



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110923387 A

(43)申请公布日 2020.03.27

(21)申请号 201911273625.4

(22)申请日 2019.12.12

(71)申请人 青岛理工大学

地址 266033 山东省青岛市市北区抚顺路  
11号

(72)发明人 左宗良 张敬奎 罗思义 于庆波

(74)专利代理机构 沈阳东大知识产权代理有限公司 21109

代理人 宁佳

(51) Int. Cl.

*G21B 13/00*(2006.01)

*G21B 3/08*(2006.01)

*G22B 1/248*(2006.01)

权利要求书2页 说明书16页 附图4页

(54)发明名称

一种含铁冶金渣粒梯级余热回收及直接还原系统及方法

(57)摘要

本发明的一种含铁冶金渣粒梯级余热回收及直接还原系统及方法,系统包括依次连接的余热回收系统,混料系统和直接还原系统,余热回收系统包括煅烧炉,分离器和热解炉,当采用A方式时,三者依次连接,B方式时,煅烧炉、热解炉和分离器依次连接。方法为:含铁冶金渣粒与碳酸钙先驱体按比例煅烧,获得降温后颗粒与CaO, CaO分离或与颗粒一起加入含碳固废进行热解,获得固体半焦与冷却后颗粒,同CaO进入料仓,按需造球后,还原获得直接还原铁。本发明能够高效回收含铁冶金渣颗粒余热,大幅提高余热回收效率,烟效率及铁回收率;颗粒余热转换为CaO及固体半焦,分别作为还原过程造渣剂及还原剂,实现物料原位消耗,具有极高社会价值与经济价值。

1. 一种含铁冶金渣粒梯级余热回收及直接还原系统,其特征在于,包括余热回收系统,混料系统和直接还原系统,所述余热回收系统,混料系统和直接还原系统依次连接,其中:

所述混料系统包括相连接的料仓和混料装置;

所述直接还原系统包括直接还原炉;

所述余热回收系统包括煅烧炉,分离器,热解炉,除尘器及除尘净化器组成,所述余热回收系统连接方式采用A方式或B方式,A方式为:所述煅烧炉、分离器和热解炉依次连接;B方式为:所述煅烧炉、热解炉和分离器依次连接;当采用A方式时,热解炉与混料系统的料仓连接,分离器还与料仓连接;当采用B方式时,分离器与混料系统的料仓连接;

所述煅烧炉连接有除尘器,所述热解炉连接有除尘净化器。

2. 根据权利要求1所述的含铁冶金渣粒梯级余热回收及直接还原系统,其特征在于,当所述余热回收系统连接方式采用A方式连接时,所述混料系统还包括制球系统,所述制球系统包括相连接的制球装置及干燥炉,同时所述制球装置与混料装置相连接,干燥炉与直接还原炉连接。

3. 采用权利要求1所述的梯级余热回收及直接还原系统进行含铁冶金渣粒梯级余热回收及直接还原的方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1,高温颗粒余热回收:

取含铁冶金渣粒及碳酸钙前驱体,通过给料装置进入煅烧炉,含铁冶金渣粒在自身重力的作用下在气化炉内自上而下运动,碳酸钙前驱体发生煅烧反应,生成CaO和富CO<sub>2</sub>的烟气,并获得初步降温后颗粒,其中,所述含铁冶金渣粒温度为1000~1200℃,含铁冶金渣粒中的Si元素与碳酸钙中的Ca元素二者Ca/Si质量比为1:(0.5~1.5),初步降温后颗粒温度为500~800℃;

步骤2,中低温颗粒余热回收,采用以下方式A或方式B进行:

方式A:初步降温后颗粒与CaO一起进入分离器,分离CaO后,初步降温后颗粒进入热解炉,CaO进入料仓,同时向热解炉中加入含碳固废材料,含碳固废材料与初步降温后颗粒按C/O为(2~3):1加入;含碳固废材料在炉内发生热解反应,获得固体半焦与冷却后颗粒,同时产生热解气,所述冷却后颗粒温度为温度≤200℃,冷却后的颗粒与固体半焦同CaO一起进入料仓;

方式B:初步降温后颗粒与CaO一起进入热解炉,同时向热解炉中加入含碳固废材料,含碳固废材料与降温后颗粒按照C/O为(3~4):1加入,降温后颗粒在热解炉内自上而下运动,含碳固废材料在炉内发生热解反应,获得固体半焦与冷却后颗粒,同时产生热解气,所述冷却后颗粒温度为温度降低至≤200℃,冷却后的颗粒与固体半焦同CaO一起进入料仓;

步骤3,混料:

当采用方式A时,进行以下步骤:

冷却后颗粒、固体半焦及CaO经分离出多余固体半焦后,经料仓进入混料装置,获得混匀物料,直接进行步骤4;

当采用方式B时,进行以下步骤:

(1) 冷却后颗粒、固体半焦及CaO进入料仓,统一作为原料,同时向料仓中加入粘结剂,按质量比冷却后颗粒:粘结剂=1:(0.005~0.03),料仓中的原料进入混料装置,混料装置中加入水,按质量比冷却后颗粒:水=1:(0.11~0.21),获得混匀物料;

(2) 混匀物料进入制球装置,在制球装置内产生10~20mm的含碳球团,含碳球团在干燥炉内于100~150℃的温度下进行干燥0.5~1.5h,干燥后的含碳球团进入直接还原炉;

步骤4,直接还原:

干燥后的含碳球团或混匀物料在直接还原炉内经直接还原,获得直接还原铁,其中,所述还原温度为1100~1200℃,还原时间为30~60min,直接还原铁中的铁含量为84~95%。

4. 根据权利要求3所述的含铁冶金渣粒梯级余热回收及直接还原的方法,其特征在于,所述步骤1中,含铁冶金渣粒粒度为0.1~5mm,含铁冶金渣粒包括铜渣或镍渣,其中,所述铜渣包括组分及质量百分含量为Cu 0.7%,Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 10.2%,FeO 37.5%,CaO 0.2%,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1.0%,SiO<sub>2</sub> 32.0%,余量其它;所述镍渣包括组分及质量百分含量为Ni 0.22%,SiO<sub>2</sub> 34.83%,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1.72%,FeO 51.43%,CaO 1.64%,S 1.05%,MgO 6.51%,余量其它。

5. 根据权利要求3所述的含铁冶金渣粒梯级余热回收及直接还原的方法,其特征在于,所述步骤1中,碳酸钙前驱体为含CaCO<sub>3</sub>物质,经破碎研磨过100目筛后加入,所述碳酸钙前驱体中CaCO<sub>3</sub>含量为92%。

6. 根据权利要求3所述的含铁冶金渣粒梯级余热回收及直接还原的方法,其特征在于,所述步骤2中,方法A中:

固体半焦产率在15-32%,固体半焦包括组分及质量百分含量为水分0.91-1.08%,挥发分7.95-9.6%,固定碳72.8-85.2%,灰分4.3-19.5%;

热解气经除尘净化后获得洁净煤气,洁净煤气产率在40-50%,所述洁净煤气成分为CO 26.8-33.1%,CO<sub>2</sub> 41.2-48.3%,H<sub>2</sub> 5.4-12.8%,CH<sub>4</sub> 7.6-13.1%,余量其它;热值为8046-12127kJ/m<sup>3</sup>。

7. 根据权利要求3所述的含铁冶金渣粒梯级余热回收及直接还原的方法,其特征在于,所述步骤2中,方法B中:

固体半焦产率为在20-36%,固体半焦包括组分及质量百分含量为水分0.9-0.99%,挥发分6.7-7.5%,固定碳75.1-88.1%,灰分3.6-17.2%;

获得的热解气经除尘净化后获得洁净煤气,洁净煤气产率在38-45%,所述洁净煤气成分为CO 35.6-38.6%,CO<sub>2</sub> 25.2-35.3%,H<sub>2</sub> 6.8-9.6%,CH<sub>4</sub> 14.3-16.2%,余量其它;热值为11415-12282kJ/m<sup>3</sup>。

8. 根据权利要求3所述的含铁冶金渣粒梯级余热回收及直接还原的方法,其特征在于,所述步骤2中,当采用方式A时,获得的冷却后颗粒、固体半焦及CaO比例关系为,按质量比为1:(0.7~1.05):(0.15~0.45),当采用方式B时,获得的冷却后颗粒、固体半焦及CaO比例关系为,按质量比为1:(1.05~1.4):(0.15~0.45)。

9. 根据权利要求3所述的含铁冶金渣粒梯级余热回收及直接还原的方法,其特征在于,所述步骤3中,方式A中,去除多余固体半焦后,冷却后颗粒、固体半焦及CaO以比例关系为1:(0.5~1):(0.15~0.45)进入料仓,方式B中,去除多余固体半焦后,冷却后颗粒、固体半焦及CaO以比例关系为1:(0.7~1.1):(0.15~0.45)进入料仓。

10. 根据权利要求3所述的含铁冶金渣粒梯级余热回收及直接还原的方法,其特征在于,所述方法中,固体颗粒余热回收效率达到80-85%,烟效率达到70-78%,Fe回收率达到92-95%。

## 一种含铁冶金渣粒梯级余热回收及直接还原系统及方法

### 技术领域：

[0001] 本发明属于余热回收及冶金节能技术领域，具体涉及一种含铁冶金渣粒梯级余热回收及直接还原系统及方法。

### 背景技术：

[0002] 冶金渣是金属冶炼过程中排出的副产物，如高炉渣、钢渣、铜渣、镍渣、铅渣、铝渣等。冶金渣具有排出温度高，成分复杂，资源化回收利用价值大的特点。仅以高炉渣为例，高炉渣出炉温度为1500℃左右，吨渣显热约合60kg标煤。我国高炉渣2018年产量可达2.5亿吨，约合1500万吨标准煤。因此，实现冶金工业固废的高效清洁余热回收是我国工业节能减排的关键。目前，对于冶金渣传统的处理方式水淬法，该种处理方式消耗了大量水资源，而且在水淬过程中会产生重金属及H<sub>2</sub>S、SO<sub>2</sub>等严重的污染。

