



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200410049604.1

[45] 授权公告日 2008年1月16日

[11] 授权公告号 CN 100362302C

[22] 申请日 2004.6.21

[21] 申请号 200410049604.1

[73] 专利权人 孙义燊

地址 100086 北京市海淀区双榆树南里二区3-1-201

[72] 发明人 孙义燊

[56] 参考文献

GB1503943A 1978.3.15

GB1483166A 1977.8.17

FR2307773A2 1976.11.12

US4474010A 1984.10.2

US3498595A 1970.9.3

水泥窑余热发电技术若干问题的探讨. 孔健民, 潘华, 高原, 苏姣华. 中国建材科技, 第5卷第6期. 1996

水泥余热发电技术在我国的应用. 胡中铎. 黑龙江电力, 第22卷第5期. 2000

新型干法生产工艺与资源的综合利用. 刘昌安. 水泥技术, 第6期. 2003

窑尾增湿塔的改造. 刘光奇. 水泥, 第11期. 2001

审查员 刘丽艳

[74] 专利代理机构 北京诺孚尔知识产权代理有限公司

代理人 庞涛

权利要求书1页 说明书13页 附图12页

[54] 发明名称

水泥预分解窑废气余热的发电系统及其发电方法

[57] 摘要

本发明公开了一种水泥预分解窑废气余热发电系统及其发电方法, 其发电系统包括由多级旋风预热器与分解炉组成的预分解窑系统、生料制备系统、AQC 炉、SP 炉及发电装置; 其特征为在相邻两级旋风预热器之间或分解炉与第一级旋风预热器之间加设一三通型热气体分流管, 热气体分流管进气口与任一级旋风预热器或分解炉相接, 其出气口之一与任一级旋风预热器相邻且沿气流方向的下一级旋风预热器或第一级预热器相接, 另一出气口与 SP 炉连通或通过一旋风分离器组与 SP 炉连通, 分流后的热气体净化后经 SP 炉产生过热蒸汽, 送入发电装置作功发电。 余热发电量提高 30% 以上, 排放 SO₂ 与 NO_x 废气含量降低且投资低, 易于推广实施。

1. 一种水泥预分解窑余热发电系统，它包括由多级旋风预热器与分解炉组成的预分解窑生产设备、生料制备、冷却机余热锅炉、预热器余热锅炉、发电装置及窑尾废气处理系统；其特征在于：在相邻两级旋风预热器之间或所述分解炉和与其相邻的旋风预热器之间加设一个三通型热气体分流管，所述三通型热气体分流管设有一个进气口，二个出气口，其分别为第一出气口与第二出气口；所述进气口与所述多级旋风预热器其中的任一级旋风预热器出气口或所述分解炉出气口连通，所述第一出气口与所述任一级旋风预热器相邻且沿气流方向的下一级旋风预热器或与所述分解炉相邻的第一级旋风预热器连通，第二出气口与所述预热器余热锅炉连通。

2. 根据权利要求1所述的发电系统，其特征在于：所述第二出气口与所述预热器余热锅炉之间加设有一旋风分离器组。

3. 根据权利要求2所述的发电系统，其特征在于：所述旋风分离器组为一级或两级，其输入端与所述第二出气口连接，其输出端与所述预热器余热锅炉连接处设置有烟气管道调节阀门。

4. 根据权利要求1所述的发电系统，其特征在于：所述第二出气口与所述预热器余热锅炉之间加设有另一第一级旋风预热器。

5. 根据权利要求4所述的发电系统，其特征在于：所述另一第一级旋风预热器与所述预热器余热锅炉之间加设有一旋风分离器组。

6. 根据权利要求5所述的发电系统，其特征在于：所述旋风分离器组为一级或两级，其输入端与所述另一第一级旋风预热器出气口连接，其输出端与所述预热器余热锅炉连接处设置有烟气管道调节阀门。

7. 根据权利要求1或2或5或6所述的发电系统，其特征在于：所述旋风预热器组至少设置三级。

8. 根据权利要求1或2或5或6所述的发电系统，其特征在于：所述旋风预热器组为3-5级。

9. 一种权利要求1-8任一项所述的水泥预分解窑余热发电系统的发电方法，全系统在负压操作下运行，其特征在于：

步骤1) 由相邻的两级旋风预热器中沿气流方向的上一级旋风预热器或分解炉排出的热气体分流为两部分，一部分供预热生料，另一部分供发电；

步骤2) 将步骤1) 分流出供发电的气体净化处理后，引入预热器余热锅炉，产生过热蒸汽送入汽轮机做功发电。

水泥预分解窑废气余热的发电系统及其发电方法

技术领域

本发明涉及一种水泥预分解窑废气余热的发电系统及其发电方法，属水泥预分解窑废气处理和余热再利用领域，是对现有利用水泥预分解窑废气余热发电方法的改进。

背景技术

在水泥生产中回转窑排出一定温度的废气，为了使其废气中的余热得到再利用，减少废气排出对环境的污染，已经有利用中空干法回转窑排出约 850℃的气体余热发电的生产线，但由于该类生产线的水泥产量低，经济效益差，这种窑型已不再发展。之后，出现了在回转窑气体出口端加设多级旋风预热器，生料通过多级旋风预热器得到预热，出预热器的废气温度在预热器为四级时降至 380~400℃，其余热除供原料烘干外，尚有相当部分不能得到有效利用，为了解决废气余热有效利用的问题，日本率先出现了利用多级旋风预热器的废气余热，在预热器余热锅炉（简称 SP 炉）内来自冷却机余热锅炉（简称 AQC 炉）的热水再加热产生过热蒸汽进行发电的余热发电方法，称之为纯余热发电方法，如图 7-1 所示，每吨水泥熟料余热发电量为 25~30kwh。由于该方法所利用的废气温度低，只能产生低压力、低温度参数的蒸汽，汽轮机组效率低，单位热能发电量低。为了提高其蒸汽参数，出现了在 SP 炉之后增设一台燃煤锅炉，或称其为补燃炉，对 SP 炉出来的汽轮机工质再加热的方法，称之为补燃炉法，如图 7-2 所示。增设补燃炉后会引起整个系统中工质状态的变化，因为当无补燃炉时出 SP 炉的工质是过热蒸汽，其温度在 300℃以上，如仍以此温度的工质进入补燃炉，其排烟温度将会比一般锅炉高出许多，排烟热损失相当可观，导致补燃炉的热效率过低，其结果是得不偿失。因此增加补燃炉后务必加大工质循环量，降低进入补燃炉的工质温度，以求得补燃炉一定的热效率。这意味着在提高蒸汽参数的同时，必须增加蒸汽总量，即其发电量是由余热与为提高蒸汽参数和增加蒸汽量所消耗的燃料取得的，而且由消耗燃料产生的蒸汽量要大于余热产生的蒸汽量，甚至有的为其两倍以上。由于水泥企业规模所限，只能采用专业发电厂限制甚至禁用的小型汽轮机组，其蒸汽参数仍偏低，汽轮机组效率低，其单位电量的耗煤量远高于大型机组。由于在补燃炉法中，总发电量中大部分是由消耗燃料取得的，结果是包括余热在内的每一度的综合标准煤耗仍高于火力发电厂的平均水平 420g/kwh，更高于大型电厂的水平 350 g/kwh。

发明内容

为了解决上述现有技术中存在的缺陷，本发明的目的是提供一种结构简单，安装

灵活，设备投资低、废气中 SO_2 和 NO_x 的排放量低，利于环保、降低发电成本且提高发电量的水泥预分解窑余热发电系统，同时还提供了一种利用上述发电系统发电的方法，是对现有的水泥预分解窑余热发电方法的一种改进。

为了实现上述目的，本发明采用以下技术方案：一种水泥预分解窑余热发电系统，它包括由多级旋风预热器与分解炉组成的预分解窑生产设备、生料制备、冷却机余热锅炉、预热器余热锅炉、发电装置及窑尾废气处理系统；其特征在于：在相邻两级旋风预热器之间或所述分解炉和与其相邻的旋风预热器之间加设一个三通型热气体分流管，所述三通型热气体分流管设有一个进气口，二个出气口，其分别为第一出气口与第二出气口；所述进气口与所述多级旋风预热器中任一级旋风预热器出气口或所述分解炉出气口连通，所述第一出气口与所述任一级旋风预热器相邻且沿气流方向的下一级旋风预热器或与所述分解炉相邻的下一级旋风预热器连通，第二出气口与所述预热器余热锅炉（简称 SP 炉）连通。

出气口连接有两种方式：其一是当进气口与多级旋风预热器中的任一级旋风预热器出气口连通时，第一出气口与所述任一级旋风预热器相邻且沿气流方向的下一级旋风预热器连通，第二出气口与 SP 炉之间加设有一旋风分离器组，旋风分离器组的输入端与第二出气口连接，其输出端与 SP 炉连接处设置有烟气管道调节阀门。

其二是当进气口与所述分解炉出气口连通时，其第一出气口与所述分解炉相邻的第一级旋风预热器连通，在第二出气口与所述 SP 炉之间还要加设有另一第一级旋风预热器，另一第一级旋风预热器与 SP 炉之间加设有一旋风分离器组，旋风分离器组的输入端与另一第一级旋风预热器出气口连接，其输出端与所述 SP 炉连接处设置有烟气管道调节阀门。

上述两种连接方式中的所述旋风分离器组为一级设置，也可以为两级设置。

所述多级旋风预热器组至少设置 3 级，一般设置 3-5 级。

为了实现上述目的，本发明还提供了利用上述水泥预分解窑余热发电系统的发电方法，全系统在负压操作下运行，其特征在于：

步骤 1) 利用在水泥预分解窑相邻的二级旋风预热器之间或分解炉与第一级旋风预热器之间安装的热气体分流管，使由相邻的二级旋风预热器中的一级旋风预热器或分解炉排出的热气体经所述热气体分流管分流为两部分；

步骤 2) 利用旋风分离器组将热气体分流管分流的气体净化处理后，引入预热器余热锅炉，加热产生过热蒸汽送入汽轮机使其做功发电。

所述多级旋风预热器组至少设置 3 级，最佳设置 3-5 级。

在上述技术方案中，加入热气体分流管的作用是减少进入预热器系统的气体量，提高预热器系统内的固气比，即物料量与气体量之比，降低预热器出口废气温度与废

气量，降低废气带走的热能，并将所降下来的原温度较低气体中的热能，转移至温度较高的气体中，作为发电热源，以提高蒸汽参数，实现发电量的提高。

加设旋风分离器组的作用在于：

一是将分流出供发电的含尘热气体净化处理，以降低热气体中粉尘含量，缓解锅炉排管的磨损和积灰，有效地沿长排管的使用寿命和提高锅炉热效率；

二是平衡系统的流体阻力。热气体分流后，两股气流是并联的，继续进入预热器系统的热气体要通过多级旋风预热器，而供发电的热气体如直接进入 SP 炉，前者流体阻力大于后者，为使阻力平衡，势必用管道阀门予以调节，这意味着能量的无谓损失，增加旋风分离器组后，可以使两者阻力趋于平衡，管道阀门仅需进行微调即可控制。

