(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 103762004 A
(43)申请公布日 2014.04.30

(21)申请号 201410028695.4

(22)申请日 2014.01.22

(71)申请人 清华大学
地址 100084 北京市海淀区清华园 1 号

(72)发明人 赵璇 章真怡 李福志

(74)专利代理机构 北京中创阳光知识产权代理有限责任公司 11003
代理人 尹振启

(51)Int.Cl.
G21F 9/06(2006.01)
G21F 9/04(2006.01)

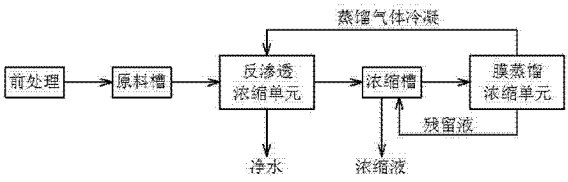
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

一种浓缩放射性废水的方法和系统

(57)摘要

本发明公开了一种浓缩放射性废水的方法，该方法包括如下步骤：将放射性废水导入反渗透浓缩单元进行反渗透初步浓缩，截留了放射性元素的反渗透浓缩液导入浓缩槽；将浓缩槽内的浓缩液导入膜蒸馏单元进行深度浓缩；浓缩槽内设置有用于测量浓缩液电导率的电导探头，当浓缩槽内的电导率高于设定的电导阈值，停止将反渗透浓缩液导入所述浓缩槽，并停止膜蒸馏浓缩单元的膜蒸馏浓缩，后将浓缩槽内的浓缩液导出进行固化处理。与现有技术相比，本发明采用反渗透＋膜蒸馏为核心的新型放射性污染废水浓缩方法，可以实现反渗透浓缩液的深度浓缩，进一步降低放射性废液的体积，其浓缩倍数可以达到与蒸发工艺相类似的水平，能耗仅为蒸发工艺的30-50%。



CN 103762004 A

1. 一种浓缩放射性废水的方法，其特征在于，其包括如下步骤：

步骤一：将放射性废水导入反渗透浓缩单元进行初步的反渗透浓缩，将截留了放射性元素的浓缩液导入浓缩槽，渗透出的净水满足环境排放要求后排放；

步骤二：将所述浓缩槽内的浓缩液导入膜蒸馏单元进行深度浓缩，经膜过滤出的蒸汽经冷凝后输回到所述反渗透浓缩单元再次进行反渗透浓缩，未蒸馏掉的残留液输回到所述浓缩槽；

步骤三：实时测量所述浓缩槽内浓缩液的电导率，当该电导率高于设定的电导阈值，停止将步骤一中所述反渗透浓缩单元所产生的浓缩液导入所述浓缩槽，并停止所述膜蒸馏单元的膜蒸馏浓缩，将所述浓缩槽内的浓缩液导出做后续固化处理。

2. 如权利要求 1 所述浓缩放射性废水的方法，其特征在于，所述反渗透浓缩单元采用压力驱动的膜系统；所述膜蒸馏浓缩单元采用温度差驱动的膜系统，即将所述浓缩槽内的液体加热并保持设定温度，导入疏水性膜组件，保持膜两侧的温度差，热侧蒸汽压高于冷侧，蒸汽穿过膜后冷凝导出。

3. 如权利要求 1 所述浓缩放射性废水的方法，其特征在于，实时监测所述浓缩槽内的液位，浓缩槽内液体高于设定的最高工作液位时，暂停将所述反渗透浓缩单元浓缩的浓缩液输入所述浓缩槽内直至浓缩槽内液体降至设定的最低工作液位；当所述浓缩槽内液体低于所述最低工作液位时，暂停所述膜蒸馏浓缩单元，直至所述浓缩槽内的液位升至最高工作液位。

4. 如权利要求 1 所述浓缩放射性废水的方法，其特征在于，所述放射性废水导入所述反渗透浓缩单元之前，采用微滤、超滤或者砂滤技术去除悬浮物、胶体杂质。

5. 如权利要求 1 所述浓缩放射性废水的方法，其特征在于，所述反渗透浓缩单元前设置有原料槽，待浓缩所述放射性废水先导入所述原料槽内，然后通过输送泵输入所述反渗透浓缩单元进行浓缩。

6. 如权利要求 5 所述浓缩放射性废水的方法，其特征在于，所述反渗透浓缩单元至少包括两级反渗透系统；第一级反渗透系统所截留的液体含盐量控制在不低于 5g/L，并导入所述浓缩槽内；其他各级反渗透系统所截留的液体输送回所述原料槽。