[0003] 随着冶金渣干法粒化技术的研发和逐渐成熟，在不消耗水的前提下，干法粒化技术将冶金渣余热有效回收提供了可能，由此可改变传统耗水、污染严重的现状，实现工艺流程末端的节能减排改造。冶金渣干法粒技术，通过粒化装置（如转杯、转筒、转鼓、转盘等）将液态渣转变为固体颗粒，继而通过与传热介质直接或者间接接触进行热量交换，回收颗粒的高温显热。目前的高温固体颗粒的余热回收工艺主要是物理法。该方法以水、空气等为换热介质，具有能源转换次数多、余热回收效率低的特点，回收后可产生热水或蒸汽或热空气等，其品质难以从本质上提高。采用物理法回收余热产生热水或热蒸汽，热效率为76%，烟效率为14.4%，34.2%。化学法主要是通过典型的吸热化学反应吸收颗粒的高温显热，产生具有较高产品附加值的化工产品。该方法将颗粒的热能转变为化学能，提高了回收过程烟效率。

[0004] 此外，在上述冶金渣中，以铜渣、镍渣等为代表的含铁冶金渣，其铁、铜等有价金属含量丰富（铁含量可达30~45%，铜含量0.3~4.6%），在余热回收的同时，其资源化回收利用显得尤为重要。直接还原法是钢铁冶过程中非高炉炼铁主要方法之一，是指在低于矿石熔化温度以下发生还原反应生产海绵铁的过程。目前，已有学者提出通过直接还原的方式处理不同类型的铁矿石。通过直接还原所得的铁含碳量低，金属化率高，铁含量高，生产过程污染少。

[0005] 因此，如何高效回收含铁冶金渣粒显热，降低生产过程的能耗，开发一种高效回收高温含铁渣粒余热，回收含铁渣粒中有价金属组分，实现其能源资源化利用是目前急需解决的技术问题。

### 发明内容：

[0006] 本发明的目的是克服上述现有技术存在的不足，提供一种含铁冶金渣粒梯级余热回收及直接还原系统及方法，可以实现高温含铁冶金渣粒余热、有价金属高效回收的目标，解决了冶金渣粒余热回收效率低、经济性差的技术问题。

[0007] 为实现上述目的，本发明采用以下技术方案：

[0008] 一种含铁冶金渣粒梯级余热回收及直接还原系统,包括余热回收系统,混料系统和直接还原系统及其附属设备组成,所述余热回收系统,混料系统和直接还原系统依次连接,其中:

[0009] 所述混料系统包括相连接的料仓和混料装置;

[0010] 所述直接还原系统包括直接还原炉;

[0011] 所述余热回收系统包括煅烧炉,分离器,热解炉,除尘器及除尘净化器组成,所述余热回收系统连接方式采用A方式或B方式,A方式为:所述煅烧炉、分离器和热解炉依次连接;B方式为:所述煅烧炉、热解炉和分离器依次连接;当采用A方式时,热解炉与混料系统的料仓连接,分离器还与料仓连接;当采用B方式时,分离器与混料系统的料仓连接;

[0012] 所述煅烧炉连接有除尘器,所述热解炉连接有除尘净化器。

[0013] 当所述余热回收系统连接方式采用A方式连接时,所述混料系统还包括制球系统,所述制球系统包括相连接的制球装置及干燥炉,同时所述制球装置与混料装置相连接,干燥炉与直接还原炉连接。

[0014] 所述热解炉侧壁设有含碳固废材料喷嘴和气体出口,底部设有颗粒出口。

[0015] 所述直接还原系统还设有烟道、引风机等装置。

[0016] 所述煅烧炉为固定床或流化床。

[0017] 所述热解炉为固定床。

[0018] 所述制球装置为对辊压球机或圆盘造球机。

[0019] 所述直接还原炉为竖炉、转底炉或回转窑。

[0020] 一种采用上述装置,进行含铁冶金渣粒梯级余热回收及直接还原的方法,包括以下步骤:

[0021] 步骤1,高温颗粒余热回收:

[0022] 取含铁冶金渣粒及碳酸钙前驱体,通过给料装置进入煅烧炉,含铁冶金渣粒在自身重力的作用下在气化炉内自上而下运动,碳酸钙前驱体发生煅烧反应,生成CaO和富CO<sub>2</sub>的烟气,并获得初步降温后颗粒,其中,所述含铁冶金渣粒温度为1000~1200℃,含铁冶金渣粒中的Si元素与碳酸钙中的Ca元素二者Ca/Si质量比为1:(0.5~1.5),初步降温后颗粒温度为500~800℃;

[0023] 步骤2,中低温颗粒余热回收,采用以下方式A或方式B进行:

[0024] 方式A:初步降温后颗粒与CaO一起进入分离器,分离CaO后,初步降温后颗粒进入热解炉,CaO进入料仓,同时向热解炉中加入含碳固废材料,含碳固废材料与初步降温后颗粒按C/O为(2~3):1加入;含碳固废材料在炉内发生热解反应,获得固体半焦与冷却后颗粒,同时产生热解气,所述冷却后颗粒温度为温度≤200℃,冷却后的颗粒与固体半焦同CaO一起进入料仓;

[0025] 方式B:初步降温后颗粒与CaO一起进入热解炉,同时向热解炉中加入含碳固废材料,含碳固废材料与降温后颗粒按照C/O为(3~4):1加入,降温后颗粒在热解炉内自上而下运动,含碳固废材料在炉内发生热解反应,获得固体半焦与冷却后颗粒,同时产生热解气,所述冷却后颗粒温度为温度降低至≤200℃,冷却后的颗粒与固体半焦同CaO一起进入料仓;

[0026] 步骤3,混料:

[0027] 当采用方式A时,进行以下步骤:

[0028] 冷却后颗粒、固体半焦及CaO经分离出多余固体半焦后,经料仓进入混料装置,获得混匀物料,直接进行步骤(4);

[0029] 当采用方式B时,进行以下步骤:

[0030] (1)冷却后颗粒、固体半焦及CaO进入料仓,统一作为原料,同时向料仓中加入粘结剂,按质量比冷却后颗粒:粘结剂=1:(0.005~0.03),料仓中的原料进入混料装置,混料装置中加入水,按质量比冷却后颗粒:水=1:(0.11~0.21),获得混匀物料;

[0031] (2)混匀物料进入制球装置,在制球装置内产生10~20mm的含碳球团,含碳球团在干燥炉内于100~150℃的温度下进行干燥0.5~1.5h,干燥后的含碳球团进入直接还原炉;

[0032] 步骤4,直接还原:

[0033] 干燥后的含碳球团或混匀物料在直接还原炉内经直接还原,获得直接还原铁(DRI),其中,所述还原温度为1100~1200℃,还原时间为30~60min,直接还原铁(DRI)铁含量为84~95%。

[0034] 所述步骤1中,煅烧炉内温度为600~1000℃。

[0035] 所述步骤1中,碳酸钙前驱体发生煅烧反应如式(1)所示。

[0036] 所述步骤1中,在煅烧炉中内,CaCO<sub>3</sub>的煅烧分解反应快速吸收颗粒的热量,并产生富CO<sub>2</sub>的烟气。

[0037]  $\text{CaCO}_3 = \text{CaO} + \text{CO}_2(\text{g}) \quad 178.3 \text{ kJ/mol} \quad (1)$

[0038] 所述步骤1中,富CO<sub>2</sub>的烟气进入除尘器,经除尘后,获得CO<sub>2</sub>冷却降温储存。

[0039] 所述步骤1中,含铁冶金渣粒包括铜渣、镍渣,所述铜渣中铁、铜等有价金属含量丰富,包括铁含量达30~45%、铜含量为0.3~4.6%。

[0040] 所述步骤1中,铜渣包括组分及质量百分含量为Cu 0.7%,Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 10.2%,FeO 37.5%,CaO 0.2%,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1.0%,SiO<sub>2</sub> 32.0%,其它18.4%。

[0041] 所述步骤1中,含铁冶金渣粒粒度为0.1~5mm。

[0042] 所述步骤1中,碳酸钙前驱体为含CaCO<sub>3</sub>物质,包括石灰石,大理石,方解石或扇贝,经破碎研磨过100目筛后加入。

[0043] 所述步骤1中,碳酸钙粉末中CaCO<sub>3</sub>含量为92%。

[0044] 所述步骤2中,方法A中,固体半焦产率在15~32%,固体半焦包括组分及质量百分含量为水分0.91~1.08%,挥发分7.95~9.6%,固定碳72.8~85.2%,灰分4.3~19.5%。

[0045] 所述步骤2中,方法A中,热解气经除尘净化后获得洁净煤气,洁净煤气产率在40~50%,所述洁净煤气成分为CO 26.8~33.1%,CO<sub>2</sub> 41.2~48.3%,H<sub>2</sub> 5.4~12.8%,CH<sub>4</sub> 7.6~13.1%,余量其它;热值为8046~12127kJ/m<sup>3</sup>。

[0046] 所述步骤2中,热解炉中温度为100~600℃。

[0047] 所述步骤2中,含碳固废材料为煤粉、生物质、污泥、塑料或橡胶等工业、农业含碳废弃材料。

[0048] 所述步骤2中,方法B中,固体半焦产率为在20~36%,固体半焦包括组分及质量百分含量为水分0.9~0.99%,挥发分6.7~7.5%,固定碳75.1~88.1%,灰分3.6~17.2%。

[0049] 所述步骤2中,方法B中,获得的热解气经除尘净化后获得洁净煤气,洁净煤气产率在38~45%,所述洁净煤气成分为CO 35.6~38.6%,CO<sub>2</sub> 25.2~35.3%,H<sub>2</sub> 6.8~9.6%,CH<sub>4</sub>

