管的轴向螺旋延伸的贯穿槽。

8.根据权利要求6所述的压水堆一回路水化学环境模拟装置,其特征在于,所述燃料元件还包括连接管,所述连接管包括第一接口和第二接口,所述连接管的第一接口与所述包壳管的第一端连通,所述连接管的第二接口用于与外界加压气体回路相连,所述加压气体回路用于向所述包壳管内部进行气体冲压。

9.根据权利要求8所述的压水堆一回路水化学环境模拟装置,其特征在于,所述连接管为三通管并包括第三接口;

所述金属棒的第一端面设有安装腔,所述安装腔沿所述金属棒的轴向延伸,所述燃料元件还包括测温热电偶和密封件,所述测温热电偶适于通过所述第三接口插入所述安装腔内,所述密封件夹设在所述连接管的内壁面和所述测温热电偶的外壁面之间以便于封闭所述第三接口。

10.根据权利要求6所述的压水堆一回路水化学环境模拟装置,其特征在于,所述包壳管凸出于所述试验段外,所述薄壁管的第二端凸出于所述包壳管外,所述金属棒的第二端凸出于所述薄壁管外,所述薄壁管的第二端和所述金属棒的第二端均套接有电极加热板。

压水堆一回路水化学环境模拟装置

技术领域

[0001] 本发明涉及核反应堆技术领域,具体涉及一种压水堆一回路水化学环境模拟装置。

背景技术

[0002] 核电厂长期运行时,反应堆一回路中的冷却剂,如硼酸、氢氧化锂和冷却剂中的金属杂质离子将会在燃料元件的热表面进行沉积,形成厚度不均匀、形状不规则的污垢沉积层,这对燃料包壳的腐蚀行为以及燃料棒的传热性能产生重要影响,当表面污垢累积到一定程度,将引起燃料组件的功率轴向偏移异常,对核电厂安全运行造成威胁。相关技术中,对压水堆核电厂污垢沉积及其对核电运行安全影响的研究,主要集中在计算模拟以及理论模型预测方面,而在燃料元件污垢沉积试验时,无法准确模拟和控制燃料元件在实际压水堆环境中如第一循环管路中溶解氧、电导率、溶液pH值等水化学参数,进而无法满足燃料元件在压水堆环境中的污垢沉积核安全评审需求。

发明内容

[0003] 本发明旨在至少在一定程度上解决相关技术中的技术问题之一。

[0004] 为此,本发明的实施例提出一种压水堆一回路水化学环境模拟装置,该压水堆一回路水化学环境模拟装置具有对燃料元件在实际压水堆环境中的水化学参数模拟和控制准确度高的优点。

[0005] 本发明实施例的压水堆一回路水化学环境模拟装置包括第一循环管路、加药系统和燃料元件,所述第一循环管路上串接有水化学参数控制系统、循环泵、试验段和加热器,所述水化学参数控制系统包括串接在所述第一循环管路上的溶氧仪、pH计和电导率仪中的至少一者;所述加药系统与所述第一循环管路连通并用于向所述第一循环管路中液体注入杂质原料;所述燃料元件安装在所述试验段内。

[0006] 根据本发明实施例的压水堆一回路水化学环境模拟装置,加药系统用于向第一循环管路中溶液注入杂质原料,满足试验段内燃料元件表面的污垢沉积需求的同时,也实现对试验段的溶液参数的调节。结合串接在第一循环管路上的溶氧仪、pH计和电导率仪中的至少一者,水化学参数控制系统能够对进入试验段的溶液中的溶解氧、电导率和溶液pH中的至少一者进行精准检测和控制,以有效实现对一回路水化学环境的精准模拟,进而有效计算和预测相应参数对燃料元件表面上污垢沉积的影响,进而更好地满足燃料元件在压水堆一回路水化学环境中的污垢沉积核安全评审需求。

[0007] 在一些实施例中,所述水化学参数控制系统包括所述溶氧仪、所述pH计和所述电导率仪中的每一者;

[0008] 和/或,所述加药系统通过蠕动泵与所述第一循环管路连通,所述蠕动泵与所述水化学参数控制系统中的控制器电连接。

[0009] 在一些实施例中,所述压水堆一回路水化学环境模拟装置还包括热交换器,所述

热交换器具有依次换热相连的第一腔室、第二腔室和第三腔室,所述第一腔室串接在所述水化学参数控制系统和所述循环泵之间,所述第三腔室串接在所述水化学参数控制系统和所述加热器之间,所述第二腔室内填充有沸点大于350℃的导热介质。