本发明的技术方案所依据的热力学原理如下：

(1) 固气比与预热器出口气体温度的关系

以一个单元预热器为例进行分析，

设进入预热器的气体量为 G_1 ，温度为 t_{G1} ，平均比热容为 C_{P1} ，输入预热器的物料量为 M_1 ，温度为 t_{m1} ，平均比热容为 C_1 ，则进入预热器的总热为：

$$H_1 = G_1 \times t_{G1} \times C_{P1} + M_1 \times t_{m1} \times C_1$$

预热器出口的气体量为 G_2 ，温度为 t_{G2} ，平均比热容为 C_{P2} ，输出预热器的物料量为 M_2 ，温度为 t_{m2} ，平均比热容为 C_2 ，则预热器出口的总热量为：

$$H_2 = G_2 \times t_{G2} \times C_{P2} + M_2 \times t_{m2} \times C_2$$

根据热平衡： $H_1 = H_2$

$$G_1 \times t_{G1} \times C_{P1} + M_1 \times t_{m1} \times C_1 = G_2 \times t_{G2} \times C_{P2} + M_2 \times t_{m2} \times C_2$$

根据质量平衡：

$$G_1 = G_2 = G; \quad M_1 = M_2 = M$$

$$\text{设：} C_{P1} = C_{P2} = C_P; \quad C_1 = C_2 = C$$

$$\text{并令} \quad \frac{M}{G} = r \quad r \text{ 为固气比；设 } t_{G2} = t_{m2}$$

$$\text{可得} \quad t_{G2} = \frac{t_{G1} \times C_P + r \times t_{m1} \times C}{C_P + r \times C}$$

$$\frac{dt_{G2}}{dr} = \frac{C_P \times C}{(C_P + r \times C)^2} (t_{m1} - t_{G1})$$

$$\begin{aligned} \because t_{G1} > t_{m1} \\ \therefore \frac{dt_{G2}}{dr} = (-) \end{aligned}$$

上述结果说明随着固气比 r 的提高, 可以使出口气体的温度 t_{G2} 下降。

(2) 温度较低的热能转化为温度较高的热能

以预热器、分解炉作为一个独立系统进行分析: 如图 4 所示,

分流前:

进入系统的热 H_{in} 包括: 来自回转窑出口气体显热 H_{GK} , 加入分解炉的燃料热 H_f 、来自熟料冷却机的助燃空气 (三次风) 显热 H_a 、喂入物料显热 H_{M0}

$$H_{in} = H_{GK} + H_f + H_a + H_{M0}$$

离开系统的热 H_{out} 包括: 进入回转窑的物料显热 H_{MK} 、出口气体显热 H_{G1} 、碳酸盐分解潜热 H_C

$$H_{out} = H_{MK} + H_{G1} + H_C$$

$$H_{in} = H_{out} \quad ; \quad H_{GK} + H_f + H_a + H_{M0} = H_{MK} + H_{G1} + H_C \quad (1)$$

分流后:

供发电的热为 H_e , 其余各项热同分流前, 分别为 H_{GK}' 、 H_f' 、 H_a' 、 H_{M0}' 、 H_{MK}' 、 H_{G1}' 、 H_C'

$$H_{in}' = H_{GK}' + H_f' + H_a' + H_{M0}'$$

$$H_{out}' = H_{MK}' + H_{G1}' + H_C' + H_e$$

$$H_{in}' = H_{out}' \quad ;$$

$$H_{GK}' + H_f' + H_a' + H_{M0}' = H_{MK}' + H_{G1}' + H_C' + H_e \quad (2)$$

为保持水泥窑原有熟料产量, 必须具备下列条件,

$$H_C = H_C' \quad H_{MK} = H_{MK}' \quad H_{GK} = H_{GK}'$$

$$\text{喂入物料状态相同} \quad H_{M0} = H_{M0}'$$

由于热气体分流后进入预热器气体量减少, 则进入分解炉的物料显热随之降低, 为满足上述必须具备的条件, 需向分解炉提供补充的热焓, ΔH_f , ΔH_a ;

$$\text{即 } H_f' = H_f + \Delta H_f \quad ; \quad H_a' = H_a + \Delta H_a$$

将上述结果代入公式 (2), 并与公式 (1) 联列解:

$$\begin{aligned} H_e &= \Delta H_f + \Delta H_a + (H_{G1} - H_{G1}') \\ &= \Delta H_f + \Delta H_a + \Delta H_{G1} \end{aligned}$$

上述结果说明, 供发电的热能 H_e 是由降下来的预热器出口气体热焓差 ΔH_{G1} 和补充的热焓 $\Delta H_f + \Delta H_a$ 构成。原 ΔH_{G1} 是在预热器出口气体温度下的热能, 而 H_e 则是从比

预热器出口气体温度高的部位引出,说明通过热气体分流后,提高了 ΔH_{G1} 这部分热能的作功能力。

(3) 蒸汽初参数与发电量的关系

蒸汽通过汽轮机作出的实际功 $W_T = (H_1 - H_2) \eta_i$

式中:

H_1 为进入汽轮机蒸汽热焓

H_2 为出汽轮机蒸汽热焓

η_i 为汽轮机相对内效率

当蒸汽初参数提高后, 初汽热焓为 $H_1' = H_1 + \Delta H_1$

其作出的实际功为

$$\begin{aligned} W_T' &= (H_1' - H_2) \eta_i \\ &= (H_1 + \Delta H_1 - H_2) \eta_i \end{aligned}$$

汽轮机效率可表示为

$$\eta = \frac{W_T}{H_1} = \frac{(H_1 - H_2)\eta_i}{H_1} = \left(1 - \frac{H_2}{H_1}\right)\eta_i$$

$$\eta' = \frac{W_T'}{H_1'} = \frac{(H_1 + \Delta H_1 - H_2)\eta_i}{H_1 + \Delta H_1} = \left(1 - \frac{H_2}{H_1 + \Delta H_1}\right)\eta_i$$

显然 $\eta' > \eta$

上述结果说明, 蒸汽初参数的提高, 汽轮机的效率就会提高, 可以使单位热能的发电量提高。

本发明采用的技术方案, 其有益效果如下:

1. 提高水泥预分解窑废气中热能利用率, 即提高了单位水泥熟料废气余热的发电量, 有效降低了每度电的综合标准煤耗, 与现有技术进行比较, 余热部分的发电量可提高 30%以上。

2. 降低建设投资

本发明除了提高水泥预分解窑废气中热能利用率外, 还有一种相对于补燃炉法的改进。本发明的“补燃”是在已有的分解炉内进行改造, 不需要另设补燃炉, 对余热的利用仅需一台无燃烧室及其供煤装置的 SP 炉。而且进入 SP 炉的热气体比原预热器出口气体温度高, 当从第一级旋风预热器出口处引出时其温度为 850°C , 其与受热工质的平均温度差 Δt 约 220°C , 而现有技术进入 SP 炉的气体温度为 $380\sim 400^\circ\text{C}$, 其与受热工质的平均温度差 Δt 约 70°C , 根据传热定律, 在传热量相同时, 所需传热面积 A 与平均温度差 Δt 为反比关系, $A_2 = \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} \times A_1$, 其中: $\Delta t_1 = 70^\circ\text{C}$; $\Delta t_2 = 220^\circ\text{C}$, $A_2 = \frac{1}{3} A_1$, 所利用的余热量相同, 即传热量相同, 则本发明方法 SP 炉的传热面积即排管数量仅

现有技术中 SP 炉的 $\frac{1}{3}$ ，其结果是锅炉用钢量大为降低，有效降低了其建设投资。

3. 降低发电成本

由于降低每度电的综合标准煤耗和降低建设投资的附带效益降低了固定资产折旧费，两项的综合效果降低了发电成本。

4. 有效降低了排放废气中 SO₂ 与 NO_x 的含量，即降低了其排放量

由于补充的燃料是在分解炉内燃烧的，分解炉内的大量 CaO 具有很强的脱硫作用，烟气的脱硫率可达 85% 以上，而且分解炉内燃烧温度为 880~900℃，几乎不会生成燃烧的 NO_x，即所补充的燃料产生的烟气中 SO₂、NO_x 的排放量远低于补燃炉和专业火力发电厂，单位电量的烟气中的 SO₂、NO_x 排放量降低幅度更大，其环保效益是显著的。

附图说明

图 1 为本发明物料流向示意图

图 2-1 为本发明气体流向模式一的示意图

图 2-2 为本发明气体流向模式二的示意图

图 3 为本发明工质流向示意图

图 4 为本发明热能转移原理示意图

图 5-1 为本发明热气体分流管与旋风分离器组安装部位一示意图

图 5-2 为本发明热气体分流管与旋风分离器组安装部位二示意图

图 5-3 为本发明热气体分流管与旋风分离器组安装部位三示意图

图 5-4 为本发明热气体分流管与旋风分离器组安装部位四示意图

图 6-1 为图 2-1 模式一的 5 级旋风预热器组设置的发电方法实施例一流程图

图 6-2 为图 2-2 模式二的 5 级旋风预热器组设置的发电方法实施例二流程图

图 6-3 为图 2-1 模式一的 4 级旋风预热器组设置的发电方法实施例三流程图

图 6-4 为图 2-2 模式二的 4 级旋风预热器组设置的发电方法实施例四流程图

图 6-5 为图 2-1 模式一的 3 级旋风预热器组设置的发电方法实施例五流程图

图 7-1 为现有技术中纯余热发电方法的工艺流程图

图 7-2 为现有技术中补燃炉发电方法工艺流程图

具体实施方式

本发明的物料流向，以五级预热预分解窑为例。如图 1 所示，水泥生料由出口级旋风预热器 7 加入，经第四级旋风预热器 6、第三级旋风预热器 5、第二级旋风预热器 4 预热后，送入分解炉 2 将物料中碳酸盐分解，然后送入第一级旋风预热器 3 内，由第一级旋风预热器 3 和旋风分离器组 9 分离出的物料送入回转窑 1 烧制成水泥熟料，

