



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114704833 A

(43) 申请公布日 2022. 07. 05

(21) 申请号 202210552367.9

F23G 5/44 (2006.01)

(22) 申请日 2022.05.20

F23G 5/50 (2006.01)

(71) 申请人 中冶长天国际工程有限责任公司  
地址 410006 湖南省长沙市岳麓区节庆路7号

申请人 中南大学

(72) 发明人 叶恒棣 颜旭 李谦 魏进超  
柴立元 周浩宇 沈维民

(74) 专利代理机构 北京卓恒知识产权代理事务所(特殊普通合伙) 11394  
专利代理师 徐楼 卜婷

(51) Int. Cl.  
F23G 5/027 (2006.01)  
F23G 5/14 (2006.01)  
F23G 5/32 (2006.01)

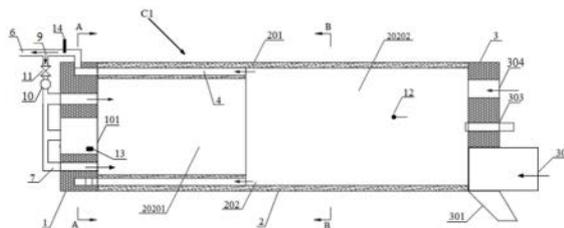
权利要求书2页 说明书18页 附图4页

## (54) 发明名称

一种回转窑-烧结机协同处置危险废物的方法及系统

## (57) 摘要

一种回转窑-烧结机协同处置危险废物的方法,该方法包括:1) 热解:高挥发分危废从窑头进入回转窑内,助燃空气从窑尾进入回转窑内,高挥发分危废在热解腔室内进行热解;2) 焚烧:热解完成后的物料残渣和热解气进入焚烧腔室,与助燃空气混合并燃烧;3) 烟气循环:焚烧后的部分烟气从窑头循环至回转窑内;4) 冷却:焚烧完成后的热渣进行冷却,得到冷渣;5) 烧结:将冷渣布料至烧结台车上,点火烧结;在步骤3)中,根据焚烧后烟气中的可燃物含量和烟气温度的比例,计算进入回转窑的循环烟气量占总烟气量的比例。本发明采用逆流式回转窑-烧结机的技术方案,有效缓解回转窑焚烧含铁固废时的结圈结渣现象,并实现了对回转窑内循环烟气量的精准控制。



1. 一种回转窑-烧结机协同处置危险废物的方法,该方法包括以下步骤:

1) 热解:高挥发分危废经由窑头(1)的物料入口(101)输送至回转窑(C1)内;助燃空气经由窑尾(3)的排料风道(302)和窑尾风道(304)进入回转窑(C1)内;高挥发分危废首先进入回转窑(C1)的热解腔室(20201)内进行干燥和热解;热解完成后的物料残渣和热解气进入焚烧腔室(20202);

2) 焚烧:物料残渣、热解气与助燃空气在焚烧腔室(20202)内混合并进行燃烧;焚烧完成后的热渣通过窑尾(3)的物料出口(301)排出回转窑(C1);焚烧后的烟气经由窑内风道(4)、环形风道(5)和一次风道(6)排出回转窑(C1);

3) 烟气循环:步骤2)中进入一次风道(6)的部分烟气经由均匀分布在窑头(1)的多根二次风道(7)再次进入回转窑(C1),与回转窑(C1)内的物料一并完成热解和焚烧工序;

4) 冷却:在步骤2)中的热渣排出回转窑(C1)的过程中,进入排料风道(302)的助燃空气首先对热渣进行一次冷却;同时,被加热的助燃空气进入回转窑(C1)参与物料的热解和焚烧;一次冷却后的热渣进入热渣冷却器(8),并与通入热渣冷却器(8)内的冷却介质进行热交换,换热完成后得到冷渣和热介质;

5) 烧结:将步骤4)得到的冷渣与烧结原料布料至烧结台车上,点火烧结;

其中:在步骤3)中,设置在一次风道(6)上的气体分析仪(14)检测焚烧后烟气中的可燃物含量,记为 $C_g$ ,%;同时获得焚烧后烟气的温度 $T_g$ ,K;计算经由二次风道(7)进入回转窑(C1)的循环烟气流量占焚烧后烟气总流量的比例 $Z$ ,%;即有:

$$Z = 1.68C_g^{1.26} \times \left(\frac{T_g}{273}\right)^{0.08} \times \ln^{0.035}(T_g - 273);$$

通过抽气装置(10)和风量控制阀(11)控制经由二次风道(7)再次进入回转窑(C1)的循环烟气流量占焚烧后烟气总流量的比例为 $Z$ 。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于:在步骤2)中,通过物料含铁量检测装置(13)检测进入回转窑(C1)的高挥发分危废的含铁量 $w$ ,%;根据所检测到的物料含铁量控制焚烧腔室(20202)内的燃烧温度 $T_0$ ,°C;具体为:

当 $w > 50\%$ 时, $T_0$ 为550~650°C;

当 $25\% < w \leq 50\%$ 时, $T_0$ 为650~750°C;

当 $5\% \leq w \leq 25\%$ 时, $T_0$ 为750~850°C;

当 $w < 5\%$ 时, $T_0$ 为850~950°C。

3. 一种回转窑-烧结机协同处置危险废物的方法,该方法包括以下步骤:

a) 低挥发分危废经由窑头(1)的物料入口(101)输送至回转窑(C1)内;助燃空气经由均匀分布在窑头(1)的多根二次风道(7)进入回转窑(C1)内;同时,助燃空气还通过一次风道(6)、环形风道(5)、窑内风道(4)进入回转窑(C1)的焚烧腔室(20202)内;低挥发分危废与助燃空气在炉膛(202)内混合并进行燃烧;

b) 焚烧完成后的热渣通过窑尾(3)的物料出口(301)排出回转窑(C1);焚烧后的烟气经由排料风道(302)和窑尾风道(304)排出回转窑(C1);

c) 将步骤b)中排出回转窑(C1)的热渣输送至热渣冷却器(8),并向热渣冷却器(8)内通入冷却介质;热渣与冷却介质在热渣冷却器(8)内进行热交换,换热完成后得到冷渣和热介质;

d) 将步骤c)得到的冷渣与烧结原料布料至烧结台车上,点火烧结;

其中:在步骤a)中,根据输送至回转窑(C1)内低挥发分危废的物料热值 $Q$ ,kcal/kg,计算经由二次风道(7)从窑头(1)进入回转窑(C1)的风量占回转窑(C1)所需总风量的比例 $L$ ,%;即有:

$$L = \frac{100}{Q^{1.05-1232}};$$

通过抽气装置(10)和风量控制阀(11)控制经由二次风道(7)从窑头(1)进入回转窑(C1)的风量占回转窑(C1)所需总风量的比例为 $L$ 。

4. 用于权利要求1-3中任一项所述方法回转窑-烧结机协同处置危险废物的系统,该系统包括回转窑(C1)和设置在回转窑(C1)下游的烧结机(C2);所述回转窑(C1)的窑头(1)上设有物料入口(101);回转窑(C1)的窑尾(3)上设有物料出口(301)和排料风道(302);所述物料出口(301)位于窑尾(3)的底部;排料风道(302)位于物料出口(301)的上部,且排料风道(302)与物料出口(301)相连通;所述物料出口(301)连接至烧结机(C2);回转窑(C1)的窑身(2)包括炉衬(201)和炉膛(202);沿着物料走向,所述炉膛(202)分为热解腔室(20201)和焚烧腔室(20202);所述热解腔室(20201)对应的炉衬(201)内部设有窑内风道(4);窑内风道(4)的一端伸入窑头(1),另一端与焚烧腔室(20202)相连通;窑头(1)上还设有环形风道(5);所述窑内风道(4)通过环形风道(5)与设置在回转窑(C1)外部的一次风道(6)相连通;从一次风道(6)上分出多根二次风道(7);所述多根二次风道(7)穿过窑头(1)与热解腔室(20201)相连通;所述多根二次风道(7)在回转窑(C1)的窑头(1)均匀分布。

5. 根据权利要求4所述的系统,其特征在于:从一次风道(6)上分出 $m$ 根二次风道(7);所述 $m$ 根二次风道(7)围绕物料入口(101)呈环形分布;其中: $m$ 为2-16;和/或

所述回转窑(C1)内设有 $n$ 根窑内风道(4); $n$ 根窑内风道(4)沿着回转窑(C1)的圆周方向均匀地分布;每一根窑内风道(4)均与设置在窑头(1)的环形风道(5)相连通;其中: $n$ 为2-30。

6. 根据权利要求5所述的系统,其特征在于: $m$ 为4-10;和/或  
 $n$ 为3-20。

7. 根据权利要求4所述的系统,其特征在于:该系统还包括设置在回转窑(C1)与烧结机(C2)之间的热渣冷却器(8);所述热渣冷却器(8)上设有热渣入口(801)、冷渣出口(802)、冷介质入口(803)和热介质出口(804);所述回转窑(C1)的物料出口(301)连接至热渣冷却器(8)的热渣入口(801);热渣冷却器(8)的冷渣出口(802)连接至烧结机(C2)。

8. 根据权利要求4-7中任一项所述的系统,其特征在于:所述一次风道(6)上分出二次风道(7)的位置设有三通阀(9);二次风道(7)上设有抽气装置(10)和风量控制阀(11)。

9. 根据权利要求8所述的系统,其特征在于:所述回转窑(C1)的窑尾(3)上还设有补热烧嘴(303)和窑尾风道(304);所述补热烧嘴(303)和窑尾风道(304)均设置在窑尾(3)的中部。

10. 根据权利要求9所述的系统,其特征在于:在回转窑(C1)的焚烧腔室(20202)内设有温度检测装置(12);在窑头(1)的物料入口(101)处设有物料含铁量检测装置(13);在一次风道(6)上、靠近环形风道(5)的位置设有气体分析仪(14)。

## 一种回转窑-烧结机协同处置危险废物的方法及系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及危险废物的处置工艺,具体涉及一种回转窑-烧结机协同处置危险废物的方法及系统,属于危废协同烧结处理技术领域。

### 背景技术

[0002] 一般所述回转焚烧窑可用于危险废物焚烧,是危废焚烧系统的重要组成设备。危险废物由于含有有机物、具有一定的热值,适宜用焚烧的方式对其进行处置,既可以达到危险废物减容的目的,又能回收废物中热能,达到资源的综合利用。

[0003] 现有的危险废物焚烧回转窑主要是用来焚烧市政危废,包括有机树脂、市政污泥等等,但是随着钢铁企业“固废不出厂”的要求提高,已经有部分钢铁厂开始在厂内建设危废焚烧工程,用于焚烧钢铁企业自身产生的危险废物。但是钢铁企业产生的危险废物含铁量较高,容易出现结渣、结块的现象,同时,现有的市政危废焚烧回转窑也有温度分布不均匀,焚烧效率比较低的现象。

