



## (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102643658 A

(43) 申请公布日 2012.08.22

(21) 申请号 201110041976.X

(22) 申请日 2011.02.22

(71) 申请人 山东省冶金设计院股份有限公司

地址 250101 山东省济南市高新区舜华路  
1969 号

(72) 发明人 姚朝胜 魏新民 衣忠德 黄东生

汤楚贵 钱舵 李焱 刘志强

年四维 钱纲

(51) Int. Cl.

C10B 53/06 (2006.01)

C10B 49/02 (2006.01)

C10B 15/00 (2006.01)

C10B 57/08 (2006.01)

C10B 57/00 (2006.01)

权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 1 页

(54) 发明名称

油页岩干馏竖炉的炉气管理方法及实现该方法的干馏竖炉

(57) 摘要

一种油页岩干馏竖炉的炉气管理方法及实现该方法的干馏竖炉,属于从油页岩中提取页岩油及可燃气的技术领域。所述的油页岩干馏竖炉的炉气管理方法包括包含预热段、干馏段和余热回收段的干馏竖炉、风机和管网以及热交换器的使用及其控制,其特征在于:在干馏竖炉的干馏段,穿越内、外篦筒及油页岩的料层的部分气体是循环使用的。所述的干馏竖炉包括该干馏竖炉的预热段、干馏段、余热回收段、进料口、出料口、密封装置、炉气的排放通道,其特征在于:在所述的干馏竖炉的干馏段,设置着使作为热载体的、循环使用的干馏气反复穿越的内篦筒和外篦筒。本发明主要用于从油页岩中提取页岩油及可燃气。

1. 一种油页岩干馏竖炉的炉气管理方法,包括包含预热段、干馏段和余热回收段的干馏竖炉、风机和管网以及热交换器的使用及其控制,其特征在于:

1.1 在干馏竖炉的干馏段,穿越内、外篦筒及油页岩的料层的部分气体是循环使用的。

2. 如权利要求 1 所述的油页岩干馏竖炉的炉气管理方法,其特征在于:

2.1 在干馏竖炉的干馏段,穿越所述的内、外篦筒及油页岩料层的循环使用的气体的流量至少占穿越所述的内、外篦筒及油页岩料层的气体的总流量的 36%。

3. 如权利要求 1 所述的油页岩干馏竖炉的炉气管理方法,其特征在于:

3.1 进入所述的干馏竖炉的余热回收段和预热段的气体,至少 50% 是干性的可燃气。

4. 如权利要求 3 所述的油页岩干馏竖炉的炉气管理方法,其特征在于:

4.1 所述的干性的可燃气有循环使用的过程。

5. 如权利要求 3 所述的油页岩干馏竖炉的炉气管理方法,其特征在于:

5.1 所述的干性的可燃气是从油页岩干馏竖炉自产的气体中提取的。

6. 如权利要求 4 所述的油页岩干馏竖炉的炉气管理方法,其特征在于:

6.1 所述的干性的可燃气是从油页岩干馏竖炉自产的气体中提取的。

7. 如权利要求 1、2、3、4、5 或 6 所述的油页岩干馏竖炉的炉气管理方法,其特征在于:

7.1 它利用热交换器给穿越干馏段的、循环使用的气体补充热量。

8. 一种实现如权利要求 1、2、3、4、5、6 或 7 所述的油页岩干馏竖炉的炉气管理方法的干馏竖炉,包括该干馏竖炉的预热段、干馏段、余热回收段、进料口、出料口、密封装置、炉气的排放通道,其特征在于:

8.1 在所述的干馏竖炉的干馏段,设置着使作为热载体的、循环使用的干馏气反复穿越的内篦筒和外篦筒。

9. 如权利要求 6 所述的实现如权利要求 1、2、3、4、5、6 或 7 所述的油页岩干馏竖炉的炉气管理方法的干馏竖炉,其特征在于:

9.1 在所述的干馏竖炉的干馏段,所述的内篦筒和外篦筒的轴向长度大于油页岩料层的平均分布直径的 0.5 倍。

10. 如权利要求 6 或 7 所述的实现如权利要求 1、2、3、4、5、6 或 7 所述的油页岩干馏竖炉的炉气管理方法的干馏竖炉,其特征在于:

