

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200710099364. X

[51] Int. Cl.

C02F 1/44 (2006.01)

C02F 1/04 (2006.01)

G21C 1/00 (2006.01)

C02F 103/08 (2006.01)

[45] 授权公告日 2009年1月28日

[11] 授权公告号 CN 100455520C

[22] 申请日 2007.5.18

[21] 申请号 200710099364. X

[73] 专利权人 中核能源科技有限公司

地址 100084 北京市海淀区清华科技园创
新大厦 B 座 916 室

共同专利权人 清华大学

[72] 发明人 郭吉林 张亚军 马计中 孟东旺
黄良康 贾海军 李卫华 石琦
余瑞霞 王春铭 唐青

[56] 参考文献

US2004/0237526A1 2004.12.2

CN2736342Y 2005.10.26

200MW 核供热堆核能海水淡化及接口方案
的研究. 董铎等. 核动力工程, 第 16 卷第 4
期. 1995

A comparative economic analysis of the contribution of nuclear seawater desalination to environmental protection using the clean development mechanism (CDM). Li Tian . et al. Desalination, Vol. 157 . 2003

Seawater desalination – SWCC experience and vision. Mohammad Abdul. Kareem Al. Sofi. Desalination, Vol. 135 . 2001

审查员 李欣

[74] 专利代理机构 北京清亦华知识产权代理事务所

代理人 廖元秋

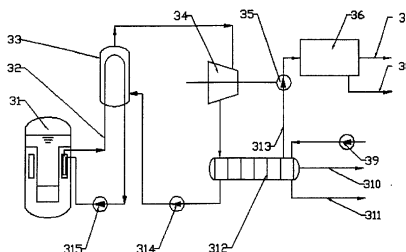
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 2 页

[54] 发明名称

一种核能海水淡化耦合设备及其方法

[57] 摘要

本发明涉及一种核能海水淡化耦合设备及其方法,属于核能应用和海水利用技术领域;该设备包括:小型核供热反应堆、反渗透海水淡化系统、蒸馏法海水淡化系统以及辅助设备;该方法包括:小型核供热反应堆中产生的热量送至蒸汽发生器,产生的饱和蒸汽进入汽轮机直接驱动反渗透高压泵进行反渗透海水淡化;汽轮机末级排出的饱和蒸汽引入蒸馏法海水淡化系统进行海水淡化;蒸汽凝结成水后送回蒸汽发生器;原料海水进入蒸馏法海水淡化系统,其排热段冷却海水送至反渗透高压泵,加压后送至反渗透海水淡化系统,反渗透产品水进入淡化水贮水箱或淡化水用户,浓缩海水进行综合利用或由浓海水排放渠排入大海。本发明具有技术先进、热利用率高、产水量大、可分质供水等优点。



1、一种核能海水淡化耦合设备，其特征在于，该设备包括：小型核供热反应堆、小型核供热反应堆中间回路循环泵、蒸汽发生器、汽轮机、海水给水泵、反渗透高压泵、反渗透海水淡化系统、蒸馏法海水淡化系统、凝结水泵；其连接关系为：该小型核供热反应堆堆内冷却剂的自然循环称为一回路；小型核供热反应堆与蒸汽发生器一次侧通过带有中间回路循环泵的管道组成第二个回路；蒸汽发生器二次侧、汽轮机和蒸馏法海水淡化系统通过带有凝结水泵的管道，构成第三个回路；蒸馏法海水淡化系统通过反渗透高压泵与反渗透海水淡化系统相连；海水给水泵与蒸馏法海水淡化系统的进口相连。

2、一种采用如权利要求1所述设备的核能海水淡化耦合方法，其特征在于，该方法包括以下步骤：

1) 小型核供热反应堆中产生的热量通过中间回路输送至蒸汽发生器，蒸汽发生器产生的饱和蒸汽首先进入汽轮机直接驱动反渗透高压泵进行反渗透海水淡化；

2) 从汽轮机末级排出的饱和蒸汽引入蒸馏法海水淡化系统，作为蒸馏法海水淡化系统的加热蒸汽，进行蒸馏法海水淡化；蒸汽在蒸馏法海水淡化系统中凝结成水后经凝结水泵送回蒸汽发生器，完成一个热力循环过程；

