

(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
2015 年 1 月 29 日 (29.01.2015)



(10) 国际公布号
WO 2015/010398 A1

- (51) 国际专利分类号:
G21C 15/18 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2013/087733
- (22) 国际申请日: 2013 年 11 月 23 日 (23.11.2013)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201310319947.4 2013 年 7 月 26 日 (26.07.2013) CN
- (71) 申请人: 中广核工程有限公司 (CHINA NUCLEAR POWER ENGINEERING CO., LTD.) [CN/CN]; 中国广东省深圳市福田区深南中路 69 号, Guangdong 518023 (CN)。 中国广核集团有限公司 (CHINA GENERAL NUCLEAR POWER CORPORATION) [CN/CN]; 中国广东省深圳市福田区上步中路 1001 号深圳科技大厦 17-19 楼, Guangdong 518031 (CN)。
- (72) 发明人: 杨廷 (YANG, Ting); 中国广东省深圳市福田区深南中路 69 号, Guangdong 518023 (CN)。 彭跃 (PENG, Yue); 中国广东省深圳市福田区深南中路 69 号, Guangdong 518023 (CN)。 李世光 (LI, Shi-

guang); 中国广东省深圳市福田区深南中路 69 号, Guangdong 518023 (CN)。 魏颖娣 (WEI, Ying-di); 中国广东省深圳市福田区深南中路 69 号, Guangdong 518023 (CN)。

(74) 代理人: 广州三环专利代理有限公司 (SCIHEAD PATENT AGENT CO., LTD.); 中国广东省广州市越秀区先烈中路 80 号汇华商贸大厦, Guangdong 510070 (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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, 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,

[见续页]

(54) Title: MID-LONG TERM COOLING METHOD AND SYSTEM FOR CONTAINMENT AND SPENT FUEL POOL IN NUCLEAR POWER PLANT AFTER OCCURRING ACCIDENT

(54) 发明名称: 核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却方法及系统

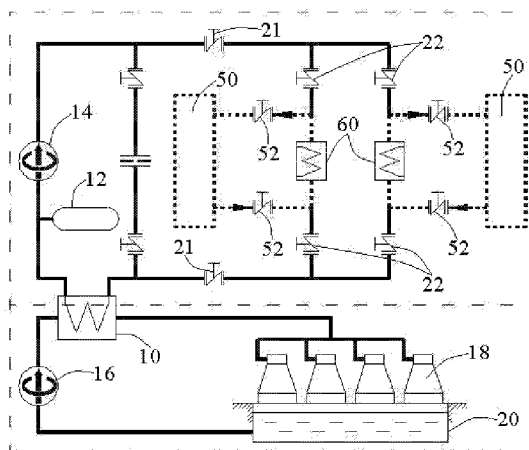


图 1/ Fig.1

(57) Abstract: A mid-long term cooling method and system for a containment and a spent fuel pool in a nuclear power plant after occurring an accident. The cooling method comprises discharging the waste heat from the heat exchangers of a nuclear island upstream user group through the mid-long term cooling system consisted of a middle cooling loop and a terminal cooling loop to the atmosphere, and all of the electrical appliances of the middle cooling loop and the terminal cooling loop adopt an individual backup power supply. The cooling method and system can come into operation when an ultimate heat sink failure arises in the nuclear power plant, so as to discharge the waste heat from a reactor core and the spent fuel pool to the environment safely and effectively.

(57) 摘要: 一种核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却方法及冷却系统。该冷却方法包括通过由中间冷却回路和终端冷却回路组成的中长期冷却系统将核岛上游用户群换热器的余热排入大气中, 中间冷却回路和终端冷却回路中的所有用电设备都采用独立后备电源。该冷却方法及冷却系统可以在核电厂发生最终热阱失效时投入运行, 以将堆芯和乏燃料水池的余热安全有效地排出到环境中。

WO 2015/010398 A1



RW, SD, SL, 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))。

说明书

核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却方法及系统

技术领域

本发明属于核电厂安全领域，更具体地说，本发明涉及一种在超设计基准事故工况下投入使用的核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却方法及系统。

背景技术

2011年3月11日，日本宫城县北部发生里氏9.0级特大地震，并引发强烈海啸，造成位于震中西南方向的福岛第一核电厂1-4号机组发生核泄漏事故。其中1-3号机组由正常运行工况紧急停堆，而4号机组正处于维修停堆。地震导致失去厂外电，紧接着因海啸导致应急电源(柴油发电机)失效，从而导致反应堆冷却系统的功能全部丧失并引发事故。

