



## (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110741204 B

(45) 授权公告日 2021.10.29

(21) 申请号 201780091888.6

(22) 申请日 2017.06.13

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 110741204 A

(43) 申请公布日 2020.01.31

(85) PCT国际申请进入国家阶段日  
2019.12.11

(86) PCT国际申请的申请数据  
PCT/EP2017/064412 2017.06.13

(87) PCT国际申请的公布数据  
W02018/228677 EN 2018.12.20

(73) 专利权人 奥图泰(芬兰)公司  
地址 芬兰埃斯波

(72) 发明人 R·马杜塔 M·施特勒德  
A·穆恩科

(74) 专利代理机构 中国贸促会专利商标事务所  
有限公司 11038

代理人 林振波

(51) Int.Cl.  
F23D 14/22 (2006.01)  
F23D 99/00 (2006.01)

(56) 对比文件  
US 2016201904 A1, 2016.07.14  
CN 204187614 U, 2015.03.04  
CN 106705039 A, 2017.05.24  
CN 2926828 Y, 2007.07.25  
WO 2010111217 A1, 2010.09.30  
CN 202902271 U, 2013.04.24  
WO 2013023116 A1, 2013.02.14  
WO 2016180623 A1, 2016.11.17  
EP 3030840 A1, 2016.06.15  
CN 201589260 U, 2010.09.22

审查员 黄健

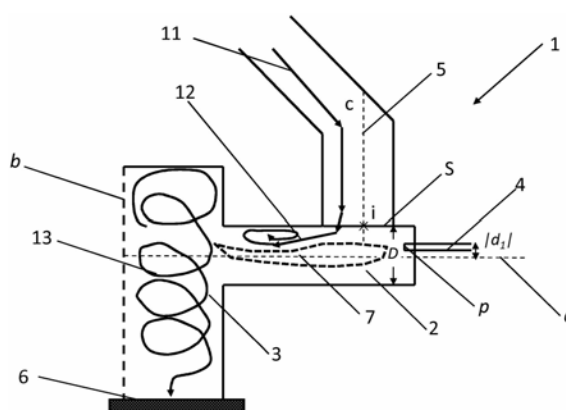
权利要求书2页 说明书6页 附图6页

### (54) 发明名称

用于燃烧气体燃料或液体燃料的方法和设  
备

### (57) 摘要

本发明涉及用于在具有水力直径D的燃烧室中燃烧气体燃料或液体燃料的方法及相关设备。燃料以及一次氧化剂经由燃烧器喷枪引入燃烧室中,燃料和一次氧化剂在从燃烧器喷枪喷入燃烧室的入口处具有一定平均速度 $u_1$ ,并且二次氧化剂经由降气道以平均速度 $u_2$ 引入燃烧室中。燃烧器喷枪布置在位置p,使得位置p具有定义为p与燃烧室中心线a之间最小距离的距离 $|d_1|$ ,从位置p到燃烧室和降气道相交区域S与降气道中心线的交点i的距离 $|d_1|$ 小于从p与燃烧室中心线a之间最短连线与燃烧室中心线的交点到燃烧室和降气道相交区域S与降气道中心线c的交点i的距离 $|d_c|$ 。



1. 一种用于在具有水力直径D的燃烧室(2)中燃烧气体燃料或液体燃料的方法,其中,经由燃烧器喷枪(4)把燃料以及一次氧化剂引入燃烧室(2)中,燃料和一次氧化剂在从燃烧器喷枪(4)喷入燃烧室(2)的入口处具有一定的平均速度 $u_1$ ,平均速度 $u_1$ 定义为