3) 原料海水经海水给水泵进入蒸馏法海水淡化系统，蒸馏法海水淡化系统的产品水进入淡化水贮水箱或淡化水用户，浓缩海水进行综合利用或排入大海；蒸馏法海水淡化系统的排热段冷却海水送至反渗透高压泵，加压后送至反渗透海水淡化系统进行海水淡化过程，反渗透产品水进入淡化水贮水箱或淡化水用户，浓缩海水进行综合利用或由浓海水排放渠排入大海。

一种核能海水淡化耦合设备及其方法

技术领域

本发明属于核能应用和海水利用技术领域,特别涉及核供热反应堆与海水淡化系统之间的耦合方法。

背景技术

利用核反应堆作为能量来源进行海水淡化是核能应用的一个重要领域。国际上许多国家进行了核反应堆与海水淡化系统的耦合技术研究,取得很多阶段性成果。到目前为止,哈萨克斯坦和日本建立过实际运行的工业规模的核能海水淡化装置,印度核能海水淡化示范厂正在建设中。这些海水淡化厂均是将海水淡化技术与发电核反应堆进行耦合,进行电水联产。国际上一些国家还进行了中小型核供热堆与海水淡化工艺耦合的技术研究工作,但绝大多数还停留在概念性设计阶段。在中国,清华大学进行的核供热堆与海水淡化技术的耦合研究工作已经达到工程实施深度,现已处于商用示范堆建设、实现产业化的阶段。作为核供热堆产业化应用示范项目,山东烟台 16 万 m^3/d 核能海水淡化项目已于 2003 年获得国务院和原国家计委的批准,现正在进行可行性研究。

核反应堆与海水淡化技术的耦合实际上就是利用核反应堆产生的能量作为海水淡化系统能源的一项技术。核反应堆提供的能量方式可以是热能、机械能或电能等,而海水淡化技术又包括多级闪蒸、多效蒸馏、反渗透等多种方法,因此核反应堆以不同的能量输出方式与不同的海水淡化技术耦合,会有许多种耦合方式。不同的耦合方式又直接影响到核反应堆与海水淡化系统的安全运行、能量利用率、海水淡化产水的经济性及其淡化水的质量。

现在世界上已经建造的核能海水淡化厂均是采用核电站产生的部分蒸汽或电力与海水淡化技术的耦合。耦合方式包括利用核电站汽轮机抽汽与多级闪蒸海水淡化或低温多效海水淡化系统耦合,利用核电站的电力与反渗透海水淡化系统相耦合。前苏联于 1973 年在舍伏琴科(现哈萨克斯坦, Aktau)建立了世界上第一座大型核能海水淡化厂,由 BN-350 液态金属冷却快中子堆、燃油热电站及蒸馏法海水淡化装置组成,设计淡水产量是 12 万 m^3/d 。BN-350 反应堆、燃油热电站及海水淡化系统的工艺流程如图 1 所示,来自燃油锅炉 11 的蒸汽推动抽汽凝汽式汽轮机 12 做功发电,排汽进入凝汽器 13 凝结成水返回燃油锅炉 11,汽轮机抽汽 14 用于周围地区居民供热。BN-350 反应堆 15 蒸汽回路输出的蒸汽驱动凝汽式汽轮机 16 及背压式汽轮机 17 做功发电,凝汽式汽轮机 16 的排汽进入凝汽器 1-8 凝结成水返回 BN-350 反应堆 15 蒸汽回路,背压式汽轮机 17 的排汽进入蒸馏法海水淡化系统 110,为海水淡化系统 110 提供热源进行海水淡化过程。蒸馏法海水淡化系统给水装

