(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 102533296 B

(45)授权公告日 2013.12.11

(21)申请号 201110443734.3

(22)申请日 2011.12.26

(73)专利权人 上海交通大学

地址 200240 上海市闵行区东川路 800 号

(72)发明人 姜秀民 刘建国 韩向新 王莎 童建辉 刘加勋

(74)专利代理机构 上海旭诚知识产权代理有限公司 31220

代理人 张伟锋

(51)Int.Cl.

C10B 53/06(2006.01)
C10B 49/16(2006.01)
C10B 57/00(2006.01)
C10B 57/04(2006.01)
C10B 57/10(2006.01)
C10G 1/00(2006.01)
C10B 53/02(2006.01)
C10B 53/04(2006.01)
F22G 1/00(2006.01)

(56)对比文件

WO 2007/067089 A1,2007.06.14, 全文.

CN 101113344 A,2008.01.30, 说明书第 5 页第 3 段第 9-12 行、倒数第 1 行及第 6 页第 1-2 行.

CN 101117584 A,2008.02.06, 说明书第 3 页第 2 段第 6-10 行,第 3 页第 3 段至第 4 页第 1 段,图 1.

高健等. 油页岩资源加工利用优化方案的研究.《煤炭加工与综合利用》.2011,(第 5 期),59 页 -62 页.

陆绍信等. 油页岩和煤的混合干馏.《燃料化学学报》.1987, 第 15 卷(第 3 期),250 页 -254 页.

审查员 张盼

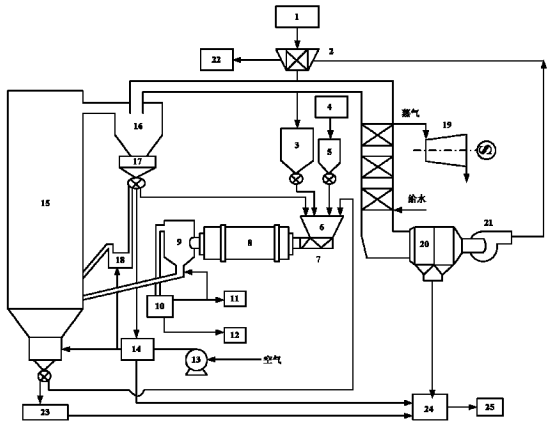
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

油页岩回转窑干馏与循环流化床燃烧工艺

(57)摘要

一种油页岩回转窑干馏与循环流化床燃烧工艺,将回转窑干馏炉与循环流化床有机结合,油页岩颗粒与来自循环流化床锅炉的热循环灰及部分循环流化床锅炉底灰混合后送入回转窑干馏炉干馏制取页岩油和干馏煤气,干馏煤气热值高,一部分作为半焦返料装置的返料风和油页岩半焦颗粒一起进入循环流化床锅炉燃烧,而剩余的部分送入内燃机直燃发电。本发明能提高页岩油和煤气品质,降低能量损失和环境污染,提高综合利用程度。