福岛核事故引发了关于最终热阱设计的思考，除了SBO(Station Black Out, 全厂断电事故)之外，类似福岛强地震引发的海啸可能将大量杂物堆向海边，使得重要厂用水系统取水口堵塞，从而发生LUHS(Loss of Ultimate Heat Sink, 丧失最终热阱)事故。因此，必须提供多样化的热阱，并考虑在所有电厂状态下都以极高的可靠性将余热从核电厂的安全重要物项传输到最终热阱。

在现有部分核电厂机组中，通常是利用RRI系统(Component Cooling Water System, 设备冷却水系统)冷却包括安全壳喷淋系统换热器、乏燃料水池换热器、余热排出换热器等换热器以及泵等机械设备在内的上游用户，并通过RRI换热器将热量传递给SEC系统(Essential Water System, 重要厂用水系统); SEC系统从厂址水域取水冷却RRI换热器，并将水送出到环境水域中，从而使得热量被海水吸收。上述RRI/SEC传热系统通常采用冗余设计，即采用两个安全系列，

当其中一个系列失效时，另一个系列可以将核电厂反应堆及乏燃料水池的余热排出到环境中，从而保证反应堆的安全。

现有 RRI/SEC 传热系统设计虽然非常成熟，并且充分考虑了在第二代核电厂技术(包括二代加)设计基准范围内的事故工况设计要求，但是福岛核事故证明：存在着超出第二代(包括二代加)核电厂技术设计基准的外部事件序列的可能性。在 SBO 叠加 LUHS 事故情况下，RRI/SEC 传热系统完全失效，使得事故无法得到有效的缓解和控制，最终导致放射性物质大量外泄到环境中。

为了保证传热系统在事故工况下的有效性，现有某三代核电厂机组配置了包括两个大列/四个小列的 RRI/SEC 传热系统，并设有 SRU 系统(Dedicated Cooling Water System，专设重要冷却水系统)。其中，RRI 系统的第 1 列和第 2 列耦合为一个大列；第 3 列和第 4 列耦合为另外一个大列；SEC 系统分别冷却 RRI 系统第 1~4 列的换热器，从而将核岛用户的热负荷移出到大海。当发生 SBO 叠加 LUHS，致使 RRI/SEC 系统失去其功能时，通过 SRU 系统抽取海水冷却 EVU 系统(安全壳热量导出系统)的第 1 列或第 4 列，并通过 EVU/SRU 的第 1 列冷却 PTR 系统(燃料水池冷却和净化系统)的第 3 列。由于 RRI/SEC 系统与 EVU/SRU 系统是解耦的，因此 RRI/SEC 系统的失效不会影响到 EVU/SRU 系统的功能。

但是，SRU 系统用来冷却换热器的热阱依然是大海，当发生福岛类似的核事故时，强烈地震叠加海啸导致大量垃圾堆积到整个泵房取水口后，SRU 系统会由于共因故障导致对应列的海水滤网堵塞失效，最终因厂区内无可用的其他水源而导致事故后堆芯和乏燃料水池的余热无法排出。

可见，现有核电厂的最终热阱系统在福岛核事故后的评价标准下都是不满足多样性要求的。有鉴于此，确有必要开发一种能够克服上述问题的核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却方法及系统。

发明内容

本发明的目的在于：提供一种核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却方法及系统，以使核电厂的最终热阱满足多样性要求，避免 SBO 叠加 LUHS 事故情况下因传热失效而导致核泄漏。

为了实现上述发明目的，本发明提供了一种核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却方法，其通过由中间冷却回路和终端冷却回路组成的中长期冷却系统将核岛上游用户群换热器的余热排入大气中，中间冷却回路和终端冷却回路中的所有用电设备都采用独立后备电源。

作为本发明核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却方法的一种改进，所述中间冷却回路以与 RRI 系统并联的方式经 RRI 系统管路与核岛上游用户群换热器连接。

作为本发明核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却方法的一种改进，所述终端冷却回路通过中间换热器与中间冷却回路连接，中间冷却回路对核岛上游用户群换热器进行冷却后，终端冷却回路利用冷却塔将中间换热器的热量排入大气中。

作为本发明核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却方法的一种改进，所述中间冷却回路与 RRI 系统原有管路之间用双重手动隔离阀隔离，RRI 系统与核岛上游用户群换热器连接管路的两端也分别设有手动隔离阀；在核电厂机组正常运行期间，中间冷却回路侧的双重手动隔离阀都处于关闭状态，RRI 侧的手动隔离阀处于打开状态，核岛上游用户群换热器由 RRI 系统冷却，中长期冷却系统处于备用状态；在发生丧失最终热阱事故后，中间冷却回路侧的双重手动隔离阀都处于打开状态，RRI 侧的手动隔离阀处于关闭状态，核岛上游用户群换热器由中长期冷却系统冷却。