置 19 将海水输入到海水淡化系统 110 中，海水淡化系统 110 产出的淡水 112 一部分用于反应堆及燃油锅炉补水，其余部分用于居民生活用水，海水淡化系统的浓盐水 111 排放。核反应堆停堆检修时海水淡化厂热源由燃油热电站提供。

印度正在卡尔帕卡姆 (Kalpakkam) 建造一座多级闪蒸-反渗透混合法核能海水淡化示范厂，与已经运行的 $2 \times 170\text{MW}$ (电)PHWR堆(重水堆)相耦合。该淡化厂包括一个产水量 $4500\text{m}^3/\text{d}$ 的多级闪蒸装置和一个 $1800\text{m}^3/\text{d}$ 的反渗透装置，多级闪蒸系统所需热源及整个淡化厂所需电力均由核反应堆提供。该多级闪蒸-反渗透核能海水淡化系统工艺流程如图2所示，PHWR反应堆21蒸汽回路输出的蒸汽进入汽轮机22，通过发电机23发电，做功后的乏汽由电厂凝汽器24冷却为凝结水返回反应堆21蒸汽回路。从汽轮机22抽取压力为 0.35MPa 的低压蒸汽25，为海水淡化系统提供热源。低压蒸汽25经过一个中间换热器26交换能量后在多级闪蒸盐水加热器27中加热原料海水，将热量传递至多级闪蒸海水淡化系统28，进行海水淡化，由多级闪蒸海水给水装置29将待处理海水输入多级闪蒸海水淡化系统28，多级闪蒸海水淡化系统28的产品水210由电厂自用，多级闪蒸浓盐水211排放入大海。海水给水216经水-海水冷却回路217及慢化剂-水冷却回路218换热后温度升高，并与来自多级闪蒸排热段的冷却海水212混合后进入反渗透海水淡化系统213，以升高反渗透系统给水温度，提高系统淡水产量。反渗透海水淡化系统2-13所需能源由发电机提供，淡化后输出反渗透产品水214，反渗透浓盐水215排放。中间换热器26、多级闪蒸盐水加热器27、水海水冷却回路217以及慢化剂-水冷却回路218均可作为核反应堆与淡化系统之间的实体隔离屏障。

上述核能海水淡化厂均是核电厂与海水淡化技术的耦合。核电厂的反应堆单台功率很大，且温度、压力等运行参数较高，因此不适于建在离城市较近的地方。

发明内容

本发明的目的是为克服已有技术的不足之处，提出一种核能海水淡化耦合设备及其方法，采用具有固有安全性的核供热反应堆，适宜建在城市附近。并与目前效率最高、建造成本最低的反渗透海水淡化技术及技术成熟、对原料海水水质要求低、装置生产能力较大的蒸馏法海水淡化技术相耦合，具有热利用率高、产水量大、可分质供水等优点。

本发明提出的一种核能海水淡化耦合设备，其特征在于，该设备包括：核供热反应堆、蒸汽发生器、核反应堆中间回路循环泵、汽轮机、反渗透高压泵、反渗透海水淡化系统、海水给水泵、蒸馏法海水淡化系统、凝结水泵；其连接关系为：该小型核供热反应堆堆内冷却剂的自然循环称为一回路；核供热反应堆与蒸汽发生器通过带有中间回路循环泵的管道组成第二个回路；该蒸汽发生器、蒸汽经汽轮机和蒸馏法海水淡化系统通过带有凝结水泵的管道，构成第三个回路；蒸馏法海水淡化系统通过反渗透高压泵与反渗透海水淡化系统相连；海水给水泵与蒸馏法海水淡化系统的进口相连。

本发明采用上述设备的核能海水淡化耦合方法，其特征在于，该方法包括以下步骤：

1) 小型核供热反应堆中产生的热量通过主回路和中间回路输送至蒸汽发生器, 蒸汽发生器产生的饱和蒸汽首先进入汽轮机直接驱动反渗透高压泵进行反渗透海水淡化;