CN 102533296 B

1. 一种油页岩回转窑干馏与循环流化床燃烧工艺，其特征在于，将油页岩原矿经干燥破碎机破碎成 0 ～ 25mm 的颗粒，利用高温烟气预热干燥后送入油页岩给料斗，由星型旋转阀将油页岩颗粒送入密闭的混合器，在混合器中油页岩颗粒与来自循环流化床旋风分离器底部页岩灰收集槽温度为 750 ～ 850℃的循环灰以及部分循环流化床锅炉底灰混合，重量比为页岩灰：油页岩为 2 ～ 3:1，此外，干馏介质加入介质仓，其中所述干馏介质为有机物或无机物，所述有机物为煤、废橡胶或塑料，所述无机物为石灰石脱硫剂或铁粉；根据工艺要求通过星型旋转阀将合适的干馏介质加入混合器；油页岩与循环灰及干馏介质的混合物通过螺旋给料器送入回转窑干馏炉中，在回转窑干馏炉中油页岩和循环灰在回转窑转动过程中充分混合换热，所述回转窑干馏炉的热源为所述循环流化床锅炉的所述循环灰和所述底灰；经过 15 ～ 30 分钟完成油页岩的干馏；温度为 450 ～ 550℃的干馏产物煤气、页岩油气和半焦被分离为气体产物和固体产物；其中，分离出的气体产物进入冷凝回收系统，煤气被冷却至 80℃以下，分离出页岩油和不冷凝干馏煤气；不冷凝干馏煤气一部分加压后作为半焦返料装置的返料风，和干馏产物中被分离出的半焦、页岩灰构成的固体产物一起进入循环流化床锅炉燃烧，燃烧释放的热量通过循环流化床锅炉的受热面传递给水，将水加热至过热蒸汽作为外供工质送入汽轮机作功发电，剩余的煤气送入内燃机燃烧发电；半焦和煤气在循环流化床锅炉中流化燃烧，燃烧温度在 850 ～ 900℃，燃烧在空气不足的情况下进行，其中过量空气系数 α =0.89 ～ 0.95；燃烧过程中，烟气携带的一部分 1.5mm 以下的颗粒进入旋风分离器进行气固分离，分离的循环灰进入页岩灰收集槽，经星型旋转阀一部分循环灰进入密闭的混合器，一部分通过循环流化床锅炉的页岩灰返料装置返回循环流化床锅炉，剩余的页岩灰进入换热器被冷却至 100℃以下，其含碳量小于 2%，同时空气通过鼓风机送入换热器，经页岩灰预热后一部分作页岩灰返料装置的返料风，一部分送入循环流化床锅炉；循环流化床锅炉内充分燃烧形成的底灰，其含碳量小于 2%，经星型旋转阀一部分底灰被送入到密闭的混合器，剩余部分经冷渣器冷却至 100℃以下；锅炉燃烧产生的烟气经除尘器分离下来飞灰后，所述飞灰含碳量小于 2%，由引风机加压送入干燥破碎机将油页岩颗粒干燥预热后送入烟囱排入大气中；剩余的页岩灰、底灰和飞灰送入灰渣仓，之后送入建材厂作为建材原料。

2. 如权利要求 1 所述的油页岩回转窑干馏与循环流化床燃烧工艺，其特征在于，所述回转窑干馏炉为顺式回转窑干馏炉，固体产物和气体产物在与进料端相对的同一侧排出；还设有密闭的气固分离装置，排出的固体产物和气体产物在所述气固分离装置中分离。

3. 如权利要求 1 所述的油页岩回转窑干馏与循环流化床燃烧工艺，其特征在于，所述回转窑干馏炉为逆式回转窑干馏炉；其中，气体产物从逆式回转窑干馏炉进料端下侧的油气出口排出，逆式回转窑干馏炉内筒利用隔板分割成两段并利用螺旋料封连接，页岩、半焦的混合物构成的固体产物从螺旋料封进口分离，之后在与进料端相对的一侧排出，即，从螺旋料封出口排入半焦收集槽，然后通过返料装置送入循环流化床锅炉。

4. 如权利要求 1 所述的油页岩回转窑干馏与循环流化床燃烧工艺，其特征在于，循环流化床锅炉燃烧产生的页岩灰作为回转窑干馏炉的热源。

油页岩回转窑干馏与循环流化床燃烧工艺

技术领域

[0001] 本发明涉及一种油页岩回转窑干馏与循环流化床燃烧工艺，具体涉及两种以循环流化床作为干馏炉热源、以页岩灰作为回转窑干馏炉干馏热载体的系统，可实现油页岩资源的炼油、供热、发电、建材的全方位的综合优化利用，属于油页岩资源利用技术领域。该工艺亦适用于煤和生物质。

背景技术

[0002] 油页岩是一种具有微细层理、高灰分、低热值的可燃有机矿产，低温干馏可获得类似天然石油的页岩油。世界油页岩资源丰富，如折算成发热量，它的储量在化石燃料中仅次于煤而列第二位；如折算成页岩油，世界上油页岩储量约为 4750 亿吨，相当于目前世界天然原油探明可采储量的 5.4 倍。我国油页岩资源为 7199.3 亿吨，折算成页岩油的储量为 476.44 亿吨。