$$u_1 = \frac{\sum_{i=1}^n v_i^2 \cdot \rho_i \cdot A_i}{\dot{m}_{ges}}, \quad v_i \text{ 是燃烧器喷枪中每种单独流体的速度, } \rho_i \text{ 是燃烧器喷枪中每种单独流体的密度, } A_i \text{ 是在燃烧器喷枪喷入燃烧室的入口处燃烧器喷枪中每种单独流体流的横截面积, 并且 } \dot{m}_{ges} \text{ 是燃烧器喷枪中的总质量流量, 并且经由降气道(5)把二次氧化剂以平均速度 } u_2 \text{ 引入燃烧室(2)中, 其特征在于, 燃烧器喷枪(4)布置在从燃烧器喷枪的喷嘴端测量的位置(p), 使得位置(p)具有定义为位置(p)与燃烧室中心线(a)之间最小距离的距离 } |d_1|, \text{ 燃烧器喷枪布置成使得从位置(p)到燃烧室和降气道相交区域(S)与降气道中心线的交点(i)的距离小于从位置(p)与燃烧室中心线(a)之间最短连线与燃烧室中心线(a)的交点到燃烧室(2)和降气道(5)相交区域(S)与降气道中心线(c)的交点(i)的距离 } |d_c|,$$

燃烧器喷枪(4)布置在的位置(p)具有到燃烧室中心线(a)的最小距离 $|d_1|$ 的值定义为

$$|d_1| = \left[ 1 - \left( d \cdot \frac{u_1}{u_2} \right)^{\frac{1}{4}} \right] \cdot \frac{D}{2} \quad d \text{ 在 } 0.05 \text{ 至 } 0.15 \text{ 的范围内。}$$

2. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, d在0.09至0.11的范围内。

3. 根据前述权利要求中任一项所述的方法, 其特征在于, 一次氧化剂和/或二次氧化剂是空气。

4. 根据权利要求1或2所述的方法, 其特征在于, 平均速度 $u_1$ 小于200m/s。

5. 根据权利要求1或2所述的方法, 其特征在于, 二次氧化剂以介于10m/s与35m/s之间的平均速度 $u_2$ 引入燃烧室(2)中。

6. 根据权利要求3所述的方法, 其特征在于, 总空气比率为 $\lambda$ ,  $\lambda = \frac{\dot{m}_{air}}{\dot{m}_{stoich}}$ , 在1.2至12.0的范围内。

7. 根据权利要求3所述的方法, 其特征在于, 一次空气比率为 $\lambda_{prim}$ ,  $\lambda_{prim} = \frac{\dot{m}_{air-prim}}{\dot{m}_{stoich}}$ , 在0.05至2.0的范围内。

8. 根据权利要求1或2所述的方法, 其特征在于, 燃烧器喷枪的燃料能力在2MW到6MW的范围内。

9. 一种燃烧器组件, 包括: 燃烧室(2), 具有中心线(a)、水力直径D; 燃烧器喷枪(4), 用于将燃料和一次氧化剂引入燃烧室(2)中, 平均速度 $u_1$ 定义为  $u_1 = \frac{\sum_{i=1}^n v_i^2 \cdot \rho_i \cdot A_i}{\dot{m}_{ges}}$ ,  $v_i$  是燃烧器喷枪中每种单独流体的速度,  $\rho_i$  是燃烧器喷枪中每种单独流体的密度,  $A_i$  是在燃烧器喷枪

喷入燃烧室的入口处燃烧器喷枪中每种单独流体流的横截面积,并且 $\dot{m}_{ges}$ 是燃烧器喷枪中的总质量流量,燃烧器组件配置成使得燃料和一次氧化剂在从燃烧器的喷嘴端测量的从燃烧器喷枪(4)喷入燃烧室(2)的入口处具有一定的平均速度 $u_1$ ;以及降气道(5),配置成用于将二次氧化剂以平均速度 $u_2$ 引入燃烧室(2)中,其特征在于,燃烧器喷枪(4)布置在从燃烧器喷枪的喷嘴端测量的位置(p),使得位置(p)具有定义为位置(p)与燃烧室中心线(a)之间最小距离的距离 $|d_1|$ ,燃烧器喷枪布置成使得从位置(p)到燃烧室(2)和降气道(5)相交区域(S)与降气道中心线(c)的交点(i)的距离小于从位置(p)与燃烧室中心线(a)之间最短连线与燃烧室中心线(a)的交点到燃烧室(2)和降气道(5)相交区域(S)与降气道中心线(c)的交点(i)的距离 $|d_c|$ ,