2) 从汽轮机末级排出的饱和蒸汽引入蒸馏法海水淡化系统, 作为蒸馏法海水淡化系统的加热蒸汽, 进行蒸馏法海水淡化; 蒸汽在蒸馏法海水淡化系统中凝结成水后经凝结水泵送回蒸汽发生器, 完成一个热力循环过程;

3) 原料海水经海水给水泵进入蒸馏法海水淡化系统, 蒸馏法海水淡化系统的产品水进入淡化水贮水箱或淡化水用户, 浓缩海水排入大海; 蒸馏法海水淡化系统的排热段冷却海水送至反渗透高压泵, 加压后送至反渗透海水淡化系统进行海水淡化过程, 反渗透产品水进入淡化水贮水箱或淡化水用户, 浓缩海水由浓海水排放渠排入大海。

本发明的特点及效果:

本发明为核供热反应堆和当今最先进的两种海水淡化技术提供了一种高效可靠的耦合方式。根据淡化水用户对不同水质的需求, 单独或两种淡化水进行混合可以很容易地满足分质供水需求; 如果直接将两种水混合供居民生活用水, 则可以省去淡化水的后处理系统, 可降低工程投资和淡化水生产成本。本发明采用汽轮机直接驱动反渗透高压泵进行膜法海水淡化, 相比于传统的电机带动反渗透高压泵系统, 本发明既去除了汽轮机带动发电机的损耗, 也去除了电动机的损耗, 提高了热力系统的利用率, 同时也可省去发电机、电动机、变频调速及输配电设备, 大大降低了工程投资。汽轮机排出的乏汽进入蒸馏法海水淡化系统进行海水淡化过程, 实现了热能的梯级利用, 大大提高核反应堆的热利用率。反渗透海水淡化系统的进水经过蒸馏法海水淡化系统热排放效的预热, 供水温度升高。由于反渗透海水淡化系统的供给海水温度每提高 1°C , 反渗透海水淡化的产水量可提高 $2\sim 3\%$, 因此蒸馏法海水淡化系统与反渗透系统耦合可以预热反渗透给水, 提高系统产水量。通过能量的梯级综合利用, 可以使反应堆的热利用率达到 90% 以上, 远远高于大型核电站反应堆 35% 的热利用率。本发明对于提高核能海水淡化经济性及产业化应用具有重要意义。

附图说明

图 1 为已有的液态金属冷却快中子堆、燃油热电站及蒸馏法海水淡化装置耦合系统的组成及工艺方法示意图。

图 2 为已有的多级闪蒸-反渗透混合法海水淡化装置与重水堆耦合系统的组成及工艺方法示意图。

图 3 为本发明提出的混合法(反渗透与蒸馏法)海水淡化装置与小型核供热反应堆耦合系统的组成及工艺方法示意图。

具体实施方式

本发明提出的一种混合法(反渗透与蒸馏法)海水淡化技术与小型核供热反应堆的耦合设备及方法结合附图及实施例详细说明如下:

本发明提出的一种核能海水淡化耦合设备组成如图3所示，该设备包括：核供热反应堆31、核反应堆中间回路循环泵315、蒸汽发生器33、汽轮机34、反渗透高压泵35、能量回收装置、反渗透海水淡化系统36、海水给水泵39、蒸馏法海水淡化系统312、凝结水泵314；其连接关系为：该核供热反应堆31与蒸汽发生器33通过带有中间回路循环泵315的管道组成第二回路；蒸汽发生器33、蒸汽经汽轮机34和蒸馏法海水淡化系统312通过带有凝结水泵314的管道，构成第三个回路；蒸馏法海水淡化系统312通过反渗透高压泵35与反渗透海水淡化系统36相连；海水给水泵39与蒸馏法海水淡化系统312的进口相连。

