



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116656384 A

(43) 申请公布日 2023. 08. 29

(21) 申请号 202310126319.8

C21C 5/52 (2006.01)

(22) 申请日 2023.02.17

C10B 53/00 (2006.01)

(71) 申请人 张文斌

地址 518101 广东省深圳市宝安区西乡街道福中福社区西乡金海路碧海中心区西乡商会大厦101单元810号

申请人 深圳碳中和生物燃气股份有限公司  
深圳前海碳中和锂业有限公司

(72) 发明人 张文斌 聂原宽 张家平 王建新  
张金红 龙泽望 刘言甫

(74) 专利代理机构 北京高沃律师事务所 11569  
专利代理师 王雪

(51) Int. Cl.

C10B 53/02 (2006.01)

C21C 7/00 (2006.01)

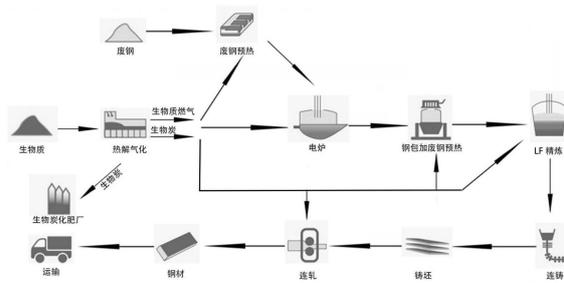
权利要求书1页 说明书10页 附图3页

## (54) 发明名称

一种基于负碳排放BECNU生态系统工程碳循环的钢铁产品碳中和的方法

## (57) 摘要

本发明提供了一种基于负碳排放BECNU生态系统工程碳循环的钢铁产品碳中和的方法,属于钢铁冶炼技术领域,包括以下步骤:利用BECNU生态系统工程对生物质进行热解气化得到生物质燃气和生物炭;以所述生物质燃气完全替代全废钢绿电短流程钢生产中的化石能源,以所述部分生物炭替代全废钢绿电短流程钢生产中的全部或部分化石辅助材料;以所述生物炭扣除炭替代化石辅助材料的生物炭后剩余的生物炭进行生物炭碳循环,以所述进行生物炭碳循环的生物炭带来的国际公认温室气体清除量抵扣清除掉短流程钢铁生产不可避免剩余温室气体排放,实现全废钢绿电短流程钢从摇篮到大门生命周期碳中和。



CN 116656384 A

1. 一种基于生物质能源负碳排放BECNU生态系统工程碳循环的钢铁产品碳中和的方法,包括以下步骤:

(1) 利用BECNU生态系统工程对生物质进行热解气化得到生物质燃气和生物炭;

(2) 以所述步骤(1)得到的生物质燃气完全替代全废钢绿电短流程钢生产中的化石能源,以所述步骤(1)得到的部分生物炭替代全废钢绿电短流程钢生产中的全部或部分化石辅助材料;

(3) 将所述步骤(1)得到的生物炭扣除所述步骤(2)中的生物炭后剩余的生物炭进行生物炭碳循环,以所述进行生物炭碳循环的生物炭带来的国际公认温室气体清除量抵消清除掉短流程钢铁生产不可避免剩余温室气体排放,实现全废钢绿电短流程钢从摇篮到大门生命周期碳中和。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,替代所述步骤(2)中的化石能源的能源还包括绿电、生物基醇类燃料和油脂类燃料中的一种或多种。

3. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,所述绿电包括光伏电、太阳能电、风电、核电、水电和生物质发电中的一种或几种。

4. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,所述生物基醇类燃料包括甲醇和/或乙醇,所述脂类燃料包括生物柴油。

5. 根据权利要求1或2所述的方法,其特征在于,所述以生物能源完全替代短流程钢生产中的化石能源,包括以下几个方面:

(a) 以部分所述步骤(1)得到的生物炭替代短流程钢生产中的非生物源辅助材料;

(b) 以所述生物质燃气作为燃料替代全部化石能源,进行电炉补燃、废气二次燃烧、废钢预热、烤包、炼钢和轧钢,以绿电为所述炼钢提供电源;

(c) 以生物基醇类燃料、油脂类燃料和绿电中的一种或多种提供能源的运输工具替代使用化石能源的运输工具进行运输。

6. 根据权利要求5所述的方法,其特征在于,所述步骤(a)中的非生物源辅助材料包括增碳调碳剂或造渣剂。

7. 根据权利要求5所述的方法,其特征在于,所述(a)、(b)和(c)中的不可避免剩余温室气体排放的清除方法,包括建立生物质热解气化-生物炭负碳排放BECNU生态系统工程清除抵扣模型,实现短流程钢铁产品从摇篮到大门生命周期碳中和。

8. 根据权利要求7所述的方法,其特征在于,所述生物质热解气化-生物炭负碳排放BECNU生态系统工程清除抵扣模型包括:根据全废钢绿电短流程钢铁生产不可避免的剩余温室气体排放量,确定所述BECNU生态系统工程的温室气体清除量及其生物质燃气产率与生物炭产率,以及其生物能源替代化石能源减排量与生物炭负碳排放清除量的调节机制,确保短流程钢铁生产边界内生物炭负碳排放抵扣清除量不低于所述钢铁生产生命周期不可避免剩余碳排放量。

9. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述生物炭碳循环包括将所述生物炭用于还田培肥固碳或土壤污染修复。

10. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述方法适用于长流程钢生产。

## 一种基于负碳排放BECNU生态系统工程碳循环的钢铁产品碳中和的方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及钢铁冶炼技术领域,尤其涉及一种基于负碳排放BECNU生态系统工程碳循环的钢铁产品碳中和的方法。

### 背景技术

[0002] 作为碳排放量最多的行业之一的钢铁行业,却是最难实现碳中和行业之一。目前,已有多种技术路线用于CO<sub>2</sub>的减排,但现有技术中没有实现移除或清除钢铁生产不可避免剩余碳排放。

### 发明内容

[0003] 本发明的目的在于提供一种基于负碳排放BECNU生态系统工程碳循环的钢铁产品碳中和的方法。

[0004] 为了实现上述发明目的,本发明提供以下技术方案:

[0005] 本发明提供了一种基于生物质能源负碳排放BECNU生态系统工程碳循环的钢铁产品碳中和的方法,包括以下步骤:

[0006] (1) 利用BECNU生态系统工程对生物质进行热解气化得到生物质燃气和生物炭;

[0007] (2) 以所述步骤(1)得到的生物质燃气完全替代全废钢绿电短流程钢生产中的化石能源,以所述步骤(1)得到的部分生物炭替代全废钢绿电短流程钢生产中的全部或部分化石辅助材料;

[0008] (3) 以所述步骤(1)得到的生物炭扣除所述步骤(2)中的生物炭后剩余的生物炭进行生物炭碳循环,以所述进行生物炭碳循环的生物炭带来的国际公认温室气体清除量抵消清除掉短流程钢铁生产不可避免剩余温室气体排放,实现全废钢绿电短流程钢从摇篮到大门生命周期碳中和。

[0009] 优选地,替代所述步骤(2)中的化石能源的能源还包括绿电、生物基醇类燃料和油脂类燃料中的一种或多种。

[0010] 优选地,所述绿电包括光伏电、太阳能电、风电、核电、水电和生物质发电中的一种或几种。

[0011] 优选地,所述生物基醇类燃料包括甲醇和/或乙醇,所述脂类燃料包括生物柴油。

[0012] 优选地,所述以生物能源完全替代短流程钢生产中的化石能源,包括以下几个方面:

[0013] (a) 以部分所述步骤(1)得到的生物炭替代短流程钢生产中的非生物源辅助材料;

[0014] (b) 以所述生物质燃气作为燃料替代全部化石能源,进行电炉补燃、废气二次燃烧、废钢预热、烤包、炼钢和轧钢,以绿电为所述炼钢提供电源;

[0015] (c) 以生物基醇类燃料、油脂类燃料和绿电中的一种或多种提供能源的运输工具替代化石能源运输工具进行运输。

[0016] 优选地,所述步骤(a)中的非生物源辅助材料包括增碳调碳剂或造渣剂。

[0017] 优选地,所述(a)、(b)和(c)中的不可避免剩余温室气体排放的清除方法,包括建立生物质热解气化-生物炭负碳排放BECNU生态系统工程清除抵扣模型,实现短流程钢铁产品从摇篮到大门生命周期碳中和。

[0018] 优选地,所述生物质热解气化-生物炭负碳排放BECNU生态系统工程清除抵扣模型包括:根据全废钢绿电短流程钢铁生产不可避免的剩余温室气体排放量,确定所述BECNU生态系统工程的温室气体清除量及其生物质燃气产率与生物炭产率,以及其生物能源替代化石能源减排量与生物炭负碳排放清除量的调节机制,确保短流程钢铁生产边界内生物炭负碳排放抵扣清除量不低于所述钢铁生产生命周期不可避免剩余碳排放量。

[0019] 优选地,所述生物炭碳循环包括将所述生物炭用于还田培肥固碳或土壤污染修复。

[0020] 优选地,所述方法适用于长流程钢生产。

[0021] 本发明提供了一种基于负碳排放BECNU生态系统工程碳循环的钢铁产品碳中和的方法,包括以下步骤:(1)利用BECNU生态系统工程对生物质进行热解气化得到生物质燃气和生物炭;(2)以所述步骤(1)得到的生物质燃气完全替代全废钢绿电短流程钢生产中的化石能源,以所述步骤(1)得到的部分生物炭替代全废钢绿电短流程钢生产中的全部或部分化石辅助材料;(3)以所述步骤(1)得到的生物炭扣除所述步骤(2)中的生物炭后剩余的生物炭进行生物炭碳循环,以所述进行生物炭碳循环的生物炭带来的国际公认温室气体清除量抵扣清除掉短流程钢铁生产不可避免剩余温室气体排放,实现全废钢绿电短流程钢从摇篮到大门生命周期碳中和。在本发明中,以包括生物质燃气和生物炭的生物能源完全替代短流程钢生产中的全部化石能源和部分化石辅助材料,使钢铁生产与化石能源完全脱钩,使非生物源碳排放量被BECNU生态系统工程得到生物质燃气(生物源生物燃气新能源)近零碳排放替换,实现了非生物源化石能源碳排放近零减排。本发明提供的工艺中不牵涉非生物源二氧化碳当量清除和土地利用变化影响的二氧化碳当量,而吨钢不可避免的剩余二氧化碳当量排放与提供碳汇的生物炭二氧化碳当量清除相同,故在本发明中,根据钢铁生产不可避免剩余温室气体碳排放量所设计生产的生物炭的清除量,利用CFP模型换算,生物炭清除量抵扣清除了钢铁生产不可避免剩余温室气体碳排放,能够实现全废钢绿电短流程钢从摇篮到大门生命周期碳中和。实施例结果显示,根据钢铁产品碳足迹CFP模型,以BECNU生态系统工程碳循环得到的生物炭的清除量,在边界内抵扣钢铁不可避免剩余碳排放,实现了所述钢铁产品生命周期的碳中和。

## 附图说明

[0022] 图1为本发明全废钢绿电短流程钢铁产品碳中和的方法流程图;

[0023] 图2为本发明全废钢绿电短流程钢铁产品的生命周期CFP归因系统图;

[0024] 图3为本发明碳中和钢铁产品CFP工艺归因构成图;

[0025] 图4为本发明基于负碳排放BECNU生态系统工程的钢铁产品碳中和的方法的生产装置结构图;

[0026] 图5为宝钢全废钢绿电工艺CFP归因系统图。

## 具体实施方式

[0027] 本发明提供了一种基于负碳排放BECNU生态系统工程碳循环的钢铁产品碳中和的方法,包括以下步骤:

[0028] (1)利用BECNU生态系统工程对生物质进行热解气化得到生物质燃气和生物炭;

[0029] (2)以所述步骤(1)得到的生物质燃气完全替代全废钢绿电短流程钢生产中的化石能源,以所述步骤(1)得到的部分生物炭替代全废钢绿电短流程钢生产中的全部或部分化石辅助材料;

[0030] (3)以所述步骤(1)得到的生物炭扣除所述步骤(2)中的生物炭后剩余的生物炭进行生物炭碳循环,以所述进行生物炭碳循环的生物炭带来的国际公认温室气体清除量抵消清除掉短流程钢铁生产不可避免剩余温室气体排放,实现全废钢绿电短流程钢从摇篮到大门生命周期碳中和。