7. 如权利要求 1 所述浓缩放射性废水的方法，其特征在于，所述浓缩槽内液体温度控制在 50 度以上；所述膜蒸馏浓缩单元由一根膜组件组成，或由若干根膜组件并联组成，每根膜组件循环流量不低于 $4m^3/h$。

8. 一种浓缩放射性废水的系统，其特征在于，其包括：

对待浓缩放射性废水进行反渗透浓缩的反渗透浓缩单元；

与所述反渗透浓缩单元连接，并用于接收并容置所述反渗透浓缩单元所产生的浓缩液的浓缩槽；

与所述浓缩槽连接，并对浓缩槽内浓缩液进行膜蒸馏浓缩的膜蒸馏浓缩单元；

所述膜蒸馏浓缩单元未蒸馏掉的残留液经管路输送回所述浓缩槽，经膜蒸馏过滤出的蒸汽经冷凝后输回到所述反渗透浓缩单元再次进行反渗透浓缩；

所述浓缩槽内设置有用于测量浓缩液电导率的电导探头，当浓缩槽内的电导率高于设定的电导阈值，停止将所述反渗透浓缩单元所产生的浓缩液导入所述浓缩槽，并停止所述膜蒸馏浓缩单元的膜蒸馏浓缩。

9. 如权利要求 8 所述浓缩放射性废水的系统，其特征在于，所述浓缩放射性废水的系统还包括用于容纳待浓缩放射性废水的原料槽。

10. 如权利要求 9 所述浓缩放射性废水的系统，其特征在于，所述浓缩放射性废水的系统还包括用于对待浓缩放射性废水采用微滤、超滤或者砂滤技术去除悬浮物、胶体杂质的前处理模块；所述前处理模块与所述原料槽连接，经处理后的放射性废水经管路流入所述原料槽；或者所述前处理模块设置在所述原料槽和所述反渗透浓缩单元之间，所述原料槽内的放射性废水经所述前处理模块处理后，经管路导入所述反渗透浓缩单元。

11. 如权利要求 8 所述浓缩放射性废水的系统，其特征在于，所述反渗透浓缩单元采用压力驱动的膜系统；所述膜蒸馏浓缩单元采用温度差驱动的膜系统，即将所述浓缩槽内的液体加热并保持设定温度，导入疏水性膜组件，保持膜两侧的温度差，热侧蒸汽压高于冷侧，蒸汽穿过膜后冷凝导出。

12. 如权利要求 8 所述浓缩放射性废水的系统，其特征在于，所述浓缩槽内设置最高工作液位、最低工作液位开关，浓缩槽内液体高于所述最高工作液位，暂停将所述反渗透浓缩单元浓缩的浓缩液输入所述浓缩槽内直至浓缩槽内液体降至所述最低工作液位；当所述浓缩槽内液体低于所述最低工作液位时，暂停所述膜蒸馏浓缩单元，直至所述浓缩槽内的液位升至最高工作液位。

13. 如权利要求 9 所述浓缩放射性废水的系统，其特征在于，所述反渗透浓缩单元至少包括两级反渗透系统；第一级反渗透系统所截留的液体含盐量控制在不低于 5g/L，并导入所述浓缩槽内；其他各级反渗透系统所截留的液体经管路输送回所述原料槽。

一种浓缩放射性废水的方法和系统

技术领域

[0001] 本发明涉及到一种污水处理技术，特殊涉及到核工业放射性废水的浓缩方法；另外，本发明还涉及到一种使用该方法对放射性废水进行处理的系统。

背景技术

[0002] 放射性废水处理的主要目标是尽可能降低放射性废物的量。无论采取哪种处理方法，实质上是将放射性核素浓缩富集到极小体积的液体介质或者固体介质，并使绝大部分液体满足相关要求后解控。浓缩富集了放射性核素的液体介质如膜工艺的浓水，蒸发工艺的蒸残液。固体介质如离子交换树脂。这些物质最终成为放射性废物，进行长期地质储存。放射性废水处理的一个重要原则是在合理的条件下，使浓缩富集了放射性核素的液体介质或者固体介质尽可能小量化。

[0003] 其中，放射性废水浓缩处理技术的传统工艺是：蒸发＋离子交换。即放射性废水经过两级蒸发处理后，冷凝液进入离子交换树脂床进行精处理，满足环境排放要求；浓缩富集了大量核素的蒸残液，经固定化处理后，进行长期地质储存；浓缩富集了大量核素的离子交换树脂，经固定化处理后，进行长期地质储存。传统工艺的优点在于：技术成熟，去污能力强。缺点在于：能耗高；放射性废树脂量大；设备庞大，投资高，操作条件差，腐蚀结垢等问题严重。