14.3-16.2%，余量其它；热值为11415-12282kJ/m<sup>3</sup>。

[0050] 所述步骤2中，方法A、B中，洁净煤气理论燃烧温度可达1800℃以上。

[0051] 所述步骤2中，热解气进入除尘净化器，热解气中烟尘及焦油被分离，获得洁净煤气，经过管道进入直接还原炉烧嘴。

[0052] 所述步骤2中，热解反应快速吸收颗粒的热量，颗粒温度被进一步冷却。

[0053] 所述步骤2中，当方式A获得的冷却后颗粒、固体半焦及CaO比例关系为，三者质量比为1：(0.7~1.05)：(0.15~0.45)，当方式B获得的冷却后颗粒、固体半焦及CaO比例关系为，三者质量比为1：(1.05~1.4)：(0.15~0.45)。

[0054] 所述步骤3中，方式A中，去除多余固体半焦后，冷却后颗粒、固体半焦及CaO以比例关系为1：(0.5~1)：(0.15~0.45)进入料仓，方式B中，去除多余固体半焦后，冷却后颗粒、固体半焦及CaO以比例关系为1：(0.7~1.1)：(0.15~0.45)进入料仓。

[0055] 所述步骤3中，方式A和方式B中，通过物料比例限定，保证含碳球团/混匀物料内固体半焦中C与含铁冶金渣粒中的还原O的质量配比C/O为(0.5~1)：1。

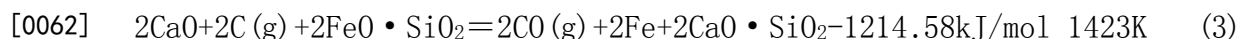
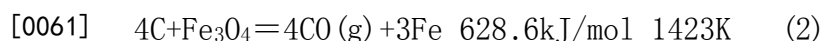
[0056] 所述步骤3方式B(1)中，粘结剂为无机粘结剂、有机粘结剂或复合粘结剂。

[0057] 所述步骤4中，含碳球团/混匀物料内含碳冶金渣粒中铁的氧化物被还原，通过热解产生的洁净煤气在烧嘴处进行充分燃烧为直接还原炉供给热量，保证1100~1200℃温度下还原30~60min，所述的洁净煤气能够提供32-50%的热量，其余的热量由煤粉提供。

[0058] 所述步骤3中，CaO作为造渣剂，固体半焦作为步骤(4)直接还原反应过程的还原剂。

[0059] 所述步骤4中，当采用方式A时，还原炉为转底炉，当采用方式B时，还原炉为回转窑。

[0060] 所述步骤4中，还原过程中，进行的化学反应如式(2)和式(3)所示。



[0063] 所述方法中，将固体颗粒余热回收效率达到80-85%，烟效率达到70-78%。Fe回收率达到92-95%。

[0064] 本发明的有益效果：

[0065] (1) 利用所述工艺系统及方法，可通过化学法分步高效回收含铁冶金渣颗粒余热，将固体颗粒余热回收效率提高至80%以上，烟效率提高至70%以上，铁回收率达到92-95%；

[0066] (2) 该方法可将固体颗粒余热转换为富CO<sub>2</sub>烟气、CaO及固体半焦，其中CaO及焦炭可分别作为还原过程的造渣剂及还原剂，实现了系统物料原位消耗，提高了系统的经济性；

[0067] (3) 该系统可减少传统水淬法带来的水消耗及环境污染，因此该系统具有保护环境、节约资源的双重效益。

#### 附图说明：

[0068] 图1为本发明实施例1的一种含铁冶金渣粒梯级余热回收及直接还原采用方式A的方法工艺流程图；

[0069] 图2为本发明实施例1的一种含铁冶金渣粒梯级余热回收及直接还原采用方式A的

系统结构示意图；

[0070] 图3为本发明实施例1的一种含铁冶金渣粒梯级余热回收及直接还原采用方式B的方法工艺流程图；

[0071] 图4为本发明实施例1中一种含铁冶金渣粒梯级余热回收及直接还原采用方式B的系统结构示意图,其中:

[0072] 1-煅烧炉,2-分离器,3-热解炉,4-料仓,5-混料装置,6-制球装置,7-干燥炉,8-直接还原炉,9-除尘器,10-除尘净化器,11-烧嘴,12-引风机,13-烟囱。

#### 具体实施方式:

[0073] 下面结合实施例对本发明作进一步的详细说明。

[0074] 一种含铁冶金渣粒梯级余热回收及直接还原系统,包括余热回收系统,混料系统和直接还原系统及其附属设备组成,所述余热回收系统,混料系统和直接还原系统依次连接,其中:

[0075] 所述混料系统包括相连接的料仓和混料装置;

[0076] 所述直接还原系统包括直接还原炉;

[0077] 所述余热回收系统包括煅烧炉,分离器,热解炉,除尘器及除尘净化器组成,所述余热回收系统连接方式采用A方式或B方式,A方式为:所述煅烧炉、分离器和热解炉依次连接;B方式为:所述煅烧炉、热解炉和分离器依次连接;当采用A方式时,热解炉与混料系统的料仓连接,分离器还与料仓连接;当采用B方式时,分离器与混料系统的料仓连接;

[0078] 所述煅烧炉连接有除尘器,所述热解炉连接有除尘净化器。

[0079] 当所述余热回收系统连接方式采用A方式连接时,所述混料系统还包括制球系统,所述制球系统包括相连接的制球装置及干燥炉,同时所述制球装置与混料装置相连接,干燥炉与直接还原炉连接。

[0080] 所述热解炉侧壁设有含碳固废材料喷嘴和气体出口,底部设有颗粒出口。

[0081] 所述直接还原系统还设有烟道、引风机等装置。

[0082] 所述煅烧炉为固定床或流化床。

[0083] 所述热解炉为固定床。

[0084] 所述制球装置为对辊压球机或圆盘造球机。

[0085] 所述直接还原炉为竖炉、转底炉或回转窑。

[0086] 一种采用上述装置,进行含铁冶金渣粒梯级余热回收及直接还原的方法,包括以下步骤:

[0087] 步骤1,高温颗粒余热回收:

[0088] 取含铁冶金渣粒及碳酸钙前驱体,通过给料装置进入煅烧炉,含铁冶金渣粒在自身重力的作用下在气化炉内自上而下运动,碳酸钙前驱体发生煅烧反应,生成CaO和富CO<sub>2</sub>的烟气,并获得初步降温后颗粒,其中,所述含铁冶金渣粒温度为1000~1200℃,含铁冶金渣粒中的Si元素与碳酸钙中的Ca元素二者Ca/Si质量比为1:(0.5~1.5),初步降温后颗粒温度为500~800℃;

[0089] 步骤2,中低温颗粒余热回收,采用以下方式A或方式B进行:

[0090] 方式A:初步降温后颗粒与CaO一起进入分离器,分离CaO后,初步降温后颗粒进入



热解炉, CaO进入料仓, 同时向热解炉中加入含碳固废材料, 含碳固废材料与初步降温后颗粒按C/O为(2~3):1加入; 含碳固废材料在炉内发生热解反应, 获得固体半焦与冷却后颗粒, 同时产生热解气, 所述冷却后颗粒温度为温度 $\leq 200^{\circ}\text{C}$ , 冷却后的颗粒与固体半焦同CaO一起进入料仓;

[0091] 方式B: 初步降温后颗粒与CaO一起进入热解炉, 同时向热解炉中加入含碳固废材料, 含碳固废材料与降温后颗粒按照C/O为(3~4):1加入, 降温后颗粒在热解炉内自上而下运动, 含碳固废材料在炉内发生热解反应, 获得固体半焦与冷却后颗粒, 同时产生热解气, 所述冷却后颗粒温度为温度降低至 $\leq 200^{\circ}\text{C}$ , 冷却后的颗粒与固体半焦同CaO一起进入料仓;

[0092] 步骤3, 混料:

[0093] 当采用方式A时, 进行以下步骤:

[0094] 冷却后颗粒、固体半焦及CaO经分离出多余固体半焦后, 经料仓进入混料装置, 获得混匀物料, 直接进行步骤(4);

[0095] 当采用方式B时, 进行以下步骤:

[0096] (1) 冷却后颗粒、固体半焦及CaO进入料仓, 统一作为原料, 同时向料仓中加入粘结剂, 按质量比冷却后颗粒: 粘结剂=1:(0.005~0.03), 料仓中的原料进入混料装置, 混料装置中加入水, 按质量比冷却后颗粒: 水=1:(0.11~0.21), 获得混匀物料;

[0097] (2) 混匀物料进入制球装置, 在制球装置内产生10~20mm的含碳球团, 含碳球团在干燥炉内于100~150 $^{\circ}\text{C}$ 的温度下进行干燥0.5~1.5h, 干燥后的含碳球团进入直接还原炉;

[0098] 步骤4, 直接还原:

[0099] 干燥后的含碳球团或混匀物料在直接还原炉内经直接还原, 获得直接还原铁(DRI), 其中, 所述还原温度为1100~1200 $^{\circ}\text{C}$ , 还原时间为30~60min, 直接还原铁(DRI)铁含量为84~95%。

[0100] 所述步骤1中, 煅烧炉内温度为600-1000 $^{\circ}\text{C}$ 。

[0101] 所述步骤1中, 碳酸钙前驱体发生煅烧反应如式(1)所示。

[0102] 所述步骤1中, 在煅烧炉中内, CaCO<sub>3</sub>的煅烧分解反应快速吸收颗粒的热量, 并产生富CO<sub>2</sub>的烟气。

[0103]  $\text{CaCO}_3 = \text{CaO} + \text{CO}_2(\text{g})$  178.3kJ/mol (1)

[0104] 所述步骤1中, 富CO<sub>2</sub>的烟气进入除尘器, 经除尘后, 获得CO<sub>2</sub>冷却降温储存。

[0105] 所述步骤1中, 含铁冶金渣粒包括铜渣、镍渣, 所述铜渣中铁、铜等有价值金属含量丰富, 包括铁含量达30~45%、铜含量为0.3~4.6%。

[0106] 所述步骤1中, 铜渣包括组分及质量百分含量为Cu 0.7%, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 10.2%, FeO 37.5%, CaO 0.2%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1.0%, SiO<sub>2</sub> 32.0%, 余量其它。