[0031] 本发明利用BECNU生态系统工程对生物质进行热解气化得到生物质燃气和生物炭。

[0032] 本发明对所述BECNU生态系统工程没有特殊限定,能够实现生物质的热解气化,得到生物质燃气和生物炭即可。在本发明中,实施所述BECNU生态系统工程的装置优选为热解气化-碳化炉,本发明对所述热解气化-碳化炉的操作方法和实验参数没有特殊限定,采用本领域技术人员熟知的操作方法,能够将生物质热解气化与碳化,得到所述BECNU生态系统工程碳循环设计所需生物质燃气和生物炭即可。

[0033] 本发明对所述生物质的来源和种类没有特殊限定,采用本领域技术人员熟知的生物质即可。在本发明中,所述生物质优选包括农林废弃物。

[0034] 得到生物质燃气和生物炭后,本发明以所述生物质燃气完全替代全废钢绿电短流程钢生产中的化石能源,以部分所述生物炭替代全废钢绿电短流程钢生产中的全部或部分化石辅助材料。

[0035] 在本发明中,由所述BECNU生态系统工程生物炭和生物质燃气制备中不可避免的碳排放,在生物炭负碳排放量中直接扣除,以生物炭负碳排放净值纳入负碳排放BECNU生态系统工程清除抵扣模型。

[0036] 在本发明中,所述生物能源还包括绿电、生物基醇类燃料和油脂类燃料中的一种或多种。

[0037] 在本发明中,所述绿电优选包括光伏电、太阳能电、地热发电、风电、核电、水电或生物质发电。本发明对所述绿电的来源没有特殊限定,采用网购、直购或自产均可。在本发明中,所述绿电按标准纳入产品温室气体清单CFP模型,生物炭负碳排放以净值纳入CFP模型。在本发明中,所述绿电的标准优选包括,每度电碳排放因子为:光伏发电-公用事业0.8~15.8g、屋顶光伏7.85~26.9g、陆上风电4.8~8.6g、海上风电6.8~14.8g,地热发电29~79g、水电61~109g、核电78~178g。在本发明中,所述绿电的碳排放因子与化石能源电力的碳排放因子997g相比较,只相当于其碳排放的1%~2%,故钢铁产品碳中和方法中将绿电作为低碳能源替代短流程钢生产中的化石能源电力为其提供电,能提高温室气体减排效果,尽可能地避免碳排放。

[0038] 在本发明中,所述生物基醇类燃料优选包括甲醇和/或乙醇。在本发明中,所述脂类燃料优选包括生物柴油。在本发明中,将生物基醇类燃料和脂类燃料作为生物能源替代

短流程钢生产中的物流等生产服务的化石能源,能够提高温室气体减排效果,尽可能地避免碳排放。

[0039] 在本发明中,所述短流程钢的炼钢工艺优选包括电炉炼钢工艺。本发明对所述电炉炼钢工艺的具体操作方法没有特殊限定,采用本领域技术人员熟知的电炉炼钢工艺的操作方法即可。在本发明实施例中,所述全废钢绿电短流程钢的生产工艺流程优选如图1所示。

[0040] 在本发明中,所述短流程钢从摇篮到大门生命周期碳中和的温室气体清单碳足迹模型CFP,简称为CFP模型,所述CFP模型优选如下式所示:

$$[0041] \quad \frac{\text{总二氧化碳总量}}{\text{分析单元}} = \frac{\text{(生物源)二氧化碳当量排放}}{\text{参考流}} - \frac{\text{(生物源)二氧化碳当量清除}}{\text{参考流}} + \frac{\text{(非生物源)二氧化碳当量排放}}{\text{参考流}} - \frac{\text{(非生物源)二氧化碳当量清除}}{\text{参考流}} + \frac{\text{土地利用变化影响的二氧化碳当量}}{\text{参考流}} \leq 0。$$

[0042] 在本发明中,所述CFP模型的解释优选如下:

[0043] 参考流为1吨钢铁产品;

[0044] 利用BECNU生态系统工程碳循环得到生物质燃气和生物炭产品生产不可避免碳排放量,属所述CFP模型的“(生物源)二氧化碳当量排放”。

[0045] 生物炭产品对温室气体的净清除量碳汇,属所述CFP模型中的“(生物源)二氧化碳当量清除”。

[0046] 生物炭施肥并修复土壤污染所致植物产量增加,植物量增产碳循环吸收CO<sub>2</sub>所增加的清除量碳汇,属所述CFP模型中的“(生物源)二氧化碳当量清除(土地管理)”或“土地利用变化影响的二氧化碳当量”。

[0047] 钢铁生产中生物质燃气-生物炭以外的非生物源不可避免碳排放与温室气体清除,属所述CFP模型中的“(非生物源)二氧化碳当量排放”或“(非生物源)二氧化碳当量清除”。

[0048] 在本发明中,所述CFP模型中的碳足迹排放与清除移除,优选包括CO<sub>2</sub>、非二温室气体甲烷、氢氟碳化物、类全氟碳化物、氧化亚氮和六氟化硫的排放与清除,温室气体前体即非温室气体物质的随后间接排放与清除。在本发明中,所述甲烷氢氟碳化物类优选包括HFCs或HCFCs;所述类全氟碳化物优选为PFCs;所述温室气体前体的随后间接排放与清除优选为CO的随后温室气体排放。

[0049] 在本发明中,所述所述以生物能源完全替代短流程钢生产中的化石能源,包括以下几个方面:

[0050] (a) 以部分所述步骤(1)得到的生物炭替代短流程钢生产中的非生物源辅助材料;

[0051] (b) 以所述生物质燃气作为燃料替代全部化石能源,进行电炉补燃、废气二次燃烧、废钢预热、烤包、炼钢和轧钢,以绿电为所述炼钢提供电源;

[0052] (c) 以生物基醇类燃料、油脂类燃料和绿电中的一种或多种提供能源的运输工具替代化石能源运输工具进行运输。

[0053] 本发明以所述部分生物炭替代全废钢绿电短流程钢生产中的全部或部分化石辅助材料。在本发明中,所述非生物源辅助材料优选包括增碳调碳剂或造渣剂,更优选为碳粉。在本发明中,所述部分生物炭替代全废钢绿电短流程钢生产中的全部或部分化石辅助材料能够实现减排,更有利于实现全废钢绿电短流程钢生产中的碳中和。

