



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115215498 A

(43) 申请公布日 2022. 10. 21

(21) 申请号 202210920748.8

(22) 申请日 2022.08.02

(71) 申请人 苏州思萃同位素技术研究有限公司

地址 215522 江苏省苏州市常熟市海虞镇  
(新材料产业园)富虞路18号

(72) 发明人 徐志红 武法文 张慧 陈伟  
桂媛

(74) 专利代理机构 苏州国诚专利代理有限公司  
32293

专利代理师 王会

(51) Int. Cl.

C02F 9/10 (2006.01)

C01B 4/00 (2006.01)

C01B 3/04 (2006.01)

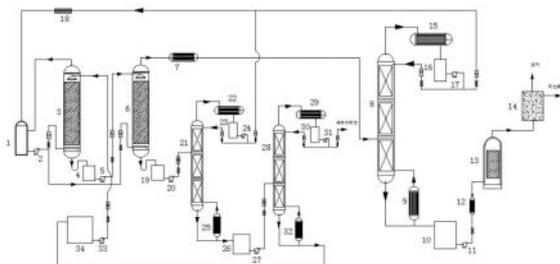
权利要求书2页 说明书9页 附图1页

(54) 发明名称

一种氢同位素废水处理及资源化利用的装置及方法和应用

(57) 摘要

本发明公开了一种氢同位素废水处理及资源化利用的装置及方法和应用,该装置包括:交换单元,用于使气液两相进行氢同位素交换,得到重氢氨气和低重氢饱和氨水;精馏单元,用于使来自交换单元的重氢氨气分离得到低重氢氨气和重氢液氨,还用于使来自交换单元的低重氢饱和氨水进行分离得到重氢含量达标的水;分解单元,用于使来自精馏单元的液氨分离得到重氢氨气和氮气。本发明中,通过气体吸收、解吸和交换的方式将水中的氢同位素交换到氨气中,该过程不需要催化剂,交换后的含氢同位素的氨气进入精馏单元,精馏过程为常压操作,操作条件温和,分离系数大,结构简单,能耗低,运行成本低,实现安全、可靠、稳定运行。



1. 一种氢同位素废水处理及资源化利用的装置,其特征在于,包括:  
交换单元,用于使气液两相进行氢同位素交换,得到重氢氨气和低重氢饱和氨水;  
精馏单元,用于使来自交换单元的重氢氨气分离得到低重氢氨气和重氢液氨,还用于使来自交换单元的低重氢饱和氨水进行分离得到重氢含量达标的水;  
分解单元,用于使来自精馏单元的液氨分离得到重氢氢气和氮气。
2. 根据权利要求1所述的一种氢同位素废水处理及资源化利用的装置,其特征在于,所述精馏单元的液氨精馏装置包括冷凝干燥器、液氨精馏塔、液氨精馏塔再沸器、重氢氨收集罐、液氨精馏塔冷凝器、液氨精馏塔回流罐和加热器,所述冷凝干燥器与液氨精馏塔连通,所述液氨精馏塔与液氨精馏塔再沸器相连通,所述液氨精馏塔与重氢氨收集罐连通再连通至分解单元,所述液氨精馏塔还通过液氨精馏塔冷凝器与液氨精馏塔回流罐连通,液氨精馏塔回流罐一路连通加热器连通再连通氨气缓冲罐,另一路与液氨精馏塔相连通。
3. 根据权利要求1所述的一种氢同位素废水处理及资源化利用的装置,其特征在于,所述分解单元包括加热器I、氨气分解器和气体分离器,所述精馏单元的重氢氨收集罐依次连通至加热器I、氨气分解器和气体分离器。
4. 根据权利要求1所述的一种氢同位素废水处理及资源化利用的装置,其特征在于,所述精馏单元的氨水解吸装置包括氨气解吸塔、氨气解吸塔顶冷凝器、氨气解吸塔回流罐、氨气解吸塔底再沸器、解吸水中间罐,所述氨气解吸塔顶部连通氨气解吸塔顶冷凝器再连通氨气解吸塔回流罐,所述氨气解吸塔回流罐分别连通加热器和氨气解吸塔,所述氨气解吸塔底部连通氨气解吸塔底再沸器再依次连通解吸水中间罐和精馏单元的水后处理装置。
5. 根据权利要求1所述的一种氢同位素废水处理及资源化利用的装置,其特征在于,所述精馏单元的水后处理装置包括水后处理塔、水后处理塔冷凝器、水后处理塔回流罐和水后处理塔再沸器,所述解吸水中间罐与水后处理塔相连通,所述水后处理塔连通水后处理塔冷凝器再连通水后处理塔回流罐,所述水后处理塔还分别连通水后处理塔再沸器和氢同位素原水罐。
6. 根据权利要求1-5任一所述的一种氢同位素废水处理及资源化利用的装置,其特征在于,所述交换单元包括氨气缓冲罐、氨气吸收塔、氢同位素原水罐、饱和氨水罐,所述氨气缓冲罐连通氨气吸收塔,所述氨气吸收塔与饱和氨水罐连通再与精馏单元的氨气解吸塔相连通,所述氨气吸收塔还依次连通精馏单元的冷凝干燥器和液氨精馏塔。
7. 根据权利要求1-5任一所述的一种氢同位素废水处理及资源化利用的装置,其特征在于,所述交换单元包括氨气缓冲罐、氨气吸收塔、氢同位素原水罐、饱和氨水罐、交换塔和氨水中间罐,所述氢同位素原水罐与氨气吸收塔内部连通,氨气缓冲罐分别与氨气吸收塔和交换塔连通,氨气吸收塔与饱和氨水罐连通,饱和氨水罐与交换塔连通,交换塔与氨水中间罐连通再连通精馏单元的氨气解吸塔,交换塔还依次连通精馏单元的冷凝干燥器和液氨精馏塔。
8. 根据权利要求7所述的一种氢同位素废水处理及资源化利用的装置,其特征在于,所述氨气吸收塔内部顶部设置有用于实现液体喷淋的液体分布器,所述液体分布器与氢同位素原水罐连通,所述交换塔内部顶部设置有用于实现液体喷淋的液体分布器,所述液体分布器与饱和氨水罐连通。
9. 一种氢同位素废水处理及资源化利用的方法,其特征在于,采用权利要求1-8任一所