回转窑 1 出窑的水泥熟料经熟料冷却机 10 进行冷却降温后，送至储存库。

水泥预分解窑余热发电系统，它包括由多级旋风预热器与分解炉组成的预分解窑生产设备、生料制备设备、AQC 炉、SP 炉、发电装置及窑尾废气处理系统；多级旋风预热器目前普遍用的是 4-5 级旋风预热器；通过在任一级旋风预热器与其相邻的沿气流走向的下一级旋风预热器之间或分解炉与第一级旋风预热器之间加设一三通型热气体分流管，热气体分流管有一个进气口，两个出气口，当进气口与任一级旋风预热器出气口连通时，第一出气口与任一级旋风预热器相邻且沿气流方向的下一级旋风预热器连接，第二出气口直接与 SP 炉进气口连通；也可以将第二出气口与一旋风分离器组进气口连通，旋风分离器组的出气口与 SP 炉连通。当进气口与分解炉的出气口连通时，第一出气口与第一级旋风预热器的进气口连通，第二出气口与另一第一级旋风预热器的进气口连通，另一第一级旋风预热器出气口与一旋风分离器组连接。

在水泥预分解窑余热发电系统中，热气体分流管及旋风分离器组的设置部位对其发电量的提高起到非常重要的作用，以五级旋风预热预分解窑为例，热气体分流管及旋风分离器组的设置有多种方案：

方案一：如图 5-1 所示，将热气体分流管安装于第一级旋风预热器与第二级旋风预热器之间，水泥旋风预热预分解窑生产系统由回转窑 1、分解炉 2、第一级旋风预热器 3、第二级旋风预热器 4、第三级旋风预热器 5、第四级旋风预热器 6 与出口级旋风预热器 7 顺序连接而成，热气体分流管 8 与旋风分离器组 9 位于第一级旋风预热器 3 与第二级旋风预热器 4 之间；热气体分流管 8 的进气口与第一级旋风预热器 3 出气口相接，热气体分流管 8 的一个出气口与旋风分离器组 9 相接，另一出气口与第二级旋风预热器 4 进气口相接，热气体分流管 8 将第一级旋风预热器 3 送入的热气体分为两部分，其中一部分送入第二级旋风预热器 4，顺序通过第二级旋风预热器 4、第三级旋风预热器 5、第四级旋风预热器 6 及出口级旋风预热器 7 预热物料；另一部分经旋风分离器组 9 净化后送入 SP 炉 16。

方案二：如图 5-2 所示，水泥旋风预热预分解窑生产系统的安装方式基本同方案一，热气体分流管 8 安装于第二级旋风预热器 4 与第三级旋风预热器 5 之间，热气体分流管 8 的进气口与第二级旋风预热器 4 出气口相接，热气体分流管 8 的一个出气口与旋风分离器组 9 相接，另一出气口与第三级旋风预热器 5 输入端相接，热气体分流管 8 将第二级旋风预热器 4 送入的热气体分为两部分，其中一部分送入第三级旋风预热器 5，顺序通过第三级旋风预热器 5、第四级旋风预热器 6 及出口级旋风预热器 7 预热物料，另一部分经旋风分离器组 9 净化后送入 SP 炉 16。

方案三：如图 5-3 所示，水泥旋风预热预分解窑生产系统的安装方式基本同方案

一，热气体分流管 8 安装于第三级旋风预热器 5 与第四级旋风预热器 6 之间，热气体分流管 8 的进气口与第三级旋风预热器 5 出气口相接，热气体分流管 8 的一个出气口与旋风分离器组 9 相接，另一出气口与第四级旋风预热器 6 进气口相接，热气体分流管 8 将第三级旋风预热器 5 送入的热气体分为两部分，其中一部分送入第四级旋风预热器 6，顺序通过第四级旋风预热器 6 及出口级旋风预热器 7 预热物料；另一部分经旋风分离器组 9 净化后送入 SP 炉 16。

方案四：图 5-4 所示，水泥旋风预热预分解窑生产系统的安装方式基本同方案一，热气体分流管 8 安装于分解炉 2 与第一级旋风预热器 3 之间，热气体分流管 8 的进气口与分解炉 2 的出气口相接，热气体分流管 8 的第一出气口与第一级旋风预热器 3 进气口相接，第二出气口通过设置的另一第一级旋风预热器 3' 与旋风分离器组 9 连通；热气体分流管 8 将来自分解炉 2 送入的热气体分为两部分，将一部分气体送入第一级旋风预热器 3，顺序通过第一级旋风预热器 3、第二级旋风预热器 4、第三级旋风预热器 5、第四级旋风预热器 6 及出口级旋风预热器 7 预热物料；另一部分送入另一第一级预热器 3'，再经旋风分离器组 9 净化后送入 SP 炉 16。

本发明是依据热力学原理，利用在水泥预分解窑预热系统中任一位置加设一热气体分流管与旋风分离器组，将任一级预热器或分解炉出口气体进行分流，其作用是减少进入预热器系统的气体总量，提高预热器内的固气比，即物料量与气体量之比，降低预热器出口废气温度与废气量，降低废气带走的热能，并将所降下来的原属于温度较低气体中的热能，转移至温度较高的气体中，作为发电热源，以提高蒸汽参数，实现发电量的提高。

本发明工质流向如图 3 所示：来自冷凝器 19 的锅炉用水由锅炉给水泵 26 打入 AQC 炉 15，水经加温后送到 SP 炉 16 再加热产生过热蒸汽供汽轮机 17 做功发电，汽轮机 17 出口的蒸汽在冷凝器 19 内用冷却水将其冷凝为水，然后再由锅炉给水泵 26 打入 AQC 炉 15，形成一个朗肯循环。

本发明热能转移原理如图 4 所示：通过热气体分流实现温度较低的热能转化为温度较高的热能的目的，以预热器、分解炉作为一个独立系统进行分析，通过分析可知，用于发电的热能 H_e 是由降下来的预热器出口气体分流前与分流后的热焓差 ΔH_{G1} 和补充的热焓 ΔH_f （补充的燃料热焓）和 ΔH_a （补充的助燃空气热焓）构成，原 ΔH_{G1} 是在预热器出口气体温度的热能，而 H_e 则是以比预热器出口气体温度高的部位引出，说明通过热气体分流后提高了 ΔH_{G1} 的做功能力，或者说可产生较高参数的蒸汽，提高汽轮机效率，提高发电量。

本发明的全系统在负压下运行，同时在保持原水泥熟料生产线产量的前提下，在

预热预分解系统中的任一级旋风预热器或分解炉与相邻且沿气流方向的下一级旋风预热器之间，设置一热气体分流管和与其连接的旋风分离器组，将预热器排出的热气体分成两部分，一部分仍进入预热器系统以预热物料，另一部分经所述的旋风分离器组净化后进入 SP 炉，产生过热蒸汽供汽轮机做功发电。

依据预热器出口气体的余热是否再利用，确定预热器出口气体温度及其及气体走向，形成两种实施模式，以五级旋风预热器预分解窑热气体分流管的进气口与第一级旋风预热器连接为例：

模式一，如图 2-1、图 6-1 所示，利用五级旋风预热器与分解炉组成的水泥预分解窑生产系统，将与旋风分离器组 9 相接的三通型热气体分流管 8 的进气口连通第一级旋风预热器 3，其一出气口连通第二级旋风预热器 4，另一出气口通过一旋风分离器组 9 与 SP 炉 16 入口端相接，旋风分离器组 9 的出口端及出口级旋风预热器 7 的出口端各设有一烟气管道调节阀 23，通过调节其阀门的开度，调节热气体分流管 8 的热气体分流的比例，以控制经第二级旋风预热器 4、第三级旋风预热器 5、第四级旋风预热器 6、出口级旋风预热器 7 出口的气体温度；该气体经管道与出 SP 炉 16 出口的热气体汇合后共同作为原料烘干的热源，经过窑尾高温引风机 20 送入原料磨 12；经 SP 炉 16 产生的过热蒸汽直接进入汽轮机 17 供其做功发电。

模式二，如图 2-2、图 6-2 所示，利用五级旋风预热器与分解炉组成的水泥预分解窑生产系统，将与旋风分离器组相接的三通型热气体分流管 8 的进气口连通第一级旋风预热器 3，其一出气口连通第二级旋风预热器 4，另一出气口通过一旋风分离器组 9 与 SP 炉 16 入口端相接，旋风分离器组 9 的出口端设有一烟气管道调节阀 23，通过调节其阀门开度，调节热气体分流管 8 的热气体分流的比例，将其经第二级旋风预热器 4、第三级旋风预热器 5、第四级旋风预热器 6、出口级旋风预热器 7 出口的气体温度控制在 100℃左右；出口级旋风预热器 7 出口端设有一引风机 27，将出口级旋风预热器 7 排出的气体经引风机 27 直接送入增湿塔 13 进行调质，再经窑尾收尘器 14 净化后，由窑尾收尘引风机 21 直接排放；由热气体分流管出口的另一部分气体，经旋风分离器组净化后进入 SP 炉 16，产生过热蒸汽供汽轮机 17 做功发电，SP 炉 16 出口气体作为唯一的原料烘干的热源。

上述两种气体走向模式，同样适用于三级、四级或六级旋风预分解窑生产系统，都可以达到提高水泥预分解窑废气发电的功效，均利用 SP 炉 16 出口气体中的热焓作为原料烘干的热源。

以下结合附图对利用上述发电系统发电的方法作一详细介绍。

实施例一：

如图 5-1、图 6-1 所示，利用五级旋风预热器预分解窑的发电系统，它由回转窑 1、分解炉 2、第一级旋风预热器 3、第二级旋风预热器 4、第三级旋风预热器 5、第四级旋风预热器 6、出口级旋风预热器 7、热气体分流管 8、旋风分离器组 9、熟料冷却机 10、窑头收尘器 11、原料磨 12、增湿塔 13、窑尾收尘器 14、AQC 炉 15、SP 炉 16、汽轮机 17、发电机 18、冷凝器 19、窑尾高温引风机 20、窑尾收尘引风机 21、窑头收尘引风机 22、烟气管道调节阀门 23、烟气管道阀门 24、空气管道阀门 25、锅炉给水泵 26 组成；热气体分流管 8 与旋风分离器组 9 安装在第一级旋风预热器 3 与第二级旋风预热器 4 之间。气体走向模式采用上述的模式一。