[0054] 本发明将所述生物炭扣除所述生物炭后剩余的生物炭进行生物炭碳循环,以所述进行生物炭碳循环的生物炭带来的国际公认温室气体清除量抵消清除掉短流程钢铁生产不可避免剩余温室气体排放,实现全废钢绿电短流程钢从摇篮到大门生命周期碳中和。

[0055] 在本发明中,以所述生物炭替代短流程钢生产中的部分非生物源化石辅助材料能够减少范围1直接碳排放,实现工业过程近零碳排放。在本发明中,所述生物炭优选替代短流程钢生产中的部分非生物源化石辅助材料,本发明利用CFP模型核算温室气体清单碳足迹,使生物炭的清除量直接抵消清除钢铁生产不可避免剩余温室气体直接碳排放,实现工业过程的近零碳排放。

[0056] 在本发明中,所述工业过程碳排放与生物炭温室气体生物源净清除是以物料质量平衡法恒算钢铁产品非生物源CO<sub>2</sub>当量排放与非生物源CO<sub>2</sub>当量清除。在本发明中,由于采用部分生物炭替代短流程钢生产中的非生物源辅助材料能够将生物炭固定在钢铁产品中,故能够减少范围1直接碳排放,实现工业过程的近零碳排放。

[0057] 在本发明中,所述范围2间接排放是外购燃料燃烧产生的温室气体排放与清除,包括固定燃烧、移动燃烧、无组织排放、工业制造过程排放与生物炭温室气体生物源净清除的碳足迹CFP的排放与清除。在本发明中,所述固定燃烧的生物质燃气燃烧碳足迹排放核算为零;所述移动燃烧的碳排放优选包括公司拥有或租赁的车辆,外购的电动绿电充电电力、生物基醇类或/和油脂类生物基燃料的排放;所述无组织排放优选包括工业泄漏。

[0058] 本发明优选以所述生物质燃气作为燃料替代全部化石能源,进行电炉补燃、废气二次燃烧、废钢预热、烤包、炼钢和轧钢,以绿电为所述炼钢提供电源。

[0059] 在本发明中,所述电炉补燃、废气二次燃烧、废钢预热、烤包、炼钢和轧钢是短流程钢生产过程中的常规操作,本发明通过采用生物质燃气作为燃料完全替代化石能源,实现钢铁生产与化石能源完全脱钩,所述短流程钢铁生产范围2外购能源近零碳排放。

[0060] 本发明优选以生物基醇类燃料、油脂类燃料和绿电中的一种或多种提供能源的的运输工具替代使用化石能源的运输工具进行运输,能够使钢铁产品价值链范围3物流及生产服务中的其他间接碳排放实现最大限度减排。

[0061] 在本发明中,所述生物基醇类燃料的运输工具优选包括使用乙醇或甲醇作为燃料的运输工具;所述油脂类燃料的运输工具优选包括生物柴油作为燃料的运输工具;所述绿电的运输工具优选包括绿电电动车。本发明燃料、油脂类燃料和绿电中的一种或多种提供能源的运输工具替代使用化石能源的运输工具进行运输,以绿色供应链尽可能地进行钢铁产品价值链范围3物流及其他生产服务的其他间接碳排放的减排。

[0062] 在本发明中,所述范围1工业过程、范围2外购能源和范围3价值链分配的其他间接碳排放,对上述这些钢铁生产不可避免剩余碳排放采用负碳排放BECNU生产生态系统工程碳循环产品生物炭二氧化碳当量清除碳汇全部抵消与清除。

[0063] 在本发明中,所述范围1工业过程、范围2外购能源和范围3价值链分配的其他间接碳排放,经采取尽可能的减排措施后仍不可避免的剩余碳排放,本发明优选建立生物质热解气化-生物炭负碳排放BECNU生态系统工程碳循环清除抵消模型,实现短流程钢铁产品从摇篮到大门生命周期碳中和。

[0064] 在本发明中,所述生物质热解气化-生物炭负碳排放BECNU生态系统工程清除抵消模型包括:根据全废钢绿电短流程钢铁生产不可避免的剩余温室气体排放量,确定所述

BECNU生态系统工程的温室气体清除量及其生物质燃气产率与生物炭产率,以及其生物能源替代化石能源减排量与生物炭负碳排放清除量的调节机制,确保短流程钢铁生产边界内生物炭负碳排放抵扣清除量不低于所述钢铁生产生命周期不可避免剩余碳排放量。在本发明中,所述确定BECNU生态系统工程的温室气体清除量及其生物质燃气产率与生物炭产率,以及其生物能源替代化石能源减排量与生物炭负碳排放清除量的调节机制优选包括:通过计算评估边界内用尽可能的各种节能减排措施所实现的减排量、不可避免剩余排放量,确定需要以生物炭抵扣的清除量及生物炭负碳排放和BECNU生态系统工程碳循环生物气产率与生物炭产率,进而调整BECNU生物气产率及其减排量与生物炭产率及其负碳排放清除量,使短流程钢铁生产边界内生物炭负碳排放抵扣量,不会不低于所述钢铁生产生命周期不可避免剩余排放量,实现钢铁产品碳中和净零碳排放。

[0065] 在本发明中,所述BECNU生态系统工程碳循环优选包括短期碳循环和长期碳循环两种性质的碳循环。

[0066] 在本发明中,所述全废钢绿电短流程钢铁产品碳中和的方法流程图优选如图1所示,本发明全废钢绿电短流程钢铁产品的生命周期CFP归因系统图如图2所示,本发明碳中和钢铁产品CFP工艺归因构成图如图3所示,基于负碳排放BECNU生态系统工程的钢铁产品碳中和的方法的生产装置结构图如图4所示,作为本发明的对比,宝钢现有技术宝钢全废钢绿电工艺CFP归因系统图如图5所示。钢铁产品实现碳中和工艺方法步骤,附图具体说明如下:

[0067] 从图1、图2可以看出,本发明相对于现有技术图5,BECNU的二次能源产品生物质燃气替代了传统钢铁生产所使用的化石能源,使钢铁生产与化石能源完全脱钩。

[0068] 在本发明中,所述碳中和钢铁产品碳足迹CFP工艺归因温室气体排放与清除构成图如图3所示。其中:

[0069] 1、“1.其他不可避免温室气体排放及5净化石能源温室气体排放和清除”属于非生物源温室气体二氧化碳当量排放与清除;