[0010] 在一些实施例中,所述试验段包括本体、第一密封组件和第二密封组件,所述本体具有与所述第一循环管路连通的试验腔,所述本体具有与所述试验腔连通的第一开口和第二开口,所述燃料元件的中间部分位于所述试验腔内,所述燃料元件的两端部分分别由所述第一开口和所述第二开口凸出于所述试验腔外;所述第一密封组件连接所述燃料元件和所述本体并封闭所述第一开口,所述第二密封组件连接所述燃料元件和所述本体并封闭所述第二开口,所述第一密封组件和所述第二密封组件中的每一者包括密封垫片、密封圈保护套、自增力密封圈和密封圈压紧螺母中的至少一者。

[0011] 在一些实施例中,所述压水堆一回路水化学环境模拟装置还包括第二循环管路,所述第二循环管路上串接有泵体、散热器、第一冷却水套和第二冷却水套,所述第一冷却水套套接在所述本体上并邻近所述第一密封组件,所述第二冷却水套套接在所述本体上并邻近所述第二密封组件;

[0012] 和/或,所述第一开口和所述第二开口沿第一方向相对设置,所述本体在所述第一方向的尺寸为300mm-4m。

[0013] 在一些实施例中,所述燃料元件包括金属棒、薄壁管和包壳管,所述薄壁管套接在所述金属棒上,所述薄壁管的第一端与所述金属棒电连接,所述薄壁管的其余部分和所述金属棒之间设有第一绝缘层,所述薄壁管的第二端和所述金属棒的第二端用于与电源的正负极相连,所述薄壁管的第二端和所述金属棒的第二端均凸出于所述试验段的同一侧;所述包壳管套接在所述薄壁管上,所述包壳管和所述薄壁管之间设有第二绝缘层。

[0014] 在一些实施例中,所述第一绝缘层和所述第二绝缘层均包括氧化镁陶瓷软套;

[0015] 和/或,所述薄壁管的外壁面设有沿所述薄壁管的轴向螺旋延伸的贯穿槽。

[0016] 在一些实施例中,所述燃料元件还包括连接管,所述连接管包括第一接口和第二接口,所述连接管的第一接口与所述包壳管的第一端连通,所述连接管的第二接口用于与外界加压气体回路相连,所述加压气体回路用于向所述包壳管内部进行气体冲压。

[0017] 在一些实施例中,所述连接管为三通管并包括第三接口;

[0018] 所述金属棒的第一端面设有安装腔,所述安装腔沿所述金属棒的轴向延伸,所述燃料元件还包括测温热电偶和密封件,所述测温热电偶适于通过所述第三接口插入所述安装腔内,所述密封件夹设在所述连接管的内壁面和所述测温热电偶的外壁面之间以便于封闭所述第三接口。

[0019] 在一些实施例中,所述包壳管凸出于所述试验段外,所述薄壁管的第二端凸出于所述包壳管外,所述金属棒的第二端凸出于所述薄壁管外,所述薄壁管的第二端和所述金属棒的第二端均套接有电极加热板。

附图说明

[0020] 图1是根据本发明实施例的压水堆一回路水化学环境模拟装置的示意图。

[0021] 附图标记:

[0022] 1、试验段;11、本体;12、第一密封组件;13、第二密封组件;2、燃料元件;21、包壳

管;22、金属棒;3、第一冷却水套;4、第二冷却水套;5、电极加热板;6、测温热电偶;7、连接管;8、循环泵;9、加热器;10、热交换器;110、水化学参数控制系统;120、加药系统;130、蠕动泵;140、密封件;150、第一循环管路。

具体实施方式

[0023] 下面详细描述本发明的实施例,所述实施例的示例在附图中示出。下面通过参考附图描述的实施例是示例性的,旨在用于解释本发明,而不能理解为对本发明的限制。

[0024] 下面结合图1描述根据本发明实施例的压水堆一回路水化学环境模拟装置。

[0025] 本发明实施例的压水堆一回路水化学环境模拟装置包括第一循环管路150、加药系统120和燃料元件2。第一循环管路150上串接有水化学参数控制系统110、循环泵8、试验段1和加热器9,水化学参数控制系统110包括串接在第一循环管路上的溶氧仪、pH计和电导率仪中的至少一者。加药系统120与第一循环管路150连通并用于向第一循环管路150中液体注入杂质原料。燃料元件2安装在试验段1内。