[0004] 膜技术的兴起为放射性废水处理提供了新的选择。超滤技术难以去除溶解性的核素离子，但是可以去除水中存在的细微悬浮物、胶体物质、以及部分大分子有机物，由此去除被胶体或颗粒物夹带、或者与大分子有机物形成络合物的核素离子。反渗透、纳滤技术可以去除离子态的核素离子，但是对进水水质有较高的要求。通常情况下，需根据放射性废水的水质特征，设计具有针对性的膜集成系统。

发明内容

[0005] 为解决现有技术的上述问题，本发明的首要目的在于提供一种简单而高效的浓缩放射性废水的方法，次要目的在于提供一种使用该方法对放射性废水进行浓缩的系统。

[0006] 为实现上述目的，本发明一种浓缩放射性废水的方法包括如下步骤：

步骤一：将放射性废水导入反渗透浓缩单元进行初步的反渗透浓缩，截留了放射性元素的浓缩液导入浓缩槽，渗透出的净水满足环境排放要求后排放；

步骤二：将所述浓缩槽内的浓缩液导入膜蒸馏单元进行进一步的膜蒸馏浓缩，经膜过滤出的蒸汽经冷凝后输回到所述反渗透浓缩单元再次进行反渗透浓缩，未蒸馏掉的残留液输回到所述浓缩槽；

步骤三：实时测量浓缩槽内的电导率，当该电导率高于设定的电导阈值时，停止将步骤一中所述反渗透浓缩单元所产生的浓缩液导入所述浓缩槽，并停止所述膜蒸馏单元的膜蒸馏浓缩，将所述浓缩槽内的浓缩液导出做后续固化处理。

[0007] 进一步，所述反渗透浓缩单元采用压力驱动的膜系统；所述膜蒸馏浓缩单元采用

温度差驱动的膜系统，即将所述浓缩槽内的液体加热并保持设定温度，导入疏水性膜组件，保持膜两侧的温度差，热侧蒸汽压高于冷侧，蒸汽穿过膜后冷凝导出。

[0008] 进一步，实时监测所述浓缩槽内的液位，浓缩槽内液体高于设定的最高工作液位时，暂停将所述反渗透浓缩单元浓缩的浓缩液输入所述浓缩槽内直至浓缩槽内液体降至设定的最低工作液位；当所述浓缩槽内液体低于所述最低工作液位时，暂停所述膜蒸馏浓缩单元，直至所述浓缩槽内的液位升至最高工作液位。

[0009] 进一步，所述放射性废水导入所述反渗透浓缩单元之前，采用微滤、超滤或者砂滤等技术去除悬浮物、胶体等杂质。

[0010] 进一步，所述反渗透浓缩单元前设置有原料槽，待浓缩所述放射性废水先导入所述原料槽内，然后通过输送泵输入所述反渗透浓缩单元进行浓缩。

[0011] 进一步，所述反渗透浓缩单元至少包括两级反渗透系统；第一级反渗透系统所截留的液体含盐量控制在不低于 5g/L，导入所述浓缩槽内；其他各级反渗透系统所截留的液体输送回所述原料槽。

[0012] 进一步，所述浓缩槽内液体温度控制在 50 度以上，所述膜蒸馏单元由一根膜组件组成，或由若干根膜组件并联组成，每根膜组件循环流量不低于 $4m^3/h$。

[0013] 进一步，所述浓缩槽内放射性总活度水平不超过 10E ＋ 9Bq/L。

[0014] 进一步，在开始浓缩放射性废水之前和之后，对所述反渗透浓缩单元和所述膜蒸馏浓缩单元用非放射性水或步骤一所产生的净水进行在线冲洗，冲洗时工作参数不变。

[0015] 一种浓缩放射性废水的系统包括：

对待浓缩放射性废水进行反渗透浓缩的反渗透浓缩单元；

与所述反渗透浓缩单元连接，并用于接收并容置所述反渗透浓缩单元所产生的浓缩液的浓缩槽；

与所述浓缩槽连接，并对浓缩槽内浓缩液进行膜蒸馏浓缩的膜蒸馏浓缩单元；

所述膜蒸馏浓缩单元未蒸馏掉的残留液经管路输送回所述浓缩槽，经膜蒸馏过滤出的蒸汽经冷凝后输回到所述反渗透浓缩单元再次进行反渗透浓缩；

所述浓缩槽内设置有用于测量浓缩液电导率的电导探头，当浓缩槽内的电导率高于设定的电导阈值，停止将反渗透浓缩液导入所述浓缩槽，并停止所述膜蒸馏单元的膜蒸馏浓缩。

[0016] 进一步，所述浓缩放射性废水的系统还包括用于容纳待浓缩放射性废水的原料槽。

[0017] 进一步，所述浓缩放射性废水的系统还包括用于对待浓缩放射性废水采用微滤、超滤或者砂滤等技术去除悬浮物、胶体等杂质的前处理模块；所述前处理模块与所述原料槽连接，经处理后的放射性废水经管路流入所述原料槽；或者所述前处理模块设置在所述原料槽和所述反渗透浓缩单元之间，所述原料槽内的放射性废水经所述前处理模块处理后，经管路导入所述反渗透浓缩单元。