燃烧器喷枪布置在的位置(p)具有到燃烧室中心线的最小距离 $|d_1|$ 的值定义为

$$|d_1| = \left[ 1 - \left( d \cdot \frac{u_1}{u_2} \right)^{\frac{1}{4}} \right] \cdot \frac{D}{2} \quad d \text{ 在 } 0.05 \text{ 至 } 0.15 \text{ 的范围内。}$$

10. 根据权利要求9所述的燃烧器组件,其特征在于,燃烧器喷枪(4)相对于燃烧室中心线(a)以最大 $12^\circ$ 的角度( $\alpha$ )布置。

11. 根据权利要求9或10所述的燃烧器组件,其特征在于,燃烧器喷枪(4)指向降气道(5)。

12. 根据权利要求9或10所述的燃烧器组件,其特征在于,燃烧室(2)的水力直径D在0.5m与1.8m之间。

## 用于燃烧气体燃料或液体燃料的方法和设备

### 技术领域

[0001] 本发明涉及用于在燃烧室中燃烧气体燃料或液体燃料的方法及其对应的燃烧器组件,燃烧室可以是截面直径为D的圆筒形,经由燃烧器喷枪(包括喷嘴头)将气体燃料或液体燃料以及一次氧化剂以平均速度 $u_1$ 引入燃烧室中。

### 背景技术

[0002] 经由降气道将二次氧化剂以平均速度 $u_2$ 引入燃烧室中。某些工业处理(例如在相关炉中对炉料进行加热)依赖于燃料和氧化剂燃烧所产生的热量。燃料通常是天然气或石油。氧化剂通常是空气、污染空气、氧气或富氧空气。所使用的燃烧器组件通常具有燃烧室,燃烧室具有至少一个燃烧器喷枪,以用于引入气体燃料或液体燃料和一次氧化剂;还可选地具有二次氧化剂供应装置,例如用于二次空气的降气道。根据现有技术,燃烧室具有水平中心线,用于二次空气的降气道在与燃烧室的相交处具有竖直中心线,燃烧器喷枪具有水平中心线,并且燃烧器喷枪在燃烧室的中心线上定位在燃烧室的封闭端板处(例如参见US 2016/0201904 A1)。

[0003] 由于以下原因,这种燃烧器组件的技术挑战是不均匀温度分布:首先,不均匀温度分布导致燃烧室壁上的热应力。其次,火焰中的热点将增加 $\text{NO}_x$ 的形成。此外,燃烧室中的不均匀温度分布通常导致要对炉料进行热处理的相关炉中的不均匀温度分布。这继而导致热处理后炉料的不均匀产品质量。

[0004] 上述最后一个理由应该针对铁矿石球团厂中的球团焙烧来更详细地解释:也就是说,球团床在水平方向上表现出不均匀温度分布,这是由于从燃烧室内火焰的对流传热而使炉内局部形成热区所导致的。由于火焰仅占据有限的空间,而周围的空间被来自降气道的较冷二次空气占据,因此在燃烧室与炉的相交处沿着燃烧室的半径以及跨炉本身的宽度都可以发现巨大的温度梯度。由于热区位于炉的中心,即球团床的中心,因此在炉的整个宽度上球团的质量会产生很大的差异。

[0005] 通常,应通过注入氧化剂和燃料的混合物来减少 $\text{NO}_x$ 排放。文献US 8,202,470 B2描述了一种焙烧炉的燃烧器组件,具有通向加热区的空气通道。预热循环空气流被驱动经由通道流向加热区,并与燃料气体混合以形成可燃混合物,可燃混合物在通道中点燃。这通过以下方式来实现:将燃料气体以在进入通道之前未与预热循环空气形成可燃混合物的股流注入通道中。

[0006] 文献WO 2015/018438 A1公开了一种燃烧器组件,其中,燃烧空气注入燃烧室中,以使燃烧空气经过燃烧器,然后偏转,从而预热的燃烧空气流以及较小的燃料流和一次空气流大致平行地从燃烧器流动到混合管的炉中,进入燃烧室以与燃烧空气混合。

[0007] 然而,所描述的这些解决方案不能防止燃烧室部件遭受高局部热应力。另外,这些文献没有解决温度梯度的根本影响,而仅仅是试图避免会导致高 $\text{NO}_x$ 排放的高温热点。

