

(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
2024 年 1 月 4 日 (04.01.2024)



(10) 国际公布号
WO 2024/000985 A1

(51) 国际专利分类号:
G21D 3/06 (2006.01) **G21C 15/18** (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2022/129915

(22) 国际申请日: 2022 年 11 月 4 日 (04.11.2022)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202210756488.5 2022年6月30日 (30.06.2022) CN

(71) 申请人: 中国核电工程有限公司 (CHINA NUCLEAR POWER ENGINEERING CO., LTD.) [CN/CN]; 中国北京市海淀区西三环北路 117 号, Beijing 100840 (CN)。

(72) 发明人: 赵嘉明 (ZHAO, Jiaming); 中国北京市海淀区西三环北路 117 号, Beijing 100840 (CN)。荆春宁 (JING, Chunning); 中国北京市海淀区西三环北路 117 号, Beijing 100840 (CN)。赵侠 (ZHAO, Xia); 中国北京市海淀区西三环北路 117 号, Beijing 100840 (CN)。吴宇翔 (WU, Yuxiang); 中国北京市海淀区西三环北路 117 号, Beijing 100840 (CN)。黄代顺 (HUANG, Daishun); 中国北京市海淀区西三环北路 117 号, Beijing 100840 (CN)。丁亮 (DING, Liang); 中国北京市海淀区西三环北路 117 号, Beijing 100840 (CN)。曲昌明 (QU, Changming); 中国北京市海淀区西三环北路 117 号, Beijing 100840 (CN)。于沛 (YU, Pei); 中国北京市海淀区西三环北路 117 号, Beijing 100840 (CN)。彭立 (PENG, Li); 中国北京市海淀区西三环北路 117 号, Beijing 100840 (CN)。赵丹峰 (ZHAO, Danfeng); 中国北

(54) Title: STEPWISE PRESSURE RELIEF DEVICE AND STEAM GENERATOR SECONDARY-LOOP HEAT SINK SYSTEM

(54) 发明名称: 一种分级卸压装置及蒸汽发生器二回路热阱系统

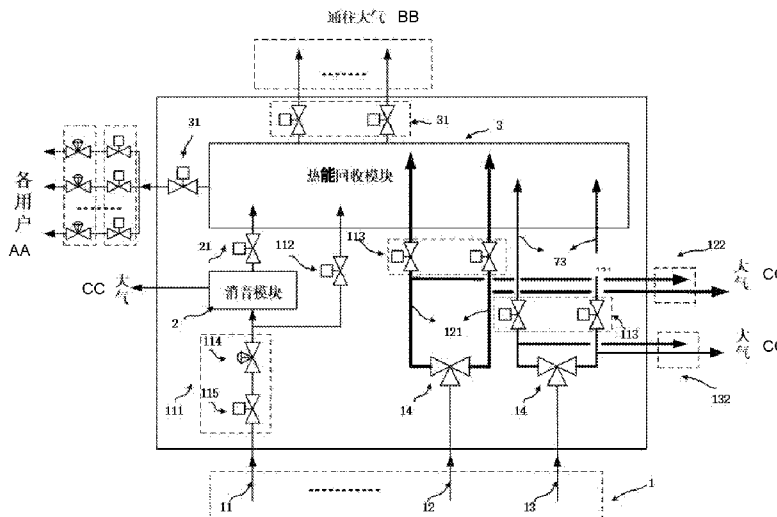


图 1

2 Silencing module
3 Heat recovery module
AA Users
BB To atmosphere
CC Atmosphere

(57) Abstract: A stepwise pressure relief device, comprising a steam intake pipeline, a silencing module and a heat recovery module. The steam intake pipeline comprises a first pipeline and at least two discharge pipelines, wherein the first pipeline is in communication with the silencing module and the heat recovery module, and the at least two discharge pipelines are respectively in communication with both the heat recovery module and the atmosphere. The silencing module is in communication with the heat recovery module and the atmosphere, and the heat recovery module is in communication with the atmosphere and users. A steam generator secondary-loop

北京市海淀区西三环北路117号, Beijing 100840 (CN)。吴永重(WU, Yongzhong); 中国北京市海淀区西三环北路117号, Beijing 100840 (CN)。李嫦月(LI, Changyue); 中国北京市海淀区西三环北路117号, Beijing 100840 (CN)。陆洋(LU, Yang); 中国北京市海淀区西三环北路117号, Beijing 100840 (CN)。董业旻(DONG, Yemin); 中国北京市海淀区西三环北路117号, Beijing 100840 (CN)。潘佳琪(PAN, Jiaqi); 中国北京市海淀区西三环北路117号, Beijing 100840 (CN)。

(74) 代理人: 北京天昊联合知识产权代理有限公司(TEE&HOWE INTELLECTUAL PROPERTY ATTORNEYS); 中国北京市东城区东长安街1号东方广场东方经贸城西一办公楼5层1, 6-12室张芸, Beijing 100738 (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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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))。

heat sink system, which has a steam delivery and pressure relief pipeline containing a stepwise pressure relief device. By means of the stepwise pressure relief device and the steam generator secondary-loop heat sink system, the economy, and the economy and safety of a power plant can be improved.

(57) 摘要: 一种分级卸压装置, 包括进汽管线、消音模块及热能回收模块, 进汽管线包括第一管线和至少两根排放管线, 第一管线分别与消音模块及热能回收模块连通, 至少两根排放管线分别与热能回收模块连通, 且分别与大气连通, 消音模块分别与热能回收模块及大气连通, 热能回收模块分别与大气及各用户连通。一种蒸汽发生器二回路热阱系统, 其蒸汽输送和卸压管路包含分级卸压装置。采用分级卸压装置及蒸汽发生器二回路热阱系统, 可提高经济性、提升电厂经济性和安全性。

一种分级卸压装置及蒸汽发生器二回路热阱系统

5 本申请要求 2022 年 6 月 30 日提交的发明名称为“一种分级卸压装置及蒸汽发射器二回路热阱系统”、申请号为 202210756488.5 的中国专利申请的优先权。