[0018] 进一步，所述反渗透浓缩单元采用压力驱动的膜系统；所述膜蒸馏浓缩单元采用温度差驱动的膜系统，即将所述浓缩槽内的液体加热并保持设定温度，导入疏水性膜组件，保持膜两侧的温度差，热侧蒸汽压高于冷侧，蒸汽穿过膜后冷凝导出。

[0019] 进一步，所述浓缩槽内设置最高工作液位、最低工作液位开关，浓缩槽内液体高于

所述最高工作液位，暂停将所述反渗透浓缩单元中第一级反渗透浓缩的浓缩液输入所述浓缩槽内直至浓缩槽内液体降至所述最低工作液位；当所述浓缩槽内液体低于所述最低工作液位时，暂停所述膜蒸馏浓缩单元，直至所述浓缩槽内的液位升至最高工作液位。

[0020] 进一步，所述反渗透浓缩单元至少包括两级反渗透系统；第一级反渗透系统所截留的液体含盐量控制在不低于 5g/L，导入所述浓缩槽内；其他各级反渗透系统所截留的液体经管路输送回所述原料槽。

[0021] 进一步，所述膜蒸馏单元由一根膜组件组成，或由若干根膜组件并联组成，每根膜组件循环流量不低于 $4m^3/h$。

[0022] 本专利提出了以反渗透＋膜蒸馏为核心的新型放射性废水浓缩方法。其中，反渗透承担了放射性废水初级浓缩功能，反渗透产生的淡水满足相关要求后可以环境排放，反渗透产生的浓缩液循环经过膜蒸馏组件，利用膜组件内外蒸气压差将产生的蒸气导出，导出蒸气冷凝形成膜蒸馏淡水，进行深度浓缩。

[0023] 本专利提出的浓缩放射性废水的系统与方法，创新性在于：

1）较之国际上经常采用的反渗透，可以进一步降低放射性废液的体积。利用反渗透技术浓缩放射性废水，虽然可以降低能耗，但是其浓缩倍数较蒸发工艺尚有较大的差距。采用反渗透＋膜蒸馏为核心的新型放射性污染废水浓缩方法，可以实现反渗透浓缩液的二次浓缩，进一步降低放射性废液的体积，其浓缩倍数可以达到与蒸发工艺相类似的水平，能耗仅为蒸发工艺的 30-50%。

[0024] 2）与常用的蒸发工艺相比，在设备尺寸、可操作性、可维护维修性等方面具有明显的优势。传统的蒸发设备体积庞大，辐射防护要求高，存在腐蚀、结垢等问题，设备更换难度大。以反渗透＋膜蒸馏为核心的新型放射性污染废水浓缩工艺简单紧凑，各工艺环节涉及的设备以及原水箱、管路、阀门、监测仪表、控制系统等可集成到移动机柜内，实现在不同地点之间的快速移动，更换工作地点后通电即可正常工作。内部系统自成一体，对外只设进水口、淡水出水口和浓缩液出口三个进出水口，集成系统具有自动冲洗、无水报警、故障报警、水质在线显示等功能。

