

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2024 年 5 月 23 日 (23.05.2024)



(10) 国际公布号
WO 2024/103696 A1

(51) 国际专利分类号:
F27D 17/00 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2023/099139

(22) 国际申请日: 2023 年 6 月 8 日 (08.06.2023)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202211423432.4 2022 年 11 月 14 日 (14.11.2022) CN

(71) 申请人: 南京凯盛国际工程有限公司 (NANJING KISEN INTERNATIONAL ENGINEERING CO., LTD.) [CN/CN]; 中国江苏省南京市鼓楼区汉中门大街 303 号, Jiangsu 210000 (CN)。中国建材集团有限公司 (CHINA NATIONAL BUILDING MATERIAL

GROUP CO., LTD.) [CN/CN]; 中国北京市海淀区复兴路 17 号国海广场 2 号楼, Beijing 100000 (CN)。

(72) 发明人: 康宇 (KANG, Yu); 中国江苏省南京市鼓楼区汉中门大街 303 号, Jiangsu 210000 (CN)。李安平 (LI, Anping); 中国江苏省南京市鼓楼区汉中门大街 303 号, Jiangsu 210000 (CN)。钟根 (ZHONG, Gen); 中国江苏省南京市鼓楼区汉中门大街 303 号, Jiangsu 210000 (CN)。吴涛 (WU, Tao); 中国江苏省南京市鼓楼区汉中门大街 303 号, Jiangsu 210000 (CN)。

(74) 代理人: 北京挺立专利事务所 (普通合伙) (BEIJING TING LI PATENT AGENCY (ORDINARY PARTNERSHIP)); 中国北京市西城区茶马北街 1 号院 1 号楼 9 层 1 单元 1002, Beijing 100055 (CN)。

(54) Title: GRADIENT COMBUSTION OFF-LINE DECOMPOSITION FURNACE CARBON DIOXIDE ENRICHMENT SYSTEM AND PROCESS PRINCIPLE THEREOF

(54) 发明名称: 一种梯度燃烧离线分解炉富集二氧化碳系统及其工艺原理

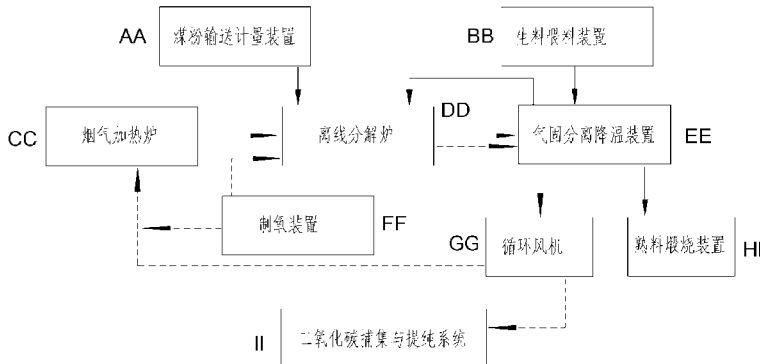


图 1

- AA Pulverized coal conveying and metering device
BB Raw material feeding device
CC Flue gas heating furnace
DD Off-line decomposition furnace
EE Gas-solid separation cooling device
FF Oxygen producing device
GG Circulating fan
HH Clinker calcining device
II Carbon dioxide capturing and purifying system

(57) Abstract: A gradient combustion off-line decomposition furnace carbon dioxide enrichment system and a process thereof. The gradient combustion off-line decomposition furnace carbon dioxide enrichment system comprises a flue gas heating furnace, an off-line decomposition furnace, a gas-solid separation cooling device, a circulating fan, an oxygen producing device, a raw material feeding device, and a pulverized coal conveying and metering device. The flue gas heating furnace, the off-line decomposition furnace, the



(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

gas-solid separation cooling device and the circulating fan are sequentially connected along a gas path. One air outlet of the oxygen producing device and an air outlet of the circulating fan are connected in parallel to an air inlet of the flue gas heating furnace, and the other air outlet of the oxygen producing device is connected to the off-line decomposition furnace. According to the present application, the adaptability of the off-line decomposition furnace to fuel is improved to better achieve burn-out of the fuel and preheating decomposition of the raw materials in the off-line decomposition furnace, thereby increasing the concentration of carbon dioxide in flue gas.

(57) 摘要: 一种梯度燃烧离线分解炉富集二氧化碳系统及其工艺, 包括烟气加热炉、离线分解炉、气固分离降温装置、循环风机、制氧装置、生料喂料装置和煤粉输送计量装置; 烟气加热炉、离线分解炉、气固分离降温装置、循环风机沿气路依次相连, 制氧装置的其中一个出风口与循环风机的出风口并联接入到烟气加热炉的进风口, 制氧装置的另一个出风口接入到离线分解炉中; 本申请提高了离线分解炉对燃料的适应性以更好地实现离线分解炉内燃料燃尽与生料预热分解, 并可进一步提高烟气中二氧化碳浓度。

