



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104157319 B

(45)授权公告日 2017.01.25

(21)申请号 201410452097.X

(51)Int.Cl.

(22)申请日 2014.09.05

G21F 9/30(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

B04C 9/00(2006.01)

申请公布号 CN 104157319 A

B04C 5/00(2006.01)

(43)申请公布日 2014.11.19

审查员 卑晓峰

(73)专利权人 上海华畅环保设备发展有限公司

地址 201505 上海市金山区亭林镇东新村  
14组

专利权人 中广核工程有限公司

(72)发明人 徐银香 杨锦春 汪华林 刘毅

郎红芳 欧国勇 李剑平 沈其松

(74)专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司  
31100

代理人 项丹

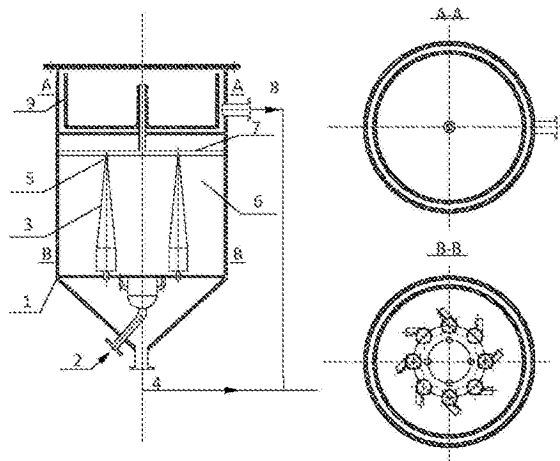
权利要求书1页 说明书6页 附图1页

(54)发明名称

核反应堆一回路冷却剂水质旋流净化方法与装置

(57)摘要

本发明涉及核反应堆一回路冷却剂水质旋流净化方法与装置,提供了一种核反应堆一回路冷却剂水质旋流净化方法,该方法包括以下步骤:(i)提供微旋流分离成套装置,该装置包括:包含上部腔体、中部腔体(6)和下部腔体的壳体(1);置于中部腔体(6)中的微旋流分离器(3);置于上部腔体中的灰斗(9);(ii)将含有树脂碎粒的冷却剂输送到该微旋流分离成套装置的中部腔体中,通过微旋流分离器对冷却剂进行旋流分离,以将树脂碎粒从冷却剂中分离出来,得到含树脂碎粒的浓缩液和净化水;(iii)将所得的含树脂碎粒的浓缩液送入上部腔体中,以在灰斗中沉降,得到滤液;(iv)将所得的滤液和所得的净化水汇合后流至下游设备。



1. 一种核反应堆一回路冷却剂水质旋流净化方法,该方法包括以下步骤:
  - (i) 提供微旋流分离成套装置,该装置包括:包含上部腔体、中部腔体(6)和下部腔体的壳体(1);置于中部腔体(6)中的微旋流分离器(3);置于上部腔体中的灰斗(9);
  - (ii) 将含有树脂碎粒的冷却剂输送到该微旋流分离成套装置的中部腔体中,通过微旋流分离器对冷却剂进行旋流分离,以将树脂碎粒从冷却剂中分离出来,得到含树脂碎粒的浓缩液和净化水;
  - (iii) 将所得的含树脂碎粒的浓缩液送入上部腔体中,以在灰斗中沉降,得到滤液;
  - (iv) 将所得的滤液和所得的净化水汇合后流至下游设备。
2. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,所述微旋流分离器的分离效率为90%或更高;对5 $\mu$ m或更大的颗粒进行分离,其分离精度达95%。
3. 如权利要求1或2所述的方法,其特征在于,在步骤(iii)中,固体颗粒被灰斗周边的滤网阻拦沉降在底部,而滤液通过灰斗周边的滤孔滤出或通过灰斗边缘溢出。
4. 一种核反应堆一回路冷却剂水质旋流净化装置,该装置包括:
  - 包含上部腔体、中部腔体(6)和下部腔体的壳体(1);
  - 倒置于中部腔体(6)中的微旋流分离器(3);
  - 置于上部腔体中的灰斗(9)。
5. 如权利要求4所述的装置,其特征在于,所述壳体中的上部腔体、中部腔体和下部腔体通过管板形成,是三个封闭腔体。
6. 如权利要求4所述的装置,其特征在于,所述微旋流分离器的数量和灰斗的结构根据处理量进行调整。
7. 如权利要求4-6中任一项所述的装置,其特征在于,所述灰斗采取活动式装配结构;灰斗周边为滤孔结构,滤孔尺寸根据固体颗粒粒径分布确定。
8. 如权利要求4-6中任一项所述的装置,其特征在于,所述灰斗与壳体间留有缝隙,灰斗上沿与壳体顶盖间留有空间,以便于滤出或溢出的净化水排出。
9. 权利要求1-3中任一项所述的方法或权利要求4-8中任一项所述的装置用于核电站化学和容积控制系统中含固体颗粒的冷却剂净化的用途。

