

(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
2018 年 6 月 21 日 (21.06.2018)



(10) 国际公布号
WO 2018/108138 A1

(51) 国际专利分类号:
G21C 17/04 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2017/116334

(22) 国际申请日: 2017 年 12 月 15 日 (15.12.2017)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201611161278.2 2016 年 12 月 15 日 (15.12.2016) CN

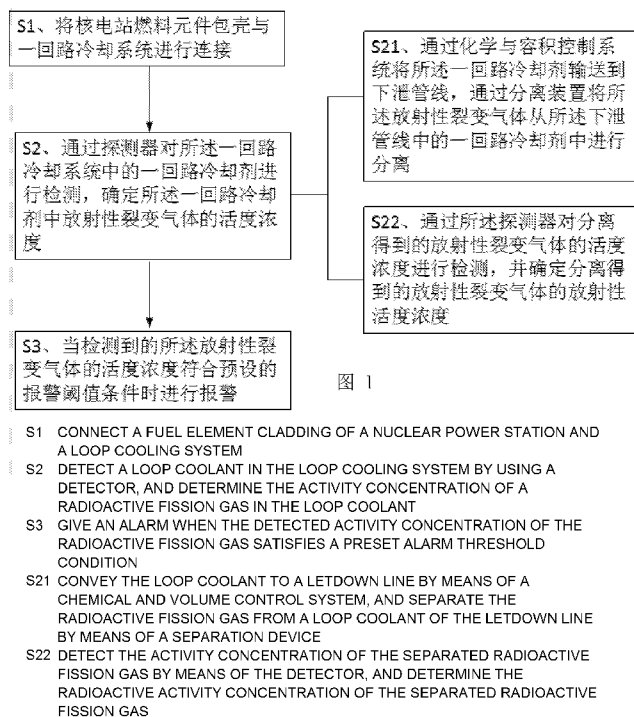
(71) 申请人: 中广核工程有限公司 (CHINA NUCLEAR POWER ENGINEERING COMPANY LTD.) [CN/CN]; 中国广东省深圳市大鹏新区鹏飞路大亚湾核电基地工程公司办公大楼, Guangdong 518000 (CN)。 中国广核集团有限公司 (CHINA GUANGDONG NUCLEAR POWER

HOLDING CORPORATION) [CN/CN]; 中国广东省深圳福田区上步中路 1001 号深圳科技大厦 17-19 楼, Guangdong 518000 (CN)。

(72) 发明人: 王骄亚 (WANG, Jiaoya); 中国广东省深圳市大鹏新区鹏飞路大亚湾核电基地工程公司办公大楼, Guangdong 518000 (CN)。 孙瑜 (SUN, Yu); 中国广东省深圳市大鹏新区鹏飞路大亚湾核电基地工程公司办公大楼, Guangdong 518000 (CN)。 凌君 (LING, Jun); 中国广东省深圳市大鹏新区鹏飞路大亚湾核电基地工程公司办公大楼, Guangdong 518000 (CN)。 周欣建 (ZHOU, Xinjian); 中国广东省深圳市大鹏新区鹏飞路大亚湾核电基地工程公司办公大楼, Guangdong 518000 (CN)。 刘洪涛 (LIU, Hongtao); 中国广东省深圳市大鹏新区鹏飞路大亚湾核电基地工程公司办公大楼, Guangdong 518000 (CN)。 李磊 (LI, Lei);

(54) Title: METHOD AND SYSTEM FOR DETECTING INTEGRITY OF FUEL ELEMENT CLADDING OF NUCLEAR POWER STATION

(54) 发明名称: 核电站燃料元件包壳完整性的检测方法和系统



(57) Abstract: A method and system for detecting the integrity of a fuel element cladding of a nuclear power station. The system comprises a detection assembly (6), a comparison assembly (7), and an alarm assembly (8). The detection assembly (6) is used for detecting and outputting the activity concentration of an inert gas contained in a loop coolant. The comparison assembly (7) is used for receiving the outputted obtained activity concentration, comparing the detected activity concentration with a preset alarm threshold condition, and generating and sending an alarm signal if the alarm threshold condition is satisfied. The alarm assembly (8) is used

中国广东省深圳市大鹏新区鹏飞路大亚湾核电基地工程公司办公大楼, Guangdong 518000 (CN)。

(74) 代理人: 深圳市顺天达专利商标代理有限公司 (SHENZHEN STANDARD PATENT & TRADEMARK AGENT LTD.); 中国广东省深圳市福田区深南大道1056号银座国际大厦810-815室, Guangdong 518040 (CN)。

(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, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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))。

for receiving the sent alarm signal and giving an alarm according to a preset alarm mode. In the method, the breakage rate of a fuel element cladding is detected by monitoring the activity concentration of the inert gas contained in the loop coolant, the feasibility and the sensitivity are higher, and mistake measurement possibly caused by a non-fuel element failure can be avoided; in addition, one or more alarm thresholds can be set, and the breakage rate limit value of the fuel element cladding concerned during the safe operation of the nuclear power plant can be quantitatively monitored.