[0107] 所述步骤1中, 镍渣包括组分及质量百分含量为Ni 0.22%, SiO<sub>2</sub> 34.83%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1.72%, FeO 51.43%, CaO 1.64%, S 1.05%, MgO 6.51%, 余量其它。

[0108] 所述步骤1中, 含铁冶金渣粒粒度为0.1~5mm。

[0109] 所述步骤1中, 碳酸钙前驱体为含CaCO<sub>3</sub>物质, 包括石灰石, 大理石, 方解石或扇贝, 经破碎研磨过100目筛后加入。

[0110] 所述步骤1中, 碳酸钙粉末中CaCO<sub>3</sub>含量为92%。

[0111] 所述步骤2中,方法A中,

[0112] 方法A中:

[0113] 固体半焦产率在15-32%,固体半焦包括组分及质量百分含量为水分0.91-1.08%,挥发分7.95-9.6%,固定碳72.8-85.2%,灰分4.3-19.5%;

[0114] 所述步骤2中,方法A中,热解气经除尘净化后获得洁净煤气,洁净煤气产率在40-50%,所述洁净煤气成分为CO 26.8-33.1%,CO<sub>2</sub> 41.2-48.3%,H<sub>2</sub> 5.4-12.8%,CH<sub>4</sub> 7.6-13.1%,余量其它;热值为8046-12127kJ/m<sup>3</sup>。

[0115] 所述步骤2中,热解炉中温度为100-600℃。

[0116] 所述步骤2中,含碳固废材料为煤粉、生物质、污泥、塑料或橡胶等工业、农业含碳废弃材料。

[0117] 所述步骤2中,方法B中,固体半焦产率为在20-36%,固体半焦包括组分及质量百分含量为水分0.9-0.99%,挥发分6.7-7.5%,固定碳75.1-88.1%,灰分3.6-17.2%。

[0118] 所述步骤2中,方法B中,获得的热解气经除尘净化后获得洁净煤气,洁净煤气产率在38-45%,所述洁净煤气成分为CO 35.6-38.6%,CO<sub>2</sub> 25.2-35.3%,H<sub>2</sub> 6.8-9.6%,CH<sub>4</sub> 14.3-16.2%,余量其它;热值为11415-12282kJ/m<sup>3</sup>。

[0119] 所述步骤2中,方法A、B中,固体半焦与洁净煤气成分介绍为体积分数占比。

[0120] 所述步骤2中,方法A、B中,洁净煤气理论燃烧温度可达1800℃以上。

[0121] 所述步骤2中,热解气进入除尘净化器,热解气中烟尘及焦油被分离,获得洁净煤气,经过管道进入直接还原炉烧嘴。

[0122] 所述步骤2中,热解反应快速吸收颗粒的热量,颗粒温度被进一步冷却。

[0123] 所述步骤2中,当方式A获得的冷却后颗粒、固体半焦及CaO比例关系为,三者质量比为1:(0.7~1.05):(0.15~0.45),当方式B获得的冷却后颗粒、固体半焦及CaO比例关系为,三者质量比为1:(1.05~1.4):(0.15~0.45)。

[0124] 所述步骤3中,方式A中,去除多余固体半焦后,冷却后颗粒、固体半焦及CaO以比例关系为1:(0.5~1):(0.15~0.45)进入料仓,方式B中,去除多余固体半焦后,冷却后颗粒、固体半焦及CaO以比例关系为1:(0.7~1.1):(0.15~0.45)进入料仓。

[0125] 所述步骤3中,方式A和方式B中,通过物料比例限定,保证混匀物料/含碳球团内固体半焦中C与含铁冶金渣粒中的还原O的质量配比C/O为(0.5~1):1。

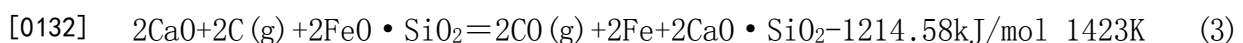
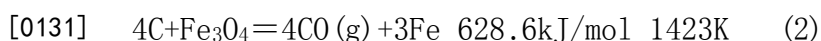
[0126] 所述步骤3方式B(1)中,粘结剂为无机粘结剂、有机粘结剂或复合粘结剂。

[0127] 所述步骤4中,含碳球团/混匀物料内含碳冶金渣粒中铁的氧化物被还原,通过热解产生的洁净煤气在烧嘴处进行充分燃烧为直接还原炉供给热量,保证1100~1200℃温度下还原30~60min,所述的洁净煤气能够提供32-50%的热量,其余的热量由煤粉提供。

[0128] 所述步骤3中,CaO作为造渣剂,固体半焦作为步骤(4)直接还原反应过程的还原剂。

[0129] 所述步骤4中,当采用方式A时,还原炉为转底炉,当采用方式B时,还原炉为回转窑。

[0130] 所述步骤4中,还原过程中,进行的化学反应如式(2)和式(3)所示。



[0133] 所述的含铁冶金渣粒梯级余热回收及直接还原的方法能耗关系计算：

[0134] 以1kg铜渣为例，在1150℃直接还原炉中能耗关系如下：

[0135] 1) 物料吸热

[0136]  $Q_1 = (C_1m_1 + C_2m_2 + C_3m_3) (T_1 - T_0) = (1.1 \times 1 + 1.13 \times 0.2 + 2.26 \times 0.3) \times (1150 - 25) \text{ kJ} = 2254.5 \text{ kJ}$

[0137] 式中 $C_1$ 为铜渣比热，kJ/kg； $m_1$ 为铜渣质量，kg； $C_2$ 为固体半焦比热，kJ/kg； $m_2$ 为固体半焦质量，kg； $C_3$ 为CaO及粘结剂比热，kJ/kg； $m_3$ 为CaO及粘结剂质量，kg。

[0138] 2) 化学反应吸热

[0139]  $Q_2 = -628.6 \text{ kJ} \times 1000 \times 10.2\% / (56 \times 3 + 16 \times 4) + (1214.58 \text{ kJ}) \times 1000 \times 37.5\% / (56 + 16) = 6055.8 \text{ kJ}$

[0140] 式中，10.2%为 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 含量，37.5%为FeO含量。

[0141] 3) 散热损失、排烟损失、不完全燃烧热损失按照总能耗的20%计算。

[0142] 直接还原炉热支出合计为10387kJ。

[0143] 洁净煤气热值按照12282kJ/m<sup>3</sup>，需要消耗洁净煤气0.85m<sup>3</sup>。在洁净煤气产率为40%，密度为1.2kg/m<sup>3</sup>的条件下，本系统自身可产生洁净煤气0.33m<sup>3</sup>。因此本系统中直接还原炉中40%的热量可以通过本系统自供。

[0144] 所述方法中，将固体颗粒余热回收效率达到80-85%，烟效率达到70-78%。Fe回收率达到92-95%。

[0145] 一种含铁冶金渣粒梯级余热回收及直接还原采用方式B的方法工艺流程图如图3所示，一种含铁冶金渣粒梯级余热回收及直接还原采用方式B的系统结构示意图如图4所示。

[0146] 实施例1

[0147] 本发明实施采用的炉渣来源于国内某铜冶炼企业闪速熔炼炉的排渣，主要成分如表1所示。

[0148] 方式A：

[0149] 一种含铁冶金渣粒梯级余热回收及直接还原方法，采用方式A的工艺流程图如图1所示，该工艺主要由煅烧、热解、制球及直接还原四步组成。煅烧炉的主要原料为石灰石， $\text{CaCO}_3$ 含量为92%。热解炉主要原料为煤粉，类型为褐煤，工业分析如表2所示。煅烧炉，热解炉均为固定床，在两个装置中石灰石及煤粉在进入前需要经过干燥并磨碎至为100目以下。热解炉产品为热解气及半焦，净化后的热解气及半焦的成分如表3、表4所示。直接还原炉燃料40%为热解炉产生的经过净化后热解气，其热值为12127kJ/m<sup>3</sup>。高温含铁冶金渣粒分别流经煅烧炉、热解炉、制球装置及直接还原炉。在余热回收过程中，含铁冶金渣颗粒通过煅烧反应及热解反应两种化学反应分两步回收含铁冶金渣颗粒余热。

[0150] 表1铜渣颗粒化学成分，wt%

| 组分 | Cu  | $\text{Fe}_3\text{O}_4$ | FeO  | CaO | $\text{Al}_2\text{O}_3$ | $\text{SiO}_2$ | 其它   |
|----|-----|-------------------------|------|-----|-------------------------|----------------|------|
| 比例 | 0.7 | 10.2                    | 37.5 | 0.2 | 1.0                     | 32.0           | 18.4 |

[0152] 表2煤粉工业分析，wt%

|        | 组分 | 水分   | 挥发分   | 固定碳   | 灰分    |
|--------|----|------|-------|-------|-------|
| [0153] | 比例 | 3.13 | 32.78 | 34.79 | 29.30 |

[0154] 表3 A方式下热解气分离后获得洁净煤气的成分,%

|        | 组分 | H <sub>2</sub> | CO   | CH <sub>4</sub> | CO <sub>2</sub> |
|--------|----|----------------|------|-----------------|-----------------|
| [0155] | 比例 | 10.2           | 30.8 | 12.4            | 46.6            |

[0156] 表4 A方式下固体半焦工业分析,%

|        | 组分 | 水分   | 挥发分  | 固定碳   | 灰分   |
|--------|----|------|------|-------|------|
| [0157] | 比例 | 1.08 | 7.95 | 81.76 | 9.21 |