## 核反应堆一回路冷却剂水质旋流净化方法与装置

### 技术领域

[0001] 本发明属于核电环保领域,涉及一种放射性固废产生量低、连续运行周期长、且能有效净化放射性冷却剂的微旋流分离方法及装置。具体地说,本发明涉及一种集成微旋流分离器及过滤灰斗净化核电站一回路放射性冷却剂中夹带的树脂及其它固体颗粒的方法,以及实施该方法所用的装置。

### 背景技术

[0002] 随着当今社会的日益发展,我国面临着煤炭、石油、天然气等一级能源燃料日益匮乏的境况,核能作为高效、清洁能源,目前在我国逐步推行和发展。在《新中国建国60周年能源发展报告》中,根据中国核电产业发展规划,到2020年,中国将建设13座核电站,拥有58台百万千瓦级核电机组,核电总装机容量达4000万千瓦,核电年发电量将超过2600亿千瓦时。随着核电的发展,放射性固体废物处理不当会带来极大的危险性。自1995年IAEA(国际原子能组织)发表《核电厂和核燃料循环终端放射性废物的最少化》(技术报告丛书377号)以来,废物最小化已经成为放射性废物管理以及核安全文化素养的重要组成部分。90年代初美国核电用户要求文件(URD)和欧洲核电用户要求文件(EUR)中对压水堆核电厂每台机组最终产生的废物总体积(睦邻目标值)做出规定,要求最终放射性固体废物包体积 $<50\text{m}^3/\text{年}$ 。

[0003] 核电站化学和容积控制系统(RCV)保证一回路必需的三种功能:容积控制系统、化学控制和反应控制。容积控制的目的是吸收稳压器不能全部吸收的一回路容积的变化,从而将稳压器的液位维持在整定值上;化学控制的目的是清除水中颗粒杂质,维持一回路水的化学及放射性指标在规定的范围以内,将一回路所有部件的腐蚀控制在最低限度等。作为反应性控制系统,化学和容积控制系统在反应堆放停堆,或在弹棒事故的反应堆热态次临界状态下的维修阶段都起安全作用。因此该系统在整个核电站反应堆运行过程中有着举足轻重的作用。

[0004] 美国核电用户要求文件(URD)和欧洲核电用户要求文件(EUR)在对下一代核电站的安全和设计技术提出要求的同时,尤其对过滤器的选用提出了“要求与其他可行性技术进行优劣势比较”的建议。据初步统计,当前运行中的CPR 1000机型核电站机组每台大约有近百台过滤器。这些过滤器在核电站中承担着净化水质、保护下游设备安全的作用。然而,这些过滤器中大部分都处在放射性环境中,其滤芯达到寿命后需按要求更换,从而成为带放射性的废滤芯并需要进行隔离储存;周期性的滤芯更换不仅成本高昂,造成大量放射性固废,也给维护更换工作带来潜在的核辐射风险。

[0005] 当前探索核电站新型高效分离方法的研究包括精密过滤器、超临界水过滤装置、膜分离装置和微旋流器装置等。中国专利ZL 201010272918.3公开了一种在核电站凝结水精处理系统中利用精密过滤器进行净化的方法,中国专利ZL201010128657.8公开了一种利用超临界水对核电站细微颗粒混合物进行过滤的装置,中国专利ZL 201110220075.7公开了一种在固液分离槽内设置浸泡式膜用于核电站放射性设备内放射性固废回收的装置。但以上专利的方法均未能有效解决放射性固废二次污染、使装置长期稳定运行等共性问题。

目前旋流器已广泛应用至石油化工、生物医药等众多行业,相关研究包括:中国专利ZL200910045839.6公开的一种利用旋流器脱除煤焦油中颗粒的方法和装置;中国专利ZL200810038621.3公开的一种利用旋流分离器对加氢裂化反应得到产物进行旋流分离,以除去循环氢中夹带的高分油液滴的方法和装置;中国专利ZL200810042715.8公开的一种利用微旋流器对MTO(甲醇制烯烃)预旋流型反应废水进行分离,以脱除其中含有的催化剂颗粒的方法和装置。但目前核电工业上暂无应用旋流器进行放射性废液净化应用的研究报道。