一种梯度燃烧离线分解炉富集二氧化碳系统及其工艺原理

技术领域

本发明涉及一种梯度燃烧离线分解炉富集二氧化碳系统及其工艺原理。

背景技术

碳达峰、碳中和已经被提到国家政策层面，鉴于水泥工业的工艺特性，水泥工业是二氧化碳排放的大户，水泥工业二氧化碳深度减排被提上日程，窑尾烟气二氧化碳捕集利用技术是大幅降低碳排放的重要途径之一，为降低二氧化碳捕集利用成本，提高水泥工业烟气中的二氧化碳浓度是一个较为可行的方法，在水泥窑系统采用富氧或全氧燃烧，在提供燃料燃烧所需氧气的同时，大幅降低燃烧气氛中的氮气，可大幅提高烟气中的二氧化碳浓度，为后续提高二氧化碳捕集效率、降低二氧化碳捕集与提纯成本提供了基础。

水泥熟料煅烧过程中生成的二氧化碳主要来源有两部分，一部分是燃料燃烧过程中碳氧化生成二氧化碳，另一部分是生料中碳酸盐分解形成二氧化碳。目前普通水泥熟料煅烧中氧化钙绝大多数仍来自碳酸钙原料，即石灰石矿石，也是水泥工业二氧化碳的主要来源，碳酸钙分解过程中产生二氧化碳浓度较高。燃料燃烧过程中，形成的二氧化碳浓度较低，主要原因是燃料中除碳外，还有氢、硫、氮元素，加上水；另外，水泥工业主要以加热空气来提供燃料所需的氧气，空气中绝大部分是氮气，燃料燃烧形成的烟气氮气占比较大，进而使得二氧化碳浓度较低。用制备的氧气(浓度为 80~100%)替代空气，来供水泥窑系统燃料燃烧，可以大幅降低烟气中氮气比例，进而提高烟气中二氧化碳浓度。

通过氧气替代空气，来实现分解炉出口烟气中二氧化碳浓度的大幅提高，是一种富集二氧化碳的可行工艺，二氧化碳富集形成的烟气后续工艺是捕集，而目前常用的可靠捕集工艺需要将先烟气温度的降

低，才能进行后续烟气输送、净化与捕集。

根据水泥预热预分解与煅烧工艺特点，水泥窑系统富集二氧化碳工艺一般有两种方式：一种是整个水泥窑系统实行富氧或全氧燃烧，使得整个窑系统的二氧化碳浓度大幅提高，这种工艺便于实现烟气中全部二氧化碳捕集；另一种是在原预热预分解窑系统的窑尾附近加设离线分解炉，在离线分解炉内进行富氧或全氧燃烧，实现二氧化碳的富集，这种工艺可以根据二氧化碳捕集比例或规模进行部分二氧化碳捕集，这种工艺的特点是窑内不需富氧或全氧燃烧，窑内产生的低浓度二氧化碳烟气不进入离线分解炉。

另外，高浓度氧气替代空气提供燃烧气氛，形成的烟气量也大幅降低，为满足分解炉内烟气带料功能，需要将部分烟气进行循环利用，而循环烟气是预热生料后的烟气，烟气温度往往较低，若采用离线分解炉富集二氧化碳技术，较低的入炉气体温度难以满足常规燃料或燃点较高燃料的着火与持续燃烧，如分解炉内煤粉燃烧需要 600℃ 以上的环境温度，而循环烟气往往在 250~400℃ 之间，加上制备的氧气汇合掺入，温度进一步降低，难以满足水泥工业常规燃料煤粉的持续燃烧条件。通过离线分解炉实现烟气中二氧化碳富集工艺，是现有运行的水泥窑系统实现二氧化碳富集较为方便改造的工艺，不需要通过对整个水泥窑系统进行较大改动，而整个生产线富集二氧化碳工艺需要对预热器、分解炉、冷却机等进行动作较大改造，改造投资较大；另外目前受二氧化碳捕集利用销售市场的影响，一条中等规模 5000~6000t/d 的熟料生产线，年产生二氧化碳在 120 万吨以上，全部捕集利用不现实(销售量有限)。水泥窑系统采用部分二氧化碳富集与捕集是水泥行业工业化捕集利用较为现实的技术路线，也是最适合在线运行生产窑系统改造的工艺技术。

综上，有必要改善离线分解炉的入炉富氧、富二氧化碳烟气温度，为进一步提高入离线分解炉的燃烧前烟气温度，更好地适应离线分解

炉的燃料持续、高效燃烧，需要开发提高离线分解炉烟气的技术与装备。

发明内容

针对上述现有技术的现状，本发明所要解决的技术问题在于提供一种提高了离线分解炉对燃料的适应性以更好地实现离线分解炉内燃料燃尽与生料预热分解，并可进一步提高烟气中二氧化碳浓度为后续二氧化碳部分高效低成本捕集、提纯提供良好条件的梯度燃烧离线分解炉富集二氧化碳系统及其工艺原理。

本发明解决上述技术问题所采用的技术方案为：一种梯度燃烧离线分解炉富集二氧化碳系统，其特征在于，包括烟气加热炉、离线分解炉、气固分离降温装置、循环风机、制氧装置、生料喂料装置和煤粉输送计量装置；所述烟气加热炉、离线分解炉、气固分离降温装置、循环风机沿气路依次相连，所述制氧装置的其中一个出风口与所述循环风机的出风口并联接入到烟气加热炉的进风口，所述制氧装置的另一个出风口接入到离线分解炉中，所述生料喂料装置的出料口与气固分离降温装置的进料口相连，所述煤粉输送计量装置的出料口与离线分解炉的进料口以及烟气加热炉的进料口均相连。