述的一种氢同位素废水处理及资源化利用的装置,所述方法包括以下步骤:

氢同位素原水罐中的水被送入氨气吸收塔内部顶部的液体分布器,通过液体分布器向下喷淋水,氨气缓冲罐中的氨气被送入氨气吸收塔底部的气相进口,气液两相在氨气吸收塔中接触,氨气向水相转移得到饱和氨水,由氨气吸收塔底部的液相出口流入饱和氨水罐,饱和氨水罐中的饱和氨水直接送入氨气解吸塔内或先送入交换塔内进行氢同位素交换后再送入氨气解吸塔内,若为前者,则由氨气吸收塔顶部的气相出口得到重氢氨气,重氢氨气经过冷凝干燥器干燥处理后送入液氨精馏塔的进料口,若为后者,则饱和氨水罐中的饱和氨水先送入交换塔内部顶部的液体分布器,通过液体分布器向下喷淋饱和氨水,氨气缓冲罐中的氨气被送入交换塔底部的气相进口,气液两相在交换塔内进行氢同位素交换,从交换塔顶部的气相出口得到重氢氨气,重氢氨气经过冷凝干燥器干燥处理后送入液氨精馏塔的进料口,交换塔底部的液相出口得到低重氢饱和氨水,其收集到氨水中间罐中,由氨气吸收塔顶部的气相出口得到的氨气直接送入氨气缓冲罐中,氨水中间罐中的低重氢饱和氨水,再被送入氨气解吸塔中;

气液两相在液氨精馏塔中进行热质交换,重氢氨在液氨精馏塔底部富集,顶部得到低重氢氨,由顶部的气相出口进入液氨精馏塔冷凝器,被冷凝液化为液氨再收集到液氨精馏塔回流罐中,液氨精馏塔回流罐中的液氨,一部分返回至液氨精馏塔顶部的回流口,在液氨精馏塔内向下回流,另一部分经加热器加热气化后返回氨气缓冲罐;

液氨精馏塔塔釜中的氨液体,一部分进入液氨精馏塔再沸器内气化生成氨蒸气,由液氨精馏塔底部返回塔内向上运动,另一部分收集到重氢氨收集罐中;

重氢氨收集罐中的液氨,经加热器I预热气化后送入氨气分解器进行分解,分解后的混合气体送入气体分离器中,分离得到重氢氢气和氮气;

氨气解吸塔中,气液两相进行热质交换,氨气解吸塔顶部得到解吸出来的较纯的氨气,底部得到低重氢含量的水,氨气解吸塔塔顶气相进入氨气解吸塔顶冷凝器,被冷凝后进入氨气解吸塔回流罐,氨气解吸塔回流罐中的液体,一部分返回氨气解吸塔中并向下流动,一部分经加热器加热气化后返回氨气缓冲罐中;氨气解吸塔塔釜中的液体,一部分进入氨气解吸塔底再沸器中气化,蒸汽由氨气解吸塔塔底返回氨气解吸塔中,另一部分进入解吸水中间罐,解吸水中间罐中的液相被送入水后处理塔中,气液两相进行热质交换,顶部得到重氢含量达标的水,可直接排放,底部得到重氢含量较高的水,水后处理塔塔顶气相进入水后处理塔冷凝器中,被冷凝后进入水后处理塔回流罐,水后处理塔回流罐中的液体,一部分返回水后处理塔中并向下流动,一部分直接排放,水后处理塔塔釜液体,一部分进入水处理塔再沸器中气化,蒸汽由水后处理塔塔底返回水后处理塔中,另一部分返回氢同位素原水罐中。

10. 一种氢同位素废水处理及资源化利用的装置在低品位重氢废水处理和纯化及超重氢废水处理中的应用。

## 一种氢同位素废水处理及资源化利用的装置及方法和应用

### 技术领域

[0001] 本发明属于同位素分离技术领域,具体涉及一种氢同位素废水处理及资源化利用的装置及方法和应用。

### 背景技术

[0002] 自然界中的氢以氕( $^1\text{H}$ )、重氢( $^2\text{H}$ )和超重氢( $^3\text{H}$ )三种同位素的形式存在,其中,重氢和超重氢在化学和生物学的研究工作中常用作示踪原子。根据氢同位素的物理性质或化学性质的微小差异,已发展了低温精馏、色谱、热扩散等多种处理工艺。其中,液氢低温精馏工艺具有处理量大、分离因子高、连续操作的独特优势,在国外已应用于重水生产、重水除氚和升级、聚变堆氘氚燃料循环等相关领域。但液氢低温精馏工艺的不足之处是一次性投资大,而且由于使用液氢为分离介质,测控和安全要求高,特别是在处理高品位氚时需采取有效措施严格控制滞留量。此外,液氢低温精馏需要先采用气相催化交换VPCE,或采用液相催化交换LPCE,或采用联合电解催化交换技术(CECE),将水中的氢同位素转换成同位素氢气,再进行精馏,步骤较繁琐,且需使用贵金属催化剂,成本高。色谱法和热扩散法等也是需要先将氢同位素转换成氢气再进行分离,安全要求高。因此,开发一种高效、流程简单、操作安全、低成本的氢同位素处理方法显得尤为重要。

### 发明内容

[0003] 为解决现有技术中存在的技术问题,本发明的目的在于提供一种氢同位素废水处理及资源化利用的装置及方法和应用,利用化学交换和精馏耦合处理氢同位素废水并分离纯化氢同位素。

[0004] 为实现上述目的,达到上述技术效果,本发明采用的技术方案为:

[0005] 一种氢同位素废水处理及资源化利用的装置,包括:

[0006] 交换单元,用于使气液两相进行氢同位素交换,得到重氢氨气和低重氢饱和氨水;

