

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2022 年 1 月 27 日 (27.01.2022)



(10) 国际公布号
WO 2022/016869 A1

(51) 国际专利分类号:
G21D 1/00 (2006.01) *G21D 3/00* (2006.01)
G21D 1/02 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2021/078749

(22) 国际申请日: 2021 年 3 月 2 日 (02.03.2021)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202010706088.4 2020 年 7 月 21 日 (21.07.2020) CN

(71) 申请人: 西安热工研究院有限公司(XI'AN THERMAL POWER RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.)
[CN/CN]; 中国陕西省西安市碑林区兴庆路 136 号, Shaanxi 710048 (CN)。

(72) 发明人: 刘俊峰(LIU, Junfeng); 中国陕西省西安市碑林区兴庆路 136 号, Shaanxi 710048 (CN)。 武方杰(WU, Fangjie); 中国陕西省西安市碑林区兴庆路 136 号, Shaanxi 710048 (CN)。 刘锋(LIU, Feng); 中国陕西省西安市碑林区兴庆路 136 号, Shaanxi 710048 (CN)。 李康(LI, Kang); 中国陕西省西安市碑林区兴庆路 136 号, Shaanxi 710048 (CN)。 马晓珑(MA, Xiaolong); 中国陕西省西安市碑林区兴庆路 136 号, Shaanxi 710048 (CN)。 赵博(ZHAO, Bo); 中国陕西省西安市碑林区兴庆路 136 号, Shaanxi 710048 (CN)。

(74) 代理人: 西安通大专利代理有限责任公司(XI'AN TONG DA PATENT AGENCY CO., LTD.); 中国陕西省西安市高新区锦业路 32 号, Shaanxi 710075 (CN)。

(54) Title: SYSTEM AND METHOD FOR HEATING PRIMARY COOLANT CIRCUIT COMPARTMENT DURING COLD TEST OF HIGH-TEMPERATURE GAS-COOLED REACTOR NUCLEAR POWER PLANT

(54) 发明名称: 一种高温气冷堆核电站冷试期间一回路舱室加热系统和方法

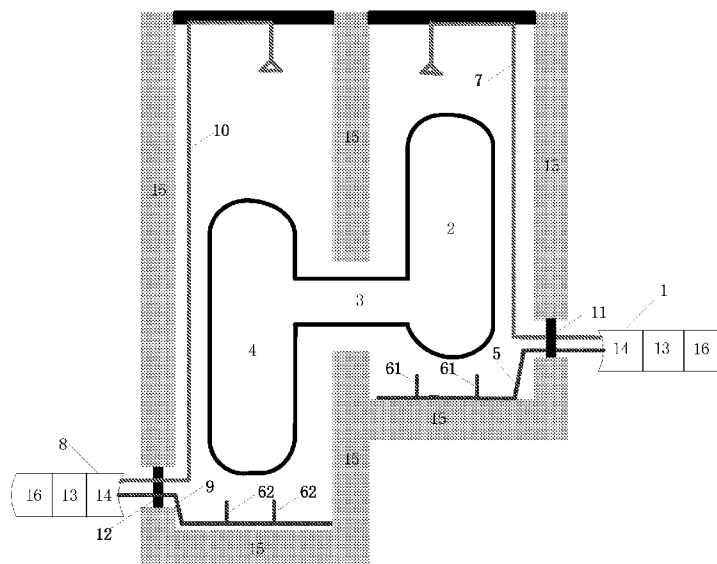


图 1

(57) Abstract: A system and a method for heating a primary coolant circuit compartment during cold test of a high-temperature gas-cooled reactor nuclear power plant. The system comprises a concrete compartment structure (15), a pressure vessel (2), a vapor generator (4), a first gas inlet pipe (5), a pressure vessel compartment hot fan device (1), a pressure vessel compartment gas return pipe (7), a second gas inlet pipe (9), a vapor generator compartment hot fan device (8) and a vapor generator compartment gas return pipe (10). The system and the method for heating a primary coolant circuit compartment during cold test of a high-temperature gas-cooled reactor nuclear power plant can ensure that the temperature in the primary coolant circuit compartment is maintained constant during

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告 (条约第21条(3))。

cold test of the high-temperature gas-cooled reactor nuclear power plant, increase the temperature of metal members in the reactor, and satisfy the cold test requirements.

(57) 摘要: 一种高温气冷堆核电站冷试期间一回路舱室加热系统及方法, 包括混凝土舱室结构体(15)、压力容器(2)、蒸汽发生器(4)、第一进风管(5)、压力容器舱室热风机装置(1)、压力容器舱室回风管(7)、第二进风管(9)、蒸汽发生器舱室热风机装置(8)及蒸汽发生器舱室回风管(10), 高温气冷堆核电站冷试期间一回路舱室加热系统及方法能够保证在高温其冷堆核电站冷试期间维持一回路舱室内温度恒定, 提升金属堆内构件温度, 满足冷试试验要求。

一种高温气冷堆核电站冷试期间一回路舱室加热系统及方法

技术领域

本发明属于核电技术领域，涉及一种高温气冷堆核电站冷试期间一回路舱室
5 加热系统及方法。

背景技术

核电站冷试是核电站完成土建施工、设备安装和单系统调试后，对核岛关键
设备性能和安装工艺质量进行的联合调试验证，目的是通过验证一回路系统的密
封性和强度来评估核安全保护屏障的完整性，并获得一回路系统和设备的初始运
10 行数据。一回路压力容器是一回路压力边界的主体，其强度和密封性能对于保证
反应堆的安全运行至关重要。根据核安全法规的要求，冷试期间需进行一回路压
力边界的强度和密封性能试验，一回路系统冷态役前压力试验为核电站冷试的主
要试验内容。

