



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104332209 B

(45)授权公告日 2017.02.01

(21)申请号 201410452769.7

(22)申请日 2014.09.05

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 104332209 A

(43)申请公布日 2015.02.04

(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 刘毅 张艳红 李剑平 郎红芳  
罗锦春 汪华林 欧国勇 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

(51)Int.Cl.

G21F 9/06(2006.01)

B01D 21/26(2006.01)

(56)对比文件

CN 200981028 Y,2007.11.28,

CN 201842724 U,2011.05.25,

CN 1457932 A,2003.11.26,

CN 103714874 A,2014.04.09,

JP 特开平10-128161 A,1998.05.19,

US 4790666 A,1988.12.13,

JP 昭61-263605 A,1986.11.21,

孙保全等.液-固微旋流分离技术脱除水中  
催化剂颗粒.《化工进展》.2011,第30卷(第10  
期),

审查员 李乐

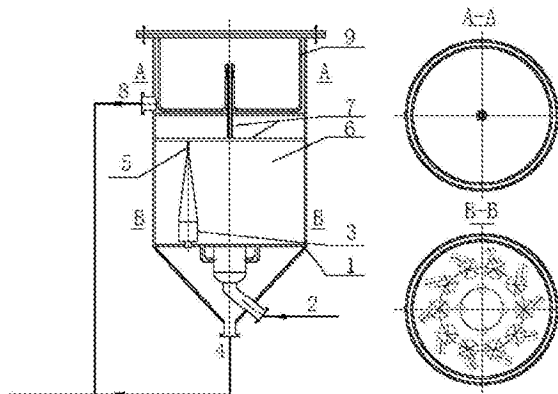
权利要求书1页 说明书6页 附图1页

(54)发明名称

废液处理系统放射性废液旋流分离净化方  
法及装置

(57)摘要

本发明涉及废液处理系统放射性废液旋流  
分离净化方法及装置,提供了一种废液处理系统  
放射性废液旋流分离净化方法,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)将含有颗粒杂  
质的放射性废液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放射性废液  
进行旋流分离,以将颗粒杂质从放射性废液中分  
离出来,得到含颗粒杂质的浓缩液和清液;(iii)  
将所得的含颗粒杂质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  
和所得的清液汇合后流至下游设备。



1. 一种废液处理系统放射性废液旋流分离净化方法,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)将含有颗粒杂质的放射性废液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放射性废液进行旋流分离,以将颗粒杂质从放射性废液中分离出来,得到含颗粒杂质的浓缩液和清液;
  - (iii)将所得的含颗粒杂质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清液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,压降不超过0.15MPa。
3. 如权利要求1或2所述的方法,其特征在于,在步骤(iii)中,颗粒杂质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. 一种废液处理系统放射性废液旋流分离净化装置,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);
  - 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,灰斗(9)通过底流汇管(7)与微旋流分离器的底流口(5)连接。
7. 如权利要求4-6中任一项所述的装置,其特征在于,所述微旋流分离器中的微旋流芯管采取倒置形式装配在壳体内。
8. 如权利要求4-6中任一项所述的装置,其特征在于,所述灰斗采取活动式装配结构;灰斗周边为滤孔结构,滤孔尺寸根据颗粒杂质粒径分布确定。
9. 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滤液排出。
10. 权利要求1-3中任一项所述的方法或权利要求4-9中任一项所述的装置用于核电站三废系统中所有放射性废液净化的用途。

## 废液处理系统放射性废液旋流分离净化方法及装置

### 技术领域

[0001] 本发明属于核电环保领域,涉及一种连续运行周期长、放射性固废产生量低、且能有效脱除放射性废液中颗粒杂质的旋流分离方法及装置,具体涉及一种集成微旋流分离器及过滤灰斗净化核电站废液处理系统放射性废液中夹带的树脂及其他颗粒杂质的方法,以及实施该方法所用的装置。

### 背景技术

[0002] 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小化》(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,并从一定程度上反映了核电站的设计水平、设备系统可靠性、安全运行和维修管理水平。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 $<50\text{m}^3$ /年。目前国际核电界已用这一睦邻目标值和正在运行的核电厂进行比较,并以此作为评判该核电厂是否是性能优良的核电厂的10项指标之一。而URD和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。

[0003] 过滤器在核电站中应用广泛,以大亚湾核电站为例,应用到过滤器的系统有化学和容积控制系统(RCV)、废液处理系统(TEU)、反应堆硼和水供给系统(REA)、反应堆乏燃料水池冷却和处理系统(PTR)等等;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,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。

[0004] 当前探索核电站新型高效分离方法的研究包括: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ZL201110220075.7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,中国专利ZL 201010272918.3公开了一种利用精密过滤器用于核电站凝结水精处理系统进行净化过滤的方法,但以上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。