[0007] 精馏单元,用于使来自交换单元的重氢氨气分离得到低重氢氨气和重氢液氨,还用于使来自交换单元的低重氢饱和氨水进行分离得到重氢含量达标的水;

[0008] 分解单元,用于使来自精馏单元的液氨分离得到重氢氢气和氮气。

[0009] 进一步的,所述精馏单元的液氨精馏装置包括冷凝干燥器、液氨精馏塔、液氨精馏塔再沸器、重氢氨收集罐、液氨精馏塔冷凝器、液氨精馏塔回流罐、液氨精馏塔回流泵和加热器,所述冷凝干燥器与液氨精馏塔连通,所述液氨精馏塔与液氨精馏塔再沸器相连通,所述液氨精馏塔与重氢氨收集罐连通再连通至分解单元,所述,液氨精馏塔还通过液氨精馏塔冷凝器与液氨精馏塔回流罐连通再连通至液氨精馏塔回流泵的入口,液氨精馏塔回流泵的出口与加热器连通再连通氨气缓冲罐,液氨精馏塔回流泵的出口还与液氨精馏塔相连通。

[0010] 进一步的,所述分解单元包括重氢氨输送泵、加热器I、氨气分解器和气体分离器,所述精馏单元的重氢氨收集罐通过重氢氨输送泵依次连通至加热器I、氨气分解器和气体

分离器。

[0011] 进一步的,所述精馏单元的氨水解吸装置包括氨气解吸塔、氨气解吸塔顶冷凝器、氨气解吸塔回流罐、氨气解吸塔回流泵、氨气解吸塔底再沸器、解吸水中间罐,精馏单元的氨水解吸装置还选择性包括氨水进料泵,所述氨气解吸塔顶部连通氨气解吸塔顶冷凝器再连通氨气解吸塔回流罐,所述氨气解吸塔回流罐通过氨气解吸塔回流泵分别连通加热器和氨气解吸塔,所述氨气解吸塔底部连通氨气解吸塔底再沸器再依次连通解吸水中间罐和精馏单元的水后处理装置。

[0012] 进一步的,所述精馏单元的水后处理装置包括解吸水进料泵、水后处理塔、水后处理塔冷凝器、水后处理塔回流罐、水后处理塔回流泵和水处理塔再沸器,所述解吸水中间罐依次与解吸水进料泵和水后处理塔相连通,所述水后处理塔连通水后处理塔冷凝器再依次连通水后处理塔回流罐和水后处理塔回流泵,所述水后处理塔回流泵与水后处理塔直接连通,水后处理塔还分别连通水处理塔再沸器和氢同位素原水罐。

[0013] 进一步的,所述交换单元包括氨气缓冲罐、氨气输送泵、氨气吸收塔、原水输送泵、氢同位素原水罐、饱和氨水罐和饱和氨水输送泵,所述氨气缓冲罐通过氨气输送泵连通氨气吸收塔,氨气吸收塔与饱和氨水罐连通再依次与饱和氨水输送泵和精馏单元的氨气解吸塔相连通,氨气吸收塔还依次连通精馏单元的冷凝干燥器和液氨精馏塔。

[0014] 进一步的,所述交换单元包括氨气缓冲罐、氨气输送泵、氨气吸收塔、原水输送泵、氢同位素原水罐、饱和氨水罐、饱和氨水输送泵、交换塔和氨水中间罐,所述氢同位素原水罐通过原水输送泵与氨气吸收塔内部连通,氨气缓冲罐通过氨气输送泵分别与氨气吸收塔和交换塔连通,氨气吸收塔与饱和氨水罐连通,饱和氨水罐通过饱和氨水输送泵与交换塔连通,交换塔与氨水中间罐连通再连通精馏单元的氨气解吸塔,交换塔还依次连通精馏单元的冷凝干燥器和液氨精馏塔。

[0015] 进一步的,所述氨气吸收塔内部顶部设置有用于实现液体喷淋的液体分布器,所述液体分布器与氢同位素原水罐连通,所述交换塔内部顶部设置有用于实现液体喷淋的液体分布器,所述液体分布器与饱和氨水罐连通。

[0016] 一种氢同位素废水处理及资源化利用的方法,采用如上所述的一种氢同位素废水处理及资源化利用的装置,所述方法包括以下步骤:

[0017] 氢同位素原水罐中的水由原水输送泵送入氨气吸收塔内部顶部的液体分布器,通过液体分布器向下喷淋水,氨气缓冲罐中的氨气由氨气输送泵送入氨气吸收塔底部的气相进口,气液两相在氨气吸收塔中接触,氨气向水相转移得到饱和氨水,由氨气吸收塔底部的液相出口流入饱和氨水罐,饱和氨水罐中的饱和氨水由饱和氨水输送泵直接送入氨气解吸塔内或先送入交换塔内进行氢同位素交换后再送入氨气解吸塔内,若为前者,则由氨气吸收塔顶部的气相出口得到重氢氨气,重氢氨气经过冷凝干燥器干燥处理后送入液氨精馏塔的进料口,若为后者,则饱和氨水罐中的饱和氨水由饱和氨水输送泵先送入交换塔内部顶部的液体分布器再通过液体分布器向下喷淋饱和氨水,氨气缓冲罐中的氨气由氨气输送泵送入交换塔底部的气相进口,气液两相在交换塔内进行氢同位素交换,从交换塔顶部的气相出口得到重氢氨气,重氢氨气经过冷凝干燥器干燥处理后送入液氨精馏塔的进料口,交换塔底部的液相出口得到低重氢饱和氨水,其收集到氨水中间罐中,由氨气吸收塔顶部的气相出口得到的氨气直接送入氨气缓冲罐中,氨水中间罐中的低重氢饱和氨水,由氨水进