[0006] 因此,本领域迫切需要开发出一种克服了上述现有技术缺陷的,在核电站里脱除冷却剂中固体颗粒时装置连续运行周期更长、固废产生更少的分离工艺及装置。

## 发明内容

[0007] 本发明提供了一种新颖的核反应堆一回路冷却剂水质旋流净化方法与装置,在核电环保领域用微旋流分离器取代过滤器以脱除一回路冷却剂中夹带的树脂碎粒,从而解决了现有技术中存在的问题。

[0008] 一方面,本发明提供了一种核反应堆一回路冷却剂水质旋流净化方法,该方法包括以下步骤:

[0009] (i)提供微旋流分离成套装置,该装置包括:包含上部腔体、中部腔体和下部腔体的壳体;置于中部腔体中的微旋流分离器;置于上部腔体中的灰斗;

[0010] (ii)将含有树脂碎粒的冷却剂输送到该微旋流分离成套装置的中部腔体中,通过微旋流分离器对冷却剂进行旋流分离,以将树脂碎粒从冷却剂中分离出来,得到含树脂碎粒的浓缩液和净化水;

[0011] (iii)将所得的含树脂碎粒的浓缩液送入上部腔体中,以在灰斗中沉降,得到滤液;

[0012] (iv)将所得的滤液和所得的净化水汇合后流至下游设备。

[0013] 在一个优选的实施方式中,所述微旋流分离器的分离效率为90%或更高;对5 $\mu$ m或更大的颗粒进行分离,其分离精度达95%。

[0014] 在另一个优选的实施方式中,在步骤(iii)中,固体颗粒被灰斗周边的滤网阻拦沉降在底部,而滤液通过灰斗周边的滤孔滤出或通过灰斗边缘溢出。

[0015] 另一方面,本发明提供了一种核反应堆一回路冷却剂水质旋流净化装置,该装置包括:

[0016] 包含上部腔体、中部腔体和下部腔体的壳体;

[0017] 置于中部腔体中的微旋流分离器;

[0018] 置于上部腔体中的灰斗。

[0019] 在一个优选的实施方式中,所述壳体中的上部腔体、中部腔体和下部腔体通过管板形成,是三个封闭腔体。

[0020] 在另一个优选的实施方式中,所述微旋流分离器的数量和灰斗的结构根据处理量进行调整。

[0021] 在另一个优选的实施方式中,所述微旋流芯管采取倒置形式装配在壳体内。

[0022] 在另一个优选的实施方式中,所述灰斗采取活动式装配结构;灰斗周边为滤孔结

构,滤孔尺寸根据固体颗粒粒径分布确定。

[0023] 在另一个优选的实施方式中,所述灰斗与壳体间留有缝隙,灰斗上沿与壳体顶盖间留有空间,以便于滤出或溢出的净化水排出。

[0024] 再一方面,本发明涉及上述方法或装置用于核电站化学和容积控制系统中含固体颗粒的冷却剂净化的用途。

### 附图说明

[0025] 根据结合附图进行的如下详细说明,本发明的目的和特征将变得更加明显,附图中:

[0026] 图1是根据本发明的一个实施方式的核反应堆一回路冷却剂水质旋流净化的工艺流程图。

[0027] 图2是根据本发明的实施例的包含本发明的核反应堆一回路冷却剂水质旋流净化装置的核反应堆一回路冷却剂水质旋流净化的工艺流程图。

### 具体实施方式

[0028] 本申请的发明人在经过了广泛而深入的研究之后发现,旋流器具有分离效率高、可靠性高、适用范围广等优点,将其应用于核电站净化系统,对于冷却剂这种操作量大、固体含量低的固液体系进行分离净化是最有效和廉价的;用旋流器代替核电站化学和容积控制系统过滤器以脱除固体颗粒,可以大幅降低由过滤器滤芯产生的固体废物,并且将净化系统连续运行周期延长至10年,有效避免了设备更换造成的核辐射,同时实现了对一回路冷却剂水质的净化,确保了后续工况妥善运行。基于上述发现,本发明得以完成。