作为本发明核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却方法的一种改进，在核电厂机组正常运行期间，处于备用状态的中间冷却回路中充满除盐水，

并需要定期检验水质和换水，备用中的终端冷却回路内部充满生产用水，冷却塔设置的上塔管路为空管。

作为本发明核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却方法的一种改进，发生丧失最终热阱事故时，中长期冷却系统投用的启动步骤为：1)打开中间冷却回路中的双重手动隔离阀，确认相关用户所在管路处于连接状态，确认冷却塔上塔管路中的阀门处于开启状态，关闭 RRI 侧的手动隔离阀以隔离 RRI 系统中的不必要管路；2)依次启动中间冷却回路和终端冷却回路中设置的循环泵，使中长期冷却系统处于运行状态，确认中间冷却回路和终端冷却回路的运行参数是否正常，完成对回路的检视，并启动冷却塔设置的风机电机；3)当中间冷却回路和终端冷却回路两个回路都进入正常运行状态时，中长期冷却系统的启动即已完成。

作为本发明核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却方法的一种改进，所述中间冷却回路中的核岛上游用户群换热器包括整个机组中由 RRI 系统的多个安全系列冷却的全部换热器系列。

作为本发明核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却方法的一种改进，所述双重手动隔离阀包括设在中间冷却回路与核岛上游用户群换热器连接的主管路上的手动隔离阀，以及设在中间冷却回路与不同系列的核岛上游用户群换热器连接的各支管路上的手动隔离阀。

作为本发明核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却方法的一种改进，所述中间冷却回路是由中间换热器的热侧、中间波动箱、中间循环泵依次串联后，接入核岛上游用户群换热器而形成。

作为本发明核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却方法的一种改进，所述终端冷却回路是由终端循环泵、中间换热器的冷侧、冷却塔和安全水池依次串联而形成；中长期冷却系统投运之后，需通过补水保持安全水池内的水量始终高于最低安全水位。

作为本发明核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却方法的一种改进，所述冷却塔为风机驱动强制循环的抗震机械通风冷却塔或核级机械通风冷却塔，或是非能动自然循环空冷却塔。

作为本发明核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却方法的一种改进，所述冷却塔为风机驱动强制循环的抗震机械通风冷却塔或核级机械通风冷却塔时，中长期冷却系统投运之后，需保持机械通风冷却塔持续运行以实现终端冷却回路的循环水进行冷却；但是，当中间换热器的热侧出口温度接近于用户可接受温度的最低限值、且上游用户热负荷较小时，需要隔离机械通风冷却塔的上塔管道，使机械通风冷却塔进入间断运行状态，以保证中间换热器的热侧出口温度始终维持在核岛上游用户可接受范围内。

作为本发明核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却方法的一种改进，所述中长期冷却系统中所有能动设备的动作均由就地手动或远程手动控制，所有远程手动控制均在辅助泵房内的就地控制室或就地控制柜实现。

作为本发明核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却方法的一种改进，所述中长期冷却系统与原有热阱系统布置在不同厂区内。

为了实现上述发明目的，本发明还提供了一种核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却系统，其包括通过中间换热器连接的中间冷却回路和终端冷却回路，中间冷却回路对核岛上游用户群换热器进行冷却，终端冷却回路利用冷却塔将中间换热器的热量排入大气中。

作为本发明核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却系统的一种改进，所述中间冷却回路以与 RRI 系统并联的方式经 RRI 系统管路与核岛上游用户群换热器连接。

作为本发明核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却系统的一种改进，所述中间冷却回路与 RRI 系统原有管路之间用双重手动隔离阀隔离，RRI 系统与核岛上游用户群换热器连接管路的两端也分别设有手动隔离阀。

作为本发明核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却系统的一种改进，所述中间冷却回路中的核岛上游用户群换热器包括整个机组中由 RRI 系统的多个安全系列冷却的全部换热器系列。

作为本发明核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却系统的一种改进，所述双重手动隔离阀包括设在中间冷却回路与核岛上游用户群换热器连接的主管路上的手动隔离阀，以及设在中间冷却回路与不同系列的核岛上游用户群换热器连接的各支管路上的手动隔离阀。

作为本发明核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却系统的一种改进，所述中间冷却回路是由中间换热器的热侧、中间波动箱、中间循环泵依次串联后，接入核岛上游用户群换热器而形成。

作为本发明核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却系统的一种改进，所述终端冷却回路是由终端循环泵、中间换热器的冷侧、冷却塔和安全水池依次串联而形成。

作为本发明核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却系统的一种改进，所述冷却塔为风机驱动强制循环的抗震机械通风冷却塔或核级机械通风冷却塔，或是非能动自然循环空冷却塔。