[0004] 在现有技术中,回转窑多用来处置市政危废,铁含量较低。通常采用“回转窑+二燃室+余热锅炉(SNCR脱硝)+烟气急冷+干式脱酸(消石灰与活性炭喷射)+布袋除尘器+引风机+预洗塔+湿式洗涤塔+烟气再热器+烟囱”的危险废物焚烧及烟气净化处理工艺。该工艺以充分燃烧危废中的有机物为主要目的,采用的焚烧设备为回转窑,如图1所示。图中,I区为窑头进料区,II区为焚烧区,窑头进料区设有危废进料口和空气进口,窑尾设有物料出口。在实际应用中,回转窑有5°左右的倾斜角(图1中左高右低),这样物料和空气从窑头(I区)一起进入回转窑,在窑体旋转和倾斜角的作用下,物料向窑尾运动,与空气混合并燃烧,最后的残渣从物料出口排出回转窑。目前市场上残渣排出回转窑后是直接落入一个水池进行湿式冷却,冷却后的残渣捞出来再固化后进行填埋。

[0005] 危险废物在回转窑中的主要焚烧温度约为850~950℃,停留时间为30~40min,在这样的条件下,危废中的有机物得以充分燃烧。按照现行标准及环评要求,焚烧残渣的灼减率必须达到5%以下。

[0006] 现有技术危险废物焚烧技术主要处置对象是市政危废,然而在处置钢铁厂的危废时,由于钢铁厂的危废中,含铁量比较高,如轧钢油泥,其含铁量达到50%~60%。如果仍然采用现有技术对含铁油泥进行焚烧,铁元素与灰中的金属氧化物形成了低温共熔物,在850~950℃的焚烧温度下,极易在回转窑中结渣、结圈。含铁残渣在回转窑中结成大块,具有很高的强度,造成回转窑堵塞,无法正常生产。

[0007] 现有技术中全部的有机物都在回转窑中充分焚烧放热,虽然回转窑危废焚烧处置线设置了余热锅炉对余热进行回收,但是回转窑本身散热大,对有机物中的热量利用率较低。

[0008] 现有技术中,市政危险废物的焚烧残渣和飞灰由于含有较高的重金属以及一定的二噁英污染物,通常是采用水泥、石灰、水进行简单的稳定固化,然后进行安全填埋,这样的处置工艺是对残渣资源的浪费,尤其是钢铁厂危废中的铁资源含量高,回收价值大,铁资源

却没有得到有效回用。而且填埋也没有完全消除其环境影响,仍然有二次污染的风险。

[0009] 此外,针对回转窑处置危险废物的工艺,目前尚缺少对回转窑内的烟气量或进风量实现精准控制的技术方案。

## 发明内容

[0010] 针对上述现有技术中存在的问题,本发明提出了一种回转窑-烧结机燃烧协同处置危险废物的方法及系统。在本发明中,所述回转窑能够针对不同类型的危废进行顺流和逆流两用,扩大了回转窑对不同物料的适应性。当待处理物料为高挥发分危废时,此时处置高挥发分危废的方法为基于逆流式回转窑-烧结机协同处置危险废物的方法。当待处理物料为低挥发分危废时,此时处置低挥发分危废的方法为基于顺流式回转窑-烧结机协同处置危险废物的方法。本发明还将回转窑焚烧危废后的焚烧残渣布料至烧结机进行处置,焚烧残渣中残留的有机物可以在烧结中进行利用。

[0011] 本发明还提出在窑头均匀设置多根二次风道的技术方案,该方案能够确保逆流式回转窑在处置高挥发分危废时循环烟气的进气均匀性,增强窑内的气体混匀效果,从而提高窑内的热解与焚烧效果。该方案还能够确保顺流式回转窑在处置低挥发分危废时窑头一次进风的均匀性,增强窑内气体与物料接触的均匀性,加快燃烧反应。

[0012] 基于上述在窑头均匀设置多根二次风道的技术方案,在逆流式回转窑处置高挥发分危废的方案中,本发明还提出了焚烧后的烟气经由二次风道循环至回转窑的循环烟气比例的计算公式;以及,在顺流式回转窑处置低挥发分危废的方案中,本发明还提出了经由二次风道从窑头进入回转窑的风量比例的计算公式,从而实现了对回转窑内的循环烟气量或进风量的精准控制。

[0013] 根据本发明的第一种实施方案,提供一种回转窑-烧结机协同处置危险废物的方法。

[0014] 一种回转窑-烧结机协同处置危险废物的方法,该方法包括以下步骤:

[0015] 1) 热解:高挥发分危废经由窑头的物料入口输送至回转窑内。助燃空气经由窑尾的排料风道和窑尾风道进入回转窑内。高挥发分危废首先进入回转窑的热解腔室内进行干燥和热解。热解完成后的物料残渣和热解气进入焚烧腔室。

[0016] 2) 焚烧:物料残渣、热解气与助燃空气在焚烧腔室内混合并进行燃烧。焚烧完成后的热渣通过窑尾的物料出口排出回转窑。焚烧后的烟气经由窑内风道、环形风道和一次风道排出回转窑。

[0017] 3) 烟气循环:步骤2)中进入一次风道的部分烟气经由均匀分布在窑头的多根二次风道再次进入回转窑,与回转窑内的物料一并完成热解和焚烧工序。

[0018] 4) 冷却:在步骤2)中的热渣排出回转窑的过程中,进入排料风道的助燃空气首先对热渣进行一次冷却。同时,被加热的助燃空气进入回转窑参与物料的热解和焚烧。一次冷却后的热渣进入热渣冷却器,并与通入热渣冷却器内的冷却介质进行热交换,换热完成后得到冷渣和热介质。

[0019] 5) 烧结:将步骤4)得到的冷渣与烧结原料布料至烧结台车上,点火烧结。

[0020] 其中:在步骤3)中,设置在一次风道上的气体分析仪检测焚烧后烟气中的可燃物含量,记为 $C_g$ ,%。同时获得焚烧后烟气的温度 $T_g$ ,K。计算经由二次风道进入回转窑的循环烟

气流量占焚烧后烟气总流量的比例Z,%。即有:

$$[0021] \quad Z = 1.68C_g^{1.26} \times \left(\frac{T_g}{273}\right)^{0.08} \times \ln^{0.035}(T_g - 273)。$$

[0022] 需要说明的是,在上述公式计算中,对焚烧后烟气的温度 $T_g$ 与273K差值的对数运算仅对其数值进行取对数处理,其单位不参与公式运算。

[0023] 通过抽气装置和风量控制阀控制经由二次风道再次进入回转窑的循环烟气流量占焚烧后烟气总流量的比例为Z。

[0024] 在本发明中,在步骤2)中,通过物料含铁量检测装置检测进入回转窑的高挥发分危废的含铁量w,%。根据所检测到的物料含铁量控制焚烧腔室内的燃烧温度 $T_0$ , $^{\circ}\text{C}$ 。具体为:

[0025] 当 $w > 50\%$ , $T_0$ 为550~650 $^{\circ}\text{C}$ 。

[0026] 当 $25\% < w \leq 50\%$ 时, $T_0$ 为650~750 $^{\circ}\text{C}$ 。

[0027] 当 $5\% \leq w \leq 25\%$ 时, $T_0$ 为750~850 $^{\circ}\text{C}$ 。

[0028] 当 $w < 5\%$ 时, $T_0$ 为850~950 $^{\circ}\text{C}$ 。

[0029] 根据本发明的第二种实施方案,提供一种回转窑-烧结机协同处置危险废物的方法。

[0030] 一种回转窑-烧结机协同处置危险废物的方法,该方法包括以下步骤:

[0031] a) 低挥发分危废经由窑头的物料入口输送至回转窑内。助燃空气经由均匀分布在窑头的多根二次风道进入回转窑内。同时,助燃空气还通过一次风道、环形风道、窑内风道进入回转窑的焚烧腔室内。低挥发分危废与助燃空气在炉膛内混合并进行燃烧。

[0032] b) 焚烧完成后的热渣通过窑尾的物料出口排出回转窑。焚烧后的烟气经由排料风道和窑尾风道排出回转窑。

[0033] c) 将步骤b)中排出回转窑的热渣输送至热渣冷却器,并向热渣冷却器内通入冷却介质。热渣与冷却介质在热渣冷却器内进行热交换,换热完成后得到冷渣和热介质。

[0034] d) 将步骤c)得到的冷渣与烧结原料布料至烧结台车上,点火烧结。

[0035] 其中:在步骤a)中,根据输送至回转窑内低挥发分危废的物料热值Q,kcal/kg,计算经由二次风道从窑头进入回转窑的风量占回转窑所需总风量的比例L,%。即有:

$$[0036] \quad L = \frac{100}{Q^{1.05-1232}}。$$

[0037] 需要说明的是,在上述公式计算中,对进入回转窑内的物料热值Q的指数运算仅对其数值进行处理,其单位不参与公式运算。

[0038] 通过抽气装置和风量控制阀控制经由二次风道从窑头进入回转窑的风量占回转窑所需总风量的比例为L。

[0039] 根据本发明的第三种实施方案,提供一种回转窑-烧结机协同处置危险废物的系统。

[0040] 用于第一种实施方案或第二种实施方案所述方法回转窑-烧结机协同处置危险废物的系统,该系统包括回转窑和设置在回转窑下游的烧结机。所述回转窑的窑头上设有物料入口。回转窑的窑尾上设有物料出口和排料风道。所述物料出口位于窑尾的底部。排料风道位于物料出口的上部,且排料风道与物料出口相连通。所述物料出口连接至烧结机。回转窑的窑身包括炉衬和炉膛。沿着物料走向,所述炉膛分为热解腔室和焚烧腔室。所述热解

腔室对应的炉衬内部设有窑内风道。窑内风道的一端伸入窑头,另一端与焚烧腔室相连通。窑头上还设有环形风道。所述窑内风道通过环形风道与设置在回转窑外部的一次风道相连通。从一次风道上分出多根二次风道。所述多根二次风道穿过窑头与热解腔室相连通。所述多根二次风道在回转窑的窑头均匀分布。

[0041] 在本发明中,从一次风道上分出 $m$ 根二次风道。所述 $m$ 根二次风道围绕物料入口呈环形分布。其中: $m$ 为2-16。

[0042] 在本发明中,所述回转窑内设有 $n$ 根窑内风道。 $n$ 根窑内风道沿着回转窑的圆周方向均匀地分布。每一根窑内风道均与设置在窑头的环形风道相连通。其中: $n$ 为2-30。

[0043] 作为优选, $m$ 为4-10。

[0044] 作为优选, $n$ 为3-20。

[0045] 作为优选,该系统还包括设置在回转窑与烧结机之间的热渣冷却器。所述热渣冷却器上设有热渣入口、冷渣出口、冷介质入口和热介质出口。所述回转窑的物料出口连接至热渣冷却器的热渣入口。热渣冷却器的冷渣出口连接至烧结机。

[0046] 在本发明中,所述一次风道上分出二次风道的位置设有三通阀。二次风道上设有抽气装置和风量控制阀。

[0047] 在本发明中,所述回转窑的窑尾上还设有补热烧嘴和窑尾风道。所述补热烧嘴和窑尾风道均设置在窑尾的中部,即补热烧嘴和窑尾风道设置在靠近窑尾横截面中间的位置,也即补热烧嘴和窑尾风道设置在窑尾处靠近中轴线的位置。

