



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104096709 A

(43) 申请公布日 2014. 10. 15

(21) 申请号 201410316308. 7

C22B 7/00 (2006. 01)

(22) 申请日 2014. 07. 04

C22B 43/00 (2006. 01)

(71) 申请人 北京高能时代环境技术股份有限公司

地址 100095 北京市海淀区地锦路9号院13号楼高能时代大厦

申请人 北京高能时代环境修复有限公司

(72) 发明人 吕正勇 魏丽 金勇 孙炜 韩宝禄 冯国杰 李淑彩

(74) 专利代理机构 北京汇泽知识产权代理有限公司 11228

代理人 张瑾

(51) Int. Cl.

B09C 1/06 (2006. 01)

B01D 50/00 (2006. 01)

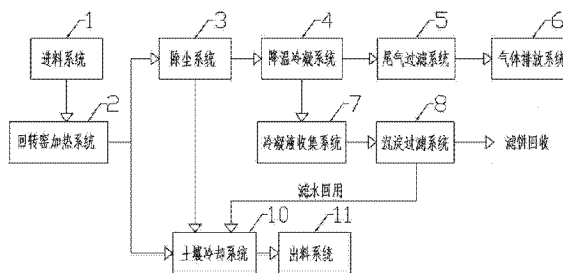
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

一种用于修复汞污染土壤的热脱附装置

(57) 摘要

本发明公开了一种用于修复汞污染土壤的热脱附装置,包括:进料系统、回转窑加热系统、除尘系统、降温冷凝系统、尾气过滤系统、气体排放系统、冷凝液收集系统、沉淀过滤系统、土壤冷却系统和出料系统。本发明所提供的用于修复汞污染土壤的热脱附装置,可以通过轻质柴油(天然气)燃烧间接加热回转窑炉体,大幅度降低热脱附成本,并且减少脱附过程中粉尘的产生,降低末端尾气处置压力,对除尘后的工艺尾气实现除尘和冷凝,最终达到尾气中汞全部回收和利用,达标排放;全部废水循环利用,做到零排放;实施过程中废渣零排放。



1. 一种用于修复汞污染土壤的热脱附装置,其特征在于,包括:进料系统、回转窑加热系统、除尘系统、降温冷凝系统、尾气过滤系统、气体排放系统、冷凝液收集系统、沉淀过滤系统、土壤冷却系统和出料系统;所述进料系统连接所述回转窑加热系统、所述回转窑加热系统的下端出口连接土壤冷却系统,所述土壤冷却系统连接所述出料系统,所述回转窑加热系统的上端出口连接除尘系统,除尘系统的下端出口连接土壤冷却系统,除尘系统的上端出口连接降温冷凝系统,降温冷凝系统的下端出口连接冷凝液收集系统,降温冷凝系统的上端出口连接尾气过滤系统,尾气过滤系统的出口连接气体排放系统,冷凝液收集系统的出口连接沉淀过滤系统。

2. 根据权利要求1所述用于修复汞污染土壤的热脱附装置,其特征在于,所述用于修复汞污染土壤的热脱附装置为模块式的可移动装置。

3. 根据权利要求1所述用于修复汞污染土壤的热脱附装置,其特征在于,还包括沉淀过滤系统,所述沉淀过滤系统的一端出口连接土壤冷却系统,另一端出口产生滤饼。

4. 根据权利要求1所述用于修复汞污染土壤的热脱附装置,其特征在于,所述进料系统包括进料斗、皮带输送机和振动筛,所述进料斗通向所述振动筛,振动筛将大于2 cm的颗粒去除后,所述振动筛通过下方出料口通向所述皮带输送机,所述皮带输送机通向回转窑加热系统。

5. 根据权利要求1所述用于修复汞污染土壤的热脱附装置,其特征在于,所述回转窑加热系统包括回转窑、烟箱和燃气供应装置,所述回转窑为单筒式间接燃烧加热回转炉结构,炉体直径200-350cm,长1200-2000cm;所述烟箱为1000-1800cm,包裹在所述回转窑的外侧,所述燃气供应装置通过管道连接于所述回转窑的下方。