## 发明内容

[0008] 因此,本发明的目的是在整个炉中产生更均匀的气体温度。

[0009] 通过根据权利要求1的方法解决了该问题。

[0010] 这种方法包括通过燃烧器喷枪将气体燃料或液体燃料和一次氧化剂引入燃烧室中。将燃烧器喷枪中的每种流体(例如燃料和一次氧化剂)以一定速度引入,一个股流可以比另一个股流更快(在喷入燃烧室的入口处)。在喷入燃烧室的入口处燃烧器喷枪中的平均速度定义为 $u_1$ 。此外,二次氧化剂通过降气道引入燃烧室中,平均速度为 $u_2$ (在喷入燃烧室的入口处)。燃烧室通常是具有截面直径D并且相对于中心线对称的圆筒形(也可以是其他形状)。

[0011] 优选地, $u_1$ 大于 $u_2$ 。最优选地,比率 $u_1/u_2$ 介于0.1与20.0之间。

[0012] 本发明的要点部分是将燃烧器喷枪调节到位置p(从燃烧器喷枪的喷嘴端测量的),使得位置p具有定义为p与燃烧室中心线之间最小距离的距离 $|d_1|$ 。此外,从位置p到燃烧室和降气道接触表面与降气道中心线(在降气道靠近相交区域S的部分处)的交点i的距离小于距离 $|d_c|$ 。距离 $|d_c|$ 定义为从p与燃烧室中心线a之间最短连线与燃烧室中心线的交点到燃烧室和降气道相交区域S与降气道中心线的交点i的距离。

[0013] 优选的是,燃烧器喷枪布置在位置p处,使得位置p具有到燃烧室中心线的最小距

离 $|d_1|$ ,  $|d_1|$  定义为  $|d_1| = \left[ 1 - \left( d \cdot \frac{u_1}{u_2} \right)^{\frac{1}{4}} \right] \cdot \frac{D}{2}$  平均速度 $u_1$  定义为  $u_1 = \frac{\sum_{i=1}^n v_i^2 \cdot \rho_i \cdot A_i}{\dot{m}_{ges}}$   $v_i$  是燃烧

器喷枪中每种单独流体的速度, $\rho_i$ 是燃烧器喷枪中每种单独流体的密度, $A_i$ 是在燃烧器喷枪喷入燃烧室的入口处燃烧器喷枪中每种单独流体流的横截面积,并且 $\dot{m}_{ges}$ 是燃烧器喷枪中的总质量流量。燃烧器喷枪中的各个单独流体可以是例如:燃料、一次空气、冷却空气、屏蔽空气、或一次空气和燃料的混合物。

[0014] 优选地,位置p具有到燃烧室中心线的最小距离 $|d_1|$ ,  $d_1$ 具有正号,

$d_1 = \left[ 1 - \left( d \cdot \frac{u_1}{u_2} \right)^{\frac{1}{4}} \right] \cdot \frac{D}{2}$  d在0.05至0.15的范围内。

[0015] 计算流体动力学(CFD)模拟表明,通过将喷枪重新定位到根据本发明的位置p,发现了小于10K的温度梯度 $|\Delta T|$ ,  $|\Delta T| = T_{\text{球团床表面,最大}} - T_{\text{球团床表面,最小}}$ 。这远远低于现有技术中的 $|\Delta T|$ 通常等于40K。改进的原因是燃烧室中火焰与循环区的相互作用。

[0016] 通过将燃烧器喷枪定位到相对于燃烧室中心线的较高位置p,也就意味着降气道下端与燃烧器喷枪中心线之间的距离减小,从而可以引起火焰偏转。这种偏转是由于预热的二次氧化剂从降气道到燃烧室的改向而在循环区中导致的。根据本发明,由于重新定位的燃烧器喷枪而处于略微更高位置的火焰被循环区吸入,并最终偏转。这种偏转继而改变了所产生的热烟气与来自相对放置的燃烧室的烟气相遇的角度。根据现有技术,烟气最热部分在炉中的流动路径是向下的,根据本发明则是向上的。