料泵送入氨气解吸塔中；

[0018] 气液两相在液氨精馏塔中进行热质交换，重氢氨在液氨精馏塔底部富集，顶部得到低重氢氨，液氨精馏塔塔顶的氨蒸气由顶部的气相出口进入液氨精馏塔冷凝器，被冷凝液化为液氨再收集到液氨精馏塔回流罐中，液氨精馏塔回流罐中的液氨由液氨精馏塔回流泵输送，一部分返回至液氨精馏塔顶部的回流口，在液氨精馏塔内向下回流，另一部分经加热器加热气化后返回氨气缓冲罐；

[0019] 液氨精馏塔塔釜中的氨液体，一部分进入液氨精馏塔再沸器内气化生成氨蒸气，由液氨精馏塔底部返回塔内向上运动，另一部分收集到重氢氨收集罐中；

[0020] 重氢氨收集罐中的液氨由重氢氨输送泵输送，经加热器I预热气化后送入氨气分解器进行分解，分解后的混合气体送入气体分离器中，分离得到重氢氢气和氮气；

[0021] 氨气解吸塔中，气液两相进行热质交换，氨气解吸塔顶部得到解吸出来的较纯的氨气，底部得到低重氢含量的水，氨气解吸塔塔顶气相进入氨气解吸塔顶冷凝器，被冷凝后进入氨气解吸塔回流罐，氨气解吸塔回流罐中的液体由氨气解吸塔回流泵输送，一部分返回氨气解吸塔顶部的回流口并向下流动，一部分经加热器加热气化后返回氨气缓冲罐中；氨气解吸塔塔釜液体，一部分进入氨气解吸塔底再沸器中气化，蒸汽由氨气解吸塔塔底返回氨气解吸塔中，另一部分进入解吸水中间罐，解吸水中间罐中的液相由解吸水进料泵送入水后处理塔中，气液两相进行热质交换，顶部得到重氢含量达标的水，可直接排放，底部得到重氢含量较高的水，水后处理塔塔顶气相进入水后处理塔冷凝器中，被冷凝后进入水后处理塔回流罐，水后处理塔回流罐中的液体由水后处理塔回流泵输送，一部分返回水后处理塔顶部的回流口并向下流动，一部分直接排放，水后处理塔塔釜液体，一部分进入水处理塔再沸器中气化，蒸汽由水后处理塔塔底返回水后处理塔中，另一部分返回氢同位素原水罐中。

[0022] 本发明还公开了一种氢同位素废水处理及资源化利用的装置在低品位重氢废水处理 and 纯化及超重氢废水处理中的应用。

[0023] 与现有技术相比，本发明的有益效果为：

[0024] 本发明公开了一种氢同位素废水处理及资源化利用的装置及方法和应用，该装置包括：交换单元，用于使气液两相进行氢同位素交换，得到重氢氨气和低重氢饱和氨水；精馏单元，用于使来自交换单元的重氢氨气分离得到低重氢氨气和重氢液氨，还用于使来自交换单元的低重氢饱和氨水进行分离得到重氢含量达标的水；分解单元，用于使来自精馏单元的液氨分离得到重氢氢气和氮气。本发明提供的氢同位素废水处理及资源化利用的装置及方法和应用，基于氨精馏技术进行重氢分离和纯化，通过气体吸收、解吸和交换的方式将水中的氢同位素交换到氨气中，该过程不需要催化剂，交换后的含氢同位素的氨气进入精馏单元，精馏过程为常压操作，无需对氨气加压液化，结构简单，能耗低，运行成本低，同时操作条件温和，分离系数大，实现安全、可靠、稳定运行，本发明使用的氨气不属于易燃物，相比液氨精馏更为安全。

## 附图说明

[0025] 图1为本发明实施例1的结构示意图；

[0026] 图2为本发明实施例2的结构示意图。

## 具体实施方式

[0027] 下面对本发明进行详细阐述,以使本发明的优点和特征能更易于被本领域技术人员理解,从而对本发明的保护范围做出更为清楚明确的界定。

[0028] 以下给出一个或多个方面的简要概述以提供对这些方面的基本理解。此概述不是所有构想到的方面的详尽综览,并且既非旨在指出所有方面的关键性或决定性要素亦非试图界定任何或所有方面的范围。其唯一的目的是要以简化形式给出一个或多个方面的一些概念以为稍后给出的更加详细的描述之序。

[0029] 如图1-2所示,一种氢同位素废水处理及资源化利用的装置,包括交换单元、精馏单元和分解单元;其中,交换单元包括氨气缓冲罐1、氨气输送泵2、氨气吸收塔3、原水输送泵33、氢同位素原水罐34、饱和氨水罐4、饱和氨水输送泵5,交换单元还选择性包括交换塔6和氨水中间罐19;精馏单元的液氨精馏装置包括冷凝干燥器7、液氨精馏塔8、液氨精馏塔再沸器9、重氢氨收集罐10、液氨精馏塔冷凝器15、液氨精馏塔回流罐16、液氨精馏塔回流泵17和加热器18;精馏单元的氨水解吸装置包括氨气解吸塔21、氨气解吸塔顶冷凝器22、氨气解吸塔回流罐23、氨气解吸塔回流泵24、氨气解吸塔底再沸器25、解吸水中间罐26,精馏单元的氨水解吸装置还选择性包括氨水进料泵20;精馏单元的水后处理装置包括解吸水进料泵27、水后处理塔28、水后处理塔冷凝器29、水后处理塔回流罐30、水后处理塔回流泵31和水处理塔再沸器32;分解单元包括重氢氨输送泵11、加热器I12、氨气分解器13和气体分离器14。

