



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107469628 B

(45)授权公告日 2019.10.01

(21)申请号 201710859393.5

(22)申请日 2017.09.21

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 107469628 A

(43)申请公布日 2017.12.15

(73)专利权人 中国科学院上海应用物理研究所
地址 201800 上海市嘉定区嘉罗公路2019号

(72)发明人 刘卫 黄豫 王广华 杨果
马兆伟 张宁 韩兴博 钱楠
曾友石

(74)专利代理机构 上海智信专利代理有限公司
31002
代理人 邓琪 宋丽荣

(51)Int.Cl.

B01D 63/06(2006.01)

G21F 9/02(2006.01)

(56)对比文件

CN 1715179 A,2006.01.04,

CN 203610022 U,2014.05.28,

CN 104129758 A,2014.11.05,

CN 105923604 A,2016.09.07,

CN 1291166 A,2001.04.11,

WO 2011/158275 A1,2011.12.22,

JP 特开2016-8878 A,2016.01.18,

审查员 赵晨

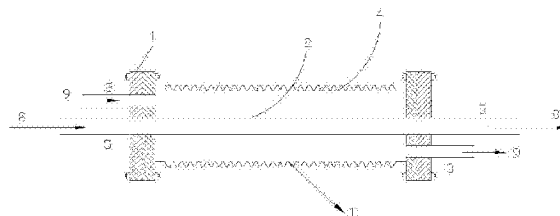
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54)发明名称

一种去除熔盐中气态氙及其同位素的装置及方法

(57)摘要

本发明涉及一种去除熔盐中气态氙及其同位素的装置,包括彼此相连的熔盐回路和分离组件,其中,熔盐回路具有熔盐堆堆芯,熔盐作为冷却剂流过该熔盐堆堆芯并载带气态氙及其同位素在熔盐回路中流动,分离组件包括钽管和不锈钢外壳,钽管上形成有熔盐进出口,熔盐通过该熔盐进出口进入或流出该钽管,外壳上形成有吹扫气进出口,吹扫气通过该吹扫气进出口进入或流出该外壳;其中,吹扫气在钽管的外表面和外壳的内表面之间流动并将从熔盐中扩散并穿透钽管的气态氙及其同位素载带出来。本发明还提供一种去除熔盐中气态氙及其同位素的方法。本发明的去除熔盐中气态氙及其同位素的装置及其方法,以钽管为核心部件,实现对气态氙的分离去除。



1. 一种去除熔盐中气态氙及其同位素的装置,包括彼此相连的熔盐回路(14)和分离组件(11),熔盐(8)作为冷却剂流过熔盐堆堆芯(12)并载带气态氙及其同位素在熔盐回路(14)中流动,其特征在于,分离组件(11)包括钷管和不锈钢外壳,钷管上形成有熔盐进出口(5),熔盐(8)通过该熔盐进出口(5)进入或流出该钷管,外壳上形成有吹扫气进出口(3),吹扫气(9)通过该吹扫气进出口(3)进入或流出该外壳;其中,吹扫气(9)在钷管的外表面和外壳的内表面之间流动并载带穿透钷管的气态氙及其同位素。

2. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于,钷管为钷合金管或钷复合管。

3. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于,该外壳为波纹管式不锈钢外壳。

4. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于,钷管和外壳通过焊接方式连接固定。

5. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于,吹扫气为氮气、氦气、氩气或它们的混合气。

6. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于,该气态氙及其同位素为氢、氘或氚或它们的混合气。

7. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于,熔盐回路(14)还具有熔盐泵(13),熔盐(8)在熔盐泵(13)的作用下在熔盐回路(14)中流动。

8. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于,该装置还包括与分离组件(11)连接的用于在线分离测量的电离室(6)。

9. 一种去除熔盐中气态氙及其同位素的方法,其特征在于,在熔盐回路(14)中流动的作为冷却剂的熔盐(8)中载带有熔盐堆堆芯(12)中产生的气态氙及其同位素和其他放射性裂变产物;熔盐(8)通过分离组件(11)的熔盐进出口(5)进入钷管后流出,吹扫气(9)通过分离组件(11)的吹扫气进出口(3)进入外壳后流出;其中,熔盐(8)中载带的气态氙及其同位素穿透钷管的管壁进入钷管的外表面和不锈钢外壳的内表面之间,并被吹扫气(9)载带流出分离组件(11)。