优选地，所述气固分离降温装置包括多级依次串联的旋风筒，所述旋风筒的级数为 3~5 级。

一种梯度燃烧离线分解炉富集二氧化碳系统的工艺原理，其特征在于，包括以下步骤：

S1：制氧装置制备的氧气与部分富集二氧化碳循环烟气汇合，形成以二氧化碳、氧气为主要成分的汇合气体，二氧化碳体积百分比在 40~70%，氧气体积百分比在 25%~40%；

S2：汇合气体先进入烟气加热炉，往烟气加热炉加入煤粉或替代燃料或煤粉和替代燃料的混合物，煤粉占烟气加热炉总燃料热值比例在 0%~100%，通过烟气加热炉的燃料燃烧，将汇合烟气加热至 600~

1000℃。

S3: 烟气加热炉加热后的汇合烟气由离线分解炉的下锥部进入离线分解炉, 气流自下锥部由下而上运动, 煤粉在离线分解炉的下锥部加入, 预热生料在离线分解炉煤粉加入点上方位置加入, 离线分解炉通过煤粉燃烧提供热量来满足热生料中碳酸盐分解。

S4: 离线分解炉里煤粉燃烧、生料分解后形成高二氧化碳浓度的烟气, 烟气中二氧化碳体积百分比 $\geq 60\%$, 由离线分解炉出口排出, 生料在离线分解炉完成碳酸盐分解(控制分解率 $\geq 92\%$);

S5: 出离线分解炉烟气携带分解后的生料粉进入气固分离降温装置, 生料喂料装置将冷生料喂入气固分离降温装置, 通过气固分离降温装置的多级串联旋风筒来完成热烟气与生料多次换热, 实现烟气温度降低、生料温度提升。

S6: 通过气固分离降温装置, 将离线分解炉的最下一级旋风筒将热生料分离后送入熟料煅烧装置, 煅烧制成水泥熟料; 热烟气降温后通过循环风机后分为两路, 一路循环至烟气加热炉, 一路排出系统供后续碳捕集利用;

S7: 煤粉输送计量装置将煤粉分为两路, 一路至烟气加热炉, 通过燃烧器燃烧来加热汇合气体; 一路至离线分解炉, 通过燃烧产生热量供离线分解炉的生料分解。

优选地, 所述步骤 S1 中的制氧装置制备的氧气分为两路, 一路与循环烟气汇合至烟气加热炉为烟气加热炉煤粉燃烧提供氧气, 一路至离线分解炉下锥部为离线分解炉煤粉燃烧提供氧气。

优选地, 所述步骤 S4 中的烟气中二氧化碳主要有两个来源, 一是生料中碳酸盐分解产生的二氧化碳, 另一是煤粉等燃料燃烧产生的二氧化碳。

优选地, 所述步骤 S4 中的烟气中二氧化碳体积分数大于 60%, 通过循环烟气与氧气的汇合气体作为燃烧气体, 严控系统漏风, 尽量

降低入系统氮气的比例。

优选地，所述步骤 S4 中的离线分解炉的烟气温度为 850～1000℃，用来提高离线分解炉内生料的分解率，同时尽量避免物料出现液相。

优选地，所述步骤 S6 中的降温后的高二氧化碳浓度烟气的一部分与 S1 中制氧装置制备的氧气汇合后进入烟气加热炉，后续进入离线分解炉，进行部分烟气循环利用，以满足离线分解炉烟气携带生料需要的烟气量；一部分排出系统，经过再次降温除尘后进入后续二氧化碳捕集与提纯系统。

与现有技术相比，本发明的优点在于：

1、本发明利用全氧或富氧替代空气供给离线分解炉，并利用梯度燃烧原理，提高入离线分解炉的气体温度，提高了离线分解炉对燃料的适应性。

2、通过烟气加热炉低温富氧气氛的燃料燃烧，来加热入离线分解炉的气体，通过氧气比例调节和温度控制来满足燃料燃烧所需温度和燃烧速度，以更好地实现离线分解炉内燃料燃尽与生料预热分解。

3、通过提高制氧装置制备的氧气浓度、控制系统漏风来降低整个系统气体成分中氮气的含量，可进一步提高烟气中二氧化碳浓度。

4、本工艺能够很好地适应现有水泥窑的改造，以实现水泥窑系统部分烟气的二氧化碳富集，来提高离线富集系统烟气中的二氧化碳浓度，为后续二氧化碳部分高效低成本捕集、提纯提供良好条件。