不同于压水堆核电机组进行的一回路水压试验，高温气冷堆一回路以氦气为
15 冷却剂，其采用气压试验的方式。根据国际标准 ASME-III-I-NB-6000 中规定：
对于反应堆压力容器装料前所进行的系统压力试验，试验温度不应低于
 $RT_{NDT}+33^{\circ}\text{C}$ ，其中 RT_{NDT} 是压力容器主体材料的无延性转变温度，其设计值为 $\leq$
 -20°C 。因此，高温气冷堆一回路压力容器在冷试过程中金属堆内构件温度不应
低于 13°C 。同时，由于氦气为小分子气体，气压试验期间需保证其泄漏率满足设
20 计要求。为了避免环境温度对泄漏率监测计算值的影响，一回路冷试期间需尽量
保证一回路压力容器内部温度恒定。基于以上原因，高温气冷堆一回路冷试期间
需保证压力容器舱室环境温度恒定。

目前国内在建的 200MW 高温气冷堆示范工程厂址位于山东半岛东南部，一年中大气环境温度变化范围为 $-15^{\circ}\text{C} \sim 35^{\circ}\text{C}$ ，导致一回路压力容器舱室温度变化较大。当在外部环境较低的冬季进行一回路冷试时，反应堆内金属构件温度将远低于 13°C ，不符合国际标准 ASME-III-I-NB-6000 对压力试验的规定，严重情况下将导致金属堆内构件的脆性断裂。因此，如何通过加热一回路舱室来提升反应堆内金属构件的温度，已成为高温气冷堆核电站冷试的关键技术问题。

发明内容

30 本发明的目的在于克服上述现有技术的缺点，提供了一种高温气冷堆核电站冷试期间一回路舱室加热系统及方法，该系统及方法能够保证高温气冷堆核电站在冷试期间维持一回路舱室内温度恒定，提升金属堆内构件温度，满足冷试试验要求。

为达到上述目的，本发明所述的高温气冷堆核电站冷试期间一回路舱室加热系统包括混凝土舱室结构体、压力容器、蒸汽发生器、第一进风管、压力容器舱室热风机装置、压力容器舱室回风管、第二进风管、蒸汽发生器舱室热风机装置及蒸汽发生器舱室回风管；

混凝土舱室结构体内设置有一回路舱室，一回路舱室内分隔为反应堆舱室及蒸汽发生器舱室，其中，压力容器布置于反应堆舱室内，蒸汽发生器布置于蒸汽发生器舱室内，压力容器与蒸汽发生器之间通过热气导管相连通；

第一进风管的一端与压力容器舱室热风机装置的出口相连通，第一进风管的另一端插入到反应堆舱室内，第一进风管上设置有若干第一出风管嘴，其中，各第一出风管嘴位于反应堆舱室内且位于压力容器的下方，压力容器舱室回风管的一端与压力容器舱室热风机装置的入口相连通，压力容器舱室回风管的另一端插

45 入于反应堆舱室内且位于压力容器的上方；

第二进风管的一端与蒸汽发生器舱室热风机装置的出口相连通，第二进风管的另一端插入于蒸汽发生器舱室内，第二进风管上设置有若干第二出风管嘴，其中，各第二出风管嘴位于蒸汽发生器舱室内且位于蒸汽发生器的下方，蒸汽发生器舱室回风管的一端与蒸汽发生器舱室热风机装置的入口相连通，蒸汽发生器舱室回风管的另一端插入于蒸汽发生器舱室内且位于蒸汽发生器的上方。

反应堆舱室的侧壁上设置有助于供压力容器舱室回风管及第一进风管穿过的压力容器人孔。

蒸汽发生器舱室的侧壁上设置有助于供第二进风管及蒸汽发生器舱室回风管穿过的蒸汽发生器人孔。

55 各第一出风管嘴等间距分布，各第二出风管嘴等间距分布。

压力容器人孔、蒸汽发生器人孔、蒸汽发生器的顶部及反应堆舱室的顶部均敷设隔热保温棉材料层。

压力容器舱室热风机装置及蒸汽发生器舱室热风机装置均包括热风机装置送风系统、热风机装置加热系统及热风机装置温控系统，其中，热风机装置温控系统与热风机装置加热系统的控制端相连接，热风机装置送风系统的出口与热风机装置加热系统的入口相连通；

压力容器舱室热风机装置中热风机装置送风系统的入口与蒸汽发生器舱室回风管相连通，压力容器舱室热风机装置中热风机装置加热系统的出口与第二进风管相连通；

65 蒸汽发生器舱室热风机装置中热风机装置送风系统的入口与压力容器舱室回风管相连通，蒸汽发生器舱室热风机装置中热风机装置加热系统的出口与第一

进风管相连通。

本发明所述的高温气冷堆核电站冷试期间一回路舱室加热方法包括以下步骤：

70 1) 高温气冷堆冷试开始前，压力容器和蒸汽发生器处于常压状态，根据压力容器及蒸汽发生器内金属构件和一回路舱室的环境温度，计算压力容器舱室热风机装置及蒸汽发生器舱室热风机装置所需加热的总功率及总风量；