[0003] 油页岩的开发利用已有 200 多年历史，现有的工艺路线主要为以干馏炉为主进行油页岩干馏炼油（中国页岩油工业，石油工业出版社，1984 年）和以循环流化床锅炉为主进行燃烧发电、供热（苏联燃油页岩电站锅炉，东方电气评论，1990 年，第 1 期，44 ～ 51 页）。随着环境水平的日益提高和能源综合利用技术的发展，单一的能源利用形式已不再适合当今社会的发展。我国科学家早在 1990 年召开的油页岩加工与综合利用研讨会上呼吁我国油页岩工业应走“油页岩 - 炼油 - 发电 - 化工 - 建材”等全面综合利用的技术路线（国外油页岩综合利用的进展，地球科学进展，1992 年，第 7 卷第 2 期，48 ～ 50 页）。

[0004] 现有以干馏炉为主进行干馏炼油的工艺路线若按干馏炉型分主要有固定床、流化床、回转窑及各种气燃式干馏炉，若按传热方式可分为气体热载体法和固体热载体法。其中回转窑进料尺寸适应性强，窑体的回转使得物料充分混合并不断破碎，油页岩颗粒的传热传质速率高，热解充分；仅通过反应器转速和倾角便可灵活调节油页岩在窑内的停留时间、混合强度及处理量，从而控制热解反应程度；适应不同种类的油页岩。此外，回转窑具有很好的放大性，可与气体热载体法和固体热载体法联合开发干馏工艺。

[0005] 气体热载体法是指原料页岩与预先加热了气体热载体直接接触传热发生干馏反应的过程。现有工艺主要采用直立圆筒型炉，干馏炉型结构简单，主要加工处理块状油页岩，细颗粒油页岩被舍弃，而油页岩干馏热源主要为经加热炉加热后的干馏煤气。由此存在如下不足：一是处理的是块状页岩，干馏时间相当长，一般 12 ～ 24 小时，且颗粒粒径大，许多大颗粒无法彻底干馏，因此干馏效率低、油收率低、资源利用率低；二是采用热循环干馏煤气作为热载体，通常需采用蓄热式加热炉等外热源加热煤气，即先在蓄热式加热炉内燃烧煤气将炉体加热，然后再将冷煤气送入加热炉中将炉体的热量传给冷煤气，加热后送入干馏炉加热油页岩干馏，因此不但消耗了大量的煤气，浪费能源，而且干馏热煤气温度总在变化，造成干馏炉内温度周期变化，出油不稳定，油收率低；三是干馏所得油页岩半焦若继续作为锅炉燃料利用，必须先冷却再进一步破碎以适合锅炉燃烧的要求，如果是湿法除半焦，必须先用水冷却，再干燥，再破碎，因此，耗能较大。

[0006] 固体热载体法是指原料页岩与预先加热了固体热载体直接接触传热发生干馏反应的过程。现有工艺主要采用水平圆筒型干馏炉，主要加工处理粉粒状原料，粒径一般小于 25mm。油页岩干馏热源主要为油页岩半焦在一个单独的气流式燃烧室燃烧生成的热页岩灰，或利用单独设立的加热炉燃烧干馏煤气加热的瓷球。与气体热载体法相比，固体热载体法的原料页岩颗粒小，且与固体热载体混合均匀，接触表面积大，可以达到较快的加热速度，因此，干馏时间短，通常 30min 即可完成，原料利用率高（理论上可以 100％利用），油收率高。但目前这种形式的干馏炉目的单一，需要一个额外的燃烧炉将页岩半焦燃烧成高温页岩灰作固体热载体，剩余半焦及灰渣被大量舍弃。由于燃烧炉只是用来生成固体热载体，所以不能实现发电、供热的目的。

[0007] 而以循环流化床锅炉为主进行燃烧发电、供热可获得较高的燃烧效率和热效率，同时循环流化床锅炉为低温燃烧，可在炉内添加石灰石脱硫，且因低温分级燃烧减少氮氧化物的排放，可以实现洁净燃烧，但将油页岩直接用于循环流化床锅炉燃烧发电、供热的缺点是省略了页岩油炼制环节，烧掉了油页岩中的油资源。

发明内容

[0008] 本发明的目的是，对现有以干馏炉为主进行干馏炼油的工艺路线和以循环流化床锅炉为主进行燃烧发电、供热的工艺路线进行了实质性改进，将油页岩回转窑干馏炉与油页岩半焦循环流化床锅炉有机地结合为一体，组成油页岩回转窑干馏与循环流化床燃烧工艺，综合考虑资源、环境、经济与社会效益，实现科学利用油页岩资源，为油页岩高效、洁净、经济、合理的综合利用提供有效途径。