技术领域

10 本发明属于核工厂技术领域，具体涉及一种分级卸压装置及蒸汽发生器二回路热阱系统。

背景技术

在以往核工程设计过程中，蒸汽发生器二回路热阱系统主要是依靠能动的
15 的给水和蒸汽输送排放系统应对设计基准事故。这样就对能动给水系统的泵以及水源的冗余性和可靠性有很高的要求，同时对汽轮机旁排的措施也提出了很高的要求，要求能够长期作为可靠的二回路热阱长期导出反应堆冷却剂系统的热量。上述配置的分级、容量、冗余性、多样性等各方面的综合考虑导致人员和设备成本、建造和布置空间，以及大量施工等，都有很大挑战，
20 经济性较差。另外，蒸汽发生器二回路蒸汽输送排放系统的蒸汽，除了正常运行时用于推动汽轮机，在其他启停工况下，还有很多通过阀门排放的蒸汽都被废弃，造成了大量热能的损失。此外，蒸汽发生器二次侧的卸压排放装置没有统筹考虑，阀门选型、配置、定值和排放管道等的设计还有很多局限性，所有阀门采用同一排放定值导致喷放力大振动加强，并且还存在阀门冗
25 余性过大，排放容量过大等问题，不利于提升电厂经济性和安全性。

发明内容

针对现有技术中存在的缺陷，本发明的目的是提供一种分级卸压装置及蒸汽发生器二回路热阱系统以应对设计基准事故的二回路热阱，同时采用一个纵深防御热阱的设计进一步提升电厂导热的可靠性。另外采用分级卸压装置，使得蒸汽排放更稳定，振动更小，同时回收高温蒸汽热能再利用，既提高了电厂的经济性，又提高了电厂的安全性。

为达到以上目的，本发明采用的技术方案是：一种分级卸压装置，包括进汽管线、消音模块及热能回收模块，所述进汽管线包括第一管线和至少两根排放管线，所述第一管线分别与所述消音模块及所述热能回收模块连通，所述至少两根排放管线分别与所述热能回收模块连通且分别与大气连通，所述消音模块分别与所述热能回收模块及大气连通，所述热能回收模块分别与大气及各用户连通；其中，所述第一管线与所述消音模块及所述热能回收模块之间设置有调节阀组及第一隔离阀，所述消音模块与所述热能回收模块之间设置有消音隔离阀；所述至少两根排放管线与所述热能回收模块之间依次设置有安全阀及第二隔离阀，所述安全阀设置于所述至少两根排放管线的入口处，所述第二隔离阀设置于所述至少两根排放管线连通大气段与所述热能回收模块之间，所述热能回收模块与大气及各用户连通处分别设置有热能隔离阀。

进一步，所述调节阀组包括依次设置的第三隔离阀及消音调节阀，以实现调节和隔离排汽的效果。

进一步，所述第二管线及所述第三管线皆分为对称设置至少两列，分别排向大气或与所述热能回收模块连通，所述第二隔离阀设置于所述第二管线及所述第三管线与所述热能回收模块连通的部分。

进一步，所述安全阀的开启定值比所述调节阀组的排放定值高；所述至少两根排放管线中的至少一者的安全阀的开启定值不同于所述至少两根排放管线中的至少另一者的安全阀的开启定值。

进一步，所述至少两根排放管线中距离所述第一管线更远的一根排放管
5 线的安全阀的开启定值高于或等于所述至少两根排放管线中距离所述第一管线更近的一根排放管线的安全阀的开启定值，使得所有安全阀的开启整定值整体呈逐渐增大趋势。

进一步，所述至少两根排放管线中的至少一者的安全阀的排放高度布置在与所述至少两根排放管线中的至少另一者的安全阀相同或者不同的标高上，
10 且所述至少两根排放管线中的至少一者的安全阀的排放口径相同或者不同于所述至少两根排放管线中的至少另一者的安全阀的排放口径。

所述至少两根排放管线中距离所述第一管线更远的一根排放管线的安全阀的排放口径大于或等于所述至少两根排放管线中距离所述第一管线更近的一根排放管线的安全阀的排放口径，使得所有安全阀的排放口径整体呈逐渐
15 增大趋势进一步，所述至少两根排放管线包括第二管线和第三管线，所述第二管线包括相互连通的第一连通段及第一排放段，其中，所述第一连通段与所述热能回收模块连通，所述第一排放段排向大气；所述第三管线包括相互连通的第二连通段及第二排放段，其中，所述第二连通段与所述热能回收模块连通，所述第二排放段排向大气，所述第二隔离阀分别设置于所述第一连
20 通段及所述第二连通段上。

本发明还提供一种蒸汽发生器二回路热阱系统，包括：蒸汽输送和卸压管路，其包括分级卸压装置；换热回路，其包括蒸汽发生器、蒸汽管线、冷凝管线、至少一换热器及至少一换热水箱，所述蒸汽发生器与所述分级卸压装置连通；以及供水管路，所述供水管路连通所述蒸汽发生器以向所述蒸汽
25 发生器内供水；其中，所述蒸汽管线分别连通所述蒸汽发生器及所述换热器，

所述冷凝管线分别连通所述换热器及所述供水管路，所述换热器位于所述换热水箱内；所述蒸汽管线上设置有常开的蒸汽隔离阀，所述冷凝管路上设置有至少两台并联常关的第一冷凝隔离阀。

进一步，所述蒸汽发生器上设置至少一台宽量程液位测量仪表和至少一台窄量程液位测量仪表，以监测所述蒸汽发生器内的液位。

进一步，所述蒸汽发生器与所述分级卸压装置之间设置有至少一块差压流量测量仪表。

进一步，所述供水管路包括主供水管路及启停供水管路，所述主供水管路及所述启停供水管路皆与所述蒸汽发生器连通，以向蒸汽发生器供水；所述冷凝管线分别与所述主供水管路及所述启停供水管路连通，且在连通处分别设置有第二冷凝隔离阀及第三冷凝隔离阀。

进一步，所述主供水管路上依次设置有给水流量测量装置、给水调节阀、给水隔离阀及给水止回阀，所述给水流量测量装置上还设置有至少一给水传感器，所述给水调节阀和所述给水隔离阀均接受给水隔离信号，根据实际关闭引起水力瞬态结果采用分阶段隔离。

进一步，所述启停供水管路上皆依次设置有启停给水流量测量装置、启停给水调节阀、启停给水隔离阀及启停给水止回阀，所述启停给水流量测量装置上还设置有至少一启停给水传感器，所述启停给水调节阀和所述启停给水隔离阀均接受给水隔离信号，根据实际关闭引起水力瞬态结果采用分阶段隔离。

本发明的效果在于：通过蒸汽发生器二回路热阱系统中配置的分级、容量、冗余性、多样性等各方面的综合考虑，从而降低人员和设备成本、节约建造和布置空间，增加经济性。同时，利用分级卸压装置，除了正常运行时用于推动汽轮机，在其他启停工况下，还将通过阀门排放的蒸汽的热能进行