[0026] 根据本发明实施例的压水堆一回路水化学环境模拟装置,加药系统120用于向第一循环管路150中溶液注入杂质原料,满足试验段1内燃料元件2表面的污垢沉积需求的同时,也实现对试验段1的溶液参数的调节。结合串接在第一循环管路150上的溶氧仪、pH计和电导率仪中的至少一者,水化学参数控制系统110能够对进入试验段1的溶液中的溶解氧、电导率和溶液pH中的至少一者进行精准检测和控制,以有效实现对一回路水化学环境的精准模拟,进而有效计算和预测相应参数对燃料元件2表面上污垢沉积的影响,进而更好地满足燃料元件在压水堆一回路水化学环境中的污垢沉积核安全评审需求。

[0027] 需要说明地,杂质原料为易在燃料元件2的热表面进行沉积的硼酸、氢氧化锂以及各种杂质离子化学溶液。试验段1的材质选用316L不锈钢,呈竖直圆筒状结构,最高工作温度350℃,最高工作压力17.2MPa,模拟压水堆一回路水环境工况,在模拟燃料棒表面实现污垢沉积,通过控制水化学参数,实现污垢沉积速率的调节。此外,水化学参数控制系统110还包括内置管路和控制器,溶氧仪、pH计和电导率仪中的至少一者串接在内置管路上,并通过内置管路与第一循环管路连通。控制器与溶氧仪、pH计和电导率仪中的至少一者电连接,还与加药系统通讯连接,由此实现与溶解氧、电导率和溶液pH中的至少一者的检测和控制。同时,为了进一步保证对一回路水化学环境的精准模拟,还在内置管路上串接温度传感器、压力传感器和流速仪等,以实现对进入试验段1的溶液中的温度、压力和流速的调节。

[0028] 循环泵8为屏蔽式高压循环泵8,高温高压水在主回路中产生循,环流动,流量从0.4～4m3/h连续可调,可反馈控制,实现高温回路中流量的稳定可控。其设计压力17.2MPa,最高运行温度350℃,入口DN50,出口DN32,泵头材质316不锈钢,屏蔽套采用哈氏C-276合金,扬程＞30米,流量从0.4～4m3/h连续可调,可反馈控制,第一循环管路150形成的回路流量采用平衡式多孔板流量计,通过流量测量和变频控制,实现高温回路中流量的稳定可控,回路稳压采用5L橡胶囊式脉动阻尼器。

[0029] 回路溶液采用加热器9进行电加热,加热器9将溶液加热到入口温度,以保证进入试验段1的工质温度稳定。加热器9工作压力17.2MPa,设计压力25MPa,最高运行温度350℃,采用三相电内置加热棒束进行电加热,功率最高5kW,加热棒束由7根电加热棒组成,电加热棒采用高温合金制成,加热棒套管采用不锈钢材质,直径25mm、长度610mm,以便于具有较高

的发热效率和响应速度。

[0030] 在一些实施例中,水化学参数控制系统110包括溶氧仪、pH计和电导率仪中的每一者。

[0031] 由此保证第一循环管路150中溶液的溶解氧含量、溶液pH值和电导率的参数在线可测可控,结合加药系统120,更准确地实现对压水堆一回路水化学条件的模拟,实现对硼酸、氢氧化锂和冷却剂中的金属杂质离子的在线调节,为试验段1提供长期可靠的运行环境,为燃料元件污垢沉积试验提供试验条件。

[0032] 具体地,水化学参数控制系统110包括串接在第一循环管路150上的溶氧仪、pH计和电导率仪中的每一者。由此可调节溶解氧含量、溶液pH值和电导率,实现污垢形貌、沉积速率等在线控制。

[0033] 和/或,加药系统120通过蠕动泵130与第一循环管路150连通,蠕动泵130与水化学参数控制系统110中的控制器电连接。加药系统120采用蠕动泵130控制,在控制器的控制下,流量控制范围0~50mL/min,H_3BO_3和LiOH用于模拟压水堆一回路水化学环境,$Fe(NO3)_3$用于离子污垢沉积,在燃料元件2表面沉积铁离子污垢,杂质离子浓度在线可测可控,结合水化学参数控制系统110控制环境温度、环境压力、溶液流速、离子浓度、pH值等参数,实现了燃料元件表面的污垢沉积速率的调节。