本发明采用上述设备的核能海水淡化耦合方法结合图3具体说明如下：

1) 核供热反应堆31中产生的热量通过中间回路32输送至蒸汽发生器33，蒸汽发生器33产生的饱和蒸汽首先进入汽轮机34直接驱动反渗透高压泵35进行反渗透海水淡化；

2) 从汽轮机34末级排出的饱和蒸汽引入蒸馏法海水淡化系统312，作为蒸馏法海水淡化系统312的加热蒸汽，进行蒸馏法海水淡化；蒸汽在蒸馏法海水淡化系统312中凝结成水后经凝结水泵314送回蒸汽发生器33，完成一个热力循环过程；

3) 来自海水给水泵39的原海水进入蒸馏法海水淡化系统312，蒸馏法海水淡化系统312的产品水310进入淡化水贮水箱或淡化水用户，浓缩海水311排入大海；蒸馏法海水淡化系统312的排热段冷却海水313送至反渗透高压泵35，加压后送至反渗透海水淡化系统36进行海水淡化过程，反渗透产品水37进入淡化水贮水箱或淡化水用户，浓缩海水38由浓海水排放渠排入大海。

实施例

本实施例的设备由热功率为200MW的核供热反应堆、日产25万 m^3 的混合法（反渗透与蒸馏法）海水淡化系统及由蒸汽发生器、汽轮机、反渗透高压泵、海水给水泵、凝结水泵、核反应堆中间回路循环泵构成的辅助设备三部分组成，所述的辅助设备均采用与所述核供热反应堆、海水淡化系统相配套的常规设备（选用的具体设备型号在下述的实施方法中说明）。

采用上述设备的核能海水淡化耦合方法包括以下步骤：

1) 200MW核供热反应堆中产生的热量通过主回路和中间回路输送至蒸汽发生器，蒸汽发生器产生的蒸汽为1.5MPa、198℃的饱和蒸汽，蒸汽流量约为300t/h，饱和蒸汽分别推动8台3MWe工业拖动汽轮机机组（包括40℃排汽凝汽式汽轮机6台，70℃排汽凝汽式汽轮机2台）。剩余饱和蒸汽可以生产厂区自用电。8台工业拖动汽轮机机组分别驱动8台反渗透高压泵用于反渗透海水淡化系统；

2) 从其中两台70℃排汽凝汽式汽轮机末级排出的70℃的饱和蒸汽进入一套由14效蒸发器构成的蒸馏法海水淡化装置（低温多效），作为蒸馏法海水淡化装置的加热蒸汽，进行海水淡化；蒸汽在蒸馏法海水淡化装置中凝结成水后经凝结水泵送回蒸汽发生器，完成一个热力循环过程；

3) 一部分原料海水经给水泵进入蒸馏法海水淡化系统(低温多效), 该蒸馏法海水淡化系统产水 1 万 m^3/d , 可作为纯水工业用水, 其浓缩海水排入大海; 另一部分原料海水经过 40°C 排汽的凝汽式汽轮机排出的乏汽加热后与蒸馏法海水淡化系统的排热段冷却海水混合后作为反渗透海水淡化系统的给水, 送至反渗透高压泵加压, 然后进入反渗透海水淡化系统。反渗透海水淡化系统生产的 24 万 m^3/d 淡水送入淡化水用户, 浓缩海水排放入大海。

在本实施例中核反应堆功率为 200MWt 的条件下, 不仅可以产水 25 万 m^3/d , 还可以提供全厂厂用电。如果采用核反应堆与高温多效海水淡化耦合技术, 系统可产水 16 万 m^3/d , 或者采用核反应堆与低温多效海水淡化耦合则系统产水 12 万 m^3/d , 这两种耦合技术均需外购厂用电。由此可见采用本发明大大提高了山东核能海水淡化厂的产能。采用本发明技术, 在 200MWt 核反应堆不提供厂用电的情况下, 则核能海水淡化厂的最大产能可达 42 万 m^3/d 以上, 不仅可以为单个沿海城市提供用水, 还可以实现多个沿海城市的联合区域供水, 可充分体现核能海水淡化的战略意义。采用本发明可以降低设备投资 6000 多万元, 同时产水成本降低了 5% 以上。