10.1 在所述的干馏竖炉的余热回收段,也设置着内篦筒和外篦筒。

11. 如权利要求 6 或 7 所述的实现如权利要求 1、2、3、4、5、6 或 7 所述的油页岩干馏竖炉的炉气管理方法的干馏竖炉,其特征在于:

11.1 在所述的干馏竖炉的预热段,也设置着内篦筒和外篦筒。

12. 如权利要求 8 所述的实现如权利要求 1、2、3、4、5、6 或 7 所述的油页岩干馏竖炉的炉气管理方法的干馏竖炉,其特征在于:

12.1 在所述的干馏竖炉的预热段,也设置着内篦筒和外篦筒。

## 油页岩干馏竖炉的炉气管理方法及实现该方法的干馏竖炉

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种油页岩干馏竖炉的炉气管理方法及实现该方法的干馏竖炉,属于从油页岩中提取页岩油及可燃气的技术领域。

### 背景技术

[0002] 油页岩的开发利用是当前的重要课题。油页岩的干馏炉又是油页岩开发利用的关键设备。由于干馏竖炉具有结构简单、维护方便、工作的可靠性高、投资少等等的显著优点,它曾经一度是页岩油干馏炉的首选方案。

[0003] 现有的油页岩干馏竖炉存在的主要问题在于:

[0004] 1. 炉气在炉内的流向不合理,沿竖炉的轴向流动的气流占据着主导地位。其结果是,过流面积小、换热能力差、压力损失大以及风机能耗高等。

[0005] 2. 炉气基本没有循环的过程。一方面,温度较高的炉气被简单地冷凝处理,以便实现页岩油和可燃气体的分离,另一方面,用作传热介质的载热气体又需要从较低的温度开始升温,系统的热能浪费很大。

[0006] 3. 存在向炉内注入助燃空气的过程。由于空气中的氧气与燃料中的小分子的成分具有优先反应(燃烧)的特性,因此,一方面,将大大降低可燃气的产量,另一方面,又降低了页岩油中的轻质成分的含量,从而降低了页岩油的品质。同时,由于空气中大量的惰性气体,例如氮气,的进入,又会对产生的可燃气体进一步稀释,严重降低了生产的可燃气体的单位热值,显著降低了它的品质和价值。

### 发明内容

[0007] 本发明的目的,是要提供一种油页岩干馏竖炉的炉气管理方法及实现该方法的干馏竖炉,以克服现有技术存在的上述缺点并获取更加优良的技术性能。

[0008] 本发明要解决的技术问题包括:

[0009] 1. 使干馏竖炉内部的炉气由沿着竖炉的轴向流动为主,变更为径向流动为主,并使通过油页岩料层的有效过流面积提高很多倍;同时,还要降低炉气穿透页岩油料层的厚度,减少过流炉气的压力损失,降低风机的能量消耗。

[0010] 2. 把干馏竖炉产生的高温干馏气作为干馏竖炉的载热气体循环使用,充分发挥其初始温度高的优势,显著降低它作为载热介质使用时的升温幅度,大幅度降低系统的能耗。

[0011] 3. 通过大幅度提高干馏竖炉内部的载热气体的流量,显著提高干馏竖炉的单位容积的油页岩处理能力。

[0012] 4. 采用间接换热器为系统提供热能的方法,防止空气进入系统。既可以避免空气中的氧气有选择性地燃烧掉页岩油汽中的轻质成分,以提高成品页岩油的品质,又可以避免空气中惰性成分,例如氮气,进入系统,以提高可燃气体的品质,特别是它的单位热值。同时,还为采用廉价燃料作为能源奠定基础,以降低油页岩干馏过程中的燃料成本。