(57) 摘要: 一种核电站燃料元件包壳完整性的检测方法和系统, 其包括用于检测一回路冷却剂中所含的惰性气体的活度浓度并输出的探测组件(6); 用于接收输出的所述检测到的活度浓度, 并将检测到的所述活度浓度与预设的报警阈值条件进行比对, 若符合报警阈值条件, 则产生报警信号并发送的比对组件(7); 以及用于接收发送的报警信号, 按照预设的报警模式进行报警的报警组件(8)。该方法通过监测一回路冷却剂中的惰性气体的活度浓度来对燃料元件包壳的破损率进行检测, 具有更高的可行性和灵敏度, 可以避免由于非燃料元件破损原因而可能导致的误测量; 同时可设定一个或多个报警阈值, 可实现对核电厂安全运行所关心的燃料元件包壳破损率限值进行定量监测。

说明书

发明名称：核电站燃料元件包壳完整性的检测方法和系统

技术领域

[0001] 本发明涉及核电站仪控领域，尤其涉及一种核电站燃料元件包壳完整性的检测方法和系统。

背景技术

[0002] 核电站有三道防护屏障，其中第1道屏障即为燃料元件包壳，因此需要对在运核电站燃料元件包壳完整性进行在线监测，以确保核电厂能够安全运行。

[0003] 当燃料元件未破损时，一回路冷却剂中的放射性主要来自活化产物和腐蚀产物，其产生的 γ 剂量率水平相对较低；如果燃料元件包壳破损，则包含在燃料元件中的裂变产物（主要是惰性气体）也将进入到一回路冷却剂中，此时一回路冷却剂的 γ 剂量率将增加。

[0004] 现有技术中，核电厂设置化学与容积控制系统（简称化容系统）用于控制一回路冷却剂的总量与组份。而辐射监测设备则布置在化容系统管线旁边，用于监测一回路冷却剂中的放射性参数，用于判断核燃料元件包壳破损情况。例如，通过在设置化容系统下泄管线上的 γ 辐射探测器（例如电离室等）来进行实时探测，通过监测一回路冷却剂 γ 剂量率的变化实现对燃料元件包壳完整性的监测。

[0005] 但上述现有技术中存在如下缺陷：

[0006] 1) 由于非燃料元件破损等原因也会导致冷却剂或环境的 γ 剂量率增加，因此将会影响到测量方法的可靠性；

[0007] 2) 现有方法只能定性监测破损率，而不能定量监测燃料元件包壳的破损率。

发明概述

技术问题

问题的解决方案

技术解决方案

[0008] 针对上述现有技术中存在的问题，本发明提供了一种核电站燃料元件包壳完整性的检测方法和系统，通过监测从一回路冷却剂中分离出的惰性气体的活度浓

度来达到定量监测燃料包壳破损率的目的。

[0009] 本发明就上述技术问题而提出的技术方案如下：

[0010] 一方面，提供一种核电站燃料元件包壳完整性的检测方法，包括如下步骤：

[0011] S1、将核电站燃料元件包壳与一回路冷却系统进行连接；

[0012] S2、通过探测器对所述一回路冷却系统中的一回路冷却剂进行检测，确定所述一回路冷却剂中放射性裂变气体的活度浓度；

[0013] S3、当检测到的所述放射性裂变气体的活度浓度符合预设的报警阈值条件时进行报警。

[0014] 优选的，所述步骤S2具体包括：

[0015] S21、通过化学与容积控制系统将所述一回路冷却剂输送到下泄管线，通过分离装置将所述放射性裂变气体从所述下泄管线中的一回路冷却剂中进行分离；

[0016] S22、通过所述探测器对分离得到的放射性裂变气体的活度浓度进行检测，并确定分离得到的放射性裂变气体的放射性活度浓度。

[0017] 优选的，所述放射性裂变气体为惰性气体。

[0018] 优选的，所述分离装置为气水分离装置；所述探测器包括NaI和电离室探测器。

[0019] 优选的，步骤S3中，所述报警阈值为基于所述燃料元件包壳破损率预设的放射性裂变气体的活度浓度；当检测到的所述放射性裂变气体的活度浓度超过所述预设的放射性裂变气体的活度浓度时进行报警。

[0020] 优选的，所述基于所述燃料元件包壳破损率预设的放射性裂变气体的活度浓度至少有一个；当检测到的放射性裂变气体的活度浓度超过其中任一所述预设的放射性裂变气体的活度浓度时，采用与该所述预设的放射性裂变气体的活度浓度对应的模式进行报警。