[0030] 氢同位素原水罐34通过原水输送泵33与氨气吸收塔3内部连通,氨气吸收塔3内部顶部设置有用于实现液体喷淋的液体分布器,该液体分布器与原水输送泵33相通,氨气缓冲罐1通过氨气输送泵2连通氨气吸收塔3,氨气吸收塔3底部连通有氨水罐4,饱和氨水罐4与饱和氨水输送泵5连通再连通氨气解吸塔21,氨气吸收塔3通过冷凝干燥器7与液氨精馏塔8连通,液氨精馏塔8依次通过液氨精馏塔冷凝器15、液氨精馏塔回流罐16连通至液氨精馏塔回流泵17的入口,液氨精馏塔回流泵17的出口与加热器18连通再连通氨气缓冲罐1,液氨精馏塔回流泵17的出口还与液氨精馏塔8相连通,液氨精馏塔8底部连通重氢氨收集罐10,再通过重氢氨输送泵11依次连通至加热器I12、氨气分解器13和气体分离器14,氨气解吸塔21顶部连通氨气解吸塔顶冷凝器22再连通氨气解吸塔回流罐23,氨气解吸塔回流罐23通过氨气解吸塔回流泵24分别连通加热器18和氨气解吸塔21,氨气解吸塔21底部连通氨气解吸塔底再沸器25再依次连通解吸水中间罐26和解吸水进料泵27和水后处理塔28,水后处理塔28顶部连通水后处理塔冷凝器29再依次连通水后处理塔回流罐30和水后处理塔回流泵31,水后处理塔回流泵31与水后处理塔28顶部可直接连通,水后处理塔28底部分别连通水处理塔再沸器32和氢同位素原水罐34。

[0031] 当交换单元中存在交换塔6和氨水中间罐19,氨水解吸装置中存在氨水进料泵20时,氨气吸收塔3与交换塔6相连通,饱和氨水罐4通过饱和氨水输送泵5与交换塔6内部顶部设置的用于实现液体喷淋的液体分布器相连通,交换塔6底部连通有氨水中间罐19,交换塔6通过氨水中间罐19连通氨水进料泵20再连通氨气解吸塔21,交换塔6顶部连通有冷凝干燥器7再连通至液氨精馏塔8。

[0032] 一种氢同位素废水处理及资源化利用的方法,包括以下步骤:

[0033] 氢同位素原水罐34中的水由原水输送泵33送入氨气吸收塔3内部顶部的液体分布

器,通过液体分布器向下喷淋水,氨气缓冲罐1中的氨气由氨气输送泵2送入氨气吸收塔3底部的气相进口,气液两相在氨气吸收塔3中接触,氨气向水相转移得到饱和氨水,由氨气吸收塔3底部的液相出口流入饱和氨水罐4,饱和氨水罐4中的饱和氨水由饱和氨水输送泵5直接送入氨气解吸塔21内或先送入交换塔6内进行氢同位素交换后再送入氨气解吸塔21内,若为前者,则由氨气吸收塔3顶部的气相出口得到重氢氨气,重氢氨气经过冷凝干燥器7干燥处理后送入液氨精馏塔8的进料口;若为后者,则饱和氨水罐4中的饱和氨水由饱和氨水输送泵5先送入交换塔6内部顶部的液体分布器再通过液体分布器向下喷淋饱和氨水,氨气缓冲罐1中的氨气由氨气输送泵2送入交换塔6底部的气相进口,气液两相在交换塔6内进行氢同位素交换,从交换塔6顶部的气相出口得到重氢氨气,重氢氨气经过冷凝干燥器7干燥处理后送入液氨精馏塔8的进料口,交换塔6底部的液相出口得到低重氢饱和氨水,其收集到氨水中间罐19中,由氨气吸收塔3顶部的气相出口得到的氨气可直接送入氨气缓冲罐1中,氨水中间罐19中的低重氢饱和氨水,由氨水进料泵20送入氨气解吸塔21中;

[0034] 液氨精馏塔8中,气液两相在液氨精馏塔8中进行热质交换,重氢氨在液氨精馏塔8底部富集,顶部得到低重氢氨。液氨精馏塔8塔顶的氨蒸气由顶部的气相出口进入液氨精馏塔冷凝器15,被冷凝液化为液氨再收集到液氨精馏塔回流罐16中,液氨精馏塔回流罐16中的液氨由液氨精馏塔回流泵17输送,一部分返回至液氨精馏塔8顶部的回流口,在液氨精馏塔8内向下回流,另一部分经加热器18加热气化后返回氨气缓冲罐1;

[0035] 液氨精馏塔8塔釜中的氨液体,一部分进入液氨精馏塔再沸器9内气化生成氨蒸气,由液氨精馏塔8底部返回塔内向上运动,另一部分收集到重氢氨收集罐10中;

[0036] 重氢氨收集罐10中的液氨由重氢氨输送泵11输送,经加热器I12预热气化后送入氨气分解器13进行分解,分解后的混合气体送入气体分离器14中,分离得到重氢氢气和氮气;

[0037] 氨气解吸塔21中,气液两相进行热质交换,氨气解吸塔21顶部得到解吸出来的较纯的氨气,底部得到低重氢含量的水,氨气解吸塔21塔顶气相进入氨气解吸塔顶冷凝器22,被冷凝后进入氨气解吸塔回流罐23,氨气解吸塔回流罐23中的液体由氨气解吸塔回流泵24输送,一部分返回氨气解吸塔21顶部的回流口并向下流动,一部分经加热器18加热气化后返回氨气缓冲罐1中;氨气解吸塔21塔釜液体,一部分进入氨气解吸塔底再沸器25中气化,蒸汽由氨气解吸塔21塔底返回氨气解吸塔21中,另一部分进入解吸水中间罐26,解吸水中间罐26中的液相由解吸水进料泵27送入水后处理塔28中,气液两相进行热质交换,顶部得到重氢含量达标的水,可直接排放,底部得到重氢含量较高的水,水后处理塔28塔顶气相进入水后处理塔冷凝器29中,被冷凝后进入水后处理塔回流罐30,水后处理塔回流罐30中的液体由水后处理塔回流泵31输送,一部分返回水后处理塔28顶部的回流口并向下流动,一部分直接排放,水后处理塔28塔釜液体,一部分进入水后处理塔再沸器32中气化,蒸汽由水后处理塔28塔底返回水后处理塔28中,另一部分返回氢同位素原水罐34中。