[0013] 5. 采用使用干气的方法,解决油气在预热过程中出现的无效冷凝问题,以提高系

统的热能利用效率。

[0014] 6. 采用使用干气的方法,解决在余热回收过程中,页岩半焦外排温度较低时会导致的高分子油气成分的冷凝损失问题。

[0015] 7. 使穿越余热回收段和预热段的干气保持一定的循环量,以保证足够的热交换能力,避免余热回收环节成为制约油页岩干馏竖炉产能的瓶颈。

[0016] 本发明的基本构思之一是:一种油页岩干馏竖炉的炉气管理方法,包括包含预热段、干馏段和余热回收段的干馏竖炉、风机和管网以及热交换器的使用及其控制,其特征在于:在干馏竖炉的干馏段,穿越内、外篦筒及油页岩的料层的部分气体是循环使用的。特别是,穿越所述的内、外篦筒及油页岩料层的循环使用的气体的流量至少占穿越所述的内、外篦筒及油页岩料层的气体的总流量的 20%、36%、50%、60%、70%、80%、85%、90%、95% 或更高,直至 100%;同时,本发明还建议:使穿越所述的内、外篦筒及油页岩料层的循环使用的气体的流量至少占穿越所述的内、外篦筒及油页岩料层的气体的总流量的 36%。

[0017] 为了防止在预热段发生油气遇到温度较低的油页岩产生无效冷凝的问题,也为了避免页岩半焦在外排温度较低时,会导致高分子油气成分的冷凝损失问题出现,可以使进入所述的干馏竖炉的余热回收段和 / 或预热段的气体,至少 30%、40%、50%、60%、70%、80%、85%、90%、95%、98% 或者全部是干性的可燃气;并将 50% 作为该比例的建议值。另外,还可以使所述的干性的可燃气有循环使用的过程,以保证其具有足够大的流量,来获得充分的热交换能力,避免使余热回收和 / 或预热环节成为制约油页岩干馏竖炉产能的瓶颈。所述的干性的可燃气最好是从油页岩干馏竖炉自产的气体中提取的,以取得既经济、又方便的效果;例如,可以采用本干馏系统的脱除油气后的产品干馏气(干气)作为进入所述的干馏竖炉的余热回收段和 / 或预热段的气体等。

[0018] 为了避免在给干馏系统补充热量的过程中,惰性气体(例如氮气和 / 或二氧化碳)进入系统,会稀释干馏气体中可燃气的单位热值降低的问题出现;也为了防止空气中的氧气与干馏气中的小分子的成分进行优先反应(燃烧),从而导致的页岩油的品质的降低和产品可燃气的产量的降低,本发明建议利用热交换器给穿越干馏段的、循环使用的气体补充热量。同时,还建议采用蓄热式烧嘴对热交换器的内部发热元件进行加热。

[0019] 本发明的基本构思之二是:一种实现本发明所述的油页岩干馏竖炉的炉气管理方法的干馏竖炉,包括该干馏竖炉的预热段、干馏段、余热回收段、进料口、出料口、密封装置、炉气的排放通道,其特征在于:在所述的干馏竖炉的干馏段,设置着使作为热载体的、循环使用的干馏气反复穿越的内篦筒和外篦筒。在所述的干馏竖炉的干馏段,所述的内篦筒和外篦筒的轴向长度大于油页岩料层的平均分布直径的 0.36、0.5、0.6、0.7、0.8、0.9、1.0、1.1 倍或更长;建议使所述的内篦筒和外篦筒的轴向长度大于油页岩料层的平均分布直径的 0.5 倍。

[0020] 还建议在所述的干馏竖炉的余热回收段和 / 或预热段,也设置内篦筒和外篦筒。

[0021] 本发明的主要优点在于:

[0022] 1. 由于炉气是穿越所述的干馏竖炉的内、外篦筒及油页岩料层进行横向流动,大大增加了炉气的过流面积,大幅度降低了炉气的阻损,既能够显著提高干馏竖炉的产量,又能够大幅度降低风机单位处理量的能耗。

[0023] 2. 由于实现了至少部分炉气的循环,因此,干馏竖炉内部的、用作载热介质的炉气流量可以做到任意大,热交换能力大幅度提高,为大幅度提高干馏竖炉单位容积的产能奠定了基础。

[0024] 3. 用作载热介质的循环的炉气的初始温度高,大幅度缩减了热交换器对载热气体的加热温差,使得本发明获得了显著节能的有益效果。

[0025] 4. 由于设置了专门的余热回收段,使得余热回收效果显著提高。

[0026] 5. 由于在预热段采用了高温干气进行预加热,避免了油气在预热过程中出现的无效冷凝问题,有利于提高系统的热能利用效率。

[0027] 6. 由于在余热回收段采用了干气进行余热回收,可以最大限度地回收页岩半焦的物理显热,避免了当页岩半焦的冷却温度较低时,可能出现的部分页岩油气的冷凝损失的问题。