[0034] 具体地,蠕动泵130可位于串接在内置管路中所有器件的下游,也可以位于串接在内置管路中所有器件的上游。

[0035] 在一些实施例中,燃料元件2包括金属棒22、薄壁管和包壳管21。薄壁管套接在金属棒22上,薄壁管的第一端与金属棒22电连接,薄壁管的其余部分和金属棒22之间设有第一绝缘层,薄壁管的第二端和金属棒22的第二端用于与电源的正负极相连,薄壁管的第二端和金属棒22的第二端均凸出于试验段1的同一侧。包壳管21套接在薄壁管上,包壳管21和薄壁管之间设有第二绝缘层。

[0036] 第一绝缘层实现薄壁管和金属棒22的电绝缘,第二绝缘层实现薄壁管和包壳管21的电绝缘,由此保证了薄壁管、金属棒22和电源形成稳定、可靠的发热回路,保证对燃料元件2的温度的可靠模拟。其中,薄壁管的横截面积更小,发热功率更高,能够作为主要发热源,实现对包壳管21的快速加热。

[0037] 具体地,包壳管21可以为硬质薄壁陶瓷管,第一绝缘层和第二绝缘层均包括氧化镁陶瓷软套,氧化镁陶瓷具有良好的导热性能以及电绝缘性能,软套材质易于在狭小缝隙间安装,避免了薄壁管的破损问题,本实施例的燃料元件2的功率密度调节范围为0-60W/cm^2。

[0038] 在一些实施例中,如图1所示,燃料元件2还包括连接管7,连接管7包括第一接口和第二接口,连接管7的第一接口与包壳管21的第一端连通,连接管7的第二接口用于与外界加压气体回路相连,加压气体回路用于向包壳管21内部进行气体冲压。

[0039] 即通过连接管7的第二接口,能够对包壳管21内进行气体冲压,以实现对燃料元件2内部的气体状态的模拟,由此对燃料元件2表面上污垢沉积的试验准确度更高、更可靠,更好地满足了燃料元件在压水堆环境中的污垢沉积核安全评审需求。

[0040] 具体地,第二接口连接一个气体冲压管,气体充压管为一只不锈钢细管,外径3mm、内径2mm、壁厚0.5mm,气体充压管的外部接入加压气体回路,给包壳管21内部进行气体充

压,以模拟燃料组件内部的气体状态。

[0041] 在一些实施例中,如图1所示,连接管7为三通管并包括第三接口。金属棒22的第一端面设有安装腔,安装腔沿金属棒22的轴向延伸,燃料元件2还包括测温热电偶6和密封件140,测温热电偶6适于通过第三接口插入安装腔内,密封件140夹设在连接管7的内壁面和测温热电偶6的外壁面之间以便于封闭第三接口。

[0042] 测温热电偶6能够实时监测燃料元件2内部的温度变化,从而调节燃料元件2的加热功率,通过监测燃料元件2内外部的温度梯度,控制其表面污垢沉积的速率,同时,燃料元件2内部温度的在线测量可以避免过热烧毁事故的发生。此外,三通管方便了测温热电偶6在包壳管21上的安装,也方便了与外界加压气体回路的相连,密封件140封闭第三接口以避免外界水分进入包壳管21而导致内部发热回路短路。

[0043] 具体地,测温热电偶6由NiCr丝、NiSi丝组成。

[0044] 在一些实施例中,如图1所示,包壳管21凸出于试验段1外,薄壁管的第二端凸出于包壳管21外,金属棒22的第二端凸出于薄壁管外,薄壁管的第二端和金属棒22的第二端均套接有电极加热板5。

[0045] 即薄壁管和金属棒22与电源电极相连的部分位于包壳管21的同一侧,由此方便了电源与薄壁管和金属棒22的电连接。同时,电极加热板5相较于薄壁管和金属棒22具有更大的表面积,进而具有更好地散热效果,方便进行大功率电源的输入。

[0046] 具体地,电极加热板5由大面积铜块制成,铜块具有良好的导电能力,其安装于试验段1的外部,环境温度较低,具有良好的散热效果。

[0047] 薄壁管的外壁面设有沿薄壁管的轴向螺旋延伸的贯穿槽。该设置使得薄壁管在其轴向尺寸一定的基础上,具有比起轴向尺寸更长的长度,同时具有更小的横截面积,进而具有更大的发热功率。

[0048] 需要说明地,如图1所示,薄壁管包括位于中部的高温合金管和分设在高温合金管两端的铜管,只高温合金管全部位于试验段1内且其外表面上设有沿薄壁管的轴向螺旋延伸的贯穿槽。