10. 根据权利要求9所述的方法,其特征在于,钷管为钷合金管或钷复合管。

11. 根据权利要求9所述的方法,其特征在于,该外壳为波纹管式不锈钢外壳。

12. 根据权利要求9所述的方法,其特征在于,吹扫气为氮气、氦气、氩气、或它们的混合气。

13. 根据权利要求9所述的方法,其特征在于,该气态氙及其同位素为氢、氘或氚或它们的混合气。

14. 根据权利要求9所述的方法,其特征在于,熔盐回路(14)还具有熔盐泵(13),熔盐(8)在熔盐泵(13)的作用下在熔盐回路(14)中流动。

15. 根据权利要求9所述的方法,其特征在于,被吹扫气(9)载带流出分离组件(11)的气态氙及其同位素通过合金吸附的方式进行储存。

一种去除熔盐中气态氚及其同位素的装置及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及氚的同位素的分离和去除,更具体地涉及一种去除熔盐中气态氚及其同位素的装置及方法。

背景技术

[0002] 熔盐堆是第四代核能系统的六种代表堆型之一,它采用FLiBe熔盐作为冷却剂,熔盐中的Li、Be等元素受到中子照射后会产生放射性核素氚(T)。氚是一种有害的放射性污染物,进入环境后会给周围环境和人类造成危害。同时,氚作为一种重要的资源,在国防科技和国民经济中又有极高的应用价值。

[0003] 氚一般在熔盐中以TF、溶解的T⁺或者溶解的气态氚(HT, T₂)的形式存在。随着熔盐的迁移,生成的氚能被主回路的碳基材料吸附,从主冷却盐的表面脱离进入覆盖气,从反应堆容器、管道或者热交换器管道渗透通过。由于较大的接触面积再加上热交换器内部的湍流情况,较大一部分氚会通过热交换器向外渗透。橡树岭国家实验室通过MSRE计算和实验验证了氚在FLiBe熔盐(FLiBe以湍流形式通过热交换器管道)中的迁移过程。

[0004] MSRE计算氚产率为54Ci/天,监测到氚的处理量(不包括尾气系统中的残留)占氚产率的80%。它包括:48%氚从燃料盐尾气系统中排出,2%氚从冷却盐的尾气系统中排出,7%氚从冷却盐散热气中排出,9%氚出现在堆仓环境中,14%氚进入石墨堆芯。绝大部分剩余氚可能存在于燃料盐尾气系统的油残留物中。

发明内容

[0005] 为了解决上述现有技术存在氚通过热交换器向外渗透的问题,本发明旨在提供一种去除熔盐中气态氚及其同位素的装置及方法。

[0006] 本发明提供一种去除熔盐中气态氚及其同位素的装置,包括彼此相连的熔盐回路和分离组件,熔盐作为冷却剂流过熔盐堆堆芯并载带气态氚及其同位素在熔盐回路中流动,分离组件包括钽管和不锈钢外壳,钽管上形成有熔盐进出口,熔盐通过该熔盐进出口进入或流出该钽管,外壳上形成有吹扫气进出口,吹扫气通过该吹扫气进出口进入或流出该外壳;其中,吹扫气在钽管的外表面和外壳的内表面之间流动并载带穿透钽管的熔盐中的气态氚及其同位素。

[0007] 钽管为钽合金管或钽复合管。优选地,该钽合金管为钽银合金管,也可以是钽铜合金管、钽钷合金管。

[0008] 该外壳为波纹管式不锈钢外壳。优选地,该外壳为316L不锈钢外壳。其耐腐蚀,耐高温,更适用于本发明的工作环境及条件。

[0009] 钽管和外壳底座通过焊接固定。优选地,钽银合金管与不锈钢外壳底座通过钎焊连接。因为钽银合金与不锈钢之间的润湿性比较差,需要采用真空钎焊的方法在不锈钢管内侧填上焊料,过一段时间后在焊料中开孔,然后插入钽银合金管进行焊接。

[0010] 吹扫气为氮气、氦气、氩气、或它们的混合气。

[0011] 该气态氙及其同位素包括氢、氘或氚或它们的混合气。优选地,气态氙为HT和T₂。

[0012] 熔盐回路还具有熔盐泵,熔盐在熔盐泵的作用下在熔盐回路中流动。优选地,该装置还包括有熔盐流速控制装置,从而根据需要调节熔盐在钷管中的流速。优选地,该装置还包括有吹扫气控制装置,从而根据需要调节吹扫气的流速。