6. 根据权利要求5所述用于修复汞污染土壤的热脱附装置,其特征在于,所述回转窑内设置有抄板和转筒。

7. 根据权利要求1所述用于修复汞污染土壤的热脱附装置,其特征在于,所述除尘系统包括旋风分离器和布袋除尘器,所述旋风分离器的上端通向布袋除尘器,所述旋风分离器和布袋除尘器的下端通向螺旋出土器,所述布袋除尘器的上端通向所述降温冷凝系统。

8. 根据权利要求1所述用于修复汞污染土壤的热脱附装置,其特征在于,所述降温冷凝系统包括空气冷凝器、间接水冷凝器和冷冻干燥机,所述空气冷凝器和间接水冷凝器采用列管式换热器,所述空气冷凝器的上端通向所述间接水冷凝器,所述间接水冷凝器的上端通向所述冷冻干燥机,所述空气冷凝器、间接水冷凝器和冷冻干燥机的下端通向冷凝液收集系统,所述冷冻干燥机的上端通向所述尾气过滤系统。

9. 根据权利要求1所述用于修复汞污染土壤的热脱附装置,其特征在于,所述尾气过滤系统包括活性炭吸附塔及微尘过滤器,所述活性炭吸附塔的出口通向所述微尘过滤器,所述微尘过滤器通向所述气体排放系统;所述冷凝液收集系统包括沉淀池,且所述沉淀池通向所述沉淀过滤系统。

10. 根据权利要求1所述用于修复汞污染土壤的热脱附装置,其特征在于,所述沉淀过滤系统包括化学反应釜和板框压滤机,所述化学反应釜通向所述板框压滤机,所述板框压滤机通向土壤冷却系统;所述土壤冷却系统包括间接水冷器和螺旋出土器,所述螺旋出土器的外面夹套间接水冷器,且所述螺旋出土器的下端通向所述出料系统;所述出料系统包括喷雾除尘器及皮带输送机,所述喷雾除尘器通向所述皮带输送机。

## 一种用于修复汞污染土壤的热脱附装置

### 技术领域

[0001] 本发明属于环境工程技术领域中的土壤修复领域,具体涉及一种用于修复汞污染土壤的热脱附装置。

### 背景技术

[0002] 氯碱工业是国民经济的重要组成部分,是基础化工原材料行业,在整个国家工业体系中占据着十分重要的基础性地位,氯碱生产工艺有水银电解、隔膜电解和离子膜法,其中水银法电流效率高,产品质量好,在上世纪 90 年代以前,一直是我国各个氯碱厂采用的主要生产工艺,但该工艺会产生大量的含汞污染土壤,直接或间接造成了土壤和地下水污染,存在环境污染隐患,亟待治理。

[0003] 目前,国内针对汞及其化合物污染土壤的修复技术主要包括植物修复技术、稳定化固化技术、电动修复和淋洗技术。如冯新斌等于 2010 年申请的 CN101786098A 专利,采用油菜对汞污染土壤进行修复;仇荣亮等申请的 CN101362145B 专利采用化学淋洗技术对汞污染土壤进行修复;这些技术一方面修复速度较慢,如植物修复和电动修复技术,难以在一个较短时间内对高污染土壤进行修复;二者修复风险大,如稳定化技术修复后,稳定化和固化后的汞及其化合物仍然存在土壤中,在一定的环境变化下(如酸雨影响),土壤中的汞仍有溶出的可能,存在环境风险。

[0004] 热脱附技术是修复污染土壤的主要技术之一,该技术是用直接或间接的热交换加热,使土壤中污染组分达到足够高的温度,使其蒸发并与土壤媒介相分离的过程。热脱附器中的热量传递媒介为空气、燃烧气、惰性气体等,热脱附过程是土壤中污染组分从固相(液相)热传递进入气相的物理过程。

[0005] 国内目前开发的热脱附修复系统主要是针对挥发性有机物和半挥发性有机物污染土壤,由于有机物在理化特征上与汞及其化合物有较大差异,这些热脱附设备难以用于汞污染土壤的修复。