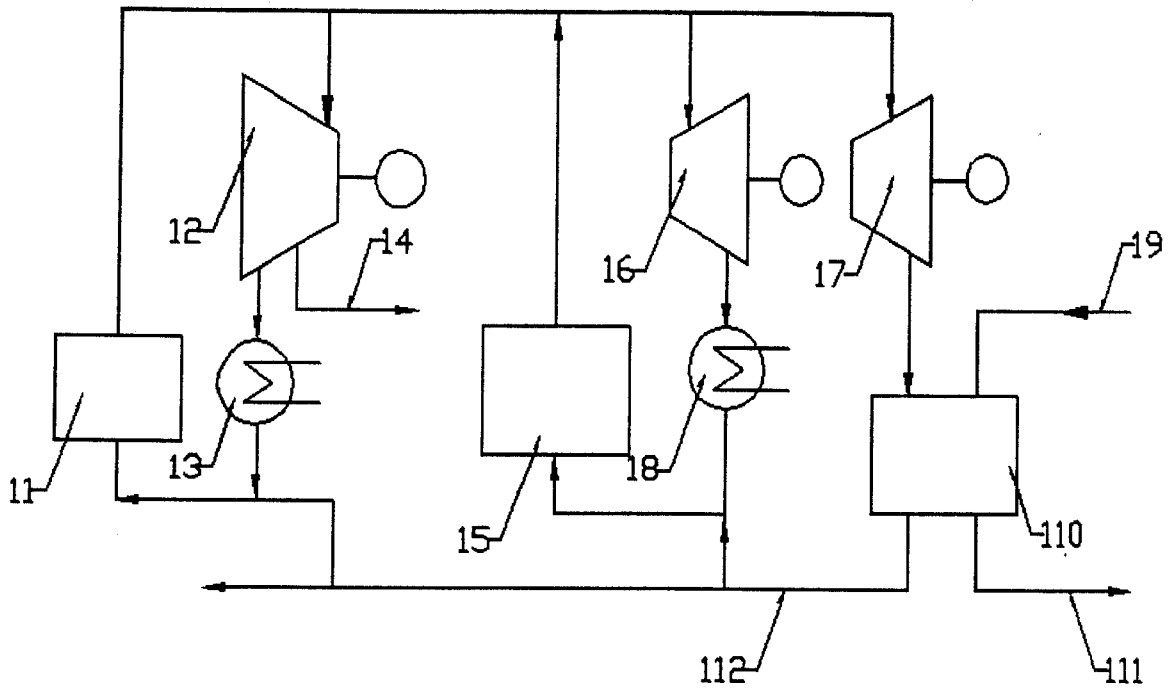


图 1

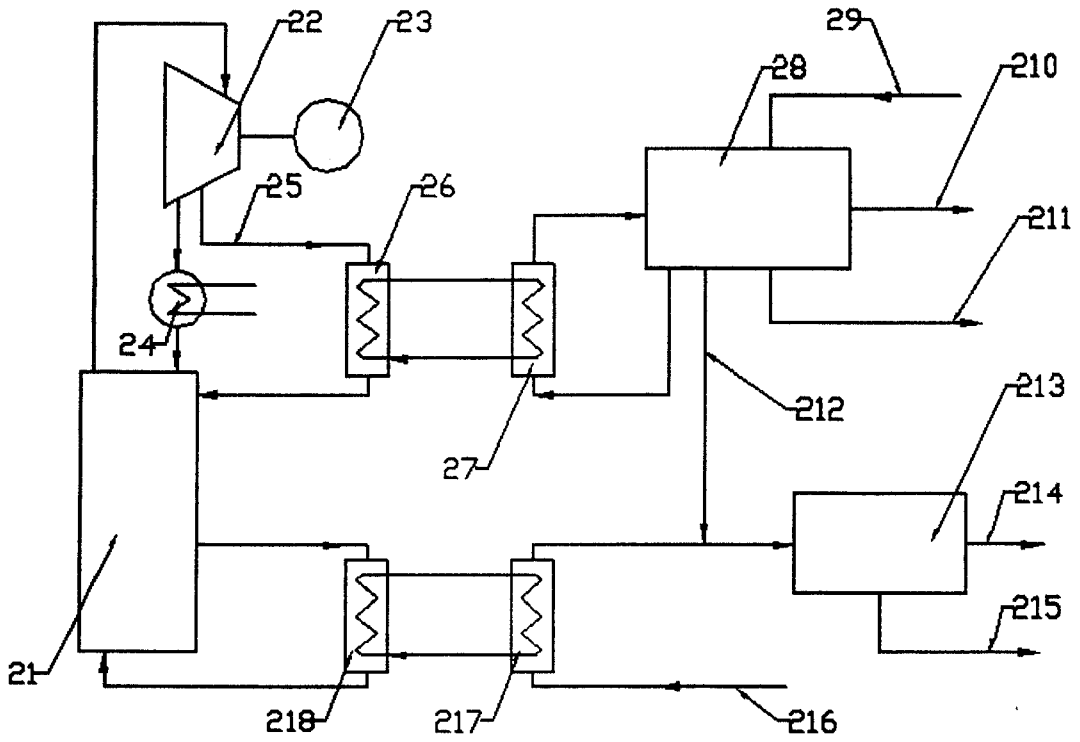