[0048] 在本发明中,在回转窑的焚烧腔室内设有温度检测装置。在窑头的物料入口处设有物料含铁量检测装置。在一次风道上、靠近环形风道的位置设有气体分析仪。

[0049] 在现有技术中,危险废物焚烧回转窑主要是用来焚烧市政危废,包括有机树脂、市政污泥等等,但是随着钢铁企业“固废不出厂”的要求提高,已经有部分钢铁厂开始在厂内建设危废焚烧工程,用于焚烧钢铁企业自身产生的危险废物。但是钢铁企业产生的危险废物含铁量较高,容易出现结渣、结块的现象,造成回转窑堵塞,同时,现有的市政危废焚烧回转窑也有温度分布不均匀,焚烧效率比较低的现象。而且,现有技术中危险废物中全部的有机物都在回转窑中充分焚烧放热,虽然回转窑危废焚烧处置线设置了余热锅炉对余热进行回收,但是回转窑本身散热大,因而对有机物中的热量利用率较低。此外,市政危险废物的焚烧残渣和飞灰由于含有较高的重金属以及一定的二噁英污染物,通常是采用水泥、石灰、水进行简单的稳定固化,然后进行安全填埋,这样的处置工艺是对残渣资源的浪费,尤其是钢铁厂危废中的铁资源含量高,回收价值大,铁资源却没有得到有效回用。且填埋也没有完全消除其环境影响,仍然有二次污染的风险。此外,针对回转窑处置危险废物的工艺,目前尚缺少对回转窑内的烟气量或进风量实现精准控制的技术方案。

[0050] 针对现有技术中危废处置过程存在的缺陷,本发明提出了一种回转窑-烧结机燃烧协同处置危险废物的方法。当待处理物料为高挥发分危废时,此时处置高挥发分危废的方法为基于逆流式回转窑-烧结机协同处置危险废物的方法。所述高挥发分危废为干基挥发分的质量百分数含量大于等于 $H\%$ 的危废。其中: $H$ 为6-12,优选为7-10。该方法主要包括热解、焚烧、烟气循环、冷却、烧结等步骤(或工序)。针对现有技术中回转窑基本采用850~950℃焚烧,在处置钢铁厂含铁较高的危废时,极易出现结渣、结块现象的问题,该方法根据危废的含铁量对回转窑焚烧腔室(即主燃区)内的温度进行调整和控制,使得危废在低于低

温共熔点下焚烧,有效缓解回转窑焚烧含铁固废时的结圈结渣现象。

[0051] 当待处理物料为高挥发分危废(例如含铁油泥)时,所述回转窑能够作为热解-焚烧两段式逆流回转窑,此时窑头、热解腔室、焚烧腔室、窑尾即对应为进料段、物料热解段、充分焚烧段、排料段。高挥发分危废从窑头的物料入口处以液压推杆或其他形式被送入回转窑,助燃空气则逆向(与物料走向相反)的从窑尾的排料风道和窑尾风道进入回转窑。进入回转窑内的高挥发分危废首先进入热解腔室进行干燥和热解。热解腔室是一个缺氧、高温的环境,其温度约为200~550℃(优选为300~500℃)。热解腔室的热量来源主要是焚烧工序产生的高温烟气进入窑内风道后对炉膛内的换热。高挥发分危废在热解腔室内被干燥和热解,物料中的挥发分以 $\text{CH}_4$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{CO}$ 等可燃气体的形式析出。物料热解段的气流方向为从窑头到窑尾的方向,即热解后的物料残渣和热解气进入充分焚烧段,物料残渣、热解气与进入焚烧腔室的助燃空气混合并进行剧烈燃烧。焚烧后的热渣通过窑尾的物料出口排出回转窑,焚烧后的烟气则经由窑内风道、环形风道和一次风道排出回转窑,并在该过程中对热解腔室提供热解所需的热量。

[0052] 值得注意的是,本发明在窑头位置设置有二次风道,其主要作用为:热解腔室热解出来的可燃热解气(从窑头往窑尾方向)与焚烧腔室过来的空气和烟气的混合气体(从窑尾往窑头方向)进行强烈混合、燃烧,但是可能仍有部分可燃气体未燃尽直接被带入窑内风道中,造成烟气中含有大量可燃物,这样烟气在经过一次风道与二次风道连接位置的三通阀时,一部分烟气被抽气装置(例如抽气泵)抽进二次风道,重新回到回转窑内进行再反应。循环烟气还有一个作用是:物料在热解腔室内热解产生的热解气量与焚烧腔室内物料燃烧产生的烟气和空气的混合气体相比,热解气的气量很小,这样在与烟气和空气的混合气体混合时,热解气流速过小,难以达到很好的混匀燃烧效果,而循环烟气与热解气混合可以增加热解气的气量,增加热解气向窑尾方向运动的动能,增强窑内的气体混匀效果,加快燃烧反应。同时,循环烟气也能为物料热解提供一部分热量。

[0053] 需要说明的是,本发明的申请人提出过一件发明名称为“一种控温控氧燃烧协同处置有机危险废物的系统及方法”的在先申请,该在先申请旨在通过控温控氧燃烧来缓解回转窑焚烧含铁有机固废时的结圈结渣现象。而在后续的研究与实际操作过程中,申请人发现该在先申请的方案还存在以下不足:

[0054] ①考虑到焚烧后的烟气中含有可燃物,因而在先申请中将部分焚烧后的烟气通过二次风道循环进入回转窑参与物料的热解与焚烧,但是在先申请忽略了循环烟气进入回转窑的进气均匀性的问题。一方面,循环烟气进气不均匀会导致窑内温度分布不均匀,进而影响热解腔室内物料的热解和焚烧效率,同时,也会影响循环烟气帮助热解气增加向窑尾方向运动的动能、提高气体流速的效果,进而影响热解气与烟气、空气的混匀效果,从而影响焚烧腔室内的焚烧效果。

[0055] 针对这一问题,本申请提出设置多根二次风道的技术方案,所述多根二次风道在回转窑的窑头均匀分布。一般来说,物料入口设置在窑头横截面的中间位置(即物料入口位于窑头处靠近中轴线的位置),优选,所述多根二次风道围绕物料入口呈现均匀的环形分布。如此设置,通过二次风道循环进入回转窑的循环烟气则能均匀地进入回转窑的热解腔室内,实现循环烟气的进气均匀性,使得窑内温度分布均匀,同时增强窑内的气体混匀效果,从而提高热解和焚烧效率,优化窑内的热解与焚烧效果。

[0056] ②本申请在在先申请的基础上增设了排料风道。所述排料风道位于物料出口的上部,且排料风道与物料出口相连通。经过焚烧工序后得到的热渣通过窑尾的物料出口排出回转窑,在热渣排出过程中,从排料风道进入回转窑的助燃空气首先对热渣进行一次冷却,即助燃空气相当于热渣的一次冷却风。该一次冷却风还能将热渣中的粉尘重新吹入回转窑,粉尘通过窑内风道、环形风道、一次风道排出、集尘,缓解了窑尾排渣处的粉尘溢出问题。与此同时,被热渣加热后的助燃空气进入回转窑参与物料的热解和焚烧,即被加热的助燃空气相当于窑内的焚烧进风,加快燃烧反应,提高了助燃效果。

[0057] 经由进入排料风道的助燃空气一次冷却后的热渣随后进入热渣冷却器进行二次冷却,冷却完成后得到冷渣和热介质。然后将冷渣布料至烧结机进行处置。即本发明将焚烧残渣中残留的有机物利用钢铁厂的烧结工序进行协同处置,有效回收含铁固废中的铁元素,残渣中的重金属被烧结工序处置,彻底消除固废的环境影响和二次污染风险。与现有技术相比,回转窑中的控温焚烧也使危废中的有机物得以部分保存,在烧结工序中被充分利用,也提高了热能利用率。

[0058] 此外,热渣冷却器所采用的冷却介质可以根据换热能力大小或实际需要采用空气或水,如果采用空气作为冷却介质,冷空气进入热渣冷却器变成热空气后,可以通过回转窑的窑尾风道送入回转窑作为助燃空气;如果采用水作为冷却介质,加热后的热水也可以作为厂内的锅炉给水。因此,不管采用空气还是水作为冷却介质,都可以实现对热渣的热能回收。

[0059] 在本发明中,考虑到不同的入炉有机物中所含挥发分的组分和含量不同,入炉后挥发分在炉内(即回转窑内)燃烧的情况也不一样,所以焚烧后的烟气中可燃物的含量会发生变化。理论上说,烟气中可燃物含量越高、温度越高,才有循环的价值,如果烟气中可燃组分不多且烟温太低,烟气循环量太大只会增加循环风机的电耗、降低炉内的反应物浓度。因此,循环烟气的比例应当根据烟气温度和烟气组分进行调节。根据设置在一次风道上的气体分析仪测得的烟气组分,可以获得可燃物( $H_2+CO+CH_4$ )的含量 $C_g$ (一般范围为10%~40%),同时获得烟气温度 $T_g$ (K)。根据能量守恒定理,结合生产实践数据拟合,得到经由二次风道进入回转窑的循环烟气流量占焚烧后烟气总流量的比例 $Z$ 由下式计算得到:

$$[0060] \quad Z = 1.68C_g^{1.26} \times \left(\frac{T_g}{273}\right)^{0.08} \times \ln^{0.035}(T_g - 273)。$$

[0061] 通过抽气装置和风量控制阀控制经由二次风道再次进入回转窑的循环烟气流量占焚烧后烟气总流量的比例为 $Z$ 。

[0062] 根据上述公式计算得到一组算例为:

[0063]

$C_g$	0	10%	20%	30%	40%
$T_{gas}$ (K)	298	425	523	689	865
$Z$	0	0.101	0.247	0.423	0.620

[0064] 由此,本发明根据焚烧后烟气的组分和温度,并结合生产数据拟合公式,对循环烟气的比例进行调整,从而实现对回转窑内循环烟气量的精准控制,确保循环烟气能够发挥最大效用。

[0065] 在本发明中,通过设置在物料入口处的含铁量检测装置检测进入回转窑内的高挥发分危废的含铁量 $w$ ,根据所检测到的物料含铁量控制焚烧腔室内的燃烧温度 $T_0$ 。其中,调

整控制焚烧腔室内燃烧温度的方法主要是控制进入回转窑炉膛的风量(即助燃空气量)、物料量,必要的时候调节补热烧嘴的补热量。具体为:

[0066] 当 $w > 50\%$ ,  $T_0$ 为 $550 \sim 650^\circ\text{C}$ 。

[0067] 当 $25\% < w \leq 50\%$ 时,  $T_0$ 为 $650 \sim 750^\circ\text{C}$ 。

[0068] 当 $5\% \leq w \leq 25\%$ 时,  $T_0$ 为 $750 \sim 850^\circ\text{C}$ 。

[0069] 当 $w < 5\%$ 时,  $T_0$ 为 $850 \sim 950^\circ\text{C}$ 。

[0070] 然后通过温度检测装置实时监测焚烧腔室内的燃烧温度。将检测到的焚烧腔室内的实时燃烧温度 $T$ 与焚烧腔室内所需要控制的燃烧温度 $T_0$ 进行比较。若 $T = T_0$ ,说明此时焚烧工序正常运行,即当前焚烧腔室内的燃烧温度无需调整,温度检测装置继续监测即可。