[0029] 在本发明的第一方面,提供了一种高效低耗脱除核电站化学和容积控制系统中颗粒杂质的方法,该方法包括:

[0030] 在核电站化学和容积控制系统中,使含有树脂碎粒的冷却剂进入微旋流分离器,从而将树脂碎粒从冷却剂中分离出来,以净化水质;

[0031] 分离出的含固溶液从微旋流分离器的底流口经过底流汇管汇集到灰斗中,经过过滤和适时沉降,滤液通过灰斗四周滤网滤出或从堰口溢出;

[0032] 底流滤液同微旋流分离器溢流产物汇流至下游设备。

[0033] 在本发明中,灰斗在机组大修期间通过专用工具更换。

[0034] 本发明的方法适用于核电站化学和容积控制系统中所有含固体颗粒的冷却剂净化工艺。

[0035] 在本发明中,冷却剂净化采用微旋流分离技术,其分离效率达到90%以上;对5 $\mu$ m以上的颗粒进行分离,其分离精度达95%。

[0036] 在本发明中,通过设定化学和容积控制系统(RCV)进口压力为0.3MPa(绝对压力),流量为10m<sup>3</sup>/h的含微量树脂的水,经过旋流分离后,固体颗粒分离效率达到90%,且分离装置压降持续在0.15MPa。

[0037] 在本发明中,针对进口压力为0.3MPa(绝对压力),流量为10m<sup>3</sup>/h的放射性冷却剂进行净化处理,通过合理设计灰斗布置结构和尺寸,可确保灰斗的更换周期达到10年。

[0038] 在本发明中,底流汇集至灰斗后,固体颗粒经过适时沉降留在灰斗底部,滤液通过

灰斗四周滤网滤除,或通过灰斗顶端沉降溢出。

[0039] 在本发明的第二方面,提供了一种用于上述方法的装置,该装置包括:

[0040] 以集成整套分离工艺的壳体为载体用于脱除反应堆冷却剂中固体杂质的微旋流分离器组件;通过底流汇管与微旋流分离器组件的底流口相连接的活动灰斗。

[0041] 在本发明中,微旋流分离器采取倒置形式装配在壳体内。

[0042] 在本发明中,分离器内通过管板形成三个封闭腔室,分别为顶端的底流汇集腔、中部的进料腔和底端的溢流汇集腔。

[0043] 在本发明中,底流灰斗采取活动式装配结构,以便于后续更换。

[0044] 在本发明中,灰斗周边为滤孔结构,滤孔尺寸根据固体颗粒的粒径分布确定,以确保固体颗粒全部被收集在灰斗中。

[0045] 在本发明中,灰斗更换周期可大幅延长至10年,避免了传统工艺中采用过滤器所造成的大量放射性固废。

[0046] 在本发明中,灰斗与壳体间留有缝隙,灰斗上沿与壳体顶盖间也留有空间,以便于滤出或溢出的液相排出。

[0047] 在本发明中,所述壳体微旋流分离器组件数量可根据混合液处理量做出适当调整,并相应调整灰斗结构,可满足不同系统和流程中的溶液净化。

[0048] 在本发明中,浓缩液经过灰斗边壁过滤或静置沉降溢出的清液能达到含固指标,提高冷却剂使用率。

[0049] 以下根据附图详细说明本发明的方法。

[0050] 图1是根据本发明的一个实施方式的核反应堆一回路冷却剂水质旋流净化的工艺流程图。如图1所示,微旋流分离成套装置包括:包含上部腔体、中部腔体6和下部腔体的壳体1;置于中部腔体6中的微旋流分离器3;置于上部腔体中的灰斗9;该壳体1还包括进口2、溢流口4和底流出口8,其中,冷却剂经进口2输送到装置的中部腔体6中,通过微旋流分离器3对冷却剂进行旋流分离,以脱除夹带的树脂碎粒等固体杂质;分离出的浓缩液经微旋流分离器底流口5、并经底流汇管7进入上部腔体中,在灰斗9中沉降,固体杂质被灰斗9周边的滤网阻拦沉降在灰斗底部,而液相通过灰斗9周边的滤孔滤出或通过灰斗边缘溢出;经过灰斗滤出的滤液经底流出口8流出,与微旋流分离器溢流经溢流口4汇合流至下游设备,以满足后续工况。图1还示出了其中A-A线和B-B线的剖面图。