[0009] 本发明的目的是由以下技术方案来实现的：一种油页岩回转窑干馏与循环流化床燃烧工艺，通过将循环流化床锅炉循环灰和底灰作为固体热载体，油页岩与炽热的页岩灰及干馏介质的混合物送入回转窑干馏炉干馏制取干馏煤气和页岩油；干馏煤气热值高，一部分作为半焦返料装置的返料风和油页岩半焦一起进入循环流化床锅炉燃烧，而剩余的部分送入内燃机直燃发电；循环流化床锅炉燃烧释放的热量通过锅炉的受热面传递给水，将水加热成过热蒸汽作为外供热源和 / 或送入汽轮机作功发电；循环流化床燃烧后的底灰和飞灰含碳量小于 2％，因此无需再进行焙烧，可直接作为建材原料。该工艺根据回转窑干馏炉的固体和气体产物分离方式不同可建立顺式和逆式两种系统。

[0010] 本发明具体工艺流程：将油页岩原矿经干燥破碎机破碎成 0 ～ 25mm 的颗粒，利用高温烟气预热干燥后通过皮带送入油页岩给料斗，由星型旋转阀将油页岩颗粒送入密闭的混合器，在混合器中油页岩颗粒与来自循环流化床旋风分离器底部页岩灰收集槽温度为 750 ～ 850℃的循环灰以及部分循环流化床锅炉底灰混合，重量混合比为页岩灰：油页岩为 2 ～ 3 ： 1，此外煤、废橡胶或塑料等有机物或者石灰石脱硫剂、铁粉等无机物干馏介质可加入介质仓，不同的干馏介质对工艺的作用不同，可根据工艺要求通过星型旋转阀将合适的干馏介质加入混合器；油页岩与循环灰及干馏介质的混合物通过螺旋给料器送入顺式回转窑干馏炉中，在顺式回转窑干馏炉中油页岩和循环灰在回转窑转动过程中充分混合换热，经过 15 ～ 30 分钟完成油页岩的干馏；温度为 450 ～ 550℃的产物，如干馏煤气、页岩油气和半焦进入密闭的气固分离装置中，分离出的气体产物进入冷凝回收系统，气体产物被冷却至 80℃以下，分离出页岩油和不冷凝干馏煤气；不冷凝干馏煤气一部分加压后作为半焦返

料装置的返料风，和半焦页岩灰等固体物质一起进入循环流化床锅炉燃烧，燃烧释放的热量通过该锅炉的受热面传递给水，将水加热至过热蒸汽作为外供热源和 / 或送入汽轮机作功发电，剩余的煤气送入内燃机燃烧发电；半焦和煤气在循环流化床锅炉中流化燃烧，燃烧温度在 850 ～ 900℃，燃烧在空气不足的情况下进行（过量空气系数 α ＝ 0.89 ～ 0.95），燃烧温度不宜过高，过高会导致页岩灰熔融，由于循环页岩灰中碱金属的自脱硫作用，从而减少了脱硫剂石灰石的使用；燃烧过程中，烟气携带的一部分 1.5mm 以下的颗粒进入旋风分离器进行气固分离，分离的循环灰进入页岩灰收集槽，经星型旋转阀一部分循环灰进入密闭的混合器，一部分通过循环流化床锅炉的页岩灰返料装置返回循环流化床锅炉，剩余的页岩灰进入换热器被冷却至 100℃以下（含碳量小于 2％），同时空气通过鼓风机送入换热器，空气经页岩灰预热后一部分作页岩灰返料装置的返料风，一部分送入循环流化床锅炉；循环流化床内充分燃烧形成的底灰（含碳量小于 2％），经星型旋转阀一部分循环灰进入密闭的混合器，剩余部分经冷渣器冷却至 100℃以下，锅炉燃烧产生的烟气经除尘器分离下来飞灰（含碳量小于 2％）后，由引风机加压送入干燥破碎机将油页岩颗粒干燥预热后送入烟囱排入大气中，剩余的页岩灰、底灰和飞灰送入灰渣仓，之后送入建材厂作为建材原料，可生产建筑砌块、水泥、陶粒或白炭黑和微晶玻璃等高附加值产品，从而实现油页岩的科学综合优化利用。逆式系统与顺式系统的区别是回转窑干馏炉固体和气体产物分离方式不同，顺式系统中固体和气体产物在顺式回转窑干馏炉同一端排出，而逆式系统中气体产物从逆式回转窑干馏炉进料端下侧的油气出口排出，逆式回转窑干馏炉内筒利用隔板分割成两段并利用螺旋料封连接，页岩半焦等固体混合物从螺旋料封进口分离，之后从螺旋料封出口排入半焦收集槽，通过返料装置送入循环流化床锅炉，其他装置和流程与顺式系统相同。