图 2

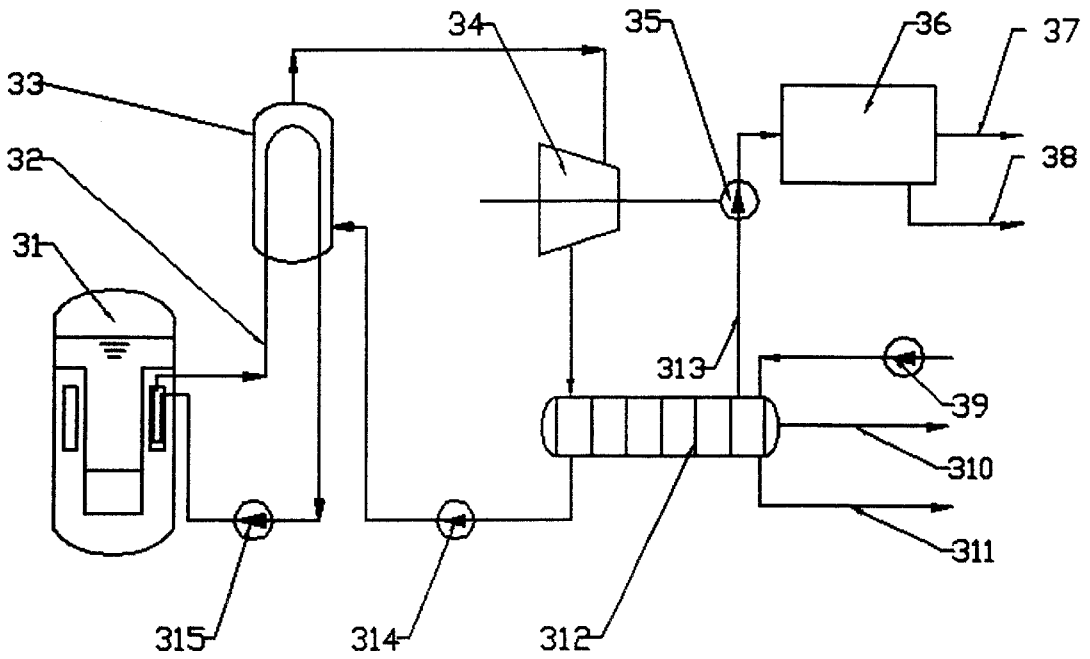


图 3