[0021] 优选的，所述基于所述燃料元件包壳破损率预设的放射性裂变气体的活度浓度包括：

[0022] 当所述燃料元件包壳破损率为预设的第一破损率时对应的放射性裂变气体的第一活度浓度；

[0023] 以及当所述燃料元件包壳破损率为预设的第二破损率时对应的放射性裂变气体

的第二活度浓度；

[0024] 当所述放射性裂变气体的活度浓度超过所述第一活度浓度时，以与所述第一活度浓度对应的第一模式进行报警；

[0025] 当所述放射性裂变气体的活度浓度超过所述第二活度浓度时，以与所述第二活度浓度对应的第二模式进行报警。

[0026] 另一方面，还提供一种核电站燃料元件包壳完整性的检测系统，包括：

[0027] 探测组件，其连接与核电站燃料元件包壳连接的一回路冷却系统，用于检测所述一回路冷却系统的一回路冷却剂中所含的放射性裂变气体的活度浓度并输出；

[0028] 比对组件，其连接所述探测组件，用于接收输出的所述检测到的活度浓度，并将检测到的所述活度浓度与预设的报警阈值条件进行比对，若符合报警阈值条件，则产生报警信号并发送；

[0029] 以及报警组件，其连接所述比对组件，用于接收发送的报警信号，按照预设的报警模式进行报警。

[0030] 优选的，还包括：

[0031] 化学与容积控制系统，其连接所述一回路冷却系统，用于控制所述一回路冷却剂的总量与组分，并将所述一回路冷却剂输送至与所述化学与容积控制系统连接的下泄管线；

[0032] 以及与所述下泄管线连接的分离装置，所述分离装置用于将所述放射性裂变气体从所述下泄管线中的一回路冷却剂中进行分离，并将分离得到的放射性裂变气体输送至与所述分离装置连接的探测组件。

[0033] 优选的，所述放射性裂变气体为惰性气体。

[0034] 优选的，所述分离装置为气水分离装置；所述探测器包括NaI和电离室探测器。

[0035] 优选的，所述报警阈值为基于所述燃料元件包壳破损率预设的放射性裂变气体的活度浓度；当检测到的所述放射性裂变气体的活度浓度超过所述预设的放射性裂变气体的活度浓度时，所述对比组件产生报警信号并发送。

[0036] 优选的，所述基于所述燃料元件包壳破损率预设的放射性裂变气体的活度浓度

至少有一个；

[0037] 当检测到的放射性裂变气体的活度浓度超过其中任一所述预设的射性裂变气体的活度浓度时，所述对比组件产生不同的报警信号并发送；所述报警组件根据接收到的不同的报警信号，采用与该报警信号对应的模式进行报警。

[0038] 优选的，所述基于所述燃料元件包壳破损率预设的放射性裂变气体的活度浓度包括：

[0039] 当所述燃料元件包壳破损率为预设的第一破损率时对应的放射性裂变气体的第一活度浓度；

[0040] 以及当所述燃料元件包壳破损率为预设的第二破损率时对应的放射性裂变气体的第二活度浓度；

[0041] 当所述检测到的放射性裂变气体的活度浓度超过所述第一活度浓度时，所述对比组件产生第一报警信号并发送；所述报警组件根据接收到的第一报警信号，采用与该第一报警信号对应的第一模式进行报警；

[0042] 当所述检测到的放射性裂变气体的活度浓度超过所述第二活度浓度时，所述对比组件产生第二报警信号并发送；所述报警组件根据接收到的第二报警信号，采用与该第二报警信号对应的第二模式进行报警。

发明的有益效果

有益效果

[0043] 本发明的技术方案具有如下技术效果：

[0044] 1) 本发明可通过监测一回路冷却剂中的惰性气体的活度浓度来对燃料元包壳的破损率进行检测，其相对于现有的定性监测破损率的方法而言，具有更高的可行性和灵敏度，可以避免由于非燃料元件破损原因而可能导致的误测量；

[0045] 2) 本发明可设定1个或多个报警阈值，可实现对核电厂安全运行所关心的燃料元件包壳破损率限值进行定量监测。

对附图的简要说明

附图说明

[0046] 为了更清楚地说明本发明实施例中的技术方案，下面将对实施例描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本发明的一

些实施例，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的附图。

[0047] 图1是本发明实施例一中的燃料元件包壳完整性的检测方法流程图；

[0048] 图2是本发明实施例一中的燃料元件包壳完整性的检测系统结构示意图。

发明实施例

本发明的实施方式

[0049] 本发明针对现有技术中存在的只能通过监测一回路冷却剂 γ 剂量率的变化来对燃料元件包壳完整性进行定性监测，而不能定量检测，以及由于非燃料元件破损等原因造成的误测量的缺陷，提供了一种核电站燃料元件包壳完整性的检测方法和系统。其核心思想是：惰性气体产生于核电站反应堆内部核燃料的核裂变过程，裂变过程中放出核能以及裂变产物、衰变产物，其中裂变产物和衰变产物中包含惰性气体。若燃料元件包壳产生破损，则只有所述惰性气体才能释放出燃料元件包壳，本发明通过监测一回路冷却剂中的惰性气体来达到定量监测燃料包壳破损率的目的。

[0050] 实施例一：

[0051] 图1示出了本发明中核电站燃料元件包壳完整性的检测方法流程图，其具体包括如下步骤：

[0052] S1、将核电站燃料元件包壳与一回路冷却系统进行连接；如果燃料元件包壳破损，则包含在燃料元件中的放射性裂变和衰变产物将进入到所述一回路冷却系统的冷却剂中；