2) 启动压力容器舱室热风机装置和蒸汽发生器舱室热风机装置，通过第一出风管嘴及第二出风管嘴分别向蒸汽发生器舱室及反应堆舱室内吹入热风，逐步
75 提升蒸汽发生器舱室及反应堆舱室内的温度，当压力容器和蒸汽发生器内金属构件的温度满足试验要求时，通过压力容器舱室热风机装置及蒸汽发生器舱室热风机装置维持蒸汽发生器舱室及反应堆舱室内的温度恒定；

3) 开始进行一回路冷试期间耐压试验，向压力容器和蒸汽发生器内充入空气，将压力容器和蒸汽发生器内的压力升至最高试验压力，进行一回路泄漏率和
80 压力容器的焊缝检测，在此过程中，实时监测压力容器和蒸汽发生器内金属构件的温度，通过动态调整压力容器舱室热风机装置和蒸汽发生器舱室热风机装置的加热功率及风量来维持压力容器和蒸汽发生器内金属构件的温度恒定；

4) 一回路冷试期间耐压试验完成后，开始进行一回路冷试降压过程，即将压力容器和蒸汽发生器内的压力逐步降压至常压，在此过程中，维持压力容器和
85 蒸汽发生器内金属构件的温度恒定，其中，当一回路冷试降压期间发生焊缝泄漏的紧急泄压异常工况时，则提高压力容器舱室热风机装置和蒸汽发生器舱室热风机装置的加热功率及风量，避免压力容器和蒸汽发生器内金属构件的温度下降，一回路冷试降压结束后，停运压力容器舱室热风机装置和蒸汽发生器舱室热风机

装置。

90 本发明具有以下有益效果：

本发明所述的高温气冷堆核电站冷试期间一回路舱室加热系统及方法在具体操作时，通过加热一回路舱室来提升反应堆内金属构件的温度，保证一回路舱室内温度恒定，解决外部环境温度较低时进行一回路冷试存在的问题，另外，本发明中配置两台热风机装置，同时加热使得一回路舱室空间温升分布均匀，升温
95 速率较高，另外，在实际操作时，可以根据实际工程加热过程中风量和风速需求，灵活分配第一出风管嘴及第二出风管嘴的投入数量，提高加热过程的可操作性。

附图说明

为了更清楚的说明本发明实施例的技术方案，下面将对实施例中所需要使用的
100 的附图作简单地介绍，应当理解，以下附图仅示出了本发明的某些实施例，因此不应被看作是对范围的限定，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图获得其他相关的附图。

图 1 为本发明的结构示意图。

其中，1-压力容器舱室热风机装置，2-压力容器，3-热气导管，4-蒸汽发生
105 器，5-第一进风管，61-第一出风管嘴，62-第二出风管嘴，7-压力容器舱室回风管，8-蒸汽发生器舱室热风机装置，9-第二进风管，10-蒸汽发生器舱室回风管，11-压力容器人孔，12-蒸汽发生器人孔，13-热风机装置加热系统，14-热风机装置温控系统，15-混凝土舱室结构体，16-热风机装置送风系统。

具体实施方式

110 为了使本技术领域的人员更好地理解本发明方案，下面将结合本发明实施例

中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本发明一部分的实施例，不是全部的实施例，而并非要限制本发明公开的范围。此外，在以下说明中，省略了对公知结构和技术的描述，以避免不必要的混淆本发明公开的概念。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员
115 在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都应当属于本发明保护的
范围。

在附图中示出了根据本发明公开实施例的各种结构示意图。这些图并非是按
比例绘制的，其中为了清楚表达的目的，放大了某些细节，并且可能省略了某些
细节。图中所示出的各种区域、层的形状及它们之间的相对大小、位置关系仅是
120 示例性的，实际中可能由于制造公差或技术限制而有所偏差，并且本领域技术人
员根据实际所需可以另外设计具有不同形状、大小、相对位置的区域/层。

本发明公开的上下文中，当将一层/元件称作位于另一层/元件“上”时，该
层/元件可以直接位于该另一层/元件上，或者它们之间可以存在居中层/元件。另
外，如果在一种朝向中一层/元件位于另一层/元件“上”，那么当调转朝向时，该
125 层/元件可以位于该另一层/元件“下”。

需要说明的是，本发明的说明书和权利要求书及上述附图中的术语“第一”、
“第二”等是用于区别类似的对象，而不必用于描述特定的顺序或先后次序。应该
理解这样使用的数据在适当情况下可以互换，以便这里描述的本发明的实施例能
够以除了在这里图示或描述的那些以外的顺序实施。此外，术语“包括”和“具有”
130 以及他们的任何变形，意图在于覆盖不排他的包含，例如，包含了一系列步骤或
单元的过程、方法、系统、产品或设备不必限于清楚地列出的那些步骤或单元，
而是可包括没有清楚地列出的或对于这些过程、方法、产品或设备固有的其它步