[0070] 2、“2.生物源碳排放、6.生物源温室气体清除、9.产品中的生物碳”属于生物源温室气体二氧化碳当量排放与清除;

[0071] 3、“3直接土地利用变化和土地管理变化的排放、4.土地利用排放,不包括土地管理变化、7.直接土地利用变化和土地管理变化的清除、8.土地利用清除,不包括土地管理变化、10.间接土地利用变化排放、11.间接土地利用变化清除”等属于土地利用及其变化影响的温室气体二氧化碳当量(排放或清除)。

[0072] 在本发明中,所述基于负碳排放BECNU生态系统工程碳循环的钢铁产品碳中和的方法,其实现碳循环的核心生产装置生物质热解气化-碳化炉结构图优选如图4所示,其中,左图为生物质固定床气化-碳化炉示意图,右图为生物质循环流化床气化-碳化炉示意图,图4对本发明技术方案的适用没有特殊限制,只要能满足BECNU生态系统工程碳循环模型设计需要即可。

[0073] 在本发明中,所述图4的生物质燃气化-碳化工艺流程优选包括以下步骤:

[0074] (i)将生物质在热解气化炉顶部加入,进入干燥层,并利用气化炉上行气流余热进行干燥;

[0075] (ii)干燥层下,上行的生物质热解气化生物质燃气由燃气管道输出,去钢铁生产

终端炼钢与轧钢工艺利用,全面替代化石能源;

[0076] (iii) 由于干燥层借重力下行的生物质在到达热解气化层区域时,在热力作用下生物质糖类大分子链断裂,开始无氧热解与缺氧控氧气化热化学反应,产出目标产物生物质燃气及生物炭;

[0077] (iv) 在热解气化层与炉底氧化燃烧层之间,形成温度与压力还原氛围的还原层,从炉底氧化层上行的 $\text{CO}_2$ 及醇类燃料与生物炭所含 $\text{H}_2\text{O}$ 被还原为 $\text{CO}$ 及 $\text{H}_2$ 等混合可燃气体上行;

[0078] (v) 由还原层继续下行的生物炭及尚未完成热解气化及还原的醇类燃料在炉底氧化层氧化燃烧,通过炉排周边设置的循环水套、一次风、二次风和中心风系统及加入水蒸气等工艺技术手段,调节生物燃料与气化剂的当量比、温度、压力、氧化燃烧速率等多种气化-碳化运行参数,得到不同生物质燃气产率与生物炭产率的目标产品;

[0079] (vi) 生物炭及杂质由炉排排出,经安全水封湿式输出生物炭与杂质的混合产品(草木灰),去生物炭肥及土壤污染修复剂工厂,生产生物炭肥及土壤污染修复剂等BECNU生态系统工程最终产品(门到门1)。

[0080] 本发明对所述基于负碳排放BECNU生态系统工程碳循环的钢铁产品碳中和的方法,生物质燃气化-碳化操作参数没有特殊限定,根据BECNU生态系统工程碳循环设计与运行需要,按BECNU操作规程进行调整操作即可。

[0081] 下面将结合本发明中的实施例,对本发明中的技术方案进行清楚、完整地描述。显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0082] 实施例1

[0083] 以基于负碳排放BECNU生态系统工程碳循环的钢铁产品碳中和的方法对某短流程连续加料电炉钢厂进行改造为例:

[0084] 本实施例短流程连续加料电炉钢厂生产能力为电炉平均每小时钢产量为100t。

[0085] 1、某短流程连续加料电炉钢改造前的吨钢碳排放情况:

[0086] 废钢原料1.08吨,排放因子 $0.0037\text{t CO}_2/\text{t}$ ,排放量 $0.004\text{t CO}_{2e}$ ;总电耗 $594.18\text{kW}\cdot\text{h}$ ,所在区域电力排放因子 $0.8046\text{CO}_2/\text{kW}\cdot\text{h}$ ,排放量 $0.478\text{tCO}_{2e}$ ;氧气 $36.1\text{Nm}^3$ ,排放因子 $0.0009827\text{t CO}_2/\text{Nm}^3$ ,排放量 $0.036\text{t CO}_{2e}$ ;电极消耗 $1.86\text{kg}$ ,电极排放因子 $3.663\text{kg CO}_2/\text{kg}$ ,排放量 $0.007\text{t CO}_{2e}$ ;碳粉 $22.29\text{kg}$ ,排放因子 $2.690\text{kg CO}_2/\text{kg}$ ,排放量 $0.060\text{t CO}_{2e}$ ;无烟煤 $19.06\text{kg}$ ,排放因子 $2.530\text{kg CO}_2/\text{kg}$ ,排放量 $0.048\text{t CO}_{2e}$ ;石灰 $58.25\text{kg}$ ,排放因子 $0.440\text{kg CO}_2/\text{kg}$ ,排放量 $0.026\text{t CO}_{2e}$ ;白云石 $17.63\text{kg}$ ,排放因子 $0.477\text{kg CO}_2/\text{kg}$ ,排放量 $0.008\text{t CO}_{2e}$ ;电弧-精炼吨钢排放总计: $0.667\text{t CO}_{2e}$ ;连铸连轧吨钢无烟煤耗 $99.44\text{kg}$ ,其排放因子 $2.530\text{kg CO}_2/\text{kg}$ ,吨钢排放 $0.244\text{t CO}_{2e}$ 。其全废钢连续加料电弧炉短流程吨钢碳排放量为 $0.911\text{t CO}_{2e}$ 。

[0087] 2、对该短流程连续加料电炉钢进行流程改造与边界拓展,改造方法为:将全部电耗转换为绿电,在钢厂建设一座负碳排放BECNU生态系统工程核心装置,即生物质燃气化联产生物炭系统,所产生物炭部分用于替代炼钢-精炼过程使用的碳粉,其余生物炭全部作为生物炭肥及污染修复剂原料,随生态系统工程生态产品全部施入土壤长期培肥固碳,所产