回收。并且，通过阀门选型、配置、定值和排放管道等的设计提升电厂经济性和安全性。

附图说明

5 图 1 是本发明中一种分级卸压装置的模块示意图；

图 2 是本发明中一种蒸汽发生器二回路热阱系统的模块示意图。

附图标记说明：

10、分级卸压装置；1、进汽管线；2、消音模块；3、热能回收模块；11、第一管线；12、第二管线；13、第三管线；111、调节阀组；112、第一隔离
10 阀；21、消音隔离阀；31、热能隔离阀；14、安全阀；113、第二隔离阀；114、消音调节阀；115、第三隔离阀；121、第一连通段；122、第一排放段；131、第二连通段；132、第二排放段；

4、蒸汽发生器；40、供水管路；50、换热回路；60、蒸汽输送和卸压管
路；51、蒸汽管线；52、冷凝管线；53、换热器；54、换热水箱；511、蒸汽
15 隔离阀；521、第一冷凝隔离阀；401、宽量程液位测量仪表；402、窄量程液位测量仪表；403、差压流量测量仪表；41、主供水管路；42、启停供水管路；
522、第二冷凝隔离阀；523、第三冷凝隔离阀；411、给水流量测量装置；412、给水调节阀；413、给水隔离阀；414、给水止回阀；415、给水传感器；421、
启停给水流量测量装置；422、启停给水调节阀；423、启停给水隔离阀；424、
20 启停给水止回阀；425、启停给水传感器。

具体实施方式

下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步描述。

如图 1-2 所示，本发明提供的一种分级卸压装置 10，设置于蒸汽发生器
25 二回路热阱的蒸汽输送和卸压管路上，包括与蒸汽输送和卸压管路上排汽管

连通的进汽管线 1、消音模块 2 及热能回收模块 3，进汽管线 1 包括第一管线 11、第二管线 12 及可选的第三管线 13，第一管线 11 分别与消音模块 2 及热能回收模块 3 连通，第二管线 12 与热能回收模块 3 连通，且与大气连通，消音模块 2 分别与热能回收模块 3 及大气连通，热能回收模块 3 分别与大气及各用户连通。蒸汽输送和卸压管路是既可以向汽轮机输送蒸汽，又可以在超压状态下通过卸压装置排放蒸汽的蒸汽管线。

第一管线 11 与消音模块 2 及热能回收模块 3 之间分别设置有调节阀组 111 及第一隔离阀 112，消音模块 2 与热能回收模块 3 之间设置有消音隔离阀 21。第二管线 12 与热能回收模块 3 之间依次设置有安全阀 14 及第二隔离阀 113，安全阀 14 设置于第二管线 12 的入口处，第二隔离阀 113 设置于第二管线 12 连通大气段与热能回收模块 3 之间，热能回收模块 3 与大气及各用户连通处分别设置有热能隔离阀 31。与第二管线 12 类似的，第三管线 13 与热能回收模块 3 连通且与大气连通，第三管线 13 与热能回收模块 3 之间也依次设置有设置于第三管线 13 的入口处的安全阀 14 及设置于第三管线 13 连通大气段与热能回收模块 3 之间的第二隔离阀 113。可以理解到，在一些实施例中，可以设置与第二管线 12 类似的第四管线、第五管线等，即，这些更多的管线上也可以类似地设置有安全阀 14 和第二隔离阀 113，而且管线的数量可以根据需要进行设置，而不受具体限制。另外可以理解到，进汽管线 1 中的各管线，例如第一管线 11、第二管线 12... 等均与蒸汽输送和卸压管路上的排汽管连通。在一些实施例中，第二管线 12、第三管线 13、第四管线... 依次距离第一管线 11 更远。在本文中，第二管线 12、第三管线 13、第四管线等... 又可以统称为“排放管线”。在本文中“距离第一管线 11 更远”指的是连通到蒸汽输送和卸压管路上的排汽管上的位置距离第一管线 11 更远。

可以理解，蒸汽输送和卸压管路中的蒸汽从进汽管线 1 进入后，通过第一管线 11 经由调节阀组 111 进入至消音模块中 2，并通过消音模块 2 排往大

气进行卸压。当消音隔离阀 21 打开时,蒸汽还可进入热能回收模块 3 内,将蒸汽的余热利用热能回收模块 3 进行回收。

可以理解,在分级卸压装置 10 中,安全阀 14 的开启定值比调节阀组 111 的排放定值高;另外,在分级卸压装置 10 中,全部安全阀 14 中的至少一个与全部安全阀 14 中的至少另一个安全阀的排放压力定值不相同。例如,第二管线 12 及第三管线 13 上的两个安全阀 14 可以分别按照不同排放压力定值进行设计,并均配置核级抗震供电,当蒸汽的压力达到排放压力定值时,蒸汽进入第二管线 12 和/或第三管线 13,并排入大气;由此实现分级卸压的效果。当第二隔离阀 113 打开时,蒸汽还可进入热能回收模块 3 内,将蒸汽的余热利用热能回收模块 3 进行回收。在一些实施例中,第二管线 12、第三管线 13、第四管线以及可选的更多管线上的全部安全阀之中的两个以上安全阀 14 可以分别按照不同排放压力定值进行设计。在一些实施例中,所有安全阀的开启整定值是随着远离第一管线 11 而整体呈逐渐增大趋势,这意味着其中也可以部分安全阀开启整定值相同,只要全部开启整定值呈整体逐渐增大趋势即可。可以理解,在一些实施例中,第二管线 12、第三管线 13、第四管线以及可选的更多管线上的全部安全阀之中的两个以上安全阀 14 可以分别设置在不同的标高上。可以理解,在一些实施例中,第二管线 12、第三管线 13、第四管线以及可选的更多管线上的全部安全阀之中的两个以上安全阀 14 可以分别具有不同的排放口径。在一些实施例中,所有安全阀的排放口径是随着远离第一管线 11 而整体呈逐渐增大趋势,这意味着其中也可以部分安全阀的排放口径相同,只要全部安全阀的排放口径呈整体逐渐增大趋势即可。