骤或单元。

下面结合附图对本发明做进一步详细描述：

135 参考图 1，本发明所述的高温气冷堆核电站冷试期间一回路舱室加热系统包括混凝土舱室结构体 15、压力容器 2、蒸汽发生器 4、第一进风管 5、压力容器舱室热风机装置 1、压力容器舱室回风管 7、第二进风管 9、蒸汽发生器舱室热风机装置 8 及蒸汽发生器舱室回风管 10；混凝土舱室结构体 15 内设置有一回路舱室，一回路舱室内分隔为反应堆舱室及蒸汽发生器舱室，其中，压力容器 2 布置
140 于反应堆舱室内，蒸汽发生器 4 布置于蒸汽发生器舱室内，压力容器 2 与蒸汽发生器 4 之间通过热气导管 3 相连通；第一进风管 5 的一端与压力容器舱室热风机装置 1 的出口相连通，第一进风管 5 的另一端插入到反应堆舱室内，第一进风管 5 上设置有若干第一出风管嘴 61，其中，各第一出风管嘴 61 位于反应堆舱室内且位于压力容器 2 的下方，压力容器舱室回风管 7 的一端与压力容器舱室热风机装置 1 的入口相连通，压力容器舱室回风管 7 的另一端插入于反应堆舱室内且位于压力容器 2 的上方；第二进风管 9 的一端与蒸汽发生器舱室热风机装置 8 的出口相连通，第二进风管 9 的另一端插入于蒸汽发生器舱室内，第二进风管 9 上设置
145 有若干第二出风管嘴 62，其中，各第二出风管嘴 62 位于蒸汽发生器舱室内且位于蒸汽发生器 4 的下方，蒸汽发生器舱室回风管 10 的一端与蒸汽发生器舱室热风机装置 8 的入口相连通，蒸汽发生器舱室回风管 10 的另一端插入于蒸汽发生器舱室内且位于蒸汽发生器 4 的上方，各第一出风管嘴 61 等间距分布，各第二出风管嘴 62 等间距分布。
150

反应堆舱室的侧壁上设置有用供压力容器舱室回风管 7 及第一进风管 5 穿过的压力容器人孔 11；蒸汽发生器舱室的侧壁上设置有用供第二进风管 9 及蒸

155 汽发生器舱室回风管 10 穿过的蒸汽发生器人孔 12。

压力容器人孔 11、蒸汽发生器人孔 12、蒸汽发生器 4 的顶部及反应堆舱室的顶部均敷设隔热保温棉材料层。

压力容器舱室热风机装置 1 及蒸汽发生器舱室热风机装置 8 均包括热风机装置送风系统 16、热风机装置加热系统 13 及热风机装置温控系统 14，其中，热风机装置温控系统 14 与热风机装置加热系统 13 的控制端相连接，热风机装置送风系统 16 的出口与热风机装置加热系统 13 的入口相连通；压力容器舱室热风机装置 1 中热风机装置送风系统 16 的入口与压力容器舱室回风管 7 相连通，压力容器舱室热风机装置 1 中热风机装置加热系统 13 的出口与第一进风管 5 相连通；蒸汽发生器舱室热风机装置 8 中热风机装置送风系统 16 的入口与蒸汽发生器舱室回风管 10 相连通，蒸汽发生器舱室热风机装置 8 中热风机装置加热系统 13 的出口与第二进风管 9 相连通。

本发明所述的高温气冷堆核电站冷试期间一回路舱室加热方法包括以下步骤：

1) 高温气冷堆冷试开始前，压力容器 2 和蒸汽发生器 4 处于常压状态，根据压力容器 2 及蒸汽发生器 4 内金属构件和一回路舱室的环境温度，计算压力容器舱室热风机装置 1 及蒸汽发生器舱室热风机装置 8 所需加热的总功率及总风量；

2) 启动压力容器舱室热风机装置 1 和蒸汽发生器舱室热风机装置 8，通过第一出风管嘴 61 及第二出风管嘴 62 分别向蒸汽发生器舱室及反应堆舱室内吹入热风，逐步提升蒸汽发生器舱室及反应堆舱室内的温度，当压力容器 2 和蒸汽发生器 4 内金属构件的温度满足试验要求时，通过压力容器舱室热风机装置 1 及蒸汽发生器舱室热风机装置 8 维持蒸汽发生器舱室及反应堆舱室内的温度恒定；

3) 开始进行一回路冷试期间耐压试验, 向压力容器 2 和蒸汽发生器 4 内充入空气, 将压力容器 2 和蒸汽发生器 4 内的压力升至最高试验压力, 进行一回路泄漏率和压力容器 2 的焊缝检测, 在此过程中, 实时监测压力容器 2 和蒸汽发生器 4 内金属构件的温度, 通过动态调整压力容器舱室热风机装置 1 和蒸汽发生器舱室热风机装置 8 的加热功率及风量来维持压力容器 2 和蒸汽发生器 4 内金属构件的温度恒定;

4) 一回路冷试期间耐压试验完成后, 开始进行一回路冷试降压过程, 即将压力容器 2 和蒸汽发生器 4 内的压力逐步降压至常压, 在此过程中, 维持压力容器 2 和蒸汽发生器 4 内金属构件的温度恒定, 其中, 当一回路冷试降压期间发生焊缝泄漏的紧急泄压异常工况时, 则提高压力容器舱室热风机装置 1 和蒸汽发生器舱室热风机装置 8 的加热功率及风量, 避免压力容器 2 和蒸汽发生器 4 内金属构件的温度下降, 一回路冷试降压结束后, 停运压力容器舱室热风机装置 1 和蒸汽发生器舱室热风机装置 8。