生物质燃气通过燃气管道输送至电弧炼钢、精炼及轧钢工段,替代其所消耗的全部无烟煤。

[0088] 改造后的吨钢碳排放情况:所用风电绿电排放因子 $10\text{g CO}_{2e}/\text{kW}\cdot\text{h}$ ,总电耗排放 $0.006\text{t CO}_{2e}$ ,相较于改造前减排 $0.472\text{t CO}_{2e}$ ;碳粉改用生物质燃气化联产生物炭系统产生的生物炭后,排放为0,相较于改造前减排 $0.060\text{tCO}_{2e}$ ;电弧与精炼、轧钢所用无烟煤改用生物质燃气后,排放为0,相较于改造前减排 $0.292\text{t CO}_{2e}$ 。

[0089] 可见,在其它条件不变情境下,相较于改造前,改造后总排放减少量为: $0.472+0.060+0.292=0.824(\text{t CO}_{2e})$ ,其全废钢连续加料电弧炉短流程吨钢碳排放量变为: $0.911-0.824=0.087(\text{t CO}_{2e})$ 。此吨钢碳排放量为剩余不可避免的碳排放。

[0090] 3、剩余不可避免的碳排放用生物炭移除碳汇清除抵消,方法如下:

[0091] 一吨生物炭1.9吨碳汇,吨钢需 $0.0458\text{t}$ 生物炭,按照碳元素数量等同原则,替代 $22.29\text{kg}$ 碳粉需生物炭 $23.38\text{kg}$ ;用生物质燃气替代全部 $118.5\text{kg}$ 无烟煤,无烟煤需经过煤气化过程,能量转化效率为 $80\%$ ,无烟煤热值 $6,500\text{kcal}/\text{kg}$ ,生物质燃气热值 $1,300\text{kcal}/\text{Nm}^3$ ,依据公式无烟煤数量 $\times$ 无烟煤单位热值 $\times 80\%=$ 生物质燃气数量 $\times$ 生物质燃气单位热值,得到吨钢生物质燃气耗量为 $474\text{Nm}^3$ 。

[0092] 据此,钢厂生物质热解气化-生物炭负碳排放BECNU系统需为吨钢提供生物质燃气 $474\text{Nm}^3$ ,生物炭 $0.0692\text{吨}$ 。

[0093] 对于钢厂生物质热解气化-生物炭系统,理想条件生物炭产率计算如下:

[0094]  $1\text{Nm}^3$ 生物质燃气含碳 $183.27\text{g}$ , $474\text{Nm}^3$ 生物质燃气含碳 $0.08687\text{t}$ ,生物炭含碳 $70\%$ , $0.0692\text{t}$ 生物炭含碳 $0.04844\text{t}$ ,生物质燃料含碳 $48\%$ ,假设当1吨生物质燃料气化后产出 $m$ 吨含碳量为 $70\%$ 的生物炭,此时所产生物质燃气及生物炭恰好满足吨钢生物质燃气及生物炭需求,则有 $0.7m/48\%=0.04844/(0.08687+0.04844)$ ,计算得 $m=0.2455$ ,即生物炭产率为 $24.55\%$ 。

[0095] 本实施例钢铁产品碳中和工艺,生物炭产率为 $24.55\%$ 时,1吨生物质燃料产出 $1,684\text{Nm}^3$ 生物质燃气。

[0096] 依据生物质燃气化碳元素守恒原理,计算得出理想的生物质燃气化操作条件为:1吨含碳 $48\%$ 的生物质,通过气化-碳化系统进行气化-碳化反应后,产出热值为 $1,300\text{kcal}/\text{Nm}^3$ 的生物质燃气 $1,684\text{Nm}^3$ ,产出含碳 $70\%$ 的生物炭 $0.2455\text{t}$ ,生物炭产率为 $24.55\%$ 。

[0097] 本实施例的电炉平均每小时钢产量为 $100\text{t}$ ,生物质燃气化系统需每小时供应生物质燃气 $47,400\text{Nm}^3$ ,生物炭 $6.92\text{t}$ ;则需要生物质燃料量为每小时消耗量 $28.15\text{t}$ 。

[0098] 根据温室气体核算体系GHGProtocol《产品标准》产品温室气体碳足迹CFP模型公式:

$$[0099] \quad \frac{\text{总二氧化碳总量}}{\text{分析单元}} = \frac{(\text{生物源})\text{二氧化碳当量排放}}{\text{参考流}} - \frac{(\text{生物源})\text{二氧化碳当量清除}}{\text{参考流}} + \frac{(\text{非生物源})\text{二氧化碳当量排放}}{\text{参考流}} - \frac{(\text{非生物源})\text{二氧化碳当量清除}}{\text{参考流}} + \frac{\text{土地利用变化影响的二氧化碳当量}}{\text{参考流}} \leq 0。$$

[0100] 分析单元为从摇篮到大门的(全废钢绿电生物质燃气生物炭)1吨钢铁产品,其中,生物源二氧化碳当量排放为0,生物源二氧化碳当量清除/参考流=提供碳汇的生物炭二氧化碳当量清除量/参考流= $0.087\text{t CO}_{2e}$ ,非生物源二氧化碳当量排放=吨钢不可避免的剩余二氧化碳当量排放= $0.087\text{t CO}_{2e}$ ,实施例无非生物源二氧化碳当量清除,生物质燃料从人工可持续管理的森林获取,无土地利用变化影响。

[0101] 计算钢铁产品碳足迹CFP得吨钢碳排放=生物源二氧化碳当量排放-提供碳汇的生物炭二氧化碳当量清除+吨钢不可避免的剩余二氧化碳当量排放-非生物源二氧化碳当量清除+土地利用变化影响的二氧化碳当量=0-0.087+0.087-0+0=0。

[0102] 实施例2

[0103] 以基于负碳排放BECNU生态系统工程碳循环的钢铁产品碳中和的方法,对某短流程非连续加料电炉钢厂进行改造为例:

[0104] 本实施例短流程非连续加料电炉钢厂生产能力为电炉平均每小时钢产量为115t。

[0105] 1、某短流程非连续加料电炉钢改造前的吨钢碳排放情况:

[0106] 吨钢消耗废钢原料1.07吨,排放因子0.0037t CO<sub>2</sub>/t,排放量0.004t CO<sub>2e</sub>;总电耗425kW·h,所在区域电力排放因子0.8042t CO<sub>2</sub>/kW·h,排放量0.342t CO<sub>2e</sub>;氧气34.7Nm<sup>3</sup>,排放因子0.0009827t CO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup>,排放量0.034t CO<sub>2e</sub>;电极消耗1.47kg,电极排放因子3.663kg CO<sub>2</sub>/kg,排放量0.005t CO<sub>2e</sub>;碳粉35.68kg,排放因子2.690kg CO<sub>2</sub>/kg,排放量0.096t CO<sub>2e</sub>;天然气13.4Nm<sup>3</sup>,排放因子1.911kg CO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup>,排放量0.026t CO<sub>2e</sub>;石灰34.68kg,排放因子0.440kg CO<sub>2</sub>/kg,排放量0.015t CO<sub>2e</sub>;白云石12.89kg,排放因子0.477kg CO<sub>2</sub>/kg,排放量0.006t CO<sub>2e</sub>;电弧炼钢—精炼吨钢排放总计:0.528t CO<sub>2e</sub>;连铸—连轧:精炼后所产钢水40%运送至H型钢产线,剩余60%运送至ESP镀锌薄板产线。两条产线连铸—连轧的天然气消耗(包括转运钢水时加热中间包的天然气消耗)分别为:H型钢产线的吨钢天然气消耗为28.56Nm<sup>3</sup>,ESP镀锌薄板产线吨钢天然气消耗为1.86Nm<sup>3</sup>。两条产线连铸—连轧的平均吨钢天然气耗量为40%×28.56+60%×1.86=12.54Nm<sup>3</sup>,所用天然气排放因子1.911kg CO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup>,平均吨钢排放0.024t CO<sub>2e</sub>。实施例钢厂废钢到产品的现状平均吨钢碳排放量约0.552t CO<sub>2e</sub>。

[0107] 2、对该短流程连续加料电炉钢进行流程改造与边界拓展,改造方法为:将全部电耗转换为绿电,在钢厂建设一座负碳排放BECNU生态系统工程核心装置,即生物质燃气化联产生物炭系统,所产生物炭部分用于替代炼钢-精炼过程使用的碳粉,其余生物炭全部作为生物炭肥及污染修复剂原料,随生态系统工程生态产品全部施入土壤长期培肥固碳,所产生物质燃气通过燃气管道输送至电弧炼钢、精炼及轧钢工段,替代其所消耗的全部天然气。

[0108] 进行碳中和生态系统工程改造后:所用绿电按风电排放标准排放因子为10g CO<sub>2e</sub>/kW·h,总电耗排放为0.004t CO<sub>2e</sub>,排放减少0.338t CO<sub>2e</sub>;碳粉改用生物炭后,排放为0,减排0.096t CO<sub>2e</sub>;电弧炼钢—精炼、连铸—连轧所用天然气改用生物质燃气后,排放为0,减排0.050t CO<sub>2e</sub>。改造后总排放减少0.484t CO<sub>2e</sub>,其全废钢电弧炉短流程吨钢碳排放量为0.068t CO<sub>2e</sub>。

[0109] 3、剩余不可避免碳排放用生物炭负碳排放碳汇清除抵扣,方法如下:

[0110] 剩余不可避免的0.068t CO<sub>2e</sub>用生物炭碳汇抵消,1吨生物炭1.9吨碳汇,吨钢需0.0358t生物炭,按照碳元素数量等同原则,替代35.68kg碳粉需生物炭37.4kg;总计需生物炭0.0732吨。

[0111] 用生物质燃气替代全部13.4+12.54=25.94Nm<sup>3</sup>天然气,天然气热值8,300kcal/kg,生物质燃气热值1,300kcal/Nm<sup>3</sup>,依据天然气和生物质燃气热值等效公式,天然气数量×天然气单位热值=生物质燃气数量×生物质燃气单位热值,吨钢生物质燃气耗量为165.6Nm<sup>3</sup>。

[0112] 钢厂生物质燃气化-生物炭系统理想条件下的生物炭产率计算如下：

[0113]  $1\text{Nm}^3$ 生物质燃气含碳 $183.27\text{g}$ ,  $165.6\text{Nm}^3$ 生物质燃气含碳 $0.03035\text{t}$ , 生物炭含碳 $70\%$ ,  $0.0732\text{t}$ 生物炭含碳 $0.05124\text{t}$ , 生物质燃料含碳 $48\%$ 。

[0114] 假设当1吨生物质燃料气化后产出a吨含碳量为 $70\%$ 的生物炭, 此时所产生物质燃气及生物炭恰好满足吨钢生物质燃气及生物炭需求, 则有 $0.7a/48\% = 0.05124/(0.03035 + 0.05124)$ , 计算得 $a = 0.4306$ , 即生物炭产率为 $43.06\%$ , 1吨生物质燃料产出 $975.8\text{Nm}^3$ 生物质燃气; 依据生物质燃气化-生物炭碳元素物质守恒原理, 计算得出理想生物质燃气化-生物炭操作条件为: 1吨含碳 $48\%$ 的生物质, 通过热解气化-生物炭系统进行碳中和生态系统工程后, 产出热值为 $1,300\text{kcal}/\text{Nm}^3$ 的生物质燃气 $975.8\text{Nm}^3$ , 产出含碳 $70\%$ 的生物炭 $0.4306\text{t}$ , 生物炭产率为 $43.06\%$ 。按电炉平均每小时钢产量 $175\text{t}$ 计算, 则生物质燃气化-生物炭系统需每小时供应生物质燃气 $28980\text{Nm}^3$ , 产生物炭 $12.81\text{t}$ 。

[0115] 据此, 本实施例实现钢铁产品碳中和, 生物质燃料每小时消耗量为 $29.70\text{t}$ , 日均需要量约 $720\text{t}$ , 年均需要量 $262,800\text{t}$ 。

[0116] 据温室气体核算体系GHGProtocol《产品标准》产品温室气体碳足迹CFP模型公式：

$$[0117] \quad \frac{\text{总二氧化碳总量}}{\text{分析单元}} = \frac{\text{(生物源)二氧化碳当量排放}}{\text{参考流}} - \frac{\text{(生物源)二氧化碳当量清除}}{\text{参考流}} + \frac{\text{(非生物源)二氧化碳当量排放}}{\text{参考流}} - \frac{\text{(非生物源)二氧化碳当量清除}}{\text{参考流}} + \frac{\text{土地利用变化影响的二氧化碳当量}}{\text{参考流}} \leq 0。$$