附图说明

图 1 为本发明的结构原理图；

图 2 为本发明采用煤粉与替代燃料时的结构原理图；

图 3 为本发明的物料与气体走向流程结构图；

图 4 为本发明的气固分离降温装置为五级旋风筒时的结构图。

具体实施方式

除非另外定义，本发明使用的技术术语或者科学术语应当为本发明所属领域内具有一般技能的人士所理解的通常意义。本发明中使用的“第一”、“第二”以及类似的词语并不表示任何顺序、数量或者重要性，而只是用来区分不同的组成部分。“包括”或者“包含”等类似的词语意指出现该词前面的元件或者物件涵盖出现在该词后面列举的元件或者物件及其等同，而不排除其他元件或者物件。“连接”或者“相连”等类似的词语并非限定于物理的或者机械的连接，而是可以包括电性的连接，不管是直接的还是间接的。“上”、“下”、“左”、“右”等仅用于表示相对位置关系，当被描述对象的绝对位置改变后，则该相对位置关系也可能相应地改变。

为了保持本发明实施例的以下说明清楚且简明，本发明省略了已知功能和已知部件的详细说明。

如图 1 所示，一种梯度燃烧离线分解炉富集二氧化碳系统，包括烟气加热炉、离线分解炉、气固分离降温装置、循环风机、制氧装置、生料喂料装置和煤粉输送计量装置；烟气加热炉、离线分解炉、气固分离降温装置、循环风机沿气路依次相连，制氧装置的其中一个出风口与循环风机的出风口并联接入到烟气加热炉的进风口，制氧装置的另一个出风口接入到离线分解炉中，生料喂料装置的出料口与气固分离降温装置的进料口相连，煤粉输送计量装置的出料口与离线分解炉的进料口以及烟气加热炉的进料口均相连。

气固分离降温装置包括多级依次串联的旋风筒，旋风筒级数以 3~5 级为佳，换热级数越多，烟气降低越多。

如图 2~3 所示，一种梯度燃烧离线分解炉富集二氧化碳系统的工艺原理，包括以下步骤：

S1：制氧装置制备的氧气与部分富集二氧化碳循环烟气汇合，形成以二氧化碳、氧气为主要成分的汇合气体，二氧化碳体积百分比在 40~70%，氧气体积百分比在 25%~40%，其他为氮气、水气等；将制

氧装置制备的氧气分为两路，一路与循环烟气汇合至烟气加热炉为烟气加热炉煤粉燃烧提供氧气，一路至离线分解炉下锥部为离线分解炉煤粉燃烧提供氧气。

S2: 汇合气体先进入烟气加热炉，往烟气加热炉加入煤粉或替代燃料或煤粉和替代燃料的混合物，煤粉占烟气加热炉总燃料热值比例在 0%~100%，通过烟气加热炉的燃料燃烧，将汇合烟气加热至 600~1000℃。

S3: 烟气加热炉加热后的汇合烟气由离线分解炉的下锥部进入离线分解炉，气流自下锥部由下而上运动，煤粉在离线分解炉的下锥部加入，预热生料在离线分解炉煤粉加入点上方位置加入，离线分解炉通过煤粉燃烧提供热量来满足热生料中碳酸盐分解。

S4: 离线分解炉里煤粉燃烧、生料分解后形成高二氧化碳浓度的烟气，烟气中二氧化碳体积百分比 $\geq 60\%$ ，由离线分解炉出口排出，生料在离线分解炉完成碳酸盐分解(控制分解率 $\geq 92\%$)；上述烟气中二氧化碳主要有两个来源，一是生料中碳酸盐分解产生的二氧化碳，另一是煤粉等燃料燃烧产生的二氧化碳，整个离线分解炉富集二氧化碳系统需要提高制氧装置制备氧气的浓度，尽量降低入系统氮气的比例，将烟气中二氧化碳体积分数控制在 60%以上，通过循环烟气与氧气的汇合气体作为燃烧气体，严控系统漏风，尽量降低入系统氮气的比例；为更好地满足所述的离线分解炉内生料的分解率，提高生料分解率，同时尽量避免物料出现液相，将离线分解炉的烟气温度控制在 850~1000℃范围。

S5: 出离线分解炉烟气携带分解后的生料粉进入气固分离降温装置，生料喂料装置将冷生料喂入气固分离降温装置，通过气固分离降温装置的多级串联旋风筒来完成热烟气与生料多次换热，实现烟气温度降低、生料温度提升。

S6: 通过气固分离降温装置，将离线分解炉的最下一级旋风筒将

热生料分离后送入熟料煅烧装置，煅烧制成水泥熟料；热烟气降温后通过循环风机后分为两路，一路循环至烟气加热炉，一路排出系统供后续碳捕集利用；降温后的高二氧化碳浓度烟气的一部分与 S1 中制氧装置制备的氧气汇合后进入烟气加热炉，后续进入离线分解炉，进行部分烟气循环利用，以满足离线分解炉烟气携带生料需要的烟气量，通过设计合适的气流风速与料气比，实现烟气气流将生料带出离线分解炉；降温后的高二氧化碳浓度烟气的一部分排出系统，经过再次降温除尘后进入后续二氧化碳捕集与提纯系统。