第一出风管嘴 61 及各第二出风管嘴 62 均配置有独立的堵头, 在实际操作时, 可根据出风口风量和风速需求来投入相应数量的第一出风管嘴 61 及第二出风管嘴 62, 其它备用第一出风管嘴 61 及第二出风管嘴 62 通过堵头堵塞。

热风机装置加热系统 13 可以由电热丝或石墨烯发热材料组成。

实施例一

以目前正在建设的 200MW 高温气冷堆示范工程为例, 本发明的具体工作过程为:

1) 高温气冷堆冷试开始前, 压力容器 2 和蒸汽发生器 4 处于常压状态, 根据压力容器 2 及蒸汽发生器 4 内金属构件和一回路舱室的环境温度, 计算校核所

需的压力容器舱室热风机装置 1 和蒸汽发生器舱室热风机装置 8 的加热总功率及
200 总风量。以冷试期间一回路舱室温度为 5°C 为试验工况，根据高温气冷堆一回路
舱室几何体尺寸以及压力容器 2 和蒸汽发生器 4 及其金属构件的主要技术参数为
计算依据，计算得出：反应堆内金属构件温度满足不低于 13°C 要求的情况下，一
回路舱室温度需维持在 30°C 左右，期间需输入的总有效加热功率约为 300KW，
考虑 20%~25% 的热损耗，总有效加热功率需为 380~400KW，风量需求为
205 $33200\sim 44000\text{ m}^3/\text{h}$ ；

2) 启动压力容器舱室热风机装置 1 及蒸汽发生器舱室热风机装置 8，由热风
机装置送风系统 16 将一回路舱室环境空气吹送到热风机装置加热系统 13，空气
通过热风机装置加热系统 13 中电热丝或石墨烯发热材料加热后送入第一出风管
嘴 61 及第二出风管嘴 62 内，同时通过热风机装置温控系统 14 检测热风机装置
210 加热系统 13 加热后热空气温度，并根据热风机装置加热系统 13 加热后风的温度
调节热风机装置加热系统 13 的加热功率，以逐步提升一回路舱室的温度至 30°C 。
当压力容器 2 和蒸汽发生器 4 内金属构件温度满足试验要求（不低于 13°C ），压
力容器舱室热风机装置 1 和蒸汽发生器舱室热风机装置 8 调整至平衡状态并保持
连续运行，维持一回路舱室温度恒定至 30°C ；

215 3) 压力容器 2 和蒸汽发生器 4 内开始充入空气，开始一回路冷试升压试验，
逐步将压力容器 2 和蒸汽发生器 4 内的压力升至最高试验压力 9.0MPa，进行一
回路泄漏率和压力容器 2 焊缝检测，该阶段需实时监测压力容器 2 和蒸汽发生器
4 内金属构件的温度，通过动态调整压力容器舱室热风机装置 1 和蒸汽发生器舱
室热风机装置 8 的加热功率和风量，以维持金属构件温度恒定；

220 4) 一回路冷试期间耐压试验完成后，开始一回路冷试降压过程，压力容器 2

和蒸汽发生器 4 内的压力逐步降压至常压，试验中维持金属构件温度恒定，在此过程中，当一回路冷试期间发生焊缝不合格，泄漏率不满足标准（ $\leq 0.1\%/d$ ）等紧急泄压异常工况时，则调整压力容器舱室热风机装置 1 和蒸汽发生器舱室热风机装置 8 的加热功率和风量，避免压力容器 2 和蒸汽发生器 4 内金属构件温度快速下降，试验结束后，停运压力容器舱室热风机装置 1 和蒸汽发生器舱室热风机装置 8。

以上内容仅为说明本发明的技术思想，不能以此限定本发明的保护范围，凡是按照本发明提出的技术思想，在技术方案基础上所做的任何改动，均落入本发明权利要求书的保护范围之内。

1. 一种高温气冷堆核电站冷试期间一回路舱室加热系统，其特征在于，包括混凝土舱室结构体（15）、压力容器（2）、蒸汽发生器（4）、第一进风管（5）、压力容器舱室热风机装置（1）、压力容器舱室回风管（7）、第二进风管（9）、蒸汽发生器舱室热风机装置（8）及蒸汽发生器舱室回风管（10）；

5 混凝土舱室结构体（15）内设置有一回路舱室，一回路舱室内分隔为反应堆舱室及蒸汽发生器舱室，其中，压力容器（2）布置于反应堆舱室内，蒸汽发生器（4）布置于蒸汽发生器舱室内，压力容器（2）与蒸汽发生器（4）之间通过热气导管（3）相连通；

10 第一进风管（5）的一端与压力容器舱室热风机装置（1）的出口相连通，第一进风管（5）的另一端插入到反应堆舱室内，第一进风管（5）上设置有若干第一出风管嘴（61），其中，各第一出风管嘴（61）位于反应堆舱室内且位于压力容器（2）的下方，压力容器舱室回风管（7）的一端与压力容器舱室热风机装置（1）的入口相连通，压力容器舱室回风管（7）的另一端插入于反应堆舱室内且位于压力容器（2）的上方；