### 发明内容

[0006] 有鉴于此,本发明的目的在于提供一种用于修复汞污染土壤的热脱附装置,该装置可以高效、经济地修复汞污染土壤,并且实施过程中实现污水零排放,废渣零排放,汞综合利用,尾气达标排放的目的;是国内第一套专门针对汞及其化合物污染土壤处置的热脱附修复装置,该装置可以最大程度回收污染土壤中的汞及其化合物,处置后土壤中汞及其化合物的浓度低于 0.5 mg/kg;并且实现废水和废渣零排放,尾气达标排放。

[0007] 为实现上述目的,本发明提供一种用于修复汞污染土壤的热脱附装置,包括:进料系统、回转窑加热系统、除尘系统、降温冷凝系统、尾气过滤系统、气体排放系统、冷凝液收集系统、沉淀过滤系统、土壤冷却系统和出料系统;所述进料系统连接所述回转窑加热系统、所述回转窑加热系统的下端出口连接土壤冷却系统,所述土壤冷却系统连接所述出料系统,所述回转窑加热系统的上端出口连接除尘系统,除尘系统的下端出口连接土壤冷却

系统,除尘系统的上端出口连接降温冷凝系统,降温冷凝系统的下端出口连接冷凝液收集系统,降温冷凝系统的上端出口连接尾气过滤系统,尾气过滤系统的出口连接气体排放系统,冷凝液收集系统的出口连接沉淀过滤系统,沉淀过滤系统的一端出口连接土壤冷却系统,沉淀过滤系统的另一端出口产生滤饼。自动控制单元通过数据信号传输,实现整套热脱附装置的自动化控制。

[0008] 优选地,其中所述用于修复汞污染土壤的热脱附装置为模块式的可移动装置,可以方便地拆卸、运输。

[0009] 优选地,其中所述进料系统包括进料斗、皮带输送机和振动筛,所述进料斗通向所述振动筛,振动筛将大于 2 cm 的颗粒去除后,所述振动筛通过下方出料口通向所述皮带输送机,所述皮带输送机通向回转窑加热系统;所述进料斗包括有底座,所述底座上安装有四个立柱,每个立柱上分别铰接有一个支撑轴,所述振动筛的筛体分别与四个支撑轴铰接,所述底座上安装有一凸轮,所述凸轮的偏心位置铰接有一连杆,所述连杆的一端与与所述振动筛的筛体铰接,所述连杆的另一端连接有电机。

[0010] 优选地,其中所述回转窑加热系统包括回转窑、烟箱和燃气供应装置,所述回转窑为单筒式间接燃烧加热回转炉结构,炉体直径约 200-350cm,长约 1200-2000cm,主炉体采用耐腐蚀、耐高温、高硬度金属合金。所述烟箱部分约 1000-1800cm,包裹在所述回转窑的外侧,污染土壤主要通过烟箱中的高温燃烧烟气进行加热,热源来自烟箱外 5-6 只均匀分布式烧嘴,所述燃气供应装置通过管道连接于回转窑的下方。烟箱采用角铁固定架构支撑,内置耐高温隔热材料和耐火砖,外表面采用不锈钢薄板覆盖,可以实现烟箱外表面温度不超过 60°C。热脱附器炉体动力源于三相异步驱动电机(功率为 22.5-70KW),并经减速机变速后的齿轮拖动实现转动,炉体转速控制在 1-5rpm 范围内,炉体的位置定位通过安装在基座上的转动挡轮实现,所述回转窑系统下端通向土壤冷却系统,上端通向除尘系统。

[0011] 优选地,其中所述回转窑内设置有抄板和转筒。

[0012] 优选地,其中所述出料系统包括喷雾除尘器及皮带输送机,所述喷雾除尘器通向皮带输送机。所述喷雾除尘器是专门针对高温土壤加湿设计,换热后的土壤通向喷雾除尘器,经过喷雾除尘器加湿除尘后的土壤通向皮带输送机,经皮带输送机转运到干净土壤堆场。

[0013] 优选地,其中所述除尘系统包括旋风分离器和布袋除尘器,所述旋风分离器上端通向布袋除尘器,所述旋风分离器和布袋除尘器的下端通向螺旋出土器,将脱除的粉尘与回转窑处置后的土壤一道出土,所述布袋除尘器的上端通向降温冷凝系统。