## 附图说明

[0028] 本发明有附图 1 页,共 1 幅。

[0029] 在该附图中,图 1 是本发明的实施例 1 的示意图。

## 具体实施方式

[0030] 本发明的具体实施方式将结合实施例及附图进行说明。由于本发明所述的方法与所述的干馏竖炉密不可分,因此,将它们合并在一起加以说明。

[0031] 实施例 1,如图 1 所示。

[0032] 在图 1 中,1 是干馏竖炉。该干馏竖炉 1 的总体形状为圆柱形。在该干馏竖炉 1 的功能段,划分有 3 个功能子段:预热段 I、干馏段 II 和余热回收段 III。在结构上,该干馏竖炉 1 的功能段包括两个同轴布置的内、外筒体:它的外筒体包括着预热段 I 的外筒筒 1-3、干馏段 II 的外筒筒 1-4 和余热回收段 III 的外筒筒 1-6;它的内筒体包括着预热段 I 的内筒筒 1-2、干馏段 II 的内筒筒 1-5 和余热回收段 III 的内筒筒 1-7。被干馏的油页岩 2 则充填在所述的内、外筒体之间。上述内筒筒 1-2、1-5、1-7,外筒筒 1-3、1-4、1-6 之间的部分及其上部和下部的延伸部分 1-21 和 1-20,则是其内、外筒体的、不需要“篦子”功能的连接筒体;并利用装填在上述内筒筒 1-2、1-5、1-7,外筒筒 1-3、1-4、1-6 之间的连接筒体中的油页岩 2,来阻止或减弱预热段 I、干馏段 II 和余热回收段 III 之间的串气。无论所述的外筒筒 1-3、1-4、1-6 还是所述的内筒筒 1-2、1-5、1-7,它们在本质上都是“筒形的篦子”,而不管它是由一个零件所构成还是由多个零件组装而构成的。它所谓的“篦子”的功能,可以采用在整体的筒形钢板上打孔的方法获得,也可以采用带有通透的孔或槽的结构件组装而成。还建议使这些孔或槽的底部向油页岩料层的方向向下倾斜,且垂直方向的尺寸不宜过大,以便防止油页岩在下降过程中发生漏料的问题。在所述的干馏竖炉 1 的干馏段 II,所述的内筒筒 1-5 和外筒筒 1-4 的轴向长度大于油页岩料层的平均分布直径的 0.36、0.5、0.6、0.7、0.8、0.9、1.0、1.1 倍或更长;并建议使所述的内筒筒 1-5 和外筒筒 1-4 的轴向长度大于油页岩料层的平均分布直径的 0.5 倍。

[0033] 干馏竖炉 1 的进料口处,设置着气密式双层进料阀 1-1。它具体采用了双钟式的密封结构,当然,此处也不排斥采用其它的结构形式。在功能上,该阀除了具有防止干馏炉炉

气外泄和防止外部的空气进入干馏炉之外,最好还应具有排除在油页岩料层中夹带的空气的作用。具体的做法,可以使惰性气体,例如采用燃烧废气或氮气等,穿过该阀内部暂存的料层后再外排,以驱赶掉藏匿在油页岩料层缝隙中的空气等。

[0034] 干馏竖炉 1 的排料口处,设置着水封槽 1-15。充填在所述的内、外筒体之间的油页岩 2 是随着排料的进行而下行,换句话说,就是随着落入水封槽 1-15 内的油页岩的半焦的不断排出而下行。为了便于对落料速度进行控制,建议采用旋转的拨爪将油页岩半焦从其落下的位置拨出,并使之进入水封槽 1-15 的底部,然后采用输送机械,例如刮板运输机、螺旋输送机或拉链机等,将其搬运出去等(图中未示出)。当然,也可以采用现有干馏竖炉常采用的旋转式水封排料装置进行。

[0035] 在所述的外筒体的外部,还设有预热段 I 的排气收集环腔 1-8、干馏段 II 的进气环腔 1-9 和余热回收段 III 的进气环腔 1-10。其中,干馏段 II 的进气环腔 1-9 又利用两块环形钢板 1-22 分隔成 3 个小室,以便对循环气体的参数进行更细致的分段控制。