15 第二进风管（9）的一端与蒸汽发生器舱室热风机装置（8）的出口相连通，第二进风管（9）的另一端插入于蒸汽发生器舱室内，第二进风管（9）上设置有若干第二出风管嘴（62），其中，各第二出风管嘴（62）位于蒸汽发生器舱室内且位于蒸汽发生器（4）的下方，蒸汽发生器舱室回风管（10）的一端与蒸汽发生器舱室热风机装置（8）的入口相连通，蒸汽发生器舱室回风管（10）的另一端插入于蒸汽发生器舱室内且位于蒸汽发生器（4）的上方。

2. 根据权利要求1所述的高温气冷堆核电站冷试期间一回路舱室加热系统，其特征在于，反应堆舱室的侧壁上设置有用供压力容器舱室回风管（7）及第

一进风管（5）穿过的压力容器人孔（11）。

3. 根据权利要求1所述的高温气冷堆核电站冷试期间一回路舱室加热系统，
25 其特征在于，蒸汽发生器舱室的侧壁上设置有助于供第二进风管（9）及蒸汽发生器舱室回风管（10）穿过的蒸汽发生人孔（12）。

4. 根据权利要求1所述的高温气冷堆核电站冷试期间一回路舱室加热系统，
其特征在于，各第一出风管嘴（61）等间距分布，各第二出风管嘴（62）等间距分布。

30 5. 根据权利要求1所述的高温气冷堆核电站冷试期间一回路舱室加热系统，
其特征在于，压力容器人孔（11）、蒸汽发生人孔（12）、蒸汽发生器（4）的顶部及反应堆舱室的顶部均敷设隔热保温棉材料层。

6. 根据权利要求1所述的高温气冷堆核电站冷试期间一回路舱室加热系统，
其特征在于，压力容器舱室热风机装置（1）及蒸汽发生器舱室热风机装置（8）
35 均包括热风机装置送风系统（16）、热风机装置加热系统（13）及热风机装置温控系统（14），其中，热风机装置温控系统（14）与热风机装置加热系统（13）的控制端相连接，热风机装置送风系统（16）的出口与热风机装置加热系统（13）的入口相连通；

压力容器舱室热风机装置（1）中热风机装置送风系统（16）的入口与蒸汽
40 发生器舱室回风管（10）相连通，压力容器舱室热风机装置（1）中热风机装置加热系统（13）的出口与第二进风管（9）相连通；

蒸汽发生器舱室热风机装置（8）中热风机装置送风系统（16）的入口与压力容器舱室回风管（7）相连通，蒸汽发生器舱室热风机装置（8）中热风机装置加热系统（13）的出口与第一进风管（5）相连通。

45 7. 一种高温气冷堆核电站冷试期间一回路舱室加热方法，其特征在于，包括以下步骤：

1) 高温气冷堆冷试开始前，压力容器（2）和蒸汽发生器（4）处于常压状态，根据压力容器（2）及蒸汽发生器（4）内金属构件和一回路舱室的环境温度，计算压力容器舱室热风机装置（1）及蒸汽发生器舱室热风机装置（8）所需加热的
50 的总功率及总风量；

2) 启动压力容器舱室热风机装置（1）和蒸汽发生器舱室热风机装置（8），通过第一出风管嘴（61）及第二出风管嘴（62）分别向蒸汽发生器舱室及反应堆舱室内吹入热风，逐步提升蒸汽发生器舱室及反应堆舱室内的温度，当压力容器（2）和蒸汽发生器（4）内金属构件的温度满足试验要求时，通过压力容器舱室
55 热风机装置（1）及蒸汽发生器舱室热风机装置（8）维持蒸汽发生器舱室及反应堆舱室内的温度恒定；

3) 开始进行一回路冷试期间耐压试验，向压力容器（2）和蒸汽发生器（4）内充入空气，将压力容器（2）和蒸汽发生器（4）内的压力升至最高试验压力，进行一回路泄漏率和压力容器（2）的焊缝检测，在此过程中，实时监测压力容器（2）和蒸汽发生器（4）内金属构件的温度，通过动态调整压力容器舱室热风机装置（1）和蒸汽发生器舱室热风机装置（8）的加热功率及风量来维持压力容器（2）和蒸汽发生器（4）内金属构件的温度恒定；
60

4) 一回路冷试期间耐压试验完成后，开始进行一回路冷试降压过程，即将压力容器（2）和蒸汽发生器（4）内的压力逐步降压至常压，在此过程中，维持
65 压力容器（2）和蒸汽发生器（4）内金属构件的温度恒定，其中，当一回路冷试降压期间发生焊缝泄漏的紧急泄压异常工况时，则提高压力容器舱室热风机装置

(1) 和蒸汽发生器舱室热风机装置 (8) 的加热功率及风量, 避免压力容器 (2) 和蒸汽发生器 (4) 内金属构件的温度下降, 一回路冷试降压结束后, 停运压力容器舱室热风机装置 (1) 和蒸汽发生器舱室热风机装置 (8)。