[0005] 目前,旋流器已广泛应用至石油化工、生物医药、采矿选煤等众多行业,相关研究包括:中国专利ZL 200910045839.6公开了一种利用旋流器脱除煤焦油中颗粒的方法装置,中国专利ZL 200810042716.2公开了一种利用微旋流器回收MTO(甲醇制烯烃)急冷水和水洗水中废催化剂的方法,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的缺陷的,在核电站放射性废液净化时固废产生量更少、装置连续运行周期更长的分离工艺及装置。

## 发明内容

[0007] 本发明提供了一种新颖的废液处理系统放射性废液旋流分离净化方法及装置,在核电环保领域用微旋流分离器取代过滤器以脱除放射性废液中夹带的树脂及其它颗粒杂质,从而解决了现有技术中存在的问题。

[0008] 一方面,本发明提供了一种废液处理系统放射性废液旋流分离净化方法,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)将含有颗粒杂质的放射性废液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放射性废液进行旋流分离,以将颗粒杂质从放射性废液中分离出来,得到含颗粒杂质的浓缩液和清液;

[0011] (iii)将所得的含颗粒杂质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清液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,压降不超过0.15MPa。

[0014] 在另一个优选的实施方式中,在步骤(iii)中,颗粒杂质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,本发明提供了一种废液处理系统放射性废液旋流分离净化装置,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,灰斗通过底流汇管与微旋流分离器的底流口连接。

[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,滤孔尺寸根据颗粒杂质粒径分布确定。

[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三废系统中所有放射性废液净化的用途。

## 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废液处理系统放射性废液旋流分离净化的工

艺流程图。

[0027] 图2是根据本发明的实施例的包含本发明的废液处理系统放射性废液旋流分离净化装置的废液处理系统放射性废液旋流分离净化的工艺流程图。

### 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,对于废液处理系统放射性废液这种操作量大、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废液处理系统过滤器以脱除颗粒杂质,可以大幅降低固废产生量,并明显延长净化系统连续运行周期,有效避免设备更换造成的核辐射;同时满足净化系统有效降低废液中的固体废物的目标,确保后续废液处理系统妥善运行。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废液处理系统放射性废液中颗粒杂质的方法,它包括以下步骤:

[0030] 含有颗粒杂质的放射性废液进入微旋流分离器组,将绝大部分颗粒杂质从废液中分离出来,得到净化的放射性废液;

[0031] 从微旋流分离器组底流口出来的浓缩含固废液汇集并通过底流汇管汇集到活动灰斗中,浓缩废液在灰斗中经历适时沉降,液相通过灰斗周边的滤孔滤出;

[0032] 经过灰斗滤出的滤液汇同旋流器溢流产物流至下游设备。

[0033] 在本发明中,机组大修期间通过专用工具更换灰斗。

[0034] 本发明的方法适用于核电站三废系统中所有放射性废液净化工艺。

[0035] 在本发明中,通过模拟废液处理系统进口压力为0.5MPa,流量为10m<sup>3</sup>/h的含微量树脂废水,经过旋流分离后,废液中固体颗粒分离效率达到90%,且分离装置压降持续在0.15MPa左右。

[0036] 在本发明中,底流汇集至灰斗后,固相经过适时沉降留在灰斗底部,滤液通过灰斗四周滤网滤出,或通过灰斗顶端沉降溢出,滤出或溢出的滤液基本不含固体颗粒。

[0037] 在本发明中,针对进口压力为0.5MPa,流量为10m<sup>3</sup>/h的放射性废水进行净化处理,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为十年,避免了传统工艺中采用过滤器所造成的大量放射性固废。

[0038] 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:

[0039] 用于集成整套分离工艺的壳体,用于放射性废液和固体颗粒杂质分离的微旋流分离器组件,与所述微旋流分离器组件底流口相连的底流汇管,以及与底流汇管连接的活动灰斗。

[0040] 在本发明中,微旋流分离器采取倒置形式装配在壳体内。

[0041] 在本发明中,壳体内通过管板形成三个封闭腔室,分别为底端的溢流汇集腔、中部的进料腔和顶端的底流汇集腔。

[0042] 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。

[0043] 在本发明中,灰斗周边为滤孔结构,滤孔尺寸根据杂质粒径分布确定,以确保固体颗粒全部被收集在灰斗中。

[0044] 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,便于滤

出或溢出的液相排出。

[0045] 在本发明中,所述壳体内部的微旋流分离器组件的数量可根据废液处理量做适当调整,并相应调整灰斗结构,以满足不同系统和流程中的废液净化。

[0046] 在本发明中,经过活动灰斗边壁过滤或静置沉降溢出的废液重新返回至微旋流分离器进口以实现循环分离,从而提高杂质分离效率。

[0047] 以下根据附图详细说明本发明的方法。

[0048] 图1是根据本发明的一个实施方式的废液处理系统放射性废液旋流分离净化的工艺流程图。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,其通过底流汇管7与微旋流分离器底流口5连接;该壳体1还包括进口2、溢流口4和底流出口8,其中,放射性废液经进口2输送到装置的中部腔体6中,通过微旋流分离器3对放射性废液进行旋流分离,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。