[0118] 分析单元为从摇篮到大门的(全废钢绿电生物质燃气生物炭)1吨钢铁产品, 其中生物源二氧化碳当量排放为0, 生物源二氧化碳当量清除/参考流=提供碳汇的生物炭二氧化碳当量清除量/参考流= $0.068\text{t CO}_{2\text{e}}$ , 非生物源二氧化碳当量排放=吨钢不可避免的剩余二氧化碳当量排放= $0.068\text{t CO}_{2\text{e}}$ , 本实施例无非生物源二氧化碳当量清除, 生物质燃料从人工可持续管理的森林获取, 不考虑土地利用变化影响。

[0119] 本实施例经计算钢铁产品碳足迹CFP得吨钢碳排放=生物源二氧化碳当量排放-提供碳汇的生物炭二氧化碳当量清除+吨钢不可避免的剩余二氧化碳当量排放-非生物源二氧化碳当量清除+土地利用变化影响的二氧化碳当量= $0-0.068+0.068-0+0=0$ 。

[0120] 由上述实施例可以看出, 采用本发明提供的基于负碳排放BECNU生态系统工程碳循环的钢铁产品碳中和的方法, 能够实现短流程钢从摇篮到大门生命周期的碳中和。

[0121] 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, 在不脱离本发明原理的前提下, 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。

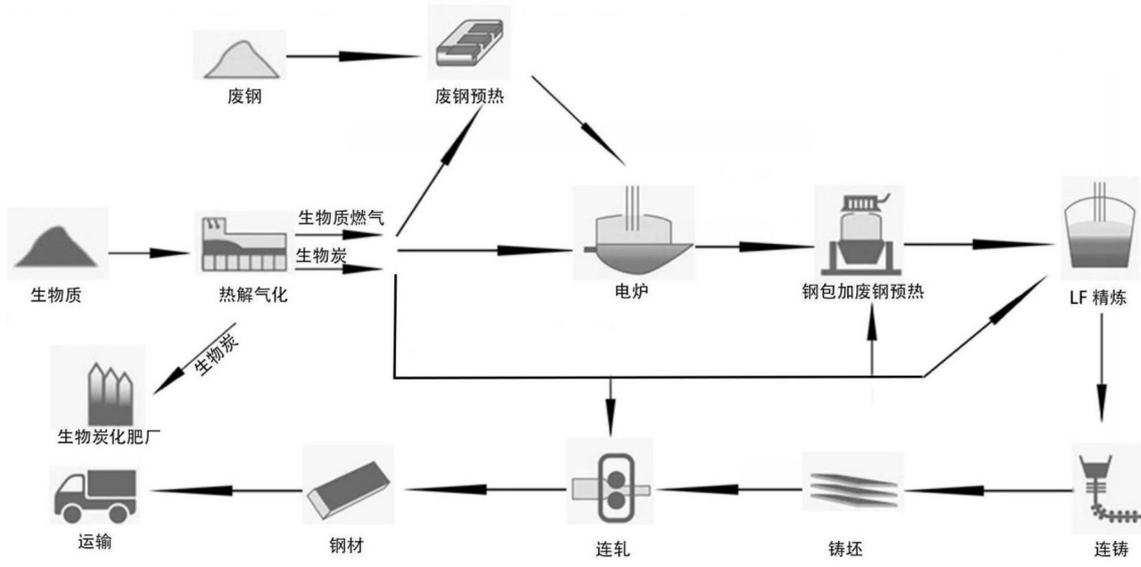


图1

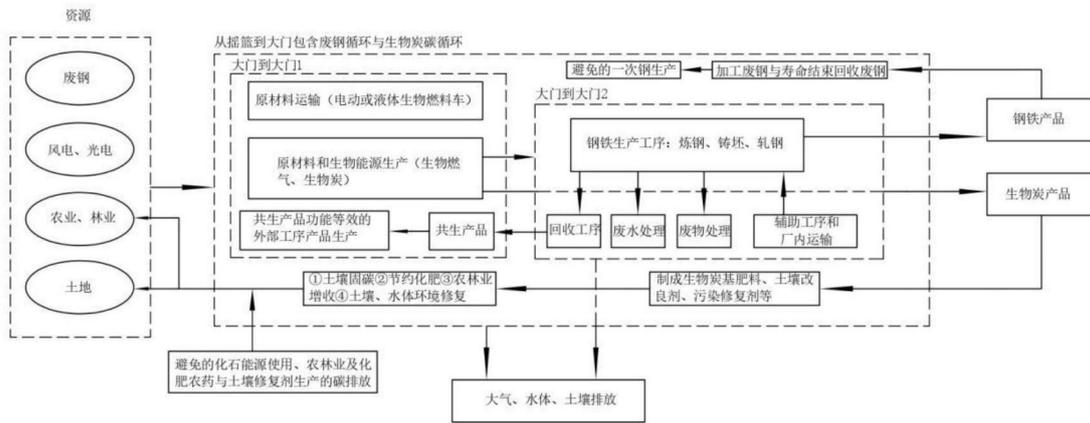


图2



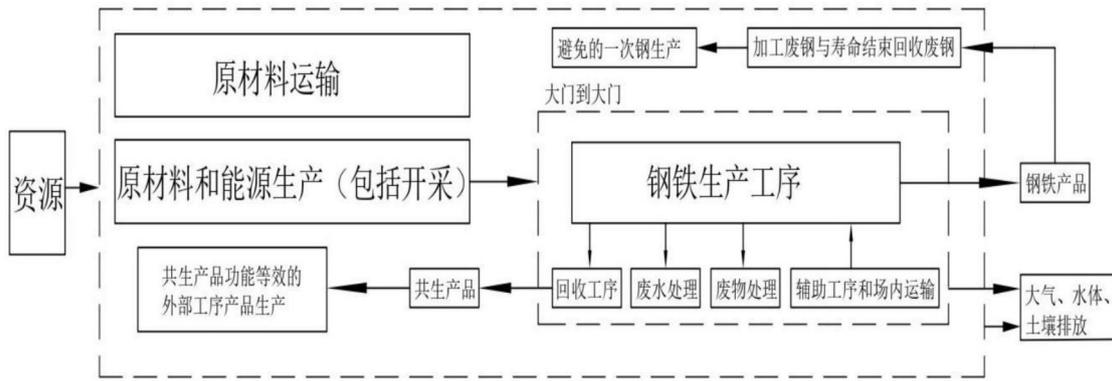


图5