[0038] 液氨精馏塔再沸器9的温度控制在 $-30^{\circ}\text{C}$ 至 $-10^{\circ}\text{C}$ ,液氨精馏塔冷凝器15的冷凝温度控制在 $-60^{\circ}\text{C}$ 至 $-40^{\circ}\text{C}$ 。

[0039] 本发明中气体分离器14可以是吸附分离柱,也可以是气体分离膜,可以采用单级,也可以采用多级模式。

[0040] 本发明既可用于低品位重氢废水处理和纯化,也适用于超重氢废水的处理。

[0041] 本发明中,氨气和氢同位素水交换方式不限于本发明所述采用的吸收塔及交换塔装置,还包括采用溶解釜溶解氨气并进行交换等方式。

[0042] 本发明中,氨水解吸不限于精馏解吸,还包括减压解吸、气提解吸和膜分离等方法。

[0043] 实施例1

[0044] 如图1所示,一种氢同位素废水处理及资源化利用的装置,包括交换单元、精馏单元和分解单元;其中,交换单元包括氨气缓冲罐1、氨气输送泵2、氨气吸收塔3、原水输送泵33、氢同位素原水罐34、饱和氨水罐4、饱和氨水输送泵5、交换塔6和氨水中间罐19;精馏单元的液氨精馏装置包括冷凝干燥器7、液氨精馏塔8、液氨精馏塔再沸器9、重氢氨收集罐10、液氨精馏塔冷凝器15、液氨精馏塔回流罐16、液氨精馏塔回流泵17和加热器18;精馏单元的氨水解吸装置包括氨水进料泵20、氨气解吸塔21、氨气解吸塔顶冷凝器22、氨气解吸塔回流罐23、氨气解吸塔回流泵24、氨气解吸塔底再沸器25、解吸水中间罐26;精馏单元的水后处理装置包括解吸水进料泵27、水后处理塔28、水后处理塔冷凝器29、水后处理塔回流罐30、水后处理塔回流泵31和水处理塔再沸器32;分解单元包括重氢氨输送泵11、加热器I12、氨气分解器13和气体分离器14。

[0045] 一种氢同位素废水处理及资源化利用的方法,包括以下步骤:

[0046] 氢同位素原水罐34中的水由原水输送泵33送入氨气吸收塔3内部顶部的液体分布器,通过液体分布器向下喷淋水,氨气缓冲罐1中的氨气由氨气输送泵2送入氨气吸收塔3底部的气相进口,气液两相在氨气吸收塔3中接触,氨气向水相转移得到饱和氨水,由氨气吸收塔3底部的液相出口流入饱和氨水罐4,饱和氨水罐4中的饱和氨水由饱和氨水输送泵5先送入交换塔6内进行氢同位素交换后再送入氨气解吸塔21内,饱和氨水罐4中的饱和氨水由饱和氨水输送泵5先送入交换塔6内部顶部的液体分布器再通过液体分布器向下喷淋饱和氨水,氨气缓冲罐1中的氨气由氨气输送泵2送入交换塔6底部的气相进口,气液两相在交换塔6内进行氢同位素交换,从交换塔6顶部的气相出口得到重氢氨气,重氢氨气经过冷凝干燥器7干燥处理后送入液氨精馏塔8的进料口,交换塔6底部的液相出口得到低重氢饱和氨水,其收集到氨水中间罐19中,由氨气吸收塔3顶部的气相出口得到的氨气可直接送入氨气缓冲罐1中,氨水中间罐19中的低重氢饱和氨水,由氨水进料泵20送入氨气解吸塔21中;

[0047] 液氨精馏塔8中,气液两相在液氨精馏塔8中进行热质交换,重氢氨在液氨精馏塔8底部富集,顶部得到低重氢氨。液氨精馏塔8塔顶的氨蒸气由顶部的气相出口进入液氨精馏塔冷凝器15,被冷凝液化为液氨再收集到液氨精馏塔回流罐16中,液氨精馏塔回流罐16中的液氨由液氨精馏塔回流泵17输送,一部分返回至液氨精馏塔8顶部的回流口,在液氨精馏塔8内向下回流,另一部分经加热器18加热气化后返回氨气缓冲罐1;

[0048] 液氨精馏塔8塔釜中的氨液体,一部分进入液氨精馏塔再沸器9内气化生成氨蒸气,由液氨精馏塔8底部返回塔内向上运动,另一部分收集到重氢氨收集罐10中;

[0049] 重氢氨收集罐10中的液氨由重氢氨输送泵11输送,经加热器I12预热气化后送入氨气分解器13进行分解,分解后的混合气体送入气体分离器14中,分离得到重氢氢气和氮气;

[0050] 氨气解吸塔21中,气液两相进行热质交换,氨气解吸塔21顶部得到解吸出来的较纯的氨气,底部得到低重氢含量的水,氨气解吸塔21塔顶气相进入氨气解吸塔顶冷凝器22,

被冷凝后进入氨气解吸塔回流罐23,氨气解吸塔回流罐23中的液体由氨气解吸塔回流泵24输送,一部分返回氨气解吸塔21顶部的回流口并向下流动,一部分经加热器18加热气化后返回氨气缓冲罐1中;氨气解吸塔21塔釜液体,一部分进入氨气解吸塔底再沸器25中气化,蒸汽由氨气解吸塔21塔底返回氨气解吸塔21中,另一部分进入解吸水中间罐26,解吸水中间罐26中的液相由解吸水进料泵27送入水后处理塔28中,气相两相进行热质交换,顶部得到重氢含量达标的水,可直接排放,底部得到重氢含量较高的水,水后处理塔28塔顶气相进入水后处理塔冷凝器29中,被冷凝后进入水后处理塔回流罐30,水后处理塔回流罐30中的液体由水后处理塔回流泵31输送,一部分返回水后处理塔28顶部的回流口并向下流动,一部分直接排放,水后处理塔28塔釜液体,一部分进入水后处理塔再沸器32中气化,蒸汽由水后处理塔28塔底返回水后处理塔28中,另一部分返回氢同位素原水罐34中。