[0053] S2、通过探测器对所述一回路冷却系统中的一回路冷却剂进行检测，确定所述一回路冷却剂中放射性裂变气体的活度浓度；惰性气体产生于反应堆内部核燃料的核裂变过程，裂变过程中放出核能以及裂变产物、衰变产物，其中裂变产物和衰变产物中包含惰性气体，因此，上述步骤S2中的所述放射性裂变气体优选为惰性气体，所述探测器包括但不限于是NaI和电离室探测器，其他任何可检测所述一回路冷却剂中的惰性气体放射性活度浓度的检测装置均落入本发明的保护范围内；

[0054] S3、当检测到的所述放射性裂变气体的活度浓度符合预设的报警阈值条件时进

行报警。

[0055] 优选的，步骤S2中具体包括：

[0056] S21、通过化学与容积控制系统将所述一回路冷却剂输送到下泄管线，通过分离装置将所述放射性裂变气体从所述下泄管线中的一回路冷却剂中进行分离；

[0057] S22、通过所述探测器对分离得到的放射性裂变气体的活度浓度进行检测，并确定分离得到的放射性裂变气体的放射性活度浓度。

[0058] 本实施例中，所述分离装置为气水分离装置，通过上述气水分离装置现将惰性气体从所述一回路冷却剂中分离出来，然后再进行检测，可避免由除惰性气体外的其他能产生放射性的物质所带来的活度浓度误差，由此极大的提高检测的可行性和灵敏度，可以避免由于非燃料元件破损原因而可能导致的误测量。

[0059] 进一步的，步骤S3中，所述报警阈值为基于所述燃料元件包壳破损率预设的放射性裂变气体的活度浓度；当检测到的所述放射性裂变气体的活度浓度超过所述预设的射性裂变气体的活度浓度时进行报警；

[0060] 所述基于所述燃料元件包壳破损率预设的放射性裂变气体的活度浓度至少有一个；当检测到的放射性裂变气体的活度浓度超过其中任一所述预设的射性裂变气体的活度浓度时，采用与该所述预设的放射性裂变气体的活度浓度对应的模式进行报警。

[0061] 具体的，所述基于所述燃料元件包壳破损率预设的放射性裂变气体的活度浓度包括：

[0062] 当所述燃料元件包壳破损率为预设的第一破损率时对应的放射性裂变气体的第一活度浓度；优选的，所述第一破损率为0.25%时对应的第一活度浓度为 $b1=1E10Bq/m^3$ ；

[0063] 及当所述燃料元件包壳破损率为预设的第二破损率时对应的放射性裂变气体的第二活度浓度；优选的，所述第二破损率为时对应的所述第二活度浓度为 $b2=1E11Bq/m^3$ ；

[0064] 当所述放射性裂变气体的活度浓度超过所述第一活度浓度时，以与所述第一活度浓度对应的第一模式进行报警；所述报警方式可为声光报警方式，如采用黄色的指示灯或者连续的声响进行报警；

- [0065] 当所述放射性裂变气体的活度浓度超过所述第二活度浓度时，以与所述第二活度浓度对应的第二模式进行报警；同样的，所述报警方式可为声光报警方式，如采用红色的指示灯或者间断的声响进行报警。
- [0066] 由此，核电厂操纵员在发现燃料包壳破损后，可根据不同的报警方式来判断燃料包壳元件破损的程度，由此将采取不同的核电厂运行策略，以减少放射性物质的释放和传播。
- [0067] 实施例二：
- [0068] 图1示出了本发明中核电站燃料元件包壳完整性的检测方法系统结构示意图，其具体包括：
- [0069] 探测组件6，其连接与核电站燃料元件包壳1连接的一回路冷却系统2，用于检测所述一回路冷却系统2的一回路冷却剂中所含的放射性裂变气体的活度浓度并输出；
- [0070] 比对组件7，其连接所述探测组件6，用于接收输出的所述检测到的活度浓度，并将检测到的所述活度浓度与预设的报警阈值条件进行比对，若符合报警阈值条件，则产生报警信号并发送；
- [0071] 以及报警组件8，其连接所述比对组件7，用于接收发送的报警信号，按照预设的报警模式进行报警。
- [0072] 优选的，在所述探测组件6上游还包括：
- [0073] 化学与容积控制系统3，其连接所述一回路冷却系统2，用于控制所述一回路冷却剂的总量与组分，并将所述一回路冷却剂输送至与所述化学与容积控制系统2连接的下泄管线4；
- [0074] 以及与所述下泄管线4连接的分离装置5，所述分离装置5用于将所述放射性裂变气体从所述下泄管线4中的一回路冷却剂中进行分离，并将分离得到的放射性裂变气体输送至与所述分离装置5连接的探测组件6。
- [0075] 此外，本实施例中所述报警阈值的设定、报警信号的产生以及报警方式均与实施例一相同，在此不再赘述。
- [0076] 需要说明的是，本发明中的检测方法以及系统可运用于核电站压水堆燃料元件包壳完整性的检测。