[0049] 在一些实施例中,压水堆一回路水化学环境模拟装置还包括热交换器10,热交换器10具有依次换热相连的第一腔室、第二腔室和第三腔室,第一腔室串接在水化学参数控制系统110和循环泵8之间,第三腔室串接在水化学参数控制系统110和加热器9之间,第二腔室内填充有沸点大于350℃的导热介质。

[0050] 第一循环管路150采用上充下泄方式稳定回路化学参数,溶液通过第一循环管路150上的水化学参数控制系统110和加药系统120进行控制,上充下泄流通过热交换器10进行预热并注入回路,流量120L/h,可保证第一循环管路150内溶液每小时换液频率达到5次以上,面向试验介质的焊缝全部采用优质316L不锈钢焊丝,焊接过程不得氧化。热交换器10管侧工作压力20MPa,设计压力25MPa,壳侧工作压力≤0.5MPa,导热介质采用高温导热油,以免冷却介质高温下沸腾,流体流动方向工质上进下出,冷却油下进上出,高温水入口温度最高350℃,出口温度280℃。

[0051] 在一些实施例中,试验段1包括本体11、第一密封组件12和第二密封组件13。本体11具有与第一循环管路150连通的试验腔,本体11具有与试验腔连通的第一开口和第二开口,燃料元件2的中间部分位于试验腔内,燃料元件2的两端部分分别由第一开口和第二开

口凸出于试验腔外。第一密封组件12连接燃料元件2和本体11并封闭第一开口，第二密封组件13连接燃料元件2和本体11并封闭第二开口，第一密封组件12和第二密封组件13中的每一者包括密封垫片、密封圈保护套、自增力密封圈和密封圈压紧螺母中的至少一者。

[0052] 本体11上第一开口和第二开口的设置方便了燃料元件2在本体11上的安装，第一密封组件12和第二密封组件13分别封闭第一开口和第二开口，有效避免本体11内高温高压水泄露。

[0053] 在一些实施例中，如图1所示，压水堆一回路水化学环境模拟装置还包括第二循环管路，第二循环管路上串接有泵体、散热器、第一冷却水套3和第二冷却水套4，第一冷却水套3套接在本体11上并邻近第一密封组件12，第二冷却水套4套接在本体11上并邻近第二密封组件13。

[0054] 本体11的试验腔为高温高压水环境，燃料元件2需要进行长期高功率密度加热，燃料元件2进出本体11的两端位置容易损坏，造成本体11内的高温高压水喷出，因此，在第一开口和第二开口处分别安置第一冷却水套3和第二冷却水套4，第一冷却水套3和第二冷却水套4通入第二循环管路，进行不间断冷却，以保证第一密封组件12和第二密封组件13始终处于低温状态，有效避免污垢沉积长期试验过程中发生过热破损事故。

[0055] 和/或，第一开口和第二开口沿第一方向相对设置，本体11在第一方向的尺寸为300mm-4m。

[0056] 试验段1的长度可以分为300mm、1m、2m、3m、4m不等。300mm试验段1，满足燃料元件2初筛试验需求，1m-3m试验段1，满足燃料元件2性能验证试验需求，4m试验段1，满足燃料元件全尺寸工程试验需求，可以根据需要，组装或拆卸试验段1，满足不同长度模拟燃料棒试验需求。

[0057] 由上可知，本实施例的压水堆一回路水化学环境模拟装置具有功率密度高、水化学参数可控、内部可加压、污垢沉积速率快的优点，为燃料元件在压水堆一回路工况下污垢沉积以及功率轴向偏移性能研究提供了试验条件。

[0058] 在本发明的描述中，需要理解的是，术语“中心”、“纵向”、“横向”、“长度”、“宽度”、“厚度”、“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“顶”、“底”“内”、“外”、“顺时针”、“逆时针”、“轴向”、“径向”、“周向”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系，仅是为了便于描述本发明和简化描述，而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作，因此不能理解为对本发明的限制。

[0059] 此外，术语“第一”、“第二”仅用于描述目的，而不能理解为指示或暗示相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量。由此，限定有“第一”、“第二”的特征可以明示或者隐含地包括至少一个该特征。在本发明的描述中，“多个”的含义是至少两个，例如两个，三个等，除非另有明确具体的限定。