[0051] 液氨精馏塔再沸器9的温度控制在 $-30^{\circ}\text{C}$ 至 $-10^{\circ}\text{C}$ ,液氨精馏塔冷凝器15的冷凝温度控制在 $-60^{\circ}\text{C}$ 至 $-40^{\circ}\text{C}$ 。

[0052] 实施例2

[0053] 如图2所示,一种氢同位素废水处理及资源化利用的装置,包括交换单元、精馏单元和分解单元;其中,交换单元包括氨气缓冲罐1、氨气输送泵2、氨气吸收塔3、原水输送泵33、氢同位素原水罐34、饱和氨水罐4、饱和氨水输送泵5;精馏单元的液氨精馏装置包括冷凝干燥器7、液氨精馏塔8、液氨精馏塔再沸器9、重氢氨收集罐10、液氨精馏塔冷凝器15、液氨精馏塔回流罐16、液氨精馏塔回流泵17和加热器18;精馏单元的氨水解吸装置包括氨气解吸塔21、氨气解吸塔顶冷凝器22、氨气解吸塔回流罐23、氨气解吸塔回流泵24、氨气解吸塔底再沸器25、解吸水中间罐26;精馏单元的水后处理装置包括解吸水进料泵27、水后处理塔28、水后处理塔冷凝器29、水后处理塔回流罐30、水后处理塔回流泵31和水后处理塔再沸器32;分解单元包括重氢氨输送泵11、加热器112、氨气分解器13和气体分离器14。

[0054] 氢同位素原水罐34通过原水输送泵33与氨气吸收塔3内部连通,氨气吸收塔3内部顶部设置有用于实现液体喷淋的液体分布器,该液体分布器与原水输送泵33相通,氨气缓冲罐1通过氨气输送泵2连通氨气吸收塔3,氨气吸收塔3底部连通有氨水罐4,饱和氨水罐4与饱和氨水输送泵5连通再连通氨气解吸塔21,氨气吸收塔3顶部通过冷凝干燥器7与液氨精馏塔8连通,液氨精馏塔8顶部依次通过液氨精馏塔冷凝器15、液氨精馏塔回流罐16连通至液氨精馏塔回流泵17的入口,液氨精馏塔回流泵17的出口与加热器18连通再连通氨气缓冲罐1,液氨精馏塔回流泵17的出口还与液氨精馏塔8相通,液氨精馏塔8底部连通重氢氨收集罐10,再通过重氢氨输送泵11依次连通至加热器112、氨气分解器13和气体分离器14,氨气解吸塔21顶部连通氨气解吸塔顶冷凝器22再连通氨气解吸塔回流罐23,氨气解吸塔回流罐23通过氨气解吸塔回流泵24分别连通加热器18和氨气解吸塔21,氨气解吸塔21底部连通氨气解吸塔底再沸器25再依次连通解吸水中间罐26和解吸水进料泵27和水后处理塔28,水后处理塔28顶部连通水后处理塔冷凝器29再依次连通水后处理塔回流罐30和水后处理塔回流泵31,水后处理塔回流泵31与水后处理塔28顶部可直接连通,水后处理塔28底部分别连通水后处理塔再沸器32和氢同位素原水罐34。

[0055] 本实施例可以将氨吸收和氨交换步骤合并,利用吸收塔同时完成吸收和交换。

[0056] 一种氢同位素废水处理及资源化利用的方法,包括以下步骤:

[0057] 氢同位素原水罐34中的水由原水输送泵33送入氨气吸收塔3内部顶部的液体分布

器,通过液体分布器向下喷淋水,氨气缓冲罐1中的氨气由氨气输送泵2送入氨气吸收塔3底部的气相进口,气液两相在氨气吸收塔3中接触,氨气向水相转移得到低重氢饱和氨水,由氨气吸收塔3底部的液相出口流入饱和氨水罐4,从氨吸收塔3顶部的气相出口得到重氢氨气,重氢氨气经过冷凝干燥器7干燥处理后送入液氨精馏塔8的进料口;饱和氨水罐4中的低重氢饱和氨水,由氨水进料泵5送入氨气解吸塔21中;

[0058] 液氨精馏塔8中,气液两相在液氨精馏塔8中进行热质交换,重氢氨在液氨精馏塔8底部富集,顶部得到低重氢氨;液氨精馏塔8塔顶的氨蒸气由顶部的气相出口进入液氨精馏塔冷凝器15,被冷凝液化为液氨再收集到液氨精馏塔回流罐16中,液氨精馏塔回流罐16中的液氨由液氨精馏塔回流泵17输送,一部分返回至液氨精馏塔8顶部的回流口,在液氨精馏塔8内向下回流,另一部分经加热器18加热气化后返回氨气缓冲罐1;

[0059] 液氨精馏塔8塔釜中的氨液体,一部分进入液氨精馏塔再沸器9内气化生成氨蒸气,由液氨精馏塔8底部返回塔内向上运动,另一部分收集到重氢氨收集罐10中;

[0060] 重氢氨收集罐10中的液氨由重氢氨输送泵11输送,经加热器I12预热气化后送入氨气分解器13进行分解,分解后的混合气体送入气体分离器14中,分离得到重氢氢气和氮气;

[0061] 氨气解吸塔21中,气液两相进行热质交换,氨气解吸塔21顶部得到解吸出来的较纯的氨气,底部得到低重氢含量的水,氨气解吸塔21塔顶气相进入氨气解吸塔顶冷凝器22,被冷凝后进入氨气解吸塔回流罐23,氨气解吸塔回流罐23中的液体由氨气解吸塔回流泵24输送,一部分返回氨气解吸塔21顶部的回流口并向下流动,一部分经加热器18加热气化后返回氨气缓冲罐1中。氨气解吸塔21塔釜液体,一部分进入氨气解吸塔底再沸器25中气化,蒸汽由氨气解吸塔21塔底返回氨气解吸塔21中,另一部分进入解吸水中间罐26,解吸水中间罐26中的液相由解吸水进料泵27送入水后处理塔28中,气液两相进行热质交换,顶部得到重氢含量达标的水,可直接排放,底部得到重氢含量较高的水,水后处理塔28塔顶气相进入水后处理塔冷凝器29中,被冷凝后进入水后处理塔回流罐30,水后处理塔回流罐30中的液体由水后处理塔回流泵31输送,一部分返回水后处理塔28顶部的回流口并向下流动,一部分直接排放,水后处理塔28塔釜液体,一部分进入水处理塔再沸器32中气化,蒸汽由水后处理塔28塔底返回水后处理塔28中,另一部分返回氢同位素原水罐34中。