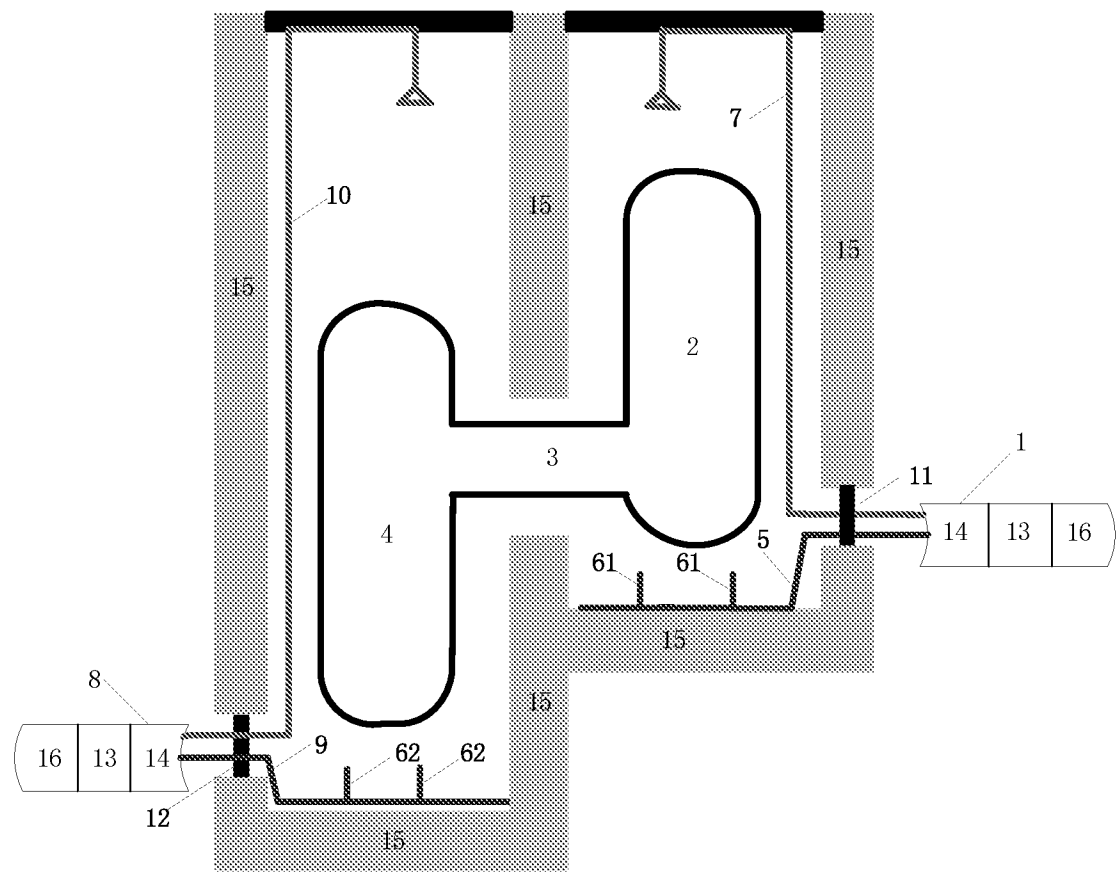


图 1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2021/078749

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G21D 1/00(2006.01)i; G21D 1/02(2006.01)i; G21D 3/00(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G21D; F22B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT, CNKI, EPODOC, WPI, USTXT, EPTXT, WOTXT: 西安热工研究院, 高温气冷堆, 高温气冷反应堆, 核电站, 冷试, 一回路, 舱室, 加热, 加温, 调节, 压力容器, 蒸汽发生器, 进风管, 回风管, 出风管, 热风机, 空调, 风管嘴, 下方, 上方, 温度, 恒定, 通风, 热风, high temperature gas cooled reactor, nuclear, plant, loop, primary, space, compart, vessel, heat???, warm, steam generator, blast pipe, air line, return air, nozzle, constant, sirocco, hot, air conditioning

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 111768883 A (XI'AN THERMAL POWER RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.) 13 October 2020 (2020-10-13) claims 1-7, description paragraphs [0005]-[0043], figure 1	1-7
PX	CN 212411591 U (XI'AN THERMAL POWER RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.) 26 January 2021 (2021-01-26) claims 1-6, description paragraphs [0005]-[0038], figure 1	1-7
X	CN 111145921 A (XI'AN THERMAL POWER RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.) 12 May 2020 (2020-05-12) description, paragraphs [0004]-[0037], figure 1	1-7
A	CN 108278586 A (XI'AN THERMAL POWER RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.) 13 July 2018 (2018-07-13) entire document	1-7
A	CN 205789136 U (XI'AN THERMAL POWER RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.) 07 December 2016 (2016-12-07) entire document	1-7



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date
 “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 “X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 “Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 “&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

11 May 2021

Date of mailing of the international search report

27 May 2021

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2021/078749**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 101714413 A (TSINGHUA UNIVERSITY) 26 May 2010 (2010-05-26) entire document	1-7
A	CN 105957570 A (XI'AN THERMAL POWER RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.) 21 September 2016 (2016-09-21) entire document	1-7
A	US 4725400 A (HOCHTEMPERATUR-REAKTORBAU G.M.B.H.) 16 February 1988 (1988-02-16) entire document	1-7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2021/078749