[0036] 在所述的内筒体的内部,利用钢板 1-16 和钢板 1-17 将内筒体分为 3 个腔室:预热段 I 的进气集气腔 1-11、干馏段 II 的排气收集腔 1-12 和余热回收段 III 的排气收集腔 1-13。其中,预热段 I 的进气集气腔 1-11 和余热回收段 III 的排气收集腔 1-13 用钢管 1-14 联通;而管道 1-19 则是进入干馏段 II 的排气收集腔 1-12 内的炉气的外排通道。

[0037] 在干馏竖炉的外部,设置着主循环风机 3、余热利用循环风机 4、干馏气输出风机 5、干性产品气回馈风机 6 和分流风机 7。还设置着控制阀 8、控制阀 9、控制阀 10、控制阀 11、控制阀 12、控制阀 13、控制阀 14、控制阀 15、控制阀 16、控制阀 17。

[0038] 本实施例还包括:热交换器 18,其中,它的内部发热元件是管状加热体 19,并建议采用蓄热式烧嘴从该管状加热体 19 的内部进行加热;油气回收装置 20,用于从干馏过程中产出的干馏气体中,将页岩油和干性可燃气体分离开来,其中 21 是产出的页岩油的排出通道,22 是经过脱除油气成分后获得的干性可燃气体的排出通道;由于油气回收装置 20 中的其它部分与本发明的实质内容的关联度较低,因此,予以省略。

[0039] 本实施例在启动前,应当首先用无氧气体或惰性气体,例如燃烧废气或氮气,充填包括油气回收装置 20 在内的全部的内部空间。由于这是传统操作的一部分,包括无氧气体或惰性气体充填回路的设置和操作过程就不再赘述了。

[0040] 本实施例的工作过程是这样的:

[0041] 在启动阶段,先开启控制阀 9、10 和 11,启动热交换器 18 的加热装置,启动主循环风机 3,适度打开控制阀 17 和 15,并使干馏气输出风机 5 进行低速运转;其余的控制阀和风机则处于关闭和停止状态。这时,系统内部的气体从主循环风机 3 排出之后,经过管道 23、24,热交换器 18,控制阀 9、10 和 11,干馏段 II 的进气环腔 1-9,内、外筒体之间的油页岩 2 的料层,干馏段 II 的排气收集腔 1-12,管道 1-19 和管道 25 之后,又进入主循环风机 3,并进行循环运行。

[0042] 随着气体温度的逐步升高,一方面是其自身体积的膨胀,另一方面是油页岩的馏分也不断加入到循环气体中去,同样导致其体积量的增加,这时,它们的体积增量,可以通过控制阀 17、干馏气输出风机 5、油气回收装置 20、干性可燃气体的排出通道 22、控制阀 15 和干性产品气输出通道 26 排出系统。

[0043] 随着气体的温度逐步逼近设定温度的上限,可以根据需要分别打开并调控控制阀

12、13 和 14 的开度,使从管道 27 传输的而来的、温度相对较低的气体,分别进入对应的管道内,以调控对应管道内的气体温度。一方面,可以实现干馏段中干馏温度的分段细分,另一方面,又可以在优先保证热交换器 18 的加热装置的加热效率的前提下,保证循环气体的温度符合规定的要求。这也正是本发明特别推荐在热交换器 18 中,采用蓄热式烧嘴对所述的内部发热元件,即从管状加热体 19 的内部进行加热的原因。

[0044] 随着油页岩矿料的下行,启动对油页岩半焦的冷却和余热回收以及对刚刚进入干馏竖炉的油页岩进行预热的装置已经势在必行。这时,可以启动余热利用循环风机 4,使干气在余热回收段 III 和预热段 I 之间进行循环。具体的循环路径是:余热利用循环风机 4 → 通道 28 → 余热回收段 III 的进气环腔 1-10 → 被干馏的油页岩 2 → 余热回收段 III 的排气收集腔 1-13 → 钢管 1-14 → 预热段 I 的进气集气腔 1-11 → 被干馏的油页岩 2 → 预热段 I 的排气收集环腔 1-8 → 余热利用循环风机 4。其中,在所述的干馏竖炉 1 的余热回收段 III 和 / 或在干馏竖炉 1 的预热段 I 内的循环的气体,至少 30%、40%、50%、60%、70%、80%、85%、90%、95%、98% 或者全部是干性的可燃气,并建议其至少为 50%。