[0158] 该含铁冶金渣粒梯级余热回收及直接还原的系统,采用方式A的系统结构示意图如图2所示;该工艺系统的由余热回收系统,制球系统,直接还原系统组成。余热回收系统的装置主要包括煅烧炉1,分离器2,热解炉3,除尘器9及除尘净化器10。制球系统的装置主要包括料仓4,混料装置5,制球装置6以及干燥炉7。直接还原系统主要包括直接还原炉8及其附属设备。在工艺系统中,煅烧炉1,分离器2,热解炉3,料仓4,混料装置5,制球装置6,干燥炉7,直接还原炉8分别顺次连接。煅烧炉1气体出口与除尘器9连接,热解炉3气体出口与除尘净化器10连接,除尘净化器10出口与直接还原炉8连接,炉口处设有烧嘴11,直接还原炉8出口烟道与干燥炉7,引风机12及烟囱13顺次连接;从分离器2分离出来的CaO通过运输装置进入料仓4。

[0159] 采用上述装置进行高温颗粒余热回收及直接还原的方法,工艺流程图如图1所示,具体步骤如下:

[0160] (1) 铜渣颗粒高温段余热回收

[0161] 1100℃的铜渣颗粒(颗粒粒径范围为0.5~2mm)及石灰石(100目)通过给料装置7进入煅烧炉1。煅烧炉1内温度为600~1000℃,石灰石粉末中Ca元素与铜渣颗粒中Si元素质量比为1:1。铜渣颗粒携带石灰石粉末在煅烧炉1内自上而下运动。在运动的过程中,石灰石中的CaCO<sub>3</sub>发生煅烧分解反应,产物为生石灰(CaO)及大量的CO<sub>2</sub>烟气,该反应快速吸收颗粒的热量。CO<sub>2</sub>烟气通过煅烧炉1出口进入除尘器9,CO<sub>2</sub>烟气经电除尘后冷却降温储存。CaO粉末与初步降温后铜渣颗粒于700℃从煅烧炉出口处排出进入分离器2。

[0162] 在分离器2中,根据粒径不同,生石灰初步降温后铜渣颗粒进行筛分分离。分离后的初步降温铜渣颗粒进入热解炉2。

[0163] (2) 铜渣颗粒中低温段余热回收

[0164] 800℃的初步降温铜渣颗粒以及煤粉通过给料装置进入热解炉3,煤粉中的C元素与初步降温铜渣颗粒中的O元素质量比C/O为2:1。热解炉3内温度为100~600℃。铜渣颗粒在热解炉内自上而下运动,煤粉通过热解反应,快速吸收颗粒的热量,生成固体半焦及热解气。与此同时,初步降温铜渣颗粒温度被进一步冷却,获得冷却后颗粒,温度降低至150℃。冷却后的颗粒与热解后产生的半焦通过颗粒出口进入料仓4,热解气通过热解炉3出口经过除尘净化器10。在除尘净化器10中,热解气中的杂质及冷却后产生的焦油被有效分离出来。

净化后获得洁净煤气,通过管道进入煤气柜存储,然后进入直接还原炉9利用。该步骤中半焦及洁净煤气产率分别为30%及40%,净化后的热解气及半焦的成分如表3、表4所示。

#### [0165] (3) 含碳球团制备

[0166] 获得的冷却后颗粒:半焦:CaO=1:1.05:0.3,半焦、冷却后铜渣颗粒及CaO粉末一起进入料仓4中,同时料仓4中还配有膨润土粘结剂。冷却后铜渣颗粒,半焦及CaO粉末及粘结剂储存在料仓4的储料罐中。铜渣、粘结剂、水质量配比为1:0.01:0.15。根据设定好的配比原料分别进入混料装置。混料装置5中四种原料与水5充分搅拌混匀。

[0167] 混匀后的物料输送进入对制球装置6,制球装置6为对辊压球机。物料于模具中在20Mpa的压力下被压制成为10mm的铜渣含碳球团,球团内固体半焦中C与铜渣中的还原O的质量配比C/O为1:1。铜渣含碳球团在对辊压球机旋转的过程中脱模并进入干燥炉7。

[0168] 在干燥炉7内,铜渣含碳球团与来自直接还原炉8的烟气进行换热。在干燥炉7内温度维持在120℃干燥60min。干燥后的铜渣含碳球团铜渣含碳球团抗压强度增加,为直接还原的进行提供了保障。

#### [0169] (4) 直接还原

[0170] 干燥后的含碳球团或混匀物料由运输装置输送至直接还原炉9,直接还原炉9类型为竖炉,由热解气净化获得的洁净煤气燃烧提供40%的热量,其余热量由煤气额外供给。直接还原炉有预热区、还原区冷却区组成,炉内还原区温度维持在1150℃。在直接还原炉9内,铜渣含碳球团在炉内自上而下运动。在预热区,铜渣含碳球团温度由120℃快速升温至800~1000℃,铜渣含碳球团出现多孔,表面积增加。由于预热区铜渣含碳球团温度低,还原反应较弱。在还原区,球团中的铁橄榄石和磁铁矿被还原为铁单质。球团在还原炉内停留时间为60min。铜渣含碳球团自此还原为直接还原铁(DRI)。还原后的DRI在直接还原炉9的冷却区进行逐渐降温。

[0171] 直接还原炉9产生的烟气经过一次余热回收后的通过烟道通入干燥炉7,在干燥炉7完成铜渣含碳球团的干燥,温度降至150℃,从而进行二次余热回收。最后烟气经过除尘后由引风机12引出进入烟囱13,该方式下,余热回收率可达80%,烟效率可达70%,铁回收率可达92%,直接还原铁(DRI)纯度为91%。

#### [0172] 方式B:

[0173] 一种含铁冶金渣粒梯级余热回收及直接还原的系统,采用方式B的系统结构示意图如图4所示;该工艺系统的由余热回收系统,和直接还原系统组成。余热回收系统的装置主要包括煅烧炉1,分离器2,热解炉3,除尘器9及除尘净化器10。直接还原系统主要包括直接还原炉8及其附属设备。在工艺系统中,煅烧炉1,热解炉3,分离器2,料仓4,混料装置5,直接还原炉8分别顺次连接。煅烧炉1气体出口与除尘器9连接,热解炉3气体出口与除尘净化器10连接,除尘净化器10出口与直接还原炉8连接,炉口处设有烧嘴11,直接还原炉8出口烟道与引风机12及烟囱13顺次连接。

[0174] 采用上述装置进行高温颗粒余热回收及直接还原的方法,工艺流程图如图3所示,具体步骤如下:

[0175] 采用本实施例方式A中步骤(1)铜渣颗粒高温段余热回收后获得的CaO粉末与初步降温后铜渣颗粒于700℃从煅烧炉出口处排出,通过颗粒给料装置进入热解炉3,同时向热解炉3中加入煤粉。通过煤粉喷嘴进入热解炉3。煤粉中的C元素与降温后铜渣颗粒中的还原

0元素质量比C/O为3:1。

[0176] 颗粒在热解炉3内自上而下运动,煤粉在炉内发生热解反应,获得固体半焦与冷却后颗粒,同时产生热解气,所述冷却后颗粒温度为温度降低至150℃以下。获得的冷却后颗粒:半焦:CaO=1:1.4:0.4。该步骤中半焦及洁净煤气产率分别为36%及38%,净化后的热解气及半焦的成分如表5、表6所示。

[0177] 在分离器2中,根据粒径不同,半焦与镍渣颗粒、CaO粉末进行筛分分离。22%的半焦用于储存,78%的半焦与铜渣颗粒、CaO粉末一起进入料仓4,使冷却后颗粒:半焦:CaO=1:1.1:0.3比例进入料仓,储存在料仓4的储料罐中,物料在混料装置5中进行充分搅拌混合,混匀物料内固体半焦中C与铜渣中的还原O的质量配比C/O为1:1。

[0178] 混匀物料进入直接还原炉9,直接还原炉9类型为转底炉,由热解气净化获得的洁净煤气燃烧提供53%的热量。

[0179] 直接还原炉有预热区、还原区冷却区组成,炉内还原区温度维持在1150℃。在直接还原炉9内,混匀物料在炉内自上而下运动。在预热区,混匀物料温度由120℃快速升温至800~1000℃,在还原区,混匀物料中的铁橄榄石和磁铁矿被还原为铁单质。混匀物料在还原炉内停留时间为60min。混匀物料自此还原为直接还原铁(DRI)。还原后的DRI在直接还原炉9的冷却区进行逐渐降温。在该方式下,余热回收率为82%,烟效率75%,铁回收率94%,直接还原铁(DRI)纯度为91%。

[0180] 表5 B方式下热解气分离后获得洁净煤气的成分,%

| 组分 | H <sub>2</sub> | CO   | CH <sub>4</sub> | CO <sub>2</sub> |
|----|----------------|------|-----------------|-----------------|
| 比例 | 7.6            | 38.5 | 16.2            | 34.3            |

[0182] 表6 B方式下固体半焦工业分析,%

| 组分 | 水分   | 挥发分 | 固定碳  | 灰分  |
|----|------|-----|------|-----|
| 比例 | 0.98 | 7.2 | 82.9 | 8.9 |

[0184] 实施例2

[0185] 方式A:

[0186] 一种含铁冶金渣粒梯级余热回收及直接还原系统,采用方式A,系统结构同实施例1方式A,采用该系统进行含铁冶金渣粒梯级余热回收及直接还原的方法,同实施例1方式A,与实施例1相比,其不同点在于:

[0187] (1) 实施例2中采用的含铁冶金渣来源于国内某镍冶炼企业的排渣,高温颗粒为粒化后的镍渣颗粒。镍渣颗粒主要成分如表7所示。

[0188] (2) 实施例2中热解炉主要原料为煤粉,工业分析如表8所示。

[0189] (3) 实施例2中直接还原炉为转底炉。

[0190] 表7镍渣颗粒化学成分,wt%

| 组分 | Ni   | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO   | CaO  | S    | MgO  | 其它   |
|----|------|------------------|--------------------------------|-------|------|------|------|------|
| 比例 | 0.22 | 34.83            | 1.72                           | 51.43 | 1.64 | 1.05 | 6.51 | 2.82 |