[0014] 优选地,其中所述降温冷凝系统包括空气冷凝器、间接水冷凝器和冷冻干燥机,所述空气冷凝器和间接水冷凝器采用列管式换热器,所述空气冷凝器的上端通向所述间接水冷凝器,所述间接水冷凝器的上端通向所述冷冻干燥机,所述空气冷凝器、间接水冷凝器和冷冻干燥机的下端通向冷凝液收集系统,所述冷冻干燥机的上端通向尾气过滤系统。

[0015] 优选地,其中所述尾气过滤系统包括活性炭吸附塔及微尘过滤器(HEPA),所述冷冻干燥机的上端出气口通向所述活性炭吸附塔,所述活性炭吸附塔的出口通向所述微尘过滤器,所述活性炭吸附塔内部填充特制的氯化活性炭,所述氯化活性炭吸附器为特制的对汞及其化合物有特效吸附性;所述微尘过滤器主要针对 0.1 μm 的微粒粉尘去除,所述微尘过滤器通向气体排放系统。

[0016] 优选地,其中所述冷凝液收集系统包括沉淀池,且所述沉淀池通向沉淀过滤系统,主要针对上述尾气除尘及降温系统冷凝后的废液进行综合处理,废液经过自由沉降将汞和硫化汞回收,上清液通向沉淀过滤系统。

[0017] 优选地,其中所述沉淀过滤系统包括化学反应釜和板框压滤机,所述化学反应釜通向所述板框压滤机,所述板框压滤机通向土壤冷却系统。所述沉淀过滤系统将冷凝液收集系统回收的上清液添加定量的沉淀剂,将水体中的溶解态汞进行沉淀反应,沉淀后的物质通向所述板框压滤机,所述板框压滤机对其进行压滤,压滤后的固态作为滤饼回收,压滤后的滤液通向土壤冷却系统。

[0018] 优选地,其中所述土壤冷却系统包括间接水冷器和螺旋出土器,经过上述回转窑处置后的土壤通向螺旋出土器,螺旋出土器采用特制耐高温金属制造,且螺旋出土器的外面夹套间接水冷器以进行换热,经过换热后的土壤通向出料系统。

[0019] 优选地,其中所述出料系统包括喷雾除尘器及皮带输送机,所述喷雾除尘器通向所述皮带输送机。

[0020] 所述用于修复汞污染土壤的热脱附装置为自动控制系统,自动控制系统主要由现场监测仪表、数据信号传输线、控制柜、操控电脑等原件组成主要功能是通过数据信号传输,实现整套热脱附设备的自动化控制,并通过现场监测数据信号反馈,对设备运行情况 & 运行技术参数进行实施监控、连锁、预警和记录,确保设备稳定运行。

[0021] 本发明专门为汞及其化合物污染土壤设计,为国内首套工业化装置,具有以下有益效果:

采用简洁燃烧热脱附工艺,大幅度降低直接热脱附产生的尾气量和综合处置的难度和潜在的环保风险;

采用旋风、高温布袋方式除尘,相对传统的喷淋、洗涤工艺方案,完全避免了大量粉尘进入废水,大大简化了废水中汞及其化合物的处置难度和风险;

对单质汞采取分液分离,二价汞采取沉淀、沉降、过滤分离,工艺和操作工程简便、成熟,单质汞和汞化合物去除率和回收纯度高;

尾气采取特制氯化活性炭吸附,该吸附剂对汞及其化合物吸附效果好,活性炭吸附器被污染物击穿风险大为降低;

废水处置后作为干燥土壤加湿使用,没有外排废水,工艺上做到废水零排放,环境风险低;

尾气采取微尘过滤,出料高温土壤和粉尘采取间接冷却、封闭微负压喷雾除尘等技术措施,确保处置现场扬尘的高效率控制。

## 附图说明

[0022] 图 1 为本发明的框架示意图;

图 2 为本发明的工艺流程图;