作为本发明核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却系统的一种改进，所述中长期冷却系统中所有能动设备的动作均由就地手动或远程手动控制，所有远程手动控制均在辅助泵房内的就地控制室或就地控制柜实现。

作为本发明核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却系统的一种改进，所述中长期冷却系统与原有热阱系统布置在不同厂区内，且采用了独立后备电源。

与现有技术相比，本发明核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却方法及系统采用了与现有最终热阱不同的冷源，其将热量最终传导到大气中，对原有排热系统形成了有效的补充，可以在核电厂发生超设计机组事故导致常用

的最终热阱系统失效时投入运行，以将堆芯和乏燃料水池的余热安全有效地排出到环境中。

附图说明

下面结合附图和具体实施方式，对本发明核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却方法及系统进行详细说明，附图中：

图 1 为本发明安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却系统的结构示意图。

具体实施方式

为了使本发明的发明目的、技术方案及其有益技术效果更加清晰，以下结合附图和具体实施方式，对本发明进行进一步详细说明。应当理解的是，本说明书中描述的具体实施方式仅仅是为了解释本发明，并非为了限定本发明。

请参阅图 1，本发明安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却系统(SEU 系统)包括中间换热器 10、中间波动箱 12、中间循环泵 14、终端循环泵 16、机械通风冷却塔 18、安全水池 20 以及连接上述设备的管道、管件和阀门等。其中，中间换热器 10 的热侧、中间波动箱 12、中间循环泵 14 依次串联后，接入核岛上游用户群换热器 60(包括安全壳喷淋换热器、乏燃料水池冷却换热器、余热排出换热器、安全壳喷淋泵电机、低压安注泵电机等)而形成用于冷却核岛上游用户群换热器 60 的中间冷却回路；终端循环泵 16、中间换热器 10 的冷侧、机械通风冷却塔 18 和安全水池 20 依次串联后形成将中间换热器 10 的热量排入环境的终端冷却回路。

中间冷却回路通过 RRI 系统 50 的管路与核岛上游用户群换热器 60 连接，由于每一机组仅设置一个中间冷却回路，因此，每一中间冷却回路中的核岛上游用户群换热器 60 包括整个机组中由 RRI 系统的多个安全系列冷却的全部换热器系列 60。中间冷却回路以与 RRI 系统 50 并联的方式与核岛上游用户群换热器 60 连接，为了避免对原系统造成不利影响，中间冷却回路与 RRI 系统 50 的原有

管路之间用双重手动隔离阀隔离，包括在与核岛上游用户群换热器 60 连接的主管路两端设置手动隔离阀 21，以及在分别与不同系列的核岛上游用户群换热器 60 连接的支管路两端设置手动隔离阀 22。由于 RRI 系统 50 与核岛上游用户群换热器 60 连接管路的两端也分别设有手动隔离阀 52，因此通过手动隔离阀 21、22、52 的开闭，可以选择使用中间冷却回路或是 RRI 系统 50 对核岛上游用户群换热器 60 进行冷却。

在终端冷却回路中，终端循环泵 16 从安全水池 20 取水，为中间换热器 10 提供冷却，并通过机械通风冷却塔 18 将热量移出到环境大气中。其中，机械通风冷却塔 18 采用标准化设计，对于不同的厂址，可以通过改变塔的数量和塔内风机的数量来变更整个系统向环境传输热量的能力，从而适应厂址参数条件的变化。

SEU 系统所有能动设备的动作均由就地手动或远程手动控制，所有远程手动控制均在辅助泵房内的就地控制室或就地控制柜实现。所有用电设备如中间循环泵 14、终端循环泵 16、机械通风冷却塔 18 的风机等均采用柴油机或其他独立后备电源。

通过以上描述可知，为了避免发生 SBO 叠加 LUHS 等严重事故时，SEU 系统与原有的最终热阱系统之间发生共因失效，本发明采用了以下措施：1)采用了不同的冷源，通过冷却塔 18 将热量最终传导到大气中；2)采用了独立后备电源，避免了全场断电事故引起的不可用；3)布置在不同的厂区，避免了飞射物、飞机撞击等灾害导致新系统与原有最终热阱同时失效；4)采取了适当的水淹和火灾防范措施；5)新增加的构筑物均为抗震构筑物。

在核电厂机组正常运行期间，核岛上游用户群换热器 60 由 RRI 系统冷却，SEU 系统处于备用状态，此时，SEU 侧的手动隔离阀 21、22 处于关闭状态，RRI 侧的手动隔离阀 52 处于打开状态；备用时的中间冷却回路充满除盐水，并需要定期检验水质和换水，备用中的终端冷却回路内部充满生产用水，机械通