- [0077] 综上所述，本发明可通过监测一回路冷却剂中的惰性气体的活度浓度来对核电站燃料元包壳的破损率进行检测，其相对于现有的定性监测破损率的方法而言，具有更高的可行性和灵敏度，可以避免由于非燃料元件破损原因而可能导致的误测量；且可设定1个或多个报警阈值，可实现对核电厂安全运行所关心的燃料元件包壳破损率限值进行定量监测。
- [0078] 本领域普通技术人员可以理解实现上述实施例的全部或部分步骤可以通过硬件来完成，也可以通过程序来指令相关的硬件完成，所述的程序可以存储于一种计算机可读存储介质中，上述提到的存储介质可以是只读存储器，磁盘或光盘等。
- [0079] 以上所述仅为本发明的较佳实施例，并不用以限制本发明，凡在本发明的精神和原则之内，所作的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

权利要求书

- [权利要求 1] 一种核电站燃料元件包壳完整性的检测方法，其特征在于，包括如下步骤：
- S1、将核电站燃料元件包壳与一回路冷却系统进行连接；
- S2、通过探测器对所述一回路冷却系统中的一回路冷却剂进行检测，确定所述一回路冷却剂中放射性裂变气体的活度浓度；
- S3、当检测到的所述放射性裂变气体的活度浓度符合预设的报警阈值条件时进行报警。
- [权利要求 2] 如权利要求1所述的方法，其特征在于，所述步骤S2具体包括：
- S21、通过化学与容积控制系统将所述一回路冷却剂输送到下泄管线，通过分离装置将所述放射性裂变气体从所述下泄管线中的一回路冷却剂中进行分离；
- S22、通过所述探测器对分离得到的放射性裂变气体的活度浓度进行检测，并确定分离得到的放射性裂变气体的放射性活度浓度。
- [权利要求 3] 如权利要求2所述的方法，其特征在于，所述放射性裂变气体为惰性气体。
- [权利要求 4] 如权利要求2所述的方法，其特征在于，所述分离装置为气水分离装置；所述探测器包括NaI和电离室探测器。
- [权利要求 5] 如权利要求1所述的方法，其特征在于，步骤S3中，所述报警阈值为基于所述燃料元件包壳破损率预设的放射性裂变气体的活度浓度；当检测到的所述放射性裂变气体的活度浓度超过所述预设的放射性裂变气体的活度浓度时进行报警。
- [权利要求 6] 如权利要求5所述的方法，其特征在于，所述基于所述燃料元件包壳破损率预设的放射性裂变气体的活度浓度至少有一个；当检测到的放射性裂变气体的活度浓度超过其中任一所述预设的放射性裂变气体的活度浓度时，采用与该所述预设的放射性裂变气体的活度浓度对应的模式进行报警。
- [权利要求 7] 如权利要求6所述的方法，其特征在于，所述基于所述燃料元件包壳

破损率预设的放射性裂变气体的活度浓度包括：

当所述燃料元件包壳破损率为预设的第一破损率时对应的放射性裂变气体的第一活度浓度；

以及当所述燃料元件包壳破损率为预设的第二破损率时对应的放射性裂变气体的第二活度浓度；

当所述放射性裂变气体的活度浓度超过所述第一活度浓度时，以与所述第一活度浓度对应的第一模式进行报警；

当所述放射性裂变气体的活度浓度超过所述第二活度浓度时，以与所述第二活度浓度对应的第二模式进行报警。

[权利要求 8] 一种核电站燃料元件包壳完整性的检测系统，其特征在于，包括：
探测组件，其连接与核电站燃料元件包壳连接的一回路冷却系统，用于检测所述一回路冷却系统的一回路冷却剂中所含的放射性裂变气体的活度浓度并输出；
比对组件，其连接所述探测组件，用于接收输出的所述检测到的活度浓度，并将检测到的所述活度浓度与预设的报警阈值条件进行比对，若符合报警阈值条件，则产生报警信号并发送；
以及报警组件，其连接所述比对组件，用于接收发送的报警信号，按照预设的报警模式进行报警。

[权利要求 9] 如权利要求8所述的系统，其特征在于，还包括：
化学与容积控制系统，其连接所述一回路冷却系统，用于控制所述一回路冷却剂的总量与组分，并将所述一回路冷却剂输送至与所述化学与容积控制系统连接的下泄管线；
以及与所述下泄管线连接的分离装置，所述分离装置用于将所述放射性裂变气体从所述下泄管线中的一回路冷却剂中进行分离，并将分离得到的放射性裂变气体输送至与所述分离装置连接的探测组件。

[权利要求 10] 如权利要求9所述的系统，其特征在于，所述放射性裂变气体为惰性气体。

[权利要求 11] 如权利要求9所述的系统，其特征在于，所述分离装置为气水分离装

置；所述探测器包括NaI和电离室探测器。

[权利要求 12] 如权利要求8所述的系统，其特征在于，所述报警阈值为基于所述燃料元件包壳破损率预设的放射性裂变气体的活度浓度；当检测到的所述放射性裂变气体的活度浓度超过所述预设的射性裂变气体的活度浓度时，所述对比组件产生报警信号并发送。