图 6-1 中的虚线为水的走向，图中实线为气体走向，用箭头指示。

本发明的物料走向如图 1 所示，水泥生料由出口级旋风预热器 7 加入，经第四级旋风预热器 6、第三级旋风预热器 5、第二级旋风预热器 4 预热后，送入分解炉 2 将物料中碳酸盐分解，然后送入第一级旋风预热器 3 内，由第一级旋风预热器 3 和旋风分离器组 9 分离出的物料送入回转 1 烧制成水泥熟料，回转窑 1 出窑的水泥熟料经熟料冷却机 10 进行冷却后送至储存库。

本发明的全系统在负压状态下运行，进入熟料冷却机 10 的冷空气与高温物料热交换后，熟料降温，产生的热空气分为三部分：第一部分作为助燃空气（三次风）进入分解炉 2；第二部分经窑头收尘器 11 净化后进入 AQC 炉 15 以加热锅炉用水，空气降温后以窑头收尘引风机 22 排放，当 AQC 炉 15 发生故障时，经窑头收尘器 11 净化后的空气直接由窑头收尘引风机 22 排放，后者为备用旁路，两者由空气管道阀门 25 进行切换；第三部分作为助燃空气（二次风）进入回转窑 1，回转窑 1 出口的气体送入分解炉 2，分解炉 2 出口的气体进入第一级旋风预热器 3。

在第一级旋风预热器 3 出口端设置一个三通型热气体分流管 8，将热气体分流，第一部分气体进入第二级旋风预热器 4，顺序通过第二级旋风预热器 4、第三级旋风预热器 5、第四级旋风预热器 6、出口级旋风预热器 7 预热物料，气体温度随之逐步降低；第二部分经旋风分离器组 9 进行净化后进入 SP 炉 16，作为 SP 炉 16 的热源用于发电，出 SP 炉 16 的气体与出出口级旋风预热器 7 的气体汇合后进入窑尾高温引风机 20，在旋风分离器组 9 与 SP 炉 16 的连通管道和出口级旋风预热器 7 出口管道上各设一个烟气管道调节阀门 23，以调节两者气体分流比例。窑尾高温引风机 20 出口气体进入原料磨 12 对原料进行烘干，然后经窑尾收尘器 14 予以净化后由窑尾收尘引风机 21 排放。当原料磨 12 停机时，窑尾高温引风机 20 出口的气体经增湿塔 13 调质后，经窑尾收尘器 14 予以净化后由窑尾收尘引风机 21 予以排放。在窑尾高温引风机 20 与原料磨 12 之间的连通管道上和窑尾高温引风机 20 与增湿塔 13 之间的连通管道上各设有烟气

管道阀门 24，对两路气体进行切换。当 SP 炉 16 发生故障时，将出口级旋风预热器 7 与窑尾高温引风机 20 之间的烟气管道调节阀 23 调整至全开状态并关闭旋风分离器组 9 与窑尾高温引风机 20 之间的烟气管道阀门 23，同时打开窑头收尘器 11 与窑头收尘引风机 22 之间的空气管道阀门 25 并关闭窑头收尘器 11 与 AQC 炉 15 之间的空气管道阀门 25。这时发电系统处于停机状态。

上述发电方法的流程中，其工质流向如图 3 所示，来自冷凝器 19 的锅炉用水由锅炉给水泵 26 打入 AQC 炉 15，水经加温后送到 SP 炉 16 再加热产生过热蒸汽供汽轮机 17 作功发电，汽轮机 17 出口的蒸汽在冷凝器 19 内用冷却水将其冷凝为水，然后再由锅炉给水泵 26 打入 AQC 炉 15，形成一个朗肯循环。

实施例二：

如图 5-1、图 6-2 所示，利用五级旋风预热器预分解窑的发电系统，其设备安装与实施例一基本相同，不同处在于出口级旋风预热器 7 与增湿塔 13 之间加设一引风机 27，气体走向模式采用前述的模式二，出口级旋风预热器 7 出口气体经引风机 27 直接送入增湿塔 13 进行调质后经窑尾收尘器 14 予以净化，再由窑尾收尘引风机 21 直接排放，在出口级旋风预热器 7 与窑尾高温引风机 20 之间设一旁路管道，并设置一个烟气管道阀门 24，在正常发电期间，此烟气管道阀门 24 呈关闭状态。当 SP 炉 16 发生故障时，打开此烟气管道阀门 24，同时关闭旋风分离器组 9 与 SP 炉 16 之间的烟气管道调节阀 23 和出口级旋风预热器 7 与引风机 27 之间的烟气管道阀门 24。与其同时打开窑头收尘器 11 与窑头收尘引风机 22 之间的空气管道阀门 25，关闭 AQC 炉 15 与窑头收尘器 11 之间的空气管道阀门 25，这时发电系统处于停机状态。

图 6-2 中的虚线为水的走向，实线为气体走向，用箭头指示。

此实施例出口级旋风预热器 7 的出口气体余热不再作为原料烘干热源，由 SP 炉 16 排出的热气体作为原料烘干的唯一热源。

物料走向和工质走向同实施例一，不再重复介绍。

实施例三：

采用四级旋风预热预分解窑生产系统，其发电系统的设置及发电方法采用模式一。

如图 6-3 所示，整个系统由回转窑 1、分解炉 2、第一级旋风预热器 3、第二级旋风预热器 4、第三级旋风预热器 5、出口级旋风预热器 7，热气体分流管 8、旋风分离器组 9、熟料冷却机 10、窑头收尘器 11、原料磨 12、增湿塔 13、窑尾收尘器 14、AQC 炉 15、SP 炉 16、汽轮机 17、发电机 18、冷凝器 19、窑尾高温引风机 20、窑头收尘器 21、窑头收尘引风机 22、烟气管道调节阀 23、烟气管道阀门 24、空气管道阀门 25、锅炉给水泵 26 组成；热气体分流管 8 与旋风分离器组 9 安装在第一级旋风预热器

3 与第二级旋风预热器 4 之间。

物料走向和工质走向与实施例一相同。

气体走向与实施例一相同。

实施例四：

采用四级旋风预热预分解窑生产系统，其发电系统的设置及发电方法采用模式二。

如图 6-4 所示，整个生产系统与实施例三基本相同，不同处在于出口级旋风预热器 7 出口处与增湿塔之间加设了一台用于克服预热器系统流体阻力的引风机 27；

物料走向和工质走向与实施例一相同。

其气体走向与实施例二相同。

实施例五：

采用三级旋风预热预分解窑生产系统，其发电系统的设置以及发电方式采用模式一。

如图 6-5 所示，整个系统由回转窑 1、分解炉 2、第一级旋风预热器 3、第二级旋风预热器 4、出口级旋风预热器 7、热气体分流管 8、旋风分离器组 9、熟料冷却机 10、窑头收尘器 11、原料磨 12、增湿塔 13、窑尾收尘器 14、AQC 炉 15、SP 炉 16、汽轮机 17、发电机 18、冷凝器 19、窑尾高温引风机 20、窑头收尘器 21、窑头收尘引风机 22、烟气管道调节阀门 23、烟气管道阀门 24、空气管道阀门 25、锅炉给水泵 26 组成，热气体分流管 8 与旋风收尘器组 9 安装在第一级旋风预热器 3 与第二级旋风预热器 4 之间。

热气体分流管 8 的一个出气口与第二级旋风预热器 4 的进气口连通，另一出气口与旋风分离器组 9 连接，其它部件的设置和出口级旋风预热器 7 出口气体与 SP 炉 16 出口气体汇合后的流程与实施例一相同，在此不再赘述。

物料走向和工质走向与实施例一相同。

其气体走向与实施例一相同。

上述各实施例实施后的单位熟料发电量，单位熟料余热发电量及单位发电量综合标准煤耗指标如表 1 中数据所示。

表 1

	预热器 出口废气 温度℃	单位熟料 发电量 kWh/t	单位熟料余热 部分发电量 kWh/t	单位发电量 综合标准煤耗 g/kWh
实施例一	220	39~42	26~29	180~196
实施例二	100	81~88	35~38	320~347
实施例三	220	60~65	39~42	196~213
实施例四	110	97~100	43~46	300~330
实施例五	220	85~92	54~59	202~219

注：达到上述效果的基础条件是

1) 未加发电设施前，预分解窑的运行参数如表 2 所示

表 2

预热器级数	单位熟料热耗 (kJ/kg)	预热器出口废气温度 (℃)
五	725×4.186	325
四	780×4.186	375
三	850×4.186	440

2) 篦式冷却机

余风量 1.2m³/kg 熟料

余风温度 215℃

3) 汽轮机组

锅炉出口蒸汽压力 3.82MPa; 温度 450℃

汽轮机进口蒸汽压力 3.43 MPa; 温度 435℃

汽轮机出口蒸汽压力 0.0069 MPa;

4) 原料的初水分为 5%

从上述效果与现有技术进行比较, 余热部分的发电量可提高 30%以上。

本发明可以在已有水泥预分解窑生产线上实施, 也可以直接应用于新建生产线。

当在已有水泥预分解窑生产线上实施时, 需对现有系统作适当改造。

由于需要向分解炉 2 提供补充的热能, 即分解炉 2 内燃料量增加, 为使燃料燃烧有足够的空间, 分解炉 2 需适当扩容, 或在已有分解炉 2 之前预置燃烧室或流态化炉等措施。