进一步地,调节阀组 111 包括依次设置的第三隔离阀 115 及消音调节阀 114,以实现调节和隔离排汽的效果。

可以理解,第三隔离阀 115 可用采用电动隔离阀、气动隔离阀、先导快开阀等。

进一步地，第二管线 12 及可选的第三管线 13 皆分为对称设置的至少两列，分别排向大气或与热能回收模块 3 连通，第二隔离阀 113 设置于第二管线 12 及第三管线 13 与热能回收模块 3 连通的部分。在本说明书中，术语“至少两列”是指第二管线 12 及可选的更多管线以至少两根管道进行连接，例如
5 以至少两根管道连接到大 气或以至少两根管道连接到热能回收模块 3。

进一步地，第二管线 12 包括相互连通的第一连通段 121 及第一排放段 122，其中，第一连通段 121 与热能回收模块 3 连通，第一排放段 122 排向大 气。

第三管线 13 包括相互连通的第二连通段 131 及第二排放段 132，其中，
10 第二连通段 131 与热能回收模块 3 连通，第二排放段 132 排向大气，第二隔离阀 113 分别设置于第一连通段 121 及第二连通段 131 上。

本发明还提供一种蒸汽发生器二回路热阱系统，包括供水管路 40、换热回路 50、及蒸汽输送和卸压管路 60，供水管路 40 连通换热回路 50 的蒸汽发生器 4，以向蒸汽发生器 4 内供水，蒸汽发生器 4 与蒸汽输送和卸压管路 60
15 的分级卸压装置 10 连通。换热回路 50 包括蒸汽管线 51、冷凝管线 52、至少一换热器 53 及至少一换热水箱 54，蒸汽管线 51 分别连通蒸汽发生器 4 及换热器 53，冷凝管线 52 分别连通换热器 53 及供水管路 40，换热器 53 位于换热水箱 54 内。

其中，蒸汽管线 51 上设置有常开的蒸汽隔离阀 511，冷凝管路 52 上设
20 置有至少两台并联常关的第一冷凝隔离阀 521。

可以理解，在本实施例中，蒸汽发生器 4 产生的蒸汽经过分级卸压装置进行卸压及热量回收后，排向汽轮机，以向汽轮机供汽。

进一步地，蒸汽发生器 4 上设置至少一台宽量程液位测量仪表 401 和至少一台窄量程液位测量仪表 402，以监测蒸汽发生器 4 内的液位。

25 进一步地，蒸汽发生器 4 与分级卸压装置之间设置有至少一块差压流量

测量仪表 403。

可以理解，差压流量测量仪表 403 所测的流量信号可以送入电厂反应堆保护系统，用于触发安全保护信号。

进一步地，供水管路 40 包括主供水管路 41 及启停供水管路 42，主供水
5 管路 41 及启停供水管路 42 皆与蒸汽发生器 4 连通，以向蒸汽发生器 4 供水。

进一步地，冷凝管线 52 分别与主供水管路 41 及启停供水管路 42 连通，且在连通处分别设置有第二冷凝隔离阀 522 及第三冷凝隔离阀 523。

进一步地，主供水管路 41 上依次设置有给水流量测量装置 411、给水调节阀 412、给水隔离阀 413 及给水止回阀 414，给水流量测量装置 411 上还设
10 置有至少一给水传感器 415。

进一步地，启停供水管路 42 上皆依次设置有启停给水流量测量装置 421、启停给水调节阀 422、启停给水隔离阀 423 及启停给水止回阀 424，启停给水流量测量装置 421 上还设置有至少一启停给水传感器 425。

可以理解，给水流量测量装置 411 位于抗震厂房，设计成核级抗震设备，
15 给水传感器 415 所测的流量信号可以送入电厂反应堆保护系统，用于触发安全保护信号，给水调节阀 412 为气动阀门，并且设计成失气关，既可以实现调节功能，又可以实现快速隔离功能，给水隔离阀 413 既可以采用电动隔离阀，也可以采用气液联动快关隔离阀。给水调节阀 412、给水隔离阀 413 均接受给水隔离信号，根据实际关闭引起水力瞬态结果，可采用分阶段隔离。
20 给水隔离阀 413 和给水调节阀 412 均接受给水隔离信号，根据实际关闭引起水力瞬态结果，可采用分阶段隔离。给水隔离阀 413 尽可能靠近安全壳贯穿件布置，给水止回阀 414 尽可能靠近蒸汽发生器 4 布置，并且位于换热回路 50 的上游。

可以理解，启停给水流量测量装置 421 位于抗震厂房，设计成核级抗震
25 设备，启停给水传感器 425 所测的流量信号可以送入电厂反应堆保护系统，

用于触发安全保护信号，启停给水调节阀 422 为气动阀门，并且设计成失气关，既可以实现调节功能，又可以实现快速隔离功能，启停给水隔离阀 423 既可以采用电动隔离阀，也可以采用气液联动快关隔离阀。启停给水调节阀 422、启停给水隔离阀 423 均接受给水隔离信号，根据实际关闭引起水力瞬态结果，可采用分阶段隔离。启停给水隔离阀 423 和启停给水调节阀 422 均接受给水隔离信号，根据实际关闭引起水力瞬态结果，可采用分阶段隔离。启停给水隔离阀 423 尽可能靠近安全壳贯穿件布置，启停给水止回阀 424 尽可能靠近蒸汽发生器 4 布置，并且位于换热回路 50 的上游。

在本实施例中，在核电厂正常运行工况下，通过主给水供水管路 41 向蒸汽发生器 4 供水，在蒸汽发生器 4 二次侧换热之后，通过蒸汽输送和卸压管路 60 进入汽轮机方向，作为电厂正常运行期间的二次侧热阱。在核电厂启停运行工况下，通过启停给水管路向蒸汽发生器 4 供水，在蒸汽发生器 4 二次侧换热之后，正常蒸汽排放至冷凝器不可用时，通过将蒸汽在分级卸压装置 10 中排放，作为电厂启停运行期间的二次侧热阱。其中供水管路 40 上的调节阀用于调整向蒸汽发生器 4 供水的流量。

当蒸汽通过分级卸压装置 10 中排放时，分级卸压装置 10 主要用于电厂启停或者某些长期处于热停热备阶段并且蒸汽处于无放射性的情况。当蒸汽通过调节阀组 111 时，先进入消音模块 2 进行降噪处理，然后再将蒸汽排入热量回收模块 3，也可以根据换热用户的需求无需降低噪音直接将蒸汽排放至热量回收模块 3。热量回收模块 3 里可以设置多个高压蓄能模块。最后根据用户的需求，通过对通往各用户管线上的隔离阀和调节阀进行开关和调节来进行热量分配，将蒸汽输送到各用户，各用户根据需要可以再将接收到的蒸汽进行降温降压使用。