[权利要求 13] 如权利要求12所述的系统，其特征在于，所述基于所述燃料元件包壳破损率预设的放射性裂变气体的活度浓度至少有一个；
当检测到的放射性裂变气体的活度浓度超过其中任一所述预设的射性裂变气体的活度浓度时，所述对比组件产生不同的报警信号并发送；
所述报警组件根据接收到的不同的报警信号，采用与该报警信号对应的模式进行报警。

[权利要求 14] 如权利要求13所述的系统，其特征在于，所述基于所述燃料元件包壳破损率预设的放射性裂变气体的活度浓度包括：
当所述燃料元件包壳破损率为预设的第一破损率时对应的放射性裂变气体的第一活度浓度；
以及当所述燃料元件包壳破损率为预设的第二破损率时对应的放射性裂变气体的第二活度浓度；
当所述检测到的放射性裂变气体的活度浓度超过所述第一活度浓度时，所述对比组件产生第一报警信号并发送；所述报警组件根据接收到的第一报警信号，采用与该第一报警信号对应的第一模式进行报警；
当所述检测到的放射性裂变气体的活度浓度超过所述第二活度浓度时，所述对比组件产生第二报警信号并发送；所述报警组件根据接收到的第二报警信号，采用与该第二报警信号对应的第二模式进行报警。