[0017] 本发明的另一个好处是降低了燃烧室壁最热部分的温度:在根据现有技术标准构型中,在燃烧室底壁处发现较高温度,这是由于燃烧室内部朝向燃烧室底部的一定火焰

偏转引起的。根据本发明的构型导致距底壁的火焰距离明显更大,因此底壁温度降低。这降低了热损坏的风险,甚至可以允许增大燃烧器能力。

[0018] 本发明要求保护新式燃烧器喷枪布置,无量纲系数 $d$ 在0.05至0.15的范围内、优选地在0.075至0.125的范围内、最优选在0.09至0.11的范围内。对于根据现有技术燃烧器喷枪在燃烧室中心线中的燃烧器组件典型使用来说,系数 $d$ 将在0.2至0.3的范围内。

[0019] 如果系数 $d$ 超过0.15,则火焰与循环区之间的距离太大,因此不会发生火焰偏转。如果系数 $d$ 小于0.05,则火焰与循环区之间的距离太小,因此循环区中的气体温度强烈升高。因此,上壁温度升高会导致热损坏。

[0020] 优选地,平均速度 $u_1$ 小于200m/s、优选地在70与140m/s之间的范围内。这样,在喷枪或喷枪头中实现了合理的压降以及较少的NO<sub>x</sub>形成。

[0021] 此外,根据本发明,优选以介于10m/s与35m/s之间的平均速度 $u_2$ 将二次氧化剂引入燃烧室中,以确保燃料的良好分布。

[0022] 原则上,具有任何氧含量的每种气体都可以用作氧化剂。然而,由于成本原因,空气或富氧空气是最常用的。以下描述涉及空气作为一次氧化剂和二次氧化剂。

[0023] 另一个相关参数是总空气比率 $\lambda$ ,  $\lambda = \frac{\dot{m}_{air}}{\dot{m}_{stoich}}$ ,  $\dot{m}_{air}$ 是注入空气(一次空气和二次空气)的总质量流量,并且 $\dot{m}_{stoich}$ 是与注入燃料进行化学计量反应所需的空气质量流量。优选地, $\lambda$ 在1.2至12的范围内,优选地2至6.5的范围内。

[0024] 出于相同的原因,一次空气比率 $\lambda_{prim}$ ,  $\lambda_{prim} = \frac{\dot{m}_{air-prim}}{\dot{m}_{stoich}}$ , 在0.05至2的范围内,  $\dot{m}_{air-prim}$ 是注入一次空气的质量流量。

[0025] 典型的燃烧器喷枪的能力在2至6MW的范围内。这使得能够在典型的工业炉中使用。

[0026] 本发明还涉及具有权利要求10的特征的燃烧器组件。

[0027] 这种燃烧器组件包括具有中心线和水力直径 $D$ 的圆筒形、矩形或其他形状的燃烧室。至少一个燃烧器喷枪用于以平均速度 $u_1$ 供应气体燃料或液体燃料和一次氧化剂,并且至少一个降气道用于以平均速度 $u_2$ 供应二次氧化剂。

[0028] 本发明的要点部分是将燃烧器喷枪调节到位置 $p$ (从燃烧器喷枪的喷嘴端测量的),使得位置 $p$ 具有定义为 $p$ 与燃烧室中心线之间最小距离的距离 $|d_1|$ 。此外,从位置 $p$ 到燃烧室和降气道相交区域 $S$ 与降气道中心线的交点的距离小于距离 $|d_c|$ 。距离 $|d_c|$ 定义为从 $p$ 与燃烧室中心线 $a$ 之间最短连线与燃烧室中心线的交点到燃烧室和降气道相交区域 $S$ 与降气道中心线的交点 $i$ 的距离。

[0029] 优选的是,燃烧器喷枪布置在位置 $p$ 处,使得位置 $p$ 具有到燃烧室中心线的最小距

离 $|d_1|$ ,  $|d_1|$  定义为  $|d_1| = \left[ 1 - \left( d \cdot \frac{u_1}{u_2} \right)^{\frac{1}{4}} \right] \cdot \frac{D}{2}$  平均速度 $u_1$  定义为  $u_1 = \frac{\sum_{i=1}^n v_i^2 \cdot \rho_i \cdot A_i}{\dot{m}_{ges}}$ ,  $v_i$  是燃烧