S7：煤粉输送计量装置将煤粉分为两路，一路至烟气加热炉，通过燃烧器燃烧来加热汇合气体；一路至离线分解炉，通过燃烧产生热量供离线分解炉的生料分解。

根据以上工艺原理，举例实施说明如下：用制氧装置制备含氧为 90% 的氧气与循环烟气进行汇合配比，配成氧气体积分数为 30%、二氧化碳体积分数为 45% 的汇合烟气，其它气体为氮气、水汽等，其中氮气主要为制氧装置制备的 90% 的氧气中的氮气、送煤风及漏风带来的氮气，送入烟气加热炉；通过煤粉输送计量装置将部分煤粉送入烟气加热炉的燃烧器，将烟气加热炉出口烟气温度控制为 800℃ 左右，通过烟气加热炉的煤粉燃烧，氧气消耗后烟气中氧气体积百分比适当降低，然后将烟气加热炉的出口烟气送入离线分解炉，由离线分解炉下锥部进入，将另一部分煤粉送入离线分解炉锥部，与低温烟气相比，在 800℃ 富氧富二氧化碳的汇合烟气环境中，离线分解炉内煤粉容易燃烧；通过设计合理的烟气停留时间和离线分解炉出口温度，将离线分解炉里生料的碳酸盐分解率控制在 $\geq 92\%$ ，以此分解率来控制出口烟气温度；离线分解炉内生料分解、煤粉燃尽后形成烟气，根据煤粉的元素分析、系统用煤量以及喂入生料量，可以计算出烟气中二氧化碳的体积分数，若制氧装置制备的氧气浓度较高，结合漏风控制，排出系统的二氧化碳体积分数可实现 $\geq 60\%$ ；将离线分解炉排出的烟气

送入气固分离降温装置,将气固分离降温装置设计为5级旋风筒串联的系统,如图4所示,通过第五级旋风筒(空间布置上看,从上往下依次为第一级旋风筒、第二级旋风筒、第三级旋风筒、第四级旋风筒、第五级旋风筒)实现离线分解炉烟气的气固分离,分离后的热生料供后续水泥熟料煅烧用,分离后热烟气依次进入第四级、第三级、第二级、第一级旋风筒,由第一级旋风筒排出,然后通过循环风机后分为两路,一路循环至烟气加热炉,一路排出系统供后续碳捕集利用,若严控制氧浓度与漏风,系统烟气可实现干基二氧化碳体积分数 $\geq 80\%$ 的烟气的制备,达到二氧化碳富集的目的。

本发明还可以适应煤粉之外的其他燃料或替代燃料,达到二氧化碳富集的目的,为后续二氧化碳高效低成本捕集、提纯与利用提供基础,若系统采用天然气、燃油等燃点低的燃料,离线分解炉的进口气体温度可以适当降低,只需调整烟气加热炉与离线分解炉的燃料比例即可,适当降低烟气加热炉的燃料量,将烟气加热炉的出口烟气温度降低即可,其它操作实施基本不变。

最后应说明的是:以上实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的技术人员应当理解,其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行同等替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的精神与范围。

权利要求书

1. 一种梯度燃烧离线分解炉富集二氧化碳系统，其特征在于，包括烟气加热炉、离线分解炉、气固分离降温装置、循环风机、制氧装置、生料喂料装置和煤粉输送计量装置；所述烟气加热炉、离线分解炉、气固分离降温装置、循环风机沿气路依次相连，所述制氧装置的其中一个出风口与所述循环风机的出风口并联接入到烟气加热炉的进风口，所述制氧装置的另一个出风口接入到离线分解炉中，所述生料喂料装置的出料口与气固分离降温装置的进料口相连，所述煤粉输送计量装置的出料口与离线分解炉的进料口以及烟气加热炉的进料口均相连。

2. 根据权利要求 1 所述的一种梯度燃烧离线分解炉富集二氧化碳系统，其特征在于，所述气固分离降温装置包括多级依次串联的旋风筒，所述旋风筒的级数为 3~5 级。

3. 一种梯度燃烧离线分解炉富集二氧化碳系统的工艺原理，其特征在于，包括以下步骤：

S1：制氧装置制备的氧气与部分富集二氧化碳循环烟气汇合，形成以二氧化碳、氧气为主要成分的汇合气体，二氧化碳体积百分比在 40~70%，氧气体积百分比在 25%~40%；

S2：汇合气体先进入烟气加热炉，往烟气加热炉加入煤粉或替代燃料或煤粉和替代燃料的混合物，煤粉占烟气加热炉总燃料热值比例在 0%~100%，通过烟气加热炉的燃料燃烧，将汇合烟气加热至 600~1000℃。

S3：烟气加热炉加热后的汇合烟气由离线分解炉的下锥部进入离线分解炉，气流自下锥部由下而上运动，煤粉在离线分解炉的下锥部加入，预热生料在离线分解炉煤粉加入点上方位置加入，离线分解炉通过煤粉燃烧提供热量来满足热生料中碳酸盐分解。

S4：离线分解炉里煤粉燃烧、生料分解后形成高二氧化碳浓度的

烟气，烟气中二氧化碳体积百分比 $\geq 60\%$ ，由离线分解炉出口排出，生料在离线分解炉完成碳酸盐分解(控制分解率 $\geq 92\%$)；

S5：出离线分解炉烟气携带分解后的生料粉进入气固分离降温装置，生料喂料装置将冷生料喂入气固分离降温装置，通过气固分离降温装置的多级串联旋风筒来完成热烟气与生料多次换热，实现烟气温度的降低、生料温度提升。