[0049] 图2是根据本发明的实施例的包含本发明的废液处理系统放射性废液旋流分离净化装置的废液处理系统放射性废液旋流分离净化的工艺流程图。如图2所示,从机组废液汇集点收集的放射性废液在储罐21中静置,经过阀门调节和泵送进入分离器22的进料腔体,均匀进入各微旋流芯管;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,并和微旋流分离溢流汇集,流往下游的阳床除盐器23和混床除盐器24脱盐,实现废液的进一步净化;之后废液流入并联的缓冲罐25,最后汇集到蒸发器26中脱液,实现放射性废液的完整处理。

[0050] 本发明的主要优点在于:

[0051] a、明显降低放射性固废产生量;

[0052] b、显著提高装置连续运行周期;

[0053] c、适当降低分离成本。

[0054] 实施例

[0055] 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。

[0056] 实施例1:

[0057] 核电站废液处理系统放射性废液旋流分离净化

[0058] 1. 实施流程

[0059] 如图2所示。

[0060] 2. 关键设备

[0061] 该工艺流程中关键设备为耦合了微旋流分离器和过滤性灰斗的成套分离器。其

中,并列倒置立式的微旋流分离器组件置于分离器之内,过滤性灰斗置于分离器顶端以衔接微旋流分离器底流。设备处理量为 $10\text{m}^3/\text{h}$ ,外形尺寸为 $\Phi 600 \times 2400$ 。而分离器顶端采取管板式封闭,便于后续灰斗更换。

### [0062] 3. 控制

[0063] 满负荷工况下,分离器进料流量为 $10\text{m}^3/\text{h}$ ,进料压力为 $0.5\text{MPa}$ (表压),操作温度为常温。

### [0064] 4. 运行结果

[0065] 运行工况下,含微量树脂颗粒的废水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;实验模拟了进料是密度为 $1.15\text{g}/\text{cm}^3$ 树脂浓度为 $10\text{ppm}$ 的混合物料,且进料中固相分布连续。进入微旋流分离器的混合相在离心力作用下,依靠密度差迅速在微旋流分离器内实现分离,溢流中分散相树脂颗粒浓度被大幅降低,实验室在线分离效率均超过 $90\%$ 。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溢入灰斗,再在灰斗周边溢流孔拦阻下,连续相清水逐渐排除,并回流至分离器进口;同时,被拦截的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,满足核电站三废系统的分离精度要求。在进料中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。

[0066] 能耗方面,微旋流分离器及分离器内的管道压降不超过 $0.15\text{MPa}$ ,相对过滤器分离、尤其是过滤器工作后期有一定的优势;而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。

### [0067] 5. 技术效果

#### [0068] (a) 明显降低放射性固废产生量

[0069] 通过采用微旋流分离工艺净化放射性废液,替代传统的过滤分离技术,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,但至少都在几十公斤以上,粗略估算由此造成的固废即达好几吨。以大亚湾核电站1号机组为例,每年因滤芯造成的固废超过 $6$ 吨;尤其三废系统中大多废液属于高放射性,更换过程更存在明显的安全隐患。根据IAEA逐步降低核电站固废的要求,通过采取微旋流分离工艺避免滤芯的反复更换,必将产生积极的环境效益;同时也会因为滤芯耗费的减少而产生突出的经济效益。

#### [0070] (b) 显著提高装置连续运行周期

[0071] 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。通过采取微旋流分离工艺,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。

#### [0072] (c) 适当降低分离成本

[0073] 微旋流分离工艺通过不断优化设备结构,在进料流量基本稳定条件下,分离过程的压降基本控制 $0.15\text{MPa}$ 以内;而过滤器随着滤渣的逐步集聚,对废液造成的压降逐步增加,直至压降操作工艺设计要求,通过滤芯更换重新降低压降。而过滤器的设计压降通常在 $0.25\text{MPa}$ ,这对泵耗提出了更高要求,相对而言微旋流分离更具优势。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] 通过实验研究,完整模拟CPR 1000机型核电站三废系统放射性废液固体颗粒杂质净化工艺,实验结果表明微旋流分离过程运行稳定,操作便捷,期间分离器的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,采用微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。