由于热气体分流后, 预热器系统内气体量减少; 为保持各级旋风预热器之间的气体管道内一定的气体流速, 管道有效内径需相应缩小。

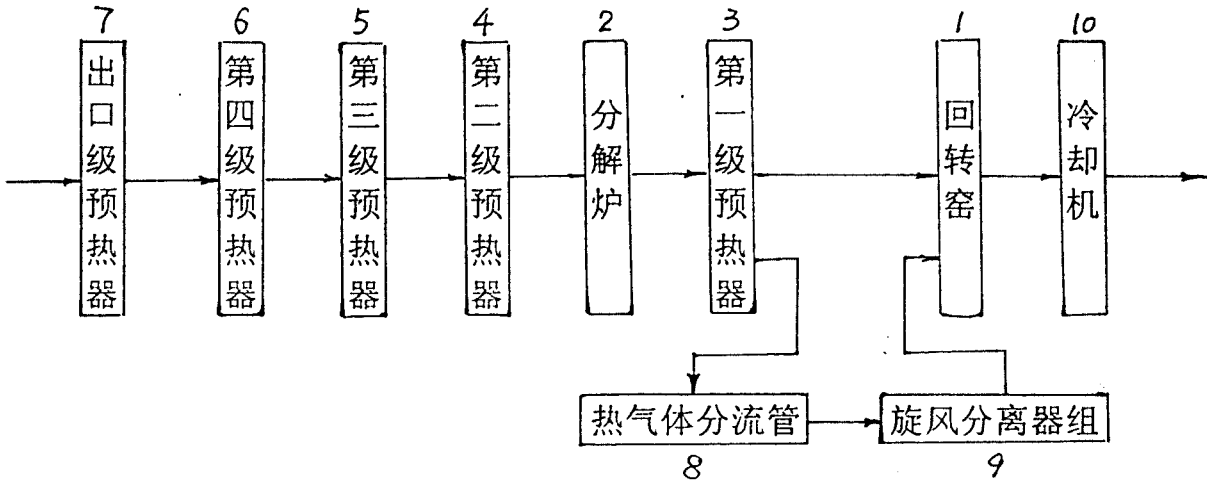


图 1

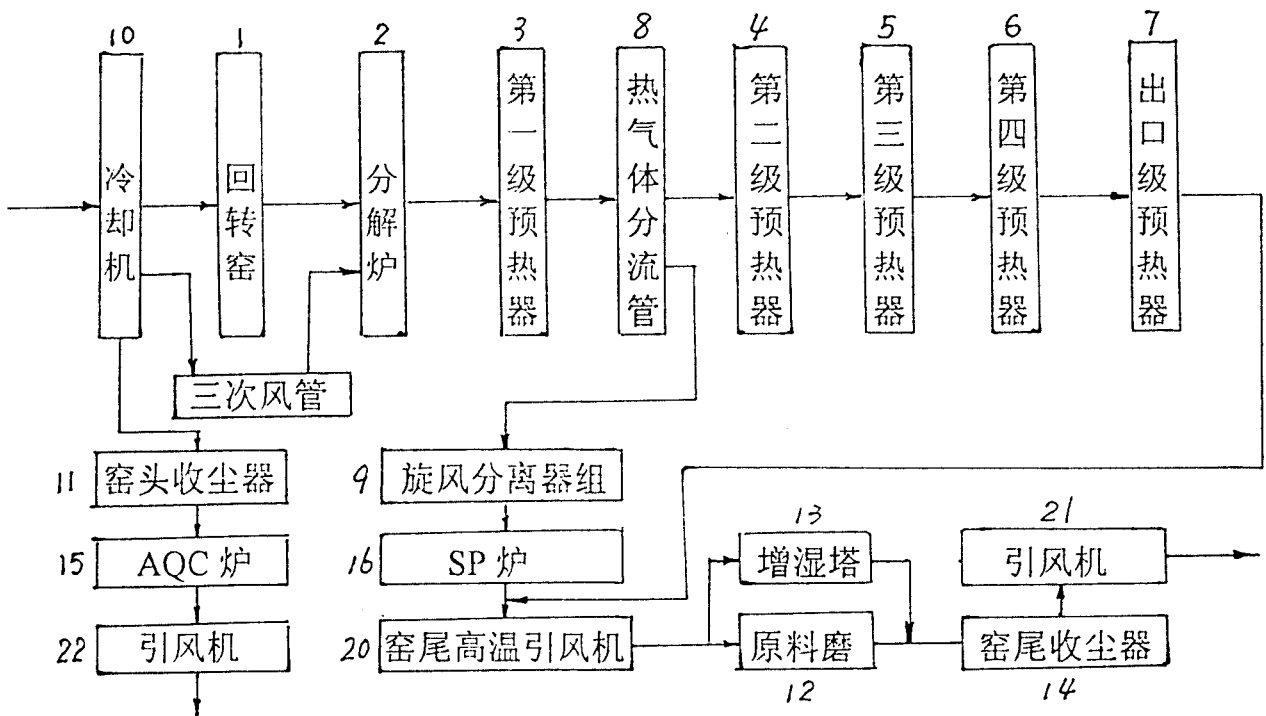


图 2-1

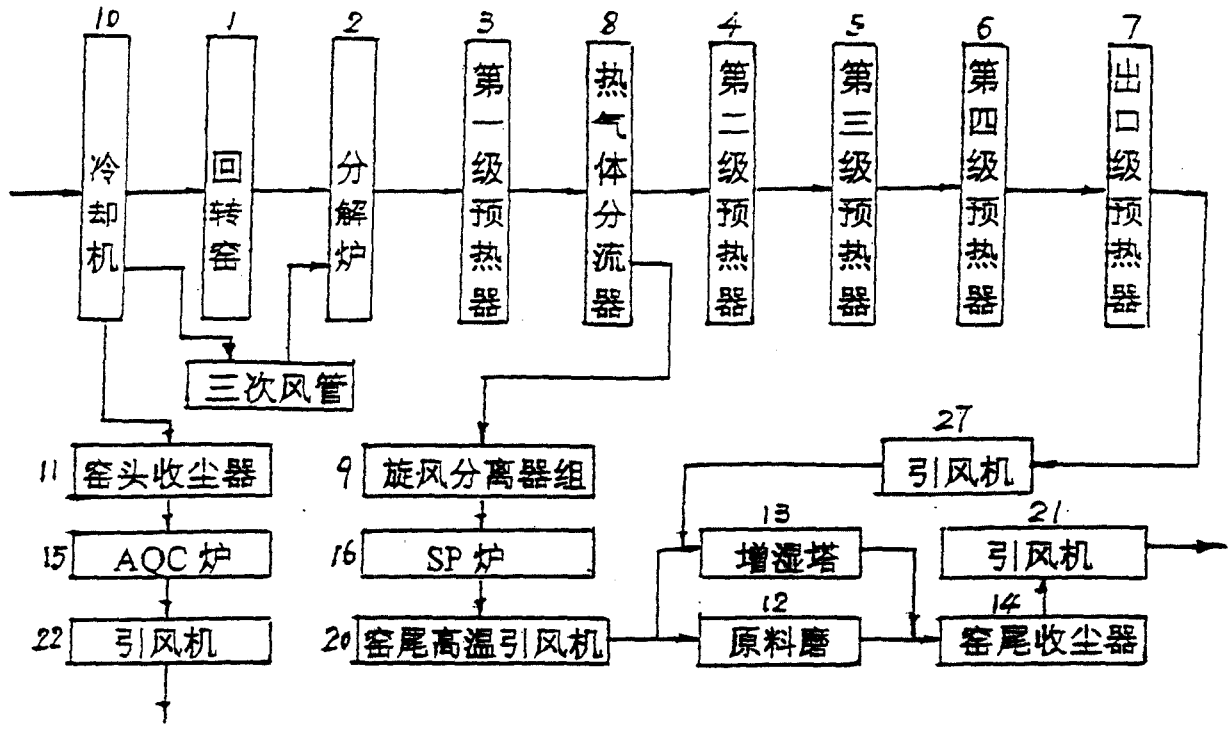


图 2-2