[0071] 若 $T < T_0$ ,说明此时焚烧腔室内的温度偏低,需要提高焚烧腔室内的温度。若 $T > T_0$ ,说明此时焚烧腔室内的温度偏高,需要降低焚烧腔室内的温度。此时再通过气体分析仪检测焚烧后的烟气中的实时含氧量及实时可燃组分含量,进而调整进入回转窑炉膛的风量、物料量或调整补热烧嘴的补热量,最终使得 $T = T_0$ 。

[0072] 对于按上述温度调整策略,根据物料含铁量调整燃烧温度后,由于回转窑转速不变,理论上物料在窑内的停留时间不会发生明显变化。与现有技术相比,燃烧温度下降后,可能会出现危废残渣焚烧不充分,存在有机物残留的情况。且理论上温度越低,残渣中有机物的残留越多,无法满足现有焚烧技术要求残渣灼减率小于 $5\%$ 的要求。但是现有焚烧技术“残渣灼减率小于 $5\%$ ”的要求是针对目前焚烧残渣普遍用于安全填埋的现状。在本技术方案中,焚烧残渣将继续进入烧结系统进行处置,其残留的有机物可以在烧结中利用,并且可以根据残渣中有机物残留量不同,对残渣进行分级利用。

[0073] 实践经验表明,焚烧温度 $850^\circ\text{C}$ 以上的焚烧残渣中有机物基本消失,残渣中仅有铁资源可以被烧结利用,可以称为无碳残渣。焚烧温度 $650^\circ\text{C}$ 以内的焚烧残渣中有机物残留较多,残留量可以达到 $5\%$ 以上,称为高碳残渣。焚烧温度 $650 \sim 850^\circ\text{C}$ 之间的焚烧残渣有机物含量相对降低,介于高碳残渣和无碳残渣之间,称为低碳残渣。

[0074] 也就是说,物料含铁量的不同对应不同的燃烧温度,而不同的燃烧温度则对应焚烧完成后不同的残渣类别。具体为:

[0075] 当 $T_0$ 为 $550 \sim 650^\circ\text{C}$ 时,焚烧完成并冷却后得到的冷渣为高碳残渣。

[0076] 当 $T_0$ 为 $650 \sim 850^\circ\text{C}$ 时,焚烧完成并冷却后得到的冷渣为低碳残渣。

[0077] 当 $T_0$ 为 $850 \sim 950^\circ\text{C}$ 时,焚烧完成并冷却后得到的冷渣为无碳残渣。

[0078] 沿着物料走向,位于烧结机进料段的烧结台车上方依次设有下、中、上层布料机。沿着烧结台车的运行方向,布料机的下游即为点火保温炉。烧结机的下部设有烧结主抽风机,烧结机台车在附图中未示出。现有烧结生产中,由于烧结台车行进过程中,主抽风机的抽风作用,烧结的下层料层存在一个蓄热效应,即热量分布为下多上少,可能会导致上层料热量不足生料较多,而下层料由于热量太多而过熔,甚至由于下层热量太多,有可能会烧坏台车篦条。

[0079] 基于上述烧结原理和实践经验,在对焚烧残渣的利用过程中,可以将无碳残渣放入下层布料机中,将无碳残渣铺在烧结料下层,起铺底料的作用,有效减少烧结下层热量,保护台车篦条。可以将低碳残渣与烧结原料混匀之后,放入中层布料机中,与烧结原料发生共矿化作用。可以将高碳残渣放入上层布料机中,可以增加上层热量,且提升点火效果。通

过这样的分层布料,可以缓解原有烧结料层中热量分布不均匀的现状,有效降低能源消耗,减少烧结返矿。本发明中烧结工序针对不同温度焚烧后的残渣进行梯级利用,分层布料,缓解了现有烧结料层的蓄热效应,促进了均热烧结,提高了烧结质量。

[0080] 需要注意的是,前述方案中逆流式焚烧回转窑是针对高挥发分、高含铁危废。但是本发明所述的系统是可以两用的,还是同样一套装备,在系统本身不做任何改变的情况下,该回转窑也可以变为针对低挥发分危废焚烧的顺流回转窑。因为低挥发分危废本身挥发分不高,如果经过热解的话,产生不了多少挥发分,先经过热解段的意义不大。改成顺流式回转窑即扩大了本发明系统对所焚烧危废的适用面。

[0081] 当待处理物料为低挥发分危废时,此时处置低挥发分危废的方法为基于顺流式回转窑-烧结机协同处置危险废物的方法。所述低挥发分危废为干基挥发分的质量百分数含量小于H%的危废。其中:H为6-12,优选为7-10。该方法由于不需要经过物料的热解阶段,因而此时窑头、热解腔室、焚烧腔室、窑尾即对应为进料段、一次焚烧段、二次焚烧段、排料段,其中二次焚烧段为主燃区。相应的,该方法主要包括一次焚烧、二次焚烧、冷却、烧结等步骤(或工序)。

[0082] 当焚烧低挥发分危废时,如图6所示,一次风道即由焚烧后烟气的排出通道变为助燃空气进入回转窑的通道,二次风道则由循环烟气通道变为助燃空气进入回转窑的又一通道,此时助燃空气的来源仍然可以是热渣冷却器中排出的热介质(即热空气或热风)。其中,二次风道将助燃空气从窑头输送至回转窑内,一次风道通过环形风道、窑内风道将助燃空气从窑身输送至回转窑内。排料风道和窑尾风道则由助燃空气进入回转窑的通道变为焚烧后烟气的排出通道。即采用图6所示的顺流式回转窑处置低挥发分危废时,只需要在前述逆流式回转窑的基础上将一次风道、排料风道和窑尾风道中烟气与空气的走向进行换向,此时逆流式回转窑变成顺流式回转窑(即物料走向与助燃空气走向相同)。低挥发分危废仍然由窑头的物料入口进入回转窑,一次风由窑头的二次风道进入回转窑的热解腔室,低挥发分危废与助燃空气在热解腔室内进行一次焚烧。一次风占窑内所需理论空气量的比例大小由二次风道上的抽气装置和风量控制阀进行调节,其余空气量则以二次风的形式通过一次风道、环形风道、窑内风道进入窑身的焚烧腔室,进一步焚烧。焚烧后的残渣经窑尾的物料出口排出进入热渣冷却器冷却,焚烧后的烟气从排料风道和窑尾风道排出。冷却完成后的冷渣输送至烧结工序进行利用。回转窑内其余部件功能与前述逆流式回转窑一致,焚烧腔室对应的二次焚烧段为主燃区,其温度调节可同样根据物料含铁量调节主燃区温度,原来的温度调节规则仍然适用。

[0083] 在通过顺流式回转窑处置低挥发分危废的方案中,同样适用本申请提出的多根二次风道的技术方案。所述多根二次风道在回转窑的窑头均匀分布,则能保证通过二次风道从窑头进入回转窑的助燃空气的进气均匀性,增强窑内气体与物料接触的均匀性,并使得窑内温度分布均匀,加快燃烧反应,从而提高一次焚烧段的燃烧效果,进而提高整体的危废处置效果。

[0084] 在本发明中,顺流式回转窑直接用原逆流式回转窑通过空气、烟气换向而来,顺流式回转窑将原来的外热式烟气换热管道(即窑内风道)变成了二次风送风管道,实现了窑身二次进风,改变了原来助燃空气都从窑头进入,导致窑头剧烈燃烧而温度偏高,窑尾空气偏少而温度偏低,即窑身二次进风减少了窑头进风,降低了窑头温度,提高了窑尾温度,使回

转窑的温度分布更均匀,也有利于氮氧化物的减少。

[0085] 在这种条件下,与传统的危险废物焚烧回转窑相比,是有明显优势的。传统的回转窑对入窑物料的热值要求为大于2000kcal/kg,回转窑为均热窑,保证废物焚烧彻底的温度为850~950℃。如果入窑物料热值太低,则维持不了这样的高温,需要额外补充燃料。本发明中采用分段进风,入窑后的一次焚烧段为低温焚烧,温度为400~600℃,二次焚烧段仍然可维持850~950℃,或根据物料含铁量进行主燃区温度调节。由于一次焚烧段的温度较现有技术有所降低,因此降低了对燃料热值的需求。两段燃烧的关键就在于分级进风对风量的分配。设定一次风(从窑头进入的风)和二次风(从窑身进入的风)占总风量的比例分别为L和L',显然

[0086]  $L+L'=1$ 。

[0087] 根据回转窑热平衡计算与生产实际数据的修正,L与入窑物料热值Q(kcal/kg)的关系由下式计算得到:

[0088]  $L = \frac{100}{Q^{1.05-1232}}$  (其中:1000≤Q≤2000)。

[0089] 根据上述公式得到的一组算例为:

[0090]

Q	1000	1200	1500	1800	2000
L	0.55	0.21	0.11	0.07	0.06

[0091] 结合上述公式进行分析可以得知,当入窑物料的热值小于1000kcal/kg时,调节一次风风量占回转窑所需总风量的比例也无法满足入窑热量要求;当入窑物料的热值大于2000kcal/kg时,入窑物料即可以满足全窑均热的需求,不需要分级进风。

[0092] 由此,本发明根据入窑物料的热值,并结合生产数据拟合公式,对从窑头进入回转窑的一次进风量进行调整,实现对回转窑内进风量的精准控制,进而达到最佳的一次风量与二次风量的分配比例;而且,采用本发明的二次进风装置和风量分配方法后,对危险废物入窑的热值要求从原来的2000kcal/kg降低到了1000kcal/kg,降低了对入窑物料的要求,扩大了原料适应性,节省了废物处置的能源消耗。

[0093] 基于上述回转窑-烧结机协同处置危险废物的方法,本发明还提出了与之配套的回转窑-烧结机协同处置危险废物的系统。该系统包括回转窑和设置在回转窑下游的烧结机。所述回转窑包括窑头、窑身和窑尾。窑头上设有物料入口,窑身包括炉衬和炉膛,窑尾上设有物料出口和排料风道。所述物料出口位于窑尾的底部。排料风道位于物料出口的上部,且排料风道与物料出口相连通。所述物料出口连接至烧结机。沿着物料走向,所述炉膛被划分为热解腔室和焚烧腔室。所述热解腔室对应的炉衬内部设有窑内风道,窑内风道的一端伸入窑头,另一端与焚烧腔室相连通。窑头上还设有环形风道。所述窑内风道通过环形风道与设置在回转窑外部的一次风道相连通。从一次风道上分出二次风道,所述二次风道穿过窑头与热解腔室相连通。其中:从一次风道上分出多根二次风道。所述多根二次风道在回转窑的窑头均匀分布。在本发明中,所述回转窑能够针对不同类型的危废进行顺流和逆流两用。

[0094] 当待处理物料为高挥发分危废(例如含铁油泥)时,所述回转窑能够作为热解-焚烧两段式逆流回转窑,此时窑头、热解腔室、焚烧腔室、窑尾即对应为进料段、物料热解段、充分焚烧段、排料段。高挥发分危废从窑头的物料入口处,以液压推杆或其他形式被送入回