[0192] 表8煤粉工业分析,wt%

|        | 组分 | 水分   | 挥发分   | 固定碳   | 灰分    |
|--------|----|------|-------|-------|-------|
| [0193] | 比例 | 1.82 | 28.72 | 29.81 | 39.64 |

[0194] 表9 A方式下热解气分离后获得洁净煤气的成分,%

|        | 组分 | H <sub>2</sub> | CO   | CH <sub>4</sub> | CO <sub>2</sub> |
|--------|----|----------------|------|-----------------|-----------------|
| [0195] | 比例 | 5.4            | 33.1 | 13.1            | 48.3            |

[0196] 表10 A方式下固体半焦工业分析,%

|        | 组分 | 水分   | 挥发分 | 固定碳  | 灰分   |
|--------|----|------|-----|------|------|
| [0197] | 比例 | 1.03 | 8.6 | 72.8 | 19.5 |

[0198] 具体步骤如下:

[0199] (1) 镍渣颗粒高温段余热回收

[0200] 1100℃的镍渣颗粒(颗粒粒径范围为0.5~2mm)及石灰石(100目)通过给料装置7进入煅烧炉1。煅烧炉1内温度为600~1100℃,石灰石粉末中Ca元素与镍渣颗粒的Si元素质量比为1:1。镍渣颗粒携带石灰石粉末在煅烧炉1内自上而下运动。在运动的过程中,石灰石中的CaCO<sub>3</sub>发生煅烧分解反应,产物为生石灰(CaO)及大量的CO<sub>2</sub>烟气,该反应快速吸收颗粒的热量。CO<sub>2</sub>烟气通过煅烧炉1出口进入除尘器9,CO<sub>2</sub>烟气经电除尘后冷却降温储存。CaO粉末与镍渣颗粒于700℃从煅烧炉出口处排出进入热解炉3。

[0201] (2) 镍渣颗粒中低温段余热回收

[0202] 700℃的镍渣颗粒以及煤粉通过给料装置进入热解炉3。煤粉粒度为200目。煤粉中的C与镍渣颗粒中的O元素质量比C/O为2:1。热解炉内温度为100~600℃。镍渣颗粒在热解炉内自上而下运动,煤粉通过热解反应快速吸收颗粒的热量生成固体半焦及热解气。与此同时,镍渣颗粒温度被进一步冷却,温度降低至150℃。冷却后的颗粒与热解后产生的半焦通过颗粒出口进入分离器2。热解气通过热解炉3出口经过除尘净化器10。在除尘净化器10中,热解气中的杂质及冷却后产生的焦油被有效分离出来。净化后的热解气通过管道进入煤气柜存储,然后进入直接还原炉9利用。该步骤中半焦及洁净煤气产率分别为32%及41%,净化后的热解气及半焦的成分如表9、表10所示。

[0203] (3) 含碳球团制备

[0204] 获得的冷却后颗粒:半焦:CaO=1:1:0.3,半焦、镍渣颗粒及CaO粉末一起进入料仓4中,同时料仓4中还配有膨润土粘结剂。镍渣颗粒,半焦及CaO粉末及粘结剂储存在料仓4的储料罐中。镍渣含碳球团制备过程主要由混料,造球及干燥三步组成。铜渣、粘结剂、水质量配比为1:0.01:0.15。根据设定好的配比原料分别进入混料装置。混料装置5中四种原料与水5充分搅拌混匀。维持球团内固体半焦中C与镍渣中的还原O的质量配比C/O为0.8:1。

[0205] 混匀后的物料输送进入对制球装置6,制球装置6为对辊压球机。物料于模具中在20Mpa的压力下被压制成为10mm的铜渣含碳球团。镍渣含碳球团在对辊压球机旋转的过程中脱模并进入干燥炉7。

[0206] 在干燥炉7内,镍渣含碳球团与来自直接还原炉8的烟气进行换热。在干燥炉7内温度维持在120℃干燥60min。干燥后的铜渣含碳球团镍渣含碳球团抗压强度增加。

[0207] (4) 直接还原

[0208] 干燥后的含碳球团直接进入直接还原炉9,直接还原炉9类型为回转窑,由热解气分离的洁净煤气燃烧提供32%的热量。直接还原炉炉内还原区温度维持在1150℃。在直接还原炉9内,镍渣中的铁的氧化物被还原为铁单质。还原后的直接还原铁在直接还原炉9的冷却区进行逐渐降温。直接还原炉9产生的烟气经过除尘后由引风机12引出进入烟囱13,该方式下,余热回收率为85%,烟效率78%,铁回收率95%,直接还原铁(DRI)纯度为87%。

[0209] 方式B:

[0210] 一种含铁冶金渣粒梯级余热回收及直接还原的系统,采用方式B的系统结构同实施例1方式B。

[0211] 采用上述装置进行高温颗粒余热回收及直接还原的方法,具体步骤如下:

[0212] 采用本实施例方式A中步骤(1)镍渣颗粒高温段余热回收获得CaO粉末与镍渣颗粒于700℃从煅烧炉出口处排出,降温后的镍渣颗粒与CaO一起通过颗粒给料装置进入热解炉3,同时向热解炉3中加入煤粉。通过煤粉喷嘴进入热解炉3。煤粉中的C元素与铜渣颗粒中的还原O质量比C/O为3:1。煤粉在炉内发生热解反应,获得半焦与冷却后颗粒,同时产生热解气,所述冷却后颗粒温度为温度降低至150℃以下。获得的冷却后颗粒:半焦:CaO=1:1.1:0.3。该步骤中半焦及洁净煤气产率分别为35%及39%,净化后的热解气及半焦的成分如表11、表12所示。

[0213] 在分离器2中,根据粒径不同,半焦与镍渣颗粒、CaO粉末进行筛分分离。筛分出多余半焦后,剩余半焦与铜渣颗粒、CaO粉末一起进入料仓4。半焦、镍渣颗粒及CaO粉末一起进入料仓4中,使冷却后颗粒:半焦:CaO=1:1:0.3比例进入料仓。镍渣颗粒,半焦及CaO粉末储存在料仓4的储料罐中,物料在混料装置5中进行充分搅拌混合,维持混匀物料内固体半焦中C与镍渣中的还原O的质量配比C/O为1:1.2。

[0214] 混匀物料进入直接还原炉9,直接还原炉9类型为转底炉,由热解气净化获得的洁净煤气燃烧提供43%的热量。

[0215] 直接还原炉炉内还原区温度维持在1150℃。在直接还原炉9内,镍渣中的铁的氧化物被还原为铁单质。还原后的直接还原铁在直接还原炉9的冷却区进行逐渐降温。在该方式下,余热回收率为86%,烟效率78%,铁回收率95%,直接还原铁(DRI)纯度为84%。

[0216] 表11 B方式下热解气分离后获得洁净煤气的成分,%

| 组分 | H <sub>2</sub> | CO   | CH <sub>4</sub> | CO <sub>2</sub> |
|----|----------------|------|-----------------|-----------------|
| 比例 | 6.8            | 38.6 | 15.1            | 35.3            |

[0218] 表12 B方式下固体半焦工业分析,%

| 组分 | 水分   | 挥发分 | 固定碳  | 灰分   |
|----|------|-----|------|------|
| 比例 | 0.99 | 6.7 | 75.1 | 17.2 |

[0220] 实施例3



[0221] 方式A:

[0222] 与实施例1相比,其不同点在于:

[0223] (1) 实施例3中采用的含碳固体废物为生物质,生物质种类为松木屑,其成分分析如表13所示。

[0224] 表13生物质成分分析

| 分析项目        | 生物质   |
|-------------|-------|
| 工业分析 (wt %) |       |
| 水分          | 5.68  |
| 挥发分         | 85.14 |
| 灰分          | 1.77  |
| [0225] 固定碳  | 7.41  |
| 元素分析(wt %)  |       |
| N           | 0.15  |
| C           | 48.28 |
| H           | 6.17  |
| S           | 0.082 |

[0226] 表14 A方式下热解气分离后获得洁净煤气的成分,%

| 组分        | H <sub>2</sub> | CO   | CH <sub>4</sub> | CO <sub>2</sub> |
|-----------|----------------|------|-----------------|-----------------|
| [0227] 比例 | 12.8           | 26.8 | 7.6             | 41.2            |

[0228] 表15 A方式下固体半焦工业分析,%

| 组分        | 水分   | 挥发分 | 固定碳  | 灰分  |
|-----------|------|-----|------|-----|
| [0229] 比例 | 0.91 | 9.6 | 85.2 | 4.3 |

[0230] 采用上述装置进行高温颗粒余热回收的工艺系统及方法,具体步骤如下:

[0231] (1) 铜渣颗粒高温段余热回收

[0232] 1100℃的铜渣颗粒(颗粒粒径范围为0.5~2mm)及石灰石(100目)通过给料装置7进入煅烧炉1。煅烧炉1内温度为600~1000℃,石灰石粉末中Ca元素与铜渣颗粒中Si元素质量比为1:1。铜渣颗粒携带石灰石粉末在煅烧炉1内自上而下运动。在运动的过程中,石灰石中的CaCO<sub>3</sub>发生煅烧分解反应,产物为CaO及大量的CO<sub>2</sub>烟气,该反应快速吸收颗粒的热量。CO<sub>2</sub>烟气通过煅烧炉1出口进入除尘器9,CO<sub>2</sub>烟气经电除尘后冷却降温储存。CaO粉末与铜渣颗粒于550℃从煅烧炉出口处排出进入分离器2。

[0233] 在分离器2中,根据粒径不同,生石灰与铜渣颗粒进行筛分分离。分离后的铜渣颗粒进入热解炉2。

[0234] (2) 铜渣颗粒中低温段余热回收

[0235] 550℃的铜渣颗粒以及生物质粉通过给料装置进入热解炉3。铜渣颗粒中的还原O与生物质粉中的C元素质量比C/O为3:1。热解炉3内温度为100~500℃。铜渣颗粒在热解炉内自上而下运动,生物质粉通过热解反应快速吸收颗粒的热量生成固体半焦及热解气。与此同时,铜渣颗粒温度被进一步冷却,温度降低至150℃。冷却后的颗粒与热解后产生的半