[0051] 图2是根据本发明的实施例的包含本发明的核反应堆一回路冷却剂水质旋流净化装置的核反应堆一回路冷却剂水质旋流净化的工艺流程图。如图2所示,下泄回路的下泄流汇集点收集一回路冷却剂在储罐21中静置,由泵送进入到并联的混床除盐器22和阳床除盐器23中,通过这些除盐器中的离子交换树脂除去硼、铯和锂等,使水质得到净化;含有被冲刷出的树脂一回路冷却剂进入到分离器24的进料腔体,均匀进入各微旋流分离器;经过分离后,被净化的废液从微旋流分离器溢流口出来;底流液由底流腔通过底流汇集管进入灰斗,底流在灰斗中适当静置,液体部分从灰斗周边的滤孔溢出,并和旋流分离溢流汇集,进入容控箱25,为上充回路中的上充泵提供水源。

[0052] 本发明的主要优点在于:

[0053] a、安全、环保、节约成本;

[0054] b、明显降低放射性固废产生量;

[0055] c、显著提高装置连续运行周期；

[0056] d、分离稳定、快速、操作范围大。

[0057] 实施例

[0058] 下面结合具体的实施例进一步阐述本发明。但是，应该明白，这些实施例仅用于说明本发明而不构成对本发明范围的限制。下列实施例中未注明具体条件的试验方法，通常按照常规条件，或按照制造厂商所建议的条件。除非另有说明，所有的百分比和份数按重量计。

[0059] 实施例1：

[0060] 核电站化学和容积控制系统中净化回路中用微旋流分离器脱除树脂碎粒

[0061] 1. 实施流程

[0062] 如图2所示。

[0063] 2. 关键设备

[0064] 该工艺流程中关键设备是结合过滤性活动灰斗和微旋流分离器组件的分离器。其中，过滤性活动灰斗置于顶端以衔接微旋流分离器底流，微旋流分离器组件为并列倒置立式；该设备顶端采取管板式封闭，便于后续灰斗更换。其处理量为 $10\text{m}^3/\text{h}$ ，外形尺寸为 $\Phi 600 \times 2400$ 。

[0065] 3. 控制

[0066] 满负荷工况下，该工艺流程总进料流量为 $10\text{m}^3/\text{h}$ ，进料口压力为 $0.3\text{MPa}$ （绝对压力），操作温度为常温。

[0067] 4. 运行结果

[0068] 实验选用了密度约为 $1.15\text{g}/\text{cm}^3$ ，树脂浓度为 $10\text{ppm}$ 的混合物料，且进料中固液相分布连续。运行工况下，含微量树脂颗粒的物料在泵作用下进入分离器，通过在分离器中部的进料腔汇聚后进入微旋流分离器，利用流体旋转流动产生的比重力大几十到几百倍的离心惯性力，依靠密度差迅速在微旋流分离器内实现分离。微旋流分离器溢流中分散相树脂浓度被大幅降低，而被大幅浓缩后的底流物通过底流腔中连接灰斗的底流导管进入灰斗，连续相清水从灰斗侧边滤孔或顶部逐渐排出，并回流至分离设备出口；同时，固体颗粒在灰斗内通过缓慢静置，逐渐在灰斗内沉积，实现固体颗粒杂质与清水的分离。实验室在线分离效率均超过 $90\%$ 。满足核电站一回路化学和容积控制系统的分离精度要求。进料时，固体颗粒杂质浓度存在明显波动情况下，微旋流分离器和灰斗沉降过滤效率基本正常，符合实际波动工况，整体运行良好。

[0069] 能耗方面，所述微旋流分离器的压力损失（即分离器入口与溢流口之间的压力差）约为 $0.15\text{MPa}$ ，相对于过滤器分离、尤其是过滤器后期工作有一定的优势；灰斗的沉降过滤过程产生的压降并不对实际工艺流程造成影响。

[0070] 5. 技术效果

[0071] (a)安全、环保、节约成本

[0072] 对于核电机组，尤其是针对含放射性物质的系统，设备的更换不仅威胁着机组维修的关键路径，更造成不必要的放射性介质泄露的危险性，以及周边工作人员不必要的辐射剂量。通过采取旋流分离工艺，设备通过合理设计灰斗尺寸，可实现10年更换一次，减少放射性废物的排放，在一定程度上减少了对周边工作人员的辐射。