[0013] 该装置还包括与分离组件连接的用于在线分离测量的电离室。

[0014] 本发明还提供一种去除熔盐中气态氙及其同位素的方法,作为冷却剂的熔盐流过熔盐堆堆芯并在熔盐回路中流动,该熔盐中载带有熔盐堆堆芯中的产生气态氙及其同位素和其他放射性裂变产物;熔盐通过分离组件的熔盐进出口进入钷管后流出,吹扫气通过分离组件的吹扫气进出口进入外壳后流出;其中,熔盐中载带的气态氙及其同位素穿透钷管的管壁进入钷管的外表面和不锈钢外壳的内表面之间,并被吹扫气载带流出分离组件。

[0015] 钷管为钷合金管或钷复合管。

[0016] 该外壳为波纹管式不锈钢外壳。

[0017] 吹扫气为氮气、氦气、氩气、或它们的混合气。

[0018] 该气态氙及其同位素为氢、氘或氚或它们的混合气。

[0019] 熔盐回路还具有熔盐泵,熔盐在熔盐泵的作用下在熔盐回路中流动。

[0020] 被吹扫气载带流出分离组件的气态氙及其同位素通过合金吸附的方式进行储存。

[0021] 本发明的去除熔盐中气态氙及其同位素的装置及方法,以钷管作为核心部件,利用钷管/膜对气态氙及其同位素的选择渗透性,使得只有熔盐中的气态氙及其同位素能通过,从而实现熔盐中气态氙及其同位素的分离、去除。

附图说明

[0022] 图1是根据本发明的分离组件的整体结构示意图;

[0023] 图2是根据本发明的分离组件的应用环境示意图;

[0024] 图3是根据本发明的去除气态的氢的同位素的方法的分离过程示意图。

具体实施方式

[0025] 下面结合附图,给出本发明的较佳实施例,并予以详细描述。

[0026] 图1是根据本发明的去除熔盐中的气态氙及其同位素的装置的分离组件的整体结构示意图,其中,该分离组件11包括钷银合金管2和波纹管式不锈钢外壳4,两者通过法兰1连接或者焊接固定,使得波纹管式不锈钢外壳4围绕着钷银合金管2形成套管结构。其中,钷银合金管2的相对的两端分别形成为熔盐进出口5,熔盐8通过该熔盐进出口5进入或流出该钷银合金管2。波纹管式不锈钢外壳4的相对的两端分别形成有吹扫气进出口3,吹扫气9通过该吹扫气进出口3进入或流出该分离组件11。如此,吹扫气9在钷银合金管2的外表面和波纹管式不锈钢外壳4的内表面之间流动。

[0027] 其中,由于钷对氢同位素有很高的亲和性,它能将氢分子(包括氢的同位素,例如氘)解离成氢原子,之后快速地吸附和解析。而且,钷能在保持氢同位素物理性能的前提下对其进行吸附,且对氢同位素有很高的转移率,使氢同位素原子能从钷管/膜的一侧渗透通过,其他气体以及熔盐等分子则不能通过钷膜。因此,钷管/膜能分离得到气态的氢同位素。在本实施例中,分离组件11以钷银合金管2作为核心部件,熔盐8进入钷银合金管2并在其内

部流动,熔盐8中气态氚通过钚银合金管2渗透进入波纹管式不锈钢外壳4的内部,然后通过吹扫气9吹扫将分离得到气态氚载带出来。其中,熔盐8在钚银合金管2的内部流动,吹扫气9则在钚银合金管2的外部流动,熔盐8和吹扫气9均不能通过钚银合金管2,只有熔盐中的气态氚可以通过,从钚银合金管2的内部渗透到钚银合金管2的外部,从而实现分离去除。在本实施例中,该钚银合金管2示出为直管,但是,实际上,该钚银合金管2可以被加工成任意合适的形状及结构,例如U型管或平板。显然,将多根钚银合金管2组装在一起构成多管式的分离组件,可以增加熔盐的处理量。

[0028] 应该理解,该钚银合金管2也可以由其他钚合金膜和钚复合膜制成。钚合金膜的优点在于性能稳定,对氢的选择性好,其缺点是价格昂贵,氢的渗透速率低。将钚银合金铸锭,制成管坯,再经反复的轧制、退火,从而得到所需厚度的薄壁管。钚复合膜是通过物理或化学(电镀和化学镀)的方法在多孔载体(如多孔不锈钢,多孔陶瓷等)上沉积薄的金属层(钚和银)而形成的。钚复合膜降低了钚膜层的厚度而不降低整体的机械强度,同时也提高了钚膜的透氢速率。钚合金管管不仅具有良好的机械和热稳定性,而且能耐高温和熔盐腐蚀,应该理解,钚铜合金管、钚钷合金管也具有这样的特点。