附图说明

[0025] 图 1 为本发明方法基本流程图；

图 2 为实施例 1 中反渗透浓缩单元结构示意图；

图 3 为实施例 4 中浓缩放射性废水的系统结构示意图；

图 4 为实施例 5 中浓缩反射性废水的系统结构示意图；

图 5 为实施例 5 反渗透浓缩单元结构示意图。

具体实施方式

[0026] 下面结合附图对本发明的具体实施方式进行说明。

[0027] 实施例 1

如图 1 所示，浓缩放射性活度水平为 7000Bq/L，含盐量为 2g/L 的放射性废水浓缩方法。

[0028] （1）系统开机时先对各膜组件采用非放射性水进行自动冲洗，后进入正常工作程序。

[0029] （2）对放射性废水进行前处理：超滤去除放射性废水中的悬浮物、胶体等杂质，将处理后的放射性废水进入原料槽。

[0030] 另外，本工序还可以采用微滤、砂滤等技术去除悬浮物、胶体等杂质。

[0031] （3）将前处理后的放射性废水导入反渗透浓缩单元进行反渗透浓缩，将截留了放射性元素的浓缩液导入浓缩槽，渗透出的净水满足环境排放要求后排放；如图 2 所示，反渗透浓缩单元采用压力驱动的三级反渗透系统，上一级反渗透出的净水的进入下一级反渗透系统。其中第一级反渗透系统分为 3 段，反渗透系统总回收率为 75%。三级反渗透的淡水放射性活度分别为 200 Bq/L、80 Bq/L、30 Bq/L，最后一级反渗透系统产生的淡水排放。第一级反渗透系统所截留的液体含盐量在 8g/L 左右，全部导入浓缩槽内；第二级和第三级反渗透系统所截留的液体输送回原料槽。

[0032] （4）将浓缩槽内的浓缩液导入膜蒸馏单元进行膜蒸馏浓缩，经膜过滤出的蒸汽经冷凝后输回到反渗透浓缩单元再次进行反渗透浓缩，未蒸馏掉的残留液输回到浓缩槽。

[0033] 浓缩槽内设置最高、低工作液位开关。浓缩槽内液体高于设定的最高工作液位，反渗透浓缩液返回原料槽，或者关闭反渗透浓缩单元，直至浓缩槽内液体降至设定的最低工作液位。浓缩槽内液体低于最低工作液位，暂停膜蒸馏浓缩单元，直至液位升至最高工作液位。

[0034] 膜蒸馏浓缩单元采用温度差驱动的膜蒸馏系统。浓缩槽内浓缩液加热温度控制在 50 度，槽内的浓缩液进入膜蒸馏浓缩单元的膜蒸馏组件，保持膜两侧温度差，热侧蒸汽压高于冷侧，蒸汽穿过膜后冷凝导出，返回到反渗透浓缩单元的第一级或第二级反渗透系统中进行二次反渗透处理。截留了放射性核素的未蒸馏的残留液返回浓缩槽。

[0035] 其中膜蒸馏浓缩单元的膜系统由四根膜组件组成，单根膜组件循环流量控制在 6 m^3/h，四根并联，膜通量为 $6L/(m^2.h)$。

[0036] （5）浓缩槽内设置有用于实时测量浓缩液电导率的电导探头，预先设定的电导阈值为 30S/m，此时浓缩槽内放射性总活度水平不超过 10E ＋ 9Bq/L。当浓缩槽内的电导率高于 30S/m 时，停止将反渗透浓缩液导入浓缩槽，并停止膜蒸馏单元的膜蒸馏浓缩。

[0037] （6）将浓缩槽内液体经供料泵输送入预先置有一定量水泥的标准桶，与水泥经搅拌后形成固化体。

[0038] 另外，经工序（5）浓缩后得到的浓缩液还可以通过其他方法加以储存。

[0039] （7）重复工序（2）到（6）直到全部放射性废水处理完毕。

[0040] （8）系统停运时，用非放射性水或者系统产生的淡水进行在线冲洗，工作参数不变。

[0041] 经上述工序处理后，放射性废水总浓缩倍数达到 100 倍以上。

[0042] 实施例 2

本实施例所处理的放射性废水的放射性活度水平为 5000Bq/L，含盐量为 1g/L 的放射性废水。

[0043] 浓缩工序与实施例 1 基本相同，不同之处在于：

（1）反渗透浓缩单元采用两级反渗透膜系统，第一级反渗透系统又分为 3 段，反渗透系统总回收率为 80%。两级反渗透系统的淡水放射性活度分别为 150 Bq/L、50 Bq/L，最后一级膜系统产生的淡水排放。第一级反渗透系统所产生的浓缩液全部进入浓缩槽，含盐量在

5g/L 左右。

[0044] （2）浓缩槽内浓缩液加热温度控制在 55 度，膜蒸馏浓缩单元的单根膜组件循环流量为 $8m^3/h$，四根并联，整个蒸馏浓缩单元的膜通量为 $8L/(m^2.h)$。

[0045] （3）预先设定的电导阈值 40S/m，此时浓缩槽内放射性总活度水平不超过 10E ＋ 9Bq/L。

[0046] （4）最后该方法处理后的放射性废水总浓缩倍数达到 200 倍以上。

[0047] 实施例 3 ：

本实施例所处理的放射性废水的放射性活度水平为 3000Bq/L，含盐量为 3g/L 的放射性废水。

[0048] 浓缩工序与实施例基本相同，不同之处在于 ：

（1）反渗透浓缩单元采用三级反渗透膜系统，第一级反渗透系统又分为 3 段，反渗透系统总回收率为 70%。三级反渗透的淡水放射性活度分别为 100 Bq/L、50 Bq/L、10 Bq/L，最后一级膜系统产生的淡水排放。第一级反渗透系统所产生的浓缩液全部进入浓缩槽，含盐量在 9g/L 左右。