风冷却塔 18 的上塔管路为空管。

在发生 SBO 叠加 LUHS 事故时，SEU 系统应保证在事故发生 72 小时内完成启动而投入运行，因此，SEU 系统启动的所有步骤应在事故发生后 72h 内完成。SEU 系统投用时的启动步骤为：1)打开中间冷却回路中的手动隔离阀 21、22，确认相关用户所在管路处于连接状态，确认机械通风冷却塔 18 上塔管路中的阀门处于开启状态，并关闭手动隔离阀 52 以隔离 RRI 系统 50 中的不必要管路；2)依次启动中间循环泵 14 和终端循环泵 16，使 SEU 系统处于运行状态，并确认中间冷却回路和终端冷却回路的运行参数是否正常，完成对回路的检视，并启动机械通风冷却塔 18 的风机电机；3)当中间冷却回路和终端冷却回路两个回路都进入正常运行状态时，SEU 系统的启动即已完成。

在事故发生、SEU 系统投运之后，一般情况下不需要再执行任何改变 SEU 系统状态的操作，只需维持 SEU 系统的运行即可，包括维持中间循环泵 14 和终端循环泵 16 的持续运行、通过补水保持安全水池 20 内的水量始终高于最低安全水位、保持机械通风冷却塔 18 持续运行以实现终端冷却回路的循环水进行冷却等。但是，由于事故发生后需要 SEU 系统导出的热量主要来自于堆芯以及乏燃料水池中燃料的衰变热，而这部分热负荷是随时间持续降低的，尤其是在冬季气温极低的厂址，当超设计基准事故发生在冬季严寒条件下时，随着时间延长，上游热负荷逐渐减小，可能会出现 SEU 系统对上游用户供水温度过低的情况。因此，当中间换热器 10 的热侧出口温度接近于用户可接受温度的最低限值、且上游用户热负荷较小时，需要隔离机械通风冷却塔 18 的上塔管道，让原本通过机械通风冷却塔 18 的终端冷却回路流体直接回到安全水池 20，也就是使机械通风冷却塔 18 进入间断运行状态，以保证中间换热器 10 的热侧出口温度始终维持在用户可接受范围内。

另外，在 SEU 系统运行过程中，由于水分蒸发损失以及风吹损失等原因，冷却水的持续循环中会逐步消耗安全水池 20 中的存水，而且会使存水的盐度逐

步升高而需要排污和稀释，因此需要向安全水池 20 持续补水：在具备条件的情况下，向安全水池 20 补充生产用水或其他干净的淡水；在不具备条件的情况下，可以向安全水池 20 补充海水或其他公开水域提供的冷却水。

综上所述，本发明 SEU 系统及方法至少具有以下优点：

1)不影响接口系统的原有功能：SEU 系统新增的构筑物、设备和管道对现有二代加机组而言，不需要实施大规模修改；SEU 系统在机组没有进入到严重事故状态下时均处于备用状态，并与原有管系之间用双重手动隔离阀隔离；因此，SEU 系统对现有系统设计及运行方式的影响可以忽略不计；

2)提高了核电厂的安全性：采用了与现有最终热阱不同的冷源，通过冷却塔 18 将热量最终传导到大气中，对原有排热系统形成了有效的补充；在核电厂发生超设计机组事故导致常用的最终热阱系统失效时，SEU 系统新增加的最终热阱系统投入运行，可以将堆芯和乏燃料水池的余热安全有效地排出到环境中，从而防止堆芯熔毁，避免放射性物质泄漏到环境中，增强机组在中长期丧失最终热阱工况下的安全性；

3)操作简便：新增的 SEU 系统在核电厂正常运行和设计基准事故下均不需要投入使用，核电厂运行人员只要对 SEU 系统进行定期检测和更换水质，检查泵、风机、冷却塔填料等设备状态即可，对核电厂运行操作的影响较小；当需要投入使用时，只需开启相关阀门、并将用电设备(泵、风机)启动即可。

在其他实施方式中，可对图 1 中的 SEU 系统进行以下改进中的一种或几种，以进一步提高系统的可靠性：

1)可以将每个机组配备一套 SEU 系统，升级为每个 RRI/SEC 系列配备一套，从而提高多样化最终热阱的冗余度；

2)可以将抗震机械通风冷却塔 18 提高为核级机械通风冷却塔，从而提高关键设备应对内外部灾害的防护能力；

3)可以将通过风机驱动的强制循环机械通风冷却塔 18 替换为非能动自然循

环空冷却塔;

4)可以将需要操作的隔离阀改为能动(电动或气动),并保证其在事故工况下可用。

根据上述说明书的揭示和教导,本发明所属领域的技术人员还可以对上述实施方式适当的变更和修改。因此,本发明并不局限于上面揭示和描述的具体实施方式,对本发明的一些修改和变更也应当落入本发明的权利要求的保护范围内。此外,尽管本说明书中使用了一些特定的术语,但这些术语只是为了方便说明,并不对本发明构成任何限制。