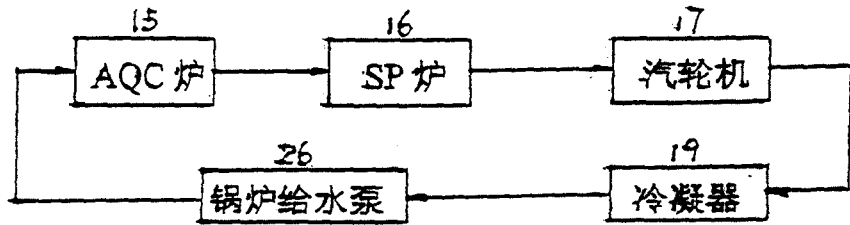


图 3

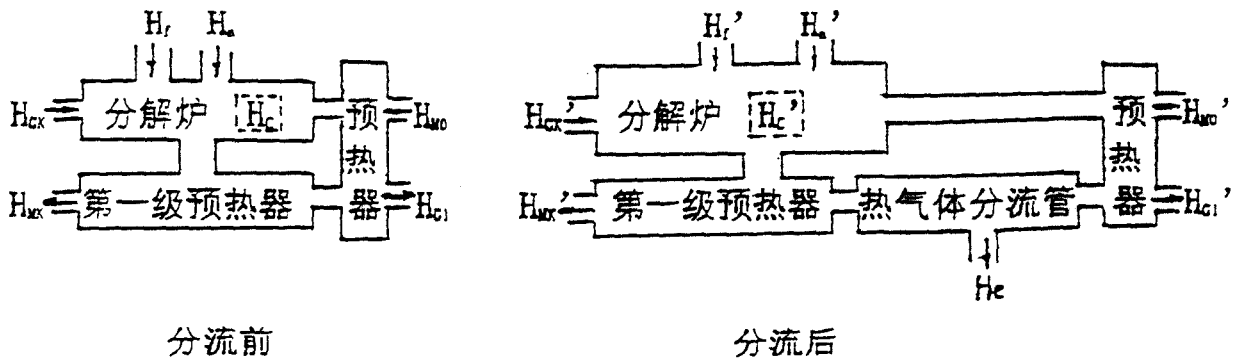


图 4

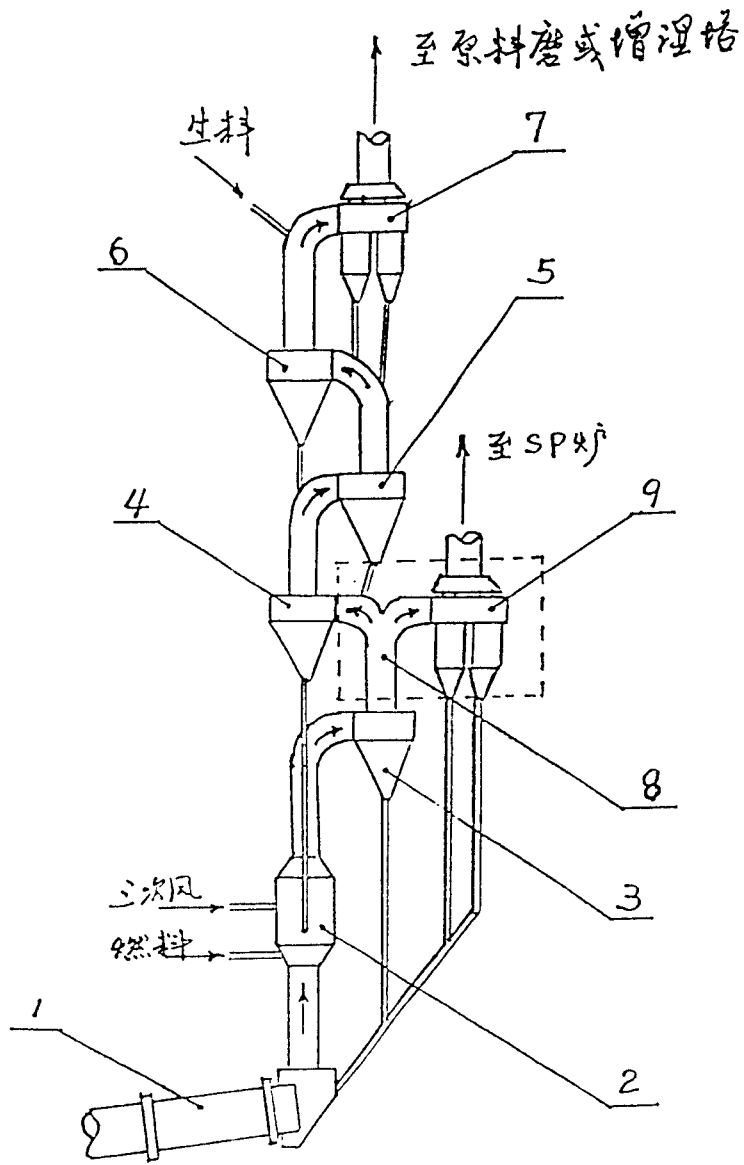


图 5-1

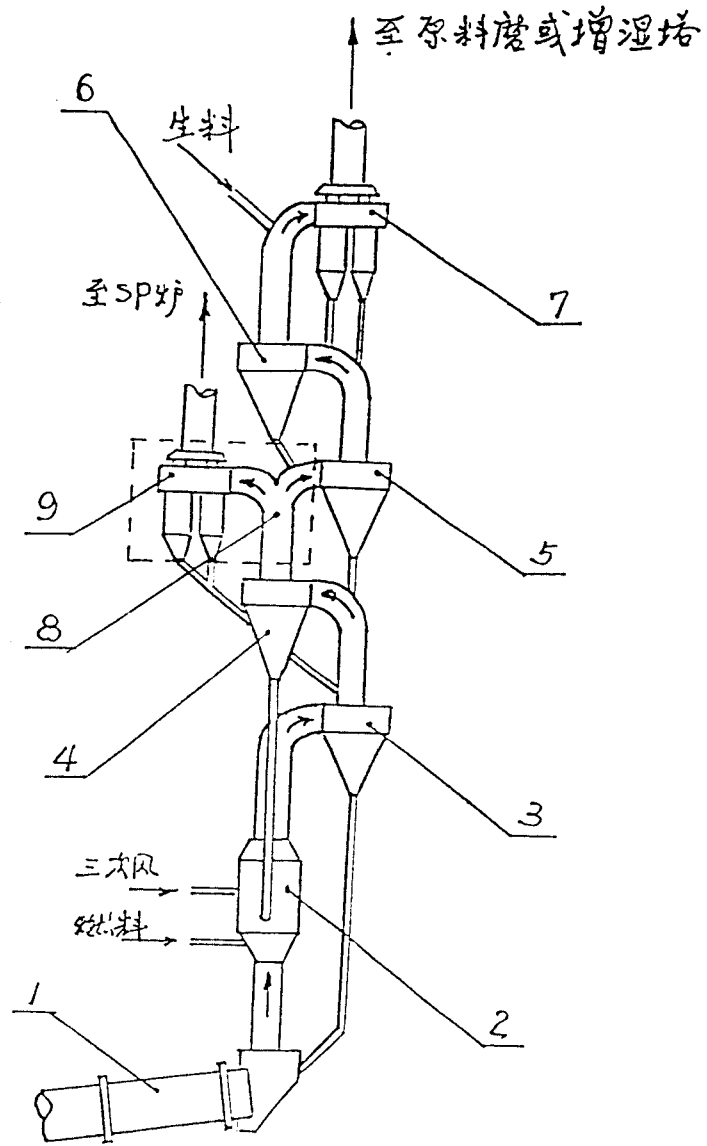


图 5-2