焦通过颗粒出口进入料仓4。热解气通过热解炉3出口经过除尘净化器10。在除尘净化器10中,热解气中的杂质及冷却后产生的焦油被有效分离出来。净化后获得洁净煤气,通过管道进入煤气柜存储,然后进入直接还原炉9利用。该步骤中半焦及洁净煤气产率分别为15%及50%,净化后的热解气及半焦的成分如表14、表15所示。

[0236] (3) 含碳球团制备

[0237] 获得的冷却后颗粒:半焦:CaO=1:1.2:0.3,半焦、铜渣颗粒及CaO粉末一起进入料仓4中,同时料仓4中还配有膨润土粘结剂。铜渣颗粒,半焦及CaO粉末及粘结剂储存在料仓4的储料罐中。铜渣含碳球团制备过程主要由混料,造球及干燥三步组成。铜渣、粘结剂、水质量配比为1:0.01:0.08。根据设定好的配比原料分别进入混料装置。混料装置5中四种原料与水5充分搅拌混匀。维持球团内固体半焦中C与铜渣中的还原O的质量配比C/O为1:1。

[0238] 混匀后的物料输送进入对制球装置6,制球装置6为对辊压球机。物料于模具中在10Mpa的压力下被压制成为10mm的铜渣含碳球团。铜渣含碳球团在对辊压球机旋转的过程中脱模并进入干燥炉7。

[0239] 在干燥炉7内,铜渣含碳球团与来自直接还原炉8的烟气进行换热。在干燥炉7内温度维持在120℃干燥60min。干燥后的铜渣含碳球团铜渣含碳球团抗压强度增加,为直接还原的进行提供了保障。

[0240] (4) 直接还原

[0241] 干燥后的含碳球团由运输装置输送至直接还原炉9,直接还原炉9类型为竖炉,由热解气净化产生的洁净煤气燃烧提供50%的热量,其余热量由煤气额外供给。直接还原炉内还原区温度维持在1150℃。在直接还原炉9内,铜渣含碳球团在炉内自上而下运动。在预热区,铜渣含碳球团温度由120℃快速升温至800~1000℃,铜渣含碳球团出现多孔,表面积增加。由于预热区铜渣含碳球团温度低,还原反应较弱。在还原区,球团中的铁橄榄石和磁铁矿被还原为铁单质。球团在还原炉内停留时间为60min。铜渣含碳球团自此还原为直接还原铁(DRI)。还原后的DRI在直接还原炉9的冷却区进行逐渐降温。

[0242] 直接还原炉9产生的烟气经过一次余热回收后的通过烟道通入干燥炉7,在干燥炉7完成铜渣含碳球团的干燥,温度降至150℃,从而进行二次余热回收。最后烟气经过除尘后由引风机12引出进入烟囱13,该方式下,余热回收率可达85%,烟效率可达75%,铁回收率可达95%,直接还原铁(DRI)纯度为95%。

[0243] 方式B:

[0244] 一种含铁冶金渣粒梯级余热回收及直接还原的系统,采用方式B的系统结构同实施例1方式B。

[0245] 采用上述装置进行高温颗粒余热回收及直接还原的方法,具体步骤如下:

[0246] 采用本实施例方式A步骤(1)铜渣颗粒高温段余热回收获得CaO粉末与铜渣颗粒于550℃从煅烧炉出口处排出,二者煅烧时原料按照Ca/Si为1:1配比。降温后的颗粒与CaO一起通过颗粒给料装置进入热解炉3,同时向热解炉3中加入生物质粉。通过燃料喷嘴进入热解炉3。生物质粉中的C元素与铜渣颗粒中的还原O质量比C/O为3.5:1。颗粒在热解炉3内自上而下运动,生物质粉在炉内发生热解反应,获得固体半焦与冷却后颗粒,同时产生热解气,所述冷却后颗粒温度为温度降低至150℃以下。冷却后的颗粒与热解后可获得半焦产率为20%,洁净煤气产率为45%,净化后的热解气及半焦的成分如表16、表17所示。

[0247] 获得的冷却后颗粒:半焦:CaO=1:1.23:0.3,在分离器2中,根据粒径不同,半焦与镍渣颗粒、CaO粉末进行筛分分离。筛分出多余半焦后,剩余半焦与铜渣颗粒、CaO粉末一起进入料仓4,使冷却后颗粒:半焦:CaO=1:1.1:0.3比例进入料仓。

[0248] 半焦、铜渣颗粒及CaO粉末一起进入料仓4中。铜渣颗粒,半焦及CaO粉末储存在料仓4的储料罐中,物料在混料装置5中进行充分搅拌混合,维持混匀物料内固体半焦中C与铜渣中的还原O的质量配比C/O为1:1。

[0249] 混匀物料进入直接还原炉9,直接还原炉9类型为转底炉,由热解气净化获得的洁净煤气燃烧提供65%的热量。

[0250] 直接还原炉内还原区温度维持在1150℃。在直接还原炉9内,混匀物料在炉内自上而下运动。在预热区,混匀物料温度由120℃快速升温至800~1000℃,在还原区,混匀物料中的铁橄榄石和磁铁矿被还原为铁单质。混匀物料在还原炉内停留时间为60min。混匀物料自此还原为直接还原铁(DRI)。还原后的DRI在直接还原炉9的冷却区进行逐渐降温。

[0251] 在该方式下,余热回收率为88%,烟效率76%,铁回收率95%,直接还原铁(DRI)纯度为90%。

[0252] 表16 B方式下热解气分离后获得洁净煤气的成分,%

| 组分 | H <sub>2</sub> | CO   | CH <sub>4</sub> | CO <sub>2</sub> |
|----|----------------|------|-----------------|-----------------|
| 比例 | 9.6            | 35.6 | 14.3            | 25.2            |

[0254] 表17 B方式下固体半焦工业分析,%

| 组分 | 水分  | 挥发分 | 固定碳  | 灰分  |
|----|-----|-----|------|-----|
| 比例 | 0.9 | 7.5 | 88.1 | 3.6 |

[0256] 上述实施例1-3中半焦与洁净煤气产率,及工艺方法整体热回收率,烟效率,铁回收率,直接还原铁纯度等部分数据见表18。

[0257] 表18各实施例中技术参数指标

| 序号 |      | 半焦产率 | 洁净煤气产率 | 热值                      | 热回收率 | 烟效率 | 铁回收率 | 铁纯度 |
|----|------|------|--------|-------------------------|------|-----|------|-----|
| 1  | 方式 A | 30%  | 40%    | 12127 kJ/m <sup>3</sup> | 80%  | 70% | 92%  | 91% |
|    | 方式 B | 36%  | 38%    | 12282 kJ/m <sup>3</sup> | 82%  | 75% | 94%  | 89% |
| 2  | 方式 A | 32%  | 41%    | 10085 kJ/m <sup>3</sup> | 85%  | 75% | 95%  | 87% |
|    | 方式 B | 35%  | 39%    | 11755 kJ/m <sup>3</sup> | 86%  | 75% | 95%  | 84% |
| 3  | 方式 A | 15%  | 50%    | 8046 kJ/m <sup>3</sup>  | 85%  | 75% | 95%  | 95% |
|    | 方式 B | 20%  | 45%    | 11415 kJ/m <sup>3</sup> | 88%  | 76% | 95%  | 90% |