转窑,助燃空气则逆向(与物料走向相反)的从排料风道和窑尾风道进入回转窑。进入回转窑内的高挥发分危废首先进入热解腔室进行干燥和热解。物料热解段的气流方向为从窑头到窑尾的方向,即热解后的物料残渣和热解气进入充分焚烧段,物料残渣、热解气与进入焚烧腔室的助燃空气混合并进行剧烈燃烧。焚烧后的热渣通过窑尾的物料出口排出回转窑,焚烧后的烟气则经由窑内风道、环形风道和一次风道排出回转窑,并在该过程中对热解腔室提供热解所需的热量。本发明在窑头位置设置二次风道,将部分焚烧后的烟气循环至回转窑内参与后续的热解和焚烧。本发明还提出在回转窑的窑头均匀设置多根二次风道的技术方案,优选,所述多根二次风道围绕物料入口呈现均匀的环形分布。如此设置,通过二次风道循环进入回转窑的循环烟气则能均匀地进入回转窑的热解腔室内,实现循环烟气的进气均匀性,使得窑内温度分布均匀,同时增强窑内的气体混匀效果,从而提高热解和焚烧效率,优化窑内的热解与焚烧效果。

[0095] 本发明还在在先申请的基础上增设了排料风道。所述排料风道位于物料出口的上部,且排料风道与物料出口相连通。经过焚烧工序后得到的热渣通过窑尾的物料出口排出回转窑,在热渣排出过程中,从排料风道进入回转窑的助燃空气首先对热渣进行一次冷却,即助燃空气相当于热渣的一次冷却风。该一次冷却风还能将热渣中的粉尘重新吹入回转窑,粉尘通过窑内风道、环形风道、一次风道排出、集尘,缓解了窑尾排渣处的粉尘溢出问题。与此同时,被热渣加热后的助燃空气进入回转窑参与物料的热解和焚烧,即被加热的助燃空气相当于窑内的焚烧进风,加快燃烧反应,提高了助燃效果。

[0096] 当待处理物料为低挥发分危废(例如转炉泥)时,所述回转窑能够在不做任何改变的情况下,直接变为顺流回转窑。由于低挥发分危废本身的挥发分不高,即使经过热解也产生不了多少挥发分,因而先经过物料热解段的意义不大,此时窑头、热解腔室、焚烧腔室、窑尾即对应为进料段、一次焚烧段、二次焚烧段、排料段,其中二次焚烧段为主燃区。低挥发分危废从窑头的物料入口处以液压推杆或其他形式被送入回转窑,一部分助燃空气同向(与物料走向相同)的从窑头的二次风道进入回转窑,剩余部分助燃空气则经由一次风道、环形风道、窑内风道进入焚烧腔室,即剩余部分助燃空气从窑身中间进入回转窑。进入回转窑内的低挥发分危废首先与助燃空气在热解腔室(即一次焚烧段)内混合并进行一次燃烧,然后再进入焚烧腔室(即二次焚烧段)内与从窑身进入的助燃空气混合后进一步燃烧。焚烧完成后的热渣通过窑尾的物料出口排出回转窑,焚烧后的烟气则经由排料风道和窑尾风道排出回转窑。

[0097] 由此,在本发明中,顺流式回转窑可以直接用原逆流式回转窑通过助燃空气、焚烧后的烟气换向而来,将原来的回转窑变成顺流、逆流两用的回转窑,用顺流回转窑处置低挥发分危废,用逆流回转窑处置高挥发分危废,增大了回转窑对不同材料的适应性。

[0098] 在通过顺流式回转窑处置低挥发分危废的方案中,同样适用本申请提出的多根二次风道的技术方案。所述多根二次风道在回转窑的窑头均匀分布,则能保证通过二次风道从窑头进入回转窑的助燃空气的进气均匀性,增强窑内气体与物料接触的均匀性,并使得窑内温度分布均匀,加快燃烧反应,从而提高一次焚烧段的燃烧效果,进而提高整体的危废处置效果。在实际生产过程中,二次风道的具体数量及尺寸根据烟气流量(或风量)和回转窑尺寸进行确定。一般来说,二次风道的数量可以为2-16根,优选为4-10根,例如4、8、12根。

[0099] 在本发明中,所述烧结机设置在回转窑的下游。窑尾的物料出口连接至烧结机的

进料段。作为优选,沿着物料走向,位于烧结机进料段的烧结台车上方依次设有下层布料机、中层布料机、上层布料机(具体的布料机个数可根据具体的烧结工艺进行设置)。所述回转窑的物料出口连接至下层布料机、中层布料机或上层布料机。本发明将回转窑焚烧危废后的焚烧残渣输送至烧结机进行处置,并根据危废的焚烧程度、焚烧残渣中有机物的残留情况,选择性地将焚烧残渣布料至烧结台车的下层、中层或上层。在回转窑内焚烧完成的焚烧残渣利用钢铁厂的烧结工序进行协同处置,可以有效回收含铁固废中的铁元素,残渣中的重金属被烧结工序处置,彻底消除固废的环境影响和二次污染风险。与现有技术相比,回转窑中采取控温控氧焚烧,也使危废中的有机物得以部分保存,在烧结工序中被充分利用,提高了热能利用率。

[0100] 在本发明中,由于回转窑焚烧完成后的残渣要进入烧结机内协同处置,如果残渣的湿度太大,则会对烧结生产造成巨大的影响,因而在掺入烧结之前必须进行干燥。基于此,本发明所述系统还包括设置在回转窑与烧结机之间的热渣冷却器(在逆流式回转窑的方案中,热渣冷却器即用于对热渣的二次冷却)。所述热渣冷却器为干式热渣冷却器,例如间壁式换热器。与现有的湿式冷却相比,干式热渣冷却器不会增加残渣的湿度。

[0101] 在本发明中,回转窑内设有多个窑内风道,多个窑内风道沿着回转窑的圆周方向均匀地分布,即多个窑内风道在回转窑内呈旋转对称均匀布置。每一根窑内风道均与环形风道相连通,即每一根窑内风道均通过环形风道与一次风道相连通。在实际生产过程中,窑内风道的具体数量及尺寸根据烟气流量(或风量)和回转窑尺寸进行确定。一般来说,窑内风道的数量可以为2-30根,优选为3-20根,例如12、16、20根。

[0102] 为便于逆流式回转窑内焚烧后的烟气经由一次风道排出,并能够经由二次风道循环进入回转窑,也便于顺流式回转窑的助燃空气分别经由一次风道和二次风道输送至回转窑内,因而本发明在一次风道上分出二次风道的位置设有三通阀,并在二次风道上设有抽气装置(例如抽气泵或循环风机)和风量控制阀用于控制循环进入回转窑内的烟气的量,在顺流式回转窑内抽气装置和风量控制阀则能够控制通过二次风道进入回转窑的助燃空气的量。在本申请中,在分成多个二次风道之前的位置设一个总的抽气装置和一个总的风量控制阀(如图2所示),或者在窑头均匀分布的每一根二次风道上均设置一个抽气装置和风量控制阀均可。

[0103] 与现有技术相比,本发明具有以下有益技术效果:

[0104] 1、本发明提出了顺流逆流式两用的回转窑,针对不同的原料采用不同的燃烧形式,用顺流焚烧低挥发分危废,用逆流焚烧高挥发分危废,扩大了回转窑对不同物料的适应性。

[0105] 2、本发明提出在窑头均匀设置多个二次风道的技术方案,该方案能够确保逆流式回转窑在处置高挥发分危废时循环烟气的进气均匀性,增强窑内的气体混匀效果,从而提高窑内的热解与焚烧效果;该方案还能够确保顺流式回转窑在处置低挥发分危废时窑头一次进风的均匀性,增强窑内气体与物料接触的均匀性,加快燃烧反应。

[0106] 3、本发明在物料出口的上部设置排料风道,在热渣排出过程中,从排料风道进入回转窑的助燃空气首先对热渣进行一次冷却,增强热渣的冷却效果;该部分助燃空气还能将热渣中的粉尘重新吹入回转窑,粉尘通过窑内风道、环形风道、一次风道排出、集尘,缓解了窑尾排渣处的粉尘溢出问题;与此同时,被热渣加热后的助燃空气进入回转窑参与物料

的热解和焚烧,加快燃烧反应,提高了助燃效果。

[0107] 4、本发明针对高挥发分的危废提出了热解-焚烧两段式逆流焚烧回转窑,通过对回转窑中的焚烧温度进行控制,使危废在低于低温共熔点下焚烧,有效缓解回转窑焚烧含铁固废时的结圈结渣现象。

[0108] 5、在逆流式回转窑方案中,本发明根据焚烧后烟气的组分和温度,并结合生产数据拟合公式,对循环烟气的比例进行调整,从而实现对回转窑内循环烟气量的精准控制,确保循环烟气能够发挥最大效用。

[0109] 6、在顺流式回转窑方案中,本发明根据入窑物料的热值,并结合生产数据拟合公式,对从窑头进入回转窑的一次进风量进行调整,实现对回转窑内进风量的精准控制,进而达到最佳的一次风量与二次风量的分配比例;而且,本发明降低了对入窑物料的要求,扩大了原料的适应性,减少了废物处置的能源消耗。

[0110] 7、本发明将回转窑的焚烧残渣利用钢铁厂的烧结工序进行协同处置,可以有效回收含铁固废中的铁元素,残渣中的重金属被烧结工序处置,彻底消除固废的环境影响和二次污染风险。与现有技术相比,回转窑中的控温控氧焚烧也使危废中的有机物得以部分保存,在烧结工序中被充分利用,也提高了热能利用率。本发明中烧结工序针对不同温度焚烧后的残渣进行梯级利用,分层布料,缓解了现有烧结料层的蓄热效应,促进了均热烧结,提高了烧结质量。

[0111] 8、在本发明中,顺流式回转窑直接用原逆流式回转窑通过空气、烟气换向而来,顺流式回转窑将原来外热式烟气换热管道变成了二次风送风管道,实现了窑身二次进风,改变了原来助燃空气都从窑头进入,导致窑头剧烈燃烧而温度偏高,窑尾空气偏少而温度偏低,即窑身二次进风减少了窑头进风,降低了窑头温度,提高了窑尾温度,使回转窑的分度分布更均匀,也有利于氮氧化物的减少。

## 附图说明

[0112] 图1为现有技术中危废焚烧回转窑的结构示意图;

[0113] 图2为本发明中处置高挥发分危废的逆流式回转窑的结构示意图;

[0114] 图3为图2中A-A向的截面图;

[0115] 图4为图2中B-B向的截面图;

[0116] 图5为本发明中逆流式回转窑-烧结机协同处置危废的系统的结构示意图;

[0117] 图6为本发明中处置低挥发分危废的顺流式回转窑的结构示意图;

[0118] 图7为本发明中顺流式回转窑-烧结机协同处置危废的系统的结构示意图。

[0119] 附图标记:

[0120] C1:回转窑;1:窑头;101:物料入口;2:窑身;201:炉衬;202:炉膛;20201:热解腔室;20202:焚烧腔室;3:窑尾;301:物料出口;302:排料风道;303:补热烧嘴;304:窑尾风道;4:窑内风道;5:环形风道;6:一次风道;7:二次风道;C2:烧结机;8:热渣冷却器;801:热渣入口;802:冷渣出口;803:冷介质入口;804:热介质出口;9:三通阀;10:抽气装置;11:风量控制阀;12:温度检测装置;13:物料含铁量检测装置;14:气体分析仪。

## 具体实施方式

[0121] 下面对本发明的技术方案进行举例说明,本发明请求保护的范围包括但不限于以下实施例。

[0122] 根据本发明的实施方案,提供一种回转窑-烧结机协同处置危险废物的系统。

[0123] 一种回转窑-烧结机协同处置危险废物的系统,该系统包括回转窑C1和设置在回转窑C1下游的烧结机C2。所述回转窑C1的窑头1上设有物料入口101。回转窑C1的窑尾3上设有物料出口301和排料风道302。所述物料出口301位于窑尾3的底部。排料风道302位于物料出口301的上部,且排料风道302与物料出口301相连通。所述物料出口301连接至烧结机C2。回转窑C1的窑身2包括炉衬201和炉膛202。沿着物料走向,所述炉膛202分为热解腔室20201和焚烧腔室20202。所述热解腔室20201对应的炉衬201内部设有窑内风道4。窑内风道4的一端伸入窑头1,另一端与焚烧腔室20202相连通。窑头1上还设有环形风道5。所述窑内风道4通过环形风道5与设置在回转窑C1外部的一次风道6相连通。从一次风道6上分出多根二次风道7。所述多根二次风道7穿过窑头1与热解腔室20201相连通。所述多根二次风道7在回转窑C1的窑头1均匀分布。

[0124] 在本发明中,从一次风道6上分出m根二次风道7。所述m根二次风道7围绕物料入口101呈环形分布。其中:m为2-16。

[0125] 在本发明中,所述回转窑C1内设有n根窑内风道4。n根窑内风道4沿着回转窑C1的圆周方向均匀地分布。每一根窑内风道4均与设置在窑头1的环形风道5相连通。其中:n为2-30。

[0126] 作为优选,m为4-10。

[0127] 作为优选,n为3-20。

[0128] 作为优选,该系统还包括设置在回转窑C1与烧结机C2之间的热渣冷却器8。所述热渣冷却器8上设有热渣入口801、冷渣出口802、冷介质入口803和热介质出口804。所述回转窑C1的物料出口301连接至热渣冷却器8的热渣入口801。热渣冷却器8的冷渣出口802连接至烧结机C2。

[0129] 在本发明中,所述一次风道6上分出二次风道7的位置设有三通阀9。二次风道7上设有抽气装置10和风量控制阀11。

[0130] 在本发明中,所述回转窑C1的窑尾3上还设有补热烧嘴303和窑尾风道304。所述补热烧嘴303和窑尾风道304均设置在窑尾3的中部。

[0131] 在本发明中,在回转窑C1的焚烧腔室20202内设有温度检测装置12。在窑头1的物料入口101处设有物料含铁量检测装置13。在一次风道6上、靠近环形风道5的位置设有气体分析仪14。

[0132] 实施例1

[0133] 如图2-3、5所示,一种回转窑-烧结机协同处置危险废物的系统,该系统包括回转窑C1。所述回转窑C1包括窑头1、窑身2和窑尾3。窑头1上设有物料入口101。窑身2包括炉衬201和炉膛202。窑尾3上设有物料出口301和排料风道302。所述物料出口301位于窑尾3的底部。排料风道302位于物料出口301的上部,且排料风道302与物料出口301相连通。沿着物料走向,所述炉膛202分为热解腔室20201和焚烧腔室20202。所述热解腔室20201对应的炉衬201内部设有窑内风道4。窑内风道4的一端伸入窑头1,另一端与焚烧腔室20202相连通。窑

头1上还设有环形风道5。所述窑内风道4通过环形风道5与设置在回转窑C1外部的一次风道6相连通。从一次风道6上分出二次风道7。所述二次风道7穿过窑头1与热解腔室20201相连通。该系统还包括设置在回转窑C1下游的烧结机C2。所述物料出口301连接至烧结机C2。

[0134] 其中：从一次风道6上分出多根二次风道7。所述多根二次风道7在回转窑C1的窑头1均匀分布。

[0135] 实施例2

[0136] 重复实施例1，只是从一次风道6上分出4根二次风道7。所述4根二次风道7围绕物料入口101呈环形分布。

[0137] 实施例3

[0138] 重复实施例2，只是所述回转窑C1内设有10根窑内风道4。10根窑内风道4沿着回转窑C1的圆周方向均匀地分布。每一根窑内风道4均与设置在窑头1的环形风道5相连通。

[0139] 实施例4

[0140] 重复实施例1，只是从一次风道6上分出8根二次风道7。所述8根二次风道7围绕物料入口101呈环形分布。

[0141] 实施例5

[0142] 如图4所示，重复实施例4，只是所述回转窑C1内设有16根窑内风道4。16根窑内风道4沿着回转窑C1的圆周方向均匀地分布。每一根窑内风道4均与设置在窑头1的环形风道5相连通。

[0143] 实施例6

[0144] 重复实施例5，只是该系统还包括设置在回转窑C1与烧结机C2之间的热渣冷却器8。所述热渣冷却器8上设有热渣入口801、冷渣出口802、冷介质入口803和热介质出口804。所述回转窑C1的物料出口301连接至热渣冷却器8的热渣入口801。热渣冷却器8的冷渣出口802连接至烧结机C2。

[0145] 实施例7

[0146] 重复实施例6，只是所述一次风道6上分出二次风道7的位置设有三通阀9。二次风道7上设有抽气装置10和风量控制阀11。

[0147] 实施例8

[0148] 重复实施例7，只是所述回转窑C1的窑尾3上还设有补热烧嘴303和窑尾风道304。所述补热烧嘴303和窑尾风道304均设置在窑尾3的中部。

[0149] 实施例9

[0150] 重复实施例8，只是在回转窑C1的焚烧腔室20202内设有温度检测装置12。在窑头1的物料入口101处设有物料含铁量检测装置13。在一次风道6上、靠近环形风道5的位置设有气体分析仪14。

[0151] 实施例10

[0152] 一种回转窑-烧结机协同处置危险废物的方法，使用实施例9中所述的系统，该方法包括以下步骤：

[0153] 1) 热解：高挥发分危废经由窑头1的物料入口101输送至回转窑C1内。助燃空气经由窑尾3的排料风道302和窑尾风道304进入回转窑C1内。高挥发分危废首先进入回转窑C1的热解腔室20201内进行干燥和热解。热解完成后的物料残渣和热解气进入焚烧腔室

20202。

[0154] 2) 焚烧:物料残渣、热解气与助燃空气在焚烧腔室20202内混合并进行燃烧。焚烧完成后的热渣通过窑尾3的物料出口301排出回转窑C1。焚烧后的烟气经由窑内风道4、环形风道5和一次风道6排出回转窑C1。

[0155] 3) 烟气循环:步骤2)中进入一次风道6的部分烟气经由均匀分布在窑头1的多根二次风道7再次进入回转窑C1,与回转窑C1内的物料一并完成热解和焚烧工序。

[0156] 4) 冷却:在步骤2)中的热渣排出回转窑C1的过程中,进入排料风道302的助燃空气首先对热渣进行一次冷却。同时,被加热的助燃空气进入回转窑C1参与物料的热解和焚烧。一次冷却后的热渣进入热渣冷却器8,并与通入热渣冷却器8内的冷却介质进行热交换,换热完成后得到冷渣和热介质。

[0157] 5) 烧结:将步骤4)得到的冷渣与烧结原料布料至烧结台车上,点火烧结。

[0158] 其中:在步骤3)中,设置在一次风道6上的气体分析仪14检测焚烧后烟气中的可燃物含量,记为 $C_g$ ,%。同时获得焚烧后烟气的温度 $T_g$ ,K。计算经由二次风道7进入回转窑C1的循环烟气流量占焚烧后烟气总流量的比例 $Z$ ,%。即有:

$$[0159] \quad Z = 1.68C_g^{1.26} \times \left(\frac{T_g}{273}\right)^{0.08} \times \ln^{0.035}(T_g - 273)。$$

[0160] 通过抽气装置10和风量控制阀11控制经由二次风道7再次进入回转窑C1的循环烟气流量占焚烧后烟气总流量的比例为 $Z$ 。

[0161] 实施例11

[0162] 重复实施例10,只是在步骤4)中,所述通入热渣冷却器8内的冷却介质为冷空气。冷空气在热渣冷却器8内换热成为热空气后从热介质出口804排出,将该热空气作为助燃空气输送至回转窑C1的窑尾风道304。

[0163] 实施例12

[0164] 重复实施例10,只是在步骤4)中,所述通入热渣冷却器8内的冷却介质为冷却水。冷却水在热渣冷却器8内换热成为热水后从热介质出口804排出,将该热水用作锅炉给水。

[0165] 实施例13

[0166] 重复实施例11,只是在步骤2)中,通过物料含铁量检测装置13检测进入回转窑C1的高挥发分危废的含铁量 $w$ ,%。根据所检测到的物料含铁量控制焚烧腔室20202内的燃烧温度 $T_0$ , $^{\circ}\text{C}$ 。具体为:

[0167] 当 $w > 50\%$ , $T_0$ 为 $550 \sim 650^{\circ}\text{C}$ 。

[0168] 当 $25\% < w \leq 50\%$ 时, $T_0$ 为 $650 \sim 750^{\circ}\text{C}$ 。

[0169] 当 $5\% \leq w \leq 25\%$ 时, $T_0$ 为 $750 \sim 850^{\circ}\text{C}$ 。

[0170] 当 $w < 5\%$ 时, $T_0$ 为 $850 \sim 950^{\circ}\text{C}$ 。

[0171] 实施例14

[0172] 一种回转窑-烧结机协同处置危险废物的方法,使用实施例9中所述的系统,该系统中所述回转窑C1如图6所示,回转窑-烧结机整体系统结构如图7所示,该方法包括以下步骤:

[0173] a) 低挥发分危废经由窑头1的物料入口101输送至回转窑C1内。助燃空气经由均匀分布在窑头1的多根二次风道7进入回转窑C1内。同时,助燃空气还通过一次风道6、环形风

道5、窑内风道4进入回转窑C1的焚烧腔室20202内。低挥发分危废与助燃空气在炉膛202内混合并进行燃烧。

[0174] b) 焚烧完成后的热渣通过窑尾3的物料出口301排出回转窑C1。焚烧后的烟气经由排料风道302和窑尾风道304排出回转窑C1。

[0175] c) 将步骤b) 中排出回转窑C1的热渣输送至热渣冷却器8,并向热渣冷却器8内通入冷却介质。热渣与冷却介质在热渣冷却器8内进行热交换,换热完成后得到冷渣和热介质。