其中,1- 进料系统;2- 回转窑加热系统;3- 除尘系统;4- 降温冷凝系统;5- 尾气过滤系统;6- 气体排放系统;7- 冷凝液收集系统;8- 沉淀过滤系统;10- 土壤冷却系统;11- 出料系统;12- 进料斗;13- 燃气供应装置;14- 回转窑;15- 烟箱;16- 旋风分离器;17- 布袋除尘器;18- 空气冷凝器;19- 间接水冷凝器;20- 冷冻干燥机;21- 活性炭吸附塔;22- 微尘过滤

器 ;23- 沉淀池 ;24- 化学反应釜 ;25- 板框压滤机 ;26- 滤饼 ;27- 间接水冷器 ;28- 螺旋出土器 ;29- 喷雾除尘器 ;30- 活性炭吸附塔 ;31- 皮带输送机 ;32- 干净土堆。

### 具体实施方式

[0023] 下面结合附图对本发明作更进一步的说明。

[0024] 如图 1 所示,一种用于修复汞污染土壤的热脱附装置,包括:进料系统 1、回转窑加热系统 2、除尘系统 3、降温冷凝系统 4、尾气过滤系统 5、气体排放系统 6、冷凝液收集系统 7、沉淀过滤系统 8、土壤冷却系统 10 和出料系统 11。进料系统 1 连接回转窑加热系统 2,回转窑加热系统 2 的下端出口(土壤出料)连接土壤冷却系统 10,土壤冷却系统 10 连接所述出料系统 11;回转窑加热系统 2 的上端出口(气相)连接除尘系统 3,除尘系统 3 的下端出口(脱除的粉尘)连接土壤冷却系统 10,除尘系统 3 的上端出口(气相)连接降温冷凝系统 4,降温冷凝系统 4 的下端出口(冷凝液)连接冷凝液收集系统 7,降温冷凝系统 4 的上端出口(气相)连接尾气过滤系统 5,尾气过滤系统 5 的出口连接气体排放系统 6。冷凝液收集系统 7 的出口连接沉淀过滤系统 8,沉淀过滤系统 8 的一端出口(滤液)连接土壤冷却系统 10,沉淀过滤系统 8 的另一端出口(压滤物)生产的滤饼直接回收综合利用;回转窑加热系统 2 热脱附后的土壤和除尘系统 3 脱除的粉尘连接土壤冷却系统 10,冷却加湿后作为干净土壤出料。

[0025] 本发明中汞污染土壤通过回转窑加热系统 2 处置后,分为上端气体处置和下端土壤固体处置两部分,因此下面分开说明。

[0026] 如图 2 所示,所述进料系统 2 包括进料斗 12、皮带输送机和振动筛,所述进料斗 12 通向所述振动筛,且所述振动筛通过下方出料口通向所述皮带输送机,所述皮带输送机通向回转窑加热系统;所述进料斗 12 包括有底座,所述底座上安装有四个立柱,每个立柱上分别铰接有一个支撑轴,所述振动筛的筛体分别与四个支撑轴铰接,所述底座上安装有一凸轮,所述凸轮的偏心位置铰接有一连杆,所述连杆的一端与与所述振动筛的筛体铰接,所述连杆的另一端连接有电机。所述回转窑加热系统 2 包括回转窑 14、烟箱 15 和燃气供应装置 13,所述回转窑 14 为单筒式间接燃烧加热回转炉结构,炉体直径 200-350cm,长 1200-2000cm;所述烟箱 15 为 1000-1800cm,包裹在回转窑 14 的外侧,所述燃气供应装置 13 通过管道连接于回转窑 14 的下方。回转窑加热系统 2 中设置的回转窑 14 由五至六个均布的燃烧嘴在烟箱 15 中燃烧产生高温烟气对回转窑 14 内的土壤进行加热(可采用轻质柴油、天然气、丙烷、煤气等多种燃料间接式加热,可以大幅度降低脱附过程中粉尘的产生,降低末端尾气处置压力,保障现场操作环境安全)。土壤在回转窑 14 内利用内部合理设置的抄板和筒体(可以最大程度增加换热面积,处置后土壤中总汞的浓度低于 0.5 mg/kg)具有一定的倾角稳定走料,经过 20-49 分钟停留时间后,土壤加热到 500℃,土壤中的水分和汞污染物全部进入气相。由回转窑 14 排出的尾气分别经过旋风分离器 16、布袋除尘器 17 除尘,再经过空气冷凝器 18、间接水冷凝器 19 和冷冻干燥机 20 降温冷凝,使气体温度降低到 8℃以下,尾气再经过活性炭吸附塔 21 和微尘过滤器 22 后达标排放。