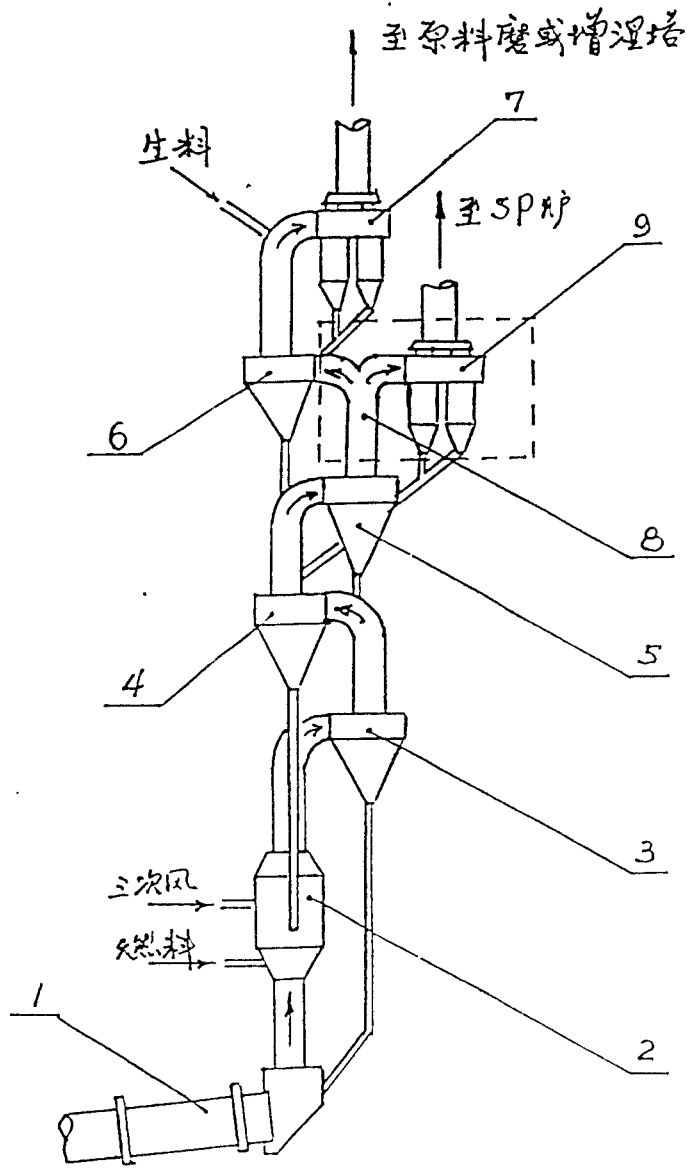


图 5-3

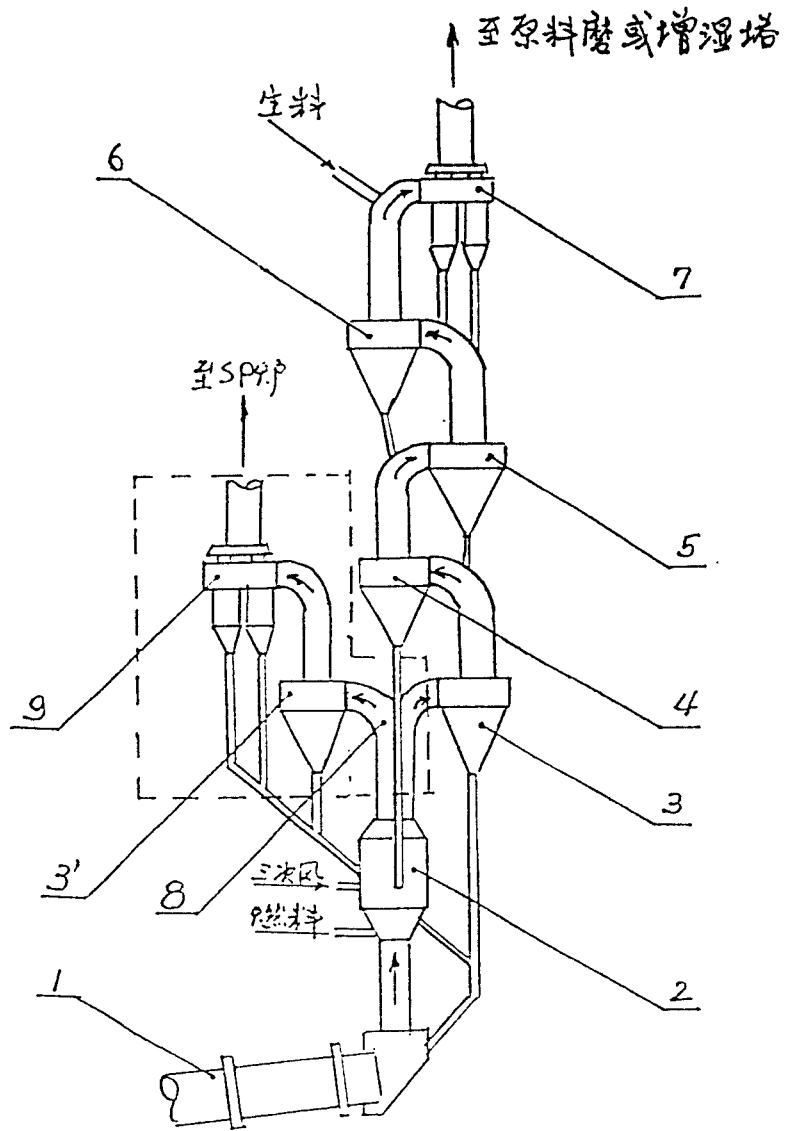


图 5-4

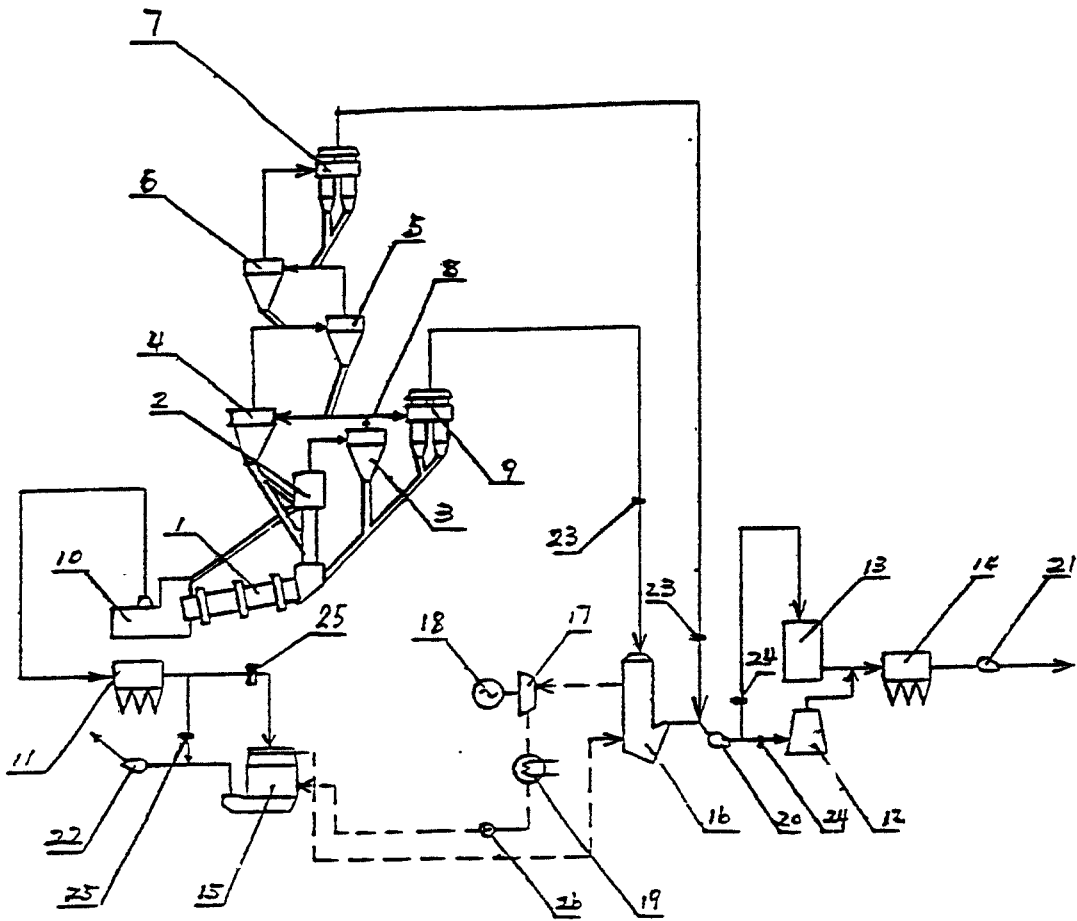


图 6-1

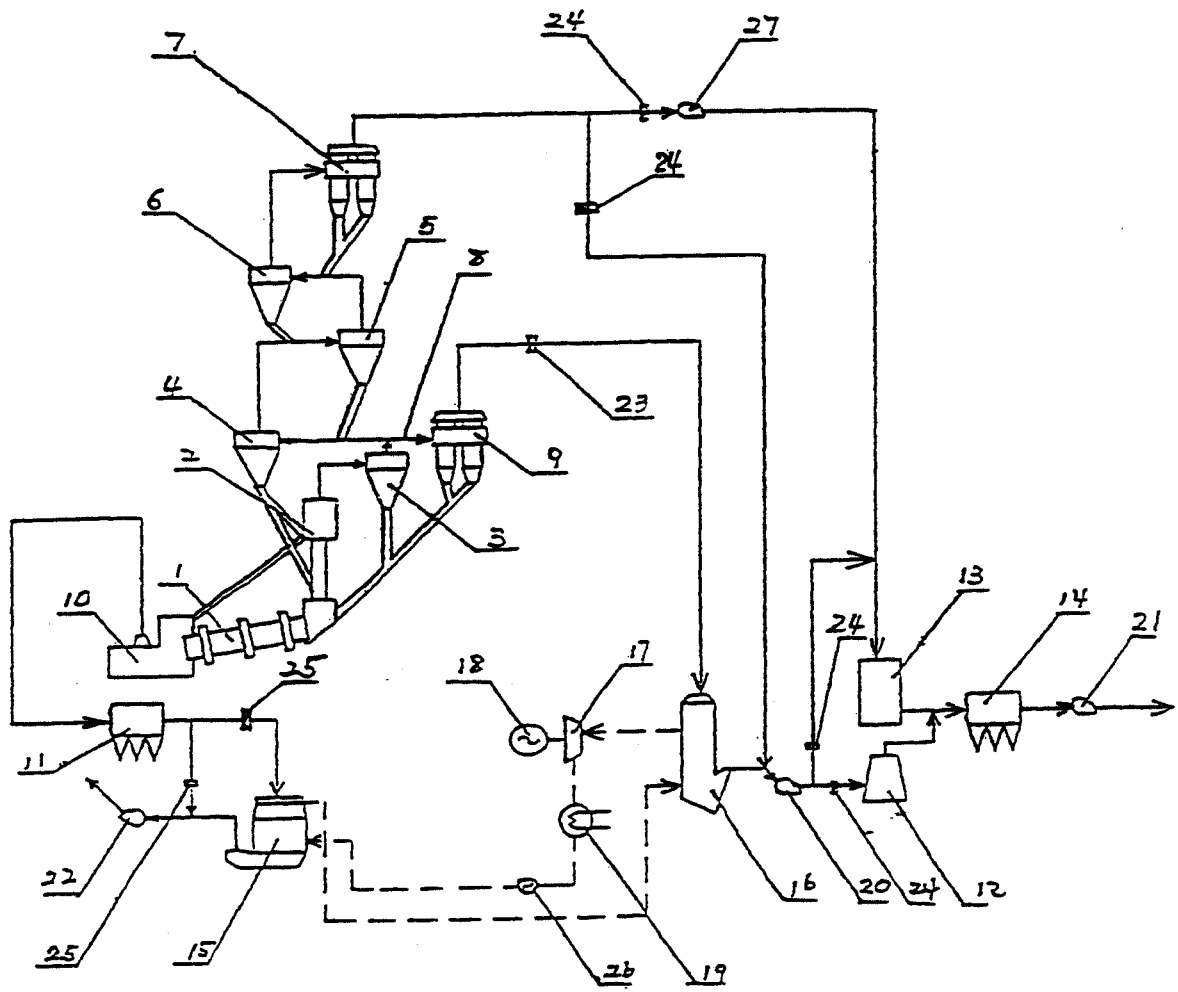


图 6-2

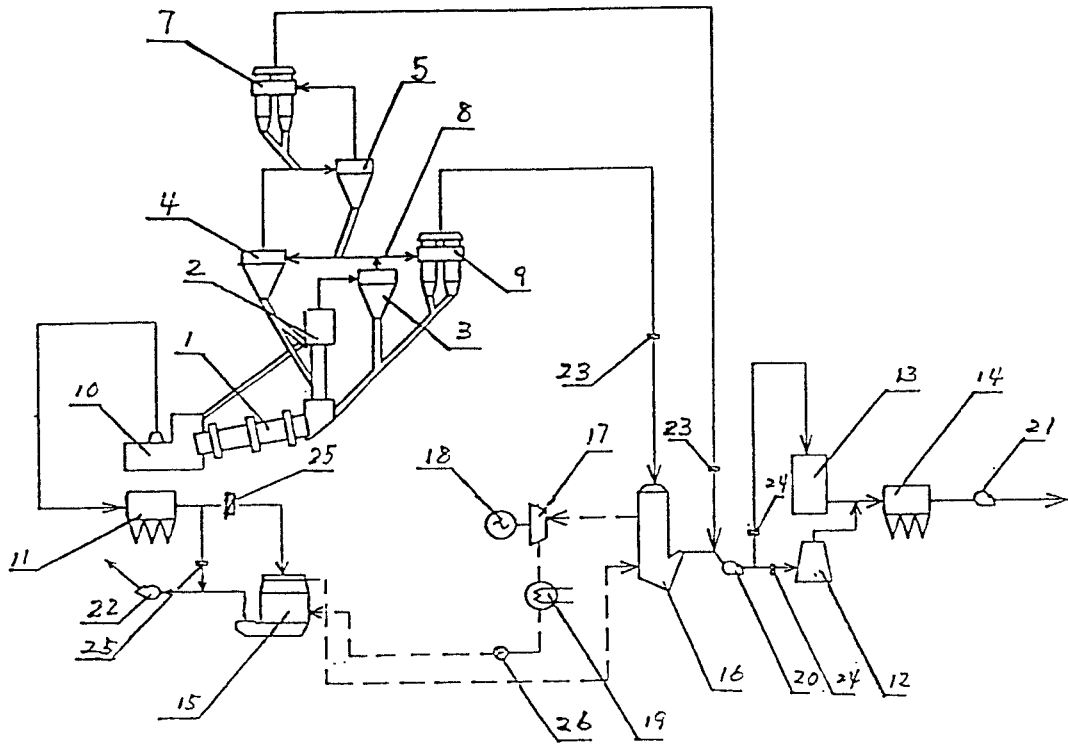