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	111768883	A	13 October 2020	CN	212411591	U	26 January 2021
CN	212411591	U	26 January 2021	CN	111768883	A	13 October 2020
CN	111145921	A	12 May 2020	CN	211507135	U	15 September 2020
CN	108278586	A	13 July 2018	CN	207962596	U	12 October 2018
CN	205789136	U	07 December 2016	None			
CN	101714413	A	26 May 2010	RU	2012126055	A	10 February 2014
				EP	2518733	B1	30 May 2018
				BR	112012015552	A2	14 March 2017
				HU	E039708	T2	28 January 2019
				JP	2013515946	A	09 May 2013
				PL	2518733	T3	30 November 2018
				CN	101714413	B	25 July 2012
				RU	2515496	C2	10 May 2014
				CA	2785255	A1	30 June 2011
				US	2012269314	A1	25 October 2012
				EP	2518733	A1	31 October 2012
				BR	112012015552	B1	12 November 2019
				KR	101454089	B1	22 October 2014
				EP	2518733	A4	08 July 2015
				JP	5645283	B2	24 December 2014
				WO	2011075923	A1	30 June 2011
				MY	166136	A	06 June 2018
				ZA	201204897	B	25 September 2013
				KR	20120086358	A	02 August 2012
				CA	2785255	C	23 June 2015
				US	9111652	B2	18 August 2015
CN	105957570	A	21 September 2016	CN	105957570	B	03 October 2017
US	4725400	A	16 February 1988	JP	S61148388	A	07 July 1986
				JP	H0556832	B2	20 August 1993
				DE	3446141	A1	19 June 1986
				DE	3446141	C2	18 February 1993

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2021/078749

A. 主题的分类

G21D 1/00(2006.01)i; G21D 1/02(2006.01)i; G21D 3/00(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

G21D; F22B

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CNPAT, CNKI, EPDOC, WPI, USTXT, EPTXT, WO-TXT: 西安热工研究院, 高温气冷堆, 高温气冷反应堆, 核电站, 冷试, 一回路, 舱室, 加热, 加温, 调节, 压力容器, 蒸汽发生器, 进风管, 回风管, 出风管, 热风机, 空调, 风管嘴, 下方, 上方, 温度, 恒定, 通风, 热风, high temperature gas cooled reactor, nuclear, plant, loop, primary, space, compart, vessel, heat???, warm, steam generator, blast pipe, air line, return air, nozzle, constant, sirocco, hot, air conditioning

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 111768883 A (西安热工研究院有限公司) 2020年 10月 13日 (2020 - 10 - 13) 权利要求1-7, 说明书第[0005]-[0043]段, 图1	1-7
PX	CN 212411591 U (西安热工研究所有限公司) 2021年 1月 26日 (2021 - 01 - 26) 权利要求1-6, 说明书第[0005]-[0038]段, 图1	1-7
X	CN 111145921 A (西安热工研究院有限公司) 2020年 5月 12日 (2020 - 05 - 12) 说明书第[0004]-[0037]段, 图1	1-7
A	CN 108278586 A (西安热工研究院有限公司) 2018年 7月 13日 (2018 - 07 - 13) 全文	1-7
A	CN 205789136 U (西安热工研究院有限公司) 2016年 12月 7日 (2016 - 12 - 07) 全文	1-7
A	CN 101714413 A (清华大学) 2010年 5月 26日 (2010 - 05 - 26) 全文	1-7
A	CN 105957570 A (西安热工研究院有限公司) 2016年 9月 21日 (2016 - 09 - 21) 全文	1-7

☒ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2021年 5月 11日

国际检索报告邮寄日期

2021年 5月 27日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局(ISA/CN)

中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10)62019451

授权官员

杨庆林

电话号码 86-(10)-53962384

C. 相关文件		
类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	US 4725400 A (HOCHTEMPERATUR-REAKTORBAU G. M. B. H.) 1988年 2月 16日 (1988 - 02 - 16) 全文	1-7

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2021/078749

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	111768883	A	2020年 10月 13日	CN	212411591	U	2021年 1月 26日
CN	212411591	U	2021年 1月 26日	CN	111768883	A	2020年 10月 13日
CN	111145921	A	2020年 5月 12日	CN	211507135	U	2020年 9月 15日
CN	108278586	A	2018年 7月 13日	CN	207962596	U	2018年 10月 12日
CN	205789136	U	2016年 12月 7日	无			
CN	101714413	A	2010年 5月 26日	RU	2012126055	A	2014年 2月 10日
				EP	2518733	B1	2018年 5月 30日
				BR	112012015552	A2	2017年 3月 14日
				HU	E039708	T2	2019年 1月 28日
				JP	2013515946	A	2013年 5月 9日
				PL	2518733	T3	2018年 11月 30日
				CN	101714413	B	2012年 7月 25日
				RU	2515496	C2	2014年 5月 10日
				CA	2785255	A1	2011年 6月 30日
				US	2012269314	A1	2012年 10月 25日
				EP	2518733	A1	2012年 10月 31日
				BR	112012015552	B1	2019年 11月 12日
				KR	101454089	B1	2014年 10月 22日
				EP	2518733	A4	2015年 7月 8日
				JP	5645283	B2	2014年 12月 24日
				WO	2011075923	A1	2011年 6月 30日
				MY	166136	A	2018年 6月 6日
				ZA	201204897	B	2013年 9月 25日
				KR	20120086358	A	2012年 8月 2日
				CA	2785255	C	2015年 6月 23日
				US	9111652	B2	2015年 8月 18日
CN	105957570	A	2016年 9月 21日	CN	105957570	B	2017年 10月 3日
US	4725400	A	1988年 2月 16日	JP	S61148388	A	1986年 7月 7日
				JP	H0556832	B2	1993年 8月 20日
				DE	3446141	A1	1986年 6月 19日
				DE	3446141	C2	1993年 2月 18日