S6：通过气固分离降温装置，将离线分解炉的最下一级旋风筒将热生料分离后送入熟料煅烧装置，煅烧制成水泥熟料；热烟气降温后通过循环风机后分为两路，一路循环至烟气加热炉，一路排出系统供后续碳捕集利用；

S7：煤粉输送计量装置将煤粉分为两路，一路至烟气加热炉，通过燃烧器燃烧来加热汇合气体；一路至离线分解炉，通过燃烧产生热量供离线分解炉的生料分解。

4. 根据权利要求3所述的一种梯度燃烧离线分解炉富集二氧化碳系统的工艺原理，其特征在于，所述步骤S1中的制氧装置制备的氧气分为两路，一路与循环烟气汇合至烟气加热炉为烟气加热炉煤粉燃烧提供氧气，一路至离线分解炉下锥部为离线分解炉煤粉燃烧提供氧气。

5. 根据权利要求3所述的一种梯度燃烧离线分解炉富集二氧化碳系统的工艺原理，其特征在于，所述步骤S4中的烟气中二氧化碳主要有两个来源，一是生料中碳酸盐分解产生的二氧化碳，另一是煤粉等燃料燃烧产生的二氧化碳。

6. 根据权利要求3所述的一种梯度燃烧离线分解炉富集二氧化碳系统的工艺原理，其特征在于，所述步骤S4中的烟气中二氧化碳体积分数大于60%，通过循环烟气与氧气的汇合气体作为燃烧气体，严控系统漏风，尽量降低入系统氮气的比例。

7. 根据权利要求3所述的一种梯度燃烧离线分解炉富集二氧化碳

碳系统的工艺原理，其特征在于，所述步骤 S4 中的离线分解炉的烟气温度为 850~1000℃，用来提高离线分解炉内生料的分解率，同时尽量避免物料出现液相。

8. 根据权利要求 3 所述的一种梯度燃烧离线分解炉富集二氧化碳系统的工艺原理，其特征在于，所述步骤 S6 中的降温后的高二氧化碳浓度烟气的一部分与 S1 中制氧装置制备的氧气汇合后进入烟气加热炉，后续进入离线分解炉，进行部分烟气循环利用，以满足离线分解炉烟气携带生料需要的烟气量；一部分排出系统，经过再次降温除尘后进入后续二氧化碳捕集与提纯系统。