图 6-3

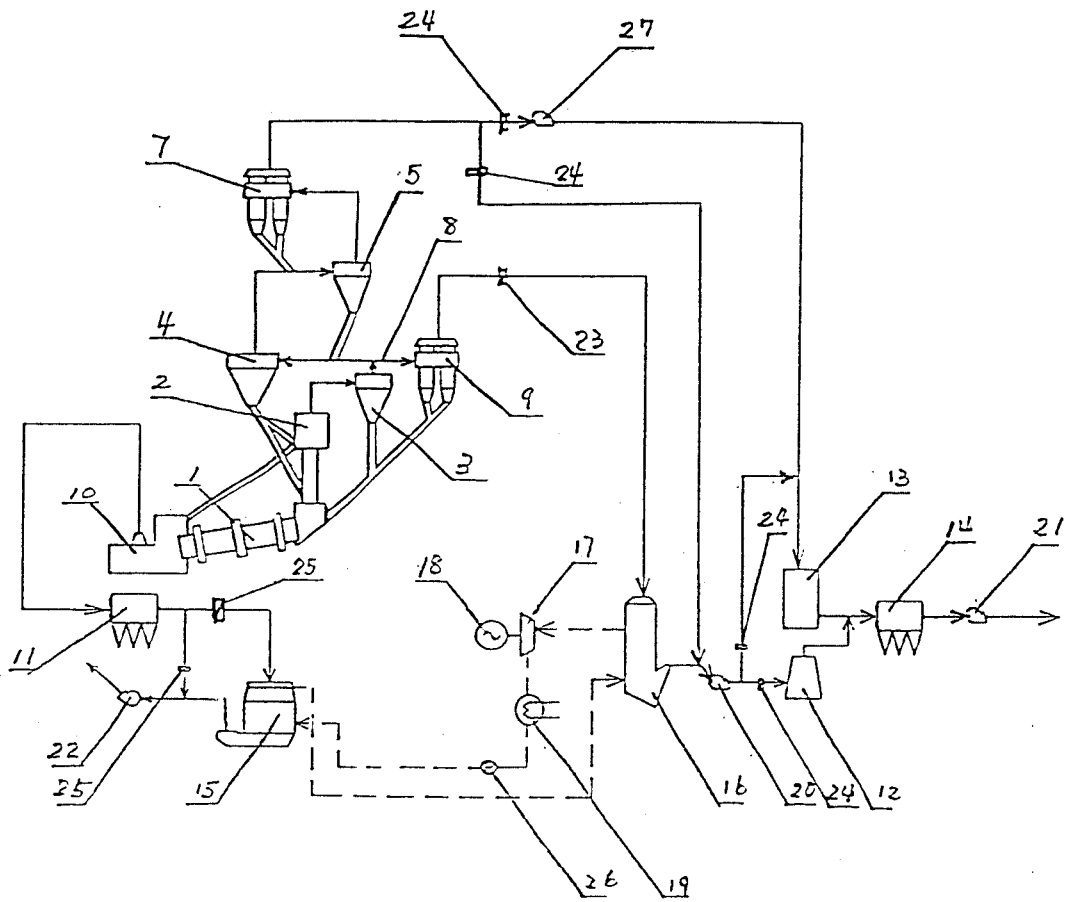


图 6-4

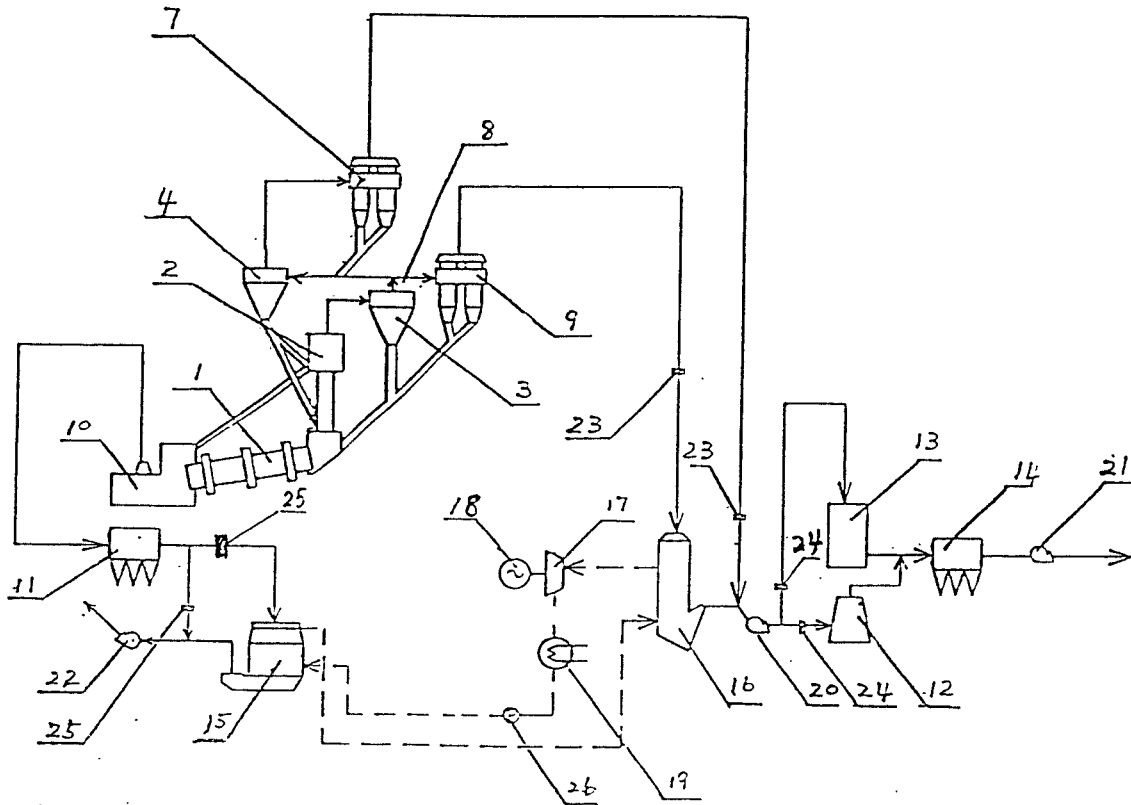


图 6-5

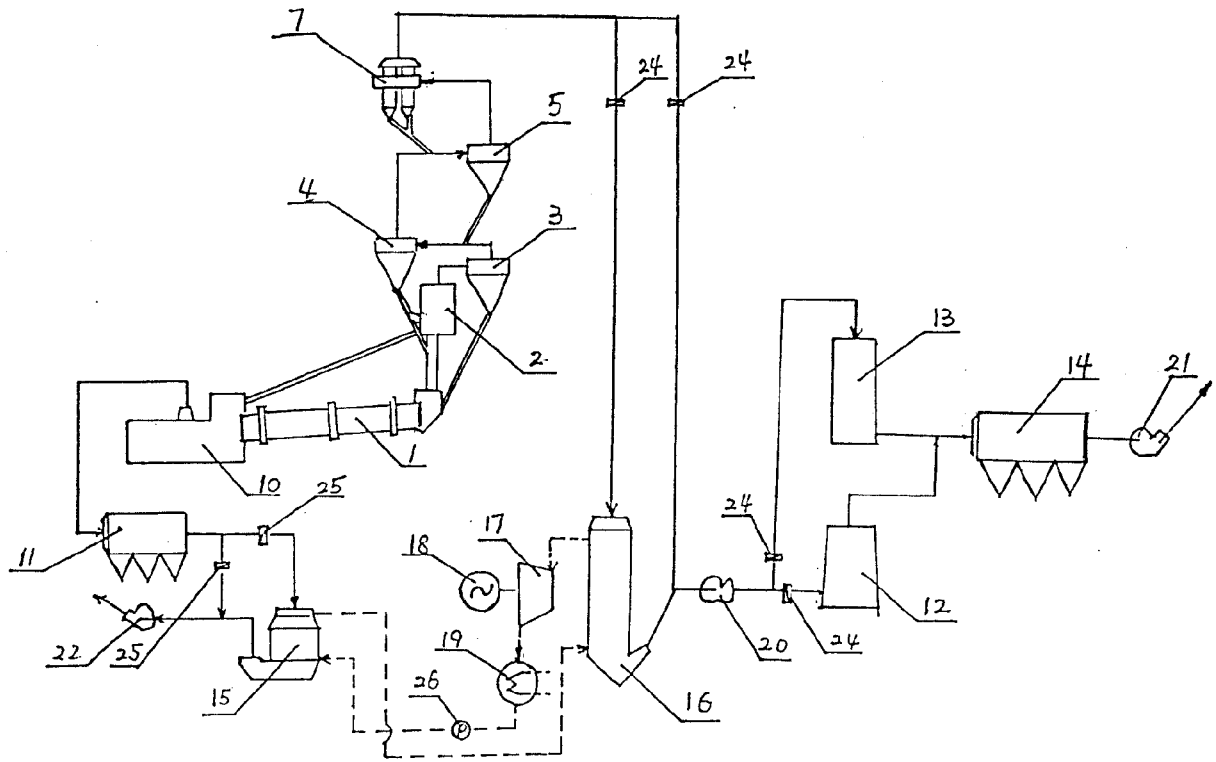


图 7-1

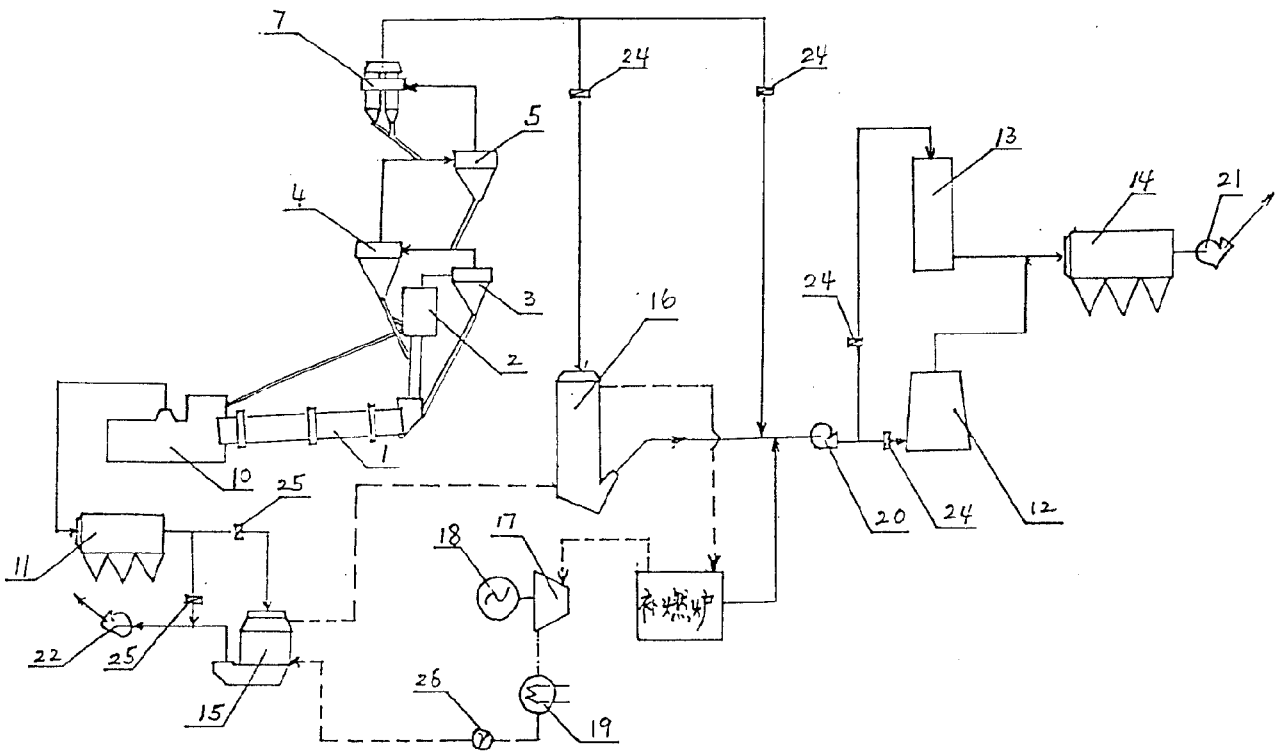


图 7-2