权 利 要 求 书

1. 一种核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却方法，其特征在于：通过由中间冷却回路和终端冷却回路组成的中长期冷却系统将核岛上游用户群换热器的余热排入大气中，中间冷却回路和终端冷却回路中的所有用电设备都采用独立后备电源。

2. 根据权利要求 1 所述的核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却方法，其特征在于：所述中间冷却回路以与 RRI 系统并联的方式经 RRI 系统管路与核岛上游用户群换热器连接。

3. 根据权利要求 2 所述的核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却方法，其特征在于：所述终端冷却回路通过中间换热器与中间冷却回路连接，中间冷却回路对核岛上游用户群换热器进行冷却后，终端冷却回路利用冷却塔将中间换热器的热量排入大气中。

4. 根据权利要求 3 所述的核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却方法，其特征在于：所述中间冷却回路与 RRI 系统原有管路之间用双重手动隔离阀隔离，RRI 系统与核岛上游用户群换热器连接管路的两端也分别设有手动隔离阀；在核电厂机组正常运行期间，中间冷却回路侧的双重手动隔离阀都处于关闭状态，RRI 侧的手动隔离阀处于打开状态，核岛上游用户群换热器由 RRI 系统冷却，中长期冷却系统处于备用状态；在发生丧失最终热阱事故后，中间冷却回路侧的双重手动隔离阀都处于打开状态，RRI 侧的手动隔离阀处于关闭状态，核岛上游用户群换热器由中长期冷却系统冷却。

5. 根据权利要求 4 所述的核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却方法，其特征在于：在核电厂机组正常运行期间，处于备用状态的中间冷却回路中充满除盐水，并需要定期检验水质和换水，备用中的终端冷却回路内部充满生产用水，冷却塔设置的上塔管路为空管。

6. 根据权利要求 4 所述的核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却方法，其特征在于：发生丧失最终热阱事故时，中长期冷却系统投用的启动步骤为：1)打开中间冷却回路中的双重手动隔离阀，确认相关用户所在管路处于连接状态，确认冷却塔上塔管路中的阀门处于开启状态，关闭 RRI 侧的手动隔离阀以隔离 RRI 系统中的不必要管路；2)依次启动中间冷却回路和终端冷却回路中设置的循环泵，使中长期冷却系统处于运行状态，确认中间冷却回路和终端冷却回路的运行参数是否正常，完成对回路的检视，并启动冷却塔设置的风机电机；3)当中间冷却回路和终端冷却回路两个回路都进入正常运行状态时，中长期冷却系统的启动即已完成。

7. 根据权利要求 4 所述的核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却方法，其特征在于：所述中间冷却回路中的核岛上游用户群换热器包括整个机组中由 RRI 系统的多个安全系列冷却的全部换热器系列。

8. 根据权利要求 7 所述的核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却方法，其特征在于：所述双重手动隔离阀包括设在中间冷却回路与核岛上游用户群换热器连接的主管路上的手动隔离阀，以及设在中间冷却回路与不同系列的核岛上游用户群换热器连接的各支管路上的手动隔离阀。

9. 根据权利要求 3 所述的核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却方法，其特征在于：所述中间冷却回路是由中间换热器的热侧、中间波动箱、中间循环泵依次串联后，接入核岛上游用户群换热器而形成。

10. 根据权利要求 3 所述的核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却方法，其特征在于：所述终端冷却回路是由终端循环泵、中间换热器的冷侧、冷却塔和安全水池依次串联而形成；中长期冷却系统投运之后，需通过补水保持安全水池内的水量始终高于最低安全水位。

11. 根据权利要求 3 所述的核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却方法，其特征在于：所述冷却塔为风机驱动强制循环的抗震机械通风冷却塔或

核级机械通风冷却塔，或是非能动自然循环空冷却塔。

12. 根据权利要求 11 所述的核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却方法，其特征在于：所述冷却塔为风机驱动强制循环的抗震机械通风冷却塔或核级机械通风冷却塔时，中长期冷却系统投运之后，需保持机械通风冷却塔持续运行以实现终端冷却回路的循环水进行冷却；但是，当中间换热器的热侧出口温度接近于用户可接受温度的最低限值、且上游用户热负荷较小时，需要隔离机械通风冷却塔的上塔管道，使机械通风冷却塔进入间断运行状态，以保证中间换热器的热侧出口温度始终维持在核岛上游用户可接受范围内。

13. 根据权利要求 1 至 12 中任一项所述的核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却方法，其特征在于：所述中长期冷却系统中所有能动设备的动作均由就地手动或远程手动控制，所有远程手动控制均在辅助泵房内的就地控制室或就地控制柜实现。