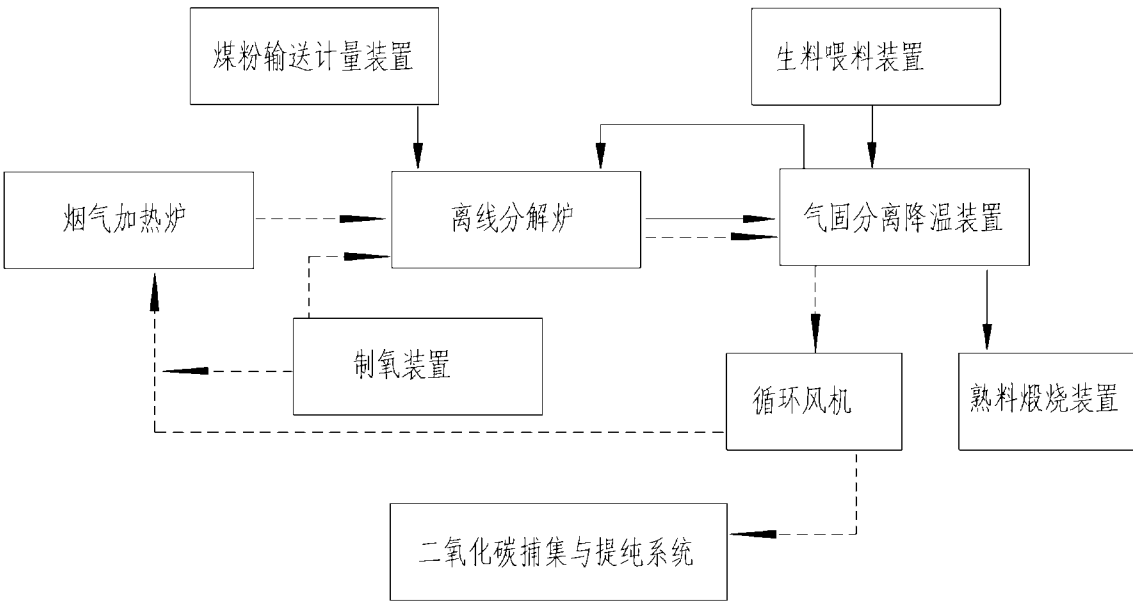


图 1

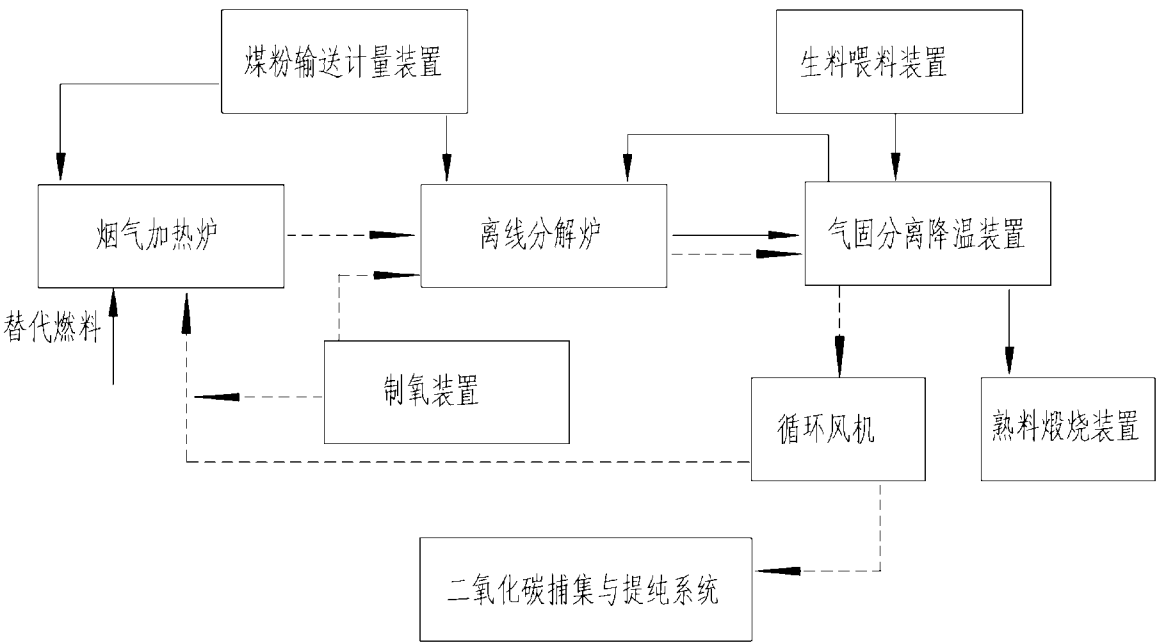


图 2

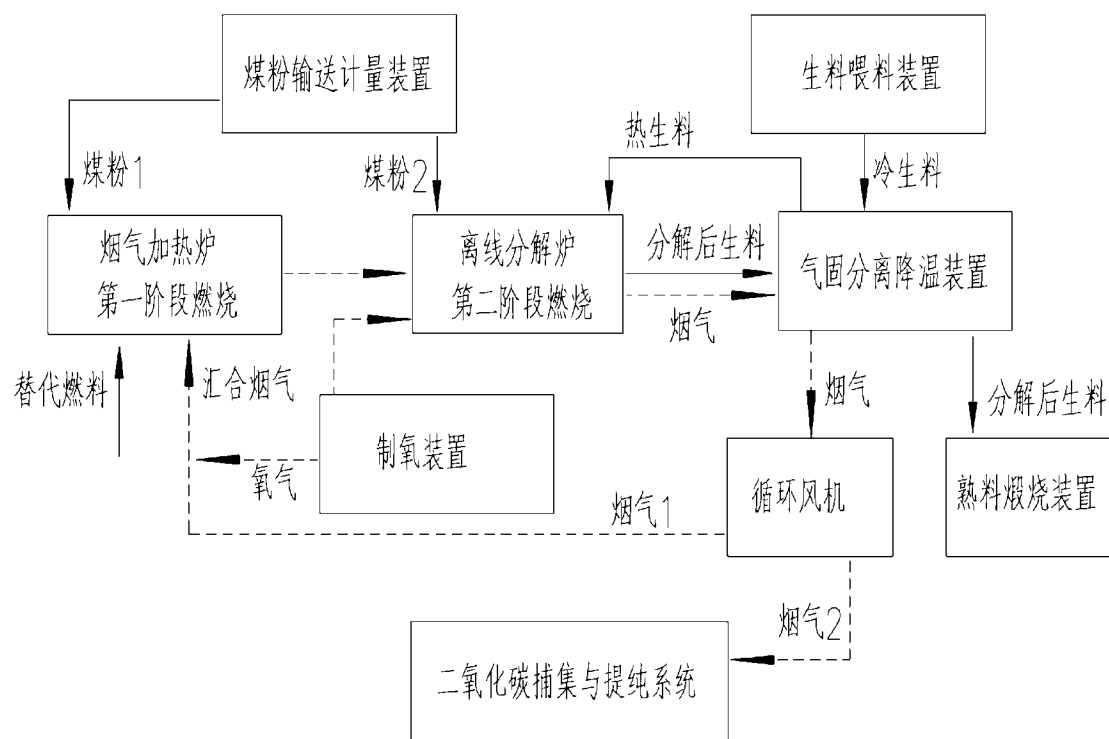


图 3

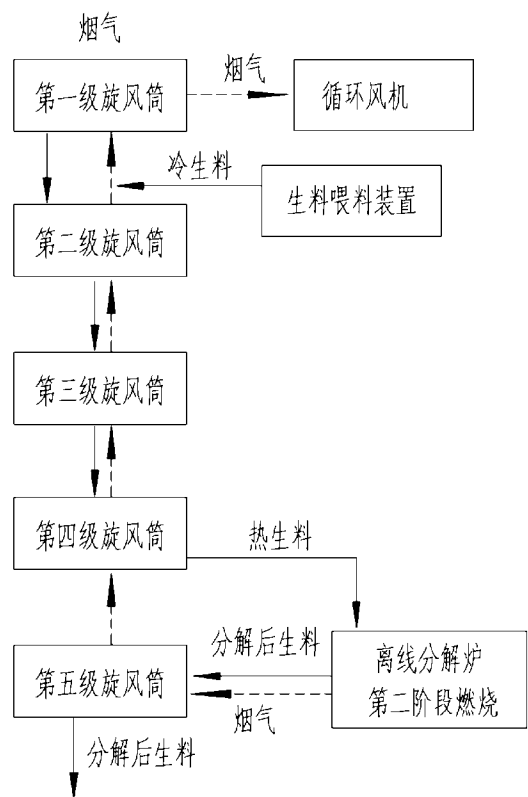


图 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/099139

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
F27D17/00(2006.01)i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)		
IPC:F27D		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
CNTXT, VCN, ENTXT, DWPI, VEN: 梯度, 烟气, 加热炉, 分解, 二氧化碳, gradient+, flu+, heat+, furnac+, decompos+, carbon w dioxid+		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 115682747 A (NANJING KISEN INTERNATIONAL ENGINEERING CO., LTD. et al.) 03 February 2023 (2023-02-03) description, paragraphs [0035]-[0046], and figures 1-4	1-8
X	CN 114907033 A (TIANJIN CEMENT INDUSTRY DESIGN & RESEARCH INSTITUTE CO., LTD. et al.) 16 August 2022 (2022-08-16) description, paragraphs [0079]-[0128], and figures 1-11	1-8
X	CN 114907034 A (TIANJIN CEMENT INDUSTRY DESIGN & RESEARCH INSTITUTE CO., LTD. et al.) 16 August 2022 (2022-08-16) description, paragraphs [0064]-[0139], and figures 1-10	1-8
X	CN 115127358 A (TIANJIN CEMENT INDUSTRY DESIGN & RESEARCH INSTITUTE CO., LTD. et al.) 30 September 2022 (2022-09-30) description, paragraphs [0085]-[0116], and figures 1-10	1-8
A	CN 115265197 A (NANJING KISEN INTERNATIONAL ENGINEERING CO., LTD. et al.) 01 November 2022 (2022-11-01) entire document	1-8
☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "D" document cited by the applicant in the international application "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
26 July 2023		17 August 2023
Name and mailing address of the ISA/CN		Authorized officer
China National Intellectual Property Administration (ISA/CN) China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088		Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/099139