[0062] 余同实施例1。

[0063] 实施例3

[0064] 氢同位素废水中重氢丰度为10%,处理量为100kg/h,常压20℃操作,吸收51kg氨气得到饱和氨水,该饱和氨水与过量氨气在交换塔6内进行氢同位素交换后,重氢同位素氨气进入液氨精馏塔8进行分离,在塔顶得到重氢丰度为0.1%的氨气,返回氨气缓冲罐1,参与下一批次循环吸收、交换和精馏分离,塔底得到重氢丰度为99%的重氢氨。重氢氨经加热器I12加热后进入氨气分解器13和气体分离器14,最终得到丰度为99%的重氢氢气和氮气。

[0065] 实施例4

[0066] 氢同位素废水中超重氢含量为 $1.5 \times 10^8$  Bq/L,处理量为100kg/h,常压20℃操作,吸收51kg氨气得到饱和氨水,该饱和氨水与过量氨气在交换塔6内进行氢同位素交换后,超重氢同位素氨气进入液氨精馏塔8进行分离,在塔顶得到超重含量低于100Bq/L的氨气,返回氨气缓冲罐1,参与下一批次循环吸收、交换和精馏分离,塔底得到超重氢含量为 $1 \times$

$10^{11}$ Bq/L以上的超重氢氨,再经加热器I12加热后进入氨气分解器13和气体分离器14,最终得到超重氢氢气和氮气。

[0067] 本发明未具体描述的部分或结构采用现有技术或现有产品即可,在此不做赘述。

[0068] 以上所述仅为本发明的实施例,并非因此限制本发明的专利范围,凡是利用本发明说明书内容所作的等效结构或等效流程变换,或直接或间接运用在其他相关的技术领域,均同理包括在本发明的专利保护范围内。

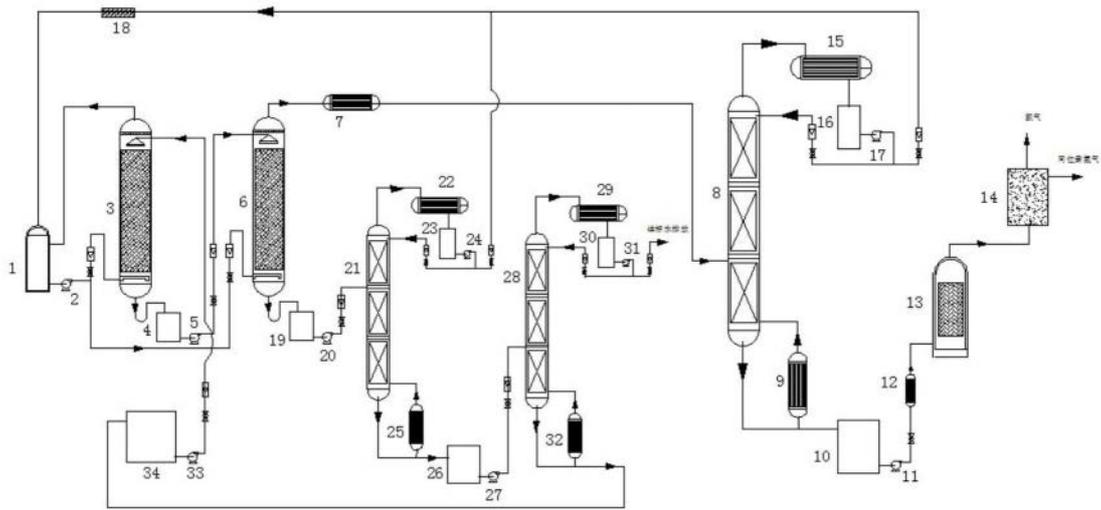


图1

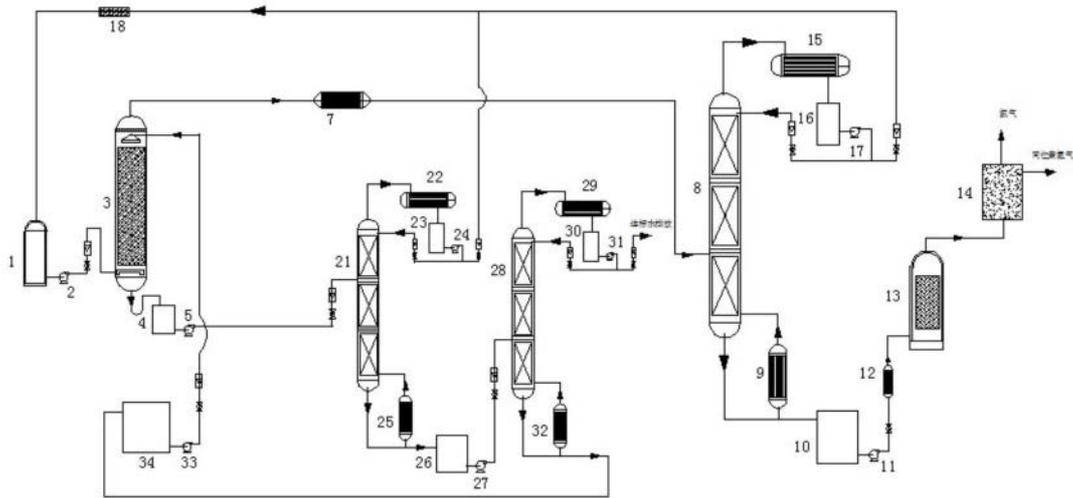


图2