[0029] 在本实施例中,吹扫气9必须与钚银合金管2有很好的化学兼容性,它可以是氮气,氩气,氙气以及由这些气体组成的混合气。

[0030] 在本实施例中,推动熔盐8在钚银合金管2的内部流动(湍流)的方法可以是主动式或者被动式,比如可以在熔盐流动路径上的任意位置,采用叶片、刀片、缝翼、管道、挡板、舵、棒、喷嘴、文丘里管、端口、分流器、轮廓线和波纹等推动熔盐的流动,或者结合上述几种方式;此外还可以采用气压法,如用Ar气加压的方式推动熔盐在钚银合金管2中流动。

[0031] 显然,根据本发明的方法,其结合熔盐堆运行情况,能在熔盐8流动过程中,在线分离处理气态氚。而且,熔盐直接通过钚银合金管2,经分离得到的气态氚及其同位素再通过吹扫气9载带出来,减少了气态氚处理中人与熔盐8的直接接触,能减少熔盐特别是FLiBe对人的伤害,具有安全,低风险的优点。另外,该方法直接从熔盐8中分离气态氚,能减少氚随熔盐8的迁移,从而降低氚从一回路由二回路以及向周围环境的渗透量。

[0032] 图2是根据本发明的去除熔盐中气态氚及其同位素的装置的具体实例图,其中,熔盐堆堆芯12产生的热量由作为冷却剂的熔盐8带走,同时裂变产物也溶解于熔盐8中。氚与其他裂变产物在熔盐泵13作用下随着流动的熔盐8在熔盐回路14中转移。熔盐回路14与分离组件11连接,熔盐8流入分离组件11的钚银合金管2内,气态氚及其同位素透过钚银合金管2的管壁进入钚银合金管2外,然后通入吹扫气9,将气态氚载带出来进入电离室6进行在线分析测量。

[0033] 在本发明中,熔盐8经过熔盐堆堆芯12,在熔盐泵13的作用下将反应堆产生气态氚和其他放射性裂变产物载带出来。熔盐回路14与钚银合金管2的熔盐进出口5(参见图1)连接。熔盐8流经钚银合金管2时,熔盐8中的气态氚能通过管壁渗透进入吹扫气路一侧,而其他杂质如熔盐、氦、氙气等则不能。在本实施例中,从吹扫气路的进气端通入氩气作为载气,可以将气态氚载带出。吹扫出来的混合气通入电离室进行测量,从而确定钚银合金管分离得到气态氚的量。

[0034] 图3是根据本发明的去除气态氚及其同位素的方法的分离过程示意图,其中,熔盐8的流动方向如箭头A所示,FLiBe熔盐中的气态氚及其同位素按箭头C所示方向穿过钚银合

金管2。透过钯银合金管2的气态氙，由吹扫气9按箭头B的流动方向载带出，经分离提取以待后续利用。吹扫气9的流动方向可以与熔盐8的流动方向一致也可以与熔盐8的流动方向不同。另外，吹扫气9大体与熔盐8保持热平衡，不会从熔盐8带走大量热。

[0035] 其中，钯银合金管2的主要作用是分离气态氙及其同位素。钯银合金管2隔绝了吹扫气9和熔盐8：熔盐8的湍流在膜管的一侧（内部）流动，吹扫气9在膜管的另一侧（外部）流动，它们均不能通过该种膜管。气态氙及其同位素能在该膜管内部迁移通过，钯银合金管2能有效地将气态氙从熔盐8运送到吹扫气9。这种吹扫气可以由任何气体组成（不包括所释放的氢）且与膜结构有很好的化学兼容性。例如，吹扫气可以包括：氮气，氦气，氩气以及由前述气体组成的混合气。显然，根据本发明的装置和方法减少了熔盐中的气态氙的污染，分离了吹扫气中的气态氙及其同位素。

[0036] 以上所述的，仅为本发明的较佳实施例，并非用以限定本发明的范围，本发明的上述实施例还可以做出各种变化。即凡是依据本发明申请的权利要求书及说明书内容所作的简单、等效变化与修饰，皆落入本发明专利的权利要求保护范围。本发明未详尽描述的均为常规技术内容。