该分级卸压装置 10 中安全阀 14 的开启定值是比调节阀组 111 的排放定值高，且安全阀 14 的开启定值均不同，是逐级增大的。在不同瞬态情况下安

全阀 14 会根据系统压力变化情况逐级开启,最高开启压力定值要保证不同事故工况下二次侧不超过压力限值。同时安全阀 14 排放管线按照两列对称排放,可以将阀门出口反作用力平衡,并且减少主蒸汽管道上的载荷,将阀门开启时的震动最小化,并且针对不同事故可以投运不同数量的阀门以实现最优化的投运。使得蒸汽排放更可靠、更稳定,振动更小。

分级卸压装置 10 中的安全阀 14 排放容量比较大,除了作为热阱排放带热,主要还是用于超压保护,蒸汽通过安全阀 14 一般直接排向大气。在不影响完成上述功能的前提下,安全阀 14 的排放也可以排放到热量回收模块 3,并且不同安全阀 14 的排放布置在不同高度上,排放口径也可以逐渐增大减小排放背压,这样的设置可以避免排放集中在同一区域带来的冲击力和局部压力骤增。

在核电厂处于设计基准事故情况下,首先是由丧失厂外电等情况导致主给水供水丧失,主给水管路 41 隔离。然后通过启停给水管路 42 向蒸汽发生器 4 供水,在蒸汽发生器 4 二次侧换热之后,正常蒸汽排放至冷凝器不可用时,通过将蒸汽在分级卸压装置 10 中排放,作为电厂事故停运期间用于纵深防御的二次侧热阱,这样就避免了非能动换热系统的投运。进一步提高了电厂的安全性和可靠性。其中,当蒸汽通过分级卸压装置 10 中排放时,根据事故实际情况分析,如果蒸汽不带放且能较长时间处于恢复期间,可以考虑热量回收利用,否则直接排放掉。

在核电厂处于设计基准事故情况下,首先是由丧失厂外电等情况导致主给水供水丧失,主给水管路 41 隔离。然后通过启停给水管路 42 向蒸汽发生器 4 供水,如果启停给水供水丧失,启停给水管路 42 隔离。其中启停给水管路 42 上的低流量给水信号送往反应堆保护系统,用于组合触发非能动换热回路投运需要关闭和开启的阀门。需要给主给水管路 41 上的调节阀和隔离阀发送关闭信号,需要给启停给水管路 42 上的给水调节阀 412 和给水隔离阀 413

发送关闭信号，需要给主蒸汽隔离阀发送关闭信号。需要给换热回路 50 中的
冷凝管线上 52 设置的两台并联常关的第一冷凝隔离阀 521 以及通往启停给水管路 42 的冷凝管线 52 上的常开第三冷凝隔离阀 523 发送开启信号。这些阀门和信号均采用核级可靠蓄电池供电，即便上述常关电动阀阀门或关闭的汽
5 动阀门出现单一故障，另外一台阀门仍然可以实现非能动换热回路投运边界的隔离。换热回路 50 投运后，二回路的蒸汽通过蒸汽管线 51 进入换热器 53，然后将热量传递给换热水箱 54，蒸汽被冷凝为水，然后通过冷凝管线 52，将冷凝水通过启停给水管路 42 向蒸汽发生器 4 供给，如果启停给水管路 42 回路出现故障，可以隔离该管路，然后通过开启向主给水管路 41 接管的冷凝管
10 线 52 上的第二冷凝隔离阀 522，继续向蒸汽发生器 4 供水，形成一个非能动的封闭式自然循环。换热回路 50 作为设计基准事故下蒸汽发生器二回路热阱，保证了核电厂在事故情况下的安全运行。

在核电厂处于瞬态或者事故情况下，分级卸压装置 10 中的调节阀组 111 开启定值较低，除了用于调节蒸汽排放容量，稳定一二回路压力，还用于实
15 现纵深防御热量导出的功能，避免非能动换热回路投运。此外，还用于实现纵深防御超压保护的功能，避免安全阀 14 投运。

在核电厂事故期间，例如 SGTR 情况下，当识别出放射性，并且蒸汽发生器 4 水位高等信号，通过关闭事故蒸汽发生器 4 的给水隔离阀 413 和启停给水隔离阀 423 以将蒸汽发生器 4 隔离，且在该压力下分级卸压装置 10 中的安
20 全阀 14 和排放阀可以处于关闭状态，实现破损蒸汽发生器 4 的自动隔离，避免出现放射性向外释放。保证人员、电厂和环境的安全。

该系统的分级卸压装置 10，优化了瞬态及事故情况下阀门开启的数量，避免了阀门同时开启排放或卸压带来的震动，并且可以回收部分高温高压蒸汽的热量。同时回收高温蒸汽热能再利用，既提高了电厂的经济性，又提高
25 了电厂的安全性。

通过上述实施例可以看出，本发明的优点有：

（1）采用一种更安全和可靠的利用密度差和重力作用形成自然循环的非能动换热回路，作为应对设计基准事故的二回路热阱。同时在主给水管路 41 丧失时，采用启停给水管路 42 与分级卸压装置 10 配合导热作为蒸汽发生器二回路的纵深防御热阱，避免非能动换热回路 50 投入运行，进一步提高了电厂的安全性和可靠性。避免了以往采用能动系统应对设计基准事故带来的繁琐复杂的设计，避免了上述设计中由于设备分级、容量、冗余性、多样性等各方面的综合考虑导致人员和设备成本、建造和布置空间，以及大量施工等带来的经济性提升方面的巨大挑战，该套二回路热阱系统整体提升了电厂的经济性和安全性。

（2）采用分级卸压装置 10，该装置包括至少一台可以调节和隔离排汽卸压的调节阀组 111，以及至少一台可以直接排放的安全阀 14，阀门的数量要根据阀门的排放量和事故分析优化确定。以上排放阀门均按照不同的开启压力定值进行设计，分级卸压装置 10 最高开启压力定值要保证不同事故工况下二次侧不超过压力限值。同时安全阀 14 排放管线设置为两列以上且对称排放，可以将阀门出口反作用力平衡，并且减少主蒸汽管道上的载荷，将阀门开启时的震动最小化，并且针对不同事故可以投运不同数量的阀门以实现最优优化投运。使得蒸汽排放更可靠、更稳定，振动更小。