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2021026713 A1 (TIANJIN CEMENT INDUSTRY DESIGN & RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.) 18 February 2021 (2021-02-18) entire document	1-8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2023/099139

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN	115682747	A	03 February 2023	None	
CN	114907033	A	16 August 2022	None	
CN	114907034	A	16 August 2022	None	
CN	115127358	A	30 September 2022	None	
CN	115265197	A	01 November 2022	None	
WO	2021026713	A1	18 February 2021	None	

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2023/099139

A. 主题的分类

F27D17/00 (2006.01) i

按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号)

IPC:F27D

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用))

CNTXT, VCN, ENTXT, DWPI, VEN: 梯度, 烟气, 加热炉, 分解, 二氧化碳, gradient+, flu+, heat+, furnac+, decompos+, carbon w dioxid+

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 115682747 A (南京凯盛国际工程有限公司 等) 2023年2月3日 (2023 - 02 - 03) 说明书第[0035]-[0046]段, 图1-4	1-8
X	CN 114907033 A (天津水泥工业设计研究院有限公司 等) 2022年8月16日 (2022 - 08 - 16) 说明书第[0079]至[0128]段, 图1-11	1-8
X	CN 114907034 A (天津水泥工业设计研究院有限公司 等) 2022年8月16日 (2022 - 08 - 16) 说明书第[0064]-[0139]段, 图1-10	1-8
X	CN 115127358 A (天津水泥工业设计研究院有限公司 等) 2022年9月30日 (2022 - 09 - 30) 说明书第[0085]-[0116]段, 图1-10	1-8
A	CN 115265197 A (南京凯盛国际工程有限公司 等) 2022年11月1日 (2022 - 11 - 01) 全文	1-8
A	WO 2021026713 A1 (TIANJIN CEMENT IND DESIGN & RES INST CO LTD) 2021年2月18日 (2021 - 02 - 18) 全文	1-8

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“D” 申请人在国际申请中引证的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2023年7月26日

国际检索报告邮寄日期

2023年8月17日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局

中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

授权官员

刘丽艳

电话号码 (+86) 010-62084874

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2023/099139

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	115682747	A	2023年2月3日	无	
CN	114907033	A	2022年8月16日	无	
CN	114907034	A	2022年8月16日	无	
CN	115127358	A	2022年9月30日	无	
CN	115265197	A	2022年11月1日	无	
WO	2021026713	A1	2021年2月18日	无	