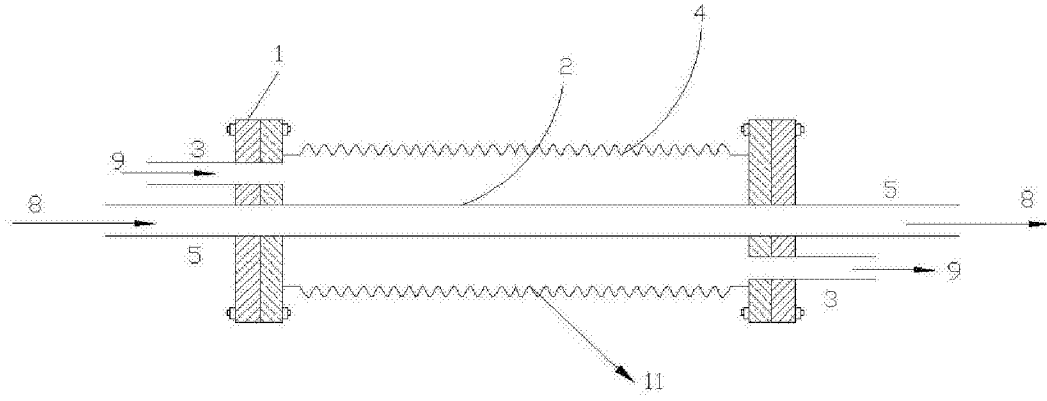


图1

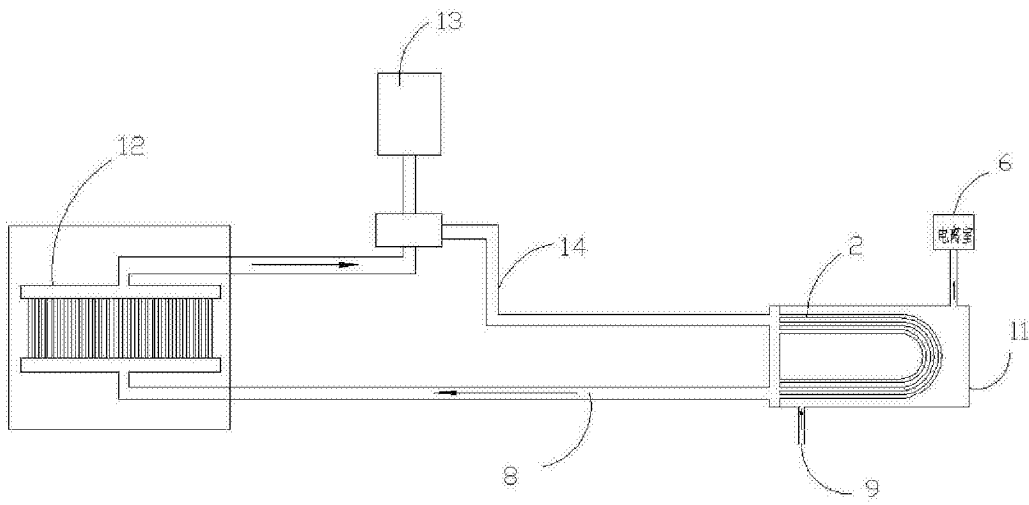


图2

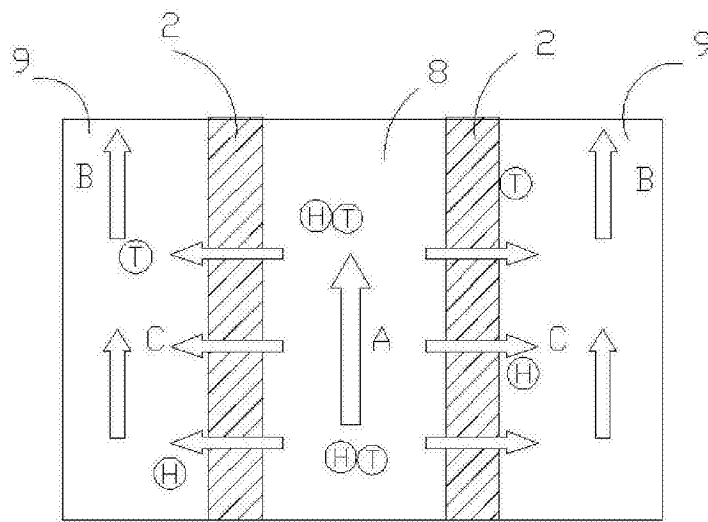


图3