[0075] 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。



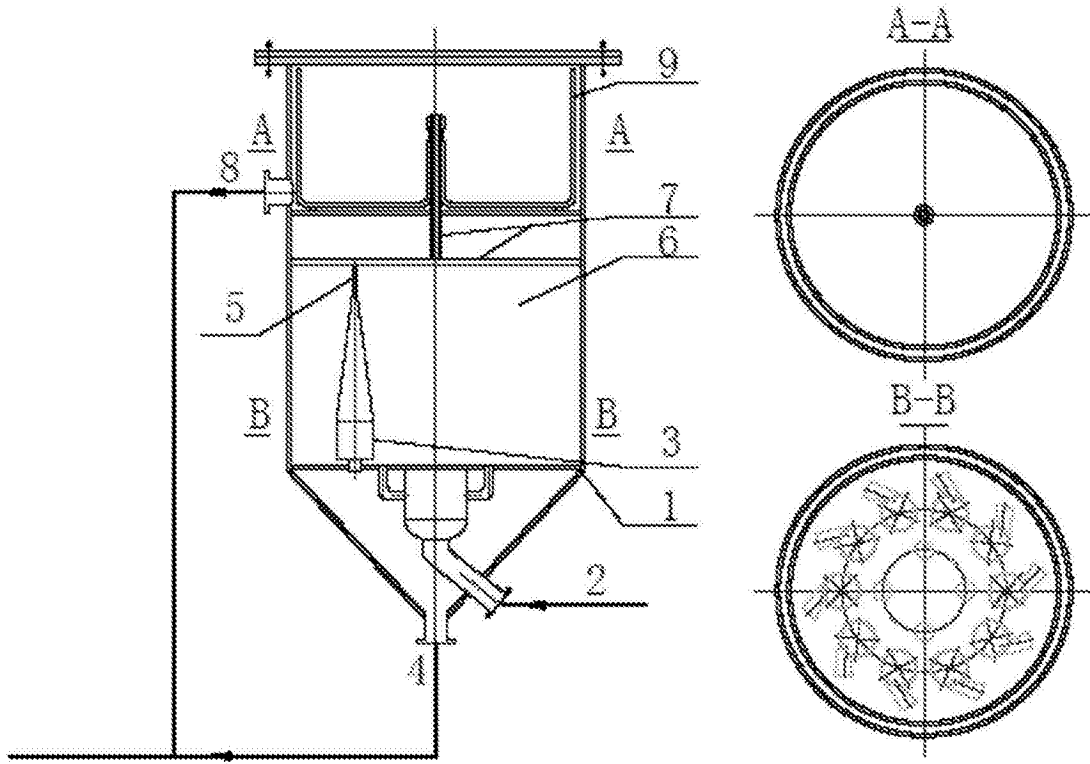


图1

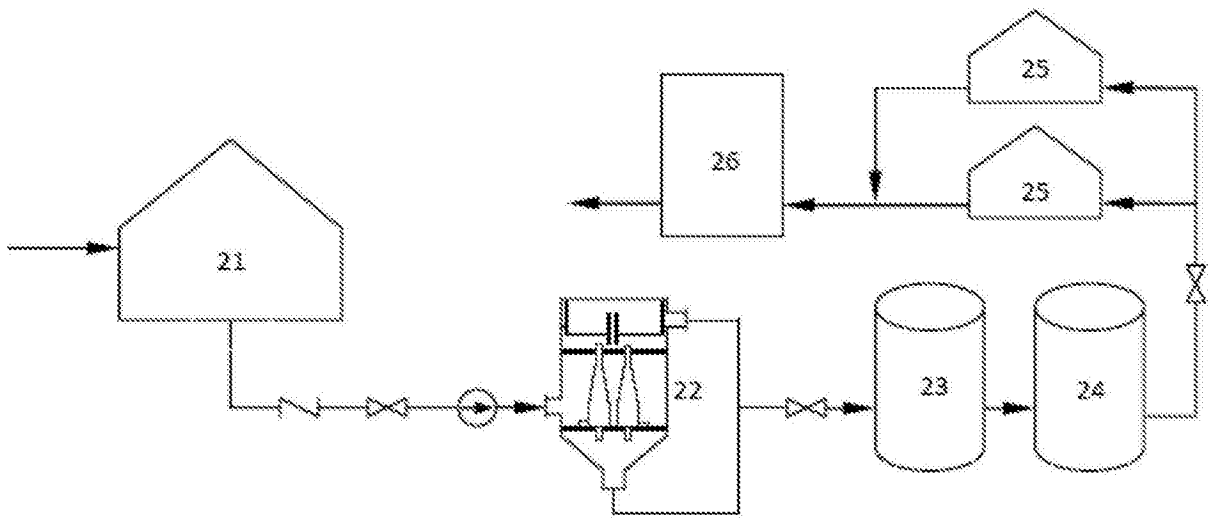


图2