[0049] （2）浓缩槽内浓缩液加热温度控制在 60 度，膜蒸馏浓缩单元的单根膜组件循环流量为 $4m^3/h$，蒸馏浓缩单元的膜通量为 $4L/(m^2.h)$。

[0050] （3）预先设定的电导阈值 50S/m，此时浓缩槽内放射性总活度水平不超过 10E ＋ 9Bq/L。

[0051] （4）最后该方法处理后的放射性废水总浓缩倍数达到 100 倍左右。

[0052] 实施例 4 ：

如图 3 所示，一种浓缩放射性废水的系统包括 ：

用于对待浓缩放射性废水采用微滤、超滤或者砂滤等技术去除悬浮物、胶体等杂质的前处理模块 ；

用于容纳待浓缩放射性废水的原料槽 ；前处理模块与原料槽连接，经前处理后的放射性废水经管路流入原料槽 ；

与原料槽连接，对待浓缩放射性废水进行反渗透浓缩的反渗透浓缩单元，反渗透浓缩单元为采用压力驱动的膜系统 ；

与反渗透浓缩单元的第一级反渗透系统连接，并用于接收并容置第一级反渗透系统所截留的富含放射性元素的浓缩液的浓缩槽 ；

与浓缩槽连接，并对浓缩槽内浓缩液进行深度浓缩的膜蒸馏浓缩单元 ；膜蒸馏浓缩单元未蒸馏掉的残留液经管路输送回浓缩槽，经膜蒸馏过滤出的蒸汽经冷凝后输回到反渗透浓缩单元再次进行反渗透浓缩 ；膜蒸馏浓缩单元采用温度差驱动的膜系统，即将浓缩槽内的液体加热并保持设定温度，导入疏水性膜组件，保持膜两侧的温度差，热侧蒸汽压高于冷侧，蒸汽穿过膜后冷凝导出 ；膜蒸馏单元由一根膜组件组成，或由若干根膜组件并联组成，每根膜组件循环流量不低于 $4m^3/h$ ；

浓缩槽内设置有用于测量浓缩液电导率的电导探头（未示出），当浓缩槽内的电导率高于设定的电导阈值，停止将反渗透浓缩单元的所产生的浓缩液导入浓缩槽，并停止膜蒸馏单元的膜蒸馏浓缩。

[0053] 浓缩槽内设置最高工作液位、最低工作液位开关（未示出），浓缩槽内液体高于最

高工作液位，暂停将反渗透浓缩单元的第一级反渗透系统所截留的浓缩液输入浓缩槽内直至浓缩槽内液体降至最低工作液位；当浓缩槽内液体低于最低工作液位时，暂停膜蒸馏浓缩单元，直至浓缩槽内的液位升至最高工作液位。

[0054] 如图 2 所示，反渗透浓缩单元包括三级反渗透系统；第一级反渗透系统所截留的液体含盐量控制在不低于 5g/L，导入浓缩槽内；其他各级反渗透系统所截留的液体经管路输送回原料槽；第三级反渗透系统所渗透出的净水符合环境排放标准而排出。

[0055] 实施例 5：

本实施例浓缩放射性废水的系统与实施例 4 基本相同，区别在于：

（1）如图 4 所示，前处理模块设置在原料槽和反渗透浓缩单元之间，原料槽内的放射性废水经前处理模块处理后，经管路导入反渗透浓缩单元。

[0056] （2）如图 5 所示，反渗透浓缩单元包括两级反渗透系统，第一级反渗透系统所截留的液体含盐量控制在不低于 5g/L，导入浓缩槽内；第二级反渗透系统所截留的液体经管路输送回原料槽；第二级反渗透系统所渗透出的净水符合环境排放标准而排出。