器喷枪中每种单独流体的速度,  $\rho_i$  是燃烧器喷枪中每种单独流体的密度,  $A_i$  是在燃烧器喷枪

喷入燃烧室的入口处燃烧器喷枪中每种单独流体流的横截面积,并且 $\dot{m}_{ges}$ 是燃烧器喷枪中的总质量流量。

[0030] 通过使燃烧器喷枪相对于燃烧室中心线成倾斜角 $\alpha$ ,可以扩大循环区对火焰行为和对炉内温度分布的正面影响。该倾斜角 $\alpha$ 不应超过大于 $12^\circ$ 的值,优选地应小于 $10^\circ$ ,因为否则火焰将与燃烧室上壁直接接触。在最优选的情况下,倾斜角 $\alpha$ 选择成使得燃烧器喷枪(相应地喷嘴头)指向降气道的方向。

[0031] 通常,燃烧室直径D介于0.5与1.8m之间,因此非常适合工业炉。

[0032] 最优选地,在球团焙烧炉中至少两个优选对称布置的燃烧器组件是根据权利要求11至13中任一项而设计的。通过在炉中引起涡流,可以增强混合,因此可以获得更加均匀的温度分布。这继而改进了球团质量的均匀性。涡流是由来自两个相对放置的燃烧室的热燃烧气体的改变了的撞击角度而引起的。改变的撞击角度本身是由于更高定位的燃烧器喷枪(燃料和一次氧化剂)而导致的,从而因火焰与处于燃烧室上壁的循环区发生部分干扰而导致火焰弯曲。

[0033] 由于相对于同一排中另一燃烧器的对称平面以及在炉壁上撞击,来自火焰的热气多次改向。这产生了巨大的涡流系统,从而导致了增强的气流混合,最终导致了球团床上方烟气的均匀温度分布。这样,火焰发生偏转的循环区不会被火焰热气显著加热。

[0034] 这样,热区可以从炉的对称平面移向炉的侧壁。这是有利的,因为与炉的对称平面相比,在炉侧壁附近的热损耗更高。

[0035] 本发明的燃烧器喷枪新位置可通过安装适当的燃烧器组件而轻松实现,这也是为什么可以优化现有设备的原因。与现有设备中的其他可能方案相比,本发明的实现方式特别经济得多,因为降气道的布置可以按照现有技术保持原样,即竖直中心线在降气道下部中。这通常导致降气道下部中心线与燃烧室中心线之间成 $90^\circ$ 角,因为燃烧室通常具有水平中心线。

[0036] 降气道下部本身不是必须以 $90^\circ$ 的角度与燃烧室对齐,而是也可以倾斜,从而导致角度小于或大于 $90^\circ$ 。倾斜度的确切值不重要,因为将在很宽可能倾斜角范围下创建循环区。然而,由于空间和成本的限制,很难在现有的球团焙烧炉中改变降气道的角度。

## 附图说明

[0037] 现在,将基于优选实施例和附图的以下描述来更详细地描述本发明。所描述或图示的所有特征形成本发明的主题,但不依赖于它们在权利要求中的组合或它们的回引。具体地,将通过对改变的火焰行为、涡流效果以及在炉出口处的热区和冷区发展进行解释的附图,来将现有技术设计与改变的设计进行比较。

[0038] 在附图中:

[0039] 图1示出了根据现有技术的球团焙烧炉的设计,重点是流动状况,

[0040] 图2示出了根据现有技术的球团焙烧炉的设计,重点是炉中的温度分布,

[0041] 图3示出了根据本发明的球团焙烧炉的第一设计,重点是流动状况,

[0042] 图4示出了根据本发明的球团焙烧炉的第一设计,重点是炉中的温度分布,

[0043] 图5示出了根据本发明的球团焙烧炉的第二设计,重点是流动状况,

[0044] 图6示出了根据本发明的球团焙烧炉的第二设计,重点是炉中的温度分布。

## 具体实施方式

[0045] 图1示出了根据现有技术的球团焙烧炉的典型设计,特别是铁矿石球团焙烧炉。根据现有技术(例如US 2016/0201904 A1)的燃烧器组件1以剖视图示出。