[0176] d) 将步骤c) 得到的冷渣与烧结原料布料至烧结台车上,点火烧结。

[0177] 其中:只是在步骤a) 中,根据输送至回转窑C1内低挥发分危废的物料热值 $Q$ ,kcal/kg,计算经由二次风道7从窑头1进入回转窑C1的风量占回转窑C1所需总风量的比例 $L$ ,%。即有:

$$[0178] \quad L = \frac{100}{Q^{1.05-1.232}}。$$

[0179] 通过抽气装置10和风量控制阀11控制经由二次风道7从窑头1进入回转窑C1的风量占回转窑C1所需总风量的比例为 $L$ 。

[0180] 应用实施例1

[0181] 将实施例13所述的方法用于处置高挥发分危险废物,该方法包括以下步骤:

[0182] 1) 热解:高挥发分危废经由窑头1的物料入口101输送至回转窑C1内。助燃空气经由窑尾3的排料风道302和窑尾风道304进入回转窑C1内。高挥发分危废首先进入回转窑C1的热解腔室20201内进行干燥和热解。热解完成后的物料残渣和热解气进入焚烧腔室20202。

[0183] 2) 焚烧:物料残渣、热解气与助燃空气在焚烧腔室20202内混合并进行燃烧。焚烧完成后的热渣通过窑尾3的物料出口301排出回转窑C1。焚烧后的烟气经由窑内风道4、环形风道5和一次风道6排出回转窑C1。

[0184] 3) 烟气循环:步骤2) 中进入一次风道6的部分烟气经由均匀分布在窑头1的多根二次风道7再次进入回转窑C1,与回转窑C1内的物料一并完成热解和焚烧工序。

[0185] 4) 冷却:在步骤2) 中的热渣排出回转窑C1的过程中,进入排料风道302的助燃空气首先对热渣进行一次冷却。同时,被加热的助燃空气进入回转窑C1参与物料的热解和焚烧。一次冷却后的热渣进入热渣冷却器8,并与通入热渣冷却器8内的冷却介质进行热交换,换热完成后得到冷渣和热介质。

[0186] 5) 烧结:将步骤4) 得到的冷渣与烧结原料布料至烧结台车上,点火烧结。

[0187] 其中,在步骤2) 中,通过物料含铁量检测装置13检测进入回转窑C1的高挥发分危废的含铁量 $w=26\%$ 。根据所检测到的物料含铁量控制焚烧腔室20202内的燃烧温度 $T_0=747^\circ\text{C}$ 。

[0188] 在步骤3) 中,设置在一次风道6上的气体分析仪14检测焚烧后烟气中的可燃物含量,记为 $C_g=30\%$ 。同时获得焚烧后烟气的温度 $T_g=689\text{K}$ 。计算经由二次风道7进入回转窑C1的循环烟气流流量占焚烧后烟气总流量的比例 $Z$ 。即有:

$$[0189] \quad Z = 1.68C_g^{1.26} \times \left(\frac{T_g}{273}\right)^{0.08} \times \ln^{0.035}(T_g - 273) = 42.3\%。$$

[0190] 通过抽气装置10和风量控制阀11控制经由二次风道7再次进入回转窑C1的循环烟气流流量占焚烧后烟气总流量的比例为42.3%。

[0191] 应用实施例2

[0192] 重复应用实施例1,只是在步骤2)中,通过物料含铁量检测装置13检测进入回转窑C1的高挥发分危废的含铁量 $w=4\%$ 。根据所检测到的物料含铁量控制焚烧腔室20202内的燃烧温度 $T_0=875^\circ\text{C}$ 。

[0193] 在步骤3)中,设置在一次风道6上的气体分析仪14检测焚烧后烟气中的可燃物含量,记为 $C_g=10\%$ 。同时获得焚烧后烟气的温度 $T_g=425\text{K}$ 。计算经由二次风道7进入回转窑C1的循环烟气流量占焚烧后烟气总流量的比例 $Z$ 。即有:

$$[0194] \quad Z = 1.68C_g^{1.26} \times \left(\frac{T_g}{273}\right)^{0.08} \times \ln^{0.035}(T_g - 273) = 10.1\%。$$

[0195] 通过抽气装置10和风量控制阀11控制经由二次风道7再次进入回转窑C1的循环烟气流量占焚烧后烟气总流量的比例为10.1%。

[0196] 应用实施例3

[0197] 重复应用实施例1,只是在步骤2)中,通过物料含铁量检测装置13检测进入回转窑C1的高挥发分危废的含铁量 $w=56\%$ 。根据所检测到的物料含铁量控制焚烧腔室20202内的燃烧温度 $T_0=612^\circ\text{C}$ 。

[0198] 在步骤3)中,设置在一次风道6上的气体分析仪14检测焚烧后烟气中的可燃物含量,记为 $C_g=20\%$ 。同时获得焚烧后烟气的温度 $T_g=523\text{K}$ 。计算经由二次风道7进入回转窑C1的循环烟气流量占焚烧后烟气总流量的比例 $Z$ 。即有:

$$[0199] \quad Z = 1.68C_g^{1.26} \times \left(\frac{T_g}{273}\right)^{0.08} \times \ln^{0.035}(T_g - 273) = 24.7\%。$$

[0200] 通过抽气装置10和风量控制阀11控制经由二次风道7再次进入回转窑C1的循环烟气流量占焚烧后烟气总流量的比例为24.7%。

[0201] 应用实施例4

[0202] 将实施例14所述的方法用于处置低挥发分危险废物,该方法包括以下步骤:

[0203] a) 低挥发分危废经由窑头1的物料入口101输送至回转窑C1内。助燃空气经由均匀分布在窑头1的多根二次风道7进入回转窑C1内。同时,助燃空气还通过一次风道6、环形风道5、窑内风道4进入回转窑C1的焚烧腔室20202内。低挥发分危废与助燃空气在炉膛202内混合并进行燃烧。

[0204] b) 焚烧完成后的热渣通过窑尾3的物料出口301排出回转窑C1。焚烧后的烟气经由排料风道302和窑尾风道304排出回转窑C1。

[0205] c) 将步骤b)中排出回转窑C1的热渣输送至热渣冷却器8,并向热渣冷却器8内通入冷却介质。热渣与冷却介质在热渣冷却器8内进行热交换,换热完成后得到冷渣和热介质。

[0206] d) 将步骤c)得到的冷渣与烧结原料布料至烧结台车上,点火烧结。

[0207] 其中,在步骤a)中,获取输送至回转窑C1内低挥发分危废的物料热值 $Q=1200\text{kcal/kg}$ ,计算经由二次风道7从窑头1进入回转窑C1的风量占回转窑C1所需总风量的比例 $L$ 。即有:

$$[0208] \quad L = \frac{100}{Q^{1.05} - 1232} = 21\%。$$

[0209] 通过抽气装置10和风量控制阀11控制经由二次风道7从窑头1进入回转窑C1的风量占回转窑C1所需总风量的比例为21%,此时经由一次风道6、环形风道5、窑内风道4从窑

身2进入回转窑C1的风量占回转窑C1所需总风量的比例为79%。

[0210] 应用实施例5

[0211] 重复应用实施例4,只是在步骤a)中,获取输送至回转窑C1内低挥发分危废的物料热值 $Q=1600\text{kcal/kg}$ ,计算经由二次风道7从窑头1进入回转窑C1的风量占回转窑C1所需总风量的比例 $L$ 。即有:

$$[0212] \quad L = \frac{100}{Q^{1.05} - 1232} = 9\%。$$

[0213] 通过抽气装置10和风量控制阀11控制经由二次风道7从窑头1进入回转窑C1的风量占回转窑C1所需总风量的比例为9%,此时经由一次风道6、环形风道5、窑内风道4从窑身2进入回转窑C1的风量占回转窑C1所需总风量的比例为91%。