[0011] 本发明油页岩回转窑干馏与循环流化床燃烧工艺的优点体现在：

[0012] 1) 将原油页岩一次性破碎成 0 ～ 25mm，该颗粒粒径范围适应于回转窑干馏炉，摒弃了现有气体热载体法干馏炉需要大块油页岩的缺点，同时也克服了干馏后半焦利用过程的冷却和需要进一步破碎的问题；

[0013] 2) 将回转窑干馏炉与循环流化床锅炉有机的结合为一体，油页岩干馏所需的固体热载体直接源于循环流化床锅炉燃烧产生的循环热灰及循环流化床锅炉底灰，而循环流化床锅炉的燃料源于干馏后的半焦及部分不凝干馏煤气，实现了油页岩回转窑干馏炼油与循环流化床燃烧发电供热同步进行；

[0014] 3) 循环流化床锅炉运行温度为 850 ～ 900℃，属于低温燃烧，有效控制了热力 NOx 的生成与排放，而且有利于保持灰渣的活性，此外，循环流化床燃烧效率高，半焦固定碳可以得到充分利用，页岩灰中含碳量少，可直接作为建材原料制作建筑砌块、水泥、陶粒、微晶玻璃和白炭黑等高附加质产品；

[0015] 4) 由于采用固体热载体法干馏，原油页岩颗粒粒径小，且与热载体循环热灰充分混合，传热传质速率高，传热效率高，干馏时间短，只需 15 ～ 30 分钟，资源利用率高、油收率高、不凝干馏煤气热值高，既可以直接作为燃料送入锅炉内燃烧发电，亦可单独送入内燃机燃烧发电，实现多发电渠道，此外页岩灰在循环过程中对热烟气和油气有自脱硫作用，烟气和油气硫含量低，对环境污染小；

[0016] 5) 采用回转窑干馏炉，由于回转窑进料尺寸适应性强，窑体的回转使得物料充分混合并不断破碎，颗粒传热传质效率更高，有助于油页岩颗粒快速加热分解；仅通过反应器

转速和倾角便可灵活调节油页岩在窑内的停留时间、混合强度和处理量，从而控制热解反应程度；适应不同种类的油页岩；便于大型化；

[0017] 6）具有对原料的适应性广，原料的综合利用程度高，产品灵活，用途广泛等优点。既可用于贫矿，如茂名油页岩，也可用于富矿；既可用于油页岩，更适合于煤的综合利用；由于所用原料为 0-25mm，因此对原料的热稳定性要求很低；

[0018] 本发明实现了油页岩资源的综合优化利用，科学利用资源，具有高的经济、社会和环境效益，可在油页岩储地推广应用。

[0019] 以下将结合附图对本发明的构思、具体结构及产生的技术效果作进一步说明，以充分地了解本发明的目的、特征和效果。

附图说明

[0020] 图 1 为顺式油页岩回转窑干馏与循环流化床燃烧系统。

[0021] 图 2 为逆式油页岩回转窑干馏与循环流化床燃烧系统。

[0022] 图中附图标记为：1- 油页岩原矿，2- 干燥破碎机，3- 油页岩给料斗，4- 干馏介质，5- 介质仓，6- 混合器，7- 螺旋给料器，8- 顺式回转窑干馏炉，9- 气固分离装置，10- 冷凝回收系统，11- 内燃机，12- 页岩油，13- 鼓风机，14- 换热器，15- 循环流化床锅炉，16- 旋风分离器，17- 页岩灰收集槽，18- 页岩灰返料装置，19- 汽轮机，20- 除尘器，21- 引风机，22- 烟囱，23- 冷渣器，24- 灰渣仓，25- 建材厂，26- 逆式回转窑干馏炉，27- 半焦收集槽。