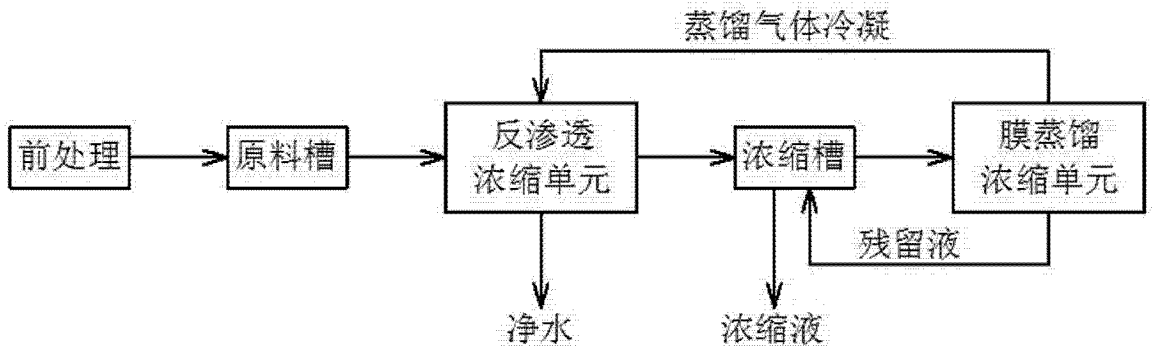

蒸馏气体冷凝
前处理
原料槽
反渗透
浓缩单元
浓缩槽
膜蒸馏
浓缩单元
残留液
净水
浓缩液

图 1

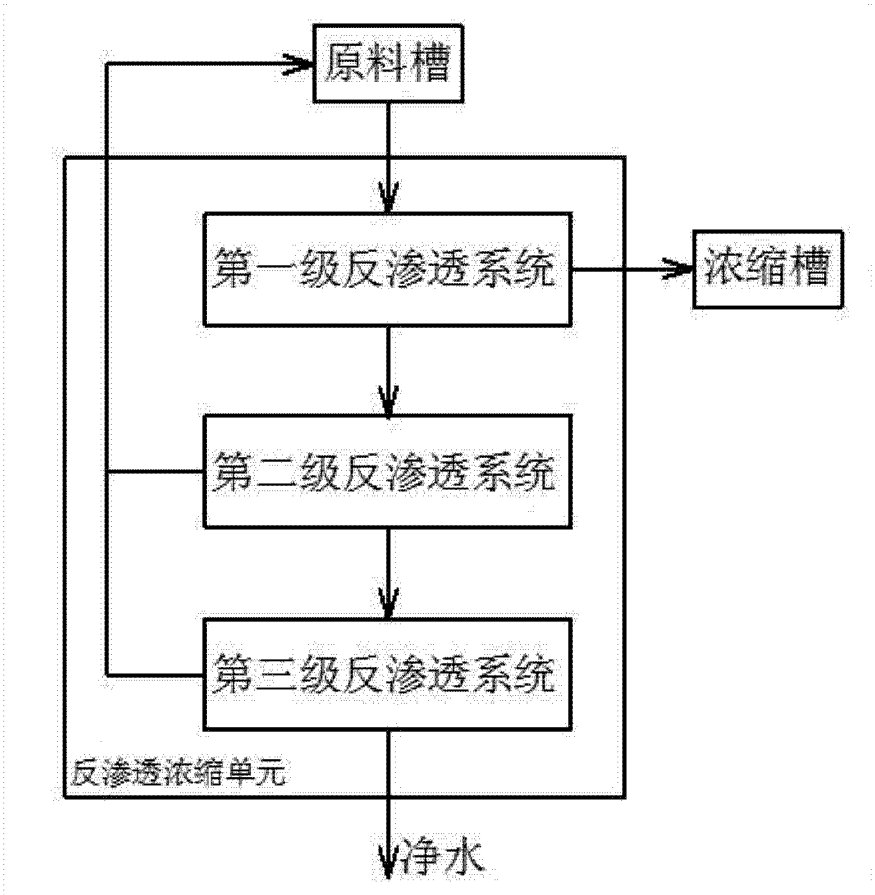

原料槽
第一级反渗透系统
浓缩槽
第二级反渗透系统
第三级反渗透系统
反渗透浓缩单元
净水

图 2

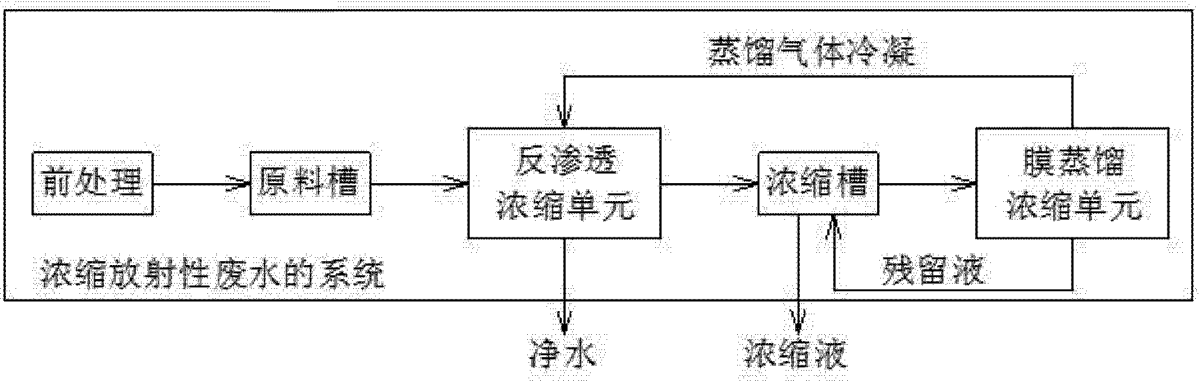