（3）采用分级卸压装置 10，该装置包括至少一个消音模块，和至少一个热量回收模块。其中消音器模块 2，可以根据电厂需求设置多级消音器，可以设置不同消音能力的模块，这种灵活设置可以根据用户的现场需求，考虑进行不同程度的消音处理，尽可能根据用户需求优化设备，并有利于提高电厂的经济性。其中热量回收模块 3 至少包括一个蓄热模块，综合考虑排放至该模块内的排放管线将其排放高度设置在不同标高，并且设置不同排放管径，经过模拟计算确定的最终尺寸，除了满足排放要求和热量回收要求，还

避免了集中排放在同一位置冲击力过大以及增压过快的问题。回收的热量根据用户的需求，可通过调节阀组 111 进行流量调节和降压，必要时通过隔离阀进行用户隔离，还可以在用户范围内设置降温装置。通过上述配置使得从热量回收模块 3 出来之后的蒸汽可以满足不同的用户需求，包括电厂内常规的高温高压蒸汽灭菌和对含油污管道的清洁等，还包括电厂内用于二回路除氧器的热力除氧等，可降低二回路不可用期间，减少电锅炉使用时间，节约能源等等。

（4）采用分级卸压装置 10，其中可以调节和隔离排汽卸压的调节阀组 111 中的第三隔离阀 115 和消音调节阀 114，可根据电厂实际情况采用多种阀门类型进行组合。安全阀 14 可根据电厂实际情况采用弹簧式或者先导式。这些阀门的分级排放可以保证电厂在各种运行工况下，蒸汽发生器 4 壳侧、相连接管道、和执行安全壳隔离以及蒸汽发生器 4 隔离的安全相关功能的设备的完整性。对于可以调节和隔离排汽卸压的调节阀组 111 既可以用于热量的调节导出，又可以控制核电一二回路的稳定性，可同时作为二回路超压保护和衰变热导出的纵深防御措施，进一步提升电厂的可靠性。

（5）供水管路 40 的调节阀同时具有调节和隔离给水的功能，因此调节阀和隔离阀相当于设置了两道核级可靠给水隔离阀，在 SGTR 事故情况下，防止蒸汽发生器满溢，以及主蒸汽管线过水。避免分级卸压装置 10 中的阀门向大气排放给水和反应堆冷却剂而引起的放射性物质释放。同时作为非能动换热回路投运的可靠边界隔离阀。蒸汽管路上的主蒸汽隔离阀可以采用具备两路控制回路的气液联动隔离阀实现可靠的蒸汽隔离，同时作为非能动换热回路投运的可靠边界隔离阀。同时蒸汽管路上的分级卸压装置 10 中的采用可靠的安全阀，在不需求超压保护时，可切换至关闭状态并维持关闭，保持一个封闭的隔离状态。分级卸压装置 10 中的可以调节和隔离排汽卸压的阀组，采用隔离阀加调节阀的设计，相当于具备两道隔离措施，保持一个封边的隔离

阀装置。分级卸压装置 10 中的上述阀门可以作为非能动换热回路投运的可靠边界隔离阀。

本发明所述的装置并不限于具体实施方式中所述的实施例，本领域技术人员根据本发明的技术方案得出其他的实施方式，同样属于本发明的技术创

5 新范围。

权 利 要 求 书

1. 一种分级卸压装置，设置于蒸汽输送和卸压管路上，其特征在于，包括：

进汽管线（1）、消音模块（2）及热能回收模块（3），

5 其中，所述进汽管线（1）包括第一管线（11）和至少两根排放管线，所述第一管线（11）分别与所述消音模块（2）及所述热能回收模块（3）连通，所述至少两根排放管线分别与所述热能回收模块（3）连通且分别与大气连通，所述消音模块（2）分别与所述热能回收模块（3）及大气连通，所述热能回收模块（3）分别与大气及各用户连通；

10 其中，所述第一管线（11）与所述消音模块（2）及所述热能回收模块（3）之间设置有调节阀组（111）及第一隔离阀（112），所述消音模块（2）与所述热能回收模块（3）之间设置有消音隔离阀（21）；所述至少两根排放管线与所述热能回收模块（3）之间依次设置有安全阀（14）及第二隔离阀（113），所述安全阀（14）设置于所述至少两根排放管线的入口处，所述第二隔离阀（113）设置于所述至少两根排放管线连通大气段与所述热能回收模块（3）之间，所述热能回收模块（3）与大气及各用户连通处分别设置有热能隔离阀（31）。

2. 如权利要求 1 所述的一种分级卸压装置，其特征在于：

20 所述至少两根排放管线皆分为对称设置的至少两列，分别排向大气或与所述热能回收模块（3）连通。

3. 如权利要求 1 所述的一种分级卸压装置，其特征在于：

所述安全阀（14）的开启定值比所述调节阀组（111）的排放定值高；

所述至少两根排放管线中的至少一者的安全阀的开启定值不同于所述至少两根排放管线中的至少另一者的安全阀的开启定值。

25 4. 如权利要求 3 所述的一种分级卸压装置，其特征在于：

所述至少两根排放管线中距离所述第一管线更远的一根排放管线的安全阀的开启定值高于或等于所述至少两根排放管线中距离所述第一管线更近的一根排放管线的安全阀的开启定值，使得所有安全阀的开启整定值整体呈逐渐增大趋势。

5 5. 如权利要求 3 所述的一种分级卸压装置，其特征在于：

所述至少两根排放管线中的至少一者的安全阀（14）的排放高度布置在与所述至少两根排放管线中的至少另一者的安全阀相同或者不同的标高上，且所述至少两根排放管线中的至少一者的安全阀（14）的排放口径相同或者不同于所述至少两根排放管线中的至少另一者的安全阀（14）的排放口径。

10 6. 如权利要求 5 所述的一种分级卸压装置，其特征在于：

所述至少两根排放管线中距离所述第一管线更远的一根排放管线的安全阀的排放口径大于或等于所述至少两根排放管线中距离所述第一管线更近的一根排放管线的安全阀的排放口径，使得所有安全阀的排放口径整体呈逐渐增大趋势。

15 7. 一种蒸汽发生器二回路热阱系统，其特征在于，包括：

蒸汽输送和卸压管路（60），其包括分级卸压装置（10）；

换热回路（50），其包括蒸汽发生器（4）、蒸汽管线（51）、冷凝管线（52）、至少一台换热器（53）及至少一个换热水箱（54），所述蒸汽发生器（4）与所述分级卸压装置（10）连通；以及