[0027] 尾气中水蒸气、汞及其化合物经过空气冷凝器 18、间接水冷凝器 19 和冷冻干燥机 20 冷凝后,99.999%全部进入沉淀池 23,将汞沉淀回收,沉淀池 23 的上清液转入化学反应釜 24,加入计量的硫化钠,将其中的汞及其化合物全部转化为硫化汞沉淀,通过板框压滤机 25

压滤后直接回收滤饼 26, 滤饼 26 中硫化汞含量超过 95%。且所述板框压滤机 25 通向所述活性炭吸附塔 30, 所述活性炭吸附塔 30 内部填充有特制的氯化活性炭, 对汞及其化合物具有特效的吸附性。所述活性炭吸附塔 30 通向喷雾除尘器 29。

[0028] 经过回转窑 14 充分热脱附后的土壤联合旋风除尘器 16、布袋除尘器 17 脱除的粉尘, 一起进入螺旋出土器 28, 且螺旋出土器 28 采用间接水冷器 27 冷却至 100℃, 冷却到 100℃的干净土壤进入喷雾除尘器 29, 并用板框压滤机 25 的滤液进行喷淋干燥土壤, 并补充一定的新水, 经过皮带输送机 31 排入干净土堆 32, 等待装车运输或回填, 最终处置后土壤中总汞的浓度  $\leq 0.5\text{mg/kg}$ , 可以做到全部回收利用, 达到修复治理和经济效应的有机统一; 而且该装置在板框压滤机 25 处置后产生少量滤液, 滤液通向喷雾除尘器 29 作为干燥土壤加湿使用, 没有废水外排, 全部工艺废水循环利用, 做到污水零排放。

[0029] 以上所述仅是本发明的优选实施方式, 应当指出: 对于本技术领域的普通技术人员来说, 在不脱离本发明设计精神的前提下, 还可以做出若干改进和润饰, 这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