[0045] 由于干馏竖炉 1 中的油气成分可以通过油页岩料层的间隙进入余热利用和 / 或预热的循环系统;也由于在预热段 I,也会产生油页岩的部分油气性的馏分以及水蒸汽,因此,有必要对该系统的循环气进行适时的更新。这时,可以打开控制阀 16 和控制阀 8 并启动干性产品气回馈风机 6 和分流风机 7 进行更新作业。至于采用连续性的更新作业还是采用间断性的更新作业,可以根据工艺条件和经济性进行选择。

[0046] 在进行更新作业时,新的干性气体是通过通道 22、干性产品气回馈风机 6 和控制阀 16 进入循环系统的;而干度较低的气体则从预热段 I 的排气收集环腔 1-8 通过控制阀 8、分流风机 7 和管道 29 进入主循环系统作为载热气体被使用和处理。

[0047] 当本实施例的工况正常化之后,油页岩析出的大量的干馏气和干馏油气,也是通过控制阀 17 和干馏气输出风机 5 进行分流的。分流出来的气体经过油气回收装置 20 进行油气回收后,产品干气或者说是干性的可燃气则通过通道 22、控制阀 15 和干性产品气输出通道 26,送往下游用户和 / 或利用干性产品气回馈风机 6、并通过控制阀 16,部分回馈到余热利用的循环系统;未分流的部分,仍然通过主循环风机 3 进行循环运行。穿越所述的内、外筒筒及油页岩料层的循环使用的气体的流量至少占穿越所述的内、外筒筒及油页岩料层的气体的总流量的 20%、36%、50%、60%、70%、80%、85%、90%、95% 或更高,直至 100%;并建议选择 36% 的比例等。

[0048] 需要注意的是,由于除尘系统的配置可以由现有技术来解决,本实施例基本上没有涉及这方面的内容;尽管从图 1 中可以看出,进入余热回收段 III 的排气收集腔 1-13 的气体所携带的颗粒较大的尘粒,可以通过环槽 1-18 沉降到水封槽 1-15 的底部。

[0049] 还需要注意的是,所述的内、外筒筒之间的间距设置,或者说油页岩料层的厚度的确定时,要考虑到防止悬料的问题;必要时,还可以在竖炉的外部设置必要的锤击点或者安装震动机构,以应对可能发生的悬料问题。

[0050] 综上所述,本发明所涉及的特征部分在本实施例中均已经给予了充分地说明:

[0051] 包括对所述的油页岩干馏竖炉的炉气管理方法而言,在干馏竖炉 1 的干馏段 II,穿越内、外筒筒 1-5 和 1-4 及油页岩的料层 2 的部分气体是循环使用的;在干馏竖炉的干馏段,穿越所述的内、外筒筒及油页岩料层的循环使用的气体的流量至少占穿越所述的内、外

篦筒及油页岩料层的气体的总流量的 36%。进入所述的干馏竖炉的余热回收段 III 和 / 或预热段 I 的气体,至少 50%是干性的可燃气;所述的干性的可燃气有循环使用的过程;所述的干性的可燃气是从油页岩干馏竖炉自产的气体中提取的等等;还包括它是利用热交换器给穿越干馏段 II 的、循环使用的气体补充热量,以及建议采用蓄热式烧嘴对所述的内部发热元件,即从管状加热体 19 的内部进行加热等。

[0052] 还包括对所述的油页岩干馏竖炉而言,在所述的干馏竖炉 1 的干馏段 II,设置着使作为热载体的、循环使用的干馏气反复穿越的内篦筒 1-5 和外篦筒 1-4;在所述的干馏竖炉 1 的干馏段 II,所述的内篦筒 1-5 和外篦筒 1-4 的轴向长度大于油页岩料层 2 的平均分布直径的 0.36、0.5、0.6、0.7、0.8、0.9、1.0、1.1 倍或更长;并建议使所述的内篦筒 1-5 和外篦筒 1-4 的轴向长度大于油页岩料层的平均分布直径的 0.5 倍。另外,在所述的干馏竖炉的余热回收段 III,设置着内篦筒 1-7 和外篦筒 1-6 和 / 或在所述的干馏竖炉的预热段 I,设置着内篦筒 1-2 和外篦筒 1-3 等等。