具体实施方式

[0023] 图 1 所示为油页岩回转窑干馏与循环流化床燃烧工艺顺式系统，即顺式油页岩回转窑干馏与循环流化床燃烧系统。

[0024] 如图 1 所示，将油页岩原矿 1 经干燥破碎机 2 破碎成 0 ～ 15mm 的颗粒，利用高温烟气预热干燥后通过皮带送入油页岩给料斗 3，由星型旋转阀将油页岩颗粒送入密闭的混合器 6，在混合器 6 中油页岩颗粒与来自循环流化床旋风分离器 16 底部页岩灰收集槽 17 温度为 750 ～ 850℃的循环灰以及部分循环流化床锅炉底灰混合，重量混合比为页岩灰：油页岩为 2 ～ 3 ： 1，此外煤、废橡胶或塑料等有机物或者石灰石脱硫剂、铁粉等无机物干馏介质 4 可加入介质仓 5，不同的干馏介质对工艺的作用不同，可根据工艺要求通过星型旋转阀将合适的干馏介质加入混合器 6；油页岩与循环灰及干馏介质的混合物通过螺旋给料器 7 送入顺式回转窑干馏炉 8 中，在顺式回转窑干馏炉 8 中油页岩和循环灰在回转窑转动过程中充分混合换热，经过 15 ～ 30 分钟完成油页岩的干馏；温度为 450 ～ 550℃的干馏产物（干馏煤气、页岩油气和半焦）进入密闭的气固分离装置 9 中，分离出的气体产物进入冷凝回收系统 10，气体产物被冷却至 80℃以下，分离出页岩油 12 和不冷凝干馏煤气；不冷凝干馏煤气一部分加压后作为半焦返料装置的返料风，和半焦页岩灰等固体物质一起进入循环流化床锅炉 15 燃烧，燃烧释放的热量通过该锅炉的受热面传递给水，将水加热至过热蒸汽作为外供热源和 / 或送入汽轮机 19 作功发电，剩余的煤气送入内燃机 11 燃烧发电；半焦和煤气在循环流化床锅炉 15 中流化燃烧，燃烧温度在 850 ～ 900℃，燃烧在空气不足的情况下进行（过量空气系数 α ＝ 0.89 ～ 0.95），燃烧温度不宜过高，过高会导致页岩灰熔融，由于循环页岩灰中碱金属的自脱硫作用，从而减少了脱硫剂石灰石的使用，燃烧过程中，烟气携带的

一部分 1.5mm 以下的颗粒进入旋风分离器 16 进行气固分离，分离的循环灰进入页岩灰收集槽 17，经星型旋转阀一部分循环灰进入密闭的混合器 6，一部分通过循环流化床锅炉 15 的页岩灰返料装置 18 返回循环流化床锅炉 15，剩余的页岩灰进入换热器 14 将页岩灰冷却至 100℃以下（含碳量小于 2%），同时空气通过鼓风机 13 送入换热器 14，经页岩灰预热后一部分作页岩灰返料装置 18 的返料风，一部分送入循环流化床锅炉；循环流化床锅炉 15 中充分燃烧形成的底灰含碳量小于 2%，经星型旋转阀一部分循环灰进入密闭的混合器 6，剩余部分经冷渣器 23 冷却至 100℃以下；锅炉燃烧产生的烟气经除尘器 20 分离下来飞灰（含碳量小于 2%）后，由引风机 21 加压送入干燥破碎机 2 将油页岩颗粒干燥预热后送入烟囱 22 排入大气中，剩余的页岩灰、底灰和飞灰送入灰渣仓 24，之后送入建材厂 25 作为建材原料，可生产建筑砌块、水泥、陶粒或白炭黑和微晶玻璃等高附加值产品，从而实现油页岩的科学综合优化利用。

[0025] 逆式系统与顺式系统的区别是回转窑干馏炉固体和气体产物分离方式不同：顺式系统中固体和气体产物在顺式回转窑干馏炉 8 同一端排出，而逆式系统中气体产物从逆式回转窑干馏炉 26 进料端下侧的油气出口排出。