[0046] 燃烧器组件1具有燃烧室2,燃烧室2为具有截面直径D的圆筒形,因此围绕其中心线a对称。燃烧室2用作火焰反应空间。

[0047] 在图1的左侧,燃烧室2通向炉3。在另一侧,燃烧器喷枪4定位在位置o处。如图1所示根据现有技术的已知情况,位置o位于中心线a上,从而导致距离 $|d_1|$ 等于0。

[0048] 炉3设计成使得使用处在相对位置上的两个燃烧器组件,由对称平面b表示。

[0049] 经由燃烧器喷枪4,把液体燃料或气体燃料以及一次氧化剂(优选地空气)注入燃烧室2中。通常,还提供有控制单元或控制设备(未示出),用于控制燃料和一次空气向燃烧室的供应。

[0050] 通常,大部分氧化剂经由降气道5注入燃烧室2中,二次氧化剂(例如预热空气)经由降气道向下流动。降气道的下部在其与燃烧室2相交的相交区域S附近具有中心线c。中心线c与相交区域S的交点定义为位置i。如由箭头11所示,二次氧化剂在形成循环区12之前经过燃烧器喷枪4和火焰7。

[0051] 在炉3内部,来自燃烧室2的烟气向下流动(由箭头13所示),例如流入球团床6中。

[0052] 在图2中,使用大致相同的结构。然而,代替气流线,图2示出了炉中(例如在球团床6上方)的简化温度分布。 $T_1$ 表示热区,而 $T_2$ 表示较冷区。通常,这两个区之间的差异至少为40K。

[0053] 相比之下,图3示出了根据本发明的相同燃烧器和炉组件。如上所述,燃烧器喷枪4定位在位置p中,距燃烧室2中心线a的最小距离为 $|d_1|$ ,其中, $d_1$ 定义为

$$d_1 = \left[ 1 - \left( d \cdot \frac{u_1}{u_2} \right)^{\frac{1}{4}} \right] \cdot \frac{D}{2} \quad d \text{ 在 } 0.05 \text{ 至 } 0.15 \text{ 的范围内。在 } d_1 \text{ 为正号的情况下,与为负号的情况相比,位置p总是更接近降气道。}$$

比,位置p总是更接近降气道。

[0054] 如图3所示,火焰7与循环区12相互作用,因此在炉3中出现了强湍流状况。

[0055] 结果,在炉3内实现了气流的更好混合,这正是图4示出更均匀温度分布的原因,这由 $T_1$ (热区)和 $T_2$ (较冷区)几乎相同大小来表征, $T_1$ 与 $T_2$ 之间的CFD模拟差异最大为10K。

[0056] 图5和图6对应于图3和图4,但是示出了倾斜的燃烧器喷枪。倾斜角 $\alpha$ 是在燃烧室的中心线a与燃烧器喷枪4的中心线之间测量的。

[0057] 附图标记

[0058] 1 燃烧器组件

[0059] 2 燃烧室

[0060] 3 炉

[0061] 4 燃烧器喷枪

[0062] 5 降气道

[0063] 6 球团床

[0064] 7 火焰

- [0065] 11 二次氧化剂流
- [0066] 12 循环区
- [0067] 13 炉中的气流
- [0068]  $T_1$  热区中的温度
- [0069]  $T_2$  较冷区中的温度
- [0070] a 燃烧室的中心线
- [0071]  $\alpha$  倾斜角
- [0072] b 炉的对称平面
- [0073] c 降气道的中心线 (靠近相交区域S)
- [0074] D 燃烧室的截面直径
- [0075] d 无量纲系数
- [0076]  $|d_1|$  位置p距燃烧室中心线a的最小距离
- [0077] i 燃烧室和降气道相交区域S与降气道中心线c的交点
- [0078] o 根据现有技术的燃烧器喷枪的位置
- [0079] p 根据本发明的燃烧器喷枪的位置
- [0080] S 燃烧室 (2) 和降气道 (5) 的相交区域
- [0081]  $u_1$  燃烧器喷枪喷入燃烧室的入口处的平均速度
- [0082]  $u_2$  降气道中二次氧化剂的平均速度