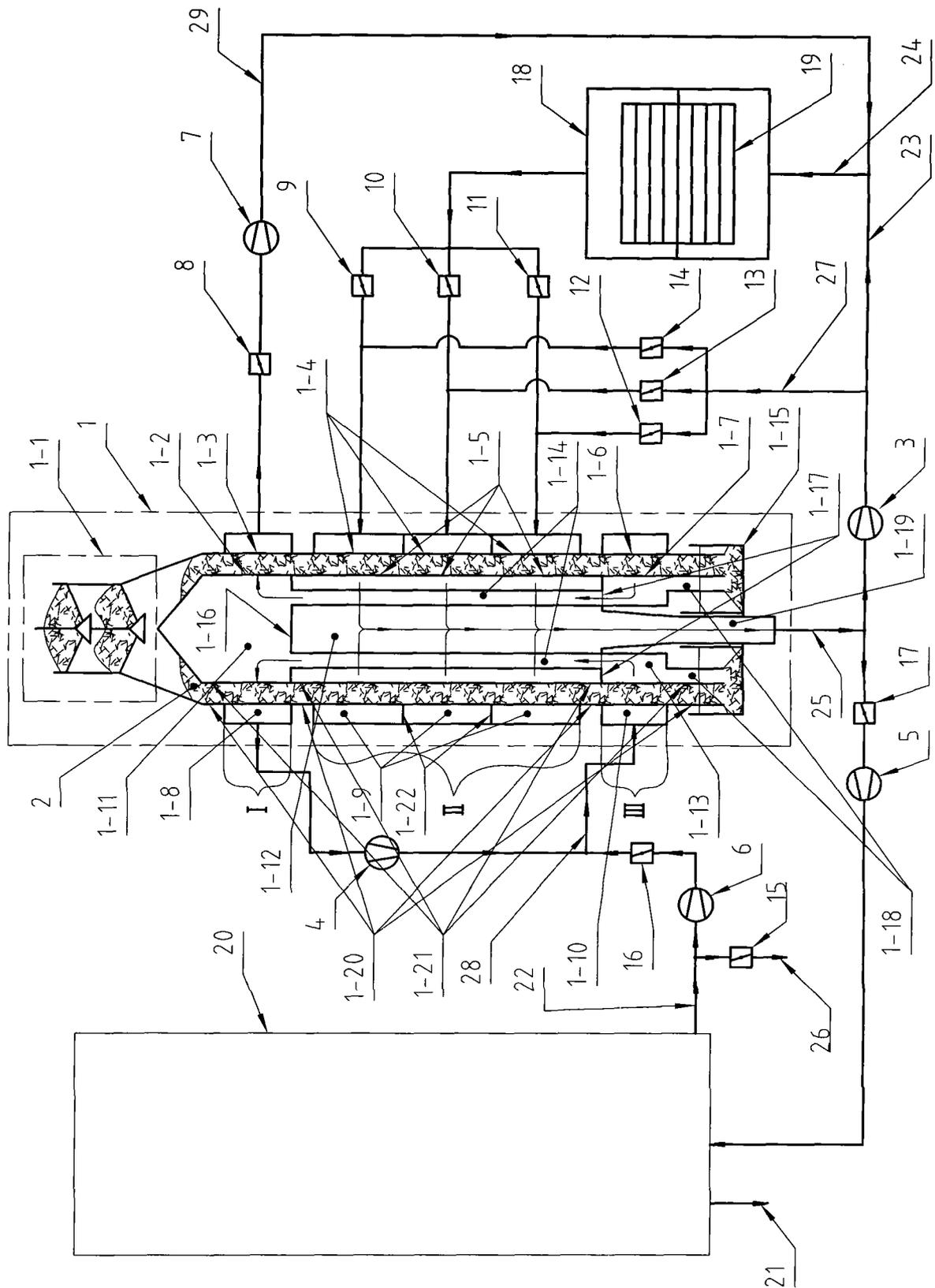


图 1