[0026] 逆式回转窑干馏炉 26 内筒利用隔板分割成两段并利用螺旋料封连接，页岩半焦等固体混合物从螺旋料封进口分离，之后从螺旋料封出口排入半焦收集槽 27，通过返料装置送入循环流化床锅炉，其他装置和流程与顺式系统相同。

[0027] 以上详细描述了本发明的较佳具体实施例。应当理解，本领域的普通技术无需创造性劳动就可以根据本发明的构思作出诸多修改和变化。因此，凡本技术领域中技术人员依本发明的构思在现有技术的基础上通过逻辑分析、推理或者有限的实验可以得到的技术方案，皆应在由权利要求书所确定的保护范围内。

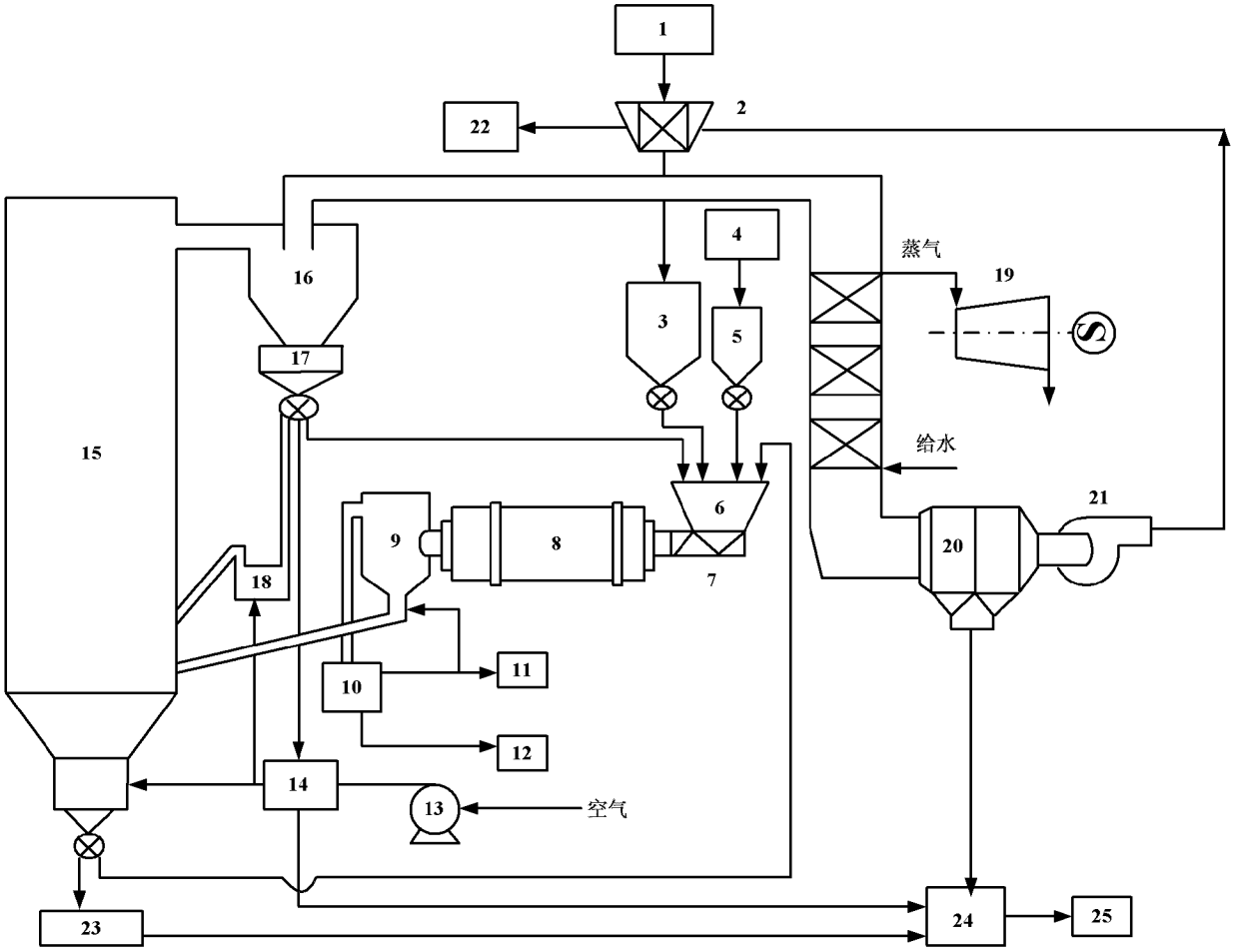


图 1

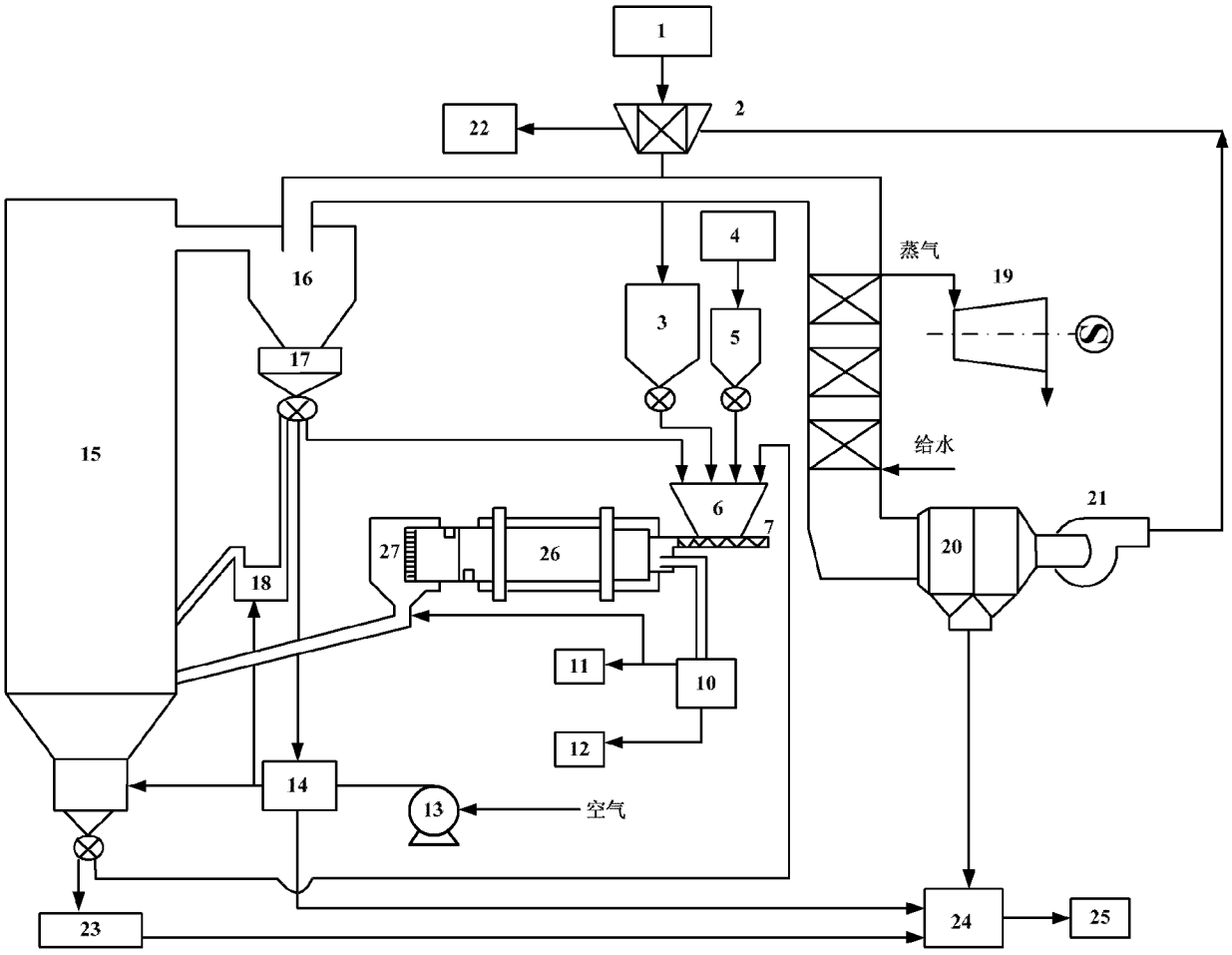


图 2