[0073] 传统的过滤器设计压降通常在0.25MPa,滤渣的逐步集聚将滤孔堵塞,压降逐步增加,能耗增加。通过不断优化设备结构,用微旋流分离器代替过滤器,其优点在于,在进料流量基本稳定条件下,分离过程产生的压降基本控制0.15MPa以内,灰斗中产生的压降对分离过程没有明显影响,因此降低了对泵耗的要求。这套分离器结合了高速旋转快速分离和静置沉降分离,分离效率达90%,完全能满足机组运行要求。同时,过滤器过滤过程的压降是逐渐变化的过程,期间波动明显,这也不利于后续设备的稳定高效运行;而微旋流分离器在进口流量稳定的情况可确保压降始终稳定。

[0074] (b)明显降低放射性固废产生量

[0075] 通过采用旋流分离工艺替代传统的过滤分离技术净化放射性溶液,显著降低了因过滤器滤芯更换造成的大量固废、以及配套备品备件耗费数量。据初步统计,单台CPR 1000机组每年的滤芯更换数量超过100个;过滤后的单个废滤芯重量室处理量和处理精度要求不尽相同,重达几十公斤以上,粗略估算10年由此造成的固废即达好几十吨。而根据IAEA逐步降低核电站固废的要求,通过采取旋流分离工艺不但避免滤芯的反复更换,而且10年更换一次灰斗,一个灰斗净重不超过10公斤,10年产生的固废量才接近1吨。由此得出,相对过滤器滤芯生成的固废量而言,旋流器的作用至少降低了90%固废的排放,产生了积极的环境效益;同时也会因为滤芯耗费的减少而产生突出的经济效益。

[0076] (c)显著提高装置连续运行周期

[0077] 核电站中放射性过滤器滤芯会定期或压差达到设定值时就会进行更换。过滤器压差计指针指向红色区域,或工作满6000-8000小时即要更换,放射性固体废物会造成极大的安全性、环保性问题。通过采取旋流分离工艺,设备通过合理设计灰斗尺寸,可确保分离器的连续运行周期达到十年,这相对过滤器不到一年的运行周期有了明显的提升。

[0078] (d)分离稳定、快速、操作范围大

[0079] 传统的过滤器在刚开始过滤时,粒径稍大的固体颗粒会透过滤层,随着工作进行,部分杂质将滤孔堵塞,在进行深度过滤的同时压降会增加,导致整个过程分离不稳定;并且固定的滤孔径只能实现对固定尺寸杂质的分离,操作范围小。用微旋流分离器代替过滤器,操作范围大;在进口流量稳定的情况可确保压降始终稳定;并且微旋流分离器具有高速旋转分离功能,可实现后续工况的稳定高效运行。

[0080] 通过实验研究完整模拟了核反应堆一回路冷却剂水质微旋流分离工艺,其过程运行稳定,操作便捷,操作范围大,实现快速高效分离,分离效率始终保持在90%以上,且压降不超过0.15MPa,此举完全满足了现场机组运行要求。同时,采用旋流分离工艺替代传统的过滤器分离工艺,不仅将明显降低机组的运行成本,而且将大幅降低固废产生量,还将系统的稳定运行周期由过滤器时代的不到一年提高到十年,不仅降低了滤芯更换的工作量,也降低了运行人员不必要的辐射剂量,具有显著的环保效益和经济效益。

[0081] 在本发明提及的所有文献都在本申请中引用作为参考,就如同每一篇文献被单独引用作为参考那样。此外应理解,在阅读了本发明的上述讲授内容之后,本领域技术人员可以对本发明作各种改动或修改,这些等价形式同样落于本申请所附权利要求书所限定的范围。