14. 根据权利要求 1 至 12 中任一项所述的核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却方法，其特征在于：所述中长期冷却系统与原有热阱系统布置在不同厂区内。

15. 一种核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却系统，其特征在于：包括通过中间换热器连接的中间冷却回路和终端冷却回路，中间冷却回路对核岛上游用户群换热器进行冷却，终端冷却回路利用冷却塔将中间换热器的热量排入大气中。

16. 根据权利要求 15 所述的核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却系统，其特征在于：所述中间冷却回路以与 RRI 系统并联的方式经 RRI 系统管路与核岛上游用户群换热器连接。

17. 根据权利要求 16 所述的核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却系统，其特征在于：所述中间冷却回路与 RRI 系统原有管路之间用双重手动隔离阀隔离，RRI 系统与核岛上游用户群换热器连接管路的两端也分别设有手动隔

离阀。

18. 根据权利要求 17 所述的核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却系统，其特征在于：所述中间冷却回路中的核岛上游用户群换热器包括整个机组中由 RRI 系统的多个安全系列冷却的全部换热器系列。

19. 根据权利要求 18 所述的核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却系统，其特征在于：所述双重手动隔离阀包括设在中间冷却回路与核岛上游用户群换热器连接的主管路上的手动隔离阀，以及设在中间冷却回路与不同系列的核岛上游用户群换热器连接的各支管路上的手动隔离阀。

20. 根据权利要求 15 所述的核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却系统，其特征在于：所述中间冷却回路是由中间换热器的热侧、中间波动箱、中间循环泵依次串联后，接入核岛上游用户群换热器而形成。

21. 根据权利要求 15 所述的核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却系统，其特征在于：所述终端冷却回路是由终端循环泵、中间换热器的冷侧、冷却塔和安全水池依次串联而形成。

22. 根据权利要求 15 所述的核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却系统，其特征在于：所述冷却塔为风机驱动强制循环的抗震机械通风冷却塔或核级机械通风冷却塔，或是非能动自然循环空冷却塔。

23. 根据权利要求 15 至 22 中任一项所述的核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却系统，其特征在于：所述中长期冷却系统中所有能动设备的动作均由就地手动或远程手动控制，所有远程手动控制均在辅助泵房内的就地控制室或就地控制柜实现。

24. 根据权利要求 15 至 22 中任一项所述的核电厂安全壳及乏燃料水池事故后中长期冷却系统，其特征在于：所述中长期冷却系统与原有热阱系统布置在不同厂区内，且采用了独立后备电源。