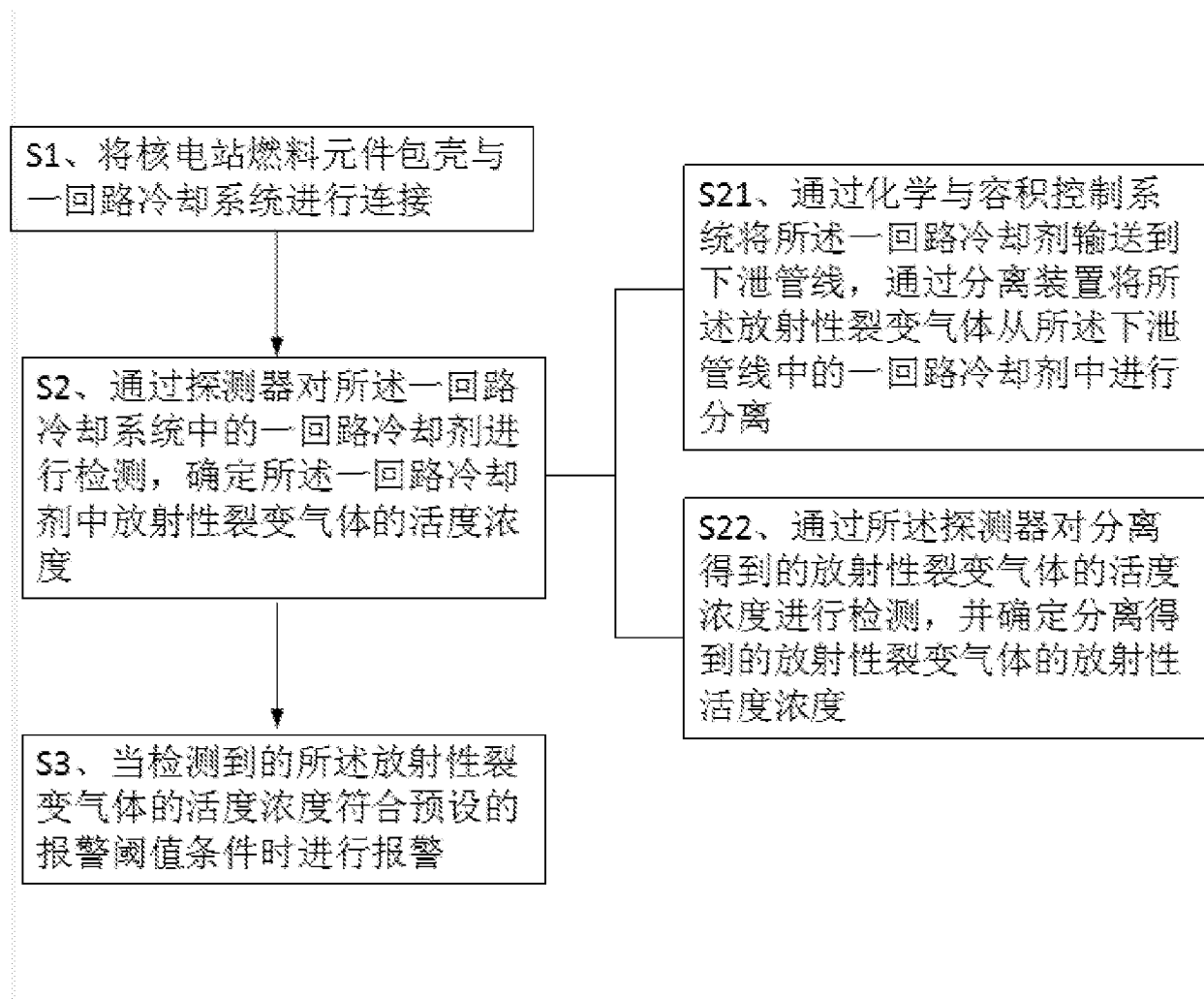


图 1

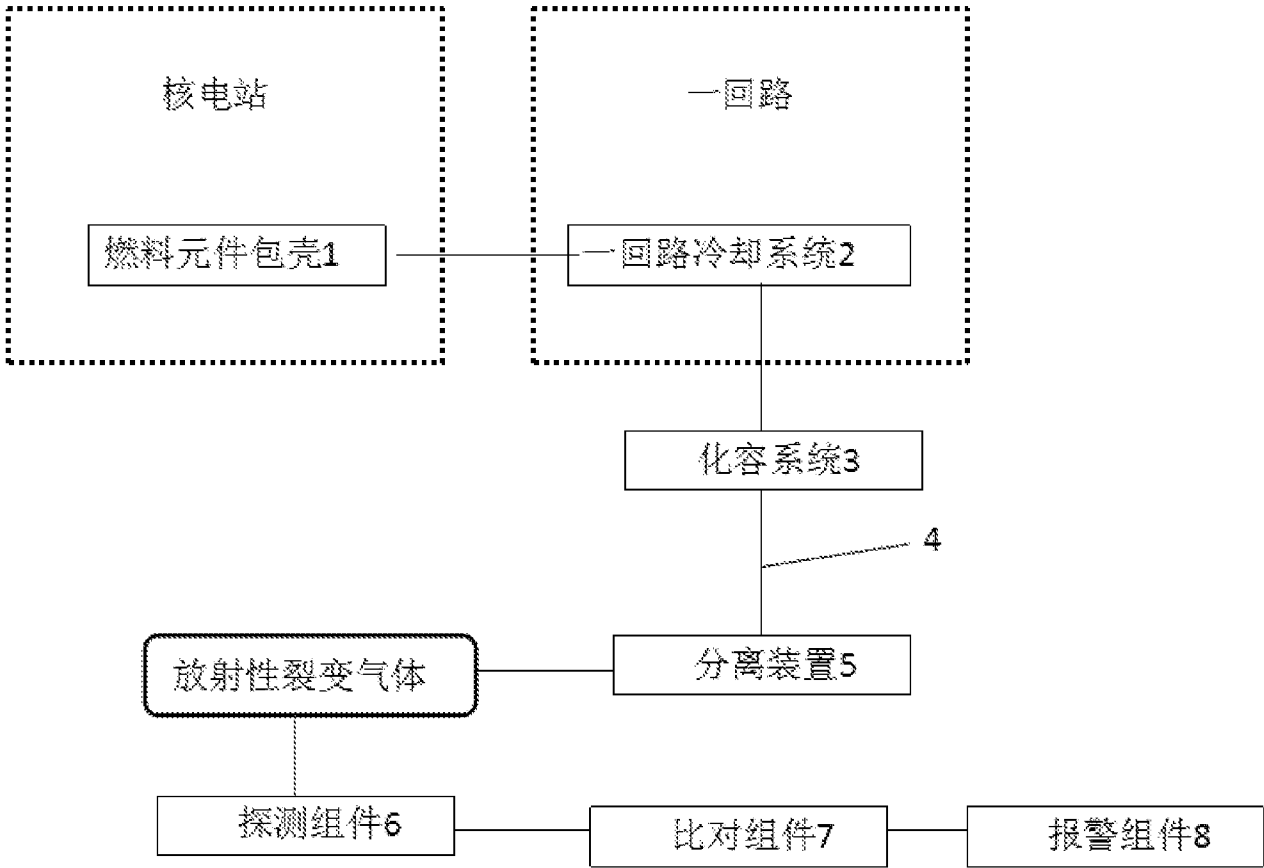


图 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2017/116334

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G21C 17/04 (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)

G21

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)

CNABS, CNTXT, CNKI, VEN: 燃料元件, 包壳, 完整, 破, 损, 裂, 一回路, 气体, 活度, 浓度, 分离, fuel, cladding, integrity, leak, damage, gas, separate

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 104217774 A (CHINA NUCLEAR POWER ENGINEERING CO., LTD. et al.), 17 December 2014 (17.12.2014), description, paragraphs 68 and 77	1-14
Y	罗才盛等, “燃料元件破损监测裂变气体法的理论计算”, 核科学与工程, 15(1), 31 March 1995 (31.03.1995), ISSN: 0258-0918, section 2, and figure 1, (Nuclear Science and Engineering), non-official translation (LUO, Caisheng et al., “The Theoretical Calculation of Fission Gas Method for Monitoring Damage of Fuel Element”)	1-14
PX	CN 106531250 A (CHINA NUCLEAR POWER ENGINEERING CO., LTD. et al.), 22 March 2017 (22.03.2017), entire document	1-14
A	CN 103247359 A (NUCLEAR POWER INSTITUTE OF CHINA), 14 August 2013 (14.08.2013), entire document	1-14
A	CN 1016471 B (FRAMATOME), 16 December 1992 (16.12.1992), entire document	1-14
A	JP 2012047758 A (TOSHIBA KK), 08 March 2012 (08.03.2012), entire document	1-14