20 供水管路（40），所述供水管路（40）连通所述蒸汽发生器（4）以向所述蒸汽发生器（4）内供水；

其中，所述蒸汽管线（51）分别连通所述蒸汽发生器（4）及所述换热器（53），所述冷凝管线（52）分别连通所述换热器（53）及所述供水管路（40），所述换热器（53）位于所述换热水箱（54）内；

25 所述蒸汽管线（51）上设置有常开的蒸汽隔离阀（511），所述冷凝管路

(52) 上设置有至少两台并联常关的第一冷凝隔离阀(521)。

8. 如权利要求 7 所述的一种蒸汽发生器二回路热阱系统, 其特征在于:

所述供水管路(40)包括主供水管路(41)及启停供水管路(42), 所述主供水管路(41)及所述启停供水管路(42)皆与所述蒸汽发生器(4)连通, 以向蒸汽发生器(4)供水;

所述冷凝管线(52)分别与所述主供水管路(41)及所述启停供水管路(42)连通, 且在连通处分别设置有第二冷凝隔离阀(522)及第三冷凝隔离阀(523)。

9. 如权利要求 8 所述的一种蒸汽发生器二回路热阱系统, 其特征在于:

所述主供水管路(41)上设置有给水调节阀(412)和给水隔离阀(413), 所述给水调节阀(412)和所述给水隔离阀(413)均接受给水隔离信号, 根据实际关闭引起水力瞬态结果采用分阶段隔离。

10. 如权利要求 8 所述的一种蒸汽发生器二回路热阱系统, 其特征在于;

所述启停供水管路(42)上设置有启停给水调节阀(422)和启停给水隔离阀(423), 所述启停给水调节阀(422)和所述启停给水隔离阀(423)均接受给水隔离信号, 根据实际关闭引起水力瞬态结果采用分阶段隔离。