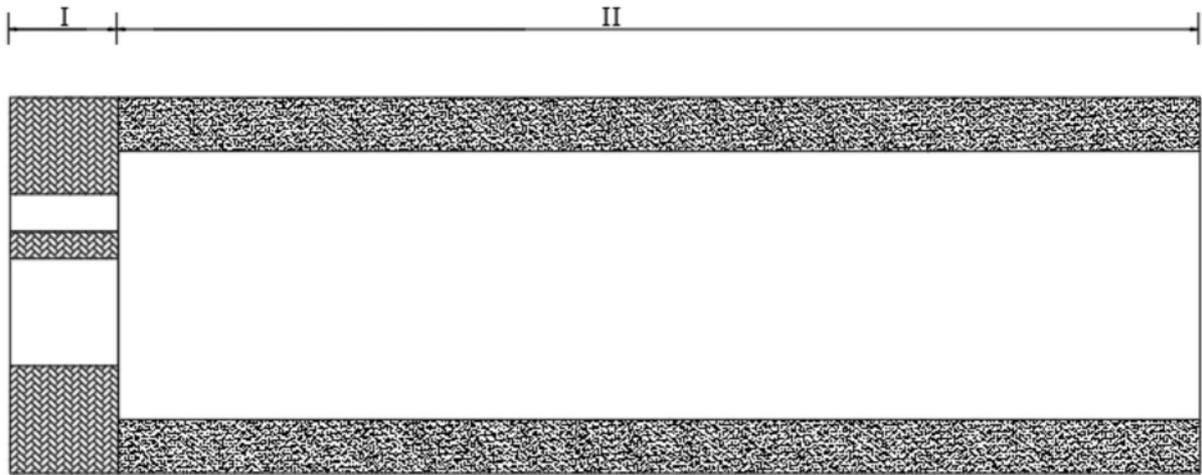


图1

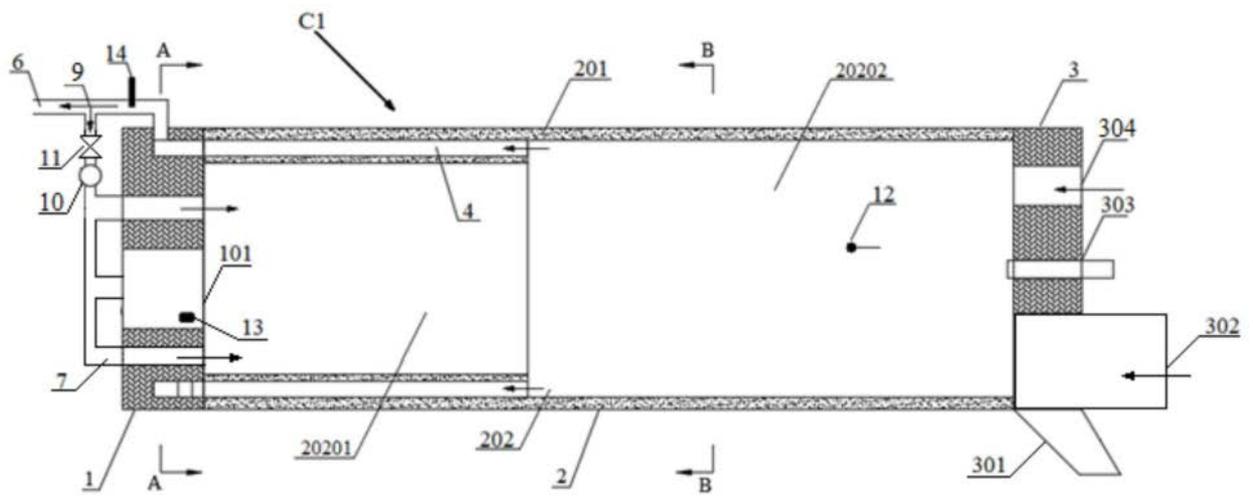


图2

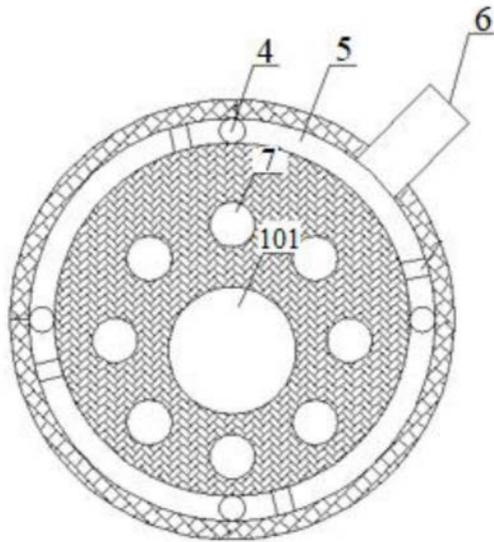


图3

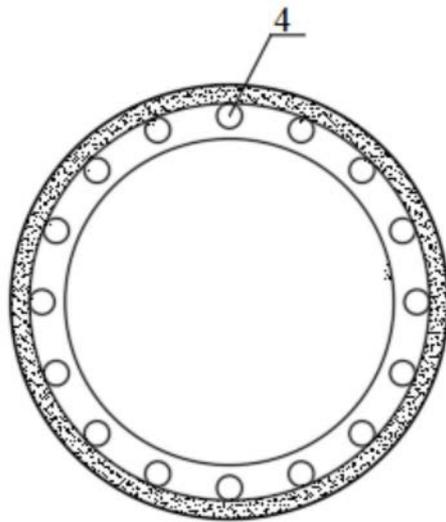


图4

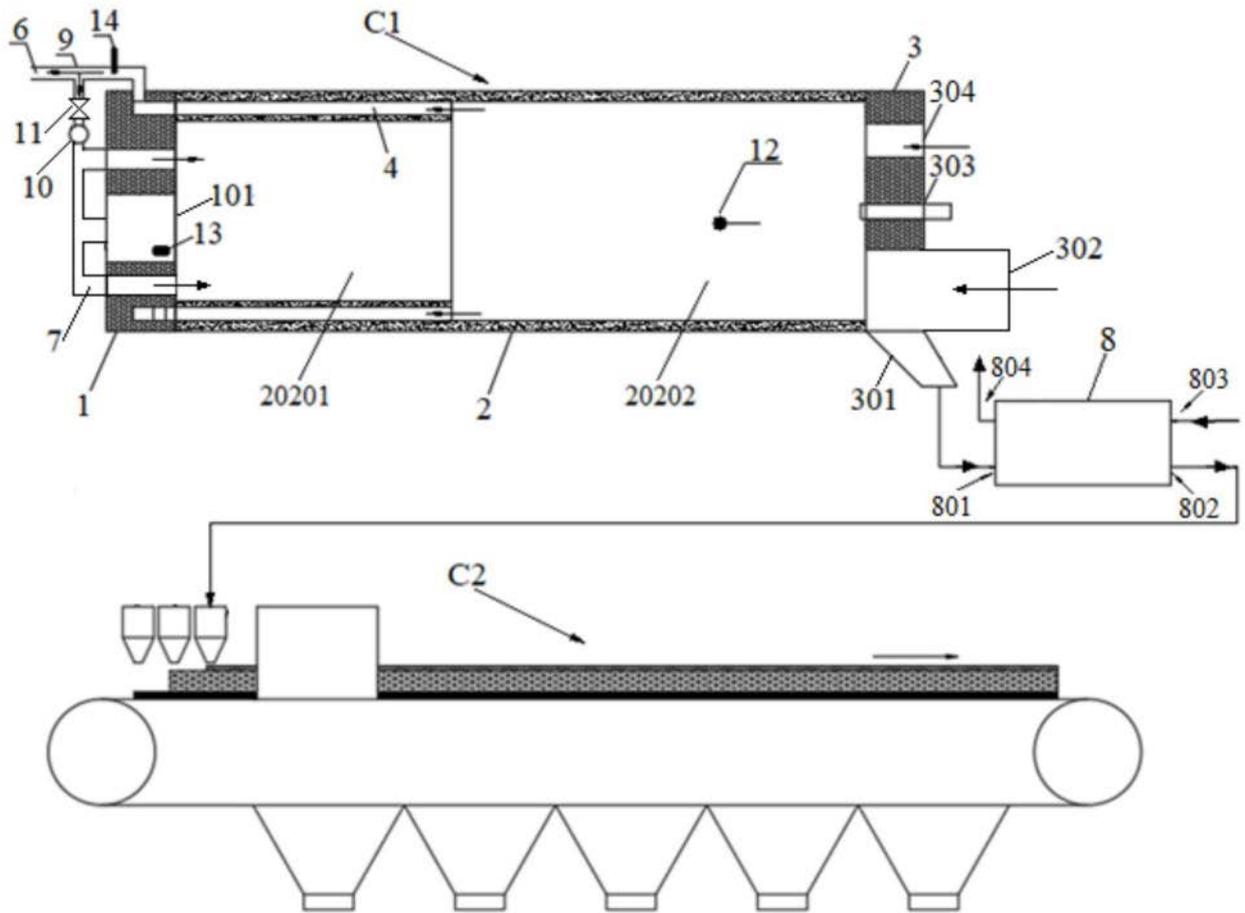


图5

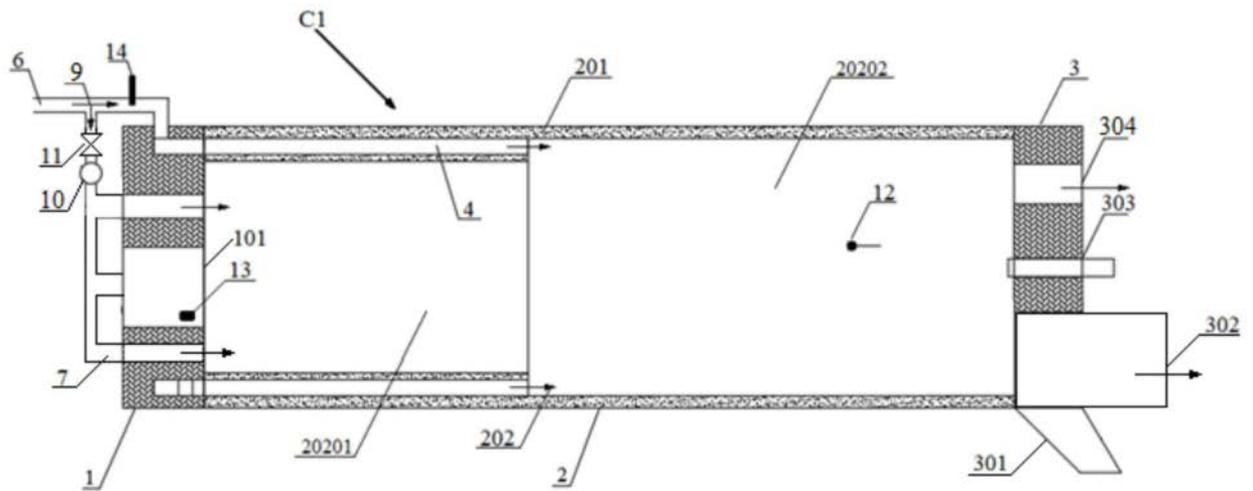


图6

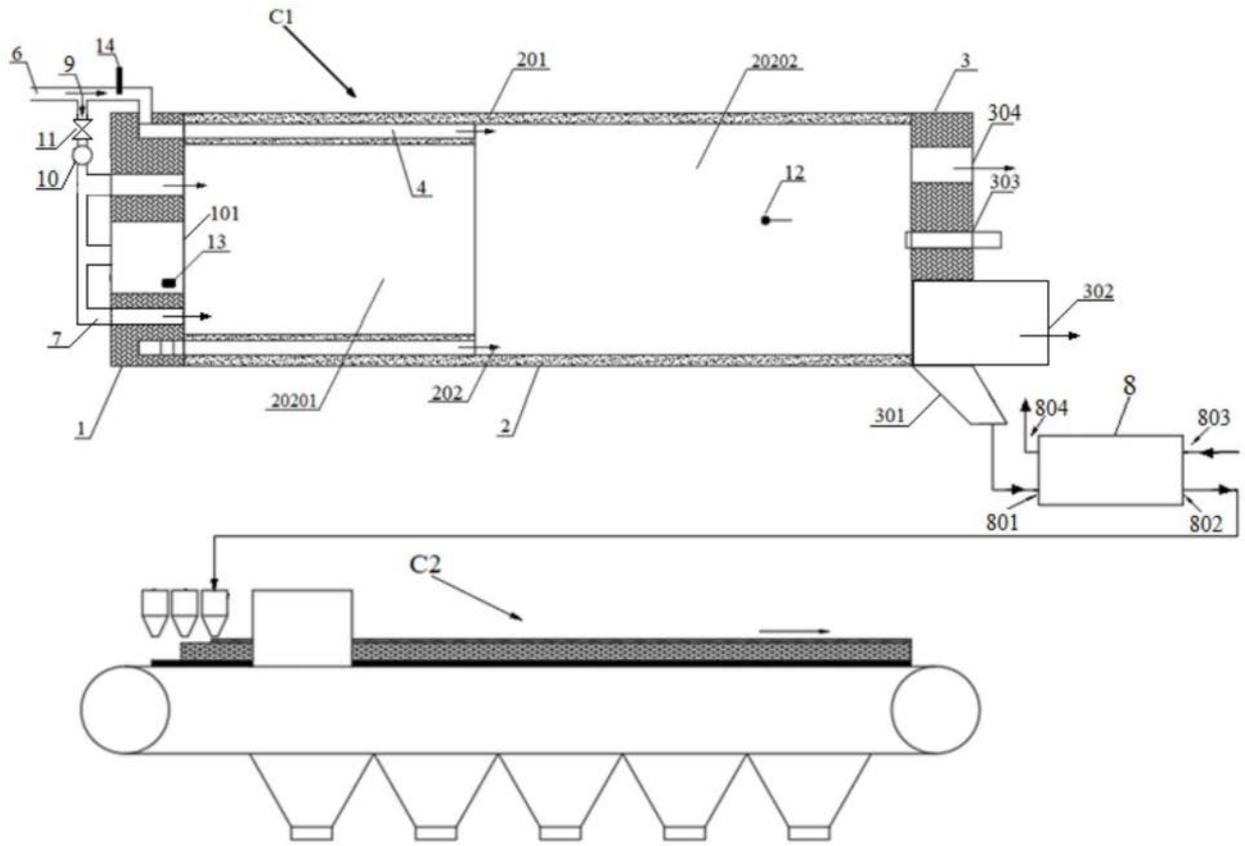


图7