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“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
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“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
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“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
“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)	“&” document member of the same patent family
“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	

Date of the actual completion of the international search 12 March 2018	Date of mailing of the international search report 23 March 2018
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer WANG, Lei Telephone No. (86-10) 62084134

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2017/116334

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 104217774 A	17 December 2014	None	
CN 106531250 A	22 March 2017	None	
CN 103247359 A	14 August 2013	None	
CN 1016471 B	16 December 1992	SE 459291 B	19 June 1989
		SE 8503721 A	09 February 1986
		ES 8702055 A1	01 March 1987
		FR 2569041 A1	14 February 1986
		CN 85109072 A	24 June 1987
		US 4696788 A	29 September 1987
JP 2012047758 A	08 March 2012	JP 5330489 B2	30 October 2013

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2017/116334

A. 主题的分类 G21C 17/04 (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) G21 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)) CNABS, CNTXT, CNKI, VEN, 燃料元件, 包壳, 完整, 破, 损, 裂, 一回路, 气体, 活度, 浓度, 分离, fuel, cladding, integrity, leak, damage, gas, separate																							
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Y</td> <td>CN 104217774 A (中广核工程有限公司 等) 2014年 12月 17日 (2014 - 12 - 17) 说明书第68、77段</td> <td>1-14</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>罗才盛 等. “燃料元件破损监测裂变气体法的理论计算” 《核科学与工程》, 第15卷, 第1期, 1995年 3月 31日 (1995 - 03 - 31), ISSN: 0258-0918, 第2部分、图1</td> <td>1-14</td> </tr> <tr> <td>PX</td> <td>CN 106531250 A (中广核工程有限公司 等) 2017年 3月 22日 (2017 - 03 - 22) 全文</td> <td>1-14</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 103247359 A (中国核动力研究设计院) 2013年 8月 14日 (2013 - 08 - 14) 全文</td> <td>1-14</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 1016471 B (法玛通公司) 1992年 12月 16日 (1992 - 12 - 16) 全文</td> <td>1-14</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 2012047758 A (TOSHIBA KK) 2012年 3月 8日 (2012 - 03 - 08) 全文</td> <td>1-14</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	Y	CN 104217774 A (中广核工程有限公司 等) 2014年 12月 17日 (2014 - 12 - 17) 说明书第68、77段	1-14	Y	罗才盛 等. “燃料元件破损监测裂变气体法的理论计算” 《核科学与工程》, 第15卷, 第1期, 1995年 3月 31日 (1995 - 03 - 31), ISSN: 0258-0918, 第2部分、图1	1-14	PX	CN 106531250 A (中广核工程有限公司 等) 2017年 3月 22日 (2017 - 03 - 22) 全文	1-14	A	CN 103247359 A (中国核动力研究设计院) 2013年 8月 14日 (2013 - 08 - 14) 全文	1-14	A	CN 1016471 B (法玛通公司) 1992年 12月 16日 (1992 - 12 - 16) 全文	1-14	A	JP 2012047758 A (TOSHIBA KK) 2012年 3月 8日 (2012 - 03 - 08) 全文	1-14
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																					
Y	CN 104217774 A (中广核工程有限公司 等) 2014年 12月 17日 (2014 - 12 - 17) 说明书第68、77段	1-14																					
Y	罗才盛 等. “燃料元件破损监测裂变气体法的理论计算” 《核科学与工程》, 第15卷, 第1期, 1995年 3月 31日 (1995 - 03 - 31), ISSN: 0258-0918, 第2部分、图1	1-14																					
PX	CN 106531250 A (中广核工程有限公司 等) 2017年 3月 22日 (2017 - 03 - 22) 全文	1-14																					
A	CN 103247359 A (中国核动力研究设计院) 2013年 8月 14日 (2013 - 08 - 14) 全文	1-14																					
A	CN 1016471 B (法玛通公司) 1992年 12月 16日 (1992 - 12 - 16) 全文	1-14																					
A	JP 2012047758 A (TOSHIBA KK) 2012年 3月 8日 (2012 - 03 - 08) 全文	1-14																					
☐ 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 2018年 3月 12日		国际检索报告邮寄日期 2018年 3月 23日																					
ISA/CN的名称和邮寄地址 中华人民共和国国家知识产权局 (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		受权官员 汪磊 电话号码 (86-10)62084134																					

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2017/116334

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	104217774	A	2014年 12月 17日	无			
CN	106531250	A	2017年 3月 22日	无			
CN	103247359	A	2013年 8月 14日	无			
CN	1016471	B	1992年 12月 16日	SE	459291	B	1989年 6月 19日
				SE	8503721	A	1986年 2月 9日
				ES	8702055	A1	1987年 3月 1日
				FR	2569041	A1	1986年 2月 14日
				CN	85109072	A	1987年 6月 24日
				US	4696788	A	1987年 9月 29日
JP	2012047758	A	2012年 3月 8日	JP	5330489	B2	2013年 10月 30日