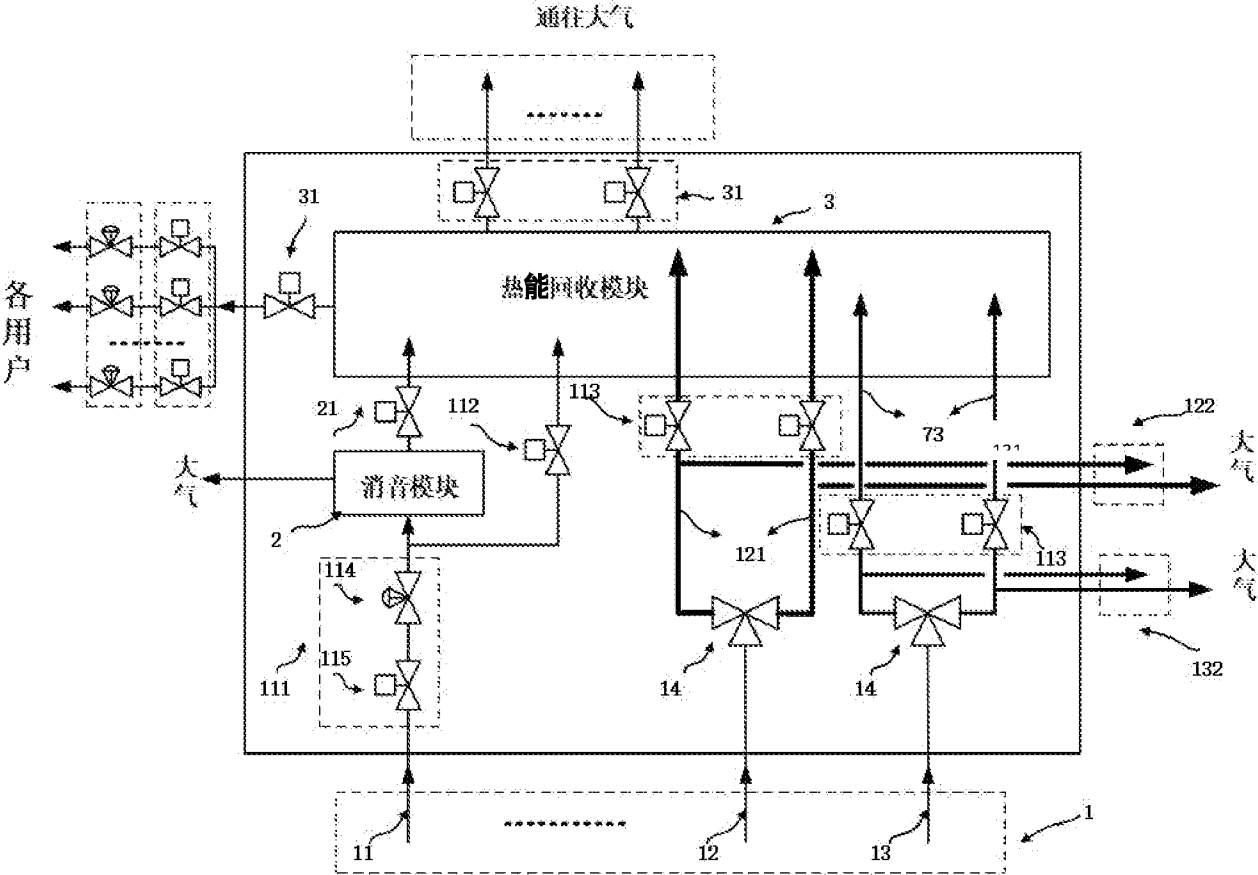


图 1

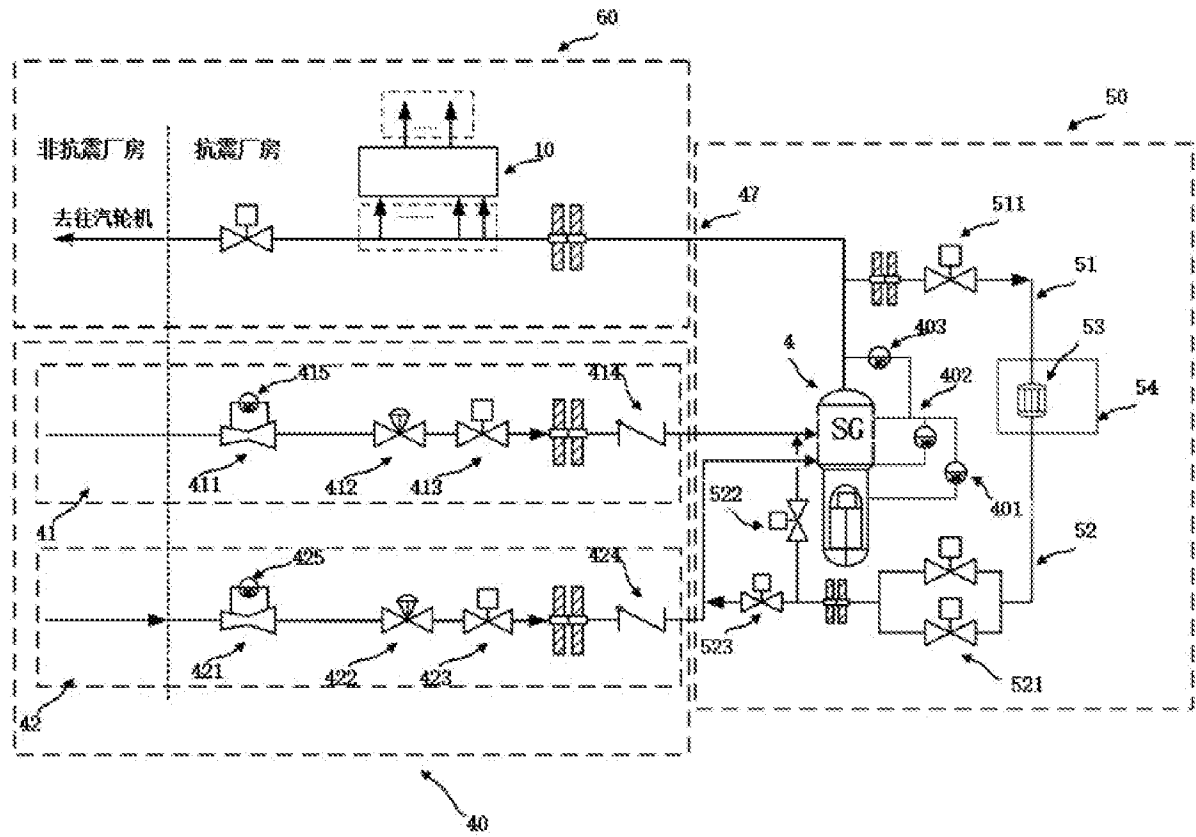


图 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2022/129915

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G21D3/06(2006.01);G21C15/18(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)

G21D-, G21C-

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)

CNARS, CNTXT, ENTXTC, USTXTC, VEN, CNKI, Web of science: 中国核电工程有限公司, 赵嘉明, 荆春宁, 蒸汽, 蒸气, (or 分级, 多, 若干, 两, 二, 三, 四), 卸压, 泄压, 排, 释放, 管, 核, 放射性, 热, 冷却, steam+, vapo?, tube?, pipe?, heat+, cool+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 107068214 A (CHINA NUCLEAR POWER TECHNOLOGY RESEARCH INSTITUTE et al.) 18 August 2017 (2017-08-18) description, paragraphs [0002]-[0028], and figures 1-2	1-10
Y	CN 112309598 A (HUALONG PRESSURIZED WATER REACTOR TECHNOLOGY CORP., LTD.) 02 February 2021 (2021-02-02) description, paragraphs [0002]-[0049], and figures 1-2	1-10
Y	CN 114038587 A (NUCLEAR POWER INSTITUTE OF CHINA) 11 February 2022 (2022-02-11) description, paragraphs [0002]-[0110], and figure 1	7-10
A	CN 203366759 U (CHINA NUCLEAR POWER ENGINEERING CO., LTD.) 25 December 2013 (2013-12-25) entire document	1-10
A	JP H1172589 A (TOSHIBA CORP.) 16 March 1999 (1999-03-16) entire document	1-10



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

“D” document cited by the applicant in the international application

“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

07 March 2023

Date of mailing of the international search report

15 March 2023

Name and mailing address of the ISA/CN

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

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2022/129915

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	KR 20140144573 A (KOREA ATOMIC ENERGY RESEARCH INSTITUTE) 19 December 2014 (2014-12-19) entire document	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2022/129915

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	107068214	A	18 August 2017	None			
CN	112309598	A	02 February 2021	None			
CN	114038587	A	11 February 2022	None			
CN	203366759	U	25 December 2013	None			
JP	H1172589	A	16 March 1999	None			
KR	20140144573	A	19 December 2014	KR	101479001	B1	05 January 2015

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2022/129915

A. 主题的分类 G21D3/06(2006.01)i;G21C15/18(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) G21D-, G21C- 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)) CNARS, CNTXT, ENTXTC, USTXTC, VEN, CNKI, Web of science: 中国核电工程有限公司, 赵嘉明, 荆春宁, 蒸汽, 蒸气, (or 分级, 多, 若干, 两, 二, 三, 四), 卸压, 泄压, 排, 释放, 管, 核, 放射性, 热, 冷却, steam+, vapo?r, tube?, pipe?, heat+, cool+		
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
Y	CN 107068214 A (中广核研究院有限公司等) 2017年8月18日 (2017 - 08 - 18) 说明书[0002]-[0028]段、附图1-2	1-10
Y	CN 112309598 A (华龙国际核电技术有限公司) 2021年2月2日 (2021 - 02 - 02) 说明书[0002]-[0049]段、附图1-2	1-10
Y	CN 114038587 A (中国核动力研究设计院) 2022年2月11日 (2022 - 02 - 11) 说明书[0002]-[0110]段、附图1	7-10
A	CN 203366759 U (中国核电工程有限公司) 2013年12月25日 (2013 - 12 - 25) 全文	1-10
A	JP H1172589 A (TOSHIBA CORP.) 1999年3月16日 (1999 - 03 - 16) 全文	1-10
A	KR 20140144573 A (KOREA ATOMIC ENERGY RES.) 2014年12月19日 (2014 - 12 - 19) 全文	1-10
☐ 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 “D” 申请人在国际申请中引证的文件 “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 2023年3月7日		国际检索报告邮寄日期 2023年3月15日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局 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 薛正燕 电话号码 (+86) 028-62967954

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2022/129915

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	107068214	A	2017年8月18日	无	
CN	112309598	A	2021年2月2日	无	
CN	114038587	A	2022年2月11日	无	
CN	203366759	U	2013年12月25日	无	
JP	H1172589	A	1999年3月16日	无	
KR	20140144573	A	2014年12月19日	KR 101479001 B1	2015年1月5日