说明书附图

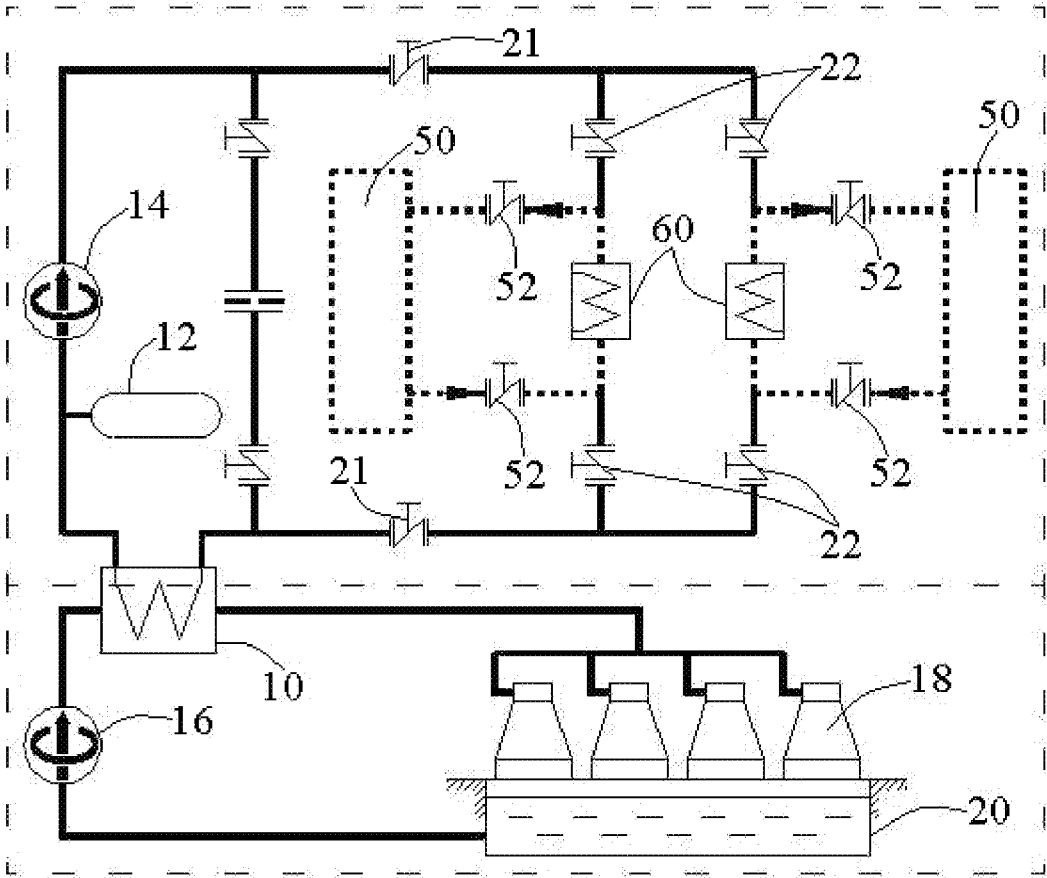


图 1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2013/087733

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G21C 15/18 (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)

G21C 15; G21D 1

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)

CNKI, CPRSABS, CNTXT, VEN, EPODOC, cool+, heat, exchang+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 102842349 A (SHANGHAI NUCLEAR ENG RES& DES) 26 December 2012 (26.12.2012) description, page 2, line 27 to page 3, line 16, and figures 1 and 2	15-24
Y	CN 102842349 A (SHANGHAI NUCLEAR ENG RES& DES) 26 December 2012 (26.12.2012) description, page 2, line 27 to page 3, line 16, and figures 1 and 2	1-14
Y	CN 103222008 A (TOSHIBA KK) 24 July 2013 (24.07.2013) description, page 4, lines 7-11 and figures 1 and 2	1-14
A	CN 102737738 A (CHINA NUCLEAR POWER ENG CO LTD) 17 October 2012 (17.10.2012) the whole document	1-24
A	CN 201689688 U (CHINA NULCEAR TECHNOLOGY INST CO LTD) 29 December 2010 (29.12.2010) the whole document	1-24
A	JP 2013076578 A (HITACHI GE NUCLEAR ENERGY LTD) 25 April 2013 (25.04.2013) the whole document	1-24

☐ 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 17 April 2014	Date of mailing of the international search report 12 May 2014
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, Shuling Telephone No. (86-10) 62085649

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2013/087733

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 102842349 A	26 December 2012	None	
CN 103222008 A	24 July 2013	EP 2642489 A1	25 September 2013
		WO 2012066710 A1	24 May 2012
		US 2013235966 A1	12 September 2013
		JP 2012107926 A	07 June 2012
CN 102737738 A	17 October 2012	None	
CN 201689688 U	29 December 2010	None	
JP 2013076578 A	25 April 2013	None	

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2013/087733

A. 主题的分类

G21C 15/18(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)

G21C 15, G21D 1

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))

CNKI, CPRSABS, CNTXT, VEN, EPODOC, 冷却, 换热器, 热交换器, cool+, heat, exchang+

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
X	CN 102842349 A (上海核工程研究设计院) 2012年 12月 26日 (2012 - 12 - 26) 说明书第2页第27行—第3页第16行和图1-2	15-24
Y	CN 102842349 A (上海核工程研究设计院) 2012年 12月 26日 (2012 - 12 - 26) 说明书第2页第27行—第3页第16行和图1-2	1-14
Y	CN 103222008 A (株式会社东芝) 2013年 7月 24日 (2013 - 07 - 24) 说明书第4页第7-11行和图1-2	1-14
A	CN 102737738 A (中国核电工程有限公司) 2012年 10月 17日 (2012 - 10 - 17) 全文	1-24
A	CN 201689688 U (中科华核电技术研究院有限公司等) 2010年 12月 29日 (2010 - 12 - 29) 全文	1-24
A	JP 2013076578 A (HITACHI GE NUCLEAR ENERGY LTD) 2013年 4月 25日 (2013 - 04 - 25) 全文	1-24

☐ 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

2014年 4月 17日

国际检索报告邮寄日期

2014年 5月 12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 中国

授权官员

王树玲

传真号 (86-10)62019451

电话号码 (86-10)62085649

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2013/087733

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	102842349 A	2012年 12月 26日	无		
CN	103222008 A	2013年 7月 24日	EP	2642489 A1	2013年 9月 25日
			WO	2012066710 A1	2012年 5月 24日
			US	2013235966 A1	2013年 9月 12日
			JP	2012107926 A	2012年 6月 07日
CN	102737738 A	2012年 10月 17日	无		
CN	201689688 U	2010年 12月 29日	无		
JP	2013076578 A	2013年 4月 25日	无		