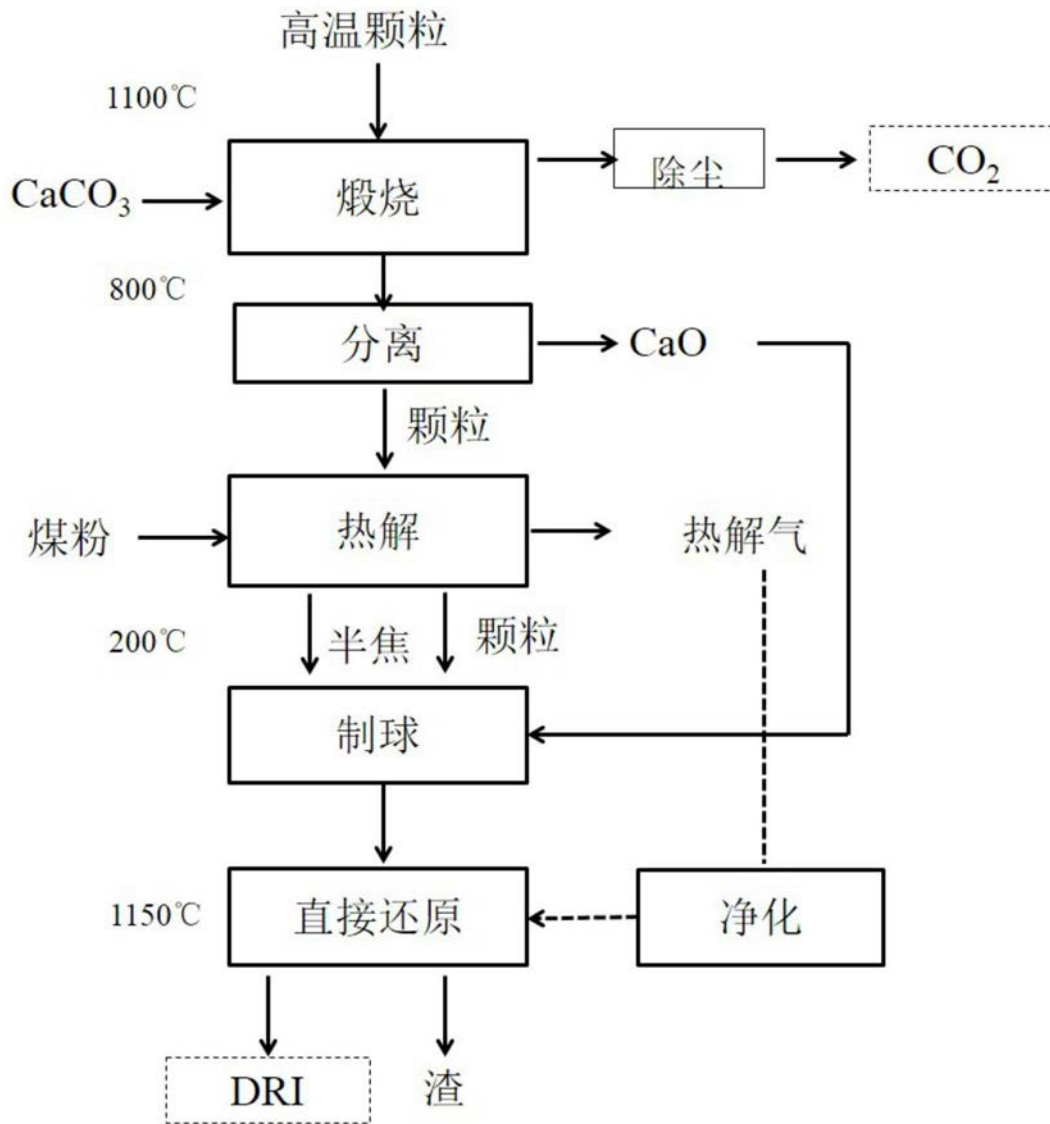


图1

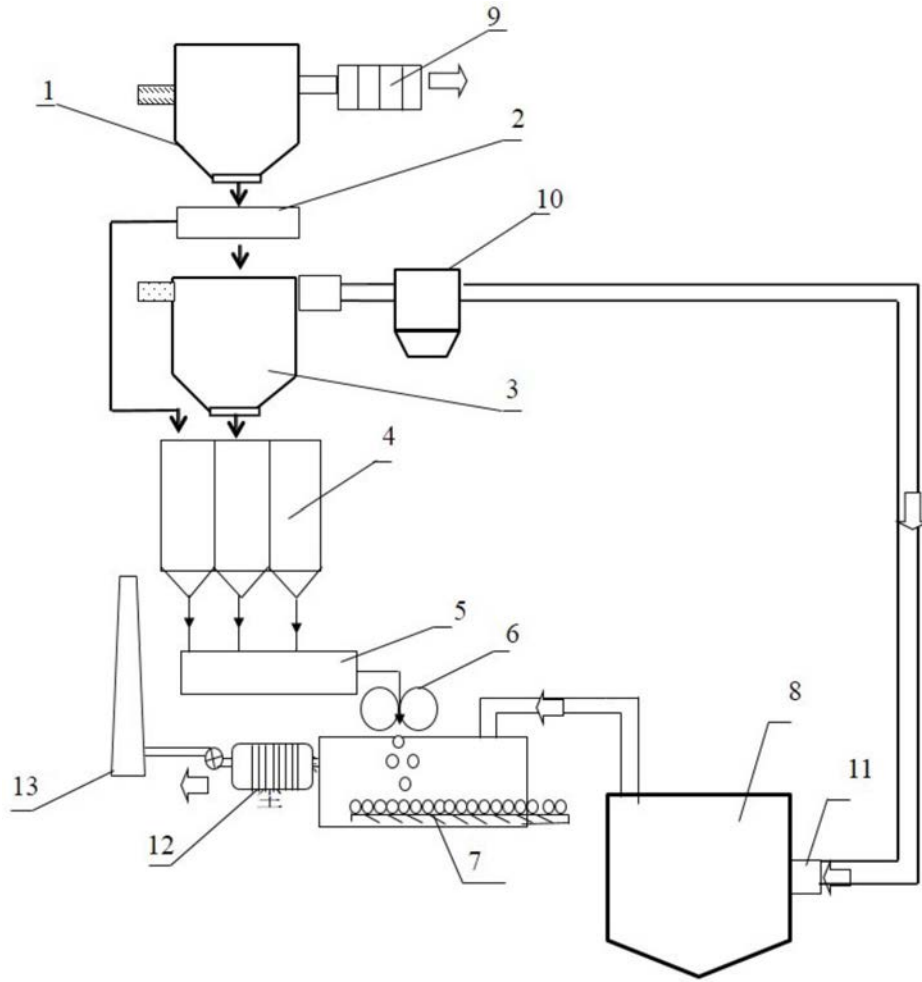


图2

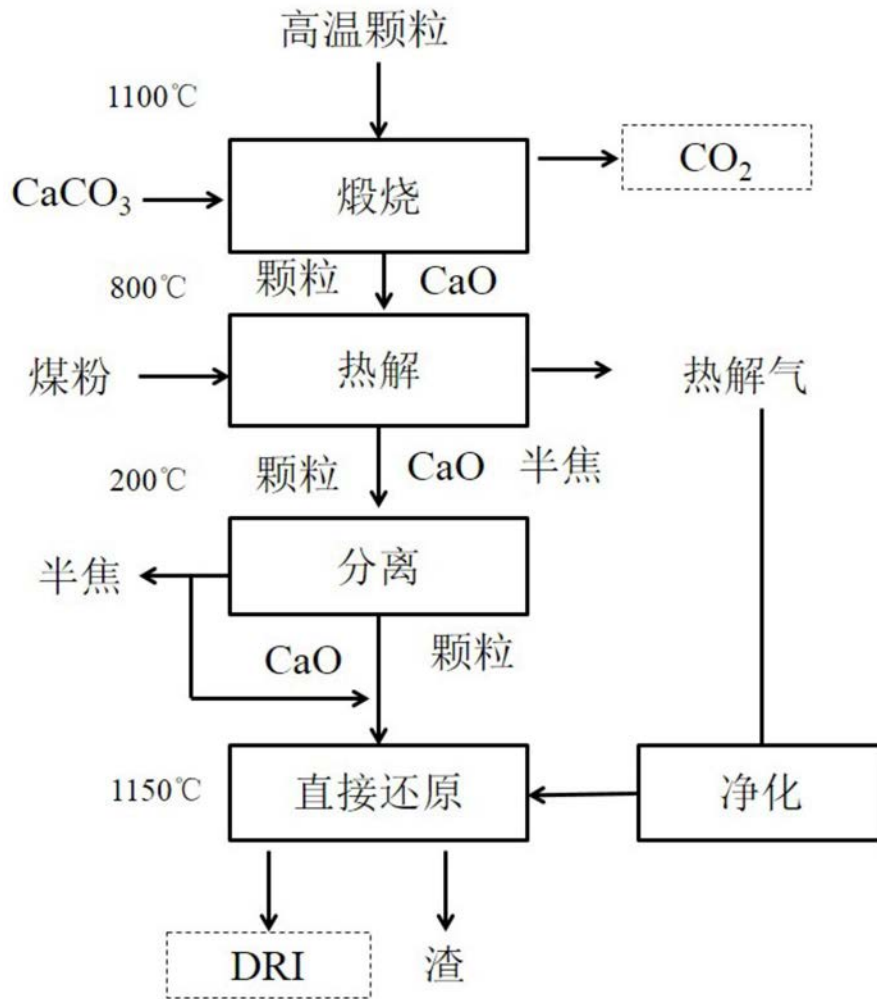


图3

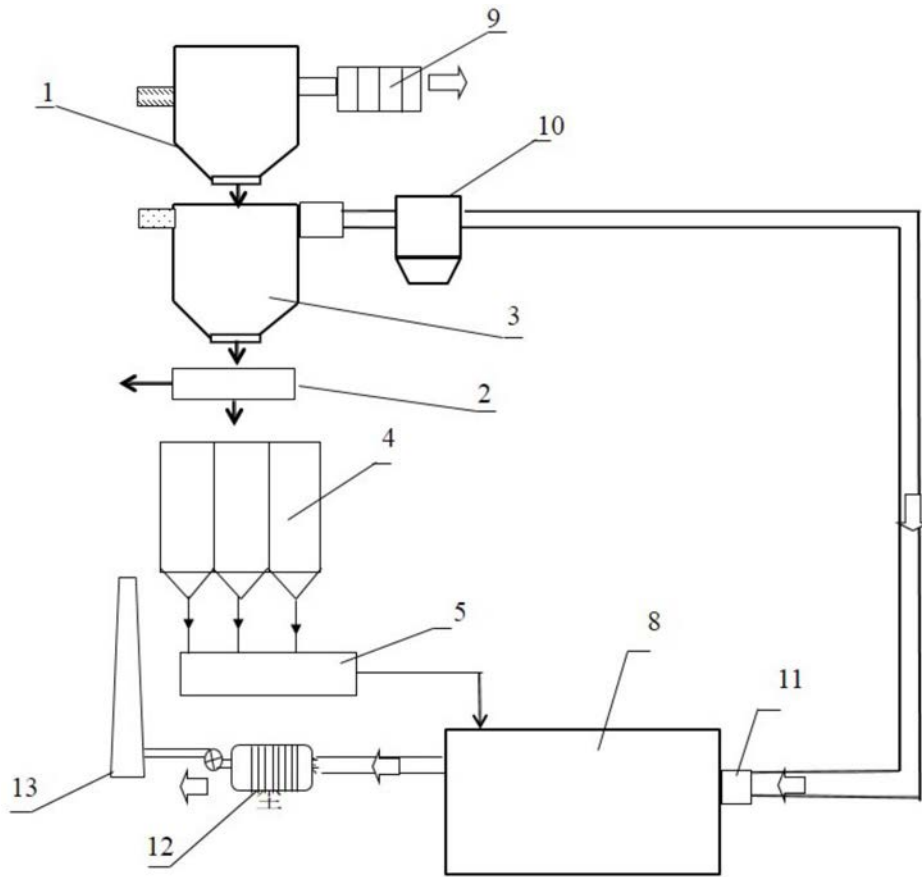


图4