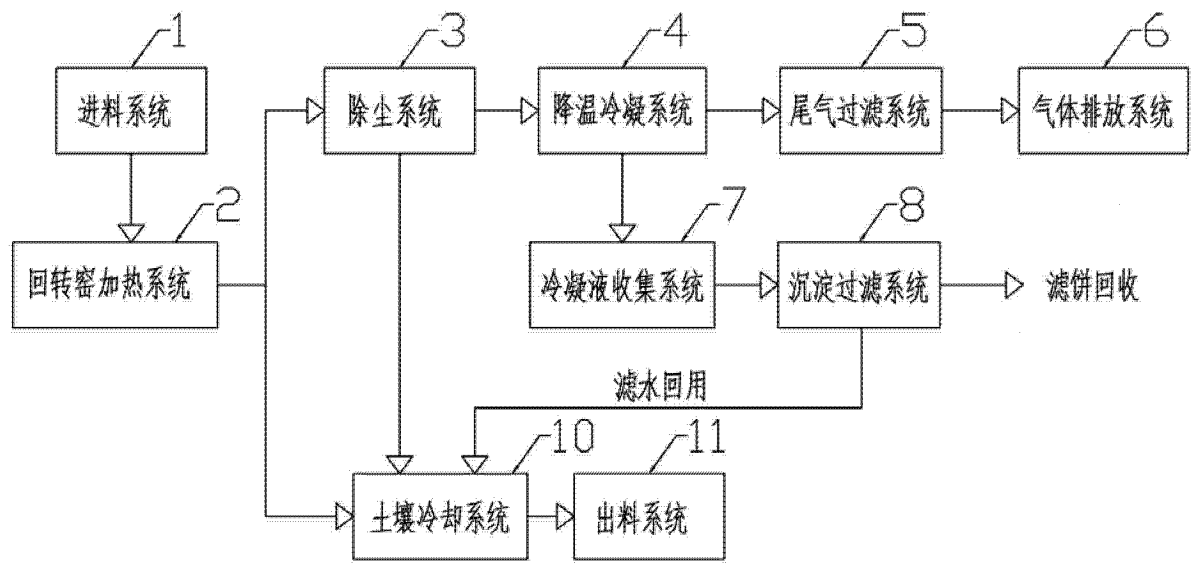


图 1



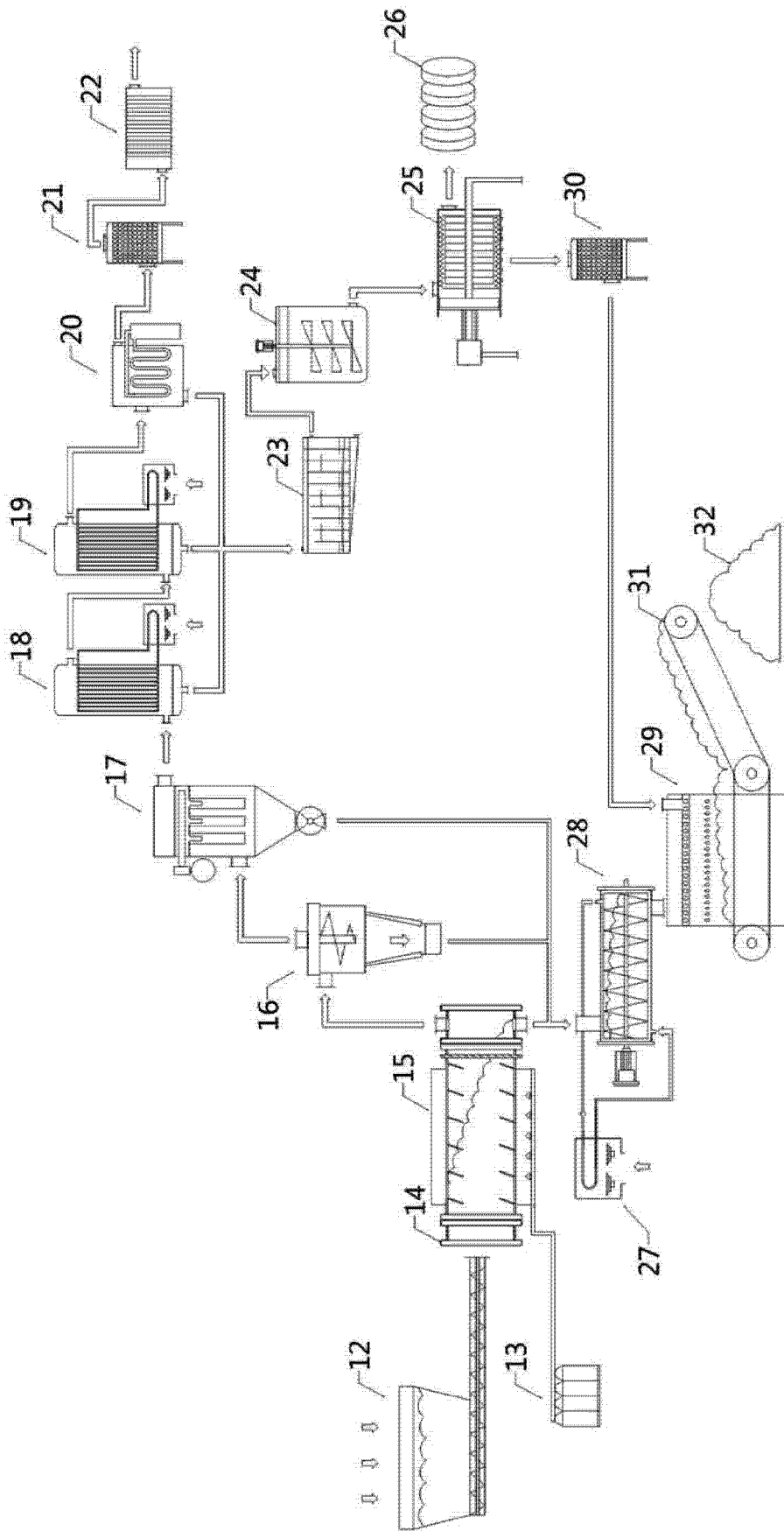


图 2