[0060] 在本发明中，除非另有明确的规定和限定，术语“安装”、“相连”、“连接”、“固定”等术语应做广义理解，例如，可以是固定连接，也可以是可拆卸连接，或成一体；可以是机械连接，也可以是电连接或彼此可通讯；可以是直接相连，也可以通过中间媒介间接相连，可以是两个元件内部的连通或两个元件的相互作用关系，除非另有明确的限定。对于本领域的普通技术人员而言，可以根据具体情况理解上述术语在本发明中的具体含义。

[0061] 在本发明中，除非另有明确的规定和限定，第一特征在第二特征“上”或“下”可以

是第一和第二特征直接接触,或第一和第二特征通过中间媒介间接接触。而且,第一特征在第二特征“之上”、“上方”和“上面”可是第一特征在第二特征正上方或斜上方,或仅仅表示第一特征水平高度高于第二特征。第一特征在第二特征“之下”、“下方”和“下面”可以是第一特征在第二特征正下方或斜下方,或仅仅表示第一特征水平高度小于第二特征。

[0062] 在本发明中,术语“一个实施例”、“一些实施例”、“示例”、“具体示例”、或“一些示例”等意指结合该实施例或示例描述的具体特征、结构、材料或者特点包含于本发明的至少一个实施例或示例中。在本说明书中,对上述术语的示意性表述不必须针对的是相同的实施例或示例。而且,描述的具体特征、结构、材料或者特点可以在任一个或多个实施例或示例中以合适的方式结合。此外,在不相互矛盾的情况下,本领域的技术人员可以将本说明书中描述的不同实施例或示例以及不同实施例或示例的特征进行结合和组合。

[0063] 尽管已经示出和描述了上述实施例,可以理解的是,上述实施例是示例性的,不能理解为对本发明的限制,本领域普通技术人员对上述实施例进行的变化、修改、替换和变型均在本发明的保护范围内。

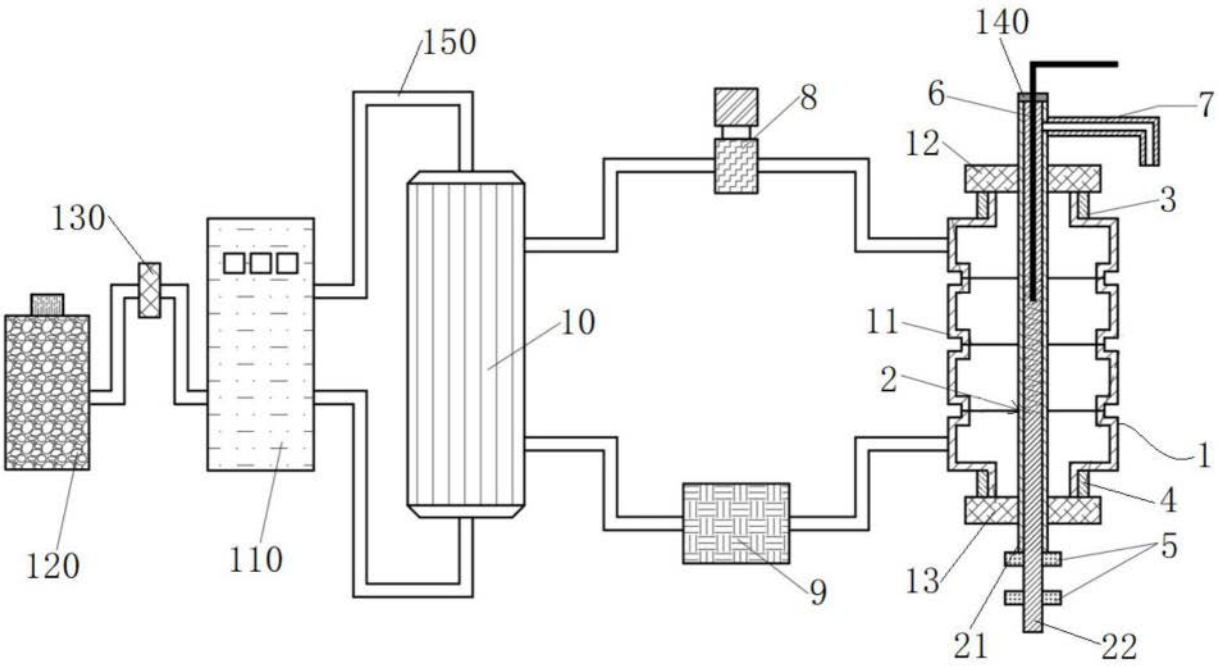


图1