蒸馏气体冷凝
前处理
原料槽
反渗透
浓缩单元
浓缩槽
膜蒸馏
浓缩单元
浓缩放射性废水的系统
残留液
净水
浓缩液

图 3

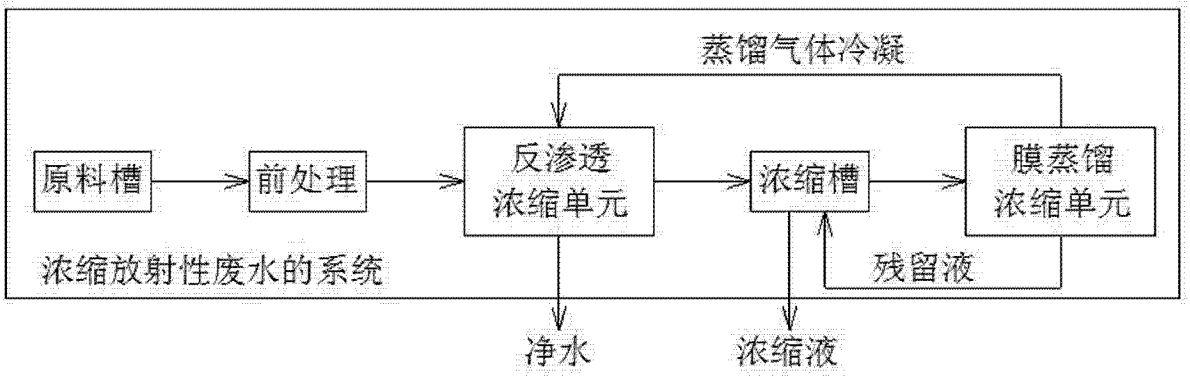

蒸馏气体冷凝
原料槽
前处理
反渗透
浓缩单元
浓缩槽
膜蒸馏
浓缩单元
浓缩放射性废水的系统
残留液
净水
浓缩液

图 4

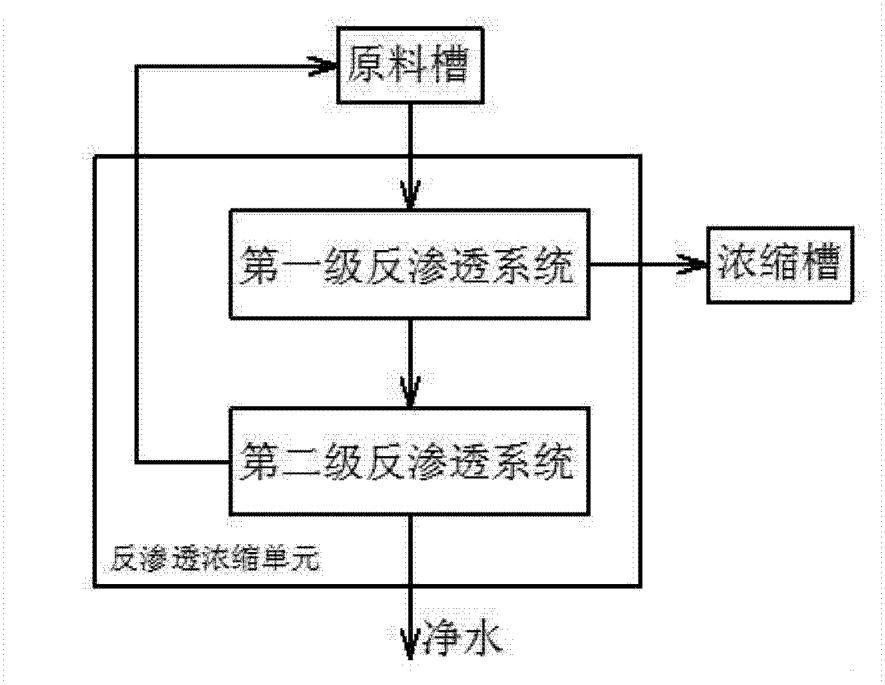


图 5