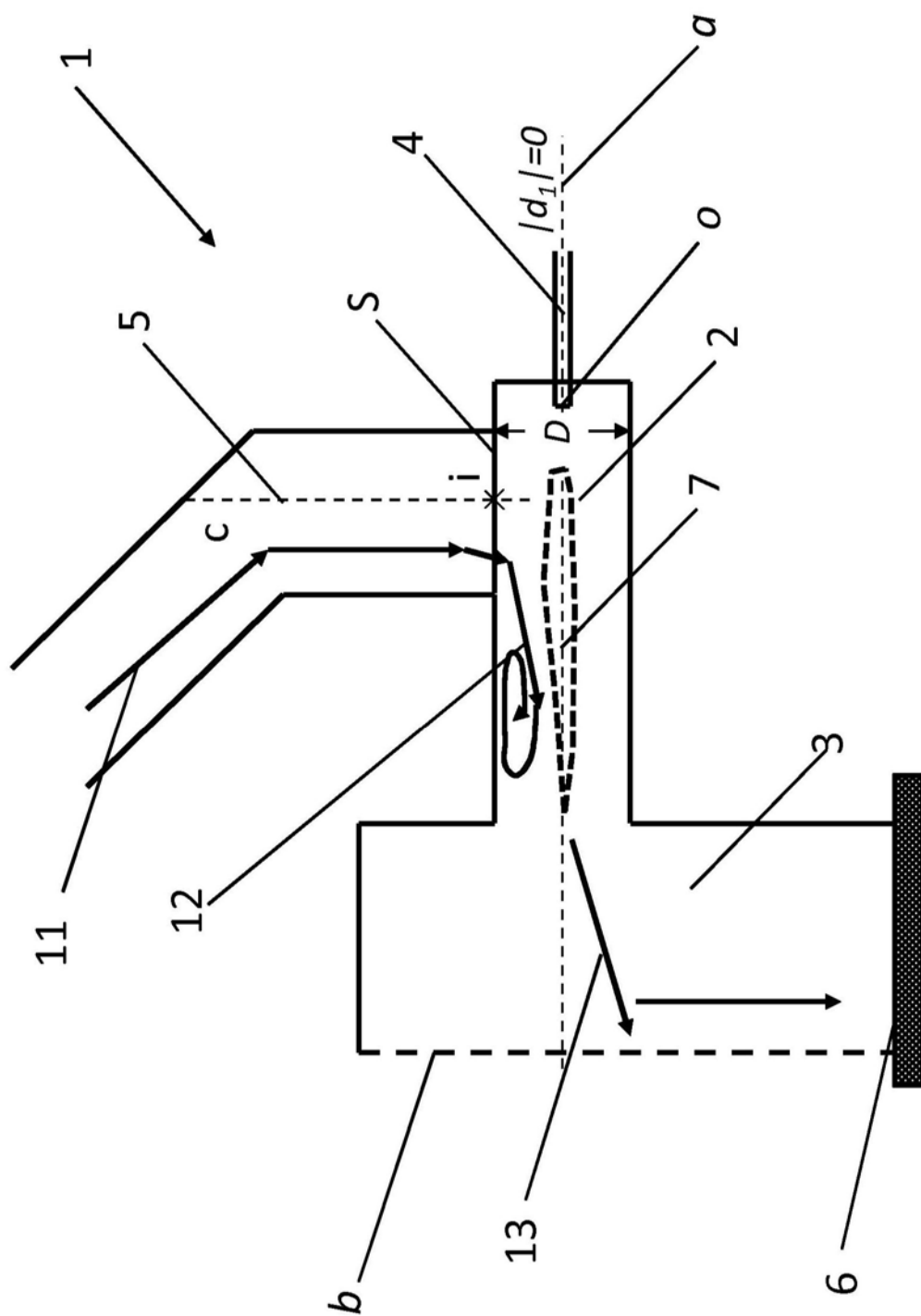


图1