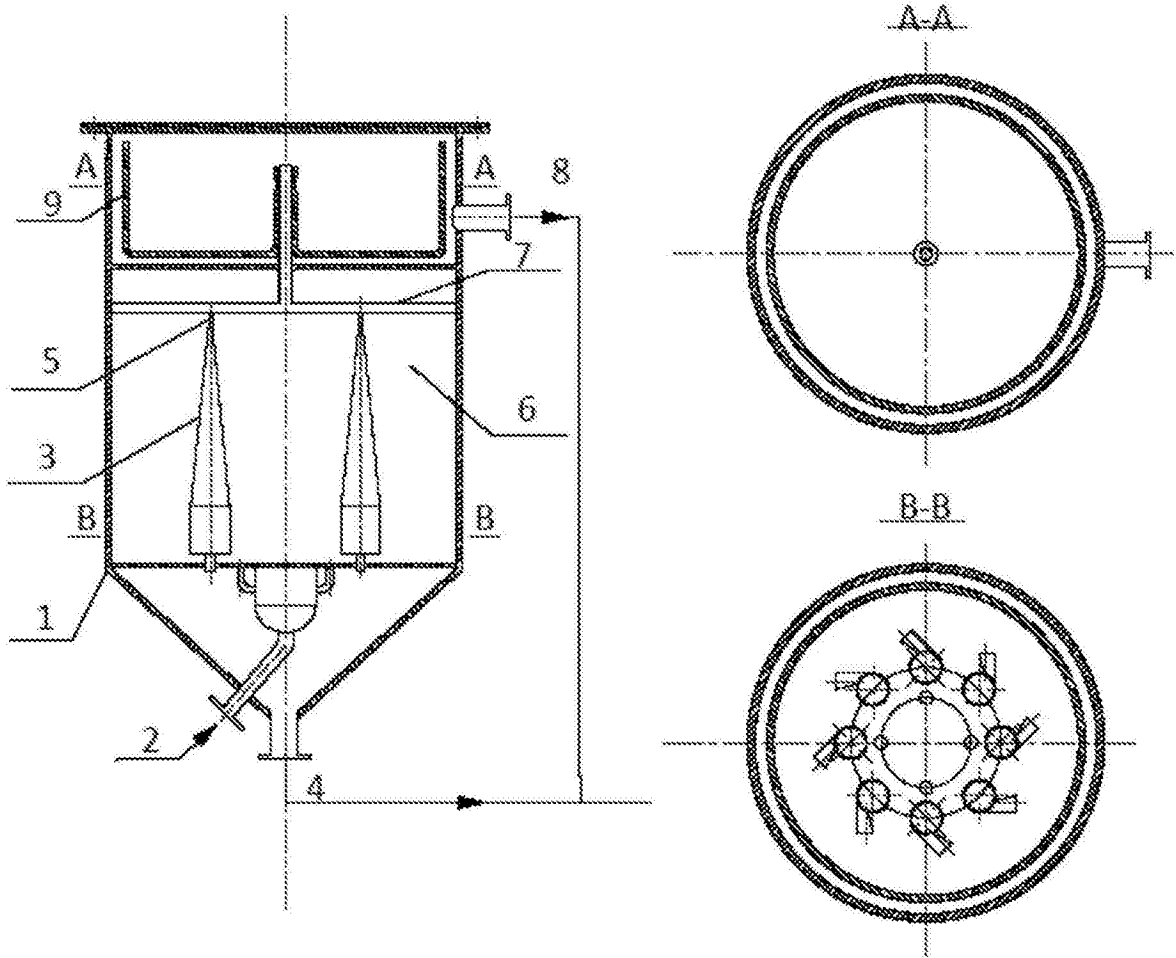


图1

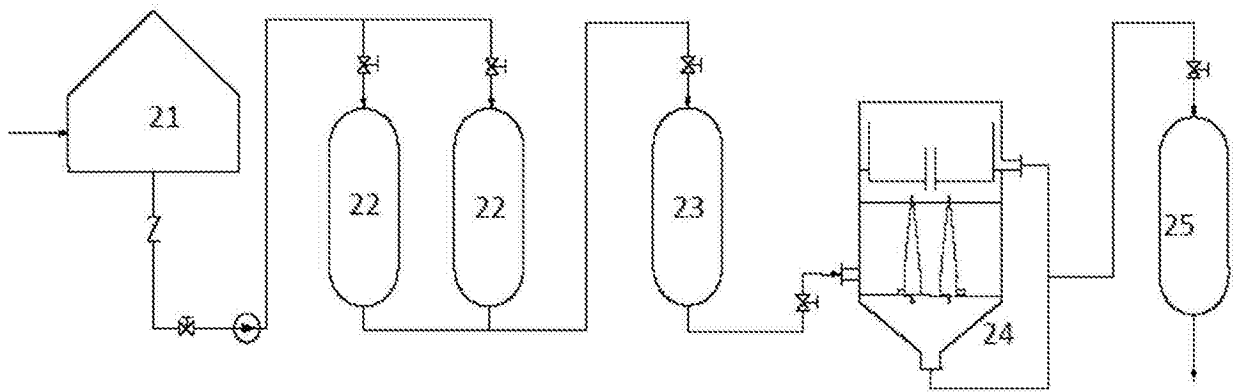


图2